



تصفیه جدید در روش منبع با استفاده از ترکیب میکرو فیلتراسیون و نانوفیلتراسیون به منظور استفاده مجدد از پساب رنگری

مترجم: عباس حاجی پور

چکیده

پساب نساجی در میان آلوده ترین پساب ها در کل دنیا شناخته شده است. در میان فرایندهای مختلف نساجی، رنگری فرآیندی است که بیشترین مقادیر آلودگی های شیمیایی را تولید می کند. مطالعات زیادی درباره تصفیه این آلودگی های سمی انجام شد و روش های گوناگونی برای این منظور بکار گرفته می شود. در این پژوهش، آلودگی های حاصل از مراحل مختلف چرخه رنگری بر طبق مخلوط های گوناگون حمام ها با استفاده از تکنولوژی غشایی تصفیه شدند. آزمایشات نانوفیلتراسیون (NF) به منظور حذف رنگزا انجام شد اما رسوب غشایی همچنان یکی از اصلی ترین محدودیت ها می باشد. جهت افزایش عملکرد NF، میکروفیلتراسیون (MF) به عنوان آماده سازی اولیه NF انجام شد. نتایج نشان داد که تقریباً بیش از ۹۹٪ رنگ و کدورت حذف شد و همچنین مقادیر COD، کلراید و نمک با بهبود سرعت های جریان تثبیت شده با MF و NF مخلوط ها گوناگون در مقایسه با پساب رنگری که بطور جداگانه تصفیه شده است، به طور قابل توجهی کاهش می یابد. به منظور انجام شدن چرخه کامل استفاده مجدد، آزمایشات رنگری با استفاده از آب عبور کرده از سیستم مرکب (MF/NF) انجام شد. نتایج با توجه به کل اختلاف رنگی بین نمونه ها و بررسی استاندارد انجام شده با آب شیرین، مورد ارزیابی قرار گرفت.

مقدمه

رنگری، رسوبات غشا محدودیت های عمده ای را برای استفاده عملیات نانوفیلتراسیون، به تنهایی، ارائه می دهد. رسوب کردن، غشاء را در معرض آسیب قرار می دهد و طول عمر آن را کاهش می دهد و همچنین منجر به هزینه های عملیاتی بالایی می شود. جهت جلوگیری از اثرات رسوبات بر روی غشا و جهت افزایش عملکردهای NF، آماده سازی اولیه ضروری است. دو روش تصفیه هیبریدی یا عمدتاً ترکیب فرایند غشایی، می توانند مورد استفاده قرار گیرند.

به منظور تصفیه هیبریدی، NF می تواند با تصفیه بیولوژیکی متداول با لجن فعال شده، ترکیب شود. Fersi و همکارانش متوجه شدند که استفاده از NF بعد از تصفیه بیولوژیکی بیش از ۹۰٪ حذف رنگ، کدورت و TDS را بدست می دهد. نسبت انعقاد لخته شدن (C/F) نیز می تواند استفاده شود، که Riera-Torres و همکارانش دریافتند که ترکیب C/F و NF تقریباً بیش از ۹۰٪ حفظ رنگ برای محلول های رنگری مختلف، فراهم می کند. Zahrim و همکارانش توانایی انعقاد لخته شدن جهت به حداقل رساندن رسوبات غشاء NF در طی تصفیه محلول های رنگزا با غلظت را مطالعه کردند. انعقاد الکتریکی نیز یک تکنولوژی جدید جهت تصفیه پساب نساجی است که می تواند با NF برای استفاده مجدد پساب ترکیب شود. Aouni و همکارانش مشاهده کردند که با استفاده از این روش، میزان رنگ حذف شده عمدتاً بالای ۹۹٪ بدست می آید. تمامی این روشها هنگامیکه با NF ترکیب شدند، نتایج قابل قبول حاصل نمودند، اما با این حال نیاز زیادی به توسعه روشهای بسیار موثر و ارزان قیمت وجود دارد که می توانند به طور خودکار نظارت شوند و نیاز به مواد شیمیایی و مصرف انرژی کمتر و مکان نصب کوچکتر دارند.

جهت دستیابی به محصول تکمیل شده، اقلام نساجی باید تحت فرایندهای مختلف قرار گیرند، اما رنگزای باقیمانده بسیار مهم می باشد. فرایندهای رنگری صنعتی شامل فرایندهای مختلفی از قبیل آماده سازی اولیه، رنگری، شستشو، خنثی سازی و نرم کنندگی می باشند. برخی از این عملیاتها با یک یا چند مرحله آبکشی دنبال می شوند. بنابراین، مقادیر بسیار زیادی آب جهت دستیابی به فرآیند رنگری باید مورد استفاده قرار گیرد. Aille gre و همکارانش بیان کردند که ۱ کیلوگرم پنبه به طور متوسط نیاز به ۷۰ تا ۱۵۰ لیتر آب دارد.

رنگزای راکتیو به طور وسیعی برای رنگری الیاف سلولز و همچنین پنبه مورد استفاده قرار می گیرد. با این حال، در این حالت، فرایند رنگری نیاز به مقدار بالای نمک و رنگزا جهت دستیابی به محصول با کیفیت دارد: ۱ کیلوگرم پنبه نیاز به ۰/۶ کیلوگرم نمک NaCl و ۴۰ گرم رنگزای راکتیو دارد. تخلیه مستقیم پساب های تولید شده به محیط زیست سبب مشکلات زیست محیطی جبران ناپذیری از قبیل مردابی شدن و تکثیر بی رویه جلبک ها در سیستم های اکوستیک می شود و می تواند اثرات فجیعی بر روی آب آشامیدنی حتی در عمیق ترین سفره های آبی داشته باشد. بنابراین، جهت تصفیه مناسب پساب رنگری قبل از تخلیه باید دقت کرد.

تصفیه غشایی تکنولوژی نسبتاً جدیدی است، اما مشاهده شده است که جهت تکمیل پساب رنگری موثر می باشد. استفاده دوباره پساب نساجی به مقدار زیادی با فرایند غشایی، مخصوصاً فرایند نانوفیلتراسیون (NF) که به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است، مرتبط می باشد. بدلیل کاهش اندازه حفره های غشای NF (تقریباً ۹-۱۰) در مقابل بارهای مهم آلاینده پساب



را مورد بررسی قرار دادند و متوجه شدند که پایداری کمپلکس سطح فعال کاتیونیک و رنگزای آنیونیک با افزایش سطح فعال نانویونیک، کاهش می یابد. Zaghbani و همکارانش دریافتند که استفاده از سطح فعال های آنیونیک با رنگزاهای کاتیونیک خروج رنگ را توسط غشای UF افزایش می دهد و حذف رنگزای بالای ۹۷٪ را فراهم می کند.

در این پژوهش، بررسی طی دوره زمانی از ژانویه تا جولای ۲۰۱۲ در کارخانه نساجی در منطقه هلال تونس انجام گردید. سیال مورد استفاده شده در این پژوهش، پساب رنگری واقع بود. مقیاس آزمایشگاهی بر پایه MF و NF جفت شده در تصفیه مخلوطهای حمام های مختلف آزاد شده از عملیات های چرخه رنگری، مورد استفاده قرار گرفت. هدف این مطالعه ارزیابی عملکرد MF/NF در تصفیه در منبع پساب های رنگری غلیظ و بررسی قابلیت استفاده مجدد آب تصفیه شده در فرایند رنگری بود.

مواد و روش ها

چرخه رنگری و ترکیب حمام ها

پسابها از فرایند رنگری صنعتی پنبه با رنگزای راکتیو تهیه شدند. جدول ۱ مراحل مختلف فرایند صنعتی مورد مطالعه رنگزای راکتیو، شرایط کاربرد و نوع مواد کمکی اضافه شده در هر عملیات را نشان می دهد. حجم آب استفاده شده در فرایند بستگی به وزن ماده دارد؛ ۱ کیلوگرم از پنبه نیاز به حدود ۱۰۱ لیتر آب تازه در هر مرحله دارد، بنابراین حجم یکسانی از آب در هر عملیات استفاده می شود. مولکولهای رنگزای راکتیو از گروههای کروموفور و گروههای فعال شیمیایی تشکیل شده است که پیوندهای کووالانسی با الیاف ایجاد می کنند. اتصال دهنده های فعال شیمیایی با نام "دی کلرو تری آزین" بار منفی دارند و به عنوان عامل اتصال دهنده بین رنگزا و زمینه عمل می کنند. در این پژوهش، سه رنگزای راکتیو، زرد، قرمز و آبی (جدول ۲)، به طور همزمان در حمام رنگری استفاده شدند.

عملیات انجام شده، شامل جداسازی حمام رنگری که پسابهای بسیار آلوده را آزاد می کند، می باشد، تا این پساب در مرحله اول به طور جداگانه تصفیه شود. جهت رقیق کردن این سیال غلیظ، مخلوط تمامی سیال ها که از عملیات های مختلف چرخه رنگری حاصل می شوند، مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت روش جدید شامل ترکیب حمام رنگری با حمام های

ترکیب فرایندهای غشایی، تجهیزات ارزان قیمت و هم چنین محدودیت مکانی را تامین می کند و کیفیت آب تصفیه شده را در مقایسه با روش های متداول بهبود می دهد. Tahri و Ellouze متوجه شدند که استفاده از میکروفیلتراسیون (MF) به عنوان آماده سازی اولیه برای NF در مقایسه با C/F، عملکرد عملیات تصفیه در حذف آلاینده ها با توجه به رنگ (۹۶/۲٪ با MF و ۹۲/۸٪ با C/F) و حذف نمک (۲۶٪ با MF در مقابل ۱۵/۷٪ با C/F) تغییر می دهد. Rozzi و همکارانش دریافتند که در بسیاری از حالات که MF با NF به عنوان آماده سازی اولیه ترکیب شده است، COD و حذف رنگ به ترتیب نزدیک ۷۰ و ۹۵٪ می باشد. Unlu و همکارانش ترکیبات مختلف انعقاد MF، NF را بررسی کردند و متوجه شدند که سیستم MF/NF در تصفیه پساب رنگزای ایندیگو، شرایط بهینه می باشد.

تصفیه در منبع سیال خروجی نساجی به نظر می رسد راهکار خوبی جهت کاهش کل جریان و پیچیدگی پساب باشد، مخصوصا به منظور تصفیه حمام رنگری که مقادیر حجم کم آب در مقایسه با عملیات های دیگر اما با غلظت های آلودگی قابل توجه تولید می کنند. در این روش تصفیه، پساب حمام رنگری می تواند جدا شود و به طور جداگانه تصفیه شود اما با این پساب بسیار غلیظ، مشکلات رسوب در هنگام تصفیه با استفاده از فرایندهای غشایی تنها، ممکن است ایجاد شود. جهت اجتناب از مشکلات رسوب، C/F و همچنین فیلتراسیون ماسه ای به عنوان آماده سازی اولیه می تواند بکار گرفته شود. از طرف دیگر، پساب حمام رنگری می تواند با پساب های دیگر حاصل از فرایند رنگری به منظور رقیق سازی و تلاش برای داشتن واکنش های مطلوب بین اجزاء مختلف حمام ترکیب شود. در این زمینه، مواد سطح فعال که به طور گسترده در فرایند رنگری استفاده می شود، باید در نظر گرفته شوند. ارتباط بین استفاده از سطح فعال ها و افزایش حذف رنگزا از پساب نساجی در بسیاری از مطالعات گزارش شده است. Kartal و Akbas امکان برهمکنش بین سطح فعال آنیونیک یا نانویونیک را با رنگزای راکتیو آنیونیک مورد بررسی قرار دادند و متوجه شدند در حالیکه سطح فعال نانویونیک با مولکولهای رنگزا کمپلکس تشکیل می دهد، اما نمونه آنیونیک نمی تواند کمپلکس ایجاد کند و هم چنین استفاده از دو سطح فعال به طور همزمان مقادیر جذب را افزایش می دهد. در کاری مشابه، Kartal و Akbas برهمکنش بین سطح فعال کاتیونیک یا نانویونیک و رنگزای راکتیو آنیونیک

جدول ۱. شرایط انجام مراحل فرایند رنگری

Operation	pH	T (°C)	t (min)	Additives	Role
Preparation (P)	6-7	30	5	Sequestering agent (anionic surfactant)	Attach hardening substances
				Corrosion protector agent (anionic)	Prevent corrosion of metallic buttons, fasteners and zipper
				Acetic acid	
Dyeing (D)	9-11	60	110	Reactive dyes (anionic)	Operation of attaching the dye molecule to the textile
				Salt (sodium chloride)	
				Sodium carbonate	
				Sodium hydroxide	
Neutralizing (N)	6-7	50	5	Acetic acid	Add of acid to adjust the basic pH of the tissue
Washing (W)	6-7	80	5	Dispersing and degreasing detergent (nonionic surfactant)	Eliminate the excess of dyes and auxiliaries not fixed on the fiber
Softening (S)	5-6	40	20	Acetic acid Softening agent (cationic surfactant)	Enhance the feel of textile



کرده (permeate) در MF و NF (به ترتیب CP.MF و CP.NF) با استفاده از پارامترهای دفع طبق رابطه زیر، محاسبه شد:

$$R(\%) = \left(1 - \frac{C_{p,NF}}{C_{p,MF}}\right) \times 100 \quad (2)$$

موازنه جرم رنگزا

به منظور درک رفتار غشای MF با مولکولهای رنگزا و مطالعه پدیده رسوب ایجاد شده روی سطح غشاء، موازنه جرمی رنگ برای هر وضعیت انجام شد. درصد جرمی رنگ نفوذ کرده، در حالت تغلیظ (concentrate) (که جهت فیلتراسیون دوباره به غشاء برگردانده می شود) و جذب شده به کمک غشاء، به ترتیب X_p ، X_c و X_f مطابق زیر محاسبه شدند:

$$X_p(\%) = \frac{m_p}{m_f} \times 100 \quad (3)$$

$$X_c(\%) = \frac{m_c}{m_f} \times 100 \quad (4)$$

$$X_e(\%) = \frac{m_f - m_p - m_c}{m_f} \times 100 \quad (5)$$

m_p ، m_c و m_f به ترتیب مقدار رنگزا در قسمت تغذیه، عبور کرده و در حالت تغلیظ می باشند و با استفاده از غلظت های رنگزا C_p ، C_c و C_f محاسبه شدند و کل حجم تغذیه، عبور کرده و در حالت تغلیظ به ترتیب ۶۰، ۴۵ و ۱۵ لیتر می باشند. غلظت رنگزا با استفاده از قانون بیر لامبرت که بطور خطی مقدار جذب را به غلظت متصل می کند، محاسبه شد.

روش های بررسی

مقادیر رنگزا بوسیله اندازه گیری جذب در بیشترین طول موج جذب مرئی رنگزا با استفاده از اسپکتروفتومتر UV-Visible (Perkin Elmer Lambda 20) (UV/VIS) بدست آورده شد. COD بوسیله روش رفلکس باز تخمین زده شد. روش استاندارد NOR T90-101 استفاده شد. مقادیر COD با استفاده از COD سنج Fisher Bioblock Scientific مدل 10119 COD بدست آورده شدند. کدورت با استفاده از کدورت سنج Hach RATIO 2100 N اندازه گیری شد. مقادیر کلراید با استفاده از $AgNO_3$ محاسبه شد، درجه شوری با استفاده از هدایت سنج Tascussel مدل ۱۲۳ اندازه گیری شد و مقدار سختی با استفاده از تیتراسیون بوسیله EDTA محاسبه شد.

اندازه گیری رنگ منسوج

رنگ می تواند توسط نقطه در فضای تشکیل شده توسط سه محور عمودی ارائه شود: اولی ارزیابی رنگ را از سبز ($-a^*$) به قرمز ($+a^*$) تشریح می کند، دومی ارزیابی رنگ را از زرد ($+b^*$) به زرد ($-b^*$) تعیین می کند و سومی روشنایی را در محدوده صفر (سیاه) و صد (سفید کامل) ارائه می دهد. در این روش اندازه گیری، مقایسه بر حسب رنگی استاندارد مورد نیاز است. بنابراین، اختلاف کل رنگ ΔE می تواند از آنالیز نمونه ها و استاندارد بر طبق معادله زیر محاسبه شود:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad (6)$$

$$\Delta a^* = a_{sample}^* - a_{standard}^*, \Delta b^* = b_{sample}^* - b_{standard}^*,$$

$$\Delta L^* = L_{sample}^* - L_{standard}^*$$

جدول ۲. رنگزاهای راکتیو مورد استفاده در فرایند

Type	Formula	Concentration (g/l)
Reactive yellow 145	$C_{28}H_{20}Cl N_9 O_{16} S_5 Na_4$	1.33
Reactive red 120	$C_{44}H_{24}Cl_2 N_{14} O_{20} S_6 Na_6$	3.68
Reactive blue 222	$C_{37}H_{23}Cl N_{10} O_{22} S_7 Na_6$	1.24

دیگر و سپس با دو حمام با ایجاد تمامی ترکیب های ممکن، انجام شد.

غشاهای

در تصفیه مزدوج، MF قبل از NF استفاده شد. مواد عبور کرده از MF به غشای NF تغذیه شد. مواد عبور نکرده از MF و NF به ترتیب به غشاهای MF و NF دوباره تغذیه می شد. مواد عبور کرده از NF به منظور بررسی های استفاده مجدد در رنگرزی مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۱).

غشای MF

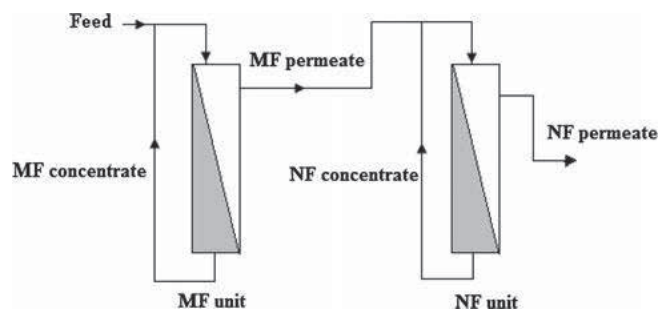
مدول Membralox (1P29-40/1R19-40) با طول ۱۰۲۰ میلی متر در آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت. غشا از نوع چند کاناله می باشد (۱۹ کانال) که از سرامیک متخلخل بر پایه آلومینا با مساحت ۰/۲۴ متر مربع و اندازه حفره ۰/۲ میکرومتر ساخته شده است. تمامی آزمایشات MF تحت فشار ۲ بار و دمای ۵۰ درجه سانتیگراد که تقریباً دمای سیال خروجی در خروجی ماشین رنگرزی است، انجام شد. جهت ارزیابی عملکرد MF، درصد کاهش هر پارامتر (COD، کدورت و رنگ) با استفاده از مقدار پارامتر در بخش تغذیه (feed) و عبور MF (به ترتیب Cf و CP.MF) طبق معادله زیر تعیین شد:

$$R(\%) = \left(1 - \frac{C_{p,MF}}{C_f}\right) \times 100 \quad (1)$$

غشای NF

برای آزمایشات NF محصول غشای مارپیچی DESAL (DK2540F1073) با MWCO برابر ۲۰۰ Da و طول ۱۰۱۶ میلی متر و مساحت ۰/۲۵ متر مربع، مورد استفاده قرار گرفت.

دمای سیال در خروجی MF نزدیک ۴۰ °C بود که به عنوان دمای عملیات غشای NF انتخاب شد. فشار موثر بعد از یک سری از آزمایشات که جزئیات در کارهای قبلی آمده است، تثبیت شد؛ فشار ۱۲ بار، به عنوان مقدار بهینه TMP برای تمامی عملیات های NF در این پژوهش، مورد توجه قرار گرفت. بازده پارامترهای مختلف حذف پس از عملیات NF با استفاده از غلظت نفوذ



شکل ۱. نمایش شماتیکی وضعیت آزمایشگاهی ترکیب MF/NF



مشاهده شد و پس از آنکه جریان به آهستگی کاهش پیدا می کند تا در 40 l/h m^2 ، با 70% کاهش جریان در مقابل تنها 22% برای پساب رنگرزی با جریان تثبیت شده 60 l/h m^2 ثابت شود.

این روش با توجه به تصفیه در منبع تحت یک ترکیب خاص از حمام های مختلف، به نظر می رسد نتایج فیلتراسیون بهتری، مخصوصاً برای ترکیبات $D+W+N$ و $D+W+P$ بدست می دهد، و جریان نفوذی تثبیت شده به ترتیب 143 و 139 l/h m^2 بدست می آید.

عملکردهای کیفی

عملکردهای غشاء MF بوسیله اندازه گیری کدورت، COD و رنگ در قسمت تغذیه و نفوذ کنترل شد (شکل ۳). نرخ نگهداری سپس مطابق رابطه ۱ محاسبه شد. باید یادآور شد که هیچ حذف نمکی توسط MF مشاهده نشد؛ که این به دلیل کاهش اندازه ذرات نمک نسبت به اندازه حفره های غشای MF می باشد. حذف کدورت برای تمام ترکیبات بیش از 80% می باشد، با این حال برای پساب رنگرزی تنها در حدود 67% می باشد.

حذف رنگ بین 28 و 56% می باشد. بهترین مقدار نگهداری برای حمام رنگرزی بدست آمد در حالیکه برای ترکیب $D+W+P$ کمترین مقدار را نشان داد. از طرف دیگر، در ترکیبات حاوی حمام نرم کننده، حذف رنگ نسبتاً بالایی بدست آورده شد. این رفتار در بخش موازنه جرم رنگ توضیح داده شده است.

موازنه جرم رنگزا

جداسازی غشاء بوسیله فشار هیچوقت نمی تواند بدون تجمع جرم انجام شود. به منظور پیش بینی پدیده انتقال از میان غشاء MF، تخمین درصد رنگزا در قسمت نفوذ، تغلیظ و جذب شده بوسیله غشاء، در جدول ۴ آورده شده اند، و مقدار رنگزا در تغذیه 100% فرض شده است. هنگامیکه پساب رنگرزی به تنهایی تصفیه شد، حدود 49% رنگزای اولیه در بخش تغلیظ بدست آمد و 17% توسط غشاء جذب شد.

به دلیل مقدار زیاد رنگزا در بخش تغلیظ، می توان نتیجه گرفت که دافعه الکتروستاتیک بین رنگزاهای آنیونیک و غشاء با بار منفی رخ داده است؛ که این نتایج با مطالعات پورتر همخوانی دارد که مشاهده کرد که بار غشای

اسپکتروکالریتر مورد استفاده Datacolor Spectrum 2520 می باشد. نمونه ها به صورت منسوج رنگرزی شده با سیال عبور کرده از NF می باشند. نمونه مرجع، منسوج رنگرزی شده با آب تازه با استفاده از همان گراف رنگرزی می باشد. نمونه هایی که بهترین نتایج را بدست می دهند، باید اختلاف رنگ نزدیک به صفر داشته باشند. سپس تشابه بین استاندارد و نمونه ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{similarity (\%)} = (1 - \Delta E) \times 100 \quad (7)$$

نتایج و بحث

خصوصیات پساب

قبل از بررسی انجام تکمیل، شناسایی مقدار آلودگی پساب جهت تصفیه شدن، ضروری است (جدول ۳). با توجه به اینکه پساب آزاد شده از مراحل مختلف چرخه رنگرزی حجم یکسانی دارند، حمام رنگرزی پچیده ترین ترکیب را به سبب حضور رنگزای راکتیو هیدرولیز شده، نمک، کربنات سدیم، هیدروکسید سدیم و ترکیبات باقیمانده نشان می دهد. در انتهای پساب لوله، در حمام رنگرزی که تا بیشترین حد رقیق شده است، کمترین مقادیر رنگ و کدورت وجود دارد.

مرحله MF

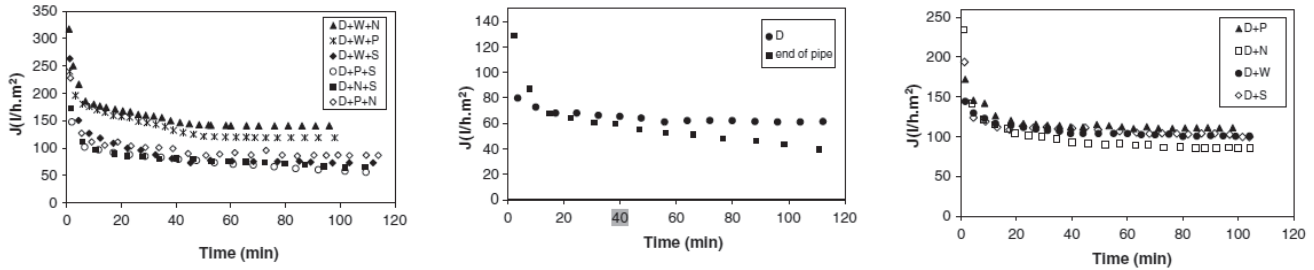
عملکردهای کمی

در ابتدا، از جدول ۳ می توان دریافت که مقادیر pH از پسابهای تصفیه شده بالاتر از نقطه ایزوالکتریک (IEP) غشای MF که بین 6 و $7/5$ است، می باشد. بنابراین، می توان چنین نتیجه گرفت که غشای MF در طی فرایند فیلتراسیون، بار منفی خواهد داشت. عملکرد غشای MF در خصوص جریان نفوذی در شکل ۲ ارائه شده است.

در طی فیلتراسیون، کاهش چشمگیر جریان برای بسیاری ترکیب ها مخصوصاً در 10 نانومتر اول، مشاهده شد و جریان نفوذی هنگامیکه رسوب کردن لایه ها کامل می شود، به مقدار ثابت می رسد. به نظر می رسد که ضعیفترین عملکرد در خصوص جریان نفوذی بوسیله انتهای لوله و پسابهای رنگرزی بدست آورده شده است. رسوب غشاء بیشتر بوسیله انتهای پساب لوله ایجاد می شود از اینرو کاهش چشمگیر جریان در طی 20 دقیقه ابتدایی فیلتراسیون

جدول ۳. خصوصیات ترکیبات حمام های مختلف

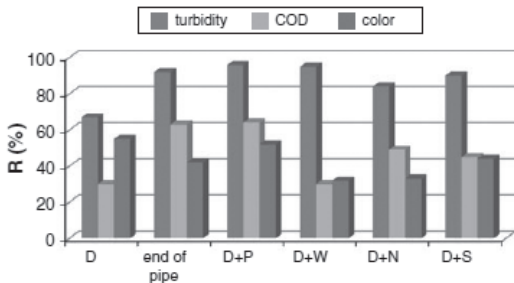
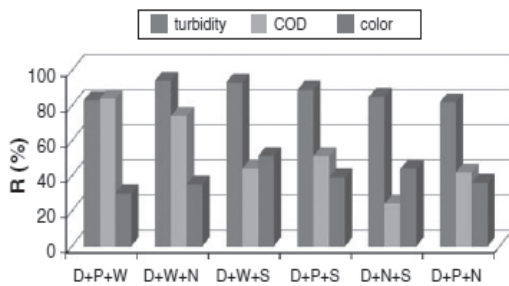
Configuration	pH	TDS (g/l)	S (g/l)	TH (°F)	Cl ⁻ (g/l)	COD (g/l)	Color ^a	Turb (NTU)
D	11.49	111.8	107.2	220	44.37	3.2	7.6	16.2
End of pipe	9.53	20.4	19.1	140	12.55	1.7	3.7	7.5
D+P	10.37	23.4	21.3	120	14.2	1.7	4.5	9.7
D+W	11.25	38.1	36.4	260	19.88	1.5	4.6	11.9
D+N	10.04	37.9	36.3	240	23.43	1.6	5.3	11.1
D+S	10.58	35.2	34.4	172	18.85	2.3	5.1	9.5
D+W+P	9.71	21.93	20.1	208	9.23	1.2	3.4	9.79
D+W+N	10.71	20.59	18.3	103	9.56	1.4	3.6	10.5
D+W+S	9.93	23.1	22.9	180	12.78	2.6	4.4	8.4
D+P+S	10.03	18.13	17.7	251	10.65	1.7	4.1	9.7
D+N+S	11.35	22.1	20.9	248	10.65	2.8	5.4	7.64
D+N+P	8.9	23.89	20.5	168	14.2	1.8	5.7	10.2



شکل ۲. تغییرات جریان نفوذی MF بر حسب زمان برای ترکیبات مختلف

تحت شرایط قلیایی تحت تاثیر قرار داد که منجر به جذب مولکولهای رنگزا بر روی سطح غشاء می شود. بر خلاف نتایج MF، انتهای پساب لوله عملکرد بهتری نسبت به پساب رنگزای بدست می دهد، و جریان نفوذی اولیه و تثبیت شده به ترتیب برابر

سرامیکی MF سبب دفع رنگزای آنیونیک می شود. از طرف دیگر، جذب رنگزا نیز روی سطح غشاء انجام می شود و این عامل اغلب بدلیل غلظت زیاد رنگزا در بخش تغذیه می باشد که می تواند سبب کاهش اندازه منافذ شود و سبب حذف قابل توجه رنگ شود.



شکل ۳. حذف کدورت، COD، و رنگ توسط MF برای ترکیبات مختلف

جدول ۴. موازنه جرمی رنگزا برای فرایند MF

Configuration	C_f (g/l)	C_p (g/l)	X_p (%)	C_c (g/l)	X_c (%)	X_e (%)
D	0.76	0.34	33.60	1.48	48.68	17.72
End of pipe	0.37	0.21	43.43	0.65	43.92	12.66
D+P	0.45	0.22	36.08	0.91	50.56	13.37
D+W	0.46	0.31	50.93	0.83	45.11	3.97
D+N	0.53	0.36	50.40	0.96	45.28	4.32
D+S	0.51	0.29	41.93	0.91	44.61	13.47
D+W+P	0.36	0.25	52.58	0.65	45.14	2.29
D+W+N	0.34	0.22	48.68	0.62	45.59	5.74
D+W+S	0.44	0.22	36.79	0.77	43.75	19.46
D+P+S	0.41	0.25	45.64	0.71	43.29	11.07
D+N+S	0.54	0.30	42.08	0.92	42.59	15.33
D+N+P	0.57	0.36	47.93	1.10	48.25	3.83

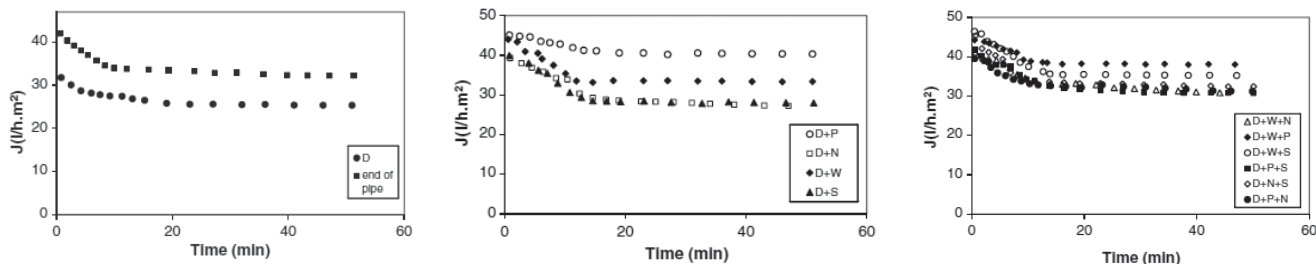
ترکیب D+P حدود ۵۳٪ حذف رنگ را نشان داد که حدود ۵۰٪ از جرم رنگزا در بخش تغلیظ می باشد. این نتایج می تواند بوسیله افزایش در نیروهای دافعه موجود بین مولکولهای رنگزا و سطح غشا به دلیل حضور سطح فعال آنیونیک موجود در حمام آماده سازی اولیه توضیح داده شود. ترکیب D+S همچنین حذف رنگ در حدود ۴۵٪ را نشان داد که می تواند بوسیله قابلیت سطح فعال های کاتیونیک جهت تشکیل کمپلکس حجیم که میسل نامیده می شود، با رنگزای آنیونیک که می تواند توسط غشاء نگهداری شود، توضیح داده شود. با این حال، افزایش پساب شستشو حذف رنگ را از ترکیب D+P کاهش داد و برای D+S حذف رنگ را بهبود بخشید؛ D+W+P تنها ۲۸٪ حذف رنگ را نشان داد و فقط ۲٪ رنگزا توسط غشاء جذب شد، در حالی که حدود ۵۲٪ نگهداری رنگ و ۱۹٪ جذب رنگزا با ترکیب D+W+S بدست آورده شد. این رفتار بیشتر به قابلیت سطح فعال نانیونیک موجود در حمام شستشو برای برهمکنش قوی با سطح فعال آنیونی (P) و برهمکنش ضعیف با سطح فعال کاتیونیکی (S) مربوط می باشد. بنابراین، سطح فعال های آنیونیک و نانیونیک بین یکدیگر برهمکنش می دهند و با مولکول های رنگزا برهمکنش نمی دهند.

در نتیجه، انتظار می رفت که حضور حمام نرم کننده، رفتار جذبی غشاء را به دلیل توانایی سطح فعال کاتیونیک برای برهمکنش قوی با مولکول رنگزای راکتیو یا با سطح فعال آنیونیک، بهبود بخشد. این بهبود، با استفاده از نتایج موازنه جرمی اثبات شد که نشان می دهد که مقادیر رنگزای جذب شده توسط غشای MF از جمله بهترین نتایج بودند؛ که حدود ۱۳، ۱۹، ۱۱ و ۱۵٪ به ترتیب برای حمام های ترکیب شده D+S، D+W+S، D+P+S و D+N+S می باشند.

مرحله NF

عملکردهای کمی NF

به منظور بررسی بازده عملیات NF، تغییرات جریان نفوذی بر حسب زمان در طی آزمایشات فیلتراسیون تعیین شد. شکل ۴ رفتار غشای NF را نشان می دهد؛ افزایش غلظت در اطراف سطح غشاء، برای فرایند غشایی ایجاد شده با فشار غیر قابل اجتناب می باشد که منجر به کاهش اندک در جریان نفوذی با زمان بدلیل تشکیل لایه کیک می شود. بعلاوه، مقادیر بالای pH پساب، رفتار غشاء را بوسیله کاهش جریان به دلیل افزایش آبدوستی رنگزا



شکل ۴. تغییرات جریان نفوذی NF بر حسب زمان برای ترکیبات مختلف

این مقدار بالای نگهداری به عنوان نتیجه کاهش اندازه حفره غشای NF و توانایی آن برای حذف یونهای دوگانه انتظار می رود.

بهترین عملکرد فیلتراسیون هنگامی بدست آورده شد که پساب های رنگرزی و آماده سازی اولیه ترکیب شدند، زیرا این ترکیب نهایی رسوب غشایی چشمگیری نشان نمی دهد. در این حالت، کاهش جریان نفوذی حدود ۹٪ بود.

استفاده مجدد از پساب تصفیه شده

مشخصات پساب تصفیه شده

از آنجاییکه تصفیه ترکیبی نه دفع بالای نمک دارد و نه حذف کامل COD را دارد، لازم است تا مشخصات پساب آزاد شده قبل از استفاده مجدد و همچنین مقادیر جریان NF تثبیت شده برای هر ترکیب تعیین شود. از جدول ۵ مشاهده می شود که غلظت های کلراید و COD، بخصوص در پساب رنگرزی، هنوز هم نسبتا زیاد می باشد. با توجه به کیفیت فیلتر و مقادیر جریان نفوذی، به نظر می رسد که ترکیب های D+W+P و D+P بهترین عملکرد را نشان داده اند.

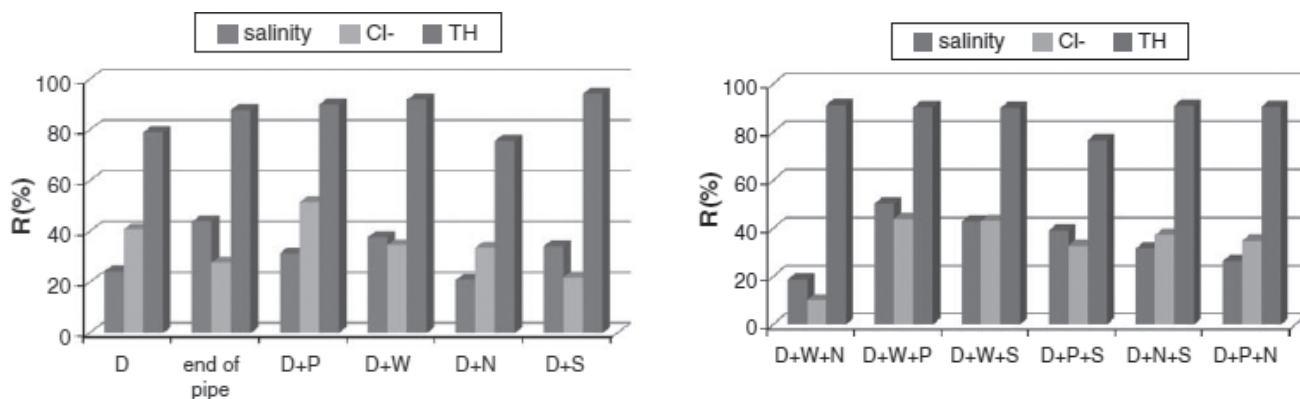
استفاده مجدد از آب تصفیه شده

استفاده مجدد پساب نه تنها جهت کاهش آسیب های زیست محیطی از پساب نساجی توصیه می شود، بلکه همچنین استفاده مجدد، از آنجاییکه هزینه آب تازه با افزایش مصرف، افزایش می یابد، مزایای اقتصادی مهمی برای کارخانجات عرضه می کنند. آزمایشات نشان داد که سیستم MF/NF در حدود ۵۴٪ پساب تغذیه شده را به عنوان نفوذ کرده، تولید می کند. از طرف دیگر، اطلاعات صنعتی نشان می دهد که هزینه آب در حدود ۲/۲ دلار به ازای هر متر مکعب، شامل هزینه آب تازه و تصفیه، می باشد. اگر میانگین مصرف روزانه آب کارخانه ۵۰۰ مترمکعب بر روز باشد، تولید کننده می تواند در حدود ۵۹۴ دلار بر روز سود کند.

بعد از عملیات NF کیفیت فاضلاب تصفیه شده عمدتا نیازهای استفاده مجدد در حمام رنگرزی یا آب شستشو را تامین می کند. در بعضی حالات، آب نفوذ

عملکردهای کیفی NF

یادآور می شویم مقدار حذف رنگ، با نتایج He و همکارانش همخوانی داشت. همچنین کدورت به طور کامل حذف شد و بیش از ۹۰٪ نگهداری COD برای تمام ترکیبات پس از تکمیل NF بدست آورده شد. درجه شوری، کلریدها و نرخ نگهداری TH مطابق رابطه ۲ محاسبه شد و در شکل ۵ ارائه شده است. معمولا، NF برای نگهداری مولکولهای دارای اندازه بالاتر از ۱ نانومتر، مخصوصا مولکولهای انحلال پذیر و یونهای دو ظرفیتی مناسب می باشد. با این حال، بر هم کنش های بار می تواند منجر به دفع بعضی یونها حتی آنهاییکه کوچکتر از اندازه حفره غشاء هستند، شود. غشای NF DESAL در pH خنثی تا pH بالا به طور منفی باردار می شود. نگهداری کلراید در بسیاری از ترکیبات حدود ۲۰٪ بود و در پساب رنگرزی تا ۴۰٪ می رسد. روندهای مشاهده شده با اندازه مولکولی کلراید (حدود ۰/۲۵ نانومتر) همخوانی ندارد و انتظار می رفت که دفع الکتروستاتیکی بین غشاء و آنیونها رخ دهد که نشان می دهد که حذف کلراید با استفاده از غشای NF بوسیله اثر Donan انجام شده است. اضافه کردن پساب آماده سازی اولیه شامل سطح فعال آنیونی، هنگامیکه افزایش حمام های دیگر انجام نشد، حذف کلراید را تا ۵۲٪ افزایش داد؛ این رفتار به دلیل افزایش نیروهای دافعه موجود بین مولکول کلراید و سطح فعال آنیونیک و غشاء می باشد. مقادیر کلسیم و منیزیم عامل اصلی مقدار کل سختی می باشند که در اکثر حالات بیشتر از ۹۰٪ حذف می شود.



شکل ۵. مقایسه درجه شوری، TH و حذف کلراید توسط NF برای ترکیبات مختلف



جدول ۵. خصوصیات پساب بعد از تصفیه ترکیبی

Configuration	pH	TDS (g/l)	S (g/l)	TH (°F)	Cl ⁻ (g/l)	COD (g/l)	J _s (l/h m ²)
D	9.53	88.9	81.19	46	26.25	0.267	25.85
End of pipe	8.28	13.41	10.70	17	9.06	0.136	33.95
D+P	8.82	17.78	14.60	12	6.88	0.098	41.26
D+W	8.74	25.3	22.63	21	12.99	0.124	33.54
D+N	7.72	28.4	28.68	58	15.55	0.091	29.33
D+S	8.52	26.8	22.65	10	14.71	0.023	28.56
D+W+P	8.71	17.11	16.33	18	8.29	0.031	40.22
D+W+N	8.32	11.6	9.09	10	5.17	0.028	31.57
D+W+S	8.96	15.95	13.08	18	7.28	0.219	36.54
D+P+S	8.76	13.21	10.80	59	7.16	0.125	34.15
D+N+S	8.27	16.59	14.30	22	6.69	0.086	34.39
D+N+P	8.2	17.61	15.08	16	9.25	0.108	34.12

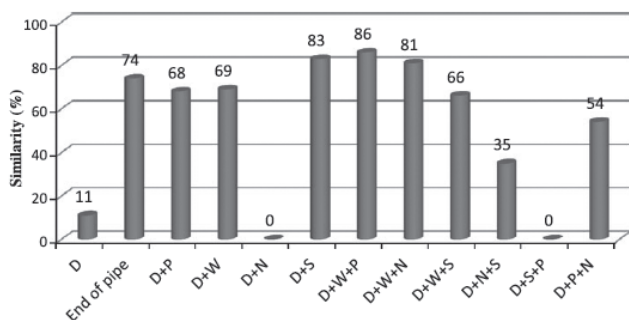
J_s stabilized flux

به منظور تصفیه در منبع و استفاده مجدد از پساب واقعی رنگرزی مورد بررسی قرار گرفت. مخلوط کردن پساب حمام رنگرزی با دیگر پساب ها از حمام های مختلف چرخه رنگرزی در بسیاری از حالات، عملکرد تصفیه را با توجه به جریان نفوذی و دفع آلاینده ها بهبود داد. بر هم کنش بین اجزای حمام های مختلف می تواند اثرات مطلوبی بر رفتار فیلتراسیون داشته باشد. سطح فعال ها مخصوصا در چرخه رنگرزی نقش مهمی دارند و می توانند برای حذف رنگ از پساب مفید باشند. در حالیکه اتصال سطح فعال های نانیونیک و کاتیونیک با حمام رنگرزی، افزایش حذف رنگ را با غشای MF را بدست می دهند، اما اتصال سطح فعال آنیونیک و نانیونیک حذف رنگ را بهبود نمی دهد. برای ترکیبات دیگر مورد بررسی در این پژوهش، تصفیه ترکیبی حذف رنگ و کدورت تقریبا ۱۰۰٪ و بیش از ۹۰٪ دفع COD را فراهم می کند، اما نگهداری نمک بیش از ۵۰٪ نبود. بنابراین، مخلوط مناسب جهت بدست آوردن بهترین عملکرد NF با توجه به جریان نفوذی و کیفیت، مورد نیاز می باشد. آزمایشات استفاده مجدد با استفاده از آب نفوذ کرده NF و مطابق گراف رنگرزی راکتیو انجام شدند. در مقایسه با نمونه استاندارد با استفاده از آب تازه، نتایج نشان می دهد که قابلیت استفاده مجدد از آب تصفیه شده به شدت به سختی آب وابسته می باشد. ترکیب D+W+P بهترین درصد همانندی با نمونه استاندارد (۸۶٪) و بهترین جریان تصفیه NF تشبیه شده (حدود ۴۰ l/h m²) و کمترین شدت رسوب در عملیات MF (تنها ۲٪ از رنگ توسط غشاء جذب شد) را نشان داد.

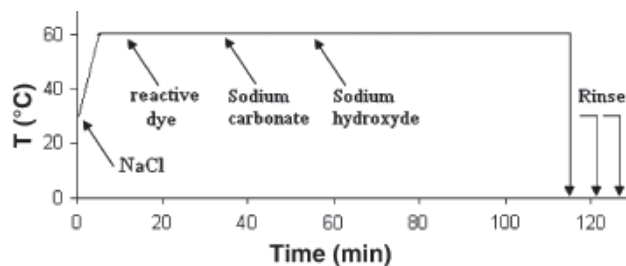
کرده از NF نیز می تواند قبل از استفاده مجدد با آب تازه رقیق شود، در مرحله پایانی این پژوهش، یک سری از آزمایشات رنگرزی راکتیو با آب نفوذ کرده ۱۰۰٪ NF به منظور بررسی قابلیت استفاده مجدد آب تصفیه شده در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. بررسی های مقایسه ای رنگرزی نسبت به آب تازه انجام شد. آزمایشات در ماشین رنگرزی آزمایشگاهی با استفاده از پنبه انجام شدند. از آنجایی که آب نفوذ کرده NF شامل نمک می باشد، به منظور بدست آوردن غلظت نمک مورد نیاز در حمام رنگرزی، مقدار NaCl اضافه شده در آزمایشات استفاده مجدد برابر با اختلاف بین مقدار NaCl آزمایش رنگرزی با آب شیرین و در آب تصفیه شده می باشد. شکل ۶ گراف رنگرزی راکتیو بکار برده شده را نشان می دهد. با توجه به مقادیر همانندی رنگی (شکل ۷)، مشاهده می شود که D+S، D+W+P و D+N+P منجر به بیش از ۸۰٪ همانندی می شوند. با این حال، ترکیبات D+N و D+S+P هیچگونه همانندی با استاندارد نشان نمی دهند در حالیکه استفاده مجدد از حمام D تصفیه شده، ۱۱٪ همانندی با استاندارد را نشان می دهد. این نتایج را می توان به سختی بالای پساب حاصل از این ترکیبات نسبت داد (جدول ۵). عمدتاً، آب سخت اثرات نامطلوبی بر روی نتایج رنگرزی دارد. در واقع، یونهای Ca²⁺ و Mg²⁺ می توانند با گروه RCOO⁻ رنگزای راکتیو واکنش دهد که رنگ را روشنتر می کند و لکه های تغییر رنگ پیدا کرده نیز ممکن است، بوجود آید.

نتیجه گیری

تصفیه ترکیبی با استفاده از فرایندهای MF و NF در مقیاس آزمایشگاهی



شکل ۷. شباهت بین نمونه استاندارد و نمونه بعد از آزمایش های رنگرزی راکتیو با آب نفوذ کرده NF



شکل ۶. گراف رنگرزی با رنگزای راکتیو