

بررسی میزان جذب زیستی فنل و آنیلین توسط هسته خرما از محلول های آبی

عثمان سعیدی کیا^۱، فرزانه بادپا^۲، فرزانه برهانی^{۳*}، سلیمه مرتضوی^۴، هدایت الله محمدزائی^۵، اشرف سادات دهقانی^۶، طاهره دادگر^۷، مریم رضایی^۸، فاطمه دره گیرایی^۹، الهام دامنی^{۱۰}، نسیرین رنجبر^{۱۱}

۱ و ۵. دانشجوی کارشناسی ارشد بیوشیمی، دانشگاه علوم پزشکی ایرانشهر، ایرانشهر، ایران

۲. گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۳ و ۴. کارشناس علوم آزمایشگاهی، دانشگاه علوم پزشکی ایرانشهر، ایرانشهر، ایران

۶. دانشجوی کارشناس ارشد آموزش بهداشت و ارتقاء سلامت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران

۷. دانشگاه آزاد نیشابور، مشهد، ایران

۸. کارشناس ارشد بیوشیمی، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران

۹. دکترای حرفه ای دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران

۱۰. کارشناس ارشد آموزش بهداشت و ارتقاء سلامت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران

۱۱. کارشناس ارشد زیست شناسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۲۵)

چکیده

باتوجه به استفاده روزافزون از فرایندهای جذب سطحی در حذف آلاینده های محیط زیست، انتخاب یک ماده مناسب از نظر فنی و اقتصادی به عنوان جاذب، یکی از دغدغه های محققین این رشته بوده است. هدف از این مطالعه بررسی میزان حذف فنل و آنیلین با استفاده از هسته خرما اصلاح شده از محلول های آبی می باشد. در این مطالعه بنیادی-کاربردی با توجه به اهداف در نظر گرفته شده در مقیاس آزمایشگاهی و در سیستم ناپیوسته، از خاکستر خرما اصلاح شده به عنوان یک جاذب به میزان ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و یک گرم استفاده شد. تغییرات اثر غلظت فنل و آنیلین، pH، زمان تماس و غلظت جاذب مورد بررسی قرار گرفت. کلیه ی آزمایشات براساس روش استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب انجام و از نرم افزار Excel برای تجزیه و تحلیل داده ها استفاده شد. نتایج آزمایشات نشان داد که خاکستر هسته خرما اصلاح شده راندمان بالایی در حذف فنل و آنیلین داشته و بازده جذب سطحی فنل و آنیلین با افزایش مقدار جاذب، نسبت مستقیم دارد و بهترین راندمان جذب با مقدار جاذب یک گرم و pH=۶ با غلظت فنل ۱۵۰ میلی گرم در لیتر و زمان تماس ۳۰ دقیقه pH=۴ با غلظت آنیلین ۵۰ میلی گرم در لیتر در زمان تماس ۴۵ دقیقه بدست آمد.

کلیدواژگان

آنیلین، خاکستر، فنل، هسته خرما.



مقدمه

ترکیبات فنل و آنیلین به عنوان یک گروه از مواد آلی دارای اهمیت ویژه ای هستند (۱). آلودگی محیط به این آلاینده‌های خطرناک منجر به آلودگی منابع آب آشامیدنی شده و در مدت زمان طولانی سلامتی انسان و سایر موجودات زنده را به خطر می‌اندازد (۲). امروزه فنل و آنیلین در غلظت‌های مختلف از طریق فاضلاب صنایع پتروشیمی، تولید رزین، رنگ، پلاستیک، داروسازی، صنایع فولاد، نساجی، چوب و خمیر کاغذ وارد محیط می‌شوند (۳). ترکیبات فنلی علاوه بر خطرات بهداشتی متعدد به دلیل ایجاد طعم و بو حائز اهمیت هستند، لذا فنل در طبقه‌بندی آلاینده‌های دارای اولویت و خطرناک در آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC International Agency for the research on cancer) و در فهرست سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا معرفی شده است (۴). آنیلین، یک مایع روغنی بی‌رنگ، آتش‌زا و دارای یک حلقه‌ی بنزنی و یک باند NH_2 می‌باشد (۵). فنل یک ماده شیمیایی به فرمول C_6H_5OH است و زمانی که این ماده در محیط زیست رها شود به مدت طولانی باقی نمی‌ماند، اما اگر به طور مداوم در محیط زیست تخلیه گردد، زمان حضور آن در آب، خاک و هوا بالا می‌رود. آنیلین در زمان رها شدن به محیط‌های آبی، در چرخه زندگی موجودات آبی اختلال ایجاد می‌کند. همچنین موجب ایجاد تومورهای سرطانی در حیوانات شده و خطر سرطان مثانه را در انسان افزایش می‌دهد و همچنین در خون به سادگی واکنش داده و هموگلوبین را به مت هموگلوبین تبدیل کرده، بنابراین مانع جذب اکسیژن و بروز بیماری مت هموگلوبینا می‌گردد (۶). همچنین تماس مستقیم با آنیلین می‌تواند موجب تحریکات چشم و پوست ایجاد گردد (۷). مطابق توصیه سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، حداکثر غلظت مجاز

آلاینده آنیلین در آب برابر ۵ میکروگرم ذکر شده است. بطور کلی روش‌های ارائه شده در منابع علمی جهت حذف فنل و آنیلین از پساب، استخراج حلال و تجزیه بیولوژیکی (۸)، اسمز معکوس (۹) و جذب توسط کربن فعال می‌باشند. فرایند جذب توسط کربن فعال دارای بازده حذف بالا بوده و در شرایط وجود سمیت، بازده حذف کاهش نیافته (۱۰) و از طرفی فرایند جذب ساده، سریع و با کارایی بالایی است (۱۱). به علت قیمت بالای کربن فعال و هزینه بالای احیاء آن، کاربرد آن در کشورهای در حال توسعه و کم درآمد محدود بوده و این امر باعث شده محققین به فکر استفاده از جاذب‌های اقتصادی و در عین حال موثر باشند (۱۲). استفاده از خاکستر به عنوان یک جاذب ارزان قیمت جهت حذف ترکیبات آلی توصیه شده و با توجه به هزینه پایین آن به عنوان جایگزینی مناسبی به جای کربن فعال استفاده می‌شود (۱۳). خاکستر را می‌توان از طیف وسیعی از مواد دارای کربن مانند: چوب، زغال سنگ، پوست گردو، هسته میوه‌ها، زائدات کشاورزی و... تولید کرد (۱۴). درخت خرما در بسیاری از کشورهای جهان به طور فراوان یافت می‌شود. یک درخت خرما می‌تواند ماده ممکن است به طور متوسط ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم خرما تولید کند. وزن خوشه درخت خرما بالای ۱۲ کیلوگرم می‌باشد و تولید سالیانه هر درخت به ۲۷۰ کیلوگرم می‌رسد. درخت خرما از سن ۱۸ سالگی تا هنگامی که به سن ۳۰ سالگی می‌رسد محصول خوبی تولید می‌کند به صورت باور نکردنی درختان خرما برای بیش از ۱۰۰ سال هر ساله خرما تولید می‌کنند. که در بین زائدات حاصل از درخت خرما میزان تولید هسته در این کشورها بسیار بالا می‌باشد (۱۵). دامنه کاشت درخت خرما از غرب ایران یعنی استانهای کرمانشاه و ایلام آغاز می‌شود و در جنوب، استان‌های هرمزگان، خوزستان، بوشهر، کرمان و سیستان و بلوچستان را شامل شده و در شرق به جنوب استان خراسان می‌



رسد. همچنین در مناطق مرکزی کشور در بخش هایی مانند اصفهان و سمنان کاشته شده است. بر اساس آخرین اطلاعات منتشر شده توسط سازمان خوار و با کشاورزی (FAO) هم اکنون در جهان ۱۰۰ میلیون اصله نخل وجود دارد که ۲۰ تا ۲۴ میلیون اصله در ایران وجود دارد که تولید خرما سالیانه ۹۰۰ هزار تن در سال است (۱۶). بسته به نوع درخت خرما وزن هسته تقریباً ۸ تا ۱۵ درصد وزن میوه خرما را تشکیل می دهد. ترکیبات اصلی هسته خرما شامل: ۵ تا ۱۰ درصد رطوبت، ۵ تا ۷ درصد پروتئین، ۷ تا ۱۰ درصد چربی، ۱۰ تا ۲۰ درصد فیبر، ۷۸ درصد کربو هیدرات، ۱ تا ۲ درصد خاکستر می باشند (۱۲-۱۱). بنابراین هسته خرما می تواند به عنوان یک ماده خام برای تهیه خاکستر مورد توجه قرار گیرد (۱۷). مطالعات نشان می دهند که کربن تهیه شده از هسته خرما توانایی قابل توجهی در جذب انواع آلاینده ها دارد. جذب گازهایی مثل متان، نیتروژن، اتان، اتیلن، حذف فلزات سنگین مثل یون های کادمیوم cd^{2+} و یون های مس cu^{2+} ، حذف انواع رنگ ها مثل متیلن بلو، کاهش BOD، COD، TOC در آب و فاضلاب توسط خاکستر تهیه شده از هسته خرما به خوبی انجام شده است (۲۱ - ۱۸). نظر به اینکه ایران دارای ذخایر عظیمی از خرما می باشد و همچنین با توجه به مزایایی از قبیل در دسترس بودن، ارزان قیمت بودن و طبیعی بودن آن (از جهت کاهش آلودگی های زیستی در محیط) مطالعه حاضر با هدف بررسی میزان حذف فنل و آنیلین با استفاده از خاکستر هسته خرما اصلاح شده از محلول های آبی می باشد. همچنین در این تحقیق، اثر پارامترهای مختلف مانند pH محلول، غلظت اولیه آنیلین و فنل، دوز جذب و زمان تماس مورد بررسی قرار گرفت.

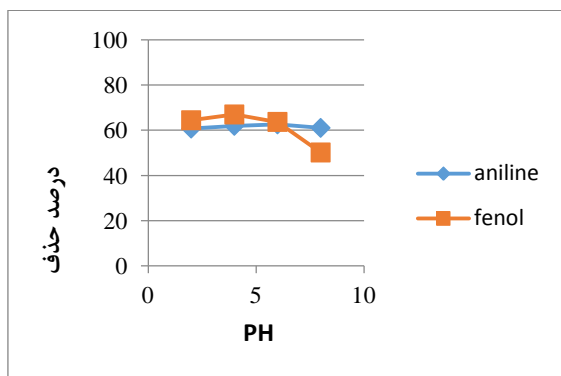
مواد و روش ها

در این مطالعه تجربی با استفاده از خاکستر خرما

اصلاح شده با اسید سولفوریک در حذف فنل و آنیلین از محلول های آبی مورد بررسی قرار گرفته و تاثیر پارامترهای مختلف از قبیل pH (۸، ۴، ۲، ۶)، زمان تماس (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۱۰۵)، غلظت آلاینده (۵۰، ۱۵۰، ۱۲۰، ۱۰۲، ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) و دوز جذب در فرآیند، جذب مورد بررسی قرار گرفت. برای ایجاد شرایط بهینه تماس از شیکر با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه استفاده شد. کلیه روش های به کار رفته در این مطالعه بر پایه روش های موجود در کتاب روش های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب صورت گرفته است (۲۲). به منظور انجام آزمایشات، ابتدا محلول مادر با غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر فنل و آنیلین در آب مقطر تهیه و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری SPECTROMETER_T80 مدل 752 ساخت ژاپن در طول موج حداکثر آنیلین ۱۹۹ نانومتر و فنل در طول موج ۵۰۰ nm (23) تعیین شد و رسم منحنی کالیبراسیون در این طول موج انجام گردید. به منظور تعیین اثر pH نمونه ها در فرآیند جذب، با استفاده از H_2SO_4 و $NaOH$ 0.1 نرمال تنظیم شد و نمونه توسط pH متر مدل UlteraBASIC UB-10 ساخت کشور آمریکا تنظیم شد. هسته های خرما تهیه شده چندین بار با آب مقطر به خوبی شسته شده و بعد از خشک شدن در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۶۰ دقیقه در داخل کوره قرار داده و خاکستر به دست آمده پس از خرد کردن توسط هاون چینی با کمک الک های مش استاندارد (ASTM) ۲۰ و ۱۰۰ الک گردید تا قطر دانه های خاکستر بین ۰/۱۵ تا ۰/۸۵ میلی لیتر بدست آمد. سپس به مدت ۲۴ ساعت در محلول اسید سولفوریک 1% قرار داده شد. در مرحله بعدی، نمونه ها با آب مقطر به خوبی شسته شدند و به مدت ۱۴ ساعت در داخل آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک شده، سپس در یک ظرف درب دار جهت جلوگیری از جذب رطوبت نگهداری شدند. به منظور بررسی تاثیر



ناشی از بارهای منفی روی جاذب و آنیلین، باعث کاهش جذب آنیلین می‌شود. تانگ و همکاران در حذف آنیلین با کربن فعال گرانولی، pH برابر ۶/۵ را به عنوان pH بهینه گزارش نموده‌اند. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد با افزایش pH، میزان جذب فنل در pH=۴ برابر ۶۶/۹۴ درصد می‌باشد. جذب فنل از محیط آبی کاملاً بستگی به pH محلول دارد، زیرا pH بر روی شارژ الکتریکی سطح جاذب اثر گذاشته و درجه یونیزاسیون فنل را تغییر می‌دهد. از طرفی جذب سطحی گونه‌های مختلف آنیونی و کاتیونی بر روی چنین جاذب‌هایی، بر اساس رقابت جذب سطحی یون‌های H⁺ و OH⁻ با ماده جذب شونده تعریف می‌شود. فنل یک اسید ضعیف است که در pH بالا مقدار جذب آن در رقابت با OH⁻ محیط اسیدی بازنده بوده و کاهش می‌یابد چرا که سطوح مثبت جاذب، تمایل چندانی به جذب این یون فنلی نخواهد داشت و دلیل آن دفع الکترواستاتیکی است (۲۴). این نتایج با مطالعات انجام شده توسط Banat و همکاران که گزارش کردند که درصد جذب فنل بر روی بنتونیت با افزایش pH کاهش می‌یابد مطابقت دارد (۲۵).



شکل ۱- اثر pH در حذف فنل و آنیلین توسط خاکستر هسته خرما اصلاح شده (غلظت اولیه ۵۰ میلی گرم بر لیتر و مقدار جاذب ۰/۶ گرم در ۱۰۰ لیتر)

تأثیر غلظت اولیه آنیلین و فنل

تأثیر غلظت‌های مختلف دو آلاینده در pH بهینه و زمان تماس ۶۰ دقیقه بر روی بازدهی جذب در شکل ۱

دوز جاذب در فرایند جذب، نمونه‌هایی با مقدار ثابت (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) تهیه و مقادیر مختلفی از جاذب (۰/۴ تا ۱ گرم) به آن‌ها اضافه گردید. سپس نمونه‌ها شیک شده و نهایتاً با استفاده از صافی واتمن صاف و مقدار باقی مانده فنل و آنیلین از طریق فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{درصد حذف} = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

که در آن C_i مقدار اولیه (mg/L) و C_f مقدار نهایی (mg/L) است. در این مطالعه جهت تعیین ظرفیت جذب از رابطه زیر استفاده شد.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (2)$$

در این معادله q_e ظرفیت جذب (mg/g)، C_0 مقدار اولیه فنل و آنیلین در محلول (mg/L)، C_e مقدار تعادلی نهایی فنل و آنیلین بعد از برقراری تعادل (mg/L)، V حجم مایع در داخل راکتور (L) و m جرم جاذب (g) می‌باشند.

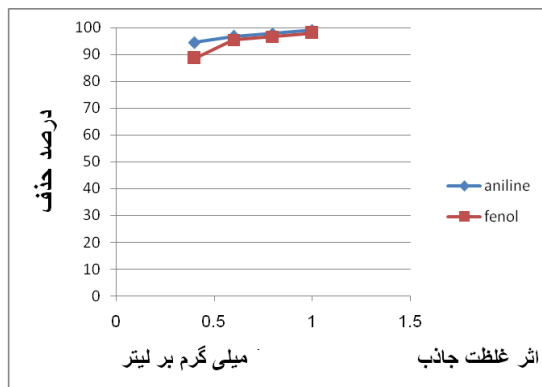
یافته‌ها

تأثیر pH بهینه جذب فنل و آنیلین

pH یکی از فاکتورهای مهمی است که از طریق تأثیر روی ساختار فنل و آنیلین و بار سطحی جاذب، در فرآیند جذب تأثیر می‌گذارد. تأثیر pH های مختلف (۲ تا ۸) بر کارایی جذب فنل و آنیلین روی هسته‌های خرما در زمان تماس ۶۰ دقیقه در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش pH از ۲ تا ۶ کارایی جذب آنیلین افزایش می‌یابد. حداکثر راندمان حذف آنیلین ۶۲/۵۵ درصد در pH برابر ۶ بوده است. در pH های خیلی پایین دافعه الکترواستاتیکی بین پروتون‌های سطح جاذب و مولکول‌های با بار مثبت آنیلین و در pH قلیایی دافعه

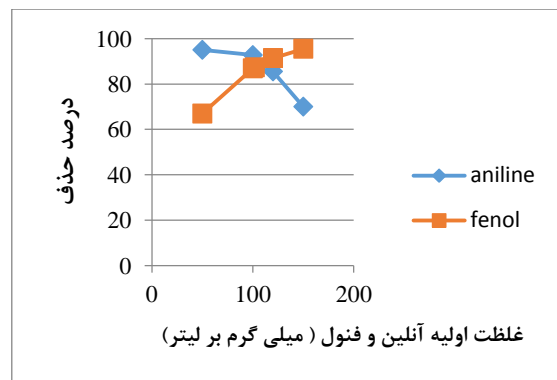


با افزایش مقدار جاذب از ۰/۴ به ۱ گرم در لیتر برای غلظت بهینه ۵۰ میلی‌گرم در لیتر آنیلین، راندمان حذف به دلیل افزایش سطح جاذب و یا افزایش میزان دسترسی ملکول‌های آنیلین به مکان‌های فعال روی جاذب، از ۹۴ به ۹۹ درصد افزایش می‌یابد. ظرفیت جذب با افزایش مقدار جاذب از ۰/۴ به ۱ گرم در لیتر، کاهش می‌یابد. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، با افزایش دوز جاذب، راندمان حذف فنل از ۶۵ تا ۹۵ درصد افزایش می‌یابد و این افزایش جذب فنل در میزان جاذب حدود یک گرم به حداکثر می‌رسد. افزایش جذب فنل با افزایش مقدار جاذب، در نتیجه افزایش مساحت سطح فعال و موثر در جذب می‌باشد (26). نتایج مطالعات نشان دادند که هرچند میزان فنل باقیمانده با افزایش دوز جاذب کاهش نشان داد، میزان فنل جذب شده نیز در واحد جرم کاذب کاهش می‌یابد. با وجود اینکه انتظار می‌رود افزایش دوز جاذب، منجر به افزایش نقاط سطحی فعال و افزایش جذب گردد. علت این امر مربوط به ویژگی‌های بالای خاکستر خرما از لحاظ محتوای کربن بدلیل سوخته شدن مواد آلی موجود در هسته خرما و افزایش سطح فعال و خلل و فرج بر روی خاکستر حاصل از سوزاندن هسته خرما می‌باشد. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود ظرفیت جذب متناسب با افزایش مقدار جاذب از ۰/۴ به ۱ گرم در لیتر، کاهش می‌یابد.



شکل ۳- اثر غلظت جاذب در حذف فنل و آنیلین توسط خاکستر هسته خرما اصلاح شده (pH بهینه، زمان تماس ۶۰ دقیقه و غلظت بهینه آنیلین و فنل)

نشان داده شده است که با افزایش غلظت اولیه آنیلین از ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف کاهش می‌یابد در مقدار جاذب ۰/۶ گرم در لیتر، راندمان از ۹۵ به ۷۰ درصد کاهش نشان داد که این امر ممکن است ناشی از محدود بودن تعداد محل‌های فعال روی جاذب است که نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد که آنیلین در غلظت‌های بالا اشباع می‌شود (23). به عبارت دیگر در غلظت‌های پایین میزان دسترسی ملکول‌های آنیلین به مکان‌های جذب بیشتر از غلظت‌های بالاست. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، افزایش غلظت اولیه فنل از ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به افزایش راندمان حذف فنل می‌شود. علت این امر آن است که با افزایش غلظت فنل، نیروی محرک انتقال جرم و بنابراین سرعت عبور ملکول‌های فنل از محلول به طرف لایه مایع احاطه کننده جاذب و نهایتاً به طرف سطح ذرات جاذب افزایش می‌یابد. همچنین همان‌طور که انتظار می‌رود تعادل جذب و بازده جذب برای خاکستر هسته خرما بالا بوده که علت آن مساحت سطح ویژه بزرگتر و ساختمان پرحفره خاکستر هسته خرما است.



شکل ۴- اثر غلظت اولیه آنیلین و فنل در حذف فنل و آنیلین توسط خاکستر هسته خرما اصلاح شده (pH بهینه، زمان تماس ۶۰ دقیقه و مقدار جاذب ۰/۶ گرم در ۱۰۰ لیتر).

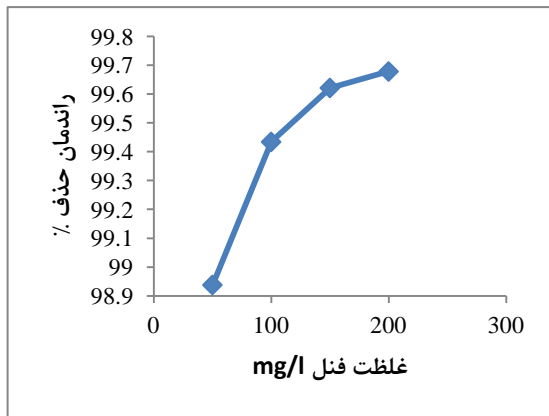
تاثیر دوز جاذب بر روی آنیلین و فنل

شکل ۲ نشان می‌دهد که راندمان حذف، متناسب با افزایش مقدار جاذب، افزایش می‌یابد، به طوری که



تأثیر غلظت اولیه فنل بر روی کارایی حذف

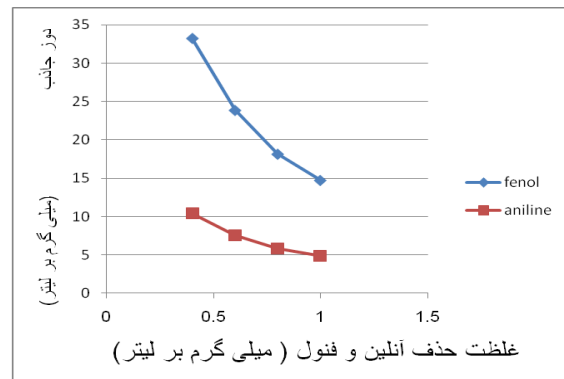
ظرفیت تعادلی جذب جاذب در غلظت‌های متفاوتی از فنل در شکل شماره ۶ نشان داده است. و همانطوری که از نتایج پیداست، ظرفیت جذب جاذب با افزایش غلظت فنل افزایش می‌یابد در صورتی که بازده جذب فنل در همان زمان یک روند عکس را نشان می‌دهد، این واقعیت بدین صورت قابل تفسیر است که با افزایش غلظت فنل، نیروی محرک انتقال جرم و بنابراین سرعت عبور مولکول‌های فنل از محلول به طرف لایه مایع احاطه کننده جاذب و نهایتاً به طرف سطح ذرات جاذب افزایش می‌یابد. همچنین همانطوری که انتظار می‌رود تعادل جذب و بازده جذب برای خاکستر هسته خرما خیلی بالاست که علت آن مساحت سطح ویژه بزرگتر و ساختمان پر حفره خاکستر هسته خرما است.



شکل ۶- اثر غلظت اولیه فنل (زمان تماس ۴۰ دقیقه مقدار خاکستر ۱۱ گرم در ۱۰۰۰ میلی لیتر و PH=6)

ایزوترم های جذب

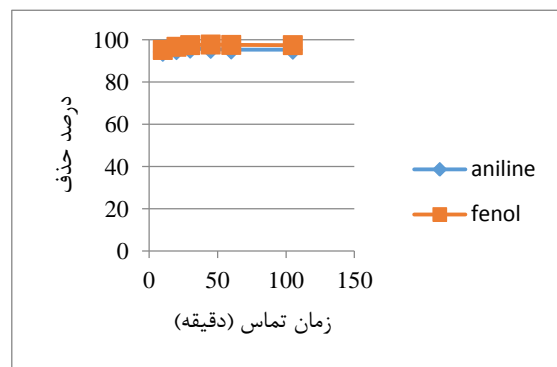
چندین مدل مختلف برای تشریح داده‌های حاصل از آزمایشات جذب در نوشته‌های علمی وجود دارد. که مهمترین آنها ایزوترم های جذب است تحلیل ایزوترم جذب به منظور توسعه یک معادله به منظور نمایش دقیق نتایج و برای مقاصد طراحی سیستم‌های در این مطالعه دو مدل برای بیان ارتباط بین مقدار فنل جذب شده و غلظت تعادلی آن در محلول بکار



شکل ۴- ظرفیت جذب فنل و آنیلین در دوز جاذب‌های مختلف خرما اصلاح شده با اسید سولفوریک

زمان تعادل جذب آنیلین و فنل

شکل ۵ تاثیر زمان تماس را در جذب فنل و آنیلین بر روی خاکستر هسته‌های خرما در غلظت‌های بهینه فنل و آنیلین و pH بهینه طی یک دوره ۱۰۵ دقیقه نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان تماس از ۱۰ تا ۳۰ میزان جذب آنیلین نیز بیشتر می‌شود و در زمان ۳۰ دقیقه راندمان حذف ۹۵/۷ درصد می‌باشد و بعد میزان جذب به دلیل کامل شدن ظرفیت جاذب، ثابت می‌ماند. اثر زمان تماس در فرایند حذف فنل مطابق شکل، با افزایش زمان تماس نمونه‌ها با جاذب، میزان حذف فنل افزایش می‌یابد، به علاوه در زمان‌های تماس اول ۴۵ دقیقه سرعت جذب بالاتر می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که فرایند جذب، یک فرایند سریع است.



شکل ۵- اثر زمان تماس در حذف فنل و آنیلین توسط خاکستر هسته خرما اصلاح شده (pH بهینه، غلظت بهینه جاذب و غلظت بهینه آنیلین و فنل)



بحث

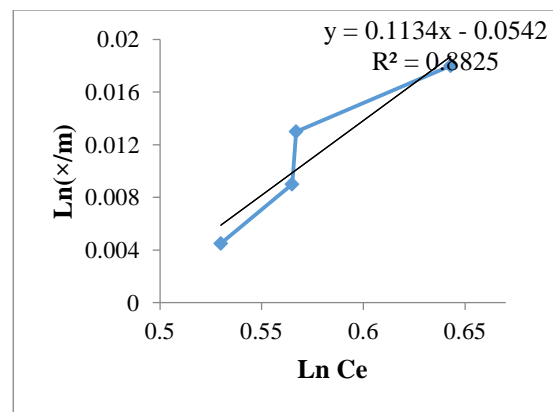
آزمایش های جذب سطحی توسط جذب کربنی بر روی نمونه های آب آلوده به فنل انجام گردید و نتایج حاصل از آن مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات شرایط عملیاتی شامل مقدار جذب، زمان تماس نمونه ها، غلظت اولیه فنل و pH اولیه بود. بازده جذب سطحی فنل توسط جذب مورد استفاده در این تحقیق با افزایش مقدار جذب در نمونه ها نسبت مستقیم دارد. با بالا بردن مقدار جذب از ۲ گرم تا ۱۱ گرم در لیتر بازده حذف فنل از ۹۸.۹۱۳ به ۹۸.۹۹۸ درصد افزایش می یابد. در نتیجه در بازه آزمایش شده، مقدار جذب با بیشترین بازده حذف فنل ۱۱ گرم در لیتر می باشد. در تحقیقی کربن پوست بادام و گردو و کربن فعال در جذب سطحی فنل از آب آلوده مورد استفاده قرار گرفته است. در نتایج این تحقیق با افزایش مقدار جذب از ۰/۲۵ تا ۱ گرم در ۵۰ میلی لیتر کربن فعال با بیشترین بازده جذب برابر با ۹۹/۸۷ درصد بالاترین میزان حذف فنل را داشته، کربن پوست بادام با ۹۱/۳۶ درصد و کربن پوست گردو ۸۷/۱۷ درصد در رتبه های بعدی قرار دارند. نتایج این تحقیق همانند تحقیق حاضر با افزایش مقدار جذب از ۲ گرم به ۱۱ گرم در لیتر بازده حذف فنل با غلظت اولیه 50 mg/l از ۹۸/۹۱ به ۹۸/۹۹ افزایش یافته است (۲۷). هنگامی که متغیر شرایط عملیاتی زمان تماس (اختلاط) نمونه ها بوده است (۴۰ تا ۱۶۰ دقیقه) شاهد افزایش بازده حذف فنل و مقدار فنل جذب شده در واحد جرم جذب بوده ایم. بازده حذف فنل توسط خاکستر هسته خرما از ۹۸.۹۳۳ به ۹۸.۹۹۸ افزایش یافته است. در تحقیقی از کاربرد زایدات کشاورزی (سبوس برنج و خاکستر آن) در حذف فنل در محیط های آبی استفاده شده که با افزایش زمان تماس درصد حذف فنل افزایش می یابد. غلظت فنل ۱۵ میلی گرم در لیتر و مقدار خاکستر سبوس برنج ۱۲

رفته است. این دو مدل ایزوترم های فروندلیچ و انگمیر می باشند. شکل خطی ایزوترم فروندلیچ به شکل رابطه زیر است:

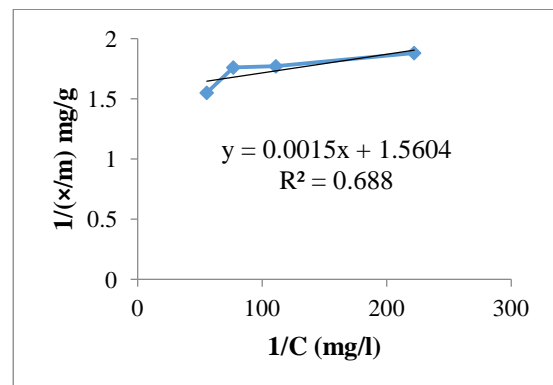
$$\left(\frac{x}{m} = K C_e^{1/N}\right) \text{ فرندلیچ (۳)}$$

$$\left(\frac{x}{m} = \frac{abC_e}{1+ac_e}\right) \text{ لانگمور (۴)}$$

بررسی گردیده است. نمودارهای شماره ۷ و ۸ ایزوترم های جذب لانگمیر و فروندلیچ را نمایش می دهند که جذب فنل بر روی خاکستر هسته خرما بخوبی از ایزوترم فروندلیچ تبعیت می کند. ولی رابطه فروندلیچ با مقدار R^2 برابر ۸۸٪ بطور قوی تری جذب فنل را توصیف می کند. لذا قابلیت بالاتر و بهتر خاکستر را نشان می دهد.



شکل ۷- ایزوترم خطی جذب فروندلیچ برای جذب فنل توسط خاکستر هسته خرما



شکل ۸- ایزوترم خطی جذب لانگمیر برای جذب فنل توسط خاکستر هسته خرما



رفته است. این دو مدل ایزوترم‌های فروندلیچ و لانگمیر می‌باشند. مدل ایزوترم لانگمیر بر مبنای جذب یک لایه‌ای و یکنواخت (همگن) ماده جذب شونده با انرژی یکسان بر تمام سطوح روی جذب است که رابطه خطی آن به صورت زیر است (۳۰).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_0} + \frac{1}{k_L q_0} \quad (5)$$

که در این رابطه C_e غلظت تعادلی آنیلین و فنل برحسب میلی گرم در لیتر، q_e مقدار آنیلین و فنل جذب شده در زمان تعادل برحسب میلی گرم بر گرم، k_L ثابت لانگمیر و q_0 حداکثر ظرفیت جذب برحسب میلی گرم بر گرم است. ویژگی‌های اساسی و نوع فرایند جذب در مدل لانگمیر می‌تواند با استفاده از مقادیر فاکتور بدون بعد R_L مشخص شود، به طوری که مقادیر $R_L > 1$ جذب نامطلوب، $R_L = 1$ جذب خطی، $R_L = 0$ جذب برگشت ناپذیر و $0 < R_L < 1$ جذب مطلوب را نشان می‌دهد فاکتور R_L با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد:

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (6)$$

که در این رابطه C_0 غلظت اولیه آنیلین و فنل قبل از جذب سطحی می‌باشد. ایزوترم فروندلیچ برخلاف مدل لانگمیر، بر مبنای جذب چند لایه‌ای و ناهمگن ماده جذب شونده روی جذب بوده و رابطه خطی آن به صورت زیر است.

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} (\ln C_e) \quad (7)$$

که در این رابطه C_e غلظت تعادلی آنیلین و فنل برحسب میلی گرم در لیتر، q_e مقدار آنیلین و فنل جذب شده در زمان تعادل برحسب میلی گرم بر گرم، k_f و n نیز ثابت‌های فروندلیچ هستند. n شاخص میزان مطلوبیت فرایند جذب و k_f ظرفیت جذب جذب برحسب $(\text{mg/g(L/mg)}^{1/n})$ است. در این مدل مقادیر n کمتر از یک نشان دهنده جذب ضعیف و

گرم در 100 میلی لیتر بازده حذف فنل از ۳۰ درصد تا ۱۰۰ درصد افزایش یافته است. نتیجه مشابهی در این خصوص روی جذب فنل از محلولهای آبی با استفاده از خاکستر نیروگاه حرارتی در کشور هند توسط Sharan انجام گرفت ارائه شده است (۲۸). با تغییر pH اولیه نمونه‌ها از ۲ تا ۱۰، بازده حذف فنل و مقدار فنل جذب شده در واحد جرم جاذب کاهش یافته است. لذا pH اولیه می‌تواند در بازده حذف فنل توسط این جاذب تاثیر داشته باشد. بازده حذف فنل از 98.89 به 98.67 کاهش یافته است. مقدار pH بهینه برای جذب ۶ می‌باشد. در پژوهش علمی که از کاربرد زایدات کشاورزی در حذف فنل انجام شده است در این مطالعه pH بهینه با بیشترین راندمان حذف ۵ بوده است. همچنین نتایج مشابهی توسط کرمانی و بینا بر روی کاربرد خاکستر سبوس برنج و کربن فعال جهت حذف فنل از محلول‌های آبی ارائه شده است (۲۹). بازده جذب فنل با غلظت‌های مورد استفاده (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر) با افزایش مقدار غلظت نیز رابطه مستقیمی دارد با افزایش غلظت از ۵۰ میلی گرم بر لیتر به ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر بازده جذب از 98.93 به 99.67 افزایش یافته است. در نتیجه بیشترین بازده برای جذب سطحی فنل از آب آلوده برای جاذب مورد استفاده با توجه به نتایج این تحقیق چنین می‌باشد: مقدار جاذب 11 g/l ، pH اولیه نمونه نسبتاً متوسط و در شرایط ایده آل ۶ و زمان تماس (اختلاط) نمونه‌ها ۱۲۰ دقیقه و غلظت فنل 200 mg/l . چندین مدل برای تشریح داده‌های حاصل از آزمایشات جذب در نوشته‌های علمی وجود دارد که مهمترین آنها ایزوترم‌های جذب می‌باشد. تحلیل ایزوترم جذب به منظور توسعه یک معادله به منظور نمایش دقیق نتایج و برای مقاصد طراحی سیستم‌های در این مطالعه دو مدل برای بیان ارتباط بین مقدار فنل و آنیلین جذب شده و غلظت تعادلی آن در محلول بکار



مقادیر ۱-۲ و ۱۰-۲۰ به ترتیب بیانگر جذب نامطلوب و مطلوب می‌باشد (۳۱)، مقادیر پارامترهای n و k_f به ترتیب از طریق شیب و عرض از مبدا نمودار خطی $\ln q_e$ در مقابل $\ln c_e$ تعیین می‌شوند.

ایزوترم جذب آنیلین و فنل

مقادیر پارامترهای مربوط به مدل‌های ایزوترم لانگمیر و فروندلیچ در جداول (۷ و ۸) ارائه شده است. حداکثر میزان جذب به روش تجربی برای غلظت اولیه ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر آنیلین و فنل در میزان مقادیر ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ گرم در لیتر جاذب در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به ترتیب برابر ۳۲/۸ و ۴۶/۵۷ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد، همچنین ضریب همبستگی برای مدل لانگمیر بیشتر از مدل فروندلیچ بوده، به طوری که در مدل ایزوترم لانگمیر $R^2 > 0/9927$ برای فنل و $R^2 > 0/982$ برای آنیلین بوده است. علاوه بر این، از آنجایی که مقادیر R_L در مدل لانگمیر بین صفر و یک و همچنین مقادیر ثابت فروندلیچ ($1/n$) کمتر از یک بوده، نتیجه می‌شود که جذب آنیلین و فنل روی خرما مطلوب بوده است. از این رو مدل ایزوترمی فروندلیچ از نظر ریاضی و شدت جذب مطلوب می‌باشد. همچنین این ضرایب نشانگر

این واقعیت نیز می‌باشند که خاکستر هسته خرما در هر دو ایزوترم‌های جذب ضریب R^2 در فنل بیشتر از آنیلین می‌باشد، لذا قابلیت بالاتر و بهتر خاکستر هسته خرما در حذف فنل را نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به ضرایب رگرسیون به دست آمده در دو مدل ایزوترم مشاهده می‌شود که داده‌های حاصل از فرایند جذب با مدل ایزوترم لانگمیر بهتر توصیف می‌شوند. که نشان دهنده آن است که جذب آنیلین روی خرما یک لایه‌ای و به صورت همگن بوده است.

نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که خرما اصلاح شده با اسید از قابلیت خوبی در حذف فنل و آنیلین برخوردار است. pH نقش مؤثری در جذب فنل و آنیلین توسط خرما اصلاح شده دارد. جذب فنل و آنیلین در pHهای پایین بیشتر و با افزایش pH میزان آن کاهش می‌یابد. بنابراین خرما اصلاح شده به دلیل عملکرد اسیدی می‌تواند در حذف فنل و آنیلین عملکرد مطلوبی داشته باشد.



منابع و مأخذ

۱. بیگلری، ح، ۱۳۸۹. ارزیابی راندمان حذف فنل محلول در محیط آبی توسط فناوری انعقاد الکتریکی با کاربرد الکتروود آلومینیومی، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی زاهدان، ۱۷.
۲. آستانی، س، ۱۳۸۹. بررسی مدیریت پساب‌های صنعتی به محیط زیست. نخستین همایش ملی مدیریت پساب و پسماند در صنایع نفت و انرژی. ص ۸.
۳. سعیدی، م و پژوهش فر، س.پ. ۱۳۸۷. بررسی جذب فنل از آب آلوده به کمک کربن فعال و کربن پوست بادام و گردو. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره دهم، شماره چهار، ۲۳۱-۲۱۸.
۴. ملکی، ا، و محوی، ا، ۱۳۵۸، کاربرد زائدات کشاورزی در حذف فنل در محیط‌های آبی مجله پزشکی هرمزگان، سال دهم، شماره چهارم، ۳۹۹-۳۹۳.
5. Scheck, C.K., and Ferimmel, F.H., 1995, Degradation of Phenol and Salicylic Acid by Ultraviolet radiation/hydrogen Peroxide/oxygen. *Water Research*. 29(10): 23-52.
6. Fuqiangan, X.F., and Baojiao, G.A.O., 2009, Adsorption, of Aniline from Aqueous Solution Using Novel Adsorbent PAM/SiO₂ *Chemical Engineering Journal*. 151:183-187.
7. Rahmani, A., and Enayati, Movafagh, A., 2006, Investigation of Photo Catalytic Degradation of Phenol Through UV/TiO₂ Process. *Water and Wastewater*. 58: 32-37 (In Persian).
8. Maleki, A., Mahvi, A.H., Alimohamadi M., and Ghasri, A., 2006, Advanced Oxidation of Phenol by Ultraviolet Irradiation in Aqueous System. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 9(12): 2338-2341.
9. Kakavandi, B., Jafari, A.J., Kalantary, R.R., Nasserli, S., Ameri, A., and Esrafilly, A., 2013 Synthesis and Properties of Fe₃O₄-Activated Carbon Magnetic Nanoparticles for Removal of Aniline from Aqueous Solution: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies. *Iranian journal of Environmental Health Science and Engineering*. 10-19.
10. Yanhe, Han, X.Q., Chen, S., Zhao, H., Cui, Ch., and Zhao, Y., 2005, Electrochemically Enhanced Adsorption of Aniline on Activated Carbonfibers. *Separation and Purification Technology*. 50: 365-372.
11. Atsd, R., 2002, OPPT Chemical Fact Sheets, Aniline Factsheet: Support Document. United States Environmental Protection Agency. 62-53.
12. O'Neill KCAB-C, F.J., Greenwood, R.J., and Knapp, J.S., 2000, Bacterial Growth on Aniline: Implications For the Bio Treatment of Industrial Wastewater. *Water Research*. 34: 4397-409.
13. Goncharuk, V.V., Kochkodan, V.M., and Badekha, V.P., 2002, Removal of Organic Substances from Aqueous Solutions by Reagent Enhanced Reverse osmosis Desalination, 143:45-51.
14. Alvares Rodrigues, L., Lucia Caetano Pinto da Silva, M., Orland Alvarez - Mendes. M, Dos Reis Coutinho, A., and Patrocino Thim, G., 2011, Phenol Removal from Aqueous Solution by Activated Carbon Produced From Avocado Kernel Seeds. *Chemical Engineering Journal*. 174:49-57.
15. Ghazanfari, A., Fung, J., and Panigrahi, S., 2010, Some Properties of Composites Made from Blends of Date Pits and High Density Polyethylene. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 29(11): 1743-1749.
16. Mane S.M, Vanjara A. K, Sawant M.R. (2005)" Removal of Phenol from Wastewater Using Date Seed Carbon". *Journal of the Chinese Chemical Society*. 52 , 1117-1122.



۱۷. عزیزی ج ، یزدانی س. " بررسی میزان پایداری درآمد صادراتی ایران " مجله علمی-پژوهشی علوم کشاورزی، سال سیزدهم، شماره ۱، ۱۳۸۶

18. Banat F, Al-Asheh S, Al-Makhadmeh L.(2004) "Utilization of Raw and Activated Date Pits for the Removal of Phenol from Aqueous Solutions". Chem.Eng.Technol. 27,1,80 -86.
19. Ghazanfari A ,Fung J ,Panigrahi S.(2010) "Some Properties of Composites Made from Blends of Date Pits and High Density Polyethylene". Journal of Reinforced Plastics and Composites. 29,11,1743-1749.
20. Munther I , et al.(2010) "Adsorption of Cadmium onto Activated and Non-Activated Date Pits" .World Academy of Science, Engineering and Technology. 62, 204 -208.
21. AL-Ghouti M ,juiki L ,Salamh Y, AL-Laqtah N, Gavin W, Ahmad M.(2010) "Adsorption mechanisms of removing heavy metals and dyes from aqueous solution using date pits solid adsorbent". Journal of Hazardous Materials. 176 ,510-520.
22. El-Naas M, Al-Zuhair S, Abu Alhajja M.(2010) "Reduction of COD in refinery wastewater through adsorption on date-pit activated carbon" .Journal of Hazardous Materials. 173, 750 -757.
23. Glesceria L.A., Greenberg, E., and Eaton. A.D., 1998, Standard Method for the Examination of Water and Wastewater.20 thEd., Aptia, WEF, USA.
24. Lin, Y.B., Fugestu, B., Terui, N., and Tanaka, S., 2005, Removal of Organic Compounds by Alginate Gel Beads with Entrapped Activated Carbon. Journal of Hazardous Materials. 120: 237-241.
25. Al-Muhtaseb, Sh., 2010, Adsorption and Desorption Equilibria of Nitrogen, Methane, Ethane, and Ethylene on Date Pit Activated Carbon. Journal of Chemical and Engineering Data. 55(1): 313-319.
26. Banat, F., Al-Asheh, S., and Al-Makhadmeh, L., 2003, Adsorbents for Dye Containing Waters Evaluation of the Use of Raw and Activated Date Pits as Potential. Process Biochemistry. 39(2): 193 - 202 .
27. Rozic, Q., Abdulhameed, R., 2005, Adsorption of Phenol by Activated Carbon from Aqueous solution. Chemosphere. 34: 254 – 271.
28. Al-Muhtaseb Sh.(2010) "Adsorption and Desorption Equilibria of Nitrogen, Methane, Ethane, and Ethylene on Date-Pit Activated Carbon". J. Chem. Eng. Data. 55, 1, 313-319.
۲۹. کرمانی م ، حسین پور م ، بینا ب ، خزایی ز . "حذف فنل با استفاده از خاکستر سبوس برنج و کربن فعال از محلولهای آبی" مجموعه مقالات نهمین همایش ملی بهداشت محیط. اصفهان ۱۳۸۵.
۳۰. سعیدی م، پژوهش فر پ. "بررسی جذب فنل از آب آلوده به کمک کربن فعال و کربن پوست بادام و گردو" مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره دهم، شماره چهار، زمستان ۸۷، ۲۱۸-۲۳۱.
31. Kakavandi, B., Jonidi, A., Rezaei, R., Nasser, S., Ameri, A., and Esrafil, A., 2013, Synthesis And Properties of Fe₃O₄ Activated Carbon Magnetic Nanoparticles for Removal of Aniline from Aqueous solution: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 1 (1): 1-190
32. Guang-Qian, W., Zhang, X., and Hui, H., 2012, Adsorptive Removal of Aniline from Aqueous Solution by Oxygen Plasma Irradiated Bamboo Based Activated Carbon. Journal of Chemical Engineering. 185-210.

