

حذف  $Cr^{3+}$  از محلول‌های آبی با استفاده از نانوذرات نیکل اکسید

زهرا منصف خوشحساب\*

گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، ایران

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۵/۳۱

تاریخ تصحیح: ۹۱/۰۸/۳

تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۸/۲۱

## چکیده:

در میان آلاینده‌ها، کروم موجود در پساب ناشی از صنایع یک خطر جدی برای سلامتی موجودات زنده و محیط زیست محسوب می‌شود و بنابراین حذف این کاتیون سمی از نقطه نظر زیست محیطی بسیار مهم است. در این تحقیق ابتدا نانو ذرات نیکل اکسید با متوسط اندازه ۱۸ نانومتر به روش رسوب‌گیری شیمیایی تهیه و پس از بررسی به کمک پراش اشعه  $X$ - $(XRD)$  و میکروسکوپ الکترونی پویشی ( $SEM$ ) به عنوان جاذب برای حذف کروم سه ظرفیتی از محیط‌های آبی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین تاثیر عوامل مختلف مانند زمان تماس،  $pH$  محلول، جرم جاذب و غلظت اولیه کروم بر راندمان حذف بررسی شد. بررسی داده‌های بدست آمده با همدم‌های لانگ‌میر و فروندلیچ، انطباق خوب داده‌ها را با مدل همدمی لانگ‌میر نشان می‌دهد. حداکثر ظرفیت جذب کروم به وسیله نانوذرات نیکل اکسید در شرایط بهینه،  $17/5$  میلی گرم بر گرم بدست آمد.

واژگان کلیدی: نیکل اکسید، نانوذرات، کروم، حذف، جذب

## ۱- مقدمه:

فلزات سنگین دسته مهمی از آلاینده‌های محیط زیست‌اند که برای سلامت انسان و محیط زیست زیان بار هستند. کروم یکی از مهمترین آلاینده‌های محیط زیست و منابع آبی است که اگرچه به طور طبیعی در آب وجود ندارد، اما در اثر فعالیت‌های مختلف صنعتی نظیر نساجی، رنگرزی، چرم سازی و آبکاری وارد جریان آب می‌شود [۱-۲]. کروم در پساب‌های صنعتی و در طبیعت به دو صورت کروم (+۶) و کروم (+۳) وجود دارد. کروم شش ظرفیتی بسیار خطرناک و ۳۰۰ برابر سمی‌تر از کروم سه ظرفیتی است و موجب اختلال در عملکرد کبد، کلیه و بیماری پوستی می‌شود [۳-۵]. کروم سه ظرفیتی جزء ریز مغذی‌های ضروری برای گیاهان و جانوران است که در سوخت و ساز چربی و قند نقش مهمی دارد، اما مقدار اضافی آن سبب حساسیت‌های پوستی و سرطان می‌شود. علاوه بر این، چون کروم سه ظرفیتی در محیط‌های آبی و در شرایط مناسب پتانسیل، به کروم شش ظرفیتی تبدیل می‌شود، بنابراین، کنترل غلظت کروم در محیط‌های آبی بسیار مهم است. سازمان بهداشت جهانی<sup>۱</sup> و آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا<sup>۲</sup> غلظت مجاز کروم را ۵۰ میکروگرم بر لیتر تعیین کرده‌اند [۶-۷].

سمیت و آثار زیان بار کروم بر سلامت انسان و سایر موجودات زنده، حذف این فلز سمی را از پساب‌های صنعتی، بخصوص قبل از ورود به جریان آب و تخلیه به محیط زیست ضروری می‌سازد. تاکنون روش‌های مختلفی مانند روش تبادل یون، ترسیب شیمیایی، انعقاد، جذب سطحی، اسمز معکوس، استفاده از صافی‌های غشایی و فنون الکتروشیمیایی برای حذف

monsef\_kh@pnu.ac.ir

\* نویسنده مسوول: استادیار شیمی تجزیه، دانشگاه پیام نور، ایران

<sup>۱</sup>World Health Organization<sup>۲</sup>US Environmental Protection Agency

کروم ارائه شده اند [۱۳-۸]. متداول‌ترین روش حذف کروم، کاهش کروم شش ظرفیتی به کروم سه ظرفیتی در  $pH=2$  و سپس ترسیب کروم به صورت  $Cr(OH)_3$ ، با افزایش  $pH$  به مقدار ۸ الی ۹ با استفاده از آهک است. عیب این روش تولید مقادیری زیادی پسماند جامد است. امروزه استفاده از روش‌های جذبی بیش‌تر مورد توجه است و کربن فعال به عنوان یکی از متداول‌ترین جاذب‌ها است. اما هزینه بالای کربن فعال، سبب روی آوردن به جاذب‌های دیگر شده است.

مواد نانو به دلیل خواص ویژه و منحصر به فردشان نسبت به مواد مشابه معمولی، مورد توجه بیش‌تری قرار دارند. نانو جاذب‌های مختلف نظیر نانو ذرات آهن، اکسیدهای فلزی، سیلیکای پوشش داده شده با مواد نانو و بیو جاذب‌ها از مهم‌ترین این موارد هستند [۱۹-۱۴]. اگرچه مطالعات زیادی در مورد حذف فلزات سنگین با استفاده از اکسیدهای آهن، اکسید منگنز و اکسید روی انجام شده است [۲۰-۲۲]، اما تعداد مقالات منتشر شده در مورد نیکل اکسید اندک است [۲۳-۲۵]. تاکنون هیچ گزارشی مبنی بر استفاده از نانو ذرات نیکل اکسید برای حذف کروم منتشر نشده است. در این تحقیق، قابلیت نانو ذرات نیکل اکسید به عنوان جاذب برای حذف یون‌های  $Cr^{3+}$  از محیط‌های آبی بررسی و عوامل تاثیر گذار بر راندمان حذف  $Cr^{3+}$  تعیین و بهینه شدند.

## ۲- بخش تجربی:

### ۲-۱- مواد شیمیایی:

در این تحقیق همه مواد شیمیایی مصرفی دارای خلوص تجزیه‌ای بالا بوده و بنابر این بدون خاص سازی بیش‌تر مورد استفاده قرار گرفتند. محلول‌های استاندارد همه کاتیون‌های مورد استفاده از نمک‌های نیترات خریداری شده از شرکت مرک، تهیه شدند. سایر محلول‌ها از رقیق سازی متوالی محلول اولیه با آب دوبار تقطیر و بطور روزانه تهیه شدند.

### ۲-۲- دستگاه‌ها:

ساختار و مورفولوژی نانو ذرات نیکل اکسید به وسیله دستگاه پراش اشعه X- (فیلیپس، مدل XLS30) و میکروسکوپ الکترونی پویشی (فیلیپس مدل PW1800) مورد بررسی قرار گرفتند. اندازه گیری غلظت همه کاتیون‌ها به کمک دستگاه جذب اتمی شعله‌ای (Varian, Spectr AA) با شعله استیلن- هوا انجام شد. اندازه گیری  $pH$  محلول‌ها به کمک  $pH$  متر (متروم، مدل ۸۲۷) انجام شد. برای همزدن از همزن مغناطیسی (هیدولف، MR300IK) استفاده شد.

### ۲-۳- سنتز نانو ذرات نیکل اکسید:

نانو ذرات نیکل اکسید به روش رسوب‌گیری شیمیایی تهیه شدند [۲۶]. بدین منظور ۷ گرم نیکل اکسید معمولی وارد ۶۰ میلی‌لیتر محلول آمونیوم بیکربنات (۰.۴٪ وزنی/حجمی) شده و سوسپانسیون حاصل به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به وسیله همزن مغناطیسی همزده شد. در مرحله بعد، ۱۴ گرم دیگر نیکل اکسید و ۰/۵ گرم اوره ضمن هم زدن به مخلوط اولی اضافه شد. پس از ۲ ساعت هم زدن در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، توده جامد سبز رنگ جمع آوری و به مدت

یک ساعت در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره کلسینه شد. در نهایت، ساختار کریستالی، خلوص، اندازه و مورفولوژی پودر حاصل، به کمک طیف XRD و تصویر SEM بررسی و پس از اطمینان از تشکیل نیکل اکسید نانو اندازه، پودر تهیه شده به عنوان جاذب مورد استفاده قرار گرفت.

## ۲-۴- آزمایش‌های ناپیوسته:

به منظور بررسی قابلیت نانو ذرات نیکل اکسید برای حذف یون‌های  $Cr^{3+}$ ، جرم معینی از جاذب نیکل اکسید نانومتری را به ۵۰ میلی‌لیتر محلول  $Cr^{3+}$  با غلظت معلوم افزوده و سوسپانسیون حاصل در دمای ثابت  $25 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد به وسیله همزن مغناطیسی (۱۸۰ دور بر دقیقه) هم زده شد، پس از گذشت زمان مناسب مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ (۸۰۰۰ دور بر دقیقه) و سپس غلظت کاتیون در محلول صاف شده به وسیله جذب اتمی شعله‌ای تعیین شد. به منظور دستیابی به بیشترین مقدار ظرفیت جذب، تاثیر عوامل مختلف بر راندمان جذب کروم بررسی و بهینه شد. تعیین شرایط بهینه با تغییر یک عامل و ثابت نگه داشتن سایر شرایط انجام شد. بدین منظور تاثیر تغییرات pH محلول در محدوده ۳-۵، جرم جاذب (۵/۰-۲۰/۰۲ گرم)، غلظت اولیه یون مورد نظر (۵-۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، زمان هم زدن (۳۰-۱۸۰ دقیقه) و حضور یون‌های دیگر بر راندمان حذف (R) و ظرفیت جذب ( $q_e$ ) مورد بررسی قرار گرفت. راندمان حذف و ظرفیت جذب به ترتیب با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه شدند:

$$R = \frac{100(C_0 - C_t)}{C_0} \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \quad (2)$$

که در این روابط  $C_0$  غلظت اولیه کروم در محلول و  $C_t$  غلظت کروم باقیمانده در محلول پس از تماس با جاذب (میلی‌گرم بر لیتر)،  $m$  جرم جاذب (گرم)،  $V$  حجم محلول (لیتر)،  $R$  درصد حذف (یا درصد جذب) و  $q_e$  ظرفیت جذب (بر حسب میلی‌گرم بر گرم) که نشان دهنده جرم کروم جذب شده به ازای واحد جرم نیکل اکسید است.

## ۲-۵- بررسی همدمای جذب سطحی:

همدماهای جذب معادله‌هایی برای تفسیر تعادل بین جزء جذب شونده بین فاز جامد و فاز سیال هستند. مهم‌ترین مدل‌های توصیف کننده جذب سطحی مدل‌های لانگ‌میر و فروندلیچ هستند. شکل خطی مدل‌های همدمای فروندلیچ و لانگ‌میر به ترتیب با معادله‌های (۳) و (۴) به صورت زیر بیان می‌شوند [۲۷]:

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_f \quad (3)$$

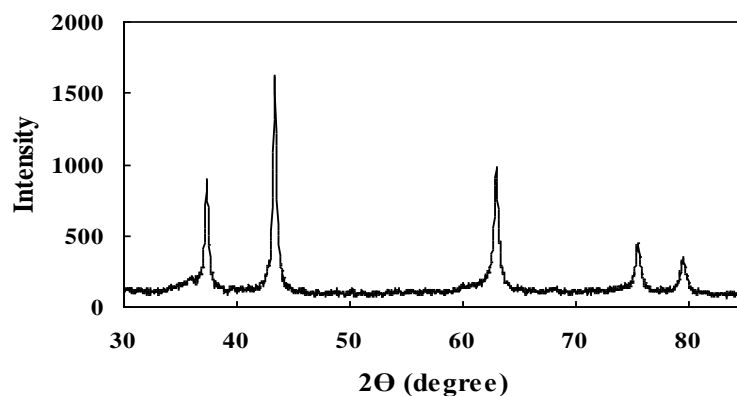
$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bq_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad (4)$$

که در این معادله‌ها  $q_e$  مقدار ماده جذب شده در واحد جرم جاذب در حالت تعادل برحسب میلی‌گرم بر گرم،  $C_1$  غلظت باقیمانده ماده جذب شونده در حالت تعادل برحسب میلی‌گرم بر لیتر،  $q_m$  بیشترین مقدار ماده جذب شده به ازای واحد جرم جاذب در حالت تعادل برحسب میلی‌گرم بر گرم و  $b$  ثابت لانگمیر که بیانگر انرژی جذب است. همچنین ثابت‌های فروندلیچ  $K_f$  و  $n$ ، به ترتیب بیانگر شدت و ظرفیت جذب هستند. به منظور بررسی همدمای جذب،  $0.3$  گرم نانو ذرات نیکل اکسید به  $50$  میلی لیتر از محلول‌های کروم با غلظت  $100-5$  میلی‌گرم بر لیتر در  $pH$   $5$  اضافه شد و پس از  $30$  دقیقه هم زدن، غلظت کروم باقیمانده در فاز محلول تعیین شد. سپس انطباق داده‌های بدست آمده در شرایط تعادلی با مدل های جذبی لانگمیر و فروندلیچ بررسی شد.

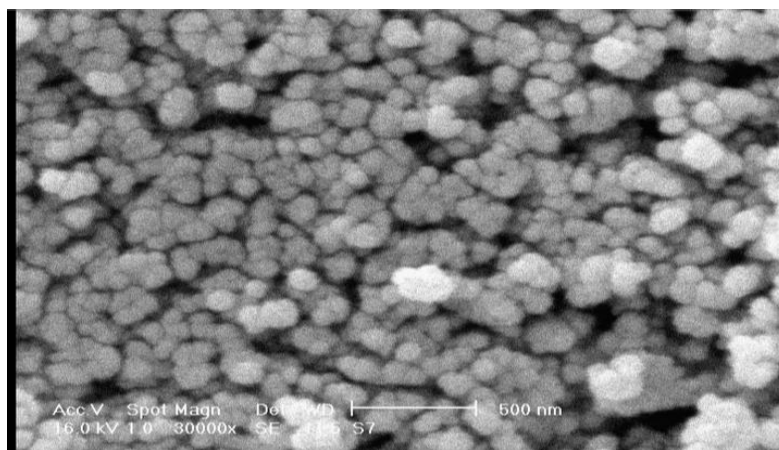
### ۳- نتایج و بحث:

#### ۳-۱- خصوصیات نانو ذرات نیکل اکسید:

ساختار فازی، خلوص، اندازه ذرات و مورفولوژی نانو ذرات نیکل اکسید با استفاده از طیف XRD و تصویر SEM بررسی شد. طیف XRD (شکل ۱) انطباق کامل الگوی پراش بدست آمده را با طیف استاندارد نیکل اکسید (شماره کارت 04-0835) نشان می‌دهد. همچنین این طیف بیانگر تشکیل نیکل اکسید خالص با ساختار کریستالی مکعب وجوه مرکز پر (fcc) است. با محاسبه اندازه ذرات به کمک رابطه شرر، متوسط اندازه ذرات حدود  $18$  نانومتر بدست آمد که بیانگر تشکیل نانوذرات است [۲۸]. مشاهده تصویر SEM (شکل ۲)، حاکی از تشکیل نانوذرات با مورفولوژی شبه کروی است. پس از تایید تهیه نیکل اکسید نانومتری، پودر تهیه شده به عنوان جاذب در آزمایش‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفت.



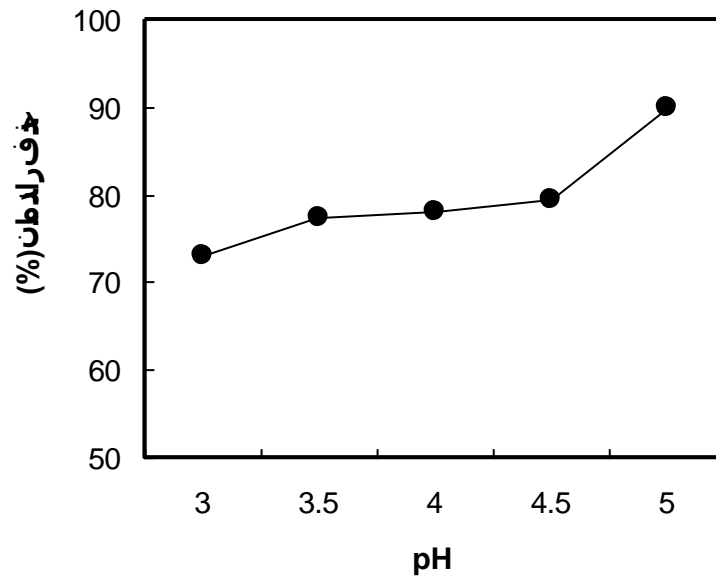
شکل ۱. طیف XRD نمونه نیکل اکسید



شکل ۲. تصویر SEM نانوذرات نیکل اکسید

### ۳-۲- تعیین pH بهینه:

شکل ۳ تاثیر pH بر راندمان جذب کروم را نشان می‌دهد. با توجه به تشکیل رسوب کروم در pH های بیشتر و همچنین احتمال انحلال جاذب در pH های کمتر از ۳، مطالعه اثر pH در محدود ۳-۵ انجام شد. در شکل ۳ افزایش میزان جذب کروم با افزایش pH به خوبی مشهود است. با توجه به نتایج بدست آمده pH ۵ به عنوان مقدار بهینه برای آزمایش‌های بعدی انتخاب شد. تاثیر pH بر جذب کاتیون  $Cr^{3+}$  به وسیله نیکل اکسید را می‌توان با در نظر گرفتن خصوصیات سطح نانوذرات نیکل اکسید به خوبی تفسیر نمود [۲۶]. حضور گروه‌های هیدروکسیل بر سطح اکسیدهای فلزی باعث وقوع برهم‌کنش‌های جذبی الکترواستاتیکی بین یون‌های مثبت و گروه‌های هیدروکسیل می‌شود [۲۳-۲۴]. با توجه به تمایل گروه‌های هیدروکسیل به پروتونه شدن، به دلیل رقابت بین یون‌های  $H^+$  و کاتیون‌های کروم موجود در محلول برای جذب بر روی سطح جاذب، میزان جذب یون‌ها تحت تاثیر pH قرار می‌گیرد. به طوری که افزایش غلظت  $H^+$  سبب کاهش جذب کاتیون می‌شود. به علاوه، با افزایش غلظت  $H^+$  تعداد بیشتری از گروه‌های هیدروکسیل موجود بر سطح نیکل اکسید پروتونه شده، در نتیجه بارهای مثبت بیشتری بر سطح جاذب تشکیل می‌شود. بنابر این، به دلیل دافعه‌های الکترواستاتیکی بین کاتیون‌های مثبت کروم و سطوح باردار مثبت جاذب، میزان جذب کاهش می‌یابد. یک رفتار مشابهی برای جذب کاتیون سرب به وسیله نیکل اکسید مشاهده شده است [۲۵].

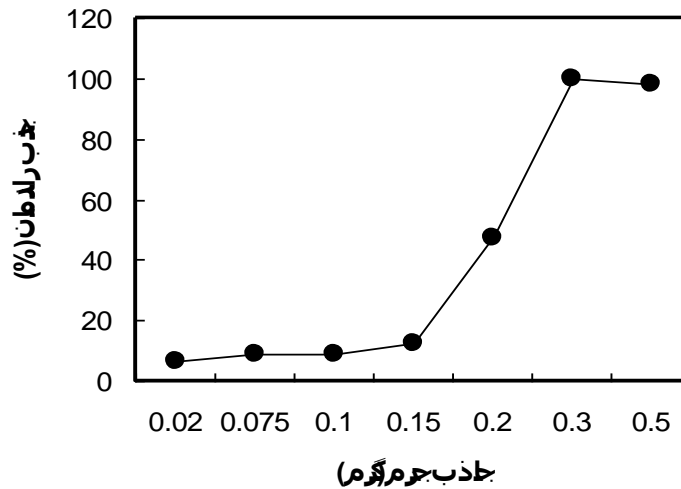


شکل ۳. تاثیر pH بر راندمان جذب کروم توسط نانوذرات نیکل اکسید (حجم: ۵۰ میلی لیتر، غلظت: ۲۰ میلی گرم بر لیتر، مقدار جاذب: ۰/۲ گرم، زمان تماس: ۱ ساعت).

### ۳-۳- اثر زمان تماس:

نتایج حاصل از بررسی تاثیر زمان تماس بر راندمان حذف  $Cr^{3+}$  در شکل ۴ ارائه شده است. همانگونه که از شکل مشخص است، سرعت جذب در ابتدا زیاد و به تدریج کاهش می یابد، و پس از ۳۰ دقیقه تغییر محسوسی در راندمان حذف مشاهده نمی شود. این رفتار نشان می دهد که سینتیک جذب  $Cr^{3+}$  بر روی جاذب نسبتاً سریع است به طوری که بیش از ۹۶٪ کروم در همان ۲۰ دقیقه اول جذب می شود. سرعت بالای جذب کروم در زمان های اولیه و کاهش تدریجی سرعت جذب را می توان این گونه توضیح داد که چون تعداد معینی محل های جذبی بر سطح جاذب وجود دارد، با جذب تدریجی یون ها بر روی جاذب، تعداد محل های جذبی آزاد بر سطح جاذب کاهش یافته، در نتیجه یون های باقیمانده در محلول برای جذب بر روی این محل ها رقابت می کنند. از طرفی دیگر، به دلیل کاهش محل های آزاد، نیروی دافعه الکترو استاتیکی بین کاتیون های جذب شده بر سطح جاذب افزایش می یابد که این باعث کاهش سرعت جذب می شود. در نهایت سرعت جذب ثابت و سیستم به حالت تعادل می رسد.

بر اساس نتایج حاصل از این بررسی، جذب کروم در زمان ۳۰ دقیقه به تعادل می رسد و بنابر این زمان ۳۰ دقیقه به عنوان زمان بهینه انتخاب شد.



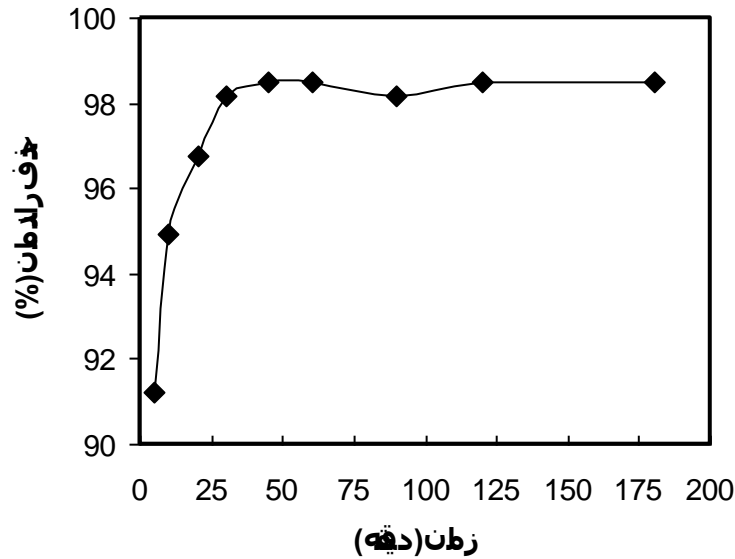
شکل ۴. تاثیر زمان تماس بر راندمان جذب کروم به وسیله نانوذرات نیکل اکسید (حجم: ۵۰ میلی لیتر، غلظت: ۲۰ میلی گرم بر لیتر،  $\text{pH} = 5$  مقدار جذب: ۰/۲ گرم).

### ۳-۴- اثر مقدار جاذب:

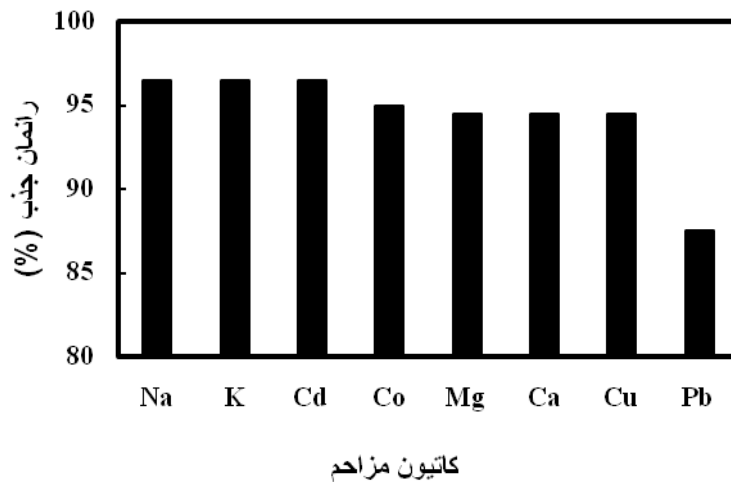
در شکل ۵ تاثیر مقدار جاذب بر درصد جذب کروم نمایش داده شده است. با افزایش مقدار جاذب راندمان جذب زیاد و سپس ثابت می شود. همانگونه که از شکل دیده می شود بیشترین مقدار جذب کروم ( $> 99\%$ ) با مصرف ۰/۳ گرم جاذب بدست می آید و مصرف بیشتر جاذب تاثیری بر راندمان جذب و حذف ندارد. بنابراین مقدار ۰/۳ گرم جاذب به عنوان مقدار بهینه انتخاب و در آزمایش های بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

### ۳-۵- اثر کاتیون های مزاحم:

برای بررسی اثر کاتیون های مزاحم بر میزان جذب کروم به وسیله نانوذرات نیکل اکسید، ۰/۳ گرم جاذب با محلول های ۲۰ میلی گرم بر لیتر  $\text{Cr}^{3+}$  و ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر هریک از کاتیون های مورد نظر، بطور جداگانه در شرایط بهینه تماس داده شد. نتایج بدست آمده در شکل ۶ آمده است. با توجه به این نتایج می توان نتیجه گرفت که حضور اغلب یون ها تاثیر قابل ملاحظه ای بر راندمان حذف کروم ندارد، به نحویکه به جز در مورد کاتیون سرب، در همه موارد راندمان جذب کروم بیش از ۹۵٪ است. این نتایج تمایل زیاد جاذب به یون های  $\text{Cr}^{3+}$  را نشان می دهد. این ویژگی امکان جداسازی کروم در حضور غلظت های بالا از سایر یون ها را فراهم می کند و بنابراین می تواند نوید بخش حذف و حتی جمع آوری کروم از پساب های صنایع مختلف باشد.



شکل ۵. تاثیر جرم نانوذرات نیکل اکسید بر راندمان جذب کروم (حجم: ۵۰ میلی‌لیتر، غلظت: ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر،  $pH = 5$ ، زمان تماس: ۳۰ دقیقه).



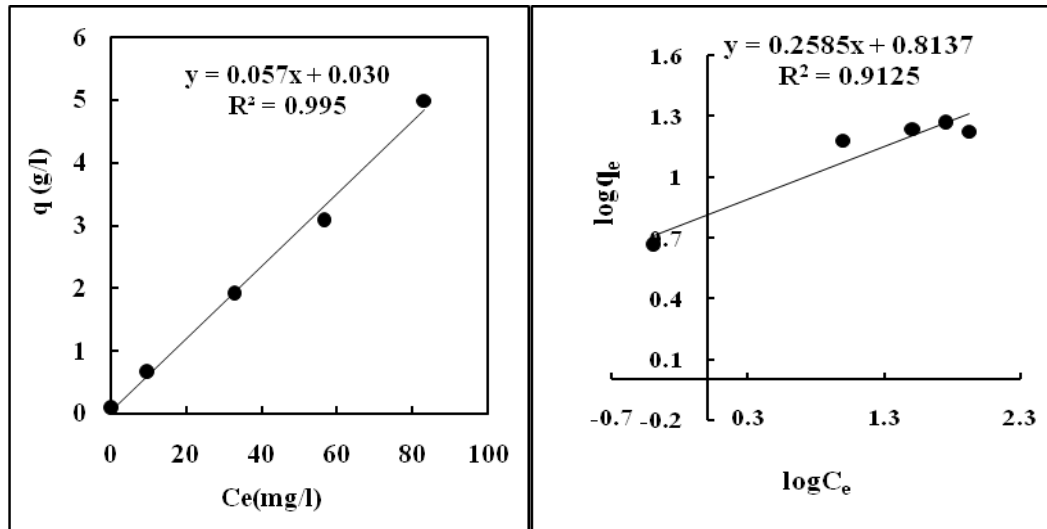
شکل ۶. تاثیر کاتیون‌های مزاحم بر راندمان جذب کروم به وسیله نانوذرات نیکل اکسید (حجم: ۵۰ میلی‌لیتر، غلظت کروم: ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر، غلظت کاتیون مزاحم: ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر،  $pH = 5$ ، مقدار جاب: ۰/۳ گرم، زمان: ۳۰ دقیقه).

### ۳-۶- تعیین همدمای جذب:

مطالعه همدمای جذب تعادلی اطلاعات ارزشمندی را فراهم می‌کنند که به کمک آنها می‌توان فرایند تعادلی بین جاذب و جذب شونده را تفسیر نمود. همدمای جذب کروم بر روی نانو جاذب نیکل اکسید با تعیین مقدار کروم جذب شده بر جاذب و غلظت کروم باقیمانده، در محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف از  $Cr^{3+}$  بررسی شدند. سپس داده بدست آمده به کمک همدمای جذب سطحی لانگ‌میر و فروندلیچ (شکل ۷) تحلیل شدند. بررسی نمودارهای لانگ‌میر و فروندلیچ، انطباق بسیار خوب نتایج تجربی را با مدل جذبی لانگ‌میر نشان می‌دهد. با توجه به ضریب همبستگی بالا ( $R^2 = 0.995$ ) و انطباق خوب



نتایج با معادله لانگمیر می‌توان نتیجه گرفت که جذب سطحی یون‌های  $Cr^{3+}$  بر روی نانو ذرات نیکل اکسید به صورت تک لایه و شیمیایی است. همچنین بر اساس این نمودار، حداکثر ظرفیت جذب کروم ( $q_m$ ) ۱۷/۵ میلی‌گرم بر گرم است.



(الف) (ب)

شکل ۷. همدمای جذبی فروندلیچ (الف) و لانگمیر (ب) برای جذب  $Cr^{3+}$  بر نانوذرات نیکل اکسید (حجم: ۵۰ میلی‌لیتر، مقدار جاذب: ۰/۳ گرم، زمان: ۳۰ دقیقه، pH = ۵).

#### ۴- نتیجه‌گیری:

در تحقیق حاضر نانو ذرات نیکل اکسید به عنوان یک جاذب جدید برای حذف کروم از محیط‌های آبی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که جذب کروم به وسیله این جاذب در زمان نسبتاً کوتاه ۳۰ دقیقه به تعادل می‌رسد. انطباق خوب داده‌های بدست آمده با مدل همدمای لانگمیر حاکی از جذب شیمیایی کروم بر سطح جاذب به صورت تک لایه است. حداکثر ظرفیت جذب  $Cr^{3+}$  به وسیله جاذب ۱۷/۵ میلی‌گرم بر گرم است. با توجه به روش آسان و ارزان تهیه نانو ذرات نیکل اکسید در این تحقیق، زمان تعادل نسبتاً سریع و ظرفیت جذب خوب، جاذب حاضر به عنوان یک جاذب کارآمد و موثر برای حذف  $Cr^{3+}$  از پساب‌های صنعتی پیشنهاد می‌شود.

## Removal of Cr(III) from aqueous solutions using nickel oxide nanoparticles

Zahra Monsef Khoshhesab\*

Department of Chemistry, Payame Noor University, Iran

Received: 21 August 2012    Received: 24 October 2012    Accepted: 11 November 2012

### Abstract

*Among the pollutants, chromium coming from industrial sewage is a severe danger to environment and living organisms. Therefore, removal of this harmful cation is very important from viewpoint of environment. In this research, nickel oxide nanoparticles with an average size of 18 nm were prepared by chemical precipitation method and after characterizing by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM), used as the sorbent for removing of Cr(III) from aqueous solutions. Also, the influences of different factors i.e. contact time, pH, sorbent amount and initial concentration of Cr(III) on removal efficiency were investigated. Evaluation of the obtained data with Langmuir and Freundlich isotherms indicates that the adsorption process is in good accordance with Langmuir model. Under optimal conditions, the maximum adsorption capacity of nickel oxide nanoparticles was found 17.5 mg g<sup>-1</sup>.*

**Keywords:** Adsorption, Removal, Chromium, Nanoparticles, Nickel oxide

---

\*. **Corresponding Author:** Department of Chemistry, Payame Noor University, Iran  
E-mail address: monsef\_kh@pnu.ac.ir

## ۴- مراجع:

- [1] F. Richard and A. Bourg, *Water Research*, **25** (1991) 807.
- [2] V. Sarin, T. Sarvinder Singh and K. K. Pant, *Bioresource Technology*, **97** (2006) 1986.
- [3] K.K. Krishnani and S. Ayyappan, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, **188** (2006) 59.
- [4] IARC (International Agency for Research on Cancer), IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: overall evaluation of carcinogenicity. An updating of IARC Monographs, 1–42, Supplement 7, WHO, Lyon, France, 1987.
- [5] M. Cieslak-Golonka, *Polyhedron*, **15** (1996) 3667.
- [6] WHO, Guidelines for Drinking Water Quality. Health Criteria and Other Supporting Information, Vol. 1, 2<sup>nd</sup> Ed., *World Health Organization*, Geneva, Switzerland.
- [7] USEPA, USEPA Drinking Water Regulations and Health Advisories. EPA 822-B-96-002, USEPA, Washington, DC. 1996.
- [8] Y. Ku and I. L. Jung, *Water Research*, **35** (2001) 135.
- [9] M. Kobya, *Bioresource Technology*, **91** (2004) 317.
- [10] A. Kozłowski and W. Walkoria, *Water Research*, **36** (2002) 4870.
- [11] T. S. Anirudhan and P.G. Radhakrishnan, *Journal of Colloid and Interface Science*, **316** (2007) 268.
- [12] P. Miretzky and A. Fernandez Cirelli, *Journal of Hazardous Materials*, **180** (2010) 1.
- [13] W.S. Wan Ngah and M.A.K.M. Hanafiah, *Bioresource Technology*, **99** (2008) 3935.
- [14] M. Liu, H. Zhang, X. Zhang, U. Deng, W. Liu and H. Zhang, *Water Research*, **73** (2001) 322.
- [15] S. Babel and T. Kurniawan, *Journal of Hazardous Materials*, **28** (2003) 219.
- [16] H. Uzun, Y. K. Bayhan, Y. Kaya, A. Cakici and O. F. Algur, *Bioresource Technology*, **85** (2002) 155.
- [17] M.F. Sawalha, J. R. Peralta-Videa, J. Romero-Gonzalez and J. L. Gardea-Torresdey, *Journal of Colloid and Interface Science*, **300** (2006) 100.
- [18] D. Park, Y.-S. Yun, H. W. Lee, J. M. Park, *Bioresource Technology*, **99** (2008) 1141.
- [19] N. Shao-Feng, L. Yong, X. Xin-hua and L. Zhang-hua, *Journal of Zhejiang University Science, B*, **10** (2005) 1022.
- [20] H. Genç-Fuhrman, P. Wu, Y. Zhou and A. Ledin, *Desalination*, **226** (2008) 357.
- [21] A. Manceau, L. Charlet, M.C. Boisset, B. Didier and L. Spadini, *Applied Clay Science*, **7(1-3)** (1992) 201.
- [22] S. Mustafa, P. Shahida, A. Naeem and B. Dilara, *Langmuir*, **18** (6), (2002) 2254.
- [23] C.L. Carnes, J. Stipp and K. J. Klabunde, *Langmuir*, **18** (6), (2002) 1352.
- [24] A. Naeem, M. T. Saddique, S. Mustafa, Y. Kim and B. Dilara, *Journal of Hazardous Materials*, **168** (2009) 364.
- [25] Z. Monsef Khoshhesab, Z. Hooshyar and M. Sarfaraz, *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, **41** (2011) 1046.
- [26] Z. Monsef Khoshhesab and M. Sarfaraz, *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, **40** (2010) 700.
- [27] A.W. Adamson, *Physical Chemistry of Surfaces*, New York, Wiley-Interscience. 1990.
- [28] B. D. Cullity, *Elements of X-Ray Diffraction*, 3<sup>rd</sup> Ed., Addison-Wesley, Reading, MA. 1997.