

Removal of Lead and Cobalt ions from aqueous solution by functionalized and non-functionalized carbon nanotubes

Ali Naghizadeh^{1*}, Hossein Eivazi²

1. PhD in Environmental Health Engineering, Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran

2. Postgraduate Student in Environmental Health Engineering, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran

ABSTRACT

Background and Aims: One of the most important issues of today's world is water scarcity and pollution of the environment with heavy metals. This study aimed to investigate the removal of lead and cobalt ions by functionalized and non-functionalized single-walled carbon nanotubes from aqueous solution.

Materials and Methods: The present research was an experimental and laboratory -scale study to evaluate the removal of lead and cobalt from aqueous solution with functionalized and non- functionalized single-walled carbon nanotubes in a batch system. Samples were prepared in lab and in synthetic scale. Factors such as pH, adsorbent dosage, lead and cobalt concentrations, reaction time and reaction temperature were investigated. The concentration of metal ions was measured using atomic absorption spectrometry.

Results: According to the results, functionalization of single-walled nanotubes, increasing the adsorbent dosage, temperature, pH and initial concentrations of lead and cobalt resulted in increased removal of lead and cobalt. Most of the removal of studied metal ions was in 75 mg of adsorbent dosage, 3 mg/L of lead and cobalt, as well as 15 and 10 minutes of contact time at 35 ° C for cobalt and lead, respectively. Furthermore, the results showed better agreement with Langmuir isotherm.

Conclusion: It was found that, compared with non- functionalized nanotubes, functionalized nanotubes revealed higher adsorption capacity.

Key words: Cobalt, Lead, Single Wall Carbon Nanotubes, Adsorption, Aqueous Solution

*Corresponding Author:

PhD in Environmental Health Engineering, Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran

Email: al.naghizadeh@yahoo.com

Received: 17 Mar 2015

Accepted: 16 Dec 2015

بررسی میزان حذف یون‌های سرب و کبالت توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره عامل‌دار و

بدون عامل از محلول آبی

علی نقی زاده^{۱*}، حسین ایوزی^۲

^۱ استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران
^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، عضو کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران

چکیده

زمینه و هدف: یکی از مهمترین مسائل دنیای امروز، کمبود آب و آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین است. این مطالعه با هدف بررسی میزان حذف یون‌های سرب و کبالت توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره عامل‌دار و بدون عامل از محلول آبی انجام گردید. **مواد و روش‌ها:** مطالعه حاضر به صورت تجربی و در مقیاس آزمایشگاهی به منظور بررسی حذف سرب و کبالت از محلول آبی توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره عامل‌دار و بدون عامل در سیستم جریان ناپیوسته صورت گرفت. در این مطالعه، متغیرهای آزمایش شامل pH، جرم جاذب، غلظت اولیه سرب و کبالت، زمان واکنش و دمای واکنش مورد بررسی قرار گرفت. غلظت یون‌های سرب و کبالت با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد.

یافته‌ها: با عامل‌دار کردن نانولوله‌های تک دیواره، افزایش دما، pH و افزایش غلظت اولیه سرب و کبالت و کاهش جرم جاذب ظرفیت جذب افزایش یافت. راندمان بهینه حذف یون‌های سرب و کبالت در جرم جاذب ۲۵ میلی‌گرم، غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر سرب و کبالت، دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و همچنین زمان ۱۵ دقیقه برای کبالت و ۱۰ دقیقه برای سرب بدست آمد. نتایج بدست آمده با ایزوترم لانگمویر مطابقت بیشتری نشان داد.

نتیجه گیری: در این مطالعه مشخص شد که نانولوله‌های عامل‌دار نسبت به نانولوله‌های بدون عامل ظرفیت جذب و درصد حذف بالاتری را دارا می‌باشند.

کلید واژه‌ها: کبالت، سرب، نانولوله‌های کربنی تک دیواره، جذب سطحی، عامل‌دار کردن

*آدرس نویسنده مسئول:

ایران، بیرجند، خیابان غفاری، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط. تلفن: ۰۵۶-۳۲۳۹۵۳۴۶

Email: al.naghizadeh@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۲۵

مقدمه:

یکی از مهمترین مسائل دنیای امروز، کمبود آب و آلودگی محیط به فلزات سمی و خطرناک است. انتشار فلزات سنگین در محیط زیست که با توسعه صنعتی و افزایش جمعیت توأم است، یکی از مشکلات زیست محیطی در بسیاری از کشورها می‌باشد [۲،۱].

فلزات سنگین در آب‌های سطحی و زیرزمینی موجب به خطر افتادن سلامتی موجودات زنده شده است [۳]. فلزات سنگین به دلیل غیرقابل تجزیه بودن و خاصیت تجمع‌پذیری در بافتهای مختلف و اثرات فیزیولوژیکی که در غلظت‌های پایین بر موجودات زنده دارند، از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشند [۴].

سرب و کبالت از جمله این فلزات می‌باشند. یون سرب به عنوان یک فلز سنگین سمی در آب، از طریق به کارگیری مخازن و لوله‌های سربی و فاضلاب کارخانجات باتری سازی و مهمات سازی، رنگ سازی و غیره وارد منابع آب می‌شود. مسمومیت با سرب باعث کوتاهی قد، توقف رشد و آسیب مغزی و افت بهره هوشی در کودکان و بالا رفتن فشار خون، مشکلات و ناراحتی‌های گوارشی، آسیب کلیه‌ها و اعصاب در بزرگسالان می‌شود.

انتشار کبالت، یکی دیگر از فلزات سنگین سمی حاصل از فعالیت‌هایی از قبیل سوزاندن زغال سنگ، استخراج و پردازش سنگ معدن و صنایع شیشه، سفال و همچنین استفاده از مواد شیمیایی می‌باشد. مسمومیت با کبالت دارای عوارضی از جمله فلج، اسهال، کاهش فشارخون، سوزش ریه و استخوان است. استاندارد مقدار سرب و کبالت در آب به ترتیب ۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر و ۲ میکروگرم بر لیتر است.

در حال حاضر روشهای مختلفی برای حذف فلزات سنگین و خارج نمودن آنها از محیط آبی وجود دارد که به طور عمده شامل اسمز معکوس، الکترودیالیز، تبادل یون، اولترافیلتراسیون، جذب زیستی و رسوب شیمیایی می‌باشد. کاربرد نانو فناوری در تصفیه آلاینده‌ها به دلیل اقتصادی بودن و سهولت کاربرد آن نسبت به روش‌های بیولوژیک و فیزیوشیمیایی متداول توسعه بیشتری یافته است [۵-۷].

نانولوله‌های کربنی (Carbon nanotubes: CNTs)، عضوی از خانواده کربن است که در سال ۱۹۹۱ توسط ایجیما کشف شده است. نانولوله‌های کربنی همانند تیوبهای توخالی هستند که از منابع کربنی مانند گرافیت یا گازهای هیدروکربنی و توسط روش‌هایی مانند تخلیه الکتریکی ساخته می‌شوند.

نانولوله‌های کربنی دارای سطح ویژه بسیار بالا، نفوذپذیری زیاد، پایداری حرارتی و مکانیکی بالایی هستند. به طور کلی نانولوله‌ها به دو دسته چند دیواره و تک دیواره تقسیم بندی می‌گردد.

مطالعات مختلف در مورد بررسی کارایی نانولوله‌های کربنی در حذف آلاینده‌های مختلف نشان می‌دهد که این نانومواد با توجه به خصوصیات منحصر به فردشان، کارایی بالایی در حذف آلاینده‌ها از محیط‌های آبی دارند. از جمله دهقانی و همکاران، عملکرد نانولوله‌های چند دیواره را در حذف رنگ راکتیو ۲۹ مورد بررسی قرار دادند [۹،۸].

امروزه ورود این فناوری به عرصه مهندسی بهداشت محیط بالاخص در زمینه‌های تصفیه آب و فاضلاب و ایجاد شرایط لازم برای استفاده مجدد از پساب‌های تصفیه شده، با توجه به قرار گرفتن کشور در شرایط بحران آب امری ضروری است. این پژوهش با هدف بررسی میزان حذف یونهای سرب و کبالت توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره عامل‌دار و بدون عامل از محلول آبی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روشها:

مطالعه حاضر به صورت تجربی و در مقیاس آزمایشگاهی به منظور بررسی حذف سرب و کبالت از محلول آبی توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره عامل‌دار و بدون عامل در سیستم جریان ناپیوسته صورت گرفت. نانولوله‌های تک دیواره این بررسی از پژوهشگاه صنعت نفت با درجه خلوص ۹۸ درصد و مساحت سطحی بیش از ۳۸۰ مترمربع بر گرم تهیه شد. سایر مواد شیمیایی (اسید نیتریک، اسید کلریدریک، هیدروکسید سدیم، نیترات کبالت، نیترات سرب) از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. در این مطالعه دستگاه جذب اتمی ساخت استرالیا مدل varianAA240، شیکر IKAKS260 ساخت ایتالیا، ترازوی مدل AND ساخت ژاپن و pH متر مدل knick760 ساخت آلمان بکار گرفته شد.

عامل‌دار کردن نانولوله‌های تک دیواره

برای فراهم کردن نانولوله‌های تک دیواره عامل‌دار با گروه عاملی کربوکسیل (-COOH)، از اسید نیتریک یک نرمال غلیظ و اسید سولفوریک یک نرمال غلیظ با نسبت ۱ به ۳ استفاده شد. این مخلوط در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت روی شیکر با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه هم زده شد. سپس نانولوله‌ها، چندین مرتبه با آب مقطر دیونیزه و توسط پمپ خلاء برای رسیدن به pH خنثی شستشو داده شدند [۱۰].

نتایج بررسی شد.

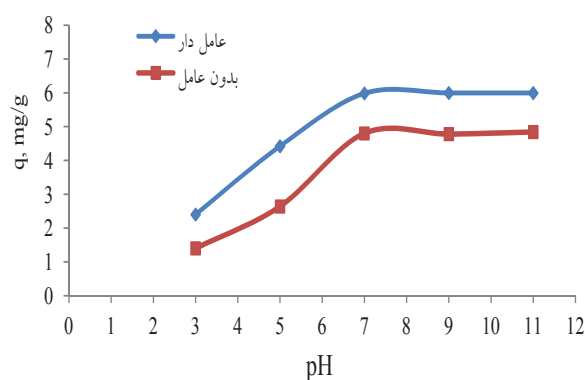
یافته‌ها:

بررسی عملکرد گروه عاملی کربوکسیل در حذف سرب و کبالت

اثر گروه عاملی کربوکسیل در حذف سرب و کبالت با در نظر گرفتن مقادیر آلاینده سرب و کبالت ۳ mg/L، مقدار جاذب ۵۰ mg/L، pH برابر ۹، دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و مدت زمان ۶۰ دقیقه بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان داد که عامل دار شدن نانولوله‌های تک دیواره باعث افزایش کارایی جاذب در حذف سرب و کبالت از محلول‌های آبی گردید.

بررسی اثر pH اولیه در حذف سرب و کبالت توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره

مقدار pH از پارامترهای موثر در نتایج آزمایشات می‌باشد. داده‌های بدست آمده از آزمایش تعیین اثر pH در دامنه بین ۳ تا ۱۱ بر ظرفیت جذب با ثابت نگه داشتن سایر عوامل (مقادیر آلاینده سرب و کبالت ۳ mg/L، مقدار جاذب ۵۰ mg/L، دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و مدت زمان ۶۰ دقیقه) طبق شکل‌های شماره ۱ و ۲ نشان داد که راندمان حذف و ظرفیت جذب نانولوله‌ها برای آلاینده‌های کبالت و سرب، با افزایش مقدار pH افزایش یافت. با توجه به نزدیک بودن مقادیر ظرفیت جذب در pHهای بیشتر از ۷ برای سرب و pH بیشتر از ۹ برای کبالت، pHهای بهینه برای سایر مراحل برابر ۷ و ۹ به ترتیب برای سرب و کبالت در نظر گرفته شد.



شکل ۱- تاثیر pH در حذف سرب توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره (غلظت سرب ۳ mg/L، مقدار جاذب ۵۰ mg/L، دما ۲۵°C و زمان ۶۰ min)

تهیه محلول استوک کبالت و سرب

در این بررسی محلول استوک سرب و کبالت، از نمک‌های نیتراته این دو یون در حجم یک لیتر تهیه شد. جداسازی جاذب از محلول آبی، با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۰/۲ میکرومتر انجام گرفت.

آزمایشات جذب

در این مطالعه، نمونه‌های مورد استفاده در شرایط آزمایشگاهی و به صورت سنتتیک تهیه و با تغییر فاکتورهای موثر pH (۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱)، غلظت اولیه سرب و کبالت (۱، ۲ و ۳) میلی‌گرم بر لیتر، جرم جاذب (۲۵، ۵۰ و ۷۵) میلی‌گرم در لیتر، زمان واکنش (۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰) دقیقه و دمای واکنش (۲۵، ۳۰ و ۳۵) درجه سانتیگراد، مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام آزمایشات از ارلن‌هایی با حجم ۱۵۰ سی‌سی استفاده شد.

به منظور بررسی اثر pH بر روی جذب سطحی سرب و کبالت، محلول‌هایی حاوی غلظت اولیه ۳ mg/L از ماده جذب شونده، آماده شد. سپس آزمایشات، با افزودن ۵۰ mg/L از جاذب به محلول‌ها، در دمای محیط و به مدت ۶۰ دقیقه روی شیکر انجام شد. جهت تنظیم pH از محلول‌های اسید کلریدریک یک نرمال و هیدروکسید سدیم یک نرمال استفاده شد. پس از اتمام زمان همزدن، کبالت و سرب موجود در محلول توسط دستگاه جذب اتمی قرائت و ظرفیت جذب و درصد حذف کبالت و سرب توسط نانولوله‌های تک دیواره توسط فرمولهای ۱ و ۲ محاسبه شدند.

$$q = \frac{(C_0 - C_e)V}{M} \quad \text{فرمول ۱}$$

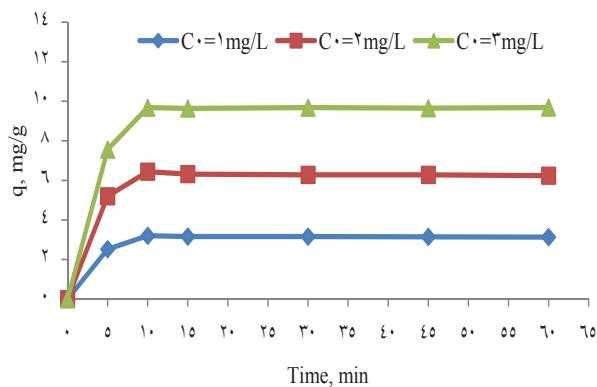
$$R\% = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad \text{فرمول ۲}$$

در این روابط به ترتیب C_0 و C_e غلظت کبالت و سرب در محلول اولیه و بعد از تماس با نانولوله‌های کربنی برحسب میلی‌گرم در لیتر، V حجم محلول اولیه برحسب لیتر و M وزن جاذب اضافه شده بر حسب گرم است. سایر عوامل شامل، زمان واکنش (۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰) دقیقه و دمای واکنش (۲۵، ۳۰ و ۳۵) درجه سانتیگراد، با بدست آمدن مقادیر بهینه، مورد آزمایش قرار گرفت.

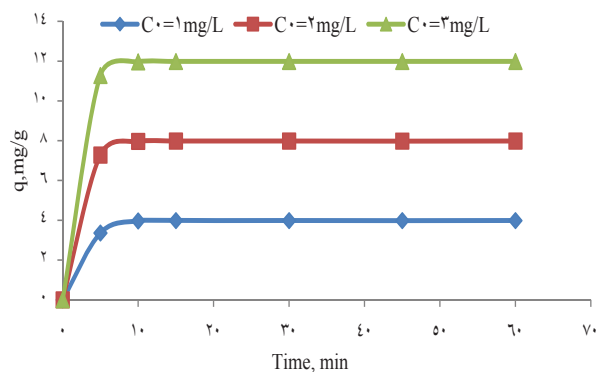
به منظور تعیین مطابقت نتایج با ایزوترم‌های جذب در این بررسی، مدل‌های لانگمویر، فروندلیچ و بت استفاده شدند. نتایج بدست آمده در نهایت با نرم افزار Excel

بررسی اثر غلظت و زمان تماس در حذف سرب و کبالت در این بخش، تاثیر زمان‌های (۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰) دقیقه و غلظت‌های ۱، ۲ و ۳ میلی‌گرم در لیتر برای هر دو آلاینده مورد نظر، تحت شرایط (pH برابر ۷ برای سرب و ۹ برای کبالت، دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و غلظت جاذب ۲۵ mg/L) مورد آزمایش قرار گرفت.

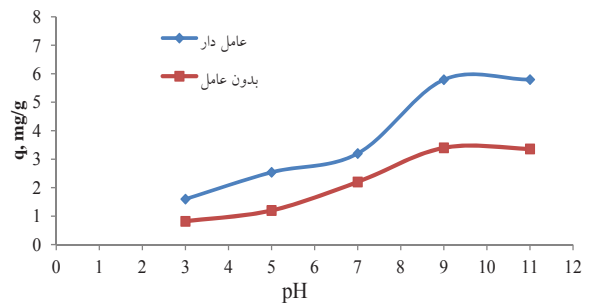
از بررسی شکل‌های شماره ۵ و ۶، که تاثیر غلظت سرب و زمان تماس بر ظرفیت جذب نانولوله‌های بدون عامل و عامل‌دار را نشان می‌دهد، مشخص می‌گردد که در هر دو شرایط، ظرفیت جذب سرب با افزایش زمان تماس تا ۱۰ دقیقه، افزایش و بعد از این زمان، ظرفیت جذب تقریباً به حالت تعادل می‌رسد. لذا زمان ۱۰ دقیقه به عنوان زمان بهینه واکنش انتخاب گردید. اما تاثیر افزایش غلظت سرب بر ظرفیت جذب در جذب توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره عامل دار نسبت به نانولوله‌های بدون عامل بیشتر بوده است.



شکل ۵- تاثیر غلظت و زمان تماس در حذف سرب توسط نانولوله‌های کربنی بدون عامل (جرم جاذب ۲۵ mg/L، pH=۷، دما ۲۵°C)



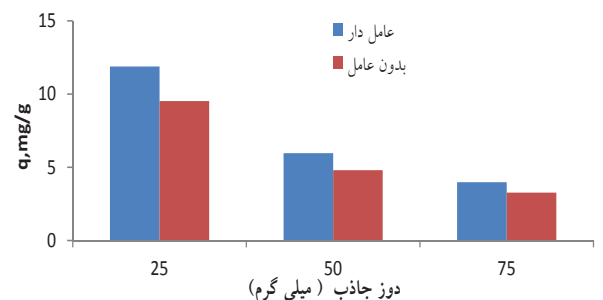
شکل ۶- تاثیر غلظت و زمان تماس در حذف سرب توسط نانولوله‌های کربنی عامل‌دار (جرم جاذب ۲۵ mg/L، pH=۷، دما ۲۵°C)



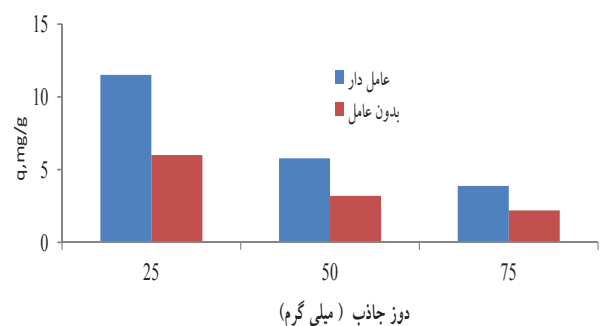
شکل ۲- تاثیر pH در حذف کبالت توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره (غلظت کبالت ۳ mg/L، مقدار جاذب ۵۰ mg/L، دما ۲۵°C و زمان ۶۰ min)

بررسی اثر دوز جاذب در حذف سرب و کبالت توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره

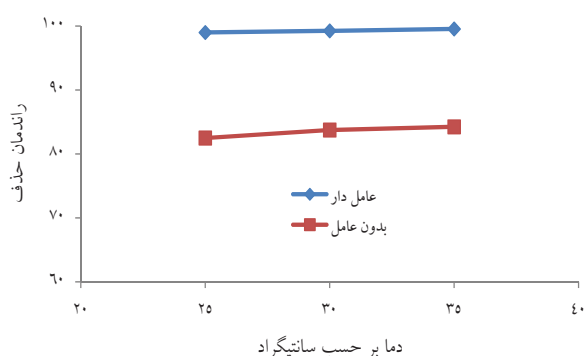
بررسی اثر دوز جاذب تحت شرایط (غلظت سرب و کبالت ۳ mg/L، pH برابر ۷ برای سرب و ۹ برای کبالت، دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و مدت زمان ۶۰ دقیقه) مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی شکل‌های شماره ۳ و ۴ مشاهده می‌شود که با افزایش جرم جاذب، ظرفیت جذب روند نزولی داشته است. با در نظر گرفتن نتایج و به دلیل کاهش هزینه و در نظر گرفتن عامل اقتصادی بودن فرایند، مقدار جاذب بهینه برای انجام مراحل بعد، ۲۵ میلی‌گرم انتخاب شد.



شکل ۳- تاثیر جرم جاذب در حذف سرب توسط نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره (غلظت سرب ۳ mg/L، pH=۷، دما ۲۵°C و زمان ۶۰ min)

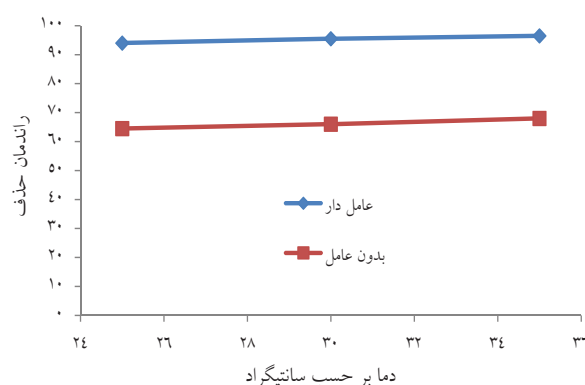


شکل ۴- تاثیر جرم جاذب در حذف کبالت توسط نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره (غلظت کبالت ۳ mg/L، pH=۹، دما ۲۵°C و زمان ۶۰ min)



شکل ۹- تاثیر دما در حذف سرب توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره (غلظت سرب 2 mg/L ، $\text{pH}=7$ ، دما 25°C و زمان 10 min)

با توجه به شکل ۱۰ در غلظت کبالت 2 mg/L ، pH برابر ۹، دمای 25 درجه سانتیگراد و مدت زمان 15 دقیقه، با افزایش دما از 25 به 35 درجه سانتیگراد، راندمان حذف کبالت افزایش یافته است. با توجه به راندمان مناسب حذف سرب و کبالت در دمای 25 درجه سانتیگراد (دمای تقریبی محیط)، از این دما به عنوان دمای بهینه استفاده گردید.



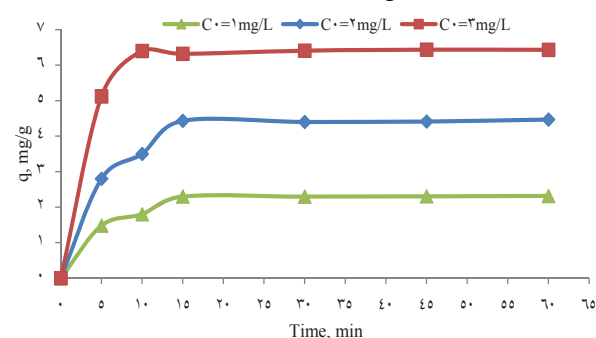
شکل ۱۰- تاثیر دما در حذف کبالت توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره (غلظت کبالت 2 mg/L ، $\text{pH}=9$ ، دما 25°C و زمان 10 min)

ایزوترم‌های جذب در حذف سرب و کبالت توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره

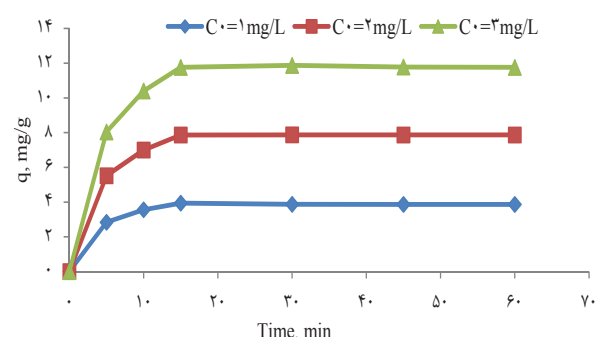
از مهمترین ویژگی‌هایی که باید در بررسی‌های جذب آلاینده‌ها بر روی جاذب‌های متفاوت مورد توجه باشد، ایزوترم‌های جذب می‌باشند.

جهت تعیین مطابقت نتایج این مطالعه با ایزوترم‌های جذب، از معادلات ایزوترم جذب لانگمویر، فروندلیچ و بت استفاده گردید. با توجه به مقادیر رگرسیون هر یک از ایزوترم‌ها در جدول شماره ۱ مشخص گردید که نتایج بدست آمده با ایزوترم لانگمویر مطابقت بیشتری دارد.

با بررسی نتایج تاثیر غلظت کبالت و زمان تماس بر جذب توسط نانولوله‌های عامل‌دار و بدون عامل، در شکل‌های شماره ۷ و ۸، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش زمان تماس تا 15 دقیقه، ظرفیت جذب افزایش می‌یابد و بعد از این زمان، ظرفیت جذب تقریباً به حالت تعادل می‌رسد. لذا زمان 15 دقیقه به عنوان زمان بهینه واکنش انتخاب شد. همچنین با افزایش غلظت کبالت، ظرفیت جذب نانولوله‌های کربنی تک دیواره عامل‌دار افزایش بیشتری از نانولوله‌های کربنی بدون عامل داشت. با توجه به نزدیک بودن اعداد ظرفیت جذب در غلظت‌های بررسی شده، از غلظت 2 mg/L به عنوان مقدار بهینه برای سایر مراحل استفاده شد.



شکل ۷- تاثیر غلظت و زمان تماس در حذف کبالت توسط نانولوله‌های کربنی بدون عامل (جرم جاذب 25 mg/L ، $\text{pH}=9$ ، دما 25°C)



شکل ۸- تاثیر غلظت و زمان تماس در حذف کبالت توسط نانولوله‌های کربنی عامل‌دار (جرم جاذب 25 mg/L ، $\text{pH}=9$ ، دما 25°C)

بررسی دما در حذف سرب و کبالت توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره

اثر دما در سه دمای 25 ، 30 و 35 درجه سانتیگراد، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج اثر دما بر فرآیند جذب سرب توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره، در غلظت سرب 2 mg/L ، pH برابر ۷، دمای 25 درجه سانتیگراد و مدت زمان 10 دقیقه در شکل شماره ۹ نشان می‌دهد که با افزایش دما از 25 به 35 درجه سانتیگراد، راندمان حذف افزایش یافته است.

جدول ۱- ضرایب پارامترهای مدل‌های ایزوترم لانگمویر، فروندلیچ و بت

ایزوترم لانگمویر				
R ²	b (L/mg)	q _m (mg/g)	نوع جاذب	نوع آلاینده
۰/۹۷	۰/۳۴	۱۵/۴۳	نانولوله کربنی تک دیواره عامل دار	سرب
۰/۹۷	۰/۰۸	۱۱/۲۳	نانولوله کربنی تک دیواره بدون عامل	
۰/۹۷	۰/۱۰	۱۳/۱۱	نانولوله کربنی تک دیواره عامل دار	کبالت
۰/۹۷	۰/۱۰	۸/۹۱	نانولوله کربنی تک دیواره بدون عامل	
ایزوترم فروندلیچ				
R ²	n	K _f	نوع جاذب	نوع آلاینده
۰/۹۲	۰/۲۷	۰/۶۹۲	نانولوله کربنی تک دیواره عامل دار	سرب
۰/۶۰	۰/۱۸	۰/۲۲	نانولوله کربنی تک دیواره بدون عامل	
۰/۹۲	۰/۳۳	۰/۶۹۶	نانولوله کربنی تک دیواره عامل دار	کبالت
۰/۷۲	۰/۱۹	۰/۳۳	نانولوله کربنی تک دیواره بدون عامل	
ایزوترم بت				
R ²	A (g/mg.min)	X _m (mg/g)	نوع جاذب	نوع آلاینده
۰/۷۷	۰/۰۰۴۲	۴۸/۷۷	نانولوله کربنی تک دیواره عامل دار	سرب
۰/۹۳	۰/۰۰۲۴	۴۹/۰۳	نانولوله کربنی تک دیواره بدون عامل	
۰/۷۸	۰/۰۰۴۹	۵۰/۰۱	نانولوله کربنی تک دیواره عامل دار	کبالت
۰/۸۹	۰/۰۰۲۹	۴۲/۵۴	نانولوله کربنی تک دیواره بدون عامل	

بحث

در این تحقیق تاثیر فاکتورهای pH، جرم جاذب، غلظت اولیه سرب و کبالت، زمان واکنش و دمای واکنش بر جذب نانولوله‌ها مورد بررسی قرار گرفت. جذب ترکیبات از محلول‌های آبی توسط نانولوله‌های کربنی بسیار پیچیده می‌باشد. اما در اکثر تحقیقات نیروهای جاذبه الکترواستاتیک، جذب-ترسیب و برهمکنشهای شیمیایی و گروه‌های عملکردی سطح نانولوله‌های کربنی به عنوان مکانیسم جذب مطرح شده است. ایجاد برهمکنش الکترواستاتیک بین طبیعت کاتیونی جذب شونده (سرب و کبالت) و جاذب مورد مطالعه (نانولوله‌های عامل‌دار و بدون عامل) از طریق برهم کنش کوالانسی و یا تشکیل پیوند هیدروژنی، می‌تواند به عنوان یک ساز و کار پیشنهاد شده در جذب ماده جذب شونده مد نظر قرار گیرد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش دادن pH، راندمان حذف نانولوله‌های کربنی زیاد می‌شود. همچنین زیاد شدن pH، باعث از دست دادن پروتون گروه‌های عاملی در سطح نانولوله‌های کربنی می‌گردد. سطح جاذب دارای بار الکتریکی منفی می‌شود. بار منفی در سطح باعث ایجاد واکنشهای الکترواستاتیک می‌گردد که در جذب گونه‌های کاتیونیک موثر است [۱۱].

نتایج مطالعات پیروزیسکا و همکاران، در مورد حذف فلزات سنگین با نانولوله‌های کربنی نشان داد که با افزایش دادن pH از ۵ به ۹، راندمان حذف نانولوله‌های کربنی افزایش می‌یابد که با نتایج این بررسی مطابقت می‌کند. استیجی در توجیه نتایج مطالعه خود بیان می‌کند که با افزایش pH، بار سطحی نانولوله‌های کربنی بیشتر منفی می‌شود که این عامل باعث افزایش واکنشهای الکترواستاتیک می‌گردد [۱۲].

در این پژوهش، داده‌ها نشان داد که با افزایش مقدار نانولوله‌های کربنی تک دیواره به عنوان جاذب، درصد حذف سرب و کبالت افزایش یافت که این واقعیت می‌تواند به علت وجود مکان‌های جذب بیشتر روی جاذب در شرایط یکسان باشد. در تحقیقات کوسا و همکاران، با عنوان حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی با استفاده از نانولوله‌های چند دیواره اصلاح شده با ۸-هیدروکسی کوبنولین، نتایج نشان داد که با افزایش جرم جاذب، راندمان حذف فلزات سنگین افزایش یافت [۱۳] که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

غلظت ماده جذب شونده از جمله عوامل موثر بر فرایند جذب است. بر اساس شکل‌های ۵ تا ۸، ظرفیت جذب با افزایش غلظت یون‌های سرب و کبالت افزایش یافت.

تاثیر مستقیم دما بر افزایش راندمان بیانگر این موضوع است که ماهیت جذب شیمیایی فلزات سنگین سرب و کبالت توسط نانولوله‌های تک دیواره بدون عامل و عامل دار، گرماگیر است. ایزوترم‌های جذب، جزء ملکول‌های جاذب در شرایط تعادلی بین فازهای جامد و مایع را نشان می‌دهد. در مدل فروندلیچ مناطق روی سطح جاذب یکنواخت نبوده و دارای قدرت جذب متفاوت می‌باشند. در حالی که در مدل لانگمویر یک لایه از ملکول‌های ماده حل شده، توسط جاذب جذب می‌شود و در تمام سطوح جاذب، مقدار انرژی جذب یکسان است و پیوندهای جذب به صورت برگشت پذیر فرض می‌گردد. بررسی ضرایب رگرسیون خطی و نتایج ایزوترم‌های جذب در جدول شماره ۱، نشان دهنده این است که حذف سرب و کبالت توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره به صورت تک لایه است و از مدل لانگمویر پیروی می‌کند. نتایج بررسی کارامالا و همکاران با موضوع حذف کبالت از محلول‌های آبی توسط جذب روی زغال سنگ نارس اصلاح شده، با ایزوترم لانگمویر مطابقت بیشتری نشان داد [۱۶].

نتیجه گیری:

نتایج این بررسی نشان دهنده این است که نانولوله‌های عامل دار، جاذب مناسبتر و دارای ظرفیت جذب بالاتری نسبت به نانولوله‌های بدون عامل است. نانولوله‌های کربنی تک دیواره، یون‌های سرب را در pH برابر ۷ و یون‌های کبالت در pH برابر ۹، دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، مدت زمان ۱۰ دقیقه برای سرب و ۱۵ دقیقه برای کبالت و مقدار جاذب ۲۵ میلی‌گرم در لیتر، با راندمان مناسبی از محلول‌های آبی حذف کرد. بررسی ایزوترم‌های جذب نشان می‌دهد که جذب یون‌های سرب و کبالت توسط نانولوله‌های عامل دار و بدون عامل با ایزوترم جذب لانگمویر مطابقت بیشتری دارد. در نتیجه گیری کلی می‌توان ادعان نمود که در شرایط بهینه pH و غلظت جاذب و در دمای محیط، می‌توان از نانولوله‌های کربنی تک دیواره عامل دار به عنوان یک جاذب نوین برای حذف آلاینده‌های محیطی با کارایی مناسب استفاده نمود.

دلیل این امر آن است که جاذب‌ها دارای تعداد محل‌های فعال محدودی هستند، در نتیجه در غلظت‌های بالا، محلهای فعال جذب توسط آلاینده‌ها، سریعتر اشباع می‌گردد که این امر باعث کاهش راندمان حذف می‌شود. تحقیقات قانعیان و همکاران که با عنوان حذف آلاینده کروم شش ظرفیتی با استفاده از نانولوله‌های کربنی تک جداره و چند جداره فعال از محلول‌های آبی صورت گرفت، نتایج بررسی نشان داد که با افزایش غلظت اولیه کروم، ظرفیت جذب کروم افزایش و درصد حذف کاهش می‌یابد که با داده‌های این بررسی مطابقت دارد [۱۴].

نتایج بدست آمده از آزمایش بررسی زمان تماس در حذف سرب و کبالت از محلول‌های آبی توسط نانولوله‌های کربنی در این پژوهش نشان می‌دهد که با گذشت زمان، درصد حذف و ظرفیت جذب تا ۱۰ دقیقه اول برای سرب افزایش یافت و بعد از ۱۰ دقیقه، درصد حذف به تعادل رسید. همچنین درصد حذف و ظرفیت جذب تا ۱۵ دقیقه اول برای کبالت افزایش یافت و بعد از ۱۵ دقیقه درصد حذف کمی کاهش و سپس به تعادل رسید. این امر نشان دهنده آن است که نانولوله‌های کربنی در مدت زمان کمی قادر به حذف سرب و کبالت از محیط‌های آبی هستند. به نظر می‌رسد علت این کاهش برای یون کبالت، رخ دادن پدیده واجذب باشد.

کنده و همکاران، در مطالعه خود در خصوص توانایی نانولوله‌ها در حذف نیکل، به زمان تعادلی ۱۰ دقیقه، در غلظت ۳۷ mg/L دست یافتند [۹]. در مطالعه ژانگ و همکاران، در مورد حذف کروم با کربن فعال مشتق شده از جلبک‌ها، پی بردند که با افزایش زمان تماس، میزان جذب تا رسیدن به نقطه تعادل افزایش و سپس در مقایسه با نقطه تعادل، کاهش قابل توجهی دارد که نشان دهنده اشباع بودن مکانهای فعال جاذب است که با داده‌های این تحقیق مطابقت دارد [۱۵].

در این مطالعه، اثر دما در حذف سرب و کبالت از محلول‌های آبی، در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتیگراد مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شکل‌های شماره ۹ و ۱۰ مشخص می‌شود که با افزایش دما، راندمان حذف نیز زیاد می‌شود.

تشکر و قدردانی:

نویسندگان این مقاله از معاونت تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی بیرجند بخاطر تامین هزینه‌های مالی این طرح تشکر به عمل می‌آورند.

REFERENCES

1. Lin HT, Wong SS, Li GC. Heavy metal content of rice and shellfish in Taiwan. *Journal of Food and Drug Analysis* 2004; 12(2):167-74.
2. Shukla SR, Pai RS. Adsorption of Cu (II), Ni (II) and Zn (II) on modified jute fibers. *Bioresource Technology* 2005; 96:1430-38.
3. Zhao X, Holl WH, Yun G. Elimination of cadmium contamination from drinking water. *Water Research* 2002; 36:851-58.
4. Mehraşbi M. Heavy metal removal from aqueous solution by adsorption on modified banana shell. *Iranian Journal of Health and Environment* 2008; 1(1):57-66 (In Persian).
5. Divband L, Behzad M, Divband S. Investigation of nano particles efficiency prepared from Cedar fly ash (*Zizyphus Spinachristi*) for Lead (Pb+2) removal from aqueous solution. *Iranian Journal of Health and Environment* 2012; 5(1):51-62 (In Persian).
6. Alidadi H, Peiravi R, Dehghan AA, Vahedian M, Moalemzade Haghghi H, Amini A. Survey of heavy metals concentration in Mashhad drinking water in 2011. *Razi Journal of Medical Sciences* 2014; 20(116):27-34 (In Persian).
7. Ahmadpour A, Tahmasbi M, Bastami TR, Besharati JA. Rapid removal of cobalt ion from aqueous solutions by almond green hull. *Journal of Hazardous Materials* 2009; 166(2):925-30.
8. Dehghani MH, Naghizadeh A, Rashidi A, Derakhshani E. Adsorption of reactive blue 29 dye from aqueous solution by multiwall carbon nanotubes. *Desalination and Water Treatment* 2013; 51(40-42):7655-62.
9. Kandah MI, Meunier J-L. Removal of nickel ions from water by multi-walled carbon nanotubes. *Journal of Hazardous Materials* 2007; 146(1):283-88.
10. Atieh MA, Bakather OY, Al-Tawbini B, Bukhari AA, Abuilawi FA, Fettouhi MB. Effect of carboxylic functional group functionalized on carbon nanotubes surface on the removal of lead from water. *Bioinorganic Chemistry and Applications* 2011; 4: 1-9.
11. Qu S, Huang F, Yu S, Chen G, Kong J. Magnetic removal of dyes from aqueous solution using multi-walled carbon nanotubes filled with Fe₂O₃ particles. *Journal of Hazardous Materials* 2008; 160(2):643-47.
12. Stafiej A, Pyrzynska K. Adsorption of heavy metal ions with carbon nanotubes. *Separation and Purification Technology* 2007; 58(1):49-52.
13. Kosa SA, Al-Zahrani G, Abdel Salam M. Removal of heavy metals from aqueous solutions by Multi-walled Carbon Nanotubes modified with 8-hydroxyquinoline. *Chemical Engineering Journal* 2012; 181:159-68.
14. Ghaneian M, Najafpoor A, E, MH, Esmayli H, Alidadi H, Solaymani Khomartash G, et al. Survey of chromium (VI) removal by using oxidized multi and single walled carbon nano tubes from aqueous solution. *Journal of Toloee-behdasht* 2014; 12(4):231-41 (In Persian).
15. Zhang H, Tang Y, Cai D, Liu X, Wang X, Huang Q, et al. Hexavalent chromium removal from aqueous solution by algal bloom residue derived activated carbon: equilibrium and kinetic studies. *Journal of Hazardous Materials* 2010; 181(1):801-808.
16. Caramalău C, Bulgariu L, Macoveanu M. Cobalt (II) removal from aqueous solutions by adsorption on modified peat moss. *Chemical Bulletin of "POLITEHNICA" University of Timisoara* 2009; 54(68):13-17.