

بررسی حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ به وسیله نانوالیاف الکتروریسی شده PVA

محمد رضا تفاحی یزدی، محمد علی شیرغلامی، سعید جعفری و محمد دهقانی

دوره ۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، صفحات ۲۳-۳۴

Vol. 4(1), Spring 2018, 23 – 34

DOI: 10.22034/jewe.2018.62741

**Study on Removal of Reactive Blue 19 using
PVA Electrospun Nanofibers**

Tafahi Yazdi M. R., Shirgholami M. A., Jafari S.
and Dehghani M.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله: تفاحی یزدی م. ح، شیرغلامی م. ع، جعفری س. و دهقانی م. (۱۳۹۷). بررسی حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ با کمک نانوالیاف الکتروریسی شده PVA. محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۴، شماره ۱، صفحات: ۲۳ – ۳۴.

Citing this paper: Tafahi Yazdi M. R., Shirgholami M. A., Jafari S. and Dehghani M. (2018). Study on removal of reactive blue 19 using PVA electrospun nanofibers. J. Environ. Water Eng., 4(1), 23 – 34. DOI: 10.22034/jewe.2018.62741

بررسی حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ با کمک نانوالیاف الکتروریسی شده PVA

محمد رضا تفاحی یزدی^۱، محمد علی شیرغلامی^{۲*}، سعید جعفری^۳ و محمد دهقانی^۴

^۱ کارشناس، گروه مهندسی پلیمر، دانشکده مهندسی نساجی و پلیمر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران

^۲ مربی، گروه مهندسی پلیمر، دانشکده مهندسی نساجی و پلیمر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران

^۳ کارشناسی ارشد، مهندسی پلیمر، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران

^۴ دانشجوی دکترا نساجی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران

* نویسنده مسئول: ma.shirgholami@gmail.com

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۶/۱۰/۱۷]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۶/۱۱/۱۶]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۷/۰۱/۲۲]

چکیده

در میان آلاینده‌های صنعت نساجی، رنگ‌ها از سایر آلاینده‌ها سمی‌تر بوده و حضور آن‌ها در محیط بیشتر حس می‌شود. رنگ‌زای راکتیو به دلیل داشتن وزن مولکولی بالا و ساختار آروماتیک آلاینده‌تر از سایر رنگ‌هاست. این رنگ‌ها به شدت در آب محلول بوده و به آسانی به وسیله روش‌های تصفیه زدوده نمی‌شوند. در میان روش‌های تصفیه پساب، استفاده از فیلترکردن غشایی به وسیله نانوالیاف، می‌تواند بهتر از بقیه روش‌ها باشد، چون این غشاها بسیار متخلخل بوده و منافذ آن‌ها از درون به هم پیوسته می‌باشند و همچنین می‌توان به راحتی آن‌ها را عامل‌دار نمود. در این تحقیق سعی شد با استفاده از غشای حاصل از الکتروریسی محلول PVA، رنگ‌زای راکتیو آبی ۱۹ از پساب رنگ‌رزی شبیه‌سازی شده با غلظت ۱/۰ g/l حذف شود. در همین راستا، تأثیر عوامل مختلف بر شرایط تولید لیاف مانند نوع غلظت پلیمر، شدت ولتاژ اعمالی، فاصله نازل تا جمع‌کننده و سرعت تغذیه بررسی شد. همچنین تأثیر عوامل محیطی شامل pH و دمای محلول، مدت زمان تماس و مقدار توده لیاف بر راندمان حذف رنگ مطالعه شد. با استفاده از ۱/۷ wt% PVA، ولتاژ کاری ۱۵ kV، آهنگ تغذیه ۱ ml/h و فاصله ۱۳ cm نازل تا جمع‌کننده، لیاف با ظرفیت بالا تهیه شد. راندمان حذف رنگ ۹۱ درصدی با استفاده از این لیاف و در شرایط محیطی pH=۲/۱، دمای °C ۳۵ و ۲۰ میلی‌گرم توده لیاف به دست آمد. نتایج حاکی از گرماگیر بودن فرآیند جذب رنگ روی توده لیاف می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الکتروریسی؛ پلی وینیل الکل؛ رنگ راکتیو آبی ۱۹؛ پساب رنگ‌رزی.

۱- مقدمه

Sayed Ahmed et al. (2012) حذف به کمک زئولیت اصلاح شده شیمیایی (Maleki et al. (2013) حذف به کمک فرآیند الکتروانققاد (El-Ashtoukhy et al. (2016) و نانوذرات چندجزیی مغناطیسی هیدروکسی آپاتیت- کیتوسان (Nguyen and Pho (2014) پیشنهاد شده است. در اغلب روش‌های شیمیایی از مواد شیمیایی یا معدنی برای کاهش آلودگی استفاده می‌شود که برخی از این مواد خود آلوده‌کننده محیط هستند. روش‌های بیولوژیکی نیز به دلیل مشکلات مرتبط با هزینه، بهره‌وری پایین و تولید لجن فعال دارای محدودیت هستند (Abbasi and Razzaghi 2008; Rivera et al. 2009). در این میان، فرآیند جذب سطحی، بیشترین فرآیند مورد استفاده می‌باشد. فرآیند جذب به دلیل کم‌هزینه بودن، کارایی بالا، ساده و غیرحساس بودن نسبت به مواد سمی، یک فرآیند مؤثر برای حذف رنگ از فاضلاب می‌باشد. به تازگی استفاده از فناوری نانو در مباحث تصفیه پساب و فاضلاب مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. نانو الیاف به دلیل خواص شگفت‌انگیزی مانند نسبت سطح به حجم زیاد، قابلیت انعطاف‌پذیری در ویژگی‌های سطحی و عملکرد مکانیکی فوق‌العاده مانند سختی و استحکام کششی، قابلیت جذب میزان زیادی از آلاینده‌ها را داشته تا جایی که حتی در حذف رنگ‌ها به کار می‌روند (Sarmadi et al. 2017). از میان روش‌های تولید نانو الیاف، روش الکتروریسی به دلیل سهولت فرآیند و امکان کاربرد برای اکثر پلیمرها، سرامیک‌ها و فلزات به عنوان روشی کارآمد برای ساخت نانوالیاف پلیمری در محدوده ۵nm تا ۵۰۰ nm به رسمیت شناخته شده است (Habibi and Hashemi 2013). مزیت اصلی فرآیند مزبور این است که در مقایسه با بسیاری از روش‌ها، مقرون به صرفه بوده و نانو الیاف تولید شده به روش الکتروریسی معمولاً یکنواخت و پیوسته نیز هستند (Jamnongkan et al. 2012). چون روش الکتروریسی بر اساس اعمال نیروی الکترواستاتیکی بر سیال پلیمری است، انواع مختلفی از پلیمرها و حلال‌ها می‌توانند برای الکتروریسی استفاده شوند. موادی که در الکتروریسی استفاده می‌شوند، بستگی به کاربرد لیف دارد. نانو الیاف تک پلیمری و نیز کامپوزیت‌های نانو الیاف می‌توانند به طور مستقیم با الکتروریسی تولید شوند (Habibi and Hashemi 2013). پلیمرها به علت داشتن خواص ارزشمندی همچون ارزانی، سبکی و مقاومت شیمیایی زیاد، انعطاف‌پذیری و شکل‌پذیری

امروزه صنایع چنان با سرعت در حال توسعه هستند که اغلب تنها بعد اقتصادی آن‌ها در نظر گرفته شده و توجه‌ای به پیامدهای زیست محیطی آنها نمی‌شود. صنایع نساجی و رنگرزی از جمله صنایعی هستند که باید به تصفیه پساب‌های آن توجه خاصی داشت (Daneshvar et al. 2003). گزارش شده است که صنایع نساجی یکی از مهمترین صنایع در چند دهه گذشته بوده، که کیفیت و کمیت پساب آن به علت استفاده بیش از ۱۰۰۰۰ نوع رنگ همواره باعث نگرانی دولت‌ها بوده است (Tantak and Chaudhari 2006). صنایع نساجی، فاضلابی حاوی مواد شیمیایی مختلف تولید می‌کند که در برابر تجزیه بیولوژیکی سمی و مقاوم بوده و در محیط پایدار هستند (Selcuk and Meric 2006; Muhammad et al. 2008). علاوه بر رنگ، این فاضلاب شامل مخلوط پیچیده‌ای از مواد آلاینده از جمله فلزات سنگین، مواد افزودنی، مواد شوینده و سورفکتانت‌ها هستند. انتقال همه این عوامل در فاضلاب صنایع نساجی، باعث سخت‌تر شدن فرآیند تصفیه می‌شود. تخلیه فاضلاب‌های رنگی به محیط‌های آبی به دلیل وجود رنگ و تجزیه ترکیبات سمی مانند بنزیدین، نفتالن و دیگر ترکیبات آروماتیک نامطلوب، باعث ایجاد خواص سرطان‌زایی و جهش‌زایی به شکل‌های مختلف می‌گردد (Abid et al. 2013; Yaqub et al. 2012; Phi et al. 2012). به دلیل داشتن ساختار پیچیده، منشأ مصنوعی و طبیعت مقاوم رنگ‌های نساجی حذف آن‌ها از فاضلاب صنایع قبل از دفع به سیستم‌های هیدرولوژیکی ضرورت می‌یابد (Maleki et al. 2010; Zhang et al. 2014). رنگزای راکتیوآبی ۱۹ با ساختار شیمیایی خاص خود جزو رنگزاهای آنتروکوبینون بوده که بعد از رنگزاهای آزو، از پرمصرف‌ترین رنگزای نساجی محسوب می‌شود. این رنگزا دارای راندمان تثبیت نسبتاً اندکی بر روی الیاف است و بنابراین مقادیر قابل توجهی از آن می‌تواند وارد پساب شود. در طی چندسال گذشته برای حذف یا کاهش این رنگزا فرآیندهای مختلفی نظیر روش سونوشیمی، فتوشیمی و سونوفتوشیمی تحت تابش نور مرئی (Nasir Khan et al. 2015)، جذب بروی نانوذرات نیکل اکسید (Monsef Khoshhesab and Ahmadi 2016)، جذب بر روی پوسته برنج (El-Bindary et al. 2016)، حذف به کمک کربن فعال تهیه شده از پوست پرتقال

استفاده شد. دستگاه الکترورسی برای تهیه وب‌های نانوالیاف PVA مورد استفاده قرار گرفت. میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) ساخت شرکت Philips XI30 از کشور هلند به منظور مطالعه و مشاهده نایکناختی‌های سطحی نانوالیاف حاصله استفاده شد. دستگاه لایه نشانی Sputter Coater مدل SCDOOS ساخت شرکت BAL-TEC از کشور سوئیس به منظور رسانا ساختن سطح الیاف برای قابل مشاهده شدن سطح الیاف با میکروسکوپ الکترونی پویشی استفاده شد.

۲-۲- تهیه نانوالیاف

نانوالیاف PVA به روش الکترورسی براساس روش ارایه شده در مراجع با کمی تغییرات تهیه و به عنوان جاذب برای حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ مورد استفاده قرار گرفت. به منظور آماده‌سازی محلول ریسندگی، مقدار ۱/۷ wt % پودر PVA در مخلوط ۱۰۰ ml آب مقطر و تری‌فلورواستیک‌اسید با نسبت ۳:۷ به عنوان حلال به صورت محلول در آورده شد. به محلول PVA مقداری GA (25 % w/v) افزوده شد و طی مدت ۲ ساعت در دمای ۶۰°C بر روی همزن مغناطیسی به آرامی همزده شد. سپس محلول به سرنگ دستگاه الکترورسی تزریق گردید. در اثر ولتاژ اعمال شده، رشته الیاف شارژ می‌شوند و به محض خروج از سرنگ در میدان ایجاد شده در حداصل بین نوک سوزن و صفحه جمع کننده به شدت کشش یافته و به صورت نانوالیاف در می‌آید. الیاف، پس از تولید روی یک صفحه آلومینیومی به شکل نامنظم روی هم قرار می‌گیرند. اجتماع میلیاردها لیف روی صفحه جمع کننده، لایه‌ای شبیه به کاغذ یا تار عنکبوت تولید می‌کند. برای افزایش مقاومت نانوالیاف PVA در برابر حل شدن درون محیط‌های آبی، وب نانولیفی تهیه شده که با استفاده از آن حرارتی محصول شرکت دنا ایران در دمای ۱۵۰ °C به مدت ۳ min گرما داده شد.

۲-۳- عامل دار کردن نانوالیاف

به منظور عامل دار کردن نانوالیاف جهت افزایش راندمان فرآیند جذب سطحی رنگزا توسط نانوالیاف، گروه‌های آمین بر روی سطح الیاف تولیدی ایجاد شد. به این منظور الیاف الکترورسی شده به مدت ۳ h در محلول حاوی ۰/۳ M

آسان جایگاه ویژه‌ای دارند. پلی‌وینیل‌الکل به عنوان یک پلیمر زیست‌سازگار و آبدوست با ویژگی‌های پایداری شیمیایی و حرارتی مناسب و نیز استحکام کششی و انعطاف‌پذیری بسیار خوب شناخته می‌شود. هم چنین، پلی‌وینیل‌الکل از فرآیندپذیری مطلوبی برخوردار بوده و بهترین حلال آن، آب می‌باشد (Lee et al. 2004). این پلیمر در هر واحد تکرار شونده خود یک گروه هیدروکسیل دارد که باعث می‌شود این پلیمر قابلیت شبکه‌ای شدن را داشته باشد. بنابراین، با استفاده از این خاصیت قابلیت واکنش با سایر مواد برای تشکیل فرم ژل را دارد. محلول‌های پلی‌وینیل‌الکل می‌توانند شکل فیزیکی ژل از انواع گوناگون حلال‌ها را داشته باشد. از این رو، دارای گستره‌ای از کاربردها در صنایع مختلف می‌باشد (Taepaiboon et al. 2007; He and Gong 2003). در این پژوهش محلول پلی‌وینیل‌الکل به روش الکترورسی به شکل توده الیاف تهیه شد، سپس این توده الیاف الکترورسی شده جهت حذف رنگ از محلول‌های پساب شبیه‌سازی شده (به عنوان پساب نساجی) به کار گرفته شدند. تأثیر عوامل موثر بر فرآیند الکترورسی نظیر غلظت پلیمر، نقش حلال، شدت ولتاژ و فاصله روزنه از صفحه جمع کننده بر فرآیند الکترورسی مورد بررسی قرار گرفتند. ریزساختار نانوالیاف توسط میکروسکوپ الکترونی SEM مشاهده شده است. جهت انجام آزمایش فیلتراسیون، توده الیاف تهیه شده به عنوان یک فیلتر جاذب برای حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ استفاده شدند و میزان حذف رنگ از محلول به کمک روش طیف سنج نوری تعیین گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد و دستگاه

برای تولید نانوالیاف پلی‌وینیل‌الکل (PVA) به منظور حذف آلاینده‌های رنگی موجود در آب از پودر PVA با وزن مولکولی ۱۴۰۰۰ و درجه خلوص ۹۶٪، تری‌فلورواستیک‌اسید (TFA, CF₃COOH) با خلوص ۹۸٪ به عنوان حلال ریسندگی و گلو تار آلدهید (GA) به عنوان عامل اتصال دهنده عرضی تهیه شده از شرکت مرک آلمان استفاده شد. سدیم کربنات به عنوان عامل خنثی کننده و سدیم هیدروکسید و اورتو فسفریک‌اسید برای تنظیم pH محلول از شرکت سیگما تهیه شدند. از دستگاه همزن مغناطیسی Falc F80 به منظور یکنواخت‌سازی محلول ریسندگی نانوالیاف PVA

در پایان، برای انجام آزمایش‌های حذف رنگ و بررسی میزان رنگزدایی از محلول، در ابتدا به یک بالن ژوژه ۱۰۰ ml، ۱۰۰ ml ۳/۰ محلول رنگ راکتیو آبی ۱۹ با غلظت 1.0 g/l اضافه گردید. توده الیاف تهیه‌شده به مدت ۶۰ min در تماس با آن قرار داده شد. جذب محلول‌های رنگی قبل و بعد از افزودن توده الیاف به محلول در طول موج بیشینه، λ_{max} مربوط به رنگ یعنی ۵۹۲ nm خوانده شد. درصد رنگبری طبق معادله (۱) محاسبه شده است:

$$\% \text{حذف رنگ} = \left(1 - \frac{C}{C_0}\right) \times 100 \quad (1)$$

که در این معادله C_0 بیانگر غلظت اولیه رنگ در محلول رنگی، و C نشان‌دهنده غلظت محلول رنگی بعد از تماس با توده الیاف می‌باشد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- بهینه‌سازی شرایط فرآیند الکترورسی

هدف از این پژوهش تهیه توده نانوالیاف PVA به روش الکترورسی و استفاده از آن در حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ از محلول‌های آبی می‌باشد. در مراحل تولید نانوالیاف پارامترهایی نظیر غلظت پلیمر، مقدار ولتاژ، فاصله نازل تا صفحه جمع‌کننده و آهنگ تغذیه تاثیرگذار می‌باشند. در پایان هر مرحله از فرآیند ریسندگی، تصاویر میکروسکوپی از سطح الیاف تهیه‌شده و بهترین توزیع و یکنواختی توده الیاف به‌عنوان شرایط بهینه انتخاب می‌گردد.

۳-۱-۱- غلظت پلیمر PVA

در بررسی اثر غلظت PVA بر تشکیل نانوالیاف الکترورسی‌شده، محلول‌هایی از PVA با غلظت‌های مختلف شامل ۱/۳، ۱/۵، ۱/۷ و ۱/۹ تهیه و توسط دستگاه الکترورسی به شکل توده نانولیفی ریسیده شد. به‌منظور بررسی یکنواختی ریسندگی الیاف از تکنیک تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی پویشی استفاده شده است. براساس تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی به دست‌آمده از سطح توده نانوالیاف الکترورسی‌شده می‌توان به غلظت بهینه PVA دست‌یافت. تصاویر میکروسکوپی به دست‌آمده از سطح توده الیاف الکترورسی‌شده با محلول‌های حاوی مقادیر متفاوت PVA در شرایط فوق در شکل (۲) نشان داده شده است.

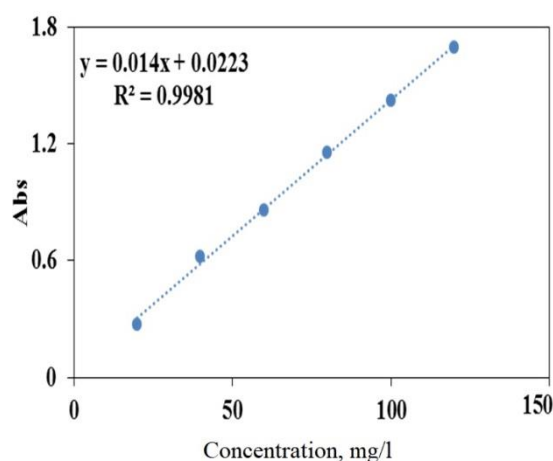
دی‌اتیلن تری‌آمین و ۱/۰ mM سدیم کربنات در دمای $^{\circ}\text{C}$ ۹۵ قرار داده شدند. سپس الیاف از محلول خارج گردیده و با آب مقطر شسته شدند. این شستشو تا زمانی ادامه یافت، تا pH پساب خروجی به ۷ رسید. این کار به‌منظور اطمینان از حذف کامل مواد اضافی عمل‌نشده صورت گرفت. سپس الیاف به‌مدت ۲۴ h در کوره با دمای $^{\circ}\text{C}$ ۸۰ کاملاً خشک شدند.

۳-۲- مطالعات میکروسکوپی

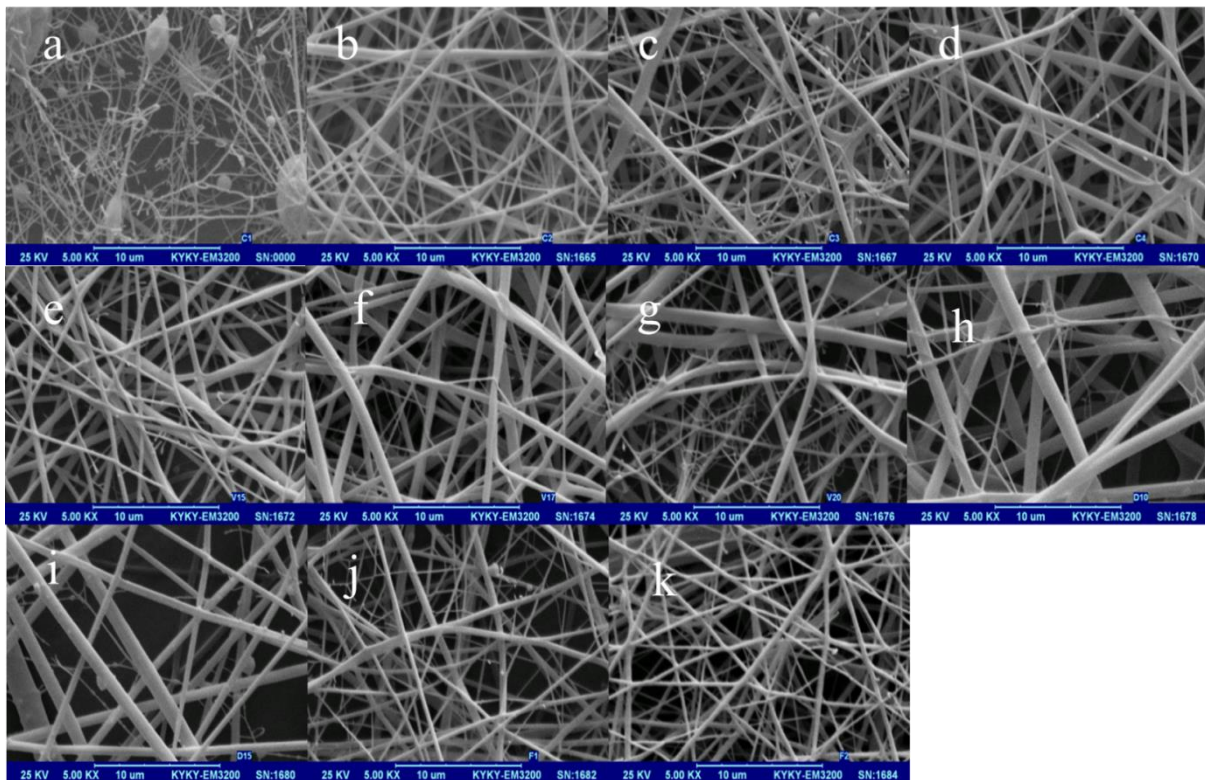
به‌منظور بررسی خصوصیات سطحی و مشاهده سطح مقطع الیاف الکترورسی‌شده در شرایط مختلف موردبررسی از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM VEGA/TESCANIII ساخت کشور بلژیک موجود در پژوهشگاه پلیمر ایران استفاده شد.

۳-۵- بررسی میزان جذب رنگ

به‌منظور بررسی راندمان جذب رنگ توسط فیلترهای متشکل از نانوالیاف PVA از دستگاه طیف سنج‌نوری (Spectrophotometer Shimadzu 100) استفاده شده است. به‌منظور انجام این مطالعه، رنگ راکتیو آبی ۱۹ برای شبیه‌سازی محلول‌های پساب استفاده شد. سپس، معادله خطی رنگ جهت محاسبه غلظت محلول‌های رنگی به‌ویژه در پساب‌های رنگی بعد از فرآیند حذف رنگ، نمودار معیارگیری در محدوده غلظتی ۲۰ تا ۱۲۰ mg/l در pH=۷ رسم گردید (شکل ۱).



شکل ۱- نمودار درجه‌بندی ترکیب رنگی راکتیو آبی ۱۹ در محلول‌هایی با pH = ۷ و در محدوده غلظتی ۲۰ الی ۱۲۰ mg/l
Fig. 1 Calibration curve of Reactive Blue 19 dye in aqueous with pH 7.0 at concentration range from 20 to 120 mg/l



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی از سطح توده الیاف الکترورسی شده از محلول حاوی (a) ۱/۳ wt% PVA (b) ۱/۵ wt% PVA (c) ۱/۷ wt% PVA (d) ۱/۹ wt% PVA، (آهنگ تغذیه ۰/۵ ml/h، ولتاژ ۱۵ kV و فاصله بین روزنه و صفحه جمع کننده ۱۳cm) اثر اعمال ولتاژ، (e) ۱۵ kV، (f) ۱۷ kV، (g) ۲۰ kV اثر فاصله بین نوک سوزن و صفحه جمع کننده بر یکنواختی توده الیاف الکترورسی شده (h) فاصله ۱۰ cm، (i) فاصله ۱۳ cm و اثر آهنگ تغذیه (j) ۰/۵ ml/h و (k) ۱/۰ ml/h

Fig 2. SEM images of electrospun fiber from solutions containing a) 1.3 % wt, b) 1.5 % wt, c) 1.7 % wt and d) 19. % wt PVA (Feed rate 0.5 ml/h, voltage 15 kV and distance from nozzle to collector 13 cm). Effect of applied voltage: e) 15 kV, f) 17 kV, g) 20 kV. Effect of distance from nozzle to collector: h) 10 cm, i) 13 cm and effect of feed rate: j) 0.5 ml/h, k) 1.0 ml/h on evenness of nanofiber diameter.

منجر به افزایش ویسکوزیته محلول خواهد شد، در نتیجه آن درهم تنیدگی زنجیره‌های پلیمری افزایش می‌یابد. این درهم تنیدگی بر تنش سطحی غلبه کرده و موجب می‌شود تا نانوالیافی یکنواخت و بدون بید شکل گیرد. علاوه بر این، افزایش غلظت پلیمر فراتر از مقدار بحرانی، موجب می‌شود ویسکوزیته به حدی افزایش یابد، به گونه‌ای که مانع از جریان یافتن محلول از میان سوزن سرنگ ریسندگی می‌شود (Haider et al. 2013). براین اساس غلظت ۱/۷ wt% به عنوان غلظت بهینه PVA به منظور تهیه فیلتر نانولیفی در مراحل بعدی استفاده خواهد شد.

۳-۱-۲- اثر ولتاژ دستگاه الکترورسی

به منظور بررسی اثر ولتاژ دستگاه الکترورسی بر تشکیل یکنواخت نانوالیاف، ولتاژهای مختلفی (۱۵، ۱۷ و ۲۰

در شکل (۲) می‌توان مشاهده نمود که در غلظت‌های پایین مناطقی به شکل دانه دانه (بید) (قسمت a) وجود دارد، که در اثر قطع شدن جریان پلیمر و عدم قابلیت ریسندگی در غلظت‌های پایین ایجاد شده‌اند. در ادامه هر چه غلظت PVA در محلول افزایش (b-d) یابد، قابلیت ریسندگی آن بهتر و شکل الیاف حاصله منظم و پیوسته می‌باشد. که این امر را می‌توان در تصاویر میکروسکوپی به وضوح مشاهده نمود. (Haider et al. 2013; Pillay et al. 2013) نیز گزارش نموده‌اند که وقتی غلظت محلول پلیمری اندک باشد، میدان الکتریکی و تنش سطحی موجب می‌شود که زنجیره‌های پلیمری درهم تنیده شده قبل از رسیدن به صفحه جمع کننده به تکه‌های کوچک تر (fragments) گسسته شوند. این بخش‌های کوچک موجب تشکیل بید (Beads) یا نانوالیاف حاوی بید می‌شود. افزایش غلظت محلول پلیمری

در اثر اختلاف پتانسیل اعمالی بیشتر شده و الیاف بیشتر تحت کشش قرار می‌گیرند. در نتیجه الیاف ظریف‌تری ایجاد خواهند شد (Laudenslager and Sigmund 2012). براساس بررسی تصاویر و میانگین قطر الیاف الکترورسی شده، فاصله بهینه بین روزنه و صفحه جمع‌کننده برابر ۱۳ cm به دست آمد.

۳-۱-۴- اثر آهنگ تغذیه محلول ریسندگی

در آخرین مرحله بهینه‌سازی شرایط الکترورسی فیلترهای نانولیفی PVA، اثر آهنگ تغذیه محلول ریسندگی^۱ از نوک سوزن دستگاه الکترورسی در دو شرایط مورد بررسی قرار گرفت. سطح توده الیاف با میکروسکوپ الکترونی پویشی به منظور بررسی اثر آهنگ تغذیه مورد مشاهده قرار گرفت. در شکل (۲) قسمت ۲ تصویر سطح توده الیاف الکترورسی شده با آهنگ تغذیه ۰/۵ ml/h ارائه شده است. میانگین قطر الیاف در این شکل برابر ۲۲۰ nm است. و می‌توان در این تصویر نقاط نایکناختی را مشاهده نمود که ممکن است در راندمان فیلتراسیون تأثیر گذارد. همچنین در شرایط استفاده از آهنگ تغذیه ۰/۵ ml/h ریسندگی به کندی انجام شده و زمان زیادی را باید برای تهیه توده نانولیفی صرف نمود. در قسمت k شکل (۲) تصویر مربوط به توده نانولیفی PVA الکترورسی شده با آهنگ تغذیه ۱/۰ ml/h نشان داده شده است. میانگین قطر الیاف محاسبه شده در این تصویر برابر ۹۰ nm می‌باشد. در مقایسه با آهنگ تغذیه ۰/۵ ml/h الیاف یکنواخت‌تر بوده و نقاط دانه‌ای (بید) کمی مشاهده می‌شود. آهنگ تغذیه محلول ریسندگی نیز یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر تشکیل نانولیفی و قطر آن‌ها می‌باشد. به گونه‌ای که اگر آهنگ تغذیه پایین باشد، محلول پلیمری خارج‌شونده از سوزن یکنواخت و پیوسته نبوده و جت پایدار محلول و مخروط تیلور تشکیل نخواهد شد (Megelski et al. 2002; Zeleny 1935). در نتیجه، الیافی با قطرهای متغیر شکل خواهد گرفت (Shamim et al. 2012). در برخی موارد نیز بید و الیافی نواری شکل ایجاد خواهند شد (Megelski et al. 2002). این عیوب به دلیل عدم تبخیر حلال و کشش پایین محلول در فضای میان سوزن و صفحه جمع‌کننده ایجاد شده‌اند (Li et al., 2013). براین اساس آهنگ تغذیه

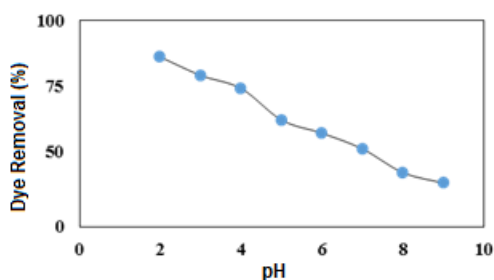
(KV) مورد بررسی قرار گرفت. در این مرحله نیز مانند قبل براساس مشاهده شکل ظاهری و یکنواخت بودن نانولیفی از روی تصاویر ثبت شده از توده الیاف می‌توان به شرایط بهینه دست‌یافت. تصاویر SEM از سطح توده الیاف الکترورسی شده در شرایط تغییر ولتاژ اعمالی در شکل (۲) قسمت (۲) e-) g) ارائه شده است. در تصاویر می‌توان مشاهده نمود که با افزایش ولتاژ اعمالی به محلول و افزایش اختلاف پتانسیل ایجاد شده بین محلول و صفحه جمع‌کننده، نانولیفی بیشتر کشش یافته و الیاف ظریف‌تری ایجاد می‌شود. (Laudenslager and Sigmund 2012) گزارش داده‌اند که شدت جریان اعمال شده از سوی یک منبع تغذیه به محلول در حال جریان در یک سوزن فلزی موجب تغییر شکل قطره‌های کروی در ناحیه مخروط تیلور شده و در نتیجه تشکیل نانولیفی می‌شود. هر چه ولتاژ اعمالی بیشتر باشد، نانولیفی با قطر کمتری شکل خواهند گرفت. این امر به دلیل کشش یافتن محلول پلیمری در اثر دافعه بارهای همنام در رشته پلیمری خارج شده از نوک سرنگ می‌باشد. افزایش ولتاژ اعمالی فراتر از مقدار بحرانی منجر به افزایش قطر جت پلیمری، تشکیل بیدها یا نانولیفی دارای بید خواهد شد. این موضوع در آهنگ‌های تغذیه مشابه مرتبط با کاهش اندازه مخروط تیلور و افزایش سرعت جت می‌باشد (Sill and Von Recum 2008). از این رو ولتاژ ۱۵ kV به عنوان ولتاژ بهینه در مراحل بعدی استفاده خواهد شد.

۳-۱-۳- اثر فاصله روزنه و صفحه جمع‌کننده

در این مرحله اثر فواصل متفاوت ۱۰، ۱۳ و ۱۵ سانتی‌متر بین روزنه و صفحه جمع‌کننده بر نحوه تشکیل نانولیفی بررسی شد. شکل ظاهری و یکنواختی الیاف با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی مورد بررسی قرار گرفتند. تصاویر مربوط به اثر فاصله بین روزنه و صفحه جمع‌کننده در شکل (۲) قسمت (i و h) نشان داده شد. در این تصاویر می‌توان مشاهده نمود هنگامی که فاصله ۱۰ cm باشد الیافی با قطر حدود ۲۲۰ nm تشکیل شده است، با افزایش این فاصله تا میزان ۱۵ cm قطر الیاف به حدود ۹۵ nm کاهش یافته است. نتیجه گرفته می‌شود که با افزایش فاصله بین روزنه و صفحه جمع‌کننده، قطر الیاف کاهش می‌یابد. این امر را می‌توان به این صورت تفسیر نمود که با افزایش فاصله بین نوک سوزن و صفحه جمع‌کننده، میدان ایجاد شده

¹ Feed Rate

این مرحله با استفاده از ۲۵۰ ml محلول رنگ ۳۰ mg/l راکتیو آبی ۱۹ و ۰/۰۲ g جذب (توده الیاف) انجام شد. در فرآیند جذب مولکول‌های رنگ راکتیو آبی ۱۹ بر روی توده نانوالیاف پلی‌وینیل‌الکل به دلیل برهم کنش‌های واندروالس جذب می‌شوند. در این مرحله تأثیر pH محلول بر راندمان حذف رنگ توسط جذب تهیه شده بررسی شد، برای این کار، محلول‌های رنگی حاوی رنگ راکتیو آبی ۱۹ با pH های مختلف در بازه ۲-۹ تهیه و توده الیاف به مدت ۶۰ min در تماس آب آن قرار داده شد، محلول‌ها در طی این مدت به آرامی همزده شدند. تغییرات راندمان حذف رنگ از محلول توسط توده الیاف تحت تأثیر pH محلول در شکل (۳) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود راندمان حذف رنگ وابسته به pH محلول است، چرا که نوسانات pH موجب تغییر درجه یونیزاسیون مولکول‌های موجود در محلول و خصوصیات سطحی جذب می‌شود.



شکل ۳- تأثیر pH محلول بر راندمان حذف رنگ

Fig. 3 Effect of pH on the dye removal efficiency

شکل (۳) نشان می‌دهد که ظرفیت جذب در pH های اسیدی بالا بوده و با افزایش pH محلول به سمت شرایط قلیایی، راندمان حذف کاهش می‌یابد. بیشترین میزان جذب رنگ در pH=۲/۱ مشاهده شد. در این شرایط، گروه‌های عاملی آمینوی (-NH₂) روی توده الیاف به صورت گروه‌های (-NH₃⁻) پروتونه شده، و جاذبه الکتروستاتیک قوی میان نانوالیاف باردار شده مثبت (-NH₃⁺) و مولکول‌های آنیونی رنگ (گروه‌های سولفونیک اسید)، موجب جذب مولکول‌های رنگ بر روی جاذب خواهد شد. این در حالی است که در pH های بالا (شرایط قلیایی)، تعداد مکان‌های باردار شده به صورت مثبت بر روی توده نانوالیاف کاهش خواهد یافت. تأثیر غلظت اولیه رنگ در بازه ۷۰-۱۰ mg/l بر راندمان حذف رنگ

۱/۰ ml/h به عنوان شرایط بهینه در مراحل بعدی استفاده خواهد شد.

بر اساس آزمایش‌های انجام شده تا این مرحله شرایط بهینه برای تولید نانوالیاف PVA به روش الکتروریسی به این ترتیب به دست آمد: غلظت پلی‌وینیل‌الکل در حلال برابر ۱/۷ wt %، ولتاژ اعمال شده ۱۵kV، فاصله بین نوک سوزن و صفحه جمع کننده ۱۳ cm و آهنگ تغذیه ۱/۰ ml/h می‌باشد. میزان تخلخل نانوالیاف با روش توزین وزن نمونه خشک و نمونه تر (آب اضافی به کمک صافی کاغذی گرفته شده است) توده الیاف و بر اساس رابطه (۲) محاسبه شده است:

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{m/\delta A}{\rho_0} \right) \quad (2)$$

ε ، δ ، m و A به ترتیب نشان‌دهنده میزان تخلخل، اختلاف جرم نمونه، ضخامت نمونه، مساحت نمونه و چگالی پلیمر می‌باشد. میانگین اندازه منافذ نیز بر اساس رابطه (۳) زیر تعیین می‌گردد:

$$r = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \left(\frac{\pi}{2 \log(1/\varepsilon)} - 1 \right) d \quad (3)$$

در آن r و d میانگین شعاع منافذ نانوالیاف و میانگین قطر الیاف هستند. نتایج این آزمایش در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- میزان تخلخل و قطر منافذ نانوالیاف PVA

Table 1. Porosity and pores diameter of PVA Nanofibers

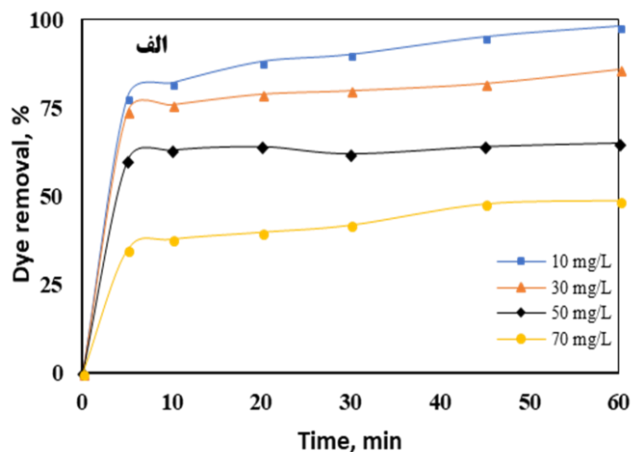
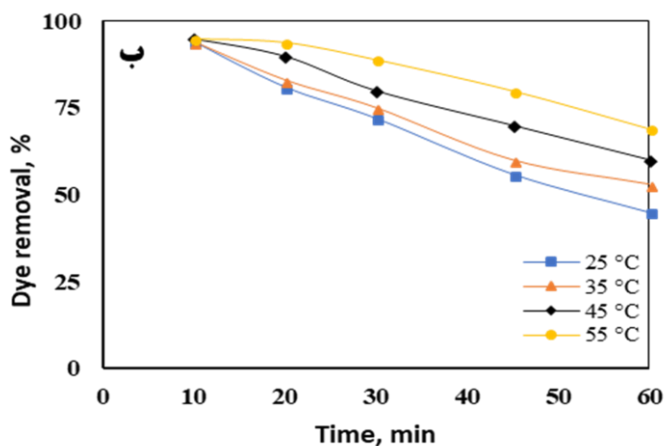
نوع جاذب	میانگین قطر (μm)	چگالی (g/cm ³)	ε	r (μm)
نانوالیاف PVA	0.11	0.443	0.644	0.74

۳-۲- جذب رنگ بر روی توده الیاف الکتروریسی شده

بر اساس شرایط بهینه به دست آمده برای الکتروریسی نانوالیاف PVA که در بالا اشاره شد، نمونه‌های نانوالیاف پلی‌وینیل‌الکل در شرایط فوق تهیه شد. نانوالیاف به صورت یک جاذب توده‌ای برای حذف رنگ از محلول به کار گرفته شدند. در این مرحله از فرآیند تأثیر زمان تماس جاذب، pH محلول، مقدار جاذب (توده الیاف) بر حسب گرم و دمای محلول بر حسب میزان جذب رنگ بر روی توده الیاف تهیه شده مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌های جذب رنگ در

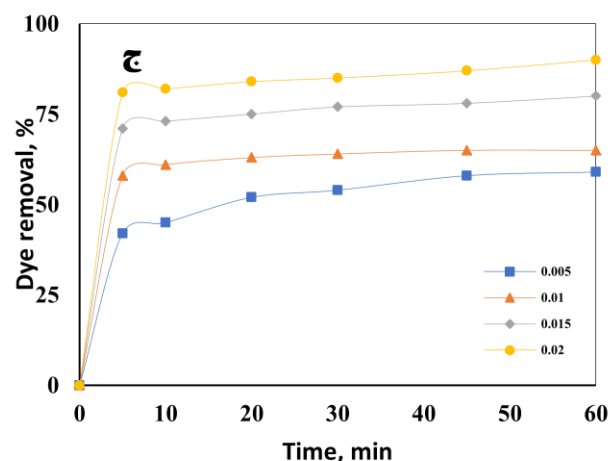
به دلیل آنکه مکان‌های فعال موجود برای جذب بر روی سطح توده الیاف اشباع می‌گردند.

نیز مورد مطالعه قرار گرفت، که نتایج آن در شکل (۴-الف) نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، راندمان حذف رنگ با افزایش غلظت اولیه رنگ کاهش می‌یابد،



شکل ۴ - راندمان حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ تحت تأثیر الف) غلظت اولیه رنگ (۷۰-۱۰ mg/l) (pH ۲/۱) (۰/۰۲ g جذب) ب) دمای محلول (۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ °C) (pH ۲/۱) (۰/۰۲ g جذب) و ۲۰ mg/l رنگ (۲۰ محلول = ۲/۱)، میزان جذب (۰/۰۲ g و غلظت رنگ ۲۰ mg/l) و ج) میزان جذب (۰/۰۰۵ - ۰/۰۲ g) (pH ۲/۱) (۰/۰۰۵ محلول = ۲/۱) دمای ۴۵ °C و غلظت رنگ ۲۰ mg/l

Fig. 4. Removal efficiency of reactive blue 19 dye with a) Initial dye concentration (10-70 mg/l) (pH 2.1, 0.02 g adsorbent) b) Solution temperature, 25, 35, 45 and 55 °C (pH 2.1, 0.02 g adsorbent and 20 mg/l dye concentration) and c) Sorbent dose (0.005 - 0.02 g) (pH 2.1, 45 °C and 20 mg/l dye concentration)



در شکل (۴-ج) تأثیر میزان نانوالیاف (بر حسب گرم) بر راندمان حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ از محلول‌های آبی نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که میزان حذف رنگ همراه با افزایش میزان جذب افزایش یافته است، زیرا مکان‌های فعال بیشتری برای جذب مولکول‌های رنگ موجود خواهد بود، در حالی که میزان ملکول‌های رنگ ثابت هستند. در پایان تأثیر زمان تماس توده الیاف با محلول رنگی مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل (۴) مشاهده می‌شود که فرآیند جذب رنگ در ۵ دقیقه اول سریع بوده و سپس به کندی پیش می‌رود، تا به نقطه تعادل می‌رسد. می‌توان این‌گونه بیان کرد که جذب سریع در دقایق اولیه به دلیل آن است که تعداد بسیار زیادی مکان جذب خالی بر روی سطح

دما نیز به عنوان یک پارامتر محیطی می‌تواند بر قابلیت جذب رنگ توسط جاذب تأثیر گذارد، زیرا ظرفیت جذب جاذب در اثر افزایش دما، تغییر می‌یابد (Kahraman et al. 2014; Yagub et al. 2012). به منظور بررسی اثر دما بر ظرفیت جذب نانوالیاف تهیه شده، آزمایش‌های جذب در دامنه دمایی ۲۵-۵۵ °C انجام شد. نتایج آیین آزمایش در شکل (۴-ب) آورده شده است. نتایج آزمایش‌های جذب نشان می‌دهد که ظرفیت جذب با افزایش دما افزایش یافته است. این امر نشان‌دهنده آن است که جذب راکتیو آبی ۱۹ بر روی توده نانوالیاف PVA الکتروریسی شده ماهیتی گرماگیر دارد.

- ۲- بهترین شرایط تولید لیاف عبارتند از PVA %wt ۱/۷، شدت ولتاژ ۱۵ kV، فاصله نازل تا صفحه جمع‌کننده ۱۳ cm و آهنگ تغذیه ۱ ml/h.
- ۳- بیشترین میزان حذف (۰/۹۱) رنگ راکتیو آبی ۱۹ در شرایط pH = ۲/۱، غلظت اولیه رنگ ۲۰ mg/l، ۰/۰۲ جذب به دست آمد.
- ۴- فرآیند جذب رنگ بر روی توده نانوالیاف پلی وینیل الکل در طی مدت زمان ۵ دقیقه به تعادل رسید. ضمن آنکه، هرچه دما بیشتر باشد، راندمان حذف رنگ بیشتر خواهد بود، که اشاره بر گرماگیر بودن فرآیند جذب رنگ بر روی توده لیاف الکتروریسی شده دارد.

توده لیاف وجود دارد که، پس از مدت زمان کوتاهی، این مکان‌های توسط مولکول‌های رنگ پر شده و سطح جاذب اشباع می‌گردد. در طی دقایق بعدی، مولکول‌های موجود بر روی سطح جاذب ممکن است به دلیل برهم‌کنش‌های ضعیف از سطح جاذب جدا شده و به داخل محلول بازگردند، اما جای خالی آن‌ها با مولکول‌های رنگ دیگر اشغال خواهد شد، که به اصطلاح این پدیده، به تعادل رسیدن گفته می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

مهم‌ترین دستاوردهای این پژوهش عبارتند از:

- ۱- تهیه نانوالیاف پلی وینیل الکل به روش الکتروریسی و استفاده از آن برای حذف رنگ راکتیو آبی ۱۹ از محلول‌های آبی.

Reference

- Abbasi M. and Razzaghi Asl N. (2008). Sonochemical degradation of Basic Blue 41 dye assisted by nanoTiO₂ and H₂O₂. J. Hazard. Mat. 153, 942-947.
- Abid T., Malik S. N., Hussain N., Siddiqe M., Mahmood Q., Hussain I., Mateen F., Ahmed Z. and Farooq R. (2013). Electrolyte Assisted Sono Electrochemical Decomposition of Reactive Red 195, J. Chem. Soc. Pakistan 35(2), 378-385.
- Daneshvar N., Salari D. and Khataee A. R. (2003). Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in water: investigation of the effect of operational parameters. J. Photochem. Photobiol. A: Chem. 157, 111-116.
- El-Ashtoukhy E. S. Z., Mobarak. A. A. and Fouad. Y. O. (2016). Decolourization of Reactive Blue 19 Dye Effluents by Electrocoagulation in a Batch Recycle New Electrochemical Reactor. Int. J. Electrochem. Sci. 11, 1883 - 1897.
- El-Bindary, A. A., Abd El-Kawi M. A., Hafez A. M., Rashed I. G. A. and Aboelnaga E. E. (2016). Removal of reactive blue 19 from aqueous solution using rice straw fly ash. J. Mater. Environ. Sci. 7 (3), 1023-1036.
- Habibi S. and Hashemi S. H. (2013). Nanotechnology in Textile, Amirkabir University, 140 pp. [in Persian]
- Haider S., Al-Zeghayer Y., Ahmed Ali F., Haider A., Mahmood A., Al-Masry W., Imran M. and Aijaz M. (2013). Highly aligned narrow diameter chitosan electrospun nanofibers. J. Polym. Res., 20 (4), 1-11.
- He C. H. and Gong J. (2003). The preparation of PVA-Pt/TiO₂ composite nanofiber aggregate and the photocatalytic degradation of solid phase polyvinyl alcohol. Polym. Degrad. Stab. 81 (1), 117-124.
- Jamnongkan T., Wattanakornsiri A., Pansila P. P., Migliaresi C., and Kaewpirom S. (2012). Effect of poly (vinyl alcohol)/chitosan ratio on electrospun-nanofiber morphologies, Adv. Mater. Res., 734, 463-464.
- Kahraman S., Yalcin P. and Kahraman H. (2012). The evaluation of low-cost biosorbents for removal of an azo dye from aqueous solution. Water Environ. J. 26, 399-404.
- Laudenslager M. J. and Sigmund W. M. (2012). Electrospinning: Encyclopedia of Nanotechnology. Springer Publishers. 769-775.
- Lee J. S., Choi K. H., Ghim H. D., Kim S. S., Chun D. H., Kim H. Y. and Lyoo W. S. (2004). Role of molecular weight of atactic poly (vinyl alcohol) (PVA) in the structure and properties of PVA nanofabric prepared

- by electrospinning. *J. Appl. Poly. Sci.* 93, 1638–1646.
- Li C. J., Li Y. J., Wang, J. N. and Cheng J. (2013). PA6@FexOy nanofibrous membrane preparation and its strong Cr (VI)-removal performance. *Chem. Eng. J.*, 220, 294-301.
- Maleki A., Mahvi A. H., Ebrahimi R. and Zandsalimi Y. (2010). Study of photochemical and Sonochemical processes efficiency for degradation of dyes in aqueous solution. *Korean J. Chem. Eng.* 27(6), 1805–1810.
- Maleki A., Mahvi A. H., Rezaee R. and Davari, B. (2013) Removal of Reactive Blue 19 using Natural and Modified Zeolites. *Iranian J. Health Environ.* 5 (4), 519-530
- Megelski A., Stephens J. S., Bruce Chase D. and Rabolt J. F. (2002). Micro- and nanostructured surface morphology on electrospun polymer fibers. *Macromolecules*, 35 (22), 8456-8466.
- Monsef Khoshhesab Z. and Ahmadi M. (2016). Removal of reactive blue 19 from aqueous solutions using NiO nanoparticles: equilibrium and kinetic studies, *J. Desalin. Water Treat.* 57 (42), 20037-20048.
- Muhammad A., Shafeeq A., Butt M. A., Rizvi Z. H., Chughtai M. A. and Rehman S. (2008). Decolorization and Removal of COD and BOD from Raw and Biotreated Textile dye Bath Effluent through Advanced Oxidation Processes (AOPS). *Brazilian J. Chem. Eng.* 25(03), 453-459.
- Nasir Khan M. A., Siddique M. Wahid F. and Khan R. (2015). Removal of reactive blue 19 dye by sono, photo and sonophotocatalytic oxidation using visible light. *Ultrasonic. Sonochem.* 26, 370-377.
- Nguyen V. C. and Pho Q. H. (2014). Preparation of Chitosan Coated Magnetic Hydroxyapatite Nanoparticles and Application for Adsorption of Reactive Blue 19 and Ni²⁺ Ions. *The Scientific World Journal*, 2014, 1-9.
- Phi N. Q., Zhaonan S. and Xiaomin H. (2012). Decolorization of Direct yellow R dye from aqueous solution by Aluminum anode electrochemical. *Adv. Mat. Res.* 581, 58-63.
- Pillay V., Dott C., Choonara Y. E., Tyagi C., Tomar L., Kumar P., du Toit L. C. and Ndesendo V. M. K. (2013). A review of the effect of processing variables on the fabrication of electrospun nanofibers for drug delivery applications. *J. Nanomater.*, 2013, 22-35.
- Rivera M., Pazos M. and Sanroman M. A. (2009). Improvement of dye electrochemical treatment by combination with ultrasound technique. *J. Chem. Tech. Biotech.* 84, 1118–1124.
- Sarmadi N., Gharabaghi M. and Aslani S. (2017). New technologies in the synthesis of nanostructures used in wastewater treatment-A review. *J. Environ. Water Eng.*, 3(3), 280 – 297. [In Persian].
- Sayed Ahmed S. A., Khalil L. B. and El-Nabarawy T. (2012). Removal of Reactive Blue 19 dye from Aqueous Solution Using Natural and Modified Orange Peel. *Carbon letters.* 13(4), 212-220
- Selcuk H. and Meric S. (2006). Ozone Pre-Oxidation of a Textile Industry Wastewater for Acute Toxicity Removal. *Global NEST J.* 8(2), 95-102.
- Shamim Z., Saeed B., Amir T., Abo Saied R. and Rogheih D. (2012). The effect of flow rate on morphology and deposition area of electrospun nylon 6 nanofiber. *J. Eng. Fabrics Fibers*, 7 (4), 42-48.
- Sill T. J. and von Recum H. A. (2008). Electrospinning: applications in drug delivery and tissue engineering. *Biomaterials.* 29 (13), 1989-2006.
- Taepaiboon P., Rungsardthong U. and Supaphol P. (2007). Drug-loaded electrospun mats of poly (vinyl alcohol) fibres and their release characteristics of four model drugs. *Nanotechnology.* 17, 2317–2329.
- Tantak N. P. and Chaudhari S. (2006). Degradation of azo dyes by sequential Fenton's oxidation and aerobic biological treatment. *J. Hazard. Mater.* B136, 698-705.
- Yagub M. T., Sen T., Afroze K. S. and Ang H. M. (2014). Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review. *Adv. Colloid Interface Sci.* 209, 172–184.

- Yaqub A., Ajab H., Isa M. H., Jusoh H., Junaid M. and Farooq R. (2012). Effect of Ultrasound and Electrode Material on Electrochemical Treatment of Industrial Wastewater. *J. New Mater. Electrochem. Sys.* 15, 289-292.
- Zeleny J. (1935). The role of surface instability in electrical discharges from drops of alcohol and water in air at atmospheric pressure. *J. Franklin Inst.*, 219 (6), 659-675.
- Zhang F., Feng C., Li W. and Cuil J. (2014). Indirect Electrochemical Oxidation of Dye Wastewater Containing Acid Orange 7 Using Ti/RuO₂-Pt Electrode. *Int. J. Electrochem. Sci.* 9, 943 – 954.

Study on Removal of Reactive Blue 19 using PVA Electrospun Nanofibers

Mohammadreza Tafahi Yazdi¹, Mohammadali Shirgholami^{2*}, Saied Jafari³ and Mohammad Dehghani⁴

¹MSc., Department of Polymer Engineering, Faculty of Textile and Polymer Engineering, Islamic Azad University, Yazd Branch, Yazd, Iran

²Lecturer, Department of Polymer Engineering, Faculty of Textile and Polymer Engineering, Islamic Azad University, Yazd Branch, Yazd, Iran

³MSc. Department of Polymer Engineering; Young Researcher and Elite Club, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran

⁴PhD Scholar of Textile, Young Researcher and Elite Club, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran

*Corresponding author: ma.shirgholami@gmail.com

Original Paper

Received: January 7, 2018

Revised: February 5, 2018

Accepted: April 11, 2018

Abstract

Textile pollutants, especially dyes are toxic compared to other pollutants and their presence is more sense in the environment. Reactive dye due to its high molecular weight and aromatic structure is more dangerous than other dyes. These dyes are highly soluble in water and are not easily removed by common treatment methods. Among the methods of wastewater treatment, application of membrane filtration via nanofibers can be more effective, since these membranes are very porous and their pores are interconnected; moreover, they can easily be functionalized. This research aimed at removal of reactive blue 19 dye from the simulated dyeing effluent using adsorbent through a membrane produced by electrospinning of the PVA solution. In this regard, the influence of different parameters on the fiber production conditions such as polymer concentration, applied voltage intensity, distance of nozzle to collector and feeding rate were investigated. In addition, effects of environmental factors including pH and temperature, contact time and nanofiber mass on the dye removal efficiency were studied. The very fine nanofiber was produced by 1.7% wt PVA at 15 kV with 1.0 ml/h feeding rate from 13 cm. The research found 91% dye removal efficiency using prepared nanofibers at pH 2.1, 35°C and 20 mg/l nanofibers. The results indicate that the process of dye adsorption on the nanofiber mass is endothermic.

Keywords: Electrospinning; Poly Vinyl Alcohol; Blue 19 Dye; Nanofiber.