

بررسی کارایی حذف آنتی بیوتیک آموکسی سیلین از محلول های آبی با استفاده

از نانو کامپوزیت مغناطیسی اکسید گرافن

اعظم نادعلی^{۱،۲}، مریم فروغی^{۳،۴}، محمدحسین احمدی ازغندی^{۵*}، عبدالمجید قلیزاده^{۳،۴}

۱. مرکز تحقیقات آلاینده های محیطی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

۲. کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم ایران

۳. مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

۴. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

۵. استادیار شیمی تجزیه، دانشکده نفت و گاز گچساران، دانشگاه یاسوج، ایران

چکیده

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

روش ها: در این مطالعه، یک جاذب تجدیدپذیر مبتنی بر اکسید گرافن (نانو کامپوزیت اکسید گرافن اصلاح شده با CoFe_2O_4) سنتز شد و برای جذب AMX از محیط آبی تحت شرایط بهره برداری مختلف دوز جاذب، غلظت اولیه AMX، درجه حرارت و زمان سونیکاسیون به کار برده شد. مشخصات نانو کامپوزیت سنتز شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی، پراش پرتو ایکس، pHZPC و BJH/ BET مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج: حداکثر ظرفیت جذب و حداکثر راندمان جذب به ترتیب $238/62$ میلی گرم در گرم جاذب و حدود ۹۸ درصد در غلظت ۳۵ میلی گرم، دوز جاذب ۱۵۵ میلی گرم، 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 مدل های سینتیکی و ایزوترمی شبه مرتبه دوم ($R^2 = 0/999$) و لانگمویر ($R^2 = 0/997$) پیروی می کرد که نشان دهنده جذب شیمیایی و تک لایه آموکسی سیلین بود. همچنین مطالعات ترمودینامیکی نشان داد که فرایند جذب از نظر استوکیومتری امکان پذیر و خود به خودی و گرماگیر است.

نتیجه گیری: به طور خلاصه، نانو کامپوزیت سنتز شده به عنوان یک جاذب تجدیدپذیر، احتمالاً تأثیرات قابل توجهی بر تصفیه فاضلاب دارویی خواهد داشت و می تواند برای تحقیقات آینده به عنوان یک ماده کارآمد برای تکنیک های تصفیه در نظر گرفته شود.

کلید واژه ها:

آنتی بیوتیک، روش سطح
— پاسخ، اکسید گرافن،
آموکسی سیلین

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

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 آب‌ها 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، ۴).

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 (۵). به همین دلیل، AMX در فهرست نظارت اتحادیه اروپا جزء آلاینده‌های نوظهور (تصمیم اتحادیه اروپا، ۲۰۱۵/۴۹۵) فهرست شده است (۴). همچنین، توانایی بزرگ‌مایی 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، ۶). 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).

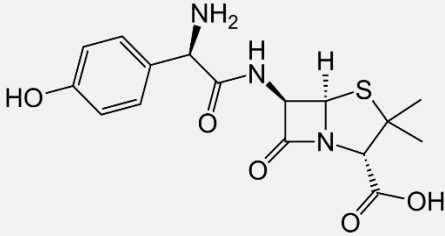
از میان فرایندهای مختلف، جذب سطحی به دلیل داشتن مزایایی مانند سادگی، قابل استفاده بودن برای جداسازی آلاینده‌ها با غلظت کم، هزینه کم، امکان استفاده مجدد، امکان جذب انتخابی مواد از مخلوط‌های چند جزئی، دستیابی به درجه بالایی از تصفیه و عدم حساسیت به آلاینده‌های سمی به طور گسترده‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرد (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 گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار بر روی سطح (اپوکسی، کربوکسیل و هیدروکسیل)، استحکام مکانیکی فوق العاده، پایداری شیمیایی خوب، سطح ویژه بالا (از لحاظ نظری ۲۶۰۰ 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، جدا شدن 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 روی GO متصل می‌شوند که این باعث افزایش پایداری جاذب و سهولت جداسازی می‌شود (۱۲). هنگامی که پاسخ نهایی یک فرآیند تحت تأثیر رابطه بین متغیرهای متعدد قرار می‌گیرد، استفاده از روش‌های 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 برآزش مدل با تکنیک حداقل مربعات استفاده

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 آموکسی‌سیلین، وزن جذب و زمان سونیکاسیون مورد بررسی قرار گرفت.

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).

جدول ۱. مشخصات و ساختار شیمیایی آموکسی‌سیلین

ساختار شیمیایی	وزن ملکولی	فرمول شیمیایی
	$365.40 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$\text{C}_{16}\text{H}_{19}\text{N}_3\text{O}_5\text{S}$

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 سو سپاندسیون 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 ۶۰ 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 میلی‌لیتری با پوشش تفلون قرار داده شد و در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت حرارت داده شد. پس از آن، محصولات به دست آمده با آب دیونیزه شستشو، سانتریفیوژ شده و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند (۱۷). پس از ساخت نانو کامپوزیت مشخصات آن با استفاده از میکروسکوپی الکترونی روبشی (۶)، پراش پرتو ایکس (XRD)، pH_{ZPC} و BJH/ BET مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش‌ها

پودر گرافیت (کمتر از ۲۰ میکرون) از سیگما آلدریچ، آلمان خریداری شد. اسید سولفوریک (99%)، اسید کلریدریک (درجه AR)، آب اکسیژنه (۳۰٪ (وزنی/حجمی))، پرمنگنات پتاسیم (99%، کلرید آهن سه ظرفیتی (شش آب)، کلرید آهن دو ظرفیتی ۴ آب 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-hydroxiphenilglycin است، ($\text{C}_{16}\text{H}_{19}\text{N}_3\text{O}_5\text{S}$ ، $\text{MW} = 365.4$) از دارو سازی آفا شیمی خریداری شد. محلول ذخیره ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر AMX در آب مقطر دو بار تقطیر تهیه شد و با رقت‌های متوالی محلول‌های تجربی با غلظت موردنظر بدست آمد.

اکسید گرافن از پودر گرافیت با روش بهبود یافته هارمز تهیه شد (۱۶). نانوذرات CoFe_2O_4 به روش هیدروترمال سنتز شدند. ابتدا ۱/۷۶۱۶ گرم $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ نه آب و ۰/۵۸۲ گرم $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ شش آب در ۵۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه شده با اولتراسونیک به مدت ۳۰ دقیقه حل شدند. سپس ۱/۳۶۸ گرم NaBH_4 در ۲۰

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 ۲۴۱ نانومتر ثبت شد و غلظت داروی جذب شده از روابط زیر تعیین شد.

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

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.

کارایی MGO در حذف AMX با استفاده از RSM مبتنی بر طرح مرکب مرکزی (CCD) 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 بسط 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).

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

متغیر	کد	واحد	$-\alpha$	۰	+۱	$+\alpha$
مقدار MGO	A	mg	۲۰	۱۱۰	۱۵۵	۲۰۰
زمان	B	min	۷/۵	۱۲/۵	۱۵	۱۷/۵
درجه حرارت	C	درجه سلسیوس	۲۰	۴۰	۵۰	۶۰
غلظت AMX	D	mg/L	۵	۲۵	۳۵	۴۵
شماره آزمایش	مقدار جاذب (mg)	زمان سونیکاسیون (min)	درجه حرارت (°C)	غلظت آموکسی سیلین (mg/L)	پاسخ	
۹	۱۱۰	۱۲/۵	۴۰	۵	۸/۵۸	
۴	۶۵	۱۰	۳۰	۱۵	۱۵/۱۸	
۱۶	۱۵۵	۱۰	۳۰	۱۵	۱۴/۰۷	
۱۳	۶۵	۱۵	۳۰	۱۵	۲۷/۶۵	
۲۷	۱۵۵	۱۵	۳۰	۱۵	۲۵/۵۲	
۳	۶۵	۱۰	۵۰	۱۵	۱۵/۵۲	
۱۸	۱۵۵	۱۰	۵۰	۱۵	۱۵/۵۹	
۱۷	۶۵	۱۵	۵۰	۱۵	۲۸/۰۲	
۱۴	۱۵۵	۱۵	۵۰	۱۵	۲۸/۴۵	
۲۶	۱۱۰	۱۲/۵	۲۰	۲۵	۳۶/۸۲	
۱۰	۱۱۰	۷/۵	۴۰	۲۵	۳۰/۰۲	
۱۹	۲۰	۱۲/۵	۴۰	۲۵	۳۸/۴۷	
۵	۱۱۰	۱۲/۵	۴۰	۲۵	۳۶/۸۶	

۳۷/۸۶	۲۵	۴۰	۱۲/۵	۱۱۰	۷
۳۸/۴۶	۲۵	۴۰	۱۲/۵	۱۱۰	۱۲
۳۸/۰۰	۲۵	۴۰	۱۲/۵	۱۱۰	۲۲
۳۷/۰۰	۲۵	۴۰	۱۲/۵	۱۱۰	۲۴
۳۶/۶۴	۲۵	۴۰	۱۲/۵	۱۱۰	۳۰
۳۷/۲۵	۲۵	۴۰	۱۲/۵	۲۰۰	۲۳
۵۷/۵۸	۲۵	۴۰	۱۷/۵	۱۱۰	۶
۳۹/۶۸	۲۵	۶۰	۱۲/۵	۱۱۰	۸
۵۶/۹۱	۲۵	۳۰	۱۰	۶۵	۱
۵۷/۴۵	۳۵	۳۰	۱۰	۱۵۵	۲۱
۶۹/۶۶	۳۵	۳۰	۱۵	۶۵	۲۰
۶۹/۴۷	۳۵	۳۰	۱۵	۱۵۵	۲۹
۶۰/۷۸	۳۵	۵۰	۱۰	۶۵	۱۱
۵۹/۷۹	۳۵	۵۰	۱۰	۱۵۵	۲۸
۷۲/۱۹	۳۵	۵۰	۱۵	۶۵	۱۵
۷۳/۱۸	۳۵	۵۰	۱۵	۱۵۵	۲۵
۹۸/۴	۴۵	۴۰	۱۲/۵	۱۱۰	۲

نتایج

که توسط طیف سنجی پرتو ایکس پراکنده انرژی (EDX) سنجدیده شد مقدار ۳/۰۰ به ۵/۶۵ را نشان داد که بسیار نزدیک به مقدار تجربی بود.

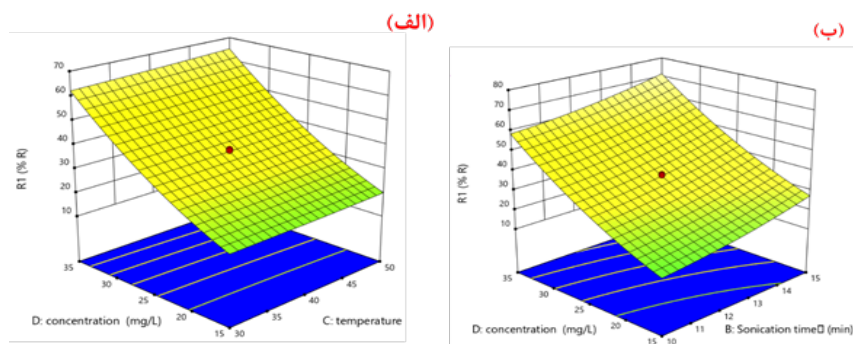
بر اساس نتایج به دست آمده از طراحی آزمایش (جدول ۲) معادله درجه دوم جهت توصیف روابط متقابل بین متغیرهای تجربی و پاسخ را بر حسب مقادیر کدگذاری شده بصورت زیر به دست آمد:

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

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

نتایج بررسی پتانسیل زتای GO و MGO به ترتیب مقادیر ۴۰/۵- 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 می باشد ضمن آنکه آنالیز BJH حجم کل حفرات را ۰/۰۶۸ سانتی متر مکعب بر گرم و میانگین اندازه حفرات ۲۰ نانومتر را نشان داد. الگوهای XRD، برای GO و MGO نشان دهنده وجود پیکها در 0° ، 5.18° ، 8.30° ، 10.35° ، 14.44° ، 17.57° و 20.63° می باشد (شکل ۱ ج). برای بررسی بیشتر ساختار جاذب های سنتز شده آنالیز SEM انجام شد که میکروگراف های آن ها در شکل ۱ (د-و) نشان داده شده است. نسبت اتمی Co/Fe

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.

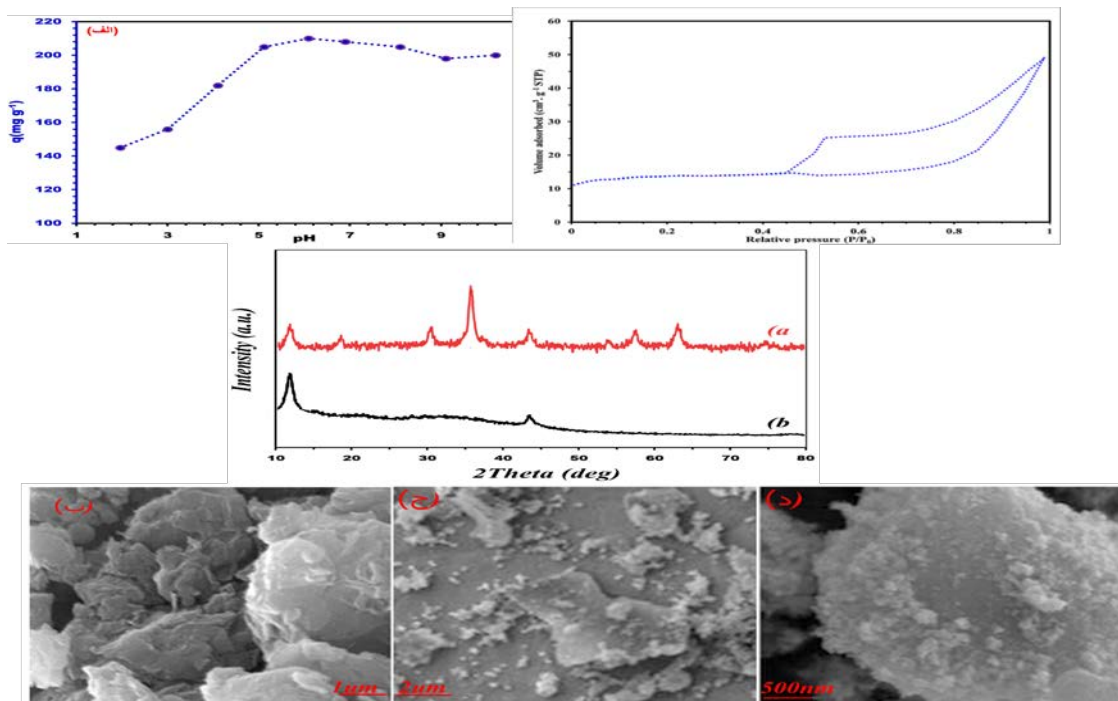


ضریب همبستگی بزرگتری می‌باشد در نتیجه می‌تواند توضیح بهتری برای حذف AMX ارائه دهد. نتایج آزمایشات بازیابی جاذب نشان داد که پس از دو، سه و چهار چرخه‌ی جذب و جذب، راندمان حذف هنوز حدود ۷۲/۴۱، ۷۲/۱۵، ۶۹/۵۹ و ۶۵/۶۵٪ باقی می‌ماند.

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

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 میلی‌گرم بر لیتر و افزایش درجه حرارت تا ۵۰ درجه سلسیوس راندمان حذف آموکسی‌سیلین حدود ۶۵ درصد به دست آمد (شکل ۲ الف). همچنین، با افزایش زمان سونیکاسیون به ۱۵ دقیقه راندمان حذف تا بیش از ۷۰٪ افزایش یافت (شکل ۲ ب). 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

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



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

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

ضرایب ایزوترم واکنش				
q_e (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	لانگمویر	
۲۲۰/۱۳	۰/۳۲۰	۰/۹۹۷	$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$	
N	K_f (mg/g)	R^2	فروندلیچ	
	۶۹/۱۲	0/989	$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{K_f C_e^n}$	
ضرایب سینتیک واکنش				
$q_{e,exp}$ (mg/g)	$q_{e,cal}$ (mg/g)	K_1 (min)	R^2	شبه مرتبه اول
۲۲۵/۵۰	۱۳۵/۲۵	۰/۹۰	۰/۸۹۵	$Q_t = Q_e(1 - \exp[-K_1 t])$
-	$q_{e,cal}$ (mg/g)	K_2 (min)	R^2	شبه مرتبه دوم
-	۲۳۸/۶۶	۰/۰۰۰۵	۰/۹۹۹	$Q_t = \frac{Q_e^2 K t}{1 + Q_e K t}$
پارامترهای ترمودینامیکی				
	دما	انرژی آزاد گیبس (kJmol^{-1})	آنتالپی kJmol^{-1}	آنتروپی $\text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$
	۲۵	-۵/۰۶۲	-۰/۶	۱۹
	۳۵	-۵/۲۵۲		

	۴۵	-۵/۴۴۲		
	۵۵	-۵/۶۳۲		

بحث

ذرات تشکیل‌دهنده‌ی منافذ در نوع H₄ نامنظم به شکل شکاف‌های باریکی هستند که این ذرات مخلوطی از مزوحفرات و میکروحفرات غیریکنواخت هستند. نوع پسماند در H₃، MGO می‌باشد. که نشان دهنده‌ی ساختار منعطف و قابل اتساع، که دارای حفراتی به صورت شیار هستند، می‌باشد. این پدیده برای نیترژن در ۷۷ درجه‌ی کلون در دامنه‌ی فشار نسبی بین ۰/۴ - ۰/۴۵ اتفاق می‌افتد. بهر حال 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 ۵/۱۸^۰، ۴/۳۰^۰، ۵/۳۵^۰، ۴/۴۴^۰، ۴/۵۴^۰، ۲/۵۷^۰ و ۲/۶۳^۰ را می‌توان به ترتیب به صفحات (۱۱۱)، (۲۲۰)، (۳۱۱)، (۴۰۰)، (۴۲۲)، (۵۱۱) و (۴۴۰)، که به خوبی با الگوی XRD استاندارد اسپینل مکعبی (JCPDS شماره ۲۲-۱۰۸۶) مطابقت دارد، نسبت داد. علاوه بر این، پیک مشخصه GO که در ۲/۱۰^۰ 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 CoFe₂O₄ 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 می‌شود. در مورد کامپوزیت MGO همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود ذرات CoFe₂O₄ محکم به صفحات GO چسبیده‌اند. علاوه بر این، نانوذرات مغناطیسی می‌توانند به طور موثری از تجمع صفحات گرافنی جلوگیری کنند. ضریب تعیین (R²)، دقت مدل‌های طراحی شده را

به دلیل وجود گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار بر روی سطح GO، این ماده بسیار الکترون‌گاتیو است در حالیکه، در MGO بدلیل اصلاح سطح GO با نانوذرات مثبت CoFe₂O₄، مقدار پتانسیل زتا به مقادیر بزرگتر شیفیت (از ۴۰/۵- به ۹/۳۵- میلی ولت) پیدا می‌کند. از سوی دیگر مقادیر pK_{a1}، pK_{a2} و pK_{a3} (به ترتیب ۲/۷، ۷/۴ و ۹/۶) نشان دهند آن است که AMX در pH > pK_{a1} و pH < pK_{a2} (۲/۷ < pH < ۷/۴) دارای بار مثبت است در حالیکه در pH های بین ۷/۴ و ۹/۶ دارای بار خالص روی صفر و در pH بالاتر از ۹/۶ دارای بار منفی است. بدین ترتیب در pH = ۶/۵، 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 می‌باشد. 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 ۱ ب) نوع IV به دست آمد که نشان دهنده مواد جامد مزوپور با اندازه‌ی حفرات بیشتر از دو نانومتر و کمتر از ۵۰ نانومتر می‌باشد. حلقه هیستریزس با فرآیند ثانویه تراکم مویرگی همراه است که منجر به پر شدن کامل مزوپورها در P/P⁰ < 1 می‌شود. هیستریزس نوع H₁ مشخصه‌ی جامداتی است که از آن‌ها، کانال‌هایی با اندازه و شکل‌های یکنواخت عبور می‌کنند. نوع H₂، 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. H₃ در

تترا سایکلین در دمای ۴۵ درجه سلسیوس اندکی بیشتر است (۲۰). افزایش جذب در این دما ممکن است به افزایش تعداد مکان‌های سطح فعال موجود برای جذب روی جاذب یا سرعت انتشار تتراسایکلین نسبت داده شود (۲۰). در نتیجه نشان 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 است. از نظر تئوری، افزایش دوز جاذب به دلیل تاثیر آن بر سطح و تعداد محل‌های اتصال موجود برای جذب، بر ظرفیت جذب تأثیر می‌گذارد (۳). به طور کلی، افزایش مقدار جاذب می‌تواند منجر به تجمع و متعاقباً کاهش سطح 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 شده بهینه کرد. در مطالعه حاضر، اثر MGO بر حذف AMX در پنج سطح 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 آزمایشات جذب به کار برده شد. مقدار حذف جاذب تعادلی AMX با افزایش غلظت محلول اولیه میزان جذب افزایش می‌یابد. این می‌تواند به این دلیل باشد با افزایش غلظت AMX در محلول، دسترسی AMX در سطح مشترک جاذب نیز افزایش یافت. هنگامی که مکان‌های فعال سطحی جاذب به طور کامل پوشانده شود، میزان جذب به حدی می‌رسد که منجر به جذب اشباع می‌شود (۷). همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزایش زمان سونیکاسیون تا زمان ۱۵ دقیقه، راندمان جذب AMX افزایش یافت. اما این ارتباط از نظر آماری معنی‌دار نبود. با توجه به اینکه در مطالعات مشابه، زمان تعادل برای جذب آنتی‌بیوتیک توسط جاذب‌های کربنی تهیه شده از مواد مختلف (۲۱)، بیش از ۳۰ دقیقه بوده است به نظر می‌رسد این افزایش راندمان جزئی نشان دهنده این باشد که با توجه به مشخصات جاذب، زمان در نظر گرفته شده برای اتصال AMX به جاذب

نشان می‌دهد. مقدار R^2 در این مطالعه، ۰/۹۹۹۱ است که برازش عالی بین نتایج تجربی و مدل شده را تأیید می‌کند. مقادیر R^2 نشان می‌دهد که ۹۹/۹۱ درصد از تغییرات در جذب AMX را می‌توان با مدل‌های پیشنهادی توصیف کرد. R^2 تعدیل شده که اعتبار مدل مذکور را نشان می‌دهد ۱۰/۹۹۸۳ است که نشان‌دهنده معنادار بودن این مدل است (۹). متغیر دیگری که اهمیت و قدرت آماری مدل پیشنهادی را تأیید 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 ۴ در فضای تعریف شده CCD قابل اعتمادتر هستند (۹). همچنین، ضریب واریانس این مدل ۲/۰۷ است. این مقدار بسیار پایین قابلیت اطمینان و تکرارپذیری مدل را نشان می‌دهد (۹). بنابراین، مدل پیشنهادی را می‌توان برای پیش‌بینی راندمان حذف AMX با استفاده از MGO اعمال کرد.

دما یکی از عواملی است که بر ظرفیت جذب جاذب تأثیر می‌گذارد (۳). در مطالعه حاضر، اثر دما بر فرایند جذب در پنج سطح بین ۲۰ تا ۶۰ درجه مورد بررسی 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 سلسیوس گزارش کرد. محققین اظهار داشتند که جذب AMX روی این جاذب‌ها می‌تواند گرمازا باشد در نتیجه جذب در دماهای پایین‌تر بهتر انجام می‌شود. کاهش ظرفیت جذب در دماهای بالاتر ممکن است به تضعیف نیروهای برهمکنش بین AMX و مکان‌های فعال روی سطح جاذب نسبت داده شود. از طرف دیگر، حلالیت AMX با دما افزایش می‌یابد. در دمای بالاتر، نیروهای هیدراتاسیون AMX قوی‌تر از نیروهای جاذبه بین AMX و جاذب می‌شود و به دفع AMX کمک می‌کند (۳). در مطالعه مرادی و همکاران، افزایش دما در محدوده ۶۰-۲۰ درجه سلسیوس تأثیر مثبتی بر حذف AMX روی MGO و GO داشت (۷). Gao و همکاران در سال ۲۰۱۲، گزارش کردند که اثر دما بر فرایند جذب، در غلظت‌های بالاتر تتراسایکلین مشخص است و فرایند جذب در غلظت‌های بالاتر

حذف آنتی‌بیوتیک AMX مورد استفاده قرار گرفت. تامین حداکثر ظرفیت جذب معادل ۲۳۸/۶۲ میلی‌گرم در گرم جاذب و خاصیت استفاده مجدد، نانوکمپوزیت تهیه شده را به یک جاذب بالقوه جهت حذف آنتی‌بیوتیکها از محیط‌های آبی تبدیل می‌کند. اگرچه که مطالعات بیشتری در جهت بررسی تاثیر سایر متغیرهای مهم (از جمله وجود یونهای مداخله‌گر، هیومیک اسیدها، سایر آنتی‌بیوتیکها) و نیز بر روی نمونه‌های 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 منافی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

مشارکت نویسندگان:

- (۱) مفهوم پردازش و طراحی مطالعه، یا جمع آوری داده‌ها، یا تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها: همه نویسندگان
- (۲) تهیه پیش‌نویس مقاله یا بازبینی آن جهت تدوین محتوای اندیشمندانه: همه نویسندگان
- (۳) تایید نهایی دستنوشته پیش از ارسال به مجله: همه نویسندگان

کمتر از زمان تعادل بوده است. همسو با نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، زمان بهینه برای جذب چند آنتی‌بیوتیک از جمله آموکسی‌سیلین 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 تک‌لایه 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 می‌کند (۲۰، ۲۴). 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 (۲۴). ظرفیت جذب تعادلی محاسبه شده (۲۳۸/۶۶ mg/g) به خوبی با نتایج تجربی (۲۲۵/۵۰ mg/g) مطابقت دارد. همچنین مطابق جدول ۳ مقادیر منفی ΔG نشان می‌دهد که فرآیند جذب AMX از نظر استوکیومتری امکان‌پذیر و خود به خودی است و همانطور که نتایج نشان می‌دهد با افزایش دما، مقدار ΔG کاهش می‌یابد، 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 مولکول‌های آلاینده و سطح جاذب است و نشان می‌دهد 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 چندانگانه باشد.

نتیجه‌گیری نهایی:

یک نانوکامپوزیت اکسید گرافن مغناطیسی شده با استفاده از CoFe_2O_4 به روش هیدروترمال سنتز و بطور موفقیت جهت

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, Peykoshian A. Application of central composite design (CCD) for optimization of cephalixin 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 MHA, JJoML. 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 S, JJoM. 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-Chooabar 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 MHA, JC. 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.

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

Azam Nadali^{1,2}, Maryam Foroughi^{3,4}, Mohammad Hossein Ahmadi Azqhandi^{5*}, Abdolmajid Gholizadeh^{3,4}

1. Research Center for Environmental Pollutants, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran
2. Student Research Committee Qom University of Medical sciences Qom Iran
3. Health Sciences Research center ,Torbat Heydariyeh University of medical sciences , Torbat Heydariyeh, Iran
4. Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences, Torbat Heydariyeh, Iran
5. Applied Chemistry Department, Faculty of Gas and Petroleum (Gachsaran), Yasouj University, Gachsaran , Iran

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

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.

Keywords:

Antibiotic,
Response
surface
methodology,
Graphene
oxide,
Amoxicillin

How to Cite this Article: Nadali A, Foroughi M, Ahmadi Azqhandi MH, Gholizadeh A . 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.

(<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.