

# مدل سازی کنترل کیفیت محصولات تولیدی مبتنی بر تکنیک پردازش تصویر و تبدیل فازی

اکبر اصغرزاده بناب<sup>۱\*</sup>، محمد تقی پرتوی<sup>۲</sup> و رضا ادريس آبادی<sup>۳</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	
دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۰۸	
بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸	
پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۸	
<b>واژگان کلیدی:</b>	
الگوی کنترل کیفیت،	
تبدیلات فازی،	
تکنیک پردازش تصویر،	
نمودار کنترل GLR.	

امروزه با گسترش روش‌های گوناگون اخذ اطلاعات از سیستم‌های مختلف و دوربین‌های دیجیتال، استفاده از پردازش تصویر کاربرد فراوانی یافته است. با توجه به افزایش حجم عظیم داده‌ها در صنعت و نیاز به کنترل و پایش این مقدار از داده‌ها، استفاده از روش‌های پردازش تصویر کاربرد وسیعی در صنایع مختلف پیدا کرده است. تحلیل این داده‌ها در سطوح مختلف از جمله کنترل فرایندهای خطوط تولیدی، یکی از روش‌های به‌روز در سیستم کنترل کیفی فرایند آماری محصولات است. لذا بهره‌گیری از رویکردهای جدید جهت پایش داده‌ها و کنترل کیفی محصولات تولیدی می‌تواند به عنوان یک روش متمرکز ثمر تلقی شود. هدف پژوهش حاضر ارائه الگویی جهت کنترل کیفیت محصولات تولیدی مبتنی بر رویکرد تکنیک پردازش تصویر و با استفاده از تبدیلات فازی در جهت فشرده‌سازی تصویر و پردازش داده‌های تصویری است. جهت اعتبارسنجی نتایج این تحقیق، از نرم‌افزار متلب و مقایسه الگوی توسعه داده‌شده با مطالعات قبلی استفاده شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که نمودار کنترل GLR پیشنهادی در کاهش خطا و افزایش دقت تشخیص موثر بوده است؛ به طوری که در اولین تصویر پس از اعمال تغییرات در شدت روشنایی، هشدار نشان داد که این امر نمایانگر عملکرد مناسب نمودار کنترل پیشنهادی در مقابل تغییرات است.

## ۱- مقدمه

ابعاد آن‌ها را اندازه‌گیری کنند. همچنین با کمک این سیستم می‌توان مواردی که در کنترل کیفیت مشاهده می‌گردد را با دقت بسیار زیاد مستندسازی کرده و در نهایت مورد بررسی و ارزیابی قرارداد. کاربردهای فناوری بینایی ماشین هم برای تحقیقات مختلف پیرامون محصول و هم برای تولید محصول می‌تواند مفید واقع شود. فناوری‌های بینایی ماشین در صنعت، به منظور کنترل کیفیت به‌فوق مورد استفاده قرار می‌گیرند که با توجه به آن مزایای رقابتی زیادی را در صنایع مختلف ارائه می‌دهند. در این راستا برای ارزیابی و پایش سیستم‌های فرایند تولیدی که دارای داده با حجم وسیع بوده، استفاده از روش‌ها و الگوهای کنترل کیفیت آماری در کنار بهره‌گیری از روش‌های نوین پردازش

با توجه به افزایش حجم عظیم داده‌ها در صنعت و نیاز به کنترل و پایش این مقدار از داده، استفاده از روش‌های پردازش تصویر کاربرد وسیعی در صنایع مختلف پیدا کرده است. پایش این داده‌ها در سطوح مختلف سیستم‌ها از جمله خطوط تولیدی برای کنترل فرایند تولیدی، یکی از روش‌های به‌روز در سیستم کنترل کیفی فرایند آماری محصولات است. با کنترل مقادیر شدت روشنایی برای هر تصویر که به‌صورت یک عدد نشان داده می‌شوند، می‌توان وضعیت محصول نمونه‌گیری شده را ارزیابی و پایش کرد. سیستم‌های بینایی ماشین می‌توانند متغیرهای مختلف مانند سطوح محصول، زوایا و بافت محصولات و همچنین

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: akbar.asgharzadeh@casu.ac.ir

۱. استادیار، گروه مطالعات علم و فناوری، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران

۲. استادیار، گروه مطالعات علم و فناوری، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مطالعات علم و فناوری، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران

۱- چگونه می‌توان از تبدیلات فازی و پردازش تصویر در جهت کنترل کیفی محصولات استفاده کرد؟

۲- آیا استفاده از تبدیلات فازی باعث بهبود عملکرد در کنترل فرایند آماری داده‌ها می‌شود؟

در ادامه پژوهش حاضر را بدین صورت پیش خواهیم برد. ابتدا در بخش ۲ به بررسی مطالعات انجام شده در حوزه تحقیق پرداخته می‌شود. در بخش ۳ مدل توسعه داده شده شامل پیش‌فرایندها در پردازش تصویر، بخش فازی تعمیم یافته، تبدیل فازی مستقیم و الگوریتم تبدیل فازی مبتنی بر فشرده‌سازی و نمودار کنترل GLR ارائه می‌گردد. سپس در بخش ۴ و ۵ به ترتیب نتایج شبیه‌سازی تحقیق بصورت نتایج عددی و مطالعه موردی بیان گردیده است و در نهایت بخش ۶ نتیجه‌گیری تحقیق انجام می‌گردد.

## ۲- مرور ادبیات

مطالعات مختلفی در زمینه پردازش تصویر توسط محققان انجام پذیرفته که به صورت زیر قابل اشاره می‌باشند. نصرآبادی و همکاران [۲] در پژوهشی به آشکارسازی چهره توسط پردازش تصویر در تصاویر رنگی ثابت پرداخته‌اند. نتایج شبیه‌سازی بر روی بانک تصاویر ایجاد شده نشان می‌دهد که روش فوق نه تنها دارای خطای مثبت و منفی پایینی است، بلکه در مقابل نویز نیز از مقاومت بالایی برخوردار می‌باشد. هدف مقاله انجام شده توسط نعمتی و شهروزی [۳]، یافتن مکانی بهینه برای احداث واحد جدید در داخل محدوده‌ی شهری و افزودن آن به مجموعه موجود می‌باشد. بدین منظور با استفاده از روش مونت کارلو و تلفیق آن با دو روش جستجوی خام و الگوریتم ژنتیک و با استفاده از ابزارهای پردازش تصویر که برای تصحیح نقشه و حذف مناطق برون شهری به کار برده شد، به مدل‌سازی و حل مسئله پرداخته شده است. لئو و همکاران [۴] الگوریتمی را توسعه دادند که در آن از پارامترهای مختلف روش ترکیب تصویر بر روی مجموعه داده‌های تصویری استفاده شده است. الگوریتم توسعه داده‌شده روش‌های مختلف را با روش توسعه داده‌شده مقایسه کرده و برتری روش توسعه داده‌شده را اثبات کرده است. دوچسن و همکاران [۵] در یک تحقیق جامع به بررسی روش‌های مختلف تحلیل تصاویر چندمتغیری در صنایع مختلف پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود به جنبه‌های مختلف عکس پرداخته و روش‌های تحلیل تصویر چندگانه و رگرسیون تصویر چندگانه را نیز مدنظر قرار دادند. کلسیمو در تحقیق خود به بررسی روش‌های

تصویر دیجیتال می‌تواند متمر ثمر باشد [۱]. رویکرد استفاده از منطق فازی در حجم داده‌های وسیع با توجه به نوع داده‌های موردبررسی، برای کنترل کیفی و تحلیل یک فرایند با مجموعه داده‌های قطعی می‌تواند مفید باشد. مجموعه‌های قطعی تشکیل شده از مجموعه‌های عادی و معمولی هستند که در ابتدای نظریه کلاسیک مجموعه‌ها معرفی می‌شوند. منطق فازی با وارد کردن دانش ضمنی در مدل‌ها و معادلات و فرمول‌های ریاضی می‌تواند در زمینه طراحی و کنترل محصول مورد کاربرد باشد. بنابراین با وارد کردن رویکرد فازی در مباحث کنترل کیفیت آماری برای پیش‌داده‌های تصویری، با توجه به مزیت‌ها و ویژگی‌های خاص بالقوه این رویکرد می‌تواند زمینه‌ساز افزایش دقت پایش و کنترل فرایند شود [۱]. در تحقیق پیش‌رو سعی بر توسعه روشی مؤثر برای کنترل فرایندهای آماری با یک رویکرد جدید شده است. با توجه به این‌که پردازش داده‌های تصویری با تحلیل حجم عظیم داده همراه است بنابراین، استفاده از یک رویکرد مؤثر برای فشرده‌سازی عکس و استفاده از آن روش در تحلیل داده‌های تصویری می‌تواند قابل اهمیت باشد. به عبارت دیگر، استفاده از یک روش کمی که بتواند با کمترین خطا و اطلاعات از دست‌رفته، حجم داده‌های تصویری و پیچیدگی انجام محاسبات ریاضی را کاهش دهد بسیار مهم است. روش مطرح شده در تحقیق حاضر، استفاده از تبدیل فازی است. در این روش، با بهره‌گیری از منطق فازی در حجم داده‌های وسیع، به‌منظور در نظر گرفتن فضای نامحدود بین اعداد در منطق و استدلال‌ها و همچنین اعمال دانش ضمنی در مدل‌ها، معادلات و فرمول‌های ریاضی می‌تواند زمینه‌ساز افزایش دقت پایش و کنترل فرایند باشد. در این روش با کاهش حجم تصویر و تبدیلات داده‌ها با حجم زیاد به تعدادی داده مشخص با نسبت معلوم می‌توان حجم محاسباتی را به نسبت زیادی کاهش داد. همچنین در این روش به علت در نظر گرفته شدن فصل مشترک بین پیکسل‌ها در داده‌ها و استفاده از تبدیل فازی برای کاهش خطاهای اندازه‌گیری، میزان دقت محاسبات افزایش یافته و از این رو داده‌های کمتری از دست می‌رود. علاوه بر آن، روش فوق دارای قدرت حذف نویز بالایی است که در تصاویر با نویز بالا دارای کاربرد فراوانی می‌باشد. در ادامه سوالات پژوهش حاضر بصورت زیر مطرح می‌شوند:

مستقیم و غیرمستقیم در سه نوع مختلف توسط پرفیلیوا معرفی گشته است. هر سه نوع تبدیلات مطرح شده از یک فضای تابعی به یک فضای برداری با بعد نامحدود تبدیل شده‌اند که به وسیله روابط ریاضیات و جبری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. خستان و همکاران [۱۱] یک روش عددی بر پایه تبدیل‌های فازی درجه اول و درجه دوم توسعه دادند که برای حل مسائل کوچی معرفی شده بود. در نهایت توانستند یک روش عددی برای حل مسائل مقدار اولیه فازی با استفاده از تبدیل‌های فازی ارائه دهند و با مطالعات موردی، ادعای خود را به اثبات رساندند. پرفیلیوا و همکاران [۱۲] در تحقیق خود جنبه‌های تئوری روش تبدیل‌های فازی را مورد بررسی قرار دادند و در آن از زمینه‌های مجموعه‌های فازی و منطق فازی و دیگر کاربردهای آن استفاده کردند. ایشان مهم‌ترین بخش تحقیق خود را به بررسی نقش جز تابع فازی در تبدیل‌های فازی اختصاص دادند. سسا و همکاران [۱۳] جنبه‌های جدیدتری از توابع فازی، ارتباطاتشان و تبدیل‌های فازی را مطرح کردند. آن‌ها دو الگوریتم توسعه دادند که بر پایه تصاویر رنگی بود. مارتینو و همکاران [۱۴] یک روش جدید برای کاهش رنگ در تصاویر با استفاده از مفهوم جدید تبدیل‌های فازی معرفی کردند که در آن هر تکه از تصویر به عنوان یک بلاک با ماتریس فازی در نظر گرفته شده و هر ماتریس تعریف شده به وسیله دو متغیر و با استفاده از مفهوم تبدیل‌های فازی، فشرده‌سازی شده است. همنندلو و جاها [۱۵] در تحقیق خود یک سیستم فازی بهینه برای بهبود رنگ تصاویر ایجاد کردند. آن‌ها با تعریف سه پارامتر مهم شامل پارامتر سختی تصویر و مقدار فازی توانستند کیفیت عکس را بهبود داده و مقدار عدد فازی تعریف شده را کمینه کنند.

نیرمالراج و ناگراجان [۱۶] روش جدیدی را برای فیلتر کردن نویز ضربه‌ای تصویر در مناطق زیست پزشکی با استفاده از تکنیک‌های تبدیل فازی ارائه کردند. همچنین از ماتریس حسگر فشاری دوتایی برای فشرده‌سازی تصاویر زیست پزشکی و بررسی ساختار داخلی بدن استفاده کردند. موکور و هورتیک [۱۷] روش‌های تقریبی مجموعه‌های نرم فازی را با در نظر گرفتن کاربرد پردازش تصویر و روابط فازی مختلف بررسی کردند. آن‌ها از تئوری فازی پیشنهاد شده توسط موناود برای مسائل تقسیم‌بندی رنگ انتخابی استفاده کردند. یک شبکه عصبی کانولوشن مبتنی بر مجموعه‌های فازی پیشنهاد شده توسط بهلال و همکاران [۱۸] در مطالعه

جدید کنترل حجم داده‌های بزرگ و استفاده از داده‌های تصویری در بازرسی مراحل مختلف تولید پرداخته است. پاترنیان و همکاران یک الگوریتم کوچک‌سازی عکس را بر پایه توابع تجمعی میانگین ارائه دادند که در آن مفهوم کوچک‌سازی عکس را با توجه به عملگرهای کوچک‌سازی محلی تعریف کردند و در نهایت توانستند تأثیر توابع تجمعی مختلف میانگین را بر روی کوچک‌سازی عکس پیاده کنند. کارابیسس و همکاران یک روش جدید برای فشرده‌سازی و تحلیل عکس با استفاده از نسبت چندجمله‌ای محلی توسعه دادند. ایشان در تحقیق خود چهار عملگر اساسی تصویر را مورد پردازش قرار دادند و از تحلیل لاگرائز نیز استفاده کردند. یک تکنیک فشرده‌سازی تصویر مفید با استفاده از تبدیل حفره‌های چرخ‌دار توسط آرونپاندیان و دنکاران [۶] ارائه شده است. آن‌ها از ادغام و فشرده‌سازی مناطق ROI به عنوان فازهای اصلی مدل پیشنهادی استفاده کردند. گیتا و همکاران [۷] رویکرد جدیدی برای فشرده‌سازی تصویر چند طیفی با کیفیت بالا بر اساس تبدیل موجک و فیلتری جدید برای حذف سیگنال‌های نویز پیشنهاد کرد. در مقاله پیشنهادی از چندین راه برای ایجاد یک تصویر بازسازی شده بهینه استفاده می‌شود. همچنین بررسی جامع انواع تصویر و روش‌های فشرده‌سازی با در نظر گرفتن ارزیابی عملکرد تصاویر توسط گارگ و کومار [۸] مورد بررسی قرار گرفته است.

سلطانی زاده و جوادی [۹] در پژوهشی به شناسایی موقعیت آسیب‌های پوستی با استفاده از الگوریتم فازی پرداخته‌اند. در نهایت هدف پژوهش، ساخت رباتی برای درمان اتوماتیک آسیب‌ها با استفاده از تصاویر رنگی و سنسور عمق دوربین کینکت جهت شناسایی موقعیت سه بعدی آسیب‌ها بوده است. بازسازی تصاویر با استفاده از توابع فازی یک روش جدید در راستای توسعه مباحث پردازش تصویر است. پرفیلیوا و همکاران [۱۰] یک روش جدید در راستای بازسازی تصاویر توسعه دادند. آن‌ها از یک تابع فازی ناپیوسته در جهت بازسازی تصویر استفاده کردند و اجزای تبدیل‌های فازی آن را مورد بررسی قرار دادند. در این تبدیل‌ها از توابع ناپیوسته مختلف جهت به دست آوردن اجزای تبدیل استفاده شده است که شامل توابع سینوسی و کسینوسی و همچنین توابع خطی و غیرخطی می‌باشند که هر کدام دارای کاربرد منحصر به فردی در صنایع مختلف بسته به نوع کاربرد دارند. روش تبدیل‌های فازی در جهت

آن‌ها، الگوریتم‌های مختلفی برای تولید تصویر ذوب‌شده برای شناسایی قسمت‌های متمرکز در تصاویر مختلف استفاده شده است. در مطالعه دیگری، پرفیلیو و آدامزیک [۱۹] الگوریتم جدیدی را برای انتخاب نقاط کلیدی در تصاویر دو بعدی بر اساس تکنیک‌های مختلف از جمله عملگر لاپلاسی و تبدیل‌های فازی ارائه کردند.

در کنار این، مطالعات مختلفی در زمینه پردازش تصویر و کاربرد آن در کنترل کیفیت و نمودارهای کنترل توسط محققان انجام پذیرفته. مگاها و همکاران [۲۰] به منظور پایش داده‌های تصویری، یک نمودار نسبت درست‌نمایی تعمیم‌یافته فضایی-زمانی توسعه داده‌اند. ایشان در تحقیق خود از نسبت‌های استفاده‌شده در نمودار کنترل GLR برای رسم نمودار کنترلی استفاده کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که روش توسعه داده‌شده سرعت زیادی در تخمین نقطه تغییر، اندازه و مکان خطا دارد و میزان اطلاعات از دست‌رفته در این روش کمتر است. کلسیمو [۲۱] در تحقیق خود به بررسی و به‌کارگیری سنسورهای خیلی سریع و پیشرفته در صنایع تولیدی جهت بازرسی کیفی پرداخته است. ایشان در تحقیق خود به مطالعه روش‌های جدید کنترل حجم داده‌های بزرگ و استفاده از داده‌های تصویری در بازرسی مراحل مختلف تولید پرداخته است. در دو تحقیق مجزا، کلسیمو و همکاران [۲۲] و [۲۳] روشی جدیدی را برای مدل‌سازی و پایش داده‌های تلفیق‌شده با سنسورهای چندگانه موردبررسی قرار دادند.

در این روش مرحله اول، استفاده از داده‌های سنسورهای مختلف و ترکیب آن‌ها برای پیش‌بینی سطوح مختلف شیء است که در ادامه مدل پروفایل داده‌ها را به دست می‌آورند. کنترل داده‌های تصویری با استفاده از نمودارهای کنترل توسط کوشا و همکاران [۲۴] موردبررسی قرار گرفت. ایشان با استفاده از تبدیلات موجک، تخمینی درست از داده‌های تصویری به دست آوردند و با تحلیل این داده‌های تخمین زده‌شده و با استفاده از نمودارهای نسبت درست‌نمایی تعدیل‌شده، نمودار داده‌های تصویری را مورد پردازش آماری قرار دادند. ریس و جینس [۲۵] یک روش جدید برای کنترل فرایند صنعتی توسعه دادند. در این تحقیق از اطلاعات نزدیک به صدسال گذشته بهره برده شده و ساختارهای پردازش تصویر مختلف موردبررسی قرار گرفته است. تمرکز اصلی کار ایشان بر روی کنترل فرایند صنعتی در حجم داده‌های زیاد است که شامل داده‌های مختلف

از جمله داده‌های تصویری است.

با توجه به تحقیقات انجام‌شده در زمینه کاربرد پردازش تصویر در کنترل فرایند آماری، نیاز به تحقیق بر روی استفاده از تبدیل‌های فازی در داده‌های تصویری و کنترل فرایندهای آماری احساس می‌شود. زیرا در تحقیقات گذشته تمرکز عمدتاً بر روی مباحث تئوری تبدیل‌های فازی بوده و از آن در کنترل فرایند آماری بهره‌ای برده نشده است. همچنین با توجه به مطالعات انجام‌شده، در تحقیق پیش رو سعی بر توسعه روشی مؤثر برای کنترل فرایندهای آماری با یک رویکرد جدید و ارائه الگوی زنجیره تأمین جهت کنترل کیفیت محصولات تولیدی فنی شده است. زیرا پردازش داده‌های تصویری با حجم عظیم داده همراه است. از این رو استفاده از یک رویکرد مؤثر برای فشرده‌سازی تصویر و استفاده از آن روش در تحلیل داده‌های تصویری می‌تواند مثمر ثمر باشد. به عبارت دیگر، استفاده یک روش کمی که بتواند با کمترین خطا و اطلاعات از دست‌رفته، حجم داده‌های تصویری را کاهش دهد و پیچیدگی انجام محاسبات ریاضی را کاهش دهد بسیار مهم است. در نهایت با توجه به مطالعات انجام‌شده، در این تحقیق به کنترل فرایندهای آماری محصولات تولیدی با استفاده از داده‌های تصویری مبتنی بر رویکرد فازی پرداخته شده است. بنابراین با توجه به آنچه که مرور شد، بهره‌گیری از رویکرد تبدیلات فازی در فشرده‌سازی تصاویر جهت کنترل کیفی محصولات تولیدی، توسعه نمودار کنترل GLR جهت پایش آماری مبتنی بر رویکرد تبدیل فازی و استفاده از داده‌های واقعی جهت پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی و همچنین مقایسه با سایر روش‌ها را می‌توان از نوآوری‌های پژوهش حاضر برشمرد.

این تحقیق می‌تواند در صنایع مختلف که لزوم کنترل کیفیت برای محصولات تولیدی بسیار حیاتی است، مورد استفاده قرار گیرد. همچنین از فواید روش مذکور می‌توان به موافقی که کیفیت محصول بسیار حائز اهمیت است و حساسیت بر روی تلرانس‌های محصول فنی بالا می‌باشد، اشاره کرد که بنا بر این تفسیر، استفاده از کنترل فرایندهای آماری با تبدیلات فازی می‌تواند به مقدار فراوانی دقت را افزایش دهد. با استفاده از این تکنیک پردازش تصویر، می‌توان دگرگونی چشم‌گیری را در خطوط تولید ایجاد کرد. از طرف دیگر، رویکرد پیشنهادی، هم دارای دقت بالا برای محصولات حساس و همچنین دارای سرعت بالا در اجرای

پاک‌سازی شده و تصاویر دقیق جهت تحلیل و بررسی در اختیار تحلیلگر قرار می‌گیرد. بنابراین انجام پیش‌فرایندها بر روی داده‌های تصویری در قدم اول الزامی است. از جمله این پیش‌فرایندها می‌توان به حذف نویز و افزایش کیفیت تصویر<sup>۴</sup> اشاره نمود که با هدف بهبود و افزایش وضوح تصویر انجام شده و با انجام آن می‌توان تفسیر بهتری از تصاویر به دست آورد.

### ۳-۲- بخش فازی تعمیم‌یافته

ارتباط بین تبدیل فازی در درجات مختلف با توابع فازی تعمیم‌یافته شده در تحقیقات پرفیلیوا و همکاران مورد توسعه قرار گرفته است. جهت توضیح بخش فازی، تعریف‌ها و نشانه‌های مورد استفاده در این بخش را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

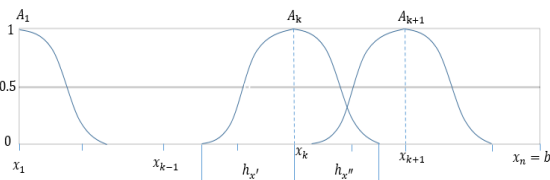
تعریف ۱: فرض می‌کنیم یک فاصله مشخص  $[a, b]$  را در فضای واقعی در نظر بگیریم و گره‌های  $x_1, x_2, \dots, x_n$  را در فاصله مفروض بین  $a$  و  $b$  به صورت  $a \leq x_1 < x_2 < \dots < x_n < b$  قرار دهیم. همچنین بازه موجود به صورت  $[a, b]$  و با

استفاده از فواصل  $[x_k - h'_k, x_k + h''_k] \subseteq [a, b]$  پوشش داده می‌شود که در آن  $k = 1, 2, \dots, n$  و فواصل حاشیه‌ای چپ و راست به صورت است.

$h'_k, h''_k > 0$  توابع پایه  $A_1, A_2, \dots, A_n: [a, b] \rightarrow [0, 1]$  را به صورت قسمت فازی تعمیم‌یافته شده در بازه  $[a, b]$  و با فواصل حاشیه‌ای  $h'_k, h''_k > 0$  در نظر می‌گیریم، در صورتیکه بتواند سه شرط زیر را رعایت کند:

اگر  $x \in (x_k - h'_k, x_k + h''_k)$  باشد،  $A_k(x)$  مقدار بزرگ‌تر از صفر می‌گیرد و اگر  $x \notin (x_k - h'_k, x_k + h''_k)$  مقدار صفر به خود می‌گیرد.  $A_k(x)$  در بازه

$[x_k - h'_k, x_k + h''_k]$  پیوسته است. برای هر  $A_k(x) > 0$   $x$  عضو بازه  $[a, b]$  است. بخش فازی تعمیم‌یافته شده در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۲- بخش فازی تعمیم‌یافته شده

فرایند کنترل کیفی و پردازش تصاویر محصول می‌باشد. در کنار این مزایا، نیاز به استفاده از دوربین‌های عکاسی دقیق و پیشرفته جهت ثبت تصویر محصولات، نیاز به محیط آزمایشگاهی برای عکاسی از محصولات در شرایط یکسان و تصویربرداری از زاویه دید یکسان از محصولات را از معایب روش مذکور برشمارد.

### ۳- مدل توسعه داده شده

روش تحقیق پژوهش حاضر از نظر ماهیت و هدف کاربردی است. در این پژوهش بر اساس نیاز، از تصاویر گرفته شده از تعدادی کاشی که در محیط صنعتی و در شرایط آزمایشگاهی مورد تصویربرداری قرار گرفته، استفاده شده است (که مستندات آن در تحقیقات آقای مگاهد و همکاران [۲۰] قابل استناد است). به عبارت دیگر از این محصول آزمایشگاهی به عنوان محصول پایه و نمونه‌ای برای پیاده‌سازی فرایند زنجیره تأمین و کنترل کیفیت محصولات تولیدی استفاده می‌شود. روش و مراحل انجام این تحقیق بر پایه مباحث مطالعه شده به صورت شکل (۱) شرح داده می‌شود.



شکل ۱- مراحل و متدولوژی انجام تحقیق

### ۳-۱- پیش‌فرایندها<sup>۲</sup> در پردازش تصویر

در گام نخست از این تحقیق، جهت مدل‌سازی داده‌های تصویری مورد استفاده در نمودار GLR مورد بررسی، لازم است از مناسب‌ترین روش پردازش تصویر استفاده شود. ذکر این نکته لازم است که به منظور افزایش دقت محاسبات معمولاً پیش از پردازش تصویر و استخراج اطلاعات مفید و ضروری از آن‌ها، مجموعه داده‌های مغشوش<sup>۳</sup> توسط یکسری از فرایندها تحت عنوان پیش‌فرایندهای پردازش تصویر

<sup>2</sup> Preprocessing

<sup>3</sup> Noisy Data

<sup>4</sup> Image Enhancement

بکار می‌روند لذا پس از تبدیل تصویر اصلی به تصویر فشرده‌شده با استفاده از رویکرد تبدیل فازی، به پردازش آن پرداخته می‌شود. با توجه به تعریف بخش فازی تعمیم‌یافته،  $C([a,b])$  را به‌عنوان مجموعه توابع پیوسته در فاصله  $[a,b]$  در نظر می‌گیریم. تعریف زیر یک انتگرال از تبدیل فازی روی تابع  $f \in C([a,b])$  معرفی می‌کند.

تعریف ۲: اگر  $A_1, A_2, \dots, A_n$  توابع پایه‌ای در بازه  $[a,b]$  باشند، برای تشکیل بخش فازی  $f$  یک تابع از  $C([a,b])$  باشند، می‌توانیم بگوییم که مجموعه  $n$  تایی از اعداد واقعی  $F(f) = (F_1, \dots, F_n)$  که به‌صورت زیر تعریف می‌شوند، به‌عنوان انتگرال تبدیل فازی  $f$  با توجه به مجموعه  $A_1, A_2, \dots, A_n$  می‌باشند.

$$F_k = \frac{\int_a^b f(x) A_k(x) dx}{\int_a^b A_k(x) dx}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

اجزای گسسته تبدیل فازی بر روی تابع  $f$  بر روی مجموعه محدود  $P = \{p_1, \dots, p_l\} \subseteq [a,b]$  بکار بسته می‌شود. با فرض اینکه  $(\forall k)(\exists j) A_k(p_j) > 0$ ، اجزای تبدیل فازی گسسته بر روی  $f$  به‌صورت زیر تعریف‌شود:

$$F_k = \frac{\sum_{j=1}^l f(p_j) A_k(p_j)}{\sum_{j=1}^l A_k(p_j)}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

### ۳-۴- الگوریتم تبدیل فازی مبتنی بر فشرده‌سازی

#### تصویر

تبدیل فازی موردنظر که مبتنی بر فشرده‌سازی تصویر است بر روی یک تابع تصویر  $U : [1, N] \times [1, M] \rightarrow [0, 255]$  تعریف می‌شود که در آن اعداد دامنه و برد فقط اعداد طبیعی را شامل می‌شوند. در نهایت، اجزای تبدیل فازی  $U_{kl}$   $k = 1, 2, \dots, n$  و  $l = 1, 2, \dots, m$  برای  $u$  به‌صورت یک تابع نرمالایز شده به‌صورت زیر خواهد بود:

اگر قسمت‌های فازی  $A_k(x)$  شرط زیر را در بازه  $x \in [a,b]$  دارا باشند، قسمت‌های فازی موردنظر به‌صورت روسپینی<sup>۵</sup> یا به‌عبارتی دیگر توابع نرمالایز شده مطرح نامیده می‌شوند:

$$\sum_{k=1}^n A_k(x) = 1 \quad (1)$$

توابع فازی  $A_1, A_2, \dots, A_n$  به‌صورت توابع  $(h, h')$  را یکنواخت می‌نامند اگر گره‌ها با فواصل مساوی  $h$  از هم قرار گرفته باشند. به‌عبارت‌دیگر برای همه  $k = 1, 2, \dots, n$ ،  $x_k = a + h(k-1)$  در نظر گرفته‌شده و برای آن  $h'' = h' \frac{1}{2} = \dots = \frac{h'}{n} = h' \frac{1}{n}$  و  $h = (b-a)/(n-1)$  است. درنهایت اگر توابع پایه‌ای  $A_1, A_2, \dots, A_n$  با گره‌های  $x_1, x_2, \dots, x_n$  را به‌عنوان توابع فازی یکنواخت  $(h, h')$  در نظر بگیریم، نیاز به یک تابع تولیدکننده  $A_0$  برای تولید قسمت‌های فازی با فواصل یکسان  $h$  خواهیم داشت که بسته به نوع کاربرد تابع و نوع صنعت مورد استفاده می‌توان از توابع مختلف بهره جست.

توابع فازی پایه‌ای به‌صورت زیر مطرح می‌شوند:

$$A_1(x) = \begin{cases} A_0\left(\frac{x-x_1}{h'}\right), & x \in [x_1, x_1+h'] \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

و برای  $k = 2, \dots, n-1$  به‌صورت زیر خواهد بود:

$$A_k(x) = \begin{cases} A_0\left(\frac{x-x_k}{h'}\right), & x \in [x_k-h', x_k+h'] \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

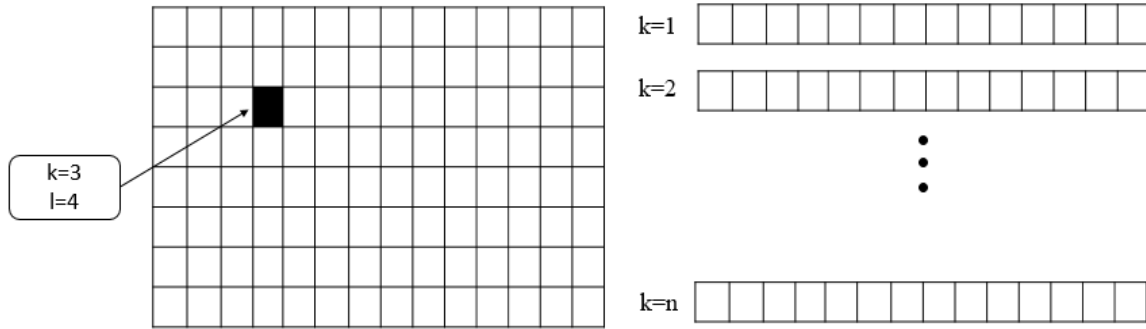
و درنهایت برای  $n$  به‌صورت زیر است:

$$A_n(x) = \begin{cases} A_0\left(\frac{x-x_n}{h'}\right), & x \in [x_n-h', x_n+h'] \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (4)$$

### ۳-۳- تبدیل فازی مستقیم

پس از تعریف بخش فازی تعمیم یافته، اکنون اجزای تبدیل فازی را به دست می‌آوریم. لازم به ذکر است که اجزای تبدیل فازی در مدل توسعه داده‌شده برای فشرده‌سازی تصویر

<sup>5</sup> Ruspini



شکل ۳- قسمت‌بندی تصویر به سیگنال‌های تک‌بعدی

یک تصویر با ابعاد  $k \times l$  به‌طوری که  $k = 1, 2, \dots, n$  و  $l = 1, 2, \dots, m$  را در نظر بگیرید. برای به دست آوردن بردار تک‌بعدی تصویر به‌صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$V = [\beta_{11}, \beta_{12}, \dots, \beta_{1m}, \beta_{21}, \beta_{22}, \dots, \beta_{2m}, \dots, \beta_{n1}, \beta_{n2}, \dots, \beta_{nm}] \quad (8)$$

که در آن  $m$  تعداد ضرایب برای هر سیگنال (ردیف) است که با مشخص شدن نسبت  $\rho$  به دست می‌آید. بنابراین پارامتر  $\beta_{kl}$  نشان‌دهنده ضریب  $l$  ام در ردیف  $k$  ام می‌باشد. نسبت  $\rho$  نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌هایی است که هر ضریب به خود اختصاص می‌دهد. در نهایت، می‌توان شکل شماتیک تصویر را به‌صورت شکل (۳) نشان داد.

### ۳-۶- نمودار کنترل GLR

نمودارهای کنترل مختلفی برای کنترل فرایندهای آماری وجود دارد که با توجه به عدم کارایی آن‌ها هنگام افزایش تعداد داده‌ها، نمی‌توان از آن‌ها بهره جست. نمودار کنترل نسبت بزرگنمایی تعدیل‌شده یا به‌عبارت‌دیگر GLR برای داده‌ها با حجم زیاد کاربرد دارد و کارایی خود را از دست نمی‌دهد.

در این نمودار هر ضریب یا عدد به‌دست‌آمده در تصویر فشرده‌شده به‌صورت جداگانه موردبررسی قرار می‌گیرد و می‌تواند پارامتری را که سبب خارج شدن فرایند از حالت کنترل می‌شود را شناسایی کند. از فواید این نمودار کنترل، به دست آوردن مکان دقیق عیب یا نقص و همچنین اندازه آن است.

آماره نمودار کنترل  $R_{m,s}$  به‌صورت زیر می‌باشد [۲۰]:

$$R_{m,s} = \begin{cases} \max_{0 \leq \tau < s, k} \frac{n_k(S-\tau)}{2\sigma_k^2} (\hat{\beta}_{1,\tau,s}(k) - \beta_{0,k})^2 & s=1, 2, \dots, m \\ \max_{s-m \leq \tau < s, k} \frac{n_k(S-\tau)}{2\sigma_k^2} (\hat{\beta}_{1,\tau,s}(k) - \beta_{0,k})^2 & s=m+1, m+2, \dots, \end{cases} \quad (9)$$

به علت وجود پیچیدگی‌های محاسباتی،  $m$  به‌عنوان سائز پنجره در نظر گرفته می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، هر تصویر فقط

$$U_{kl} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M u(i, j) A_k(i) B_l(j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M A_k(i) B_l(j)} \quad (7)$$

که در آن توابع پایه‌ای  $A_1, A_2, \dots, A_n$  و  $B_1, B_2, \dots, B_m$  بخش توابع فازی در بازه‌های  $[1, N]$  و  $[1, M]$  را می‌سازند. درنهایت الگوی فشرده‌سازی به‌صورت زیر خواهد بود: ورودی‌ها: عکس  $u$  به‌صورت  $N \times M$ ، نرخ کاهش  $\rho$ . خروجی: عکس فشرده‌شده  $\bar{u}$ .

قدم اول: پیدا کردن مقادیر  $n, m$  بطوریکه  $\frac{NM}{nm} = \rho$  باشد.

$$\text{قرار دادن } h_y = \frac{N-1}{n-1} \text{ و } h_x = \frac{N-1}{n-1}$$

قدم دوم: انتخاب  $n$  گره با فواصل مساوی  $h_x$  به‌صورت  $x_1, x_2, \dots, x_n \in [1, N]$

به‌صورت  $y_1, y_2, \dots, y_m \in [1, M]$ .

قدم سوم: انتخاب فواصل  $h'_y$  و  $h'_x$  تولید توابع  $A_{0y}$  و  $A_{0x}$  و تولید بخش‌های فازی یکنواخت  $(h_x, h'_x)$  و  $(h_y, h'_y)$ .

قدم چهارم: محاسبه اجزای تبدیل  $U_{kl}$  فازی بر مبنای معادله فوق و قرار دادن آن‌ها در ماتریس  $F[u]$  و قرار دادن  $F[u]$  به‌عنوان تصویر خروجی فشرده‌شده  $\bar{u}$ .

### ۳-۵- تخمین پارامترهای ماتریس ضرایب تبدیل فازی

ماتریس ضرایب تبدیل فازی در واقع همان ماتریس اجزای  $F[u]$  است که آن را به‌صورت یک بردار تک‌بعدی برای کل تصویر به دست می‌آوریم تا بتوانیم توسط نمودار کنترل آن‌ها را پایش کنیم. روش‌های مختلفی برای تبدیل یک تصویر دوبعدی به یک‌بعدی از جمله روش زیگزآگ، خطی و ... وجود دارد که در این تحقیق، ما از روش خطی به علت سادگی آن استفاده می‌کنیم.

مقادیر آن را به بازه ۰ تا ۱ تغییر می‌دهیم. تصویر کاشی قبل و بعد از انجام عمل پیش‌پردازش در شکل (۴) نشان داده شده است. پس از تولید تصاویر تحت کنترل (داده‌های فاز اول)، با اضافه کردن نویز سفید به تصویر اسمی، مقدار حد بالای کنترل برای نمودار کنترل GLR به صورت  $h_{GLR} = 7.23$  مبتنی بر متوسط طول دنباله در حالت تحت کنترل ( $ARL=200$ ) محاسبه شده است. همچنین در این مرحله ما نقطه تغییر فرایند ( $\tau$ ) را برابر با ۲۰ قرار می‌دهیم. این عدد بدان معناست که ۲۰ تصویر اول در فرایند با فرض، تحت کنترل خواهند بود و هر تغییری که بر روی فرایند یا تصاویر ما ایجاد خواهد شد، در هر تکرار از تصویر ۲۱ ام اتفاق خواهد افتاد.

#### ۴-۲- انتخاب بهینه پارامترها در بخش فازی تعمیم یافته

پس از انجام پیش‌فرایندهای پردازش تصویر، در این قسمت به دنبال انتخاب مقادیر بهینه در بخش فازی تعمیم یافته برای استفاده از آن در تبدیل فازی خواهیم بود. به عبارت دیگر، با توجه به رابطه بین تبدیل فازی و بخش فازی تعمیم یافته، برای به دست آوردن اجزای تبدیل فازی و فشرده‌سازی مناسب تصویر، باید مقادیر بهینه بخش فازی تعمیم یافته به دست آید.

ما فرض می‌کنیم که یک تصویر  $u$  تحت دامنه  $N \times M$  و با نرخ کاهش  $\rho$  داریم بطوریکه  $N = M$  بوده و دامنه تصویر فشرده شده به صورت  $n = \frac{N}{\sqrt{\rho}}$  می‌باشد. با فرض اینکه

فواصل گره‌ها در بخش فازی تعمیم یافته در هر دو محور با هم برابر باشند ( $h_x = h_y = h$ )، مقادیر این فواصل از فرمول  $h_x = \frac{N-1}{n-1}$  و  $h_y = \frac{N-1}{n-1}$  به دست می‌آید. همچنین با فرض اینکه مقادیر فواصل حاشیه‌ای با هم برابر باشند ( $h'_x = h'_y = h'$ )، مقادیر  $h'$  متناسب با مقادیر کمینه MSE به صورت زیر مشخص می‌گردد:

با  $m$  تصویر قبلی خود مقایسه می‌شود. این نمودار کنترلی نقطه دقیق تغییر  $U_{kl}$  در نمودار را نشان داده و اطلاعات مفیدی در اختیار ما قرار می‌دهد. در آماره فوق،  $S$  شماره عکس و  $\tau$  نقطه ایجاد تغییر<sup>۶</sup> است.  $\hat{\beta}_{1,\tau,S}(k)$  برابر است با  $\hat{\beta}_{t,k} \sum_{t=\tau+1}^S (s-\tau)^{-1}$  که در آن به صورت  $k$  امین عنصر از بردار  $V$  برای نمونه  $t$  ام است.  $\beta_{0,k}$  به صورت  $k$  امین عنصر از بردار  $V$  برای تصویر اسمی می‌باشد و  $\sigma_k^2$  به صورت واریانس  $k$  امین ضریب محاسبه شده در فاز اول داده‌ها است. نکته قابل توجه این است که در مدل توسعه داده شده، اجزای تبدیل فازی محاسبه شده در بخش‌های قبلی، به عنوان ورودی در نمودار کنترل GLR استفاده خواهد شد و از این طریق پایش داده‌ای تصویری انجام می‌پذیرد.

#### ۴- نتایج شبیه‌سازی

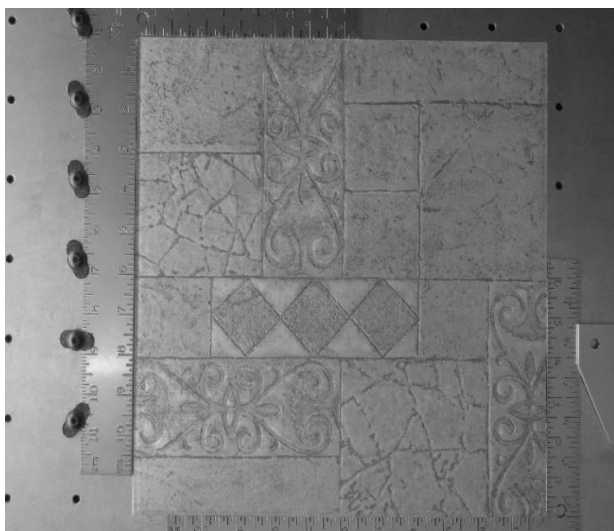
##### ۴-۱- مرحله پیش‌فرایند در پردازش تصویر

با توجه به نیاز به استفاده از یک محصول نمونه برای پایش و اعتبارسنجی الگوریتم کنترل کیفیت توسعه داده شده، در این پژوهش بر اساس نیاز، از تصاویر گرفته شده از تعدادی کاشی که در محیط صنعتی و در شرایط آزمایشگاهی مورد تصویربرداری قرار گرفته، استفاده شده است که مستندات آن در تحقیقات آقای مگاهد و همکاران (۲۰۱۲) موجود است. به عبارت دیگر از این محصول آزمایشگاهی به عنوان محصول پایه و نمونه‌ای برای پیاده‌سازی فرایند زنجیره تأمین و کنترل کیفیت محصولات تولیدی استفاده می‌شود.

برای شروع، یک تصویر  $3264 * 2448$  پیکسل از یک کاشی را در نظر می‌گیریم (شکل ۴-الف). سپس مراحل پیش‌فرایند را بر روی تصویر پیاده‌سازی می‌کنیم. برای این کار ابتدا قسمت‌های بدون استفاده تصویر را حذف و تصویر را از حالت رنگی به حالت سیاه-سفید تبدیل کرده و سائز تصویر را به  $256 * 256$  کاهش می‌دهیم. در تصویر مذکور، مقادیر شدت روشنایی بین ۰ تا ۲۵۵ می‌باشد، لذا برای استانداردسازی،

<sup>۶</sup> Change point





(الف)



(ب)

شکل ۴- تصویر کاشی الف) قبل از انجام عمل پیش پردازش (ب) بعد از انجام عمل پیش پردازش

شکل ۵- تصویر اصلی (سمت چپ) و نرخ کاهش  $\rho = 16$  به همراه تصویر با  $h' = 2$  (سمت راست بالا)، تصویر با  $h' = 3$  (سمت راست وسط) و تصویر با  $h' = 4$  (سمت راست پایین).

$$\text{در نظر می‌گیریم.} \quad h = \frac{(b-a)}{(n-1)} = \frac{(256-1)}{(64-1)} = 4$$

در نهایت مقادیر MSE محاسبه شده برای ۱۰ تصویر مد نظر برای مقادیر مختلف فواصل حاشیه‌ای  $h' = 2, 3$  به صورت جدول ۱ خواهد بود.

در این قدم با توجه به جدول فوق مشخص می‌شود که بهینه‌ترین مقدار برای فواصل حاشیه‌ای با در نظر گرفتن مقدار بهینه  $MSE$ ،  $h' = 3$  است که دارای مقدار کمینه MSE برای تمام ۱۰ تصویر انتخابی است. در شکل شماره

$$MSE(u, \hat{u}) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (u(i, j) - \hat{u}(i, j))^2}{NM} \quad (10)$$

برای پیدا کردن مقادیر بهینه  $h'$ ، ۱۰ تصویر از تصاویر موجود را انتخاب کرده و میزان شدت روشنایی و نرخ کاهش را  $N = M = 256$  و  $\rho = 16$  در نظر می‌گیریم.

همچنین مقادیر دامنه تصویر فشرده شده را به صورت

$$n = m = \frac{N}{\sqrt{\rho}} = \frac{M}{\sqrt{\rho}} = \frac{256}{\sqrt{16}} = 64$$

تصویر اصلی به صورت یک مربع  $5 \times 5$  جایگزین می‌شود که محدوده نسبتاً بزرگی است.

در نتیجه تغییر در مقادیر پیکسل‌ها به سختی قابل کشف می‌باشد. بنابراین در شبیه‌سازی ما، نرخ تبدیل فازی با توجه به ارزیابی‌های متریک و زمان محاسباتی شبیه‌سازی، به صورت  $\rho = 16$  در نظر گرفته شده است.

در این تحقیق، ما ناحیه عیب را به صورت پیکسل‌های مربعی  $5 \times 5$  در نظر گرفته‌ایم. همچنین با توجه به طبیعت نمودار کنترل GLR در کنترل هر بخش به صورت مجزا از هم، ما از ستون‌های تک‌بعدی بجای ردیف‌ها استفاده خواهیم کرد. در مدل توسعه داده شده، برای مثال در یک ناحیه عیب  $10 \times 2$ ، فقط یک جزء در یک ردیف و ۳ جزء در یک ستون تحت تأثیر قرار می‌گیرد که این به علت استفاده از نواحی عیب  $4 \times 4$  می‌باشد. عملکرد مدل توسعه داده شده در جدول ۲ و همچنین شکل (۶) خلاصه شده است. در این جدول، ستون‌های ۲ تا ۵ نشان‌دهنده میانه، میانگین و انحراف معیار، ۴، ستون‌های ۶ تا ۸، درصدی که ۴ برابر است با صفر، بین صفر تا ۲ و بزرگ‌تر از ۲ است را محاسبه می‌کند. نهایتاً ستون‌های ۹ تا ۱۲ هر جدول، مقادیر SDSC را برای ارزیابی مکان عیب نشان می‌دهند. همان‌طور که قبلاً گفته شد، هر قسمت یا جزء از تبدیل فازی، با ۱۶ پیکسل از تصویر اصلی جایگزین شده است. پس با تغییر یک پیکسل از یک جزء، مکانی شامل ۱۶ پیکسل تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

بنابراین برای مثال در یک ناحیه عیب  $5 \times 5$  با مرکز عیب [5,5]، ۴ جزء به عنوان مکان خطا توسط مدل توسعه داده شده مشخص می‌شود. پس ناحیه شیفت واقعی خطا (A) به صورت  $5 \times 5$  و ناحیه شیفت تخمین زده شده (B) به صورت  $16 \times 4$  است، در نهایت SDSC به صورت زیر خواهد بود:

$$SDSC = \frac{2 \times (A \cap B)}{A + B} = \frac{2 \times (5 \times 5)}{(5 \times 5) + (4 \times 16)} = 0.5617 \quad (11)$$

زمانی که شرایط تست عیب، ماکزیمم مقدار SDSC باشد، به آن MSDS گفته می‌شود و مقدار  $SDSC / MSDS$  نشان‌دهنده مقدار استاندارد شده SDSC بوده و به صورت JSDS نشان داده می‌شود. با توجه به نواحی عیب که به صورت  $5 \times 5$  است، نتایج مطالعات شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مدل توسعه داده شده مواقعی که اندازه خطا بزرگ‌تر بوده یا میزان تغییرات شدت روشنایی بیشتر است

(۵)، تصویر فشرده شده با توجه به مقادیر مختلف فواصل حاشیه‌ای نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر MSE به دست آمده با توجه به مقادیر مختلف فواصل حاشیه‌ای

Image no.	$h' = 2$	$h' = 3$	$h' = 4$
1	112	110	123
2	115	110	117
3	153	146	178
4	98	94	105
5	74	68	87
6	102	96	119
7	123	113	134
8	118	112	129
9	88	85	97
10	96	91	109

#### ۴-۳- نتایج عددی

پس از انجام مراحل پیش‌فرایندی و انتخاب پارامترهای بهینه، عملکرد الگوی کنترل کیفیت توسعه داده شده را با استفاده از ۲۰ شرایط مختلف آزمایشی (۲ مرکز خطای مختلف، ۱ اندازه خطای مختلف، ۱۰ تغییرات شدت روشنایی مختلف که مجموعاً ۲۰ حالت مختلف ایجاد می‌کنند) مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌دهیم. برای این منظور، پس از انجام پیش‌فرایند بر روی تصویر اسمی، تصویر خود را به اندازه  $N = M = 256$  در نظر گرفته و تعداد اجزای تصویر فشرده شده را (همان اجزای تبدیل فازی<sup>۷</sup>) با نرخ کاهش  $\rho = 16$ ، به صورت  $n = m = \frac{N}{\sqrt{\rho}} = \frac{M}{\sqrt{\rho}} = \frac{256}{\sqrt{16}} = 64$  نظر می‌گیریم.

به عبارت دیگر وقتی تصویر فشرده می‌شود، هر ردیف از ماتریس تصویر فشرده شده شامل ۶۴ قسمت می‌شود که هر قسمت با ۱۶ پیکسل در تصویر اصلی جایگزین می‌شود. اندازه این قسمت‌ها به صورت یک مربع  $4 \times 4$  شامل ۱۶ پیکسل در تصویر اصلی است. لازم به ذکر است که مقادیر متداول برای نرخ تبدیل به صورت اعداد ۹، ۱۶ و ۲۵ می‌باشد. زمانی که  $\rho$  را برابر ۹ قرار می‌دهیم، هر قسمت از تبدیل فازی با ۹ پیکسل در تصویر اصلی به صورت یک مربع  $3 \times 3$  جایگزین می‌شود. با توجه به کوچک بودن محدوده  $3 \times 3$ ، با تغییر در شدت روشنایی پیکسل‌های تصویر اصلی به منظور عیب‌یابی، راحت‌تر می‌توان تغییر را شناسایی کرد اما زمان محاسباتی افزایش می‌یابد. بعلاوه زمانی که  $\rho$  را ۲۵ در نظر می‌گیریم، هر قسمت از تبدیل فازی با ۲۵ پیکسل در

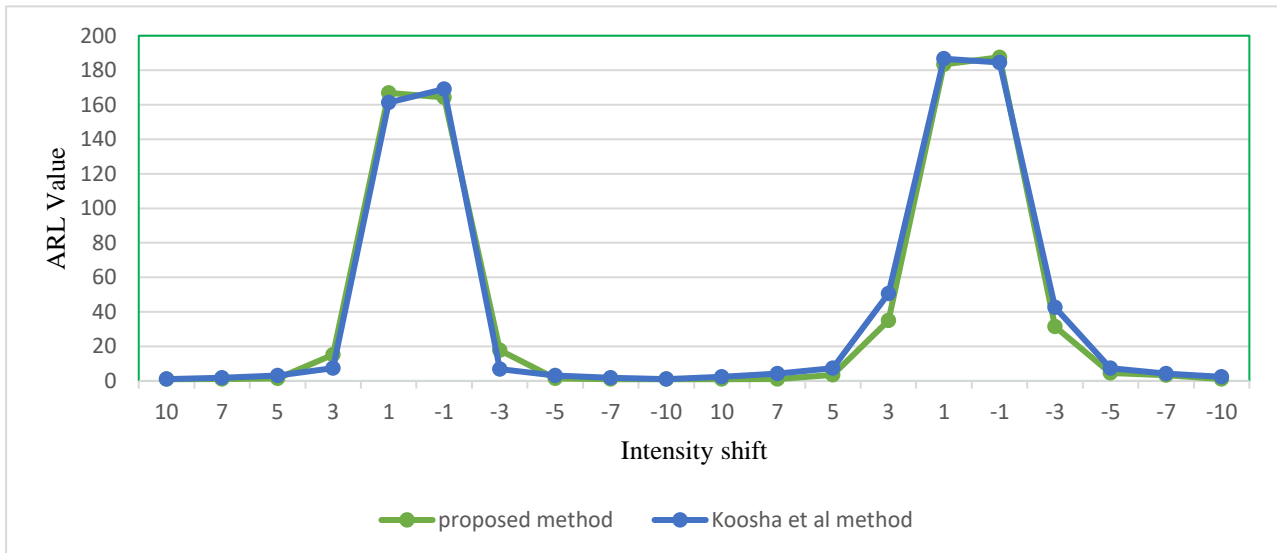
<sup>7</sup> F-transform Components

شد، مقدار SDSC یک شاخص مناسب برای تخمین مکان عیب می‌باشد. با توجه به نتایج می‌توان فهمید که با افزایش مقدار تغییرات شدت روشنایی  $|\Delta|$ ، مقدار شاخص SDSC افزایش پیدا می‌کند. همچنین در این تحقیق ما مقادیر مختلف متوسط طول دنباله را با مقادیر به دست آمده از مقاله کوشا و همکاران [۲۴] مقایسه کردیم. با توجه به نتایج می‌توان فهمید که مدل توسعه داده شده در اکثر موارد عملکرد بهتری نسبت به مدل کوشا و همکاران [۲۴] در کشف عیب پس از اعمال تغییرات شدت روشنایی دارد.

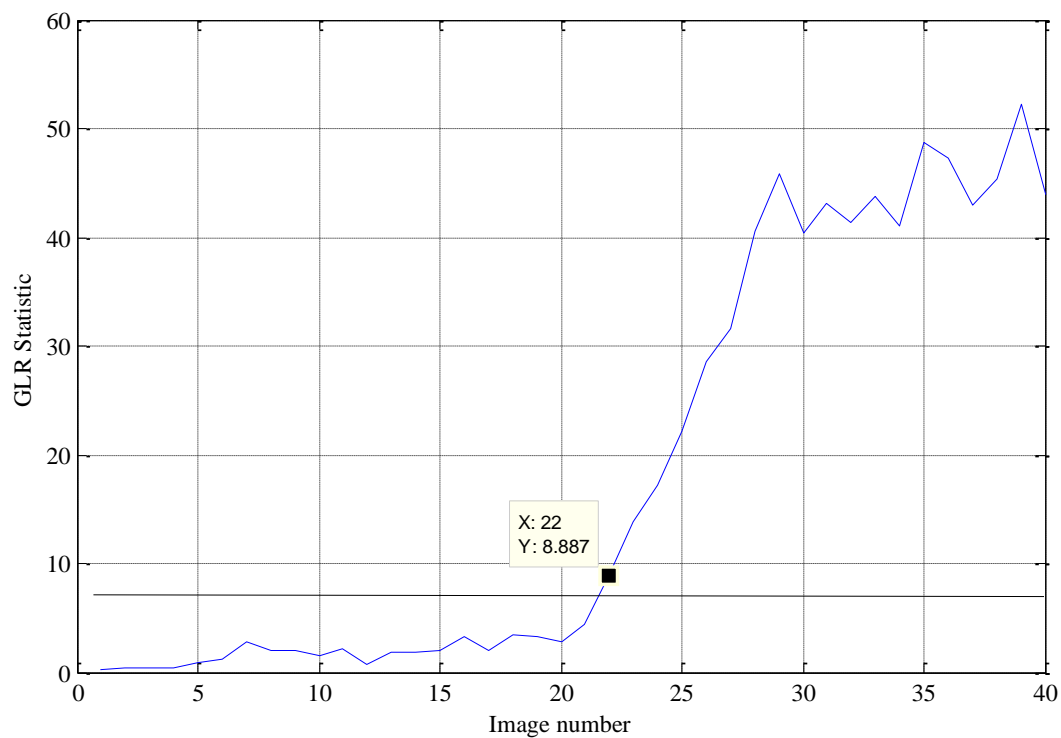
عملکرد بهتری دارد. یکی دیگر از فاکتورهای کشف عیب، متوسط طول دنباله می‌باشد که بر اساس نتایج مشخص شده، مقادیر ARL برای تغییرات شدت روشنایی بزرگ‌تر، مقادیر کوچک‌تری را به خود اختصاص داد که در نهایت نشان از عملکرد بهتر آن دارد. شبیه‌سازی انجام شده در این تحقیق، برای مواردی که مرکز خطا به صورت [128,128] باشد، تغییرات در پیکسل‌ها باعث ایجاد تغییر در تعداد بیشتری از اجزای تبدیل فازی شده است. برای مثال در یک اندازه خطای  $5 \times 5$  به مرکزیت [128,128]، ۶ جزء از تبدیل فازی به‌عنوان مکان عیب مشخص شده است. همان‌طور که بیان

جدول ۲- نتایج شبیه‌سازی برای اندازه خطای

Fault center	$\Delta$	Detection power		Change point estimation ( $\varepsilon = \hat{\tau} - \tau$ )						Physical fault location			
		ARL	std(RL)	med( $\varepsilon$ )	E( $\varepsilon$ )	std( $\varepsilon$ )	$\varepsilon = 0(\%)$	$0 <  \varepsilon  \leq 2$	$ \varepsilon  > 2$	E (SDSC)	Std (SDSC)	E (JSDS)	E (JSDS)
[۵.۵]	+10	1.00	0.18	0.00	-0.023	0.17	99.05	0.95	0.00	0.27	0.04	0.93	0.11
	+7	1.005	0.31	0.00	-0.001	0.08	97.50	2.50	0.00	0.22	0.04	0.86	0.22
	+5	1.48	0.63	0.00	-0.083	0.43	85.70	13.00	1.30	0.19	0.05	0.77	0.24
	+3	15.16	10.37	0.00	0.384	1.16	60.45	28.10	11.45	0.17	0.08	0.60	0.19
	+1	166.8 3	164.2 3	10.00	134	143.1 7	0.60	2.20	97.20	0.05	0.04	0.13	0.7
	-1	164.2 5	166.3 4	101.0 0	151	159.4 1	0.65	2.10	97.25	0.05	0.06	0.10	0.8
	-3	17.78	13.28	0.00	-0.373	1.12	65.10	23.70	11.20	0.17	0.08	0.47	0.18
	-5	1.52	0.84	0.00	-0.15	0.76	80.10	14.50	5.40	0.18	0.06	0.64	0.25
	-7	1.00	0.60	0.00	-0.002	0.09	98.45	1.10	0.45	0.22	0.03	0.87	0.22
	-10	1.00	0.53	0.00	-0.031	0.44	98.85	0.80	0.35	0.27	0.04	0.93	0.12
[۱۲۸,128 ]	+10	1.00	0.24	0.00	-0.06	0.23	85.60	12.40	2.00	0.14	0.03	0.62	0.18
	+7	1.08	0.36	0.00	-0.186	0.79	71.50	25.60	2.90	0.11	0.03	0.51	0.19
	+5	3.42	0.86	0.00	0.143	0.64	45.10	40.70	14.20	0.09	0.01	0.48	0.17
	+3	35.09	29.68	16.00	28	36.47	4.45	7.60	87.95	0.05	0.01	0.19	0.11
	+1	183.4 6	179.6 5	107.0 0	152	162.0 8	0.20	2.40	97.40	0.01	0.01	0.05	0.04
	-1	187.5 3	181.4 1	111.0 0	156	168.3 4	0.40	1.80	97.80	0.00	0.01	0.04	0.04
	-3	31.58	26.58	22.00	31.22	38.16	4.10	5.60	90.30	0.05	0.02	0.20	0.12
	-5	4.68	1.38	0.00	0.26	61.07	46.10	39.10	14.80	0.08	0.02	0.50	0.17
	-7	3.23	1.02	0.00	-0.050	0.32	75.90	21.10	3.00	0.11	0.03	0.54	0.20
	-10	1.02	0.64	0.00	-0.002	0.09	88.60	10.2	1.20	0.14	0.03	0.62	0.18



شکل ۶- نمودار مقادیر متوسط طول دنباله و میزان تغییرات روشنایی با اندازه خطای 5×5 برای دو روش مورد بحث



شکل ۷- نتایج نمودار کنترل GLR مبتنی بر شماره تصویر

### ۵- تحلیل یافته‌ها مبتنی بر مطالعه موردی

جهت تحلیل یافته‌ها در این بخش از مطالعه موردی در صنعت سرامیک و کاشی استفاده شده است. به منظور بررسی و مطالعه مدل توسعه‌ای، از خط تولید کاشی، ۱۰۰ تصویر پی‌درپی با استفاده از دوربین ۸ مگاپیکسلی کنون<sup>۸</sup> (با ثابت

نگه‌داشتن محل دوربین) جمع‌آوری شده‌اند (که مستندات آن در تحقیقات آقای مگاهد و همکاران [۲۰] قابل استناد است). برای تصویربرداری از نمونه‌های مورد مطالعه، دوربین ثابت و محیط از هرگونه تغییرات محیطی حفاظت می‌شود و تنظیمات اولیه بر روی زاویه دید دوربین انجام می‌گیرد تا

<sup>۸</sup> Canon

با سایر روش‌ها، در تعداد نمونه کمتری موفق به شناسایی عیب و نقص در محصول تولیدی می‌شود. به عبارت دیگر جهت کنترل کیفی محصولات در محیط‌های تولیدی مختلف، نیازمند تعداد نمونه کمتری از محصولات جهت تصمیم‌گیری در خصوص کیفیت فرایند تولیدی می‌باشیم. در محیط‌های تولیدی با توجه به اینکه حجم تولید محصول بالا بوده و به دنبال آن، هزینه‌های تولید در حجم بالا نیز زیاد است، لذا تشخیص نقاط تغییر در فرایند و کشف سریع‌تر عیب محصولات می‌تواند در کاهش هزینه‌های تولید و زمان انجام فرایند کنترل کیفی بسیار موثر واقع گردد که این مساله با کاهش هزینه تمام شده محصول همراه بوده و می‌تواند در میان مدت باعث افزایش فروش آن گردد. از طرفی با بررسی فرایندهای تولید محصولات با استفاده از رویکرد چارت کنترل می‌توان از وقوع خرابی در سیستم به حد قابل توجهی پیشگیری کرد. لذا رویکرد پیشنهادی در پژوهش حاضر می‌تواند در سیستم‌های تولیدی موثر واقع گردد.

#### ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله به ارائه الگویی جهت شناسایی و کنترل کیفیت محصولات تولیدی مبتنی بر تکنیک پردازش تصویر با بهره‌گیری از رویکرد تبدیلات فازی پرداخته شد. جهت اعتبارسنجی مدل توسعه داده شده، پس از انجام مراحل پیش‌فرایندی و انتخاب پارامترهای بهینه، عملکرد الگوی کنترل کیفیت توسعه داده شده با استفاده از ۲۰ شرایط مختلف آزمایشی برای داده‌های تصویری در صنعت کاشی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته شد. نمونه مورد مطالعه در این تحقیق صنعت سرامیک و کاشی بود که در این بخش به عنوان یک مطالعه واقعی مورد استفاده قرار گرفت.

فرایند دسترسی به محصولات در محیط‌های صنعتی جهت اعتبارسنجی نتایج و همچنین ایجاد شرایط مناسب جهت تصویربرداری از محصولات تولیدی را می‌توان از محدودیت‌های پژوهش حاضر برشمارد. به عبارت دیگر، با توجه به لزوم تصویربرداری از محصولات در یک محیط استاندارد، نیاز به یک دوربین تصویربرداری با کیفیت مناسب و ایجاد فضای آزمایشگاهی، جهت تصویربرداری از همه محصولات در یک جهت مشخص می‌باشد. بر اساس نتایج این تحقیق، نمودار کنترل GLR در اولین تصویر پس از اعمال تغییرات در شدت روشنایی، هشدار نشان داد که این امر تأیید کننده عملکرد مناسب نمودار کنترل در مقابل تغییرات است.

کمترین تأثیر را بر روی محیط مدل‌سازی ما داشته باشند. این تصاویر استخراج شده از خط تولید کاشی، با انجام پیش‌فرایندهای مورد نیاز از جمله اصلاح داده‌ها از نظر بی‌نظمی‌های گیرنده‌ها و نویزهای ناخواسته و حذف حاشیه تصاویر و غیره، به عنوان تصاویر پایه برای انجام مطالعات استفاده خواهند شد. همچنین کیفیت تصاویر گرفته شده به صورت  $921 \times 613$  پیکسل بوده که جهت انجام پیش‌فرایندها، اندازه آن به  $250 \times 250$  پیکسل تغییر خواهد یافت.

در این مطالعه، ۲۱ عدد تصویر واقعی از کاشی برای تحلیل فاز اول نمودار کنترل استفاده شد که یکی از این ۲۱ تصویر، به عنوان تصویر پایه‌ای و بقیه ۲۰ عدد تصویر برای کنترل فاز اول نمودار استفاده شد. برای تخمین پارامترهای فاز اول نمودار کنترل، می‌توان تعدادی تصویر تحت کنترل مبتنی بر ۲۰ تصویر ذکر شده، تولید کرد که در این تحقیق ۱۰۰۰ تکرار برای تخمین پارامترهای فاز اول استفاده شد.

برای انجام مقایسه در خصوص مدل توسعه داده شده با سایر روش‌ها، فرض شد که تغییرات شدت روشنایی به اندازه  $\Delta = +10$  بر روی ناحیه  $30 \times 30$  اعمال شد. لازم به ذکر است که این داده‌ها مبتنی بر داده‌های مقاله مگاهد و همکاران [۲۰] و کوشا و همکاران [۲۴] تنظیم شده تا بتوان از قابلیت مقایسه نتایج بهره برد. در این دو مقاله مقایسه‌ای از شاخص MRL برای اندازه‌گیری عملکرد استفاده شده و ایشان مقادیر MRL تحت کنترل را به صورت ۱۴۸ در نظر گرفتند. بنابراین در مدل توسعه داده شده با در نظر گرفتن مقادیر پارامترهای مشابه با دو مقاله قبلی، مقدار حد بالای کنترل برای نمودار GLR به صورت ۷,۲۳ محاسبه شد. در نهایت مقدار  $R_{m,s}$  برای هر تصویر محاسبه شده است. مشاهده می‌شود که نمودار کنترل GLR در تصویر ۲۲ هشدار نشان می‌دهد که در  $R_{m,s} = 8.887$  این نقطه تغییر دقیقاً اولین تصویر پس از اعمال تغییرات در شدت روشنایی می‌باشد که نشان‌دهنده عملکرد مناسب نمودار کنترل در مقابل تغییرات است. بنابراین می‌توان گفت که مدل توسعه داده شده و مدل کوشا و همکاران [۲۴]، تغییرات را در اولین تصویر کشف می‌کنند ولی مدل مگاهد و همکاران [۲۰] تغییرات را در سومین تصویر پس از ایجاد تغییر کشف می‌کنند. نتایج نمودار کنترل GLR در تصویر (۷) نشان داده شده است.

نتایج بدست آمده نشان داد که رویکرد پیشنهادی در مقایسه

می‌کنند. بنابراین الگوی کنترل کیفیت توسعه داده‌شده عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها داشته و با توجه به دقت بالای آن، می‌تواند به عنوان روش مناسب در جهت کنترل کیفی محصولات تولیدی فنی تلقی شود. در نهایت برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود که برای کنترل کیفیت آماری محصولات از نمودار کنترل خود آغاز شونده بر مبنای تبدیلات فازی استفاده شود. پیشنهاد دیگر، در نظر گرفتن رویکرد تشخیص لبه در پردازش تصویر مبتنی بر تکنیک تبدیلات فازی برای افزایش دقت کنترل کیفیت محصولات می‌باشد. همچنین می‌توان مدل پژوهش حاضر را در صنایع مختلف پیاده‌سازی کرده و نتایج آن را مورد ارزیابی قرار داد.

بنابراین می‌توان گفت که مدل توسعه داده‌شده به همراه مدل ارائه‌شده توسط کوشا و همکاران [۲۴]، تغییرات را در اولین تصویر کشف می‌کنند ولی مدل ارائه‌شده توسط مگاهد و همکاران [۲۰] تغییرات را در سومین تصویر پس از ایجاد تغییر کشف می‌کنند. بنابراین الگوی کنترل کیفیت توسعه داده‌شده عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها داشته و با توجه به دقت بالای آن، روش مناسبی در جهت کنترل کیفی محصولات تولیدی فنی است. همچنین با توجه به آنچه در خصوص ارائه الگوی کنترل کیفیت زنجیره تأمین محصولات تولیدی فنی بیان شد، می‌توان به این موضوع دست یافت که مدل توسعه داده‌شده و مدل کوشا و همکاران [۲۴]، تغییرات را در اولین تصویر کشف می‌کنند ولی مدل مگاهد و همکاران [۲۰] تغییرات را در سومین تصویر پس از ایجاد تغییر کشف

## منابع

- [1] F. M. Megahed, W. H. Woodall, and J. A. Camelio, "A review and perspective on control charting with image data.", *Journal of quality technology*, Vol.43, NO.2, November 2011, pp. 83-98.
- [۲] عباس نصر آبادی، ساسان آزادی و جواد حدادنی، "آشکارسازی چهره انسان در تصاویر رنگی بر مبنای فیلتر گوسی"، نشریه مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۳، شماره ۱۷، تابستان ۱۳۸۸، صفحه ۹-۱۶.
- [۳] رامین نعمتی و جواد رهبر شهروزی، "مکانیابی با روش مونت کارلو و تلفیق آن با الگوریتم‌های جستجوی خام و ژنتیک با رویکرد پردازش تصویر (مطالعه موردی: جایگاه سوخت در شهر تبریز)"، نشریه مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۷، شماره ۵۷، تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۲۷-۳۹.
- [4] Z. Liu, E. Blasch, and V. John, "Statistical comparison of image fusion algorithms: Recommendations.", *Information Fusion*, Vol.36, July 2017, pp. 251-260.
- [5] C. Duchesne, J. J. Liu, and J. F. MacGregor, "Multivariate image analysis in the process industries: A review.", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, Vol.117, August 2012, pp. 116-128.
- [6] S. Arunpandian and S.S. Dhenakaran, "An effective image compression technique based on burrows wheeler transform with set partitioning in hierarchical trees.", *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, Vol.34, NO.5, February 2022, pp. e6705.
- [7] V. Geetha, V. Anbumani, R. Parameshwaran and S. Gomathi, "Savitzky Golay and KPCA based Optimal Discrete Wavelet Transform Architecture for Image Compression.", *Microprocessors and Microsystems*, Vol.91, June 2022, pp. 104511.
- [8] G. Garg and R. Kumar, "Analysis of image types, compression techniques and performance assessment metrics: A review.", *Journal of Information and Optimization Sciences*, Vol.43, NO.3, May 2022, pp. 429-436.
- [۹] هادی سلطانی زاده و نگارین جوادی، "شناسایی آسیب‌های پوستی با استفاده از الگوریتم فازی"، نشریه مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۷، شماره ۵۹، زمستان ۱۳۹۸، صفحه ۲۷۷-۲۸۵.
- [10] I. Perfilieva, M. Holčapek and V. Kreinovich, "A new reconstruction from the F-transform components.", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.288, April 2016, pp. 3-25.
- [11] A. Khastan, I. Perfilieva and Z. Alijani, "A new fuzzy approximation method to Cauchy problems by fuzzy transform.", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.288, April 2016, pp. 75-95.
- [12] I. Perfilieva, V. Novák and A. Dvořák, "Fuzzy transform in the analysis of data.", *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol.48, NO.1, April 2008, pp. 36-46.

- [13] S. Sessa, F. Di Martino and I.G. Perfilieva, "Fuzzy functions, relations, and fuzzy transforms 2013.", *Advances in Fuzzy Systems*, Vol.2013, November2013, pp.6-6.
- [14] F. Di Martino, V. Loia, and S. Sessa, "Fuzzy transforms method in prediction data analysis.", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.180, NO.1, October2011, pp.146-163.
- [15] M. Hanmandlu and D. Jha, "An optimal fuzzy system for color image enhancement.", *IEEE Transactions on image processing*, Vol.15, NO.10, October2006, pp.2956-2966.
- [16] S. Nirmalraj, and G. Nagarajan. "Biomedical image compression using fuzzy transform and deterministic binary compressive sensing matrix.", *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, Vol.12, June2021, pp. 5733-5741.
- [17] J. Močkoř and P. Hurtík, "Approximations of fuzzy soft sets by fuzzy soft relations with image processing application.", *Soft Computing*, Vol. 25, NO.10, May2021, pp. 6915-6925.
- [18] K. Bhalla, D. Koundal, B. Sharma, Y.C. Hu and A. Zaguia, "A fuzzy convolutional neural network for enhancing multi-focus image fusion.", *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol.84, April2022, pp. 103485.
- [19] I. Perfilieva, and D. Adamczyk, "Selection of Keypoints in 2D Images Using F-Transform", 19th International Conference In on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems(IPMU), Milan, Italy, Vol.1602, July2022, pp.418-430.
- [20] F.M. Megahed, W.H. Woodall and J.A. Camelio, "A review and perspective on control charting with image data.", *Journal of quality technology*, Vol.43, NO.2, November2011, pp. 83-98.
- [21] B. M. Colosimo, "Modeling and monitoring methods for spatial and image data.", *Quality Engineering*, Vol.30, NO.1, December2017, pp. 94-111.
- [22] B.M. Colosimo and M. Pacella, "A comparison study of control charts for statistical monitoring of functional data.", *International Journal of Production Research*, Vol.48, NO.6, March2009, pp.1575-1601.
- [23] B.M. Colosimo, P. Cicorella, M. Pacella and M. Blaco, "From profile to surface monitoring: SPC for cylindrical surfaces via Gaussian processes.", *Journal of Quality Technology*, Vol.46, NO.2, November2017, pp. 95-113.
- [24] M. Koosha, R. Noorossana, and F. Megahed, "Statistical process monitoring via image data using wavelets.", *Quality and Reliability Engineering International*, Vol.33, NO.8, December2017, pp. 2059-2073.
- [25] M. Reis and G. Gins, "Industrial process monitoring in the big data/industry 4.0 era: From detection, to diagnosis, to prognosis.", *Processes*, Vol.5, NO.3, June2017, pp. 35.