

## مقاله پژوهشی

DOR: [20.1001.1.24767131.1400.7.1.7.8](https://doi.org/10.1001.1.24767131.1400.7.1.7.8)

درصد همانندی: ۲۰٪

## مدلسازی و بررسی ایزوترم‌های جذب ۶-۴-۲ تری نیترو فنول از محیط آبی با استفاده از بیوکامپوزیت پوسته خرچنگ پورتنوس سگنیس اصلاح شده

فضلی نوبخت<sup>۱</sup>، مؤگان امتیازجو<sup>۲\*</sup>، علی کاظمی<sup>۳</sup><sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران [fazalinobakht@yahoo.com](mailto:fazalinobakht@yahoo.com)<sup>۲\*</sup> نویسنده مسئول، دانشیار دانشکده علوم و فنون دریایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران [m\\_emyazjoo@iau-tnb.ac.ir](mailto:m_emyazjoo@iau-tnb.ac.ir)<sup>۳</sup> استادیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک [a-kazemi64@araku.ac.ir](mailto:a-kazemi64@araku.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۰

## چکیده

۶-۴-۲ تری نیترو فنول از آلودگی‌های اصلی موجود در جریان پساب‌های صنایع پتروشیمی، نفت، داروسازی، پلاستیک و همچنین در مقادیر کمتر در فاضلاب شهری و کشاورزی یافت می‌شود. آلودگی اکوسیستم‌های آبی و آب آشامیدنی به این آلاینده باعث سمیت، مشکلات بهداشتی و طعم و بو می‌شود. هدف از این مطالعه حذف ۶-۴-۲ تری نیترو فنول از محلول آبی با استفاده از بیوکامپوزیت مغناطیسی پوسته خرچنگ پورتنوس سگنیس اصلاح شده است. به منظور بهینه‌سازی فرایند جذب ۶-۴-۲ تری نیترو فنول از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت و روش پاسخ سطحی در طرح مرکب مرکزی استفاده شد. پارامترهای جذب مانند زمان تماس (۱۰ تا ۱۲۰ دقیقه)، pH (۷-۲)، غلظت اولیه تری نیترو فنول (۱۰ تا ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) و میزان غلظت جاذب (۱۰ تا ۵۰ میلی‌گرم) مورد بررسی قرار گرفتند. ایزوترم داده‌های تعادلی جذب با استفاده از مدل‌های ایزوترمی لانگمویر، فروندلیچ و تمکین بررسی شد. نتایج نشان داد در شرایط بهینه، کارایی حداکثر حذف ۶-۴-۲ تری نیترو فنول، ۵۲ درصد با مقدار بهینه  $pH=3/25$ ، میزان غلظت جاذب ۴۰ میلی‌گرم، غلظت اولیه ۶-۴-۲ تری نیترو فنول ۲۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر و زمان ۹۲/۵ دقیقه به دست آمد. همچنین مطالعه مدل ایزوترم نشان داد جذب ۶-۴-۲ تری نیترو فنول بر روی جاذب از مدل لانگمویر با ضریب همبستگی ( $R^2=86\%$ ) پیروی می‌کند و حداکثر ظرفیت جذب بر اساس مدل لانگمویر ۵۹/۸۸ میلی‌گرم بر گرم بوده است. نتایج این مطالعه نشان داد بیوکامپوزیت مغناطیسی پوست خرچنگ پورتنوس سگنیس اصلاح شده کارایی خوبی در حذف ۶-۴-۲ تری نیترو فنول دارد و درعین حال قیمت ارزان و دسترسی آسان سبب می‌شود که این بیوکامپوزیت به‌عنوان بیوجاذب مطلوبی مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: ایزوترم، بیوکامپوزیت، خرچنگ پورتنوس سگنیس، ۶-۴-۲ تری نیترو فنول

## ۱. مقدمه

امروزه افزایش رشد جمعیت و گسترش صنایع و پیشرفت فناوری عواملی هستند که باعث افزایش میزان مصرف آب و تولید فاضلاب و آلودگی‌های محیط‌زیست شده‌اند [۱]. آلاینده‌های آلی مانند نیترو فنول از آلودگی‌های اصلی موجود در جریان فاضلاب‌های صنعتی مانند پتروشیمی، نفت، داروسازی و پلاستیک است [۱، ۲]. این ماده به‌عنوان مداخله کننده در تولید مواد انفجاری، دارویی، آفت‌کش‌ها، رنگ، محافظ چوب و مواد شیمیایی پاک کننده است [۳، ۴] و غلظت این ترکیب فنولی در پساب‌های صنایع بین  $1-10 \text{ mg/L}$  و حتی مقادیر بیشتر نیز می‌رسد. چنانچه موادی مانند نیترو فنول به‌خوبی از جریان فاضلاب حذف نشوند یا در مورد تصفیه لجن حاوی این مواد اقدامی نشود برای سلامت انسان و محیط‌زیست می‌تواند مضر باشد [۵]. سازمان محیط‌زیست آمریکا این ترکیبات را به‌عنوان آلاینده‌های دارای اولویت طبقه‌بندی کرده و خواستار کاهش غلظت این گروه ترکیبات به کمتر از  $10 \text{ ng/L}$  در آب‌های طبیعی شده است [۲]. دی نیترو فنول (به‌طور عمده ایزومر ۲ و ۴) مهم‌ترین ترکیب نیترو فنول است که به‌طور وسیعی در صنایع شیمیایی به‌منظور تولید رنگ‌های نیتروز و مشتقات آن، اسید پیکریک، چسب مواد نگهدارنده چوب، آفت‌کش‌هایی نظیر پاراتیون، نیترو فن و تری اولیت استفاده می‌شود. مهم‌ترین منبع تولیدکننده دی نیترو فنول، صنایع تولید نیترو بنزن است که  $2-4$  دی نیترو فنول جزء اصلی فاضلاب معرف به آب قرمز بوده که از شستشوی کاستیک یا آمونیاک صنایع پتروشیمی تولیدکننده نیترو بنزن از بنزن ایجاد می‌شود و همچنین به‌عنوان بازدارنده پلیمریزاسیون در فرایند تولید ترکیبات آروماتیک کاربرد دارد [۶، ۷].  $2-4$  دی نیترو فنول از مواد بسیار سمی بوده که تماس طولانی با این ماده در انسان و حیوان از طریق استنشاق یا جذب پوستی با تأثیر بر مغز استخوان، سیستم اعصاب مرکزی و سیستم قلبی-عروقی، باعث ایجاد آب مروارید، تورم غدد لنفاوی، آگزما، از بین رفتن ناخن‌ها و افزایش نرخ متابولیسم می‌گردد. ترکیبات نیترو فنول به دلیل سمیت و مقاومت به تجزیه میکروبی، به‌عنوان یکی از آلاینده‌های مهم محیط‌زیست در نظر گرفته شده‌اند و به‌عنوان آلاینده‌های دارای تقدم در

طبقه‌بندی سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا است [۴]. ترکیبات فنولی به‌واسطه شکل ساختاری خود در مقابل اکسید شدن مقاومت زیادی دارند و از این‌رو فرایندهای متداول تصفیه کارایی مناسبی برای حذف این آلاینده‌ها از جریان فاضلاب ندارند [۱]. در فرایندهای بیولوژیکی نیز به‌سادگی قابل حذف نیستند و به دلیل سمیت بالا مقاوم به تصفیه بیولوژیکی هستند [۸]. روش‌های متعددی از قبیل جذب سطحی، اکسیداسیون شیمیایی، اکسیداسیون کاتالیستی، تجزیه بیولوژیکی، روش‌های غشایی و غیره به‌منظور حذف فنول از آب مورد استفاده قرار گرفته است که هر کدام از این روش‌ها معایب و مزایایی داشته‌اند [۸، ۹]. اغلب این روش‌ها مشکلاتی از قبیل هزینه زیاد یا راندمان پایین دارند و در مواردی محصولات جانبی سمی تولید می‌کنند که این عوامل محدودکننده کاربرد وسیع برخی از این استراتژی‌های حذف هستند [۱۱، ۱۰]. در بین فرایندهای فیزیکوشیمیایی، جذب به‌طور گسترده در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. جذب سطحی در مقایسه با تکنیک‌های دیگر طراحی راحت و قابلیت انعطاف زیادی دارد و اپراتوری آن راحت است و در مقابل آلاینده‌های سمی حساس نیست، از سمیت آلاینده هدف تأثیر نمی‌پذیرد و نیاز به مواد شیمیایی خطرناک ندارند. به‌علاوه در این روش آلاینده جذب شده (در صورتی که مناسب باشد) را می‌توان بازیافت نمود [۱۲]. یکی دیگر از روش‌ها برای حذف ترکیبات فنولی از جمله نیترو فنول استفاده از فرایند بیوجذب است. در این روش از بیوجاذب‌هایی مانند بیومس میکروارگانیسم‌ها (باکتری، کپک، مخمر و جلبک) و ضایعات کشاورزی استفاده می‌شود [۱۳، ۱۴]. مزایای این ترکیبات شامل هزینه پایین، کارایی مناسب، حداقل ضایعات و مواد باقی‌مانده و قابلیت بازیافت است [۱۵]. در سال‌های اخیر استفاده از جاذب‌های طبیعی، ارزان‌قیمت و معدنی در تصفیه فاضلاب‌ها به سبب فراوانی و هزینه پایین رو به افزایش است [۱۵، ۱۶]. بسیاری از مطالعات اخیر نشان داده که مواد اسکلتی و کیتین استخراجی از آن در حذف آلاینده‌ها از محلول‌های آبی مؤثر بوده است. مطالعه حاضر با هدف گسترش یک فناوری مقرون‌به‌صرفه و مؤثر برای حذف  $2-4-6$  تری نیترو فنول<sup>۱</sup> از محلول آبی از طریق بیوکامپوزیت مغناطیسی پوست خرچنگ پورتنوس

نیتروژن در شرایط رفلاکس قرار گرفت. در نهایت محصول تهیه شده چندین مرتبه با آب دیونیزه و اتانول شستشو داده شد و در پایان بیوکامپوزیت مغناطیسی سنتز شده با استفاده از آن در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد [۱۷].

#### شناسایی بیوکامپوزیت سنتز شده

طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR) به منظور شناسایی گروه‌های عاملی و شیمی سطح بیوکامپوزیت با استفاده از دستگاه آنالیزی FTIR شرکت نیکلت مدل IR 100 انجام شد. به منظور بررسی مورفولوژی بیوکامپوزیت سنتز شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM، مدل LEO 1455VP شرکت کمبریج انگلیس، تصاویر میکروسکوپ الکترونی از جاذب تهیه شد.

#### طرح آزمایش‌های جذب در سیستم ناپیوسته و مدلسازی

##### روش پاسخ سطحی<sup>۶</sup>

در این پژوهش از مدل روش پاسخ سطحی به منظور مدلسازی آزمایش‌های فرایند جذب با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت استفاده شد. در این مدل از ۴ فاکتور pH، میزان غلظت جاذب، زمان تماس و غلظت اولیه آلاینده ۲-۴-۶ تری نیترو فنول استفاده شد. در جدول ۱ محدوده پارامترهای مورد بررسی آورده شده است. بر اساس مدلسازی با این روش ۳۰ آزمایش تعیین شد و در ادامه با استفاده از روش سیستم ناپیوسته فرایند حذف انجام شد (جدول ۲).

در آزمایش جذب ۲-۴-۶ تری نیترو فنول به وسیله جاذب سنتز شده، دو پارامتر اصلی ظرفیت جذب تعادلی (qe) بر حسب میلی گرم بر گرم جاذب (معادله ۱) و درصد جذب (R%) (معادله ۲) اندازه گیری شدند که منظور از ظرفیت جذب تعادلی، مقدار فلز جذب شده به ازای هر گرم جاذب در زمان تعادل (تعادل بین فاز جامد و مایع) است [۱۸].

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{W} \quad (1)$$

$$R\% = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

که در آن C<sub>0</sub> غلظت اولیه محلول بر حسب میلی گرم بر لیتر،

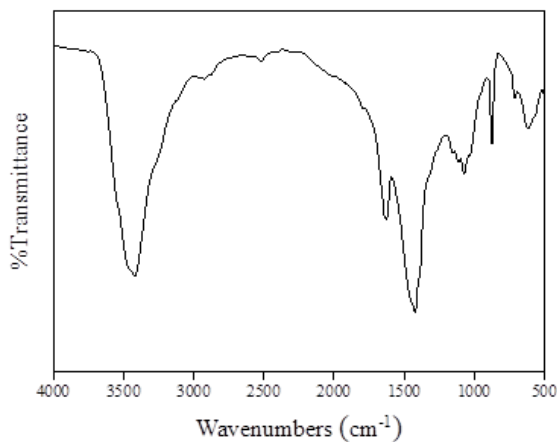
سگنیس<sup>۲</sup> اصلاح شده صورت گرفته است. در این تحقیق، بررسی شرایط بهینه عملکرد بیوکامپوزیت در حذف ۲-۴-۶ تری نیترو فنول با تکنیک جذب سطحی در سیستم ناپیوسته، با استفاده از روش طرح مرکب مرکزی<sup>۳</sup> برای انجام آزمایش‌ها و تحلیل نتایج حاصل استفاده شده است. همچنین بهینه‌سازی شرایط جذب ۲-۴-۶ تری نیترو فنول با استفاده از مدل ریاضی دیزاین اکسپرت<sup>۴</sup> فوق مدنظر قرار گرفته است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### مواد شیمیایی

مواد استفاده شده برای تهیه بیوکامپوزیت مغناطیسی شامل: آهن کلرید (III) ۶ آبه، آهن کلرید (III) ۴ آبه، آمونیاک، اسید کلریدریک (HCl)، اتانول ۹۶ درصد، هیدروکسید سدیم، و ۲-۴-۶ تری نیترو فنول با خلوص ۹۹٪ هستند، همه مواد درجه خلوص بالایی دارند و توسط شرکت مرک تهیه شده است. به علاوه از آب دیونیزه شده در تمام مراحل مختلف سنتز استفاده شد. سنتز بیوکامپوزیت پوسته خرچنگ اصلاح شده با نانو ذرات آهن به منظور سنتز پوسته خرچنگ اصلاح شده با نانو ذرات آهن در ابتدا خرچنگ پورتنوس سگنیس از سواحل جنوبی کشور در محدوده شهر بوشهر نمونه برداری شد و سپس پوسته خرچنگ در آن قرار داده شد و در نهایت کاملاً پودر شد. پودر کاملاً خشک شده با روش هم‌رسوبی برای مغناطیسی شدن استفاده گردید. در این روش ابتدا یک گرم پودر پوسته خرچنگ در ۵۰۰ میلی لیتر آب دیونیزه شده مخلوط و در حمام فراصورت (۴۰ KHz، ۲۰۰ W) به مدت ۲۰ دقیقه پراکنده شده‌اند. به سوسپانسیون به دست آمده ۵۴۰ میلی گرم معادل ۲ میلی مول کلرید آهن (III) شش آبه و ۱۹۸ میلی گرم معادل ۱ میلی مول کلراید آهن (II) چهار آبه در حالت هم‌زدن به وسیله همزن مغناطیسی<sup>۵</sup> اضافه شد. سپس ۴۰ میلی لیتر از آمونیاک ۲۵ درصد به آرامی به صورت قطره قطره در مدت زمان حدود ۳۰ دقیقه در حضور گاز نیتروژن در دمای محیط برابر با ۲۵ درجه سانتی گراد به مخلوط افزوده شد. بعد از اضافه کردن آمونیاک، دمای محلول به حدود ۹۰ درجه سانتی گراد افزایش یافت و به مدت ۶ ساعت در این دما در حضور گاز

پیک مهم بعدی در ناحیه  $870 \text{ cm}^{-1}$  قرار دارد که نشان دهنده پیوند C-H خنثی است. پیک شاخص بعدی در ناحیه  $\text{cm}^{-1}$   $1070$  بود که عامل آن ارتعاشات کششی مربوط به پیوندهای C-H-C از گروه اپوکسی موجود در کامپوزیت می باشد که نشان دهنده گروه های عاملی اکسیژن دار در سطح است. پیک مهم ناحیه  $1420 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از ارتعاشات خمشی H-C-H، پیک  $1630 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از ارتعاش کششی قوی C=C کتون بود و در آخر پیک پهن ناحیه  $3420 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی O-H است که ناشی از وجود رطوبت در نمونه است.



شکل ۱. طیف سنجی مادون قرمز FTIR جذب بیوکامپوزیت پوسته خرچنگ پورتنوس سگنیس اصلاح شده

$C_e$  غلظت تعادلی محلول بر حسب میلی گرم بر حسب میلی گرم بر لیتر،  $V$  حجم محلول بر حسب لیتر و  $W$  جرم بر حسب گرم است.

### ایزوترم های جذب

ایزوترم های جذب به منظور تعریف جرم جذب شده از ماده جذب شونده به ازای واحد جرم ماده جاذب استفاده می شوند. در بین مدل های ایزوترمی، ایزوترم های فروندلیچ و لانگمویر به طور گسترده تری استفاده می شوند. در مطالعه حاضر از مدل های ایزوترم لانگمویر<sup>۷</sup> و فروندلیچ<sup>۸</sup> برای رسم داده های جذب استفاده شده است. ضرایب ثابت و همبستگی ایزوترم لانگمویر، فروندلیچ و تمکین<sup>۹</sup> با معادلات ۳، ۴ و ۵ در جدول ۱ محاسبه شده است [۱۹].

### ۳. نتایج و بحث

#### طیف سنجی مادون قرمز FTIR

نتایج آنالیز طیف FTIR کامپوزیت سنتز شده از بیوکامپوزیت پوسته خرچنگ پورتنوس سگنیس اصلاح شده در شکل ۱ نشان داده شده است. اولین پیک مهم و شاخص در ناحیه  $590 \text{ cm}^{-1}$  قرار دارد که مربوط به ارتعاش کششی O-Fe-O است که نشان دهنده پیوندهای مربوط به اکسید آهن است. پیک شاخص دیگری که در طیف مشخص است در ناحیه  $\text{cm}^{-1}$  قرار دارد که مربوط به پیوند H-C-H کششی است.

جدول ۱. مدل های ایزوترم جذب ۲-۴-۶ تری نیتروفنول

پارامترها	معادله	مدل های ایزوترم
$C_e$ : غلظت نهایی ماده جذب شونده در محلول پس از برقراری تعادل (mg/L) $Q_e$ : مقداری ماده جذب شده در شرایط تعادل (mg/g) $Q_{max}$ : ظرفیت جذب (mg/g) $b$ : ثابت لانگمویر (L/mg)	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{k_l q_m} + \frac{C_e}{q_m}$	لانگمویر (۳)
$K_f$ : ثابت فروندلیچ، نشان دهنده ظرفیت جاذب $((\text{mg/g})(\text{L/g})^{1/n})$ $n$ : ثابت فروندلیچ، نشان دهنده شدت جذب	$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e$	فروندلیچ (۴)
$B$ : ثابت ایزوترم تمکین (Kj/mol) $A$ : ثابت پیوندی، نشان دهنده حداکثر انرژی پیوندی (L/g)	$q_e = B \ln A + B \ln C_e$	تمکین (۵)

مورد استفاده در نانو تکنولوژی است. این فناوری با بمباران الکترونی از اجسامی به کوچکی ۱۰ نانومتر تصاویر را برای

#### آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

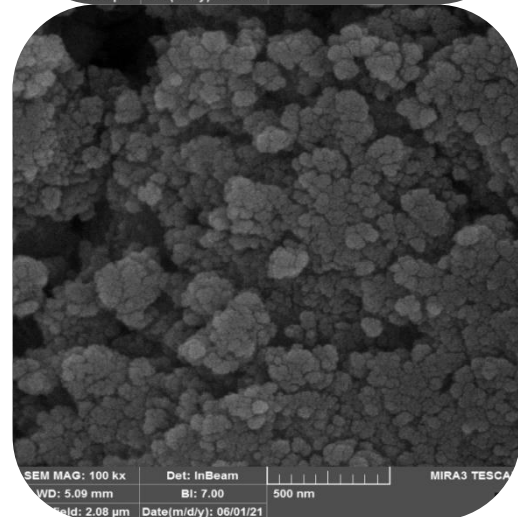
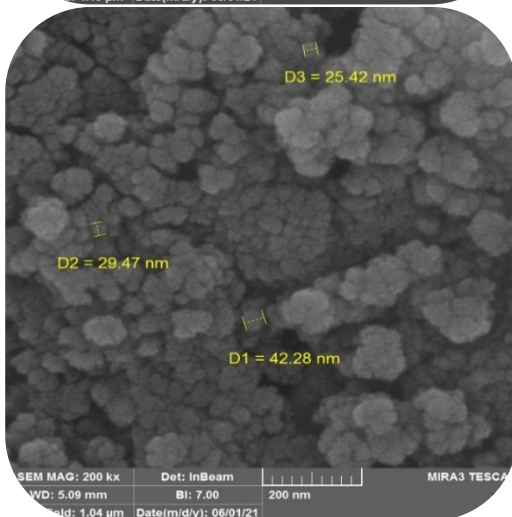
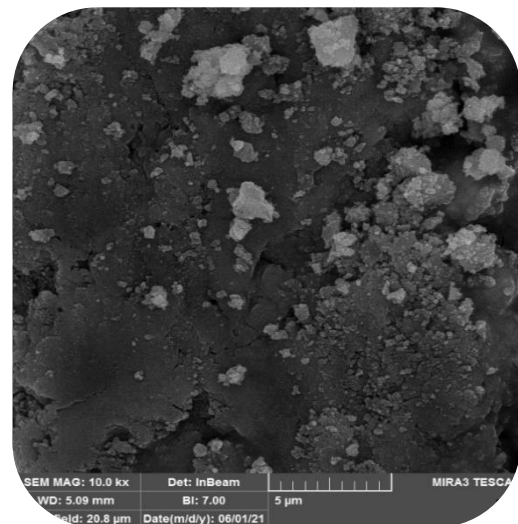
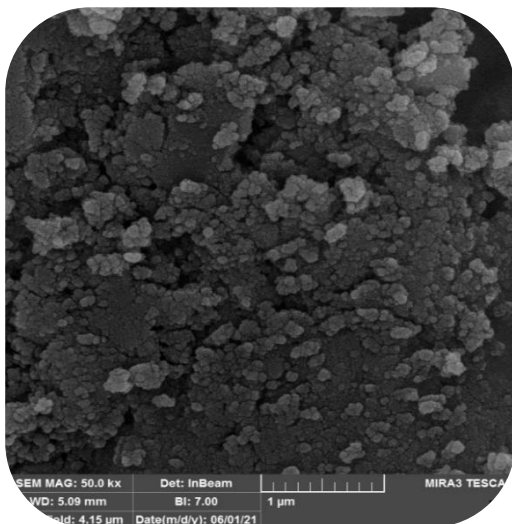
میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM یکی از ابزارهای مهم

بیوکامپوزیت از محیط آبی قابل جداسازی بود.

### نتایج مدل‌سازی فرایند جذب ۲-۴-۶ تری نیترو فنول

برای بررسی حذف تری نیترو فنول نیاز به تحلیل داده‌های ورودی و پارامترهای خروجی است. بر اساس طراحی مدل پاسخ سطحی بر اساس طرح مرکب مرکزی، پس از افزودن مقادیر تعیین شده بیوکامپوزیت و تنظیم پارامترهای pH، غلظت، زمان و انجام مراحل آزمایش‌ها، در نهایت حداکثر ظرفیت جذب برای هر آزمایش ثبت گردید. در ادامه داده‌های به دست آمده تحلیل می‌شود.

مطالعه تهیه می‌کند. در این تحقیق جاذب بیوکامپوزیت پوسته خرچنگ پورتنوس سگنیس اصلاح شده ابتدا در یک میدان مغناطیسی با لایه‌ای نازک از طلا پوشش داده شد. مورفولوژی سطح اندازه جاذب بیوکامپوزیت سنتز شده با استفاده از تصاویر SEM نشان داده شده در شکل ۲ مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که از تصاویر مشخص است نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن که حالت کروی دارند به خوبی بر روی سطح پودر پوسته خرچنگ پورتنوس سگنیس پراکنده شده‌اند که حاصل آن خاصیت مغناطیسی بیوکامپوزیت ساخته شده بود. به نحوی که پس از انجام کامل فرایند توسط یک میدان مغناطیسی قوی به راحتی



شکل ۲. تصویر SEM از جاذب بیوکامپوزیت پوسته خرچنگ پورتنوس سگنیس

سطح کدبندی شد که عبارت‌اند از  $+\alpha$ ،  $+\alpha_1$ ،  $0$ ،  $-\alpha_1$ ،  $-\alpha$  محدود و سطح متغیرهای مستقل در واحدهای کدبندی شده

در این پژوهش مقادیر بهینه متغیرهای مستقل برای تعیین مقادیر مطلوب وابسته استفاده شدند. هر متغیر مستقل در ۵

آزمایش بر اساس فاکتوریلها (شامل ۱۶ نقطه فاکتوریل، ۸ نقطه محوری و ۱ نقطه مرکزی) و ۵ تکرار نقطه مرکزی برای دست‌یابی به تخمین خوب خطای آزمایش‌ها انجام شد [۲۰].

بر اساس تحقیقات قبلی انتخاب شد و در جدول ۲ ارائه شده‌اند. طراحی شامل نقاط فاکتوریل ۲k به همراه نقاط محوری ۲k و نقاط مرکزی بودند که در آن k تعداد متغیرها است بنابراین ۳۰ آزمایش (۲k+۲K+۶=۳۰) شامل ۲۵

جدول ۲. محدودیت آزمایش‌ها و سطوح متغیرهای مستقل

Range and level					متغیرهای مستقل
-α	-۱	۰	+۱	+α	
۲	۲/۲۵	۴/۵	۵/۷۵	۷	pH (A)
۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	Dose (B)
۱۰	۲۲/۵	۳۵	۴۷/۵	۶۰	Initial (C) Concentration
۱۰	۳/۷۵	۶۵	۹۲/۵	۱۲۰	Time (D)

به‌طور خلاصه آورده شده است. معنی‌داری و میزان تأثیرگذاری هر متغیر مستقل با استفاده از احتمال صحت نتایج با  $prob > F$  و مقادیر F-values تعیین شدند [۲۱].

بالا بودن مقدار F-value و کم بودن مقدار p-value باعث میزان معنی‌داری بالاتری نسبت به حالت‌های معنی‌دار مشابه می‌شود. همچنین مقدار "prob > F" کمتر از ۰٫۰۵ نشان‌دهنده معنی‌داری بالای رگرسیون در حد ۹۵ درصد است [۲۲].

طراح آزمایش‌ها بر اساس طرح مرکب مرکزی در جدول ۳ آورده شده است معادله رگرسیونی بعد از آنالیز واریانس (ANOVA) مقادیر از متغیر وابسته (درصد حذف ۲-۴-۶-تری نیتروفنول) را نشان می‌دهد که متأثر از متغیرهای مستقل، (A) Ph، (B) Dose، (C) غلظت اولیه و (D) زمان در آزمایش‌ها بود. نتایج با استفاده از نرم‌افزار طراحی آزمایش محاسبه شده‌اند.

روش آنالیز واریانس ANOVA و پاسخ سطحی برای مدل استفاده شدند و نتایج آن‌ها برای متغیر وابسته در جدول ۴

جدول ۳. طراحی آزمایش‌ها با روش پاسخ سطحی حذف ۲-۴-۶-تری نیتروفنول

آزمایش	Real (coded) values				درصد حذف ۲-۴-۶-تری نیتروفنول	
	A (pH)	B (Dose)	C (Initial Conc)	D (Time)	مقدار واقعی	مقدار پیش‌بینی شده
۱	۳/۲۵	۲۰	۲۲/۵	۳۷/۵	۲۴/۱۳	۲۴/۴۱
۲	۴/۵	۵۰	۳۵	۶۵	۳۹/۳۰	۱۸/۰۳
۳	۴/۵	۳۰	۳۵	۶۵	۲۳/۷۳	۴۸/۱۸
۴	۴/۵	۱۰	۳۵	۶۵	۱۱/۹۶	۳۴/۸۹
۵	۵/۷۵	۴۰	۴۷/۵	۳۷/۵	۷۳/۲۷	۲۱/۷۱
۶	۴/۵	۳۰	۳۵	۱۲۰	۳۴/۸۱	۹/۲۸
۷	۷	۳۰	۳۵	۶۵	۱۳/۱۶	۳۳/۱۳
۸	۵/۷۵	۴۰	۴۷/۵	۹۲/۵	۲۷/۰۱	
۹	۵/۷۵	۲۰	۴۷/۵	۹۲/۵	۱۷/۱۵	
۱۰	۵/۷۵	۲۰	۲۲/۵	۹۲/۵	۳۰/۶۵	۳۳/۳۰
۱۱	۵/۷۵	۲۰	۲۲/۵	۳۷/۵	۱۸/۱۶	۵۲/۴۷
۱۲	۳/۲۵	۲۰	۴۷/۵	۳۷/۵	۲۱/۷	۴۸/۱۱

آزمایش	Real (coded) values				درصد حذف ۲-۴-۶ تری نیتروفنول	
	A (pH)	B (Dose)	C (Initial Conc)	D (Time)	مقدار واقعی	مقدار پیش‌بینی شده
۱۳	۴/۵	۳۰	۶۰	۶۵	۲۶/۲۱	۲۵/۰۸
۱۴	۳/۲۵	۲۰	۴۷/۵	۹۲/۵	۲۴/۵۴	۱۷/۵۷
۱۵	۲	۳۰	۳۵	۶۵	۳۱/۷	۳۶/۹۱
۱۶	۴/۵	۳۰	۳۵	۱۰	۱۶/۸۷	۲۶/۴۹
۱۷	۳/۲۵	۴۰	۴۷/۵	۳۷/۵	۳۳/۵۳	۳۰/۶۷
۱۸	۴/۵	۳۰	۱۰	۶۵	۵۶/۲۳	۱۳/۸۸
۱۹	۴/۵	۳۰	۳۵	۶۵	۲۳/۴۲	۱۱/۴۰
۲۰	۵/۷۵	۴۰	۲۲/۵	۳۷/۵	۳۵/۶۶	۴۰/۰۹
۲۱	۴/۵	۳۰	۳۵	۶۵	۲۴/۰۶	۵۶/۴۶
۲۲	۵/۷۵	۲۰	۴۷/۵	۳۷/۵	۹/۹۱	
۲۳	۳/۲۵	۲۰	۲۲/۵	۹۲/۵	۴۵/۰۵	۱۷/۶۷
۲۴	۴/۵	۳۰	۳۵	۶۵	۲۴/۳۹	۳۴/۲۵
۲۵	۳/۲۵	۴۰	۲۲/۵	۳۷/۵	۴۴/۵۹	۲۳/۷۳
۲۶	۳/۲۵	۴۰	۴۷/۵	۹۲/۵	۳۶/۷۷	۲۳/۷۳
۲۷	۴/۵	۳۰	۳۵	۶۵	۲۳/۲۶	۲۳/۷۳
۲۸	۳/۲۵	۴۰	۲۲/۵	۹۲/۵	۵۲/۰۷	۲۳/۷۳
۲۹	۴/۵	۳۰	۳۵	۶۵	۲۳/۴۹	۲۳/۷۳
۳۰	۵/۷۵	۴۰	۲۲/۵	۹۲/۵	۴۸/۳۵	۲۳/۷۳

جدول ۴. نتایج حاصل از آزمون آنالیز واریانس پاسخ سطحی درصد حذف ۲-۴-۶ تری نیتروفنول

Response	Source	Sum of squares	df	Mean square	F value	p-value, prob > F
2-4-6 three nitrophenol removal percentage	Model	۳۷۳۴/۰۷	۱۴	۲۶۶/۷۲	۵۲۴/۶۲	< ۰/۰۰۰۱
	Residual	۶/۱۰	۱۲	۰/۵۱		
	Lack of fit	۵/۱۸	۷	۰/۷۴	۴/۰۱	۰/۰۷۲۶
	Pure error	۰/۹۲	۵	۰/۱۸		
	Total	۳۷۴۰/۱۷	۲۶			

ANOVA output gave  $R^2, 0.9984$ ; adjusted  $R^2, 0.9965$ ; predicted  $R^2, 0.9879$ ; adeq precision, 88.778; CV%, 2.5 mean and standard deviation of 28.51 and 0.71, respectively, and PRESS was 45.29

مدل، این متغیرها حذف شدند.

معادله درجه دوم (معادله ۶) رابطه ریاضی بین پارامترها را برای فلز ۲-۴-۶ تری نیتروفنول با استفاده از روش پاسخ سطحی نشان می‌دهد. پس از تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه مدل، نتایج نشان داد که مدل رگرسیون برای جذب ۲-۴-۶ تری نیتروفنول با مؤلفه‌های کد گذاری شده به صورت معادله (۶) است.

ضرایب رگرسیونی مدل جذب ۲-۴-۶ تری نیتروفنول با استفاده از جاذب بیوکامپوزیت پوسته خرچنگ پورتنوس سگنيس اصلاح شده در جدول ۴ نشان داده شده است. معنی‌دار بودن هر ضریب با مقدار F-value و p-value تعیین شده است. با توجه به مقدار p-value، از میان متغیرهای مستقل در این مطالعه، متغیرهای A, B, C, D, AC, AB, BC, CD, AD, B<sup>2</sup>, C<sup>2</sup> و D<sup>2</sup> معنی‌دار بوده و متغیرهای BD, A<sup>2</sup>، معنی‌دار نبود (p-value > ۰/۰۵) و به منظور ساده کردن

در pH برابر با ۴/۲۵ و میزان غلظت جاذب ۲۰ میلی گرم به ۳۶٪ جذب در pH برابر با ۳/۲۵ و میزان غلظت جاذب ۴۰ میلی گرم رسید. نتایج حاصل از تأثیر pH اولیه محلول نشان داد که مقدار حذف ۲-۴-۶ تری نیتروفنول توسط بیوکامپوزیت تحت تأثیر pH محلول قرار می گیرد. فرایند جذب، OH<sup>-</sup> و H<sup>+</sup> ۲-۴-۶ تری نیتروفنول و تعیین کننده برای بار سطحی است. احتمالاً می توان گفت که در pH بالا (قلیایی) یون های OH<sup>-</sup> با مولکول های نیتروفنول برای مکان های جذب رقابت می کنند و در نهایت راندمان جذب توسط جاذب کاهش می یابد [۲۱]. در مطالعه ای که در سال ۲۰۱۴ هاشمی و همکاران با استفاده از جاذب پوست سبز گردو در حذف ترکیبات فنولی از محلول آبی انجام دادند، نشان داد که حداکثر حذف ترکیبات فنول به میزان ۹۹/۹ درصد در pH برابر با ۴ به دست آمد [۲۴]. همچنین در سال ۲۰۱۶ رحیمزاده و همکاران درباره جاذب ۲ و ۴ دی نیتروفنول از محلول های آبی با استفاده از نانو حفره های کربنی مطالعه ای انجام دادند، نتایج نشان داد که pH بهینه در فرایند جذب برابر با ۵ تعیین و زمان تعادل مطالعه، ۱۰۰ دقیقه محاسبه شد [۲۵].

#### تأثیر هم زمان pH و غلظت اولیه

تأثیر هم زمان pH و غلظت اولیه ۲-۴-۶ تری نیتروفنول بر میزان جذب ۲-۴-۶ تری نیتروفنول توسط بیوکامپوزیت پوسته خرچنگ پورتنوس سگنیس اصلاح شده در شکل ۳ (ب) نشان داده شده است.

مقادیر pH بین بازه ۳/۲۵ تا ۵/۷۵ و غلظت اولیه ۲-۴-۶ تری نیتروفنول بین ۲۲/۵ تا ۴۷/۵ میلی گرم بر لیتر متغیر بوده است و میزان غلظت جاذب به طور ثابت ۳۰ میلی گرم بر لیتر و زمان نیز به طور ثابت ۶۵ دقیقه در نظر گرفته شده است. همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود با کاهش pH و غلظت اولیه ۲-۴-۶ تری نیتروفنول کارایی فرایند افزایش یافت به صورتی که میزان جذب ۲-۴-۶ تری نیتروفنول از ۱۶ درصد جذب در pH برابر ۵/۷۵ و غلظت اولیه ۲-۴-۶ تری نیتروفنول برابر ۴۷/۵ میلی گرم بر لیتر به ۳۸٪ جذب در pH برابر با ۳/۲۵ و

$$Y = 73/23 - 2/4 A + 17/7B - 08/6C + 14/4D - 73/0 AB - 51/1AC + 23/1 AD - 09/2 BC + 1/0BD - 13/1 CD - 36/0A^2 + 51/0B^2 + 14/5 C^2 + 56/0D^2$$

(۶)

که در آن A متغیر pH، B متغیر میزان غلظت جاذب، C متغیر غلظت اولیه ۲-۴-۶ تری نیتروفنول و D متغیر زمان است. علامت مثبت در جلوی پارامترها نشان دهنده هم افزایی اثر متغیر بر مدل و علامت منفی نشان دهنده اثر کاهشی یا تأثیر مخالف بر مدل است. زمانی که افزایش مقدار یک متغیر، در پی افزایش مقدار متغیر دیگر صورت می گیرد، ضریب همبستگی مثبت که نشان دهنده هم افزایی است رخ می دهد و زمانی که کاهش مقدار یک متغیر، در پی کاهش مقدار متغیر دیگر صورت گیرد ضریب همبستگی منفی که نشان دهنده هم افزایی است رخ می دهد [۲۳]. پارامترهای اولیه طراحی شده با مدل BBD و نتایج به دست آمده در نرم افزار طراحی آزمایش برای ۲-۴-۶ تری نیتروفنول در جدول های ۲ تا ۵ نشان داده شده است.

مقایسه تأثیر هم زمان متغیرها بر کارایی حذف ۲-۴-۶ تری نیتروفنول با استفاده از شکل ۴، تأثیر هر یک از متغیرها بر میزان حذف در یک نقطه در روش طراحی پاسخ سطحی با استفاده از مدل طرح مرکب مرکزی قابل مشاهده و مقایسه است. راندمان حذف با کاهش pH و غلظت جاذب افزایش یافت. در حالی که افزایش زمان تماس تأثیر کمی بر میزان حذف ۲-۴-۶ تری نیتروفنول مورد مطالعه داشت.

#### تأثیر هم زمان pH و میزان غلظت جاذب

تأثیر pH و میزان غلظت جاذب بر میزان جذب ۲-۴-۶ تری نیتروفنول توسط بیوکامپوزیت پوسته خرچنگ پورتنوس سگنیس اصلاح شده در شکل ۳ (الف) نشان داده شده است. مقادیر pH بین بازه ۳/۲۵ تا ۵/۷۵ و میزان غلظت جاذب بین ۲۰ تا ۴۰ میلی گرم بر لیتر متغیر بوده است و غلظت اولیه ۲-۴-۶ تری نیتروفنول به طور ثابت ۳۵ میلی گرم بر لیتر در نظر گرفته شد و زمان نیز به طور ثابت ۶۵ دقیقه در نظر گرفته شده است. همان طور که در شکل مشاهده می شود با افزایش میزان غلظت جاذب و کاهش pH کارایی فرایند افزایش یافت، به صورتی که میزان جذب ۲-۴-۶ تری نیتروفنول از ۱۳ درصد

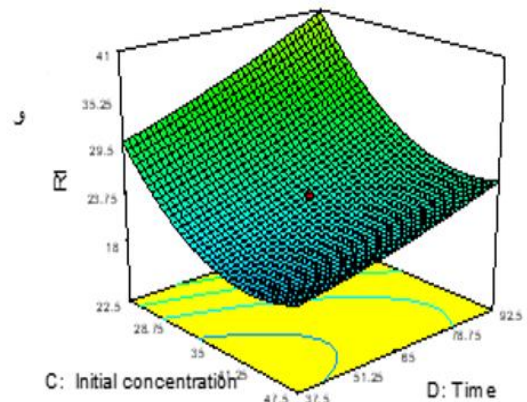
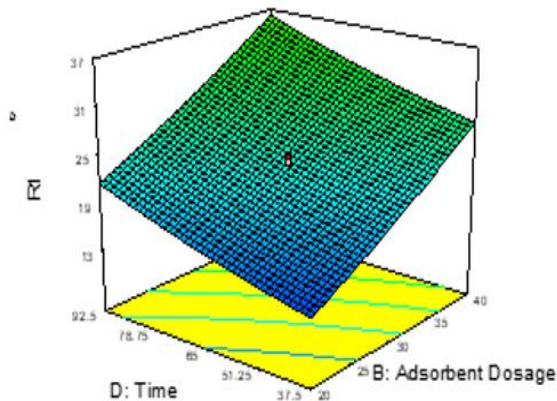
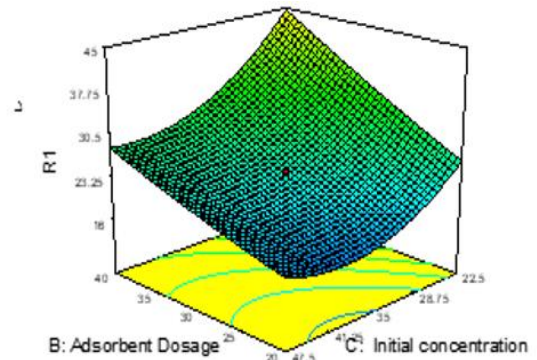
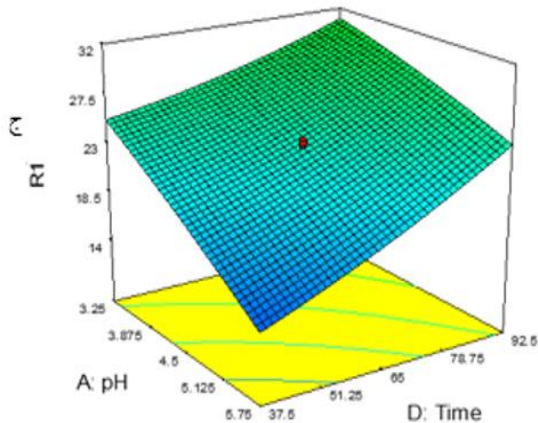
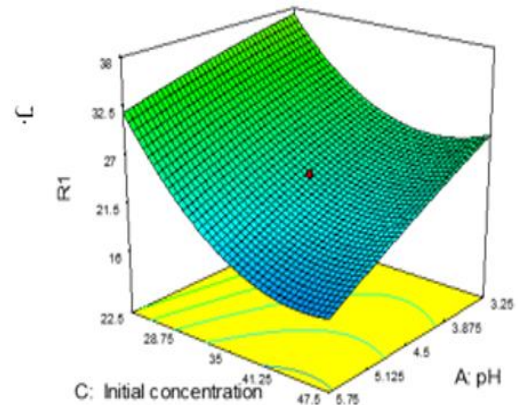
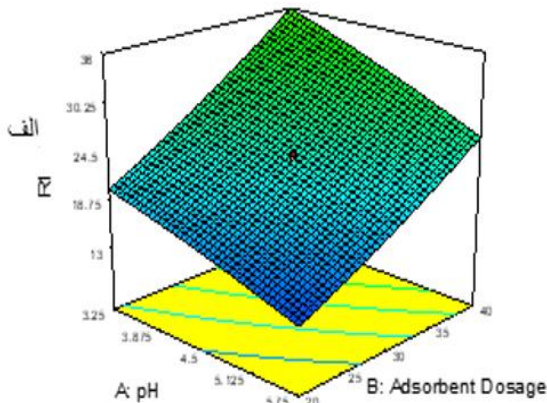


به طور ثابت ۳۰ میلی گرم بر لیتر و غلظت اولیه ۶-۴-۲ تری نیترو فنول به طور ثابت ۳۵ میلی گرم بر لیتر در نظر گرفته شده است. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود با کاهش pH و افزایش زمان انجام واکنش کارایی فرایند افزایش یافته به صورتی که در میزان ۶-۴-۲ تری نیترو فنول از ۱۴ درصد جذب در pH برابر ۵/۷۵ و زمان انجام واکنش ۳۷/۵ دقیقه به ۳۲٪ جذب در pH برابر ۳/۲۵ و زمان انجام واکنش برابر با ۹۲/۵ دقیقه رسید.

غلظت اولیه ۶-۴-۲ تری نیترو فنول برابر با ۲۲/۵ میلی گرم بر لیتر رسید.

### تأثیر هم‌زمان pH و زمان تماس

تأثیر pH و زمان تماس انجام واکنش بر میزان جذب ۶-۴-۲ تری نیترو فنول توسط بیو کامپوزیت پوسته خرچنگ پورتنوس سگنیس اصلاح شده در شکل ۳ (ج) نشان داده شده است. در این شکل مقادیر pH بین بازه ۳/۲۵ تا ۵/۷۵ و زمان واکنش بین ۳/۷۵ تا ۹۲/۵ دقیقه متغیر بوده است. میزان غلظت جاذب



شکل ۳. (الف) تأثیر هم‌زمان pH و میزان غلظت جاذب، (ب) تأثیر هم‌زمان pH و غلظت اولیه، (ج) تأثیر هم‌زمان pH و زمان تماس، (د) تأثیر هم‌زمان غلظت اولیه و میزان غلظت جاذب، (ه) میزان غلظت جاذب و زمان تماس و (و) زمان تماس و غلظت اولیه بر میزان جذب ۶-۴-۲ تری نیترو فنول توسط بیو کامپوزیت پوسته خرچنگ پورتنوس سگنیس اصلاح شده

جدول ۵. آنالیز آماری فاکتورهای دخیل در مدل جذب ۲-۴-۶تری نیترو فنول با استفاده از جاذب بیوکامپوزیت پوسته خرچنگ پورتنوس سنگینس اصلاح شده

Source	Coefficient Estimate	Standard Error	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value, Prob > F
A- pH	۲۳/۷۳	۰/۲۹	۳۷۳/۶۰	۱	۳۷۳/۶۰	۷۳۴/۸۴	< ۰/۰۰۰۱
B- Dose	-۴/۱۲	۰/۱۵	۱۰۹۰/۹۳	۱	۱۰۹۰/۹۳	۲۱۴۵/۷۸	< ۰/۰۰۰۱
C-Initial concentration	۷/۱۷	۰/۱۵	۵۲۵/۴۲	۱	۵۲۵/۴۲	۱۰۳۳/۴۷	< ۰/۰۰۰۱
D-Time	-۶/۰۸	۰/۱۹	۳۶۴/۱۳	۱	۳۶۴/۱۳	۷۱۶/۲۱	< ۰/۰۰۰۱
AB	۴/۱۴	۰/۱۵	۴/۷۰	۱	۴/۷۰	۹/۲۵	< ۰/۰۱۰۲
AC	-۰/۷۳	۰/۲۹	۲۰/۴۴	۱	۲۰/۴۴	۴۰/۲۰	< ۰/۰۰۰۱
AD	-۱/۵۱	۰/۲۴	۱۳/۵۳	۱	۱۳/۵۳	۲۶/۶۲	< ۰/۰۰۰۲
BC	۱/۲۳	۰/۲۴	۳۸/۹۱	۱	۳۸/۹۱	۷۶/۵۴	< ۰/۰۰۰۱
BD	-۲/۰۹	۰/۲۴	۰/۰۹۶	۱	۰/۰۹۶	۰/۱۹	< ۰/۶۷۲۱
CD	۰/۱۰	۰/۲۴	۱۱/۳۵	۱	۱۱/۳۵	۲۲/۳۳	< ۰/۰۰۰۵
A <sup>2</sup>	-۱/۱۳	۰/۲۴	۳/۴۰	۱	۳/۴۰	۶/۶۹	< ۰/۰۲۳۸
B <sup>2</sup>	-۰/۳۶	۰/۱۴	۶/۶۴	۱	۶/۶۴	۱۳/۰۷	< ۰/۰۰۳۵
C <sup>2</sup>	۰/۵۱	۰/۱۴	۳۷۹/۹۹	۱	۳۷۹/۹۹	۷۴۷/۱	< ۰/۰۰۰۱
D <sup>2</sup>	۵/۱۴	۰/۱۹	۸/۱۱	۱	۸/۱۱	۱۵/۹۶	< ۰/۰۰۱۸

اولیه ترکیبات فنول و افزایش میزان غلظت جاذب افزایش می‌یابد [۲۲].

#### تأثیر هم‌زمان میزان غلظت جاذب و زمان تماس

تأثیر میزان غلظت جاذب و زمان انجام واکنش بر میزان جذب ۲-۴-۶تری نیترو فنول توسط بیوکامپوزیت پوسته خرچنگ پورتنوس سنگینس اصلاح شده در شکل ۳ (ه) نشان داده شده است. مقادیر و میزان غلظت جاذب بین ۲۰ تا ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر و زمان واکنش بین ۳۷/۵ تا ۹۲/۵ دقیقه متغیر بوده است و pH به‌طور ثابت ۴/۵ و غلظت اولیه ۲-۴-۶تری نیترو فنول به‌طور ثابت ۳۵ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش میزان غلظت جاذب و زمان انجام واکنش کارایی فرایند افزایش یافته در صورتی که میزان جذب ۲-۴-۶تری نیترو فنول از ۱۳ درصد در میزان غلظت جاذب ۲۰ میلی‌گرم و زمان انجام واکنش ۳۷/۵ دقیقه به ۳۷٪ جذب در میزان غلظت جاذب ۴۰ میلی‌گرم و زمان انجام واکنش ۹۲/۵ دقیقه رسید. افزایش جذب با افزایش میزان جاذب مربوط به میزان مکان‌های جذب بیشتر و مساحت سطح بیشتر در مقادیر بالاتر است. در مقدار خیلی پایین جاذب، سطح جاذب به‌سرعت با

#### تأثیر هم‌زمان غلظت اولیه و میزان غلظت جاذب

تأثیر غلظت اولیه ۲-۴-۶تری نیترو فنول و میزان غلظت جاذب بر میزان جذب ۲-۴-۶تری نیترو فنول توسط بیوکامپوزیت پوسته خرچنگ پورتنوس سنگینس اصلاح شده در شکل ۳ (د) نشان داده شده است. در این شکل مقادیر و میزان غلظت جاذب بین ۲۰ تا ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت اولیه ۲-۴-۶تری نیترو فنول بین ۲۲/۵ تا ۴۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بوده است و pH به‌طور ثابت ۴/۵ و زمان انجام واکنش به‌طور ثابت ۶۵ دقیقه در نظر گرفته شده است.

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود میزان جذب ۲-۴-۶تری نیترو فنول از ۱۶ درصد در میزان غلظت جاذب ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت اولیه ۲-۴-۶تری نیترو فنول ۴۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر به ۴۵ درصد جذب در میزان غلظت جاذب ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت اولیه ۲-۴-۶تری نیترو فنول ۲۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر رسید. علت افزایش ظرفیت جذب جاذب با افزایش غلظت اولیه ۲-۴-۶تری نیترو فنول به دلیل افزایش احتمال برخورد و تماس بین جاذب و جذب‌شونده است [۲۶]. هاشمی و همکاران در پژوهشی نشان دادند که راندمان جذب ترکیبات فنولی با افزایش زمان تماس، کاهش غلظت

۴۷/۵ میلی گرم بر لیتر و زمان انجام واکنش ۳۷/۵ دقیقه به ۴۱٪ جذب در زمان انجام واکنش ۹۲/۵ و غلظت اولیه ۲-۴-۶ تری نیترو فنول ۲۲/۵ میلی گرم بر لیتر رسید.

### ایزوترم‌های جذب

نتایج به دست آمده از ایزوترم‌های لانگمویر، فروندلیچ و تمکین برای جذب ۲-۴-۶ تری نیترو فنول توسط جاذب بیوکامپوزیت پوست خرچنگ در جدول ۶ گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل لانگمویر با ضریب همبستگی ( $R^2=86\%$ ) تطابق بیشتری نسبت به دو مدل بررسی شده دیگر برای جذب ۲-۴-۶ تری نیترو فنول بر روی بیوکامپوزیت داشته است. این نتیجه نشان می‌دهد جذب چند لایه روی سطح ناهمگن جاذب صورت گرفته است. به عبارت دیگر جذب نیترو فنول روی یک مکان جذبی، سبب تأثیر متقابل بین جاذب و آلاینده می‌شود و نیروی محرکه برای جذب نیترو فنول دیگری روی این سایت ایجاد می‌گردد که این نشان‌دهنده همگن بودن سطح جاذب است [۲۹]. نتایج پژوهشی که در سال ۲۰۱۲ کورنیاوان و همکاران در جذب رنگ بر روی جاذب بنتونیت اصلاح شده انجام دادند نیز نشان داد که جذب از مدل ایزوترم لانگمویر تبعیت می‌کند [۳۰].

یون‌های ۲-۴-۶ تری نیترو فنول اشباع شده و میزان این ترکیب فنولی باقی مانده در محلول بالا است. بنابراین با افزایش میزان غلظت جاذب میزان جذب ۲-۴-۶ تری نیترو فنول افزایش می‌یابد [۲۷]. افزایش جذب با افزایش میزان جاذب مربوط به میزان مکان‌های جذب بیشتر و مساحت سطح بیشتر در مقادیر بالاتر است. در مقدار خیلی پایین جاذب، سطح جاذب به سرعت با یون‌های ۲-۴-۶ تری نیترو فنول اشباع شده و میزان این ترکیب فنولی باقی مانده در محلول بالا است [۲۸].

### تأثیر هم‌زمان غلظت اولیه و زمان تماس

تأثیر هم‌زمان غلظت اولیه ۲-۴-۶ تری نیترو فنول و زمان انجام واکنش بر میزان جذب این ماده توسط بیوکامپوزیت پوسته خرچنگ پورتنوس سگنیس اصلاح شده در شکل ۳ (و) نشان داده شده است. مقادیر غلظت اولیه ۲-۴-۶ تری نیترو فنول بین ۲۲/۵ تا ۴۷/۵ میلی گرم بر لیتر و زمان انجام واکنش بین ۳۷/۵ تا ۹۲/۵ دقیقه متغیر بوده است. pH به طور ثابت ۴/۵ و میزان غلظت جاذب نیز به طور ثابت ۳۰ میلی گرم بر لیتر در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود با افزایش زمان انجام واکنش و کاهش غلظت اولیه ۲-۴-۶ تری نیترو فنول کارایی فرایند افزایش یافته در صورتی که میزان جذب ۲-۴-۶ تری نیترو فنول از ۱۸ درصد در غلظت اولیه

جدول ۶. پارامترهای ایزوترم‌های جذب ۲-۴-۶ تری نیترو فنول با جاذب بیوکامپوزیت پوسته خرچنگ پورتنوس سگنیس

Adsorption isotherm	Parameter	Value	R <sup>2</sup>
لانگمویر	q <sub>m</sub> (mg/g)	۵۹/۸۸	۰/۸۶۱
	K <sub>L</sub> (L/mg)	۰/۰۰۲	
فروندلیچ	K <sub>f</sub>	۱۸/۲۸	۰/۷۹۵
	n	۳/۷۴	
تمکین	B <sub>T</sub> (L/g)	۸/۸۴۳۱	۰/۷۲۴
	K <sub>T</sub>	۵/۶۷	

روشنی (SEM) نشان‌دهنده موفقیت آمیز بودن سنتز بیوکامپوزیت است. با قرار دادن متغیرهای مستقل در محدوده طراحی و حداکثر راندمان حذف، شرایط بهینه برای حذف ۲-۴-۶ تری نیترو فنول با کمک نرم افزار دیزاین اکسپرت به دست آمد. بهترین شرایط بهره‌برداری با مقادیر بهینه هر

### ۴. نتیجه گیری

در این مطالعه بیوکامپوزیت مغناطیسی پوسته خرچنگ پورتنوس سگنیس اصلاح شده بر اساس آنالیز طیف‌سنجی مادون قرمز فوریه (FT-IR) و میکروسکوپ الکترونی

- sludge with spent mushroom compost. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2017 Apr 1;119:387-95.
- [6] Ghosh A, Khurana M, Chauhan A, Takeo M, Chakraborti AK, Jain RK. Degradation of 4-nitrophenol, 2-chloro-4-nitrophenol, and 2, 4-dinitrophenol by *Rhodococcus imtechensis* strain RKJ300. *Environmental Science & Technology*. 2010;44(3):1069-77.
- [7] Wang H, Wang HL, Jiang WF, Li ZQ. Photocatalytic degradation of 2, 4-dinitrophenol (DNP) by multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs)/TiO<sub>2</sub> composite in aqueous solution under solar irradiation. *Water research*. 2009 Jan 1;43(1):204-10.
- [8] Lay S, Ni X, Yu H, Shen S. State-of-the-art applications of cyclodextrins as functional monomers in molecular imprinting techniques: a review. *Journal of Separation Science*. 2016;39(12):2321-31.
- [9] Nadavala SK, Swayampakula K, Boddu VM, Abburi K. Biosorption of phenol and o-chlorophenol from aqueous solutions on to chitosan-calcium alginate blended beads. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;162(1):482-89.
- [10] Wu G-Q, Zhang X, Hui H, Yan J, Zhang Q-S, Wan J-L, et al. Adsorptive removal of aniline from aqueous solution by oxygen plasma irradiated bamboo based activated carbon. *Chem Eng J* 2012;185:201-10.
- [11] Tang B, Lin Y, Yu P, Luo Y. Study of aniline/ $\epsilon$ -caprolactam mixture adsorption from aqueous solution onto granular activated carbon: kinetics and equilibrium. *Chemical engineering journal*. 2012 Apr 1;187:69-78.
- [12] Leili M, Moussavi G, Naddafi K. Degradation and mineralization of furfural in aqueous solutions using heterogeneous catalytic ozonation. *Desalin Water Treat* 2013; 51(34-36):6789-97.
- [13] Dhir B, Kumar R. Adsorption of heavy metals by *Salvinia* biomass and agricultural residues. *International Journal of Environmental Research*. 2010;4(3):427-32.
- [14] Gupta V, Carrott P, Ribeiro Carrott M, Suhas. Lowcost adsorbents: growing approach to wastewater treatment—a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2009;39(10):783-842.
- [15] Khan NA, Ibrahim S, Subramaniam P. Elimination of heavy metals from wastewater using agricultural wastes as adsorbents. *Malaysian Journal of Science*. 2004;23(1):43-51.
- پارامتر برای فرایند جذب به ترتیب  $\text{pH}=3/25$ ، غلظت بیوکامپوزیت ۴۰ میلی گرم بر لیتر، غلظت اولیه ۲۲/۵ میلی گرم ۲-۴-تری نیترو فنول و در نهایت زمان انجام واکنش ۹۲/۵ دقیقه به دست آمد. در مطالعات تعادل، جذب آلاینده روی جاذب بیوکامپوزیت به خوبی از ایزوترم لانگمویر پیروی می کند که نشان دهنده توزیع همگن و چند لایه ای مکان های فعال روی سطح جاذب است. بیوکامپوزیت مغناطیسی پوسته خرچنگ پورتنوس سگنیس اصلاح شده می تواند به عنوان یک جاذب مؤثر و کم هزینه و در عین حال قابل دسترس برای حذف ترکیبات فنولی با کارایی خوب، در مدت زمان کوتاه بدون تولید محصولات جانبی سمی و مضر در تصفیه فاضلاب صنعتی به کار گرفته شود.

### سپاسگزاری

از مجتمع آزمایشگاهی فخری زاده دانشگاه آزاد اسلامی و آزمایشگاه آروین زیست پویا برای فراهم نمودن امکانات آزمایشگاهی تشکر می شود.

### مراجع

- [1] Umpierrez CS, Thue PS, Lima EC, Reis GSd, de Brum IA, Alencar WSd, et al. Microwave-activated carbons from tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) seed for efficient removal of 2-nitrophenol from aqueous solutions. *Environmental Technology*. 2018;39(9):1173-87.
- [2] Ramteke LP, Gogate PR. Removal of ethylbenzene and p-nitrophenol using combined approach of advanced oxidation with biological oxidation based on the use of novel modified prepared activated sludge. *Process Safety and Environmental Protection*. 2015;95:146-58.
- [3] Chaara D, Pavlovic I, Bruna F, Ulibarri M, Draoui K, Barriga C. Removal of nitrophenol pesticides from aqueous solutions by layered double hydroxides and their calcined products. *Applied Clay Science*. 2010;50(3):292-98.
- [4] US Department of Health & Human Services: Public Health Service PHS: Agency for Toxic Substances and Disease Registry ATSDR. Toxicological profile for dinitrophenols. 1995.
- [5] Yang CW, Chen WZ, Chang BV. Biodegradation of tetrabromobisphenol-A in

- dinitrophenol from Aqueous Solutions Using Ordered Mesoporous Carbon CMK-3. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2016;26(135):119-29 (in Persian).
- [26] Kermani M, Pourmoghaddas H, Bina B, Khazaei Z. Removal of phenol from aqueous solutions by rice husk ash and activated carbon. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2006;9(10):1905-10.
- [27] Sari A, Tuzen M. Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies on aluminum biosorption from aqueous solution by brown algae (*Padina pavonica*) biomass. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;171(1-3):973-79.
- [28] Varghese S, Vinod V, Anirudhan T. Kinetic and equilibrium characterization of phenols adsorption onto a novel activated carbon in water treatment. *Indian Journal of Chemical Technology*. 2004;11: 825-33.
- [29] Kurniawan A, Sutiono H, Indraswati N, Ismadji S. Removal of basic dyes in binary system by adsorption using rarasaponin-bentonite: revisited of extended langmuir model. *Chem Eng J* 2012;189-190(0):264-74.
- [30] Kurniawan A, Sutiono H, Indraswati N, Ismadji S. Removal of basic dyes in binary system by adsorption using rarasaponin-bentonite: revisited of extended Langmuir model. *Chem Eng J* 2012;189-190(0):264-74.
- [16] Rao K, Mohapatra M, Anand S, Venkateswarlu P. Review on cadmium removal from aqueous solutions. *International Journal of Engineering, Science and Technology*. 2010;2(7):81-103.
- [17] Kazemi A, Bahramifar N, Heydari A, Olsen SI. Synthesis and sustainable assessment of thiol-functionalization of magnetic graphene oxide and superparamagnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ SiO<sub>2</sub> for Hg (II) removal from aqueous solution and petrochemical wastewater. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2019 Feb 1;95:78-93.
- [18] Ramnani SP, Sabharwal S. Adsorption behavior of Cr (VI) onto radiation crosslinked chitosan and its possible application for the treatment of wastewater containing Cr (VI). *Reactive and Functional Polymers*. 2006 Sep 1;66(9):902-9.
- [19] Ghaedi M, Sadeghian B, Pebdani AA, Sahraei R, Daneshfar A, Duran C. Kinetics, thermodynamics and equilibrium evaluation of direct yellow 12 removals by adsorption onto silver nanoparticles loaded activated carbon. *Chem Eng J* 2012; 187(0):133-41.
- [20] Akhbari A, Zinatizadeh AA, Mohammadi P, Irandoust M, Mansouri Y. Process modeling and analysis of biological nutrients removal in an integrated RBC-AS system using response surface methodology. *Chemical Engineering Journal*. 2011 Mar 15;168(1):269-79.
- [21] Aghel SA, Bahramifar NA, Younesi HA. Optimizing the removal of Reactive Yellow 147 using magnetic photocatalyst Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ SiO<sub>2</sub>@ TiO<sub>2</sub> by response surface methodology in central composite design. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2017;27(149).
- [22] Uddin M, Islam M, Abedin M. Adsorption of phenol from aqueous solution by water hyacinth ash. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2007;2(2):11-17.
- [23] Talib NAA, Salam F, Yusof NA, Ahmad SAA, Sulaiman Y. Modeling and optimization of electrode modified with poly (3, 4-ethylenedioxythiophene)/ graphene oxide composite by response surface methodology/ Box-Behnken design approach. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2017; 787:1-10.
- [24] Hashemi F, Godini H, Shams Khorramabadi G, Mansouri L. Assessing performance of walnut green hull adsorbent in removal of phenol from aqueous solutions. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2014;7(2):265-76 (in Persian).
- [25] Rahimzadeh Barzoki H, Rahmani A, Dadban Shahamat Y, Beirami S. Adsorption of 2, 4

### پی‌نوشت‌ها

1. 2-4-6 trinitro phenol
2. *Portunus segnis*
3. Central Composite Design
4. Design expert
5. Magnetic stirrer
6. Response Surface Methodology
7. Langmuir isotherm
8. Freundlich isotherm
9. Temkin isotherm