

مقایسه کارایی خاکستر کوره آجرپزی، خاکستر نیروگاه حرارتی و کربن فعال تجاری در حذف اکسیژن‌خواهی شیمیایی از فاضلاب خانگی

مهرداد چراغی^{۱*}، سهیل سبحان اردکانی^۱، حسن پرویزی مساعد^۲، راضیه زندی پاک^۲، بهاره لرستانی^۳

^۱ استاد علوم محیط‌زیست، گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

^۳ دانشیار علوم محیط‌زیست، گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۰

چکیده

زمینه و هدف: از آنجایی که استفاده از فاضلاب با بار آلی بالا در آبیاری باغات یا سبزی‌کاری‌ها مشکلات بهداشتی برای مصرف‌کنندگان به دنبال خواهد داشت، لذا، این مطالعه با هدف مقایسه کارایی خاکستر کوره آجرپزی و نیروگاه حرارتی با کربن فعال تجاری در حذف اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) از فاضلاب خانگی انجام یافت.

روش بررسی: به منظور ارزیابی کارایی حذف COD از نمونه فاضلاب خانگی، تحت شرایط بهینه و به صورت ناپیوسته از کربن فعال تجاری، خاکستر نیروگاه حرارتی و خاکستر کوره آجرپزی استفاده و اثر متغیرهای pH، مقدار جاذب، زمان تماس و سرعت اختلاط بررسی شدند. همچنین، به منظور تعیین مدل جاذب، نتایج با ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیخ برازش شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش زمان تماس، مقدار جاذب و سرعت اختلاط، کارایی حذف COD افزایش یافته است. همچنین، pH برابر با هفت به عنوان pH بهینه برای انجام فرآیند تعیین شد. از طرفی، فرآیند جاذب بر روی همه جاذب‌ها، از ایزوترم لانگمویر تبعیت کرده و بیشینه ظرفیت جاذب برای جاذب‌های کربن فعال تجاری، خاکستر نیروگاه حرارتی و خاکستر کوره آجرپزی به ترتیب برابر با ۸۳/۰، ۲۸/۶ و ۱۴/۹ میلی‌گرم در گرم بود.

نتیجه‌گیری: کربن فعال تجاری یک جاذب کارآمد در حذف COD فاضلاب شناخته شد و اگرچه کارایی جاذب‌های خاکستر کوره آجرپزی و نیروگاه حرارتی کم‌تر از کربن فعال تجاری بود، اما ارزان قیمت بودن آن‌ها را می‌توان به عنوان یک مزیت برای استفاده به منظور حذف COD از فاضلاب مدنظر قرار داد.

کلید واژه: خاکستر کوره آجرپزی، خاکستر نیروگاه حرارتی، کربن فعال تجاری، اکسیژن‌خواهی شیمیایی، فاضلاب خانگی

مقدمه

آلودگی آب به مواد شیمیایی آلی و معدنی به عنوان یک تهدید محیط زیستی محسوب می شود.^۱ در فاضلاب خانگی بار مواد آلی به طور عمده ناشی از فرایندهایی مانند فرآوری مواد غذایی، شستشوی زمین، پوشاک، ظروف و حیوانات، استحمام و فاضلاب است.^۲ مشخص شده است که فاضلاب خانگی از عوامل بیماری زا، جامدات معلق، مواد مغذی (ازت و فسفر) و آلاینده های آلی (COD، BOD₅ و TOC) و معدنی برخوردار بوده و ترکیبات اصلی آن شامل پروتئین ها، کربوهیدرات ها، شوینده ها، تانن ها، لیگنین، اسید هومیک، اسید فلویک، اسید ملانیک و بسیاری دیگر از ترکیبات آلی محلول هستند^{۳-۴}. به منظور کاهش خطرات بهداشتی و محیط زیستی این آلاینده ها، باید مقدار آن ها در فاضلاب به حد مجاز برای دفع تقلیل یابد.^۵ بنابراین، حذف آلاینده های آلی و عوامل بیماریزا از فاضلاب به عنوان یکی از پارامترهای مهم برای استفاده مجدد از آن در فعالیت های مختلف به شمار می رود^{۶-۹}. امروزه، از فناوری های متفاوت برای تصفیه فاضلاب استفاده می شود که بسیاری از آن ها بسیار پرهزینه هستند. لذا، محققان در تلاش برای توسعه فناوری های جدید و کارا از جمله استفاده از مواد جاذب کم هزینه از جمله مواد زاید صنعتی، خاکستر فرار باگاس و زایدات گیاهی برای تصفیه فاضلاب هستند^{۱۰-۱۷}.

کربن فعال تجاری (CAC) به عنوان موثرترین جاذب برای کنترل بار آلی محلول ها معرفی شده است. به هر حال، به دلیل هزینه بالای آن و بازیابی در حدود ۱۰ درصد تا ۱۵ درصد آن، جاذب های غیرمتداول از قبیل خاکستر فرار، خاکستر کوره آجرپزی، پیت، لیگنین، مغز باگاس، چوب، خاک اره و نظایر آن توجه زیادی را به خود معطوف کرده است.^{۱۸} نتایج چندین مطالعه که با هدف بررسی کارایی خاکستر فرار در حذف انواع مواد آلی و رنگ ها از فاضلاب صنعتی انجام شده است نشان داد که خاکستر کوره آجرپزی و خاکستر فرار از ظرفیت جذب مناسب برای ترکیبات آلی در فاضلاب برخوردار

بودند^{۱۹-۲۲}. بنابراین، این مطالعه با هدف مقایسه کارایی خاکستر کوره آجرپزی، خاکستر نیروگاه برق حرارتی و کربن فعال تجاری در حذف COD فاضلاب با در نظر گرفتن تاثیر پارامترهایی از قبیل زمان تماس، مقدار جاذب، pH و سرعت اختلاط بر فرآیند جذب انجام یافت.

مواد و روش ها

خاکستر کوره آجرپزی، خاکستر نیروگاه برق و کربن فعال تجاری به ترتیب از کوره های آجرپزی واقع در شهرستان جورقان همدان، نیروگاه برق حرارتی شهید مفتاح همدان و شرکت سیگما آلد ریچ تهیه شدند. به علاوه، اسید نیتریک ۶۵٪، اسید کلریدریک ۳۷٪ و هیدروکسید سدیم ساخت شرکت مرک آلمان مورد استفاده قرار گرفت. از آب دوبار تقطیر برای انجام آزمایشات استفاده شد. از دستگاه های COD Digester، pH متر Jenway مدل ۳۵۱۰، هدایت سنج Jenway مدل ۴۷۰ و ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی مدل Sartorius ED124S با دقت ± 0.001 گرم استفاده شد.

در این مطالعه، فاضلاب های رها شده واقع در بلوار انقلاب شهر همدان جمع آوری شده و pH و EC نمونه ها در محل قرائت و مقادیر سایر پارامترها در آزمایشگاه بر طبق روش استاندارد اندازه گیری شدند.^{۲۳} در آزمایشگاه، نمونه ها توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف و به منظور عدم تغییر خصوصیات فیزیکی شیمیایی، در دمای زیر سه درجه سانتی-گراد نگهداری شدند. نمونه های خاکستر به منظور حذف ناخالصی های آن چندین بار با آب دوبار تقطیر شسته شده و به مدت ۲۴-۴۸ ساعت در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی-گراد قرار داده شدند. بعد از آسیاب کردن، نمونه های خاکستر از الک یک میلی متری عبور داده شده و در بطری های پلاستیکی که از قبل به خوبی شسته و خشک شده بودند، نگهداری شدند.^{۲۳} لازم به ذکر است که برای اطمینان از صحت نتایج، همه مراحل آزمایش سه بار تکرار شدند.

به منظور محاسبه کارایی حذف COD، مخلوط فاضلاب و ماده جاذب با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ از یکدیگر جدا و به وسیله دستگاه COD متر Jenway غلظت نهایی COD موجود در فاضلاب بر طبق روش استاندارد اندازه‌گیری شد^{۲۳}. دمای انجام آزمایش در همه مراحل 1 ± 25 درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد و کارایی حذف COD از فاضلاب با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد^{۲۹}.

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{درصد حذف} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100$$

در رابطه ۱، C_0 و C_e به ترتیب بیان‌گر غلظت اولیه و غلظت تعادلی COD در فاضلاب بر حسب میلی‌گرم در لیتر هستند. در نهایت به منظور بررسی ایزوترم‌های جذب تعادلی، دو مدل لانگمویر و فروندلیخ در شرایط بهینه همه پارامترها مورد مطالعه قرار گرفتند.

یافته‌ها

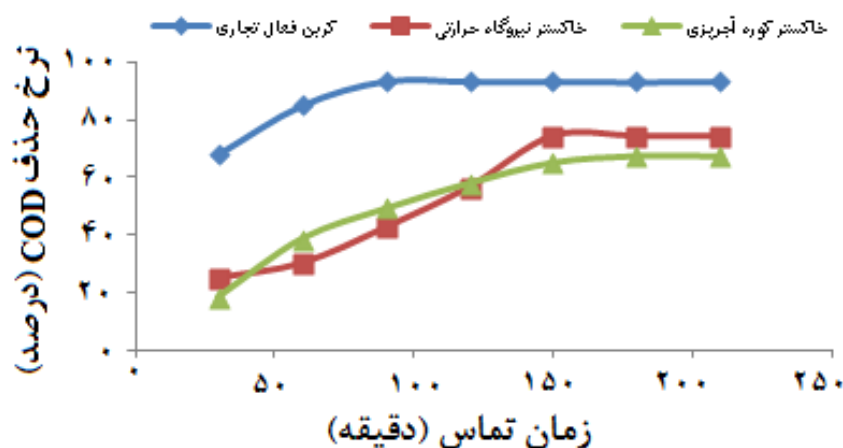
برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه فاضلاب مورد ارزیابی در جدول ۱ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بار مواد آلی از جمله COD با غلظت ۹۸۰ میلی‌گرم در لیتر و کل مواد جامد محلول و معلق فاضلاب از بیشینه رواداری بیش‌تر هستند.

به منظور بررسی اثر زمان تماس (۳۰ تا ۲۱۰ دقیقه) بر کارایی حذف COD فاضلاب توسط هر جاذب، شرایط ذیل مدنظر قرار گرفت: غلظت COD فاضلاب برابر با ۹۸۰ میلی‌گرم در لیتر، حجم محلول برابر با ۵۰۰ میلی‌لیتر، مقدار جاذب بهینه، سرعت اختلاط ۱۸۰ دور در دقیقه و pH بهینه برابر با هفت^{۲۴}. برای بررسی اثر مقدار جاذب بر کارایی حذف COD از فاضلاب، از مقادیر یک تا ۳۰ گرم ماده جاذب در pH بهینه، با سرعت اختلاط ۱۸۰ دور در دقیقه و غلظت ۹۸۰ میلی‌گرم در لیتر از COD، حجم محلول ۵۰۰ میلی‌لیتر و زمان تماس بهینه به‌طور جداگانه برای هر ماده جاذب استفاده شد^{۲۵}. اثر pH بر کارایی حذف COD از فاضلاب با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر، در غلظت ۹۸۰ میلی‌گرم در لیتر از COD در اسیدیت‌های بین ۲-۱۱، با سرعت اختلاط ۱۸۰ دور در دقیقه و در زمان تماس و مقدار ماده جاذب بهینه در ۱۰ بشر جداگانه برای هر ماده جاذب مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تنظیم اسیدیته در محدوده مورد نظر از محلول‌های سود (NaOH) ۰/۱۰ مولار و اسید کلریدریک ۰/۱۰ مولار استفاده شد^{۲۷،۲۶}. برای بررسی اثر سرعت اختلاط بر کارایی حذف COD توسط جاذب از فاضلابی با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر محتوی ۹۸۰ میلی‌گرم در لیتر COD، در شرایط مقدار جاذب، زمان تماس و pH بهینه در سرعت اختلاط بین ۸۰ تا ۳۸۰ دور در دقیقه استفاده شد^{۲۸} -

جدول ۱. خصوصیات فیزیکوشیمیایی فاضلاب خانگی تصفیه نشده

پارامتر	واحد اندازه‌گیری	مقدار اندازه‌گیری شده	حداکثر مقدار مجاز (۳۰)
pH	-	۷/۰	۸/۷-۶/۵
هدایت الکتریکی (EC)	(میلی موس در سانتی‌متر)	۰/۳۵۰	۰/۱۰
دما	(درجه سانتی‌گراد)	۲۵/۰	۳۲-۱۶
کدورت	NTU	۳۰۰	۱۰-۵
کل جامدات	(میلی‌گرم در لیتر)	۹۲۰	۵۰۰
کل جامدات معلق	(میلی‌گرم در لیتر)	۲۹۰	۵۰-۱۰
کل جامدات محلول	(میلی‌گرم در لیتر)	۶۷۰	۴۵۰
COD	(میلی‌گرم در لیتر)	۹۸۰	۲۰۰
BOD ₅	(میلی‌گرم در لیتر)	۸۰۰	۱۰۰

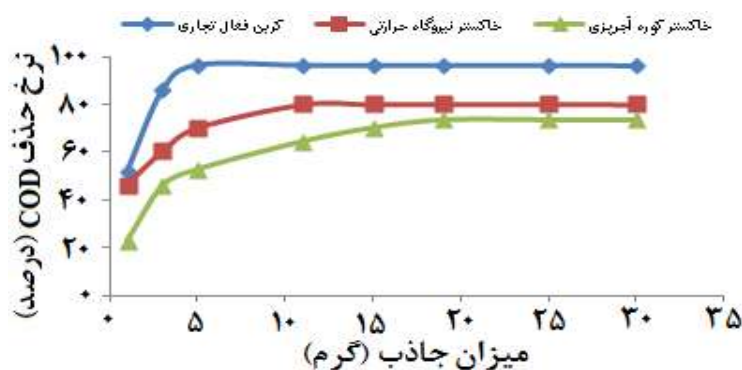
نتایج بررسی اثر زمان تماس بر کارایی حذف COD
 اساس با افزایش زمان تماس، کارایی حذف COD افزایش یافته است.



شکل ۱. تاثیر زمان تماس بر کارایی حذف COD فاضلاب

(غلظت اولیه COD فاضلاب ۹۸۰ میلی گرم در لیتر، $pH=7$ ، مقدار جاذب ۵، ۱۱ و ۱۹ گرم به ترتیب برای کربن فعال، خاکستر نیروگاه برقی حرارتی و خاکستر کوره آجرپزی، دمای واکنش 25 ± 1 درجه سانتی گراد، سرعت اختلاط ۱۸۰ دور در دقیقه)

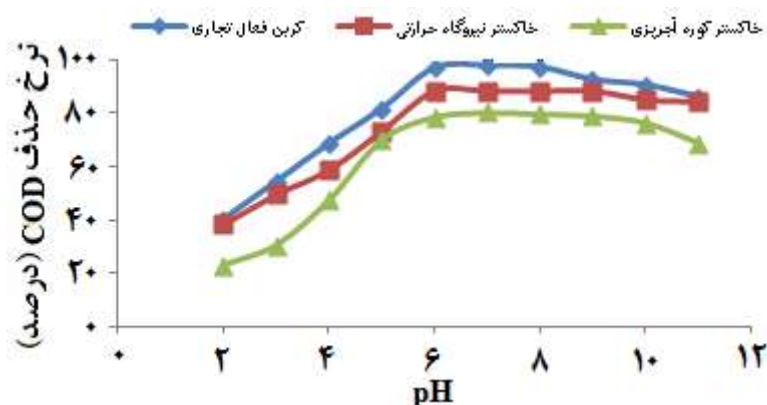
نتایج بررسی اثر مقدار جاذب بر کارایی حذف COD
 اساس با افزایش مقدار جاذب، کارایی حذف برای هر سه جاذب افزایش یافته است.



شکل ۲. تاثیر مقدار ماده جاذب بر کارایی حذف COD فاضلاب

(غلظت اولیه COD فاضلاب ۹۸۰ میلی گرم در لیتر، $pH=7$ ، زمان تماس ۹۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه به ترتیب برای کربن فعال، خاکستر نیروگاه برقی حرارتی و خاکستر کوره آجرپزی، دمای واکنش 25 ± 1 درجه سانتی گراد، سرعت اختلاط ۱۸۰ دور در دقیقه)

نتایج بررسی اثر pH فاضلاب بر کارایی حذف COD
 افزایش pH فاضلاب، کارایی حذف COD برای هر سه نوع جاذب از pH یک تا هفت افزایش یافته است.

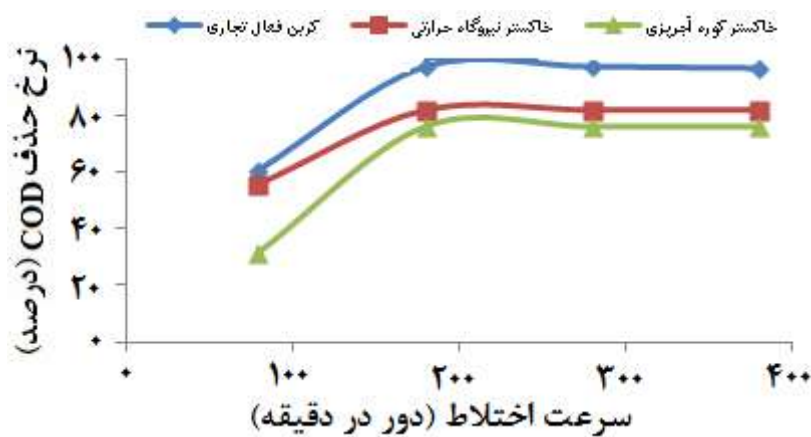


شکل ۳. تاثیر مقدار pH بر کارایی حذف COD فاضلاب

(غلظت اولیه COD فاضلاب ۹۸۰ میلی گرم در لیتر، زمان تماس ۹۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه به ترتیب برای کربن فعال، خاکستر نیروگاه برق حرارتی و خاکستر کوره آجرپزی، مقدار جاذب ۵، ۱۱ و ۱۹ گرم به ترتیب برای کربن فعال، خاکستر نیروگاه برق حرارتی و خاکستر کوره آجرپزی، دمای واکنش 1 ± 25 درجه سانتی گراد، سرعت اختلاط ۱۸۰ دور در دقیقه)

۱۸۰ دور در دقیقه برای کربن فعال تجاری، خاکستر نیروگاه حرارتی و خاکستر کوره آجرپزی به ترتیب برابر با ۸۲، ۹۷ و ۷۶٪ حاصل شد.

نتایج بررسی اثر سرعت اختلاط بر کارایی حذف COD فاضلاب در شکل ۴ نشان داده شده است که بر این اساس با افزایش سرعت اختلاط از ۵۰ به ۲۵۰ دور در دقیقه، کارایی حذف برای هر سه جاذب مورد مطالعه افزایش یافته است. در این مطالعه، بیشینه کارایی حذف COD در سرعت اختلاط



شکل ۴. تاثیر سرعت اختلاط فاضلاب بر کارایی حذف COD

(غلظت اولیه COD فاضلاب ۹۸۰ میلی گرم در لیتر، زمان تماس ۹۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه به ترتیب برای کربن فعال، خاکستر نیروگاه برق حرارتی و خاکستر کوره آجرپزی، مقدار جاذب ۵، ۱۱ و ۱۹ گرم به ترتیب برای کربن فعال، خاکستر نیروگاه برق حرارتی و خاکستر کوره آجرپزی، دمای واکنش 1 ± 25 درجه سانتی گراد)

نتایج بررسی مدل‌های ایزوترم لانگمویر و فروندلیخ به-
منظور پیش‌بینی داده‌های جذب تعادلی COD در جدول ۲
آورده شده است که بر این اساس مشخص شد که فرآیند
جذب توسط همه جاذب‌ها، از ایزوترم لانگمویر تبعیت کرده
است.

جدول ۲. پارامترهای مدل‌های ایزوترم لانگمویر و فروندلیخ

مدل ایزوترم	پارامتر	جاذب کربن فعال تجاری	خاکستر نیروگاه حرارتی	خاکستر کوره آجرپزی
لانگمویر	$b \text{ (L/mg)}$	۰/۰۳۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۸
	$q_m \text{ (mg/g)}$	۸۳/۰	۲۸/۶	۱۴/۹
	R^2	۰/۹۹۷	۰/۹۹۶	۰/۹۹۳
فروندلیخ	$K_F \text{ (mg}^{1-(1/n)} \text{ L}^{1/n}/\text{g)}$	۸/۴۸	۱/۱۷	۱/۸۸
	n	۲/۴۲	۱/۹۵	۱/۵۷
	R^2	۰/۹۶۲	۰/۹۵۰	۰/۹۲۲

بحث

زمان تماس یکی از متغیرهای موثر در ارزیابی کارایی
فرآیند جذب است.^{۳۱} نتایج نشان داد که با افزایش زمان تماس
از ۳۰ به ۲۱۰ دقیقه، کارایی حذف COD توسط همه
جاذب‌های مورد مطالعه افزایش یافته است. بدین‌صورت که
بیشینه کارایی حذف COD فاضلاب برای کربن فعال تجاری
در مدت زمان ۹۰ دقیقه، برای خاکستر نیروگاه برق حرارتی
در مدت زمان ۱۵۰ دقیقه و برای خاکستر کوره آجرپزی در
مدت زمان ۱۸۰ دقیقه به‌ترتیب برابر با ۹۳/۵، ۷۴ و ۶۷/۵٪
(شکل ۱) بود و کربن فعال تجاری نسبت به دو جاذب دیگر
از بیش‌ترین کارایی در کوتاه‌ترین زمان تماس برخوردار بوده
است. این موضوع را می‌توان با تعداد زیاد سایت‌های سطحی
خالی موجود در سطح جاذب در مراحل اولیه فرآیند جذب
مرتبط دانست. البته باید توجه داشت که پس از سپری شدن
این زمان، سایت‌های سطحی اشغال‌نشده به‌سختی توسط ماده
جذب‌شونده اشغال خواهند شد. این نتایج با دستاورد مطالعه
حامد و همکاران (۲۰۰۸) که طی آن نسبت به ارزیابی کارایی
حذف رنگ مالاچیت گرین با استفاده از کربن فعال از محلول

آبی اقدام کرده و نتیجه گرفتند که با افزایش زمان تماس،
کارایی حذف افزایش یافته است، مطابقت دارد.^{۳۲} پامیدیموکالا
و سونی (۲۰۱۸) نیز با مطالعه حذف آلاینده‌های آلی شامل:
نیتروفسول، کلروفسول، بیسفنول و مونوکروئوفوس از
محلول‌های آبی نتایج مشابهی را گزارش کردند.^{۲۷}

غلظت جاذب به‌دلیل نقش تعیین‌کننده در جذب سطحی
آلاینده‌ها، یکی از مهم‌ترین پارامترها در فرآیند جذب
محسوب می‌شود.^{۳۳} نتایج نشان داد که با افزایش مقدار هر
کدام از جاذب‌ها، کارایی جذب نیز افزایش یافته است. به-
طوری که بیشینه کارایی حذف COD در مقادیر پنج گرم کربن
فعال تجاری، ۱۱ گرم خاکستر نیروگاه برق حرارتی و ۱۹ گرم
خاکستر کوره آجرپزی به‌ترتیب برابر با ۹۶/۵، ۸۰ و ۷۳/۵٪
(شکل ۲) بود و در مقایسه جاذب‌ها با هم، کم‌ترین مقدار
جذب کربن فعال تجاری از بیش‌ترین کارایی حذف COD از
فاضلاب برخوردار بوده است. این موضوع را می‌توان با
افزایش سطح فعال جاذب نسبت به مقدار معینی از ترکیب
جذب‌شونده مرتبط دانست. زو و همکاران (۲۰۱۱)،^{۳۴} ریبیرو
و همکاران (۲۰۱۲)^{۳۵} و از طرفی پامیدیموکالا و سونی

(۲۰۱۸) نیز در پژوهش‌های خود نتیجه گرفتند کارایی حذف با افزایش میزان جاذب افزایش یافته است. به‌علاوه؛ نتایج مشابهی در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است^{۳۷،۳۶}.

pH محلول به‌عنوان یک پارامتر مهم محسوب می‌شود که بر واکنش‌های شیمیایی و زیستی در فاضلاب‌ها تأثیر گذارده^{۳۸} و از این‌رو، تنظیم pH از اهمیت زیادی برخوردار است^{۴۰،۳۹،۳۲}.

در این پژوهش، با افزایش مقدار pH از یک به هفت، کارایی حذف COD از فاضلاب افزایش یافت، به‌طوری که برای کربن فعال تجاری در pH برابر با هفت به ۹۷/۵٪ افزایش و با افزایش مقادیر این پارامتر یعنی در $pH = 11$ به حدود ۸۶٪ کاهش یافت (شکل ۳). برای خاکستر نیروگاه برق حرارتی نیز مشاهده شد با افزایش pH از یک تا هفت، کارایی حذف COD به ۸۸/۵٪ افزایش یافته و در مقادیر pH بیش‌تر از هفت، شروع به کاهش کرده است (شکل ۳). هم‌چنین، برای خاکستر کوره آجرپزی نیز با افزایش pH از یک به هفت، کارایی حذف افزایش یافت و در pH برابر با هفت به ۸۰٪ رسید. در حالی‌که با افزایش مقادیر pH، کارایی حذف به ۶۹٪ تقلیل یافت (شکل ۳). با استناد به یافته‌ها، کربن فعال تجاری از بیشینه کارایی حذف COD فاضلاب در $pH = 7$ برخوردار بود.

در حالی‌که در pHهای کم‌تر از هفت، مقادیر یون‌های H^+ با یون‌های جاذب شونده برای قرار گرفتن در جایگاه‌های جاذب رقابت کرده و با اشغال سایت‌های جاذب باعث کاهش ظرفیت جاذب جاذب و به‌تبع آن کاهش کارایی جاذب می‌شوند. در این خصوص، دوی (۲۰۰۸) بیشینه کارایی حذف COD و BOD از فاضلاب را در pH خنثی گزارش کرد^{۴۱}.

سرعت اختلاط عاملی تأثیرگذار در کارایی فرآیند جاذب است^{۴۲،۴۳}. نتایج بررسی تأثیر سرعت اختلاط بر فرآیند حذف COD فاضلاب نشان داد که با افزایش سرعت اختلاط تا ۱۸۰ دور در دقیقه، کارایی حذف برای محلول با COD برابر با ۹۸۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافته است (شکل ۴). کاهش کارایی جاذب در سرعت‌های اختلاط کم را می‌توان با جمع شدن

جاذب در یک قسمت سیستم، عدم پراکندگی آن در تمام محلول و در نتیجه کاهش میزان تماس جاذب با ماده جاذب شونده مرتبط دانست^{۴۱}.

بررسی مدل‌های ایزوترم جاذب بیان‌گر رابطه تعادلی بین ماده جاذب‌شده در سطح جاذب و غلظت ماده جاذب‌شونده باقی‌مانده در داخل محلول است^{۴۴}. مقایسه ضریب همبستگی ایزوترم‌های جاذب لانگمویر و فروندلیخ نشان داد که جاذب تعادلی COD فاضلاب خانگی توسط جاذب‌ها در الگوی لانگمویر دارای فرآیند صعودی بوده و روند جاذب توسط جاذب‌ها از نوع شیمیایی^{۴۵} و با ضریب همبستگی (R^2) بالا، به‌صورت تک‌لایه^{۴۶} اتفاق افتاده است. هم‌چنین، در مدل لانگمویر، مولکول‌های جاذب شده با یکدیگر برهمکنشی نداشته و بر روی سایت‌های مشخصی از جاذب قرار می‌گیرند، بنابراین، فرآیند جاذب از ایزوترم مدل ایزوترم لانگمویر تبعیت کرده است. اما، در الگوی فروندلیخ، فرآیند جاذب نزولی بوده و ضریب همبستگی جاذب‌ها به‌ترتیب برای کربن فعال تجاری، خاکستر نیروگاه برق حرارتی و خاکستر کوره آجرپزی برابر با ۰/۹۶۲، ۰/۹۵۰ و ۰/۹۲۲ بوده است که در مقایسه با الگوی لانگمویر می‌توان گفت، فرآیند جاذب از الگوی فروندلیخ تبعیت نکرده است. از طرفی، رابطه خطی C_e/q_e به C_e در دمای اتاق، تبعیت فرآیند جاذب COD فاضلاب از مدل لانگمویر را مورد تأیید قرار می‌دهد. علاوه بر این، بیش‌ترین ظرفیت جاذب (q_m) برای جاذب‌های کربن فعال تجاری، خاکستر نیروگاه برق حرارتی و خاکستر کوره آجرپزی در دمای 1 ± 25 درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب برابر با ۸۳/۰، ۲۸/۶ و ۱۴/۹ میلی‌گرم در گرم جاذب حاصل شد.

نتیجه‌گیری

حذف COD توسط جاذب‌هایی با کارایی بالا می‌تواند به‌عنوان یک روش موثر برای تصفیه فاضلاب مورد توجه قرار گیرد. بر اساس یافته‌های این مطالعه، حذف COD از فاضلاب

برخوردار بوده است. ولی استفاده از خاکستر نیروگاه برق حرارتی و خاکستر کوره آجرپزی نیز به عنوان جاذب ارزان قیمت و در دسترس به منظور تصفیه فاضلاب توصیه می شود.

تقدیر و تشکر

این مطالعه با مجوز معاون پژوهش و فن آوری واحد همدان دانشگاه آزاد اسلامی انجام یافته است که بدین وسیله نویسندگان از این معاونت محترم برای فراهم کردن امکانات اجرای مطالعه، سپاسگزاری می کنند.

با استفاده از کربن فعال تجاری، خاکستر نیروگاه برق حرارتی و خاکستر کوره آجرپزی با افزایش مقادیر جاذب و زمان تماس افزایش یافته و بیشینه نرخ کارایی حذف در pH ختشی یعنی برابر با هفت مشاهده حاصل شد. ایزو ترم جذب توسط کربن فعال تجاری، خاکستر نیروگاه برق حرارتی و خاکستر کوره آجرپزی از مدل لانگمویر تبعیت کرده و حداکثر ظرفیت جذب آن ها (میلی گرم در گرم) به ترتیب برابر با ۸۳/۰، ۲۸/۶ و ۱۴/۹ ثبت شد. همچنین، مشخص شد که جاذب کربن فعال تجاری از کارایی بیش تری در حذف COD در مقایسه با خاکستر نیروگاه برق حرارتی و خاکستر کوره آجرپزی

References

1. Zandipak R, Sobhanardakani S, Shirzadi A. Synthesis and application of nanocomposite $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2@\text{CTAB-SiO}_2$ as a novel adsorbent for removal of cyclophosphamide from water samples. *Separation Science and Technology* 2020;55(3):456-70.
2. Manka J, Rebhun M, Mandelbaum A, et al. Characterization of organics in secondary effluents. *Environmental Science & Technology* 1974;8: 1017-20.
3. Andrew B, Xiaodog S, Edyvean GL. Removal of coloured organic matter by adsorption onto low cost-waste material. *Water Research* 1994;31:2084-92.
4. Rebhun M, Manka J. Classification of organics in secondary effluents. *Environmental Science & Technology* 1971;5:606-60.
5. Manjo GN, Raji C, Aniruhan TS. Evaluation of coconut husk carbon for the removal of arsenic from water. *Water Research* 1998;32:3062-70.
6. Poots VJP, Mackay G, Healy JJ. Removal of basic dye from effluent using wood as an adsorbent. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 1978;50:926-35.
7. Ali M, Deo N. Effect of pH on adsorption process of chromium (VI) with a new low cost adsorbent". *Indian Journal of Environmental Protection* 1992;12:202-09.
8. Chen PH. Adsorption of organic compounds in water using asynthetic adsorbent. *Environment International* 1994;23:63-73.
9. Raj CP, Subha TS, Anirudhan TS. Use of chemically modified sawdust in the removal of Pb(II) ions from aqueous media. *Indian Journal of Environmental Health* 1997;39:230-8.
10. Mazumder SCB, Kumar K. Removal /recovery of acetic acid from wastewater by adsorption on bagasse and coconut jute carbon. *Indian Journal of Environmental Health* 1999;41:170-5.
11. Mazumder D, Roy B. Low cost options for treatment and reuse of municipal wastewater. *Indian Journal of Environmental Protection* 2000;20:529-32.
12. Piet NL, Piet MV, Lode S, et al. Direct treatment of domestic wastewater by percolation over peat, bark and wood chips. *Water Research* 1994;28:17-26.
13. Konicki W, Pelech I, Mijowska E, et al. Adsorption of anionic dye Direct Red 23 onto magnetic multi-walled carbon nanotubes- Fe_3C nanocomposite: Kinetics, equilibrium and thermodynamics. *Chemical Engineering Journal* 2012;210:87-95.
14. Wang S, Hongwei W. Environmental-benign utilization of fly ash as low- cost adsorbents. *Journal of Hazardous Materials* 2006;136:482-501.
15. Banerje S, Dastidar MG. Use of jute processing wastes for treatment of wastewater contaminated with dye and other organics. *Bioresource Technology* 2005;96:1919-28.
16. Srivastava VC, Deo IM, Mishra IM. Treatment of pulp and paper mill wastewater with poly alminium chloride and bagasse fly ash. *Colloid Surface A* 2005;260:17-28.
17. Bhatnagar A. Removal of bromophenols from water using industrial wastes as low cost adsorbents. *Journal of Hazardous Materials* 2007;139:93-102.
18. Azizian S, Haerifar M, Bashiri H. Adsorption of methyl violet onto granular activated carbon: Equilibrium, kinetics and modeling. *Chemical Engineering Journal* 2009;146:36-41.
19. Banerjee K, Cheremisinoff PN, Cheng SL. Sorption of organic contaminants by fly ash in a single solute system. *Environmental Science & Technology* 1995;29:2243-51.
20. Sarkar M, Acharya PK, Bhattacharya B. Removal characteristics of some priority organic pollutants from water in a fixed bed fly ash column. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 2005;80(12):1349-55.
21. Devi R, Dahiya RP. Chemical oxygen demand (COD) reduction in domestic wastewater by fly ash and brick kiln ash. *Water, Air, and Soil Pollution* 2006;174:33-46.
22. Laohaprapanon S, Marques M, Hogland W. Removal of organic pollutants from wastewater using wood fly ash as a low-cost sorbent. *CLEAN-Soil, Air, Water*. 2010;38(11):1055-61.
23. American Public Health Association (APHA). Standard Method for Examination of Water and Wastewater. 19th Edition. American Public Health Association. Washington D.C. 1995.
24. Bhaumik M, Maity A, Srinivasu VV, et al. Removal of hexavalent chromium from aqueous solution using polypyrrole-polyaniline nanofibers. *Chemical Engineering Journal* 2012;181-182:323-33.
25. Fernando M, Carlos P, Thais HM, et al. Adsorption of Reactive Red M-2BE dye from water solutions by multi-walled carbon nanotubes and activated

- carbon. Journal of Hazardous Materials 2011;192:1122-31.
26. Lu C, Chiu H. Adsorption of zinc(II) from water with purified carbon nanotubes. Chemical Engineering Journal 2006;61:1138-45.
27. Pamidimukkala PS, Soni H. Efficient removal of organic pollutants with activated carbon derived from palm shell: Spectroscopic characterisation and experimental optimization. Journal of Environmental Chemical Engineering 2018; 6(2) : 3135-49.
28. Song Qua B, Fei H, Shaoning Y, et al. Magnetic removal of dyes from aqueous solution using multi-walled carbon nanotubes filled with Fe₂O₃ particles. Journal of Hazardous Materials 2008;160: 643-7.
29. Wang C, Chou W, Chung M, et al. COD removal from real dyeing wastewater by electro-Fenton technology using an activated carbon fiber cathode. Desalination 2010;253:129-34.
30. Keyvani N. Environmental Criteria's and Standards in the Field of Human Environment. Department of the Environment of Iran Publication 2004;158 pp (In Persian).
31. Zandipak R, Sobhanardakani S, Shirzadi A. Synthesis and application of nanocomposite Fe₃O₄@SiO₂@CTAB-SiO₂ as a novel adsorbent for removal of cyclophosphamide from water samples. Separation Science and Technology 2020;55(3):456-70.
32. Hameed BH, El-Khaiary MI. Equilibrium, kinetics and mechanism of malachite green adsorption on activated carbon prepared from bamboo by K₂CO₃ activation and subsequent gasification with CO₂. Journal of Hazardous Materials 2008;157:344-51.
33. Talebzadeh F, Zandipak R, Sobhanardakani S. CeO₂ nanoparticles supported on CuFe₂O₄ nanofibers as novel adsorbent for removal of Pb(II), Ni(II) and V(V) ions from petrochemical wastewater. Desalination and Water Treatment 2016;57(58):28363-277.
34. Zhu HY, Fu YQ, Jiang R, et al. Adsorption removal of congo red onto magnetic cellulose/Fe₃O₄/activated carbon composite: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. Chemical Engineering Journal 2011;173:494-502.
35. Ribeiro R, Fathy A, Amina A, et al. Activated carbon xerogels for the removal of the anionic azo dyes Orange II and Chromotrope 2R by adsorption and catalytic wet peroxide oxidation. Chemical Engineering Journal 2012;195-196:112-21.
36. Liu G, Ma J, Li X, et al. Adsorption of bisphenol A from aqueous solution onto activated carbons with different modification treatments. Journal of Hazardous Materials 2009;164(2-3):1275-80.
37. Mohan D, Sarswat A, Singh VK, et al. Development of magnetic activated carbon from almond shells for trinitrophenol removal from water. Chemical Engineering Journal 2011;172(2-3):1111-25.
38. Cheraghi M, Lorestani B, Zandipak R, et al. GO@Fe₃O₄@ZnO@CS nanocomposite as a novel adsorbent for removal of doxorubicin hydrochloride from aqueous solutions. Toxin Reviews 2022;41(1):82-91.
39. Cheraghi M, Sobhanardakani S, Zandipak R, et al. Removal of Pb(II) from aqueous solutions using waste tea leaves. Iranian Journal of Toxicology 2015;9(28):1247-53.
40. Ghoochian M, Ahmad Panahi H, Sobhanardakani S, et al. Synthesis and application of Fe₃O₄/SiO₂/thermosensitive/PAMAM-CS nanoparticles as a novel adsorbent for removal of tamoxifen from water samples. Microchemical Journal 2019;145:1231-40.
41. Devi R, Singh V, Kumar A. COD and BOD reduction from coffee processing wastewater using Avacado peel carbon. Bioresource Technology 2008;99:1853-60.
42. Zhang Y, Frankenberger WT. Factors affecting removal of selenate in agricultural drainage water utilizing rice straw. Science of the Total Environment 2003;305:207-216.
43. Sobhanardakani S, Parvizmosaed H, Olyae E. Heavy metals removal from wastewaters using organic solid waste-rice husk. Environmental Science and Pollution Research 2013;20(8):5265-71.
44. Sobhanardakani S, Zandipak R. Cerium dioxide nanoparticles decorated on CuFe₂O₄ nanofibers as an effective adsorbent for removal of estrogenic contaminants (Bisphenol A and 17- α ethinylestradiol) from water. Separation Science and Technology 2018;53(15):2339-51.
45. Afkhami A, Saber-Tehrani M, Bagheri H. Modified maghemite nanoparticles as an efficient adsorbent for removing some cationic dyes from aqueous solution. Desalination 2010;263:240-8.

A comparative study on the efficiency of brick kiln ash, thermal power plant Ash and commercial activated carbon for COD removal from domestic wastewater

Mehrdad Cheraghi^{1*}, Soheil Sobhanardakani¹, Hassan Parvizimosaed², Raziye Zandipak², Bahareh Lorestani³

¹ Ph.D. in Environmental Science, Professor in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

² M.Sc. in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

³ Ph.D. in Environmental Science, Associate Professor in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

Email: cheraghi@iauh.ac.ir

Received: 26 November 2022, Accepted: 11 December 2022

ABSTRACT

Background and Objective: Since use of domestic wastewater contain organic pollutants for irrigation of agricultural farms will lead to be adverse health effects, this study was conducted to compare the efficiency of brick kiln ash, thermal power plant ash and also commercial activated carbon for removal of chemical oxygen demand (COD) from domestic wastewater.

Materials and Methods: In order to removal of COD from domestic wastewater by studied adsorbents, under optimal conditions the effects of pH, amount of adsorbent, contact time and agitation speed were evaluated. Also, equilibrium data were fitted to Langmuir (L) and Freundlich (F) isotherm models.

Results: The results showed that the removal efficiency was increased by increasing in adsorbent dose, contact time and agitation speed. The optimum pH for COD removal was 7. Also, the results indicated that, the adsorption isotherm was well fitted by the Langmuir model with $R^2 = 0.997, 0.996$ and 0.993 for commercial activated carbon, thermal power plant ash and brick kiln ash, respectively. Moreover, maximum adsorption capacity of COD for commercial activated carbon, thermal power plant ash and brick kiln ash were obtained $83.0, 28.6$ and 14.9 mg/g, respectively.

Conclusion: Based on the results obtained, the commercial activated carbon found to be as an effective adsorbent for removal of COD from domestic wastewater compared to thermal power plant ash and brick kiln ash, but due to low cost of them, thermal power plant ash and also brick kiln ash could be used for removal of COD from wastewater.

Keywords: Brick kiln ash, Thermal power plant ash, Commercial activated carbon, Chemical oxygen demand, Domestic wastewater