

مطالعه سینتیک جذب فنل توسط زائدات پوست تخم مرغ در یک سیستم بسته

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱۷

هستی دارائی^{۱*} و فاطمه دارائی^۲

چکیده

^۱گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران
^۲تکارتشناس ارشد علوم و صنایع غذایی، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان مرکزی تعاون روستایی ایران،

چکیده

زمینه و هدف: فنل یکی از آلاینده‌های خطرناک در پساب‌های صنعتی می‌باشد. این آلاینده به شدت برای انسان و محیط زیست سمی می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی توانایی جذب فنل از محیط‌های آبی توسط زائدات پوست تخم‌مرغ تحت شرایط آزمایشگاهی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: پوسته‌های تخم مرغ در دمای ۷۰°C به مدت ۱۲ ساعت در آون خشک و سپس خرد شدند. مشخصات سطحی و اطلاعات کمی و کیفی عناصر وجود در پوست تخم مرغ توسط SEM و XRF مورد بررسی قرار گرفت. سپس داده‌های جذب توسط ایزوترم‌های فروندلیخ و لانگمیر و همچنین کینتیک‌های جذب مورد بررسی قرار گرفتند و از نرم‌افزار Excel برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده گردید.

یافته‌ها: بیشترین میزان جذب فنل در ۹۰ دقیقه اول و در pH=۹ اتفاق افتاد. بررسی تأثیر دما نشان داد که با افزایش دما میزان جذب کاهش می‌یابد. ایزوترم جذب آلاینده مطالعه شده منطبق بر ایزوترم فروندلیخ ($R^2=0/996$) بود. همچنین مطابق نتایج سینتیک‌های حذف فنل بخوبی از هر دو مدل سینتیک نوع اول و نوع دوم تبعیت کرد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاضر بطور آشکار نشان داد که پوست تخم مرغ یک ماده بالقوه مؤثر بوده که می‌تواند برای حذف فنل از محیط‌های آبی و پساب‌های صنعتی استفاده شود.

* نویسنده مسئول: گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران
۰۲۶-۳۴۴۴۴۳۲۹
E-mail: hasti.daraei@yahoo.com

کلمات کلیدی: سینتیک، پوست تخم مرغ، فنل، ایزوترم

مقدمه

فنل و مشتقات آن از مهمترین مواد آلاینده هستند که موجب سمی شدن منابع آب می‌گردند. فنل از ترکیبات معمول در فاضلاب صنایعی همچون تصفیه نفت و پتروشیمی، تولید آفت‌کش‌ها، صنایع رنگی، تولید مواد شیمیایی آلی، تهیه پلاستیک و رزین، سموم دفع آفات، داروسازی و غیره است.^{۱،۲} این آلاینده آلی از نوع ترکیبات بسیار پایداری هستند که به مقدار فراوان در پساب صنایع وجود دارند. آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA) فنل را به‌عنوان یک ماده آلوده کننده در فهرست آلاینده اولویت دار قرار داده‌اند.^۳ حضور فنل و مشتقات آن در آب و فاضلاب به‌دلیل سمیت و تهدیدی که برای زندگی انسان، حیوان و محیط ایجاد می‌کند یک

نگرانی عمده محسوب می‌شود. فنل می‌تواند بر روی سیستم اعصاب مرکزی تأثیر بگذارد و باعث به خطر افتادن زندگی و در نهایت مرگ شود. ترکیبات فنلی در حضور کلر در آب تشکیل کمپلکس‌هایی با طعم و بوی قابل اعتراض می‌دهد. این عمل جانشینی با کلر نه تنها باعث افزایش طعم و بو می‌گردد بلکه اثرات سمی نیز دارد.^۴ با توجه به اهمیتی که فنل روی سلامت انسان دارد، استاندارد سختگیرانه برای آن وضع شده است. سازمان جهانی بهداشت غلظت فنل در منابع آب ورودی به تصفیه خانه آب برای استفاده جوامع انسانی کمتر از ۲ میکروگرم در لیتر اعلام کرده، سازمان حفاظت زیست آمریکا میزان مجاز فنل در منابع آب جوامع انسانی و آب مورد استفاده برای پرورش ماهی را به ترتیب mg/L

کربنات کلسیم بوده که به راحتی می‌تواند با انجام واکنش تبادل یونی، آلاینده‌ها را از محیط‌های آبی حذف نماید.^{۱۳} علاوه بر این استفاده از این ماده زائد به عنوان ماده جاذب می‌تواند به عنوان یک روش اقتصادی و در دسترس مد نظر باشد. لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی امکان کاربرد پوست تخم مرغ به عنوان یک جاذب برای حذف آلاینده آلی همچون فنل و مقایسه عملکرد و راندمان آن با سایر جاذب‌های زیستی و مواد زائد انجام شد. همچنین جذب توسط اینگونه مواد به عنوان یک گزینه در مقایسه با سایر روش‌های متداول که معمولاً پرهزینه نیز می‌باشند، اقتصادی به نظر می‌رسد.

روش کار

آماده سازی جاذب

جاذب مورد بررسی در این تحقیق پوست تخم مرغ می‌باشد. برای تهیه جاذب مورد استفاده، ابتدا اقدام به جمع‌آوری پوست‌های تخم مرغ دور ریخته شده از کارگاه‌های شیرینی‌پزی در سطح شهر کرج گردید. سپس پوست تخم مرغ جهت تمیزسازی و جلوگیری از فساد چندین بار با آب شسته شده و در دمای اتاق خشک شدند. در مرحله بعد پوسته‌های عاری از آلودگی به مدت ۱۲ ساعت در دمای 70°C در آون خشک شدند. در نهایت جاذب به‌دست آمده با استفاده از دستگاه خردکن، آسیاب شده و پودر به‌دست آمده جهت تعیین اندازه از الک‌های ۰/۶ و ۰/۳ میلی‌متر عبور داده شده و در نهایت جاذبی با اندازه ۲۰ مش به‌دست آمد. در نهایت جاذب به‌دست آمده تا زمان انجام آزمایشات در دسیکاتور نگهداری شدند. پس از آماده سازی جاذب به منظور تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی جاذب از میکروسکوپ الکترونی با مدل JEOL/JSM6300 و فلورسانس اشعه ایکس با مدل XRF-1500 Shimadzu, Japan استفاده شد.

آزمایشات جذب

آزمایشات جذب در شرایط بسته انجام شدند. برای این منظور ابتدا یک محلول استوک از فنل با غلظت 1000 mg/L تهیه گردید. پوست تخم‌مرغ‌های خشک شده در مقادیر گوناگون و غلظت‌های مختلفی از فنل به بطری‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری اضافه شد. از یک

۰/۳ و ۲/۶ ودر فاضلاب را کمتر از 1 mg/L بیان کرده است. آژانس حفاظت محیط زیست امریکا غلظت فنل در فاضلاب را کمتر از 1 mg/L بیان کرده است.^۵ ترکیبات فنلی در فاضلاب خانگی، صنعتی، آب‌های سطحی و حتی آشامیدن ممکن است یافت شوند. این مواد علاوه بر خطرات بهداشتی، بدلیل ایجاد بو و طعم حائز اهمیت می‌باشند.^۶ این آلاینده‌ها از طریق پوست، تنفس و گوارش وارد بدن شده و تحت عنوان یک ماده شیمیائی سمی و خورنده سبب تحریک و سوزش چشم، پوست، گلو، بینی، افزایش سرفه، خس خس سینه و مشکلات تنفسی می‌شود. تماس طولانی مدت با آن سبب سردرد، خستگی، بی‌قراری، اثر بر کبد و کلیه، ضعف عضلانی، تهوع و در نهایت اغما و در نهایت مرگ می‌شود.^{۷،۸} با توجه به دلایل ذکر شده بر سمیت بالای فنل، باید از روش‌های مناسب جهت حذف این آلاینده‌ها قبل از تخلیه به محیط استفاده نمود. سوزاندن، رهاسازی در هوا، جذب سطحی، اکسیداسیون تر، اکسیداسیون الکتروشیمیایی، اکسیداسیون بیولوژیکی و اکسیداسیون شیمیایی پیشرفته مهم ترین روش های تصفیه ترکیبات آلی از جمله فنل است که هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشند.^{۹،۱۰} مشکلاتی مانند هزینه بالا، در دسترس نبودن، هزینه احیاء محققان را بر آن داشته تا در پی استفاده از مواد جاذب جدید و دوستدار محیط زیست باشند.^{۱۱} در طی دو دهه اخیر تحقیقات زیادی در ارتباط با جذب مواد آلی با قابلیت تجزیه‌پذیری پایین صورت گرفته است. هدف اصلی این تحقیقات، تشخیص یک ماده جاذب مؤثر و ارزان قیمت جهت حذف آلاینده های آلی از محلول‌های آبی است.^{۱۲} به‌طوری‌که در طی سالیان گذشته جهت حذف آلاینده‌های خطرناک از آب و فاضلاب بر روی کاربرد زائدات صنعتی و کشاورزی بعنوان جاذب‌های بالقوه تمرکز گردید. در این راستا تصمیم گرفته شد تا از مواد دیگری که بصورت طبیعی یافت می‌شود همچون پوست تخم‌مرغ به‌عنوان یک جاذب استفاده گردد.^{۱۳} پوست تخم مرغ یکی از زائدات اصلی کارگاه‌های شیرینی‌پزی، کارخانجات سس‌سازی و رستوران‌ها می‌باشد که می‌تواند به‌عنوان یک جاذب طبیعی برای حذف آلاینده‌ها از آب و فاضلاب استفاده گردد. موفقیت در کاربرد پوست تخم مرغ در آلودگی‌زدایی از فاضلاب به ارزش این ماده تولیدی در مرغداری‌ها و صنایع غذایی افزوده است. پوست تخم مرغ یک منبع غنی از

آنالیز SEM و XRF

به منظور ارزیابی مشخصات مورفولوژی و سطحی پوسته تخم مرغ از آنالیز SEM استفاده شد. نتایج حاصل از این آنالیز در شکل ۱ نشان داده شده است. شکل ۱، یک ساختار نامنظم با سطح متخلخل از پوسته تخم مرغ نشان داده است. مطالعات مشابه ثابت کردند که این ساختار متخلخل باعث افزایش سطح تماس و افزایش میزان جذب آلاینده به درون ذرات پوست تخم مرغ و بالا بردن توانایی جذب می‌شود.^{۱۵، ۱۴} از طرفی ترکیب شیمیایی پوست تخم مرغ و غشاء آن با استفاده از طیف سنج X-ray (XRF) fluorescence مورد سنجش قرار گرفت. نتایج نشان داد که پوسته تخم مرغ دارای یک ترکیب معدنی بوده که بیشترین ماده متشکله آن CaCO_3 بوده و عناصر جزئی دیگری همچون S، Mg، Na، Si و Al در آن وجود دارند. این عناصر می‌توانند با یون‌های آلاینده در طی واکنش تبادل یونی تعویض شوند.

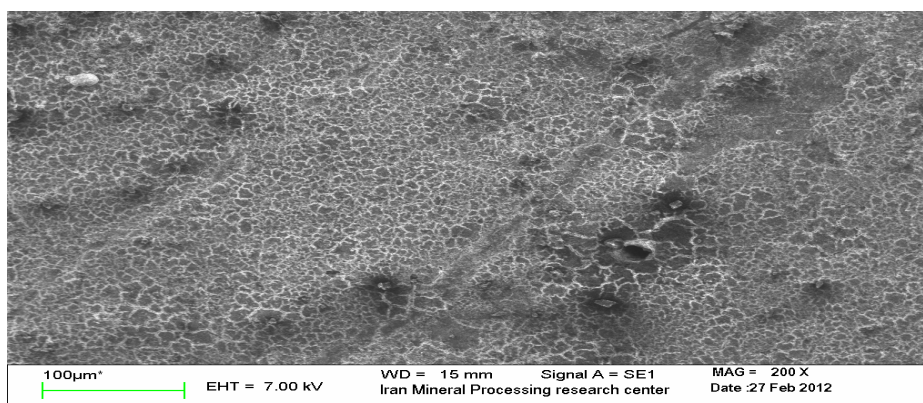
تأثیر pH و مقدار جاذب

تأثیر pH در جذب فنل با پوست تخم مرغ در رنج pH ۳ تا ۱۱ بررسی گردید. با توجه به شکل ۲، مناسب‌ترین pH برای حذف فنل $\text{pH} = 9$ می‌باشد. در شرایط اسیدی میزان جذب حداقل می‌باشد. بنابراین $\text{pH} = 2$ برای کلیه آزمایشات جذب انتخاب شد. همچنین تأثیر مقدار جاذب در مقادیر ۱/۵ تا ۵/۵ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر در راندمان حذف بررسی گردید. نتایج نشان داد که درصد حذف فنل با افزایش مقدار جاذب افزایش می‌یابد.

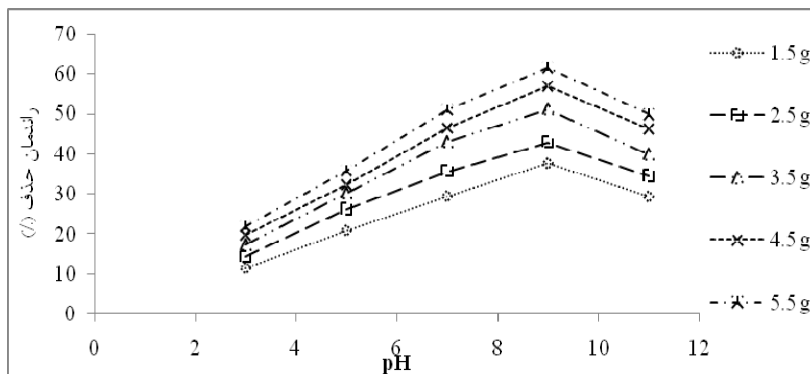
شیکر کنترلر دما برای اختلاط مناسب‌تر محلول و جاذب و همچنین کنترل دما استفاده شد. بعد از به دست آمدن مقادیر بهینه، برای جداسازی جاذب از محلول از صافی واتمن ۴۲ میکرومتر استفاده شد. جهت بررسی تأثیر پارامترهای گوناگون، آزمایشات در شرایط گوناگونی از زمان تماس (۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۳۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه)، غلظت فنل (۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر)، pH (۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱)، دما (۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد) و مقدار جاذب (۱/۵، ۲/۵، ۳/۵، ۴/۵ و ۵/۵ گرم) انجام شد. pH نمونه ها با استفاده از HCL و NaOH کنترل گردید. در نهایت غلظت باقیمانده از فنل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR-5000 و در طول موج ۵۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. به منظور اطمینان از نتایج، کلیه آزمایشات سه بار تکرار و میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده در تحقیق لحاظ گردید.

نتایج

نتایج مربوط به مشخصات فیزیکی و شیمیایی جاذب در شکل ۱ آورده شده است. نتایج حاصل از آزمایشات در خصوص ارزیابی کارایی فرآیند جذب زیستی بر حذف فنل در غلظت، زمان، دما و pH های محیط آبی و مقادیر گوناگونی از جاذب توسط فرآیند فوق الذکر در شکل های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. همچنین نتایج حاصل از مطالعه ایزوترم های جذب فروندلیش، لانگمیر و سینتیک فرآیند و ضرایب مربوط به آنها در شکل های ۵ و ۶ و جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱. تصویر میکروسکوپ الکترونی از پوسته تخم مرغ



شکل ۲. تأثیر pH و مقدار جاذب در حذف فنل توسط پوست تخم مرغ (زمان: ۱۲۰ دقیقه، غلظت ۱۵ میلی گرم در لیتر و دما ۲۵ درجه)

در دمای ۲۵°C مشاهده شد.

مدل‌های سینتیکی درجه اول و درجه دوم کاذب

به منظور طراحی فرآیند جذب و پیش بینی سرعت فرآیند جذب از مدل‌های سینتیک استفاده شد. نتایج مدل‌های سینتیکی در شکل ۵ و ضرایب مربوط به آنها در جدول ۱ نشان داده شده است.

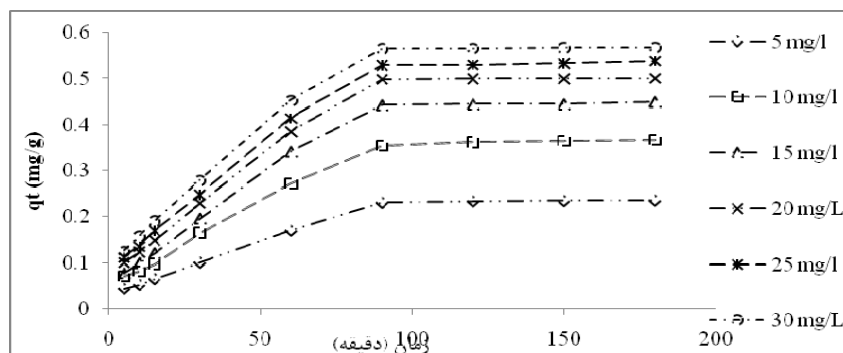
ایزوترم‌های جذب

مدل‌های مختلفی برای توصیف داده های حاصل از آزمایشات جذب وجود دارد که مهمترین آنها ایزوترم‌های جذب است. تحلیل ایزوترم جذب به منظور دستیابی به یک معادله جهت نمایش دقیق نتایج و طراحی سیستم‌های جذب بسیار مهم می‌باشد.

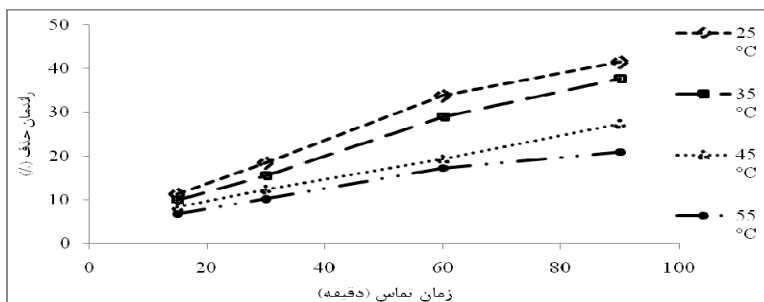
تأثیر غلظت اولیه فنل و زمان تماس: نتایج مربوط به تأثیر غلظت فنل و زمان تماس در راندمان فرآیند در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت فنل راندمان جذب کاهش یافت. بالاترین میزان حذف برای فنل در غلظت ۵ میلی گرم در لیتر و در حدود ۶۹/۵۴٪ به دست آمد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش زمان راندمان حذف بالا می‌رود. بطوری که بیشترین میزان حذف در زمان ۹۰ دقیقه به دست آمد.

تأثیر دما

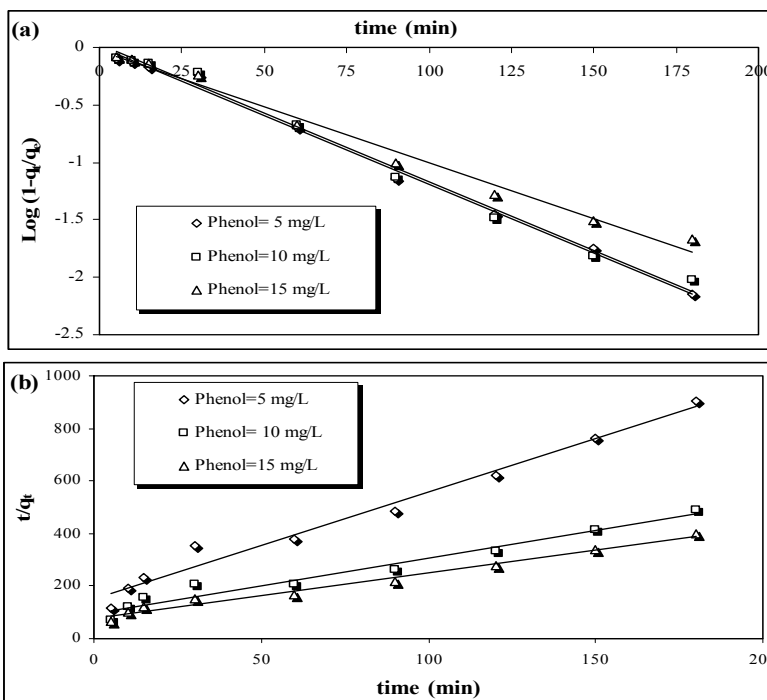
شکل ۴ تأثیر دما بر میزان راندمان جذب نشان می‌دهد. تأثیر دما در رنج بین ۲۵-۵۵°C بررسی گردید. نتایج نشان داد که با افزایش دما، راندمان کاهش می‌یابد بطوری که حداکثر راندمان جذب فنل



شکل ۳. تأثیر زمان تماس و غلظت فنل در حذف آن توسط پوست تخم مرغ (مقدار جاذب ۳/۵ گرم، pH ۹ و دما ۲۵ درجه)



شکل ۴. نتایج حاصل از تأثیر دمای واکنش بروی کارایی حذف فنل (مقدار جاذب ۳/۵ گرم، pH ۹ و غلظن فنل ۱۵mg/L)



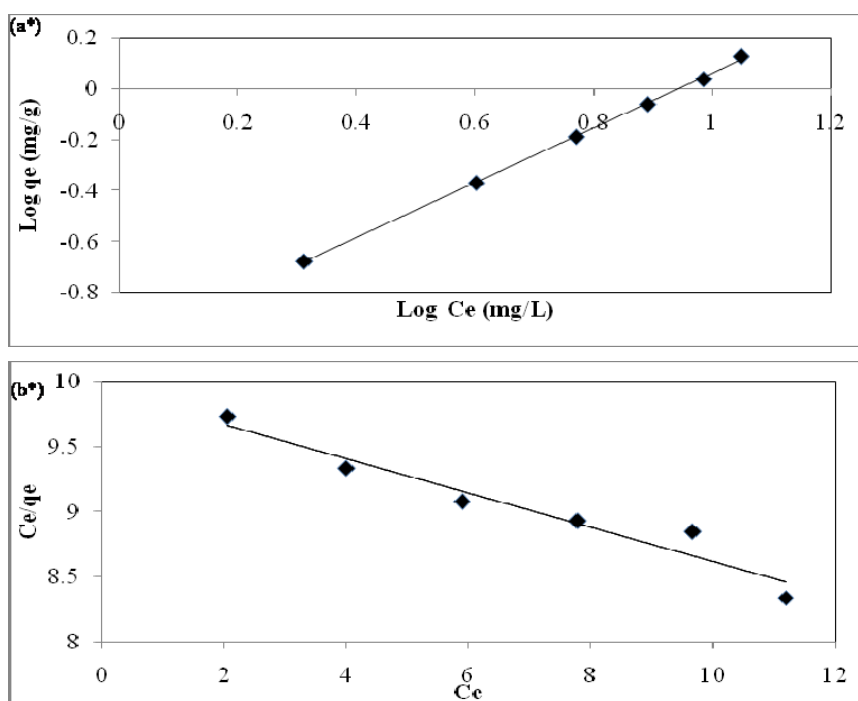
شکل ۵. سینتیک شبه درجه یک (a) و شبه درجه دوم (b) برای حذف فنل توسط پوست تخم مرغ

جدول ۱. پارامترهای به دست آمده از مدل‌های سینتیک برای حذف فنل

معادله شبه درجه دوم	معادله شبه درجه اول	پارامترها	غلظت اولیه فنل
-----	۰/۰۱	$k_1(\text{min}^{-1})$	
۰/۱۱	-----	$k_2(\text{min}^{-1})$	۵ (mg/L)
۰/۲۴	۰/۲۰	$q_e(\text{mg/g})$	
۰/۹۸	۰/۹۹۵	R^2	
-----	۰/۰۱	$k_1(\text{min}^{-1})$	
۰/۰۴	-----	$k_2(\text{min}^{-1})$	۱۰ (mg/L)
۰/۴۸	۰/۳۷	$q_e(\text{mg/g})$	
۰/۹۶	۰/۹۹	R^2	
-----	۰/۰۱	$k_1(\text{min}^{-1})$	
۰/۰۴	-----	$k_2(\text{min}^{-1})$	۱۵ (mg/L)
۰/۵۸	۰/۴۵	$q_e(\text{mg/g})$	
۰/۹۸	۰/۹۸۷	R^2	

ضرایب بدست آمده در جدول ۲، مدل فروندلش به صورت فیزیکی توصیف قابل اعتمادتری جهت جذب آلاینده بر روی جاذب ارائه می‌کند که این موضوع می‌تواند به دلیل حضور باندهای جذبی مختلف بر روی جاذب باشد. مطابق نتایج موجود رابطه فروندلش به علت ضریب همبستگی بالای به دست آمده نسبت به ایزوترم لانگمیر جذب فنل بر روی پوست تخم مرغ را بهتر توصیف می‌کند.^{۲۶-۲۸}

برای این منظور ایزوترم‌های جذب مختلفی مانند ایزوترم جذب فروندلش و لانگمیر با داده‌های به دست آمده برای مطالعه حذف فنل جهت دستیابی به یک توصیف رضایت بخش از شرایط تعادل مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج در شکل ۶ مورد ارزیابی قرار گرفته است. مطابق نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد که جذب فنل در پوست تخم مرغ از هر دو مدل ایزوترم جذب فروندلش و لانگمیر با ثابت‌های رگرسیون بالاتر از ۰/۹ (مطابق جدول ۳) پیروی می‌کنند. اما در مجموع با توجه به نتایج مربوط به ایزوترم‌ها و



شکل ۶. ایزوترم‌های خطی فروندلش (a*) و لانگمیر (b*) برای حذف فنل

جدول ۲. پارامترهای مدل‌های ایزوترمی فروندلش و لانگمیر برای حذف فنل

ثابت لانگمیر			ثابت فروندلش		
R^2	b (l/mg)	q_m (mg/g)	R^2	n (mg/l)	K_f (mg/g)
۰/۹۴۰	۰/۱۳	۷/۶۳	۰/۹۹۶	۰/۹۳	۱۰/۲۶

بحث

تأثیر pH و مقدار جاذب

pH یک فاکتور اصلی در حذف آلاینده با روش جذب می‌باشد. pH می‌تواند در یونیزاسیون آلاینده‌ها و همچنین سطح جاذب تأثیر بگذارد. در pH ۳ حذف فنل حداقل بوده که این موضوع می‌تواند در نتیجه درصد بالای یون‌های مثبت و حرکت بالای آنها در محلول باشد. همین مسئله باعث مقدم بودن جذب یون‌های H^+ در سطح جاذب نسبت به دیگر یونها می‌شود. یونهای هیدروژن بطور ترجیحی با یونهای Ca^{+2} در سطح جاذب تعویض می‌شوند. با افزایش pH این فاکتور بر سطح جاذب و محل‌های اتصال آن و همچنین خصوصیات شیمیایی فنل تأثیر گذاشته و باعث بالا رفتن راندمان در pHهای بالاتر شود. بنابراین در pHهای قلیایی بین یون کلسیم فعال در سطح جاذب و آلاینده تبادل یونی صورت می‌گیرد. بنابراین حذف فنل در سطح جاذب در نتیجه واکنش تعویض یونی می‌باشد.^{۱۶-۱۸} مطابق نتایج نشان درصد حذف فنل با افزایش جاذب افزایش می‌یابد که این افزایش در راندمان در نتیجه افزایش محل‌های فعال و خالی در سطح جاذب می‌باشد. به عبارت دیگر دلیل اصلی این افزایش در راندمان را می‌توان به افزایش در سطح جاذب و یون‌های قابل تبادل نسبت داد. به همان مقدار که میزان جاذب افزایش می‌یابد به دنبال آن میزان سطح مخصوص و محل‌های قابل تبادل در جاذب نیز افزایش یافته و دنبال آن کارایی فرآیند جذب نیز افزایش خواهد یافت.^{۱۹}

تأثیر غلظت اولیه فنل و زمان تماس

مطابق نتایج با افزایش غلظت فنل راندمان جذب کاهش می‌یابد. بالاترین میزان حذف برای فنل در غلظت ۵ میلی گرم در لیتر و در حدود ۶۹/۵۴٪ به دست آمد. این کاهش در راندمان با افزایش غلظت ممکن است در نتیجه کاهش یافتن سطوح فعال در سطح جاذب باشد زیرا در غلظت‌های بالا باندهای فعال به مقدار کمتری در دسترس آلاینده‌ها قرار می‌گیرند و میزان سرعت انتقال جرم در این غلظت‌ها کاهش می‌یابد.^{۱۶، ۱۷} همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش زمان راندمان حذف بالا می‌رود. میزان جذب

بالا در مراحل اولیه می‌تواند در نتیجه افزایش تعداد محل‌های خالی در دسترس در سطح جاذب باشد و به‌عنوان یک نتیجه گیری می‌توان ذکر کرد که گرادپان غلظت بین ماده جذب شونده در محلول و ماده جاذب در سطح جاذب افزایش می‌یابد. این افزایش در گرادپان غلظت باعث افزایش جذب فنل در مراحل اولیه آزمایش می‌شود. در زمان‌های بالاتر رفته رفته این غلظت در نتیجه تجمع ذرات فنل در محل‌های خالی کاهش می‌یابد و این باعث ثابت ماندن میزان حذف این آلاینده در زمان بالاتر شود.^{۲۰-۲۲}

تأثیر دما

مطابق نتایج به دست آمده از شکل ۴ بهترین دما برای فرآیند جذب دمای $25^{\circ}C$ بود. این کاهش در راندمان ممکن است در نتیجه افزایش در حرکت و جنبش آلاینده و در نتیجه سست شدن نیروی بین یون‌های آلاینده و سطوح فعال سطحی باشد. این بدین معناست که با افزایش دما احتمال شکسته شدن برخی باندهای فعال و مؤثر که در سطح یا درون جاذب هستند بالا می‌رود. این موضوع می‌تواند گواه بر این باشد که فرآیند جذب با پوست تخم مرغ گرمازا می‌باشد.^{۲۳، ۲۴}

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که جاذب پوست تخم مرغ، نسبتاً از ظرفیت جذب خوبی برای فنل برخوردار است. با افزایش مقدار جاذب و زمان، مقدار جذب افزایش می‌یابد و برعکس با افزایش غلظت فنل راندمان فرآیند کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که مدل ایزوترمی فروندلیش با ضریب رگرسیون ۰/۹۹۹، داده‌های جذب را بهتر توصیف می‌کند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از همکاری معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی البرز، مسئولین محترم دانشکده بهداشت و کارشناسان آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب که ما را در انجام این تحقیق یاری داده‌اند تشکر و قدردانی نمایند.

References

- Vimal CS, Mahadeva MS, Indra DM, Basheswar P, Indra MM. Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. *J Hazard Mater* 2006;272(1-2): 89-104.
- Yapar S, Ozbudak V, Dias A, Lopes A. Effect of adsorbent concentration to the adsorption of phenol on hexadecyl trimethyl ammonium-bentonite. *J Hazard Mater* 2005;121(1-3):135-9.
- Bayramoglu G, Arica MY. Enzymatic removal of phenol and p-chlorophenol in enzyme reactor: horseradish peroxidase immobilized on magnetic beads. *J Hazard Mater* 2008;156(1-3):148-55.
- Lin SH, Cheng MJ. Adsorption of phenol and m-chlorophenol on organo bentonite sand repeated thermal regeneration. *J Indust Eng Chem* 2001; 74(9): 150-159.
- Banat FA, Al-Bashir B, Al-Asheh S, Hayahneh O. Adsorption of phenol by bentonite. *Env Pollut* 2000;107(3):391-8.
- Tor A, Cengeloglu Y, Aydin ME, Ersoz M. Removal of phenol from aqueous phase by using neutralized red mud. *J Colloid inter* 2006; 300(2):498-503.
- Zazo JA, Casas JA, Mohedano AF, Rodriguez JJ. Catalytic wet peroxide oxidation of phenol with a Fe/active carbon catalyst. *J Applied Catalysis Environ* 2006; 65(3-4): 261-268.
- Quintanilla A, Casas JA, Mohedano AF, Rodriguez JJ. Reaction pathway of the catalytic wet air oxidation of phenol with a Fe/activated carbon catalyst. *J Applied Catalysis Environ* 2006; 67(3-4):206-216.
- Carbajo M, Beltran FJ, Medina F, Gimeno O, Rivas FJ. Catalytic ozonation of phenolic compounds: the case of gallic acid. *J Applied Catalysis Environ* 2006; 67(1-3): 177-186.
- Roostaie N, Handan TF. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption. *J Environ Manag* 2004; 70(2): 157-164.
- Kitis M, Karakaya E, Yigit NO, Civelekoglu G, Akcil A. Heterogeneous catalytic degradation of cyanide using copper-impregnated pumice and hydrogen peroxide. *Water Research* 2005; 39 (5):1652- 1662.
- Mittal A. Removal of the dye amaranth from wastewater using hen feathers as potential adsorbent. *Elect J Environ Agricult Food Chem* 2006;5(2):1296-305.
- Arunlertaree C, Kaewsomboon W, Kumsopa A, Pokethitiyook P, Panyawathanakit P. Removal of lead from battery manufacturing wastewater by egg shell. *J Sci Tech* 2007;29 (3):857-68.
- Mishra S, Bhattacharya J. Batch studies on phenol removal using leaf activated carbon. *Malay J Chem* 2007;9(1):1-15.
- Khalid N, Ahmad S, Toheed A, Ahmad J. Potential of rice husks for antimony removal. *Appli Rad Isot* 2000;52(1): 31-8.
- Sayed SA, Saleh B, Hasan E. Removal of some polluting metals from industrial water using chicken feathers. *Desalination* 2005;181(1-3):243-55.
- Kaiser S, Saleemi A R, Umar M. Biosorption of lead (II) and chromium (VI) on groundnut hull: Equilibrium, kinetics and thermodynamics study. *Elect J Biotech* 2009; 12(4): 15-20.
- Daraei H, Mittal A, Noorisepehr M, Daraei F. Kinetic and equilibrium studies of adsorptive removal of phenol onto eggshell waste. *Environ Sci Pollut Res* 2013; 20:4603-11.
- Ghoreishi S M, Mardani E, Ghaziaskar H S. Separation of γ -linolenic and other polyunsaturated fatty acids from Boraginaceae via supercritical CO₂. *J Separat Sci.* 2011; 34 (2): 233-240.
- Manshouri M, Daraei H, Yazdanbakhsh AR. A feasible study on the application of raw ostrich feather, feather treated with H₂O₂ and feather ash for removal of phenol from aqueous solution. *Des Water Treat* 2012;41(1-3):179-85.
- Uddin MT, Islam MS, Abedin MZ, Adsorption of phenol from aqueous solution by water hyacinth ash. *ARNP J Eng Appl Sci* 2007; 2(2): 11-17.
- Bhaumik N K, Mondal B D, Roy P, Pa PC, Das C, Banerjee C, Datta K. Eggshell Powder as an Adsorbent for Removal of Fluoride from Aqueous Solution: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies. *E-J Chem* 2012; 9(3):1457-1480.
- La Rosa G, Reynel-Avila HE, Bonilla-Petriciolet I, Cano-Rodríguez C, Martínez-Hernández AL. Recycling Poultry Feathers for Pb Removal from Wastewater: Kinetic and Equilibrium Studies. *Inter J Chem Bio Eng* 2008; 1(4): 185-193.
- Vinod K, Gupta CKJ, Imran Ali SC, Agarwal S, Removal of lindane and malathion from wastewater using bagassefly ash a sugar industry waste. *Water Research* 2002; 36(10): 2483-2490.
- Daraei H, Manshouri M, Yazdanbakhsh AR. Removal of Phenol from Aqueous Solution Using Ostrich Feathers Ash. *J Mazand Univ Med Sci* 2010; 20(79): 81-87 [In Persian].
- Daraei H, Yazdanbakhsh AR, Manshouri M, Study of equilibrium and kinetic models for removal of chromium (VI) and lead (II) by modified feather by H₂O₂ *Int J Environ Waste Manag.* 2013; 12(4): 453-465.
- Xie H, Li S, Zhang S. Ionic liquids as novel solvents for the dissolution and blending of wool keratin fibers. *Green Chem* 2005; 7 (8): 606-608.
- Mishra S, Bhattacharya J, Batch studies on phenol removal using leaf activated carbon. *Malaysian J Chem* 2007; 9 (1): 51-59.