

## کارایی حذف اورتوکلروفنل از محیط آبی با استفاده از خاکستر فرار فعال شده نیروگاه سوخت فسیلی زرنند کرمان

**محمد ملکوتیان:** استاد، مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان ایران-

نویسنده رابط: m.malakootian@yahoo.com

**علیرضا مصداقی نیا:** استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، مرکز تحقیقات کیفیت آب، پژوهشکده

محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

**شیمای رضایی:** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۵

### چکیده

**زمینه و هدف:** کلروفنلها در زمره آلاینده هایی سمی آلی اسیدی و دارای اولویت می باشند. یکی از بهترین روشهای حذف کلروفنلها، استفاده از جاذبهای مختلف می باشد. در این تحقیق کارایی حذف اورتوکلروفنل به عنوان یکی از معمول ترین آلاینده های آلی محیط های آبی با روش جذب بر روی خاکستر فرار فعال شده بررسی گردید.

**روش کار:** در این تحقیق تجربی خاکستر فرار تهیه شده از نیروگاه زرنند کرمان، توسط اسید سولفوریک فعال گردید. عوامل موثر در فرآیند فعال سازی جاذب شامل دما، زمان، مقدار و غلظت اسید و همچنین عوامل تاثیرگذار در فرآیند جذب برای شرایط بهینه تنظیم شد. آزمایش ها بر روی پساب واقعی کارخانه زغال شویی زرنند نیز انجام گرفت. داده ها توسط نرم افزار SPSS تحلیل گردید.

**نتایج:** فعال سازی جاذب در شرایط بهینه زمان ۵ ساعت، غلظت اسید ۱/۸ مولار، دمای  $29 \pm 2^{\circ}\text{C}$  و نسبت اسید به خاکستر فرار برابر با ۷ انجام گرفت. بازده حذف اورتوکلروفنل در پساب کارخانه زغالشویی زرنند در شرایط بهینه (pH ۲، مقدار ۱ گرم جاذب در زمان ۳ ساعت) برابر ۸۴/۴٪ بود.

**نتیجه گیری:** علاوه بر بالا بودن بازده جذب اورتوکلروفنل چون فعال سازی جاذب نیاز به فن آوری پیچیده نداشته و هزینه بر نبوده می توان از جاذب مذکور برای حذف این آلاینده از پساب صنایع استفاده نمود.

**واژگان کلیدی:** فعال سازی شیمیایی جاذب، جذب، اورتوکلروفنل، خاکستر فرار

### مقدمه

محصولات تجزیه علف کشهایی فنوکسی تولید می گردند (Bertelli and Selli 2006). از دیگر منابع ورود کلروفنلها به محیط می توان به فاضلاب صنایع دارویی، پالایشگاههای پتروشیمی، فاضلاب صنایع رنگی و پلاستیک، حشره کشها، قارچ کشها، حفاظت کننده های چوب، صنایع تبدیل زغال و صنایع کاغذ اشاره نمود (Anbia and Lashgari 2009).

کلروفنل ها بعنوان شایع ترین آلاینده هایی آلی محیط های آبی (Wang and Wu 2006)، با داشتن سمیت حاد (Ma et al. 2014) و پایداری ناشی از باندهای کربن-هالوژن باعث آلودگی آب های سطحی، زیرزمینی و خاک می شوند (Sun and Zhang 2006). این ترکیبات شیمیایی در نتیجه ضد عفونی منابع آب و فاضلاب با کلر بعنوان محصول جانبی واکنش هیپوکلریتها با اسیدهای فنلیک یا به عنوان

حذف، فرایند جذب می باشد (Jamalinejad et al. 2011).

تحقیقات زیادی برای توسعه کاربرد جاذبهای کم هزینه در حالا انجام است (Ghanizadeh and Asgari 2009). استفاده از دورریزهای صنعتی بعنوان جاذب علاوه بر کم هزینه بودن با سیاست بازیافت از مبدا در بحث مدیریت پسماند نیز هم خوانی دارد. یکی از پرکاربردترین جاذبهای ارزان قیمت، خاکستر فرار حاصل از سوزاندن زغال یا مازوت در نیروگاه های برق می باشد. خاکستر فرار حاصل از سوختن مازوت بعلت وجود مقدار بالای از ذرات نوسخته، کاربردش به عنوان یک جانشین بالقوه برای کربن فعال بسیار جالب توجه می باشد. از انواع خاکستر فرار علاوه بر حذف رنگ، موادی آلی و یون های فلزی از محیط های آبی در سیمان پورتلند، ساخت و ساز و دیگر برنامه های کاربردی مهندسی عمران نیز استفاده می شود (Ali et al. 2012).

در تحقیق Lin و همکارانش در سال ۲۰۰۸ در چین رنگ بازی متیلن بلو با استفاده از خاکستر فرار فعال شده با اسید سولفوریک حذف گردید (Lin et al. 2008). Zhang و همکارانش در سال ۲۰۱۲ در چین از خاکستر فرار فعال شده با اسید نیتریک در حضور  $H_2O_2$  جهت حذف پارانیتروفنل به روش شبه فنتون هتروژن استفاده نمودند (Zhang et al. 2012). Zhou و همکارانش در سال ۲۰۱۴ در چین جهت جذب ترکیبات آلی فرار بر روی خاکستر فرار فعال شده با اسید و سپس قلیا گزارش دادند که فرایند فعال سازی منجر به افزایش بازده حذف گردید (Zhou et al. 2014). خاکستر فرار حاصل از نیروگاه دوگانه سوز (زغال سنگ و مازوت) شهرستان زرند واقع در شمال کرمان بدون هیچ استفاده ای در اطراف نیروگاه انباشته می شود. بدلیل اینکه کاربرد خاکستر فرار در تصفیه آلاینده ها از محیط های آبی به میزان زیادی متاثر از منشاء آنها می باشد. ترکیب شیمیایی و ویژگیهای سطحی خاکستر فرار بسته به نوع سوخت، منبع و ترکیب آن، ویژگیهای کوره و فرایند سوختن تغییر می-

در تقسیم بندی آلاینده های سمی آلی، کلروفنل ها در دسته ترکیبات اسیدی قرار دارند (Xie et al. 2012). ۰/۰۱ میلیگرم بر لیتر از این ترکیبات سبب ایجاد طعم، مزه و بوی بسیار نامطلوب در محیط آبی می گردد (Fattahi et al. 2007). این ترکیبات در غلظت های بالا دارای خاصیت بیوسایدی و زنوبیوتیکی می باشند. میزان سمیت با افزایش در درجه کلریناسیون کلروفنل ها افزایش می یابد (Anbia and Lashgari 2009). کلروفنل ها به علت ایجاد مشکلاتی مانند ناراحتی های گوارشی، سوزش پوست و در برخی موارد سرطان و سایر اثرات مضر بر روی انسان و حیوان به عنوان یک نگرانی زیست محیطی قلمداد می شوند. اثرات سمیت مزمن ناشی از ترکیبات فنلی در انسانها شامل استفراغ، سختی در بلع، بی اشتهایی، آسیب به کبد و کلیه ها، سردرد، ضعف و دیگر اختلالات ذهنی می باشد (Kamble et al. 2008). EPA فهرستی شامل ۹ کلروفنل که جزو آلاینده های دارای اولویت می باشند تهیه نموده است. یکی از کلروفنل های سمی تر و سرطان زای این فهرست اورتوکلروفنل می باشد. اگر مقادیر بهداشتی و زیباشناسی (بو و مزه) اورتوکلروفنل بترتیب از ۰/۳ و ۰/۰۰۱ میلیگرم بر لیتر تجاوز نماید به عنوان معضل بهداشتی مطرح می گردد. بر اساس استاندارد EPA غلظت اورتوکلروفنل در آب آشامیدنی نباید از ۲۰۰ میکروگرم بر لیتر بیشتر باشد (Xia et al. 2011). حلالیت این آلاینده در محیط های آبی بسیار بالا می باشد (Yang et al. 2014). از این رو حذف این آلاینده از محیط های آبی ضروری می باشد.

متداولترین روش های بکار رفته جهت حذف ترکیبات فنلی از فاضلاب شامل تجزیه بیولوژیکی، جذب در کربن فعال، بیوجذب، استخراج با حلال، اکسیداسیون شیمیایی (با استفاده از، پراکسید هیدروژن، دی اکسید کلرین)، تزریق در چاه عمیق، سوزاندن، تجزیه نوری، انعقاد و لخته سازی می باشد (Anbia and Lashgari 2009; Khan et al. 2011; Şenel et al. 2006). یکی از بهترین روشهای

خاکستر فرار pH، EC و Total Dissolved Solids (TDS) اندازه گیری شد. در ادامه خاکستر فرار با استفاده از اسید سولفوریک مورد فعال سازی شیمیایی قرار گرفت. فعال سازی خاکستر فرار: طی چندین آزمایش متوالی، تاثیر عوامل موثر بر فعال سازی جاذب شامل غلظت اسید، مقدار اسید، دما و زمان فعال سازی خاکستر فرار مورد بررسی قرار گرفت. در آزمایشهای مربوط به هر مرحله، با تغییر یک عامل و ثابت فرض نمودن سایر عوامل، کلیه پارامترها بهینه شد. سپس جاذب بدست آمده برای جذب اورتوکلروفنل از محلول سنتتیک در شرایط کاملا یکسان مورد استفاده قرار گرفت. انتخاب مقادیر بهینه عوامل موثر در تهیه خاکستر فرار فعال شده به ترتیب زیر صورت گرفت:

۱- تعیین غلظت بهینه اسید: در آزمایش اول خاکستر فرار در غلظت های متفاوت اسید ۰/۱، ۰/۱، ۱، ۱/۸ و ۲ مولار فعال گردید. این فرآیند بمدت ۳ ساعت در نسبت اسید به خاکستر فرار برابر ۳ و دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس تحت شرایط رفلاکس در دستگاه شوف بالون انجام گرفت. پس از فیلتر نمودن، جاذب چندین بار با آب مقطر و در ادامه با اتانول (جهت کاهش pH) شسته شدند. سپس خاکستر فرار در آون با دمای ۱۰۵ تا ۱۲۰ درجه سلسیوس تا وزن ثابت خشک گردید. جهت خشک شدن نمونه ها از دسیکاتور استفاده شد. بدین ترتیب جاذب خاکستر فرار اسیدی شده Acidified Fly Ash (AFA) بدست آمد. سپس بازده حذف o-CP (با غلظت ۵۰ mg/L) در دمای اتاق و زمان تماس ۱ ساعت و مقدار ۰/۵ گرم از هر کدام از جاذب های فعال شده در غلظت های متفاوت اسید تعیین و مقایسه گردید.

۲- تعیین نسبت بهینه اسید به خاکستر فرار: در آزمایش دوم فرآیند فعال سازی اسیدی در نسبت های متفاوت اسید به خاکستر فرار (۳، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۳) انجام شد. این فرآیند در زمان ۳ ساعت، دمای جوش تحت شرایط رفلاکس و غلظت بهینه اسید صورت گرفت. بعد از شستن و خشک نمودن جاذبها، بازده حذف اورتوکلروفنل

یابد (Sarkar and Acharya 2006; Viša and Duřa 2010). از آنجا که بازیافت خاکستر فرار از آلودگی محیط زیست جلوگیری می نماید. در این تحقیق بر آن شدیم تا ابتدا با بکارگیری یک روش ساده به حذف ناخالصی ها و آلاینده های مضر خاکستر فرار پرداخته و سپس به بررسی قابلیت کاربرد خاکستر فرار فعال شده نیروگاه مذکور برای حذف اورتوکلروفنل از پساب کارخانه زغال شویی واقع در جنب نیروگاه پردازیم. تا در صورت تایید قابلیت کاربرد جاذب مذکور، بدون پرداخت هزینه حمل و نقل تنها با بکارگیری یک فرایند فعال سازی ساده که نیاز به فن آوری پیچیده نداشته و هزینه بر نبوده به بازده حذف مناسبی دست یافت. تا بتوان با تکیه بر روش کاربرد دورریز برای تصفیه دورریز، از زاندا ت جامد خاکستر فرار برای تصفیه فاضلاب در مقیاس صنعتی استفاده نمود.

## روش کار

این تحقیق تجربی در مقیاس آزمایشگاهی و بطور ناپیوسته هم بر روی نمونه های صنعتی و هم بر روی نمونه واقعی در سال ۱۳۹۲ در مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان انجام گرفت. ابتدا محلول استوک اورتوکلروفنل ortho-ChloroPhenol (o-CP) با غلظت ۱۰۰۰ ppm تهیه شد. خاکستر فرار نیروگاه حرارتی زرنند کرمان از سیکلون جمع کننده ذرات، نمونه برداری گردید. ذراتی با مش بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ انتخاب شد. خاکستر فرار الک شده، با آب مقطر در نسبت مایع به جامد برابر با ۱۰ به مدت ۴۸ ساعت مورد شستشو قرار گرفت. این عمل جهت جدا نمودن ناخالصی ها و ترکیبات محلول در آب موجود در خاکستر فرار انجام گرفت. بعد از شستشوی خاکستر فرار، نمونه ها با فیلتر ۰/۴۵ میکرون فیلتر شده و در آون ۱۰۵ درجه سلسیوس تا وزن ثابت خشک گردید. نهایتا خاکستر شسته شده Washed Fly Ash (WFA) بدست آمد. قبل و بعد از شستن

AFA تماس داده شد. در تمام آزمایشها بازده با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید:

$$R = \frac{[(C_0) - C_t]}{C_0} \times 100$$

(معادله ۱)

$C_0$  غلظت اولیه o-CP بر حسب  $mg/L$ ،  $C_t$  غلظت o-CP پس از زمان  $t$  بر حسب  $mg/L$  و  $R$  بازده حذف بر حسب درصد می باشد. ظرفیت جذب با استفاده از معادله ۲ محاسبه می شود.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{M}$$

(معادله ۲)

$q_e$  مقدار ماده جذب شده در واحد جرم جاذب بر حسب  $mg/g$ ،  $V$  حجم محلول حاوی آلاینده بر حسب لیتر،  $M$  مقدار خاکستر اضافه شده بر حسب گرم و  $C_e$  غلظت o-CP در محلول در زمان تعادل بر حسب  $mg/L$  می باشد.

۴- ایزوترم و سینتیک جذب اورتوکلووفنل بر روی خاکستر فرار فعال شده: ایزوترم‌های فروندلیچ و لانگمیر نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ و همچنین سینتیک درجه اول و درجه دوم نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ برای جذب o-CP بر روی AFA بررسی شد.

۵- تعیین قابلیت استفاده مجدد از جاذب: جهت تعیین قابلیت بازیافت جاذب، خاکستر فرار فعال شده بعد از استفاده در فرآیند جذب، چندین بار با آب مقطر شسته شده و بعد از خشک شدن بازده حذف مجدد در شرایط بهینه محاسبه گردید.

۶- واجذب آلاینده از روی جاذب: جهت تعیین میزان واجذب آلاینده اورتوکلووفنل از سطح جاذب خاکستر فرار فعال شده، بعد از اینکه فرآیند جذب به تعادل رسید، محلول واکنش مجدداً بمدت ۵ ساعت بر روی همزن همزده شد و هر یک ساعت یکبار غلظت اورتوکلووفنل موجود در محلول اندازگیری شد.

۷- تعیین بازده حذف اورتوکلووفنل در نمونه واقعی: نمونه واقعی تهیه شده از پساب کارخانه زغال شویی زرنند تحت شرایط استاندارد به آزمایشگاه منتقل گردید. در ابتدا کیفیت فیزیکی - شیمیائی فاضلاب خام واقعی اندازه گیری شد.

تعیین گردید. با مقایسه بازده حذف بدست آمده نسبت بهینه انتخاب گردید.

۳- تعیین زمان بهینه فعالسازی جاذب: در آزمایش سوم خاکستر فرار در زمانهای متفاوت (۱، ۳، ۵، ۹ و ۱۰ ساعت) فعال گردید. این فرآیند در مقدار و غلظت بهینه اسید و دمای جوش تحت شرایط رفلاکس انجام گرفت. بعد از شستن و خشک نمودن نمونه ها، جهت انتخاب زمان بهینه، بازده حذف اورتوکلووفنل توسط جاذبهای مذکور تعیین و مقایسه گردید.

۴- تعیین دمای بهینه فعالسازی خاکستر فرار: در آزمایش چهارم خاکستر فرار در دماهای متفاوت (دمای اتاق (۲۹)، ۷۰، ۸۵، ۱۰۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس) فعال گردید. این فرآیند در زمان، غلظت و مقدار اسید بهینه انجام شد. سپس با مقایسه بازده حذف اورتوکلووفنل توسط خاکستر فرار فعال شده در دماهای متفاوت، دمای بهینه تعیین گردید.

بهینه سازی عوامل موثر بر فرآیند جذب: پس از تهیه خاکستر فرار فعال شده، عوامل موثر بر فرآیند جذب با جاذب مذکور مورد بررسی قرار گرفت.

۱- تعیین pH بهینه: بمنظور بررسی میزان تاثیر pH بر روی بازده حذف اورتوکلووفنل، ۱۰۰ ml محلول اورتوکلووفنل با pH های متفاوت (از ۲ تا ۱۱) با مقدار ۰/۵ گرم جاذب در دمای اتاق ( $29 \pm 2$  درجه سلسیوس) تماس داده شد. pH با استفاده از NaOH ۰/۱ مولار و HCl ۰/۱ مولار تنظیم شد.

۲- تعیین مقدار بهینه جاذب: بمنظور بررسی میزان تاثیر دو فاکتور مقدار ماده جاذب و زمان تماس بر روی بازده حذف اورتوکلووفنل مقادیر متفاوتی از خاکستر فرار فعال شده (از ۰/۲ تا ۱/۲ گرم) با ۱۰۰ میلی لیتر محلول اورتوکلووفنل (با غلظت ۵۰ mg/l) در زمانهای تماس متفاوت (از ۳۰ تا ۲۱۰ دقیقه) تماس داده شد.

۳- بررسی تاثیر غلظت اولیه اورتوکلووفنل در بازده حذف: غلظت‌هایی متفاوتی از o-CP در محدوده ۲۰ تا ۲۵۰ میلیگرم بر لیتر در شرایط بهینه تا زمان تعادل با

افزایش درصد وزنی کربن و حذف ترکیب خطرناک وانادیم بعد از فعال سازی جاذب می‌باشد.

۲- تاثیر غلظت اسید در فعال سازی جاذب: تغییرات بازده حذف اورتوکلوپفل با جاذبهای فعال شده در غلظت‌های متفاوت اسید در نمودار ۱ نشان داده شده است.

بازده حذف اورتوکلوپفل توسط خاکستر فرار خام (غلظت اسید ۰٪) برابر ۵۸/۸٪ بود. با فعال سازی جاذب توسط اسید سولفوریک، بازده حذف o-CP افزایش یافت. به طوری که جاذب فعال شده در غلظت‌های بالاتر اسید، دارای بازده جذب بیشتری بود. بازده حذف o-CP توسط خاکستر فرار فعال شده در غلظت‌های اسید ۰/۰۱، ۱/۸ و ۲ مولار بترتیب برابر ۷۳/۸، ۸۱/۲۹ و ۸۱/۴ درصد بود. همانگونه که مشاهده می‌شود تفاوت در بازده جذب اورتوکلوپفل توسط جاذب فعال شده در غلظت اسید ۱/۸ و ۲ مولار ناچیز می‌باشد. بدین ترتیب غلظت ۱/۸ مولار به عنوان غلظت بهینه اسید انتخاب گردید. از نظر آماری غلظت اسید بکار رفته در فعال سازی جاذب با بازده جذب ارتباط معنی داری ندارند ( $p=0/085$ ).

۳- تاثیر نسبت اسید به خاکستر فرار در فعال سازی جاذب: افزایش نسبت حجم اسید (میلی لیتر) به وزن خاکستر فرار خام (گرم) در فعال سازی جاذب منجر به افزایش بازده حذف اورتوکلوپفل گردید. بطوریکه بازده حذف در نسبت‌های ۳، ۷، ۹، ۱۰ و ۱۳ بترتیب برابر ۸۱/۴۷، ۸۴/۴، ۸۴/۲۵، ۸۴/۲۶ و ۸۴/۶۸ درصد بود. همانگونه که مشاهده می‌شود بازده حذف اورتوکلوپفل توسط جاذب فعال شده در نسبت‌های بالاتر از ۷ تقریباً یکسان بود. بدین ترتیب نسبت برابر ۷ به عنوان نسبت بهینه اسید به خاکستر فرار انتخاب گردید. تحلیل آماری نشان داد ارتباط معنی داری بین نسبت اسید به خاکستر فرار و بازده جذب وجود ندارد ( $p=0/065$ ).

۴- تاثیر زمان فعال سازی جاذب بر بازده جذب: نمودار ۲ تغییرات بازده جذب o-CP توسط جاذب‌های فعال شده در زمان‌های متفاوت فعال سازی را نشان می‌دهد.

سپس بازده حذف اورتوکلوپفل در نمونه واقعی با استفاده از جاذب AFA در شرایط بهینه تعیین گردید. به منظور اطمینان از نتایج، کلیه آزمایشها سه بار تکرار گردید. تمام آزمایش‌های جذب در دمای اتاق و با همزن مدل Heidolph ۳۰۰۱ با دور ۴۰۰rpm انجام گرفت. عمل فیلتر نمودن نمونه‌ها با استفاده از فیلتر ۰/۴۵ میکرون انجام شد. جهت حذف جاذب، محلول با سانتریفیوژ مدل Centrifuge-۱۵۰ در rpm ۳۵۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. میزان باقیمانده o-CP توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV-1800 SHIMADZU در طول موج ۲۷۴ نانومتر قرائت گردید. مواد شیمیایی مورد نیاز از شرکت مرک تهیه شد. عکس Scanning electron microscope (SEM) و EDS نمونه خاکستر فرار قبل و بعد از اصلاح تهیه گردید. تجزیه تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS و تست پیرسون انجام گرفت.

## نتایج

۱- تاثیر فرایند فعال سازی خاکستر فرار: تصویر تهیه شده از نمونه خاکستر فرار قبل و بعد از فعال سازی توسط میکروسکوپ الکترونی رویشی در شکل ۱ ارائه شده است. شکل ۱ نشان دهنده افزایش تخلخل و در نتیجه افزایش مکانهای جذب در سطح خاکستر فرار بعد از فعال سازی می‌باشد. pH قبل و بعد از شستشوی ۴۸ ساعته خاکستر فرار، ثابت و برابر ۲/۶ بود. اما EC از ۲/۳ به ۴/۰۷ میلی زیمنس بر سانتیمتر و TDS از ۸۰ ppm به ۱۷۱۰ ppm افزایش یافت. EDS نمونه‌ها نشان داد که درصد وزنی عناصر و اکسیدهای فلزی موجود شامل کربن، سولفور، اکسیژن، CO<sub>2</sub>، SO<sub>3</sub>، آهن، وانادیم، V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> و Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> قبل از فعال سازی جاذب به ترتیب برابر ۷۷/۹۴، ۷/۷۳، ۱۰/۹، ۹۱/۹۷، ۶/۲۲، ۱/۳۲، ۲/۰۹، ۱/۲ و ۰/۶۱ بود اما درصد وزنی این عناصر و ترکیبات بعد از فعال سازی جاذب به ترتیب به ۸۶/۵۲، ۶/۸، ۶/۶۸، ۹۴/۹۲، ۵/۰۸، ۰، ۰ و ۰ رسید. این نتایج نشان دهنده

غلظت  $50 \text{ mg/L}$  برابر  $4/98 \text{ mg/g}$  بود. بازده حذف اورتوکروفلن از نمونه سنتتیک در شرایط بهینه (pH برابر ۲، زمان ۳h و مقدار جاذب برابر ۱g) برابر  $98/72\%$  بود. مقدار جاذب با بازده حذف از نظر آماری با  $p=0/026$  رابطه معنی دار داشت.

۳- تاثیر غلظت اولیه اورتوکروفلن در بازده حذف: افزایش غلظت اولیه اورتوکروفلن (از ۲۰ تا ۲۵۰ میلیگرم بر لیتر) منجر به افزایش ظرفیت جذب (از  $1/9$  تا  $16/6$  میلیگرم بر گرم) و کاهش بازده حذف (از  $99/6$  تا  $66/4$  درصد) گردید. تحلیل آماری نشان داد غلظت اورتوکروفلن با بازده حذف دارای رابطه معنی داری می باشد ( $p=0/000$ ).

۴- ایزوترم و سینتیک جذب: محاسبه پارامترهای ایزوترم جذب  $o\text{-CP}$  بر روی خاکستر فرار فعال شده نشان داد در شرایط تعادل برای فرایند جذب اورتوکروفلن، همدمایی جذب فروندلیچ بهترین توصیف کننده وضعیت تعادلی می باشد. همخوانی خوب این مدل به داده های همدمای جذب  $o\text{-CP}$  توسط ضرایب تبیین  $R^2=0/96$  نشان داده شد. در بررسی سینتیک جذب، با توجه به  $R^2=0/99$  و همچنین مقایسه بین مقدار جذب تعادلی محاسبه شده ( $q_{e(\text{cal})}=5/18$ ) و مقدار جذب تعادلی بدست آمده از طریق آزمایش ( $q_{e(\text{exp})}=4/94$ ) مشخص شد که سینتیک جذب  $o\text{-CP}$  بر روی AFA از درجه دوم نوع-۱ تبعیت می کند.

۵- قابلیت استفاده مجدد از جاذب: آزمایشات انجام شده جهت بررسی قابلیت استفاده مجدد از جاذب نشان داد که بازده حذف اورتوکروفلن در شرایط بهینه طی دو بار بازیافت جاذب به ترتیب برابر  $89/4\%$  و  $75\%$  می باشد.

۶- واجذب آلاینده از روی جاذب: بررسی میزان واجذب اورتوکروفلن از روی جاذب نشان داد که آلاینده هیچگونه واجذبی از روی جاذب نداشت.

۷- بازده حذف اورتوکروفلن در نمونه واقعی: بازده حذف اورتوکروفلن در پساب کارخانه زغالشویی زرنند در شرایط بهینه (pH ۲، مقدار ۱ گرم جاذب و زمان ۳ ساعت) برابر  $84/4\%$  بود.

افزایش زمان فعال سازی اسیدی جاذب، منجر به تهیه جاذبی با توانایی جذب بیشتر اورتوکروفلن گردید. با افزایش زمان فعال سازی خاکستر فرار از ۱ تا ۱۰ ساعت بازده جذب اورتوکروفلن از  $82/3$  تا  $89/9$  درصد افزایش یافت. اما چون تفاوت قابل ملاحظه ای در بازده حذف وجود دیده نشد، زمان اقتصادی ۵ ساعت به عنوان زمان بهینه انتخاب گردید. با توجه به تحلیل آماری صورت گرفته زمان فعال سازی جاذب با بازده جذب دارای رابطه معنی داری می باشد ( $p=0/003$ ).

۵- تاثیر دمای فعال سازی جاذب بر بازده جذب: تغییرات بازده حذف  $o\text{-CP}$  توسط جاذب های فعال شده در دماهای متفاوت در نمودار ۳ مشاهده می شود.

جاذب فعال شده در دمای بالاتر دارای بازده حذف بیشتر  $o\text{-CP}$  بود. با افزایش دمای اصلاح جاذب از ۲۸ تا  $120$  درجه سلسیوس بازده از  $83/3$  تا  $87/46$  درصد افزایش یافت. که تفاوت در بازده حذف چشمگیر نبود. در چنین شرایطی با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی، دمای اتاق ( $28$  درجه سلسیوس) به عنوان دمای بهینه انتخاب گردید. دمای فعال سازی با بازده جذب از نظر آماری رابطه معنی داری داشت ( $p=0/003$ ).

تاثیر عوامل موثر در فرایند جذب:

۱- تاثیر pH: تغییرات بازده حذف اورتوکروفلن در pH متفاوت نشان داد که با کاهش pH (از ۱۱ تا ۲) بازده حذف از  $36$  تا  $94/5$  درصد افزایش می یابد. بدین ترتیب pH برابر ۲ بعنوان pH بهینه انتخاب گردید. همچنین میزان جذب در pH خنثی در زمانهای متفاوت بسیار ناچیز بود. فرآیند بعد از ۳ ساعت به تعادل رسید. به لحاظ آماری رابطه معنی داری بین pH با بازده حذف وجود نداشت ( $p=0/152$ ).

۲- تاثیر مقدار جاذب: افزایش مقدار جاذب (از  $0/2$  تا  $1/2$  گرم) منجر به افزایش بازده حذف اورتوکروفلن (از  $66$  تا  $98/72$  درصد) گردید. چون تفاوت بازده حذف در مقادیر جاذب ۱ و  $1/2$  گرم دیده نشد، مقدار ۱ گرم به عنوان مقدار بهینه جاذب انتخاب شد. مقدار جذب در

## بحث

معنی داری در خالص سازی خاکستر فرار نداشت. که نتایج با یافته‌های مطالعه حاضر مطابقت دارد. همچنین این محقق مشاهده نمود که با افزایش زمان و دمای فعال‌سازی اسیدی خاکستر فرار، درصد ناخالصی‌های جاذب کاهش یافت و این شرایط نهایتاً منجر به تهیه جاذبی با بازده جذب بهتر گشت (Panitchakarn et al. 2014). همانگونه که مشاهده شد نتایج این مطالعه با یافته‌های تحقیق حاضر هم خوانی دارد.

تاثیر pH: ترکیبات اسیدی مانند کلروفنل‌ها که دهنده الکترون هستند هنگامیکه pH بزرگتر از  $pK_a$  باشد ( $pK_a$  کلروفنل‌ها از ۴/۷ تا ۹/۴ متغییر می‌باشد) به آنیون تبدیل می‌شوند. تجمع و ارتقاء بار  $OH^-$  و یونهای فنوکسید سبب ایجاد رقابت و کاهش بازده جذب در pH بالا می‌شود (Nadavala et al. 2009). در pH پایین‌تر، فنل‌های کلرینه شده بشکل خنثی وجود دارند در نتیجه واکنش این ترکیبات با مکانهای جذب در سطح جاذب بوسیله نیروهای کشش سطحی افزایش می‌یابد (Anbia and Amirmahmoodi 2011). بازده ۰٪ در pH خنثی ناشی از تضعیف نیروهای تداخلی بین کلرفنل‌ها و سطح جاذب می‌شود (Şenel et al. 2006). Baker و همکارانش در سال ۲۰۰۹ در ژاپن جهت حذف 2-CP با استفاده از ژئولیت طبیعی اظهار داشتند که بازده حذف در pH اسیدی بعلت غالب بودن گونه‌های خنثی بالاتر بود (Baker and Ghanem 2009). Senel و همکارانش در ترکیه با استفاده از فیبرهای تو خالی پلی آمیدی (Şenel et al. 2006)، و Ali و همکارانش در هند با استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت (Ali et al. 2012) به ترتیب pH معادل ۲ و ۱ را به عنوان pH بهینه در حذف اورتوکلروفنل انتخاب نمودند. نتایج تحقیق حاضر با نتایج سایر تحقیقات مطابقت دارد.

تاثیر مقدار جاذب: علت افزایش بازده حذف و مقدار جذب با افزایش مقدار جاذب، بعلت در دسترس بودن مکانهای جذب خالی و شیب غلظت بالا بین فاز محلول و فاز جامد می‌باشد (Javadian et al. 2013; Manshouri et al. 2012). Abou-Elela و همکارانش در سال ۲۰۱۴ و

تاثیر فعال‌سازی جاذب: افزایش EC و TDS بعد از شستشوی ۴۸ ساعته خاکستر فرار خام با آب مقطر، نشان‌دهنده انحلال ترکیبات محلول در آب موجود در خاکستر فرار می‌باشد. افزایش درصد کربن بعد از اسیدشویی جاذب، افزایش ظرفیت جذب جاذب را تأیید می‌نماید. شستشویی بیشتر ناخالصی‌های موجود در خاکستر فرار، افزایش تخلخل و مساحت سطح جاذب منجر به افزایش بازده جذب بعد از فعال‌سازی اسیدی جاذب می‌گردد (Wang and Wu 2006; Li et al. 2006). نتایج حاصل با گزارشات Wang و همکارانش در استرالیا مبنی بر افزایش ظرفیت جذب خاکستر فرار بعد از تصفیه اسیدی مطابقت دارد (Wang et al. 2005). حذف ترکیبات وانادیم بعد از اسید شویی جاذب با مطالعه Kashiwakura و همکارانش در ژاپن مبنی بر حذف موفق ترکیبات خطرناک مانند آرسنیک و سلنیم از خاکستر فرار با فرآیند اسیدشویی هم خوانی دارد (Kashiwakura et al. 2011, 2010). کاهش  $Fe_2O_3$  در جاذب بعد از اسیدشویی با نتایج تحقیق Panitchakarn و همکاران همخوانی دارد (Panitchakarn et al. 2014). همچنین نتایج تحقیق حاضر با مطالعه Tahir و همکاران که مؤید تقویت بازده حذف رنگ بعلت تشکیل سطح اصلاح شده جدید و افزایش مساحت سطح جذب در خاکستر فرار حاصل از باگاس بعد از شستشو با فرمالدئید و اسید سولفوریک (Tahir et al. 2012) و مطالعه Zhang و همکاران در تأیید بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاکستر فرار فعال شده با اسید نسبت به نمونه خام هم خوانی دارد. (Zhang et al. 2012). Panitchakarn و همکارانش در تایلند در حذف ناخالصی‌های موجود در خاکستر فرار با روش اسید شویی مشاهده کردند که درصد خلوص خاکستر فرار در ابتدا با افزایش غلظت اسید بالاتر رفت و سرانجام افزایش غلظت تأثیری در خالص سازی جاذب نداشت. همچنین نسبت اسید به خاکستر فرار تأثیر

جاذب نشان داد که قابلیت استفاده مجدد از جاذب محتمل می‌باشد. جدا نشدن آلاینده از روی جاذب نشان‌دهنده پیوند محکم بین اورتوکلوپنل و مکانهای جذب بر روی جاذب می‌باشد. ایزوترم و سینتیک جذب: جهت تجزیه و تحلیل فرایند جذب تعیین ایزوترم و پیش بینی سینتیک جذب پیوسته برای طراحی کاربرد جاذب در مقیاس صنعتی ضروری می‌باشد. بررسی ایزوترم جذب در تحقیق حاضر با گزارشات Anbia و همکارش مبنی بر توصیف بهتر فرآیند جذب اورتوکلوپنل با جاذب SBA-15 توسط ایزوترم فروندلیچ (Anbia and Amirmahmoodi 2011) همخوانی دارد.

### نتیجه گیری

نتیجه گیری فرآیند جذب اورتوکلوپنل با استفاده از خاکستر فرار اصلاح شده به شرح زیر می‌باشد:

- استفاده مجدد از دورریز خاکستر فرار بعنوان یک جاذب ارزان و در دسترس علاوه بر کنترل آلودگی محیط زیست با سیاست بازیافت از مبداء در بحث مدیریت پسماند همخوانی دارد.
- میتوان با استفاده از یک روش فعال‌سازی ساده و ارزان به جذبی با درصد کربن بالا جهت تصفیه پساب واحد کارخانه زغالشویی مجاور دست یافت.
- به علت بازده بالا میتوان کاربرد جاذب مذکور را در مقیاس صنعتی و در مورد سایر مواد آلی موجود در محیط‌های آبی پیشنهاد نمود.

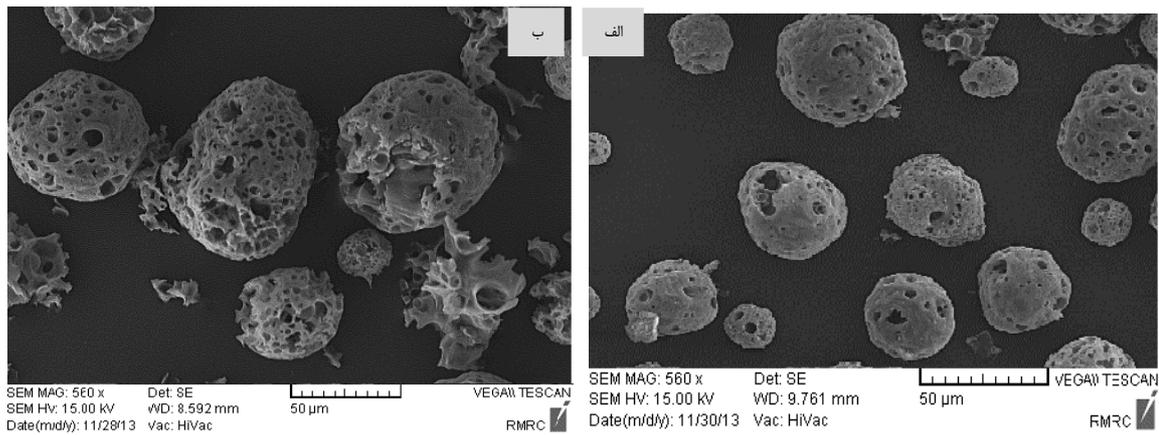
### تشکر و قدردانی

این تحقیق حاصل بخشی از پایان‌نامه دانشجویی با عنوان "حذف اورتوکلوپنل از محلول‌های آبی با استفاده از فتوکاتالیست خاکستر فرار اصلاح شده با پرمنگنات پتاسیم - دی اکسید تیتانیوم" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۲ و کد طرح ۹۲۷۲ است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی کرمان اجرا شده است.

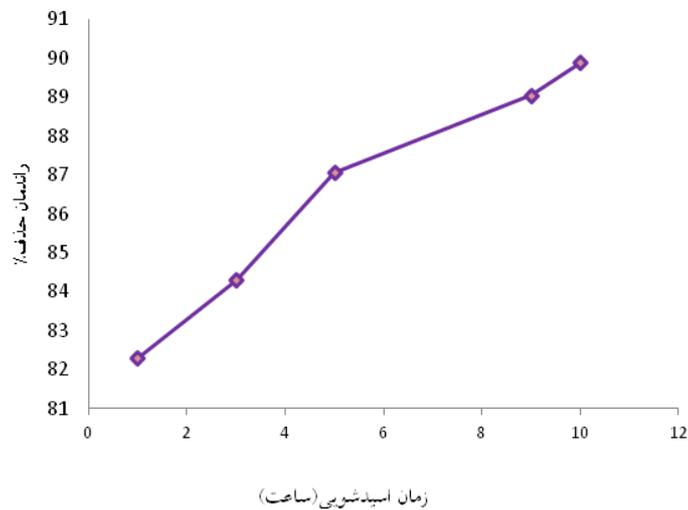
کریمی و همکاران در ایران اعلام کردند که افزایش مقدار جاذب منجر به افزایش بازده حذف می‌شود (Karimi et al. Abou-Elela et al. 2014). Kamble (2012) و همکارانش با استفاده از زئولیت خاکستر فرار و Mangrulkara و همکارانش با استفاده از MCM-41 در کشور هند نشان دادند که با افزایش مقدار جاذب، بعلت در دسترس بودن مکانهای جذب بیشتر، ظرفیت جذب کاهش می‌یابد. (Kamble et al. 2008; Mangrulkar et al. 2008). علت هم خوانی نتایج این تحقیق با مطالعه کریمی و عدم هم خوانی نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های دو مطالعه آخر اینست که غلظت انتخابی در این تحقیق از ظرفیت نهایی جذب فاصله زیادی دارد. اثر غلظت اولیه اورتوکلوپنل در بازده حذف: به ازای هر مقدار جرمی جاذب تنها مقدار مشخصی از اورتوکلوپنل جذب می‌گردد. با افزایش غلظت اولیه، به ازای تعداد ثابتی از مکانهای جذب، تعداد ملکولهای جزء جذب شونده افزایش می‌یابد. نهایتاً بعلت رقابت ایجاد شده بین ملکولها بر سر نشستن بر روی مکانهای جذب، بازده حذف کاهش و ظرفیت جذب افزایش می‌یابد. موقعیت گروه  $\text{Cl}^-$  نسبت به گروه  $\text{OH}^-$  حلقه بنزن، تاثیر بزرگی در ظرفیت و توانایی جذب آلاینده اعمال می‌نماید. در فاصله بیشتر گروه های جانبینی بر روی حلقه بنزن مانند پاراکلوپنل جذب آهسته تر از جذب o-CP می‌باشد. این رویداد از تاخیر فضایی ناشی از فاصله بین گروه  $\text{OH}$  و گروه  $\text{Cl}$  منشاء می‌گیرد (Şenel et al. 2006). Kumar و همکاران در سال ۲۰۱۳ در هند گزارش دادند که بازده حذف متیلن بلو با افزایش مقدار جاذب کربن فعال بدست آمده از پوسته دانه افاقیا افزایش یافت (Kumar and Tamilarasan 2013) که نتایج با یافته های تحقیق حاضر مطابقت دارد.

بازده در پساب واقعی: بدلیل حضور مداخله کننده های موجود، بازده حذف در فاضلاب واقعی (۸۴/۴٪) کمتر از نمونه سنتتیک (۹۸/۷۲٪) می‌باشد.

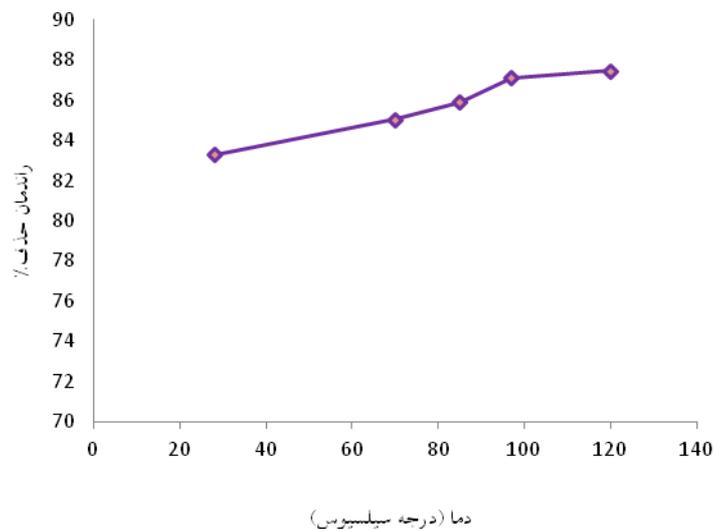
قابلیت کاربرد مجدد جاذب و واجذب آلاینده از روی جاذب: آزمایشات انجام شده جهت بررسی بازیافت



شکل ۱- تصویر SEM نمونه خاکستر فرار (الف) خاکستر فرار خام (ب) خاکستر فرار فعال شده



نمودار ۲ - تغییرات راندمان جذب اورتوکلو فنتل با تغییر زمان فعال سازی خاکستر فرار



نمودار ۳ - تغییرات راندمان جذب اورتوکلو فنتل با تغییر دمای فعال سازی خاکستر فرار

## References

- Abou-Elela, S.I., Ali, M.E.M. and Ibrahim, H.S., 2014. Combined treatment of retting flax wastewater using Fenton oxidation and granular activated carbon. *Arabian Journal of Chemistry*, **11**(2), pp. 1-7.
- Ali, I., Asim, M. and Khan, T.A., 2012. Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater. *Journal of Environmental Management*, **113**(0), pp. 170-183.
- Anbia, M. and Amirmahmoodi, S., 2011. Adsorption of phenolic compounds from aqueous solutions using functionalized SBA-15 as a nano-sorbent. *Scientia Iranica*, **18**(3), pp. 446-452.
- Anbia, M. and Lashgari, M., 2009. Synthesis of amino-modified ordered mesoporous silica as a new nano sorbent for the removal of chlorophenols from aqueous media. *Chemical Engineering Journal*, **150**(2-3), pp. 555-560.
- Baker, H. M. and Ghanem, R., 2009. Evaluation of treated natural zeolite for the removal of o-chlorophenol from aqueous solution. *Desalination*, **249**(3), pp. 1265-1272.
- Bertelli, M. and Selli, E., 2006. Reaction paths and efficiency of photocatalysis on TiO<sub>2</sub> and of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> photolysis in the degradation of 2-chlorophenol. *Journal of Hazardous Materials*, **138**(1), pp. 46-52.
- Fattahi, N., Assadi, Y., Hosseini, M. R. M. and Jahromi, E. Z., 2007. Determination of chlorophenols in water samples using simultaneous dispersive liquid-liquid microextraction and derivatization followed by gas chromatography-electron-capture detection. *Journal of Chromatography A*, **1157**(1-2), pp. 23-29.
- Ghanizadeh, G. and Asgari, G., 2009. Removal of Methylene Blue Dye from Synthetic Wastewater with Bone Char. *Iran. J. Health & Environ*, **2**(2), 104-113.[In Persian]
- Jamalinejad, M., Taebi, A. and Mortazavi, S., 2011. Removal of Color from Aqueous Solutions Containing Textile Dyes by Dolomite Wastes. *Journal of Water and Wastewater*, **4**(1), pp. 30-36.[In Persian]
- Javadian, H., Ghorbani, F., Tayebi, H. A. and Asl, S. H., 2013. Study of the adsorption of Cd (II) from aqueous solution using zeolite-based geopolymer, synthesized from coal fly ash; kinetic, isotherm and thermodynamic studies. *Arabian Journal of Chemistry*, **2014**(2), pp. 1-13.
- Kamble, S.P., Mangrulkar, P.A., Bansiwala, A.K. and Rayalu, S.S., 2008. Adsorption of phenol and o-chlorophenol on surface altered fly ash based molecular sieves. *Chemical Engineering Journal*, **138**(1-2), pp. 73-83.
- Karimi, B., Ehrampoush, M.H., Ebrahimi, A. and Mokhtari, M., 2012. Treatment of Composting Factory Leachate with the Wet Oxidation Process -Catalytic Adsorption. *Journal of Water and Wastewater*, **93**(2), pp. 122-128 [In Persian]
- Kashiwakura, S., Ohno, H., Kumagai, Y., Kubo, H., Matsubae, K. and Nagasaka, T., 2011. Dissolution behavior of selenium from coal fly ash particles for the development of an acid-washing process. *Chemosphere*, **85**(11), pp. 598-602.
- Kashiwakura, S., Ohno, H., Matsubae-Yokoyama, K., Kumagai, Y., Kubo, H. and Nagasaka, T., 2010. Removal of arsenic in coal fly ash by acid washing process using dilute H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solvent. *Journal of Hazardous Materials*, **181**(10), 419-425.
- Khan, M.Z., Mondal, P.K. and Sabir, S., 2011. Bioremediation of 2-chlorophenol containing wastewater by aerobic granules-kinetics and toxicity. *Journal of Hazardous Materials*, **190**(1-3), pp. 222-228.
- Kumar, M. and Tamilarasan, R., 2013. Modeling studies for the removal of methylene blue from aqueous solution using Acacia fumosa seed shell activated carbon. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **141**(9), pp. 1-9.
- Li, Y., Liu, C., Luan, Z., Peng, X., Zhu, C., Chen, Z., Zhang, Z., Fan, J. and Jia, Z., 2006. Phosphate removal from aqueous solutions using raw and activated red mud and fly ash. *Journal of Hazardous Materials*, **137**(1), pp. 374-383.
- Lin, J.X., Zhan, S.L., Fang, M.H., Qian, X.Q. and Yang, H., 2008. Adsorption of basic dye from aqueous solution onto fly ash. *Journal of Environmental Management*, **87**(1), pp. 193-200.
- Ma, J., Dong, X., Yu, Y., Zheng, B. and Zhang, M., 2014. The effects of alkalis on the dechlorination of o-chlorophenol in supercritical water: Molecular dynamics simulation and experiment. *Chemical Engineering Journal*, **2419**(13), pp. 268-272.

- Mangrulkar, P.A., Kamble, S.P., Meshram, J. and Rayalu, S.S., 2008. Adsorption of phenol and o-chlorophenol by mesoporous MCM-41. *Journal of Hazardous Materials*, **160**(2-3), pp. 414-421.
- Manshouri, M., Manshouri, A.R., Daraei, H. and Noorisepehr, M., 2012. Lead removal from aqueous solution using ostrich feathers modified by hydrogen peroxide. *Hormozgan University of Medical Sciences*, **17**(4), pp. 307-315. [In Persian]
- Nadavala, S.K., Swayampakula, K., Boddu, V.M. and Abburi, K., 2009. Biosorption of phenol and o-chlorophenol from aqueous solutions on to chitosan-calcium alginate blended beads. *Journal of Hazardous Materials*, **162**(13), pp. 482-489.
- Panitchakarn, P., Klamrassamee, T., Laosiripojana, N., Viriya-Empikul, N. and Pavasant, P., 2014. Synthesis and Testing of Zeolite from Industrial-Waste Coal Fly Ash as Sorbent For Water Adsorption from Ethanol Solution. *Engineering Journal*, **18**(1), pp. 1-12.
- Sarkar, M. and Acharya, P.K., 2006. Use of fly ash for the removal of phenol and its analogues from contaminated water. *Waste Management*, **26**(6), pp. 559-570.
- Şenel, S., Kara, A., Alsancak, G. and Denizli, A., 2006. Removal of phenol and chlorophenols from water with reusable dye-affinity hollow fibers. *Journal of Hazardous Materials*, **138**(2), pp. 317-324.
- Sun, D. and Zhang, H., 2006. Electrochemical determination of 2-chlorophenol using an acetylene black film modified glassy carbon electrode. *Water Research*, **40**(16), pp. 3069-3074.
- Tahir, H., Sultan, M., Akhtar, N., Hameed, U. and Abid, T., 2012. Application of natural and modified sugar cane bagasse for the removal of dye from aqueous solution. *Journal of Saudi Chemical Society*, **12**(9), pp. 1-7.
- Vişa, M. and Duţă, A., 2010. Adsorption Behavior Of Cadmium And Copper Compounds On A Mixture Fa:Tio2. *Academia Română Revue Roumaine De Chimie*, **55**(3), pp. 167-173.
- Wang, S., Boyjoo, Y., Choueib, A. and Zhu, Z.H., 2005. Removal of dyes from aqueous solution using fly ash and red mud. *Water Research*, **39**(1), pp. 129-138.
- Wang, S. and Wu, H., 2006. Environmental-benign utilisation of fly ash as low-cost adsorbents. *Journal of Hazardous Materials*, **136**(3), pp. 482-501.
- Xia, S., Zhanga, Z., Zhong, F. and Zhang, J., 2011. High efficiency removal of 2-chlorophenol from drinking water by a hydrogen-based polyvinyl chloride membrane biofilm reactor. *Journal of Hazardous Materials*, **186**(0), pp. 1367-1373.
- Xie, J., Meng, W., Wu, D., Zhang, Z. and Kong, H., 2012. Removal of organic pollutants by surfactant modified zeolite: Comparison between ionizable phenolic compounds and non-ionizable organic compounds. *Journal of Hazardous Materials*, **231-232**(0), pp. 57-63.
- Yang, B., Zhang, J., Zhang, Y., Deng, S., Yu, G., Wu, J., Zhang, H. and Liu, J., 2014. Promoting effect of EDTA on catalytic activity of highly stable Al-Ni bimetal alloy for dechlorination of 2-chlorophenol. *Chemical Engineering Journal*, **250**(1), pp. 222-229.
- Zhang, A., Wang, N., Zhou, J., Jiang, P. and Liu, G., 2012. Heterogeneous Fenton-like catalytic removal of p-nitrophenol in water using acid-activated fly ash. *Journal of Hazardous Materials*, **201-202**(0), pp. 68-73.
- Zhou, L., Chen, Y.L., Zhang, X. H., Tian, F.M. and Zu, Z.N., 2014. Zeolites developed from mixed alkali modified coal fly ash for adsorption of volatile organic compounds. *Materials Letters*, **119**(14), pp. 140-142.

## Efficiency of ortho-chlorophenol removal from aqueous solutions using activated Fly Ash of Zarand Fossil Fuel Power Plant

**Malakootian, M., Ph.D.** Professor, Environmental Health Engineering Research Center, Department of Environmental Health, School of Public Health, University of Medical Sciences Kerman, Iran-  
Corresponding Author: m.malakootian@yahoo.com

**Mesdaghinia, A.R., Ph.D.** Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health. Water Quality Research Center, Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

**Rezaei, Sh., MSc.** Student, Department of Environmental Health, School of Public Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

Received: Apr 6, 2014

Accepted: May 26, 2014

### ABSTRACT

**Background and Aim:** Chlorophenols are acidic Organic compounds and priority Pollutants. One of the best ways to removal chlorophenols was using different absorbents. In this study, removal efficiency of ortho-chlorophenol as one of the most common organic contaminants in aquatic environments was investigated with absorption method using activated Fly Ash.

**Materials and methods:** In this experimental study, Fly ash of collected from Zarand Power plant was activated by sulfuric acid. Factors affecting in sorbent activation process including temperature, time, amount and concentration of the acid and also factors influencing in the adsorption process were adjusted for optimum conditions. Experiments was followed on real wastewater samples from coal washing plant of zarand. Data was analyzed by SPSS software.

**Results:** The sorbent activation was performed in optimized condition acid concentration 1.8 mM, time 5h, temperature  $29\pm 2^{\circ}\text{C}$  and acid/fly ash ratio 7. Removal efficiency of zarand coal washing plant Effluent at the optimal conditions (pH: 2, adsorbent doze: 1g, time: 3h) was 84.4%.

**Conclusion:** In addition to the high efficiency of ortho-chlorophenol absorption because of sorbent activation does not require complex and expensive technology, the adsorbents can be used to remove these contaminants from industry effluent.

**Key words:** Chemical activation adsorbent, Absorption, Ortho-chlorophenol, Fly ash