

تعیین منحنی عملکرد روسازی با استفاده از مطالعه موردی

فریدون مقدس نژاد^۱، رضا مسکنی^۲، رضا ایمانی نسب^{۳*}

۱- دانشیار دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- دانشجوی دکتری دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

imany_reza@civileng.iust.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۳/۶/۲۶]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۲/۱۰/۱۵]

چکیده- به منظور آگاهی از شرایط روسازی در طول سال‌های متمادی برای قطعه‌های متفاوت شبکه راه، ضروری است نرخ تغییر کیفیت روسازی در اثر عواملی مانند عبور ترافیک، شرایط جوی، نوع روسازی و ضخامت آن، بر اساس شاخص‌های بیان‌کننده وضعیت روسازی تخمین زده شود. مطالعات زیادی در کشورهای توسعه یافته انجام شده است که نتایج آن‌ها معمولاً به صورت منحنی‌های عملکرد ارائه می‌شود. در این منحنی‌ها تغییرات شاخص بیان‌کننده وضعیت روسازی راه در اثر گذشت زمان رسم می‌شود. منحنی عملکرد به طور قابل توجهی به تصمیم‌گیرندگان برنامه‌های تعمیر و نگهداری راه‌ها برای کاهش هزینه‌ها با تعیین زمان صحیح انجام عملیات تعمیر و نگهداری، عمر باقی‌مانده روسازی و در نهایت بهبود کیفیت روسازی شبکه راه‌ها کمک خواهد کرد. در این مقاله اطلاعات خرابی به صورت چشمی از چند قطعه راه دارای شرایط مشابه در شهر تهران و سبزوار جمع‌آوری شد. آنگاه کیفیت روسازی آسفالتی بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده و با محاسبه شاخص وضعیت روسازی برای این دو شهر، تعیین شد. در نهایت منحنی عملکرد که نشان‌دهنده تغییرات کیفیت روسازی راه در طول عمر آن بود، با به کارگیری چندین تابع برازش متداول ترسیم شد. منحنی چندجمله‌ای درجه یک برای منحنی عملکرد شهر تهران و شهر سبزوار بر اساس دو پارامتر مجموع مربعات باقی‌مانده اصلاح شده و مجذور متوسط مربعات خطا، مناسب تشخیص داده شد. نتایج نشان می‌دهد اگر کمینه سطح مطلوب شاخص وضعیت روسازی برابر ۴۰ فرض شود، عمر مفید روسازی‌های منطقه یک تهران و سبزوار به ترتیب ۷/۶ و ۱۱/۵ سال خواهد بود.

واژگان کلیدی: مدل رفتار روسازی؛ منحنی عملکرد؛ شاخص وضعیت روسازی.

۱- مقدمه

بهبود دسترسی‌ها، راحتی بیشتر کاربران جاده و ساختن راه‌های جدید، یکی از سیاست‌های سازمان‌های متولی راه‌ها در کشورهای مختلف به شمار می‌آید. گسترده‌تر شدن شبکه راه‌ها و نیاز به اجرای عملیات تعمیر و نگهداری از یک سو و منابع محدود مالی از سوی دیگر، تمایل به گسترش روش‌های مدیریتی بهینه در حوزه تخصیص منابع ساخت و نگهداری راه‌ها را افزایش داده است. اجزاء مرتبط با روسازی در این روش‌ها سیستم مدیریت روسازی^۱ نام دارد [۱]. به کارگیری این سیستم در تصمیم‌گیری‌های مربوط به برنامه‌های تعمیر و نگهداری راه‌ها، در کشورهای توسعه‌یافته و برخی کشورهای در حال توسعه رو به گسترش است. سیستم

مدیریت روسازی (PMS) نیاز به پایگاه داده کامل و صحیح دارد [۲] که این در کشورهای در حال توسعه در مراحل شکل‌گیری است و هنوز به سطح قابل قبول خود نرسیده است. یکی از سؤالاتی که تصمیم‌گیرندگان برنامه‌های تعمیر و نگهداری راه‌ها با آن مواجه‌اند، رفتار عملکرد روسازی‌ها در طول سال‌های متمادی در کشورهاشان است. سیستم مدیریت روسازی جواب این سؤال را با ارائه منحنی عملکرد، می‌دهد. پیش‌بینی مقادیر مشخصه‌های مختلف مانند وضعیت، خرابی و عملکرد سازه‌های روسازی‌ها با استفاده از منحنی‌های عملکرد انجام می‌گیرد. از دیگر کاربردهای منحنی عملکرد تعیین عمر باقی‌مانده روسازی است [۲]. هنوز در ایران اطلاعات کافی در مورد خرابی‌های روسازی در سال‌های متمادی در دسترس نیست. بنابراین طبق تعریف موجود، امکان

همچنین رابطه (۲) یک نمونه از مدل منحنی عملکرد برای شاخص ترک خوردگی خستگی^۸ را نشان می‌دهد [۵].

$$FCI = 100 - 0.11726 * Age^{2.2} \quad (۲)$$

که در آن شاخص ترک خستگی است.

در پژوهشی دیگر چن^۹ و ونگدی^{۱۰} یک مدل تابع نمایی پیش‌بینی شده که کاملاً مشابه مدل داکوتای جنوبی بود، توسعه دادند [۶]. همچنین در پژوهشی که پروزی^{۱۱} و مدانت^{۱۲} در آمریکا با داده‌های آزمایش اشتو انجام دادند یک تابع نمایی با متغیر مستقل ترافیک تجمعی و متغیر وابسته شاخص خدمت‌دهی توسعه داده شده است [۷].

در اوکلاهاما خانواده‌های روسازی بر اساس نوع روسازی، حجم ترافیک و حد نهایی مورد قبول منحنی عملکرد دسته‌بندی می‌شوند. بخش حمل و نقل این ایالت مدل پیش‌بینی عملکردی را برای هر خانواده روسازی با به کارگیری روش‌های رگرسیون و ترسیم شاخص وضعیت در مقابل عمر ارائه می‌دهد [۸]. برای نمونه در سامانه مدیریت روسازی فرودگاه اوکلاهاما با در نظر گرفتن چند شرط مرزی برای مدل‌سازی، یک تابع چندجمله‌ای برای پیش‌بینی وضعیت روسازی ارائه شده که به صورت زیر است:

$$PCI = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_5 x^5 \quad (۳)$$

که، a_i پارامترهای چندجمله‌ای و x عمر روسازی است [۹].

ارامبلا و همکاران^{۱۳} [۱۰] در پژوهش خود برای ارائه مدلی به منظور پیش‌بینی عملکرد روسازی بزرگراه‌های ایالت مریلند از شاخص ناهمواری بین‌المللی^{۱۴} کمک گرفته‌اند. محاسبه این شاخص با استفاده از پایگاه داده جمع‌آوری شده به وسیله‌ی اداره بزرگراه‌های ایالت مریلند^{۱۵} صورت گرفت و در پایان با رگرسیون انواع توابع چندجمله‌ای درجه ۳ تا درجه ۵ بین شاخص IRI و عمر روسازی ارائه کرده‌اند. رابطه کلی به صورت رابطه (۴) است:

$$IRI = c_0 + c_1 * Age + c_2 * Age^2 + c_3 * Age^3 + c_4 * Age^4 + c_5 * Age^5 \quad (۴)$$

رسم منحنی عملکرد برای یک روسازی خاص در طول دوره تحلیل (طول عمر) وجود ندارد. با وجود این محدودیت، در این مقاله به کمک نظر گروهی از متخصصان مدیریت روسازی و با انجام بازدید میدانی، جمع‌آوری اطلاعات خرابی‌های روسازی چند خیابان مشخص از منطقه یک شهر تهران (درون شهری) و نیز چند خیابان از شهر سبزوار (درون شهری) انجام شد. قطعات در هر شهر دارای شرایط یکسان ترافیکی، آب و هوایی، روسازی و زیرسازی بوده ولی دارای عمرهای متفاوت‌اند. در پایان با رسم منحنی عملکرد به صورت جداگانه برای هر دو شهر، آن‌ها نیز با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۲- مرور کارهای قبلی

شاخص‌های متفاوتی برای توصیف وضعیت روسازی استفاده می‌شود که می‌توان به شاخص وضعیت روسازی^۱ (PCI)، شاخص سرویس‌دهی فعلی^۲ (PSI)، شاخص بین‌المللی ناهمواری^۳ (IRI)، درجه خدمت‌دهی فعلی^۴ (PSR) و شاخص کیفیت رانندگی^۵ (RQI) اشاره کرد [۳].

در پژوهش‌های مشابه در زمینه تهیه منحنی عملکرد، معمولاً شاخص وضعیت روسازی ملاک ارزیابی عملکرد روسازی قرار گرفته است. در این شاخص از ضرایب کاهندگی استفاده می‌شود. این ضرایب اثر هر یک از خرابی‌ها را بر وضعیت روسازی اعمال می‌کند [۴]. در داکوتای جنوبی^۶ برای محاسبه شاخص PCI از ضرایب کاهندگی^۷ اصلاح شده استفاده شد. در پژوهش گفته شده برای هر خرابی یک مدل با ماهیت تابع نمایی توسعه داده شده است که به صورت رابطه (۱) بیان می‌شود [۵]:

$$PCI = a + b * Age^c \quad (۱)$$

که در آن، PCI شاخص وضعیت روسازی، a حداکثر مقدار شاخص، b ضریب شیب منحنی، Age عمر روسازی برحسب سال و c ضریب توان برای هر منحنی است.

8Fatigue Cracking Index

9Chen

10Wangdi

11Prozzi

12Madanat

13Arambula et al.

14International Roughness Index

15Maryland State Highway Administration

1 Pavement Condition Index

2 Present Serviceability Index

3 International Roughness Index

4 Present Serviceability Rating

5 Riding Quality Index

6South Dakota

7Deduct Weighting Values

یک بازدید اولیه میدانی از قطعات و برای توصیف کامل قطعات انجام گرفت. شکل‌گیری هر کدام از این خرابی‌ها ناشی از ترافیک، شرایط جوی یا ترکیبی از هر دو است. قطعات از بین خیابان‌های درون‌شهری منطقه یک شهر تهران و شهر سبزواری انتخاب شد. تمامی روسازی‌های منطقه یک تهران روکش‌های با عمر کمتر از ۵ سال و با حجم ترافیک بالا است. این در حالی است که روسازی‌های شهر سبزواری، روسازی‌های اولیه بدون روکش بوده که حجم ترافیکی متوسط از روی آن‌ها عبور می‌کند. این تفاوت دو خانواده روسازی مجزا را تشکیل می‌دهد که در بررسی منحنی عملکردی روسازی‌ها مدنظر قرار گرفته شده است.

به منظور دستیابی به مدل رفتار روسازی، باید منحنی عملکرد روسازی رسم شود. یکی از کاربردهای این منحنی تعیین عمر باقی‌مانده روسازی است.

۴- روش تحقیق

همان‌گونه که اشاره شد خرابی‌ها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که به طور کامل قطعات انتخابی را توصیف کنند. هر کدام از این خرابی‌ها دارای سه سطح شدت کم، متوسط و بالا هستند. ۹ قطعه در تهران و ۳۰ قطعه در سبزواری انتخاب شد. ترافیک قطعات انتخاب شده در تهران به مراتب بیشتر از قطعات سبزواری است و می‌توان گفت هیچ‌گونه شباهتی بین ویژگی‌های روسازی این دو شهر وجود ندارد زیرا روسازی‌ها در سبزواری برای شرایط آب و هوایی گرم و خشک و ترافیک متوسط طرح شده‌اند و بدون روکش هستند در حالی که روسازی‌های منطقه یک تهران برای شرایط آب و هوایی سردسیری و ترافیک بالا طرح شده و چندین بار روکش شده‌اند. این روکش‌ها دارای ضخامتی در حدود ۷ سانتی‌متر است.

همچنین لازم به ذکر است که عمر و طول روسازی قطعات انتخابی و با هم متفاوت است. خرابی‌های قطعات تهران از دو باند انتهایی سمت چپ راه (باند سبقت و باند وسط) و خرابی‌های قطعات سبزواری فقط از باند سبقت و به صورت چشمی برداشت شد. نمونه فرم برداشت خرابی مشابه فرم‌های موجود در کتاب مدیریت روسازی راه‌ها، فرودگاه و پارک‌سوارهای آقای شهین [۴] طراحی شد که نمونه‌ای از آن در جدول (۱) آورده شده است.

C_0 عرض از مبدأ و C_1 تا C_5 ضرایب رگرسیون است. بخش حمل و نقل مینسوتا^۱ مدل‌های پیش‌بینی را بر اساس شاخص کیفیت رانندگی (RQI) و با استفاده از یکی از معادلات خطی، چند جمله‌ای درجه ۳ و سیگموییدی گسترش داد. روابط (۵)، (۶) و (۷) این مدل‌های پیش‌بینی است [۱۱]:

$$RQI = a + b * Age \quad (5)$$

$$RQI = a + b * Age + c * Age^2 + d * Age^3 \quad (6)$$

$$RQI = a - \Delta RQI * e^{-\left(\frac{\rho}{Age}\right)^\beta} \quad (7)$$

که در آن a ، b ، c ، d ، ρ و β ضرایب پیش‌بینی است. در ابتدا مدل خطی برای تمامی RQI استفاده می‌شود. چنانچه ضریب همبستگی که با مربع آر شناخته می‌شود، باشد آنگاه مدل خطی با حذف داده‌های پرت و یا دو مدل دیگر به کار گرفته می‌شود [۱۱].

بخش حمل و نقل داکوتای شمالی^۲ برای هر خانواده روسازی مدلی بر اساس زمان گسترش داد. این خانواده‌ها بر اساس نوع روسازی تشکیل شدند. به طور نمونه پیش‌بینی تأثیر روکش سازه‌ای و روکش نازک بر روی حفظ مقدار شاخص IRI برای آسفالت تمام عمق در غالب منحنی عملکرد نسبت زمان ارائه شد [۸].

۳- هدف و دامنه کاری

هدف این مقاله مدل کردن رفتار روسازی به وسیله‌ی یک شاخص بیان‌کننده وضعیت روسازی درون شهری در گذشت زمان برای دو شهر تهران (منطقه یک) و سبزواری است. از بین شاخص‌های معمول در مدیریت و نگهداری راه‌ها، شاخص PCI که بیشتر در راه‌های درون شهری و فرودگاه‌ها کاربرد دارد، انتخاب شده است.

در برداشت میدانی خرابی روسازی، تنها ۶ نوع از خرابی‌های روسازی‌های آسفالتی شامل موج‌زدگی^۳، ترک پوست سوسماری^۴، وصله و کنده‌کاری^۵، ترک خوردگی طولی و عرضی^۶، شن‌زدگی و هوازگی^۷ و چاله^۸ استفاده شده است. انتخاب این خرابی‌ها پس از

1Minnesota Department of Transportation
2North Dakota Department of Transportation
3Corrugation
4Alligator Cracking
5Patching and Utility Cut Paching
6Longitudinal and Transvers Cracking
7Weathering/Ravelling
8Pathole

۵- شرح پژوهش

چون منحنی عملکرد به تصمیم‌گیرندگان برنامه‌های تعمیر و نگهداری در پیش بینی شرایط آینده روسازی کمک می‌کند، پس دارای اهمیت ویژه‌ای است. منحنی عملکرد بر اساس ترافیک، نوع روسازی و زیرسازی، شرایط آب و هوایی، طبقه و درجه راه متفاوت است. بنابراین برای شبکه راه‌های یک کشور چندین منحنی عملکرد وجود خواهد داشت. در این مقاله اطلاعات ۶ نوع خرابی روسازی از چندین قطعه راه دارای شرایط یکسان ترافیکی، نوع روسازی و زیرسازی، شرایط آب و هوایی، طبقه و درجه راه با عمر متفاوت در تهران و سبزواری برداشت شد. با در نظر گرفتن تمام عوامل بالا، در نهایت تعداد ۳۹ قطعه برای دو شهر مورد بررسی قرار گرفت. از آنجا که عمر قطعات مربوط به منطقه یک تهران بین ۰ (روسازی نو) تا ۵ سال و عمر قطعات سبزواری بین ۰ تا ۱۶ متغیر است، بنابراین بعضی از قطعات دارای عمر مشابه هستند. تعداد قطعات انتخابی سبزواری متناظر با هر عمر خاص، سه عدد انتخاب شد.

در این پژوهش به دلیل کمبود اطلاعات خیابان‌ها، طول هر خیابان از سبزواری به سه قسمت تقریباً مساوی تقسیم شده و سپس برداشت خرابی صورت گرفت. در منطقه یک تهران نیز مشابه سبزواری تمام طول هر خیابان برداشت شد ولی به دلیل تفاوت طول آنها، تعداد قطعات نیز متفاوت است. در شکل (۲) قطعات انتخابی برای منطقه یک شهر تهران مشخص شده است.

یکی دیگر از محدودیت‌های این پژوهش نبود اطلاعات مستند برای روسازی‌های ۸ تا ۱۱ ساله در سبزواری و ۴ ساله در منطقه یک تهران است.

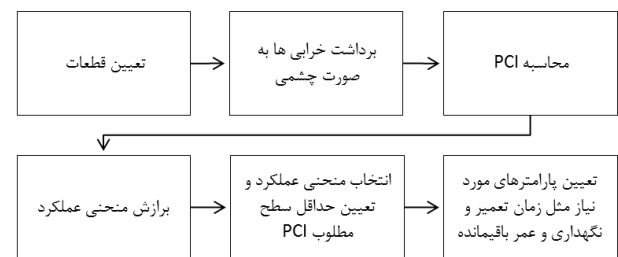
برای محاسبه PCI کل از ضریب وزنی مساحت قطعات استفاده می‌شود. نمونه‌ای از محاسبه PCI کل برای یک عمر معین از شهر سبزواری در زیر آورده شده است. با احتساب این ضرایب وزنی قطعات با مساحت بیشتر دارای اثرگذاری بیشتری بر مقدار PCI کل خواهند داشت. برای محاسبه PCI از نرم‌افزار مایکروپیور استفاده شده است. مشخصات هر قطعه از جمله مقدار PCI محاسبه شده به تفکیک شهر در جداول (۲) و (۳) آورده شده است.

نمونه محاسبه PCI کل برای قطعات با عمر ۲ سال از شهر سبزواری در زیر نشان داده شده است.

محاسبه شاخص PCI با کمک نرم‌افزار مایکروپیور^۱ انجام شد. این نرم‌افزار به وسیله‌ی گروه مهندسی ارتش ایالات متحده آمریکا^۲، مرکز تحقیق و توسعه مهندسی^۳، آزمایشگاه تحقیقاتی مهندسی ساخت^۴ و با کمک آقای عبدالله شهین در سال ۲۰۰۴ توسعه یافت [۴]. بعد از محاسبه شاخص PCI هر یک از قطعات، برای برآزش منحنی عملکرد، از نرم‌افزار تخصصی آماری SPSS^۵ استفاده شد. شکل (۱) روش پژوهش را به صورت مرحله‌ای نشان می‌دهد.

جدول (۱) نمونه فرم برداشت خرابی [۱]

آدرس قطعه:	عرض (متر):
عمر (سال):	طول (متر):
تاریخ:	مشخصات خرابی:
طول (متر):	۱- موج زدگی (متر) ۲- ترک طولی و عرضی (متر) (۵- چاله (عدد) ۳- ترک پوست سوسماری (متر مربع) (۶- شن زدگی و هوا زدگی (متر مربع)
شدت خرابی: کم (L) متوسط (M) بالا (H)	
نام و شدت خرابی	وسعت خرابی کل



شکل (۱) روش تحقیق

- 1Micro Paver
- 2U.S. Army Corps of Engineers
- 3Engineer Research and Development Center (ERDC)
- 4Construction Engineering Research Laboratory (CERL)
- 5Statistical Product and Service Solutions

چه مقدار R^2_{Adj} به عدد یک نزدیک تر و مقدار RMSE به صفر نزدیک تر باشد منحنی برازش شده بهتر داده‌ها را توصیف می‌کند. هر کدام از منحنی‌ها جداگانه در شکل‌های (۳) و (۴) آمده است.

$$PCI_{بی} = \frac{83 \times 3 \times 80 + 100 \times 3 \times 85 + 100 \times 3 \times 88}{83 \times 3 + 100 \times 3 + 100 \times 3} = 85$$



شکل (۲) پلان قطعات انتخابی منطقه یک تهران

جدول (۳) مشخصات قطعات انتخابی شهر سبزوار

مشخصات				PCI	
شماره قطعه	عمر (سال)	طول نمونه (متر)	عرض نمونه (متر)	قطعه	کل
۱	۰	۲۵۰	۳/۲	۱۰۰	۱۰۰
۲		۲۵۰	۳/۲	۱۰۰	
۳		۲۵۰	۳/۲	۱۰۰	
۴	۱	۱۵۰	۳/۶۵	۶۴	۷۷
۵		۱۵۰	۳/۶۵	۸۹	
۶		۱۰۰	۳/۶۵	۸۰	
۷	۲	۸۳	۳	۸۰	۸۵
۸		۱۰۰	۳	۸۵	
۹		۱۰۰	۳	۸۸	
۱۰	۳	۱۰۰	۳/۶۵	۷۷	۷۷
۱۱		۱۲۵	۳/۶۵	۷۶	
۱۲		۱۰۰	۳/۶۵	۷۷	
۱۳	۵/۵	۸۳	۳/۶۵	۶۹	۷۴
۱۴		۱۰۰	۳/۶۵	۸۰	
۱۵		۱۰۰	۳/۶۵	۷۲	
۱۶	۷	۱۰۰	۲/۷	۷۰	۷۲
۱۷		۱۰۰	۲/۸	۷۹	
۱۸		۱۰۰	۲/۶	۶۶	
۱۹	۱۲	۱۲۵	۳/۲	۲۸	۲۴
۲۰		۱۰۰	۳/۲	۱۶	
۲۱		۱۲۵	۳/۲	۲۷	
۲۲	۱۳	۱۰۰	۳/۶۵	۱۰	۱۳
۲۳		۱۱۰	۳/۶۵	۱۳	
۲۴		۱۱۰	۳/۶۵	۱۶	
۲۵	۱۴	۱۰۰	۳	۶	۱۱
۲۶		۱۰۰	۳	۱۳	
۲۷		۱۵۰	۳	۱۳	
۲۸	۱۶	۱۰۰	۳/۶۵	۲۰	۳۰
۲۹		۱۰۰	۳/۶۵	۳۰	
۳۰		۱۰۰	۳/۶۵	۴۰	

جدول (۲) مشخصات قطعات انتخابی شهر تهران

مشخصات				PCI	
شماره قطعه	عمر (سال)	طول نمونه (متر)	عرض نمونه (متر)	قطعه	کل
۱	۰	۶۷۰	۷	۹۹	۱۰۰
۲		۶۵۰	۷	۱۰۰	
۳	۱	۲۵۰	۷	۹۵	۹۵
۴	۲	۲۴۸	۷	۹۲	
۵		۳۳۵	۷	۸۷	۷۹
۶	۳	۴۳۰	۷	۷۹	
۷	۵	۴۲۵	۷	۵۴	
۸		۲۵۵	۷	۶۳	
۹		۳۳۰	۷	۶۸	

۶- نتایج

برای برازش بهترین منحنی عملکرد از نرم‌افزار تخصصی آماری SPSS کمک گرفته شده است. در این قسمت چندین منحنی برازش می‌شود که می‌توان به خطی، نمایی، تابع درجه ۲ و درجه ۳ اشاره کرد. انتخاب بهترین منحنی عملکرد بر اساس معیار ارزیابی آماری مربع آر اصلاح شده^۱، مجذور میانگین مربع خطا^۲ و آزمون F با روش تحلیل واریانس^۳ انجام می‌شود. مقادیر پارامترهای فوق برای هر منحنی برازش شده در جداول (۴) و (۵) آمده است. سطح اطمینان ۹۵٪ فرض شده است. هر

- 1 Adjusted R Square (R2Adj)
- 2 Root Mean Square Error (RMSE)
- 3 Analysis of variance (ANOVA)

چون منحنی خطی اختلاف ناچیزی در R^2_{Adj} و RMSE با منحنی درجه دو دارد و نیز برای ساده بودن مدل، منحنی خطی برای منطقه یک شهر تهران انتخاب می‌شود. برای سبزووار از بین دو منحنی خطی و نمایی، منحنی خطی دارای R^2_{Adj} بزرگ‌تر ولی از طرف دیگر RMSE آن بیشتر است. بنابراین مشابه تهران برای ساده شدن، منحنی خطی برای سبزووار انتخاب شده است.

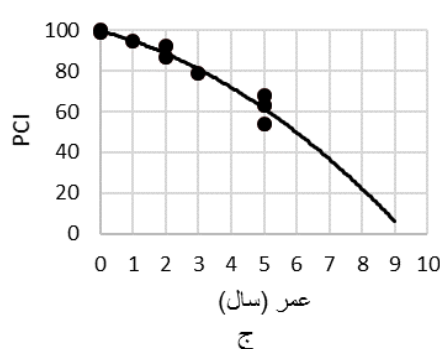
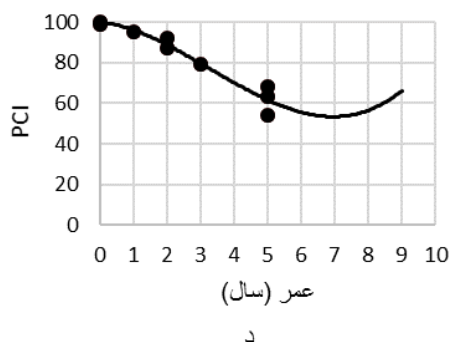
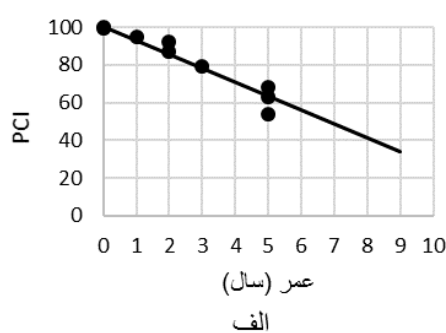
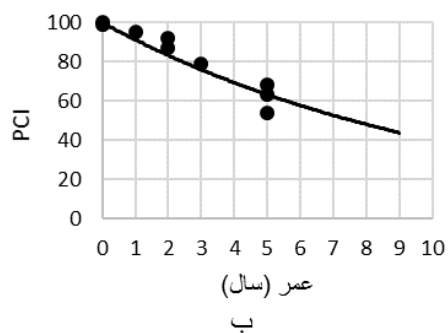
همان گونه که انتظار می‌رود، با افزایش عمر روسازی باید PCI کاهش یافته و از نظر آماری بهتر است که ضرایب متغیر مستقل (عمر یا سال) در مدل مقداری منفی باشند. به همین علت تابع درجه ۳ از منطقه یک شهر تهران و نیز توابع درجه ۲ و ۳ از سری منحنی - های عملکردی شهر سبزووار حذف می‌شوند. با مقایسه سایر منحنی - های تهران، منحنی درجه دو بیش‌ترین مقدار R^2_{Adj} را دارد ولی

جدول (۴) ارزیابی منحنی‌های برازش شده برای تهران

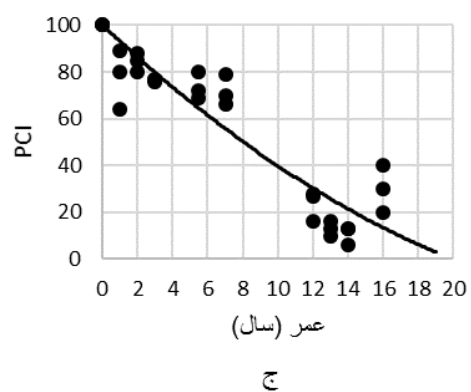
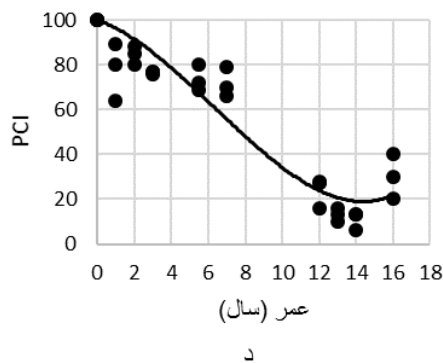
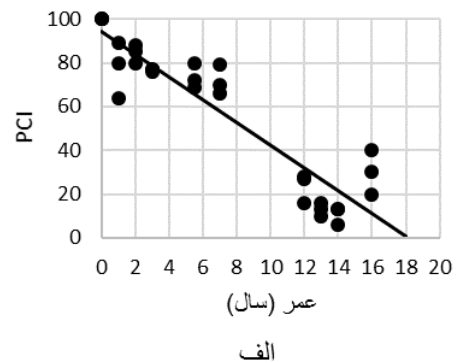
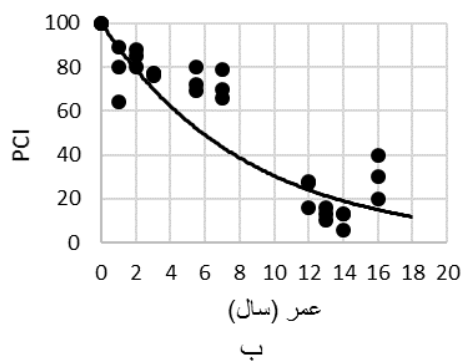
تابع	رابطه منحنی برازش شده	R^2_{Adj}	RMSE	F_{CAL}	F_{CRI}
خطی	$PCI = -7.844 \times (YEAR) + 100$	۰/۸۸	۴/۶۴	۹۷/۵۰۷	۵/۵۹
نمایی	$PCI = 100e^{-(0.101 \times YEAR)}$	۰/۸۴	۰/۰۸	۵۹/۸۷۶	۵/۵۹
درجه ۲	$PCI = -0.689(YEAR)^2 - 4.195(YEAR) + 100$	۰/۹۲	۴/۴۶	۵۳/۷۴۹	۵/۱۴
درجه ۳	$PCI = 0.276(YEAR)^3 - 2.692(YEAR)^2 - 0.978(YEAR) + 100$	۰/۹۲	۴/۸۱	۳۰/۷۸۲	۵/۴۱

جدول (۵) ارزیابی منحنی‌های برازش شده برای سبزووار

تابع	رابطه منحنی برازش شده	R^2_{Adj}	RMSE	F_{CAL}	F_{CRI}
خطی	$PCI = -5.221(YEAR) + 100$	۰/۸۵	۱۲/۳۹	۱۶۹/۴۱	۴/۲
نمایی	$PCI = 100e^{-(0.136 \times YEAR)}$	۰/۷۳	۰/۴۴	۷۷/۷۷	۳/۳۵
درجه ۲	$PCI = 0.037(YEAR)^2 - 5.8(YEAR) + 100$	۰/۸۵	۱۲/۵۹	۸۲/۰۷	۲/۹۸
درجه ۳	$PCI = 0.068(YEAR)^3 - 1.556(YEAR)^2 + 3.541(YEAR) + 100$	۰/۸۹	۱۰/۶۵	۸۰/۳۶	۴/۲



شکل (۳) منحنی‌های برازش شده برای تهران - الف) خطی ب) نمایی ج) درجه دو د) درجه سه



شکل (۴) منحنی‌های برازش شده برای سبزوار- (الف خطی ب) نمایی ج) درجه دو د) درجه سه

و سپس چندین منحنی عملکرد روسازی متفاوت برازش شد. نتایج به دست آمده به شرح زیر است:

- منحنی خطی برای مدل رفتار روسازی‌های منطقه یک شهر تهران و سبزوار انتخاب شد. این کار تاکنون برای سایر مناطق ایران انجام نشده است.

- این منحنی‌ها فقط برای شرایط آب و هوایی و ترافیکی این شهرها مناسب بوده و با تغییر شرایط یاد شده و یا برای شاخص‌های دیگر ارزیابی روسازی (مثل شاخص ناهمواری بین‌المللی) مناسب نیستند.

- اگر کمینه سطح مطلوب شاخص وضعیت روسازی برای تهران و سبزوار برابر ۴۰ فرض شود، عمر مفید روسازی‌های این دو شهر به ترتیب حدود ۷/۶ و ۱۱/۵ سال است.

- منحنی‌های عملکرد انتخاب شده در این مقاله برای پژوهش‌های آینده، نیاز به اعتبارسنجی دارد.

اگر کمینه سطح مطلوب PCI^۱ برای این قطعات برابر ۶۰، ۵۰ و ۴۰ فرض شود، عمر مفید روسازی با استفاده از منحنی خطی، برای تهران به ترتیب حدود ۵، ۶/۴ و ۷/۶ سال و برای سبزوار به ترتیب ۷/۷، ۹/۶ و ۱۱/۵ سال به دست می‌آید. به عقیده متخصصان مدیریت روسازی، کاهش PCI از مقدار ۱۰۰ به ۶۰ در مدت زمان ۵ سال در منطقه یک تهران می‌تواند به علت انجام عملیات نگهداری زمستانی مثل پاشیدن ماسه و نمک، ترافیک بالا و نیز به علت شرایط جوی تقریباً سردسیری این منطقه باشد. دمای این منطقه در زمستان هر سال به مدت طولانی زیر صفر درجه سانتی‌گراد است.

۶- نتیجه‌گیری

رفتار روسازی (روند تغییر کیفیت روسازی) در گذشت زمان با منحنی عملکرد زمان نشان داده می‌شود. در این مقاله چندین قطعه مشابه که عمر روسازی متفاوتی از یکدیگر دارند، مورد بازرسی چشمی قرار گرفت و شاخص وضعیت روسازی برای آن‌ها محاسبه

¹Trigger Level

Jackson NC, Deighton R, Huft DL. Development of pavement performance curves for individual distress indexes in South Dakota based on expert opinion. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 1996;1524(1):130-6.

5. Chen J-S, Wangdi K. Proposal of a New Road Surface Management System (RSMS) for Developing Countries. PROCEEDINGS-JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS: DOTOKU GAKKAI; 1999. p. 83-94.

6. Prozzi J, Madanat S. Development of pavement performance models by combining experimental and field data. Journal of Infrastructure Systems. 2004;10(1):9-22.

7. Pennsylvania Department of Transportation. Research of Current Practices in Pavement Performance Modeling. 2010.

8. Yuan J, Mooney MA. Development of adaptive performance models for Oklahoma Airfield pavement management system. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2003;1853(1):44-54.

9. Arambula E, George R, Xiong W, Hall G. Development and Validation of Pavement Performance Models for the State of Maryland. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2011;2225(1):25-31.

10. Minnesota Department of Transportation (Mn/DOT). An Overview of Mn/DOT's Pavement Condition Rating Procedures and Indices. 2006.

• برای رسم منحنی عملکرد می‌توان از شاخص‌های بومی ارزیابی روسازی هر کشور نیز استفاده کرد..

• نیاز است تا در پژوهش‌های آینده منحنی‌های عملکرد برای شرایط مختلف تهیه و در اختیار تصمیم‌گیرندگان برنامه‌های تعمیر و نگهداری راه در جهت تعیین زمان عملیات تعمیر و نگهداری قرار گیرد..

۶- مراجع

1. Terzi S. Modeling the pavement serviceability ratio of flexible highway pavements by artificial neural networks. Construction and Building Materials. 2007;21(3):590-3.
2. Deshmukh MM. Development of equations to determine the increase in pavement condition due to treatment and the rate of decrease in condition after treatment for a local agency pavement network: Texas A&M University; 2009.
3. Shahnazari H, Tutunchian MA, Mashayekhi M, Amini AA. Application of soft computing for prediction of pavement condition index. Journal of Transportation Engineering. 2012;138(12):1495-506.
4. Shahin MY. Pavement Management for Airports Roads and Parking Lots. New York: Springer Science And Business Media; 2005.

Determining Pavement Performance Diagram Using Case Study

F. Moghaddas nejad¹, R. Maskani^{2*}, R. Imaninasab³

1- Associate Prof., Highway Eng. Dept., Faculty of Civil and Environmental Eng., Amirkabir University

2- M.Sc. Candidate in Highway Engineering, Faculty of Civil and Environmental Eng., Amirkabir University

3- Ph.D. Candidate in Highway engineering, Iran University of science and Technology

imany_reza@civileng.iust.ac.ir

Abstract:

To determine the future condition of pavements in a pavement network, the deterioration rate of pavement condition should be estimated with accordance to traffic volume, environmental condition, pavement type and its thickness. The pavement condition index (PCI) can be used in order to estimate the pavement condition. PCI is a practical index that used in Pavement Management System (PMS) and ranges between 0 to 100. The severity and quantity of pavement distresses increase as it gets older. As the result of it, PCI decreases with the pavement age increase. PCI can be predicted in future by applying different models. These models consist of deterministic and probabilistic models. Deterministic models yield a single value of future pavement condition while the probabilistic ones yield a probability for any value of the future pavement condition. Empirical, mechanistic and imperical mechanistic models can be used for pavement condition calculation. Among them empirical models are more practical because of their simplisity in development and application. In this paper, empirical deterministic model is used to predict the future pavement condition. A lot of research has been done on this subject in the developed country and results are presented presented by performance diagrams. In such diagrams, pavement condition changes within the years are plotted. Performance diagrams can significantly contribute to the road authorities to reduce their costs by right time selection for maintenance and rehabilitation actions, remaining life determination and pavement condition improvement in the road network. In this paper, type, severity and quantity of distresses are collected by visual inspection in Tehran NO.1 district and Sabzevar city. There are up to 5 years old pavements in Tehran district NO.1 which are all rehabilitated or overlaid pavements. In contrast, Sabzevar have mainly initial pavements Rezaa the Rezaa 15 years and consequently are in more deteriorated condition with lower PCI. The least PCI for Tehran NO.1 district is 61 percent and for Sabzevar city is 11 percent. Pavement condition index, as an indicator of pavement condition, is then calculated according to the collected data and Performance diagram, which is the pavement condition change during pavement life, is interpolated using different typical functions including exponential, linear and multi polynomial equations up to 3th order on. 1th order polynomial diagrams is Rezaa descriptive diagram for Tehran and Sabzevar which are selected based on Adjusted R square and Root mean square error parameters. All the plotting performance diagram, Adjusted R Square and Root Mean Square Error calculation are done by SPSS. Adjusted R square equal to 1 and Root Mean Square Error of 0 are the ideal conditions which means the interpolated diagram passes through the scattered points. To obtain more precise estimation of scattered Rezaa both parameters should be considered as it is done in this paper. The results indicate that if the minimum desirable level of the pavement condition index is assumed 40, then the useful life of the pavement in the Tehran NO.1 district and Sabzevar city will be estimated 7.6 and 11.5 years, respectively.

Keywords: Pavement behavior models, Performance diagram, Pavement Condition Index .