

ارایه روش‌های بهینه جهت تصفیه آب و پساب حاوی رنگ‌های گوگردی

سحر طیبیان^{۱*}

tsahart@yahoo.com

اعظم پیرکریمی^۲

چکیده

رنگ‌های گوگرد ارزان قیمت هستند و به طور عمده برای رنگ‌آمیزی مواد سلولزی منسوجات و یا مخلوط الیاف سلولزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سولفید سدیم نسبتاً ارزان بوده و از عوامل کاهنده سنتی محسوب می‌شود و برای رنگ‌رزی رنگ‌های گوگردی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما لمس آن، سمی و خطرناک است. استعمال آن ممکن است بقایای مضر در پارچه تکمیل شده به جا بگذارد و پساب‌هایی تولید می‌کند که تصفیه آن دشوار است و به محیط‌زیست آسیب می‌رساند. صنایع نساجی با هزینه‌های بالای آب و تصفیه پساب، و همچنین قوانین سختگیرانه محیط‌زیستی مواجه هستند. در این بررسی، انواع روش‌ها، از جمله روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی از نظر کاربردشان برای تصفیه پساب صنعتی حاوی رنگ‌های گوگردی مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه با پیشنهاداتی برای اقدامات بیشتری که می‌توان جهت بهبود فرآیندهای تصفیه از هر دو دیدگاه اقتصادی و فنی انجام داد، به پایان می‌رسد.

کلمات کلیدی: رنگ‌های گوگردی، پساب، روش‌های فیزیکی و شیمیایی، روش‌های بیولوژیکی.

۱- استادیار، گروه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۲- دانشجوی دکتری، گروه پژوهشی رنگ و محیط زیست، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ، تهران.

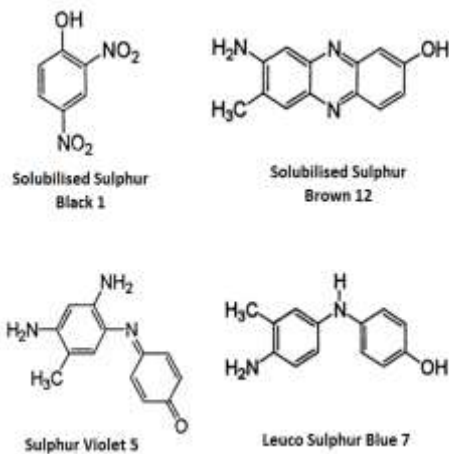
مقدمه

نشوند و مقداری از رنگ در محیط پخش شود (۵) و موجب تجمع زیاد رنگ‌ها در پساب شود. بسیاری از معرف‌های آلی و غیرآلی که در بخش نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرند و رنگ‌ها و فلزات می‌توانند هم اثرات مستقیم و هم اثرات غیرمستقیم به شکل تومور، سرطان و آلرژی بر انسان‌ها داشته باشند؛ همچنین، مشخص شده است که آن‌ها مانع رشد در سطوح مختلف تغذیه‌ای از جمله باکتری پروتوزوا^۱، جلبک‌ها، گیاهان و حیوانات می‌شوند. در نتیجه، توانایی خود تصفیه رودخانه‌ها و سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی معمولی با حضور رنگ‌ها و فلزات مشکل ساز می‌شود. حدود ۱۰-۴۰٪ از رنگ‌های گوگردی وارد پساب نساجی می‌شود که این مقدار حاصل از فرآیندهای رنگ‌رزی گوگردی سنتی شامل مواد رنگی و رنگ‌رزی تثبیت نشده، مواد آلی باقیمانده، غلظت بالایی از سولفیدها ($1,40-1,06 \text{ g L}^{-1}$) و غلظت‌های بالایی از نمک‌های غیرآلی مانند تیوسولفات سدیم است $284-311 \text{ g L}^{-1}$ (۸-۶) سولفید هیدروژن آزاد شده خطرناکی برای زندگی خوردگی سیستم فاضلاب، pH بالا، و بوهای نامطبوع ایجاد می‌کند. تیوسولفات سدیم ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) یک اکسید کننده قوی است که باعث واکنش‌های شدید گرمازا و انتشار دی اکسید گوگرد و گاز سولفید هیدروژن (۹) می‌شود. از این رو، تصفیه پساب رنگ‌زای گوگردی تا حد زیادی موجب حذف سولفیدها می‌شود. صنایع نساجی با هزینه‌های بالای آب و تصفیه پساب، و همچنین قوانین سختگیرانه محیط‌زیستی مواجه هستند (۱۰). از آنجا که رنگ در پساب رنگی بسیار قابل مشاهده است و بر زیبایی شناسی شفافیت آب تاثیر گذار است، در نتیجه باید آن را تصفیه کرد (۱۱). روش‌های تصفیه اصلی برای پساب‌های رنگی روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌باشند. روش فیزیکی و شیمیایی شامل فرآیندهای مانند فیلتراسیون غشایی^۲، انعقاد/لخته سازی^۱، ته‌نشینی^۲،

در سال ۱۹۶۶، رنگ‌های گوگردی معرف ۹ درصد از تولید کل رنگ ایالات متحده و ۱۵/۸ درصد از رنگ‌های ساخته شده برای استفاده در الیاف سلولزی بودند (۱) و تولید جهانی آن به مقدار ۱۱۰۰۰۰-۱۲۰۰۰۰ تن در سال برآورد شده است. این بالاترین درصد تولید در هر گروه از رنگ‌ها است. در سال ۲۰۰۷، رنگ‌های گوگردی، جز سومین رنگ با بیش‌ترین تولید به مقدار ۸۵۰۰ تن در چین بودند (۲). نیمی از حجم همه رنگ‌های مورد استفاده در الیاف سلولزی رنگ‌های گوگردی بود که تقریباً ۸۰ درصد از این مقدار رنگ‌های گوگردی سیاه بودند. رنگ‌های گوگردی با عدد ساختاری بر حسب شاخص رنگ ۵۳۱۸۶، ۵۳۷۲۴، و غیره با مواد اولیه و نوع فرآیند گوگردی شدن تعریف می‌شوند (۳). گوگردی شدن شامل واکنش‌های مختلف، از جمله جانشینی، تشکیل حلقه، کاهش و اکسیداسیون است. مواد اولیه معمولاً شامل ترکیبات آروماتیک یا معطر نسبتاً متداول از جمله بنزن، نفتالین، دی فنیل، دی‌فنیل‌آمین، آزوبنزن، و غیره است، که حامل حداقل یک گروه نیترو، آمینو، آمینو استخلاف شده، و یا هیدروکسی است. رنگ‌های گوگردی بیش‌تر برای رنگ آمیزی مواد سلولزی منسوجات یا ترکیبات الیاف سلولزی با الیاف مصنوعی استفاده می‌شوند اما کاربردهای خاصی در رنگ‌آمیزی ابریشم و کاغذ در مقادیر اندک نیز دارند و در انواع خاصی از چرم‌ها استفاده می‌شوند (۴). در بین رنگ‌های مصنوعی، رنگ‌های گوگردی، کدرترین طیف از رنگ‌ها را در تمام گروه‌های مواد رنگی دارد، ارزان قیمت است و قابلیت شستشوی عالی و ثبات نوری مناسبی دارد. این خواص، همراه با سهولت کاربرد تضمین می‌کنند که مصرف رنگ‌های گوگردی همچنان بالا است. در کل، تصفیه پساب رنگ حاصل از صنایع نساجی و مواد رنگی و رنگ‌رزی آسان نیست (۷). رنگ‌های مصنوعی، ساختار مولکولی آروماتیک پیچیده‌ای دارند. این ساختارها آن‌ها را پایدارتر و تجزیه بیولوژیکی آن‌ها را دشوارتر می‌سازد. در طول تولید و چاپ منسوجات، ممکن است رنگ‌ها به طور کامل استفاده

1- Protozoans

2- Membrane Filtration



شکل ۱- ساختارهای رنگ‌های گوگردی که به طور معمول در مقدمه تحقیق گزارش شده را نشان می‌دهد.

روش بررسی

این تحقیق بر پایه مطالعات جامع و کامل بر مقاله‌های معتبر دنیا در زمینه مورد مطالعه می‌باشد.

یافته‌ها

۱- روش فیزیکی و شیمیایی

۱-۱- فرآیندهای انعقاد و ته‌نشینی

برخی مواد شیمیایی به سرعت در پساب‌ها پخش می‌شوند که می‌توانند ویژگی‌های ذرات معلق را تغییر دهند به طوری که آن‌ها تمایل به یکی شدن و تشکیل توده‌ای شدن را دارند و به سرعت در حال غوطه‌وری هستند (۱۲). این فرآیند انعقاد نامیده می‌شود. سوسپانسیون کلوئیدی^{۱۲} با بار منفی به طور معمول در طول تصفیه فیزیکی ته‌نشین و حذف نمی‌شوند؛ با این حال، می‌توان حذف آن‌ها را در هنگام استفاده از انعقاد ساده‌تر کرد. انعقاد با افزودن یون‌های مثبت که دافعه-الکترواستاتیک بین ذرات را کاهش می‌دهند انجام می‌شود مارمگنه و کاسته (۱۳) گزارش می‌دهند که حذف رنگ‌های گوگردی را می‌توان با بازدهی مناسب توسط انعقاد انجام داد.

فیلتراسیون^۳، جذب سطحی^۴، تبادل یونی^۵، استخراج زوج یونی^۶، معدنی شدن^۷، سونولیز^۸، الکترولیز^۹، احیای شیمیایی^{۱۰} و اکسیداسیون شیمیایی پیشرفته^{۱۱} هستند. فرآیندهای زیستی شامل هوازی، بی‌هوازی، و یا ترکیبی از این دو هستند. هدف اصلی فرآیندهای فوق، حذف مواد آلی کربنی، نیتریفیکاسیون، ترکیب دی‌نیتریفیکاسیون، و حذف فسفر هستند.

با توجه به سهم بالای رنگ‌های گوگردی در صنایع مختلف از جمله رنگ آمیزی مواد سلولزی منسوجات یا ترکیبات الیاف سلولزی با الیاف مصنوعی و با داشتن ترکیبات آروماتیک یا معطر، از جمله بنزن، نفتالین، دی فنیل، دی فنیل‌امین، آزوبنزن، و غیره انجام این تحقیق ضروری می‌نماید. زیرا ساختار آن‌ها پایدار و غیرقابل تجزیه بیولوژیکی بوده و اثرات مستقیم و غیرمستقیم به شکل تومور، سرطان و آلرژی در انسان‌ها خواهد داشت.

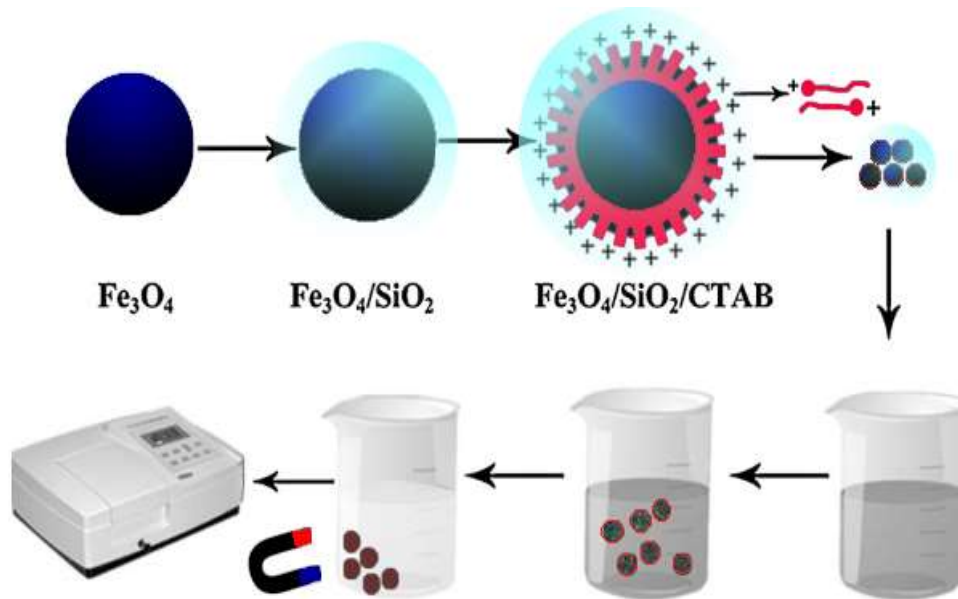
هدف این مقاله، گردآوری پیشرفت‌های تکنولوژی اخیر در توسعه تصفیه آب و پساب شامل رنگ‌های گوگردی است. علاوه بر این، پیشنهاداتی برای مطالعات بیشتر برای بهبود فرآیندهای تصفیه از دیدگاه‌های اقتصادی و فنی ارایه شده است.

- 1- Coagulation/Flocculation
- 2- Precipitation
- 3- Flotation
- 4- Adsorption
- 5- Ion exchange
- 6- Ion pair Extraction
- 7- Mineralization
- 8- Ultrasonic
- 9- Electrolysis
- 10- Chemical Reduction
- 11- Advanced Chemical Oxidation

رنگ Ca(OH)_2 0.1 mg L^{-1} است که به حذف ۹۹/۵٪ رنگ گوگردی سیاه می‌رسد. ته نشینی با هیدروکسید کلسیم به تنهایی بی‌اثر است. حتی با افزودن مقدار زیادی هیدروکسید کلسیم، حذف رنگ بهبود نمی‌یابد، و به جای آن، افزایش کدورت محلول مشاهده می‌شود.

پساب به خوبی منعقد می‌شود و به علت تشکیل توده‌های جمع شده مناسب به آسانی ته نشست می‌شوند. شکل ۲ مسیر سنتز جاذب مغناطیسی و استفاده از آن‌ها به عنوان یک ابزار آسان برای حذف رنگ را نشان می‌دهد. کاهش COD (اکسیژن مورد نیاز شیمیایی) و رنگ می‌تواند به ترتیب به ۸۳/۹٪ و ۹۶/۱٪ برسد. انعقاد تحت تاثیر مواد شیمیایی، pH و دمای سیستم قرار می‌گیرد (۱۴). لخته سازی، ته نشینی و زلال سازی در تصفیه پساب رنگ گوگردی سیاه مشاهده می‌شود. تصفیه با کلرید آهن و اسید هیدروکلریک به طور گسترده تر به دلیل اینکه مقادیر pH لخته سازی و ته نشینی سریع را در حین کاهش غلظت کلرید آهن افزایش می‌دهند، مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مورد، زلال سازی^۱ و ته نشینی تحت تاثیر مقادیر pH و افزودن مواد شیمیایی قرار می‌گیرند. هنگامی که مقدار pH کمتر از ۷/۸ است ته نشینی سریع است اما زلال سازی همیشه کامل نیست و کلرید آهن باید قبل از اسید اضافه شود. هنگامی که ابتدا اسید هیدروکلریک اضافه می‌شود، نه تنها سرعت ته نشینی آهسته است، بلکه مقدار گوگرد آزاد شده نیز با افزایش مقدار اسید بیش تر می‌شود. تصفیه با سولفات آهن و اسید سولفوریک باعث زلال سازی کامل می‌شود اما ته نشینی را توسط کلرید آهن و اسید هیدروکلریک افزایش نمی‌دهد.

مقدار منعقد کننده در حذف رنگ‌های سیاه گوگردی در پساب مهم است. اگر غلظت اولیه رنگ گوگردی سیاه ۱۶ mg L^{-1} باشد، رنگ زدایی کامل را می‌توان با مقدار ۰.۲ mg L^{-1} سولفات آهن به دست آورد. بهترین مقدار منعقد کننده سولفات آهن (FeSO_4) 0.15 mg L^{-1} و هیدروکسید کلسیم (Ca(OH)_2) 0.05 mg L^{-1} می‌باشد که می‌تواند به ۹۹٪ حذف رنگ گوگردی سیاه برسد. حذف کامل رنگ حتی در به دست می‌آید. بهترین مقدار منعقد کننده سولفات آهن $(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)$ 0.02 mg L^{-1} نیز به دست می‌آید. بهترین مقدار منعقد کننده سولفات آهن $(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)$ 0.15 mg L^{-1} و هیدروکسید کلسیم



شکل ۲- مسیر سنتز جاذب مغناطیسی و استفاده از آن‌ها به عنوان یک ابزار آسان برای حذف رنگ با کمک یک میدان مغناطیسی خارجی (۱۲)

۲-۱- فرآیندهای اکسیداسیون

حذف رنگ به طور کلی زمانی موثر و نسبتاً سریع است که ازون با رنگ گوگردی مورد استفاده قرار گیرد. فرآیند اکسیداسیون با ازون آبی تولید می‌کند که بی‌رنگ است، دارای COD کم، و مناسب برای تخلیه در محیط زیست و یا بازگشت برای استفاده مجدد. با استفاده از $50/9 \text{ mg L}^{-1}$ ازون، حذف COD 46.8% و رنگ را 62% باعث می‌شود، و با استفاده از $92/7 \text{ mg L}^{-1}$ ازون، حذف COD 83% و رنگ اتفاق می‌افتد. یکی دیگر از فرآیندهای اکسیداسیون موثر، فرآیند اکسیداسیون پیشرفته (AOP) (۱۵،۱۶) است. این فرآیند بر مبنای استفاده از سیستم H_2O_2 / اشعه ماوراء بنفش (UV) است و یکی از فناوری‌های در حال ظهور برای بررسی حجم زیادی از پساب‌های نساجی در نظر گرفته می‌شود. رادیکال‌های آزاد هیدروکسید و سوپر اکسید بعد از فلوتور قوی‌ترین گونه اکسیدکننده محسوب می‌شوند و به شدت توسط این سیستم

تولید می‌شوند و به عنوان سایت‌های فعال در فرآیند به مولکول رنگ‌زا حمله کرده و باعث تخریب ساختار رنگ‌زا می‌شوند. در نتیجه رنگ‌بری کامل را تحقق می‌بخشد. علاوه بر این، فرآیند UV/ H_2O_2 در طول هر مرحله از تصفیه، هیچ نوع تشکیل لجنی وجود ندارد (۱۷). در مورد تصفیه محلول رنگی رنگزای گوگردی آبی در یک سیستم $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ، آزمایشی که تحت شرایط مناسب انجام شد مقدار 10 mL^{-1} از $3/9 \text{ H}_2\text{O}_2$ (wt.%)، $7/29 \text{ pH}$ ، غلظت رنگ‌زای اولیه 70 mg L^{-1} و شدت UV برابر ۴۵ وات بوده. TOC (کل کربن محلول) قبل از فرآیند رنگ‌بری (700 mg L^{-1}) بوده و بعد از گذشت ۵ ساعت، می‌توان مشاهده کرد TOC دارای 105 mg L^{-1} و راندمان حذف رنگ 85% است. اگرچه راندمان رنگ‌بری به 100% می‌رسد، خروج یا حذف TOC به این درصد نمی‌رسد. خروج TOC ناقص است در حالی که رنگ به طور کامل حذف شده است. این پدیده ممکن است ناشی از

کربنی مانند زغال سنگ (انتراسیت^۴، بتمنس^۵، زغال قهو ای^۶)، چوب، زغال سنگ نارس، و پوسته‌های نارگیل ساخته می‌شود. مزیت این جاذب اتصال قوی آن با مواد آلی است. بنابراین، در تصفیه پساب‌های مملو از مواد آلی بسیار موثر است. با این حال، گران است و بازیافت یا دفع کربن فعال پودر شده (PACS) دشوار است زیرا آن‌ها بسیار ریز هستند و می‌توانند برای مدت طولانی در آب تصفیه شده معلق باقی بمانند. مقدار بسیار کمی از کلرید پلی‌آلومینیوم^۷ منعقد کننده را می‌توان برای حل این مشکل به محلول آبی رنگ‌زا اضافه کرد و رنگ‌بری را افزایش داد. لجن نهایی می‌تواند به سرعت در یک مخزن ته نشینی رسوب کند. استفاده مجدد و همچنین دفع مواد از سطح لجن به راحتی انجام می‌شود. شکل - ۳ تصویر SEM کربن فعال که دارای سطحی متخلخل است را نشان می‌دهد.

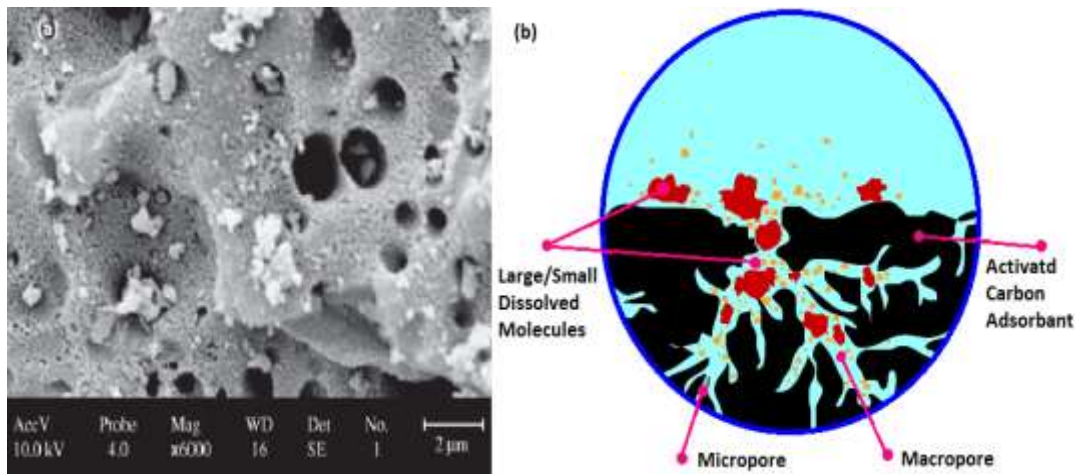
تخریب ماده رنگ‌زا باشد که باعث تشکیل ترکیبات حدواسط^۱ می‌شود.

۳-۱- فرآیندهای جذب سطحی

جذب سطحی برای حذف رنگ می‌تواند کروموفور رنگ را تغییر دهد و یا از بین ببرد. این فرآیند، کل مولکول را حذف و هیچ چیزی در پساب باقی نمی‌گذارد. خاک‌های رس مواد اولیه کم هزینه‌ی مورد مصرف در سنتز زئولیت‌ها هستند که کاربرد وسیعی به‌عنوان کاتالیزور، جاذب و تبادل‌گرهای یونی داشته‌اند. این مواد جاذب برای جذب فلزات سنگین از پساب‌های آلوده بکار می‌روند. مواد معدنی رس مانند کائولینیت^۲ و مونت‌موریلونیت^۳ به‌عنوان جاذب برای رنگ‌ها استفاده می‌شوند (۱۸). این رس‌ها بدون هیچ گونه اشباع هیدروژن مورد استفاده قرار می‌گیرند به طوری که در شرایط طبیعی تا آنجا که ممکن است شبیه سازی شده هستند. کائولینیت، رنگ کاتیونی متیلن بلو، را به میزان یکنواخت 16 mg L^{-1} جذب می‌کند در حالی که جذب توسط مونت‌موریلونیت نشان دهنده کاهش مداوم از 10 mg min^{-1} $1 \text{ g}^1 \text{ min}^{-1}$ 0.55 در ۵ دقیقه اول به $0.07 \text{ mg g}^1 \text{ min}^{-1}$ می‌رسد، در ۱ ساعت بعد به $0.07 \text{ mg g}^1 \text{ min}^{-1}$ رسید. میزان جذب رنگ آنیونی، گوگردی آبی، با مقادیر $12/3 \text{ mg g}^1 \text{ min}^{-1}$ برای کائولینیت و $2/6 \text{ mg g}^1 \text{ min}^{-1}$ برای مونت‌موریلونیت بسیار پایین‌تر است. این تفاوت را می‌توان با ظرفیت تبادل آنیون نسبتاً پایین‌تر از خاک رس توضیح داد. جالب توجه است که تبادل آنیون به سطح و لبه‌های ذرات رس محدود نمی‌شود، میزان جذب برای هر دو رس مشابه هستند و هیچ مرحله تبادل لایه میانی واسطه‌ای برای مونت‌موریلونیت وجود ندارد که این نکته در مورد تبادل کاتیونی با متیلن بلو هم مصداق دارد. کربن فعال کاربرد بیش‌تری از مواد جاذب دیگر در سیستم‌های جذب سطحی معمولی دارد (۱۹). این کربن از انواع زیادی مواد اولیه

- 4- Anthracite
- 5- Bituminous
- 6- Lignite
- 7- Polyaluminum chloride

- 1- Intermediate Compounds
- 2- Kaolinite
- 3- Montmorillonite



شکل ۳- تصویر (a) SEM کربن فعال که دارای سطحی متخلخل است (۱۹). (b) طرحی از جذب مواد آلی توسط کربن فعال را نشان می‌دهد

آلاینده‌ها مانند تری هالومتان^۲، آترازین^۳، رنگ و مواد آلی طبیعی را جذب کنند و یا با آن‌ها واکنش شیمیایی یا فیزیکی انجام می‌دهند. رنگ‌ها با ترکیب‌های $-C=O$ ، $-NH-$ و گروه‌های آروماتیک، و گروه‌های هیدروفوبیک همگی می‌توانند جذب شوند (۲۰). یک فرآیند الکتروشیمیایی با کاتد CF کاهنده و یک آند Fe اکسند می‌تواند پساب را به طور موثر رنگ‌زدایی کند. دو مکانیزم اصلی، تخریب و جذب سطحی در طول این تصفیه، عملکرد متفاوتی دارند. بعد از تولید مقدار معینی از انعقاد آهن لخته رخ می‌دهد و TOC و رنگ به سرعت خارج می‌شوند. هر چه مقدار TOC رنگ یک ماده رنگ‌زا بیشتر باشد، اثر جذب سطحی در حذف آن مهم‌تر است. رنگ‌های گوگردی vat دارای ساختارهای آزو و سولفید هستند. آن‌ها ترکیبات زیادی از $-NH-$ ، $C=O$ و گروه‌های آروماتیک، و همچنین گروه‌های آگریز دارند، و فاقد $-OH$ ، SO_3^- و دیگر گروه‌های آب‌دوست هستند. بنابراین، آن‌ها می‌توانند با آهن جذب ذرات $Fe(OH)_x$ شوند و مقادیر TOC / رنگ بالایی دارند.

کربن فعال گرانول^۱ (GACs) را می‌توان در راکتور جذب سطحی، که می‌تواند تثبیت شود طراحی کرد و سطح گرانول تثبیت شده را می‌توان در صورت تمام شدن کربن با کربن تازه جایگزین کرد. اثربخشی فرآیند جذب کربن فعال با رنگ‌های گوناگون متفاوت است. میزان حذف بالا (بیش از ۹۰٪) با استفاده از کربن فعال برای رنگ‌های کاتیونی، ثابت کننده‌ها و اسید گزارش شده است. برای رنگ‌های مستقیم، پراکنده‌ها، گوگرد، راندمان متوسط (بیش از ۴۰٪) است؛ و می‌توان با استفاده از مقدار بیش‌تر کربن فعال آن را بهبود بخشید. برای رنگ‌های vat ، حذف رنگ بسیار آهسته (زیر ۲۰٪) است. در مورد رنگ‌های گوگردی، حذف COD ، ۴۵/۵٪ و حذف رنگ ۴۰/۹٪ گزارش شده. سبز درخشان گوگردی GB را می‌توان بطور موثری با الکترولیز (الکتروود اصلاح شده توسط کربن فعال (ACF)) تصفیه کرد. در شرایطی که غلظت رنگ اولیه ۶۰ $mg L^{-1}$ ، حذف رنگ و TOC به ترتیب بیش از ۹۵٪ و تقریباً ۷۰٪ هستند. الکترولیز الکتروود اصلاح شده توسط کربن فعال یک نوع از الکتروود سه بعدی است که مساحت آن می‌تواند به $1000 m^2 g^{-1}$ برسد. این ماده می‌تواند مقادیر نسبتاً زیادی از

2- Trihalomethanes

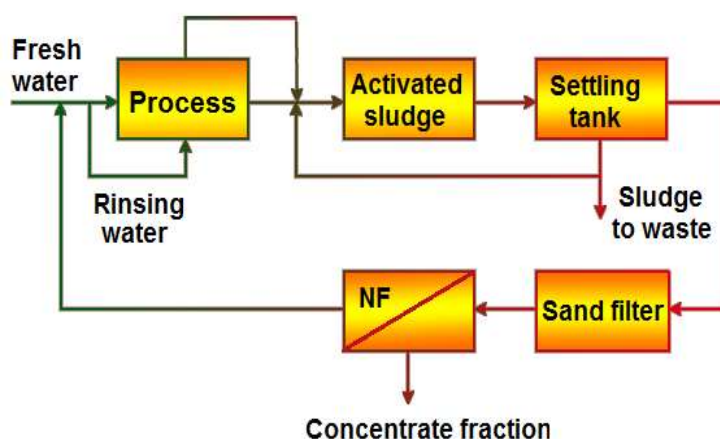
3- Atrazine

1- Granular Activated Carbons

۴-۱- فرآیندهای غشایی

جلوگیری از گرفتگی غشا دارد که به نظر می‌رسد به سرعت در حال رخ دادن است. نانوفیلتراسیون (NF) همچنین موجب حذف کامل رنگ گوگردی اما با رسوب غشایی کم‌تر می‌شود. خروج COD و رنگ به ترتیب ۱/۱٪ و ۱/۷٪ با استفاده از MF، ۸۰٪ و ۹۳/۴٪ با استفاده از UF و ۹۲٪ و ۹۹/۳٪ بوسیله NF گزارش شده. یک سیستم تصفیه معمولی متوالی برای استفاده مجدد از آب در یک صنعت نساجی که از NF استفاده می‌کند در شکل ۴ نشان داده شده است. این سیستم امکان استفاده مجدد از آب فرآیند را آشکار می‌سازد.

اگرچه تکنیک‌های غشایی می‌توانند به کاهش سریع COD برسند و رنگ‌ها از غشا خارج می‌شوند، تشکیل بار گذاری ذرات که نیاز به دفع دارد درخور توجه است (۱۳). انواع مختلف فرآیندهای غشایی برای بررسی رنگ‌های مختلف استفاده شده- است. میکروفیلتراسیون (MF) در حذف رنگ گوگردی ناموفق است. اولترافیلتراسیون (UF) به حذف رنگ کامل از رنگ گوگردی می‌رسد (۱۳)، اما نیاز به مراقبت برای



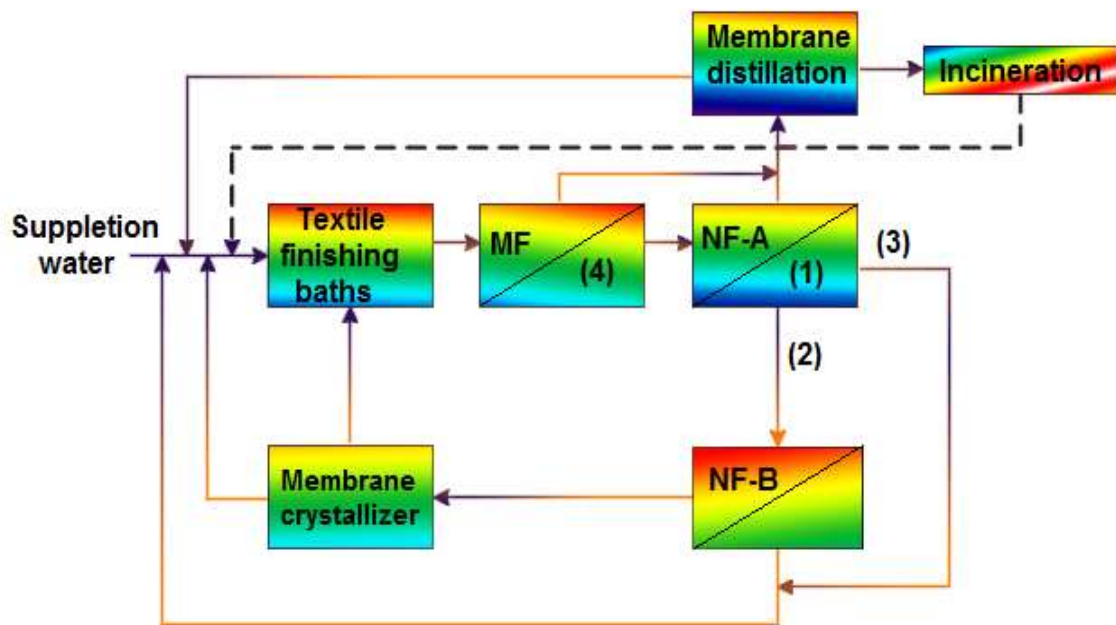
شکل ۴- روش متداول برای تصفیه آب در یک صنعت نساجی.

قرار گیرد، و آب نمک تغلیظ شده تولید می‌کند که با تبلور غشاء تغذیه می‌شود. در این واحد، نمک‌ها برای استفاده در حمام رنگ جدید احیا و بازیافت می‌شوند. در رنگریزی گوگردی، رنگریزی پراکنده و رنگریزی رنگدانه، نخستین واحد NF جایگزین یک واحد UF شده است. غشای NF کتون سولفون اتر (QAPPESK) با موفقیت در تصفیه پساب رنگ گوگردی سیاه و استفاده مجدد از نمک‌های معدنی استفاده شده است (۷). این غشا عملکرد خوب با حذف رنگ، دفع نمک، و مقاومت حرارتی زیاد را نشان می‌دهد. با این حال، تغذیه یک قیف شنی و یک غشای UF PPESK با PEG 10000 حذف ۹۳٪ و جریان آب خالص از $183 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ در ۰٫۱

با این وجود، این روش، لجن اضافی تولید می‌کند و تلفات انرژی از جریان فرآیند داغ در مراحل مختلف تصفیه رخ می‌دهد. یکی از روش‌های پیشرفته، یک فرآیند برای تصفیه پساب رنگی در صنعت نساجی است که در شکل ۵ نشان داده شده است. این فرآیند شامل پیش تصفیه MF، حمام‌های پایانی و سپس واحد دوگانه NF است. این فرآیندها را می‌توان در دماهای بالا بهره برداری کرد به طوری که نیاز به انرژی بیش‌تری برای پیش گرمایش تصفیه پساب نیست. در اولین واحد از یک غشای سست NF استفاده می‌شود که بسیاری از بخش‌های آلی غیر از نمک‌های محلول را حفظ کرده است. واحد دوم از یک غشای NF سفت استفاده می‌شود که نفوذ کاهش می‌یابد و می‌تواند به طور مستقیم مورد استفاده مجدد

مورد استفاده مجدد قرار داد. بیش از $14.5 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ شار، $92/3\%$ حذف رنگ، و 10% حذف نمک معدنی در این عملیات طولانی مدت در دمای 60 سانتی‌گراد مشاهده می‌شود علاوه بر این، شار تا تقریباً 25% بعد از 12 ساعت از عملیات کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد غشای آبدوست مقاومت گرفتگی یا رسوب متفاوتی دارد.

مگاپاسکال و 20°C پیش-تصفیه می‌شود که برای کاهش رسوب بالقوه مواد جامد معلق برای فرآیند طولانی مدت NF استفاده می‌شود. با استفاده از این غشا نمک‌هایی که در اصل از $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ تشکیل شده است، می‌توانند از غشاء عبور کنند، که تا حد زیادی فشار اسمزی را کاهش می‌دهد. بنابراین، $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ و پساب تصفیه شده فرآیند غشا را می‌توان



شکل ۵- سیستم پیشنهادی تصفیه آب یکپارچه با استفاده از غشا (خط کامل، جریان آب؛ خط چین، جریان انرژی):
 (۱) باید جایگزین UF در مورد رنگزای گوگردی و رنگزای دیسپرس شود. (۲) برای رنگزای راکتیو، رنگزای کمپلکس فلز و رنگزای دندان‌های. (۳) برای رنگزای vat و روش‌های دیگر که در آن از نمک استفاده نمی‌شود و (۴) در بن بست بهره‌برداری می‌شود.

۲- روش‌های بیولوژیک

باسیلوس^۲، باکتری کلبسیلا پنومونیه^۳، باکتری لیوفیلیزه^۴، در رنگزدایی بکار می‌روند. شکل ۶ نمونه‌ای از باکتری‌های که برای حذف رنگ‌ها استفاده می‌شود را نشان می‌دهد. مخمرها مزایای بسیاری نسبت به باکتری‌ها و قارچ‌های رشته‌ای دارند (۲۱). آن‌ها نه تنها مانند باکتری‌ها به سرعت رشد می‌کنند بلکه مثل قارچ‌های رشته‌ای از توانایی مقاومت در برابر محیط‌های

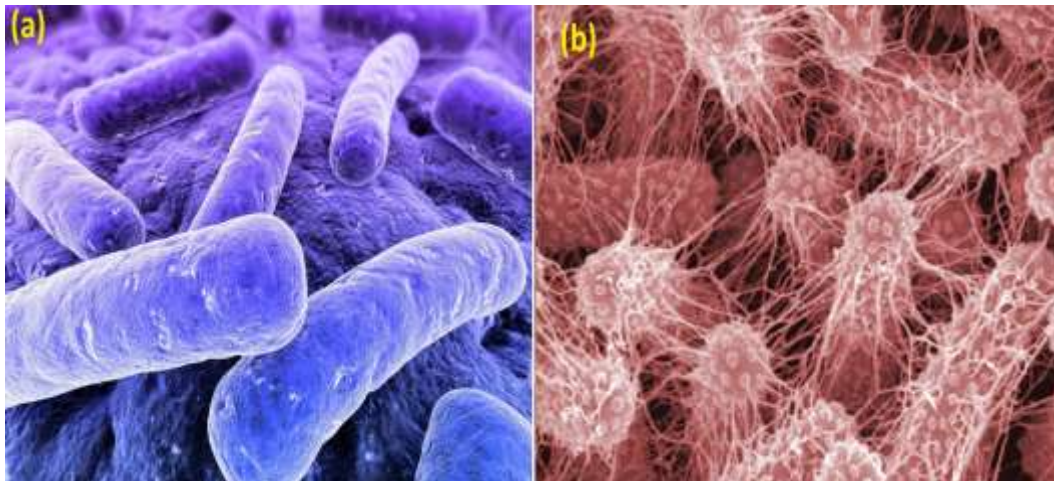
توانایی میکروارگانیزم‌ها برای انجام رنگزدایی اخیراً بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تصفیه پساب رنگی به روش بیولوژیکی روشی مقرون به صرفه برای تصفیه پساب است. باکتری‌ها میکروارگانیزم‌های مناسبی برای حذف انواع رنگ‌ها هستند. بسیاری از باکتری‌ها از جمله باکتری پseudomonas^۱،

- 2- Bacillus sp
- 3- Klebsiella Pneumoniae
- 4- Lyophilized

- 1- Pseudomonas

میکروارگانیزم‌ها می‌توانند به طریق مختلفی با رنگ‌ها تعامل برقرار کنند.

نامساعد نیز برخوردارند. علاوه بر این، مشخص شده است که برخی مخمرها در تصفیه پساب‌های رنگی با استحکام زیاد مانند مخمرهای موجود در پساب صنعت خوراکی موثر هستند.



شکل ۶- تصویر (a) باکتری کلبسیلا پنومونیه و (b) باکتری باسیلوس که برای حذف رنگ‌های صنعتی استفاده می‌شود را نشان می‌دهد

دهنده لیگنین، پراکسیداز منگنز^۴ (MnP) و لیگنین پراکسیداز^۵ (LiP) تولید کنند.

لاکازها نقش مهمی در رنگ‌دایی ایفا می‌کنند. آن‌ها کاتالیست اکسیداسیون تک الکترون از انواع ترکیبات آلی و معدنی را با استفاده از اکسیژن مولکولی به عنوان یک گیرنده الکترونی عمل کرده و رادیکال‌های فعال را که عامل تخریب مولکول‌های رنگ‌زا است را ایجاد می‌کنند. در رنگبری پساب صنعت نساجی، ارتباط بین لاکازها و ترکیبات واسطه مورد بررسی قرار گرفته است (۲۳) لاکاز به تنهایی قادر به رنگبری این پساب نیست. با ترکیبات واسطه به‌همراه لاکازها می‌توانند رنگ‌دایی پساب را افزایش دهند. ترکیبات واسطه که ترکیباتی با وزن مولکولی کم هستند و می‌توانند به‌راحتی لاکاز اکسیده شوند، رادیکال‌های فعال تولید می‌کنند که به نوبه خود قبل از برگشتن به حالت اصلی خود، به لایه‌های تحتانی پیچیده‌تر حمله می‌کنند. علاوه بر این، تاثیر لاکاز در اکسیداسیون و

این روش‌ها می‌توانند شامل پیوند رنگ به سطح سلول از طریق پیوندهای یونی، هیدروفوبی و کووالانسی، انتقال رنگ به درون سلول، پیوند با آنزیم‌هایی که ویژگی‌های احیای رنگ‌ها را تغییر می‌دهند، پیوند با آنزیم‌هایی که رنگ‌ها را تجزیه می‌کنند و انتقال رنگ‌های تخریب شده به خارج از سلولها می‌باشد. قارچها نقش ضروری در رنگ‌دایی پساب رنگ ایفا می‌کنند. مکانیزم رنگ‌دایی قارچی تابع حالت زندگی آنها از جمله حالات مرده یا زنده آن‌ها دارد. رنگ‌دایی با سلول‌های زنده شامل مکانیزم‌های پیچیده نظیر اکسیدازهای^۱ درون سلولی و برون سلولی و جذب زیستی است (۲۲). این سلول‌ها روابط نزدیکی با شرایط عملکرد از جمله شرایط تغذیه، غلظت پساب رنگی و سمی بودن آن دارند. مکانیزم اصلی این سلول‌ها تجزیه بیولوژیکی است. سلول‌های زنده می‌توانند برای لیگنین^۲ مصنوعی و یا رنگ‌های مصنوعی، آنزیم‌های لاکاز^۳ تغییر

4- Manganese Peroxidase
5- Lignin Peroxidase

1- Oxidases
2- Lignin
3- Laccases

در این تحقیق، سی گونه قارچ و باکتری بر اساس راندمان پیوند لاکاز و رنگ گوگردی سیاه طبقه بندی شدند. راندمان پیوند که بر حسب وزن واحد پیوند رنگ در هر وزن واحد زیست توده تعریف می‌شود از ۰/۰۰۶ تا ۳/۰۰۸ است. هر دو شکل مرده و زنده هر یک از گونه‌ها مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که انواع زیست توده زنده نسبتاً موثرتر از زیست توده مرده هستند و ۵۴٪ از ۲۶ گونه پیوندی در حالت زنده موثرتر بودند. چند نوع زیست توده اصلاً با این رنگ پیوند نداشتند. قارچ ریزوپوس و باکتری آنابنا زنده و مرده بهترین مواد پیوند دهنده رنگ گوگردی سیاه هستند (۲۶).

۲-۲- باکتری باسیلوس سرئوس

باسیلوس سرئوس میکروارگانیسم اصلی مورد استفاده در لجن در طول فرآیندهای اکسیداسیون است. این یک کنسرسيوم میکروبی فعال در فرآیند اکسیداسیون است و برای کاهش نیترات مثبت است و باید به راکتور برگردانده شود. باسیلوس قادر است به طور هم‌زمان نیتریفیکاسیون^۲ دی نیتریفیکاسیون هوازی انجام دهد و به طور مستقیم یا غیرمستقیم در حذف نیتروژن در تصفیه خانه‌های پساب نقش دارند. علاوه بر این، باسیلوس سرئوس با شماره ATCC (W3) 55566 به عنوان جاذب زیستی رنگزای گوگردی سیاه از یک لایه تحتانی انتخاب شده است (۲۷). این جاذب زیستی به کاهش غلظت رنگ سیاه‌گوگردی در لایه‌های تحتانی از طریق میکروارگانیزم‌ها اشاره دارد. W3 در خانواده باسیلوس طبقه‌بندی می‌شود که یک باکتریوم گرم مثبت است که فقط تحت شرایط هوازی رشد می‌کند؛ بهترین رشد را در pH 7 و pH 9 دارد و نمی‌تواند در pH ۳/۵ یا ۱۱ رشد کند.

در ازای 50 mg L^{-1} رنگ سیاه گوگردی، راندمان حذف رنگ سیاه گوگردی به ۹۰٪ با 10 mg از سلول‌های خشک W3 بدست آمد. و با 100 mg از سلول‌های خشک

تخریب رنگها در رنگرزی پنبه با رنگهای گوگردی نشان داده شده است (۲۴). که یک کاتالیزور اکسایشی فعال است، برای اکسیداسیون رنگ گوگردی به‌عنوان جانشینی برای دی‌کرومات سمی مورد بررسی قرار گرفته است. برای سلول‌های مرده، تنها مکانیزم، جذب- زیستی می‌باشد که شامل پیوندهای فیزیکی و شیمیایی مانند جذب سطحی، رسوب گذاری و تبادل یون می‌باشد. استفاده از سلول‌های مرده راحت‌تر از کاربرد سلول‌های زنده است (۲۵). سلول‌های مرده را می‌توان برای دوره‌های طولانی‌تر نگهداری کرد، عمکرد آن‌ها و استفاده مجدد برای رنگبری ساده‌تر است. همچنین، زیست‌توده مرده را می‌توان از منابع صنعتی به صورت یک محصول پسماند از فرآیندهای تخمیر بدست آورد.

۲-۱- قارچ ریزوپوس^۱ و باکتری آنابنا^۲

جاذب زیستی یک جایگزین ارزان‌تر برای فناوری‌های تبادل یون است. این روش استفاده محدودی در تولیدات صنعتی و تصفیه آلاینده‌های معمولی دارد. باکتری‌ها، سیانو باکتری‌ها، جلبک‌ها و قارچ‌ها در مطالعات جاذب زیستی بررسی شده است. خواص پیوندی این زیست توده‌ها را می‌توان با تصفیه‌های شیمیایی مانند تصفیه قلیایی بهبود داد. از آن‌جا که قابلیت پیوند برای یک ماده مفروض بسیار گزینشی است، جاذب زیستی برای فرآیند تصفیه پیشنهاد شده است. نیاز به بازیافت و باز مصرف رنگ‌ها ضروری است زیرا بسیاری از رنگ‌ها نسبت به سایر مواد شیمیایی نسبتاً گران هستند در نتیجه پیوند رنگ‌ها با لجن میکروبی در تجهیزات تصفیه پسماند مورد بررسی قرار گرفته است (۲۶). فرآیند بازیافت را می‌توان در مراحل بسیاری از جمله انتقال پسماند رنگ به یک راکتور زیست توده، پیوند رنگ به زیست توده، شستشوی مواد بدون پیوند از راکتور، حذف رنگ از زیست توده با استخراج حلال، پالایش و تجمع رنگ، و باز مصرف رنگ بازیافت شده انجام داد.

۴-۲- کنسرسیوم میکروبی گالاکتومایسیز^۳ و گونه باسیلوس^۴ VUS

ثابت شده است که گالاکتومایسیز MTCC 1360 و باسیلوس VUS و در تخریب رنگها موثر هستند و کنسرسیوم این میکروارگانیزمها برای فرآیندهای تخریب سریع تر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این کنسرسیوم را می توان با انتقال زیست توده انتخاب شده از گالاکتومایسیز MTCC ۱۳۶۰ تحت شرایط استریل به یک توده حاوی باسیلوس VUS که به مدت ۲۴ ساعت پرورش یافته است آماده کرد (۲۹).

از آنجا که فرآیند تخریب رنگ وابسته به آنزیم است، کنسرسیومها اثرات هم‌افزایی را نشان می‌دهند و سوخت و ساز را برای تولید متابولیت‌های غیرسمی تغییر می‌دهند. تحت شرایط ثابت، در pH 9 و ۵۰ درجه سانتی‌گراد، ثابت شد گالاکتومایسیز MTCC 1360 رنگ را به طور کامل (۱۰۰٪) بعد از ۱۲ ساعت رنگ‌زدایی حذف می‌کند در حالی که باسیلوس VUS قادر به رنگ‌زدایی این رنگ به طور ناقص (۳۹٪) بعد از ۲۴ ساعت فرآیند رنگ‌بری است (۲۹).

با این وجود، تحت همین شرایطی این کنسرسیوم قادر به رنگ‌زدایی کامل حاوی رنگ گوگردی آبی درخشان G (۱۰۰٪) بعد از ۵ ساعت است. زمان لازم برای کنسرسیوم گالاکتومایسیز جهت رنگ‌زدایی این رنگ با افزایش غلظت رنگ، بیش‌تر شد. با غلظت رنگ ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ mg L⁻¹، زمان‌های لازم برای اینکه کنسرسیوم گالاکتومایسیز رنگ را رنگ‌زدایی کند، به ترتیب ۵، ۹ و ۳۶ ساعت بود.

۵-۲- باکتری استنوتروفوموناس مالتوفیلیا^۵ AAP56

سلول‌ها را می توان در یک ماتریس پلیمری، که به صورت کووالان به یک ماتریس پایه پیوند می‌خورند، به صورت کووالان از سلولی به سلول دیگر متصل می‌شوند، جذب یک

W3 به ۱۰۰٪ رسید. راندمان حذف گوگرد سیاه ۱۰ mg از سلول‌های خشک W3 تقریباً زمانی تا ۹۹٪ افزایش یافت که غلظت رنگ گوگردی سیاه از ۱۰ به ۲۰۰ mg L⁻¹ افزایش یافت و هنگامی تا ۶۰٪ کاهش یافت که غلظت گوگرد سیاه به ۱۰۰۰ mg L⁻¹ افزایش یافت. در ازای ۱۰ mg W3 و ۵۰ mg L⁻¹ رنگ گوگردی سیاه، راندمان حذف رنگ در محدوده دمایی ۴-۶۰ درجه سانتی‌گراد تقریباً در ۸۵-۹۲٪ باقی ماند. راندمان حذف رنگ گوگرد سیاه تقریباً با افزایش pH از ۷ به ۱۱ کاهش یافت و سپس به طور چشم‌گیری با افزایش pH از ۱۱ به ۱۲ افزایش یافت (۲۷).

۳-۲- قارچ اسپرژیلوس ترئوس^۱ SA3

قارچ ترئوس SA3 قارچی متعلق به جنس اسپرژیلوس و تقسیم‌بندی اصلی آسکومیکوتا^۲ است. استفاده از گونه اسپرژیلوس برای رنگ‌زدایی مصنوعی رنگ‌های مختلف اخیراً مورد بررسی قرار گرفته است. تصفیه رنگ‌های سیاه گوگردی از پساب نساجی با قارچ ترئوس SA3 در یک بیوراکتور مخزن چرخان در مقیاس آزمایشگاه انجام شده است (۲۸). نتایج نشان داد این سیستم در تصفیه این رنگ بسیار موثر بود. با غلظت ۵۰ mg L⁻¹ و HRT (زمان ماند هیدرولیکی) ۲۴ ساعت، حذف رنگ، BOD و COD به ترتیب ۸۴/۵٪، ۶۶/۵٪ و ۷۵/۲٪ بودند. راندمان تصفیه راکتور با افزایش غلظت رنگ کاهش یافت. حذف رنگ با افزایش غلظت رنگ از ۱۰۰ به mg L⁻¹ ۵۰۰ از ۸۰/۱٪ به ۳۰/۱٪ کاهش یافت. حذف COD با افزایش غلظت رنگ از ۵۰ به mg L⁻¹ ۵۰۰ از ۷۵/۲۴٪ به ۴۴/۱۵٪ کاهش یافت. با حذف BOD، هر چه میزان غلظت رنگ بیش‌تر باشد، راندمان حذف کم‌تر خواهد شد. حداکثر خروج BOD در ۲۴ ساعت HRT (زمان ماند هیدرولیکی) هنگامیکه غلظت رنگ ۲۰۰ mg L⁻¹ بود، ۶۶،۵۰٪ بود (۲۸).

3- Galactomyces

4- Bacillus. VUS

5- Stenotrophomonas Maltophilia AAP56

1- Fungal Isolate Aspergillus Terreus SA3

2- Ascomycota

۷۵٪ با مالتوفیلیا تثبیت شده با محبوس شدن در به ترتیب ژل پلی-آکریل آمید^۲، ژل آگار^۳، و ژل آلژینات^۴ رخ می‌دهد. در مورد رنگ‌زدایی با مالتوفیلیا AAP56 تثبیت شده در یک راکتور ستون ثابت جریان بالا (DFCR)، این فرآیند راکتور در حذف ۸۲ درصد از رنگ پساب در ۲۴ ساعت در زمانی که میزان رقیق‌سازی 0.3 h^{-1} و 4.03 HRT است، مناسب می‌باشد. نتایج ارایه شده با راکتور در مقیاس آزمایشگاهی، انگیزه‌ای برای مقیاس بندی DFCR تا سطح صنعتی است.

۳- روش‌های ترکیبی

هر فرآیندی مزایا و معایب خاص خود را دارا است؛ بنابراین ترکیب‌های مختلفی برای تصفیه کارآمد پساب رنگی گوگردی بررسی شده‌اند. با ترکیب فرآیندهای انعقاد و غشا، پساب رنگ گوگردی سیاه از ابتدا با سولفات آلومینیوم و بعد از آن با میکروفیلتراسیون (MF) با استفاده از یک غشای سرامیکی پیش‌تصفیه می‌شود (۳۱). سولفات آلومینیوم به عنوان منعقد کننده استفاده می‌شود و یک پلیمر به عنوان فلوکولان^۵ مورد استفاده قرار می‌گیرد. لایه رویی پس از ته‌نشینی جمع‌آوری و با فرایند MF تصفیه می‌شود. بعد از گذشت ۱ ساعت، کدورت برای کاهش از ۵۹۱۲ NTU به ۱،۱۰ NTU مشاهده می‌شود و COD از 3910 mg L^{-1} به 700 mg L^{-1} کاهش می‌یابد. مقادیر حذف کدورت و COD به ترتیب بیش‌تر از ۹۹٪ و ۸۲٪ هستند و حذف رنگ برای پساب معقول است. در فرایند ترکیب دیگری، پساب گوگرد سیاه در ابتدا با یک جاذب پیش‌تصفیه شده و پس از آن در یک غشای-سرامیکی تصفیه می‌شود (۳۲). این جاذب زیست توده خشک شده از ریشه‌های سنبل آبی با نام علمی *Eichhornia crassipes* است. این ریشه‌ها جمع‌آوری می‌شوند و به‌طور کامل در آب مقطر شسته می‌شوند تا هر گونه ناخالصی از

پایه جامد می‌شوند، و یا به‌صورت توده جمع‌شده می‌باشند به دام انداخت. همچنین یک ماتریس تثبیت به شکل مهره می‌تواند در ستون‌های ثابت شده و یا در یک راکتور بستر سیال مورد استفاده قرار گیرد. مزایای این راکتورها شامل سرعت بالای واکنش، کاهش حداقل مواد مغذی، و ممانعت از تولید محصول، و انتقال جرم بهتر از طریق کاهش ویسکوزیته تغذیه و افزایش سرعت دیفرانسیل هستند. تثبیت سلول با محبوس شدن سلول فرق دارد. سلول‌های تثبیت شده زمانی می‌توانند سلول‌های محبوس شده باشند که جذب مواد پایه شوند. استفاده از سلول‌های تثبیت شده مزایای زیادی بر فرآیندهای با زیست‌توده معلق دارد مانند: حفظ غلظت میکروارگانیسم بیش‌تر در راکتور، حفاظت از سلول‌ها در برابر لایه‌های تحتانی سمی و تفکیک زیست توده معلق از پساب مالتوفیلیا AAP56 یک باکتری جدا شده از خاک حاوی پسماند انگور تولید شده از صنعت شراب‌سازی در شهرستان کلیپای تونس، فعالیت‌های جالب توجهی را برای حذف رنگ از پساب صنعتی که سرشار از رنگ‌های گوگردی-سیاه (۳۰) است نشان می‌دهد. این توانایی رنگ‌زدایی باکتریایی تحت تاثیر محیط کشت قرار می‌گیرد و حذف به ترتیب ۴۵، ۱۴، ۱۹، ۸٪ رنگ را در ۲۴ ساعت در محیط PYN حاوی ۱٪ پپتون، ۱٪ NaCl و ۰٫۵٪ عصاره مخمر، محیط PY حاوی ۱٪ پپتون و ۰٫۵٪ عصاره مخمر، محیط PN حاوی ۱٪ پپتون و ۱٪ نمک طعام، محیط YN حاوی ۰٫۵٪ عصاره مخمر و ۱٪ NaCl، و محیط NG حاوی ۱٪ NaCl و ۱٪ گلوکز را نشان می‌دهد. علاوه بر این، جانسینی عصاره مخمر در محیط LB حاوی $10 \text{ L}^{-1} \text{ g}$ ، $10 \text{ L}^{-1} \text{ g}$ NaCl، پپتون پانکراس $5 \text{ L}^{-1} \text{ g}$ عصاره مخمر متشکل از آرد سویا، درصد رنگ‌زدایی بهتری با حذف ۷۰٪ رنگ در ۲۴ ساعت، و حذف BOD و COD با مقدار تقریباً به ترتیب ۲۸٪ و ۲۳٪ را به خود اختصاص داد. به عبارت دیگر، هنگامی که این سلول‌های باکتریایی در اثر محبوس شدن در یک ژل تثبیت می‌شوند، حذف رنگ در ۲۴ ساعت، ۴۰/۳۵٪ و

2- Polyacrylamidegel

3- Agar gel

4- Alginate gel

5- Flocculant

1- Peptone

فناوری‌های نساجی است. این نوع تصفیه هم توانایی کاهش گلوکز و هم‌توانایی اکسیداسیون پراکسید هیدروژن و هیپوکلریت سدیم را افزایش می‌دهد. در رنگرزی پنبه با رنگ‌های گوگردی، استفاده از دی کرومات موجب سفتی پنبه رنگ شده را با توجه به رسوب ترکیبات کروم بیشتر می‌کند و باعث تغییر گاه به گاه در ته رنگ و افزایش محتوای جامد پساب تخلیه شده می‌شود (۲۴). در تلاش برای عنوان مثال با بهینه‌سازی بیشتر، ممکن است ترکیب قارچ اسپرژیلوس ترئوس SA3 و باکتری باسیلوس سرئوس با تثبیت در بیوراکتور مفید باشد.

منابع

- 1- E. Croissant, L.M.F. Bretonniere, S. Yoshioka, H.M. Tobin, Sulfur dyes, in: J. Senior, R.A. Guest, W.E. Wood (Eds.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley, New York, 2000, pp. 215–216. pp. 1 and 18–19.
- 2- G. Shankarling, R. Paul, J. Thampi, Novel dyes and commercial forms, Colourage 44 (1997) 71–74.
- 3- C. Heid, K. Holoubek, R. Klein, Sulfur dyes – chemical constitution, in: K. Hunger (Ed.), Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Applications, Wiley- VCH, Weinheim, 2003, pp. 215–216.
- 4- C.A. Fewson, Biodegradation of xenobiotic and other persistent compounds: the causes of recalcitrance, Trends Biotechnol. 6 (1988) 148–153
- 5- F. He, W. Hu, Y. Li, Biodegradation mechanisms and kinetics of azo dye 4BS by a microbial consortium, Chemosphere 57 (2004) 293–301.

بین برود. پودر زیست توده دارای چگالی حجمی 133 kg m^{-3} ، رطوبت $9/6\%$ ، خاکستر 44% ، و اندازه ذرات $0/38 \text{ mm}$ است. فرآیند MF تحت شرایط تغذیه مطلوب مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در شرایط مطلوب pH 4 و مقدار جاذب 1 g L^{-1} هستند. اثر زمان با راه‌اندازی آزمایش با فشار ثابت مشاهده می‌شود. پس از ۱۵ دقیقه، حذف رنگ، COD و TSS به ترتیب $97/7\%$ ، 66% ، و 94% می‌باشد. پس از ۱۲۰ دقیقه، مقادیر حذف رنگ، COD، TSS به ترتیب به $98/5\%$ ، 79% و 96% می‌رسد. شار تراوه در ابتدا $60 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ است و پس از ۱۲۰ دقیقه تا $43 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ کاهش می‌یابد. کدورت تا زیر ۱ NTU کاهش می‌یابد.

۴- حذف مواد سمی در فرآیندهای رنگرزی رنگرزی گوگردی

مواد مضر اصلی در فرآیند رنگرزی گوگردی شامل عوامل کاهنده نظیر سولفید سدیم و عوامل اکسیداسیون مانند دی کرومات، پراکسید هیدروژن، و هیپوکلریت سدیم هستند. دی تیونات سدیم، دی اکسید تیواوره، و کاهش کاتدیک غیرمستقیم به عنوان جایگزین‌هایی برای سولفید سدیم مورد مطالعه و آزمایش قرار گرفته‌اند. سولفید سدیم دلیل نتایج نانظوب و هزینه بالاتر به طور معمول در صنعت نساجی استفاده نمی‌شوند. گلوکز، یک عامل کاهنده سازگار با محیط‌زیست، برای جایگزینی سولفید سدیم در فرآیندهای نساجی برای رنگرزی با رنگ‌های گوگردی و برای سفید کردن پارچه‌های پنبه‌ای انتخاب شده است. به کارگیری این عامل کاهنده جدید، پساب با کیفیت بهتر و نتایج قابل مقایسه از نظر غلظت رنگ و ثبات شستشو بدون کاهش قابل توجهی در استحکام کششی نسبت به سولفید سدیم نشان داده است. این قند کاهنده غلظت بهینه‌ای بر اساس پتانسیل احیای خود دارد و منجر به جذب حداکثر رنگ با از دست دادن رنگ کم‌تر می‌شود. این پتانسیل احیا تحت تاثیر میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد. تصفیه مغناطیسی از مزایای فناوری و اقتصادی برای

- 15- Lucas, M. S., Peres, J. A., Puma, G.L., 2011, Treatment of winery wastewater by ozone-based advanced oxidation processes (O₃, O₃/UV and O₃/UV/H₂O₂) in a pilot-scale bubble column reactor and process economics, *Separation and Purification Technology*, 72, pp. 235–241.
- 16- Katsoyiannis, I.A., Canonica, S., Gunten, U., 2011, Efficiency and energy requirements for the transformation of organic micropollutants by ozone, O₃/H₂O₂ and UV/H₂O₂., *Water Research*, 46, pp. 3811–3822.
- 17- Kim, I., Yamashita, N., Tanaka, H., 2009, Photodegradation of pharmaceuticals and personal care products during UV and UV/H₂O₂ treatments, *Chemosphere*, 77, pp. 518–525.
- 18- V.V. Sethuraman, B.C. Raymahashay, Color removal by clays: kinetic study of adsorption of cationic and anionic dyes, *Ind. J. Technol.* 9 (1985) 643–649.
- 19- K. L. M. Gleisy, S. D. Maria Angélica, L. Rafael, d. S. Edison Antonio, d. M. L. Oswaldo Curty, Dynamic isotherms of dye in activated carbon, *Materials Research* 3 (2008) 1516-1439.
- 20- J. Jia, J. Yang, J. Liao, W. Wang, Z. Wang, Treatment of dyeing wastewater with ACF electrodes, *Water Res.* 33 (1999) 881–884.
- 21- M. von Sperling, V.H. Freire, C.A. de Lemos Chernicharo, Performance evaluation of a UASB-activated sludge system treating municipal wastewater, *Water Science and Technology* 43 (2001) 323–328.
- 6- J. Robinson, Sulfur dyes and the environment, *J. Soc. Dyers Colorists* 111 (1995) 172–175.
- 7- R. Han, S. Zhang, W. Zhao, X. Li, X. Jian, Treating sulfur black dye wastewater with quaternized poly (phthalazinone ether sulfone ketone) nanofiltration membranes, *Sep. Purif. Technol.* 67 (2009) 26–30.
- 8- O.O. Ogunlaja, O. Aemere, Evaluating the efficiency of a textile wastewater treatment plant located in Oshodi (Lagos), *African J. Pure Appl. Chem.* 3 (2009) 189–196.
- 9- Sodium thiosulfate, Material Safety Data Sheet, EUSA-180, September 2007, p. 1.
- 10- Kim, T.H., Park, C., Shin, E.-B., Kim, S., 2002, Decolorization of disperse and reactive dyes by continuous electrocoagulation process, *Desalination*. 150, pp. 165–175.
- 11- I.M. Banat, P. Nigam, D. Singh, R. Marchant, Microbial decolorization of textile-dye-containing effluents: a review, *Biores. Technol.* 58 (1996) 217–227.
- 12- Lili L., Xueling C., Yuqing W., Dawei L., Dandan H., Synthesis of organo-functionalized magnetic microspheres and application for anionic dye removal. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 44 (2013) 67–73.
- 13- O. Marmagne, C. Coste, Color removal from textile plant effluents, *Am. Dyest. Rep.* 85 (1996) 15–21.
- 14- W. Rudolfs, W.H. Baumgartner, Notes on Precipitation of Black Sulfur Dye Waste, New Jersey Agricultural Experiment Station, New Brunswick, NJ, USA, 1931.

- Stenotrophomonas maltophilia AAP56: implementation of efficient down flow column reactor, World J. Microbiol. Biotechnol. 26 (2010) 1341–1347.
- 31- B. Santhosh, Treatment of textile wastewater containing black sulfur dye using ceramic membrane based separation process, Scribd 2011.
- 32- B. Santhosh, Potential use of Eichhornia crassipes for treatment of highly toxic sulfur black effluent, Scribd 2011.
- 22- Y. Fu, T. Viraraghavan, Fungal decolorization of dye wastewaters, Biores. Technol. 79 (2001) 251–262.
- 23- M. Imran, M.J. Asad, S.H. Hadri, S. Mehmood, Production and industrial applications of laccase enzyme, J. Cell Mol. Biol. 10 (2012) 1–11.
- 24- J.N. Chakraborty, G. Dhiman, Effectiveness of laccase in the oxidation and recovery of sulfur dyes, Text. Res. J. (published, online 26 July 2012)
- 25- D. Brady, A. Stoll, J.R. Duncan, Biosorption of heavy metal cations by nonviable yeast biomass, Environ. Technol. 15 (1994) 429–438.
- 26- J.K. Polman, C.R. Breckenridge, Biomass-mediated binding and recovery of textile dyes from waste effluents, Text. Chem. Colorists 28 (1996) 31–35.
- 27- M.K. Keung, Bacterium useful in the removal of sulfur black dye from a substrate, US Patent No. 5610064, 1997.
- 28- S. Andleeb, N. Atiq, M.I. Ali, R.R.U. Hussain, M. Shafique, B. Ahmad, P.B. Ghumro, M. Hussain, A. Hameed, S. Ahmad, Biological treatment of textile effluent in stirred tank bioreactor, Int. J. Agric. Biol. 12 (2010) 256–260.
- 29- S.U. Jadhav, M.U. Jadhav, A.N. Kagalkar, S.P. Govindwar, Decolorization of brilliant blue G dye mediated by degradation of the microbial consortium of Galactomyces geotrichum and Bacillus sp, J. Chin. Inst. Chem. Eng. 39 (2008) 563–570.
- 30- S. Galai, F. Limam, M.N. Marzouki, Decolorization of an industrial effluent by free and immobilized cells of