

اثر تابش ریزموج بر رنگرزی الیاف پلی استر: بررسی اثر پیش عمل آوری الیاف در حلال آلی

The Effect of Microwave Radiation on Dyeing of Polyester Fibers: Studying the Effect of Pre-treatment of Fibers in Organic Solvent

اکبر خداپرست حقی، معصومه ولی زاده*، کتابون محمدی

رشت، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی، گروه مهندسی نساجی، صندوق پستی ۳۷۵۶

دریافت: ۸۲/۵/۲۷، پذیرش: ۸۳/۳/۱۰

چکیده

در این پژوهش الیاف پلی استر با رنگینه پاشیده و به کمک گرمای ناشی از تابش امواج ریزموج رنگرزی شده است. به منظور افزایش رنگ پذیری الیاف پلی استر، قبل از رنگرزی، نمونه ها در دو محیط آب و حلال تتراکلرواتیلن پیش عمل آوری شدند. نتایج بدست آمده نشان می دهد تورم الیاف در اثر این پیش عمل آوری بوده که در مجاورت حامل موجب افزایش جذب رنگینه پاشیده در مدت زمان کوتاهتری نسبت به روشهای متداول رنگرزی می شود.

واژه های کلیدی

تابش ریزموج، رنگرزی،
الیاف پلی استر، تتراکلرواتیلن،
حامل

مقدمه

پلی استر که بویژه در بخش پوشاک مطرح هستند به ۱/۵ kg برسد، که در مقایسه با سرانه مصرف ۰/۱۵ kg پشم یا ۰/۵ kg الیاف سلولوزی بازافتی رقم قابل ملاحظه ای است [۱].

نظر به اهمیت و وسعت کاربرد این الیاف پژوهشهای گسترده ای در زمینه بهبود کیفیت و

بخش عمده ای از الیاف مورد استفاده در صنعت نساجی را الیاف پلی استر تشکیل می دهد. هزینه های کم تولید این لیف در سالهای اخیر، رشد چشمگیری را در تولید آن سبب شده است. پیش بینی ها حاکی از آن است که تا سال ۲۰۱۰ میلادی میزان مصرف سرانه الیاف کوتاه

Key Words

microwave radiation, dyeing,
polyester fibers, tetrachlorethylene,
carrier

چرخش دوقطبی است. این مقدار با اختلاف بین جهت محور مولکول دوقطبی و جهت میدان الکتریکی تناسب دارد. تانژانت زاویه بین این دو محور نشان دهنده میزان قابلیت جذب انرژی به وسیله مولکول است که تانژانت اتلاف نام دارد و می توان آن را از معادله ثابت دی الکتریک مختلط بدست آورد:

$$\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon'' \quad (1)$$

$$\tan \delta = \varepsilon''/\varepsilon' \quad (2)$$

در این معادله ε ثابت دی الکتریک مختلط ماده تحت تابش، ε' ثابت دی الکتریک ماده تحت تابش و ε'' ضریب اتلاف است.

متوسط توان جذب شده به وسیله حجم معینی از ماده تحت تابش به ترتیب زیر محاسبه می شود:

$$P_{av} = \omega \varepsilon_0 \varepsilon''_{eff} E_{rms}^2 V \quad (3)$$

که در آن ω فرکانس زاویه ای ژنراتور (rad/s)، ε_0 نفوذپذیری فضاهای خالی، ε''_{eff} ضریب اتلاف مؤثر، E_{rms} قدرت میدان الکتریکی (m/v)، V حجم ماده تحت تابش (m^3) و P_{av} متوسط توان جذب شده به وسیله ماده تحت تابش است. ε''_{eff} در برگیرنده آثار توام اتلاف ناشی از قطبش پذیری و هدایت گرمایی است که تخمین مناسبی را از اتلاف کل بدست می دهد [7].

در ادامه مطالعات به چاپ رسیده اخیر [3،4] و برای تکمیل پژوهشهای یاد شده، در این پژوهش آثار بکارگیری تابش امواج ریزموج در رنگرزی پلی استر بررسی شد. افزون بر این میزان برداشت رنگینه و اثر پیش عمل آوری پلی استر در حلالهای آب و تتراکلرواتیلن مورد بررسی قرار گرفت. برای دستیابی به این اهداف از دو روش رمق کشی (انتقال گرما از طریق رسانش) و امواج ریزموج (انتقال گرما از طریق تابش) استفاده شده است. هر دو حلال بکار رفته دارای مولکولهای قطبی بوده (قطبیت تتراکلرواتیلن کمتر از آب است) و قادرند امواج ریزموج را جذب کرده، گرما آزاد کنند.

تجربی

مواد

آزمایشها روی پارچه ۱۰۰ درصد پلی استر تثبیت شده و موجدار

ویژگیهای این مواد و روشهای عمل آوری آنها انجام شده است. یکی از این زمینه های پژوهشی بهبود خواص رنگ پذیری پلی استر است. با توجه به ویژگیهای لیف پلی استر مناسب ترین رنگینه ها برای رنگرزی آنها رنگینه های پاشیده هستند. این رنگینه ها تمایل زیادی نسبت به لیف دارند. اما سرعت نفوذ آنها پایین است. از آنجا که فاقد گروههای آبدوست هستند، انحلال پذیری آنها در آب جزئی است.

با توجه به ویژگیهای ذکر شده برای الیاف پلی استر و رنگینه های پاشیده، رنگرزی پلی استر با این رنگینه ها به ۳ روش که هر یک دارای شرایط ویژه ای نیز هستند امکان پذیر است:

- رنگرزی به روش رمق کشی و با استفاده از حامل،

- رنگرزی تحت فشار و

- رنگرزی به وسیله آغشته سازی و سپس تثبیت گرمایی.

در هر سه روش ذکر شده عمل آوری به انرژی گرمایی زیادی احتیاج دارد و از آنجا که گرما از سطح به درون منسوج منتقل می شود، ممکن است آثار سوئی را نیز روی سطح منسوج برجا بگذارد [2].

یکی از روشهای نوین گرمادهی منسوجات استفاده از تابش امواج پرانرژی نظیر زیرقرمز، رادیویی و ریزموج است. این امواج سبب ارتعاش مولکولهای ماده و در نتیجه ایجاد گرما می شوند. از گرما ایجاد شده برای خشک کردن [3،4]، تثبیت رنگینه در رنگرزی و چاپ و عملیات پخت تکمیلیهای رزینی استفاده شده است [5،6]. بازده گرمایی در این روشها به دلیل حذف مواد انتقال دهنده گرما زیاد است و گرما به شکل تقریباً یکنواخت در تمام سطوح منسوج پخش می شود.

امواج ریزموج شامل امواج الکترومغناطیسی با طول موجهای ۱۰۰m-۰/۱ هستند که در حد فاصل امواج رادیویی و زیرقرمز قرار دارند. مکانیسم تولید گرما به کمک تابش ریزموج بدین ترتیب است که مولکولهای یونی یا مولکولهای دوقطبی نظیر آب در هنگام قرار گرفتن در میدان این امواج دچار قطبش یونی یا چرخش دوقطبی شده و با میدان الکتریکی هم جهت می شوند. در حالتی که جریان متناوب باشد، مولکولها با بسامدی برابر بسامد تغییر جهت میدان می چرخند. نتیجه این حرکت ایجاد اصطکاک و تولید گرماست [5]. بدین ترتیب لازمه تولید گرما در جسم، وجود مولکولهایی است که قابلیت قطبش و جذب امواج ریزموج را داشته باشند. با این تفسیر لیف پلی استر به عنوان ماده ای غیرقطبی واکنش چندانی در برابر امواج ریزموج نداشته، باید در مجاورت مولکولهای ماده ای قطبی تحت تابش امواج ریزموج قرار گیرد. برای شناخت مقدار جذب امواج ریزموج به وسیله مواد مختلف لازم است ویژگیهای دی الکتریکی آنها مورد مطالعه قرار گیرد. مقدار انرژی تولید شده در ماده بر اثر تابش ریزموج برابر انرژی اصطکاک ناشی از

امواج ریزموج رنگرزی شدند.

دسته سوم نمونه‌های پلی استری شسته شده ولی عمل آوری نشده در حلال هستند که با دو روش استفاده از تابش امواج ریزموج و رmq کشی در دمای جوش، در حمامی مشابه دو دسته اول در عملیات رنگرزی قرار گرفتند. در این دسته نیز برای بررسی اثر حامل، چند نمونه دیگر درون آن ریزموج در حمام رنگرزی فاقد حامل رنگرزی قرار داده شد.

در پایان هر رنگرزی برای زدودن بخشی از رنگینه که به شکل سطحی جذب لیف شده و به درون آن نفوذ نکرده است، نمونه به مدت ۱۵ min در دمای ۷۰°C در حمامی دارای ۵ g/L شوینده و با نسبت ۳۰ به ۱ حجم محلول به وزن کالا در عملیات شستشو قرار گرفت.

اندازه‌گیری قدرت رنگی

به منظور بررسی مقدار رنگینه‌ای که جذب کالا شده است، مقدار انعکاس (R) تمامی نمونه‌ها به وسیله طیف نورسنج انعکاسی در طول موجهای ۴۰۰-۷۰۰nm (طیف مرئی) در فواصل ۲۰nm اندازه‌گیری شد. بر اساس رابطه کیویکا و مانک مقدار تابع قدرت رنگی نسبی (K/S) در طول موج غالب طیف (طول موجی که مینیمم انعکاس در آن رخ می‌دهد) محاسبه شد:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (4)$$

از عدد K/S بدست آمده عدد K/S زمینه کم می‌شود (منظور از زمینه پارچه پلی استر رنگرزی نشده است). K/S باقیمانده تخمینی از مقدار رنگینه جذب شده را بدست می‌دهد [۸].

آزمایشهای میکروسکوپی

برای بررسی تغییرات شکل شناسی الیاف پلی استر در نتیجه عمل آوری آن در حلالهای آلی و استفاده از تابش امواج ریزموج، بخشی از نمونه‌های آزمایشی از هم باز شده و الیاف آن با استفاده از میکروسکوپ الکترونی پویشی با تفکیک ۲۰ μm، بزرگنمایی ۸۴۰x - ۸۷۰x و ولتاژ شتاب دهنده ۱۰kV مورد مشاهده قرار گرفتند.

نتایج و بحث

اثر عمل آوری در حلالهای آلی به کمک گرمای ناشی از تابش امواج

ریزموج

شکلهای الف، ب و ج به ترتیب تصاویر SEM پلی استر عمل آوری نشده، عمل آوری شده در حلال پرکلرواتیلن و آب را نشان می‌دهد.

(تکسچره) نشده با بافت تافته انجام شد. برای رنگرزی از رنگینه C.I. Disperse red ۶۰ استفاده شد. برای کسب پراکنش پایدار در حمام رنگرزی از ۲۰% Ranielon ARD و برای کسب عمق رنگی بیشتر از حامل PES۲۱ Parprin استفاده گردید. حلالهای آب و تتراکلرواتیلن مرک برای عمل آوری نمونه‌ها انتخاب شدند. سایر مواد مورد استفاده برای رنگرزی و شستشو عبارتند از: شوینده غیر یونی فلونیدول محصول شرکت Henkel، کربنات سدیم و استیک اسید محصول مرک.

دستگاهها

دستگاههای مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از: دستگاه میکروآون با صفحه گردان و حداکثر توان خروجی ۹۰۰W و بسامد ۲۴۵۰MHz ساخت شرکت بوتان، دستگاه طیف نورسنج انعکاسی مدل تکس فلش ۲۰۰۰ ساخت شرکت دیتاکالر و دستگاه میکروسکوپ الکترونی پویشی ساخت شرکت فیلیپس.

روشها

کلیه نمونه‌ها ابتدا با محلولی دارای ۵ g/L شوینده و ۱ g/L سدیم کربنات به مدت ۱ h در دمای ۷۰°C شسته و سپس آبکشی شده، در دمای محیط خشک شدند. این نمونه‌ها به سه دسته تقسیم شده و به ترتیب زیر در عمل آوری آزمایشی قرار گرفتند.

پیش عمل آوری و رنگرزی

دسته اول نمونه‌ها به مدت ۱۵ min در بشر دارای حلال آب درون آن ریزموج در دمای جوش قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها از آب خارج شده، در دمای محیط خشک شدند. بخشی از این نمونه‌ها پس از خشک شدن با استفاده از ۲ درصد حامل و ۲ درصد رنگینه بر اساس وزن کالا در pH برابر ۵، در مجاورت ۰/۵ g/L پراکنش کننده با نسبت ۵۰ به ۱ حجم محلول رنگ به وزن کالا رنگرزی شدند. عملیات رنگرزی در ۴ زمان ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ min درون آن ریزموج انجام شد. بخش دیگری از نمونه‌هایی که در حلال آب عمل آوری شده بودند، در حمامی مشابه حمام رنگرزی اول، در ۳ زمان ۴۵، ۶۰ و ۹۰ min به روش مرسوم رmq کشی در دمای جوش رنگرزی شده، همانند بخش اول در عملیات شستشو قرار گرفتند.

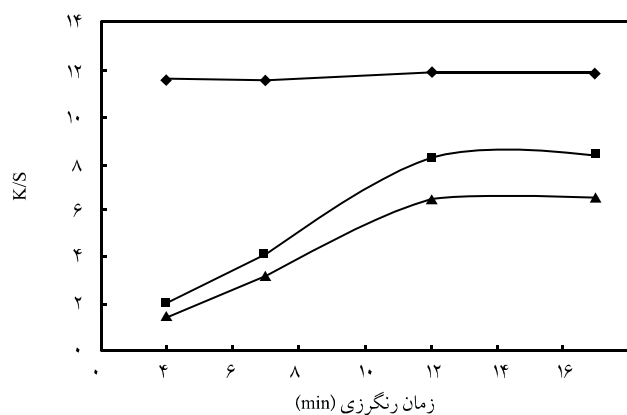
دسته دوم نمونه‌های پلی استری شسته شده با روشی مشابه حلال آب در حلال تتراکلرواتیلن (پرکلرواتیلن، PCE) عمل آوری شده، به همان ترتیب با دو روش استفاده از تابش ریزموج و رmq کشی در دمای جوش در عملیات رنگرزی قرار گرفتند. برای بررسی اثر حامل تعدادی از نمونه‌های این دسته در حمام رنگرزی فاقد حامل و با استفاده از تابش

همانطور که در شکل ۱ ب مشاهده می شود، عمل آوری پلی استر در حلال پرکلرواتیلن با تابش امواج ریزموج سبب متورم شدن لیف می شود ضمن این که حفره هایی نیز به شکل پراکنده روی سطح الیاف رویت می شوند. افزایش قطر لیف عمل آوری شده در حلال پرکلرواتیلن حدود ۶۵ درصد است. عمل آوری پلی استر در این شرایط سبب شکسته شدن برخی پیوندهای بین زنجیره ای و فاصله گرفتن زنجیره های پلیمری از یکدیگر می شود. این تغییر شکل شناسی، تورم لیف را به همراه دارد و به دلیل وسعت بخشیدن به فضاهای درونی لیف می تواند منجر به افزایش جذب رطوبت و رنگ پذیری لیف شود. لازم به ذکر است که Haggage و همکاران در پژوهشهای خود در شرایط مشابه افزایش قطر ۷۹ درصد را برای پلی استر گزارش کرده اند [۵].

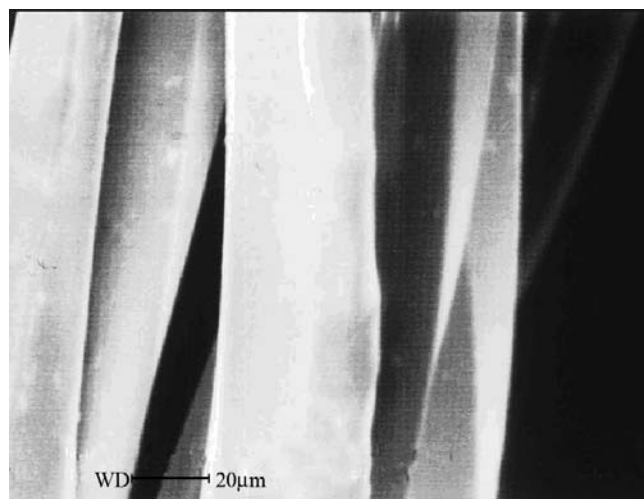
در شکل ۱ ج که تصویر SEM کالای عمل آوری شده در حلال آب به وسیله تابش امواج ریزموج را نشان می دهد، تورم لیف چندان محسوس نیست. در واقع مقدار افزایش قطر لیف در این روش حدود ۸ درصد است که در مقایسه با عدد متناظر عمل آوری در حلال پرکلرواتیلن چندان قابل توجه نیست. این پدیده گویای این واقعیت است که تابش امواج ریزموج اثر چندانی در تورم الیاف پلی استر نداشته و عامل اصلی ایجاد تورم در لیف حلالهای آلی مورد استفاده در فرایند عمل آوری هستند.

اثر گرمای ناشی از تابش امواج ریزموج بر مقدار جذب رنگینه پاشیده

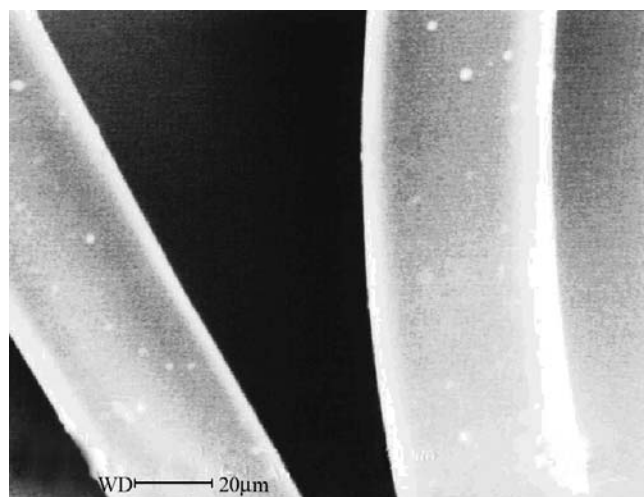
برای بررسی اثر تابش ریزموج بر رنگریزی پلی استر به وسیله رنگینه های پاشیده، تابع قدرت رنگی نسبی (K/S) نمونه های آزمایشی که در طول موج مینیمم انعکاس محاسبه شده اند، با یکدیگر مقایسه می شوند. شکل ۲ نمودار تغییرات K/S نمونه های عمل آوری شده در حلال آب و پرکلرواتیلن و نمونه های عمل آوری نشده را بر حسب زمان رنگریزی



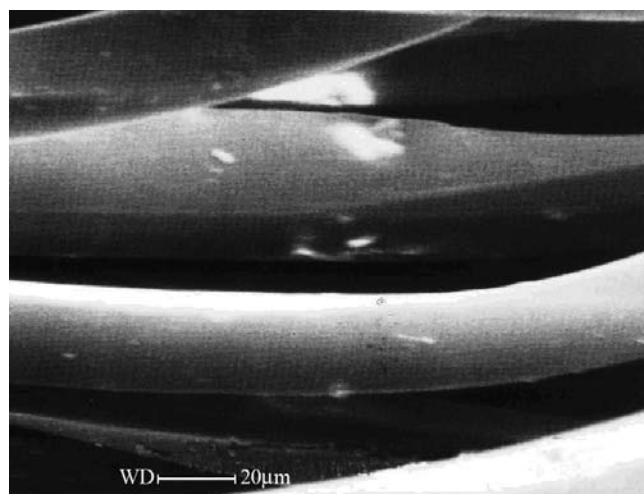
شکل ۲- اثر تغییرات زمان بر رنگریزی پلی استر با رنگینه پاشیده در آن ریزموج: (◆) عمل آوری شده در PCE، (■) عمل آوری شده در آب و (▲) عمل آوری نشده.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱- تصاویر SEM الیاف پلی استر با رنگینه پاشیده: (الف) عمل آوری نشده، (ب) عمل آوری شده در حلال پرکلرواتیلن و (ج) عمل آوری شده در آب.

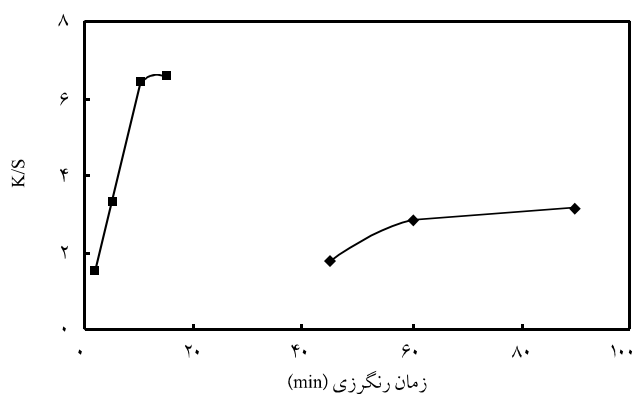
بدین ترتیب رنگ پذیری بهبود می یابد. در این حالت طی مدت زمان کوتاهی پس از آغاز رنگرزی، جذب رنگینه تقریباً به حداکثر مقدار قابل حصول می رسد [۵].

زمانی که نمونه عمل آوری شده در حلال پرکلرواتیلن با روش رمق کشی در دمای جوش رنگرزی شود. دمای بیش از 100°C قابل دستیابی نیست و در نتیجه امکان کسب جذب رنگی مشابه آنچه که در تابش امواج ریزموج بدست می آید، وجود ندارد. این موضوع بخوبی در نمودارهای شکل ۳ مشاهده می شود. هرچند نمونه هایی که پیش از رنگرزی در پرکلرواتیلن عمل آوری شده اند دارای جذب رنگینه بیشتری نسبت به نمونه های عمل آوری نشده و عمل آوری شده در آب هستند، اما با نمونه هایی که با تابش ریزموج رنگرزی شده اند قابل مقایسه نیستند.

شکل ۴ نمودار تغییرات K/S نمونه های عمل آوری نشده را بر حسب زمان رنگرزی نشان می دهد. این نمودارها مقایسه ای از مقدار جذب رنگ در دو روش رمق کشی در دمای جوش و استفاده از تابش ریزموج را ارائه کرده و بیان کننده این موضوع است که حتی اگر نمونه ها عمل آوری نشده باشند، باز هم رنگرزی با استفاده از تابش ریزموج بازده رنگی بیشتری را در مدت زمانی بسیار کوتاهتر فراهم می کند.

اثر وجود حامل

شکل ۵ تغییرات K/S بر حسب زمان رنگرزی را در روش استفاده از تابش ریزموج نشان می دهد. این نمودارها مربوط به رنگرزی بدون حامل و در مجاورت حامل برای دو دسته نمونه عمل آوری نشده و عمل آوری شده در حلال پرکلرواتیلن هستند. چنان که در نمودارها مشاهده می شود، حذف حامل سبب کاهش کلی در مقدار جذب رنگینه می شود [۵،۶]. عمل آوری نمونه ها در حلال و با استفاده از تابش



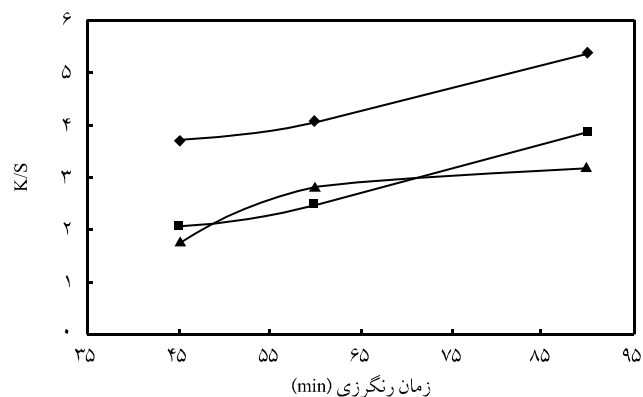
شکل ۴ - مقایسه مقدار جذب رنگ نمونه های عمل آوری نشده با دو روش مختلف: تابش امواج ریزموج و (◆) رمق کشی.

نشان می دهد. رنگرزی این نمونه ها به وسیله گرمای ناشی از تابش امواج ریزموج انجام می شود.

شکل ۳ نمودار تغییرات K/S نمونه های عمل آوری شده در حلال آب و پرکلرواتیلن و نمونه ها عمل آوری نشده را بر حسب زمان رنگرزی نشان می دهد. رنگرزی این نمونه ها به روش رمق کشی در دمای جوش انجام شده است. مقایسه این دو دسته نمودار نشان می دهد که بکارگیری تابش امواج ریزموج سبب بروز افزایش قابل توجهی در مقدار جذب رنگینه می شود. با استفاده از تابش امواج ریزموج در کمتر از ۸ min می توان به جذب رنگی دست یافت که کسب آن در روش رمق کشی به بیش از ۹۰ min زمان نیاز دارد.

تورم حاصل از عمل آوری پلی استر در حلال پرکلرواتیلن که پیش از رنگرزی انجام شده است، سبب افزایش جذب رنگینه به کمک لیف پلی استر می شود. در مورد نمونه های عمل آوری شده در حلال آب تورم جزئی، افزایش جزئی رنگ پذیری را به همراه دارد.

شکل ۲ نشان می دهد که رنگ پذیری نمونه های عمل آوری شده در حلال پرکلرواتیلن که درون آن ریزموج رنگرزی شده اند افزایش بسیار قابل توجهی دارد. روند این افزایش نیز دارای شکلی متفاوت از دو دسته نمونه عمل آوری نشده و عمل آوری شده در حلال آب است. باید توجه کرد که در مورد دو دسته اخیر حداکثر دمای قابل دستیابی، دمایی است که آب در آن می جوشد (یعنی 100°C). اما در هنگام عمل آوری و رنگرزی نمونه هایی که در حلال پرکلرواتیلن عمل آوری شده اند، می توان به دمای 121°C که دمای جوش پرکلرواتیلن است دست یافت. بدیهی است که گرمای ناشی از تابش امواج ریزموج می تواند چنین شرایط دمایی را مهیا کند. در این دما بروز سریعتر دمای تبدیل شیشه ای پلیمر سبب سهولت نفوذ رنگینه و تسریع کسب شرایط تعادلی شده و



شکل ۳ - اثر تغییرات زمان بر رنگرزی الیاف پلی استر با رنگینه پاشیده در روش رمق کشی: (◆) عمل آوری شده در PCE، (■) عمل آوری شده در آب و (▲) عمل آوری نشده.

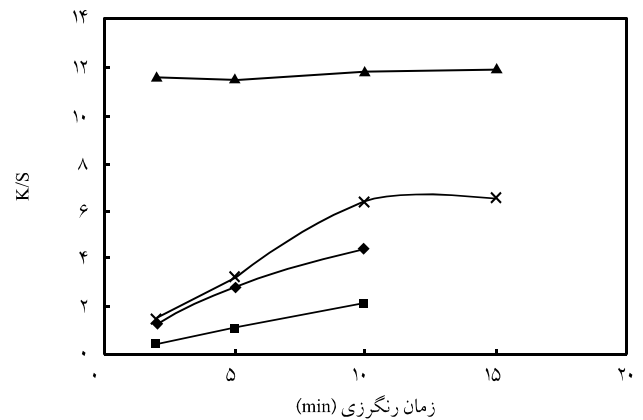
عمقهای رنگی بیشتر همچنان نیازمند بکارگیری حامل است.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان می دهد که عمل آوری الیاف پلی استر در حلال پرکلرواتیلن به وسیله گرمای ناشی از تابش ریزموج تغییرات شکل شناسی، افزایش سطوح فعال و تورم لیف را سبب می شود که این امر منجر به بهبود رنگ پذیری این الیاف می شود. عمل آوری پلی استر با روشی مشابه در حلال آب تورم و افزایش جذب رنگ جزئی را به همراه دارد. استفاده از تابش امواج ریزموج به عنوان عامل تولید گرما سبب افزایش قابلیت جذب رنگینه پلی استر به وسیله رنگینه پاشیده می شود. عمل آوری نمونه ها به وسیله حلال پرکلرواتیلن منجر به کاهش T_g شده و زمینه لازم برای کسب عمقهای رنگی بیشتر را طی مدت زمان کوتاهی پس از شروع رنگرزی در اثر تابش امواج ریزموج فراهم می کند. استفاده از امواج ریزموج یا عمل آوری پلی استر در حلالهای آلی پیش از رنگرزی، نمی تواند جایگزین نقش حامل در افزایش رنگ پذیری الیاف پلی استری که به وسیله رنگینه پاشیده رنگرزی می شوند، گردد.

مراجع

1. Johnson T., Outlook for Man-Made Fibers to 2005/2010, *Chem. Fibers Indust.*, **49**, 455-459, 1999.
2. Khalili H. and Hosseini S.M., The Effect of Microwave Radiation on Dyeing of Polyester Fibers, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (in Persian)*, **13**, 97-102, 2000.
3. Haghi A.K., Thermal Analysis of Drying Process-A Theoretical Approach, *Int. J. Thermal Anal. Colorimetry*, **74**, 827-842, 2003.
4. Haghi A.K., The Diffusion of Heat and Moisture Through Textile, *Int. J. Appl. Mechan. Eng.*, **8**, 233-244, 2003.
5. Haggage K., Hanna H.L., Youssef B.M. and El-shimy N.S., Dyeing Polyester with Microwave Heating Using Disperse Dyestuffs, *Am. Dyestuff Reporter*, 22-36, March 1995.
6. Perkins W.S., Broughton Jr R.M., Walsh W.K. and Ruiding S., Fixation of Reactive Dyes Using Radio-Frequency Energy, *J. Soc. Dyers Colorists*, **108**, 70-73, 1992.
7. Oloyede A. and Groombridge P., The Influence of Microwave Heating on the Mechanical Properties of Wood, *J. Mater. Proc. Technol.*, **100**, 67-73, 2000.
8. Baumann W. and Tomas G., Determination of Relative Colour Strength and Residual Colour Difference by Means of Reflectance Measurement, *J. Soc. Dyers Colorists*, **103**, 100-105, 1987.



شکل ۵ - اثر زمان بر رنگرزی الیاف پلی استر با رنگینه پاشیده در آن ریزموج: عمل آوری شده در PCE و رنگرزی در مجاورت حامل، عمل آوری نشده و رنگرزی در مجاورت حامل، عمل آوری شده در PCE و رنگرزی بدون حامل و عمل آوری نشده و رنگرزی بدون حامل.

ریزموج به عنوان عامل ایجاد گرما امکان حذف حامل را که ماده ای خطرزا و سمی است، از نسخه رنگرزی فراهم نمی کند. در نتیجه کسب