



بهینه سازی حذف یون سرب با استفاده از نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 پوشش داده شده با کیتوسان در نمونه های حقیقی

روح اله زارع دورابی* | محمد جواد آقاگلی | علی ملکی | افسانه ملاحسینی

دانشکده شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، تهران

چکیده: در این پژوهش، از نانوذرات مغناطیسی پوشش داده شده با کیتوسان به منظور حذف یون سرب از محلول آبی و اندازه گیری محلول های باقی مانده به وسیله طیف سنجی نشر اتمی پلاسمای جفت شده القایی استفاده شد. کیتوسان از معروف ترین بسپارهای زیستی است که می تواند به عنوان جاذب در حذف آلاینده های زیستی به کار رود. نانوذرات Fe_3O_4 به صورت تجاری خریداری و با بسپار کیتوسان با جرم مولکولی پایین، پوشش داده شدند. نانوذرات مغناطیسی پوشش داده شده با کیتوسان سپس با کمک آنالیزهای میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) و پراش پرتو ایکس (XRD) شناسایی شدند. آزمایش های این پژوهش، در سیستم ناپیوسته و در دمای اتاق انجام شد. تحت شرایط بهینه، $pH=4/14$ ، مقدار جاذب $0/06$ گرم غلظت اولیه فلز سرب 40 میلی گرم بر لیتر و با زمان هم زدن 66 دقیقه بیشترین مقدار حذف به دست آمد. داده های جذب سطحی با مدل های هم دمای لانگمیر و فروندلیچ تطبیق داده شدند. نتایج بدست آمده نشان داد که داده های به دست آمده از جذب یون های سرب بر نانوذرات مغناطیسی کیتوسان با مدل لانگمیر تطبیق بیشتری داشت.

واژگان کلیدی: نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 اصلاح شده، کیتوسان، حذف فلزات سنگین، یون سرب، طراحی آزمایش

*Zaredorabei@iust.ac.ir

۱- مقدمه

شیمیایی سرب از پساب های صنعتی بیش تر از روش رسوب دهی و نهایتاً جداسازی جامدات استفاده می شود. مواد شیمیایی که برای رسوب دهی به کار می روند، شامل آهک و سدیم هیدروکسید (برای رسوب دهی به شکل هیدروکسید سرب)، کربنات سدیم (برای رسوب دهی به شکل سرب کربنات) و فسفات (برای ترکیب به شکل سرب فسفات) هستند. همچنین، می توان به روش انعقاد سرب در محیط های آبی با استفاده از آلومینیم سولفات و آهن (II) و (III) سولفات و همچنین روش تعویض یونی اشاره کرد [۲، ۳، ۴].

با توجه به بحران جدید جهان، یعنی بحران آب و بررسی فعالیت های متفاوت در دنیا شامل برنامه های در دست اجرا و برنامه های آتی مراکز صنعتی و پژوهشی، نشان می دهد که زمینه

فلزات سنگین در منابع آبی به خاطر غیر قابل تجزیه بودنشان برای محیط زیست و سلامتی انسانها خطرناک است. انسان در محیط کار و محل زندگی در معرض 35 فلز قرار دارد که 23 تا از آنها جزو فلزات سنگین هستند. گرچه وجود مقادیر کم این عنصرها برای سلامتی لازم است، اما غلظت زیاد هر کدام از آنها می تواند سبب مسمومیت حاد یا مزمن شود. چنانچه فلزات سنگین در بدن متابولیز نشوند، در بافت های نرم بدن انباشته شده و ایجاد مسمومیت می کنند [۱]. سرب از جمله فلزات سنگینی است که در برخی از فاضلاب های صنعتی وجود دارد و می تواند آثار نامطلوب بر سلامت انسان و محیط بگذارد. برای حذف

(به خصوص در موقعیت C3) نیز می‌تواند به جذب کمک کند [۱۰]. جذب سطحی، تبادل یون و کی لیت شدن به عنوان سازوکارهای مسئول تشکیل کمپلکس، مورد بحث هستند. نوع برهم‌کنش به ترکیب محلول، pH آن و گونه‌زایی یون‌های فلزی مرتبط است [۱۱].

این ویژگی‌ها، نظر پژوهشگران را در زمینه جذب یون‌های فلزی سنگین با استفاده از کیتوسان جلب کرده است. در کار تحقیقاتی حاضر حذف یون‌های سرب با استفاده از کیتوسان پوشش داده‌شده با نانوذرات مغناطیسی در چندین نمونه محیط آبی متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، قابلیت استفاده چند باره از جاذب، مورد استفاده برای حذف یون‌های سرب مورد آزمایش قرار گرفت.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد و تجهیزات

در این مطالعه، کیتوسان با درصد خلوص بالا از شرکت سیگما آلدریج و بقیه مواد مورد استفاده در این پژوهش از شرکت مرک خریداری شد. محلول‌های مورد نیاز و همچنین استانداردهای لازم با غلظت‌های مورد نیاز، از رقیق کردن متوالی محلول مادر با آب دیونیزه، به صورت روزانه تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. تنظیم pH در طی مراحل آزمایش با هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار و اسیدکلریدریک ۰/۱ مولار انجام گرفت.

آنالیز نمونه‌ها با استفاده از یک دستگاه طیف‌سنجی نشر اتمی - پلاسمای جفت شده القایی شیمادزو مدل ICPS-7000 ساخت کشور ژاپن انجام شد. اندازه‌گیری سرب در طول موج ۲۲۰/۳۵۱ نانومتر انجام شد. برای اندازه‌گیری pH محلول‌ها از یک دستگاه pH متر ساخت شرکت Metrohm سوئیس مدل ۶۹۱ استفاده شد. ترازو ساخت کمپانی Sartorius آلمان با دقت 10^{-5} گرم استفاده شد. از آهن ربای مغناطیسی قوی به منظور جمع‌آوری نانوذرات مغناطیسی محلول استفاده شد. برای مخلوط شدن محلول‌های نمونه از هم‌زن مدل (SF1 Stuart Scientific) استفاده شد.

تصفیه یکی از زمینه‌های پرکاربرد فناوری نانو در صنعت آب است که با بهره‌گیری از آن، هزینه‌های تصفیه آب به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. مشکل حذف فلزات سنگین از پساب‌ها نیز از جمله مسائلی است که امید است به کمک فناوری نانو قابل حل باشد. در این راستا، یکی از ایده‌های حوزه فناوری نانو که می‌تواند به عنوان یک روش کارآمد برای حذف کاتیون‌های فلز سنگین از محیط‌های آبی پیشنهاد شود، استفاده از نانوذرات به عنوان جاذب این کاتیون‌ها است. نانوذرات، ذرات جامد کلونیدی هستند که اندازه‌ای در گستره ۱۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر را دارا هستند. این ذرات از ماکرو مولکول‌های طبیعی یا مصنوعی تهیه می‌شوند [۵]. سه فاکتور بسیار مهم در مورد این ذرات بسیار ریز مطرح است:

- ظرفیت جذب بسیار بالا به دلیل سطح فعال بیش‌تر برای برهم‌کنش با جذب‌شونده

- غیر سمی بودن

- تطبیق‌پذیری و سازگاری آن‌ها برای جذب آلاینده‌ها [۶].

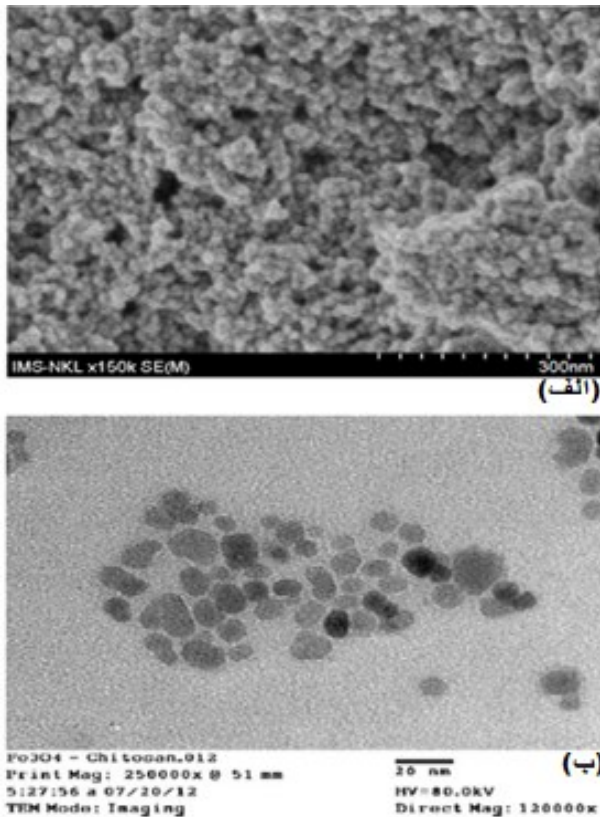
کیتوسان، بسیاری از تک پاره‌های گلوکز آمین^۱ و ان-استیلن گلوکز آمین^۲ است. این زیست بسیار کاتیونی، از جدایش جزئی یا کلی استیل از کیتین^۳ در محلول‌های قلیایی حاصل می‌شود [۷]. کیتوسان دومین پلی ساکارید فراوان است که از پوسته سخت‌پوستان استخراج می‌شود و سپس، مراحل خالص‌سازی و پالایش روی آن اعمال می‌شود. کیتوسان، زیست بسیاری غیر سمی با بار مثبت است و زیست چسبنده است که ویژگی زیست تخریب‌پذیری و زیست سازگاری آن در مقایسه با دیگر پلی ساکاریدها، بسیار عالی است [۸]. حضور گروه آمینی در اسکلت این زیست بسیار، باعث شده تا کیتوسان در سیال‌های زیستی دارای بار سطحی مثبت و با زیست تخریب‌پذیری ذاتی عالی باشد که می‌توان با کمپلکس‌سازی به وسیله ترکیبات آنیونی چند ظرفیتی از جمله سولفات، سترات و تری پلی فسفات، اقدام به تولید میکرو/ نانو ذرات کند [۹]. این که کیتوسان قادر به تشکیل کمپلکس با یون‌های فلزی معینی است، به طور گسترده شناخته شده است. گروه‌های فعال اصلی برای یون‌های فلزی، مکان‌های آمین محسوب می‌شوند، گرچه گروه‌های هیدروکسیل

¹Glucosamine

²N-acetylglucosamine

³chitin

مشاهده است، همچنین، بر اساس تصاویر TEM اندازه نانوذرات کیتوسان مغناطیسی از ۵۰ nm کمتر است.



شکل ۱: تصاویر نانوذرات مغناطیسی مغناطیسی پوشش داده شده با کیتوسان SEM (الف) و TEM (ب)

شکل ۲- الف الگوی XRD، نانو ذرات اکسید آهن نشانده شده بر زمینه کیتوسان را نشان می‌دهد. الگوی XRD برای تعیین کریستالی بودن نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن استفاده می‌شود که با الگوی XRD نمونه‌های اکسید آهن گزارش شده تطابق دارد. مطالعات حاصل از طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس برای شناسایی عنصری نانوذرات اکسید آهن نشانده شده بر زمینه کیتوسان با توجه به نمودار بررسی عنصری شکل ۲-ب، می‌تواند به راحتی حضور عنصری از قبیل آهن، کربن و اکسیژن را تایید کرد و الگوی EDX واضح است که پراکندگی یکنواخت نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن را تایید می‌کند.

۲-۲- سنتز جاذب نانو ذرات اکسید آهن - کیتوسان

برای اصلاح و پوشش دار کردن نانوذرات، ابتدا محلول کیتوسان تهیه شد. به این صورت که ۰/۵ گرم کیتوسان در ۵۰ میلی لیتر استیک اسید ۱ درصد حل شد و پس از آن ۱۲/۵ میلی لیتر محلول سدیم تری پلی فسفات ۱ mg/L تهیه و به محلول کیتوسان افزوده و به مدت ۱۰ دقیقه هم‌زده شد. در نهایت، ۰/۵ g از نانوذرات آهن به آن افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه با هم‌زن مکانیکی به منظور اصلاح نانوذرات با زیست‌بسپار کیتوسان هم‌زده شد. نانوذرات اصلاح شده با زیست‌بسپار یک میدان مغناطیسی خارجی جدا شده و پس از شست و شو با آب دیونیزه داخل دستگاه آون در دمای ۵۰ °C خشک شد.

۲-۳- روش کار حذف فلز سرب با نانو ذرات Fe₃O₄ پوشش داده شده با کیتوسان

به منظور بررسی اثر پارامترهای متفاوت بر مقدار جذب، آنالیز ناپیوسته^۴ یون فلزی سرب انجام شد. با بهینه‌سازی پارامترهای مورد نظر به روش طراحی آزمایش، شرایط بهینه (مقدار جاذب: ۰/۰۶ گرم، زمان هم‌زدن: ۶۶ دقیقه، pH=۴/۱۴، غلظت فلز سرب: ۴۰ mg/L) تعیین شد. محلول‌ها ابتدا توسط شیکر به هم‌زده شد، سپس، به کمک آهن ربای قوی، نانو ذرات اکسید آهن - کیتوسان در ته ظرف جمع‌آوری و محلول باقی مانده با پیپت جمع‌آوری و مقدار سرب با دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد.

۳- نتایج و بحث

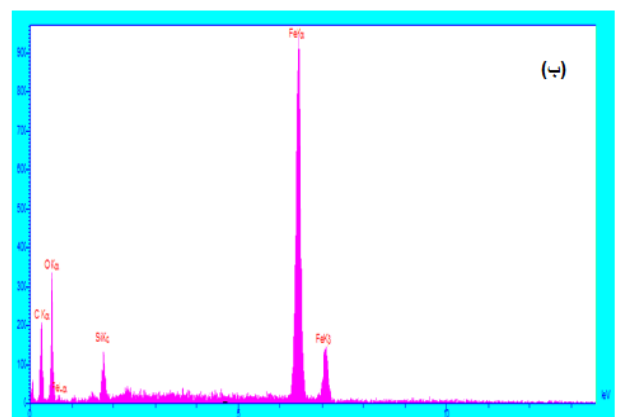
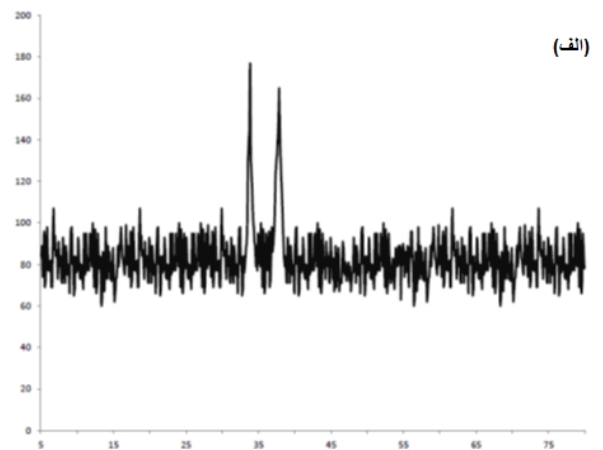
۳-۱- تعیین مشخصات

تصاویر SEM و TEM نانوذرات کیتوسان مغناطیسی سنتز شده در شکل (۱ الف و ب) نشان داده شده‌اند. در تصویر TEM گرفته شده از نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن پوشش داده شده با کیتوسان، هسته ذرات با رنگ تیره تر به وضوح قابل

⁴ Batch

جدول ۱: متغیرها و سطوح‌های انتخاب‌شده در طرح مرکب مرکزی

متغیرها	علامت اختصاری					سطح فاکتورها
	-α	-۱	۰	+۱	+α	
گرم جاذب	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۷	A
pH	۲	۳	۴	۵	۶	B
غلظت سرب (mg/L)	۲۰	۴۰	۶۰	۸۰	۱۰۰	C
زمان	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	D



شکل ۲: طیف نانوذرات مغناطیسی پوشش داده شده با کیتوسان XRD (الف) و EDX (ب)

با استفاده از نرم‌افزار 8.0.7.1 Design- expert استفاده از داده‌های حاصل از آزمایش بررسی و نمودارها رسم شده است. به منظور تشخیص ر تغییر در مقدار پارامترها نسبت به یکدیگر و تأثیر آن‌ها بر پاسخ از نمودارهای سطح پاسخ استفاده می‌شود. این نمودارها برای تفسیر گرافیکی برهم‌کنش‌های موجود به کار می‌روند. در این نمودارها تغییرات پاسخ با تغییرات دو پارامتر به طور همزمان بررسی می‌شود. درحالی‌که، سایر پارامترها در مقدار مرکزی خود ثابت نگه داشته می‌شوند. شکل ۳، برهم‌کنش دو فاکتوری در قالب نمودارهای سه بعدی را نشان می‌دهد. برطبق نمودارهای زیر برهم‌کنش میان فاکتورها ناچیز است.

۲-۳- بهینه‌سازی روش

در این پژوهش، از طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر استفاده شد. برای کاهش تعداد آزمایش‌های مربوط در بهینه‌سازی از طرح مرکب مرکزی کسری^۵ استفاده شد. براین اساس ۳۰ آزمایش برای ۴ فاکتور توسط نرم‌افزار معرفی شد. بر اساس این طرح آزمایشی مقدار α مورد نیاز برای اطمینان از چرخش پذیری مدل برابر با ۱/۶۸۲ به دست آمد. برای به حداقل رساندن یک سری پارامترهای کنترل نشده آزمایش‌ها تصادفی می‌شوند. همچنین، با انجام تمام آزمایش‌ها در یک روز کاری آزمایش‌ها در یک بلوک تعریف شد. متغیرها و سطوح‌های انتخاب‌شده فاکتورها در جدول ۱ نشان داده شده است.

⁵ Small central composite design

محلول باقی مانده توسط ICP اندازه گیری شد. نتایج این آزمایش نشان می دهد، جاذب قابلیت استفاده چند باره را برای حذف یون فلزی دارا است (جدول ۲).

جدول ۲: مطالعات بازیابی نانو ذرات Fe_3O_4 پوشش داده شده با کیتوسان

نوع آلاینده	چرخه اول	چرخه دوم	چرخه سوم
سرب	٪ ۷۰/۲	٪ ۶۸/۸	٪ ۶۵/۵

۳-۴- بررسی تکرارپذیری

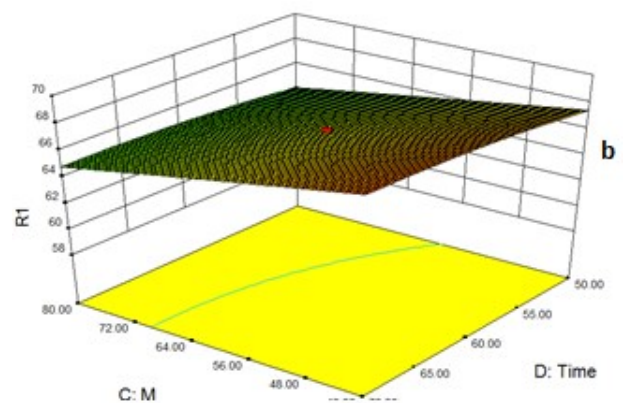
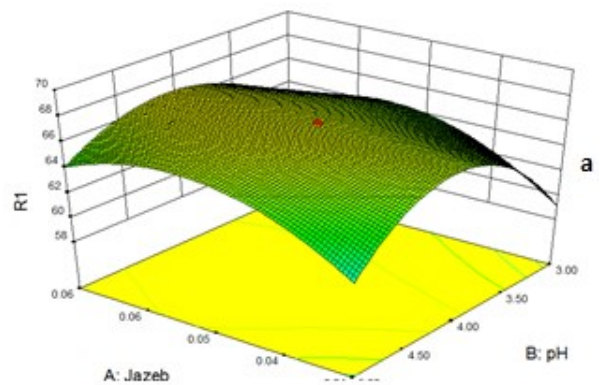
مقدار بازده حذف سرب با جاذب از طریق مقایسه غلظت آن ها در محلول اولیه و محلول باقی مانده به دست می آید. برای این امر از یک محلول به حجم ۵ میلی لیتر و غلظت ۲۰ میلی گرم بر لیتر از آنالیت استفاده شد. اطلاعات مربوط به مقدار حذف سرب توسط جاذب مورد نظر، ۵ بار تکرار شد و نتایج در جدول ۳ آمد. به طور کلی، یکی از مزایای مهم برای جاذب ها، تکرارپذیری خوب آن ها است. مقدار حذف گزارش داده شده در جدول ۳ نشانگر تکرارپذیری خوب برای حذف سرب در شرایط بهینه بر روی جاذب مورد نظر است.

جدول ۳: مطالعات بازیابی نانو ذرات Fe_3O_4 پوشش داده شده با کیتوسان

شماره آزمایش	غلظت اولیه (mg/L)	غلظت محلول باقی مانده (mg/L)	راندمان حذف %
۱	۲۰	۵/۵۸	۷۲/۱
۲	۲۰	۶/۱۶	۶۹/۲
۳	۲۰	۵/۹	۷۰/۵
۴	۲۰	۵/۶۴	۷۱/۸
۵	۲۰	۵/۷۶	۷۱/۲

۳-۵- مطالعات تعادلی جذب

به منظور بهینه سازی طراحی سیستم های جذب برای حذف آلاینده ها، آنالیز داده های تعادل برای مقایسه جاذب های متفاوت تحت شرایط عملکردی متفاوت مورد استفاده قرار گرفت. برای آزمون ارتباط بین جذب سطحی و غلظت تعادلی محلول،



شکل ۳: نمودارهای سطح پاسخ برای دو پارامتر. گرم جاذب A=، pH=B، غلظت فلز سرب C= و زمان D=

بنابراین، با توجه به مباحث بالا و داده های حاصل و همچنین، معادله مدل و با استفاده از تابع شایستگی تعیین نقطه بهینه با نرم افزار Design-Expert انجام شد. مشخصات نقطه بهینه این روش مقدار بهینه فاکتور ها عبارتند از: ۰/۰۶ گرم جاذب، pH=۴/۱۴، غلظت سرب ۴۰ میلی گرم بر لیتر و زمان ۶۶ دقیقه.

۳-۳- مطالعات بازیابی

واجب فلزات و بازیابی جاذب، مسئله مهمی در توانایی استفاده مجدد از جاذب است. برای این منظور قابلیت استفاده مجدد نانو ذرات Fe_3O_4 پوشش داده شده با کیتوسان طی سه مرحله مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از ۲۵۰ میلی لیتر معرف EDTA (۰/۱ مولار) استفاده شد. پس از رسیدن به تعادل، جاذب با استفاده از آهنربای قوی از محلول جمع آوری شد و با EDTA به مدت یک ساعت در دمای محیط هم زده شد. در مرحله بعد جاذب با آهن ربای قوی جمع آوری شد و مقدار فلز

۳-۶- آنالیز نمونه‌های حقیقی

برای بررسی کارایی روش جهت حذف و اندازه‌گیری یون سرب در نمونه‌های واقعی چند نمونه شامل: آب شهری، آب چاه دانشگاه علم و صنعت ایران و آب معدنی دماوند برای تعیین مقدار یون سرب در آن‌ها استفاده شد. برای به دست آوردن غلظت نهایی ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر به هر یک از نمونه‌ها، مقدار مشخصی از محلول یون سرب افزوده شد. ۵ میلی‌لیتر از هر کدام از نمونه‌ها با مقدار ۰/۰۶ جاذب در دمای محیط به مدت ۶۶ دقیقه مخلوط شد. سپس، جاذب مغناطیسی با آهن ربای قوی جمع‌آوری شد و مقدار سرب محلول باقی‌مانده با ICP-OES اندازه‌گیری شد. نتایج مربوط به این بررسی‌ها در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵: بازده حذف یون فلزی سرب در نمونه‌های آبی حقیقی

نمونه	غلظت در نمونه حقیقی (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت سرب پس از اضافه کردن استاندارد (میلی‌گرم بر لیتر)	حذف (%)
آب معدنی	۰/۹۲۶	۲۰	۷۲/۲
آب چاه دانشگاه علم و صنعت	۰/۸۹۵	۲۰	۶۹/۱
آب شهر تهران	۰/۹۰۳	۲۰	۷۰/۶

۴- نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر نشان می‌دهد که نانوذرات مغناطیسی پوشش داده شده با کیتوسان به دلیل داشتن مساحت سطحی بالا و دارا بودن گروه‌های عاملی آمین و کربوکسیل به طور موثر قادر به حذف یون سرب می‌باشد. عواملی مانند، pH، مقدار جاذب، زمان هم زدن و غلظت اولیه یون فلزی بر بیشینه حذف تاثیر می‌گذارند. بیشینه حذف در pH برابر ۴/۱۴، مقدار جاذب ۰/۰۶ گرم، غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر و در زمان هم زدن ۶۶ دقیقه حاصل شده است. این جاذب قابلیت استفاده مجدد و بازیابی را داراست. با توجه به قیمت مناسب، زیست سازگار بودن و سهولت جداسازی، این جاذب قابلیت خوبی برای حذف یون‌های سرب در نمونه‌های آبی دارد.

مدل‌های هم دمای جذب متفاوتی وجود دارد. در این بررسی، از مدل‌های هم دمای لانگمیر و فروندلیچ استفاده شد.

جدول ۴، مقادیر ثابت از مدل‌های لانگمیر و فروندلیچ را برای یون سرب با استفاده از جاذب کیتوسان پوشش داده‌شده با نانوذرات مغناطیسی را نشان می‌دهد. عملکرد جذب سطحی جاذب استفاده‌شده با پارامتر q_m در مدل لانگمیر سنجیده می‌شود. پارامترهای مدل لانگمیر در جذب سرب از لحاظ آماری در سطح ۹۹٪ اطمینان است. ضریب همبستگی برای یون فلزی در گستره مناسبی به دست آمده است. داده‌های جدول بر مطلوب بودن این مدل تأیید دارند. از مقدار K_L می‌توان نتیجه گرفت که میل ترکیبی یون سرب برای اتصال بر سطح جاذب بالاست. ماکسیمم ظرفیت جذب یون سرب ممکن است مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن باشد. به طور کلی، انتخاب‌پذیری نسبی فلزات سنگین به برخی از ویژگی‌های فلز مربوط می‌شود. کارایی جذب فلز بر اساس شعاع یون فلزی، وزن اتمی، الکترونگاتیوی، ثابت آب‌کافت و نرمی افزایش می‌یابد. مقدار k_f و n به ترتیب برای جذب سرب ۳/۸۵۵۸ و ۱/۸۲۱۵ به دست آمد. قرار گرفتن مقدار n در گستره ۱-۱۰ بر مطلوب بودن و نیز رابطه غیرخطی غلظت محلول و جذب اشاره دارد [۱۳]. ضریب همبستگی هم دمای فروندلیچ ۰/۹۴۷ به دست آمد.

با توجه به داده‌های جدول ۴ مشاهده می‌شود که هم دمای لانگمیر نسبت به فروندلیچ بهتر می‌تواند جذب یون فلز با جاذب زیستی را پیش‌بینی کند؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که سطح جاذب همگن است و جذب سطحی بیشتر به صورت تک لایه انجام می‌شود.

جدول ۴: ثابت هم دمای لانگمیر و فروندلیچ برای یون سرب با جاذب کیتوسان

مدل لانگمیر		مدل فروندلیچ	
q_m (mg/g)	K_L (l/mg)	n	R^2
۱۰	۰/۰۳۴	۱/۹۹۴	۰/۹۴۷

Delivery,” *International Journal of PharmTech Research*, 2, 2271-2282, 2010.

[8] J. H. Hamman, “Chitosan based polyelectrolyte complexes as potential carrier materials in drug delivery systems,” *Marine Drugs*, 1, 1305-1322, 2010.

[9] C. K. S. Pillai, W. Paul, C. P. Sharma, “Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation,” *Progress in Polymer Science*, 34, 641-678, 2008.

[10] E. Guibal, “Interactions of metal ions with chitosan-based sorbents: a review,” *Separation and Purification Technology*, 38, 43-74, 2004.

[11] I. M. N. Vold, K. M. Vårum, E. Guibal, O. Smidsrød, “Binding of ions to chitosan—selectivity studies,” *Carbohydrate Polymers*, 54, 471-474, 2003.

[12] A. Maleki, N. Ghamari, M. Kamalzare, Chitosan-supported Fe_3O_4 nanoparticles: a magnetically recyclable heterogeneous nanocatalyst for the syntheses of multifunctional benzimidazoles and benzodiazepines,” *RSC Advances*, 4, 9416-9423, 2014

[13] A. B. Baranda, N. Etxebarria, R. M. Jimenez, R. M. Alonso, “Development of a liquid–liquid extraction procedure for five 1,4-dihydropyridines calcium channel antagonists from human plasma using experimental design,” *Talanta*, 67, 933-941, 2005.

مراجع

[1] L. Zhang, Z. Shang, K. Guo, Z. Chang, H. Liu, D. Li, “Speciation analysis and speciation transformation of heavy metal ions in passivation process with thiol-functionalized nano-silica,” *Chemical Engineering Journal*, 369, 979-987, 2019.

[2] M. das Graças A. Korn, J. B. de Andrade, D. S. de Jesus, “Separation and preconcentration procedures for the determination of lead using spectrometric techniques: A review,” *Talanta* 69, 16-24, 2006.

[3] C. Jiang, X.g Wang, G. Wang, C. Hao, X. Li, T. Li, “Adsorption performance of a polysaccharide composite hydrogel based on crosslinked glucan/chitosan for heavy metal ions,” *Composites Part B: Engineering*, 169, 45-54, 2019.

[4] R. Zare-Dorabei, M. Shamsedini Darbandsari, A. Moghimi, M. Saghanejhad Tehrani, S. Nazerdeylami, “Synthesis, characterization and application of cyclam-modified magnetic SBA-15 as a novel sorbent and its optimization by central composite design for adsorption and determination of trace amounts of lead ions,” *RSC Advances*, 6, 108477-108487, 2016.

[5] Z. Zhang, J. Kong, “Novel magnetic $Fe_3O_4@C$ nanoparticles as adsorbents for removal of organic dyes from aqueous solution, *Journal of Hazardous Materials*,” 193, 325-329, 2015.

[6] B. An, Q. Liang, D. Zhao, “Removal of arsenic (V) from spent ion exchange brine using a new class of starch-bridged magnetite nanoparticles,” *Water Research*, 45, 1961-1972, 2011.

[7] K. Swatantra, K. Rai Awani, S. Satyawar, “Chitosan: A Platform for Targeted Drug

Optimization of lead ion removal using chitosan-coated Fe₃O₄ magnetic nanoparticles in real samples

Rouholah Zare-Dorabei* | Mohammad Javad Aghagoli | Ali Maleki | Afsaneh Mollahosseini

Department of Chemistry, Iran University of Science and Technology, Tehran

Abstract: In this work the possibility of removing lead metal ion with Fe₃O₄ magnetic nano particles from aqent samples and measuring the remained solution was investigated. Chitoson was used for this purpose. Chitosan is a hyphophilic and cationic polymer that obtained from removing acetyl citin in basic solutions and use as an absorptive to removing heavy metals. The experiments of this investigate was carried out in discrete system and room temperature. pH, commence concentration of metal, time were optimized by experimental design. The optimum condition for pH, the amount of sorbent, commence concentration of metal and time were 4.14, 0.06 g, 60 mg L⁻¹ and 66 min respectively. Recover of sorbent by EDTA and multi usages are important merit of this sorbent.

Keywords: Magnetic nanoparticles Fe₃O₄, Chitosan, Removal of Heavy Metal, Lead ion, Experimental Design