



ارائه شاخصی جدید جهت ارزیابی خودکار توزیع یکنواخت اندود سطحی و نفوذی روسازی راهها

مژگان حاجی علی، فریدون مقدس نژاد*، حمزه ذاکری

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۳

بازنگری: ۱۳۹۸/۰۷/۲۰

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۷

ارائه آنلاین: ۱۳۹۸/۱۱/۱۵

کلمات کلیدی:

سامانه خودکار

اندود سطحی

اندود نفوذی

توزیع یکنواخت

پردازش تصویر

خلاصه: اندودها، یکی از اجزای تأثیرگذار در کارایی و عمر رویه راهها است. پارامترهایی در اجرای صحیح اندودها از جمله نوع اندود، زمان عملآوری، نرخ اجرا، دما، یکنواختی اجرا و غیره تأثیرگذار است. یکنواختی اجرا نیاز به کنترل میدانی دارد و در حال حاضر جهت کنترل وزنی اندود پخش شده از آزمایش سینی استفاده می‌شود، این آزمایش بدلیل پیوسته نبودن برداشت و نحوه همپوشانی، خطاهای زیادی دارد. یکی از موضوعاتی که کمتر به آن توجه شده است، بررسی یکنواختی اجرای اندود می‌باشد. در این پژوهش سامانه خودکاری با استفاده از دوربین، موقعیت‌یاب، برد میکروکنترلر و ... بر مبنای پردازش تصویر ارائه شده است که قادر به تحلیل توزیع یکنواخت اندود و ارائه دسته‌بندی خوب، متوسط و ضعیف برای ارزیابی خودکار توزیع یکنواخت اندود است. با استفاده از پردازش تصویر، کیفیت تصاویر ارتقاء داده شده و تصاویر فشرده و کاهش نویز گردید. برای جداسازی اندود اجرا شده از پیش‌زمینه تصویر از آستانه‌گذاری استفاده گردید. پس از آستانه‌گذاری، ویژگی‌های مختلفی مانند مساحت اندود، ضریب تغییرات، بیشینه و کمینه‌های نسبی و غیره از تصاویر بدست آمده، و برای ارزیابی وضعیت توزیع اندود مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت انتخاب ویژگی‌های مؤثر در دسته‌بندی تصاویر از الگوریتم‌های طبقه‌بندی استفاده شد. مقایسه نتایج بدست آمده از دسته‌بندی تصاویر بوسیله ماتریس درهم‌ریختگی صورت گرفت، که در نهایت نتایج نشان داد که سیستم ارائه شده دقتی برابر ۸۶٪ دارد. همچنین با استفاده از پارامترهای مؤثر در مدل، شاخص توزیع یکنواخت اندود ارائه گردید. این شاخص مقداری بین ۰ تا ۱۰۰ دارد که نشان‌دهنده بهترین و بدترین حالت توزیع اندود می‌باشد.

۱- مقدمه

پخش یک لایه قیر در سطح شنی راه است که به منظور تثبیت و آبنبندی سطح راه قبل از اجرای اولین لایه آسفالتی اجرا می‌شود [۱]. در این میان اندودها، یکی از اجزای مهم و تأثیرگذار در کارایی، عمر و دوام رویه راهها است، که باید کنترل دقیقی برای نظارت بر اجرای صحیح آن انجام شود. هدف اصلی از اجرای اندود سطحی ایجاد پیوند مناسب بین سطح روسازی موجود و سطح روسازی جدید می‌باشد [۲]. مؤسسه آسفالت در MS-۲۲، پر کردن حفره‌های سطحی و حفاظت از اساس از آب و هوا، پاکسازی و حفظ مواد اساس و تقویت اتصال با لایه‌های روسازی بعدی را سه هدف از اجرای اندود نفوذی بیان می‌کند [۳].

شبکه راه‌های کشور به عنوان زیربنای شبکه حمل و نقل کشور و عامل عمده در رشد و توسعه اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی محسوب می‌شود. بنابراین نظارت بر اجرای صحیح و تعمیر و نگهداری رویه راهها از اهمیت بالایی برخوردار است. روسازی‌های آسفالتی ساختار لایه‌ای دارند و برای تقویت پیوند بین لایه‌ها، یک لایه اندود سطحی و نفوذی در بین لایه‌های روسازی اجرا می‌شود. اندود سطحی پخش یک لایه بسیار نازک از قیر بر روی سطح آسفالتی یا بتنی می‌باشد که به منظور ایجاد چسبندگی بین دو قشر اجرا می‌شود و اندود نفوذی *نویسنده عهده‌دار مکاتبات: moghadas@aut.ac.ir

سطحی را قبل از اجرای پوشش جدید اندازه گیری می کند. پس از اجرای اندود سطحی، زمان داده می شود تا مصالح اندود عمل آورده شود. سپس صفحه تماس دستگاه بر روی سطح اندود شده قرار داده می شود و فشار ثابتی بر روی آن اعمال می گردد و سپس با چرخش میله گشتاور، صفحه برداشته می شود و مقاومت کششی بین صفحه و سطح اندود شده اندازه گیری می شود [۱۴، ۱۵].

در خصوص کنترل اجرای اندود، در ایران و در تمامی پروژه ها از آزمایش سینی که روش مرسوم جهت کنترل مقادیر وزنی اندود پخش شده می باشد، استفاده می شود. در این آزمایش یک سینی به ابعاد مشخصی ۳۰*۳۰ سانتی متر که وزن آن نیز قبلاً تعیین گردیده است، در مسیر قیرپاش قرار داده می شود. هنگام عبور قیرپاش از روی سینی، قیری که در سطح جاده پخش می شود بر روی سینی نیز ریخته شده و پس از توزین سینی در آزمایشگاه مقدار قیر پخش شده در مترمربع را تعیین می نمایند. این آزمایش بدلیل پیوسته نبودن برداشت و نحوه هم پوشانی، خطاهای زیادی دارد. تاکنون اگر چه روشی مانند سینی برای توزیع مقدار قیر ارائه شده است، اما این روش تنها برای توزیع وزنی مقدار قیر دارای کاربرد بوده و برای یک سطح نمونه در هر چند مقطع انجام می شود. اگر این مقدار کم یا زیاد شود، بر روی ادامه کار تأثیری نداشته و تنها مشمول جریمه می شود. از طرفی ممکن است، دیگر مقاطع و واحدهای نمونه عملکردی کاملاً متفاوت داشته باشند. بعنوان مثال به دلیل گرفتگی یکی از نازلها، ممکن است، واحد نمونه کنار واحد اصلی برداشت شده، یکنواختی بسیار کمتری داشته باشد. بنابراین ارزیابی کامل سطح در واحد طول و عرض از اهمیت بالایی برخوردار است. تاکنون روشی برای ارزیابی این مشخصه به جز روشهای بصری ارائه نشده است. به منظور بررسی و ارزیابی توزیع یکنواختی مقدار وزنی یکسان قیر یا اندود، روش و یا شاخص مشخصی تاکنون ارائه نشده، و این خلا همواره در ارزیابی توزیع یکنواختی وجود داشته است. در این مقاله شاخصی به منظور رفع اشکال روش سینی ارائه شده است که میزان توزیع یکنواختی قیر را در سطح به صورت خودکار و بر اساس پردازش تصویر ارزیابی می کند. در سالهای اخیر استفاده از پردازش تصویر در زمینه های مختلف روسازی همچون ترک های طولی و عرضی و پوست سوسماری، عریان شدگی، شیارشدگی و ... استفاده شده است.

هوانگ و نووین (۲۰۱۹) به منظور تشخیص و طبقه بندی ترک

همان طور که گفته شد اهداف مختلفی در اجرای اندود سطحی و نفوذی وجود دارد که یکی از مهم ترین آن تقویت اتصال با لایه های روسازی بعدی است. نوع اندود، زمان عمل آوری، نرخ اجرا، دما، یکنواختی اجرا و غیره از جمله معیارها و پارامترهای مناسب و صحیح در اجرای اندودها هستند. در بیشتر مطالعاتی که در خصوص اندود سطحی و نفوذی صورت گرفته است تنها به مسائلی همچون تعیین مقادیر مناسب دما، نرخ اجرای اندود، زمان لازم جهت عمل آوری و زمان مناسب جهت اجرای اندود پرداخته شده است. مطالعات مختلفی در خصوص نرخ اجرا صورت گرفته است که برای اندود سطحی و یا نفوذی و همچنین برای انواع قیرها نرخ اجرای بهینه را ارائه داده اند [۳-۶]. همچنین برای تعیین زمان لازم جهت عمل آوری مطالعات مختلفی صورت گرفته است، که این مطالعات این توصیه را که زمان عمل آمدن بیشتر باعث بهبود عملکرد مقاومت اتصال می شود، تأیید کرده اند [۷]. چن و هوانگ افزایش ناگهانی در مقاومت برشی را با افزایش زمان تا ۴۵ دقیقه نشان دادند [۸]. در تعدادی تحقیقات نیز از درجه حرارت به عنوان عامل مهمی ذکر شده است و به این نتیجه رسیدند که درجه حرارت تأثیر زیادی در مقاومت قیر دارد. بدین صورت که مقاومت قیر زمانی که درجه حرارت افزایش می یابد، کاهش می یابد [۹-۱۲].

جهت تعیین مقاومت چسبندگی نیز سازمانها و محققان مختلف از آزمونهای متفاوتی برای ارزیابی مقاومت چسبندگی محل اتصال لایه های روسازی استفاده کرده اند [۱۳]. در تمامی این آزمایش ها مقاومت چسبندگی قیر برای تعدادی نمونه با مشخصات متفاوت بدست می آید و یا به طور مقایسه ای بررسی می شود که کدام یک از حالات مقاومت بیشتری را می دهد. (توضیحات تکمیلی برای علاقه مندان در منبع [۱۳] است). با توجه به اینکه مقاومت بدست آمده در هنگام اجرای اندود می تواند تغییر کند و طبق گفته دیسارکار در حال حاضر هیچ سیستم آزمایش میدانی جهت تعیین کیفیت اندود وجود ندارد نیاز به سیستم میدانی در هنگام اجرای اندود بیش از پیش احساس می شود. در همین راستا روشهای کنترل مقاومت در محل و بلافاصله بعد از اجرا ارائه شدند. آزمایش کننده ی کیفیت اندود سطحی لویسینا^۱ و دستگاه کشش UTEP^۲ از جمله روش های آزمایش در محل می باشند. این آزمایش مقاومت کششی مواد اندود

1 Louisiana Tack Coat Quality Tester
2 University of Texas at El Paso

استفاده از این تکنولوژی می‌تواند از ارزش بالایی برخوردار باشد. در این تحقیق به طراحی سامانه خودکار و برنامه‌های متناسب با شرایط موجود در پروژه‌ها و ارائه روشی جدید بر مبنای پردازش تصویر و بهره‌گیری از سیستم خبره، پرداخته شده است. هدف این سیستم برداشت اطلاعات از اندود اجرا شده و کنترل اجرای یکنواخت اندود می‌باشد.

۲- اصول و تئوری

۲-۱- سیستم‌های خبره (ES)^۱

سیستم‌های هوشمند شاخه‌ای از هوش مصنوعی^۲ (AI) هستند که توسط کمیته AI در اواسط سال ۱۹۶۰ پایه گذاری گردید. ایده اصلی سیستم‌های هوشمند، انتقال دانش از انسان به رایانه می‌باشد. این دانش در رایانه ذخیره می‌گردد و کاربران میتوانند از رایانه برای گرفتن تصمیمات مورد نیاز کمک بگیرند. به عبارت دیگر کامپیوتر با استنتاج می‌تواند به نتیجه تخصصی و کاملاً صحیح برسد و در نهایت شبیه به یک مشاور عمل می‌کند و پیشنهادهای و توضیحات را ارائه می‌کند. سیستم خبره شاخه‌ای از علم نسبتاً جدید هوش مصنوعی می‌باشد که دانش و روش‌های استنتاجی را بکار می‌برد [۲۵].

هدف از ارائه سیستم‌های خبره مبتنی بر دانش^۳ (KBES) به کارگیری تکنیک‌های هوش مصنوعی برای دستیابی به تخصص انسانی در یک موضوع خاص است. این سیستم‌های خبره در طیف گسترده‌ای از مسائل مانند مسائلی مربوط به مهندسی شناخت، طراحی و مدیریت قابل کاربرد می‌باشند [۲۶].

۲-۲- روند پردازش تصاویر رواسازی

۲-۲-۱- بازسازی و بهبود تصویر

برای بازسازی تصویر می‌توان از تکنیک‌های ارتقاء کیفیت تصویر استفاده کرد. تنظیم شدت^۴ یک روش بهبود تصویر است که مقادیر شدت تصویر را در یک محدوده جدید نشان می‌دهد [۲۷]. یکی از محبوب‌ترین روش‌های خودکار، روش تساوی هیستوگرام^۵ (HE) است. زمانی که ویژگی‌های تضاد در سراسر تصویر متفاوت است، روش

روسازی آسفالت از روشی اتوماتیک استفاده کردند. در این روش از تکنیک‌های پردازش تصویر منجمله آستانه گذاری اتسو جهت باینری نمودن تصویر و از فیلترهای گاوسی برای تولید و استخراج ویژگی از تصاویر دیجیتال رواسازی استفاده گردید [۱۶-۱۸]. کامبرگری و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی تأثیر نرخ اجرای قیر و سنگ در عملکرد چیپ سیل بوسیله تعریف پارامتر جدیدی به نام درصد جای‌گیری مؤثر و با استفاده از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل تصویر دیجیتال پرداختند. در نهایت توانستند تأثیر نرخ اجرا قیر و سنگدانه را بر عملکرد مناسب چیپ سیل بیان کنند [۱۹]. چائو زینگ و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از روش‌های تقسیم بندی تصویر شامل: کاهش نویز شبکه فازی و تقویت کنتراست، روش آستانه چند سطحی اتسو و پردازش مورفولوژیکی در پردازش تصاویر دیجیتال به ارزیابی و تأیید اختلال در مخلوط آسفالت پرداخته‌اند [۲۰]. بازرسی جاده یکی از فرآیندهای مهم سیستم مدیریت رواسازی است. مارسین استانیک (۲۰۱۷) روشی برای تشخیص ترک آسفالت در بازرسی از جاده، با استفاده از عملیات مورفولوژیکی و فیلتر به منظور کاهش سطح نویز تصویر و بر اساس تجزیه و تحلیل تفاوت‌های متغیرهای وابسته در عملکرد شدت پیکسل‌ها در یک خط تصویر ارائه نموده است [۲۱]. محمدتقی باقرزاد و همکاران (۲۰۱۷) از روش پردازش تصویر دیجیتال برای تعیین تفکیک آسفالت استفاده می‌کنند. در این روش از انحراف استاندارد هیستوگرام فرکانس تصویر خاکستری برای تعیین مناطق جدا شده استفاده می‌شود [۲۲]. یوهوان نو و همکاران (۲۰۱۷) برای شناسایی خودکار ترک در تصاویر بتن از طریق تقسیم با استفاده از خوشه بندی فازی c-mean و کاهش نویز چندگانه پیشنهاد کردند [۲۳]. در مطالعه‌ای که توسط شیئاگوانگ شی و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد از پردازش تصویر دیجیتال برای تعیین مقادیر شاخص مورفولوژیکی مصالح استفاده شده است. قابلیت اطمینان پردازش تصاویر دیجیتال با همبستگی بسیار خوب بین شاخص‌های مورفولوژیکی مصالح ریز حاصل از پردازش تصاویر دیجیتال و شاخص‌های مورفولوژیکی مرسوم تأیید شده است [۲۴].

نتایج بدست آمده از این تحقیقات بیانگر این نکته است که پردازش تصویر به عنوان یک روش غیرتماسی و با دقت قابل قبول، می‌تواند زمینه خوبی برای تحقیقات بعدی باشد. با توجه به عدم استفاده از پردازش تصویر در زمینه کنترل اجرای یکنواخت اندودها

- 1 Expert System (ES)
- 2 Artificial Intelligence
- 3 Knowledge Based Expert System
- 4 Intensity Adjustment
- 5 Histogram Equalization

با اطلاعات تقریبی از تصویر است، که به ابعاد دیگری تبدیل می‌شود. اصل انتقال قائم دو بعدی به صورت روابط زیر است.

$$\Phi(x, y) = 2^{-k} \varphi(2^{-k} x - m) \cdot \varphi(2^{-k} y - n). \quad (5)$$

$$\Psi_{kmn}^H(x, y) = 2^{-k} \varphi(2^{-k} x - m) \cdot \psi(2^{-k} y - n) \quad (6)$$

$$\Psi_{kmn}^V(x, y) = 2^{-k} \psi(2^{-k} x - m) \cdot \varphi(2^{-k} y - n) \quad (7)$$

$$\Psi_{kmn}^D(x, y) = 2^{-k} \psi(2^{-k} x - m) \cdot \psi(2^{-k} y - n) \quad (8)$$

در روابط بالا n و m ابعاد تصویر و k سطح تجزیه مورد نظر است [۲۷، ۳۰، ۳۴].

۲-۲-۳- فشرده‌سازی و کاهش نویز با استفاده از روش موجک

برای هر سیستم ارزیابی، تعداد و حجم زیادی از تصاویر جمع‌آوری می‌گردد. استفاده از الگوریتم‌های مناسب برای فشرده‌سازی می‌تواند در نگهداری و حفظ فضای مورد نیاز، افزایش فاصله نظارت و افزایش سرعت پردازش تصویر مؤثر گردد. در زمینه فشرده‌سازی تصویر روش‌های مختلفی منجمله آستانه‌گذاری و EZW^4 بکار می‌روند. در خصوص کاهش نویز بر اساس روش تابع موجک، قاعده‌هایی برای تعیین سطح آستانه و سپس توابع مختلفی برای تعیین آستانه به کار می‌رود. به طور کلی نحوه کار فشرده‌سازی و کاهش نویز تصاویر با استفاده از آنالیز ویولت شامل ۳ مرحله‌ی تجزیه تصویر، آستانه‌سازی ضرایب جزئیات و بازسازی می‌باشد.

* تجزیه تصویر: شامل انتخاب تابع موجک، انتخاب تعداد سطوح و محاسبه ویولت تجزیه شده سیگنال در سطح N است.

* آستانه‌سازی ضرایب جزئیات: انتخاب آستانه و آستانه‌سازی ضرایب جزئیات برای هر سطح از ۱ تا N انجام می‌شود.

* بازسازی: محاسبه و بازسازی موجک با استفاده از ضرایب تقریبی در سطح N و اصلاح ضرایب جزئیات از سطح ۱ تا N است.

۲-۲-۳-۱- فشرده‌سازی

در فشرده‌سازی داده‌ها با استفاده از موجک، جنبه‌های خاصی که مربوط به فشرده‌سازی با استفاده از موجک‌ها است، در نظر گرفته شده است. با این حال، علاوه بر الگوریتم‌های مربوط به موجک

تساوی هیستوگرام کمتر مؤثر است [۲۸، ۲۹]. روش دیگری که در بهبود جزئیات تصویر توصیه گردیده است، روش تساوی هیستوگرام سازگار با کنتراست محدوده شده^۱ (CLAHE) می‌باشد. روش تساوی هیستوگرام به روی کل تصویر عمل می‌کند، اما در این روش تصویر به نواحی کوچک با اندازه یکسان به نام بلوک تجزیه می‌شود و پردازش بر روی آنها انجام می‌شود. برای هر بلوک به صورت مجزا تنظیم هیستوگرام^۲ انجام می‌شود [۲۷، ۳۰، ۳۱].

۲-۲-۲- استفاده از تبدیل موجک برای کاربرد در تصویر

تبدیل موجک‌ها به عنوان مبنایی برای روش جدید در پردازش تصویر، به نام تئوری چند دقتی^۳ محسوب شد. تئوری چند دقتی، تکنیک‌هایی از نظام‌های مختلف در بر می‌گیرد و آنها را یکنواخت می‌نماید و همچنین تئوری چند دقتی با نمایش و تحلیل تصاویر در بیش از یک دقت، سروکار دارد. نیاز به چنین روشی بدلیل آنکه ویژگی‌هایی ممکن است در یک دقت تشخیص داده نشوند ولی به آسانی در دقت دیگر قابل تشخیص باشد، بدیهی است [۳۲]. علاوه بر این در دو دهه اخیر قابلیت موجک در آنالیز روسازی بدلیل ویژگی چند دقتی آن در تحقیقات مختلف ثابت شده است [۳۳].

۲-۲-۱- تبدیل موجک دو بعدی

برای استفاده از WT جهت آنالیز تصاویر دو بعدی روسازی باید موجک از یک بعد به دو بعد بسط داده شود. در حالت دو بعدی به یک تابع دو بعدی مانند $\Phi(x, y)$ و سه موجک دو بعدی مانند Ψ^H ، Ψ^V ، Ψ^D ، $\Psi^D(x, y)$ و $\Psi^D(x, y)$ مورد نیاز است. تابع موجک به صورت دو بعدی با استفاده از روابط (۱) تا (۴) تولید می‌شود [۳۰، ۳۲].

$$\Phi(x, y) = \varphi(x) \cdot \varphi(y). \quad (1)$$

$$\Psi^H(x, y) = \varphi(x) \cdot \psi(y) \quad (2)$$

$$\Psi^V(x, y) = \psi(x) \cdot \varphi(y) \quad (3)$$

$$\Psi^D(x, y) = \psi(x) \cdot \psi(y) \quad (4)$$

در این روابط Ψ^D ، Ψ^H و Ψ^V مولفه‌های موجک مطابق با سه جهت افقی، قائم و قطری است و Φ یک تابع مقیاس‌بندی دو بعدی

1 Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization
2 Histogram Adjustment
3 Multiresolution theory

جدول ۱. روش‌های آستانه‌گذاری ضرایب (CTM) [۲۷]

Table 1. Coefficients Thresholding Methods (CTM) [27]

نام متلب	نام روش فشرده‌سازی
gbl_mmc_f	روش‌های آستانه‌گذاری جهانی ضرایب و رمزگذاری ثابت
gbl_mmc_h	آستانه‌گذاری جهانی ضرایب و رمزگذاری هافمن
lvl_mmc	آستانه‌گذاری زیرباند ضرایب و رمزگذاری هافمن

جدول ۲. روش‌های اهمیت ضرایب پیشرو (PCSM) [۲۷]

Table 2. Progressive Coefficients Significance Methods (PCSM) [27]

نام متلب	نام روش فشرده‌سازی
ezw	موجک درخت جفتگیر جاسازی شده
spiht	مجموعه جزء بندی در درخت سلسله مراتبی
stw	جهت گیری فضایی موجک درخت
wdr	کاهش تفاوت موجک
aswdr	کاهش تفاوت موجک سازگار
spiht_3d	مجموعه جزء بندی در درخت سلسله مراتبی برای تصاویر رنگی

مانند DWT و IDWT لازم است از سایر مواد مربوط به حالت کوانتیزاسیون و نوع کدگذاری برای فشرده‌سازی واقعی استفاده شود. در چارچوب فشرده‌سازی واقعی، کوانتیزاسیون در تصویر اولیه استفاده نمی‌شود، بلکه در تجزیه ویولت از آن استفاده می‌گردد [۲۷، ۳۵].

روش‌های آستانه‌گذاری ضرایب^۱ که شامل سه روش می‌باشد، آستانه‌گذاری ضرایب (سطحی یا جهانی) و رمزگذاری توسط کوانتیزاسیون را مورد استفاده قرار می‌دهند. رمزگذاری هافمن و یا ثابت بسته در روش مورد نظر به منظور کوانتیزاسیون استفاده می‌شوند [۲۷]. این روش‌ها به همراه نام کد متلب که برای آنها استفاده می‌شود، در جدول ۱ آورده شده است.

روش‌های پیچیده‌تر در دسترس هستند که ترکیبی از تجزیه موجک و کوانتیزه کردن می‌باشند. این اصل اساسی روش‌های پیشرفته است. فشرده‌سازی معمولاً شامل از دست رفتن اطلاعات می‌شود، اما این نوع الگوریتم فشرده‌سازی بدون اتلاف را امکان پذیر می‌سازد. جدول ۲ خلاصه‌ای از این روش‌ها که به نام روش‌های اهمیت ضرایب پیشرو^۲ هستند و نام کد متلب که توسط ابزار فشرده‌سازی واقعی برای هر یک از آنها استفاده می‌شود، آورده شده است [۲۷].

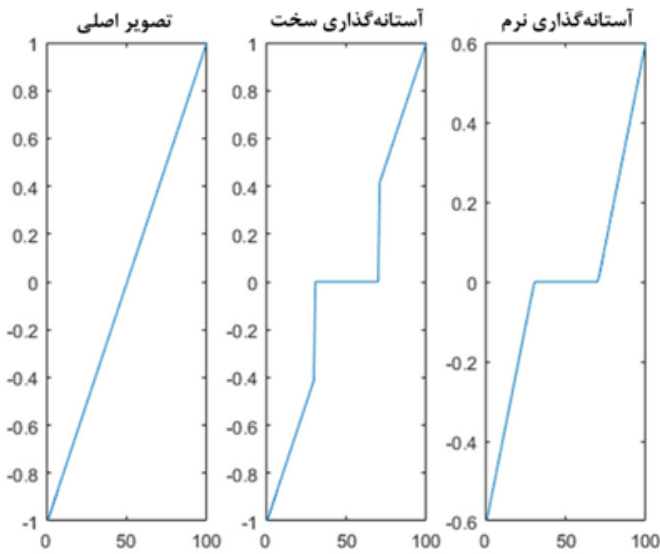
۲-۲-۳-۲- کاهش نویز

کاهش نویز تصاویر با استفاده از ۳ مرحله‌ی تجزیه تصویر، آستانه‌سازی ضرایب جزئیات و بازسازی انجام می‌شود. برای مرحله دوم، چهار قاعده برای تعیین سطح آستانه استفاده می‌شود. این چهار قاعده روش آستانه‌گذاری سراسری، مطمئن^۳، ترکیبی^۴ و مینیماکس^۵ می‌باشند. پس از تعیین روش آستانه‌گذاری مقادیر سطح آستانه

می‌تواند توسط آستانه‌گذاری تابع تبدیلات سخت و نرم تعیین گردد [۲۷].

* تابع آستانه‌گذاری نرم: این تابع را می‌توان به عنوان اولین آستانه‌گذار ارائه شده به حساب آورد که مقادیر کوچک‌تر از آستانه را صفر در نظر می‌گیرد و مقادیر بزرگتر از آستانه را حفظ می‌کند.

* تابع آستانه‌گذاری سخت: این تابع توسعه یافته آستانه‌گذاری سخت می‌باشد. در ابتدا مقادیری که کمتر از آستانه باشد، صفر در نظر گرفته می‌شود و سپس ضرایبی که صفر نیستند به سمت صفر میل می‌شوند.



شکل ۱. انواع آستانه‌گذاری برای ضرایب جزئیات به منظور کاهش نویز [۲۷]

Fig. 1. The types of thresholding for detail coefficients to reduce noise [27]

- 1 Coefficients Thresholding Methods (CTM)
- 2 Progressive Coefficients Significance Methods (PCSM)
- 3 Sure
- 4 Hybrid
- 5 Minimax

۲-۲-۴- آستانه‌گذاری

آستانه‌گذاری یکی از روش‌های مناسب برای بخش‌بندی تصویر و جدا کردن اشیا از پیش زمینه می‌باشد. با اعمال یک روش آستانه‌گذاری بر روی یک تصویر مقیاس خاکستری، تصویری باینری بدست می‌آید که مرز اشياء حاضر در تصویر با دقت مناسبی مشخص می‌گردد. روش‌های متعددی برای آستانه‌گذاری تصویر وجود دارد. در دید کلی می‌توان آن‌ها را به شش بخش زیر تقسیم‌بندی نمود [۳۶، ۳۷]:

* روش‌های مبتنی بر شکل هیستوگرام^۱ که در آن‌ها، به عنوان مثال، قله‌ها، دره‌ها و انحنای هیستوگرام هموار شده و سپس مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند.

* روش‌های مبتنی بر خوشه‌بندی^۲ که در آن‌ها، تصویر در مقیاس خاکستری به دو بخش پس‌زمینه و پیش‌زمینه خوشه‌بندی می‌شود.
* روش‌های مبتنی بر آنتروپی^۳ در این روش‌ها با توجه به نحوه توزیع آنتروپی پیش‌زمینه و پس‌زمینه و با توجه به آنتروپی متقاطع بین دو کلاس موجود در تصویر، آستانه موردنظر محاسبه می‌گردد.
* روش‌های مبتنی بر ویژگی شیء^۴ در این روش‌ها با جست‌وجوی اندازه شباهت مابین تصویر در مقیاس خاکستری و باینری، آستانه موردنظر محاسبه می‌گردد.

جدول ۳. روش‌های آستانه‌گذاری تصاویر

Table 3. Image thresholding methods

روش	الگوریتم‌های آستانه‌گذاری
نیک ساولا برنسن فنگ	آستانه‌گذاری محلی
اتسو حداکثر آستانه خطا انتخاب ایده‌آل	خوشه‌بندی
حداقل آنتروپی متقاطع حداکثر آستانه آنتروپی فازی دی‌ایبی	آنتروپی

- 1 histogram shape-based methods
- 2 clustering-based methods
- 3 entropy-based methods
- 4 object attribute-based methods

* روش‌های مبتنی بر مکان^۵ با استفاده از توزیع احتمالی مرتبه بالاتر و یا ارتباط بین پیکسل‌ها، آستانه موردنظر محاسبه می‌گردد.
* روش‌های تطبیقی محلی^۶ که مقدار آستانه در هر پیکسل را با ویژگی‌های تصویر محلی سازگار می‌کند.
به منظور آستانه‌گذاری در این پژوهش ۱۰ روشی که جزء دسته‌بندی‌های آستانه‌گذاری محلی، خوشه‌بندی و آنتروپی می‌باشند، مورد بررسی قرار گرفتند. روش‌های استفاده شده در جدول ۳ آورده شده‌اند.

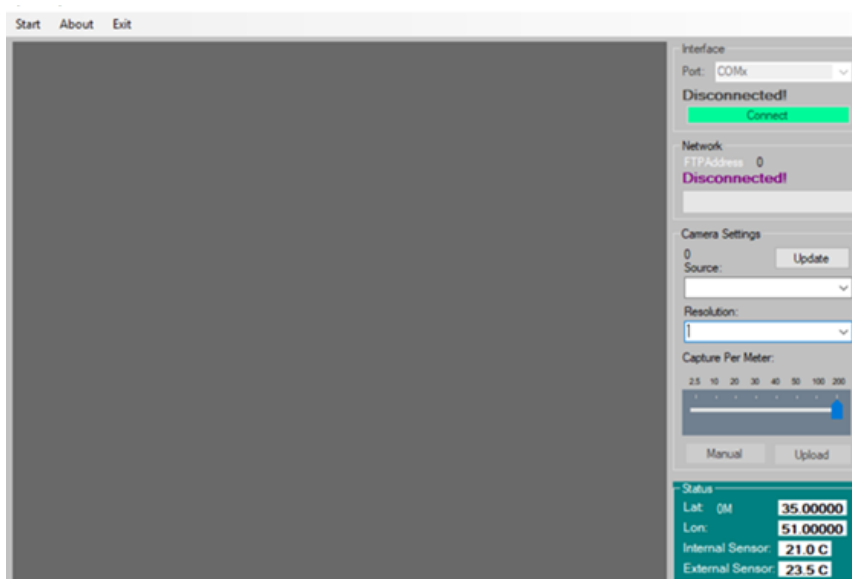
۳- سیستم برداشت اطلاعات

با توجه به مشکلات موجود در کنترل چشمی و همچنین با توجه به نیاز به بکارگیری روشی برای کنترل کامل و دقیق اجرای اندودها در شبکه راه‌های کشور، استفاده از روش‌های با هزینه کم و با پوشش دهی تمام شبکه راه‌ها برای آن که بتوان وضعیت نامطلوب در اجرای اندود را به موقع شناسایی کرد، مورد توجه قرار گرفت. بر این اساس، در این پژوهش تلاش شده است تا سیستمی با پوشش‌دهی بالا جهت عکس‌برداری و جمع نمودن اطلاعات مورد نیاز برای کنترل نحوه اجرای یکنواخت اندودها توسعه یابد. سیستم پیشنهادی طراحی شده از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده است و به طور کلی می‌توان گفت شامل دو بخش سخت افزار و نرم‌افزار می‌باشد.

۳-۱- سخت‌افزار

برای تامین تصاویر دیجیتال مورد نیاز از سطح اندود شده، چند پارامتر مهم در نظر گرفته شد:
* تهیه تصاویر با کیفیت مناسب
* سرعت بالا در برداشت اطلاعات
* برداشت اطلاعات به صورت اتوماتیک
از دوربین وبکم به منظور عکسبرداری و از چیپ ماژول موقعیت‌یاب جهت ثبت اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. همچنین برای داشتن اطلاعاتی از دمای محیط و سطح اندود شده از ۲ سنسور دمای فلزی و به منظور ثبت اطلاعات از برد آردوینو استفاده گردید. انتخاب تجهیزات با در نظر گرفتن، هزینه و سهولت در استفاده انجام گرفت.

- 5 the spatial methods
- 6 local adaptive methods



شکل ۲. نمایی از محیط برنامه cude

Fig. 2. An overview of the CUDC application environment

۲-۳- نرم افزار

در این سامانه برنامه‌ای نیز طراحی گردیده است که بر روی هر نوع رایانه با هر نوع سیستم عامل از XP تا ویندوز ۱۰ قابلیت نصب و اجرا را دارد. این برنامه بوسیله‌ی نرم‌افزار ویژوال استدیو^۱ نوشته شده است. نرم‌افزار ویژوال استدیو، نرم‌افزاری توسعه یافته برای برنامه نویسان کامپیوتر است که توسط شرکت نرم‌افزاری مایکروسافت تولید شده است. نحوه کار با برنامه تهیه شده بدین صورت است که ابتدا باید رابط ورودی را مشخص کرد و بعد از آن باید دوربین متصل شده به رایانه را تعیین کرد. در شکل ۲ تصویری از محیط برنامه^۲ cude آمده است.

۳-۳- راه‌اندازی دستگاه و اجرای برنامه

پس از اتصال حسگر دماسنج و موقعیت‌یاب مکانی و ماژول مبدل USB و غیره به برد میکروکنترلر، کد راه‌اندازی سیستم در محیط یکپارچه نرم‌افزار نوشته می‌شود. دکمه‌ای به منظور روشن و خاموش کردن بر روی مدار قرار داده می‌شود. همچنین برای نشان دادن وضعیت کار مدار چراغ‌های LED تعبیه گردید. برای منبع تغذیه نیز از یک باتری کتابی ۹ ولتی استفاده می‌شود. مدار طراحی شده در نهایت در یک قاب قرار داده می‌شود. شکل ۳ تصویری از مدار طراحی شده که در قاب قرار داده شده است، می‌باشد. بعد از وصل کردن مدار و دوربین به رایانه و با زدن دکمه شروع در برنامه داده‌برداری شروع می‌شود. تصویربرداری در این دستگاه با توجه

(ب)



(الف)



شکل ۳. قاب مخصوص محل قرارگیری مدار طراحی شده. (الف) نمای بالایی مدار (ب) نمایی از قاب به همراه سوکت و دکمه‌های مدار

Fig. 3. Specially designed frame for mounting the circuit. a. The top overview of the circuit, b. The view of the frame with the socket and circuit buttons

- 1 Visual Studio
- 2 Coating Uniform Distribution Control

آفتاب در تصاویری که زاویه دوربین در آنها زیاد بوده است، این زاویه انتخاب گردید.

۴- پردازش تصاویر

۴-۱- ارتقاء کیفیت

همان‌طور که گفته شد تکنیک‌های تقویت تضاد (کنتراست) در پردازش تصویر به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از محبوبترین روش‌های خودکار، تساوی هیستوگرام^۱ (HE) است که با تابع $histeq$ در متلب اجرا می‌شود. روش دیگری که در بهبود جزئیات تصویر توصیه شده است روش تساوی هیستوگرام سازگار با کنتراست محدوده شده^۲ (CLAHE) می‌باشد. این روش با تابع $adapthisteq$ در متلب اجرا می‌شود. شکل ۵ تأثیر توابع $histeq$ ، $imadjust$ و $adapthisteq$ را در ارتقاء کیفیت تصاویر به دست آمده نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تابع $adapthisteq$ تعادل مناسب‌تری در نور ایجاد می‌کند و در ارتقاء کیفیت عملکرد مناسب‌تری دارد.

۴-۲- فشرده سازی

همان‌طور که توضیح داده شد به منظور فشرده سازی تصویر از دو روش آستانه‌گذاری ضرایب^۳ (CTM) و روش‌های اهمیت ضرایب پیشرو^۴ (PCSM) استفاده می‌شود. در روش PCSM با توجه به اینکه دو نوع SPIHT و STW نسخه‌های تصفیه شده الگوریتم EZW اصلی هستند و ASWDR توسعه یافته WDR می‌باشد، تنها از روش‌های STW، SPIHT و ASWDR استفاده می‌شود. در جدول ۴ معیارهای کنترل کیفی برای روش‌های فشرده‌سازی آورده شده است. طبق نتایج مشاهده می‌شود که روش lvl_mmc کمترین نسبت فشرده‌سازی، نسبت بیت به پیکسل، خطای میانگین مربعات و زمان اجرا را دارد. و همچنین مقدار خطای سیگنال به نویز بالاتر از ۳۰ دسی‌بل می‌باشد. در نتیجه برای فشرده‌سازی از این روش استفاده می‌شود.

یک نمونه از تصویر فشرده شده در کنار تصویر اصلی‌اش در

به موقعیت یاب می‌باشد و فواصل عکس‌برداری از ۲/۵ متر تا ۲۰۰ متر در برنامه قابل تنظیم می‌باشد. هر عکس گرفته شده در همان لحظه بر روی سیستم ذخیره می‌گردد. و همچنین در صورت متصل بودن به اینترنت به صورت آنلاین به آی‌دی تعیین شده ارسال می‌گردد و می‌توان به صورت کاملاً آنلاین تصاویر گرفته شده را مشاهده کرد. دمای محیط و دمای سطح روسازی که قیر پاشیده شده با استفاده از دماسنج به همراه موقعیت محل عکس‌برداری و تاریخ و زمان دقیق ضمیمه عکس گرفته شده می‌شود.

۴-۳- طراحی بدنه اصلی و نحوه اتصال به قیرپاش

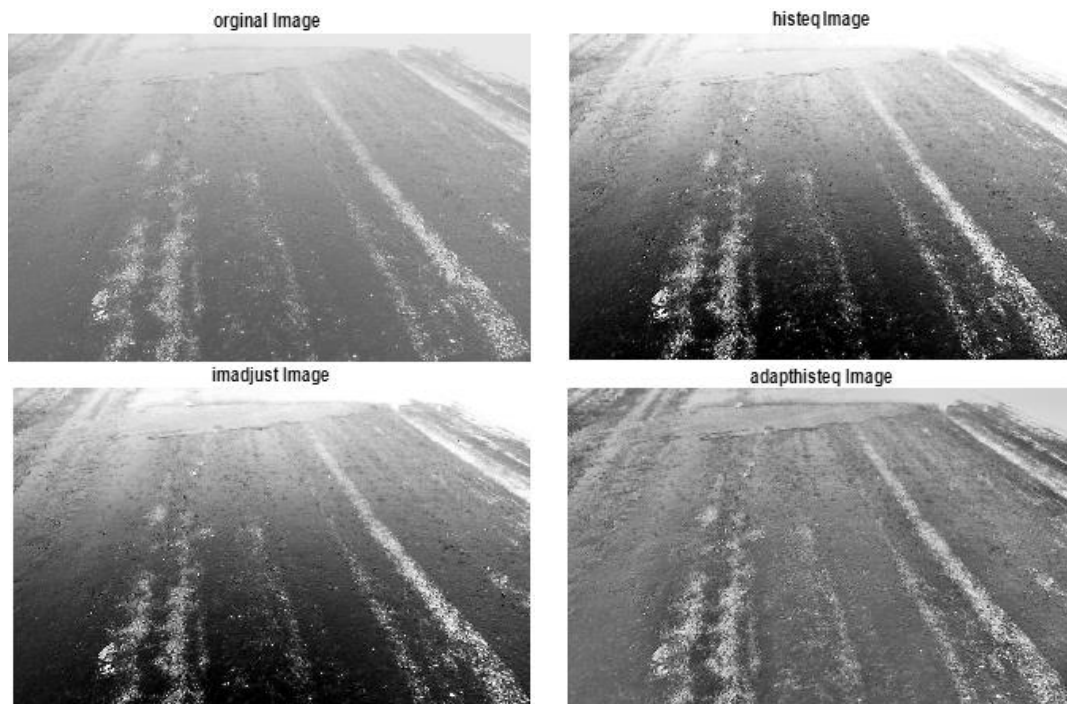
نحوه کار برای داده برداری بدین صورت می‌باشد که رایانه در جعبه بزرگ قرار داده می‌شود و سپس این جعبه بزرگ به همراه دو بازو که توانایی تغییر ارتفاع و زاویه را دارند به جعبه کوچک متصل می‌شود. دوربین به همراه قاب مدار پردازنده در جعبه کوچک قرار داده می‌شوند. آنتن مغناطیسی موقعیت‌یاب جغرافیایی و لوله دماسنج برای اندازه‌گیری دمای سطح روسازی از محلی که در جعبه کوچک در نظر گرفته شده است، خارج می‌گردند. دوربین و مدار پردازنده بوسیله رابط خروجی به رایانه متصل می‌گردند. در نهایت این دستگاه بوسیله آهن‌ریایی که در کف جعبه بزرگ تعبیه شده است، در پشت ماشین قیرپاش قرار می‌گیرد. در شکل ۴ تصویری از قرار گرفتن دستگاه بر روی ماشین قیرپاش آورده شده است. با توجه به داده‌برداری‌های صورت گرفته زاویه مناسب جهت عکس‌برداری کمتر از ۳۰ درجه نسبت به خط قائم می‌باشد. به منظور کم نمودن اثر ژرفنمایی یا همان پرسپکتیو و همین‌طور اثرگذاری منفی نور



شکل ۴. تصویر قرارگیری دستگاه بر روی ماشین قیرپاش

Fig. 4. The picture of the device mounted on the bituminous distributor

- 1 Histogram Equalization
- 2 Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization
- 3 Coefficients Thresholding Methods
- 4 Progressive Coefficients Significance Methods



شکل ۵. تصویر اصلی به همراه تصاویر بعد از اعمال توابع

Fig. 5. The original image along with the images after applying the functions

جدول ۴. مقایسه‌ی روش‌های فشرده‌سازی

Table 4. Comparing the compression methods

aswdr	stw	spiht	gbl_mmc_h	gbl_mmc_f	lvl_mmc	
۰/۷۷۷	۰/۸۸۵	۰/۷۸۵	۰/۷۱۵	۰/۹۰۶	۰/۶۸۱	BPP
۳/۰۱۵	۳/۸۲۵	۳/۱۲۶	۲/۹۷۷	۳/۷۷۷	۲/۸۳۶	CR
۹۵/۴۶۹	۱۱۲/۲۴۷	۱۰۲/۱۶۰	۹۳/۱۵۳	۹۳/۰۸۷	۶۱/۹۸۰	Mse
۲۷/۲۴۸	۲۴/۴۹۰	۲۶/۳۵۵	۲۸/۴۳۹	۲۸/۴۴۲	۳۰/۲۰۸	Psnr
۸۵	۹۱	۸۵	۸۰	۷۹	۶۲	Maxerr
۶/۸۷۹	۷/۱۴۵	۶/۶۱۶	۳/۵۸۵	۳/۳۶۶	۲/۲۳	Time

جدول ۵. مقادیر حد آستانه برای کاهش نویز

Table 5. The threshold values for noise reduction

مطمئن	ترکیبی	سراسری	مینیمکس	آستانه برای کاهش نویز
۲۸/۸۹۷۱	۵/۲۴۱	۵/۲۴۱	۴/۰۱۷۵	

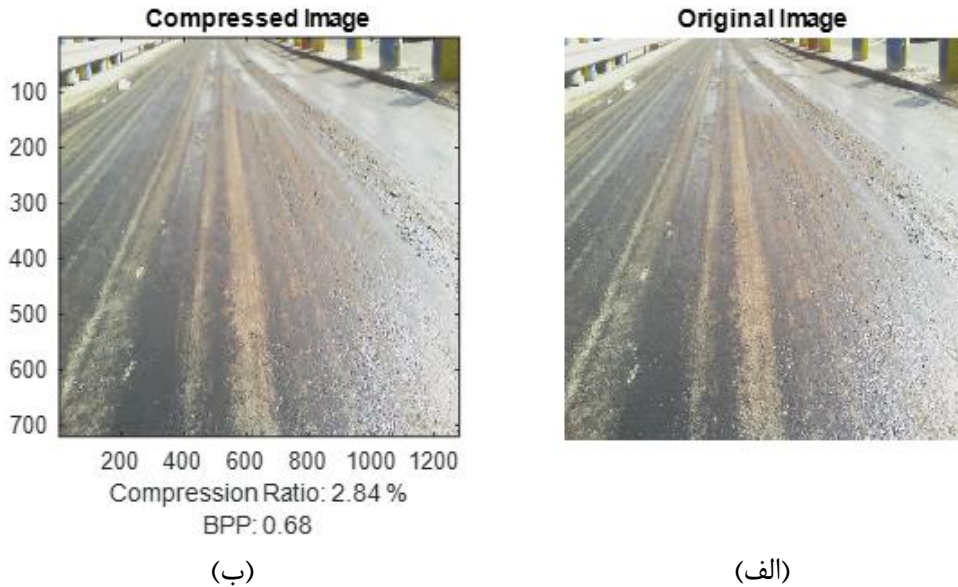
شکل ۶ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود وجود نسبت فشرده‌سازی مناسب بدست آمده، تصویر فشرده شده از لحاظ ادراکی نیز کیفیت لازم را دارا می‌باشد.

۴-۳- کاهش نویز

به منظور کاهش نویز باید حد آستانه را با روش‌هایی که گفته شد، بدست آورد. مقادیر حد آستانه بوسیله‌ی روش‌های توضیح داده شده در بخش اصول تئوری در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به اینکه چهار روش در یک محدوده هستند برای مقایسه این روش‌ها فقط از دو روش مینیمکس و آستانه‌گذاری مطمئن (rigsure)

استفاده می‌شود.

به منظور تجزیه و بازسازی تصاویر در موجک باید تابع موجک و سطح انتخاب شود. برای این منظور ابتدا دو تابع haar و Daubechies مورد بررسی قرار داده شد تا بتوان سطح و روش مناسب برای تعیین حد آستانه را بدست آورد. مقایسه مربوط به این دو تابع بر روی سطح ۱ تا ۴ صورت گرفت و در جدول ۶ تنها سطوح



شکل ۶. الف) تصویر اصلی ب) تصویر فشرده شده
Fig. 6. a. The original image, b. the compressed image

در سطح اول استفاده می‌شود.

۳-۴- آستانه‌گذاری

به منظور ارائه شاخص مناسب برای میزان یکنواختی اجرای اندود بایستی بعد از ارتقاء کیفیت و بازسازی تصویر به جداسازی اجزا پرداخته شود. برای این منظور از روش‌های توضیح داده شده استفاده می‌گردد. برای مقایسه این روش‌ها با یکدیگر و همچنین ارزیابی کیفیت نتیجه‌ی تقسیم‌بندی به صورت کمی به اندازه‌گیری خطای طبقه‌بندی اشتباه^۱ (ME) پرداخته می‌شود. این شاخص نشان دهنده‌ی درصد پیکسل‌های پیش زمینه است که به اشتباه برای شیء در نظر گرفته شده و بر عکس، پیکسل‌های شیء که به اشتباه برای پیش زمینه طبقه‌بندی شده است. مقدار کمتر ME معنی کیفیت بهتر برای تصویر تبدیل شده را می‌دهد. همچنین برای مقایسه از نرخ مثبت اشتباه^۲ (FPR) و نرخ منفی اشتباه^۳ (FNR) و تعداد پیکسل‌هایی که به اشتباه دسته‌بندی شده‌اند^۴ (NMP) که به صورت روابط (۹) تا (۱۲) بدست می‌آیند، استفاده می‌شود [۳۸].

- 1 Misclassification Error
- 2 False Positive Rate
- 3 False Negative Rate
- 4 Numbers of Misclassified Pixels

جدول ۶: مقایسه مقادیر psnr و mse برای آستانه، سطح و موجک‌های متفاوت

Table 6. Comparing psnr and MSE values for different thresholds, levels, and wavelets

موجک	سطح	روش تعیین آستانه		mse	psnr
		hard	soft		
Haar	1	rigrsure	۲۱/۵۵	۳۴/۸	۱۶/۶۳
		minimaxi	۳/۳۹	۴۲/۸۳	۱/۲
	4	rigrsure	۶۷/۷۵	۲۹/۸۲	۳۷/۷۶
		minimaxi	۱۰/۱۷	۳۸/۰۶	۳/۰۸
db2	1	rigrsure	۵/۸۵	۴۰/۴۶	۴/۳۷
		minimaxi	۱/۴۷	۴۶/۴۶	۰/۶۳
	4	rigrsure	۴۴/۴	۳۱/۶۶	۱۸/۴۷
		minimaxi	۳/۵۵	۴۲/۶۲	۰/۹۶

۱ و ۴ آورده شده است.

در مقایسه صورت گرفته مشاهده می‌شود مقدار حد آستانه در روش مینیماکس و تابع آستانه‌گذاری سخت و همچنین تجزیه و بازسازی در سطح اول در تمامی موارد جواب مناسب‌تری می‌دهد. در نتیجه در ادامه با در نظر گرفتن این موارد به بررسی دیگر توابع موجک پرداخته می‌شود. در نهایت با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۷ به منظور کاهش نویز از روش مینیماکس برای تعیین حد آستانه و تابع آستانه‌گذاری سخت و همچنین از تابع موجک ۴،۴ bior

جدول ۷. مقایسه موجک‌های مختلف برای کاهش نویز

Table 7. Comparing various wavelets for noise reduction

hard		method	
mse	Psnr		
۱/۵۳	۴۶/۲۷	db1 or haar	Haar
۰/۶۳	۵۰/۱۶	db2	Daubechies
۰/۵۱	۵۱/۰۶	db4	
۰/۵۴	۵۰/۸۴	db6	
۰/۴۷	۵۱/۴۲	db8	
۰/۴۵	۵۱/۶۳	db10	Symlets
۰/۶۳	۵۰/۱۶	sym2	
۰/۶۴	۵۰/۰۷	sym4	
۰/۵۶	۵۰/۶۲	sym6	
۰/۵۳	۵۰/۸۸	sym8	Coiflets
۰/۶۵	۵۰	coif1	
۰/۶۳	۵۰/۱۴	coif2	
۰/۱۱	۵۷/۶۳	coif3	
۰/۵۳	۵۰/۸۸	coif4	
۰/۶۳	۵۲/۵۹	coif5	BiorSplines
۱/۲	۴۷/۳۲	bior1.1	
۰/۵۱	۵۱/۰۹	bior2.4	
۰/۸۷	۴۸/۷۲	bior3.3	
۰/۷۹	۴۹/۱۳	bior3.9	
۰/۰۲۷	۶۳/۷۶	bior4.4	
۰/۲۱	۵۴/۹۵	bior5.5	
۰/۱۷	۵۵/۹	bior6.8	

است. در جدول ۸ به مقایسه کمی روش‌های تقسیم‌بندی اشاره شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در این جدول می‌توان نتیجه گرفت که در روش‌های آستانه‌گذاری محلی روش فنگ، در روش‌های خوشه‌بندی روش اتسو و در روش‌های مبتنی بر آنتروپی روش فازی دی ای بهترین عملکرد را در دسته‌بندی و جداسازی شیء از پس زمینه دارند. به همین دلیل در ادامه تنها این سه روش بر روی تعداد بالاتری از تصاویر، برای یافتن بهترین روش اعمال می‌شوند.

برای بررسی بیشتر روش‌های فنگ و اتسو و فازی دی ای به صورت رندوم ۲۰ عکس انتخاب گردید و نتایج حاصل از بررسی آن‌ها نشان داد که روش اتسو و فازی دی ای نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهند. در نتایج بدست آمده مشاهده شد که زمان محاسباتی روش اتسو بسیار کم می‌باشد و در تعدادی از تصاویر ME بهتر و یا نزدیکی به روش فازی دی ای دارد. اما در تصاویری که روش فازی دی ای جواب بهتری می‌دهد، اختلاف اتسو زیاد می‌باشد.

برای بررسی دقیق‌تر این سه روش به مقایسه مساحت واقعی و مساحت بدست آمده توسط این سه روش پرداخته می‌شود. مساحت واقعی با بررسی دقیق تصاویر و جدا نمودن قسمت‌های اندود شده ابه صورت چشمی انجام گرفت، که به تایید فرد خبره نیز در آمد. در جدول ۹ نتایج حاصل از تعدادی تصاویر آورده شده است.

در مرحله بعد با استفاده از آزمون تی زوجی در نرم‌افزار SPSS اندازه واقعی با اندازه بدست آمده از سه روش مقایسه شد، تا مشخص گردد که آیا این دو مقدار تفاوت معناداری با یکدیگر دارند یا خیر. همان‌گونه که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود مقدار پی^۱ بالاتر از ۰/۰۵ است. بنابراین در هر سه روش، دو دسته اعداد از نظر آماری تفاوت معناداری ندارند و عملاً از نظر آماری یکسان می‌باشند. پس نتیجه می‌شود روش‌های استفاده شده، روش مناسبی برای بررسی توزیع اندود می‌باشند.

در ادامه برای ارزیابی نتایج و تصمیم‌گیری دقیق‌تر برای انتخاب الگوریتم آستانه‌گذاری تصاویر به رسم گراف شکل ۸ پرداخته شد. در این گراف مشاهده می‌شود، همبستگی کمتری میان داده واقعی و داده‌های محاسبه شده با روش فنگ وجود دارد. با بررسی ضرایب تعیین R^۲ مدل‌های رگرسیونی، برازش قابل قبول روش‌های فازی دی ای و اتسو مشاهده می‌شود و می‌توان به رابطه خوب بین مقادیر

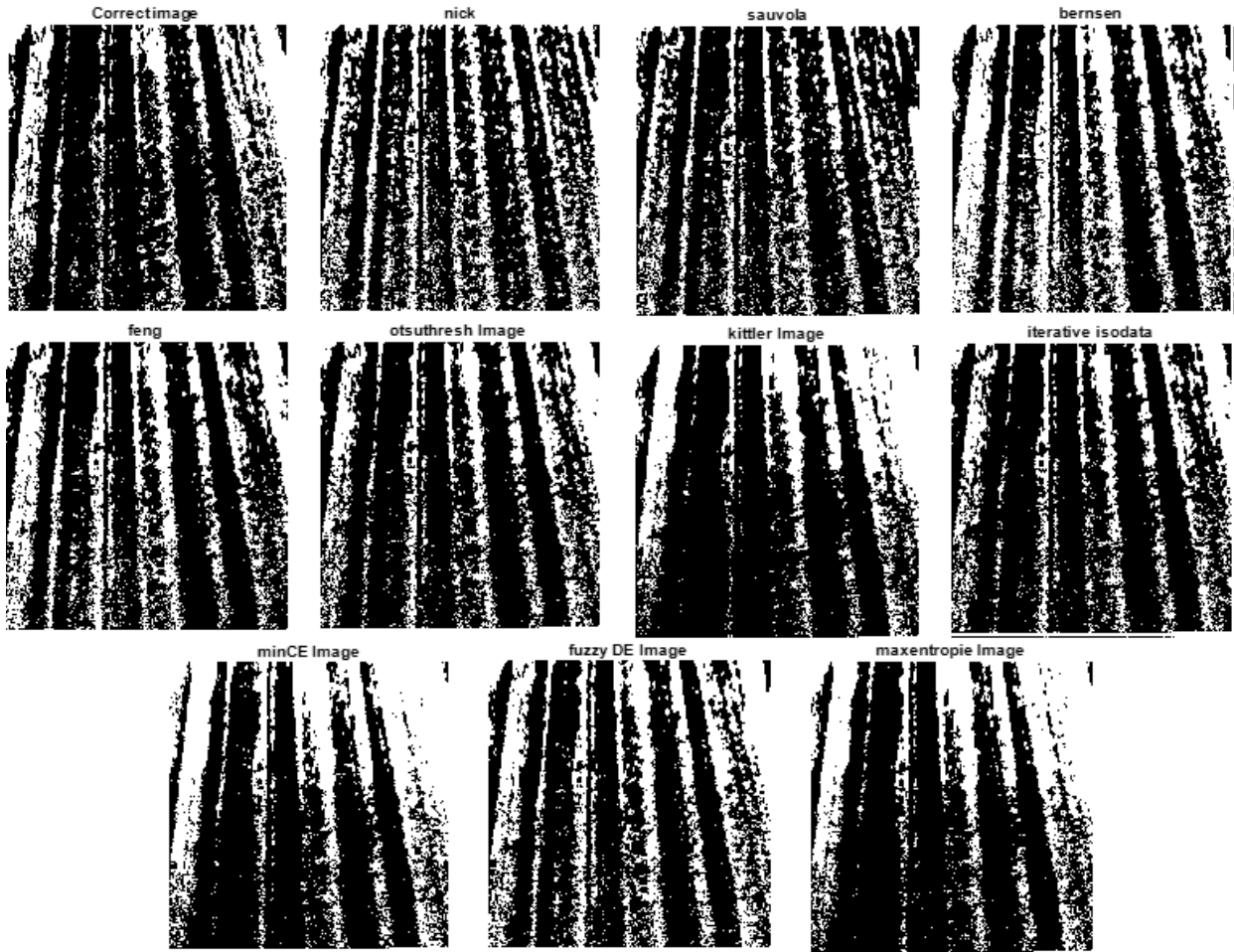
$$ME = 1 - \frac{|b_0 \cap b_T| + |f_0 \cap f_T|}{|f_0| + |b_0|} \quad (9)$$

$$NMP = b_F + f_F \quad (10)$$

$$FPR = \frac{f_F}{f_F + b_T} = \frac{f_F}{b_0} \quad (11)$$

$$FNR = \frac{b_F}{b_F + f_T} = \frac{b_F}{f_0} \quad (12)$$

که در آن b و f به ترتیب تعداد کل پیکسل‌های پیش زمینه و شیء را نشان می‌دهد و b_T و b_F نشان دهنده تعداد پیکسل‌های پیش زمینه که به ترتیب اشتباه و درست دسته‌بندی شده‌اند و f_T مربوط به شیء که به ترتیب اشتباه و درست دسته‌بندی شده‌اند. تصاویر خروجی بدست آمده برای نمونه‌ای با استفاده از روش‌های مختلف آستانه‌گذاری که توضیح داده شده‌اند در شکل ۷ آورده شده



شکل ۷. نتایج آستانه‌گذاری با روش‌های مختلف

Fig.7. The results of thresholding with different methods

جدول ۸. نتایج بررسی روش‌های مختلف آستانه‌گذاری

Table 8. The results of comparing the different thresholding methods

زمان اجرا (s)	FNR	FPR	ME	NMP	حد آستانه	روش‌ها	
۰/۲۳۸	۰/۱۶۸۷	۰/۲۷۷۴	۰/۱۹۹۴	۳۳۳۷۸۱	۱۳۷-۱۱۲	nick	آستانه‌گذاری محلی
۰/۲۲۹۵	۰/۱۱۸۲	۰/۳۵۴۶	۰/۱۸۵	۳۰۹۶۶۷	۱۶۲-۱۲۷	sauvola	
۰/۵۸۵۳	۰/۲۱۵۸	۰/۱۳۰۷	۰/۱۹۱۸	۳۲۱۰۵۷	۱۴۲-۱۲۷	bernsen	
۰/۶۳۰۲	۰/۱۳۸۳	۰/۲۱۸۷	۰/۱۶۱	۲۶۹۵۴۷	۱۴۳-۱۳۵	feng	
۰/۱۰۰۴	۰/۰۸۴۵	۰/۲۵۲۱	۰/۱۳۱۸	۲۲۰۶۵۷	۱۴۲	otsu	خوشه‌بندی
۰/۰۵۳۶	۰/۱۰۰۶	۰/۲۲۳۴	۰/۱۳۵۳	۲۲۶۴۸۷	۱۶۰	Min-error thr ^۱	
۰/۰۰۹۶	۰/۰۶۵۲	۰/۳۰۷۷	۰/۱۳۳۷	۲۲۳۷۹۲	۱۴۸	Iterative-Selection	
۰/۴۰۲	۰/۱۹۳۱	۰/۱۲۳۳	۰/۱۷۳۴	۲۶۰۲۱۴	۱۴۵	Min cross-entropy ^۲	آنتروپی
۰/۰۳۲	۰/۱۳۴۱	۰/۱۷۶۳	۰/۱۴۶	۲۴۴۴۷۲	۱۵۳	Max entropy thr ^۳	
۰/۹۶	۰/۱۴۴	۰/۱۴۵۴	۰/۱۴۴۴	۲۴۱۶۶۵	۱۳۸	fuzzy DE ^۴	

جدول ۹. مقادیر اندازه‌گیری از مساحت سطح اندود شده

Table 9. The measured coated surface area values

شماره تصویر	مساحت واقعی	اندازه محاسباتی با فازی دی ایی	اندازه محاسباتی با روش اتسو	اندازه محاسباتی با روش فنگ
۱	۷۱	۶۵/۴۸	۷۲/۸۲	۶۸/۰۱
۲	۸۷	۸۳/۹۳	۷۸/۶۹	۷۸/۸۲
۳	۵۸	۵۶/۷۳	۶۵/۸۸	۶۴/۱
۴	۵۷	۵۹/۰۵	۶۷/۳۲	۶۷/۲
۵	۶۱	۵۵/۰۳	۷۱/۸۲	۶۷/۵۶
۶	۵۶	۶۱/۹۲	۵۳/۴۲	۶۷/۲۴
۷	۶۰	۵۸/۷	۶۶/۹۵	۶۴/۱۱
۸	۸۷	۸۰/۵۳	۷۷/۶۶	۶۸/۹۳
۹	۸۴	۷۵/۹۲	۷۷/۶۱	۷۱/۷
۱۰	۸۶	۷۹/۹۸	۷۶/۵۴	۹۱/۵۹
۱۱	۸۱	۸۶/۴۳	۷۲/۰۹	۸۵/۰۵
۱۲	۷۹	۷۱/۱	۷۰/۳۱	۸۲/۹۵
۱۳	۷۷	۸۲/۷۷	۶۸/۵۳	۸۲/۸۵
۱۴	۷۴	۷۹	۷۶/۲۲	۷۷/۰۳
۱۵	۶۹	۶۳/۵۵	۶۶/۲۴	۷۱/۸۳
۱۶	۹۲	۹۶/۱۲	۸۴/۶۴	۹۵/۷۷
۱۷	۹۳	۹۷/۸۶	۹۵/۷۹	۹۶/۷۲
۱۸	۹۴	۹۵/۶۳	۹۷/۰۱	۹۳/۶۶
۱۹	۹۵	۸۶/۵	۸۷/۴	۹۸/۳۳
۲۰	۹۶	۸۷/۴	۸۹/۳۲	۸۳/۵۲
۲۱	۹۱	۸۵/۹	۸۴/۳۶	۹۴/۶۴
۲۲	۹۰	۹۴/۰۷	۹۱/۷	۹۳/۶
۲۳	۹۶	۸۶/۴	۹۲/۱۶	۸۵/۴۴
۲۴	۹۸	۹۲/۲۲	۹۳/۱	۸۰/۳۶
۲۵	۹۲	۹۵/۱۲	۹۳/۸۴	۸۱/۸۸
۲۶	۴۲	۳۷/۸	۴۳/۲۶	۳۵/۷
۲۷	۵۳	۶۰/۲۲	۵۴/۷	۴۵/۰۵
۲۸	۵۷	۶۴/۳۲	۵۹/۱۴	۶۲/۰۲
۲۹	۵۱	۴۶/۹	۴۸/۴۵	۵۳/۸۱
۳۰	۶۸	۶۱/۸۴	۶۵/۲۸	۶۴/۶
۳۱	۸۵	۸۹/۹۶	۸۲/۴۵	۷۲/۲۵
۳۲	۹۶	۹۸/۲۱	۹۲/۱۶	۸۵/۴۴
۳۳	۹۹	۹۲/۲	۹۵/۰۴	۸۴/۱۵

مساحت اندود محاسبه شده و مقدار واقعی پی برد. همچنین جهت تحلیل خطا و ارزیابی این سه روش مجذور میانگین مربعات (RMSE) و میانگین خطاها (ME) و همچنین درصد خطا برای هر یک از موارد محاسبه می‌شود که نتایج آن‌ها در جدول ۱۱ مشاهده می‌شود. مطابق با نتایج به دست آمده، روش فازی دی ایی دارای مجذور میانگین مربعات و میانگین خطا کمتری نسبت به بقیه می‌باشد و مقدار میانگین درصد خطای نسبی در دو روش اتسو و فازی دی ایی نزدیک به هم می‌باشند. در نتیجه روش فازی دی ایی انتخاب می‌شود و برای دسته‌بندی تصاویر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵- ارزیابی توزیع یکنواخت اندود

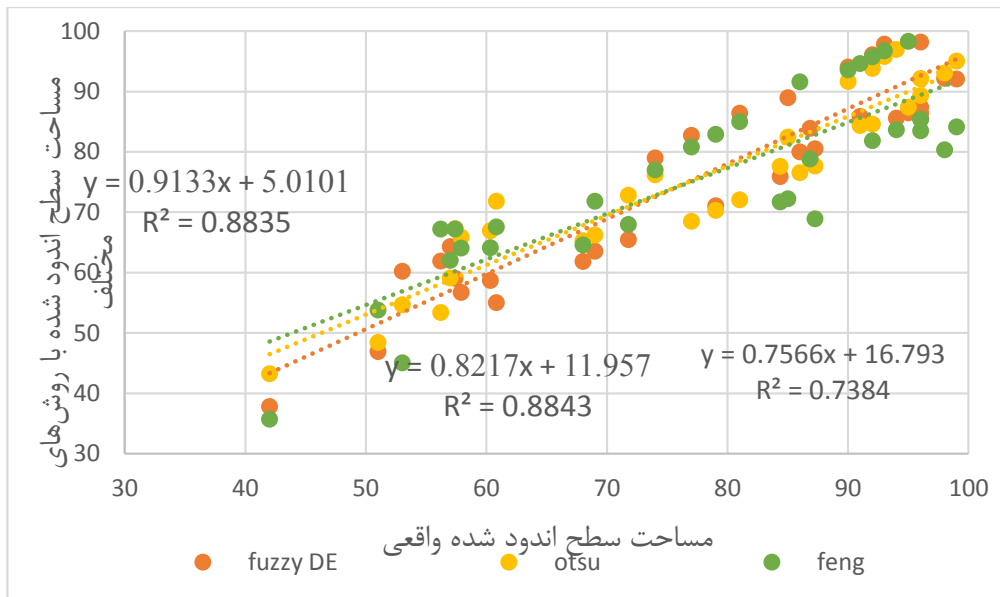
در این قسمت ابتدا به ارائه توضیحی در خصوص توزیع یکنواخت پرداخته می‌شود. همان طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود می‌توان مقدار ثابتی قیر را به روش‌های متفاوتی پخش کرد. بعنوان مثال ۴۰۰ گرم قیر را می‌توان در یک متر مربع به دو روش زیر پخش کرد. آیا روش سینی می‌تواند نسبت به این توزیع قیر حساسیت داشته باشد. هدف از این مقاله ارائه روش و شاخصی معنی‌دار نسبت به توزیع مقدار ثابتی قیر (به لحاظ وزنی) در واحد سطح است.

در این مرحله به دسته‌بندی تصاویر پرداخته می‌شود. برای دسته‌بندی صحیح و مناسب‌تر سعی شد تا تمامی پارامترهایی که دخیل بر دسته‌بندی هستند، مورد بررسی قرار داده شوند. برای این منظور به رسم نحوه توزیع اندود در دو جهت افقی و قائم پرداخته شد. بعد از رسم نمودارهای افقی و قائم مشاهده شد که برای گرفتن خروجی مناسب‌تر نیاز به حذف و یا کاهش نویز می‌باشد. بدین منظور از تابع موجک و فیلتر SG استفاده گردید. برای استفاده از تابع موجک از فیلترهای استفاده شده در جدول ۷ استفاده گردید. در نهایت روش مینیمکس برای تعیین حد آستانه و تابع آستانه‌گذاری

جدول ۱۰. خروجی آزمون تی زوجی از نرم‌افزار SPSS

Table 10. The paired t-test output from SPSS software

مقدار پی	درجه آزادی	مقدار تی	تفاوت زوجی					
			ضریب اطمینان ۹۵٪ بازه اختلاف		خطای استاندارد میانگین	انحراف از معیار استاندارد		
			حد بالا	حد پایین				
۰/۰۸۶	۳۲	۱/۷۷۴	۳/۷۸۴	-۰/۲۶۱	۰/۹۹۳	۵/۷۰۴	۱/۷۶۱	فازی و داده واقعی
۰/۰۵۹	۳۲	۱/۹۶۱	۴/۰۱۳	۰/۰۷۶	۱/۰۰۴	۵/۷۶۶	۱/۹۶۸	اتسو و داده واقعی
۰/۱۴۶	۳۲	۱/۴۹۰	۵/۲۲۹	-۰/۸۱۱	۱/۴۸۳	۸/۵۱۶	۲/۲۰۹	فنگ و داده واقعی



شکل ۸. نمودار مقایسه نتایج حاصل از سه روش با مقادیر واقعی

Fig. 8. Comparing the chart of the results of the three methods with real values

جدول ۱۱. تحلیل خطاها برای داده‌های مربوط به سه روش آستانه‌گذاری جهت انتخاب روش مناسب

Table 11. Error analysis for data on the three thresholding methods to select the appropriate method

میانگین درصد خطای نسبی	میانگین خطا (ME)	مقدور میانگین مربعات خطا (RMSE)	
۷/۰۹۸	۱/۷۶۱	۵/۸۸۶	فازی دی ایی
۶/۸۲۸	۱/۹۶۷	۶/۰۰۹	اتسو
۹/۶۶۶	۲/۲۰۹	۸/۶۷۲	فنگ

ویژگی‌های بیشتر مورد بررسی قرار داد. در برنامه متلب جهت یافتن کمینه‌های نسبی نیاز است نمودارهای افقی و قائم را در منفی ضرب نموده و سپس قله‌های نمودار مشخص شوند. برای نمونه، یک مورد از تصاویر انتخاب شده به همراه نمودارهایش در شکل ۱۱ آورده شده است.

با توجه به تصاویر و نمودارهای آن‌ها می‌توان نتیجه گرفت که در مواقعی که نازل‌ها دچار نقص شده‌اند و در قسمتی از مسیر اندود پاشیده نشده است، نمودار دچار تغییرات زیاد می‌شود. این تغییرات را می‌توان توسط تعداد بیشینه و کمینه‌های نسبی و همچنین فاصله بین نقاط حداقل و حداکثر بهتر متوجه شد. به طور مثال در شکل ۱۱ و در نمودار پایین سمت چپ تغییرات زیادی مشاهده می‌شود که مربوط به قسمت بالا در جهت افقی تصویر، که اندود به طور وسیع پاشیده نشده است، می‌باشد. برای مشخص نمودن محل‌هایی که مشابه این مورد می‌باشند می‌توان از مساحت زیر قله‌ها استفاده نمود. برای بدست آوردن مساحت زیر قله‌ها از ضرب پارامتر برآمدگی^۳ در عرض^۴ استفاده می‌شود.

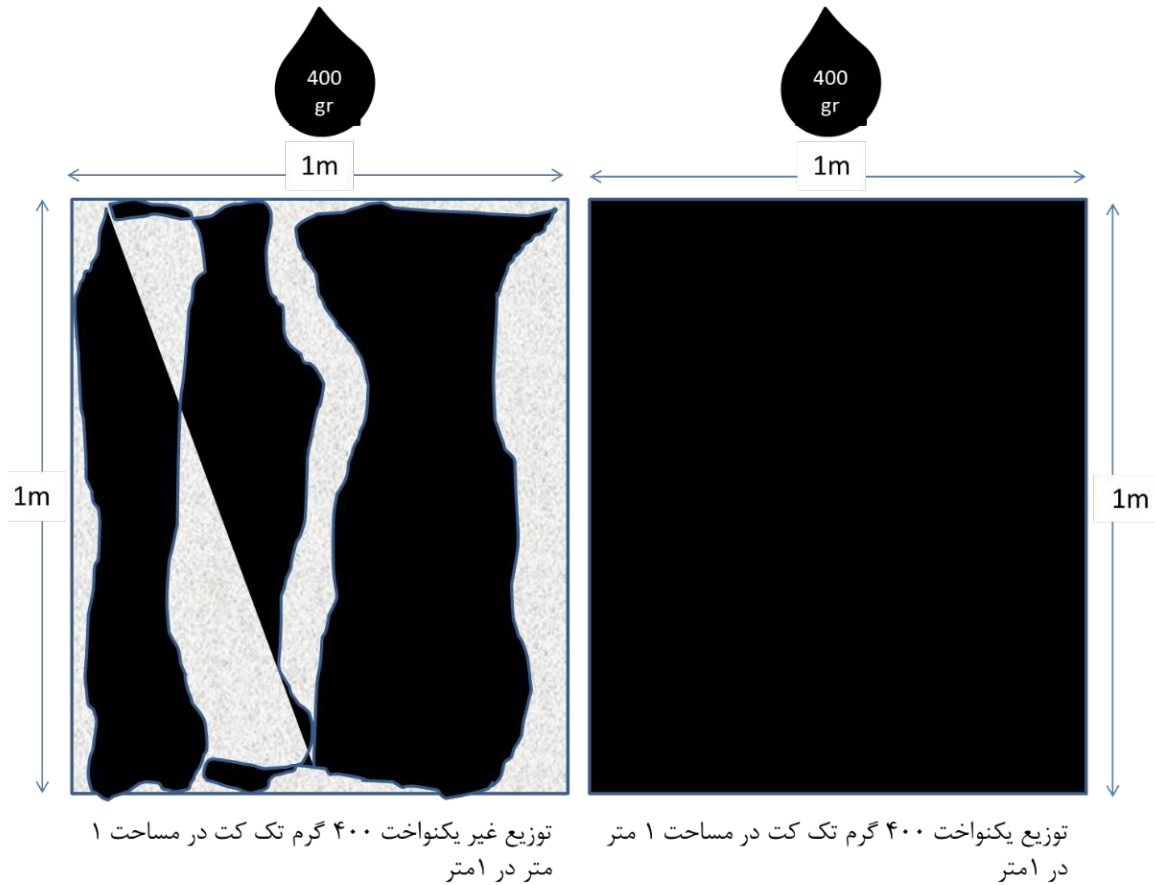
با توجه به اینکه در بعضی از تصاویر تعداد بالایی بیشینه و کمینه نسبی تعیین می‌گردد و به همین دلیل مساحت کمینه‌ها و

نرم و فیلتر^{۴,۴} biot در سطح ۴ بهترین نتیجه را در این حالت داد. و برای فیلتر SG^۱، مقادیر ۲ و ۵۵-۴۵ به ترتیب برای درجه چند جمله‌ای و عرض پنجره بهترین نتیجه را از خود نشان دادند. در شکل ۱۰ نمودار افقی و قائم تصویر شماره یک بعد از اعمال موجک و فیلتر SG آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود فیلتر SG باعث هموارسازی بیشتر نمودار و تشخیص درست بیشینه و کمینه نمودار می‌گردد. این دو فیلتر بر روی تعداد بیشتری تصویر اعمال گردید و در نهایت با توجه به اثرگذاری مناسب‌تر فیلتر SG، تصمیم بر آن شد تا از این فیلتر استفاده گردد.

برای درک و تفسیر این نمودارها به بررسی نمودارهای حاصل از تصاویر بیشتری پرداخته شد. از این نمودارها ویژگی‌هایی همچون مساحت زیر نمودار، میانگین، مقادیر حداقل و حداکثر و مقادیر مرتبط با بیشینه و کمینه‌های نسبی را می‌توان جهت پیدا نمودن

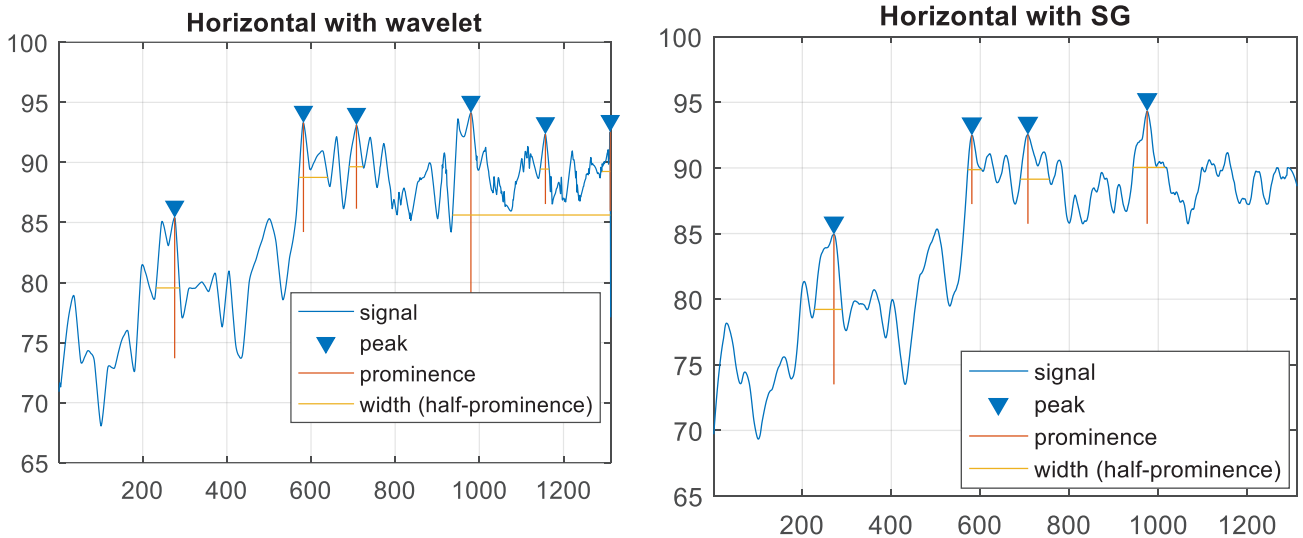
2 Matlab
3 prominence
4 width

1 Savitzky-Golay filtering



شکل ۹. شکل شماتیکی از توزیع یکنواخت و غیر یکنواخت مقدار ثابت ۴۰۰ گرم قیر

Fig. 9. Schematic form of uniform and non-uniform distribution of constant amount of 400 grams of bitumen

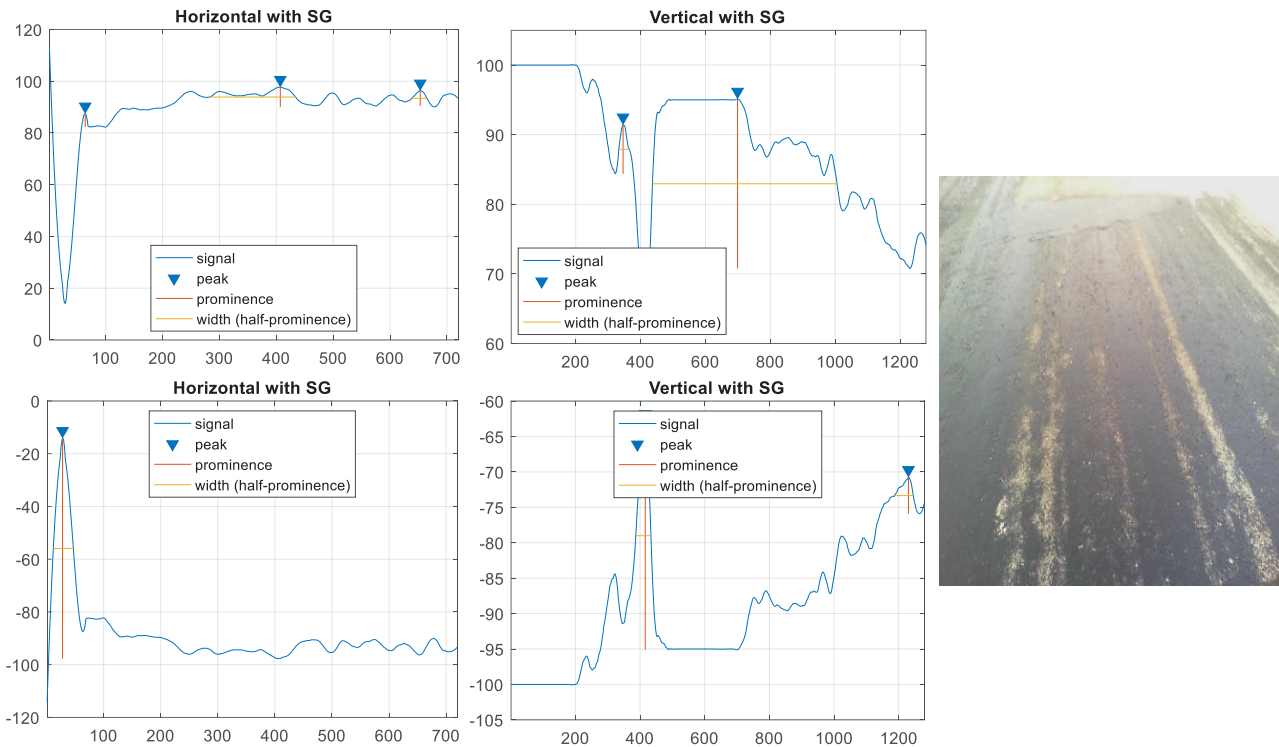


شکل ۱۰. تأثیر دو روش تابع موجک و فیلتر SG بر کاهش نویز

Fig. 10. The effect of two methods of wavelet function and SG filter on noise reduction

مساحت زیر نمودار، میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات، حداکثر، حداقل، تعداد بیشینه‌های نسبی، میانگین بیشینه‌های نسبی، مساحت بیشینه‌های نسبی، تعداد کمینه‌های نسبی، میانگین کمینه‌های

بیشینه‌های نسبی افزایش می‌یابد، تعیین مساحت بزرگترین کمینه نسبی می‌تواند اطلاعات مفیدی در اختیارمان قرار دهد. به طور کلی می‌توان گفت تمام ویژگی‌های استخراج شده از نمودارها عبارتند از:



شکل ۱۱. نمودارهای قائم و افقی به همراه تصویر اصلی

Fig. 11. The vertical and horizontal diagrams with the original image

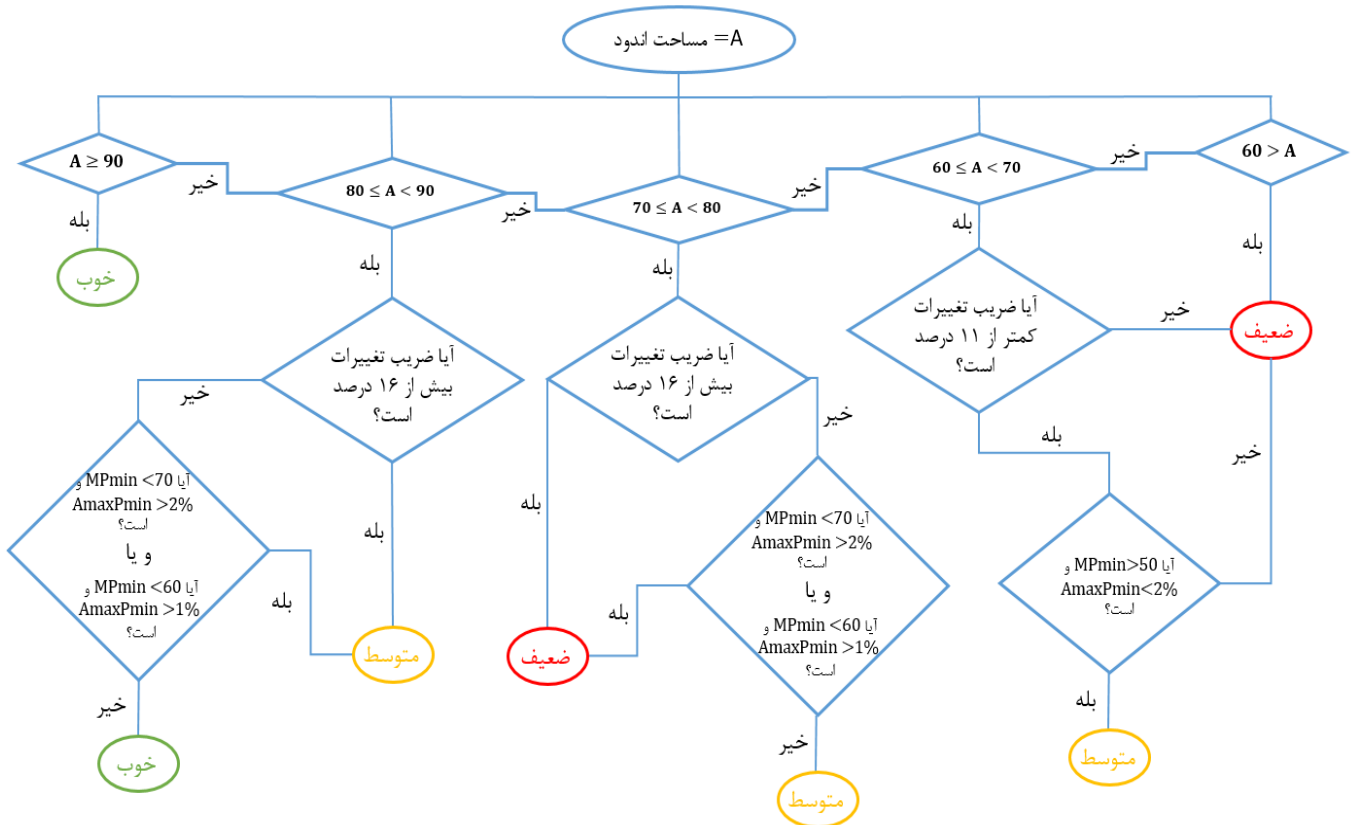
جدول ۱۲. ویژگی‌های مؤثر در دسته‌بندی تصاویر با انواع الگوریتم

Table 12. The effective properties in classifying the images by different algorithm types

دقت	ویژگی‌های مؤثر	الگوریتم
۶۵	مساحت زیرنمودار و میانگین	k نزدیک‌ترین همسایه
۷۳	مساحت زیرنمودار و ضریب تغییرات و میانگین کمینه‌های نسبی و حداقل	طبقه‌بندی درخت تصمیم ID3
۷۹	مساحت زیرنمودار و ضریب تغییرات و تعداد کمینه‌های نسبی و میانگین کمینه‌های نسبی	طبقه‌بندی درخت تصمیم ID3 بر اساس دقت
۶۹	ضریب تغییرات و مساحت زیرنمودار و میانگین	درخت تصمیم
۶۴	مساحت زیرنمودار	درخت قوانین
۶۹	میانگین کمینه‌های نسبی و مساحت زیر نمودار و حداقل و انحراف معیار و میانگین پیشینه‌های نسبی	آداپوست
۶۱	ضریب تغییرات و تعداد کمینه‌های نسبی (دارای بالاترین وزن می‌باشند)	ماشین بردار پشتیبانی
۵۹	ضریب تغییرات و مساحت زیرنمودار و مساحت کمینه‌ها و بیشینه‌های نسبی و مساحت بزرگترین کمینه نسبی	طبقه‌بندی جنگل تصادفی

است. در درخت تصمیم از تئوری اطلاعات^۱ استفاده می‌شود بدین صورت که ویژگی با توجه به مقدار ماکزیمم اطلاعات دوجانبه‌ای که کسب می‌نماید، انتخاب می‌گردد. در تئوری اطلاعات، آنتروپی میزان عدم قطعیت است و برای ساخت درخت تصمیم ویژگی‌ای که دارای کمترین آنتروپی است و یا بیشترین اطلاعات از آن بدست می‌آید، به عنوان گره ریشه انتخاب می‌شود. در نتیجه بهترین ویژگی، آن

نسبی، مساحت کمینه‌های نسبی و مساحت بزرگترین کمینه نسبی. برای بررسی اینکه کدام یک از ویژگی‌های استخراج شده تأثیر بیشتری بر روی دسته‌بندی دارد، در وهله اول از نرم‌افزار رپیدمایر و از انواع الگوریتم‌های دسته‌بندی استفاده گردید. ویژگی‌های مؤثر به هموار دقت پیش‌بینی در هر الگوریتم، در جدول ۱۲ آورده شده است. در این قسمت مسأله انتخاب ویژگی مطرح می‌گردد، برای انتخاب ویژگی از راه حل‌ها و الگوریتم‌های گوناگونی استفاده شده



شکل ۱۲. نحوه کار مدل دسته‌بندی تصاویر به سه دسته خوب، متوسط و ضعیف

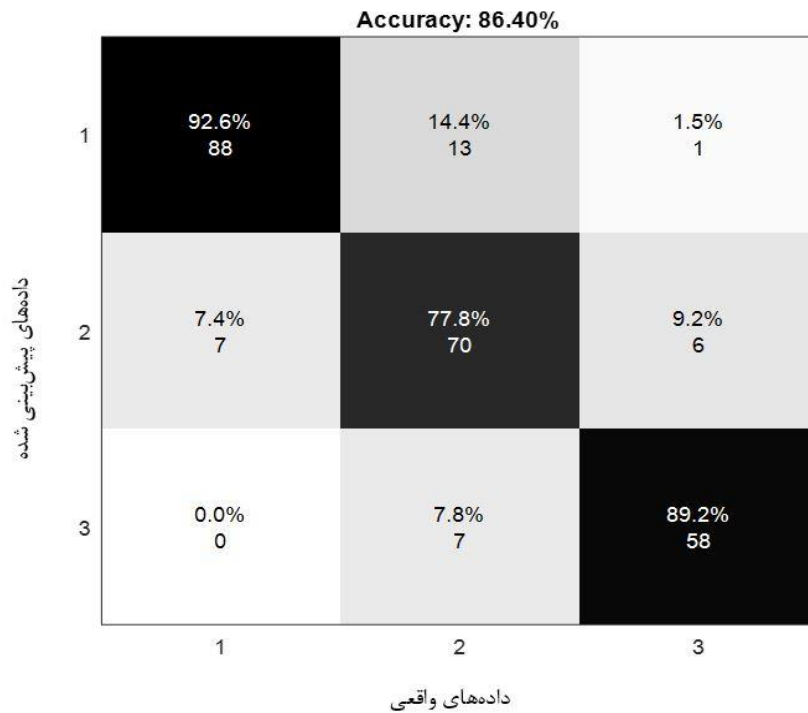
Fig. 12. The model action for classifying the images into three good, fair and poor categories

صورتی که تعداد دسته‌ها بیشتر انتخاب شود، تعداد تصاویر موجودی که به هر دسته تعلق می‌گیرد، کاهش می‌یابد. همچنین دسته‌بندی تصاویر توسط خبره نیز مشکل‌تر می‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده توسط الگوریتم‌های دسته‌بندی و همچنین ماهیت هر یک از ویژگی‌ها و با چندین بار تغییر در بازه‌های عددی و اولویت بندی در استفاده از ویژگی‌ها و مقایسه دقت و صحت مدل بدست آمده، در آخر مدلی که در شکل ۱۲ آورده شده است به منظور دسته‌بندی تصاویر در نظر گرفته شد. در شکل ۱۲ جهت نمایش میانگین کمینه‌های نسبی و مساحت بزرگترین کمینه نسبی به ترتیب از Mp_{min} و $A_{maxP_{min}}$ استفاده گردید.

۶- نتایج

جهت بررسی نحوه عملکرد و اعتبارسنجی مدل پیشنهادی تعدادی تصویر که تا به اینجا از آن‌ها استفاده نشده است، انتخاب شد و با استفاده از نظر خبره به دسته‌بندی آن‌ها پرداخته شد. با استفاده از ماتریس درهم‌ریختگی و داده‌های انتخاب شده به بررسی مدل

ویژگی‌ای می‌باشد که به عنوان گره انتخاب شده است. از بین تمامی ویژگی‌های ارائه شده، ویژگی مساحت زیرنمودار و ضریب تغییرات جزء ویژگی‌هایی می‌باشند که در روش‌های بیشتری به عنوان گره انتخاب شده‌اند. و بیشترین دقت نیز مربوط به زمانی می‌باشد که مساحت زیر نمودار به عنوان اولین ویژگی انتخاب شده است. بعد از این دو ویژگی، صفات‌های مرتبط با کمینه‌های نسبی دارای بیشترین تأثیر در دسته‌بندی می‌باشند. ویژگی‌های مرتبط با کمینه نسبی نشان دهنده وضعیت محل‌هایی با عدم وجود اندود و یا کم بودن اندود می‌باشند. در خصوص یافتن محل‌هایی که نازل‌ها به خوبی پاشش انجام نداده‌اند از ویژگی مساحت بزرگترین کمینه نسبی استفاده می‌گردد. این ویژگی نشان می‌دهد محلی که به عنوان کمینه انتخاب گردیده است آیا به درستی می‌توان آن را جزء محل عدم کار کردن نازل دانست یا خیر. در صورتی که بتوان از عدم اجرای یکی از نازل‌ها اطمینان حاصل کرد در نتیجه می‌توان آن قطعه را جزء یک دسته ضعیف‌تر قرار داد. به منظور دسته‌بندی تصاویر از ۳ دسته استفاده می‌شود. در



شکل ۱۳. ماتریس درهم‌ریختگی برای نمونه شامل ۲۵۰ تصویر

Fig. 13. The confusion matrix for a sample containing 250 images

درست در مقابل تمام خروجی‌های مثبت و مقادیر پیش‌بینی شده منفی درست در مقابل تمام خروجی‌های منفی می‌باشد. حال می‌توان با استفاده از داده‌های جدول ۱۳ منحنی راک را رسم نمود. معیار مساحت زیر منحنی که نشان دهنده شاخصی از کیفیت مدل است می‌تواند مقداری بین ۰ تا ۱ را داشته باشد [۳۸]. منحنی راک برای هر سه دسته خوب، متوسط و ضعیف در شکل ۱۴ آورده شده است و مقدار مساحت زیر منحنی^۳ آن‌ها به ترتیب برابر ۰/۹۰۴، ۰/۸۶۵ و ۰/۹۲۷ می‌باشد. این مقادیر نشان دهنده کارایی خوب مدل در پیش‌بینی است.

زمان لازم جهت دسته‌بندی هر تصویر برای ۵۰ عکس محاسبه گردید و در شکل ۱۵ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد

پردازش می‌شود. در شکل ۱۳ خروجی برنامه ماتریس درهم‌ریختگی^۱ از متلب آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود صحت برابر ۸۶/۴ درصد به دست آمده است.

نتایج کارآمدتری می‌توان از ماتریس درهم‌ریختگی بدست آورد. این نتایج که شامل صحت و دقت و خطا و ... می‌باشند در جدول ۱۳ آورده شده است. دقت بیانگر تعداد پیش‌بینی‌های درست در مقابل همه‌ی موارد پیش‌بینی شده است.

به منظور سنجش میزان کارایی در دسته‌بندی نیز از منحنی مشخصه عملکرد سیستم^۲ (راک) که از رسم حساسیت در برابر مقادیر مثبت غلط (اختصاصی بودن -۱) بدست می‌آید، استفاده می‌شود. حساسیت و اختصاصی بودن به ترتیب بیایگر مقادیر پیش‌بینی مثبت

جدول ۱۳. اطلاعات مربوط به بررسی دسته‌بندی ۲۵۰ تصویر توسط مدل پیشنهادی

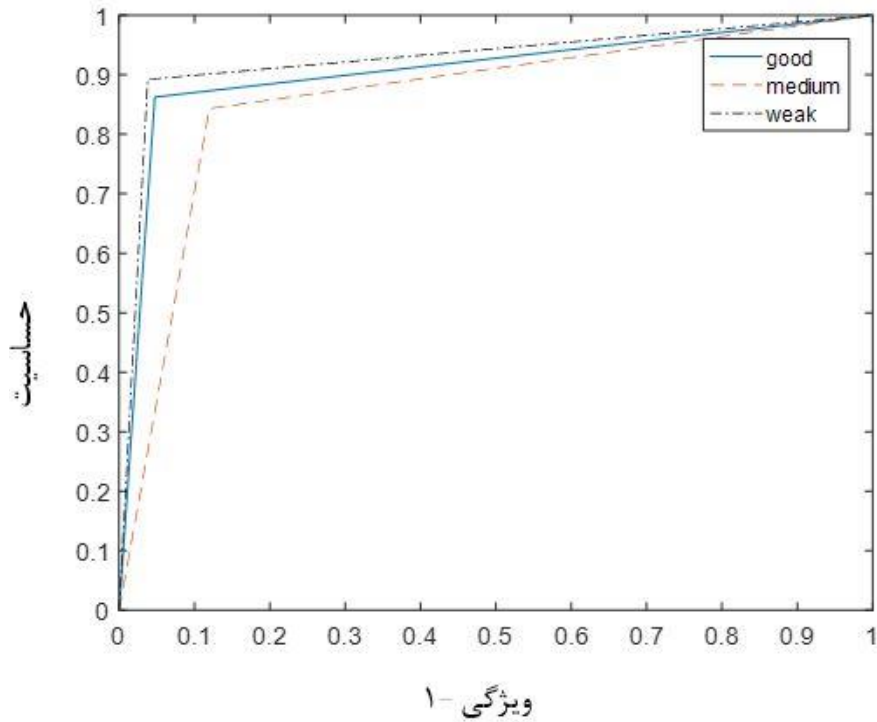
Table 13. The information on investigating 250 images classification by the proposed model

FPR	اختصاصی بودن (TNR)	حساسیت (TPR)	مقدار F1	خطا	صحت	دقت	دسته‌بندی
۰/۰۴۷	۰/۹۵۳	۰/۸۶۳	۰/۸۹۳	۰/۱۳۷	۰/۸۶۳	۰/۹۲۶	خوب
۰/۱۲۰	۰/۸۸۰	۰/۸۴۳	۰/۸۰۹	۰/۱۵۷	۰/۸۴۳	۰/۷۷۸	متوسط
۰/۰۳۸	۰/۹۶۲	۰/۸۹۲	۰/۸۹۲	۰/۱۰۸	۰/۸۹۲	۰/۸۹۲	ضعیف

1 confusion matrix

2 Receiver operating characteristic (ROC)

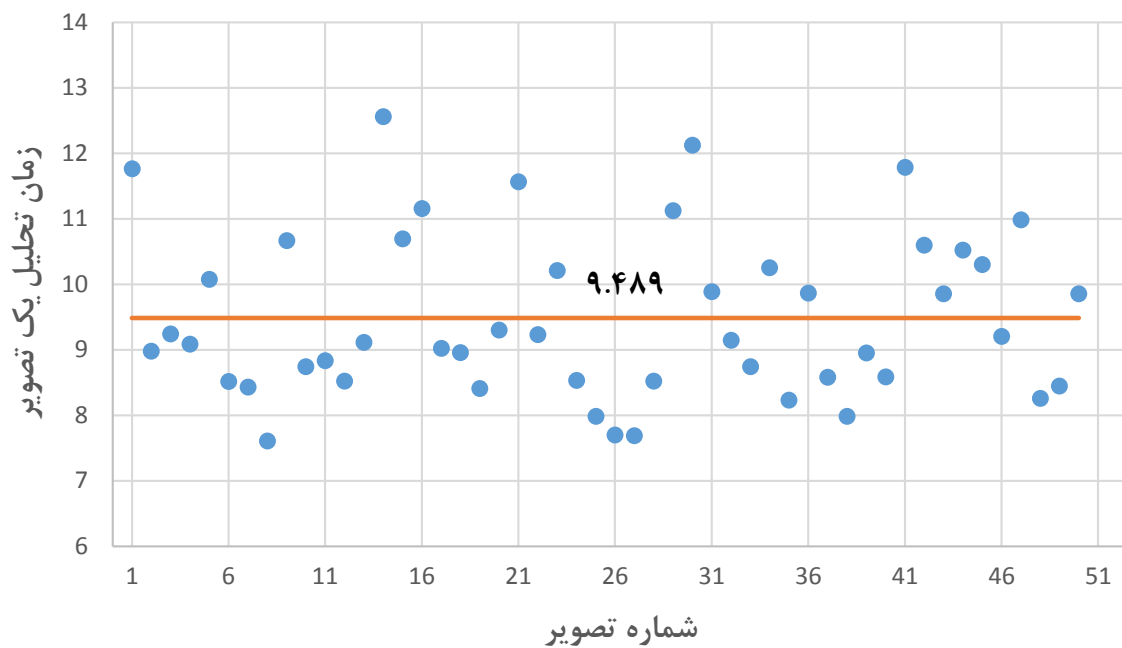
3 Area Under Curve (AUC)



شکل ۱۴. منحنی مشخصه عملکرد سیستم

Fig. 14. The system performance characteristic curve

زمان لازم برای هر تصویر بین ۷ تا ۱۳ ثانیه متغیر می‌باشد و میانگین زمان برابر ۹/۵ ثانیه می‌باشد. که به طور کلی نشان دهنده سرعت بالای تحلیل و آنالیز تصاویر در سیستم پیشنهادی می‌باشد.



شکل ۱۵. زمان محاسبات برای ۵۰ تصویر بر حسب ثانیه

Fig. 15. The calculation time for 50 images in sec

۷- ارائه شاخص توزیع یکنواخت اندود^۱

در کنار دسته‌بندی تصاویر، ارائه شاخصی که نشان‌دهنده وضعیت توزیع اندود باشد، می‌تواند اثرگذاری خوبی در درک نحوه اجرا به ناظران بدهد، بدین جهت به تعریف شاخص توزیع یکنواخت اندود پرداخته شد. با توجه به اینکه توزیع یکنواخت اندود شاخصی است که به مقدار سطح پوشیده شده توسط اندود وابسته است، بنابراین

$$cud = \sum_{y=1}^m \sum_{x=1}^n (\phi(x,y) = 0) / (m \times n) \times 100 \quad (13)$$

شاخص اولیه می‌بایست به گونه‌ای تعریف شود که این ویژگی را در بر بگیرد.

که در آن $\phi(x,y)$ تصویر حاصل از آستانه‌گذاری، m و n نشان‌دهنده‌ی سایز تصویر و cud شاخص اولیه می‌باشند. این مقدار همان درصد مساحت اندود می‌باشد که در قسمت بررسی الگوریتم‌های آستانه‌گذاری از آن استفاده گردید و تقریباً با مقدار مساحت زیر نمودار استفاده شده در ساخت مدل برابر می‌باشد.

با توجه به اینکه مدل ارائه شده از دقت بالایی برخوردار می‌باشد، در نتیجه می‌توان از پارامترهای مؤثر در مدل استفاده نمود. در خصوص ضرایب تغییرات مشاهده گردید هر چه ضریب تغییرات کمتر باشد، اندود بصورت یکنواخت‌تر پخش شده است. همچنین هر چه مساحت کمینه‌های نسبی بیشتر و میانگین کمینه‌های نسبی کمتر باشند، این معنا را می‌دهد که محل‌های با عدم وجود اندود، بزرگ‌تر هستند. با توجه به توضیحات گفته شده به تعریف ۲ پارامتر Acv

$$A_{cv} = 1 - \frac{cv}{100} \quad (14)$$

$$P_{min} = \begin{cases} 1 & \frac{A_{pmin}}{M_{pmin}} \times 100 < 1 \\ 5 & \frac{A_{pmin}}{M_{pmin}} \times 100 > 5 \\ \frac{A_{pmin}}{M_{pmin}} \times 100 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

و $pmin$ پرداخته شد. این دو پارامتر به صورت رابطه (۱۴) و (۱۵) تعریف می‌شوند.

1 Coating Uniform Distribution Index

که در آن cv درصد ضریب تغییرات، A_{pmin} مساحت کمینه‌های نسبی و M_{pmin} میانگین کمینه‌های نسبی می‌باشد. با توجه به اینکه این مقادیر با استفاده از نمودارهای عمودی و افقی بدست می‌آید، در نتیجه شاخص توزیع یکنواخت اندود برای هر دو جهت عمودی و قائم

$$CUD_i = cud^{(1 - \frac{P_{min,i}}{100})} \times A_{cv,i} \quad (16)$$

$$CUD = \min(CUD_h, CUD_v)$$

محاسبه می‌گردد و در نهایت مقدار حداقل به عنوان شاخص نهایی ارائه می‌گردد. شاخص توزیع یکنواخت اندود توسط معادله (۱۶) محاسبه می‌گردد.

در این معادلات، CUD_i نشان‌دهنده شاخص در جهت افقی و قائم است. مقدار پارامترها و شاخص نهایی برای ۱۷ تصویر که در مدل‌سازی از آنان استفاده شد و نحوه دسته‌بندی‌شان مشخص می‌باشد، در جدول ۱۴ آورده شده است.

میانگین شاخص بدست آمده برای هر یک از دسته‌های خوب، متوسط و ضعیف به ترتیب برابر $78/9$ ، $57/5$ و $36/5$ می‌باشد. مقادیر حاصله برای هر دسته، نشان دهنده‌ی عملکرد مناسب شاخص CUD می‌باشد.

۸- نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک سیستم جدید بر اساس پردازش تصویر به منظور تحلیل توزیع یکنواخت اندود پیاده‌سازی و امکان‌سنجی شد. آزمایش سینی که یکی از روش‌های سنتی بررسی اندود است، علاوه بر اینکه به افراد متخصص برای انجام آزمایش نیاز دارد، در مرحله آزمایش زمان و انرژی قابل ملاحظه‌ای از کاربر می‌گیرد. این آزمایش تنها توانایی توزین قیر را دارد و بدلیل پیوسته نبودن برداشت و نحوه هم پوشانی، توانایی بررسی یکنواختی توزیع اندود را ندارد. در مقابل نتایج حاصل از این سیستم پیشنهادی با بهره‌گیری مناسب از پردازش تصویر و تبدیل موجک و ارائه یک روش متفاوت و انعطاف‌پذیر برای تحلیل سطح اندود شده، نشان می‌دهد که ابزار مناسبی برای بررسی یکنواختی توزیع اندود است. بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در کنار آزمایش سینی نتایج کامل‌تری را برای تفسیر اجرای

جدول ۱۴. مقادیر پارامترهای A_{cv} و p_{min} به همراه شاخص CUD حاصل از آنالیز ۱۷ تصویر

Table 14. The values of A_{cv} and p_{min} parameters along with CUD index of 17 images analysis

شماره تصویر	cud	$A_{cv.v}$	$A_{cv.h}$	$P_{min.v}$	$P_{min.h}$	CUD_v	CUD_h	CUD	دسته‌بندی صحیح
۱	۹۹/۱۰۸	۰/۹۸۶	۰/۹۹۱	۱	۱	۹۳/۳۷۲	۹۳/۸۲۶	۹۳/۳۷۲	خوب
۲	۹۴/۱۷۳	۰/۹۲۸	۰/۹۴۴	۲/۷۱۲	۱/۷۰۹	۷۷/۳۹۲	۸۲/۳۵۹	۷۷/۳۹۲	خوب
۳	۸۷/۹۸۸	۰/۹۷۱	۰/۹۶۵	۱	۱/۷۴۴	۸۱/۶۸۲	۷۸/۵۶۶	۷۸/۵۶۶	خوب
۴	۸۸/۷۰۹	۰/۸۹۷	۰/۸۴۰	۲/۱۱۴	۵	۷۲/۵۷۹	۶۰/۰۸۹	۶۰/۰۸۹	متوسط
۵	۸۷/۰۸۵	۰/۷۸۰	۰/۹۳۳	۵	۱/۱۰۴	۵۵/۰۰۶	۷۷/۴۲۷	۵۵/۰۰۶	متوسط
۶	۸۶/۸۸۸	۰/۷۶۳	۰/۹۴۶	۵	۱/۱۹۹	۵۳/۷۶۶	۷۷/۹۶۱	۵۳/۷۶۶	متوسط
۷	۸۳/۸۸۶	۰/۸۸۸	۰/۹۳۹	۵	۱	۶۰/۰۳۹	۷۵/۴۳۹	۶۰/۰۳۹	متوسط
۸	۸۲/۳۴۰	۰/۹۲۰	۰/۸۶۲	۴/۰۰۵	۴/۶۶۲	۶۳/۷۲۳	۵۸/۲۱۰	۵۸/۲۱۰	متوسط
۹	۸۲/۲۱۹	۰/۹۷۳	۰/۹۳۴	۱/۱۷۹	۳/۴۰۲	۷۵/۹۳۵	۶۶/۲۶۱	۶۶/۲۶۱	خوب
۱۰	۷۷/۰۹۴	۰/۹۶۹	۰/۹۳۷	۲/۳۸۰	۵	۶۷/۳۸۳	۵۸/۲۹۸	۵۸/۲۹۸	متوسط
۱۱	۷۳/۷۸۳	۰/۸۱۱	۰/۹۳۹	۵	۲/۲۰۲	۴۸/۷۸۰	۶۳/۰۸۲	۴۸/۷۸۰	ضعیف
۱۲	۶۸/۶۴۸	۰/۷۲۴	۰/۹۵۴	۵	۳/۱۴۶	۴۰/۸۵۹	۵۷/۴۰۸	۴۰/۸۵۹	ضعیف
۱۳	۶۷/۳۴۲	۰/۹۱۲	۰/۹۲۵	۱/۷۵۰	۲/۰۱۵	۵۷/۱۱۸	۵۷/۳۱۵	۵۷/۱۱۸	متوسط
۱۴	۶۱/۶۵۷	۰/۷۱۸	۰/۷۲۳	۵	۲/۲۴۳	۳۶/۶۴۹	۴۰/۹۴۴	۳۶/۶۴۹	ضعیف
۱۵	۶۱/۳۵۲	۰/۶۸۳	۰/۹۵۱	۵	۵	۳۴/۷۴۲	۴۷/۵۹۲	۳۴/۷۴۲	ضعیف
۱۶	۶۰/۶۴۶	۰/۷۱۴	۰/۹۴۱	۵	۳/۹۲۰	۳۵/۸۸۱	۴۸/۶۹۱	۳۵/۸۸۱	ضعیف
۱۷	۵۵/۷۸۴	۰/۴۶۷	۰/۹۳۰	۵	۵	۲۲/۱۴۸	۴۲/۵۶۲	۲۲/۱۴۸	ضعیف

اندود ارائه دهد.

سنگ به دستگاه توسعه داده شده و یا اضافه نمودن نرخ پخش قیر به عنوان ورودی در نرم‌افزار توسعه داده شده در مورد توزیع میزان قیر بر اساس تصویر نظر داد. همچنین می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف هوش مصنوعی در مرحله ارائه مدل و نیز ارائه ضرایب کالیبره که پارامترهایی همچون دما و رطوبت هوا، دمای قیر، نوع قیر، ترافیک مسیر و غیره را بر شاخص نهایی اعمال کند، نتایج حاصل را بهبود بخشید.

مراجع

- [1] A. Karshenas, Tack Coat Bond Strength Evaluation Methods and Mechanistic Design of the Interface for Multilayer Asphalt Pavement, University Of North Carolina, 2015.
- [2] S.A. Cross, P.P. Shrestha, Guidelines for Using Prime and Tack Coats, FHWA-CFL-04-001, 2004.
- [3] Asphalt-Institute, HMA Construction of Hot Mix Asphalt Pavements; Manual Series No. 22 (HMA Construction), (2003).
- [4] L.N. Mohammad, M. Raqib, B. Huang, Influence of asphalt tack coat materials on interface shear strength, Transportation Research Record, 1789(1)

علاوه بر این در این سیستم هم در قسمت نصب دستگاه و هم در قسمت نرم‌افزار نیازی به فرد متخصص نیست و در نهایت می‌توان گفت سیستم کنترل صحت اجرای اندود با یک راهکار ابتکاری در زمینه آنالیز تصاویر اندود سطحی و نفوذی، می‌تواند با سرعت و دقت قابل قبولی در مقایسه با کنترل‌های چشمی، از اجرای یکنواخت اندودها اطمینان حاصل کند. از نتایج کاربردی این سیستم می‌توان به استفاده مسئولان ذی‌ربط برای تصمیم‌گیری و مدیریت تعمیر و نگهداری‌های آتی اشاره کرد. با استفاده از این سیستم می‌توان از ایرادات دستگاه قیرپاش نیز مطلع گردید و در اجراهای بعدی به رفع نقص نازل‌های معیوب پرداخت. در پروژه‌های با اهمیت زیاد می‌توان به صورت همزمان از درستی اجرای اندود اطمینان حاصل کرد. در صورتی که قسمتی از مسیر نیاز به اجرای مجدد داشته باشد، با استفاده از سیستم موقعیت یاب می‌توان از محل آن مطلع گردید.

از محدودیت‌های این سیستم می‌توان به عدم تعیین وزن قیر اشاره کرد، که با وجود این محدودیت توانایی تشخیص اسپری بیش از حد قیر که موجب قیرزدگی می‌گردد را نیز ندارد. در ادامگی مراحل توسعه سیستم پیشنهادی می‌توان با اضافه نمودن دبی سنگ و سرعت

- construction practices that influence the bond strength at the interface between pavement layers, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 22(3) (2008) 154-161.
- [16] N.-D. Hoang, Q.-L. Nguyen, A novel method for asphalt pavement crack classification based on image processing and machine learning, *Engineering with Computers* 35.2, (2019) 487-498.
- [17] N.-D. Hoang, Q.-L. Nguyen, D. TienBui, Image processing-based classification of asphalt pavement cracks using support vector machine optimized by artificial bee colony, *Journal of Computing in Civil Engineering* 32.5, (2018).
- [18] N.-D. Hoang, Detection of surface crack in building structures using image processing technique with an improved Otsu method for image thresholding, *Advances in Civil Engineering*, (2018).
- [19] Y.S. Kumbargeri, I. Boz, M.E. Kutay, Investigating the effect of binder and aggregate application rates on performance of chip seals via digital image processing and sweep tests, *Construction and Building Materials* 222, (2019) 213-221.
- [20] Xing, H. Xu, Y. Tan, X. Liu, Q. Ye, Mesostructured property of aggregate disruption in asphalt mixture based on digital image processing method, *Construction and Building Materials* 200, (2019) 781-789.
- [21] M. Staniek, Detection of cracks in asphalt pavement during road inspection processes, *Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska*, (2017).
- [22] M. Baqersad, A. Hamed, M. Mohammadafzali, H. Ali, Asphalt mixture segregation detection: digital image processing approach, *Advances in Materials Science and Engineering*, (2017).
- [23] Y. Noh, D. Koo, Y.-M. Kang, D. Park, D. Lee, Automatic crack detection on concrete images using segmentation via fuzzy C-means clustering, *International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*, (2017).
- [24] X. Xie, G. Lu, P. Liu, D. Wang, Q. Fan, M. Oeser, (2002) 56-65.
- [5] Asphalt-Institute, a basic asphalt emulsion manual. Manual series no. 19. Third edition, (1997) Chapter three.
- [6] N.A.P. Association, A.P.W. Association, Hot-Mix Asphalt Paving Handbook 2000: AC150/5370-14A Appendix 1, 0309071577, United States. Army. Corps of Engineers, 2000.
- [7] K. Hasiba, Development of a testing approach for tack coat application rate at pavement layer interfaces, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2012.
- [8] J.-S. Chen, C.-C. Huang, Effect of surface characteristics on bonding properties of bituminous tack coat, *Transportation Research Record*, 2180(1) (2010) 142-149.
- [9] A. Raposeiras, D. Castro-Fresno, A. Vega-Zamanillo, J. Rodriguez-Hernandez, Test methods and influential factors for analysis of bonding between bituminous pavement layers, *Construction and Building Materials*, 43 (2013) 372-381.
- [10] Bae, L.N. Mohammad, M.A. Elseifi, J. Button, N. Patel, Effects of temperature on interface shear strength of emulsified tack coats and its relationship to rheological properties, *Transportation Research Record*, 2180(1) (2010) 102-109.
- [11] J.C. Du, Evaluation of shear strength on pavement layers by use tack materials, in: *Advanced Materials Research*, Trans Tech Publ, 2011, pp. 3176-3179.
- [12] Deysarkar, Test set-up to determine quality of tack coat, The University of Texas at El Paso, 2004.
- [13] B.B. Sutradhar, Evaluation of bond between bituminous pavements layers, National Institute of Technology, 2012.
- [14] L.N. Mohammad, A. Bae, M.A. Elseifi, J. Button, J.A. Scherocman, Evaluation of bond strength of tack coat materials in field: Development of pull-off test device and methodology, *Transportation Research Record*, 2126(1) (2009) 1-11.
- [15] L. Tashman, K. Nam, T. Papagiannakis, K. Willoughby, L. Pierce, T. Baker, Evaluation of

- contrast-limited adaptive histogram equalization with dual gamma correction, IEEE Access, 6 (2018) 11782-11792.
- [32] R.C. Gonzalez, R.E. Woods, Digital image processing [M], Publishing house of electronics industry, 141(7) (2002).
- [33] A.W. Busch, Wavelet transform for texture analysis with application to document analysis, Queensland University of Technology, 2004.
- [34] E. Avci, An expert system based on Wavelet Neural Network-Adaptive Norm Entropy for scale invariant texture classification, Expert Systems with Applications, 32(3) (2007) 919-926.
- [35] J.S. Walker, A primer on wavelets and their scientific applications, CRC press, 2002.
- [36] X. Zheng, H. Ye, Y. Tang, Image bi-level thresholding based on gray level-local variance histogram, Entropy, 19(5) (2017) 191.
- [37] M. Sezgin, B. Sankur, Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation, Journal of Electronic imaging, 13(1) (2004) 146-166.
- [38] M. Hossin, M. Sulaiman, A review on evaluation metrics for data classification evaluations, International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process, 5(2) (2015) 1.
- Evaluation of morphological characteristics of fine aggregate in asphalt pavement, Construction and Building Materials, (2017) 1-8.
- [25] H. zakeri, An expert system for pavement distress classification, Amirkabir University of Technology, 2008.
- [26] N. Ismail, A. Ismail, R. Atiq, An overview of expert systems in pavement management, European Journal of Scientific Research, 30(1) (2009) 99-111.v
- [27] Image processing toolbox user's guide, the mathworks Inc, (2011).
- [28] J.A. Stark, Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization, IEEE Transactions on image processing, 9(5) (2000) 889-896.
- [29] O.S. Temiatse, S. Misra, C. Dhawale, R. Ahuja, V. Matthews, Image Enhancement of Lemon Grasses Using Image Processing Techniques (Histogram Equalization), in: International Conference on Recent Developments in Science, Engineering and Technology, Springer, 2017, pp. 298-308.
- [30] R.C. Gonzalez, R.E. Woods, S.L. Eddins, Digital image processing using MATLAB. 2004, Publisher T. Robbins, Printed in USA, 11 (2009) 531-534.
- [31] Y. Chang, C. Jung, P. Ke, H. Song, J. Hwang, Automatic

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

M. Hajiali, F. Moghadas Nejad, H. Zakeri, Providing Criterion to Automatic Evaluation of the Accuracy of Distribution of Tack Coat and Prime Coat Pavement Roads. Amirkabir J. Civil Eng., 53(3) (2021) 823-846.

DOI: [10.22060/ceej.2020.16463.6250](https://doi.org/10.22060/ceej.2020.16463.6250)



