

اثر تابش ریزموج بر رنگرزی الیاف پلی استر

The Effect of Microwave Radiation on Dyeing of Polyester Fibers

هاله خلیلی، سیدمجید حسینی

دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی نساجی، کدپستی ۸۴۱۵۹

دریافت: ۷۸/۹/۶، پذیرش: ۷۹/۹/۳۱

چکیده

رنگینه‌های پاشیده از مناسبترین مواد رنگرزی برای رنگرزی الیاف پلی استرند. این مواد، به سه روش رنگرزی به وسیله حامل، تحت فشار و به کمک آغشته‌سازی با تثبیت گرمایی برای این الیاف بکار برده می‌شود. در این پژوهش، با استفاده از تابش ریزموج عملیات پیش از رنگرزی در زمانهای متفاوت روی الیاف پلی استر در شرایط مختلف صورت می‌گیرد و پس از آن نمونه‌ها رنگرزی می‌شوند. به علاوه، روش رنگرزی به کمک ریزموج‌ها را روشهای معمول رنگرزی نیز مقایسه می‌شود. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که عملیات پیش از رنگرزی اثری بر ساختار لیف در جذب بیشتر ماده رنگرزی ندارد، اما عملیات رنگرزی به کمک ریزموج‌ها می‌تواند باعث جذب بیشتر و بهتر رنگینه و افزایش سرعت رنگرزی نسبت به روشهای معمول، بویژه در رنگرزی به روش حامل، شود.

واژه‌های کلیدی: ریزموج، پلی استر، رنگینه پاشیده، حامل، رنگرزی

Key Words: microwave, polyester, disperse dye, carrier, dyeing

مقدمه

خشک نیز می‌توان روی الیاف پلی استر نشانند. بنابراین، رنگرزی پلی استر به وسیله رنگینه‌های پاشیده را می‌توان به سه روش انجام داد که عبارتند از:

الف - رنگرزی به کمک حامل،

ب - رنگرزی تحت فشار و

ج - رنگرزی به وسیله آغشته‌سازی با تثبیت گرمایی.

در صنعت نساجی، اغلب عملیات رنگرزی و تکمیل روی منسوجات نیاز به انرژی گرمایی زیادی دارد. انتقال این انرژی گرمایی به روش رسانش است که در آن انتقال گرما از بیرون به درون منسوج صورت می‌گیرد، بطوری که همواره سطح جسم گرمتر از داخل آن است. این امر می‌تواند باعث بوجود آمدن مشکلاتی مانند کاهش کیفیت زیردست و پوشش پارچه، مهاجرت رنگینه‌ها و فوق خشک شدن شود. ریزموج‌ها که امواج الکترومغناطیس با فرکانس بالا هستند، قابلیت تولید گرما را در

الیاف پلی استر اصلاح نشده را تنها می‌توان با گروهی از مواد رنگرزی که انحلال پذیری کمی در آب دارند، رنگرزی کرد. با چنین محدودیتی می‌توان مواد رنگرزی پاشیده، برخی از ترکیبات آزو و رنگهای خمی را که وزن مولکولی کمی دارند برای رنگرزی این الیاف بکار برد. رنگینه‌های پاشیده مهم‌ترین رنگهایی هستند که برای رنگرزی پلی استر بکار برده می‌شوند. این رنگینه‌ها قلمهای بسیار متنوعی را همراه با قدرت پوشاندگی خوب و ثبات مناسب ایجاد می‌کنند. اگرچه این طبقه از مواد رنگرزی سرعت نفوذ کمی در پلی استر دارند، اما دارای تعادل زیادی نسبت به این لیف‌اند. با افزایش دما به 130°C و با افزایش مقدار شتابنده‌ها و حاملها در حالت جوش می‌توان سرعت رنگرزی را تا حد مناسبی بالا برد. به علاوه، رنگینه‌های پاشیده را در شرایط گرمایی

$$\epsilon'' = \epsilon' \tan \delta \quad (2)$$

ϵ'' ضریب اتلاف و ϵ' ثابت دی الکتریک ماده مورد نظر است. مثلاً، این ضریب اتلاف برای آب ۱۰۰ و برای سلولوز ۰/۱۵ است که در نتیجه سلولوز را در دسته مواد غیر تلف کننده قرار می دهد [۱]. بنابراین، می توان انتظار داشت که با استفاده از تابش ریز موج در رنگرزی، گرما به وسیله محلول رنگ جذب شود و با این روش می توان سرعت رنگرزی را افزایش و در نتیجه زمان آن را کاهش داد [۹-۷]. در رنگرزی پنبه با رنگ واکنش پذیر به کمک تابش ریز موج مشاهده می شود که با افزایش سرعت رنگرزی از زمان عمل نسبت به انواع روشهای معمول کاسته می شود [۱۰]. همچنین، در تحقیقات انجام شده روی پلی استر با استفاده از حلالها معلوم شده است که در صورت بکارگیری تابش ریز موج خواص رنگرزی بهبود می یابد [۱۱]. هدف از این پژوهش نیز بررسی شیوه های مختلف رنگرزی پلی استر با رنگینه پاشیده به کمک تابش ریز موج است.

تجربی

مواد

در این پژوهش کلیه آزمایشها روی پارچه ۱۰۰ درصد پلی استر از نوع ۲GT با بافت تافته انجام شده است. از سه رنگینه آبی پاشیده ۱۴۶ (Kayalon Polyester Navy Blue TR-SF)، قرمز پاشیده ۱۵۲ (Kayalon Polyester Light Red B-S) و زرد پاشیده ۲۳ (Youhao Dispers Yellow ER) و حامل Tanavol conc که پایه شیمیایی آروماتیک دارد استفاده شده است.

دستگاهها

از دستگاههای میکرو و آن با صفحه گردان ساخت شرکت سانپو مدل EM-۵۶۰ با فرکانس ۲۴۵۰ MHz و توان خروجی ۶۰۰ W، به عنوان تولید کننده ریز موج، دستگاه رنگرزی کاملاً کامپیوتری آهیا پلی مت ۱۰۰۰ و طیف نورسنج انعکاسی تکس فلش استفاده شده است.

روشها

اثر عمل آوری با ریز موج قبل از رنگرزی

در این روش نمونه ها قبل از رنگرزی با آب آغشته شده و در زمانهای ۵، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ دقیقه تحت تابش ریز موج قرار گرفتند. سپس، این نمونه ها با استفاده از ۱ درصد وزنی رنگ در دمای ۱۰۰°C به مدت یک ساعت بدون افزودن حامل رنگرزی شدند. برای بررسی اثر حامل چند نمونه دیگر که با آب و ۱ درصد حامل آغشته شده بودند نیز مشابه

درون منسوجات دارند. از این رو، مکانیسم انتقال گرما دیگر از نوع رسانش نیست و در نتیجه بسیاری از مشکلات مطرح شده در این روش بوجود نمی آید [۱]. در این پژوهش، اثر ریز موجها بر رنگرزی پلی استر به کمک سه گروه مختلف از رنگینه های پاشیده بررسی و نتایج بدست آمده با روشهای معمول رنگرزی مقایسه می شود.

ریز موجها ناحیه گسترده ای از امواج الکترومغناطیس را تشکیل می دهند که امواجی با طول موجهای ۱-۱۰ m و فرکانسهای در محدوده ۳۰۰،۰۰۰-۲۰۰ MHz را شامل و بین امواج رادیویی و زیر قرمز واقع می شوند.

مکانیسم تولید گرما در ناحیه ریز موج را می توان به چرخش دو قطبی و قطبش یونی مواد نسبت داد. چرخش دو قطبی وابسته به وجود مولکولهای دو قطبی است و قطبش یونی در یک محلول شیمیایی زمانی رخ می دهد که یونهای موجود در یک محلول شیمیایی به طرف یک میدان الکتریکی حرکت کنند [۳، ۲].

مکانیسم ایجاد گرما به صورتی است که همزمان با جذب امواج به وسیله منسوج مولکولهای قطبی موجود در آن (مولکول آب) با میدان هم جهت شده و اگر میدان از نوع متناوب باشد، بطور پیوسته جهت این مولکولها با تغییر جهت میدان عوض می شود، این تغییر جهت با سرعتی معادل فرکانس میدان در هر ثانیه انجام می شود که باعث تولید اصطکاک و تبدیل آن به انرژی گرمایی می گردد [۳-۱]. در مصارف صنعتی، طبی و عملی با وجود محدوده بسیار وسیع فرکانس این امواج تنها از امواجی با فرکانسهای ۹۱۵، ۲۴۵۰، ۵۸۰۰ و ۲۱۱۲۵ MHz استفاده می شود [۴-۲].

موادی که قابلیت جذب ریز موجها را داشته باشند تلف کننده (lossy) نامیده می شوند. یک ماده تلف کننده مانند آب ماده ای است که ساختار مولکولی آن با گروهی در این ساختار می تواند با فرکانسهای مشابه فرکانس ریز موجها، به حالت رزونانس در آید. این عمل باعث اتلاف انرژی ورودی، که از نوع دی الکتریک است، شده و این اتلاف انرژی به صورت گرما در درون ماده ایجاد می شود. قابلیت یک ماده برای جذب پرتوها بستگی به خواص قطبش الکتریکی مولکولهای ماده و عوامل موجود در میدان الکتر و مغناطیس دارد [۵، ۴]. توان جذب شده به وسیله این ماده را می توان به صورت معادله ۱ نشان داد [۶، ۵]:

$$P = 55/6 (10^{-14}) E^2 \epsilon' \tan \delta \quad (1)$$

که در آن f فرکانس میدان (Hz)، P توان الکتریکی (واحد حجم)، E شدت میدان الکتریکی، ϵ' ثابت دی الکتریک و $\tan \delta$ زاویه اتلاف است. ضریب اتلاف نیز عبارت است از:

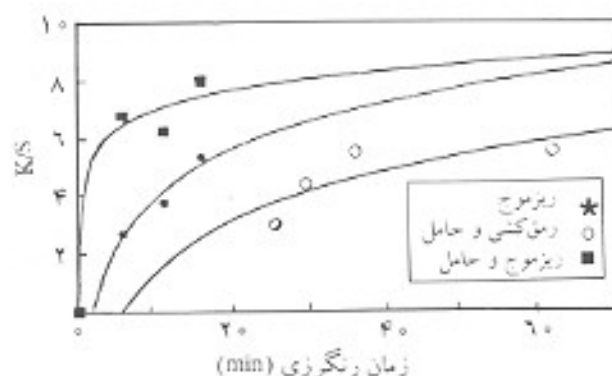
جدول ۱- بررسی اثر عمل آوری با ریزموج قبل از رنگرزی.

زمان عمل آوری (دقیقه)	ماکسیم جذب (K/S)	
	آبی پاشیده ۱۴۶	
	بدون حامل	با ۱ درصد حامل
۰	۷/۹۱۵۴	۲/۲۰۴۰
۵	۸/۰۰۷۷	۲/۵۹۵۰
۱۰	۸/۵۱۰۴	۲/۶۰۰۲
۱۵	۸/۴۵۵۱	۲/۳۲۱۰
۲۰	۸/۴۶۵۸	۲/۱۹۶۶
۲۵	۸/۲۵۷۲	۲/۱۰۲۳
۳۰	۸/۲۴۷۱	۲/۲۴۲۱

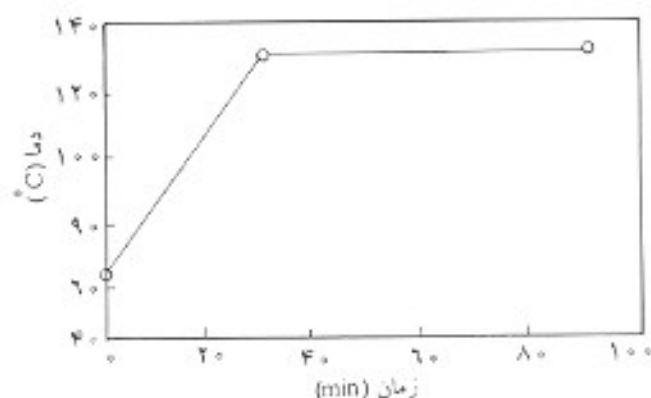
نتایج و بحث

بررسی اثر ریزموج پیش از رنگرزی

همان گونه که نتایج آمده در جدول ۱ نشان می دهد، عمل آوری کالا با ریزموج قبل از رنگرزی اثری بر خواص جذب رنگ لیف پلی استر ندارد و تفاوت چندانی در میزان جذب بین نمونه های عمل آوری شده و عمل آوری نشده با ریزموج پس از رنگرزی مشاهده نمی شود. حامل نیز به عنوان یک عامل کمکی قبل از رنگرزی اثری بر ساختار فیزیکی لیف برای جذب بیشتر رنگ به این روش ندارد. بنابراین، می توان گفت که انجام عملیات گرمایی به عنوان پیش عمل آوری (عملیات قبل از رنگرزی) به کمک ریزموج روی لیف پلی استر در رنگ پذیری آن بی اثر است و این امواج نمی توانند تغییر محسوسی در ساختار فیزیکی لیف برای جذب بیشتر ایجاد کنند. به همین علت، اختلاف چندانی بین جذب نمونه ها در زمانهای مختلف مشاهده نمی شود.



شکل ۲- بررسی سرعت رنگرزی با زرد پاشیده ۲۳ در روشهای ریزموج و ریزموج.



شکل ۳- نمودار دمای رنگرزی نمونه ها تحت فشار.

روش یاد شده با ریزموج عمل آوری و رنگرزی شدند.

رنگرزی با ریزموج به منظور مقایسه آن با روشهای معمول

در این بخش از آزمایش نمونه ها در زمانهای ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه همراه با ۱/۵ حامل و همچنین بدون وجود حامل با نسبت ۳۰ به ۱ حجم مایع به وزن کالا به کمک ریزموج رنگرزی شدند. رنگرزی به روش معمول (در دمای جوش) در زمانهای ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۶۰ دقیقه همراه با ۱/۵ حامل با نسبت ۳۰ به ۱ حجم مایع به وزن کالا انجام شد.

اثر غلظت حامل در رنگرزی با ریزموج

برای بررسی اثر غلظت حامل کلیه نمونه ها با نسبت ۳۰ به ۱ حجم مایع به وزن کالا در حمامی با غلظتهای ۱، ۳ و ۶٪ از حامل و با زمانهای ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه در تابش ریزموج رنگرزی شدند.

مقایسه نمونه های رنگرزی شده با ریزموج و تحت فشار

در این روش نمونه ها با ۱ درصد رنگ بدون حامل و با نسبت ۳۰ به ۱ حجم مایع به وزن کالا تحت فشار مطابق با شکل ۱ رنگرزی شده و سپس نتایج بدست آمده با روشهای ریزموجی همراه با حامل و رنگرزی با ریزموج و در مجاورت حامل (در غلظتهای مختلف) مقایسه شدند.

بررسی ثبات شویی کالاهای رنگرزی

برای بررسی میزان رنگهای سطحی، کلیه نمونه های رنگرزی شده تحت عملیات شستشوی قلیایی قرار گرفتند. آن گاه، انعکاس از نمونه ها پیش و پس از انجام این عمل، اندازه گیری و مقایسه شد.

جدول ۲- مقایسه رنگریزی با ریزموج و روشهای معمول.

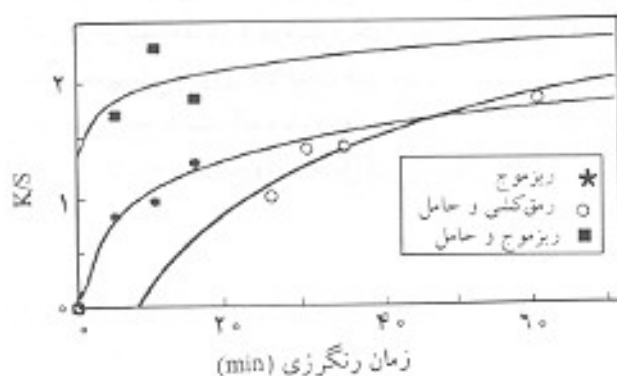
ماکسیمم جذب (K/S)									زمان رنگریزی (دقیقه)
زرد پاشیده ۲۳			قرمز پاشیده ۱۵۲			آبی پاشیده ۱۴۶			
۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	
-	۶/۷۶۲۷	۲/۶۴۹۴	-	۲/۴۶۳۸	۵/۹۱۹۱	-	۱/۶۷۱۵	۵/۷۸۲۲	۵
-	۷/۰۴۶۴	۳/۷۲۲۹	-	۳/۰۶۸۱	۱/۲۹۱۴	-	۲/۲۸۱۹	۵/۹۵۰۵	۱۰
-	۸/۰۲۸۷	۵/۳۳۱	-	۳/۲۸۲۵	۱/۴۷۹۷	-	۲/۵۶۶۱	۱/۲۴۵۷	۱۵
۵/۵۲۰۳	-	-	۳/۳۴۷	-	-	۱/۸۴۹۴	-	-	۶۰

روشهای ۱، ۲ و ۳ به ترتیب عبارتند از: رنگریزی با ریزموج، رنگریزی با ریزموج و حامل و رنگریزی با رنم کشی و حامل.

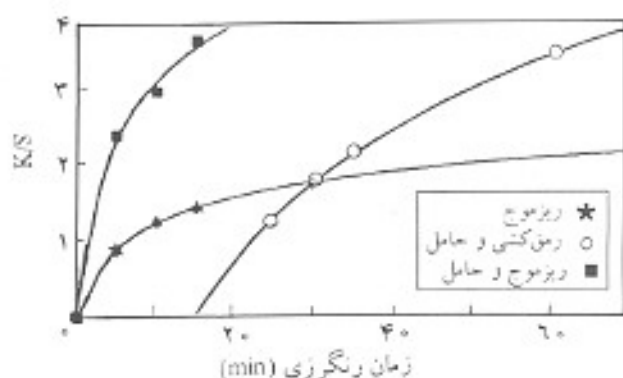
عامل مهمی برای جذب رنگینه بشمار می رود و گام بعدی بررسی افزایش غلظت این ماده و کمک و اثر آن در رنگریزی به کمک ریزموج است.

بررسی غلظت حامل در رنگریزی با ریزموج

از آنجا که افزایش غلظت حامل از ۲ تا ۸ g/L در رنگریزی پلی استر برای حصول رنگهای روشن تا تیره موثر است، اثر این عامل در نمونه های عمل آوری شده بررسی می شود. نتایج بدست آمده در جدول ۲ نشان دهنده این مطلب است که وجود حامل در رنگریزی با ریزموج بسیار موثر است. جدول ۳ نتایج بدست آمده از بررسی اثر غلظت حامل در رنگریزی با ریزموج را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود، با افزایش میزان غلظت حامل میزان رنم کشی تا حد زیادی افزایش می یابد. این تغییر به نحوی است که در مدت زمان کوتاه مقدار رنگ جذب شده چند برابر رنگریزی در شرایط معمول است. بنابراین، با افزایش غلظت حامل می توان مدت زمان رنگریزی را حتی به زمانهای کوتاه ۵ تا ۱۵ دقیقه کاهش داد و رنم کشی مناسب را در حد روشهای معمول رنگریزی پلی استر با رنگ پاشیده بدست آورد.



شکل ۴- بررسی سرعت رنگریزی با آبی پاشیده ۱۴۶ در روشهای رنم کشی و ریزموج.



شکل ۳- بررسی سرعت رنگریزی با قرمز پاشیده ۱۵۲ در روشهای رنم کشی و ریزموج.

جدول ۳- اثر غلظت حامل بر میزان جذب در رنگرزی باریز موج.

زمان رنگرزی (دقیقه)	ماکسیم جذب (K/S)								
	آبی پاشیده ۱۴۶			قرمز پاشیده ۱۵۲			زرد پاشیده ۲۳		
	۱ (g/L)	۳ (g/L)	۶ (g/L)	۱ (g/L)	۳ (g/L)	۶ (g/L)	۱ (g/L)	۳ (g/L)	۶ (g/L)
۵	۱/۱۷۵۴	۲/۳۷۰۱	۲/۶۱۳۶	۲/۱۷۸۴	۲/۶۲۹۹	۲/۸۹۹۷	۴/۴۰۶۸	۷/۳۷۵۸	۷/۹۹۴۹
۱۰	۱/۱۹۱۶	۱/۳۸۲۵	۳/۴۵۹۰	۲/۱۵۳۰	۲/۳۰۷۰	۲/۹۰۱۰	۵/۲۷۵۸	۷/۶۲۷۵	۸/۷۳۴۴
۱۵	۱/۵۷۵۹	۱/۸۳۴۱	۳/۶۲۴۵	۲/۲۴۲۶	۲/۸۸۶۳	۳/۲۲۲۶	۶/۱۲۸۳	۶/۴۰۳۸	۹/۵۵۲۲
۲۰	۱/۸۱۹۴			۳/۳۴۷۰			۵/۵۲۰۳		

* رنگرزی با ۱٪ حامل

نتیجه گیری

نتایج حاصل نشان می‌دهد که تابش ریزموج در عملیات قبل از رنگرزی بر ساختار الیاف پلی‌استر و جذب رنگ این لیف اثری ندارد. حتی اگر در این روش از یک حامل به عنوان ماده کمکی استفاده شود، اثر چندانی بر جذب رنگینه نخواهد داشت و این امواج نمی‌توانند تغییرات فیزیکی زیادی، که در رنگرزی مشهود باشد، در لیف پلی‌استر ایجاد کنند. از نتایج بدست آمده در روشهای رنگرزی می‌توان نتیجه گرفت که تابش ریز موج بیشترین اثر را روی محلول رنگرزی دارد و به عنوان یک روش رنگرزی در مجاورت حامل بسیار موثر بوده و جذب رنگینه را در مدت زمانهای کوتاهتر نسبت به روشهای معمول رنگرزی افزایش می‌دهد. این مطلب در مورد رنگهای مناسب رنگرزی با حامل (جرم مولکولی کم) بیشتر مشاهده می‌گردد. در مورد رنگهایی با جرم مولکولی زیاد نیز می‌توان با استفاده از افزایش غلظت حامل مصرفی جذب رنگ را تا حد زیادی افزایش داد. سرعت رنگرزی در روش ریزموج بسیار بیشتر از روش رنم کشی است و می‌توان با آزمایشهای بیشتر از این نظر به یک زمان مناسب رسید. نمونه‌های عمل آوری شده به روش ریزموج در شستشوی قلیایی نیز دارای ثبات شویی زیادی بودند و می‌توان نتیجه گرفت که رنگ در این نمونه‌ها به

بررسی روشهای ریزموج، رنم کشی و رنگرزی تحت فشار

در این قسمت نمونه‌های عمل آوری شده با سه روش مختلف با یکدیگر مقایسه می‌شود. جدول ۴ نتایج بدست آمده از این مقایسه را نشان می‌دهد. از این جدول می‌توان چنین نتیجه گرفت که ماکسیم جذب در روش رنگرزی تحت فشار بدست می‌آید و مشاهده می‌شود اختلافها در مورد رنگهای قرمز و آبی، که جرم مولکولی بیشتری نسبت به رنگ زرد دارند، بیشتر است. در مورد رنگهایی با جرم مولکولی پایین (زرد پاشیده ۲۳) می‌توان با افزایش میزان حامل در مدت زمانهای کوتاه و با صرف هزینه‌های کمتر در رنگرزی با ریزموج نتایج رضایت‌بخشی در مقایسه با روش رنگرزی تحت فشار بدست آورد.

بررسی ثبات شویی نمونه‌ها

جدول ۵ نشان دهنده نتایج بدست آمده از شستشوی قلیایی نمونه‌های عمل آوری شده به روشهای مختلف است. همان گونه که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل مبین این مطلب است که رنگرزیهای انجام شده به روش ریزموج نیز ثبات شستشویی زیادی دارد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که حتی در مدت زمانهای کوتاه رنگرزی با ریزموج نیز جذب رنگینه در عمق لیف صورت می‌گیرد و تفاوتی بسیار کمی بین نمونه‌ها پیش و پس از شستشوی قلیایی مشاهده می‌شود.

جدول ۴- مقایسه روشهای ریزموج، رنم کشی و رنگرزی تحت فشار.

روش	مدت رنگرزی (دقیقه)	بیشترین جذب (K/S)		
		آبی پاشیده ۱۴۶	قرمز پاشیده ۱۵۹	زرد پاشیده ۲۳
۱	۱۵	۲/۵۶۶۴	۳/۲۸۲۵	۸/۰۲۸۷
۲	۲۰	۱/۱۸۹۴	۳/۳۴۷۰	۵/۵۲۰۳
۳	۱۵	۳/۶۲۴۵	۳/۲۲۲۶	۹/۵۵۲۲
۴	۲۰	۸/۹۰۲۸	۱۱/۹۹۶۱	۱۲/۷۷۳۳

روشهای ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب عبارتند از: رنگرزی باریز موج و ۱٪ حامل، رنگرزی به روش رنم کشی و ۱٪ حامل، رنگرزی با ریزموج و ۱٪ حامل و رنگرزی تحت فشار.

جدول ۵- بررسی ثبات شویشی نمونه ها.

روش	مدت رنگرزی (دقیقه)	ماکسیمم جذب (K/S)					
		آبی پاشیده ۱۴۶		قرمز پاشیده ۱۵۲		زرد پاشیده ۲۳	
		قبل از شستشو	بعد از شستشو	قبل از شستشو	بعد از شستشو	قبل از شستشو	بعد از شستشو
۱	۵	۱/۶۷۴۵	۱/۲۹۸۶	۲/۴۶۳۸	۲/۴۳۷۰	۶/۷۶۲۷	۵/۹۹۳۹
۲	۱۰	۲/۲۸۱۹	۱/۳۲۱	۳/۰۶۸۱	۲/۵۸۵۱	۷/۰۴۶۴	۶/۰۳۶
۳	۱۵	۲/۵۰۶۱	۱/۲۷۱۳	۳/۲۸۲۵	۲/۳۳۶۶	۸/۰۲۸۷	۷/۵۶۱۷
۴	۲۰	۱/۸۱۹۴۵	۱/۳۹۲۰	۳/۳۴۷۰	۲/۳۴۷۰	۵/۵۲۰۳	۵/۳۲۷۵
۵	۲۵	۸/۹۰۲۸	۸/۵۲۸۴	۱۱/۹۹۶۱	۱۱/۳۸۱۲	۱۲/۷۷۳۳	۱۲/۳۵۲۱

روشهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب عبارتند از: رنگرزی با ریزموج و 1 g/L حامل، رنگرزی با ریزموج و 1 g/L حامل، رنگرزی به روش رقکشی و 1 g/L حامل و رنگرزی تحت فشار.

Suppliment; Microwaves, John Wiley and Sons, 564-568, 2, 1971.

6. Alexander, Meek P. G.; *J. Soc. Dyers Colorists*; **66**, 10, 530-537, 1950.
7. Burkinshaw, Marshall S.M., *WJ. Soc. Dyers Colorists*; **102**, 263-268, 1986.
8. Perkins, Broughton W., Walsh R., W. and Ruiding; Fixation of Reactive dyes Using Radio-Frequency Energy, *J Soc. Dyers Colorists*; **108**, 2, 530-537, 1992.
9. Perkins R. Catto, N. Dye Fixation Using Radio-Frequency Heating; *J Soc Dyers Colorists*; **100**, 9, 274-280, 1984.
- ۱۰- بدرالسام، امیرشاهی سیدحسین، تأثیر میکروویو بر منسوجات پنبه ای در عملیات پیش از رنگرزی با استفاده از رنگهای راکتیو، مجموع مقالات کنفرانس علوم و تکنولوژی نساجی، ص ۷۶-۷۱، اردیبهشت ۷۶.
11. Haggage K., Hanna H. L., Youssef B. M., Shimy N. S. EL., Dyeing Polyester with Microwave Heating Using Dispers Dystuffs, *American Dystuffs*, American DYestuff Repoport, 22-35, March 1995.

صورت سطحی جذب نشده، بلکه در مدت زمان کوتاه کاملاً در لیف نفوذ کرده است. نتایج حاصل نشان می دهد که استفاده از تابش ریزموج در رنگرزی پلی استر باعث جذب بهتر در مدت زمانهای کوتاه و افزایش سرعت رنگرزی می شود که از نظر اقتصادی بویژه در مورد رنگهای مناسب رنگرزی با حامل بسیار با ارزش است.

مراجع

1. Yingfand C., Hai Y. and Zhiwel L.; An Investigation on Microwave Dyeing of Cotton Fabrics; *J. China. Tex. University (Eng.Ed)*, **10**, 1, 25-32, 1993.
2. Cepson D. A.; *Microwave Heating*, 2-nded the Avi Publishing Co, Westport, Connection, 1975.
3. Evans D. and Skelly J.; Application of Microwave Heating in Dye Fixation; *J. Soc. Dyers. Colorists*, **88**, 12, 429-433, 1972.
4. Grant E.; *Microwaves Industrail*; Scintific and Medical Application Artech House, boston, London.
5. Reprinted from Fencyclopedia of Chemical Technology