«مجله علمی علوم و فنون سازندگی»

سال دوم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، صفحه ۱۱ الی ۲۸

علمی– تخصصی

ارائه مدل برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری روسازی آزادراه

(مطالعه موردی آزادراه قم – گرمسار)

حمزه ذاکری[1*]، محمدباقر یکتایی[2] ، بهروز مطاعی[3]

۱– دکتری تخصصی راه‌وترابری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۲– کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، ۳– دانشجوی دکتری تخصصی راه وترابری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۸، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۶)

چکیده

راه‌ها، شریان‌های حیاتی هر کشور هستند که تأمین شرایط مناسب برای آن‌ها یکی از معیارهای اصلی توسعه‌یافتگی و پیشرفت به شمار می‌آید. این شریان‌ها بایستی پیوسته در شرایط استاندارد از نظر سرویس‌دهی قرار داشته باشند و بستری ایمن و راحت در اختیار استفاده‌کنندگان از این تسهیلات قرار دهند. با توجه به بودجه محدودی که در اختیار متولیان این راه‌ها قرار دارد، دستیابی به شرایطی که در آن راه‌ها با صرف کمترین هزینه شرایط مطلوب خود را حفظ کنند از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. یکی از اهداف کلیدی سازمان‌های دست‌اندرکار در بخش راه‌سازی و مدیریت راه‌ها به تأخیر انداختن خرابی و افزایش عمر مفید شبکه راه‌ها از طریق انجام عملیات‌های تعمیر و نگهداری می‌باشد. این هدف از طریق بهینه‌سازی برنامه‌ریزی عملیات‌ها در سطوح شبکه و پروژه صورت می‌پذیرد. در این راستا در این پژوهش روشی جهت انتخاب گزینه بهینه تعمیر و نگهداری در قطعات روسازی در هر بازه زمانی ارائه شده است. در این تحقیق با استفاده از داده‌های خرابی و ناهمواری، مدل پیش‌بینی وضعیت روسازی بر اساس دو شاخص PCI و IRI ارائه شده است. همچنین برنامه تعمیر و نگهداری یک‌ساله و چندساله تعمیر و نگهداری روسازی بر اساس مدل‌های پیش‌بینی و برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری ارائه شده است. در نهایت برنامه‌های تعمیر و نگهداری در حالت وجود محدودیت بودجه‌ای ارائه شده است که موجب کاهش هزینه‌ها و حفظ شرایط مطلوب روسازی در سال‌های آینده خواهد شد.

کلید واژه‌ها: روسازی، تعمیر، نگهداری، آزادراه

۱. مقدمه

راه‌های موجود در هر کشور یکی از زیرساخت‌های مهم بشمار می‌آیند که بایستی پیوسته مورد پایش و بررسی قرار گیرند تا در شرایط استاندارد از نظر سرویس‌دهی قرار داشته باشند و بستری ایمن و راحت در اختیار استفاده‌کنندگان از این تسهیلات ارائه دهند. با توجه به بودجه محدودی که در اختیار سازندگان این راه‌ها قرار دارد دستیابی به شرایطی که در آن راه‌ها با صرف کمترین هزینه شرایط مطلوب خود را حفظ کنند از اهمیت بالایی برخوردار است. نگهداری مناسب و به‌موقع از شبکه راه‌ها سبب کاهش هزینه بهره‌برداری وسایل نقلیه، افزایش ایمنی و کاهش تصادفات و افزایش اعتماد و رضایت عمومی خواهد شد. همچنین زمانی که مدلی جهت بهینه‌سازی برنامه‌ریزی عملیات‌های تعمیر و نگهداری روسازی راه‌ها وجود داشته باشد، تأمین شرایط استاندارد مستلزم بهسازی و بازسازی گسترده‌ای نخواهد بود و اغلب با انجام یک عملیات تعمیر و نگهداری کم‌هزینه‌تر و پیوسته که در بهینه‌ترین زمان ممکن انجام شود، تأمین این شرایط امکان‌پذیر خواهد بود. یکی از اهداف کلیدی سازمان‌های دست‌اندرکار در بخش راه‌سازی و مدیریت راه‌ها به تأخیر انداختن خرابی و افزایش عمر مفید راه‌ها از طریق انجام عملیات‌های مختلف در سطح شبکه می‌باشد. این هدف از طریق بهینه‌سازی برنامه‌ریزی عملیات نت روسازی در سطوح شبکه و پروژه صورت می‌پذیرد؛ لذا مدیریت تعمیر و نگهداری راه‌ها

[1] نویسنده پاسخگو: h-zakeri@aut.ac.ir

به‌عنوان گسترده‌ترین زیرساخت‌های عمرانی و سرمایه ملی کشور، از مهم‌ترین امور در جهت حفظ وضعیت آن‌ها در سطح مطلوب بوده و چنانچه این امر به طور مناسب انجام نشود، هزینه‌های بیشتری در آینده وارد خواهد شد. بدیهی است که توجه به این امور در زمینه پروژه‌های آزادراهی که جهت ارائه تسهیلات حمل‌ونقل در بالاترین سطح مورداستفاده قرار می‌گیرند از اهمیتی دوچندان برخوردار است.

یکی از مهم‌ترین مسائل در مدیریت راه‌ها، بحث روسازی و مدیریت تعمیر و نگهداری آن‌هاست که توجه کارشناسان حوزه راه‌وترابری به آن در سال‌های اخیر منتج به پیدایش سیستم‌های مدیریت روسازی شده است. سیستم مدیریت روسازی راه سیستمی توسعه‌یافته در راستای کمک به مدیران و کارشناسان نگهداری راه‌ها جهت اخذ تصمیمات مؤثر در مورد اولویت‌ها و روش‌های تعمیر و نگهداری شبکه راه‌ها می‌باشد. در سیستم‌های مدیریت شبکه راه‌های کشور، داده‌های موردنیاز مربوط به وضعیت خرابی هر قطعه از راه‌های کشور در یک پایگاه‌داده عظیم گنجانده شده تا با درنظرگرفتن مجموعه شرایط و تحلیل شاخص‌های بیانگر وضعیت، نیاز به اصلاح و بهسازی روسازی در هر قطعه از راه‌های کشور مشخص شود. یک سیستم مدیریت روسازی راه، ذاتاً مبتنی بر اطلاعات شبکه راه است و داده‌های موردنیاز و اطلاعات لازم برای سیستم مدیریت نگهداری راه، طبق پروتکل معین و پس از تعیین صحت و اعتبار درون بانک اطلاعات ثبت می‌شود تا مورد تحلیل قرار گیرند و اقدام متناسب با شرایط موجود صورت گیرد.

تاریخچه پیدایش سیستم مدیریت روسازی به دهه هفتاد میلادی بازمی‌گردد که در این برهه از زمان با توجه به اینکه شبکه راه‌های موردنیاز در کشورهای توسعه‌یافته تا حد مناسبی گسترش‌یافته بودند، اولویت طراحی و ساخت راه‌ها جای خود را به نظارت و نگهداری از شبکه راه‌ها داده و مفاهیم جدیدی مانند سیستم مدیریت روسازی و سیستم نگهداری راه ارائه شدند. در این مقطع زمانی تحقیقات صورت‌گرفته در کشور آمریکا منجر به ارائه سیستمی گردید که تحت عنوان سیستم مدیریت روسازی[1] شهرت یافت[۱]. از آن زمان تاکنون محققان و اندیشمندان حوزه روسازی تلاش کرده‌اند تا در جهت بهبود عملکرد و کاربردی سازی نتایج این سیستم گام بردارند. به طور خلاصه هدف از تشکیل سامانه‌های مدیریت روسازی بهینه‌سازی عملیات‌های تعمیر و نگهداری روسازی راه‌ها است تا علاوه بر حفظ شرایط روسازی در حالت استاندارد از افزایش هزینه‌ها در این زمینه جلوگیری شود.

به‌طورکلی سه موضوع اساسی در زمینه روسازی قابل طرح و پیگیری است. این موارد عبارت‌اند از: طراحی و ساخت روسازی، مدیریت روسازی و پژوهش در زمینهٔ روسازی. درگذشته بیشتر به امر طراحی و ساخت روسازی راه‌ها توجه می‌شد و مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی‌ها مورد غفلت واقع شده بود. عامل تعیین‌کننده در انتخاب روش تعمیر و نگهداری مناسب، تجربهٔ مهندسین بود. همچنین توجه چندانی به هزینه‌های چرخه عمر و یا به اولویت‌بندی بر اساس ضرورت در سطح شبکه معطوف نمی‌گردید. در اقتصاد امروزی به همان نسبت که از عمر روسازی‌های موجود می‌گذرد، نیاز به در اختیار داشتن یک روش سیستماتیک برای تعیین ضرورت‌ها در امر تعمیر و نگهداری بیشتر احساس می‌گردد. امروزه نیاز به مدیریت شبکه روسازی‌ها بیش‌ازپیش احساس شده و نگهداری بدون برنامه‌ریزی به‌تنهایی دیگر کافی نیست[۲]. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد اهمیت ارائه یک مدل برنامه‌ریزی شده جهت مدیریت عملیات‌های تعمیر و نگهداری در کشورهای توسعه‌یافته جهان از سال‌ها پیش مشخص شده و این کشورها مدل‌های مختلفی در راستای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری روسازی شبکه راه‌های خود توسعه داده‌اند. اما این امر در کشور ما کمتر موردتوجه قرار گرفته است و علی‌رغم اینکه در سال‌های اخیر پیشرفت‌های اندکی به‌صورت پراکنده و ناپیوسته توسط بخش‌های مختلف صورت‌گرفته اما این امر همچنان مورد غفلت واقع شده و نگهداری روسازی راه‌ها بدون انجام یک برنامه‌ریزی بهینه انجام می‌شود که همان‌طور که گفته شد موجب صرف هزینه‌های اضافی خواهد شد. حال آنکه شرایط حال حاضر کشور اهمیت وجود مدل‌های برنامه‌ریزی را در کاهش هزینه‌های پروژه‌های عمرانی برای ما بیشتر کرده است. محققان بسیاری تا امروز تلاش کرده‌اند که در سطح دانش و همچنین پروژه مورد مطالعه خود، مدل بهینه‌ای برای مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی راه‌ها ارائه دهند و در این زمینه پژوهش‌های زیادی انجام شده است که در ابتدا در این بخش به ارائه یک مطالعه مروری از تحقیقات و مطالعات پیشین در سطح بین‌المللی و داخلی پرداخته می‌شود:

وو و همکاران روشی را برای برنامه‌ریزی نگهداری روسازی پیشنهاد دادند که از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه و محدودیت‌های شانس استفاده می‌کرد. این رویکرد می‌تواند چندین هدف متفاوت را کنترل کند و محدودیت‌های احتمالی بودجه‌ای موجود در افق برنامه‌ریزی را در نظر گیرد. به‌کارگیری این روش در یک مطالعه موردی با اهداف به حداکثر رساندن سطح سرویس‌دهی و به‌حداقل‌رساندن هزینه کل نگهداری نشان می‌دهد که این روش ابزاری کاربردی و انعطاف‌پذیر برای تعیین تخصیص بهینه منابع برای حفظ روسازی در شرایط ایده‌آل فراهم

[1] Pavement Management System(PMS)

می‌کند که اهداف سازمان، محدودیت منابع و اهداف عملکردی را کاملاً در نظر می‌گیرد[۳].

بهینه‌سازی مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی در سطح شبکه به‌صورت یک مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح یا برنامه‌ریزی عدد صحیح درهم (برخی از متغیرها گسسته و برخی پیوسته) با متغیرهای تصمیم صفر و یک قابل مدل شدن است. این مدل تعیین می‌کند به کدام قطعه، در چه زمانی و چه نوع عملیات نت اختصاص یابد؛ لذا برنامه عملیات نت برای هر قطعه به‌صورت جداگانه ارائه می‌شود. این مدل‌ها معمولاً از نوع زمان گسسته هستند. در مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح با بزرگ‌شدن تعداد مقاطع شبکه روسازی مورد بررسی، پیچیدگی محاسباتی به‌صورت نمایی افزایش‌یافته و حل دقیق مسئله به‌خصوص برای شبکه‌های با مقیاس بزرگ سخت می‌شود[۴].

در سال ۲۰۱۱ معظمی و همکاران یک مدل اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری روسازی برای ۱۳۱ مقطع از شبکه راه‌های منطقه ۶ شهر تهران با استفاده از فرایند سلسله‌مراتبی تحلیلی، با توجه به شاخص وضعیت روسازی، حجم ترافیک، عرض راه و هزینه نگهداری ارائه دادند. مدل‌سازی منطق فازی مربوط به استنتاج انسان به‌عنوان گام بعدی برای یافتن نتایج دقیق اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری به کار گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده دقت بیشتر روش فازی در مدل‌سازی بودند[۵].

در سال ۲۰۱۲ چاکروبورتی و همکاران ابزاری جهت بهینه‌سازی مدیریت منابع در راستای حفظ یک شبکه راه با ۴۲ قطعه در شرایط استاندارد از نظر ساختاری، عملکردی و ایمنی ارائه دادند. هدف آن‌ها تعیین عملیات‌های تعمیر و نگهداری بهینه برای مقاطع مختلف روسازی بوده که این مسئله را به‌عنوان یک مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی فرموله کردند. نتایج حاصل از این مطالعه موردی نشان می‌دهد که برنامه‌های پیشنهادی تعمیر و نگهداری از منظر ملاحظات مهندسی و اقتصادی منطقی است[۶].

در سال ۲۰۱۵ الحدیدی و همکاران یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه به‌منظور برنامه‌ریزی عملیات‌های تعمیر و نگهداری در سطح شبکه راه‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک به‌همراه مدل اضمحلال مبتنی بر روش زنجیره مارکوف معرفی کردند. بکار گیری مدل توسعه‌یافته در یک شبکه بزرگراهی در مصر با هدف حداقل شدن هزینه‌های تعمیر و نگهداری و حداکثر شدن مقادیر شاخص PCI نشان داد که از طریق راه‌حل‌های بهینه ارائه شده، یک مقام تصمیم‌گیرنده می‌تواند به‌راحتی اطلاعات مربوط به برنامه تعمیر و نگهداری را با حداقل هزینه‌های عملیاتی و شرایط مناسب روسازی را به دست آورد[۷].

ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ مدلی برای بهینه‌سازی عملیات‌های نگهداری، بهسازی و بازسازی برای سیستمی متشکل از قطعات روسازی ناهمگن با درنظرگرفتن محدودیت بودجه‌ای ارائه دادند. هدف این پژوهش کاهش هزینه‌های کاربران راه و سازمان متولی راه بود. در این کار از یک روش لاگرانژی همراه با الگوریتم کواسی - نیوتن استفاده شد که نتایج این تحقیق نشان‌دهنده موفقیت در کاهش هزینه با به‌کارگیری این مدل بودند[۸].

منساه و همکاران در سال ۲۰۱۸ سه روش برنامه‌ریزی تخصیص بودجه (تجزیه وتحلیل هزینه فایده، برنامه‌ریزی صحیح خطی و تخصیص بر اساس "درخت تصمیم + نیاز") را از طریق یک مطالعه موردی عددی مورد مقایسه قرار دادند. این مطالعه در یک شبکه راه شامل ۵۰ قطعه در راستای اولویت‌بندی پروژه‌ها و تخصیص بودجه اجرا شد و نتایج آن نشان داد که برنامه‌ریزی عدد صحیح کارایی بهتری از دو روش دیگر در تخصیص بودجه و حفظ شبکه در وضعیت ایده‌آل دارد. این محققین بر اساس تجربه خود از پژوهش مذکور نیاز به توسعه رویکردهای ترکیبی بیشتر که بتواند از مزایای روش‌های مختلف تخصیص منابع استفاده کند را گوشزد کرده‌اند[۹].

خاوندی و محمدی در سال ۲۰۱۸ در تحقیقی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های سازمان و هزینه‌های کاربران و بیشینه‌سازی ارزش باقیمانده روسازی‌ها در پایان دوره تحلیل از روش بهینه‌سازی چندهدفه قطعی به‌منظور ارائه مدل مدیریت روسازی‌های انعطاف‌پذیر در سطح شبکه استفاده کردند. در ارائه این مدل از الگوریتم ژنتیک بهره گرفته شد. همچنین برای پیش‌بینی شرایط روسازی از مدل پیش‌بینی عملکرد روسازی تگزاس و برای محاسبه هزینه کاربران نیز از مدل موجود در نرم‌افزار HDM-4 بهره گرفتند که نتایج آن نشان از وزن بالاتر هزینه کاربران راه در مدل‌سازی دارد[۱۰].

تورس ماچی و همکاران در سال ۲۰۱۸ به‌منظور ارزیابی توأم تأثیرات محیطی و محدودیت‌های بودجه‌ای بر تصمیم‌گیری‌ها در مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی یک مطالعه موردی ارائه دادند که نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که افزایش ۲ درصدی در بودجه تعمیر و نگهداری، امکان تصمیم‌گیری‌های پایدارتر در خصوص برنامه‌های تعمیر و نگهداری را فراهم می‌کند. به طور مثال به‌کارگیری روش‌های بازیافت در محل سرد و ترمیم تمام عمق روسازی که انتشار گازهای گلخانه‌ای آن‌ها کمتر از سایر گزینه‌ها است در این تحقیق پیشنهاد شد. همچنین روکش آسفالتی و میکروسرفیسینگ در صورت وجود محدودیت‌های بودجه‌ای پیشنهاد شدند[۱۱].

احمد و همکاران در سال ۲۰۱۹ با بهره‌گیری از الگوریتم بهینه‌سازی دسته ذرات چندهدفه گسسته با روش‌های آشفتگی، مدلی برای مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی ارائه دادند. هدف اصلی این پژوهش یافتن استراتژی بهینه تعمیر و نگهداری در روسازی‌های آسفالتی با حداقل هزینه تعمیر و نگهداری و بالاترین عملکرد روسازی بود. نتایج تحقیق نشان از بهبود در عملکرد روسازی و کاهش هزینه به ترتیب معادل ۹۴,۶۵ و ۵۴,۰۱ درصد را داشت، درحالی‌که بهبود در زمان اجرا نیز ۹۹,۹ درصد اعلام شد. علاوه بر این، مشخص شد که الگوریتم توسعه‌یافته قادر است به‌سرعت به راه‌حل بهینه همگرا شود[۱۲].

در سال ۲۰۲۰ الحدیدی و همکاران یک مدل بهینه‌سازی تعمیر و نگهداری روسازی چندهدفه با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک در سطح شبکه ارائه دادند. در این پژوهش یک ماتریس احتمال انتقال بهینه‌سازی به‌منظور استفاده از روش زنجیره مارکوف برای پیش‌بینی عملکرد روسازی بر اساس پایگاه‌داده‌های عملکردی بلندمدت روسازی ارائه شده است. مدل پیشنهادی در مقاطع مختلف روسازی بکار گرفته شده و توانایی آن در پیش‌بینی عملکرد روسازی با استفاده از شاخص وضعیت روسازی در طول عمر خود نشان‌داده‌شده است. توابع بهینه‌سازی دو هدفه به‌منظور به‌حداقل‌رساندن هزینه تعمیر و نگهداری و به حداکثر رساندن شرایط ایده‌آل برای شبکه راه مورداستفاده، ارائه شده است. طبق ادعای این محققان مدل پیشنهادی به مهندسان راه کمک می‌کند تا برنامه‌های نگهداری را با بهترین شرایط و کمترین هزینه ارائه دهند[۱۳].

در این بخش مروری بر مطالعات پیشین و ادبیات موضوع صورت گرفت و تحقیقاتی که در سالیان اخیر ارائه شده‌اند موردبحث قرار گرفتند. در انتها یک جمع‌بندی از مطالعات بررسی شده در جدول(۱) ارائه شده است. آنچه که در جمع‌بندی از این مطالعات می‌توان دریافت تلاش محققان در جهت ارائه مدل تعمیر و نگهداری مختص شبکه راه‌های موردمطالعه خود است. این موضوع از این نظر اهمیت دارد که چون معیارهای طراحی و اجرای روسازی راه‌ها در هر کشور متفاوت است، بنابراین مدل تعمیر و نگهداری متفاوتی را باید برای آن ارائه داد. به طور مثال عمر روسازی در مراجع استاندارد ۲۰ تا ۳۰ سال در نظر گرفته شده است. درحالی‌که این مقدار به طور مثال در کشور ایران در واقع حدود ۱۰ سال است؛ بنابراین مدل‌های برنامه‌ریزی متداول موجود، برای شبکه راه‌های کشور ایران به پاسخ بهینه نمی‌رسد. همچنین مدلی که جهت تعمیر و نگهداری راه‌های اصلی استفاده می‌شود به دلیل تفاوت‌های طراحی، اجرا و بهره‌برداری در زمینه آزادراه‌ها مناسب نیست. در همین راستا در این پژوهش مدل بهینه برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری روسازی آزادراه‌های کشور بر اساس داده‌های خرابی و ناهمواری برداشت شده در طی سال‌های ۹۵ تا ۹۹ ارائه شده است.

جدول (۱). جمع‌بندی مطالعات پیشین

نویسنده	کشور	تاریخ	نتایج
الحدیدی و همکاران	مصر (راه اصلی)	۲۰۲۰	کمک به مهندسان راه در ارائه برنامه‌های نگهداری با بهترین شرایط و کمترین هزینه
احمد و همکاران	عراق	۲۰۱۹	بهبود در عملکرد روسازی، کاهش هزینه و زمان اجرا
تورس ماچی و همکاران	شیلی	۲۰۱۸	تصمیم‌گیری‌های پایدارتر در خصوص برنامه‌های تعمیر و نگهداری
خاوندی و محمدی	ایران (۸۵ کیلومتر راه اصلی)	۲۰۱۸	کمینه‌سازی هزینه‌های سازمان و هزینه‌های کاربران و بیشینه‌سازی ارزش باقیمانده روسازی‌ها در پایان دوره تحلیل
منساه و همکاران	آمریکا	۲۰۱۸	تخصیص بودجه و حفظ شبکه در وضعیت ایده‌آل
ژانگ و همکاران	هنگ‌کنگ	۲۰۱۷	کاهش هزینه
الحدیدی و همکاران	مصر (بزرگراه)	۲۰۱۵	حداقل‌سازی هزینه‌های عملیاتی و تأمین شرایط مناسب روسازی
چاکروبورتی و همکاران	هند	۲۰۱۲	بهینه‌سازی ملاحظات مهندسی و اقتصادی
معظمی و همکاران	ایران (شهر تهران)	۲۰۱۱	افزایش دقت مدل‌سازی
وو و همکاران	آمریکا	۲۰۰۹	به حداکثر رساندن سطح سرویس‌دهی و به‌حداقل‌رساندن هزینه کل نگهداری

طبق آنچه که در بخش مقدمه و مرور ادبیات موضوع ارائه شد، جهت دستیابی به مدل بهینه تعمیر و نگهداری باید اطلاعات کاملی از پروژه و شبکه راه‌های مذکور به دست آورد و مراحل مختلفی را جهت دستیابی به مدل مذکور طی کرد. در این پژوهش بخش‌هایی که منتج به ارائه مدل موردنظر خواهد شد را می‌توان به‌صورت زیر ارائه داد:

- شناسایی و تعیین شاخص وضعیت روسازی مورد استفاده
- تعیین سیاست‌های نگهداری، هزینه و میزان تأثیر آن‌ها
- محاسبه نرخ اضمحلال روسازی، بودجه و دوره برنامه‌ریزی
- توسعه مدل پیش‌بینی و مدل برنامه‌ریزی عملیات تعمیر و نگهداری

۲. روش تحقیق

در راستای نیاز به دستیابی به روش‌هایی جهت کاهش هزینه‌های پروژه‌های زیرساختی و ملی همراه با حفظ عملکرد مطلوب در این تحقیق در این پژوهش سعی می‌شود تا با بهره‌گیری از ابزارهای اولویت‌بندی و بهینه‌سازی مدلی جهت انتخاب گزینه بهینه ترمیم و نگهداری در قطعات روسازی در هر بازه زمانی ارائه شود. به طور خلاصه نتایج این پژوهش منتج به ارائه مدلی خواهد شد که با توجه به شاخص‌های بیانگر وضعیت روسازی مدنظر، بهینه‌ترین برنامه تعمیر و نگهداری روسازی که منجر به کمترین صرف هزینه و بیشترین عمر مفید روسازی پروژه خواهد شد را ارائه می‌دهد. این پروژه تحقیقاتی در راستای ارائه مدلی جهت بهینه‌سازی عملیات‌های تعمیر و نگهداری روسازی در فاز بهره‌برداری پروژه‌های آزادراهی ارائه خواهد شد.

۲-۱. شناسایی و تعیین شاخص وضعیت روسازی مورداستفاده

اساس برنامه‌ریزی در مورد چگونگی تعمیر و نگهداری روسازی بر پایه اطلاع از وضعیت موجود آن استوار است. برای اطلاع از وضعیت موجود می‌توان از شاخص‌ها، نشانه‌ها و اطلاعات مختلفی که مرتبط با خرابی‌های سطحی، ناهمواری‌ها، شرایط سازه‌ای و... هستند بهره برد. این شاخص‌ها می‌بایست علاوه بر اطلاعاتی که در مورد وضعیت موجود روسازی در اختیار می‌گذارند، قابلیت پیش‌بینی وضعیت آتی روسازی را نیز ارائه دهند. برای آنکه بتوان وضعیت روسازی را بادقت قابل‌اطمینانی پیش‌بینی کرده و در مورد وضعیت موجود آن تصمیم‌گیری کرد، می‌بایست از یک سیستم رده بنده شده و قابل محاسبه برای استخراج وضعیت روسازی و خرابی‌های آن استفاده نمود.

شاخص وضعیت روسازی (PCI) معیاری برای ارزیابی شرایط روسازی از نظر خرابی‌های موجود می‌باشد. روش محاسبه شاخص وضعیت روسازی توسط گروه مهندسین ارتش ایالات متحده پیشنهاد شده و مورد تأیید و استفاده بسیاری از مؤسسات معتبر در سرتاسر دنیا قرار گرفته است. شاخص وضعیت روسازی یک نشانه عددی است که مقدار آن از صفر برای یک روسازی غیر قابل استفاده تا ۱۰۰ برای یک روسازی کاملاً بی‌عیب و نقص تغییر می‌کند. شاخص ناهمواری عدد اختصاری است که بر اساس اعداد بسیاری که نیمرخ را ایجاد می‌نماید، محاسبه می‌گردد. جزئیات محاسبات بیانگر معنی و مفهوم این شاخص است. این عدد می‌تواند مربوط به نحوه حرکات مدل ریاضی وسیله نقلیه، مختصری از ادوات موردنیاز، یا تعدادی از شاخص‌های بکار رفته درگذشته و یا اختصاری از مفهوم ناهمواری باشد؛ یا آنکه با هیچ یک در ارتباط نباشد. در این بخش از میان شاخص‌های پرشمار تعیین ناهمواری، شاخص ناهمواری بین‌المللی (IRI) مورد بررسی قرار گرفته است که مهم‌ترین شاخص مورداستفاده در زمینه ارزیابی ناهمواری روسازی راه‌ها بشمار می‌آید.

۲-۲. سیاست‌های تعمیر و نگهداری، هزینه و میزان تأثیر آن‌ها

یکی دیگر از پیش‌نیازهای ارائه مدل برنامه‌ریزی عملیات نت، تعیین سیاست‌های تعمیر و نگهداری متناسب با شرایط روسازی است. این گزینه‌های بهسازی علاوه بر اینکه می‌بایست برای رفع خرابی‌ها و مشکلات روسازی مناسب باشند، به جهت کاربردی بودن طرح، می‌بایست متناسب با توان پیمانکاران داخلی و تجارب گذشته نیز باشند. به همین دلیل این سیاست‌ها بر اساس روش‌های قابل‌اجرا در کشور و بر اساس عملیات‌های متداول ترمیم و نگهداری روسازی راه‌ها کسب شده‌اند. در ادامه توضیحات مختصری راجع به عملیات‌های مورداستفاده در گزینه گذاری ارائه شده است.

به‌منظور تعیین سیاست‌ها و گزینه‌های تعمیر و نگهداری که جهت حفظ و یا رساندن روسازی به سطح مطلوب مورداستفاده قرار می‌گیرند، در این پژوهش گزینه‌های عملیات تعمیر و نگهداری شبکه روسازی در ۴ دسته اصلی قرار گرفته‌اند. این ۴ دسته به ترتیب هزینه از کم به زیاد عبارت‌اند از: بدون نیاز به

عملیات، پیشگیرانه، بهسازی و بازسازی. در میان این سیاست‌ها، سیاست اول یعنی "بدون نیاز به عملیات" نشان‌دهنده این موضوع است که هیچ عملیات نت در آن مقطع زمانی روی روسازی موردنظر انجام نمی‌شود. سیاست‌های کلی به طور کامل به‌صورت زیر می‌باشند:

۱- بدون نیاز به عملیات

۲- درزگیری

۳- پیشگیرانه نوع ۱: فوگ سیل، چیپ سیل

۴- پیشگیرانه نوع ۲: میکروسرفیسینگ، اسلاری سیل و کیپ سیل

۵- پیشگیرانه نوع ۳: روکش نازک بتن آسفالتی گرم

۶-بهسازی نوع ۱: آماده‌سازی سطح و روکش یک‌لایه‌ای با بتن آسفالتی گرم، تراش و روکش

۷- بهسازی نوع ۲: دو یا بیشتر از دولایه روکش بتن آسفالتی، تراش و روکش ۲ یا بیشتر از ۲ لایه

۸- بازسازی: برداشت لایه‌های آسفالتی، ترمیم اساس و اجرای لایه‌های آسفالتی

۲-۳. هزینه و میزان تأثیر سیاست‌های تعمیر و نگهداری

تعیین هزینه سیاست‌های تعمیر و نگهداری بر اساس هزینه نوع عملیات نت به واحد طول یا مساحت روسازی از پیش‌نیازهای ارائه برنامه تعمیر و نگهداری روسازی می‌باشد. همچنین باید مشخص شود که میزان بهبود به وجود آمده در وضعیت شاخص‌های وضعیت روسازی پس از اجرای هر عملیات چه مقدار می‌باشد.

در ادامه میزان بهبود و هزینه تقریبی حاصل از انجام هر یک از عملیات‌های نت در جدول(۲) ارائه شده است. میانگین بهبود عملکردی در زمینه ناهمواری از پژوهش‌های لو و تولیور و پترسون استخراج شده است [۱۴ و ۱۵]. این مهم بر اساس داده‌های پایگاه‌داده LTPP و بانک جهانی انجام شده است. میزان بهبود در شاخص PCI نیز بر اساس پژوهش‌های نینگوان و همکاران و کسب نظر از کارشناسان سازمان راهداری به‌دست‌آمده است[۱۶].

محاسبه هزینه بر اساس هزینه نوع عملیات نت به واحد طول یا مساحت روسازی موردنظر، انجام می‌شود. در این پژوهش هزینه هر یک از عملیات‌ها از پایگاه‌داده سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای و بر اساس فهرست‌بها راهداری استخراج شده است.

جدول(۲). هزینه و میزان بهبود ناشی از انجام هر یک از عملیات‌های تعمیر و نگهداری

سیاست	هزینه (هزار ریال بر متر طول/ مربع)	میزان بهبود در ناهمواری (IRI)	میزان بهبود در خرابی (PCI)
بدون عملیات	۰	۰	۰
درزگیری ترک به عرض ۲ تا ۵ و عمق ۲ (cm)	۱۲۰	۰	۵-۲۰ بهبود
فوگ سیل= چیپ سیل	۱۲۰-۳۷۰	۰,۲-۰,۵	PCI= 75-95
میکروسرفیسینگ، اسلاری سیل و کیپ سیل	۳۶۰-۸۴۰	۰,۳-۰,۶	PCI= 80-100
بیندر به ضخامت ۶cm	۲۶۰۰	۰,۳-۰,۷	PCI= 90-100
لکه‌گیری ۳۰ درصد سطح، بیندر به ضخامت ۶cm	۳۴۰۰	۱,۱-۱,۵	PCI= 95-100
لکه‌گیری ۳۰ درصد سطح، بیندر به ضخامت ۶cm، توپکا به ضخامت ۵cm	۵۵۰۰	۱,۶-۲,۱	PCI= 95-100
برداشت لایه‌های آسفالتی، ترمیم اساس و اجرای لایه‌های آسفالتی	۱۰۰۰۰	تغییر وضعیت به وضعیت روسازی تازه (IRI=1.5)	PCI =100

۲-۴. پایگاه‌داده

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از پایگاه‌داده سیستم

مدیریت روسازی راه‌های سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای کشور برداشت شده است که اطلاعات مربوط به وضعیت روسازی راه‌ها از سال ۹۵ در آن موجود است. این داده‌ها توسط دستگاه‌های مخصوص مجهز به لیزر و دوربین‌های پیشرفته برداشت می‌شود که در سطح راه‌های کشور حرکت کرده و برداشت اطلاعات مرتبط با خرابی‌ها، ناهمواری و وضعیت بافت سطح روسازی را انجام می‌دهند. داده‌های این پایگاه شامل داده‌های شاخص ناهمواری (IRI)، داده‌های خرابی و شاخص وضعیت روسازی (PCI) می‌باشد که در جدول(۳) مشخصات این داده‌ها آورده شده است.

جدول (۳). مشخصات پایگاه‌داده مورد استفاده

نوع داده	زیرمجموعه
ناهمواری	شاخص بین‌المللی ناهمواری (IRI)
خرابی	شیارشدگی
	ترک خستگی
	ترک عرضی
	ترک بلوکی
	شن زدگی
	چاله

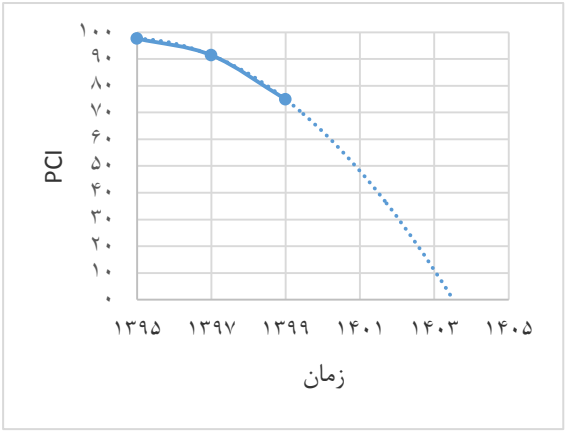
۲-۵. پیش‌بینی وضعیت روسازی

بر اساس وضعیت شاخص PCI در طی سال‌های ۹۵ تا ۹۹ و با استفاده از برون‌یابی مقادیر آن برای سال‌های آینده با تلفیق نظرات کارشناسان و قضاوت مهندسی و مطالعه رفتار روسازی در سال‌های بهره‌برداری در مراجع، می‌توان مدل پیش‌بینی وضعیت روسازی را مطابق رابطه (۱) استخراج کرد.

$$PCI = -1.2858year^2 + 3586.8year - 3E^{+6} \quad (۱)$$

Year =سال

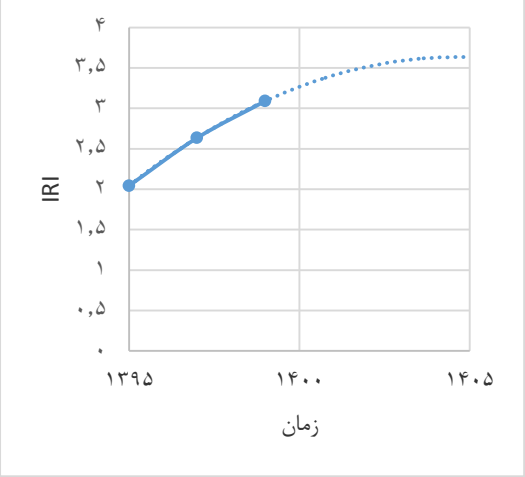
شکل(۱) منحنی مدل پیش‌بینی شاخص PCI را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود وضعیت روسازی با رسیدن به محدوده بحرانی افت شدیدی پیدا می‌کند که اگر از وقوع این افت شدید با اقدامات پیشگیرانه جلوگیری نشود، سنگین‌ترین هزینه‌ها به متولیان راه و استفاده‌کنندگان از آن وارد خواهد شد.



شکل(۱). نمودار پیش‌بینی تغییرات ده‌ساله شاخص PCI آزادراه‌های کشور

همچنین بر اساس وضعیت شاخص ناهمواری در طی سال‌های ۹۵ تا ۹۹ و پیش‌بینی و برون‌یابی آن برای سال‌های آینده بر اساس روش‌های درون‌یابی و همچنین قضاوت مهندسی و آنچه که از رفتار روسازی در سال‌های بهره‌برداری در مراجع استخراج می‌شود می‌توان مدل پیش‌بینی وضعیت روسازی را استخراج کرد. رابطه(۲) را می‌توان برای پیش‌بینی شرایط ناهمواری روسازی ارائه داد. شکل(۲) نمودار وضعیت پیش‌بینی‌شده ناهمواری را تا سال ۱۴۰۵ نمایش می‌دهد.

$$IRI = -0.017year^2 + 48.21year - 33855.24 \quad (۲)$$

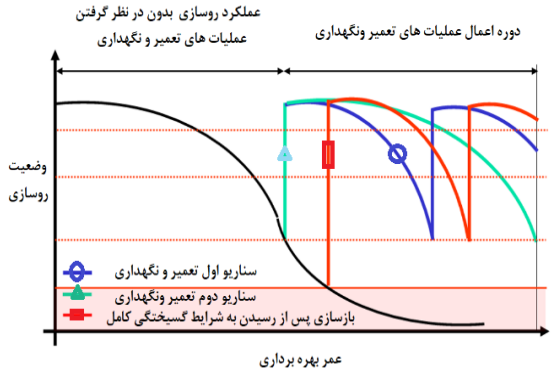


شکل (۲). منحنی تغییرات ده‌ساله شاخص IRI آزادراه‌های کشور

۲-۶. برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری

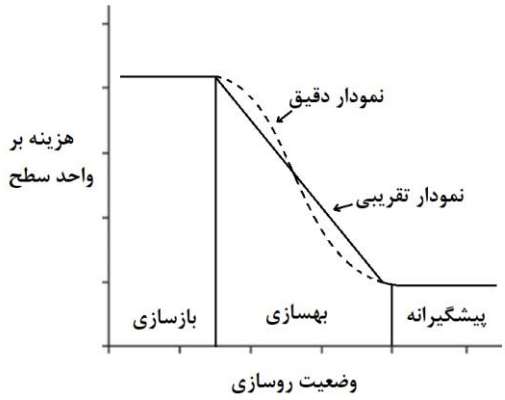
در این بخش مشخصات مدل برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری روسازی راه ارائه می‌شود. یک اصل ثابت شده در امر مدیریت روسازی این نکته هست که باید شرایط روسازی از نظر خرابی،

ناهمواری و به‌طورکلی هرآنچه در کیفیت سرویس‌دهی راه تأثیر دارد در یک حد مطلوب حفظ شود زیرا گذر از این حد موجب می‌شود تا روسازی که می‌تواند با درنظرگرفتن یک برنامه تعمیر و نگهداری با صرف هزینه‌ای متعارف شرایط مطلوب خود را حفظ کند، پس از گذشت مدتی نیاز به بهسازی‌های اساسی و یا حتی بازسازی داشته باشد که هزینه‌های مالی و بار روانی زیادی را به سازندگان، متولیان نگهداری و استفاده‌کنندگان از این تسهیلات وارد می‌کند. از منظر علمی و عملی همان‌طور که در شکل(۳) مشاهده می‌شود اگر روسازی پس از ساخت به حال خود گذاشته شود و عملیات‌های تعمیر و نگهداری بر روی آن انجام نشود وضعیت روسازی پس از طی مدت زمانی به حد نامطلوبی کاهش می‌یابد که به این شکل منحنی اضمحلال روسازی اطلاق می‌شود. حال اگر روسازی در مقاطع زمانی تعریف شده بر اساس شرایط روسازی مورد بهسازی و تعمیر و نگهداری قرار گیرد شرایط روسازی به حالت مطلوب اولیه خود و یا حداقل نزدیک به آن برمی‌گردد و دوباره مدت زمانی طول می‌کشد تا شرایط افت کند (سناریوهای مطرح شده در شکل(۳) صرفاً جهت نمایش چگونگی تغییر شرایط روسازی در صورت اعمال عملیات‌های تعمیر و نگهداری ارائه شده‌اند و دارای مشخصات خاصی نیستند).



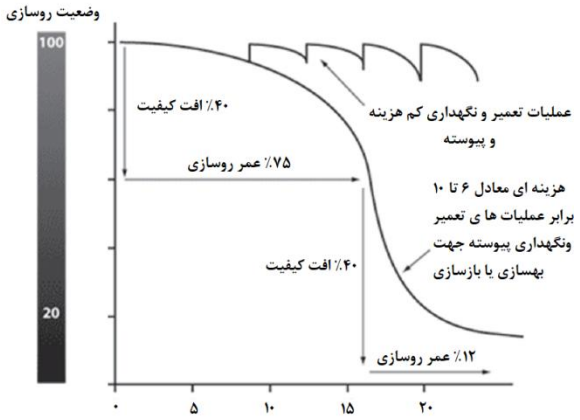
شکل(۳). منحنی اضمحلال روسازی

توجه به این نکته ضروری است که هرچقدر از عمر بهره‌برداری روسازی زمان بگذرد و وضعیت روسازی دچار افت شدیدتری شود، برگرداندن آن به شرایط مطلوب نیازمند صرف هزینه بیشتری خواهد بود زیرا در این حالت خرابی سطحی که با یک اقدام به‌موقع ترمیم نشده است باعث ایجاد نقص سازه‌ای و بنیادی شده که تنها عملیات بهسازی سنگین یا بازسازی آن را به شرایط مطلوب برمی‌گرداند. شکل(۴) نشان می‌دهد که چگونه خرابی بیشتر منجر به‌صرف هزینه بیشتر به‌ازای واحد سطح روسازی خواهد شد.



شکل (۴). مقدار هزینه در واحد سطح روسازی به‌ازای شرایط روسازی[۲]

لذا در صورت وجود امکان درنظرگرفتن یک برنامه نگهداری دوره‌ای منظم و کم‌حجم به‌منظور حفظ شرایط روسازی در وضعیت ایده‌آل به‌نحوی‌که در شکل (۵) قابل‌مشاهده است موجب کاهش هزینه‌های نگهداری روسازی خواهد شد. در این نمودار مشخص است که حدود ۴۰ درصد افت کیفیت روسازی در ۷۵ درصد عمر بهره‌برداری روسازی اتفاق می‌افتد که مربوط به زمانی است که روسازی هنوز یکپارچگی خود را حفظ کرده است. ضروری است که در این مقطع روسازی موردتوجه قرار گیرد و با اعمال پیشگیرانه از اضمحلال بیشتر روسازی جلوگیری کرد. در این نمودار می‌بینیم که ۴۰ درصد دوم افت کیفیت در ۱۲ درصد عمر روسازی رخ می‌دهد. این موضوع یعنی در این ناحیه افت کیفیت سرعت بیشتری گرفته و روسازی به‌سرعت در حال ازدست‌دادن یکپارچگی خود است. در این حالت چون دیگر عملیات‌های پیشگیرانه جوابگوی حجم عظیم خرابی‌ها نیست عملیات‌های سنگین‌تری جهت بهسازی و یا بازسازی روسازی نیاز است که هزینه‌ای معادل ۶ تا ۱۰ برابر هزینه عملیات‌های پیشگیرانه خواهند داشت. این نمودار به کامل‌ترین صورت اهمیت در نظرگرفتن برنامه بهینه تعمیر و نگهداری را به جهت کاهش هزینه‌های نگهداری و افزایش عمر روسازی راه‌ها به نمایش می‌گذارد[۱۷].



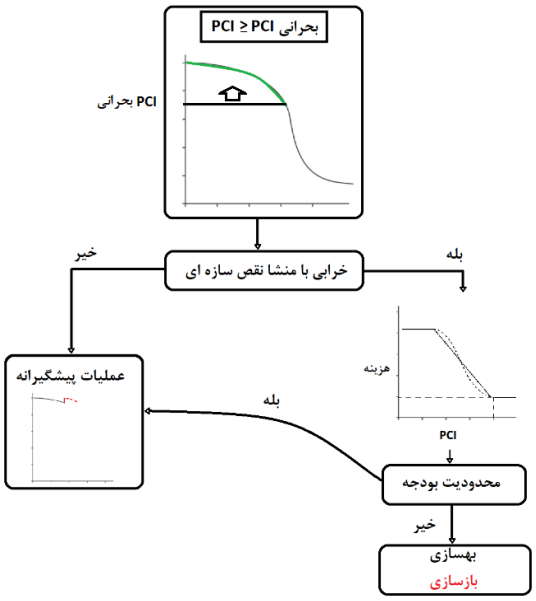
شکل (۵). منحنی اضمحلال روسازی با و بدون درنظرگرفتن عملیات نت پیوسته[۱۷]

برای ارائه این برنامه‌ریزی باید یک حد بحرانی برای شاخص‌های ارزیابی روسازی در نظر گرفت. این حد بحرانی را می‌توان با مطالعه وضعیت روسازی و انجام عملیات‌های تعمیر و نگهداری و مقایسه هزینه آن‌ها به دست آورد اما ازآنجایی‌که باتوجه‌به اینکه تاریخچه سیستم مدیریت روسازی و به دنبال آن برداشت داده‌های مربوط به روسازی راه‌ها در کشور به نهایتاً سه سال می‌رسد بازه PCI و IRI بحرانی بر اساس تلفیق مراجع علمی و تجربه کارشناسان راه‌سازی کشور به‌منظور بومی‌سازی نتایج، به‌صورت جدول(۴) در نظر گرفته می‌شود.

جدول (۴). مقادیر بحرانی شاخص‌های وضعیت روسازی

شاخص	مقدار بحرانی
PCI	۶۰-۷۵
IRI	۳-۵

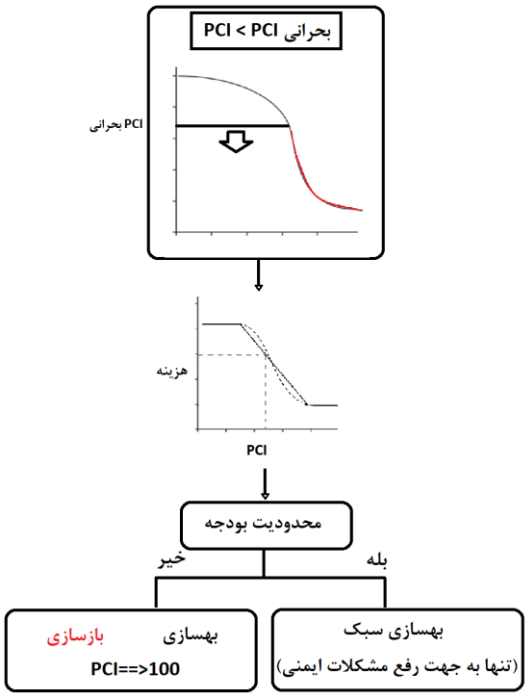
با توجه به مقادیر بحرانی در نظر گرفته شده می‌توان برنامه تعمیر و نگهداری روسازی را بر اساس آن به دست آورد که در اشکال (۶ تا ۸) مشاهده می‌شود.



شکل (۶). فلوچارت برنامه تعمیر و نگهداری برای حالت پیش از شرایط بحرانی خرابی

با توجه به شکل(۶) اگر مقدار شاخص وضعیت روسازی بالاتر از وضعیت بحرانی باشد باید بررسی کرد که آیا خرابی با منشأ سازه‌ای در روسازی موجود است یا خیر. اگر پاسخ مثبت باشد در این حالت باتوجه‌به نمودار هزینه در برابر وضعیت جهت جلوگیری از رسیدن به محدوده افزایش با شیب زیاد هزینه اگر با محدودیت بودجه مواجه نبودیم و بودجه در نظر گرفته شده کفایت داشت با انجام یک عملیات بهسازی یا در موارد خیلی نادر، با بازسازی وضعیت روسازی را به شرایط مطلوب اولیه نزدیک کرد. اما اگر محدودیت بودجه اجازه چنین کاری را نداد با یک عملیات پیشگیرانه وضعیت را کنترل کرد.

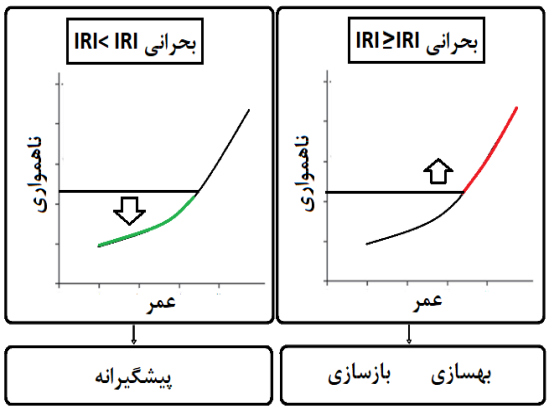
در صورت عدم وجود خرابی‌های سازه‌ای نیز اجرای عملیات‌های پیشگیرانه در صورت وجود خرابی و متناسب با آن گزینه مناسبی خواهد بود.



شکل (۷). فلوچارت برنامه تعمیر و نگهداری برای حالت پس از شرایط بحرانی خرابی

بر اساس فلوچارت شکل(۷) اگر مقدار شاخص وضعیت روسازی پایین‌تر از حد بحرانی باشد در این حالت در صورت وجود محدودیت بودجه‌ای بایستی اقدام به انجام بهسازی‌های سبک برای جلوگیری از وقوع خرابی‌هایی داشت که ایمنی مسیر را به خطر می‌اندازد مانند چاله و افتادگی شانه راه و غیره. اما اگر محدودیتی در بودجه در نظر گرفته شده وجود نداشته باشد بسته به نوع، حجم و شدت خرابی باید با انجام عملیات بهسازی و یا بازسازی وضعیت را به حالت اولیه بهره‌برداری برگرداند.

همچنین باید وضعیت ناهمواری در ارائه برنامه تعمیر و نگهداری موردتوجه قرار گیرد که در شکل(۸) فلوچارت تصمیم‌گیری بر اساس ناهمواری روسازی ارائه شده است.



شکل(۸). فلوچارت **برنامه** تعمیر و نگهداری برای حالت پس از شرایط بحرانی ناهمواری

همان‌طور که مشاهده می‌شود در صورت عبور وضعیت ناهمواری از شرایط بحرانی بسته به شرایط روسازی بهسازی یا بازسازی شده و در غیر این صورت عملیات‌های پیشگیرانه مرتبط اعمال خواهد شد.

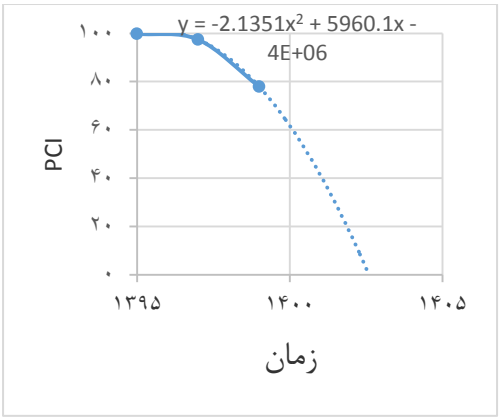
۳. نتایج و بحث

در بخش ۲-۵ نمودار شرایط موجود و پیش‌بینی شرایط تا سال ۱۴۰۵ برای شبکه آزادراهی کشور ارائه شد. در این بخش بر اساس مراحل مختلفی که در بخش‌های پیشین توضیح داده شد، مدل‌های مربوط به مطالعه موردی این تحقیق یعنی آزادراه قم - گرمسار و برنامه‌ریزی عملیات‌های تعمیر و نگهداری با رویکردهای مختلف بدون محدودیت بودجه و با محدودیت‌های مختلف بودجه‌ای برای این آزادراه ارائه می‌شود.

بر اساس وضعیت شاخص PCI در طی سال‌های ۹۵ تا ۹۹ و با استفاده از برون‌یابی مقادیر آن برای سال‌های آینده با تلفیق نظرات کارشناسان و قضاوت مهندسی و مطالعه رفتار روسازی در سال‌های بهره‌برداری در مراجع، می‌توان مدل پیش‌بینی وضعیت روسازی استخراج کرد که در این پژوهش به‌صورت رابطه(۳) ارائه شده است.

$$PCI = -2.135year^2 + 5960year - 4e^{+6} \qquad (۳)$$

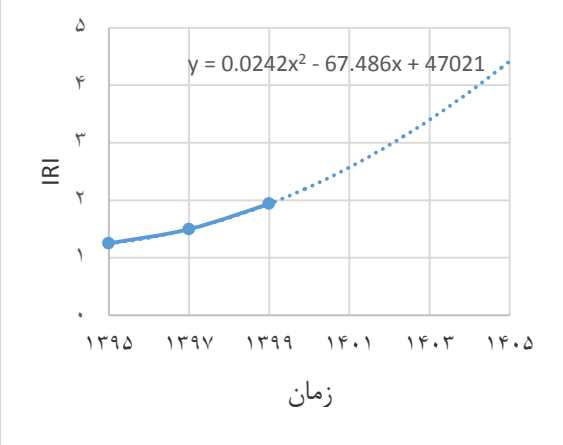
شکل(۹) منحنی مدل پیش‌بینی شاخص PCI را برای این آزادراه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود وضعیت روسازی با رسیدن به محدوده بحرانی افت شدیدی پیدا می‌کند که اگر با اقدامات پیشگیرانه از وقوع این افت شدید جلوگیری نشود، هزینه‌های سنگین چند برابری به متولیان راه و استفاده‌کنندگان از آن وارد خواهد شد. مشاهده می‌شود که شیب اضمحلال روسازی پس از رسیدن به محدوده ۶۰-۷۵ شیب نزولی شدیدتری را در پیش گرفته است.



شکل(۹). منحنی تغییرات ده‌ساله پیش‌بینی‌شده شاخص PCI آزادراه قم - گرمسار

شکل(۱۰) نیز منحنی تغییرات پیش‌بینی‌شده برای شاخص ناهمواری آزادراه قم - گرمسار را تا سال ۱۴۰۵ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این منحنی دارای یک نرخ صعودی است که شیب آن باگذشت زمان افزایش می‌یابد و بایستی در زمان بهینه روند صعودی آن را با وقفه مواجه کرد تا بتوان از به بار آمدن هزینه‌های اضافی جلوگیری کرد. معادله تغییرات شاخص IRI در زمان برای قطعه آزادراهی قم - گرمسار به‌صورت رابطه(۴) استخراج شده است.

$$IRI = 0.0242year^2 - 67.486year + 47021 \quad (۴)$$



شکل(۱۰). منحنی تغییرات ده‌ساله پیش‌بینی شده شاخص IRI آزادراه قم - گرمسار

با ارائه نمودار وضعیت موجود و مدل پیش‌بینی برای شبکه آزادراه‌های کشور و آزادراه موردمطالعه قم - گرمسار، همچنین با مشخصاتی که در بخش‌های قبل در مورد مشخصات مدل بهبود عملکرد یا مدل تعمیر و نگهداری روسازی ارائه شد می‌توان در این بخش مدل بهینه تعمیر و نگهداری روسازی آزادراه قم - گرمسار را ارائه داد. این کار به‌صورت متداول به دو روش انجام می‌شود: بدون درنظرگرفتن محدودیت بودجه‌ای و با درنظرگرفتن محدودیت بودجه‌ای. در این بخش ابتدا برنامه بهینه تعمیر و نگهداری بهینه که اجرای آن جهت دستیابی به حالت ایده‌آل شرایط روسازی از نظر کارشناسی روسازی ضروری است ارائه شده، سپس با درنظرگرفتن محدودیت‌های مختلف برنامه تعمیر و نگهداری با محدودیت بودجه‌ای ارائه می‌شود.

مواردی که در دستیابی به برنامه تعمیر و نگهداری روسازی موردتوجه قرار گرفته است در بخش‌های قبل به‌صورت مفصل موردبحث قرار گرفته‌اند. در این بخش این موارد به‌صورت تیتروار ارائه می‌شوند.

- تعیین شاخص‌های ارزیابی PCI و IRI جهت ارائه معیار مناسب ارزیابی شرایط روسازی

- ارائه رویکردهای مختلف تعمیر و نگهداری بهینه بر اساس عملیات‌های راهداری قابل اجرا در کشور

- تعیین هزینه هر عملیات بر اساس فهرست بها

- تعیین میزان تأثیر هر عملیات در بهبود شرایط خرابی و ناهمواری

- ارائه مدل پیش‌بینی اضمحلال شاخص‌های روسازی

- ارائه برنامه تعمیر و نگهداری روسازی بر اساس ضوابط فنی و کارشناسی ارائه شده در بندهای قبل

- لحاظ نمودن محدودیت‌های بودجه‌ای و ارائه برنامه تعمیر و نگهداری مرتبط

ارائه برنامه تعمیر و نگهداری روسازی مستلزم قطعه‌بندی آزادراه به قطعات همگن می‌باشد. قطعه را باید کوچک‌ترین بخش مدیریت روسازی در زمان انتخاب برنامه تعمیر و نگهداری در نظر گرفت. یک قطعه باید در تمام طول خود از یک نوع روسازی بهره‌مند باشد (به‌عنوان مثال آسفالتی، بتنی و...). همچنین دیگر مشخصاتی که باید در یک قطعه ثابت باشد عبارت است از: سازه روسازی، تاریخچه تعمیر و نگهداری، حجم ترافیک، رده روسازی، امکانات زهکشی، وضعیت شانه‌ها و وضعیت خرابی و ناهمواری. به همین خاطر در اکثر موارد در یک برنامه عملیات تعمیر و نگهداری طول قطعات یکسان نیست (مانند ستون پنجم جدول (۵)).

جدول(۵) برنامه تعمیر و نگهداری بهینه روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه قم - گرمسار را بدون درنظرگرفتن محدودیت بودجه ارائه داده است.

جدول(۵). برنامه تعمیر و نگهداری روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه قم - گرمسار بدون درنظرگرفتن محدودیت بودجه

مقطع	استان	کیلومتر ابتدا	کیلومتر انتها	رویکرد تعمیر و نگهداری	هزینه کل (میلیون ریال)
۱	تهران	۰	۴	نگهداری پیشگیرانه	۱۴۶۴
۲	تهران	۴	۸	نگهداری جاری	۷۱۰
۳	تهران	۸	۱۱	نگهداری پیشگیرانه	۵۰۶
۴	تهران	۱۱	۱۸	نگهداری جاری	۵۳۲

۵	تهران	۱۸	۳۳	نگهداری پیشگیرانه	۲۷۵۳
۶	تهران	۳۳	۳۷	بهسازی سبک	۶۸۸۱
۷	تهران	۳۷	۴۴	نگهداری پیشگیرانه	۲۰۷۴
۸	تهران	۴۴	۴۶,۷۴۸	بهسازی سبک	۱۸۳۳
۹	قم	۰	۵	نگهداری پیشگیرانه	۳۵۸۹۲
۱۰	قم	۵	۹	نگهداری جاری	۷۰۳
۱۱	قم	۹	۱۱	نگهداری پیشگیرانه	۱۰۸۰۰
۱۲	قم	۱۱	۱۴	نگهداری جاری	۶۰۱
۱۳	قم	۱۴	۲۳	نگهداری پیشگیرانه	۴۸۷۷۶
۱۴	قم	۲۳	۲۵	نگهداری جاری	۲۶۴
۱۵	قم	۲۵	۴۷	نگهداری پیشگیرانه	۱۲۳۰۰۰
۱۶	قم	۴۷	۵۳	بهسازی سبک	۶۲۰۳۸
۱۷	قم	۵۳	۶۷	نگهداری پیشگیرانه	۸۲۵۴۵
۱۸	قم	۶۷	۷۰	نگهداری جاری	۴۸۰
۱۹	قم	۷۰	۷۲,۸۱۱	نگهداری پیشگیرانه	۱۵۲۴۴
۲۰	سمنان	۰	۴	نگهداری جاری	۲۳۹
۲۱	سمنان	۴	۷	نگهداری پیشگیرانه	۱۶۱۳۰
۲۲	سمنان	۷	۳۰,۶۷۸	نگهداری جاری	۶۰۶
جمع کل					۴۱۴۰۷۱

همان‌طور که مشاهده می‌شود طول ۱۵۰,۲ کیلومتری این آزادراه به ۲۲ قطعه بر اساس توضیحاتی که ارائه شد تقسیم شده است. شاخص وضعیت خرابی و شاخص ناهمواری و همچنین رویکرد تعمیر و نگهداری بهینه برای هر قطعه آورده شده است. همچنین هزینه هر رویکرد به‌صورت جز به جز ارائه شده است. همان‌طور که در بخش ۲-۲ گفته شد، درزگیری و لکه‌گیری دو عملیات پیشگیرانه محسوب می‌شوند که در حالت انجام عملیات‌های تعمیر و نگهداری دیگر نیز جهت بهبود تأثیر آن‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرند؛ لذا هزینه‌های این دو عملیات پایه‌ای تعمیر و نگهداری به‌صورت جداگانه نیز آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حال حاضر برای اینکه کل روسازی آزادراه در باند قم - گرمسار در شرایط مطلوب قرار گیرد بایستی بودجه‌ای معادل ۴۱۴,۰۷۱,۰۰۰,۰۰۰ ریال را جهت انجام عملیات‌های تعمیر و نگهداری در نظر گرفت.

توجه به این نکته ضروری است که نگهداری جاری عبارت است از اعمال یکی یا ترکیبی از عملیات‌های درزگیری و لکه‌گیری و در صورت لزوم اعمال یکی از عملیات‌های پیشگیرانه که بسته به نوع خرابی روسازی انتخاب می‌شود و هزینه آن‌ها به‌صورت جداگانه برای هر مقطع آورده شده است.

جدول (۶) نیز برنامه تعمیر و نگهداری بهینه روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه گرمسار - قم (باند برگشت) را ارائه داده است.

جدول (۶). برنامه تعمیر و نگهداری روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه گرمسار - قم بدون درنظرگرفتن محدودیت بودجه

مقطع	استان	کیلومتر ابتدا	کیلومتر انتها	سناریو تعمیر و نگهداری	هزینه (میلیون ریال)
۱	تهران	۰	۴۳	نگهداری پیشگیرانه	۲۰۱۶۱
۲	تهران	۴۳	۴۶,۸۶۴	نگهداری جاری	۱۹۲
۳	قم	۰	۴	بهسازی سبک	۴۳۴۷۰
۴	قم	۴	۶	نگهداری پیشگیرانه	۱۲۱۴۹
۵	قم	۶	۱۰	بهسازی سبک	۴۲۲۶۴
۶	قم	۱۰	۲۶	نگهداری پیشگیرانه	۱۰۰۰۳۵
۷	قم	۲۶	۲۹	بهسازی سبک	۳۳۸۷۲
۸	قم	۲۹	۶۲	نگهداری پیشگیرانه	۱۹۲۴۵۵
۹	قم	۶۲	۶۵	نگهداری جاری	۳۵۱
۱۰	قم	۶۵	۷۲,۸۸	نگهداری پیشگیرانه	۴۵۱۴۴
۱۱	سمنان	۰	۷	نگهداری پیشگیرانه	۳۹۶۴۸
۱۲	سمنان	۷	۲۴	بهسازی سبک	۱۷۵۴۴۳
۱۳	سمنان	۲۴	۳۰,۴۸۵	نگهداری پیشگیرانه	۳۸۲۴۶
جمع کل				-	۷۴۳۴۳۰

در برنامه ارائه شده برای این مقطع که باند برگشت قطعه قم - گرمسار می‌باشد، رویکرد تعمیر و نگهداری برای ۱۳ قطعه در نظر گرفته شده ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای اینکه کل روسازی آزادراه در باند گرمسار - قم در شرایط مطلوب قرار گیرد بایستی بودجه‌ای معادل ۷۴۳,۴۳۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال را جهت انجام عملیات‌های تعمیر و نگهداری در نظر گرفت.

برنامه تعمیر و نگهداری ارائه شده در دو جدول (۵) و (۶) جهت بهبود شرایط حال حاضر روسازی آزادراه قم - گرمسار می‌باشد. در ادامه این بخش برنامه تعمیر و نگهداری چندساله روسازی بدون درنظرگرفتن محدودیت بودجه‌ای ارائه می‌شود. بدین ترتیب بر اساس مدل پیش‌بینی ارائه شده و برنامه تعمیر و نگهداری شرایط حاضر، وضعیت روسازی در سال‌های مختلف تا سال ۱۴۰۳ پیش‌بینی‌شده و برنامه تعمیر و نگهداری هرسال بر اساس آن ارائه شده است. در همین راستا و برای محاسبه حدود هزینه رویکردهای در نظر گرفته شده در هرسال، بایستی نرخ حدودی تورم را در این سال‌ها پیش‌بینی کرد. بر اساس نرخ تورم در سال‌های حال و گذشته که از پایگاه‌داده مرکز آمار ایران به‌دست‌آمده است، مقدار نرخ تورم در سال‌های آتی به طور متوسط ۳۰ درصد در هرسال در نظر گرفته می‌شود. براین‌اساس جدول (۷) برنامه تعمیر و نگهداری چندساله روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه قم - گرمسار را بدون درنظرگرفتن محدودیت بودجه ارائه داده است.

جدول (۷). برنامه تعمیر و نگهداری چندساله روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه قم - گرمسار بدون درنظرگرفتن محدودیت بودجه

	رویکرد			هزینه رویکرد (میلیون ریال)		
سال / مقطع	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳
۱	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۳۵	۱۷۵	۲۳۰
۲	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۳۵	۱۷۵	۲۳۰
۳	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۰۰	۱۳۰	۱۷۰
۴	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۲۳۵	۳۰۵	۴۰۰
۵	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۵۱۰	۶۶۰	۸۶۰
۶	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۳۵	۱۷۵	۲۳۰
۷	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۲۳۵	۳۰۵	۴۰۰
۸	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۰۰	۱۳۰	۱۷۰
۹	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۷۰	۲۲۰	۲۹۰
۱۰	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۳۵	۱۷۵	۲۳۰
۱۱	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۷۰	۹۰	۱۲۰
۱۲	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۰۰	۱۳۰	۱۷۰
۱۳	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۳۰۵	۴۰۰	۵۱۵
۱۴	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۷۰	۹۰	۱۲۰
۱۵	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۷۵۰	۹۷۵	۱۲۷۰
۱۶	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۲۰۰	۲۶۰	۳۴۰
۱۷	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۴۷۵	۶۲۰	۸۰۰
۱۸	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۰۰	۱۳۰	۱۷۰
۱۹	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۰۰	۱۳۰	۱۷۰
۲۰	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۳۵	۱۷۵	۲۳۰
۲۱	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۰۰	۱۳۰	۱۷۰
۲۲	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۷۸۰	۱۰۱۵	۱۳۲۰
کل				۵۰۷۵	۶۵۹۵	۸۶۰۵

همان‌طور که مشاهده می‌شود به علت اینکه برنامه در نظر گرفته شده در سال ۱۴۰۰ که در جدول(۵) ارائه شده است بدون درنظرگرفتن محدودیت بودجه‌ای و بر اساس ملاحظات فنی جهت به حداکثر رساندن مطلوبیت وضعیت روسازی تهیه شده است، با اعمال یک برنامه نگهداری جاری و پیوسته با هزینه کم در سال‌های آتی می‌توان روسازی را تا چند سال در وضعیت مطلوب حفظ کرد. در حالت وجود محدودیت بودجه‌ای این امر امکان‌پذیر نیست که در ادامه این بحث به برنامه‌ریزی چندساله در حالت وجود محدودیت بودجه نیز پرداخته خواهد شد.

جدول(۸) نیز برنامه تعمیر و نگهداری چندساله روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه گرمسار - قم را بدون درنظرگرفتن محدودیت بودجه‌ای ارائه داده است.

جدول(۸). برنامه تعمیر و نگهداری چندساله روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه گرمسار - قم بدون درنظرگرفتن محدودیت بودجه

	رویکرد			هزینه رویکرد (میلیون ریال)		
سال / مقطع	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳
۱	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۴۶۰	۱۹۰۰	۲۴۷۰
۲	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۳۵	۱۷۵	۲۳۰
۳	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۳۵	۱۷۵	۲۳۰
۴	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۷۰	۹۰	۱۲۰
۵	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۳۵	۱۷۵	۲۳۰
۶	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۵۴۰	۷۰۰	۹۱۰
۷	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۰۰	۱۳۰	۱۷۰
۸	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۱۲۰	۱۴۶۰	۱۸۹۰
۹	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۰۰	۱۳۰	۱۷۰
۱۰	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۲۷۰	۳۵۰	۴۵۵
۱۱	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۲۴۰	۳۱۰	۴۰۵
۱۲	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۵۸۰	۷۵۵	۹۸۰
۱۳	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۲۴۰	۳۱۰	۴۰۵
کل				۵۱۲۵	۶۶۶۰	۸۶۶۵

برنامه‌های ارائه شده پیش‌ازاین همان‌طور که گفته شد بدون درنظرگرفتن محدودیت بودجه‌ای و به جهت به حداکثر رساندن مطلوبیت شرایط روسازی ارائه شده‌اند. در این بخش برنامه تعمیر و نگهداری روسازی در حالت وجود محدودیت بودجه‌ای ارائه شده است. برای این کار یک سناریو بودجه‌ای معادل ۷۰ درصد بودجه موردنیاز جهت به حداکثر رساندن مطلوبیت شرایط روسازی که در جداول(۵) و (۶) ارائه شده‌اند در نظر گرفته می‌شود و بر اساس این بودجه برنامه تعمیر و نگهداری مناسب ارائه می‌شود. درصدهای مختلفی را در این زمینه می‌توان در نظر گرفت که در اینجا ۳۰ درصد افت بودجه در نظر گرفته شده است.

در حالت وجود محدودیت بودجه‌ای باید قطعه‌های مختلف روسازی را از نظر نیاز به عملیات تعمیر و نگهداری و کمکی که به بهبود شرایط کلی شبکه راه می‌کنند اولویت‌بندی کرد تا به میزان بودجه در نظر گرفته شده جهت انجام عملیات تعمیر و نگهداری، از میان قطعات روسازی انتخاب کرد. این کار نیازمند دستیابی به یک سیستم امتیازدهی به قطعات روسازی راه می‌باشد تا بر اساس آن، قطعات را اولویت‌بندی کرد. یکی از معیارهای اولویت‌بندی قطعه‌ها، طول آن‌ها است. هرچه طول قطعه بیشتر باشد، انجام عملیات تعمیر و نگهداری در آن به منزله پوشش دادن سطح بیشتری از آزادراه می‌باشد. معیار دوم و سوم نیز شاخص‌های PCI و IRI هستند. هرچقدر شاخص PCI کمتر و شاخص IRI بیشتر باشد نشان‌دهنده نیاز بیشتر قطعه به انجام عملیات‌های تعمیر و نگهداری می‌باشد؛ بنابراین معیار اولویت‌بندی مقاطع روسازی به‌صورت رابطه (۵) می‌باشد. هرچقدر عدد معیار بزرگ‌تر باشد اولویت مقطع برای انجام عملیات تعمیر و نگهداری بیشتر می‌باشد.

$$\text{معیار اولویت بندی} = \frac{\text{طول} * IRI}{PCI} \qquad (۵)$$

در این حالت هزینه به‌دست‌آمده در حالت ایده‌آل باید در عدد ۰,۷ ضرب شده و بر اساس بودجه جدید اقدام به بهینه‌سازی برنامه تعمیر و نگهداری ارائه شده کرد. مقادیر معیار اولویت‌بندی در جدول(۹) بر اساس رابطه ارائه شده آورده شده است. بر اساس این اولویت‌بندی و مقدار بودجه در نظر گرفته شده که معادل ۰,۷*۴۱۴,۰۷۱,۰۰۰,۰۰۰=۲۸۹,۸۴۹,۷۰۰,۰۰۰ ریال می‌باشد برنامه تعمیر و نگهداری روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه قم - گرمسار در جدول(۱۰) آورده شده است.

جدول (۹). مقادیر معیار اولویت‌بندی قطعات روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه قم - گرمسار

مقطع	طول (کیلومتر)	شاخص وضعیت روسازی	شاخص بین‌المللی ناهمواری	معیار اولویت‌بندی	اولویت
۱	۴	۷۳,۳	۱,۷۸	۰,۰۹۷	۱۱
۲	۴	۹۱,۹	۱,۷	۰,۰۷۴	۱۲
۳	۳	۸۴,۷	۱,۹۲	۰,۰۶۸	۱۴
۴	۷	۹۰	۱,۲۹	۰,۱	۱۰
۵	۱۵	۷۱,۱	۱,۸۳	۰,۳۹	۱

۶	۴	۵۲,۹	۱,۹۶	۰,۱۵	۶
۷	۷	۸۰,۵	۱,۴۶	۰,۱۳	۸
۸	۲,۷۴۸	۵۹,۸	۱,۵۱	۰,۰۷	۱۳
۹	۵	۷۱,۵	۱,۷۳	۰,۱۲	۹
۱۰	۴	۹۳,۶	۱,۲۷	۰,۰۵	۱۷
۱۱	۲	۸۵,۶	۱,۳۳	۰,۰۳	۲۱
۱۲	۳	۹۲,۳	۱,۳۲	۰,۰۴	۱۹
۱۳	۹	۸۹,۶	۱,۳۹	۰,۱۴	۷
۱۴	۲	۹۵,۲	۱,۲۵	۰,۰۳	۲۱
۱۵	۲۲	۸۶,۶	۱,۳۹	۰,۳۵	۲
۱۶	۶	۵۲	۱,۷۳	۰,۲	۵
۱۷	۱۴	۷۰,۷	۱,۴۵	۰,۲۹	۴
۱۸	۳	۹۰,۴	۱,۳۴	۰,۰۴	۱۹
۱۹	۲,۸۱۱	۸۳,۷	۱,۷	۰,۰۶	۱۵
۲۰	۴	۹۰,۷	۱,۱۸	۰,۰۵	۱۷
۲۱	۳	۸۱,۸	۱,۵۸	۰,۰۶	۱۵
۲۲	۲۳,۶۷۸	۹۸,۳	۱,۴۷	۰,۳۵	۲

جدول(۱۰). برنامه تعمیر و نگهداری روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه قم - گرمسار با درنظرگرفتن محدودیت بودجه ۳۰ درصدی

مقطع	استان	کیلومتر ابتدا	کیلومتر انتها	رویکرد تعمیر و نگهداری	هزینه کل (میلیون ریال)
۱	تهران	۰	۴	نگهداری پیشگیرانه	۱۴۶۴
۲	تهران	۴	۸	نگهداری جاری	۷۱۰
۳	تهران	۸	۱۱	نگهداری پیشگیرانه	۵۰۶
۴	تهران	۱۱	۱۸	نگهداری جاری	۵۳۲
۵	تهران	۱۸	۳۳	نگهداری پیشگیرانه	۲۷۵۳
۶	تهران	۳۳	۳۷	بهسازی سبک	۶۸۸۱
۷	تهران	۳۷	۴۴	نگهداری پیشگیرانه	۲۰۷۴
۸	تهران	۴۴	۴۶,۷۴۸	بهسازی سبک	۱۸۳۳
۹	قم	۰	۵	اقدامی نشود	۰
۱۰	قم	۵	۹	نگهداری جاری	۷۰۳
۱۱	قم	۹	۱۱	اقدامی نشود	۰
۱۲	قم	۱۱	۱۴	نگهداری جاری	۶۰۱
۱۳	قم	۱۴	۲۳	اقدامی نشود	۰
۱۴	قم	۲۳	۲۵	نگهداری جاری	۲۶۴
۱۵	قم	۲۵	۴۷	نگهداری پیشگیرانه	۱۲۳۰۰۰
۱۶	قم	۴۷	۵۳	بهسازی سبک	۶۲۰۳۸
۱۷	قم	۵۳	۶۷	نگهداری پیشگیرانه	۸۲۵۴۵
۱۸	قم	۶۷	۷۰	نگهداری جاری	۴۸۰
۱۹	قم	۷۰	۷۲,۸۱۱	اقدامی نشود	۰
۲۰	سمنان	۰	۴	نگهداری جاری	۲۳۹
۲۱	سمنان	۴	۷	اقدامی نشود	۰
۲۲	سمنان	۷	۳۰,۶۷۸	نگهداری جاری	۶۰۶
جمع کل					۲۸۷۲۲۹

بررسی برنامه ارائه شده با محدودیت ۳۰ درصدی بودجه نشان می‌دهد که ۱۲۸,۴ کیلومتر از طول ۱۵۰,۲ کیلومتری یعنی ۸۵ درصد از روسازی در این حالت مورد بهسازی و انجام عملیات‌های نگهداری قرار می‌گیرد. در مورد باند برگشت آزادراه یعنی محور گرمسار - قم نیز این بهینه‌سازی انجام شده است که در جدول (۱۲) مشاهده می‌شود. مقادیر معیار اولویت‌بندی برای این باند آزادراه در جدول(۱۱) بر اساس رابطه ارائه شده آورده شده است. مقدار بودجه در نظر گرفته شده معادل ۰,۷* ۷۴۳,۴۳۰,۰۰۰,۰۰۰=۵۲۰,۴۰۱,۰۰۰,۰۰۰ ریال می‌باشد.

جدول(۱۱). مقادیر معیار اولویت‌بندی قطعات روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه گرمسار - قم

مقطع	طول (کیلومتر)	شاخص وضعیت روسازی	شاخص بین‌المللی ناهمواری	معیار اولویت‌بندی	اولویت
۱	۴۳	۷۵,۴	۱,۵۲	۰,۸۷	۱
۲	۳,۸۶۴	۹۱,۱	۱,۲۲	۰,۰۵	۱۱
۳	۴	۵۶,۴	۱,۵۷	۰,۱۱	۸
۴	۲	۶۸,۴	۱,۶۲	۰,۰۵	۱۱
۵	۴	۵۶,۶	۱,۴۵	۰,۱	۹
۶	۱۶	۷۰	۱,۵۶	۰,۳۵۶	۴
۷	۳	۵۲,۶	۱,۹۱	۰,۱	۹
۸	۳۳	۷۰,۴	۱,۷۶	۰,۸۲	۲
۹	۳	۹۴,۴	۱,۶۸	۰,۰۵	۱۱
۱۰	۷,۸۸	۸۱,۲	۱,۴۷	۰,۱۴	۷
۱۱	۷	۷۶,۴	۲,۱۶	۰,۲	۵
۱۲	۱۷	۵۶,۴	۱,۹۳	۰,۵۸	۳
۱۳	۶,۴۸۵	۶۷,۳	۱,۸۸	۰,۱۸	۶

جدول (۱۲). برنامه تعمیر و نگهداری روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه گرمسار - قم با درنظرگرفتن محدودیت بودجه‌ای ۳۰ درصدی

مقطع	استان	کیلومتر ابتدا	کیلومتر انتها	سناریو تعمیر و نگهداری	هزینه (میلیون ریال)
۱	تهران	۰	۴۳	نگهداری پیشگیرانه	۲۰۱۶۱
۲	تهران	۴۳	۴۶,۸۶۴	اقدامی نشود	۰
۳	قم	۰	۴	اقدامی نشود	۰
۴	قم	۴	۶	اقدامی نشود	۰
۵	قم	۶	۱۰	اقدامی نشود	۰
۶	قم	۱۰	۲۶	نگهداری پیشگیرانه	۱۰۰۰۳۵
۷	قم	۲۶	۲۹	اقدامی نشود	۰
۸	قم	۲۹	۶۲	نگهداری پیشگیرانه	۱۹۲۴۵۵
۹	قم	۶۲	۶۵	اقدامی نشود	۰
۱۰	قم	۶۵	۷۲,۸۸	اقدامی نشود	۰
۱۱	سمنان	۰	۷	نگهداری پیشگیرانه	۳۹۶۴۸
۱۲	سمنان	۷	۲۴	بهسازی سبک	۱۷۵۴۴۳
۱۳	سمنان	۲۴	۳۰,۴۸۵	اقدامی نشود	۰
جمع کل				-	۵۲۷۷۴۲

همان‌طور که در برنامه ارائه شده با محدودیت ۳۰ درصدی بودجه در جدول(۱۲) نشان‌داده‌شده است، ۱۱۶ کیلومتر از طول ۱۵۰,۲ کیلومتری راه یعنی ۷۷ درصد از روسازی را در این حالت مورد بهسازی و انجام عملیات‌های نگهداری قرار می‌گیرد.

در ادامه این بخش، برنامه تعمیر و نگهداری چندساله روسازی با درنظرگرفتن محدودیت بودجه‌ای ۳۰ درصدی ارائه می‌شود. بدین ترتیب بر اساس مدل پیش‌بینی ارائه شده و برنامه تعمیر و نگهداری حال حاضر، وضعیت روسازی در سال‌های مختلف تا سال ۱۴۰۳ پیش‌بینی شده و برنامه تعمیر و نگهداری هرسال بر اساس آن ارائه شده است. جدول(۱۳) برنامه تعمیر و نگهداری چندساله روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه قم - گرمسار را با محدودیت بودجه‌ای ۳۰ درصدی نسبت به حالت ایده‌آل ارائه داده است.

جدول(۱۳). برنامه تعمیر و نگهداری چندساله روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه قم - گرمسار با درنظرگرفتن محدودیت بودجه ۳۰ درصدی

	رویکرد	هزینه رویکرد (میلیون ریال)

سال / مقطع	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳
۱	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۳۵	۱۷۵	۲۳۰
۲	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۳۵	۱۷۵	۲۳۰
۳	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۰۰	۱۳۰	۱۷۰
۴	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۲۳۵	۳۰۵	۴۰۰
۵	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۵۱۰	۶۶۰	۸۶۰
۶	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۳۵	۱۷۵	۲۳۰
۷	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۲۳۵	۳۰۵	۴۰۰
۸	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۰۰	۱۳۰	۱۷۰
۹	بهسازی سبک	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۵۲۵۰۰	۲۲۰	۲۹۰
۱۰	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۳۵	۱۷۵	۲۳۰
۱۱	نگهداری پیشگیرانه	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۵۸۰۰	۹۰	۱۲۰
۱۲	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۰۰	۱۳۰	۱۷۰
۱۳	بهسازی سبک	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۷۱۰۰۰	۴۰۰	۵۱۵
۱۴	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۷۰	۹۰	۱۲۰
۱۵	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۷۵۰	۹۷۵	۱۲۷۰
۱۶	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۲۰۰	۲۶۰	۳۴۰
۱۷	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۴۷۵	۶۲۰	۸۰۰
۱۸	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۰۰	۱۳۰	۱۷۰
۱۹	نگهداری پیشگیرانه	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۲۲۳۰۰	۱۳۰	۱۷۰
۲۰	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۳۵	۱۷۵	۲۳۰
۲۱	نگهداری پیشگیرانه	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۲۳۶۰۰	۱۳۰	۱۷۰
۲۲	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۷۸۰	۱۰۱۵	۱۳۲۰
کل				۱۸۹۵۳۰	۶۵۹۵	۸۶۰۵

همان‌طور که در جدول(۱۳) مشاهده می‌شود، ازآنجایی‌که به علت اعمال محدودیت ۳۰ درصدی بودجه در برنامه تعمیر و نگهداری حال حاضر، انجام عملیات تعمیر و نگهداری بر روی تمام مقاطع راه ممکن نیست، در سال ۱۴۰۱ ضمن انجام عملیات‌های جاری بر روی مقاطع بهبود کیفیت یافته، باید بودجه‌ای را نیز برای بهسازی و نگهداری قطعات جامانده از سال قبل اختصاص داد که البته از سقف بودجه ۷۰ درصدی در نظر گرفته شده کمتر است. از سال ۱۴۰۲ به بعد نیز صرفاً انجام عملیات‌های نگهداری جاری جهت حفظ شرایط مطلوب کافی خواهد بود.

جدول(۱۴) نیز برنامه تعمیر و نگهداری چندساله روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه گرمسار - قم را با محدودیت بودجه‌ای ۳۰ درصدی نسبت به حالت ایده‌آل ارائه داده است.

جدول(۱۴). برنامه تعمیر و نگهداری چندساله روسازی آزادراه حرم تا حرم قطعه گرمسار - قم با درنظرگرفتن محدودیت بودجه ۳۰ درصدی

	رویکرد			هزینه رویکرد (میلیون ریال)		
سال / مقطع	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳
۱	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۴۶۰	۱۹۰۰	۲۴۷۰
۲	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۲۸۰	۱۷۵	۲۳۰
۳	بهسازی سبک	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۶۳۶۰۰	۱۷۵	۲۳۰
۴	نگهداری پیشگیرانه	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۷۸۰۰	۹۰	۱۲۰
۵	بهسازی سبک	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۶۱۸۰۰	۱۷۵	۲۳۰
۶	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۵۴۰	۷۰۰	۹۱۰
۷	بهسازی سبک	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۴۹۵۰۰	۱۳۰	۱۷۰
۸	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۱۱۲۰	۱۴۶۰	۱۸۹۰
۹	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۵۱۵	۱۳۰	۱۷۰
۱۰	نگهداری پیشگیرانه	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۶۶۰۰۰	۳۵۰	۴۵۵
۱۱	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۲۴۰	۳۱۰	۴۰۵
۱۲	نگهداری جاری	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۵۸۰	۷۵۵	۹۸۰
۱۳	نگهداری پیشگیرانه	نگهداری جاری	نگهداری جاری	۵۶۰۰۰	۳۱۰	۴۰۵
کل				۳۱۹۴۳۵	۶۶۶۰	۸۶۶۵

همان‌طور که در جدول(۱۴) مشاهده می‌شود، به علت اعمال محدودیت ۳۰ درصدی در بودجه، در سال ۱۴۰۱ ضمن انجام عملیات‌های جاری بر روی مقاطع بهبود کیفیت یافته، باید بودجه‌ای را نیز برای بهسازی و نگهداری قطعات جامانده از سال قبل اختصاص داد که البته از سقف بودجه ۷۰ درصدی در نظر گرفته شده کمتر است. از سال ۱۴۰۲ به بعد نیز همانند باند قم - گرمسار، صرفاً انجام عملیات‌های نگهداری جاری جهت حفظ شرایط مطلوب کافی خواهد بود.

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق روند دستیابی به مدل بهبود عملکرد روسازی با بهینه‌سازی تعمیر و نگهداری روسازی به این صورت بوده است که داده‌های مرتبط با خرابی و ناهمواری روسازی شامل شاخص‌های PCI و IRI برای قطعات روسازی شبکه راه‌های آزادراهی کشور توسط سیستم برداشت مشخصات روسازی برداشت شده و در پایگاه‌داده سیستم مدیریت روسازی سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای ذخیره شده است. با در اختیار داشتن داده‌های خرابی و ناهمواری مربوط به سه سال، مدل پیش‌بینی وضعیت روسازی به دست آورده شده است. با دستیابی به شرایط روسازی در حال حاضر و سالیان آتی بر اساس فلوچارت‌های ارائه شده در این تحقیق، سناریو بهینه تعمیر و نگهداری قطعات روسازی برای یک مقطع آزادراهی به‌صورت مطالعه موردی ارائه شده است. نتایج این تحقیق منتج به کاهش هزینه‌ها همراه با حفظ شرایط مطلوب روسازی در سال‌های بهره‌برداری روسازی خواهد شد.

۵. مراجع

1. W. R. Hudson, "Pavement management systems lead the way for infrastructure management systems," In Proc. vol. 2, Third Int. Conf. On Managing Pavements, TRB, 1994.
2. M. Y. Shahin, " Pavement Management for Airports," Roads, and Parking Lots, 2007. ISBN-10: 0-387-23464-0, ISBN-13, 978-0387.
3. Z. Wu and G. W. Flintsch, "Pavement preservation optimization considering multiple objectives and budget variability," Journal of Transportation Engineering, vol. 135(5), pp. 305-315, 2009.
4. R. Denysiuk, A. V. Moreira, J. C. Matos, J. R. Oliveira, and A. Santos, "Two-stage multiobjective optimization of maintenance scheduling for pavements," Journal of infrastructure systems, vol. 23(3), 2017. 04017001.
5. D. Moazami, H. Behbahani, and R. Muniandy, "Pavement rehabilitation and maintenance prioritization of urban roads

using fuzzy logic," Expert Systems with Applications, vol. 38(10), pp. 12869-12879, 2011.

6. P. Chakroborty, P. K.Agarwal, and A. Das, "Comprehensive pavement maintenance strategies for road networks through optimal allocation of resources," Transportation Planning and Technology, vpl. 35(3), pp. 317-339, 2012.

7. A. A. Elhadidy, E. E. lbeltagi, and M. A. Ammar, "Optimum analysis of pavement maintenance using multi-objective genetic algorithms," HBRC Journal, vol. 11(1), pp. 107-113, 2015.

8. L. Zhang, L. Fu, W. Gu, Y. Ouyang, and Y. Hu, "A general iterative approach for the system-level joint optimization of pavement maintenance, rehabilitation, and reconstruction planning," Transportation Research Part B: Methodological, vol. 105, pp. 378-400, 2017.

9. J. France-Mensah and W. J. O'Brien, "Budget allocation models for pavement maintenance and rehabilitation: Comparative case study," Journal of Management in Engineering, vol. 34(2), 2018. 05018002.

10. A. Khavandi Khiavi and H. Mohammadi, "Multiobjective optimization in pavement management system using NSGA-II method," Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements, vol. 144(2), 2018. 04018016.

11. C. Torres-Machi, A.Osorio-Lird, A.Chamorro, C. Videla, S. L. Tighe, and C. Mourgues, "Impact of environmental assessment and budgetary restrictions in pavement maintenance decisions: Application to an urban network," Transportation Research Part D: Transport and Environment, vol. 59, pp. 192-204, 2018.

12. K. Ahmed, B. Al-Khateeb, and M. Mahmood, "Application of chaos discrete particle swarm optimization algorithm on pavement maintenance scheduling problem," Cluster Computing, vol. 22(2), pp. 4647-4657, 2019.

13. A. A. Elhadidy, E. E. Elbeltagi, and S. M. El-Badawy, "Network-Based Optimization System for Pavement Maintenance Using a Probabilistic Simulation-Based Genetic Algorithm Approach," Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements, vol. 146(4), 2020. 04020069.

14. P. Lu and D. Tolliver, "Pavement treatment short-term effectiveness in IRI change using long-term pavement program data," Journal of transportation engineering, 138(11), pp. 1297-1302, 2012.

15. W. D. Paterson, "Quantifying the effectiveness of pavement maintenance and rehabilitation," In Road Engineering Association of Asia and Australasia (REAAA), Conference, 6th, Kuala Lumpur, Malaysia, 1990.

16. L. Ningyuan, T., Kazmierowski, S. Tighe, and R. Haas, "Integrating dynamic performance prediction models into pavement management maintenance and rehabilitation programs," In 5th International Conference on Managing Pavements, pp. 11-14, August 2001.

17. L. Galehouse, J. S. Moulthrop, and R. G. Hicks, "Principles of pavement preservation: Definitions, benefits, issues, and barriers," TR News, vol. 228, 2003.

The Presentation of Freeway Pavement Maintenance and Rehabilitation Planning Model

(Case study: Qom - Garmsar freeway)

H. Zakeri*, M. B. Yektaei, B. Mataei

Amirkabir University of Technology

Abstract

Roads are vital channels for social life in any country and their good state is one of the main recognized criteria of country's development and progress. These routes must be constantly in standard conditions in terms of serviceability and provide safe and comfortable transport for users. One of the key goals of the organizations involved in road construction and management is to delay the occurrence of distresses and increase the useful life of the road network through maintenance operations. This goal is achieved by optimizing maintenance and rehabilitation (M&R) planning at the network and project levels. In this study, a method for selecting the optimal M&R option for freeway pavement sections in each time period is presented. Using distress data, the pavement status prediction models based on IRI and PCI indices are presented. Also, one-year and multi-year M&R program of pavement maintenance and rehabilitation is presented based on these prediction models. Finally, maintenance plans are provided in the presence of budget constraints that will reduce maintenance costs and maintain optimal pavement conditions through the years of operation.

Keywords: Pavement Construction, Maintenance, Rehabilitation, Freeway

Corresponding author E-mail: h-zakeri@aut.ac.ir