

بررسی حذف فنل از محلول های آبی با استفاده از پامیس اصلاح شده با مس

دکتر علیرضا رحمانی*، قربان عسگری**، فاطمه برجسته عسگری***، الهام هدایتی کامران****
فاطمه علیجانی****

دریافت: ۸۹/۵/۱۲ ، پذیرش: ۸۹/۷/۲۰

چکیده:

مقدمه و هدف: امروزه تصفیه فاضلاب صنایع توجه بسیاری از دولت ها و متخصصان محیط زیست را به خود جلب کرده است. اساساً آلودگی این فاضلاب ها به دلیل حضور آلاینده های آلی از قبیل رنگ ها، هیدرو کربن های هالوژنه، ترکیبات فنلی و غیره می باشد. در این میان، فنل به طور گسترده ای در صنایع نفت، پتروشیمی، تولید زغال سنگ و صنایع داروسازی مورد استفاده قرار می گیرد. روش های متعددی از قبیل جذب سطحی، اکسیداسیون مرطوب با پراکسید، اکسیداسیون مرطوب با هوا، ازن زنی و غیره به منظور حذف فنل از آب مورد استفاده قرار گرفته که هر کدام از این روش ها دارای مزایا و معایبی می باشند. هدف از این مطالعه نیز تعیین کارایی پامیس اصلاح شده با مس بعنوان جاذب در حذف فنل بوده است.

روش کار: این پژوهش یک مطالعه تجربی بوده که از گرانول سنگ پامیس منطقه قروه استان کردستان با مش ۲۰ استفاده شده است. نمونه ها ابتدا با سولفات مس اصلاح گردید. در ادامه نمونه پساب حاوی فنل بطور مصنوعی در آب مقطر تهیه شده و در مراحل جداگانه تاثیر پارامترهای pH (۳، ۷، ۱۲)، غلظت اولیه فنل (۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر)، زمان تماس (۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰) و دوز پامیس اصلاح شده (۲۵/۰، ۵۰/۰، ۷۵/۰، ۱۰۰/۰ گرم) در یک راکتور ناپیوسته مورد بررسی قرار گرفت. جهت تعیین مشخصات ساختاری پامیس اصلاح شده از تکنیک های پراکنش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. در این مطالعه همچنین، از مدل های ایزوترمی لانگمیر و فروندلیخ در جذب فنل توسط پامیس استفاده گردید. همچنین pH_{PZC} جاذب به منظور تعیین pH بهینه فرآیند جذب تعیین گردید.

نتایج: نتایج آزمایش نشان داد کارایی حذف با افزایش زمان تماس، غلظت اولیه فنل و دوز پامیس اصلاح شده نسبت مستقیم و با افزایش pH، نسبت معکوس دارد. جذب فنل با مدل فروندلیخ انطباق بیشتری داشت. همچنین pH_{PZC} پامیس اصلاح شده برابر با ۷/۷ تعیین شد.

نتیجه نهایی: نتایج این مطالعه نشان داد که نمونه پامیس اصلاح شده قابلیت خوبی در حذف فنل دارد. با توجه به ارزان بودن پامیس و سادگی اصلاح آن، استفاده از این جاذب در حذف آلاینده های خطرناک در آب و فاضلاب توصیه می شود.

کلید واژه ها: آب / ایزوترم جذب / پامیس / فنل / مس

مقدمه:

بسیاری از متخصصین محیط زیست را به خود جلب کرده است. فنل یک ترکیب آلی حلقوی می باشد که سمیت بالایی داشته و در پسابهای کشاورزی به دلیل استفاده از برخی آفت کش ها و پسابهای صناعی مانند، صنایع دارویی و پتروشیمی و نیروگاه های با سوخت زغال سنگ

امروزه وجود ترکیبات مقاوم و سمی در محیط زیست مشکلات بهداشتی و زیست محیطی فراوانی را موجب شده اند. از جمله این ترکیبات می توان به فنل اشاره کرد که به دلیل اثرات سمی و خاصیت سرطان زایی خود، توجه

** دانشجویان گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان

** عضو هیأت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان (asgari@umsha.ac.ir)

*** کارشناس ارشد بهداشت محیط

**** کارشناس بهداشت محیط

ایران و بخصوص در منطقه قروه کردستان، در این مطالعه کارایی نمونه اصلاح شده سنگ پامیس توسط فلز مس به عنوان جاذب فنل از محیط های آبی مورد بررسی قرار گرفته است.

روش کار:

در این مطالعه تجربی نمونه های سنگ پامیس به عنوان ماده جاذب از منطقه قروه واقع در استان کردستان تهیه گردید. مواد شیمیایی مصرفی نیز از شرکت های مرک و آلدیچ تهیه شد و کلیه آزمایشات براساس روش های استاندارد ذکر شده در مآخذ (۱۳) انجام گرفت.

به منظور انجام آزمایشات، ابتدا محلول مادر با غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر فنل با اضافه کردن ۱ گرم فنل در آب مقطر تهیه و سپس جهت رسم منحنی استاندارد نمونه های با غلظت های ۲۰، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر از آن تهیه گردید. سنجش غلظت فنل در نمونه های استاندارد و مجهول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzo-1700, Japan) UV/VIS و رسم منحنی کالیبراسیون در طول موج ۵۰۰ nm انجام شد (۱۳). در این مطالعه تاثیر پارامترهای مختلف از قبیل pH، زمان تماس، غلظت آلاینده و دوز جاذب در فرآیند جذب مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه شرایط بهینه ایزوترمهای جذب تعیین گردید. در زیر مراحل انجام آزمایش بصورت جداگانه شرح داده شده است:

تهیه، آماده سازی و تعیین مشخصات ساختاری پامیس: نمونه سنگ پامیس تهیه شده ابتدا خرد شد و با استفاده از الک های استاندارد ASTM با اندازه ی مش ۲۰ (۸۵/۰ میلی متر) دانه بندی گردید. نمونه های حاصل با آب مقطر چندین بار به خوبی شسته شدند و پس از خشک شدن در آون به مدت ۲۴ ساعت در محلول اسید کلریدریک ۱٪ قرار داده شدند. در مرحله بعدی، نمونه ها با آب مقطر به خوبی شسته شدند و به مدت ۱۴ ساعت در داخل آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک شدند. پس از انجام این مراحل، نمونه ها در محلول ۰/۰۱ مولار سولفات مس قرار داده شدند و توسط هیدروکسید سدیم، pH محلول در محدوده ۸/۵ تنظیم گردید. در مرحله بعدی، مخلوط حاصل به مدت ۷۲ ساعت توسط دستگاه شیکر به هم زده شد و پس از آن در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس و به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید. در مرحله

وجود دارد (۳-۱). فنل معمولاً در فاضلاب صنایع شیمیایی که در ساخت رزینها، پلاستیکها، فایبر، چسب، آهن، فولاد، آلومینیوم، سرب و شوینده ها استفاده میشوند وجود دارد. همچنین در ضد عفونی کننده ها، پاک کننده ها، سیگار و آگزوز وسایل نقلیه یافت شده و در تهیه محصولات خانگی، بیوسایدها و رنگها استفاده می شود (۴). غلظتهای خیلی بالا از فنل در صورتی که بلع، استنشاق یا جذب پوست شود، می تواند باعث مرگ گردد.

ورود فنل به منابع آب آشامیدنی که با ترکیبات کلره گندزدایی شده اند، سبب ایجاد ترکیبات کلرو فنل می شود. این مواد ایجاد طعم و بوی نامناسب در آب کرده و آب را برای مصرف نامناسب می سازند (۳، ۱). سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا مقدار فنل موجود در آب آشامیدنی را برای بزرگسالان در طول حیات آنها در حدود ۴ میلی گرم بر لیتر و مقدار آن را در آب سطحی ۳/۵ میلی گرم بر لیتر پیشنهاد (۵) و موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران غلظت فنل بر حسب فنل در آب آشامیدنی را ۰/۵ میکروگرم بر لیتر تعیین کرده است (۶).

روش های متعددی از قبیل جذب سطحی (۷)، اکسیداسیون مرطوب با پراکسید (۸) اکسیداسیون مرطوب با هوا (۹) ازن زنی (۱۰) و غیره به منظور حذف فنل از آب مورد استفاده قرار گرفته است که هر کدام از این روش ها دارای مزایا و معایبی می باشند. یکی از فرآیندهای مهم در این زمینه فرآیند جذب می باشد. تا به امروز در فرآیند جذب از مواد مختلفی مانند کربن فعال، سیلیکا و آلومینای فعال (۱۱) به عنوان جاذب استفاده شده است ولی مشکلات مختلف از قبیل هزینه بالا و امکان فعال سازی و احیای جاذب که از نظر اقتصادی قابل توجه می باشد، محققان را بر آن داشته تا در پی استفاده از مواد جاذب جدید باشند. همچنین اصلاح سطح مواد جاذب از طرق مختلف نیز باعث تغییر بار سطحی و افزایش راندمان این جاذب ها گردیده است. در این خصوص از ترکیبات مختلفی از قبیل فلزات، ترکیبات سورفاکتانتها و غیره استفاده می شود (۱۲). سنگ پامیس یک سنگ آتشفشانی سبک و بسیار متخلخل می باشد که در حین فعالیت های آتشفشانی شکل گرفته است. امکان تهیه آسان و ارزان این سنگ و همچنین پایین بودن وزن مخصوص آن باعث شده است که در بخش های مختلف مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به وفور معادن پامیس در

و مقادیر مختلفی از جاذب (۰/۲۵ تا ۱ گرم) به آنها اضافه شد. نمونه ها به مدت ۱۰ دقیقه به هم زده شد و طبق مراحل قبل غلظت باقی مانده فنل در آنها اندازه گیری گردید. در این مطالعه جهت تعیین ظرفیت جذب از رابطه ۱ استفاده شده است.

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

که در آن :

q_e : ظرفیت جذب (mg / g)

C_0 : غلظت اولیه ماده جذب شونده در محلول (mg/l)

C_e : غلظت تعادلی نهایی ماده جذب شونده بعد از برقراری

تعادل (mg/l)

V : حجم مایع در داخل راکتور (l)

m : جرم جاذب (g)

نتایج:

مشخصات ساختاری پامیس: تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه پامیس اولیه و اصلاح شده با استفاده از مس با بزرگنمایی ۵۰۰۰ تهیه گردید. نتایج حاصل نشان داد که اصلاح پامیس باعث افزایش خلل و فرج و سطوح مناسب برای جذب می شود. نتایج حاصل از XRD نیز نشان می دهد که قسمت عمده ساختار پامیس از کوارتز با فرمول شیمیایی SiO_2 تشکیل شده است که این ساختار بر مبنای آزمایش و مقایسه پیک موجود در منحنی با استفاده از کارت های استاندارد تعیین گردیده است. نتایج حاصل از XRF نمونه نیز ترکیب شیمیایی پامیس را سیلیکا (۷۳/۹۸٪)، آلومینا (۱۴/۱۲٪)، اکسیدهای پتاسیم، سدیم و غیره نشان می دهد.

pH_{PZC} یکی از مهمترین پارامترهایی است که در فرآیند های جذب مورد استفاده قرار می گیرد. pH_{PZC} نشان دهنده نقطه ای است که در آن بار در سطح ماده جاذب صفر می باشد و در pH های بالاتر از آن سطح جاذب دارای بار منفی بوده و در پایین تر از آن سطح جاذب دارای بار مثبت می باشد (۱۵). در این مطالعه pH_{PZC} نمونه پامیس اصلاح شده برابر با ۷/۷ تعیین گردید.

تاثیر پارامترهای موثر بر فرآیند جذب: بررسی اثر زمان تماس و pH محلول بر حذف فنل: نتایج نشان می دهد که با افزایش زمان تماس میزان جذب فنل توسط پامیس

آخر، مخلوط حاصل با آب مقطر شسته شده و دوباره در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت نگهداری گردید (۱۲).

همچنین pH_{PZC} (pH of point of zero charge) به عنوان یکی از خصوصیات مهم ماده جاذب تعیین گردید. جهت تعیین pH_{PZC} ۱۸۰ میلی لیتر از محلول نمک طعام ۰/۰۱ مولار را داخل ۶ ارلن ۵۰ میلی لیتری (در هر ظرف ۳۰ میلی لیتر) ریخته و pH محلول ها در محدوده ۲ تا ۱۲ تنظیم گردید. سپس ۰/۵ گرم از نمونه ی پامیس اصلاح شده به هر کدام از ارلن ها اضافه شد و ارلن ها به مدت ۲۴ ساعت بر روی میکسر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه قرار داده شدند. سپس نمونه ها صاف شده و pH نهایی هر نمونه مورد اندازه گیری قرار گرفت (۱۴). جهت تعیین نقطه pH_{PZC} پامیس، نسبت مقادیر اولیه به مقادیر نهایی pH محلول رسم گردید.

برای تعیین خصوصیات ظاهری و ساختاری پامیس از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) Scanning Electron microscope و از تکنیکهای پراکنش پرتو ایکس X-Ray diffraction (XRD) و X-Ray fluorescence شرکت فیلیپس استفاده شد.

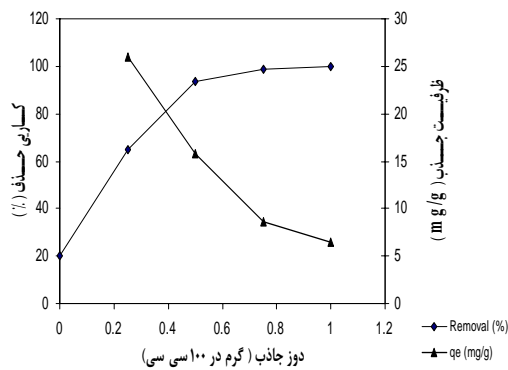
بررسی تاثیر پارامترهای موثر بر فرآیند جذب: تاثیر زمان تماس و pH در فرآیند جذب: به منظور بررسی تاثیر زمان تماس و pH در فرآیند جذب نمونه های فنل با غلظت ثابت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر تهیه شد. pH نمونه ها بر روی ۳، ۷ و ۱۲ با استفاده از اسید و سود تنظیم شد. بعد از اختلاط در فواصل زمانی مختلف ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ دقیقه نمونه برداری و غلظت فنل باقیمانده اندازه گیری شد. در این مرحله دوز جاذب و حجم نمونه به ترتیب ۰/۵ گرم و ۱۰۰ سی سی بود.

تاثیر غلظت اولیه فنل در فرآیند جذب: ۱۰۰ میلی لیتر محلول فنل با غلظت های مختلف (۲۵ تا ۴۰۰ میلی گرم در لیتر) با $pH=3$ و مقدار جاذب ثابت (۰/۵ گرم) تهیه و در دمای ثابت ($25-20^\circ C$) با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه با دستگاه شیکر اربیتال (مدل GFL 3017) به مدت ۱۰۰ دقیقه بهم زده شد. سپس غلظت فنل باقیمانده اندازه گیری شد.

تاثیر دوز جاذب در فرآیند جذب: در این مرحله به منظور بررسی تاثیر دوز جاذب در فرآیند جذب، نمونه های ۱۰۰ میلی لیتری با غلظت ثابت (۱۰۰ میلی گرم در لیتر) تهیه

نتایج نشان داد که پامیس اصلاح شده غلظت های ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر فنل را ۱۰۰٪ حذف می کند و با افزایش غلظت از ۱۰۰ میلی گرم در لیتر تا ۴۰۰ میلی گرم در لیتر راندمان حذف کاهش می یابد. همانطوریکه نتایج نشان می دهد ظرفیت جذب با افزایش غلظت از ۲۵ میلی گرم در لیتر تا ۱۰۰ میلی گرم در لیتر افزایش یافته و بعد از آن ظرفیت جذب ثابت باقی مانده است.

تاثیر دوز جاذب بر روی حذف فنل: نتایج این مرحله نشان داد که با افزایش جرم جاذب از ۰/۲۵ گرم به ۱ گرم میزان فنل باقی مانده در محلول از ۴۰ میلی گرم در لیتر به ۱ میلی گرم در لیتر کاهش می یابد (شکل ۳). هرچند با افزایش میزان جاذب، فنل در محیط مقادیر کمتری را نشان می دهد اما محاسبات نشان داد با افزایش میزان جاذب مقدار آلاینده جذب شده در واحد جرم جاذب کاهش می یابد به طوریکه بر اساس این محاسبات دوز مناسب جاذب در حد ۰/۵ گرم تعیین و در سایر بخشهای مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.



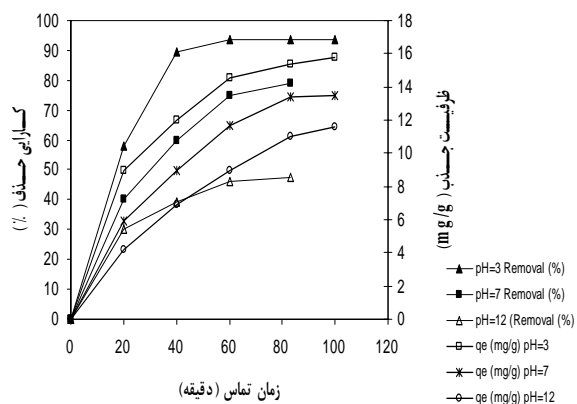
شکل ۳: تاثیر دوز جاذب بر فرآیند جذب (غلظت فنل، ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، زمان تماس ۱۰۰ دقیقه)

– ایزوترم های جذب: در این مطالعه از ایزوترم های لانگمیر و فرندلیخ جهت تحلیل جذب فنل توسط پامیس اصلاح شده استفاده گردید. به همین منظور در مراحل جداگانه ۱۰۰ میلی لیتر از نمونه با غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، زمان تماس ۱۰۰ دقیقه و $pH=3$ در تماس با ۷ وزن مختلف پامیس بین های ۰/۱ تا ۱ گرم قرار گرفته و در انتها غلظت باقیمانده فنل مورد اندازه گیری قرار گرفت. به منظور تعیین ایزوترم های جذب نیز از شکل خطی مدلهای ایزوترمی لانگمیر و فرندلیخ استفاده گردید.

شکل خطی مدل لانگمیر (۱۶) با استفاده از رابطه ۲

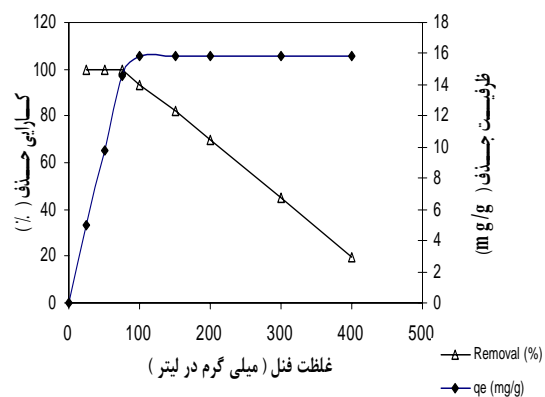
بیان می گردد:

افزایش یافته و تقریباً بعد از مدت ۱۰۰ دقیقه به حالت تعادل رسیده و بعد از این زمان میزان جذب تقریباً ثابت باقی می ماند. این نتایج همچنین نشان می دهد که با افزایش pH میزان حذف فنل کاهش یافته است (شکل ۱). در شرایط pH بهینه ($pH=3$) ظرفیت جذب با افزایش زمان تماس (۲۰ تا ۱۰۰ دقیقه) از ۹ mg/g به ۱۵/۸ mg/g افزایش یافته و بعد از مدت ۱۰۰ دقیقه تعادل برقرار می گردد، در چنین شرایطی نیز راندمان حذف از ۵۸٪ به ۹۳/۵٪ افزایش می یابد. بر این اساس در ادامه جهت بررسی تاثیر سایر پارامترهای موثر بر فرآیند از زمان تماس ۱۰۰ دقیقه و $pH=3$ استفاده گردیده است.



شکل ۱: تاثیر pH و زمان تماس بر روی کارایی جذب فنل (غلظت فنل ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و دوز جاذب ۰/۵ گرم)

بررسی اثر غلظت اولیه فنل بر کارایی حذف: نتایج حاصل از بررسی اثر غلظت اولیه فنل بر کارایی حذف در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲: تاثیر غلظت اولیه فنل بر روی فرآیند جذب (دوز جاذب ۰/۵ گرم پامیس، $pH=3$ ، زمان تماس ۱۰۰ دقیقه)

فلزی در محیط های آبی، باعث تشکیل گروه های عامل سطحی شده که نقش بسیار موثری در حذف آلاینده ها از آب دارد (۱۲،۱۶). در مطالعات انجام شده توسط اکبال و همکاران و کیتیس و همکاران نیز ترکیب اصلی پامیس SiO_2 گزارش گردیده است (۱۲،۱۷) که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد.

pH یکی از فاکتور های مهمی است که از طریق تاثیر بر ساختار آلاینده و بار سطحی جاذب در فرآیند جذب تاثیر می گذارد (۱۵). همانطوریکه نتایج نشان می دهد، با افزایش pH کارایی حذف کاهش یافته است به طوریکه در دامنه $\text{pH} = 12$ حداقل جذب فنل بر روی پامیس بعد از ۱۰۰ دقیقه زمان تماس صورت گرفته است. علت این پدیده به ساختار آنیونی فنل و pH_{zpc} پامیس (۷/۷) ارتباط دارد. بررسی ها نشان می دهد در pH بالاتر از pH_{zpc} بار الکتریکی سطحی غالب در سطح جاذبها به صورت بار منفی است بر این اساس و با توجه به اینکه بار سطحی پامیس در pH بالاتر از ۷/۷ منفی است، با افزایش pH تعداد بارهای منفی افزایش یافته و با توجه به ماهیت آنیونی فنل در این شرایط جاذبه الکترو استاتیکی میان جاذب و آلاینده کاهش یافته و راندمان جذب کاهش می یابد (۱۸،۱۹). این نتایج با مطالعات انجام شده توسط سایر محققین مطابقت دارد. بانات و همکارانش در سال ۲۰۰۰ گزارش کرده اند که درصد جذب فنل بر روی بنتونیت با افزایش pH کاهش می یابد. نتایج مشابهی توسط وارگس و همکارانش گزارش شده است (۱۸،۱۹). این محققین نیز تاثیر pH در افزایش جذب آلاینده بر سطح جاذب را به ارتباط pH و بار الکتریکی سطح جاذب نسبت داده اند. این محققین گزارش کرده اند که در pH پایین تر از pH_{zpc} سطح جاذب توسط عوامل کربوکسیلیک حاوی پروتون احاطه می شده و این شرایط باعث افزایش بار مثبت بر سطح جاذب میشود. با توجه به ماهیت آنیونی فنل ($\text{pka} = 10$) در این شرایط جاذبه الکترو استاتیکی میان جاذب و آلاینده افزایش یافته و راندمان حذف افزایش می یابد، این پدیده در مورد جاذب مورد استفاده در این مطالعه نیز حاکم می باشد. هرچند یافته های این محققین از نظر ظاهری با یافته های این مطالعه متفاوت است اما پایه و اساس تاثیر pH در روند جذب فنل کاملاً مطابقت دارند.

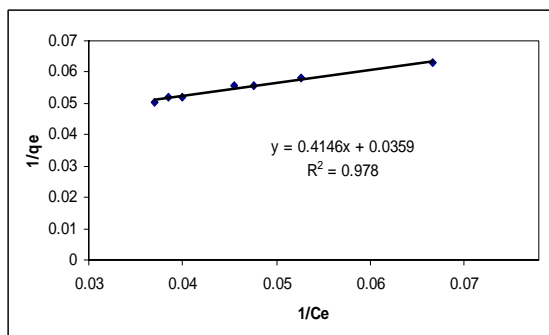
با افزایش زمان ظرفیت جذب افزایش یافته و با افزایش زمان تا ۱۰۰ دقیقه به حداکثر مقدار خود رسیده

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a} C_e \quad (2)$$

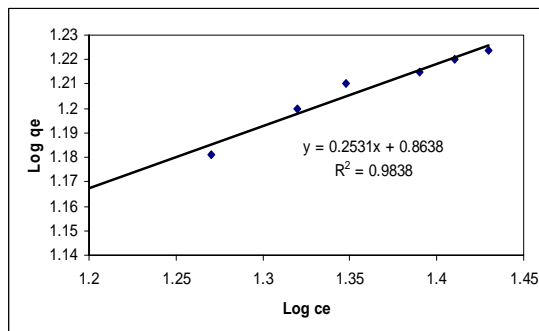
با ترسیم C_e/q_e (بر روی محور Y) نسبت به غلظت در نقطه تعادل یعنی C_e (بر روی محور X)، خط راستی حاصل خواهد شد که دارای شیب $1/n$ و عرض از مبدا $1/ab$ می باشد. شکل خطی رابطه فروندلیخ (۱۷) نیز با استفاده از رابطه ۳ بیان می شود:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} (\log C_e) \quad (3)$$

با ترسیم مقادیر $\log q_e$ (بر روی محور Y) نسبت به مقادیر $\log C_e$ (بر روی محور X) خط راستی حاصل خواهد شد که دارای شیب $1/n$ و عرض از مبدا $\log K_f$ می باشد (شکل ۴). نتایج این مرحله از مطالعه نشان داد که فرآیند جذب فنل بر روی جاذب با ایزوترم فرندلیخ تطابق بیشتری دارد ($R^2 > 0.984$).



الف: ایزوترم لانگمیر



ب: ایزوترم فروندلیخ

شکل ۴: ایزوترم های جذب فنل بر روی پامیس اصلاح شده

بحث:

تعیین ترکیبات موجود در ساختار یک جاذب یکی از مهمترین نکات در فرآیند جذب بوده که بایستی مورد توجه قرار گیرد. در این مطالعه نتایج بررسی اجزاء موجود در ساختار پامیس نشان داد که ترکیب غالب در ساختار این جاذب کوارتز با فرمول SiO_2 می باشد که حدود ۷۴ درصد ساختار آن را تشکیل می دهد. وجود این اکسیدهای

موجود در سطح جاذب میزان جذب در واحد جرم جاذب کاهش می یابد. این نتایج با یافته های مطالعه حاضر مطابقت دارد. همانطوریکه نتایج نشان داد با افزایش دوز جاذب از ۰/۲۵ گرم به ۱ گرم میزان فنل جذب شده در واحد جرم جاذب از ۲۶mg/g به ۶/۵ mg/g کاهش یافته است.

در مطالعات مربوط به جذب آلاینده ها بر روی جاذبهای مختلف تعیین ایزوترم جذب و ظرفیت جاذب مورد استفاده از مهمترین مشخصه هایی است که باید مورد توجه قرار گیرد. در این مطالعه بعد از تعیین زمان تماس مناسب، دوز جاذب و pH جذب مشخصه های مرتبط با ایزوترم جذب آلاینده مورد نظر بر روی پامیس اصلاح شده تعیین گردید. تعیین ایزوترم جذب با استفاده از معادلات عمومی فروندلیچ و لانگمیر بررسی شد. بررسی ضرائب همبستگی منحنی های این دو مدل جذب نشان می دهد که جذب فنل بر روی پامیس اصلاح شده در ایزوترم جذب فروندلیچ تطابق بهتری را دارد. ضریب n چنانچه در رنج بین ۱ تا ۱۰ باشد تابع ایزوترمی از نظر ریاضی مطلوب می باشد و $\frac{1}{n}$ (معادله ۳) مقیاسی از شدت جذب می باشد، نتایج $\frac{1}{n}$ نشان می دهد که نوع ایزوترم irreversible ($\frac{1}{n}=0$)، favorable ($0 < \frac{1}{n} < 1$) و unfavorable ($\frac{1}{n} > 0$) می باشد (۲۱). با توجه به اینکه مقادیر n بدست آمده در جذب فنل توسط پامیس اصلاح شده مطابق با فرمول خط برابر ۳/۹۵ می باشد و $\frac{1}{n}$ برابر ۰/۲۵ از اینرو مدل ایزوترمی فروندلیخ از نظر ریاضی و شدت جذب مطلوب می باشد.

نتایج این مطالعه با نتایج پوتگیت و همکاران همخوانی دارد (۲۱). و با برخی از مطالعات انجام شده (۲۰) تا حدودی متفاوت می باشد. براساس نتایج این مطالعه و مطالعات مشابه می توان چنین نتیجه گیری کرد که یک مدل واحدی نمی توان برای جذب آلاینده ها توسط جاذبها ارائه نمود و مدل جذب قابل ارائه تابعی از نوع آلاینده و جاذب مورد استفاده می باشد.

نتیجه نهایی:

نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان می دهد که پامیس اصلاح شده با مس از قابلیت خوبی در حذف فنل

است بعد از این مدت مقدار جذب ثابت ماند. این نتایج با یافته های برخی از محققین تفاوت دارد. قادر در سال ۲۰۰۲ جذب فنل را بر روی کربن فعال بررسی و گزارش کرده است که جذب فنل، بر روی جاذب مطالعه شده در مدت زمان ۱۵ دقیقه به تعادل می رسد که با یافته های این مطالعه متفاوت است (۲۰). علت این امر برقراری زمان تعادل در جذب فنل بعد از ۱۰۰ دقیقه بوده است. تفاوت در نتایج این مطالعه با یافته های سایر محققین احتمالا به دلیل تفاوت ساختاری جاذبهای مورد استفاده شده می باشد. بنابراین می توان چنین نتیجه گیری کرد که طولانی بودن زمان برقراری تعادل در جذب فنل بروی پامیس اصلاح شده به این دلیل است که بر خلاف کربن فعال که در ناحیه سطحی جذب صورت گرفته، ممکن است جذب بروی پامیس اصلاح شده از طریق پخش در خلل و فرج صورت گرفته که نسبت به جذب بر روی نواحی سطحی جاذب کندتر می باشد (۱۵،۱۶).

این مطالعه نشان داد که مقدار ظرفیت جذب $(q_e = \text{mg/g})$ با افزایش غلظت فنل اولیه افزایش یافته و حداکثر ظرفیت جذب در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر حاصل شده است. نتایج نشان می دهد که مقدار جذب فنل تابعی از غلظت اولیه آن می باشد. کارایی حذف غلظت های اولیه بالا بوده اما با گذشت زمان کارایی حذف در مورد نمونه های با غلظت های بالاتر کاهش می یابد. علت این امر پر شدن ظرفیت جذب و عدم کارایی آن در غلظت های بالاتر می باشد. نتایج بدست آمده در این مرحله با تحقیقات وارگس و همکاران نشان همخوانی دارد (۱۹).

همانطوریکه در بخش نتایج نشان داده شده است با افزایش دوز جاذب راندمان حذف فنل از ۶۵٪ تا ۹۹٪ افزایش می یابد. این افزایش جذب فنل در میزان جاذب حدود ۰/۵ گرم به حالت تعادل رسیده است. افزایش جذب فنل با افزایش مقدار جاذب در نتیجه افزایش مساحت سطحی فعال و موثر در جذب می باشد (۱۸،۲۰). نتایج نشان داد هرچند که میزان فنل باقی مانده با افزایش دوز جاذب کاهش یافته است، اما میزان فنل جذب شده در واحد جرم جاذب با افزایش دوز جاذب کاهش یافت. چنین نتایجی توسط قادر و همکارانش نیز تایید شده است (۲۰). این محققین گزارش کرده اند که هرچند افزایش دوز جاذب باعث افزایش راندمان حذف آلاینده (فنل) می گردد، اما به دلیل غیر اشباع ماندن برخی از نقاط فعال

Rodríguez JJ. Reaction pathway of the catalytic wet air oxidation of phenol with a Fe/activated carbon catalyst. *Appl Catal B-Environ* 2006;206: 16-67.

10. Carbajo M, Beltran FJ, Medina F, Gimeno O, Rivas FJ. Catalytic ozonation of phenolic compounds: the case of gallic acid. *Appl. Catal B-Environ.* 2006; 67: 177-86.
11. Roostaei N, Handan TF. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption. *Environ Manag* 2004; 70: 157-164.
12. Kitis M, Karakaya E, Yigit NO, Civelekoglu G, Akcil A. Heterogeneous catalytic degradation of cyanide using copper-impregnated pumice and hydrogen peroxide. *J Water Res* 2005;39:1652-1662 .
13. Glesceria LA, Greenberg E, Eaton AD. Standard methods for the examination of water and wastewater. 31st ed. Washington DC: APHA, 2005.
14. Dastgheib SA, Karanfil T, Cheng W. Tailoring activated carbons for enhanced removal of natural organic matter from natural waters. *Carbon* 2004; 42: 547-557.
15. Ong ST, Lee CK, Zainal Z. Removal of basic and reactive dyes using ethylenediamine modified rice hull. *Bioresour Technol* 2007 ; 15: 2792-9.
16. Ghanizadeh Gh, Asgari G. Removal of Methylene Blue Dye from Synthetic Wastewater with Bone Char. *Iran J Health Environ* 2009; 2(2); 104-113.
17. Akbal F. Adsorption of basic dyes from aqueous solution onto pumice powder. *J. Colloid Interface Sci* 2005; 286:455-458.
18. Banat FA, Al-Bashir B, Al-Asheh S, Hayalneh O. Adsorption of phenol by bentonite. *Environ Pollut* 2000; 107:391-398.
19. Varghese S, Vinod VP. Kinetic and equilibrium characterization of phenols adsorption onto a novel activated carbon in water treatment. *Indian J Chem Technol* 2004; 11: 825-833.
20. Qadeer RA. Study of the Adsorption of Phenol by Activated Carbon from Aqueous Solutions. *Turk J Chem* 2002; 26: 357 -361.
21. Potgieter JH, Bada SO, Potgieter-Vermaak SS. Adsorptive removal of various phenols from water by South African coal fly ash. *Water SA* 2009; 35(1): 89-96.

برخوردار است. pH نقش موثری در جذب فنل توسط پامیس اصلاح شده داراست. جذب فنل در pH های پایین بیشتر و با افزایش pH میزان آن کاهش می یابد، به صورتی که راندمان حذف از ۹۳٪ در pH=۳ به ۳۳٪ در pH=۱۲ کاهش می یابد. همچنین نتایج نشان داد با افزایش زمان تماس، غلظت اولیه فنل و دوز پامیس اصلاح شده نیز راندمان حذف فنل افزایش می یابد. بنابراین پامیس اصلاح شده با مس، به دلیل عملکرد کاتالیستی یون مس می تواند در حذف فنل عملکرد مطلوبی داشته باشد.

منابع :

1. Busca G, Berardinelli S, Resini C, Arrighi L. Technologies for the removal of phenol from fluid streams: A short review of recent developments. *J Hazard Mater* 2008;160:265-288.
2. Chaichanawong J, Yamamoto T, Ohmori T. Enhancement effect of carbon adsorbent on ozonation of aqueous phenol. *J Hazard Mater* 2009; 175: 673-679.
3. Manojlovic D, Ostojic DR, Obradovic BM, Kuraica MM, Krsmanovic VD, Puric J. Removal of phenol and chlorophenols from water by new ozone generator. *Desalination* 2007; 213 (1-3): 116- 122.
4. Toxic air contaminant identification, list summaries, ARB/SSD/SED, Phenol, Sep. 1997; 767-770.
5. United State Environmental Protection Agency. Federal Register. Washington DC, U.S. EPA 1987,52, 131,25861-25962.
6. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Quality standards of drinking water. Tehran, ISIRI 1997; (1053).
7. Tor A, Cengeloglu Y, Aydin ME, Ersoz M. Removal of phenol from aqueous phase by using neutralized red mud. *Colloid Interf Sci* 2006; 300:498-503.
8. Zazo JA, Casas JA, Mohedano AF, Rodriguez JJ. Catalytic wet peroxide oxidation of phenol with a Fe/active carbon catalyst. *Appl Catal B-Environ* 2006; 65: 261-8.
9. Quintanilla A, Casas JA, Mohedano AF,