مجله دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه
دوره ۱۱. شماره ۱. بهار ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

بررسی کارایی حذف آنتی‌بیوتیک آموکسی‌سیلین از محلول‌های آبی با استفاده ازنانوکامپوزیت مغناطیسی اکسید گرافن

اعظم نادعلی[۱]، مریم فروغی[۲]، محمدحسین احمدی ازغندی[۳*]، عبدالمجید قلیزاده[۲]، محمد مومنی[۴]

۱. مرکز تحقیقات آلاینده های محیطی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران
۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
۳. استادیار شیمی تجزیه، دانشکده نفت و گاز گچساران، دانشگاه یاسوج، ایران
۴. گروه علوم کشاورزی، دانشگاه هلسینکی، هلسینکی، فنلاند

چکیده

زمینه و هدف: آموکسی سیلین (AMX) یک آنتی‌بیوتیک پر مصرف در پزشکی است که باقیمانده آن در منابع آبی اثرات جانبی زیادی از جمله ایجاد مقاومت آنتی‌بیوتیکی را سبب می شود.

روش‌ها: در این مطالعه، یک جاذب تجدیدپذیر مبتنی بر اکسید گرافن (نانوکامپوزیت اکسید گرافن اصلاح شده با $CoFe_2O_4$) سنتز شد و برای جذب AMX از محیط آبی تحت شرایط بهره‌برداری مختلف دوز جاذب، غلظت اولیه AMX، درجه حرارت و زمان سونیکاسیون به کار برده شد. مشخصات نانوکامپوزیت سنتز شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی، پراش پرتو ایکس، pH_{ZPC} و BJH/ BET مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج: حداکثر ظرفیت جذب و حداکثر راندمان جذب به ترتیب ۲۳۸/۶۲ میلی گرم در گرم جاذب و حدود ۹۸ درصد در غلظت ۳۵ میلی‌گرم، دوز جاذب ۱۵۵ میلی‌گرم، زمان تماس ۱۵ دقیقه و دمای اولتراسونیک ۵۰ درجه سلسیوس به دست آمد. فرایند جذب سطحی آموکسی سیلین بر روی جاذب تهیه شده به ترتیب از مدلهای سینتیکی و ایزوترمی شبه مرتبه دوم (R^2 = ۰/۹۹۹) و لانگمویر (R^2 = ۰/۹۹۷) پیروی می کرد که نشان دهده جذب شیمیایی و تک لایه آموکسی سیلین بود. همچنین مطالعات ترمودینامیکی نشان داد که فرایند جذب از نظر استوکیومتری امکان‌پذیر و خود به خودی و گرماگیر است.

نتیجه‌گیری: به طور خلاصه، نانوکامپوزیت سنتز شده به عنوان یک جاذب تجدیدپذیر، احتمالاً تأثیرات قابل توجهی بر تصفیه فاضلاب دارویی خواهد داشت و می‌تواند برای تحقیقات آینده به عنوان یک ماده کارآمد برای تکنیک‌های تصفیه در نظر گرفته شود.

کلید واژه‌ها:
آنتی‌بیوتیک ، روش سطح –پاسخ ، اکسید گرافن، آموکسی سیلین

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه محفوظ است.

***آدرس نویسنده مسئول: یاسوج، دانشگاه یاسوج، دانشکده نفت و گاز گچساران**
آدرس پست الکترونیک: mhahmadia58@gmail.com

مقدمه

تحقیقات اخیر نشان داده است که با رشد جامعه و اقتصاد، طیف وسیعی از دارو ها از جمله دارو های ضد التهابی، آنتی‌بیوتیک‌ها و هورمون‌ها وارد خاک، رسوبات و اکوسیستم آبی شده‌اند. این مواد می‌تواند به عنوان تهدیدی برای محیط زیست، پایداری اکولوژیکی و زندگی آبزیان مطرح باشند. از این رو، به منظور مقابله با آلودگی آب ها و بدن موجودات زنده، یافتن روش‌هایی برای حذف این مواد از محیط آبی ضروری است (۱). در این میان، آموکسی‌سیلین (AMX)، به عنوان یک آنتی‌بیوتیک (متعلق به خانواده بتالاکتام‌ها) برای درمان عفونت‌های باکتریایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲). بیش از ۸۰ ٪ از این ماده، پس از گذشت ۲ ساعت از زمان مصرف آن، از طریق ادرار از بدن انسان دفع می‌شود. این ویژگی همراه با استفاده گسترده و عمدتاً نادرست از AMX به ویژه در کشورهای کم درآمد، باعث نفوذ این ترکیب به منابع آبی و خاک شده است (۳, ٤).

با توجه به اثر مستقیم بیولوژیکی این ترکیب شیمیایی بر روی میکروارگانیسم‌ها و ایجاد باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک، این ترکیب یک تهدید بالقوه محسوب می‌شود (٥). به همین دلیل، AMX در فهرست نظارت اتحادیه اروپا جزء آلاینده های نوظهور (تصمیم اتحادیه اروپا، ٤٩٥/٢٠١٥) فهرست شده است (٤). همچنین، توانایی بزرگنمایی زیستی این ترکیب در طول زنجیره غذایی، می‌تواند باعث تشدید سمیت این آلاینده شود (۲). مشخصات و ساختار شیمیایی AMX در جدول ۱ نشان داده شده است. علاوه بر این‌ها، عدم کارایی فرایندهای متداول تصفیه مورد استفاده در تصفیه خانه‌های فاضلاب در تخریب کامل AMX، منجر به ایجاد غلظت باقیمانده AMX در منابع آب و افزایش اثرات زیان بار این آلاینده می‌شود (۲, ٦). چندین روش مختلف فیزیکی و شیمیایی جهت حذف این آلاینده به کار برده شده است از آن جمله می‌توان فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته، فرآیندهای غشایی، ازن زنی، جذب و غیره را نام برد (۲, ۷).

از میان فرایندهای مختلف، جذب سطحی به دلیل داشتن مزایایی مانند سادگی، قابل استفاده بودن برای جداسازی آلاینده‌ها با غلظت کم، هزینه کم، امکان استفاده مجدد، امکان جذب انتخابی مواد از مخلوط های چند جزئی، دستیابی به درجه بالایی از تصفیه و عدم حساسیت به آلاینده‌های سمی به طور گسترده‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرد (۷-۹). تاکنون جاذب‌های مختلفی برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها از محیط‌های آبی مورد استفاده قرار گرفته است. در طول دهه گذشته، اهمیت استفاده از مواد مبتنی بر کربن برای کاربردهای زیست محیطی به طور قابل توجهی مورد توجه قرار گرفته است (۱).

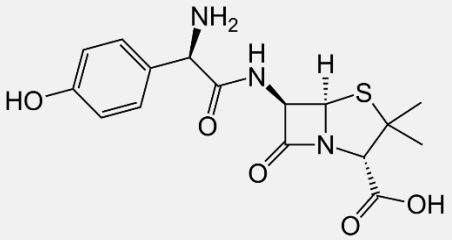
بین تمام نانومواد کربنی، اکسید گرافن (GO) به دلیل داشتن گروهای عاملی اکسیژن‌دار بر روی سطح (اپوکسی، کربوکسیل و هیدروکسیل)، استحکام مکانیکی فوق العاده، پایداری شیمیایی خوب، سطح ویژه بالا (از لحاظ نظری ۲٦۰۰ متر مربع در گرم) و چگالی کم، به عنوان ماده‌ای مناسب برای کاربردهای زیست محیطی در حذف آنتی‌بیوتیک‌ها به کار برده شده است (۱۰). با این حال، به دلیل خاصیت آبدوستی شدید این جاذب، جداشدن آن از محیط واکنش پس از مرحله جذب بسیار مشکل است (۱۱). برای رفع این مشکل، جاذب‌های مغناطیسی شده بسیار کارآمد و به راحتی قابل جداسازی هستند.نانوذرات مغناطیسی به صورت فیزیکی یا کووالانسی رویGO متصل می شوند که این باعث افزایش پایداری جاذب و سهولت جداسازی می‌شود (۱۲).

هنگامی که پاسخ نهایی یک فرآیند تحت تأثیر رابطه بین متغیر های متعدد قرار می‌گیرد، استفاده از روش های آماری برای طراحی آزمایش، انتخاب مناسبی برای کاهش مصرف مواد، هزینه انجام آزمایش‌ها و همچنین زمان مورد نیاز برای انجام آزمایشات است (۱۳). هنگامی که ترکیبی از چندین متغیر مستقل و تعاملات آن‌ها بر پاسخ‌های مورد نظر تأثیر می‌گذارد، روش رویه-پاسخ (RSM) ابزار مؤثری برای بهینه‌سازی فرآیند است. RSM از یک طرح آزمایشی مانند طرح مرکب مرکزی (CCD) برای برازش مدل با تکنیک حداقل مربعات استفاده

می‌کند. سپس کفایت مدل پیشنهادی با استفاده از آزمون‌های تشخیصی ارائه شده توسط آنالیز واریانس (ANOVA) آشکار می‌شود. نمودارهای RSM را می‌توان برای مطالعه سطوح و تعیین مقادیر بهینه استفاده کرد. در چندین فرآیند صنعتی، RSM تقریباً به طور معمول برای ارزیابی نتایج و کارایی عملیات استفاده شده است (۱۴, ۱۵).

در مطالعه حاضر، کارایی حذف AMX به عنوان یکی از آلاینده‌های نوظهور با استفاده از نانو کامپوزیت اکسید گرافن مغناطیسی شده با $CoFe_2O_4$ (MGO) بررسی شد. در این مطالعه رفتار جذب براساس RSM و با در نظر گرفتن فاکتورهای موثر درجه حرارت، غلظت آموکسی سیلین، وزن جاذب و زمان سونیکاسیون مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱. مشخصات و ساختار شیمیایی آموکسی سیلین

فرمول شیمیایی	وزن ملکولی	ساختار شیمیایی
$C_{16}H_{19}N_3O_5S$	365.40 $g \cdot mol^{-1}$	

روش‌ها

پودر گرافیت (کمتر از ۲۰ میکرون) از سیگما آلدریچ، آلمان خریداری شد. اسید سولفوریک (>۹۹٪)، اسید کلریدریک (درجه AR)، آب اکسیژنه (۳۰٪ (وزنی/حجمی))، پرمنگنات پتاسیم (< ۹۹٪)، کلرید آهن سه ظرفیتی (شش آبه)، کلرید آهن دو ظرفیتی ٤ آبه و محلول آمونیاک (NH_4OH)همه از Sigma-Aldrich ((سنت لوئیس، MO، ایالات متحده آمریکا) خریداری شدند. AMX (جدول ۱) که از دو بخش اساسی تشکیل شده است که حاوی بتالاکتام داخلی و زنجیره جانبی به نام d-hidroxiphenilglicin است، (C16H19N3O5S، MW= 365.4) از دارو سازی آفا شیمی خریداری شد. محلول ذخیره ۱۰۰میلی گرم در لیتر AMX در آب مقطر دو بار تقطیر تهیه شد و با رقت‌های متوالی محلول های تجربی با غلظت موردنظر بدست آمد.

اکسید گرافن از پودر گرافیت با روش بهبود یافته هامرز تهیه شد (۱۶). نانوذرات $CoFe_2O_4$ به روش هیدروترمال سنتز شدند. ابتدا ۱/۷۶۱۶ گرم $Fe(NO_3)_3$ نه آبه و ۰/۵۸۲ گرم $Co(NO_3)_2$ شش آبه در ۵۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه شده با اولتراسونیک به مدت ۳۰ دقیقه حل شدند. سپس ۱/۳۶۸ گرم $NaBH_4$ در ۲۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه حل شد و به عنوان عامل احیا کننده استفاده شد. پس از آن، محلول $NaBH_4$ در دمای اتاق به مدت ۱ ساعت دیگر به صورت قطره قطره به محلول یون‌های فلزی آماده شده اضافه شد تا یک سوسپانسیون یکنواخت به دست آید. در نهایت محلول را در اتوکلاو ۱۰۰ میلی‌لیتری با پوشش تفلون قرار داده و در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت حرارت داده شد. پس از آن، محصولات به دست آمده با آب دیونیزه سانتریفیوژ شده و در دمای ٦۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ ساعت خشک شدند. علاوه بر این، ۱۵۰ میلی‌گرم GO و ۷۵ میلی‌گرم $CoFe_2O_4$ در ۵۰ میلی‌لیتر اتانول تحت اختلاط مکانیکی در دمای اتاق به مدت ۱ ساعت حل شدند. محلول در اتوکلاو ۱۰۰ میلی لیتری با پوشش تفلون قرار داده شد و در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ٤ ساعت حرارت داده شد. پس از آن، محصولات به دست آمده با آب دیونیزه شستشو، سانتریفیوژ شده و در دمای ٦۰ درجه سلسیوس به مدت ۲٤ ساعت خشک شدند (۱۷) . پس از ساخت نانو کمپوزیت مشخصات آن با استفاده از میکروسکوپی الکترونی روبشی (٦)، پراش پرتو ایکس (XRD)، pH_{ZPC} و BJH/ BET مورد ارزیابی قرار گرفت.

کارایی MGO در حذف AMX با استفاده از RSM مبتنی بر طرح مرکب مرکزی (CCD)[1] و با در نظر گرفتن چهار عامل متغیر درجه حرارت، غلظت AMX، دوز جاذب و زمان سونیکاسیون بررسی گردید. سطوح متغیرها، و تعداد آزمایشهای تعیین شده جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به متغیرهای وابسته، ۳۰ آزمایش برای اجرا تعیین شد. جهت برازش دادن یک مدل ریاضی برای پاسخ‌ها، از تحلیل رگرسیون خطی چندگانه که شامل ترم‌های خطی و درجه دوم پارامترهای مستقل است، استفاده شد. همچنین برای محاسبه پارامترهای مهم در مدل از تحلیل واریانس (ANOVA) استفاده شد (۱۸).

مطالعات جذب:

فرایند جذب AMX روی MGO در محیط آبی و با روش ناپیوسته (Batch)، انجام شد. مراحل آزمایش برای متغیرهای مورد بررسی با توجه به ۳۰ اجرای طراحی شده توسط RSM تنظیم شد. جذب محلول توسط دستگاه طیف سنج UV-Vis در طول موج ۳۴۱ نانومتر ثبت شد و غلظت داروی جذب شده از روابط زیر تعیین شد.

$$R\% = \frac{C_0 - C_e}{C_0} 100 \qquad q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} V$$

که در آن q_e مقدار AMX جذب شده (mg/g) و R راندمان جذب (٪)، C_0 غلظت اولیه (mg/L) و C_e غلظت در زمان تعادل (mg/L) است.

جدول ۲. متغیرها، سطوح مورد مطالعه، طراحی آزمایش‌ها و پاسخ هر ران آزمایشی

متغیر	کد	واحد	−α	−۱	۰	+۱	+α
مقدار MGO	A	mg	۲۰	٦٥	۱۱۰	۱٥٥	۲۰۰
زمان	B	min	۷/٥	۱۰	۱۲/٥	۱٥	۱۷/٥
درجه حرارت	C	درجه سلسیوس	۲۰	۳۰	٤۰	٥۰	٦۰
غلظت AMX	D	mg /L	٥	۱٥	۲٥	۳٥	٤٥

شماره آزمایش	مقدار جاذب (mg)	زمان سونیکاسیون (min)	درجه حرارت (°C)	غلظت آموکسی سیلین (mg/L)	پاسخ
۹	۱۱۰	۱۲/٥	٤۰	٥	۸/٥۸
٤	٦٥	۱۰	۳۰	۱٥	۱٥/۱۸
۱٦	۱٥٥	۱۰	۳۰	۱٥	۱٤/۰۷
۱۳	٦٥	۱٥	۳۰	۱٥	۲۷/٦٥
۲۷	۱٥٥	۱٥	۳۰	۱٥	۲٥/٥۲
۳	٦٥	۱۰	٥۰	۱٥	۱٥/٥۲
۱۸	۱٥٥	۱۰	٥۰	۱٥	۱٥/٥۹
۱۷	٦٥	۱٥	٥۰	۱٥	۲۸/۰۳
۱٤	۱٥٥	۱٥	٥۰	۱٥	۲۸/٤٥
۲٦	۱۱۰	۱۲/٥	۲۰	۲٥	۳٦/۸۲
۱۰	۱۱۰	۷/٥	٤۰	۲٥	۳۰/۰۲
۱۹	۲۰	۱۲/٥	٤۰	۲٥	۳۸/٤۷
٥	۱۱۰	۱۲/٥	٤۰	۲٥	۳٦/۸٦

1.Central Composite Designs

۷	۱۱۰	۱۲/۵	٤۰	۲۵	۳۷/۸٦
۱۲	۱۱۰	۱۲/۵	٤۰	۲۵	۳۸/٤٦
۲۲	۱۱۰	۱۲/۵	٤۰	۲۵	۳۸/۰۰
۲٤	۱۱۰	۱۲/۵	٤۰	۲۵	۳۷/۰۰
۳۰	۱۱۰	۱۲/۵	٤۰	۲۵	۳٦/٦٤
۲۳	۲۰۰	۱۲/۵	٤۰	۲۵	۳۷/۲۵
٦	۱۱۰	۱۷/۵	٤۰	۲۵	۵۷/۵۸
۸	۱۱۰	۱۲/۵	٦۰	۲۵	۳۹/٦۸
۱	٦۵	۱۰	۳۰	۳۵	۵٦/۹۱
۲۱	۱۵۵	۱۰	۳۰	۳۵	۵۷/٤۵
۲۰	٦۵	۱۵	۳۰	۳۵	٦۹/٦٦
۲۹	۱۵۵	۱۵	۳۰	۳۵	٦۹/٤۷
۱۱	٦۵	۱۰	۵۰	۳۵	٦۰/۷۸
۲۸	۱۵۵	۱۰	۵۰	۳۵	۵۹/۷۹
۱۵	٦۵	۱۵	۵۰	۳۵	۷۲/۱۹
۲۵	۱۵۵	۱۵	۵۰	۳۵	۷۳/۱۸
۲	۱۱۰	۱۲/۵	٤۰	٤۵	۹۸/٤

نتایج

نتایج بررسی پتانسیل زتای GO و MGO به ترتیب مقادیر ٤۰/۵- و ۹/۳۵- میلی ولت را نشان داد که حاکی از وجود بار در نانوذره اصلاح شده می باشد. ظرفیت جذب تعادلی را نسبت به pH در محیط های اسیدی و بازی در شکل ۱ (الف) نشان داده شده است. به منظور ارزیابی تخلخل MGO، آنالیز سطح یا همان BET انجام گردید. منحنی جذب/واجذب نیتروژن (شکل ۱ ب) نشان داد که مقدار سطح ویژه MGO، ۳۹/۸۰ مترمربع بر گرم می‌با شد ضمن آنکه آنالیز BJH حجم کل حفرات را ۰/۰٦۸ سانتی‌متر مکعب بر گرم و میانگین اندازه حفرات ۲۰ نانومتر را نشان داد. الگوهای XRD، برای GO و MGO نشان دهنده وجود پیک‌ها در ^{o} ۵/۱۸، ^{o} ٤/۳۰، ^{o} ۵/۳۵، ^{o} ٤٤، ^{o} ٤/۵٤، ^{o} ۲/۵۷ و ^{o} ۲/٦۳ می‌باشد (شکل ۱ ج). برای بررسی بیشتر ساختار جاذب‌های سنتز شده آنالیز SEM انجام شد که میکروگراف‌های آن‌ها در شکل ۱ (د–و) نشان داده شده است. نسبت اتمی Co/Fe که توسط طیف سنجی پرتو ایکس پراکنده انرژی (EDX) سنجیده شد مقدار ۳/۰۰ به ۵/٦۵ را نشان داد که بسیار نزدیک به مقدار تجربی بود.

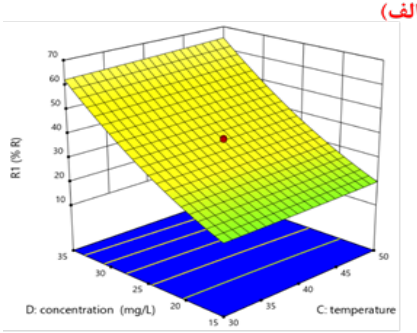
بر اساس نتایج به دست آمده از طراحی آزمایش (جدول ۲) معادله درجه دوم جهت توصیف روابط متقابل بین متغیرهای تجربی و پاسخ را بر حسب مقادیر کدگذاری شده بصورت زیر به دست آمد:

$$R\ (15) = +37.47- 0.2026A+ 6.42B+ 0.9724C+ 22.05D+ 0.0352AB+ 0.2109AC+ 0.1933AD+ 0.0924BC+ 0.0169BD+ 0.4561CD+ 0.0534A^{2}+ 1.54B^{2}+ 0.1507C^{2}+ 3.97D^{2}$$

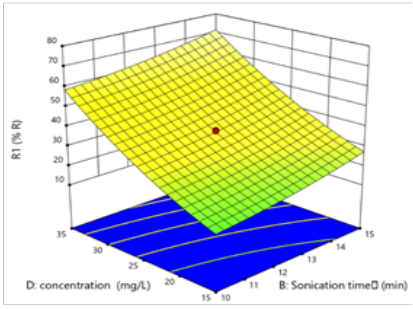
در معادله فوق هر پارامتری که مقدار ضریب مثبت بالایی داشته باشد، تأثیر مثبت بالایی بر پاسخ نشان می‌دهد. در حالی که مقدار منفی پارامترها، رابطه معکوس بین پاسخ و پارامتر را نشان می‌دهد که بیانگر آن است که مقدار منفی منجر به کسب حداکثر پاسخ می‌شود. نمودار سه بعدی راندمان جذب AMX به عنوان تابعی از متغیرهای مورد مطالعه در شکل ۲ نمایش داده

شده است. پاسخ‌ها به عنوان تابعی از دو پارامتر متغیر ترسیم شدند، در حالی که دو پارامتر دیگر در سطح صفر مربوط به خود ثابت هستند. در مطالعه حاضر، با افزایش غلظت AMX تا ۳۵ میلی گرم بر لیتر و افزایش درجه حرارت تا ۵۰ درجه سلسیوس راندمان حذف آموکسی سیلین حدود ۶۵ در صد به دست آمد (شکل ۲ الف). همچنین، با افزایش زمان سونیکاسیون به ۱۵ دقیقه راندمان حذف تا بیش از ۷۰٪ افزایش یافت(شکل۲ب). حداکثر راندمان جذب حدود ۹۸ ٪ به دست آمد. اعتبار مدل‌های پیش‌بینی‌شده با اجرای سه تکرار آزمایش در شرایط انتخابی AMX (غلظت ۳۵ میلی‌گرم، دوز جاذب ۱۵۵ میلی‌گرم، زمان تماس ۱۵ دقیقه و دمای اولتراسونیک ۵۰ درجه سلسیوس) تایید شد. سینتیک جذب، مرتبط با درصد جذب، برای تجزیه و تحلیل فرایند حذف بسیار ضروری و مهم است، که می‌توان زمان ماند جذب شونده بر روی سطح مشترک جاذب و محلول را از روی آن ارزیابی کرد. مطالعات جذب نشان داد که تعادل جذب می‌تواند ظرف ۱۲ دقیقه به دست آید. پارامترهای سینتیکی محاسبه‌شده و ظرفیت‌های جذب تجربی برای AMX بر روی MGO در جدول ۲ آورده شده است، همانطور که دیده می‌شود ضریب همبستگی (R^2) از سینتیک شبه درجه دوم ظاهراً بالاتر از سینتیک شبه درجه اول است. به همین ترتیب، ظرفیت جذب تعادلی محاسبه شده (q_e,cal) به خوبی با نتایج تجربی (q_e ،exp) مطابقت دارد که نشان دهنده تطابق فرایند جذب برای AMX، با مدل سینتیکی شبه درجه دوم است.

(الف)

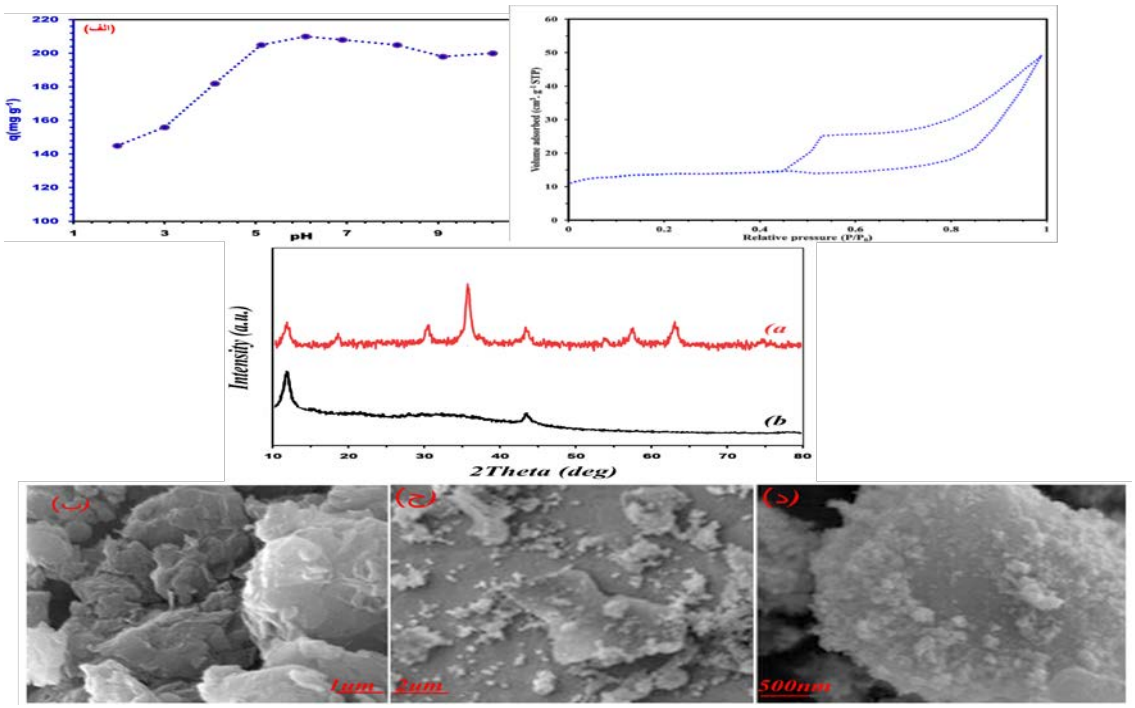


(ب)



برای مشخص کردن بیشتر توانایی MGO برای حذف AMX، ایزوترم جذب با استفاده از مدل های ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ تحلیل شد (جدول ۳). ثابت شده است که با این دو مدل می‌توان برهمکنش بین مولکول‌های جاذب و سطح جاذب را به طور موثر توصیف کرد. لانگمویر مدل منعکس‌کننده جذب تک لایه است که نشان‌دهنده پوشش تک لایه از جذب شونده روی یک سطح جاذب همگن با مکان‌های جذب یکسان و معادل می‌باشد. در حالی که ایزوترم فروندلیچ یک سیستم ناهمگن را توصیف می‌کند که در آن تشکیلات تک لایه ضروری نیست. همانطور که از جدول ۳ مشخص است، ایزوترم لانگمویر دارای ضریب همبستگی بزرگتری می‌باشد در نتیجه می‌تواند توضیح بهتری برای حذف AMX ارائه دهد. نتایج آزمایشات بازیابی جاذب نشان داد که پس از دو، سه و چهار چرخه‌ی جذب واجذب، راندمان حذف هنوز حدود ۷۳/۴۱، ۷۲/۱۵، ۶۹/۵۹ و ۶۵/۶۵ ٪ باقی می‌ماند.

دما در فرآیند جذب AMX در محدوده دمایی ۲۵ تا ۵۵ درجه سانتی گراد در شرایط بهینه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش دمای محیط از ۲۵ درجه سانتی گراد به ۵۵ درجه سانتی گراد، راندمان حذف AMX کاهش می یابد. پارامترهای ترمودینامیکی در جدول ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱. الف) اثر pH بر ظرفیت جذب AMX، ب) منحنی جذب واجذب نیتروژن ج) آنالیز XRD، و) آنالیز SEM گرافن اکساید، (ه-د) آنالیز SEM گرافن اکساید مغناطیسی شده.

جدول ۳. پارامترهای ایزوترم، سینتیک و ترمودینامیکی برای جذب AMX بر روی نانوجاذب MGO

ضرایب ایزوترم واکنش				
لانگمویر $q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$	R^2	K_L (L/mg)	**q_e (mg/g)**	
	۰/۹۹۷	۰/۳۲۰	۲۲۰/۱۳	
فروندلیچ $q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}}$	R^2	K_f(mg/g)	**N**	
	0/989	٦۹/۱۲		
ضرایب سینتیک واکنش				
شبه مرتبه اول $Q_t = Q_e(1 - \exp[f_{(t)}](- K_1 t)$	R^2	K_1 (min)	q_e,cal (mg/g)	**q_e,exp (mg/g)**
	۰/۸۹۵	۰/۹۰	۱۳۵/۲۵	۲۲۵/۵۰
شبه مرتبه دوم $Q_t = \frac{Q_e^2 Kt}{1 + Q_e Kt}$	R^2	K_2 (min)	q_e,cal (mg/g)	–
	۰/۹۹۹	۰/۰۰۰۵	۲۳۸/٦٦	–
پارامترهای ترمودینامیکی				
آنتروپی $Jmol^{-1}K^{-1}$	آنتالپی $kjmol^{-1}$	انرژی آزاد گیبس ($kjmol^{-1}$)	دما	
۱۹	۰/٦	-۵/۰٦۲	۲۵	
		-۵/۲۵۲	۳۵	

		-۰/٤٤۲	٤٥
		-۰/٦۳۲	٥٥

بحث

به دلیل وجود گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار بر روی سطح GO، این ماده بسیار الکترونگاتیو است درحالیکه، در MGO بدلیل اصلاح سطح GO با نانوذرات مثبت $CoFe_2O_4$، مقدار پتانسیل زتا به مقادیر بزرگتر شیفت (از ٤۰/٥- به ۹/۳٥- میلی ولت) پیدا می‌کند. از سوی دیگر مقادیر pK_{a1}، pK_{a2} و pK_{a3} (به ترتیب ۲/۷، ۷/٤ و ۹/٦) نشان دهند آن است که AMX در $pH>pK_{a1}$ و $pH<pK_{a2}$ (۷/٤>pH>۲/۷) دارای بار مثبت است در حالیکه در pHهای بین ۷/٤ و ۹/٦ دارای بار خالص روی صفر و در pH بالاتر از ۹/٦ دارای بار منفی است. بدین ترتیب در pH = ٦/٥، که pH بهینه جهت حصول بالاترین مقدار جذب بود (شکل ۱ الف) مولکول AMX دارای بار منفی و سطح جاذب دارای بار مثبت می‌شود و در نتیجه برهمکنش الکتروستاتیکی بین GO و گروه‌های کاتیونی بر روی سطح AMX غالب می باشد. علاوه بر این، برهمکنش π-π بین مولکول‌های AMX و نواحی ترکیبی π بر روی GO در کنار پیوندهای هیدروژنی نیز در فرایند جذب محتمل است.

بر اساس آنالیزهای BET/BJH، ایزوترم بدست آمده (شکل ۱ب) نوع IV به دست آمد که نشان دهنده مواد جامد مزوپور با اندازه‌ی حفرات بیشتر از دو نانومتر و کمتر از ٥۰ نانومتر می‌باشد. حلقه هیسترزیس با فرآیند ثانویه تراکم مویرگی همراه است که منجر به پر شدن کامل مزوپورها در P/P^o <1 می‌شود. هیسترزیس نوع H_1 مشخصه‌ی جامداتی است که از آن‌ها، کانال‌هایی با اندازه و شکل‌های یکنواخت عبور می‌کنند. نوع H_2، در جامداتی مشاهده می‌شود که در آن ذرات دارای حفره‌هایی با دهانه‌ی باریک هستند که با کانال‌های یکنواختی در شبکه به هم اتصال دارند (این مورد منافذ بطری جوهر شکل است). ساختمان این حفره‌ها از نوع مزوحفره پیچیده است و این نوع حلقه‌ی پسماند، مشخصه‌ی مواد معدنی متخلخل است. H_3 در ذرات تشکیل‌دهنده‌ی منافذ در نوع H_4 نامنظم به شکل شکاف‌های باریکی هستند که این ذرات مخلوطی از مزوحفرات و میکروحفرات غیریکنواخت هستند. نوع پسماند در MGO، H_3 می‌باشد. که نشان دهنده‌ی ساختار منعطف و قابل اتساع، که دارای حفراتی به صورت شیار هستند، می باشد. این پدیده برای نیتروژن در ۷۷ درجه‌ی کلوین در دامنه‌ی فشار نسبی بین ۰/٤ – ۰/٤٥ اتفاق می‌افتد. بهرحال در اینجا ساختار متخلخل با مساحت سطح بالا می‌تواند مکان‌های فعال‌تری را که برای افزایش عملکرد جذب AMX روی نانوجاذب مفید است را فراهم کند.

پیک‌های مشاهده شده در ^{o} ٥/۱۸، ^{o} ٤/۳۰، ^{o} ٥/۳٥، ^{o} ٤٤، ^{o} ٤/٥٤، ^{o} ۲/٥۷ و ^{o} ۲/٦۳ را می‌توان به ترتیب به صفحات (۱۱۱)، (۲۲۰)، (۳۱۱)، (٤۰۰)، (٤۲۲)، (٥۱۱) و (٤٤۰)، که به خوبی با الگوی XRD استاندارد اسپینل مکعبی (JCPDS شماره ۲۲-۱۰۸٦) مطابقت دارد، نسبت داد. علاوه بر این، پیک مشخصه GO که در ^{o} ۲/۱۰ واقع شده است مربوط به صفحه کریستالی (۰۰۲) می‌باشد (۱۹). به همین ترتیب، الگوی بلورینگی خوب و همچنین فازهای اسپینل خالص بدون هیچ پیک ناخالصی دیگری را که مربوط به MGO است می‌توان از الگوی XRD تشخیص داد (شکل ۱ ج).

نتایج SEM (شکل ۱ (و-د)) نشان داد که نانوذرات $CoFe_2O_4$ با اندازه متوسط کمتر از ۱۰۰ نانومتر با شکل کروی منظم و توزیع اندازه باریک بر روی صفحات گرافنی تشکیل شده اند. در شکل ۱ (ه)، GO را به صورت لایه‌ی نازک و صاف با لبه‌های معمولی چروکیده، موج دار دیده می شود. در مورد کامپوزیت MGO همانطور که در شکل ۱. د دیده می شود ذرات $CoFe_2O_4$ محکم به صفحات GO چسبیده‌اند. علاوه بر این، نانوذرات مغناطیسی می توانند به طور موثری از تجمع صفحات گرافنی جلوگیری کنند. ضریب تعیین (R^2)، دقت مدل‌های طراحی شده را

نشان می‌دهد. مقدار R^2 در این مطالعه، ۰/۹۹۹۱ است که برازش عالی بین نتایج تجربی و مدل شـــده را تأیید می‌کند. مقادیر R^2 نشـــان می‌دهد که ۹۹/۹۱ درصـــد از تغییرات در جذب AMX را می‌توان با مدل‌های پیشنهادی توصیف کرد. R^2 تعدیل شده که اعتبار مدل مذکور را نشان می‌دهد ۰/۹۹۸۳ است که نشان‌دهنده معنادار بودن این مدل است (۹). متغیر دیگری که اهمیت و قدرت آماری مدل پیشـــنهادی را تایید می‌کند، مقدار دقت قابل قبولی است که مقداری از «نسبت سیگنال به نویز» است. در این مطالعه دقت کافی ۴۳/۵۱۲ بود. مدل‌های با دقت کافی بالاتر از ٤ در فضـــای تعریف شـــده CCD قابل اعتمادتر هســـتند (۹). همچنین، ضـــریب واریانس این مدل ۲/۰۷ اســـت. این مقدار بســـیار پایین قابلیت اطمینان و تکرارپذیری مدل را نشان می‌دهد (۹). بنابراین، مدل پیشـــنهادی را می‌توان برای پیش‌بینی راندمان حذف AMX با استفاده از MGO اعمال کرد.

دما یکی از عواملی اســـت که بر ظرفیت جذب جاذب تأثیر می‌گذارد (۳). در مطالعه حاضـــر، اثر دما بر فرایند جذب در پنج سـطح بین ۲۰ تا ٦۰ درجه مورد بررسـی قرار گرفت. با افزایش دما راندمان جذب به مقدار کمی افزایش یافت (شکل ۲. الف). یک مطالعه مروری، دمای مناسب برای جذب AMX روی جاذب‌های مختلف را بین ۲۰ تا ۵۰ درجه سـلسـیوس گزارش کرد. محققین اظهار داشتند که جذب AMX روی این جاذب‌ها می‌تواند گرمازا باشـــد در نتیجه جذب در دماهای پایین‌تر بهتر انجام می‌شـــود. کاهش ظرفیت جذب در دماهای بالاتر ممکن اســـت به تضـــعیف نیروهای برهمکنش بین AMX و مکان‌های فعال روی ســـطح جاذب نســـبت داده شـــود. از طرف دیگر، حلالیت AMX با دما افزایش می‌یابد. در دمای بالاتر، نیروهای هیدراتاســـیون AMX قوی‌تر از نیروهای جاذبه بین AMX و جاذب می شود و به دفع AMXکمک می‌کند (۳). در مطالعه مرادی و همکاران، افزایش دما در محدوده ٦۰-۲۰ درجه سلسیوس تأثیر مثبتی بر حذف AMX روی MGO و GO داشـت (۷). Gao و همکارن در سـال ۲۰۱۲، گزارش کردند که اثر دما بر فرایند جذب، در غلظت‌های بالاتر تترا سایکلین مشخص است و فرایند جذب در غلظت های بالاتر تترا سایکلین در دمای ٤۵ درجه سلسیوس اندکی بیشتر است (۲۰). افزایش جذب در این دما ممکن اســـت به افزایش تعداد مکان‌های سـطح فعال موجود برای جذب روی جاذب یا سـرعت انتشـار تتراسـایکلین نسـبت داده شـود (۲۰)، در نتیجه نشـان می‌دهد، جذب یک فرآیند آنتروپی محور است (۳).

با اینکه در مطالعه حاضر، اثر دوز جاذب بر فرایند جذب از نظر آماری معنی دار نشد اما، دوز جاذب عامل مهمی در فرایند جذب اســـت. از نظر تئوری، افزایش دوز جاذب به دلیل تاثیر آن بر ســـطح و تعداد محل‌های اتصـــال موجود برای جذب، بر ظرفیت جذب تأثیر می گذارد (۳). به طور کلی، افزایش مقدار جاذب می‌تواند منجر به تجمع و متعاقباً کاهش ســـطح خارجی و مکان‌های جذب در دسترس برای جذب شود (۳). این پارامتر را می‌توان برای به دست آوردن بهترین عملکرد جاذب در شرایط عملیاتی آزمایش شـده بهینه کرد. در مطالعه حاضـر، اثر MGO بر حذف AMX در پنج ســـطح از ۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم مورد مطالعه قرار گرفت.

همسو با مطالعه انجام شده توسط مرادی و همکاران (۲۰۱۵)، محلول‌های AMX در غلظت‌های اولیه متفاوت در آزمایشـــات جذب به کار برده شـــد. مقدار حذف جذب تعادلی AMX با افزایش غلظت محلول اولیه میزان جذب افزایش می یابد. این می‌تواند به این دلیل باشـــد با افزایش غلظت AMX در محلول، دسـترسـی AMX در سـطح مشـترک جاذب نیز افزایش یافت. هنگامی که مکان‌های فعال سطحی جاذب به طور کامل پوشانده شود، میزان جذب به حدی می رسد که منجر به جذب اشباع می شود (۷). همانطور که در شکل ۲ب مشاهده می شود با افزایش زمان ســـونیکاســـیون تا زمان ۱۵ دقیقه، راندمان جذب AMX افزایش یافت. اما این ارتباط از نظر آماری معنی‌دار نبود. با توجه به اینکه در مطالعات مشـــابه، زمان تعادل برای جذب آنتی بیوتیک توسط جاذب‌های کربنی تهیه شده از مواد مختلف (۲۱, ۲۲)، بیش از ۳۰ دقیقه بوده اســـت به نظر می‌رســـد این افزایش راندمان جزئی نشان دهنده این باشد که با توجه به مشخصات جاذب، زمان در نظر گرفته شـده برای اتصـال AMX به جاذب

کمتر از زمان تعادل بوده است. همسو با نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، زمان بهینه برای جذب چند آنتی بیوتیک از جمله آموکسی سیلین با استفاده از دانه‌های گندم ۵ دقیقه گزارش شد (۲۳).

همانطور که در بخش نتایج ذکر شد، ایزوترم جذب AMX را می‌توان با مدل لانگمویر بهتر از مدل فروندلیچ توصیف کرد، زیرا مقادیر ضریب همبستگی بالاتری ($R^2 > 0.99$) دارد. با توجه به پیروی واکنش از ایزوترم لانگمویر، جذب سطحی رخ داده، بصورت تک لایه و همگن بوده و جذب در مکان‌های متمرکز و معینی رخ داده است (۱۵). همسو با مطالعات مشابه دیگر، سینتیک واکنش از مدل شبه درجه دوم پیروی می کند (۲۰, ۲٤). مدل سینتیک شبه درجه دوم بر این فرض استوار است که مرحله محدودکننده سرعت، جذب شیمیایی است (۲۰) و ظرفیت جذب متناسب با تعداد سایت‌های فعال در جاذب بود (۲٤). ظرفیت جذب تعادلی محاسبه شده (۲۳۸/٦٦ mg/g) به خوبی با نتایج تجربی (۲۲۵/۵۰ mg/g) مطابقت دارد. همچنین مطابق جدول ۳ مقادیر منفی ΔG نشان می دهد که فرآیند جذب AMX از نظر استوکیومتری امکان‌پذیر و خود به خودی است و همانطور که نتایج نشان می دهد با افزایش دما، مقدار ΔG کاهش می یابد، که نشان دهنده جذب یک فرآیند آنتروپی محور است. با توجه به نتایج، مقادیر مثبت ΔH نشان دهنده طبیعت گرماگیر و تشکیل یک پیوند شیمیایی قوی بین مولکول های آلاینده و سطح جاذب است و نشان می دهد که فرآیند جذب یک فرآیند شیمیایی است.

نتایج تستهای بازیابی نشان‌دهنده قابلیت استفاده مجدد و بازیابی خوب MGO در جذب AMX است. با این حال، کاهش ظرفیت جذب در مرحله پنجم ممکن است به دلیل تخریب نانوجاذب و یا سایت‌های فعال جذب و شکسته شدن ساختار سطحی در طول استفاده مجدد چندگانه باشد.

نتیجه گیری نهایی:

یک نانوکامپوزیت اکسید گرافن مغناطیسی شده با استفاده از $CoFe_2O_4$ به روش هیدروترمال سنتز و بطور موفقی جهت حذف آنتی بیوتیک AMX مورد استفاده قرار گرفت. تامین حداکثر ظرفیت جذب معادل ۲۳۸/٦۲ میلی گرم در گرم جاذب و خاصیت استفاده مجدد، نانوکمپوزیت تهیه شده را به یک جاذب بالقوه جهت حذف آنتی بیوتیکها از محیط های آبی تبدیل می کند. اگرچه که مطالعات بیشتری در جهت بررسی تاثیر سایر متغیر های مهم (از جمله وجود یونهای مداخله گر، هیومیک اسیدها، سایر آنتی بیوتیکها) و نیز بر روی نمونه های واقعی فاضلاب باید صورت پذیرد.

نتیجه‌گیری

به طور خلاصه، نانوکامپوزیت سنتز شده به عنوان یک جاذب تجدیدپذیر، احتمالاً تأثیرات قابل توجهی بر تصفیه فاضلاب دارویی خواهد داشت و می‌تواند برای تحقیقات آینده به عنوان یک ماده کارآمد برای تکنیک‌های تصفیه در نظر گرفته شود

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان از کلیه افرادی که در مراحل نگارش این مقاله همکاری کردند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

همچنین، این پژوهش دارای کد اخلاق با شماره IR.THUMS.REC.1401.033 از دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه میباشد.

تضاد منافع

در این پژوهش هیچ گونه تعارض منافعی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

مشارکت نویسندگان:

(۱) مفهوم پردازی و طراحی مطالعه، یا جمع آوری داده ها، یا تجزیه و تحلیل و تفسیر داده ها :همه نویسندگان

(۲) تهیه پیش نویس مقاله یا بازبینی آن جهت تدوین محتوای اندیشمندانه: همه نویسندگان

(۳) تایید نهایی دستنوشته پیش از ارسال به مجله: همه نویسندگان

References

1. Radmehr S, Sabzevari MH, Ghaedi M, Azqhandi MHA, Marahel F. Adsorption of nalidixic acid antibiotic using a renewable adsorbent based on Graphene oxide from simulated wastewater. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2021;9(5):105975.

2. Aryee AA, Han R, Qu L. Occurrence, detection and removal of amoxicillin in wastewater: A review. Journal of Cleaner Production. 2022;368:133140.

3. Anastopoulos I, Pashalidis I, Orfanos AG, Manariotis ID, Tatarchuk T, Sellaoui L, et al. Removal of caffeine, nicotine and amoxicillin from (waste) waters by various adsorbents. A review. Journal of Environmental Management. 2020;261:110236.

4. Rodriguez-Mozaz S, Vaz-Moreira I, Della Giustina SV, Llorca M, Barceló D, Schubert S, et al. Antibiotic residues in final effluents of European wastewater treatment plants and their impact on the aquatic environment. Environment international. 2020;140:105733.

5. Tabrizi AMA, Kakhki S, Kakhki S, Foroughi M, Azqhandi MHA. Azithromycin resistance genes in Escherichia coli isolated from wastewater: Characterization and modeling-based evaluation of factors affecting the prevalence. Process Safety and Environmental Protection. 2022;168:32-41.

6. Leili M, Shirmohammadi Khorram N, Godini K, Azarian G, Moussavi R, Peykhoshian A. Application of central composite design (CCD) for optimization of cephalexin antibiotic removal using electro-oxidation process. Journal of Molecular Liquids. 2020;313:113556.

7. Moradi S. Highly efficient removal of amoxicillin from water by magnetic graphene oxide adsorbent. Chemical Bulletin of 'Politehnica'University of Timisoara, ROMANIA Series of Chemistry and Environmental Engineering. 2015;60(74):41-8.

8. Miao J, Wang F, Chen Y, Zhu Y, Zhou Y, Zhang S. The adsorption performance of tetracyclines on magnetic graphene oxide: A novel antibiotics absorbent. Applied Surface Science. 2019;475:549-58.

9. Gholamiyan S, Hamzehloo M, Farrokhnia A. RSM optimized adsorptive removal of erythromycin using magnetic activated carbon: Adsorption isotherm, kinetic modeling and thermodynamic studies. Sustainable Chemistry and Pharmacy. 2020;17:100309.

10. Foroughi M, Azqhandi MHAJJoML. A biological-based adsorbent for a non-biodegradable pollutant: Modeling and optimization of Pb (II) remediation using GO-CS-Fe3O4-EDTA nanocomposite. 2020;318:114077.

11. Foroughi M, Azqhandi MHA, Kakhki SJJohm. Bio-inspired, high, and fast adsorption of tetracycline from aqueous media using Fe3O4-g-CN@ PEI-β-CD nanocomposite: Modeling by response surface methodology (RSM), boosted regression tree (BRT), and general regression neural network (GRNN). 2020;388:121769.

12. Khomeyrani SFN, Ghalami-Choobar B, Azqhandi MHA, Foroughi MJJoWPE. An enhanced removal of para-nitrophenol (PNP) from water media using CaAl-layered double hydroxide-loaded magnetic g-CN nanocomposite. 2022;46:102516.

13. Naderi K, Foroughi M, Azqhandi MHAJC. Tetracycline capture from aqueous solutions by nanocomposite of MWCNTs reinforced with glutaraldehyde cross-linked poly (vinyl alcohol)/chitosan. 2022;303:135124.

14. Foroughi M, Chavoshi S, Bagheri M, Yetilmezsoy K, Samadi MTJJoMC, Management W. Alum-based sludge (AbS) recycling for turbidity removal in drinking water treatment: an insight into statistical, technical, and health-related standpoints. 2018;20:1999-2017.

15. Yazdankish E, Foroughi M, Azqhandi MHAJJohm. Capture of I131 from medical-based wastewater using the highly effective and recyclable adsorbent of g-C3N4 assembled with Mg-Co-Al-layered double hydroxide. 2020;389:122151.

16. Bazrafshan E, Ahmadi Azqhandi MH, Foroughi M, Gholami Z. β-cyclodextrin grafted multi-walled carbon nanotubes/chitosan (MWCNT/Cs/CD) nanocomposite for treatment of methylene blue-containing aqueous solutions. Environmental Research. 2023;231:116208.

17. Foroughi M, Azqhandi MHA. A biological-based adsorbent for a non-biodegradable pollutant: Modeling and optimization of Pb (II) remediation using GO-CS-Fe3O4-EDTA nanocomposite. Journal of Molecular Liquids. 2020;318:114077.

18. Azqhandi MHA, Foroughi M, Gholami ZJER. Efficient removal of levofloxacin by a magnetic NiFe-LDH/N-MWCNTs nanocomposite: Characterization, response surface methodology, and mechanism. 2022;215:113967.

19. Gholami Z, Azqhandi MA, Sabzevari MH, Khazali F. Evaluation of least square support vector machine, generalized regression neural network and response surface methodology in modeling the removal of Levofloxacin and Ciprofloxacin from aqueous solutions using ionic liquid@ Graphene oxide@ ionic liquid NC. Alexandria Engineering Journal. 2023;73:593-606.

20. Gao Y, Li Y, Zhang L, Huang H, Hu J, Shah SM, et al. Adsorption and removal of tetracycline antibiotics from aqueous solution by graphene oxide. Journal of Colloid and Interface Science. 2012;368(1):540-6.

21. Pouretedal HR, Sadegh N. Effective removal of Amoxicillin, Cephalexin, Tetracycline and Penicillin G from aqueous solutions using activated carbon nanoparticles prepared from vine wood. Journal of Water Process Engineering. 2014;1:64-73.

22. Ahmed MJ, Theydan SK. Microporous activated carbon from Siris seed pods by microwave-induced KOH activation for metronidazole adsorption. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2013;99:101-9.

23. Boukhelkhal A, Benkortbi O, Hamadeche M, Hanini S, Amrane A. Removal of Amoxicillin Antibiotic from Aqueous Solution Using an Anionic Surfactant. Water, Air, & Soil Pollution. 2015;226(10):323.

24. Tang Y, Guo H, Xiao L, Yu S, Gao N, Wang Y. Synthesis of reduced graphene oxide/magnetite composites and investigation of their adsorption performance of fluoroquinolone antibiotics. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2013;424:74-80.

Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences
2023, Volume 11, No. 1: 25-37.

Original article

Investigating the removal efficiency of amoxicillin antibiotic from aqueous solutions using graphene oxide magnetic nanocomposite

Azam Nadali[1], Maryam Foroughi[2], Mohammad Hossein Ahmadi Azqhandi[3*], Abdolmajid Gholizadeh[2], Mohammad Momeny[4]

1. Research Center for Environmental Pollutants, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

2. Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences, Torbat Heydariyeh, Iran

3. Applied Chemistry Department, Faculty of Gas and Petroleum (Gachsaran), Yasouj University, Gachsaran , Iran

4. Department of Agricultural Sciences, University of Helsinki, Helsinki, Finland

Corresponding author: Gachsaran , Yasouj University , Faculty of Gas and Petroleum (Gachsaran)

Keywords:
Antibiotic, Response surface methodology, Graphene oxide, Amoxicillin

Abstract

Background & Aim*:* Amoxicillin (AMX) is a commonly used antibiotic in medicine (beta-lactam family). The residue of this compound has been detected in water sources and causes antibiotic resistance.

Methods**:** In this study, a renewable adsorbent based on graphene oxide (graphene oxide nanocomposite modified with CoFe2O4) was synthesized and used to absorb AMX from aqueous medium. The characteristics of the synthesized nanocomposite were evaluated using scanning electron microscopy, X-ray diffraction, pHZPC and BET/BJH.

Results**:** It presented the maximum adsorption capacity based on the pseudo-second-order kinetic model, which is 238.62 mg/g adsorbent, much higher than that reported by different nanoparticles. which can indicate the dominance of the chemical absorption mechanism in this process. The absorption process was investigated using the response procedure method and central composite design (CCD), under different operating conditions of adsorbent dose, initial AMX concentration, temperature and sonication time. In the present study, more than 70% of AMX concentration was removed.

Conclusion**:** In summary, the synthesized nanocomposite as a renewable adsorbent is likely to have significant effects on pharmaceutical wastewater treatment and can be considered as an efficient material for treatment techniques for future research.

How to Cite this Article: Nadali A, Foroughi M, Ahmadi Azqhandi MH, Gholizadeh A, Momeny M . Investigating the removal efficiency of amoxicillin antibiotic from aqueous solutions using graphene oxide magnetic nanocomposite. Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences. 2023;11(1):25-37.

Copyright © 2020 Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite.