

بررسی کاربرد فرآیند میسلر اولترافیلتراسیون پیشرفته در حذف رنگ راکتیو بلک ۵ از محلول‌های آبی

علی جعفری^۱، فاطمه احمدی^{۲*}

۱- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران.
۲- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران.

یافته / دوره بیست و یکم / شماره ۲ / تابستان ۹۸ / مسلسل ۸۰

چکیده

دریافت مقاله: ۹۸/۱/۲۸ پذیرش مقاله: ۹۸/۴/۱

مقدمه: امروزه سنتز و کاربرد گسترده رنگ‌های مصنوعی باعث نگرانی در بخش محیط‌زیست و سلامت شده است. هدف از این مطالعه بررسی کاربرد فرآیند میسلر اولترافیلتراسیون پیشرفته در حذف رنگ راکتیو بلک ۵ از محلول‌های آبی بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، از ستیل تریمتیل آمونیوم برومید به عنوان سورفاکتانت کاتیونی، غشاء اولترافیلتراسیون پلی آکریلونیتریل (۲۰ کیلو دالتون) در رژیم جریان منقطع استفاده گردید. برای درک بهتر تأثیر متغیرهای عملیاتی و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد فرآیند، روش سطح پاسخ مورد استفاده قرار گرفت. سه پارامتر مستقل شامل pH (۴، ۷ و ۱۰)، نسبت اولیه سورفاکتانت به رنگ (۵، ۱۰ و ۱۵) و فشار اعمالی (۲، ۳/۵ و ۵ بار) استفاده شد.

یافته‌ها: آنالیز آماری واریانس (ANOVA) نشان داد حذف رنگ عمدتاً تحت تأثیر نسبت سورفاکتانت به رنگ است که از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد ($p\text{-value} < 0/05$) همچنین جریان تحت تأثیر فشار اعمالی قرار می‌گیرد، در حالی که pH و نسبت سورفاکتانت به رنگ تأثیر کمتری بر جریان دارند. در حالت بهینه (pH برابر ۷، فشار پایین ۲ بار) و نسبت سورفاکتانت به رنگ ۱۲/۵ حدود ۱۰۰٪ از رنگ را می‌توان حذف کرد. ضریب تعیین ($R^2 > 0/9$) تایید نمود که روش سطح پاسخ یک روش مناسب برای بهینه‌سازی متغیرهای اصلی حذف رنگ توسط فرآیند میسلر اولترافیلتراسیون پیشرفته می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان داد که میسلر اولترافیلتراسیون پیشرفته با استفاده از CTAB (Cetyltrimethylammoniumbromide) در شرایط عملیاتی بهینه می‌تواند به طور مؤثر رنگ راکتیو بلک ۵ را حذف نماید. واژه‌های کلیدی: رنگ، غشاء، اولترافیلتراسیون پیشرفته.

*آدرس مکاتبه: خرم‌آباد، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، دانشکده بهداشت و تغذیه.

پست الکترونیک: f.ahmadi8899@gmail.com

مقدمه

تولید زیاد رنگ‌های مصنوعی و کاربرد وسیع آن‌ها در صنایع مختلف مانند نساجی، صنایع غذایی، محصولات آرایشی و کاغذسازی باعث ورود رنگ به منابع آب می‌شود. اثرات نامطلوب مربوط به رنگ در محیط‌های آبی، از طریق زنجیره غذای آبزیان و سیستم‌های تامین آب به انسان می‌رسد. رنگ‌های آزو خواص مختلف دارند، اثرات سوء رنگ‌های مصنوعی بر محیط‌زیست و موجودات تا حدودی موردبررسی قرار گرفته و اثرات بالقوه آن‌ها مانند سمیت، سرطان‌زایی و یا جهش‌زایی گزارش شده است (۱).

رنگ‌های مورد استفاده در صنایع نساجی بسته به نوع الیافی که رنگ می‌شود متفاوت است و می‌تواند به شکل‌های معمول اسیدی، راکتیو، دیسپرس، مستقیم، کاتیونیک (بازی)، آزوئیک، خمی و سولفور باشد (۲). رنگ راکتیو دارای ترکیبات سولفات و خاصیت هیدروفیلیک، دارای وزن مولکولی بالا و حلقه آروماتیک می‌باشد (۳). صنایعی از قبیل چرم‌سازی، کاغذسازی، منسوجات، داروسازی، غذایی و آرایشی فاضلابی که حاوی انواع رنگدانه‌های مصنوعی است به محیط آبی تخلیه می‌کنند. از جمله این رنگ‌ها، رنگ راکتیو بلک ۵ است. رنگ راکتیو بلک ۵ از گروه رنگ‌های کلاس دی آزو می‌باشد که این رنگ تا حد زیادی جایگزین رنگ‌های مستقیم و وات شده است و بیش‌ترین مصرف را در ایالات متحده، تایلند، ترکیه و ایران دارد و کشور هند نیز از تولیدکنندگان اصلی این رنگ است (۴).

رنگ‌های راکتیو، رنگ‌های قابل حل آنیونی در محلول‌های بازی هستند و معمولاً برای رنگ‌ریزی الیاف سلولزی بکار می‌روند. هنگامی که مولکول‌های رنگ راکتیو به درون الیاف نفوذ می‌کنند، به علت قابلیت حل آن‌ها، مولکول‌ها با گروه‌های هیدروکسیل (OH^-) روی سلولز واکنش می‌دهند و پیوندهای دوگانه‌ای تشکیل می‌دهند (۵). رنگ‌های راکتیو به‌طور متوسط مصرف آن‌ها ۲۰-۳۰٪

از کل رنگ‌های تجاری را به خود اختصاص داده‌اند که بیشتر آن‌ها در صنعت نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد به دلیل ویژگی‌های مطلوبی مانند شفافیت، کاربرد ساده، حلالیت بالا در آب و مصرف کم انرژی به‌طور وسیعی در صنایع استفاده می‌شوند. رنگ راکتیو دارای ترکیبات سولفات و خاصیت هیدروفیلیک، دارای وزن مولکولی بالا و حلقه آروماتیک می‌باشد (۳).

رنگ‌ها حتی در غلظت کم نیز بر زندگی آبزیان و زنجیره‌ی غذایی اثر می‌گذارند. گذشته از آلاینده بودن رنگ‌ها، وجود رنگ در آب‌ها به‌طور طبیعی قابل اعتراض می‌باشد و به دلایل زیبایی‌شناسی غیرقابل قبول است. حذف رنگ از فاضلاب اغلب مهم‌تر از مواد آلی بی‌رنگ است که معمولاً تولید بار BOD اصلی را می‌کنند (۶). اخیراً رنگ‌زدایی از پساب‌های نساجی نه‌تنها به علت سمیت بلکه به خاطر اثرات فیزیولوژیکی که بر افراد می‌گذارد موردتوجه است. آلودگی بصری با مسائل مربوط به سمیت وخیم‌تر نمی‌شود بلکه خود به عنوان مسئله‌ای جدی در کیفیت آب مطرح است. قبول کردن رودخانه‌هایی با رنگ قرمز یا قهوه‌ای آسان نیست (۷).

بنابراین با توجه به اثرات مخرب و سوء این دسته از رنگ‌ها حذف آن‌ها از محیط آبی ضروری می‌باشد. روش‌های مختلفی از جمله انعقاد و لخته‌سازی (۸)، الکتروکواگولاسیون (۹)، اکسیداسیون (۱۰)، جذب (۱۱) و جداسازی با استفاده از غشاها (۱۲) به منظور حذف رنگ‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. از میان روش‌های ذکر شده، فرآیند غشایی به دلیل برخی مزایا نسبت به سایر روش‌ها بیشتر مورد توجه می‌باشد. فناوری غشایی می‌تواند به‌طور همزمان رنگ‌ها را تغلیظ کرده و جدا نماید و همچنین آب را برای استفاده مجدد در صنعت، بازیابی کند. علاوه بر این، از مزایای غشاء و فرآیندهای غشایی می‌توان به عدم نیاز به مواد شیمیایی، عدم تولید لجن بدون هیچ تغییری در ساختار شیمیایی رنگ اشاره کرد. با این وجود، مشکلات

فرآیندهای غشایی مانند هزینه نسبتاً بالای غشاء و نیاز به تمیز کردن مداوم، کاربرد آن‌ها را برای اهداف تصفیه آب محدود کرده است (۱۳). رنگ‌ها با توجه به حلالیت بالایشان، می‌توانند به‌طور عمده توسط نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس جداسازی یا عبور داده شوند.

در سال‌های اخیر بعضی از روش‌ها مانند اصلاح ساختار غشاها، تلفیق فرآیندهای دیگر با فناوری غشاء به منظور افزایش حذف رنگ‌ها استفاده شده‌اند (۱۴). برای این منظور، میسلر اولترافیلتراسیون پیشرفته (MEUF) فرآیندی است که توانایی جداسازی و حذف اجزای آنیونی و کاتیونی در آب و فاضلاب از جمله فلزات سنگین (۱۵)، ترکیبات فنلی (۱۶) و رنگ‌ها (۱۷) را نشان داده است. MEUF فرآیندی است که ساختارهای بزرگ‌تری (تعریف شده به عنوان میسل) از مونومر را با افزودن یک عامل فعال کننده سطحی (سورفاکتانت) در غلظت بیشتر از غلظت بحرانی میسل (CMC) ایجاد می‌نماید. بر این اساس، میسل‌های تشکیل شده می‌توانند آلاینده‌های باردار شده را در طرف مقابل میسل به وسیله نیروهای الکترواستاتیکی جذب کنند و در نتیجه می‌توانند توسط یک غشاء متخلخل بزرگ مانند اولترافیلتراسیون حذف شوند. فرآیند MEUF عمدتاً تحت تأثیر ویژگی‌های غشاء، خواص رنگ، وضعیت راه اندازی تجربی پارامترهای عملیاتی قرار می‌گیرد. مدل آماری سطح پاسخ برای بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرد. با به کار گیری این مدل آماری، امکان محاسبه روابط و تأثیرگذاری پارامترها بر روی همدیگر در طی فرآیند آزمایش با تعداد آزمایش‌های کمتری امکان پذیر است. مدل سطح - پاسخ (RSM)، مجموعه‌ای از روش‌های ریاضی و آماری برای مدل‌سازی و آنالیز با استفاده از چندین متغیر دخیل در هر فرآیند است که به‌طور سودمندی باعث بهینه‌سازی فرآیند می‌شود. RSM، شاخه مهمی از طراحی آزمایش‌ها است که روش شناسی مهمی در توسعه روش‌های جدید، بهینه‌سازی

کارایی فرآیند و بهبود طراحی و فرمولاسیون محصولات است (۱۸). این مطالعه با هدف بررسی پارامترهای بهره‌برداری فرآیند MEUF به منظور حذف رنگ راکتیو بلک ۵ با استفاده از روش RSM برای درک بهتر این فرآیند انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع تجربی می‌باشد که در مقیاس آزمایشگاهی در آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشگاه علوم پزشکی لرستان انجام شد. غشاء مورد استفاده برای این مطالعه یک غشاء UF مسطح از جنس پلی آکریلونیتریل (PAN) (PAN-۳۵۰ (Sepro USA) , با وزن مولکولی (MWCO) ۲۰k، شار اسمی ۲Lm/h ۱۰۰۰، pH عملیاتی ۱۰-۳ و فشار عملیاتی ۱۰-۱ بار بود. ستیل تریمتیل آمونیوم برومید (CTAB: BrN₄H₁₉C) به عنوان سورفاکتانت کاتیونی با وزن مولکولی ۳۶۴/۴۶ g/mol از مرک آلمان تهیه شد و به عنوان بهینه کننده مورد استفاده قرار گرفت.

قسمت‌های مختلف سیستم غشایی آزمایشی در شکل ۱ نشان داده شده است. مساحت سطح مؤثر سلول مورد استفاده ۹/۶ سانتی مترمربع می‌باشد. در این سیستم به منظور همگن‌سازی و مخلوط کردن محلول خوراکی، کنسانتره به‌طور مداوم برخلاف جریان بهره‌برداری به مخزن خوراکی برگشت داده شد. نمونه‌ها در زمان‌های مختلف برای آنالیز رنگ و اندازه‌گیری شار جمع‌آوری شدند. شار (J) توسط معادله ۱ محاسبه گردید.

$$J = \frac{V}{A.t}$$

که در آن J شار (h⁻¹Lm⁻²)؛ V حجم نمونه جمع‌آوری شده پس از یک دوره مشخص (L)، A سطح مؤثر غشاء (m²) و t زمان فیلتراسیون (h) می‌باشد.

رنگ راکتیو بلک ۵ به عنوان یک مدل رنگ مصنوعی از شرکت آلوآن ثابت (ایران) تهیه شد و بدون هیچ‌گونه خاص سازی بیشتری مورد استفاده قرار گرفت. یک محلول استوک

شد (نسخه ۷,۰, آزمایشی). مقادیر pH با محلول HCl و (N ۰/۱) NaOH (N ۰/۱) تنظیم شد. زمان ۳۰ دقیقه فیلتراسیون برای هر آزمایش و درجه حرارت 25 ± 0.5 درجه سانتی گراد برای تمام آزمایش‌ها در نظر گرفته شد.

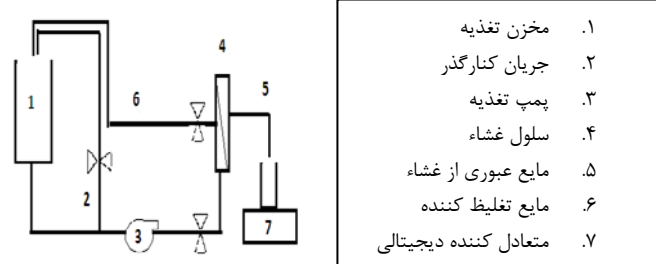
یافته‌ها

اثرات سورفاکتانت/رنگ، TMP و pH به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در شکل ۲ نشان داده شده که افزایش سورفاکتانت/رنگ در محلول، حذف را در مقادیر مختلف TMP افزایش می‌دهد. با این حال، افزایش CTAB منجر به کاهش میزان حذف، شده است. این روند تقریباً در تمام مقادیر TMP دیده شد. به عبارت دیگر میزان حذف رنگ در مقادیر CTAB بالاتر نسبت به مقادیر CTAB پایین تر، کمتر بود. از آنجایی که CMC برای CTAB ۰/۹۲ میلی مول (۱۵) است و غلظت ثابت رنگ برای تمام آزمایش‌ها ۳۵ میلی گرم بر لیتر بود، از این رو میسل‌ها در غلظت پایین تشکیل شده و با نسبت ۱۰ برابر نزدیک به CMC سورفاکتانت افزایش می‌یابند. بعد از آن با افزایش سورفاکتانت، حذف به میزان قابل توجهی افزایش پیدا نکرد، که تقریباً در حداکثر مقدار آن متوقف شد. این نتیجه می‌تواند به دلیل کاهش قابل توجه رنگ و غلظت پلاریزاسیون بر روی سطح غشاء باشد. به طور کلی، بر اساس تجزیه و تحلیل آماری، اثر CTAB بر حذف رنگ بسیار قابل توجه می‌باشد ($P < 0.05$) اثر TMP بر حذف از لحاظ آماری ناچیز است (جدول ۱).

۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر با حل کردن مقدار مشخصی از رنگ در آب مقطر تهیه شد. اسپکتروفتومتر UV-Vis (HACH ۵۰۰۰DR) برای اندازه‌گیری غلظت رنگ استفاده شد. حداکثر جذب (λ_{max}) رنگ ۵۹۷ نانومتر بود و غلظت‌ها با استفاده از منحنی استاندارد مناسب اندازه‌گیری شد. درصد حذف ($R(\%)$) توسط معادله ۲ محاسبه شد.

$$R(\%) = (1 - \frac{C_f}{C_o}) \times 100$$

در اینجا، C_o و C_f ، غلظت اولیه و نهایی رنگ (mg/L) می‌باشند.



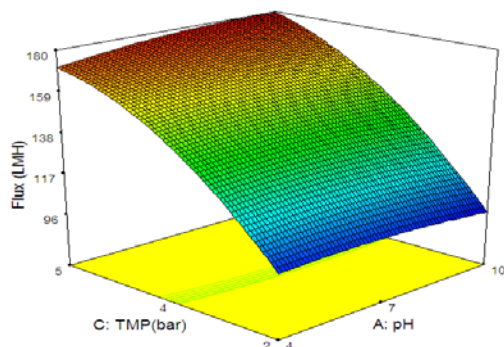
شکل ۱. طرح ساده ای از آزمایش MEUF

برای درک بهتر اثر متغیرها، روش سطح پاسخ (RSM) مورد استفاده قرار گرفت. RSM و مدل‌های مرتبط براساس معادله درجه دوم برای بهینه‌سازی فرآیند استفاده می‌شود (۱۹). در این تحقیق بر اساس روش باکس - بنکن (Box-Behnken) ۳ متغیر مستقل و ۳ سطح، نسبت سورفاکتانت/رنگ (۵، ۱۰ و ۱۵) pH (۴، ۷ و ۱۰) و فشار ترانس‌میت (TMP) (۲، ۳/۵ و ۵ بار) برای این مطالعه تجربی انتخاب شدند. به طور کلی، ۱۵ آزمایش به صورت تصادفی توسط نرم‌افزار Design-Expert انتخاب

جدول ۱. تحلیل ANOVA برای مدل باکس بنکن براساس داده‌های آزمایشگاهی

منبع	مجموع مربعات	df	R% میانگین مربعات	F Value	P value prob >F	مجموع مربعات	df	Flux میانگین مربعات	F Value	P value prob >F
مدل	۸۵/۱۸	۹	۹/۴۶۵	۴/۸۵	۰/۰۴۸۳	۱۲۶۶۱/۵	۹	۱۴۰۶/۸۴	۶۷۵/۲۸۴	<۰/۰۰۰۱
pH - A	۳/۱۳	۱	۳/۱۲۵	۱/۶۰	۰/۲۶۱۳	۱۳/۱۰	۱	۱۰/۱۲۵	۴/۸۶	۰/۰۷۸۶
B-نسبت سورفاکتانت/رنگ	۶۶/۱۳	۱	۶۶/۱۲	۳۳/۹۱	۰/۰۰۲۱	۵۰/۰۰	۱	۵۰	۲۴	۰/۰۰۴۵
C-فشار (بار)	۰/۵	۱	۰/۵۰۰	۰/۲۶	۰/۶۳۴۱	۱۱۹۳۵/۱	۱	۱۱۹۳۵/۱	۵۷۲۸/۸۶	<۰/۰۰۰۱
AB	۰/۲۵	۱	۰/۲۵۰	۰/۱۳	۰/۷۳۴۹	۰/۲۵	۱	۰/۲۵	۰/۱۲	۰/۰۰۸۹
AC	۴/۰۰	۱	۴/۰۰۰	۲/۰۵	۰/۲۱۱۵	۳۶/۰۰	۱	۳۶	۱۷/۲۸	۰/۰۰۸۹
BC	۰/۰۰	۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰۰۰	۲/۲۵	۱	۲/۲۵	۱/۰۸	۰/۳۴۶۳

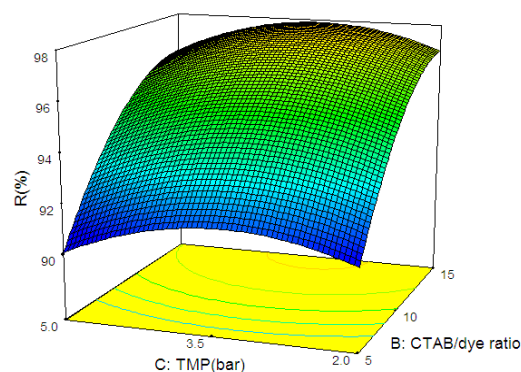
۰/۰۲۳۵	۱۰/۳۵۰	۲۱/۵۶۴	1	۲۱/۵۶	۰/۸۷۰۲	۰/۰۳	۰/۰۵۸	1	۰/۰۶	A ^۲
۰/۰۳۴۴	۸/۳۲	۱۷/۳۳۳	1	۱۷/۳۳	۰/۱۱۷۱	۳/۵۸	۶/۹۸۱	1	۶/۹۸	B ^۲
<۰/۰۰۰۱	۲۹۵/۶۹	۶۱۶/۰۲	1	۶۱۶/۰۳	۰/۱۸۲۳	۲/۴۰	۴/۶۷۳	1	۴/۶۷	C ^۲
		۲/۰۸۳۳	5	۱۰/۴۲			1	5	۹/۷۵	باقی مانده
۰/۰۹۴۴	۹/۷۵	۳/۲۵	3	۹/۷۵	۰/۲۹۱۳	۲/۵۸	۲/۵۸۳	3	۷/۷۵	کمبود تناسب



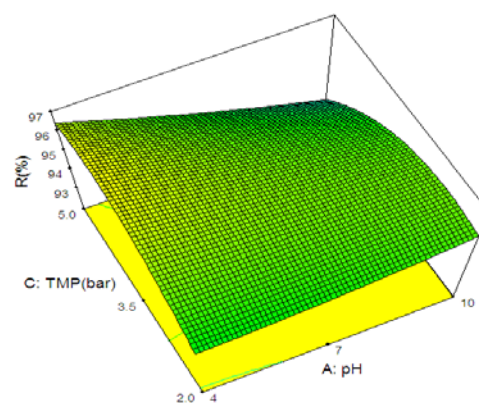
شکل ۵. نمودار سه بعدی اثر متقابل pH در مقابل TMP در شار

شکل ۲ تا ۵ تغییرات حذف (R ٪) برای متغیر TMP و pH را نشان می‌دهد. با افزایش TMP، میزان حذف در نیروی محرک بالا کاهش پیدا کرد. همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، حذف در نقطه میانی (۳/۵ بار) بالاتر است. این شرایط می‌تواند به دلیل تجمع بهتر میسل در سطح غشاء برای محبوس شدن میسل باشد اما این شرایط برای TMP بالاتر ادامه پیدا نمی‌کند (۵). با افزایش فشار، میسل‌ها در سطح غشا کاهش یافته؛ علاوه بر این، کاهش راندمان حذف در TMP بالاتر می‌تواند به دلیل کاهش حجم محلول و پدیده غلظت پلاریزاسیون باشد که منجر به انتشار رنگ از طریق غشاء UF می‌شود.

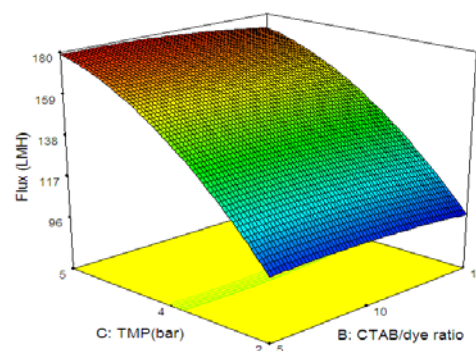
اثر pH نیز از لحاظ آماری معنادار نمی‌باشد (جدول ۱). pH در فرایند میسلیزاسیون می‌تواند نقش ویژه‌ای ایفا کند (۲۰). با این حال، در مطالعه حاضر اثر pH بر اساس تجزیه و تحلیل ANOVA (جدول ۱) معنادار نبود، اگر چه H^+ یا OH^- در محلول ممکن است در نهایت توسط جذب به میسلی که برای سایر مواد معدنی رخ می‌دهد تأثیرگذار باشد.



شکل ۲. نمودار سه بعدی اثر متقابل سورفاکتانت/رنگ در مقابل TMP در حذف رنگ



شکل ۳. نمودار سه بعدی اثر متقابل pH در مقابل TMP در حذف رنگ



شکل ۴. نمودار سه بعدی اثر متقابل سورفاکتانت/رنگ در مقابل TMP در شار

اثر پارامترهای عملیاتی بر روی شار

اثر سورفاکتانت/رنگ در مقابل TMP بر روی شار در شکل ۴ نشان داده شده است. براساس شکل ۴ اثر فشار عملیاتی بر روی فرایند به گونه‌ای است که افزایش TMP شار را به میزان ۱۸۰ Lm-2h-1 افزایش می‌یابد. اثر pH و TMP بر روی شار در شکل ۵ نشان داده شده است. اثر pH بر روی شار معنی‌دار نبود (مقدار $P=0/05$). افزایش اندک شار در TMP بالا را می‌توان به نقش pH اختصاص داد که ممکن است آب دوستی غشا و تأثیرگذاری در شار در مقادیر pH بالا را تغییر دهد (۲۰). pH در درجه اول بر روی فرایند تشکیل میسل ها تأثیر می‌گذارد که متعاقباً بر روی میزان حذف رنگ و شار عبوری تأثیر می‌گذارد. به‌طور کلی شار می‌تواند تحت تأثیر شکل و ساختار میسل قرار بگیرد که این ویژگی برای شرایط مختلف متفاوت است. با این حال، ماهیت سورفاکتانت (منفی یا مثبت) و یا آلایندگی می‌تواند تحت تأثیر القاء یون H^+ به علت تغییر pH از طریق آزمایش‌ها قرار بگیرد. این رفتار می‌تواند عملکرد EMUF را تغییر دهد. به‌عنوان مثال، گوانگ مینگ و همکاران در استفاده از سورفاکتانت آنیونی برای حذف کادمیوم و رنگ متیلن بلو نشان دادند که تغییرات pH می‌تواند به‌طور چشمگیری حذف Cd^{+2} را افزایش دهد، اما هیچ تأثیر معنی‌داری بر MB ندارد (۲۱).

کاهش شار بستگی زیادی به ویژگی‌های غشا و پدیده گرفتگی دارد. آب دوستی بیشتر، شار بالاتر و خواص ضد گرفتگی بهتر غشاء PAN نسبت به دیگر غشاهای رایج (مثلاً پلی اترسولفون و پلی وینیلیدین) گزارش شده است (۱۴). فرآیند میسلیزاسیون می‌تواند مشکل گرفتگی و کاهش سریع شار در طول فرآیند را کاهش دهد.

مدل های توسعه یافته برای حذف رنگ و شار

مدلهای ساخته شده به عنوان پارامترهای کدگذاری شده برای حذف رنگ (معادله ۳) و شارهای مرتبط (معادله ۴) به شرح زیر می‌باشند.

حذف (%) =

$$96 - 0.63A + 2.87B - 0.25C - 0.25AB - AC + 0.13A^2 - 1.37B^2 - 1.13C^2 \quad (3)$$

شار (Lm⁻²h⁻¹) =

$$152.33 + 1.13A - 2.5B + 38.63C + 0.25AB + 3AC - 0.75BC - 2.42A^2 - 2.17B^2 - 12.92C^2 \quad (4)$$

که در آن‌ها A: pH، B: نسبت سورفاکتانت به رنگ و C فشار می‌باشد. در مدل‌ها (۳ و ۴) به جز اثر متقابل BC که ضریب مربوطه آن صفر می‌باشد، تمام متغیرهای معنادار و غیر معنادار، اثرات متقابل و اثر درجه دو از معادله ۳ در مدل بکار گرفته شده است. هر دو مدل از لحاظ آماری با مقادیر $P < 0.05$ معنی‌دار بودند (جدول ۱). علاوه بر این، آزمون عدم برازش (LOF) به عنوان یک پارامتر آماری، اعتبار حالت‌ها را تأیید می‌کند ($P \text{ value} > 0/05$) ضرایب تعیین (R^2) برای مدل ساخت به‌اندازه کافی بالا بود که اعتبار مدل را تأیید می‌کرد. مقادیر R^2 به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۰ برای مدل حذف و شار است. از سوی دیگر، تجزیه و تحلیل بصری ارائه شده توسط نرم‌افزار (در این مقاله نشان داده نشده است) مانند پراکندگی نرمال، باقی‌مانده در مقایسه با مقادیر پیش‌بینی‌شده و باقی‌مانده در مقابل اجرا، نشان‌دهنده اعتبار مدل و حداقل خطاهای تجربی بود. در شرایط مطلوب (به عنوان مثال $pH = 7$ ، سورفاکتانت/رنگ = ۱۲/۵ و $TMP = 3$ بار)، ۹۷٪ حذف رنگ و میزان شار ۱۴۶ Lm⁻²h⁻¹ با مدل پیش‌بینی شده بود.

بحث و نتیجه‌گیری

این کار با هدف بررسی حذف رنگ راکتیو بلک ۵ از طریق MEUF با استفاده از سورفاکتانت CTAB انجام شد. این فرایند برای حذف رنگ در شرایط عملیاتی بسیار مؤثر بود. اثر CTAB در حذف رنگ مؤثر بود به طوری

که افزایش CTAB در نزدیکی مقدار CMC باعث افزایش حذف شد. اگرچه TMP یک پارامتر مؤثر در شار می‌باشد، اما به طور قابل توجهی بر حذف آن تأثیر نمی‌گذارد. در شرایط مطلوب، حذف بالای رنگ را می‌توان بر اساس مدل آماری تأییدشده به دست آورد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از معاونت محترم حقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی لرستان به دلیل تامین هزینه مالی مورد نیاز طرح، تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

- Gómez N, Sierra M V, Cortelezzi, A., Rodrigues Capítulo, A. 2008 Effects of discharges from the textile industry on the biotic integrity of benthic assemblages. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 69 (3), 472-479
- Hunger K. Industrial dyes: chemistry, properties, applications: John Wiley & Sons; 2007
- Song S, He Z, Qiu J, Xu L, Chen J. Ozone assisted electrocoagulation for decolorization of CI Reactive Black 5 in aqueous solution: An investigation of the effect of operational parameters. *Separation and purification technology*. 2007;55(2):238-245.
- Choi H-D, Shin M-C, Kim D-H, Jeon C-S, Baek K. Removal characteristics of reactive black 5 using surfactant-modified activated carbon. *Desalination*. 2008;223(1-3):290-298.
- Skagerlind P, Gibson K, Wenger K, Hatzack F, Nilsson LD, Salmon S, et al. *Industrial Enzymes. White Biotechnology*. 2007;105:59.
- Pisczek JC. An evaluation of anoxic/aerobic treatment for the removal of chemical oxygen demand and fiber reactive azo dye color. 2005.
- Morali ek. ozonation of a denim producing textile industry wastewater-process optimization: middle EAST TECHNICAL UNIVERSITY; 2010.
- Aziz HA, Alias S, Adlan MN, Asaari A, Zahari MS. Colour removal from landfill leachate by coagulation and flocculation processes. *Bioresource technology*. 2007;98(1):218-220.
- Arslan-Alaton I, Kabdaşlı I, Hanbaba D, Kuybu E. Electrocoagulation of a real reactive dyebath effluent using aluminum and stainless steel electrodes. *Journal of hazardous Materials*. 2008;150(1):166-173.
- Elmorsi TM, Riyad YM, Mohamed ZH, El Bary HMA. Decolorization of Mordant red 73 azo dye in water using H₂O₂/UV and photo-Fenton treatment. *Journal of Hazardous Materials*. 2010;174(3-1): 352.358
- Abramian L, El-Rassy H. Adsorption kinetics and thermodynamics of azo-dye Orange II onto highly porous titania aerogel. *Chemical Engineering Journal*. 2009;150(3-2): 403-410.
- Alventosa-deLara E, Barredo-Damas S, Alcaina-Miranda M, Iborra-Clar M. Ultrafiltration technology with a ceramic membrane for reactive dye removal: optimization of membrane performance. *Journal of Hazardous materials*. 2012;209:492-500.
- Peter-Varbanets M, Zurbrügg C, Swartz C, Pronk W. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water research*. 2009;43(2):245-265.
- Fazeli H, Soleimani R, Ahmadi M-A, Badmehzad R, Mohammadi AH. Experimental study and modeling of ultrafiltration of refinery effluents using a hybrid intelligent approach. *Energy & Fuels*. 2013;27(6): 3523-3537.
- qbal J, Kim H-J, Yang J-S, Baek K, Yang J-W. Removal of arsenic from groundwater by micellar-enhanced ultrafiltration

- (MEUF). Chemosphere. 2007;66(5):970-976
16. Huang J-H, Xiong Y-L, Zeng G-M, Guo S-H, Xie G-X, Zhang D-M, et al. Separation of phenol from various micellar solutions using MEUF. Separation and purification technology. 2012;98:1-6.
17. Ahmad A, Puasa S, Zulkali M. Micellar-enhanced ultrafiltration for removal of reactive dyes from an aqueous solution. Desalination. 2006;191(1-3):153-161.
18. Ölmez T. The optimization of Cr (VI) reduction and removal by electrocoagulation using response surface methodology. Journal of Hazardous Materials. 2009;162(2-3):1371-1378.
19. Jafari A, Mahvi AH, Godini H, Rezaee R, Hosseini SS. Process optimization for fluoride removal from water by Moringa oleifera seed extract. Fluoride. 2014;47(2):152-160.
20. Tanhaei B, Chenar MP, Saghatoleslami N, Hesampour M, Kallioinen M, Sillanpää M, et al. Removal of nickel ions from aqueous solution by micellar-enhanced ultrafiltration, using mixed anionic-non-ionic surfactants. Separation and Purification Technology. 2014;138:169-176.
21. Zeng G-M, Li X, Huang J-H, Zhang C, Zhou C-F, Niu J, et al. Micellar-enhanced ultrafiltration of cadmium and methylene blue in synthetic wastewater using SDS. Journal of hazardous materials. 2011;185(2-3):1304-1310.

Micellar-Enhanced Ultrafiltration (MEUF) Of Reactive Black 5 Dye from Aqueous Solution

Jafari A¹, Ahmadi F^{*2}

1. Assistant Professor Department of Environmental Health Engineering, Faculty of health and nutrition, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran.

2. MSc Department of Environmental Health Engineering, Faculty of health and nutrition, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran. F.ahmadi8899@gmail.com

Received: 17 April 2019

Accepted: 22 Jun 2019

Abstract

Background: Nowadays, broad synthesis and application of azo dyes result in environmental and health concerns. The aim of this study was to investigate the use of Micellar-Enhanced Ultrafiltration in the removal of reactive black 5 dye from aqueous solutions.

Materials and Methods: In this study, Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) was used as a cationic surfactant. A polyacrylonitrile (PAN) ultrafiltration membrane (20 kDa) was used in cross-flow operation where the retentate was recirculated to the feed tank and the permeate was collected over certain times. For better understanding the effect of operating variables and their interactions on the performance, response surface methodology (RSM) was used. Three independent parameters including pH (4, 7 and 10), initial CTAB / dye ratio (5, 10 and 15) and trans-membrane pressure (TMP) (2, 3.5 and 5 bar) were applied.

Results: Analysis of variance (ANOVA) revealed that dye rejection was primarily influenced by CTAB/dye ratio was statistically significant (p -value <0.05). It was found that flux was affected by TMP, while pH and CTAB/ Dye had less influence on the flux. In optimum conditions (around neutral pH (7) low pressure (2 bar) and CTAB/dye of 12.5, about 100% of dye could be rejected from the aqueous stream according to the build model. Furthermore, the coefficient of determination ($R^2 > 0.9$) confirmed that RSM based on the Box–Behnken was a suitable method for optimizing the main operating variables of dye rejection by the EMUF process for this range of variables.

Conclusion: This study revealed that MEUF using CTAB under different operating conditions could efficiently remove reactive black-5 dye.

Keywords: Dye, Membrane, Enhanced Ultrafiltration

***Citation:** Jafari A, Ahmadi F. Micellar-Enhanced Ultrafiltration (MEUF) Of a Reactive Black 5-Dye from Aqueous Solution. Yafte. 2019; 21(2):38-47.