

## بهینه سازی پارامترهای تاثیرگذار محیط روی توانایی حذف استرازول رد جی تی ال توسط گونه های غالب *Bacillus* و *Aeromonas* در یک مطالعه کشت همزمان

فرهاد قادری<sup>۱\*</sup>، امیرحسین سیاح زاده<sup>۲</sup> و مسعود ابراهیمی قادری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> ایران، بابل، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، دانشکده مهندسی عمران، گروه مهندسی محیط زیست

<sup>۲</sup> ایران، ملایر، دانشگاه ملایر، دانشکده مهندسی عمران و معماری، گروه مهندسی عمران

<sup>۳</sup> ایران، سیرجان، دانشگاه صنعتی سیرجان، دانشکده مهندسی عمران

تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۹



### چکیده

استرازول رد جی تی ال یکی از مواد رنگزای شیمیایی است که در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اثرات این ماده، تصفیه فاضلاب حاوی این ماده امری حیاتی است. بر اساس مطالعات پیشین، راکتور با میکروارگانیسم‌های بیوفیلمی معلق یکی از روش‌های کارآمد از نظر اقتصادی است و در زمان ماند کمتری به راندمان حذف مطلوب می‌رسد. در این تحقیق، از دو راکتور استفاده شد که هر یک، استوانه‌ای به حجم ۲/۷۵ لیتر بود که قطر قاعده‌ی آن ۱۰ cm و ارتفاع آن نیز ۳۵ cm بود. دو راکتور به یکدیگر متصل شدند به طوری که در مسیرهای اتصال دو راکتور، دبی در جریان بود و در طی زمان ماند فرآیند، ۵۰ درصد از حجم راکتورها به یکدیگر منتقل می‌شد و برای اولین بار راکتور جدیدی با نام راکتور بیوفیلمی با تغذیه گردشی طراحی و برای رشد میکروارگانیسم‌های کشت ترکیبی شامل *Bacillus* و *Aeromonas* و تصفیه فاضلاب حاوی استرازول رد جی تی ال استفاده شد. در این سیستم، اثر دو متغیر مستقل زمان ماند و غلظت ورودی اولیه آلاینده بر توانایی حذف بررسی شد و تاثیر پارامترهای محیطی در بهینه‌سازی راندمان حذف رنگزای مذکور توسط گونه‌های میکروبی مطالعه گردید. در این تحقیق، مدل‌سازی نتایج بر اساس روش سطح پاسخ انجام گرفت. بر اساس نتایج حاصل، شرایط بهینه بهره‌برداری در زمان ماند ۶ ساعت و ۱۳ دقیقه و غلظت ورودی ۷۴/۷۷ میلی گرم بر لیتر اتفاق می‌افتاد و راندمان حاصل برابر با ۷۳/۷۵ درصد بدست آمد. بر اساس مدل این تحقیق زمان ماند بیشترین تاثیر را بر راندمان حذف این سیستم بیولوژیکی دارد.

واژه های کلیدی: بهینه سازی، *Bacillus*، *Aeromonas*، تجزیه.

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۸۱۴۴۶۰۹، پست الکترونیکی: F.Qaderi@nit.ac.ir

### مقدمه

تن محصول در صنایع نساجی در جهان تولید می‌شود که با یک تحلیل بسیار ساده می‌توان پی برد که سالانه بین ۴ تا ۱۰ میلیارد متر مکعب آب در دنیا توسط این صنعت آلوده می‌شود (۱۲). تخلیه فاضلاب صنعت نساجی بدون تصفیه و به صورت مستقیم به محیط زیست می‌تواند اثرات مخربی روی حوضچه‌های آب طبیعی و زمین‌های اطراف آن ایجاد کند (۱۶). کاهش و یا حذف مواد رنگی از

فاضلاب‌های صنعتی دارای مواد آلاینده سمی و شیمیایی هستند و تصفیه این نوع فاضلاب‌ها به منظور کاهش انتشار این نوع آلاینده‌ها در آب‌ها امری ضروری است (۱۱). از میان صنایع مختلف فاضلاب صنایع نساجی، یکی از آلوده‌ترین پساب‌های صنعتی است (۱۵). به طور کلی تولید یک کیلوگرم پارچه بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ لیتر آب نیاز دارد (۱۱). طبق آمارهای جهانی سالانه حدود ۴۰ تا ۵۰ میلیون

یک موفقیت بزرگ در تصفیه صنایع کاغذ (۹)، کشتارگاه های صنعتی (۱۰)، کارخانه‌های لبنی (۲) به حساب می‌آید. با توجه به پژوهش‌های پیشین؛ در این تحقیق برای اولین بار از ترکیب و اصلاح راکتورهای حاوی میکروارگانیسم-های معلق و بیوفیلمی به صورت راکتور با تغذیه گردشی برای تصفیه فاضلاب رنگی حاوی ماده رنگزای استرازول رد جی‌تی‌ال استفاده شده است و همچنین گونه‌های میکروبی موثر در این تصفیه مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق تاثیر پارامترهای محیطی در بهینه‌سازی راندمان حذف رنگزای مذکور توسط گونه‌های میکروبی مطالعه گردید. مدل سازی نتایج آزمایشگاهی و بهینه‌سازی شرایط بهره برداری از این راکتور مذکور برای رسیدن به بالاترین راندمان، بر اساس روش سطح پاسخ (RSM= Astrazon Red GTL) برای نخستین بار انجام گرفت و با بررسی آماری نتایج و مقایسه آن با پژوهش‌های گذشته، کارایی این سیستم بررسی گردید.

### مواد و روشها

**راکتور با تغذیه گردشی:** راکتور با تغذیه گردشی از دو راکتور حاوی میکروارگانیسم‌های معلق و بیوفیلمی که به طور نوآورانه‌ای به یکدیگر متصل شده‌اند ساخته شد. هر راکتور حاوی میکروارگانیسم‌های معلق و بیوفیلمی، یک استوانه‌ای به حجم ۲/۷۵ لیتر بود که قطر قاعده‌ی آن ۱۰ cm و ارتفاع آن نیز ۳۵ cm بود. درون راکتور، در ارتفاع ۱۰ cm از کف استوانه، با تعبیه‌ی تکیه‌گاه‌هایی، یک صفحه توری نصب گردیده بود تا فضایی جهت استقرار هواده فراهم گردد. در ارتفاع ۳۰ cm از کف استوانه نیز، نشانه‌هایی تعبیه شده بود تا مشخصه‌ی سطح بالای پساب موجود در راکتور باشد. بنابراین ارتفاع موثر راکتور ۳۰ cm و در نتیجه حجم موثر راکتور نیز ۲/۳۵۵ L بود. از قسمت-های راکتور تحقیق، سیستم هواده‌ی بود. در این تحقیق هواده‌ی با نرخ ۳/۳۳ لیتر بر دقیقه به ازای هر لیتر مایع انجام گرفت. ابتدا در این تحقیق، مطابق شکل ۱ راکتورها

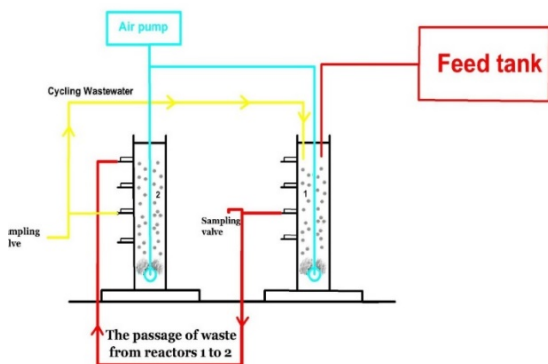
پساب‌های صنایع نساجی هدف اصلی تصفیه این نوع فاضلاب‌ها است (۱۳). از آنجایی که حضور رنگ‌های مصنوعی و آلی پیچیده در پساب خروجی صنایع نساجی بسیار شایع است استانداردهای سخت گیرانه‌ای توسط نهادهای نظارتی اتخاذ شده که کار تصفیه فاضلاب صنایع نساجی را پرهزینه و پیچیده می‌کند (۱۷). یکی از شایع-ترین رنگ‌هایی که در این فاضلاب‌ها به مقیاس زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد رنگ استرازول رد جی‌تی‌ال (Astrazon Red GTL) است. این ماده وزن ملکولی ۴۲۶/۳۴ گرم بر مول دارد و فرمول شیمیایی آن  $C_{19}H_{25}Cl_2N_5O_2$  است.

در روش‌های فیزیکی به دلیل اینکه آلاینده از بین نرفته و فقط از محیطی به محیط دیگر انتقال می‌یابد از نظر محیط زیستی قابل توجه نیست (۷) و ایراد روش‌های شیمیایی؛ هزینه زیاد مواد تصفیه کننده شیمیایی و در برخی موارد، تجزیه ماده اولیه به مواد سمی دیگر است (۱۷). از این رو در این تحقیق از روش بیولوژیکی برای تصفیه فاضلاب رنگی استفاده شد. در روش بیولوژیکی نه تنها رنگ‌های شیمیایی درون پساب از بین می‌رود بلکه از نظر اقتصادی نیز کم هزینه است (۲۳). تصفیه بیولوژیکی به دو صورت هوازی و بی‌هوازی تقسیم می‌شود که در فرایند بی‌هوازی باکتری‌های بی‌هوازی را درون راکتورهای بی‌هوازی قرار داده تا فاضلاب را تصفیه کنند که این روش به دلیل هزینه-ی بالای ساخت راکتور و اجرای سخت آن، قابلیت و منفعت اجرایی ندارد (۱۹).

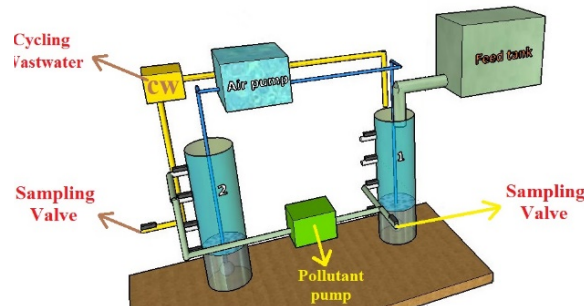
یکی از انواع راکتورهای سیستم هوازی، راکتور میکروارگانیسم‌های با بستر متحرک است. این راکتور دارای آکنه‌های حاوی میکروارگانیسم‌هایی می‌باشد که داخل راکتور شناور هستند. این آکنه‌ها بستری مناسب برای رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها است. در سال‌های اخیر استفاده از این سیستم تصفیه برای فاضلاب‌ها بطور موفقیت آمیزی گسترش یافته است و امروزه این سیستم

در طی زمان ماند فرآیند، ۵۰ درصد از حجم راکتورها به یکدیگر منتقل می‌شد.

به یکدیگر متصل شدند و راکتور با تغذیه گردشی تشکیل شد. لازم به ذکر است که در مسیر بازچرخش فاضلاب و مسیر عبور فاضلاب از راکتور ۱ به ۲ دبی در جریان بود که



(ب)



(الف)

شکل ۱- راکتور بیولوژیکی با تغذیه گردشی: (الف) شکل سه بعدی؛ (ب) شکل شماتیک

غلظت و ترکیب فاضلاب ورودی در دوره سازگاری و در جدول ۱ غلظت فاضلاب ورودی در آزمایشات اصلی ارائه شده است.

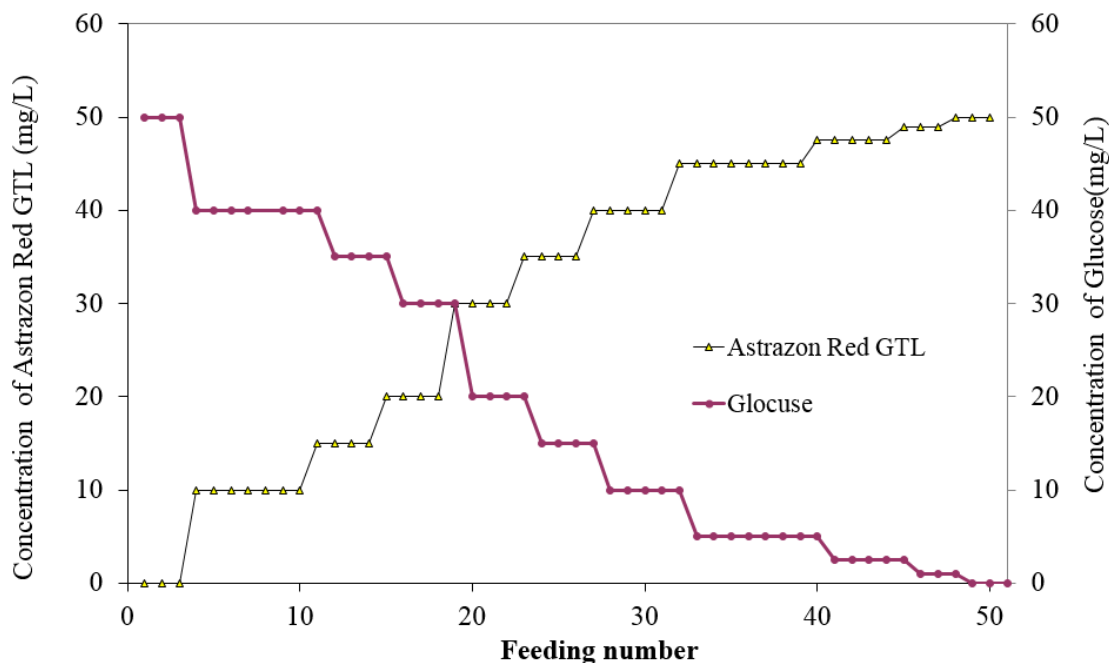
در این تحقیق در مرحله سازگاری ترتیب ترکیبات مواد مغذی ورودی به سیستم از گلوکز و استرازول رد جی تی ال برای خوراک‌دهی استفاده شد و در این دوره زمان ماند برای هر بار غذا دهی برابر با ۷ ساعت و ۴۸ دقیقه بود و هر ترکیب ورودی آنقدر تکرار گردید تا راندمان به حالت پایا برسد. در ابتدای هر دوره به میزان pH به صورت دوره‌ای اندازه‌گیری و در تمام مراحل تحقیق در محدوده ۶/۸-۷/۲ ثابت نگه داشته شد. در این محدوده کارکرد میکروارگانیسم‌ها امکان‌پذیر است (۱). همچنین در طی دوره بهره‌برداری میزان دمای بیوراکتورها در حدود ۲۵-۲۱ درجه سلسیوس قرار داشت. پس از سازگاری میکروارگانیسم‌ها، در آزمایشات اصلی حاصل از RSM (جدول ۱) از استرازول رد جی تی ال به عنوان خوراک اصلی تمامی راکتورها استفاده گردید. در کل دوره تحقیق اوره به عنوان منبع اصلی نیتروژن و ترکیب نمک‌های بافر فسفات  $K_2HPO_4$  و  $KH_2PO_4$  به عنوان منبع فسفر جهت تامین نسبت کربن / نیتروژن / فسفر به سیستم تزریق

**RSM و متغیرهای مستقل و وابسته:** اساس روش RSM، استفاده از روش‌های محاسباتی روی داده‌های آزمایشگاهی است. در این روش برای بهینه‌سازی مدل و توصیف کارکرد سیستم از توابع مختلفی استفاده می‌شود. در این تحقیق، جهت طراحی آزمایشات و نیز تجزیه و تحلیل نتایج حاصله، از نرم‌افزار Design-Expert 7.0.0 استفاده شد. در این تحقیق، دو متغیر مستقل زمان ماند و غلظت اولیه رنگزا مورد بررسی قرار گرفته است و با استفاده از طراحی آزمایش، مقدار بهینه درصد حذف با استفاده از مدل مرتبه دو (Quadratic) تعیین گردید.

**تهیه و سازگار کردن میکروارگانیسم‌ها؛ غلظت و ترکیب فاضلاب ورودی:** به منظور راه‌اندازی پایلوت‌ها از لجن برگشتی حوضچه لجن‌فعال تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهری استفاده شد. حدود ۴۰ درصد از حجم بیوراکتورها توسط لجن غلیظ و مابقی با آب شهری تا حجم موثر پر شد.

بیوراکتورها خوراک با نسبت کربن / نیتروژن / فسفر (C:N:P) برابر ۱:۵:۱۰۰ تزریق می‌شد که کربن آن در دوره سازگاری از گلوکز و استرازول رد جی تی ال (تهیه شده از شرکت الوان ثابت ایران) و در آزمایشات اصلی از استرازول رد جی تی ال تامین می‌گردید (۵). در شکل ۲

می‌شدند.



شکل ۲- غلظت و ترکیب فاضلاب ورودی در هر بار غذا دهی به راکتور در طول دوره سازگارسازی

پس از رسیدن به حالت تعادل، میزان جذب آلاینده بر روی توده بیولوژیکی بررسی گردید. برای ممانعت از تاثیر و تداخل مکانیسم تجزیه بیولوژیکی در حذف ترکیبات نفتی، بشرهای ۱ لیتری حاوی بیومس و فاضلاب، درون لگن‌های حاوی مخلوط آب و یخ قرار داده شد تا دمای فاضلاب به کمتر از  $4^{\circ}\text{C}$  برسد (۱). زیرا در محدوده دمایی کمتر از  $4^{\circ}\text{C}$ ، حتی میکروارگانیسم‌های سایکروفیلیک، نیز علی-رغم زنده بودن فعالیت میکروبی خود را از دست داده و قادر به انجام فرایندهای تجزیه بیولوژیکی نمی‌باشند (۳) و می‌توان این اطمینان را حاصل نمود که با کاهش دمای محیط به کمتر از  $4^{\circ}\text{C}$ ، میکروارگانیسم‌ها از نظر بیولوژیکی غیرفعال شده‌اند. برای تماس و اختلاط کافی بیومس و فاضلاب، از همزن‌های دستگاه جارتست با دور ۱۵ rpm استفاده شد (۱).

لازم به ذکر است که در تمام دوره آزمایشات، مقادیر MLSS و MLVSS ثابت نگه داشته شد.

#### بررسی مکانیسم‌های حذف آلاینده و پارامترهای کنترلی:

به منظور بررسی تاثیر مکانیسم عریان‌سازی بطور مجزا، در مراحل نخست تحقیق، راکتور تحقیق حاوی فاضلاب استرازول رد جی‌تی‌ال بدون حضور آکنه و بیومس، هوادهی گردید و میزان غلظت استرازول رد جی‌تی‌ال در این حالت اندازه‌گیری شد که نتایج حاکی از عدم تغییر غلظت آلاینده بود.

بطور کلی جذب هر آلاینده یا ماده توسط توده بیولوژیکی زمانی می‌تواند به عنوان یک مکانیسم مورد توجه قرار گیرد که لگاریتم ضریب تفکیک اکتانول-آب ( $\log K_{OW}$ ) آن ماده کمتر از ۴ نباشد (۶). از آنجا که لگاریتم ضریب تفکیک اکتانول-آب استرازول رد جی‌تی‌ال بزرگتر از ۴ است (۶) اثر این مکانیسم مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی تاثیر انفرادی مکانیسم جذب توسط توده زیستی نیز فاضلاب نفتی با غلظت معینی از بیومس در بشرهای ۱ لیتری تماس داده شد و با اندازه‌گیری میزان حذف آلاینده

متغیرهای مستقل بررسی گردید که اولین متغیر زمان ماند (در بازه ۲ ساعت و ۱۰ دقیقه تا ۷ ساعت و ۵۰ دقیقه) و دیگری غلظت ورودی اولیه آلاینده (در بازه ۴۷/۲۲ تا ۲۰۲/۷۸ میلی گرم بر لیتر) است. جدول ۱ بیانگر نتایج آزمایشات است. در جدول ۱، ستون اول، زمان ماند و ستون دوم، میزان غلظت آلاینده را در آزمایشات مختلف نشان می‌دهد و در ستون سوم درصد حذف مربوط به هر آزمایش ارائه شده است.

جدول ۱- تغییرات درصد حذف آلاینده در زمان ماند و غلظت‌های

مختلف

شماره آزمایش	زمان ماند (hr)	غلظت اولیه (mg/L)	درصد حذف (%)
۱	۵	۱۲۵	۶۲
۲	۵	۱۲۵	۶۲
۳	۷	۷۰	۸۰
۴	۵	۴۷/۲۲	۸۰
۵	۵	۱۲۵	۶۲
۶	۳	۷۰	۵۷
۷	۵	۱۲۵	۶۲
۸	۲/۱۷	۱۲۵	۴۹
۹	۵	۱۲۵	۶۲
۱۰	۵	۲۰۲/۷۸	۵۴
۱۱	۷	۱۸۰	۵۹
۱۲	۳	۱۸۰	۴۵
۱۳	۷/۸۳	۱۲۵	۷۱

جدول ۱ بیانگر این است که در زمان ماند ۵ ساعت و غلظت ورودی ۴۷/۲۲ میلی گرم بر لیتر، راندمان حذف برابر ۸۰٪ است. برای مدل سازی نتایج، با استفاده از نرم افزار و از روش سطح پاسخ، مدل بهینه استخراج شد.

**اثر زمان ماند و غلظت رنگزای اولیه:** در شکل ۳، اثر همزمان زمان ماند و غلظت زمان ماند اولیه بر درصد حذف ارائه شده است. همانطور که در شکل ۳ مشخص است در زمان ماند ۷ ساعت و غلظت ورودی ۷۰ میلی گرم بر لیتر راندمان حذف ۸۰٪ بدست آمده است و راندمان حذف در این راکتور در زمان ماند ۲ ساعت و ۱۷ دقیقه و در غلظت ورودی ۱۲۵ میلیگرم بر لیتر ۶۲٪ است.

**بررسی میکروسکوپی:** به منظور بررسی میکروارگانیسم‌های موجود در بیوراکتورها نمونه‌های میکروبی تحت بررسی میکروسکوپی قرار گرفت، همچنین کشت میکروبی از میکروارگانیسم‌های موجود در راکتورها انجام گرفت تا گونه‌های مقاوم مشخص گردند. جهت بررسی نوع میکروارگانیسم‌هایی که امکان حضور در راکتور حاوی آلاینده را دارند، پس از مطالعه و مشاوره با متخصصان باکتری‌شناسی، محیط‌کشت نوترینت آگار تهیه گردید. در مرحله کشت بعد از آماده‌سازی و استریل کردن محیط‌کشت، محیط‌کشت مذکور در پلیت‌های استریل تقسیم‌بندی شده و پلیت‌ها در شرایط کاملاً استریل برای مدت ۴ الی ۵ ساعت در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  - یخچال نگهداری گردید تا برای انجام کشت میکروبی آماده گردد. در مرحله بعد بذر میکروبی تکثیر یافته از بیوراکتورها با رقت ۱/۱۰۰، ۱/۲۰۰، ۱/۳۰۰، ۱/۴۰۰، ۱/۵۰۰ رقیق سازی شد. نمونه‌های تکثیر یافته در مرحله اول بعد از رقیق‌سازی، در مقادیر ( $\mu\text{L}$ ) ۲۰، ۱۰، ۵، ۱ بر روی پلیت‌ها به صورت کشت چمنی گسترش داده شده و در دمای  $37^{\circ}\text{C}$  در انکوباتور به مدت ۲۴-۴۸ ساعت قرار گرفتند. هدف از این مرحله رشد و تکثیر انواعی از میکروارگانیسم‌های موجود در بیوراکتورها بود. بعد از پایان انجام دو مرحله کشت میکروبی و خالص‌سازی باکتری‌ها، کلنی‌های رشد یافته بر روی محیط‌کشت علامت‌گذاری گردید و رنگ‌آمیزی با رنگ‌های گرم انجام گرفت.

**مرجع انجام آزمایشات:** تعیین غلظت استراژول رد جی-تی‌ال توسط رسم منحنی کالیبراسیون با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۰ نانومتر صورت گرفت. کلیه آزمایشات انجام شده در این تحقیق، بر اساس دستورالعمل‌های ارائه شده در کتاب روش‌های استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب (۸) انجام گردید.

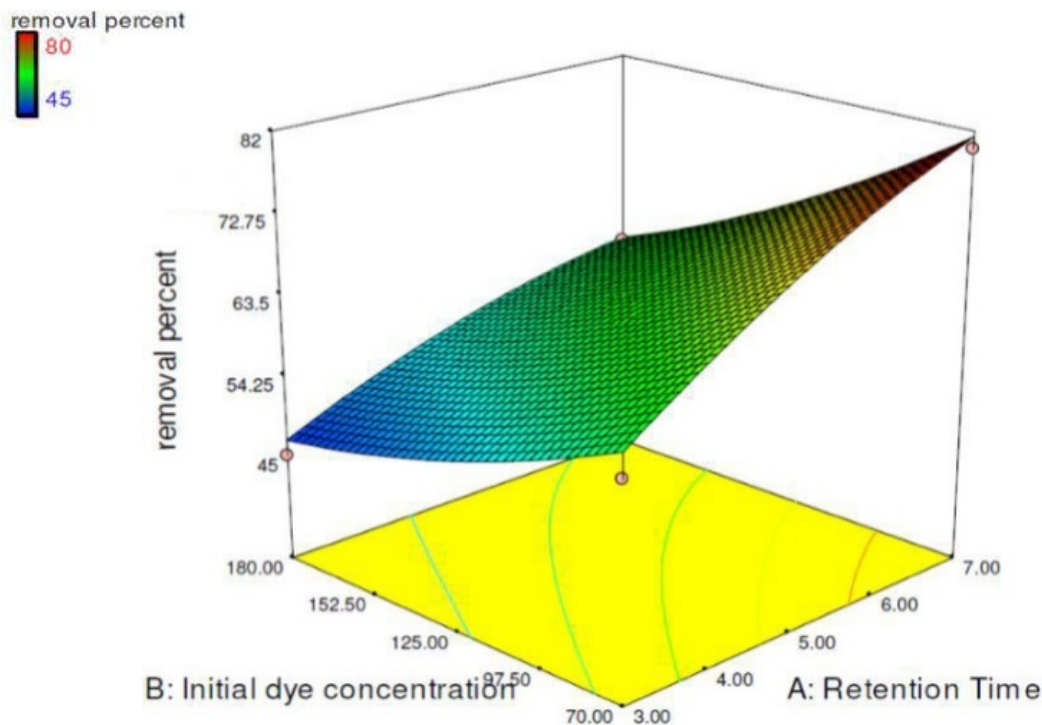
## نتایج و بحث

در این تحقیق اثر دو عامل اصلی بر هر نمونه به عنوان

بستر بیوفیلم نشان داده است که هرچه غلظت ورودی آلاینده به راکتور بیشتر شود، کارایی سیستم کاهش پیدا می‌کند (۲۰). همچنین در مطالعات دیگری روی سیستم تصفیه بیولوژیکی بیوفیلمی با بستر متحرک در تصفیه صنایع نساجی، نتایج حاکی از آن بوده که با افزایش غلظت ورودی آلاینده راندمان حذف به شدت پایین می‌آید (۴).

همانطور که در این شکل مشخص است راندمان حذف آلاینده با میکروارگانیسم‌های این تحقیق، با زمان ماند نسبت مستقیم و با غلظت آلاینده ورودی نسبت عکس دارد.

پژوهش‌های قبلی انجام شده در خصوص حذف آلاینده‌ها به روش بیولوژیکی با استفاده از سنگ پامیس به عنوان



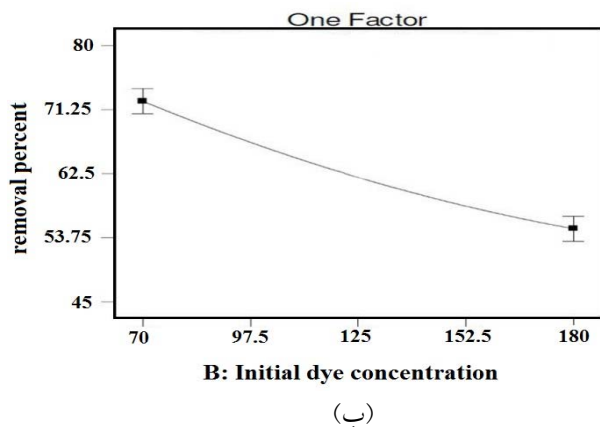
شکل ۳- اثر زمان ماند و غلظت رنگزای اولیه بر راندمان حذف رنگزا

(زمان ماند در محدوده ۳ تا ۷ ساعت و غلظت اولیه رنگزا در محدوده ۷۰ تا ۱۸۰ میلی‌گرم بر لیتر)

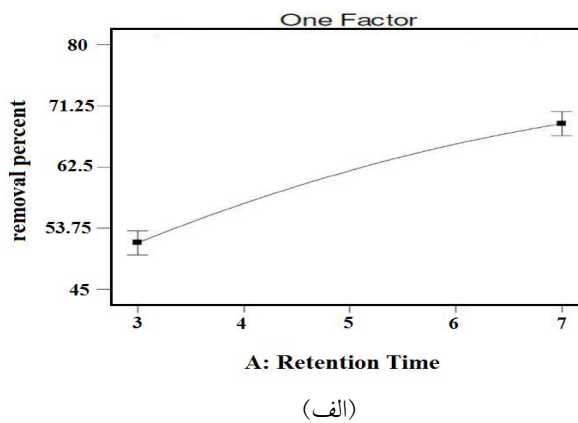
تبدیل مواد آلی و محلول به سلول زنده، نیاز به زمان است، هرچه این زمان بیشتر باشد مدت زمان تماس بین باکتری‌ها و آلاینده و راندمان حذف بیشتر می‌شود در نتیجه ظرفیت جذب بیولوژیکی رابطه مستقیم با زمان ماند دارد. در مطالعات پیشین که در خصوص عملکرد راکتور بیوفیلمی بستر متحرک در تصفیه مخلوط فاضلاب‌های شهری و صنعتی انجام گرفت نشان داده شد که با افزایش زمان ماند، راندمان حذف افزایش یافته است (۱۴).

اثر مجزای هر یک از متغیرهای مستقل: در نمودارهای تک بعدی حاصل از مدل‌سازی، اثرات جداگانه هر یک از دو متغیر مستقل روی درصد حذف بررسی شده است. در شکل ۴-الف)، اثر پارامتر زمان ماند بر درصد حذف آلاینده بر غلظت رنگزای اولیه ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر ارائه شده است. بطوری که هرچه زمان ماند بیشتر می‌شود درصد حذف به طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. بر اساس این شکل، مقدار درصد حذف در زمان ۷ ساعت برابر ۷۱٪ است. به طور کلی در تصفیه به روش بیولوژیکی برای

انجام شده گذشته در واقع درصد حذف با غلظت آلاینده ورودی رابطه‌ی معکوس دارد در بازه‌ی زمانی ۵ ساعت در غلظت ورودی ۱۸۰ میلی‌گرم بر لیتر به کمتر از ۶۰٪ می‌رسد و در غلظت ورودی ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر درصد حذف به بیش از ۷۱٪ می‌رسد؛ می‌توان به این نتیجه رسید که راندمان حذف وابستگی زیادی به غلظت اولیه رنگ دارد (۲۲).



در شکل ۴-ب)، تغییرات غلظت ورودی با درصد حذف آلاینده در مدت زمان ۵ ساعت بررسی شده است. در این نمودار به طور کامل مشخص است که با ۲/۵ برابر شدن غلظت آلاینده درصد کاهش راندمان حدود ۱/۳ برابر کاهش می‌آید با توجه به این که فرایند رنگ‌زدایی با استفاده از تصفیه بیولوژیکی وابسته به باکتری‌ها است معمولاً کارایی آن‌ها برای حذف مواد آلی بستگی به میزان سمیت مواد مغذی موجود در سیستم دارد. طبق مطالعات



شکل ۴- اثر مجزای هر یک از متغیرهای مستقل بر راندمان حذف رنگزا: الف) اثر زمان ماند (در غلظت رنگزای ۲۵ mg/L)؛ ب) اثر غلظت رنگزای اولیه (در زمان ماند ۵ ساعت)

ارائه مدل ریاضی: طبق بررسی‌های انجام شده، مدل ریاضی این راکتور به صورت زیر است:

$$\text{Removal percent} = +45.13989 + 11.34511 \times \text{Retention Time} - 0.19576 \times \text{Initial dye concentration} - 0.020455 \times \text{Retention Time} \times \text{Initial dye concentration} - 0.45312 \times \text{Retention Time}^2 + 5.57851\text{E-}004 \times \text{Initial dye concentration}^2$$

که در رابطه فوق متغیرها عبارتند از:

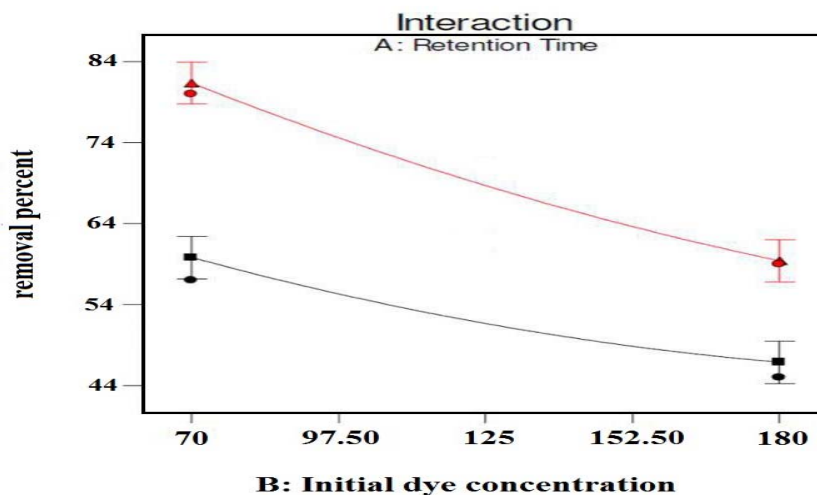
Removal percent = درصد حذف؛

Retention Time = زمان ماند بر حسب ساعت؛

Initial dye concentration = غلظت اولیه استراژول رد جی‌تی‌ال.

همانطور که از این رابطه مشخص است میزان زمان ماند در راندمان حذف آلاینده بیشترین اثر را دارد.

اثر متقابل غلظت ورودی و زمان ماند: در این بخش نمودارهای اثر متقابل متغیرهای مستقل روی تغییرات درصد حذف، ارائه شده است. این تغییرات به صورت هم‌افزایی و یا به صورت اثر معکوس نشان داده می‌شود. در شکل ۵، اثر متقابل غلظت ورودی آلاینده و زمان ماند روی درصد حذف ارائه شده است. طبق شکل ۵ در زمان ماند ۳ ساعت با افزایش مقدار غلظت ورودی، راندمان حذف به شدت کاهش می‌یابد و در زمان ماند ۷ ساعت با افزایش غلظت ورودی به راکتور، درصد حذف کاهش پیدا می‌کند ولی شیب نمودار زمان ماند ۷ ساعت بیشتر از ۳ ساعت است بنابراین این دو متغیر اثر هم‌افزایی دارند.



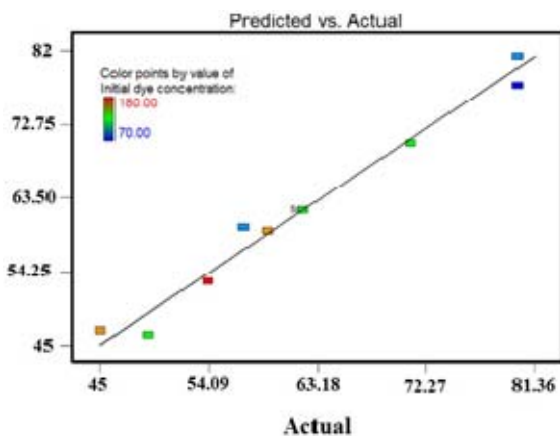
شکل ۵- اثر متقابل زمان ماند و غلظت رنگزای اولیه بر راندمان حذف رنگزا

(غلظت اولیه در محدوده ۷۰ تا ۱۸۰ میلی گرم بر لیتر؛ زمان ماند در دو حالت ۳ و ۷ ساعت)

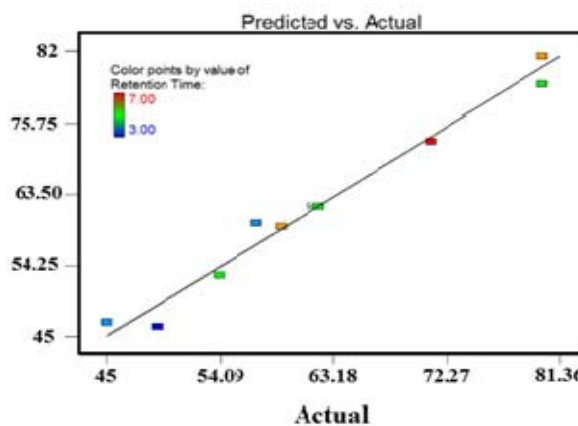
آماري معنی دار است و دو متغیر زمان ماند و غلظت اولیه رنگزا نیز از نظر آماری اثر معنی داری بر راندمان حذف دارند.

بهبینه سازی و اعتبار سنجی: شکل ۶ بیانگر دقت زیاد این پژوهش است. همانطور که مشخص است تمامی نتایج حاصل از آزمایش با مدل سازی انجام شده، همخوانی دارد.

آنالیز واریانس: در تحلیل واریانس، مجموع مربعات هر پارامتر و درجات آزادی و مجموع کل در نظر گرفته می-شود. خروجی تحلیل واریانس، آماره ی فیشر می باشد. بر اساس محاسبات این تحقیق مقدار ارزش p (p-Value) محاسبه شده از آماره فیشر برای مدل، کمتر از ۰/۰۰۰۱ بدست آمد و طبق این داده، مدل ریاضی ارائه شده از نظر



(ب)



(الف)

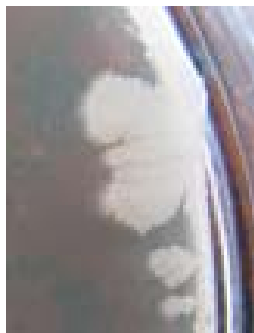
شکل ۶- مقادیر پیش بینی بر حسب مقادیر واقعی راندمان حذف با تغییر، (الف) زمان ماند؛ (ب) غلظت رنگزای اولیه

بهبینه راندمان حذف برابر ۷۳/۷۵ درصد بدست آمد. مقایسه این مدل سازی با نتایج آزمایشگاهی نشان دهنده خطای

در این مطالعه، مقدار بهینه در زمان ماند ۶ ساعت و ۱۳ دقیقه ساعت و غلظت ورودی ۷۴/۷۷ میلی گرم بر لیتر بدست آمد و طبق مدل سازی ریاضی انجام شده، مقدار



میکروارگانیزم‌های موجود شامل *Bacillus* و *Aeromonas* بودند. در شکل ۷-الف) نمونه‌ای از تصاویر زیر میکروسکوپ که با عدسی  $\times 100$ ، بزرگ‌نمایی شده و با دوربین ۵ مگاپیکسل تصویر برداری شده و در شکل ۷-ب) نمونه‌ای از کلنی‌های رشد یافته در کشت ارائه شده است.



(ب)

کمتر از ۵ درصد است که این عدد میزان بالای دقت در این مدل‌سازی را نشان می‌دهد.

**بررسی گونه‌های میکروبی:** بر اساس کشت میکروبی در محیط کشت جامد، رنگ آمیزی گرام و تصاویر تهیه شده، گونه‌های کوکسی و باسیل گرام مثبت و گرام منفی در یک کشت همزمان در محیط وجود داشته و آلاینده رنگی را حذف کرده‌اند. بر اساس آزمایشات انجام شده، نوع غالب



(الف)

شکل ۷- بررسی میکروارگانیزم‌های موجود در راکتور تحقیق

الف) تصاویر زیر میکروسکوپ عدسی  $\times 100$  و با دوربین ۵ مگاپیکسل، ب) نمونه‌ای از کلنی‌های رشد یافته در کشت

نتایج مدل‌سازی بیولوژیکی این ترکیب نشان می‌دهد که حذف این رنگ به زمان ماند بسیار وابسته است و با افزایش زمان ماند و کاهش غلظت رنگ، راندمان حذف افزایش می‌یابد. در این تحقیق مشخص شد سیستم پیشنهادی "راکتور با تغذیه گردشی"، توانایی بالایی در حذف استرازول رد جی‌تی‌ال دارد و می‌تواند برای بقیه آلاینده‌ها در محیط آبی نیز مطالعه و استفاده شود.

### جمع بندی

در این پژوهش تصفیه رنگ استرازول رد جی‌تی‌ال که در پساب صنایع نساجی به طور قابل ملاحظه‌ای وجود دارد مورد بررسی قرار گرفت. در سیستم جدید این تحقیق با نام "راکتور با تغذیه گردشی"، میکروارگانیزم‌های *Bacillus* و *Aeromonas* میکروارگانیزم‌های غالب بودند و بهترین راندمان حذف ۸۰ درصد، در زمان ماند ۵ ساعت و غلظت ۴۷/۲۲ میلی‌گرم بر لیتر از آلاینده بدست آمد.

### منابع

پایان نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی محیط‌زیست دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس.

- 2- Andreottola G., Foladori P., Ragazzi M. 2002. Dairy wastewater treatment in a moving bed biofilm reactor. *Journal Of Water Science and Technology*, 45(2), 321-328.
- 3- Bitton, G. 2005. *Wastewater microbiology*, Third Edition, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 746 p. Chapter 3.

۱- نایی گاوگانی ر. ۱۳۹۰. حذف رنگ‌های اسیدی توسط فرایند تلفیقی نانوذرات  $TiO_2$  تثبیت شده بر بستر بتن و فرایند بیولوژیکی.

- 4- Borghei M., Hassani A.H., 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.
- 5- Borghei S.M., Hosseini S.H. 2004. The treatment of phenolic wastewater using a moving bed

- biofilm peactor. *Journal of Process Biochemistry*, Vol.39, pp.1177-1181.
- 6- Eckenfelder W.W. 1926. *Industrial water pollution control*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 400 p.
  - 7- Fakhru'razi A., pendashte A., Abdullah C.L., AwangBiak D.R., Madaeni S.S., Abidin Z. Z. 2009. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 170, 530-551.
  - 8- Greenberg A.E., Clesceri L.S., Eaton A.D. 2000. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th Edition, American Public Health, Washington.
  - 9- Jahren S.J., Rintala J.A., Odegaard H. 2002. Aerobic moving bed biofilm reactor treating thermomechanical Pulping whitewater under thermophilic conditions. *Journal of Water Research*, 36(4), 1067-1075.
  - 10- Johnson C.H., Page M. W., Blaha L., 2000. Full scale moving bed biofilm reactor results from refinery and slaughter house treatment facilities. *Journal of Water Science and Technology*, 41(4-5), 401-407.
  - 11- Kaushik, P., Malik, A., 2009. Fungal dye decolourisation, recent advances and futurepotential. 35, 127-141.
  - 12- Lackey L.W., Mines R.O., McCreanor P.T. 2006. Ozonation of acid yellow 17 dye in a semi-batch bubble column, *Journal of Hazardous Materials*, 138, 357-362.
  - 13- Maleki A., and Rezaee R. 2009. Toxicity reduction of reactive black 5 and disperse orange 25 by advanced oxidation processes. *J. of Color Science and Technology*, 3, 17-23.
  - 14- 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, 19-1 (65), 38-46.
  - 15- Prigione V., Tigini V., Pezzella C., Anastasi A., Sannia G., Varese G.C. 2008. Decolourization and detoxification of textile effluents by fungal biosorption. *Water Res.* 42, 2911-2920.
  - 16- Ranganathan K., Karunagaran K., Sharma D.C. 2007. Recycling of wastewaters of textile dyeing industries using advanced treatment technology and cost analysis—Case studies. *Resources, Conservation and Recycling*, 50, 306-318.
  - 17- Rafatullah M., Sulaiman O., Hashim R., Ahmad A. 2010. Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review, *Journal of Hazardous Materials*, 177, 70-80.
  - 18- Robinson T., McMullan G., Marchant R., Nigam P. 2001. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 77, 247-255.
  - 19- Shaolan Ding., Zhengkun Li., Wangrui k. 2010. Overview of dyeing wastewater treatment technology. *Water resources protection*, 26, 73-78.
  - 20- 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.
  - 21- 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.
  - 22- Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel H. D. 2003. *Wastewater engineering: Treatment, disposal, reuse*, 4th Ed., Tata McGraw-Hill, New Delhi.
  - 23- Zitomer D.H., Tonuk G.U. 2003. Propylene Glycol Deicer Biodegradation Kinetics: Anaerobic Complete-Mix Stirred Tank Reactors, Filter, and Fluidized Bed. *Journal of Environmental Engineering*, 129, 123-129.

## Optimization of effective environmental parameters on Astrazon Red GTL removal by dominant species *Bacillus* and *Aeromonas*: in a concurrent culture study

Qaderi F.<sup>1</sup>, Sayahzadeh A. H.<sup>2</sup> and Ebrahimi Ghadi M.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Environmental Engineering Dept., Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, I.R. of Iran

<sup>2</sup> Civil Engineering Dept., Faculty of Civil & Architecture Engineering, Malayer University, Malayer, I.R. of Iran

<sup>3</sup> Faculty of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, I.R. of Iran

### Abstract

Astrazon Red GTL is one of chemical dyes that vastly used in various industries. According to effects of this dye, treatment of wastewater containing Astrazon Red GTL is vital. According to previous researches, suspended microorganisms reactor is one of economically methods. suspended biofilm microorganisms reactor can reach to optimal efficiency in suitable retention time. In this research, for the first time, two cylindrical reactor was used and a new reactor was designed and called as “circulating feed biofilm reactor”. Every of these cylindrical reactors had 2.75 liter volume, 10 cm area and 35 cm height. In this research “circulating feed biofilm reactor” was used for growing of mixed culture microorganism containing *Bacillus* and *Aeromonas*. This reactor was used for treatment of Astrazon Red GTL wastewater. In “circulating feed reactor”, two independent variables including retention time and input concentration of pollutant were measured and the effect of each variable were studied on the removal of dye. Following that, modeling and determining the optimum conditions for operating the FB/FFMBBR was carried out based on Response Surface Methodology (RSM). The results showed that the optimum condition occurred at retention time of 6.21 h and input dye concentration of 74.77 mg/l. Based on this research, retention time has the greatest impact on the removal efficacy of this biological system.

**Key words:** Optimization, *Bacillus*, *Aeromonas*, Removal.