ارزیابی تاثیر نوع عملیات بهسازی روسازی آسفالتی بر شاخص بین‌المللی ناهمواری (IRI) راه‌ها

سیدمسعود کریمی، شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

چکیده

ارزیابی شاخص‌های عملکردی روسازی یک روش مناسب برای کنترل کیفیت ساخت و یا شناخت وضعیت موجود روسازی است. به منظور ارزیابی ناهمواری روسازی‌ها، از شاخص بین‌المللی ناهمواری (IRI) استفاده می‌شود. در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر عملیات بهسازی بر بهبود شاخص ناهمواری از داده‌های برداشت شده با دستگاه RSP در ۵ مقطع از محورهای روستایی، فرعی و شریانی استان‌های قم و مرکزی استفاده شده است. عملیات بهسازی متفاوتی روی این محورها اجرا شده است. تحلیل نتایج ناهمواری قبل و بعد از انجام عملیات بهسازی در مقاطع مذکور نشان می‌دهد عملیات بهسازی اجرا شده موجب کاهش ناهمواری (هر چند متفاوت) شده است. بیشترین میزان کاهش میانگین IRI به میزان ۷۳/۸ درصد، ٦٤/٥ درصد به ترتیب مربوط به گزینه اجرای ۱۳ سانتی‌متر و گزینه ٦/٨ سانتی‌متر روکش است و کم‌ترین نرخ کاهش با ۹/۹ درصد مربوط به اجرای دو لایه میکروسرفیسینگ به ضخامت ۲/۸ cm است در ادامه همبستگی میان درصد بهبود ناهمواری با IRI اولیه و ضخامت روکش برقرار شد که نتایج ضریب همبستگی رگرسیونی (R) آن‌ها به ترتیب ۰/۸ و ۰/۷۱ است، همچنین دو مدل در حالت خطی جهت پیش‌بینی درصد بهبود ناهمواری و مقدار ناهمواری پس از عملیات بهسازی بر اساس دو پارامتر ضخامت روکش و IRI اولیه ارائه شد که ضریب (R^2) آن‌ها به ترتیب برابر ۰/٦٨ و ۰/٤٢ می‌باشد.

واژه های کلیدی: روسازی آسفالتی، ناهمواری، بهسازی، شاخص IRI.

۱- مقدمه

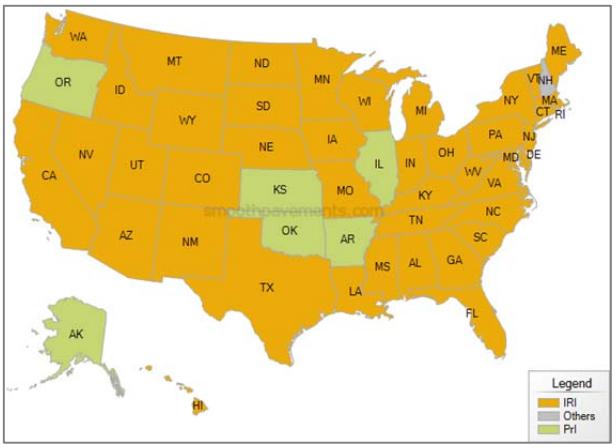
شاخص‌های خدمت‌دهی روسازی بعد از احداث و شروع بهره‌برداری تحت تاثیر عواملی چون بارگذاری ترافیکی و شرایط آب و هوایی کاهش می‌یابند. ارزیابی شاخص‌های عملکردی روسازی روشی مناسب برای کنترل کیفیت ساخت روسازی و یا شناخت وضعیت موجود روسازی است[۱]. کنترل ناهمواری روسازی به نوعی کنترل محصول نهایی است که انتظارات اصلی از یک روسازی جدید الاحداث یا روکش را ارزیابی می‌نماید. ناهمواری روسازی معمولاً با شاخص **IRI** ارزیابی می‌گردد. از آنجا که این شاخص کمی است و به طور پیوسته در طول راه قابل اندازه‌گیری است، ابزار مناسبی برای کنترل کیفیت روسازی می‌باشد.

۲- ناهمواری

ناهمواری امواج تصادفی چند فرکانسه با دامنه و طول موج‌های گوناگون است که شاخص مهمی در ارزیابی کیفیت خدمت‌دهی راه می‌باشد[۲]. از دید کاربران هموار بودن راه جهت دستیابی به حداکثر سرعت مجاز بدون استهلاک وسیله نقلیه از اهمیت بالایی برخوردار است. حرکت وسیله نقلیه در جاده‌های ناهموار باعث ایجاد ضربه و ارتعاش‌های ناخواسته در وسیله نقلیه و سلب آسایش کاربران راه می‌گردد[۳]. شاخص‌های ناهمواری متفاوتی از جمله IRI[1]، **RN**، **HRI**، **PrI** و... وجود دارند، که در این میان شاخص بین‌المللی ناهمواری (**IRI**) بیشترین کاربرد را دارد. در شکل ۱ به عنوان

1 International Roughness Index

نمونه استفاده از انواع شاخص‌های ناهمواری ارزیابی روسازی آسفالتی در ایالات متحده آمریکا نمایش داده شده است[٤]. همانطور که مشاهده می‌شود ٨٦ درصد ایالت‌ها از شاخص **IRI**، ١٢ درصد ایالت‌ها از شاخص **PrI** و ٢٪ ایالت‌ها از سایر شاخص‌ها استفاده می نمایند.



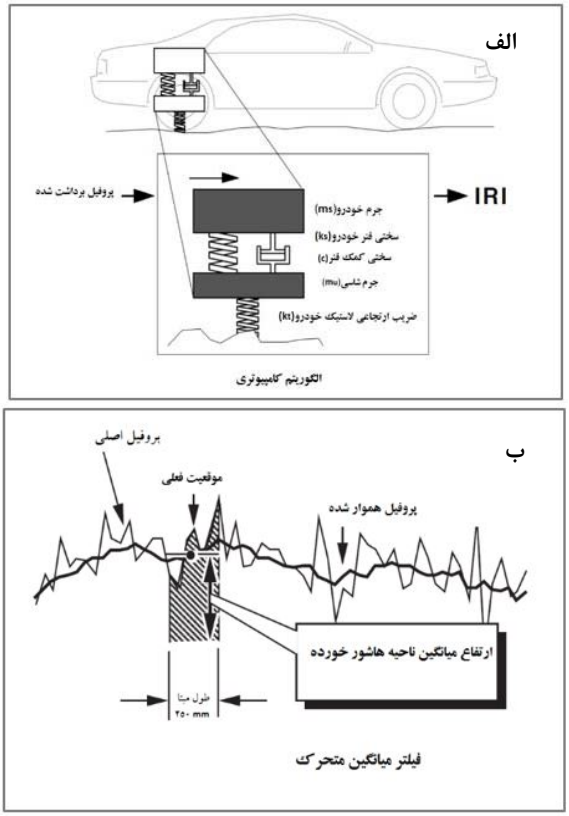
شکل ١- پهنه‌بندی استفاده از شاخص‌های ناهمواری روسازی آسفالتی در ایالات متحده آمریکا

٢-١- شاخص IRI

شاخص **IRI** که واحد آن (**m/km**) است توسط بانک جهانی برای ارزیابی راه‌ها در سال ١٩٨٣ معرفی گردیده است و یکی از روش‌های اندازه‌گیری آن استفاده از دستگاهی به نام **RSP**[1] می‌باشد. در شکل ٢ نمایی از دستگاه **RSP** ارائه شده است.

شکل ٢- نمایی از دستگاه RSP شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

محاسبه **IRI** نیازمند آماده سازی پروفیل و اعمال فیلترهایی است که یکی از این فیلترها، میانگین متحرک[2] با طول ٢٥٠ میلی‌متر می‌باشد. در فیلتر میانگین متحرک، هر یک از نقاط واقع در نیمرخ با میانگین تعداد زیادی از نقاط مجاور آن در طول ٢٥٠ میلی‌متر جایگزین می‌شود. این نیمرخ سپس با مدل ربع- ماشین[3] فیلتر می‌گردد. مدل مذکور یک مدل ریاضی است که طی آن حرکت یک خودروی سواری با مشخصات معین برای وزن، سختی فنر، سیستم تعلیق و لاستیک خودرو با سرعت ٨٠ کیلومتر در ساعت روی پروفیل شبیه‌سازی، قدر مطلق مقدار نوسانات یک چرخ خودرو (ربع) اندازه‌گیری و بر مسافت طی شده تقسیم می‌گردد تا شاخص **IRI** بر حسب **m/km** تعیین گردد[٥]. شمایی کلی از فیلتر میانگین متحرک و فیلتر ربع ماشین در شکل ٣ ارائه شده است.



شکل ٣- الف "فیلتر ربع ماشین "ب" شمایی از فیلتر میانگین متحرک" [٣]

1- Road Surface Profiler

2- Moving Average
3- Quarter Car Model

۲-۲- حدود مجاز شاخص IRI

معمولاً متولیان نگهداری روسازی راه‌ها برای تحویل روسازی‌ها حدود مجازی برای شاخص ناهمواری معین می‌کنند. در ایران برای تحویل موقت راه‌ها، پس از ابلاغ شیوه‌نامه "استفاده از حدود شاخص بین المللی ناهمواری (**IRI**)" توسط وزارت راه و شهرسازی، تحویل تمام راه‌های احداثی و یا بهسازی شده راه‌های موجود که قرارداد آنها از تاریخ ۹۵/۷/۱ به بعد مبادله می‌شود مشروط به ارزیابی شاخص بین المللی ناهمواری به شرح جدول ۱ گردیده است [۲].

۳- داده‌های تحقیق

در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر عملیات بهسازی از داده‌های ارزیابی ناهمواری در ۵ قطعه از محورهای فرعی، روستایی و شریانی استان‌های قم و مرکزی استفاده شده است. جهت ارتقاء وضعیت محورها بر روی هر یک از آن‌ها عملیات بهسازی متفاوتی صورت پذیرفته است. در محورهای روستایی استان قم تمام اقدامات نگهداری توسط یک پیمانکار، فنیشر و مصالح یکسان انجام شده است.فهرست محورهایی که ارزیابی ناهمواری در آن‌ها صورت گرفته است مطابق جدول ۲ است.

جدول ۱- حدود شاخص بین‌المللی ناهمواری (IRI) برای تحویل موقت و قطعی [۲]

وضعیت محور و نحوه اظهار نظر	مقدار شاخص IRI (m/km)	
	راه‌های فرعی و روستایی	آزادراه‌ها، بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی
بسیار خوب، قابل تحویل و تشویق	IRI≤ ۲/۵	IRI≤ ۱/۲
خوب، قابل تحویل	۲/۵ <IRI≤ ۳/۵	۱/۲ <IRI≤ ۱/۶
متوسط، قابل تحویل مشروط (رفع مواردی که منجر به شاخص ناهمواری بیش از حدود مندرج در سطر قبل شده است)	۳/۵ <IRI≤ ۴/۲	۱/۶ <IRI≤ ۲/۲
خراب، غیر قابل تحویل	IRI> ۴/۲	IRI> ۲/۲

جدول ۲- فهرست محورها و مقاطع

ردیف	کد محور	طبقه محور	طول محور (km)	ضخامت روکش (cm)	شرح عملیات
۱	RQ-01	روستایی	۳/۷۰	۶/۸	۱/۸cm ماسه آسفالت(لایه جاذب تنش)+ یک لایه ۵cm آسفالت توپکا
۲	RQ-02	روستایی	۳/۷۰		
۳	RQ-03	روستایی	۰/۶۰	۱۳	۹cm بلک بیس+ یک لایه ۴cm آسفالت توپکا
۴	RQ-04	روستایی	۰/۶۰		
۵	RQ-05	روستایی	۷/۲۰	۴	درزگیری با قیر خالص(۷۰-۶۰)+ یک لایه ۴cm آسفالت توپکا
۶	RQ-06	روستایی	۷/۲۰		
۷	RQ-07	روستایی	۴/۲۰		
۸	RQ-08	روستایی	۴/۲۰		
۹	HM-01	بزرگراه	۹/۶۰	۲/۸	درزگیری با لاتکس+ لکه‌گیری پاره عمقی+ دو لایه ۱/۴cm آسفالت میکروسرفیسینگ

ناهمواری روسازی در محورهای مذکور با استفاده از دستگاه **RSP** شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک اندازه‌گیری گردید. ارزیابی ناهمواری در این محورها در بازه زمانی قبل از عملیات بهسازی و بلافاصله بعد از عملیات بهسازی انجام شده است. نمونه تصویر قبل و بعد عملیات بهسازی در شکل ٤ ارائه شده است.

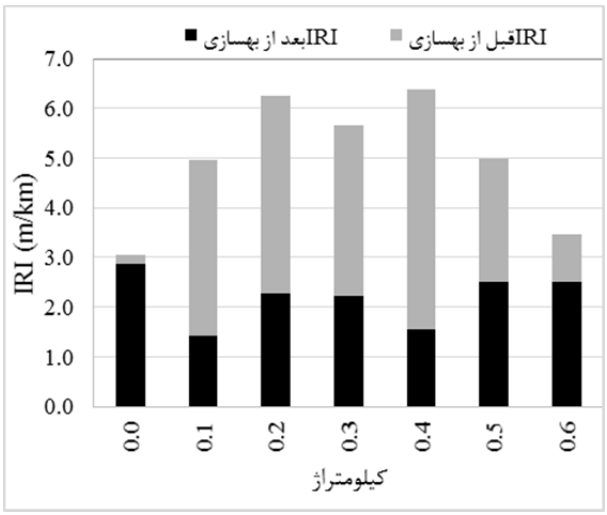
شکل ٤- تصویر قبل و بعد عملیات بهسازی کیلومتر ۲۰۰+۱ محور RQ-05 **به عنوان نمونه**

۴- تحلیل داده‌ها

پس از انجام عملیات برداشت با دستگاه **RSP** و اعمال فیلترها بر روی پروفیل طولی، خروجی دستگاه **RSP** با استفاده از برنامه **Implex** شاخص ناهمواری چپ ($\mathbf{IRI_L}$) و شاخص ناهمواری راست ($\mathbf{IRI_R}$) گزارش می‌گردد. میانگین این دو شاخص تحت عنوان شاخص ناهمواری **IRI** معیار ارزیابی قرار می‌گیرد. از آنجا که برای گزارش شاخص **IRI** در قطعات ۱۰۰ متری، بایستی صرفاً رویه راه ارزیابی گردد، شانه و خطوط افزایش و کاهش سرعت، پل‌ها و ۳۰ متر ابتدا و انتها از تحلیل‌ها حذف می‌گردد[۲]. نتایج تحلیل ناهمواری مقاطع ارزیابی شده در شکل ۵ الی شکل ۱۱ در دو حالت قبل و بعد از انجام عملیات بهسازی ارائه شده است.

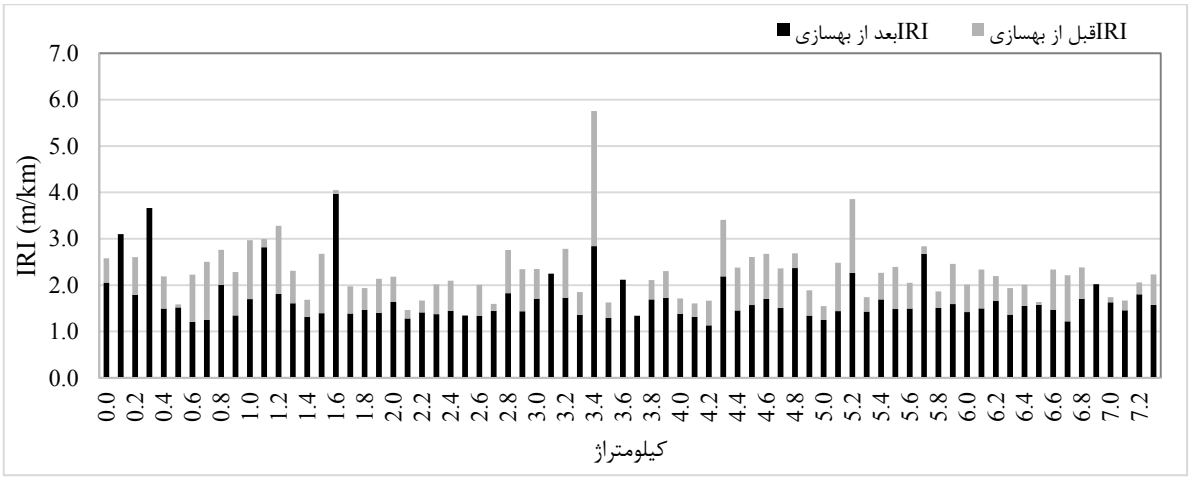
شکل ۵- نتایج ارزیابی ناهمواری محور RQ-01 **(روکش آسفالتی به ضخامت ٦/٨ سانتی‌متر)**

شکل ٦- نتایج ارزیابی ناهمواری محور RQ-02 (روکش آسفالتی به ضخامت ٦/٨ سانتی‌متر)

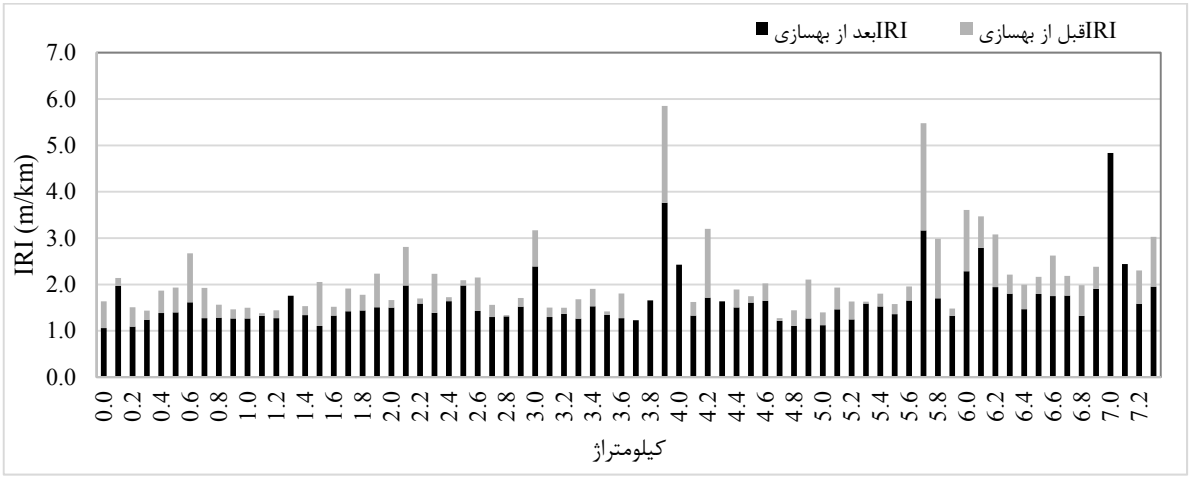


شکل ۷- نتایج ارزیابی ناهمواری محور RQ-03 (روکش آسفالتی به ضخامت ۱۳ سانتی‌متر)

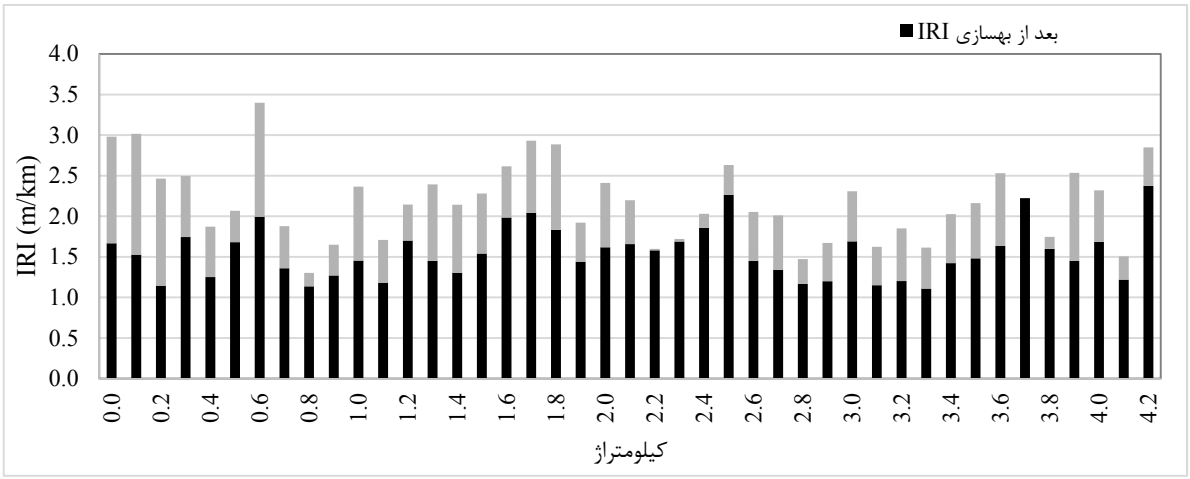
شکل ۸- نتایج ارزیابی ناهمواری محور RQ-04 (روکش آسفالتی به ضخامت ۱۳ سانتی‌متر)



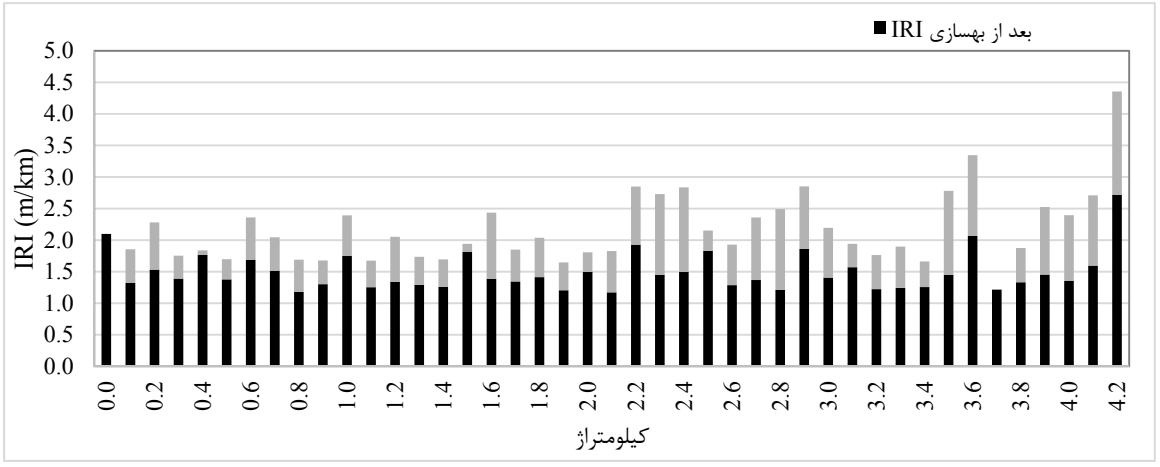
شکل ۷- نتایج ارزیابی ناهمواری محور RQ-05 (روکش آسفالتی به ضخامت ٤ سانتی‌متر)



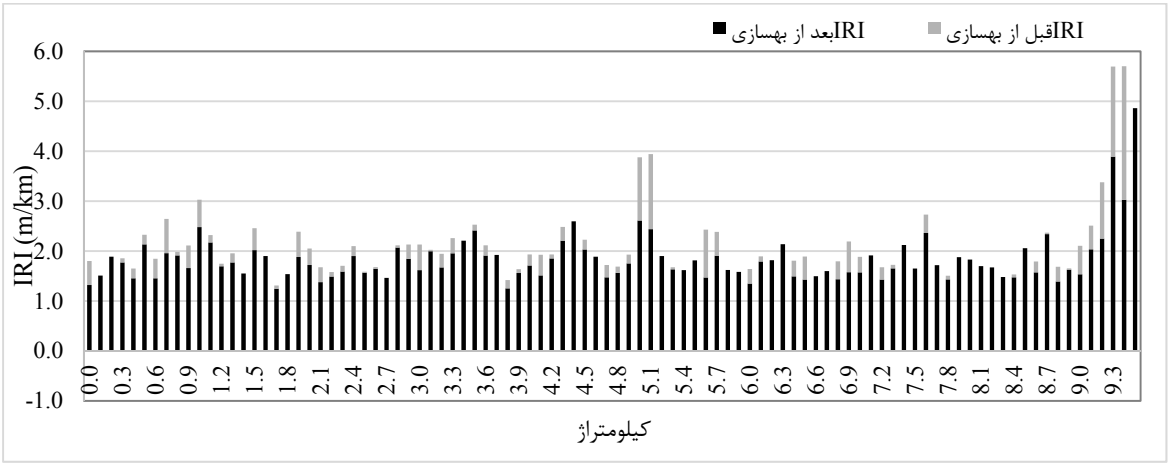
شکل ۸- نتایج ارزیابی ناهمواری محور RQ-06 (روکش آسفالتی به ضخامت ٤ سانتی‌متر)



شکل ۹- نتایج ارزیابی ناهمواری محور RQ-07 (روکش آسفالتی به ضخامت ٤ سانتی‌متر)



شکل ۱۰- نتایج ارزیابی ناهمواری محور RQ-08 (روکش آسفالتی به ضخامت ٤ سانتی‌متر)



شکل ۱۱- نتایج ارزیابی ناهمواری محور HM-01 (میکروسرفیسینگ به ضخامت ۲/۸ سانتی‌متر)

مطابق نتایج ارزیابی ناهمواری که در شکل ۵ الی شکل ۱۱ ارائه شده، انجام عملیات بهسازی (کلیه گزینه‌ها) بر روی محورها باعث کاهش شاخص **IRI** و در نتیجه بهبود وضعیت محور از نظر ناهمواری شده است. اما میزان کاهش شاخص **IRI** در گزینه‌های مختلف بهسازی متفاوت است. لذا برای تشخیص میزان کاهش شاخص **IRI** به بررسی آماری نتایج در جدول ۳ پرداخته شده است.

جدول ۳- تحلیل آماری نتایج ناهمواری محورها

کد محور	میانگین IRI (m/km) (قبل از بهسازی)	میانگین IRI (m/km) (بعد از بهسازی)	مقدار کاهش IRI	درصد کاهش IRI	پوش ۸۵ IRI (m/km) (قبل از بهسازی)	پوش ۸۵ IRI (m/km) (بعد از بهسازی)	درصد قطعات بهبود یافته (قطعات ۱۰۰متری)	درصد قطعات با بیش از ۳۰٪ کاهش ناهمواری (قطعات ۱۰۰متری)
RQ-01	۴/۲۰	۱/۶۵	۲/۵۵	۶۰/۷	۵/۴۵	۱/۹۶	۱۰۰	۱۰۰
RQ-02	۴/۲۲	۱/۶۸	۲/۵۴	۶۰/۲	۵/۲۸	۱/۹۸	۱۰۰	۱۰۰
RQ-03	۵/۶۴	۲/۰۰	۳/۲۶	۶۴/۵	۶/۲۶	۲/۵۴	۱۰۰	۷۱/۴
RQ-04	۶/۰۷	۱/۵۹	۳/۸۶	۷۳/۸	۷/۰۲	۴/۴۱	۱۰۰	۱۰۰
RQ-05	۲/۳۰	۱/۷۰	۰/۶۰	۲۶/۱	۲/۷۶	۲/۰۶	۹۳/۲	۴۱/۹
RQ-06	۲/۰۶	۱/۶۴	۰/۴۲	۲۰/۴	۲/۶۷	۱/۹۵	۹۱/۹	۲۴/۳
RQ-07	۲/۱۷	۱/۵۳	۰/۷۴	۳۴/۱	۲/۶۳	۱/۸۵	۹۷/۷	۴۶/۵
RQ-08	۲/۱۷	۱/۴۵	۰/۷۲	۳۳/۲	۲/۷۲	۱/۸۰	۹۷/۷	۵۳/۵
HM-01	۲/۰۲	۱/۸۲	۰/۲۰	۹/۹	۲/۳۹	۲/۱۴	۷۱/۹	۶/۳

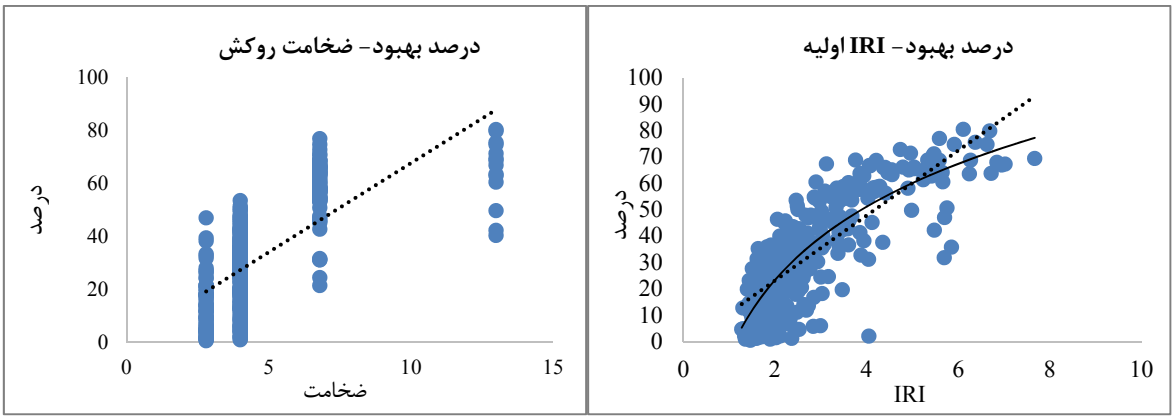
سطح رویه محور از جمله علل اختلاف میزان کاهش شاخص ناهمواری(**IRI**)، شدت متفاوت ترک در خطوط و محورها است. همچنین اجرای ۲/۸ سانتی‌متر میکروسرفیسینگ، ۹/۹ درصد کاهش در مقدار میانگین **IRI** ایجاد نموده است.

در تحلیل نتایج مشخص گردید اجرای عملیات بهسازی با رویکرد روکش باعث کاهش مقدار **IRI** در درصد بالایی از قطعات ۱۰۰ متری می‌شود، اما در مورد رویکرد میکروسرفیسینگ تنها ۷۱/۹ درصد از قطعات با کاهش **IRI** مواجه شده است. البته مقادیر کاهش ناهمواری در قطعات

با توجه به نتایج جدول ۳، بیشترین میزان کاهش شاخص **IRI** با ۷۳/۸ درصد کاهش مربوط به **RQ-04** و **RQ-03** با ۱۳ سانتی‌متر روکش می‌باشد، در رده بعدی بیشترین میزان کاهش ناهمواری با انجام عملیات بهسازی مربوط به محور **RQ-01** (٦/٨ سانتی‌متر روکش)، با ٦٠/٧ درصد کاهش میانگین **IRI** است. همچنین میزان ناهمواری گزینه روکش ٤ سانتی‌متری در محورهای **RQ-07**، **RQ-08**، **RQ-05** و **RQ-06** به ترتیب ٣٤/١ درصد، ٣٣/٢ درصد،٢٦/١ درصد و ٢٠/٤ درصد کاهش داشته است. در بررسی‌های میدانی انجام شده از

در گام بعدی رابطه درصد بهبود ناهمواری با **IRI** اولیه و ضخامت بررسی شد. بدین منظور روش رگرسیون خطی استفاده شد و نتایج ضریب همبستگی ($\mathbf{R^2}$) میان درصد بهبود ناهمواری با دو پارامتر **IRI** اولیه و ضخامت اجرا به ترتیب ۰/۸ و ۰/۷۱ بدست آمده که نتایج آن در شکل ۱۲ ارائه شده است.

۱۰۰ متری در بین گزینه‌ها متفاوت است. در بررسی‌های بعدی قطعات ۱۰۰ متری که **IRI** آن‌ها بیش از ۳۰ درصد کاهش یافته‌اند شناسایی شد، نتایج نشان می‌دهد که بیشترین کاهش مربوط به محور **RQ-01**، **RQ-02** و **RQ-03** می‌باشد که همه قطعات کاهش بیش از ۳۰ درصدی داشته‌اند. در این میان کمترین میزان کاهش مربوط به میکروسرفیسینگ با ٦/۳ درصد است.



شکل ۱۲- رابطه درصد بهبود ناهمواری با IRI اولیه و ضخامت

مطابق نتایج فوق میان مقدار **IRI** اولیه و درصد بهبود در قیاس با ضخامت روکش رابطه بیشتری برقرار است. این موضوع نشان می‌دهد که در حالاتی که **IRI** اولیه محور در وضعیت مطلوب‌تری قرار دارد. نرخ کاهش ناهمواری پس از عملیات بهسازی کم‌تر است. همچنین ضخامت بیشتر لایه روکش منجر به افزایش نرخ بهبود شاخص **IRI** می‌گردد.

پس از این مرحله با استفاده از نرم افزار **SPSS** مدل همبستگی در دو حالت خطی ارائه گردید. حالت اول جهت پیش‌بینی درصد بهبود ناهمواری (پارامتر وابسته) بر اساس ضخامت روکش و **IRI** اولیه (پارامترهای مستقل) و حالت دوم برای تعیین مقادیر **IRI** نهایی (ناهمواری پس از عملیات بهسازی) به عنوان پارامتر وابسته بر حسب ضخامت روکش و **IRI** اولیه به عنوان پارامترهای مستقل، که نتایج آن به شرح ذیل می‌باشد.

$$IP = 2.723\ Thickness + 9.069\ IRI_{Initial} - 5.427 \quad (۱)$$

$$IRI = -0.188\ Thickness + 0.229\ IRI_{Initial} + 1.383 \quad (۲)$$

در رابطه (۱)، **IP** میزان درصد بهبود ناهمواری، **Thickness** ضخامت بر حسب **cm** و $\mathbf{IRI_{Initial}}$ مقدار شاخص بین‌المللی ناهمواری اولیه بر حسب **m/km** و ضریب همبستگی ($\mathbf{R^2}$) بدست آمده از این رابطه برابر ۰/٦۸ است. همچنین در رابطه (۲)، **IRI** مقدار عددی شاخص بین‌المللی ناهمواری بعد از عملیات روکش بر حسب **m/km**، **Thickness** ضخامت بر حسب **cm** و $\mathbf{IRI_{Initial}}$ مقدار شاخص بین‌المللی ناهمواری اولیه بر حسب **m/km** و ضریب $\mathbf{R^2}$ بدست آمده از این رابطه برابر ۰/٤۲ می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق میزان تاثیر عملیات بهسازی بر شاخص بین‌المللی ناهمواری(**IRI**) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل گردید:

- کلیه عملیات بهسازی باعث کاهش مقدار **IRI** می‌شود، اما میزان این تغییرات متفاوت است.

- بیشترین میزان کاهش شاخص **IRI** با ۷۳/۸ و ٦٤/٥ درصد کاهش مربوط به اجرای ۱۳ سانتی‌متر روکش و گزینه اجرای روکش ٦/۸ سانتی‌متری با ٦۰/۷ درصد کاهش میانگین **IRI** همراه بوده است.
- کم‌ترین نرخ کاهش مربوط به اجرای لایه میکروسرفیسینگ به ضخامت **۲/۸cm** با ۹/۹ درصد کاهش در مقدار میانگین **IRI**، است.
- به منظور بررسی ارتباط میان درصد بهبود ناهمواری با **IRI** اولیه و ضخامت، رابطه همبستگی برقرار شد که نتایج ضریب همبستگی ($\mathbf{R^2}$) میان درصد بهبود ناهمواری با **IRI** اولیه و ضخامت آن‌ها به ترتیب ۰/۸ و ۰/۷۱ می‌باشد.
- رابطه (۱) برای پیش‌بینی درصد بهبود ناهمواری بهتر از رابطه (۲) جهت پیش‌بینی مقدار ناهمواری پس از عملیات بهسازی عمل می‌کند.
- در حالاتی که **IRI** اولیه محور در وضعیت مطلوب‌تری در قیاس با محورهای با ناهمواری زیاد قرار دارد، نرخ کاهش ناهمواری پس از عملیات بهسازی کم‌تر است.
- ضخامت بیشتر لایه روکش منجر به افزایش نرخ بهبود شاخص **IRI** می‌گردد.

۶- مراجع

[1] Comparative Performance Measurement for Pavement Smoothness, (2008), American Association of State Highway and Transportation Officials.

[۲] شیوه نامه شاخص ناهمواری بین‌المللی (**IRI**)، (۱۳۹٤)، مرکز تحقیقات مسکن، راه و شهرسازی

[3] Sayers, M., (1998) The little book of profiling: basic information about measuring and interpreting road profiles, University of Michigan. Transportation Research Institute.

[4] www.smoothsurface.com

[5] Sayers, M., Gillespie, T., Paterson, W., (1986), Guidelines for Conducting and Calibrating. Road Roughness Measurements, The World Bank. Washington, D.C., U.S.A.