

Application of Geometric Method in Video Processing to Study the Tensile Properties of Spacer Fabric

Neda Dehghan and Pedram Payvandy*

Textile Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Yazd, Postal Code 8915818411,
Yazd, Iran

Received: 3 January 2021, Accepted: 25 April 2021

Abstract

Knowledge of the physical properties of spacer fabrics is important, due to their vast applications in various industries. In all applications, the spacer fabric is affected by tension, which changes their size as well as their properties. The purpose of this paper is to use the video processing approach to investigate the tensile behavior of the spacer fabric, based on the geometrical and the experimental method. So, the study on the basic hexagonal unit deformation behaviors of spacer fabrics structure in different tensile strains, based on experimental observations and theoretical analysis using video processing, was investigated in the course and wale directions, respectively. First, the images were segmented based on the k-means clustering method and then the best image for processing was determined by the image quality evaluation index. Then, the distribution of changes in the dimensions of each unit, the size-dependent properties and its change such as Poisson's ratio and the porosity changes were obtained using the method based on the geometry of the pore unit. The results of image processing were compared with the experimental method and the results showed that the video processing method is able to calculate and predict the Poisson's ratio in different tensile strains with a correlation coefficient of more than 83%.

Keywords: spacer fabric, image processing, transverse and longitudinal strain, Poisson's ratio

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: peivandi@yazd.ac.ir

استفاده از روش هندسی در پردازش ویدیویی برای مطالعه خواص کششی پارچه اسپیسر

ندا دهقان، پدram پیوندی*

یزد، دانشگاه یزد، دانشکده مهندسی نساجی، گروه مهندسی تکنولوژی نساجی، کد پستی ۸۹۱۵۸۱۸۴۱۱

دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵

چکیده

واژه‌های کلیدی: پارچه اسپیسر، پردازش تصویر، کرنش عرضی و طولی، نسبت پواسون

۱ مقدمه

پارچه‌های اسپیسر، منسوجات سه‌بعدی جدید با دو سطح بیرونی مشابه یا متفاوت با یکدیگر و یک لایه میانی شامل نخ‌های اسپیسر بین دو سطح هستند که این دو سطح را به یکدیگر متصل می‌سازند. فرایند بافندگی متفاوت، ساختار سه‌بعدی و همچنین فضای خالی بین دو سطح پارچه، باعث ایجاد خواص ناهمسان‌گرد و منحصر به فردی در این نوع پارچه‌ها، نظیر قابلیت برگشت‌پذیری خوب و سریع پس از اعمال نیرو، جذب رطوبت به داخل ساختار پارچه، گردش هوا، سبکی و غیره می‌شود. خواص پارچه‌های اسپیسر، کاربردهای متنوعی را به‌عنوان عایق گرمایی [۳-۱]، جایگزین اسفنج در مبلمان و صندلی ماشین [۶-۴]، محافظ و ضربه‌گیر [۹-۷] و سایر موارد برای این پارچه‌ها در صنایع مختلف چون خودرو، پزشکی و ورزشی ایجاد کرده است. هر یک از کاربردهای یادشده، به دلیل وجود ویژگی‌های خاص در پارچه اسپیسر قابل دست‌یابی هستند. بنابراین، شناخت دقیق این نوع پارچه‌ها و بررسی خواص فیزیکی آن‌ها به تولید پارچه‌های اسپیسر با ویژگی‌های دلخواه و

شناخت خواص فیزیکی پارچه اسپیسر به دلیل کاربردهای زیاد آن در انواع صنایع دارای اهمیت است. در تمام کاربردها، این نوع منسوجات تحت اثر نیرویی قرار دارند که باعث تغییر ابعاد و همچنین تغییر خواص آن‌ها می‌شود. هدف از مطالعه حاضر، استفاده از رویکرد پردازش ویدیویی برای بررسی رفتار کششی پارچه اسپیسر با استفاده از روش‌های هندسی و تجربی است. در این مطالعه، رفتار تغییر شکل ساختار پارچه اسپیسر با طرح واحد شش‌ضلعی در دو راستای رج و ردیف، براساس مشاهدات تجربی از واحد شش‌ضلعی و تجزیه و تحلیل نظری با استفاده از پردازش ویدیویی، بررسی شد. ابتدا با استفاده از روش خوشه‌بندی k-میانگین، تصاویر تقسیم‌بندی و با بررسی تصویر حاصل با شاخص ارزیابی کیفیت تصویر، بهترین آن‌ها برای پردازش به‌دست آمد. سپس، با استفاده از روش مبتنی بر هندسه واحد منفذ، توزیع تغییرات ابعادی هر یک از واحدها، خواص وابسته به اندازه و تغییرات آن مانند ضریب پواسون و مقدار تغییرات تخلخل محاسبه شد. نتایج حاصل از پردازش و مقایسه با نتایج تجربی نشان داد، روش پردازش ویدیویی قابلیت محاسبه و پیش‌بینی ضریب پواسون در تمام کرنش‌ها را با ضریب همبستگی بیش از ۸۳٪ دارد.

نیروهای ضربه‌ای پارچه به وسیله جرم و فنر [۱۹] اشاره کرد. بررسی رفتار لرزشی پارچه‌های اسپیسر حلقوی تار با تحریک‌های هارمونیک [۲۰]، تولید دستکش ضدلرزش با استفاده از پارچه‌های اسپیسر حلقوی پودی [۲۱]، بررسی عملکرد عایق‌سازی لرزش در پارچه‌های اسپیسر حلقوی پودی [۲۲]، ارائه مدل ریاضی برای بررسی خواص ضربه‌گیری پارچه‌های اسپیسر حلقوی تار تحت لرزش و بررسی اثر پارامترهای پارچه شامل ضخامت، قطر رشته، چگالی سطحی، زاویه انحراف و چیدمان رشته‌های اسپیسر بر انتقال لرزش در پارچه‌های اسپیسر حلقوی تار [۲۳]، از جمله مطالعات انجام‌شده توسط پژوهشگران برای بررسی رفتار لرزشی این پارچه‌هاست.

خاصیت برش در منسوجات، رفتار مکانیکی پیچیده‌تری نسبت به سایر خواص فیزیکی است. در پارچه‌های تار پودی، مقاومت اصطکاکی بین تار و پود و در پارچه‌های حلقوی، اصطکاک بین حلقه‌ها و تراکم آن‌ها نقش اساسی در رفتار برشی ایفا می‌کند [۲۴]. خواص برشی داخل صفحه‌ای پارچه‌های اسپیسر متأثر از نوع نخ‌های اسپیسر، ساختار سطحی پارچه و چگالی نخ‌ها در پارچه است [۲۵]. بررسی رفتار برشی پارچه اسپیسر با استفاده از قاب نگه‌دارنده، گرفتن تصاویر پی‌درپی برای به‌دست‌آوردن جابه‌جایی نقاط و زاویه برش نقاط انتخابی در سطح نمونه، با استفاده از الگوریتمی در MATLAB انجام گرفته است [۲۵، ۲۶].

خواص کششی یکی دیگر از شاخص‌های ارزیابی خواص مکانیکی منسوجات است. دو شاخص برای توصیف عملکرد کشش وجود دارد که عبارت از استحکام پارگی و ازدیاد طول تا پارگی است. در مطالعات انجام‌شده درباره آزمون کشش پارچه اسپیسر، خواص دیگری مانند ضریب پواسون، مدول و اثر کرنش بر تغییر شکل‌ها بررسی شده است [۲۷، ۲۸]. در بررسی ضریب پواسون در پارچه‌های اسپیسر، نوع جدیدی از این پارچه‌ها با سازوکار آگزتیک بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. آگزتیک‌ها نوعی پارچه جدید با ساختار سه‌بعدی و ضریب پواسون منفی هستند. زمانی که این نوع پارچه‌ها تحت کشش قرار می‌گیرند، به‌جای جمع‌شدن پهن می‌شوند [۲۹].

تولید ساختار سه‌بعدی آگزتیک با استفاده از پارچه‌های اسپیسر حلقوی تار مسیر جدیدی در توسعه پارچه‌های صنعتی است. Chang و Ma در مطالعه خود پیرامون خواص پارچه‌های اسپیسر حلقوی تار نشان دادند، این پارچه‌ها با ضریب پواسون منفی قابلیت شکل‌پذیری خوب، جذب انرژی همراه با داشتن سبکی و فشردگی نشان می‌دهند [۳۰]. این پژوهشگران در مطالعه‌ای دیگر،

استفاده از آن‌ها در تولید محصولات متنوع در صنایع مختلف منجر می‌شود. از جمله خواص فیزیکی پارچه‌های اسپیسر می‌توان به فشارپذیری، ضربه، لرزش، رفتار برشی و کششی اشاره کرد.

پژوهشگران زیادی رفتار فشاری پارچه‌های اسپیسر حلقوی را بررسی کردند. پارچه‌های اسپیسر به‌واسطه داشتن ساختار ناهمگن در راستاهای مختلف، رفتارهای مکانیکی متفاوتی را نشان می‌دهند. در مطالعات انجام‌شده در تحلیل و بررسی خواص فشارپذیری پارچه‌های اسپیسر، برای اعمال فشار به آن‌ها، از آزمون‌های مختلف استفاده شده است که به‌شکل مسطح [۹، ۱۰] یا کرو [۱۰، ۱۱] هستند. تحلیل نمودار تنش-کرنش فشاری و محاسبه مقدار انرژی جذب‌شده برای استفاده از این نوع پارچه‌ها به‌عنوان ضربه‌گیر [۸، ۹] مورد توجه بوده است. ارائه مدل‌های ترکیبی برای بررسی مکانیک فشارپذیری پارچه‌های اسپیسر حلقوی [۱۲]، یافتن مدل نظری و رابطه بین پارامترهای ساختاری پارچه و خواص فشاری برای پیش‌بینی رفتار فشارپذیری آن‌ها [۱۳]، مدل‌سازی عددی برای رفتار فشارپذیری پارچه‌های اسپیسر و بررسی تأثیر خواص ساختاری بر سازوکار فشردگی [۱۴، ۱۵] و محاسبه حداکثر نیروی فشاری و کار آن در کاربردهایی چون استفاده در مبلمان و تشک به جای اسفنج پلی‌یورتان مدنظر قرار گرفته است [۴، ۵]. نتایج حاصل از بررسی مقایسه پارچه اسپیسر با اسفنج نشان می‌دهد، نمونه‌های اسپیسر حلقوی تار، جذب فشار بیشتری نسبت به پلی‌یورتان‌ها دارند و از لحاظ نفوذپذیری هوا و مقاومت گرمایی، راحت‌تر از اسفنج پلی‌یورتان‌ها هستند. در مجموع، این خواص نشان از جایگزینی مناسب اسپیسرها به جای اسفنج پلی‌یورتان در کاربردهای مختلف است، به‌ویژه مصارفی که نیاز به راحتی دارند [۶]. در مطالعات انجام‌شده، ویژگی‌های ساختاری پارچه‌ها به‌عنوان مثال تأثیر زاویه نخ‌های اسپیسر، ظرافت آن‌ها، نوع بافت لایه‌های خارجی، ضخامت پارچه و غیره به‌عنوان متغیرهای آزمایش‌ها تحلیل و مقایسه شده‌اند.

پارچه‌های اسپیسر حلقوی تار به‌علت ظرفیت زیاد جذب انرژی و کاهش حداکثر نیروی تماسی می‌توانند به‌عنوان منسوج مناسب برای حفاظت از بدن انسان در برابر ضربه به‌کار روند [۱۶]. از جمله مطالعات پژوهشگران برای بررسی کاربرد پارچه‌های اسپیسر به‌عنوان محافظ و ضربه‌گیر، می‌توان به بررسی اثر ساختار دولایه اسپیسر حلقوی تار بر جذب انرژی به‌وسیله ضربه [۱۷]، ارائه مدل دینامیکی حاصل از فنر و ضربه‌گیر غیرخطی برای پیش‌بینی پاسخ پارچه‌های اسپیسر حلقوی تار به ضربه فشاری در بارگذاری‌های مختلف [۱۸] و مدل‌سازی این پارچه‌ها در برابر

توافق خوبی دارد [۳۳]. با مرور کارهای انجام شده درباره خواص فیزیکی پارچه اسپیسر مشاهده می‌شود، مطالعات خواص کششی پارچه‌های اسپیسر محدود بوده و بیشتر ساختار آگرتیک این نوع پارچه‌ها بحث شده است. همچنین با توجه به رفتار ناهمسان‌گرد پارچه اسپیسر، فن‌های سریع و مدل‌های هندسی متفاوت برای تجزیه و تحلیل رفتار تغییر شکل ساختار پارچه در راستاهای مختلف کششی مورد نیاز است.

شناخت میزان تغییرات حاصل در منسوجات صنعتی پرکاربردی چون پارچه اسپیسر که در اغلب کاربردها، پارچه تحت نیرو قرار دارد، دارای اهمیت است. تغییر شکل‌های پارچه اسپیسر، به دلیل ساختار ویژه آن در هر یک از راستاهای رج و ردیف با یکدیگر متفاوت است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی کارایی روش پردازش ویدیویی در محاسبه تغییرات ابعادی ناشی از اعمال نیرو به پارچه اسپیسر و پیش‌بینی برخی از خواص وابسته به این تغییرات است. در این مطالعه، چند نمونه پارچه اسپیسر با طرح شش‌ضلعی استفاده و مقدار تغییرات با اعمال کرنش، به وسیله دوربین فیلم‌برداری ضبط شد. همچنین، فن پردازش ویدیویی برای مشاهده و ثبت تغییرات اعمال شده به کار گرفته شد. در بخش اول این مطالعه، مراحل پیش‌پردازش تصاویر که شامل خوشه‌بندی k -میانگین و ارزیابی تعداد خوشه‌ها با شاخص ارزیابی Davies Bouldin (DB) و ارزیابی کیفیت تصویر با تعیین مقدار سنجش شاخص تشابه ساختاری (structural similarity index measure, SSIM) است، انجام شده است. سپس، روش هندسی وابسته به پردازش تصاویر مبتنی بر واحد شش‌ضلعی در لایه روی پارچه اسپیسر، در هر یک از راستاهای ردیف و رج ارائه شده است. در پایان، تغییرات ابعادی و ابعاد منافذ هر یک از واحدها با روش پردازش تصویر محاسبه و مقدار ضریب پواسون به دست آمده از رویکرد نظری پردازش با روش تجربی مقایسه شدند.

۱-۱ پردازش تصویر

انتخاب بهترین فن پردازش تصویر برای تعیین خواص، دارای اهمیت است. در استفاده از روش پردازش تصویر، نه تنها امکان ضبط تغییر شکل کلی پارچه، بلکه امکان یافتن تغییر شکل مناطق مشخص نیز وجود دارد. این روش دارای مزایایی چون غیرتماسی بودن و دقت زیاد برای اندازه‌گیری جابه‌جایی و تغییر شکل‌هاست.

در این بررسی، برای مطالعه و بررسی خواص کششی پارچه‌های اسپیسر با استفاده از پردازش تصویر، مراحل ارائه شده در شکل ۱، انجام گرفته است. مراحل استفاده از روش پردازش تصویر در سه

چند نوع پارچه اسپیسر مختلف با ساختار شش‌ضلعی را بررسی کرده و جذب انرژی تحت تنش را از طریق انتگرال منحنی تنش-کرنش نمونه‌ها محاسبه کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد، جذب انرژی در پارچه‌های اسپیسر با استفاده از ظرفیت تغییر شکل ساختار، قابل تعیین است. در این مقاله، روند پارگی و شکل‌شناسی پارگی نمونه‌های تحت کشش بحث می‌شود [۳۱].

Wang و همکاران پارچه سه‌بعدی اسپیسر آگرتیک با ضریب پواسون منفی را بررسی کردند. در این مطالعه با استفاده از مشاهدات تجربی، تغییر شکل واحد سلول شش‌ضلعی در کرنش‌های کششی مختلف را با دو مدل هندسی متفاوت برای ساختار پارچه در راستای رج و ردیف توسعه دادند. براساس مدل‌های هندسی دو رابطه نیمه‌تجربی بین نسبت پواسون و کرنش کششی برای هر دو راستای کشش به دست آمد. نتایج نشان داد، معادلات نیمه‌تجربی به خوبی با نتایج عملی سازگاری دارند. بنابراین، معادلات مزبور می‌توانند برای طراحی و پیش‌بینی پارچه‌های اسپیسر آگرتیک با مقادیر مختلف پارامترهای هندسی استفاده شوند [۲۷].

قربانی و همکاران، رفتار تنش پارچه‌های اسپیسر را با استفاده از رویکرد نظری و تجربی بررسی کردند. مدل مکانیکی با استفاده از روش انرژی و نظریه Castigliano براساس ساختار هندسی و خواص مواد در پارچه دوبعدی توسعه داده شد. سپس، اثر نخ اسپیسر بر رفتار کششی در پارچه‌های اسپیسر بررسی شد. نتایج تجربی با مقادیر به دست آمده از رویکرد نظری با یکدیگر مقایسه و نتایج نهایی نشان داد، مدل توسعه یافته را می‌توان برای پیش‌بینی مدول به کار برد. همچنین آن‌ها دریافتند، رفتار کششی پارچه اسپیسر مستقل از موقعیت تخلخل‌ها در لایه بیرونی است، در حالی که ضخامت پارچه و اندازه مش‌ها بر مدول اثرگذار هستند [۲۸].

Wang و Hu خواص کششی و شکل‌پذیری پارچه‌های اسپیسر حلقوی تار آگرتیک را بررسی و با پارچه اسپیسر معمولی مقایسه کردند. نتایج نشان داد، پارچه‌های اسپیسر حلقوی تار آگرتیک دارای مرحله تنش کم طولانی در راستای رج هستند که نشان از تمایل بیشتر آن‌ها به تغییر شکل در راستای رج دارد و پارچه با مرحله تنش کم طولانی‌تر دارای اثر آگرتیک بهتری است [۳۲]. این پژوهشگران در مطالعه دیگری، رفتار تغییر شکل کششی پارچه‌های اسپیسر حلقوی تار آگرتیک را با استفاده از روش اجزای محدود بررسی کردند. بررسی مدل اجزای محدود نشان داد، تغییر شکل پارچه شبیه‌سازی شده در کرنش‌های کششی مختلف به تغییر شکل‌های پارچه واقعی بسیار نزدیک بوده و منحنی ضریب پواسون-کرنش به دست آمده از مدل اجزای محدود با منحنی واقعی

می‌کند. بنابراین، نتایج خوشه‌بندی متأثر از مراکز خوشه اولیه انتخابی است و الگوریتم دارای جواب یکتایی نیست. مسئله یافتن خوشه‌بندی بهینه در این زمینه مورد توجه است و معمولاً مسئله اعتبار خوشه نامیده می‌شود. یکی از این شاخص‌ها، شاخص Davies Bouldin است. در واقع این شاخص، میانگین شباهت میان هر خوشه با شبیه‌ترین خوشه به آن را محاسبه می‌کند. بهینه‌ترین حالت خوشه‌بندی زمانی حاصل می‌شود که فاصله درون‌خوشه‌ای کمترین و فاصله بین‌خوشه‌ای بیشترین مقدار را داشته باشد. در نتیجه هر چه مقدار این شاخص کمتر باشد، خوشه‌های بهتری تولید می‌شود [۳۵].

۱-۱-۱-۳ سنجش شاخص تشابه ساختاری

از معیارهای جدیدی که در آن مشخصه‌های ساختاری تصویر استفاده شده است، می‌توان SSIM را نام برد [۳۶]. SSIM در پنجره‌های مختلف تصویر محاسبه می‌شود. در این بررسی، از این شاخص برای ارزیابی کیفیت تصاویر حاصل از خوشه‌بندی نسبت به تصویر مرجع استفاده شده است که با نظرسنجی به‌عنوان بهترین تصویر تعیین می‌شود. مقدار این شاخص در فریم‌های مختلف تصویر قابل محاسبه است. مقدار این شاخص برابر است با:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (1)$$

در این معادله، μ_x و μ_y به ترتیب نشانگر میانگین و σ_x و σ_y واریانس x و y و σ_{xy} کوواریانس میان x و y است. هر یک از ثابت‌ها نیز با توجه به معادلات ارائه‌شده در مرجع ۳۶ قابل محاسبه هستند. بدین ترتیب x نشان‌دهنده مقادیر تصویر اصلی و y نشان‌دهنده تصویر خروجی است که باید با تصویر اصلی مقایسه شود. با توجه به مقادیر محاسبه‌شده از هریک از تصاویر و محاسبه مقدار SSIM می‌توان میزان شباهت تصویر باینری به‌دست‌آمده با تصویر اصلی را مقایسه و بهترین تصویر را انتخاب کرد. هرچه مقدار میانگین این شاخص به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، تصویر باینری حاصل از خوشه‌بندی به تصویر اصلی نزدیک‌تر و کیفیت تصویر حاصل بیشتر است.

۱-۱-۲ گام دوم: پردازش تصاویر نمونه‌های تحت نیرو در راستای

ردیف

پس از جداسازی لایه رویی از پس‌زمینه، مرحله پردازش تصاویر انجام می‌شود که شامل منطبق کردن شش ضلعی بر هر یک از منافذ و

گام پیش‌پردازش، پردازش و استخراج اطلاعات تقسیم‌بندی شده است.

۱-۱-۱-۱ گام اول: پیش‌پردازش

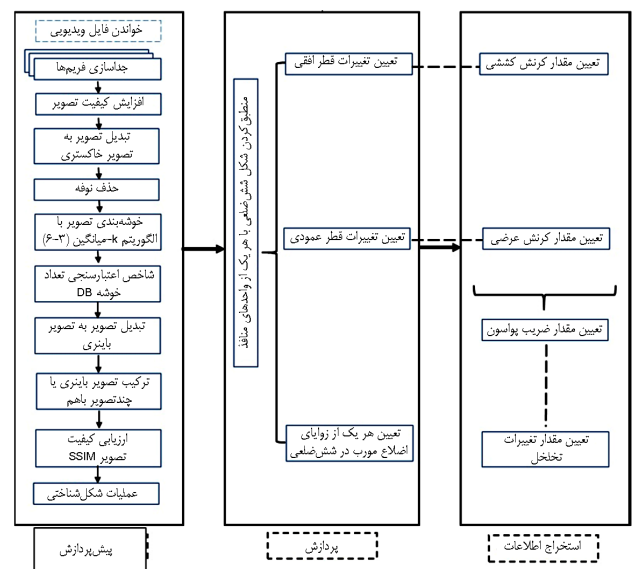
در گام اول، مراحل پیش‌پردازش تصویر مطابق با فرایند نشان داده‌شده در شکل ۱ انجام می‌گیرد. در این مرحله، برای تقسیم‌بندی تصویر به چند بخش، از الگوریتم خوشه‌بندی k -میانگین استفاده شد. علت استفاده از روش خوشه‌بندی برای جداسازی تصویر منافذ از پس‌زمینه، سه‌لایه بودن پارچه‌های اسپیسر و وجود تفاوت بین شدت نور تصویر در لایه‌های مختلف است.

۱-۱-۱-۱-۱ روش k -میانگین

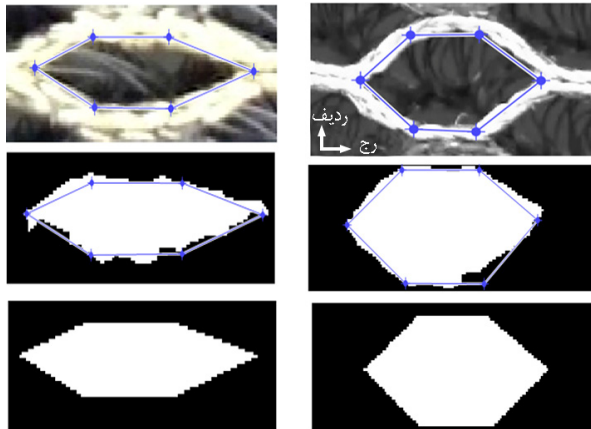
روش k -میانگین، از روش‌های خوشه‌بندی داده‌ها در داده‌کاوی است. الگوریتم خوشه‌بندی k -میانگین شامل چند مرحله است. این مراحل شامل انتخاب تعدادی نقطه به‌عنوان مراکز خوشه به‌طور تصادفی (این نقاط، همان میانگین نقاط متعلق به هر خوشه هستند)، نسبت‌دادن هر داده به یک خوشه، به‌صورتی که کمترین فاصله تا مرکز آن خوشه را دارا باشد و محاسبه مراکز جدید برای داده‌ها، با تکرار میانگین‌گیری از آن‌ها و انتساب مجدد داده‌ها به خوشه‌های جدید است. این روند تا زمانی ادامه می‌یابد که دیگر تغییری در داده‌ها حاصل نشود [۳۴].

۱-۱-۱-۲ شاخص Davies Bouldin

الگوریتم خوشه‌بندی k -میانگین با مراکز خوشه تصادفی کار

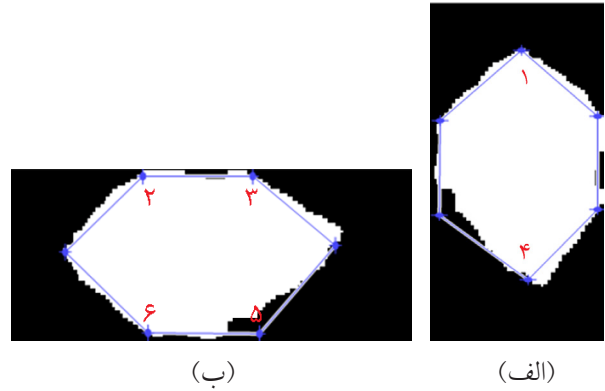


شکل ۱- مراحل پردازش تصویر.



شکل ۳- شش ضلعی برازش شده روی منافذ در تصویر.

شکل ۲- نحوه کار الگوریتم پردازش تصویر برای برازش شش ضلعی روی منافذ.



شکل ۱-۲-۱- روش هندسی وابسته به پردازش تصویر

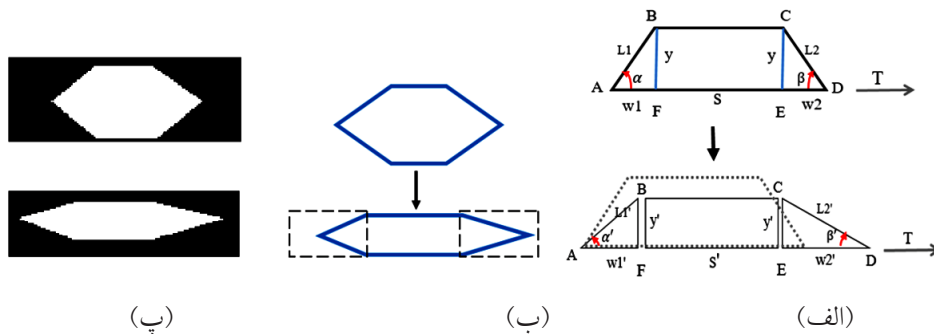
در این بررسی، شکل منافذ به صورت واحد شش ضلعی انتخاب شدند. پس از برازش شکل شش ضلعی روی منافذ در تصاویر، محاسبه هر یک از متغیرهای وابسته به مقدار کرنش، با استفاده از روش هندسی قابل محاسبه است. در ادامه، سلول واحد که نیمی از شکل شش ضلعی بوده و در راستای ردیف کشیده شده، نشان داده شده است. از آنجا که نیمه بالایی و پایینی شش ضلعی تغییرات مقارنی دارند، نصف شکل به عنوان سلول واحد انتخاب شده است. این در حالی است که نیمه چپ و راست شکل دارای تغییرات ابعادی متفاوت هستند. بنابراین فرض می شود، تغییرات نیمه بالا و پایین یکسان است. یکی دیگر از فرضیات این بود که تمام واحدهای شش ضلعی شکل و اندازه اولیه یکسانی دارند و همه واحدها دارای رفتار تغییر شکل یکسانی در طول فرایند ازدیاد طول هستند.

شکل ۴-الف، بهترین شش ضلعی به دست آمده پس از پیش پردازش و در مرحله پردازش را در دو حالت اولیه و پس از اعمال کرنش ۴۰٪ نشان داده است. شکل ۴-ب، شش ضلعی های استخراج شده از تصویر پردازش شده در دو حالت را نشان می دهد. شکل ۴-پ، سلول واحد نمونه تحت اعمال نیرو در راستای ردیف را نشان می دهد. از آنجا که یک سمت نمونه در فک ثابت و سمت دیگر نمونه در فک متحرک قرار دارد، می توان اظهار داشت، میزان تغییرات دو ضلع AF و ED تحت کرنش با یکدیگر متفاوت هستند.

محاسبه متغیرهای وابسته به هندسه است. ابتدا مراحل پردازش تصویر روی تصاویر نمونه های تحت کشش در راستای ردیف بیان شده و پس از آن، همین مراحل روی تصاویر نمونه ها در راستای رج انجام شده است. در این مرحله، با توجه به اینکه منافذ لایه رویی (پشت) پارچه اسپیسر، شش ضلعی هستند، با استفاده از الگوریتم، بهترین شش ضلعی برای هر یک از منافذ تصویر باینری به طور جداگانه برازش شده اند.

عملکرد الگوریتم پردازش تصویر برای منطبق کردن شش ضلعی بر منافذ، بدین صورت بود که پس از شناسایی اولین نقطه از لبه منفذ (شکل ۲-الف)، آن نقطه به عنوان نقطه ابتدایی ۱ در نظر گرفته شد. پس از آن در راستای همان نقطه آغازین، آخرین نقطه از تصویر سیاه و سفید شناسایی شد (نقطه ۴). در گام بعدی، در تصویر معکوس (چرخش ۹۰° در شکل ۲-ب) اولین نقطه سطری شناسایی (نقطه ۲) در همان راستا و بدون تغییر شیب (با توجه به بررسی نقاط همسایگی آن پیکسل) آخرین نقطه در راستای X و Y، یعنی نقاط ۳ و ۶ به دست آمدند. با استفاده از همین فن، در راستای نقطه ۳ و هم راستا با نقطه ۶، نقطه ۵ نیز قابل شناسایی شد. پس از تعیین موقعیت ۶ نقطه، نقاط به یکدیگر متصل و بهترین شش ضلعی برازش شده روی واحد شکل به دست آمد.

برازش بهترین شش ضلعی بر تصویر اصلی و تصویر باینری در شکل ۳ نشان داده شده است. شکل های ۳-الف و ب به ترتیب شش ضلعی در حالت اولیه و در کرنش ۳۰٪ را نشان می دهند. بهترین شش ضلعی های برازش شده لزوماً شش ضلعی منتظم نبوده و براساس زاویه و قطر افقی و عمودی تغییر می کند. یعنی زاویه های اضلاع مورب در دو طرف شش ضلعی ممکن است با یکدیگر برابر نباشند. همان گونه که در شکل ۳-ب نشان داده شده است، در کرنش ۳۰٪، شش ضلعی برازش شده روی حلقه منتظم و مقارن



شکل ۴- (الف) تصویر باینری در دو حالت اولیه و کرنش ۴۰٪، (ب) شش ضلعی برازش شده بر تصویر پیش پردازش شده و (پ) سلول واحد.

در ادامه با اعمال کشش به نمونه، تغییر شکل‌های متفاوت شکل می‌گیرد، به گونه‌ای که نیمه سمت چپ قسمتی که در فک به طور ثابت قرار گرفته، با نیمه راست که بیشتر تحت اثر نیرو است، دارای تغییر شکل‌های متفاوتی هستند. بنابراین، تغییرات به صورت روابط ریاضی در ادامه بیان شده‌اند.

با توجه به تصاویر فرض می‌شود، y' در دو سمت شش ضلعی دارای تغییرات یکسان و مقدار برابری است:

$$s' > s, \quad y > y', \quad \alpha' \neq \beta'$$

$$w2' > w1'$$

و در ادامه:

$$L1' = \sqrt{(w1'^2 + y'^2)} \tag{۴}$$

$$L2' = \sqrt{(w2'^2 + y'^2)} \tag{۵}$$

$$\alpha' = \sin^{-1}\left(\frac{y'}{L1'}\right) \quad \beta' = \sin^{-1}\left(\frac{y'}{L2'}\right) \tag{۶}$$

۱-۲-۱ اعمال روش هندسی بر تصاویر پردازش شده

پس از انجام گام‌های پیش پردازش و پردازش که شامل جداسازی واحدهای شش ضلعی از پس زمینه و برازش بهترین شش ضلعی بر هر یک از منافذ است، لبه‌های شش ضلعی و قطرهای افقی و عمودی هر یک از شش ضلعی‌ها استخراج و به صورت نقاط (x,y) رسم می‌شوند. سپس با توجه به قطر افقی و عمودی شش ضلعی و محل تلاقی قطرها، هر یک از فواصل w, s, y و همچنین زوایای اضلاع مورب شش ضلعی مطابق با روابط روش هندسی قابل محاسبه هستند (شکل ۵).

از این رو، این دو قسمت به طور جداگانه در نظر گرفته می‌شوند و قسمت میانی که به شکل یک مستطیل با ابعاد $s \times y$ بوده نیز به عنوان بخش جداگانه در نظر گرفته شده است. برای حالت اولیه و زمانی که نمونه تحت کشش قرار ندارد، فرضیات و روابط به شکل زیر در نظر گرفته شده است:

$$w1 = w2, \quad \alpha = \beta, \quad L1 = L2$$

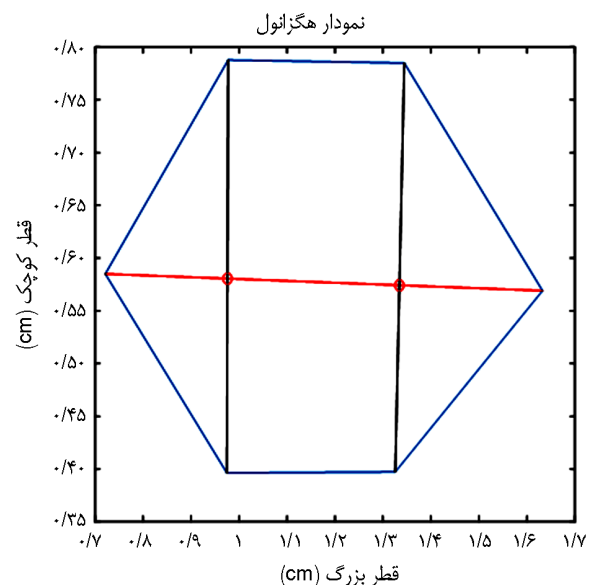
$$AD = w1 + w2 + s$$

$$BF = CE = y$$

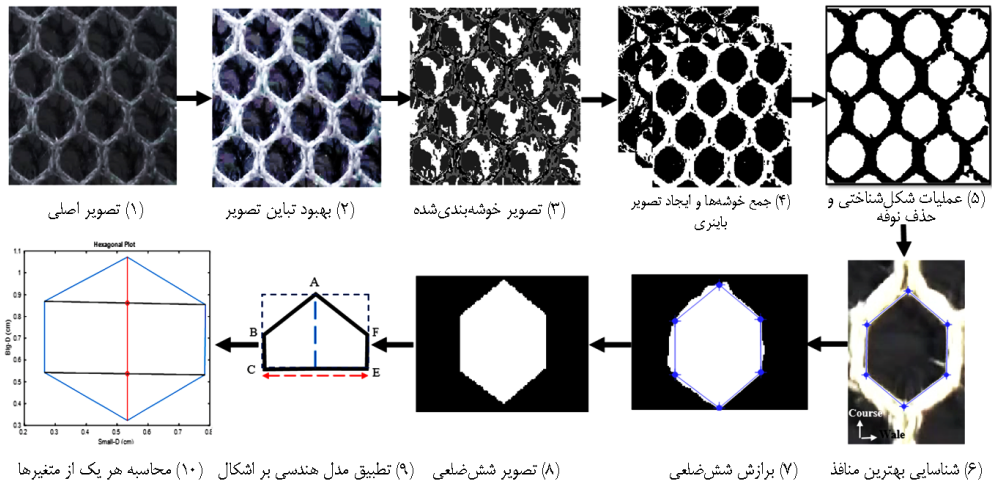
همچنین:

$$AB = \sqrt{(AF^2 + BF^2)} \tag{۲}$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{BF}{AB}\right) \tag{۳}$$



شکل ۵- شکل حاصل از پردازش تصویر نمونه‌های اسپیسر تحت نیرو در راستای ردیف.



شکل ۶- مراحل پیش‌پردازش و پردازش تصویر در نمونه‌ها تحت نیرو در راستای رج.

با توجه به تغییرات ایجاد شده، سلول واحد برای کرنش در راستای رج متفاوت خواهد بود. در شکل ۷-الف، سلول واحد با پیکان روی شکل نشان داده شده است. در این حالت فرض می‌شود، نیمه راست و چپ در شکل دارای تغییرات یکسان و متقارن هستند و نیمه بالایی شش‌ضلعی (شکل ۷-ب) به‌عنوان سلول واحد در نظر گرفته می‌شود. همچنین، همه واحدهای شش‌ضلعی دارای شکل و اندازه اولیه یکسان و رفتار تغییر شکل یکسان در طول فرایند تا ازدیاد طول معین هستند.

شکل سلول واحد به دو قسمت مثلث و مستطیل تقسیم شده است. در قسمت اول به‌طور مشابه با روش هندسی در راستای ردیف، روابط زیر بیان می‌شود:

$$O = \frac{P}{2} \quad (۷)$$

$$AF = AC + CF \quad (۸)$$

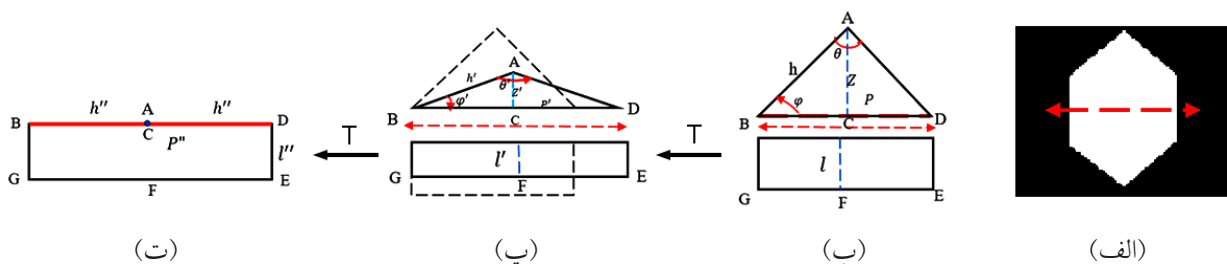
$$BD = P \quad (۹)$$

۳-۲-۱-۱ پیش‌پردازش و پردازش نمونه‌های اسپیسر تحت نیرو در

راستای رج

زمانی که نمونه‌های اسپیسر در راستای رج، تحت نیرو قرار گیرند، به‌عنوان مثال نمونه SA با $k=4$ خوشه با شاخص $DB=0/4125$ به‌عنوان بهترین تعداد خوشه در جداسازی منافذ از پس‌زمینه انتخاب شد. تمام مراحل نام برده شده در بخش‌های قبلی برای نمونه‌های اسپیسر تحت نیرو در راستای ردیف به‌طور مشابه برای نمونه تحت نیرو در راستای رج نیز انجام گرفت. نتایج به‌صورت کلی، در شکل ۶ نمایش داده شده است.

با اعمال نیرو به نمونه‌ها در راستای رج، همان فرایند پیش‌پردازش و پردازش مثل قبل انجام گرفت، با این تفاوت که در روش هندسی تفاوت‌هایی وجود دارد که در ادامه بیان شده است. نمونه‌های اسپیسر دارای منافذ با طرح شش‌ضلعی پس از قرارگیری تحت نیرو در راستای رج از کرنش تقریباً ۷۰٪ به بعد، شکل شش‌ضلعی آن تغییر می‌کند و هندسه منفذ تبدیل به مستطیل می‌شود. بنابراین تا این کرنش، مدل هندسی ادامه و از آن به بعد تا حداکثر کرنش قابل اعمال به نمونه، شکل مستطیل در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۷- (الف) تصویر باینری در حالت اولیه و سلول واحد (ب) در حالت اولیه، (پ) پس از اعمال کرنش و (ت) در کرنش‌های بیش از ۷۰٪.

شش ضلعی به مستطیل تبدیل شده و زاویه $\theta \rightarrow 0$ به سمت صفر میل می‌کند. وترهای مثلث روی مستطیل قرار می‌گیرند و تغییرات از آن به بعد با افزایش مقدار، P'' و کاهش طول، I'' خواهد بود.

$$AB = \sqrt{(AC^2 + BC^2)} \quad (10)$$

$$\frac{\theta}{2} = \sin^{-1}\left(\frac{BC}{AB}\right) \quad \varphi = \sin^{-1}\left(\frac{AC}{AB}\right) \quad (11)$$

تغییرات I در بخش دوم سلول واحد وابسته به زاویه یا ضلع دیگری نیست و مستقیم با تغییر مقدار کرنش این مقدار نیز تغییر می‌کند. با توجه به شکل ۷-پ داریم:

$$O = \frac{P'}{2} \quad (12)$$

$$h' = \sqrt{(o^2 + Z^2)} \quad (13)$$

$$\frac{\theta'}{2} = \sin^{-1}\left(\frac{o}{h'}\right) \quad \varphi = \sin^{-1}\left(\frac{Z'}{h'}\right) \quad (14)$$

با افزایش مقدار کرنش در بیش از ۷۰٪، مشاهده می‌شود، شکل

۲ تجربی

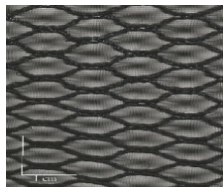
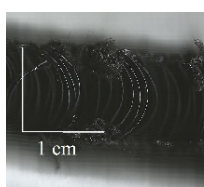
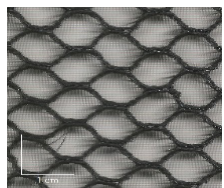
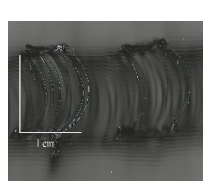
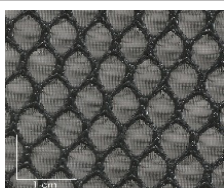
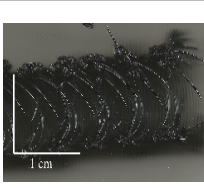
۲-۱ مواد

در این مطالعه ۳ نمونه پارچه اسپیسر با مشخصات بیان شده در جدول ۱ استفاده شدند. پارچه‌ها با دستگاه راشل مدل Karl Mayer HDR-RD با شش شانه و گیج ۲۸ تولید شدند. جنس نمونه‌ها ۱۰۰٪ پلی‌استر و مونوفیل‌منت‌های پلی‌استر با قطر $220 \mu\text{m}$ و نخ‌های چندفیل‌مندی 600D/192F برای لایه‌های دو طرف است. پارچه‌های اسپیسر استفاده شده دارای رو و پشت فنی یکسان بودند. تصویری از لایه رو و نمای جانبی نمونه‌ها

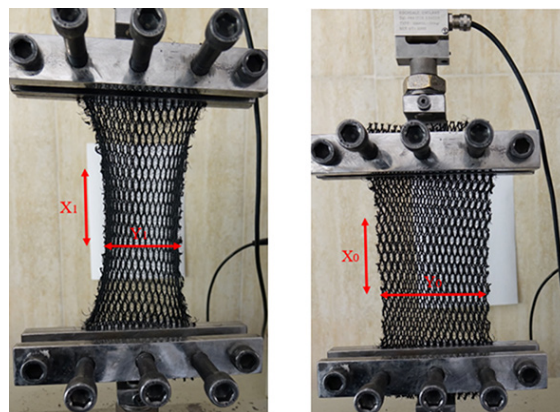
جدول ۱- مشخصات پارچه‌های اسپیسر.

کد نمونه	ضخامت (mm)	چگالی (kg/m ³)	پراکندگی مونوفیل‌منت‌ها (density/cm ²)	تخلخل (%)	تراکم منافذ (cm/رج)	تراکم منافذ (ردیف/cm)
SA	۱۰ (cv/٪:۱/۳۶)	۰/۳۵ (cv/٪:۵/۲۵)	۳۸	۹۴/۱۳	۱/۹	۰/۹
SB	۱۰ (cv/٪:۲/۱۰)	۰/۵۲ (cv/٪:۵/۴۷)	۳۰	۹۶/۲۳	۱/۷	۰/۹
SC	۱۰ (cv/٪:۲/۱۵)	۰/۵۶ (cv/٪:۴/۱۹)	۵۰	۹۱/۸۹	۲/۱	۱/۴

جدول ۲- تصاویر پارچه اسپیسر.

کد نمونه	روی فنی-پشت فنی	نمای جانبی
SA		
SB		
SC		

از پردازش ویدیویی با روش بیان شده در بخش ۲ انجام شد. با توجه به نمودار جریان ارائه شده (شکل ۱)، پیش پردازش که شامل مرحله‌ی چون یکسان سازی شدت نور تصویر، تبدیل تصویر رنگی به تصویر خاکستری، حذف نوفه، خوشه بندی با استفاده از الگوریتم k -میانگین، ارزیابی کیفیت تصویر و پردازش شامل برازش شکل شش ضلعی در هر یک از منافذ انجام و سپس تغییرات محاسبه شد.



(ب)

(الف)

شکل ۸- نمونه پارچه اسپیسر در دستگاه کشش: (الف) حالت اولیه و (ب) تحت کشش.

در جدول ۲ نشان داده شده است.

۲-۲ روش‌ها

۱-۲-۲ آزمون کشش

به منظور بررسی رفتار تغییر شکل پارچه‌های اسپیسر با طرح منافذ شش ضلعی، کرنش کششی در دو راستای رج و ردیف با استفاده از دستگاه Instron و سلول بار ۲ kN اعمال شد (شکل ۸). آزمون با سرعت ۸۰ mm/min و طول اولیه ۱۵ cm انجام و ابعاد نمونه ۱۰ cm×۱۵ cm انتخاب شد. کرنش اعمالی به نمونه‌ها تا حداکثر کرنش قابل تحمل بود. به منظور مشاهده نحوه تغییر شکل لایه بیرونی تحت کشش، از دوربین فیلم برداری استفاده شد. فیلم‌های ویدیویی از نمونه‌ها در دو راستای رج و ردیف ضبط شد. برای هر یک از نمونه‌ها در هر دو راستا سه بار آزمون انجام و فیلم برداری تکرار شد.

بررسی تغییرات پارچه اسپیسر تحت اعمال نیرو با استفاده

۳ نتایج و بحث

در این مطالعه، ابتدا تغییر شکل واحد شش ضلعی به طور تجربی، زمانی که در راستای رج و ردیف تحت کرنش قرار می‌گیرد، نشان داده شده است. با توجه به فرضیات حاصل از مشاهدات، مدل هندسی در هر دو راستا پیشنهاد شد. در ادامه، نتایج بررسی خواص کششی پارچه اسپیسر تحت نیرو در چند بخش توضیح داده شده است.

۱-۳ نتایج حاصل از پیش پردازش

در این مطالعه، پس از مراحل آماده سازی تصویر، از الگوریتم k -میانگین، برای تقسیم بندی هر یک از تصاویر نمونه‌های اسپیسر تحت کشش استفاده شد. نتایج حاصل از پیش پردازش تصویر با انتخاب بهترین تعداد خوشه با استفاده از شاخص DB و تبدیل تصویر به تصویر باینری و سپس جمع دو یا سه تصویر با یکدیگر و استفاده از شاخص ارزیابی کیفیت تصویر برای نمونه‌ها انجام شد. در جدول ۳، مقدار DB و SSIM برای هر یک از نمونه‌ها در تعداد خوشه‌های مختلف نشان داده شده است. با استفاده از شاخص ارزیابی، کیفیت نزدیک ترین تصویر به تصویر اصلی با مقدار بیشینه شاخص SSIM (حداکثر ۱) به عنوان تصویر خروجی انتخاب

جدول ۳- انتخاب تعداد خوشه بر مبنای شاخص کنترل تعداد خوشه و ارزیابی کیفیت تصویر.

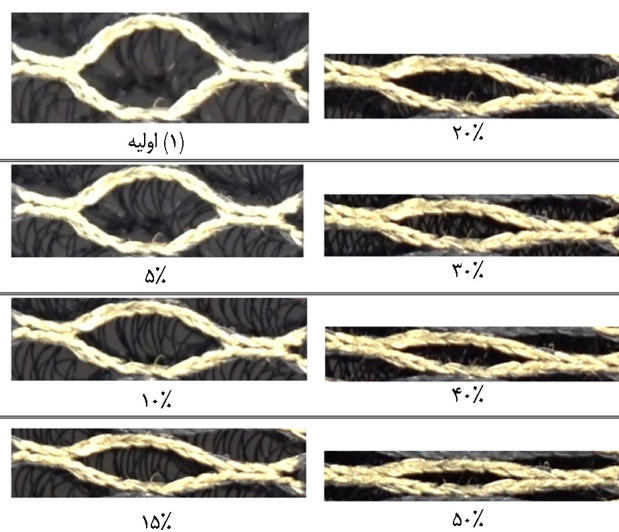
نمونه	شاخص ارزیابی	SA		SB		SC	
		ردیف	رج	ردیف	رج	ردیف	رج
K=3	DB	۰/۴۲۷۸	۰/۴۳۲۰	۰/۴۲۶۹	۰/۴۳۱۴	۰/۴۲۰۷	۰/۴۳۲۵
	MSSIM	۰/۹۸۶۴	۰/۹۸۳۲	۰/۹۹۲۶*	۰/۹۹۲۰*	۰/۹۷۸۵	۰/۹۶۹۰
K=4	DB	۰/۴۱۲۵	۰/۴۲۵۰	۰/۴۲۶۴	۰/۴۳۴۰	۰/۴۰۰۴	۰/۴۲۵۱
	MSSIM	۰/۹۹۱۲*	۰/۹۸۷۶*	۰/۹۹۰۱	۰/۹۸۹۶	۰/۹۹۰۵*	۰/۹۸۱۱
K=5	DB	۰/۴۲۱۲	۰/۴۲۳۹	۰/۴۲۹۰	۰/۴۳۸۱	۰/۴۱۹۳	۰/۴۲۲۹
	MSSIM	۰/۹۸۵۰	۰/۹۸۴۳	۰/۹۸۴۰	۰/۹۸۶۲	۰/۹۷۲۳	۰/۹۸۳۸*

هم رج بهترین مقادیر برای شاخص DB بوده و بهترین ارزیابی کیفیت تصویر را داشته است.

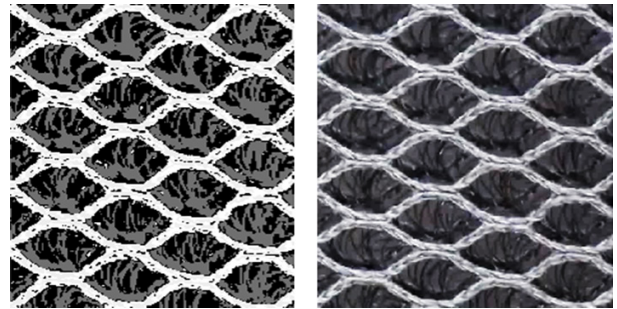
در شکل ۹-الف تا ۹-ث، نمونه SA، تصویر تقسیم‌بندی شده با تعداد خوشه بهینه $k=4$ ، تصاویر باینری هر یک از خوشه‌ها به‌طور جداگانه و حاصل جمع ۲ خوشه و نیز تصویر حاصل پس از عملیات شکل‌شناختی نشان داده شده است. با وجود حذف نوفه در مراحل اولیه ممکن است، عملیات شکل‌شناختی برای حذف آن از تصاویر باینری لازم باشد. عملیات باز و بسته‌کردن شکل‌شناختی و همچنین عملیات فیلتر روی تصاویر باینری می‌تواند موجب کوچک‌تر یا بزرگ‌تر شدن منافذ شود و در محاسبات ایجاد خطا کند. بنابراین، مناسب‌ترین روش، جداسازی بزرگ‌ترین شیئی‌ها از تصویر نهایی است که باعث حذف نوفه‌های کوچک از آن می‌شود.

۲-۳ نتایج اسپیسرهای تحت کشش در راستای ردیف

تصویر واحد شش‌ضلعی که در راستای ردیف تحت کرنش قرار دارد، در شکل ۱۰ نشان داده شده است. از آنجا که پارچه از مجموعه شش‌ضلعی‌ها در مجاورت یکدیگر تشکیل شده، بنابراین بررسی یک واحد شش‌ضلعی برای تجزیه و تحلیل رفتار تغییر شکل ساختار پارچه، کافی است. همچنین قابل ذکر است، در مدل هندسی پیشنهاد شده کوچک‌ترین واحد، شش‌ضلعی در نظر گرفته نشده است. با توجه به مشاهدات، رفتار در این نوع ساختارها، به‌طور متقارن رخ داده است. از این رو، نصف شش‌ضلعی به‌عنوان سلول واحد در نظر گرفته شده است. حداکثر کرنش اعمالی به نمونه‌ها در راستای ردیف ۵۰٪ به‌دست آمد. شکل ۱۰ نمونه اسپیسر SA تحت

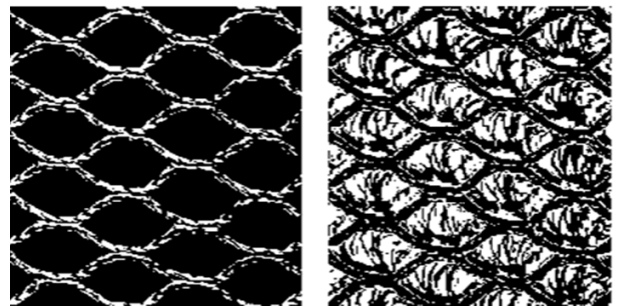
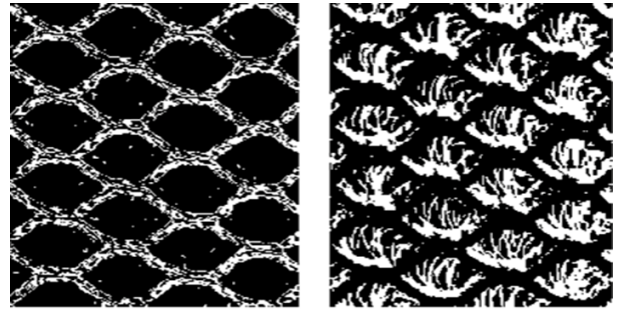


شکل ۱۰- تصاویر یک حلقه از نمونه SA تحت کشش در راستای ردیف در کرنش‌های مختلف.

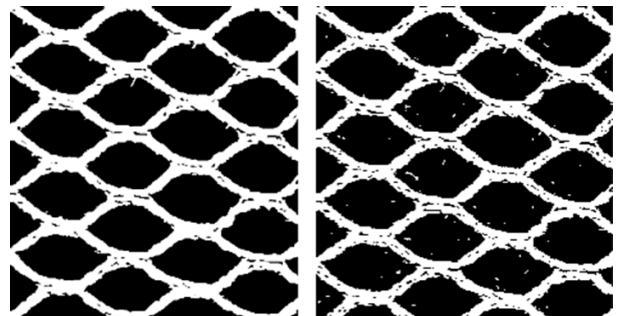


(ب)

(الف)



(پ)

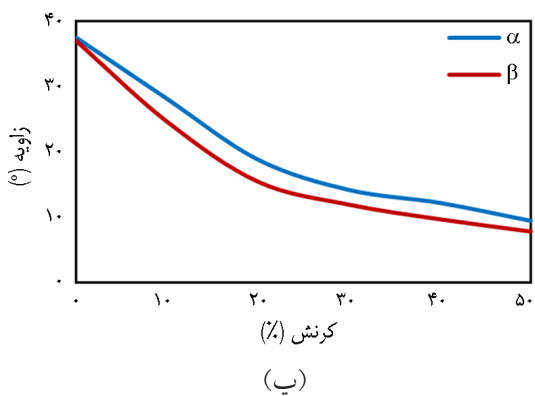
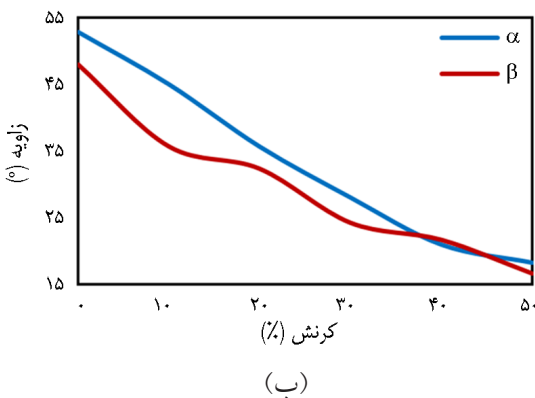
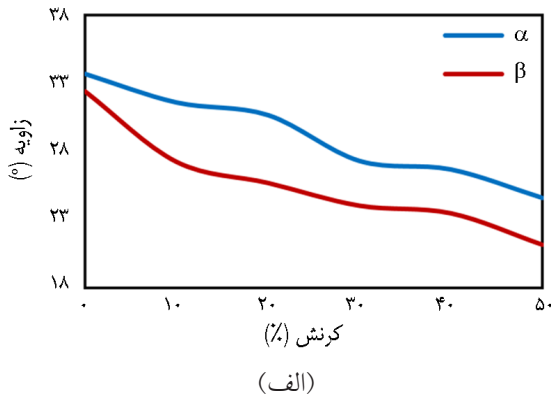


(ث)

(ت)

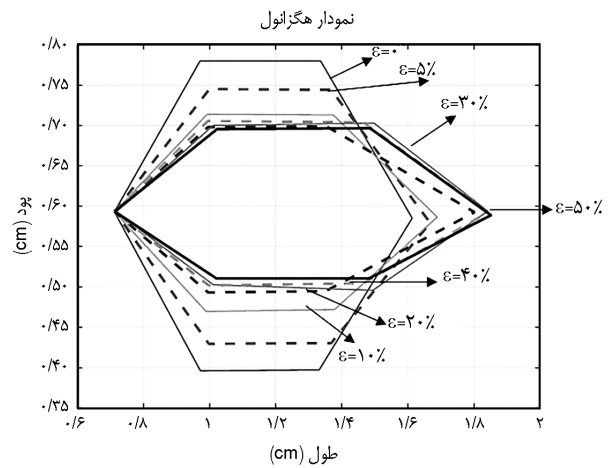
شکل ۹- (الف) نمونه SA تحت کشش در راستای ردیف، (ب) تصویر خوشه‌بندی شده ($k=4$)، (پ) تصویر باینری هر یک از خوشه‌ها، (ت) جمع دو خوشه ۱ و ۳ و (ث) تصویر نهایی پس از عملیات شکل‌شناختی و حذف نوفه.

می‌شود. تعداد خوشه همراه با مقادیر بهینه شاخص DB و ارزیابی کیفیت تصویر SSIM در جدول به‌صورت رنگی نشان داده شده است. به‌عنوان مثال، برای نمونه SA تعداد ۴ خوشه هم برای ردیف و



شکل ۱۲- تغییرات دو زاویه آلفا و بتا با تغییرات کرنش در نمونه‌های: (الف) SA، (ب) SB و (پ) SC.

مقدار زاویه‌های آلفا و بتا برای نمونه‌های اسپیسر در حین اعمال کشش با هم تفاوت دارند، زیرا زاویه بتا بیشتر تحت تأثیر کرنش اعمالی قرار می‌گیرد. این دو زاویه تحت تأثیر تغییرات دو قطر AD و BF هستند. با تغییر این دو قطر، زاویا نیز تغییر می‌کنند. با توجه به شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، دو زاویه آلفا و بتا در ابتدا نیز حداقل اختلافی دارند که این موضوع به دلیل نوع بافت و کشش‌های ایجاد شده حین بافت است. با افزایش کشش، هر دو زاویه کاهش می‌یابند، اما همان‌گونه که قبلاً گفته شد، زاویه بتا که نزدیک به محل اعمال کشش است، کاهش بیشتری دارد.

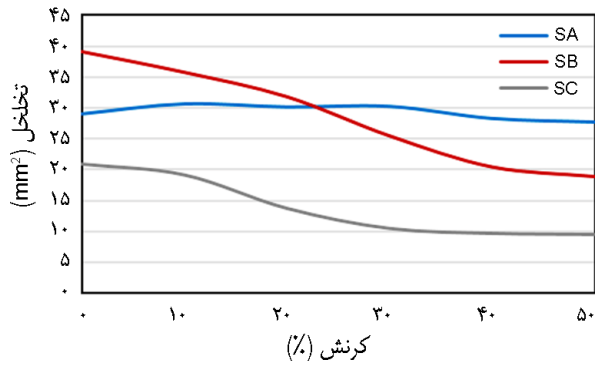


شکل ۱۱- تغییرات یک واحد شش‌ضلعی از نمونه SA در کرنش‌های مختلف.

اثر نیرو را در راستای ردیف نشان می‌دهد. هر یک از قسمت‌های شکل، نشانگر یک واحد شش‌ضلعی از لایه رویی پارچه اسپیسر بوده که در حالت اولیه و در کرنش‌های ۵٪ تا ۴۰٪ نشان داده شده است. با توجه به تصاویر مشخص است، شش‌ضلعی از ابتدا تا مراحل پایانی شکل خود را حتی به شکل شش‌ضلعی غیر منظم حفظ کرده است. همچنین، تغییرات قطرها و مقدار تخلخل در نمونه مشهود است.

تغییرات واحد شش‌ضلعی برای نمونه SA که نشانگر تغییرات ابعاد و زوایا بوده، در شکل ۱۱ نشان داده شده است. تمام نقاط این واحد در راستای کشش، تغییر طولی و عرضی دارند. اما برای نمایش بهتر، تمام نقاط ابتدایی در یک نقطه در نظر گرفته شده و تغییرات روی نمودار نشان داده شده است. همان‌گونه که در تصویر دیده می‌شود، با افزایش مقدار کرنش، نمونه تحت کشش در راستای ردیف کشیده‌تر شده و قطر AD (افقی) هر یک از این واحدها بزرگ‌تر می‌شود. از طرفی اندازه y رو به کاهش است. بیشترین میزان تغییرات در کرنش‌های اولیه یعنی تا حدود ۲۰٪ اتفاق می‌افتد. برای مشاهده جزئیات بیشتر، تغییرات ابعاد و زوایا در ادامه بررسی شده‌اند (شکل ۱۲).

با توجه به سلول واحد نشان داده شده در روش هندسی، افزایش مقدار کرنش، باعث کاهش قطر عمودی و افزایش قطر افقی شش‌ضلعی می‌شود. اما همان‌گونه که دیده می‌شود، به‌عنوان مثال نمونه SC، افزایش قطر بزرگ تا کرنش تقریبی ۱۵٪ اتفاق می‌افتد و از آن پس، تغییرات قطر افقی بسیار کم است. علت تغییرات افزایش، کاهش و ثابت شدن را می‌توان با تراکم رج و ردیف، طول حلقه و وجود نخ‌های اسپیسر در لایه میانی و غیره مرتبط دانست.

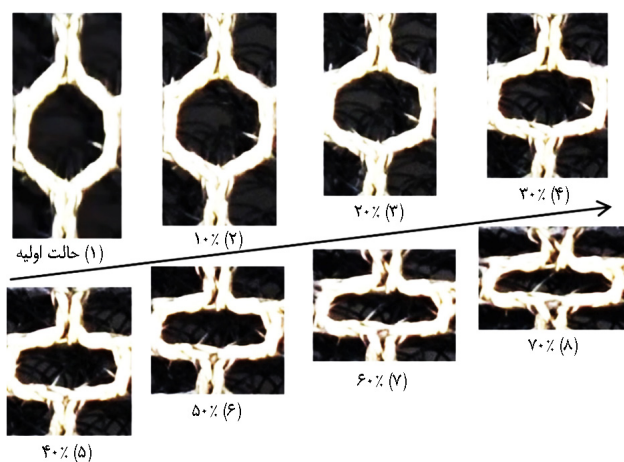


شکل ۱۵- تغییرات تخلخل در یک لایه رویی از نمونه‌های اسپیسر با تغییرات کرنش در راستای ردیف.

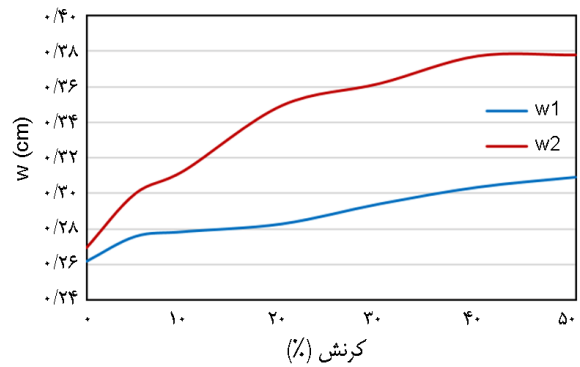
افزایش قطر افقی و همچنین کاهش قطر عمودی مقدار یکسانی بوده و تغییرات ابعاد کلی منفذ و مقدار تخلخل در نمونه SC ثابت باقی می‌ماند.

۴-۳ نتایج پردازش نمونه‌های تحت کش در راستای رج

تصویر واحد شش ضلعی تحت کرنش در راستای رج در شکل ۱۶ نشان داده شده است. قابل ذکر است، مانند بخش قبل، از آنجا که پارچه از مجموعه شش ضلعی‌های مجاور یکدیگر تشکیل شده است، بنابراین بررسی یک واحد شش ضلعی برای تجزیه و تحلیل رفتار تغییر شکل ساختار پارچه کافی است. حداکثر کرنش اعمالی به نمونه‌ها در راستای رج ۱۰۰٪ به دست آمد. شکل ۱۶ اسپیسر SA تحت اثر نیرو در راستای رج را نشان می‌دهد که در حالت اولیه و در کرنش‌های ۱۰٪ تا ۷۰٪ نشان داده شده و تصویر واحد شش ضلعی در کرنش‌های بیشتر، مانند تصویر کرنش ۷۰٪ است.



شکل ۱۶- تغییرات یک حلقه از لایه رویی در نمونه‌های اسپیسر SA با تغییرات کرنش.

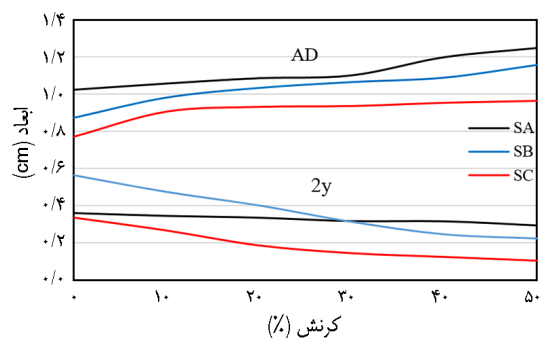


شکل ۱۳- تغییرات دو ابعاد w1 و w2 در نمونه SA با تغییرات کرنش.

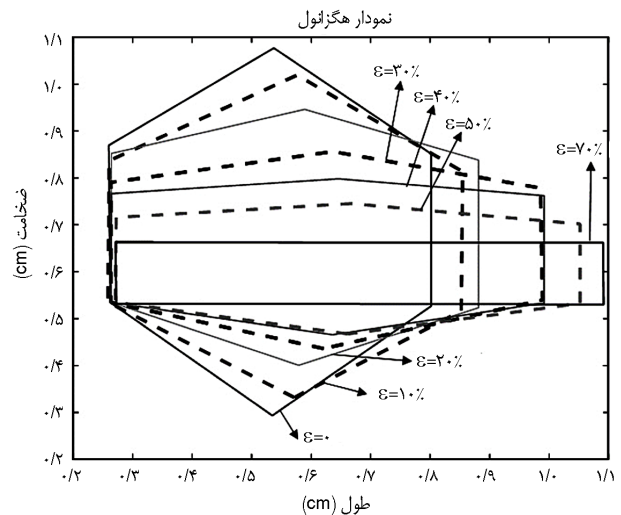
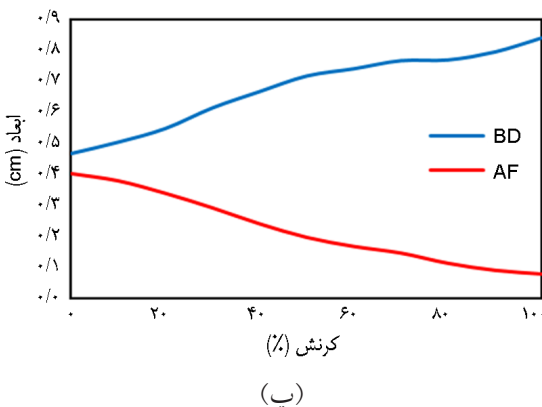
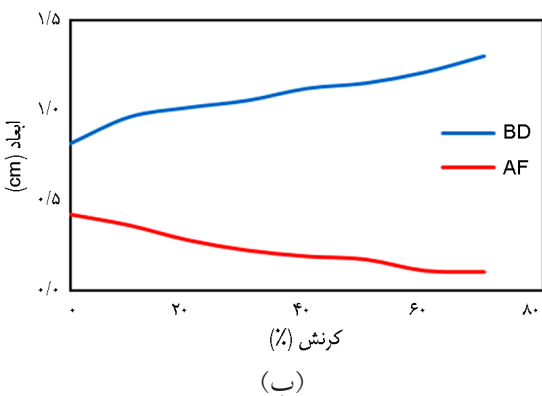
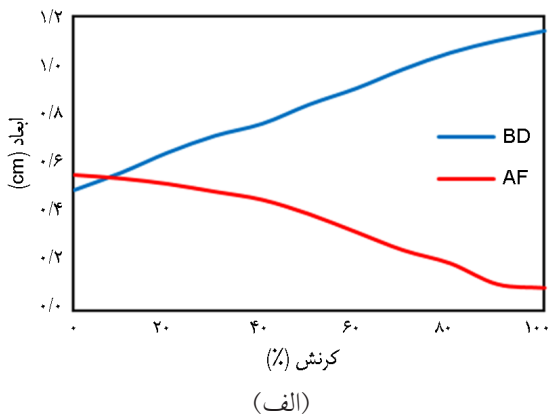
در شکل ۱۳ دیده می‌شود، با توجه به فرضیات و پارامترهای مدل هندسی شرح داده شده در بخش قبل، دو مقدار w1 و w2 اضلاع مثلث در سلول واحد هستند. آن‌ها به عنوان اضلاع مجانب زوایای قابل تغییر، دارای تغییر طول‌های متفاوتی هستند. انتظار می‌رود، دو مقدار با افزایش کرنش دارای تغییر طول‌های متفاوتی باشند. ضلع w2 با افزایش کرنش، افزایش طول بیشتری می‌یابد، زیرا نسبت به ضلع w1 بیشتر تحت اثر نیرو قرار دارد.

۳-۳ تغییرات مقدار تخلخل در نمونه‌های اسپیسر پس از اعمال نیرو در راستای ردیف

رفتار نمونه‌های مختلف در اثر افزایش کرنش متفاوت است. در شکل ۱۵ دیده می‌شود، با افزایش مقدار کرنش، تخلخل در برخی روند کاهشی و در برخی دیگر روند ثابت دارد. زیرا، تغییرات ابعاد در شش ضلعی‌ها، برای هر یک از نمونه‌ها متفاوت بوده است. به عنوان مثال، برای نمونه SC (شکل ۱۲) با افزایش کرنش تا مقدار تقریباً ۱۵٪، قطر افقی AD افزایش و پس از این مقدار روند تقریباً ثابت شده است. در کرنش تقریباً بیش از ۱۵٪ تغییرات ابعاد و



شکل ۱۴- تغییرات دو قطر بزرگ و کوچک هر یک از حلقه‌ها با شکل شش ضلعی.



شکل ۱۷- تغییرات یک واحد شش ضلعی از نمونه در کرنش‌های مختلف در راستای رج.

تغییرات ابعاد یک واحد شش ضلعی از نمونه در شکل ۱۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شکل شش ضلعی از کرنش ۷۰٪ به بعد، تقریباً به شکل مستطیل تبدیل می‌شود. در ادامه، میزان تغییرات ابعادی و زوایا با توجه به مدل هندسی ارائه شده روی تصاویر پردازش شده، بررسی شده است.

تغییرات ابعادی یک واحد شش ضلعی بافت در طول کشش در راستای رج در شکل ۱۷ نشان داده شده است. دیده می‌شود، تغییرات حلقه از شش ضلعی تا مستطیل کامل است. تغییرات ابعادی و زوایا در شکل ۱۸ ارائه شده است. تغییرات ابعاد دو ضلع BD و AF با افزایش کرنش در نمودارهای این شکل دیده می‌شود. همان‌طور که بیان شد، با افزایش مقدار کرنش در هر یک از نمونه‌ها، قطر افقی BD افزایش و اندازه عمودی AF کاهش می‌یابد. این تغییرات با توجه به شکل واحد شش ضلعی لایه رویی پارچه اسپیسر تحت اثر نیرو است.

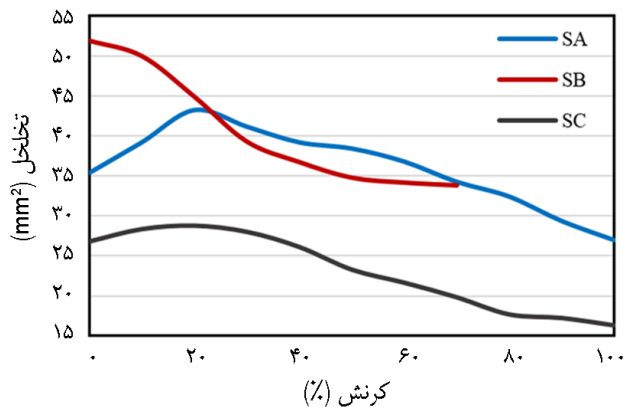
روند تغییرات زوایا نیز با افزایش کرنش در شکل ۱۹ آمده است. مشاهده می‌شود، زاویه θ از 70° تا تقریباً 180° تغییر می‌کند. این زاویه پس از کرنش ۷۰٪، تغییرات زیادی ندارد و در مقدار تقریبی نزدیک به 180° ، شکل واحد شش ضلعی تبدیل به مستطیل می‌شود. مقدار زاویه ϕ از مقدار حداکثر 55° تا مقدار 0° (رسیدن به مستطیل کامل) تغییر می‌کند.

تغییرات تخلخل وابسته به تغییرات ابعاد است. تغییرات ابعاد در اعمال کرنش در راستای رج در شکل ۲۰ ارائه شده است. مشاهده می‌شود، مقدار تغییرات تخلخل در دو نمونه SB و SC با افزایش کرنش، کاهش می‌یابد. اما نمونه SA در مراحل اولیه اعمال نیرو تا

شکل ۱۸- تغییرات دو قطر افقی و عمودی یک واحد شش ضلعی از نمونه در کرنش‌های مختلف در راستای رج در نمونه‌های: (الف) SA، (ب) SB و (پ) SC.

کرنش ۲۰٪، روند افزایش و پس از آن کاهش تخلخل را نشان می‌دهد. این نوع تغییرات در نمونه SA را می‌توان ناشی از تغییرات دو قطر BD و AF در آن دانست.

در بررسی نمونه مورد آزمون، قسمت وسط نمونه تحت کشش یک بخش (مستطیل با ابعاد ۷ cm × ۵ cm) در نظر گرفته شد. همچنین، در همین قسمت تعدادی واحد شش ضلعی مشخص (دو طرف و وسط نمونه)، برای بررسی مناطق مختلف نمونه تحت کشش در نظر گرفته شدند. تغییرات کلی بیان شده‌اند و محاسبه



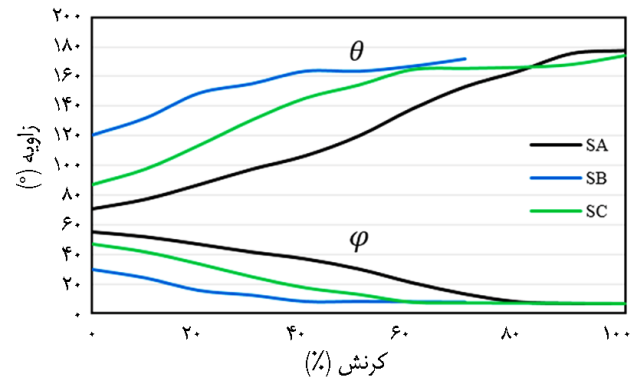
شکل ۲۰- تغییرات تخلخل در یک لایه رویی نمونه‌های اسپیسر با تغییرات کرنش در راستای رج.

$$\varepsilon_t = -\frac{Y_1 - Y_0}{Y_0} \quad (16)$$

$$v = -\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_a} \quad (17)$$

در کرنش در راستای ردیف، تغییرات AD بر کرنش طولی و تغییرات 2y بر کرنش عرضی اثرگذار است. در کرنش در راستای رج، BD در کرنش طولی و AF بر کرنش عرضی تأثیر دارد.

شکل ۲۱، ضریب پواسون به دست آمده از طریق محاسبه تجربی (خط چین) و نتایج پردازش تصویر (منحنی) نشان داده شده است. در این شکل، ضریب پواسون در حالت پردازش تصویر برای تمام کرنش‌ها محاسبه و منحنی تغییرات ضریب پواسون برای هر یک از نمونه‌ها در حالت رج و ردیف رسم شده است. ضریب پواسون به طور تجربی، برای کرنش ۱۰٪ و در مرحله پایانی نیز محاسبه و با دو نقطه و خط چین نشان داده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد، روش پردازش در محاسبه ضریب پواسون در تمام کرنش‌ها روش مناسبی است که با پردازش لحظه‌ای تغییرات ابعادی پارچه می‌توان پارامترهایی چون کرنش‌های طولی و عرضی و ضریب پواسون را محاسبه کرد. همچنین، محاسبه توزیع کرنش در داخل نمونه برای هر یک از واحدها نیز قابل محاسبه است. تغییرات بیشتر 2y در راستای ردیف و تغییرات AF در راستای رج به معنی تغییر شکل بیشتر در راستای عرض پارچه است. بنابراین، برای طراحی پارچه اسپیسر با مقدار PR بیشتر، در نظر گرفتن پارامترهای ساختاری هم‌زمان با میزان تغییرات ابعادی شکل طرح، به عنوان مثال واحد شش ضلعی، تحت اثر نیرو دارای اهمیت است.



شکل ۱۹- تغییرات زوایا در نمونه‌های اسپیسر تحت کرنش در راستای رج.

کرنش‌ها نیز بر اساس ابعاد تعریف و میانگین تغییرات به دست آمده از حداقل ۵ شکل واحد تعیین شده است.

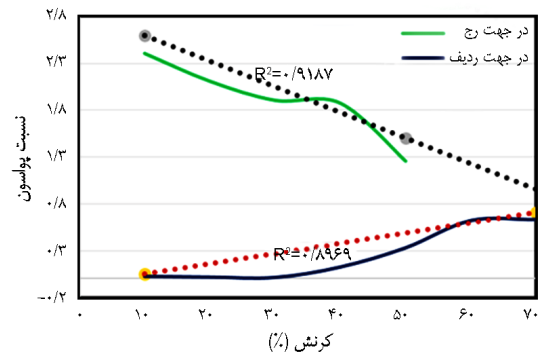
دانستن تغییر شکل‌های ناشی از اعمال نیرو به منسوجات که بر خواص فیزیکی آن‌ها حین استفاده اثرگذارند، دارای اهمیت است. نیروهای اعمال شده به منسوجات ممکن است باعث تغییر شکل دائمی یا موقت منسوجات حین استفاده شوند که بر خواص فیزیکی آن‌ها اثر می‌گذارد.

در این بررسی، با توجه به اهمیت تغییرات ایجاد شده پس از اعمال نیرو، مقدار تغییرات ابعادی و تخلخل در لایه‌ای از پارچه اسپیسر بررسی شده است. سایر مطالعات نشان داده‌اند، عمده تغییرات حاصل، تغییرات منفذ در سطح نمونه‌ها بوده و تغییرات ضخامت بسیار اندک است [۲۸].

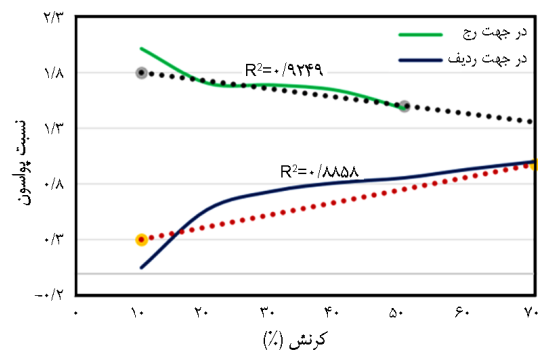
در این مطالعه، نیز تغییرات ابعادی و اندازه منافذ خیلی بیشتر از تغییرات ضخامت بود. بنابراین، از تغییرات ضخامت در طول کرنش صرف نظر شد. با بررسی مونوفیل‌مانت‌ها در لایه میانی حین اعمال نیرو مشاهده می‌شود، جابه‌جایی آن‌ها همراه با حرکت هر یک از واحدهای شش ضلعی (لایه‌های بیرونی) اتفاق می‌افتد. از این رو، اثر نخ‌های اسپیسر را می‌توان بیشتر در محدود کردن هر یک از واحدها در نزدیک شدن کامل به یکدیگر (بسته شدن منفذ) به دلیل فضای اشغال شده به وسیله هر یک از آن‌ها و تماس با یکدیگر دانست و اثر آن‌ها را بر نوع تغییر شکل لایه‌های بیرونی می‌توان نادیده گرفت. بنابراین، فقط تغییر شکل لایه‌های خارجی مشاهده و تجزیه و تحلیل می‌شود [۲۷]. با توجه به شکل ۸، مقدار کرنش‌های طولی و عرضی و ضریب پواسون به ترتیب با معادلات (۱۵) تا (۱۷) قابل تعیین است:

$$\varepsilon_a = -\frac{X_1 - X_0}{X_0} \quad (15)$$

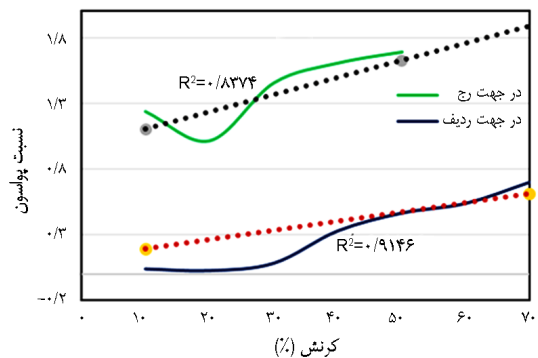
این بررسی، با استفاده از روش پردازش تصاویر نمونه‌های اسپیسر تحت کشش، نه تنها امکان محاسبه حداقل تغییرات ابعادی هر یک از واحدهای طرح ساختار وجود دارد، بلکه می‌توان پارامترهای اثرگذار بر خواص فیزیکی چون مقدار تخلخل و تغییرات آن با توجه به افزایش کرنش و ضریب پواسون را محاسبه کرد. مطالعات مختلفی درباره بررسی خواص کششی و تغییرات پارچه اسپیسر و همچنین محاسبه خواص مرتبط با کشش انجام شده است. اما به سبب استفاده از روش پردازش ویدیویی، محاسبه و مشاهده لحظه‌ای تغییرات بدین شکل انجام نگرفته است. هدف از مطالعه حاضر، ارائه روش پردازش ویدیویی و روش هندسی با توجه به شکل منفذ برای بررسی تغییرات ابعادی نمونه‌های مختلف در راستای اعمال نیرو است. نتایج حاصل نشان داد، زمانی که مونوفیلانت‌ها در لایه میانی پارچه تقریباً در راستای ضخامت جهت‌دار شده (عمود بر راستای کشش) قرار می‌گیرند، بر تغییر ضخامت پارچه اثر می‌گذارند. این تأثیر در تغییر شکل داخل صفحه‌ای ساختار بیرونی پارچه نسبتاً کم است. اشاره شد که تغییرات ضخامت نیز بسیار اندک و قابل صرف نظر است. بنابراین، فقط تغییر شکل لایه‌های خارجی مشاهده و تجزیه و تحلیل شد. با افزایش مقدار کرنش، واحد شش ضلعی پارچه اسپیسر در راستای ردیف تا حداکثر کرنش قابل اعمال، شکل شش ضلعی خود را حفظ کرد. عمده تغییرات ابعادی روی قطر افقی و عمودی و به تبع آن تغییر زوایای آلفا و بتا بوده که باعث تغییر در مقدار تخلخل و خواص فیزیکی پارچه اسپیسر می‌شود. کرنش اعمال شده به نمونه اسپیسر در راستای رج، شکل واحد شش ضلعی را تا کرنش معینی حفظ می‌کند. پس از آن به مستطیل تغییر شکل می‌دهد و عمده تغییرات، وابسته به قطر عمودی و پس از آن افقی و زاویه θ است. مشاهده شد، کرنش کششی عمدتاً وابسته به تغییرات قطر افقی واحد شش ضلعی و کرنش عرضی وابسته به تغییرات قطر عمودی است. اهمیت درک خواص منسوجات، با توجه به کاربردهای رو به رشد آن‌ها در اکثر صنایع، دلیلی بر توسعه روش‌های سریع و دقیق تعیین خواص است. نتایج این مطالعه نشان داد، روش پردازش ویدیویی به‌عنوان روشی سریع و دقیق (دقت بیش از ۸۳٪) قابلیت محاسبه و پیش‌بینی تغییرات ابعادی و ضریب پواسون را در تمام کرنش‌ها برای پارچه اسپیسر دارد. این در حالی است که محاسبه این پارامتر برای منسوجات در تمام کرنش‌ها امکان‌پذیر نیست. با توجه به مطالب پیش‌گفته و فرضیات و شکل هندسی در نظر گرفته شده، در صورتی که منافذ پارچه‌های حلقوی با همین نوع شکل و ابعاد اولیه مناسب و با پردازش ویدیویی قابل بررسی باشند و با اعمال نیرو، تغییر



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۲۱- ضریب پواسون به‌دست‌آمده از روش تجربی و پردازش تصویر برای نمونه‌های: (الف) SA، (ب) SB و (پ) SC.

۴ نتیجه‌گیری

با توجه به رفتار ناهمسان‌گرد پارچه اسپیسر، مدل‌های هندسی متفاوتی برای تجزیه و تحلیل رفتار تغییر شکل ساختار پارچه در راستاهای مختلف کششی، مورد نیاز است. استفاده از روش‌هایی چون پردازش تصویر که با دقت و سرعت همراه است و همچنین قابلیت محاسبه حداقل تغییرات منسوجات با اندک اثر نیرو را دارند، در کاربردهای متنوع پارچه اسپیسر، دارای اهمیت است. در

ضریب پواسون به‌عنوان روشی مناسب پیشنهاد می‌شود. این در حالی است که در مطالعات انجام‌شده، استفاده از روش پردازش ویدیویی به‌عنوان یکی از روش‌های سریع و دقیق در بررسی خواص منسوجات مانند خواص کششی، ارزیابی نشده است.

شکل منافذ (بسته‌شدن منفذ) مشاهده و تا کرنش‌های معین در پردازش ویدیویی شکل منفذ دیده شود، امکان استفاده از این روش برای بررسی تغییرات پارچه‌های حلقوی نیز وجود دارد. بنابراین، استفاده از روش پردازش ویدیویی برای محاسبه تغییرات ابعادی و لحظه‌ای پارچه‌های تحت نیرو و محاسبه تغییرات طولی، عرضی و

مراجع

- [1] M. Sarıışık, R. Mishra, A. Veerakumar, and J. Militky, "Thermo-physiological properties of 3D spacer knitted fabrics", *Int. J. Cloth. Sci. Technol.*, vol. 28, no. 3, 2016.
- [2] R. Barauskas, A. Sankauskaite, and A. Abraitiene, "Investigation of the thermal properties of spacer fabrics with bio-ceramic additives using the finite element model and experiment", *Text. Res. J.*, vol. 88, no. 3, pp. 293-311, 2018.
- [3] N. Mao and S. Russell, "The thermal insulation properties of spacer fabrics with a mechanically integrated wool fiber surface", *Text. Res. J.*, vol. 77, no. 12, pp. 914-922, 2007.
- [4] X. Ye, R. Fangueiro, H. Hu, and M. de Araújo, "Application of warp-knitted spacer fabrics in car seats", *J. Text. Inst.*, vol. 98, no. 4, pp. 337-344, 2007.
- [5] J. Yip and S.-P. Ng, "Study of three-dimensional spacer fabrics: physical and mechanical properties", *J. Mater. Proc. Technol.*, vol. 206, no. 1-3, pp. 359-364, 2008.
- [6] L. Onal and M. Yildirim, "Comfort properties of functional three-dimensional knitted spacer fabrics for home-textile applications", *Text. Res. J.*, vol. 82, no. 17, pp. 1751-1764, 2012.
- [7] D. Mecit and A. Roze, "Investigation of a testing method for compression behavior of spacer fabrics designed for concrete applications", *Text. Res. J.*, vol. 79, no. 10, pp. 867-875, 2009.
- [8] Y. Liu and H. Hu, "An experimental study of compression behavior of warp-knitted spacer fabric", *J. Eng. Fiber. Fabr.*, vol. 9, no. 2, pp. 61-69, 2014.
- [9] Y. Liu, H. Hu, L. Zhao, and H. Long, "Compression behavior of warp-knitted spacer fabrics for cushioning applications", *Text. Res. J.*, vol. 82, no. 1, pp. 11-20, 2012.
- [10] M. Xu-hong and G. Ming-Qiao, "The compression behaviour of warp knitted spacer fabric", *Fibre. Text. East. Eur.*, vol. 16, pp. 90-92, 2008.
- [11] Y. Liu, W.M. Au, and H. Hu, "Protective properties of warp-knitted spacer fabrics under impact in hemispherical form. Part I: impact behavior analysis of a typical spacer fabric", *Text. Res. J.*, vol. 84, no. 3, pp. 422-434, 2014.
- [12] V.J.D. Brisa, F. Helbig, and L. Kroll, "Numerical characterisation of the mechanical behaviour of a vertical spacer yarn in thick warp knitted spacer fabrics", *J. Ind. Text.*, vol. 45, no. 1, pp. 101-117, 2015.
- [13] F. Mokhtari, M. Shamsheersaz, M. Latifi, and M. Maroufi, "Compressibility behaviour of warp knitted spacer fabrics based on elastic curved bar theory", *J. Eng. Fiber. Fabr.*, vol. 6, no. 4, 2011.
- [14] M. Li, S. Wang, Z. Zhang, and B. Wu, "Effect of structure on the mechanical behaviors of three-dimensional spacer fabric composites", *Appl. Compos. Mater.*, vol. 16, no. 1, pp. 1-14, 2009.
- [15] X. Hou, H. Hu, and V.V. Silberschmidt, "A study of computational mechanics of 3D spacer fabric: factors affecting its compression deformation", *J. Mater. Sci.*, vol. 47, no. 9, pp. 3989-3999, 2012.
- [16] Y. Liu, H. Hu, H. Long, and L. Zhao, "Impact compressive behavior of warp-knitted spacer fabrics for protective applications", *Text. Res. J.*, vol. 82, no. 8, pp. 773-788, 2012.
- [17] X. Guo, H. Long, and L. Zhao, "Investigation on the impact and compression-after-impact properties of warp-knitted spacer fabrics", *Text. Res. J.*, vol. 83, no. 9, pp. 904-916, 2013.
- [18] Y. Liu and H. Hu, "Compressive mechanics of warp-knitted spacer fabrics. Part II: a dynamic model", *Text. Res. J.*, vol. 85, no. 19, pp. 2020-2029, 2015.
- [19] F. Arabzadeh, M. Sheikhzadeh, M. Ghane, and S.M. Hejazi, "Mathematical modeling of spacer fabrics under impulsive loading", *J. Text. Inst.*, vol. 103, no. 10, pp. 1031-1041, 2012.
- [20] Y. Liu and H. Hu, "Vibration isolation behaviour of 3D polymeric knitted spacer fabrics under harmonic vibration testing conditions", *Polym. Test.*, vol. 47, pp. 120-129, 2015.
- [21] N. Sum, "Development of anti-vibration glove with weft knitted spacer fabrics", *BA Thesis*, Inst. Text. Cloth., The Hong Kong Polytechnic, 2013.
- [22] F. Chen, Y. Liu, and H. Hu, "An experimental study on vibration isolation performance of weft-knitted spacer

- fabrics”, *Text. Res. J.*, vol. 86, no. 20, pp. 2225-2235, 2016.
- [23] C. Chen, J. Chen, F. Sun, H. Yang, Z. Lv, Q. Zhou, Z. Du et al., “Study of the vibration transmission property of warp-knitted spacer fabrics under forced sinusoidal excitation vibration”, *Text. Res. J.*, vol. 88, no. 8, pp. 922-931, 2018.
- [24] V. Arumugam, R. Mishra, M. Tunak, and J. Militky, “In-plane shear behavior of 3D warp-knitted spacer fabrics: part II-effect of structural parameters”, *J. Ind. Text.*, vol. 48, no. 4, pp. 772-801, 2018.
- [25] V. Arumugam, R. Mishra, M. Tunak, B. Tomkova, and J. Militky, “Study on the in-plane shear performance of spacer fabrics in composite forming”, *Mater. Tehnol.*, vol. 52, no. 1, pp. 47-50, 2018.
- [26] V. Arumugama, R. Mishra, M. Tunak, J. Militky, D. Kremenakovaa, and M. Venkatramana, “Image processing and experimental techniques for studying intra-ply shear behavior of 3D weft knitted spacer fabrics”, *J. Fiber Bioeng. Inform.*, vol. 9, pp. 63-76, 2016.
- [27] Z. Wang, H. Hu, and X. Xiao, “Deformation behaviors of three-dimensional auxetic spacer fabrics”, *Text. Res. J.*, vol. 84, no. 13, pp. 1361-1372, 2014.
- [28] V. Ghorbani, A.A. Jeddi, and H. Dabiryan, “Theoretical and experimental investigation of tensile properties of net warp-knitted spacer fabrics”, *J. Text. Inst.*, vol. 111, no. 4, pp. 518-528, 2020.
- [29] Z. Wang and H. Hu, “Auxetic materials and their potential applications in textiles”, *Text. Res. J.*, vol. 84, no. 15, pp. 1600-1611, 2014.
- [30] Y. Chang and P. Ma, “Fabrication and property of auxetic warp-knitted spacer structures with mesh”, *Text. Res. J.*, vol. 88, no. 19, pp. 2206-2213, 2018.
- [31] Y. Chang and P. Ma, “Energy absorption and Poisson's ratio of warp-knitted spacer fabrics under uniaxial tension”, *Text. Res. J.*, vol. 89, no. 6, pp. 903-913, 2019.
- [32] Z. Wang and H. Hu, “Tensile and forming properties of auxetic warp-knitted spacer fabrics”, *Text. Res. J.*, vol. 87, no. 16, pp. 1925-1937, 2017.
- [33] Z. Wang and H. Hu, “A finite element analysis of an auxetic warp-knitted spacer fabric structure”, *Text. Res. J.*, vol. 85, no. 4, pp. 404-415, 2015.
- [34] M. Emadi, M.A. Tavanaie, and P. Payvandy, “An investigation of structural-mechanical properties of spun-bonded non-woven using computer vision method”, *J. Text. Polym.*, vol. 7, no. 1, pp. 3-13, 2019.
- [35] D.L. Davies and D.W. Bouldin, “A cluster separation measure”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 1, no. 2, pp. 224-227, 1979.
- [36] N. Dehghan, P. Payvandy, and M.A. Tavanaie, “Measuring the diameter of nanofibers extracted from polyblend fibers using FCM clustering method”, *J. Text. Polym.*, vol. 4, no. 2, pp. 83-91, 2016.