Archive of SID

مجله علمی – پژوهشی
مهندسی عمران مدرس
دوره نوزدهم، شماره ٤، سال ١٣٩٨

مدل برآورد عمر باقی‌مانده روسازی با استفاده از پارامترهای موثر بر آن

امیر کاوسی[1*]، صابر شهدادی[2]

۱- استاد گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

kavussia@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: [٩٧/٦/٤] تاریخ پذیرش: [٩٨/٣/٢]

چکیده

تعیین وضعیت روسازی ازلحاظ سازه‌ای و سطحی نقش مهمی در مدیریت روسازی دارد. به همین منظور یافتن ارتباط بین ارزیابی سطحی و ارزیابی سازه‌ای روسازی حائز اهمیت است. بنابراین ارائه مدلی قوی بین شاخص‌های ارزیابی سطحی و سازه‌ای روسازی به‌منظور بررسی ارتباط بین آن‌ها و تأثیرپذیری‌شان نسبت به یکدیگر بسیار سودمند است. ارزیابی سازه‌ای روسازی‌های در دست بهره‌برداری معمولاً به وسیله آزمایش‌های غیر مخرب انجام می‌گیرد. FWD یکی از مهم‌ترین تجهیزات غیر مخرب ارزیابی روسازی است که کاربرد آن بسیار هزینه‌بر و زمان‌بر است. از طرفی عمر باقی‌مانده روسازی از پارامترهای مهم ارزیابی سازه‌ای روسازی است که تعیین آن برای بررسی نیازهای تعمیر و نگهداری، تنظیم اولویت‌ها و بودجه‌بندی ضروری است. اما یکی از شاخص‌های مهم ارزیابی سطحی روسازی، شاخص PCI است که برداشت اطلاعات آن کم‌هزینه و آسان‌تر است. عدم تعیین دقیق عمر باقی‌مانده روسازی (RSL) مسئله مهمی است. به علاوه عدم وجود مدل پیش‌بینی عملکردی مناسب مانع اصلی پیش‌بینی عمر باقی‌مانده روسازی است. کاربرد هم‌زمان نتایج آزمایش دستگاه FWD و ارزیابی PCI که اولی ارزیابی سازه‌ای و دومی ارزیابی سطحی را انجام می‌دهد، می‌تواند راه‌حل مناسبی برای تعیین RSL باشد. در این پژوهش سعی شده است که با استفاده از یک سری متغیرهای مستقل، همبستگی قوی بین RSL و متغیرهای مستقل برقرار شود تا بتوان RSL را با استفاده از شاخص‌ها و پارامترهای دیگری که برداشت داده‌های آن‌ها آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر است، پیش‌بینی نمود. همچنین با استفاده از این مدل میزان همبستگی و تأثیرپذیری متغیرها را نسبت به یکدیگر موردبررسی قرارداد.

کلیدواژه‌ها: عمر باقی‌مانده روسازی، شاخص وضعیت روسازی، همبستگی، مدل

1- مقدمه

تعدادی از روش‌های ارزیابی روسازی به‌منظور بررسی شرایط روسازی راه مورداستفاده قرار می‌گیرند. دو مورد آن‌ها عبارت‌اند از شاخص وضعیت روسازی و عمر باقی‌مانده روسازی در حال خدمت.

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص وضعیت روسازی و عمر باقی‌مانده آن بسیار حائز اهمیت هستند، زیرا به‌طورکلی محدوده یک شاخص جامع از شرایط عملکردی و سازه‌ای روسازی را فراهم می‌کنند.

شاخص وضعیت روسازی از صفرتا صد متغیر است. صفر نشان‌دهنده وضعیت بسیار ضعیف روسازی و صد نشان‌دهنده وضعیت بسیار خوب روسازی است. شاخص وضعیت روسازی بر اساس درجه‌بندی منحصربه‌فرد تعدادی از خرابی‌های روسازی محاسبه می‌شود [1].

پیش‌بینی عمر خدمت‌دهی باقی‌مانده روسازی برای بررسی نیازهای تعمیر و نگهداری، تنظیم اولویت‌ها و بودجه‌بندی ضروری است. از طرفی بررسی آن بسیار پیچیده شده است چراکه عمر باقی‌مانده روسازی تحت تأثیر متغیرهای متعددی قرار می‌گیرد.

بنابراین به دلیل بسیاری از عوامل که موجب خرابی جاده‌ها می‌شوند، عدم اطمینان از عمر خدمت‌دهی باقی‌مانده جاده به وجود می‌آید، به‌طوری‌که عمر باقی‌مانده روسازی در حال خدمت با عمر پیش‌بینی‌شده آن متفاوت است. عدم قطعیت عمر خدمت‌دهی، به‌طور واضح بر تمامی برنامه‌ریزی‌هایی که در آن‌ها عمر خدمت‌دهی به‌عنوان مرجع در نظر گرفته‌شده است، تأثیر خواهد گذاشت. همچنین بر اولویت‌بندی برنامه‌های تعمیر و نگهداری جاده در یک دوره طولانی‌مدت تأثیر می‌گذارد. بنابراین هدف این پژوهش محاسبه عمر باقی‌مانده روسازی بر اساس شاخص وضعیت روسازی، ترافیک عبوری، میانگین کمینه دما هوا و نوع توپوگرافی محور راه است. که برای این منظور سه محور راه متفاوت از شبکه راه‌های استان خوزستان موردمطالعه قرارگرفته است.

2- مرور بر ادبیات فنی موضوع

عمر خدمت‌دهی باقی‌مانده روسازی، تعداد سال‌های پیش‌بینی‌شده‌ای است که یک روسازی در شرایط عادی پس از دریافت خرابی‌های سازه‌ای یا عملکردی، هنوز در شرایط قابل‌قبول باشد، با توجه به آنکه خرابی‌ها به مقدار آستانه تعریف‌شده خود نرسند یا تعمیر و نگهداری اضافی صورت نگیرد.

عدم وجود مدل پیش‌بینی عملکردی مناسب مانع اصلی پیش‌بینی عمر باقی‌مانده است. در سال 1986، آشتو یک روش مهم را برای برآورد عمر باقی‌مانده به‌منظور طراحی روکش پیشنهاد کرد. در این روش، عمر باقی‌مانده روسازی موجود با استفاده از آزمایش‌های غیر مخرب تخمین زده می‌شد. یکی از این آزمایش‌های غیر مخرب، آزمایش با دستگاه افت‌وخیز سنج ضربه‌ای (FWD[1]) است. اما به دلیل زمان‌بر و هزینه‌بر بودن و استفاده از تجهیزاتی همچون دستگاه FWD به دنبال روش‌های ساده‌تری همچون روابط همبستگی برای پیش‌بینی عمر باقی‌مانده روسازی هستند [2].

به همین منظور سچیوون و همکاران (2015) رابطه‌ای را بین PCI[2] و RSL[3] با استفاده از داده‌های شاخص وضعیت روسازی و عمر باقی‌مانده پنج بخش از مسیری با شرایط خرابی مختلف برقرار کردند. پیش‌بینی عمر باقی‌مانده با استفاده از داده‌های افت‌وخیز به‌دست‌آمده از دستگاه افت‌وخیز سنج ضربه‌ای محاسبه شد. همبستگی بین مقادیر شاخص PCI و RSL از طریق مدل رگرسیون به دست آمد [3]. مدل رگرسیون پیشنهادی به رابطه (۱) منجر شد:

$$RSL = 4.1872 \ln(PCI) - 14.728 \quad (1)$$

ضریب همبستگی مدل پیشنهادی 0.88 است که سطح ارتباط قوی بین این دو شاخص را می‌رساند [4].

آرین و نول مطالعه‌ای را با استفاده از داده‌های IRI-PCI بخش حمل‌ونقل منطقه‌ای انجام دادند. در این پژوهش مدل‌ها بر اساس طبقه‌بندی عملکردی و نوع روسازی به منظور پیش‌بینی بالقوه PCI از IRI ارائه شدند. مدل‌های رگرسیون با استفاده از روش رایج کمینه مربعات بررسی، و بر اساس سطح معنی‌داری 5 درصد، ارزیابی شدند.

[1] Falling Weight Deflectometer
[2] Pavement Condition Index
[3] Remaining Service Life

www.SID.ir

Archive of SID

مدل IRI-PCI مقادیر ضریب همبستگی تعیین‌شده و تعدیل‌شده را به ترتیب 0.08 و 0.073 نشان دادند که می‌توان دانست مدل تنها می‌توانند 7.3 درصد تغییرات داده‌ها را توضیح دهد. باوجود اینکه نتایج آزمون‌های ANOVA نشان داد که ضرایب به‌طورکلی ازلحاظ آماری معنی‌دار هستند، ولی مقادیر کم ضریب همبستگی و مربع میانگین ریشه خطا (RMSE[1]) نشان داد که این مدل، PCI را بدون خطاهای بزرگ توسط IRI پیش‌بینی نمی‌کنند. بیشتر ابزار پیش‌بینی پیشرفته مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند PCI را از IRI به‌طور دقیق‌تری پیش‌بینی کنند [5].

در همین حال پنگ و همکاران [6] از پژوهشی در خصوص ارزیابی عملکرد روسازی نتیجه گرفتند که یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر کیفیت رانندگی، ناهمواری‌های روسازی در معرض ترک‌خوردگی، چاله، تعمیرات جاده و غیره است. بنابراین کیفیت سواری تا حدودی با خرابی‌های روسازی در ارتباط است و امکان همبستگی بین ناهمواری روسازی و نرخ خرابی در آن وجود دارد.

بنابراین، به منظور دانستن این موضوع که IRI و نرخ خرابی‌های روسازی به‌طور قابل‌توجهی برای انواع جاده‌های مختلف، متفاوت هستند یا خیر، آزمون‌های غیر پارامتری برای نمونه‌های مستقل در این پژوهش استفاده شد. سپس مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی به‌منظور تجزیه و تحلیل روابط بین IRI و نرخ خرابی‌های روسازی برای جاده‌های مختلف استفاده شد. سرانجام، بهترین مدل برای توصیف روابط بین IRI و نرخ خرابی‌های روسازی برای جاده‌های مختلف استخراج و محدوده اطمینان 90 درصد محاسبه شد. این پژوهشگران رابطه قوی بین PCI و IRI با استفاده از داده‌های 9 ایالت شمال امریکا برقرار کردند. مجموعه داده‌های IRI-PCI که در این پژوهش استفاده شد از برنامه Pave Data برای بزرگراه‌های مناطق دلور، مریلند، نیوجرسی، نیویورک، ورمونت، ویرجینیا، انتاریو، کبک و جزیره پرینس ادوارد در سال‌های 1999 تا 2000 استخراج شد.

مدل پیشنهادی به رابطه (۲) منجر شد:

$$\log(PCI) = 2 - 0.436 \log(IRI) \qquad (2)$$

مقدار ضریب همبستگی مدل بالا، 59 درصد تعیین شد که سطح ارتباط خوبی را بین این دو شاخص نشان می‌دهد [6].

در سال 2012 شاه نظری و همکاران با استفاده از دو روش بهینه‌سازی: شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و برنامه‌نویسی ژنتیک ، مقادیر PCI را از طریق شاخص‌های روسازی (به‌غیراز IRI) بر اساس انواع مختلف خرابی و سطح شدت تخمین زدند.

مدل‌ها بر اساس داده‌های PCI جمع‌آوری‌شده از 1250 کیلومتر بزرگراه در ایران ارائه شدند. نتایج، اعتبارسنجی خوبی بین مقادیر PCI اندازه‌گیری شده میدانی با مقادیر پیش‌بینی‌شده بر اساس روش‌های ANN و GP نشان داد. ضریب همبستگی گزارش شده، RSME و میانگین خطاهای مطلق (MAE) برای مدل مبتنی بر ANN به ترتیب برابر ۰,۹۹۸۶، 0.99 و 0.49، درحالی‌که برای مدل مبتنی بر GP این مقادیر به ترتیب برابر 0.9898، 2.63 و 1.79 محاسبه شد [7].

RSL نه‌تنها برای زمان‌بندی یک بازسازی بزرگ مفید است، بلکه در پیش‌بینی نیازهای طولانی‌مدت شبکه راه به مدیران کمک می‌کند. به همین منظور در این پژوهش سعی شده است که با استفاده از یک سری متغیرهای مستقل، همبستگی قوی بین RSL و متغیرهای مستقل برقرار شود.

در بیشتر روابط همبستگی، تنها با استفاده از یک شاخص وضعیت روسازی به‌عنوان متغیر مستقل، مدل ساخته‌شده است. از طرفی برای راه‌های با شرایط متفاوت، ترکیب متغیرهای مستقل پنهان دیگر بر مدل پیشنهادی تأثیر بسزایی دارند. بنابراین مدل پیش‌بینی منحصربه‌فرد RSL-PCI برای راه‌های متفاوت و متغیرهای مستقل تأثیرگذار دیگر باید بررسی شود.

[1] Root Mean Square Error

www.SID.ir

Archive of SID

۳- روش تحقیق

۳-۱- مبانی

طبق بخش‌های ارائه‌شده قبلی و بر اساس نتایج تحلیل‌های انجام‌شده، روسازی‌ها معمولاً به دلیل عوامل مختلف به عمر خدمت‌دهی طراحی‌شده خود نمی‌رسند. از طرفی برنامه‌های تعمیر و نگهداری و تعیین بودجه نیازمند تعیین عمر باقی‌مانده روسازی است. همچنین ازآنجایی‌که تعیین عمر باقی‌مانده با استفاده از تجهیزاتی همچون دستگاه FWD زمان‌بر و پرهزینه است، در این پژوهش به بررسی همبستگی بین عمر باقی‌مانده روسازی و یک سری متغیرهای مستقل همچون شاخص PCI، ترافیک عبوری، توپوگرافی و شرایط جوی و اقلیمی پرداخته‌شده است.

۳-۲- محورهای موردمطالعه

مهم‌ترین عامل در انتخاب مسیر، برداشت هم‌زمان خرابی‌های سطحی روسازی و تغییر شکل‌های اندازه‌گیری شده روسازی (مانند کاسه انحناهای برداشت‌شده توسط دستگاه FWD) است. محورهای موردمطالعه در این پژوهش در جدول (۱) نشان داده‌شده است:

جدول ۱. اطلاعات پایه ای محورهای موردمطالعه

Route Name	Type	Topography	Length (Km)	Width (m)
1) Ahwaz-Darkhoein	Highway	Flat	110	7.3
2) Ahwaz-Khoramshahr	Primary	Flat	140	7.3
3) Eizeh-Dehdez	۱۱۰	Hilly	110	7

Table 1 Inventory data of the studied routes

۳-۳- ترافیک عبوری

تعیین حجم ترافیک به‌عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر عمر باقی‌مانده روسازی در حال خدمت حائز اهمیت است. تعداد کل محورهای استاندارد عبوری از سه محور اهواز- دارخوین، اهواز- خرمشهر و ایذه- دهدز از سال تاسیس این محورها تا سال برداشت داده‌های دستگاه FWD (1390) محاسبه‌شده است. در شکل(۱) این اطلاعات قابل مشاهده است.

شکل ۱. تعداد محور استاندارد معادل جاده‌های مطالعه شده (محورهای ۱، ۲ و ۳)

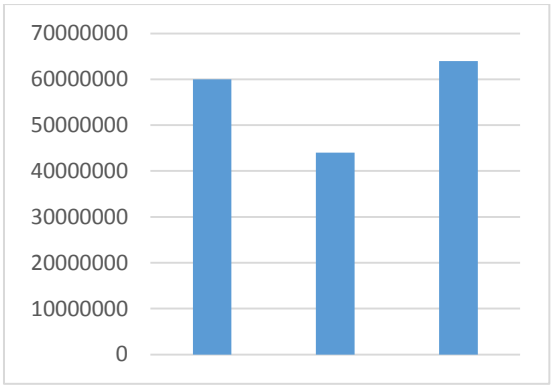

Fig. 1. Equivalent Single Axle Loading of the studied routes (i.e. Routes 1, 2 and 3)

۳-۴- اطلاعات هواشناسی

شرایط جوی و اقلیمی نیز یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر خرابی‌های روسازی راه است که به نوبه خود بر مدول الاستیسیته لایه‌های آسفالتی و درنتیجه عمر باقی‌مانده روسازی تأثیر گذارند [8]. به همین منظور برای تعیین شرایط جوی محورهای مورد مطالعه از ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان که نزدیک به محورهای مطالعه شده بودند، استفاده شد. اطلاعات دریافتی از سازمان هواشناسی کشور شامل: میانگین کمینه دمای سالیانه، میانگین بیشینه دمای سالیانه، تعداد روزهای بارانی، تعداد روزهای برفی، تعداد روزهای یخبندان و تعداد روزهای تگرگ در محورهای مطالعه شده بود.

تعداد روزهای بارانی در سال برای محور ایذه–دهدز (۴۵ روز در سال)، محور اهواز–خرمشهر (۳۸–۳۰ روز در سال) و محور اهواز–دارخوین (۳۰–۲۲ روز در سال) بود. به‌منظور تعیین متغیر مستقل تأثیرگذار و قابل‌قبول بر عمر باقی‌مانده روسازی بر اساس اطلاعات هواشناسی موجود تنها تعداد روزهای بارانی در سال معنی دار شد.

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۵- شاخص وضعیت روسازی (PCI)

در اینجا تنها مقادیر PCI نقاطی آورده شده است که عمر باقی‌مانده متناظر با آن نقطه نیز موجود بود. زیرا به‌منظور بررسی همبستگی بین این دو پارامتر باید برداشت اطلاعات آن‌ها مربوط به یک نقطه مکانی و یک‌زمان مشخص از محور راه باشد.

۳-۶- تعیین عمر باقی‌مانده روسازی (RSL)

برای تعیین عمر باقی‌مانده روسازی محورهای مطالعه شده در این پژوهش از نرم‌افزار ELMOD استفاده شد. در این نرم‌افزار عمر باقی‌مانده روسازی از طریق تغییر شکل‌های به‌دست‌آمده از دستگاه FWD، ضخامت لایه‌های روسازی، دمای روسازی و دمای هوا محاسبه شد.

در شکل (۲) نمودار ضخامت روکش موردنیاز در برابر عمر باقی‌مانده روسازی برای بخشی از محور اهواز–دارخوین نشان داده‌شده است. در این شکل رنگ سبز نشانگر عمر باقی‌مانده و رنگ آبی نشانگر ضخامت روکش موردنیاز روسازی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، هر چه عمر باقی‌مانده روسازی کمتر باشد، ضخامت روکش موردنیاز بیشتر می‌شود.

شکل ۲. نمودار ضخامت در برابر عمر باقی‌مانده روسازی بخشی از محور اهواز–دارخوین

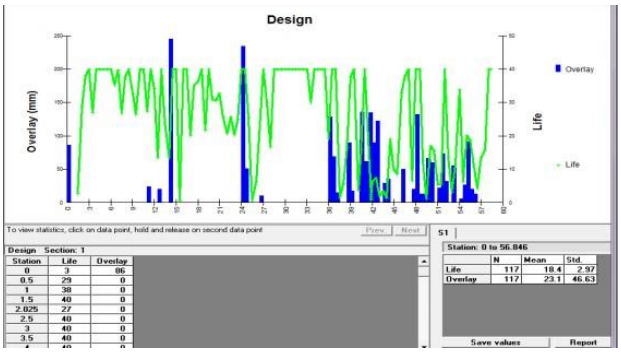

Fig. 2. Pavement thickness versus remaining life of a section of Ahvaz-Darkhoen Road

در برخی نقاط نمودار مشاهده می‌شود که هم عمر باقی‌مانده روسازی بسیار زیاد و هم ضخامت روکش موردنیاز زیاد است. که البته این امر نشان‌دهنده خطا در برداشت اطلاعات تغییر شکل (کاسه انحناء) توسط دستگاه FWD در تعداد معدودی از نقاط است و به همین منظور نقاط دارای خطای بالا از اطلاعات استفاده شده در این پژوهش حذف شدند.

٤- نتایج و تحلیل داده‌ها

۴-۱- اهداف

در راستای هدف پژوهش که بررسی همبستگی و اثر شاخص وضعیت روسازی، ترافیک عبوری، نوع توپوگرافی منطقه و شرایط جوی بر عمر باقی‌مانده روسازی راه بود، با در دست داشتن مجموعه اطلاعات ذکرشده فوق، همبستگی و سازگاری بین آن‌ها به روش رگرسیون خطی ارزیابی شد. برای تحلیل آماری مناسب که شامل توصیف داده‌ها، برآورد پارامترها، پیشگویی و کنترل داده‌ها است، از نرم‌افزار آماری Stata که دارای تحلیل‌های آماری است، استفاده شد.

۴-۲- بررسی اولیه داده‌ها

تعداد مشاهدات انجام‌شده شامل ١٤٦ قطعه‌راه بود که در آن ها آزمایش FWD و برداشت‌های PCI انجام‌گرفت. در این راستا متغیرهای اصلی به شکل موارد مندرج در جدول (۲) در مدل استفاده شدند.

جدول ۲. متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی

Variable	Definition
RSL	Remaining Dervice Life
ESAL	Equivalent Single Axle Loading
PCI	Pavement Condition Index
Topo	Topography
NRDY	Number of Rainy Days per Year

Table 2. Variables used in the model

اطلاعات این مشاهدات برای متغیرهای مختلف؛ شامل میانگین، خطای استاندارد، کمینه و بیشینه هر متغیر در جدول (۳) ارائه‌شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. خلاصه اطلاعات و مشاهدات متغیرهای مختلف

Vari.	Obser.	Average	Standard Deviation	Min	Max
RSL	146	32.5	10.4	2	40
PCI	146	86.8	8.53	58	97
ESAL	146	50.04	7.78	45	64
Topo.	146	0.92	0.26	0	1
NRDY	146	35.3	5.69	22	45

Table 3 Summary of the data and appearance of various variables

۴-۳- مدل رگرسیون پیش‌بینی عمر باقی‌مانده روسازی (RSL)

در ابتدا شکل توان دویی، حاصل‌ضربی و لگاریتمی متغیرها برای تحلیل رگرسیون در مدل قرار گرفتند. سپس با مدل‌سازی‌های متعدد و حذف متغیرهایی که دارای معنی‌داری کافی نبودند و انجام تست‌های آماری مختلف که شرح آن‌ها در ادامه آورده شده است، مدل نهایی انتخاب گردید. جدول (٤) مدل معنی‌داری متغیرها را نشان می‌دهد.

٤-٤- اعتبار سنجی مدل

چهار شرط اولیه زیر برای اثبات Unbiased بودن هر مدل رگرسیون خطی وجود دارد که در خصوص پروژه‌های بررسی شده در این پژوهش شرایط به شرح زیر است:

الف. خطی بودن پارامترها؛ که این شرط برقرار است.

ب) انتخاب نمونه‌ها به صورت تصادفی؛ که سه محور راه مختلف از بین شبکه راه کل کشور انتخاب‌شده پس این شرط نیز برقرار است.

پ) خطاها با متغیرهای مستقل همبستگی نداشته باشند؛ که این مسئله را می‌توان با توجه به جدول (۵) بررسی کرد. همان‌طور که از ستون خطای استاندارد ملاحظه می‌شود، همبستگی بین خطاها و متغیرهای مستقل وجود ندارد. بنابراین شرط سوم نیز تامین می‌شود. شرط آخر آن است که متغیرهای مستقل باهم رابطه دقیق نداشته باشند. با توجه به ضریب همبستگی بین متغیرهای مستقل، ملاحظه می‌شود که این رابطه دقیق وجود ندارد. بنابراین چهار شرط برای Unbiased شدن مدل وجود دارد. پس می‌توان نتیجه گرفت که مدل انتخاب شده Unbiased است.

جدول ٤. مدل رگرسیونی برآورد عمر باقی‌مانده روسازی

LnRSL	Coeff. Of Regression	Standard Error	T	P>T	Max	Min
LnPCI	13.458	4.291	3.14	0.002	21.944	4.973
ESAL-	0.01996-	0.0053	3.73-	0	0.0093-	0.0305
NRDY	0.02953	0.0056	5.23	0	0.0183-	0.0407
Topo-c-PCI	0.1402-	0.535	2.62	0.010	0.0344-	2460
Cons.-	42.369-	14.502	2.92-	0.004	٣٦٩13.696	71.043

Table 4. Regression model for estimating remaining service life of pavement

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٥. رابطه بین خطاها و متغیرهای مستقل

	Error	LnPCI	ESAL	NRDY	Topo-c-PCI
Eror	1				
LnPCI	0	1			
ESAL	0	0.66	1		
NRDY	٠	0.001	0.13	1	
Topo-c-PCI	٠	0.58	0.6	0.4	1

Table 5. Relationship between errors and independent variables

٤-٤-١- آزمون شاپیرو ویلک

یکی دیگر از مواردی که باید بررسی شود، چگونگی نرمال بودن توزیع خطاها است. با استفاده از آزمون شاپیرو ویلک، این مسئله بررسی شد. چنانچه توزیع خطاها نرمال نباشد، باید از آزمون لاگرانژ به منظور بررسی معنی‌دار بودن متغیرها استفاده شود.

جدول ٦ نتایج آزمون شاپیرو ویلک

Variable	Z	V	W	Observ.	Prob>z
Error	146	0.82	20.17	146	6.8

Prob > F	0		
R-squared	0.6672		
MS	Df	SS	Source
10.60	3	31.803	Model
0.111	142	15.86	Error
0.328	145	47.66	Total

Table 6. Shapiro-Wilk testing results

با توجه به جدول (٦) که مقدار p-value کمتر از 0/05 است، فرض صفر که نرمال بودن توزیع خطاها است رد می‌شود و بنابراین توزیع خطاها در سطح اطمینان 95 درصد نرمال نیست و باید از آزمون لاگرانژ به‌منظور بررسی معنی‌دار بودن متغیرها استفاده شود.

٤-٤-٢- آزمون لاگرانژ

این آزمون برای اثبات معنی‌داری متغیر بحرانی LnPCI کفایت می‌کند. در این قسمت مراحل انجام این آزمون در مورد متغیر LnPCI آورده شده است:

ابتدا مطابق جدول (٧) ضریب متغیر LnPCI صفر در نظر گرفته می‌شود و متغیر وابسته که همان LnRSL است بر روی دیگر متغیرهای مستقل باقی‌مانده مدل‌سازی رگرسیون می‌شود. خطای حاصل از این مدل با استفاده از نرم‌افزار Stata به دست آورده می‌شود و میزان خطای آن، خطای باقیمانده (Residual) نامیده می‌شود.

مطابق جدول (٧)، خطای باقیمانده روی همه متغیرهای مستقل، ازجمله متغیر LnPCI رگرسیون شده و R^2 این مدل به دست آورده می‌شود. تعداد نمونه‌ها را در R^2 مدل مرحله قبل ضرب و عددی که به دست می‌آید L نامیده می‌شود. عدد حاصل باید با مقدار C بحرانی مقایسه شود که این مقدار از جدول توزیع احتمال $2chi$ به دست آورده می‌شود. درصورتی‌که L از C بزرگ‌تر باشد، متغیر مربوطه معنی‌دار بوده و در غیر این صورت معنی‌دار نیست.

جدول ٧. مدل برآورد عمر باقیمانده (RSL) جهت آزمون لاگرانژ

Min	Max	P >T	T	Standard Error	Coeff. Of Regression	LnRSL
1.47	2.88	0	6.09	0.357	2.177	LnPCI
0.033-	0.014-	0	4.89	0.0048	0.0326	ESAL
0.054-	0.035	0	9.11	0.0049	0.0451	NRDY
7.015	0.095	0.044	2.03	1.75	3.555	CONS

Table 7. RSL estimation model for LaGrange test

www.SID.ir

Archive of SID

٤-٤-٣- آزمون براش-پاگان

آخرین مورد در مدل‌سازی، مربوط به وجود یا عدم وجود ناهمواری واریانس است که با آزمون براش-پاگان بررسی می‌شود. این مشکل وقتی پیش می‌آید که واریانس خطاها به ازای هرکدام از متغیرهای مستقل مقدار ثابتی نداشته باشد. در صورت بروز چنین مشکلی، می‌توان از روش robust inference استفاده نمود تا خطاهای مربوطه به کمترین ممکن رسیده و این مشکل برطرف شود (جدول ٨).

جدول ٨. آزمون براش-پاگان برای متغیرهای مستقل

F Parameter	Significance Level
10.24	0.0572

Table 8. Brush-Pagan test

طبق این آزمون که در جدول (٨) نشان داده شده است، در سطح معنی‌داری 95٪، فرضیه صفر رد می‌شود و مدل دارای ناهمواری واریانس است. به‌منظور رفع این مشکل از روش robust inference استفاده می‌شود که مدل با کمترین خطای استاندارد حاصل شود. مدل نهائی به صورت رابطه (٣) زیر خواهد شد.

$$LnRSL = 13.458\ (LnPCI) - 0.02\ (ESAL) - 0.0295(NRDY) - 0.1402(Topo - c - PCI) - 42.369 \quad (3)$$

٤-٥- تحلیل داده‌ها

٤-٥-١- تاثیر متغیرها

در مدل حاصل‌شده، مقدار Adj R-squared تقریباً 0.71 است. این بدین معنی است که متغیرهای مورداستفاده در مدل، 71 درصد از تغییرات متغیر RSL را توضیح می‌دهد. این مقدار Adj R-squared با توجه به پژوهش‌های پیشین و مدل‌های پیش‌بینی ساخته‌شده، از مقدار قابل‌قبولی برخوردار است. به‌منظور بررسی اثر هر یک از متغیرها به صورت جداگانه بر عمر باقیمانده روسازی، با استفاده از روابط ریاضی، تغییرات عمر باقیمانده روسازی نسبت به متغیرهای مستقل مطابق با روابط زیر به دست می‌آید؛ که در ادامه به تفسیر هر یک پرداخته‌شده است.

٤-٥-٢- تغییرات RSL به‌واسطه تغییر در شاخص PCI

در شکل‌های (٣ و ٤) نیز تغییرات عمر باقی‌مانده روسازی (ΔRSL) به‌واسطه تغییر در شاخص PCI، به ترتیب برای دو نوع توپوگرافی کوهستانی –هموار و توپوگرافی هموار-کفی ترسیم شده است. همچنین با توجه به شکل‌های فوق می‌توان به این موضوع پی برد که تغییرات عمر باقی‌مانده روسازی نسبت به تغییرات شاخص وضعیت روسازی، وابسته به نوع توپوگرافی منطقه است.

شکل ٣ تغییرات عمر باقی‌مانده در مقابل تغییرات PCI برای جاده‌های با توپوگرافی کوهستانی-هموار

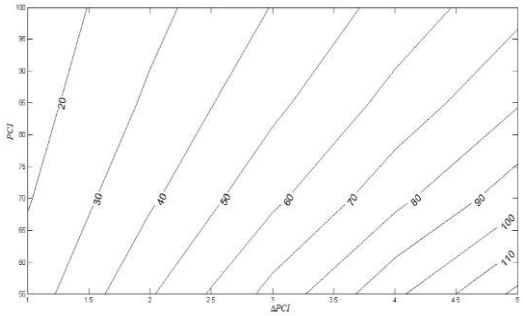

Fig 3. Remaining Service Life versus changes in PCI in roads in hilly topography

شکل ٤. تغییرات عمر باقی‌مانده در مقابل تغییرات PCI برای جاده‌های با توپوگرافی کفی-هموار

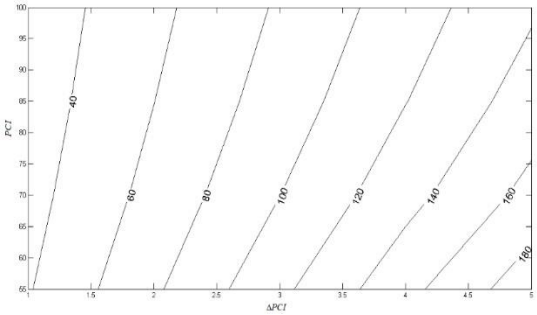

Fig. 4. Remaining life versus changes in PCI in roads in flat topography

از طرفی با توجه به بیشتر بودن درصد تغییرات عمر باقی‌مانده روسازی در نمودار توپوگرافی "هموار-کفی"، نسبت به نمودار توپوگرافی "کوهستانی-هموار"، به‌واسطه تغییر یکسان

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص وضعیت روسازی، می‌توان نتیجه گرفت که در توپوگرافی‌های "هموار–کفی" میزان تأثیر تغییرات شاخص PCI بر تغییرات عمر باقی‌مانده روسازی بیشتر از حالت توپوگرافی "کوهستانی–هموار" است.

۴-۵-۳- تغییرات RSL به‌واسطه تغییر در ترافیک عبوری

با توجه به مدل ارائه‌شده رابطه (۳)، رابطه (٤) تغییرات عمر باقیمانده روسازی (ΔRSL) به‌واسطه تغییر در ترافیک عبوری را نشان می‌دهد.

$$\%\Delta RSL = 100 \times (-0.0199)\Delta ESAL \qquad (4)$$

در شکل(۵) نیز تغییرات عمر باقی مانده روسازی(ΔRSL) به‌واسطه تغییر در ESAL ترسیم‌شده است. از رابطه (٤) و شکل (۵) می‌توان به این موضوع پی برد که تغییرات عمر باقی‌مانده به‌واسطه تغییر در ESAL قابل‌ملاحظه است. از طرفی باهم رابطه عکس‌دارند.

شکل ۵. تغییرات عمر باقی‌مانده روسازی (ΔRSL) در اثر تغییرات ESAL

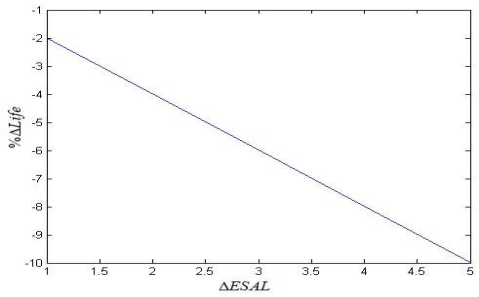

Fig. 5. Pavement remaining life versus changes in ESAL

5 – نتیجه‌گیری

پس از تحلیل و پردازش اطلاعات و انجام آزمون‌های آماری مختلف، مدلی کارآمد بااعتبار پیش‌بینی بالا ساخته شد. در روند ساخت و اجرای مدل، نتایج ذیل به دست آمد:

با توجه به سطح معنی‌داری متغیرهای مختلف در مدل‌های متعدد ساخته‌شده، از میان متغیرهای ورودی با اشکال مختلف، متغیرهای مستقل شامل: شاخص وضعیت روسازی، ترافیک عبوری، توپوگرافی منطقه و تعداد روزهای بارانی سال بیشترین تأثیر را بر عمر باقی‌مانده روسازی راه دارند.

تغییرات عمر باقی‌مانده روسازی نسبت به تغییرات شاخص وضعیت روسازی، وابسته به توپوگرافی منطقه است.

از بررسی تاثیر وضعیت توپوگراقی جاده، اینگونه نتیجه شد که در توپوگرافی‌های هموار–کفی، میزان تأثیر تغییرات شاخص PCI بر تغییرات RSL بیشتر از حالت توپوگرافی کوهستانی– هموار است.

با توجه به رابطه ٤، تغییرات RSL به واسطه تغییر در ESAL قابل‌ملاحظه است و باهم رابطه عکس‌دارند.

در مدل ساخته‌شده، Adj R-squared تقریباً 0.71 است. این بدین معنی است که متغیرهای مورداستفاده در مدل، 71 درصد از تغییرات متغیر RSL را توضیح می‌دهد.

6- مراجع References

[1] Shahin,m.y, ”pavement management for airports, roads and Parking lots” ,chapman and hall, new York, 1994.

[2] Chaitanya Kumar Balla “prediction of remaining service life pavements” the University of Toledo august 2010.

[3] Ainalem Nega, Hamid Nikraz and Imad l. Al-qadi “dynamic analysis of falling Weight deflectometer” j. Traffic transp. Eng. (engl. Ed.) 2016; 3 (5): 427e437 2016.

[4] Ary setyawan et al. “predicting the remaining service life of road using pavement condition Index. “The 5th international conference of euro asia civil engineering forum (eacef-5) 2015.

[5] Arhin, s. A., & noel, e. C. (2014). Predicting pavement condition index from international roughness index in Washington, dc (no.ddot-rdt-14-03).

[6] Peng, b., l. Hu, y. Jiang “research relationship between riding quality and pavement distress of Asphalt pavement.” Applied mechanics and materials 178-.181.2102

[7] Shahnazri, Habib, Mohammad a.Tutunchain."Application of soft Computing for prediction of pavement condition index." accessed September 2/2013.

[8] Richard w. Miller and et al. “comparison of image-based distress survey results with manual Distress surveys for transverse cracking” Washington,, 2003.

www.SID.ir

Archive of SID

Prediction model of remaining service life of pavements using effective parameters

A.Kavussi[1]*, S. Shahdadi[2]

1- Professor, Highway Group, Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- M.Sc. Student, Highway Group, Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

kavussia@modares.ac.ir

Abstract:
A number of pavement condition assessment methods are used to perform pavement condition evaluation. Two of the most widely used methods are determination of "International Roughness Index (IRI)" and "Pavement Condition Index (PCI)" parameters. IRI is measured on roads using specific equipment that determine road roughness. In contrast, PCI is based on subjective rating of a number of pavement distresses. Road pavement structures very often could not reach their design service life as a result of several parameters affecting their performance. PCI decreases as a result of increased traffic loading. Aside from the impact of traffic loading, many other factors cause damage to pavements; namely, low construction quality, poor maintenance, flooding and water scouring. As a result of many factors causing damage to roads, road serviceability age uncertainties arise, so that the remaining life of a pavement service life will be difficult to predict.

Determining the structural capacity and surface pavement condition of pavements play important roles in pavement evaluation. With this regard, it is important to find relationship between surface characteristics and structural capacity of pavements. Therefore, finding a reliable model for surface characteristics and structural capacity will be beneficial. Structural evaluation of pavements is carried out by non-destructive testing. FWD is one of the most important non-destructive testing of pavements, although performing that is costly and time-consuming. On the other hand, the remaining service life of pavements is one of the most important parameters for the structural assessment of pavements. This is essential for assessment of requirements, maintenance and rehabilitation, prioritization and budgeting purposes. The lack of precise evaluation of remaining service life of pavements is a crucial issue. In addition, lack of a proper performance prediction model is a major barrier to predict the remaining service life of pavements. The combined analysis of FWD testing results and PCI measurements can be known as an appropriate solution for determining RSL. With selecting a series of independent variables reliable correlation was found between RSL and independent variables. RSL can be used with other indexes and parameters that make their data capturing easier and less costly. In addition, using this model enabled finding correlation and interaction between different variables.

Key words: pavement remaining service life, pavement condition index, correlation, model

www.SID.ir