اندازه‌گیری یکنواختی سطحی منسوج بی بافت اسپان باند PP با استفاده از پردازش تصویر و ارتباط آن با نتایج تجربی خواص کششی

مینا عمادی[1] | محمدعلی توانایی[2] | پدرام پیوندی[3]

چکیده

هدف از این مقاله، پردازش تصویر یکنواختی سطحی منسوج بی‌بافت اسپان باندد PP و ارتباط آن با نتایج تجربی خواص کششی می‌باشد. نمونه‌ها در دو وزن مختلف و سه سطح نایکنواختی موردبررسی قرار گرفتند. از روش پردازش تصویر بر اساس الگوریتم خوشه‌بندی K-means به‌منظور تولید تصاویر خوشه‌ای استفاده شد. بهترین خوشه‌بندی با استفاده از شاخص davies-bouldin انتخاب شده و روش ارزیابی کیفیت تصویر PSNR برای انتخاب بهترین تصویر باینری مورداستفاده قرار گرفت.یکنواختی سطحی نمونه‌های بی‌بافت با استفاده از روش کوادرات محاسبه گردیده و رابطه بین نتایج عددی و نتایج تجربی کششی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در پردازش تصویر و رفتار کششی نشان داد که یکنواختی سطحی تأثیر به سزایی بر خواص کششی در این محدوده وزن انتخابی و نایکنواختی دارد. به طوری‌که یک نمونه با سطح بالاتری از یکنواختی بهترین خواص کششی را به نمایش گذاشته است.

مقدمه

پردازش تصویر یک شاخه جدید در کنترل کیفیت و ابزار دقیق ایجاد کرده است به‌طوری‌که هر روز سیستم‌های پیشرفته تصویربرداری برای اندازه‌گیری سایز، کالیبراسیون، حمل‌ونقل، افزایش کیفیت تولید، بازرسی، درجه‌بندی، مرتب‌سازی، جداسازی و غیره ارائه می‌شوند.

اصطلاح نایکنواختی به‌صورت تغییرات در جنبه‌های مختلف نظیر نرایش یدافتگی الیداف، وزن، ضخامت، چگالی و قطر الیاف تعریف می‌شود. تلاش‌های بسیاری جهت یافتن یک تکنیک قوی برای تعریف یکنواختی وب بی بافت صورت گرفته است. در زمینه تحقیقات یکنواختی منسوجات بی بافت بر مبنای اندازه‌گیری آن‌لاین مطالعات بسیاری صورت گرفته است. برخی محققان، از روش نوری برای ارزیابی تغییرات وزن پایه استفاده کرده‌اند.

در این روش‌ها شاخص یکنواختی با استفاده از CV٪ چگالی نوری محاسبه شده است. مشکل این روش این است که اندازه‌گیری در مقیاس‌های مختلف شاخص‌های متفاوتی ارائه می‌دهد. همچنین، اندازه‌گیری آنلاین وزن بر اساس اندازه‌گیری چگالی نوری توسط liu و همکاران صورت گرفت.

بررسی تغییرات سریالی وزن پایه نیز توسط Lai و Lin صورت گرفته است. در تحقیقات Kallmes تغییرات وب از طریق رفتار گرادیان محلی ساختارهای تصادفی بررسی شده است Cherkassky از نظریه همگن و ناهمگن میدان تصادفی نامنظم به عنوان معیاری از نایکنواختی وب استفاده کرد.

پژووش دیگری توسط Johnsson صورت گرفته که پیشنهاد کرد Kurtosis (درجه اوج در یدک نمودار آماری) می‌تواند به‌عنوان یدک مقیاس اندازه‌گیری از همگنی هر مشخصه قابل اندازه‌گیری بر روی یک سطح مسطح استفاده شود Zhu و Lin در تحقیقات خود با استفاده از آنالیز موجک و شبکه عصبی (Learning vector) LVQ، B و مددل تراکم گوسی تعمیم‌یافته درجات نایکنواختی نمونه‌های بی‌بافت را به دقت شناسایی کردند.

یکی دیگر از رویکردهای بررسی یکنواختی بی‌بافت‌ها استفاده از روش کوادرات مبتنی بر پردازش تصویر است. Militky و Klicka در تحقیق خود مقایسه روشی را در پیش گرفتند که برای ارزیابی بی‌بافتها در روش کوادرات از آرایه‌های مستطیلی شکل استفاده کردند. در پژوهش Tascan و همکاران ،از روش پردازش تصویر دیجیتال و شبکه عصبی جهت پیش‌بینی وزن، استحکام کشش و ازدیاد طول در نقطه شکست منسوجات بی‌بافت PP در وزن‌های مختلف استفاده شد. در این مقاله به منظور بررسی یکنواختی سطحی، از روش کوادرات استفاده شده است. از روش کوادرات می‌توان برای اندازه‌گیری یک‌نواختی کلی نمونه‌ها در یک تصویر استفاده کرد. محدودیت ممکن در مطالعات پیشین استفاده از تصاویر باینری به‌عنوان تصاویر ورودی در این روش است. فرآیند تبدیل یک تصویر به یک تصویر باینری می‌تواند بسیاری از جزییات تصویر را از بین ببرد. برای غلبه بر این محدودیت از روش خوشه‌بندی K-means برای تهیه تصاویر استفاده‌شده است.

در این روش هر شدت نور به یک لایه (خوشه) اختصاص داده می‌شود. این الگوریتم روش مؤثری برای تبدیل تصاویر حاوی اشیا با شدت نورهای متفاوت به تصاویر خوشه‌ای است. سعی بر این است که تعاملی بین خواص کششی پارچه بی‌بافت و شاخص یکنواختی به دست آورده شود. برای رسیدن به این هدف، خواص کششی نمونه‌های بی‌بافت اندازه‌گیری شده و سپس داده‌های تجربی و داده‌های حاصل از پردازش تصویر مقایسه شدند.

۲- روش آزمایش

۲-۱- مواد اولیه

نمونه‌ها به‌طور مستقیم از یک رول پارچه بی‌بافت اسپان‌باند گرفته‌شده‌اند. ازلحاظ خواص پارچه، نمونه‌ها در دو وزن مختلف (۱۵ و ۳۰ گرم بر مترمربع) و سه سطح یکنواختی(خوب، متوسط و ضعیف)

جدول ۱- متوسط وزن و ضخامت و ضریب تغییرات نمونه‌های بی‌بافت ترموباند PP

	S15-1	S15-2	S15-3	S30-1	S30-2	S30-3
درجه یکنواختی	Good	Medium	Poor	Good	Medium	Poor
میانگین وزنی (gr/m^2)	15.653	15.690	15.801	30.427	32.861	31.934
C.V%	3.15	5.27	5.37	3.88	5.56	9.22

برای‌آزمون و مطالعه استفاده شدند.

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- آزمون خواص مکانیکی

خواص مکانیکی پارچه‌های بی‌بافت ترمو باند در جهت ماشین توسط دستگاه INSTRON در شرایط آزمایشگاهی (۲±۲۰) درجه سانتیگراد و رطوبت ۵۰ درصد) اندازه‌گیری شد.

نمونه‌ها با ابعاد ۲۵×۱۰ سانتیمتر درحالی‌که اندازه‌گیری فک در هر دو طرف منطقه آزمون ۵ سانتی‌متر و طول آزمون کشش ۱۵ سانتیمتر بود (ASTM D -5034) در دستگاه آزمون مکانیکی قرار گرفتند. از هر نوع نمونه، ۱۰ نمونه برای آزمون مکانیکی استفاده می‌شود.

۲-۲-۲- اندازه‌گیری یکنواختی سطحی به روش پردازش تصویر

به‌منظور بررسی یکنواختی تصاویر گرفته‌شده از سطوح پارچه‌های بی‌بافت، مطابق با فلوچارت ارائه‌شده در شکل ۱، تصاویر رنگی نمونه‌های بی بافت ابتدا به تصاویر خاکستری تبدیل شده و سپس تحت عملیات آستانه گذاری قرار می‌گیرند. در این تحقیق از روش خوشه‌بندی K-means برای سیاه سفید کردن تصویر استفاده‌شده است که استفاده از این روش دقت استخراج شیء از پس‌زمینه تصویر را بالا می‌برد. به علت اینکه الگوریتم خوشه‌بندی K-means با مراکز خوشه تصادفی کار می‌کند، برای همین نتایج خوشه‌بندی، متأثر از مراکز خوشه اولیه انتخابی می‌باشد درنتیجه الگوریتم دارای جواب یکتایی نیست. مسئله پیدا کردن خوشه‌بندی بهینه، در این زمینه موردتوجه است و معمولاً مسئله اعتبار خوشه نامیده می‌شود.

شاخص‌های اعتبار خوشه‌بندی اغلب از دو معیار فشردگی و پراکندگی برای ارزیابی خوشه‌بندی انجام شده، استفاده می‌کنند. این شاخص‌ها سعی در محاسبه فشردگی و جدایش بین خوشه‌ها و در برخی موارد همپوشانی آنها و ساخت ترکیب مناسبی از آنها برای پیدا کردن مناسبترین خوشه‌بندی دارند . ازجمله این شاخص‌ها می‌توان شاخص دیویس بولدین اشاره کرد. بهینه‌ترین حالت خوشه‌بندی زمانی حاصل می‌شود که فاصله درون خوشه‌ای کمترین و فاصله بین خوشه‌ای بیشترین مقدار را داشته باشد. بنابراین می‌توان دریافت، هر چه مقدار این شاخص کمتر باشد، خوشه‌های بهتری تولیدشده است.

یکی از موارد مهم در سیاه سفید کردن تصویر با استفاده از روش خوشه‌بندی، تعیین تعداد خوشه‌بندی مناسب می‌باشد و با توجه به اینکه نتیجه‌ای مناسب است که تصویر سیاه سفید حاصل، کمترین تغییرات را نسبت به تصویر اصلی داشته باشد، لذا می‌توان از روش‌های تعیین کیفیت تصاویر، برای تعیین تعداد خوشه‌بندی مناسب استفاده نمود. به‌منظور ارزیابی کیفیت تصویر دودویی شده با استفاده از خوشه‌بندی K-means از تصویر اصلی از شاخص PSNR استفاده می‌شود.

پس از اعمال آستانه گذاری، به منظور ارزیابی شاخص پراکندگی سطحی نمونه‌های بی بافت، روش کوادرات بر روی هر تصویر ورودی اجرا می‌شود (شکل ۲) در روش کوادرات تصویر به مربع‌هایی تقسیم و آنالیز می‌شود. این متد یکی از تکنیک‌های مورداستفاده در محیط زیست برای تعیین ویژگی‌های فضایی است. استفاده از روش کوادرات در یک سیستم پردازش تصویری اجازه می‌دهد که یک شاخص پراکندگی که می‌تواند برای تعیین درجه کیفیت مورد ارزیابی قرار بگیرد، تعریف شود. میانگین تعداد پیکسل‌های سفید و خاکستری (پیکسلهای الیاف در هر مربع (q) ، میانگین کل تعداد پیکسل‌های سفید و خاکستری (Q) به عنوان مقدار میانگین کسر الیاف در سطح و شاخص پراکندگی I_D آنها به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = \frac{\sum_1^M \sum_1^N q_{ij}}{MN} \quad (۱)$$

$$SD = \left(\frac{\sum_1^M \sum_1^N (q_{ij} - Q)^2}{MN} \right)^{1/2} \quad (۲)$$

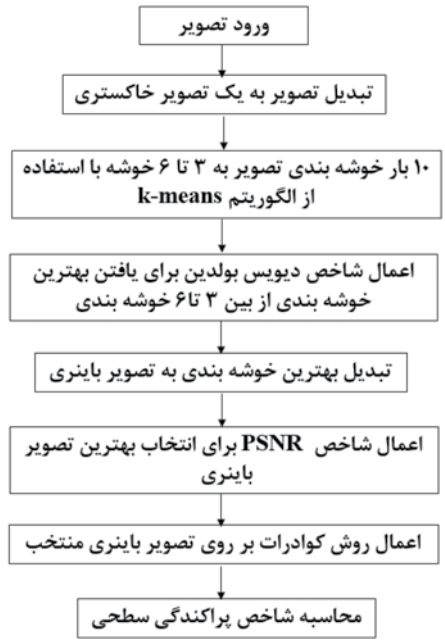
$$I_D = \frac{(SD)^2}{Q} \quad (۳)$$

به طوری‌که M و N تعداد مربع‌ها در طول و عرض تصویر هستند. داده‌های آماری به دست آمده از میانگین تعداد پیکسل‌های سفید به عنوان معیاری برای تشخیص سطح یکنواختی پارچه بی بافت مورداستفاده قرار می‌گیرد.

۳- بحث و نتایج

به منظور تهیه تصاویر از نمونه‌های بی بافت ترموباند، از یک اسکنر با رزولوشن ۲۴۰۰ نقطه در اینچ استفاده شده است. یک صفحه سیاه در پشت نمونه‌ها قرار داده شد.

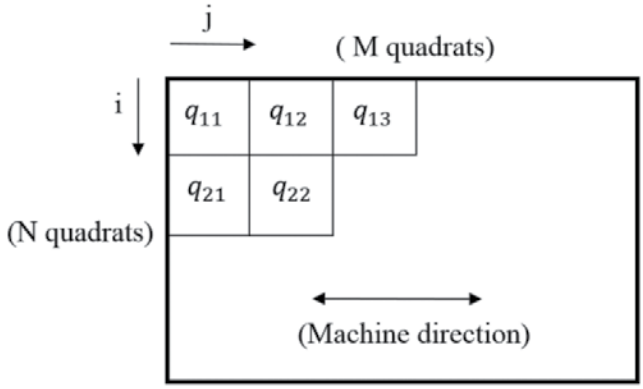
ابعاد همه تصاویر محدود به $15 \times 10\ cm^2$ است و همه تصاویر تمام منطقه مورد آزمایش از نمونه را پوشش داده‌اند. به منظور بررسی یکنواختی سطحی نمونه‌های بی‌بافت ترموباند PP، از روش پردازش تصویر، تصاویر نمونه بی بافت، ابتدا تحت عملیات آستانه‌گذاری قرار



شکل ۱- روند نمای کلی پردازش تصویر

گرفتند. بسیاری از تحقیقات مربوطه به بررسی نایکنواختی سطحی از تصاویر سیاه و سفید شده به روش آستانه‌گذاری معمول به عنوان تصاویر اولیه استفاده کرده‌اند؛ اما تصویر نمونه‌های بی بافت، یک تصویر با شدت نورهای متفاوت است و پس‌زمینه واضح و میزایی ندارد؛ بنابراین فرایند تبدیل آن به یک تصویر باینری با استفاده از آستانه گذاری معمول می‌تواند بسیاری از جزییات تصویر را از بین ببرد. برای غلبه بر این محدودیت از روش خوشه‌بندی K-means برای تهیه تصاویر استفاده شده است. در این مقاله تصویر نمونه‌های بی بافت به سه تا شش شدت نور یا خوشه، تقسیم‌بندی شده است که برای هر تصویر، ۱۰ مرتبه خوشه‌بندی K-means بر روی تصویر، انجام شده است (جدول ۲)

پس از آن، بهترین خوشه‌بندی از بین ۱۰ خوشه‌بندی انجام شده برای



شکل ۲- متوسط تعداد پیکسل‌های سفید و خاکستری تصویر پس از اعمال روش کوادرات

تصاویر، با استفاده از شاخص دیویس بولدین، انتخاب شده است. پس از تبدیل تصاویر خوشه‌بندی شده به تعداد سه تا شش خوشه به تصاویر سیاه سفید، چهار خوشه به عنوان بهترین تعداد خوشه بندی با شاخص PSNR بالاتر انتخاب شده است.

برای تعیین یکنواختی سطحی وب نمونه‌های بی بافت از روش کوادرات مبتنی بر پردازش تصویر دیجیتال و با اندازه پنجره‌های متفاوت استفاده شد. تصاویر نمونه‌های بی‌بافت به مربع‌هایی تقسیم و آنالیز شدند. مقادیر شاخص پراکندگی به دست آمده از روش پردازش تصویر در جدول ۳ ارائه شده است. جهت تصدیق اطلاعات استخراج شده از روش پردازش تصویر، نمونه‌های بی‌بافت طبق سایزهای ارائه‌شده در جدول ۳ برش خورده، وزن شدند و شاخص پراکندگی وزنی آنها نیز محاسبه شد.

ضریب همبستگی برای دو شاخص پراکندگی به دست آمده از روش پردازش تصویر و وزن کردن تجربی نیز در جدول ۳ ارائه شده است. ضریب همبستگی میزان رابطه بین دو متغیر را نشان می‌دهد. مقادیر بالاتر از ۰/۹۵ برای این ضریب بین روش پردازش تصویر و روش تجربی، ارتباطی قوی و مثبت بین این روش‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۳ روند

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های PSNR و DB برای تصاویر خوشه‌ای نمونه‌های بی بافت ترموباند PP به روش K-means

نمونه‌ها		K=3	K=4	K=5	K=6
S15-1	PSNR	6.587276	6.629604	6.656761	6.516545
	DB	0.459819	0.415363	0.422066	0.398105
S15-2	PSNR	6.756134	6.921165	6.867291	6.862919
	DB	0.441485	0.433043	0.430789	0.396267
S15-3	PSNR	7.220856	7.243876	7.142864	7.279304
	DB	0.406217	0.442203	0.41374	0.40513
S30-1	PSNR	8.298598	8.309866	8.302599	8.290476
	DB	0.454073	0.426906	0.446437	0.409051
S30-2	PSNR	8.104117	8.126946	8.158706	8.133229
	DB	0.444414	0.442208	0.447453	0.410346
S30-3	PSNR	9.038254	9.118703	9.096914	9.141377
	DB	0.438086	0.43529	0.439865	0.43187

جدول ۳- شاخص‌های پراکندگی به دست آمده از دو روش پردازش تصویر و وزن کردن تجربی و ضریب همبستگی آنها

نمونه‌ها	سایز مربع‌ها (cm^2)	شاخص پراکندگی پردازش تصویر (IPDI)	شاخص پراکندگی وزنی (WDI)	ضریب همبستگی R^2
S15-1	5×5	0.0134×10^{-2}	0.0188	0.9704
	2.5×2.5	0.1646×10^{-2}	0.0592	
	1.25×1.25	0.3041×10^{-2}	0.1388	
S15-2	5×5	0.3467×10^{-2}	0.0614	0.9639
	2.5×2.5	0.4406×10^{-2}	0.1055	
	1.25×1.25	0.5682×10^{-2}	0.2882	
S15-3	5×5	0.2075×10^{-2}	0.1333	0.9957
	2.5×2.5	0.3313×10^{-2}	0.1922	
	1.25×1.25	0.7182×10^{-2}	0.3242	
S30-1	5×5	0.0053×10^{-2}	0.1291	0.9972
	2.5×2.5	0.0128×10^{-2}	0.2036	
	1.25×1.25	0.0215×10^{-2}	0.5788	
S30-2	5×5	0.0378×10^{-2}	0.7867	0.9595
	2.5×2.5	0.0532×10^{-2}	1.0190	
	1.25×1.25	0.0712×10^{-2}	1.6172	
S30-3	5×5	$\times 10^{-2}$ 0.1757	1.0112	0.9973
	2.5×2.5	$\times 10^{-2}$ 0.2982	1.6223	
	1.25×1.25	$\times 10^{-2}$ 0.4159	2.3254	

نتایج حاصل از پردازش تصویر و وزن کردن تجربی و تعامل آنها را نشان می‌دهد. شاخص پراکندگی ارائه شده به روش پردازش تصویر میزان تنوع کسر الیاف در سطح مربع‌ها را نشان می‌دهد که توصیفی از یکنواختی وب نمونه بی بافت می‌باشد. نتایج به دست آمده از روش پردازش تصویر علاوه بر همبستگی خوبی که با نتایج وزنی دارد، به خوبی نیز با درجات یکنواختی دیداری نمونه‌ها سازگار است.

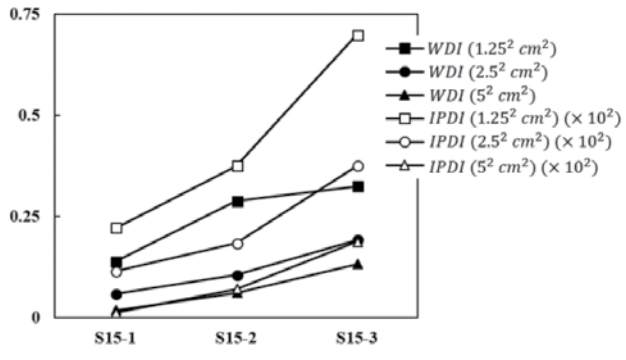
به‌طوری‌که به خوبی مشاهده می‌شود که در هر نمونه با میانگین وزنی یکسان هر چه درجه یکنواختی نمونه کاهش پیدا می‌کند، میزان شاخص پراکندگی آن افزایش می‌یابد؛ بنابراین به نظر میرسد که روش کوادرات روش مناسبی برای تعیین یکنواختی وزنی پارچه‌های بی بافت باشد. با استفاده از این روش می‌توان پارچه‌های بی‌بافت با درجات یکنواختی متفاوت را بهه خوبی تشخیص داد.

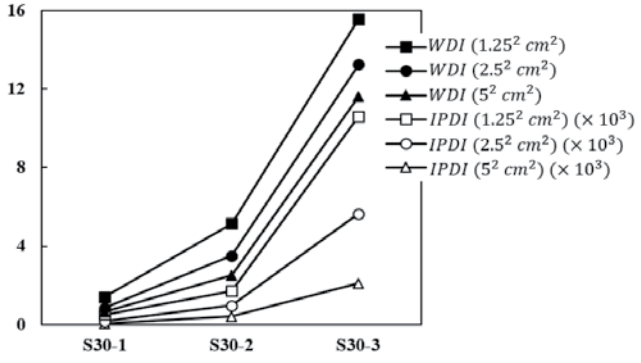
به منظور بررسی اثر یکنواختی سطحی وب، بر روی خواص مکانیکی نیز آزمایش استحکام و ازدیاد طول بر روی نمونه‌ها انجام شد.

در جدول ۴ مقادیر مدول یانگ، تنش نهایی و ازدیاد طول در ماکزیمم تنش نمونه ها ارائه شده است. همان‌طور که از جدول ۴ مشاهده می‌شود، در هر گروه با میانگین وزنی یکسان، نمونه‌ای با یکنواختی سطحی وب بیشتر، ماکزیمم تنش بالاتر و ازدیاد طول و مدول اولیه بیشتری را در مقایسه با نمونه‌های دیگر در هر گروه از خود نشان داده است؛ بنابراین هرچه درجه نایکنواختی بالاتر رود، ماکزیمم تنش، ازدیاد طول و مدول اولیه کاهش می‌یابد. با مقایسه CV درصدهای ارائه شده برای استحکام و ازدیاد طول مشاهده می‌شود که هرچه نمونه‌ای وزن بیشتری داشته باشد CV درصد خواص کششی آن کمتر است.

می‌توان ادعا کرد با افزایش وزن احتمال یکنواختی سطحی نمونه‌های بی بافت بیشتر شده و به‌تبع پراکندگی خوا ص کششی نمونه‌های آن کمتر است. از طرف دیگر در هر گروه با میانگین وزنی یکسان مشاهده می‌شود که نمونه با درجه یکنواختی متوسط نسبت به نمونه‌ای با بالاترین یکنواختی CV درصد بالاتری دارد که امری بدیهی است؛ اما

شکل ۳- نمودارهای شاخص‌های پراکندگی به دست آمده از روش پردازش تصویر و وزن کردن

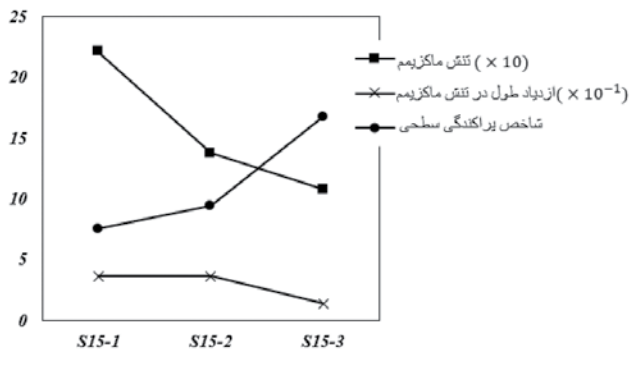


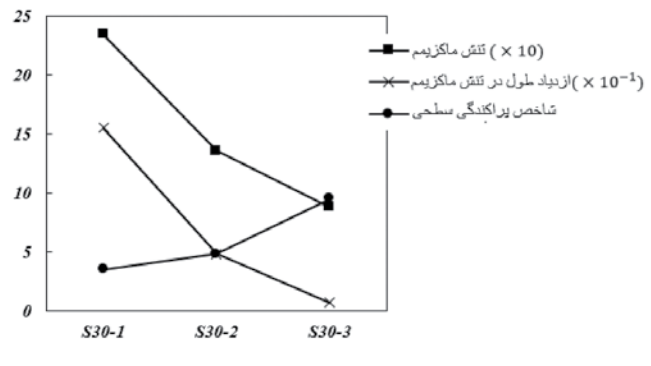


جدول ٤- نتایج آزمون استحکام و ازدیاد طول پارگی در ماکزیمم نیرو

		S15-1	S15-2	S15-3	S30-1	S30-2	S30-3
ماکزیمم تنش(MPa)	Mean	2.2066	1.3711	1.0748	2.3421	1.3529	0.8773
	CV%	4.840	8.919	8.61	5.667	12.2201	12.249
ازدیاد طول در ماکزیمم تنش(%)	Mean	36.0281	35.9719	13.639	154.809	48.196	6.649
	CV%	20.894	36.319	22.112	15.458	29.169	17.319
مدول یانگ		0.3952	0.3368	0.2967	0.4886	0.3158	0.2421

شکل ٤- نمودارهای نتایج دو روش پردازش تصویر و آزمون استحکامی و تعامل آنها





این‌که چرا نمونه‌ای با پایین‌ترین یکنواختی CV درصد پایین‌تری از نمونه متوسط دارد شاید به این دلیل باشد که این نمونه‌ها به دلیل نایکنواختی شدیدی که در ساختار خود دارند در یک رنج استحکامی و ازدیاد طولی تقریباً یکسان و در یک مدت زمان معین و سریع پاره می‌شدند و این امر CV درصد تنش و ازدیاد طولی آنها را نسبت به نمونه متوسط کمتر می‌کرد. به‌هرحال موضوع مهم همان روند نزولی تنشها و ازدیاد طول‌ها در هر گروه وزنی است که به خوبی با درجات یکنواختی بی بافت‌ها هماهنگی دارد.

شکل ۴ تعامل بین نتایج پردازش تصویری و نتایج تجربی به دست آمده از آزمون استحکام را برای هر دو گروه با میانگین وزنی یکسان را به صورت جداگانه نشان می‌دهد. می‌توان مشاهده کرد در هر گروه وزنی، هر چه نمونه‌ای درجه یکنواختی سطحی آن کاهش یابد، شاخص پراکندگی سطحی آن افزایش و میزان تنش نهایی و ازدیاد طول در نقطه ماکزیمم بار آن کاهش می‌یابد.

نمونه‌ای که در پردازش تصویر نتایج ضعیف و وضعیت بدتری ازلحاظ ساختاری و خواص باندینگ را ارائه داده بود بدترین وضعیت استحکام و ازدیاد طول را خواهد داشت؛ و این نشان می‌دهد هر چه نمونه از لحاظ ساختاری و خواص باندینگ به سمت یکنواختی کمتر پیش رود، خواص استحکامی آن شدیداً افت می‌کند.

نتیجه‌گیری

با توجه به فقدان یک روش مقرون به صرفه آن‌لاین برای اندازه‌گیری یکنواختی منسوجات بی بافت، بحثی در این مقاله موردمطالعه قرار داده شد، مبنی بر اینکه آیا یک سیستم پردازش تصویر دیجیتال میتواند برای اندازه‌گیری یکنواختی سطح و برآورد خواص کششی استفاده شود. ارتباط بین وزن وب و خروجی پردازش تصویر در روش کوادرات (یکنواختی سطح) بررسی شد و رابطه‌ای خطی با ضریب همبستگی بیش از ۰/۹۵ برای تمام نمونه‌ها بین وزن الیاف و خروجی پردازش تصویر (یکنواختی سطح) به دست آمد. نتایج نشان داد که یک اسکنر می‌تواند برای اندازه‌گیری یکنواختی سطح پارچه‌های بی بافت PP در محدوده وزنی بین ۱۵ تا ۳۰ گرم بر مترمربع استفاده شود . حداکثر تنش، ازدیاد طول در حداکثر تنش و مدول اولیه با کاهش یکنواختی سطح، کاهش یافته است. این نشان می‌دهد که هر چه یک نمونه به سمت یکنواختی سطحی کمتر رود، خوا صکششی به شدت کاهش می‌یابد . این موضوع برای تنظیم یک تکنیک جهت کاربرد بر روی خط تولید بی بافت، بسیار قابل توجه خواهد بود. با تغییرات محصول، عدم یکنواختی تشخیص داده شده و اصلاحات در خط تولید به سرعت اعمال می‌شود و با این کار از تولید محصولات نامرغوب و با حجم بالا جلوگیری خواهد شد.

استفاده از پردازش تصویر برای کنترل کیفیت آن‌لاین برای کارخانه‌هایی که می‌خواهند در وقت و سرمایه خود در کنترل کیفیت صرفه‌جویی کنند، بسیار مفید و مؤثر است.

پی‌نوشت

۱. دانشکده مهندسی نساجی، پردیس فنی مهندسی دانشگاه یزد
۲. دانشکده مهندسی نساجی، پردیس فنی مهندسی دانشگاه یزد
۳. دانشکده مهندسی نساجی، پردیس فنی مهندسی دانشگاه یزد