

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

بررسی اثر پارامترهای مختلف بر راندمان جذب فلزات سنگین از محلول های آبی با استفاده از نانوکامپوزیت NiO/CNT

طاهره نوایی دیوا

گروه شیمی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

taherehnavai@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش، جذب سطحی یون های سرب، کادمیم و مس توسط نانوکامپوزیت نیکل اکسید/ نانولوله های کربنی از محلول های آبی مطالعه شده است. نانوکامپوزیت NiO/CNT به روش رسوبدهی مستقیم، در محلول آبی حاوی نانولوله های کربنی سنتز شد. نمونه تهیه شده به کمک دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD)، دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) مورد مطالعه قرار گرفت. جهت بهینه سازی فرایند جذب سطحی یون های فلز سرب، کادمیم و مس توسط نانوکامپوزیت، پارامترهای pH، زمان تماس، غلظت اولیه یون های فلزی و جرم جاذب مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده نشان داد که حداکثر راندمان جذب در شرایط $pH = 7$ و زمان تماس ۲۰ دقیقه حاصل می گردد. همچنین با افزایش غلظت یون های فلزی در محلول و کاهش میزان جاذب، مقدار درصد حذف یون های فلز سرب، کادمیم و مس کاهش می یابد. نتایج پژوهش نشان می دهد که نانوکامپوزیت NiO/CNT جاذب مناسبی برای حذف فلزات سنگین سرب، کادمیم و مس از محیط های آبی می باشد.

واژه های کلیدی

حذف، جذب سطحی، نانولوله کربن، نانوکامپوزیت، فلزات سنگین

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

۱. مقدمه

آب به عنوان یکی از عناصر اصلی طبیعت در معرض آلودگیهای بسیاری قرار دارد. از میان آلایندههای، کاتیونهای فلزات سنگین مانند Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{6+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} مخرب و زیست تجزیه ناپذیرند. این فلزات سنگین در نتیجه برخی فعالیتهای صنعتی و همچنین برخی پدیدههای طبیعی وارد محیط زیست میشوند. امروزه حذف این فلزات از منابع آبی یکی از دغدغههای محققین میباشد. این کاتیونهای فلزی با انباشته شدن در بدن موجودات زنده باعث ایجاد اختلال فیزیولوژیکی مختلف میشوند [1]. تاکنون روشهای مختلفی مانند رسوبدهی شیمیایی، تعویض یونی، اسمز معکوس، فرایندهای غشایی، تبخیر، استخراج با حلال برای حذف و جداسازی فلزات سنگین از منابع آبی بکار گرفته شد [2]. برخی از این روشها علاوه بر عیوبی مانند راندمان پایین و تولید ضایعات، خود نیز مشکلات زیست محیطی جدیدی ایجاد میکنند.

در طی سالهای اخیر، برای حذف یونهای فلزات سنگین از سیستمهای آبی، از جاذبهای نانوذرات اکسیدهای فلزی مانند فریت اکسید، منگنز اکسید، آلومینیم اکسید، تیتانیوم اکسید، منیزیم اکسید، سرب اکسید و نیکل اکسید استفاده گردید. این اکسیدهای فلزی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر و نیز با محیط زیست سازگارتر میباشد [3]. میزان جذب فلزات سنگین وابسته به مقدار سطح تماس جاذب میباشد. با کاهش ابعاد نانوذرات فلزی، نسبت سطح به حجم آن افزایش یافته، لذا سطح در معرض برای جذب افزایش قابل ملاحظه ای می یابد. به کارگیری یک بستر مناسب در فرایند سنتز نانوذرات اکسید فلزی میتواند از تجمع و توده ای شدن آنها جلوگیری نموده، ابعاد نانوذرات را کاهش داده و مورفولوژی پودر را از حالت کلوخه ای به حالت رشته ای تغییر دهد. لذا کامپوزیت حاصل با مساحت سطح بیشتر و ظرفیت جذب بالاتر میتواند به عنوان ماده موثر در فرایند جذب فلزات سنگین به کار رود. نانولوله های کربنی به سبب نسبت سطح به حجم بالای خود میتوانند به عنوان بستری مناسب برای هسته بندی، رشد و کنترل ابعاد نانوذرات مورد استفاده قرار گیرند [4,5].

در دهه های اخیر نانولوله های کربنی به عنوان جاذب موثر برای حذف یونهای فلزی بکار برده میشود. در پژوهشی که توسط مرادی و همکاران انجام گردید، نانولوله های تک دیواره با گروه عاملی کربوکسیل اصلاح گردیده و از ترکیب حاصل برای جذب فلزات سنگین مانند Pb^{2+} , Cd^{2+} و Cu^{2+} از محیط های آبی استفاده گردید. نتایج نشان دهنده افزایش ماکزیمم میزان جذب در اثر اصلاح سطح می باشد [6]. در پژوهشی دیگر یانگ و همکاران با استفاده از روش همرسوبی نانولوله های کربنی را بوسیله نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 پوشش دادند و جهت حذف فلز سنگین Cu^{2+} از محیط های آبی مورد استفاده قرار دادند. آنها گزارش نمودند که پوشش سطح نانولوله های کربن نه تنها سبب افزایش ظرفیت جذب کاتیون Cu^{2+} بر روی نانو کامپوزیت میشود بلکه سبب بهبود راندمان و سرعت جذب بر روی جاذب می گردد [7]. کیوانی فرد و همکاران، کربن فعال و نانولوله های کربنی را توسط نانوذرات اکسیدهای فلزی مانند Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , Al_2O_3 پوشش دادند و مشاهده کردند سطح مخصوص کربن فعال ۵۰٪ و نانولوله کربن بیش از ۸ برابر افزایش یافت. نتایج این تحقیق نشان داد که این گونه مواد به دلیل سطح مخصوص بالا و اندازه کوچک پتانسیل بالایی در حذف فلزات سنگین و آلاینده های آبی از خود نشان میدهند [8].

در این تحقیق به بررسی اثر پارامترهای pH، زمان تماس، جرم جاذب و غلظت فلز بر راندمان جذب فلزات سنگین سرب، مس و کادمیوم از محلول آبی با بکارگیری پودر نانوکامپوزیت NiO/CNT به عنوان یک جاذب مناسب می پردازیم.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

۲. بخش تجربی

۱.۲. مواد شیمیایی

جهت تهیه نمونه‌های تحقیق از مس سولفات، سرب نیترات، کادمیوم نیترات، نیکل کلرید شش آب، سدیم هیدروکسید، نانولوله‌های کربنی (MWNTs (US4309, Purity>95%, 20nm<d<30nm)، اسیدهای سولفوریک، نیتریک و کلریدریک استفاده شد.

۲.۲. شناسایی

مورفولوژی پودر نانوکامپوزیت با استفاده از دستگاه میکروسکوب الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM, Mira 3-XMU)، مشخصه‌یابی و ساختار کریستالی نانو ذرات به کمک دستگاه پراش پرتو ایکس، XRD, Cu(K α) Spectra, $\lambda = 1.5405\text{\AA}$, Xpertpro, (Panalytical, Holand) و غلظت یون باقیمانده فلز مس در محلول آبی به کمک دستگاه جذب اتمی شعله‌ای Scientifics 210 (Buck VGP) تعیین شد.

۳.۲. سنتز نانوکامپوزیت NiO/CNT

جهت تهیه پودر نانوکامپوزیت NiO/CNT، سطح نانولوله‌های کربنی عامل‌دار گردید. ابتدا مقدار مورد نیاز از نانولوله‌های کربنی را در یک محلولی ترکیبی از اسیدهای سولفوریک/ نیتریک/ کلریدریک (۶ M) ریخته و به مدت ۳۰ دقیقه تحت امواج آلتراسونیک قرار گرفت. محلول حاصل در دمای ۸۰°C به مدت ۲ ساعت تحت عمل چرخش قرار گرفته، سپس با عبور از کاغذ صافی و شستشو با آب مقطر، مقدار pH آن به ۷ رسانده شد. در پایان نانولوله‌های عامل‌دار شده در یک آون در دمای ۱۲۰°C خشک گردید. برای تهیه پودر نانوکامپوزیت NiO/CNT با نسبت وزنی ۱:۱، مقدار ۳/۲ g $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ در ۵۰ ml آب مقطر دیونیزه حاوی ۱ CNTs عامل‌دار شده حل گردید، به مدت ۱۰ دقیقه تحت امواج آلتراسونیک قرار گرفت، سپس به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۸۰°C بر روی همزن مغناطیسی تحت عمل چرخش قرار داده شد. با افزودن ۱/۱ g سدیم هیدروکسید به محصول حاصل و چرخش آن به مدت ۳۰ دقیقه، عمل رسوبگیری نانوکامپوزیت $\text{Ni(OH)}_2/\text{CNT}$ کامل شد. رسوب سیاه رنگ بدست آمده را صاف نموده، با استفاده از آب دیونیزه و الکل خالص شستشو داده، در ادامه به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۲۰°C خشک، سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۳۰۰°C کلسینه گردید.

۴.۲. آزمایش‌های جذب سطحی

جهت انجام آزمایشات در سیستم ناپیوسته، محلولی با غلظت مطلوب از یون فلز توسط حل کردن میزان معینی از نمک فلز مورد نظر در آب مقطر دیونیزه آماده شد. به منظور مطالعه فرایند جذب، مقدار معینی از جاذب نانوکامپوزیت NiO/CNT به محلول فوق افزوده و در مدت زمان معین تحت عمل چرخش قرار داده شد. پس از عمل جداسازی رسوب نانوکامپوزیت از محلول، غلظت یون فلز باقیمانده با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله‌ای اندازه گیری شد. تاثیر پارامترهای گوناگون مانند مقدار pH، غلظت اولیه یون فلز، غلظت جاذب و زمان تماس بر میزان جذب مورد بررسی قرار گرفت. درصد حذف یون فلز (R) از محلول با معادله زیر محاسبه گردید:

$$\% R = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

که در آن C_0 و C_e به ترتیب غلظت اولیه و نهایی یون فلز (mgL^{-1}) می باشند.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

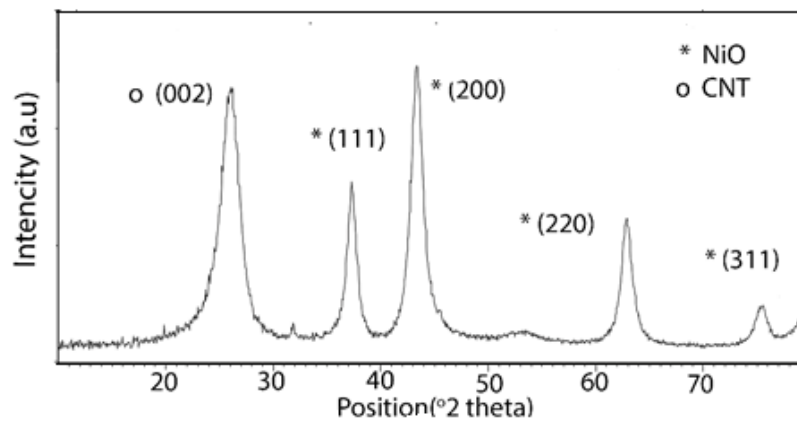
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

۳. نتایج و بحث

۱.۳. بررسی الگوی XRD نانوکامپوزیت سنتز شده

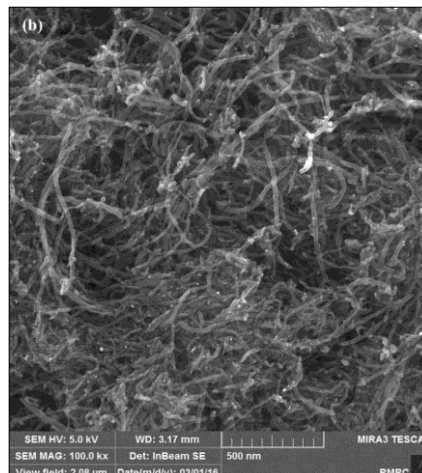
شکل ۱ الگوی XRD نانوکامپوزیت NiO/CNT را نشان می‌دهد. پیک‌های مشخصه برای NiO در 2θ برابر 37.3° ، 43.4° ، 62.9° و 75.4° که به ترتیب ناشی از بازتاب پرتو X از دسته صفحات بلوری (۱۱۱) و (۲۰۰) و (۲۲۰) و (۳۱۱) و طیف مشخصه نانولوله‌های کربنی در $2\theta = 26^\circ$ به صفحه بلوری (۰۰۲) مربوط می‌شود [9]. برای تعیین اندازه کریستالی این نانوذرات از طیف XRD و معادله شرر ($D = k\lambda/\beta\cos\theta$) استفاده شد. با استفاده از این معادله در پیک مربوط به صفحه انعکاسی (۲۰۰) در $2\theta = 43^\circ$ اندازه کریستالی نانوذرات سنتز شده $18/5$ nm محاسبه گردید.



شکل ۱. الگوی XRD نانوکامپوزیت NiO/CNT با نسبت وزنی ۱:۱ در دمای 300°C

۲.۳. بررسی ساختار نانوکامپوزیت NiO/CNT توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی

شکل ۲ نشان‌دهنده تصویر FESEM نانوکامپوزیت NiO/CNT می‌باشد. همانگونه که در تصویر مشاهده می‌شود سنتز NiO/CNT با موفقیت انجام شده است و با حضور بستر نانولوله‌های کربنی در پودر نانوکامپوزیت، از میزان بهم چسبیدن و کلوخه‌ای شدن نانوذرات NiO بطور قابل ملاحظه‌ای کاسته شده است. کاهش میزان توده‌ای شدن نانوذرات NiO و تشکیل رشته‌هایی مستقل از هم می‌تواند تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر رفتار فیزیکی و شیمیایی نانوذرات داشته باشد.



یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

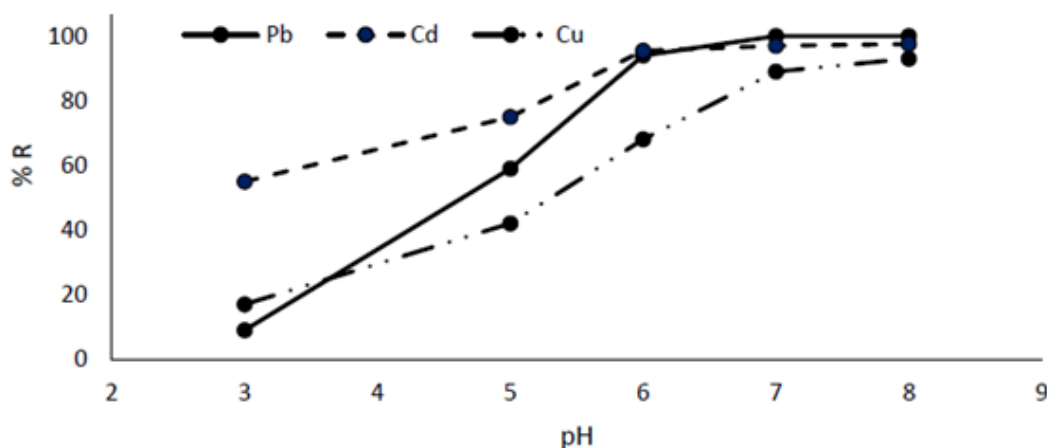
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

شکل ۲. تصویر FESEM نانوکامپوزیت NiO/CNT

۳.۳. بررسی تاثیر pH در فرایند جذب

مقدار pH محلول از پارامترهای مهم بر فرآیند جذب سطحی بوده و می‌تواند بر خصوصیات جاذب و جذب شونده تأثیرگذار باشد. در شکل ۳ تأثیر مقدار pH محلول بر روی درصد حذف یون‌های سرب، کادمیم و مس از محلول آبی توسط نانوکامپوزیت NiO/CNT در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود بیشینه مقدار جذب شده برای عناصر سرب (۱۰۰٪)، کادمیم (۹۷٪) و مس (۸۹٪) در pH برابر با ۷ است. این امر را می‌توان براساس بار سطح جاذب و درصد یون‌های هیدرونیوم در محلول بیان کرد. در واقع از آنجایی که یون‌های H^+ و OH^- به شدت جذب سطحی می‌شوند می‌توانند بار سطحی جاذب را تغییر دهند به عبارت دیگر در pH های پایین‌تر، غلظت یون‌های H^+ در محیط زیاد است در نتیجه سطح جاذب دارای بار مثبت است. رقابت بین یون‌های H^+ و یون‌های فلزی در جذب بر روی سطح جاذب از یکطرف و دافعه ایجاد شده یون‌های فلزی و نیز ذرات جاذب دارای بار مثبت از سویی دیگر باعث کاهش جذب توسط جاذب می‌گردد. کاهش مقدار جذب سطحی در pH های بالاتر به علت افزایش یون‌های OH^- در محیط و نیز ایجاد رسوبات هیدروکسیدهای فلزی است [10].



شکل ۳. تأثیر pH محلول بر روی درصد حذف یون‌های سرب، کادمیم و مس از محلول آبی توسط نانوکامپوزیت NiO/CNT در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد

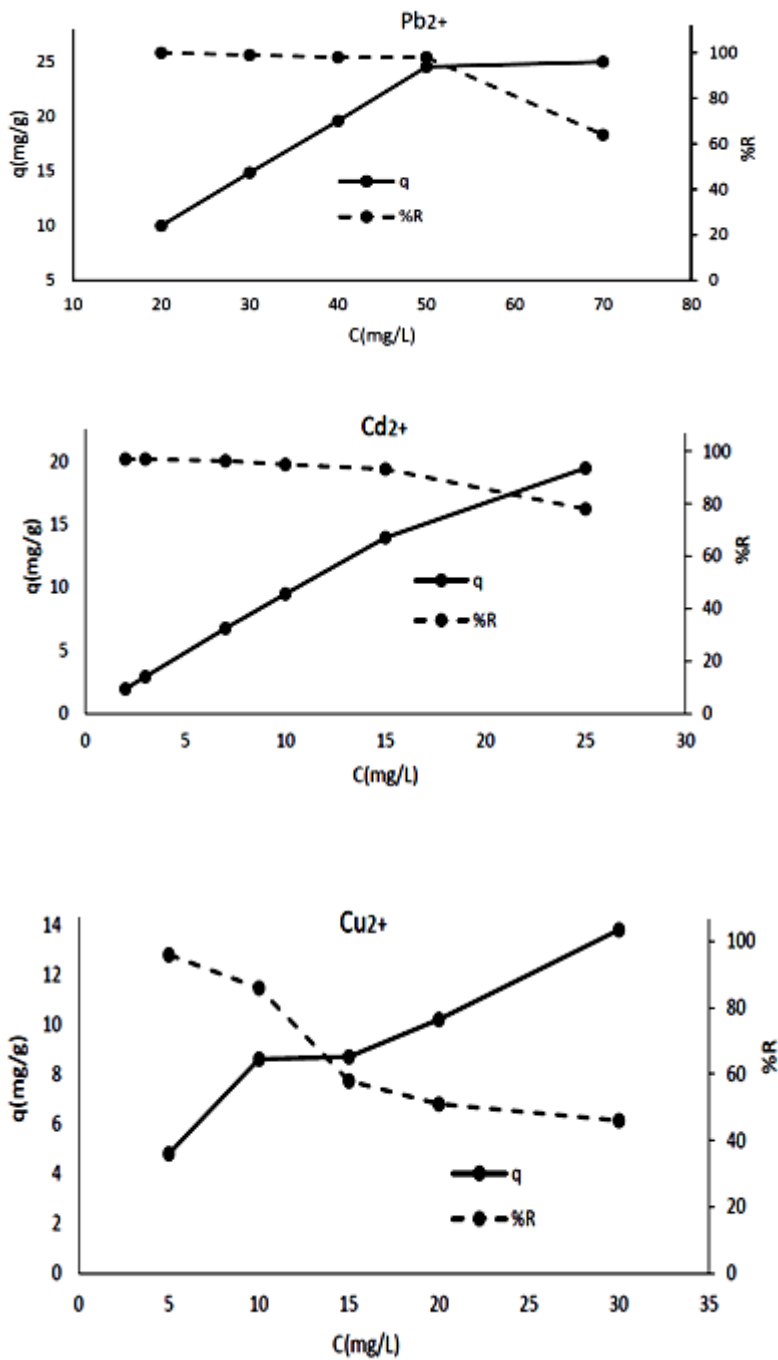
۴.۳. بررسی تاثیر غلظت اولیه در فرایند جذب

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش غلظت اولیه یون‌های فلزی ظرفیت جذب جاذب افزایش می‌یابد، اما درصد حذف این یون‌ها کاهش می‌یابد. از آنجایی که در سیستم‌های جذب ناپیوسته، غلظت ورودی یون‌های فلزی موجود در محلول نقش مهمی را به عنوان نیروی محرکه غلبه کننده بر مقاومت ناشی از انتقال جرم بین فاز مایع و جامد ایفا می‌نماید، بنابراین با افزایش غلظت یون فلزی در محلول ورودی بدلیل افزایش تعداد برخوردهای بین یون‌های فلزی و جاذب، ظرفیت جذب افزایش می‌یابد. اما با توجه به اینکه در غلظت‌های بیشتر، تعداد یون‌های در حال رقابت برای واکنش با گروه‌های فعال سطح جاذب بیشتر می‌شود و در نتیجه مکان‌های فعال جاذب اشباع می‌گردد، درصد حذف کاهش می‌یابد [11].

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



شکل ۴. تاثیر غلظت اولیه یون های فلزی بر ظرفیت جذب (q) و درصد حذف یون های سرب، کادمیم و مس (%R) از محلول آبی توسط نانوکامپوزیت NiO/CNT در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

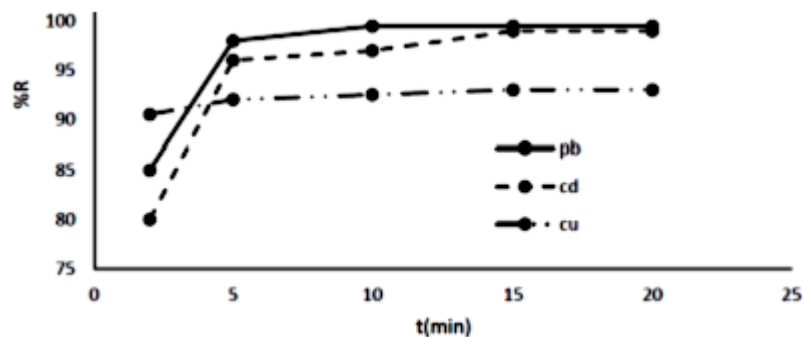
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

۵.۳. بررسی تاثیر زمان تماس در فرایند جذب

زمان تماس نقش اساسی در مدل سازی و طراحی فرایند جذب دارد. در فرایندهای جذب، با افزایش زمان، درصد حذف افزایش یافته و سپس با اشغال تمامی سایت های فعال روی جاذب، سرعت جذب کاهش یافته تا نهایتاً به تعادل برسد. زمانی را که فرایند جذب به تعادل و اشباع رسیده و میزان جذب با زمان دیگر تغییر چندانی نمی یابد را زمان تعادل گویند.

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می شود، در زمان های اولیه سرعت جذب بالاست، به طوری که در ۵ دقیقه اول ۹۸٪ سرب، ۹۶٪ کادمیم و ۹۲٪ مس از محلول حذف گردید. این ویژگی را می توان به بالا بودن مساحت سطح نمونه و زیاد بودن گروه های عاملی فعال برای کمپلکس نمودن یون های فلزات نسبت داد که به سهولت در دسترس یون های فلزی قرار می گیرند. پس از آن مقدار جذب بسیار کاهش یافت و میزان آن تقریباً ثابت ماند. به عبارت دیگر یک تعادل بین فاز جامد و محلول به وجود می آید. حداکثر زمان رسیدن به تعادل ۲۰ دقیقه اندازه گیری شد. افزایش زمان تماس جاذب با محلول به دلیل امکان تماس بیشتر یون ها با گروه های عاملی موجود در ساختار جاذب (مکان های جذب)، مقدار جذب را افزایش می دهد.

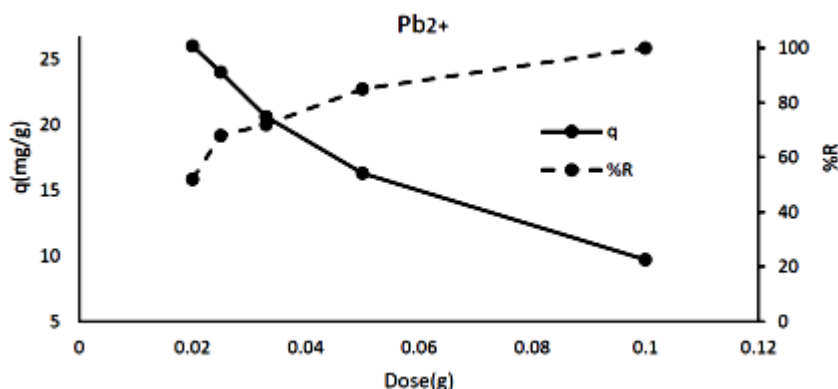


شکل ۵. تاثیر زمان تماس بر درصد حذف (%R) یون های سرب، کادمیم و مس از محلول آبی

توسط نانوکامپوزیت NiO/CNT در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد

۶.۳. بررسی تاثیر مقدار جاذب در فرایند جذب

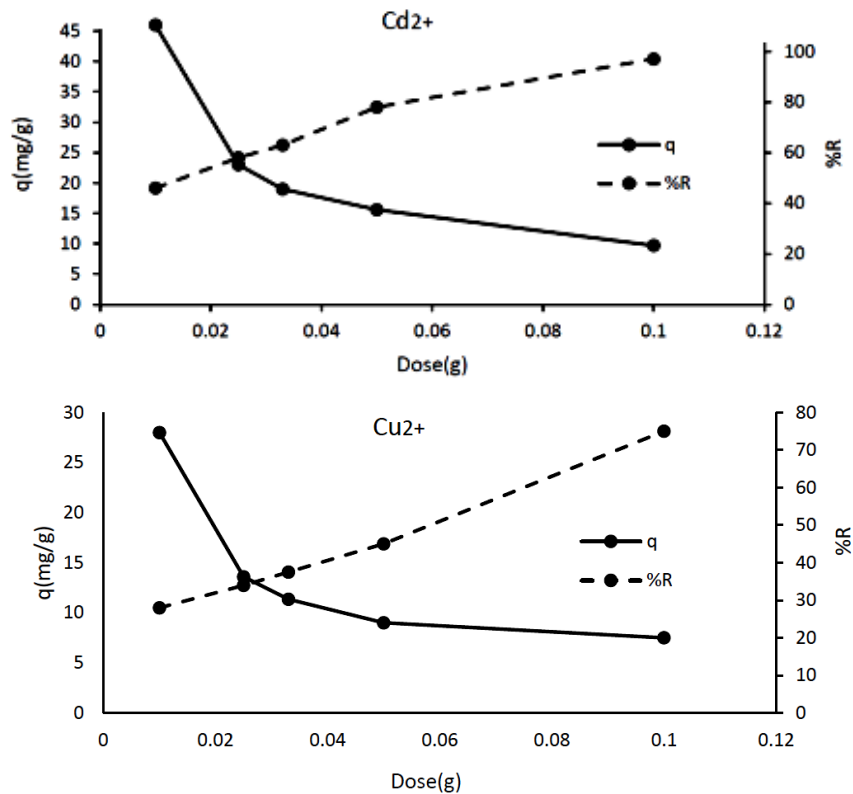
مقدار جاذب نیز عامل بسیار مهمی در فرایند جذب سطحی می باشد. زیرا می تواند بیانگر ظرفیت جذب آن برای یون فلزی مورد نظر تحت شرایط مورد بررسی باشد [12]. نتایج حاصل از بررسی تأثیر میزان جاذب روی جذب در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که با افزایش میزان جاذب، درصد حذف یون های فلزی توسط نانوکامپوزیت NiO/CNT افزایش یافته است. به همان مقدار که مقدار جاذب افزایش می یابد به دنبال آن تعداد برخوردهای بین یون های فلزی و جاذب، میزان سطح مخصوص و محل های قابل تبادل نیز افزایش خواهد یافت که این امر باعث افزایش کارایی فرایند جذب خواهد شد.



یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



شکل ۶: تاثیر مقدار جاذب بر ظرفیت جذب (q) و درصد حذف یون های سرب، کادمیم و مس (%R)

از محلول آبی توسط نانوکامپوزیت NiO/CNT در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد

۴. نتیجه گیری

در این پژوهش نانوکامپوزیت نیکل اکسید- نانولوله کربنی به روش همرسوبی سنتز شد. برای ساختار شناسی ترکیب سنتز شده از دستگاههای XRD و FESEM استفاده شد که نتایج نشان دهنده اصلاح سطح موفق نانو لوله کربنی با اکسید نیکل می باشد. به عنوان یک کاربرد عملی از نانوکامپوزیت سنتز شده به عنوان جاذب برای حذف فلزات سنگین سرب، کادمیم و مس از محیط آبی و تحت سیستم ناپیوسته استفاده شد. پارامترهای موثر بر حذف فلزات سرب، کادمیم و مس مانند، pH محلول، غلظت اولیه یون های فلزی در محلول، میزان جاذب و زمان ماند بررسی گردیده است. $pH = 7$ ، غلظت یون فلزی در آب ۲۰ میلی گرم بر لیتر سرب و ۱۰ میلی گرم بر لیتر یون کادمیم و مس، مقدار جاذب ۰/۱ گرم و زمان تماس ۲۰ دقیقه در دمای محیط بهترین پاسخ را در میزان جذب بر روی نانوکامپوزیت ایجاد می نماید. نتایج نشان دادند که نانوکامپوزیت NiO/CNT از قابلیت بسیار بالایی برای حذف فلزات سرب، کادمیم و مس از محیط آبی برخوردار می باشد.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

منابع

- [1] Malik, L. A., Bashir, A., Qureashi, A., & Pandith, A. H. (2019). Detection and removal of heavy metal ions: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 1495-1521.
- [2] Poorsadeghi, S., Kassae, M., Fakhri, H., & Mirabedini, M. (2017). Removal of arsenic from water using aluminum nanoparticles synthesized through arc discharge method. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)*, 36(4), 91-99.
- [3] Burakov, A. E., Galunin, E. V., Burakova, I. V., Kucherova, A. E., Agarwal, S., Tkachev, A. G., & Gupta, V. K. (2018). Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 148, 702-712.
- [4] Szatkowski, T., Koczyński, K., Motylenko, M., Borrmann, H., Mania, B., Graś, M., ... & Jesionowski, T. (2018). Extreme biomimetics: A carbonized 3D spongin scaffold as a novel support for nanostructured manganese oxide (IV) and its electrochemical applications. *Nano Research*, 11(8), 4199-4214.
- [5] Yang, Z. F., Li, L. Y., Hsieh, C. T., & Juang, R. S. (2018). Co-precipitation of magnetic Fe₃O₄ nanoparticles onto carbon nanotubes for removal of copper ions from aqueous solution. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 82, 56-63.
- [6] Moradi, O., Sadegh, H., & Shahryari-ghoshekandi, R. 30 Surface Modification of Carbon Nanotubes and Its Application in Environmental Protection.
- [7] Yang, Z. F., Li, L. Y., Hsieh, C. T., & Juang, R. S. (2018). Co-precipitation of magnetic Fe₃O₄ nanoparticles onto carbon nanotubes for removal of copper ions from aqueous solution. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 82, 56-63.
- [8] Fard, A. K., McKay, G., Chamoun, R., Rhadfi, T., Preud'Homme, H., & Atieh, M. A. (2017). Barium removal from synthetic natural and produced water using MXene as two dimensional (2-D) nanosheet adsorbent. *Chemical engineering journal*, 317, 331-342.
- [9] Taleshi, F. (2014). A new strategy for increasing the yield of carbon nanotubes by the CVD method. *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 22(10), 921-927.
- [10] Vu, H. C., Dwivedi, A. D., Le, T. T., Seo, S. H., Kim, E. J., & Chang, Y. S. (2017). Magnetite graphene oxide encapsulated in alginate beads for enhanced adsorption of Cr (VI) and As (V) from aqueous solutions: role of crosslinking metal cations in pH control. *Chemical Engineering Journal*, 307, 220-229.
- [11] Lazaridis, N.K., Bakoyannakis, D.N., and Deliyanni, E.A., (2005). Chromium(VI) sorptive removal from aqueous solutions by nanocrystalline akaganeite. *J. Chemosphere* 58(1): 65-73.
- [12] Bulut, Y., & Baysal, Z. (2006). Removal of Pb (II) from wastewater using wheat bran. *Journal of environmental management*, 78(2), 107-113.