ضریب شکست مضاعف الیاف

Birefringence of Textile Fibres

فاطمه داداشیان ،محمد حقیقت کیش
دانشگاه صنعتی امیرکبیر ،دانشکده مهندسی نساجی

چکیده

ضریب شکست مضاعف یکی از خواص فیزیکی مهم در ارتباط با ساختار و کاربرد الیاف است که به راههای مختلف می‌توان آن را اندازه‌گیری کرد.

در این مقاله روشهای مختلف اندازه‌گیری ضریب شکست مضاعف الیاف مورد مقایسه قرار گرفته است ،تا محدودیتها و تواناییهای هریک مشخص شود.روشهای مورد استفاده عبارت‌اند از: جبرانی ،خط بکه و تداخلی.

در آزمایشهای انجام شده ضریب شکست مضاعف الیاف مختلف در شرایط متفاوت با استفاده از روشهای بالا اندازه‌گیری شده است.به علاوه نتایج به دست آمده با مراجع مختلف مقایسه و علل اختلاف با توجه به نظریه‌های موجود توجیه شده است.

واژه‌های کلیدی: ضریب شکست مضاعف ،جبرانی ،خط بکه ،تداخلی ،فریز

Key Words: birefringence, compensative, Becke line, interference, fringe

مقدمه

الیاف به عنوان ماده اولیه در صنایع نساجی مصرف می‌شوند و نقش اساسی در خواص نخ و پارچه دارند.از این رو ،خواص فیزیکی الیاف را می‌توان از جنبه‌های مختلف مکانیکی ،گرمایی و نوری ،که در ارتباط با یکدیگرند ،بررسی کرد.خواص نوری الیاف منبع با ارزشی برای کسب اطلاعات در مورد ساختار و در نتیجه ارتباط بین خواص است.

ضریب شکست نور در مواد با استفاده از رابطه تجربی اسنل (Snell) به صورت نسبت سینوس زاویه تابش به سینوس زاویه شکست نور تعریف می‌شود.

براساس نظریه امواج الکترومغناطیس ضریب شکست عبارت از نسبت سرعت نور در خلاء به سرعت آن درون ماده است.

برای اجسام ناهمسان مانند اغلب الیاف با تعیین ضریب شکست مضاعف ،که تفاوت ضریب شکست نور با ارتعاشی در امتداد محور لیف و ارتعاشی عمود بر محور لیف است ،می‌توان به جهتگیری یا آرایش مولکولهای زنجیری الیاف ،که خود در حالت کشیده شده ناهمسان

هستند، پی برد.میانگین مجذورات سینوس زاویه تمایل مولکولهای زنجیری نسبت به محور لیف ($Sin^2\phi$)به تابع آرایش f به صورت معادله ۱ مربوط می‌شود.f نسبت ضریب شکست مضاعف لیف به ضریب شکست همان لیف با آرایش کامل و جهتگیری مولکولی ایده‌آل است.

$$f = 1 - \frac{2}{3}Sin^2\phi \qquad (1)$$

در صورتی که همراه با فاز بلوری در الیاف نواحی شامل مولکولهای زنجیری بی نظم نیز وجود داشته باشد ،یکی از مهمترین عواملی که ساختار این نواحی را مشخص می‌کند ضریب شکست مضاعف است.

از نقطه نظر عملی و کاربردی ،مقادیر ضریب شکست مضاعف و چگونگی تغییرات آن در حین آزمایش ممکن است برای شناسایی الیاف مفید واقع شود.برای مثال در دمای ذوب و انتقال شیشه‌ای (Tg) تغییرات ضریب شکست مضاعف در اثر گرما اهمیت پیدا می‌کند.

کنترل میزان ضریب شکست مضاعف الیاف مصنوعی می‌تواند برای تولید محصولی با کیفیت بهتر به کار رود.با تعیین رابطه بین ضریب شکست مضاعف و عوامل تولیدی (مانند نسبت کشش) می‌توان شرایط را برای طراحی الیافی بهتر فراهم کرد.

روشهای مختلفی برای اندازه‌گیری ضریب شکست مضاعف الیاف ابداع شده و تکامل یافته‌اند.نتایج گزارش شده توسط پژوهشگران در مورد برخی الیاف متفاوت است که شاید به علت اختلاف در مواد اولیه یا حساسیت روشهای اندازه‌گیری باشد.

در این مقاله نتایج اندازه‌گیری ضریب شکست مضاعف الیاف معمول در ایران ارائه می‌شود.ضریب شکست مضاعف الیاف با استفاده از سه روش یاد شده اندازه‌گیری و نتایج حاصل با یکدیگر و با نتایج تجربیات سایر پژوهشگران مقایسه شده‌اند.

تجربی

مواد

الیاف مورد استفاده عبارت‌اند از: الیاف شیشه و الیاف نایلون ساخت کارخانه الیاف - تهران ،نایلون پف داده شده و نایلون به عمل آمده با فنول ،الیاف پلی استر کاملا آرایش یافته ،FOY (Fully Oriented Yarn) و نیمه آرایش یافته ،POY(Partially Oriented Yarn) ساخت پلی اکریل اصفهان (این الیاف با سود ۱۰ % به مدت ۱۰۰ ساعت به عمل آمدند) ،الیاف پلی پروپیلن ،الیاف پشم استرالیایی و الیاف اکریلیک ساخت پلی اکریل اصفهان ،الیاف پنبه خام و مرسریزه (mercerized) و واکس زدوده (dewaxed) الیاف ضایعاتی ابریشم با صمغ ،نیمه صمغ زدوده (partially degum) و کاملا صمغ زدوده (fully degum).

دستگاهها

برای اندازه‌گیری ضریب شکست از یک میکروسکوپ مجهز به نور قطبیده (مدل Zetopan - Pol) ساخت شرکت ریچرت (Reichert) اطریش و یک میکروسکوپ تداخلی (مدل Amplival Interphako) از شرکت کارل زایس ین (Carl - Zeiss Iene) آلمان شرقی و ضریب شکست سنج آبه (Abbe) ساخت شرکت ارما (Erma) از ژاپن استفاده شد.

مایعات استاندارد ضریب شکست ساخت شرکت کارگیل (Cargille) بودند.

روشها

الف - روش جبرانی: ابتدا نمونه الیاف بین لام و لامل قرار گرفت و روی صفحه چرخان میکروسکوپ مجهز به نور قطبیده مستقر شد.سپس ،لیف در موقعیت ۴۵ درجه بین قطبی کن (polarizer) و تجزیه گر (analyzer) عمود برهم ،موقعیت خاموش (extinction) قرار داده شد.رنگهای تداخلی حاصل به دقت مشاهده شده و توسط تیغه کوارتز (نوعی جبران کننده ساده) مرتبه رنگ حاصل از تأخیر تعیین شد.با اندازه‌گیری قطر لیف توسط چشمی مدرج و استفاده از جدول رنگهای تداخلی میشل لوی (Michael Levy) ضریب شکست مضاعف لیف به دست آمد (این جدول که در سال ۱۸۸۸ ارائه شد براساس فرمول: $\Delta n = \frac{r}{t}$ بنا شده است که در آن Δn ضریب شکست مضاعف ،r میزان تأخیر و t ضخامت برحسب نانومتر است).

ب - روش بکه: در این روش نمونه‌ای از الیاف بین لام و لامل در چند مایع با ضریبهای شکست مشخص قرار گرفت و چگونگی حرکت خط بکه در بالاترین و پایینترین موقعیتهای کانونی میکروسکوپ بررسی شد.در مایعی که خط بکه تقریبا ناپدید می‌شود ،ضریب شکست مایع و لیف برابر است.بدین ترتیب ،یک بار در موقعیتهای عبور نور با ارتعاشی به موازات محور لیف و بار دیگر با ارتعاشی عمود بر محور لیف آزمایش انجام شد ،و ضرایب شکست موازی و عمودی لیف به دست آمد و از تفاوت آنها ضریب شکست مضاعف لیف حاصل شد.کلیه آزمایشها در دمای ۲۵ °C و توسط مایعات کارگیل در محدوده‌های مختلف ضریب شکست انجام گرفت.

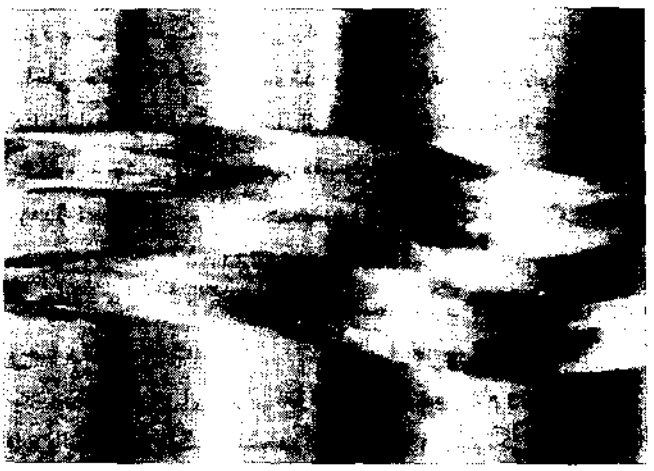
ج - روش تداخلی: مانند روشهای قبل لام و لامل حاوی نمونه لیف زیر میکروسکوپ قرار گرفت.آنگاه ،با عبور نور با ارتعاشی به موازات محور لیف ،تار رتیکول (reticule) داخل چشمی روی یکی از فریز (fringe) های تداخلی قرار گرفت و با حرکت دادن پیچ میکرومتری میکروسکوپ تداخلی ،میزان جابه جایی آن فریز در داخل لیف (dz) تعیین شد.سپس ، فاصله دو فریز متوالی (δz) به دست آمد.

ضریب شکست لیف n با استفاده از رابطه ۲ حاصل شد [۱۱].

$$n = n_L \pm \frac{dz}{\delta z} \cdot \frac{\lambda}{t} \qquad (۲)$$

در اینجا n_L ضریب شکست مایع اطراف لیف و λ طول موج نور است. برای اندازه‌گیری ضریب شکست موازی لیف ($n_{\parallel}$) ارتعاش نور عبوری باید به موازات محور لیف و برای اندازه‌گیری ضریب شکست عمودی ($n_{\perp}$) ارتعاش نور عبوری باید عمود بر محور لیف باشد. آزمایشها در دمای ۲۵°C و طول موج نور عبوری ۵۵۰nm انجام گرفت.

برای تعیین دقیق ضریب شکست باید ضخامت تار به دقت مشخص شود که تعیین دقیق آن برای الیاف با سطح مقطع غیر دایره‌ای مشکل به نظر می‌رسد. چنانچه در شکلهای ۱ و ۲ نشان داده شده است، امکان اندازه‌گیری جابه جایی فریزها به دلیل سطح مقطع لوبیایی شکل و پیچ و تاب طبیعی الیاف پنبه ممکن نیست.



$n_{\perp}$ ×۵۱۰

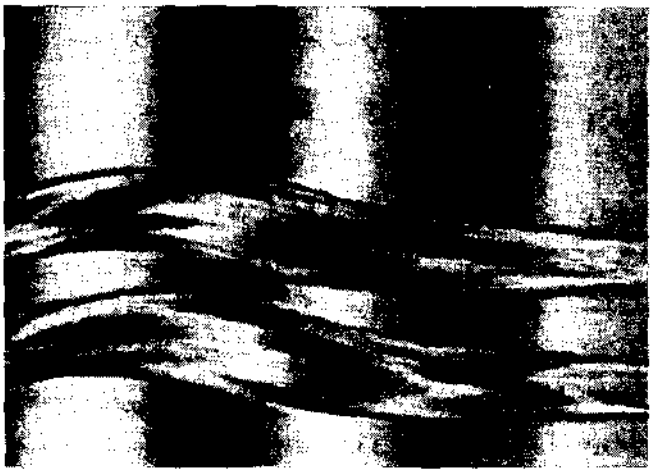
شکل ۱ - اندازه‌گیری $n_{\perp}$ با استفاده از جابه جایی فریزهای تداخلی در الیاف پنبه درون مایع با ضریب شکست ۱/۵۰۰، بزرگنمایی ۵۱۰

الیاف پنبه مرسریزه سطح مقطع دایره‌ای دارند، و همان طور که در شکلهای ۳ و ۴ نشان داده شده است، اندازه‌گیری جابه جایی فریزهای تداخلی در داخل لیف امکان پذیر است.

شکل ۵ چگونگی جابه جایی فریزها را از جهتهای بزرگترین قطر، t_{max}، و کوچکترین قطر، t_{min}، لیف اکریلیک نشان می‌دهد. با اندازه‌گیری میزان جابه جایی فریزها در نقطه‌های A و B روی لیف می‌توان ضرایب شکست موازی و عمودی را چنین محاسبه کرد:

$$n_{\parallel} = n_L + \frac{dz_{\parallel A}}{\delta_z} \cdot \frac{\lambda}{t_{min}} = n_L + \frac{dz_{\parallel B}}{\delta_z} \cdot \frac{\lambda}{t_{max}} \qquad (۳)$$

$$n_{\perp} = n_L + \frac{dz_{\perp A}}{\delta_z} \cdot \frac{\lambda}{t_{min}} = n_L + \frac{dz_{\perp B}}{\delta_z} \cdot \frac{\lambda}{t_{max}} \qquad (۴)$$

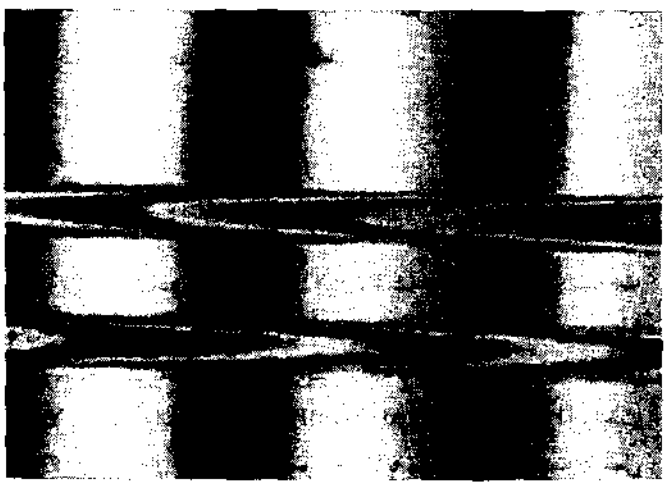


$n_{\parallel}$ ×۵۱۰

شکل ۲ - اندازه‌گیری $n_{\parallel}$ با استفاده از جابه جایی فریزهای تداخلی در الیاف پنبه درون مایع با ضریب شکست ۱/۵۰۰، بزرگنمایی ۵۱۰

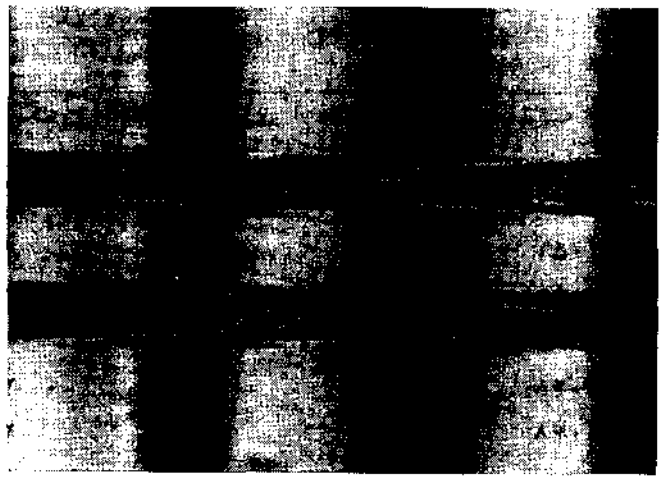
در اینجا $dz_{\parallel B}$ و $dz_{\parallel A}$ میزان جابه جایی فریز در داخل لیف در نقاط A و B در حالت عبور نور با ارتعاش به موازات محور لیف و $dz_{\perp A}$ و $dz_{\perp B}$ میزان جابه جایی فریز در داخل لیف در نقاط A و B در حالت عبور نور با ارتعاشی عمود بر محور لیف است.

برای بررسی تغییرات ضریب شکست در عرض الیاف از تصویرهای میکروسکوپی به دست آمده استفاده شد. فاصله دو فریز



$n_{\perp}$ ×۵۱۰

شکل ۳ - اندازه‌گیری $n_{\perp}$ با استفاده از جابه جایی فریزهای تداخلی در الیاف پنبه مرسریزه درون مایع با ضریب شکست ۱/۴۸۰، بزرگنمایی ۵۱۰



$n_{\parallel}$ ۵۱۰×.

شکل ۴ - اندازه‌گیری $n_{\parallel}$ با استفاده از جابه جایی فریزهای تداخلی در الیاف پنبه مرسریزه درون مایع با ضریب شکست ۱/۴۸۰ ،بزرگنمایی ۵۱۰

متوالی (δz) ،ضخامت لیف (t) و میزان جابه جایی فریزهای تداخلی در عرض لیف (dz) توسط یک رقمی کننده قلمی (مدل HIPAD) به کامپیوتر منتقل شد و توسط برنامه کامپیوتری ،ضریب شکست در چندین نقطه روی لیف به دست آمد.اطلاعاتی مانند طول موج نور (λ) ،ضریب شکست مایع (n_L) و میزان بزرگنمایی تصویرهای میکروسکوپی نیز در برنامه کامپیوتری مشخص شده بود.ضریب شکست در هر نقطه روی لیف از رابطه ۲ تعیین شد.

این برنامه برای الیاف با سطح مقطع دایره‌ای قابل استفاده است ، زیرا ضخامت نوری براساس طول وترهای مختلف قابل محاسبه است.در شکل ٦ طول وتر (chord) یک قوس نشان داده شده است.طول وتر ، C(x) ،یک قوس را می‌توان از رابطه ۵ به دست آورد.

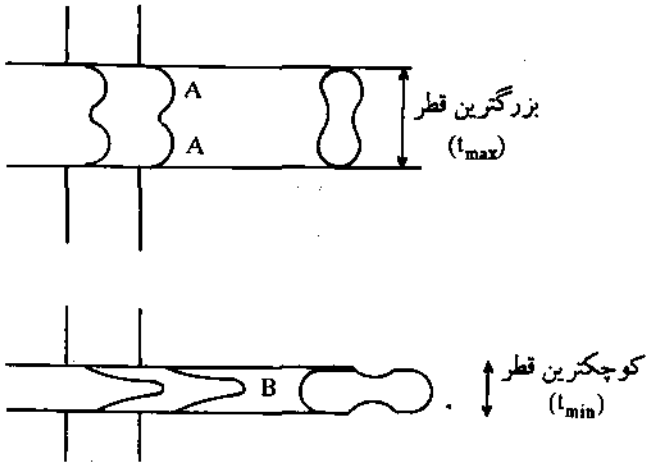
$$C(x) = 2(R^2 + X^2)^{1/2} \qquad (5)$$

نتایج و بحث

نتایج حاصل از روش جبرانی

نتایج آزمایشها به روش جبرانی در جدول ۱ نشان داده شده است که می‌توان آن را با نتایج پژوهشهای هین [۱] مقایسه کرد.الیاف شیشه مورد آزمایش ضریب شکست مضاعف ندارند ،همان طور که هین نیز چنین گزارش کرده است.

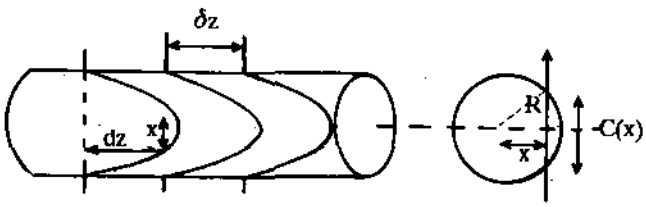
پژوهشگر یاد شده در آزمایش دیگری نایلون با قطر ۱/۴ ۲۰ را در موضع روشن به صورت نوارهای سبز ،زرد ،قرمز و آبی مشاهده و میزان تأخیر در مرکز لیف را ۱۱۵۰nm با رنگ آبی گزارش کرده است.



شکل ۵ - جابه جایی فریزها در جهتهای بزرگترین قطر ،t_{max} و کوچکترین قطر ،t_{min} ،لیف اکریلیک

نایلون مورد آزمایش در این پژوهش دارای قطر ۲۳/۵μ بود و مرکز لیف به رنگ سبز مایل به آبی دیده شد که با رنگ مشاهده شده توسط هین مطابقت ندارد.ضریب شکست مضاعف به دست آمده با مقدار گزارش شده توسط وی مطابقت نمی‌کند که می‌تواند به دلیل اختلاف در نمونه‌ها و تعیین حدسی رنگ تداخلی و میزان تأخیر باشد.در طول لیف نایلون ٦ پف داده شده رنگ سبز مایل به آبی و در مرکز آن رنگ ارغوانی مشاهده شد که بیانگر تغییر آرایش مولکولی در اثر پف دادن لیف و همچنین تغییرات ضخامت در طول آن است.در حالی که در نایلون به عمل آمده با فنول تغییرات رنگ در امتداد طول یک لیف مشاهده نشد و سراسر لیف ارغوانی بود.

در آزمایش دیگری الیاف نیمه آرایش یافته پلی استر (POY) به قطر ۲۹μ مورد آزمایش قرار گرفت و مرکز لیف به رنگ قرمز مایل به بنفش مشاهده شد و ضریب شکست مضاعف برابر ۰/۰۳۸ به دست آمد.



شکل ٦ - جابه جایی فریزهای تداخلی در عرض لیف

جدول ۱ - نتایج آزمایشها به روش جبرانی

نوع الیاف	ضخامت ،t (nm)	رنگ تداخلی حاصل	مرتبه رنگ	اختلاف راه نوری (r)	علامت ضریب شکست	ضریب شکست مضاعف
شیشه	۱۱۲۰۰	-	-	۰	-	۰
نایلون ٦	۲۳۵۰۰	سبز مایل به آبی	۳	۱۲۰۰	مثبت	۰/۰۵۱
	۲۳۵۰۰	سبز مایل به آبی	۳	۱۲۰۰	مثبت	۰/۰۵۱
نایلون ٦ (پف داده شده)						
	۲۳۰۰۰	ارغوانی	۳	۱۱۱۵	مثبت	۰/۰۴۸
نایلون (به عمل آمده با فنول به مدت ۱ دقیقه)	۲۳۵۰۰	ارغوانی	۳	۱۱۲۸	مثبت	۰/۰۴۸
پلی استر POY	۲۹۰۰۰	قرمز مایل به بنفش	۲	۱۱۰۱	مثبت	۰/۰۳۸
پلی استر POY به عمل آمده با سود ۱۰٪ به مدت ۱۰۰ ساعت	۲۵۰۰۰	زرد مایل به نارنجی	۲	۹۴۸	مثبت	۰/۰۳۸
پلی استر FOY	۲۲٦۰۰	-	-	-	-	-
پلی استر FOY به عمل آمده با سود	۲۱۰۰۰	-	-	-	-	-
پلی پروپیلن	۴۷۹۰۰	قرمز مایل به بنفش	۲	۱۱۱۵	مثبت	۰/۰۲۳
پشم استرالیایی	۲۷۰۰۰	زرد روشن	۱	۳۵۱	مثبت	۰/۰۱۳
اکریلیک	۱٦۰۰۰	خاکستری	۱	۹۷	منفی	-۰/۰۰٦
پنبه خام	۱۷۰۰۰	زرد	۲	۹۴۸	مثبت	۰/۰۵٦
پنبه مرسریزه	۲۰۲۰۰	زرد	۲	۹۱۰	مثبت	۰/۰۴۵
پنبه گرگان	۱۴۵۰۰	زرد	۲	۹۴۸	مثبت	۰/۰٦۵
پنبه واکس زدوده	۱۵۲۰۰	زرد	۲	۹۱۰	مثبت	۰/۰٦۰
ضایعات ابریشم (با صمغ)	۱۳۵۰۰	زرد	۲	۸٦٦	مثبت	۰/۰٦۴
ضایعات ابریشم (نیمه صمغ زدوده)	۱۱۲۰۰	زرد	۲	۹۱۰	مثبت	۰/۰۸۱
ضایعات ابریشم (کاملا صمغ زدوده)	۹۲۰۰	زرد	۲	۹۱۰	مثبت	۰/۰۹۸

ضریب شکست مضاعف الیاف کاملا آرایش یافته پلی استر (FOY) در محدوده اندازه‌گیری با جدول میشل لوی نیست.رنگ تداخلی در مرکز لیف پلی استر نیمه آرایش یافته (FOY) به عمل آمده با سود ۱۰٪ زرد مایل به نارنجی بود ،ولی با توجه به کاهش قطر الیاف ، ضریب شکست مضاعف الیاف تغییر محسوسی نکرده است.ضریب شکست الیاف پلی استر کاملا آرایش یافته (FOY) به عمل آمده با سود ۱۰٪ نیز در محدوده اندازه‌گیری با جدول میشل لوی نیست.هین الیاف پلی استر به قطر ۲٦/۴ را به صورت زرد قهوه‌ای یکنواخت مشاهده کرد و مقدار ضریب شکست مضاعف الیاف را ۰/۰۵ گزارش کرده است.علت عدم مطابقت نتایج در مورد الیاف پلی استر به دلیل تعیین نادرست مرتبه نوارهای تداخلی توسط این پژوهشگر است.

در آزمایش بعد الیاف اکریلیک پلی اکریل اصفهان به رنگ خاکستری مشاهده شدند و ضریب شکست مضاعف آنها برابر ۰/۰۰٦- به دست آمد.همین الیاف اکریلان (acrilan) با قطر ۲۰/۴

وارلون (orlon) به ضخامت ۲۰ = t_{max} و ۱۰ = t_{min} را مورد مطالعه قرار داد و به ترتیب رنگهای خاکستری در اکریلان و رنگهای زرد مایل به خاکستری و خاکستری تیره در ارلون مشاهده کرد و مقادیر ضریب شکست مضاعف ارلون و اکریلان را به ترتیب ۰۰۶/۰- و ۰۱۰/۰- به دست آورد.

الیاف پنبه به دلیل ساختار مارپیچ خود موقعیت خاموشی ندارند و همواره در جهتهای مختلف روشن دیده می‌شوند ،چنانچه روکو [۲] الیاف پنبه را به رنگهای زرد ، آبی و قرمز مشاهده کرد و الیاف پنبه رسیده را زرد رنگ گزارش کرده است.الیاف پنبه مورد استفاده شامل الیاف پنبه خام و مرسریزه ،پنبه خام و پنبه واکس زدوده گرگان بود ،که همه آنها به رنگ زرد مشاهده شدند.

مقادیر حاصل از روش جبرانی برای الیاف پنبه چندان دقیق نیستند ،زیرا تعیین دقیق ضخامت الیاف پنبه امکان پذیر نیست.

مقادیر ضریب شکست مضاعف الیاف ابریشم نیز با این روش به دلیل عدم تعیین دقیق قطر الیاف چندان قابل اعتماد نیستند.

الیاف پشم به رنگ زرد روشن مشاهده شدند و ضریب شکست مضاعف آنها برابر ۰۱۳/۰ به دست آمد.

الیاف پلی پروپیلن نیز به رنگ قرمز مایل به بنفش مشاهده شدند و ضریب شکست مضاعف آنها برابر ۰۲۳/۰ به دست آمد.

نتایج حاصل از روش خط بکه

نتایج اندازه گیریها به روش خط بکه در جدول ۲ ارائه شده است که می‌توان این نتایج تجربی را با نتایج کار سایر پژوهشگران د رجدول ۳ مقایسه کرد.

در تمام مراجع مقادیر ضرایب شکست موازی و عمودی الیاف مختلف گزارش شده، ولی در بسیاری از آنها روش آزمایش و نیز مشخصات دقیق الیاف قید نشده است. در مرجع ۳ الیاف تنها با روش خط بکه مورد بررسی قرار گرفته اند.

از مقایسه نتایج گزارش شده و تجربی در مورد الیاف مختلف مورد آزمایش استنباطهای زیر به دست می‌آیند:

الیاف شیشه - ضرایب شکست موازی و عمودی شیشه برابر بوده و ضریب شکست مضاعف در تمام مراجع صفر گزارش شده است. علت اختلاف مقادیر گزارش شده و تجربی احتمالا" مربوط به نوع الیاف شیشه و شرایط ریسندگی آنهاست.

الیاف نایلون - برخی از مقادیر گزارش شده با ضرایب تجربی مطابقت می کنند. اختلافات موجود در نتایج می تواند به دلیل نوع نایلون، شرایط ریسندگی ، میزان کشش در حین تولید و دقت وسایل اندازه گیری باشد. ضرایب شکست موازی وعمودی در جدول ۲ برای نایلون ۶ پف داده شده و به عمل آمده بافنول با یکدیگر مطابقت می کنند.

جدول ۲ - خلاصه نتایج حاصل از خط بکه

نوع الیاف	ضریب شکست موازی $n_{\parallel}$	ضریب شکست عمودی $n_{\perp}$	ضریب شکست مضاعف
شیشه	۱/۵۵۸	۱/۵۵۸	۰
نایلون ۶	۱/۵۷۲	۱/۵۱۸	۰/۰۵۴
نایلون ۶ پف داده شده	۱/۵۷۷	۱/۵۲۳	۰/۰۵۴
نایلون ۶به عمل آمده با فنول به مدت یک دقیقه)	۱/۵۷۷	۱/۵۲۳	۰/۰۵۴
پلی استر POY	۱/۶۰۲	۱/۵۶۸	۰/۰۳۴
پلی استر POY (به عمل آمده با سود ۱۰% به مدت ۱۰۰ ساعت)	۱/۶۰۲	۱/۵۶۸	۰/۰۳۴
پلی استر FOY	۱/۷۰۷	۱/۵۳۵	۰/۱۷۲
پلی استر FOYبه عمل آمده با سود ۱۰% به مدت ۱۰۰ ساعت)	۱/۷۰۷	۱/۵۳۵	۰/۱۷۲
پلی پروپیلن	۱/ ۵۲۳	۱/۴۹۰	۰/۰۳۳
پشم استرالیایی	۱/۵۵۷	۱/۵۴۷	۰/۰۱۰
اکریلیک (پلی اکریل اصفهان)	۱/۵۱۱	۱/۵۱۴	-۰/۰۰۳
پنبه خام	۱/۵۸۲	۱/۵۳۳	۰/۰۴۹
پنبه مرسریزه	۱/۵۶۸	۱/۵۲۷	۰/۰۴۱
پنبه گرگان (کوشا)	۱/۵۸۲	۱/۵۲۸	۰/۰۵۴
پنبه واکس زدوده گرگان	۱/۵۸۲	۱/۵۲۸	۰/۰۵۴
ضایعات ابریشم (باصمغ)	۱/۵۹۱	۱/۵۳۸	۰/۰۵۳
ضایعات ابریشم (نیمه صمغ زدوده)	۱/۵۹۱	۱/۵۳۸	۰/۰۵۳
ضایعات ابریشم (کاملا" صمغ زدوده)	۱/۵۹۱	۱/۵۳۸	۰/۰۵۳

عملیات پف دهی و فنول ساختار داخلی الیاف را تغییر می دهد.

الیاف پلی استر - با مقایسه نتایج جداول ۲و۳ و با توجه به مشخص نبودن نوع FOYیاPOY در مراجع گزارش شده، توافق نسبتا" خوبی بین نتایج وجود دارد.

الیاف پلی استری که به سرعت سرد شده باشند ساختار بی شکلی

دارند ،ولی همین الیاف وقتی کشیده می شوند در مولکولهای زنجیری آرایش می یابند. در حین کشش با افزایش آرایش یافتگی، ضریب شکست مضاعف نیز افزایش می یابد. مولکولهای زنجیری در پلی استر خطی شامل حلقه بنزن، و نیروهای بین زنجیرهای مجاور از نوع واندروالس است و مولکول هیچ‌گونه گروه جانبی ندارد، به همین دلیل ضریب شکست موازی بیشتر از ضریب شکست عمودی است. از مقایسه ضریب شکست مضاعف الیاف پلی استرPOYوFOYاثر میزان کشش و شرایط تولید بر میزان آرایش یافتگی الیاف مصنوعی را می توان مشاهده کرد.

الیاف پلی استرPOYوFOYبعد از به عمل آمدن با سود ۱۰ % به مدت ۱۰۰ ساعت کاهش قطر داشته اند، ولی با توجه به عدم تغییر ضرایب شکست آنها می توان نتیجه گرفت که لایه سطحی لیف که در طول مرحله ریسندگی مذاب تشکیل می شود، اثری بر ضرایب شکست لیف ندارد.

الیاف پلی پروپیلن - با مقایسه نتایج آمده در جدول ۲و۳ تفاوتهایی مشاهده‌می‌شود که می تواند مربوط‌به شرایط تولید و میزان آرایش یا تبلور الیاف باشد.

الیاف پشم - مقادیر ضرایب شکست موازی و عمودی در جدول ۲و۳ با یکدیگر مطابقت می کنند.

الیاف آکریلیک - نتایج جدول ۲ با برخی از نتایج گزارش شده مطابقت نمی کند. علت اختلاف نوع آکریلیک است.

الیاف پنبه - نتایج گزارش شده و تجربی با یکدیگر مطابقت دارند. همان طور که درجدول ۲ نشان داده شده است، مقادیر ضرایب شکست موازی و عمودی الیاف پنبه مرسریزه از پنبه خام کمتر است. در پنبه مرسریزه تبلور لیف کاهش می یابد و تغییراتی در ساختار بلوری آن ایجاد می شود. در اثر تورم لیف، مولکولهای زنجیری از یکدیگر دورتر می شوند، ولی چون زاویه پیچش لیف حول محورطولی آن کم می شود، درجه آرایش یافتگی آن افزایش می یابد. در جدول ۲ مقادیر ضرایب برای پنبه با واکس و بدون واکس تفاوتی را نشان نمی دهند که بیانگر عدم تاثیر وجود واکس بر میزان ضریب شکست است.

الیاف ابریشم - ضرایب شکست الیاف ضایعاتی ابریشم با صمغ و نیمه صمغ زدوده و کاملا" صمغ زدوده اختلافی را با یکدیگر نشان نمی دهند.

نتایج حاصل از روش تداخلی

در جدول ۳ نتایج اندازه گیریها به روش تداخلی نیز نشان داده شده است. نتایج ارائه شده در این جدول همگی با استفاده از مایعاتی با ضریب شکست مشابه کنترل شده اند.

ضرایب شکست موازی وعمودی الیاف شیشه با روش تداخلی

جدول ۳ - ضرایب شکست موازی و عمودی الیاف

نام الیاف / شماره مرجع	شیشه $n_{\perp}=n_{\parallel}$	نایلون $n_{\parallel}$	نایلون $n_{\perp}$	پلی استر $n_{\parallel}$	پلی استر $n_{\perp}$	پلی پروپیلن $n_{\parallel}$	پلی پروپیلن $n_{\perp}$	پشم $n_{\parallel}$	پشم $n_{\perp}$	اکریلیک $n_{\parallel}$	اکریلیک $n_{\perp}$	پنبه $n_{\parallel}$	پنبه $n_{\perp}$	ابریشم (صمغ زدوده) $n_{\parallel}$	ابریشم (صمغ زدوده) $n_{\perp}$
۳	۱/۵۴۷	۱/۵۸۲	۱/۵۱۹	تریلن ۱/۵۷۲	تریلن ۱/۵۳۷	–	–	۱/۵۵۲	۱/۵۴۲	آکریلان ۱/۵۲۰	آکریلان ۱/۵۲۳	۱/۵۷۸	۱/۵۳۲	۱/۵۹۱	۱/۵۳۸
۴	۱/۵۵۰	نایلون ۶ ۱/۵۷۵	نایلون ۶ ۱/۵۲۶	تریلن ۱/۷۰۶	تریلن ۱/۵۴۶	۱/۵۳۰	۱/۴۹۶	۱/۵۵۷	۱/۵۴۷	آکریلان ۳۶ ۱/۵۱۱ / ۱/۵۱۴ کورتل ۱/۵۱۱ / ۱/۵۱۴ اورلون ۴۲ ۱/۵۱۱ / ۱/۵۱۵		۱/۵۷۷	۱/۵۲	۱/۵۹۱	۱/۵۳۸
۵	۱/۵۵	۱/۵۸	۱/۵۱	تریلن ۱/۷۱ - ۱/۷۳	تریلن ۱/۵۳ - ۱/۵۴	۱/۵۶	۱/۵۱	۱/۵۵ - ۱/۵۶	۱/۵۵	آکریلان ۱/۵۰ - ۱/۵۲	آکریلان ۱/۵۰ - ۱/۵۲	۱/۵۶ - ۱/۵۸	۱/۵۲ - ۱/۵۳	۱/۵۹۱	۱/۵۳۸
۶	۱/۵۴۷	نایلون ۶ ۱/۵۶۸	نایلون ۶ ۱/۵۱۵	داکرون ۱/۷۱۰	داکرون ۱/۵۳۵	۱/۵۳۰	۱/۴۹۶	۱/۵۵۶	۱/۵۴۷	آکریلان ۱/۵۲۰	آکریلان ۱/۵۲۴	۱/۵۸۰	۱/۵۳۳	–	–
۷	۱/۵۴	۱/۵۹	۱/۵۲	داکرون ۱/۷۰	داکرون ۱/۵۳	–	–	۱/۵۵	۱/۵۵	آکریلان ۱/۵۲۰	آکریلان ۱/۵۲۴	۱/۵۸	۱/۵۳	۱/۵۹	۱/۵۴

مساوی و برابر ۱/۵۵۹ به دست آمدند که با مقدار گزارش شده توسط روشه [۸] مطابقت می کند. تغییرات ضریب شکست در عرض لیف محسوس نیست.

همزا [۹] ضرایب شکست موازی وعمودی الیاف نایلون را با استفاده از روش تداخلی و استفاده از نور سفید به ترتیب ۱/۵۷۹ و ۱/۵۲۳ گزارش کرده است. علت اختلاف بین این مقادیر و مقدار آمده در جدول ۴ می تواند مایع مصرفی و نوع الیاف باشد . وی دمای محیط و همچنین مشخصات دقیق الیاف نایلون را قید نکرده است.

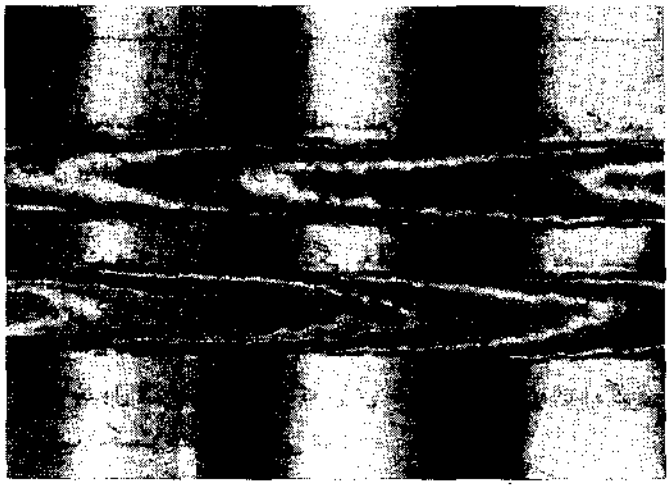
شولی [۱۰] ضریب شکست مضاعف الیاف پلی استر POY و FOY را به ترتیب ۰۳۸/۰ و ۰۱۸۰/۰ گزارش کرده است. نتایج حاصل در جدول ۴ با مقادیر گزارش شده مطابقت دارد . ضریب شکست مضاعف الیاف پلی استر POY و FOY پس از به عمل آمدن با سود تغییرات چندانی نمی کند.

ضرایب شکست موازی و عمودی الیاف پلی پروپیلن و پشم در جدول ۴ نشان داده شده است ،مرجعی جهت مقایسه نتایج حاصل با روش تداخلی در دسترس نیست.

با اینکه لیف پشم از قسمتهای مختلفی تشکیل شده است، ولی شکل جابه جایی فریزها چنانچه در تصاویر ۷ و ۸ نشان داده شده است، تغییرات ضریب شکست در عرض لیف را نشان نمی دهد و شکل جا به جایی فریزها مربوط به شکل سطح مقطع لیف است.

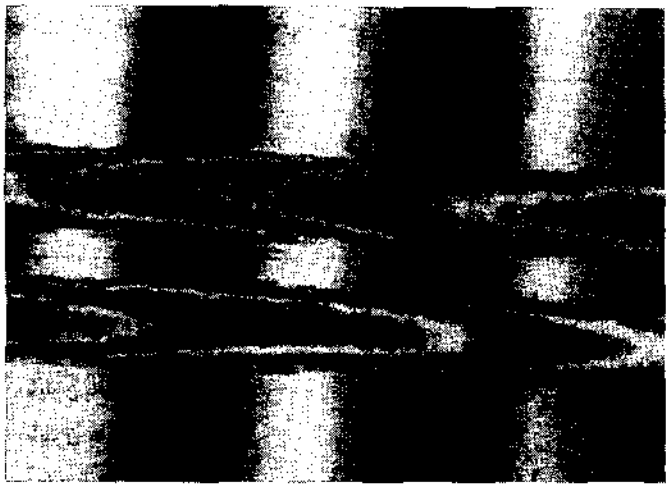
پوسته خارجی پشم کوتیکول و قسمت خارجی این پوسته اپی- کوتیکول نام دارد که این قسمت فلسها را تشکیل می دهد.

قسمت داخلی لیف کورتکس می باشد و به طور معمول قسمت اعظم پشم از کورتکس تشکیل شده است. قسمت داخلی لیف کورتکس



$n_{\perp}$ ۵۱۰×

شکل ۷ - جابه جایی فریزهای تداخلی در الیاف پشم درون مایع با ضریب شکست ۱/۴۸۰



$n_{\parallel}$ ۵۱۰×

شکل ۸ - جابه جایی فریزهای تداخلی در الیاف پشم درون مایع با ضریب شکست ۱/۴۸۰

به دوصورت ارتو و پاراست که موجب حجیم شدن لیف پشم و جعد آن می‌شود. ترکیبات شیمیایی این دو قسمت با هم تفاوت دارند. پاراکورتکس عوامل سیستین بیشتری دارد و اتصالهای جانبی بین زنجیرها در آن بیشتر است. قسمت میانی لیف پشم مدولا (medula) است که در الیاف ظریف وجود ندارد. با روشهای به کار برده شده اختلاف ساختاری پاراکورتکس و ارتوکورتکس قابل تشخیص نبوده است.

شاید این مطلب را بتوان چنین توجیه کرد که الیاف از زاویه ای مشاهده شده اند که قسمت پاراکورتکس و ارتوکورتکس پشم اختلاف راه ثابتی را ایجاد نکرده اند (شکل ۹ - الف).

این امکان نیز وجود دارد که ضریب شکست قسمتهای ارتوکورتکس و پاراکورتکس تقریبا" برابر باشند. همان طور که در شکل ۹ - ب ملاحظه می شود، شکل جابه جایی فریزهای تداخلی از سمت دیواره لیف به سمت مرکز آن بصورت پله پله است که بیانگر وجود فلسهای پشم است. طول و ارتفاع این فلسها در خواص الیاف پشم تاثیر بسزایی دارد و از این طریق قابل اندازه گیری می گردد.

برکت و هناوی [۱۱] ضریب شکست مضاعف الیاف اکریلیک تحت عنوان اکریلان را ۰۰۱/۰ - و ۰۰۲/۰ - گزارش کرده اند. علت اختلاف با مقدار آن در جدول ۳ می تواند نوع الیاف باشد. زیرا ،مقطع الیاف پلی اکریل اصفهان دمبلی شکل است در حالی که اکریلیک مورد استفاده این پژوهشگران سطح مقطعی به شکل کلیه دارد.

ابریشم به صورت دو رشته پیوسته و مجزا توسط کرم ابریشم به شکل پیله ریسیده می شود و فیبروئین (fibroin) نام دارد.

دولیف ریسیده شده توسط صمغی به نام سریسین (sericin) به هم متصل می شوند. الیاف ابریشم آرایش مولکولی بالایی دارند و قسمت

جدول ۴ - نتایج حاصل از روش تداخلی

نوع الیاف	روش تداخلی		
	$n_{\parallel}$	$n_{\perp}$	Δ_n
شیشه	۱/۵۵۹	۱/۵۵۹	۰
نایلون ٦	۱/۵۷۰	۱/۵۱۷	۰/۰۵۳ ±۰/۰۰۱
نایلون بافت دار	۱/۵۷۲	۱/۵۲۴	۰/۰۴۹ ±۰/۰۰۱
نایلون به عمل			
آمده با فنول	۱/۵۷۱	۱/۵۲۳	۰/۰۴۹ ±۰/۰۰۲
پلی استرPOY	۱/٦۰۲	۱/۵٦۸	۰/۰۳۵ ±۰/۰۰۲
پلی استرPOYبه عمل آمده با سود	۱/۵۹۹	۱/۵٦٦	۰/۰۳۳ ±۰/۰۰۳
پلی استر FOY	۱/۷۰۷	۱/۵۳۵	۰/۱۷۳ ±۰/۰۰۳
پلی استرFOYبه عمل			
آمده با سود	۱/۷۰۷	۱/۵۳۵	۰/۱۷۲ ±۰/۰۰۴
پلی پروپیلن	۱/۵۲۵	۱/۴۹۳	۰/۰۳۲ ±۰/۰۰۴
پشم	۱/۵۵۴	۱/۵۴۳	۰/۰۱۱ ±۰/۰۰۳
اکریلیک			
پلی اکریل اصفهان	۱/۵۱۲	۱/۵۱۵	-۰/۰۰۳ ±۰/۰۰۱
پنبه مرسریزه	۱/۵٦۳	۱/۵۲۳	۰/۰۳۹ ±۰/۰۰٦
ضایعات ابریشم (باصمغ)	۱/۵۸۷	۱/۵۳٦	۰/۰۵۱ ±۰/۰۰۵
ضایعات ابریشم (نیمه صمغ زدوده)	۱/۵۸٦	۱/۵۳۵	۰/۰۵۲ ±۰/۰۰۳
ضایعات ابریشم (کاملا" صمغ زدوده)	۱/۵۹۱	۱/۵۳٦	۰/۰۵۵ ±۰/۰۰۵

سریسین آن کاملا" بی شکل است.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری ضرایب شکست موازی و عمودی الیاف ابریشم با صمغ، نیمه صمغ زدوده و خام حاکی از عدم تاثیر وجود صمغ بر روی میزان ضرایب شکست الیاف ابریشم است.

مقایسهٔ روشها

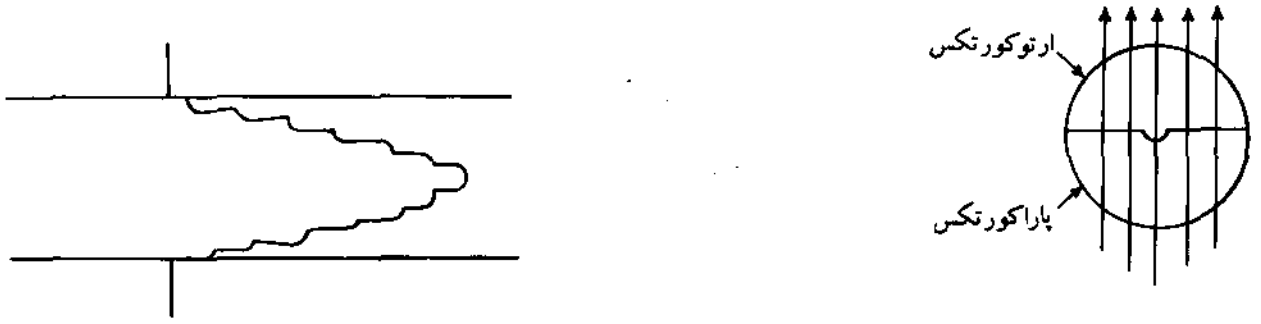
مقادیر حاصل از روش جبرانی غالبا" بیشتر از مقادیر به دست آمده از روش خط بکه و تداخلی است. علت اختلاف به این دلیل است که با استفاده از جدول میشل لوی ،تعیین دقیق مقدار تاخیر ،ممکن نیست. به علاوه تشخیص رنگ مشکل است و مرز رنگها به راحتی قابل تفکیک نیست ،در نتیجه مقدار تاخیر به طور حدسی تعیین می شود. مشکل دیگر تعیین ضخامت لیف است که این مسئله در روش تداخلی نیز وجود دارد.

تعیین ضخامت واقعی الیاف با سطح مقطع غیر دایره ای یا الیافی که تغییر شکل پیدا کرده امکان پذیر نیست .

در روش خط بکه ،اندازه‌گیری ضخامت لیف مورد نیاز نیست ، ولی دقت عمل در این روش بستگی به ابعاد نمونه و میزان دقت سیستم کانونی کننده (focusing system) میکروسکوپ دارد. این نظریه که روش خط بکه همواره ضریب شکست سطح لیف را می دهد با توجه به نتایج جدول ۲ ، نشان می دهد که روش خط بکه محدود به اندزه‌گیری ضریب شکست سطح لیف نمی شود.

برای اندازه‌گیری ضریب شکست با روش خط بکه مایعاتی با ضرایب شکست متفاوت مورد نیازند و انجام آزمایش مستلزم تکرار و وقت بسیار است.

با روش تداخلی می توان ضرایب شکست را در هر نقطه روی



الف ب

شکل ۹ - (الف) مسیر عبور نور از مقطع لیف پشم و (ب) شکل جابه جایی فریزها در عرض لیف پشم

لیف اندازه گیری کرد. انجام آزمایشها به روش جبرانی سریعتر است ولی دقت آزمایشها با روش تداخلی و خط بکه بسیار بیشتر از روش جبرانی است.

نتیجه گیری

از بررسیهای انجام شده می توان نتیجه گرفت که:

۱ - مقادیر ضریب شکست مضاعف الیاف می تواند جهت شناسایی آنها مورد استفاده قرار گیرد.

۲ - استفاده از روش تداخلی و بررسی فریزهای تداخلی جهت تشخیص بسیار سریع الیاف پلی استر و نایلون و اکریلیک از یکدیگر پیشنهاد می شود.

۳ - در تعیین ضریب شکست مضاعف با استفاده از روشهای تداخلی و جبرانی ،اندازه گیری دقیق ضخامت لیف اهمیت زیادی دارد.

۴ - تنظیم دقیق سیستم کانونی کننده میکروسکوپ در روش خط بکه مهم است و در این روش نیازی به اندازه گیری ضخامت لیف نیست.

۵ - ضرایب شکست موازی و عمودی حاصل از روش خط بکه محدود به سطح لیف نمی‌شود.

۶ - کاربرد میکروسکوپ تداخلی جهت مطالعه تغییرات ضرایب شکست در عرض لیف بسیار مفید است.

مراجع

1 Heyn,A.N.J., "The Interference Microscope in Fiber Research", Part 1:Initial Studies on Rayon, Cotton, wool and Synthetic Fibers", *Text.Res.J.*, **27**, 449, 1957.

2 Rochow ,T.G., "*Fiber in Position of Brightness*", Polarized Light, **23**, 1959.

3 Morton,W.E. and Hearle, J.W.S., "*Physical Properties of Textile Fibers*", Butterworths, Inc. London, 1962.

4 "*Identification of Textile Material*", 7th ed., Manchester, 1985.

5 ATCC, Technical Manual, **62**, 1987.

6 ASTM Standards, Section 7, **07. 01**, D 276, 1990.

7 *Handbook of Chemical Microscopy*, **1**, 333, John Wiley & Sons, 1958.

8 Roche, E.J., and Rubin , B. and Van Kavelar, R.F., "Automated Digital Analysis of Fiber Interferograms", *Text.Res.J.*, **40**, 378, 1987.

9 Hamza, A.A. and Abd El - Kader, H.I., "Optical Properties and Birefringence Phenomena in Fibers", *Text.Res.J.*, 205-209, 1983.

10 Sheuly , O.L.,and Kiston, R.E.,"An Age Stable Feed Yarn for Draw Texturing by False Twisting Process"., *Text.Res.J.*, **45**, No.2, 112, 1975.

11 Barakat, N.and El-Henawi, H.A., "Interferometric on Fibers, Part II: Interferometric Determination of the Refractive Indices and Birefringence of Acrylic Fibers", *Text.Res.J.*, **41**, 391-396, 1971.