

رفتار مکانیکی پارچه بی بافت سوزن زنی شده از لایه الیاف آکرلیک منقطع و موازی

Mechanical Behavior of Needle-Punched Nonwoven Fabrics Made from Parallel Acrylic Staple Fibers

سید محمد حسینی و رکیانی، محمد حقیقت کیش *

تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۴۴۱۳

دریافت: ۸۱۹/۲۷، پذیرش: ۸۲/۲/۲۴

چکیده

در این پژوهش، از لایه‌هایی از الیاف موازی آکرلیک به طول متوسط ۱۱cm در آزمایشگاه به روش سوزن‌زنی پارچه بی بافت تهیه شد. خواص مکانیکی نمونه‌های بی بافت تولیدی از قبیل برگشت پذیری، تنش و کرنش هنگام پارگی و ضریب همبستگی تغییر شکل عرضی به تغییر شکل طولی (نسبت سطحی پواسون) اندازه‌گیری شد. دستگاه اندازه‌گیری خواص مکانیکی کششی همراه با فیلمبرداری مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که تنش پارگی نمونه بی بافت تحت تأثیر وزن در متر مربع لایه و تراکم سوزن زنی قرار می‌گیرد و همیشه تا حد زیادی (بیش از ده برابر) کمتر از تنش پارگی الیاف سازنده است. شکل منحنی تنش - کرنش نمونه بی بافت سوزن زنی شده مشابه با شکل منحنی تنش - کرنش الیاف سازنده نیست و ضریب کشسانی نیز به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. نسبت سطحی پواسون همیشه مثبت و در ابتدای ازدیاد طول یافتن نمونه بیشتر متغیر است. با توجه به نظریه‌های متفاوت درباره توجیه خواص مکانیکی نمونه‌های بی بافت که عوامل مؤثر را منقطع بودن، اصطکاک و آرایش الیاف می‌دانند، تصادفی بودن قرار گرفتن طول الیاف مستقیم در راستای نیرو به عنوان یک عامل مؤثر مورد توجه قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی

بی بافت، پارچه سوزن زنی شده، رفتار مکانیکی، ساختار، الیاف آکرلیک

مقدمه

دارای چنین ویژگی ساختاری اند بسیار متنوعند. در دسته بندی پارچه‌ها به بافته شده و بی بافت نظریات متفاوتی وجود دارد [۱]. مثال معمول پارچه‌های بی بافت نمد است که بسیار قدیمی است. از سالهای ۱۹۵۰ میلادی فنون متفاوت دیگری برای منسجم و مستحکم

پارچه‌های بی بافت به منسوجاتی گفته می‌شود که به طور مستقیم از الیاف تهیه می‌شوند و در آن نخ وجود ندارد. الیاف در تار عنکبوتی یا لایه‌ای نسبتاً ضخیم با استفاده از فنون متفاوتی با هم درگیر می‌شوند تا پایداری کافی در برابر نیروهای خارجی بدست آورند. منسوجاتی که

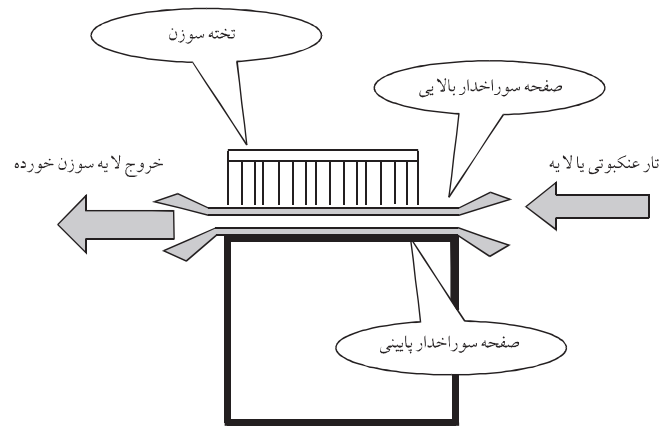
Key Words

nonwoven, needle punched fabrics, mechanical behavior, structure, acrylic fibers

بی بافتی که الیاف به شکل شبکه به هم متصل شده اند، ارتباط بین ضریب کشسانی در جهات مختلف بدست آمد. در سالهای بعد این نظریه به شکل‌های مختلف مورد توجه قرار گرفت [۷،۸] و برای نمونه های بی بافت که با چسب به هم متصل شده اند بکار گرفته شد. این نظریه ها برای ساختار شبکه ای، وقتی که اتصال بین الیاف نسبتاً قوی و توزیع آرایش الیاف معلوم است، به کرنشهای کم و تغییر شکل جور محدود می شود. این نظریه ها [۴-۸] برای بیان رفتار مکانیکی بی بافت‌های سوزن زنی شده پاسخگو نبود.

در سالهای ۱۹۶۴ تا ۱۹۷۵ هرل و همکاران نتایج پژوهشهای خود را درباره پارچه های بی بافت و از جمله نمونه های بی بافت سوزن زنی شده منتشر کردند [۹-۲۰]. معلوم شد که برای بیان رفتار مکانیکی این گونه پارچه های بی بافت ساختار در دو سطح متعامد باید در نظر گرفته شود. یکی ساختار سطح افقی (عمود بر امتداد سوزن‌ها) و دیگری سطح عمودی که در امتداد سوزن‌ها قرار دارد. در سطح افقی الیاف منحنی شکل در اطراف محلهای سوزن خورده قرار دارند و در سطح عمودی دسته الیاف که به وسیله سوزن منحرف شده اند قرار گرفته اند. وقتی به نمونه بی بافت نیرو اعمال می گردد، ابتدا الیاف در سطح افقی مستقیم می شوند و فقط باید بر اصطکاک بین الیاف غلبه کرد. در نهایت پس از لغزش و مستقیم شدن، الیاف به شکل شبکه عمل می کنند و در این موقع است که اثر مایل بودن و زاویه بین امتداد الیاف و امتداد اعمال نیرو باید در نظر گرفته شود. یک تار عنکبوتی که از الیاف منقطع ساخته شده است، استحکام چندانی ندارد. الیاف روی هم می لغزند، بنابراین عامل منقطع بودن و لغزش در انتهای الیاف را باید در نظر گرفت. بنابراین، به نظر هرل [۲۰] مکانیک منسوجات بی بافت سوزن زنی شده چندان توسعه نیافته است و فقط به شکل کیفی و تشریحی و نه کمی خواص این پارچه ها را می توان توضیح داد.

پارچه های بی بافت سوزن زنی شده از نظر عکس العمل مکانیکی دارای چند ویژگی جالب توجه اند. وقتی این پارچه ها تحت تأثیر تنش کششی قرار می گیرند، تنش عمودی بر امتداد کشش بین آنها بوجود می آید که موجب به هم چسبیدن بیشتر الیاف شده و نیروی بیشتری برای لغزاندن آنها روی هم مورد نیاز است. این پارچه ها علاوه بر الیافی که به شکل موج دار با دامنه نسبتاً بلند در یک سطح افقی قرار گرفته اند، دسته الیاف دیگری عمود بر سطح افقی حاصل از سوزن خوردگی را در بر می گیرند. وقتی پارچه تحت تنش کششی قرار می گیرد، در اثر کشش دامنه موجها کم می شود. بنابراین، هرل و پرودی [۲۰] تصور کردند که در هنگام ازدیاد طول الیاف در سطح افقی، الیاف در سطح عمودی به هم نزدیک تر شده و می چسبند که موجب ایجاد ساختار درهم تنیده می گردد. هرل و همکاران [۱۳، ۱۸، ۱۹] برای ارتباط دادن بین تنش -



شکل ۱- قسمتهای اصلی دستگاه سوزن زنی.

ساختن لایه یا تار عنکبوت و متصل کردن الیاف به هم ابداع شد و محصولات متنوعی با کاربردهای متفاوت تهیه شد. روشهای استحکام بخشیدن به لایه الیاف شامل سوزن زنی، اتصال با چسب، اتصال با گرما و در هم تنیدگی آبی (hydro-entanglement) است. در این پژوهش، منسوج حاصل از روش سوزن زنی بررسی شده است که بنظر می رسد در کشور ما از متداولترین و قدیمیترین پارچه ها باشد. سوزن زنی با استفاده از دستگاهی با همین نام انجام می شود. قسمتهای اصلی این دستگاه در شکل ۱ نشان داده شده است که شامل تغذیه کننده لایه، صفحات سوراخ دار نگه دارنده و تخته سوزن است [۲]. سوزن‌ها برای کاربردهای متفاوت دارای اندازه و شکل‌های متفاوت اند [۲، ۳]. سوزن با مقطع مثلثی دارای فاقههایی است که هنگام فرورفتن درون لایه می توانند الیاف را با خود از راستای موازی به راستای عمودی ببرند و در بالا آمدن دسته الیاف را به همان حال در همان راستا باقی بگذارند.

منسوجاتی که به این روش تولید می گردند بسته به الیاف بکار رفته و شرایط سوزن زنی بسیار متنوع اند و کاربردهای بسیاری دارند و در کامپوزیتها به عنوان تقویت کننده، لایه، عایق بندی و پارچه زمینی (geofabric) از آنها استفاده می شود. استفاده از این منسوجات در صافیهای هوا مفید است و شاید بیشتر از همه در کفپوشها کاربرد دارند.

مطالعه علمی پارچه های بی بافت سابقه طولانی دارد. بنظر می رسد که پیترسون و بکر [۴، ۵] برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ به مطالعه و تجزیه و تحلیل علمی آن پرداخته اند. هدف بدست آوردن روابط بین خواص مکانیکی پارچه بی بافت و خواص الیاف سازنده آن بود. این روابط برای پیش بینی کارایی پارچه بی بافت ضروری است. بر اساس نظریه کشسانی مواد ناهمسانگرد متعامد (orthotropic) که ارتباط بین تنش - کرنش در دو جهت اصلی مشخص است، در کرنشهای کم، با استفاده از مطالعات انجام شده درباره کاغذ توسط کاکس [۶]، برای نمونه

جدول ۲ - خواص مکانیکی کششی پارچه های بی بافت تولید شده (اعداد داخل پرانتز درصد ضریب تغییرات (CV) مقادیر مربوط را نشان می دهد).

یکی از ضریبهای مهم که نشانه ای از ساختار و رفتار مکانیکی پارچه های بی بافت است ضریب ارتباط بین تغییر شکل در دو راستای متعامد است. برای موادی که رابطه بین تنش و کرنش آنها خطی است، نسبت پواسون (Poisson's ratio) مطابق معادله زیر تعریف شده است که ارتباط یاد شده را نشان می دهد [۲۵]:

در این معادله $\Delta x/x$ تغییر شکل نسبی عرضی و $\Delta y/y$ تغییر شکل نسبی طولی را نشان می دهد. چون رابطه بین تنش و کرنش در کالای نساجی غالباً غیر خطی است، این نسبت به عنوان نسبت بین تغییر شکل در دو راستای متعامد بکار رفته و اندازه گیری آن مورد توجه پژوهشگران مختلف است [۲۶، ۲۷]. شولگاسر [۲۸] روش ویژه ای را برای کاغذ مورد توجه قرار داده و برخلاف کارهای پیشین که مقادیر ۰/۲۵۹، ۰/۲۵ یا ۰/۱۷ را گزارش کرده بودند، مقدار ۰/۳۳۳ را بدست آورد. برای پارچه های بی بافت پیوند یافته با ریسندگی (spunbonded) بایس سینگ و همکاران [۲۷] به اندازه گیری با استفاده از روش فیلمبرداری مشخص

$$v = -(\Delta x / x) / (\Delta y / y) \quad (1)$$

ضریب کشسانی پارچه های بی بافت سوزن زنی شده از مخلوط کنف و پلی پروپیلن را با استفاده از تحلیل رگرسیون چند متغیری و نیز شبکه عصبی به عوامل وزن پارچه، تراکم سوزن زنی و نسبت مخلوط مرتبط ساختند.

گوش و همکاران [۲۳، ۲۴] اثر تعداد دفعاتی که پارچه از دستگاه سوزن زنی می گذرد را بر خواص مکانیکی کششی بررسی و ملاحظه کردند که اگر تعداد دفعات سوزن زنی افزایش یابد وزن در واحد سطح، ضخامت، تراکم الیاف در پارچه بی بافت و استحکام در جهت ماشین نسبت به وقتی که یک بار نمونه ها سوزن خورده اند افزایش می یابد. افزایش تعداد دفعات سوزن زنی موجب یکنواخت تر شدن پارچه می شود.

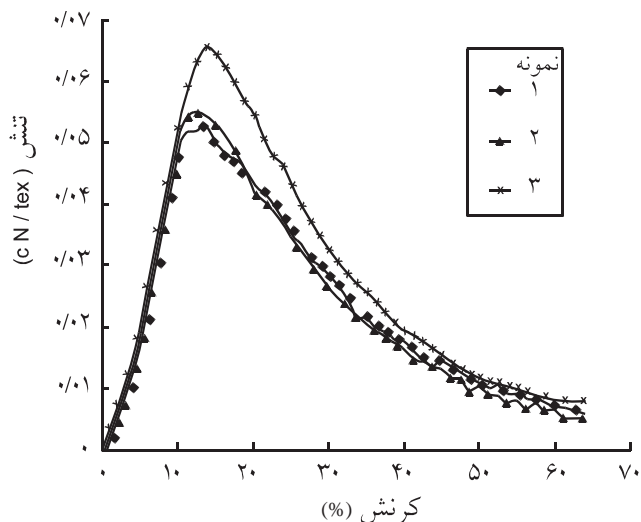
خواص	میانگین	انحراف معیار
ظرافت (tex)	۷۳۳	۰/۲۸
استحکام (cN/tex)	۲۲	۴/۹
ازدیاد طول تا پارگی (%)	۳۰	۸/۴
طول (cm)	۱۱	۲/۵۱
فراوانی موج (تعداد در سانتی متر)	۳/۱۵	۰/۶
ضریب اصطکاک	۰/۶۷	—
شکل سطح مقطع	دمبلی	—

کرنش پارچه بی بافت و الیاف سازنده آن براساس مدل های متفاوت معادلاتی را ارائه دادند که پس از مرحله درهم تنیدگی ساختار، رفتار بی بافت را به شکل کیفی توجیه می کند.

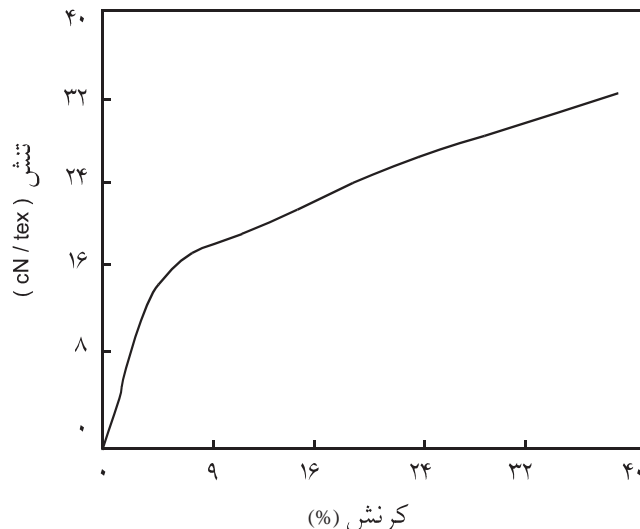
در سالهای اخیر مقالاتی که بیشتر حاصل نتایج تجربی است در ارتباط با خواص مکانیکی پارچه های بی بافت سوزن زنی شده منتشر گردیده است [۲۱-۲۴]. در این دسته از پژوهشها بیشتر به معادلات رگرسیون بین خواص بی بافت و خواص مکانیکی الیاف توجه شده است.

پاتل و کوتاری بطور تجربی خواص مکانیکی انواع نمونه های بی بافت از جمله پارچه های بی بافت سوزن زنی شده را بررسی و ملاحظه کردند [۲۱] که نتایج بدست آمده برای پارچه های بی بافت سوزن زنی شده با نتایج حاصل از معادله های ارائه شده توسط هرل و همکاران [۱۳-۱۸] اختلاف قابل توجهی دارد. در ضمن ضریب کشسانی و تنش در هنگام پارگی بسیار کمتر از مقدار محاسبه شده بود. سوبرامانیان و همکاران [۲۲] خواص کششی شامل استحکام و

نمونه	نوع سوزن	وزن (g/m ²)	استحکام (cN/tex)	ازدیاد طول تا پارگی (%)	برگشت پذیری (%)
۱	یک رو	۵۷	۱/۲ (۷/۱)	۵۷/۰ (۳/۷)	۴۳
۲	دو رو	۷۰	۲/۱ (۷/۳)	۵۵/۷ (۴/۴)	۵۰
۳	یک رو	۷۸	۱/۳ (۸/۰)	۵۰/۷ (۲/۸)	۴۰
۴	دو رو	۹۲	۲/۱ (۵/۰)	۵۰/۲ (۶/۴)	۸۷
۵	یک رو	۱۰۷	۱/۳ (۵/۱)	۴۸/۲ (۲/۹)	۸۸
۶	دو رو	۱۲۲	۲/۳ (۶/۸)	۵۴/۵ (۲/۶)	۸۸



شکل ۳ - منحنی تنش - کرنش لایه ها قبل از سوزن زنی.



شکل ۲ - منحنی تنش - کرنش لیف آکرلیک مورد استفاده.

ارتعاشی و بیرومات مدل M برای اندازه گیری ظرافت الیاف و فاف گراف مدل M برای بدست آوردن منحنی نیرو - ازدیاد طول الیاف ساخت آلمان، دستگاه اینسترون مدل ۵۵۶۶ ساخت انگلستان برای بدست آوردن منحنی نیرو - ازدیاد طول پارچه، دوربین فیلمبرداری پاناسونیک (S VHS Movie Camera NV۹۰۰۰)، ویدیو ال جی (CD/Cassette (Player VC ۶۰۰ kW) و میکروسکوپ الکترونی پروژکتینا ساخت انگلستان برای بررسی سطح مقطع الیاف.

روشها

تولید پارچه

برای تولید پارچه از فتیله الیاف آکرلیک استفاده شد. فتیله ابتدا توسط دستگاههای کشش و گیل شانه شده و به صورت لایه ای از الیاف موازی با وزن در متر مشخص درآمد و سپس لایه ها با دستگاه سوزن زنی آزمایشگاهی (شکل ۱) سوزن زنی شد.

سوزنها دارای مقطع مثلثی به شماره ۱۰۰۲ G ۳۳۳۳ R ۳۲x۳۱x۱۵ هستند که بطور تصادفی روی تخته سوزن قرار گرفته و تعداد سوزن در سانتی متر مربع برابر ۱/۴۱ بود. تراکم سوزن زنی در هر روی پارچه ۵۱ سوزن در سانتی متر مربع بود که با توجه به سرعت دستگاه معین شد. مشخصات ۶ نمونه پارچه تولیدی در جدول ۲ نشان داده شده است.

روشهای اندازه گیری

ظرافت الیاف مورد استفاده با دستگاه ارتعاشی اندازه گیری شد. منحنی نیرو - ازدیاد طول الیاف و پارچه به ترتیب با استفاده از دستگاههای فاف گراف و اینسترون بدست آمد. در این اندازه گیری فاصله فکها در شروع

کردند که چنانچه طول نمونه (فاصله فکها در دستگاه اندازه گیری خواص کششی) از ۱۵cm تجاوز کند، مقدار این ضریب مستقل از فاصله فکها می شود. هرل و سلطان [۱۴] برای پارچه سوزن زنی شده ملاحظه کردند که کاهش نسبی عرض نمونه هنگام اندازه گیری خواص مکانیکی بیش از ازدیاد طول نسبی است. از نتایج ارائه شده توسط این پژوهشگران می توان مقدار ۳/۱ در ۳۰ درصد ازدیاد طول نسبی و ۳/۶ در ۵۰ درصد ازدیاد طول نسبی را بدست آورد.

همان طور که در این بخش بطور بسیار خلاصه اشاره شد، ساختار پارچه های بی بافت سوزن زنی شده بسیار پیچیده و بیان رفتار مکانیکی آن مبهم است. در این مقاله، رفتار مکانیکی یک پارچه بی بافت سوزن زنی شده با ساختاری بسیار ساده بررسی شده است. به منحنیهای تنش - کرنش بر خلاف کارهای پیشین تا هنگام گسستن کامل که نیرو به صفر تنزل می یابد توجه شده و علاوه بر آن نسبت تغییر شکل عرضی و طولی (نسبت سطحی پواسون) با استفاده از فیلمبرداری اندازه گیری شده است.

تجربی

مواد

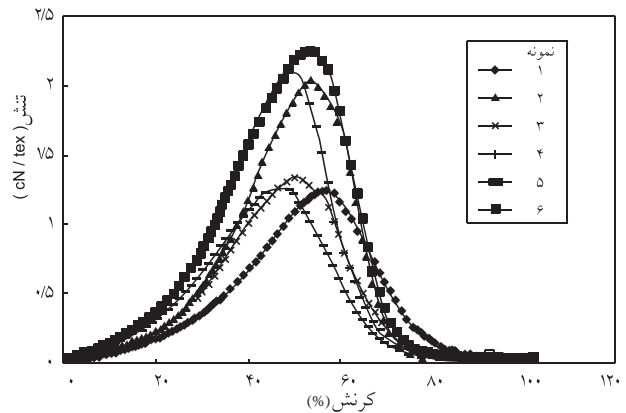
در این پژوهش از فتیله الیاف آکرلیک محصول شرکت پلی آکریل اصفهان استفاده شد که مشخصات الیاف مصرفی در جدول ۱ آمده است.

دستگاهها

دستگاههای مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از: دستگاههای

مناسب مطابق معادله ۱ محاسبه گردید.

طول الیاف با وسیله اندازه‌گیری طول (comb sorter) اندازه‌گیری و شکل سطح مقطع آنها با میکروسکوپ پروژکتینا مشخص شد. فراوانی موج الیاف مطابق با روش استاندارد ASTM D3۹۳۷ اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک بین الیاف و سطح پارچه از همان الیاف فک مناسب ساخته و در دستگاه اندازه‌گیری کشش قرار داده شد تا بتوان نیروی اصطکاک در نیروهای عمودی متفاوت را اندازه‌گیری کرد. متوسط شیب منحنی نیروی اصطکاک بر حسب نیروی نرمال به عنوان ضریب اصطکاک گزارش شده است.



شکل ۴ - میانگین منحنیهای تنش - کرنش نمونه‌های پارچه بی‌بافت.

نتایج و بحث

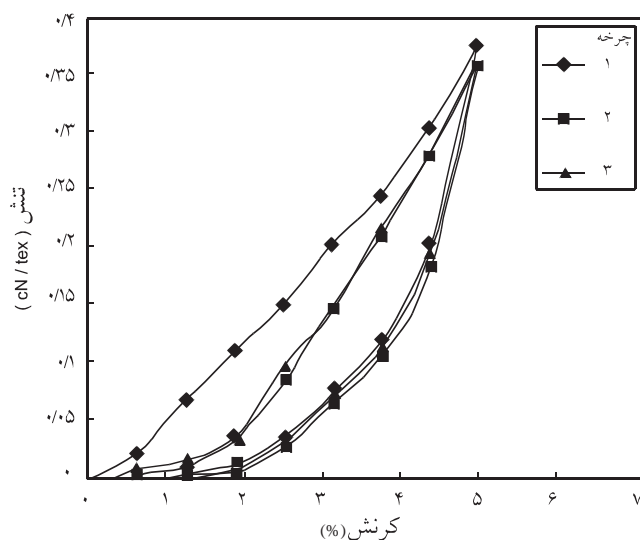
در جدول ۱ خواص الیاف آکرلیک و در شکل ۲ یک نمونه از منحنی تنش - کرنش این الیاف ارائه شده است. میانگین تنش پارگی این الیاف 22 cN/tex و ازدیاد طول تا پارگی آنها 30% درصد است.

شکل ۳ منحنی تنش - کرنش لایه قبل از سوزن‌زنی را نشان می‌دهد. حداکثر تنشی را که لایه می‌تواند تحمل کند کمی بیشتر از 0.065 cN/tex است و حداکثر به 0.065 cN/tex می‌رسد. همچنین، ازدیاد طول نسبی در این تنش 15% درصد است. از آن به بعد منحنی به تدریج با شیب ملایمتری نسبت به شروع افزایش، کاهش می‌یابد. قبل از رسیدن به حداکثر تنش شیب منحنی زیاد و پس از آن شیب منحنی کم است. بنظر می‌رسد که درصد تعداد الیافی که به مقابله با نیرو می‌پردازد ابتدا زیاد است، اما پس از حداکثر تنش، به علت منقطع بودن تعدادی از الیاف که از حد تحمل نیرو خارج می‌شوند کم می‌شود. از طرف دیگر، کمتر بودن ضریب اصطکاک دینامیکی از ضریب اصطکاک ایستا ممکن است موجب کاهش نیروی اصطکاک شود. گسستن لایه در اثر لغزش الیاف روی یکدیگر است و شاید درگیری کم و غیر محسوسی نیز وجود داشته باشد.

سوزن‌زنی موجب افزایش استحکام لایه‌ها به مقدار زیاد می‌شود. منحنیهای تنش - کرنش پارچه‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. جدول ۲ خواص مکانیکی پارچه‌های بی‌بافت را نشان می‌دهد. سوزن‌زنی موجب درگیری بیشتر الیاف می‌گردد. استحکام پارچه‌های بی‌بافتی که دو روی آنها سوزن خورده است، بطور متوسط در نمونه‌های مندرج در جدول ۲، 75% درصد بیشتر از نمونه‌های بی‌بافتی است که یک روی آنها سوزن خورده است. ولی، ازدیاد طول تا پارگی چندان تحت تأثیر سوزن‌زنی قرار نگرفته است. ازدیاد طول تا پارگی

آزمایش برای الیاف 2 cm و برای پارچه بی‌بافت 20 cm و عرض نمونه 5 cm انتخاب شد. آزمایشهای اولیه نشان می‌دهد که پارچه‌های بی‌بافت یکباره پاره نمی‌شوند و پاره شدن آنها تدریجی است. بنابراین، برای بدست آوردن منحنی تنش - کرنش کامل پارچه دستگاه اندازه‌گیری کشش طوری برنامه‌ریزی شد که از ابتدا تا وقتی که نیرو به حداکثر خود می‌رسد و دوباره به صفر تنزل می‌کند، فاصله فکها با سرعت ثابت افزایش یابد. این تنظیم متفاوت از روشهای معمول است که وقتی نیرو به حداکثر می‌رسد قبل از پاره شدن کامل نمونه بطور خودکار دستگاه متوقف و فکها به هم نزدیک می‌شوند. به این طریق تغییرات نیرو در هنگام پاره شدن تدریجی پارچه ثبت شد. سرعت جدا شدن فکها از یکدیگر 15 cm/min بود. از هر پارچه بی‌بافت تولیدی حداقل ۵ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری نسبت سطحی پواسون ابتدا نمونه‌های پارچه به ابعاد $5 \times 3 \times 30 \text{ cm}$ بریده شد. سپس در وسط نمونه‌ها با قلم مناسب مربعی به ابعاد $3 \times 3 \text{ cm}$ رسم شد و مربع کاغذی دیگر به ابعاد $17 \times 17 \text{ cm}$ با سوزن روی نمونه نصب گردید تا به عنوان مقیاس ثابت مورد استفاده قرار گیرد. نمونه در دستگاه اینسترون بین فکها قرار گرفت، فیلمبرداری شروع شد و دستگاه اندازه‌گیری بکار انداخته شد. دوربین فیلمبرداری در حالت خودکار نور و سرعت 24 قاب در ثانیه بکار رفت. تنظیم کادر به صورت دستی انجام گرفت. فیلم ویدیویی تهیه شده با دستگاه ویدیو با استفاده از کارت ویدیویی (Video Card) Haupaage با اندازه 240×320 با فرمت YUV ۱۲ قاب بر ثانیه به فرمت AVI تبدیل و در یک کامپیوتر ذخیره شد. با نرم افزار AVI Editor که یکی از نرم افزارهای جانبی (Visual Studio V Basic ۶) است، قابهای مورد نظر انتخاب شد و با توجه به مقیاس ثابت روی آن عرض و طول مربع علامت زده شده اندازه‌گیری و از آنجا نسبت سطحی تغییر عرض به طول با نرم افزار



شکل ۶- منحنی تنش - کرنش و برگشت در سه چرخه متوالی نمونه ۶.

می‌شود و تعداد الیافی که در مقابله با نیروی اعمالی مقاومت می‌کنند، افزایش می‌یابند.

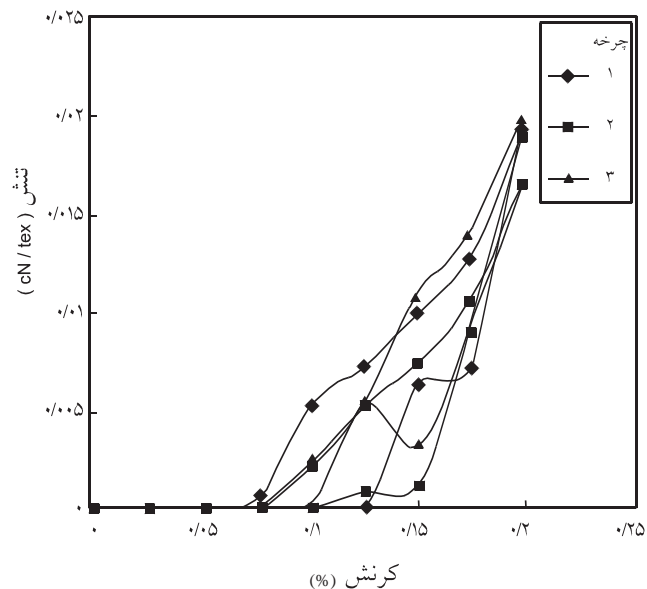
منحنیهای تنش - کرنش پارچه‌های آزمایش شده عموماً زنگی شکل و نامتقارن است. بنظر می‌رسد که کج و نامتقارن شدن منحنیها در اثر جدایی دسته‌های الیاف از یکدیگر باشد. اگر همه با هم از یکدیگر جدا شوند منحنی نامتقارن و اگر یکی یکی و بتدریج از هم جدا شده یا گسسته شوند منحنی متقارنتر خواهد بود. همچنین، بنظر می‌رسد جدا شدن دسته‌های الیاف از یکدیگر بدین دلیل است که در هنگام سوزن‌زنی الیاف به شکل دسته‌ای تغییر آرایش می‌دهند. بنابراین، ضریب کجی (skewness) می‌تواند این ویژگی را نشان دهد [۲۹]. میزان پراکندگی و پخش بودن منحنیها را می‌توان با واریانس داده‌های تنش یا نیروهای اندازه‌گیری شده حین کشش نشان داد.

برای مشخص ساختن میزان تقارن منحنیهای تنش - کرنش نمونه‌های بی‌بافت ولایه‌های سوزن نخورده، ضریب کجی و برای مشخص ساختن میزان تغییرات واریانس تنش پارگی هر یک از ۶ نمونه ولایه‌ها با کمک معادله‌های ۲ و ۳ و با استفاده از نرم‌افزار Excel محاسبه گردید:

$$\text{skew} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3}{S^3} \quad (2)$$

$$\text{var} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (3)$$

در این معادله‌ها x_i تنش پارگی، \bar{x} میانگین، n تعداد داده‌های حاصل از

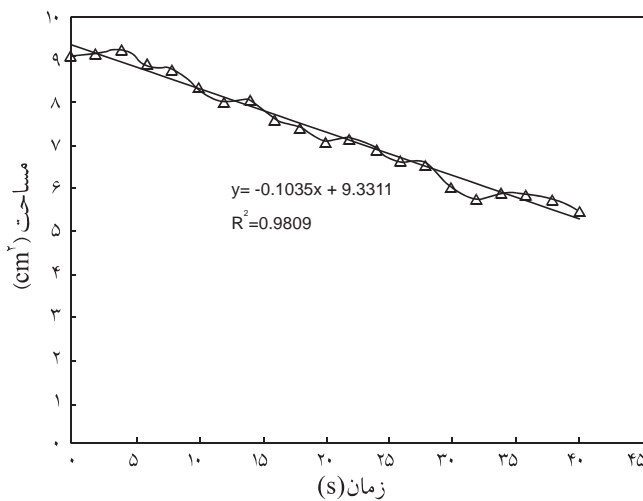


شکل ۵- منحنی تنش - کرنش و برگشت در سه چرخه متوالی نمونه ۱.

پارچه سوزن خورده در دور و کاهش یافته یا تغییر نکرده است. در یک مورد فقط ۶/۳ درصد افزایش ازدیاد طول تا پارگی ملاحظه می‌شود که از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد با اهمیت نیست.

اثر سوزن‌زنی در استحکام و ازدیاد طول تا پارگی توسط پژوهشگران مختلفی بررسی شده است [۲۷، ۲۸] و نتایج حاصل در این پژوهش موافق با نتایج آنهاست. با توجه به عدم تغییر ازدیاد طول تا پارگی بنظر می‌رسد که سوزن‌زنی بار دوم موجب درگیری بیشتر الیاف بی‌بافت و لایه‌های سوزن نخورده.

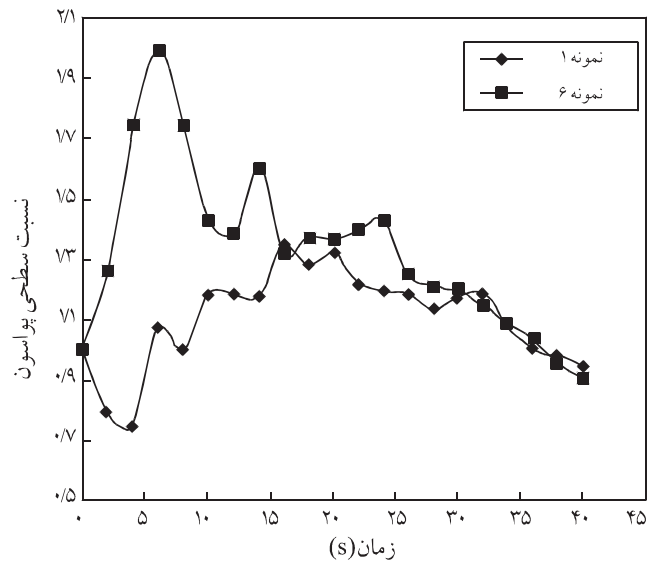
نمونه	ضریب کجی	واریانس
۱	۰/۷۸	۰/۱۶
۲	۰/۷۱	۰/۹۸
۳	۰/۸۳	۰/۲۱
۴	۰/۷۵	۰/۵۱
۵	۰/۷۹	۰/۱۸
۶	۰/۶۴	۰/۶۲
لایه قبل از سوزن زنی		
۱	۰/۵۳	۰/۰۰۰۲
۲	۰/۵۹	۰/۰۰۰۳
۳	۰/۶۰	۰/۰۰۰۴



شکل ۸ - تغییر مساحت بر حسب زمان ازدیاد طول نمونه (سرعت کشش ۲/۵ mm/s).

نمونه ۶ نسبت سطحی پواسون به مقدار ۲ می رسد در حالی که در نمونه ۱ ابتدا از مقدار یک کمتر و سپس به ۷۳ افزایش می یابد. تغییرات نسبت سطحی پواسون در هنگام تغییر شکل در اثر ناهمگن بودن توزیع تنش در سطح نمونه در طول زمان اعمال نیرو است. میانگین نسبت سطحی پواسون در طول زمان آزمایش برای نمونه ۱ برابر ۷۲۳ با انحراف معیار ۰/۸۸ و برای نمونه ۶ برابر ۷۱۶ با انحراف معیار ۰/۴۳ بدست آمد. تغییرات مساحت مربع وسط علامت گذاری شده در شکل ۸ نشان داده شده است. ملاحظه می شود با ازدیاد طول مساحت نمونه کاهش می یابد. اعمال نیرو موجب متراکم تر شدن پارچه می گردد و الیاف به هم نزدیک شده و نیروی حاصل از کشش که در راستای عمود بر طول الیاف مؤثر است افزایش می یابد. این نتیجه گیری موافق با نظرات پوردی و هرل [۱۶] است.

شکل ۹ الف تغییر شکل نمونه ۶ هنگام اندازه گیری نسبت سطحی پواسون را نشان می دهد. مرز سفید رنگ مستطیل پس از ۰، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ ثانیه از زمان شروع اعمال نیرو ثبت شده است. همان طور که ملاحظه می شود خطوط سفید موازی راستای نیرو باریکتر شده و خطوط عمود بر راستای نیرو پخش شده اند. پخش شدن متغیر خطوط عمود بر راستای نیرو نشان دهنده ناهمگن بودن تغییر شکل پارچه است. جدا شدن دسته ای الیاف از یکدیگر به صورت بارزی مشخص است. اگر پارچه بطور همگن تغییر شکل می داد، این خطوط همچنان مستقیم باقی می ماند. این گونه روند تغییر شکل در پارچه تار و پودی بافته شده مورد آزمایش وجود داشت. در این پارچه تغییر شکل در عرض نمونه یکسان بود. شکل ۹ ب تغییر شکل یک نمونه پارچه تار و پودی بافته شده را

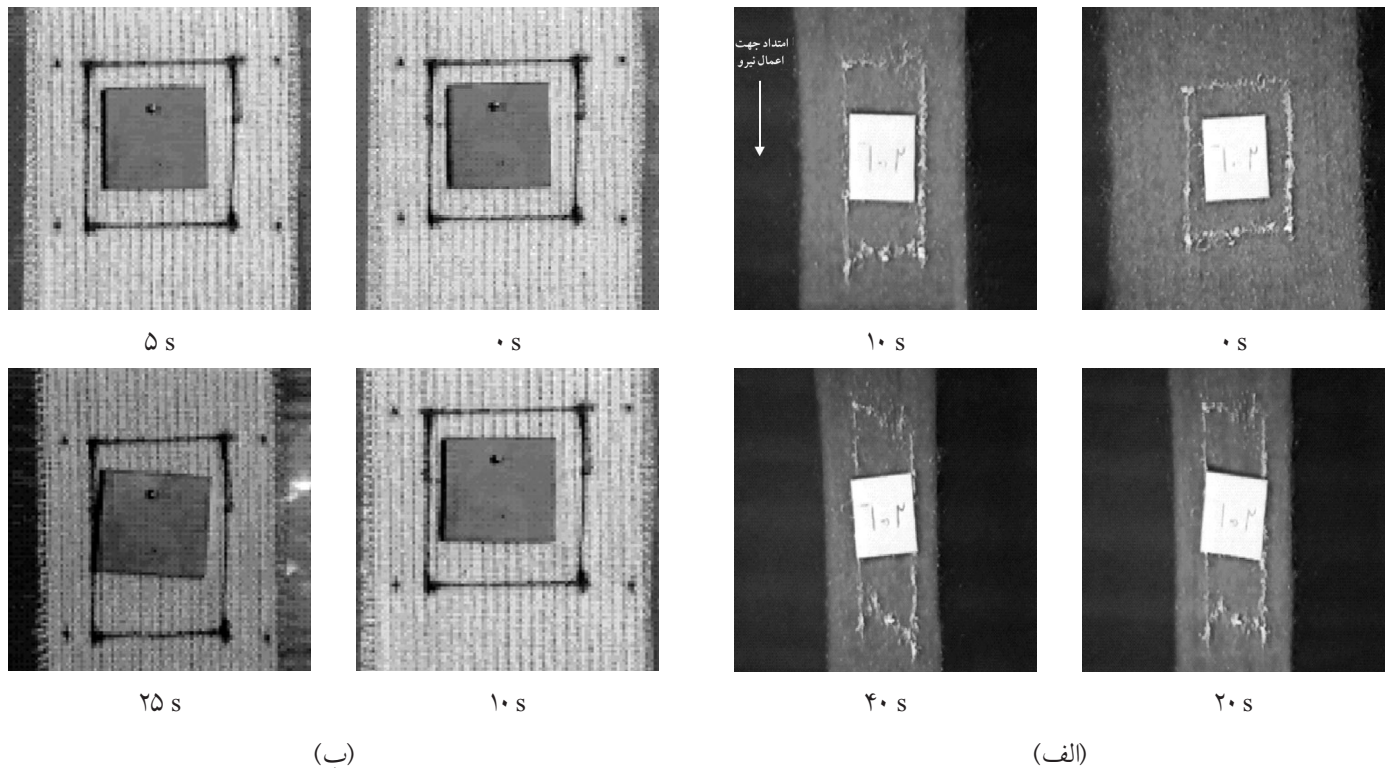


شکل ۷ - تغییرات نسبت سطحی پواسون هنگام کشیدن پارچه با سرعت ۲/۵ mm/s.

دستگاه اندازه گیری برای تعیین منحنیهای تنش - کرنش و S انحراف معیار است. نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است. منحنیهای تنش - کرنش پارچه هایی که در دو رو سوزن خورده اند متقارنتر از منحنی تنش - کرنش پارچه هایی است که یک رو سوزن خورده اند. در حالی که میزان تغییرات تنش پارگی نمونه های یک رو سوزن خورده کمتر از تغییرات تنش پارگی نمونه هایی است که در دو رو سوزن خورده اند. یکنواخت تر شدن پارچه ها با نتایج گوش و تالوکدار [۲۴] موافقت دارد. دنباله توزیعهای تنش پارچه ها و لایه ها به طرف مقادیر بیشتر از میانگین کشیده شده است.

تغییر شکل پارچه های بی بافت چندان برگشت پذیر نیست. شکلهای ۵ و ۶ منحنیهای برگشت پذیری نمونه های ۱ و ۶ را نشان می دهد. ملاحظه می شود که وقتی پارچه به مقدار ۵ درصد کشیده می شود در بار اول فقط ۶۰ درصد بازگشت به طول اولیه وجود دارد. در هنگام این اعمال نیرو ساختار پارچه تغییر می کند و حالت پایدارتری را به خود می گیرد، بطوری که در دوره های بعدی بازگشت به طول اولیه به مقدار بیشتری افزایش می یابد. این گونه رفتار در نمونه های دیگر نیز ملاحظه شد که برای اختصار در این گزارش نیامده است. برگشت پذیری اولین دوره اعمال نیرو در ستون آخر جدول ۲ نشان داده شده است. برگشت پذیری تحت تأثیر تراکم سوزن زنی و وزن در متر لایه قرار گرفته است.

شکل ۷ تغییرات نسبت سطحی پواسون هنگام کشیدن نمونه های ۱ و ۶ را نشان می دهد. برای اختصار منحنیهای مربوط به نمونه های دیگر که شکل مشابهی دارند نشان داده نشده است. در ابتدای اعمال نیرو در



شکل ۹ - مقایسه مراحل مختلف تغییر شکل پارچه: (الف) نمونه بی‌بافت و (ب) تار و پودی بافته شده ساده.

رابطه تنش - کرنش هر یک از الیاف را نشان می‌دهد. برای f توزیعیهای آماری مختلف را می‌توان تصور کرد. چنانچه فرض شود این فراوانی دارای توزیع نرمال است، معادله ۴ به شکل معادله ۵ در می‌آید:

$$S = k N(a, b) \delta(e) \quad (5)$$

که در این معادله $N(a, b)$ توزیع نرمال با میانگین a و واریانس b است (a حداکثر تنش در پارگی و b واریانس تنشهاست).

در شکل ۱۰ منحنی تنش - کرنش نمونه ۶ و منحنی محاسبه شده از منحنی تنش - کرنش الیاف با استفاده از معادله ۴ را نشان می‌دهد. در این محاسبه مقدار k با توجه به نسبت حداکثر تنش پارچه بی‌بافت و حداکثر تنش الیاف برابر ۰/۱ انتخاب شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود توافق قابل ملاحظه‌ای بین این دو منحنی تا نقطه حداکثر وجود دارد.

عدم موافقت دو منحنی بعد از نقطه پارگی به علت گسسته شدن یا لغزش بیشتر الیاف است که در معادله ۴ منظور شده است. این گونه محاسبه برای نمونه‌های دیگر نیز انجام گرفت که نتایج مشابهی بدست آمد و به منظور حفظ اختصار از اشاره به آنها خودداری می‌شود. نتایج محاسبات یاد شده این نظریه را تأیید می‌کند که مکانیسم گسستن پارچه‌های بی‌بافت یک مکانیسم آماری - مکانیکی است.

نشان می‌دهد. همان‌طور که در بخش مقدمه اشاره شد، در گسسته شدن نمونه‌های بی‌بافت سوزن‌زنی شده عوامل مختلفی مؤثر است که توسط هرل و همکاران [۱۰-۲۰] مشخص شده است. این عوامل عبارتند از: منقطع بودن، انحنای الیاف و اصطکاک. انحنای الیاف موجب می‌شود که هر یک از الیاف طول متفاوتی بین دو محل گیر افتاده (گیرگاه) داشته باشند.

وقتی پارچه بی‌بافت از دیاد طول می‌یابد قطعه لیف بین دو موضع گیرگاه مستقیم می‌شود و در برابر نیروی اعمالی مقاومت می‌کند. بنظر می‌رسد که الیاف در طولهای مختلف بین گیرگاهها قرار گرفته‌اند. تعدادی از آنها دارای طولی مساوی با فاصله گیرگاهها و تعدادی طول متغیر بیشتری خواهند داشت. واضح است که اگر بر چنین دسته الیافی نیرو اعمال شود تا از دیاد طول دهند ابتدا الیافی که طول آنها برابر فاصله دو گیرگاه باشد از دیاد طول می‌یابند و نیرو را تحمل می‌کنند. اگر کسری از الیاف که دارای طولی برابر این فاصله است با f نشان داده شود، با توجه به اینکه مقاومت خمشی الیاف قابل چشم‌پوشی است می‌توان نوشت:

$$S = k f \delta(e) \quad (4)$$

در این معادله S تنش است که پارچه بی‌بافت تحمل می‌کند، k ضریبی است که اثر عوامل دیگر (منقطع بودن - اصطکاک) را وارد می‌کند و $\delta(e)$

استفاده از مقیاس ثابتی نسبت سطحی ارتباط کاهش عرض به طول (نسبت سطحی پواسون) محاسبه شد. رفتار مکانیکی پارچه های بی بافت با رفتار مکانیکی الیاف سازنده مقایسه شد.

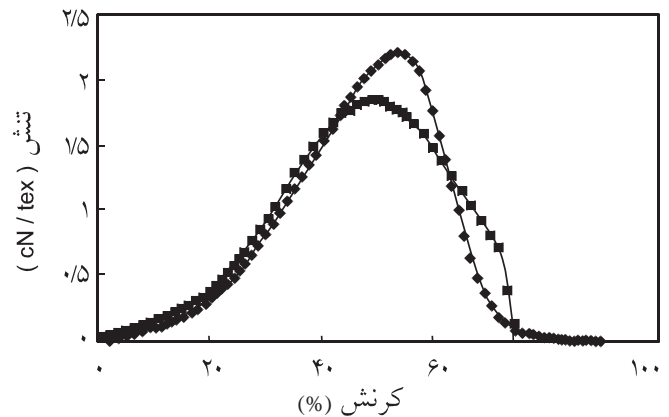
ملاحظه شد که ساختار پارچه های بی بافت حتی در صورت موازی بودن الیاف در لایه بسیار پیچیده و علاوه بر اصول مکانیکی باید تحرک و تشکلهای تصادفی الیافی که در معرض نیرو قرار می گیرند را نیز در نظر گرفت. اگر چه بخش اول منحنی تنش - کرنش با استفاده از توزیع نرمال تعبیر و تفسیر می شود، باید بخش منحنی پس از پارگی را نیز در نظر گرفت و توجه مناسبی برای کاهش تدریجی تنش بدست آورد. مشاهده شد که تنش پارگی الیاف در استحکام پارچه بی بافت سوزن زنی شده سهم کمی دارد. برای افزایش تنش پارگی پارچه بی بافت باید تعداد الیافی که در هنگام ازدیاد طول یافتن درگیر می شوند را افزایش داد.

قدردانی

بدین وسیله از زحمات آقای دکتر سیامک سحرخیز به دلیل تنظیم و تدوین برنامه برای محاسبه نسبت سطحی پواسون و خانم مهندس سمیه اکبری به خاطر انجام آزمایشهای مربوط به آن تشکر و قدردانی می شود.

مراجع

1. *Textile Terms and Definitions*, Beech S.R. (Ed.), Eight Revised ed., The Textile Institute, England, 1988.
2. Purdy T., *Needle-Punching, Monograph Series*, Harrison P.W. (Ed.), Textile Institute, Manchester, England, 1980.
3. Lauterbach H.G., Felt from Man-Made Fibers, *Text. Res. J.*, **25**, 143-149, 1955.
4. Backer S. and Petterson D.R., Some Principles of Nonwoven Fabrics, *Text. Res. J.*, **30**, 704-711, 1960.
5. Backer S. and Petterson D. R., Relationship Between the Structural Geometry of a Fabric and its Physical Properties, *Text. Res. J.*, **32**, 809-816, 1963.
6. Cox H.L., The Elasticity and Strength of Paper and other Fibrous Materials, *British J. Appl. Phys.*, **3**, 72-79, 1952.
7. Hearle J.W.S. and Newton A., Nonwoven Fabric Studies, Part XV: The Application of the Fiber Network Theory, *Text. Res. J.*, **38**, 343-351, 1968.
8. Hearle J.W.S. and Newton A., Nonwoven Fabric Studies, Part XIV: Derivation of Generalized Mechanics by the Energy Method, *Text. Res. J.*, **37**, 778-797, 1967.
9. Hearle J.W.S. and Sultan M. A. I., A Study of Needled Fabrics, Part I: Experimental Methods and Properties, *J. Text. Inst.*, **58**, 251-256, 1967.
10. Hearle J.W.S., Sultan M. A. I. and Choudhari T. N., A Study of Needle Fabrics, Part II: Effect of the Needle Process, *J. Text. Inst.*, **59**, 103-116, 1968.
11. Ibid, Part III: The Influence of Fibers and Dimensions, 137-147.
12. Ibid, Part IV: The Effect of Stretch Shrinkage and Reinforcement, 161-183.
13. Ibid, Part V: The Approach to Theoretical Understanding, 183-201.
14. Ibid, Part VI: The Measurement of Punching Force During Needling, 237-243.
15. Ibid, Part VII: The Transfer of Fiber Through the Web by Needling, **60**, 478-497.
16. Hearle J.W.S. and Purdy A.T., On the Nature of Deformation of Needled Fabrics, *Fibre Sci. Technol.*, **5**, 113-128, 1972.
17. Hearle J.W.S. and Purdy A.T., The Structure of Needle Punched Fabric, *Fibre Sci. Technol.*, **4**, 81-100, 1971.



شکل ۱۰ - مقایسه منحنیهای تنش - کرنش: نمونه ۶ (◆) و محاسبه (■) شده از منحنی تنش - کرنش الیاف.

نتیجه گیری

در این پژوهش نمونه هایی از پارچه بی بافت سوزن زنی شده از لایه الیاف آکریلیک تولید شد. خواص مکانیکی پارچه ها به شکل منحنیهای تنش - کرنش بدست آمد. از مراحل ازدیاد طول یافتن فیلمبرداری و با

18. Hearle J.W.S. and Husain A.K.M.M., Studies in Needled Fabric, Part VIII: The Effect of Friction on the Processing and Properties of Needle-Bonded Fabrics, *J. Text. Inst.*, **62**, 83-107, 1971.
19. Hearle J.W.S. and Purdy A.T., Fibre Breakage During Needle-Punching, *J. Text. Inst.*, **63**, 605-612, 1972.
20. Hearle J.W.S. and Purdy A.T., On Resistance to Slippage in Needled Fabrics, *Fibre Sci. Technol.*, **11**, 128-144, 1978.
21. Patel P.C. and Kothari V.K., Relationship between Tensile Properties of Fibres and Nonwoven Fabrics, *Indian J. Fiber Text. Res.*, **26**, 398-402, 2001.
22. Subramanian V., Madhusootheran M. and Debanth C.R., A Study on the Properties of Needle-Punching Nonwoven Fabrics Using a Factorial Design Technique, *Indian J. Fibre Text. Res.*, **17**, 124-129, 1992.
23. Ghosh S.K., Talukdar M.K. and Dey P.K., Effect of Number of Passes on Basic Physical Properties of Nonwoven Needle-Punched Fabrics, *Indian J. Fibre Text. Res.*, **19**, 61-66, 1994.
24. Ghosh S.K., Talukdar M.K. and Dey P.K., Effect of Number of Passes on Tensile and Tear Properties of Nonwoven Needle-Punching Fabrics, *Indian J. Fibre Text. Res.*, **20**, 145-149, 1995.
25. Hearle J.W.S., Grosberg P. and Backer S., *Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics*, Wiley Interscience, England, 1969.
26. Lloyd D.W. and Hearle J.W. S., Letter to Editor, An Examination of a Wide-jaw Test for the Determination of Fabric Poisson Ratio, *J. Text. Inst.*, **67**, 299-302, 1977.
27. Bais-Singh S., Anandjiwala R.D. and Goswami B.C., Characterizing Lateral Contraction Behavior of Spunbonded Nonwovens During Uniaxial Tensile Deformation, *Text. Res. J.*, **66**, 131-140, 1996.
28. Schulgasser K., The In-Plane Poisson Ratio of Paper, *Fiber Sci. Technol.*, **19**, 297-309, 1983.
29. Tamhane A. C. and Dunlop D. D., *Statistics and Data Analysis, From Elementary to Intermediate*, Prentice Hall, NJ, USA, 2000.