

## توسعه فناوری غشاهای صاف سازی جهت حذف رنگزای راکتیو از فاضلاب صنایع نساجی

میترا غلامی<sup>1</sup>، سیمین ناصری<sup>2</sup>، رویا میرزایی<sup>3</sup>، قدرت اله شمس خرم آبادی<sup>4</sup>

1- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران

2- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران

3- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران

4- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان

یافته / دوره یازدهم / شماره 2 / تابستان 88 / مسلسل 40

### چکیده

دریافت مقاله: 87/7/28، پذیرش مقاله: 87/10/11

**مقدمه:** رنگزای راکتیو از جمله رنگزای بکار رفته در صنایع نساجی هستند که به دلیل وزن مولکولی بالا و ساختار شیمیایی پیچیده ای که دارند، قابلیت تجزیه پذیری آن ها ناچیز بوده، و بنابراین با روش های معمول تصفیه حذف نمی گردند. هدف از این پژوهش، مطالعه روی کارایی فرایند صافسازی غشایی درحذف مواد رنگزای راکتیو در پساب حاصل از فرآیندهای نساجی می باشد.

**مواد و روش ها:** روش انجام تحقیق با توجه به ماهیت آن بر پایه داده های آزمایشگاهی، از نوع مطالعات بنیادی - کاربردی است. در مرحله اول، قابلیت تجزیه پذیری بیولوژیکی مواد رنگزای راکتیو توسط روش زاهن - والینز (ایزو 9888 مورد ارزیابی قرار گرفت. در مرحله بعد، کارایی فرایندهای صافسازی غشایی با استفاده از غشاهایی با مدول مارپیچی، دو غشاء نانوفیلتر (NF) با MWCO 300 و 600 دالتون به ترتیب از جنس پلی آمید (PPT) و سلولز استات بلند (PWB) و غشاء اسمز معکوس (Ro) با MWCO 50 دالتون از جنس پلی آمید مطالعه شد. برای انجام این بررسی، 4 نوع نمونه رنگ راکتیو با غلظتهای 80، 100، 250، 500 و 1000 میلی گرم در لیتر و همچنین نمونه هایی از کارخانجات مختلف نساجی، از غشاها عبور داده شد. در هر مرحله، فلاکس جریان عبوری از غشاها در دما و فشارهای مختلف در مدت زمان 30 تا 60 دقیقه تعیین گردید. همچنین در هر مرحله نمونه هایی برداشت شده، و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-VIS، به روش ADMI، میزان رنگ در ورودی و خروجی اندازه گیری گردید. همچنین درصد حذف رنگ نیز محاسبه شد.

**یافته ها:** درصد حذف COD و رنگ در روش تجزیه بیولوژیکی به ترتیب 25 و 12/5 درصد، و میزان ADMI ورودی و خروجی به ترتیب، 2354 و 2211 به دست آمد. درصد حذف COD و رنگ برای غشاهای نانوفیلتر 300 و 600 دالتون و غشاء اسمز معکوس به ترتیب برابر بود با (33 و 36%)، (29 و 33%)، (45 و 99%)، (99/6 و 45%) همچنین مقادیر ADMI برای ورودی و خروجی از نانوفیلتر 300 و 600 دالتون و اسمز معکوس به ترتیب برابر (1220 و 1625)، (502 و 1625)، (103 و 125) بدست آمد.

**بحث و نتیجه گیری:** با توجه به آزمایش های انجام شده، فشار و دمای مناسب جهت داشتن بهترین راندمان حذف برای غشاهای نانوفیلتر 300 و 600 دالتون فشار 4 بار و دمای 30-35 °C می باشد. بر اساس اطلاعات به دست آمده، می توان چنین نتیجه گیری کرد که غلظت نمونه گیری تاثیر چندانی در کارایی غشاء و افزایش فلاکس جریان ندارد. همچنین با کاربرد غشاء اسمز معکوس درصد حذف رنگ بیش از 99% بدست آمد، که نشان دهنده راندمان بالای حذف می باشد. بنابراین فرایند صافسازی غشایی به کمک اسمز معکوس می تواند روش مناسبی برای حذف مواد رنگزا از فاضلاب صنایع نساجی پس از انجام پیش تصفیه روی فاضلاب این صنایع می باشد.

**کلید واژه ها:** غشاهای صاف سازی، مواد رنگزای راکتیو، فاضلاب صنایع نساجی

## مقدمه

باشد و از طرفی نسبت به سایر روشها مشکلات کمتری داشته باشد، ضروری به نظر می‌رسد.

مطالعات متعددی بر روی کاربرد غشاء در حذف رنگ انجام شده است. فیلتراسیون غشایی برای تصفیه و بازیافت پسابهای حاصل از حمامهای رنگ در صنایع نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرآیندهای غشایی شامل (MF, UF, NF, RO) علاوه بر اینکه رنگ را حذف می‌کند امکان بازیافت و تغلیظ ترکیبات شیمیایی جانبی مورد استفاده در صنعت نساجی را امکان پذیر می‌سازد و آبی خالص تولید میکند. غشاء میکروفیلتر برای حذف رنگ های کلئیدی حاصل از حمامهای رنگ و آبکشی های پس از آن بسیار مناسب است ولی ترکیبات شیمیایی در پساب خروجی از میکروفیلتر باقی می‌ماند. غشاء اولترافیلتراسیون (UF) در حذف ذرات و ملکولهای درشت (ماکرومولکولها) موثر است و پساب حاصل را می‌توان در مراحل بعدی مانند آبکشی و شستشو مورد استفاده قرار داد. غشاء نانوفیلتراسیون (NF) جداسازی ترکیبات آلی با وزن ملکولی پایین و نمکهای دو ظرفیتی را ممکن می‌سازد و تاثیر قابل توجهی در نرمسازی آب دارد از غشاء NF می‌توان بعنوان تصفیه ثانویه پساب پس از غشاء MF استفاده کرد. پساب خروجی دارای کیفیت بسیار رضایت بخش و قابل قبول جهت بازیافت است. از غشاء اسمز معکوس (RO) جهت حذف یونها و ذرات درشتتر از یون از پساب حمامهای رنگ استفاده می‌شود پساب خارج شده از غشاء کاملاً بدون رنگ بوده و غلظت نمکهای محلول در آن بسیار پایین است. معمولاً از غشاء UF به عنوان پیش تصفیه برای غشاء اسمز معکوس می‌گردد (1 و 2).

از تکنولوژی صافسازی غشایی نانو فیلتراسیون برای نمک زدایی و تغلیظ مواد رنگزا در صنعت تولید رنگ نیز استفاده شده

فاضلاب صنایع نساجی، گروهی از فاضلابهای صنعتی هستند که حاوی مواد رنگزا می‌باشند، این مواد بدلیل داشتن ساختار مولکولی پیچیده و اندازه بزرگی که دارند، دارای قابلیت تجزیه پذیری بیولوژیکی بسیار کمی هستند. فرآیند رنگریزی در این صنایع شامل رنگریزی الیاف پنبه، ویسکوز، پلی استر، نایلون و همچنین ترکیب ساخته شده از آنها به صورت پارچه و نخ می‌باشد.

مواد رنگزای راکتیو از جمله مواد رنگزایی است که به دلیل استفاده از آن برای رنگریزی الیاف سلولزی مانند کتان به طور گسترده ای در صنایع نساجی بکار برده می‌شود (1).

تخلیه مستقیم فاضلاب صنعت نساجی به داخل مجاری فاضلابرو، در عملیات تصفیه بیولوژیکی ایجاد اختلال می‌نماید. همچنین این فاضلابها بدلیل وجود ترکیباتی مانند نشاسته (که نیاز به اکسیژن بیوشیمیایی بیشتری دارند) و آزاد شدن مقادیر زیادی نمکهای معدنی، اسیدها و قلیاها در راکتور بیولوژیکی، سبب افزایش هزینه عملیات تصفیه می‌گردند (2).

روشهای کلاسیک تصفیه این نوع فاضلاب و به ویژه فاضلاب خروجی از فرایند رنگریزی شامل رسوبدهی شیمیایی، لجن فعال، کلریناسیون و جذب روی کربن فعال می‌باشد (3).

در مطالعه‌ای که در سال 1994 انجام شد، کارآیی حذف رنگ توسط کربن فعال بررسی گردید. نتیجه آزمایشات، حذف مواد رنگزای بالایی را نشان می‌داد ولی از نقطه نظر احیا کربن فعال روش مقرون به صرفه نبود. همچنین توسط این روش نمی‌توان تمام انواع رنگها را جداسازی کرد (4).

با توجه به بررسیهای انجام شده و همچنین استانداردهای موجود جهت تخلیه پساب به داخل آبهای پذیرنده، انتخاب روش مناسبی که بتواند کارآیی بالایی جهت حذف رنگ داشته

است. نتیجه کاربرد این فناوری، تولید محصولی با کیفیت بالا و پایدار بوده است (5).

فرایند ترکیبی نانوفیلتراسیون و اکسیداسیون تر نیز برای تصفیه حمام رنگ مورد استفاده قرار گرفته است. درصد حذف مواد رنگزا و COD در این سیستم به ترتیب 99 و 97 درصد بوده است (6).

همچنین در مطالعه دیگری، غشاهای نانو فیلتر با قطر منافذ مختلف، برای تصفیه فاضلاب صنایع نساجی، بکار رفته اند. بر طبق نتایج بدست آمده، کاهش فلاکس جریان که به دلیل جذب مواد آلی روی سطح غشاء بوده، سبب کاهش ظرفیت غشاء تا حدود 73 درصد شده است (7).

جهت بازیافت مواد رنگزا از فاضلاب صنایع نساجی از دو غشاء نانوفیلتراسیون 150 و 300 دالتون و غشای اسمز معکوس با قطر منافذ کوچکتر استفاده شد. همچنین به عنوان پیش تصفیه، غشاء اولترا فیلتراسیون بکار رفت. درصد حذف سختی کل در فرایندهای نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس به ترتیب 75 و 90 درصد بود (8).

حذف رنگ و COD پساب صنایع نساجی با استفاده از غشای نانوفیلتراسیون 400 دالتون نیز مورد مطالعه قرار گرفت. رنگ مورد مطالعه رنگهای سیاه و قرمز راکتیو بود. در این مطالعه حذف سریع COD با غشاء نانوفیلتر تا بیش از 94% بدست آمد (9).

از غشاء اولترا فیلتر اصلاح شده با استفاده از غلظت های مختلف سورفکتانت کاتیونی جهت حذف مواد رنگزای راکتیو سیاه و نارنجی استفاده شده، و تاثیر غلظت سورفکتانت و فشار عملیاتی مورد نیاز، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که برای غلظت رنگ 0.05 گرم در لیتر و سورفکتانت 1000 گرم در لیتر درصد حذف مواد رنگزای سیاه و نارنجی (99/6 و 99/7%) بود (10).

در بررسی که روی فاضلاب خروجی از فرایند چاپ، که حاوی مواد رنگزای راکتیو بود، انجام شد، از مدول بشقابی غشاء نانوفیلتراسیون استفاده شد. میزان حذف مواد رنگزای راکتیو، از 99/4 تا 99/9 درصد، بسته به میزان فشار مورد استفاده بدست آمد (11).

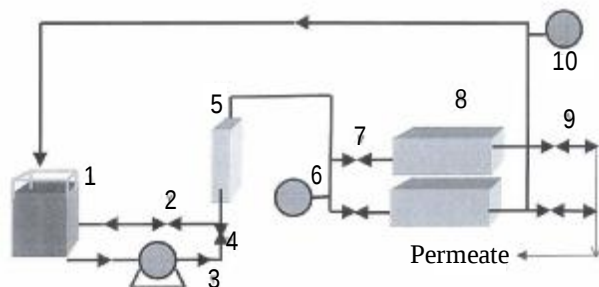
در یک مطالعه دیگر که روی حذف مواد رنگزا توسط غشای نانوفیلتراسیون پلی آمید انجام شد، تاثیر غلظت، pH و نمک روی درصد حذف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دهنده کارایی خوب غشاهای نانوفیلتر پلی آمید برای حذف مواد رنگزای آنیونی و مستقیم، و عدم تاثیر زیاد روی حذف رنگ های کاتیونی بود (12).

هدف از این پژوهش، کاربرد فناوری غشایی برای حذف مواد رنگزای راکتیو از فاضلاب صنایع نساجی است. در این راستا تاثیر دما، فشار و غلظت بر کارایی غشاء، مورد بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روشها

روش انجام این تحقیق با توجه به ماهیت آن بر پایه داده های آزمایشگاهی، از نوع مطالعات بنیادی - کاربردی است. در این پژوهش مواد رنگزای راکتیوی که مصرف بیشتری در صنایع نساجی ایران دارند، انتخاب گردیدند. مواد رنگزای راکتیو، رنگهای حاوی دی کلروتری آزینیل آمینو هستند که می توانند با گروه هیدروکسیل (OH) در الیاف سلولزی و گروههای آمینو (NH<sub>2</sub>) در پلی آمید، ابریشم و پشم وارد واکنش شوند. گروه دی کلروتریازیل به آسانی بوسیله واکنش با کلرید سیانوریک با مولکولهای رنگ حاوی آمینو ترکیب می شود. مشتقات بدست آمده از این فرآیند بسیار فعال می باشند، بطوریکه بوسیله یک فرآیند رنگرزی سرد نیز قادر به رنگرزی الیاف سلولزی هستند. پیوند بین الیاف و رنگهای راکتیو معمولاً پیوند کووالانسی است. رنگهای راکتیو برای

غشاء در شرایط مختلف عملیاتی می‌باشد. جهت بررسی کاربرد غشاء برای حذف رنگ، ابتدا پایلوتی بوسیله شرکت ماشین‌سازی تبریزی در مشهد ساخته شد. در شکل 1، تصویر شماتیک پایلوت آمده است.



(1) مخزن ورودی، (2) شیر، (3) پمپ، (4) شیر جریان ورودی پمپ، (5) فلومتر، (6) فشار سنج جهت سنجش فشار، (7) شیر جریان ورودی به غشاء، (8) نگهدارنده غشاء، (9) شیر جریان نفوذی غشاء، (10) فشار سنج جهت سنجش فشار محلول خروجی  
شکل شماره 1- تصویر شماتیک پایلوت غشاء

غشاهای مورد استفاده، غشاهایی با مدول مارپیچی از نوع غشاء UF با MWCO 20000 دالتون، از جنس پلی‌اتر سولفون (PPE)، دو غشاء NF با MWCO 300 و 600 دالتون به ترتیب از جنس پلی‌آمید (PPT) و سلولز استات بلند (PWB) و یک غشاء RO با MWCO 50 دالتون از جنس پلی‌آمید بودند. در تمامی آزمایشات از یک الگوی مشخص و واحد استفاده گردید و مراحل مختلف آزمایش تحت شرایط معین و ثابت صورت گرفت. رژیم هیدرولیکی جریان به صورت سیستم ناپیوسته بود.

مراحل آزمایش تعیین کارایی غشاء عبارت بودند از:

- ۳) تهیه نمونه‌های مواد رنگزای مشخص شده در جدول 1، با غلظت 0/01 درصد
- ۴) اندازه‌گیری فلاکس اولیه آب مقطر نفوذی از غشاء در دما و دبی‌های مختلف و فشار 0/5، 1، 2 و 4 بار برای

رنگزای پشم، ابریشم و پلی‌آمید بکار برده می‌شوند، هرچند این رنگها در ابتدا برای الیاف سلولزی استفاده می‌شد (13). مشخصات مواد رنگزای راکتیو انتخابی در جدول 1، آمده است. جدول شماره 1- مواد رنگزای راکتیو مورد استفاده در تمام مراحل

| نوع ماده رنگزای راکتیو | نام تجاری | خصوصیات           |
|------------------------|-----------|-------------------|
| رنگهای راکتیو          | Evezel    | Black (GSP)       |
| Reactive Dyes          | Remazol   | Blue (RSP)        |
|                        | Remazol   | Bourdon (B)       |
|                        | Remazol   | Orange (JR)       |
|                        | Remazol   | Yellow (RG)       |
|                        | Shanding  | Brilliant (KM-VR) |

پژوهش مزبور در دو مرحله انجام گرفت: در مرحله اول تجزیه پذیری مواد رنگزای راکتیو با استفاده از روش زاهن - والینز (ایزو 9888 است (14). در این روش، تجزیه پذیری ترکیبات آلی محلول در آب یا فاضلاب به کمک میکروآرگانیسم های هوازی طی مدت زمان 28 روز مورد بررسی قرار می‌گیرد. طی این مدت، درصد حذف COD در زمان های مختلف با استفاده از فرمول زیر، تعیین می‌گردد.

$$COD_{removal\%} = \left[ 1 - \frac{P_c T_t - P_c B_t}{P_c T_1 - P_c B_1} \right] \times 100$$

PcTt = غلظت COD (mg/L)، در زمان t بعد از 28 روز (در راکتور اصلی) (FT)

PcTt = غلظت COD (mg/L)، در زمان t بعد از 28 روز (در راکتور شاهد) (FB)

PcT1 = غلظت COD (mg/L)، در زمان t1 در راکتور اصلی (FT)

PcB1 = غلظت COD (mg/L)، در زمان t1 در راکتور شاهد (FB)

بر اساس این روش، زمانی ترکیب مورد نظر به عنوان یک ترکیب قابل تجزیه بیولوژیکی شناخته می‌شود که درصد تجزیه پذیری آن بیش از 70 درصد باشد (14). در مرحله دوم، کاربرد روشهای صافیهای غشایی برای حذف مواد رنگزا از پساب صنایع نساجی مورد مطالعه گرفته است. روش کنترل کننده، مقایسه فلاکس جریان اولیه آب مقطر و فلاکس آب مقطر پس از شستشوی غشاء، با فلاکس جریان رنگ عبوری از

برای هر نمونه، مقادیر  $X$ ،  $Y$ ،  $Z$  که میانگین این مقادیر در هر طول موج است، و متعاقب آن  $V_X$ ،  $V_Y$  و  $V_Z$  برای نمونه و شاهد (آب مقطر) برابر است با:

$$\begin{aligned} X_c &= 98/04 & V_x &= 9/9 \\ Y_c &= 100 & V_y &= 9/902 \\ Z_c &= 108/103 & V_z &= 9/91 \end{aligned}$$

ADMI برای هر نمونه ساخته شده پاتینیم کبالت از فرمول 2، و  $F$  میزان اختلاف رنگ از فرمول 1 محاسبه شده را رسم کرده و یک فاکتور  $ADMI$  نسبت به  $DE$  از فرمول 3، بدست می‌آید. پس از آن، منحنی کالیبراسیون  $F$ ، که برابر است با شیب منحنی کالیبراسیون، برای تمامی نمونه‌های برداشتی بطور یکسان بدست می‌آید:

(1)

$$DE = \left[ (0/23\Delta V_y)^2 + (\Delta(V_x - V_y))^2 + (0/4\Delta(V_y - V_z))^2 \right]^{1/2}$$

$$F = \frac{(APHA)_n(b)}{(DE)_n} \quad (2)$$

$$Value = \frac{(F)(DE)}{(b)} \quad (3)$$

ADMI با داشتن  $F$  ( $F=1584$ )، مقدار واحد  $ADMI$  برای هریک از نمونه‌های برداشتی در طی آزمایشات مختلف محاسبه گردد. همچنین با داشتن درصد عبور نور برای هر یک از نمونه‌ها در سطح 30 طول موج، از فرمول زیر درصد حذف رنگ در هر طول موج بدست می‌آید (16 و 17).

$$\%R = \left[ 1 - \left[ \frac{\log(T_p)}{\log(T_F)} \right] \right] \times 100$$

$\%R$  درصد حذف رنگ،  $T_F$  = میزان عبور نور در محلول ورودی،  $T_P$  = میزان عبور نور در محلول خروجی (پس از 20 روز در روش تجزیه بیولوژیکی و یا نفوذی از غشاء در روش صافیهای غشایی)

نانوفیلترها و 7/5 بار برای اسمز معکوس و دبی 10 لیتر در دقیقه.

(5) اندازه‌گیری فلاکس آب مقطر پس از عبور نور هر نمونه رنگ از غشاء که با نماد  $J_{ww}$  نمایش داده می‌شود.

شستشوی شیمیایی به دنبال آبکشی با آب مقطر: با این ترتیب که ابتدا غشاء نانوفیلتر 300 دالتون به مدت 15 دقیقه با سود یک درصد و غشاء نانو فیلتر 600 دالتون و اسمز معکوس با سدیم تری فسفات (در فشار 1/5 بار و دمای  $C$  (30-35))

شستشوداده شد، و سپس فلاکس آب مقطر ( $J_{wc1}$ ) اندازه گیری گردید. همچنین درصد بازیافت غشاء پس از شستشو از فرمول زیر بدست آمد:

$$\%FR = (J_{wc2} / J_{wi}) 100$$

با توجه به مراحل بیان شده، در هر دوره آزمایش برای هر نمونه رنگ عبوری از غشاء 4 مرتبه فلاکس آب مقطر اندازه‌گیری شد ( $J_{wi}$ ،  $J_{ww}$ ،  $J_{wc1}$ ،  $J_{wc2}$ ).

در هر مرحله از آزمایش در زمانهای مختلف نمونه‌هایی از محلول نفوذی از غشاء برداشت شد و آزمایشات COD و TDS روی آن انجام گرفت. سپس مطابق آنچه که در مرحله قبل بیان شد، برای هر نمونه برداشتی، میزان درصد حذف رنگ و همچنین مقدار رنگ به روش  $ADMI$  تعیین شد.

روش  $ADMI^1$  (انستیتو تولیدکنندگان رنگ آمریکا) روشی است که به کمک آن میزان رنگ بر اساس واحد  $ADMI$  در هر نمونه تعیین می‌گردد. اساس روش تعیین سه مقدار  $X$ ،  $Y$ ،  $Z$  است که مشخص‌کننده ته‌رنگ، روشنایی و خلوص هر رنگ می‌باشد (16 و 15).

برای انجام آزمایش، ابتدا نمونه‌هایی در غلظتهای مختلف از محلول مادر پلاتینیم کبالت ساخته شد. سپس توسط اسپکتورفوتومتر درصد عبور نور ( $T\%$ ) در هر یک از نمونه‌ها در 30 طول موج اندازه‌گیری گردید، و با استفاده از جداول موجود،

## نتایج

بر طبق نتایج بدست آمده، درصد حذف COD، TDS و

رنگ در غلظت های مختلف مواد رنگزای راکتیو برای غشاهای نانوفیلتره ترتیب بین (33 تا 52)، (30 تا 32) و (23 تا 36) درصد می باشد. همچنین با استفاده از غشای اسمز معکوس این مقادیر برای متغیر های بیان شده، بیش از 90 درصد می باشد. همچنین در بررسی تجزیه پذیری مواد رنگزای راکتیو، درصد حذف COD، 25 درصد و حذف رنگ 12/5 درصد می باشد. همچنین میزان ADMI ورودی 2354 و خروجی 2211 می باشد. نمودار 2 نمایانگر میزان فلاکس جریان نسبت به افزایش دما در نمونه رنگ راکتیو عبوری از غشاهای نانوفیلتر 300 و 600 دالتون است. با توجه به شکل، با افزایش دما میزان فلاکس جریان افزایش می یابد.

با توجه به اهداف این پژوهش، نتایج تأثیر پارامترهای مختلف بر کارایی حذف رنگ توسط روش ایزو 9888 و با استفاده از صافی های غشایی به صورت زیر ارائه می شود:

نتایج حاصل از آزمایشات مرحله اول نشان داد که فرایند تصفیه بیولوژیکی به تنهایی راندمان مناسبی در تصفیه فاضلاب های حاوی ترکیبات رنگی راکتیو ندارد. در بهترین شرایط بهره برداری بیشترین راندمان بدست آمده در شرایط دمای آزمایشگاه برابر با 10 درصد بود ( $SD+2/18$ ) که در مقایسه با راندمان های مدنظر به منظور حصول استانداردهای زیست محیطی بسیار ناچیز می باشد. در جدول 2، مقادیر فلاکس جریان قبل و بعد از شستشوی غشاء پس از عبور ماده رنگزای راکتیو از آن و درصد حذف COD (اکسیژن مورد نیاز شیمیایی)، TDS (کل جامدات محلول) و رنگ در مراحل آزمایش در فشارهای مختلف و دمای (30-35) درجه سانتی گراد بدست آمده است.

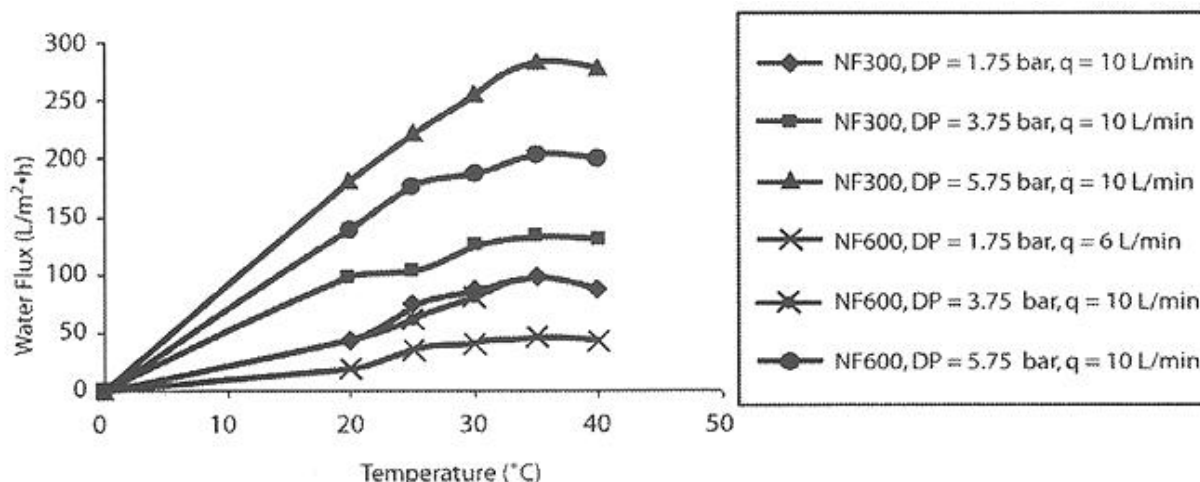
جدول شماره 2- نتایج بدست آمده از آزمایشات انجام شده بر روی نمونه رنگ راکتیو عبوری از غشاهای مختلف در دمای 30-35 °C

| نوع غشاء | غلظت (mg/l)        | $Q$ (l/min) | DP (bar) | $J_{wi}$ (LMH) | $J_{wf}$ (LMH) | $J_{ww}$ (LMH) | $J_{wd}$ (LMH) | $J_{wc2}$ (LMH) | FR% | R%   | %COD Removal | %TDS Removal |
|----------|--------------------|-------------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----|------|--------------|--------------|
| NF=300Da | ورودی و نفوذی 100  | 6           | 75/1     | 109            | 93             | 95             | 98             | 100             | 91  | 30   | 33           | 30           |
| NF=300Da | ورودی و نفوذی 500  | 6           | 75/1     | 109            | 93             | 96             | 98             | 99              | 92  | 42   | 34           | 30           |
| NF=300Da | ورودی و نفوذی 1000 | 6           | 75/1     | 109            | 97             | 99             | 99             | 99              | 90  | 46   | 5/35         | 33           |
| NF=600Da | ورودی و نفوذی 100  | 6           | 75/1     | 50             | 24             | 30             | 32             | 37              | 74  | 20   | 28           | 26           |
| NF=600Da | ورودی و نفوذی 500  | 6           | 75/1     | 50             | 24             | 28             | 33             | 39              | 77  | 25   | 28           | 5/26         |
| NF=600Da | ورودی و نفوذی 1000 | 6           | 75/1     | 50             | 26             | 30             | 32             | 32              | 76  | 25   | 30           | 37           |
| NF=300Da | ورودی و نفوذی 100  | 10          | 75/3     | 310            | 110            | 150            | 164            | 492             | 61  | 35   | 36           | 37           |
| NF=300Da | ورودی و نفوذی 500  | 10          | 75/3     | 310            | 175            | 156            | 221            | 237             | 78  | 72   | 33           | 37           |
| NF=300Da | ورودی و نفوذی 1000 | 10          | 75/3     | 310            | 225            | 196            | 252            | 25              | 83  | 69   | 30           | 39           |
| NF=600Da | ورودی و نفوذی 100  | 10          | 75/3     | 136            | 27             | 50             | 98             | 101             | 33  | 23   | 29           | 28           |
| NF=600Da | ورودی و نفوذی 500  | 10          | 75/3     | 136            | 27             | 78             | 95             | 103             | 33  | 25   | 44           | 28           |
| NF=600Da | ورودی و نفوذی 1000 | 10          | 75/3     | 136            | 40             | 87             | 100            | 105             | 77  | 23   | 52           | 32           |
| RO=50    | ورودی و نفوذی 100  | -           | 5/7      | -              | -              | -              | -              | -               | -   | 6/99 | 85           | 89           |
| RO=50    | ورودی و نفوذی 500  | -           | 5/7      | -              | -              | -              | -              | -               | -   | 100  | 5/85         | 5/89         |
| RO=50    | ورودی و نفوذی 1000 | -           | 5/7      | -              | -              | -              | -              | -               | -   | 100  | 99           | 99           |

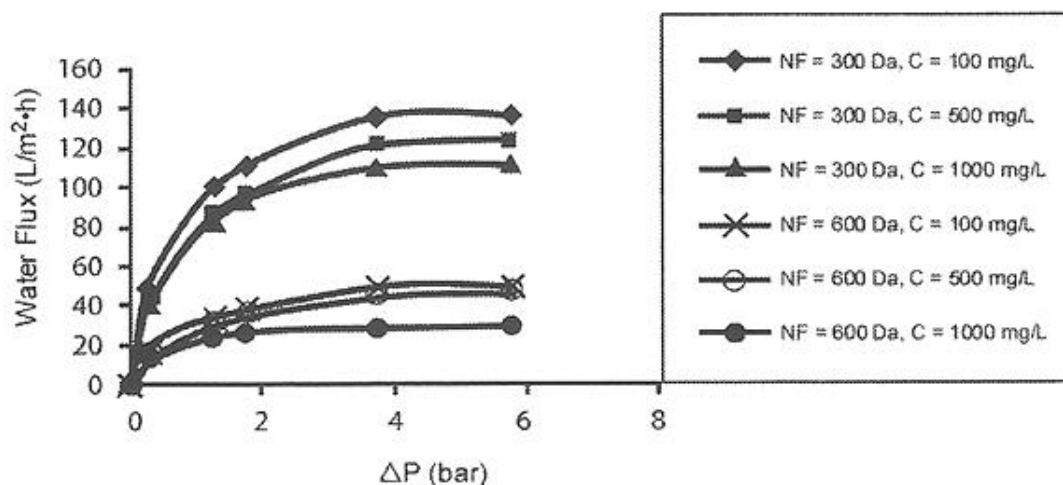
فلاکس جریان نیز تا فشار 6 بار افزایش می یابد. در شکل 4 ارتباط بین تغییرات فلاکس جریان و غلظت ماده رنگزای راکتیو در محلول آبی آورده شده است. با افزایش غلظت در یک فشار و دبی معین، میزان فلاکس ثابت باقی می ماند.

با توجه به نتایج بدست آمده از شکل 2، در محدوده دمایی 30-35C بیشترین فلاکس جریان برای هر دو نوع غشاء وجود دارد.

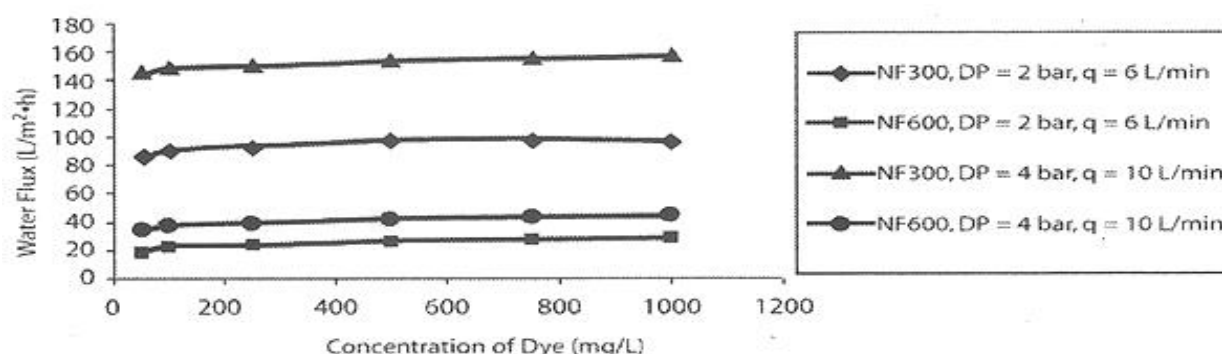
تاثیر فشار روی فلاکس جریان در شکل شماره 3 آمده است. همانطوری که از نمودار مشخص است، با افزایش فشار،



شکل شماره 2- تاثیر دمای نمونه رنگ عبوری از غشاهای نانوفیلتر در فشار و دبی های مختلف



شکل شماره 3- تاثیر فشار نمونه رنگ راکتیو عبوری از غشاهای نانوفیلتر پس از 30 دقیقه در دمای 30-35 C



شکل شماره 4- تاثیر غلظت نمونه رنگ راکتیو عبوری از غشاهای نانوفیلتر پس از 30 دقیقه در دمای 35-30C در فشارها و دبی های مختلف

## بحث و نتیجه گیری

در جدول 3، نتایج بدست آمده از کارایی غشاهای مختلف در حذف رنگ با هم مقایسه شده است. در رابطه با حذف ماده رنگزای راکتیو، غشاهای نانوفیلتر 300 و 600 دالتون دارای راندمان بسیار پائین می باشند (36% و 33%) در حالی که غشاء اسمز معکوس با فشار 7/5 بار میزان رنگ را تا حدود 99 درصد و COD را تا حدود 95 درصد کاهش می دهد که راندمان بسیار مطلوبی جهت حذف این نوع رنگ از پساب فاضلاب صنعتی است

جدول شماره 3- مقایسه کارایی غشاهای مختلف در حذف نمونه های رنگ اکتیو با غلظت

| نوع غشاء                       | مقدار<br>ADMI | رنگ<br>(%)<br>حذف | COD<br>(%)<br>حذف |
|--------------------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Da 20000=UF                    | 2025          | -                 | -                 |
| Da 300=NF                      | 1892          | 22                | 31                |
| Da 600= NF                     | 1251          | -                 | -                 |
| Da 50=RO                       | 1220          | 36                | 35                |
|                                | 1624          | -                 | -                 |
|                                | 1502          | 29                | 33                |
|                                | 1625          | -                 | -                 |
|                                | 103           | 6/99              | 85                |
| تجزیه پذیری زیستی<br>(ISO9888) | 2354          | -                 | -                 |
|                                | 2211          | 12/5              | 25                |

میلی گرم در لیتر فشار 3 بار برای UF، 4 بار برای NF و 5.7 بار برای RO

در رابطه با تاثیر دما در افزایش فلاکس جریان، و همچنین درصد حذف می توان چنین بیان کرد که با افزایش دما سطح غشاء ناهموار شده و سائز منافذ غشاء افزایش می یابد که منجر به افزایش فلاکس جریان خروجی می گردد. بابالا بردن دما مشاهده می شود که از یک محدوده دمایی، بسته به جنس غشاء، به دلیل شکننده شدن دیواره غشاء فلاکس جریان خروجی، روند کاهشی را طی می کند (18).

میزان فشار عملیاتی یکی از عوامل مهم در عملکرد غشاء می باشد. نمودار فشار، و تغییرات فلاکس جریان با افزایش فشار، نمایانگر آن است که تحت شرایط معین، فلاکس جریان در غشاهای نانوفیلتر با افزایش فشار بر طبق مدل پراکندگی محلول افزایش می یابد. افزایش فشار محلول ورودی سبب افزایش نیروی رانش می گردد که این نیرو، بر مقاومت غشاء غلبه می کند. شایان ذکر است که ضریب انتقال جرم با فشار رابطه خطی دارد. بنابراین، این ضریب به عنوان فاکتور محدود کننده جریان، با توجه به فشار عملیاتی نمی باشد. در پژوهش های دیگری نیز این مسئله به اثبات رسیده است (12).

تا یک محدوده فشاری، این روند افزایش فلاکس نسبت به فشار ادامه داشته، و پس از آن میزان فلاکس ثابت می ماند. پژوهش های دیگری نیز نشان دهنده این مسئله می باشد.

طوری که دربررسی هایی که روی تغییرات فشار در زمانهای مختلف انجام شده است، دال برافزایش فشار اسمزی در سطح غشاء که مربوط به افزایش غلظت رنگ ورودی می باشد و متعاقب آن کاهش قابل توجهی، تا حدود 48%، در فلاکس جریان خروجی بوده است. پس از 5 ساعت کارکرد غشاء، نمودار کاهش فلاکس جریان به صورت ثابت درآمده است. کاهش فلاکس جریان پس از این مدت 83% بود که این کاهش بدلیل افزایش پدیده پلاریزاسیون غلظتی، جذب و یا گرفتگی منافذ غشاء در اثر غلظت رنگ روی سطح غشاء می باشد (19). معمولاً "متعاقب افزایش فشار اسمزی، فشار رانشی سیستم کاهش می یابد (20).

در این پژوهش فشار عملیاتی حداکثر فشار قابل تنظیم، 4 بار، در نظر گرفته شده است.

در رابطه با تاثیر غلظت روی کارایی غشاء، با افزایش غلظت محلول ورودی، به نظر می رسد که فلاکس جریان

خروجی کاهش یابد. این موضوع مربوط به افزایش پلاریزاسیون غلظتی ناشی از غلظت رنگ روی سطح غشاء و درنهایت، احتمال گرفتگی آن است. همچنین انتظار می رود که با افزایش غلظت رنگ در محلول ورودی، میزان حذف مواد رنگزا، به دلیل گرفتگی غشاء، کاهش یابد در حالی که نتایج بدست آمده از مطالعات قبلی نشان دهنده عدم تغییر فلاکس جریان نسبت به غلظت رنگ و عدم افزایش لایه پلاریزاسیون غلظتی و یا گرفتگی می باشد. همچنین مقادیر حذف رنگ نیز با افزایش غلظت رنگ تغییری نمی کنند (20).

همانطوری که در شکل 4 نیز دیده می شود، تغییرات فلاکس جریان نسبت به غلظت ثابت است. به عبارت دیگر با افزایش غلظت مواد رنگزای راکتیو، راندمان حذف و فلاکس جریان روند افزایشی نداشته و ثابت باقی می ماند. این امر به واسطه کاهش اندازه منافذ سطح غشاء به دلیل تجمع رنگ می باشد (10)

## References

1. Koyuncu I. Reactive dye treatment in dye/salt mixtures by nanofiltration membranes containing vinylsulphone dyes: Effects of feed concentration and cross flow velocity. *Desalination*, 2002; 143: 243-253
2. Marcucci M, Nosenzo G, Capannelli G, Ciabatti I, Corrieri D, Ciardelli G. Treatment and reuse of textile effluents based on new ultrafiltration and other membrane technologies, *Desalination*, 2001; 138: 75-82
3. Porter JJ, Sinder E. Long-term Biodegradability of Textile Chemical, *J. WPCF*, 1979; 48(9)
4. Paggaudo T, Development of Method for Adsorption, Dye house on activates Sludge. *Water Res.* 1994; 10: 1051-1057
5. Yu S, Gas C, SU H, Liu M. Nanofiltration uses for desalination and concentration in dye production. *Desalination*. 2001; 140: 97-100
6. Dhale AD, Mahajoni VV. Studies on treatment of disperse dye waste: membrane-wet oxidation process. *Waste mang.* 2000; 20: 85-92
7. Bruggen V, Vreese ID, Vandecastede C. Water reclamation in the textile industry: nanofiltration of dye baths for wool dyeing, *Ind. Eng.chem Res.* 2001; 40; 3973-3978
8. Marcucci M, Nosenzo G, Capnnelli G, Ciabtti I, Corrieri D, Ciardelli G. Treatment and reuse of textile effluents based on new ultrafiltration and other membrane technologies. *Desalination*. 2001; 131: 75-82
9. DasGupta S, Chakraborty S, Purkait MK, Basu. Nanofiltration of textile plant effluent for color removal and reduction in COD, *Separation and purification Technology*. 2003; 31: 141-151
10. Ahmad AL, Puasa SW, Zulkali MMD. Micellar-enhanced ultrafiltration for removal of reactive dyes from an aqueous solution. *Desalination*. 2006; 191(1-3): 153-161
11. Petrinić I, Andersen NPR, Turk SS, Marechal AML. The removal of reactive dye printing compounds using nanofiltration. *Dyes and Pigments*, 2007; 74(3): 512-518
12. Akbari A, Remigy JC, Aptel P. Treatment of textile dye effluent using a polyamide-based nanofiltration membrane. *Chem. Eng. Process.* 2002; 41:601-609
13. Paul R, Thampi J, Naik SR. Dye Effluent, A Natural Remedy. *Ind. Textile J.* 1996: 98-103
14. ISO9888. Water quality- evaluation of ultimate aerobic biodegradability of organic compounds, aqueous medium-static test (Zahen- Wellens method). International Standard Organization, 2nd ed. 1999
15. Watters JC, Biagtan E. Ultrafiltration of a Taxtile plant Effluent. *Sep. SCi. Technol.* 1991; 26: 1259-1313
16. SAPHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for Water and Wastewater Examination. 21th ed. 2001
17. Wyszecki J.,Stile S. Color Science. Wiley, ny. 1967

18. Gholami M, Nasser S, Feng CY, Matsuura T, Khulbe KC. The effect of heat treatment on the ultrafiltration performance of polyethersulfone (PES) hollow- fiber membranes. Desalination. 2003; 155: 293-301
19. Dhabhi M, Gzara L, Fersi C. Treatment of textile effluents by membrane technologies. Desalination. 2005; 185: 399-409
20. Tang C, Chen V. Nanofiltration of textile wastewater for water reuse. Desalination. 2003; 143(1): 11-20