

## تفکیک خودکار نواحی قیرزده در روسازی آسفالتی با استفاده آنالیز چند سطحی تصویر

علمی - پژوهشی

سجاد رنجبر<sup>\*</sup>، دانشجوی دکتری، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

فریدون مقدس‌نژاد، استاد، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

حمزه ذاکری، استاد، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

<sup>\*</sup>پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ranjbar.sajad@aut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۷ - پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵

صفحه ۲۴۰-۲۲۷

### چکیده

روسازی راه‌ها، اصلی‌ترین بخش شبکه راه‌های کشور را تشکیل داده است. از این رو بررسی وضعیت روسازی به ویژه بررسی خرابی‌های روسازی نقش مهمی در فرایند مدیریت شبکه روسازی هر کشور دارد. خرابی قیرزدگی از جمله خرابی‌های مهم روسازی آسفالتی به شمار می‌رود، زیرا تأثیر مستقیمی بر مشخصه مقاومت لغزشی روسازی و مانورپذیری وسایل نقلیه و ایمنی راه‌ها دارد. بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که ارزیابی خودکار این خرابی نسبت به سایر خرابی‌ها کمتر مورد توجه بوده است و تمرکز اصلی پژوهش‌های انجام شده در این زمینه بر تشخیص خودکار این خرابی بوده است. تفکیک خودکار نواحی دارای خرابی از سایر نواحی روسازی از جمله مهم‌ترین بخش‌ها در ارزیابی خرابی‌های روسازی است که امکان بررسی دقیق‌تر خرابی‌ها را فراهم می‌کند. در این پژوهش تلاش شده است تا با استفاده از پردازش تصویر مبتنی بر آنالیز چند سطحی، روشی کارآمد به منظور تفکیک خودکار نواحی قیرزده از نواحی سالم ارایه شود. سامانه پیشنهادی با متوسط ۸۲/۴۴، ۸۸/۶۶ و ۸۰/۳۳ درصدی به ترتیب بر اساس معیار صحت، ضریب تشابه دایس و نسبت اشتراک به اجتماع، عملکرد بهتری نسبت به مطالعات گذشته داشته است. این تفکیک خودکار نواحی قیرزدگی با دقت قابل قبول، امکان بررسی خودکار خرابی قیرزدگی را فراهم کرده است و می‌تواند عملکرد سامانه‌های مدیریت روسازی را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت روسازی، قیرزدگی، تفکیک نواحی خرابی، پردازش تصویر، آنالیز چند سطحی

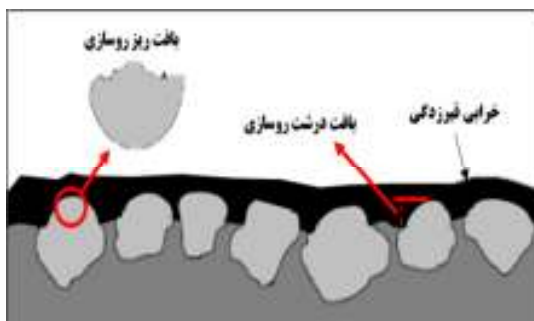
### ۱- مقدمه

Richards, 2010; Engström, 2016; Ivanova & Masarova, 2013; Shi, Guo, & Sun, 2017

روسازی راه‌ها به عنوان بخش اصلی زیرساخت‌های حمل و نقل جاده‌ای، به طور مستقیم با وسایل نقلیه در ارتباط هستند. روسازی راه‌ها با گذر زمان و با توجه به عوامل مرتبط با شرایط جوی، ترافیک و مصالح به کار گرفته شده، دچار فرسودگی می‌شود و این امر موجب کاهش سطح خدمت و ایمنی راه‌ها خواهد شد. از این رو در اکثر کشورها به منظور کنترل وضعیت

جاده‌ها بخش قابل توجهی از زیرساخت‌های حمل و نقل را تشکیل داده‌اند و نقش اساسی در رفع نیازهای بشر به جابه‌جایی انسان و کالا دارد. از این رو توسعه و مدیریت صحیح شبکه راه‌ها با کاهش زمان سفر و آلودگی ناشی از وسایل نقلیه، کاهش هزینه‌های استهلاکی و مصرفی وسایل نقلیه و افزایش ایمنی و کاهش تصادفات، تأثیر مستقیم بر زندگی روزمره مردم خواهد داشت. همچنین توسعه اقتصادی کشورها تا حد زیادی به توسعه زیر ساخت‌های حمل و نقلی نظیر جاده‌ها، گره خورده است (Chan, Huang, Yan, &

تشدید می‌شود (Henderson, Cenek, Jamieson, & Wilson, 2011; Lawson & Senadheera, 2009).



شکل ۱. خرابی قیرزدگی و تأثیر آن بر مؤلفه‌های اصلی مقاومت لغزشی روسازی (Brimley & Carlson, 2012)

مقاومت لغزشی سطح روسازی به علت تأثیر مستقیم بر مانورپذیری وسایل نقلیه یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های ایمنی روسازی راه‌ها به شمار می‌رود (Mataei, Zakeri, Zahedi, & Nejad, 2016). مطابق شکل ۱، بافت ریز و بافت درشت سطح روسازی مهمترین عوامل در تأمین مقاومت لغزشی روسازی هستند که با وقوع خرابی قیرزدگی تا حد زیادی تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

در سامانه‌های مدیریت روسازی برای ارزیابی وضعیت روسازی، اطلاعات مختلفی نظیر گستردگی، شدت و الگوی خرابی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به منظور استخراج این اطلاعات، ابتدا باید با یک روش کارآمد نواحی خرابی را از نواحی سالم تفکیک نمود تا امکان ارزیابی مشخصه‌های مختلف خرابی فراهم شود.

در این پژوهش سعی شده است، با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر، سامانه‌ای برای تفکیک خودکار نواحی قیرزده از نواحی سالم ارایه شود تا امکان استخراج اطلاعات مختلف نظیر میزان گستردگی و شدت، برای ارزیابی اثر این خرابی بر روسازی آسفالتی فراهم شود. برای این منظور، الگوریتم‌های مختلف پردازش تصویر نظیر تسهیم هیستوگرام، هموارسازی، تبدیل موجک، آستانه‌گذاری و عملگرهای مورفولوژیک برای تعیین و تفکیک نواحی قیرزده در تصاویر دارای خرابی قیرزدگی استفاده شده است. در این راستا یک مازول تبدیل موجک برای تعیین نواحی خرابی توسعه داده شده است و نحوه اثر اجزای آن بر خروجی مورد بررسی قرار گرفته است.

روسازی و انجام عملیات تعمیر و نگهداری برای بهبود وضعیت روسازی، سامانه‌های مدیریت روسازی ایجاد شده‌اند. به طور کلی یک سامانه مدیریت روسازی کارآمد به انجام مناسب‌ترین عملیات تعمیر و نگهداری در بهترین زمان و با بهینه‌ترین هزینه منجر خواهد شد که این امر بدون داشتن اطلاعات صحیح و کامل از شرایط روسازی ممکن نخواهد بود (Ranjbar, Nejad, Zakeri, & Gandomi, 2020). این سامانه از ۵ بخش اصلی تشکیل شده است و بازرسی و ارزیابی شرایط روسازی یکی از مهمترین بخش‌های این سامانه است و اطلاعات مربوط به خرابی‌های روسازی از جمله اطلاعات مهم و حیاتی در بخش ارزیابی شرایط روسازی به شمار می‌رود.

ارزیابی شرایط روسازی در گذشته به روش سنتی (بازرسی چشمی) صورت می‌گرفت. از جمله معایب این روش می‌توان به صرف زمان و هزینه زیاد، تکرار پذیری پایین نتایج، قرار دادن کارکنان در شرایط حادثه خیز و ایجاد اختلال در ترافیک مسیر اشاره کرد. همچنین گستردگی شبکه راه‌ها در کشورهای مختلف، استفاده از روش‌های مبتنی بر بازرسی چشمی را غیر ممکن کرده است (Sajad Ranjbar, Fereidoon Moghadas Nejad, & H. Zakeri, 2021b).

با توجه به معایب روش‌های سنتی و پیشرفت چشمگیری شاخه‌های مختلف علوم مهندسی، زمینه به کارگیری فناوری‌های نوین نظیر پردازش تصویر و هوش مصنوعی به منظور ارزیابی خودکار خرابی‌های روسازی را فراهم شده است. از این رو تحقیقات گسترده‌ای با هدف ارزیابی خودکار خرابی‌های روسازی انجام شده است.

با بررسی مطالعات گذشته می‌توان دریافت که خرابی قیرزدگی نسبت به سایر خرابی‌ها نظیر ترک‌خوردگی، چاله، شیار افتادگی، کمتر مورد توجه جامعه تحقیق قرار گرفته است (Coenen & Golroo, 2017).

خرابی قیرزدگی با از بین بردن بافت ریز و درشت سطح روسازی، مقاومت لغزشی سطح روسازی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد (شکل ۱) و این امر موجب کاهش ایمنی تردد و افزایش احتمال تصادفات می‌شود. لازم به ذکر است که این اثر در مواقعی که سطح روسازی خیس و مرطوب است نظیر آب و هوای بارانی، به علت پدیده هیدروپلنینگ تا حد زیادی

## ۲- پیشینه تحقیق

در این بخش، کاربرد تبدیل موجک در زمینه بررسی وضعیت روسازی مورد بررسی قرار گرفته است. مروری بر تحقیقات انجام شده با هدف ارزیابی خودکار خرابی قیرزدگی و عملکرد آن‌ها در تفکیک نواحی قیرزده، انجام شده است.

### ۲-۱- کاربرد تبدیل موجک ارزیابی وضعیت روسازی

تبدیل موجک یکی از ابزارهای پرکاربرد در ساخت فیلترهای مختلف به منظور استخراج اطلاعات مهم از داده‌های یک بعدی (سیگنال) و دو بعدی (تصویر) می‌باشد (Addison, 2017). این ابزار به عنوان یک روش کارآمد در زمینه ارزیابی وضعیت روسازی در پژوهش‌های مختلف به کار گرفته شده است.

در سال‌های اخیر، سامانه‌های مبتنی بر پردازش سیگنال با استفاده از تبدیل موجک ارزیابی وضعیت روسازی به کار گرفته شده است. در این راستا تحقیقاتی با هدف ارزیابی ناهمواری روسازی (Alhasan, White, & De Brabanter, 2016; Khan, Qiao, & Yu, 2017; S. Yang, Alhasan, Zhang, Ceylan, & Kim, 2020; Zhang, Sun, Bridgelall, & Sun, 2018) بررسی اصطکاک سطحی روسازی (G. Yang, Li, Zhan, Wang, & Wang, 2018) و تشخیص چاله (Rodrigues, Pasin, & Monego, 2019) با استفاده از ابزار تبدیل موجک انجام شده است.

در بخش دیگر، تبدیل موجک در سامانه‌های مبتنی بر پردازش تصویر به منظور ارزیابی خرابی‌های روسازی نظیر ترک خوردگی (Moghadas Nejad & Zakeri, 2011; Ouma & Hahn, 2016; Zakeri, Nejad, & Ranjbar, Moghadas, 2017) قیرزدگی (Fahimifar, 2017; Nejad, & Zakeri, 2020; Sajad Ranjbar, Fereidoon Moghadas Nejad, & Hamzeh Wang, Hu, Dai, & Tian, 2021a) و چاله (Zakeri, 2017) استفاده شده است. همچنین در ارزیابی وضعیت زهکشی (Mataei, Moghadas Nejad, Zahedi, & Zakeri, 2018) و مقاومت لغزشی (F. M. Nejad, Karimi, & Zakeri, 2016) و ارزیابی اثر قیرزدگی (Ranjbar et al., 2021a) که از جمله مسائل مربوط به بافت روسازی هستند، استفاده شده است. بررسی ادبیات تحقیق نشان می‌دهد که تبدیل موجک می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در بررسی وضعیت روسازی مورد استفاده قرار گیرد.

### ۲-۲- عملکرد مطالعات گذشته در تفکیک خودکار

#### نواحی قیرزدگی

هادجیمتریو و کرسستودولو (Hadjidemetriou & Christodoulou, 2019) با استفاده از روش‌های پردازش تصویر مبتنی بر آنتروپی تصاویر، سامانه‌ای به منظور ارزیابی خرابی‌های مختلف روسازی ارائه دادند. این سامانه با حساسیت ۶۵/۵ درصدی عملکرد قابل قبولی در ارزیابی قیرزدگی نداشته است و تنها به منظور تشخیص خرابی ارائه شده و امکان تفکیک نواحی خرابی در این سامانه وجود ندارد. سامانه‌ی دیگری مبتنی بر مدل‌های Faster R-CNN توسط سانگ و وانگ (Song & Wang, 2019) به منظور تشخیص وجود خرابی و تعیین موقعیت کلی خرابی با کادرهای مستطیلی ارائه شده است. مدل‌های ارائه شده در این پژوهش، موقعیت کلی نواحی خرابی را با صحت ۸۷/۲ درصدی و حساسیت ۸۵/۵ درصدی تعیین می‌کند. این دسته از مدل‌ها قابلیت بررسی موقعیت و هندسه دقیق نواحی خرابی را نداشته و تنها موقعیت کلی خرابی مشخص می‌کند.

تنگ و همکاران (Tong, Yuan, Gao, & Wang, 2020)، سامانه دیگری بر اساس چند مدل مبتنی بر ترکیب شبکه‌های عصبی پیچشی، برای ارزیابی چند خرابی ارائه کردند. این سامانه قابلیت تفکیک نواحی خرابی و تعیین موقعیت و هندسه خرابی را داشته است. در پژوهش ذکر شده، عملکرد مدل به تنهایی برای خرابی قیرزدگی گزارش نشده است ولی در تفکیک خرابی‌های مختلف عملکرد کلی ۸۲/۲، ۷۵/۸ درصدی به ترتیب بر اساس معیارهای متوسط صحت پیکسلی، متوسط نسبت اشتراک به اجتماع تصاویر، گزارش شده است. لازم به ذکر است که تعلیم این دسته از مدل‌ها نیازمند تعداد زیادی از تصاویری است که پیکسل‌های نواحی مختلف آن به طور دستی برچسب گذاری شده باشند و این موضوع فرایند آماده‌سازی داده‌ها را بسیار زمان‌بر خواهد کرد. همچنین تعلیم این دسته از مدل‌ها نیازمند سیستم پردازشی قدرتمندی هستند.

رنجبر و همکاران (Ranjbar, Moghadas Nejad, et al., 2020; Ranjbar et al., 2021a) با به کارگیری آنالیز چند سطحی مبتنی بر تبدیل موجک، مدلی به منظور قطعه‌بندی نواحی قیرزده ارائه کردند. این مدل با متوسط ۸۷/۴۷، ۸۹/۹۴ و ۷۷/۴۴ درصدی به ترتیب بر اساس معیار صحت، ضریب تشابه

در ادامه مفاهیم پایه مربوط به عملکرد این تبدیل ارایه می‌شود. در حوزه پردازش تصویر از تبدیل موجک گسسته به عنوان یک ابزار کارآمد در کاهش نویز، فشرده سازی و استخراج اطلاعات مهم از تصاویر استفاده می‌شود. این ابزار بر اساس انتقال خصوصیات تصویر به حوزه فرکانس کار می‌کند و به کمک آن می‌توان فیلترهایی به منظور استخراج اطلاعات مورد نظر از تصویر ایجاد نمود. این تبدیل در فضای یک بعدی، اطلاعات را مطابق روابط ۱، با به کارگیری دو نوع فیلتر بالا گذر و پایین گذر به دو زیر بخش فرکانس بالا و پایین تقسیم می‌کند. خروجی فیلتر پایین گذر می‌تواند به منظور استخراج اطلاعات بیشتر، مجدد مورد تجزیه قرار گیرد و این فرایند تا رسیدن به سطح تجزیه مورد نظر، ادامه خواهد یافت (AlZubi, Islam, & Abbod, 2011).

$$a^j(n) = \sum_{i=0}^{L-1} l(i) \cdot a^{j-1}(2n-i), \quad 0 \leq n < N_j \quad (1)$$

$$d^j(n) = \sum_{i=0}^{L-1} h(i) \cdot d^{j-1}(2n-i), \quad 0 \leq n < N_j$$

که در روابط فوق،  $a^j(n)$  و  $d^j(n)$  به ترتیب بیانگر تقریب و جزئیات به دست آمده از داده‌ها در سطح  $j$ ام از فرایند تجزیه هستند.  $l(i)$  و  $h(i)$  نیز به ترتیب بیانگر فیلتر پایین گذر و بالاگذر تبدیل موجک هستند (AlZubi et al., 2011; Fereidoon Moghadas Nejad & Zakeri, 2011).

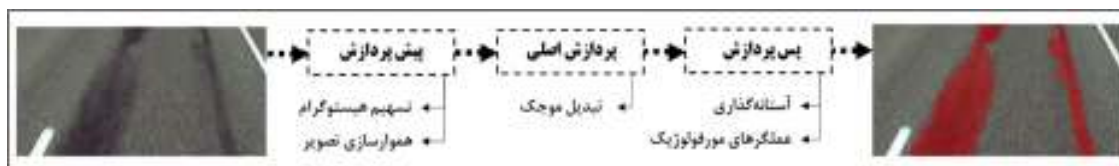
در فضای دو بعدی تصویر، همانطور که در شکل ۳ نمایش داده شده است، فرایند تبدیل موجک یک بعدی روی هر ردیف و ستون تصویر اعمال می‌شود. در این فرایند با تجزیه تصویر به چند زیر بخش فرکانس بالا و پایین، اطلاعات مرتبط با جزئیات تصویر در سه راستای افقی، قائم و قطری استخراج می‌شود. در شکل ۳،  $HL_k$ ،  $LH_k$  و  $HH_k$  زیرگروه‌های فرکانس بالا به ترتیب در جهت‌های افقی، قائم و قطری هستند و  $LL_k$  زیر گروه فرکانس پایین را مشخص می‌کند. (AlZubi et al., 2011; Fereidoon Moghadas Nejad & Zakeri, 2011).

دایس و نسبت اشتراک به اجتماع، عملکرد خوبی داشته است اما زمان پردازش هر تصویر برابر با ۱/۵۵ ثانیه به ازای هر تصویر بوده است که زمان بالایی محسوب می‌شود.

با توجه به اینکه تمرکز جامعه تحقیق بیشتر بر تشخیص خرابی قیرزدگی بوده است، تفکیک نواحی قیرزده با استفاده از یک روش کارآمد از نظر سرعت و عملکرد، همچنان به عنوان یک چالش در ارزیابی این خرابی مطرح می‌باشد. از این رو، در این پژوهش تلاش شده است تا با طراحی و پیاده‌سازی ساختار جدیدی برای فیلتر تبدیل موجک، مدل کارآمدتری مبتنی بر آنالیز چند سطحی تصویر برای قطعه‌بندی نواحی قیرزده ارایه شود.

### ۳- روش پیشنهادی و مفاهیم پایه

روش پیشنهاد شده در این پژوهش، مطابق شکل ۲، از سه بخش اصلی تشکیل شده است. در بخش ابتدایی یک فرایند پیش‌پردازش روی تصاویر ورودی اعمال می‌شود. در این بخش از روش‌های مختلف نظیر تسهیم هیستوگرام و هموارسازی تصویر استفاده می‌شود. سپس در بخش پردازش اصلی با توسعه یک فیلتر مبتنی بر تبدیل موجک، بخش‌های مربوط به خرابی قیرزدگی از تصویر استخراج خواهد شد. استفاده از تبدیل موجک در این بخش موجب می‌شود که عملیات تفکیک نواحی قیرزده با کیفیت بالاتر و وابستگی کمتر به شرایط روشنایی، خط کشی و رنگ روسازی انجام شود. در بخش آخر به منظور بهبود وضوح تصاویر خروجی از روش‌هایی نظیر آستانه‌گذاری سراسری و عملیات مورفولوژیک استفاده می‌شود. از جمله تکنیک‌های پردازش تصویر که در سال‌های اخیر به عنوان یک ابزار کاربردی در زمینه‌های مختلف نظیر کاهش نویز، قطعه‌بندی و ارزیابی بافت تصویر مطرح شده‌اند، می‌توان به روش‌های آنالیز چند سطحی تصویر اشاره کرد. در این پژوهش، همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، تبدیل موجک به عنوان ابزار مبتنی بر آنالیز چند سطحی تصویر، در فرایند تفکیک نواحی قیرزده به کار گرفته شده است.



شکل ۲. روش پیشنهادی به منظور تفکیک نواحی قیرزدگی

$$\begin{aligned} V_k &= 2^{-k} \sum_{m,n} LL_k(m,n) \varphi(2^{-k}x-m) \varphi(2^{-k}y-n) \\ W_k^H &= 2^{-k} \sum_{m,n} HL_k(m,n) \varphi(2^{-k}x-m) \psi(2^{-k}y-n) \\ W_k^V &= 2^{-k} \sum_{m,n} LH_k(m,n) \psi(2^{-k}x-m) \varphi(2^{-k}y-n) \\ W_k^D &= 2^{-k} \sum_{m,n} HH_k(m,n) \psi(2^{-k}x-m) \psi(2^{-k}y-n) \end{aligned} \quad (3)$$

در روابط فوق  $LL_k$ ،  $HL_k$ ،  $LH_k$  و  $HH_k$  طرح‌های نرمال شده و متعامد در فضاهای  $V_k$ ،  $W_k^H$ ،  $W_k^V$  و  $W_k^D$  هستند که مطابق رابطه ۴ تعیین می‌شوند.

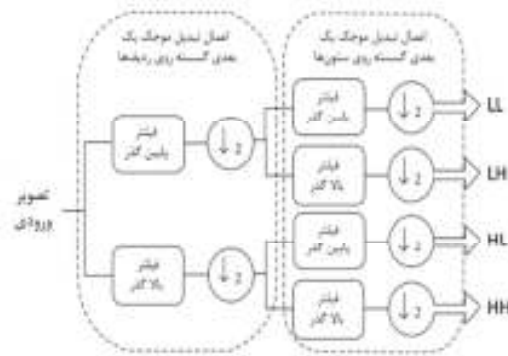
$$\begin{aligned} LL_k(i,j) &= \sum_{m,n} l(m-2i)l(n-2j)LL_{k-1}(m,n) \\ HL_k(i,j) &= \sum_{m,n} h(m-2i)l(n-2j)LL_{k-1}(m,n) \\ LH_k(i,j) &= \sum_{m,n} l(m-2i)h(n-2j)LL_{k-1}(m,n) \\ HH_k(i,j) &= \sum_{m,n} h(m-2i)h(n-2j)LL_{k-1}(m,n) \end{aligned} \quad (4)$$

در مجموعه روابط (۴)،  $l$  و  $h$  به ترتیب مشخص کننده فیلترهای پایین گذر و بالا گذر هستند و  $LL_0$  بیانگر تصویر اصلی قبل شروع فرایند تجزیه است.

#### ۴- پیاده‌سازی سامانه

همانطور که در شکل ۲ نمایش داده شده است، در روش پیشنهادی به منظور تفکیک نواحی قیرزده از نواحی سالم از پنج ابزار پردازش تصویر استفاده شده است که عبارتند از: تسهیم هیستوگرام، هموارسازی تصویر، تبدیل موجک، آستانه‌گذاری و عملیات مورفولوژیک. نمایی از خروجی به دست آمده از هر ابزار در شکل ۴ ارائه شده است. اولین گام در فرایند تفکیک خودکار نواحی قیرزده، انجام پیش پردازش روی تصویر ورودی است (مطابق شکل ۲). تصاویر ورودی دارای رزولوشن  $2480 \times 970$  پیکسل بوده که از طریق نصب یک دوربین در جلو خودرو و در شرایط آب و هوایی مناسب برداشت شده‌اند.

در گام پیش پردازش، ابتدا به منظور افزایش وضوح و کیفیت تصویر ورودی از عملیات تسهیم هیستوگرام استفاده شده است. همچنین با توجه به اینکه هدف اصلی پژوهش تعیین موقعیت و هندسه نواحی قیرزده است و



شکل ۳. به کارگیری تبدیل موجک گسسته در تصاویر

(AlZubi et al., 2011; Fereidoon Moghadas Nejad & Zakeri, 2011)

با استفاده از تبدیل موجک در فضای دو بعدی تصویر، می‌توان تصویر را به چند زیر بخش فرکانسی تجزیه کرد و به کمک این زیر بخش‌ها، دو دسته از مقادیر (فرکانس بالا و پایین) را با فیلترهای پایین گذر و بالا گذر استخراج نمود. بخش فرکانس پایین و بالا به ترتیب نماینده بخش‌های پیش زمینه و پس زمینه در تصویر هستند. بر این اساس با اعمال تغییرات بر اجزای تجزیه شده می‌توان اطلاعات مورد نظر را از تصویر استخراج نمود. در فرایند تبدیل موجک، تصویر به صورت ارایه شده در رابطه ۲ به زیربخش‌هایی در فضاهای  $V_k$ ،  $W_k^H$ ،  $W_k^V$  و  $W_k^D$  تجزیه کرد.

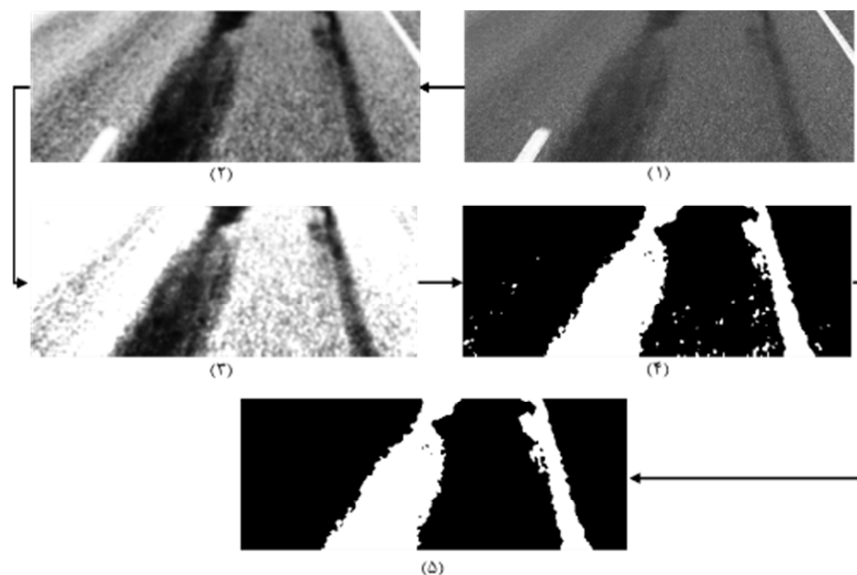
$$f_{k-1}(x,y) = V_k + W_k^H + W_k^V + W_k^D \quad (2)$$

$W_k^D$ ،  $W_k^V$ ،  $W_k^H$  به ترتیب به عنوان موجک‌های افقی، قائم و قطری شناخته می‌شوند و  $k$ ، سطح تجزیه یا تعداد تجزیه‌ها را بیان می‌کند (Addison, 2017; Gonzalez & Woods, 2007; F. M. Nejad et al., 2016; Zakeri, Nejad, & Fahimifar, 2016; Zhou, Huang, & Chiang, 2005).

هریک از مولفه‌های رابطه ۲ بر اساس هسته‌های موجک  $(\varphi)$  و  $(\psi)$  مطابق مجموع روابط ۳ تعیین می‌شوند.

پژوهش، الگوریتم‌های مختلف نظیر فیلتر میانگین، میانه، گوسی و روش واینر به منظور هموارسازی تصویر مورد استفاده قرار گرفت. که فیلتر گوسی با مقدار پارامتر  $\sigma = 9$  در هر دو جهت X و Y، بهترین نتایج را در فرایند تفکیک نواحی قیرزده به همراه داشته است. در گام بعد، ابزار تبدیل موجک به منظور استخراج اطلاعات مربوط به نواحی قیرزده در فضای فرکانسی به کار گرفته می‌شود. در این مرحله فیلتر مبتنی بر تبدیل موجک مطابق رابطه ۵ روی زیربخش‌های فرکانس بالا اعمال می‌شود.

سایر جزئیات مربوط به بافت تصویر چندان اهمیتی ندارند، فرایند هموارسازی تصویر نیز در بخش پیش‌پردازش انجام می‌شود تا نویز موجود در تصاویر را تا حد امکان کاهش یابد و یک تصویر همگن‌تر برای پردازش اصلی آماده شود. نمایی از نتیجه فرایند پیش‌پردازش تصاویر در شکل ۴ قسمت (۲) ارائه شده است. در فرایند ارزیابی خرابی قیرزدگی، هندسه نواحی دارای قیرزدگی از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو هموارسازی تصویر باید به صورتی انجام شود که در کنار همگن‌سازی و کاهش نویز تصویر، تا حد امکان اطلاعات مرزی نواحی قیرزده را حفظ کند. در این



شکل ۴. نمایی از نحوه عملکرد بخش‌های مختلف فرایند تفکیک خودکار نواحی قیرزده؛ (۱) تصویر اولیه، (۲) خروجی فرایند پیش‌پردازش، (۳) جزئیات استخراج شده با استفاده از ابزار تبدیل موجک، (۴) آستانه گذاری سراسری، (۵) خروجی حاصل از به کارگیری عملگر مورفولوژیک برای حذف عناصر ریز

استخراج جزئیات مورد نظر از تصویر تعبیه شدند. نحوه اثرگذاری پارامترهای مختلف تنظیم حساسیت فیلتر در شکل ۵ ارائه شده است.

متغیر  $K$ ، تعداد دفعات انجام عملیات تجزیه تصویر را تعیین می‌کند. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است مقدار کم این پارامتر، موجب می‌شود که جزئیات مد نظر به خوبی و به مقدار کافی از تصویر استخراج نشود و اگر مقدار آن زیاد باشد، اغلب عملیات تجزیه موجب استخراج جزئیات اضافی و بروز

$$M_{N,k}(p,q) = \frac{[(HL_k(p,q) \times N_1) + (LH_k(p,q) \times N_2) + (HH_k(p,q) \times N_3)]}{N_4} \quad (5)$$

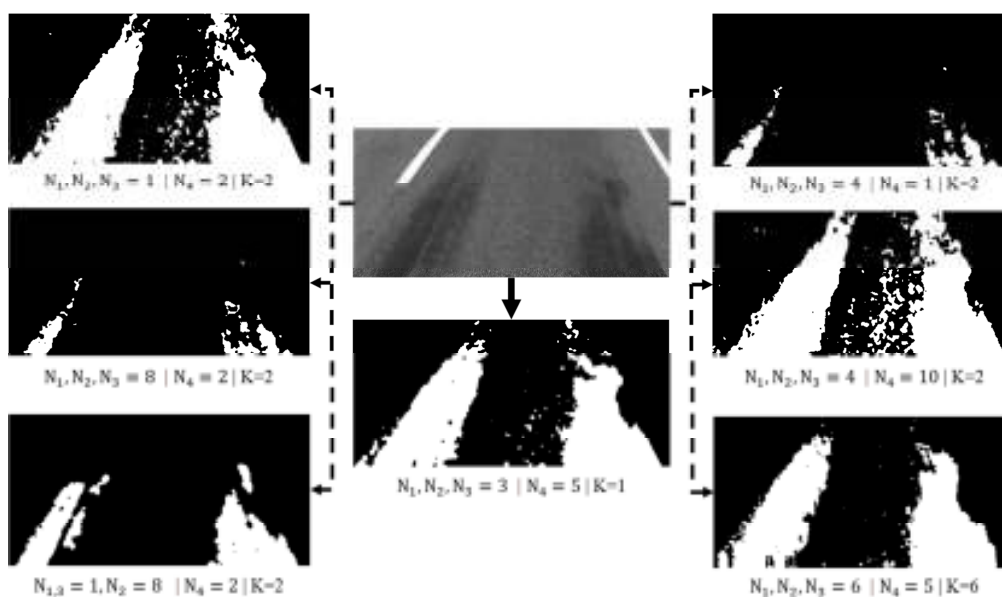
در این فیلتر، اطلاعات مرتبط با جزئیات تصویر در فضای فرکانسی را ترکیب می‌کند و پس از انتقال از فضای فرکانسی به فضای تصویر، جزئیات مورد نظر (نواحی قیرزده) را تا حد زیادی از پس زمینه تصویر تفکیک می‌شود.

در رابطه ۵، پارامترهای موجود در ماژول طراحی شده  $(N_i)$ ، به منظور فراهم آوردن امکان تنظیم حساسیت فیلتر در

پارامتر  $N_4$  حساسیت کلی فیلتر در استخراج جزئیات از تصویر را تعیین می‌کند. با افزایش این پارامتر میزان جزئیات استخراج شده از تصویر افزایش می‌یابد. با توجه به ساختار در نظر گرفته شده برای فیلتر طراحی شده، اثر این پارامتر بر میزان حساسیت فیلتر بیشتر از سایر پارامترها است. لازم به توضیح است که فرایند پیش‌پردازش به ویژه مقادیر فیلتر گوسی جهت هموارسازی تصویر اثر زیادی در تعیین مقادیر مناسب برای پارامترهای فیلتر طراحی شده و عملکرد فیلتر دارد. از این رو تعیین پارامترهای مناسب در پخش‌های مختلف روش پیشنهادی با در نظر گرفتن اثر ترکیبی آن‌ها انجام شده است.

ناهنجاری (کشیدگی پیکسل‌های تصویر) در خروجی نهایی می‌شود. در این پژوهش، پس از بررسی خروجی حاصل از مقادیر مختلف، مقدار یک برای این متغیر در نظر گرفته شد.

پارامترهای  $N_1, N_2, N_3$  تنظیم میزان جزئیات استخراج شده از تصویر به ترتیب در راستای افقی، قائم و قطری را در فیلتر بر عهده دارند. افزایش این پارامترها موجب کاهش میزان جزئیات استخراج شده از تصویر می‌گردد (شکل ۵). بررسی نتایج حاصل از مقادیر مختلف برای این پارامترها نشان می‌دهد که در نظر گرفتن مقدار یکسان برای این سه پارامتر به نتایج بهتری منجر خواهد شد.

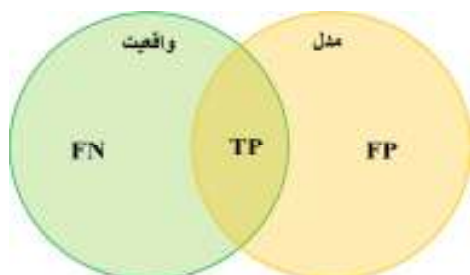


شکل ۵. اثر مقادیر مختلف پارامترهای ماژول مبتنی بر تبدیل موجک بر تفکیک نواحی قیرزده

آستانه‌گذاری سراسری و عملیات مورفولوژیک به منظور افزایش وضوح اطلاعات استخراج شده، انجام می‌شود. مطابق شکل ۴ قسمت ۴، با استفاده از عملیات آستانه‌گذاری سراسری، تفکیک قابل قبولی بین نواحی قیرزده و غیر قیرزده ایجاد شده است اما در تصویر باینری ایجاد شده، نویزهایی وجود دارد که موجب ایجاد خطا در تعیین گستردگی نواحی قیرزده خواهد شد. برای رفع این مشکل از عملگر مورفولوژیکی حذف عناصر ریز (نویز) استفاده شده است و همانطور که در قسمت ۴ شکل ۳ مشاهده می‌شود، نواحی قیرزده با وضوح مناسبی از سایر قسمت‌های تصویر تفکیک شده است.

مطابق شکل ۵، با ارزیابی عملکرد فیلترهای مختلف در یک فرایند آزمون و خطا، انجام تبدیل موجک با استفاده از فیلتر  $coif1$  عملکرد مناسبی داشته و با در نظر گرفتن مقدار یک برای متغیر  $K$ ، مقدار ۳ برای متغیر پارامترهای  $N_1, N_2$  و  $N_3$  و مقدار ۵ برای پارامتر  $N_4$  نتایج قابل قبولی برای تفکیک نواحی قیرزده به دست می‌آید. همچنین، نمونه‌ای از نتیجه به کارگیری تبدیل موجک روی تصویر به دست آمده از فرایند پیش‌پردازش در شکل ۴ قسمت (۳) ارایه شده است. فیلتر مبتنی بر تبدیل موجک به خوبی توانسته است جزئیات مورد نظر در این پژوهش (جزئیات مرتبط با نواحی قیرزده) را از تصویر استخراج کند. در ادامه یک فرایند پس‌پردازش متشکل از

به عبارت دیگر مطابق شکل ۶، در حالت TP نواحی مشخص تفکیک شده در خروجی مدل و تصویر مینا به صورت یکسان برچسب گذاری شده اند. FP نواحی را مشخص می کند که مدل به اشتباه به عنوان ناحیه قیرزده برچسب گذاری کرده است و FN مواردی هستند که در خروجی مدل به عنوان ناحیه قیرزده مشخص نشده است در حالی که طبق تصویر مینا باید به عنوان ناحیه قیرزده تفکیک شود.



شکل ۶. شماتیک نحوه ارزیابی عملکرد مدل تفکیک نواحی قیرزده

آماره های توصیفی شاخص های عملکردی مدل پیشنهادی در جدول ۱ ارائه شده است. سامانه پیشنهاد شده به منظور تفکیک و قطعه بندی نواحی قیرزده، با متوسط ۸۲/۴۴، ۸۸/۶۶ و ۸۰/۳۳ درصدی به ترتیب بر اساس معیار صحت، ضریب تشابه دایس و نسبت اشتراک به اجتماع، عملکرد قابل قبولی داشته است. بر اساس شاخص عملکردی صحت، مدل پیشنهادی به طور متوسط توانسته است در ۸۲/۴۴ درصد موارد پیکسل های مربوط به خرابی قیرزدگی را به درستی از سایر پیکسل های تصویر تفکیک کند. از سوی دیگر، بر اساس معیار تشابه دایس که روی تشابه نواحی تفکیک شده توسط مدل با واقعیت تمرکز دارد و اثر پاسخ های مثبت نادرست مدل در تفکیک نواحی قیرزده را هم در نظر می گیرد، خروجی مدل پیشنهادی به میزان ۸۸/۶۶ درصد با واقعیت مشابه است. به عبارت دیگر نواحی تفکیک شده با استفاده از مدل از نظر شکل و هندسه تشابه قابل قبولی با واقعیت دارند و مدل تفکیک خوبی بین نواحی قیرزده و سالم ایجاد کرده است. همچنین عملکرد متوسط ۸۰/۳۳ درصدی مدل بر اساس نسبت اشتراک به اجتماع نشان دهنده تطبیق قابل قبول خروجی مدل با واقعیت است.

به منظور ارزیابی عملکرد روش پیشنهاد شده در این پژوهش به منظور تفکیک و قطعه بندی نواحی قیرزده، میزان تطابق نتایج به دست آمده از مدل پیشنهادی با واقعیت موجود در تصاویر مورد بررسی قرار می گیرد. برای این منظور، بخشی از تصاویر جمع آوری شده (۴۵ تصویر) به صورت تصادفی انتخاب شده نواحی قیرزده موجود در تصاویر به صورت دستی و با دقت برچسب گذاری شده اند. با مقایسه خروجی مدل پیشنهادی با این تصاویر (به عنوان حقیقت مینا)، امکان تعیین شاخص های عملکردی مختلف فراهم می شود.

ضریب تشابه دایس، معیار صحت یا حساسیت و نسبت اشتراک به اجتماع نواحی مورد نظر از جمله شاخص های پر کاربردی هستند که در مسائل قطعه بندی تصاویر برای بررسی میزان شباهت و تطابق تصاویر به دست آمده از مدل با تصاویر مینا، به کار می روند. معیار فراخوانی (حساسیت) به منظور بررسی حساسیت مدل در مواردی که باید نواحی قیرزده را تفکیک کند، استفاده شده است که نحوه محاسبه آن در رابطه ۶ ارائه شده است.

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (۶)$$

ضریب تشابه دایس با تعیین نسبت اشتراک به اجتماع دو مجموعه و تأکید بر پاسخ های مثبت صحیح، مطابق رابطه ۷، از جمله معیارهای پر کاربرد در بررسی عملکرد مدل های قطعه بندی تصاویر به شمار می رود.

$$\text{Dice}(A, B) = \left[ \frac{2 \times |A \cap B|}{|A| + |B|} \right] = \left[ \frac{2 \times TP}{2 \times TP + FP + FN} \right] \quad (۷)$$

معیار نسبت اشتراک به اجتماع نواحی قیرزده به صورت ارائه شده در رابطه ۸ محاسبه می شود.

$$\text{IoU} = \frac{\text{Intersection}(A, B)}{\text{Union}(A, B)} = \frac{TP}{TP + FN + FP} \quad (۸)$$

در روابط فوق، A و B تصاویر خروجی مدل و تصویر مینا (واقعیت) هستند. TP بیانگر تعداد پیکسل های خروجی مدل که بر اساس تصویر حقیقت مینا به درستی تفکیک شده است. FP، تعداد پیکسل هایی از خروجی مدل بر اساس تصویر مینا به درستی تشخیص داده نشده است و با نواحی برچسب گذاری شده تصویر مینا همپوشانی ندارد. پارامتر FN بیانگر تعداد پیکسل هایی مدل نتوانسته است آن ها را تشخیص دهد.



جدول ۱. آماره‌های شاخص‌های عملکردی

آماره	شاخص عملکردی		
	دایس	IoU	صحت
مقدار کمینه	۰/۷۲۳۸	۰/۶۶۹۵	۰/۶۷۲۴
چارک اول	۰/۸۵۵۳	۰/۷۵۰۰	۰/۷۶۶۵
میانه	۰/۸۸۷۲	۰/۷۹۷۳	۰/۸۰۷۵
چارک سوم	۰/۹۲۲۶	۰/۸۵۶۳	۰/۹۱۰۳
مقدار بیشینه	۰/۹۶۸۵	۰/۹۳۸۹	۰/۹۶۴۴
میانگین	۰/۸۸۶۶	۰/۸۰۳۳	۰/۸۲۴۴
انحراف استاندارد	۰/۰۴۶۹	۰/۰۶۵۳	۰/۰۸۵۱

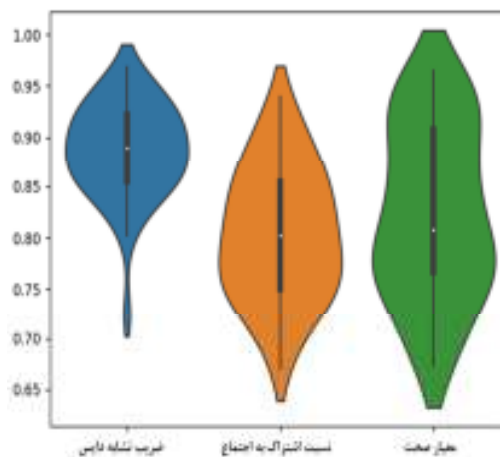
بررسی تابع چگالی احتمال توزیع مقادیر شاخص‌ها نشان می‌دهد که مقادیر بیشترین چگالی را در محدوده‌ای به میانگین دارد و بر اساس دو شاخص دیگر نواحی نزدیک به میانگین بیشترین چگالی احتمال را دارند. بر این اساس می‌توان از عملکرد مدل اطمینان کافی حاصل می‌شود. نمونه‌ای از عملکرد مدل در مقایسه با تصویر مبنا (برچسب‌گذاری شده به صورت دستی) در شکل ۸ ارائه شده است.

عملیات تفکیک نواحی قیرزده در روش پیشنهاد شده، با توجه به سیستم پردازشی مورد استفاده، به طور متوسط با سرعت ۰/۹۷ ثانیه به ازای هر تصویر انجام می‌شود. سرعت مدل ارائه شده در این پژوهش نسبت به مطالعات قبلی مبتنی بر آنالیز چند سطحی (سرعت ۱/۵۵ ثانیه به ازای هر تصویر) بهبود قابل توجهی داشته است. لازم به ذکر است که تمامی عملیات انجام شده در این پژوهش با استفاده از یک رایانه شخصی با سیستم اجرایی ۶۴ بیتی، ۸ گیگا بایت فضای حافظه، پردازنده Intel(R) Core i7-4710HQ @ 2.50 GHz و پردازنده گرافیکی GeForce GTX 850M انجام شده‌اند.

#### ۵- نتیجه گیری

خرابی قیرزدگی روسازی‌های آسفالتی از جمله خرابی‌هایی به شمار می‌رود که علیرغم تأثیر جدی بر مانورپذیری و ایمنی راه‌ها، کمتر مورد توجه جامعه تحقیق بوده است. بررسی مطالعات انجام شده به منظور ارزیابی خودکار خرابی قیرزدگی نشان می‌دهد که تمرکز محققان در سال‌های اخیر بیشتر روی تشخیص این خرابی بوده است و توجه کمتری به ارائه روشی کارآمد به منظور تفکیک نواحی قیرزده شده است. از این رو در این پژوهش تلاش شده است که با استفاده از فناوری‌های پردازش تصویر، روشی به منظور بررسی تفکیک خودکار و کارآمد نواحی قیرزده از سایر نواحی ارائه شود. در این پژوهش، به منظور تفکیک نواحی قیرزده در تصاویر دارای قیرزدگی، یک فرایند پردازش تصویر متشکل از تسهیم هیستوگرام، هموارسازی، آنالیز چند سطحی و عملیات مورفولوژیک پیشنهاد شده است.

مطابق جدول ۱، بررسی چارک‌های مقادیر عملکرد مدل در تصاویر تست شده نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی عملکرد پایداری در تصاویر مختلف داشته است. همچنین مقادیر انحراف استاندارد بیانگر تغییرات کم و قابل قبول عملکرد مدل روی تصاویر مختلف است. در شکل ۷، به منظور بررسی بهتر عملکرد مدل ارائه شده از نمودار ویولن استفاده شده است که علاوه بر ارائه نمودار جعبه‌ای، تابع چگالی احتمال توزیع مقادیر را نیز تخمین می‌زند.



شکل ۷. نمودار ویولن مقادیر معیارهای ارزیابی مدل



شکل ۸. نمونه‌ای از محاسبه شاخص‌های عملکردی مدل

## ۶-مراجع

- Addison, P. S., (2017), "The illustrated wavelet transform handbook: introductory theory and applications in science, engineering, medicine and finance", CRC press.
- Alhasan, A., White, D. J., & De Brabanter, K., (2016), "Wavelet filter design for pavement roughness analysis. Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering, 31(12), pp.907-920.
- AlZubi, S., Islam, N., & Abbod, M., (2011), "Multiresolution Analysis Using Wavelet, Ridgelet, and Curvelet Transforms for Medical Image Segmentation", International Journal of Biomedical Imaging, 2011, 136034. doi:10.1155/2011/136034.
- Brimley, B., & Carlson, P., (2012), "Using high friction surface treatments to improve safety at horizontal curves", Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System, pp.15-16.
- Chan, C. Y., Huang, B., Yan, X., & Richards, S., (2010), "Investigating effects of asphalt pavement conditions on traffic accidents in Tennessee based on the pavement management system (PMS)", Journal of advanced transportation, 44(3), pp.150-161.
- Coenen, T. B. J., & Golroo, A., (2017), "A review on automated pavement distress detection methods", Cogent Engineering,

بخش اصلی فرایند پیشنهادی را آنالیز چند سطحی مبتنی بر تبدیل موجک تشکیل داده است که با انتقال تصویر به فضای فرکانسی امکان استخراج جزئیات و اطلاعات مختلف از تصویر را فراهم می‌کند. در این پژوهش سعی شد تا با طراحی یک فیلتر جدید در فضای فرکانسی، نواحی دارای خرابی قیرزدگی در تصویر از نواحی سالم تفکیک شوند. عملکرد مدل پردازش تصویر پیشنهاد شده در تفکیک نواحی قیرزده، مطابق پژوهش‌های گذشته، بر اساس بررسی میزان شباهت و تطابق نتایج به دست آمده از مدل با نتایج حاصل از بررسی دستی و دقیق نواحی قیرزده ارزیابی شد. در این زمینه از معیارهای پرکاربرد نظیر معیار صحت (حساسیت)، ضریب تشابه دایس و نسبت اشتراک به اجتماع انجام شده است. نتایج ارزیابی عملکرد مدل نشان داده است که فرایند طراحی شده برای تفکیک نواحی قیرزده با متوسط  $80/33$  و  $88/66$ ،  $82/44$  درصدی به ترتیب بر اساس معیار صحت، ضریب تشابه دایس و نسبت اشتراک به اجتماع، عملکرد قابل قبولی داشته است. روش ارائه شده در این پژوهش در مقایسه با مطالعات گذشته (ارائه شده در بخش ۲-۲)، عملکرد بهتری داشته است و از طرف دیگر توان پردازشی کمتری نیاز دارد. همچنین نسبت به سایر مطالعات مبتنی بر آنالیز چند سطحی سرعت بالاتری ارائه کرده است. در آخر می‌توان گفت که روش پیشنهاد شده در این پژوهش با فراهم آوردن امکان تفکیک خودکار نواحی قیرزده با دقت قابل قبول، امکان ارزیابی جامع‌تر قیرزدگی را در نواحی قیرزده در تصاویر روسازی را فراهم کرده است و می‌تواند عملکرد سامانه‌های مدیریت روسازی را بهبود بخشد.

- Moghadas Nejad, F., & Zakeri, H., (2011), "An expert system based on wavelet transform and radon neural network for pavement distress classification. *Expert Systems with Applications*, 38(6), pp.7088-7101. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.060>.
- Nejad, F. M., Karimi, N., & Zakeri, H., (2016), "Automatic image acquisition with knowledge-based approach for multi-directional determination of skid resistance of pavements. *Automation in Construction*, 71(Part 2), pp. 414-429. doi:[10.1016/j.autcon.2016.08.003](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.003).
- Nejad, F. M., & Zakeri, H., (2011), "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. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.089>.
- Ouma, Y. O., & Hahn, M., (2016), "Wavelet-morphology based detection of incipient linear cracks in asphalt pavements from RGB camera imagery and classification using circular Radon transform. *Advanced Engineering Informatics*, 30(3), pp.481-499. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.06.003>.
- Ranjbar, S., Moghadas Nejad, F., & Zakeri, H., (2020), "Asphalt pavement bleeding evaluation using deep learning and wavelet transform", *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, doi:[10.22060/ceej.2020.18292.6820](https://doi.org/10.22060/ceej.2020.18292.6820).
- Ranjbar, S., Nejad, F. M., & Zakeri, H., (2021a), "An image-based system for asphalt pavement bleeding inspection", *International Journal of Pavement Engineering*, pp.1-17. doi:[10.1080/10298436.2021.1932881](https://doi.org/10.1080/10298436.2021.1932881).
- Ranjbar, S., Nejad, F. M., & Zakeri, H., (2021b), "An image-based system for pavement crack evaluation using transfer learning and wavelet transform", *International Journal of Pavement Engineering*, 4(1). doi:[10.1080/23311916.2017.1374822](https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1374822).
- Engström, R., (2016), "The Roads' Role in the Freight Transport System", *Transportation Research Procedia*, 14, pp.1443-1452. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.217>.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E., (2007), "Digital image processing", Pearson Education International, 2.
- Hadjidemetriou, G. M., & Christodoulou, S. E., (2019), "Vision-and Entropy-Based Detection of Distressed Areas for Integrated Pavement Condition Assessment", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 33(3), 04019020.
- Henderson, R., Cenek, P., Jamieson, N., & Wilson, D., (2011), "The influence of binder rise in reducing tyre-road friction. Ivanova, E., & Masarova, J., (2013), "Importance of road infrastructure in the economic development and competitiveness", *Economics Management*, 18(2), pp.263-274.
- Khan, M., Qiao, F., & Yu, L., (2017), "Wavelet analysis to characterize the dependency of vehicular emissions on road roughness", *Transportation Research Record*, 2641(1), pp.111-125.
- Lawson, W., & Senadheera, S., (2009), "Chip seal maintenance: solutions for bleeding and flushed pavement surfaces", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (2108), pp.61-68.
- Mataei, B., Moghadas Nejad, F., Zahedi, M., & Zakeri, H., (2018), "Evaluation of pavement surface drainage using an automated image acquisition and processing system", *Automation in Construction*, 86, pp.240-255. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.010>.
- Mataei, B., Zakeri, H., Zahedi, M., & Nejad, F. M., (2016), "Pavement friction and skid resistance measurement methods: a literature review", *Open J. Civ. Eng.*, 6(04), pp.537-538.

- Yang, G., Li, Q. J., Zhan, Y. J., Wang, K. C., & Wang, C., (2018), "Wavelet based macrotecture analysis for pavement friction prediction", *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(1), pp.117-124.
- Yang, S., Alhasan, A., Zhang, Y., Ceylan, H., & Kim, S., (2020), "Pavement curling and warping analysis using wavelet techniques", *International Journal of Pavement Engineering*, pp.1-16.  
doi:10.1080/10298436.2020.1726346
- Zakeri, H., Nejad, F. M., & Fahimifar, A. (2016), "Rahbin: A quadcopter unmanned aerial vehicle based on a systematic image processing approach toward an automated asphalt pavement inspection", *Automation in Construction*, 72(Part 2), pp.211-235.  
doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.09.002.
- 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.  
doi:10.1007/s11831-016-9194-z.
- Zhang, Z., Sun, C., Bridgelall, R., & Sun, M., (2018), "Road profile reconstruction using connected vehicle responses and wavelet analysis", *Journal of Terramechanics*, 80, pp.21-30.  
doi:https://doi.org/10.1016/j.jterra.2018.10.004.
- Zhou, J., Huang, P., & Chiang, F. P. (2005), "Wavelet-based pavement distress classification. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (1940)*", pp.89-98.
- Research and Technology*, 14(4), pp.437-449.  
doi:10.1007/s42947-020-0098-9.
- Ranjbar, S., Nejad, F. M., Zakeri, H., & Gandomi, A. H., (2020), Computational intelligence for modeling of asphalt pavement surface distress. In P. Samui, D. Kim, N. R. Iyer, & S. Chaudhary (Eds.), *New Materials in Civil Engineering*, pp. 79-116, Butterworth-Heinemann.
- Rodrigues, R. S., Pasin, M., Kozakevicius, A., & Monego, V., (2019), "Pothole Detection in Asphalt: An Automated Approach to Threshold Computation Based on the Haar Wavelet Transform", Paper presented at the 2019 IEEE 43rd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC).
- Shi, Y., Guo, S., & Sun, P., (2017), "The role of infrastructure in China's regional economic growth", *Journal of Asian Economics*, 49, pp.26-41.  
doi:https://doi.org/10.1016/j.asieco.2017.02.004.
- Song, L., & Wang, X., (2019), "Faster region convolutional neural network for automated pavement distress detection", *Road Materials and Pavement Design*, pp.1-19.  
doi:10.1080/14680629.2019.1614969.
- Tong, Z., Yuan, D., Gao, J., & Wang, Z., (2020), "Pavement defect detection with fully convolutional network and an uncertainty framework", *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*.
- Wang, P., Hu, Y., Dai, Y., & Tian, M. (2017), "Asphalt Pavement Pothole Detection and Segmentation Based on Wavelet Energy Field", *Mathematical Problems in Engineering*, 2017, 13.  
doi:10.1155/2017/1604130.

# Automatic Segmentation of Bleeding Regions in Asphalt Pavement Using Multiresolution Analysis of the Image

*Sajad Ranjbar, Ph.D. Student, Department of Civil and Environmental Engineering,  
Amir Kabir University of Technology, Tehran, Iran.*  
*Fereidoon Moghadas Nejad, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering,  
Amir Kabir University of Technology, Tehran, Iran.*  
*Hamzeh Zakeri, Ph.D., Professor, Department of Civil and Environmental Engineering,  
Amir Kabir University of Technology, Tehran, Iran.*

*E-mail: ranjbar.sajad@aut.ac.ir*

Received: September 2022- Accepted: February 2023

## **ABSTRACT**

Pavement is the main part of the country's road network. Therefore, the evaluation of pavement conditions, especially the inspection of pavement distresses has an important role in the managing and repairing process of the pavement network. Bleeding is one of the important distresses in asphalt pavement because it has a direct influence on pavement skid resistance, vehicle maneuverability, and road safety. According to a survey of prior research, the automatic evaluation of bleeding receives less attention than other pavement distresses, and the main focus of study in this field has been on the automatic detection of bleeding. Automatic segmentation of distress regions is a critical component of pavement distress evaluation, allowing for a more precise assessment of distress. As a result, the purpose of this study is to develop an efficient method for the automatic segmentation of bleeding regions from healthy regions using image processing tools based on multiresolution image analysis. The proposed method has better performance than prior research, with averages of 82.44, 88.66, and 80.33 percent based on recall, Dice similarity coefficient, and intersection to union ratio as prevalent segmentation performance metrics. This model allows for the automated evaluation of bleeding and can enhance the performance of pavement management systems.

**Keywords:** Pavement Management, Bleeding, Distress Segmentation, Image Processing, Multiresolution Image Analysis