

## بررسی عملکرد مدل‌های رگرسیون و شبکه عصبی در تخمین رابطه بین شاخص وضعیت روسازی و شاخص ناهمواری بین‌المللی

### علمی - پژوهشی

رضا اکبری، دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی عمران، گرایش سازه، دانشگاه تهران، تهران، ایران

امیر امینی\*، دانش‌آموخته پسادکتری، گروه مهندسی عمران، گرایش راه و ترابری، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

احمد صفری محمدی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: amini.amir68@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۳ - پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۵

صفحه ۷۶-۶۳

### چکیده

ارزیابی و سنجش کیفیت روسازی با شناخت بهتر از عملکرد صحیح بخش‌های مختلف سیستم مدیریت روسازی، موجب تعیین بانک اطلاعاتی برای پیش‌بینی زمان بهینه طراحی و به‌روزرسانی اطلاعات می‌شود. شاخص‌های وضعیت روسازی (PCI) و شاخص ناهمواری بین‌المللی (IRI) به‌عنوان دو معیار سنجش عملکرد ارزیابی روسازی راه‌ها می‌باشد که تأثیر بسزایی بر مدیریت بودجه‌های ترمیم و نگهداری راه‌ها دارد. با این وجود، شاخص‌های PCI و IRI جامع و کامل نمی‌باشند و نیاز است تا مشکلات موجود در آن‌ها با تعیین یک رابطه منطقی و با دقت بالا برطرف شود. هدف از این مطالعه تعیین رابطه بین شاخص‌های PCI و IRI با استفاده از تحلیل‌های آماری اسپیرمن، پیرسون و دوربین واتسون، مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی و مدل شبکه عصبی می‌باشد. در همین راستا، داده‌های ۳۹۲ قطعه از راه‌های شریانی استان اصفهان بررسی شد و شاخص‌های PCI و IRI این قطعات به‌عنوان جامعه آماری انتخاب شدند. نتایج بخش مدل‌سازی نشان داد با باوجود عملکرد مناسب شبکه عصبی در پیش‌بینی داده‌های آموزش، ولی در پیش‌بینی داده‌های جدید و در مرحله آزمون با حدود ۶۶ درصد خطا، عملکرد ضعیفی دارد و مدل دچار بیش‌پردازش شده است. در نهایت، عملکرد مدل رگرسیون خطی نشان داد استفاده از رابطه  $PCI = -19.802 \times IRI + 126.970$  با دقت ۷۷٪ می‌توان مقادیر PCI را با استفاده از داده‌های IRI تعیین کرد. با توجه به سرعت برداشت و تحلیل نتایج بالا شاخص IRI و کاربرد بودن شاخص PCI به‌عنوان روش استاندارد در برنامه‌ریزی و تعیین گزینه‌های نگهداری راه‌ها، این مدل می‌تواند کمک شایانی را در راستای افزایش دقت و سرعت تصمیم‌گیری‌ها و کاهش هزینه‌های سنگین برداشت خرابی و زمان تحلیل نتایج شود.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های پیش‌بینی، نگهداری راه، مدل‌های رگرسیون، مدل شبکه عصبی، آزمون‌های آماری

### ۱-مقدمه

تعیین ضرورت‌ها در امر ترمیم و نگهداری جاده‌ها بیشتر از قبل احساس می‌گردد. در همین راستا و به‌منظور مدیریت صحیح دارایی‌های موجود، سیستم مدیریت و نگهداری روسازی‌ها (PMS) به وجود آمد. PMS با تعیین روش‌های بهینه و

در سال‌های اخیر، افزایش شدت خرابی‌ها و مشکلات اقتصادی کشور باعث شده است تا در بیشتر مواقع میزان بودجه اختصاص داده‌شده به امر نگهداری راه‌ها از مقدار بودجه لازم کمتر باشد. بر همین اساس، نیاز به یک روش سیستماتیک برای

معیارها، شاخص ناهمواری بین‌المللی (IRI) می‌باشد که از تقسیم میزان پستی‌وبلندی‌های موجود در یک مسیر معین به فاصله طی شده تعیین می‌شود. معیار این روش بر اساس نوسانات سطحی عمودی در روسازی بنانهاده شده است و از آن برای تقسیم شبکه به قطعات یکنواخت و شناسایی اولویت‌های ترمیم و نگهداری استفاده می‌شود (Pérez-Acebo, Gonzalo-Orden, Findley, & Rojí, 2021). با وجود مزایای این روش، ولی این نکته دارای اهمیت است که اگرچه ناهمواری معیاری برای راحتی استفاده‌کنندگان و نشانه‌ای برای ایمنی است، اما الزاماً شاخص مناسبی برای تعیین ضرورت کلی ترمیم و نگهداری نمی‌باشد و نمی‌تواند مناسب‌ترین زمان‌بندی را از لحاظ اقتصادی و سازه‌ای برای اجرای ترمیم اساسی فراهم کند (Arhin, Williams, Ribbiso, & Anderson, 2015). (Piryonesi & El-Diraby, 2021)

با توجه به مطالب بیان‌شده مشخص شد که هیچ‌کدام از شاخص‌های PCI و IRI جامع و کامل نمی‌باشند و نیاز است تا مشکلات موجود با تعیین یک رابطه منطقی و با دقت بالا برطرف شود (Abed, 2020). در سال‌های اخیر مطالعاتی در خصوص ارتباط بین شاخص‌های IRI و PCI انجام‌شده است. ماکتوتیز و همکاران (Mactutis, Alavi, & Ott, 2000) رابطه‌ای بین شاخص IRI و خرابی‌های روسازی ارائه کردند. در این رابطه شاخص IRI بستگی به شدت ترک‌های خستگی و عمق ترک داشت، درحالی‌که سایر خرابی‌های روسازی در نظر گرفته نشد. در این مطالعه عمده مقادیر IRI بین ۰/۸۲۵ تا ۱/۷ بود و این شاخص به ترک‌های سطحی حساس بود، ولی نسبت به عمق ترک حساسیت خاصی نشان نداد. در مطالعه دیگری که توسط دوان و اسمیت (Dewan & Smith, 2002) انجام شد به برآورد IRI با استفاده از PCI در جاده‌های منطقه خلیج سان فرانسیسکو پرداخته شد. خرابی‌های موردبررسی شامل ترک‌های روسازی، شیار شدگی و چاله، هوازگی و شن زدگی بودند. نتایج آن‌ها نشان داد شاخص IRI و PCI با ضریب همبستگی ۰/۵۳ باهم ارتباط دارند. پارک و همکاران (Park, Thomas, & Wayne Lee, 2007) در بررسی خود بر روی مقادیر IRI بین ۰/۷۲۵ تا ۲ روسازی در امریکای جنوبی به این نتیجه رسیدند که ضریب همبستگی این شاخص و PCI در حدود ۰/۶۶ بوده است. سال ۲۰۱۹ هاسیبوان و سورباکتی (Hasibuan & Surbakti, 2019) با استفاده از داده‌های روسازی کشور اندونزی ارتباط بین شاخص‌های PCI

اقتصادی و در زمان مناسب موجب جلوگیری از اضمحلال زودرس راه‌ها و حفظ منابع مالی کشور می‌شود (Shahin, Zarei & Shafabakhsh, 2018). مدیریت مؤثر یک سیستم، مستلزم جمع‌آوری، آنالیز و تفسیر داده‌های واقعی مرتبط با مراحل ساخت و فعالیت‌های تعمیر و نگهداری است. روش‌های ارزیابی روسازی بسیار متنوع بوده و گستره وسیعی از پارامترها را در برمی‌گیرند. این امر باعث شده که مؤسسات فنی و تحقیقاتی مختلف نتوانند یک سیستم ارزیابی جامع را به‌عنوان روش واحد و استاندارد برای همه راه‌ها، مورد استفاده قرار دهند (Chan, Huang, Yan, & Richards, 2010). ارزیابی و سنجش کیفیت روسازی تأثیر بسزایی در شناخت از عملکرد صحیح بخش‌های مختلف سیستم مدیریت روسازی دارد و موجب تعیین بانک اطلاعاتی برای پیش‌بینی زمان بهینه طراحی و به‌روزرسانی اطلاعات می‌شود (Abaza, Ashur, & Al-Khatib, 2004).

روش‌های ارزیابی اغلب بر پایه بازرسی چشمی سطح روسازی‌ها و تعیین خرابی‌های سطحی استوار هستند. اگرچه ارتباط بین خرابی‌های روسازی و تأثیر آن‌ها در عملکرد روسازی به‌خوبی قابل‌تعریف نیست، اما اصول و روابطی وجود دارد که بر پایه آن‌ها قابلیت روسازی تعیین می‌گردد (Sirhan, Bekhor, & Sidess, 2022). یکی از شاخص‌های رایج و کاربردی در ارزیابی روسازی راه‌ها، شاخص وضعیت روسازی (PCI) می‌باشد. این شاخص بر اساس ارزیابی چشمی و مطابق با مقادیر نوع، میزان و شدت خرابی‌ها به دست می‌آید. مقدار آن عددی بین ۰ تا ۱۰۰ است که عدد ۱۰۰ نشان‌دهنده کیفیت عالی روسازی و عدد صفر یک روسازی مضمحل را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که در این شاخص سطح وسیعی از خرابی‌ها منظور می‌شود، از نظر کاربرد بسیار مورد قبول بوده و توسط کارگزاران بسیاری به‌عنوان روش استاندارد رسماً پذیرفته شده است (Elhadidy, El-Badawy, & Elbeltagi, 2021). با این وجود، به این دلیل که PCI در اصل برای توصیف شرایط ساختاری روسازی و جاده توسعه‌یافته است، تأثیر آسیب‌های روسازی بر امنیت روسازی را نادیده گرفته است. همچنین، حجم عملیات برداشت و تحلیل آنالیز داده‌ها در این روش بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر است (Hasibuan & Surbakti, 2019). با توجه به مشکلات روش تعیین PCI، در سال‌های اخیر شاخص‌های دیگری باهدف کاهش هزینه و افزایش سرعت و دقت ارزیابی روسازی مطرح شده است. یکی از این

متغیرهای تأثیرگذار بر عمق شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی انتخاب شدند. بر اساس یافته‌های این تحقیق، مدل شبکه عصبی پیشنهادی همبستگی بالایی با نتایج آزمایشگاهی دارد و با وجود تأثیر از متغیرهای تأثیرگذار، قدرت بالایی در پیش‌بینی رفتار شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی حاوی الیاف دارد.

سال ۲۰۱۷ سولاز و همکاران (Sollazzo, Fwa, & Bosurgi, 2017) با استفاده از اطلاعات عملکردی ۳۴۲ قطعه آزمایشگاهی مختلف و ۲۵۰۰ عدد سازه‌ای جمع‌آوری شده توسط انجمن راه و ترابری آمریکا تلاش کردند مدلی مناسب برای عدد سازه‌ای پیشنهاد دهند. در این تحقیق، مدل پیشنهادی بر اساس متغیرهای ضخامت لایه‌های آسفالتی و اساس، تعداد محور هم‌ارز و ترافیک متوسط روزانه، دمای متوسط روزانه و سالانه و شرایط عملکردی روسازی توسعه داده شد. تحلیل نتایج این مطالعه بیانگر ارتباط خوبی بین خصوصیات سازه‌ای برداشت شده و پیش‌بینی توسط مدل شبکه عصبی وجود است و توسعه مدل پیشنهادی با وجود تعداد متغیرهای بالا عملکرد مطلوبی در پیش‌بینی عدد سازه‌ای روسازی دارد.

سال ۲۰۱۸ کامبوزیا و همکاران (Kamboozia, Ziari, & Behbahani, 2018) با استفاده از شبکه عصبی به توسعه مدل پیش‌بینی عمق شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی بر اساس مشخصات ویسکوالاستیک پرداختند. در این مطالعه، متغیرهای ورودی به شبکه عصبی شامل سطوح تنش بارگذاری، دمای آزمایش، درصد فضای خالی، رده عملکردی قیر و جنس مصالح سنگی می‌باشند و کرنش تجمعی به‌عنوان هدف این مدل انتخاب شدند. بر اساس تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده در این تحقیق، مدل توسعه‌یافته با شبکه عصبی قابلیت مطلوبی در پیش‌بینی عمق شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی دارد و موجب کاهش زمان طراحی و هزینه‌های سنگین آزمایشگاهی می‌شود.

با توجه به مطالب بیان شده تعیین ارتباط بین شاخص‌های سنجش روسازی علاوه بر پیش‌بینی زمان بهینه طراحی و به‌روزرسانی اطلاعات روسازی موجب می‌تواند موجب افزایش دقت و سرعت تصمیم‌گیری‌ها و کاهش هزینه‌های سنگین برداشت خرابی و زمان تحلیل شود. بر همین اساس، هدف از این مطالعه تعیین رابطه بین شاخص‌های IRI و PCI می‌باشد تا با استفاده از این رابطه بتوان علاوه بر کاهش هزینه‌های سنگین برداشت خرابی و زمان تحلیل و تفسیر نتایج، تأثیر ناهمواری و آسیب‌های روسازی بر امنیت جاده در نظر گرفته شود.

و IRI را تعیین کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که مقادیر  $R^2$  و ضریب همبستگی برای رابطه بین IRI و PCI به ترتیب ۰/۵۹ و ۰/۷۶۸- بوده است.

با توجه به بررسی‌های انجام شده مشخص شد تعیین ارتباط بین شاخص‌های IRI و PCI می‌تواند با بهبود وضعیت خرابی وضعیت ناهمواری، منجر به افزایش رضایت کاربران شود. با این وجود، هیچ رابطه منحصر به فرد یا فرمول تحلیلی و یا استانداردی وجود ندارد و این موضوع می‌تواند باعث سردرگمی در اجرا و تفسیر نتایج شود.

یکی از روش‌های پیشرفته و قدرتمند در تعیین رابطه بین متغیرها استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌عنوان ابزاری مؤثر و سودمند در حل مسائل غیرخطی پیچیده است. استفاده صحیح از این مدل‌ها می‌تواند هزینه‌های مرحله طراحی و ارزیابی را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد و دقت مرحله ارزیابی را افزایش دهد. شبکه‌های عصبی با قابلیت ویژه در استنتاج مفاهیم از اطلاعات پیچیده یا مبهم برای حل مسائل پیچیده و غیرخطی استفاده می‌شوند (Bui, Nguyen, Ngo, & Nguyen-Xuan, 2020). بر این اساس، در این روش، هر ورودی دارای وزن متناظر با خود بوده که با تأثیرپذیری از آن و باهدف اعمال پردازش و تولید ورودی‌های لایه‌های بعدی وارد تابع انتقال خواهد شد (Agatonovic-Kustrin & Beresford, 2000). شبکه‌های عصبی شامل سه جز ورودی، خروجی و پنهان است. عملکرد شبکه‌های عصبی به این صورت است که گره‌های ورودی سیگنال‌های ورودی را از منابع خارجی دریافت می‌کنند، گره‌های خروجی سیگنال‌های مقادیر خروجی خارج از شبکه را انتقال می‌دهند و هر گره سیگنال‌هایی با قدرت‌های مختلف را به همسایگانش انتقال می‌دهد (Kukreja, Bharath, Siddesh, & Kuldeep, 2016).

در سال‌های اخیر استفاده از شبکه‌های عصبی علاوه بر مطالعات علمی و پژوهشی، به‌طوری جدی به‌عنوان ابزاری مفید و سودمند وارد حوزه‌های اجرایی شده است و توانسته است جایگاه مناسبی در پیش‌بینی و بهینه‌سازی مدل‌های پیش‌بینی داشته باشد. شفابخش و همکاران (Mirabdolazimi & Shafabakhsh, 2017) سال ۲۰۱۷ تلاش کردند عمق شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی حاوی الیاف را با استفاده از شبکه‌های عصبی پیش‌بینی کنند. مقادیر مختلف الیاف، شرایط مختلف سطوح بارگذاری و دماهای عملکردی به‌عنوان

## ۲-متدولوژی تحقیق

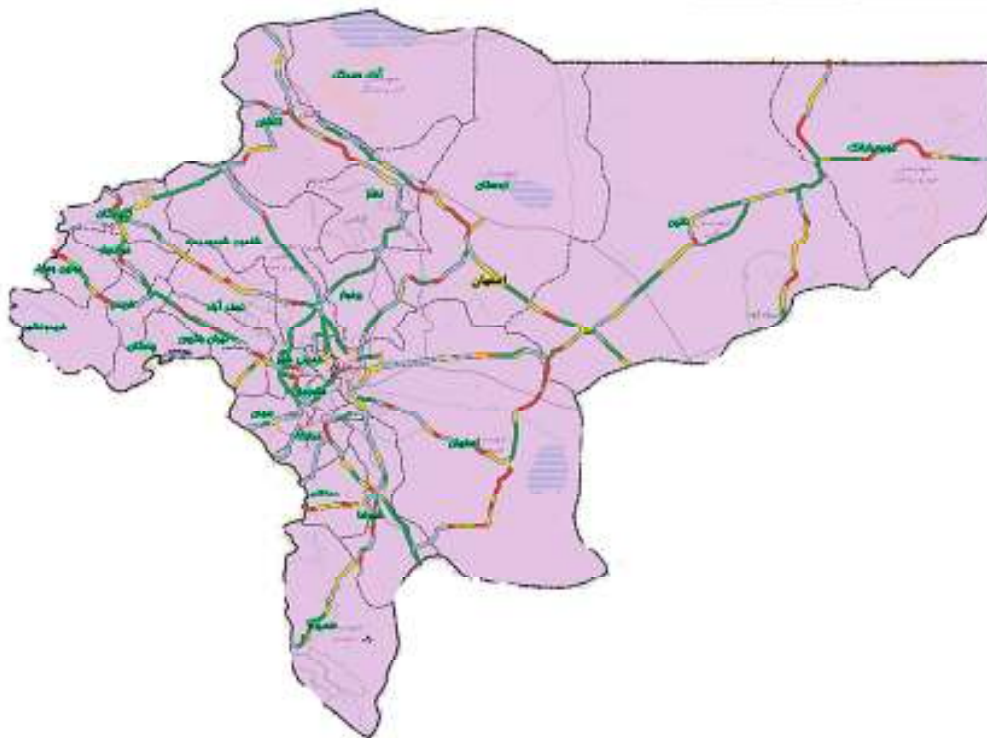
مبارکه، طبس- اصفهان، اصفهان- الیگودرز، اصفهان- شهرضا، اصفهان- تهران، اصفهان- شهرکرد، فولادشهر- نجف آباد، دامنه- خمین و آذربایجان اصفهان- قم استفاده شده است. شکل ۱ استان اصفهان را به تفکیک قطعات مختلف و بر اساس شدت خرابی نمایش می‌دهد. همچنین در شکل‌های ۲ و ۳ نمونه‌ای از خرابی‌های روسازی و نقشه نواری محورهای مورد بررسی نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در راه‌های استان اصفهان خرابی‌های مختلفی از جمله ترک‌های پوست سوسماری، بلوکی و عرضی دمای پایین و خرابی شیارشدگی، شن زدگی و عریان شدگی به دلیل شرایط نامساعد جوی و بارهای ترافیکی سنگین اتفاق افتاده است. وقوع این خرابی‌ها به دلیل تاثیر منفی بر ساختار روسازی موجب خسارات سنگین اقتصادی و اجتماعی می‌شود. تصاویر نشان داده شده عمدتاً مربوط به راه‌های شرق استان اصفهان شامل محور کاشان- اردستان، اصفهان- نایین و نایین- انارک می‌باشد.

استان اصفهان دارای ۵۶۵۸ کیلومتر راه شریانی است که در این مطالعه ۳۱۵۲ کیلومتر از این راه‌ها بررسی شده است. بر اساس برداشت سال ۱۳۹۹ و تحلیل‌های انجام شده، در حال حاضر استان اصفهان با ۱۱۶۱ کیلومتر رتبه اول بیشترین طول خرابی شدید راه‌های شریانی را در کشور دارد. به طوری که سهم استان اصفهان از کل خرابی شدید راه‌های کشور در ۱۱/۳ درصد می‌باشد. با توجه به شکل ۴ شاخص متوسط PCI استان اصفهان بر اساس برداشت سال ۱۳۹۹ برابر ۶۸/۹ می‌باشد که در بین استان‌های کشور، وضعیت نامناسبی دارد. همچنین، بر اساس شاخص IRI استان اصفهان دارای مقدار ۲/۹ می‌باشد که بر اساس این معیار نیز جز استان‌های با ناهمواری زیاد است. در شکل ۵ تعداد قطعات راه‌های استان اصفهان به تفکیک شاخص‌های PCI و IRI نشان داده شده است. مقادیر PCI قطعات مختلف در محدوده ۱۱/۴ تا ۹۹/۲ بوده است. همچنین، مقادیر IRI در نظر گرفته شده در محدوده ۱/۱۵ تا ۶/۱۵ می‌باشد.

در این پژوهش برای تعیین ارتباط بین شاخص‌های IRI و PCI از تحلیل‌های آماری، روش‌های رگرسیون خطی و غیرخطی و شبکه عصبی استفاده شده است. رگرسیون پرکاربردترین روش آماری است که برای سنجش و ارائه‌ی مدل ارتباط دو متغیر به کار می‌رود. در رگرسیون ساده خطی، رابطه بین متغیر مستقل X و متغیر وابسته Y، به شکل خطی و با معادله  $Y = \alpha X + \beta$  نوشته می‌شود. دیگر روش استفاده شده در این مطالعه، مدل شبکه عصبی می‌باشد. شبکه عصبی از ساختار و اصول عملکردی مغز انسان الهام گرفته شده است و از سلول‌های عصبی مصنوعی به هم پیوسته و نورون‌ها ساخته شده است. در این مطالعه برای طراحی شبکه عصبی، میزان ۸۰ درصد داده‌ها برای بخش آموزش و ۲۰ درصد داده‌ها در بخش آزمون استفاده شده است. برای طراحی مدل شبکه عصبی، از یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه استفاده شده است. همچنین، برای یافتن کمینه تابع غیرخطی چند متغیره مدل استفاده شده از الگوریتم لوبنبرگ- مارکوارت استفاده شده است (Recknagel, French, Harkonen, & Yabunaka, 1997). در این پژوهش از مدل‌های طراحی شده PCI-IRI با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام شده است.

## ۳-جمع‌آوری داده‌ها

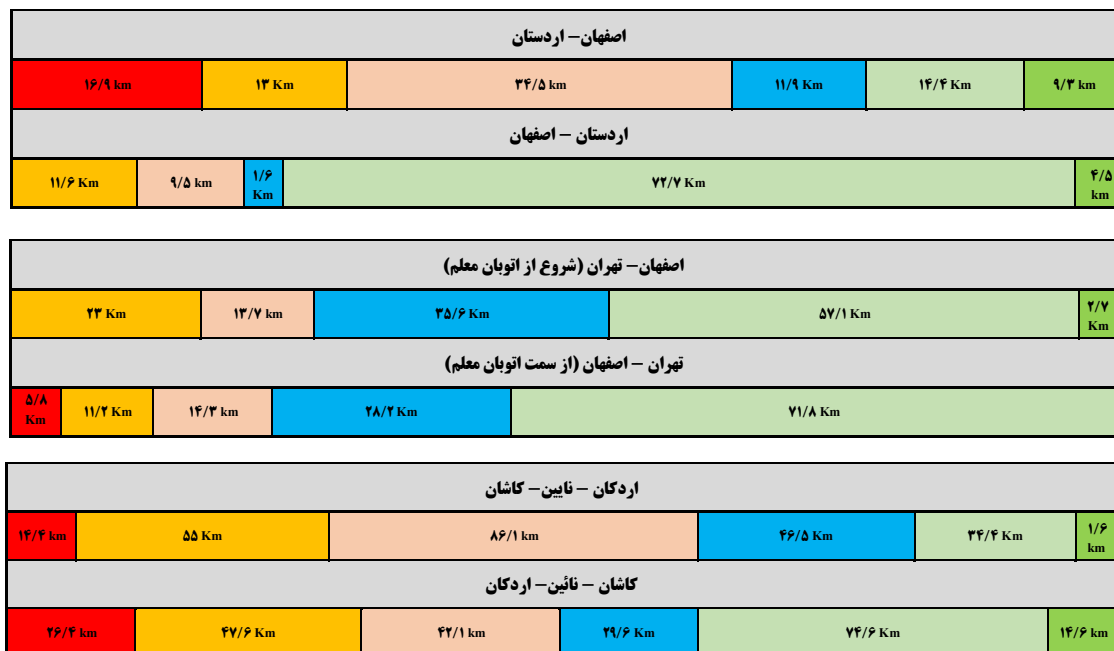
اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق بر اساس برداشت داده‌های روسازی راه‌های استان اصفهان در راستای اجرای پروژه ملی بروز سازی وضعیت رویه راه‌ها (PMS) در سال ۱۳۹۹ می‌باشد. در این پروژه اطلاعات هر استان به تفکیک محور و بر اساس شاخص خرابی، ناهمواری و راحتی رانندگان توسط ماشین هوشمند برداشت شد. سپس برای تعیین مقادیر PCI از روش پردازش تصویر استفاده شد و هر محور بر اساس نوع، شدت و مقدار خرابی در قطعات مختلف تقسیم شد. در این پژوهش از اطلاعات ۳۹۲ قطعه از محورهای شریانی استان شامل محورهای اصفهان- اردستان، کاشان- اردکان، شهرضا-



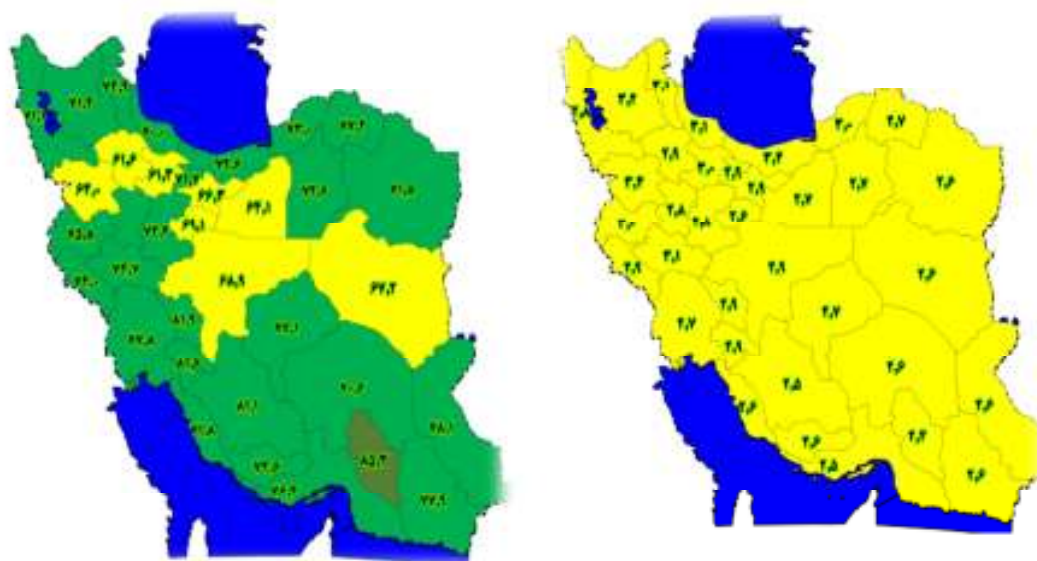
شکل ۱. نقشه راه‌های شریانی استان اصفهان بر اساس شدت خرابی روسازی



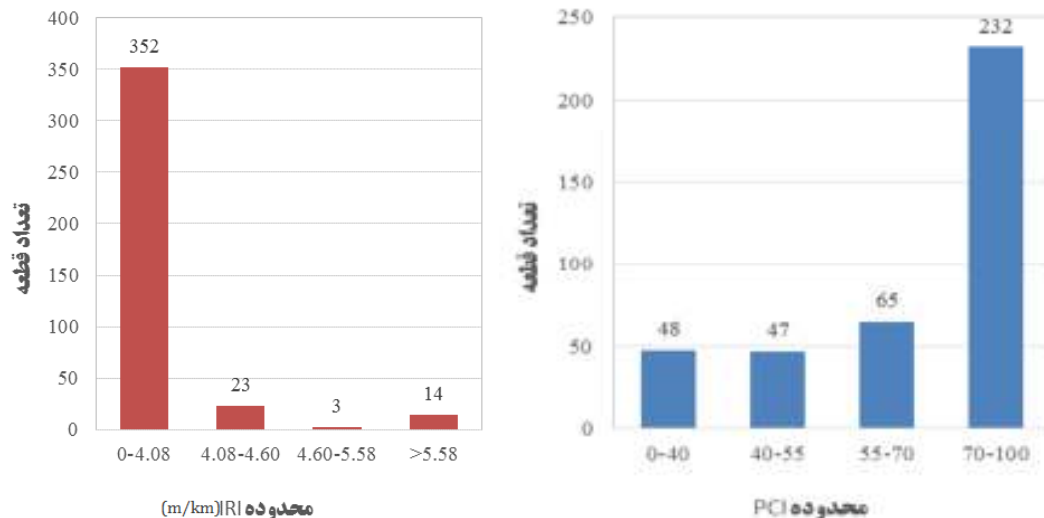
شکل ۲. تصاویر خرابی روسازی محورهای استان اصفهان



شکل ۳. نقشه نواری محورهای موردبررسی استان اصفهان به تفکیک شدت خرابی روسازی (از خرابی خیلی زیاد تا خیلی کم)



شکل ۴. پهنبندی کشور بر اساس شاخص‌های ارزیابی، سمت راست: شاخص IRI و سمت چپ: شاخص PCI



شکل ۵. تعداد قطعات راه‌های استان اصفهان به تفکیک شاخص‌های PCI و IRI

در جهت عکس بین متغیرها وجود دارد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۱، مقدار Sig. در هر دو روش کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد که نشان‌دهنده وجود همبستگی بین دو متغیر IRI و PCI است. این در حالی است که ضرایب همبستگی در آزمون‌های پیرسون و اسپیرمن به ترتیب برابر ۰/۸۶۹- و ۰/۸۸۷- می‌باشد. با توجه به این مقادیر، هر دو ضریب در سطح خطای ۱ درصد معنادار می‌باشند و داده‌های PCI و IRI دارای یک رابطه قوی و معکوس می‌باشند.

#### ۴-۲- مدل‌سازی رگرسیون

یکی از مفروضاتی که باید در رگرسیون مدنظر قرار گیرد، استقلال تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط معادله رگرسیون از یکدیگر است. هدف از مدل‌سازی رگرسیون تعیین یک رابطه ریاضی بین یک یا چند متغیر مستقل و یک متغیر وابسته به منظور پیش‌بینی مقدار متغیر وابسته با استفاده از مقدار یا مقادیر متغیرهای مستقل می‌باشد. بنابراین در رگرسیون، علاوه بر این که همبستگی بین چند متغیر مستقل و یک متغیر وابسته بررسی می‌گردد، نوع و شکل رابطه ریاضی نیز تعیین می‌گردد. در رگرسیون ساده خطی، رابطه بین متغیر مستقل X و متغیر وابسته Y، به شکل یک خط راست است که معادله آن بصورت  $y = \alpha x + \beta$  نوشته می‌شود.  $\alpha$  و  $\beta$  را پارامترهای رگرسیون نامیده،  $\alpha$  مقدار ثابت و  $\beta$  شیب خط می‌باشد. یکی از مفروضاتی که در مدل‌های رگرسیون مدنظر قرار می‌گیرد، استقلال خطاها (تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی

#### ۴-تحلیل نتایج

##### ۴-۱- آزمون‌های آماری

برای بررسی و تحلیل نتایج، ابتدا با استفاده از آزمون‌های اسپیرمن و پیرسون وضعیت همبستگی داده‌های IRI و PCI بررسی شده است. آزمون‌های همبستگی برای بررسی رابطه بین دو یا چند متغیر به کار می‌روند. همبستگی به معنای هم‌تغییری دو متغیر است که از آن استنباط می‌شود افزایش یا کاهش یک متغیر با افزایش یا کاهش متغیر دیگر همراه است. منظور از همبستگی بین دو متغیر، اندازه‌گیری میزان پیش‌بینی مقدارهای یکی براساس دیگری است که هر چه ضریب همبستگی بیشتر باشد، امکان پیش‌بینی مقدار یکی از متغیرها برحسب دیگری بیشتر است. در صورتی که تعداد داده‌ها کم یا توزیع نرمال بین آنها برقرار نباشد، برای بررسی همبستگی بین داده‌ها از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده می‌شود. ضریب همبستگی اسپیرمن بین دو مقدار ۱ و ۱- قرار دارد. به این ترتیب اگر ضریب همبستگی، مقداری نزدیک یا برابر با ۱ باشد، رابطه شدید و هم جهت بین دو متغیر وجود دارد. در این حالت می‌توان گفت که جهت تغییرات هر دو متغیر شبیه یکدیگر است. به این معنی که با افزایش یکی دیگری نیز افزایش می‌یابد. این ارتباط براساس کاهش نیز وجود دارد، یعنی اگر یکی از متغیرها کاهش یابد، دیگری نیز کاهش خواهد یافت. در این حالت می‌گویند بین دو متغیر رابطه مستقیم وجود دارد. در حالی که اگر ضریب همبستگی، مقداری نزدیک یا برابر با ۱- باشد، رابطه شدید ولی

۰/۰۵ می‌باشد و ارتباط معناداری بین داده‌های IRI و PCI وجود دارد و فرض خطی بودن این دو متغیر تأیید می‌شود. در جدول ۳ نتایج مدل رگرسیون نشان داده شده است. معادله رگرسیون به دست آمده به صورت زیر حاصل می‌شود. بر اساس نتایج، ضریب Beta برابر ۰/۸۶۹- می‌باشد و به این مفهوم است که به ازای یک واحد تغییر در مقادیر IRI، ۰/۸۶۹- تغییر در مقادیر PCI روسازی ایجاد می‌کند. همچنین، مقدار Sig. کوچک‌تر از ۱ می‌باشد و این به مفهوم رد شدن فرض صفر و بیانگر تأثیر قابل توجه متغیر در مدل است. همچنین، در جدول ۴ تحلیل مقادیر پیش‌بینی شده PCI توسط مدل رگرسیون نشان داده است که میزان انحراف داده‌ها برابر ۱۸/۶ می‌باشد که کمتر از مقدار میانگین است و نشانگر قوت و دقت مناسب مدل پیش‌بینی است.

شده توسط معادله رگرسیون) از یکدیگر است. در صورتی که فرضیه استقلال خطاها رد شود و خطاها با یکدیگر همبستگی داشته باشند امکان استفاده از رگرسیون وجود ندارد. به منظور بررسی استقلال مشاهدات (استقلال مقادیر باقی مانده یا خطاها) از یکدیگر از آزمون دوربین- واتسون استفاده می‌شود. مقدار این آماره این آزمون همواره بین ۰ تا ۴ قرار می‌گیرد. اگر به صفر نزدیک باشد نشان‌دهنده همبستگی مثبت و اگر به ۴ نزدیک باشد نشان‌دهنده همبستگی منفی است. در مجموع اگر این آماره بین ۱/۵ تا ۲/۵ باشد عدم همبستگی بین خطاها پذیرفته است. در جدول ۲ نتایج آزمون دوربین- واتسون و تحلیل واریانس داده‌ها نشان داده است. بر اساس نتایج به دست آمده آماره دوربین- واتسون برابر ۱/۶۷۲ و در فاصله بین ۱/۵ تا ۲/۵ می‌باشد و فرض عدم وجود همبستگی بین خطا تأیید می‌شود و می‌توان از رگرسیون استفاده کرد. همچنین، نتایج آزمون تحلیل واریانس نشان می‌دهد که مقدار Sig. کوچک‌تر از

جدول ۱. نتایج آزمون‌های همبستگی پیرسون و اسپیرمن

نتایج آزمون اسپیرمن			نتایج آزمون پیرسون		
	PCI	IRI		PCI	IRI
	۱	-۰/۸۸۷	ضریب اسپیرمن	۱	ضریب پیرسون
PCI	Sig.	۰	PCI	Sig.	۰
	۳۹۲	۳۹۲	تعداد داده‌ها	۳۹۲	تعداد داده‌ها
	-۰/۸۸۷	۱	ضریب اسپیرمن	-۰/۸۶۹	ضریب پیرسون
IRI	Sig.	۰	IRI	Sig.	۰
	۳۹۲	۳۹۲	تعداد داده‌ها	۳۹۲	تعداد داده‌ها

جدول ۲. نتایج آزمون‌های دوربین واتسون و تحلیل واریانس (ANOVA)

	ضریب دوربین- واتسون	انحراف معیار خطاهای پیش‌بینی	معدل مربع ضریب همبستگی	مربع ضریب همبستگی	ضریب همبستگی
مدل	۱/۶۷۲	۱۰/۶۱	۰/۷۵۴	۰/۷۵۵	۰/۸۶۹
	Sig.	F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	رگرسیون
	۰/۰۰۰	۱۲۰۱/۵	۱۳۵۴۳۰/۶	۱۳۵۴۳۰/۶۳۷	

جدول ۳. نتایج مدل رگرسیون خطی

مدل	ضرایب استاندارد			t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1	ضرایب ثابت	۱۲۶/۹۷	۱/۷۴۱	۷۳/۲۱۱	۰
	IRI	-۱۹/۸۰۲	۰/۵۸۶	-۰/۸۶۹	۰



از رگرسیون استفاده کرد. در صورتی که توزیع مقادیر خطا نرمال نباشد، حتی با وجود نرمال بودن توزیع متغیر وابسته، امکان استفاده از رگرسیون خطی وجود ندارد. در شکل ۶ هیستوگرام توزیع نرمال مدل رگرسیون خطی و نمودار عملکرد پیش‌بینی مدل‌های رگرسیون نشان داده شده است که بر اساس نتایج و مقادیر بسیار کم میانگین و انحراف معیار نزدیک به یک فرض نرمال بودن داده‌ها تأیید می‌شود. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، میانگین داده‌ها و انحراف معیار به ترتیب نزدیک به صفر و نزدیک به یک می‌باشد که نشان دهنده نرمال بوده داده‌ها می‌باشد. بر همین اساس، با توجه به به نرمال بودن داده‌ها و استقلال خطاها بر حسب نتایج آماره دوربین-واتسون، استفاده از مدل رگرسیون مجاز و مناسب می‌باشد.

در گام بعدی برای پیش‌بینی مقادیر PCI بر اساس داده‌های IRI از مدل‌های مختلف رگرسیون غیرخطی شامل مدل رگرسیون لگاریتمی، رگرسیون سهمی درجه ۲، رگرسیون درجه ۳، رگرسیون مرکب، رگرسیون توانی و رگرسیون نمایی استفاده شده است. برای انجام تحلیل‌ها، ۸۰ درصد داده‌ها با انتخاب تصادفی به‌عنوان داده‌های آموزش و ۲۰ درصد باقی‌مانده برای بخش ارزشیابی و آزمون مدل استفاده شدند. نتایج مدل‌های مختلف در جدول ۵ نشان داده شده است. برحسب نتایج، مقدار Sig. برای همه مدل کوچک‌تر از ۰.۰۵ درصد خطا است و در این شرایط، مدل رگرسیون خطی با آماره  $F=9611/162$  دارای قدرت و دقت بیشتری می‌باشد. معادلات خروجی و ضریب همبستگی هر مدل در جدول ۶ نشان داده شده است. یکی دیگر از مفروضات در نظر گرفته شده در مدل رگرسیون توزیع نرمال خطاها با میانگین صفر می‌باشند. بدیهی است در صورت عدم برقراری این پیش‌گزیده، نمی‌توان

جدول ۴. نتایج آماری مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل رگرسیون خطی

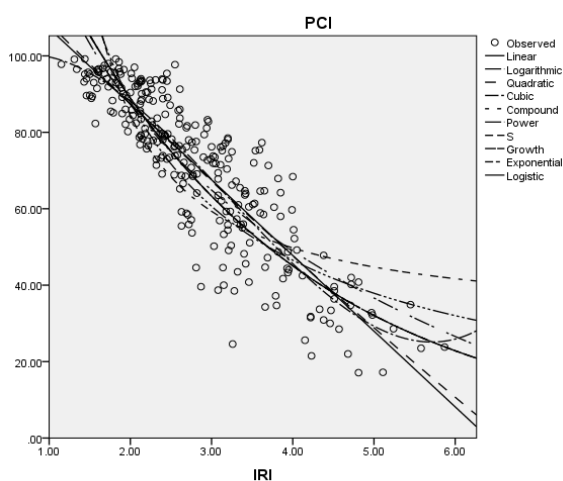
اطلاعات آماری					
تعداد داده‌ها	انحراف معیار	میانگین	حداقل	حداکثر	مقادیر پیش‌بینی شده
۳۹۲	۱۸/۶۱	۷۰/۰۴	۱۰۱/۱۰	۲/۵۹۷۳	مقادیر پیش‌بینی شده
۳۹۲	۱۰/۶۰	۰	۲۳/۳۴	-۳۶/۶۶	باقیمانده
۳۹۲	۱	۰	۱/۸۳	-۳/۶۲	انحراف معیار مقادیر پیش‌بینی شده
۳۹۲	۰/۹۹۹	۰	۲/۱۹۸	-۳/۴۵۴	انحراف معیار مقادیر باقی‌مانده

جدول ۵. نتایج مدل‌های رگرسیون غیرخطی در پیش‌بینی مقادیر PCI

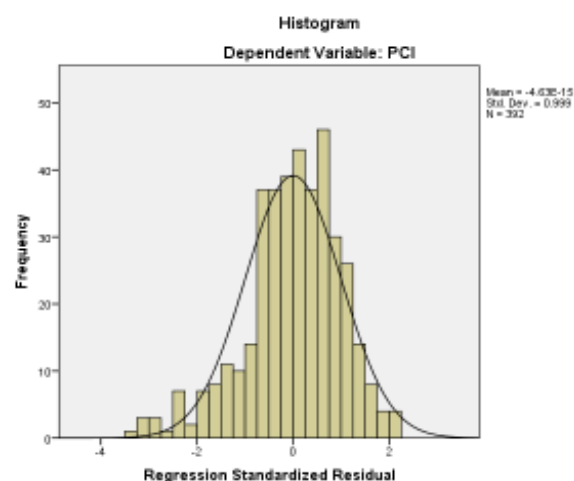
متغیر وابسته : PCI							
نوع معادله	خصوصیات مدل				پارامترهای مدل		
	R Square	F	Sig.	Constant	b1	b2	b3
رگرسیون خطی	۰/۷۷۹	۹۶۱/۱۹	۰	۱۲۶/۹۷	-۱۹/۸۰		
رگرسیون لگاریتمی	۰/۷۴۹	۸۱۴/۳	۰	۱۲۵/۵۷	-۵۵/۲۵		
رگرسیون سهمی درجه ۲	۰/۷۷۹	۴۷۹/۷	۰	۱۳۰/۱۰	-۲۲/۰۰	۰/۳۵	
رگرسیون درجه ۳	۰/۷۸۵	۳۳/۳۵	۰	۹۵/۲۰۶	-۱۵/۰۰۵	-۱۱/۷	۱/۲۲
رگرسیون مرکب	۰/۷۴۳	۷۸۷/۶۴	۰	۱۷۵/۵۰	۰/۷۱۲		
رگرسیون توانی	۰/۶۷۴	۵۶۳/۱۹	۰	۱۶۶/۸۰	۰/۹۲۱		
رگرسیون نمایی	۰/۷۴۳	۷۸۷/۶۴	۰	۱۷۵/۵	-۰/۳۴		

جدول ۶. مدل‌های ریاضی به‌دست‌آمده برای تعیین مقادیر PCI بر اساس مقادیر IRI

معادله رگرسیون	ضریب همبستگی ( $R^2$ )	رابطه
رگرسیون خطی	۰/۷۷۹	$PCI = -19.802 \times IRI + 126.970$
رگرسیون لگاریتمی	۰/۷۴۹	$PCI = -155.25 \times \ln(IRI) + 125.575$
رگرسیون سهمی درجه ۲	۰/۷۷۹	$PCI = 130.103 - 22.005 \times IRI - 0.350 \times IRI^2$
رگرسیون درجه ۳	۰/۷۸۵	$PCI = 95.206 + 15.005 \times IRI - 11.699 \times IRI^2 + 1.211 \times IRI^3$
رگرسیون مرکب	۰/۷۴۳	$PCI = 175.507 \times 0.712^{IRI}$
رگرسیون توانی	۰/۶۷۴	$PCI = -166.804 \times IRI^{-0.921}$
رگرسیون نمایی	۰/۷۴۳	$PCI = 175.507 \times e^{-0.340 \times IRI}$



(ب)



(الف)

شکل ۶. الف) هیستوگرام توزیع نرمال مدل رگرسیون خطی - ب) نمودار عملکرد پیش‌بینی مدل‌های رگرسیون

داده‌های آزمون خطای بالایی دارد و نسبت به داده‌های جدید عملکرد نامناسبی نشان می‌دهد.

#### ۴-۴- تعیین مدل برتر

پس از بررسی مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی مقادیر PCI، در این بخش بر اساس شاخص‌های آماری مدل برتر شناسایی می‌شود. برای بررسی میزان عملکرد شبکه از معیارهای ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا و ضریب تغییرات (COV) و بین روابط زیر استفاده شده استفاده شده است. ضریب  $R^2$  جهت سنجش همبستگی مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از شبکه و مقادیر واقعی، ضریب RMSE جهت سنجش خطای مدل و ضریب COV جهت ارزیابی میزان پراکندگی داده‌ها به ازای میانگین آن‌ها استفاده شده است. در روابط زیر پارامترهای  $Y_{pre}$ ،  $Y_{mea}$  و  $\bar{Y}$  به ترتیب مقادیر مشاهده شده، پیش‌بینی شده و میانگین مقادیر مشاهده می‌باشد.

#### ۴-۳- مدل شبکه عصبی

در این مطالعه برای طراحی شبکه عصبی، میزان ۷۰ درصد داده‌ها برای بخش آموزش، ۱۵ درصد در بخش ارزیابی و ۱۵ درصد در بخش آزمون استفاده شده است. برای طراحی مدل شبکه عصبی، از یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و الگوریتم لونیگ-مارکووات استفاده شده است. مشخصات شبکه عصبی و مدل به‌دست‌آمده استفاده در جدول ۷ نشان داده شده است. خلاصه نتایج مدل نشان می‌دهد که خطای نسبی داده‌های آموزش و آزمون به ترتیب برابر ۷ درصد و ۴۶ درصد می‌باشد. با توجه به نتایج مشخص است که با وجود عملکرد مناسب شبکه عصبی در پیش‌بینی داده‌های آموزش و برازش مدل، ولی در پیش‌بینی داده‌های جدید و در مرحله آزمون با حدود ۴۶ درصد خطا، عملکرد ضعیفی دارد. به عبارت دیگر، شبکه عصبی دچار بیش‌برازش شده است و شبکه عصبی با وجود اینکه با دقت مناسب به داده‌های آموزش برازش می‌شود ولی در

آماري نیز نشان می‌دهد، مدل شبکه عصبی تنها در بخش آموزش عملکرد مناسبی داشته است و در بخش آزمون و نسبت به داده‌های جدید عملکرد ضعیفی از خود نشان می‌دهد. بر همین اساس، مدل رگرسیون خطی با خطای نسبی برابر ۱۶/۳۸ درصد، RMSE برابر ۹/۷۴ و ضریب همبستگی برابر ۰/۷۷۹ دارای بهترین عملکرد بین تمامی مدل‌های ارائه شده در این تحقیق می‌باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{pre} - Y_{mea})^2}{n}}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{mea} - Y_{pre})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{mea} - \bar{Y})^2}$$

$$COV = \frac{RMSE}{|Y_{mea}|} \times 100$$

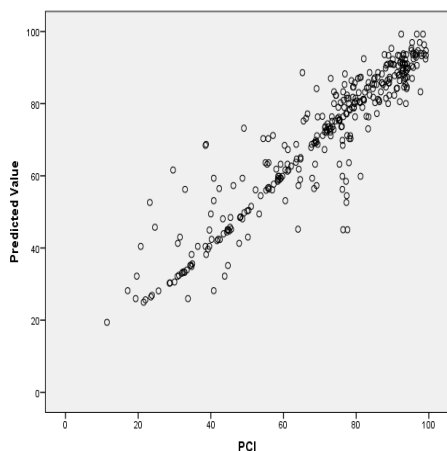
بر اساس نتایج موجود در جدول ۸ و شکل ۷، مقدار RMSE مدل رگرسیون خطی به ترتیب در بخش‌های آموزش، آزمون برابر ۱۳/۷۰، ۲۲/۶۸، ۱۳/۷۰، ۹/۶۴ و ۱۸/۸۶ است که این مقادیر برای مدل شبکه عصبی برابر ۴/۹۱، ۶/۹ و ۱۸/۷۳ می‌باشد. RMSE بیانگر میانگین خطاهای موجود است و مقدار کوچک‌تر این شاخص، نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل است. بر اساس نتایج، با وجود عملکرد بهتر مدل شبکه عصبی در بخش آموزش، ولی در بخش آزمون و کل داده‌ها مدل رگرسیون عملکرد و دقت بهتری در پیش‌بینی مقادیر PCI نشان می‌دهد. همچنین، مقایسه عملکرد دو مدل بر اساس سایر شاخص‌های

جدول ۷. مشخصات شبکه عصبی و مدل حاصل شده در پیش‌بینی PCI

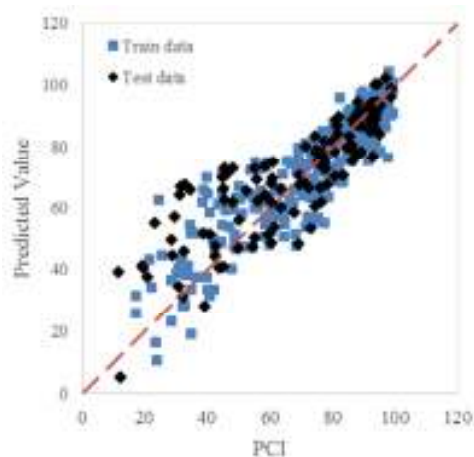
اطلاعات شبکه			خصوصیات مدل	
لایه ورودی	فاکتورها	IRI	خطای مجموع مربع‌ها	۹,۷۷۱
	تعداد واحدها	۱	خطای مربوطه	۰,۰۷
	تعداد لایه‌های مخفی	۱	مرحله (های) متوالی بدون کاهش	۲۰ ثانیه
لایه‌های مخفی	تعداد واحدها در لایه‌های مخفی	۱	معیار توقف	زمان آموزش
	تابع فعال‌سازی	تانژانت هیپربولیک	خطای مجموع مربع‌ها	۱۲,۵۵۹
	متغیرهای وابسته	PCI	خطای مربوطه	۰,۴۶۱
لایه خروجی	تعداد واحدها	۱	متغیرهای وابسته	PCI
	روش مقیاس‌بندی متغیرها	استاندارد شده	محاسبات خطا بر اساس نمونه آزمایش انجام می‌شود.	
	تابع فعال‌سازی	خطی		

جدول ۸. مقایسه عملکرد مدل‌های رگرسیون خطی و شبکه عصبی در پیش‌بینی مقادیر PCI بر اساس داده‌های IRI

مدل رگرسیون خطی	نوع مدل	خطای نسبی (%)	RMSE	COV	R <sup>2</sup>
			آموزش	۱۳/۷۰	۹/۶۴
مدل رگرسیون خطی	آزمون	۲۲/۶۸	۱۲/۷	۱۸/۸۶	۰/۶۹۹
	کل مدل	۱۶/۳۸	۹/۷۴	۱۳/۹	۰/۷۷۹
	آموزش	۷/۰۱	۴/۹۱	۶/۹	۰/۸۶۵
مدل شبکه عصبی	آزمون	۴۶/۱	۳۲/۳۹	۴۵/۴	۰/۵۴۳
	کل مدل	۱۸/۷۳	۱۳/۱۵	۱۸/۴۶	۰/۷۲۱



(ب)



(الف)

شکل ۷. مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده PCI در مدل‌های: الف) رگرسیون خطی - ب) شبکه عصبی

تصمیم‌گیری‌ها و کاهش هزینه‌های سنگین برداشت خرابی و زمان تحلیل نتایج شود. با وجود آن که در مطالعات قبلی نیز تلاش شده است تا ارتباط بین شاخص‌های روسازی تعیین شود، ولی مدل پیشنهادی این مطالعه از نظر دقت پیش‌بینی، گستره اطلاعات و داده‌های آموزش مدل با توجه به پهناور بودن شرایط آب و هوایی و ترافیکی استان اصفهان و اعمال تمامی خرابی‌های روسازی در تعیین PCI و IRI دارای قدرت می‌باشد که امکان استفاده از آن را برای مسایل اجرایی و کاربردی تسهیل می‌کند. از آنجایی که استان اصفهان به دلیل شرایط خاص ترافیکی و آب و هوایی، دارای تنوع می‌باشد و برای مدل‌سازی از اطلاعات تمامی شهرستان‌های استان اصفهان استفاده شده است، می‌توان بیان کرد که مدل‌های بدست آمده با دقت مناسبی قابل توسعه و تعمیم برای سایر استان‌های کشورها نیز می‌باشند. با این وجود پیشنهاد می‌شود با تهیه اطلاعات سایر استان‌ها، مدل‌های این تحقیق مورد اعتبار سنجی و توسعه قرار داده شوند و ضریب همبستگی و دقت نتایج تعیین شود. بطوری که در مدل‌های توسعه یافته تاثیر شرایط آب و هوایی، ترافیکی و مشخصات سازه‌ای روسازی برای هر استان به عنوان سه عامل مهم در گسترش خرابی‌ها اعمال شود.

## ۵- نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه تعیین رابطه بین شاخص‌های ارزیابی روسازی با استفاده از تحلیل‌های آماری، مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی و مدل شبکه عصبی می‌باشد. خلاصه نتایج بدست آمده در این تحقیق به صورت زیر است: -تحلیل‌های آماری نشان داد ضرایب همبستگی در آزمون‌های پیرسون و اسپیرمن به ترتیب برابر  $0/869$  و  $0/887$  می‌باشد که نشان‌دهنده رابطه قوی و معکوس بین متغیرهای PCI و IRI می‌باشند. -نتایج بخش مدل‌سازی نشان داد با وجود عملکرد مناسب شبکه عصبی در پیش‌بینی داده‌های آموزش، ولی در پیش‌بینی داده‌های جدید و در مرحله آزمون با حدود ۴۶ درصد خطا، عملکرد ضعیفی دارد و مدل دچار بیش‌پردازش شده است. -عملکرد مدل رگرسیون خطی نشان داد که مدل با رابطه  $PCI = -19.802 \times IRI + 126.970$  با دقت ۷۷٪ می‌تواند مقادیر PCI را با استفاده از داده‌های IRI تعیین کند. -با توجه به سرعت برداشت و تحلیل نتایج بالا شاخص IRI و کاربردی بودن شاخص PCI به عنوان روش استاندارد در برنامه‌ریزی و تعیین گزینه‌های نگهداری راه‌ها، این مدل می‌تواند کمک شایانی را در راستای افزایش دقت و سرعت

## ۶-مراجع

prediction model”, Journal of Transportation Engineering, 130(1), pp.24-33.  
-Abed, M. S., (2020), “Development of Regression Models for Predicting Pavement

-Abaza, K. A., Ashur, S. A., & Al-Khatib, I. A., (2004), “Integrated pavement management system with a Markovian

- Mactutis, J. A., Alavi, S. H., & Ott, W. C., (2000), "Investigation of relationship between roughness and pavement surface distress based on WesTrack project", *Transportation Research Record*, 1699(1), pp.107-113.
- Mirabdolazimi, S., & Shafabakhsh, G., (2017), "Rutting depth prediction of hot mix asphalts modified with forta fiber using artificial neural networks and genetic programming technique", *Construction and Building Materials*, 148, pp.666-674.
- Park, K., Thomas, N. E., & Wayne Lee, K. (2007), "Applicability of the international roughness index as a predictor of asphalt pavement condition", *Journal of Transportation Engineering*, 133(12), pp.706-709.
- Pérez-Acebo, H., Gonzalo-Orden, H., Findley, D. J., & Rojí, E., (2021), "Modeling the international roughness index performance on semi-rigid pavements in single carriageway roads", *Construction and Building Materials*, 272, 121665.
- Piryonesi, S. M., & El-Diraby, T. E., (2021), "Examining the relationship between two road performance indicators: Pavement condition index and international roughness index", *Transportation Geotechnics*, 26, 100441.
- Recknagel, F., French, M., Harkonen, P., & Yabunaka, K. I., (1997), "Artificial neural network approach for modelling and prediction of algal blooms", *Ecological Modelling*, 96(1-3), pp.11-28.
- Shahin, M., (2005), "Pavement Preservation for Airports, Roads, and Parking Lots", Springer, New York, NY, United States.
- Sirhan, M., Bekhor, S., & Sidess, A., (2022), "Implementation of Deep Neural Networks for Pavement Condition Index Prediction", *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 148(1), 04021070.
- Sollazzo, G., Fwa, T., & Bosurgi, G., (2017), "An ANN model to correlate roughness and structural performance in asphalt pavements", *Construction and Building Materials*, 134, pp.684-693.
- Zarei, B., & Shafabakhsh, G. A., (2018), "Dynamic analysis of composite pavement using finite element method and prediction of fatigue life", *Computational Research Progress in Applied Science & Engineering (CRPASE)*, 4, Condition Index from the International Roughness Index", *Journal of Engineering*, 26(12), pp.81-94.
- Agatonovic-Kustrin, S., & Beresford, R., (2000), "Basic concepts of artificial neural network (ANN) modeling and its application in pharmaceutical research", *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 22(5), pp.717-727.
- Arhin, S. A., Williams, L. N., Ribbiso, A., & Anderson, M. F., (2015), "Predicting pavement condition index using international roughness index in a dense urban area", *Journal of Civil Engineering Research*, 5(1), pp.10-17.
- Bui, D. K., Nguyen, T. N., Ngo, T. D., & Nguyen-Xuan, H., (2020), "An artificial neural network (ANN) expert system enhanced with the electromagnetism-based firefly algorithm (EFA) for predicting the energy consumption in buildings", *Energy*, 190, 116370.
- 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.
- Dewan, S., & Smith, R., (2002), "Estimating IRI from pavement distresses to calculate vehicle operating costs for the cities and counties of San Francisco Bay area" *Transportation Research Record*.
- Elhadidy, A. A., El-Badawy, S. M., & Elbeltagi, E. E., (2021), "A simplified pavement condition index regression model for pavement evaluation", *International Journal of Pavement Engineering*, 22(5), pp.643-652.
- Hasibuan, R. P., & Surbakti, M. S., (2019), "Study of Pavement Condition Index (PCI) relationship with International Roughness Index (IRI) on Flexible Pavement", Paper presented at the MATEC web of conferences.
- Kamboozia, N., Ziari, H., & Behbahani, H. (2018), "Artificial neural networks approach to predicting rut depth of asphalt concrete by using of visco-elastic parameters", *Construction and Building Materials*, 158, pp.873-882.
- Kukreja, H., Bharath, N., Siddesh, C., & Kuldeep, S., (2016), "An introduction to artificial neural network", *Int J Adv Res Innov Ideas Educ*, 1, pp.27-30.

# Evaluation of the Performance of Regression and Neural Network Models in Estimating the Relationship between Pavement Status Index (PCI) and International Roughness Index (IRI)

*Reza Akbari, Ph.D., Grad., Department of Civil Engineering,  
University of Tehran, Tehran, Iran.*

*Amir Amini, Postdoctoral Researcher, Department of Civil Engineering,  
Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.*

*Ahmad Safai Mohammadi, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering,  
Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*

*E-mail: amini.amir68@gmail.com*

Received: September 2022- Accepted: February 2023

## **ABSTRACT**

Evaluating and measuring the quality of pavement by better understanding the correct performance of different parts of the pavement management system, it is possible to determine the database to predict the optimal design time and update information. Pavement condition index (PCI) and International Roughness Index (IRI) are two criteria for measuring the performance of road pavement evaluation, which has a significant impact on the management of road repair and maintenance budgets. However, the PCI and IRI indices are not comprehensive and need to be addressed by establishing a logical relationship with high accuracy. The aim of this study was to determine the relationship between IRI and PCI indices using Spearman, Pearson, and Watson statistical analyzes, linear and nonlinear regression models, and neural network models. In this regard, data of 392 sections of arterial pathways in Isfahan province were reviewed and PCI and IRI indices of these sections were selected as the statistical population. The results of the modeling section showed that despite the proper performance of the neural network in predicting training data, in predicting new data, and in the test phase with about 46% error, has a poor performance and the model has been overworked. Finally, the performance of the linear regression model showed that using the relation  $PCI = -19.802 \times IRI + 126.970$  with 77% accuracy PCI values can be determined using IRI data. Considering the speed of harvesting and analysis of the high results of the IRI index and the applicability of the PCI index as a standard method in planning and determining road maintenance options, this model can be a great help in increasing the accuracy and speed of decisions and reducing the heavy costs of failure and time analysis of results.

**Keywords:** Prediction Models, Road Maintenance, Regression Models, Neural Network Model, Statistical Tests