مجله مهندسی بهداشت محیط، پاییز ۱۳۹۸، سال ۷، شماره ۱: ۹۴-۱۱۰

بررسی کارایی جذب نانوکامپوزیت کیتوزان مغناطیسی-متالیک گرانوله شده در حذف آنیون‌های مزاحم از محلول‌های آبی

زهرا فرج الهی[۱]، محمد نوری سپهر[۲و۳*]، امیرحسام حسنی[۱]، عماد دهقانی فرد[۲و۳]

[۱] گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران
[۲] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران
[۳] مرکز تحقیقات بهداشت، ایمنی و محیط (RCHSE)، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/٤/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۲۶

چکیده

زمینه و هدف: آنیون‌های مزاحم در آب می‌توانند باعث بروز مشکلات عمده‌ای در افت کیفیت آب شرب و همچنین آب ورودی به صنایع گردند. از همین رو هدف این مطالعه، تعیین کارایی جذب نانوکامپوزیت کیتوزان مغناطیسی-متالیک گرانوله شده در حذف آنیون‌های سولفات، کلراید، کربنات و بی‌کربنات از محلول‌های آبی می باشد.

روش کار: سنتز نانوکامپوزیت کیتوزان مغناطیسی متالیک گرانوله شده توسط فرآیند هم ترسیبی صورت گرفت. همچنین در این پژوهش غلظت آنیون‌های کلراید و سولفات در گستره mg/L ۳۰۰-۵۰ و غلظت یون‌های کربنات و بی‌کربنات در محدوده mg/L ۱۵۰-۵۰ انتخاب شد. علاوه بر آن از دیگر متغیرهای این پژوهش می‌بایست به pH در محدوده ۸-۵ و زمان ماند ۹۰-۰ دقیقه اشاره کرد. ایزوترم، سینتیک و ترمودینامیک جهت تعیین عملکرد فرآیند جذب بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج مطالعه نشان داد که بهترین راندمان حذف آنیون‌ها در pH= ۵ به دست آمده است. با افزایش غلظت کلراید و سولفات از ۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، راندمان حذف به ترتیب از ۸۰/۰٦ به ۳۸/۲۲ و از۵۷/۸۲ به ۳۷/٦۹ درصد کاهش یافت. در خصوص کربنات و بی‌کربنات در غلظت‌های ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، راندمان حذف به ترتیب از ٦۱/۱۵ به ٤۱/۱۷ درصد و از ۷۹/٦٦ به ٤۹/۳٦ درصد کاهش یافت. درصد حذف یون کلراید با میزان جاذب بین mg/L ۱-۵، از ٦۲ به ۹۱ درصد افزایش یافت اما با این وجود، افزایش مقدار جاذب بعد از ٤ گرم بر لیتر تفاوت معناداری در حذف کلراید نداشت. راندمان حذف آنیون‌های کربنات، بی‌کربنات و سولفات در ازای افزایش دوز جاذب از mg/L ۱-۵، روندی افزایشی داشته که به ترتیب ۵٦ به ۹۳، ۵۲ به ۹٦ و ۵۳ به ۸۰ درصد بود. فرآیند جذب از مدل لانگمویر تبعیت نموده و جذب آنیون‌ها سطحی می‌باشد. همچنین مدل جذب از مدل سینتیک شبه درجه دوم تبعیت کرده و با افزایش دما، راندمان حذف کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه نشان داد که جاذب کیتوزان گرانوله مغناطیسی بی متالیک قادر به حذف مناسب آنیون‌های مزاحم از منابع آبی می‌باشد.

کلمات کلیدی: جذب، نانوکامپوزیت کیتوزان مغناطیسی-متالیک، آنیون‌های مزاحم، منابع آبی

* **نویسنده مسئول:** گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران- مرکز تحقیقات بهداشت، ایمنی و محیط، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران
ایمیل: dr.noorisepehr@gmail.com- تلفن تماس: ۳۴۶۴۳۹۲۲ -۰۲۶

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]

مقدمه

آب یک عنصر اساسی برای بقای انسان و سایر موجودات بوده و دسترسی به آن (مقدار کافی، سالم و در دسترس) برای همه انسان‌ها امری ضروری است اما با ازدیاد روزافزون جمعیت انسان و پیشرفت‌های انجام شده در صنعت و اقتصاد، شاهد افزایش آلودگی آب‌های آشامیدنی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه هستیم. بخشی از آلاینده‌های آبی را آنیون‌ها تشکیل می‌دهند که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به سولفات، کلراید، کربنات و بی‌کربنات اشاره کرد. برای حذف آنیون‌های مزاحم در محیط‌های آبی روش‌های متعددی پیشنهاد شده، اما با پیشرفت تکنولوژی نانو در دو دهه اخیر جاذب‌های نانو به دلیل تخلخل زیاد، اندازه کوچک و سطح فعال گسترده، مورد توجه اکثر محققان قرار گرفته‌اند[1]. از این رو جاذب‌های نانو به دلیل تنوع بالا، عملکرد آسان، راندمان بالا و هزینه کمتر جایگزین مناسبی برای روش‌های گذشته خواهند بود[2].

از جمله جاذب‌های نانو پرکاربرد می‌توان کیتوزان را نام برد که نه تنها به دلیل مشخصات فیزیکی مطلوب (عدم سمیت، سازگار با بافت‌های زنده، قابل تجزیه بیولوژیکی و قیمت ارزان) بلکه به سبب پتانسیل جذب فراوان آن شناخته می‌شود.[3و4] اما گفتنی است با وجود مزیت‌های فراوان نانو جاذب مورد اشاره، جداسازی آن با استفاده از روش‌های فیلتراسیون و سانتریفوژ عموماً مشکل بوده که برای رفع این عیب از یک ذره نانو به عنوان هسته مغناطیسی فلزی استفاده می‌شود و کیتوزان به صورت یک پوشش پلیمری اطراف این هسته را احاطه می‌کند و جداسازی جاذب به وسیله یک میدان مغناطیسی خارجی را مقدور می‌سازد.[5و6]

اما علاوه بر نوع جاذب مورد استفاده در فرآیند حذف آلاینده‌ها، فاکتورهای مهم دیگری نظیر زمان تماس، pH، دما و سرعت اختلاط نیز تأثیرگذار هستند که محققان در مطالعات خود بخشی از موارد ذکر شده را مورد تحقیق قرار داده‌اند. محمدجواد میرزایی و همکاران در مطالعه‌ای روی جذب یون‌های کلسیم، منیزیم، کلراید و بی‌کربنات از محلول آب شور توسط پوسته بادام به عنوان یک جاذب آلی و بنتونیت به عنوان یک جاذب معدنی در حالات معمولی، اصلاح شده اسیدی و اصلاح شده دریافتند که بیشترین جذب کلسیم (۷٫۸ درصد)، کلرور (۹٫۸ درصد) و بی‌کربنات (۹٫٦٦درصد) توسط پوسته بادام به ترتیب در حالات بازی، معمولی و اصلاح شده اسیدی و بیشترین جذب یون منیزیم (۲۹درصد) توسط بنتونیت معمولی از آب شور حاصل شد.[7] صادقی و همکاران به بررسی کارایی کامپوزیت نانو ذرات مغناطیسی آهن-زیرکونیوم/کیتوزان جهت حذف کروم شش ظرفیتی از محیط‌های آبی پرداختند که نتایج این تحقیق نشان داد که بالاترین راندمان حذف فلز سنگین کروم در pH برابر با ٤ و عددی معادل با ۹۹٫۵۲ درصد بوده است.[8] علاوه بر آن می‌توان به مطالعه حسن‌پور و همکاران اشاره کرد که در پژوهش خود به بررسی کارایی کیتوزان نانو مغناطیسی شده در حذف نیترات از محلول‌های آبی پرداختند و نتایج نشان داد که کیتوزان نانو مغناطیسی پس از تماس با محلول آبی محتوی نیترات قادر به جذب نیترات می‌باشد. شرایط بهینه جذب نیترات در pH برابر با ۷، جاذب ٦ گرم در لیتر و غلظت اولیه آنیون ۱۱۱ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد که عددی معادل با ۸۵٫۱٦ درصد گزارش شده است.[9] با این حال علی‌رغم تلاش‌های محققان در زمینه اندازه‌گیری پتانسیل کیتوزان در جذب آلاینده‌های آلی و غیر آلی، مطالعات روی حذف آنیون-های مزاحم به صورت محدودی انجام گرفته و از این رو هدف این تحقیق بررسی کارایی جذب نانوکامپوزیت کیتوزان مغناطیسی-متالیک گرانوله شده در حذف آنیون‌های مزاحم از محلول‌های آبی می‌باشد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]

مواد و روش‌ها

در مطالعه فوق روش محاسبه حجم نمونه بر مبنای روش یک فاکتور در زمان بوده که در آن متغیرها عبارت‌اند بودند از دما (۲۰، ۳۰ و ٤٠ درجه سانتی‌گراد)، pH (۸-۵)، غلظت جاذب (mg/L ۵-۱)، زمان تماس (۹۰-۰ دقیقه،۱۰ سطح)، غلظت آلاینده کربنات (mg/L ۱۵۰-۵۰، ۵ سطح)، غلظت آلاینده بی‌کربنات (mg/L ۱۵۰-۵۰، ۵ سطح)، غلظت آلاینده سولفات (mg/L ۳۰۰-۵۰، ۵ سطح)، غلظت آلاینده کلراید (mg/L ۳۰۰-۵۰، ۵ سطح) و غلظت یون‌های مداخله‌گر (mM ۱) که در دو فاز مورد بررسی قرار گرفتند.

هدف انجام مطالعه در فاز اول تعیین شرایط بهینه حذف آنیون‌های کربنات، بی‌کربنات، سولفات و کلراید بوده است. با توجه به اینکه نمونه‌های تهیه شده به صورت سنتتیک بوده و روش محاسبه حجم نمونه بر مبنای روش یک فاکتور در زمان می‌باشند، ابتدا سطوح مختلف یک متغیر را در نظر گرفته و بقیه متغیرها در مقدار مشخصی (معمولاً حد وسط محدوده تغییرات) ثابت نگه داشته شده و راندمان حذف آلاینده محاسبه گردیده و عملیات مذکور برای دیگر متغیرها نیز تکرار شده است.

پس از تعیین شرایط بهینه سطوح متغیرهای مختلف در حذف آنیون‌های کربنات، بی‌کربنات، سولفات و کلراید توسط جاذب نانوکامپوزیت کیتوزان مغناطیسی-متالیک در فاز دوم آزمایشات زمان تماس بهینه و نقطه تعادل جذب این آنیون‌ها مشخص گردید. همچنین تأثیر سایر یون‌های مداخله‌گر بر عملکرد فرآیند جذب آنیون‌های مذکور توسط جاذب نانوکامپوزیت کیتوزان مغناطیسی-متالیک (در شرایط بهینه) نیز مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت.

جهت سنتز نانو کامپوزیت کیتوزان گرانوله مغناطیسی شده بی متالیک ابتدا ۱ میلی‌لیتر محلول اسید کلریدریک ۲ مولار حاوی $FeCl_2$ را با ٤ میلی‌لیتر محلول اسید کلریدریک ۲ مولار حاوی $FeCl_3$ در یک ارلن ریخته و روی همزن مغناطیسی قرار داده شد.[۱۰] سپس آمونیاک را به صورت قطره قطره به محلول فوق افزوده تا به رنگ مشکی درآید. پس از آن ارلن را روی مگنت قرار داده تا ذرات نانو مگنت ته‌نشین شوند. در این مرحله ذرات ته‌نشین شده سه مرتبه با متانول شستشو داده شده و در نهایت با۵۰ میلی‌لیتر متانول دیسپرس شدند و سپس به محلول کیتوزان و اسید استیک ٤ درصد افزوده شده و به مدت سه ساعت روی شیکر قرار گرفتند.[۱۲و۱۱] در مرحله بعدی محلول نانو مگنت کیتوزان را به وسیله سرنگ به داخل محلول سود تزریق کرده تا گرانول‌های ریز تشکیل شدند و به همراه محلول گلوتار آلدیید به مدت ۲٤ ساعت روی دستگاه شیکر قرار داده شد. پس از ۲٤ ساعت گرانول‌ها را چندین با آب مقطر شسته و pH آن را اندازه‌گیری کرده تا به حدود ٦ الی ۷ برسد و این بار در محلول $AlCl_3$ به مدت ۲٤ ساعت روی شیکر قرار داده شدند و در نهایت چندین مرتبه با آب مقطر شست‌وشو داده شده و در یخچال نگهداری شدند.

لازم به اشاره است که برای سنجش غلظت آنیون‌های سولفات و کلراید به ترتیب از روش‌های اسپکتروفتومتری با طول موج ٤۲۰ نانومتر (HACH-DR5000) و روش آرژانتومتری و همچنین به منظور اندازه‌گیری غلظت کربنات و بی‌کربنات از روش تیتراسیون استفاده شد.[۱۳]

برای آنالیز داده‌های به دست آمده از روش‌های آزمون آماری مشخص بهره گرفته شد. تعداد تکرار نمونه‌ها ۳ مرتبه (بر مبنای نتایج به دست آمده) بود و برای مطالعه رفتار و نوع فرآیند جذب از ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیچ و تمکین استفاده شد. علاوه بر آن از روابط سینتیکی شبه درجه اول و درجه دوم جهت محاسبه سینتیک واکنش جذب و برای مطالعه رفتار جاذب در دماهای مختلف از روابط ترمودینامیک بهره گرفته شد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]

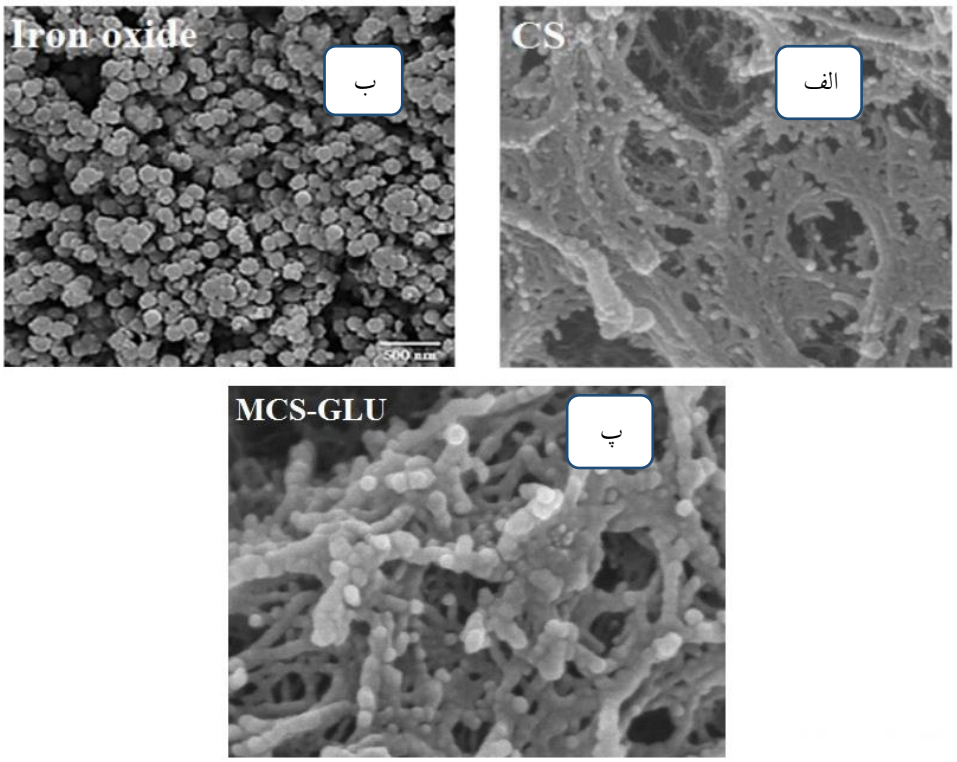
یافته‌ها

تعیین ویژگی‌های جاذب

با توجه بـه آنـالیز SEM مربـوط بـه کیتـوزان، نـانو ذرات اکسید آهن و نـانو کامپوزیـت کیتـوزان مغناطیسـی شـده بـی متالیک مـی‌تـوان مشـاهده کـرد کـه نـانو کامپوزیـت کیتـوزان مغناطیسی شده بی متالیک دارای سـاختاری مـابین کیتـوزان و نانو ذرات اکسید آهن بوده و به شکل متخلخل، نامنظم و دانه-ای تبدیل شده که همین امر سبب افـزایش قـدرت جـذب آن شده است (شکل ۱).

از طرف دیگر مقایسه نتایج XRD مربوط به سه ماده فـوق و بررسی پیک ۲۰,۲° متنـاظر بـا کیتـوزان، پیـک‌هـای ۳۰,۱°، ۳۵,۵°، ۴۳,۳°، ۵۳,۴° و ۶۲,۵° متناظر با ذرات اکسید آهـن و پیک ۵۵,۲۸° متناظر با آلومینیوم می‌تواند تأییدی بـر موفقیـت-آمیز بودن سنتز نانوکامپوزیـت کیتـوزان مغناطیسـی شـده بـی متالیک باشد (شکل ۲).

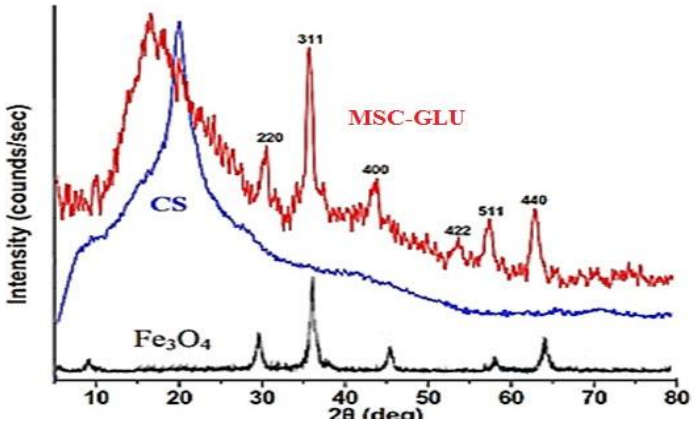
آنالیز FTIR کیتوزان و نانو کامپوزیت کیتـوزان مغناطیسـی شده بی متالیک نیز در شکل ۳ قابل مشاهده است. همـان‌طـور که مشاهده می‌شود پیک‌های Cm^{-1} ۳۴۶۸ (مربوط به ارتعـاش کششی O-H و N-H)، ۱۶۲۷ (باند C=O)، ۱۵۰۱ (باند N-H)، ۲۹۲۲ (باند C-H)، ۱۲۱۷ (باند C-N) و ۱۰۹۶ (بانـد O-H) در نتایج هر دو ماده مورد بحث قابل مشاهده بوده و علاوه بـر آن پیک جدیدی در Cm^{-1} ۵۷۰ شکل گرفته کـه متنـاظر بـا پیونـد Fe-O بوده و نشانگر سنتز موفقیـت‌آمیـز نـانو ذرات Fe_3O_4 و تثبیت آن در ساختار کیتوزان اسـت. گفتنـی اسـت ایـن نتـایج کاملاً با داده‌های بـه دسـت آمـده از آزمـایش XRD مطابقـت دارد.[۱۴و۱۵]



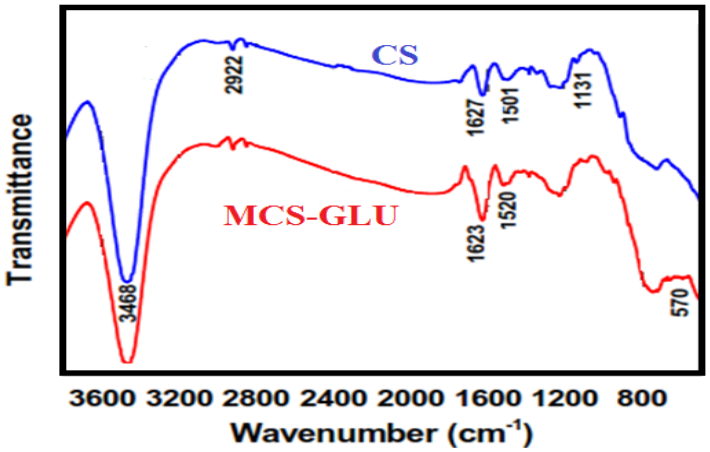
شکل ۱: آنالیز SEM الف)کیتوزان، ب) اکسید آهن و ج) کیتوزان مغناطیسی شده

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]



شکل ۲: پراش اشعه ایکس برای کیتوزان و کیتوزان مغناطیسی شده در محدوده زاویه ۵تا۸۰° =2θ با استفاده از تابش Cu kα در دمای ۲۵°C



شکل ۳: آنالیز FTIR نمونه های مورد مطالعه

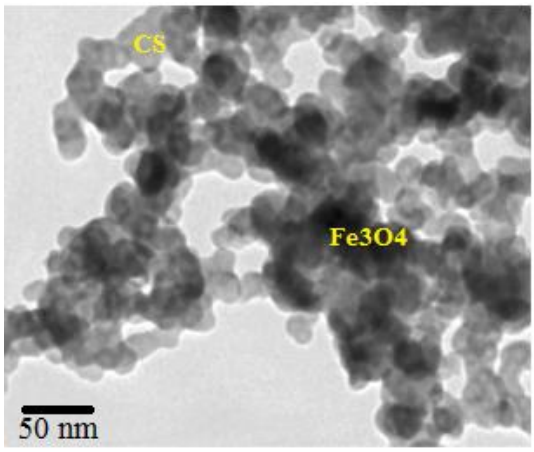
در نهایت با بررسی شکل ٤ که نتایج آزمایش TEM مربوط به نانو کامپوزیت کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک را نشان می‌دهد می‌توان به وضوح ساختار هسته-پوسته جاذب سنتز شده با قطر ٦٠ الی ٨٠ نانومتر را مشاهده کرد. همچنین از دیگر نکات قابل بحث ساختار در هم پیچیده و نامنظم جاذب مذکور و فاصله بسیار کم بین نانو ذرات تشکیل دهنده آن است که این موضوع می‌تواند کمک شایانی به افزایش میزان جذب آن کند.

تأثیر pH بر فرآیند جذب

تغییرات pH نقش مهمی را در کل فرآیند و ظرفیت جذب ناشی از تأثیر آن بر روی بار سطحی جاذب، درجه یونیزاسیون مواد موجود در محلول، تفکیک گروه‌های عاملی موجود در مکان‌های فعال و همچنین شیمی محلول دارد و از همین رو در شکل ۵ مشاهده می‌شود که با افزایش pH راندمان حذف آلاینده‌ها کاهش یافته است.[۱۶و۱۷] از طرف دیگر مطالعات نشان داده‌اند که کاهش و افزایش راندمان حذف آلاینده‌ها در pHهای اسیدی و قلیایی را می‌توان به دو پارامتر pH نقطه صفر یا پیزومتریک جاذب (pHPZC) و ثابت تجزیه اسیدی (pKa) نسبت داد.[۱۸]

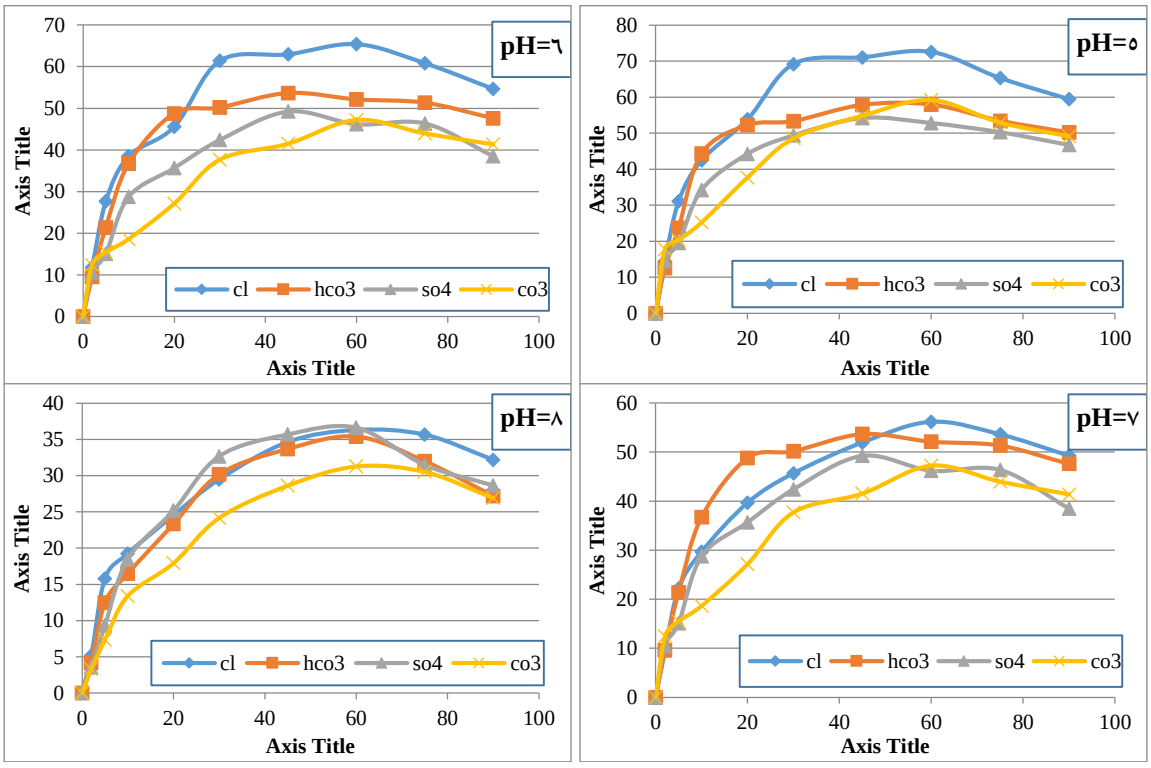
[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]



شکل ٤: اندازه و شکل نانو ذرات فلزی Fe_3O_4 نشانده شده روی کیتوزان به وسیله میکروسکوپ (TEM) در ١٠٠KeV

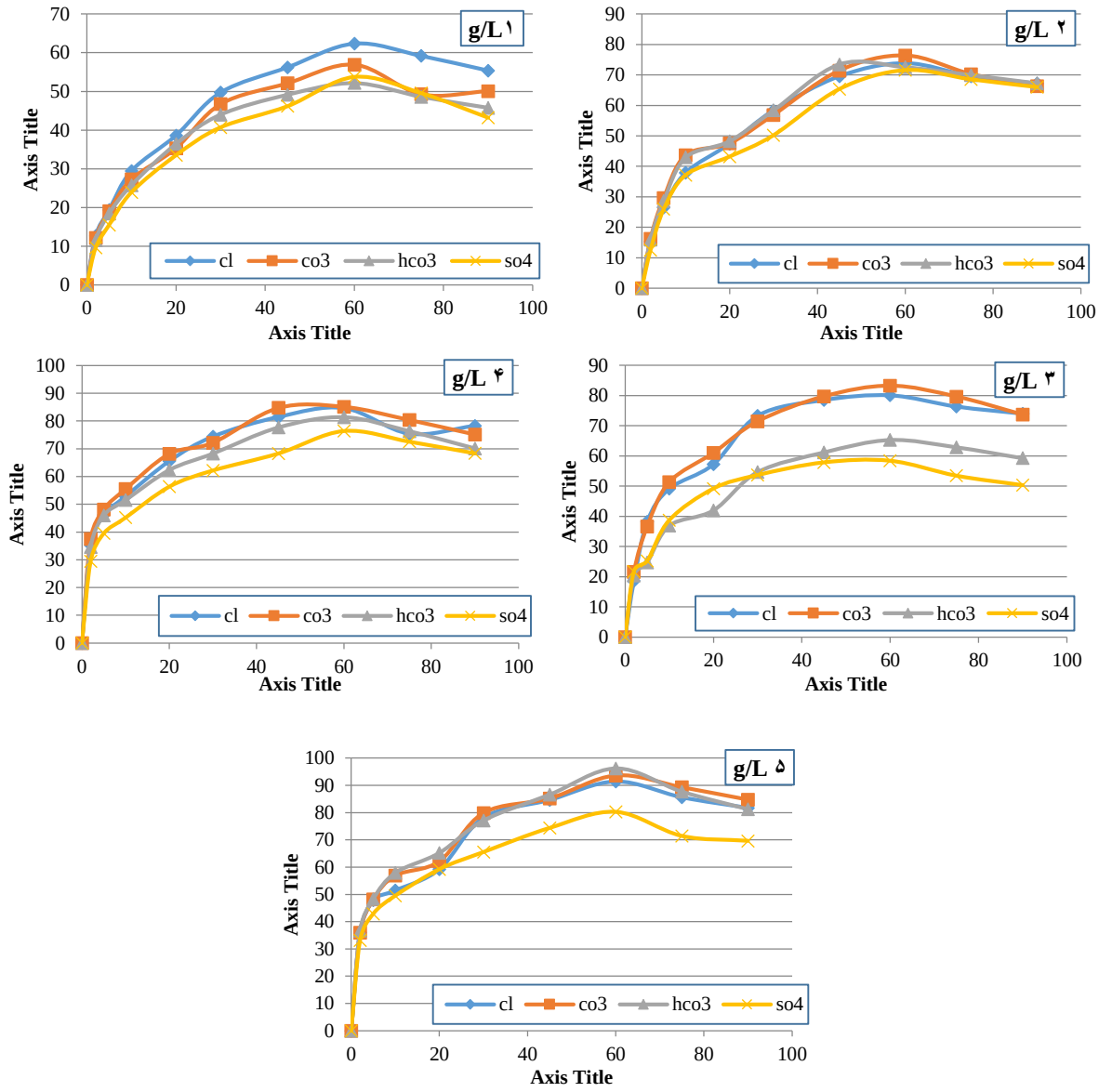
در مطالعه حاضر بیشترین جذب در pH برابر با ٦ (اسیدی) صورت گرفته و با کاهش pH کارایی فرآیند جذب سطحی (به دلیل افزایش یون H^+ در روی سطح جاذب که در محیط‌های اسیدی اتفاق می‌افتد، افزایش می‌یابد چرا که سطح جاذب توسط یون‌های H^+ بمباران شده و سطحی مناسب جهت جذب یون‌های با بار منفی ایجاد می‌کند. از طرف دیگر کاهش حذف آنیون‌های مزاحم در محیط‌های قلیایی می‌تواند ناشی از شباهت شعاع اتمی و بار یون‌های آنیون‌ها و یون‌های هیدروکسید و درنتیجه رقابت آن‌ها در جذب بر سطح جاذب باشد.



شکل ٥: تأثیر متغیر pH بر راندمان حذف آنیون‌های مزاحم توسط نانو کامپوزیت کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]



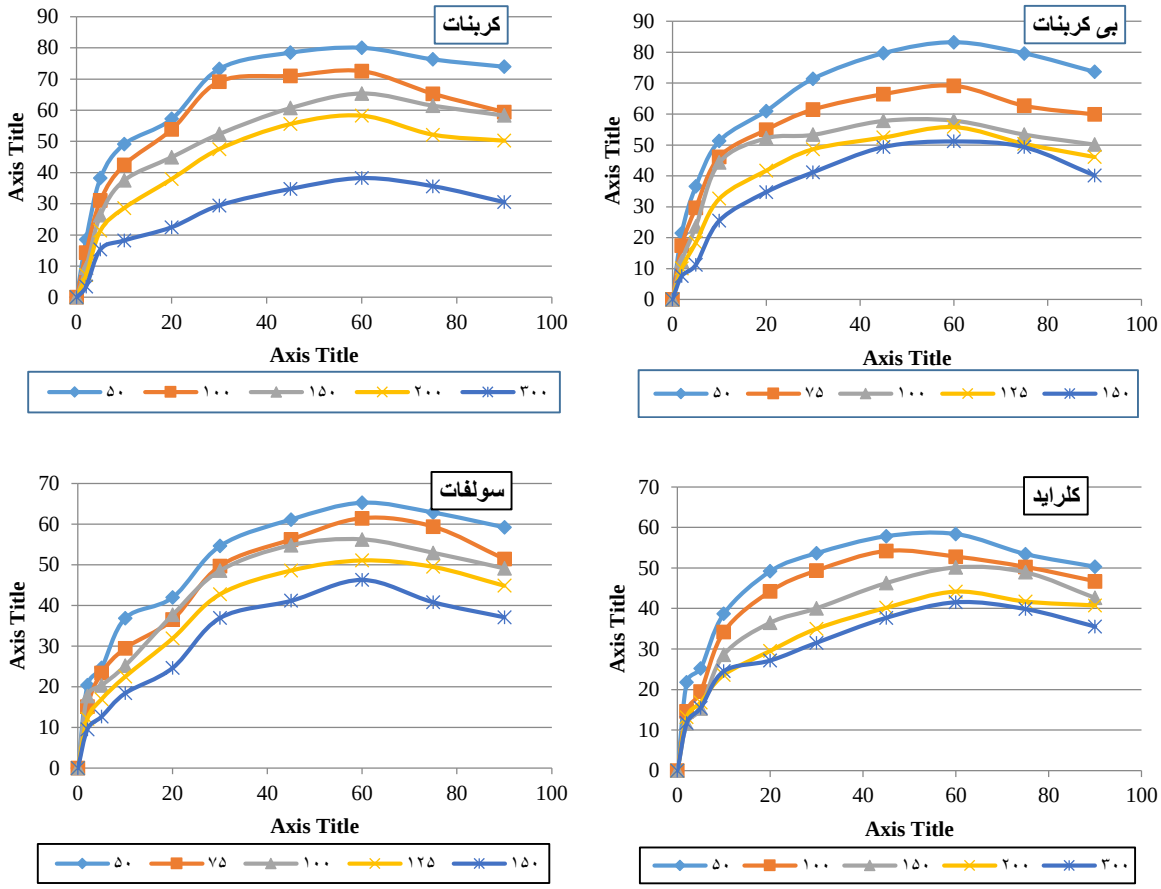
شکل ۶: تأثیر متغیر غلظت جاذب نانو کامپوزیت کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک بر راندمان حذف آنیونهای مزاحم

تأثیر غلظت جاذب

شکل ٦ تأثیر دوز جاذب بر راندمان حذف آنیون‌های مزاحم توسط نانو کامپوزیت کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد افزایش غلظت جاذب از ۱ به ۵ گرم بر لیتر سبب افزایش راندمان حذف آلاینده شده که دلیل آن را می‌توان افزایش مساحت سطحی فعال و مؤثر در جذب و وجود تعداد بیشتری سایت در دسترس یون‌های آلاینده دانست. البته ناگفته نماند که افزایش درصد حذف آلاینده با افزایش دوز اولیه جاذب از ۳ تا ۵ گرم بر لیتر ناچیز بوده و به دلایل اقتصادی مقدار ۳ گرم بر لیتر کیتوزان به عنوان مقدار بهینه انتخاب شد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]



شکل ۷: تأثیر متغیر دوز جاذب نانو کامپوزیت کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک بر راندمان حذف آنیونهای مزاحم

تأثیر غلظت آلاینده

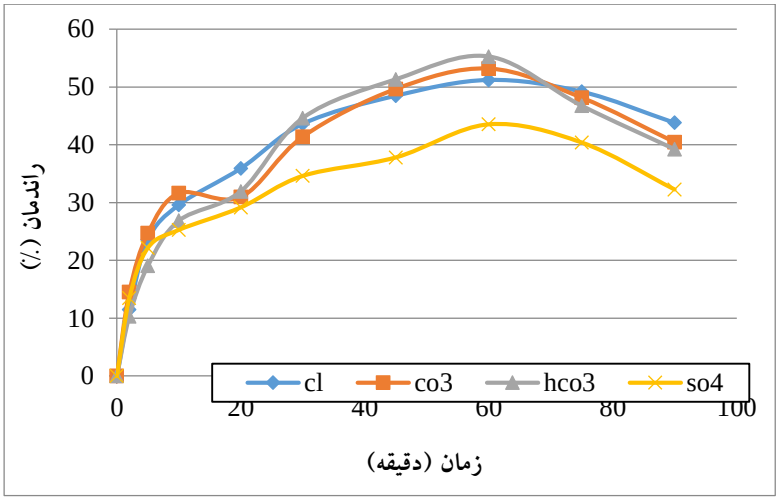
در شکل ۷ می‌توان نتایج تأثیر تغییر غلظت اولیه آنیون‌ها بر راندمان حذف آلاینده‌ها توسط جاذب نانو کامپوزیت کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک را مشاهده کرد. در شکل مورد اشاره به وضوح می‌توان ملاحظه کرد که با افزایش دوز کربنات و بی‌کربنات از ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و افزایش غلظت سولفات و کلراید از ۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، به دلیل رقابت بیشتر و اشغال شدن سریع‌تر سایت‌های جذب مقدار آنیون‌های جذب شده کاهش یافته است. از همین رو غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به عنوان دوز بهینه انتخاب شد.

تأثیر یون‌های مداخله‌گر

در شکل ۸ تأثیر یون‌های مداخله‌گر نیترات و فسفات با غلظت ۱,۵ میلی مولار بر حذف آنیون‌های مزاحم توسط نانو کامپوزیت کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد حضور هم‌زمان یون‌های مداخله‌گر نیترات و فسفات به دلیل ایجاد رقابت بین آنیون-های مذکور و آنیون‌های مزاحم کلراید، کربنات، بی‌کربنات و سولفات برای ایجاد پیوند با کاتیون‌های روی سطح جاذب سبب کاهش نرخ جذب شده و اثری کاهشی بر راندمان حذف آنیون‌های مزاحم خواهد داشت.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]



شکل ۸: تأثیر حضور یون‌های مداخله‌گر بر راندمان حذف آنیون‌های مزاحم توسط نانو کامپوزیت کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک

بحث

تأثیر pH

تغییرات pH نقش مهمی را در کل فرایند و ظرفیت جذب ناشی از تاثیر آن بر روی بار سطحی جاذب، درجه یونیزاسیون مواد موجود در محلول، تفکیک گروه‌های عاملی موجود در مکان‌های فعال و همچنین شیمی محلول دارد[۱۵و۱۶]. pH می‌تواند تاثیر زیادی را در حذف مواد آلی و غیر آلی از محلول‌های آبی ایفا نماید[۱۸]. بنابراین pH میزان یونیزاسیون مولکول بتالاکتام را تعیین می‌کند، در نتیجه بر میل بتالاکتام‌ها به جذب بر روی جاذب‌ها موثر است. در کل همانطور که گفته شد شدت جذب به شدت وابسته به pH فاز آبی است و این وابستگی مربوط به نوعی از مدل جذب خنثی و بی طرف برای همه جاذب‌ها و مواد جذب شونده است[۱۹]. pH محلول وضعیت موجود آنالیت‌ها را تعیین می‌کند و آنالیت‌ها می‌توانند تنها در فرم مولکول جذب شوند، بنابراین pH محلول راندمان استخراج آنالیت هدف را تعیین می‌کند[۲۰]. مطالعات نشان داده است که کاهش و افزایش راندمان حذف آلاینده ها در pH های اسیدی و قلیایی را می‌توان به دو پارامتر pH نقطه صفر یا پیزومتریک جاذب (PHPZC) و ثابت تجزیه اسیدی (pKa) نسبت داد[۱۷].

pH نقطه صفر یکی از مهمترین پارامترهایی است که در فرآیندهای جذب مورد استفاده قرار می‌گیرد. pHPZC نشان دهنده نقطه‌ای است که در آن بار در سطح ماده جاذب صفر می باشد و در pH های بالاتر از آن، سطح جاذب دارای بار منفی بوده و در پایین تر از آن، سطح جاذب دارای بار مثبت می‌باشد. pH نقطه صفر سطح جاذب در واقع تعداد مساوی از سایت‌هایی با بار منفی و بار مثبت بروی سطح جاذب است [۲۱]. همچنین مقدار pHPZC جاذب نقش مهمی در تعیین خواص سطحی جاذب دارد[۲۲]. در مطالعه حاضر با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات انجام شده بهترین جذب در pH=٦ (اسیدی) صورت گرفت.

با کاهش pH کارایی فرایند جذب سطحی (که به دلیل افزایش یون H^+ بر روی سطح جاذب که در محیط‌های اسیدی اتفاق می‌افتد) افزایش می‌یابد. دلیل این امر به خاطر ساختار شیمیایی جاذب و جذب شونده مورد مطالعه است. در محلول‌های آبی سطح جاذب دارای یون‌های Al_3^+ خواهد بود

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]

از طرفی دیگر در نتیجه حضور آنیونها در محیط‌های آبی گروه عاملی منفی تولید می‌شود و جذب با استفاده از باند شدن گروه‌های منفی و Al_3^+ صورت خواهد گرفت. در محیط‌های اسیدی و در حضور یون $H+$ گروه‌های Al_3^+ در سطح جاذب با گرفتن پروتون از هیدروژن ($H+$) تبدیل به گونه‌های آلومینیوم (Al_3^+) خواهند شد که این امر باعث افزایش یون-های منفی چسبیده شده جذب شونده بر روی سطح جاذب خواهد شد[۲۳]. پس زمانی که pH محیط اسیدی می‌باشد، سطح جاذب توسط یون‌های $H+$ بمباران می‌شود. پس این نوع سطح برای جذب یون‌های دارای بار منفی بسیار مناسب می‌باشد[۲۴]. دلیل دیگر مدعی بر این موضوع این است که سطح جاذب در pHهایی بالاتر از pH نقطه صفر، بار منفی داشته و گروه‌های عاملی منفی از سطح جاذب دفع می‌شوند. در مقابل در pH هایی کمتر از pH نقطه صفر بار مثبت داشته و باعث جذب این یون‌ها می‌شود.از طرفی کاهش حذف آنیون های مزاحم در محیط‌های قلیایی می‌تواند ناشی از شباهت شعاع اتمی و بار یون‌های آنیونها و یون‌های هیدروکسید و در نتیجه رقابت آن‌ها در جذب بر سطح جاذب باشد.

تأثیر غلظت جاذب

در این مطالعه با افزایش دز جاذب تا ۵ گرم در لیتر درصد حذف آلاینده ها افزایش یافت. افزایش درصد حذف از ۳ تا ۵ گرم بر لیتر ناچیز بود و به علت اقتصادی نبودن مصرف دو برابر گرم در لیتر جاذب، میزان ۳ گرم بر لیتر کیتوزان به عنوان مقدار بهینه انتخاب شد. علیرضا رحمانی و همکارانش در مطالعه‌ای بر روی حذف فنل از محلول‌های آبی با استفاده از پامیس اصلاح شده با مس نیز به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان جاذب، آلاینده در محیط مقادیر کمتری را نشان داد و راندمان حذف افزایش یافت؛ درواقع افزایش جذب آلاینده با افزایش مقدار جاذب، در نتیجه افزایش مساحت سطحی فعال و موثر در جذب بود[۲۵]. همانطور که گفته شد با افزایش دز جاذب، تعداد سایت‌های فعال جذب بر روی جاذب که می‌تواند در دسترس یون‌های آلاینده قرار گیرد و همچنین سطح لازم برای جذب آلاینده در آب افزایش یافت. افزایش دز جاذب، باعث کاهش غلظت آلاینده باقیمانده در محلول شد[۲۶]. دلیل دیگر مدعی بر این مطلب این است که با افزایش مقدار جاذب، سطح تماس ذرات جاذب نیز افزایش یافته و میزان بیشتری از آلاینده امکان نشستن بر سطح جاذب را داشته بنابراین راندمان حذف نیز افزایش خواهد یافت[۱۸]. در مطالعه حاضر درصد حذف یون کلرور با میزان جاذب بین 1-5 g/L، از ٦٢٪ به ٩١٪ افزایش یافت. با این حال، افزایش مقدار جاذب بعد از ٤ گرم بر لیتر، تفاوت معناداری در حذف کلرور نداشت. برای سایر آنیونهای مورد مطالعه نیز همین اتفاق مشاهده شد؛ به طوری که راندمان حذف آنیونهای کربنات، بی کربنات و سولفات در ازای افزایش دوز جاذب از 1 g/L به 5 g/L، روند افزایشی داشته که به ترتیب ٥٦٪ به ٩٣٪، ٥٢٪ به ٩٦٪ و ٥٣٪ به ٨٠٪ بود. همبستگی مثبت بین دوز جاذب و حذف آنیونها می‌تواند مربوط به افزایش در سطح جاذب و در دسترس بودن بیشتر سایت‌های فعال در جاذب باشد. بنابراین نرخ جذب تابعی از غلظت اولیه جاذب است که یک عامل مهم برای جذب موثر در نظر گرفته می‌شود[۲۲].

تأثیر غلظت آلاینده

غلظت اولیه آلاینده نیروی پیشبردی مهمی برای غلبه بر مقاومت انتقال جرم بین فاز آبی و فاز جامد فراهم می‌کند[۱۷]. در مطالعه حاضر با افزایش غلظت کلرور از 50 mg/L به 300 mg/L، راندمان حذف از ٨٠,٠٦٪ به ٣٨,٢٢٪ کاهش یافت. این روند برای سایر آنیونهای مورد مطالعه نیز وجود داشته، به طوری که در غلظتهای مشابه، برای سولفات از ٥٧,٨٢٪ به ٣٧,٦٩٪ کاهش یافت. در خصوص کربنات و بی کربنات نیز، در غلظت های 50-150 mg/L، راندمان حذف به

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]

ترتیب از ٦١,١٥٪ بـه ٤١,١٧٪ و ٧٩,٦٦٪ بـه ٤٩,٣٦٪ کـاهش یافت. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمـده در ایـن مطالعـه، غلظت بهینه آنیونها میزان 50 mg/L بدسـت آمـد. بـا افـزایش غلظت اولیه آلاینده، تعداد مکان¬های فعـال جـذب بـر روی سطح جاذب و کارایی حذف کـاهش مـی¬یابـد [٢٦و٢٧]. عـلاوه براین با توجه به یکسان بودن سایر پارامترها، کـاهش رانـدمان در مقابل افزایش غلظت را می-توان بدین صورت توجیه کـرد که نظر به اینکه در تمامی غلظت¬ها، سایر پارامترهـای مـورد نظر یکسان می-باشند، بنابراین راندمان حذف در غلظت¬های کمتر، بیشتر خواهد بود. همانطور که گفتـه شـد محـل¬هـای جذب بر روی سطح جاذب در لحظات اولیه به سرعت توسط آلاینده اشغال می¬شود. به همـین دلیـل از ایـن پـس جـذب آلاینده در داخل منافذ جاذب صـورت مـی¬گیـرد و سـرعت جذب نیز کاهش می¬یابد[٢٦]. میرزایـی و همکـاران در مطالعـه خود نشان دادنـد کـه در pH هـای اسـیدی، رانـدمان حـذف کاتیونهای فلزی کاهش می یابد که به دلیل افزایش بـار مثبـت بر روی سطح جاذب بـوده و عمـلا بـار مثبـت را بـر اطـراف جاذب افزایش می دهد که در نتیجـه موجـب کـاهش جـذب شیمیایی و تشکیل پیوند یونی میان جـاذب و آلاینـده گردیـده اسـت[٧]. خـدادادی و همکـاران در مطالعـه بررسـی کـارایی کامپوزیت نـانو ذرات مغناطیسـی آهـن-زیرکونیوم/کیتـوزان ، جهت حذف کروم شش ظرفیتـی از محـیط هـای آبـی نشـان دادند که با کاهش pH محیط تا ٤، راندمان حذف کروم نیز تـا میزان ٩٩٪ افزایش می یابد[٨].

تأثیر یون‌های مداخله‌گر

حضور همزمان نیتـرات و فسـفات تـأثیر زیـادی بـر روی حذف آنیونهای مزاحم داشت. نیترات و فسفات در محلول بـه رقیب در فرآیند جذب عمل مـی‌کننـد. دلیـل تـأثیر نیتـرات و فسفات در نرخ جذب ممکن است خواص تبادل یونی جاذب نیز باشد. جاذب حاوی کاتیون Al+3 در سـایت تبـادل خـود می‌باشد و محلول نیز حاوی آنیون‌های نیترات و فسفات است. به دلیل پیوند آنیونهای نیترات و فسفات با کاتیون روی سـطح جاذب، و به دلیل کشیده شـدن نیروهـا از سـمت محلـول بـه سمت جاذب هـیچ فرصـتی بـرای انتشـار در محلـول وجـود نداشت. بنابراین، جاذب کیتوزان، آنیون های نیترات و فسفات را به جای آنیونهای کربنات، بـی کربنـات، سـولفات و کلـرور برای جذب بر روی لایه خود ترجیح داد و باعـث کـاهش در نرخ جذب شد.

ایزوترم جذب

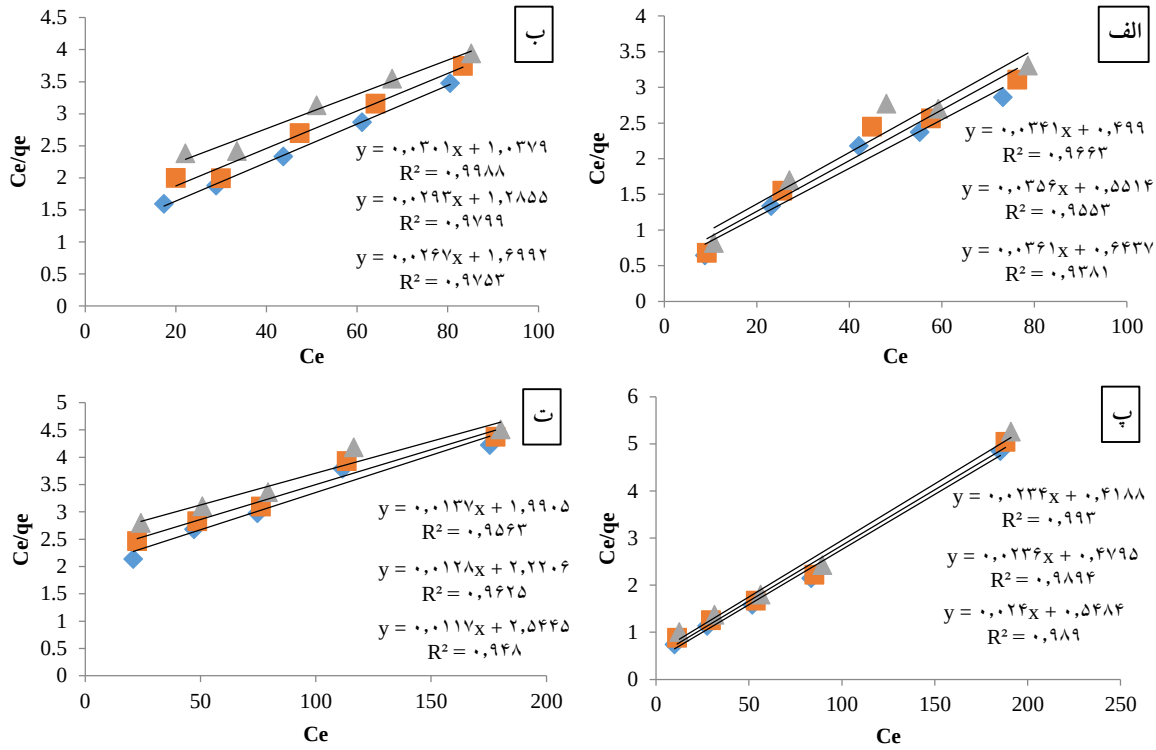
ایزوترم یک فاکتور تأثیرگذار در طراحی سیستم‌های جذب بوده و چگونگی فعـل و انفعـال بـین جـاذب و جسـم جـذب شونده را تشریح می‌کنـد. از ایـن رو ایزوتـرم در بهینـه‌سـازی مصرف یک جاذب و تعیین میزان ظرفیت یـک جـاذب نقـش بسیار مهمی دارند[١٩]. گفتنی است مطابق نمودارهای ارائه شـده در شکل ٩ و ١٠ مشخص است که ضریب رگرسیون ایزوتـرم لانگمویر به عدد ١ نزدیک‌تر بوده و در نتیجه ایزوتـرم جـذب آنیون‌های مزاحم از مدل لانگمویر تبعیت می‌کند.

سینتیک جذب

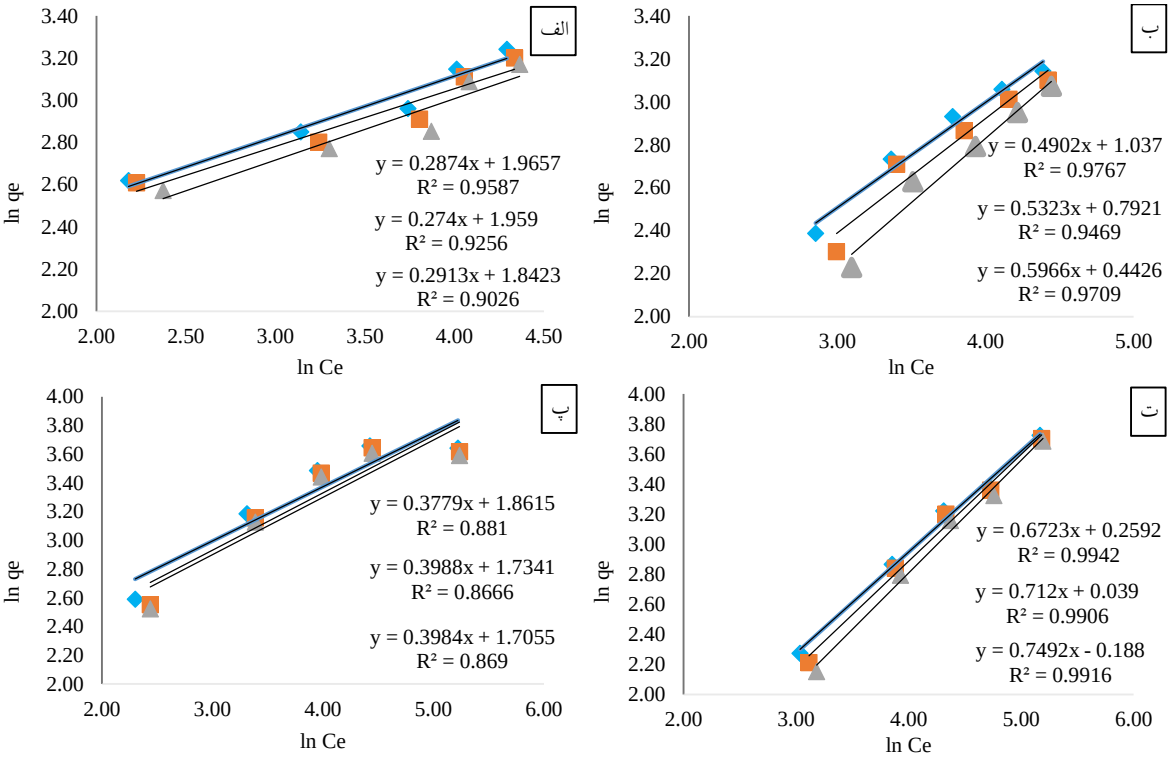
سینتیک جذب، پارامتر مهمی در طراحی سیستم‌های جذب بوده و برای انتخاب شرایط بهره‌برداری در مقیاس‌هـای واقعـی لازم می‌باشد. نتایج مطالعه بررسی سینتیک جـذب آنیـون‌هـای مزاحم بر روی کیتوزان گرانوله مغناطیسی بی متالیک در شکل ١١ و ١٢ نشان داده شده است. مطابق نمودارهای ارائـه شـده، مشخص می‌گردد که فرآیند جذب آنیون‌های مـزاحم کلرایـد، بی‌کربنات، کربنات و سولفات از مدل سینتیکی شبه درجه دوم تبعیت می‌کند.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]



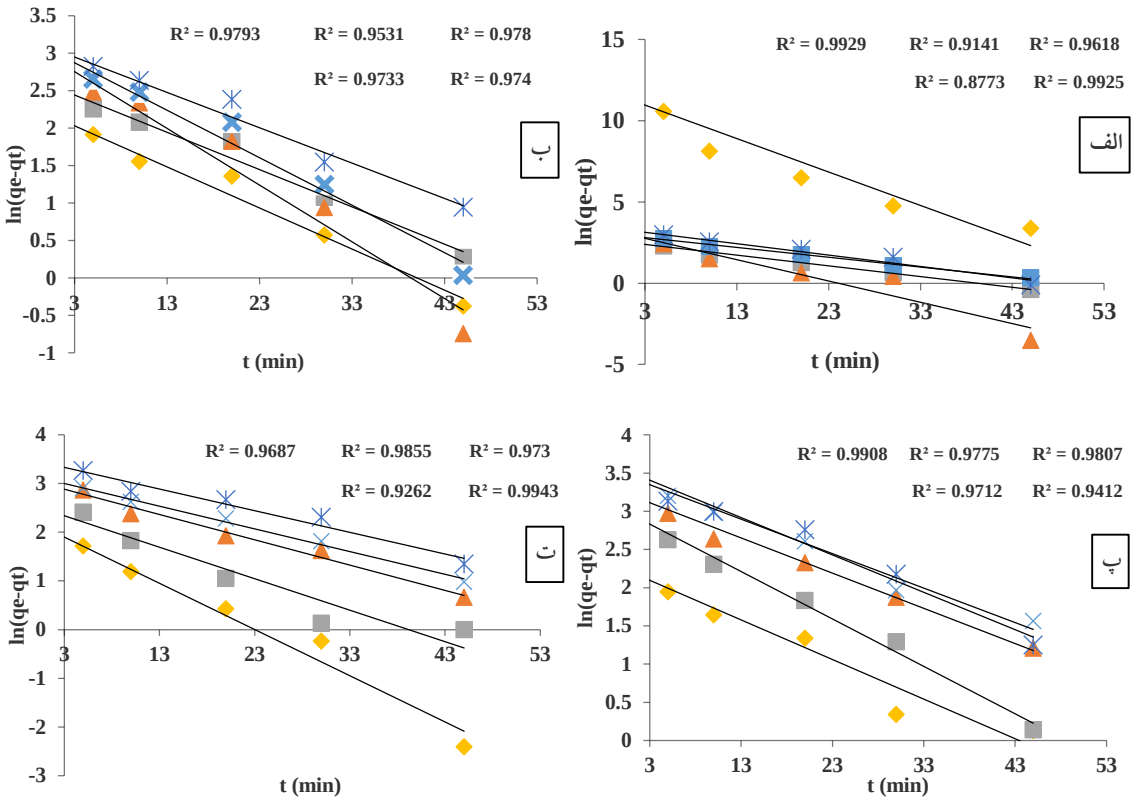
شکل ۹: ایزوترم لانگمویر جذب آنیون‌های الف) بی‌کربنات، ب) کربنات، پ) کلراید ت) سولفات توسط جاذب کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک



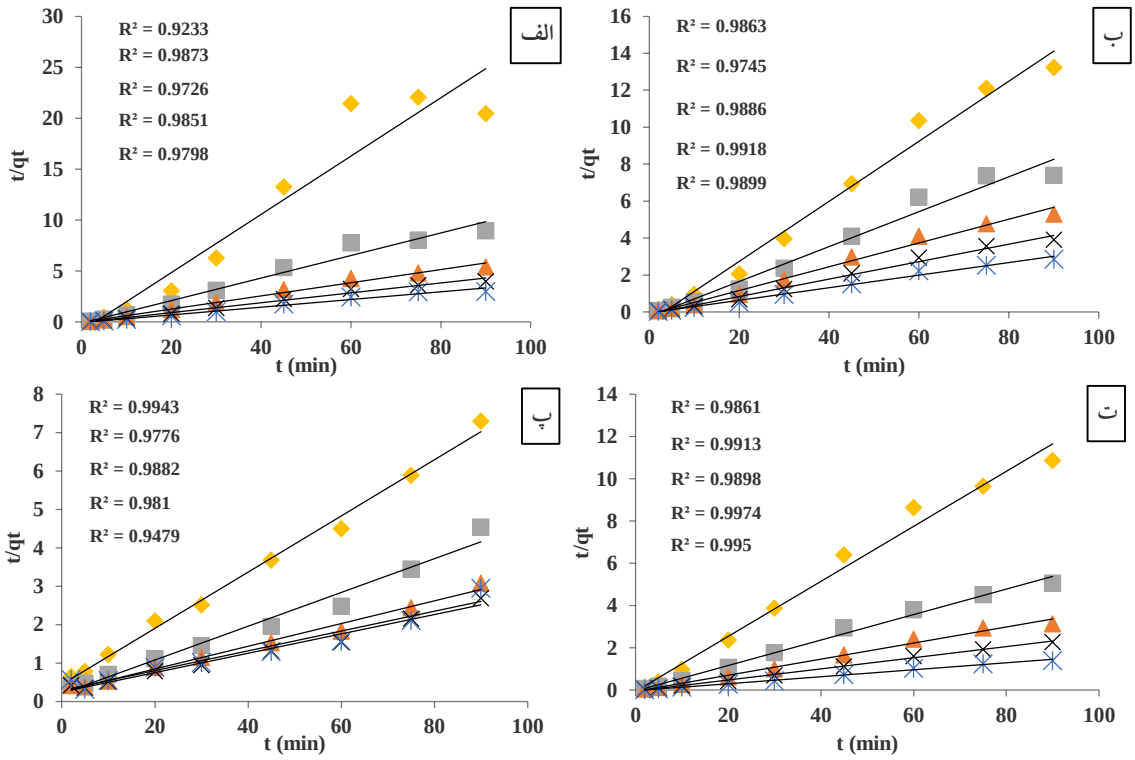
شکل ۱۰: ایزوترم فرندلیچ جذب آنیون‌های الف) بی‌کربنات، ب) کربنات، پ) کلراید ت) سولفات توسط جاذب کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]



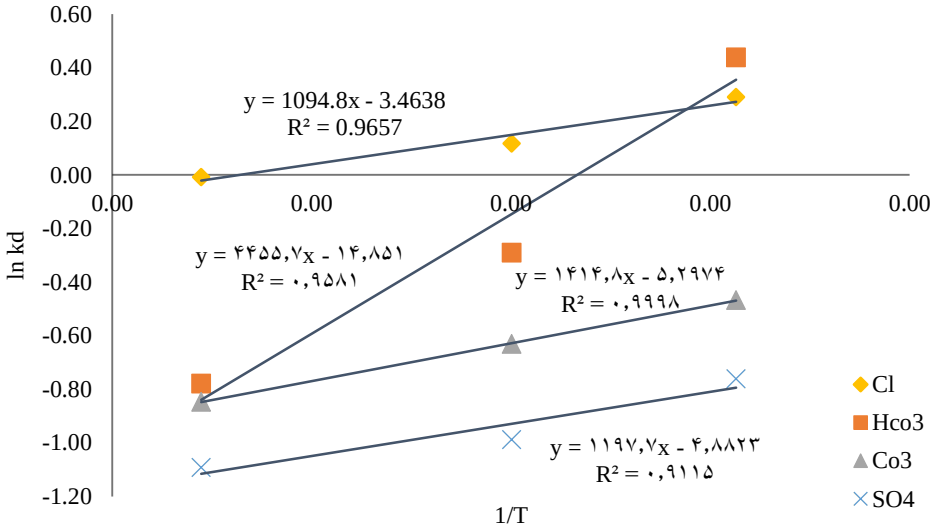
شکل ۱۱: مدل سینتیکی شبه درجه اول جذب آنیون‌های الف) بی‌کربنات، ب) کربنات، پ)کلراید ت) سولفات توسط جاذب کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک



شکل ۱۲: مدل سینتیکی شبه درجه دوم جذب آنیون‌های الف) بی‌کربنات، ب) کربنات، پ)کلراید ت) سولفات توسط جاذب کیتوزان مغناطیسی شده بی‌متالیک

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]



شکل ۱-۱۳: نمودار ترمودینامیک جذب آنیون‌های مزاحم (کلراید، سولفات، کربنات و بی‌کربنات) توسط جاذب کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک

ترمودینامیک جذب

مطالعه و تعیین پارامترهای ترمودینامیکی فرایند جذب آنیون‌های کلراید، بی‌کربنات، کربنات و سولفات توسط جاذب کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک نشان داد که ΔH_o دارای مقادیری مثبت بوده و این را بیان می‌کند که فرایند جذب دارای طبیعتی اندوترمیک (گرماگیر) بوده است. مقادیر مثبت ΔH_o همچنین نشان‌دهنده تشکیل پیوند شیمیایی قوی بین یون‌های کلراید، بی‌کربنات، کربنات و سولفات و سطح جاذب بوده و بنابراین مشخص می‌کند که فرآیند جذب یک فرآیند شیمیایی است (شکل ۱۳). همچنین مشاهده می‌شود که پارامتر دیگر ترمودینامیک یعنی ΔSo دارای مقادیری منفی بوده و این موضوع نشان‌دهنده کاهش تمایل جاذب برای ماده جذب شونده و کاهش راندمان با افزایش دما در فاز مشترک جامد و مایع در طول فرآیند جذب است.

اما مقادیر منفی به دست آمده برای انرژی آزاد گیبس (ΔGo) بیان می‌کند که واکنش جذب بر روی جاذب خودبه‌خودی است. مشاهده می‌شود که مقادیر lnkL با افزایش دما کاهش یافته و این روند بیانگر تمایل پایین جاذب به ماده جذب شونده در دماهای بالای محلول است.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر بررسی کارایی جاذب کیتوزان مغناطیسی بی متالیک در حذف آنیونهای کلرور، بی کربنات، کربنات و سولفات از محلولهای آبی مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه یک روش ساده و موثر برای حذف آنیونهای مزاحم در محلول‌های آبی را گزارش کرد که ممکن است برای بهبود کیفیت آب مورد بهره برداری قرار گیرد. کیتوزان به عنوان جاذب ارزانقیمت در غلظت‌های پایین قادر به تامین استاندارد خروجی مناسبی به منابع پذیرنده می‌باشد و تهیه و آماده سازی آن نسبت به کربن فعال و دیگر جاذب‌ها بسیار آسانتر است لذا می‌تواند جاذبی مناسب در حذف آنیونهای مزاحم (کلرور، سولفات، کربنات و بی کربنات) از محیط‌های آبی باشد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]

تشکر و سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

References

1. Pacheco S, Medina M, Valencia F, Tapia J. Removal of inorganic mercury from polluted water using structured nanoparticles. J Environ Eng 2006;132(3):342-9.
2. Ali I. New generation adsorbents for water treatment. Chem Rev 2012;112(10):5073-91.
3. Kyzas GZ, Bikiaris DN. Recent modifications of chitosan for adsorption applications: a critical and systematic review. Mar Drugs 2015;13(1):312-37.
4. Venkatesan J, Bhatnagar I, Kim S-K. Chitosan-alginate biocomposite containing fucoidan for bone tissue engineering. Mar Drugs 2014;12(1):300-16.
5. Xue X, Wang J, Mei L, Wang Z, Qi K, Yang B. Recognition and enrichment specificity of Fe3O4 magnetic nanoparticles surface modified by chitosan and Staphylococcus aureus enterotoxins A antiserum. Colloids Surf Biointerfaces 2013;103:107-13.
6. Zhou L, Xu J, Liang X, Liu Z. Adsorption of platinum (IV) and palladium (II) from aqueous solution by magnetic cross-linking chitosan nanoparticles modified with ethylenediamine. J Hazard Mater 2010;182(1-3):518-24.
7. Mirzaei M, Behzad Q, Hadi M, Jahangir AS. Removal of calcium, magnesium, chlorine and bicarbonate ions from saline by modified mineral adsorbent. 6th National Conference on Environmental Engineering; Faculty of Environment, Tehran University, Tehran, 2012 [In Persian].
8. Khodadadi M, Saghi MH, Azadi NA, Sadeghi S. Adsorption of Chromium VI from Aqueous Solutions onto Nanoparticle Sorbent: Chitozan-Fe-Zr. J Mazandaran Univ Med Sci 2016;26(141):70-82 [In Persian].
9. Hassanpour M, Khezri M, Dehghanifard E. Evaluation of Nano-Magnet Chitosan Performance in Nitrate Removal from Aqueous Solutions. J Environ Health Eng 2015;2(4):270-82 [In Persian].
10. Namdeo M, Bajpai S. Chitosan–magnetite nanocomposites (CMNs) as magnetic carrier particles for removal of Fe (III) from aqueous solutions. Colloids Surf Physicochem Eng Asp 2008;320(1-3):161-8.
11. Jiang H, Chen P, Luo S, Tu X, Cao Q, Shu M. Synthesis of novel nanocomposite Fe3O4/ZrO2/chitosan and its application for removal of nitrate and phosphate. Appl Surf Sci 2013;284:942-9.
12. Yuwei C, Jianlong W. Preparation and characterization of magnetic chitosan nanoparticles and its application for Cu (II) removal. Chem Eng J 2011;168(1):286-92.
13. Lazaridis NK, Kyzas GZ, Vassiliou AA, Bikiaris DN. Chitosan derivatives as biosorbents for basic dyes. Langmuir 2007;23(14):7634-43.
14. Rao KK, Chung I, Ha C-S. Synthesis and characterization of poly (acrylamidoglycolic acid) grafted onto chitosan and its polyelectrolyte complexes with hydroxyapatite. React Funct Polym 2008;68(5):943-53.
15. Soori MM, Ghahramani E, Kazemian H, Al-Musawi TJ, Zarrabi M. Intercalation of tetracycline in nano sheet layered double hydroxide: An insight into UV/VIS spectra analysis. J Taiwan Inst Chem Eng 2016;63:271-85.
16. Tan F, Sun D, Gao J, Zhao Q, Wang X, Teng F, et al. Preparation of molecularly imprinted polymer nanoparticles for selective removal of fluoroquinolone antibiotics in aqueous solution. J Hazard Mater 2013;244:750-7.
17. Aksu Z, Tunç Ö. Application of biosorption for penicillin G removal: comparison with activated carbon. Proc Biochem 2005;40(2):831-47.
18. Mohammadi AS, Sardar M. The removal of Penicillin G from aqueous solutions using chestnut shell modified with H2SO4: Isotherm and kinetic study. Iran J Health Environ. 2013;5(4):497-508 [In Persian].
19. Dutta M, Dutta N, Bhattacharya K. Aqueous phase adsorption of certain beta-lactam antibiotics onto polymeric resins and activated carbon. Sep Purif Technol 1999;16(3):213-24.
20. Jafari M, Aghamiri S. Evaluation of carbon nanotubes as solid-phase extraction sorbent for the removal of cephalexin from aqueous solution. Desalin Water Treat 2011;28(1-3):55-8.
21. Liu W, et al. Sorption removal of cephalexin by HNO3 and H2O2 oxidized activated carbons. Sci China Chem 2012;55(9):1959-67.
22. Pouretedal H, Sadegh N. Effective removal of Amoxicillin, Cephalexin, Tetracycline and Penicillin G from aqueous solutions using activated carbon nanoparticles prepared from vine wood. J Water Proc Eng 2014;1:64-73.
23. Samarghandi M, et al. Mechanism and removal efficiency

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]

of CI acid blake 1 by pumice stone adsorbent. Iran J Health Environ 2011;3(4):399-410 [In Persian].

24. Noori Sepehr M, Mohebi S, Abdlollahi Vahed S. Removal of tetracycline from synthetic solution by natural LECA. J Environ Health Eng 2014;1:301-11 [In Persian].
25. Rahmani AR, Asgari G, Barjesteh AF, Hedayati KE, Alijani F. Investigation of phenol removal from aqueous solutions using copper-impregnated pumice. Avicenna J Clin Med 2011;17(4):50-6 [In Persian].
26. Samarghandi MR, Tarlaniazar M, Mehranpoor R, Ahmadian M. Survey the efficiency of iron-coated pumice in fluoride removal from aqueous solutions. J Environ Health Eng 2015;2:128-40 [In Persian].
27. Mesdaghinia A, Mahvi A, Fazlzadeh M, Dehghani M, Heibati B, Daliri Z, Aghanejad M. Comparing efficiency natural pumice and modified with iron in removal Reactive Black5 dye. J North Khorasan Univ Med Sci 2013;5:449-57 [In Persian].

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]

Journal of Environmental Health Engineering, November 2019; Vol. 7, No. 1: 94-110

Evaluation the Efficacy of Granulated Metallic-Magnetic Chitosan Nanocomposite for Adsorption of Interfering Anions in Aqueous Solutions

Zahra Farajollahi[1], Mohammad Noorisepehr[2,3*], Amir Hesam Hasani[1], Emad Dehghanifard[2,3]

1. Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
2. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Alborz University of Medical Sciences, Karaj, Iran
3. Research Center for Health, Safety and Environment (RCHSE), Alborz University of Medical Sciences, Karaj, Iran

**** E-mail: dr.noorisepehr@gmail.com***

Received: 30 Jun 2018 ; Accepted: 16 May 2019

ABSTRACT

Background and Objective: Water interfering anions can cause major problems in the quality of drinking water as well as entering water to the industry. The purpose of this study was to determine the efficacy of granulated metallic-magnetic chitosan nanocomposite for adsorption of interfering anions in aqueous solutions (sulfate, chloride, carbonate and bicarbonate.

Materials& Methods: Synthesis of granulated metallic-magnetic chitosan nanocomposite was conducted based on co-precipitation method. The anions chloride (300-50 mg / L), carbonate (150-50 mg / L), bicarbonate (50- 150 mg / L) and sulfate (50-300 mg / L) were considered. The pH range of the study was between 5- 8 and the remaining time was 0-90 minutes. For the study of the adsorption process, the Langmuir and Freundlich isotherms were considered as pseudo-first and pseudo-second kinetics order at temperatures in the range of 20-45 Celsius.

Results: The results showed that the best removal efficiency of anions was obtained at pH = 5. With an increase in chlorine concentration from 50 mg / L to 300 mg / L, the removal efficiency decreased from 80.06% to 38.22%. This trend has also been observed for other anions in the study, which decreased from 57.82% to 37.69% for sulfate at similar concentrations. In carbonate and bicarbonate, at 50-50 mg / L concentrations, the removal efficiency decreased from 61.15% to 41.17% and 79.66%, respectively, to 49.36%. The percentage of removal of chlorine ion with an amount of adsorbent between 1-5 g / L increased from 62% to 91%. However, increasing the amount of absorbent after 4 g / L did not have a significant difference in removal of chlorine. The same effect was observed for other anions in the study, so that the removal efficiency of carbonate, bicarbonate and sulfate anions in exchange for an increase in the absorbent dose increased from 1 g / L to g / L 5, which was 56% to 93%, 52% to 96% and 53% to 80%. The results of the study showed that the adsorption process follows Langmuir isotherm model and the adsorption of anions is superficial. The absorption model also follows the pseudo-second order kinetic model. In addition, as the temperature rises, the removal efficiency decreases.

Conclusion: The results of the study showed that granulated metallic-magnetic chitosan nanocomposite adsorbent was able to remove the interfering anions from water resources.

Keywords: Absorption, Granulated metallic-magnetic chitosan nanocomposite, Interfering anions, Water resources.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/jehe.7.1.94]