

# اثر گرمایش ریزموج بر ساختار ظریف رشته‌های پلی‌استر\*

## Effect of Microwave Heating on the Fine Structure of Polyester Filaments

صدیقه برهانی<sup>1\*</sup>، مصطفی یوسفی<sup>1</sup>، محمد مرشد<sup>1</sup>، جلال برهانی<sup>2</sup>

۱- اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده نساجی، کد پستی ۸۴۱۵۴، ۲- اصفهان، مرکز آموزش عالی فنی شهید محسن مهاجر، صندوق پستی ۸۱۶۴۵/۳۱۵

دریافت: ۸۰/۱۱/۲۳، پذیرش: ۸۱/۴/۳۱

### چکیده

صرفه‌جویی در زمان و انرژی از نیازهای فوری برای صنعت نساجی است و با بکارگیری فنون جدیدی که امکان مصرف کمتر را فراهم می‌کند، این منظور حاصل می‌شود. در زمینه استفاده از گرمایش ریزموج در برخی از فرایندهای نساجی مانند خشک کردن و رنگرزی پژوهشهای زیادی انجام شده است. هدف از این مقاله بررسی ساختار فیزیکی رشته‌های پلی‌استر نیمه جهت یافته و کاملاً جهت یافته پس از قرار گرفتن در معرض گرمایش ریزموج است. تغییر ساختار فیزیکی با تغییر خواص فیزیکی رشته‌ها همراه است و در نتیجه بررسی آن از این جهت اهمیت دارد. ساختار رشته‌های پلی‌استر پس از عمل‌آوری با ریزموج از راه اندازه‌گیری قطر، ظرافت، آرایش بافتگی، شاخص بلورینگی، استحکام کششی و ازدیاد طول تا پارگی، مشاهدات میکروسکوپ الکترونی، نتایج حاصل از پراش پرتو ایکس و همچنین رفتار رشته‌ها در واکنش تجزیه شیمیایی با مثال آمین بررسی شده است. نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که ساختار فیزیکی رشته‌های پلی‌استر در اثر گرمایش ریزموج تغییر محسوسی نمی‌کند، ولی در مورد رشته‌های نیمه جهت یافته ساختار فیزیکی، به دلیل قرار گرفتن در آب جوش که لازمه عملیات ریزموج است، تغییر می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ساختار ظریف، پلی‌اتیلن ترفتالات، جمع‌شدگی، ریزموج، رشته

**Key Words:** fine structure, polyethylene terephthalate, shrinkage, microwave, filament

### مقدمه

ناحیه ریزموج دارای فرکانس بالا و طول موج کوتاه (۱ m-۰/۰۱) بین امواج رادیویی و امواج زیر قرمز در طیف الکترومغناطیس قرار گرفته است [۱،۲].

قطبش یونی و چرخش دو قطبی دو مکانیسم اصلی تولید گرما در ناحیه ریزموج‌اند، قطبش زمانی روی می‌دهد که یونهای موجود در یک محلول شیمیایی به طرف یک میدان الکتریکی حرکت کنند و مکانیسم گرمایش در اثر چرخش دو قطبی بستگی به وجود

### مولکولهای دو قطبی دارد [۱،۳].

موادی که قابلیت جذب ریزموج را دارند مواد تلف‌کننده (lossy) نامیده می‌شوند. مولکولهای یک ماده تلف‌کننده مانند آب در فرکانسهای تابش ریزموج می‌تواند به ارتعاش در آید. این عمل باعث اتلاف دی‌الکتریک انرژی ورودی شده و این انرژی تبدیل به گرما درون ماده می‌شود. قابلیت یک ماده برای جذب تابش بستگی به خواص قطبش الکتریکی مولکولهای آن و پارامترهای میدان مغناطیسی دارد [۳-۲]. در مجاورت یک میدان الکترومغناطیس با

\* بخشی از این مقاله به صورت سخنرانی در چهارمین کنگره ملی مهندسی نساجی ایران، سال ۸۱، دانشگاه یزد ارائه شده است.

\*\* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: Borhani@cc.iut.ac.ir

فرکانس بالا، مولکولها بطور همزمان با آن با یک دامنه ارتعاش می کنند. این ارتعاش مولکولی سبب می شود که گرما در اثر اصطکاک بین مولکولها تولید شود. مقدار انرژی گرمایی تولید شده در درون ماده دی الکتریک به توان و فرکانس میدان بکار رفته و ابعاد و خواص الکتریکی خود ماده، یعنی ثابت دی الکتریک و ضریب توان (power factor) بستگی دارد. می توان نشان داد که توان ظاهر شده به صورت گرما در یک ماده که در معرض یک میدان متناوب قرار گرفته است، به کمک معادله (۱) بدست می آید:

$$P = 0.05 \times 10^{-14} E^2 f \epsilon \tan \delta \quad (1)$$

که در این معادله P توان الکتریکی (وات برسانی متر مکعب)، E شدت میدان الکتریکی (ولت)، f فرکانس میدان (هرتز) و  $\epsilon$  ثابت دی الکتریک و بیانگر زاویه اتلاف است. عبارت  $\epsilon \tan \delta$  نسبت انرژی باقیمانده را نشان می دهد و به عنوان ضریب اتلاف (loss factor) معروف است. مثلا این ضریب برای آب ۱۰۰ و برای پلی استر ۰/۰۴ است، بنابراین پلی استر یک ماده غیر تلف کننده است [۶]. اکثر الیاف نساجی به عنوان ماده غیر تلف کننده محسوب می شوند، به همین دلیل ریزموج را تا حد کمی جذب می کنند از این رو، در صورت استفاده از ریزموج باید آب یا ماده تلف کننده دیگری وجود داشته باشد.

گرمایش با استفاده از امواج فرکانس بالا، که ریزموج نیز نوعی از آن است، قابلیت تولید گرما در درون توده منسوج را دارد [۷۸]، از این رو مکانیسم عمل با مکانیسم انتقال گرما به روش رسانایی گرمایی متفاوت است. این نوع گرم کردن شامل هیچ نوع مکانیسم انتقال گرما نیست، بنابراین مشکلات ناشی از شیب گرمایی از بیرون به درون توده منسوج را نخواهد داشت. درباره کاربرد ریزموج در صنعت نساجی در موارد بسیاری مانند گرم کردن، خشک کردن، تثبیت، چاپ، رنگرزی و پخت پارچهها پژوهشهای زیادی صورت گرفته است [۱۲-۲۵]. اگرچه فناوری موجود به هیچ وجه جدید نیست، ولی استفاده از ریزموج در فرایند نساجی به مقاله الکساندر و میک در سال ۱۹۵۰ که عمل خشک کردن منسوجات به وسیله فرکانسهای رادیویی بررسی کردند، برمی گردد [۵].

امروزه، در زمینه استفاده از گرمایش ریزموج در رنگرزی پلی استر (پلی اتیلن ترفتالات) پژوهشهایی انجام شده است [۹-۱۱]. پلی اتیلن ترفتالات از نظر مقدار تولید در جهان مهمترین لیف تجارتي مصنوعي در طبقه الیاف پلی استر است که به اختصار آن را PET می نامند. درباره مواد اولیه، روش تولید (ریسندگی مذاب)، مشخصات و خواص آن بسیار بحث شده است [۱۳]. الیاف PET

می توانند دارای خواص متفاوتی باشند [۱۴]. این خواص به شرایط و عوامل تولید و عملیات گرمایی و مکانیکی بعدی که ساختار لیف را مشخص می کند، بستگی دارد. ارتباط ساختار و خصوصیات الیاف حاصل از ریسندگی مذاب موضوع گسترده ای است که در نوشته های مربوط به تولید الیاف بحث ویژه ای را به خود اختصاص می دهد. در این مقاله، تاثیر گرمایش ریزموج بر ساختار فیزیکی رشته های پلی استر (پلی اتیلن ترفتالات) بررسی می شود.

### تجربی

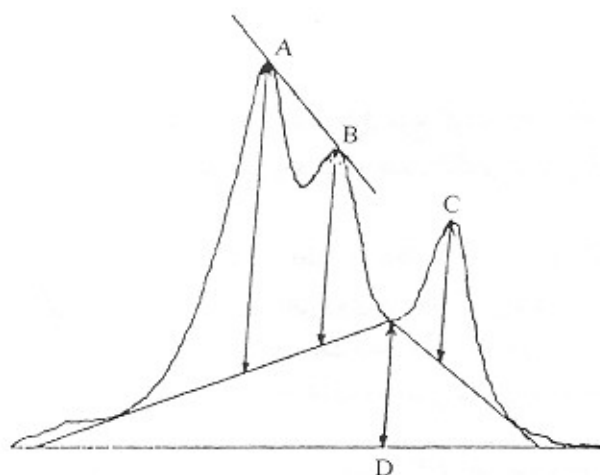
#### مواد

در این پژوهش رشته های پلی استر نیمه جهت یافته (POY) و کاملاً جهت یافته (FOY) تولید شده در کارخانه پلی اکریل اصفهان مورد استفاده قرار گرفت.

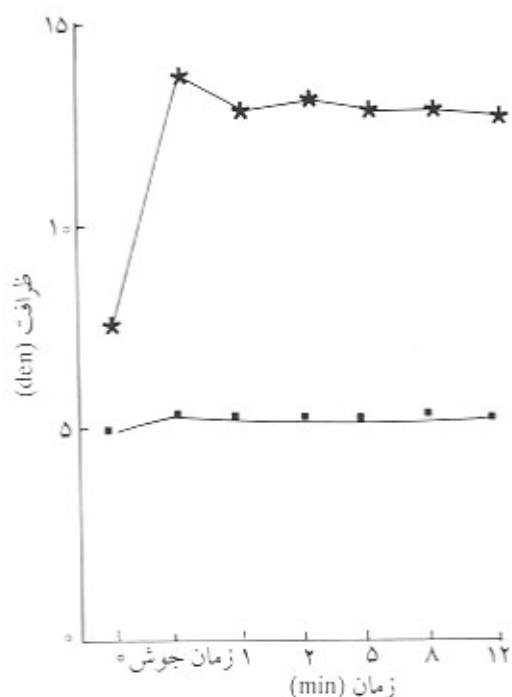
#### دستگاهها

دستگاههای استفاده شده در این پژوهش به قرار زیر است:

- میکروآون با صفحه گردان ساخت شرکت سانیو مدل ۵۶۰-EM به عنوان تولید کننده ریزموج،
- میکروسکوپ نوری Axiolab Pol ساخت شرکت Ziess آلمان و دستگاه ویروسکوپ مدل ۴۰۰ ساخت شرکت Lenzing اتریش، به ترتیب برای اندازه گیری قطر و ظرافت رشته ها،
- دستگاه zwick material profung مدل ۱۴۴۵ ساخت آلمان برای اندازه گیری استحکام،
- پرتو ایکس philips x" pert مدل MPD ساخت هلند برای



شکل ۱- منحنی پراش پرتو ایکس.



شکل ۳- نمودار تغییرات ظرافت رشته‌ها در برابر زمان گرمایش ریزموج در نمونه‌های پلی استر: (\*) نیمه جهت یافته و (■) کاملاً جهت یافته.

استحکام و ازدیاد طول تا پارگی

استحکام و ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌ها بر اساس استاندارد ASTM D2101 و با استفاده از دستگاه Zwic Material Profung اندازه‌گیری شد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی

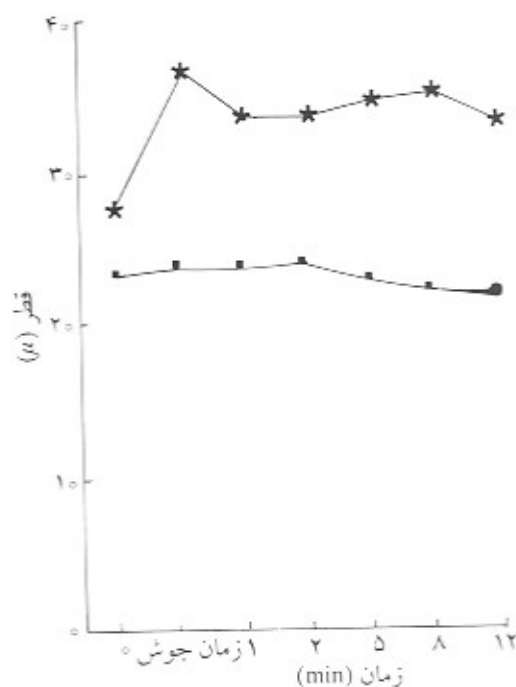
سطح مقطع طولی نمونه‌ها به کمک میکروسکوپ الکترونی و با حداکثر بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ مورد مطالعه قرار گرفت.

پراش پرتو ایکس با زاویه زیاد (WAXD)

با استفاده از دستگاه پرتو ایکس با هدف مسی ( $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ ,  $\text{CuK}\alpha$ ) منحنی پراش پرتو ایکس نمونه‌ها بدست آمد. تمام نمونه‌ها در شرایط مشابه مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین، شاخص بلورینگی نمونه‌ها با توجه به منحنی پراش پرتو ایکس طبق معادله (۲) اندازه‌گیری شد [۱۵]:

$$CI = \frac{A+B+C}{3D+(A+B+C)} \times 100 \quad (2)$$

که در این معادله CI شاخص بلورینگی است و مقادیر A، B، C و D طبق شکل ۱ از منحنی پراش پرتو ایکس بدست می‌آید.



شکل ۲- نمودار تغییرات قطر رشته‌ها در برابر زمان گرمایش ریزموج در نمونه‌های پلی استر: (\*) نیمه جهت یافته و (■) کاملاً جهت یافته.

بررسی پراش پرتو ایکس نمونه‌ها؛

- میکروسکوپ الکترونی فیلپس مدل XL30 ساخت هلند برای بررسی سطح مقطع طولی نمونه‌ها و  
- طیف سنج FTIR مدل Bomem برای برداشت طیف زیرقرمز نمونه‌ها.

روشها

نمونه‌ها برای زمانهای ۱، ۲، ۵، ۸ و ۱۲ دقیقه تحت ریزموج قرار گرفتند و از آب به عنوان محیط تلف کننده استفاده شد. بشر دارای آب در داخل دستگاه میکروآون صفحه گردان با فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز و توان خروجی حداکثر ۶۰۰ وات قرار گرفت. نمونه‌ها پس از به جوش رسیدن آب وارد محلول شده و پس از سبزی شدن زمان عمل‌آوری از محلول خارج شده خشک شد و سپس خواص مورد نظر اندازه‌گیری شد.

قطر و ظرافت

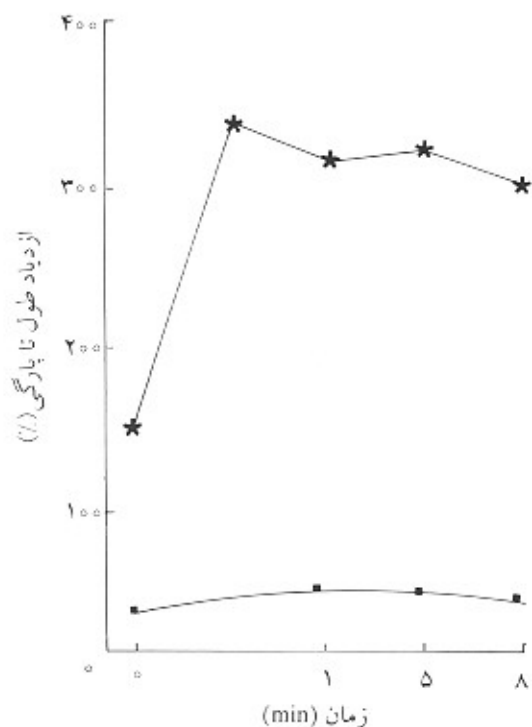
قطر رشته‌ها با استفاده از میکروسکوپ نوری و با بزرگنمایی ۴۰۰ اندازه‌گیری شد و در هر مورد میانگین ۳۰ اندازه‌گیری بدست آمد. ظرافت رشته‌ها به صورت تک رشته و به کمک دستگاه ویبروسکوپ اندازه‌گیری شد و میانگین ۱۰ اندازه‌گیری محاسبه شد.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از این پژوهش در شکل‌های ۹-۲ مشاهده می‌شود. زمان صفر خواص اندازه‌گیری شده برای نمونه عمل‌آوری نشده (خام) را نشان می‌دهد و زمان جوش نشان دهنده خواص مربوط به نمونه‌ای است که فقط در آب جوش قرار گرفته، ولی در معرض ریزموج واقع نشده است.

قطر رشته‌ها قبل و بعد از عمل‌آوری با ریزموج برای زمانهای مختلف اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از تغییرات قطر نمونه‌های FOY, POY عمل‌آوری شده با گرمایش ریزموج در شکل ۲ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که قطر رشته‌های POY در نمونه‌ای که به مدت ۱ دقیقه تحت گرمایش ریزموج قرار گرفته است به میزان زیادی نسبت به نمونه خام افزایش می‌یابد، ولی در نمونه‌هایی که برای زمانهای بیشتر در معرض گرمایش ریزموج قرار داشته‌اند، تغییر چندانی در قطر آنها نسبت به نمونه مربوط به یک دقیقه مشاهده نمی‌شود در مورد رشته‌های FOY تغییر محسوسی در قطر نمونه‌ها ملاحظه نمی‌شود.

ظرافت رشته‌ها نیز قبل از گرمایش ریزموج و پس از آن اندازه‌گیری شد. شکل ۳ نتایج مربوط به ظرافت رشته‌ها را نشان



شکل ۳- نمودار تغییرات از دیاد طول تا پارگی رشته‌ها در برابر زمان گرمایش ریزموج در نمونه‌های پلی‌استر: (\*) نیمه جهت یافته و (■) کاملاً جهت یافته.

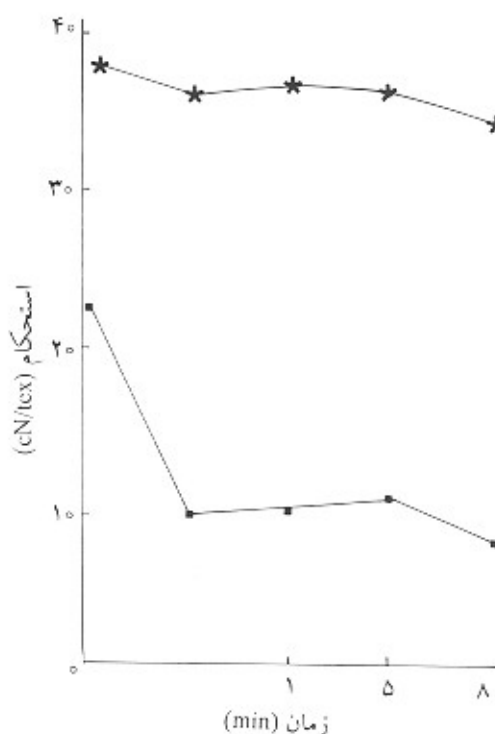
شاخص بلورینگی (crystallinity index, CI) نمونه‌ها با توجه به طیف زیر قرمز الیاف که به کمک دستگاه طیف سنجی FTIR برداشت شد و با استفاده از نوار جذبی  $1410 \text{ cm}^{-1}$  به عنوان استاندارد داخلی و نوار جذبی  $868 \text{ cm}^{-1}$  به عنوان نوار جذب بلور و به کمک معادله (۳) محاسبه شد:

$$CI = A_{868} / A_{1410} \quad (3)$$

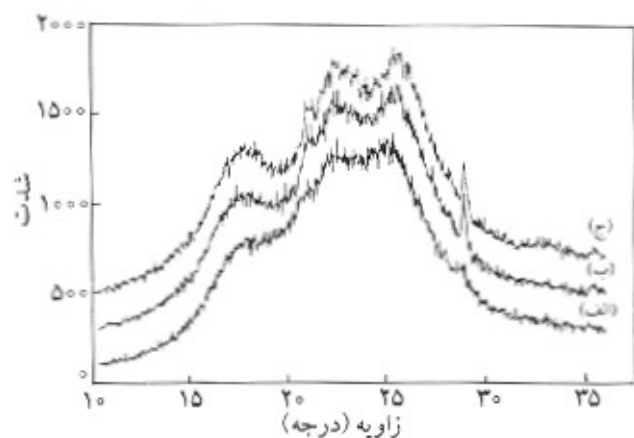
که در این معادله  $A_{868}$  و  $A_{1410}$  به ترتیب شدت جذب در  $868$  و  $1410 \text{ cm}^{-1}$  است [۱۶].

## تجزیه شیمیایی رشته‌ها

برای تجزیه شیمیایی رشته‌ها در مجاورت متیل آمین، رشته‌ها به طولهای کوتاه بریده شدند و در ظرف سر بسته دارای متیل آمین ۴۰ درصد قرار گرفتند و عمل تجزیه در دمای  $30^\circ\text{C}$  به مدت ۹۰ دقیقه برای رشته‌های POY و به مدت ۲۳۰ دقیقه برای رشته‌های FOY انجام گرفت. پس از پایان عمل تجزیه نمونه‌ها کاملاً شسته و خشک شدند و سپس، سطح مقطع طولی آنها به کمک میکروسکوپ نوری مشاهده شد.



شکل ۴- نمودار تغییرات استحکام رشته‌ها در برابر زمان گرمایش ریزموج در نمونه‌های پلی‌استر: (\*) نیمه جهت یافته و (■) کاملاً جهت یافته.



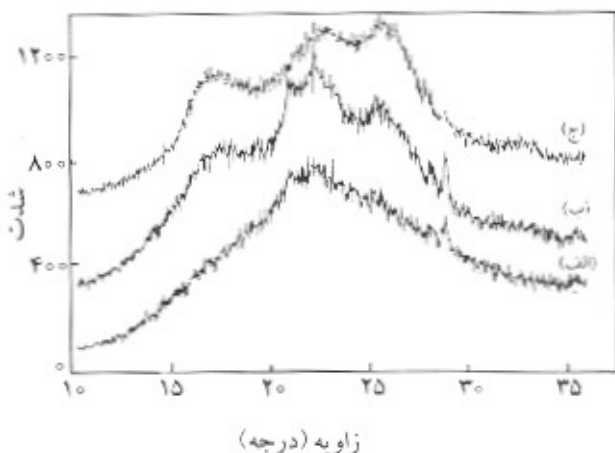
شکل ۷- منحنی پراش پرتو ایکس رشته‌های FOY: (الف) قبل از گرمایش ریزموج، (ب) بعد از قرار گرفتن در آب جوش و (ج) بعد از ۸ دقیقه گرمایش ریزموج.

نمونه‌های POY عمل آوری شده با گرمایش ریزموج نسبت به نمونه خام به مقدار زیادی کاهش یافته ولی استحکام نمونه‌ها نسبت به نمونه عمل آوری شده در آب جوش تغییری نکرده است. همچنین، ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌ها پس از عمل آوری با گرمایش ریزموج نسبت به نمونه خام افزایش یافته، ولی نسبت به نمونه عمل آوری شده در آب جوش تغییر محسوسی نداشته است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری در مورد نمونه‌های FOY بیانگر عدم تغییر استحکام و ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌ها قبل و بعد از عمل آوری با گرمایش ریزموج است.

در شکل‌های ۶ و ۷ منحنی‌های حاصل از پراش پرتو ایکس رشته‌های FOY, POY قبل از گرمایش ریزموج، بعد از گرمایش ریزموج به مدت ۸ دقیقه و بعد از قرار گرفتن در آب جوش مشاهده می‌شود. با توجه به منحنی‌های پراش رشته‌های POY و وجود پیکها در زوایای پراش ۲۵، ۱۷/۵، ۲۲/۵ و ۲۵/۵ درجه در طیف نمونه‌های عمل آوری شده با آب جوش و ۸ دقیقه گرمایش ریزموج مشاهده می‌شود که

جدول ۱- شاخص بلورینگی رشته‌های FOY و POY با استفاده پراش پرتو ایکس.

رشته	نمونه	خام	عمل آوری با آب جوش	عمل آوری با ریزموج (۸ دقیقه)
POY	-	۳۵	۳۲	
FOY	۲۳	۲۶	۲۶	



شکل ۶- منحنی پراش پرتو ایکس رشته‌های POY: (الف) قبل از گرمایش ریزموج، (ب) بعد از قرار گرفتن در آب جوش و (ج) بعد از ۸ دقیقه گرمایش ریزموج.

می‌دهد. مشاهده می‌شود نمره (دنیر) نمونه POY که به مدت ۱ دقیقه با ریزموج عمل آوری شده نسبت به نمونه خام افزایش یافته است و افزایش زمان عمل آوری با ریزموج تغییر محسوسی در نمره نشان نمی‌دهد، همچنین، ملاحظه می‌شود که تغییر نمره در مورد رشته‌های FOY بسیار ناچیز است.

قطر و ظرافت نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در آب جوش و قبل از عمل آوری با ریزموج نیز اندازه‌گیری شده و افزایش قطر و افزایش نمره در رشته‌های POY مشاهده شد. که در شکل‌های ۳ و ۲ نیز نشان داده است. همچنین، ملاحظه می‌شود که قطر و نمره نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در معرض گرمایش ریزموج نسبت به نمونه عمل آوری شده در آب جوش تغییر محسوسی نکرده است، بنابراین افزایش مشاهده شده در قطر و نمره رشته‌ها در نمونه‌هایی که به مدت ۱ دقیقه با ریزموج عمل آوری شده‌اند نسبت به نمونه خام با توجه به جمع شدگی رشته‌های POY در آب جوش توجیه می‌شود. این جمع شدگی در مورد رشته‌های FOY بسیار ناچیز است.

سطح مقطع طولی نمونه‌های پلی استر FOY, POY عمل آوری شده و عمل آوری شده در آب جوش و گرمایش ریزموج به کمک میکروسکوپ الکترونی مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به این تصاویر ملاحظه می‌شود که در شکل‌شناسی الیاف هیچ گونه تغییری حاصل نشده و فقط قطر رشته‌های POY پس از قرار گرفتن در آب جوش افزایش یافته است، ولی گرمایش ریزموج تاثیری بر قطر رشته‌ها نسبت به نمونه عمل آوری شده در آب جوش نداشته است. شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نمودار تغییرات استحکام و ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که استحکام

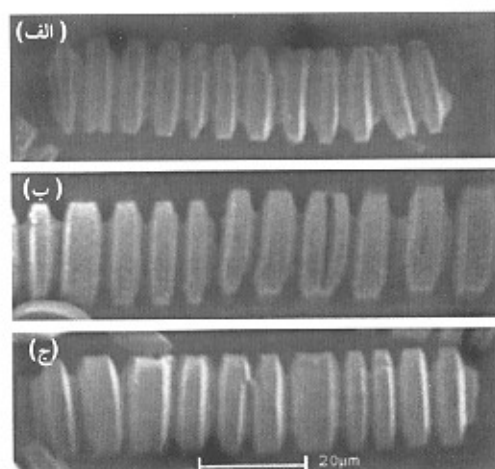
جدول ۲- شاخص بلورینگی رشته‌های FOY و POY با استفاده از طیف FTIR.

عمل آوری با ریزموج (۸ دقیقه)	عمل آوری با ریزموج (۵ دقیقه)	عمل آوری با ریزموج (۱ دقیقه)	عمل آوری با آب جوش	خام	نمونه	رشته
۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۰۹۲		POY
۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۴		FOY

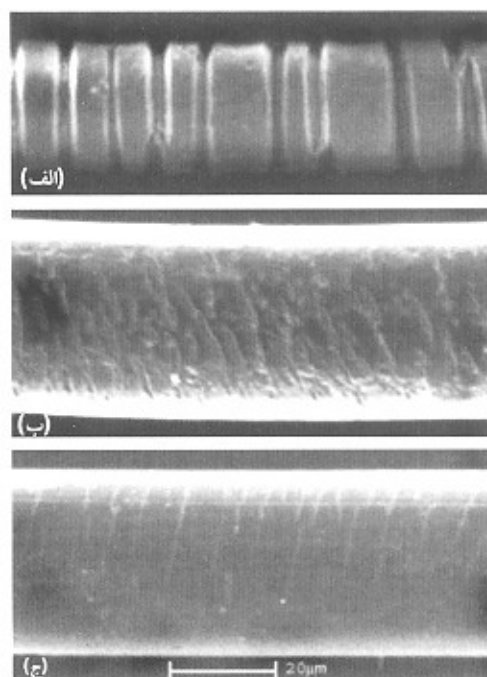
شاخص بلورینگی نمونه‌ها با استفاده از طیف FTIR قبل و بعد از گرمایش ریزموج نیز اندازه‌گیری و نتایج آن در جدول ۲ درج شده است. شاخص بلورینگی رشته‌های POY پس از قرار گرفتن در معرض گرمایش ریزموج به مدت ۱ دقیقه نسبت به نمونه خام به مقدار زیادی افزایش یافته است، ولی با افزایش زمان عمل آوری با ریزموج تغییری در آن مشاهده نمی‌شود. شاخص بلورینگی نمونه پس از قرار گرفتن در آب جوش بدون گرمایش ریزموج نیز نسبت به نمونه‌های عمل آوری شده با گرمایش ریزموج تغییر محسوسی نکرده است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت افزایش شاخص بلورینگی که بیانگر افزایش میزان بلورینگی نمونه‌های POY است با جمع شدگی رشته‌ها در اثر آب جوش همراه است و گرمایش ریزموج تاثیری بر آن ندارد.

جدول ۳ ضریب شکست مضاعف رشته‌های POY را که به روش جبرانی اندازه‌گیری شده است نشان می‌دهد. نتایج حاصل بیانگر کاهش ضریب شکست مضاعف و آرایش یافتگی پس از گرمایش ریزموج به مدت یک دقیقه است، ولی با افزایش زمان

آب جوش و گرمایش ریزموج باعث بلورینگی نمونه‌ها می‌شود. جدول ۱ نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص بلورینگی نمونه‌ها را با استفاده از منحنی پراش پرتو ایکس نشان می‌دهد. شاخص بلورینگی حاصل از پراش پرتو ایکس نیز نشان دهنده افزایش بلورینگی در نمونه‌های POY است، ولی ملاحظه می‌شود که شاخص بلورینگی نمونه‌ای که به مدت ۸ دقیقه در معرض گرمایش ریزموج قرار گرفته نسبت به نمونه عمل آوری در آب جوش تغییر محسوسی نداشته است. بنابراین، افزایش بلورینگی مشاهده شده در نمونه‌ها ناشی از جمع شدگی در اثر آب جوش است و گرمایش ریزموج تاثیری بر درجه بلورینگی رشته‌های POY ندارد. همچنین، در مورد رشته‌های FOY با توجه به شکل ۷ و نتایج جدول ۱ ملاحظه می‌شود که درجه بلورینگی رشته‌ها در اثر آب جوش و گرمایش ریزموج تغییری نکرده است.



شکل ۹- رشته‌های FOY آمین‌دار شده: (الف) قبل از گرمایش ریزموج، (ب) بعد از قرار گرفتن در آب جوش و (ج) بعد از ۸ دقیقه گرمایش ریزموج.



شکل ۸- رشته‌های POY آمین‌دار شده: (الف) قبل از ریزموج، (ب) بعد از قرار گرفتن در آب جوش و (ج) بعد از ۸ دقیقه گرمایش ریزموج.

رشته	نمونه	خام	عمل آوری با آب جوش	عمل آوری با ریزموج (۱ دقیقه)	عمل آوری با ریزموج (۵ دقیقه)	عمل آوری با ریزموج (۸ دقیقه)
POY		۰/۰۳۶	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۸	۰/۰۳۱

درمورد رشته‌های POY به دلیل قرارگرفتن در محلول آب جوش که لازمه گرمایش ریزموج است درجه بلورینگی افزایش و آرایش یافتگی کاهش می‌یابد.

تشکر و قدردانی

از مسئولان محترم دانشگاه صنعتی اصفهان به دلیل حمایت مالی در اجرای این طرح پژوهشی قدردانی می‌شود.

### مراجع

1. Cepson D. A.; *Microwave Heating*; 2<sup>nd</sup> ed., the Avi Publishing Co, Westport, Connection, 1975.
2. Evans D. and Skelly J., "Application of Microwave Heating in Dye Fixation" *J. Soc. Dyers Colourists*; **88**, 12, 429-33, 1972.
3. Grant E.; *Microwave Industrial*; Scintific and Medical Application, Artech House, boston, London.
4. "Microwaves" Reprinted from Encyclopedia of Chemical Technology Suppliment, John Willey & Sons, **2**, 564-8, 1971.
5. Alexander P., Meek P.G., "Radio Frequency Drying of Textile Fabrics" *J. Soc. Dyers Colourists*; **66**, 10, 530-7, 1950.
6. 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.
7. Naefe P., "Radiofrequence Drying in Textile Mills Hydroextracting, Drying, Handling", *Melliand Textilber*, **67**, 510-14, 1986.
8. Reed M.W., Perkins W.S., "Drying of Sized Yarn Using Radiofrequency Energy" *Text. Chem. Colourist.*; **20**, 13-8, 1988.

گرمایش ریزموج تغییری مشاهده نمی‌شود. با توجه به ضریب شکست مضاعف رشته‌ها پس از قرارگرفتن در آب جوش ملاحظه می‌شود که کاهش ضریب شکست مضاعف الیاف توام با جمع شدگی رشته‌ها POY در آب جوش اتفاق می‌افتد که با افزایش بی‌نظمی در مناطق بی‌شکل همراه است. اشاره می‌شود که در مورد رشته‌های FOY به دلیل آرایش یافتگی زیاد امکان اندازه‌گیری با این روش میسر نبود.

تجزیه شیمیایی الیاف پلی استر با آمین یک واکنش انتخابی است که سرعت آن در مناطق بلوری و بی‌شکل متفاوت است. به همین دلیل، در مقالات زیادی از این رفتار پلی استر برای بررسی ساختار آن استفاده شده است [۱۷، ۱۸]. مشاهده سطح مقطع طولی نمونه‌ها پس از عمل آوری با متیل آمین ۴۰ درصد این نتایج را تأیید می‌کند. بر سطح نمونه‌های POY خام در اثر آمین‌دار شدن شکافهایی مشاهده گردید که بر سطح نمونه‌های عمل آوری شده با آب جوش و گرمایش ریزموج وجود نداشت؛ ولی در مورد رشته‌های FOY اختلاف چندانی بین شکل و اندازه شکافهای ایجاد شده بر سطح نمونه خام و نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در معرض گرمایش ریزموج مشاهده نشد. شکل‌های ۸ و ۹ تصاویر حاصل از تجزیه شیمیایی رشته‌های POY و FOY را نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده را چنین می‌توان توجیه کرد که در ساختار رشته‌های POY پس از قرار گرفتن در آب جوش، به دلیل جمع شدگی، تغییراتی حاصل می‌شود. افزایش قطر، ازدیاد طول تا یارگی، نمره، درجه و شاخص بلورینگی و همچنین کاهش استحکام و آرایش یافتگی رشته‌ها که در نمونه‌های عمل آوری شده با گرمایش ریزموج نسبت به نمونه خام مشاهده می‌شود به علت قرارگرفتن رشته‌ها در آب جوش است و گرمایش ریزموج تاثیری بر پارامترهای یاد شده ندارد. بنابراین، ساختار فیزیکی رشته‌های پلی استر POY و FOY در اثر گرمایش ریزموج تغییر نمی‌کند، ولی

9. Berns R.S. and Needle H.L., "Microwave Versus Conductive Heating, Their Effect on the Solvent-assisted Dyeing of Polyester Fibre with Anthraquinonoid Disperse Dyes" *J. Soc. Dyers Colourists*; 95, 207-11, 1979.
10. Haggag K., Hanna H.L. and Youssef B.M., "Dyeing Polyester with Microwave Heating Using Disperse Dyestuffs" *American Dyestuffs Report*; 23-35, March 1995.
11. خلیلی هاله، حسینی مجید، "اثر تابش ریزموج بر رنگرزی الیاف پلی استر" مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال سیزدهم، شماره دوم، صفحه ۹۷، تابستان ۱۳۷۹.
12. بدرالسا محمد رضا، امیرشاهی سیدحسین، "تاثیر امواج میکروویو بر روی منسوجات پنبه‌ای در عملیات پیش از رنگرزی و رنگرزی با استفاده از رنگهای راکتیو" مجموعه مقالات کنفرانس علوم و تکنولوژی نساجی، صفحه ۷۱، اردیبهشت ۱۳۷۶.
13. برهانی صدیقه، حقیقت کیش محمد، "نقدی بر ساختار ظریف الیاف پلی استر" مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال نهم، شماره چهارم، صفحه ۲۶۹، زمستان ۱۳۷۵.
14. حقیقت کیش محمد، "بیشرفتنهای در صنعت تولید الیاف بشر ساخته" مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال سوم، شماره چهارم، صفحه ۲۹۲، بهمن ۱۳۶۹.
15. Cullerton D.L., Ellison M.S. and Aspland J.R., "Effects of Commercial Heat Setting on the Structure and Properties of Polyester Carpet Yarn" *Text. Res. J.*, 594, October 1990.
16. Naik S.G. and Bhat N.V., "Structural and Morphological Studies of Aminolysed Poly(Ethylene Terephthalate) Fibre" *Polymer*; 27, 233, 1986.
17. Farrow G., Ravens D.A.S. and ward I.M., "The Degradation of Polyethylene Terephthalate by Methylamine-A-Study by Infrared and X-Ray Methods" *Polymer*; 3, 17, 1962.
18. Miyagi A. and Wunderlich B., "Etching of Crystalline Poly(Ethylene Terephthalate) by Hydrolysis" *J. Polym.Sci. Phys.*; 10, 2073, 1972.