ارایه گزینه مناسب نگهداری و بهسازی روسازی آسفالتی با بکارگیری شاخص‌های ارزیابی ناهمواری و خرابی سطحی

منصور فخری*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
رضا شهنی دزفولیان، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
جلال برزگران، دانش آموخته کارشناسی‌ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Fakhri@kntu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۸ – پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۵
صفحه ۲۱۱-۲۲۳

چکیده

نگهداری و بهسازی روسازی راهها از اقدامات مهم و ضروری در افزایش طول عمر جاده‌ها است و همواره هزینه‌های زیادی صرف این امور می‌گردد. با بکارگیری یک سیستم مدیریت روسازی (PMS) اقدامات نگهداری و بهسازی راهها به صورت اولویت‌بندی‌شده و با صرف هزینه‌های اقتصادی بهینه صورت می‌گیرد. به منظور ایجاد چنین شرایطی، نیاز به یک پایگاه داده می‌باشد تا اطلاعات جمع‌آوری شده در دوره‌های مختلف زمانی مورد بررسی قرار گیرند. از آنجا که در کشور ایران ایجاد سیستم مدیریت روسازی در ابتدای راه بوده و یک بانک اطلاعات بلندمدت در دسترس نیست، انجام برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی نگهداری راهها با در نظر گرفتن شرایط فعلی خرابی روسازی‌ها می‌تواند مؤثر و کاربردی باشد. در همین راستا در این مقاله بر مبنای شاخص ارزیابی ناهمواری بین‌المللی (IRI) و شاخص ارزیابی سطح روسازی (PASER) وضعیت حدود ۸۰۰ کیلومتر از شبکه راههای شریانی استان کرمانشاه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. در واقع در این مقاله گزینه‌های مرمت مورد نیاز برای هر یک از مقاطع منتخب براساس بررسی وضعیت روسازی با استفاده از هریک از دو شاخص فوق و ترکیب آنها ارایه گردیده است. بررسی داده‌های برداشت شده و نتایج حاصل از آنها نشان می‌دهد که شدت ناهمواری سطحی بالا (IRI با میزان بالا) لزوماً به معنای وجود خرابی‌های سطحی با شدت بالا (PASER با نمره کم) و بالعکس نمی‌باشد. در همین راستا استفاده از ترکیب این دو شاخص می‌تواند دارای عملکرد مناسبتری نسبت به هر یک از شاخص‌ها جهت نمایش وضعیت روسازی باشد. همچنین یک مدل رگرسیون به منظور ایجاد رابطه میان دو شاخص IRI و PASER به دست آمده است، که بیانگر قابلیت تخمین مناسب هر یک از این دو شاخص بر حسب دیگری است.

واژه‌های کلیدی: امتیازدهی و ارزیابی سطح روسازی (PASER)، سیستم مدیریت روسازی، شاخص ترکیبی، شاخص ناهمواری بین‌المللی(IRI)، نگهداری و بهسازی(M&R)

۱- مقدمه

روسازی‌ها در طول عمر خدمت‌دهی تحت تأثیر شرایط مختلفی همچون بارگذاری‌های ترافیکی و تغییرات آب و هوایی هستند و به مرور زمان دچار اضمحلال می‌شوند. نگهداری و بهسازی روسازی تحت یک سیستم مدیریت روسازی می‌تواند عمر خدمت‌دهی روسازی را افزایش دهد، سطحی قابل قبول جهت کاربری، ایمنی و راحتی استفاده کنندگان از راه را فراهم آورد و در بهینه‌سازی تصمیمات نگهداری روسازی و تخصیص منابع به شبکه راهها در

سطوح شبکه و پروژه راهگشا باشد (Robinson, Danielson, & Snaith, 1998). بنابراین ارزیابی عملکرد روسازی با هدف تعیین وضعیت کنونی روسازی‌ها و رفتار آنها در طول زمان حائز اهمیت است. عوامل مؤثر در بررسی وضعیت روسازی شامل انواع خرابی‌های سطحی، ناهمواری سطحی، مقاومت در برابر لغزندگی و تغییرشکل‌های سازه‌ای روسازی می‌باشند (Shahin, 2005). خرابی‌های سطحی و ناهمواری روسازی بیانگر عملکرد فنی روسازی هستند و نقش مهمی را در راحتی مسافران، ایمنی جاده‌ها و استهلاک وسایل نقلیه (هزینه‌های کاربران) و هزینه ادارات راه ایفا می‌کنند. شاخص ناهمواری بین‌المللی (IRI) و شاخص امتیازدهی سطح روسازی (PASER) به ترتیب از روش‌های رایج در ارزیابی ناهمواری و خرابی سطحی هستند. مطالعه انجام شده در این مقاله نشان می‌دهد که بکارگیری هر یک از این شاخص‌ها بطور مجزا لزوماً نمی‌تواند وضعیت جامعی از روسازی را ارایه نماید. در این مقاله، محورهای بزرگراهی و اصلی استان کرمانشاه براساس شاخص‌های IRI و PASER به صورت مجزا و همچنین در ترکیب با هم مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و گزینه پیشنهادی جهت ترمیم و نگهداری برای هر سه حالت ارایه می‌شود. سپس با مقایسه سه حالت فوق، بهترین گزینه به لحاظ فنی انتخاب می‌گردد. در ادامه نیز جهت بررسی رابطه میان IRI و PASER، وجود یک مدل رگرسیون مناسب بر روی داده‌های هر دو شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- روش‌های ارزیابی ناهمواری

تعیین میزان همواری یا ناهمواری سطح روسازی، معیار با اهمیتی در خصوص راحتی سواری و ایمنی روسازی است که در سرعت تردد و هزینه‌های عملیاتی استفاده‌کنندگان و متولیان راه تأثیر بسزایی دارد. ناهمواری معمولاً در اثر بار ترافیک، اثرات محیطی، رفتار مصالح بکار رفته در روسازی و عدم اجرای صحیح روسازی رخ می‌دهد. سنجش میزان ناهمواری سطح جاده می‌تواند در ارزیابی عملکرد راه مؤثر باشد. شاخص ناهمواری بین‌المللی (IRI) از متداولترین روش‌ها در ارزیابی ناهمواری روسازی است که در سال ۱۹۸۲ توسط بانک جهانی و با هدف انجام آزمایش برای استفاده در مدل توسعه راه (HDM) ارایه شد (Sayers, 1986). شاخص IRI عبارت است از نسبت اندازه‌گیری ناهمواری استاندارد به اندازه‌گیری‌هایی که با استفاده از یک راه‌سنج نصب شده بر روی وسایل نقلیه یا یدک‌کش‌ها به دست می‌آید. IRI یک مدل ریاضی است که در مورد یک نیمرخ اندازه‌گیری شده به کار گرفته می‌شود و تغییرات آن بر اساس مدل ناهمواری HDM4 که ترکیبی از تغییرشکل سازه‌ای، شیارشدگی، ترک‌خوردگی، چاله‌ها و اثرات محیطی است محاسبه می‌گردد. این مدل یک سیستم ربع اتومبیل (QCS) را که با سرعت ثابت ۸۰ کیلومتر بر ساعت حرکت می‌کند، شبیه سازی می‌کند. شاخص IRI از تقسیم جابجایی تجمعی قسمت آویخته سیستم QCS بر مسافت پیموده شده (متر/میلی‌متر یا کیلومتر/متر) به دست می‌آید(Archondo-Fakhri, 2010;Callao, 2008). از دیگر روش‌های ارزیابی ناهمواری می‌توان به شاخص عدد سواری (RN) اشاره نمود که حاصل یکی از پژوهش‌های NCHRP در دهه ۸۰ میلادی است. عدد سواری تخمینی از متوسط امتیازدهی پنل (MPR) است که امتیازات بر اساس نظرات افراد و به صورت کیفی ارایه می‌شوند. مقیاس امتیازدهی کیفی برای راه از ۰ تا ۵ در نظر گرفته می‌شود که ۰ بیانگر وضعیت غیر قابل عبور سطح به دلیل ناهمواری زیاد و ۵ بیانگر وضعیت عالی سطح از نظر همواری است (Lu, Zhu, & Pernia, 2003). از شاخص‌های کاربردی دیگر در برآورد وضعیت روسازی به لحاظ ناهمواری، شاخص خدمت‌دهی فعلی (PSI) می‌باشد در این روش با اندازه‌گیری پارامترهای ناهمواری، ترکخوردگی، چاله، شیارشدگی، گودافتادگی و لکه‌گیری و بر اساس یک رابطه تجربی، عدد PSI حاصل می‌شود که این عدد بین ۰ (وضعیت ضعیف روسازی) تا ۵ (وضعیت خیلی خوب روسازی) می‌باشد. (AASHTO Officials, 2012; Terzi, 2006).

۳- روش‌های ارزیابی خرابی سطحی

با گذشت زمان از طول عمر روسازی‌ها و قرارگیری آنها در معرض شرایط محیطی و بارگذاری‌های ترافیکی، اضمحلال آنها نمایان می‌گردد که نشانه‌های آن به تدریج به صورت خرابی روسازی دیده می‌شود. خرابی‌های قابل رؤیت

آنهایی هستند که با بازرسی چشمی یک سطح روسازی قابل تشخیص و اندازه‌گیری می‌باشند. اندازه‌گیری چنین خرابی‌هایی معمولاً به عنوان بخشی از ارزیابی وضعیت روسازی انجام می‌شود و نتایج آن بر اساس نوع، شدت و مقدار خرابی ارایه می‌گردد (AASHTO, 2012). از روش‌های اندازه‌گیری و سنجش خرابی سطحی می‌توان به شاخص وضعیت روسازی (PCI) ارایه شده توسط گروه مهندسین ارتش ایالات متحده، اشاره کرد که روشی متداول در برآورد خرابی‌های سطحی است. این شاخص تحت استاندارد بین المللی ASTM D6433 ارایه شده است و نتایج حاصل از آن در یک مقیاس ۰ تا ۱۰۰ امتیازدهی می‌شود که ۰ بیانگر بدترین وضعیت و ۱۰۰ بیانگر بهترین وضعیت روسازی است (ASTM; Standard, 2016). امتیازدهی وضعیت روسازی (PCR) که توسط سازمان حمل و نقل اوهایو (ODoT) ارایه شد، روش دیگری است که مبتنی بر بازرسی چشمی خرابی‌ها بوده و روند آن تعیین و تفسیر خرابی روسازی بر اساس شدت و مقدار خرابی می‌باشد. مقادیر کاهنده برای همه خرابی‌های قابل مشاهده از حاصلضرب وزن خرابی در شدت و میزان خرابی به دست می‌آیند. به سطح روسازی امتیازی از ۰ تا ۱۰۰ اختصاص می‌یابد که ۰ بیانگر بدترین و ۱۰۰ بیانگر بهترین وضعیت روسازی است (Saraf, 1998).

$$PCR = 100 - \sum \text{Deduct Values} \qquad (۱)$$

همچنین شاخص ارزیابی و امتیازدهی سطح روسازی (PASER)، رویکردی جدید مبتنی بر بررسی چشمی وضعیت روسازی به صورت کیفی است که توسط مرکز اطلاعات حمل و نقل دانشگاه ویسکانسین – مدیسون ارایه شده است. در این روش با عکسبرداری یا فیلمبرداری از سطح جاده، خرابی‌ها بر اساس نوع، شدت و مقدار به صورت کیفی برداشت می‌شوند و سپس به وضعیت سطح روسازی از ۱ تا ۱۰ امتیاز داده می‌شود که نمره ۱ نشان‌دهنده بدترین وضعیت سطح و نمره ۱۰ نمایانگر بهترین وضعیت سطح روسازی است. در این سیستم چهار گروه اصلی از خرابی‌های سطح روسازی آسفالتی در نظر گرفته می‌شوند که شامل نقصان‌های سطحی (شن‌زدگی، قیرزدگی و صیقلی شدن دانه‌ها)، تغییرشکل‌های سطح (شیار شدگی، اعوجاج و موج‌زدگی و تورم)، ترکها (طولی، عرضی، انعکاسی، بلوکی، لغزشی و پوست‌سوسماری) و وصله‌ها و چاله‌ها می‌باشند (Walker, Entine, & Kummer, 2002).

در مقایسه بین شاخص‌های ارزیابی ناهمواری، به دلیل تبعیت شاخص IRI از مدلهای خرابی سطحی نظیر تغییرشکل سازه‌ای، شیارشدگی، ترک‌خوردگی، چاله‌ها و کیفی بودن شاخص‌های RN و PSI در برآورد ناهمواری، دقت شاخص IRI نسبت به RN و PSI بیشتر بوده و متداولتر و معتبرتر است. برای ارزیابی خرابی‌های سطح روسازی، شاخص PCI می‌تواند معیار معتبر و مناسبی باشد، لیکن هزینه بر بودن برداشت داده (زمان قابل توجه برداشت) استفاده از این شاخص را تحت تاثیر قرار می‌دهد. شاخص PASER به دلیل صرفه اقتصادی و زمانی در برداشت داده‌ها، ایمنی تیم برداشت‌کننده و پیوسته بودن برداشت داده‌های سطح روسازی (کل محور) مورد نظر می‌تواند معیار مناسبی در برآورد وضعیت خرابی‌های سطح روسازی نسبت به شاخص‌های PCI یا PCR باشد. بنابراین در این پژوهش از شاخص IRI جهت ارزیابی ناهمواری و از شاخص PASER جهت ارزیابی خرابی‌های سطحی بهره گرفته شده است.

٤- روش تحقیق

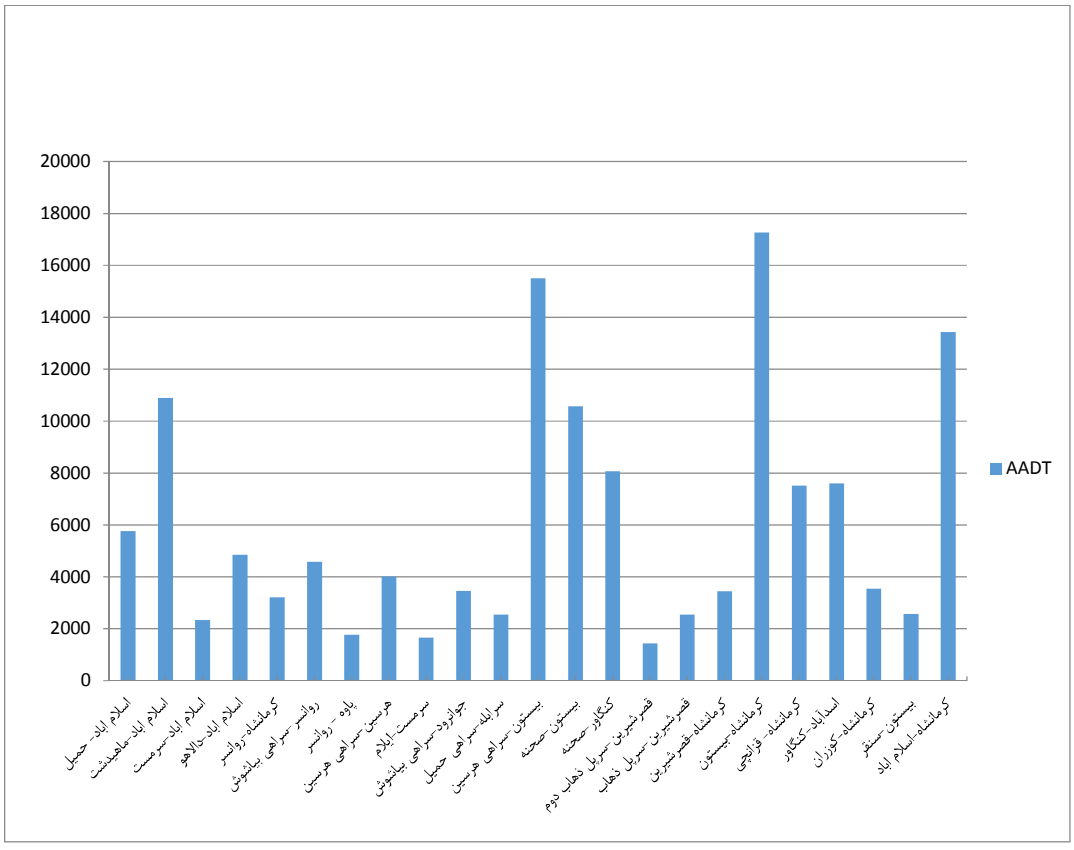
٤-١- جمع آوری داده‌ها

در این پژوهش، ۱۱ محور از راههای اصلی و بزرگراهی استان کرمانشاه در مجموع به طول ۸۰۰ کیلومتر مورد مطالعه قرار گرفته است. نوع رویه تمامی محورها آسفالتی بوده و ترافیک روزانه متوسط سالیانه (AADT) سال مبنا (۱۳۹۳) برای تمامی محورهای مورد مطالعه، محاسبه و در شکل ۱ نشان داده شده است. به منظور انجام قطعه‌بندی اطلاعات مربوط به ترافیک، تاریخچه ساخت روسازی، ترکیب سازه‌ای روسازی، وضعیت زهکشی و شانه، شرایط آب و هوایی و وضعیت روسازی در حد امکان و دسترسی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به جهت ارزیابی ناهمواری سطح روسازی از دستگاه RSP استفاده شده است. این دستگاه بر روی وسیله نقلیه نصب می‌شود و قادر به اندازه‌گیری و محاسبه ممتد و لحظه‌ای پروفیل طولی و شاخص ناهمواری IRI با استفاده

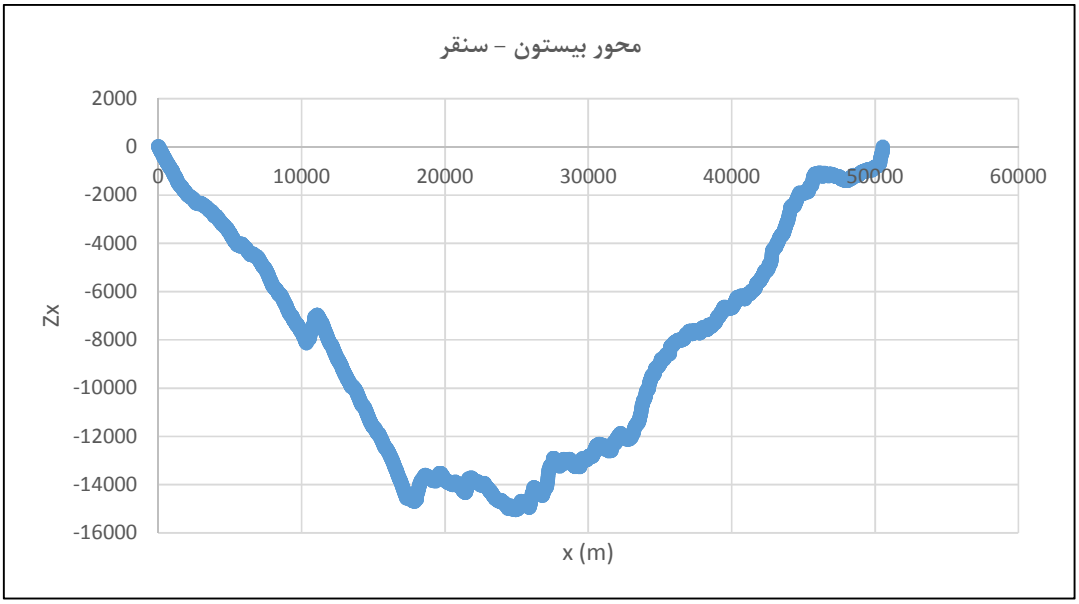
از لیزرها و شتاب‌سنج‌ها در امتداد چرخ‌های راست و چپ وسیله نقلیه می‌باشد. همچنین دستگاه GPS مستقر در وسیله نقلیه برداشت مکانی داده‌های ناهمواری را امکان پذیر می‌سازد. همزمان با برداشت داده‌های ناهمواری توسط دستگاه، عکسبرداری از سطح جاده نیز با کیفیت مناسب از مسیر انجام شده است. با بررسی این تصاویر، خرابی‌های سطح روسازی بر اساس راهنمای شاخص PASER جمع‌آوری، ثبت و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در عکسبرداری از سطح جاده علاوه بر استفاده از دوربین نصب شده بر روی وسیله نقلیه، از دستگاه ساخته شده (ثبت اختراع) RD-3VV، که امکان ارزیابی دقیق خرابی‌های سطح روسازی را در مقیاس یک به یک از تصاویر گرفته شده فراهم می آورد، استفاده شده است.

٤-٢- تحلیل داده‌ها

پس از برداشت داده‌های IRI توسط دستگاه RSP، میانگین IRI چرخ‌های چپ و راست به عنوان IRI معادل هر نقطه در نظر گرفته شده است. با توجه به وضعیت متغیر ناهمواری در طول مسیر، ایجاد قطعات همگن که بیانگر وضعیت سطح می‌باشد، ضرورت می‌یابد. بنابراین از روش تفاضل تجمعی برای قطعه‌بندی مسیر بر اساس شاخص IRI استفاده گردید و IRI معادل هر قطعه برابر $IRI_{85\%}$ در نظر گرفته شد؛ یعنی مقدار IRI ای که ۸۵ درصد مقادیر دیگر IRI از آن کمتر هستند (Fakhri, 2010). در شکل ۲ نمودار تفاضل تجمعی جهت قطعه‌بندی برای محور بیستون – سنقر نشان داده شده است.



شکل ۱. نمودار ترافیک روزانه متوسط سالیانه استان کرمانشاه برای سال مبنا (۱۳۹۳)



شکل ۲. نمودار تفاضل تجمعی جهت قطعه‌بندی شاخص IRI برای محور بیستون – سنقر

به منظور تعیین امتیاز سطح محور مورد مطالعه بر اساس شاخص PASER نیز، با در نظر گرفتن شرایط ترافیکی، وضعیت خرابی‌های سطح روسازی و دیگر داده‌های در دسترس، قطعه بندی اولیه انجام شده است.

هر قطعه با توجه به خرابی‌های موجود در آن باید بیانگر وضعیت غالب خرابی باشد و سطح روسازی بر اساس آن از ۱ (بدترین وضع روسازی) تا ۱۰ (بهترین وضع روسازی) امتیازدهی می‌شود. قطعه‌بندی نهایی بر اساس روش تفاضل تجمعی انجام شده و PASER معادل برای هر قطعه همگن از روش میانگین وزنی محاسبه شده است. در شکل ۳ نقشه قطعه‌بندی شده محور بیستون – سنقر بر اساس شاخص PASER و به تفکیک رنگ نمایش داده شده است.

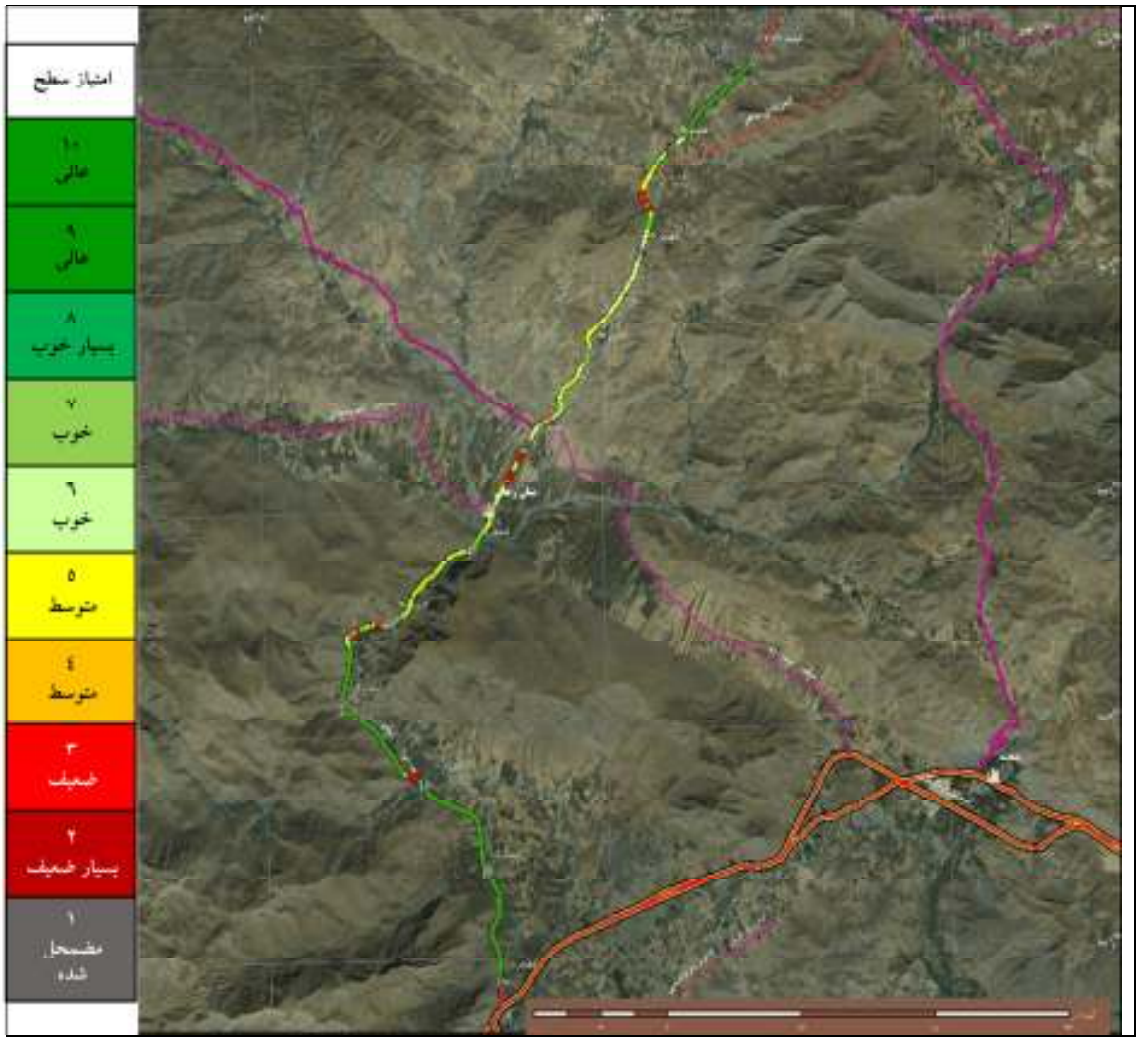
٤-۳- تعیین گزینه ترمیم و نگهداری

٤-۳-۱- تعیین گزینه ترمیم و نگهداری بر اساس شاخص IRI

جهت تعیین گزینه مرمت و نگهداری برای قطعاتی از راه که بر اساس شاخص IRI مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند، نیاز به تفکیک بازه‌های عملکردی شاخص IRI و تخصیص گزینه ترمیم و نگهداری به هر یک از آنهاست. بر اساس مطالعات به عمل آمده پیرامون بکارگیری شاخص IRI در راههای کشورهای مختلف و داخل کشور و پیشنهادات ارایه شده جهت ترمیم و نگهداری، موارد زیر به عنوان گزینه‌های پیشنهادی مرمت بر اساس شاخص IRI در جدول ۱ ارایه شده‌اند (Archondo-Callao, 2008; Fakhri, 2010).

٤-۳-۲- تعیین گزینه ترمیم و نگهداری بر اساس شاخص PASER

برای محورهایی که بر اساس شاخص PASER بررسی شده‌اند، گزینه ترمیم و نگهداری مطابق با آنچه که در راهنمای PASER و به ازاء هر امتیاز آورده شده است، ارایه می‌گردد. جدول ۲ بیانگر گزینه‌های ترمیم و نگهداری بر اساس شاخص PASER می‌باشد (Walker, Entine, et al., 2002).



شکل ۳. نقشه قطعه‌بندی محور بیستون – سنقر بر اساس شاخص PASER

جدول ۱. گزینه‌های پیشنهادی ترمیم ونگهداری بر اساس شاخص IRI به تفکیک بازه (Archondo-Callao, 2008; Fakhri, 2010)

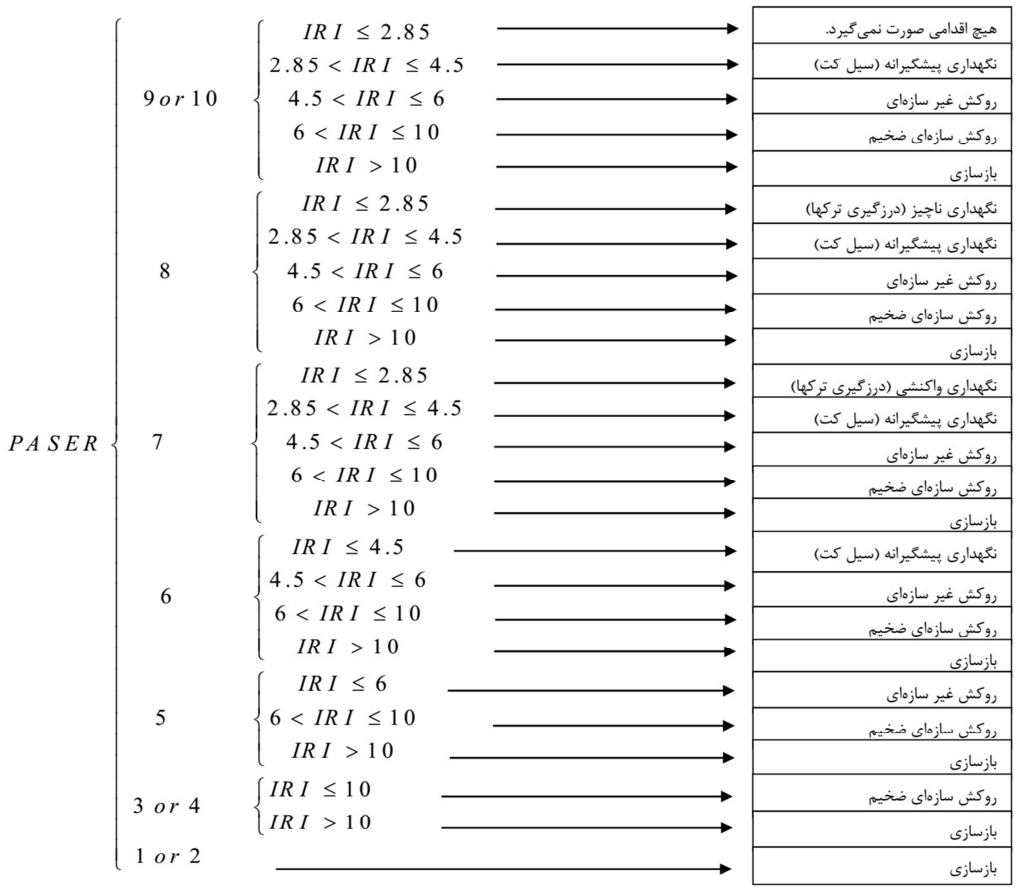
IRI (m/Km)	گزینه مرمت
$IRI \leq 2.85$	هیچ اقدامی صورت نمی‌گیرد.
$2.85 < IRI \leq 4.5$	ترمیم و نگهداری پیشگیرانه
$4.5 < IRI \leq 6$	روکش غیرسازه‌ای
$6 < IRI \leq 10$	بهسازی و روکش سازه‌ای
$IRI > 10$	بازسازی کامل روسازی

جدول۲. سیستم امتیازدهی شاخص PASER و گزینه‌های پیشنهادی ترمیم و نگهداری (Walker, Entine, et al., 2002)

نمره سطح	وضعیت کلی	گزینه مرمت
۱۰	تازه ساخت	هیچ اقدامی صورت نمی‌گیرد.
۹	اخیرا روکش شده. همانند روسازی تازه ساخت	هیچ اقدامی صورت نمی‌گیرد.
۸	اخیرا سیل کت شده یا مخلوط سرد جدید	نیاز به نگهداری ناچیز
۷	اولین نشانه های پیرشدگی سطح	(نگهداری واکنشی) درز گیری عادی
٦	نشانه هایی از پیرشدگی سطح، وضعیت سازه روسازی سالم است.	می‌توان عمر روسازی را با سیل کت افزایش داد. (نگهداری پیشگیرانه)
٥	پیرشدگی سطح، وضعیت سازه روسازی سالم است.	به سیل‌کت یا روکش نازک غیر سازه‌ای (کمتر از ٥ سانتیمتر) نیاز دارد.
٤	پیرشدگی قابل ملاحظه و نخستین نشانه‌های نیاز به مقاوم سازی	یک روکش سازه‌ای (٥ سانتیمتر یا بیشتر) مفید خواهد بود.
۳	خرابی سطح و نیاز به مقاوم سازی روسازی	نیاز به وصله کاری و مرمت قبل از روکش اصلی. آسیاب کردن و برداشت خرابی‌ها عمر روکش را افزایش می‌دهد.
۲	خرابی شدید سطح، نیاز به بازسازی	بازسازی به همراه ترمیم گسترده‌ی اساس. خرد کردن روسازی قدیمی مؤثر می‌باشد.
۱	مضمحل شده	نیاز به بازسازی کامل دارد.

٤-۳-۳- تعیین گزینه ترمیم و نگهداری بر اساس ترکیب شاخص‌های IRI و PASER

در این قسمت با در نظر گرفتن هر دو شاخص IRI و PASER، گزینه مرمت پیشنهادی به صورت ترکیبی ارایه شده است. با توجه به دقت شاخص خرابی سطحی PASER در ارزیابی تعداد قابل توجهی از خرابی‌ها (٤ دسته) و ارایه گزینه مرمت متناسب با آنها، ابتدا شاخص PASER به عنوان اولویت اول در نظر گرفته شده و سپس با افزودن شاخص IRI و بکارگیری قواعد شرطی (If-then)، دو شاخص با هم ترکیب شده و گزینه پیشنهادی مرمت ارایه می‌گردد (Barzegaran, 2017). استفاده از قوانین شرطی در شکل ٤ نشان داده شده است. در جدول ۳ نیز به عنوان نمونه بخشی از ارزیابی محور بیستون – سنقر به طول ۸.۱۹ کیلومتر، بر اساس شاخص PASER، شاخص IRI و ترکیب دو شاخص همراه با گزینه پیشنهادی ترمیم و نگهداری آنها، ارایه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، گزینه پیشنهادی هر یک از شاخص‌ها در مقطع یکسان لزوماً مشابه نمی‌باشد. حال این مسئله مطرح می‌گردد که کدام گزینه می‌تواند به لحاظ فنی مناسب باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۳، الزاماً وضعیت خوب روسازی به لحاظ خرابی سطحی به معنای وضعیت خوب ناهمواری سطح روسازی نیست و بالعکس. لذا ترکیب دو شاخص PASER و IRI می‌تواند معیار بسیار مناسبی در برآورد وضعیت و عملکرد فنی روسازی به لحاظ ناهمواری و خرابی سطحی باشد و گزینه پیشنهادی بهتری را به لحاظ فنی جهت ترمیم و نگهداری ارایه نماید.



شکل ٤. ترکیب شاخص های IRI و PASER با استفاده از قواعد شرطی (If-Then)

شکل ٥. تصویر برداشت شده از سطح روسازی محورهای مختلف: (الف) تصویر برداشت شده توسط دستگاه RD-3VV (شامل مراحل پیش پردازش) (ب) تصویر برداشت شده توسط دوربین دستگاه RSP

جدول ۳. گزینه‌های مرمت پیشنهادی برای بخشی از محور بیستون – سنقر بر اساس هر یک از شاخص‌های IRI و PASER و ترکیب آنها

شماره قطعه	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
از (m)	۰	۸۷۰	۱۰۰۰	۱٦۰۰	۲۳۲۰	۲٦۲۰	۳۲۰۰	۳۷٦۰	٤٤۰۰	٤۷۹۰	۷۱۷۰	۷۳۱۰
تا (m)	۸۷۰	۱۰۰۰	۱٦۰۰	۲۳۲۰	۲٦۲۰	۳۲۰۰	۳۷٦۰	٤٤۰۰	٤۷۹۰	۷۱۷۰	۷۳۱۰	۸۱۹۰
IRI (m/Km)	۱.٥٤	٤		۲.۱٦	۳.٤٦	۲			٤.۰٥	۲.۰۲		۲.٦۱
مرمت بر اساس IRI	هیچ اقدامی صورت نگیرد.	نگهداری پیشگیرانه		هیچ اقدامی صورت نگیرد.	نگهداری پیشگیرانه	هیچ اقدامی صورت نگیرد.			نگهداری پیشگیرانه	هیچ اقدامی صورت نگیرد.		هیچ اقدامی صورت نگیرد.
PASER	۷		۳	۷	۳	۸	٦	۸	٦	٥		
مرمت براساس PASER	درزگیری ترکها		روکش سازه‌ای	درزگیری ترکها	روکش سازه‌ای	نگهداری ناچیز	نگهداری پیشگیرانه	نگهداری ناچیز	نگهداری پیشگیرانه	روکش غیرسازه‌ای		
مرمت بر اساس ترکیب دو شاخص	درزگیری ترکها	نگهداری پیشگیرانه	روکش سازه‌ای	درزگیری ترکها	روکش سازه‌ای	نگهداری ناچیز	نگهداری پیشگیرانه	نگهداری ناچیز	نگهداری پیشگیرانه	روکش غیرسازه‌ای		

٤-۳- رابطه بین IRI و PASER

ترکیب دو شاخص IRI و PASER می‌تواند یک وضعیت کلی از عملکرد روسازی را بیان نماید که در تصمیم‌گیری برای اقدامات ترمیم و نگهداری بسیار حائز اهمیت است. با این وجود، برقراری یک همبستگی مناسب میان IRI و PASER، می‌تواند در تخمین مقادیر هر یک از این شاخص‌ها توسط شاخص دیگر مؤثر باشد. اگرچه شاخص ناهمواری IRI از ابزارهای کاربردی در برآورد وضعیت روسازی به شمار می‌آید، لیکن هزینه قابل توجه برداشت IRI از موارد مهمی است که با توجه به محدودیت اعتبارات، مقرون به صرفه بودن آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از طرفی شاخص PASER، معیاری مناسب در برآورد وضعیت ظاهری سطح است که در عین کاربردی بودن آن هزینه زیادی را به متولیان امر نگهداری تحمیل نمی‌کند. با توجه به توضیحات مذکور ایجاد رابطه‌ای که بتواند شاخص IRI را از شاخص PASER تخمین بزند، می‌تواند دستاورد خوبی در برآورد وضعیت روسازی باشد. در این بخش ٤۹۷ کیلومتر از محورهای استان کرمانشاه (در سطح پروژه) مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق با توضیحات قبل جهت برداشت داده‌های ناهمواری، از دستگاه RSP و به صورت همزمان جهت برداشت و تصویربرداری از خرابی‌های سطحی از دوربین نصب شده بر روی وسیله نقلیه‌ای که دستگاه RSP بر روی آن سوار می‌باشد و همچنین دستگاه RD-3VV استفاده شده است. از آنجا که بررسی ارتباط بین دو شاخص IRI و PASER نیازمند بررسی دقیق خرابی‌ها به صورت پیوسته و در مقیاس واقعی یک به یک می‌باشد این مهم توسط عکسبرداری از سطح روسازی با استفاده از دستگاه RD-3VV میسر شده است (شکل ٥).

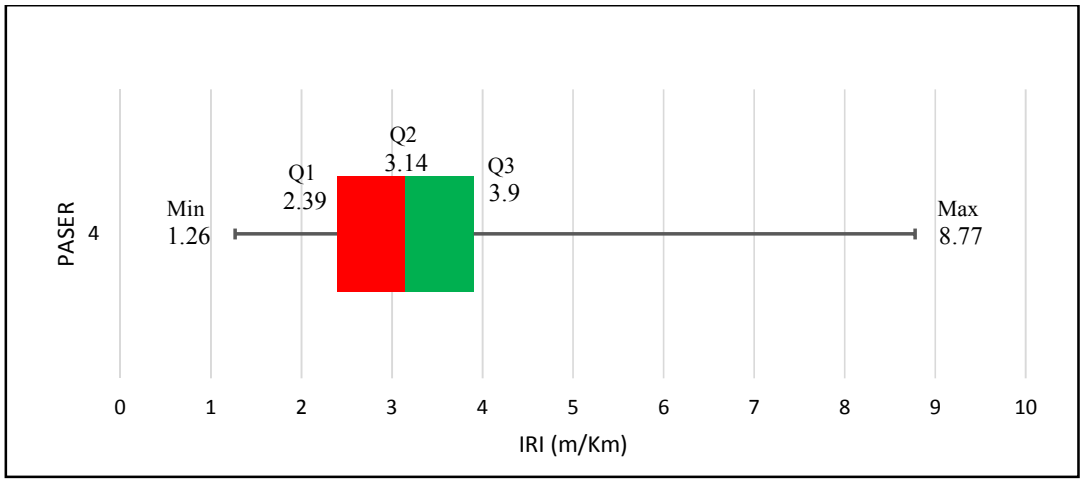
سیستم ساخته شده RD-3VV یک ابزار کاربردی چند منظوره جهت برداشت و ارزیابی وضعیت خرابی‌های سطحی روسازی، وضعیت ظاهری زهکشی و شانه، علائم ایمنی و تجهیزات نظیر تابلوها، انواع حفاظها و گاردریل و غیره است. علاوه بر این، ارزیابی سطحی وضعیت ابنیه فنی چون تونل و هر آنچه که در حریم نزدیک به سواره‌رو و پیاده‌رو برون شهری و درون شهری واقع است و نیز آشکارسازی و ثبت محل خرابی‌های ارتفاعی در روسازی از قابلیت‌های این دستگاه می‌باشد. از خصوصیات بارز این دستگاه می‌توان به دسترسی آسان، امکان حمل و نصب بر روی هر خودرو، وزن کم، تغییر و تنظیم ابعاد، ارتفاع و زاویه دید نسبت به سطح برداشت و حریم راه، شعاع عملیاتی و دید قابل توجه برداشت (در مقیاس یک به یک)، دقت نتایج حاصل از برداشت، قابلیت پشتیبانی از روش‌های مختلف برداشت وضعیت راه (تصویری و ارتعاشی)، ایجاد بستر مناسب جهت اندازه‌گیری و بازرسی علائم و تجهیزات، تعیین شاخص کیفیت سواری و در نهایت حداقل هزینه ساخت اشاره نمود. لازم به ذکر است که در دستگاه مذکور علاوه بر امکان کاهش اثر سایه بر سطح خرابی، کلیه مراحل پیش پردازش چون کالیبراسیون، موزاییکی کردن، حذف نویز (شکل ۵) و ارزیابی مشخصه خرابی‌های سطحی (شدت، گستردگی و تراکم) با دقت بالا (پردازش تصاویر) و با استفاده از برنامه کاربردی پشتیبان طراحی شده انجام می پذیرد. در این مقاله نیز از قابلیت‌های دستگاه مذکور به منظور تعیین و ارزیابی خرابی‌های سطح در قالب شاخص PASER استفاده شده است. نمای کلی دستگاه ساخته شده در شکل ٦ نشان داده شده است.

به منظور تحلیل داده‌های برداشت شده، شاخص ناهمواری IRI به ازاء هر ۱۰ متر از دستگاه RSP استخراج شده و خرابی‌های سطح روسازی نیز با توجه به راهنمای شاخص PASER و با استفاده از عکس‌های برداشت شده از سطح روسازی در مقاطع ۱۰ متری (سطح پروژه) مورد بررسی قرار گرفته است. IRI معادل در هر نقطه حاصل میانگین IRIهای چرخ چپ و راست در نظر گرفته شده است. پس از ارزیابی عکس‌های برداشت شده از سطح محورها، قطعه-بندی اولیه با توجه به راهنمای شاخص PASER، انجام شده و امتیازی بر اساس شاخص PASER به هر یک از قطعه‌های مورد نظر اختصاص یافته است.

شکل ٦. نمایی از دستگاه RD-3VV

در ادامه با در نظر گرفتن قطعات اولیه که بر اساس شاخص PASER حاصل گشته‌اند، متوسط IRIهای هر قطعه به عنوان IRI معادل آن قطعه به دست آمده است. پس از تحلیل‌های اولیه، تعداد کل قطعات بررسی شده ۳۳۲۵ قطعه تعیین گردید. با توجه به پراکندگی گسترده داده‌های IRI و پیچیدگی در تشخیص محدوده‌های IRI به ازاء هر نمره PASER در حالت کلی، از دامنه بین چارکی داده‌های IRI به ازاء هر نمره PASER استفاده گردید. دامنه بین چارکی در واقع ۵۰ درصد میانی داده‌ها به لحاظ فراوانی را بیان می‌کند که بین چارک اول (Q_1) و چارک سوم (Q_3) مجموعه داده‌ها واقع شده است. برای مثال، در شکل ۷ نمودار پراکندگی داده‌های IRI به ازاء PASER=4 ترسیم شده است. پس از اعمال دامنه بین چارکی به کل داده‌ها، تعداد ۱۶۶۲ قطعه به عنوان قطعات نهایی مورد ارزیابی قرار گرفته است. پس از آن با آزمایش مدلهای مختلف رگرسیون بر روی داده‌ها، بهترین مدل گذرنده، (رگرسیون توانی) تشخیص داده شده که معادله و مشخصات آماری آن به صورت زیر در جدول ٤ می‌باشد. با توجه به ضریب تعیین (R^2) مناسبی که برای رابطه (۲) حاصل شده است، چنین نتیجه می‌گردد که با ارزیابی سطح روسازی بر اساس شاخص PASER، می‌توان مقادیر IRI متناظر با آن را جهت برآورد ناهمواری سطح تخمین زد. منحنی برازش داده شده از داده های IRI و PASER در شکل ۸ نشان داده شده است.

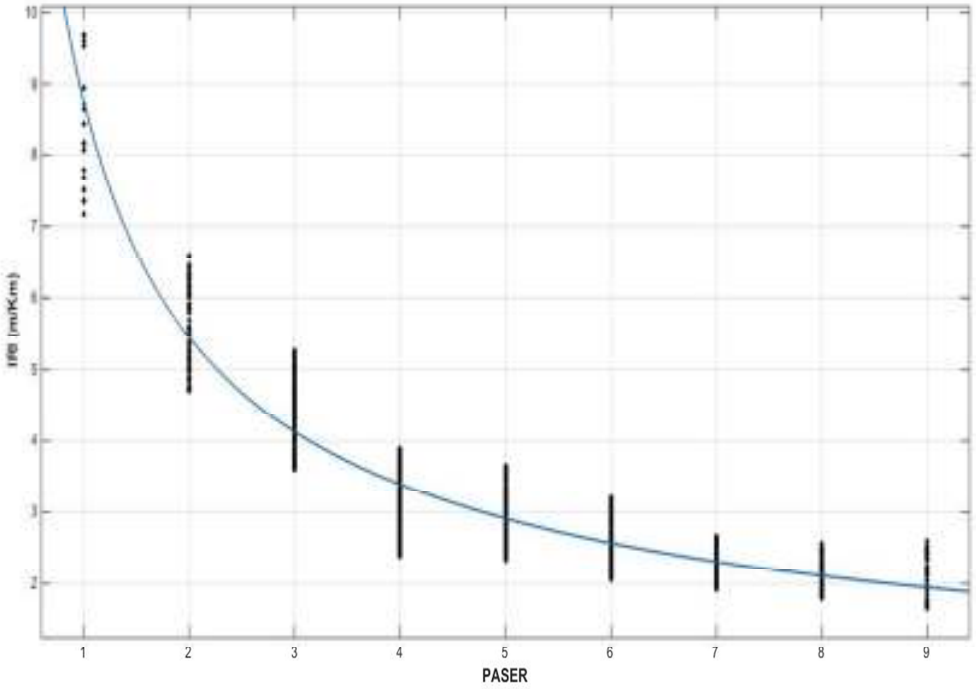
$$IRI = a \times (PASER)^b \qquad (۲)$$



شکل ۷. نمودار پراکندگی داده‌های IRI و دامنه بین چارکی آنها به ازاء PASER=4

جدول ٤. ضرایب و مشخصات مدل رگرسیون توانی

مدل	مشخصات آماری مدل				ضرایب	
	R^2	Adjusted R^2	RMSE	Confidence Bounds	a	b
توانی	۰.۸۵	۰.۸۵	۰.٤۲	۰.۹۵	۸.۷٦۱	-۰.٦۸٤٥



شکل ۸. منحنی مدل توانی برازش شده از داده‌های IRI و PASER

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه در مرحله اول، ۱۱ محور از راههای اصلی و بزرگراهی استان کرمانشاه در مجموع به طول ۸۰۰ کیلومتر بر اساس شاخص ناهمواری IRI و شاخص خرابی سطحی PASER در سطح شبکه مورد ارزیابی قرار گرفتند و گزینه‌های پیشنهادی مرمت مبتنی بر هر یک از شاخص‌های PASER و IRI به صورت مجزا و ترکیبی ارایه شدند. همچنین به منظور ایجاد رابطه میان دو شاخص IRI و PASER در مرحله دوم ٤٩٧ کیلومتر از راه‌های اصلی استان در سطح پروژه، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده در این پژوهش به صورت زیر می‌باشند:

استفاده از شاخص PASER جهت ارزیابی خرابی‌های سطحی روسازی، اقدامی بسیار مناسب و مقرون به صرفه است؛ زیرا در قیاس با شاخص‌های متداول ارزیابی وضعیت سطح روسازی نظیر PCI، جمع‌آوری داده‌های خرابی و ارزیابی آنها آسانتر بوده و از دقت خوبی برخوردار است. همچنین هزینه‌های مالی، اتلاف وقت و امکان بروز حوادث ناشی از تردد ترافیکی برای کارشناسان حاضر در میدان جهت برداشت خرابی‌ها به حداقل می‌رسد. استفاده از شاخص PASER در برآورد خرابی‌های روسازی راه که با چشم قابل رؤیت هستند، کارایی دارد. اما خرابی‌هایی که با چشم قابل تشخیص نمی‌باشند نظیر ناهمواری‌های سطحی توسط شاخص PASER در نظر گرفته نمی‌شوند بنابراین لزوماً PASER به تنهایی نمی‌تواند وضعیت جامعی از روسازی را ارایه دهد. شاخص IRI از روش‌های رایج در ارزیابی ناهمواری و برآورد وضعیت روسازی است. اما با توجه به عدم ارتباط مستقیم میان برخی خرابی‌های سطح روسازی با ناهمواری آنها (نظیر قیرزدگی، شن زدگی و برخی ترک خوردگی‌ها) لزوماً نمی‌توان IRI را به تنهایی به عنوان یک معیار جامع سنجش وضعیت روسازی تلقی کرد. نتیجه به دست آمده از مدل رگرسیون توانی، بیانگر رابطه مناسب میان دو شاخص IRI و PASER است. با توجه به هزینه‌بر بودن برآورد شاخص IRI و مقرون به صرفه بودن شاخص PASER، تخمین شاخص IRI از شاخص PASER می‌تواند مد نظر قرارگیرد که نتایج حاصل از آن نشان دهنده همبستگی قابل قبول میان این دو شاخص است.

همانطور که ملاحظه می‌گردد در روش ترکیب شاخص‌ها با استفاده از نظرات کارشناسان خبره و قواعد شرطی بر مبنای شاخص‌های وضعیت خرابی و ناهمواری، گزینه‌های مورد نیاز نگهداری و بهسازی از دیدگاه فنی ارایه شده است. در قوانین ارایه شده فوق، انتخاب گزینه مرمت بر اساس شاخص بحرانی‌تر در نظر گرفته شده است. موضوع ارزیابی اقتصادی و محدودیت مالی از مسائل مهمی است که می‌تواند برنامه‌ریزی و مدیریت نگهداری را تحت تأثیر قرار دهد. به بیان دیگر، علاوه بر شرایط روسازی، محدودیت مالی و هزینه‌های مرمت، اهمیت کاربردی و ارتباطی یک راه و ترافیک می‌توانند در انتخاب روش اولویت‌بندی (بر اساس داده‌های موجود) تأثیرگذار باشد. در این خصوص می‌توان به مطالعه انجام شده توسط نویسندگان مقاله (Fakhri & Dezfoulian, 2017) مراجعه نمود.

٦- پی‌نوشت‌ها

1. International Roughness Index
2. Pavement Surface Evaluation and Rating
3. Highway Development Model
4. Quarter-Car System
5. Ride Number
6. Mean Panel Rating
7. Present Serviceability Index
8. Pavement Condition Index
9. Pavement Condition Rating
10. Annual Average Daily Traffic
11. Road Surface Profiler
12. Interquartile
13. Road Data Collection and Assessment System with the support of combined methods (Vision, 3D Reconstruction and Vibration based)

٧- مراجع

-AASHTO, (2012), "Pavement Management Guide", second edition, American Association of State Highway and Transportation Officials.

-Archondo-Callao, R. (2008), "Applying the HDM-4 model to strategic planning of road work".

-ASTM. D6433-16, (2016),"Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

-Barzegaran, J. (2017), "Evaluation of Appropriate Methods of Asphalt Pavement Rehabilitation and Presenting Models to Select the Optimum Option (Case Study)". Master of Science Thesis, Khajeh Nasir Toosi University, Tehran.

-Fakhri, M. (2010), "Determining International Roughness Index (IRI) for Road Pavements in Iran". Tehran: Ministry of Road and Transportation, Transportation Research Institute.

-Fakhri, M., & Dezfoulian, R. S .(2017), "Application of GIS for Pavement Maintenance Prioritization Based on a New Approach at a Network Level". GSTF Journal of Engineering Technology (JET), 4(2), 24 .

-Lu, J. J., Zhu, C., & Pernia, J. C. (2003), "Performance evaluation of roughness measuring devices to measure ride number and international roughness index".

-Robinson, R., Danielson, U., & Snaith, M . (1998), "Road Maintenance Management-Concepts and Systems".

-Saraf, C. (1998), Review of PCR Methodology.

-Sayers, M. W. (1986), "Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements ".

-Shahin, M. Y. (2005), "Pavement management for airports, roads, and parking lots" (Vol. 501): Springer New York.

-Terzi ,S. (2006), "Modeling the Pavement Present Serviceability Index of Flexible Highway Pavements Using Data Mining". J. Appl. Sci, 6(1), 193-197 .

-Walker, D., Kummer, S., & Entine, L. (2002), "Pavement Surface Evaluation and Rating; PASER Asphalt Roads Manual". Transportation Information Center University of Wisconsin-Madison.