مجله مهندسی بهداشت محیط، تابستان ۱۳۹۶، سال ٤، شماره ٤: ۲۸۹-۲۹۸

تصفیه فاضلاب مصنوعی حاوی کادمیوم (II) توسط نانو کامپوزیت جدید مغناطیسی EDTA /کیتوزان/TiO_2

بهاره علیزاده[۱]، محمد دلنواز[۱*]، علی‌رضا شاکری[۲]

[۱] گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
[۲] گروه شیمی، دانشکده شیمی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۳/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۲

چکیده

زمینه و هدف: کادمیوم به‌عنوان یک فلز سنگین به دلیل سمیت بالا، آسیب‌های جدی بر سلامت انسان و اثرات تجمع زیستی آن در اکولوژی، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. در مطالعه حاضر، یک روش آسان و اقتصادی برای آماده‌سازی نانو کامپوزیت جدید مغناطیسی EDTA/کیتوزان/TiO_2 (MECT) برای حذف گستره وسیع ی از آلاینده ها به‌خصوص یون‌های کادمیوم (II) از محلول آبی شرح داده‌شده است.

مواد و روش‌ها: در این روش نانو کامپوزیت جدید مغناطیسی EDTA/کیتوزان /TiO_2 تهیه و مورفولوژی، ساختار و ویژگی‌های آن توسط FE-SEM، EDX و XRD شناسایی و تأثیر پارامترهای مختلف نظیر pH، زمان تماس و غلظت اولیه کادمیوم در راندمان سیستم موردبررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاکی از آن است که نانو ذرات MECT با میانگین قطر کمتر از ٤٠ نانومتر، بهترین عملکرد جذب کادمیوم را در pH بهینه ٦-٥ در مدت‌زمان ۱۲۰ دقیقه داشته است. همچنین ایزوترم لانگمویر با ماکزیمم ظرفیت جذب ۲۱۲/۷٦٥ mg/g، بهترین مطابقت را با داده‌های آزمایشگاهی داشت. در انتها، قابلیت استفاده مجدد نانو کامپوزیت توسط احیاکننده Na_2EDTA مورد آزمایش قرار گرفت و راندمان احیا در ٥ سیکل جذب و واجذب، بالای ۹۰٪ مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: نانو کامپوزیت مغناطیسی MECT به‌عنوان جاذبی دوستدار محیط زیست، اقتصادی و قابل بازیافت، پتانسیل بالایی در تصفیه فاضلاب مصنوعی حاوی کادمیوم دارد.

کلمات کلیدی: نانو کامپوزیت مغناطیسی، کیتوزان، EDTA، کادمیوم

[*] **نویسنده مسئول:** گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
ایمیل: delnavaz@khu.ac.ir – شماره تماس: ۰۹۱۲-۲۸۱۲۱۷۴

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.4.4.289]

مقدمه

محدودیت منابع آبی در کشور و افزایش سطح آلاینده‌ها در آب‌های سطحی و زیرزمینی با تخلیه زباله های صنعتی در محیط، یافتن راه‌حل‌های مؤثر و اقتصادی محیط زیستی را در جهت حذف این مواد از منابع آبی ضروری می سازد . بسیاری از فلزات سنگین از فعالیت های صنعتی مانند آبکاری فلزات، معدن، ساخت باتری و رنگ دانه‌های سینتیکی، در محیط زیست انتشار پیدا می‌کنند.[1] درمیان فلزات سنگین، کادمیوم به دلیل سمیت بالا، آسیب‌های جدی بر سلامت انسان و قابلیت تجمع زیستی آن در اکولوژی، از سوی آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا در فهرست ۱۲۹ آلاینده مقدم برای تصفیه، لیست شده است.[2]

فنّاوری‌های مختلفی برای حذف فلزات سنگین از آب آلوده استفاده‌شده است که می‌توان به ته‌نشینی شیمیایی[3]، اسمز معکوس[4]، فیلتراسیون غشایی[5]، تبادل یونی[6]، و جذب سطحی [2] اشاره کرد. روش جذب سطحی با استفاده از جاذب‌های طبیعی به دلیل عملکرد آسان، ظرفیت جذب بالا و هزینه پایین، به‌عنوان روشی کارآمد برای حذف یون‌های فلزی از فاضلاب مطرح‌شده است.[7] در سال‌های اخیر، کیتوزان به‌عنوان یکی از فراوان‌ترین بیوپلیمر در طبیعت، با دارا بودن ویژگی های منحصربه‌فردی مانند زیست تخریب پذیری ، سمیت پایین، قابلیت کی‌لیت یون‌های فلزی و حذف رنگ توسط گروه های عملکردی، در پژوهش‌های زیادی به عنوان جاذبی ارزان و دوستدار محیط‌زیست موردتوجه محققان قرارگرفته است .[8,9] بااینکه تاکنون پتانسیل جذب خوبی از کیتوزان گزارش شده است، به‌منظور رسیدن به عملکرد جذب بهتر، جلوگیری از تورم و حل شدنش در محیط اسیدی، بازیابی جاذب از آب تصفیه‌شده و اضافه کردن قابلیت حذف آلاینده آلی، کیتوزان نیاز به اصلاح شیمیایی دارد.[10] ترکیب کیتوزان با هسته های مغناطیسی و استفاده از میدان مغناطیسی خارجی برای جداسازی جاذب از سیستم جذب، مشکلات زیست محیطی روش‌های معمول جداسازی، مانند فیلتراسیون و سانتریفیوژ را که منجر به از دست رفتن جاذب و انتشار نانو مواد در آب می‌شدند، حل کرده است.[11] معمولاً، جاذب‌های مغناطیسی از طریق یک اتصال‌دهنده در محیط امولسیون تهیه می شوند . بااین‌حال ، اتصال دهنده های رایج مانند گلوتارآلدهید [12] و اپی‌کلروهیدرین [13]، پتانسیل بالایی در سمیت دارند و این فرآیند با درگیر کردن گروه های عملکردی، منجر به کاهش قابل‌توجه جذب یون‌های فلزی می‌شود.[15,16] بنابراین، نیاز به یک اتصال‌دهنده غیر سمی و دارای گروه های عملکردی برای اصلاح سطح جاذب، احساس می‌شود.

در سال ۲۰۱۵ ژاو و همکارانش، روشی آسان و اقتصادی برای تولید کیتوزان مغناطیسی توسط EDTA و DTPA گزارش کرده‌اند. در این تحقیق، EDTA و DTPA نه تنها نقش اتصال‌دهنده ای ارزان و سازگاربامحیط زیست را بازی می‌کنند بلکه به‌عنوان لیگاندهای چنددندانه‌ای، در کنار کیتوزان در جذب یون‌های فلزی کمک می کنند .[16] در راستای حذف آلاینده‌های آلی نیز، فرآیند اکسیداسیون پیشرفته با استفاده از ماده نیمه‌هادی TiO_2 به عنوان روشی کارآمد شناخته شده است.[17] می‌توان این ماده را برای جلوگیری از تجمع بر روی کیتوزان نشاند.[17,18] بااین حال ، معایب بسیاری در کارهای انجام‌شده وجود دارد که به‌عنوان‌مثال می‌توان به آماده سازی جاذب‌ها با ترکیبات سمی، روش های اصلاح گران قیمت ، جذب فقط یک نوع آلاینده و سنتز مواد در مقیاس میکرو و بالاتر اشاره کرد.

در مطالعه حاضر، نانو کامپوزیت مغناطیسی جدید EDTA/کیتوزان/TiO_2 (MECT) برای حذف انواع مختلف آلاینده آماده‌شده است. این کامپوزیت در مقیاس نانو، توسط

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.4.4.289]

اتصال‌دهنده‌ای تثبیت‌شده و سازگاربامحیط زیست (EDTA) تولید و توسط فناوری های XRD، FE-SEM و EDX شناسایی و میزان جذب یون‌های فلزی کادمیوم (II) در شرایط مختلف موردبررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی مورد مصرف شامل کیتوزان (با درجه استیل زدایی ٪۸۵–۷۵ و وزن ملکولی ۳۲۲ g/mol)، $FeCl_3.6H_2O$ و $FeSO_4.7H_2O$ از شرکت سیگما–آلدریچ و نانو ذرات TiO_2 از شرکت Degussa آلمان، تهیه شدند . سایر مواد شیمیایی مورداستفاده، از شرکت مرک آلمان خریداری شدند . در این تحقیق از دستگاه میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FE-SEM و EDX) مدل Mira 3-XMU پژوهشکده متالوژی رازی تهران، دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) مدل Equinox 3000 کشور فرانسه و برای اندازه‌گیری یون‌های فلزی باقی مانده در محلول، از دستگاه اسپکترومتری نشری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) مدل VISTA-MPX شرکت Varian آمریکا، استفاده شد.

تهیه نانو کامپوزیت MECT

نخست، نانو ذرات مغناطیسی Fe_3O_4 به روش همرسوبی شیمیایی تولید شدند.[19] در ادامه، هسته‌های مغناطیسی Fe_3O_4 در امولسیون (w/o) توسط اتصال دهنده EDTA، به زنجیره پلیمری کیتوزان متصل شدند. در این روش، مخلوط کیتوزان، Fe_3O_4، EDTA و امولسیون با حلال متانول، به مدت ٦ ساعت در دمای ٦٠°C تحت رفلاکس و همزن، بعد از جداسازی، به مدت ٦ ساعت با اتانول تحت همزن مداوم قرار گرفتند . درنهایت، مخلوط حاوی کیتوزان مغناطیسی آماده شده ، نانو ذرات TiO_2 و آب مقطر به مدت ۲ ساعت در دستگاه اولتراسونیک هم زده شد. سپس، نانو کامپوزیت آماده شده ، توسط آهنربا جداسازی و در دمای ٦٠°C اون خشک شد.

آزمایشات جذب و واجذب

به‌منظور انجام آزمایشات جذب کادمیوم (II)، ۳۰ mL محلول حاوی Cd(II) با غلظت مشخص با دوز ثابت ۱ g/L از نانو جاذب و دمای ثابت ۲۵°C، بعد از اعمال تغییراتی از قبیل pH(۳–۸)، غلظت اولیه یون های فلزی (۵۰–۳۰۰ mg/L) و زمان فرآیند (۱۵–۲٤۰min)، برای اختلاط کامل در دستگاه همزن با سرعت ۲۰۰ rpm هم زده شد . به منظور بررسی عملکرد احیاء جاذب، آزمایشات واجذب در ۵ سیکل به کمک احیاکننده Na_2EDTA (۰/۱M) انجام شد . ظرفیت جذب کادمیوم با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید:[20]

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{M} V \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، C_0 و C_e به ترتیب غلظت اولیه وتعادلی کادمیوم (mg/L)، M وزن خشک جاذب (g) و V حجم محلول (L) می باشند . همچنین مدل های ایزوترم جذب لانگمویر و فروندلیچ برای بررسی ایزوترم حاکم بر فرآیند جذب کادمیوم، مورداستفاده قرار گرفتند.

بحث

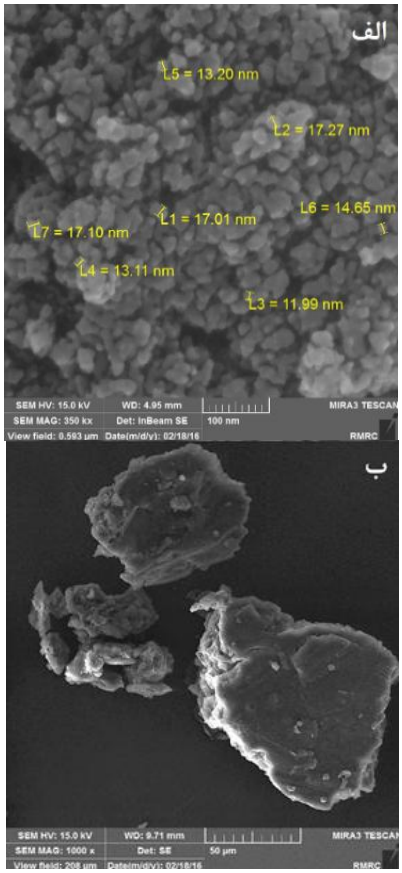
ساختار نانو جاذب تولیدشده

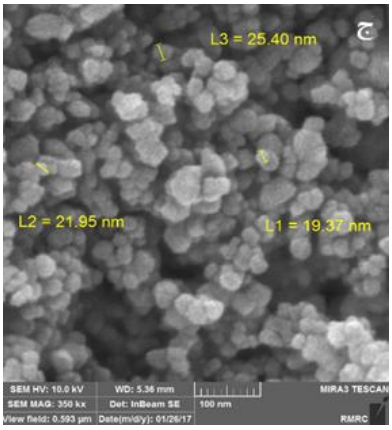
در ابتدا، کامپوزیت MECT به وسیله فن های مختلف طیف‌سنجی مورد شناسایی و بررسی قرار گرفت. با توجه به شکل ۱ تصاویر FE-SEM، ذرات کروی شکل، یکنواخت با میانگین قطر ابعاد نانو ذرات اکسید آهن ۱۵ nm و کامپوزیت نهایی زیر۴۰ nm را نشان می‌دهند. قرارگیری ابعاد در محدوده مطلوب نانو، مزیتی برای افزایش بازده جذ ب کامپوزیت MECT می‌باشد. بر طبق طیف EDX نانو کامپوزیت نهایی در شکل ۲، پیک‌های مربوط به عناصر C، N و O وجود کیتوزان و EDTA، و عناصر O، Ti و Fe وجود نانو ذرات Fe_3O_4 و TiO_2 را اثبات می کنند . علاوه بر این، تطبیق الگوی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

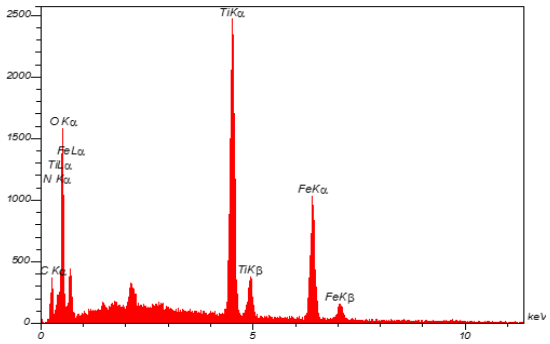
[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.4.4.289]

به دست آمده از آزمایش XRD کامپوزیت MECT با استانداردهای فاز مگنتیت (Fe_3O_4) (JCPDS no.01-075-0449) و فاز آناتاز TiO_2 (JCPDS no.01-083-2243)، وجود این دو ماده در نانو جاذب نهایی صراحتاً تأیید شد (شکل ۳). این به‌وضوح نشان می‌دهد که نانو کامپوزیت با موفقیت سنتز شده است.

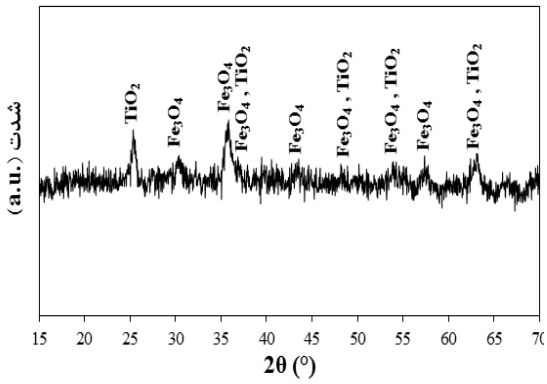




شکل ۱: تصاویر FE-SEM الف) Fe_3O_4 ب) کیتوزان مغناطیسی ج) نانو کامپوزیت MECT



شکل ۲: طیف EDX نانو کامپوزیت MECT



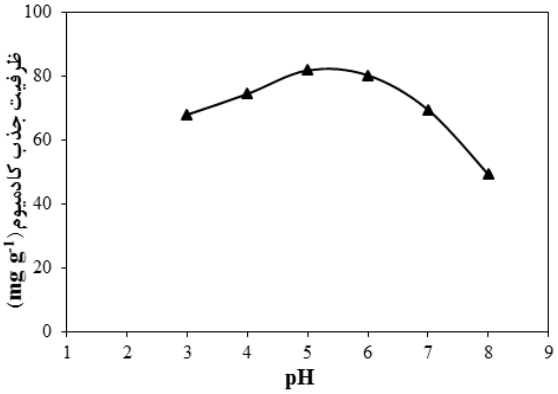
شکل ۳: طیف XRD نانو کامپوزیت MECT

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.4.4.289]

تأثیر pH بر راندمان جذب کادمیوم

pH محیط نه‌تنها بر روی حلالیت یون‌های فلزی، بلکه بر درجه پروتونه شدن گروه‌های عملکردی سطح جاذب نیز، تأثیرگذار است.[۱۷] کادمیوم در pHهای کمتر از ۸ به صورت یون‌های Cd(II) و در pH مای بالاتر به شکل هیدروکسید $Cd(OH)_2$ رسوب می‌کند.[۲۱] به همین دلیل مطالعات بر روی pHهای بالاتر از ۸ انجام نگرفت. با توجه به شکل ٤، میزان جذب کادمیوم با افزایش pH از ۳ تا ۵ افزایش داشته است و حداکثر راندمان حذف ۸۲٪ در pH= ۵ اتفاق افتاده است.

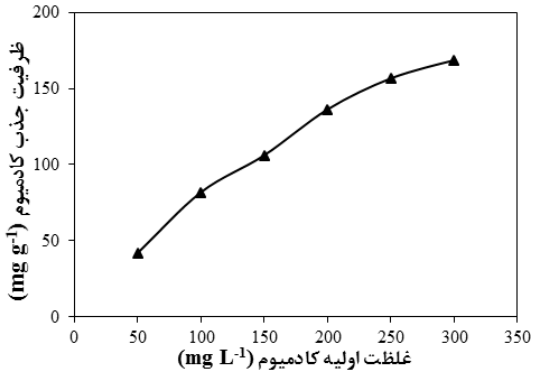


شکل ٤: تأثیر pH برجذب کادمیوم (II) در غلظت اولیه ۱۰۰ mg/L و در مدت ۲ ساعت

وابستگی راندمان حذف به pH را می‌توان توسط گروه‌های عاملی درگیر در جذب فلز توصیف کرد . در pH مای پایین بسیاری از گروه های عاملی در سطح نانو کامپوزیت ، پروتونه‌شده و با ایجاد بار مثبت بر روی سطح جاذب باعث دافعه یون‌های فلزی می‌شود. از سوی دیگر وجود تعداد زیاد یون‌های H^+ و H_3O^+ در محلول، باعث ایجاد رقابت میان آن‌ها و یون‌های فلزی بر سر سایت‌های فعال جذب می‌شود.[۱] بدیهی است که با افزایش pH و دی‌پروتونه شدن سایت های فعال، جذب یون‌های فلزی افزایش پیدا می کند . کاهش جذب در pH>۷ می‌تواند به دلیل رقابت میان یون‌های -OH و گروه‌های عاملی بر سر جذب یون‌های Cd(II) باشد.[۲۰]

تأثیر غلظت اولیه کادمیوم بر راندمان جذب

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می شود، میزان جذب کادمیوم با افزایش غلظت اولیه کادمیوم در محلول افزایش می‌یابد. این پدیده را می‌توان به دلیل نیروی محرکه یون های کادمیوم برای غلبه بر محدودیت انتقال جرم میان جاذب و فاز مایع دانست.[۲۲] بااین‌حال با افزایش بیش‌ازحد یون‌های فلزی به دلیل اشباع شدن سایت های فعال، و رقابت برهمکنش یون ها برای جذب، میزان ظرفیت جذب تقریباً ثابت می‌ماند.



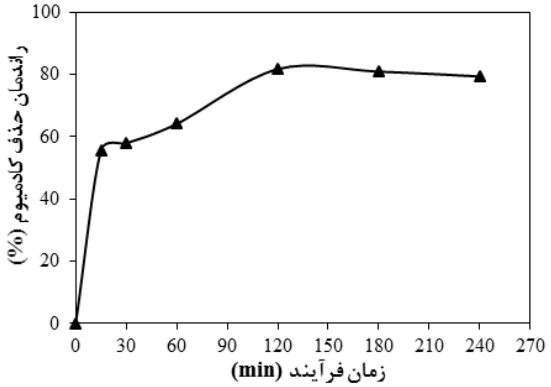
شکل ۵: تأثیر غلظت اولیه کادمیوم بر ظرفیت جذب جاذب در pH=۵ به مدت ۲ ساعت

تأثیر مدت‌زمان فرآیند بر راندمان جذب

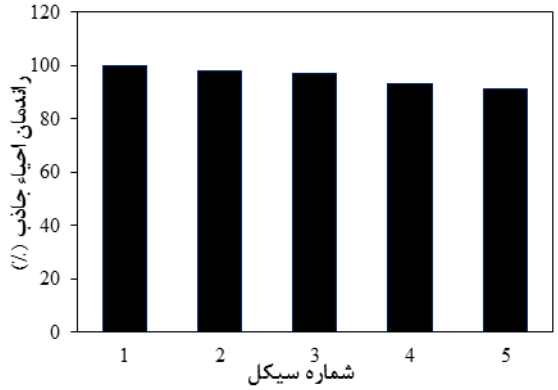
اثر زمان ماند فرآیند در جذب کادمیوم (II) در غلظت اولیه ۱۰۰mg/L و pH=۵ در شکل ٦ نشان داده‌شده است . با توجه به نمودار، در ابتدا جذب فلز افزایش یافته و در ۱۲۰ دقیقه به حداکثر جذب خود رسیده و فراتر از این زمان تغییری در جذب رخ نداده است. بنابراین زمان تعادل برای مطالعات جذب، ۲ ساعت در نظر گرفته شد . نکته قابل توجه در این نمودار این است که جاذب در ۱۵ دقیقه نخست، به بیش از ٦۰٪ حداکثر ظرفیت جذب خود رسیده است که آن را به‌عنوان جاذبی سریع و کارآمد مطرح می‌کند.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.4.4.289]



شکل ۶: تأثیر مدت‌زمان فرآیند در راندمان جذب در pH=۵ در غلظت اولیه ۱۰۰ mg/L کادمیوم



شکل ۷: راندمان احیاء نانو کامپوزیت MECT

تحلیل نتایج آزمایشات واجذب

ازنظر عملیاتی و هدف‌های محیط‌زیستی، قابلیت استفاده مجدد و احیاء جاذب یکی از جنبه های مهم و ابتکارانه برای امکان‌سنجی اقتصادی به‌حساب می‌آید و فرآیند برگشت پذیر جذب، احیاء جاذب را ممکن می‌سازد.[۲۳] با توجه به شکل ۷ که راندمان احیاء نانو کامپوزیت را نشان می دهد، ظرفیت جذب کادمیوم در جاذب پس از ۳ سیکل تقریباً ۱۰۰٪ بوده و در پایان ۵ سیکل بالاتر از ۹۰٪ است . پایین آمدن جذب در سیکل ٤ به بعد را می توان به از دست رفتن جاذب در مراحل متعدد شست‌وشو و انجام نشدن عمل واجذب به‌صورت کامل نسبت داد.[۲۳] آزمایشات احیاء در این تحقیق نشان داد که نه‌تنها Na_2EDTA احیاء کننده‌ای مناسب در این مورد بوده است بلکه نانو کامپوزیت مغناطیسی MECT را می‌توان بارها به عنوان جاذبی کارآمد و واجد شرایط برای تصفیه عملی فاضلاب استفاده کرد.

بررسی ایزوترم حاکم بر فرآیند جذب

تعیین ایزوترم حاکم بر سیستم جذب، برای به دست آوردن ماکزیمم ظرفیت جذب جاذب و طراحی سیستم جذب نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. داده‌های تعادلی جذب یون‌های فلزی معمولاً با معادلات لانگمویر و فروندلیچ مرتبط هستند . بنابراین برای مدل‌سازی ایزوترم جذب یون های کادمیوم (II) توسط نانو کامپوزیت MECT، از مدل های لانگمویر و فروندلیچ مطابق استفاده شد و نمودار خطی آن‌ها به ترتیب در اشکال ۸ و ۹ رسم گردید.[۲۳] معادلات ایزوترم‌های جذب لا نگمویر و فروندلیچ و پارامتر لانگمویر به ترتیب مطابق روابط ۲ تا ٤ می-باشد:

رابطه (۲)
$$\frac{1}{q_e}=\frac{1}{q_{\max}}+\frac{1}{q_{\max}K_L C_e}$$

رابطه (۳)
$$\ln(q_e)=\ln(K_F)+\frac{1}{n_F}\ln(C_e)$$

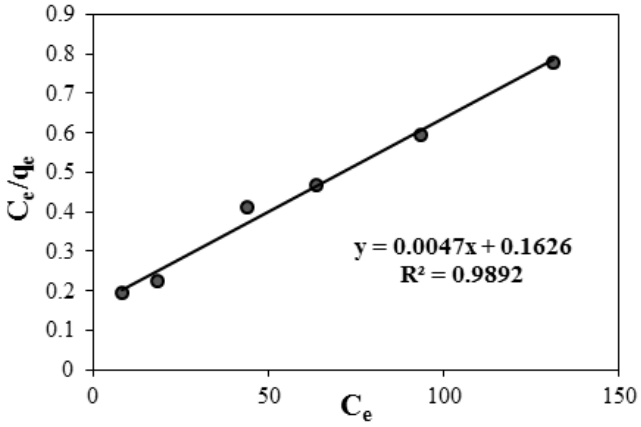
رابطه (٤)
$$R_L=\frac{1}{1+K_L C_0}$$

که در این روابط C_e غلظت تعادلی یون‌های فلزی برحسب mg/L، q_e ظرفیت جذب جاذب برحسب mg/g، q_{max} ح داکثر ظرفیت جذب یون‌های فلزی برحسب mg/g، K_L ثابت تعادل لانگمویر برحسب L/mg، Kf ثابت معادله فروندلیچ (شاخص ظرفیت جذب)، *nf* ثابت معادله فروندلیچ که به درجه ناهمگنی سیستم بستگی دارد و C_0 غلظت تعادلی یون های فلزی برحسب mg/L می‌باشد. با توجه به نمودارهای به دست آمده ، ثابت‌ها و ضریب همبستگی (R^2) ایزوترم‌ها در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به بیشتر بودن مقدار ضریب همبستگی R^2 مدل لانگمویر نسبت به مدل فروندلیچ، این مدل مطابقت

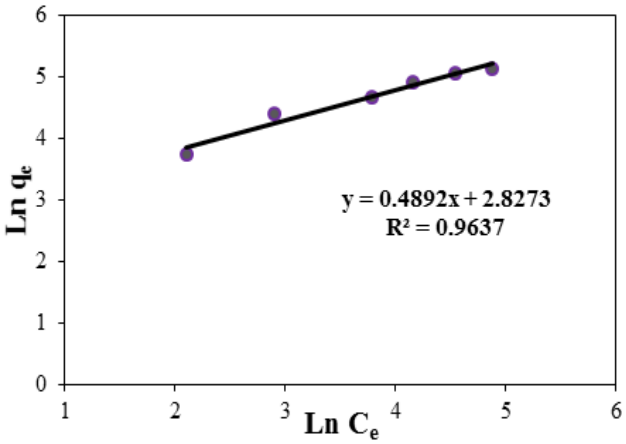
[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.4.4.289]

بهتری با داده‌های آزمایشگاهی دارد. همچنین پارامتر بدون بعد R_L، نشان‌دهنده این است که ایزوترم لانگمویر، نامناسب ($R_L>1$)، خطی ($R_L=1$)، مناسب ($0<R_L<1$) و یا برگشت‌پذیر ($R_L=0$) است. قرارگیری این پارامتر (R_L) در محدوده مطلوب صفر و یک، مدل ایزوترم لانگمویر را به عنوان یک مدل هم‌دمای مناسب، بر فرآیند جذب حاکم می‌دارد. بنابراین جذب کادمیوم بر روی جاذب را می‌توان تک‌لایه‌ای و همگن فرض نمود. ازاین‌رو، ماکزیمم ظرفیت جذب فلز کادمیوم (II) بر روی نانو کامپوزیت جدید ساخته‌شده با توجه به رابطه مدل ایزوترم لانگمویر، ۲۱۲/۷۶۵ mg/g تخمین زده شد.



شکل ۸: نمودار خطی ایزوترم لانگمویر



شکل ۹: نمودار خطی ایزوترم فروندلیچ

جدول ۱: پارامترهای ایزوترم‌های جذب

ایزوترم فروندلیچ		
R^2	$(mg\ g^{-1})\ K_F$	n
۰/۹۶۳	۱۶/۹	۲/۰۴۴
ایزوترم لانگمویر		
R^2	$(L\ g^{-1})\ K_L$	$q_{max}\ (mg\ g^{-1})$
۰/۹۸۹	۰/۰۲۹	۲۱۲/۷۶۵

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.4.4.289]

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به‌منظور حذف گستره وسیعی از آلاینده‌ها به‌خصوص یون‌های فلزی کادمیوم از محلول آبی، از کیتوزان به‌عنوان ماده پایه استفاده شد . در این راستا برای پایداری کیتوزان و بهبود قابلیت حذف، اتصال‌دهنده‌های EDTA برای نشاندن هسته‌های مغناطیسی Fe_3O_4 بر روی شبکه پلیمری کیتوزان استفاده شدند. درنهایت این کامپوزیت با TiO_2 به‌عنوان فتوکاتالیست سنتز شد. با بررسی اثر پارامترهای pH، غلظت اولیه Cd(II) و مدت‌زمان فرآیند با بهره‌گیری از ویژگی نانو مواد با ابعاد مطلوب زیر ٤٠ نانومتر، بهترین عملکرد حذف را در pH=٥، غلظت اولیه ١٠٠ mg/L کادمیوم و زمان تعادل ٢ ساعت، از خود نشان داد. همچنین نتایج آزمایشات واجذب، حاکی از راندمان بالای ٩٠٪ نانو کامپوزیت MECT در پایان ٥ سیکل جذب و واجذب بود. درنهایت مدل ایزوترم هم دمای جذب لانگمویر مطابقت بیشتری با نتایج آزمایشگاهی داشته و ماکزیمم ظرفیت جذب به دست آمده از این ایزوترم رقم قابل‌توجه، ٢١٢/٧٦٥ mg/g است.

بنابراین نانو کامپوزیت مغناطیسی MECT به‌عنوان جاذبی بی‌خطر، اقتصادی و با بازده بالا در حذف آلاینده ها، در فرآیندهای تصفیه آب و فاضلاب های صنعتی بسیار امیدوارکننده است.

References

1. Monier M, Abdel-Latif DA. Preparation of cross linked magnetic chitosan-phenylthiourea resin for adsorption of Hg(II), Cd(II) and Zn(II) ions from aqueous solutions. J Hazard Mater 2012; 209–210: 240–9.
2. Khan A, Badshah S, Airoldi C. Biosorption of some toxic metal ions by chitosan modified with glycidylmethacrylate and diethylenetriamine. Chem Eng J 2011; 171(1): 159–66.
3. Fu F, Wang Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. J Environ 2011; 92(3): 407–18.
4. Mohsen-Nia M, Montazeri P, Modarress H. Removal of Cu^{2+} and Ni^{2+} from wastewater with a chelating agent and reverse osmosis processes. Desalination 2007; 217(1–3): 276–81.
5. Landaburu-Aguirre J, Pongrácz E, Perämäki P, Keiski RL. Micellar-enhanced ultrafiltration for the removal of cadmium and zinc: Use of response surface methodology to improve understanding of process performance and optimisation. J Hazard Mater. 2010; 180(1–3): 524–34.
6. Gode F, Pehlivan E. Removal of chromium(III) from aqueous solutions using Lewatit S 100: The effect of pH, time, metal concentration and temperature. J Hazard Mater 2006; 136(2): 330–7.
7. Kumar M, Tripathi BP, Shahi VK. Crosslinked chitosan/polyvinyl alcohol blend beads for removal and recovery of Cd(II) from wastewater. J Hazard Mater 2009; 172(2–3): 1041–8.
8. Maleki A, Pajootan E, Hayati B. Ethyl acrylate grafted chitosan for heavy metal removal from wastewater: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. J Taiwan Inst Chem Eng 2015; 51: 127–34.
9. Repo E, Warchol JK, Kurniawan TA, Sillanpää MET. Adsorption of Co(II) and Ni(II) by EDTA- and/or DTPA-modified chitosan: Kinetic and equilibrium modeling. Chem Eng J 2010; 161(1–2): 73–82.
10. Fan L, Luo C, Li X, Lu F, Qiu H, Sun M. Fabrication of novel magnetic chitosan grafted with graphene oxide to enhance adsorption properties for methyl blue. J Hazard Mater 2012; 215–216: 272–9.
11. Zhou L, Wang Y, Liu Z, Huang Q. Characteristics of equilibrium, kinetics studies for adsorption of Hg(II), Cu(II), and Ni(II) ions by thiourea-modified magnetic chitosan microspheres. J Hazard Mater 2009; 161(2–3): 995–1002.
12. Reddy DHK, Lee SM. Application of magnetic chitosan composites for the removal of toxic metal and dyes from aqueous solutions. Adv Colloid Interf Sci 2013; 201–202: 68–93.
13. Zeiger E, Gollapudi B, Spencer P. Genetic toxicity and carcinogenicity studies of glutaraldehyde - A review. Mutat Res - Rev Mutat Res 2005; 589(2): 136–51.
14. Hutler Wolkowicz IR, Aronzon CM, Pérez Coll CS. Lethal and sublethal toxicity of the industrial chemical epichlorohydrin on Rhinella arenarum (Anura, Bufonidae) embryos and larvae. J Hazard Mater 2013; 263: 784–91.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.4.4.289]

15. Zhao F, Repo E, Sillanpää M, Meng Y, Yin D, Tang WZ. Green synthesis of magnetic EDTA- And/or DTPA-cross-linked chitosan adsorbents for highly efficient removal of metals. Ind Eng Chem Res. 2015; 54(4): 1271–81.

16. Chen A, Zeng G, Chen G, Hu X, Yan M, Guan S, et al. Novel thiourea-modified magnetic ion-imprinted chitosan/TiO_2 composite for simultaneous removal of cadmium and 2,4-dichlorophenol. Chem Eng J 2012; 191: 85–94.

17. Xiang Y, Wang H, He Y, Song G. Efficient degradation of methylene blue by magnetically separable Fe_3O_4 / chitosan / TiO_2 nanocomposites. Desalination Water Treat 2015; 55(July 2014): 1018–25.

18. Chen JP, Yang PC, Ma YH, Wu T. Characterization of chitosan magnetic nanoparticles for in situ delivery of tissue plasminogen activator. Carbohydr Polym 2011; 84(1): 364–72.

19. Chen GQ, Zhang WJ, Zeng GM, Huang JH, Wang L, Shen GL. Surface-modified Phanerochaete chrysosporium as a biosorbent for Cr(VI)-contaminated wastewater. J Hazard Mater 2011; 186(2–3): 2138–43.

20. Rangel-Mendez JR, Monroy-Zepeda R, Leyva-Ramos E, Diaz-Flores PE, Shirai K. Chitosan selectivity for removing cadmium (II), copper (II), and lead (II) from aqueous phase: pH and organic matter effect. J Hazard Mater 2009; 162(1): 503–11.

21. Vimala R, Das N. Biosorption of cadmium (II) and lead (II) from aqueous solutions using mushrooms: A comparative study. J Hazard Mater 2009; 168(1): 376–82.

22. Ozay O, Ekici S, Baran Y, Aktas N, Sahiner N. Removal of toxic metal ions with magnetic hydrogels. Water Res 2009; 43(17): 4403–11.

23. Ren Y, Abbood HA, He F, Peng H, Huang K. Magnetic EDTA-modified chitosan/SiO_2/Fe_3O_4 adsorbent: Preparation, characterization, and application in heavy metal adsorption. Chem Eng J 2013; 226: 300–11.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.4.4.289]

Journal of Environmental Health Engineering, August 2017; Vol. 4, No. 4: 289-298

Treatment of Synthetic Wastewater Containing of Cd(II) Using Novel Magnetic EDTA/Chitosan/TiO_2 Nanocomposite

Bahareh Alizadeh[1], Mohammad Delnavaz[1*], Alireza Shakeri[2]

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran
2. Faculty of Chemistry, Tehran University, Tehran, Iran

**** E-mail: delnavaz@khu.ac.ir***

Received: 22 May 2017 ; Accepted: 13 Sep 2017

ABSTRACT

Background: Cadmium, as a heavy metal, has received considerable attention due to its high toxicity, causing excessive damage to health and the biomagnification effects on ecology. In present study, a facile and economic approach has been described for preparing a novel magnetic EDTA/Chitosan/TiO_2 (MECT) nanocomposite to remove a wide range of pollutants, especially Cd(II) ions, from aqueous solution.

Methods: In this method, not only EDTA has a cheap and environmentally friendly cross-linker function, embeds Fe_3O_4 nanoparticles in chitosan surface, but also participates in the chelating process of metal ions, caused by functional groups. The morphology, structure, and property of the MECT were characterized by FE-SEM, EDX, and XRD techniques and the effect of different parameters including pH, contact time, and initial cadmium concentration were evaluated.

Results: The results represented that MECT nanoparticles with an average diameter less than 40 nm had the best performance in adsorption of Cd(II) at optimum pH values of 5-6 and contact time of 120 min. Moreover, Langmuir adsorption isotherm is the best fit for the experimental data, in which maximum capacity of Cd(II) adsorption has been achieved 211.416 mg g^{-1}. Finally, reusability of the nanocomposite was measured using Na_2EDTA as an elution agent and regeneration efficiency of MECT was observed more than 90% in five successive sorption-desorption cycles.

Conclusions: Thus, magnetic MECT nanocomposite as an environmentally friendly, economical, and recyclable adsorbent has a great potential to develop the industry of water and wastewater treatment.

Keywords: Magnetic nanocomposite, Chitosan, EDTA, Cd(II)

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.4.4.289]