

## جذب سیانید از محیط های آبی با استفاده از نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی سنتز شده به روش هیدروترمال: مطالعه سینتیک و ثابت های تعادل

رقیه نوروزی<sup>۱</sup>، محمد نوری سپهر<sup>۲</sup>، منصور ضرابی<sup>۳\*</sup>

۱. مربی گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران ۲. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران ۳. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

\* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۲۶۳۴۶۴۳۳۹۸ فکس: ۰۲۶۳۴۶۴۳۸۲۲ ایمیل: mansor62@gmail.com

### چکیده

**زمینه و هدف:** سیانید یک ماده سمی است که در صنایع مختلفی از قبیل استخراج فلزات مورد استفاده قرار گرفته و از این طریق وارد محیط زیست می شود.

**روش کار:** در این پژوهش نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی به روش هیدروترمال سنتز شده و در جهت حذف سیانید مورد استفاده قرار گرفت. عوامل موثر در فرآیند شامل pH، غلظت اولیه سیانید، غلظت نانو ذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی و زمان تماس مورد بررسی قرار گرفت. همچنین از مدل ایزوترمی لانگمیر و فروندلیخ و مدل های سینتیکی شبه درجه یک، شبه درجه دو و شبه درجه یک اصلاح شده برای بیان نوع فرایند استفاده گردید. در نهایت، احیای نانو جاذب مصرف شده مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته ها:** نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بیشترین میزان حذف سیانید در غلظت ۱۰ mg/L از یون سیانید، میزان ۰/۸ g/L از جاذب، زمان تماس ۱۲۰ دقیقه و pH برابر ۴ مشاهده گردید. تحت این شرایط بیش از ۹۲ درصد یون سیانید حذف گردید. نتایج حاصل از مطالعه ایزوترمی نشان داد که روند جذب یون های سیانید بر روی جاذب مغناطیسی از مدل لانگمیر ( $r^2=0/998$ ) تبعیت می کند. مشخص گردید که سینتیک واکنش حذف با ضریب رگرسیون بالا ( $r^2=0/999$ ) توسط مدل درجه دو کاذب توصیف می گردد. نتایج حاصل از احیای نانو جاذب نشان داد که با استفاده از محلول ۱ نرمال سود می توان ۷۰ درصد جاذب اشباع شده را احیا کرد. **نتیجه گیری:** نتایج این تحقیق به درستی موید این مطلب است که نانو جاذب های مغناطیسی قابلیت بالایی در زدایش آلاینده سیانید دارند.

**واژه های کلیدی:** جذب، نانو ذرات، هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی، سیانید، محلول آبی

دریافت: ۹۲/۸/۱ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۵

### مقدمه

سیانید یکی از ترکیبات بسیار سمی است که در صنایع مختلف از جمله فرایند استخراج طلا از معدن، تولید آفت کش ها و رزین ها مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین آلودگی منابع آبی با ترکیبات سیانید، یکی از معضلات مهم زیست محیطی محسوب می شود. سیانید در محیط حرکت می کند و بسیار سمی، سرطان زا می باشد. مطابق استاندارد ملی ایران، شماره ۱۰۵۳، حد مجاز سیانید در آب آشامیدنی ۰/۰۷ میلی گرم بر لیتر می باشد (۱،۲). تحقیقات زیادی بر روی حذف سیانید انجام یافته و بسیاری از

فرایندهای تصفیه مورد بررسی قرار گرفته اند. فرایندهای کلیایی کردن، کلرزی، اکسیداسیون با هوا و فرایندهای غشایی مانند اسمز معکوس و الکترودیالیز نیز از روش های حذف سیانید محسوب می گردند (۳،۴). فرایندهای تصفیه متداول فاضلاب مانند انعقاد و لخته سازی، روش مؤثری برای حذف سیانید محسوب نمی گردند. همچنین این روش ها معمولاً تولید مقادیر قابل توجهی لجن می نمایند (۵،۶). در سال های اخیر مطالعات متعددی برای استفاده از مواد معدنی سازگار با محیط زیست در حذف فاضلاب های حاوی فلزات سنگین انجام گرفته

آرسنیک و فلوراید مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۲،۱۱،۷). با توجه به مطالب ذکر شده، هدف از انجام این تحقیق سنتز نانوذرات هیدروکسید آپاتیت مغناطیسی شده به روش هیدروترمال به عنوان جاذب در حذف سیانید از محیط‌های آبی بود.

### روش کار

#### سنتز نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی

در این تحقیق از روش هیدروترمال برای سنتز جاذب استفاده شد. برای این کار، مقدار ۱/۸۵ گرم  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  و ۳/۷ گرم  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  در ۳۰ میلی‌لیتر آب بدون یون حل شده و بر روی همزن مغناطیسی با دور ۳۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت و سپس مقدار ۱۰ میلی‌لیتر محلول  $\text{NH}_4\text{OH}$  ۰/۲۵ مولار به آن اضافه شده و به مدت ۱۵ دقیقه بر روی میکسر عمل اختلاط صورت گرفت. بعد از سپری شدن مدت زمان مورد نظر، رسوب سیاه‌رنگی تشکیل گردید. سپس ۳۳/۷ گرم  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  و ۲۰ مول  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  آماده شده و ۵۰ میلی‌لیتر از هر یک از این دو ماده قطره قطره به رسوب تشکیل شده در مرحله قبل اضافه گردید و با همزن مغناطیسی به مدت ۳۰ دقیقه هم‌زده شد. سوسپانسیون به دست آمده در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفته و پس از سرد شدن، رسوب به دست آمده توسط یک آهن ربا جمع شده و با آب دیونیزه شسته شد. ماده حاصله سپس در آون در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا خشک شود. محصول به دست آمده هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی بود که جهت انجام آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت (۷).

#### تعیین خصوصیات نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی

برای مشخص نمودن اندازه نانوذرات هیدروکسید آپاتیت مغناطیسی از میکروسکوپ روبشی الکترونی<sup>۱</sup>

است. مزایای استفاده از مواد معدنی شامل منابع فراوان، هزینه کم، استفاده آسان و سازگار با محیط زیست و اهمیت اقتصادی، علمی و اجتماعی می‌باشد (۷). گزارش شده است که مواد معدنی آپاتیت با خصوصیات شیمیایی کریستالی خاص یکی از مواد خاص و امیدبخش در تصفیه آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌باشد. هیدروکسی آپاتیت با فرمول شیمیایی  $\text{Ca}_{10-x}(\text{PO}_4)_{6-x}(\text{OH})_{2-x}$  دارای یک ساختار شبکه‌ای هگزاگونال و یک عضو از خانواده آپاتیت می‌باشد که به دلیل قابلیت جذب بالای فلزات سنگین، حلالت کم در آب، قیمت ارزان، قابلیت ثبات بالا در شرایط اکسیداسیون و احیا، زیست سازگاری بالا (عدم ایجاد سمیت سلولی، تحریک سیستم ایمنی و التهاب‌زایی در بدن) یک ماده ایده‌آل برای دفع آلاینده‌های محیط زیست با ماندگاری طولانی مدت می‌باشد (۷). ترکیب تکنولوژی جداسازی مغناطیسی با فرآیند جذب به‌طور گسترده در تصفیه محیط زیست به کار رفته است (۸). جداسازی مغناطیسی یک فناوری سریع، کارآمد و مقرون به صرفه است که می‌تواند توده‌ای از آلاینده‌ها را در یک دوره بسیار کوتاه بدون تولید آلاینده‌های ثانویه از فاضلاب دفع نماید. گزارشات زیادی در مورد استفاده از نانو تکنولوژی به‌عنوان فرآیند تصفیه و حذف آلاینده‌ها از محیط زیست وجود دارد (۹،۷). یکی از فن‌آوری‌های نانو که اخیراً مقبولیت زیادی پیدا کرده است، استفاده از نانوجاذب‌ها برای تصفیه و حذف آلاینده‌ها می‌باشد. به عنوان مثال پیشنهاد شده است که ذرات نانو به دلیل داشتن اندازه کوچک، سطح مقطع زیاد، شکل کریستالی و نظم شبکه‌ای منحصر به فرد و در نتیجه واکنش‌پذیری بسیار زیاد می‌توانند برای تصفیه و تبدیل آلاینده‌ها به مواد بی‌ضرر و کم‌ضررتر استفاده شوند (۱۰). در همین زمینه نانوذرات مغناطیسی توجه زیادی را ب خود جلب کرده و در موارد بسیاری برای حذف آلاینده‌های فاضلاب از قبیل فلزات سنگین به خصوص

<sup>1</sup> Scanning Electron Microscopy

محلول NaOH رقیق شده و ۰/۵ میلی لیتر محلول شاخص (۲۰ میلی گرم معرف دی متیل آمینوبنزال ردانین در ۱۰۰ میلی لیتر استون) به ۵۰ میلی لیتر نمونه مورد نظر اضافه شده و کاملاً مخلوط می گردید، سپس با استفاده از تیترانت استاندارد نیترات نقره عمل تیتراسیون تا تغییر رنگ از زرد فناری به صورتی قهوه ای انجام می گرفت. پس از تعیین غلظت سیانید در نمونه های تماس یافته با غلظت های مختلف نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی و با در نظر گرفتن مقدار غلظت سیانید اولیه، درصد حذف نیز محاسبه گردید (۱۴).

#### تعیین پتانسیل زتا

برای تعیین pH نقطه ایزوالکتریک ۲۵ میلی لیتر از کلرید سدیم (۰/۰۱ مولار) به داخل ظروف شیشه ای اضافه شد. سپس pH محلول اولیه در محدوده ۲ تا ۱۱ بوسیله اسید کلریدریک و هیدروکسید سدیم تنظیم شد. سپس مقدار ۰/۵ گرم از جاذب به داخل هر کدام از ظروف مورد نظر اضافه شد و برای ۲۴ ساعت هم زده شده و سپس pH نهایی محلول با استفاده از pH متر اندازه گیری شد. نمودار pH اولیه در مقابل pH نهایی رسم گردید و نقطه تلاقی دو منحنی به عنوان pH نقطه ایزوالکتریک معرفی شد.

#### مطالعه واجذبی یون سیانید توسط نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی

برای بررسی راندمان واجذب سیانید از جاذب اشباع شده، ابتدا ۰/۵ گرم جاذب آماده شده، در تماس با ۵۰ میلی گرم بر لیتر سیانید قرار گرفت و pH ستون در ۳ تنظیم شد. بعد از اشباع کامل جاذب، جاذب مورد نظر از محلول خارج گردیده و به مدت یک ساعت در تماس با محلول EDTA و سود یک نرمال قرار گرفت. در مرحله بعدی، جاذب از محلول های EDTA و سود خارج گردیده، خشک شد و مجدداً در تماس با محلول ۵۰ میلی گرم بر لیتر سیانید قرار گرفت. بدین ترتیب راندمان واجذب از

ساخت شرکت فیلیپس هلند مدل XL30 استفاده گردید. همچنین برای تعیین ترکیب شیمیایی نانوذرات از طیف سنج پراش اشعه ایکس<sup>۱</sup> ساخت شرکت فیلیپس مدل XRert با تیوب مس (cu ka) و برای شناسایی مولکول ها به خصوص مولکول های گروه عاملی از طیف سنجی مادون قرمز<sup>۲</sup> در طول موج  $4000-600 \text{ cm}^{-1}$  استفاده گردید.

#### روش انجام آزمایش ستون ناپیوسته

کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش از شرکت مرک آلمان تهیه گردید. در این تحقیق با حل کردن سیانید سدیم با درصد خلوص ۹۹٪ در آب بدون یون محلول استوک سیانید تهیه گردید و سپس غلظت های مورد نظر با استفاده از محلول استوک و رقیق کردن آن ساخته شد. جهت تنظیم pH از محلول یک نرمال اسید سولفوریک و سود استفاده گردید. آزمایشات به صورت ناپیوسته و با تغییر فاکتورهای pH (۷، ۸، ۹، ۱۰)، زمان تماس (۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه)، غلظت اولیه سیانید (۱۰، ۵۰ و ۷۵ میلی گرم بر لیتر) و دوز جاذب (۰/۱، ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۸ گرم بر لیتر) صورت گرفت. همه آزمایشات در حالت ناپیوسته در بشر به حجم ۲۵۰ میلی لیتر انجام شد. در هر آزمایش ۱۰۰ میلی لیتر از نمونه با غلظت مشخص محلول سیانید با pH و غلظت مشخصی از جاذب با استفاده از همزن مغناطیسی (Mixer Model FR 600) با ۱۲۵ دور در دقیقه مخلوط شده و در زمان های مختلف نمونه برداری انجام و با اندازه گیری غلظت سیانید باقیمانده، کارایی حذف تعیین گردید. برای اندازه گیری غلظت سیانید باقیمانده از روش تیتریمتری به شماره ۴۵۰۰ براساس رهنمودهای کتاب روش های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب استفاده گردید. به طور خلاصه، پس از انجام عمل فیلتراسیون به وسیله پمپ خلاء، ۵۰ میلی لیتر

<sup>۱</sup> X-Ray Diffraction

<sup>۲</sup> Fourier Transform Infrared Spectroscopy

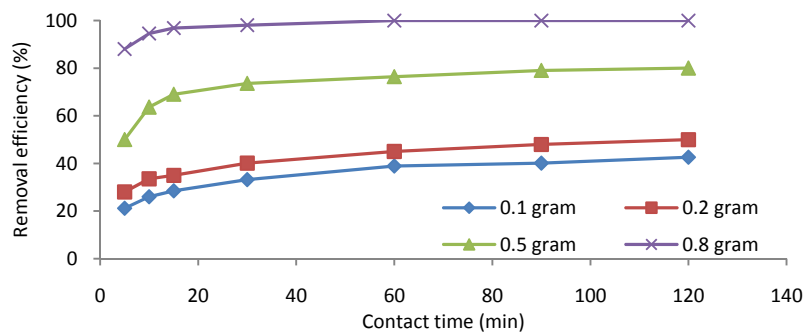
نرم افزار Excel برای رسم نمودارها استفاده گردید. برای تعیین سینتیک واکنش از غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر سیانید و دز ۰/۵ گرم بر لیتر نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی شده در pH=۷ و زمان ماند ۲ تا ۱۲۰ دقیقه استفاده گردید.

### یافته ها

#### نتایج حاصل از تغییرات غلظت جاذب بر کارایی حذف

##### سیانید

در این مطالعه از ۴ غلظت نانوجاذب هیدروکسید آپاتیت مغناطیسی استفاده گردید. اثر تغییرات غلظت نانوجاذب بر کارایی حذف سیانید در pH ثابت ۷ و غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر سیانید در فاصله زمانی ۵ تا ۱۲۰ دقیقه در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانوجاذب کارایی حذف سیانید افزایش می یابد. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود در غلظت ۰/۱ گرم بر لیتر نانوجاذب کارایی حذف سیانید بعد از گذشت ۱۲۰ دقیقه تنها ۴۲/۶ درصد می باشد اما وقتی غلظت نانوجاذب به ۰/۸ گرم بر لیتر می رسد ۱۰۰ درصد سیانید موجود در محلول حذف می گردد.



شکل ۱. تاثیر تغییرات غلظت جاذب بر کارایی حذف سیانید (غلظت سیانید ۵۰ میلی گرم بر لیتر، pH=۷، دما ۲۵±۱ درجه سانتی گراد)

کاهش می یابد. بر اساس شکل ۲ مشخص گردید که با افزایش غلظت سیانید از ۱۰ به ۷۵ میلی گرم بر لیتر بعد از گذشت ۱۲۰ دقیقه کارایی حذف آن از ۹۳/۲ درصد به ۴۸/۱ درصد کاهش یافته است.

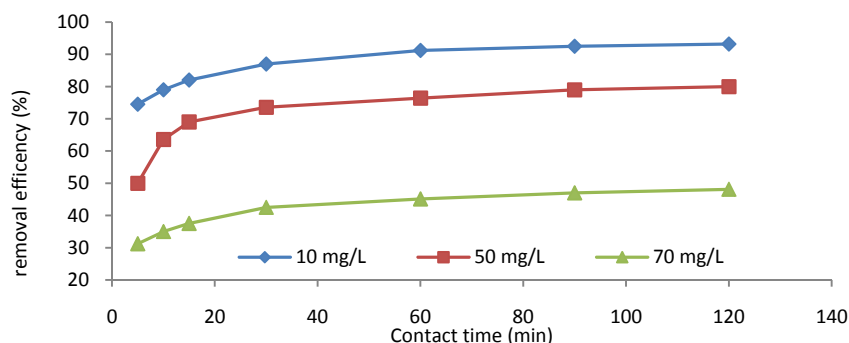
طریق مقایسه راندمان جاذب اولیه و جاذب احیاء شده با سود و EDTA محاسبه گردید.

#### آزمایشات سینتیک و ایزوترم های جاذب

در این مطالعه از مدل ایزوترمی فروندلیخ و لانگمویر جهت بررسی داده های ثابت تعادل استفاده گردید. جهت بررسی سینتیک واکنش ها نیز از معادلات سینتیکی شبه درجه اول، شبه درجه دوم و شبه درجه اول اصلاح شده استفاده گردید. جهت بررسی ایزوترم واکنش ها برای تعیین مدل ایزوترم های جاذب فروندلیخ و لانگمویر آزمایشات جاذب با در نظر گرفتن غلظت های مشخصی از یون سیانید (۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۰، ۸۰ میلی گرم بر لیتر) در شرایط pH=۷ و زمان ماند ۴۸ ساعت صورت گرفت. در ابتدا ۱۰۰ میلی لیتر از نمونه های حاوی غلظت مشخصی از یون سیانید، به داخل بشری با حجم ۲۵۰ میلی لیتر انتقال داده شد و سپس مقدار ۰/۵ گرم از جاذب هیدروکسی آپاتیت به نمونه های موجود افزوده شد. از دستگاه همزن با دور ۱۲۵ rpm برای اختلاط نمونه ها در حین انجام واکنش استفاده و بعد از ۴۸ ساعت زمان تماس در دمای ۲۵ ± ۱ درجه سلسیوس، غلظت سیانید باقیمانده تعیین و از

#### نتایج حاصل از تغییرات غلظت اولیه سیانید

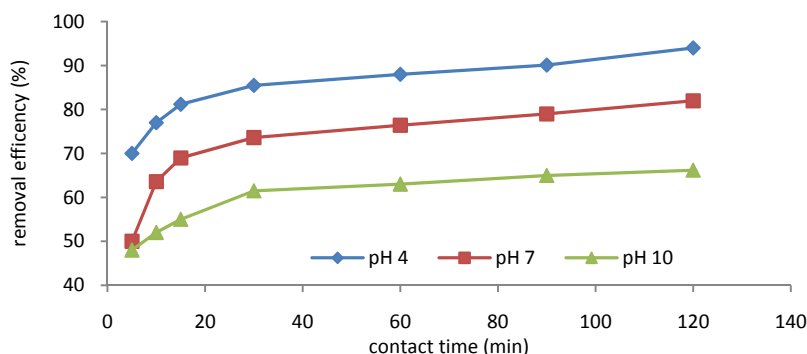
اثر تغییرات غلظت اولیه سیانید بر کارایی حذف آن در pH=۴ و غلظت ثابت ۰/۵ گرم بر لیتر جاذب در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اولیه سیانید کارایی حذف آن



شکل ۲. نتایج حاصل از تغییرات غلظت سیانید بر کارایی حذف آن با استفاده از نانو جاذب هیدروکسید آپاتیت مغناطیسی شده (غلظت ۰/۵ گرم بر لیتر نانو جاذب، pH=۴، دما ۲۵±۱ درجه سانتی گراد)

و ۱۰ بعد از گذشت ۱۲۰ دقیقه به ترتیب حدود ۸۰، ۹۴/۲ و ۶۶/۲ درصد می باشد.

نتایج حاصل از تغییرات pH بر کارایی حذف سیانید  
شکل ۳ نشان می دهد که کارایی حذف سیانید با کاهش pH افزایش می یابد. بر اساس این نتایج مشخص گردید که کارایی حذف سیانید در pH ۴، ۷



شکل ۳. تاثیر تغییرات pH بر کارایی حذف سیانید

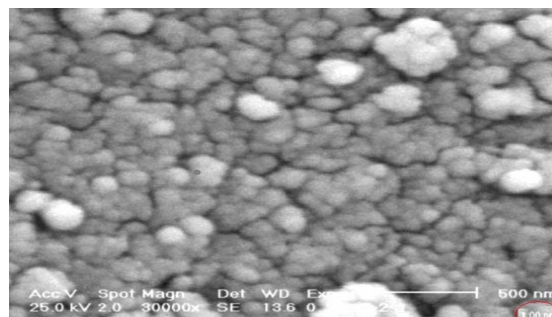
(غلظت ۰/۵ گرم بر لیتر نانو جاذب، غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر سیانید، pH=۷، دما ۲۵±۱ درجه سانتی گراد)

همان طور که در این شکل مشخص شده است، ذرات هیدروکسی آپاتیت با بزرگنمایی ۳۰۰۰۰ دارای اندازه ۱۰۰ نانومتر می باشد. تصویر طیف سنج پراش اشعه X (XRD) از نانو جاذب هیدروکسید آپاتیت مغناطیسی در شکل ۵ نشان داده شده است. طیف های مشخص شده در زاویه ۲θ: ۲۰۰، ۳۱۱، ۴۰۰ و ۴۴۰ مربوط به نانوذرات هیدروکسی آپاتیت می باشند. همچنین در زاویه ۲θ: ۰۰۲، ۲۱۱، ۳۱۱، ۴۰۰ و ۴۴۰ پیک های مربوط به Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> نشان داده شده است که این پیک ها نشان دهنده نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیس شده می باشند.

در شکل ۶ نتایج حاصل از اسکن اشعه مادون قرمز نشان داده شده است. همان طور که می توان از روی

تعیین مشخصات نانو جاذب هیدروکسید آپاتیت مغناطیسی

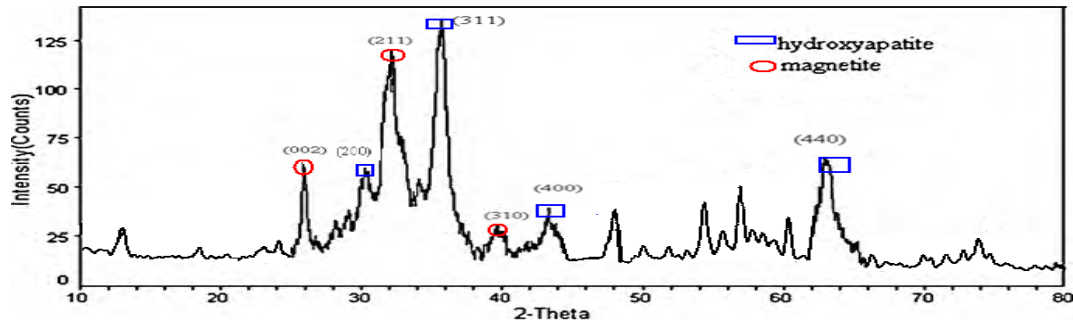
تصویر میکروسکوپ انتقال الکترون (SEM) در شکل ۴ نشان داده شده است.



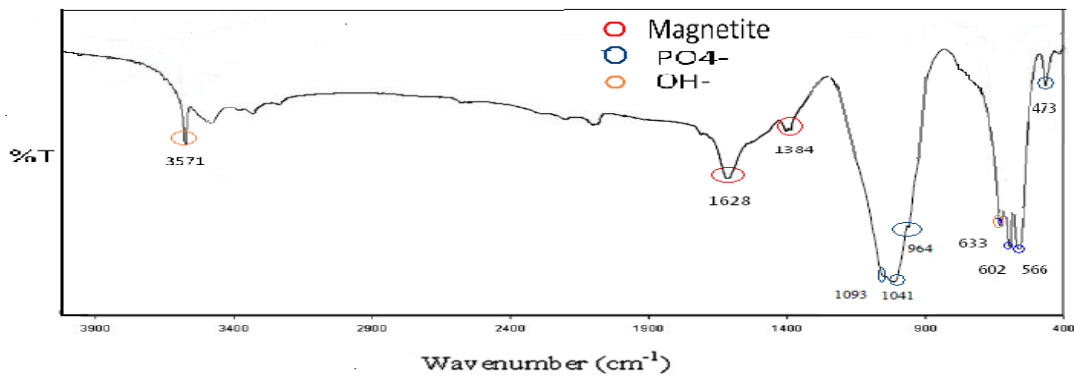
شکل ۴. تصویر SEM از نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی (با بزرگنمایی برابر ۳۰۰۰۰، اندازه ذرات ۱۰۰ نانومتر)

۴۷۳، ۹۶۴، ۶۰۲، ۱۰۴۱، ۱۰۹۳ مربوط به گروه‌های عاملی دارای فسفات ( $PO_4^{3-}$ ) و دیگر پیک‌های حدود ۱۶۲۸ و ۱۳۸۴ مربوط به ذرات مگنتیت می‌باشند.

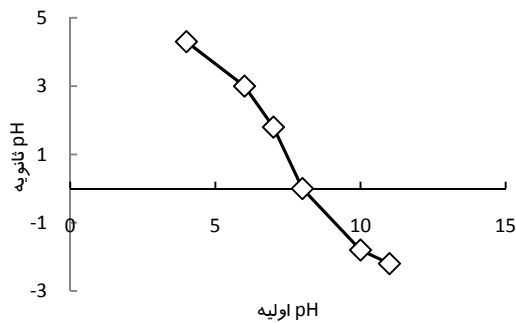
این شکل مشاهده کرد، پیک‌های مشاهده شده در طول موج‌های ۳۵۷۱ و ۶۳۳ حضور یون‌های هیدروکسید را نشان داده و پیک‌های حدود ۵۶۶



شکل ۵. تصویر پراش اشعه مادون قرمز (XRD) از نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی



شکل ۶. تصویر FTIR از نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی



شکل ۷. تعیین pH نقطه صفر برای نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی

### مطالعه واژذبی

در جدول ۱ نتایج حاصل از واژذبی سیانید توسط نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی شده آمده است.

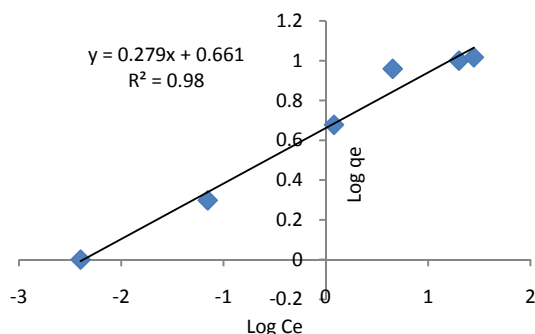
جدول ۱. واژذبی سیانید توسط نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی شده

ماده واژذب کننده	pH اولیه	pH ثانویه	واژذبی %
EDTA	۲/۸	۵/۵	۰/۲
NaOH	۱۱/۵	۹/۵	۷۰

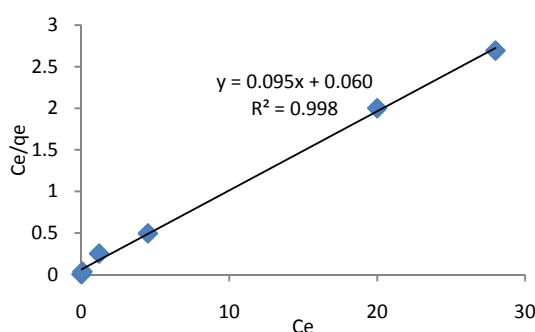
### تعیین پتانسیل زتا و بار سطح جاذب

در شکل ۷ نتایج حاصل از pH اولیه و ثانویه جاذب نانو هیدروکسی آپاتیت نشان داده شده است. بر اساس شکل ۷ مشخص گردید pH نقطه صفر<sup>۱</sup> برای نانوذرات هیدروکسی آپاتیت برابر ۸ می‌باشد. در pH های بالای pH نقطه صفر، بار سطحی نانوجاذب مورد استفاده منفی بوده و در pH پایین تر از pH نقطه صفر بار سطحی نانوجاذب مورد استفاده مثبت خواهد بود. بنابراین دلیل کاهش کارایی حذف سیانید در pH بالای ۸ منفی بودن بار سطح ذرات می‌باشد که باعث ایجاد دافعه بین یون‌های منفی سیانید در محلول و سطح منفی جاذب می‌باشد.

<sup>1</sup> Zero Point Charge



شکل ۸. نمودار ایزوترم مدل فروندلیخ (غلظت نانو جاذب هیدروکسید آپاتیت مغناطیسی = ۰/۵ گرم بر لیتر، غلظت اولیه سیانید ۵۰ میلی گرم بر لیتر، دمای ۲۵ درجه و pH برابر ۷)



شکل ۹. نمودار ایزوترم مدل لانگمویر (غلظت نانو جاذب هیدروکسید آپاتیت مغناطیسی = ۰/۵ گرم بر لیتر، غلظت اولیه سیانید ۵۰ میلی گرم بر لیتر، دمای ۲۵ درجه و pH برابر ۷)

### ایزوترم های جذب

در این مطالعه از مدل های ایزوترمی فروندلیخ و لانگمویر برای رسم داده های جذب سیانید با استفاده از نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی استفاده گردید. در شکل ۸ نمودار ایزوترم فروندلیخ و در شکل ۹ نمودار ایزوترم لانگمویر برای مطالعه حاضر ترسیم گردیده است. در جدول ۲ نیز داده های مربوط به ایزوترم های مورد مطالعه آورده شده است.

### مطالعه روابط سینتیکی

در شکل ۱۰a مدل سینتیکی شبه درجه یک، در شکل ۱۰b مدل سینتیکی شبه درجه دو و در شکل ۱۰c مدل سینتیکی شبه درجه اول اصلاح شده نشان داده شده است. در جدول ۳ ضرایب ثابت و ضرایب همبستگی مدل های سینتیکی نشان داده شده است. با توجه به ضریب همبستگی  $R^2$ ، مدل درجه دو کاذب سینتیک جذب سیانید بر روی هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی را بهتر نشان می دهد. پارامترهای مدل سینتیک در جدول ۲ نشان داده شده است.

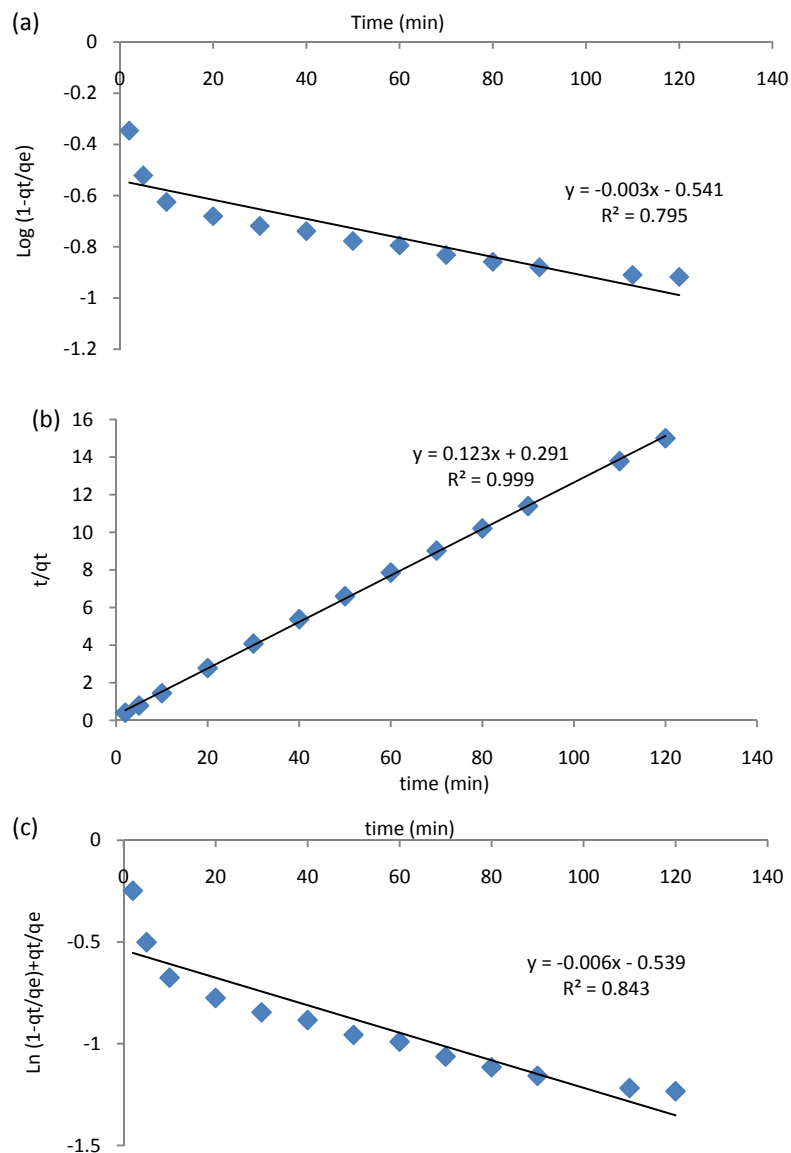
جدول ۲. ضرایب ثابت و ضرایب همبستگی ایزوترم فروندلیخ و لانگمویر در جذب سیانید بر روی نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی شده

	$q_m$ (mg/g)	$b$ (L/mg)	$K_f$	$n$	$R_L$	$R^2$
فروندلیخ	.....	.....	۴/۴۲۵	۳/۶۴۹	.....	۰/۹۸
لانگمویر	۱۰/۶۳۸	۱/۱۷۵	.....	.....	۰/۰۱۲	۰/۹۹۸

جدول ۳. ضرایب ثابت و ضرایب همبستگی مدل سینتیکی شبه درجه یک، شبه درجه دو و شبه درجه یک اصلاح شده در جذب سیانید بر روی

### نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی شده

	$K_1$	$K_2$	$K_m$	$q_e$	$R^2$
شبه درجه یک	۰/۰۰۶۹	.....	.....	.....	۰/۷۹۵
شبه درجه دو	.....	۰/۰۲۴	.....	۸	۰/۹۹۹
شبه درجه یک اصلاح شده	.....	.....	۰/۰۰۶	.....	۰/۸۴۳



شکل ۱۰. انطباق داده های به دست آمده بامدلهای (a) شبه درجه یک (b) شبه درجه دو (c) شبه درجه یک اصلاح شده (غلظت نانو جاذب = ۰/۵ گرم بر لیتر، غلظت اولیه سیانید ۵۰ میلی گرم بر لیتر ، دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و pH برابر ۸)

**بحث**

جذب سیانید با استفاده از نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی نشان داد که این امر تحت تاثیر تغییرات pH قرار دارد. بطوری که بیشترین میزان حذف سیانید در pH های ۷ و ۸ اتفاق افتاد و در pH برابر ۱۰ کمترین میزان حذف یون سیانید مشاهده گردید. این امر به دلیل بار سطحی جاذب و بار یونی سیانید بود. همان طور که در شکل ۷ نشان داده شد، pH نقطه صفر نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی شده (pH<sub>zpc</sub>) برابر ۸ می باشد، لذا در

pH های اسیدی تراکم بار مثبت بر روی سطح جاذب افزایش یافته و با توجه به اینکه سیانید در pH های اسیدی به صورت یون آزاد وجود دارد و دارای بار منفی می باشد، در نتیجه جاذبه الکترواستاتیکی بین سطح جاذب و یون های بار منفی افزایش یافته و کارایی حذف به طور قابل توجهی افزایش می یابد. در pH های بالای ۸، بار سطحی نانوجاذب منفی بوده و با توجه به اینکه سیانید در pH های قلیایی به صورت CNO<sup>-</sup> بوده و دارای بار منفی می باشد، در نتیجه جاذبه الکترواستاتیکی بین سطح جاذب و یون



تیوسیانات کم شده و کارایی حذف کاهش می‌یابد (۱۱،۲). نتایج مشابهی در حذف آلاینده‌های مختلف با استفاده از نانوذرات هیدروکسی آپاتیت گزارش شده است. برای مثال در مطالعه‌ای نانوکامپوزیت هیدروکسی آپاتیت کربنات- سلولز جهت حذف آرسنیک استفاده شد. نتایج حاکی از آن بود که pH نقطه صفر نانوکامپوزیت هیدروکسی آپاتیت کربنات- سلولز ( $pH_{zpc}$ ) نیز برابر ۸/۵ بوده و با توجه به اینکه بار سطح جاذب در pHهای زیر ۸/۵ مثبت می‌باشد، بنابراین کارایی حذف آرسنات افزایش یافته است (۱۲). در تحقیقی که توسط نانو ساختار هیدروکسی آپاتیت جهت حذف سرب انجام گرفت، نتایج نشان داد که با افزایش pH کارایی حذف افزایش یافته و دلیل آن نیز بار منفی سطحی جاذب در pHهای بالا برای جذب یون‌های مثبت سرب بوده است (۱۴). در تحقیقی که یانگ و همکاران با عنوان حذف کادمیوم و روی با استفاده از نانوذرات هیدروکسی آپاتیت انجام دادند، نشان دادند که با افزایش pH بارهای منفی سطح نانوجاذب افزایش یافته و کارایی حذف به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. در مطالعه مذکور حداکثر میزان جذب یون‌های مثبت فلزی در pH برابر ۹ و ۱۰ گزارش شده است که مطابق با تئوری جذب الکترواستاتیک بین یون‌های مثبت فلزی و سطح منفی جاذب در pHهای بالا می‌باشد (۷). همچنین در تحقیقی که از آلومینای فعال برای حذف یون سیانید استفاده شده است، بیشترین میزان حذف یون سیانید در pHهای ۳ تا ۷ مشاهده شد (۱۵) که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. در مطالعه دیگری، محققان از زئولیت طبیعی اصلاح شده با هیدروکسید آهن برای حذف سیانید استفاده کرده‌اند. در این مطالعه نیز حداکثر میزان حذف سیانید در pH برابر ۷/۵ گزارش شده است (۱۶). بنابراین می‌توان این طور نتیجه‌گیری کرد که pH بهینه برای حذف سیانید اغلب به بار سطحی جاذب و یا pH نقطه صفر بستگی دارد که در این مطالعه بیشترین میزان حذف سیانید

در pHهای ۴ و ۷ مشاهده گردید، دلیل آن نیز بار مثبت سطح جاذب و تمایل حداکثری آن برای جذب یون‌های منفی سیانید در این محدوده از pH محلول بود. با افزایش غلظت اولیه سیانید مشخص گردید که کارایی حذف نانوجاذب کاهش می‌یابد. این امر به این دلیل است که جاذب‌ها دارای محل‌های جذب محدودی هستند که با افزایش غلظت اولیه آلاینده این محل‌ها سریع‌تر اشباع شده و کارایی حذف کاهش می‌یابد. همچنین دلیل دیگر برای این پدیده را می‌توان به جذب انتخابی جاذب به یک نوع آلاینده نسبت داد به این ترتیب که در این‌گونه موارد بر روی جاذب محل‌های مشخصی برای جذب آلاینده مشخص وجود دارد که فقط همین محل‌های اختصاصی در فرآیند جذب دخیل بوده و سایر فرآیندهای دخیل در جذب از قبیل نفوذ بین ذره‌ای یا نفوذ توده‌ای موثر واقع نمی‌شوند، به این ترتیب در یک غلظت مشخص از جاذب، محل‌های جذب ثابتی وجود دارد که با افزایش میزان آلاینده و به دلیل ثابت بودن محل‌های جذب اختصاصی، میزان جذب کاهش می‌یابد (۱۷). در مطالعه‌ای که از نانو هیدروکسی آپاتیت برای حذف آرسنیک استفاده شده است مشخص گردید که با افزایش غلظت اولیه آرسنیک کارایی حذف نانو ساختار هیدروکسی آپاتیت کاهش می‌یابد که این امر به دلیل کاهش جایگاه‌های فعال جذب در سطح جاذب می‌باشد (۱۲). همچنین در تحقیق دیگری، از نانو هیدروکسی آپاتیت برای حذف فلزات سنگین سرب، کادمیوم و نیکل استفاده شد. در این مطالعه مشخص گردید که با افزایش غلظت اولیه فلزات کارایی حذف نیز افزایش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان به دخیل‌بودن سایر فرآیندهای جذب از قبیل نفوذ بین ذره‌ای یا نفوذ توده‌ای مرتبط دانست که باعث می‌شود با افزایش میزان غلظت اولیه آلاینده، راندمان حذف نیز افزایش یابد (۱۲). در مطالعه‌ای که بر روی حذف سیانید با استفاده از کربن فعال انجام گرفت، مشاهده

گردید که میزان جذب سیانید با افزایش غلظت اولیه آن افزایش می‌یابد که دلیل این امر نیز افزایش نیروی رانش در اثر افزایش غلظت اولیه سیانید و نفوذ آن به داخل منافذ بستر جاذب و در نهایت افزایش راندمان حذف ذکر شده است (۴). بنابراین نتایج این مطالعه نشان داد که نانو هیدروکسی آپاتیت دارای محل‌های جذب مشخصی برای یون سیانید می‌باشد و به همین دلیل در میزان ثابت از جاذب، با افزایش غلظت اولیه آلاینده راندمان حذف کاهش خواهد یافت.

همچنین مشخص گردید که با افزایش زمان تماس کارایی حذف افزایش می‌یابد و در تمامی غلظت‌های نانو جاذب بیشترین مقدار جذب در ۵ دقیقه اول صورت گرفته است. این امر نشان می‌دهد که نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی راندمان بالایی در حذف سیانید در زمان‌های ابتدایی دارا بوده، و به سرعت در همان زمان‌های ابتدایی محل‌های فعال و دخیل در فرآیند جذب اشباع می‌گردد. همچنین منحنی حذف سیانید با استفاده از نانو جاذب با گذشت زمان دارای شیب ملایمی می‌باشد که دلیل این امر این است که بیشترین کارایی حذف در همان زمان‌های اولیه صورت گرفته و دلیل دیگر اینکه یک لایه نازک از یون سیانید بر روی نانوجاذب تشکیل می‌شود که این امر باعث کاهش میزان جذب به مرور زمان می‌شود. در مطالعه‌ای از نانو هیدروکسی آپاتیت برای حذف فلزات سنگین از قبیل سرب و کامیوم (۷) و فلوراید (۱۱) استفاده شده است. به این ترتیب در جذب فلزات سنگین و فلوراید، حداکثر میزان حذف در ۵ ساعت اتفاق افتاده است که نسبت به مدت زمان لازم برای جذب حداکثر سیانید به میزان ۵ دقیقه (مطالعه حاضر) در حدود ۱۰۰ برابر می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که تمایل جاذب برای جذب یون‌های سیانید بسیار بیشتر از تمایل آن برای جذب سایر یون‌های منفی (از قبیل فلوراید) و فلزات سنگین همانند سرب

و کادمیوم می‌باشد. در جذب یون سیانید توسط آلومینا نیز زمان تماس در محدوده ۱ تا ۱۲۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که افزایش زمان تماس تاثیر چندانی بر روی حذف سیانید توسط آلومینا ندارد و بیشترین میزان حذف نیز در زمان تماس ۲۰ دقیقه گزارش شده است (۱۵). نتایج حاصل از تغییرات غلظت نانو جاذب نشان داد که با افزایش غلظت نانوذرات کارایی حذف سیانید افزایش یافته است، که دلیل آن افزایش جایگاه‌های فعال سطح جذبی و امکان برخورد بیشتر یون سیانید با سطح نانوذرات می‌باشد. در تحقیقی که یانگ و همکاران انجام دادند نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانوذرات هیدروکسی آپاتیت از ۱/۰ تا ۵/۰ گرم بر لیتر کارایی حذف کادمیم و روی بیشترین میزان حذف مشاهده شده است و به تدریج با افزایش میزان جاذب، راندمان حذف نیز کاهش یافته است. علت این امر نیز ثابت بودن میزان آلاینده و کاهش میزان ظرفیت جذب به ازای افزایش در میزان جاذب ذکر گردیده است (۷). در جذب یون مس توسط نانو هیدروکسی آپاتیت نیز نتایج مشابهی گزارش شده است. بطوری که با افزایش میزان جاذب از ۱ تا ۳ گرم بر لیتر راندمان حذف افزایش یافته و دلیل آن نیز افزایش محل‌های جذب یون مس در سطح جاذب با افزایش میزان جاذب ذکر گردیده است (۱۸). در جذب یون سیانید با استفاده از زئولیت اصلاح شده با هیدروکسید آهن نیز نشان داده شد که با افزایش میزان جاذب از ۱/۰ تا ۳/۰ گرم بر لیتر راندمان حذف افزایش می‌یابد و با افزایش میزان جاذب به مقادیر بیشتر از ۴/۰ گرم بر لیتر تاثیر چندانی در حذف یون سیانید مشاهده نگردید (۱۶). نتایج حاصل از مطالعات واجذبی سیانید با استفاده از نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی نشان داد که بیشترین درصد واجذبی مربوط به هیدروکسید سدیم و حدود ۷۰٪ می‌باشد و در

نشان دهنده مطلوب بودن عمل جذب می باشد، بنابراین می توان اظهار نمود که فرایند جذب سیانید توسط جاذب نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی مطلوب می باشد. پارامتر ایزوترم فروندلیخ (n) نشان دهنده شدت جذب سطحی می باشد که در فرآیند جذب مطلوب این میزان بین ۱ و ۱۰ می باشد. میزان n با توجه به جدول ۲ برابر ۳/۶۵ مشاهده گردید که نشان می دهد فرآیند جذب سیانید بر روی نانو هیدروکسی آپاتیت از نوع مطلوب می باشد. بنابراین مقدار n در این محدوده نشان دهنده جذب بهتر و تشکیل پیوند نسبتاً قوی بین جاذب و مولکول جذب شونده می باشد و به این ترتیب می توان انتظار داشت که جاذب مورد نظر برای جذب سیانید دارای ویژگی های مطلوبی می باشد. نتایج حاصل از برآزش داده های سینتیکی نشان داد که جذب سیانید بر روی نانو هیدروکسی آپاتیت از معادله سینتیکی شبه درجه دوم با ضریب همبستگی ۰/۹۹۹ تبعیت می کند. در جذب سیانید بر روی کربن فعال (۴)، در جذب سیانید بر روی زئولیت اصلاح شده با هیدروکسید آهن (۱۶) و کربن فعال ساده و اشکال اصلاح شده آن با یون های مس و نقره (۲۰) نیز گزارش شده است که سینتیک فرآیند از مدل شبه درجه دوم تبعیت می کند که مطابق با نتایج مطالعه حاضر می باشد.

### نتیجه گیری

در این مطالعه نانو هیدروکسی آپاتیت به روش هیدروترمال سنتز شده و جهت حذف سیانید مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش زمان تماس و میزان جاذب، راندمان حذف افزایش می یابد در حالی که با افزایش غلظت اولیه سیانید راندمان حذف کاهش می یابد. همچنین بیشترین میزان حذف سیانید در pH ۴ مشاهده گردید. نتایج حاصل از برآزش داده های ثابت تعادل و سینتیک نشان داد که به ترتیب مدل ایزوترمی لانگمویر و مدل

شرایط اسیدی درصد واجدبی یون های فلزی بسیار ناچیز بوده است. دلیل این امر را می توان این گونه توجیه کرد که در pH های بالا یون های هیدروکسید با آنیون های سیانید برای نشستن بر روی مکان های فعال جاذب رقابت می نمایند و به دلیل چگالی بالای یون های هیدروکسید، آنیون های سیانید از مکان های فعال جذب جدا شده و احیای جاذب صورت می گیرد. نتایج حاصل از برآزش داده های ثابت تعادل بر روی مدل های ایزوترمی نشان داد که جذب یون سیانید با استفاده از نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی با ضریب همبستگی بالایی از هر دو نوع مدل ایزوترمی تبعیت می کند، با این تفاوت که مدل ایزوترمی لانگمویر ضریب همبستگی بالاتری نسبت به مدل ایزوترمی فروندلیخ نشان داد. دلیل این امر را می توان اینطور بیان کرد که محل های جذب یون سیانید بر روی جاذب نانو هیدروکسی آپاتیت به صورت هتروژن بوده و به طور یکنواختی در سطح جاذب پخش شده اند (۱۹). بر اساس جدول ۲ حداکثر ظرفیت جذب سیانید ( $q_{max}$ ) برای جاذب هیدروکسی آپاتیت ۱۰/۶۳۸ میلی گرم بر گرم تعیین شد. حداکثر میزان جذب سیانید با استفاده از جاذب های مختلف و توسط محققان مختلفی گزارش شده است. در جذب سیانید با استفاده از زئولیت اصلاح شده با هیدروکسید آهن (۱۶) حداکثر میزان جذب mg/g ۶/۲۱، در جذب سیانید با استفاده از آلومینا (۱۵) و در دمای ۱۰ درجه سانتی گراد این میزان برابر mg/g ۶/۲۱، در جذب سیانید با استفاده از کربن فعال ساده و کربن فعال اصلاح شده با فلزات مس و نقره (۲۰) این میزان به ترتیب برابر ۱۹/۷، ۲۲/۴ و ۲۹/۶ mg/g و در جذب سیانید بر روی کربن فعال (۴) این میزان برابر mg/g ۴۷/۶۱ گزارش شده است. جهت ارزیابی مناسب بودن جاذب نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی در جذب سیانید از شاخص بدون بعد  $R_L$  استفاده گردید که در این تحقیق ۰/۰۱۲ تعیین شد که با توجه با اینکه میزان  $R_L$  در محدوده ۰ تا ۱

هیدروکسی آپاتیت مصرف شده می‌باشد. با توجه به نتایج این مطالعه، استفاده از نانو هیدروکسی آپاتیت برای جذب سیانید پیشنهاد می‌گردد.

سینتیکی شبه درجه دوم با ضریب همبستگی بالایی جذب سیانید بر روی سطح نانو هیدروکسی آپاتیت را توضیح می‌دهند. همچنین مشخص گردید که محیط قلیایی دارای راندمان بالایی برای احیای نانو

## References

- 1- Neha G, Chandrajit B, Vijay KA, Adsorption of cyanide ion on pressmud surface: A modeling approach, Chem Eng J. 2012 May; 191 (15): 548-556.
- 2- Gholamreza M, Rasoul K, Removal of cyanide from wastewater by adsorption onto pistachio hull wastes: Parametric experiments, kinetics and equilibrium analysis, J Hazard Mater. 2010 Nov; 183 (1-3): 724-730.
- 3- Wei Z, Wandong L, Yan L, Bingjing L, Weichi Y, Enhanced carbon adsorption treatment for removing cyanide from coking plant effluent, J Hazard Mater. 2010 Dec; 184 (1-3): 135-140.
- 4- Ali B, Mohammad Mehdi S, Equilibrium and kinetic studies on free cyanide adsorption from aqueous solution by activated carbon, J Hazard Mater. 2009 Oct; 170 (1): 127-133.
- 5- Faghihian H, Removal of cyanide from liquid wastes by modified Clinoptilolite, Int J Environ Pollu. 2004 Sep; 22 (6):732-39.
- 6- Ping N, Juan Q, Xueqian W, Wei L, Wei C, Metal loaded zeolite adsorbents for hydrogen cyanide removal, J Environ Sci. 2013 Apr; 25 (4): 808-814.
- 7- Feng Y, Gong JL, Zeng GM, Niu QY, Zhang HY, Niu CG. Adsorption of Cd (II) and Zn (II) from aqueous solutions using magnetic hydroxyapatite nanoparticles as adsorbents, Chem Eng J. 2010; 162: 487-494.
- 8- Serdar A, Pelin E, Saim Ö, Hydroxyapatite supported ruthenium(0) nanoparticles catalyst in hydrolytic dehydrogenation of ammonia borane: Insight to the nanoparticles formation and hydrogen evolution kinetics, Appl Catal B. 2013 Nov; (142-143): 187-195.
- 9- Lee CK, Kim HS, Kwon GH, The removal of heavy metals using hydroxyapatite, Environ Eng Res. 2005 Feb; 10 (5): 205-212.
- 10- Nguyen KN, Phi TTH, Tran DL, Tran QH, A facile synthesis of nanostructured magnesium oxide particles for enhanced adsorption performance in reactive blue 19 removal, J Colloid Interface Sci. 2013 Feb; 398 (4) 210-216.
- 11- Deyi Z, Heming L, Liwen Z, Kunjie W, Hongxia L, Yi W, Huixia F, Utilization of waste phosphogypsum to prepare hydroxyapatite nanoparticles and its application towards removal of fluoride from aqueous solution, J Hazard Mater. 2012 Nov; (241-242): 418-426.
- 12- Islam M, Chandra MP, Patel R, Arsenate removal from aqueous solution by cellulose-carbonated hydroxyapatite nanocomposites, J Hazard Mater. 2011 Feb; 189 (3):755-763.
13. World Health Organization (WHO), Guidelines for drinking water quality, Fourth edition, Geneva: WHO; 2011, 273-276.
- 14- Etshedi K, Ren J, Aoyi O, Stephen OM, Removal of Pb(II) from aqueous solution using hydrotalcite-like nanostructured material, J Physic Sci. 2012 Aug; 7(1): 63 - 72.
- 15- Sumra N, Uzma Z, Adsorption Studies of Cyanide (CN) on Alumina, Pak J Anal Environ Chem. 2009 Apr; 10(1-2): 83-87.
- 16- Meissam N, Mozghan KM, Parisa AF, Cyanide uptake from wastewater by modified natrolite zeolite-iron oxyhydroxide system: Application of isotherm and kinetic models, J Hazard Mater. 2009 Apr; 166 (9): 1060-1066.
- 17- Ebrahim MK, Kaan Y, Nihan U, Mansur Z, Reham MAS, Modeling of adsorption of toxic chromium on natural and surface modified lightweight expanded clay aggregate (LECA), App Surf Sci. 2013 Nov; 287 (22): 428- 442.
- 18- Sljivic IM, Smiciklas I, Pejanovic S, Analysis and comparison of mass transfer phenomena related to Cu<sup>2+</sup> sorption by hydroxyapatite and zeolite, Chem Eng J. 2013 Nov; 223 (21): 833-843.

- 19- Kamal Aldin K, Abdeltif A, Hossein K, Reza P, Mansur Z, Retention of phosphorous ions on natural and engineered waste pumice: Characterization, equilibrium, competing ions, regeneration, kinetic, equilibrium and thermodynamic study, *App Surf Sci.* 2013 Sep; 284 (21): 419– 431.
- 20- Deveci H, Yazici EY, Alp I, Uslu T, Removal of cyanide from aqueous solutions by plain and metal-impregnated granular activated carbons, *Int J Miner Process.* 2006 Jun; 79 (12): 198–208.

# Adsorption of Cyanide from Aqueous Solutions Using Magnetic Hydroxyapatite Nanoparticles Synthesized by Hydrothermal Method: Equilibrium and Kinetic Study

Nourozi R<sup>1</sup>, NooriSepehr M<sup>2</sup>, Zarrabi M<sup>\*3</sup>

1. Instructor in Environmental Health Department, School of Health, Albourz University of Medical Sciences, Karaj, Iran

2. Associate Professor in Environmental Health Department, School of Health, Albourz University of Medical Sciences, Karaj, Iran

3. MSc in Environmental Health Engineering, Department of Environmental Health, Albourz University of Medical Sciences, Karaj, Iran

\*Corresponding author. Tel: +982634643398 Fax: +982634643822 E-mail: mansor62@gmail.com

Received: 23 Oct 2013 Accepted: 4 Feb 2014

## ABSTRACT

**Background & Objectives:** Cyanide is a toxic compound widely used in different industries (e.g. metal extraction) and enters into the environment through such activities.

**Methods:** In present work magnetic hydroxyapatite nanoparticles were synthesized hydrothermally and used for removal of cyanide from aqueous solutions. Experimental parameters influencing the process such as solution pH, initial cyanide concentration, nanoparticle concentrations, and contact time were studied. In addition Langmuir and Freundlich isotherm models, pseudo-first-order, pseudo-second-order, and modified pseudo-first-order kinetic models were applied for describing the process. Restoration of used sorbent was also investigated.

**Results:** Maximum removal efficiency was observed at 10 mg/L of cyanide concentration, 0.8 g/L adsorbent mass, 120 min contact time, and pH=4. Under these conditions more than 92% of cyanide ions were removed. Results of isotherm study showed that trend of cyanide ion sorption to follow Langmuir model ( $r^2=0.998$ ). In addition, kinetic of cyanide sorption was best described by pseudo-second-order kinetic model ( $r^2=0.999$ ). 70% of the used sorbent can be conditioned by 1 N NaOH solution.

**Conclusion:** The results of present work well demonstrate that nano magnetic adsorbent to have high ability to remove cyanide pollutant.

**Keywords:** Adsorption; Nanoparticle; Magnetic Hydroxyapatite; Cyanide; Aqueous Solution