

بررسی ظرفیت جذب پارانیتروفنل با نانوجاذب GN-88

حسین غفوریان^۱، فریده نوری^{۲*} و لیندا یادگاریان^۳

۱ و ۲- گروه شیمی دریا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

۳- گروه آلودگی و حفاظت محیط زیست دریا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۱

تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۱۴

چکیده

یکی از آلاینده‌های مطرح در منابع آبی مربوط به ماده سمی فنل و ترکیبات آن می‌باشد. نیتروفنل‌ها از جمله پارانیتروفنل (PNP) از سمی‌ترین این گروه بوده و حذف آن از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. برای حذف و کاهش PNP در آبهای آلوده و پساب‌های صنعتی، توسط جاذب‌های مختلف مطالعات کمی انجام شده است. هدف این پژوهش بررسی ظرفیت جذب کربن فعال با حفرات نانو و اصلاح ساختار و تغییر در توزیع حفرات با استفاده از اسید فسفریک به منظور حذف PNP از محلول‌های آبی، در شرایط دمایی ثابت می‌باشد. ابتدا میزان جذب PNP توسط کربن فعال اولیه اندازه‌گیری شد. سپس بهینه سازی کربن فعال طی مراحل جداگانه انجام شد و پارامترهایی نظیر مقدار جاذب، غلظت اولیه PNP، غلظت اسید فسفریک، زمان تماس، pH و همچنین زمان و دمای استفاده از کوره مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی غلظت اسید فسفریک از ۶ تا ۳۵ درصد مشاهده شد بهترین غلظت، ۲۰ درصد می‌باشد با درصد جذب ۹۹/۵ درصد. اثر دما و زمان کوره در افزایش کیفیت کربن فعال از ۴۰°C تا ۶۰°C نشان داد مناسبترین دما و زمان به ترتیب ۵۵°C و ۴۰ دقیقه می‌باشد. تغییرات pH در محدوده ۱ تا ۵ نیز نشان داد که بالاترین مقدار جذب در pH ۱ و ۲ با درصد جذب یکسان ۹۹/۵ درصد صورت می‌گیرد. زمان به تعادل رسیدن جذب بر روی کربن فعال در زمان‌های مختلف نشان داد حداکثر جذب با غلظت ۱۰۰۰۰ ppm از PNP در زمان ۱۸۰ دقیقه حاصل می‌شود با مقدار ۱۴۲/۲۲ میلی گرم بازای هر گرم جاذب. در مرحله آخر مقایسه ظرفیت جذب کربن فعال بهینه شده با جاذب‌های نانوتیوب تک جداره و چندجداره کربن، نانوذره آهن و کربن فعال اولیه انجام شد که بیانگر برتری کربن فعال بهینه شده در این تحقیق می‌باشد.

ظرفیت جذب بدست آمده در این پژوهش در مقایسه با مقادیر گزارش شده در حد مطلوب بوده و قابل رقابت با نمونه‌های مشابه می‌باشد.

واژگان کلیدی

پارانیتروفنل، کربن فعال، اسید فسفریک

مقدمه

رشد صنایع شیمیایی و ورود پساب حاصل از آن به منابع آبی باعث ایجاد اختلالاتی در محیط زیست و سلامتی موجودات زنده شده است. از جمله فنل و ترکیبات آن نظیر نیتروفنل‌ها به علت کاربردهای صنعتی فراوان بعنوان یکی از آلاینده‌های مهم در منابع آبی می‌باشند. ورود ترکیبات فنلیک در محیط زیست می‌توانند از طریق جذب سطحی، شستشو، تبخیر، نفوذ، جریانات سطحی و اتمسفر صورت گیرد. پارا نیترو فنل یا PNP از سمی‌ترین ماده در ترکیبات فنلیک بوده و در پساب حاصل از صنایع شیمیایی نظیر صنعت نفت و پالایش، پتروشیمی، پردازش ذغال سنگ، رنگ، آهن - استیل، پلاستیک و... موجود می‌باشد (Kumar et al., 2007). پساب‌هایی که حاوی ترکیبات فنلیک می‌باشند را نمی‌توان در منابع آبی رها نمود زیرا این ترکیبات نمی‌توانند بسادگی در محیط تجزیه شوند. پارانیتروفنل یک شناساگر مناسب pH بوده که در محیط اسیدی بی رنگ و در محیط قلیایی زردپررنگ می‌باشد. به همین دلیل وجود این ترکیب در منابع آبی علاوه بر سمی بودن آن، باعث ایجاد تغییر رنگ آب (زردرنگ) حتی در غلظت‌های پایین می‌شود. فنل و مشتقات آن نظیر پارانیتروفنل بعنوان آلاینده‌های مقدم توسط کشور آمریکا طبقه‌بندی شده است (EPA, 1984).

روش‌های متفاوتی برای حذف پارانیتروفنل از پساب‌های صنعتی ارائه شده است از جمله: استخراج حلال، اکسایش شیمیایی، تابش دهی و... همینطور استفاده از جاذب‌های متفاوت نظیر: نانو تیوب کربن (Yang et al., 2008)، کربن فعال بر پایه مواد متفاوت: کربن فعال فیبر (Lu et al., 2009)، کربن فعال پوست خرما (Abdul Halif et al., 2007)، خاک رس (Nayak, 2007)، نانو ذرات فلزی (Jana et al., 2006)، رزین‌ها (Huang et al., 2009 & Abburi, 2003) و جاذب‌های دیگر (Marais et al., 2008 & Ma et al., 2007).

انتخاب نوع روش به عواملی مانند: غلظت پارانیتروفنل در پساب، درجه تصفیه مورد نیاز و مسائل اقتصادی وابسته می‌باشد. کربن فعال به علت دارا بودن حفرات در قطرهای میکرو، مزو و ماکرو نسبت به جاذب‌های دیگر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. زیرا امکان تغییر در ساختار حفرات از حفره میکرو (با قطر کمتر از ۲ نانومتر) به حفره‌های (مزو ۵۰-۲ نانومتر) و ماکرو (با بیش از ۵۰ نانومتر) با استفاده مواد شیمیایی می‌باشد. از طرفی کاربرد کربن فعال با حفرات نانو در زمره فناوری‌های سبز محسوب می‌شود و کاربردهای گسترده‌ای با توجه به قابلیت جذب گازها و مایعات مزاحم دارند همچنین به علت پایین بودن قیمت آن در مقایسه با جاذب‌های غیر آلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کربن‌های فعال شده به دلیل مساحت گسترده، ساختار منفذی، ظرفیت جذب بالا و قابلیت فعال سازی مجدد سطح، یک ماده منحصر به فرد می‌باشند. کاربرد مهم آنها در جداسازی بو، رنگ، مزه‌های غیر دلخواه از آب، باز یافت حلال، تصفیه هوا، صنایع غذایی و شیمیایی می‌باشد (مهربان، ۱۳۸۷). در این تحقیق از جاذب کربن فعال که با روش فیزیکی در صنعت کربن فعال بشل با پایه چوب لیمو تولید گردیده، استفاده شده است. هدف از این تحقیق بررسی ظرفیت جذب پارانیتروفنل بر بستری از کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک از محلول‌های آبی و پساب‌های صنعتی می‌باشد. پارانیتروفنل در صنایع دارویی، حشره کش‌ها، سموم دفع آفات کشاورزی و... کاربرد دارد (ATSDR, 1990).

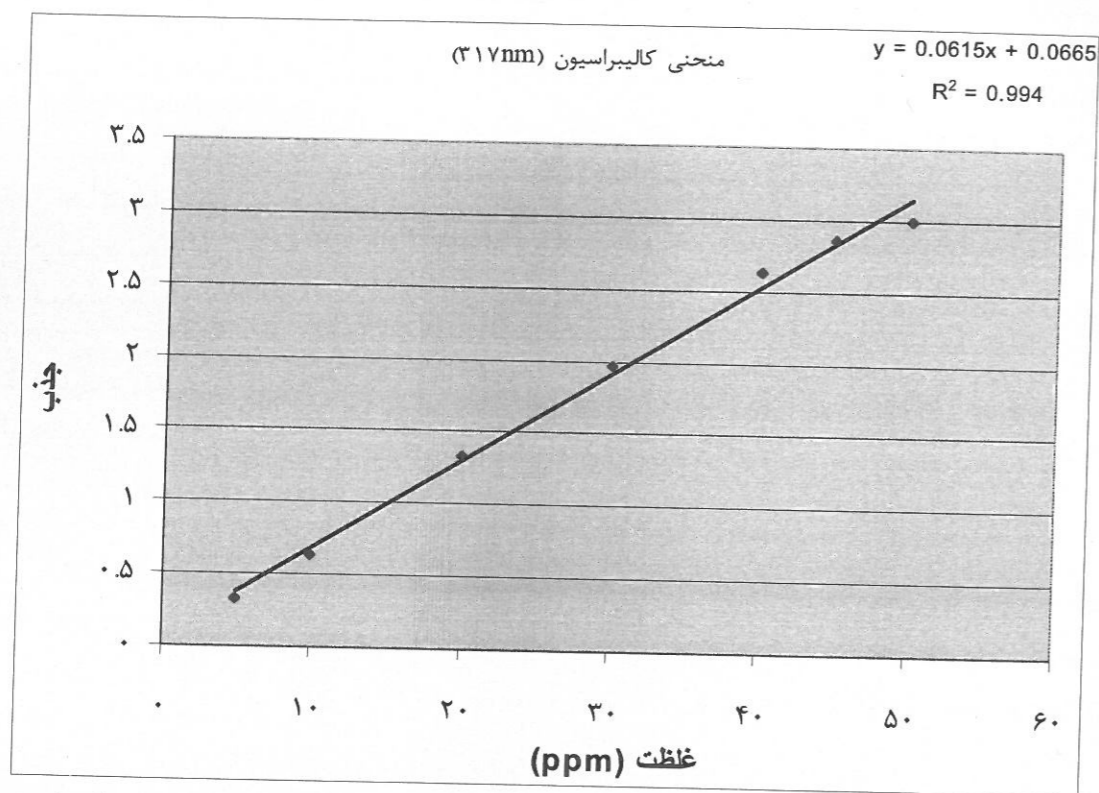
مواد و روش‌ها

پارانیتروفنل با درجه خلوص ۹۹/۹۵ درصد از شرکت کلروپارس تبریز، کربن فعال با پایه چوب لیمو از کربن فعال صنعت بشل که با روش فیزیکی فعال شده است و اسید فسفریک ۸۵ درصد از شرکت مرک آلمان تهیه شد. جهت تعیین مقدار جذب پارانیتروفنل از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis مدل 4802-UNICO ساخت چین، در دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال استفاده شد.

کربن فعال آسیاب شده واز الک با مش ۱۲۰ عبور داده شد سپس به مدت ۲۴ ساعت در بستر اسید فسفریک با غلظت مشخص قرار داده و از کاغذ صافی عبور داده شد. کربن فعال باقی مانده بر روی کاغذ صافی با آب مقطر شستشو شد و به مدت ۱ ساعت دراون ۱۱۰ سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس در کوره قرار داده شد و پس از سرد شدن، مقدار ۰/۵ گرم از کربن فعال به ۵۰ میلی لیتر محلول پارانیتروفنل با غلظت‌های مشخص اضافه و پس از قرار گرفتن روی شیکر نمونه‌ها با کاغذ صافی، صاف شده و مقدار جذب آنها با دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis تعیین گردید.

تهیه محلول‌های استاندارد اولیه و ثانویه جهت تهیه منحنی کالیبراسیون

۰/۱ گرم پارانیتروفنل به حجم ۱۰۰۰ میلی لیتر رسانده شد و محلول استاندارد استوک اولیه با غلظت ۱۰۰ قسمت در میلیون تهیه شد واز آن محلول‌های استاندارد ثانویه با غلظت‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۴۵ و ۵۰ قسمت در میلیون ساخته شد (شکل ۱).



شکل ۱- منحنی کالیبراسیون پارانیتروفنل با غلظت‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۴۵ و ۵۰ قسمت در میلیون

اثر شستشو کربن فعال اولیه بر مقدار جذب

مقدار ۰/۲ گرم کربن فعال بدون شستشو، "شستشو شده با آب مقطر" و "شستشو شده با آب مقطر و اسید هیدروکلریک ۰/۱ نرمال" آزمایش شد.

تعیین غلظت بهینه برای اسید فسفریک

کربن فعال به مدت ۲۴ ساعت در بستری از محلول اسید فسفریک با غلظت‌های مختلف (۶، ۱۲، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۵ درصد) قرار گرفت و پس از قرار گرفتن در کوره به مدت ۲۰ دقیقه با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد مورد آزمایش قرار گرفت. pH نمونه‌ها در حدود ۲ تنظیم شد.

تعیین زمان بهینه کوره

پنج نمونه کربن فعال به ترتیب زیر آماده شد. نمونه اول بدون استفاده از کوره، نمونه دوم به مدت ۲۰ دقیقه، نمونه سوم، ۳۰ دقیقه، نمونه چهارم، ۴۰ دقیقه و نمونه پنجم، ۶۰ دقیقه در کوره در دمای ۵۰۰ سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از سرد شدن مورد سنجش قرار گرفتند.

تعیین دمای بهینه کوره

چهار نمونه کربن فعال جهت تعیین دمای بهینه کوره آماده شد. نمونه اول در کوره با دمای ۴۰۰، نمونه دوم، دمای ۵۰۰، نمونه سوم، ۵۵۰ و نمونه چهارم، دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد، که پس از سرد شدن مورد آزمایش قرار گرفتند.

اثر pH

پنج نمونه از کربن فعال پس از ۲۴ ساعت قرار گرفتن در بستری از اسید فسفریک ۲۰ درصد صاف شده و با آب مقطر شستشو داده شد. محلول حاصل از شستشوی کربن فعال در pH حدود ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ تنظیم شد.

اثر غلظت جاذب بر مقدار جذب پارانیتروفنل

در ۸ ارلن جداگانه به ترتیب مقادیر ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵، ۳/۷، ۳/۹ و ۴ گرم از کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک ۲۰ درصد به محلول PNP به حجم ۵۰ میلی لیتر با غلظت ۱۰۰۰۰ میلی گرم در لیتر اضافه شد و به مدت ۴/۵ ساعت روی شیکر با دور ۲۲۰ rpm قرار گرفت. سپس محلول‌ها را صاف کرده و مقدار جذب آنها مورد سنجش قرار گرفت.

سرعت جذب پارانیتروفنل بر روی جاذب

به ۶ ارلن حاوی ۵۰ میلی لیتر از محلول ۱۰۰۰۰ میلی گرم در لیتر پارانیتروفنل بطور یکسان ۳/۵ گرم کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک ۲۰ درصد اضافه شد. و به ترتیب در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه روی شیکر با دور ۲۲۰ rpm قرار داده شد. سپس نمونه‌ها صاف شده و جذب آنها مورد ارزیابی قرار گرفت.

مقایسه مقدار جذب بین جاذب GN-88 با نمونه‌های نانوتیوب تک جداره و چند جداره کربن و نانوذره آهن و کربن فعال بشل:

جاذب‌های فوق در شرایط یکسان و با دو غلظت متفاوت از پارانیتروفنل آزمایش شدند:

الف - مقدار ۰/۵ گرم از جاذب‌های فوق به ۶ محلول جداگانه از پارانیتروفنل به غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر اضافه شد و روی شیکر با دور ۲۲۰ rpm به مدت نیم ساعت قرار گرفتند.

ب - تکرار آزمایش الف با غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر از محلول پارانیتروفنل.

روش اندازه‌گیری

با استفاده از دو رابطه ۱ و ۲ شامل درصد جذب و ظرفیت جذب، میزان جذب پارانیتروفنل محاسبه شده است:

۱) درصد جذب: $Y = (C_i - C_e / C_i) \times 100$

۲) ظرفیت جذب: $q = (C_i - C_e)V/m$

C_i : غلظت اولیه محلول بر حسب میلی گرم در لیتر

C_e : غلظت ثانویه محلول بر حسب میلی گرم در لیتر

V : حجم محلول بر حسب لیتر

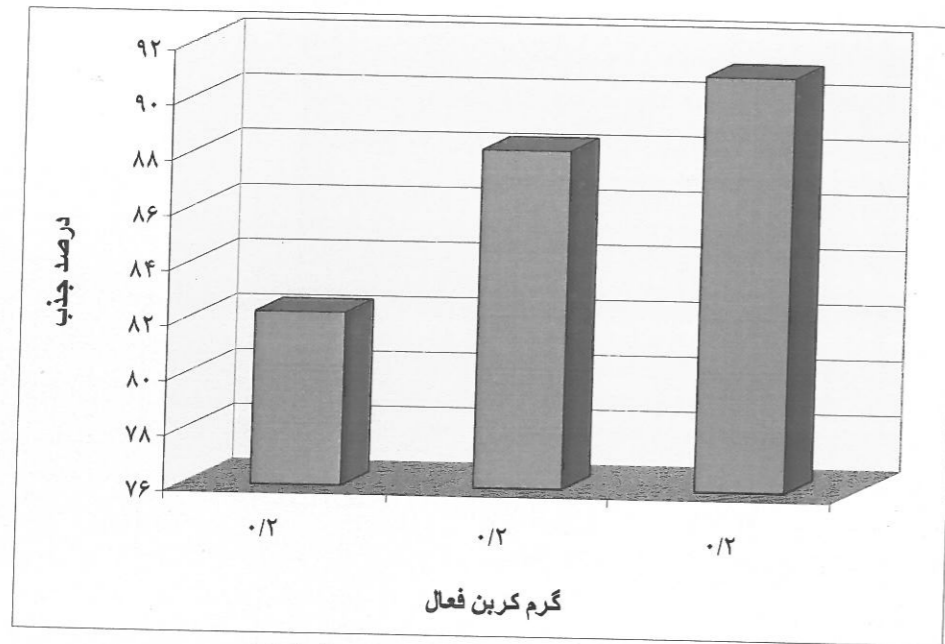
m : جرم کربن فعال

نتایج

نتایج حاصل از شستشو کربن فعال اولیه بر مقدار جذب پارانیتروفنل در جدول (۱) و شکل (۲) ارائه شده است.

جدول ۱- مقایسه مقدار جذب برای کربن فعال اولیه

مقدار جاذب (g)	Y درصد جذب	q (mg/g) ظرفیت جذب	C _e (ppm) غلظت ثانویه	C _i (ppm) غلظت اولیه	کربن فعال اولیه (بشل)
۰/۲	۸۲/۲۵	۱۶/۴۵	۳۵/۵	۲۰۰	بدون شستشو
۰/۲	۸۸/۲۵	۱۷/۶۵	۲۳/۵	۲۰۰	شستشو با آب مقطر
۰/۲	۹۱/۰۰	۱۸/۲۰	۱۸/۰	۲۰۰	شستشو با آب مقطر و HCl ۰/۱ نرمال



شکل ۲- مقایسه درصد جذب برای کربن فعال اولیه

ستون چپ: کربن فعال بدون شستشو

ستون وسط: شستشوی کربن فعال با آب مقطر

ستون راست: شستشوی کربن فعال با آب مقطر و اسید هیدروکلریک ۰/۱ نرمال

نتایج حاصل از تاثیر غلظت اسید فسفریک بر مقدار جذب پارانیتروفنل در جدول (۲) و شکل (۳) مشاهده می‌شود.

جدول ۲- تعیین مقدار جذب پارانیتروفنل با کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک با غلظت‌های مختلف در pH=۲

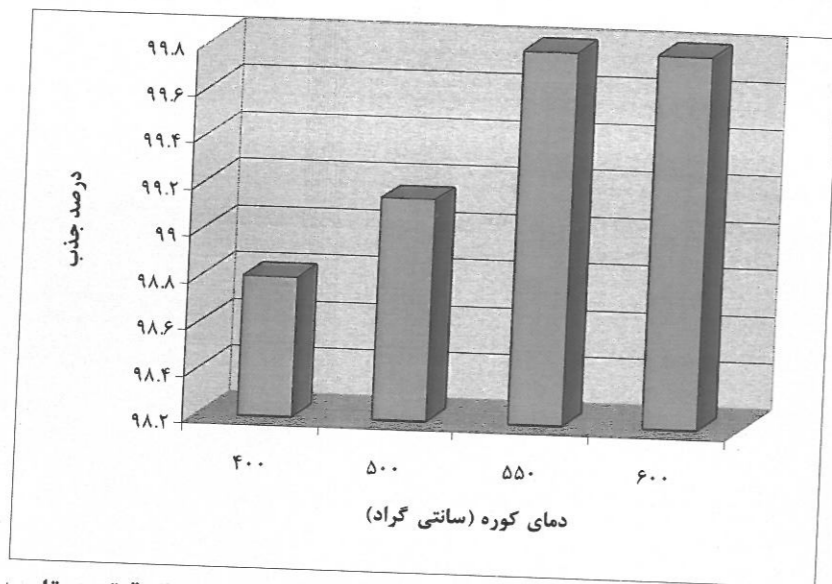
(از کوره به مدت ۲۰ دقیقه با دمای ۵۰۰ °C استفاده شد)

مقدار جاذب (g)	Y درصد جذب	q (mg/g) ظرفیت جذب	C _e (ppm) غلظت ثانویه	C _i (ppm) غلظت اولیه	کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک با غلظت‌های مختلف
۰/۵	۹۷/۴۳	۷۷/۹۵	۲۰/۵	۸۰۰	٪۶
۰/۵	۹۸/۴۳	۷۸/۷۵	۱۲/۵	۸۰۰	٪۱۲
۰/۵	۹۸/۶۲	۷۸/۹۰	۱۱/۰	۸۰۰	٪۱۵
۰/۵	۹۹/۵	۷۹/۶۰	۴/۰	۸۰۰	٪۲۰
۰/۵	۹۹/۳۷	۷۹/۵۰	۵/۰	۸۰۰	٪۲۵
۰/۵	۹۷/۵	۷۸/۰۰	۲۰/۰	۸۰۰	٪۳۵

نتایج حاصل از تاثیر دمای کوره بر مقدار جذب پارانیتروفنل در جدول (۴) و شکل (۵) ارائه شده است.

جدول ۴- بررسی استفاده از کوره در دماهای مختلف در زمان ثابت ۴۰ دقیقه و مقایسه در صد جذب برای کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک ۲۰ درصد

مقدار جاذب (g)	Y درصد جذب	q (mg/g) ظرفیت جذب	C _e (ppm) غلظت ثانویه	C _i (ppm) غلظت اولیه	دما (°C)	زمان (دقیقه)	کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک ۲۰ درصد
۰/۵	۹۸/۸۰	۹۸/۸۰	۱۲/۰	۱۰۰۰	۴۰۰	۴۰	" "
۰/۵	۹۹/۱۵	۹۹/۱۵	۸/۵	۱۰۰۰	۵۰۰	۴۰	" "
۰/۵	۹۹/۸۰	۹۹/۸۰	۲/۰	۱۰۰۰	۵۵۰	۴۰	" "
۰/۵	۹۹/۸۰	۹۹/۸۰	۲/۰	۱۰۰۰	۶۰۰	۴۰	" "

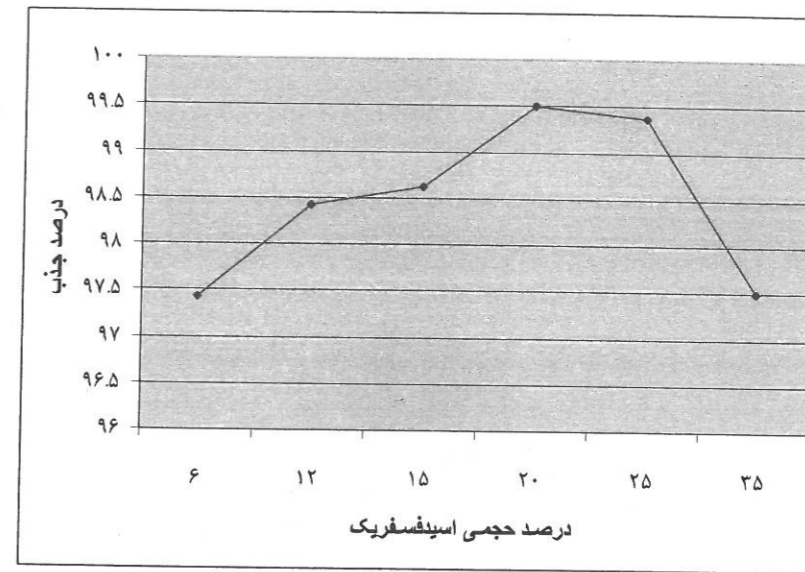


شکل ۵- بررسی استفاده از کوره در دماهای مختلف در زمان ثابت ۴۰ دقیقه و مقایسه در صد جذب برای کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک ۲۰ درصد

نتایج حاصل از اثر pH - هاش بر مقدار جذب پارانیتروفنل در جدول (۵) و شکل (۶) مشاهده می شود.

جدول ۵- مقایسه میزان جذب برای کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک ۲۰ درصد با pH ۱ تا ۵

مقدار جاذب (g)	Y درصد جذب	q (mg/g) ظرفیت جذب	C _e (ppm) غلظت ثانویه	C _i (ppm) غلظت اولیه	pH
۰/۵	۹۹/۸۰	۹۹/۸۰	۲/۰	۱۰۰۰	۱
۰/۵	۹۹/۸۰	۹۹/۸۰	۲/۰	۱۰۰۰	۲
۰/۵	۹۹/۳۷	۹۹/۳۷	۶/۲۵	۱۰۰۰	۳
۰/۵	۹۹/۲۰	۹۹/۲۰	۸/۰	۱۰۰۰	۴
۰/۵	۹۹/۰۰	۹۹/۰۵	۹/۵	۱۰۰۰	۵

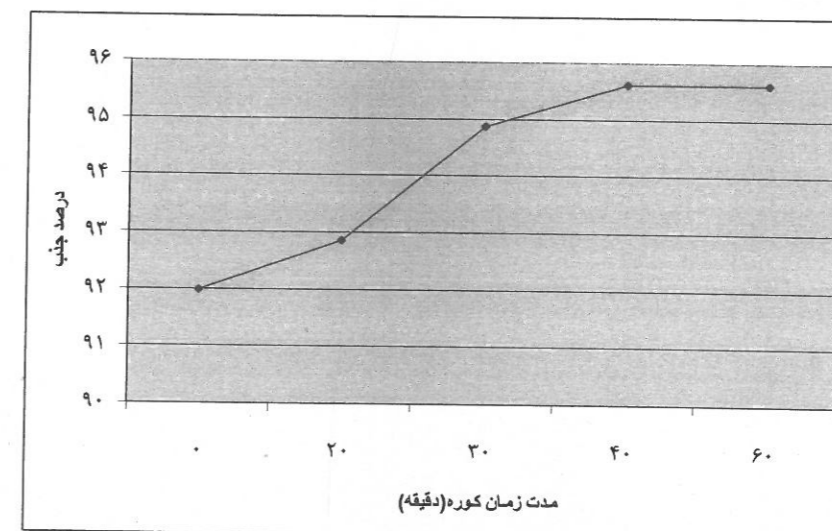


شکل ۳- تعیین مقدار جذب کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک با غلظت های مختلف در pH=۲ (از کوره به مدت ۲۰ دقیقه با دمای ۵۰۰ °C استفاده شد)

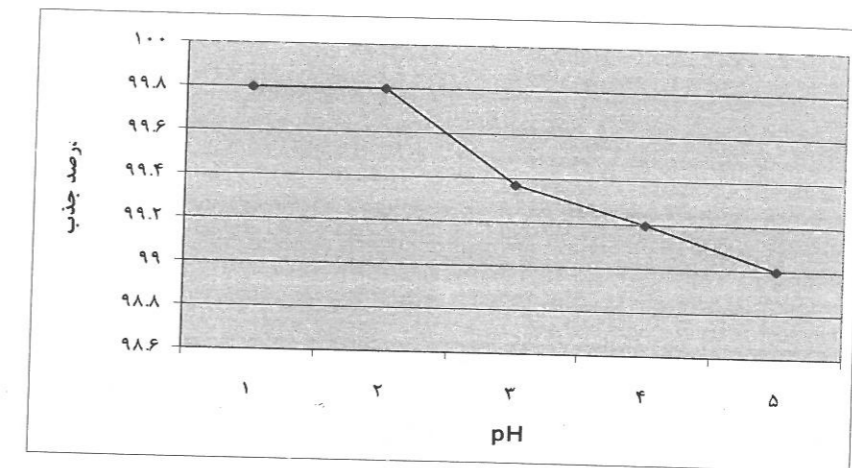
نتایج حاصل از زمان استفاده از کوره بر مقدار جذب پارانیتروفنل در جدول (۳) و شکل (۴) مشاهده می شود.

جدول ۳- استفاده از کوره در زمان های مختلف در دمای ۵۰۰ °C و مقایسه در صد جذب برای کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک ۲۰ درصد

مقدار جاذب (g)	Y درصد جذب	q (mg/g) ظرفیت جذب	C _e (ppm) غلظت ثانویه	C _i (ppm) غلظت اولیه	زمان (دقیقه)	کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک بدون استفاده از کوره
۰/۵	۹۲/۰۰	۳۶/۸۰	۳۲/۰۰	۴۰۰	-	استفاده از کوره
۰/۵	۹۲/۸۷	۳۷/۱۵	۲۸/۵۰	۴۰۰	۲۰	" "
۰/۵	۹۴/۸۷	۳۷/۹۵	۲۰/۵۰	۴۰۰	۳۰	" "
۰/۵	۹۵/۶۲	۳۸/۲۵	۱۷/۵۰	۴۰۰	۴۰	" "
۰/۵	۹۵/۶۲	۳۸/۲۵	۱۷/۵۰	۴۰۰	۶۰	" "



شکل ۴- استفاده از کوره در زمان های مختلف در دمای ثابت ۵۰۰ درجه سانتی گراد و مقایسه در صد جذب برای کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک ۲۰ درصد



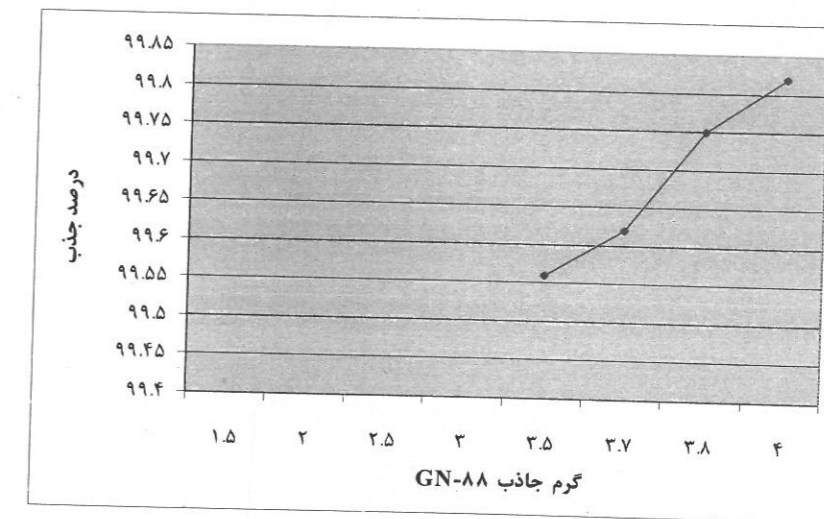
شکل ۶- مقایسه مقدار جذب برای کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک ۲۰ درصد در pH ۱ تا ۵

نتایج حاصل از اثر غلظت کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک ۲۰ درصد «GN-88» بر مقدار جذب پارانیتروفنل در شرایط بهینه بدست آمده در تحقیق (پ) - هاش ۲، استفاده از کوره در دمای ۵۵۰°C و زمان ۴۰ دقیقه) در جدول (۶) و شکل (۷) مشاهده می‌شود.

جدول ۶- اثر غلظت جاذب GN-88 بر مقدار جذب پارانیتروفنل در pH=۲

(استفاده از کوره در دمای ۵۵۰°C و زمان ۴۰ دقیقه)

مقدار جاذب (g)	Y درصد جذب	q (mg/g) ظرفیت جذب	C _e (ppm) غلظت ثانویه	C _i (ppm) غلظت اولیه	نمونه
۱/۵	-	-	خارج از حد تشخیص دستگاه	۱۰۰۰۰	GN-88
۲/۰	-	-	" "	۱۰۰۰۰	GN-88
۲/۵	-	-	" "	۱۰۰۰۰	GN-88
۳/۰	-	-	" "	۱۰۰۰۰	GN-88
۳/۵	۹۹/۵۶	۱۴۲/۲۲	۴۴/۰	۱۰۰۰۰	GN-88
۳/۷	۹۹/۶۲	۱۳۴/۶۲	۳۸/۰	۱۰۰۰۰	GN-88
۳/۸	۹۹/۷۵	۱۳۱/۲۵	۲۵/۰	۱۰۰۰۰	GN-88
۴/۰	۹۹/۸۲	۱۳۴/۷۸	۱۷/۵	۱۰۰۰۰	GN-88

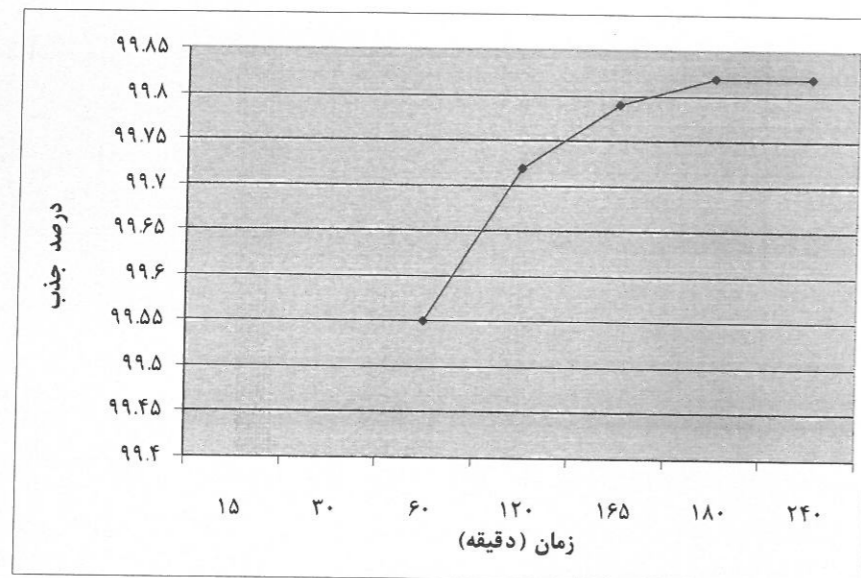


شکل ۷- اثر غلظت جاذب GN-88 بر میزان جذب پارانیتروفنل در pH=۲ (استفاده از کوره در دمای ۵۵۰°C و زمان ۴۰ دقیقه)

نتایج سرعت جذب پارانیتروفنل بر روی جاذب GN-88 در جدول (۷) و شکل (۸) مشاهده می‌شود.

جدول ۷- سرعت جذب پارانیتروفنل با غلظت ۱۰۰۰۰ ppm بر روی جاذب GN-88 (استفاده از کوره در دمای ۵۵۰°C، مدت ۴۰ دقیقه و در pH=۲)

مقدار جاذب (g)	Y درصد جذب	q (mg/g) ظرفیت جذب	C _e (ppm) غلظت ثانویه	C _i (ppm) غلظت اولیه	زمان (دقیقه)	نمونه
۴	-	-	خارج از حد تشخیص دستگاه	۱۰۰۰۰	۱۵	GN-88
۴	-	-	" "	۱۰۰۰۰	۳۰	GN-88
۴	۹۹/۵۵	۱۲۴/۴۳	۴۵/۰	۱۰۰۰۰	۶۰	GN-88
۴	۹۹/۷۲	۱۲۴/۶۵	۲۸/۰	۱۰۰۰۰	۱۲۰	GN-88
۴	۹۹/۷۹	۱۲۴/۷۴	۲۰/۵	۱۰۰۰۰	۱۶۵	GN-88
۴	۹۹/۸۲	۱۲۴/۷۴	۱۷/۵	۱۰۰۰۰	۱۸۰	GN-88
۴	۹۹/۸۲	۱۲۴/۷۴	۱۷/۵	۱۰۰۰۰	۲۴۰	GN-88



شکل ۸- درصد جذب بر حسب زمان برای جاذب GN-88 (استفاده از کوره در دمای ۵۵۰°C و زمان ۴۰ دقیقه و در pH=۲)

با استفاده از شرایط بهینه بدست آمده در تحقیق میزان جذب برای جاذب GN-88 در سه آزمایش بطور جداگانه تکرار شد. نتایج در جدول (۸) مشاهده می‌شود.

جدول ۸- نتایج حاصل از سه بار تکرار جهت تعیین ظرفیت جذب کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک (GN-88) با استفاده از شرایط بهینه بدست آمده در تحقیق حاضر

مقدار جاذب (g)	Y درصد جذب	q (mg/g) ظرفیت جذب	C _e (ppm) غلظت ثانویه	C _i (ppm) غلظت اولیه	زمان (دقیقه)	نمونه
۴	۹۹/۹۱	۱۲۴/۸۸	۹	۱۰۰۰۰	۱۶۵	GN-88
۴	۹۹/۸۱	۱۲۴/۷۶	۱۹	۱۰۰۰۰	۱۶۵	GN-88
۴	۹۹/۷۵	۱۲۴/۶۸	۲۵	۱۰۰۰۰	۱۶۵	GN-88

میانگین وانحراف معیار حاصل از سه بار تکرار آزمایش جهت تعیین میزان جذب با کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک ۲۰ درصد با استفاده از شرایط بهینه بدست آمده (استفاده از کوره در دمای ۵۵۰ °C و زمان ۴۰ دقیقه در pH=۲) به میزان ۱۲۴/۷۷±۰/۰۷۱ بدست آمد.

نتایج حاصل از مقایسه میزان جذب GN-88 با نمونه‌های نانو تیوب تک جداره کربن، نانو تیوب چند جداره کربن، نانو ذره آهن، کربن فعال اولیه و کربن فعال صنعت نفت با غلظت ۱۰۰۰ ppm در جدول (۹) مشاهده می‌شود.

جدول ۹- مقایسه درصد جذب با غلظت ۱۰۰۰ ppm از پارانیتروفنل بین جاذب GN-88 با جاذب‌های نانو تیوب تک جداره و

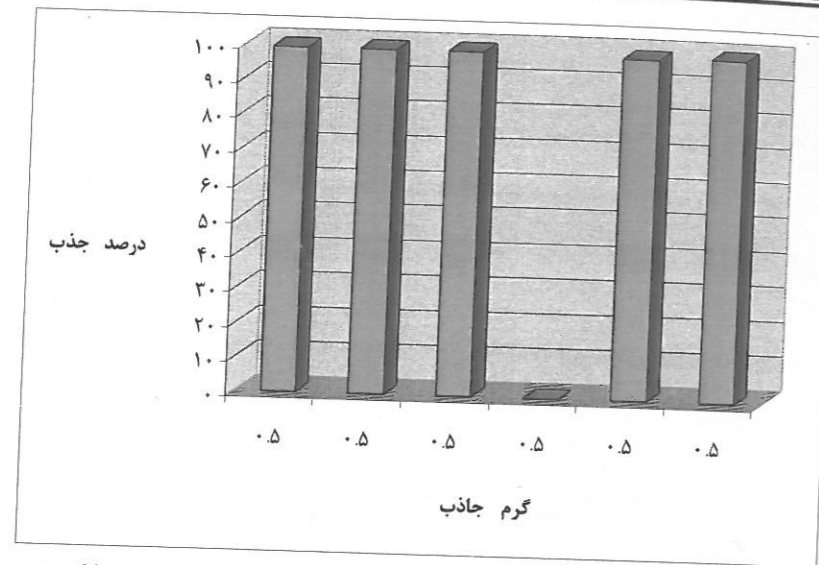
مقدار جاذب (g)	Y درصد جذب	q (mg/g) ظرفیت جذب	C _e (ppm) غلظت ثانویه	C _i (ppm) غلظت اولیه	نمونه
۰/۵	۹۹/۴	۹۹/۴	۶	۱۰۰۰	GN-88
۰/۵	-	-	خارج از حد تشخیص دستگاه	۱۰۰۰	MWCNT نانو تیوب چند جداره کربن
۰/۵	-	-	" "	۱۰۰۰	SWCNT نانو تیوب تک جداره کربن
۰/۵	-	-	" "	۱۰۰۰	نانو ذره آهن
۰/۵	-	-	" "	۱۰۰۰	کربن فعال بشل
۰/۵	-	-	" "	۱۰۰۰	کربن فعال صنعت نفت

نتایج حاصل از مقایسه میزان جذب GN-88 با نمونه‌های نانو تیوب تک جداره و چند جداره کربن، نانو ذره آهن، کربن فعال اولیه و کربن فعال صنعت نفت با غلظت ۲۰۰ ppm در جدول (۱۰) و شکل (۱۱) مشاهده می‌شود.

جدول ۱۰- مقایسه ظرفیت جذب با غلظت ۲۰۰ ppm از پارانیتروفنل بین جاذب GN-88 با جاذب‌های

نانو تیوب تک جداره و چند جداره کربن، کربن فعال بشل و نانو ذره آهن

مقدار جاذب (g)	Y درصد جذب	q (mg/g) ظرفیت جذب	C _e (ppm) غلظت ثانویه	C _i (ppm) غلظت اولیه	نمونه
۰/۵	۹۹/۲۵	۱۹/۸۵	۱/۵	۲۰۰	GN-88
۰/۵	۹۹/۰۰	۱۹/۸۰	۲/۰	۲۰۰	SWCNT نانو تیوب تک جداره کربن
۰/۵	۹۹/۰۰	۱۹/۸۰	۲/۰	۲۰۰	MWCNT نانو تیوب چند جداره کربن
۰/۵	-	-	خارج از حد تشخیص دستگاه	۲۰۰	نانو ذره آهن (OIRC-NF)
۰/۵	۹۸/۵۰	۱۹/۷۰	۳/۰	۲۰۰	کربن فعال صنعت نفت (OIRC-AC)
۰/۵	۹۹/۲۵	۱۹/۸۵	۱/۵	۲۰۰	کربن فعال بشل (اولیه) (BAKI-AC)



شکل ۹- مقایسه درصد جذب با غلظت ۲۰۰ ppm از پارانیتروفنل بین جاذب

GN-88 با جاذب‌های:

از راست: ستون ۱- کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک (GN-88)

ستون ۲- کربن فعال بشل (BAKI-AC)

ستون ۳- نانو ذره آهن (OIRC-NF)

ستون ۴- نانو تیوب چند جداره کربن (MWCNT)

ستون ۵- نانو تیوب تک جداره کربن (SWCNT)

ستون ۶- کربن فعال صنعت نفت (OIRC-AC)

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مقدار جذب کربن فعال اولیه پس از شستشوی کربن فعال با آب مقطر، جذب را تا ۶ درصد افزایش می‌دهد و اگر شستشو علاوه بر آب مقطر با اسید هیدروکلریک ۰/۱ نرمال هم انجام شود مقدار جذب تا ۸ درصد افزایش می‌یابد (جدول ۱). بالاترین میزان جذب PNP توسط کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک در غلظت‌های مختلف از ۶ تا ۳۵ درصد، غلظت ۲۰ درصد می‌باشد که با درصد جذب ۹۹/۵ درصد در غلظت ۸۰۰ mpp بدست آمد (جدول ۲). در میزان جذب ۹۹/۸ درصد بهترین زمان استفاده از کوره ۴۰ دقیقه در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (جدول ۳ و ۴)، در صورتیکه مقدار جذب کربن فعال بدون عملیات حرارتی تا ۴ درصد کاهش نشان می‌دهد (جدول ۴). زمان به تعادل رسیدن جذب بر روی کربن فعال در زمان‌های مختلف، نشان داد که حداکثر جذب PNP با غلظت ۱۰۰۰۰ ppm در ۱۸۰ دقیقه حاصل می‌شود (جدول ۷). با توجه به نتایج بدست آمده برای سرعت جذب PNP مشخص است که با افزایش زمان، میزان جذب افزایش می‌یابد. و بیشتر از ۹۰ درصد جذب در ۶۰ دقیقه اول رخ می‌دهد. این پدیده می‌تواند بعلت مکان‌های خالی زیاد در کربن فعال باشد که پس از این مدت، طبیعتاً جای خالی کمتری در اختیار PNP قرار داده و از شدت جذب آن کاسته می‌شود. یعنی جذب در دو مرحله تند و کند صورت می‌گیرد (غفوریان و همکاران، ۱۳۸۸). مقایسه کربن فعال GN-88 با جاذب‌های نانو تیوب تک جداره و چند جداره کربن، همینطور نانو ذره آهن و کربن فعال اولیه نشان می‌دهد که در غلظت ۱۰۰۰ ppm از پارانیتروفنل فقط GN-88 دارای ظرفیت جذب ۷-۹۹ mg/g می‌باشد و جاذب‌های دیگر در حد تشخیص دستگاه نبودند (جدول ۹)، به همین علت به جهت توانایی ظرفیت جذب PNP، توسط جاذب GN-88 آزمایشات در غلظت پایینتر، ۲۰۰ ppm نیز انجام شد. نتایج نشان داد که ظرفیت‌های جذب در نمونه‌های نانو تیوب تک جداره و چند جداره، کربن فعال اولیه و کربن فعال صنعت نفت به مقدار جزئی تفاوت دارند و برای نانو ذره آهن هیچ جذبی صورت نگرفت (جدول ۱۰). نتایج حاصل بیانگر برتری کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک ۲۰ درصد می‌باشد.

این برتری به دلیل تغییرات مناسب در سطح و حجم حفرات کربن فعال می‌باشد. نتیجه نهایی جذب PNP توسط کربن فعال بهینه شده با اسید فسفریک ۲۰ درصد، برابر ۱۴۲/۲۲ میلی گرم بر گرم جاذب بدست آمد (جدول ۶) که در مقایسه با مقادیر گزارش شده در سال ۲۰۱۰ که با استفاده از پسماند چای فعال شده، ظرفیت جذب PNP مقدار ۱۴۲/۸۵ میلی گرم بر گرم (Ahmaruzzaman *et al.*, 2010) و همچنین شلتوک برنج فعال شده با مقدار جذب ۲۹/۸ میلی گرم بر گرم جاذب توسط Ng و همکاران (2009) نشان داد که مقدار جذب حاصل در این پژوهش (مقدار ۱۴۲/۲۲ میلی گرم بر گرم جاذب) در حد مطلوبی می‌باشد.

کربن فعال بر پایه فیبر (Lu *et al.*, 2009)، پوست درخت خرما (Abdul Halif *et al.*, 2007)، تفاله چای و شلتوک برنج فعال شده و موارد مشابه دیگر بعلاظرافت ساختار پراحتی با روش‌های شیمیایی فعال شده و با تغییر در قطر حفرات به اندازه دلخواه، می‌توانند ظرفیت جذب بالایی بدست آورند. در مقابل کربن فعال بر پایه چوب لیمو دارای ساختاری مشابه نبوده و بسختی در حفرات آن تغییر ایجاد می‌شود. اما با توجه به نتیجه بدست آمده مشاهده می‌شود مقدار جذب در حد مطلوب می‌باشد. برتری دیگر کربن فعال استفاده شده در این پژوهش استفاده از تنها یک ماده شیمیایی جهت بهینه سازی بوده که در عین سهولت انجام آزمایش از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه می‌باشد.

منابع

- غفوریان، ح.، احمدی، ف. و ساداتی پور، م. ت. ۱۳۸۸. جداسازی کادمیم با استفاده از جاذب نانو تیوب کربن و کربن فعال. *مجله پژوهش‌های علوم و فنون دریایی*، ۴(۴): ۱-۸.
- مهربان، م. ۱۳۸۷. امکان سنجی تهیه یک جاذب جدید جهت جداسازی کادمیم با استفاده از آلزینات سدیم و نانو پودر کربن. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، دانشکده علوم فنون دریایی.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) 1990. Toxicological profile for nitrophenols (Draft). Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA.
- Ahmaruzzaman, M. & Laxmi Gayatri, S. 2010. Activated tea waste as a potential low-cost adsorbent for the removal of *p*-Nitrophenol from wastewater. *American Chemical Society. J. Chem. Eng. Data*, 55(11): 4614-4623.
- Huang, J., Yan, C., & Huang, K. 2009. Removal of *p*-nitrophenol by a water-compatible hypercrosslinked resin functionalized with formaldehyde carbonyl groups and XAD-4 in aqueous solution: A comparative study. *Journal of Colloid and Interface Science*, 332:60-64.
- Jana, S., Ghosh, S., Nath, S., Pande, S., Praharaj, S., Panigrahi, S., Basu, S., Endo, T. & Pal, T. 2006. Synthesis, of silver nanoshell-coated cationic polystyrene beads: A solid phase catalyst for the reduction of 4-nitrophenol. *Applied Catalysis A: General*, 313: 41-48.
- Kumar, A., Kumara, S., Kumara, S., & Gupta, B. D. 2007. Adsorption of phenol and 4-nitrophenol on granular activated carbon in basal salt medium: Equilibrium and kinetics. *Journal of Hazardous Materials*, 147:155-166.
- Lu, W., Chen, W., Li, N., Xu, M. & Yao, Y. 2009. Oxidative removal of 4-nitrophenol using activated carbon fiber and hydrogen peroxide to enhance reactivity of metallophthalocyanine. *Applied Catalysis B: Environmental*, 87:146-151.
- Ma, J., Zhu, L. 2007. Removal of phenols from water accompanied with synthesis of organobentonite in one-step process. *Chemosphere*, 68:1883-1888.
- Marais, E., & Nyokong, T. 2008. Adsorption of 4-nitrophenol onto Amberlite® IRA-900 modified with metallophthalocyanines. *Journal of Hazardous Materials*, 152: 293-301.
- Nayak, P. S. & Singh, B. K. 2007. Sorption studies on clay for the removal of phenol and 4-nitrophenol from aqueous solution. *Indian journal of chemistry*, 46A:620-623.
- Ng, S. L., Seng, C. E. & Lim, P. E. 2009. Quantification of bioregeneration of activated carbon and activated rice husk loaded with phenolic compounds. *Chemosphere*, 75: 1392-1400.

- Norzilah, A. H., Wan, M. A., Wan Daud, I., M. N., Che, R. & Che, H. 2007. The effect of temperature on the adsorption of 4-nitrophenol onto palm shell based activated carbon. *Journal of Engineering Education*, 31(2): 23-29.
- Yang, K., Wu, W., Jing, Q. & Zhu, L. 2008. Aqueous adsorption of aniline, phenol, and their substitutes by multi-walled carbon nanotubes. *American Chemical Society. Environ. Sci. Technol.*, 42:7931-7936.