

A Review on the Different Methods of Clearing Disperse Dyes from the Surface of the Dyed Polyester Fibre

Armaghan Jozi¹, Hossein Izadan^{1*}

Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology, P. O. Box: 8415683111, Isfahn, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 30-08-2022

Accepted: 22-11-2022

Available online: 21-12-2022

Print ISSN: 2251-7278

Online ISSN: 2383-2223

DOR: 20.1001.1.22517278.1401.12.3.3.2

Keywords:

Polyester fibres

Dyeing

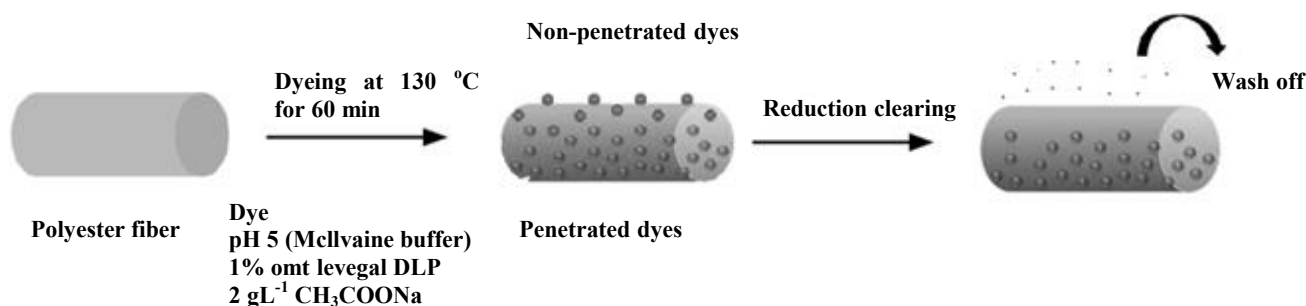
Disperse dye

Reduction clearing

Alternative methods

ABSTRACT

The deposits of dispersed dyes on dyed polyester fibres are an important problem in polyester fibre dyeing that should be tackled properly. These dyes deteriorate the wash, rubbing, and sublimation fastness and the brightness of the dyed fibres, especially deep-dyed ones. Therefore, clearing these surface dyes is necessary. Conventionally, a reduction clearing process is used to remove the surface dyes, in which sodium dithionite, a reductant, and sodium hydroxide, an alkaline, are used. This process has a significant part in removing surface oligomers and auxiliaries, such as carriers. Unfortunately, this process is not environment friendly, and the derivatives of its chemicals are toxic to human health, and there are technological and economic issues associated with this process. In recent years, numerous research for removing surface dispersed dyes by alternative, less-pollutant, and more efficient processes have been proposed. These alternative processes include surfactants, enzymes, and other reductants, oxidative clearing, plasma, electrochemical methods, and the application of easily clearable synthesized dyes. Each of these proposed processes has its own pros and cons, and they have special needs. In the present review paper, various processes of clearing surface dispersed dyes from the dyed polyester fibres are investigated and compared with the traditional reduction-clearing process.



*Corresponding author: izadan@iut.ac.ir



مروری بر روش‌های مختلف زدودن ماده رنگزای دیسپرس از سطح الیاف پلی‌استر رنگرزی شده

ارمغان جوزی^۱، حسین ایزدان^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱

۲- استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱

چکیده

رنگرزی الیاف پلی‌استر عموماً با مواد رنگزای دیسپرس صورت می‌گیرد، وجود مواد رنگزای سطحی از مشکلات این رنگرزی است که سبب کاهش ثبات مرطوب، سایشی و تصعیدی این الیاف رنگرزی شده به‌ویژه در عمق‌های رنگرزی بالا می‌گردد. لذا حذف مواد رنگزای سطحی در این رنگرزی‌ها ضروری است. فرآیندی که به‌طور معمول برای حذف این مواد رنگزای سطحی انجام می‌شود، شستشوی احیایی است که در آن از دی تیونیت سدیم به‌عنوان احیاکننده و از هیدروکسید سدیم به‌عنوان قلیا استفاده می‌شود. این عملیات در زدودن الیگومرهای سطحی و نیز سایر مواد شیمیایی همراه الیاف رنگرزی شده مانند حامل نیز نقش دارد. متأسفانه این فرآیند آلاینده محیط‌زیست است و همچنین مشتقات حاصل از مواد کاربردی در آن، برای انسان مضر هستند و مسائل فناورانه و اقتصادی با این فرآیند همراه است. در سال‌های اخیر، تحقیقات متعددی برای زدودن مواد رنگزای دیسپرس سطحی با روش‌های جایگزین که دارای عملکردی مناسب اما با آلاینده‌گی کمتر باشند، صورت پذیرفته است. از جمله این روش‌های جایگزین می‌توان به استفاده از مواد فعال سطحی، استفاده از آنزیم‌ها، استفاده از عوامل احیایی متفاوت، شستشوی اکسیدی، روش کاتالیزور نوری، استفاده از پلاسما، روش الکتروشیمیایی و نیز استفاده از مواد رنگزای دیسپرس خاص سنتز شده که به سادگی زدوده می‌شوند، اشاره کرد. هر یک از این فرآیندهای جایگزین، دارای مزایا و معایبی هستند و استفاده از آن‌ها نیازمندی‌های ویژه دارد. در مقاله حاضر، فرآیندهای مختلف زدودن مواد رنگزای سطحی دیسپرس از الیاف پلی‌استر رنگرزی شده بررسی و مقایسه می‌شوند.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰

شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۲۷۸

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۲۲۳

DOR: 20.1001.1.22517278.1401.12.3.3.2

واژه‌های کلیدی:

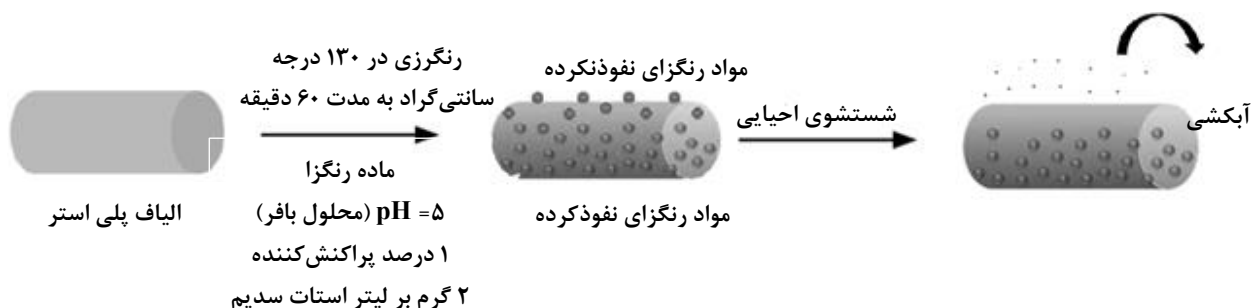
الیاف پلی‌استر

رنگرزی

ماده رنگزای دیسپرس

شستشوی احیایی

روش‌های جایگزین



۱- مقدمه

الیاف پلی استر، به‌ویژه پلی اتیلن ترفتالات، مهم‌ترین لیف مصنوعی از نظر حجم تولید و کاربرد است که حدود ۵۲ درصد سهم بازار تولید الیاف در سال ۲۰۲۰ مربوط به این الیاف بوده است [۱]. رایج‌ترین نوع الیاف پلی استر از ترکیب پلی اتیلن ترفتالات با اتیلن گلیکول بدست می‌آید، اگرچه این الیاف می‌توانند از ترکیب اتیلن گلیکول با پلیمرهای دیگر مانند پلی متیلن ترفتالات، پلی بوتیلن ترفتالات، پلی اتیلن نفتالات، پلی کربنات، پلی لاکتید و پلی اتیلن اگزالات نیز ساخته شوند [۲]. شکل ۱ نحوه سنتز الیاف پلی استر با پلی اتیلن ترفتالات را نشان می‌دهد.

پلی استر، لیفی گرم‌نرم با مدول اولیه و استحکام کششی بالا است و از نظر ابعادی در برابر عملیات حرارتی پایدار است و مقاومت خوبی در برابر چروک دارد. این الیاف جذب آب پایینی دارند و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد تنها ۰/۴ درصد جذب رطوبت دارند [۴]. الیاف پلی استر به علت ماهیت آب‌گریزی که دارند، در برابر بسیاری مواد شیمیایی در محلول‌ها و به‌ویژه در زیر دمای شیشه‌ای مقاوم هستند و اثر احتمالی چنین موادی تنها به سطح الیاف محدود می‌شود [۵].

مواد رنگزایی که به‌طور معمول برای رنگرزی الیاف پلی استر استفاده می‌شوند، مواد رنگزای دیسپرس نام دارند. از این ماده رنگزا ابتدا برای رنگرزی استات سلولز و سپس به‌طور گسترده برای رنگرزی پلی استر استفاده شد. مواد رنگزای دیسپرس مورد استفاده برای پلی استر، معمولاً نسبت جرم به قطبیت بالایی دارند و نسبت میان آب‌گریزی و آب‌دوستی این مواد رنگزا به گونه‌ای است که افینیت مناسب به لیف پلی استر دارند و در صورت ایجاد شرایط مناسب، پراکنشی پایدار در آب ایجاد می‌نمایند [۶]. این مواد رنگزا از لحاظ ساختار شیمیایی عمدتاً در گروه‌های آزو و آنتراکینون قرار می‌گیرند. تولید مواد رنگزای آزو راحت و ارزان است و به‌طور معمول خواص ثابتاتی خوبی را از خود نشان می‌دهند [۷]. مشکلی که این مواد رنگزا دارند، تمایل آن‌ها به احیا در شرایط دمای بالای رنگرزی و به‌ویژه در حضور احیاکننده‌ها است [۸] که می‌تواند در مورد آمین‌های آروماتیک منجر به تولید مواد سرطان‌زا گردد. خوشبختانه اکثر مواد رنگزای آزو تجاری جدید، این آمین‌های آروماتیک سرطان‌زا را تولید نمی‌کنند [۹]. مواد رنگزای آنتراکینون نسبت به مواد رنگزای آزو گران‌تر هستند [۱۰]. می‌توان از این مواد رنگزا برای رنگرزی مخلوط پلی استر با الیاف مصنوعی دیگر استفاده کرد و این نوع مواد رنگزا ثبات نوری خوبی دارند [۱۱].

الیاف پلی استر قبل از رنگرزی نیاز به پیش‌عملیات دارند. اگرچه الیاف مصنوعی (همچون پلی استر) برخلاف الیاف طبیعی، عاری از هرگونه آلاینده‌های طبیعی هستند اما نیاز به مرحله آماده‌سازی قبل از رنگرزی دارند تا روغن‌ها، موم‌ها، و هرگونه عوامل کاتیونی حذف شوند.

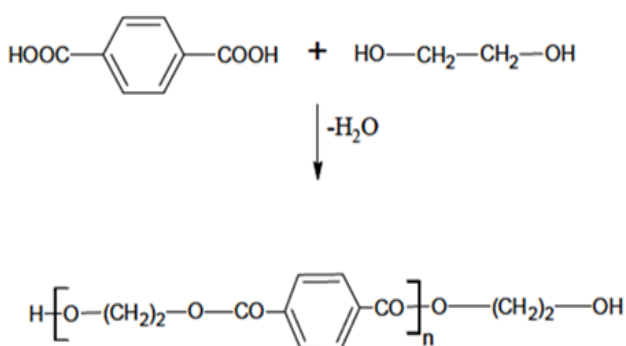
این عملیات معمولاً با ۲ گرم بر لیتر کربنات سدیم و ماده فعال‌سطحی آنیونی در ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود [۱۲].

می‌توان سازوکار انتقال ماده رنگزا از محلول رنگرزی به لیف را در چهار مرحله توضیح داد که ابتدا مولکول ماده رنگزا از ذرات ماده رنگزا جدا شده و به حالت تک‌مولکولی حل شده در حمام رنگرزی درمی‌آید. سپس این مولکول‌ها از محلول به سمت لیف حرکت کرده و روی سطح الیاف قرار می‌گیرند. پس از آن، به داخل الیاف نفوذ می‌کنند و در نهایت تثبیت ماده رنگزا در لیف اتفاق می‌افتد [۱۳]. در طی فرآیند رنگرزی ساختار الیاف باز شده، تا فضای کافی برای ورود مولکول‌های ماده رنگزا ایجاد شود. این باز شدن ساختار می‌تواند توسط مواد شیمیایی مانند کریر^۱ و یا با روش‌های حرارتی انجام شود. سپس مولکول ماده رنگزا توسط نیروهای فیزیکی نگه‌داشته می‌شود و در نهایت ماده رنگزا داخل زنجیرهای پلیمر حبس فیزیکی می‌شود [۱۴]. با توجه به این موضوع، رنگرزی پلی استر با مواد رنگزای دیسپرس عمدتاً شامل سه روش استفاده از کریر، رنگرزی در دمای بالا و ترموزول^۲ می‌شود [۱۵].

مواد رنگزای دیسپرس معمولاً خواص ثابتاتی خوبی روی پلی استر دارند. با این حال، به دلیل حلالیت کم، این مواد رنگزا تمایل به تجمع و رسوب روی سطح الیاف دارند. اگر این رسوبات حذف نشوند، می‌توانند بر درخشندگی، ثبات شستشویی، سایشی و تصعیدی ماده رنگزا تأثیر نامطلوبی بگذارند [۱۴].

۲- شستشوی احیایی به روش مرسوم

پس از رنگرزی، به‌ویژه در عمق‌های رنگرزی متوسط به بالا، مولکول‌های ماده رنگزا که هنوز به الیاف نفوذ نکرده‌اند بر روی سطح منسوجات رسوب می‌نمایند [۱۶].



شکل ۱: نحوه سنتز الیاف پلی استر با پلی اتیلن ترفتالات [۳].

Figure 1: Method of synthesis of Polyethylene terephthalate polyester fibres [3].

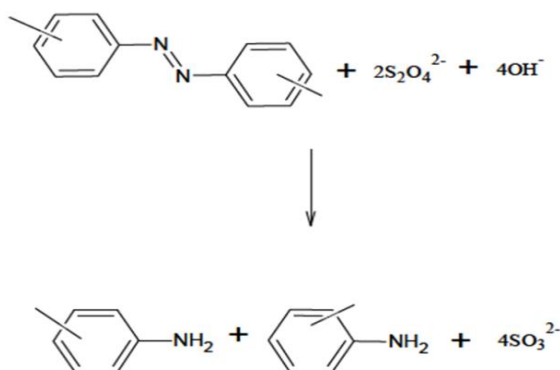
¹ Carrier

² Thermosol

در مواد رنگزای دیسپرس بر پایه آزو، مکان‌های مزدوج^۱ گسترده در مولکول وجود دارد. از بین رفتن این سامانه منجر به از بین رفتن رنگ در ماده رنگزا می‌شود. مطابق با شکل ۲-۲، شستشوی احیایی از خواص احیایی دی تیونیت سدیم، برای تخریب سامانه کانژوگاسیون مولکول‌های ماده رنگزا استفاده می‌کند. بنابراین دی تیونیت سدیم، ساختار ماده رنگزا آزو را با ارائه یک الکترون، به آمین‌های بی رنگ، تبدیل می‌کند. دو مول دی تیونیت برای احیا یک پیوند آزو مورد نیاز است [۲۴]. شکل ۳ سازوکار شستشوی احیایی بر روی مواد رنگزای دیسپرس با ساختار آزو را نشان می‌دهد.

سازوکار شستشوی احیایی برای مواد رنگزای آنتراکینون توسط سدیم دی تیونیت شامل افزودن یون دی تیونیت به اتم کربن هر گروه کربونیل است [۲۵]. این اتفاق سبب حل شدن مواد رنگزای سطحی آنتراکینونی و زدودن آن‌ها می‌گردد. شکل ۴ سازوکار شستشوی احیایی بر روی مواد رنگزای دیسپرس با ساختار آنتراکینونی را نشان می‌دهد.

روش شستشوی احیایی مرسوم به دلیل احتمال تولید آمین‌های سرطان‌زا در مواد رنگزای با ساختار شیمیایی آزو برای سلامتی انسان مضر بوده و همچنین تقاضای اکسیژن شیمیایی BOD^۲ و تقاضای اکسیژن زیستی COD^۳ آب را افزایش داده و آلاینده محیط‌زیست است. این روش زمان‌بر بوده و نیازمند انرژی حرارتی است [۲۶]. همچنین نیاز به تغییر pH از اسیدی در عملیات رنگریزی به قلیایی در شستشوی احیایی و سپس خنثی‌سازی محلول، از مشکلات دیگر شستشوی احیایی مرسوم است. به همین علت محققین همواره در تلاش بوده‌اند تا روشی مناسب‌تر را جایگزین شستشوی احیایی مرسوم کنند [۲۷].



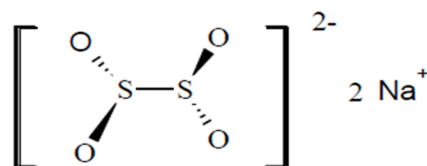
شکل ۳: سازوکار شستشوی احیایی بر روی مواد رنگزای دیسپرس با ساختار آزو [۲۴].

Figure 3: Mechanism of reduction clearing of Azo disperse dyes [24].

مولکول‌های ماده رنگزا که جذب سطحی شده‌اند اتصال ضعیفی به لیف دارند و زمانی که منسوجات توسط مصرف‌کنندگان استفاده می‌شوند، سبب تغییر رنگ تدریجی منسوجات شده یا در حین شستشو سبب لکه‌دار شدن منسوجات همراه می‌گردند یا حتی در حین پوشیدن سبب لکه‌دار شدن منسوجاتی که در تماس با آن هستند، می‌شود [۱۶]. همچنین وجود این مواد رنگزای سطحی سبب کاهش ثبات تصعیدی منسوجات می‌گردد و می‌توانند درخشندگی منسوج را نیز تغییر دهند [۱۷].

ویژگی مواد رنگزای دیسپرس، یعنی حلالیت کم در آب و تشکیل ذرات سطحی چندمولکولی، حذف مواد رنگزای سطحی را دشوار می‌کند. بنابراین، برای زدودن بهتر و کامل‌تر این ذرات، فرآیند شستشو با استفاده از عوامل احیاکننده مدنظر قرار گرفت. در کنار مولکول‌های ماده رنگزای باقیمانده سطحی، مشکل الیگومرهای سطحی نیز وجود دارد. الیگومرها پلی استرهایی با وزن مولکولی کوچک هستند که در طی پلیمریزاسیون پلی اتیلن گلیکول با اسید ترفتالیک تشکیل می‌شوند. پس از رنگریزی و با کاهش دما، الیگومرها از پلیمر خارج شده و به دلیل حلالیت کم در آب روی سطح لیاف رسوب می‌کنند. این رسوبات سطحی توسط مواد رنگزای دیسپرس رنگریزی نمی‌شوند. آن‌ها همچنین مراکز را برای هسته‌زایی مواد رنگزای دیسپرس ایجاد کرده و در نتیجه پراکنش ماده رنگزا در محلول را مختل می‌کنند [۱۸]. این الیگومرها در آب محلول نیستند و شستشوی ساده آبی روش مؤثری برای زدودن آن‌ها نیست و برای زدودن این رسوبات الیگومری عموماً نیاز به شستشوی احیایی وجود دارد [۲۱-۱۹]. در شستشوی احیایی، لیاف پلی استر رنگریزی شده، در حمام احیایی قوی شامل هیدروکسید سدیم و دی تیونیت سدیم و در دمای ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه عمل می‌شود. به‌طور معمول دی تیونیت سدیم، به‌عنوان عامل احیاکننده برای شستشوی احیایی پلی استر استفاده می‌شود. سدیم دی تیونیت، همچنین به‌عنوان هیدروسولفیت سدیم نیز نامیده شده و معمولاً با نام تجاری هیدرو در صنعت شناخته می‌شود [۲۲]. شکل ۲ ساختار دی تیونیت سدیم را نشان می‌دهد.

بسیاری مواد رنگزای دیسپرس حاوی گروه آزو هستند. این گروه به راحتی در عملیات با عوامل احیاکننده به دو گروه آمینه تقسیم می‌شوند [۲۳].



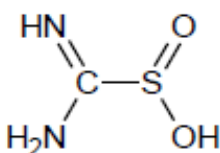
شکل ۲: ساختار دی تیونیت سدیم [۲۲].

Figure 2: Structure of Sodium dithionite [22].

¹ Conjugation

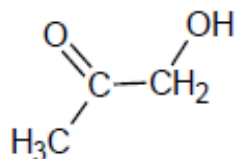
² Biological Oxygen Demand

³ Chemical Oxygen Demand



شکل ۵: ساختار شیمیایی فرمامیدین سولفونیک اسید [۲۸].

Figure 5: Chemical structure of Formamidine sulfinic acid [28].



شکل ۶: ساختار شیمیایی هیدروکسی استن [۲۸].

Figure 6: Chemical structure of Hydroxyacetone [28].

اسیدسولفینیک به آنیون سولفینات تبدیل می‌شود که خواص احیاکنندگی قوی از خود نشان می‌دهد. یون سولفینات با اکسیژن موجود در سامانه واکنش می‌دهد تا یون رادیکال سولفینات، رادیکال سولفیت و دیگر گونه‌های اکسیژن فعال همراه با سایر محصولات، تجزیه شده و در نهایت منجر به تشکیل سولفات شود. هیدروکسی استن، در محیط قلیایی و در دمای بالای ۸۰ درجه سانتی‌گراد، خواص احیاکنندگی قوی از خود نشان می‌دهد. این ماده به دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیل و کربونیل و داشتن جرم مولکولی کم، محلول در آب است [۲۸].

۳-۲- استفاده از فرآیند مبتنی بر شستشو

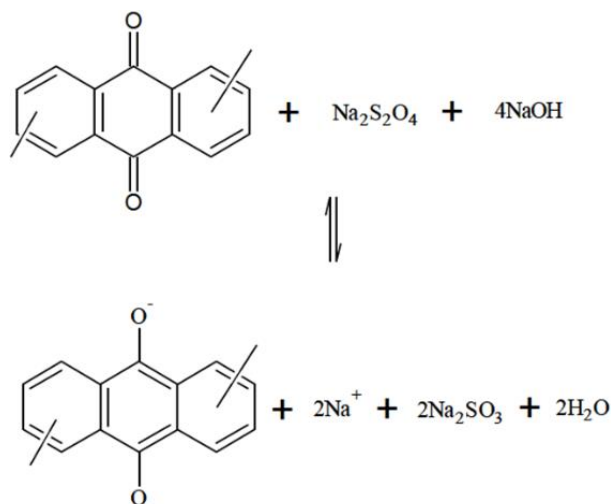
در سال‌های اخیر نظراتی در زمینه عدم نیاز به شستشوی احیایی در رنگرزی پلی استر با ماده رنگزای دیسپرس وجود دارد. برکینشاو و کومار^۲ از دمای نزدیک جوش در شستشوی بعد از رنگرزی پلی استر استفاده نموده و آن را بسیار موثر بیان کردند اما همان گونه که در شکل ۷ دیده می‌شود، به دلیل استفاده از پربرات سدیم عملاً باید روش آنها را روشی اکسیدی مشابه آنچه در بخش ۱-۴-۳ آمده است، دانست [۲۹].

۳-۳- استفاده از مواد فعال سطحی

از مواد فعال سطحی نیز به عنوان عاملی برای شستشو و زدودن مواد رنگزای دیسپرس سطحی روی پلی استر استفاده شده است که در ذیل توضیح داده می‌شوند.

۳-۳-۱- استفاده از مواد فعال سطحی کاتیونی

قرنجیگ و همکارانش از مواد فعال سطحی کاتیونی برای زدودن مواد رنگزای دیسپرس سطحی از لیف پلی استر استفاده کردند [۳۰].



شکل ۴: سازوکار شستشوی احیایی بر روی مواد رنگزای دیسپرس با ساختار آنتراکینونی [۲۵].

Figure 4: Mechanism of reduction clearing of anthraquinone disperse dyes [25].

۳- روش‌های جایگزین شستشوی احیایی مرسوم

تحقیقات زیادی برای جایگزینی شستشوی احیایی مرسوم ارائه شده است. در ادامه، این روش‌ها و مزایا و معایب هر یک، در مقایسه با روش مرسوم ارائه می‌شود [۴۱-۲۸].

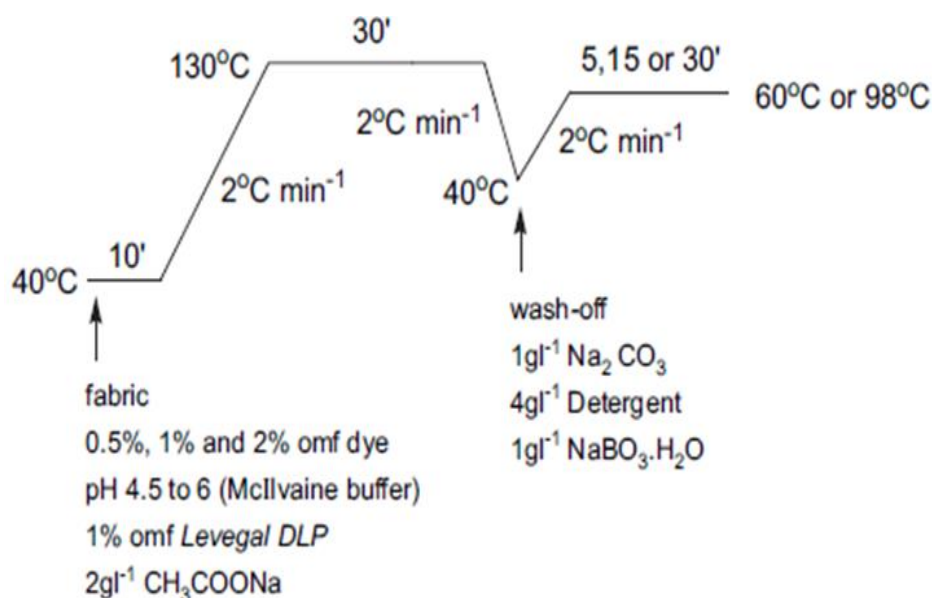
۳-۱- استفاده از عوامل احیاکننده دیگر

امروزه با توجه به معایب استفاده از دی‌تیونیت سدیم، تعدادی از تحقیقات به یافتن جایگزینی برای دی‌تیونیت سدیم اختصاص داده شده است. دو ترکیب آلی محلول در آب که مورد توجه خاص بوده‌اند، دی‌اکسیدتیواوره (فرمامیدین سولفونیک اسید) (شکل ۵) و هیدروکسی استن (شکل ۶) هستند که هر دو در شرایط قلیایی، به عنوان عوامل احیاکننده عمل می‌کنند [۲۸].

در این روش، شستشوی احیایی نمونه‌های رنگرزی شده، در ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه با استفاده از دی‌اکسیدتیواوره یا هیدروکسی استن، انجام شد. پس از انجام عملیات، ثبات شستشویی و ثبات سایشی نمونه‌ها بررسی شدند. با توجه به نتایج مشخص شد که استفاده از این روش‌ها، ماده رنگزای سطحی را حذف کرده و باعث افزایش ثبات شستشویی و سایشی آن شده است. در این روش استفاده از فرمامیدین سولفونیک اسید (دی‌اکسید تیواوره) باعث کاهش مقادیر BOD نسبت به روش شستشوی احیایی مرسوم شده بود [۲۸]. هنگام افزایش دما در محیط قلیایی، پیوند C-S موجود در فرمول شیمیایی فرمامیدین سولفونیک اسید، تحت شکافت ناجورکافت^۱ قرار می‌گیرد و به اوره و اسیدسولفینیک، آبکافت می‌شود.

² Burkinshaw and Kumar

¹ Heterolytic



شکل ۷: منحنی عملیات رنگرزی و زدودن مواد رنگزای سطحی دیسپرس پیشنهادی برکینشاو و کومار [۲۹].
Figure 7: Dyeing curve and clearing of surface disperse dyes proposed by Burkinshaw and Kumar [29].

شوند. در این روش برای زدودن ماده رنگزای دیسپرس سطحی روی پلی‌استر، از ماده فعال سطحی اتوکسیله غیریونی، برای فرآیند شستشو در pH و زمان و دماهای گوناگون استفاده شد. نتایج نشان داد که در pH های خنثی، ماده فعال سطحی توانسته است به‌طور مؤثری جایگزین دی‌تیونیت سدیم شود. نتیجه این فرآیند، ثبات شستشویی بهتر و کاهش BOD و COD بود [۳۱].

۴-۳- استفاده از روش‌های اکسیدی

در این روش، از عملیات شستشوی اکسایشی پلی‌استر، به‌عنوان جایگزین روش شستشوی احیایی مرسوم استفاده می‌شود. این روش معمولاً با ماده اکسند پراکسید هیدروژن و نیز از آن انجام می‌شود [۳۲-۳۸]. روش پیشنهادی برکینشاو و کومار^۳ [۲۹] که در بخش ۲-۳ آمد، علی‌رغم آنکه در مقاله مربوطه به آن اشاره نشده است، به دلیل استفاده از سدیم پربرات که در دمای نزدیک جوش هیدروژن پراکسید ایجاد می‌کند، روشی اکسیدی است.

۴-۳-۱- استفاده از پراکسید هیدروژن

در تحقیقی گومز و آلمدیا^۴ پس از رنگرزی الیاف پلی‌استر با ماده رنگزای دیسپرس، نمونه‌های رنگرزی شده را به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در حمامی حاوی پراکسید هیدروژن و کربنات سدیم قرار دادند. تغییرات رنگی بین نمونه‌های عمل شده و عمل نشده با استفاده از طیف‌سنج انعکاسی اندازه‌گیری شد و

در تحقیق ایشان، به‌عنوان جایگزینی برای روش شستشوی احیایی مرسوم، از دودسیل‌تری‌متیل آمونیم برمید و دو ماده فعال سطحی کاتیونی دوقلو^۱، برای جذب مواد رنگزای سطحی از پارچه پلی‌استر، استفاده شد.

مواد فعال سطحی کاتیونی دوقلو معمولاً به‌عنوان شوینده استفاده می‌شوند [۲۰]. این ماده دارای ویژگی‌هایی مانند فعالیت ضد باکتریایی خوب و حل شدن، مرطوب شدن و پخش شدن بهتر نسبت به مواد فعال سطحی کاتیونی معمولی هستند. در این روش به‌ویژه ماده فعال سطحی کاتیونی دوقلو سبب حلالیت بیشتر مواد رنگزای دیسپرس سطحی شده و باعث حذف آن‌ها می‌شود. برای مقایسه نمونه‌ها در این تحقیق از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف‌سنج عبوری UV-Vis استفاده شد. مطابق نتایج این تحقیق، افزایش دما و غلظت باعث افزایش حذف ماده رنگزا از سطح پارچه پلی‌استر می‌شوند. درنهایت، نتایج ثبات شستشویی و سایشی نشان‌دهنده امکان‌پذیری استفاده از این روش پیشنهادی در مقایسه با روش شستشوی احیایی مرسوم بود [۱].

۴-۳-۲- استفاده از مواد فعال سطحی غیریونی

در تحقیقی با استفاده از اتوکسیلات‌های^۲ الکلی اولیه و ثانویه که همگی بسیار زیست‌تخریب‌پذیر بوده و با در نظر گرفتن مزایای مواد فعال سطحی، نشان داده شد که آن‌ها می‌توانند جایگزین دی‌تیونیت سدیم در فرآیند زدودن مواد رنگزای سطحی دیسپرس

³ Burkinshaw and Kumar

⁴ Gomes and Almeida

¹ Gemini

² Ethoxylates

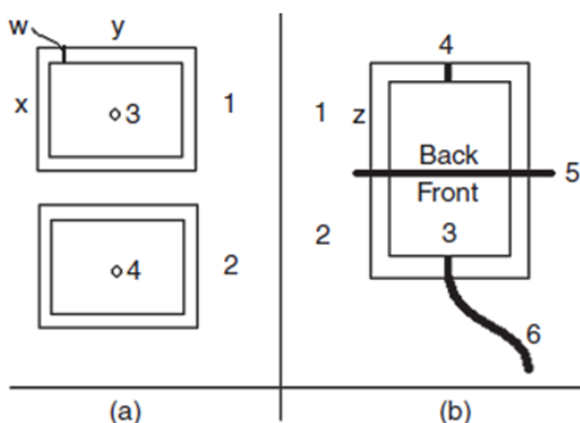
کشتی و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که ازن آسیب تأثیرگذاری به پارچه‌ها وارد نکرده و استفاده از این روش باعث صرفه‌جویی در انرژی، زمان و کاهش آلودگی‌های محیط‌زیست شده است [۳۴].

۳-۴-۲-۳- ازن‌زنی در دستگاه رنگرزی جت

در این روش، از گاز ازن در دستگاه رنگرزی جت استفاده شد. برای تغذیه گاز ازن به دستگاه جت، انژکتور ونچوری^۱ خاصی که روی لوله گردش محلول نصب شده بود، بکار گرفته شد. مطابق این روش گاز ازن در آب وارد می‌شود. این فرآیند برای زدودن موادرنگزای دیسپرس سطحی نیاز به زمان‌های ۳ تا ۱۰ دقیقه برای عمق‌های متوسط، و زمان‌های ۱۰ تا ۳۰ دقیقه برای عمق‌های تیره دارد. سپس اندازه‌گیری انعکاس پارچه‌های عمل‌شده و عمل‌نشده و آزمون ثبات شستشویی انجام شد و COD پساب عملیات زدودن موادرنگزای سطحی با گاز ازن نیز بر اساس روش استاندارد به دست آمد. نتایج نشان دادند که ثبات شستشویی نمونه‌ها مشابه روش مرسوم بود. در انتها نتیجه‌گیری شد که استفاده از این روش باعث کاهش هزینه، زمان و COD پساب فرآیند همراه با زدودن مناسب موادرنگزای سطحی است [۳۵].

۳-۴-۲-۴- استفاده از نانوحباب‌های ازن

اخیراً استفاده از نانوحباب در صنایع مختلف مانند تصفیه آب و نساجی رایج شده است. در صنعت نساجی از این نانوحباب‌ها برای تصفیه پساب‌های حاصل از رنگرزی و تکمیل نساجی استفاده شده است. استفاده از نانوحباب‌ها دارای مزایای مختلف مانند سطح جانبی مخصوص بزرگ، بازده انتقال جرم گاز-مایع بالا، زمان ماندگاری طولانی، تولید رادیکال‌های آزاد که سبب کاهش آلاینده‌ها می‌شود، است.



شکل ۸: سامانه آزمایشگاهی برای عملیات با گاز ازن [۳۴].
Figure 8: Experimental system for Ozone treatment [34].

همچنین آزمایش‌های ثبات شستشویی روی این نمونه‌ها انجام گرفت. نتایج نشان داد که شستشوی اکسیدی به همان اندازه شستشوی احیایی مرسوم در آزمایش‌های ثبات رنگ مؤثر است. همچنین ادعا شد در روش شستشوی اکسیدی موادرنگزای سطحی دیسپرس با استفاده از پراکسید هیدروژن، در مصرف آب، زمان و انرژی صرفه‌جویی شده و کاهش آلاینده‌ها نسبت به روش شستشوی احیایی مرسوم گزارش گردید [۳۲].

۳-۴-۲- استفاده از گاز ازن

استفاده از گاز ازن برای شستشوی پارچه‌های پلی‌استر رنگرزی شده با ماده رنگزای دیسپرس، رویکردی جدید در صنعت نساجی است. در ادامه تحقیقات انجام شده در این زمینه ارائه می‌شوند [۳۶-۳۳].

۳-۴-۲-۱- ازن‌زنی در آب مقطر خنثی

ازن گازی اکسنده با قابلیت اکسایش بالا است که در محیط‌های آبی به اکسیدهای ثانویه مانند $\text{HO}^\bullet$ ، $\text{HO}_2^\bullet$ ، $\text{HO}_3^\bullet$ و $\text{HO}_4^\bullet$ تجزیه می‌شود. این اجزای تولیدشده توانایی واکنش با مواد رنگزای سطحی، اکسید کردن و در نهایت زدودن آنها از سطح لیف رنگرزی شده را دارند. در تحقیقی، برای زدودن موادرنگزای سطحی دیسپرس، حباب‌های ازن وارد راکتوری حاوی پلی‌استر و آب شده و قبل از خروج گاز از راکتور، از نمونه‌های پارچه غوطه‌ور شده، عبور داده شد. اختلاف رنگ نمونه‌های عمل‌شده و عمل‌نشده با گاز ازن و نیز خواص ثباتی بررسی شدند. نتایج نشان داد که در این روش، ثبات شستشویی افزایش یافته و COD کاهش می‌یابد. در انتها نتیجه‌گیری شد که این روش باعث صرفه‌جویی در مصرف آب، انرژی، زمان و کاهش آلودگی محیط‌زیست می‌شود [۳۳].

۳-۴-۲-۲- ازن‌زنی به پارچه مرطوب در محفظه

در این تحقیق برای زدودن موادرنگزای سطحی نمونه‌های رنگرزی شده پلی‌استر، از دمیدن گاز ازن خارج‌شده از تولیدکننده ازن بر روی نمونه‌های پارچه مرطوب استفاده شد. آزمایش‌های ازن‌زنی در محفظه‌ای خاص که شامل دو بلوک چوبی با یک ورودی گاز ازن و یک خروجی گاز ازن بود، انجام شد. مطابق شکل ۸ محفظه‌ای کوچک با قرار دادن دو بلوک چوبی (۱ و ۲) بر روی هم، تشکیل شد. نمونه پارچه (۵) بین دو بلوک قرار گرفته و ازن (۶) از سوراخ ورودی (۳) در پایین به داخل محفظه وارد شد. ازن واردشده به پارچه دمیده شده و از سوراخ بالای محفظه (۴) خارج شد. آزمایش‌ها در دمای اتاق انجام شد. آزمایش‌های ثبات رنگ انجام شده و نتایج نشان داد که زمان ازن‌زنی ۳ تا ۵ دقیقه برای دستیابی به ثبات شستشویی قابل مقایسه با نمونه عمل‌شده با فرآیند شستشوی احیایی مرسوم، بدون تفاوت رنگ قابل توجه، مناسب است. آزمون‌های استحکام

¹ Venturi

قابل کنترل است. پلاسما توانایی تغییر ویژگی‌های سطحی مواد بدون اثرگذاری بر خواص توده و بدون مصرف آب و مواد شیمیایی را دارا است [۳۸].

فرآیندهای شیمیایی در نساجی همواره با مصرف آب و مواد شیمیایی و تولید آلاینده‌های شیمیایی و سمی همراه بوده است. این امر برای شستشوی احیایی مرسوم مواد رنگزای رسوب‌داده بر سطح پلی استر رنگریزی شده با ماده رنگزای دیسپرس نیز وجود دارد. برای رفع این معضل، در تحقیقی پارچه‌های پلی‌استر با مواد رنگزای دیسپرس رنگریزی شدند. پس از رنگریزی نمونه‌ها در زمان‌های مختلف با پلاسمای DBD اکسیژن/آرگون عمل شدند. پلاسمای DBD بوسیله تخلیه الکتریکی بین دو الکترود که بوسیله صفحه عایقی از هم جدا شده‌اند، ایجاد می‌شود. این پلاسما با جریان متناوب، ولتاژ بالا و بسامد کم ایجاد می‌شود. در این روش، نمونه‌های رنگریزی شده در محفظه دستگاه پلاسما قرار گرفته و در ابتدا محفظه دستگاه توسط گازهای آرگون و اکسیژن پر شد. سپس بسامد ۱ کیلوهرتز و ولتاژ ۳ کیلوولت به دستگاه اعمال شده و عملیات در زمان‌های مختلف انجام شد. نتایج نشان داد که ثبات‌های شستشویی و سایشی در نمونه‌های عمل شده با پلاسما مشابه نمونه‌های عمل شده با روش شستشوی احیایی مرسوم است [۳۹].

۳-۷- استفاده از آنزیم

از نظر شیمیایی، آنزیم‌ها پروتئین‌هایی هستند که از بقایای اسید آمینه که تعداد آن‌ها از صد تا چند هزار واحد است، تشکیل شده‌اند. از نظر عملکردی، آنزیم‌ها کاتالیزگر هستند. آنزیم‌ها توسط سلول‌های زنده ترشح می‌شوند تا واکنش‌های متعددی را در موجودات زنده تسریع کنند.

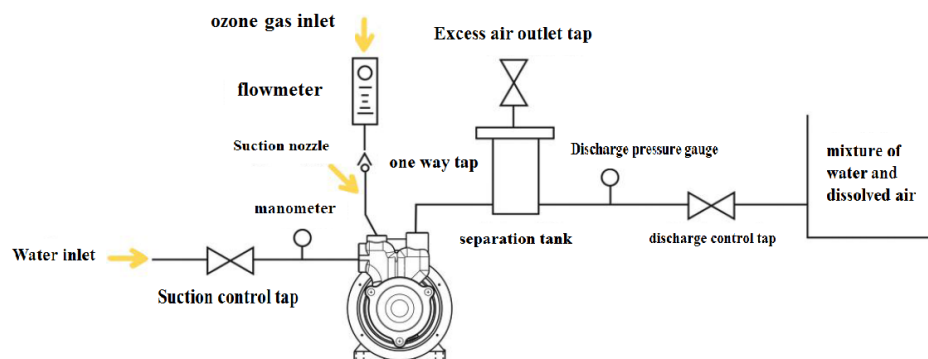
در تحقیقی که در دانشگاه صنعتی اصفهان در حال انجام است، از نانوحباب‌های ازن برای زدودن مواد رنگزای سطحی دیسپرس از روی پارچه پلی‌استر رنگریزی شده، استفاده می‌شود. در این روش پس از رنگریزی، نمونه‌ها داخل سامانه قرار گرفته و عملیات با استفاده از نانوحباب‌های ازن روی آن‌ها انجام می‌شود. نتایج اولیه این تحقیق بیانگر زدودن سریع مواد رنگزای سطحی همراه با خواص ثباتی مشابه با نتایج حاصل از روش شستشوی احیایی مرسوم است [۳۶]. شکل ۹ نمایی از سامانه تولید نانوحباب هوا را نمایش می‌دهد. قابل ذکر است که در تحقیق دانشگاه صنعتی اصفهان، گاز ورودی به سامانه نانوحباب‌ساز، ازن است که با استفاده از سامانه جانبی تولید ازن ایجاد می‌گردد.

۳-۵- استفاده از روش کاتالیزگر نوری

در این روش زدودن ماده رنگزا بر پایه عملیات کاتالیزور نوری^۱ روی پلی‌استر رنگریزی شده با ماده رنگزای دیسپرس، به وسیله تابش پرتو فرابنفش و استفاده از پراکسید هیدروژن انجام شد. پس از رنگریزی نمونه‌های پارچه پلی‌استر با ماده رنگزای دیسپرس، نمونه‌ها با غلظت‌های مختلف پراکسید هیدروژن و در مقادیر مختلف pH عمل شدند. سپس نمونه‌ها در زمان‌های مختلف و در دمای اتاق، تحت تابش فرابنفش با طول موج ۲۵۴ نانومتر، قرار گرفتند. در نهایت، آزمایش‌های اختلاف رنگ، ثبات شستشویی و استحکام کششی نمونه‌ها انجام شد. بر اساس نتایج، مشخص شد که در روش کاتالیزوری نوری، ثبات شستشویی مشابه نتایج حاصل از شستشوی احیایی مرسوم و بدون تفاوت در اختلاف رنگ بود [۳۷].

۳-۶- استفاده از پلاسما

مجموعه‌ای از الکترون‌ها، ذرات دارای بار مثبت یا منفی، اتم‌های خنثی، پرتوهای UV و غیره که به طور کلی خنثی هستند، پلاسما نام دارند. پلاسما حالت چهارم ماده است که در آن محدودیتی برای غلظت ذرات وجود ندارد و در محدوده‌ی وسیعی از دماها و فشارها



شکل ۹: طرح‌واره سامانه تولید نانوحباب هوا [۳۶].

Figure 9: Schematic of an air nanobubble generator [36].

¹ Photocatalytic

² Dielectric barrier discharge

الیاف و آزمون‌های ثبات شستشویی و سایشی انجام شد و نتایج نشان داد که پس از عملیات با لاکاز، بهبود جزئی در ثبات سایشی خشک همه نمونه‌های رنگ‌ریخته رخ داده بود. همچنین نتایج نشان می‌دهد که تغییر در درخشندگی و اختلاف رنگ نمونه‌ها پس از عملیات با آنزیم و دی تیونیت سدیم تقریباً مشابه بوده است [۴۰].

۳-۸- استفاده از روش احیا الکتروشیمیایی

اکسایش-احیا^۵ فرآیند انتقال الکترون بین دو گونه است. گونه ای که الکترون می‌دهد عامل احیاکننده است و گونه‌ای که الکترون می‌گیرد در حال احیا است. عامل احیاکننده در این فرآیند الکترون‌های خود را از دست داده و دچار اکسایش می‌شود. به طور مشابه، احیای الکتروشیمیایی شامل دو گونه است. عامل احیاکننده و گونه‌ای که باید احیا شود. مانند فرآیندهای شیمیایی، فرآیندهای الکتروشیمیایی تحت تأثیر دما، فشار یا غلظت قرار می‌گیرند. مزیت فرآیندهای الکتروشیمیایی این است که واکنش نیازی به انرژی حرارتی ندارد و واکنش در دماهای پایین تر، امکان پذیر است. همچنین تمامی محصولات فرآیند الکتروشیمیایی قابل احیا هستند و در نتیجه می‌توان بار پساب را به طور چشمگیری کاهش داد [۴۰].

در تحقیقی که توسط عالم انجام شد، پس از رنگ‌ریزی برای شستشوی احیایی الکتروشیمیایی، از کلرید آهن (III) و نمک سدیم و ۱۰،۹-آنتراکینون-۲-سولفونیک اسید یا تری اتانل آمین یا سدیم D-گلوکونات به عنوان عوامل کمپلکس کننده برای کلرید آهن (III) استفاده نمودند. آزمایش‌ها در شرایط مختلف انجام شده و سپس شستشوی نمونه‌ها صورت گرفت. در نهایت نمونه‌ها در ۵۰ درجه سانتی گراد خشک شدند. نتایج نشان داد که پس از شستشوی احیایی الکتروشیمیایی، زدودن مواد رنگزا در زمان مشابه با شستشوی احیایی مرسوم انجام شده است [۴۰].

۳-۹- استفاده از مواد رنگزای خاص

۳-۹-۱- استفاده از مواد رنگزای دیسپرس حل شونده در قلیا

یکی از راه‌های جایگزین زدودن مواد رنگزای سطحی پلی‌استر به روش مرسوم، استفاده از مواد رنگزای حل شونده در قلیا است که نیاز به احیاکننده برای شستشوی بعد از رنگ‌ریزی ندارند و به راحتی با عملیات قلیایی در آب حل و از سطح پلی‌استر جدا می‌شوند. کوه و کیم^۶ سه ماده رنگزای دیسپرس آزوی حاوی حلقه فتالیمید را سنتز نمودند. در شرایط قلیایی نسبتاً ملایم، حلقه مولکول مواد رنگزای دیسپرس حاوی فتالیمید باز شده و به مواد رنگزای محلول در آب تبدیل می‌شوند (شکل ۱۰) [۴۲].

از آنجایی که آنزیم‌ها محصولات سلول‌های زنده هستند و برای حفظ متابولیسم سلول زنده استفاده می‌شوند، به طور کلی به آن‌ها کاتالیزگرهای زیستی می‌گویند تا از کاتالیزگرهای شیمیایی متمایز شوند. از آنجایی که آنزیم‌ها پروتئین هستند، از نظر شیمیایی، ویژگی‌های مولکولی اسیدهای آمینه را نشان می‌دهند. محققان از آنزیم‌های مختلفی برای زدودن مواد رنگزای دیسپرس سطحی از روی الیاف پلی‌استر رنگ‌ریخته استفاده کرده‌اند که در ادامه در مورد آن‌ها توضیح داده می‌شود [۴۰].

۳-۷-۱- استفاده از آنزیم NS29076

در این روش پس از رنگ‌ریزی، نمونه‌ها داخل حمامی حاوی آنزیم در دماهای گوناگون در زمان‌های مختلف عمل شدند. این آنزیم نوعی آنزیم کوتیناز^۱ است که سبب آبکافت پیوندهای استری می‌شود و متعلق به دسته آنزیم‌های استراز^۲ است که می‌تواند پیوندهای پلی‌استر را به طور سطحی آبکافت کند و سبب تسهیل حذف مواد رنگزای تجمع کرده، شود [۴۰]. برای تهیه این آنزیم، واکنش اورتو-نیتروفنیل بوتیرات و آب در حضور محلول آنزیم استراز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و pH برابر ۷/۵ انجام شد. محلول آنزیم استراز از ۰/۵ تا ۱ واحد در میلی‌لیتر استراز در معرف سرد بافر پتاسیم فسفات تهیه شده بود [۴۱]. ارزیابی ماده رنگزا باقیمانده روی سطح الیاف و آزمون‌های ثبات رنگی و سایشی انجام شده و نتایج نشان داد که نمونه‌ها به طور کلی از همان نتایج روند شستشوی احیایی با دی تیونیت سدیم، پیروی کرده بودند [۴۰].

۳-۷-۲- استفاده از آنزیم لاکاز^۳

لاکاز آنزیمی اکسیدوردوکتاز^۴ است. اکسیدوردوکتازها آنزیم‌هایی هستند که انتقال هیدروژن، اکسیژن یا الکترون‌ها را از بستری به بستر دیگر کاتالیز می‌کنند. لاکاز به صورت خارج سلولی توسط قارچ‌هایی خاص و همچنین توسط گیاهان، برخی حشرات و باکتری‌ها تولید می‌شود. این ماده، ماده رنگزا را بدون شکستن پیوند دوگانه آزو تجزیه می‌کند که از تشکیل آمین آروماتیک سرطان‌زا جلوگیری می‌کند. در این فرآیند نمونه‌ها پس از رنگ‌ریزی در حمامی شامل ۱۰۰۰ واحد در لیتر لاکاز و ۱-هیدروکسی بنزوتریازول در دماها و زمان‌های مختلف قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها یک‌بار در آب در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد و بار دیگر در آب در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد شستشو داده شده و در نهایت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. ارزیابی ماده رنگزای باقیمانده روی سطح

¹ Cutinase

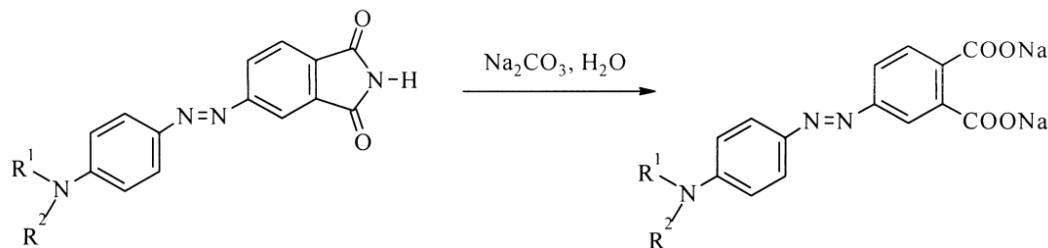
² Esterase

³ Laccase

⁴ Oxidoreductase

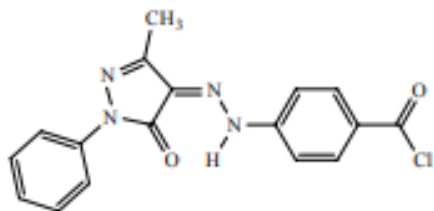
⁵ Redox

⁶ Koh and Kim



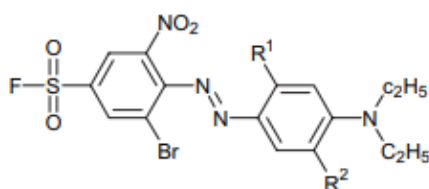
شکل ۱۰: باز شدن حلقه فتالیمید در شرایط قلیایی ملایم و تولید نمک کربوکسیلات محلول در آب [۴۲].

Figure 10: Phthalimide ring opening under mild alkaline condition and the production of water-soluble carboxylate salt [42].



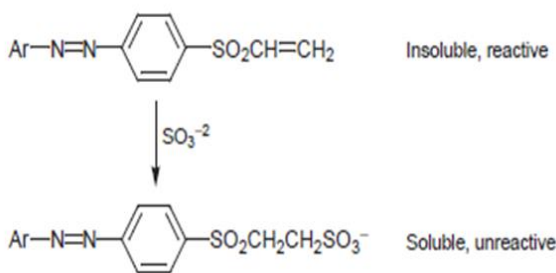
شکل ۱۱: رنگزای دیسپرس آزو حاوی کربوکسیلیک استر [۴۳].

Figure 11: Azo disperse dye containing the Carboxylic ester [43].



شکل ۱۲: رنگزای دیسپرس آزو حاوی فلوروسولفونیل [۴۴].

Figure 12: Azo disperse dye containing the Fluorosulphonyl [44].



شکل ۱۳: واکنش یون‌های سولفیت با گروه وینیل سولفون ماده رنگزای دیسپرس [۴۶].

Figure 13: Reaction of Sulphite ions with Vinylsulphone disperse dye [46].

۴- نتیجه گیری

شستشوی احیایی معمولاً به عنوان عملیاتی برای زدودن مواد رنگزای سطحی پلی استر رنگریزی شده با ماده رنگزای دیسپرس انجام می‌شود. این فرآیند به طور مرسوم به روش احیایی و با استفاده از دی تیونیت سدیم و در شرایط قلیایی انجام می‌شود. به دلیل برخی مشکلات

مواد رنگزای دیسپرس حاوی گروه‌های کربوکسیلیک استر (شکل ۱۱) [۴۳] و مواد رنگزای حاوی گروه‌های فلوروسولفونیل (شکل ۱۲) [۴۴] دیگر مواد رنگزایی هستند که در صورتی که بعد از رنگریزی روی سطح پلی استر قرار گیرند، با عملیات قلیایی زدوده می‌شوند. در مورد مواد رنگزای دیسپرس حاوی فلوروسولفونیل، گروه فلوروسولفونیل می‌تواند تحت شرایط قلیایی ملایم به مواد رنگزای محلول در آب که حاوی گروه‌های سولفونات هستند، تبدیل شود [۴۳]. این روش علاوه بر حذف احیاکننده که موجب کاهش آلاینده‌گی محیط زیست می‌شود احتمال ایجاد آمین‌های سرطان‌زا در اثر احیای گروه آزو را از بین می‌برد [۴۲].

۳-۹-۲- استفاده از مواد رنگزای دیسپرس با حلالیت موقت

کیم و همکارانش^۱ مواد رنگزای دیسپرسی با حلالیت موقت سنتز کردند که حاوی گروه وینیل سولفون هستند. این مواد رنگزا در حین رنگریزی و در حضور سولفیت سدیم یا بی سولفیت سدیم و در شرایط مناسب، به تدریج آبکافت شده، آب گریز می‌گردند و به پلی استر تمایل پیدا می‌کنند [۴۵]. آن‌ها در تحقیقی دیگر با استفاده از این خصوصیت که آنیون سولفیت می‌تواند در دمای اتاق به صورت برگشتناپذیر با گروه وینیل سولفون مواد رنگزای دیسپرس نامحلول شده مذکور واکنش دهد، مواد رنگزای سطحی روی پلی استر رنگریزی شده را به صورت موفق آمیزی حل نموده و از سطح پلی استر زدودند. در این روش پس از رنگریزی، جهت حذف مواد رنگزای سطحی از پلی استر، غلظت‌های گوناگون آنیون‌های سولفیت یا بی سولفیت به حمام اضافه شدند. این عمل منجر به اضافه شدن بار منفی به ماده رنگزا و تبدیل آن‌ها به مشتق محلول با تمایل کم به الیاف پلی استر و در نتیجه حذف مواد رنگزای سطحی شدند. در انتهای این عملیات، خواص ثابت شستشویی و سایشی پارچه عمل شده مشابه شستشوی احیایی مرسوم بود و ادعا شده است که استفاده از این مواد رنگزا سبب کاهش مصرف آب، هزینه تصفیه پساب و کاهش زمان فرآیند می‌شود [۴۶]. شکل ۱۳ واکنش یون‌های سولفیت با گروه وینیل سولفون مواد رنگزای مورد نظر را نشان می‌دهد.

^۱ Kim

حامل باقیمانده و نیز حذف الیگومرهای سطحی نتیجه‌ای ارائه نشده است. علی‌رغم نتایج ادعا شده در روش‌های جایگزین، هنوز روش شستشوی احیایی با استفاده از دی تیونیت سدیم و قلیا، روش مورد استفاده در صنایع نساجی برای زدودن مواد رنگزای دیسپرس سطحی از روی الیاف پلی‌استر است و به نظر می‌رسد برای جایگزینی نهایی با روش شستشوی احیایی مرسوم، نیاز به ارائه نتایج حاصل از آزمایش‌های واقعی در سالن‌های رنگرزی و نیز بررسی تأثیر این روش‌های جایگزین بر دلایل فرعی انجام شستشوی احیایی مرسوم مثلاً زدودن الیگومرهای سطحی است. با توجه به نتایج می‌توان استنباط کرد که در بین روش‌های جایگزین، استفاده از روش اکسیدی به ویژه استفاده از گاز ازن می‌تواند بهترین روش در مقیاس صنعتی باشد. همچنین استفاده از موافعال سطحی آسان و ارزان است و می‌تواند در مواردی جایگزین خوبی برای روش شستشوی احیایی مرسوم باشد.

تشکر و قدردانی:

مقاله حاضر از بخش اول پایان‌نامه کارشناسی ارشد مؤلف اول مقاله که در دانشگاه صنعتی اصفهان در حال انجام است، استخراج شده است.

تعارض منافع

در این مقاله هیچ گونه تعارض منافی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

زیست محیطی و تأثیرگذار بر سلامتی انسان مرتبط با شستشوی احیایی مرسوم و نیز تغییرات pH از اسیدی در رنگرزی به قلیایی در فرآیند مزبور، روش‌های جایگزین متعددی ارائه شده‌اند. اگرچه در برخی موارد عنوان می‌شود که به دلایل پیشرفت در فرمول‌بندی مواد رنگزا و توسعه دستگاه‌های رنگرزی می‌توان شستشوی بدون احیاکننده معمولی در دمای بالا را جایگزین شستشوی احیایی مرسوم نمود، به دلیل نیاز به شستشوی احیایی برای رنگرزی الیاف آزاد، بسته‌های نخ، ماشین رنگرزی بیم، سامانه رنگرزی ترموزول، رنگرزی الیاف میکرو و نیز در مخلوط الیاف پلی‌استر با سایر الیاف به‌ویژه پنبه و الاستان، بایستی در انجام این روش به‌ویژه در عمق‌های رنگرزی متوسط و تیره دقت نظر داشت. در مقاله مروری حاضر، ضمن توضیح روش شستشوی احیایی مرسوم، درباره انواع روش‌های جایگزین زدودن مواد رنگزای سطحی روی الیاف پلی‌استر، مانند استفاده از سایر عوامل احیاکننده، شستشوی در دمای بالا، استفاده از مواد فعال سطحی، استفاده از آنزیم‌ها، روش کاتالیزور نوری، روش احیا الکتروشیمیایی، شستشوی اکسیدی، استفاده از پلاسما و استفاده از مواد رنگزای خاص بحث شد و نتایج ثباتی، خواص رنگی، مشخصات پساب فرآیند جایگزین و نیز تأثیر این روش‌های جایگزین بر استحکام الیاف پلی‌استر عمل شده، بحث شد. گزارش‌های ارائه‌شده توسط محققان بیانگر این موضوع است که در بسیاری از این روش‌ها زمان، مصرف انرژی، هزینه و آلاینده‌های محیط‌زیست کاهش یافته بود و نتایج ثباتی و خواص رنگی و استحکام الیاف مشابه روش شستشوی احیایی مرسوم بود. در هیچ‌کدام از تحقیقات راجع به کاربردهای جانبی شستشوی احیایی مرسوم، یعنی امکان‌پذیری زدودن

۵- مراجع

1. L. R. Pepper, preferred fibres and materials market report 2021, Textile Exchange, 2021.
2. K. Perepelkin, "Polyester fibres abroad in the third millennium". Fibre Chem. 33, 333-339, 2001.
3. A. Ketema, A. Worku, "Review on intermolecular forces between dyes used for polyester dyeing and polyester fiber", J. Chem. Dio: 10.1155/2020/6628404, 2020.
4. D. M. Nunn, "The dyeing of synthetic-polymer and acetate fibers", The Dyers Company Publications Trust: Bradford", UK, 1979.
5. M. Clark, "Handbook of textile and industrial dyeing, woodhead publishing", UK, Vol.1, 2011.
6. J. Park, J. Shore, "Practical dyeing (fibre types and dyeing processes), society of dyers and colourists", UK, Vol. 2, 2004.
7. Y. Ikada, and H. Tsuji, "Biodegradable polyesters for medical and ecological applications", Macromolecular Rapid Communications, 21, 117-132, 2000.
8. J. F. Dawson, "Azobenzene disperse dyes - past development and future prospects", J. Soc. Dyers Colour. 107, 395-400, 1991.
9. H. K. Rouette, "Encyclopedia of Textile Finishing", SpringerVerlag, Berlin, 2001.
10. J. F. Dawson, Developments in disperse dyes, "Review of progress in coloration and related topics", 3, 18-25, 1972.
11. P. W. Leadbetter, and A.T. Leaver, "Disperse dyes - the challenge of the 1990s: (Meeting demands for increasingly higher levels of wash fastness in the exhaust dyeing of polyester/cellulosic blends)", Review of Progress in Coloration and Related Topics, Color. Technol. 19, 33-39, 1989.
12. G. E. Krichvskii, "Textile materials made from polyester fibres - A most difficult material to color", Fibre Chem. 33, 364-367, 2001.
13. J. Odvkrka, H. Schejbalova, "The effect of dispersing agents on the dyeing of polyester with a disperse dye", J. Soc. Dyers Colour. 13, 30-34, 1994.
14. S. Vavilova, N. Prorokova, and Y. Kalinnikov, "Effect of surfactants on migration of cyclic Poly(Ethylene Terephthalate) oligomers during dyeing of polyester fabric", Fibre Chem. 33, 372-375, 2001.
15. J. N. Chakraborty, "Fundamentals and practices in colouration of textiles", Woodhead Publishing, India, 2010.

16. J. R. Asplan, "Chapter 8: disperse dyes and their application to polyester", Text. Chem. Color., 24(12), 18-23, **1992**.
17. M. Dodangeha, E. Pajootana, M. Mohammadianb, N. S. Allenc, R. Eskandari Fard, "Alkali-clearing process optimization of the newly synthesized disperse dye and its promising removal from wastewater using electrocoagulation", Desalin. Water Treat. 57, 4641-4651, **2014**.
18. J. Shore, "Colorants and Auxiliaries - Organic Chemistry and Application Properties", J. Soc. Dyers Colour, UK, Vol. 2, **2002**.
19. J. Park, J. Shore, "Practical Dyeing - Fibre Types and Dyeing Processes", J. Soc. Dyers Colour, UK, Vol. 2, **2004**.
20. H. Li, L. Pei, H. Zhang, Z. Wang, M. Asad Saleem, O. Kamal Alebeid, J. Wang, "Extraction of cyclic oligomer and their influence on polyester dyeing in a silicone waterless dyeing system", Polym. 13, 3687, **2021**.
21. S. M. Burkinshaw, "Chemical principles of synthetic fiber dyeing", Chapman & Hall, Glasgow, **1995**.
22. S. V. Makarov, "Recent trends in the chemistry of sulfur-containing reducing agents", Russ. Chem. Rev. 70, 885-895, **2001**.
23. R. G. Rinker, "Studies in the Chemistry of Sodium Dithionite", California Institute of Technology, Pasadena, California, **1959**.
24. M. Kolb, P. Korger, B. Funke, "Decolorization of textile waste water by dithionite", Mellind. Int. Textil. Rep. 69, 286-291, **1988**.
25. U. Baumgarte, "Reduction and oxidation processes in dyeing with vat dyes", Mellind Textilberichte, 68, 189-195, **1987**.
26. A. D. Cunningham, "Identifying critical machinery and dye parameters of successful rapid dyeing of polyester", Text. Chemists and Colorists, 28, 23-31, **1996**.
27. W. Tiedemann, J. Schad, "Reduction clearing of polyester dyeings from its ecological and economic aspects", Mellind. Int. Textil. Rep. 79, 230 - 232, **1998**.
28. A. Aleema, R. M. Christieb, "The clearing of dyed polyester. Part 1. A comparison of traditional reduction clearing with treatments using organic reducing agents", Color. Technol. 132, 280-296, **2016**.
29. S. M. Burkinshaw, N. Kumar, "The reduction clearing of dyed polyester. Part 1: Colour strength", Dyes Pigm. 76, 799-809, **2008**.
30. M. Safa, K. Gharanjig, R. Khajavi, M. Jalili, "A new method for clearing dyed polyester fabrics by Gemini cationic surfactants", J. Surfactants Deterg, 16, 95-104, **2013**.
31. S. D. Kiruthika, R. Ugamoorthi, C. Venkatachalapathi, S. Ramarethinam, "sustainable production by modifying reduction clearing in polyester dyeing", functional textiles and clothing, Conference paper, Springer, Singapore, 383-403, **2019**.
32. J. R. C. Gomes, L. Almeida, "Oxidative clearing of polyester and post-bleaching of cotton: a novel shorter process with better fastness", Asian Institute of Research. Colourage: Annual Edition 47, 49-52, **2007**.
33. H. A. Eren, "Simultaneous afterclearing and decolorisation by ozonation after disperse dyeing of polyester", Color. Technol, 123, 224-229, **2006**.
34. H. A. Eren, D. O. S. Eren, "Afterclearing of disperse dyed polyester with gaseous ozone", Color. Technol, 128, 75-81, **2011**.
35. S. Gundogana, H. A. Eren, "Practical realisation of ozone clearing after disperse dyeing of polyester", Color. Technol, 130, 357-362, **2014**.
36. Armaghan jozi, "Investigation into the feasibility of the reduction clearing of disperse dyes on polyester fibers using ozone nanobubbles", Master's Thesis, Textile department, Isfahan university of technology, in progress.
37. S. Eren, "Photocatalytic clearing of disperse dyed polyester", AATCC J. Res, 6, **2019**.
38. A. Noorani Sanjabad, A. Nematollahzadeh, N. Sepehri Javan, "Decolorization and treatment of colored wastewater using dielectric barrier discharge cold plasma reactor", J. Stud. Color world, 11, 35-48, **2021**.
39. M. Aghili, H. Izdan, "Reduction clearing of polyester with DBD oxygen/argon atmospheric plasma", National Conference on Dyestuffs, Environment and Sustainable Development, Tehran, Iran, **2018**.
40. A. Aleem, "An Investigation of Alternatives to Reductive Clearing in the Dyeing of Polyester", PhD thesis, School of Textiles & Design, Heriot Watt University, UK, **2013**.
41. Sigma-Aldrich, *Enzymatic Assay of esterase (EC 3.1.1.1)*, Product Nos. E-9636 and E-0887, 1997, Sigma-Aldrich Inc. p. 3.
42. J. S. Koh, J. P. Kim, "Synthesis of Phthalimide-based alkali-dischargeable Azo disperse dyes and analysis of their alkali hydrolysis mechanism", Dyes Pigm. 37, 265-272, **1998**.
43. Z. Cui, X. Cheng, X. Li, H. Lu, X. Wang, W. Chen, "Facile synthesis and properties of alkali-clearable azo disperse dye containing a carboxylic ester moiety", Chinese Chemistry Letter, 25, 1121-1124, **2014**.
44. J. Koh, "Alkali-hydrolysis kinetics of alkali-clearable azo disperse dyes containing a fluorosulphonyl group and their fastness properties on PET/cotton blends", Dyes Pigm., 64, 17-23, **2005**.
45. W. J. Lee, J. P. Kim, "The rate of hydrolysis of temporary solubilized disperse dyes", J. Soc. Dyers Colour. 115, 270-273, **1999**.
46. W. J. Lee, J. P. Kim, "Aftertreatment of polyester fabric dyed with temporarily solubilised disperse dyes", J. Soc. Dyers Colour. 116, 343-3458, **2000**.

How to cite this article:

Armaghan Jozi, Hossein Izadan, A Review on the Different Methods of Clearing Disperse Dyes from the Surface of the Dyed Polyester Fibre, *J. Stud. Color world*, 12, 3(2022), 241-252.

DOR: 20.1001.1.22517278.1401.12.3.3.2