



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

بررسی کارایی تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی متعارف و بافل‌دار در حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸

هادی انتظاری زارچ، محمد جواد ذوقی*، محمدرضا دوستی، سمیه رحمانی
گروه عمران، پردیس مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

| اطلاعات مقاله: | چکیده |
|--|---|
| تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۲۰ | زمینه و هدف: رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ متعلق به رنگ مونو آزو است که به‌طور گسترده‌ای در صنایع نساجی کشور استفاده می‌شود. میزان سمیت رنگ‌های راکتیو در مقایسه با دیگر رنگ‌ها بیشتر است و موجب عواملی مانند تحریک، سرطان و جهش در انسان می‌شوند. هدف کلی این تحقیق، تعیین کارایی سیستم پایلوت تالاب مصنوعی با جریان افقی زیرسطحی متعارف و بافل‌دار جهت حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ است. |
| تاریخ ویرایش: ۹۹/۰۳/۱۱ | روش بررسی: به منظور حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ تعداد دو سلول به‌صورت موازی به ابعاد $2 \times 5 \times 0.6$ m ساخته شد. در سلول متعارف و بافل‌دار از نی بومی <i>Phragmites australis</i> استفاده شده است. در روند تحقیق، غلظت COD و رنگ راکتیو بررسی و اثر زمان ماند و گیاه در میزان راندمان بررسی شده است. |
| تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۱۷ | یافته‌ها: نتایج حاصل شده نشان داد که حداکثر راندمان حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸، در غلظت آلاینده ورودی 100 mg/L و زمان ماند $3/5$ روز به‌دست آمده که مربوط به سلول بافل‌دار است. همچنین وجود بافل در سیستم تالاب مصنوعی باعث افزایش راندمان حذف می‌شود. وجود گیاه نی در هر دو سلول با راندمان حذف رابطه مستقیم دارد. زمان ماند در سلول متعارف موثرتر از سلول بافل‌دار، در راندمان حذف عمل کرد. همچنین غلظت ورودی آلاینده با راندمان حذف رابطه معکوس داشت. |
| تاریخ انتشار: ۹۹/۰۳/۳۱ | نتیجه‌گیری: مطابق با نتایج، تالاب مصنوعی زیر سطحی افقی بافل‌دار و متعارف می‌توانند در غلظت و زمان ماند پایین به‌عنوان سیستمی با عملکرد مناسب در حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ به‌کار برده شوند. |
| واژگان کلیدی: رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸، تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی متعارف، تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی بافل‌دار، گیاه نی | پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mj.zoqi@birjand.ac.ir |

مقدمه

در سال‌های اخیر همزمان با گسترش شهرنشینی، توسعه فناوری و صنعتی شدن جوامع بشری، مصرف آب و در نتیجه تولید فاضلاب گسترش یافته است. فاضلاب‌ها با توجه به منبع تولید به انواع مختلفی شامل فاضلاب شهری، فاضلاب صنعتی و فاضلاب کشاورزی تقسیم می‌شوند. فاضلاب‌های صنعتی یکی از منابع مهم آلاینده‌های محیط‌زیست هستند، به طوری که گاهی غلظت COD و BOD₅ در آنها به ده‌ها هزار میلی گرم بر لیتر می‌رسد (۱). در میان تمام پساب‌های صنعتی، فاضلاب تولید شده توسط صنعت نساجی یکی از آلوده‌ترین پساب‌ها، با در نظر گرفتن دو مشکل اساسی یعنی حجم بالای پساب و ترکیب آن هستند (۲). مشخصه اصلی پساب صنایع نساجی وجود رنگ در پساب خروجی آنها است. رنگ‌ها به‌طور گسترده‌ای در صنایع نساجی، لاستیک، کاغذ، چرم و لوازم آرایشی استفاده می‌شوند. بنابراین یکی از اجزای مهم در پساب این صنایع، رنگ‌ها هستند (۳). رنگ‌ها به طور قابل توجهی بر روی گیاهان و گونه‌های آبی اثر می‌گذارند. تخلیه رنگ‌ها در محیط‌زیست باعث افزایش نیاز اکسیژن آب شده و برای موجودات آبی سمی هستند (۴). رنگ‌ها بر حسب ساختار شیمیایی به دسته‌های مختلف آزو، آنتراکتیون، زانتین، آلریدین، فلاوین، فتان سیانین و غیره و از لحاظ کاربردی به دسته‌های راکتیو، اسیدی، مستقیم، خمی، دیسپرس و غیره تقسیم‌بندی می‌شوند (۵). میزان سمیت رنگ‌های راکتیو در مقایسه با دیگر رنگ‌ها بیشتر است. رنگ‌های راکتیو باعث عواملی مانند تحریک، سرطان و جهش در انسان می‌شوند. رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ از جمله رنگ‌های آنیونی و متعلق به رنگ مونو آزو، دارای دو گروه عاملی محکم در مقایسه با سایر رنگ‌های راکتیو است. رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ به‌طور گسترده‌ای در صنایع نساجی کشور استفاده می‌گردد (۶، ۷). روش‌های مختلفی برای تصفیه صنایع رنگی وجود دارد که شامل روش‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و

یا روش‌های تلفیقی است. روش‌های متداول حذف رنگ از فاضلاب (روش فیزیکی و شیمیایی) در صنایع نساجی به دلیل هزینه زیاد و مسائل مربوط به دفن به‌طور گسترده استفاده نمی‌شوند. همچنین این سیستم‌ها با مشکلات احتمالی در راهبری مثل ایجاد بو، لجن اضافی و بالا آمدن لجن رو به رو هستند (۸). لذا ترکیبی از سیستم‌های فناوری پیشرفته برای تصفیه فاضلاب نامناسب به نظر می‌رسند، زیرا اغلب از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیستند. از این‌رو، به جای سیستم‌های تصفیه سنتی و پرهزینه، نیاز به توسعه روش‌های مناسب، ارزان و سریع تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از فاضلاب وجود دارد (۹). در مقایسه با سیستم‌های تصفیه مرسوم، تالاب مصنوعی، دارای سیستمی با توانایی بالا از نظر حذف آلاینده‌ها بوده و از دیگر مزایای آن هزینه کم انرژی و هزینه‌های نگهداری است. تالاب‌های مصنوعی از پتانسیل بالایی برای استفاده در کشورهای در حال توسعه برخوردار است که در آن ترکیبی از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مشابه آنچه در فرایندهای طبیعی رخ می‌دهد، انجام می‌شود (۱۰-۱۲). سیستم تالاب مصنوعی حوضچه‌ای طراحی شده طبق ضوابط مهندسی است که به منظور بهره بردن از عوامل طبیعی شامل گیاهان، خاک (ماده بستر) و جمعیت میکروارگانیسم‌ها در تصفیه فاضلاب، طراحی و ساخته می‌شود (۱۳). در نتیجه برهم کنش این عوامل، فاضلاب به واسطه فرایندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تصفیه می‌شود. این سیستم در جهت بهره‌گیری از مزیت‌های فرایندهای طبیعی که در تالاب‌های طبیعی رخ می‌دهد با محیطی کنترل شده طراحی می‌شود (۱۴، ۱۵). فناوری تصفیه فاضلاب به وسیله سیستم تالاب مصنوعی در آلمان براساس تحقیقات سیدل در دهه ۱۹۶۰ میلادی و رینهولد در دهه ۱۹۷۰ میلادی شروع شد. تاکنون مطالعات آزمایشگاهی زیادی در زمینه استفاده از سیستم تالاب مصنوعی در ایران و جهان مانند بررسی توانایی سیستم

مواد و روش‌ها

- ساخت پایلوت

پس از شناسایی و تعیین محل مناسب، در تحقیق حاضر از دو پایلوت متعارف و بافل‌دار با جنس شیشه به ضخامت ۱۰ mm و ابعاد طول سلول ۲۰۰ cm، عرض برابر با ۵۰ cm و عمق آن برابر با ۶۰ cm استفاده شده است. مساحت سطحی هر سلول برابر با ۱۰۰۰ cm² بوده و شیب صفر درصد در کف بستر در نظر گرفته شد. ورودی پایلوت‌ها در عمق ۳۰ cm از کف و خروجی پایلوت در عمق ۶۰ cm از کف تعبیه شده است. در سلول بافل‌دار تعداد ۵ بافل به ارتفاع ۴۵ cm به صورت مساوی در پایلوت قرار داده شد. اطراف ورودی، خروجی و محل تخلیه فاضلاب از سنگ دانه‌های درشت‌تر استفاده گردید. این امر به منظور ایجاد فضایی مناسب جهت تعبیه لوله‌های ورودی و خروجی جریان و امکان توزیع و جمع‌آوری یکنواخت جریان بدون مشکل گرفتگی انجام گرفته است. فضای باقیمانده بستر سلول با استفاده از ماسه مخصوص (۲-۳ cm) در سیستم تا ارتفاع ۶۰ cm پر شد. به منظور رفع آلودگی‌ها و گرد و غبار، ماسه مورد نظر قبل از استفاده در سیستم به خوبی آبشویی شد. با توجه به ابعاد و مواد بستر به کار رفته، سلول‌ها تقریباً ظرفیتی برابر با ۲۴۰ L فاضلاب دارند. تصویر پایلوت‌های استفاده شده در تحقیق حاضر در شکل ۱ نشان داده شده است.

- کاشت گیاه و تغذیه سیستم

گیاه *Phragmites australis* از نیزار موجود در مسیل فصلی منطقه شمس‌آباد بیرجند در فاصله ۲۰ km از سیستم پایلوت جمع‌آوری شد. تمام گیاهان دارای ارتفاع و ویژگی‌های تقریباً یکسان در میزان و طول ریشه‌ها، برگ و ساقه بودند. متوسط ارتفاع بافت روستحی گیاه در سلول حدود ۴۰ cm بود. گیاهان پس از انتقال به محل پایلوت به خوبی شسته شده و گل و لای چسبیده به بافت‌های زیرسطحی آنها برای جلوگیری از مشکل گرفتگی بستر

تالاب مصنوعی در تصفیه پساب شهری (۱۶)، بررسی اثر پوشش‌های گیاهی متنوع بر راندمان حذف COD و نیترات (۱۷)، پژوهش بر روی توانایی سیستم تالاب مصنوعی جهت تصفیه فاضلاب خانگی (۱۸، ۱۹) و بررسی اثر ماده بستر بر راندمان حذف COD (۲۰) انجام گرفته است. Haghshenas-Adarmanabadi و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی کارایی تالاب‌های مصنوعی زیرسطحی هیبریدی در کاهش بار آلی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری با استفاده از گیاهان آبیزی مختلف پرداختند. نتایج حاصل از ۱۲ ماه نمونه برداری از خروجی تالاب‌های مطالعه نشان داد که نوع پوشش گیاهی از نظر آماری اثر معنی‌داری را بر حذف مواد آلی در تالاب‌های مصنوعی ندارد، هرچند که مقدار حذف مواد آلی در تالاب‌های دارای پوشش گیاهی بیشتر از تالاب شاهد بود. همچنین راندمان حذف COD در تالاب‌های مختلف مطالعه بین ۷۷ تا ۸۳ درصد و مقدار حذف BOD₅ بین ۸۴ تا ۸۶ درصد بود (۲۱). در مطالعه‌ای که توسط Tee و همکاران در سال ۲۰۱۵ بر روی تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی بافل‌دار و متعارف صورت گرفت، نشان داده شد که هر چه HRT بیشتر باشد حذف رنگ با راندمان بهتری انجام خواهد گرفت. در این مطالعه HRT در مدت ۲، ۳ و ۵ روز در نظر گرفته شد، راندمان حذف رنگ اسید اورنج ۷ در تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی بافل‌دار و متعارف به ترتیب برابر ۶۹، ۸۸ و ۱۰۰ درصد و ۳۰، ۴۶ و ۷۳ درصد مشاهده شد (۲۲). Hussein و همکار در سال ۲۰۱۷ به بررسی حذف رنگ AB۱۱۳ بوسیله تالاب مصنوعی زیرسطحی عمودی پرداختند. نتایج نشان داد که در مدت زمان ۲ و ۴ روز، راندمان حذف از ۵۰ به ۷۱ درصد افزایش یافت (۲۳). در تحقیق حاضر کارایی سیستم تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی افقی بافل‌دار و متعارف در تصفیه رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ بررسی شده است. همچنین اثرگذاری عواملی شامل نوع سیستم، زمان ماند، غلظت و راندمان حذف سیستم مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱- تصویر پایلوت‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر

بارگذاری پیوسته، فاضلاب مصنوعی که شامل ترکیباتی از قبیل رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ با فرمول مولکولی $C_{27}H_{18}ClN_7Na_4O_{15}S_5$ ، شکر و آب است با توجه به مدت زمان و دبی ورودی به صورت پیوسته و مداوم در داخل هر بستر پر می‌شود و به طور کامل در هر دوره نمونه‌برداری خالی و شستشو می‌شود و آزمایشات بعدی به همین صورت انجام می‌گیرد. در طی آزمایش، هر دو تالاب مصنوعی با فاضلاب مصنوعی تغذیه شدند. تعداد نمونه‌ها بیست و دو نمونه بوده که یازده نمونه مربوط به سیستم متعارف و یازده نمونه دیگر مربوط به سیستم بافل‌دار بوده است. با توجه به تزریق رنگ، و ایجاد غلظت‌های مورد نظر، با توجه به حجم آب استفاده شده در بسترها که L ۲۴۰ است، ابتدا مقدار g ۲ از رنگ را در L ۲۰ آب ابتدا تزریق کرده تا غلظت ۰/۱ g/L ایجاد شود، سپس محلول به دست آمده را به باقیمانده آب اضافه کرده تا غلظت‌های مدنظر ایجاد گردد. این عمل به منظور حصول اطمینان از انحلال بهتر و ساده آلاینده است. نمونه‌های پساب دو بستر همیشه در یک روز و یک زمان برداشت شده است. میزان جذب و COD خروجی هر نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر مدل UV۲۱۰۰ اندازه‌گیری شده است.

و عدم ایجاد آلودگی ناخواسته در آزمایشات، به خوبی پاکسازی شد. گیاه به صورت نشاکاری در سیستم مورد نظر کاشته و با آب شهری تغذیه شد. تراکم در نظر گرفته شده برای گیاه در بستر سلول تعداد ۶ گیاه در طول و ۲ گیاه در عرض تالاب (تعداد ۶ گیاه در هر مترمربع) صورت پذیرفت. پس از کاشت گیاهان، تمام سلول‌ها به صورت یکسان در چند مرحله تغذیه شد. در مرحله اول، به منظور رشد و گسترش ریشه و ریزوم گیاه و استحکام گیاه در بستر و سازگاری گیاه با شرایط، سیستم‌ها به مدت ۱۶ هفته با آب آزمایشگاه در محل تغذیه شدند. در طی این مرحله، علاوه بر رشد گیاه و سازگاری آن با شرایط محیطی، میکروارگانیسم‌ها در سیستم‌ها رشد یافته و بر روی سطوح شن و ماسه بستر و سیستم ریشه و ریزوم گیاه چسبیده تا سیستم آماده بهره‌برداری و آنالیز شود. تغذیه سیستم‌ها به صورت ناپیوسته بود. در طی این مراحل، نمونه‌گیری و آنالیز در سیستم‌ها انجام نشد.

– عملکرد سیستم و روش نمونه‌گیری و آزمایشات

نحوه بارگذاری سیستم به صورت پیوسته است. عملکرد سیستم در زمان‌های ماند مختلف سنجیده شد. در حالت

از فرایندهای مختلف به کار می‌رود (۲۴)، که در پژوهش حاضر از روش سطح پاسخ CCD استفاده شده است. در پژوهش حاضر متغیرهای عددی در نظر گرفته شده شامل غلظت و زمان ماند است که به ترتیب در بازه‌های mg/L ۴۰۰-۱۰۰ و ۵-۲ روز هستند. متغیر قیاسی در نظر گرفته شده نیز تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی بافل‌دار و متعارف هستند، که متغیرهای مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است. با قرار دادن متغیرها در داخل نرم‌افزار، طراحی آزمایشات انجام می‌شود که در راستای اجرای اهداف پژوهش، بیست و دو آزمایش توسط نرم‌افزار طراحی شد. شرایط آزمایشگاهی برای سلول بافل‌دار و متعارف برابر بوده و به همین علت، آزمایشات دو سلول به‌طور همزمان انجام گرفته است. اطلاعات مربوط به آزمایشات انجام شده در جدول ۲ نشان داده شده است.

همچنین پارامترهایی شامل pH و دما به صورت روزانه در محل سیستم پایلوت اندازه‌گیری شد. تمامی آزمایشات براساس روش‌های ذکر شده در کتاب روش‌های استاندارد انجام شده است (۲۵). راندمان حذف آلودگی‌ها براساس غلظت ورودی و خروجی طبق معادله ۱ تعیین گردیده است.

$$RE (\%) = [(C_{in} - C_{out}) / C_{in}] \times 100 \% \quad (1)$$

با توجه به شرایط منطقه‌ای، تغییرات فصول یک دلیل اصلی است که بر عملکرد سیستم تاثیرگذار است. با این حال، با توجه به منطقه و اقلیم بیرجند که شامل اقلیم سرد و خشک است و با توجه به اینکه فرایند ساخت تالاب‌های مصنوعی در ماه فروردین و کاشت گیاهان در ماه تیر بوده است و رشد کافی آنها تا مهر ماه به طول انجامیده و نمونه‌گیری تقریباً در ۴۵ روز انجام شده، بنابراین شرایط محیطی تغییراتی را در نتایج ایجاد نکرده و می‌توان این‌گونه بیان کرد که به دلیل عدم تغییر فصل در مدت نمونه‌گیری، نتایج حاصله قابل اطمینان از جهت عدم تاثیر تغییر فصول بر آنها، هستند.

- تجزیه و تحلیل داده‌ها

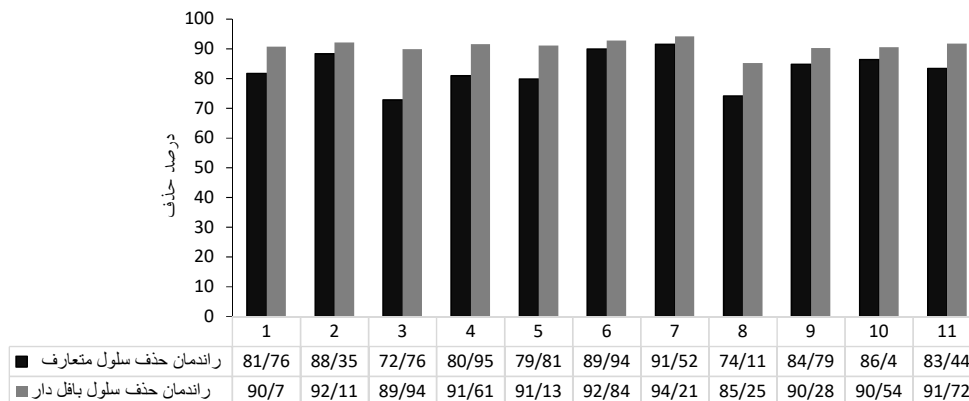
طراحی آزمایش‌ها، به معنی تعیین تعداد آزمایش‌ها و متغیرهای مورد بررسی در هر آزمایش است. بنابراین یکی از اهداف اصلی طراحی آزمایش‌ها انتخاب بهینه‌ترین حالات آزمایشی است که با استفاده از آن بتوان فرایند را به بهترین نحو بررسی کرد و در عین حال تعداد آزمایش‌ها توجیه‌پذیر باشد. در پژوهش حاضر از نرم‌افزار Design Expert ۷ برای انجام طراحی آزمایش استفاده شده است. یکی از روش‌های طراحی آزمایشات در نرم‌افزار ذکر شده، روش سطح پاسخ است. روش سطح پاسخ مجموعه‌ای از روش‌های ریاضی و آماری است که در بهینه‌سازی بسیاری

جدول ۱- متغیرهای تعریف شده و گستره تعیین شده در نرم‌افزار Design Expert

| متغیرها | واحد | نماد | سطح هر فاکتور | | | |
|------------|------|-----------|---------------|------|-----|-----|
| | | | +۱ | -۱ | +α | -α |
| غلظت | mg/L | A: c | ۳۲۵ | ۱۷۵ | ۴۰۰ | ۱۰۰ |
| زمان | روز | B: t | ۴/۲۵ | ۲/۷۵ | ۵ | ۲ |
| نوع راکتور | - | C: Ractor | ۰ | | ۱ | |

جدول ۲- اطلاعات مربوط به آزمایشات انجام شده

| شماره آزمایشات | غلظت ورودی آلاینده (mg/L) | زمان ماند (روز) | pH ورودی | تاریخ شروع نمونه برداری | ساعت شروع نمونه برداری | دمای محل (°C) | دمای ورودی آلاینده (°C) | تاریخ پایان نمونه برداری | ساعت پایان نمونه برداری |
|----------------|---------------------------|-----------------|----------|-------------------------|------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| ۱ | ۱۷۵ | ۲/۷۵ | ۷/۸ | ۹۷/۷/۲۶ | ۱۶/۳۰ | ۲۰ | ۲۰ | ۹۷/۷/۲۹ | ۱۰/۳۰ |
| ۲ | ۱۷۵ | ۴/۲۵ | ۷/۸ | ۹۷/۸/۳۰ | ۱۱ | ۲۰ | ۱۹ | ۹۷/۸/۴ | ۱۷ |
| ۳ | ۳۲۵ | ۲/۷۵ | ۷/۵ | ۹۷/۸/۵ | ۱۴ | ۱۹ | ۱۹ | ۹۷/۸/۸ | ۸ |
| ۴ | ۳۲۵ | ۴/۲۵ | ۷/۵ | ۹۷/۸/۹ | ۱۱ | ۲۰ | ۲۰ | ۹۷/۸/۱۳ | ۱۷ |
| ۵ | ۲۵۰ | ۲ | ۷/۴ | ۹۷/۸/۱۴ | ۱۱ | ۱۸ | ۱۸ | ۹۷/۸/۱۶ | ۱۱ |
| ۶ | ۲۵۰ | ۵ | ۷/۴ | ۹۷/۸/۱۷ | ۱۱ | ۲۲ | ۲۱ | ۹۷/۸/۲۲ | ۱۱ |
| ۷ | ۱۰۰ | ۳/۵ | ۷/۶ | ۹۷/۸/۲۳ | ۱۰ | ۲۲ | ۲۱ | ۹۷/۸/۲۶ | ۲۲ |
| ۸ | ۴۰۰ | ۳/۵ | ۷/۵ | ۹۷/۸/۲۷ | ۱۲ | ۲۰ | ۲۰ | ۹۷/۸/۳۰ | ۲۴ |
| ۹ | ۲۵۰ | ۳/۵ | ۷/۴ | ۹۷/۸/۳۰ | ۱۲ | ۲۰ | ۲۰ | ۹۷/۹/۳ | ۲۴ |
| ۱۰ | ۲۵۰ | ۳/۵ | ۷/۴ | ۹۷/۹/۴ | ۱۲ | ۱۹ | ۱۸ | ۹۷/۹/۷ | ۲۴ |
| ۱۱ | ۲۵۰ | ۳/۵ | ۷/۴ | ۹۷/۹/۸ | ۱۲ | ۱۹ | ۱۸ | ۹۷/۹/۱۱ | ۲۴ |



نمودار ۱- راندمان حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در سلول متعارف و بافل دار

یافته‌ها

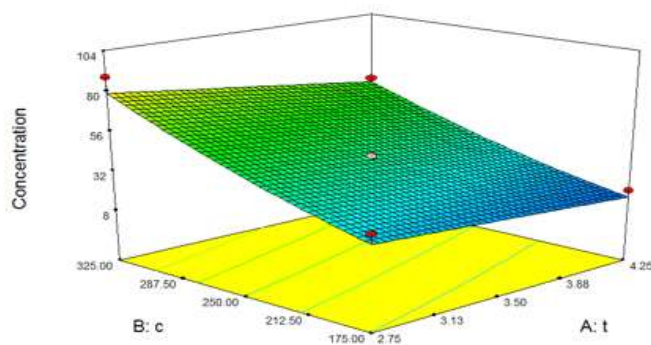
- پارامترهای فاضلاب

پارامترهایی شامل دما و pH فاضلاب ورودی به سیستم به صورت روزانه در محل پایلوت اندازه‌گیری شد. طبق نتایج به‌دست آمده، pH فاضلاب ورودی به سیستم در محدوده ۷/۴-۷/۸ با میانگین ۷/۵ بوده و میانگین دمای فاضلاب ورودی به سیستم پایلوت ۱۹ °C بوده است.

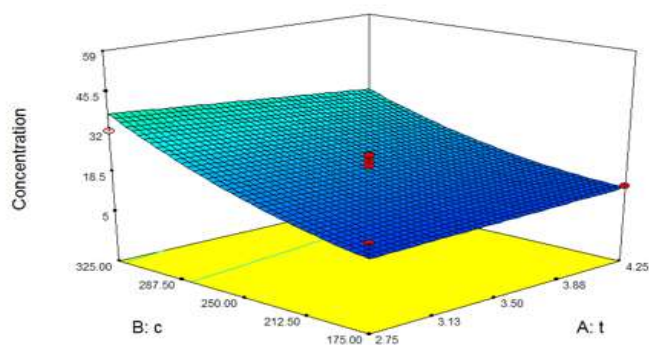
- عملکرد سیستم در حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸

به منظور بررسی و کارایی عملکرد سیستم در مورد حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ و بهینه‌سازی آن، از شرایط تغییرات

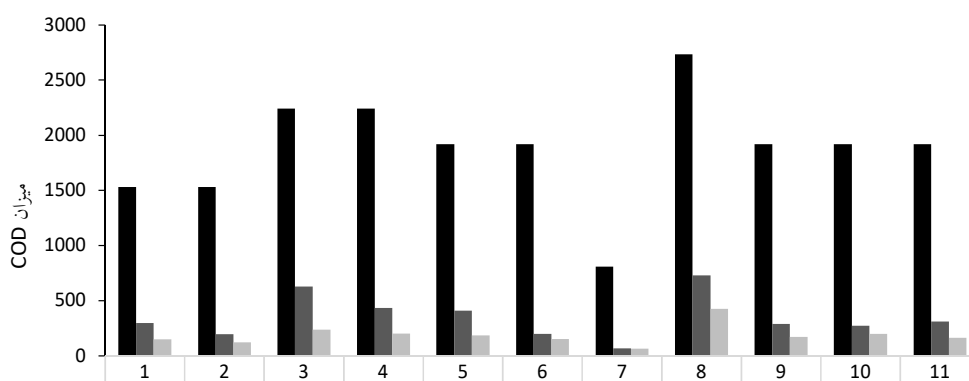
غلظت آلاینده ورودی، زمان ماند و همچنین از سیستم متعارف و بافل دار استفاده گردید. تغییرات غلظت و زمان ماند به ترتیب در بازه ۴۰۰-۱۰۰ و ۵-۲ روز بود. بازه غلظت با توجه به پساب کارخانه نساجی در یزد در نظر گرفته شد. میزان COD کارخانه نساجی ۱۶۰۰ mg/L بوده است. راندمان حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در سلول متعارف و بافل دار در نمودار ۱ نشان داده شده است. همچنین نمودار سه بعدی غلظت خروجی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در سلول متعارف و بافل دار براساس غلظت ورودی و زمان ماند به ترتیب در نمودار ۲ و نمودار ۳ قابل مشاهده است.



نمودار ۲- نمودار سه بعدی نمایش دهنده تاثیر همزمان غلظت و زمان بر غلظت خروجی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در سلول متعارف



نمودار ۳- نمودار سه بعدی نمایش دهنده تاثیر همزمان غلظت و زمان بر غلظت خروجی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در سلول بافل دار



| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| ■ ورودی COD | 1530/75 | 1530/75 | 2240/75 | 2240/75 | 1920/75 | 1920/75 | 808/25 | 2735/75 | 1920/75 | 1920/75 | 1920/75 |
| ■ خروجی متعارف COD | 298/25 | 195/75 | 628/25 | 433/25 | 410/75 | 198/25 | 68/25 | 728/25 | 290/75 | 270/75 | 310/75 |
| ■ خروجی بافل دار | 150/75 | 123/25 | 238/25 | 200/75 | 183/25 | 153/25 | 65/75 | 425/75 | 170/75 | 198/25 | 163/25 |

نمودار ۴- COD ورودی و خروجی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در سلول متعارف و بافل دار

عملکرد سیستم در حذف COD

یکی از آلودگی‌های شاخص فاضلاب، COD است. مقدار غلظت COD ورودی به کل سیستم در کل دوره تحقیق در بازه $2735/75$ - $808/25$ mg/L قرار داشت. نمودار تغییرات COD ورودی و خروجی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ در سلول متعارف و بافل‌دار در نمودار ۴ نشان داده شده است.

بهینه‌سازی COD و غلظت خروجی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ - یکی از اهداف در تحقیق حاضر، بهینه‌سازی پاسخ‌ها

یعنی حذف همزمان COD و غلظت خروجی رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ است. شرایط بهینه‌سازی به این صورت بوده که COD و غلظت خروجی رنگ تا حد امکان کاهش داده شود. شرایط مورد نظر برای بهینه‌سازی در جدول ۳ نشان داده شده است.

شرایط بهینه اعلام شده توسط نرم‌افزار در حالات مختلف در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳- شرایط مورد نظر برای بهینه‌سازی

| پارامتر | هدف | حد پایین | حد بالا |
|-------------------|-----------|----------|---------|
| زمان ماند (روز) | در محدوده | ۲/۷۵ | ۴/۲۵ |
| غلظت ورودی (mg/L) | در محدوده | ۱۷۵ | ۳۲۵ |
| COD (mg/L) | مینیمم | ۶۵/۷۵ | ۷۲۸/۲۵ |
| غلظت خروجی (mg/L) | مینیمم | ۵/۷۹ | ۱۰۳/۵۶ |

جدول ۴- شرایط بهینه طراحی شده توسط نرم‌افزار

| شماره آزمایشات | غلظت ورودی (mg/L) | زمان ماند (روز) | نوع راکتور | COD (mg/L) | غلظت خروجی (mg/L) | میزان مطلوبیت |
|----------------|-------------------|-----------------|------------|------------|-------------------|---------------|
| ۱ | ۱۷۵ | ۲/۷۵ | داربافل | ۱۱۰/۳۶۲ | ۱۱/۱۸۶۶ | ۰/۹۴۰ |
| ۲ | ۱۷۵ | ۲/۸۰ | داربافل | ۱۱۰/۶۹۹ | ۱۱/۲۷۵۷ | ۰/۹۳۹ |
| ۳ | ۱۷۵ | ۳/۸۴ | داربافل | ۱۱۳/۸۸۳ | ۱۲/۶۸۸۲ | ۰/۹۲۷ |
| ۴ | ۱۷۵ | ۳/۸۶ | داربافل | ۱۱۳/۹۳۹ | ۱۲/۷۱۲ | ۰/۹۲۷ |
| ۵ | ۱۷۵ | ۴/۱۳ | داربافل | ۱۱۴/۸۳۵ | ۱۳/۰۹۴۱ | ۰/۹۲۴ |
| ۶ | ۱۷۵ | ۴/۱۵ | داربافل | ۱۱۴/۸۸۲ | ۱۳/۱۱۴ | ۰/۹۲۴ |
| ۷ | ۱۷۵ | ۴/۲۵ | متعارف | ۱۴۱/۸۶ | ۱۶/۳۰۷۲ | ۰/۸۸۹ |
| ۸ | ۱۷۵ | ۴/۲۴ | متعارف | ۱۴۲/۵۳۷ | ۱۶/۳۸۰۹ | ۰/۸۸۹ |
| ۹ | ۱۷۵ | ۴/۰۲ | متعارف | ۱۵۶/۶۸۱ | ۱۷/۹۱۷۹ | ۰/۸۸۹ |

بحث

- عملکرد سیستم در حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸

همانطور که نتایج نشان می‌دهد وجود بافل بر راندمان حذف تاثیرگذار بوده و با راندمان حذف رابطه مستقیم دارد. در مطالعه‌ای دیگر که بر روی سیستم متعارف و بافل‌دار صورت گرفته نیز نشان داده شده که راندمان حذف رنگ در سیستم بافل‌دار بیشتر بوده است (۲۶). با توجه به نمودار سه بعدی نتایج مربوط به سلول متعارف نشان می‌دهد که هر چقدر غلظت ورودی کاهش و زمان ماند افزایش یابد غلظت خروجی رنگ کاهش یافته است. همچنین غلظت تاثیر بیشتری نسبت به زمان ماند روی کاهش غلظت رنگ دارد. به طور مثال در غلظت ورودی ۱۰۰ و ۴۰۰ mg/L و زمان ماند ثابت ۳/۵ روز، غلظت خروجی رنگ به ترتیب ۸/۴۸ و ۹۱/۵۶ mg/L شد که راندمان حذف به ترتیب ۹۱/۵۲ و ۷۴/۱۱ درصد بود و در غلظت ثابت ۱۷۵ mg/L در زمان ماند ۲/۷۵ و ۴/۲۵ روز، غلظت خروجی رنگ به ترتیب ۳۱/۹۲ و ۲۰/۳۸ mg/L شد که راندمان حذف از ۸۱/۷۶ درصد به ۸۸/۳۵ درصد افزایش یافت. نتایج سلول بافل‌دار در حذف غلظت خروجی نشان می‌دهد با افزایش غلظت ورودی میزان غلظت در خروجی به شدت افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه درصدی از حذف رنگ در راکتورها از طریق فرایند جذب است، لذا با افزایش غلظت رنگ ورودی، ظرفیت رنگ کاملاً اشباع می‌شود، بنابراین غلظت خروجی افزایش می‌یابد. زمان ماند تاثیر ناچیزی در غلظت خروجی رنگ داشت. به طور مثال در غلظت ورودی ۱۰۰ و ۴۰۰ mg/L و زمان ماند ثابت ۳/۵ روز، غلظت خروجی رنگ به ترتیب ۵/۷۹ و ۵۹ mg/L شد که راندمان حذف ۹۴/۲۱ و ۸۵/۲۵ درصد شد. همچنین در غلظت ثابت ۱۷۵ mg/L و زمان ماند ۲/۷۵ و ۴/۲۵ روز، غلظت خروجی رنگ به ترتیب ۱۶/۲۷ و ۹۲/۱۱ mg/L شد که راندمان حذف ۹۰/۷۰ و ۹۲/۱۱ درصد شده است.

- عملکرد سیستم در حذف COD

نتایج نشان داد که میانگین راندمان حذف در سلول متعارف و بافل‌دار به ترتیب برابر با ۸۲/۶۰ و ۹۰/۵ درصد است که سلول بافل‌دار درصد حذف بهتری نسبت به سلول متعارف داشته است. همچنین سلول بافل‌دار در کاهش COD در غلظت‌های بالا بهتر از سلول متعارف عمل نموده است. با توجه به مطالعات انجام گرفته مقدار حذف مواد آلی به میزان تجزیه‌پذیری آنها بستگی دارد. در مجموع سیستم تالاب مصنوعی در حذف مواد آلی و جامدات دارای راندمان بالایی بوده و قادر به دستیابی به استانداردهای زیست محیطی ایران است (۲۷).

- بهینه‌سازی COD و غلظت خروجی رنگ راکتیو

قرمز ۱۹۸

در خصوص شرایط بهینه در جدول ۴ پارامتر جدیدی به نام میزان مطلوبیت معرفی شده است. میزان مطلوبیت بدین معناست که مقدار پاسخ در شرایط مذکور تا چه میزان به بیشینه پاسخ در همان شرایط نزدیک است. هر چه میزان مطلوبیت به یک نزدیک‌تر باشد مناسب‌تر است. با توجه به اینکه با کاهش زمان ماند، میزان نیاز زمین برای تالاب کاهش می‌یابد بنابراین گزینه ۱ (دارای کمترین زمان ماند) اولویت اول انتخاب است.

نتیجه‌گیری

تالاب‌های مصنوعی، سیستم‌های انسان ساختی هستند که از یک زیست بوم خشک قدیمی، عمدتاً به منظور حذف آلاینده‌ها از پساب به منظور کنترل آلودگی، کنترل و بازیافت پساب‌ها و مدیریت فاضلاب‌ها، توسعه چشم اندازهای اکولوژیکی و غیره ایجاد می‌شوند. نتایج این تحقیق حاکی از راندمان بالای سیستم بافل‌دار و متعارف در حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ است که سلول‌های متعارف و بافل‌دار، غلظت پارامتر COD را کاهش دادند به طوری که اکثراً غلظت را به کمتر از غلظت مجاز استاندارد تخلیه

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه با عنوان "بررسی کارایی تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی بافل‌دار در حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۷ است که با حمایت دانشگاه بیرجند اجرا شده است.

پساب ایران رساننده و سلول بافل‌دار عملکرد بهتری نسبت به سلول متعارف در کاهش غلظت COD و حذف رنگ داشت. گیاه نی بومی مورد استفاده در مطالعه حاضر سازگاری خوبی با سیستم متعارف و بافل‌دار داشت و در طی فصول تابستان و پاییز رشد مناسبی از خود نشان داده و حضور این گیاه در سیستم بر راندمان حذف غلظت رنگ تاثیرگذار بوده است. همچنین تغییر دو عامل غلظت ورودی آلاینده و زمان ماند در سیستم بر راندمان حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ تاثیرگذار بودند بطوری که تغییرات غلظت آلاینده ورودی، با راندمان حذف نسبت معکوس و زمان ماند و وجود گیاه، با راندمان حذف رابطه مستقیم داشته است.

References

- Merouani S, Hamdaoui O, Saoudi F, Chiha M. Sonochemical degradation of Rhodamine B in aqueous phase: effects of additives. *Chemical Engineering Journal*. 2010;158(3):550-57.
- Yagub MT, Sen TK, Afroze S, Ang HM. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review. *Advances in colloid and interface science*. 2014;209:172-84.
- Anil Kumar M, Vinoth Kumar V, Ponnusamy R, Paul Daniel F, Seenuvasan M, Anuradha D, et al. Concomitant mineralization and detoxification of acid red 88 by an indigenous acclimated mixed culture. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 2015;34(5):1455-66.
- Mittal A, Mittal J, Malviya A, Gupta V. Removal and recovery of Chrysoidine Y from aqueous solutions by waste materials. *Journal of colloid and interface science*. 2010;344(2):497-507.
- Tan KA, Morad N, Teng TT, Norli I, Panneerselvam P. Removal of cationic dye by magnetic nanoparticle (Fe₃O₄) impregnated onto activated maize cob powder and kinetic study of dye waste adsorption. *AP-CBEE Procedia*. 2012;1:83-89.
- Vidhyadevi T, Murugesan A, Kalaivani S, Anil Kumar M, Thiruvankada Ravi K, Ravikumar L, et al. Optimization of the process parameters for the removal of reactive yellow dye by the low cost *Setaria verticillata* carbon using response surface methodology: thermodynamic, kinetic, and equilibrium studies. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 2014;33(3):855-65.
- Pasand L, Ayati B. Study of reactive blue 171 dye degradation in hybrid system of UV/H₂O₂ & SBAR. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2013;6(3):393-406.
- Carneiro PA, Umbuzeiro GA, Oliveira DP, Zanoni MVB. Assessment of water contamination caused by a mutagenic textile effluent/dyehouse effluent bearing disperse dyes. *Journal of hazardous materials*. 2010;174(1-3):694-99.
- Gupta VK, Ali I, Saleh TA, Nayak A, Agarwal S. Chemical treatment technologies for wastewater recycling—an overview. *Rsc Advances*. 2012;2(16):6380-88.
- Al-Baldawi IAW, Abdullah SRS, Hasan HA, Suja F, Anuar N, Mushrifah I. Optimized conditions for phytoremediation of diesel by *Scirpus grossus* in horizontal subsurface flow constructed wetlands (HSF-CWs) using response surface methodology. *Journal of environmental management*. 2014;140:152-59.
- Vymazal J. Constructed wetland for treatment of industrial wastewater. *Ecological Engineering*. 2014;73:724-51.
- Sani A, Scholz M, Bouillon L. Seasonal assess-

- ment of experimental vertical-flow constructed wetlands treating domestic wastewater. *Bioresource technology*. 2013;147:585-96.
13. Vymazal J. Constructed wetlands for wastewater. *Water*. 2010;2(3):530-49.
 14. Reed SC. Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment: a technology assessment. National Small Flows Clearinghouse, West Virginia University; 1993.
 15. Marchand L, Mench M, Jacob D, Otte M. Metal and metalloid removal in constructed wetlands, with emphasis on the importance of plants and standardized measurements: a review. *Environmental pollution*. 2010;158(12):3447-61.
 16. Meng P, Pei H, Hu W, Shao Y, Li Z. How to increase microbial degradation in constructed wetlands: influencing factors and improvement measures. *Bioresource technology*. 2014;157:316-26.
 17. Yang Y, Zhao Y, Liu R, Morgan D. Global development of various emerged substrates utilized in constructed wetlands. *Bioresource technology*. 2018;261:441-52.
 18. Ghosh D, Gopal B. Effect of hydraulic retention time on the treatment of secondary effluent in a subsurface flow constructed wetland. *Ecological Engineering*. 2010;36(8):1044-51.
 19. Almuktar SA, Abed SN, Scholz M. Recycling of domestic wastewater treated by vertical-flow wetlands for irrigation of two consecutive *Capsicum annuum* generations. *Ecological Engineering*. 2017;107:82-98.
 20. Yousefi Z, Mohseni-Bandpei A. Nitrogen and phosphorus removal from wastewater by subsurface wetlands planted with *Iris pseudacorus*. *Ecological Engineering*. 2010;36(6):777-82.
 21. Haghshenas-Adarmanabadi A, Heidarpour M, Tarkesh-Esfahani S. Evaluation of horizontal-vertical subsurface hybrid constructed wetlands for tertiary treatment of conventional treatment facilities effluents in developing countries. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2016;227(1):28.
 22. Tee H-C, Lim P-E, Seng C-E, Nawi MAM, Adnan R. Enhancement of azo dye Acid Orange 7 removal in newly developed horizontal subsurface-flow constructed wetland. *Journal of environmental management*. 2015;147:349-55.
 23. Hussein A, Scholz M. Dye wastewater treatment by vertical-flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*. 2017;101:28-38.
 24. Antony J. Design of experiments for engineers and scientists: Elsevier; 2014.
 25. Association APH, Association AWW, Federation WPC, Federation WE. Standard methods for the examination of water and wastewater: American Public Health Association.; 2005.
 26. Dong H, Qiang Z, Li T, Jin H, Chen W. Effect of artificial aeration on the performance of vertical-flow constructed wetland treating heavily polluted river water. *Journal of Environmental Sciences*. 2012;24(4):596-601.
 27. Ehrampoush M, D Shahi H, Ebrahimi A, Ghaneian M, Lotfi M, Ghelmani S, et al. Evaluation of the efficiency of sub-surface constructed wetland methods in wastewater treatment in Yazd city in 2011. *Toloo-behdasht*. 2013;12(1):33-43.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Evaluation of the performance of conventional and baffled horizontal subsurface constructed wetland in the removal of Reactive Red 198

Hadi Entezari Zarch, Mohamad Javad Zoqi*, Mohamad Reza Doosti, Somayeh Rahmani
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 10 March 2020

Revised: 31 May 2020

Accepted: 6 June 2020

Published: 20 June 2020

Keywords: Reactive Red 198, Conventional horizontal subsurface constructed wetland, Baffled horizontal constructed wetland, Straw

***Corresponding Author:**

mj.zoqi@birjand.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Reactive Red 198 is a mono azo dye widely used in the textile industry of Iran. The toxicity of reactive dyes is higher than other dyes and causes disorders such as irritation, cancer and mutation in humans. The overall objective of this study was to determine the efficiency of a Constructed Wetland pilot system with conventional and baffled horizontal subsurface flow to remove Reactive Red 198.

Materials and Methods: In order to remove Reactive Red 198, two cells were constructed in parallel with $2 \times 0.6 \times 0.5$ m. In the conventional and baffled cell, native straw of *Phragmites australis* was used. In the research process, COD concentration and reactive dye concentration were investigated. The effect of retention time and type of plant on the efficiency were also investigated.

Results: The results showed that the maximum removal efficiency of the Reactive Red dye 198 was obtained at 100 mg/L inlet pollutant concentration and 3.5 days retention time, which was related to the baffled cells. Also, the presence of the baffles in the constructed wetland system increased the removal efficiency. The presence of straw in both cells was directly affected the removal efficiency. The effect of the retention time in the conventional cell was more effective in removal efficiency than the baffled cell. The pollutant inlet concentration was also inversely correlated with the removal efficiency.

Conclusion: According to the results, it can be concluded that the baffled and conventional horizontal subsurface constructed wetland can be used for low concentrations and at low retention time as a well-functioning system in the removal of Reactive Red 198.