

بررسی حذف رنگ بازی قرمز ۱۸ با استفاده از بیوفیلیم تشکیل شده بر بستر گرانول باگاس در راکتور هوازی پیوسته

فردوس کرد مصطفی پور^۱، ادریس بذرافشان^۲، آمنه اسکندری تربقان^۳، حمیده اکبری^۴

۱- دانشیار گروه بهداشت محیط، عضو مرکز تحقیقات ارتقای سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، ایران
۲- دانشیار، گروه بهداشت محیط، عضو مرکز تحقیقات ارتقای سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، ایران
(نویسنده مسئول) ۰۹۱۵۳۳۱۱۲۰ ed_bazrafshan@yahoo.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، ایران

۴- مربی، گروه بهداشت محیط، عضو مرکز تحقیقات ارتقای سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، ایران

(دریافت ۹۲/۶۷ پذیرش ۹۳/۵/۲۰)

چکیده

رنگ‌ها یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های موجود در فاضلاب صنایع نساجی بوده و غالباً سمی، سرطان‌زا، جهش‌زا و غیر قابل تجزیه بیولوژیک هستند. این مطالعه با هدف بررسی کارایی حذف رنگ بازی قرمز ۱۸ با استفاده از بیوفیلیم تشکیل شده بر بستر گرانول باگاس در راکتور هوازی پیوسته انجام پذیرفت. این مطالعه از نوع تجربی-آزمایشگاهی بود که اثر متغیرهای غلظت رنگ (۲۰۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر)، زمان ماند هیدرولیکی (۸ تا ۲ ساعت)، غلظت BOD ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر کارایی حذف رنگ بازی قرمز ۱۸ و همچنین ضرایب سینتیکی در راکتور هوازی بررسی شد. نتایج نشان داد که حداکثر کارایی حذف رنگ در غلظت اولیه ۳۰ میلی‌گرم در لیتر برابر ۹۰ درصد در زمان ماند هیدرولیکی ۸ ساعت بود که در BOD ورودی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کارایی حذف رنگ برابر ۸۶ درصد به دست آمد. ضریب حداکثر سرعت مصرف سوپسترا (K) در بار آلی BOD مساوی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب ۰/۲۳ و ۱/۴۱، ثابت نیم سرعت واکنش (Ks) در بار آلی BOD مساوی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب برابر ۴۴/۸۵ و ۱۹/۳۹ به دست آمد. همچنین ضرایب خودتخریبی (Kd) در BOD ورودی مساوی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب برابر ۰/۳۵، ۰/۵ و ضریب حداکثر سرعت ویژه رشد توده زیستی (μ) به ترتیب برابر ۸۳/۳۶ و ۴/۳۷ محاسبه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که بیوفیلیم تشکیل شده بر بستر گرانول باگاس در راکتور هوازی پیوسته، کارایی خوبی در حذف رنگ بازی قرمز ۱۸ دارد.

واژه‌های کلیدی: رنگ بازی قرمز ۱۸، بیوفیلیم، باگاس، راکتور هوازی

۱- مقدمه

بالغ بر ۴ تا ۱۰ میلیارد متر مکعب خواهد بود [۳ و ۶]. به همین دلیل مقدار متناهی پساب نیز در این صنعت تولید می‌شود. به علت تغییرات زیادی که در انواع مواد اولیه مصرفی این صنعت موجود است، پساب‌های نساجی از نظر شدت آلودگی متفاوت هستند. با توجه به مصرف زیاد آب در صنایع نساجی و حضور پسماندهای مختلف از جمله مواد رنگزا، سطوح فعال، تسریع کننده‌ها، نمک‌ها، اسیدها، قلیاها و فلزات سنگین، پساب نساجی در گروه آلوده‌ترین پساب‌های صنعتی طبقه‌بندی می‌شوند [۱۲-۷].

سالانه بیش از ده هزار نوع مختلف از رنگ‌های مصنوعی در نقاط مختلف جهان تولید می‌شود که به صورت گسترده در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۳، ۱۴ و ۱۵]. میزان تولید رنگ در جهان در حدود ۷۰۰ هزار تا یک میلیون تن تخمین زده می‌شود که در صنایع متعدد نظیر تولید مواد آرایشی، چرم، کاغذ و

طبق برآوردهای به عمل آمده تا سال ۱۴۰۰ آب مورد نیاز صنایع در ایران ۳/۸ برابر وضع موجود خواهد بود [۱]. به همراه رشد جمعیت، گسترش صنعت و کشاورزی در سال‌های اخیر و کمبود آب سالم در جهان، ضرورت تصفیه و بازیابی مجدد آب‌های مصرفی اهمیت خاصی پیدا کرده است [۲ و ۳].

از میان صنایع مختلف، نساجی یکی از صنایعی است که به دلیل مصرف بالای آب و در نتیجه دارا بودن پسابی با مواد رنگزا که از آلاینده‌های اصلی محیط زیست است، مورد توجه قرار گرفته است [۴ و ۵]. تخمین زده می‌شود که برای تولید هر کیلو پارچه تکمیل شده به طور متوسط ۱۰۰ تا ۲۰۰ لیتر آب مورد استفاده قرار گیرد [۶]. با توجه به اینکه سالانه حدود ۴۰ تا ۵۰ میلیون تن منسوجات در جهان تولید می‌شود میزان پساب تولید شده توسط صنایع نساجی

صنایع نساجی مصرف می‌شود [۱۸-۱۴]. در این میان صنعت نساجی یکی از مهم‌ترین صنایع مصرف مواد رنگزا بوده، به طوری که حدود ۷۵ درصد مواد رنگزای تولید شده در جهان در رنگرزی کالاهای نساجی، چرم و کاغذ به کار می‌رود.

مواد رنگی بر حسب ساختار شیمیایی به دسته‌های مختلف آزو، آنتراکینون، زانتین، آکریدین، فلاوین، فتان سیانین؛ و از لحاظ کاربردی به دسته‌های راکتیو، اسیدی، مستقیم، خمی و دیسپرس تقسیم می‌شوند [۱۶].

تخلیه پساب‌های حاوی مواد رنگی به محیط از قبیل دریاچه و رودخانه‌ها موجب کاهش انتقال نور، کاهش میزان اکسیژن محلول و افزایش اکسیژن شیمیایی مورد نیاز شده و از این طریق زندگی آبزیان را مختل می‌نماید. از طرفی رنگ‌ها به دلیل پایداری حرارتی و نوری بالایی که دارند می‌توانند برای دوره‌های زمانی نسبتاً طولانی در محیط باقی بمانند [۳].

این مواد نه تنها رنگ نامطلوبی به آب می‌دهند بلکه در بعضی موارد خودشان ترکیبات مضر بوده و می‌توانند از طریق یک سری واکنش‌های شیمیایی دیگر که در آب اتفاق می‌افتد، محصولات جانبی سمی تولید کنند، بنابراین ورود این پساب‌های رنگی به محیط، جدای از برهم زدن جنبه زیبایی محیط زیست باعث وارد آمدن صدمات جدی به محیط زیست می‌شود [۱۹].

عموماً روش‌هایی که برای تصفیه این پساب رنگی استفاده می‌شوند شامل فرایندهای اکسیداسیون-ازناسیون، جذب سطحی، روش‌های بیولوژیکی، منعقدسازی-لخته‌سازی و روش‌های غشایی می‌باشند. هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی هستند: روش تصفیه با کربن فعال هزینه‌بر بوده و فرایند احیای آن مشکل و دفع زائدات آن نیز از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. فتواکسیداسیون نیز نیاز به افزودن مواد شیمیایی اضافی به فاضلاب دارد که در نتیجه باعث آلودگی ثانویه می‌شود. روش کوآگولاسیون شیمیایی علاوه بر نیاز به دستگاه‌های تزریق مواد شیمیایی، لجن زیادی تولید می‌کند. فرایند جذب سطحی به دلیل آنکه می‌تواند باعث حذف فیزیکی آلاینده‌های مختلف از پساب شود و منجر به تولید محصول جانبی خطرناکی در حین فرایند نمی‌شود، بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۲۰].

سیستم‌های بیولوژیکی نیز به دلیل سازگاری بیشتر با محیط زیست و همچنین به صرفه بودن از نظر اقتصادی از دیدگاه محیط زیستی ایمن‌تر محسوب می‌شوند [۲۱]. با توجه به اینکه سیستم‌های بیولوژیکی به تنهایی قادر به کاهش غلظت ترکیبات محلول و بعضی از ترکیبات آلی غیرقابل تجزیه بیولوژیکی نیستند، کاربرد فرایندهای ترکیبی توانایی فرایند را در حذف آلاینده‌ها افزایش خواهد داد [۲۲]. در سه دهه اخیر کاربرد فرایندهای بیولوژیکی به

همراه جاذب‌ها برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی گسترش فراوانی یافته‌اند. برای مثال سیستم لجن فعال-پودر کربن فعال، یکی از این فرایندهای بیوفیزیک است که برای کاهش آلاینده‌ها و مواد سمی در فاضلاب به کار می‌رود [۲۳].

فرایندهای مبتنی بر فیلم میکربی یکی از انواع فرایندهای بیولوژیکی‌اند که در آن‌ها از میکرب‌های رشد یافته بر روی یک بستر، برای زدایش آلاینده‌ها استفاده می‌شود [۲۴ و ۲۵]. از ویژگی‌های این سیستم‌ها می‌توان به غلظت بالای توده میکربی، امکان استفاده از بسترهای ارزان قیمت، امکان تصفیه میزان جریان بیشتر یا بازده بالاتر در میزان جریان اشاره نمود [۲۶ و ۲۷]. مطالعات و تجربیات نشان داده‌اند 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 [۲۸].

موارد طبیعی و مصنوعی متعددی به عنوان بستر نگهدارنده بیوفیلم به کار گرفته می‌شوند. در این بین موادی که واجد خواص جذبی برای بیوفیلم و همچنین آلاینده و از طرفی واجد ساختار متخلخل باشند، گزینه مناسب خواهند بود. باگاس مورد استفاده در این سیستم که سطح مورد نیاز به منظور رشد توده‌های بیولوژیکی را فراهم می‌آورد، از اهمیت قابل توجهی برخوردار بوده و تأثیر مستقیمی بر عملکرد فرایند تصفیه خواهد داشت.

آنچه پس از استخراج قند از نیشکر باقی می‌ماند، تفاله نیشکر یا باگاس نامیده می‌شود. به طور معمول از هرتن نیشکر ورودی به آسیا ۳۲۰-۳۰۰ کیلوگرم باگاس بار طوبت ۵۵-۵۰ درصد به دست می‌آید. طی دوره بهره‌برداری کارخانجات قند و شکر مقادیر فراوانی ملاس، گل صافی، تفاله (در کارخانجات چغندر) و باگاس (در کارخانجات نیشکر) نیز تولید می‌شود. مواد متشکله باگاس نیشکر شامل: سلولز ۴۸-۳۲ درصد، همی سلولز ۲۴-۱۹ درصد، لیگنین ۳۲-۲۳ درصد، خاکستر ۵/۵-۳/۲۲ درصد، گوگرد ۱۵/۰-۱/۰ درصد و پتاسیم ۹۷/۰-۷۳/۰ درصد است. بر اساس آخرین اطلاعات موجود، سطح زیر کشت نیشکر در ایران حدوداً ۸۰۰۰۰ هکتار است که بالغ بر ۹۹ درصد آن در استان خوزستان و کمتر از ۱ درصد در استان مازندران کشت می‌شود. متوسط تولید نیشکر در خوزستان حدود ۹۰ تا ۱۰۰ تن در هکتار است [۲۹].

فرایند جذب بیولوژیکی مزیت‌های زیادی از قبیل حذف انتخابی در یک محدوده وسیعی از pH، دما، سینتیک سریع جذب، هزینه اولیه و راهبری پایین را دارا است. با توجه به اینکه این جاذب‌ها مزایا و کارایی خوبی داشته و روش‌های جدیدی را در زمینه محیط زیست دارا می‌باشد، این پژوهش با هدف حذف رنگ

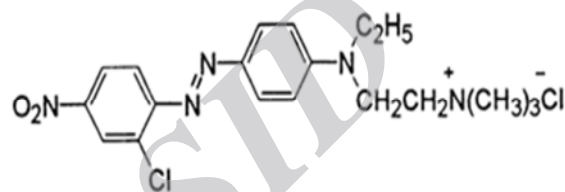
بازی قرمز ۱۸ با استفاده از بیوفیلم تشکیل شده بر گرانول باگاس در راکتور رشد معلق پیوسته هوازی انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع تجربی-آزمایشگاهی است که در آن با استفاده از بیوفیلم تشکیل شده بر روی گرانول باگاس در راکتور هوازی پیوسته، حذف رنگ قرمز ۱۸ مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۱- مواد مورد استفاده

ماده رنگزای قرمز ۱۸ با وزن مولکولی ۴۲۶/۳۴ گرم بر مول و فرمول شیمیایی $19H_{25}Cl_2N_5O_2$ از شرکت الوان ثابت تهیه شد. ساختار شیمیایی این ماده در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- ساختار مولکولی ماده رنگزای بازی قرمز ۱۸

برای ایجاد و رشد توده بیولوژیکی روی گرانول‌های باگاس، از مواد مغذی (کلرید منگنز-سولفات مس-اکسید مولیبدات سدیم-سولفات روی-کلرید کبالت-استات-کلرید آمونیوم-سولفات منگنز-کلرید کلسیم-هیدروژن پتاسیم-کلرید فریک-هیدروژن فسفات پتاسیم-اکسید بورات هیدروژن-پتاسیم یدید با مارک شرکت مرک^۱ آلمان) استفاده شد. لجن فعال تهیه شده از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر زاهدان استفاده شد تا بیوفیلم روی گرانول‌ها تشکیل شود.

۲-۲- روش اجرای مطالعه

آزمایش‌ها به صورت پیوسته و در تانکی با طول و عرض ۰/۴ متر و ارتفاع ۰/۳ متر انجام شد. شکل ۲ پایلوت ساخته شده از شیشه را نشان می‌دهد. برای تنظیم دبی ورودی با توجه به زمان‌های ماند هیدرولیکی و حجم راکتور، از پمپ پرستالتیک مدل ETATRON DS ساخت کشور ایتالیا استفاده شد. در ابتدا حدود یک سوم حجم ستون از باگاس گرانوله شده پر شد. این گرانول‌های باگاس از طریق خشک کردن در کوره در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس در مدت نیم ساعت تهیه شد. پایش تشکیل بیوفیلم بر روی گرانول‌های باگاس از مقایسه BOD ورودی و خروجی اجرا شد. اندازه‌گیری BOD با استفاده از دستگاه WTW مدل Oxi Top IS6 ساخت آلمان انجام

شد. هوادهی به صورت پیوسته و به میزان کافی صورت گرفت و با استفاده از DO سنج مدل Oxi 3205 SET1 ساخت کشور آلمان غلظت اکسیژن محلول مرتب کنترل شد. حداقل میزان O_2 حدود ۳ میلی‌گرم در لیتر با استفاده از کمپرسور هوا در راکتور تأمین شد. با توجه به لجن ته‌نشین شده در حوض ته‌نشینی، مقدار مشخصی از طریق پمپ به حوض هوادهی برگشت داده شد. بعد از سه هفته و کنترل تشکیل بیوفیلم، رنگ با غلظت مشخص همزمان همراه با BOD از روی بیوفیلم عبور داده شد و پس از زمان ماند هیدرولیکی مورد نظر، رنگ خروجی اندازه‌گیری شد. در این پژوهش اثر متغیرهای غلظت اولیه رنگ ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، زمان‌های ماند هیدرولیکی ۲، ۴، ۶، ۸ ساعت و BOD ورودی ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در حذف رنگ بازی قرمز ۱۸ مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه زمان ماند سلولی ۳۰ روز در نظر گرفته شد. دما در راکتور با استفاده از المنت در محدوده ۳۵ درجه سلسیوس نگه داشته شد. pH محیط با استفاده از اسیدکلریدریک و هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال در محدوده رشد میکروارگانیسم‌ها که غالباً محیط خنثی است، تنظیم شد. pH متر مورد استفاده مدل WTW ساخت کشور آلمان بود. تعیین رنگ بازی قرمز ۱۸ از طریق رسم نمودار کالیبراسیون آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV/VIS T80 ساخت شرکت PG Instruments Ltd در طول موج ۵۳۰ نانومتر، در نمونه‌ها تعیین مقدار شد.



شکل ۲- پایلوت شیشه‌ای برای اجرای آزمایش‌ها

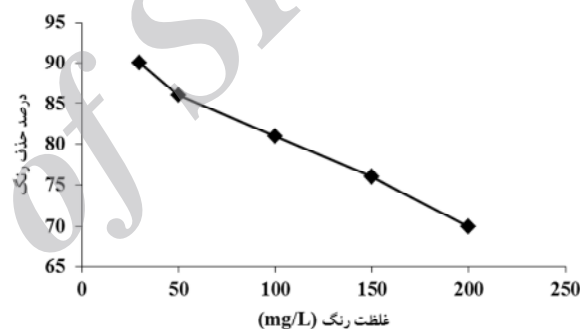
¹ Merck

۳- نتایج و بحث

ورود فاضلاب و پساب‌های رنگی به محیط زیست برخی مسائل و مشکلات محیط زیستی را ایجاد می‌نمایند. این مطالعه به‌منظور کاربرد فرایند بیولوژیکی همراه با بستری از یک ماده طبیعی برای رشد میکروارگانیسم‌ها در حذف رنگ ایجاد شد. کاربرد بستر برای فراهم‌آوری سطوح بیشتر برای رشد باکتری‌ها در یک حجم خاص در راکتور مدل هوادهی ممتد بود.

۳-۱- اثر غلظت اولیه رنگ بازی قرمز ۱۸ و حذف رنگ

تأثیر غلظت اولیه رنگ بازی و درصد حذف آن در شکل ۳ نشان داده شده است. بررسی شکل ۳ حاکی از آن است که با افزایش غلظت اولیه رنگ، درصد کارایی حذف رنگزا کاهش یافته است. به طوری که افزایش رنگ از ۳۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، باعث کاهش کارایی حدود ۲۰ درصد شده است. با توجه به شکل پیداست که کارایی حذف به شکل خطی است.



شکل ۳- اثر تغییرات غلظت اولیه رنگ بازی قرمز ۱۸ در حذف این رنگ با استفاده از بیوفیلم تشکیل شده بر بستر گرانول باگاس

نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش حدود ۷ برابری غلظت اولیه رنگ، درصد کاهش راندمان حدود ۱/۰۳ برابر کم شده است. با توجه به انجام فرایند رنگ‌زدایی توسط سیستم‌های بیولوژیکی که وابسته به باکتری‌های هتروتروف هوازی هستند، معمولاً کارایی آنها برای حذف مواد آلی، بستگی به مقدار مواد مغذی موجود در محیط و اکسیژن محلول دارد. در این مطالعه برای ایجاد توانایی و تطابق باکتری در حذف رنگ، اکسیژن محلول حدود ۳ میلی‌گرم در لیتر و زمان ماند سلولی ۳۰ روز در نظر گرفته شد و متغیر تأثیرگذار فقط غلظت رنگ بود. به همین خاطر می‌توان به این نتیجه رسید که کارایی حذف رنگ وابستگی زیادی به غلظت اولیه رنگ دارد و غلظت‌هایی بیش از آستانه تحمل میکروارگانیسم‌ها به‌طور قابل توجهی می‌توانند بر بازده تصفیه در فرایندهای بیولوژیکی اثر بگذارند [۳۰].

نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین کارایی حذف رنگ در غلظت اولیه ۳۰ میلی‌گرم در لیتر و با راندمانی برابر ۹۰ درصد بود. مطالعات انجام شده درخصوص حذف آلاینده‌ها با استفاده از سنگ پامیس به‌عنوان بستر ثابت بیوفیلم نشان داد که با افزایش غلظت آلاینده‌های ورودی به راکتور، کارایی سیستم کاهش می‌یابد [۳۱]. در مطالعه دیگری عملکرد سیستم تصفیه بیولوژیکی با بستر متحرک در تصفیه فاضلاب صنایع نساجی بررسی شده است. نتایج حاکی از آن بوده که با افزایش غلظت رنگ ورودی به سیستم، کارایی حذف رنگ توسط سیستم کاهش می‌یابد [۳۲].

در پژوهش دیگری که اثر تغییرات بار آلی، بر بازده حذف بیولوژیکی پروپیلین گلیکول در راکتور لجن فعال مورد بررسی قرار گرفته، نتایج حاکی از آن بوده که به موازات افزایش غلظت پروپیلین گلیکول ورودی، بازده حذف سوپسترا کاهش یافته است [۳۳]. با توجه به نتایج مطالعات انجام شده و نتایج این مطالعه، این‌گونه می‌توان تفسیر نمود که افزایش غلظت رنگ می‌تواند ضمن تأثیر بر متابولیسم باکتری‌ها، در یک غلظت خاص موجب توقف رشد به دلیل سمیت باشد. البته این نکته را باید در نظر داشت که توانایی باکتری‌ها در شکستن ساختمان مولکولی رنگ متفاوت است و هنگامی می‌توان کارایی حذف را افزایش داد که زمان ماند سلولی و تطابق باکتری‌ها افزایش یابد.

۳-۲- اثر زمان‌های ماند هیدرولیکی و حذف رنگ بازی قرمز ۱۸

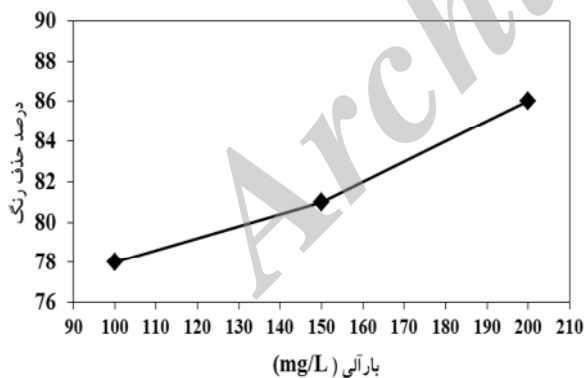
شکل ۴ اثر زمان ماند هیدرولیکی بر کارایی حذف رنگ بازی قرمز ۱۸ را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که در زمان‌های ماند اولیه، کارایی این سیستم در حذف ماده رنگزا بیش از ۵۰ درصد بوده و با افزایش زمان ماند هیدرولیکی به استثنای غلظت اولیه رنگ ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، حذف رنگ ۲۰ درصد افزایش یافته است.

این مطالعه نشان داد که افزایش زمان ماند هیدرولیکی می‌تواند بر کارایی حذف، تأثیر داشته باشد. بررسی شکل ۴ نشان می‌دهد که با کاهش غلظت رنگ در صورتی که زمان ماند هیدرولیکی افزایش داشته باشد، می‌توان کارایی حذف را افزایش داد. البته باید در نظر داشت که افزایش غلظت رنگ با یک غلظت معین، موجب کاهش کارایی آن خواهد شد. در واقع افزایش غلظت رنگ موجب تأثیر بر مکانیسم حذف رنگ در سیستم بیولوژیکی می‌شود. حد آستانه تحمل باکتری‌ها برای متابولیسم آلاینده‌ها به‌خصوص در سیستم‌های تصفیه هوازی مانعی است که باید مورد توجه قرار گیرد؛ زیرا غلظت بیش از حد آستانه تحمل می‌تواند ضمن تأثیر بر متابولیسم و ساختار سلول، موجب مرگ و میر باکتری‌ها شود.

زمان ماند به ۳۶ ساعت، حذف رنگ به ۸۴ درصد رسیده است [۳۶].

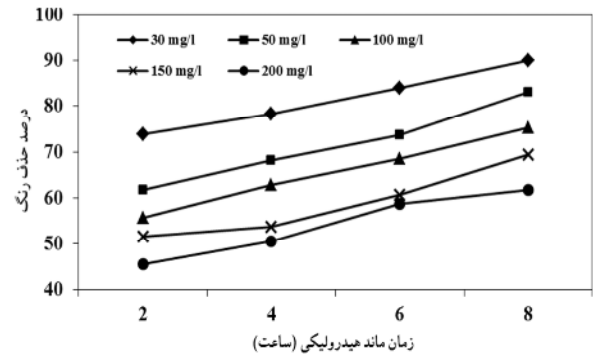
۳-۳- اثر بارهای آلی مختلف و حذف رنگ بازی قرمز ۱۸
بررسی شکل ۵ حاکی از آن است که با افزایش بار آلی (BOD)، کارایی حذف رنگ بیشتر شده، به طوری که در بارهای آلی ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب کارایی حذف رنگ به حدود ۷۸، ۸۱ و ۸۶ درصد رسیده است.

در سیستم‌های هوازی تصفیه فاضلاب، در صورت تطابق میکروارگانیسم‌ها با آلاینده‌ها، توانایی جذب و متابولیسم آلاینده‌ها در محدوده کمتر از حد تحمل، افزایش خواهد یافت. در نتیجه افزایش بار آلی تا محدوده خاص، به دلیل رشد بیشتر توده سلولی و افزایش زمان ماند سلولی موجب می‌شود که توانایی باکتری‌ها در تشکیل فلوک بیولوژیکی بیشتر شود. در واقع افزایش بار آلی موجب رشد بیشتر باکتری‌ها و به خصوص بر روی بستر باگاس شده که نتیجه آن افزایش حذف رنگ با افزایش بار آلی بوده است. مطالعات انجام شده نشان دادند که افزایش بار آلی موجب افزایش حذف سوپسترا خواهد شد. این مطالعه نشان داد که افزایش بار آلی (COD) تا حدود ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر با زمان‌های ماند هیدرولیکی بین ۱۲ تا ۲۴ ساعت می‌تواند موجب افزایش راندمان برابر ۹۷ درصد شود [۳۱]. در مطالعه‌ای که از پوک‌های معدنی به عنوان ساپورت بیوفیلم در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب استفاده شده بود، نتایج نشان داد که با افزایش بار آلی در زمان ماند ثابت، کارایی سیستم در حذف سوپسترا بیشتر خواهد شد [۳۵].



شکل ۵- اثر بارهای آلی مختلف در حذف رنگ بازی قرمز ۱۸ با استفاده از بیوفیلم تشکیل شده بر بسترگرانول باگاس

۳-۴- ضرایب سینتیکی حذف رنگ بازی قرمز ۱۸
طراحی سیستم‌های بیولوژیکی نیازمند شناخت اصول بیولوژیکی، سینتیک سوخت و ساز، اصول موازنه جرم و عملیات فیزیکی لازم



شکل ۴- اثر زمان‌های ماند هیدرولیکی مختلف در حذف رنگ بازی قرمز ۱۸، در غلظت متفاوت رنگ

در فرایندهای بیولوژیکی، تبدیل مواد آلی کلئیدی و محلول به سلول‌های زنده به زمان نیاز دارد. با افزایش زمان ماند هیدرولیکی، تماس بین میکروارگانیسم‌ها و مواد آلی در اثر معلق بودن جرم زنده در فاضلاب و یا عبور فاضلاب از سطح جرم زنده چسبیده به سطوح جامد، بیشتر شده و کارایی حذف افزایش می‌یابد. در واقع با افزایش توده سلولی زنده، جذب و متابولیسم رنگ افزایش خواهد داشت. به طور کلی، ظرفیت جذب بیولوژیکی با ازدیاد زمان ماند هیدرولیکی افزایش می‌یابد [۳۰].

این مطالعه نشان داد که با افزایش زمان ماند هیدرولیکی، راندمان حذف به طور محسوس افزایش می‌یابد. معمولاً در فرایندهای بیولوژیکی در زمان‌های ماند کوتاه هیدرولیکی به دلیل کافی نبودن زمان برای جذب و متابولیسم باکتریایی، کارایی کاهش یافته و مقدار خروجی افزایش خواهد داشت [۳۰]. نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین درصد حذف رنگ در زمان ماند هیدرولیکی ۸ ساعت، در غلظت اولیه رنگ ۳۰ میلی‌گرم در لیتر برابر ۹۰ درصد خواهد بود. در مطالعه‌ای که درباره عملکرد راکتور بیوفیلمی بستر متحرک در تصفیه مخلوط فاضلاب‌های شهری و صنعتی صورت گرفت، نتایج حاکی از آن بود که با افزایش زمان ماند، کارایی حذف افزایش یافته و حساسیت سیستم نسبت به تغییرات زمان ماند بالا (حد فاصل ۱۲ تا ۲۴ ساعت) کمتر از زمان‌های ماند پایین (۸ تا ۱۲ ساعت) است [۳۴].

نتایج مطالعه دیگر نشان داد که با افزایش زمان ماند هیدرولیکی راندمان حذف مواد آلی افزایش می‌یابد [۳۵]. همچنین در مطالعه‌ای که به منظور حذف مواد آلی و رنگ پساب‌های صنایع نساجی با استفاده از عملکرد کربن فعال گرانول در فرایند کربن زیستی انجام شد، نتایج نشان داد با افزایش زمان ماند هیدرولیکی، کارایی حذف رنگ افزایش یافته به طوری که حذف رنگ در زمان ماند اولیه حدود ۷۶ درصد بوده اما با افزایش

افزایش بار آلی، مقدار آن افزایش می‌یابد؛ یعنی افزایش بار آلی BOD موجب رشد سریع‌تر توده سلولی شده و مقدار مرگ و میر آنها افزایش می‌یابد. با توجه به ضریب حداکثر سرعت ویژه رشد توده زیستی به دست آمده، افزایش بار آلی از ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر حسب BOD موجب کاهش مقدار آن شده است؛ یعنی در مقدار بارهای آلی بیشتر، رشد توده میکروارگانیسم در نتیجه مصرف بیشتر سوبسترا، زیادتر شده است. محاسبه ضریب باردهی (Y) نشان داد که افزایش بار آلی از ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر حسب BOD می‌تواند موجب کاهش مقدار آن از ۰/۶۲ به ۰/۴۵ شود.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که کارایی حذف رنگ وابستگی زیادی به غلظت اولیه رنگ دارد و غلظت‌هایی بیش از آستانه تحمل میکروارگانیسم‌ها به‌طور قابل توجهی می‌توانند بر بازده تصفیه در فرایندهای بیولوژیکی اثر بگذارند. همچنین افزایش مقدار BOD ورودی موجب افزایش حذف رنگ بازی خواهد شد که افزایش راندمان حذف رنگ، در نتیجه توده سلولی رشد کرده بر روی گرانول‌های باگاس بوده است.

۵- قدردانی

این تحقیق با هزینه معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی زاهدان صورت گرفته است که به این وسیله از همکاری ایشان تقدیر و تشکر می‌شود.

برای کنترل محیط در راکتورها است. عملکرد فرایندهای لجن فعال از طریق ضرابی که برای این سیستم تعریف شده، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

برای حصول اطمینان از رشد میکروارگانیسم‌ها، باید امکان باقی ماندن میکروارگانیسم‌ها در طی زمانی مناسب در سیستم برای تکثیر مناسب فراهم شود. این زمان به سرعت رشد میکروارگانیسم‌ها بستگی داشته که مستقیماً با سرعت متابولیسم آنها یا سرعت مصرف زائدات مرتبط است. بررسی ضرایب سینتیکی حاصل از این مطالعه حاکی از آن است که مقدار ثابت نیم سرعت واکنش با افزایش بار آلی از ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، کم شده است (جدول ۱)، یعنی دامنه غلظت محدود کننده رشد توده باکتری وسیع‌تر شده و غلظت کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بار آلی بر حسب BOD می‌تواند باعث محدودیت رشد و گاهی کاهش حذف رنگ شود.

جدول ۱- ضرایب سینتیکی (ثابت حداکثر سرعت مصرف سوبسترا (K)، ثابت نیم سرعت (K_s)، ضریب خودتخریبی (K_d) و حداکثر سرعت ویژه رشد توده زیستی (μ_m)) با غلظت‌های سوبسترای متفاوت در حذف رنگ بازی قرمز ۱۸

بار آلی (mg/L)	K	K _s	K _d	μ _{max}	Y
۱۰۰	۰/۲۳	۴۴/۸۵	۰/۳۵	۳۷/۳۶	۰/۶۲
۱۵۰	۰/۹۷	۳۵/۱۷	۰/۴	۱۲/۲۴	۰/۵
۲۰۰	۱/۴۱	۱۹/۳۹	۰/۵	۴/۸۳	۰/۴۵

ضریب خودتخریبی به دست آمده نشان‌دهنده آن است که با

۶- مراجع

1. Khosravi, A., Hoseinian, M., and Sadat Mansoori A. (2009). *Industrial wastewater treatment of Electroplating- Dairy-Textile*, Oloom Ruz Publication, Tehran. (In Persian)
2. Jafarzadeh, N., and Daneshvar, N. (2000). "Treatment of textile wastewater containing basic dyes by electrocoagulation process." *J. of Water and Wastewater*, 17-2 (57), 22-29. (In Persian)
3. Dalvand, A., Gholami, M., Joneidi, A., and Mahmoodi, M. (2009). Investigation of electrochemical coagulation process efficiency for removal of reactive red 198 from colored wastewater." *J. of Color Science and Technology*, 3, 97-105.
4. Qu, S., Huang, F., Yu, S., Chen, G., and Kong, J. (2008). "Magnetic removal of dyes from aqueous solution using multi-walled carbon nanotubes filled with Fe₂O₃ particles." *J. of Hazardous Materials*, 160 (2-3), 643-647.
5. Vasileia, M., Daskalaki, E. S., Timotheatou, A. K., and Dimitrios, K. (2011). "Degradation of reactive red 120 using hydrogen peroxide in subcritical water." *Desalination*, 274, 200-205.
6. Tehrani-bagha, A.R., and Amini, F.L. (2010). "Decolorization of wastewater containing C.L. reactive red 120 by UV- enhanced ozonation." *J. of Color Science and Technology*, 4, 151-160.

7. Alanur, O. M., Yavuz, H.I., and Erbatur, O. (2004). "Comparision of several advanced oxidation processes for the decolorization of reactive red 120 azo dye in aqueous solution." *Hazardous Materials*, 109, 85-93.
8. Arica, M.Y., Bayramoglu, G. (2007). "Biosorption of reactive red -120 dye from aqueous solution by native and modified fungus biomass preparations of lentinus sajor-caju." *J. of Hazardous Materials*, 149(2), 499-507.
9. Hameed, B.H., Ahmad, A.A., and Aziz, N. (2009). "Adsorption of reactive dye on palm-oil industry waste: Equilibrium, Kinetic and thermodynamic studies." *Desalination*, 247(1-3), 551-560.
10. Absalan, Gh., Asadi, M., Kamran, S., Sheikhan, L., and Goltz, D.M. (2011). "Removal of reactive red-120 and 4-(2-Pyridylazo) resorcinol from aqueous samples by Fe₃O₄ magnetic nanoparticles using Ionic liquid as Modifier." *J. of Hazardous Materrials*, 192, 476-484.
11. Asilian, H., Moussavi, G.R., and Mahmoudi, M. (2010). "Adsorption of reactive red 198 azo dye from aqueous solution onto the waste coagulation sludge of the water treatment plant." *Health and Environ Journal*, 3(1), 93-102.
12. Tehrani-bagha, A.R., Mahmmodi, M., and Arami, M. (2008). "Study of the effective parameters on decolorization of C.I. reactive black 5 wastewater by ozonation." *J. of Color Science and Technology*, 2, 67-75.
13. Daneshvar, N., Kataee, A., Rasoulifard, M.H., and Seyed Dorraji, M. (2007). "Removal of organic dyes from industrial wastewater using UV/H₂O₂, UV/H₂O₂/Fe(II), UV/H₂O₂/Fe(III) processes." *J. Water and Wastewater*, 18-1 (61), 34-42.
14. Maleki, A., and Rezaee, R. (2009). "Toxicity reduction of reactive black 5 and disperse orang 25 by advanced oxidation processes." *J. of Color Science and Technology*, 3, 17-23.
15. Noohi, A., Emtiazjoo, M., and Ordoozadeh, N., (2008). "Decolorization of reactive black by local types separated from Tehran textile factories." *J. of Science and Technology*, 10(1), 19-27.
16. Emami, F., Tehrani-bagha, A.R., and Gharanjig, K. (2010). "Influence of operational parameters on the decolorization of an azo reactive dye (C.I. reactive red120) by fenton process." *J. of Color Science and Technology*, 4, 105-114.
17. Ghanizadeh, G., and Asgari, G., (2009). "Removal of methylene blue dye from synthetic wastewater with bone char." *Iran. J. Health and Environ.*, 2(2), 104-113.
18. Mahvi, A.H., Ghanbarian, M., Naddafi, K., and Mahmoodi, N.M., (2007). "Investigation of the toxicity reduction in reactive dye solution and real textile wastewater by nanophotocatalysis process using daphnia." *J. of Color Science and Technology*, 1, 91-96.
19. Ghaneian, M.T., Ghanizadeh, G., Gholami, M., and Ghaderinasab, F. (2009). "Application of eggshell as a natural sorbent for the removal of reactive red 123 dye from synthetic textile wastewater." *Tabib Shargh*, 11(4), 25-34.
20. Hamdi-Karaoglu, M., Dogan, M., and Alkan, M. (2009). "Removal of cation dyes by kaolinite." *J. of Microporous and Mesoporous Materials*, 122(1-3), 20-27.
21. Rehm, H., and Reed, G. (1999). *Biotechnology*, 2nd Ed., Vol 11a. Wily-VCH; Germany.
22. Nail, R.V., and Gaikwad, R.W. (2001). "Powdered activated carbon assisted biodegradation." *J. of Industrial Pollution Control*, 17(1), 99-106.
23. Frasnson, M. (1999). "Pact system for difficult wastewaters." *Hydrocarbon processing*, 78(12), 8-16.
24. Plattes, M., Henry, E., Schosseler, P., and Weidenhaupt, A. (2009). "Modeling and dynamic simulation of a moving bed bioreactor for the treatment of municipal wastewater." *Biochemical Engineering Journal*, 32(2), 61-68.

25. Lin, Y. (2009). "Kinetics of nitrogen and carbon removal in a moving fixed bed biofilm reactor." *Applied Mathematical Modeling*, 32 (11), 2360-2377.
26. Borghei, S., Sharbatmaleki, M., Pourrezaie, P., and Borghei, G. (2009). "Kinetics of organic removal in fixed-bed aerobic biological reactor." *Bioresource Technology*, 99 (5), 1118-1124.
27. Bajaj, M., Gallert C., and Winter, J. (2008). "Biodegradation of high phenol containing synthetic wastewater by an aerobic fixed bed reactor." *Bioresource Technology*, 99(17), 8367-8381.
28. Jafarzadeh, N. (2000). "Comparison of conventional activated sludge performance and its modified by activated carbon in removal of inhibitor compounds." PhD Thesis, Tehran University, Tehran. (In Persian)
29. Abbasi, Z. (2009). *Survey of produced Mollas from sugar factories as poultry food*, Bulletin of Survey and Research of Iran Sugar Industries, Tehran. (In Persian)
30. Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, H. D. (2003). *Wastewater engineering: Treatment, disposal, reuse*, 4th Ed., Tata McGraw-Hill, New Delhi.
31. Sharbatmalaki, M., and Borghei, S.M. (2005). "Performance of pumice stone as a packing in fixed-bed aerobic bioreactor." *J. of Water and Wastewater*, 16-4 (56), 62-71. (In Persian)
32. Borghei, M., Hassani, A.H., and Sharifi, R. (2010). "Survey of efficiency of biological treatment system with moving bed (MBBR) in textile wastewater treatment." *J. of Science and Technology*, 13(1), 13-26.
33. Farzadkia, M., Rezai Kalantari, R., Moussavi, G.H., Jorfi, S., and Gholami, M. (2009). "Comparison of performance of activated sludge with fixed bed and conventional activated sludge in treatment of industrial effluents containing propylene glycol." *J. of Science and Technology*, 11(2), 98.
34. Mohammadyari, N., and Balador, A. (2008). "Performance of MBBR in the treatment of combined municipal and industrial wastewater a case study: Mashhad sewage treatment plant of Parkandabad." *J. of Water and Wastewater*, 19-1 (65), 38-46. (In Persian)
35. Kavooosi, A., and Borgheei, M. (2005). "The use of light expanded clay aggregates as a biological support in wastewater treatment." *Environmental Sciences*, 8, 29-42.
36. Alizadeh, R., and Borghei, S.M. (2005). "Using of granular activated carbon in biocarbon process for organic matter and dye removal from textile industries effluents." *Chemistry and Iranian Chemistry Engineering Journal*, 25(3), 21-29.