

Evaluation of the Combined GAC-SBR System Performance in the Removal of Yellow 3 and Disperse Yellow 3 Reactive Dyes from the Waste

Zabihollah Yousefi¹,
Anoshiravan Mohseni Bandpei²,
Ramezan Ali dianati Tileki¹,
Afshin Malaki³,
Reza Ali Mohamadpur⁴,
Esmail Ghahramani⁵

¹ Department of Environmental Health, Faculty of Health, Health Sciences Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

² Department of Environmental Health, Faculty of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³ Department of Statistics, Faculty of Health, Health Sciences Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

⁴ Department of Environmental Health, Faculty of Health, Kurdistan University of Medical Sciences, Sari, Iran

⁵ Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received March 6, 2011 ; Accepted September 18, 2011)

Abstract

Background and purpose: Chemical dyes used in textile industries involve some potential risks including carcinogenic and mutagenic effects in human. Furthermore, penetration of different dyes into surface and groundwater is a source of color in water reservoirs. This study aims at investigating the removal efficiency of yellow 3 and disperse yellow 3 reactive dyes by combined CAC-SBR system.

Materials and methods: This experimental study was conducted on a batch scale and two SBR reactors were used. Wastewater samples used in this study were synthetic (COD=1800). After setting up the reactors, yellow 3 and disperse yellow 3 reactive dyes were injected to the system and its removal efficiency was investigated during different reaction times. After determining the SBR system efficiency in dye and COD removal, GAC-SBR system efficiency was examined.

Results: During 24 hours of reactions, the efficiency of SBR and GAC-SBR systems in the removal of reactive yellow3 dye was 58% and 72%, while for disperse yellow 3 it was 85 and 91%, respectively. Also, during 14 hours of reaction, the efficiency of SBR and GAC-SBR systems for COD removal was 98 and 98.5%, respectively.

Conclusion: The efficiency of GAC-SBR system in the removal of reactive yellow 3 and disperse yellow 3 dyes was higher than that of the SBR system. However, their difference was insignificant regarding the COD removal. Overall, increase in the reaction time led to increase in the efficiency of systems and in a specific time of the reaction, their removal efficiency became uniform.

Key words: Sequential batch reactors (SBR), granular activated carbon (GAC), color removal, textile industries

بررسی عملکرد سیستم ترکیبی GAC-SBR در حذف رنگ راکتیو یلو ۳ و دیسپرس یلو ۳ از فاضلاب

ذبیح اله یوسفی^۱

انوشیروان محسنی بندپی^۲

رمضانعلی دیانتی تیلکی^۱

رضاعلی محمدپور^۳

افشین ملکی^۴

اسمعیل قهرمانی^۵

چکیده

سابقه و هدف: رنگ‌های شیمیایی که در صنایع نساجی به کار می‌رود؛ دارای خطرات بالقوه‌ای از جمله سرطان‌زایی و جهش‌زایی برای انسان می‌باشند. به علاوه نفوذ رنگ‌های متفاوت به آب‌های سطحی و زیرزمینی باعث رنگی شدن منابع آبی می‌شود، لذا هدف از این مطالعه بررسی راندمان حذف رنگ‌های راکتیو یلو ۳ و دیسپرس یلو ۳ توسط سیستم ترکیبی GAC-SBR می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه تجربی در مقیاس Bach صورت گرفت. از دو راکتور SBR برای انجام این مطالعه استفاده شد. فاضلاب مورد استفاده به صورت سنتتیک ($COD = 1800$) بود. پس از راه‌اندازی راکتورها رنگ‌های راکتیو یلو ۳ و دیسپرس یلو ۳ به سیستم تزریق شد و راندمان حذف آن در زمان واکنش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. پس از تعیین کارایی سیستم SBR در حذف رنگ و COD به بررسی کارایی سیستم GAC-SBR پرداخته شد.

یافته‌ها: در زمان واکنش ۲۴ ساعت راندمان حذف سیستم‌های SBR و GAC-SBR برای رنگ راکتیو یلو ۳ به ترتیب برابر با ۵۸ و ۷۲ درصد و برای رنگ دیسپرس یلو ۳، ۸۵ و ۹۱ درصد شد. همچنین در زمان واکنش ۱۴ ساعت راندمان حذف COD در سیستم SBR و GAC-SBR به ترتیب ۹۸ و ۹۸/۵ درصد شد.

استنتاج: کارایی سیستم GAC-SBR در حذف رنگ راکتیو یلو ۳ و دیسپرس یلو ۳ بیشتر از سیستم SBR بود. ولی دو سیستم جهت حذف COD تفاوت چندانی نداشتند. در کل با افزایش زمان واکنش کارایی سیستم‌ها افزایش می‌یافت و در یک زمان واکنش مشخص راندمان حذف حالت یکنواختی پیدا می‌کرد.

واژه‌های کلیدی: راکتورهای ناپيوسته متوالی (SBR)، کربن فعال دانه‌ای (GAC)، حذف رنگ، صنایع نساجی

مقدمه

حدود ۷۰۰ هزار تا یک میلیون تن می‌باشد. صنایع نساجی بیشترین مصرف رنگ‌ها را دارند. برآوردها نشان

در حال حاضر ۱۰۰ هزار نوع رنگ مختلف در سراسر دنیا تولید می‌شود که میزان تولید سالانه آن

E-mail: a.mohseni8@yahoo.com

مؤلف مسئول: انوشیروان محسنی بندپی - تهران: دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران

۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

۳. گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران

۴. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان

۵. دانشگاه علوم پزشکی مازندران

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۱۵ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۹۰/۴/۱ تاریخ تصویب: ۹۰/۶/۲۷

می‌دهد که ۱۵ تا ۲۰ درصد از رنگ مصرفی در این صنایع وارد پساب خروجی شان می‌شود. طبق یک نظر دیگر مقدار رنگ ورودی به پساب خروجی نساجی از ۲ درصد برای رنگ‌های پایه و ۵۰ درصد برای رنگ‌های راکتیو متغیر است. در کل مصرف رنگ در صنایع نساجی باعث تولید پساب‌های رنگی با غلظت رنگ بین ۱۰ تا ۱۰۰ میلی گرم در لیتر می‌شود (۴-۱). روزانه میلیون‌ها لیتر از پساب‌های رنگی توسط صنایع رنگرزی و کارخانه‌های تولید رنگدانه‌ها تولید می‌شود؛ هر لیتر از این پساب‌ها می‌تواند حاوی بیش از ۲۰ گرم از رنگدانه‌ها و حد واسطه‌هایی ناشی از تجزیه آن‌ها باشد که باعث بروز مسائل زیست‌محیطی می‌شوند (۵-۶). این رنگ‌ها دارای خطرات بالقوه‌ای از جمله سرطان‌زایی و جهش‌زایی برای انسان می‌باشند (۷-۸). به علاوه نفوذ رنگ‌های متفاوت به آب‌های سطحی و زیرزمینی باعث رنگی شدن منابع آبی می‌شود (۹-۱۰). برخی رنگ‌ها و مواد تشکیل‌دهنده آن‌ها مانند نمک‌های کروم، روی، کادمیوم، مس و نیکل نیز برای ماهی‌ها سمی هستند. رنگ‌های سنتتیک به‌طور وسیعی در صنایع نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این رنگ‌ها اغلب دارای وزن مولکولی بالا و ساختار آروماتیکی هستند در نتیجه این ساختار آروماتیکی آن‌ها را به حالت پایدار درآورده است و تجزیه آن‌ها را مشکل کرده است (۱۳-۱۰). رنگ‌های راکتیو (یکی از پرکاربردترین رنگ‌های نساجی) می‌توانند با سیستم ایمنی بدن واکنش دهند و حالت حساسی را به وجود بیاورند به نحوی که وقتی شخص برای بار دوم در معرض این رنگ قرار گرفت خیلی حساس می‌شود و زود واکنش نشان می‌دهد (۱۴).

از میان روش‌های مختلفی که برای تصفیه فاضلاب صنایع نساجی به کار می‌رود می‌توان به روش انعقاد و لخته‌سازی اشاره کرد. با توجه به این که در حذف رنگ از الیاف نخی مؤثر نیست و حجم لجن تولیدی آن زیاد است روش مطلوبی نمی‌باشد (۱۷-۱۵). استفاده از اکسیدان‌هایی مثل کلر و ازن نیز به دلیل تولید

فراورده‌های جانبی (تری هالو متان) و بالا بودن هزینه آن‌ها کاربرد زیادی ندارد. روش کلرزنی در بهترین شرایط توانسته ۱۰ درصد رنگ و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) را حذف کند ولی ازن‌زنی توانسته بیش از ۹۰ درصد رنگ را حذف کند (۱۸). استفاده از هیپوکلریت کلسیم ناموفق بوده است به طوری که در بیشترین دوز آن حداکثر راندمان ۳۵ درصد به وجود آمده است (۱۸). راندمان فرآیند الکتروشیمیایی نسبتاً پایین است؛ به طوری که در بهترین شرایط حداکثر ۵۰ درصد رنگ و ۳۹ درصد COD را حذف کند (۱۸). هر چند به کار بردن روش‌های فیزیکی-شیمیایی در حذف رنگ‌ها و دیگر مواد آلی غیر قابل تجزیه صنایع می‌تواند مؤثر باشد ولی در عوض نسبت به روش‌های بیولوژیکی به انرژی و مواد شیمیایی بیشتری نیاز دارد و از لحاظ انعطاف‌پذیری نیز محدود هستند (۳). روش‌های بیولوژیکی ساده‌ترین و اقتصادی‌ترین راه حل جهت حذف رنگ‌ها است. امروزه فرآیندهای بیولوژیکی به دلیل سهولت بهره‌برداری و دوست‌دار محیط زیست بودن، پرکاربردترین روش مورد استفاده برای تصفیه پساب‌های رنگی می‌باشند.

از میان روش‌های بیولوژیکی دو روش لجن فعال و راکتورهای ناپوسته متوالی (SBR) بیشترین کاربرد را برای تصفیه پساب صنایع نساجی دارند. سیستم لجن فعال دارای راندمان خوبی در حذف رنگ و مواد آلی است ولی به علت نیاز به حوض ته‌نشینی از لحاظ اقتصادی زیاد به صرفه نیست (۱۱-۲۲-۱۹). سیستم SBR یک سیستم ساده و انعطاف‌پذیر است که بدون نیاز به حوض ته‌نشینی کل واکنش‌ها در یک راکتور انجام می‌شود و به وفور برای تصفیه فاضلاب صنایع به کار می‌رود. این سیستم قادر به حذف آلاینده‌های مختلف فاضلاب از جمله مواد آلی، رنگ و ترکیبات کلردار است (۲۳). هزینه راه‌اندازی و بهره‌برداری سیستم‌های SBR برابر با ۴۰ درصد از هزینه‌هایی است که صرف لجن فعال می‌شود. همچنین سیستم SBR به زمان مطابقت

کمتری نسبت به سیستم لجن فعال نیاز دارد یعنی میکروارگانیزم‌ها در این سیستم زودتر با شرایط سازگار می‌شوند (۲۴). مطالعات نشان می‌دهد که سیستم SBR کارایی خوبی در حذف رنگ فاضلاب نساجی هستند (۲۵-۲۸). البته از محدودیت‌های کاربرد SBR در حذف رنگ پساب نساجی وجود مواد حد واسط از تجزیه‌ای است (مثل آمین‌های آروماتیکی) این مواد حد واسط گاهی سمی بوده و کارایی سیستم را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد و آمین‌های آروماتیکی که ممکن است سمی باشد و تا حدودی در محیط به کندی تجزیه شود را کاهش می‌دهند (۲۹). بنابراین تجزیه برخی از این رنگ‌ها نمی‌تواند مشکلات زیست محیطی آنها را حل کند و نیاز به یک جاذب که بتواند رنگ‌های تجزیه شده را جذب کند بعضاً ضروری است در این میان کربن فعال گرانولی^۱ نیز دارای ظرفیت بالا در جذب مواد آلی، رنگ‌های مختلف و مواد غیرقابل تجزیه است (۳۰، ۳۱). لذا این تحقیق با تلفیقی از سیستم SBR (به دلیل کارایی مناسب در حذف رنگ و مواد آلی) و GAC (به عنوان جاذب ترکیبات سمی و رنگ‌های تجزیه شده و ترکیبات غیرقابل تجزیه) طراحی شده است تا بازده این سیستم تلفیقی جهت حذف رنگ‌های متداول راکتیو یلو ۳ و دیسپرس یلو ۳ از پساب صنایع نساجی با استفاده از سیستم ترکیبی راکتورهای ناپیوسته متوالی و کربن فعال دانه‌ای (SBR- GAC) افزایش یابد.

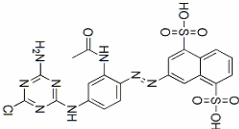
مواد و روش‌ها

این مطالعه که از نوع تجربی- مداخله‌ای بود، در مقیاس منقطع^۲ صورت گرفت. در آن از دو راکتور شیشه‌ای با ابعاد ۲۵ × ۲۵ × ۲۵ استفاده شد. برای هریک از راکتورها دو شیر تخلیه پساب و یک شیر تخلیه لجن (در کف) تعبیه شد. برای تامین گرمای لازم جهت

فعالیت میکروارگانیزم‌ها دو عدد بخاری آکواریوم برای هر راکتور نصب شد. برای کنترل دما و نشان دادن هر لحظه دمای راکتور از دماسنج‌های صفحه‌ای استفاده شد. برای تامین هوای لازم جهت فعالیت ارگانیزم‌های هوازی نیز، دو عدد پمپ آکواریوم (مدل Royal U-9900) به کار برده شد. برای تنظیم جریان ورودی به راکتور نیز از دو مخزن ۱۰ لیتری استفاده گردید. برای راه‌اندازی راکتورها به هر کدام از آن‌ها ۲ لیتر لجن اضافه شد. (لجن تزریق شده از واحد برگشت لجن تصفیه خانه فاضلاب شهرک یسرب قائم شهر برداشته شد). میزان غلظت جامدات معلق مایع مخلوط (MLSS) لجن تزریقی حدود ۸۰۰۰ میلی گرم در لیتر بود. برای تغذیه روزانه این راکتورها از فاضلاب صنعتی استفاده شد. ویژگی و ترکیب این فاضلاب در جداول شماره ۱ و ۲ ارائه شده است. سیکل زمانی و ویژگی سیستم SBR مورد استفاده مطابق با جداول شماره ۳ و ۴ بود. پس از سازگاری زیستی سیستم به یکی از راکتورها، ابتدا رنگ راکتیو یلو ۳ و سپس رنگ دیسپرس یلو ۳ تزریق شد. رنگ‌های تزریق شده از پرکاربردترین رنگ‌های مورد استفاده در صنایع نساجی بودند که مشخصات آن‌ها در جداول شماره ۵ و ۶ آورده شده است. جهت درست نمودن محلول رنگ با غلظت موردنظر بر اساس درصد خلوص رنگ و دانسیته آن و حجم محلول داخل راکتور عمل می‌شد. اندازه‌گیری این رنگ‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتری (visible Hatch DR2800) انجام شد و طول موج ماکزیمم برای رنگ راکتیو یلو ۳۹۳ نانومتر و برای دیسپرس یلو ۳ ۴۱۲ نانومتر بود. کلیه آزمایشات و ساخت محلول‌های استاندارد رنگ جهت درجه‌بندی بر اساس رهنمودهای کتاب روش‌های استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب (استاندارد متد) انجام شد (۳۲). در این مطالعه پس از اندازه‌گیری حذف رنگ در راکتور SBR به آن کربن فعال گرانولی اضافه شد و کارایی سیستم در

1. Granular Activated Carbon (GAC)
2. Batch

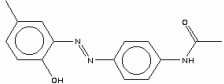
جدول شماره ۵: ویژگی های رنگ راکتیو ۳

نام شیمیایی	راکتیو یلو ۳ (RY3)
کلاس	راکتیو
شاخص رنگ (CI) *	۱۳۲۵۴
وزن مولکولی (g/Mol)	۵۹۲/۹۹۲
طول موج ماکزیمم (nm) **	۳۹۳
ساختار شیمیایی	

*. Color Index

**. λ_{Max}

جدول شماره ۶: ویژگی های رنگ دیسپرس یلو ۳

نام شیمیایی	دیسپرس یلو ۳ (DY3)
کلاس	دیسپرس
شاخص رنگ (CI) *	۱۱۸۵۵
وزن مولکولی (g/Mol)	۲۶۹/۲۹۸۶
طول موج ماکزیمم (nm) **	۴۱۲
ساختار شیمیایی	

*. Color Index

**. λ_{Max}

یافته ها

در این مطالعه غلظت رنگ ورودی به سیستم SBR برابر با ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بود که در این غلظت رنگ ورودی ثابت، راندمان حذف رنگ های راکتیو یلو ۳ و دیسپرس یلو ۳ در زمان ماند های مختلف متفاوت بود. بازده حذف رنگ های راکتیو یلو ۳ و دیسپرس یلو ۳ در زمان ماند های مختلف در نمودار شماره ۲ آورده شده است. طبق نمودار شماره ۲ با افزایش زمان واکنش هوازی در سیستم SBR بازده حذف رنگ افزایش پیدا کرده است. بازده حذف رنگ راکتیو یلو ۳ توسط سیستم SBR زیاد بالا نبود و در بهترین حالت در زمان واکنش ۲۴ ساعت بازده حذف ۵۸ درصد شد، و با زمان واکنش ۱۲ ساعته (بازده ۵۶ درصد) به دست آمد که از لحاظ آماری تفاوت بازده حذف رنگ در دو زمان واکنش ۱۲ و ۲۴ ساعته معنی دار نبوده است ($\alpha < 0.05$). بازده حذف رنگ دیسپرس یلو ۳ بالاتر از راکتیو یلو ۳ و به لحاظ آماری دارای تفاوت معنی دار بود ($\alpha > 0.05$).

این حالت نیز مورد بررسی قرار گرفت. کربن فعال گرانولی به کار رفته در این پژوهش دارای سایز ۲/۵، ساخت شرکت Merck آلمان استفاده شد. حذف این رنگ ها در زمان ماند های مختلف (۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۲۴ ساعت) مورد بررسی قرار گرفت.

جدول شماره ۱: ویژگی فاضلاب صنعتی مورد استفاده

پارامترها	میزان
(mg/l) COD	۱۸۰۰ (۱۸۲۰-۱۷۹۰)
(mg/l) BOD ₅	۸۰۰ (۷۹۰-۸۰۹)
(mg/l) TSS	۱۴۶ (۱۳۹-۱۵۰)
دما (°C)	۲۱ (۲۰-۲۲)
pH	۷/۴

جدول شماره ۲: ترکیب فاضلاب صنعتی مورد استفاده

ماده شیمیایی	غلظت (mg/l)
گلوکز	۱۷۵۰
بی کربنات سدیم *	۶۷۵
اوره	۱۱۵
فسفات دی هیدروژن پتاسیم **	۵۵
سولفات منیزیم هفت آب ***	۴۲/۵
کلرید فریک	۳/۵

*. NaHCO₃**. KH₂PO₄***. MgSO₄ . 7H₂O

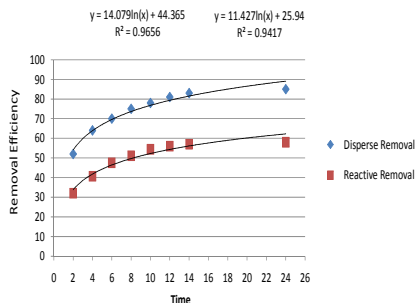
جدول شماره ۳: سیکل زمانی سیستم SBR در این مطالعه

مرحله	مدت زمان
پر کردن	۲۰ دقیقه
واکنش	متغیر (۲-۲۴) ولی در اکثر آزمایشات ۱۰ ساعت
ته نشینی *	۲ ساعت
تخلیه	۵ دقیقه
سکون	۵ دقیقه

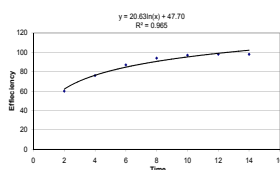
جدول شماره ۴: شرایط سیستم SBR در این مطالعه

پارامترها	میزان
اکسیژن محلول (mg/l) (DO)	۳/۸ (۳/۴-۳/۸)
pH	۷/۸
دما (°C)	۲۱ (۲۰-۲۲)
(mg/l) MLSS	۲۵۰۰ (۲۴۰۰-۲۶۵۰)
شاخص حجمی لجن (SVI)	۱۳۰ (۱۱۹-۱۴۲)
غلظت لجن (درصد)	۰/۶۳ درصد
سرعت ویژه جذب اکسیژن (SOUR) (گرم اکسیژن در ساعت به ازای یک گرم MLSS سن لجن (روز))	۱۳ (۹/۲-۱۵)
نسبت غذا به میکروارگانیسم (F/M)	۰/۳۸۴

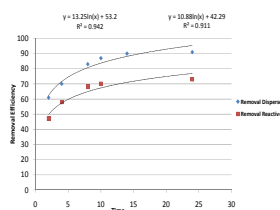
سیستم SBR بالاتر، ولی در زمان واکنش‌های بالاتر تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نمی‌شد.



نمودار شماره ۱: بازده حذف رنگ‌های راکتیو یلو ۳ و دیسپرس یلو ۳ با افزایش زمان در سیستم SBR



نمودار شماره ۲: بازده حذف COD در سیستم SBR با افزایش زمان واکنش



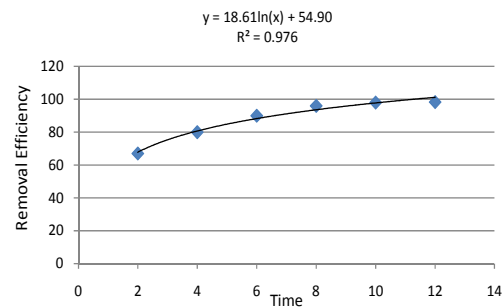
نمودار شماره ۳: بازده حذف رنگ‌های راکتیو یلو ۳ و دیسپرس یلو ۳ با افزایش زمان در سیستم GAC-SBR

بیشترین بازده حذف رنگ دیسپرس یلو ۳ در زمان ۲۴ ساعت بود که بازده حذف ۸۵ درصد به دست آمد. میزان حذف COD نیز در این سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت که کارایی بسیار بالا بود. COD ورودی به سیستم در حدود ۱۸۰۰ میلی گرم در لیتر بود. با افزایش زمان واکنش هوازی بازده حذف COD افزایش می‌یافت. شدت این افزایش تا زمان واکنش ۱۰ ساعته بالا بود ولی از ۱۰ ساعت به بعد نمودار به سمت ثابت شدن تمایل پیدا می‌کرد (نمودار شماره ۳). در شرایط بهینه بازده حذف COD توسط SBR در زمان واکنش ۱۴ ساعت به ۹۸ درصد رسید. در مرحله بعد به سیستم SBR مورد مطالعه کربن فعال گرانولی اضافه شد و بازده حذف رنگ‌های راکتیو یلو ۳ و دیسپرس یلو ۳، در این شرایط ارزیابی شد. در این شرایط نیز با افزایش زمان واکنش هوازی بازده حذف رنگ بیشتر شد، با این تفاوت که بازده حذف بیشتر از زمانی بود که SBR بدون کربن فعال گرانولی راه‌اندازی می‌شد. به این سیستم ترکیبی GAC-SBR گفته می‌شود. غلظت کربن فعال گرانولی اضافه شده یک گرم در لیتر بود. میزان حذف رنگ‌های دیسپرس یلو ۳ و راکتیو یلو ۳ در سیستم GAC-SBR در نمودار شماره ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشترین بازده حذف رنگ راکتیو یلو ۳ در این سیستم (با غلظت رنگ ورودی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) در زمان ۲۴ ساعته (۷۲ درصد) بود. البته در زمان واکنش ۱۶ ساعته نیز تقریباً این بازده به دست آمد. بازده این سیستم برای رنگ دیسپرس یلو ۳ هم بازده حذف با اضافه کردن کربن فعال بیشتر شد به‌طوری‌که در بیشترین بازده خود توانست ۹۱ درصد آن را حذف کند. بازده حذف COD نیز در این سیستم مورد بررسی قرار گرفت که بازده حذف بسیار بالا بود. بازده حذف COD در این سیستم در نمودار شماره ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در زمان واکنش‌های پایین بازده حذف COD نسبت به

رنگ دیسپرس یلو بهتر از رنگ راکتیو یلو بود؛ به طوری که بازده حذف رنگ دیسپرس یلو ۳ تقریباً ۱/۵ برابر راکتیو یلو ۳ بود.

در این سیستم در لحظه های ورود مواد غذایی به سیستم به علت فراوانی سوپسترا و مهیا بودن شرایط رشد میکروارگانیسم ها به سرعت رشد کرده و مواد غذایی را مصرف می کنند. لذا در ۲ ساعت اول واکنش بازده حذف COD بسیار بالا (بالای ۶۰ درصد) بوده و به تدریج با گذشت زمان که مواد غذایی مصرف می شوند روند افزایش بازده حذف کمتر می شود. در کل در سیستم SBR مورد مطالعه بازده حذف COD بیشترین حالت خود ۹۸ درصد، به طوری که COD پساب خروجی به ۵۴ میلی گرم در لیتر رسید و از لحاظ استانداردهای زیست محیطی برای تخلیه در آب های سطحی مناسب بود (۳۳). با مشاهده نمودارهای فوق نتیجه گیری می شود که در این سیستم SBR مورد استفاده بهترین زمان واکنش، ۱۰ ساعت است زیرا در این زمان حذف COD و رنگ بهینه است. با مقدار COD ورودی که داشتیم (۱۸۰۰) حداقل زمان مورد نیاز برای حذف بهینه آن ۱۰ ساعت بود. طبق استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران (جدول شماره ۷) مقدار COD مجاز برای تخلیه پساب خروجی تصفیه خانه های فاضلاب به آب های سطحی برابر با ۶۰ میلی گرم در لیتر است. لذا در زمان ۱۰ ساعت که بازده حذف COD ۹۸ درصد است و نیز با توجه به COD ورودی (۱۸۰۰ میلی گرم در لیتر) این استاندارد رعایت می شود. $1800 - 1746 = 54$ $1800 \times 97\% = 1746$

اضافه کردن کربن فعال گرانولی به سیستم SBR باعث افزایش بازده حذف رنگ راکتیو یلو ۳ تا سقف ۱۴ درصد شد، همچنین بازده حذف رنگ دیسپرس یلو ۳ را نیز تا ۹ درصد بالا برد. کارایی کربن فعال گرانولی به تنهایی در حذف رنگ های دیسپرس یلو ۳ و راکتیو یلو ۳ پایین است و کاربرد این جاذب در سیستم SBR برای مواقعی که درصدهای بالایی از حذف



نمودار شماره ۴: بازده حذف COD در سیستم GAC-SBR با افزایش زمان واکنش

بحث

سیستم SBR یک سیستم ساده و انعطاف پذیر است که بدون نیاز به حوض ته نشینی کل واکنش ها در یک راکتور انجام می شود و به وفور برای تصفیه فاضلاب صنایع به کار می رود. این سیستم قادر به حذف آلاینده های مختلف فاضلاب از جمله مواد آلی، رنگ و ترکیبات کلرینه است (۲۸). هزینه راه اندازی و بهره برداری سیستم های SBR برابر با ۴۰ درصد از هزینه هایی است که صرف لجن فعال می شود. همچنین سیستم SBR به زمان مطابقت کمتری نسبت به سیستم لجن فعال نیاز دارد یعنی میکروارگانیسم ها در این سیستم زودتر با شرایط سازگار می شوند (۲۴). با مشاهده نمودارهای ۲ تا ۵ می توان زمان مناسب برای عملکرد سیستم های SBR و GAC-SBR را تعیین کرد. با تامل در این نمودارها می توان تشخیص داد که در زمان های بیشتر از ۱۲ ساعت نمودار به سمت ثابت شدن گرایش پیدا می کند. کمتر از ۵ درصد از حذف رنگ راکتیو یلو ۳ و دیسپرس یلو ۳ در زمان های بیش از ۱۲ ساعته اتفاق می افتد. البته در مطالعات دیگر هم کاهش شدت حذف آلاینده هایی مثل رنگ با گذشت زمان دیده شده است. برای مثال در مطالعه ای که آقای لورنک و همکاران بر حذف رنگ پساب نساجی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که با گذشت زمان شدت کاهش رنگ کاهش یافته و به مرور زمان ثابت می شود (۳۷). توجه به نمودارهای فوق این مطلب را می رساند که کارایی سیستم SBR برای حذف

آلاینده‌ها مورد نیاز باشد بسیار مناسب است. در این مطالعه برای متغیرهای مختلف غلظت رنگ ورودی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر را انتخاب شد. دلیل اصلی انتخاب این پارامتر این بود که غلظت رنگ خروجی از کارخانه نساجی مازندران تقریباً در این محدوده بود. بدین ترتیب که در این کارخانه به ازای هربار رنگرزی برای هر ۳ کیلوگرم رنگ خالص ۲۰ متر مکعب آب مصرف می‌شد. با توجه به میزان رنگ خروجی از فرآیند نساجی در بدترین شرایط غلظت رنگ خروجی در حدود ۱۰۰ میلی گرم در لیتر می‌شود (۴-۱، ۲۵). در این مطالعه با توجه به زمان واکنش‌های نسبتاً پایین نسبت به مطالعات دیگر بازده حذف COD بسیار بالا و بازده حذف رنگ نیز تا حدودی رضایت بخش بود. در مطالعه‌ای که آقای علیزاده و همکارانش از فرآیند ترکیبی کربن فعال پودری و لجن فعال استفاده کردند بازده حذف COD و رنگ در زمان واکنش‌های ۱۲ تا ۵۶ ساعته به ترتیب ۹۶ و ۹۲ درصد بود. البته در زمانی که لجن فعال بدون کربن فعال استفاده شد بازده حذف COD و رنگ به ترتیب ۹۰ و ۸۸ درصد بود. یعنی در کل بازده حذف COD در این سیستم در مقایسه با سیستم مورد استفاده مطالعه حاضر پایین‌تر، ولی بازده حذف رنگ بالاتر بود (۳۱).

در حالت کلی سیستم SBR مورد مطالعه ما برای حذف COD دارای بازده بسیار بالایی نسبت به کارهای انجام شده بود. میزان حذف COD در SBR مورد استفاده با واکنش هوازی در بالاترین حالت خود بالای ۹۸ درصد بود درحالی که دکتر تکدستان و همکاران در بیشترین حالت به باده ۹۵ درصد (۳۳) ونکاتا و همکاران به ۹۲ درصد (۳۴) اوذر و همکاران به ۹۵ درصد (۳۵) لورنک و همکاران به ۸۰ درصد (۳۶) رسیدند.

با نگرشی کلی بر یافته‌های این پژوهش می‌توان دریافت که کارایی سیستم SBR در حذف رنگ دیسپرس یلو ۳ بالا بوده و قابل استفاده عملی در کارخانه نساجی مازندران می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌گردد با توجه به معیوب بودن سیستم تصفیه فاضلاب این کارخانه، به‌طور عملی فرآیند SBR جهت تصفیه فاضلاب آن مورد استفاده قرار گیرد.

کاربرد چنین سیستمی در صنایع نساجی با رنگ پساب خروجی نسبتاً پایین مناسب است. در نهایت به این نتیجه می‌رسیم که این سیستم جهت تصفیه پساب صنایع نساجی با غلظت رنگ خروجی پایین و COD بالا بسیار مناسب و ایده‌آل می‌باشد.

References

1. Dalvand A, Gholami M, Joneidi A, Mahmoodi NM. Investigation of Electrochemical Coagulation Process Efficiency for Removal of Reactive Red 198 from Colored Wastewater. Journal of Color Science and Technology 2009; 3: 97-105.
2. Pandey A, Singh P, Iyengar L. View Bacterial decolorization and degradation of azo dyes. International Biodeterioration & Biodegradation 2007; 59: 73-84.
3. Asilian H, Mosavi GH, Mahmoudi M. Decolorization of Azo reactive 198 red dye from liquid solution by sludge absorption from water treatment coagulation process. J of health and environment 2009; 3: 93-102.
4. Mezohegyi G, et al. Innovative Reactor Design for anaerobic decolorization of azo dyes in 10th international conference on environmental science and technology 2007. Kos Island.
5. Hoseinian SM. Municipal and industrial wastewater treatment, Shar Ab Publisher, Tehran, 2002.
6. Banat F, Al-Asheh S., Al-Rawashdeh MM, Nusair M. Microwave- and acid-treated bentonite as adsorbents of methylene blue

- from a simulated dye wastewater. Bull Engineering Geology Environment, 2008. 66.
7. Meric S, Selcuk H, Belgiorno V. Acute toxicity removal in textile finishing wastewater by Fenton's oxidation, ozone and coagulation–flocculation processes. Water Research, 2005. 39.
 8. Sye W. Applications of chitosan beads and porous crab shell powder combined with solid-phase microextraction for detection and the removal of colour from textile wastewater. Carbohydrate Polymers, 2008. 72.
 9. Kang S. Oxidation and Coagulation of Textile Wastewater by the Fenton Process. Chemosphere, 2002. 46.
 10. Kim TH, Park C, Shin EB, Kim S. Decolorization of disperse and reactive dyes by continuous electrocoagulation process. Desalination, 2002; 150: 165-175.
 11. Behdani Z. A survey on the decolorization of textile Disperse Dye in biological reactor with added inorganic materials, Mazandaran University of Medical Sciences, 2004.
 12. LING LC. TREATMENT OF A REACTIVE DYE, A DISPERSE DYE, AND THEIR MIXTURES USING H₂O₂/pyridine/Cu(II) SYSTEM. 2009.
 13. Prigione V, Varese GC, Casieri L, Marchisio VF. Biosorption of simulated dyed effluents by inactivated fungal biomasses. Bioresource Technology 2008; 99: 3559-3567.
 14. HSE, Control of substances hazardous to health, ed. 4. 2002.
 15. Dehghani MH. Application of SCR Technology for Degradation of Reactive Yellow Dye in Aqueous Solution. Water Quality Research, 2008. 43(2/3): 1-10.
 16. Amirbeigi H. Fundamental of Water sanitary and treatment, Andisheh Rafie Publisher, Tehran, 2003.
 17. Nigam P, Banat I, Singh D, Marchant R. Microbial process for the decolorization of textil effluent containing Azo, Diazo and Reactive Dyes. Process Biochemistry 1996; 31(5): 435-442.
 18. Szpyrkowicz L, Juzzolino C, Kaul SN. A comparative study on oxidation of disperse dyes by electrochemical process, ozone, hypochlorite and fenton reagent. Water Research 2001; 35(9): 2129-2136.
 19. Minke R, Rott U. Investigation on the anaerobic pretreatment of a coloured textile wastewater. Wasser-Abwasser 2002. 143.
 20. Sponza D.T, Isık M. Toxicity and intermediates of C.I. Direct Red 28 dye through sequential anaerobic/aerobic treatment. Process Biochemistry, 2005. 40.
 21. Rajaguru P, Kalaiselvi M, Palanivel M, Subburam V. Biodegradation of azo dyes in a sequential anaerobic-aerobic system. Microbial Biotechnology, 2000. 54.
 22. Kapdan I, Kargi F, McMullan G, Marchant R. Comparison of white-rot fungi cultures for decolorization of textile dyestuffs. Bioprocess Engineering, 2000. 22.
 23. Kargi F, Uygur A. Hydraulic residence time effects in biological nutrient removal using five-step sequencing batch reactor. Enzyme and Microbial Technology, 2004. 35.
 24. Mohan SV, Rao NC. Treatment of complex chemical wastewater in a sequencing batch reactor (SBR) with an aerobic suspended growth configuration. Process Biochemistry, 2005. 40.
 25. Mohan SV, Chandrasekhara N. Simulated acid azo dye (Acid black 210) wastewater treatment by periodic discontinuous batch mode operation under anoxic-aerobic-anoxic microenvironment conditions. ecological

- engineering 2007. 3.
26. Ong SA, Toorisaka E, Hirata M. Treatment of azo dye Orange II in aerobic and anaerobic-SBR systems. *Process Biochemistry*, 2005. 40.
 27. Keharia H, Patel H, Madamwar D. Decolorization screening of synthetic dyes by anaerobic methanogenic sludge using a batch decolorization assay. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2004. 20.
 28. Sirianuntapiboon S, Chairattanawan K. Some properties of a sequencing batch reactor system for removal of vat dyes. *Bioresource Technology*, 2006. 97.
 29. Panswad T, Techovanich A, Anotai J. Comparison of dye wastewater treatment by normal and anoxic+anaerobic/aerobic SBR activated sludge processes. *Water Science and Technology* 2001; 43(2): 355-362.
 30. Chu H. Reous of actived sludge Biomass. *Reous Biochemistry*, 2002; 37: 595-600.
 31. Association APH, A.W.W. Association, and W.E. Federation, *Standard Method for the examination of water & wastewater*, ed. 21st. 2005, Washington: American Public Health Association.
 32. Farzadkia M. Application of High Rate Stabilization Ponds for Treatment of Kermanshah City Slaughterhouse, *Journal of Water & Wastewater*, 2005(Issue 51): 10-16.
 33. Takdastan A, Khani MR, Pouramini N, Pazouki M. Sequencing batch reactor (SBR) in wastewater treatment in different operational conditions. In proceeding of 10th National congress on environmental health, 2007.
 34. Mohan SV, Rao NC, Sarma N. simulated acid azo dye wastewater treatment using suspended growth configured sequencing batch reactor (sbr) under anoxic-aerobic-anoxic microenvironment. *Applied ecology and environmental research*, 2009. 7(1): 25-34.
 35. Cinar O, Yasara S, Kertmena M, Demirozb K, OzguYigit N, Kitis M. Effect of cycle ratio on biodegradation of azo dye in sequencing batch reactor. *Journal of Biotechnology* 2008. 136: 460-495.
 36. Lourenc N, Novais JM, Pinheiro HM. Effect of some operational parameters on textile dye biodegradation in a sequential batch reactor. *Journal of Biotechnology*, 2001. 89: 163-174.