



## مدل سازی سینتیکی و بهینه سازی پارامترهای موثر تصفیه فاضلاب ۴-کلروفنل در فرآیند جذب با نانو کاتالیست کربن فعال/مگنتیت در محلول آبی

محمد آسترکی

فرهام امین شرعی\*

سهند جرفی

رضا درویشی چشمه سلطانی

مجتبی نصر اصفهانی

گروه مهندسی شیمی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

گروه مهندسی ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

گروه مهندسی شیمی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

گروه مهندسی شیمی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

گروه شیمی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** ترکیبات آلی و حلقوی کلرینه نظیر ۴-کلروفنل، در منابع آب های سطحی و زیرزمینی به دلیل کاربرد فراوان آن در صنایع مختلف و ایجاد مشکلات و عوارض جبران ناپذیری مانند سرطانزایی، جهش زاایی، ناهنجاری های مادرزادی و سمیت بالا بسیار مورد توجه سازمان های حفاظت از محیط زیست بوده است.

**مواد و روش ها:** این مطالعه یک پژوهش کاربردی است که به صورت پایلوت و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده است. در این مطالعه ابتدا محلول آبی حاوی ۴-کلروفنل تهیه شد و سپس با استفاده از لاستیک ضایعاتی برای تهیه کربن فعال نانو کاتالیست کربن/مگنتیت تهیه شد و بدین منظور ۱۰۰ ml از محلول آبی در تماس با جاذب کربن فعال قرار گرفت و متغیرهای تاثیرگذار در فرآیند جذب (pH، دما، دوز جاذب و زمان ماند) از روش پاسخ سطح (RSM) با انتخاب طرح مرکب مرکزی (CCD) طراحی شد.

**نتایج و بحث:** برای فرآیند جذب ۴-کلروفنل با استفاده از کربن فعال/مگنتیت، یک الگوی آمیزش با ۳۰ اجرا انجام شد و  $R^2$  تنظیم شده و پیش بینی شده به ترتیب ۰/۹۱۹ و ۰/۷۶۲ برآورد گردید و بر اساس ANOVA، مدل فرآیند جذب ۴-کلروفنل با جاذب پیشنهادی معنی دار بود و F-value ۲۴/۵۸ بود. همچنین عوامل مستقل در این مطالعه (pH، دما، دوز جاذب و زمان ماند)، معنی دار بودند

**نتیجه گیری:** با توجه به تاثیر پارامترهای مختلف در انتخاب شرایط بهینه نرم افزار، ۱۰۰ راه حل پیشنهاد کرد، که در نهایت اولین راه حل با ۰/۹۴۸ مطلوبیت انتخاب شد که پارامترهای تاثیرگذار برای جذب به این شرح بهینه شد: pH ۳، دمای ۴۲،۵ °C، دوز جاذب ۱/۸۴ g L<sup>-1</sup> و زمان ماند ۹۱ دقیقه. همچنین نتایج مدلسازی جذب نشان داد با افزایش مصرف دوز بیشتر جاذب، فرآیند می تواند در زمان کوتاه تری به پایان برسد و همچنین افزایش بیش از مقدار بهینه ی دوز جاذب از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۸

واژه های کلیدی: مدل سازی

سینتیکی، ۴-کلروفنل، جاذب، کربن فعال/مگنتیت

نویسنده مسئول: فرهام امین شرعی

نشانی: اصفهان، نجف آباد، بلوار دانشگاه - کدپستی: ۸۵۱۴۳۳۱۳۱. تلفن: ۰۹۳۶۰۱۷۶۱. پست الکترونیکی: aminsharei.fa@gmail.com

استناد: آسترکی محمد، امین شرعی فرهام، جرفی سهند، درویشی چشمه سلطانی رضا، نصر اصفهانی مجتبی. مدلسازی سینتیکی و بهینه سازی پارامترهای موثر تصفیه فاضلاب ۴-کلروفنل در فرآیند جذب با نانو کاتالیست کربن فعال/مگنتیت در محلول آبی. ۱۴۰۲؛ ۱(۳): ۴۱-۵۲.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



## مقدمه

نیز قیمت پایین‌تر از سایر جاذب‌ها از مقبولیت بیشتری برای استفاده در صنعت برخوردار هستند (ژیانگ و همکاران ۲۰۲۲). ظرفیت جذب در جاذب‌ها به عوامل متعددی بستگی دارد که در دو خصوصیات فیزیکی و خصوصیات ماهیتی جاذب دسته‌بندی می‌شود. خصوصیات فیزیکی شامل: اندازه منفذها، ساختار، روش تهیه و آماده‌سازی؛ خصوصیات ماهیتی شامل: قابلیت انحلال، عناصر تشکیل‌دهنده‌ی جاذب، گروه‌های عاملی سطحی مکان‌های فعال، قطبیت، وزن مولکولی و pH بهینه (تانگ و همکاران ۲۰۲۲).

برای حذف ترکیبات کلروفنل‌ها از پساب‌های مختلف اعم از روش فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی بکار گرفته شده است. فرایندهای بیولوژیکی در حذف کلروفنل‌ها به دلیل احتیاج به دوره‌های سازگاری طولانی غیرمؤثر هستند (پنگ و همکاران ۲۰۲۲). اگرچه تخریب حرارتی برای شکستن ترکیبات کلروفنل‌ها مؤثر هستند، این روش دارای معایب جدی‌تری از جمله مصرف انرژی، تولید و تشکیل گونه‌های سمی‌تر می‌باشد (دوئوان و همکاران ۲۰۲۲). روش‌های جذب سطحی نیز برای تصفیه پساب‌های حاوی کلروفنل‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. (یانگ و همکاران ۲۰۲۲) پژوهشی بر اساس واکنش فنتون با استفاده از کربن فعال تجاری انجام دادند. آن‌ها کربن فعال را بوسیله بوسیله  $Fe_3O_4$  اصلاح و کربن فعال مغناطیسی با سطح ویژه  $473 m^2 g^{-1}$  سنتز کردند. آن‌ها حذف ۴-کلروفنل را با فرایند فنتون و فرایند جذب مقایسه کردند. نتایج نشان داد ۴-کلروفنل با فرایند فنتون ۹۰٪ حذف می‌گردد و با فرایند جذب راندمان جذب ۸۰٪ گزارش شد. Santana-Martínez و همکاران (سانتانو و همکاران ۲۰۱۶) با فرایند الکترو-فنتون و الکترو-شبه فنتون ۴-کلروفنل را حذف کردند. نتایج این پژوهش نشان داد باید منبع آهن  $Fe_3O_4$  به تدریج اضافه شود. بازده حذف ۴-کلروفنل در این فرایندها به ترتیب ۴۵٪ و ۷۰٪ گزارش شد. هادی و همکاران (هادی و همکاران ۲۰۲۰) برای تخریب ۴-کلروفنل از یک سیستم ناهمگن شبه فنتون در حضور پرسولفات و اسید اگزالیک استفاده کردند. این فرایند در pH ۶ و غلظت  $H_2O_2$  برابر با  $275 mg l^{-1}$  بهینه شد. Shen و همکاران (شن و همکاران ۲۰۲۱) برای جذب ۴-کلروفنل، سطح خاکستر زیستی را که از کاه گندم بدست آمده بود، با استفاده از  $ZnCl_2$  اصلاح کردند. نتایج این اصلاح سطح نشان داد سطح ویژه جاذب بسیار توسعه یافته است (از  $m^2 g^{-1}$  به  $1/84$  به  $234/2 m^2 g^{-1}$ ) و می‌تواند نمونه‌ی پساب حاوی ۴-کلروفنل ( $100 mg l^{-1}$ ) را در دمای  $90^\circ C$  زمان کوتاه ۳۰ دقیقه در pH ۶، با بازدهی ۹۸٪ حذف کند. هدف از انجام این پژوهش مدلسازی سینتیکی جذب کربن فعال / مگنتیت در محلول آبی

با توجه به اهمیت نقش آب در محیط زیست بویژه زندگی انسان‌ها، آلودگی آب یک مشکل بزرگ جهانی است. ترکیبات کلروفنل‌ها از جمله ۴-کلروفنل بطور گسترده‌ای در تولید علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها، مواد دارویی و رنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین فاضلاب صنایع مختلفی از جمله صنایع شیمیایی و نفت، پتروشیمی، کاغذسازی، رنگ و نساجی و غیره معمولاً حاوی مقادیر قابل توجهی از کلروفنل‌ها هستند، علاوه بر این کلروفنل‌ها در برخی مناطق در آب‌های سطحی و زیرزمینی شناسایی شده‌اند (نیو و همکاران ۲۰۱۷) پساب‌های صنعتی معمولاً محدوده وسیعی از آلاینده‌های آلی با سمیت بالا و مقاوم به تجزیه بیولوژیکی تولید می‌کنند که می‌توانند سبب مشکلات جدی برای محیط زیست و سلامت انسان به علت خصوصیات سمیت، سرطان‌زایی و جهش‌زایی شوند و برای دستیابی به مقررات سختگیرانه کیفیت آب و همچنین نیاز به بازچرخش آب در فرایند بایستی بطور مناسب تصفیه شوند (زاهی و همکاران ۲۰۲۱). به دلیل خطر قابل توجه ترکیبات کلروفنل‌ها در محیط زیست (سمیت بالا و سرطان‌زایی، مقاومت بالا و قابلیت تجزیه بیولوژیکی پایین) این ترکیبات به عنوان آلاینده‌های اولویت دار توسط کمیسیون اروپایی و قانون آب پاک (Clean Water Act) سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده در نظر گرفته شده‌اند (فائو و همکاران ۲۰۲۲). حلالیت ناچیز کلروفنل‌ها در آب سبب ناکارآمدی روش تجزیه‌ی بیولوژیکی با استفاده از میکروارگانیسم‌ها می‌شود. کلروفنل‌ها به میزان کمی اسیدی هستند اما با افزایش تعداد اتم کلر در ساختار آن‌ها بر خاصیت اسیدی افزوده می‌شود. یکی از روش‌های حذف ۴-کلروفنل استفاده از روش جذب سطحی است. این روش مبتنی بر جذب آلاینده به وسیله‌ی جاذب‌هایی از قبیل کربن فعال، زئولیت و غیره می‌باشد. فرایند جذب را می‌توان در چهار مرحله خلاصه کرد (لئو و همکاران ۲۰۲۰): مرحله اول انتقال آلاینده از توده‌ی محلول می‌باشد، این مرحله شامل حرکت ماده‌ی جذب شونده (آلاینده)، از میان توده محلول به مرز لایه‌ی فیلم تشکیل شده بر روی سطح جاذب است. در مرحله دوم آلاینده به عنوان ماده‌ی جذب شونده، از طریق فیلم مایع ثابت از روی مرز جاذب به ورودی منافذ موجود در سطح جاذب منتقل می‌شود. مرحله‌ی سوم شامل ترکیبی از دو مکانیسم پیچیده است: انتشار مولکولی درون فیلم مایع و انتشار درون جاذب. در پایان مرحله چهارم شامل چسبیدن آلاینده به مکان‌های فعال در جاذب است. از این رو جذب به دو گروه شیمیایی و فیزیکی تقسیم می‌شود. در بین جاذب‌های مختلف کربن پایه و زئولیت به علت دارا بودن ظرفیت جذب بالا، در دسترس بودن و

شیمیایی تهیه شد. به این منظور ۲/۸۴ گرم آهن (II) سولفات هفت آبه و ۵/۴ گرم آهن (III) کلراید شش آبه در حجم ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شد و به مدت ۶۰ دقیقه در دمای محیط با سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه بر روی همزن مغناطیسی همزده شد، سپس به محلول ۴۰ میلی لیتر آمونیاک ۲۸٪ به تدریج اضافه شد. با اضافه شدن قطره قطره‌ی آمونیاک به محلول، رسوب سیاه رنگ مگنتیت مشاهده شد، در این فرایند همواره pH تحت کنترل بود به طوری که محیط قلیایی باشد (نئو و همکاران ۲۰۱۷). پس از ۲ ساعت همزدن محلول، مدت زمان ۱ ساعت محلول بدون همزن ساکن باقی ماند تا دوفازی شدن مشاهده شد. سپس رسوب موجود در محلول با استفاده از کاغذ صافی جداسازی شد. رسوب باقی مانده با مقدار کافی آب مقطر شستشو شد تا وقتی که pH محلول خارج شده از شستشو خنثی شد. رسوب سیاه رنگ در دمای ۷۰ °C در آون به مدت ۲۴ ساعت خشک شد (وانگ و همکاران ۲۰۲۲). کربن فعال تولید شده را با نسبت‌های جرمی مختلف (۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪) نانو ذرات مگنتیت به همراه مقدار کافی آب دوبار تقطیر برای اختلاط بر روی شیکر با سرعت ۳۵۰ دور بر دقیقه قرار گرفت (ژیلنگ و همکاران ۲۰۲۲). ذرات جامد پس از ۳ ساعت مخلوط شدن توسط کاغذ صافی از محلول جداسازی شد و به مدت ۱ ساعت در دمای ۲۵۰ °C درون آون قرار گرفت (نئو و همکاران ۲۰۱۷).

#### طراحی آزمایشات مربوط به فرایند جذب ناپیوسته با کربن فعال/مگنتیت

برای بررسی تأثیر حضور کربن فعال در محیط آبی حاوی ۴-کلروفنل فرایند جذب ناپیوسته‌ای طراحی شد، تا مقدار جذب آلاینده‌ی ۴-کلروفنل توسط ذرات کربن فعال/مگنتیت معلوم شود. به این منظور غلظت  $250 \text{ mg L}^{-1}$  از محلول ۴-کلروفنل با رقیق‌سازی محلول مادر تهیه شد. فرایند جذب در یک ارلن ml ۲۵۰ انجام شد. به این منظور حجم ml ۱۰۰ از فاضلاب در تماس با جاذب کربن فعال قرار گرفت و سایر شرایط آزمایش مطابق با طراحی آزمایش تنظیم شد. متغیرهای تأثیرگذار در فرایند جذب (pH، دما، دوز جاذب و زمان ماند) در نظر گرفته شد (عبدالله و همکاران ۲۰۲۱). آزمایش جذب آلاینده‌ی ۴-کلروفنل از محیط آبی با استفاده از روش پاسخ سطح (RSM) با انتخاب طرح مرکب مرکزی (CCD) طراحی شد. جدول ۱ محدوده‌ها و همچنین سطوح کد شده و غیر کد شده متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش را نشان می‌دهد.

جهت دستیابی به جاذبی با راندمان بالا که بتواند ۴-کلروفنل را با کمترین دوز و در کوتاه‌ترین زمان ماند جذب نماید می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

در این پژوهش با هدف دستیابی به داده‌های قابل مقایسه و نتایج تکرارپذیر، ابتدا فاضلاب حاوی ۴-کلروفنل بصورت سنتزی تهیه شد. طراحی آزمایشات جذب با در نظر گرفتن معنادار بودن و کیفیت طراحی آزمایش انجام شده و خروجی‌های سه بعدی جهت بررسی روند تغییرات رسم شدند. لازم به ذکر است طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Design-Expert v11 انجام شد.

#### تهیه و آماده‌سازی محلول آبی حاوی ۴-کلروفنل

محلول ۴-کلروفنل با غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر با حل کردن ۱ گرم از ۴-کلروفنل در یک لیتر آب تهیه شد. غلظت‌های مختلف در هر سری آزمایشات با رقیق‌سازی محلول مادر ساخته شد.

#### تهیه نانو کاتالیست کربن فعال/مگنتیت

برای تهیه نانو کاتالیست کربن فعال/مگنتیت، از ضایعات لاستیک‌های مستعمل استفاده گردید، لاستیک فرسوده از یک مرکز بازیافت لاستیک در اصفهان تهیه شد. تکه‌هایی از لاستیک فرسوده آسیاب شد. دانه‌های لاستیک تمیز شد و کاملاً با آب دوبار تقطیر شسته شد، سپس در آون با دمای ۱۰۰ °C به مدت ۲ ساعت خشک شد. مواد خشک شده به مدت ۵ ساعت تا دمای ۵۰۰ °C درون کوره قرار گرفت (مظفری و همکاران ۲۰۲۲). برای اکسید شدن ناخالصی‌های آلی موجود در محصول از محلول هیدروژن پراکسید به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ °C استفاده شد (فائو و همکاران ۲۰۲۱). مواد سه مرتبه با آب دوبار تقطیر شده شسته شد تا هیدروژن پراکسید حذف شود و در دمای ۱۱۰ °C به مدت ۲ ساعت در آون خلاء خشک شد. مواد خشک شده با حرارت دادن در کوره الکتریکی به مدت ۲ ساعت در یک بوتله چینی سربسته در دمای ۹۰۰ °C فعال شد (وانگ و همکاران ۲۰۲۲). پس از فعال‌سازی حرارتی، مواد با محلول ۱ مولار HCl برای حذف محتوای خاکستر تحت تصفیه قرار گرفت و سپس با آب دوبار تقطیر شسته شد. در پایان مواد بدست آمده در دمای ۱۰۰ °C به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. کربن فعال با اندازه ذرات ۲۰۰-۱۵۰ میکرومتر در دیسکاتور نگهداری شد (عبد و همکاران ۲۰۲۰). نانو ذرات  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  با استفاده از روش هم رسوبی

جدول ۱- محدوده‌ها و سطوح کد شده و غیر کد شده متغیرها در فرایند جذب

متغیرهای مستقل	نماد و کد	سطح				
		-۲	-۱	۰	+۱	+۲
pH	$X_1$	۳	۵/۲۵	۷/۵	۹/۷۵	۱۲
دما (°C)	$X_2$	۲۸	۳۳/۵	۳۹	۴۴/۵	۵۰
زمان ماند (min)	$X_3$	۵	۳۳/۷۵	۶۲/۵	۹۱/۲۵	۱۲۰
دوز جاذب کربن فعال ( $g L^{-1}$ )	$X_4$	۰/۱	۰/۵۷	۱/۰۵	۱/۵۲	۲
		پاسخ				
بازده حذف ۴-کلروفنل		R (%)				

## نتایج و بحث

آزمایش را با ۳۰ اجرا پیشنهاد کرد. جدول ۲ طراحی آزمایش و نیز نتیجه فرآیند ناپیوسته را نشان می‌دهد.

نتایج طراحی آزمایش برای جذب با کربن فعال/مگنتیت و مدلسازی برای فرایند جذب ۴-کلروفنل با استفاده از کربن فعال و کربن فعال/مگنتیت، نرم افزار Design-Expert یک الگوی

جدول ۲- طراحی آزمایشات فرایند جذب با جاذب کربن فعال / مگنتیت و نتایج آزمایشات

شماره آزمایش	الگوی تنظیم متغیرها				پاسخ		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	بازده حذف ۴-کلروفنل		
					R (%) Actual	R (%) Predicted	Residual
۱	۹/۷۵	۳۳/۵	۳۳/۷۵	۰/۵۷۵	۴۲/۵	۴۴/۸۴	-۲/۳۴
۲	۷/۵	۳۹	۶۲/۵	۰/۱	۶۲/۰۶۲۵	۵۹/۶۶	۲/۴۱
۳	۷/۵	۲۸	۶۲/۵	۱/۰۵	۶۳/۶۲۵	۵۸/۱۱	۵/۵۱
۴	۷/۵	۵۰	۶۲/۵	۱/۰۵	۶۶/۱۲۵	۶۶/۶۱	۰/۴۸۹۶
۵	۵/۲۵	۳۳/۵	۳۳/۷۵	۰/۵۷۵	۵۷/۵	۶۰/۶۷	-۳/۱۷
۶	۹/۷۵	۳۳/۵	۳۳/۷۵	۱/۵۲۵	۴۷/۵	۴۹/۸۹	-۲/۳۹
۷	۹/۷۵	۴۴/۵	۹۱/۲۵	۱/۵۲۵	۶۹/۶۲۵	۶۸/۹۶	۰/۶۶۱۵
۸	۷/۵	۳۹	۶۲/۵	۲	۳۲/۳۷۵	۶۹/۷۶	۲/۶۱
۹	۵/۲۵	۴۴/۵	۳۳/۷۵	۱/۵۲۵	۶۸/۲۵	۶۹/۹۷	-۱/۷۲
۱۰	۹/۷۵	۳۳/۵	۹۱/۲۵	۱/۵۲۵	۶۳/۸۷۵	۶۴/۷۱	-۰/۸۳۸۵
۱۱	۹/۷۵	۴۴/۵	۳۳/۷۵	۱/۵۲۵	۵۳/۲۵	۵۴/۱۴	-۰/۸۹۰۶
۱۲	۷/۵	۳۹	۵	۱/۰۵	۵۳	۴۷/۳۹	۵/۶۱
۱۳	۵/۲۵	۴۴/۵	۳۳/۷۵	۰/۵۷۵	۶۳/۲۵	۶۴/۹۲	-۱/۶۷
۱۴	۷/۵	۳۹	۶۲/۵	۱/۰۵	۶۸/۹۷۵	۶۸/۸۴	۰/۱۳۷۵
۱۵	۳	۳۹	۶۲/۵	۱/۰۵	۹۰	۸۵/۸۲	۴/۱۸
۱۶	۷/۵	۳۹	۶۲/۵	۱/۰۵	۶۸/۶۷۵	۶۸/۸۴	-۰/۱۶۲۵
۱۷	۹/۷۵	۴۴/۵	۳۳/۷۵	۰/۵۷۵	۴۸/۲۵	۴۹/۰۹	-۰/۸۳۸۵
۱۸	۵/۲۵	۳۳/۵	۹۱/۲۵	۱/۵۲۵	۷۵/۸۷۵	۸۰/۵۵	-۱/۶۷
۱۹	۵/۲۵	۴۴/۵	۹۱/۲۵	۱/۵۲۵	۸۴/۶۲۵	۸۴/۸۰	-۰/۱۷۱۹

شماره آزمایش	الگوی تنظیم متغیرها				پاسخ		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	بازده حذف ۴-کلروفنل		
					R (%) Actual	R (%) Predicted	Residual
۲۰	۵/۲۵	۳۳/۵	۳۳/۷۵	۱/۵۲۵	۶۲/۵	۶۵/۷۲	-۳/۲۲
۲۱	۱۲	۳۹	۶۲/۵	۱/۰۵	۵۵	۵۴/۱۶	۰/۸۴۳۷
۲۲	۷/۵	۳۹	۶۲/۵	۱/۰۵	۶۸/۹۵	۶۸/۸۴	۰/۱۱۲۵
۲۳	۷/۵	۳۹	۶۲/۵	۱/۰۵	۶۹/۶۲۵	۶۸/۸۴	۰/۷۸۷۵
۲۴	۹/۷۵	۳۳/۵	۹۱/۲۵	-۰/۵۷۵	۵۷/۸۷۵	۵۹/۶۶	-۰/۷۸۶۵
۲۵	۹/۷۵	۴۴/۵	۹۱/۲۵	-۰/۵۷۵	۶۴/۶۲۵	۶۳/۹۱	۰/۷۱۳۵
۲۶	۷/۵	۳۹	۶۲/۵	۱/۰۵	۶۸/۰۲۵	۶۸/۸۴	-۰/۱۱۲۵
۲۷	۷/۵	۳۹	۶۲/۵	۱/۰۵	۶۸/۷۷۵	۶۸/۸۴	-۰/۰۶۲۵
۲۸	۵/۲۵	۴۴/۵	۹۱/۲۵	-۰/۵۷۵	۷۹/۶۲۵	۷۹/۷۴	-۰/۱۱۹۸
۲۹	۵/۲۵	۳۳/۵	۹۱/۲۵	-۰/۵۷۵	۷۳/۸۷۵	۷۵/۴۹	-۱/۶۲
۳۰	۷/۵	۳۹	۱۲۰	۱/۰۵	۷۶/۷۵/۴۳	۷۷/۰۳	-۰/۵۹۳۸

مدل رفتار سیستم جذب ۴-کلروفنل با جاذب کربن فعال/مگنتیت به ترتیب در معادله 1 آمده است:

(۱)  $R(\%) = +68.84 - 7.92X_1 + 2.12X_2 + 7.41X_3 + 2.53X_4 + 0.288X_1^2 - 1.62X_2^2 - 1.66X_3^2 - 1.03X_4^2$

واریانس (ANOVA) به بررسی صحت و اعتبار مدل پیشنهادی کمک می‌کند (بنی و همکاران ۲۰۲۰). با توجه به جدول ۳، بر اساس ANOVA، مدل فرایند جذب ۴-کلروفنل معنی دار بود و F-value برابر ۲۴/۵۸ بدست آمده است.

علامت مثبت در برابر هر یک از عبارتهای معادله ۴ نشان دهنده اثر هم افزایی و علامت منفی نشان دهنده اثر غیر هم افزاینده بر سطح پاسخ (R) است. همچنین برای معادله ۱ R<sup>2</sup> تنظیم شده و پیش بینی شده به ترتیب ۰/۹۱۹ و ۰/۷۶۲ می‌باشد. تجزیه تحلیل

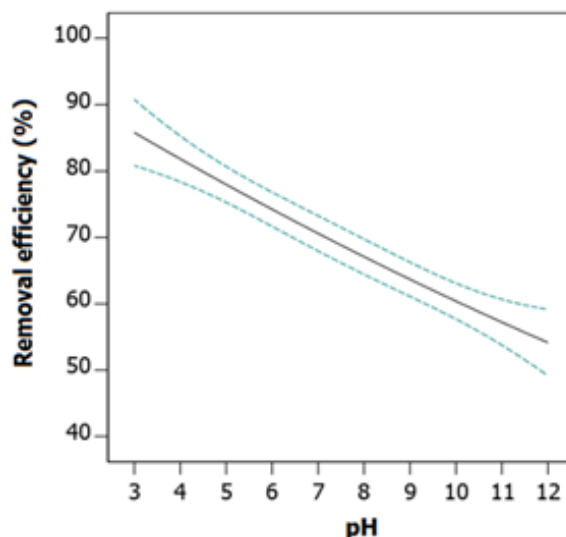
جدول ۳- تحلیل ANOVA مدل درجه دوم پاسخ سطح برای بازده حذف توسط کربن فعال/مگنتیت

	Sum of Squares	Degree of freedom	Mean Square	F-value	p-value	
Model	۳۲۴۰/۷۳	۱۴	۲۳۱/۴۸	۲۴/۵۸	۰/۰۰۰۱<	significant
X <sub>1</sub>	۱۵۰۴/۱۷	۱	۱۵۰۴/۱۷	۱۵۹/۷۴	۰/۰۰۰۱<	
X <sub>2</sub>	۱۰۸/۳۷	۱	۱۰۸/۳۷	۱۱/۵۱	۰/۰۰۴۱	
X <sub>3</sub>	۱۳۱۸/۳۱	۱	۱۳۱۸/۳۱	۱۴۰/۰۱	۰/۰۰۰۱<	
X <sub>4</sub>	۱۵۳/۱۴	۱	۱۵۳/۱۴	۱۵/۲۶	۰/۰۰۱۱	
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	۲/۲۸	۱	۲/۲۸	۰/۲۴۱۶	۰/۶۳۰۱	
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	۷۱/۸۳	۱	۷۱/۸۳	۷/۶۳	۰/۰۱۴۵	
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	۷۵/۳۴	۱	۷۵/۳۴	۸	۰/۰۱۲۷	
X <sub>4</sub> <sup>2</sup>	۲۹/۲۳	۱	۲۹/۲۳	۳/۱۰	۰/۰۹۸۵	
Residual	۱۴۱/۲۴	۱۵	۹/۴۲			
Lack of Fit	۱۳۹/۹۰	۱۰	۱۳/۹۹	۵۲/۱۲	۰/۰۰۰۲	significant
Pure Error	۱/۳۴	۵	۰/۲۶۸۴			
Cor Total	۳۲۸۱/۹۷	۲۹				

### اثر pH بر فرایند جذب

pH یکی از پارامترهای تنظیمی در فرایند جذب می‌باشد. انتخاب pH مناسب در فرایند جذب اهمیت ویژه‌ای دارد: pH بر روی بارهای الکتریکی مخالف در گروه‌های عاملی سطح جاذب موثر

است (وحدت و همکاران ۲۰۱۹). شکل ۱ تاثیر pH را بر بازده حذف ۴-کلروفنل در کربن فعال/مگنتیت نشان می‌دهد. مطابق نتایج بازده حذف ۴-کلروفنل در شرایط اسیدی بیشه‌ی مقدار را داشت و در pH ۳ بازده حذف کربن فعال/مگنتیت به بیش از ۸۵٪ بود.

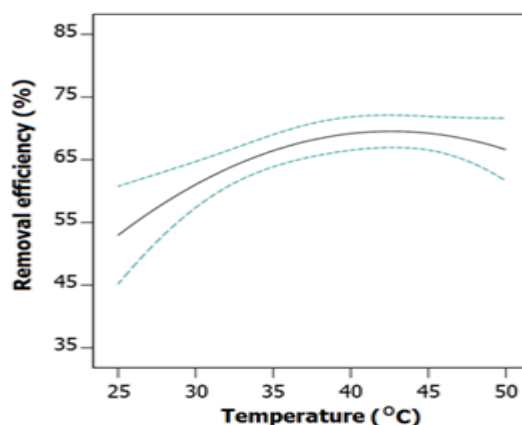


شکل ۱- اثر pH بر بازده حذف ۴-کلروفنل توسط کربن فعال/مگنتیت

### اثر دما بر فرایند جذب

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۲، جذب ۴-کلروفنل بر روی جاذب کربن فعال/مگنتیت از ۲۵ °C به ۴۰ °C افزایش یافت. بنابراین، در دماهای بالا، مکان‌های فعال (با باز کردن منافذ) بهتر در دسترس فاضلاب حاوی ۴-کلروفنل هستند (ساجا و همکاران

۲۰۲۰، واگنر و همکاران ۲۰۲۱). با افزایش دما به ۵۰ °C جذب آلاینده به مقدار کم، کاهش یافت، این کاهش به دلیل جدا شدن ۴-کلروفنل جذب شده بر سطح جاذب و وارد شدن به محیط آبی است.



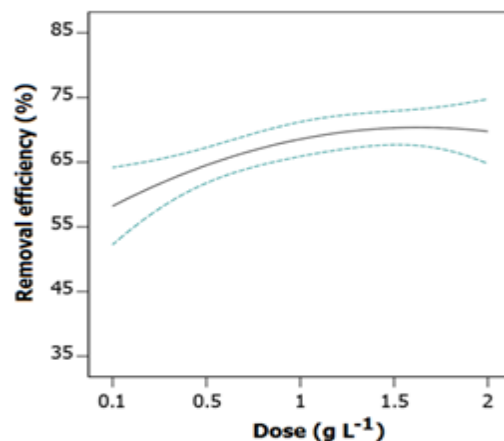
شکل ۲- جذب ۴-کلروفنل بر روی جاذب کربن فعال/مگنتیت

### اثر دوز جاذب بر فرایند جذب

دوز جاذب در اقتصادی شدن فرایند نقش دارد (سلیمان و همکاران ۲۰۱۷). با افزایش جرم جاذب، راندمان حذف آلاینده را افزایش

افزایش دوز جاذب به  $1/83 \text{ g L}^{-1}$  راندمان جذب با شیب بسیار کند افزایش یافت تا اینکه پس از آن با افزایش دوز جاذب به  $2 \text{ g L}^{-1}$  افزایشی در بازده حذف مشاهده نشد و ثابت ماند؛ بنابراین دوز بهینه جاذب مقدار از  $1/83 \text{ g L}^{-1}$  بود.

می‌یابد (۱،۸۳). استفاده بیشتر از مقدار بهینه‌ی دوز جاذب باعث کاهش ظرفیت جذب می‌شود به عبارت دیگر مکان‌های فعال در سطح جاذب خالی از آلاینده ۴-کلروفنل می‌ماند (ماروانی ۲۰۱۷). مطابق شکل ۳ با افزایش جرم جاذب از  $0/1 \text{ g L}^{-1}$  به  $1/83 \text{ g L}^{-1}$ ، راندمان جذب با شیب ملایم افزایش یافته و پس از آن با

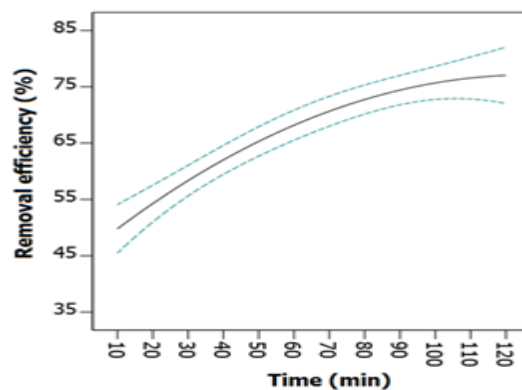


شکل ۳- اثر دوز جاذب بر راندمان جذب

پارامتر زمان ماند را در فرایند جذب را نشان می‌دهد. بیش از ۴۵٪ غلظت آلاینده‌ی ۴-کلروفنل در محیط آبی پس از ۱۰ دقیقه جذب شد. بازده حذف بالا در ۱۰ دقیقه‌ی اول باتوجه به تخلخل بالای کربن فعال قابل توجیه است. نتایج نشان می‌دهد تا زمان ۹۰ دقیقه سرعت جذب با شیب ملایم افزایش یافت و پس از ۹۰ دقیقه سرعت جذب بسیار پایین است و تا زمان ۱۲۰ دقیقه تغییر قابل توجهی در راندمان جذب مشاهده نشد. لذا زمان تعادل در مدت زمان ۹۰ دقیقه را می‌توان با راندمان ۷۵٪ در نظر گرفت.

#### اثر زمان ماند بر فرایند جذب

زمان ماند موثر در فرایندهای جذب برای کاربرد عملی یک جاذب اهمیت بالایی دارد زیرا زمان تماس و بازده حذف قابل قبول در فرایند جذب ارتباط مستقیم با پارامترهای طراحی دستگاه‌ها و نیز دوز مصرف جاذب دارد. با افزایش زمان ماند، راندمان حذف افزایش می‌یابد و بر این اساس، ظرفیت جذب نیز افزایش می‌یابد (یاداو و همکاران ۲۰۱۸). برای تعیین زمان جذب تعادلی، محدوده تغییر زمان ماند ۱۰ تا ۱۲۰ دقیقه بود. شکل ۴ نتایج مطالعه‌ی



شکل ۴- اثر زمان ماند بر بازده جذب



داده‌های سینتیکی آزمایشات جذب با استفاده از مدل‌های شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم و انتشار درون ذره برازش شد. معادلات مذکور به ترتیب با معادلات ۲، ۳، ۴ بیان شده است:

$$\log(q_e - q_t) \quad \text{معادله (۲)}$$

$$= \log q_e - \left(\frac{k_1}{2.303}\right)t$$

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad \text{معادله (۳)}$$

$$q_e = k_3 t^{0.5} + C \quad \text{معادله (۴)}$$

در این معادلات  $q_e$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) و  $q_t$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) به ترتیب ظرفیت جذب تعادلی و لحظه‌ای  $t$  (min) هستند. متغیرهای  $k_1$  (min) و  $k_2$  ( $\text{mg (g min)}^{-1}$ ) و  $k_3$  ( $\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-0.5}$ ) به ترتیب ثابت‌های سینتیکی در مدل شبه مرتبه اول، مدل شبه مرتبه دوم و مدل انتشار درون ذره می‌باشد. در جدول ۴ پارامترهای بدست آمده از مطالعه سینتیکی جذب آورده شده است.

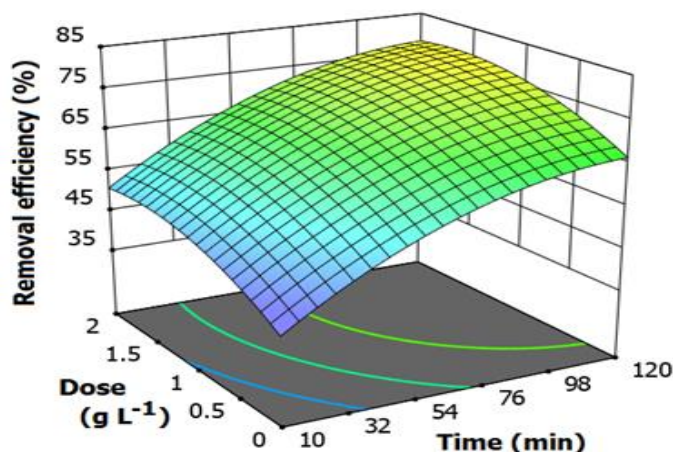
جدول ۴- پارامترهای بدست آمده از مطالعه سینتیکی جذب

نوع جاذب	$q_{\max}$ ( $\text{mg g}^{-1}$ )	Pseudo first – order model			Pseudo second – order model			Intraparticle diffusion model		
		$q_e$ ( $\text{mg g}^{-1}$ )	$K_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$R^2$	$q_e$ ( $\text{mg g}^{-1}$ )	$K_2$ ( $\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1}$ )	$R^2$	$K_3$ ( $\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-0.5}$ )	C	$R^2$
کربن فعال/مگنتیت	۱۰۲۴/۵۹	۴۹۰/۳۴	۰/۰۲۷	۰/۹۸۰	۱۰۰۰	۰/۰۰۰۸	۰/۹۴۰	۵۵/۹۶	۴۹۲/۷۹	۰/۹۸۷

افزایش راندمان پس از لحظه‌ی تعادل بسیار کند می‌شود. همچنین افزایش بیش از مقدار بهینه‌ی دوز جاذب از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. بنابراین در بهینه سازی پارامترهای موثر بر واکنش، انتخاب دوز موثر برای جذب با ظرفیت جذب حداکثری در مدت زمان مناسب با توجه به تاثیر پارامترهای مختلف در انتخاب شرایط بهینه انتخاب شد.

### بهینه سازی مدل برازش شده‌ی فرآیند جذب

شکل ۵ دو متغیر زمان ماند و مقدار دوز جاذب را به طور همزمان بر روی راندمان حذف بررسی می‌کند. در آزمایشات با جاذب کربن فعال/مگنتیت افزایش زمان ماند و نیز افزایش دوز جاذب، راندمان حذف را افزایش می‌دهد. مطابق با نتایج بدست آمده، سرعت



شکل ۵- اثر همزمان دوز جاذب و زمان ماند بر بازده حذف ۴-کلروفنل

Expert نسخه ۱۱/۰/۳ با مشخصات نرم افزار (STAT-EASE, Inc., Minneapolis, USA) انتخاب شد. نرم افزار ۱۰۰ راه حل پیشنهاد کرد، همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، اولین راه حل با ۰/۹۴۸ مطلوبیت انتخاب شد. در فرآیند جذب ۴-

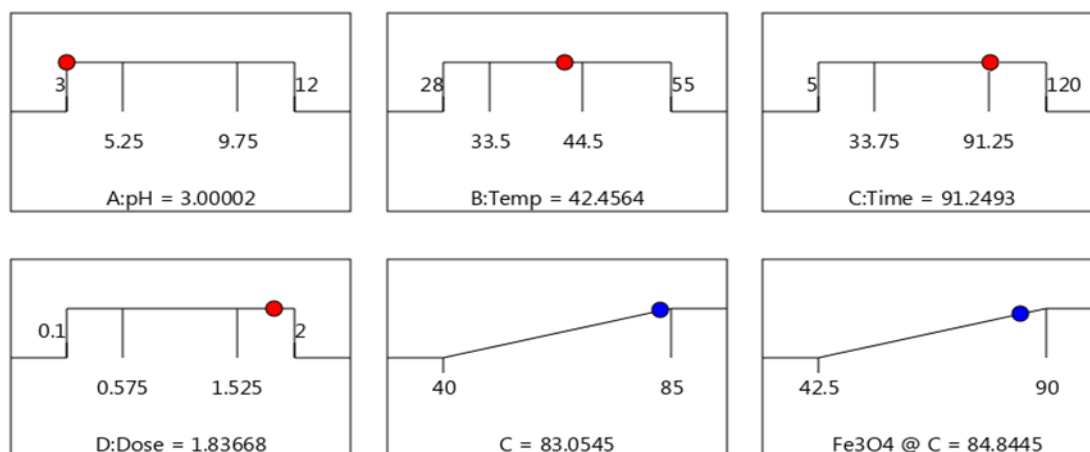
### نتیجه گیری و پیشنهادها

با توجه به تاثیر پارامترهای مختلف در انتخاب شرایط بهینه، در این مطالعه عملکرد بهینه فرآیند با استفاده از نرم افزار Design-



همچنین سرعت واکنش در ابتدای واکنش به دلیل در دسترس بودن مکان‌های فعال جاذب‌ها، سریع است بنابراین برای حذف آبی و بسیار سریع آلاینده ۴-کلروفنل می‌توان از مقدار بیشتر جاذب در مدت زمان تماس کوتاه استفاده کرد.

کلروفنل، پارامترهای تاثیر گذار بر جذب به این شرح بهینه شد: دمای ۳۲٫۵ °C، دوز جاذب  $1/84 \text{ g L}^{-1}$  و زمان ماند ۹۱ دقیقه. نتایج مدلسازی جذب نشان داد با افزایش مصرف دوز بیشتر جاذب، فرایند می‌تواند در زمان کوتاه تری به پایان برسد.



Desirability = 0.948  
Solution 1 out of 100

شکل ۶- گزینه پیشنهادی تنظیم مطلوب برای بهینه‌سازی عددی عوامل موثر بر پاسخ فرآیند ارائه شده توسط نرم افزار

قدردانی خود را از پرسنل دانشگاه و آزمایشگاه مهندسی شیمی دانشگاه به عمل می‌آورد.

#### تشکر و قدردانی

این مقاله، حاصل بخشی از رساله دکترا مهندسی شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد می‌باشد که نویسندگان مراتب

#### References

1. Abd N, Ainirazali N, Abdullah N. Materials Today : Proceedings Removal of 2-chlorophenol using pomelo ( Citrus Maxima ) albedo as a new low cost adsorbent. *Mater Today Proc* [Internet]. 2021;41:43–6. DOI://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.1000
2. Abdullah N, Ainirazali N, Najmuddin M. Materials Today : Proceedings Tea waste residue as low-cost biosorbent for treatment of 2 chlorophenol. *Mater Today Proc* [Internet]. 2022;57:1048–52 DOI://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.167
3. Beni AA. Design of a solar reactor for the removal of uranium from simulated nuclear wastewater with oil-apatite ELM system. *Arab J Chem* [Internet]. 2021;14(2):102959 DOI://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.102959
4. Duan Z, Zhang W, Lu M, Shao Z, Huang W, Li J, et al. Magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> / activated carbon for combined adsorption and Fenton oxidation of 4-chlorophenol. *Carbon* [Internet]. 2020;167:351–63. DOI://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.05.106
5. Fu L, Li J, Wang G, Luan Y, Dai W. Ecotoxicology and Environmental Safety Adsorption behavior of organic pollutants on microplastics. *Ecotoxicol Environ Saf* [Internet]. 2021;217(February):112207 DOI://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112207
6. Fu W, Yi J, Cheng M, Liu Y, Zhang G, Li L. When bimetallic oxides and their complexes meet Fenton-like process. *J Hazard Mater*. 2022;424(October 2021). DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127419

7. Hadi S, Taheri E, Mehdi M, Fatehizadeh A. Synergistic degradation of 4-chlorophenol by persulfate and oxalic acid mixture with heterogeneous Fenton like system for wastewater treatment: Adaptive neuro-fuzzy inference systems modeling. *J Environ Manage* [Internet]. 2020;268(April):110678. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110678>  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110678>  
<https://dori.net/dor/20.1001.1.22285954.1395.7.25.20.4>  
<https://webofjournals.com/index.php/12/article/view/202>
8. Jiang X, Xiao Y, Xiao J, Zhang W, Rongliang Q. Chemosphere The effect of persistent free radicals in sludge derived biochar on p-chlorophenol removal. *Chemosphere* [Internet]. 2022;297(February):134218. DOI:10.1016/j.chemosphere.2022.134218
9. Liu W, Wang J, Liu J, Hou F, Wu Q, Wang C, et al. Preparation of phenylboronic acid based hypercrosslinked polymers for effective adsorption of chlorophenols. *J Chromatogr A*. 2020;1628. DOI:10.1016/j.chroma.2020.461470
10. Marwani HM, Bakhsh EM. Selective adsorption of 4-chlorophenol based on silica-ionic liquid composite developed by sol – gel process. *Chem Eng J* [Internet]. 2017;326:794–802 DOI:[dx.doi.org/10.1016/j.cej.2017.06.030](https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.06.030)
11. Mozaffari M, Kordzadeh-kermani V, Ghalandari V, Askari A, Sillanpää M. Science of the Total Environment Adsorption isotherm models: A comprehensive and systematic. *Sci Total Environ J*. 2022;812. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.151334
12. Niu H, Zheng Y, Wang S, Zhao L, Yang S. Continuous generation of hydroxyl radicals for highly efficient elimination of chlorophenols and phenols catalyzed by heterogeneous Fenton-like catalysts yolk / shell Pd @ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> @ metal organic frameworks. *J Hazard Mater* [Internet]. 2018;346(December 2017):174–83. DOI:10.1016/j.jhazmat.2017.12.027
13. Niu H, Zheng Y, Wang S, Zhao L, Yang S. Continuous generation of hydroxyl radicals for highly efficient elimination of chlorophenols and phenols catalyzed by heterogeneous Fenton-like catalysts yolk / shell Pd @ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> @ metal organic frameworks. *J Hazard Mater* [Internet]. 2018;346(December 2017):174–83. DOI:[dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.12.027](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.12.027)
14. on the Future of Power Sector in Iran. *J. Econ. Dev.* 2016; 7(25): 147-161.
15. Peng Y, Yan Y, Wang J, Xiang Z, Li Y, Yang J, et al. CdSe cluster-modified biogenic  $\alpha$ -FeOOH based on macroporous biochar for Fenton-like reaction of As ( III ). *Appl Surf Sci* [Internet]. 2022;589(February):152872. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.152872>
16. Saja S, Bouazizi A, Achiou B, Ouaddari H, Karim A, Ouammou M, et al. Fabrication of low-cost ceramic ultrafiltration membrane made from bentonite clay and its application for soluble dyes removal. *J Eur Ceram Soc* [Internet]. 2020;40(6):2453–62. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2020.01.057>
17. Santana-martínez G, Roa-morales G, Martín E, Romero R, Frontana-uribe BA, Natividad R. Electro-Fenton and Electro-Fenton-like with in situ electrogeneration of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and catalyst applied to 4-chlorophenol mineralization. *Electrochimica Acta*. 2016;195:246–56. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.02.093>
18. Shen T, Wang P, Hu L, Hu Q, Wang X, Zhang G. Adsorption of 4-chlorophenol by wheat straw biochar and its regeneration with persulfate under microwave irradiation. *J Environ Chem Eng*. 2021;9(February):1–11. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105353>
19. Soliman NK, Moustafa AF. Industrial solid waste for heavy metals adsorption features and challenges; a review. *J Mater Res Technol* [Internet]. 2020;9(5):10235–53 DOI:[doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.07.045](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.07.045)
20. Tang B, Zou J, Wang X, Li B, Fu D, Thapa S. Science of the Total Environment Theoretical insights into the gas / heterogeneous phase reactions of hydroxyl radicals with chlorophenols : Mechanism , kinetic and toxicity assessment. *Sci Total Environ*. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.150974
21. Tursunov Behruz Normurod o`g`li. Proper Use of Water in the Current Global Conditions. *WOSS*. [Internet]. 2023 Oct. 11 [cited 2023 Oct. 16];1(7):16-20. Available from:
22. Vahdat A, Ghasemi B, Yousefpour M. Synthesis of hydroxyapatite and hydroxyapatite/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposite for removal of heavy metals. *Environ Nanotechnology, Monit Manag* [Internet]. 2019;12(March):100233. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100233>
23. Wagner M, Lin KA, Oh W, Lisak G. Metal-organic frameworks for pesticidal persistent organic pollutants detection and adsorption – A mini review. *J Hazard Mater*. 2021;413(February):1–8. DOI:10.1016/j.jhazmat.2021.125325
24. Wang J, Tang J. Fe-based Fenton-like catalysts for water treatment: Catalytic mechanisms and applications. *J Mol Liq* [Internet]. 2021;332:115755. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115755>
25. Wang Y, Wang H, Wang L, Cai B, Chen H. Removal of high-concentration 4 - Chlorophenol ( 4-CP ) in wastewater using carbon-based

- heterogeneous catalytic oxidation : *Performance and mechanism*. *J Clean Prod* [Internet]. 2022;346(February):131176  
DOI://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131176
26. Water crisis in the Middle East. Tehran, Iran: Islamic Council Research Center. 2020. [Internet]. Available from: <https://sid.ir/paper/796506/fa>. [In Persian]
27. Xiang Y, Liu H, Zhu E, Yang K, Yuan D, Jiao T. Application of inorganic materials as heterogeneous cocatalyst in Fenton / Fenton-like processes for wastewater treatment. *Sep Purif Technol* [Internet]. 2022;295(May):121293  
DOI://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121293
28. Yadav VB, Gadi R, Kalra S. Clay based nanocomposites for removal of heavy metals from water: A review. *J Environ Manage* [Internet]. 2019;232(October 2018):803–17  
DOI://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.120
29. Yang J, Li P, Duan X, Zeng D, Ma Z, An S. Insights into the role of dual reaction sites for single Ni atom Fenton-like catalyst towards degradation of various organic contaminants. *J Hazard Mater* [Internet]. 2022;430(February):128463  
.DOI:https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128463
30. Yilmaz B. A scenario framework for electricity grid using Generative Adversarial Networks. *SEGAN*. 2023 Dec 1;36:101157.  
<https://doi.org/10.1016/j.segan.2023.101157>
31. Zheng X, Junfeng SH, Gang CA, Nengyu YA, Mingyue CU, Deli JI, He LI. Progress and prospects of oil and gas production engineering technology in China. *Pet. Explor. Dev*. 2022 Jun 1;49(3):644-59. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(22\)60054-5](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(22)60054-5)
32. Zhu Y, Fan W, Feng W, Wang Y, Liu S, Dong Z. A critical review on metal complexes removal from water using methods based on Fenton-like reactions : Analysis and comparison of methods and mechanisms. *J Hazard Mater* [Internet]. 2021;414(37):125517  
.DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.125517



## Kinetic Modeling And Optimization Of Effective Parameters Of 4-Chlorophenol Wastewater Treatment In Adsorption Process With Activated Carbon/Magnetite Nanocatalyst In Aqueous Solution

<b>Mohammad Astaraki</b>	Department of Chemical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
<b>Farham Aminsharei*</b>	Department of Safety, Health and Environment, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
<b>Sahand Jorfi</b>	Department of Chemical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
<b>Reza Darvishi Cheshmeh Soltani</b>	Department of Chemical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
<b>Mojtaba Nasr-Esfahani</b>	Department of Chemistry, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

### Extended Abstract

Received: 31 Oct 2023

Accepted: 19 Dec 2023

**Keywords:** kinetic Modeling, 4-Chlorophenol, Adsorbent, Active Carbon/Magnetite.

**Introduction:** Organic and cyclic chlorinated compounds such as 4-chlorophenol in surface and underground water sources due to its widespread use in various industries and causing irreparable problems and side effects such as carcinogenesis, mutagenesis, birth defects and high toxicity are of great concern to conservation organizations. It was from the environment.

**Materials and Methods:** This study is an applied research that was conducted in a pilot and laboratory scale. In this study, first an aqueous solution containing 4-chlorophenol was prepared, and then using waste rubber to prepare activated carbon, carbon/magnetite nano catalyst was prepared, and for this purpose, 100 ml of the aqueous solution was placed in contact with the activated carbon absorber and the influencing variables In the adsorption process (pH, Temperature, Adsorbent dose and Retention Time) the response surface method (RSM) was designed by selecting the central composite design (CCD).

**Results and Discussion:** For the absorption process of 4-chlorophenol using activated carbon/magnetite, a test model was conducted with 30 runs and the adjusted and predicted R<sup>2</sup> were estimated as 0.919 and 0.762, respectively, and based on ANOVA, the process model The absorption of 4-chlorophenol with the proposed adsorbent was significant and the F-value was 24.58. Also, the independent factors in this study (pH, Temperature, Adsorbent dose and Retention Time) were significant.

**Conclusion:** According to the influence of different parameters in choosing optimal conditions, The software proposed 100 solutions, and finally the first solution was selected with a favorability of 0.948, and the effective parameters for absorption were optimized as follows: pH 3, temperature 42.5 °C, adsorbent dosage g L<sup>-1</sup> 1.84 and the retention time is 91 minutes. Also, the results of adsorption modeling showed that by increasing the dosage of adsorbent, the process can be completed in a shorter time, and increasing the adsorbent dose beyond the optimal amount is not economically viable.

**Corresponding author:** Farham Aminsharei

**Address:** University Sq, Najafabad, Isfahan, Postal Code 8514143131. **Tel:** +:989396017761

**Email:** aminsharei.fa@gmail.com

**Citation:** Astaraki M, Aminsharei F, Jorfi S, Darvishi Cheshmeh Soltani R, Nasr-Esfahani M.. Modeling And Optimization Of Effective Parameters Of 4-Chlorophenol Wastewater Treatment In Adsorption Process With Activated Carbon/Magnetite Nanocatalyst In Aqueous Solution. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2023; 1(3): 41-52.



© 2023, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.