

انتخاب روش‌های نگهداری پیشگیرانه به کمک روش AHP

امیر خواجه پور^{۱*}، حمید بهبهانی^۲

۱- مربی، دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه زابل

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، گروه راه و ترابری، دانشگاه علم و صنعت

Amir.khajehpoor@gmail.com

تاریخ دریافت: [۱۳۹۲/۳/۲۸]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۳/۱۱/۲۹]

چکیده- به منظور نگهداری و مدیریت بهینه روسازی‌ها، لازم است علاوه بر روش‌های ترمیم و نگهداری موجود، روش‌های جدید نیز شناخته و به کار برده شوند. روش‌های نگهداری پیشگیرانه با هدف کاهش نرخ خرابی روسازی و بهبود سطح روسازی‌ها به کار می‌روند. این روش‌ها زمانی موثر می‌باشند که بر روی روسازی‌های مناسب از لحاظ سازه‌ای اجرا شوند، بنابراین انتخاب نوع روش نگهداری پیشگیرانه بهینه مشکل می‌باشد. علاوه بر این، فاکتورهای موثر زیاد در انتخاب روش نگهداری پیشگیرانه مناسب، بر این مشکلات می‌افزاید. شناخت این فاکتورها و این‌که هر روش نگهداری پیشگیرانه چه تاثیری روی این فاکتورها دارد در انتخاب مناسب روش نگهداری به مدیران روسازی کمک زیادی می‌کند.

در این مقاله، پس از شناسایی این فاکتورها، به ارائه مدل‌هایی برای انتخاب روش نگهداری پیشگیرانه مناسب می‌پردازیم. با توجه به محدودیت‌هایی که کشور در زمینه تجهیزات اندازه‌گیری این پارامترها با آن مواجه است، روش‌هایی برای محاسبه ساده این پارامترها ارائه شده است. در پایان میزان اهمیت هر یک از این فاکتورها با انجام فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بر روی نظر کارشناسان تعیین و مدل‌هایی برای انتخاب مناسب‌ترین روش نگهداری پیشگیرانه ارائه خواهد شد.

واژگان کلیدی: مدیریت روسازی، مدیریت نگهداری راه، روش‌های نگهداری پیشگیرانه، تحلیل سلسله مراتبی

۱- مقدمه

در بیشتر مواقع میزان بودجه اختصاص داده شده به امر نگهداری راه‌ها، نه تنها کمتر از میزان بودجه لازم برای رساندن آن‌ها به وضعیت بهتر است، بلکه از مقدار بودجه لازم برای نگه داشتن راه‌ها در وضعیت موجود نیز کمتر است. بنابراین به منظور مدیریت صحیح دارایی‌های موجود، سیستم مدیریت و نگهداری روسازی‌ها بوجود آمد.

با بوجود آمدن سیستم مدیریت نگهداری روسازی، هر چند اختصاص بودجه بهتر و وضعیت راه‌ها مناسب‌تر شد اما همچنان بودجه برای روسازی‌هایی که نیاز به ترمیم و بازسازی داشتند، کافی نبود. در نتیجه مهندسان راه متوجه شدند با تکیه بر روش‌های سنتی ترمیم و نگهداری، هرساله وضعیت راه‌ها بدتر می‌شود به همین

جهت همواره به دنبال پیدا کردن روش‌هایی بودند که با هزینه کمتر روسازی‌های بیشتری را در وضعیت مناسب قرار دهند. بدین منظور روش‌های نگهداری پیشگیرانه به عنوان روش‌های موثر، کم هزینه و با اثردهی بالا از اوایل دهه ۹۰ و با هدف کاهش نرخ خرابی روسازی‌ها گسترش یافتند [۱].

این روش‌ها علاوه بر کاهش هزینه، سبب بهبود کیفیت روسازی‌های شبکه نیز می‌شوند. سیاست این روش‌ها بر این اصل استوار است که انجام مکرر روش‌های نگهداری کم هزینه، هزینه بسیار کمتری نسبت به انجام روش‌های پرهزینه اما دیر به دیر دارد [۲].

آشتو نگهداری پیشگیرانه را این طور تعریف کرده است [۳]:
ترمیم و نگهداری پیشگیرانه، فعالیتی برنامه‌ریزی شده برای نگهداری وضعیت روسازی در شرایط فعلی، جلوگیری از ایجاد خرابی در

ویژه انتخاب روش نگهداری پیشگیرانه مناسب در سطح پروژه پژوهش‌های بسیار کمی صورت گرفته است.

همچنین تعداد کمی از ادارات داده‌های مورد نیاز برای توسعه مدل-های عملکردی برای این روش‌ها را جمع کرده‌اند که خود این امر مزید بر علت می‌شود [۷].

هاس و همکاران در سال ۲۰۰۰ میلادی پژوهشی را برای انتخاب روش نگهداری پیشگیرانه انجام دادند. در این مطالعه درخت‌های تصمیم‌گیری و ماتریس‌های تصمیم‌گیری به عنوان ابزاری پرکاربرد، برای انتخاب روش نگهداری پیشگیرانه مناسب برای روسازی‌ها معرفی شدند.

درخت‌ها و ماتریس‌های تصمیم‌گیری برای تصمیم‌گیری در سطح پروژه مناسبند اما معمولاً قابل استفاده برای ادارات دیگر نیست که این یکی از عیب‌های آن است.

این روش‌ها معمولاً برای اداراتی که قصد اجرای روش‌های نگهداری پیشگیرانه را دارند اما به دلیل نداشتن داده‌های کافی امکان استفاده از روش‌های پیچیده را ندارند، مناسب است [۱].

چانگ و همکاران در سال ۲۰۰۵ به کمک روش تاپسیس، که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است، روندی را برای انتخاب اقتصادی‌ترین روش نگهداری پیشگیرانه برای سایت sps-3 در تگزاس معرفی کرد.

در این روش سه معیار خرابی، شاخص ناهم‌واری بین المللی و هزینه، انتخاب و به کمک این سه معیار آثار چهار روش نگهداری پیشگیرانه (چیپ سیل، درزگیری ترک، اسلاری سیل و روکش نازک) در این سایت اندازه‌گیری شد. در پایان روش چیپ سیل به عنوان موثرترین روش شناخته شد [۵].

هیگس و همکاران روشی را برای انتخاب بهینه‌ترین روش نگهداری پیشگیرانه پیشنهاد دادند. در این روش برای هر یک از عامل‌های موثر در انتخاب روش پیشگیرانه اهمیتی از یک تا پنج مشخص و سپس درصد اهمیت هر یک از این عامل‌ها نیز به طور جداگانه مشخص شد. در پایان روش پیشگیرانه ای که بالاترین عدد را کسب کند به عنوان بهترین روش انتخاب خواهد شد [۱].

چنگ و همکارانش در سال ۲۰۱۰ براساس روش رتبه‌بندی، روشی را برای انتخاب بهترین روش پیشگیرانه ارائه دادند. در این روش که مشابه با روش پیشنهادی هیگس و همکارانش است ۱۱ پارامتر در

آینده و بهبود عملکرد وظیفه‌ای بدون افزایش ظرفیت سازه ای روسازی است.

این روش‌ها باید روی روسازی‌هایی که از لحاظ سازه‌ای وضعیت مناسبی دارند انجام شود در غیر این صورت غیراقتصادی عمل می‌کنند. بنابراین فلسفه انجام روش‌های نگهداری پیشگیرانه این طور تعریف می‌شود: اجرای روش مناسب برای روسازی‌های مناسب در زمان مناسب. تنها در این صورت است که فایده‌های این روش‌ها قابل لمس است [۴]. با به کار بردن روش‌های نگهداری پیشگیرانه مناسب در زمان مناسب، عمر خدمت دهی روسازی افزایش چشمگیری پیدا می‌کند [۵].

بدین منظور انجام روش‌های نگهداری پیشگیرانه حتماً باید در دو سطح پروژه و شبکه انجام شود. هدف اصلی در سطح شبکه تضمین این نکته است که روسازی‌های مناسب در زمان مناسب، روش نگهداری را دریافت کنند؛ اما هدف اصلی در سطح پروژه انتخاب روش مناسب برای روسازی‌هایی است که در سطح شبکه انتخاب شده‌اند [۶].

هدف از این پژوهش انتخاب روش نگهداری پیشگیرانه مناسب در سطح پروژه است. بدین منظور ۵ روش نگهداری پیشگیرانه چیپ سیل، اسلاری سیل، میکروسرفیسینگ، روکش نازک آسفالت گرم و درزگیری ترک که کاربرد بیشتری دارند مورد مطالعه قرار گرفته و سعی شده با ارائه مدل‌هایی برای این ۵ روش، به انتخاب مناسب-ترین روش نگهداری پیشگیرانه برای قطعاتی که مناسب برای دریافت این روش‌ها است پرداخته شود.

در این مقاله، پس از بیان مطالعات انجام شده در این زمینه، روش انجام مطالعه تشریح شده و سپس به معرفی پارامترهای موثر در انتخاب روش نگهداری و محاسبه ضرائب این پارامترها پرداخته شده است. برای محاسبه ضرائب از روش AHP و نرم افزار این مدل (Expert Choice) استفاده شده است. در پایان مدل‌هایی برای انتخاب مناسب‌ترین روش نگهداری پیشگیرانه ارائه شدند.

۲- مطالعات پیشین

هرچند پژوهش‌های نسبتاً مناسبی در زمینه ترمیم و نگهداری روسازی‌ها انجام شده اما در زمینه نگهداری پیشگیرانه روسازی به

در این مقاله، از روش رتبه‌بندی براساس شاخص مرکب انجام شد. این مدل‌ها به شکل زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Maximize } (T_j) &= \sum_{i=1}^7 W_i C_i \\ \sum W_i &= 1 \end{aligned} \quad (1)$$

که در آن T نشان دهنده شاخص روش نگهداری پیشگیرانه^۳ J معرف هریک از روش‌های نگهداری پیشگیرانه (درزگیری ترک، چپ سیل، اسلاری سیل، میکروسرفیسینگ و روکش نازک آسفالتی گرم)

C_i وضعیت پارامتر i روسازی و W_i وزن فاکتور i که نشان دهنده اهمیت این پارامتر در مدل ارائه شده است. در پایان روشی که بیشترین T را کسب کند به عنوان روش مناسب برای مقطع مورد مطالعه معرفی می‌شود.

برای مشخص کردن وزن هریک از پارامترها، از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است، استفاده شده است. اساس این روش تصمیم‌گیری برپایه مقایسه‌های زوجی استوار است. تصمیم‌گیری با فراهم آوردن درخت سلسله مراتب آغاز می‌شود. درخت سلسله مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. سپس یک سری مقایسات زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسات وزن هریک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مشخص می‌سازد. در پایان منطق AHP به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌کند تا وزن نهایی حاصل شود. برای رسیدن به این امر، نظرسنجی بین متخصصان و خبرگان به عمل و در مجموع ۱۵ پرسشنامه قابل قبول شناخته شدند. محاسبات مربوط به نتایج به وسیله نرم‌افزار Expert Choice که یکی از نرم‌افزارهای قوی برای حل مسائل به کمک روش AHP می‌باشد انجام شد.

۴- پارامترهای موثر در انتخاب روش نگهداری پیشگیرانه

انتخاب بهترین و مناسب‌ترین روش به دلیل وجود فاکتورهای موثر

انتخاب نوع روش پیشگیرانه مناسب معرفی شده است که هرکدام از این پارامترها در هر پروژه ضربی خاص دریافت و در پایان بهترین روش پیشگیرانه انتخاب می‌شود [۸].

محمد ابرفان و همکاران در سال ۲۰۱۰ به انتخاب مناسب‌ترین روش ترمیم و نگهداری پیشگیرانه پرداختند. در این مطالعه انواع روش‌های ترمیم و نگهداری پیشگیرانه برای خانواده‌های مختلف روسازی لحاظ و نشان داده شد که روش بهینه کردن براساس دوره عمر را می‌توان برای انتخاب نوع روش نگهداری و ترمیم بهینه در سطح پروژه نیز به کار برد [۹]. این مطالعه می‌تواند کمک زیادی در توسعه و پیشرفت روش‌های انتخاب نگهداری و ترمیم داشته باشد، چراکه اولین مطالعه با این سبک در این زمینه است.

۳- روش انجام مطالعه

برای ارائه مدل‌های انتخاب بهترین گزینه نگهداری پیشگیرانه، از روش‌های اولویت‌بندی استفاده شده است. این روش‌ها را به دو دسته کلی می‌توان تقسیم کرد:

روش‌های رتبه‌بندی^۱

روش‌های بهینه‌سازی^۲

روش‌های بهینه‌سازی، از مینیم کردن هزینه نگهداری یا ماکزیم کردن فایده‌های نگهداری استفاده می‌کنند. استفاده از این روش‌ها نیازمند برخوردار بودن سیستم مدیریت نگهداری از پایگاه داده مناسب است که با توجه به جدید بودن روش‌های نگهداری پیشگیرانه در ایران، عملاً استفاده از این روش‌ها امکان‌پذیر نیست. در روش رتبه‌بندی عموماً ۲ یا چند پارامتر را در نظر گرفته و در نتیجه شاخصی به صورت عددی بیان می‌شود. اشکال این روش این است که در این روش سود و زیان پروژه‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. با این وجود چنانچه تهیه برنامه اولویت‌بندی با قضاوت صحیح انجام شود، رتبه‌بندی‌های انجام شده قابل اعتمادند و ممکن است نتایجی مشابه با دیگر روش‌های پیچیده اولویت‌بندی داشته باشند [۱۰].

1 Ranking Method

2 Optimization Method

MPR ماکزیمم ناهمواری^۶ که روسازی برای استفاده از روش‌های نگهداری پیشگیرانه می‌تواند داشته باشد.

۴-۲-۱ ایمنی (لغزندگی)

بیشتر ادارات برای سادگی ایمنی را در قالب مقاومت لغزشی تعریف می‌کنند [۱۲]. در این مقاله نیز از همین تعریف استفاده و از لغزندگی به جای ایمنی استفاده شده است.

رابطه پیشنهاد شده برای محاسبه شاخص لغزندگی به صورت زیر است:

$$SI = 100 \times \frac{PS}{MPS} \quad (۳)$$

که در آن SI شاخص لغزندگی^۷

PS لغزندگی روسازی^۸ و

MPS ماکزیمم لغزندگی^۹ که روسازی برای استفاده از روش‌های نگهداری پیشگیرانه می‌تواند داشته باشد.

۴-۳-۱ ترک خوردگی

ترک یکی از شایع‌ترین خرابی‌هایی است که پس از ساخت روسازی بوجود می‌آید و در بیشتر روسازی‌ها اولین خرابی بوجود آمده در سطح است.

رابطه ارائه شده برای محاسبه شاخص ترک خوردگی روسازی به شکل زیر است:

$$CI = 100 \times \frac{PC}{MPC} \quad (۴)$$

در این رابطه CI شاخص ترک خوردگی^{۱۰}

PC ترک خوردگی روسازی^{۱۱} و

MPC ماکزیمم ترک خوردگی^{۱۲} که روسازی برای استفاده از

زیاد بسیار سخت و مشکل است. شناخت این فاکتورها و این که هر روش نگهداری پیشگیرانه، چه تاثیری روی آن‌ها می‌گذارد در انتخاب درست کمک می‌کند.

با مرور مطالب و تجربه‌ای که بعضی ادارات از انجام موفق روش‌های نگهداری پیشگیرانه داشتند مشخص شد که پارامترهای موثر برای انتخاب مناسب‌ترین روش پیشگیرانه عبارتند از:

ناهمواری، ایمنی (لغزندگی)، ترک خوردگی، شیار شدگی، ترافیک، هزینه و ریسک‌های موجود.

بعضی از پارامترهای موثر در انتخاب روش نگهداری پیشگیرانه مثل ریسک مقادیر کیفی دارند که باید کمی شوند و بعضی دیگر از پارامترهای اولویت مثل هزینه یا ترافیک مقادیر مطلق بالایی دارند که باید به صورت مناسب تعدیل شوند تا سایر پارامترها را بی‌تاثیر نکنند. بدین منظور تمام پارامترهای موثر در اولویت بندی را به مقادیر ۱۰۰ واحدی تبدیل می‌نماییم.

مشکل دیگر که بیشتر ادارات در ایران با آن مواجه‌اند نبود اطلاعات مربوط به ناهمواری، لغزندگی، شیارشدگی و ترک خوردگی است. علاوه بر این دسترسی به ماشین‌آلات لازم برای برداشت این داده‌ها معمولاً امکان پذیر نیست. بنابراین در بخش بعدی روشی برای محاسبه این پارامترها ارائه شده است.

۴-۱-۱ ناهمواری

ناهمواری روسازی پدیده‌ای است روی روسازی، که به وسیله‌ی مسافری و کاربران خودرو تجربه می‌شود. به صورت متداول ناهمواری به عنوان خرابی سطح روسازی که باعث سواری غیرمطلوب است، دیده می‌شود [۱۱]. همان گونه که بیان شد، برای این که در مدل ارائه شده بتوانیم داده‌های مختلف را با یکدیگر بسنجیم باید داده‌ها براساس یک شاخص ۱۰۰ واحدی بیان شوند. روش پیشنهاد شده برای مقیاس کردن ناهمواری‌های روسازی (PR) به شاخص ۱۰۰ تایی استفاده از رابطه زیر است:

$$RI = 100 \times \frac{PR}{MPR} \quad (۲)$$

در این رابطه RI شاخص ناهمواری^۴

PR ناهمواری روسازی^۵ و

4 Roughness Index

5 Pavement Roughness

6 Maximum Pavement Roughness

7 Skid Index

8 Pavement Skid

9 Maximum Pavement Skid

10 Cracking Index

11 Pavement Cracking

12 Maximum Pavement Cracking

که در آن TI شاخص ترافیک^{۱۶} و $AADT$ ^{۱۷} ترافیک روزانه میانگین عبوری از یک خط از قطعه مورد نظر است.

۴-۶- هزینه

هزینه برای انجام عملیات نگهداری را به دو دسته کلی می‌توان تقسیم بندی کرد:

- هزینه‌های سازمانی مثل هزینه آماده کردن محل، هزینه موادی که باید به کار رود، هزینه کارگران و تجهیزات.
- هزینه‌های استفاده کنندگان از راه مثل هزینه تصادفات، زمان سفر، کارکرد وسایل نقلیه، عدم راحتی و نگر داشتن ترافیک.

هزینه‌ها به صورت معکوس در اولویت‌بندی تاثیر دارند یعنی هرچه هزینه کاربرد روش بیشتر باشد، احتمال انتخاب روش نگهداری پیشگیرانه کمتر خواهد بود. از طرفی هزینه‌ها مثل ترافیک مقادیر مطلق بالایی دارند و باید تعدیل شوند. برای رفع این دو مشکل رابطه‌ای را به صورت زیر ارائه می‌دهیم:

$$COI = 100 \times \frac{\frac{1}{C_j}}{\sum_{j=1}^5 \frac{1}{C_j}} \quad (6)$$

که در این رابطه COI شاخص هزینه^{۱۸} و C_j هزینه هر روش نگهداری پیشگیرانه است.

جدول ۲ هزینه اجرای روش‌های نگهداری پیشگیرانه متفاوت را ارائه کرده است. با توجه به نبود فهرست‌بهایی برای این روش‌ها، از تجربه سایر ادارات برای بیان هزینه‌ها استفاده شده است. بنابراین لازم است تا هرچه سریعتر نسبت به تهیه فهرست نهایی برای محاسبه هزینه‌های اجرای روش‌های نگهداری پیشگیرانه اقدام شود. البته این هزینه‌ها در محل‌های مختلف و با توجه به کیفیت مواد و بسیاری پارامترهای دیگر متفاوت است.

روش‌های نگهداری پیشگیرانه می‌تواند داشته باشد.

۴-۴- شیارشدگی

شیارشدگی عبارتست از تورفتگی سطحی در مسیر عبور چرخ‌ها. رابطه ارائه شده برای محاسبه شاخص شیارشدگی به صورت زیر است:

$$RUTI = 100 \times \frac{PRUT}{MPRUT} \quad (5)$$

در این رابطه $RUTI$ شاخص شیارشدگی^{۱۳}

$PRUT$ شیارشدگی روسازی^{۱۴} و

$MPRUT$ ماکزیمم شیارشدگی^{۱۵} که روسازی برای استفاده از روش‌های نگهداری پیشگیرانه می‌تواند داشته باشد.

۴-۵- ترافیک

عبور ترافیک یکی از دلایل اصلی تخریب روسازی است. ترافیک مقدار مطلق بالایی دارد و باید این مقدار بر مبنای شاخص ۱۰۰ واحدی تعدیل شود. بدین منظور از جدول ۱ استفاده می‌نمائیم.

جدول (۱) - شاخص‌های پیشنهادی برای محدوده‌های ترافیک

No.	AADT (pcplpd)	TI
۱	<۱۰۰۰	۱۰
۲	۱۰۰۰ - ۲۰۰۰	۲۰
۳	۲۰۰۰ - ۳۰۰۰	۳۰
۴	۳۰۰۰ - ۴۰۰۰	۴۰
۵	۴۰۰۰ - ۵۰۰۰	۵۰
۶	۵۰۰۰ - ۶۰۰۰	۶۰
۷	۶۰۰۰ - ۷۰۰۰	۷۰
۸	۷۰۰۰ - ۸۰۰۰	۸۰
۹	۸۰۰۰ - ۱۰۰۰۰	۹۰
۱۰	>۱۰۰۰۰	۱۰۰

16Traffic Index

17 Average Annual Daily Traffic

18 Cost Index

13Rutting Index

14Pavement Rut

15Maximum Rutting Index

نگهداری پیشگیرانه به صورت جدول ۴ نمایش داده می‌شود.

جدول ۳ - مقادیر پیشنهادی برای ریسک‌های موجود

مقدار	پاسخ	سوال	ردیف
۱۰۰	دارای خرابی‌های غیرسازهای با شدت کم تا متوسط	شرایط روسازی قبل از انجام روش نگهداری	۱
۷۵	دارای خرابی‌های غیرسازهای با شدت زیاد		
۵۰	خرابی‌های سازهای و غیرسازهای با شدت کم		
۲۵	خرابی سازهای با شدت کم و غیرسازهای با شدت زیاد		
۱۰۰	کم	تغییرات آب و هوایی در منطقه	۲
۵۰	متوسط		
۰	زیاد		
۱۰۰	وجود دارد	تجربه قبلی اجرای روش پیشگیرانه	۳
۰	وجود ندارد		
۱۰۰	وجود دارد	مواد مناسب برای اجرای روش پیشگیرانه	۴
۵۰	تا حدودی وجود دارد		
۰	وجود ندارد		

در نهایت روابط برای ریسک‌ها به دست می‌آیند، مثلا رابطه ریسک روکش نازک به صورت زیر است.

$$RISK_{Thin\ HMA} = 0.271(\text{تغییرات فصلی}) + 0.248(\text{مواد مناسب}) + 0.240(\text{شرایط روسازی}) + 0.241(\text{پیمانکاران باتجربه}) \quad (۸)$$

به طریقی مشابه ریسک سایر روش‌ها به دست می‌آیند.

جدول ۴ - ضریب فاکتورهای ریسک در روش‌های پیشگیرانه

پیمانکاران با تجربه	مواد مناسب	شرایط روسازی	تغییرات فصلی	فاکتور
۰/۲۴۱	۰/۲۴۸	۰/۲۴۰	۰/۲۷۱	روکش نازک
۰/۲۷۴	۰/۲۳۱	۰/۲۳۹	۰/۲۵۶	درزگیری ترک
۰/۲۲۸	۰/۲۷۶	۰/۲۶۰	۰/۲۳۶	چیپ سیل
۰/۲۲۷	۰/۲۲۶	۰/۲۴۵	۰/۳۰۲	میکروسرفیسینگ
۰/۳۱۵	۰/۲۶۱	۰/۲۱۶	۰/۲۰۸	اسلاری سیل

جدول ۲ - هزینه اجرای روش‌های نگهداری پیشگیرانه [۱۳]

روش نگهداری پیشگیرانه	هزینه (ریال بر متر مربع)
روکش نازک	۲۵۰۰۰
درزگیری ترک	۹۰۰ (متر طول)
چیپ سیل	۱۳۰۰۰
میکروسرفیسینگ	۲۰۰۰۰
اسلاری سیل	۱۲۰۰۰

۴-۷- ریسک‌های موجود

یکی از سخت‌ترین مراحل مدیریت پروژه بررسی و برآورد تاثیرات ریسک‌های متفاوت بر فرآیند انجام پروژه است. مهمترین تاثیری که ریسک روی پروژه می‌گذارد ناتوانی در رسیدن به کیفیت و روند بهره برداری مورد نظر است. پس از مرور مطالب ۴ ریسک که آثار بیشتری را در عدم موفقیت اجرای مناسب روش‌های نگهداری پیشگیرانه می‌گذارند شناسایی شد. این ریسک‌ها عبارتند از: شرایط روسازی موجود قبل از انجام روش نگهداری، قرار داشتن روش تحت تاثیر تغییرات فصلی، عدم وجود پیمانکاران باتجربه و عدم وجود مواد مناسب برای اجرای روش‌ها. رابطه ارائه شده برای محاسبه این ریسک‌ها به صورت زیر است:

$$RISK = \sum_{K=1}^4 W_K (risk)_K \quad (۷)$$

در این رابطه RISK معرف عددی است که بیان کننده پارامتر ریسک است.

W_k ضریب هریک از ریسک‌های موجود و $risk_k$ هر کدام از ریسک‌های ۴ گانه است.

این ۴ ریسک در مجموع معرف پارامتر ریسک می‌شوند. مقادیر این ۴ فاکتور به کمک جدول ۳ به دست می‌آیند.

پس از به دست آوردن مقدار هریک از فاکتورها باید ضریب هریک از فاکتورهای موثر در ریسک را برای به دست آوردن ریسک کلی محاسبه نماییم.

برای سنجش درصد اهمیت هریک از این ۴ ریسک، پرسش نامه‌ای تهیه و بین متخصصان توزیع شد. سپس پاسخ‌های به دست آمده از این پرسش نامه‌ها، به روش میانگین گیری معمولی باهم ترکیب و در پایان ضریب اهمیت هریک از ۴ ریسک در هر کدام از روش‌های

۵- روش پیشنهادی محاسبه ناهمواری، لغزندگی، شیارشدگی و ترک خوردگی

همانگونه که پیشتر اشاره شد داده‌های مربوط به ناهمواری، لغزندگی، شیارشدگی و ترک خوردگی همیشه در دسترس نیست بدین منظور روشی برای محاسبه این پارامترها پیشنهاد می‌شود. این روش براین اصل ساده استوار است که هر نقیصه‌ای (ناهمواری، لغزندگی، شیارشدگی و یا ترک خوردگی) که در روسازی بوجود می‌آید به دلیل جمع شدن یک یا چند نوع از خرابی‌های ۱۹ گانه ذکر شده در روش PCI است [۱۴]. بنابراین اگر خرابی‌هایی که باعث بوجود آمدن این نقیصه‌ها است مشخص شوند، می‌شود پارامترهایی را تعریف که مشخص کننده این خرابی‌ها باشند.

۱-۵- محاسبه ناهمواری

با مرور مطالب مشخص شد که ۹ خرابی از خرابی‌های ۱۹ گانه ارائه شده در روش PCI در ناهمواری تاثیر دارند. این خرابی‌ها عبارتند از:
برآمدگی و فرورفتگی، تورفتگی، تورم، کناررفتگی، گذرگاه راه آهن، هوازگی و دانه دانه شدن، وصله و کنده کاری، چاله و موج زدگی. برای محاسبه عدد ناهمواری مورد استفاده در این مقاله با کمک منحنی‌های موجود در روش PCI و تاحدود زیادی مشابه با این روش، عددی که معرف ناهمواری‌ها در روسازی باشد به دست خواهد آمد. روش محاسبه این عدد مشابه با محاسبه شاخص وضعیت روسازی (PCI) است؛ با این تفاوت که تعداد خرابی‌های لحاظ شده به جای ۱۹ خرابی ذکر شده در روش PCI فقط ۹ خرابی ذکر شده در بالا است. به عبارت دیگر فرض می‌شود درصد خرابی‌های دیگر در روسازی صفر است و CDV مطابق با روش موجود در روش PCI محاسبه خواهد شد. در نهایت برای تعریف ناهمواری روسازی رابطه زیر به دست می‌آید:

$$PR = MAX (CDV_R) \quad (9)$$

در این رابطه:

PR = ناهمواری روسازی^{۱۹} و

CDV_R = ضریب کاهنگی اصلاح شده^{۲۰} است.

واضح است که CDV_R ضریب کاهنگی اصلاح شده‌ی به دست آمده از ۹ خرابی اشاره شده است.

۲-۵- محاسبه لغزندگی

خرابی‌های موثر در لغزندگی شامل قیرزدگی و صیقلی شدن دانه‌ها است. روش محاسبه لغزندگی مشابه با روش محاسبه ناهمواری‌ها است. بنابراین برای محاسبه فاکتور لغزندگی در این مقاله از رابطه زیر استفاده شده است:

$$PS = Max (CDV_s) \quad (10)$$

که در آن PS لغزندگی روسازی^{۲۱} و CDV_s ضریب کاهنگی اصلاح شده به دست آمده از ۲ خرابی بالا است.

۳-۵- محاسبه ترک خوردگی

ترک خوردگی روسازی را می‌توان از ترکیب ۴ خرابی ترک خوردگی پوست سوسماری، ترک خوردگی بلوکی، ترک خوردگی طولی و عرضی و ترک خوردگی لبه به دست آورد. محاسبه ترک خوردگی مانند محاسبه ناهمواری است و برای محاسبه آن رابطه زیر معرفی می‌شود:

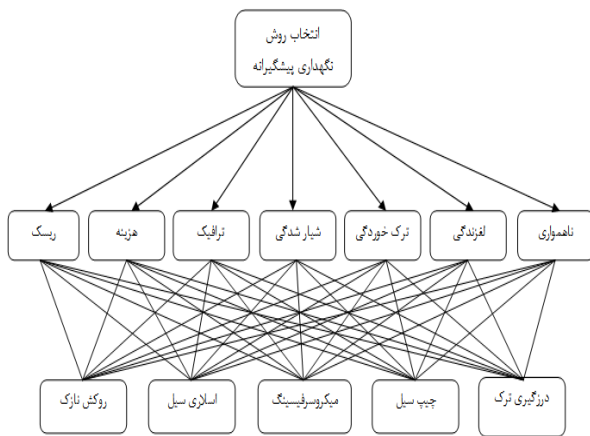
$$PC = Max (CDV_c) \quad (11)$$

در این رابطه PC ترک خوردگی روسازی^{۲۲} و CDV_c ضریب کاهنگی اصلاح شده به دست آمده از ۴ خرابی اشاره شده است.

۴-۵- شیارشدگی

همچون پارامترهای ناهمواری، لغزندگی و ترک خوردگی، شیار شدگی را نیز بر مبنای خرابی‌هایی که سبب بوجود آمدن آن می‌شوند تعریف می‌نماییم. شیارشدگی روسازی فقط از خرابی شیارشدگی تشکیل می‌شود.

$$PRUT = Max (CDV_{RUT}) \quad (12)$$



شکل (۱) درخت تصمیم‌گیری انتخاب روش نگهداری پیشگیرانه

برای محاسبه ضرایب باید ۸ پرسشنامه تهیه و در کل ۹۱ مقایسه زوجی انجام می‌گرفت که این امر سبب بالا رفتن حجم تعداد سوالات و در نتیجه کاسته شدن از دقت پاسخ‌ها می‌شد. برای رفع این مشکل تصمیم گرفته شد به کمک مقایسه‌های زوجی ابتدا پارامترهای موثر در انتخاب روش نگهداری پیشگیرانه با یکدیگر مقایسه و ضرایب آن‌ها به دست آیند؛ سپس با تهیه پرسش‌نامه‌هایی که اهمیت پارامترها را در هر یک از روش‌های نگهداری پیشگیرانه می‌سنجید به اصلاح این ضرایب در هر روش نگهداری پیشگیرانه پرداخته شود.

جدول ۵ - ضرایب نهایی برای هر روش نگهداری پیشگیرانه

	روکش نازک	درزگیری ی ترک	چپ سیل	میکروسفینگ - ر	اسلاری سیل
ناهمواری	۰/۱۷۱	۰/۱۳۸	۰/۱۴۴	۰/۱۶۹	۰/۱۳۷
لغزندگی	۰/۱۲۸	۰/۱۴۸	۰/۱۷۰	۰/۱۳۸	۰/۱۶۹
ترک خوردگی	۰/۱۵۹	۰/۱۹۱	۰/۱۴۸	۰/۱۵۵	۰/۱۶۰
شیارشدهی	۰/۱۵۹	۰/۱۴۳	۰/۱۴۴	۰/۱۵۵	۰/۱۳۷
ترافیک	۰/۱۴۶	۰/۱۴۳	۰/۱۵۷	۰/۱۴۶	۰/۱۶۰
هزینه	۰/۱۱۵	۰/۱۱۵	۰/۱۱۵	۰/۱۱۵	۰/۱۱۵
ریسک	۰/۱۲۲	۰/۱۲۲	۰/۱۲۲	۰/۱۲۲	۰/۱۲۲

از بین پرسش‌نامه‌ها، ۱۵ پرسش‌نامه دارای ضرایب ناسازگاری

PRUT شیارشدهی روسازی^{۲۳} و

CDV_{RUT} ضریب کاهندگی اصلاح شده به دست آمده از خرابی شیارشدهی است.

۶- محاسبه ماکزیمم ناهمواری، لغزندگی، شیارشدهی و ترک خوردگی روسازی

هر سازمانی برای انجام روش‌های نگهداری پیشگیرانه، باید معیاری را برای خودش تعریف کند. معیار پیشنهادی برای راه‌های ایران استفاده از شاخص وضعیت روسازی (PCI) است. کمینه این شاخص برای انجام روش‌های نگهداری پیشگیرانه برابر ۷۰ است. برای محاسبه ناهمواری ماکزیمم روسازی، فرض می‌کنیم در روسازی فقط خرابی‌های مربوط به ناهمواری داشته باشیم و شرایط روسازی نیز می‌نیمم قابل قبول برای اجرای روش‌های نگهداری پیشگیرانه باشد. (PCI = ۷۰) با این دو فرض روابط زیر قابل اثبات است:

$$CDV = CDV_R \quad (12)$$

$$PCI = 100 - MAX(CDV_R) = 70 \quad (13)$$

در نهایت داریم:

$$\Rightarrow MPR = MAX(CDV_R) = 30 \quad (14)$$

به طریقی مشابه برای ماکزیمم لغزندگی، ترک خوردگی و شیارشدهی خواهیم داشت:

$$MPS = MPC = MPRUT = 30 \quad (15)$$

۷- محاسبه ضرایب مدل‌ها

برای محاسبه ضرایب پارامترها در مدل از روش AHP استفاده شد. اولین گام برای حل مسائل به روش AHP ترسیم درخت تصمیم‌گیری است. درخت تصمیم‌گیری برای محاسبه ضرایب هر یک از پارامترها در هر یک از روش‌های نگهداری به صورت شکل (۱) است.

پیشگیرانه برای مقطع مورد نظر انتخاب می‌شود.

۹- نتیجه‌گیری و تحلیل نتایج

- در این مطالعه، مدل‌هایی برای انتخاب مناسب‌ترین روش نگهداری پیشگیرانه بیان شد. در این مدل‌ها سعی شد تمام پارامترهای موثر از جمله ناهمواری، لغزندگی، شیارشدگی، ترک خوردگی، ترافیک، هزینه و ریسک در انتخاب روش نگهداری پیشگیرانه مناسب لحاظ شود.
- از روابط ارائه شده بر می‌آید که پارامترهای مختلف در انتخاب روش پیشگیرانه تاثیر متفاوتی دارند، مثلا پارامتر ناهمواری بیشترین تاثیر را در انتخاب روکش نازک و میکروسرفیسینگ دارد. همچنین پارامتر ترک خوردگی بیشترین تاثیر را در انتخاب درزگیری ترک و پارامتر لغزندگی بیشترین تاثیر را در انتخاب چپ سیل و اسلاری سیل دارد.
- با توجه به عدم وجود بعضی داده‌ها همچون ناهمواری روسازی‌های موجود و نیز عدم امکان محاسبه آن‌ها به دلیل نبود ماشین آلات لازم در بیشتر ادارات متولی نگهداری راه، روش‌هایی برای محاسبه این پارامترها ارائه شده است که نیاز به استفاده از تجهیزات خاص ندارد.
- در نظر گرفتن پارامترهای نسبتا متعدد، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را ضروری ساخت. بدین منظور از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است برای محاسبه ضریب هریک از این مدل‌ها استفاده شد.
- هرچند که این مدل‌ها ویژه مدیریت روسازی در سطح پروژه می‌باشد و انتخاب روش مناسب براساس شرایط حال حاضر انجام می‌گیرد اما با برداشت منظم داده‌ها، حتی بدون استفاده از ماشینت آلات پیچیده، و با روش‌های پیشنهادی ارائه شده، می‌توان پارامترهای ناهمواری، لغزندگی، ترک خوردگی، شیارشدگی و شاخص وضعیت روسازی را پیش‌بینی و استراتژی‌های بهینه ترمیم و نگهداری را برای مدیریت در سطح شبکه معرفی کرد.

کوچکتر از حد استاندارد (۱۰ درصد) بودند. این ۱۵ پرسش نامه به روش میانگین هندسی با یکدیگر ترکیب و پس از حل با روش AHP و به کمک نرم افزار Expert Choice ضرائب هر یک از پارامترها در روش‌های نگهداری پیشگیرانه به دست می‌آید. نتایج در جدول ۵ نشان داده شده است.

۸- ارائه نتایج

بعد از محاسبه ضرائب پارامترهای موثر در هر روش، با جایگذاری در رابطه (۱)، مدل‌ها برای هر روش نگهداری پیشگیرانه به دست می‌آیند.

$$T_{\text{Thin HMA}} = 0.171 (\text{RI}) + 0.128 (\text{SI}) + 0.159 (\text{CI}) + 0.159 (\text{RUTI}) + 0.146 (\text{TI}) + 0.115 (\text{COI}) + 0.122 (\text{RISK}) \quad (16)$$

$$T_{\text{Crack Sealing}} = 0.138 (\text{RI}) + 0.148 (\text{SI}) + 0.191 (\text{CI}) + 0.143 (\text{RUTI}) + 0.143 (\text{TI}) + 0.115 (\text{COI}) + 0.122 (\text{RISK}) \quad (17)$$

$$T_{\text{Chip Seal}} = 0.144 (\text{RI}) + 0.170 (\text{SI}) + 0.148 (\text{CI}) + 0.144 (\text{RUTI}) + 0.157 (\text{TI}) + 0.115 (\text{COI}) + 0.122 (\text{RISK}) \quad (18)$$

$$\text{ADT} \leq 5000$$

$$T_{\text{Microsurfacing}} = 0.169 (\text{RI}) + 0.138 (\text{SI}) + 0.155 (\text{CI}) + 0.155 (\text{RUTI}) + 0.146 (\text{TI}) + 0.115 (\text{COI}) + 0.122 (\text{RISK}) \quad (19)$$

$$T_{\text{Slurry Seal}} = 0.137 (\text{RI}) + 0.169 (\text{SI}) + 0.160 (\text{CI}) + 0.137 (\text{RUTI}) + 0.160 (\text{TI}) + 0.115 (\text{COI}) + 0.122 (\text{RISK}) \quad (20)$$

$$\text{ADT} \leq 5000$$

در این روابط RI شاخص ناهمواری، SI شاخص لغزندگی، CI شاخص ترک‌خوردگی، RUTI شاخص شیارشدگی و COI شاخص هزینه می‌باشند که به ترتیب از رابطه‌های (۲)، (۳)، (۴)، (۵) و (۶) بدست می‌آیند.

TI شاخص ترافیک است که از جدول (۱) به دست می‌آید.

برای محاسبه پارامتر ریسک‌های موجود بسته به نوع روش نگهداری پیشگیرانه از جدول (۴) استفاده می‌شود.

برای هر مقطع روسازی به محاسبه شاخص T برای هر ۵ روش نگهداری پیشگیرانه پرداخته و در نهایت روشی که بالاترین T را در این مقطع کسب کند به عنوان مناسب‌ترین روش نگهداری

۱۰- منابع و مراجع

- [8] Cheng,D,X. Hicks,R,G. Ochoa,A. "Improving Pavement Preservation Treatment Dstrategy Selection Using Expert System Approach" , Transportation Research Board for Presentation at the 2010 Annual Meeting in Washington,D.C
- [9] Irfan.M; "A Framework For Developing Optimal Pavement Life-Cycle Activity Profiles" ; Doctoral Dissertation, Dep. Of Civil Engineering, Univ.Purdue, 2010.
- [۱۰] سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، وزارت راه و ترابری، "راهنمای بهسازی رویه های آسفالتی و شنی"، نشریه شماره ۲۹۶.
- [۱۱] عامری؛ محمود؛ "مدیریت نوین روسازی"، پژوهشکده حمل و نقل، وزارت راه و ترابری، ۱۳۸۸.
- [12] Ramadah R.H.F, "Modeling of Pavement Condition and Maintenance Priority Ranking for Road Networks", Doctoral Dissertation, Dep. Of Civil Engineering, Univ. King Fahad, Dhahran, 1997.
- [13] Eli Cuelho, Robert Mokwa and Michelle Akin, "Preventive Maintenance Treatment of Flexible Pavements", State of Montana Department of Transportation Research Programs,2006
- [14] Shahin, M.Y. , and Walter. " Pavement Maintenance Management for Roads and Streets Using PAVER system". US Army Corps of Engineers, Construction Engineering Research Laboratory (USACERL).Technical Report M-90/05.
- [1] Hicks, R. G; Seeds, S. B; and Peshkin, D. G; "Selecting a preventive maintenance treatment for flexible pavements" ؛ Foundation for Pavement Preservation, Washington, D.C., 87,(2000).
- [2] Lee.C.Y; "A Probabilistic Approach to the Life-Cycle Cost Assessment of Preventive Maintenance Strategies on Flexible Pavements", Doctoral Dissertation, Dep. Of Civil Engineering, Univ.California, 2010.
- [3] Carrol.D.A; Roohanivand.A & Titi.H; "Capital preventive maintenance", Research and Special Programs Administration, Washington DC, 2004.
- [4] FHWA. 1999; "*Pavement Preservation: A Road Map for the Future*" ; FHWA-SA-99-015. Forum held October 26-28, Kansas City, 1998.
- [5] Chang.J.R; Chen.D.H and Hung.C.T; "Select Preventive Maintenance Treatment Using TOPSIS for SPS-3 Sites in Texas"; Transportation Research Board; NO.1933, 2005, pp 62-71.
- [6] Hajek, J.; Hein, D.; and Chris. O.; 2004. "Decision making for maintenance and rehabilitation of municipal pavements". The2004 annual conference of the transportation association of Canada, Que'bec City, Que'bec.
- [7] Peshkin, D.G.; Hoerner, T.E.; and Zimmerman. K.A; "Optimal Timing of Pavement Preventive Maintenance Treatment Applications." National Cooperative Highway Research Program Report 523, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C, 2004.