مجله مهندسی بهداشت محیط، تابستان ۱۳۹۹، سال ۷، شماره ٤ :۳۷۳-۳۸۲

بررسی کارایی کیتوزان نانومغناطیسی شده در حذف نیترات و فسفات از محلول‌های آبی

محمد نوری سپهر[۲و۱]، عماد دهقانی‌فرد*[۲و۱]، بابک کاکاوندی[۲و۱]

[۱] گروه مهندسی بهداشت محیط ، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران
[۲] مرکز تحقیقات بهداشت، ایمنی و محیط (RCHSE)، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۷/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۱۸

چکیده

زمینه و هدف: حضـور نیترات و فسـفات در غلظتهای بالای حد مجاز در منابع آب سـطحی و زیرزمینی منجر به ایجاد بیماری و مشـکل در منابع آب سـطحی می‌گردند. هدف این مطالعه، بررسی کارایی جاذب نانوکامپوزیت کیتوزان مغناطیسی-متالیک در حذف نیترات و فسفات از محلولهای آبی می‌باشد.

روش کار: جاذب توسـط روش هم ترسـیبی سنتز گردید. غلظتهای مختلف نیترات (mg/L ۳۰۰-۵۰) و فسفات (mg/L ٤۰۰-۱۰۰) تهیه شـده و مقدار حذف آنها توسـط غلظتهای مختلف جاذب سـنتز شـده (g/L ۵-۱) بررسی شد. پارامترهای مختلف نظیر دما (^{o}C ٤۰-۲۰)، pH (۸-۵)، زمان تماس (۹۰-۰ دقیقه) و حضـور یونهای مداخله گر (کلرور، فسـفات، سختی mM ۱/۵) بررسی شد. برای تعیین مشخصات جاذب سنتز شده از آزمایشات SEM، XRD، FTIR و XRF استفاده شد.

یافته‌ها: جاذب نانوکامپوزیت کیتوزان مغناطیسـی-متالیک قادر به حذف موثر نیترات و فسـفات از محلولهای آبی می‌باشـد. راندمان حذف نیترات و فسفات در شرایط pH=۵، غلظت نیترات (mg/L ۱۰۰)، غلظت فسفات (mg/L ۲۰۰)، زمان ماند ٦۰ دقیقه و غلظت جاذب g/L ۰/۳ به ترتیب برابر ۸۷,۲٪ و ۷٤,۹٪ بود. فرآیند جذب هر دو آلاینده از مدل فروندلیخ و سـینتیک شـبه درجه دوم تبعیت نموده که در دماهای بالا، گرمازا بود. یونهای مداخله گر باعث کاهش راندمان حذف آلاینده‌ها تا ۷۳,۱٪ برای نیترات و ٦۵,۹٪ برای فسفات بود.

نتیجه‌گیری: از آنجایی که حضـور آنیونهای مزاحم نیترات و فسـفات، به عنوان آلاینده‌های متداول و شـاخص منابع آبی مطرح می‌باشند، استفاده از جاذب نانوکامپوزیت کیتوزان مغناطیسی-متالیک در حذف این آلاینده‌ها بسیار موثر می‌باشد.

کلمات کلیدی: کیتوزان، اکسید آهن مغناطیسی، نیترات، فسفات، جذب سطحی.

*** نویسنده مسئول:** گروه مهندسی بهداشت محیط ، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران
ایمیل: dehghanifard@yahoo.com - شماره تماس: ۰۲۶-۳٤۳۳٦۰۰۸

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.373]

مقدمه

کشور ایران به دلیل قرار گیری در اقلیم خشک و نیمه خشک و بـه تبع آن کمبود منـابع آب، در خطر اسـتفـاده از منابع آب با کیفیـت پـایین و آلوده قرار دارد. یکی از آلاینده‌های شـاخص چندسال اخیر (بخصوص در منابع آب زیرزمینی) آلاینده نیترات می‌بـاشـد. نیترات بعنوان یکی از مهمترین منـابع آلودگی آب تهدیدی جدی برای اکوسـیسـتمهای آبی محسـوب میشـود. یوتریفیکـاسـیون-آلودگی آبهـای زیرزمینی-سـمیـت برای موجودات و سـلامت عموم از جمله اثرات منفی آن شـمرده میشـود. مهمترین پیـامـد افزایش نیترات در بـدن تبدیل آن به نیتریت سـمی و بروز عارضـه ی متهموگلوبینا(کبودی بچه) و سیانوز و در غلظتهای بالاتر آسفیکسیا(مرگ بافت)است.سرطان دسـتگاه گوارش-ایجاد ناهنجاریهای مادر زادی بر جنین-بروز دیـابـت وابسـتـه بـه انسـولین – افزایش انـدازه ی غـده ی تـیـروئیـد(گواتر)-افزایش فشـار خون و کـاهش عملکرد فیزیولوژیکی-عصبی از دیگر اثرات سوء این ماده است [1] . طبق بهداشـت جهانی (WHO) مقدار اسـتاندارد نیترات در آب‌های آشامیدنی حداکثر باید ppm ۵۰ باشد [2] .

آلاینده فسفات به عنوان یکی از عوامل شکوفایی جلبکی منابع آبی مطرح بوده کـه از منـابع مختلف نظیر فعـالیـت هـای کشـاورزی، تولیدی و صـنعتی مثل کود، پاک کننده، رنگدانه، تصفیه آب، پردازش مواد معدنی و نمک زدایی از آب وارد منابع آب می‌گردد[3].

برای حذف نیترات و فسـفات از آب روش‌های مختلفی نظیر اسـتفاده از مکانیزم‌های فیزیکی(تبادل یون) و شیمیایی (ترسیب شیمیایی) استفاده می‌گردد [3] . این روش‌ها دارای راندمان مناسبی در جداسازی آلاینده‌ها از آب می‌باشند ولی به دلیل تولید پساب غلیظ، دچار نقطه ضـعف عمده ایی می‌باشند. بعلاوه هزینه‌های بالای سـرمایه گذاری و بهره برداری از این تاسـیسـات موجب گردیـده تـا کاربرد این روش‌ها محدود به مناطقی خاص گردد. فرآینـد جـایگزین روشـهای فوق، دنیتریفیکاسـیون و حذف بیولوژیکی فسـفر اسـت. در این فرآیند حذف کامل نیترات و فسـفر بدون تولید یک پسـاب جانبی غلیظ ممکن می‌گردد اما بدلیل هزینه ی سـنگین و یا کارایی محدود در صـنایع تصـفیه آب، در سـالهای اخیر اسـتفاده از جاذبهای ارزان قیمت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است [4] . روش جذب بدلیل عملکرد آسـان- مصـرف انرژی کم – نگهداری سـاده – ظرفیت جذب زیاد و کارایی بالا برای تصـفیه ی آب و فاضلاب بطور گسترده مورد اسـتفاده قرار گرفته اسـت در این شـیوه از جداسـازی جـاذبهـای متفـاوتی نظیر جـاذبهای بیولوژیکی مانند مخمرها – جلبکهـا – قـارچهـا و بـاکتریها – سـیلیکاژل – زغال فعال – خاکسـتر زغال چوب و زئولیت مورد اسـتفاده قرار گرفته اند. اخیرا تولیـد بیو پلیمرهـا بـدلیـل عدم سـمیت در محیط – در دسـترس بودن –خـاصـیـت جذب انتخابی – قابلیت احیای بیوجاذب – بالا بودن سرعت فرایند – عدم تولید لجن و هزینه ی پائین آنها بعنوان ابزاری برای جذب مورد توجه اکثر محققان قرار گرفته اسـت.کیتوزان پلیمری آبدوسـت و کاتیونی است که از حـذف گروههـای اسـتیـل کیتین در محیط بـازی بدسـت می‌اید.کیتین با سـاختار شـیمیایی بتا-۱,٤ N-اسـتیل D-گلوکز آمین پلیمر بعد از سـلولز فراوانترین پلیمر زیسـتی در طبیعت است این پلیمر طبیعی از منابع مختلفی مانند پوست خرچنگ – میگو – کوتیکول حشـرات و دیواره ی سلولی برخی قارچها و جلبکها قابل اسـتخراج اسـت [5] . با این حال به دلیل ابعاد بسـیار ریز این جاذبها، امکان جداسـازی پس از انجام فرآیند همواره با مشـکل مواجه بوده و بنابراین روشهای مختلفی برای تثبیت و یا جداسـازی از محلولهای آبی ارائه شـده است. یکی از روشهای جداسـازی مواد با سـاختار بسـیار ریز، مغناطیسی کردن ماده با ذرات مغناطیسـی (به طور معمول اکسید آهن) می‌باشد که پس از انجـام فرآیند جذب آلاینده، جاذب از طریق ایجاد یک میدان مغنـاطیسـی از محلول جـدا گردیـده و احیا می‌شـود. ذرات مغناطیسـی در صـورتی که در مقیاس نانو سـنتز شوند، به دلیل نسبت سطح به حجم بالاتر، عملکرد بهتری در مغناطیسی کردن

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.373]

جـاذب و همچنین کمک به فرآیند جذب آلاینده خواهند نمود. محققان از روشـهای مختلفی برای حذف نیترات و از کیتوزان برای حـذف عوامل مختلف اسـتفاده کردند که از جمله از کیتوزان اصـلاح شـده آمین چهارتائی برای حذف آنیونهای نیترات و فسفات استفاده کردند که به ترتیب ۹۹ درصد و ۹۷/۵ درصـد میزان جذب بدسـت آمد[٤]. از بستر کیتوزان کراس لینک شده برای حذف نیترات از محلولهای آبی با ظرفیت جذب ۱۰٤ میلی‌گرم بر گرم اسـتفاده کردند[٥]. از نانوذرات کیتوزان برای جذب سـرب از محلولهای آبی اسـتفاده کردند. حذف سرب با راندمان ۸٦ درصـد اتفاق افتاد[٦]. از کیتوزان برای حذف روی از محلولهای آبی اسـتفاده کردند که این جاذب برای جذب روی دارای ظرفیت بالای جذب (۷۰/٦ درصـد) است[۷]. از نانو ذرات نی اصـلاح شـده برای حذف نیترات از آبهای آلوده اسـتفاده کردند که حذف نیترات با راندمان ۸٦ درصـد اتفاق افتاد[۸]. تشـکیل کیتوزان نانو مغناطیسـی به دلیل مسـاحت سـطح ویژه بزرگ، سبب افزایش ظرفیت جذب می‌شود؛ بنابراین در مطالعه حاضـر، جاذب در مقیاس نانو ساخته شد. جاذبهای مختلفی در مقیاس نانو سـاخته شده اند ولی معمولا نیاز به انرژی و سرمایه گذاری زیادی اسـت[۹]. هدف نهایی این مطالعه، بررسـی کارایی جـاذب نانوکامپوزیت کیتوزان مغناطیسـی-متالیک در حذف نیترات و فسفات از محلولهای آبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد و تجهیزات

در این مطـالعه کلرید آهن (II) و (III)، اسـید اسـتیک گلاسـیال، آمونیاک ۲۵٪، اسـید سولفوریک غلیظ، اسید نیتریک غلیظ (٦۵٪)، نیترات پتاسـیم، فسـفات پتاسیم و سود سوزآور با خلوص آزمایشـگاهی از شـرکت Merck آلمان تهیه شـد. پودر کیتوزان از نوع استیل زدائی ۷۵-۸۵ درصد با دانسیته متوسط از شـرکت هندی خریداری شد. برای آماده سازی نمونه‌ها از فیلتر سـرسـرنگی PTFE با برند MN با قطر منافذ ۰/٤۵ میکرون اسـتفاده شد. برای اندازه گیری pH محلول از pH متر Genway استفاده گردید. برای قرائت غلظت نیترات و فسفات، از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR5000 با برند HACH استفاده شد.

سنتز جاذب کیتوزان نانومغناطیسی گرانوله

برای تهیه گرانولهای کیتوزان مغناطیسـی شـده از روش زیر استفاده شد:

ابتـدا mL ۵ محلول حـاوی اسـیدکلریدریک ۲ مولار و نمکهای $FeCl_2$ و $FeCl_3$ تهیه نموده، روی همزن مغناطیسـی قرار داده و ۷۰ میلیلیتر محلول آمونیاک ۲۵٪ به صـورت قطره قطره اضـافه می‌گردد. پس از تشـکیل رسـوب نانوذرات آهن Fe3O4، چندمرتبه شـسـتشـو و آبکشـی با متانول و آب مقطر انجام گردیده، ذرات با آهن ربای ۱/٤ تسلا جداسازی شده و به محلول کیتوزان و اسـید استیک ٤٪ را اضافه گردیده و به مدت ۱ سـاعت با دور مناسـب همزده شده و در نهایت محلول را به صـورت قطره ای در محلول حاوی سود سوزآور ریخته، سپس به مدت ۲٤ سـاعت در دمای ٤ درجه سـانتیگراد قرار داده می‌شـود. در نهایت، گرانولهای تشکیل شده با آهنربا جداسازی و با آب مقطر شـستشو داده می‌گردد تا pH آب شستشو به pH آب مقطر برسد.

تعیین مشخصات جاذب

مورفولوژی سـطح جاذب، شـکل و اندازه نانوکامپوزیت کیتوزان مغناطیسـی-متالیک به وسـیله میکروسـکوپ الکترونی روبشـی(SEM) و میکروسـکوپ الکترونی انتقالی (TEM) بررسـی شـد. همچنین برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی جاذب نظیر مسـاحت سـطحی، اندازه و حجم حفرات و توزیع آنها بر روی جاذب از آنالیز BET استفاده شد. به منظور تعیین الگوی پراکنش اشـعه ایکس و تعیین خلوص ذرات Fe3O4 تولیدی از دسـتگاه پراش اشـعه ایکس(XRD) استفاده گردید. ویژگی‌های مغناطیسی جاذب سنتز شده به وسیله تکنیک VSM مورد آنالیز

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.373]

قرار گرفت.

مطالعات جذب نیترات و فسفات

در این مطالعه، روش محاسبه حجم نمونه بر مبنای روش یک فاکتور در زمان بود. متغیرهای موردنظر در این مطالعه شامل دما (۲۰، ۳۰ و ٤٥ درجه سانتی گراد)، pH (۸-۵)، غلظت جاذب (۵-۱گرم بر لیتر)، زمان تماس (۹۰-۰ دقیقه)، غلظت آلاینده نیترات (۳۰۰-۵۰ میلی‌گرم بر لیتر)، غلظت آلاینده فسفات (٤۰۰-۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و غلظت یونهای مداخله گر (برحسب غلظت در آبهای طبیعی ۱/۵ mM) بود. جهت تنظیم pH از اسید نیتریک رقیق و سود ۰/۱ نرمال استفاده گردید. زمان تماس در راکتور نیز در محدوده ۹۰-۰ دقیقه انتخاب گردید. سپس در تمام مراحل انجام آزمایش نانوکامپوزیت کیتوزان مغناطیسی-متالیک در رآکتور Batch با محلول سنتتیک حاوی غلظتهای مشخص نیترات و فسفات در تماس قرار گرفت. بعد از تکمیل واکنش، سوسپانسیون جدا شده و از فیلترهای PTFE ۰/٤٥ میکرون عبور داده می‌شد. بر اساس تغییرات عوامل مورد مطالعه، نمونه برداری از محلول قبل و بعد از تماس محلول با نانوکامپوزیت کیتوزان مغناطیسی-متالیک قرار گرفته و طبق روشهای استاندارد مورد آزمایش قرار گرفت. هر یک از آزمایشات دو بار تکرار شده و از میانگین نتایج جهت محاسبه کارآیی حذف استفاده گردید. در هر مرحله از تحقیق کارآیی حذف با استفاده از رابطه ۱ مورد محاسبه قرار گرفت. که در این رابطه Ci غلظت اولیه نیترات و فسفات و Ce غلظت نهایی آن بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.

$$RE\ (\%) = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100$$ رابطه ۱

آنالیز داده ها

برای آنالیز داده‌های بدست آمده از روشهای آزمون آماری مشخص استفاده شد. تعداد تکرار نمونه ها، ۳ بار (بر مبنای نتایج بدست آمده) بود. برای مطالعه رفتار و نوع فرآیند جذب از ایزوترمهای لانگمویر و فروندلیخ و تمکین استفاده شد. برای محاسبه سینتیک واکنش جذب از روابط سینتیکی شبه درجه اول و درجه دوم استفاده شد. برای مطالعه رفتار جاذب در دماهای مختلف، از روابط ترمودینامیک استفاده شد.

یافته‌ها

تعیین مشخصات جاذب

در شکل ۱، تصاویر آنالیز SEM گرانولهای کیتوزان مغناطیسی شده ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد گرانولهای سنتز شده دارای سطح با ساختار ساختاری مابین کیتوزان و نانو ذرات اکسید آهن بوده و به شکل متخلخل، نامنظم و دانه ای می‌باشد که منجر به افزایش سطح جاذب و در نتیجه ظرفیت جذب آن شده است. شکل ۲، نتایج مربوط به آنالیز XRD گرانولهای کیتوزان مغناطیسی شده را نشان می‌دهد که پیکهای با زوایای °۲۰/۲۵، °۲۰/٦۹، °۲۱/۰۳ مربوط به کیتوزان، پیک¬های °۳۰/۳۹، °۳۵/۰۹، °٤۳/۵۳، °۵۳/٦۷، ° ۵۷/۳۹ و °٦۲/۹۷ مرتبط با ذرات اکسید آهن و پیک °۵۵/۳۵ متناظر با اکسید آلومینیوم می‌باشد که نشان از سنتز مناسب جاذب موردنظر است. با توجه به این که تمامی پیک‌های مذکور در ساختار نانو کامپوزیت کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک نیز قابل مشاهده است. می‌توان اذعان داشت نانو ذرات اکسید آهن به صورت موفقیت آمیزی سنتز و بر روی کیتوزان نشانده شده است. البته پیک مربوط به کیتوزان خالص نیز در جاذب مورد مطالعه در مطالعه حاضر قابل رویت است که این موضوع بر این امر دلالت دارد که ساختار کیتوزان در طول فرایند کراس لینکینگ و مغناطیسی سازی تغییر نکرده است.

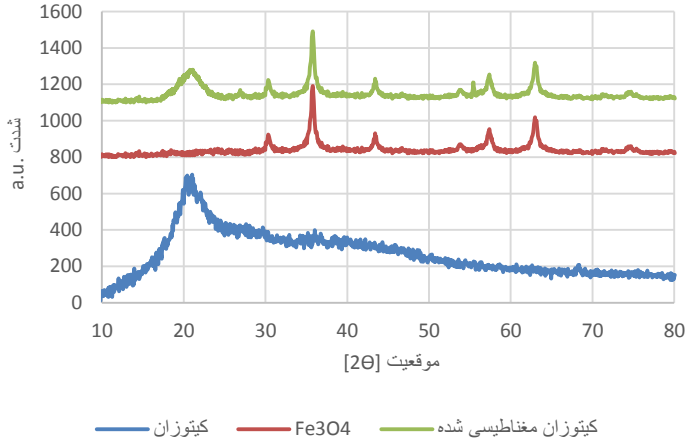
[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.373]



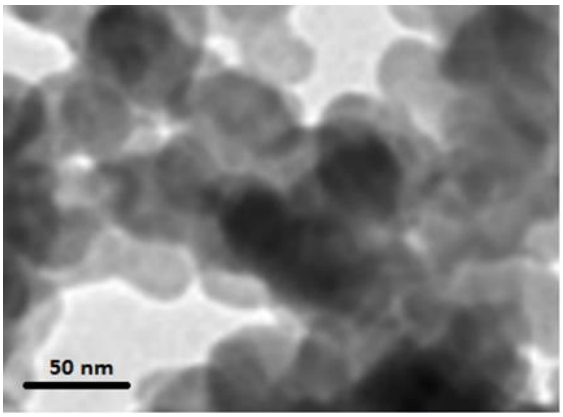
ب **الف**

شکل ۱: نتایج آنالیز FESEM الف)کیتوزان، ب) کیتوزان مغناطیسی شده



شکل ۲: پراش اشعه ایکس برای کیتوزان و کیتوزان مغناطیسی شده در محدوده زاویه ۵تا۸۰° =۲θ

نتایج آنالیز TEM کیتوزان مغناطیسی شده نشان می‌دهد که ساختار درهم تنیده و نامنظم کامپوزیت سنتز شده و فاصله کم نانوذرات آهن مغناطیسی بر روی آن، باعث افزایش سطح تماس، خاصیت مغناطیسی و در نتیجه افزایش راندمان جذب آلاینده‌ها می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳: نتایج آنالیز TEM جاذب کیتوزان مغناطیسی شده

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

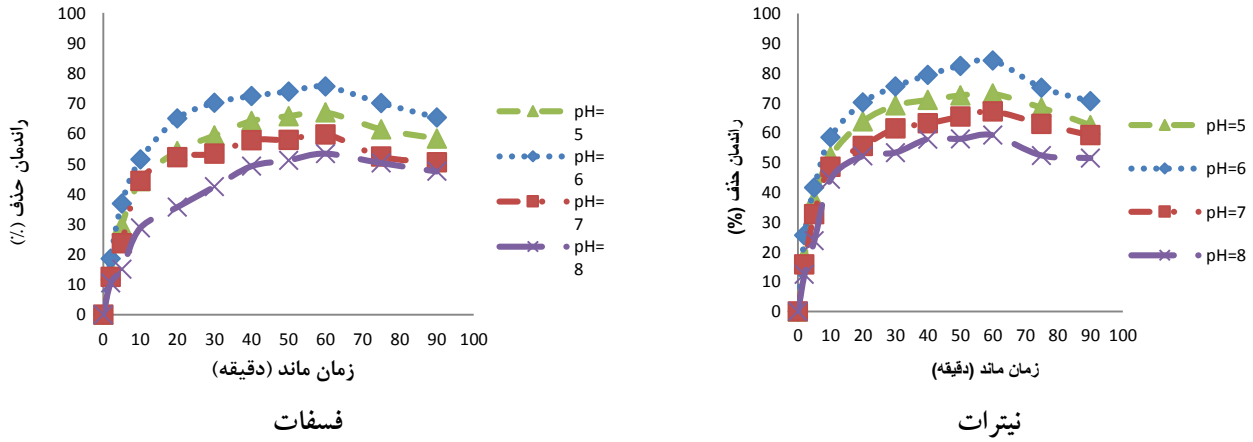
[DOI: 10.29252/jehe.7.4.373]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.373] [Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

– بررسی تاثیر متغیرها بر عملکرد جاذب کیتوزان مغناطیسی

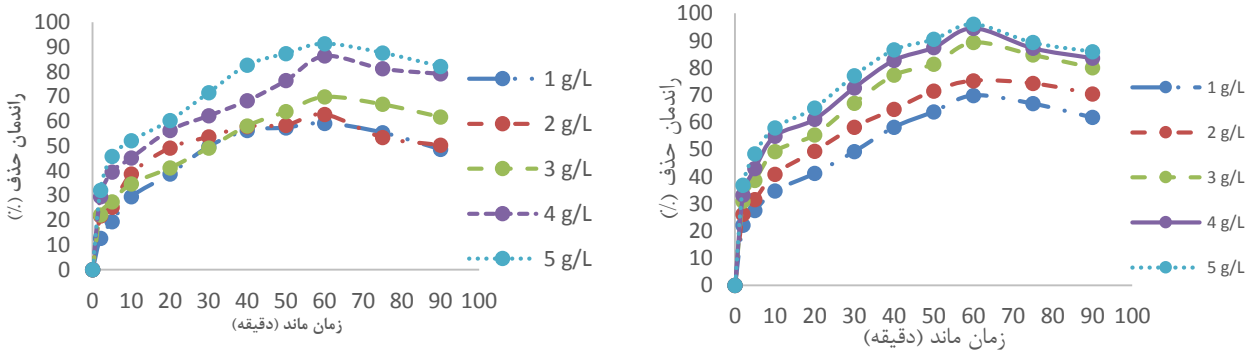
نتایج تاثیر پارامتر pH بر روی عملکرد جاذب کیتوزان مغناطیسی شده بر حذف آلاینده نیترات و فسفات در شکل ٤ ارائه شده است. همانطور که مشخص شده است، بیشترین راندمان حذف نیترات و فسفات در pH=٦ و به ترتیب برابر ٨٤/٢ ٪ و ٧٥/٦ ٪ بدست آمد. همچنین مشخص گردید که عملکرد جاذب کیتوزان مغناطیسی شده در pHهای نزدیک به pH خنثی بیشتر از pHهای اسیدی می‌باشد.

در شکل ٥، نتایج تاثیر غلظت جاذب بر روی عملکرد جاذب کیتوزان مغناطیسی شده در حذف آلاینده‌های نیترات و فسفات ارائه شده است. همچنان که مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت جاذب از g/L ١ به g/L ٥، راندمان حذف آلاینده‌های نیترات و فسفات افزایش یافت و به حداکثر ٩٦/٨ ٪ برای نیترات و ٩١/٣ ٪ برای فسفات رسید. با اینحال نتایج آزمونهای آماری مشخص نمود که بین غلظت جاذب g/L ٤ و g/L ٥، اختلاف معناداری وجود ندارد.



فسفات نیترات

شکل ٤: تأثیر متغیر pH بر راندمان حذف نیترات و فسفات توسط جاذب کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک



فسفات نیترات

شکل ٥: تأثیر غلظت جاذب بر راندمان حذف نیترات و فسفات توسط جاذب کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

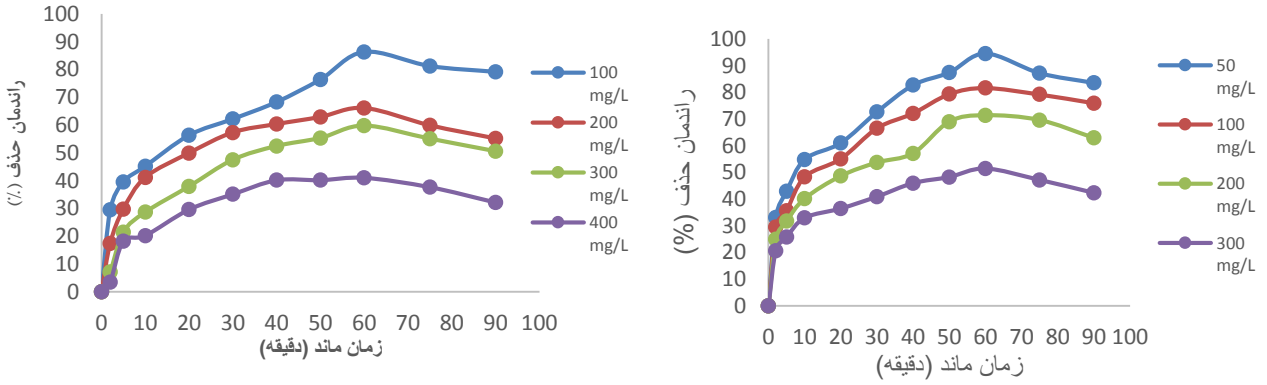
[DOI: 10.29252/jehe.7.4.373]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.373] [Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

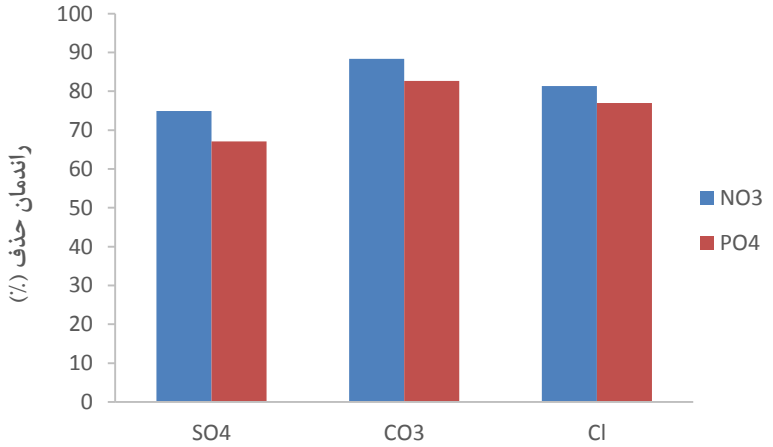
شـــکـل ٦ نشـــاندهنده تاثیر غلظت اولیه آلاینده نیترات و فسـفات بر عملکرد جاذب کیتوزان مغناطیسـی شـده در حذف آنها می‌باشـد. با بررســی شــکل مذبور می‌توان دریافت که با افزایش غلظـت آلاینـده نیترات در محـدوده mg/L ۳۰۰–۵۰ و همچنین آلاینده فسـفات در محدوده mg/L ٤٠٠–١٠٠، راندمان حـذف آنها کاهش معناداری یافت و در حداکثر غلظتهای مورد مطالعه، به ترتیب به ٥١/٤ ٪ و ٤١/٠٥ ٪ رسید.

با توجه به شــکل ٦، با افزایش زمان تماس تا محدوده ١٠ دقیقه، افزایش ســریع راندمان حذف هر دو آلاینده رخ داده که این افزایش با شیب کمتری تا محدوده ٦٠ دقیقه مشاهده شده و در نهایت، در زمان ٩٠ دقیقه، بازجذب نیترات و فســفات و در نتیجه کاهش راندمان حذف هر دو آلاینده اتفاق افتاد.

شـکل ٧ تاثیر یونهای مداخله گر کلرور، کربنات و سولفات (در غلظت mM ١/٥)را بر راندمان حذف آلاینده‌های نیترات و فسـفات توسـط جاذب کیتوزان مغناطیسـی شده نشان می‌دهد. همـانطور کـه ملاحظـه می‌گردد، حضـــور آنیونها باعث کاهش راندمان حذف آلاینده‌ها گردیده که بیشـترین کاهش راندمان در حضـــور آنیون ســـولفـات اتفاق افتاد که باعث کاهش راندمان حذف نیترات و فسفات، به ترتیب ٧٤/٩ ٪ و ٦٧/١ ٪، گردید.



شکل ۶: تأثیر غلظت آلاینده بر راندمان حذف نیترات و فسفات توسط جاذب کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک



شکل ۷: تأثیر آنیونهای مزاحم بر راندمان حذف نیترات و فسفات توسط جاذب کیتوزان مغناطیسی شده بی متالیک

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.373]

بحث

از جمله پارامترهای موثر بر فرآیند جذب، pH محلول می‌باشد که با تاثیر بر روی بار سطحی جاذب، میزان یونیزاسیون ماده جذب شونده و گروههای عاملی موجود در سطح جاذب نقش خود را ایفا می‌نماید. در این زمینه، تاثیر pH نقطه صفر (pH pzc) جاذب و ثابت تجزیه اسیدی آلاینده بسیار مهم می‌باشد. pHPZC نشان دهنده نقطه¬ای است که در آن بار در سطح ماده جاذب صفر می¬باشد و در pHهای بالاتر از آن، سطح جاذب دارای بار منفی بوده و در پایین تر از آن، سطح جاذب دارای بار مثبت می¬باشد. pH نقطه صفر سطح جاذب در واقع تعداد مساوی از سایت¬هایی با بار منفی و بار مثبت بروی سطح جاذب است[10]. نتایج مطالعه نشان داد که pHPZC جاذب کیتوزان مغناطیسی شده در حدود ٦/٨ می‌باشد و در نتیجه نشاندهنده تایید تاثیر pH آلاینده در شرایط بهینه حذف نیترات و فسفات گردید. با توجه به بار منفی آلاینده‌های نیترات و فسفات و نیز بار مثبت سطح جاذب در pH<٦/٨، می‌توان اینگونه بیان نمود که جذب سطحی بهینه آلاینده‌های مدنظر در pH=٦ اتفاق افتاده است و که این امر در اثر تفاوت بار سطحی آلاینده و جاذب می‌باشد. از سوی دیگر، مداخله یونهای کلرور، کربنات و سولفات با جذب یونهای نیترات و فسفات نشاندهنده تاثیر بار سطحی این آنیونها و رقابت با آلاینده‌های مورد مطالعه می‌باشد. آنیونها مداخله گر به دلیل و خصوصا سولفات، به دلیل عدد پتانسیل اکسیداسیون-احیاء بالاتر نسبت به یونهای دیگر، دارای تاثیر بیشتری بر کاهش جذب آلاینده‌های نیترات و فسفات بود.

در مطالعه ای که توسط میرزایی و همکاران انجام شد، مشخص گردید که در pHهای اسیدی، راندمان حذف کاتیونهای فلزی کاهش می‌یابد که به دلیل افزایش بار مثبت بر روی سطح جاذب بوده و عملا بار مثبت را بر اطراف جاذب افزایش می‌دهد که در نتیجه موجب کاهش جذب شیمیایی و تشکیل پیوند یونی میان جاذب و آلاینده گردیده است[11]. خدادادی و همکاران در مطالعه بررسی کارایی کامپوزیت نانو ذرات مغناطیسی آهن-زیرکونیوم/کیتوزان ، جهت حذف کروم شش ظرفیتی از محیط‌های آبی نشان دادند که با کاهش pH محیط تا ٤، راندمان حذف کروم نیز تا میزان ٩٩٪ افزایش می‌یابد[12].

در فرآیند جذب، غلظت اولیه آلاینده به عنوان یک پارامتر موثر بر راندمان حذف آلاینده توسط جاذب مطرح می‌باشد. این تاثیر، از طریف اشباع شدن فضاهای خالی موجود در جاذب و اشغال شدن عوامل فعال سطحی جاذب توسط آلاینده اتفاق می‌افتد. از سوی دیگر، افزایش غلظت آلاینده منجر به دسترسی راحتتر جاذب به آلاینده شده و در نتیجه سرعت جذب نیز افزایش می‌یابد[13]. در این مطالعه مشخص گردید که افزایش غلظت آلاینده نیترات در محدوده mg/L ١٥٠-٥٠ و همچنین آلاینده فسفات در محدوده mg/L ٣٠٠-٥٠، راندمان حذف آنها کاهش معناداری یافت و در حداکثر غلظتهای مورد مطالعه، به ترتیب به ٥١/٤ ٪ و ٤١/٠٥ ٪ رسید.

غلظت جاذب به عنوان پارامتر مهم و تاثیرگزاری در فرآیند جذب بوده که با افزایش آن می‌توان مساحت سطح جذب و نیز عوام فعال سطحی را افزایش داده و در نتیجه راندمان جذب را افزایش داد. از سویی دیگر، باید توجه نمود که افزایش بیش از اندازه غلظت جاذب از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نبوده و ممکن است از تمام ظرفیت جاذب در این امر بهره برده نشود[14و15]. با افزایش غلظت جاذب از g/L ١ به g/L ٥، راندمان حذف آلاینده‌های نیترات و فسفات افزایش یافت و به حداکثر ٩٦/٨ ٪ برای نیترات و ٩١/٣ ٪ برای فسفات رسید. با اینحال نتایج آزمونهای آماری مشخص نمود که بین غلظت جاذب g/L ٤ و g/L ٥، اختلاف معناداری وجود ندارد (Pvalue>٠/٠٥). همبستگی مثبت بین دوز جاذب و حذف

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.373]

آنیونها می¬تواند مربوط به افزایش در سطح جاذب و در دسترس بودن بیشتر سایت¬های فعال در جاذب باشد. بنابراین نرخ جذب تابعی از غلظت اولیه جاذب است که یک عامل مهم برای جذب موثر در نظر گرفته می¬شود[16].

حضور یونهای مداخله گر در منابع آب طبیعی اکثرا به عنوان عامل محدود کننده و مداخله گر در فرآیندهای جذب مطرح می‌باشند که در صورت همنامی بار آنها با آلاینده‌های موردمطالعه، منجر به تداخل در فرآیند جذب و در نتیجه کاهش عملکرد فرآیند در حذف آلاینده‌ها دارد[17]. در این مطالعه با بررسی تاثیر آنیونهای کلرور، سولفات و کربنات (غلظت ۱/۵ mM) بر روی راندمان حذف نیترات و فسفات توسط جاذب کیتوزان مغناطیسی شده، مشخص گردید که حضور آنیونها باعث کاهش راندمان حذف آلاینده‌ها گردیده که بیشترین کاهش راندمان در حضور آنیون سولفات اتفاق افتاد که باعث کاهش راندمان حذف نیترات و فسفات، به ترتیب ۷٤/۹ ٪ و ٦۷/۱ ٪، گردید که به دلیل پتانسیل اکسیداسیون-احیای بالاتر سولفات نسبت به نیترات و فسفات بود.

جهت تعیین ارتباط بین ماده جاذب و جذب شونده و نوع واکنش بین آنها، از مطالعات ایزوترم استفاده می‌گردد. ایزوترم در بهینه¬سازی مصرف یک جاذب و تعیین میزان ظرفیت یک جاذب نقش بسیار مهمی دارند۱۸. در این مطالعه، با بررسی ایزوترمهای لانگمویر و فروندلیخ و تعیین ضرایب و رگرسیون جذب نیترات و فسفات مشخص گردید که ایزوترم جذب آلاینده‌های نیترات و فسفات توسط جاذب کیتوزان مغناطیسی شده، از مدل لانگویر (R2=۰/۹۸) تبعیت می‌کند. در مطالعه ای که توسط قدرت و اسراری (۱۳۹٦) انجام شد، مشخص گردید که ایزوترم جذب آلاینده اریترومایسین توسط کیتوزان مغناطیسی شده با Fe3O4، از مدل لانگمویر تبعیت نمود[19].

بنابراین جذب نیترات و فسات بر روی کیتوزان مغناطیسی شده به صورت لایه ای، یکنواخت و با انرژی یکسان بر تمام سطح جاذب می‌باشد.

بررسی سینتیک جذب یکی از مطالعات مهم در بحث جذب آلاینده‌ها می‌باشد که می‌تواند سرعت و ضرایب سینتیکی جذب را مشخص نماید. در این مطالعه، سینتیک جذب آلاینده‌های نیترات و فسفات از نوع درجه اول، درجه دوم، شبه درجه اول و شبه درجه دوم بررسی شد و نتایج نشان داد که جذب آلاینده‌های نیترات و فسفات از مدل سینتیکی شبه درجه دوم تبعیت می‌نماید. بنابراین مکانیسم غالب در جذب، به صورت شیمیایی می‌باشد. رفیعی و شیروانی (۱۳۹۵) نیز در مطالعه خود در مورد جذب آلاینده سرب توسط جاذب کیتوزان به نتایج مشابهی دست یافتند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، کارایی جاذب کیتوزان مغناطیسی شده در حذف آلاینده‌های نیترات و فسفات از محلولهای آبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد که جاذب کیتوزان مغناطیسی شده به عنوان جاذب مناسبی در حذف آلاینده‌های موردنظر، مطرح باشد. مزایای کیتوزان به عنوان جاذب ارزان قیمت، طبیعی، بدون عوارض جانبی، قابلیت و ظرفیت جذب بالای آلاینده‌ها، قابلیت جداسازی و استفاده مجدد باعث گردیده است که این جاذب به عنوان گزینه ای مناسب در صنعت آب و فاضلاب مورد توجه قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از دانشگاه علوم پزشکی البرز در خصوص حمایتهای مالی از این مطالعه در قالب طرح تحقیقاتی (شماره طرح ۲۵٤٦۲۸٤) تشکر و

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.373]

قدردانی نمایند.

References

1. Katal R, Baei MS, Rahmati HT, Esfandian H. Kinetic, isotherm and thermodynamic study of nitrate adsorption from aqueous solution using modified rice husk. J Ind Eng Chem 2012; 18:295-302.
2. WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality. 4th Edition, World Health Organization, 2011.
3. Yuan X, Bai C, Xia W, Xie B, An J. Phosphate adsorption characteristics of wasted low-grade iron ore with phosphorus used as natural adsorbent for aqueous solution. Desalin Water Treat 2014: 1-11.
4. Emmanuelawati I, Yang J, Zhang J, Zhang H, Zhou L, Yu C. Low-cost and large-scale synthesis of functional porous materials for phosphate removal with high performance. Nanoscale 2013;5:6173-80.
5. Blachnio M, Budnyak TM, Derylo-Marczewska A, Marczewski AW, Tertykh VA. Chitosan–silica hybrid composites for removal of sulfonated azo dyes from aqueous solutions. Langmuir 2018;34:2258-73.
6. Chang YC, Chen DH. Preparation and adsorption properties of monodisperse chitosan-bound Fe< sub> 3</sub> O< sub> 4</sub> magnetic nanoparticles for removal of Cu (II) ions. J Colloid Interf Sci 2005;283:446-51.
7. Karaca E, Şatır M, Kazan S, Açıkgöz M, Öztürk E, Gürdağ G, Ulutaş D. Synthesis, characterization and magnetic properties of Fe3O4 doped chitosan polymer. J Magnet Magnet Mater 2015;373:53-9.
8. 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.
9. Sowmya A, Meenakshi S. Effective removal of nitrate and phosphate anions from aqueous solutions using functionalised chitosan beads. Desalin Water Treat 2014;52:2583-93.
10. Aswin Kumar I, Viswanathan N. Development and reuse of amine-grafted chitosan hybrid beads in the retention of nitrate and phosphate. J Chem Eng Data 2018;63:147-58.
11. 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].
12. 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].
13. Banu HT, Meenakshi S. One pot synthesis of chitosan grafted quaternized resin for the removal of nitrate and phosphate from aqueous solution. Int J Biol Macromolecul 2017;104:1517-27.
14. Bozorgpour F, Ramandi HF, Jafari P, Samadi S, Yazd SS, Aliabadi M. Removal of nitrate and phosphate using chitosan/Al2O3/Fe3O4 composite nanofibrous adsorbent: comparison with chitosan/Al2O3/Fe3O4 beads. Int J Biol Macromolecul 2016;93-557-65.
15. Karthikeyan P, Banu HAT, Meenakshi S. Synthesis and characterization of metal loaded chitosan-alginate biopolymeric hybrid beads for the efficient removal of phosphate and nitrate ions from aqueous solution. Int J Biol Macromolecul 2019;130:407-18.
16. 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.
17. Mohammadi E, Daraei H, Ghanbari R, Athar SD, Zandsalimi Y, Ziaee A, Maleki A, Yetilmezsoy K. Synthesis of carboxylated chitosan modified with ferromagnetic nanoparticles for adsorptive removal of fluoride, nitrate, and phosphate anions from aqueous solutions. J Molecular Liq 2019;273:116-24.
18. 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.
19. Ghodrat M, Asrari E. Comparative study of the performance of chitosan and chitosan adsorbents modified with Fe3O4 to eliminate erythromycin from aqueous solutions. Iran J Health Env 2018;10:471-82.
20. Rafiei HR, Shirvani M. Sorption of Lead (Pb) from Aqueous Solutions by Sepiolite and Bentonite Modified with Chitosan Biopolymers: Isotherms and Kinetics. Water Wastewater J 2016; 27(3):75-87 [In Persian].

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.373]

Journal of Environmental Health Engineering, August 2020; Vol. 7, No. 4: 373-383

Evaluation of the Efficiency of Nanomagnetic Chitosan in the Removal of Nitrate and Phosphate from Aqueous Solutions

Mohammad Noorisepehr[1,2], Emad Dehghanifard[1,2*], Babak Kakavandi[1,2]

1. Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Alborz University of Medical Sciences, karaj, Iran
2. Research Center for Health, Safety and Environment (RCHSE), Alborz University of Medical Sciences, Karaj, Iran

E-mail: dehghanifard@yahoo.com

Received: 2 Oct. 2019; Accepted: 7 Jun. 2020

ABSTRACT

Background & Objective: The presence of nitrate and phosphate in concentrations above the allowable level in surface and groundwater resources leads to disease and problems. The aim of this study was to investigate the adsorption efficiency of magnetic-metallic chitosan nanocomposite in the adsorption of nitrate and phosphate from aqueous solutions.

Materials and methods: The adsorbent was synthesized by co-precipitation method. Different concentrations of nitrate (50-300 mg/L) and phosphate (100-400 mg/L) were prepared and their removal was evaluated by different concentrations of synthesized adsorbent (0.1-0.5 g/L). Various parameters such as temperature (20-40 ° C), pH (5-8), contact time (0-90 minutes) and the presence of interfering ions (chloride, phosphate, hardness 1.5 mM) were investigated. SEM, XRD, FTIR and XRF tests were used to determine the synthesized adsorbent characteristics.

Results: Magnetic-metallic chitosan nanocomposite adsorbent is able to effectively remove nitrate and phosphate from aqueous solutions. Nitrate and phosphate removal efficiencies under conditions of pH=5, nitrate concentration (100 mg/L), phosphate concentration (200 mg/L), 60 min contact time and 0.3 g/L adsorbent concentration were 87.2% and 74.9%, respectively. The adsorption process of both pollutants followed the langmuir model and pseudo second kinetic order. Interfering ions reduced the removal efficiency of contaminants by 73.1% for nitrate and 65.9% for phosphate.

Conclusion: Since the presence of nitrate and phosphate anions, as common contaminants and indicators of water resources, the use of magnetic-metallic chitosan nanocomposite adsorbent is very effective in the removal of these contaminants.

Keywords: Chitosan; Magnetic iron oxide; Nitrate; Phosphate; Adsorption.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jehe.7.4.373]