

Designing a System for Detection and Analysis of Transformer Electrical Insulation Contamination (ICAS) Based on Radiographic Images Processing

Atefeh Shagholi*, Parviz Teymouri

Pars electrical insulation Co

*a.shagholi@alumni.znu.ac.ir

Abstract

In the process of transformer insulation production, unwanted occurrence of contaminations in the insulation will cause the electrical discharge and major damage. Therefore, in order to detect impurities in the insulation, radiographic test is used in the quality control unit of transformer insulation production. In the available radiographic test, the radiographic operator observes the output image of the clear shiny spots in the field of images as impurities, but some factors such as the noise of radiographic images and the small size of the existing contaminations, reduce the accuracy and speed. On the other hand, the existing method does not detect the type of contaminations. Therefore, if contaminations are identified in the insulation, it will be impossible to identify the source of contamination and clean the insulation production line. In this research, a system for analyzing the contaminations of electrical insulation of transformers called ICAS is proposed in which by using image processing and machine vision methods, while improving the quality of radiographic images, contaminations can be automatically found in Identified the electrical insulation components of the transformer and obtained information about the occurrence of impurities in the insulation production line by identifying the impurities of iron and aluminum.

Keywords: image processing, radiography, ICAS system, quality control, transformer insulation contamination, colormap.

طراحی سیستم تشخیص و تحلیل ناخالصی‌های عایق الکتریکی ترانسفورماتور (ICAS) بر پایه پردازش تصاویر پرتونگاری

عاطفه شاقلی^{۱*}، پرویز تیموری^۲

۱- کارشناسی ارشد، مهندسی برق، شرکت عایق‌های الکتریکی پارس.

۲- کارشناسی، مهندسی مکانیک، شرکت عایق‌های الکتریکی پارس.

*a.shagholi@alumni.znu.ac.ir

چکیده

در فرآیند تولید عایق ترانسفورماتور، بروز ناخواسته‌ی ناخالصی در عایق سبب افزایش شدت میدان الکتریکی فراتر از میزان تحمل عایق و منجر به وقوع پدیده‌ی تخلیه الکتریکی و خسارتهای بزرگ خواهد شد. لذا به منظور آشکارسازی ناخالصی‌های موجود در عایق، در واحد کنترل کیفیت تولید عایق ترانسفورماتور، از آزمون پرتونگاری استفاده می‌شود. در آزمون پرتونگاری موجود، اپراتور پرتوکار با مشاهده تصویر خروجی نقاط روشن متمایز از زمینه تصاویر را به عنوان ناخالصی اعلام می‌کند، اما عوامل مختلف از جمله نویز تصاویر پرتونگاری، منجر به کاهش دقت و سرعت می‌گردد و از طرفی در این روش جنس ناخالصی‌ها قابل تشخیص نمی‌باشد. لذا در صورت شناسایی ناخالصی در عایق، شناسایی منشاء آلودگی غیرممکن و پاکسازی خط تولید عایق دشوار و هزینه‌بر خواهد بود. در این پژوهش، یک سیستم تحلیل ناخالصی‌های عایق الکتریکی ترانسفورماتور تحت عنوان ICAS پیشنهاد می‌شود که در آن با بکارگیری روشهای پردازش تصویر و ماشین بینایی، ضمن بهبود وضوح کیفی تصاویر پرتونگاری، می‌توان به صورت اتوماتیک ناخالصی‌های موجود در قطعات عایق‌های الکتریکی ترانسفورماتور را شناسایی نمود و با تشخیص جنس ناخالصی‌ها از نوع آهن و آلومینیوم اطلاعاتی راجع به علت وقوع ناخالصی‌ها در خط تولید عایق کسب نمود.

واژگان کلیدی: پردازش تصویر، پرتونگاری، سیستم ICAS، کنترل کیفیت، ناخالصی عایق الکتریکی ترانسفورماتور، نگاشت رنگی.

۱- مقدمه

نهایت منجر به بروز خرابی‌های بزرگ می‌گردد [4,5]. لذا به منظور بررسی عایق‌های الکتریکی از لحاظ وجود یا عدم وجود ناخالصی، از پرتونگاری^۴ استفاده می‌شود. پرتونگاری یکی از روشهای آزمون غیرمخرب و از جمله قدیمی‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها در بازرسی‌های فنی محسوب می‌شود. پرتونگاری عبارتند است از تاباندن پرتوهای ایکس یا گاما بر نمونه مورد آزمون و تولید تصاویر بر روی کلیشه یا پرده‌های حساس که پس از کشف پرتوهای ایکس توسط ویلهلم رونتگن توسعه یافت [6,7]. پرتونگاری صنعتی یکی از کاربردی‌ترین روشهای بازرسی و کنترل کیفیت محسوب می‌شود، پرتونگاری با اشعه ایکس نقش مهمی در کارخانجات صنعتی تولید عایق الکتریکی ترانسفورماتورها دارد که به کمک آن میتوان ناخالصی‌های موجود در عایق را آشکار کرد و مورد بازرسی فنی قرار داد (شکل ۱). در این روش اپراتور انسانی یا به اصطلاح پرتوکار، با تاباندن اشعه

کنترل کیفیت^۱ و تضمین مرغوبیت^۲ به معنی فرآیند یا مجموعه فرآیندهای مورد استفاده برای سنجش و اطمینان از کیفیت یک محصول یا خدمات، برای اطمینان از مرغوبیت آن است [1-3]. در واحد کنترل کیفیت و تضمین مرغوبیت کارخانجات تولید عایق ترانسفورماتور، عایق‌های الکتریکی از نظر وجود یا عدم وجود ناخالصی‌ها مورد آزمون قرار می‌گیرند. در صورت وجود ناخالصی در عایق ترانسفورماتور شدت میدان الکتریکی می‌تواند به مقدار فراتر از میزان تحمل عایق افزایش می‌یابد که سبب بروز پدیده‌ی تخلیه الکتریکی^۳ خواهد شد. این پدیده در ادوات قدرت مثل ترانسفورماتورها، ژنراتورها، کابل‌ها و ... باعث بروز مشکلاتی از قبیل خرابی و یا از بین رفتن خاصیت عایقی در قسمتی از تجهیز می‌شود. در صورت وجود ناخالصی در عایق، به مرور زمان و با توجه به وجود فشارهای مکانیکی و تنش‌های الکتریکی، آسیب عایقی پیشرفت می‌کند و تجهیز از حالت عادی کارکرد خارج و در

³Partial Discharge

⁴Radiography

¹Quality control

²Quality assurance

پیشنهاد شد [9]، به دنبال بهبود و تکمیل روش قبلی [9]، در تحقیق پیش رو سیستمی پیشنهاد می گردد که در آن بتوان علاوه بر شناسایی اتوماتیک ناخالصی‌ها، با تشخیص جنس آنها، از ورود مجددشان در عایق‌های تولیدی پیشگیری کرد.

امروزه بکارگیری روشهای ماشین بینایی و پردازش تصویر در تصاویر خروجی پرتونگاری، از اهمیت و کاربرد گسترده‌ای در صنعت و تکنولوژی برخوردار است [10]. روش‌های پردازش تصاویر پرتونگاری در صنایع غذایی یکی از پرکاربردترین روش‌ها در تشخیص آلودگی مواد غذایی به شمار می‌رود. در این روش با تابش اشعه‌ی ایکس بر روی مواد غذایی (برای نمونه کنسروبیجات، مواد پروتئینی و...) و با پردازش تصاویر حاصل، نوع و محل آلودگی‌های فلزی تشخیص داده می‌شود [11]، در برخی مطالعات نیز از تابش اشعه مادون قرمز برای تشخیص اتوماتیک عیوب در فلزات استفاده می‌شود و خروجی حاصل مورد پردازش قرار می‌گیرد تا محل عیوب آشکار گردد [12,13]. یکی دیگر از کاربردهای پردازش تصویر در مشخصه یابی^۳ مواد می‌باشد که شامل شناسایی ایراد بردهای PCB، ترک لوله‌های گاز و آب، ایرادات جوش در محل اتصالات لوله‌های خط انتقال در واحد کنترل کیفیت صنایع مربوطه می‌باشد که با بکارگیری این روش به صورت اتوماتیک و با کمترین خطا، کیفیت محصول خروجی بررسی و کنترل می‌گردد [14].

مهندسی پزشکی یکی دیگر از کاربردی ترین صنایع در پردازش تصاویر حاصل از تابش اشعه ایکس، می‌باشد [15]. امروزه بکارگیری روش‌های پردازش تصویر در رادیولوژی دندان از اهمیت بالایی برخوردار است، در این روش با پردازش تصاویر خروجی دندان می‌توان ضمن بهبود کنتراست و پارامترهای تصویر، بیماری‌ها و مشکلات دهان و دندان را تشخیص و مورد مطالعه‌ی پزشکی قرار داد [16,17].

بنابراین در این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که با بکارگیری روشهای پردازش تصویر^۴ و ماشین بینایی^۵ وضوح کیفی تصاویر پرتونگاری را بهبود بخشید و به صورت اتوماتیک ناخالصی‌های موجود در قطعات عایق‌های الکتریکی ترانسفورماتور را تشخیص داد و با تشخیص جنس ناخالصی‌ها اطلاعاتی راجع به علت وقوع ناخالصی‌ها در خط تولید عایق کسب نمود. در این تحقیق یک سیستم تحلیل ناخالصی‌های

ایکس به عایق و مشاهده تصویر خروجی، بخشی از ناخالصی‌های موجود در عایق را که به صورت نقاط روشن هستند، شناسایی می‌نماید اما هیچ اطلاعاتی راجع به جنس ناخالصی‌ها ندارد و از طرفی وجود عوامل مختلف از جمله نویز تصاویر خروجی، آلودگی سطح عایق الکتریکی، کوچک بودن ناخالصی‌های موجود در آن و عواملی از این قبیل منجر به کاهش دقت و سرعت عملکرد آزمون‌های کنترل کیفیت می‌شود. هم چنین تجربه کار با دستگاه پرتونگاری بیانگر این مهم است که این دستگاه در تشخیص فلزات آهنی در سازه‌های کوچک، نخ، چسب کاغذی و بسیاری از مواد صنعتی، خطای قابل توجهی دارد و گاهاً در تشخیص آنها ناتوان است. از طرفی در روش موجود، پرتوکار تنها اقدام به علامت گذاری محل احتمالی ناخالصی‌ها می‌نماید و هیچ اطلاعاتی راجع به جنس ناخالصی‌های شناسایی شده ندارد، لذا در صورت شناسایی^۱ ناخالصی در عایق، شناسایی منشاء ورود آلودگی در فرآیند تولید غیرممکن خواهد بود و برای پاکسازی خط تولید عایق زمان و هزینه بیشتری بایستی صرف گردد تا از وقوع مجدد ناخالصی پیشگیری شود.



شکل ۱- پرتونگاری

بنابراین با توجه به نیاز واحد پرتونگاری اشعه ایکس، در بخش کنترل کیفیت شرکت عایق‌های الکتریکی پارس^۲ لزوم روشی برای بهبود نتایج این واحد احساس شد [8]. طی مقاله ارائه شده در سال ۱۳۹۷ توسط نویسندگان این مقاله روشی جهت شناسایی و تحلیل اتوماتیک ناخالصی عایق الکتریکی

⁴Image processing

⁵Machine vision

¹detection

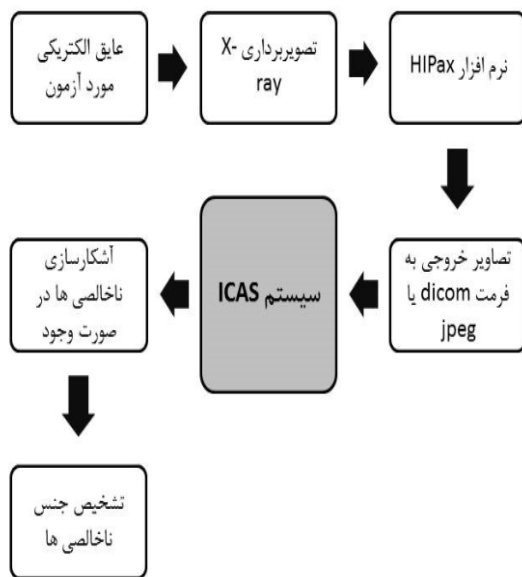
²Pars Electrical Insurance (P.E.I)

³characterization

با توجه به مواد به کار رفته در فرآیند تولید عایق الکتریکی و با توجه به تجربه‌ی همکاران واحد تولید، محتمل‌ترین و پرتکرارترین جنس ناخالصی‌هایی که امکان ورود آنها در عایق وجود دارد شامل آهن، آلومینیوم، گرافیت، رنگ، سمباده و استیل است، بنابراین ناخالصی‌های عمدی که در پایگاه داده ایجاد شده‌اند از این جنس می‌باشند.

۲-۲- ساختار کلی

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، عایق الکتریکی مورد نظر برای آزمون کنترل کیفی، در واحد کنترل کیفیت، توسط سیستم پرتونگاری، تحت تصویربرداری با اشعه ایکس قرار می‌گیرد. سپس تصاویر توسط نرم افزار HIPAX به فرمت jpeg یا dicom ذخیره و وارد سیستم پردازشی ICAS می‌شوند. سپس تصاویر پردازش شده از لحاظ وجود یا عدم وجود ناخالصی و آشکارسازی هر یک از ناخالصی‌ها مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرند. در آخر نیز جنس ناخالصی‌های نوع آهن و آلومینیوم از سایر مواد ناخالصی تشخیص داده می‌شوند.



شکل ۲- ساختار کلی سیستم پیشنهاد

عایق‌های الکتریکی^۱ پیشنهاد می‌شود، که در آن پس از تصویربرداری با اشعه ایکس از عایق تحت آزمون، جهت حذف نویز و بهبود کیفیت تصاویر پرتونگاری، فیلتر میان گذر^۲ و فیلتر گوسی^۳ کرنل^۴ بر روی تصاویر اعمال گردد، در ادامه با بکارگیری روش آستانه گذاری تطبیقی^۵ و برچسب زنی ناخالصی‌ها، موقعیت آنها به صورت اتوماتیک تشخیص داده شود. سپس با نگاشت رنگی^۶ مناسب، ناخالصی از نوع آهن و آلومینیوم تشخیص داده شوند. در واقع نگاشت رنگی روشی برای رمزگذاری مقادیر مقیاس در داده های نقشه کاربرد دارد [18,19]. در این تحقیق با بکارگیری سه نگاشت رنگی شامل hot, hsv, colorcube ناخالصی از جنس آهن و آلومینیوم تشخیص داده می‌شوند.

۲- روش تحقیق

در این بخش به شرح جزئیات نحوه اجرای پروژه می‌پردازیم. ابتدا تنظیمات اولیه، پایگاه داده تصاویر، نرم افزارهای بکار رفته جهت طراحی سیستم و سپس ساختار کلی سیستم و جایگاه هر یک از پردازش‌ها در قالب یک چارت شرح داده می‌شود. در آخر نیز نحوه عملکرد سیستم پیشنهادی ICAS با جزئیات شرح داده خواهد شد.

۲-۱- تنظیمات اولیه و پایگاه داده

تنظیمات اولیه آزمایشگاهی برای تحلیل تصاویر پرتونگاری به این شرح است که ابتدا نمونه عایق الکتریکی تولید شده در واحد X-ray بخش کنترل کیفیت دریافت می‌شود، سپس به روش پرتونگاری CR از نمونه تصویربرداری و تصاویر اخذ شده توسط نرم افزار HIPAX با فرمت jpeg و یا dicom ذخیره می‌شوند. سپس این تصاویر در محیط نرم افزار متلب^۷ با کدنویسی و طراحی الگوریتم با بکارگیری جعبه ابزار پردازش تصویر^۸، به منظور تحقق اهداف پژوهش، در سیستم ICAS پردازش می‌شوند.

در این تحقیق به منظور بررسی کارایی سیستم طراحی شده و ثبت نتایج حاصل از شناسایی و تشخیص جنس ناخالصی‌ها، از یک پایگاه داده استفاده شده است. پایگاه داده شامل تصاویر پرتونگاری از ۱۶ عایق خط ریختگی است که در آنها ناخالصی‌های عمدی و آگاهانه ایجاد شده است.

⁵Adaptive threshold

⁶colormap

⁷Matlab R2018a

⁸Image processing toolbox

¹insulation contamination analysis system

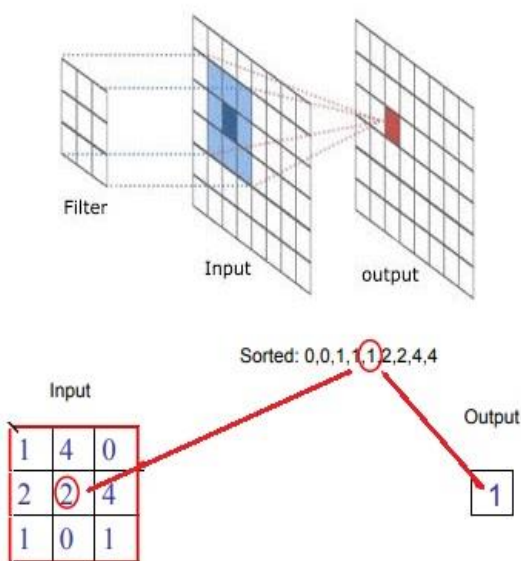
²Median filter

³Gaussian filter

⁴kernel

۲-۳-۲- فیلتر میانی و فیلتر گوسی

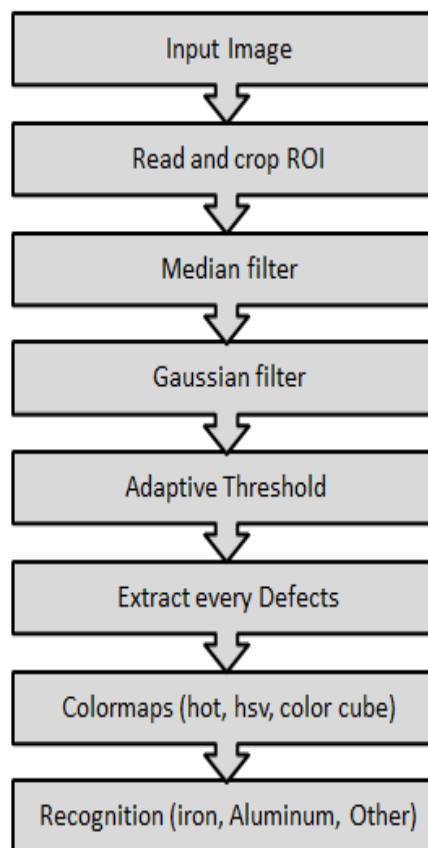
در ادامه تصویر برش داده شده از یک فیلتر میانگذر عبور داده می‌شود تا نویز فلفل نمکی^۳ حذف گردد [20]. اگر تصویری دارای نویز فلفل نمکی باشد، آنگاه نقاط تیره و روشن در اکثر بخشهای تصویر ظاهر خواهد شد. این نقاط سیاه و سفید بر روی پیکسلهای تصویر اصلی می‌افتند و کیفیت تصویر را کاهش می‌دهند. بنا بر درصد نویزی که روی تصویر می‌افتد پراکندگی این نقاط سیاه و سفید، کم یا زیاد می‌شود. یکی از روشهای حذف این نویز، عبور دادن یک فیلتر از آن است. به گونه‌ای که اگر یک فیلتر مناسب از تصویر عبور داده، ما یک تصویر پردازش یافته خواهیم داشت که در آن نویز به حداقل می‌رسد. معمولاً به منظور حذف نویز فلفل نمکی و نویزهای ضربه‌ای از فیلتر میانگذر استفاده می‌شود. معمولاً فیلتر میانه یک پیش‌زمینه اصلی را برای پردازش تصویر فراهم می‌کند، کاربرد اصلی این فیلتر، یک‌دست‌سازی تصویر و گرفتن نویزهای ضربه‌ای است. جایگزین کردن میانه در هر پنجره عکس باعث می‌شود تا مقادیری که از میانه دورترند حذف شوند و عکس به چیزی که بیشتر در آن تکرار شده شبیه می‌شود، می‌توان گفت که فیلتر میانه به بلوری شدن عکس کمک می‌کند و جزئیات غیرضروری را از بین می‌برد. در شکل ۴ نحوه عملکرد یک فیلتر میانی به صورت شماتیک آورده شده است.



شکل ۴- فیلتر میانی

۲-۳-۳- نحوه عملکرد سیستم ICAS

نحوه عملکرد سیستم پردازش تصویر پرتونگاری پیشنهاد شده یا همان فلوجارت الگوریتم کدنویسی شده، به شرح شکل ۳ می‌باشد. در ادامه به شرح هر بلوک از شکل ۳ می‌پردازیم.



شکل ۳- ساختار سیستم ICAS

۲-۳-۱- ورود تصویر و برش ROI

ابتدا تصویر خروجی از پرتونگاری، به عنوان تصویر ورودی وارد سیستم می‌شود، پس از فراخوانی این تصویر در محیط نرم افزاری، ناحیه ROI^۱ آن برش^۲ داده می‌شود. در واقع ناحیه مورد علاقه یا به اصطلاح ROI، به بخشی از تصویر پرتونگاری اطلاق می‌شود که پردازشهای آتی بر روی آن ناحیه انجام خواهد شد. در واقع ناحیه هدف ما آن بخشی از تصویر است که فقط شامل عایق می‌باشد، و حاشیه‌های اطراف تصویر حذف گردد. برای برش ناحیه ROI، تصویر ورودی به عنوان یک آرگومان تعریف می‌گردد و ناحیه مورد نظر برای برش، توسط کاربر تعیین می‌گردد.

³Salt & pepper noise

¹Region Of Interest

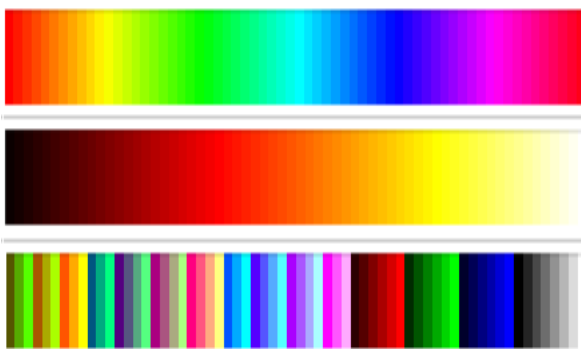
²crop

لذا به این ترتیب سیستم پیشنهادی خواهد توانست هر ناخالصی را به صورت اتوماتیک شناسایی و از تصویر پرتونگاری بیرون بکشد.

۲-۳-۴- نگاشت رنگی و تشخیص جنس

پس از عبور تصویر از فرآیند پردازشی ذکر شده و در نهایت تشخیص و نمایش هر یک از ناخالصی ها، وارد فاز تشخیص جنس ناخالصی ها می شویم.

به منظور تشخیص جنس ناخالصی ها از نگاشت رنگی استفاده می شود. از متداول ترین و مؤثرترین روشها برای تجسم داده های علمی استفاده از یک دنباله رنگی است که معمولاً نگاشت رنگی نامیده می شود [26-29]. با توجه به هدف سیستم پردازش تصویر، یک نگاشت رنگی ممکن است از نگاشتهای تعریف شده و یا یک نگاشت طراحی شده توسط برنامه نویس باشد. با توجه به تفاوت شدت^۴ رنگی مواد از جنس های مختلف در پرتونگاری با اشعه ایکس، به نظر می رسد اعمال نگاشت بر روی تصاویر منجر به تمایز بین جنس های مختلف ناخالصی گردد. لذا در این تحقیق سه نگاشت رنگی برای تشخیص جنس ناخالصی ها بر روی ناخالصی های شناسایی شده، اعمال می شود تا ناخالصی از جنس آهن و آلومینیوم را تشخیص دهیم. این سه نگاشت عبارتند از hsv, hot, colorcube. در شکل ۵ نقشه این نگاشت ها را مشاهده می نمایید.



شکل ۵- نگاشت های رنگی به ترتیب از بالا hsv, hot, colorcube

برای درک بهتر کاربرد نگاشتهای معرفی شده در شناسایی جنس، یک نمونه از تصویر عایق الکتریکی با یک سری ناخالصی عمدی ایجاد شده در آن را در شکل ۶ مشاهده می نمایم. این عایق پس از تصویربرداری و گذراندن فرآیند شرح

به منظور هموار کردن^۱ لبه ها از فیلتر گوسی به روش کرنل استفاده می شود. در مباحث پردازش تصویر، فیلتر گوسی عبارتند از فیلتری که منجر به هموار شدن می شود. این فیلتر در نرم افزارهای گرافیکی کاربرد گسترده ای دارد که هدف آن کاهش نویز و جزئیات غیرضروری است. هم چنین این فیلتر در بهبود کیفیت تصاویر ماشین بینایی کاربرد وسیعی دارد. بنابراین در این تحقیق از فیلتر گوسی کرنل برای هموار کردن، کاهش نویز و بهبود تصاویر خروجی اشعه ایکس استفاده می شود [21]. رابطه (۱) بیانگر معادله فیلتر گوسی است. x بیانگر فاصله از محور افق و y فاصله از محور عمود است و σ انحراف استاندارد توزیع گوسی است.

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

۲-۳-۳- آستانه گذاری تطبیقی

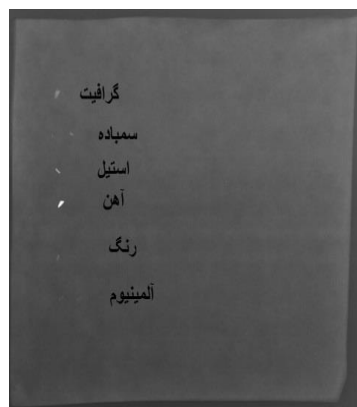
تصویر فیلتر شده، به منظور لبه یابی^۲ با یک آستانه ی تطبیقی مناسب دودویی^۳ می گردد [22-24]. در تصاویر پرتونگاری قطعات عایقی، ناخالصی ها با شدت روشنایی متفاوت ظاهر می شوند، بنابراین به منظور جداسازی ناخالصی ها از آستانه گذاری و لبه یابی استفاده می شود. هدف از لبه یابی، نشان گذاری نقاطی از تصویر است که در آنها شدت روشنایی به تندی تغییر می کند. معمولاً تغییرات تند در خصوصیات تصویر نماینده ی رویدادهای مهم و تغییرات در خصوصیات است [25]. در یک تصویر از قطعه عایقی، آن بخش از تصویر که در آنها شدت روشنایی تغییر می کند، با روش آستانه گذاری تطبیقی تشخیص داده می شود و هر ناخالصی استخراج می گردد. در روش آستانه گذاری ساده، تصاویری که دارای روشنایی متفاوت در قسمتهای مختلف می باشند خروجی مناسبی ندارند. ولی در آستانه گذاری تطبیقی یا سازگاری، بر خلاف آستانه گذاری ساده، مقدار آستانه در هر مکان پیکسل، بستگی به شدت روشنایی پیکسل های همسایه دارد. در واقع مقدار آستانه برای ناحیه ی کوچکی از تصویر محاسبه می شود و آستانه های متفاوت زیادی داریم. پیش فرض این است که مناطق کوچکتر تصویر، احتمال بیشتری برای روشنایی یکنواخت دارند، بنابراین برای آستانه گذاری بیشتر مناسب هستند. در نتیجه این آستانه گذاری، هر یک از ناخالصی ها شناسایی می شوند.

³double

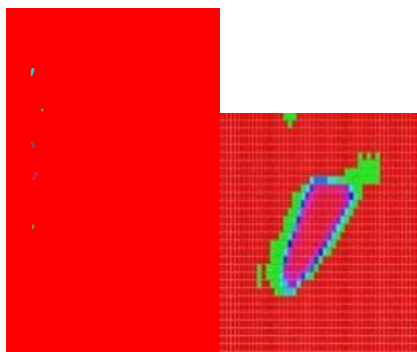
⁴intensity

¹smooth

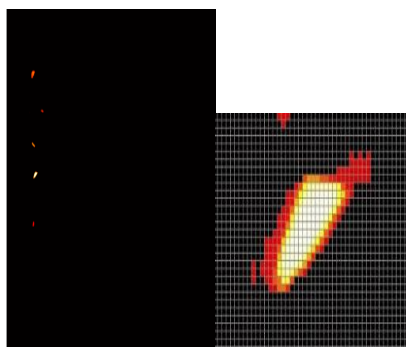
²Boundary



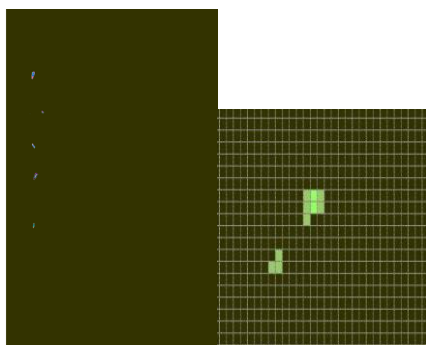
شکل ۷- تصویر عایق پس از اعمال پیش پردازشهای اولیه



شکل ۸- تصویر اصلی و بزرگنمایی شده آهن از عایق پس از اعمال نگاشت hsv



شکل ۹- تصویر اصلی و بزرگنمایی شده آهن از عایق پس از اعمال نگاشت hot



شکل ۱۰- تصویر اصلی و بزرگنمایی شده آلومینیوم از عایق پس از اعمال نگاشت colorcube

داده شده در بخش پیش پردازشی، خروجی ای به صورت شکل ۷ خواهد داشت. از آنجاییکه ناخالصی‌های جنس آهن بیشتر از سایر مواد، بازتاب نور دارند و معمولاً در بالاترین شدت در تصویر ظاهر می‌شوند، لذا اعمال نگاشتهای hot و hsv منجر می‌شود که این ناخالصی‌ها نسبت به سایر ناخالصی‌ها کاملاً متفاوت نمایش داده شوند. بنابراین پیش بینی می‌شود که با اعمال نگاشت hsv به آهن، رنگ نقاط مرکزی آن که دارای بالاترین شدت هستند به رنگ قرمز -رنگ انتهای طیف hsv در شکل ۵- که همان زمینه تصویر اصلی است، نگاشت گردد (شکل ۸). با اعمال نگاشت hot به آهن، رنگ نقاط مرکزی آن که دارای بالاترین شدت هستند به رنگ زرد و سفید -رنگ انتهای طیف hot در شکل ۵- نگاشته شوند (شکل ۹). بزرگنمایی ناخالصی‌های جنس آهن در دو نگاشت در مقابل هر کدام از اشکال ۸ و ۹ آورده شده است. بنابراین همانطور که در اشکال ۸ و ۹ نیز مشاهده می‌نمایید آهن پس از عبور از این دو نگاشت نسبت سایر ناخالصی‌ها رفتار متفاوتی دارد. در مورد جنس آلومینیوم؛ شدت پیکسل‌های آلومینیوم همواره به صورت یک طیف یکنواخت ظاهر می‌شوند، طوری که مقادیر شدت رنگی برای آلومینیوم به صورت مقادیر پشت سرهم و یکنواخت می‌باشد، لذا اعمال نگاشت colorcube منجر می‌گردد که آلومینیوم به صورت رنگهای یکنواخت و پشت سرهم از طیف شکل ۵ ظاهر گردد. بنابراین همانطور که در شکل ۱۰ نیز مشاهده می‌نمایید آلومینیوم پس از نگاشت colorcube نسبت سایر ناخالصی‌ها رفتار متفاوتی دارد.



شکل ۶- تصویر یک نمونه عایق جهت آزمون

و گرافیت برای نمونه در جدول ۲ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌کنید رفتار آهن در دو نگاشت رنگی hot, hsv خاص آهن است. در اعمال نگاشت hsv به آهن، رنگ نقاط مرکزی آن که دارای بالاترین شدت هستند به رنگ قرمز که همان زمینه تصویر اصلی است، نگاشت گردیده‌اند و با اعمال نگاشت hot به آهن، رنگ نقاط مرکزی، به رنگ زرد و سفید نگاشته شده‌اند این در حالیست که سایر جنس‌ها دارای رفتار مشابه یکدیگر هستند.

در مورد آلومینیوم نیز، در نگاشت colorcube تصویری متفاوت از سایر جنس‌ها داریم. شدت پیکسل‌های آلومینیوم همواره به صورت یک طیف یکنواخت با مقادیر شدت رنگی به صورت اعداد پشت سرهم و یکنواخت می‌باشد، لذا اعمال نگاشت colorcube منجر می‌گردد که آلومینیوم به صورت رنگی یکنواخت ظاهر گردد. بنابراین همانطور که در اشکال جدول ۲ نیز مشاهده می‌شود آلومینیوم پس از نگاشت colorcube نسبت به سایر ناخالصی‌ها رفتار متفاوتی دارد.

جدول ۱- وضعیت شناسایی ناخالصی‌ها در تصاویر عایقی

کد تصویر	کد تصویر	آهن	آلومینیوم	رنگ	استیل	سمباده	کاپر
9711 07-1	تعداد ناخالصی	2	4	5	2	4	2
9711 07-2	تعداد تشخیص	2	2	5	2	4	2
9804 25-1	تعداد ناخالصی	5	5	5	5	5	5
9804 25-5	تعداد تشخیص	5	5	5	5	5	5
9810 01-1	تعداد ناخالصی	29	31	-	-	-	-
9810 01-9	تعداد تشخیص	29	31	-	-	-	-
جمع بندی	نسبت تشخیص	$\frac{38}{38}$	$\frac{38}{40}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{7}{7}$

۳- نتایج

در بخش قبل روش پیشنهادی پژوهش و سیستم طراحی شده جهت تحلیل ناخالصی‌ها به تفصیل شرح داده شد، در این بخش نتایج حاصل از اعمال سیستم پیشنهادی ICAS به پایگاه داده تصاویر پرتونگاری عایق الکتریکی، مورد تحلیل و بررسی قرار خواهد گرفت.

به منظور بررسی صحت عملکرد سیستم ICAS، در ۱۶ قطعه عایقی از تولیدات خط ریختگی، یک سری ناخالصی عمدی از جنس موادی که ورود آنها در عایق محتمل‌تر است، ایجاد نمودیم، سپس با تصویربرداری از نمونه عایقی مذکور، تصویر خروجی را با روش پیشنهادی پردازش می‌کنیم تا قدرت شناسایی و تفکیک جنس ناخالصی‌های از نوع آهن و آلومینیوم بررسی گردد.

۳-۱- شناسایی ناخالصی‌ها

نتایج حاصل از شناسایی ناخالصی‌ها در جدول ۱ آورده شده است. هر ردیف شامل یک کد تصویر است که تعداد ناخالصی‌های موجود در آن و جنس هر ناخالصی آورده شده‌اند. این جدول بیانگر این است که پیش پردازش‌های انجام شده بر روی تصاویر پرتونگاری تا حد بسیار خوبی قادر به شناسایی وجود و عدم وجود ناخالصی در عایق می‌باشد. نسبت جمع بندی شده حاصل از تعداد ناخالصی‌های موجود در عایق و تعداد ناخالصی‌های تشخیص داده شده، نشان می‌دهد با نسبت خیلی بالا و حدود ۹۹ درصد می‌توان ناخالصی‌های از جنس‌های آهن، آلومینیوم، سمباده، گرافیت، استیل و رنگ را آشکارسازی نمود. در این جدول تنها شناسایی ناخالصی‌ها بررسی شده است و تفکیک جنس آنها از هم در این جدول مطرح نیست.

۳-۲- تفکیک جنس ناخالصی‌ها

با اعمال سه نگاشت معرفی شده (در بخش ۲-۴) به ۱۶ تصویر گردآوری شده، این نتیجه حاصل شد که رفتار آهن پس از اعمال نگاشتهای رنگی hsv و hot، در کلیه تصاویر متفاوت از سایر جنس‌ها و به صورت شکل ۸ و ۹ نمایان می‌شود. از طرفی رفتار آلومینیوم پس از اعمال نگاشت colorcube در کلیه تصاویر، متفاوت از سایر مواد به صورت شکل ۱۰ نمایان می‌گردد.

نتایج حاصل از تشخیص و تفکیک ناخالصی‌ها در ۲ تصویر شامل ناخالصی‌هایی از جنس‌های آهن، آلومینیوم، سمباده

فیلتر میان‌گذر و فیلتر گوسی کرنل، اعمال گردید. اعمال این فیلترها و اجرای پیش پردازشهای اولیه بر روی تصاویر، منجر گردید که کیفیت تصاویر افزایش و سطح نویز آنها کاهش یابد. در ادامه با بکارگیری روش آستانه‌گذاری تطبیقی و برچسب زنی ناخالصی‌ها، موقعیت آنها به صورت اتوماتیک تشخیص داده شد. به نحوی که سیستم ICAS توانست با نسبت بالا کلیه ناخالصی‌های موجود در عایق الکتریکی را به صورت اتوماتیک و بدون دخالت پرتوکار شناسایی نماید. از طرفی طبق اهداف این پژوهش نیاز بود تا با تشخیص جنس ناخالصی‌ها، از ورود مجدد آنها در خط تولید عایق‌های الکتریکی پیشگیری کرد، چرا که در این صورت، شناسایی منشاء ورود مواد ناخالصی در فرآیند خط تولید عایق امکان پذیر می‌گردد و پاکسازی ساده‌تر خواهد شد. لذا در این مقاله سه نگاشت رنگی شامل hot, hsv, colorcube مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که اعمال این نگاشتها منجر به بروز رفتار متفاوت در مواد مختلف می‌گردد به نحوی که رفتار ناخالصی از جنس آهن در دو نگاشت hot, hsv و در آلومینیوم در نگاشت colorcube نسبت به سایر ناخالصی‌ها در تصویر متفاوت می‌باشند و این امر نکته مثبتی در شناسایی جنس آلومینیوم و آهن از سایر جنس‌ها به شمار می‌رود. لذا از میان ناخالصی‌های ایجاد شده در جنسهای آهن، آلومینیوم، سرب، استیل، رنگ و گرافیت، این سیستم توانست دو جنس آهن و آلومینیوم را تفکیک نماید. بنابراین با پیاده سازی سیستم ICAS در واحد پرتونگاری کنترل کیفیت، شناسایی ناخالصی عایق اتوماتیک گردید و جنس آهن و آلومینیوم از سایر جنس‌ها تفکیک شد. در ادامه روند این کار تحقیقاتی تلاش خواهد شد تا با اعمال نگاشتهای رنگی جدید، رفتار سایر جنس‌های ناخالصی که در این پژوهش تفکیک نشدند، مورد بررسی قرار گیرد تا با تکمیل سیستم ICAS، امکان تشخیص این جنس ناخالصی‌ها نیز فراهم گردد.

۵- قدردانی و تشکر

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند بدینوسیله از مدیریت محترم عامل شرکت عایق‌های الکتریکی پارس، جهت حمایت از اجرای این پژوهش و همکاران محترم واحد آزمایشگاه پرتونگاری X-ray و واحد تولید قطعات عایقی ویژه، جهت همکاری در گردآوری نمونه‌های آزمون، تشکر نمایند.

جدول ۲- نتایج نگاشت رنگی تصاویر ناخالصی‌ها از جنس‌های مختلف

سمپاده گرافیت	آهن	آلومینیوم	نگاشت	نوع
971107-1				hsv
				hot
				colorcube
971107-2				hsv
				hot
				colorcube

۴- نتیجه گیری

در این مقاله به منظور دستیابی به اهداف پژوهش، یک سیستم تحلیل ناخالصی‌های عایق الکتریکی ICAS پیاده سازی و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در این سیستم با برنامه نویسی در محیط متلب، به تصاویر اخذ شده توسط دستگاه پرتونگاری،

- [16] Oprea, S., Marinescu, C., Lita, I., Jurianu, M., Visan, D. A., Cioc, I. B. (2008). Image processing techniques used for dental x-ray image analysis. 31st International Spring Seminar on Electronics Technology, Budapest, pp. 125-129.
- [17] Setianingrum, A. H., Rini, A. S., Hakiem, N. (2017). Image segmentation using the Otsu method in Dental X-rays. Second International Conference on Informatics and Computing (ICIC), Jayapura, pp. 1-6.
- [18] Selvapriya, B., Raghu, B. (2018). A Color Map for Pseudo Color Processing of Medical Images. International Journal of Engineering & Technology, No. 7, pp. 954-958.
- [19] Gwilliam, J. C., Pezzementi, Z. E., Jantho, Okamura, A.M., Hsiao, S. (2010). Human vs. Robotic Tactile Sensing: Detecting Lumps in Soft Tissue. IEEE Haptics Symposium, pp. 25 – 26.
- [20] Gonzales, Rafael, C., Richard, E., Woods. (2002) Digital Image Processing. 2nd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- [21] Bowman, A. W., Azzalini. A. (1997) Applied Smoothing Techniques for Data Analysis. New York: Oxford University Press Inc.
- [22] Zheng, L. Li., Bai, Y. X., Zhou, F. (2016). Background prior and boundary weight-based pedestrian segmentation in infrared images. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Phoenix, AZ, pp. 839-843.
- [23] Aghaei, A. (2018). A cellular Automata approach for noisy images edge detection under null boundary conditions. Second International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), Erode, pp. 771-777.
- [24] Rajpurkar, A., Engler, M. (2018). Optimal Separation, Detection, and Analysis of FISH Images. stanford Proposals.
- [25] Yuan, L., Xu, X., (2015). Adaptive Image Edge Detection Algorithm Based on Canny Operator. 4th International Conference on Advanced Information Technology and Sensor Application (AITS), Harbin, pp. 28-31.
- [26] Robertson, P. K., O'Callaghan, J. F. (1986). The generation of color sequences for univariate and bivariate mapping. IEEE Computer Graphics and Applications, pp. 24–32.
- [27] Tajima, J. (1983). Uniform color scale applications to computer graphics. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, pp. 305–325.
- [28] Zhou, L., Hansen, C. (2016). A survey of colormaps in visualization. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, pp. 2051–2069.
- [29] Terece, L., Bujack, T. R., Samsel, F., Shrivastava, P., Rogers, D.H. (2018). Measuring and Modeling the Feature Detection Threshold Functions of Colormaps Colin Ware. IEEE Trans Vis Comput Graph. pp. 2777-2790.
- [1] Rose, K. H. (2005). *Project Quality Management: Why, What and How*. J. Ross Publishing, pp 224.
- [2] Phillips, J. (2008). *Quality Control in Project Management*. The Project Management Hut.
- [3] Brett, A. (2017). *Quality Assurance vs Quality Control - Difference and Comparison*. Diffeen.
- [4] Markalous, S., Tenbohlen, M. S., and Feser, K. (2008). Detection and location of partial discharges in power transformers using acoustic and electromagnetic signals. in *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 15, no. 6, pp. 1576-1583.
- [5] Gulski, E. (1995). Digital analysis of partial discharges. in *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 2, no. 5, pp. 822-837.
- [6] Novelline, R. (1997). *Squire's Fundamentals of Radiology*. Harvard University Press. P. 42.
- [7] Stevenson, C. A. (2006) *Soanes "X-ray"*. Oxford English Dictionary . Oxford University Press.
- [8] URL <http://www.pei-co.com/index.aspx?siteid=2&fkeyid=&siteid=2&pageid=184>
- [9] شاقلی، ع؛ تیموری، پ؛ (۱۳۹۷). تشخیص و تحلیل ناخالصی های عایق های الکتریکی ترانسفورماتور با بکارگیری پردازش تصاویر پرتونگاری. فصلنامه تخصصی ایران ترانسفو، شماره ۵، ص ۹-۱۳.
- [10] Hui-Fuang, N. (2006). Automatic thresholding for defect detection. Elsevier. Pattern recognition letters, No. 500, pp. 1644-1649.
- [11] Hansong, J., Yang, T., Xuemei, Ch. (2005). Real-time Image Analysis for Nondestructive Detection of Metal Sliver in Packed Food in Packed Food Xin Chen. Proc. SPIE 5996, Optical Sensors and Sensing Systems for Natural Resources and Food Safety and Quality.
- [12] Shrestha, R., Won Tae, K. (2014). Detection of Subsurface Defects in Metal Materials Using Infrared Thermography. Image Processing and Finite Element Modeling Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, Vol. 34, No. 2, pp. 128-134.
- [13] Changhang, X., Jing, X., Guoming, Ch., Weiping, H. (2014). An infrared thermal image processing framework based on superpixel algorithm to detect cracks on metal surface. Elsevier, Infrared Physics & Technology, No. 67, pp. 266–272.
- [14] Hanke, R., Fuchs, Th., Uhlmann, N. (2008). X-ray based methods for non-destructive testing and material characterization. Elsevier, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, No. 591, pp. 14–18.
- [15] Verta, C., Florea, C., Florea, L., Sultana, A. (2013). Software Tools for Medical Diagnosis Support Automatic Interpretation of Digital X-ray Films. IEEE International Conference on E-Health and Bioengineering, pp. 21-23.

۵- منابع