

ارزیابی فرآیند ترکیبی پودر کربن فعال - لجن فعال در حذف مواد رنگزای نساجی

دکتر میترا غلامی*، حامد محمدی**، سید حامد میرحسینی***، دکتر احمد عامری****، زهره جوادی*****

نویسنده مسئول: تهران، دانشگاه علوم پزشکی ایران، دانشکده بهداشت mitra326@yahoo.com

دریافت: ۸۶/۹/۶ پذیرش: ۸۷/۳/۶

چکیده

زمینه و هدف: مواد رنگزا، به دلیل قابلیت تجزیه پذیری کم، نیاز به فناوری پیشرفته‌ی خاصی دارند. فرآیند ترکیبی پودر کربن فعال - لجن فعال (PACT) به عنوان روشی جهت حذف این نوع ترکیبات به کار می‌رود. هدف از انجام این پژوهش بررسی کارایی این فرآیند در حذف مواد رنگزا از فاضلاب صنایع نساجی می‌باشد.

روش بررسی: روش انجام تحقیق با توجه به ماهیت آن بر پایه‌ی داده‌های آزمایشگاهی، از نوع مطالعات کاربردی است. این پژوهش در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول، میزان تجزیه پذیری مواد رنگزای انتخابی (رنگ‌های اسیدی نارنجی C. ۱۱۵۵۱ و رنگ راکتیو ریمازول برلیانت‌بلو) در نمونه‌ی طراحی شده، بدون پودر کربن فعال و بر طبق روش زاهن - والینز (۹۸۸۸) مورد ارزیابی قرار گرفت. در مرحله دوم آزمایشات با اضافه کردن غلظت‌های متفاوتی از پودر کربن فعال ادامه یافته و تأثیر پودر کربن فعال در راکتور لجن فعال در شرایط بهره‌برداری مختلف بررسی شد. در تمام مراحل، مقدار رنگ موجود در نمونه بر اساس واحد ADMI خروجی و درصد حذف رنگ مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج به دست آمده نشان داد که در فاضلابی با غلظت رنگ ورودی برابر ۱۰۰ میلی گرم در لیتر میزان حذف رنگ از طریق بیولوژیکی به تنهایی، برای رنگ‌های اسیدی و راکتیو به ترتیب برابر ۶۰ و ۱۲/۵ درصد بود. در مرحله دوم غلظت بهینه‌ی پودر کربن فعال جهت حذف مواد رنگزا از فاضلاب صنایع نساجی با کارایی بالا غلظت ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر به دست آمد. زمان ماند هیدرولیکی و دمای بهینه جهت حذف رنگ به ترتیب ۲۸ ساعت و ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تعیین شد که در این شرایط بازدهی حذف رنگ برابر ۹۸/۱۸ درصد بود. در انتهای کار مدل‌های ایزوترم فروندلیچ و لانگمیر برای تعیین قابلیت کاربرد آن‌ها مورد آزمایش قرار گرفت.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به دست آمده، فرآیند PACT می‌تواند به عنوان یک روش قابل قبول با کارایی بالا (بیش از ۹۰ درصد) برای حذف مواد رنگزای مختلف مورد استفاده در صنایع نساجی به کار رود. کاربرد این فرآیند برای تصفیه‌ی فاضلاب صنایع نساجی یک روش بهبودیافته‌ی مهم است که در یک مرحله می‌تواند به طور هم‌زمان COD و مواد رنگزا را بدون کاربرد روش تصفیه‌ی دیگری حذف کند. با مقایسه‌ی نتایج به دست آمده در این پژوهش ایزوترم لانگمیر، به عنوان ایزوترم مناسب تعیین شد.

واژگان کلیدی: فاضلاب صنایع نساجی، لجن فعال، پودر کربن فعال، مواد رنگزا

* دکترای مهندسی بهداشت محیط، استادیار دانشگاه علوم پزشکی ایران

** کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، مربی دانشگاه علوم پزشکی زنجان

*** کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران

**** دکترای مهندسی بهداشت محیط، استادیار دانشگاه علوم پزشکی ایران

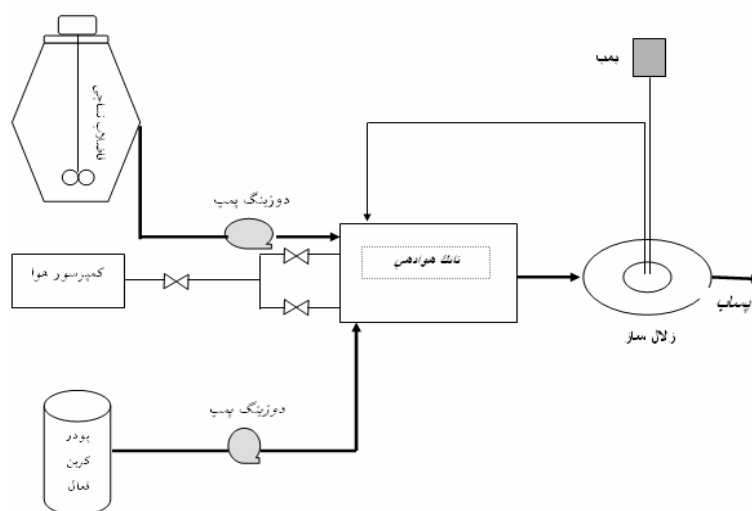
***** کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، مربی دانشگاه علوم پزشکی ایران

مقدمه

فاضلاب صنایع نساجی از عمده‌ترین آلاینده‌های محیط زیست محسوب می‌شود. پساب‌های صنایع نساجی به طور معمول حاوی رنگ، دمای بالا، جامدات محلول بالا، (Chemical Oxygen Demand [COD])، (Biochemical Oxygen Demand [BOD]) و در مواقعی دارای خاصیت قلیایی زیاد می‌باشند. وجود رنگ مانع عبور نور شده، فعالیت فتوسنتتیکی را مختل می‌کند و مانع رشد موجودات زنده می‌شود. از طرف دیگر رنگ با یون‌های فلزی تشکیل پیوند داده و تولید ترکیباتی می‌کند که برای ماهیان و سایر میکروارگانیسم‌های موجود در آب سمی هستند. باید توجه داشت که آلودگی آب‌های آشامیدنی به وسیله‌ی مواد رنگ‌زا حتی در غلظت‌های پایین (۱ میلی‌گرم در لیتر)، نیز می‌تواند تولید رنگی با شدت زیاد کند، به طوری که مصرف آن آب توسط انسان را غیرممکن سازد (۱). مواد رنگ‌زا سبب آلودگی محیط زیست می‌شوند. این مواد برای ارگانیسم‌ها سمی بوده و خطر جدی برای سلامتی انسان محسوب می‌شوند. این مواد به دلیل مصنوعی بودن و داشتن ساختار مولکولی آروماتیک پیچیده، در محیط پایدار بوده، و قابلیت تجزیه‌پذیری کمی دارند (۲-۴). روش‌های معمول تصفیه‌ی فاضلاب صنایع نساجی به ویژه فاضلاب خروجی از فرآیند رنگ‌رزی در بیشتر موارد مقرون به صرفه نبوده و از طرفی هر کدام از این روش‌ها جهت جداسازی رنگ خاصی کارایی دارند و برای حذف سایر رنگ‌ها دارای راندمان پایینی هستند (۵). در سه دهه‌ی اخیر کاربرد فرآیند روش ترکیبی لجن فعال - پودر کربن فعال (Powdered Activated Sludge Technology [PACT]) جهت تصفیه‌ی فاضلاب‌های صنعتی گسترش فراوانی یافته است. سیستم لجن فعال - پودر کربن فعال، یک فرآیند بیوفیزیک است که برای کاهش آلاینده‌ها و مواد سمی در فاضلاب به کار می‌رود (۶). با توجه به این که سیستم‌های

بیولوژیکی به تنهایی قادر به کاهش غلظت ترکیبات محلول و بعضی از ترکیبات آلی غیرقابل تجزیه‌ی بیولوژیکی نمی‌باشد، کاربرد فرآیند ترکیبی پودر کربن فعال - لجن فعال، قادر به حذف بخش زیادی از آن‌ها می‌باشد، به طوری که به کمک این فرآیند، میزان BOD در فاضلاب‌های صنعتی با بار آلی بالا تا حدود ۲۰۰ و حتی ۱۴۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش می‌یابد (۷). مطالعات و تجربیات نشان می‌دهند که مهم‌ترین دلایل افزایش بازدهی حذف رنگ در چنین سیستم‌هایی شامل افزایش جذب و تسریع رشد باکتری‌ها و بهبود خصوصیات ته‌نشینی لخته‌های تولید شده می‌باشد (۸). فرآیند PACT برای تصفیه‌ی فاضلاب نساجی حاوی رنگ اسیدی نارنجی (۷.C.۱۱۵۵۱۰) نیز به کار رفته است که توسط آن درصد حذف رنگ حدود ۹۸ درصد به دست آمده است (۹). با استفاده از فرآیند ترکیبی لجن فعال - پودر کربن فعال جهت حذف روغن و ترکیبات آلی پایدار و رنگی با وزن مولکولی بالا، درصد قابل ملاحظه‌ای از مواد فوق‌الذکر حذف شده‌اند (۱۰). تأثیر غلظت مواد رنگ‌زا و زمان تماس در حذف مواد رنگ‌زای راکتیو از محلول‌های آبی به کمک پودر کربن فعال و مقایسه آن با ظرفیت جذب خاکستر، نشان‌دهنده‌ی ظرفیت جذب بالای (Powdered Activated Sludge [PAC]) می‌باشد (۲). در مطالعه‌ی دیگری از پودر کربن فعال - پودر لجن فعال و یک ماده‌ی جاذب جدید برای حذف ۶ نوع ماده‌ی رنگ‌زا استفاده شده است. نتایج به ترتیب نشان‌دهنده‌ی بیشترین و کم‌ترین راندمان حذف برای رنگ‌های زرد مستقیم و لواتوکس است (۳). نتایج به دست آمده از مقایسه‌ی عملکرد فرآیندهای جذب سطحی (با سه نوع پودر کربن فعال)، انعقاد و غشایی در حذف مواد رنگ‌زای راکتیو به تنهایی و ادغام سه روش، نمایانگر کارایی بسیار بالای روش‌های ادغام شده مذکور در حذف رنگ می‌باشد. از طرف دیگر ظرفیت جذب سطحی رنگ بسته به نوع ماده‌ی رنگ‌زا متفاوت است (۱۱). این

رطوبت ۲/۸ و سطح فعال ۵۴۰ مترمکعب برگرم (ساخت ایران) تهیه شد. پایلوت مورد استفاده شامل دو بخش هوادهی به حجم ۴۰ لیتر و ته‌نشینی به حجم ۱۲ لیتر و از جنس پلکسی‌گلاس بود. فاضلاب به وسیله‌ی یک دوزینگ پمپ از مخزن فاضلاب خام به واحد هوادهی تزریق شد. هوای مورد نیاز به وسیله‌ی یک کمپرسور تأمین شد. برای پخش یکنواخت حباب‌های هوا و ایجاد شرایط یکنواخت اختلاط در واحد هوادهی ۲ عدد دیفیوزر حباب‌ریز به موازات هم در کف واحد هوادهی تعبیه شده بود. زلال‌ساز به شکل استوانه‌ای همراه با قیف ته‌نشینی مخروطی شکل از جنس پلکسی‌گلاس طراحی و ساخته شد. حجم مفید آن ۱۲ لیتر شامل قسمت استوانه‌ای ۷/۵ لیتر و مخروط انتهایی به حجم ۵ لیتر بود. مایع مخلوط پس از خروج از واحد هوادهی به صورت ثقلی از مرکز زلال‌ساز به آرامی وارد آن می‌شد، به گونه‌ای که تلاطم ایجاد نشود. در محیط استوانه سرریز خروجی برای خروج یکنواخت پساب در نظر گرفته شده بود که ارتفاع آن قابل تنظیم بود. شیب مناسب مخروط انتهایی باعث جمع‌آوری ثقلی لجن شده، که لجن جمع‌آوری شده توسط پمپ ایرلیفت به واحد هوادهی برگشت داده می‌شد (شکل ۱).



نمودار ۱: شکل شماتیک پایلوت PACT مورد استفاده

پژوهش با هدف کلی ارزیابی کارایی فرآیند لجن فعال - پودر کربن فعال در حذف مواد رنگ‌زا از فاضلاب صنایع نساجی انجام شد. در طول دوره‌ی بررسی تأثیر متغیرهای غلظت پودر کربن فعال، زمان ماند هیدرولیکی و دما نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش بررسی

روش آماری مورد استفاده به منظور تعیین تعداد نمونه‌ها، روش Box-Benken از طریق نرم‌افزار Design Expert v/۰/۸ بوده است. بر اساس متغیرهای وابسته و مستقل و با در نظر گرفتن ضریب $\alpha=۰/۰۵$ ، تعداد نمونه‌های مورد نیاز برای آنالیز آماری چندمتغیره (فشار، دما، pH و غلظت) برابر با ۳۰ نمونه بود که انجام آزمایشات در هر دوره (run) به صورت سه‌تایی (Triple) انجام شد (به طور کلی ۹۰ نمونه). از تست‌های آماری، رگرسیون و Correlation استفاده شد. روش انجام تحقیق با توجه به ماهیت آن بر پایه‌ی داده‌های آزمایشگاهی، از نوع مطالعات بنیادی - کاربردی است. جهت تعیین کارایی روش ترکیبی لجن فعال - پودر کربن فعال برای حذف مواد رنگ‌زا از فاضلاب صنایع نساجی، ابتدا پودر کربن فعال با دانسیته‌ی ۰/۴۹۵، مقدار خاکستر ۴ درصد وزنی،

رسیدن سیستم به شرایطی که نتایج آزمایشات (غلظت SCOD خروجی) در هفت روز متوالی دارای تفاوت آماری معنی‌داری با فاصله‌ی اطمینان 95 درصد ($P < 0.05$) نبودند، توده‌ی میکروبی همراه فاضلاب به عنوان بذری اولیه به سیستم منتقل شد.

پس از برقراری شرایط پایدار در کارکرد سیستم، میزان تجزیه‌پذیری فاضلاب حاوی مواد رنگ‌زا، طی ۴ دوره با غلظت‌های فوق‌الذکر بر اساس روش زاهن - والینز (ایزو ۹۸۸۸)، مورد بررسی قرار گرفت. در این روش، تجزیه‌پذیری ترکیبات آلی محلول در آب یا فاضلاب به کمک میکروارگانیسم‌های هوازی طی مدت زمان ۲۸ روز مورد بررسی قرار گرفت. طی این مدت، درصد حذف COD در زمان‌های مختلف با استفاده از فرمول زیر، تعیین شد:

$$(۱) \quad COD_{removal} \% = \left[1 - \frac{P_c T_t - P_c B_t}{P_c T_1 - P_c B_1} \right] \times 100$$

$P_c T_t$ = غلظت COD (mg/L)، در زمان t (بعد از ۲۸ روز) در راکتور اصلی (F_T)

$P_c T_1$ = غلظت COD (mg/L)، در زمان t (بعد از ۲۸ روز) در راکتور شاهد (F_B)

$P_c T_1$ = غلظت COD (mg/L)، در زمان t_1 در راکتور اصلی (F_T)

$P_c B_1$ = غلظت COD (mg/L)، در زمان t_1 در راکتور شاهد (F_B)

بر اساس این روش، زمانی ترکیب مورد نظر به عنوان یک ترکیب قابل تجزیه بیولوژیکی شناخته می‌شود که درصد تجزیه‌پذیری آن بیش از ۷۰ درصد باشد (۱۳).

در مرحله‌ی بعدی، تزریق پودر کربن فعال به سیستم آغاز شد. در این مرحله با تغییر غلظت پودر کربن در محدوده‌ی ۵۰۰ تا ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر از طریق افزودن مقادیر معین پودر کربن و ثابت نگه‌داشتن COD فاضلاب ورودی و سایر متغیرها، بازدهی حذف محلولی از رنگ‌های اسیدی و راکتیو با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۰/۱۱ درصد وزنی) مورد ارزیابی قرار گرفت. در مرحله‌ی بعدی، فاضلابی با غلظت COD برابر ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ساخته شد و با ثابت

به منظور تعیین قابلیت اطمینان آماری در ارزیابی مقادیر مختلف و همچنین مقایسه‌ی داده‌های به دست آمده از پایلوت در هر کدام از مراحل از نرم‌افزار SPSS ۱۳ استفاده شد. از طرف دیگر در مرحله‌ی آزمایش اثر کربن فعال نتایج نهایی با استفاده از تکرار نمونه‌ها گزارش شد. فاضلاب سنتتیک حاوی کربوکسی‌متیل سلولز، کلرور آمونیوم، فسفات پتاسیم، کلرید کلسیم، سولفات منیزیم، کلرور آهن سه‌ظرفیتی، سولفات روی و بیکربنات پتاسیم بود. رنگ‌های مورد استفاده شامل غلظت‌های مختلفی از اسیدی نارنجی (C. ۱۱۵۵۱۰) و رنگ راکتیو ریمازول برلیانت‌بلو خریداری شده از شرکت فولکا بودند. در طول دوره‌ی بررسی متغیرهای COD، رنگ، غلظت بیوماس، pH، دما و غلظت اکسیژن محلول مورد آزمایش قرار گرفتند. میزان رنگ بر اساس واحد رنگ (American Dye Manufacturer Institute [ADMI]) اندازه‌گیری شد (۱۲). قبل از تعیین میزان رنگ جهت جلوگیری از تداخل کدورت نمونه‌های ورودی و خروجی از صافی غشایی نیترات سلولز (۰/۴۵ میکرون) عبور داده شدند. اندازه‌گیری COD به روش تقطیر برگشتی و اندازه‌گیری (Mixed Liquor Suspended Solids [MLSS]) به روش صاف‌سازی و تعیین وزن پس از حرارت دادن انجام شد (۱۲).

پژوهش مورد نظر در ۴ مرحله انجام شد. در مرحله‌ی اول با استفاده از یک واحد هوادهی ناپیوسته و لجن فعال برگشتی سیستم تصفیه‌ی فاضلاب شهری به میزان ۱۰۰ درصد برگشت لجن، در یک دوره‌ی سی‌روزه عمل تطبیق توده‌ی میکروبی با فاضلاب ساخته از کربوکسی‌متیل سلولز با COD محلول ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، انجام شد. به این فاضلاب به تدریج غلظت‌های ۰/۰۱، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۱ میلی‌گرم در لیتر از محلول ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر رنگ‌های اسیدی و راکتیو اضافه شد. تغییرات روزانه (Soluble COD [SCOD]) و میزان تغییرات MLSS (جامدات معلق مایع مخلوط) اندازه‌گیری شد. پس از

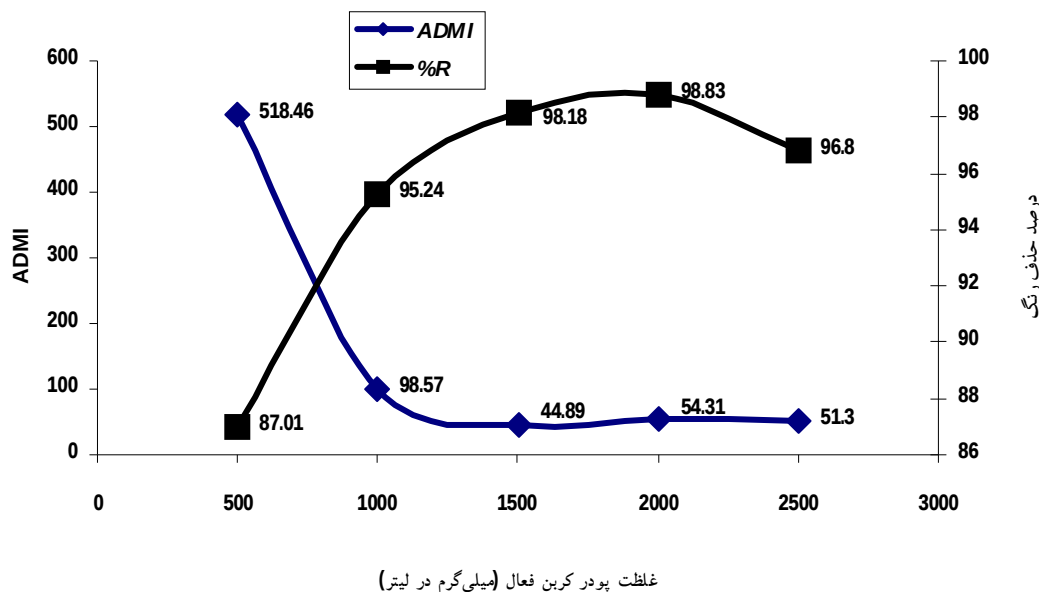
فاضلاب‌های حاوی ترکیبات رنگی ندارد. در بهترین حالت شرایط بهره‌برداری بیشترین راندمان به دست آمده در شرایط دمای آزمایشگاه برابر با ۳۰ درصد بود ($SD=2/18$) که در مقایسه با راندمان‌های مدنظر به منظور حصول استانداردهای زیست‌محیطی بسیار ناچیز می‌باشد، به طوری که درصد حذف رنگ برای رنگ راکتیو ۱۲/۵ درصد و برای رنگ اسیدی ۶۰ درصد به دست آمد.

درصد حذف COD به ترتیب برابر ۲۵ و ۸۰ درصد به دست آمد. همچنین میزان واحد ADMI ورودی ۲۳۵۴ و خروجی برای مواد رنگ‌زای اسیدی و راکتیو به ترتیب برابر ۹۵۱/۲ و ۲۲۱۱ به دست آمد. نمودار ۲ نتایج حاصل از محاسبه‌ی میزان ADMI و درصد حذف رنگ نمونه‌های خروجی با غلظت‌های مختلف پودر کربن فعال در واحد هوادهی و غلظت رنگ ورودی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر را نشان می‌دهد.

نگه‌داشتن میزان غلظت پودر کربن فعال ورودی و سایر متغیرها، تأثیر تغییر زمان ماند هیدرولیکی در محدوده‌ی ۱۸ تا ۳۰ ساعت مورد ارزیابی قرارگرفت. پس از تعیین مقادیر بهینه‌ی غلظت پودر کربن فعال و زمان ماند هیدرولیکی، در این مرحله با تغییر دما در محدوده‌ی ۲۲ تا ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد دمای بهینه برای داشتن حداکثر کارایی تعیین شد. در تمام مراحل، پس از برداشت نمونه در فاصله‌های زمانی مشخص، مقادیر ADMI و درصد حذف رنگ محاسبه شد.

یافته‌ها

با توجه به اهداف این پژوهش، نتایج تأثیر متغیرهای مختلف بر کارایی حذف رنگ توسط فرآیند لجن فعال - پودر کربن فعال به صورت زیر ارائه می‌شود: نتایج حاصل از آزمایشات مرحله‌ی اول نشان داد که فرآیند تصفیه‌ی بیولوژیکی لجن فعال به تنهایی راندمان مناسبی در تصفیه‌ی



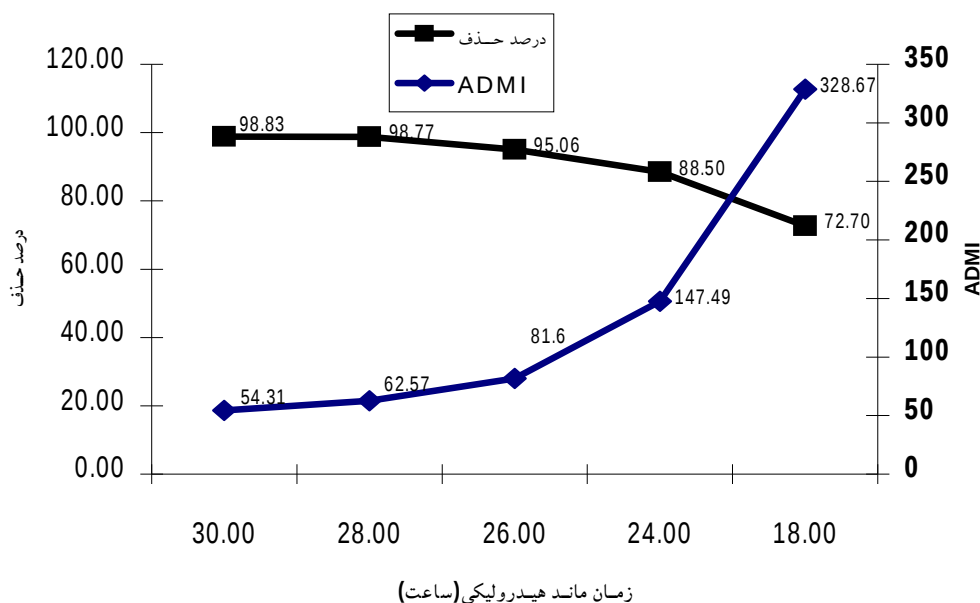
نمودار ۲: تغییرات درصد حذف رنگ و ADMI با تغییر غلظت پودر کربن فعال (غلظت رنگ ورودی برابر ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)

۵۰۰ به ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر میزان ADMI نمونه‌های خروجی از ۵۱۸/۴۶ به ۵۴/۳۱ کاهش می‌یابد. در غلظت پودر

میزان ADMI نمونه‌ی فاضلاب ورودی برابر ۲۷۱۰ می‌باشد. طبق نتایج به دست آمده، با افزایش غلظت پودر کربن فعال از

کربن فعال معادل ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر، درصد حذف رنگ به بیشترین مقدار (۹۸/۸۳) می رسد ($SD=0/74$). با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و با توجه به این که از غلظت پودر کربن ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر افزایش درصد حذف رنگ ناچیز است، بنابراین غلظت ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر پودر کربن با درصد حذف رنگ ۹۸/۱۸ به عنوان غلظت بهینه ی پودر کربن در نظر گرفته می شود، در رابطه با تأثیر زمان ماند

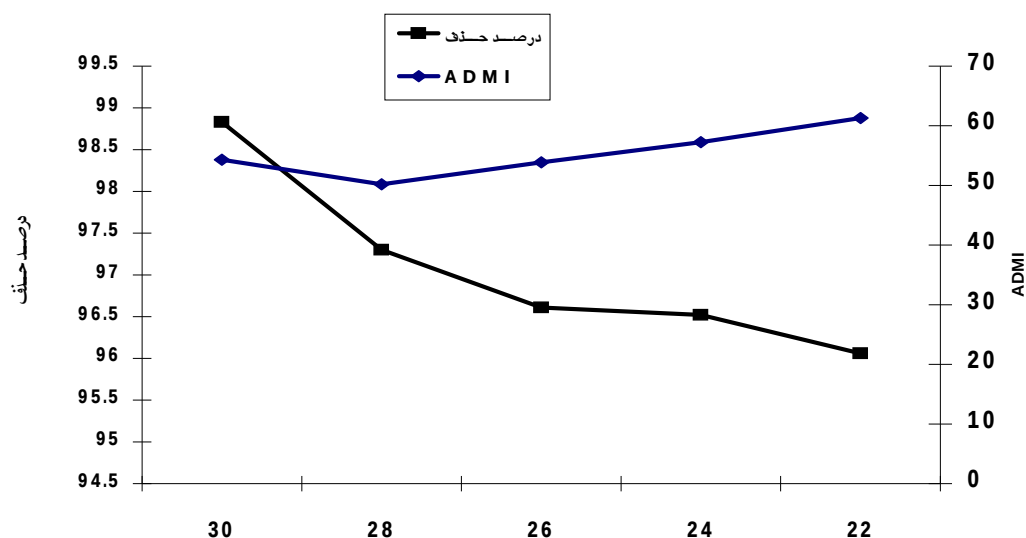
هیدرولیکی، نتایج این مرحله نشان داد که در غلظت پودر کربن ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر و غلظت رنگ ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، با افزایش زمان ماند هیدرولیکی از ۱۸ ساعت به ۳۰ ساعت میزان ADMI نمونه های خروجی کاهش یافته و افزایش زمان ماند هیدرولیکی باعث افزایش درصد حذف رنگ می شود. نمودار ۳ روند تغییرات مقدار ADMI را با تغییر زمان ماند هیدرولیکی نشان می دهد.



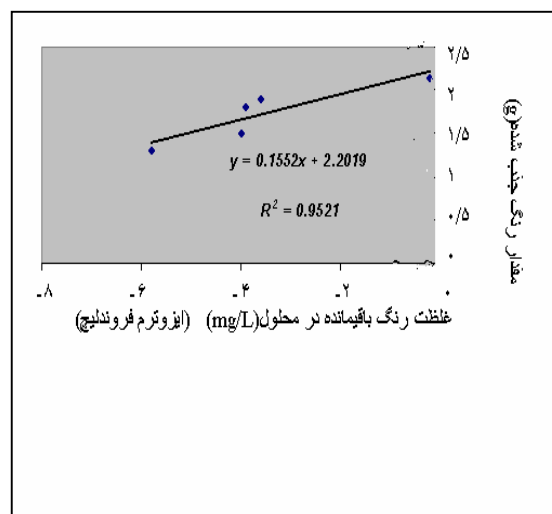
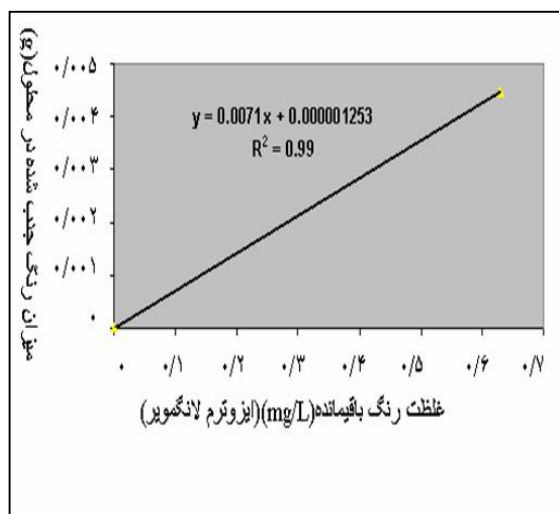
نمودار ۳: تغییرات مقادیر ADMI با تغییر زمان ماند هیدرولیکی (غلظت رنگ ورودی برابر ۱۰۰ و غلظت پودر کربن برابر ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر)

نمودار ۴ نشان دهنده ی افزایش درصد حذف رنگ با افزایش دما می باشد. در این مرحله بالاترین میزان درصد حذف رنگ در دمای ۳۰ درجه ی سانتی گراد مشاهده می شود. در این حالت، درصد حذف رنگ ۹۸ درصد و میزان ADMI خروجی برابر ۵۴ است. به منظور تعیین ایزوترم های جذب به صورت ناپیوسته در غلظت های پودر کربن ۱ تا ۶ گرم در لیتر انجام شد. به این منظور وزن مشخصی از جاذب در تماس با ۱۰۰ میلی لیتر محلول حاوی غلظت های مختلفی از رنگ

(۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰) با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه روی شیکر قرار گرفت و پس از طی زمان های (۵/۰، ۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ ساعت) نمونه هایی گرفته و درصد حذف رنگ توسط جاذب در زمان های مشخص شده تعیین شد. جهت تعیین ایزوترم های جذب لانگمویر و فروندلیچ، آزمایشات در زمان تماس برابر با زمان به تعادل رسیدن جاذب (۳ ساعت) در دمای ثابت ۲۵ درجه ی سانتی گراد انجام شد (نمودار ۵).



نمودار ۴: تغییرات میزان ADM I و درصد حذف با تغییر دما (غلظت رنگ ورودی برابر ۱۰۰ و ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر $PAC =$



نمودار ۵: تعیین نوع ایزوترم جذب در فرآیند $PACT$

بحث

۷۰ درصد به خصوص برای رنگ‌های راکتیو می‌باشد ($P < 0.01$). یکی از دلایل این افزایش حذف را می‌توان تأثیر کربن فعال بر فعالیت باکتری‌ها دانست. آزمون آماری به کارگرفته شده (Independed Sample T-Test) نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین غلظت SCOD و ADM I در پساب

مقایسه‌ی میزان حذف رنگ در فرآیند بیولوژیکی به تنهایی (۳۰ درصد) با میزان حذف در فرآیند ترکیبی لجن فعال - پودر کربن فعال (۹۸ درصد)، نشان‌دهنده‌ی آن است که افزودن پودر کربن فعال قادر به افزایش راندمان تا حدود

خروجی از این دو فرآیند وجود دارد. این امر نیز در تحقیقی که روی این فرآیند در یک رآکتور ناپیوسته متوالی انجام شده، به اثبات رسیده است (۱۴). از طرف دیگر، دلیل این افزایش، جذب سطحی مواد رنگزا توسط پودر کربن فعال است (۱۵). مقایسه‌ای که در یک مطالعه بین دو روش لجن فعال و رآکتور PACT، تحت متغیرهای بهره‌برداری یکسان انجام گرفته است نیز دلیل بر این نتیجه به دست آمده است (۱۶).

هم‌چنین راندمان حذف COD و رنگ در فاضلاب حاوی رنگ‌های اسیدی و بازیگ در یک رآکتور ناپیوسته متوالی نیز نمایان‌گر افزایش حدود ۱۳ و ۸۶ درصدی کارایی حذف به ترتیب COD و رنگ در زمان استفاده از پودر کربن فعال در رآکتور ترکیبی است (۱۷). پژوهش دیگری که در آن حذف رنگ در دو مرحله‌ی جذب و انعقاد صورت گرفته بود، نشان‌دهنده‌ی میزان حذف رنگ تقریباً ۱۰۰ درصد و حذف COD و TOC و هالید آلی قابل‌جذب (Adsorbable Organic Halide [AOX]) حدود ۹۰ درصد بوده است (۱۸). گرچه در مدل ریاضی که برای حذف مواد رنگزای اسیدی نارنجی ۷، C.I. ۱۵۵۱۰، از فاضلاب نساجی با استفاده از پودر کربن فعال، مورد آزمایش قرارگرفت و شامل جذب مواد رنگزا روی جرم سلولی، کربن و تجزیه بیولوژیکی رنگ بود، نشان داد که فرآیند PACT، به طور اساسی باید به عنوان یک فرآیند بیولوژیکی مدنظر قرارگیرد. به عبارت دیگر، رشد میکروارگانیسم روی سطح کربن، تنها در میزان کم‌غلظت جرم سلولی (سن لجن کم) $1/6 \pm 97$ می‌باشد. با مشاهده‌ی سطح کربن به وسیله‌ی تکنیک‌های میکروسکوپی، یک ارتباط قوی بین حذف آلاینده و غلظت جرم سلولی روی سطح کربن، دیده می‌شود (۱۹).

در شرایط ورود فاضلابی با بار آلی ۵۰۰ میلی گرم در لیتر و غلظت رنگ ورودی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، غلظت بهینه‌ی پودر کربن فعال در واحد هوادهی این فرآیند برابر ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر می‌باشد، که در این غلظت بازدهی حذف

رنگ معادل ۹۸/۱۸ درصد می‌باشد. هم‌چنین این بررسی نشان داد که با افزایش زمان ماند هیدرولیکی از ۱۸ به ۳۰ ساعت، درصد حذف رنگ تا ۲۶ درصد افزایش می‌یابد و با توجه به این که میزان افزایش بازدهی حذف رنگ با تغییر زمان ماند هیدرولیکی از ۱۸ ساعت به ۲۸ ساعت مشخص تر می‌شود، به همین دلیل زمان ماند هیدرولیکی مناسب جهت حذف رنگ معادل ۲۸ ساعت می‌باشد. با توجه به نتایج مطالعات انجام شده روی سیستم‌های در حال بهره‌برداری، افزودن پودر کربن فعال به سیستم لجن فعال موجب افزایش سرعت تصفیه‌ی زیستی مواد آلی می‌شود (۲۰، ۱۹). با مقایسه‌ی این مطالعات با نتایج به دست آمده در این پژوهش در رابطه با درصد حذف COD و رنگ (به ترتیب ۸۵ و ۹۸ درصد) و هم‌چنین حصول بازدهی مشابه با دیگر روش‌های پیشرفته و هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری کم‌تر، سادگی تجهیزات سیستم‌های در حال بهره‌برداری و عملیات نسبتاً ساده کنترل و بهره‌برداری از واحدها به ویژه برای تصفیه‌ی فاضلاب‌های صنعتی و حذف بار آلی قابل‌تجزیه سریع، مواد آلی دیرتجزیه‌شونده، ترکیبات ویژه‌ی معدنی و آلی مانند رنگ، عناصر فلزی، ترکیبات حلقوی و مواد بازدارنده، سیستم فرآیند لجن فعال - پودر کربن فعال به عنوان یک گزینه‌ی مناسب اقتصادی با کارایی بالا در حذف رنگ و COD فاضلاب‌های نساجی می‌باشد، بدون این که نیازی به تصفیه فیزیکی - شیمیایی اضافه داشته باشد. هم‌چنین با ایجاد شرایط بهینه، میزان واحد ADMI نمونه‌ی خروجی را می‌توان از ۶۲/۵۷ به ۵۴/۳ کاهش می‌دهد. در رابطه با ایزوترم جذب، با توجه به منحنی‌های به دست آمده، فرآیند جذب از مدل لانگمویر تبعیت بیشتری نموده است، زیرا مقدار ضریب همبستگی (R^2) داده‌های جذب با معادله لانگمویر (۰/۹۹) بزرگ‌تر از معادله‌ی فروندلیچ به دست آمده است. با وجود این، در پژوهشی که در همین راستا بر روی فرآیند ترکیبی لجن فعال - پودر کربن فعال انجام شده است، مدل جذب را

مدل فروندلیچ به دست آورده است (۲۱). بنابراین با توجه به امکان‌پذیری فنی، قابلیت انعطاف، مزایای اقتصادی و امکان افزایش بازدهی سیستم لجن فعال تا حد تصفیه پیشرفته بدون نیاز به انجام سرمایه‌گذاری‌های بزرگ، سیستم فرآیند لجن فعال - پودر کربن فعال به عنوان یک گزینه مناسب اقتصادی با کارایی بالا در حذف رنگ و COD فاضلاب‌های نساجی می‌باشد، بدون این که نیازی به تصفیه فیزیکی - شیمیایی اضافه داشته باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، فرآیند PACT می‌تواند

منابع

- 1- Malik R, Ramteke DS, Wate SR. Adsorption of malachite green on groundnut shell waste based powdered activated carbon. *Waste Management*. 2007; 27: 1129-38.
- 2- Eren Z, Acar FN. Adsorption of reactive black 5 from an aqueous solution: equilibrium and kinetic studies. *Desalination*. 2006; 194: 1-10.
- 3- Kargi F, Ozmihc S. Biosorption performance of powdered activated sludge for removal of different dyestuffs. *Enzyme Microbial Technol*. 2004; 35: 267-271.
- 4- Pala A, Tokat E. Color removal from cotton textile industry wastewater in an activated sludge system with various additives. *Water Research*. 2002; 36: 2920-2925.
- 5- Gholami M, Nasser S, Alizadeh-Fard M, Matssura T, Feng C, Kulbi M. Textile dye removal by membrane technology and biological oxidation. *Water Qual Res J Canada*. 2003; 38(2): 379-391.
- 6- Frasnson M. PACT system for difficult wastewaters. *Hydrocarbon processing*. 1999; 78(12): 8-16.
- 7- Naik RV, Gaikwad RW. Powdered activated carbon assisted biodegradation. *J Industrial Pollution Control*. 2001; 17(1): 99-106.
- ۸- جعفرزاده نعمت ا.... مقایسه‌ی رفتار سیستم لجن فعال متعارف و اصلاح شده با پودر کربن فعال در حذف ترکیبات بازدارنده‌ی رشد میکروبی. پایان‌نامه‌ی دکترای بهداشت محیط، دانشکده‌ی بهداشت، دانشگاه تهران، ۱۳۸۰.
- 9- Costa C, Marquez MC. Kinetics of the PACT process. *Water Research*. 1998; 32(1): 107-14.
- 10- Racys V, Valunas I, Dapkiene M. Estimation of biomass amount and sorption capacity for technological control of the biosorption process. *Polish J Environmental Studies*. 2006; 15(2): 311-16.

- 11- Lee JW, Choi SP, Thiruvengkatachari R, Shim WG, Moon H. Submerged microfiltration membrane coupled with alum coagulation/powdered activated carbon adsorption for complete decolorization of reactive dyes. *Water Research*. 2006; 40: 435-44.
- 12- SAPHA, AWWA, WPCF. Standard methods for water and wastewater examination. SAPHA, AWWA, WPCF, 21th ed. 2001.
- 13- International Standard Organization(ISO). Water quality- evaluation of ultimate aerobic biodegradability of organic compounds, aqueous medium- static test (Zahen-Wellens method). International Standard Organization, 2nd ed. 1999.
- 14- Okada M, Morinaga H, Nishijima W. Activated carbon as a better habitat for water and wastewater treatment microorganisms. *Water Science Technology*. 2000; 42(12): 149-54.
- 15- Narbaitz RM, Droste RL, Fernandes L, Kennedy KJ, Ball D. PACT process for treatment of kraft mill effluent. *Water Scien Technol*. 1997; 35(2-3): 283-90.
- 16- Kao NS. Application of powder activated carbon in the activated sludge system in treating dyeing and finishing wastewater. *J China Textile*. 2000; 10(1): 88-94.
- 17- Lim PE, Er CC. Treatment of dye-containing wastewater by sequencing batch reactor with powdered activated carbon addition. *Toxicological Environmental Chemistry*. 2000; 75(1-2): 75-87.
- 18- Sanja Papi S, Koprivanac N, Lon ABI, Mete A. Removal of some reactive dyes from synthetic wastewater by combined Al(III) coagulation/carbon adsorption process. *Dyes Pigments*. 2004; 62(3): 291-29.
- 19- Márquez MC, Costa C. Biomass concentration in PACT process. *Water Research*. 1996; 30(9): 2079-85.
- 20- Robertaccio FL, Flynn BP. Truth or consequences: biological fouling and other consideration in the PAC-AS system. 31th purdue industrial waste conference. 1976; 855-62.
- 21- Rao KC, Krishnaiah K, Ashutosh LN. Colour removal from a dyestuff industry effluent using activated carbon. *Indian J Chemical Technol*. 1994; 1(1): 13-9.

Evaluation of Powdered-Activated Carbon Treatment (PACT) Process in Textile Dye Removal

Gholami M, Mohammadi H, Mirhosseini SH, Ameri A, Javadi Z

Corresponding Author's Address: School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Email: mitra326@yahoo.com

Background and Objective: PACT is an adsorption- degradation process through which slowly or non-biodegradable waste water compounds such as dye can be degraded. This study was carried out to evaluate the efficacy of PACT in removal of dyes from textile industry wastewaters.

Materials and Methods: This research was carried out in pilot scale. The pilot design had two parts: an aeration tank with 40L volume and a clarifier with 12L volume. The dyes used in this research were acid and reactive dyes in different concentrations which are mostly used in textile industries. First, the biodegradability of the dye was studied through Zahen-Wellens method (ISO 9888, 1999). Then, dye removal efficiency in different conditions of powdered-activated carbon concentration and operational conditions were evaluated. American Dye Manufacture Institute (ADMI) method was utilized for determination of dye removal in samples.

Results: Biodegradability of acid dyes and basic dyes in 100 mg/L dye concentration, were 60 and 80% respectively. On the other hand, the best efficiency for application of PAC in activated sludge process, was obtained in 1500 mg/L PAC concentration. In this situation, with 30 hydraulic retention time, and 30°C temperature, the rejection percent of dye was 98.8%.

Conclusion: PACT process could be the best method for removal of different dyes used in textile industry with high efficiency (up to 90%). Application of this method in treatment of textile wastewaters is an important economic improvement, which in a single step, allows the removal of COD and color from textile wastewater without additional physicochemical treatment.

Key words: *Textile wastewater, Active sludge, Powdered-activated carbon treatment, Dye.*