

ارزیابی خودکار خرابی روسازی با استفاده از انتقال ویژه رادون و ارائه شاخص کلی وضعیت روسازی

حمزه ذاکری، استادیار، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران
*فریدون مقدس نژاد، استاد، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: moghadas@aut.ac.ir

دریافت: ۹۶/۱۰/۲۰ - پذیرش: ۹۷/۰۴/۲۰

صفحه ۲۵۸-۲۴۹

چکیده

شناسایی و ارزیابی خودکار خرابی روسازی از بخش‌های مهم و نوظهور سامانه‌های مدیریت روسازی بشمار می‌رود. در اکثر روش‌های تشخیص الگو از آستانه سازی به منظور خودکار سازی پردازش‌های مربوطه استفاده می‌کنند. در این مقاله یک روش جدید بمنظور تعیین یک آستانه کارآمد جهت ارزیابی ترک خوردگی روسازی ارائه شده است. در روش ارائه شده از داده‌های انتقال سه بعدی رادون به منظور تحیل و شاخص گذاری ترک خوردگی استفاده شده است. همچنین بر اساس تئوری فازی، یک روش جدید انعطاف پذیر بر اساس داده‌های تصویری ارائه شده است. بمنظور ارزیابی کارایی روش ارائه شده، یک مقایسه کلی بین روش آستانه گذاری ثابت و فیلتر گذاری ویژه انجام شده است. روش پیشنهادی بر روی یک مجموعه تصویر، آزمایش و کارایی روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد، روش پیشنهادی به لحاظ سرعت، دقت و جامعیت، از سایر روشهای موجود عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. این روش را می‌توان به منظور تعیین نوع، شدت، وسعت خرابی و ارزیابی کلی وضعیت ترک خوردگی روسازی در تحلیل خودکار استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، آستانه سازی، انتقال رادون، روسازی آسفالتی، ترک خوردگی

۱- مقدمه

اکثر روش‌های کاربردی برای ارزیابی خرابی سطحی روسازی، بر اساس ارزیابی بصری بصورت دستی و نمیه خودکار استوار است. اینگونه روش‌ها بسیار زمان بر، پر هزینه، خطرناک و دارای خطا هستند. در مقایسه با این روش‌ها، روش‌های خودکار سریع، کم هزینه، با قابلیت اطمینان بالا، تکرار پذیر و موثر در کاهش انواع خطا بشمار می‌روند. مشکل اساسی در سیستم‌های موجود، تشخیص و آنالیز داده‌های برداشت شده توسط ابزار و سیستم‌های خودکار است. انتخاب نوع روش جهت آنالیز اتوماتیک دارای اهمیت فراوانی است که در موفقیت یک سیستم و ماندگاری آن نقش اساسی دارد (Nejad & Zakeri, 2011a; Zakeri, Nejad, & Fahimifar, 2011b; 2017). در روش ارائه شده، نمونه‌های برداشت شده دارای

خرابی از فیلتر طراحی شده عبور و در پایگاه خرابی برنامه جهت ادامه آنالیز ذخیره می‌شوند. برنامه با پردازش فایل دارای نمونه‌ها، تصویر خرابی را آنالیز و نوع، شدت و وسعت خرابی را با توجه به معیارهای پیشنهاد شده در پایگاه دانش، بطور خودکار تحلیل و طبقه‌بندی می‌کند. تحقیقات فراوانی با درصدهای موفقیت متفاوت بمنظور خودکار سازی آنالیز تصاویر انجام شده، اما بدلیل ماهیت متغییر تصاویر روسازی تاکنون روشی جامع با قابلیت مناسب برای تعیین مشخصات خرابی ارائه نشده است. از طرفی، بیشتر الگوریتم‌های ارائه شده، از محاسبات سنگین و پیچیده استفاده می‌کنند. علی‌رغم تلاشهای فراوان برای ارزیابی الگوریتم‌های تشخیص ترک خوردگی،

گروهی از محققان با استفاده از روش فازی و انتقال هاف نوع ترک را شناسایی و طبقه‌بندی کردند. بطور کلی استفاده از این روشها بمنظور شناسایی خصوصیات کلی یک تصویر به جای آنالیز کل تصویر بکار گرفته می‌شود، بیشترین موفقیت در استفاده از این روشها، ۸۵ درصد در طبقه‌بندی گزارش شده است (H HD Cheng, Chen, Glazier, & Hu, 1999; Cheng, Jiang, Li, & Glazier, 1999; H Cheng et al., 2001). از روشهای مقایسه‌ای، که در آن از یک پایگاه داده از پیش تعیین شده استفاده می‌شود، و بر اساس خصوصیات هندسی و تئوری فازی تشخیص و طبقه‌بندی می‌کند استفاده شده است (Wan & Shi, 2007). در سال ۲۰۰۴، یک روش دو مرحله‌ای براساس انتقال رادون و موجک برای تشخیص و طبقه‌بندی خرابی ناشی از ترک خوردگی توسط زو ارائه شد (Zhou, Huang, & Chiang, 2006; Zhou, 2004). این تحقیق تعدادی شاخص جهت شناسایی خرابی و شامل درصد ضرائب موجک با دامنه بالا، درصد انرژی در فرکانس بالا و انحراف معیار معرفی شد. این معیارها بر روی چند پایگاه تصویر با شدت، وسعت و انواع متفاوت آزمایش و کارایی آن به اثبات رسیده است. علی‌رغم کارایی بالای این روش در تشخیص و طبقه‌بندی خرابی روسازی، با این حال کمبود استفاده از آستانه ثابت و غیر قابل تغییر، این روش را غیر مقاوم در برابر نویز و روسازی با نور پردازی‌های مختلف نموده است (Zhou et al., 2006; Zhou, 2004). برای تصاویر با شدت رنگ غیر یکنواخت که عموماً در تصاویر روسازی دیده می‌شود، انتخاب آستانه کار مشکلی است. با توجه به قابلیت‌های روش موجک در تعیین لبه، ونگ و همکارانش در سال ۲۰۰۸، از الگوریتم تروس برای جدا سازی ترک استفاده کردند. نتایج نشان دهنده کارایی بالای این روش در تشخیص خرابی است (Zakeri & Nejad, 2011a; Nejad, 2011b; Zakeri et al., 2017). با توجه به قابلیت‌های بالای روش ارائه شده توسط زو، در سال ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵، مقدس نژاد و ذاکری، در سال ۲۰۱۶-۲۰۱۱، تلاشهایی جهت توسعه روش و رفع مشکل آستانه ثابت انجام دادند. در این تحقیق از روشی تحت عنوان DNN استفاده شد. مطابق با این روش اگر آستانه مشخص نباشد، از یک آستانه کمکی برای ادامه آنالیز استفاده می‌شود. این روش قابل توسعه برای مجموعه از آستانه‌ها است. این روش نسبت به آستانه ثابت کارایی بالاتری داشته و درصد موفقیت آن بالاتر از روش ثابت است (Nejad & Zakeri, 2017).

روشهای موثرتری برای تشخیص و طبقه‌بندی دقیقتر ترک خوردگی مورد نیاز است.

تعیین آستانه مناسب، مهمترین مرحله در راستای پیاده سازی یک الگوریتم تشخیص و طبقه‌بندی به شمار می‌رود. انتخاب آستانه دقیق برای تصاویر روسازی بصورت ثابت، عملاً امکانپذیر نیست. بدلیل تغییر در ماهیت تصویر، استفاده از روشهای دینامیک انتخاب آستانه ضروری است. اینگونه تصاویر عموماً دارای ماهیت فازی هستند و علاوه بر آن خود خرابی‌ها دارای مرز مشخص یا ثابتی نیستند. خود تصاویر فازی بدلیل ماهیت تغییر پذیری دارای ابهام در یک تصویر، دارای خاصیت فازی ثانویه هستند (Zhang, Qu, He, & Shi, 2009).

۲- پیشینه تحقیق

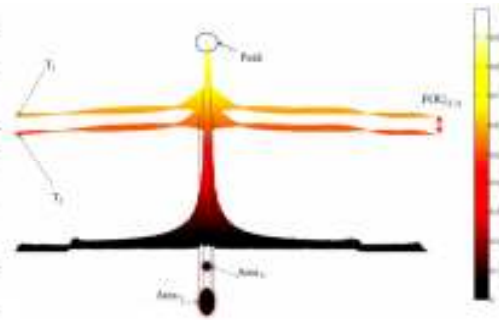
در سالهای اخیر، پردازش تصویر در تحلیل روسازی توجه محققان را جلب و بکارگیری آن نتایج موفقیت آمیزی در بخش مدیریت روسازی راهها داشته است. الگوریتمهای معمولی انتخاب آستانه، مانند معیار استو، آستانه تکرار شونده، آستانه براساس هیستوگرام، روش فازی و نمونه‌های مشابه برای این منظور به دفعات بکار گرفته شده‌اند. اکثر الگوریتمهای موجود تحت تاثیر نویز قرار گرفته و کارایی خود را از دست میدهند. به عبارتی، هنوز الگوریتم مقاوم در برابر نویز برای انتخاب آستانه بدین منظور ارائه نشده است (Alajlan, Kamel, & Ayenu-Prah & Attoh-Okine, Jernigan, 2004; Wan & Shi, 2007; Zarandi, Zarinbal, & Izadi, 2011). در تحقیقی که توسط کو و همکارانش انجام شد، ترکیب شبکه عصبی و مومنت ثابت برای تشخیص و طبقه‌بندی خرابی مورد استفاده قرار گرفت. یک سیستم بر اساس قوانین ساده که از دانش الگوی ترک خوردگی که قابلیت ارزیابی خرابی را نیز داشت، توسط محققان بکار گرفته شد. بکارگیری خصوصیات هندسی و مشخصات بافت روسازی از روشهای بکار گرفته شده برای تعیین خصوصیات خرابی است. علاوه بر روشهای پردازش تصویر، روشهای هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی، منطق فازی، الگوریتم ژنتیک و ... به دفعات مورد استفاده قرار گرفته‌اند. انتخاب یک آستانه با دقت بالا از اهمیت بسزایی در موفقیت پیاده سازی یک الگوریتم، برخوردار است (Zakeri et al., 2011a; Zakeri et al., 2011b; Zakeri et al., 2017).

قائم و مورب در سطح ($K=1,2 \text{ or } 3$) قرار دارند. با استفاده از یک روش جزییات ترکیبی شده و سه معیار ارائه شده است. تئوری روش پیشنهادی در بخش ۲ ارائه شده است. در مرحله استخراج ویژگی تصاویر پس از عبور از WT وارد مرحله انتقال به محیط رادون شده و سپس انتقال به شکل سه بعدی رادون یا 3DRT انجام می‌شود. به منظور اجتناب از کاربرد RT در هر زیر سطح، مازول موجک WM با ترکیب جزییات D و V.H در محیط موجک بدست می‌آید. زمانی که انتقال رادون RT برای مدولهای WT بکار گرفته می‌شود، یک ترک به یک نقطه MAX در محیط RD منتقل می‌شود. پس از تبدیل به 3DRT یک ترک بشکل برآمدگی هائی که دارای اندازه، جهت و حجم هستند، تبدیل و همچنین الگوهای خاصی ایجاد می‌شود. الگوهای پیک در ضریبی از ارتفاع حداکثر برای طبقه بندی نوع ترک و شدت و وسعت ترک خوردگی بکار گرفته شده‌اند.

برای یک نقطه پیک در محیط رادون RD می‌توان از پارامترهایی چون تعداد، محل، مساحت، مقدار یا مساحت و حجم برای توضیح ترکها استفاده کرد. با استفاده از انتقال دو بعدی و سه بعدی رادون این توزیع از سه مرحله ارتقاء هیستوگرام، انقال سریع فوریه و انتقال سریع موجک استخراج و آماده آنالیز و بررسی الگو می‌شود. رابطه بین الگوها، پیک و خصوصیات ترکها نقش کلیدی را در افزایش کارایی کل الگوریتم ایفا می‌کند. انتقال رادون اساساً بر نقش خطی مدولهای موجک با استفاده از ادغام ضرائب موجک در راستای زوایا، جهت، محل و تعدا ترکها تکیه داشته و این مشخصات از موجک و رادون قابل استخراج است. پیکها در محیط رادون ارتباط خوبی با ترکها دارند. تعداد پیک ها مطابق با تعداد ترکها است. بنابراین تعداد می‌تواند برای تعیین نوع ترک شامل ترک تکی یا مرکب بکار رود.

بر اساس قانون انتقال رادون RT، مکان ترکها رامی‌توان به سادگی برای طبقه بندی جهت در محل ترک بکار برد. دو مولفه (θ, x') برای نقاط پیک بکار می‌روند. زاویه تصویر و انتقال θ ، بر جهت ترک عمود است. بنابراین از θ می‌توان برای طبقه بندی ترکهای تکی شامل طولی، عرضی و مورب استفاده کرد. مولفه x' محل انتقال است و برای شناسایی محل ترک بکار می‌رود.

(2011b). نمونه ای از آستانه گذاری متغییر در دو سطح مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است.

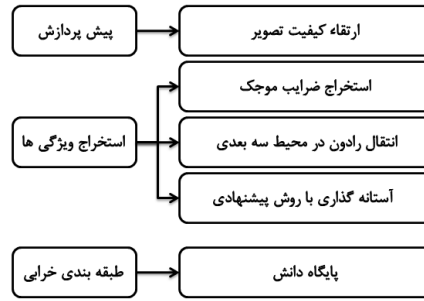
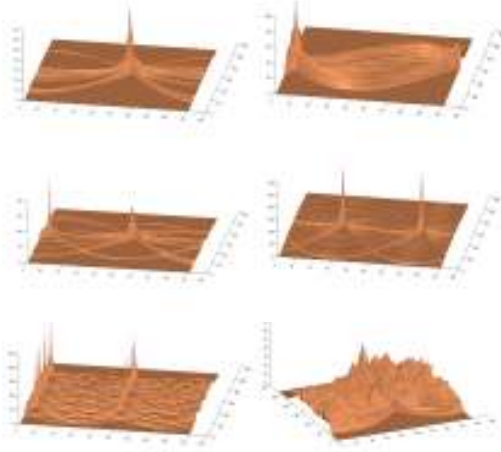


شکل ۱. نمونه ای خروجی روش آستانه متغییر در دو سطح

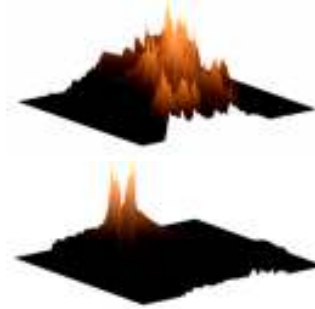
۲- پیشنهاد تحقیق

می‌توان تمامی روشهای ارائه شده را به دو دسته اصلی شامل روشهای تعیین لبه ED آستانه سازی T طبقه بندی نمود. مطابق با تحقیقات انجام شده، خرابی‌های چون ترک، چاله، وصله که بصورت بصری قابل رویت هستند، به ضرائب با دامنه بالا HAWC در زیر سطح HF منتقل می‌شود. همچنین نویز به ضرائب با دامنه کم در زیر سطح با فرکانس بالا منتقل میشود (Zhou, 2004). در بسیاری از تصاویر، شدت پس زمینه به تصویر ترک خوردگی بسیار شبیه یا ترکخوردگی در دسته ترک های مویی قرار دارد، در این موارد انتخاب آستانه کار بسیار مشکلی است که عملاً استفاده از آستانه های ثابت جوابگو نیست. به همین منظور روش سه مرحله ای توسط مقدس نژاد و ذاکری ارائه شده است (Nejad & Zakeri, 2017). (Zakeri et al., 2017) این الگوریتم با دو هدف اصلی ارائه شده است، (۱) تشخیص تصاویر دارای خرابی، (۲) دسته بندی نوع خرابی. بمنظور طبقه بندی خرابی از یک روش سه مرحله ای استفاده شده است. این مراحل در شکل ۲ نشان داده شده است.

در مرحله پیش پردازش برای ارتقا تصویر از یک الگوریتم هیبرید استفاده شده است. این الگوریتم ترکیبی از دو روش تعدیل هیستوگرام تصویر HE و آنالیز فوریه FFT است. بکار گیری این روش هیبرید موجب کسب نتایج دقیقتر در آنالیز نهایی خرابی روسازی میشود. مرحله دوم از روش موجک جهت تجزیه خرابی در سه سطح استفاده شده است. این سه سطح شامل HLK, HHK, LHK هستند که در HF، افقی،

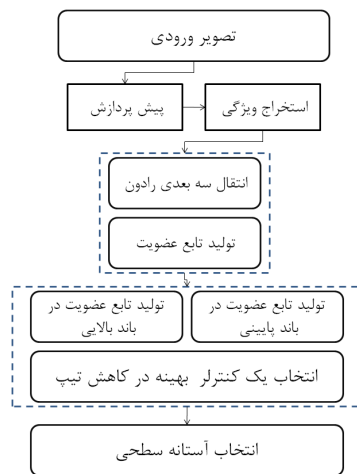


(الف)



(ب)

شکل ۲. الف) الگوریتم پردازش سه مرحله‌ای بمنظور طبقه بندی و ارزیابی خرابی روسازی، ب) نمونه ای از نمونه‌ای از انتقال رادون سه بعدی



شکل ۳. الف) نمونه‌ای از نتایج 3DRT برای خرابی‌های مختلف جهت استخراج دانش جهت ایجاد الگوریتم تشخیص الگو ب) الگوریتم فیلتر ویژه جهت انتخاب آستانه سطحی

۲-۱- روش شناسی و تئوری

در این بخش تئوری روش پیشنهاد شده برای الگوریتم پردازش تصویر پیشنهادی ارائه شده است.

۲-۲- معیارهای شناسایی خرابی

مدول موجک با استفاده از ترکیب جزئیات افقی، قائم و مورب در محیط موجک محاسبه می‌شود.

$$M_k(p, q) = \sqrt{HL_k^2(p, q) + LH_k^2(p, q) + HH_k^2(p, q)} \quad (1)$$

$$D_1(p, q) = \begin{cases} 1 & \text{if } M_1(p, q) \geq C_{th} \\ 0 & \text{if } M_1(p, q) < C_{th}. \end{cases} \quad (2)$$

از انتقال سه بعدی رادون برای استخراج الگوها برای ساخت پایگاه دانش سیستم استفاده می‌شود. به همین منظور نمونه‌ها در محیط 3DRT منقل و تصاویر جدید بدست آمده مبنای تولید قوانین قرار می‌گیرند. برای نمونه های شکل ۳ الف، انتقال 3DRT به خرابی‌های مختلف را نشان می‌دهد. تعیین یک آستانه T برای تشخیص اینکه آیا نقطه موجود یک پیک است یا خیر مرحله مهمی در تشخیص الگو است. این آستانه را میتوان با کالیبره کردن گروهی از تصاویر روسازی با شرایط خرابی متفاوت تعیین نمود اما استفاده از یک آستانه گذاری ثابت نمیتواند تضمین کننده، کارایی الگوریتم در شرایط مختلف باشد. بمنظور تعیین آستانه از یک الگوریتم جدید با نام فیلتر ویژه استفاده شده است. الگوریتم فیلتر ویژه و نمونه‌ای از خروجی‌ها در شکل ۳- الف و ب نشان داده شده است.

(۶)

$$HFEP = \frac{\sum_{k=0}^K \sum_{p=0}^{W/2^k} \sum_{q=0}^{L/2^k} [HL_k^2(p, q) + LH_k^2(p, q) + HH_k^2(p, q)]}{\sum_{m=0}^W \sum_{n=0}^L I^2(m, n)}$$

در این رابطه k سطح تجزیه شده است که مقدار آن برابر با ۳ در نظر گرفته شده است. زمانی که تصاویر به مجموعه‌ای از زیر سطح‌ها تجزیه می‌شود، انرژی تقریبی و جزئیات انرژی با توجه به معادله ۷ قابل محاسبه است.

$$\begin{aligned} & \sum_{m=0}^W \sum_{n=0}^L I^2(m, n) \\ &= \sum_{k=0}^K \sum_{p=0}^{W/2^k} \sum_{q=0}^{L/2^k} [HL_k^2(p, q) + LH_k^2(p, q) + HH_k^2(p, q)] \\ &+ \sum_{p=0}^{W/2^k} \sum_{q=0}^{L/2^k} LL_k^2(p, q) \end{aligned} \quad (۷)$$

در رابطه ۷، LLK ضریب موجک در زیر سطح تقریبی آنست. مطابق با رابطه کل انرژی تمام زیر سطح‌ها، جزئیات و تقریب‌ها باید برابر با انرژی تصویر اصلی باشد. هیچ انرژی با تجزیه و ولت کاهش نمی‌یابد. شاخص $HFEP$ را می‌توان به جای معادله ۳-۷ با استفاده از معادله ۸ بدست آورد.

$$HFEP = 1 - \left\langle \frac{\sum_{p=0}^{W/2^k} \sum_{q=0}^{L/2^k} LL_k^2(p, q)}{\sum_{m=0}^W \sum_{n=0}^L I^2(m, n)} \right\rangle \quad (۸)$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=-\infty}^{+\infty} (c(i)p(i))}{\sqrt{\sum_{i=-\infty}^{+\infty} (c(i) - \mu)^2 p(i)}} \quad (۹)$$

معادله ۸ در مقایسه با معادله ۶، زمان کمتری برای محاسبه نیاز دارد. دیگر پارامتر، توزیع پراکندگی هیستوگرام است. از این شاخص می‌توان برای تعیین نوع، شدت و وسعت خرابی‌ها استفاده نمود. هر چه یک هیستوگرام پهن‌تر باشد نشان دهنده وجود یک روسازی با شرایط بدتر و بعبارتی دارای شاخص بالاتری است.

پارامترهای آماری متفاوتی مانند میانگین، رنج، Std، کجی، برای توصیف و آنالیز هیستوگرامها بکار می‌رود.

در این معادله (۲) $D1(p, q)$ مدول موجک باینری شده در اولین سطح و C_{th} آستانه برای مدول موجک است که بر اساس آستانه سازی موجک به روش *donoho* به صورت رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$C_{th} = \sqrt{2\sigma^2 \log(n)} \quad (۳)$$

در رابطه ۳، σ میزان نویز بر اساس انحراف معیار ضرائب موجک و n اندازه هر سطح حاوی ضرائب و ولت است که می‌توان بر اساس طول و عرض زیر سطح در اولین سطح محاسبه شود. متوسط *std* برای تعدادی از تصاویر محاسبه و آستانه تصاویر در حدود ۴۴،۹۹ بدست آمد. در نتیجه $HAWCP$ بصورت رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

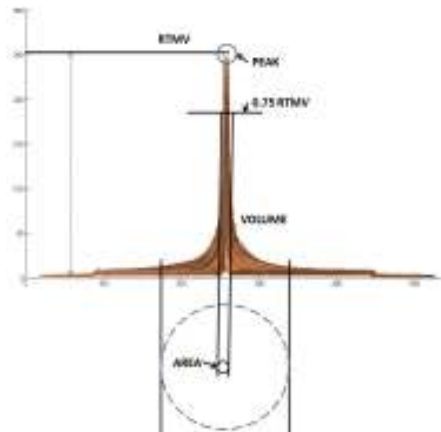
$$HAWCP = \sum_{p=0}^{w/2} \sum_{q=0}^{l/2} \frac{D_1(p, q)}{(2.25 * w * l)} \quad (۴)$$

در معادله ۳، L و W ابعاد تصویر است. اندازه تصویر در اولین سطح زیر سطح برابر با نصف ابعاد تصویر است. شاخص $HAWCP$ دارای مقداری بین (۰-۱) است. مقدار صفر نشان دهنده سطح روسازی مناسب و بدون خرابی و مقدار ۱۰۰ نشان دهنده سطح روسازی کاملاً خراب است. این شاخص می‌تواند بمنظور اندازه گیری وسعت خرابی مورد استفاده قرار گیرد.

خرابی‌ها به ضرائب موجک با دامنه بالا در زیر سطح با فرکانس بالا منتقل می‌شود. هر چه خرابی شدت بیشتری داشته باشد، انرژی بیشتری خواهد داشت. شاخص $HFEP$ برای هر زیر سطح با استفاده از جمع مربعات تمامی ضرائب در هر زیر سطح و سپس نرمال کردن با استفاده از کل انرژی برای نمونه محاسبه می‌شود.

$$HFEP_{H_k} = \frac{\sum_{p=0}^{W/2^k} \sum_{q=0}^{L/2^k} HL_k^2(p, q)}{\sum_{m=0}^W \sum_{n=0}^L I^2(m, n)} \quad (۵)$$

در رابطه ۵، $I(m, n)$ ارزش پیکسل $p(m, n)$ در تصویر اصلی است. طول و عرض k امین زیر سطح بصورت $w/2$ و $l/2$ محاسبه میشود. به منظور در نظر گیری فرکانس بالای هر زیر سطح و کاهش زمان محاسبه در این تحقیق از درصد انرژی با فرکانس کم استفاده شده است. در این رابطه، $HFEP$ مجموع انرژی در تمام جزئیات فرکانس بالا است که با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.



شکل ۴. الف) الگوریتم طبقه بندی نوع ترک، ب) پارامترهای یک پیک در محیط رادون

۲-۳- معیارهای طبقه بندی نوع خرابی

بمنظور طبقه بندی از تابع انتقال رادون استفاده شده است. انتقال رادون $R_{\theta}(x')$ تابع $f(x,y)$ است که از جمع خطی $f(x,y)$ در طول محور y' بوده و بر اساس روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$R_{\theta}(x') = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y) dy'$$

$$R(\rho, \theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y) \delta(\rho - x \cos\theta - y \sin\theta) dx dy$$

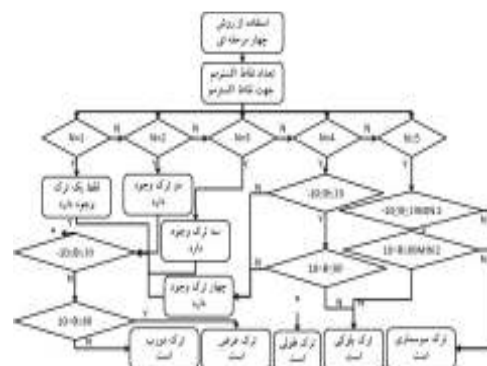
در رابطه بالا δ تابع دلتای دایراک است.

در این روش، نتیجه پیکسل‌ها در هر جهت برابر است با ارزش پیکسل در تصویر رادون و این روش موجب ایجاد یک تصویر و الگوی جدید با استفاده از تصویر اولیه می‌شود. هر قدر یک تصویر در یک راستا دارای پیکسل‌های روشن در حدود آستانه تعیین شده داشته باشد، ارزش پیکسل در تصویر انتقال رادون افزایش می‌یابد. یک ترک در تصویر در انتقال رادون به یک شیار در محیط رادون RD تبدیل می‌شود. در روش پیشنهادی، بجای استفاده از RT از روش 3DRT که توسعه یافته روش RT است استفاده شده است. در این روش بعد سوم شدت رنگی پیکسل‌های بدست آمده از RT است. استفاده از این روش اطلاعات بیشتری را ساخت الگو جهت بکارگیری در سیستم خبره و قوانین بکار رفته در موتور استنتاج در KB اختیار مهندس دانش قرار می‌دهد. شکل ۴ الگوریتم طبقه بندی نوع ترک را با توجه به نتایج خروجی روش چهار مرحله ای

معادله ۸ در مقایسه با معادله ۶، زمان کمتری برای محاسبه نیاز دارد. دیگر پارامتر، توزیع پراکندگی هیستوگرام است. از این شاخص می‌توان برای تعیین نوع، شدت و وسعت خرابی‌ها استفاده نمود.

هر چه یک هیستوگرام پهن‌تر باشد نشان دهنده وجود یک روسازی با شرایط بدتر و عبارتی دارای شاخص بالاتری است. شاخص Std نشان دهنده تفاوت هر مقدار از میانگین مقادیر است احتمال ضرائب $c(i)$ با استفاده از $P(i)$ نشان داده شده است. متوسط را می‌توان بصورت رابطه ۹ محاسبه کرد. بیشترین STD در V, D, H بعنوان انحراف استاندارد تصویر در نظر گرفته شد. در تحقیقی که در سال ۲۰۰۵ توسط زو انجام شده بود معیارهای HAWCP HFEP و Std بصورت ثابت برای یک روسازی تعیین و بکار گرفته می‌شود. این کار موجب ورود نمونه‌های بدون خرابی و همچنین نادیده گرفتن تعدادی از تصاویر دارای خرابی برای ورود به پایگاه داده است. بهمین منظور از یک روش ابتکاری و بر اساس نتایج استفاده شده است. بر اساس این الگوریتم تصاویر به دو گروه دارای خرابی و عاری از خرابی تقسیم می‌شوند.

تصویر برداشتی برای نمونه سالم و دارای خرابی در جایگاه مخصوص خود قرار گرفته و با استفاده از آنالیز موجک جزئیات و ضرائب در سه سطح افقی، قائم و مورب برای هر دو تصویر محاسبه می‌شود. مقدار آستانه و ترکیب جزئیات محاسبه و با استفاده از این محاسبات شاخص‌های HAWCP و HFEP و Std برای دو تصویر محاسبه می‌شود. با استفاده از مقایسه این شاخص‌ها برای دو تصویر، می‌توان بطور دقیق و بر اساس تعریف کاربر خرابی را تشخیص داد.



بیانگر ویژگی‌ها و خصوصیات تصویر باشد، باید از آستانه گذاری ویژه و انعطاف پذیر استفاده شود. در این کاربرد خاص از آستانه گذاری برای محیط سه بعدی رادون جهت استخراج ویژگی‌ها استفاده شده است. در بخش ۳، روش پیشنهادی (فیلتر ویژه) معرفی و بر روی تصاویر نمونه مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

۳- روش آستانه گذاری با فیلتر ویژه

وجود انواع نویزها و شدت رنگ متفاوت در تصاویر، با ابهام در آستانه گذاری دقیق و ثابت همراه است. به منظور حل این مشکل از روشی مشابه، روش نوع دوم منطق فازی برای آستانه گذاری استفاده شده است. مطابق با تعریف نوع دوم فازی، (Mendel & Wu, Mendel & John, 2002; Mora, Vieira, Manivannan, & Fonseca, 2007; Tizhoosh, 2005; Wan & Shi, 2007) در رابطه ۱۲، $\mu_{\bar{A}}(x, u)$ تابع عضویت نوع دوم در مجموعه A است، که خود یک تابع فازی در بازه $[0,1]$ است. نشان داد. انتگرال دوگانه نشان دهنده مجموع کلی روی تابع عضویت است. با گسترش نوع اول، و انتخاب محدوده بالایی و محدوده پایینی، منطقه دارای ابهام فیلتر می‌شود. جداسازی محدوده، باعث کنترل دقیقتر بر محدوده ابهام می‌شود.

محققان مختلف توابع عضویت متفاوتی با درصد‌های موفقیت مختلف پیشنهاد و بکار برده اند (Mendel & John, 2002; Tizhoosh, 2005).

$$\bar{A} = \{(x, u), \mu_{\bar{A}}(x, u) | \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0,1]\} \quad (11)$$

$$\bar{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \left(\mu_{\bar{A}}(x, u) / (x, u) \right), J_x \subseteq [0,1], \quad (12)$$

$$M = P \cdot \sum_{y=1}^m \sum_{x=1}^n (f(x, y) - s(x, y))^2 + (1 - p) \iint (D^2 S(x, y))^2 dx dy, \quad (13)$$

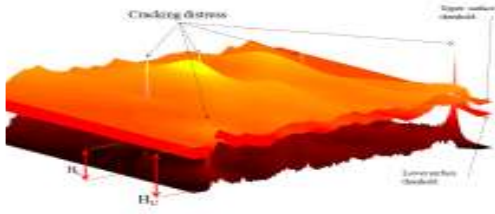
$$\left[\left[P \sum_{j=1}^n (\omega(j) |y(:, j) - f(x(j))|^2) \right] + \left[(1 - p) \int \lambda(t) |D^2 f(t)|^2 dt \right] \right] \quad (14)$$

نشان می‌دهد. در این روش نوع ترک بر اساس تعداد نقاط پیک و زاویه پیک طبقه بندی می‌شود. مراحل برای یافتن دیگر پیک‌ها ادامه می‌آید. روش طبقه بندی ترک بصورت زیر است.

بطور کلی انواع خرابی‌ها بر حسب میزان و نحوه گسترش خرابی به سه دسته کم L ، متوسط M ، شدید H طبقه بندی می‌شوند. در این تحقیق مساحت قسمت برش داده شده در x^*RTMVi در محیط 3DRT که معادل عرض ترک است،

برای ارزیابی شدت ترک خوردگی به کار گرفته می‌شود. برای آستانه گذاری ثابت مقدار X برابر با ۰,۷۵ در نظر گرفته می‌شود. برای ترکهای بلوکی و سوسماری مساحت کل روسازی دارای خرابی که خرابی آن بدلیل ترک خوردگی است در نظر گرفته شد. به عبارتی دیگر اگر خرابی از نوع بلوکی یا سوسماری باشد، مجموع تمامی مساحت‌ها در سطح برش برابر با مساحت خرابی روسازی می‌شود. مطابق با این الگوریتم پس از استفاده از روش چهار مرحله‌ای، تصویر بدست آمده در محیط 3DRT منتقل می‌شود. پس از انتقال مشخصات بر اساس آستانه انتخابی تعیین می‌شود. انتخاب آستانه مهمترین مساله و هدف اصلی این تحقیق بشمار می‌رود. انتخاب نادرست آستانه منجر به شکست روش پیشنهادی و انتخاب صحیح منجر به نتایج قابل قبول می‌گردد. مطابق با این الگوریتم پس از استفاده از روش چهار مرحله‌ای، تصویر بدست آمده در محیط 3DRT منتقل می‌شود.

پس از انتقال مشخصات بر اساس آستانه انتخابی تعیین می‌شود. مساحت یک پیک می‌تواند برای ارزیابی عرض ترک و در نهایت شدت ترک بکار برده شود. ارزش یک پیک می‌تواند برای ارزیابی طول، گستردگی به کار برده شود که تابعی وزنی از مساحت الگوی رادون است. پارامترهای دیگر یک پیک همانند حجم را میتوان برای تعیین شاخص ارزیابی ترک بکار برد. پارامترهای یک پیک در شکل ۴ نشان داده شده است. مساحت قسمت برش داده شده (بیشتر از آستانه)، در محیط 3DRT معادل عرض ترک است، برای ارزیابی شدت ترک خوردگی به کار گرفته می‌شود. برای ترکهای بلوکی و سوسماری مساحت کل روسازی دارای خرابی که خرابی آن بدلیل ترک خوردگی است در نظر گرفته شد. به عبارتی دیگر اگر خرابی از نوع بلوکی یا سوسماری باشد، مجموع تمامی مساحت‌ها در سطح برش برابر با مساحت خرابی روسازی می‌شود. برای تعیین شدت خرابی از الگوریتم شکل ۹ استفاده شده است. بمنظور استخراج خصوصیات و ویژگی‌های دقیق که



شکل ۵. الف) الگوریتم طبقه بندی نوع ترک ب) پارامترهای یک پیک در محیط رادون، ب) تابع عضویت تولید شده برای p های مختلف و نمونه‌ای از فیلتر ویژه تولید شده در محدوده بالا و پایین و جدا سازی منطقه ابهام

پس از آزمایش چندین نمونه، مقدار پارامتر p محدوده بالایی و پایین، با استفاده از روابط ۱۵ و ۱۶ محاسبه می‌شود. پراکنندگی ابهام در محیط رادون سه بعدی، با استفاده از فیلتر ویژه پیشنهاد شده از رابطه ۱۶ تخمین زده می‌شود. نمونه از خروجی محدوده بالا و پایین در شکل ۵ نشان داده شده است. توزیع ابهام برای یک نمونه از تصاویر با استفاده از روابط ارائه شده در شکل ۶ نشان داده شده است.

$$p_U = \left(\frac{1}{1 + \frac{(\min(N, M))^3}{583.2}} \right)_U \text{ and } p_L \quad (15)$$

$$= \left(\frac{1}{1 + \frac{(\min(N, M))^3}{542.4}} \right)_L$$

$$\tilde{\gamma}(\tilde{A}) = \frac{1}{MN} \sum_{g=0}^{L-1} [\mu_U(g_{ij}) - \mu_L(g_{ij})] \times h(g) \quad (16)$$

$$\xi = \left[1 - \frac{\min \tilde{\gamma}(i, j)}{\max \tilde{\gamma}(i, j)} \right] \quad (17)$$

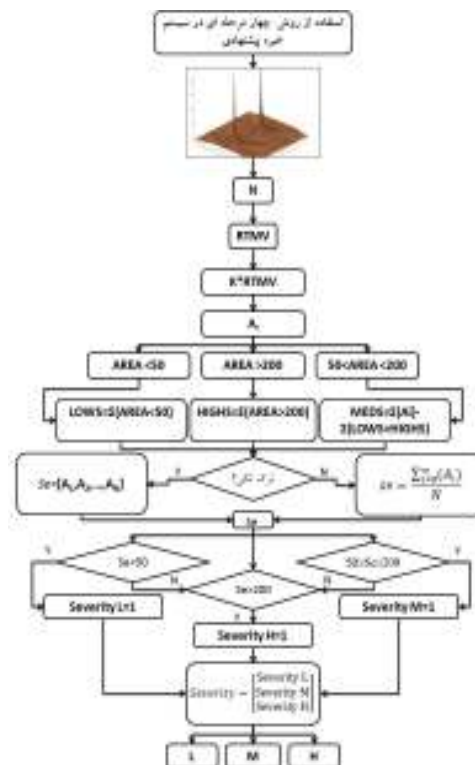
$$S(i, j) = \mu_L(g_{ij})[\xi + 1], \text{ OR } \mu_U(g_{ij})[1 - \xi] \quad (18)$$

آخرین مرحله در روش فیلتر ویژه، کاهش بعد و آستانه سازی است. با استفاده از رابطه ۱۶ و ۱۷، آستانه گذاری سطحی برای تصاویر انجام می‌شود. در رابطه ۱۷، ξ ضریب کاهش بعد در فیلتر ویژه بمنظور آستانه سازی سه بعدی برای تصاویر است. آستانه ساز سه بعدی با استفاده از فیلتر ویژه با استفاده از رابطه ۱۸ بدست می‌آید. در رابطه ۱۸، μ_U مقدار آستانه محدوده بالایی و μ_L آستانه محدوده پایینی است.

نمونه‌ای از آنالیز تصویر با استفاده از روش پیشنهادی در شکل ۶ نشان داده شده است. یک مقایسه بین آستانه گذاری با روش ثابت و روش پیشنهادی انجام شد. نمونه‌ای از خروجی‌های بدست آمده از دو روش در شکل ۶ آورده شده

در این تحقیق برای تولید تابع عضویت که هدف تعیین محدوده بالایی و پایینی است، بدلیل خاصیت شدت غیر یکنواخت سطحی در 3DRT، از روش تابع نرم کننده اسپلاین درجه سه (CSS)، پیشنهاد و بکار گرفته شده است. این تابع بر روی $3DRT(x, y)$ و در هر نقطه در مختصات x, y در محیط رادون اعمال می‌شود. بطور کلی تعیین مقدار کلاس CSS منجر به تولید تابعی با مقادیر اصلاح شده، مشابه رفتار تابع اولیه می‌گردد (Mora et al., 2011).

این خاصیت سبب کاهش مقادیر نویز و حذف تاثیر آشفتنگی در تولید تابع عضویت می‌شود (Culpin, 1986). برای تولید تابع عضویت کلی برای فیلتر ویژه، تابع رابطه ۱۴ باید کمینه شود، در رابطه ۱۳، تراکم و نرمی، جملات اول و دوم را شکل می‌دهند. پارامتر p کنترل کننده نرمی بین کل داده‌ها در $3DRT(x, y)$ و عددی در بازه $[0, 1]$ است. رابطه ۱۳ زمانی کمینه می‌شود که رابطه ۱۴ برقرار باشد، در رابطه ۱۴، $|z|^2$ مجموع مربع اندازه تمامی ورودی‌ها و، m, n نشان دهنده ابعاد در محیط سه بعدی رادون است. با کنترل پارامتر p می‌توان محدوده پایینی و بالایی را جداسازی نمود. نمونه‌ای از توابع تولید شده در شکل ۵ نشان داده شده است.



۵-مراجع

-Alajlan, N., Kamel, M., & Jernigan, E. (2004), "Detail preserving impulsive noise removal". *Signal Processing: Image Communication*, 19(10), pp.993-1003.

-Ayenu-Prah, A., & Attoh-Okine, N. (2008), "Evaluating pavement cracks with dimensional empirical mode decomposition". *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2008(1), 861701.

-Cheng, H., Chen, J.-R., Glazier, C., & Hu, Y. (1999), "Novel approach to pavement cracking detection based on fuzzy set theory". *Journal of Computing in Civil Engineering*, 13(4), pp.270-280.

-Cheng, H., Jiang, X., Li, J., & Glazier, C. (1999), "Automated real-time pavement distress analysis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1655)", pp.55-64.

-Cheng, H., Wang, J., Hu, Y., Glazier, C., Shi, X., & Chen, X. (2001), "Novel approach to pavement cracking detection based on neural network". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (1764), pp.119-127.

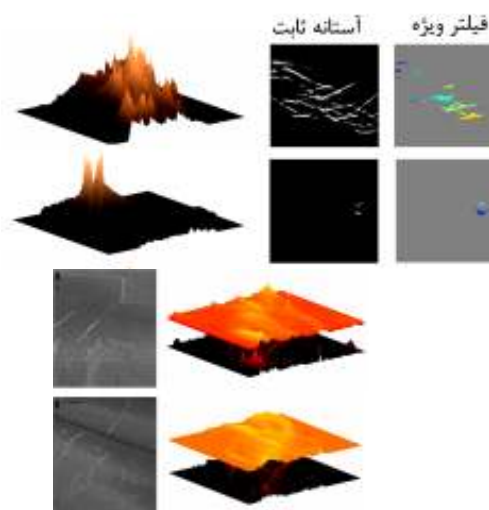
-Culpin, D. (1986), "Calculation of cubic smoothing splines for equally spaced data". *Numerische Mathematik*, 48(6), pp.627-638.

-Mendel, J. M., & John, R. B. (2002), "Type-2 fuzzy sets made simple". *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 10(2), pp.117-127.

-Mendel, J. M., & Wu, H. (2007), "Type-2 fuzzistics for nonsymmetric interval type-2 fuzzy sets: Forward problems". *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 15(5), pp.916-930.

-Mora, A. D., Vieira, P. M., Manivannan, A., & Fonseca, J. M. (2011), "Automated drusen detection in retinal images using analytical modeling algorithms". *Biomedical engineering online*, 10(1), pp.59.

است. همانطور که مشخص است، استفاده از روش فیلتر ویژه، نتایج بهتری را در آستانه‌گذاری و در نتیجه جادسازی و طبقه بندی بهمراه دارد. از این روش شبه فازی می‌تواند با توابع عضویت مختلف و روشهای دیگر کاهش بعد بکار برده شود.



شکل ۶. الف) نمونه‌ای از آنالیز تصویر با استفاده از روش

پیشنهادی، ب) آستانه گذاری با استفاده از روش ثابت و فیلتر ویژه

۴- نتیجه گیری

آستانه‌گذاری، جز مهم در روشهای مختلف شناسایی خودکار خرابی روسازی بشمار می‌رود. در روش‌های تشخیص الگو، آستانه سازی بصورت ثابت موجب کاهش کیفیت در خصوصیات و ویژگی‌ها می‌شود. کارایی سیستمهای خودکار تشخیص خرابی روسازی به انتخاب آستانه وابسته است. در این مقاله روشی جدید بمنظور تعیین آستانه با استفاده از تئوری شبه فازی نوع دوم، ارائه شده است. تصاویر سه بعدی انتقال رادون برای استخراج الگو، استفاده و الگوریتمهای تشخیص برای نوع، شدت و وسعت خرابی ارائه شد. بمنظور ارزیابی کارایی روش ارائه شده، یک مقایسه کلی بین روش آستانه گذاری ثابت و فیلتر پیشنهادی انجام شد. روش پیشنهادی بر روی یک مجموعه تصویر بدست آمده از روسازی آسفالتی آزمایش شد. دقت روش پیشنهادی بیشتر از روش ثابت ارزیابی شده است.

- Zakeri, H., Nejad, F. M., & Fahimifar, A. (2017), "Image based techniques for crack detection, classification and quantification in asphalt pavement: a review". Archives of Computational Methods in Engineering, 24(4), pp.935-977.
- Zarandi, M. F., Zarinbal, M., & Izadi, M. (2011), "Systematic image processing for diagnosing brain tumors: A Type-II fuzzy expert system approach". Applied soft computing, 11(1), pp.285-294.
- Zhang, D., Qu, S., He, L., & Shi, S. (2009), Automatic ridgelet image enhancement algorithm for road crack image based on fuzzy entropy and fuzzy divergence. Optics and Lasers in Engineering, 47(11), pp.1216-1225.
- Zhou, J. (2004), "Automated pavement inspection based on wavelet analysis".
- Zhou, J., Huang, P. S., & Chiang, F.-P. (2006), "Wavelet-based pavement distress detection and evaluation". Optical Engineering, 45(2), 027007.
- Nejad, F. M., & Zakeri, H. (2011a), "A comparison of multi-resolution methods for detection and isolation of pavement distress". Expert Systems with Applications, 38(3), pp.2857-2872.
- Nejad, F. M., & Zakeri, H. (2011b), "An optimum feature extraction method based on wavelet-radon transform and dynamic neural network for pavement distress classification". Expert Systems with Applications, 38(8), pp.9442-9460.
- Tizhoosh, H. R. (2005), "Image thresholding using type II fuzzy sets. Pattern recognition, 38(12)", pp.2363-2372.
- Wan, Y., & Shi, D. (2007), "Joint exact histogram specification and image enhancement through the wavelet transform". IEEE Transactions on Image Processing, 16(9), pp.2245-2250.

