

Detection of Fabric Defective Areas Based on Clustering and Morphological Operators

Akram Mohammadi Soomar¹, *M.Sc.*, Mehran Emadi², *Assistant Professor*

¹ Department of Electrical Engineering, Mobarakeh Branch, Islamic Azad University, Mobarakeh, Isfahan, Iran
akmohamadys@yahoo.com

² Department of Electrical Engineering, Mobarakeh Branch, Islamic Azad University, Mobarakeh, Isfahan, Iran
m.emadi@mau.ac.ir

Abstract:

At various stages of fabric production, there are numerous damages to the surface of the fabric. Regardless of the causes of the failures, precise identification of their types helps to correctly classify the fabric and thus provides a high percentage of the quality control process. Quality control of fabrics is of great importance in order to improve product quality and maintain a competitive market. Identification of faulty areas in automated methods is of great importance. In this paper, a new method is presented in the clustering of faulty zones based on clustering as well as morphological operators. In the proposed method, after preprocessing necessary to improve image quality, the first step is to cluster the image to create similar areas. Then morphological operators are applied to extract the defective area. The defective area is represented by the active contour algorithm. Although many methods such as local binary patterns and other methods have been proposed, the speed of detection of these algorithms is low and has high computational complexity. The proposed method is implemented on the CMUPIE database and evaluated using accuracy assessment criteria and accuracy criteria. The accuracy of identifying defective areas in the proposed method is 93.82%, and the precision of detecting defective areas in the suggested method is 98.33% which are significantly improved compared to similar methods.

Keywords: Defected fabric, segmentation, morphological operators, active contour

Received: 19 September 2019

Revised: 10 January 2020

Accepted: 12 February 2020

Corresponding Author: Dr. Mehran Emadi

Citation: A. Mohammadi-Soomar, M. Emadi, "Detection of fabric defective areas based on clustering and morphological operators", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 11, no. 41, pp. 1-14, Spring 2020 (in Persian).

تشخیص نواحی معیوب پارچه مبتنی بر خوشه‌بندی و عملگرهای ریخت‌شناسی

اکرم محمدی سومار^۱، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهران عمادی^۲، استادیار

۱- گروه مهندسی برق- واحد مبارکه، دانشگاه آزاد اسلامی، مبارکه، اصفهان، ایران
akmohamadys@yahoo.com

۲- گروه مهندسی برق- واحد مبارکه، دانشگاه آزاد اسلامی، مبارکه، اصفهان، ایران
m.emadi@mau.ac.ir

چکیده: در مراحل مختلف تولید پارچه، خرابی‌هایی متعددی بر سطح پارچه ظاهر می‌شود. با چشم‌پوشی از دلایل ایجاد خرابی‌ها، تشخیص دقیق انواع آن‌ها به طبقه‌بندی صحیح پارچه کمک می‌کند و در نتیجه درصد بالایی از فرآیند کنترل کیفیت را به خود اختصاص می‌دهد. کنترل کیفیت پارچه به منظور بهبود کیفیت محصول و حفظ بازار رقابتی از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین شناسایی نواحی معیوب در روش‌های خودکار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مقاله، یک روش جدید، جهت ناحیه‌بندی نواحی معیوب پارچه، مبتنی بر خوشه‌بندی و همچنین عملگرهای ریخت‌شناسی ارائه شده است. در روش پیشنهادی، پس از پیش پردازش‌های لازم جهت بهبود کیفیت تصویر، در مرحله اول روی تصویر خوشه‌بندی صورت می‌گیرد، تا نواحی مشابه ایجاد شوند. سپس عملگرهای ریخت‌شناسی به کار گرفته می‌شوند تا ناحیه معیوب استخراج شود. استفاده از ترکیب هوشمندانه عملگرهای ریخت‌شناسی، سبب شناسایی دقیق نواحی معیوب در تصویر پارچه شده است. نمایش ناحیه معیوب به کمک الگوریتم کانتور فعال صورت می‌گیرد. اگرچه تاکنون روش‌های متعددی همچون الگوهای محلی دودویی و سایر روش‌ها ارائه شده است، اما سرعت شناسایی این الگوریتم‌ها پایین بوده و پیچیدگی محاسباتی بالایی دارند. روش پیشنهادی روی پایگاه داده CMUPIE، پیاده‌سازی شده و به کمک معیارهای صحت و دقت ارزیابی شده است. صحت شناسایی نواحی معیوب در روش پیشنهادی، ۹۳/۸۲ درصد و دقت روش پیشنهاد شده، ۹۸/۳۳ درصد حاصل گردیده است که در مقایسه با روش‌های مشابه، بهبود چشم‌گیری داشته است.

کلمات کلیدی: پارچه معیوب، ناحیه‌بندی، عملگرهای ریخت‌شناسی، کانتور فعال

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۶/۲۸

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۳

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر مهران عمادی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: مبارکه- بلوار معلم- میدان فردوسی- دانشگاه آزاد اسلامی واحد مبارکه- دانشکده فنی و

مهندسی- گروه برق

۱- مقدمه

ظاهر پارچه از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده کیفیت پارچه است زیرا بر روی قیمت نهایی آن تأثیر بسزایی خواهد داشت. تولیدکننده‌ای می‌تواند از سود بیشتری بهره‌بردار باشد که قادر باشد با صرف هزینه کمتر و حفظ کیفیت محصول، سهم بیشتری را از بازار جذب نماید. در مورد محصولات صنایع نساجی، با توجه به کاربرد ظاهری آن‌ها که غالباً افت کیفیت به دلیل نقصانی است که در ظاهر پارچه به وجود آمده است و با صرف هزینه‌های تولید بر روی کل محصول، محصول دارای کیفیت کمتر، باید با قیمتی نازلتر از قیمت تمام شده محصول به بازار عرضه گردد. علاوه بر تأثیر عنوان شده، ممکن است عیب مذکور باعث تولید محصول درجه دو، در ادامه مراحل تولید شده و این موضوع خود باعث افزایش میزان ضایعات نسبت به عیب واقعی در محصول شود. همچنین وجود عیب در پارچه باعث تأخیر در برنامه‌های تولید و افزایش هزینه به علت برنامه‌ریزی برای بازبینی و سایر اقدامات ضروری بر روی پارچه می‌شود. بنابراین کنترل کیفیت یکی از مسائل مهم در صنعت تولید انواع پارچه به شمار می‌آید [۱].

تشخیص عیوب سطحی، درصد بالایی از فرآیند کنترل کیفیت را به خود اختصاص می‌دهد. تولیدکنندگان صنعت نساجی، می‌خواهند خرابی‌هایی غیرمنتظره را شناخته تا مانع از وقوع آنها به‌طور مداوم شده و مطمئن شوند که کیفیت محصولات مطابق با نیاز مصرف‌کننده است. از طرفی خرابی‌هایی ایجاد شده باید در گزارش‌های کیفی آماری ثبت شود. بدون یک سیستم بازرسی سطوح شناسایی خرابی سطوح، ثبت و بررسی علل خرابی، می‌تواند مدت زیادی طول بکشد. در طول این تأخیر ممکن است که مشکل دوباره تکرار شده و باعث کاهش کیفیت تولید شود. امروزه در اکثر خطوط تولید پارچه در صنعت نساجی، کنترل کیفیت توسط نیروهای خیره و به‌صورت دستی انجام می‌گیرد [۲]. بررسی محصولات کارخانه بطور دیداری، سرعت کار پروسه، و درآمد حاصله را کم می‌کند. علاوه بر این ممکن است شخص ناظر در محیط کارخانه آسیب ببیند. از طرفی با توجه به هزینه سنگین بازرسی انسانی، سرعت خط تولید و تکراری بودن کار، ایجاد یک سیستم تشخیص خرابی و بازرسی سطوح در بهبود و کارایی تولید پارچه بسیار موثر است.

عیوب سطح پارچه را می‌توان به چندین دسته‌ی، پارچه با خطوط عرضی، پارچه با پارگی نخ، و پارچه با لکه‌های روغنی تقسیم نمود. با اینکه امروزه بعضی از کارخانجات تجاری، از روش‌های بررسی و عیب‌یابی سطح پارچه‌ها استفاده می‌کنند، ولی بررسی، تشخیص و طبقه‌بندی خرابی‌های سطحی هم‌زمان با تولید محصول هنوز هم به‌طور گسترده در سطح دنیا بررسی می‌شود [۳]. عدم وجود یک سیستم کنترل کیفیت خودکار باعث کاهش راندمان کاری، عدم دقت کافی و افزایش هزینه‌ها می‌گردد [۴]. پردازش تصویر، فن‌آوری غالب امروزی در زمینه‌ی بررسی بافت‌های مختلف و شناسایی و تشخیص عیوب موجود در پارچه است. توانمندی این فن‌آوری به ویژه در دو زمینه تشخیص و طبقه‌بندی الگو، باعث بهره‌گیری از آن در کنترل کیفیت صنایعی مانند نساجی، تولید کاغذ و سرامیک شده است. اکثر سیستم‌های آشکارسازی خودکار عیوب پارچه به‌صورت برون خط کار کرده و از سرعت آشکارسازی تا ۱۰۰ متر در دقیقه برخوردار هستند. از عوامل مؤثری که باعث می‌شوند روش‌های فوق‌به‌صورت برخط استفاده نشوند حجم محاسباتی بالای روش، زمان زیاد لازم برای پیاده‌سازی و شرایط محیطی نامناسب خط تولید مانند تغییر روشنایی هستند.

در زمینه آشکارسازی عیوب پارچه به‌صورت خودکار، دو مسئله اساسی وجود دارد. اولاً روش ارائه شده باید توانایی آشکارسازی محدوده وسیعی از عیوب را داشته باشد. ثانیاً حجم عملیاتی روش باید به‌گونه‌ای باشد که قابل پیاده‌سازی به‌صورت برخط باشد. در اتوماسیون، تشخیص عیب پارچه، یک فرآیند کنترل کیفیت موجود می‌باشد که به شناسایی و تشخیص محل عیوب کمک می‌کند. این روش به تصحیح سریع عیوب کوچک کمک کرده، اما بر اثر خستگی، خطای انسانی رخ داده و معمولاً عیوب کوچک تشخیص داده نمی‌شوند. از این رو، بازرسی خودکار یک راه طبیعی برای بهبود کیفیت بافت و کاهش هزینه است. در حال حاضر، بیش از ۷۰ دسته‌بندی از عیوب پارچه توسط صنایع نساجی تعریف شده است. یکی از ویژگی‌های مفید و موثر در بازشناسی اشیاء، استفاده از اطلاعات شکل و لبه‌های آن‌ها است. بنابراین، استفاده از لبه‌ها در بسیاری از کاربردهای بینایی ماشین و بازشناسی، امری متداول بوده و در این راستا، استفاده از آشکارسازهای مناسب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۵]. اخیراً با پیشرفت بینایی ماشین در راستای عیب‌یابی پارچه راه کارهایی پیشنهاد شده است که بر اساس دو روش اصلی مکانی و

فرکانسی انجام خواهد می‌پذیرد. به‌عنوان روش مکانی، آنتروپی محلی [۶] و از نقطه نظر روش فرکانسی، تبدیل ویولت (تبدیل موجک) وینر [۳]، تبدیل فوریه و فیلتر گابور [۵] را می‌توان نام برد. لازم به ذکر است که عواملی همچون سیستم تصویربرداری و غیر یکنواخت بودن روشنایی تصویر، الگوریتم‌های موجود را برای عیب‌یابی هرچه دقیق‌تر و جداسازی پارچه‌های سالم از ناسالم با مشکل مواجه کرده است.

یکی از مراحل مهم در خط تولید پارچه، آشکارسازی عیوب آن است. در این زمینه، افزایش دقت آشکارسازی و کاهش زمان و هزینه لازم برای آشکارسازی بسیار اهمیت دارد. در حال حاضر آشکارسازی عیوب پارچه و جداسازی تولیدات معیوب از تولیدات سالم توسط کارگران ماهر آموزش دیده انجام می‌شود [۷]. که البته این امر زمان بر و مستلزم هزینه‌ای گزاف است. این در حالی است که روش‌های خودکار شناسایی نواحی معیوب، علاوه بر قیمت ارزان، کارایی بیشتری دارند. از این رو هدف اصلی این پژوهش، ارائه یک روش جدید در شناسایی نواحی معیوب پارچه است. روش پیشنهاد شده، از جمله روش‌های خودکار است که قابلیت استفاده برخط را داراست. در روش پیشنهادی، برای نخستین بار ترکیب خوشه‌بندی فازی و عملگرهای ریخت شناسی به صورت هوشمندانه‌ای انجام شده است، به گونه‌ای که سرعت و دقت شناسایی نواحی معیوب افزایش پیدا می‌کند. در این روش، پس از آنکه خوشه‌بندی اولیه توسط الگوریتم متوسط K صورت گرفت، بر روی نواحی خوشه بندی شده، ترکیبی از عملگرهای ریخت شناسی به صورت یک رابطه قانونمند انجام شده، و نواحی معیوب پارچه شناسایی می‌شوند. برتری روش پیشنهادی علاوه بر خودکار بودن آن، این است که، بدون تغییر هرگونه پارامتری، قادر به شناسایی انواع عیب است. این تحقیق بر روی پایگاه داده CMUPIE شبیه‌سازی شده است.

این مقاله به‌صورت زیر بخش‌بندی شده است. در بخش ۲، پیشینه تحقیق، آمده است. در بخش ۳، روش پیشنهاد شده به همراه بلوک دیاگرام آن، به‌صورت کامل تشریح شده است. در بخش ۴، روش پیشنهاد شده از دیدگاه معیارهای دقت و صحت ارزیابی شده و در بخش ۵، نتیجه‌گیری کل تحقیق ارائه گردیده است.

۲- پیشینه تحقیق

مرجع [۸]، روش‌های مختلف پردازش تصویر جهت تشخیص عیوب پارچه را ارائه می‌کند که در ابتدا با استفاده از موجک گابور ویژگی‌های بافتی قابل توجهی را از تصاویر استخراج کرده که هم دربرگیرنده‌ی جهات مختلف و هم فرکانس‌های مختلف می‌باشد. سپس با استفاده از روش آماری، تصاویری که دربردارنده‌ی عیوب واضح‌تری هستند انتخاب شده و محل وقوع عیب تعیین می‌گردد. تلاش‌های انجام شده در زمینه آشکار سازی عیوب پارچه را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد:

الف: در دسته اول، تلاش می‌شود روشی ارائه گردد که بتواند محدوده وسیع‌تری از عیوب را آشکار نماید که این امر منجر به بالا رفتن حجم عملیات لازم و در نتیجه پیچیدگی روش می‌شود.

ب: در دسته دوم، هدف کاهش پیچیدگی برای افزایش سرعت و بالا بردن امکان پیاده‌سازی به‌صورت برخط است که در نهایت از قدرت آشکارسازی روش کاسته می‌شود [۱۰].

تشخیص عیوب پارچه به صورت برخط بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در مرجع [۱۱]، این روش‌ها به چهار گروه روش‌های آماری، روش‌های ساختاری، روش‌های مبتنی بر مدل و روش‌های طیفی تقسیم‌بندی شده‌اند. در مرجع [۱۲]، یک روش آماری برای تجزیه و تحلیل بافت پارچه ارائه شده است. روش پیشنهادی در این پژوهش، از گشتاورهای مرتبه اول و دوم، میانگین و واریانس، و نیز تابع خود همبستگی برای استخراج ویژگی بهره گرفته و در نهایت با استفاده از طبقه بند ماشین بردار پشتیبان، شناسایی ناحیه را انجام داده است. در روش‌های آماری شناسایی نواحی عیوب ریز، به سختی امکان‌پذیر است.

در مرجع [۱۳]، یک روش مبتنی بر آنالیز بافت برای تشخیص عیوب پارچه ارائه شده است. در این روش، المان ساختاری به کمک فیلتر گابور استخراج شده و با استفاده از قوانین جایگزینی، شناسایی نواحی معیوب انجام می‌شود. در مرجع [۱۴]، یک روش مبتنی بر مدل پیشنهاد شده است. در این روش، با استفاده از مدل گوسین ترکیبی در همبستگی بین ضرایب زیرباندهای تبدیل موجک گسسته بدست می‌آید، سپس به کمک همبستگی

بین این ضرائب، تشخیص ناحیه معیوب پارچه صورت می‌گیرد. همانند روشهای آماری، این دسته روشها نمی‌توانند نواحی ریز عیوب را به درستی شناسایی کنند.

در مرجع [۱۵]، یک روش مبتنی بر روش های طیفی، ارائه گردیده است. در روش پیشنهاد شده استخراج ویژگی به کمک تبدیل فوریه صورت گرفته است، سپس به کمک شبکه عصبی ناحیه های دارای عیب شناسایی شده است. این دسته روشها در شناسایی نواحی عیب ریز به خوبی عمل می‌کنند.

در مرجع [۱۶]، از سیستم فازی عصبی تطبیقی^۱ برای تشخیص عیوب پارچه در تصاویر استاندارد و دارای نویز استفاده شده است. در مرجع [۱۷]، به شناسایی خودکار الگوی بافت و تشخیص عیب در پارچه پرداخته شده که در این روش از طبقه بند ماشین بردار پشتیبان با کرنل‌های مختلف استفاده گردیده و دقت تشخیص روش ۹۳/۶ درصد بیان شده است. در مرجع [۱۸]، بر اساس تبدیل موجک پیوسته، آنالیز بافت و تشخیص عیب در تصاویر پارچه‌ای انجام شده که میزان تشخیص این روش حدود ۹۲/۸۶ درصد گزارش گردیده است. در مرجع [۱۹]، یک روش بخش‌بندی عیب براساس فیلترهای خطی چندگانه شامل سه فیلتر کانولوشن جدا شدنی به‌عنوان شاخص آماری مرتبه اول پیشنهاد شده و تنها یک نمونه پارچه باکیفیت پایین شرح داده شده است. این روش می‌تواند با هر دو روش اطلاعات آماری و ساختاری در تشخیص الگو ترکیب شود. اصول کار این روش، بر این اساس است که شدت پیکسل در یک تصویر تنها به پیکسل‌های همسایه وابسته تاکید می‌کند.

در مرجع [۲۰]، به منظور بهبود دقت تشخیص خودکار عیب در پارچه، تبدیل برنامه‌ریزی شده^۲ برای استخراج ویژگی‌های مورد نیاز در شناسایی عیوب پارچه، استفاده شده است. در این تحقیق، از ۹ ویژگی تصویر پارچه، برای شناسایی عیوب، استفاده گردیده است. هدف کلی این روش، ساده‌تر و سریع‌تر کردن محاسبات برای سیستم می‌باشد. محققان این پژوهش، روشهای الگوی باینری محلی و ماشین بردار پشتیبان را برای آشکار سازی عیوب پارچه در پارچه‌های طرح دار ارائه نموده که دقت بالایی دارد، اما با توجه به حجم عملیات لازم، برخط شدن آن مشکل است. این روش را می‌توان برای آشکار سازی عیب در پارچه‌هایی استفاده کرد که طرح های تکراری دارند. در این مقاله، روشی برای آشکار سازی عیوب بافتی پارچه با استفاده از ویژگی‌های الگوی باینری محلی ارائه شده است. لازم به توضیح است که از روش الگوی باینری محلی برای طبقه بندی بافت تصویر استفاده شده است.

در مقاله مرجع [۲۱]، روشی برای تشخیص عیب پارچه بر اساس روش ماتریس شبه رویداد سطح خاکستری^۳ پیشنهاد شده که ارتقاء بافت، با تشخیص عیب پارچه را ترکیب می‌کند. با استفاده از الگوریتم میانگین غیر محلی، ویژگی‌های ماتریس خودهمبستگی که برای دسته‌بندی کننده پایان-عقب^۴ مناسب‌ترند، استخراج شده‌اند. ویژگی‌های بافت معیوب استخراج شده و یک دسته‌بندی کننده می‌تواند برای تشخیص عیب بافت استفاده شود. در مرجع [۲۲]، روشی برای آشکار سازی عیوب پارچه با استفاده از تابع همبستگی ارائه شده است. در مرحله تمرین، با انتخاب یک پنجره از تصویر بدون عیب و حرکت دادن آن روی کل تصویر بدون عیب، مقادیر تابع همبستگی محاسبه می‌شود. در مرحله آزمایش، با انتخاب یک حد آستانه مناسب می‌توان پنجره‌هایی را که به نقاط معیوب پارچه تعلق دارند، آشکار ساخت. این روش در مورد بافت‌های منظم جواب قابل قبولی ارائه می‌دهد اما در مواردی که تصاویر دارای بافت منظم و دقیقی نیستند از جواب مناسبی برخوردار نیست.

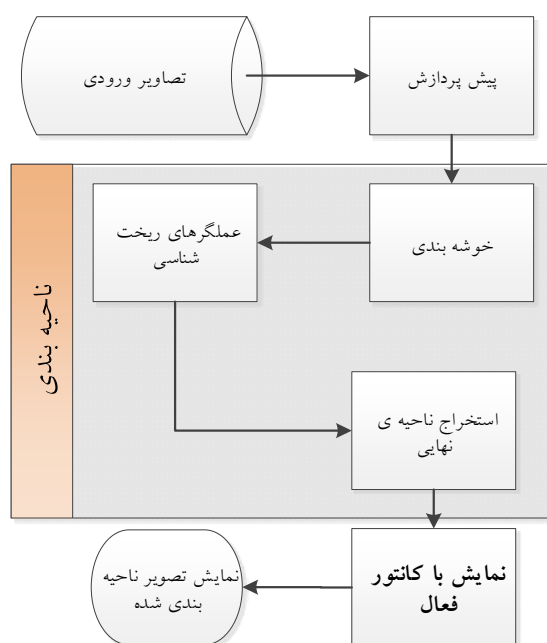
لازم به توضیح است که برخی از معایب ذکر شده نسبت به پژوهشهای انجام شده در مقاله مرجع [۲۳]، بیان شده که مقایسه‌ای را روی روش‌های آشکار سازی عیب داشته است. کومار روشی را برای آشکار سازی عیوب پارچه با استفاده از فیلترهای گابور ارائه کرده است. در این روش، تصویر مورد بررسی از یک بانک فیلتر عبور کرده سپس خروجی فیلتر آستانه گذاری می‌شود. با ترکیب خروجی فیلترهای مختلف، می‌توان به الگوی مناسبی از عیب دست یافت. این روش از حجم عملیاتی نسبتاً بالایی برخوردار است و نویسنده مقاله در انتهای مقاله شانس موفق شدن روش را ناچیز اعلام می‌کند. همچنین این روش فاقد توانایی لازم برای آشکار سازی عیوب با اندازه‌های کوچک است. در انتهای این مرجع، نیز روشی برای آشکار سازی عیوب پارچه با استفاده از جزء مجازی تابع گابور ارائه شده که علی‌رغم سرعت مناسب، دقت بالایی ندارد.

در مقاله [۲۴]، روشی برای آشکار سازی عیوب پارچه با استفاده از فیلترهای بهینه‌سازی شده ارائه شده است. در این روش، هدف طراحی مجموعه‌ای از فیلترهای پاسخ ضربه محدود^۵ است که انرژی خروجی فیلتر زمانی که ورودی آن یک تصویر حاوی

عیب است نسبت به حالتی که ورودی فیلتر یک تصویر بدون عیب است بیشتر باشد. سپس با تعریف معیارهای مناسب و بهینه‌سازی آنها، تابع تبدیل فیلتر محاسبه می‌شود. این روش از دقت بالایی در آشکارسازی عیب برخوردار است اما حجم عملیاتی آن بالا می‌باشد و فاقد توانایی لازم برای آشکارسازی عیوب با اندازه‌های کوچک است. در مرجع [۲۵]، روشی برای آشکارسازی عیوب پارچه، با استفاده از آنالیز فوریه ارائه شده است. در این روش، ابتدا در مرحله آموزش، ویژگی‌هایی از تبدیل فوریه تصویر بدون عیب استخراج می‌شود. سپس این ویژگی‌ها برای تصویر مورد بررسی نیز محاسبه شده و براساس مقایسه با ویژگی‌های تصویر بدون عیب، نوع عیب موجود در آن اعلام می‌شود. علاوه بر این، روش مورد نظر، فاقد توانایی لازم برای تعیین شکل و موقعیت مکانی عیب در تصویر مورد بررسی است و تنها وجود یا عدم وجود عیب را نشان می‌دهد. در مقاله مرجع [۲۶]، روش ارائه شده ضمن سادگی محاسباتی، نسبت به تغییرات روشنایی تصویر و انتقال تصویر حساس نیست. لازم به توضیح است که از روش ارائه شده می‌توان برای آشکارسازی عیب در هر نوع بافت پررودیک استفاده کرد.

۳- روش پیشنهادی (روش مبتنی بر خوشه‌بندی و عملگرهای ریخت شناسی)

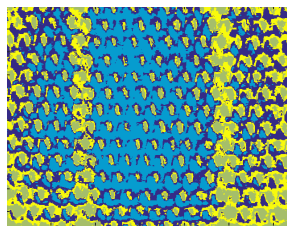
در این تحقیق، یک روش جدید و البته کارآمد، برای شناسایی نواحی معیوب پارچه پیشنهاد شده است. این روش جدید، مبتنی بر خوشه‌بندی و همچنین استفاده از عملگرهای ریخت‌شناسی است. در روش پیشنهادی، پس از خوشه‌بندی اولیه به کمک الگوریتم متوسط k ، نواحی متمایز که دارای بافتی متمایز و احتمالاً دارای عیب هستند، بدست می‌آیند، اما این نواحی برای تشخیص عیب کافی نیستند. در ادامه، عملگرهای ریخت‌شناسی به کارگرفته می‌شوند تا تفکیک نواحی براساس هندسه آنها، که البته بسیار نامنظم و دارای شکل و موقعیت کاملاً تصادفی هستند، بدست آیند. اگرچه شناسایی پارچه‌های معیوب به کمک چشم نیز امکان‌پذیر است، اما نیروی انسانی همواره با خطا روبروست. روش‌های مبتنی بر کامپیوتر با دقت بالایی این مهم را انجام می‌دهند. روش پیشنهاد شده در این تحقیق، از چهار قسمت اصلی پیش پردازش، ناحیه‌بندی با خوشه‌بندی عملگرهای ریخت‌شناسی، نمایش با کانتور فعال و نمایش تصویر ناحیه بندی شده را نشان می‌دهد. در بلوک دیاگرام پیشنهاد شده این مراحل به خوبی معلوم است.



شکل (۱): بلوک دیاگرام روش پیشنهادی

Figure (1): The block diagram of proposed method

ترکیب هوشمندانه عملگرهای ریخت شناسی، در شناسایی موقعیت و شکل کاملاً تصادفی توانسته است، این نواحی را به خوبی شناسایی کند. در مرحله پیش پردازش، پس از اینکه تصویر به محیط خاکستری برده شد، روی آن فیلتر وینر اعمال می شود تا کنتراست تصویر و کیفیت آن بهبود یابد. تصاویر موجود در پایگاه داده استفاده شده از نوع کتان حلقوی است، که به دلیل تجهیزات ثبت تصویر نامناسب، دارای کیفیت خوبی نیستند. همچنین براساس مرجع [۲۳]، استفاده از تصاویر سطوح خاکستری در شناسایی نواحی معیوب کارایی بیشتری دارد. تصاویر سطوح خاکستری به کمک فیلتر وینر بهبود پیدا می کنند. فیلتر وینر لبه های معیوب در تصویر پارچه را به صورت برجسته تر نشان می دهد. از آنجایی که توزیع نواحی معیوب روی سطح پارچه به صورت کاملاً تصادفی است، مکان عیب روی پارچه به درستی معلوم نیست. این نواحی معیوب بایستی به کمک الگوریتم های مناسب شناسایی شود. برای نیل به این هدف، در روش پیشنهاد شده، ابتدا روی تصاویر موجود در پایگاه داده فرآیند خوشه بندی به کمک الگوریتم متوسط K صورت می گیرد. تمامی پیکسل ها بر اساس ویژگی های مشترک در یک خوشه قرار می گیرند. در خوشه بندی، مراکز خوشه ها به صورت تصادفی در شروع انتخاب می شوند، سپس با تکرار الگوریتم، بهترین خوشه ها در نهایت به دست می آیند. از مجموع وزنی واریانس هر خوشه برای تعیین آستانه آتسو در دودویی کردن تصویر استفاده می شود. تصویر مورد نظر به کمک روش آستانه گذاری آتسو به یک تصویر دودویی تبدیل شده، سپس عملگرهای ریخت- شناسی به کار گرفته شده تا نواحی مشابه استخراج شوند. شکل (۲)، تصویر خوشه بندی شده به کمک الگوریتم متوسط K را نشان می دهد. عملگرهای سایش و گسترش از جمله عملگرهای بنیادین در فرآیند ریخت شناسی هستند، که با ترکیب این عملگرها می توان به اهداف مورد نظر دست یافت. عملگرهای باز کردن، بستن و همچنین مکمل سازی تصویر، نیز می توانند کمک کننده باشند. عملگرهای باز کردن، بستن و همچنین مکمل سازی از جمله عملگرهای ریخت شناسی هستند که در بهبود دقت ناحیه بندی تاثیر مثبتی دارند. به دلیل تنوع در اندازه نواحی معیوب و به عبارتی، اندازه و مکان تصادفی نواحی معیوب، به نظر می رسد که ارائه یک رابطه کاربردی بسیار سخت است.



شکل (۲): تصویر خوشه بندی شده به کمک الگوریتم متوسط K
Figure (2): The clustered image using K-means algorithm

اگرچه عملگرهای ریخت شناسی، به ذاته بسیار ساده قابل پیاده سازی هستند، اما ترکیب این عملگرها و استفاده مناسب و درست از آنها تحت عنوان یک تابع کلی که بتواند با دقت بالایی نواحی معیوب در انواع پارچه ها را شناسایی کند بسیار دشوار است. جدول (۱)، نشان دهنده علائم به کار گرفته شده برای فرموله کردن روش پیشنهادی است. به دلیل تنوع در اندازه ناهنجاری ها و به عبارت دیگر اندازه و مکان تصادفی آنها، به نظر می رسد که ارائه یک رابطه کاربردی برای این منظور بسیار سخت است.

به کارگیری عملگرهای ریخت شناسی در چندین مرحله صورت گرفته است تا در نهایت، تصویر نهایی ایجاد شده همان تصویری باشد که دارای ناحیه معیوب پارچه است. در این تحقیق، برای نخستین بار چنین ترکیبی ارائه شده است، ترکیب ارائه شده در به کارگیری عملگرهای ریخت شناسی به صورت یک رابطه هدفمند که بتواند تمامی عیوب پارچه را شناسایی کند، در این مقاله ارائه شده است. ترکیب ارائه شده از عملگرهای ریخت شناسی به گونه ای است که علاوه بر شناسایی عیوب تمامی انواع پارچه موجود در پایگاه داده، دارای سرعت پیاده سازی مطلوبی است و در نتیجه می تواند به صورت هم مورد استفاده قرار گیرد. به کارگیری عملگرهای ریخت شناسی در چندین مرحله صورت گرفته تا در نهایت تصویر نهایی ایجاد شده همان تصویری باشد که ناحیه معیوب در آن وجود دارد. گام های زیر در فرآیند عملگرهای ریخت شناسی صورت پذیرفته است تا در نهایت بهترین نتیجه به دست آید.

Table (1): The different signs used in morphological process

جدول (۱): علائم به کار گرفته شده در فرآیند ریخت شناسی

علامت	توضیحات
I	تصویر اصلی
B	المان ساختاری
\oplus	عملگر گسترش تصویر
\ominus	عملگر سایش تصویر
o	عملگر بازکردن
•	عملگر بستن تصویر
~	عملگر مکمل تصویر

• گام (۱) تبدیل تصویر به تصویر دودویی

از آنجایی که عملگرهای ریخت‌شناسی روی تصاویر باینری عمل می‌کنند، تصویر بهبود یافته به کمک فیلتر وینر، به کمک آستانه گذاری آتسو به تصویر باینری تبدیل می‌شود. این الگوریتم در دو کلاس عمل می‌کند و مقدار آستانه مورد نظر با استفاده از خوشه‌بندی و محاسبه مجموع وزنی واریانس هر خوشه، برای هر تصویر براساس اطلاعات تصویر، به دست می‌آید. به عبارت دیگر تعیین آستانه باینری تصویر، بر اساس مجموع وزنی واریانس هر خوشه، در مرحله خوشه بندی به دست می‌آید. شکل (۳)، این تصویر دودویی با آستانه گذاری آتسو، به کمک مجموع وزنی واریانس هر خوشه را نشان می‌دهد.

به کارگیری عملگرهای ریخت‌شناسی در چندین مرحله صورت گرفته است تا در نهایت، تصویر نهایی ایجاد شده همان تصویری باشد که دارای ناحیه معیوب پارچه است. در این تحقیق، برای نخستین بار چنین ترکیبی ارائه شده است. ترکیب ارائه شده از عملگرهای ریخت‌شناسی به گونه‌ای است که علاوه بر شناسایی عیوب تمامی انواع پارچه موجود در پایگاه داده، به سرعت قابل پیاده‌سازی است و در نتیجه می‌تواند به صورت برخط هم مورد استفاده قرار گیرد. به کارگیری عملگرهای ریخت‌شناسی در چندین مرحله صورت گرفته تا در نهایت تصویر نهایی ایجاد شده همان تصویری باشد که ناحیه معیوب در آن وجود دارد. گام‌های زیر در فرآیند عملگرهای ریخت‌شناسی صورت پذیرفته است تا در نهایت بهترین نتیجه به دست آید.

• گام (۱) تبدیل تصویر به تصویر دودویی

عملگرهای ریخت‌شناسی روی تصاویر باینری عمل می‌کنند. برای تبدیل تصویر بهبود یافته به تصویری که باینری است، از الگوریتم آتسو استفاده شده است. این الگوریتم در دو کلاس عمل می‌کند و مقدار آستانه مورد نظر با استفاده از خوشه‌بندی و محاسبه مجموع وزنی واریانس هر خوشه، برای هر تصویر براساس اطلاعات تصویر، به دست می‌آید. شکل (۳)، این تصویر دودویی را نشان می‌دهد.

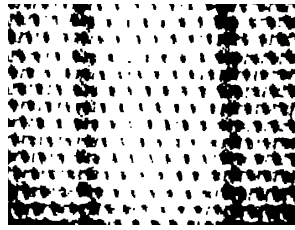


شکل (۳) : تصویر دودویی شده پارچه معیوب

Figure (3): The binary image of defective fabric

• گام (۲) بازکردن تصویر

این فرآیند، باعث حذف اتصالات باریک تر و ایجاد تصویری با لبه‌های هموارتر می‌شود. رابطه (۱)، نحوه بازکردن تصویر را نشان می‌دهد. شکل (۴)، نشان دهنده تصویر باز شده تصویر دودویی مربوطه است. بازکردن تصویر، به این منظور صورت گرفته است که، اتصالاتی که گاهی ممکن است عیب نباشند، حذف شده و ناحیه باقی مانده، نشان دهنده بهتری از عیب در پارچه باشد.



شکل (۴): تصویر باز شده بدست آمده
Figure (4): The opened Image

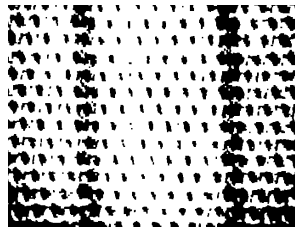
$$I_2 = I_1 \circ B \quad (1)$$

• گام (۳) فرآیند بستن تصویر

فرآیند بستن تصویر، که عملاً از فرآیندهای گسترش و سایش می‌باشد با استفاده از رابطه‌ی (۲) انجام می‌شود.

$$I \cdot B = (A \oplus B) \theta B \quad (2)$$

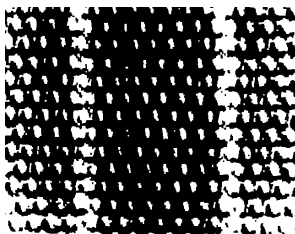
طبق رابطه (۲)، کانتورهای موجود نرم‌تر می‌شوند. در فرآیندی مخالف باز کردن تصویر، به صورت کلی شکاف ریز موجود در بین قسمت‌های مرتبط به هم متصل شده و نواحی به هم پیوسته بزرگتر تولید می‌شوند. این نواحی به هم پیوسته بزرگتر می‌تواند نواحی معیوب را با دقت بالاتری در تصویر باینری نشان دهد. شکل (۵)، نشان‌دهنده تصویر بسته شده است.



شکل (۵): تصویر بسته شده پس از باز کردن تصویر
Figure (5): The closed Image after open that

• گام (۴) مکمل‌سازی تصویر

در این مرحله، تصویر مورد نظر مکمل می‌گردد. در فرآیند مکمل‌سازی تصویر، نواحی عیب‌دار به صورت بهتری نشان داده می‌شوند. به عبارت دیگر در تصویر مکمل شده، مقادیر صفر به یک و مقادیر یک به صفر تغییر داده می‌شوند. استفاده از تصویر مکمل شده در فرآیندهای تکمیلی در نمایش بهتر ناحیه معیوب کارآمد است. شکل (۶)، تصویر حاصل از مکمل‌سازی را نشان می‌دهد.

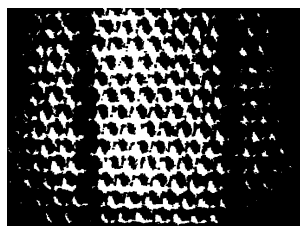


شکل (۶): تصویر مکمل شده
Figure (6): The complimented Image

• گام (۵) فرآیندهای تکمیلی

در فرآیندهای تکمیلی بر روی تصویر مکمل شده، نواحی نرم، پیوسته و تقویت شده و نواحی که در آن بیشترین پیکسل‌ها به یکدیگر متصل هستند، ایجاد می‌شوند. فرآیندهای تکمیلی با یک مرحله سایش، و سپس باز کردن در

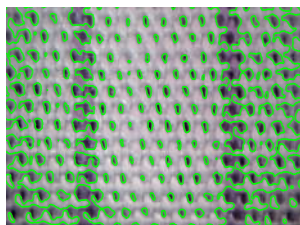
تصویر مکمل شده صورت گرفته است که نواحی معیوب به دست آمده در تصویر مکمل شده به بهترین وجه ممکن به صورت باینری نمایش داده می‌شوند. تصویری که در آن نواحی معیوب به بهترین وجه ممکن نشان داده شود، به راحتی برچسب‌گذاری می‌شود. پس از فرآیندهای تکمیلی، اکنون برچسب‌گذاری نواحی مورد نظر شروع می‌شود. تصویر برچسب‌گذاری شده در تصویر بهبود یافته اصلی صرف می‌شود. این صرف تصویر، به منظور ایجاد نواحی معیوب که روشن‌تر هستند، ایجاد می‌شود. شکل (۷)، تصویر دودویی نهایی پس از فرآیندهای تکمیلی در استخراج ناحیه معیوب را نشان می‌دهد.



شکل (۷) : تصویر دودویی نهایی پس از فرآیندهای تکمیلی در استخراج ناحیه معیوب
Figure (7): The final binary Image after complementary process in extracting defective area

۳-۱- نمایش ناحیه معیوب به کمک کانتور فعال

الگوریتم کانتور فعال، ابزاری مناسب جهت شناسایی و نمایش تصویر است. مدل کانتور فعال بر اساس انرژی لبه، کانتور را به سمت مرزها هدایت می‌کند. اگر لبه قوی در تصویر وجود نداشته باشد، شناسایی هدف با مشکل مواجه می‌شود. از آنجایی که در روش پیشنهاد شده، همه تلاش‌ها برای بهبود مرزهای لبه نواحی معیوب بوده است، پس کانتور مورد نظر به دور ناحیه معیوب تشکیل شده و مرزهای مورد نظر که شامل لبه‌های ناحیه معیوب است با دقت بالا نشان داده می‌شوند [۲۴]، شکل (۸)، نواحی معیوب شناسایی شده با استفاده از کانتور فعال را نشان می‌دهد.



شکل (۸) : نواحی معیوب بدست آمده
Figure (8): The gained defective area

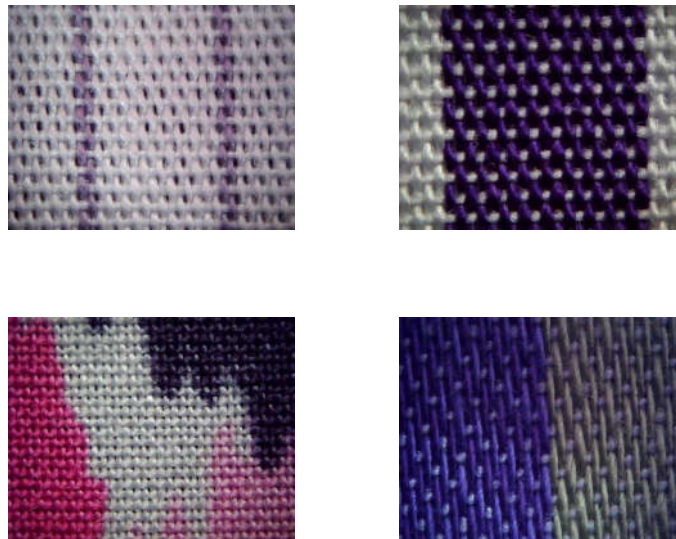
۴ - ارزیابی روش پیشنهادی

از اهداف کاربردی پیاده‌سازی روش ارائه شده، شناسایی دقیق نواحی معیوب در تصاویر پارچه‌های معیوب می‌باشد. بر اساس توضیحات قبلی، متد استفاده شده در این پژوهش، خوشه‌بندی و همچنین عملگرهای ریخت‌شناسی می‌باشد. برای استخراج دقیق ناحیه معیوب پارچه و ترسیم آن از روش مبتنی بر کانتور فعال استفاده شده است.

۴-۱- پایگاه داده CMUPIE

تصاویر موجود در پایگاه داده CMUPIE مربوط به سطوح پارچه‌های معیوب با استفاده از یک دوربین CCD رنگی، تهیه شده‌اند. اطلاعات ارسالی از دوربین، به کمک کارت دریافت تصویر در قالب فایل‌های گرافیکی PCX ذخیره شده‌اند. در این

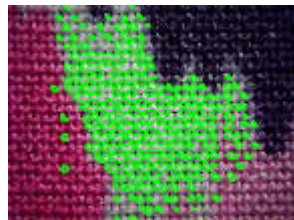
پایگاه داده ۳۰ تصویر از انواع عیوب پارچه با تعیین نواحی مربوطه موجود است. شکل (۹)، نمونه‌ای از تصاویر موجود در این پایگاه داده را نشان می‌دهد.



شکل (۹): نمونه ای از تصاویر موجود در پایگاه داده CMUPIE
Figure (9): The samples of images in CMUPIE database

۲-۴- ارزیابی کیفی

همان‌طور که قبلاً بیان شد، هدف اصلی اجرای این پژوهش، شناسایی نواحی معیوب در پارچه است. شکل (۱۰)، نشان‌دهنده نواحی معیوب پارچه، شناسایی شده با استفاده از روش پیشنهادی است. همان‌گونه که از شکل (۱۰)، پیداست الگوریتم پیشنهادی در پیدا کردن نواحی معیوب به درستی و با دقت بالا عمل کرده است.



شکل (۱۰): تشخیص ناحیه معیوب در روش پیشنهاد شده روی یکی از تصاویر پارچه‌ها
Figure (10): Detection of defective areas of one of fabric's Images

۲-۴- ارزیابی دقت و حساسیت الگوریتم

در ارزیابی دقت الگوریتم، از دو معیار دقت و حساسیت استفاده شده است. دقت و حساسیت مورد بحث در این بخش با استفاده از پارامترهای جدول (۲)، محاسبه شده‌اند. رابطه (۳)، محاسبه دقت و رابطه (۴)، محاسبه حساسیت را نشان می‌دهد.

$$\text{Pre} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{FN} + \text{FP} + \text{TN}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Sens} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}} \times 100 \quad (4)$$

در انتهای این مبحث، نتایج حاصل از میانگین دقت و حساسیت در شرایط ذکر شده در روش پیشنهاد شده ارائه گردیده است.

Table (2): The parameters of detection accuracy

جدول (۲): پارامترهای دقت شناسایی

شماره پارامتر	تعریف پارامتر	نماد پارامتر
۱	پارچه سالم است و سالم شناسایی شده است	TP
۲	پارچه سالم است و سالم شناسایی نشده است	FN
۳	پارچه معیوب است و معیوب شناسایی شده است	FP
۴	پارچه معیوب است و معیوب شناسایی نشده است	TN

با مشاهده و بررسی این مقادیر در جدول (۳)، می‌توان به این نتیجه رسید که روش پیشنهاد شده از دقت قابل قبولی برخوردار است. بازه اطمینان [۹۳/۸۷ ۸۴/۴۷] و نیز انحراف معیار ۴/۶۲ در حساسیت تشخیص و همین‌طور بازه اطمینان [۹۴/۲۵ ۸۶/۶۳] در دقت تشخیص و انحراف معیار ۴/۵۸۹ نشان از برتری نتایج به‌دست آمده دارد. میانگین صحت، ۸۸/۵۷، نشان دهنده کارآمد بودن روش پیشنهادی است. برای ارزیابی بیشتر میانگین دقت و صحت روش پیشنهاد شده، نتایج حاصله با نتایج روش مراجع [۲۰] و [۲۵] و [۲۶] مقایسه شده است.

جدول (۴)، این نتایج را نشان می‌دهد. همانگونه که از جدول (۴)، پیداست، روش پیشنهادی، در مقایسه با روش مرجع [۲۰]، مقادیر برتری را ثبت نموده است که عمدتاً به دلیل ترکیب ویژگی‌ها با یکدیگر است. برای ارزیابی بیشتر، روش پیشنهادی در مرجع [۲۵]، نیز مقایسه شده است. روش ارائه شده در این مرجع، مبتنی بر شبکه‌های عصبی عمیق است. در مقایسه نتایج مرجع [۲۵] با نتایج روش پیشنهاد شده، برتری روش پیشنهادی ثابت شده است. در روش ارائه شده در مقاله [۲۶]، یک روش جدید مبتنی بر شبکه عصبی ارائه شده است. روش پیشنهادی نسبت به این روش دارای دقت بهتری است در حالی که صحت یکسانی دارند. علت برتری روش پیشنهادی ترکیب روش‌های مبتنی بر خوشه‌بندی و هم‌چنین عملگرهای ریخت شناسی است. اگرچه روش پیشنهادی روشی ترکیبی است، اما در مقایسه با روش‌های مورد ارزیابی توانسته است، به نتایج بهتری دست پیدا کند. عملگرهای ریخت شناسی علاوه بر داشتن ساختاری ساده، در عین حال بسیار کارآمد هستند.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، یک روش جدید مبتنی بر عملگرهای ریخت‌شناسی و خوشه‌بندی برای شناسایی نواحی معیوب ارائه گردید. این روش جدید به این صورت عمل می‌کند که پس از خوشه‌بندی اولیه تصویر، مقدار آستانه آتسو، از مجموع واریانس وزنی هر خوشه محاسبه می‌گردد. پس از به‌دست آمدن یک تصویر باینری، برای اولین بار در تصاویر پارچه، ترکیبی هوشمند از عملگرهای ریخت شناسی در پنج گام، به کار گرفته شد، با توجه به توزیع تصادفی نواحی معیوب روی سطح پارچه، موقعیت و اندازه ناحیه عیب روی پارچه به درستی معلوم نیست، لذا عملگرهای ریخت شناسی جهت شناسایی ناحیه معیوب استفاده گردید، و در نهایت ناحیه معیوب به کمک الگوریتم کانتور فعال نشان داده شد. برای ارزیابی این روش، از مقایسه کیفی و مقایسه کمی استفاده شد. در ارزیابی کمی، معیارهای دقت و صحت استفاده شده است. صحت شناسایی نواحی معیوب در روش پیشنهادی، ۹۳/۸۲ درصد و دقت روش پیشنهاد شده، ۹۸/۳۳ درصد حاصل گردید که در مقایسه با روش‌های مشابه بهبود چشم‌گیری داشته است.

Table (3): Comparison of criterions of accuracy and precision in proposed method

جدول (۳): مقایسه معیار دقت و صحت در روش پیشنهادی

شماره تصویر	صحت روش پیشنهادی (درصد)	دقت روش پیشنهادی (درصد)
۱	۹۳/۱۱	۹۸/۱۴
۲	۹۷/۵۳	۹۷/۵۱
۳	۹۳/۳۸	۹۸/۰۱
۴	۹۵/۳۱	۹۹/۴۷
۵	۹۱/۵۹	۹۹/۸۵
۶	۹۲/۳۱	۹۸/۹۹
۷	۸۷/۳۳	۹۸/۳۲
۸	۹۵/۴۳	۹۸/۲۱
۹	۸۹/۱۱	۹۸/۱۳
۱۰	۸۸/۱۸	۹۹/۶۹
۱۱	۹۵/۳۱	۹۸/۵۷
۱۲	۸۸/۸۱	۹۷/۸۶
۱۳	۸۹/۵۸	۹۷/۹۹
۱۴	۹۷/۹۶	۹۸/۴۲
۱۵	۹۵/۴۳	۹۹/۳۴
۱۶	۹۴/۹۳	۹۸/۷۸
۱۷	۸۹/۸۱	۹۹/۴۱
۱۸	۹۱/۸۸	۹۹/۰۱
۱۹	۹۰/۶۳	۹۸/۴۷
۲۰	۹۰/۵۴	۹۸/۲۱
۲۱	۹۳/۹۱	۹۸/۰۰
۲۲	۹۳/۴۲	۹۸/۱۲
۲۳	۹۴/۱۰	۹۹/۷۴
۲۴	۹۲/۴۳	۹۸/۳۴
۲۵	۹۱/۳۴	۹۹/۱۷
۲۶	۹۲/۱۶	۹۹/۶۳
۲۷	۹۵/۳۱	۹۹/۱۵
۲۸	۹۳/۳۵	۹۸/۶۸
۲۹	۹۰/۷۷	۹۹/۲۸
۳۰	۹۴/۱۱	۹۹/۵۸
Mean	۹۱/۸۳	۹۸/۳۳
STD	۲/۹۳۰	۰/۶۶۰۹
Confidence interval	۹۰/۹۲-۷۳/۹۳	۹۸/۹۸-۰۶/۵۸

Table (4): Comparison of proposed method and references [20], [25] and [26]

جدول (۴): مقایسه روش پیشنهادی با مراجع [۲۰]، [۲۵] و [۲۶]

	صحت	دقت
روش پیشنهادی (درصد)	۹۳/۸۲	۹۸/۳۳
روش مقاله [۲۰]	۸۶/۲۳	۹۷/۵۱
روش مقاله [۲۵]	۹۰/۲۱	۹۵/۳۴
روش مقاله [۲۶]	۹۱/۷۱	۹۷/۲۵

References

مراجع

- [1] E. Candes, D. Donoho, "New tight frames of curvelets and optimal representations of the object with C singularities", *Communication on Pure and Applied Mathematics*, vol. 57, no. 2, pp. 219-266, Feb. 2004 (doi: 10.1002/cpa.10116).
- [2] Y. Liu, S. Chen, T. Tang, M. Zhao, "Defect inspection of medicine vials using LBP features and SVM classifier", *Proceeding of the IEEE/ICIVC*, Chengdu, China, June 2017 (doi: 10.1109/ICIVC.2017.7984515).
- [3] L. Jianli, Z. Baoqi, "Identification of fabric defects based on discrete wavelet transform and back-propagation neural network", *The Journal of the Textile Institute*, vol. 98, no. 4, pp. 355-362, Jan. 2009 (doi:org/1080/00405000701547193).
- [4] A. Kumar, "Neural network based detection of local textile defects", *Pattern Recognition*, ScienceDirect, vol. 36, no. 7, pp. 1645-1659, July 2003 (doi:org/10.1016/S0031-3203(03)00005-0).
- [5] J. Luo, J. Ni, S. Lin, L. Song, "A noise filtration technique for fabric defects image using curvelet transform domain filters", *Proceeding of SPIE*, vol. 7820, Xi'an, China, Aug. 2010 (doi: 10.1117/12.866962).
- [6] K. Mak, P. Peng, "Detecting defects in textile fabrics with optimal Gabor filters", *International Journal of Computer Science*, vol. 1, no. 4, pp. 274-282, Jan. 2006.
- [7] K. Mak, P. Peng, "An automated inspection system for textile fabrics based on Gabor filters", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, ScienceDirect, vol. 24, no. 3, pp. 359-369, June 2008 (doi:10.1016/j.rcim.2007.02.019).
- [8] K. Mak, P. Peng, K. Yiu, "Fabric defect detection using morphological filters", *Image and Vision Computing*, Science Direct, vol. 27, no. 10, pp. 1585-1592, Sep. 2009 (doi:10.1016/j.imavis.2009.03.007).
- [9] M. Shi, S. Jiang, H. Wang, B. Xu, "A Simplified pulse-coupled neural network for adaptive segmentation of fabric defects", *Machine Vision and Applications*, vol.20, no. 2, pp.131-138, Feb. 2009 (doi: 10.1007/s00138-007-0113-z).
- [10] L. Tong, W. Wong, C. Kwong, "Fabric defect detection for apparel industry: a nonlocal sparse representation approach", *IEEE Access*, vol. 5, pp. 5947-5964, Feb. 2017 (doi: 10.1109/ACCESS.2017.2667890).
- [11] W. Du, Y. Tang, S. Leung, L. Tong, A. Vasilakos, F. Qian, "Robust order scheduling in the discrete manufacturing industry: A multi-objective optimization approach", *IEEE Trans. on Industrial Informatics*, vol. 14, no. 1, Jan. 2018 (doi: 10.1109/TII.2017.2664080).
- [12] N. Deotale, T. Sarode, "Fabric defect detection adopting combined GLCM, Gabor wavelet features and random decision forest", *3D Research*, vol. 10, no. 1, Mar. 2019 (doi: 10.1007/s13319-019-0215-1).
- [13] P. Li, J. Liang, X. Shen, M. Zhao, L. Sui, "Textile fabric defect detection based on low-rank representation", *Multimedia Tools and Application*, vol. 78, no. 1, pp. 99-124, Jan. 2019 (doi: 10.1007/s11042-017-5263-z).
- [14] N. Kure, M. Biradar, "Fabric defect detection algorithm based on local neighborhood analysis", *International Journal of Engineering and Technical Research*, vol. 6, no. 4, pp. 307-315, April 2019 (doi: 10.1007/978-3-319-38789-5_40).
- [15] B. Zhang, C. Tang, "A method for defect detection of yarn-dyed fabric based on frequency domain filtering and similarity measurement", *Autex Research Journal*, vol. 19, no. 3, pp. 257-262, Dec. 2018 (doi: 10.1515/aut-2018-0040).
- [16] A. Serdaroglu, A. Ertuzun, A. Ercil, "Defect detection in textile fabric images using wavelet transforms and independent component analysis", *Pattern Recognition and Image Analysis*, vol. 16, No. 1, pp. 61-64, Jan. 2006 (doi: 10.1134/S1054661806010196).
- [17] A. Serdaroglu, A. Ertuzun, A. Ercil, "Defect detection in textile fabric images using subband domain subspace analysis", *Pattern Recognition and Image Analysis*, vol. 17, no. 4, pp. 663-674, Jan. 2007 (doi: 10.1134/S105466180704027X).
- [18] E. Shady, Y. Gowayed, M. Abouiiiana, S. Youssef, C. Pastore, "Detection and classification of defects in knitted fabric structures", *Textile Research Journal*, vol. 76, no. 4, pp. 295-300, April 2006 (doi: 10.1177/0040517506053906).
- [19] W. Wong, C. Yuen, D. Fan, L. Chan, E. Fung, "Stitching defect detection and classification using wavelet transform and BP neural network", *Expert Systems with Application*, Science Direct, vol. 36, no. 2, pp. 3845-3856, Mar. 2009 (doi:org/10.1016/j.eswa.2008.02.066).
- [20] Y. Li, C. Zhang, "Automated vision system for fabric defect inspection using Gabor filters and PCNN", *Springer Plus*, vol. 5, no. 1, pp. 1-12, June 2016 (doi: 10.1186/s40064-016-2452-6).
- [21] K. Srunitha, S. Padmavathi, "Performance of SVM classifier for image based soil classification", *Proceeding of the IEEE/SCOPES*, pp. 411-415, Odisha, India, Oct. 2016 (doi: 10.1109/SCOPES.2016.7955863).

- [22] R. Karthika, L. Parameswaran, "Study of Gabor wavelet for face recognition invariant to pose and orientation", Proceedings of the International Conference on Soft Computing Systems. Springer, vol. 1, no.1 pp. 501-509, Kollam, India, Dec. 2015 (doi: 10.1007/978-81-322-2671-0_48).
- [23] R. Kasmi, K. Mokrani, "Classification of malignant melanoma and benign skin lesions: implementation of automatic ABCD rule", IET Image Processing, vol. 10, no. 6, pp. 448-455, May 2016 (doi: 10.1049/iet-ipr.2015.0385).
- [24] A. Perumal, R. Sabeenian, "Medical image compression using wrapping based fast discrete curvelet transform and arithmetic coding", Circuits and Systems, vol.7, no.8, pp. 2059-2069, Jan. 2016 (doi: 10.4236/cs.2016.78179).
- [25] G. Sun, Z. Zhou, Y. Guo, Y. Xu, L. Xu, S. Lin, "A fast fabric defect detection framework for multi-layer convolutional neural network based on histogram back-projection", IEICE Trans. on Information and Systems, vol.102, no. 12, pp. 2504-2514, Dec. 2019 (doi :10.1587/transinf.2019EDP7092).
- [26] S. Das, A. Wahi, S. Keerthika, N. Thulasiram, S. Sundaramurthy, "Automated defect detection of woven fabric using artificial neural network", Man-Made Textiles in India, vol. 47, no. 4, pp. 113-115, Jan. 2019.

زیر نویس ها:

1. Adaptive network-based fuzzy inference system
2. Projected
3. Gray level co-occurrence matrix
4. Back-end
5. Finite Impulse Response