



Improving the quality control of technical items in the defense industry with the technique of image processing and fuzzy transformation using the GLR control chart

Mohammad Taghi Partovi^{1✉} | Akbar Asgharzadeh-Bonab² | Reza Edris Abadi³

1 Corresponding author, Assistant Professor, Department of Science and Technology Studies, AJA Command and Staff University, Tehran, Iran. E-mail: m.partovi@casu.ac.ir

2. Assistant Professor, Department of Science and Technology Studies, AJA Command and Staff University, Tehran, Iran. E-mail: akbar.asgharzadegh@casu.ac.ir

3. Researcher, Department of Science and Technology Studies, AJA Command and Staff University, Tehran, Iran. E-mail: reza.edia@yahoo.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 12 May 2023

Received in revised form:

16 January 2024

Accepted:

5 January 2024

16 March 2024

Published online

15 May 2024

Keywords:

Quality control, defense

industry, fuzzy

transformation, image

processing, GLR control

chart

ABSTRACT

Objective:

The main goal is to propose a model for quality control in the defense industry, utilizing image processing and fuzzy transform. Emphasis is on selecting the optimal generalized fuzzy transform section for image compression to enhance the performance of defense and combat weapons.

Methodology:

The methodology employs modern image processing and fuzzy transform techniques for statistical quality control. High-volume data analysis occurs in production lines, managing processes for defense and combat weapon products like glass and metals. MATLAB is the implementation platform, emphasizing the optimal selection of the generalized fuzzy transform section for image compression and processing.

Results:

MATLAB validation confirms the success of our model in quality control for defense systems. Comparative studies show the triangular fuzzy section model excels, especially in defect detection post-illumination changes, surpassing Kusha et al. in most cases.

Conclusion:

In conclusion, our study emphasizes the vital role of image processing and fuzzy transform techniques in defense. The developed model successfully achieves quality control goals, optimizes processes, and enhances defense and combat weapon quality. This reflects a growing industry trend, with an increasing adoption of these methods to meet goals and address challenges.

Cite this article: Partovi, M. T., Asgharzadeh-Bonab, A., & Edrisabadi, R. (2024). Improving the quality control of technical items in the defense industry with the technique of image processing and fuzzy transformation using the GLR control chart. *Defensive Future Studies*, 8(31), 7- 36.

DOI: 10.22034/dfs.2024.2002226.1701





بهبود کنترل کیفیت اقلام فنی در صنایع دفاعی با تکنیک پردازش تصویر و تبدیل فازی با

استفاده از نمودار کنترل GLR

محمدتقی پرتوی^۱ | اکبر اصغرزاده بناب^۲ | رضا ادریس‌آبادی^۳۱. گروه مطالعات علم و فناوری، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، نام شهر تهران، نام کشور ایران، رایانامه: m.partovi@casu.ac.ir۲. گروه مطالعات علم و فناوری، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، نام شهر تهران، نام کشور ایران، رایانامه: akbar.asgharzadegh@casu.ac.ir۳. گروه مطالعات علم و فناوری، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، نام شهر تهران، نام کشور ایران، رایانامه: reza.edia@yahoo.com

اطلاعات مقاله چکیده

نوع مقاله:	چکیده
مقاله پژوهشی	هدف: این تحقیق به منظور ارائه الگوی شناسایی و کنترل کیفیت اقلام فنی در صنعت دفاع انجام شده است. تمرکز بر تکنیک‌های پردازش تصویر و تبدیل فازی با انتخاب بهینه بخش فازی تعمیم‌یافته جهت فشرده‌سازی تصاویر و پردازش داده‌های تصویر است.
تاریخ دریافت:	روش‌شناسی: در این تحقیق، از تکنیک تبدیل فازی مستقیم برای فشرده‌سازی تصاویر استفاده شده و ماتریس ضرایب تبدیل فازی برای پایش داده‌های استخراج شده با استفاده از نمودار کنترل نسبت بزرگ‌نمایی تشکیل شده است. جهت اعتبارسنجی نتایج، از نرم‌افزار متلب بهره گرفته شده است.
تاریخ بازنگری:	یافته‌ها: نتایج نشان دادند که مدل توسعه یافته برخوردار از عملکرد موثر برای کنترل کیفیت اقلام فنی در سیستم‌های دفاعی است. مدل مبتنی بر بخش فازی مثلثی نیز در کشف عیوب پس از تغییرات شدت روشنایی، بهتر از مدل کوشا و همکاران عمل کرده است.
تاریخ پذیرش:	نتیجه‌گیری: این تحقیق نه تنها اهمیت پردازش تصویر و تبدیل فازی را در صنعت دفاع تأکید می‌کند بلکه نشان دهنده کارایی برتر مدل توسعه یافته در دستیابی به کنترل کیفیت اقلام فنی و بهبود فرآیندهای کنترلی است. نتایج مقایسه‌ای نیز تأیید می‌کند که مدل مبتنی بر بخش فازی مثلثی، به ویژه در شناسایی عیوب پس از تغییرات نوردهی، از مدل کوشا و همکاران بهتر عمل کرده است. استفاده روزافزون از پردازش تصویر و تبدیل فازی در آینده نشان‌دهنده اجتناب‌ناپذیری صنایع دفاع از این تکنیک‌ها به منظور دستیابی به اهداف، کنترل بهینه و ارتقاء اقلام فنی است.
تاریخ انتشار:	
کلیدواژه‌ها:	
صنایع دفاعی،	
تبدیل فازی،	
پردازش تصویر،	
نمودار کنترل GLR	

استناد: پرتوی، محمدتقی؛ اصغرزاده بناب، اکبر و ادریس‌آبادی، رضا (۱۴۰۲). بهبود کنترل کیفیت اقلام فنی در صنایع دفاعی با تکنیک پردازش تصویر و تبدیل فازی با استفاده از نمودار کنترل GLR. آینده‌پژوهی دفاعی، ۸ (۳۱)، ۷-۳۶.

DOI: 10.22034/dfs.2024.2002226.1701

ناشر: دانشگاه فرماندهی و ستاد ارتش جمهوری اسلامی ایران

© نویسندگان.



مقدمه

به منظور حصول اطمینان از عملکرد سیستم دفاعی و رزمی کشور، سازمان‌های هوایی، فضایی و دفاعی می‌بایست محصولات ایمن و قابل اطمینان تولید کرده و به صورت مداوم کیفیت محصولات را بهبود بخشند تا مقررات دولتی، مراجع قانونی و الزامات کاربر نهایی محصول را برآورده ساخته یا از آن فراتر روند. به کارگیری رویکردهای کنترل کیفیت مناسب می‌تواند به طور گسترده منجر به بهبود کیفیت، زمان بندی و هزینه پیاده سازی سیستم دفاعی مناسب از طریق کاهش یا حذف خطاها و عیوب در جهت افزایش کیفیت منحصربه فرد محصولات در صنایع مختلف و اعمال روش‌های مطلوب شود.

بررسی خودکار عیب و نقص‌های موجود در سطوح محصولات، به عنوان بخشی از کنترل کیفیت محصولات صنعتی در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. کشف خطاهای موجود در سطوح محصولات امری چالش برانگیز در محیط‌های صنعتی است. در گذشته بیشتر از روش‌های پردازش تصویر و یادگیری ماشین برای این کار استفاده می‌شد. مشکلی که این روش‌ها داشتند، شرایط تشخیص عیب بود. به این صورت که نقص موجود در سطوح، تنها در صورت وجود نور کافی، کنتراست بالا و مقیاس مشخص قابل تشخیص بود. ولی با استفاده از روش‌های یادگیری عمیق و بدون وجود شرایط بالا می‌توان تشخیص عیب را با دقت بالایی انجام داد. عیوب سطحی اثرات زیان‌باری بر روی کیفیت و عملکرد محصولات صنعتی دارند. در این راستا، تولیدکنندگان تلاش زیادی را برای یافتن عیب‌های سطحی و کنترل کیفیت محصولات انجام می‌دهند (Koosha, R.Noorossana, 2017).

در سال‌های اخیر روش‌های مبتنی بر بینایی ماشین به منظور یافتن نقص‌های سطحی رواج پیدا کرده‌اند. استفاده از این روش‌ها، دیگر مشکلات روش‌های دستی مانند دقت، سرعت پایین و فشار کاری بالا را نخواهد داشت. سیستم‌های مبتنی بر بینایی ماشین در بررسی نوارهای فولادی، صفحه‌نمایش کریستال مایع، پارچه، بررسی خطوط راه آهن و مواد غذایی کاربردهای بسیاری دارند. از آنجایی که اجسام با سطوح حساس در بسیاری از صنایع کاربرد دارند، بررسی کیفیت سطوح آن‌ها در سال‌های اخیر، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. بررسی سطوح حساس مختلف نسبت به سطوح دیگری مانند سطوح صاف به علت وجود روشنایی غیریکنواخت، انعکاس قوی‌تر و نویز روی سطوح شیشه، دارای چالش‌های بیشتری است (Koosha, R.Noorossana, 2017).

رویکرد استفاده از منطق فازی در حجم داده‌های وسیع با توجه به نوع داده‌های مورد بررسی، برای کنترل کیفی و تحلیل یک فرایند با مجموعه داده‌های قطعی می‌تواند مثرتر باشد. مجموعه‌های

قطعی عبارتند از مجموعه‌های عادی و معمولی که در ابتدای نظریهٔ کلاسیک مجموعه‌ها معرفی می‌شوند. کاربرد مجموعه‌های فازی در تصمیم‌گیری یکی از مهم‌ترین کاربردهای این رویکرد در مقایسه با تئوری‌های کلاسیک است. در واقع تئوری تصمیم‌گیری فازی تلاش می‌کند که ابهام و عدم قطعیت‌های ذاتی موجود در ترجیحات، اهداف و محدودیت‌های موجود در مسائل تصمیم‌گیری را در مدل احراز کند. همواره در مدل‌های تصمیم‌گیری بهتر است که تصمیم، بستگی کمتری به سیستم دو جوابی بلی و خیر داشته باشد؛ زیرا اگر جواب نادرست باشد، احتمال خطا بالا خواهد رفت و این خطا اثر زیادی روی مدل تصمیم‌گیری خواهد داشت. سادگی، کارایی در شرایط عدم قطعیت، توانایی استفاده از متغیرهای کیفی و کلامی بدون کمی‌سازی آن‌ها، پاسخگویی، عدم کلی‌گویی و عدم مطلق‌گویی از دیگر نتایج استفاده از منطق فازی است که ضرورت استفاده از آن را به دست می‌دهد. منطق فازی در بسیاری از شرکت‌ها برای تولید محصولات مختلف مانند ترمز ضد قفل، انتقال خودکار در شرکت نیسان، دستگاه کپی در شرکت کانن، ماشین ظرفشویی شرکت ماتسوشیتا، اجاق مایکرو شرکت میتسوبیشی و رایانه‌های دستی شرکت شارپ کاربرد دارد (نیک‌سیرت، ۱۳۹۸).

منطق فازی با وارد کردن دانش ضمنی در مدل‌ها، معادلات و فرمول‌های ریاضی می‌تواند در زمینه طراحی و کنترل کیفی محصول مورد نظر کاربرد داشته باشد؛ بنابراین با وارد کردن رویکرد فازی در مباحث کنترل کیفیت آماری برای پایش داده‌های تصویری، باتوجه به مزیت‌ها و ویژگی‌های خاص بالقوه، این رویکرد می‌تواند زمینه‌ساز افزایش دقت پایش و کنترل فرایند شود (نیک‌سیرت، ۱۳۹۸).

در ادامه به شرح ساختار پژوهش پیش رو خواهیم پرداخت. در بخش اول به بررسی مطالعات انجام‌شده در حوزه تحقیق پرداخته می‌شود. سپس مدل توسعه داده شده شامل پایش فرایندها در پردازش تصویر، بخش فازی تعمیم‌یافته، تبدیل فازی مستقیم و الگوریتم تبدیل فازی مبتنی بر فشرده‌سازی و نمودار کنترل^۱ GLR ارائه می‌شود. همچنین در ادامه به ترتیب نتایج شبیه‌سازی تحقیق به صورت نتایج عددی و مطالعه موردی بیان شده است و در نهایت نتیجه‌گیری تحقیق ارائه می‌گردد.

1. Generalized Likelihood Ratio

مبانی نظری و پیشینه‌های پژوهش

کنترل فرایند آماری

کنترل فرایند آماری به‌عنوان شاخه‌ای از کنترل کیفیت آماری، شامل مجموعه‌ای از ابزارها است که برای کنترل و کاهش پراکندگی و در نتیجه بهبود کیفیت فرایندها استفاده می‌شود. هدف استفاده از نمودار کنترلی، پایش وضعیت فرایند است تا عملکرد نامطلوب آن شناسایی شود و با اقدامات نگهداری و تعمیرات، بهبود یابد. نمودار کنترلی یکی از رایج‌ترین ابزارهای پایش فرایند است و با استفاده از اطلاعات حاصل از آن، می‌توان به‌دتر شدن وضعیت فرایند تولید و کاهش کیفیت محصول پی برد (مهرافروز و همکاران ۲۰۱۱، ین و همکاران ۲۰۱۵ و نجیبی و همکاران ۲۰۲۰). به‌عبارت‌دیگر، هر روش آماری که برای کشف تغییرات در فرایند و مشخص کردن میزان ثبات آن در طول زمان طراحی می‌شود، در حوزه تحت پوشش کنترل فرایند آماری قرار می‌گیرد. در این روش‌ها، منابع تغییر مختلفی می‌تولند بر عملکرد فرایند تأثیر بگذارد. زمانی که تغییرات فرایند ناشی از انحرافات تصادفی^۱ باشد، به این معناست که مقدار خاصی تغییرپذیری به‌طور ذاتی در آن وجود دارد که پیشگیری از آن جز با تغییر بنیادی فرایند ممکن نیست، لذا؛ این فرایند تحت کنترل^۲ آماری نامیده می‌شود. در مقابل، زمانی که تغییرات فرایند ناشی از انحرافات با دلیل^۳ باشد، به این معناست که این تغییرپذیری در مقایسه با اختلالات ذاتی موجود در فرایند بزرگ‌تر بوده و بیانگر سطح غیرقابل قبولی برای عملکرد فرایند است. لذا این فرایند خارج از کنترل^۴ نامیده می‌شود و بایستی انحرافات با دلیل، در زودترین زمان ممکن شناسایی شده و حذف شود. بنابراین، طراحی روش‌هایی که در شناسایی انحرافات با دلیل و کاهش تغییرپذیری فرایند بسیار مؤثرند، به‌عنوان یکی از اهداف اصلی پایش فرایندهای آماری مطرح می‌شوند.

نمودار کنترل GLR

امروزه در صنعت، اگر همه عوامل در تولید کالا مطلوب و تحت کنترل باشد، باز هم عوامل دیگری مانند نوسان برق که نمی‌توان آن‌ها را ثابت کرد، باعث تغییر در مشخصات کیفی و یا کمی تولیدات می‌شوند. به کمک نمودارهای کنترل، تغییرپذیری مربوط به ویژگی‌های کیفی و کمی محصولات به دو بخش عوامل غیرقابل کنترل و عوامل قابل کنترل تفکیک می‌شوند.

1. Common causes

2. In Control - IC

3. Assignable causes

4. Out of Control - OC

معمولاً فرض بر این است که عوامل غیرقابل کنترل (خطاهای تصادفی)، دارای توزیع نرمال هستند و به‌عنوان یک پدیده شانسی و احتمالی در نظر گرفته می‌شوند؛ بنابراین، انتظار می‌رود که عوامل غیرقابل کنترلی که باعث تغییرات در مشخصات کالا شده‌اند از قوانین تصادفی پیروی کنند. اگر تغییرات مشاهده شده خارج از محدوده این قوانین باشند، مشخص می‌شود که عاملی غیرتصادفی در فرایند تولید دخالت کرده که باید شناسایی و حذف شود. با توجه به اینکه بیشتر تغییرات در اندازه‌های مربوط به خصوصیات کالا ناشی از تصادف هستند، رسم نمودارهای کنترلی به بررسی این موضوع کمک می‌کند. این نمودارها و بیشتر تکنیک‌های کنترل کیفی توسط والتر شوارتز، مهندس و آماردان آمریکایی در سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۴۰ ایجاد و در بسیاری از شرکت‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. به همین علت به نمودارهای کنترل کیفیت گاهی نمودارهای شوارتز نیز گفته می‌شود.

امروزه حجم داده‌های تولیدشده در دنیا روبه‌افزایش است. در مواجهه با این حجم وسیع داده و به‌منظور کنترل کیفی تصاویر گرفته‌شده از محصولات، نمودارهای کنترل نسبت درست‌نمایی تعدیل‌شده یا همان نمودارهای کنترل GLR توسعه داده شده‌اند. در این نمودارها علاوه بر اطلاعات نمونه آخر از اطلاعات نمونه‌های قبلی نیز برای کنترل فرایند استفاده می‌شود. ضمناً به‌منظور پایش داده‌های تصویری توسط این نمودارها، هر ضریب یا عدد به‌دست‌آمده در تصویر فشرده‌شده به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. از فواید این نمودار کنترل، می‌توان به دستیابی به مکان دقیق عیب یا نقص و همچنین اندازه آن اشاره کرد (Koosha, R.Noorossana, 2017).

پردازش تصویر

پردازش تصویر یکی از شاخه‌های بسیار پرکاربرد در هوش مصنوعی است. به‌منظور پردازش تصویر، روش‌های مختلفی از قبیل پردازش دیجیتال تصویر، پردازش نوری تصویر و پردازش آنالوگ تصویر وجود دارند؛ اما غالباً مقصود از پردازش تصویر، پردازش دیجیتالی تصویر است که شاخه‌ای از دانش رایانه بوده و عموماً با پردازش سیگنال دیجیتال که نشان‌دهنده تصاویر ثبت‌شده از طریق دوربین‌های دیجیتال یا پویش شده توسط پویشگر هستند، سروکار دارد. پردازش تصویر در دوشاخه اصلی تحت عنوان بهبود تصاویر و بینایی ماشین قابل بررسی است. بهبود تصاویر، دربرگیرنده روش‌هایی چون استفاده از فیلتر محوکننده، افزایش تضاد جهت بهبود کیفیت دیداری تصاویر و اطمینان از نمایش درست آن‌ها در محیط مقصد (مانند چاپگر یا نمایشگر

رایانه) است. در حالی که بینایی ماشین به روش‌هایی می‌پردازد که به کمک آن‌ها می‌توان محتوای تصاویر را درک کرد تا از آن‌ها در صنایعی همچون رباتیک استفاده کرد. کنترل ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی یکی از وظایف مهم در فرایندهای تولیدی است. به‌کارگیری کنترل خودکار و اتوماسیون روز به روز گسترده‌تر شده و رویکردهای جدید با بهره‌گیری از تکنولوژی‌های نو امکان رقابت در تولید را فراهم می‌سازد. لازمهٔ افزایش کیفیت و کمیّت یک محصول، استفاده از ماشین‌آلات پیشرفته و اتوماتیک است؛ ماشین‌آلاتی که بیشتر مراحل کاری آن‌ها به طور خودکار صورت گرفته و اتکای آن به عوامل انسانی کمتر باشد. امروزه استفاده از فناوری بینایی ماشین و تکنیک‌های پردازش تصویر کاربرد گسترده‌ای در صنعت پیدا کرده است و کاربرد آن به‌ویژه در کنترل کیفیت محصولات تولیدی، هدایت ربات و مکانیسم‌های خود هدایت‌شونده روز به روز گسترده‌تر می‌شود.

پیشینه‌های پژوهش

در فضای نظامی پیچیده امروز، پروژه‌های جدید دائماً در کشورهای مختلف از جمله کشور ما با سرعت در حال توسعه و گسترش هستند. این امر نیز به نوبه خود باعث ایجاد ساختارها و سیستم‌هایی خواهد شد که در جستجوی راهکارهایی به‌منظور کاهش هزینه‌ها، بهبود فرایندها، افزایش بهره‌وری و ایجاد بنیان جدید هستند. با توجه به اینکه فرایند مدیریت بر این پروژه‌ها ریسک عدم موفقیت بالایی دارد، باید کلیهٔ جوانب یک پروژه را برنامه‌ریزی و پیش‌بینی کرد. از جمله برنامه‌ریزی‌ها برای پروژه‌های تحقیقاتی دفاعی، توجه به ساختار مدیریتی متمرکز کنترل کیفی و برنامه‌ریزی برای یک سیستم کنترل کیفیت است که همهٔ جوانب پروژه را دربر گرفته باشد. در تحقیق انجام‌شده توسط عبداللهی و حسنی (۱۳۹۲) ضمن پیشنهاد ساختاری به‌منظور کنترل کیفیت در چارت نیروی انسانی سازمان‌های تحقیقاتی نظامی، به ارائه یک الگوی سیستم کنترل کیفیتی در چنین سازمان‌هایی پرداخته شده است. در این تحقیق از روش مطالعات کتابخانه‌ای، مطالعات میدانی و پرسش‌نامه استفاده شده است که با طرح پرسش‌هایی در این زمینه از نخبگان و سپس توزیع سؤالات در بین مدیران پروژه‌ها و تجزیه و تحلیل جواب پرسش‌نامه‌ها از طریق نرم‌افزار spss به جایگاه و الگویی در فرایندهای کنترل کیفی سازمان تحقیقاتی دفاعی رسیده‌اند.

کارابسیس^۱ و اسپتساکیس (۱۹۹۵) یک روش جدید برای فشردگی‌سازی^۲ و تحلیل عکس با استفاده از نسبت چندجمله‌ای محلی توسعه دادند. ایشان در تحقیق خود چهار عملگر اساسی

1. karabassis

2. Compression

تصویر را مورد پردازش قرار دادند و از تحلیل لاگرانژ نیز استفاده کردند. لئو و همکاران (۲۰۱۷) الگوریتمی را توسعه دادند که در آن از پارامترهای مختلف روش ترکیب تصویر بر روی مجموعه داده‌های تصویری استفاده شده است. الگوریتم توسعه داده شده روش‌های مختلف را با روش توسعه داده شده مقایسه کرده و برتری روش توسعه داده شده را اثبات کرده است. دوچسن^۱ و همکاران (۲۰۱۸) 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^۲ (۲۰۱۸) در تحقیق خود به بررسی روش‌های جدید کنترل حجم داده‌های بزرگ و استفاده از داده‌های تصویری در بازرسی مراحل مختلف تولید پرداخته است. پاترنیان^۳ و همکاران (۲۰۱۵) 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. یک تکنیک فشرده‌سازی تصویر مفید با استفاده از تبدیل حفره‌های چرخ‌دار توسط آرونپاندیان و دنکاران^۴ (۲۰۲۲) ارائه شده است. آن‌ها از ادغام و فشرده‌سازی مناطق ROI به‌عنوان فازهای اصلی مدل پیشنهادی استفاده کردند. گیتا و همکاران (۲۰۲۲) رویکرد جدیدی برای فشرده‌سازی تصویر چند طیفی با کیفیت بالا بر اساس تبدیل موجک و فیلتری جدید برای حذف سیگنال‌های نویز پیشنهاد کردند. 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^۵ (۲۰۲۲) مورد بررسی قرار گرفته است.

بازسازی تصاویر با استفاده از توابع فازی یک روش جدید در راستای توسعه مباحث پردازش تصویر است. پرفیلیوا^۶ و همکاران (۲۰۱۶) 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^۷ 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 هستند که هر کدام دارای کاربرد منحصربه‌فردی در صنایع مختلف بسته به نوع کاربرد است. روش تبدیل‌های فازی در جهت مستقیم و غیرمستقیم در سه نوع مختلف توسط پرفیلیوا

1. Duchesne

2. Colosimo

3. Paternain

4. Arunpandian and Dhenakaran

5. Garg, G., & Kumar

6. Perfilieva

7. Fuzzy Transform

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^۱ و همکاران (۲۰۱۶) یک روش عددی بر پایه تبدیل‌های فازی درجه اول و درجه دوم توسعه دادند که برای حل مسائل کوچی معرفی شده بود. آنها 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. سسا^۲ و همکاران (۲۰۱۳) جنبه‌های جدیدتری از توابع فازی ارتباطاتشان و تبدیل‌های فازی را مطرح کردند. آنها دو الگوریتم توسعه دادند که بر پایه تصاویر رنگی بود. مارتینو^۳ و همکاران (۲۰۱۱) 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. هنمندلو^۴ و جاها^۵ (۲۰۰۶) در تحقیق خود یک سیستم فازی بهینه برای بهبود رنگ تصاویر ایجاد کردند. آنها با تعریف پارامترهای 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^۶ (۲۰۲۱) روش جدیدی را برای فیلتر کردن نویز ضربه‌ای تصویر در مناطق زیست‌پزشکی با استفاده از تکنیک‌های تبدیل فازی ارائه کردند. همچنین از ماتریس حسگر فشاری دوتایی برای فشرده‌سازی تصاویر زیست‌پزشکی و بررسی ساختار داخلی بدن استفاده کردند. موکور و هورتیک^۷ (۲۰۲۱) 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 موناو برای مسائل تقسیم‌بندی رنگ انتخابی استفاده کردند. یک شبکه عصبی کانولوشن مبتنی بر مجموعه‌های فازی پیشنهاد شده توسط بهلال^۸ و همکاران (۲۰۲۲). در مطالعه آنها، الگوریتم‌های مختلفی برای تولید تصویر ذوب شده برای شناسایی قسمت‌های متمرکز در تصاویر مختلف استفاده می‌شود. در مطالعه دیگری، پرفیلیوا و آدامزیک^۹ (۲۰۲۲) الگوریتم جدیدی را برای انتخاب نقاط کلیدی در تصاویر دوبعدی بر اساس تکنیک‌های مختلف از جمله عملگر لاپلاسی

1. Khastan

2. Sessa

3. Martino

4. Hanmandlu

5. Jha

6. Nirmalraj and Nagarajan

7. Močkoř and Hurtík

8. Bhalla

9. Perfilieva and Adamczyk

و تبدیل‌های فازی ارائه کردند.

از طرفی استفاده از رویکرد منطق فازی در صنایع دفاعی کاربرد وسیعی داشته است. در مطالعه انجام شده توسط بیگدلی و باوندی (۱۴۰۱)، مسئله تصمیم‌گیری بهینه در مواجهه با عملیات تخریبی دشمن در شرایط فازی و با بهره‌گیری از رویکرد فازی مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین در پژوهشی دیگر، مهرگان و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی مسئله شبیه‌سازی کشف و شناسایی اهداف پرنده در سامانه‌های فرماندهی و کنترل با استفاده از نظریه فازی پرداختند. ایشان در این تحقیق از رویکرد تصمیم‌گیری بر مبنای الگوریتم فازی جهت شناسایی و کشف در فرایند امنیت پرواز بهره بردند. در پژوهشی دیگر جهت بهینه‌سازی مسئله حمل‌ونقل امداد و پشتیبانی در شرایط بحرانی، مدل برنامه‌ریزی ریاضی مبتنی بر رویکرد فازی توسط نیک‌سیرت (۱۳۹۸) توسعه داده شد.

در کنار این مطالعات، پژوهش‌های مختلفی در زمینه پردازش تصویر و کاربرد آن در کنترل کیفیت و نمودارهای کنترل توسط محققان انجام شده است. آقای وانگ و همکاران در تحقیقاتی به بررسی مطالعات انجام‌شده در زمینه تحلیل داده‌های تابعی پرداختند. تحلیل داده‌های تابعی یکی از روش‌های مؤثر در زمینه کاهش ابعاد با بهره‌گیری از کاربردهای معادلات رگرسیونی است. در این روش داده‌ها به صورت توابع در نظر گرفته شده و معادلات رگرسیونی به دست آمده برای آن‌ها، در برازش داده‌های اولیه و کاهش بعد آن‌ها به کار گرفته می‌شود. مگاهد^۱ و همکاران (۲۰۱۱) به منظور پایش داده‌های تصویری، یک نمودار نسبت درست‌نمایی تعمیم‌یافته فضایی-زمانی^۲ 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 داده شده، سرعت زیادی در تخمین نقطه تغییر، اندازه و مکان خطا دارد و میزان اطلاعات از دست‌رفته در این روش کمتر است. کلسیمو^۳ (۲۰۱۷) در تحقیق خود به بررسی به‌کارگیری سنسورهای خیلی سریع و پیشرفته در صنایع تولیدی جهت بازرسی کیفی پرداخته است. ایشان در تحقیق خود به 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 (۲۰۱۰) و (۲۰۱۷) روشی جدید برای مدل‌سازی و پایش داده‌های تلفیق شده با سنسورهای چندگانه را مورد بررسی قرار دادند. روند این پژوهش، استفاده از داده‌های سنسورهای مختلف و ترکیب آن‌ها برای پیش‌بینی سطوح مختلف شیء است و در ادامه مدل پروفایل داده‌ها را به دست می‌آورند. کنترل

1. Megahed

2. Spatiotemporal GLR control chart

3. Colosimo

داده‌های تصویری با استفاده از نمودارهای کنترل توسط کوشا^۱ و همکاران (۲۰۱۷) مورد بررسی 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^۲ و جینس^۳ (۲۰۱۷) یک روش جدید برای کنترل فرایند صناعی توسعه دادند. در این تحقیق از اطلاعات نزدیک به صدسال گذشته بهره برده شده و ساختارهای پردازش تصویر مختلف مورد بررسی 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 می‌باشد. در واقع می‌توان جمع‌بندی نمود که استفاده از فناوری مناسب در تصمیم‌گیری مدیران سازمان‌های دفاعی به افزایش کیفیت تصمیمات مورد نظر کمک شایانی خواهد کرد (جوکار، ۱۳۹۰: ۵۰).

باتوجه 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. چرا که در تحقیقات گذشته عمدتاً تمرکز بر روی مباحث تئوری تبدیل‌های فازی بوده و از آنها در کنترل فرایند آماری بهره‌ای برده نشده است. همچنین باتوجه 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 عظیم‌داده همراه است. از این رو استفاده از یک رویکرد مؤثر برای فشرده‌سازی تصویر و استفاده از آن روش در تحلیل داده‌های تصویری می‌تواند مثمرتر 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 باتوجه به مطالعات انجام‌شده، در این تحقیق به کنترل فرایندهای آماری محصولات تولیدی با استفاده از داده‌های تصویری مبتنی بر رویکرد فازی پرداخته و مطابق جدول (۱) مرور پیشینه تحقیق بیان شده است.

1. Koosha

2. Reis

3. Gins

جدول (۱)- مرور پیشینه تحقیق

نویسنده	سال انتشار	کنترل کیفیت آماری	پردازش تصویر	رویکرد فازی	نمودار کنترل	صنایع دفاعی	مطالعه موردی
عبداللهی و حسینی	۱۳۹۲	✓					
لثو و همکاران	۲۰۱۷		✓				
دوچسن و همکاران	۲۰۱۸		✓				✓
کلسیمو	۲۰۱۸		✓				
پاترنیان و همکاران	۲۰۱۵		✓				
آرونپاندیان و دنکاران	۲۰۲۲		✓				
گیتا و همکاران	۲۰۲۲		✓				
گارگ و کومار	۲۰۲۲		✓				
پرفیلیوا و همکاران	۲۰۱۶		✓	✓			✓
خستان و همکاران	۲۰۱۶		✓	✓			
سسا و همکاران	۲۰۱۳		✓	✓			
نیرمالراج و ناگارجان	۲۰۲۲		✓	✓			
موکور و هورتیک	۲۰۲۱		✓	✓			
بهلال و همکاران	۲۰۲۲		✓	✓			✓
پرفیلیوا و آدامزیک	۲۰۲۲		✓	✓			
بیگدلی و باوندی	۱۴۰۱		✓				
مهرگان و همکاران	۱۳۹۷		✓				
نیک سیرت	۱۳۹۸		✓				
کلسیمو	۲۰۱۷	✓					✓
کلسیمو و همکاران	۲۰۱۷	✓					
کوشا و همکاران	۲۰۱۷	✓	✓	✓			✓
ریس و جینس	۲۰۱۷	✓	✓				
پژوهش حاضر		✓	✓	✓	✓	✓	✓

روش‌شناسی پژوهش

روش تحقیق پژوهش حاضر از نظر ماهیت و هدف کاربردی است. در این پژوهش بر اساس نیاز، از تصاویر گرفته شده تعدادی کاشی که در محیط صنعتی و در شرایط آزمایشگاهی مورد تصویربرداری قرار گرفته، استفاده شده است (مستندات آن در تحقیقات آقای مگاهد و همکاران (۲۰۱۱) 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. روش و مراحل انجام این تحقیق بر پایه مباحث مطالعه شده به صورت زیر شرح داده می‌شود. فلوجارت فرایند کلی روش پیشنهادی در تحقیق حاضر به صورت شکل (۱) است:



شکل (۱) - فلوچارت فرایند کلی روش پیشنهادی

تشریح پیش فرایندها^۱ و بخش فازی تعمیم یافته

در گام نخست از این تحقیق، جهت مدل سازی داده های تصویری مورداستفاده در نمودار GLR مورد بررسی، لازم است از مناسب ترین روش پردازش تصویر استفاده شود. ذکر این نکته ضروری است که به منظور افزایش دقت محاسبات معمولاً پیش از پردازش تصویر و استخراج اطلاعات مفید و ضروری از آن ها، مجموعه داده های مغشوش^۲ توسط یک سری از فرایندها تحت عنوان پیش فرایندهای پردازش تصویر پاک سازی شده و تصاویر دقیق جهت تحلیل و بررسی در اختیار تحلیل گر قرار می گیرد. بنابراین انجام پیش فرایندها بر روی داده های تصویری در قدم اول الزامی است. از جمله این پیش فرایندها می توان به حذف نویز، افزایش کیفیت تصویر^۳، افزایش وضوح تصویر اشاره نمود که با هدف بهبود و افزایش وضوح تصویر انجام شده و با انجام آن می توان تفسیر بهتری از تصاویر به دست آورد.

ارتباط بین تبدیل فازی در درجات مختلف با توابع فازی تعمیم یافته شده در تحقیقات پرفیلیوا و همکاران مورد توسعه قرار گرفته است. جهت توضیح بخش فازی، تعریف ها و نشانه های مورداستفاده در این بخش را مورد بررسی قرار می دهیم.

تعریف ۱: فرض می شود یک فاصله مشخص $[a, b]$ در فضای واقعی در نظر گرفته شده و گره های 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 $[a, b]$ با استفاده از فواصل $[x_k - h'_k, x_k + h''_k] \subseteq [a, b]$ پوشش

1. Preprocessing

2. Noisy Data

3. Image Enhancement

داده می‌شود که در آن $k=1,2,\dots,n$ و فواصل حاشیه‌ای چپ و راست به صورت $h'_k, h''_k > 0$ است.

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

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

$A_k(x)$ در بازه $[x_k - h'_k, x_k + h''_k]$ پیوسته است.

برای هر x عضو بازه $[a, b]$ ، $A_k(x) > 0$ است.

اگر قسمت‌های فازی $A_k(x)$ شرط زیر را در بازه $x \in [a, b]$ دارا باشند، قسمت‌های فازی مورد نظر به صورت روسپینی^۱ یا به عبارت دیگر توابع نرمالایز شده مطرح نامیده می‌شوند:

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

توابع فازی A_1, A_2, \dots, A_n به صورت توابع (h, h') را یکنواخت می‌نامند، اگر گره‌ها با فواصل مساوی h از هم قرار گرفته باشند. به عبارت دیگر برای همه $k=1, 2, \dots, n$ ، $x_k = a + h(k-1)$ در نظر گرفته شده و برای آن $h = (b-a)/(n-1)$ و $h_1 = h_2 = \dots = h_{n-1} = h'_n = h'$ است.

در نهایت اگر توابع پایه‌ای A_1, A_2, \dots, A_n با گره‌های x_1, x_2, \dots, x_n را به عنوان 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 به صورت معادله (۱) مطرح می‌شوند:

$$A_1(x) = \begin{cases} A_0\left(\frac{x-x_1}{h'}\right), & x \in [x_1, x_1+h'] \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

و برای $k=2, \dots, n-1$ به صورت معادله (۲) خواهد بود:

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

^۱. Ruspini

و در نهایت برای n به صورت معادله (۳) می باشد:

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

فشرده سازی تصویر مبتنی بر تبدیل فازی

پس از تعریف بخش فازی تبدیل فازی، اکنون اجزای تبدیل فازی را به دست می آوریم. لازم به ذکر است که اجزای تبدیل های فازی در مدل توسعه داده شده برای فشرده سازی تصویر به کار می روند؛ پس از تبدیل تصویر اصلی به تصویر فشرده شده با استفاده از رویکرد تبدیل فازی، به پردازش آن پرداخته می شود. باتوجه به تعریف بخش فازی تعمیم یافته، $C([a, b])$ را به عنوان مجموعه توابع پیوسته در فاصله $[a, b]$ در نظر می گیریم. تعریف زیر یک انتگرال از تبدیل فازی روی تابع $f \in C([a, b])$ معرفی می کند.

تعریف ۲: اگر A_1, A_2, \dots, A_n توابع پایه ای در بازه $[a, b]$ برای تشکیل بخش فازی و f یک تابع از $C([a, b])$ باشند، می توانیم بگوییم که مجموعه n تایی از اعداد واقعی $F(f) = (F_1, \dots, F_n)$ که به صورت معادله (۴) تعریف می شوند، به عنوان انتگرال تبدیل فازی f باتوجه به مجموعه A_1, A_2, \dots, A_n هستند.

$$F_k = \frac{\int_a^b f(x) A_k(x) dx}{\int_a^b A_k(x) dx}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

اجزای گسسته تبدیل فازی بر روی تابع f بر روی مجموعه محدود $P = \{p_1, \dots, p_l\} \subseteq [a, b]$ به کار بسته می شود. با فرض اینکه $(\forall k)(\exists j) A_k(p_j) > 0$ ، اجزای تبدیل فازی گسسته بر روی f به صورت معادله (۵) تعریف می شود.

$$F_k = \frac{\sum_{j=1}^l f(p_j) A_k(p_j)}{\sum_{j=1}^l A_k(p_j)}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

تبدیل فازی مورد نظر که مبتنی بر فشرده سازی تصویر است بر روی یک تابع تصویر $u: [1, N] \times [1, M] \rightarrow [0, 255]$ تعریف می شود که در آن اعداد دامنه و برد، فقط اعداد طبیعی را شامل می شوند. در نهایت اجزای تبدیل فازی U_{kl} ، $k = 1, 2, \dots, n$ و $l = 1, 2, \dots, m$ برای u به صورت یک تابع نرمالایز شده به صورت معادله (۶) خواهد بود:

$$U_{kl} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M u(i, j) A_k(i) B_1(j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M A_k(i) B_1(j)} \quad (۶)$$

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. در نهایت الگوی فشرده‌سازی به صورت جدول (۲) پیوستی در انتهای مقاله است.

فشرده‌سازی تصویر مبتنی بر تبدیل فازی

ماتریس ضرایب تبدیل فازی در واقع همان ماتریس اجزای $F[u]$ است که به صورت 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 وجود دارد، از جمله روش زیگزاگ و روش خطی و روش‌های دیگر. در این تحقیق ما از روش خطی برای سادگی آن استفاده می‌کنیم. یک تصویر با ابعاد $k \times l$ به طوری که $k=1, 2, \dots, n$ و $l=1, 2, \dots, m$ را در نظر بگیرید. برای به دست آوردن بردار تک‌بعدی تصویر به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$V = [\beta_{11}, \beta_{12}, \dots, \beta_{1m}, \beta_{21}, \beta_{22}, \dots, \beta_{2m}, \dots, \beta_{n1}, \beta_{n2}, \dots, \beta_{nm}] \quad (۷)$$

که در آن m تعداد ضرایب برای هر سیگنال (ردیف) است که با مشخص شدن نسبت ρ به دست می‌آید. بنابراین؛ پارامتر β_{kl} نشان‌دهنده ضریب l ام در ردیف k ام است. نسبت ρ نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌هایی هست که هر ضریب به خود اختصاص می‌دهد.

نمودار کنترل نسبت بزرگ‌نمایی تعدیل‌شده

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 به عبارت دیگر GLR برای داده‌ها با حجم زیاد کاربرد دارد و کارایی خود را از دست نمی‌دهد. در این نمودار هر ضریب یا عدد به دست‌آمده در تصویر فشرده‌شده به صورت جداگانه مورد بررسی 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 همچنین اندازه آن است. آماره نمودار کنترل به صورت زیر است (Megahed & Woodall, 2011):

$$R_{m,s} = \begin{cases} \max_{0 \leq \tau < S, k} \frac{n_k(S-\tau)}{2\sigma_k^2} (\hat{\beta}_{1,\tau,S}(k) - \beta_{0,k})^2 & s = 1, 2, \dots, m \\ \max_{S-m \leq \tau < S, k} \frac{n_k(S-\tau)}{2\sigma_k^2} (\hat{\beta}_{1,\tau,S}(k) - \beta_{0,k})^2 & s = m+1, m+2, \dots, \end{cases} \quad (8)$$

به علت وجود پیچیدگی‌های محاسباتی، m به‌عنوان سایز پنجره در نظر گرفته می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، هر تصویر فقط با m تصویر قبلی خود مقایسه می‌شود. این نمودار کنترلی نقطه دقیق تغییر در نمودار را نشان داده و اطلاعات مفیدی در اختیار ما قرار می‌دهد. در آماره فوق (۸)، S شماره عکس و τ نقطه ایجاد تغییر^۱ است. $\hat{\beta}_{1,\tau,S}(k)$ برابر است با $\sum_{t=\tau+1}^S \hat{\beta}_{t,k}^{-1}$ که در آن $\hat{\beta}_{t,k}$ به‌صورت k امین عنصر از بردار V برای نمونه t ام است. $\beta_{0,k}$ به‌صورت k امین عنصر از بردار V برای تصویر اسمی و σ_k^2 به‌صورت واریانس k امین ضریب محاسبه‌شده در فاز اول داده‌ها است. نکته قابل توجه اینکه، در مدل توسعه داده شده، اجزای تبدیل فازی U_{kl} محاسبه‌شده در بخش‌های قبلی، به‌عنوان ورودی در نمودار کنترل GLR استفاده خواهد شد و از این طریق پایش داده‌ای تصویری انجام می‌پذیرد.

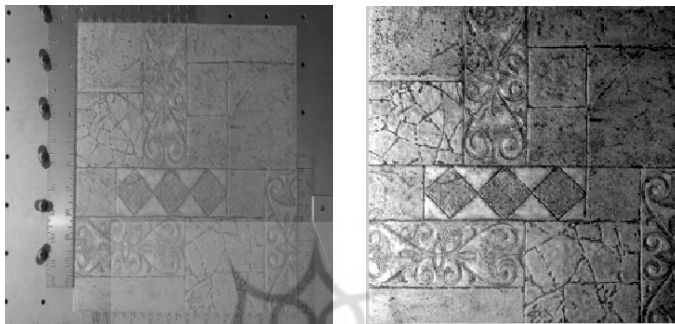
تجزیه و تحلیل داده‌ها

با توجه به عدم دسترسی به تسلیحات نظامی و دفاعی جهت تصویربرداری در محیط آزمایشگاه، نیاز به اعتبارسنجی داده‌های تحقیق با مطالعات دیگر به‌صورت مطالعه مقایسه‌ای و نیاز به استفاده از یک محصول نمونه برای پایش و اعتبارسنجی الگوریتم کنترل کیفیت اقلام فنی در صنایع دفاعی، در این پژوهش از تصاویر گرفته‌شده 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 (۲۰۱۱) موجود و قابل اعتبارسنجی است. به‌عبارت‌دیگر از این محصول آزمایشگاهی به‌عنوان محصول پایه و نمونه‌ای برای پیاده‌سازی فرایند زنجیره تأمین و کنترل کیفیت محصولات تولیدی استفاده می‌شود. در این قسمت نتایج شبیه‌سازی بیان خواهد شد.

^۱. Change point

مرحله پیش‌فرایند در پردازش تصویر

برای شروع، یک تصویر 2448×3264 پیکسل از یک کاشی انتخاب می‌شود (شکل ۲- الف). سپس مراحل پیش‌فرایند بر روی تصویر پیاده‌سازی می‌شود. برای این کار ابتدا قسمت‌های بدون استفاده تصویر حذف و تصویر از حالت رنگی به حالت سیاه-سفید تبدیل شده و سائز تصویر به 256×256 کاهش می‌یابد. در تصویر مذکور، مقادیر شدت روشنایی بین ۰ تا ۲۵۵ است، لذا برای استانداردسازی، مقادیر آن به بازه ۰ تا ۱ تغییر می‌یابد. تصویر کاشی قبل و بعد از انجام عمل پیش‌پردازش در شکل (۲) نشان داده شده‌است.



الف

ب

شکل (۲)- تصویر کاشی (الف) قبل از انجام عمل پیش‌پردازش (ب) بعد از انجام عمل پیش‌پردازش (مگاهد و همکاران، ۲۰۱۱)

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^۱ (τ) 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 شود، در هر تکرار از تصویر ۲۱ ام اتفاق خواهد افتاد.

انتخاب بهینه بخش فازی تعمیم‌یافته

انتخاب درست بخش فازی تأثیر بسیار مهمی بر کیفیت و عملکرد روش تبدیل فازی دارد. همان‌طور که گفته شد، بخش فازی تعمیم‌یافته بر اساس توابع اساسی A_1, A_2, \dots, A_n تعریف شده است که نیاز به یک تابع مولد A_0 دارد. بنابراین؛ در روش پیشنهادی، بخش فازی تعمیم‌یافته برای تحلیل عملکرد روش تبدیل فازی با مقایسه توابع مختلف A_0 انتخاب شده است. در اینجا،

^۱. change point

از سه گروه مختلف تابع مولد استفاده شده که بسیار کاربردی است، شامل بخش فازی مثلثی شکل، بخش فازی سینوسی شکل و بخش فازی نمایی شکل.

ما فرض می‌کنیم که یک تصویر u تحت دامنه $N \times M$ و با نرخ کاهش ρ داریم به طوری که $N = M$ بوده و دامنه تصویر فشرده شده بصورت $n = \frac{N}{\sqrt{\rho}}$ است. 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 می‌شود:

$$MSE(u, \hat{u}) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (u(i, j) - \hat{u}(i, j))^2}{NM} \quad (9)$$

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 $n = m = \frac{N}{\sqrt{\rho}} = \frac{M}{\sqrt{\rho}} = \frac{256}{\sqrt{16}} = 64$ و فواصل بین گره‌ها را

$$h = \frac{(b-a)}{(n-1)} = \frac{(256-1)}{(64-1)} = 4$$

توابع فازی شکل مختلف مبتنی بر مقادیر مختلف فواصل حاشیه‌ای $h' = 2, 3, 4$ به صورت جدول (۳) پیوست شده در انتهای مقاله خواهد آمد.

در نهایت با توجه به جدول (۳) مشخص می‌شود که بهینه‌ترین مقدار برای فواصل حاشیه‌ای با در نظر گرفتن مقدار بهینه MSE، برای بخش فازی مثلثی شکل در حالت $h' = 3$ است که دارای مقدار کمینه MSE برای تمام ۱۰ تصویر انتخابی می‌باشد.

پس از انجام مراحل پیش فرایندی 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 پیش فرایند 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^۱) با نرخ کاهش $\rho=16$ ، به صورت

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

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 $4*4$ شامل ۱۶ پیکسل در تصویر اصلی است.

لازم به ذکر است که مقادیر متداول برای نرخ تبدیل به صورت اعداد ۹، ۱۶، ۲۵ و ۳۶ است. زمانی که ρ را برابر ۹ قرار می‌دهیم، هر قسمت از تبدیل فازی با ۹ پیکسل در تصویر اصلی به صورت یک مربع $3*3$ جایگزین می‌شود. با توجه به کوچک بودن محدوده $3*3$ ، با تغییر در شدت روشنایی پیکسل‌های تصویر اصلی به منظور عیب‌یابی، راحت‌تر می‌توان تغییر را شناسایی کرد اما زمان محاسباتی افزایش می‌یابد. به علاوه زمانی که ما ρ را ۲۵ قرار می‌دهیم، هر قسمت از تبدیل فازی با ۲۵ پیکسل در تصویر اصلی به صورت یک مربع $5*5$ جایگزین می‌شود که محدوده نسبتاً بزرگی است، بنابراین؛ تغییر در مقادیر پیکسل‌ها به سختی قابل کشف است. 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 $5*5$ در نظر گرفته‌ایم. با توجه به طبیعت نمودار کنترل GLR در کنترل هر بخش به صورت مجزا از هم، ما از ستون‌های تک‌بعدی به جای ردیف‌ها استفاده خواهیم کرد.

در مدل توسعه داده شده، برای مثال در یک ناحیه عیب 2×10 ، فقط یک جزء در یک ردیف و ۳ جزء در یک ستون تحت تأثیر قرار می‌گیرد که این به علت استفاده از نواحی عیب 4×4 است. با توجه به مطالعه انجام شده توسط پرفیلیو و همکاران (۲۰۱۶)، جهت بررسی عملکرد روش تبدیل فازی، باید از توابع مولد مختلف به صورت مثلثی، سینوسی و نمایی بهره گرفت و نتایج آن را مطابق مسئله مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داد. از این رو در این بخش جهت بررسی عملکرد مدل از سه گروه مختلف تابع مولد شامل بخش فازی مثلثی شکل، بخش فازی سینوسی شکل و بخش فازی نمایی شکل جهت اعتبارسنجی نتایج با استفاده از مقادیر متوسط طول دنباله (ARL) استفاده می‌شود.

نتایج مطالعات شبیه‌سازی مبتنی بر جداول (۴)، (۵) و (۶) پیوست شده در انتهای مقاله برای مراکز خطا به صورت [5,5] و [128,128] و مقادیر مختلف تغییرات شدت روشنایی از بازه $10+1$ الی ۱۰- انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که در هر سه حالت، شبیه‌سازی مبتنی بر بخش فازی

۱. F-transform Components

سینوسی، مثلثی و نمایی شکل، با افزایش میزان تغییرات شدت روشنایی از مقادیر کوچکتر (+۱) به مقادیر بزرگتر (+۱۰)، میزان متوسط طول دنباله کاهش می‌یابد که در واقع افزایش احتمال کشف عیب را به دنبال دارد. این نکته برای مقادیر تغییرات شدت روشنایی منفی نیز صادق است. به‌عنوان مثال در جدول (۴)، برای مرکز خطای [5,5]، با افزایش میزان تغییرات شدت روشنایی از (+۱) به (+۱۰)، میزان متوسط طول دنباله از مقدار ۶.۳۰۳ به ۱۰.۰۰ تغییر یافته که نشان‌دهنده این است که با افزایش تغییرات شدت روشنایی اعمال شده در تصویر، احتمال کشف عیب افزایش یافته است.

در طرف دیگر می‌توان به مقایسه نتایج مبتنی بر شبیه‌سازی برای بخش فازی مثلثی، نمایی و سینوسی پرداخت. نتایج نشان می‌دهد، با کاهش میزان تغییرات شدت روشنایی و نزدیک شدن آن به مقادیر +۱ یا -۱، قدرت کشف عیب برای بخش فازی مثلثی شکل بیشتر از رویکردهای سینوسی و نمایی شکل است. به‌عنوان مثال برای حالت مرکز خطای [۵,۵] و مقدار تغییرات شدت روشنایی +۳، برای بخش فازی سینوسی، مثلثی و نمایی، مقادیر متوسط طول دنباله به ترتیب برابر با ۱.۲۶، ۱.۰۱ و ۱۵.۱۶ به‌دست آمده است که نشان می‌دهد عملکرد بخش فازی مثلثی شکل بسیار بهتر از عملکرد بخش فازی سینوسی و نمایی شکل بوده است.

در نهایت با توجه به نواحی عیب که به‌صورت ۵*۵ است، نتایج مطالعات شبیه‌سازی مبتنی بر جداول (۴)، (۵) و (۶) نشان می‌دهد که مدل توسعه داده شده، در مواقعی که مبتنی بر بخش فازی مثلثی شکل جدول (۵) است، عملکرد بهتری دارد. به عبارتی یکی از فاکتورهای کشف عیب، متوسط طول دنباله است که در نتایج مشخص شد، مقادیر متوسط طول دنباله برای تغییرات شدت روشنایی بزرگ‌تر، مقادیر کوچک‌تری را به خود اختصاص داده و در نهایت عملکرد بهتری دارد. همچنین در این تحقیق مقادیر مختلف متوسط طول دنباله با مقادیر به‌دست آمده از مقاله کوشا و همکاران مقایسه شد. نتایج نشان داد که مدل توسعه داده شده مبتنی بر بخش فازی مثلثی شکل در اکثر موارد عملکرد بهتری نسبت به مدل کوشا و همکاران در کشف عیب پس از اعمال تغییرات شدت روشنایی دارد.

اعتبارسنجی نتایج تحقیق

جهت اعتبارسنجی نتایج تحقیق، از مطالعه واقعی بر روی صنعت سرامیک و کاشی استفاده شده است. به‌منظور بررسی و مطالعه مدل توسعه‌ای، از خط تولید کاشی، ۱۰۰ تصویر پی‌درپی با استفاده از دوربین ۸ مگاپیکسلی کنون^۱ (با ثابت نگه‌داشتن محل دوربین) جمع‌آوری شد.

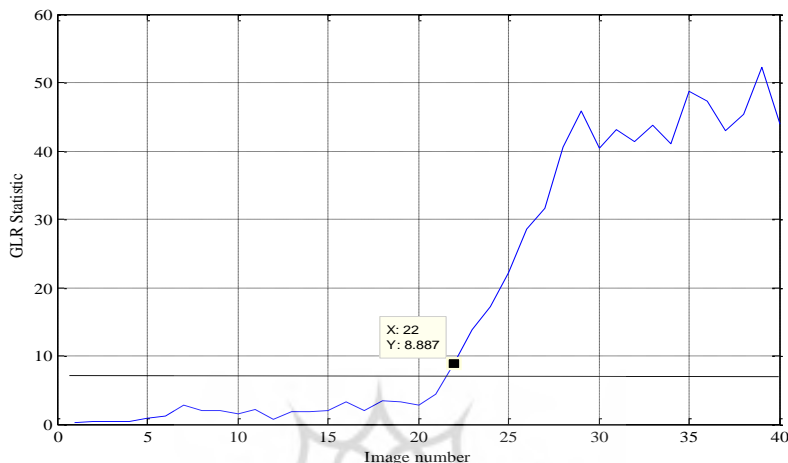
^۱. Canon

(مستندات آن در تحقیقات آقای مگاهد و همکاران (۲۰۱۲) موجود است).

برای تصویربرداری از نمونه‌های مورد مطالعه، دوربین ثابت و محیط‌زیست از هر گونه تغییرات محیطی حفاظت می‌شود و تنظیمات اولیه بر روی زاویه دید دوربین انجام می‌گیرد تا 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، به‌عنوان تصاویر پایه برای انجام مطالعات استفاده خواهند شد. همچنین کیفیت تصاویر گرفته شده به‌صورت 921×613 پیکسل بوده که جهت انجام پیش‌فرایندها، اندازه آن به 250×250 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، به‌عنوان 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 به‌اندازه $\Delta = +10$ بر روی ناحیه 30×30 اعمال شد. لازم به ذکر است که این داده‌ها مبتنی بر داده‌های مقاله مگاهد و همکاران و کوشا و همکاران تنظیم شد تا بتوان از قابلیت مقایسه نتایج بهره برد. در این دو مقاله مقایسه‌ای از شاخص MRL برای اندازه‌گیری عملکرد استفاده شد و ایشان مقادیر MRL تحت کنترل را به‌صورت 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 به‌صورت ۷.۲۳ محاسبه شد. در نهایت مقدار $R_{m,s}$ برای هر تصویر محاسبه شده است. با توجه به اینکه ۱ عدد تصویر به‌عنوان تصویر پایه، ۲۰ عدد تصویر برای کنترل فاز اول نمودار و ۲۰ عدد تصویر برای کنترل فاز دوم نمودار استفاده شده است، از این‌رو مشاهده می‌شود که در مجموع ۴۱ تصویر در فرایند کنترل حضور دارد. از طرف دیگر با توجه به اینکه تغییرات شدت روشنایی در تصویر ۲۱ بر روی تصاویر اعمال شد، بنابراین طبق نتایج شکل (۳)، نمودار کنترل GLR در تصویر ۲۲ هشدار نشان می‌دهد که در نقطه $R_{m,s} = 8.887$ این تصویر اولین نقطه تغییر پس از اعمال تغییرات در شدت روشنایی است که نشان‌دهنده عملکرد مناسب نمودار کنترل در مقابل تغییرات است. بنابراین، می‌توان گفت که مدل توسعه داده شده و مدل کوشا و همکاران، تغییرات را در اولین تصویر کشف می‌کنند؛ ولی مدل مگاهد و همکاران تغییرات را در سومین تصویر پس از ایجاد تغییر کشف می‌کنند. همان گونه که بیان شد، انتخاب درست بخش فازی تأثیر بسیار مهمی بر کیفیت و عملکرد روش تبدیل

فازی دارد. باتوجه به اینکه بهینه ترین مقدار برای فواصل حاشیه ای با در نظر گرفتن مقدار بهینه MSE، برای بخش فازی مثلثی شکل است که دارای مقدار کمینه MSE برای تمام ۱۰ تصویر انتخابی می باشد. از این رو نتایج نمودار کنترل GLR برای بخش فازی مثلثی شکل در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳) - نتایج نمودار کنترل GLR مبتنی بر شماره تصویر

نتیجه گیری و پیشنهادها

در این مقاله به ارائه الگویی جهت شناسایی و کنترل کیفیت اقلام فنی در صنایع دفاعی مبتنی بر تکنیک پردازش تصویر و رویکرد تبدیل فازی پرداخته شد. جهت اعتبارسنجی مدل توسعه داده شده، پس از انجام مراحل پیش فرایندی و انتخاب پارامترهای بهینه، عملکرد الگوی کنترل کیفیت توسعه داده شده با استفاده از بیست شرایط مختلف آزمایشی برای داده های تصویری در صنعت کاشی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نمونه مورد مطالعه در این تحقیق صنعت سرامیک و کاشی است که در این بخش به عنوان یک مطالعه واقعی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که نمودار کنترل GLR در اولین تصویر پس از اعمال تغییرات در شدت روشنایی، هشدار نشان داد که نشان دهنده عملکرد مناسب نمودار کنترل در مقابل تغییرات است؛ بنابراین نتایج مطالعات شبیه سازی نشان می دهد که مدل توسعه داده شده مواقعی که مبتنی بر بخش فازی مثلثی شکل است، عملکرد بهتری دارد. به عبارتی یکی از فاکتورهای کشف عیب، متوسط طول دنباله است که در نتایج مشخص شد که مقادیر ARL برای تغییرات شدت روشنایی بزرگ تر، مقادیر کوچک تری را به خود اختصاص داده در نهایت عملکرد بهتری دارد. همچنین در این تحقیق مقادیر مختلف متوسط طول دنباله با مقادیر به دست آمده از مقاله کوشا و همکاران مقایسه

شد. باتوجه‌به نتایج می‌توان فهمید که مدل توسعه داده شده مبتنی بر بخش فازی مثلثی شکل در اکثر موارد عملکرد بهتری نسبت به مدل کوشا و همکاران در کشف عیب پس از اعمال تغییرات شدت روشنایی دارد؛ بنابراین الگوی کنترل کیفیت توسعه داده شده عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد و باتوجه‌به دقت بالای آن، روش مناسب در جهت کنترل کیفی اقلام فنی است و در صنایع دفاعی و نظامی می‌تواند مؤثر واقع گردد و برای کنترل کیفی تسلیحات نظامی و پشتیبانی مورد استفاده قرار گیرد.

باتوجه‌به آنچه که بیان شد، 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 مواقعی که کیفیت محصول بسیار حائز اهمیت است و حساسیت بر روی تolerانس‌های محصول فنی بالا است، اشاره کرد که بنابراین 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 فرایند کنترل کیفی و پردازش تصاویر محصول است. 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.

همچنین از محدودیت‌های این تحقیق می‌توان به فرایند دسترسی به محصولات در محیط‌های صنعتی جهت اعتبارسنجی نتایج و همچنین ایجاد شرایط مناسب جهت تصویربرداری از محصولات تولیدی اشاره کرد. به عبارت دیگر، باتوجه‌به 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 است. در نهایت برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود که برای کنترل کیفیت آماری محصولات از نمودار کنترل خودآغازشونده 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 است. همچنین می‌توان مدل پژوهش حاضر را در صنایع مختلف پیاده‌سازی کرد و نتایج آن را مورد ارزیابی قرار داد.

قدردانی

از کلیه فرماندهان، مسئولین دانشگاه، استادان و خبرگانی که ما را در فرایند انجام این پژوهش یاری رساندند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

- بیگدلی، حمید، باوندی، سلیم. (۱۴۰۱). تصمیم‌گیری بهینه در مواجهه با عملیات‌های تخریبی دشمن با استفاده از مسئله ممانعت از بیشینه جریان در شبکه‌های پویای چند دوره‌ای در شرایط فازی، آینده‌پژوهی دفاعی ۷ (۲۴)، ۶۱-۷۹.
- جوکار، علی، پرتوی، محمدتقی. (۱۳۹۰). بررسی تاثیر فنآوری اطلاعات بر تصمیم‌گیری فرماندهان آجا، علوم و فنون نظامی، ۸ (۲۶)، ۶۱-۴۹.
- عبداللهی، حمید رضا و بهارانچی حسنی، سید رسول. (۱۳۹۲)، ارائه مدل سیستم کنترل کیفیت برای پروژه‌های سازمان‌های تحقیقاتی دفاعی، کنفرانس بین‌المللی مدیریت چالشها و راهکارها، شیراز.
- مهرگان، محمدرضا، خراشادی‌زاده، محمدرضا و پرتوی، محمدتقی. (۱۳۹۷). شبیه‌سازی کشف و شناسایی اهداف پرنده در سامانه‌های فرماندهی و کنترل با بهره‌گیری از نظریه فازی. آینده‌پژوهی دفاعی، ۳ (۱۱)، ۹۹-۱۱۷.
- نیک سیرت، ملیحه. (۱۳۹۸)، برنامه ریزی اعتباری عدد صحیح فازی جهت مدل سازی و حل مساله حمل و نقل و امداد بشر دوستانه پس از بحران در شرایط فازی. آینده‌پژوهی دفاعی، ۴ (۱۵)، ۶۱-۸۴.
- ولی‌وند زمانی، حسین، پرتوی، محمدتقی، ایجابی، ابراهیم. (۱۳۹۳). مدل انتخاب و تخصیص بهینه پروژه‌های آموزشی و پژوهشی آجا با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی. علوم و فنون نظامی، ۳-۲۳، ۲۹ (۱۰).
- Arunpandian, S., & Dhenakaran, S. S. (2022). An effective image compression technique based on burrows wheeler transform with set partitioning in hierarchical trees. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 34(5), e 6705.
- Bhalla, K., Koundal, D., Sharma, B., Hu, Y. C., & Zaguia, A. (2022). A fuzzy convolutional neural network for enhancing multi-focus image fusion. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 84, 103485.
- Colosimo, B. M. (2018). Modeling and monitoring methods for spatial and image data. *Quality Engineering*, 30 (1), 94-111.
- Colosimo, B. M., & Pacella, M. (2010). A comparison study of control charts for statistical monitoring of functional data. *International Journal of Production Research*, 48(6), 1575-1601.
- Colosimo, B. M., Cicorella, P., Pacella, M., & Blaco, M. (2014). From profile

- to surface monitoring: SPC for cylindrical surfaces via Gaussian processes. *Journal of Quality Technology*, 46(2), 95-113.
- Colosimo, B. M., Semeraro, Q., & Pacella, M. (2008). Statistical process control for geometric specifications: on the monitoring of roundness profiles. *Journal of quality technology*, 40(1), 1-18.
 - Di Martino, F., Loia, V., & Sessa, S. (2011). Fuzzy transforms method in prediction data analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 180 (1), 146-163.
 - Duchesne, C., Liu, J. J., & MacGregor, J. F. (2012). Multivariate image analysis in the process industries: A review. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 117, 116-128.
 - Garg, G., & Kumar, R. (2022). Analysis of image types, compression techniques and performance assessment metrics: A review. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 43(3), 429-436.
 - Hanmandlu, M., & Jha, D. (2006). An optimal fuzzy system for color image enhancement. *IEEE Transactions on image processing*, 15(10), 2956-2966.
 - Karabassis, E., & Spetsakis, M. E. (1995). An analysis of image interpolation, differentiation, and reduction using local polynomial fits. *Graphical models and image processing*, 57(3), 183-196.
 - Khashtan, A., Perfilieva, I., & Alijani, Z. (2016). A new fuzzy approximation method to Cauchy problems by fuzzy transform. *Fuzzy Sets and Systems*, 288, 75-95.
 - Koosha, M., Noorossana, R., & Megahed, F. (2017). Statistical process monitoring via image data using wavelets. *Quality and Reliability Engineering International*, 33(8), 2059-2073.
 - Liu, Z., Blasch, E., & John, V. (2017). Statistical comparison of image fusion algorithms: Recommendations. *Information Fusion*, 36, 251-260.
 - Megahed, F. M., Woodall, W. H., & Camelio, J. A. (2011). A review and perspective on control charting with image data. *Journal of quality technology*, 43(2), 83-98.
 - Mehrafrooz, Z., & Noorossana, R. (2011). An integrated model based on statistical process control and maintenance. *Computers & Industrial Engineering*, 61(4), 1245-1255.
 - Močkoř, J., & Hurtík, P. (2021). Approximations of fuzzy soft sets by fuzzy soft relations with image processing application. *Soft Computing*, 25(10), 6915-6925.
 - Najibi, S. S., Amiri, A. H., & Amirkhani, F. (2020). AN INTEGRATED MODEL OF STATISTICAL PROCESS CONTROL AND MAINTENANCE BASED ON DELAYED MONITORING IN TWO-STAGE PROCESSES. *Sharif Journal of Industrial Engineering & Management*, 35 (2.2), 81-92.
 - Nirmalraj, S., & Nagarajan, G. (2021). Biomedical image compression using fuzzy transform and deterministic binary compressive sensing matrix. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12, 5733-5741.
 - Paternain, D., Fernández, J., Bustince, H., Mesiar, R., & Beliakov, G. (2015).

- Construction of image reduction operators using averaging aggregation functions. *Fuzzy Sets and Systems*, 261, 87-111.
- Perfilieva, I., & Adamczyk, D. (2022, July). Selection of Keypoints in 2D Images Using F-Transform. In *International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems* (pp. 418-430). Cham: Springer International Publishing.
 - Perfilieva, I., Holčapek, M., & Kreinovich, V. (2016). A new reconstruction from the F-transform components. *Fuzzy Sets and Systems*, 288, 3-25.
 - Reis, M. S., & Gins, G. (2017). Industrial process monitoring in the big data/industry 4.0 era: From detection, to diagnosis, to prognosis. *Processes*, 5(3), 35.
 - Sessa, S., Di Martino, F., & Perfilieva, I. G. (2013). Fuzzy functions, relations, and fuzzy transforms 2013. *Advances in Fuzzy Systems*, 2013, 6-6.
 - Yin, H., Zhang, G., Zhu, H., Deng, Y., & He, F. (2015). An integrated model of statistical process control and maintenance based on the delayed monitoring. *Reliability Engineering & System Safety*, 133, 323-333.



پیوست:

جدول (۲) - مراحل الگوریتم فشرده‌سازی

مرحله	اقدامات
گام صفر	ورودی‌ها: عکس u به صورت $N \times M$ ؛ نرخ کاهش ρ ؛ خروجی: عکس فشرده شده \bar{u}
گام اول	پیدا کردن مقادیر n, m بطوریکه $\frac{NM}{nm} = \rho$ باشد. قرار دادن $h_y = \frac{N-1}{n-1}$ و $h_x = \frac{N-1}{m-1}$
گام دوم	انتخاب n گره با فواصل مساوی h_x به صورت $x_1, x_2, \dots, x_n \in [1, N]$ و m گره با فواصل مساوی h_y به صورت $y_1, y_2, \dots, y_m \in [1, M]$
گام سوم	انتخاب فواصل h'_x و h'_y تولید توابع $A_{0,x}$ و $A_{0,y}$ و تولید بخش‌های فازی یکنواخت (h_x, h'_x) و (h_y, h'_y)
گام چهارم	محاسبه اجزای تبدیل فازی U_{kl} بر مبنای معادله فوق و قرار دادن آن‌ها در ماتریس $F[u]$ و قرار دادن $F[u]$ به عنوان تصویر خروجی فشرده شده \bar{u}

جدول (۳) - مقادیر MSE بدست آمده با توجه به مقادیر مختلف فواصل حاشیه‌ای

شماره تصویر	انواع بخش فازی								
	بخش فازی سینوسی شکل			بخش فازی مثلثی شکل			بخش فازی نمایی شکل		
	$h' = 2$	$h' = 3$	$h' = 4$	$h' = 2$	$h' = 3$	$h' = 4$	$h' = 2$	$h' = 3$	$h' = 4$
۱	۱۲۱	۱۲۴	۱۳۱	۱۱۲	۱۱۰	۱۲۳	۱۲۲	۱۲۹	۱۳۸
۲	۱۲۸	۱۳۵	۱۴۸	۱۱۵	۱۱۰	۱۱۷	۱۲۷	۱۳۵	۱۴۲
۳	۱۶۴	۱۷۴	۱۸۲	۱۵۳	۱۴۶	۱۷۸	۱۵۸	۱۷۴	۱۸۱
۴	۱۰۹	۱۱۸	۱۲۴	۹۸	۹۴	۱۰۵	۱۱۲	۱۳۲	۱۳۶
۵	۸۴	۹۶	۹۹	۷۴	۶۸	۸۷	۸۲	۹۵	۱۰۱
۶	۱۲۳	۱۳۷	۱۴۶	۱۰۲	۹۶	۱۱۹	۱۱۷	۱۳۴	۱۴۲
۷	۱۴۱	۱۴۹	۱۵۳	۱۲۳	۱۱۳	۱۳۴	۱۴۳	۱۵۱	۱۶۶
۸	۱۳۵	۱۴۲	۱۴۸	۱۱۸	۱۱۲	۱۲۹	۱۴۲	۱۴۵	۱۵۷
۹	۱۰۳	۱۱۶	۱۲۰	۸۸	۸۵	۹۷	۱۱۳	۱۲۴	۱۳۸
۱۰	۱۲۵	۱۳۹	۱۴۸	۹۶	۹۱	۱۰۹	۱۲۲	۱۲۱	۱۴۵

جدول (۴) - نتایج شبیه سازی برای بخش فازی سینوسی شکل

مرکز خطا	بخش فازی سینوسی شکل						
	Δ	ARL	std(RL)		Δ	ARL	std(RL)
[۵,۵]	+۱۰	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	[۱۲۸,۱۲۸]	+۱۰	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰
	+۷	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰		+۷	۱,۱۸	۰,۶۴
	+۵	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰		+۵	۱,۳۷	۰,۷۶
	+۳	۱,۲۶	۰,۱۳		+۳	۳,۶۲	۰,۹۲
	+۱	۶,۳۰۳	۵,۱۷		+۱	۱۱۰,۳۱	۹۲,۳۹
	-۱	۸,۱۴	۶,۰۱		-۱	۱۰۱,۳۹	۹۱,۲۸
	-۳	۱,۳۲	۰,۳۷		-۳	۳,۶۲	۱,۳۴
	-۵	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰		-۵	۲,۱۴	۱,۱۸
	-۷	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰		-۷	۱,۲۹	۰,۸۶
	-۱۰	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰		-۱۰	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰

جدول (۵) - نتایج شبیه سازی برای بخش فازی مثلثی شکل

مرکز خطا	بخش فازی مثلثی شکل						
	Δ	ARL	std(RL)		Δ	ARL	std(RL)
[۵,۵]	+۱۰	۱,۰۰	۰,۰۰	[۱۲۸,۱۲۸]	+۱۰	۱,۰۰	۰,۰۰
	+۷	۱,۰۰	۰,۰۰		+۷	۱,۰۳	۰,۲۳
	+۵	۱,۰۰	۰,۰۰		+۵	۱,۱۵	۰,۳۹
	+۳	۱,۰۱	۰,۰۹		+۳	۱,۸۲	۰,۴۲
	+۱	۳,۷۲	۳,۱۶		+۱	۹۴,۱۵	۸۷,۶۹
	-۱	۴,۲۴	۳,۴۸		-۱	۹۸,۶۲	۸۹,۱۵
	-۳	۱,۰۱	۰,۰۹		-۳	۲,۱۴	۱,۰۸
	-۵	۱,۰۰	۰,۰۰		-۵	۱,۱۳	۰,۷۵
	-۷	۱,۰۰	۰,۰۰		-۷	۱,۰۸	۰,۷۶
	-۱۰	۱,۰۰	۰,۰۰		-۱۰	۱,۰۰	۰,۰۰

جدول (۶)- نتایج شبیه سازی برای بخش فازی نمایی شکل

مرکز خطا	بخش فازی نمایی شکل						
	Δ	ARL	std(RL)		Δ	ARL	std(RL)
[۵,۵]	+۱۰	۱.۰۰	۰.۱۸	[۱۲۸,۱۲۸]	+۱۰	۱.۰۰	۰.۲۴
	+۷	۱.۰۰۵	۰.۳۱		+۷	۱.۰۸	۰.۳۶
	+۵	۱.۴۸	۰.۶۳		+۵	۳.۴۲	۰.۸۶
	+۳	۱۵.۱۶	۱۰.۳۷		+۳	۳۵.۰۹	۲۹.۶۹
	+۱	۱۶۶.۸۳	۱۶۴.۲۳		+۱	۱۸۳.۴۶	۱۷۹.۶۵
	-۱	۱۶۴.۲۵	۱۶۶.۳۴		-۱	۱۸۷.۵۳	۱۸۱.۴۴
	-۳	۱۷.۷۸	۱۳.۲۸		-۳	۳۱.۵۸	۲۶.۵۸
	-۵	۱.۵۲	۰.۸۴		-۵	۴.۶۸	۱.۳۸
	-۷	۱.۰۰	۰.۶۰		-۷	۳.۲۳	۱.۰۲
-۱۰	۱.۰۰	۰.۵۳	-۱۰	۱.۰۲	۰.۶۴		

