مکانیزم اولویت‌بندی تخصیص بودجه تعمیر و نگهداری راه در شرایط عدم قطعیت (مطالعه موردی: محور خرم آباد – درود)

مقاله پژوهشی

رضا مویدفر*، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران
میلاد بهاروندی، دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: r-moayedfar@araku.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰۷/۲۷- پذیرش: ۱٤۰۰/۰۲/۰۵
صفحه ۳٤-۱۵

چکیده

مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی یک فرآیند هماهنگ و منظم برای انجام تمام فعالیت‌های مربوط به فراهم سازی و نگهداری روسازی جاده‌ها می‌باشد. هدف عمده مدیریت روسازی، پیش بینی شرایط روسازی و هزینه مرتبط با نگهداری و بازسازی در یک برنامه زمان بندی مشخص و کمک به برنامه‌ریزی کارهاست [Wang et al, 2003]. با ساخت و اجرای صحیح مدیریت روسازی، امکان تصمیم‌گیری‌های صحیح، آگاهانه و پایدار در نگهداری، ترمیم و بازسازی‌ها فراهم می‌آید. مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی راه‌ها، روشی اقتصادی و به صرفه برای مراقبت از یک سرمایه ملی بسیار مهم و برنامه‌ریزی برای حفاظت و بهسازی آن است[Fan et al,2008]. در این پژوهش هدف آن ا ست که با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در میزان بودجه‌های تخصیص یافته جهت تعمیر و نگهداری روسازی جاده، مدیریت بهینه صورت می‌گیرد، ارائه یک روش مناسب برای صرف این بودجه به بهترین نحو ممکن است. در این پژوهش، محور خرم آباد – درود به عنوان یک مطالعه موردی انتخاب شده است، که جهت مدیریت بهینه تعمیر و نگهداری روسازی جاده‌ها تحت عدم قطعیت بودجه از روش برنامه ریزی خطی استفاده شده است. تابع هدف نهایی این برنامه‌ریزی، ارتقای سطح کیفی راه های استان با داشتن محدودیت بودجه ای است. برای انجام محاسبات از نرم افزار GAMS استفاده شده است، نتایج نشان خواهد داد که بودجه در دسترس چگونه بین بخش‌های گوناگون تقسیم نمود تا بهترین نتیجه ممکن حاصل شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت تعمیر و نگهداری، عدم قطعیت بودجه، ایمنی راه‌ها، تابع هدف

۱- مقدمه

نگهداری از زیرساخت‌ها به همان اندازه ایجاد و توسعه ریز ساخت‌ها امری ضروری برای توسعه پایدار می‌باشد. برای نگهداری از شبکه راهها وجود یک سامانه مدیریت و نگهداری روسازی الزامی است که بتوان از آن به عنوان ابزار تصمیم‌گیری استفاده کرد. به همین دلیل اکثر کشورهای در حال توسعه به دنبال یک سامانه مدیریت و نگهداری روسازی کارآمد هستند که بتوان بیشترین بازده اقتصادی را از بودجه‌های کلانی که در بخش راه مصرف می‌شوند، به دست آورد. راه‌ها سرمایه ملی هر کشوری محسوب می‌شوند و سالانه بخش عظیمی از بودجه‌های عمرانی کشورها صرف ترمیم و نگهداری و بهسازی آنها می‌شود، بنابراین در شبکه راهها، استفاده از یک سامانه مدیریت و نگهداری که بتوان از آن به عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری‌ها و بهینه‌کردن هزینه‌های ترمیم و نگهداری استفاده کرد امری ضروری است. تدوین یک رویه تصمیم‌گیری سیستماتیک و ضابطه‌مند برای اتخاذ تصمیم‌های اساسی همواره به عنوان یکی از دغدغه‌های فکری مدیران، مطرح بوده است. در نتیجه وجود

چنین سیستمی ، امکان اعمال نظریات شخصی در فرایند تصمیم‌گیری را منتفی کرده و قابلیت اطمینان صحت تصمیم افزایش پیدا خواهد کرد. نظر به محدودیت بودجه سالیانه برای اجرای پروژه‌ها، ناگزیر باید در چارچوب محدودیت بودجه، پروژه‌های اولویت دار را جهت اجرا انتخاب نمود [Sultan and Guo, 2016]. تصادفات جاده‌ای سال‌هاست که از عوامل مهم مرگ و میر در کشور بوده و صدمات شدید جانی و مالی و آثار سو و سنگین اجتماعی و اقتصادی آن، جامعه ما و سایر جوامع بشری را به شدت مورد تهدید قرار داده است. امروزه توجه به افزایش ایمنی جاده‌ها با استفاده از روسازی مناسب برای راه‌ها افزایش یافته است. مسئله اصلی در واقع چگونگی افزایش ایمنی و کاهش نرخ تصادفات است که باید سعی شود در جهت رسیدن به پاسخ آن نهایت تلاش صورت گیرد. از نتایج عمده به دست آمده جهت حل مشکل این است که به مدیریت اجازه داده می‌شود تا اولویت اجرای اقدامات نگهداری و تعمیر را براساس ایمنی در رانندگی تشخیص داده و عمل نماید و با ارایه ی مدل های مناسب جهت ساماندهی ترمیم، بهسازی و نگهداری آنها سبب ایجاد احساس ایمنی بیشتر بین استفاده کنندگان از راه و همچنین باعث صرفه جویی مالی بسیار زیادی شود [Guy et al, 2015]. در حال حاضر در کشور ۲۲۰۰۰۰ کیلومتر راه‌های اصلی، فرعی و روستایی وجود دارد که ارزش فعلی آنها حدود ۲۰۰۰۰۰ میلیارد تومان برآورد می‌شود اهمیت این سرمایه ملی عظیم با توجه به محدودیت‌های بودجه ای در سال‌های اخیر، بیش از پیش آشکار می‌شود چرا که پس از سال‌ها توسعه و گسترش راههای زمینی اکنون نوبت نگهداری و بهره‌برداری بهینه از آنهاست اکثر کشورهای صنعتی جهان که شبکه راههای ارتباطی خود را گسترش کای داده یا تکمیل نموده‌اند عملیات حفظ و نگهداری را سرلوحه کار قرار داده‌اند ترمیم و نگهداری و بهسازی راه‌ها، دارای هزینه‌های بسیار بالایی بوده و بایستی این هزینه در زمان مطلوب بصورت بهینه و اقتصادی صرف گردد در غیر این صورت عملیات ترمیم و بهسازی غیرقابل توجیه خواهد بود براساس یک آمار کلی وزارت راه بودجه موردنیاز برای نگهداری ایده آل راه‌ها ۸ هزار میلیارد تومان در سال می‌باشد که بودجه تخصیصی در سال مجاری هزار میلیارد تومان در نظر گرفته شده است این امر لزوم توجه هر چه بیشتر به مطالعات فنی اقتصادی، اولویت بندی و زمان بندی ترمیم و نگهداری به موقع را مطالبه می‌کند [Almeida et al, 2012]. سیسنم مدیریت بهینه تعمیر و نگهداری روسازی می‌تواند به مهندسان در شناسایی مناسب‌ترین بهسازی در بخش‌های مورد نظر شبکه راهها تحت عدم قطعیت‌های بودجه‌ای، با استفاده از تحلیل‌های اقتصادی، مدل‌های پیش بینی کننده و اطلاعات سری‌های زمانی کمک کند. مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی ابزاری است برای [Fan and Machemehl, 2007] :

١–نگهداری روسازی محوری از راه‌ها

٢– نظارت بر وضعیت روسازی‌ها

٣– شناسایی نیازهای مربوط به روسازی‌ها

٤– اولویت بندی کارهای مربوط به روسازی‌ها

٥– انتخاب اقتصادی‌ترین راهبرد مرمت هم در کوتاه مدت و هم در دراز مدت.

٦– ارتباط دادن نیازهای مربوط به روسازی‌ها به یکدیگر

در سیستم مدیریت نگهداری روسازی، انتخاب مناسب گزینه‌های تناوبی تعمیر و نگهداری روسازی راهها از نظر اقتصادی، فرآیندی بسیار مهم و حیاتی است که با سرمایه ملی کشور در ارتباط است. استفاده از مدل‌های مناسب و منطقی برای قضاوت اقتصادی بر روی گزینه‌های تناوبی تعمیر و نگهداری یک نکته ضروری و حائز اهمیت در چارچوب سیستم مدیریت روسازی است که تحلیل هزینه‌های چرخه‌ی عمر یکی از این روش‌ها می‌باشد. در این تحقیق که مطالعه موردی محور خرم آباد–درود می‌باشد، ابتدا اطلاعات ورودی مورد نیاز نرم افزار گمز تهیه شده و مقادیر پایه برای اجزاء هزینه کاربران بدست آمده‌اند، سپس نتایج حاصل از این نرم افزار، همراه با ورودی‌های دیگر مورد نیاز نرم افزار گمز گردآوری شده و با استفاده از روش تحلیل هزینه‌های چرخه عمر، ارزیابی اقتصادی بر روی گزینه‌های تناوبی تعمیر و نگهداری روسازی معرفی شده، انجام می شود.

٢– پیشینه تحقیق

حفاظت جاده‌ای یک سیستم برنامه ریزی شدهٔ رفتار جاده ای در زمان بهینه و مناسب جهت افزایش طول عمر معمول

جاده‌هاست که طول عمر جاده را با کمترین هزینه بهبود و افزایش می‌بخشد. حفاظت پیشگیرانه جاده‌های کنونی موثرترین شیوهٔ اقتصادی در زمینهٔ استفاده از منابع موجود است[Seran, 2015]. مطالعات زیادی با هدف توسعهٔ معیارهایی جهت راهنمایی تصمیم‌گیرندگان در انتخاب راهبردهای حفاظتی پیشگیرانه انجام گرفته‌اند تا بتوانند به صرفه ترین بهبودها را در کیفیت و طول عمر جاده‌ها به ثمر برسانند[Judycki et al, 2014]. حفاظت پیشگیرانه جزء نخستین اقدامات در چرخهٔ زندگی جاده است و به عنوان "برنامه‌ای راهبردی با هدف جلوگیری از وخامتهای خفیف، مشکلات تاخیری در حال رشد و کاهش نیاز به حفاظت‌های روزمره" تعریف می‌شود. یک گزینهٔ پیش رو در رفتار حفاظت پیشگیرانه استفاده از سیستم میکرو سرفسینگ به عنوان روشی مقبول و مقرون به صرفه می‌باشد. سازمان حمل و نقل New Brunswick در سال ۱۹۹۵ استفاده از مایکرو سرفسینگ را شروع نمود. پس از مدت زمان کمی پتانسیل این پروژه به عنوان ابزار حفاظت جاده‌ای برای بزرگراهها شناسایی شد. دیگر استانهای نزدیک اقیانوس اطلس مانند Newfoundlandو Labrador پروژه‌ای در زمینهٔ مایکرو سرفسینگ را در آگوست ۲۰۰۲ با موفقیت انجام دادند. اما در طول اولین زمستان پس از اجرای پروژه به خاطر چندین عامل از جمله استفاده از بتن جدید و امتحان نشده و سیمان آسفالت غیر ایده‌آل در ساخت امولسیون پروژه با مشکلاتی مواجه شد[Liang et al, 2015]. وزارت بزرگراههای British Columbia اولین پروژه را در اوایل قرن ۱۹ انجام داد که با شکست مواجهش شد. در این منطقه چندین شهر دیگر نیز این پروژه را اجرا نمودند که هرکدام نتایج متفاوتی در برداشتند. اخیرا چندین شهر در محدودهٔ BC علاقه‌مند به شروع یا بکارگیری مجدد برنامه‌های حفاظت جاده یا با استفاده از مایکرو سرفسینگ به عنوان ابزار حفاظت جاده‌ای هستند[Wang et al, 2016]. تاکنون، محققان بسیاری در چند دهه اخیر به دنبال روش‌های مختلفی برای کاهش هزینه‌های نگهداری روسازی بوده اند و در این راستا مقالات و کتاب های متعددی منتشر شده است. مقاله گلابی، کالکارنی و وی، در سال ۱۹۸۲ میلادی، نخستین مقاله‌ای بود که مفهوم برنامه ریزی بهینه فعالیت‌های بهسازی راهها را معرفی کرد. آنها در تحقیق خود، عملکرد روسازی را با استفاده از مدل‌های احتمالاتی پیش بینی کردند. در سال ۱۹۹۸ میلادی، سازمان فدرال راههای آمریکا با حل یک مسئله بهینه سازی نگهداری راه، گزینه های تعمیر و بهسازی بهینه یکی از آزاد راه‌های ایالت ایندیانا را تعیین کرد. این برنامه ریزی بهینه، سبب صرفه جویی در بودجه و منابع نیروی انسانی، تجهیزات و مصالح شد و سطح سرویس راه نیز افزایش پیدا کرد[Presti, 2013]. فریرا، سانتوس و آنتونس در سال ۲۰۰۲ ، یک مدل بهینه‌ی تک هدفه توسعه دادند که در آن، هزینه‌های بهسازی مدیریت راه کمینه شد. در این مدل، ارزیابی راه با توجه به مقدار ترک روسازی، شیارشدگی و خرد شدگی سطحی صورت گرفت و عملکرد روسازی با استفاده از مدل‌های قطعی پیش‌بینی شد [Formela et al, 2016]. فراهم کردن مدلی که بتواند تعمیر و بهسازی هر باند را بر مبنای نرخ خرابی و ترافیک عبوری آن باند طرح نماید، می‌تواند در بهینه یابی هزینه‌های نگهداری راه به ویژه برای سازمان‌های متولی امر نگهداری راه، تأثیر بسزایی داشته باشد. مقالات مورد بررسی تاکنون، بر اساس این که باندهای مختلف یک راه با وجود بار ترافیکی متفاوت، خرابی یکسانی دارند، ارائه شده‌اند. در واقع آنچه تاکنون در ادبیات موضوعی مورد استفاده قرار گرفته است، طراحی گزینه‌های بهسازی مشابه برای باندهای مختلف یک راه بوده است. در این حالت، فرض موجود چندان قابل پذیرش نیست و برنامه ریزی فعالیت‌های بهسازی بر این اساس، نمی‌تواند مناسب باشد[Bitumen emulsions, 2008]. با این همه تحقیقاتی که تا حدودی به موضوع این تحقیق نزدیک بوده مورد بررسی قرار گرفت از جمله:

سیف و عباسیان جهرمی در تحقیق خود به ارائه یک سیستم بر پایه منطق فازی برای برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری روسازی راه‌های روستایی پرداختند. شاخص‌های ارزیابی کیفیت روسازی و همچنین سن روسازی به عنوان ورودی‌های سیستم و روش بهسازی راه به عنوان خروجی آن در نظر گرفته شد. و نتایج بدست آمده حاکی از ارتباط نسبتا خوب بین خروجی سیستم فازی طراحی شده و خروجی سیستم مدیریت روسازی راه‌های شریانی استان خوزستان می باشد که منجر به رویکردی اقتصادی در تدوین استراتژی تعمیر و نگهداری می‌گردد [سیف و عباسیان، ١٣٩٤]. نثری و همکارانش در این تحقیق یک سیستم خبره به

منظور کمک به فرآیند تصمیم‌گیری مدیران جهت تعیین خط مشی سازمان توسعه داده اند. به منظور تعیین اقدامات لازم جهت ترمیم و نگهداری قطعات شبکه راه‌ها، ابتدا باید شاخص هایی ارزیابی سطح جاده اندازه‌گیری شوند و سپس متناسب با میزان بودجه تخصیصی در بخش مدیریت روسازی و تخمین هزینه تعمیر هر قطعه، خط مشی سازمان برای هریک از قطعات یا برای کل شبکه تعیین شوند. نتایج این تحقیق نشان داد طراحی سیستم خبره فازی باعث افزایش سرعت و دقت در تصمیم‌گیری می شود [نثری و همکاران، ١٣٩٤]. **در مطالعات فن (دیوید) وی- وانگ فنگ** که نشان‌دهنده مشکل تصمیم‌گیری برای مدیریت نگهداری روسازی وپروژه‌های توانبخشی تحت عدم قطعیت بودجه (MPMRPBU) است .یک مدل برنامه ریزی خطی تصادفی برای فرمول بندی و حل مدیریت نگهداری روسازی و پروژه های توانبخشی تحت عدم قطعیت بودجه (MPMRPBU) هست به طوری که مجموعه‌ای از پروژه‌های مورد نظر را می توان به طور مطلوب از شبکه بزرگراه در یک افق برنامه‌ریزی انتخاب شود. نتایج عددی بر اساس یک مطالعه مورد آزمایشی مورد بحث قرار گرفته است. راه حل‌های مختلف بهینه سازی بر اساس بهینه سازی قطعی و روش‌های برنامه نویسی تصادفی مورد بحث و مقایسه قرار گرفته است. اثر محدودیت بودجه در راه حل بهینه سازی شده مورد بررسی گرفت و نتایج حاصل حاکی از آن است که ، تجزیه و تحلیل متغیرهای تصمیم گیری نشان می دهد که افزایش بودجه ممکن است منجر به افزایش هزینه های درمان توانبخشی در لیست پروژه های M & R شود. نتیجه محاسباتی نشان می دهد راه حل MPMRPBU با کیفیت بالا با استفاده از روش برنامه ریزی تصادفی، نشان دهنده آن است که این پتانسیل وجود دارد که الگوریتم می تواند برای برنامه های کاربردی دنیای واقعی استفاده شود. با این حال، لازم به ذکر است که با توجه به محدودیت زمان محاسبه و توانایی حل / SAS OPTMODEL، زمان اجرا برای حل MPMRPBU با استفاده از رویکرد برنامه ریزی تصادفی می تواند بدون نیاز به تعداد زیادی سناریو طولانی باشد و همگرایی می‌تواند یک مسئله واقعی برای مطالعات موردی آینده واقع بینانه‌تر باشد[wei and Feng، ٢٠١٤]. روسازی جاده‌ها جزء سرمایه‌های ملی کشورها محسوب می‌شود و هر ساله بخشی از بودجه‌های عمرانی را به خود اختصاص می‌دهد که صرف ترمیم، بهسازی، حفظ و نگهداری آنها شود. در گذشته فقط به نگهداری روسازی ها توجه می‌شد و مدیریت روسازی ها امری ناشناخته بود و عامل تعیین کننده در انتخاب روش ترمیم و نگهداری مناسب، تجربه مهندسان بوده است که در عین حال توجه چندانی به هزینه‌های چرخه عمر و یا به اولویت بندی بر اساس ضرورت در سطح شبکه معطوف نمی‌گردید. تحقیقات گسترده ای که از اوایل سال‌های دهه ١٣٨٠ در شبکه بزرگراه‌های کشور آغاز گردید، منجر به ارائه یک سیستم مدیریت تعمیر و نگهداری برای روسازی راه‌ها، بزرگراه‌ها و آزادراهها شده‌اند که به سیستم مدیریت روسازی شهرت یافت. این روش سیستماتیک به کمک ارزیابی عمیق از وضعیت فعلی روسازی و پیش بینی وضعیت آن در آینده، امکان انتخاب اقتصادی ترین استراتژی ترمیم و نگهداری شامل بهترین گزینه و مناسب ترین زمان اجرا را فراهم می‌آورد. بر اساس این تحقیقات بهترین زمان مناسب جهت ترمیم و نگهداری راهها از لحاظ صرفه‌جویی اقتصادی و بهترین زمان مناسب جهت روکش در بازه زمانی ١٥ و ٢٠ ساله از بین گزینه‌های مختلف با در نظرگرفتن عدم قطعیت‌های بودجه است[Wang, 2013]. یکی از با ارزش‌ترین سرمایه‌های هر کشور، شبکه راههای آن کشور است که تعمیر و نگهداری آنها یکی از مهم‌ترین مسائل مرتبط به آن می‌باشد. طول زیاد جاده‌ها و وجود عملیات‌های مختلف سبب شده است تا نتوان به راحتی بهینه ترین گزینه‌های تعمیر ونگهدار را انتخاب نمود. وجود الگوریتم ژنتیک سبب شده تا مشکلات ناشی از استفاده از روش‌های بهینه سازی پیش‌تر برطرف شود. امروزه بر خلاف آنچه در گذشته تصور می‌شد نه تنها هزینه‌های تعمیر و نگهداری یک روسازی فقط به هزینه‌های اقتصادی (هزینه‌های اجرایی و هزینه تامین مصالح) محدود نمی‌شود بلکه به شدت تحت تاثیر هزینه‌های محیط زیستی (آلودگی‌ها تخریب محیط زیست وغیره) و هزینه‌های اجتماعی (هزینه زمان سفر و هزینه سوخت مصرفی وغیره) قرار می‌گیرند. در همین راستا مخملباف و همکارانش در مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی راه ها بر پایه مفاهیم توسعه پایدار با بکار گیری الگوریتم ژنتیک به این تنیجه رسیدند که با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌توان نگاه جامع تر به مدیریت روسازی، الگوریتمی اراده کرد که می‌تواند با کالیبره نمودن آن جایگزین مناسبی برای نرم‌افزارهای

موجود در مدیریت روسازی فراهم آورد [مخملباف و همکاران، ۱۳۹۳]. براساس تحقیقات انجام شده در دنیا حدود یک درصد تولید ملی کشورهای توسعه یافته در تصادفات جاده‌ای از بین می‌رود و براساس تحقیقات دکتر آیتی این رقم در ایران ۳٪ می‌باشد شامل ۲٪ در اثر تصادفات جاده‌ای و ۱٪ در اثر تصادفات ترافیک درون شهری، در همین تحقیق ۲۲٪ تصادفات به جاده‌ها نسبت داده شده که در این میان ۳ تا ٦ درصد تصادفاتی که به جاده‌ها مربوط می‌شود به ناهمواری سطح راه و خرابی رویه نسبت داده شده است.

۲-۱- مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی جاده‌ها تحت عدم قطعیت‌های بودجه

نرم افزار سامانه مدیریت روسازی دارای ابزارهای تحلیلی است که:

۱- گزینه‌های بالقوه مرمت برای هر بخش را شناسایی می‌کند.

۲- هزینه‌های مرمت برآورد شده برای هر گزینه را محاسبه می‌کند.

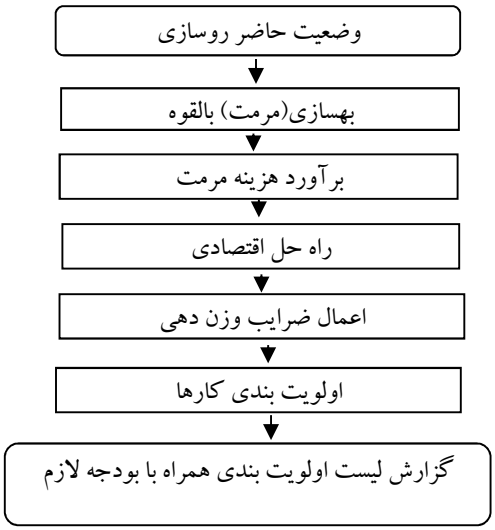
۳- به صرفه‌ترین راه حل برای مرمت هر بخش را انتخاب می‌کند.

۴- پروژه‌های بالقوه برای اختصاص بودجه را اولویت‌بندی می‌کند.

نرم افزار PMS بخش‌هایی از روسازی را که بیش از دیگر بخش‌ها استحقاق تخصیص بودجه دارند را برای یک دوره یک ساله اولویت‌بندی و معرفی می‌کند. معیارهای این اولویت بندی عبارتنداز:

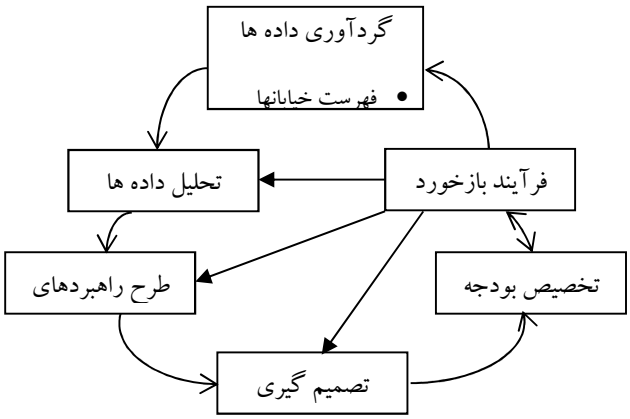
- وضعیت روسازی
- هزینه اولیه
- هزینه چرخه عمر
- تحلیل‌های هزینه- سود

نمودار زیر روند اولویت بندی یک ساله کارهای نگهداری و مرمت روسازی‌ها را نشان می دهد[Croteau et al, 2002]:



برنامه‌های پیچیده‌ترPMS دارای مدل‌های ریاضی بهینه‌سازی است که برای اولویت بندی چندساله بکار می‌روند. در تحلیل‌های مربوط به اولویت‌بندی چندساله، مناسب‌ترین ترکیب‌های پروژه‌ها، بهسازی‌ها و زمان بندی‌های کاربردی برای یک سطح بودجه مشخص در یک دوره ثابت تحلیل را تعیین می‌کند. PMS همچنین می‌تواند اثرات بلندمدت شتاب دهی یا به تأخیرانداختن پروژه‌ها از سالی به سال دیگر یا اصلاح سطوح بودجه در هر یک از سال های تحلیل را برآورد کند[Lu and Isacsson, 2008]. آخرین مرحله از فرآیند نرم افزاریPMS ارائه گزارش است. در این مرحله نرم افزار نتیجه تحلیل داده‌ها را بصورت گزارشی مفصل از گزینه‌های اولویت‌بندی شده نگهداری (مرمت) روسازی، برای هر بخش بطور جداگانه همراه با هزینه هر یک، ارائه می‌کند. اما تصمیم‌گیری نهایی در مورد انتخاب گزینه نگهداری مناسب بر عهده خود مدیران روسازی‌هاست،

هرچند نرم افزار PMS اولویت‌بندی مورد نظر خود را بر حسب اطلاعات داشته از وضعیت روسازی‌ها ارائه کرده است[Shatanawi et al, 2012]. سطح شبکه مدیریت روسازی را می‌توان در نمودار زیر نمایش داد[Lei et al, 2016]:



شکل ۱. سطح شبکه مدیریت روسازی

سامانه مدیریت و توسعه راهها (HDM-4) یک استاندارد بین‌المللی تازه است که به مدیران روسازی‌ها کمک می‌کند تا عواید زیست محیطی و فنی و اقتصادی آینده تصمیم‌گیری‌های ممکن برای سرمایه‌گذاری را پیش بینی کند. همچنین به مدیران روسازی در انتخاب سرمایه‌گذاری‌های مؤثر و کارآمد در کلیه سطوح مدیریتی کمک می‌کند. گستره احتمالات از سیاست‌گذاری یا مطالعات برنامه ریزی راهبردی با اختصاص‌های بودجه برای کارهای نگهداری یا ارتقاء وضعیت روسازی‌ها در داخل شبکه تا ارزیابی ریز اقتصادی گزینه‌های سرمایه‌گذاری در سطح پروژه را در بر می‌گیرد[Chou, 2009]. تحلیل مدیریت روسازی درسطح پروژه برای یک شبکه راه را می‌توان با استفاده از مدول درخواست HDM-4 "تحلیل پروژه" و تحلیل مدیریت روسازی درسطح شبکه را با استفاده از مدول‌های درخواست HDM-4 "تحلیل برنامه" و "تحلیل راهبرد"، با توجه به اندازه شبکه راه مورد تحلیل و طول دوره تحلیل انجام داد. برای یک شبکه راه کوچکتر و دوره تحلیل کوتاه‌تر، استفاده از مدول درخواست "تحلیل برنامه" معمولاً ترجیح داده می‌شود، در حالی که برای شبکه‌های راه بزرگ‌تر و برای یک برنامه‌ریزی راهبردی درازمدت مدول"تحلیل راهبرد" بیشتر بکار می‌رود. مهم‌ترین کاربردهای HDM-4 در سامانه مدیریت روسازی در جدول زیر آمده است[Shen, 2012].

جدول ۱. مهم‌ترین کاربردهای HDM-4

برنامه ریزی	توجیه تحلیلی سرمایه‌گذاری برای نگهداری بخش‌های مختلف روسازی
	پیش بینی نیازهای فیزیکی و مالی برای حفاظت از شبکه روسازی
کاربردهای فنی	راهبردهای نگهداری بهینه
	آستانه‌های اقتصادی برای بهبود وضعیت روسازی‌ها
	اولویت‌بندی استانداردها یا گزینه‌های طراحی و نگهداری
	شبیه‌سازی نوع و مقدار خرابی روسازی
کاربردهای اقتصادی	برآورد هزینه‌های استفاده از راه درب‌های خدمات حمل و نقل و مالیات‌گذاری
	تعیین بارگذاری محوری بهینه روی روسازی‌ها
	به روز کردن ناوگان حمل و نقل

٣ - روش تحقیق

در این مطالعه، استان لرستان (محور خرم آباد – درود) به عنوان یک مطالعه موردی انتخاب شده است. به جهت بهینه‌سازی بودجه اختصاص یافته برای بهبود و ارتقای وضعیت ایمنی راه‌های استان لرستان از روش برنامه‌ریزی خطی استفاده شده است. سپس اطلاعات و داده‌های مورد نیاز گردآوری شده و جهت انجام محاسبات از نرم‌افزار گمز استفاده شده است. که در بخش های آتی به اختصار گفته می‌شود.

٣- ١- جمع آوری داده‌ها

طبق مطالعات صورت گرفته مشخصات ٨٠ کیلومتر از محورهای مورد مطالعه استان لرستان که تحت تأثیر عدم قطعیت‌های بودجه احتمالی قرار دارد و ٣٠ کیلومتر آن که علاوه بر تعمیر و نگهداری گسسته، جهت تعمیر و نگهداری پیوسته نیز تحت تأثیر عدم قطعیت‌های بودجه تشخیص داده شده است. نتایج حاصل از این مطالعات در قالب کاربرگ‌هایی (شامل اطلاعاتی از قبیل ایمنی هر بخش، مشکلات موجود در محل مذکور، راهکارهای پیشنهادی به جهت ارتقای ایمنی از طریق مدیریت تعمیر و نگهداری و همچنین هزینه تقریبی مورد نیاز به جهت تعمیر و نگهداری مورد نظر) موجود است. حجم ترافیک گذری از هر کدام به صورت همسنگ سواری به همراه هزینه‌های تعمیر و نگهداری گسسته و پیوسته در جدول‌های زیر آمده است.

جدول ٢. حجم ترافیک و هزینه تعمیر و نگهداری‌های گسسته هر بخش از مسیر

کیلومتر	حجم ترافیک pc/hr	هزینه تعمیرونگهداری گسسته هربخش(میلیون تومان)				کیلومتر	حجم ترافیک pc/hr	هزینه تعمیرونگهداری گسسته هربخش(میلیون تومان)			
		Y_{K1}^{-1}	Y_{K2}^{-2}	Y_{k3}^{-3}	Y_{k4}^{-4}			Y_{K1}^{-1}	Y_{K2}^{-2}	Y_{k3}^{-3}	Y_{k4}^{-4}
١	١١٦١	١٣٤	٦١	٧٢	٢٥١	٤١	٢٥٣٢	١٠٨	٥٢	٦٩	٢٧١
٢	٣٨١٢	١٣٢	٥٣	٦٤	٢٣٣	٤٢	١٤٢٤	١٣٩	٦٥	٦٤	٢٢٢
٣	١٣٧٥	١٦٠	٥٨	٦٣	٢٥٠	٤٣	٧٦٧٥	١٢٠	٨٠	٦٧	٢٠٣
٤	٦٥٣	١١٠	٧٠	٧١	٣٠٠	٤٤	٢٥٥٥	١٣٢	٧١	٧٤	٢٩٣
٥	٤٨٥٥	١٧١	٦٥	٦٤	٢٥٦	٤٥	٢٥١٦	١٠١	٧٤	٦٩	٢٦٨
٦	٢٨٢٢	١٧٥	٧٥	٦١	٢٧٠	٤٦	٤٩٣٤	١٧١	٦٥	٦١	٢٠٣
٧	١٧٥٦	١٢٧	٦٢	٧١	٢٢٠	٤٧	١٦٤٣	١٥٥	٦٣	٧٢	٢٨٣
٨	٣٨٧٢	١٤٤	٥٢	٦٠	٢٦١	٤٨	١٦١٨	١٥٢	٥٧	٧٤	٢٧٠
٩	٢٢٥١	١١٤	٥٥	٧٢	٢٦٣	٤٩	٦٢٤٥	١٤٠	٨٦	٨٠	٢٣٢
١٠	١٤٠١	١٥٧	٨١	٦٠	٢٦٠	٥٠	٤٤٣٩	١٥٧	٧٣	٧٥	٢٥٤
١١	٥١٦٠	١٤٦	٨٧	٧٥	٢٦٢	٥١	١٥٩٩	١٤٤	٨٨	٧٤	٢٦٢
١٢	١٨٨٣	١٥٣	٨٦	٧٨	٢١٩	٥٢	١٢١٨	١٦٣	٦٩	٦٣	٢٤٠
١٣	١٤٠٨	١٤٠	٦٣	٧٥	٢٧٤	٥٣	٣٨١٢	١٥٢	٥٥	٦٠	٢٢٤
١٤	٦٢٢٥	١٢٦	٨٤	٧٨	٢٦٤	٥٤	١٣٧٥	١٣٩	٧٤	٦١	٢٦٩
١٥	٢٢٧٠	١٦٠	٨٣	٧٥	٢٧٠	٥٥	١٠٤٨	١٧٥	٨٨	٦٦	٢٨٤
١٦	١٦٩٩	١٤١	٧٥	٦٨	٢٧٤	٥٦	٥١٥٩	١٣١	٨٠	٧٨	٢٠١
١٧	٤٣٩٥	١٠٥	٥١	٨٠	٢٧١	٥٧	١٨٥٩	١٢٧	٦٥	٦٤	٢٨٤
١٨	١٦٠٤	١٦٩	٦٩	٨٠	٢١٢	٥٨	١٤١٧	١٠٩	٨٠	٦٢	٢٣٩
١٩	١١٩٩	١٠٨	٨٩	٧٥	٢٨٨	٥٩	٣٤٣٩	١٣٢	٥٢	٦٠	٢٤٥
٢٠	٤٨٠٤	١٣٣	٧٣	٦٦	٢٦٧	٦٠	١٤٨١	١١٠	٥٨	٦٦	٢٥٨
٢١	١٧٥٤	١٠٣	٧٢	٦٨	٢٩٣	٦١	٨٧٨	١٠٣	٧٥	٦٠	٢٥٠
٢٢	١٣١٠	١٣٨	٨٣	٦٨	٢٧٥	٦٢	٥٦٦٩	١٥٤	٦١	٦٩	٢٤٦
٢٣	٤٩٩٠	١٤٤	٦٣	٧١	٢٨٧	٦٣	٢٤٤٤	١٥٨	٧٧	٧٢	٢١٦

٢٤	١٨٢٠	١٤٤	٩٠	٧٥	٢١٣	٦٤	١٤٤٩	١٧٠	٧٣	٦٠	٢٩٦
٢٥	١٣٦١	١٤٧	٨٢	٦٥	٢٢٢	٦٥	٥٣٩٧	١١٩	٦١	٧٦	٢٨٨
٢٦	٤٧٠٧	١٥٨	٦٦	٧٣	٢٥٨	٦٦	١٩٨٣	١٣٨	٦٢	٦٤	٢٥٩
٢٧	١٧١٨	١١٠	٨٢	٧٣	٢١٢	٦٧	١٦٥٠	١٣٦	٧٧	٦٨	٢٦١
٢٨	٣٨١٢	١٣٥	٧٣	٨٠	٢٢٨	٦٨	٤٠٢٩	١٢٣	٦٤	٧١	٢٤٠
٢٩	١٣٧٥	١١٤	٨٤	٦٧	٢٣٨	٦٩	١٤٨١	١٠٢	٨١	٧٣	٢٥٣
٣٠	١٢٨٥	١٣٣	٧٢	٦٤	٢٢٤	٧٠	١٢٣٢	١٦٧	٦٨	٦٩	٢٢٤
٣١	٦٩٠٨	١٦٩	٥٦	٧٦	٢١٠	٧١	٦٨٩٧	١٠٦	٨٩	٧٨	٣٠٠
٣٢	٤٩٧٥	١٥٦	٥٠	٧٩	٢٦٧	٧٢	٢٥٩٤	١٤٨	٦٢	٦٨	٢٩٥
٣٣	٣١٣٥	١١٥	٧٩	٧٣	٢٠٤	٧٣	١٤٨٥	١٣٣	٦٥	٦٤	٢٧٩
٣٤	٤٦٢٤	١٠٨	٦٤	٦٣	٢٤٨	٧٤	٥٩٢١	١١٥	٦٦	٧٣	٢٧٩
٣٥	١٧٣٩	١٧٠	٩٠	٦٠	٢٥٠	٧٥	٢٢٢٦	١٦٦	٦٠	٧٨	٢١٤
٣٦	٩٧٧	١٤٣	٥٨	٧٦	٢٩٤	٧٦	٤٤٣٩	١٣٦	٨٨	٧٠	٢٩٩
٣٧	٤٢٠٦	١٥١	٨٣	٦٥	٢٥٤	٧٧	١٥٩٩	١٦٢	٨١	٦٢	٢٦٢
٣٨	١٥٨١	١٤٥	٧١	٧٣	٢١٢	٧٨	١٢٥٢	١٣٣	٧٨	٦٤	٢٦٠
٣٩	٨٩٠	١١٨	٥٩	٦٩	٢٣٣	٧٩	٣٠٨٩	١٥٦	٧٨	٧١	٢٧٠
٤٠	٦٧٣٣	١٦٥	٦٠	٦٩	٢٣٨	٨٠	٤٤٣٩	١٠١	٨٩	٧٤	٢١٤

جدول٣. حجم ترافیک و هزینه تعمیر و نگهداری‌های پیوسته هر بخش از مسیر

کیلومتر	حجم ترافیکpc/hr	هزینه اصلاح های گسسته هربخش(میلیون تومان)				کیلومتر	حجم ترافیکpc/hr	هزینه اصلاح های گسسته هربخش(میلیون تومان)			
		X_{K1}^{-1}	X_{K2}^{-2}	X_{k3}^{-3}	X_{k4}^{-4}			X_{K1}^{-1}	X_{K2}^{-2}	X_{k3}^{-3}	X_{k4}^{-4}
١	٤٤٣٩	٧٦	٥٢	٢٩	٢٦	١٦	٥٣٩٧	٧٧	٧٥	٢٣	٣٠
٢	١٥٩٩	٦٠	٦٥	٢٠	٣٠	١٧	١٩٨٣	٧٢	٧٢	٢١	٣٠
٣	١٢١٨	٧٣	٥٩	٢٧	٢٥	١٨	١٦٥٠	٦٣	٥٨	٢٦	٢٧
٤	٣٨١٢	٧٧	٧٩	٢٢	٢٩	١٩	٤٠٢٩	٧٠	٥٢	٢٥	٢٦
٥	١٣٧٥	٧٣	٦٨	٢٥	٢٩	٢٠	١٤٨١	٦٠	٧٠	٣٠	٢٥
٦	١٠٤٨	٧٥	٥٠	٢٢	٢٥	٢١	١٢٣٢	٦٠	٦٦	٢٣	٢٥
٧	٥١٥٩	٧١	٧٤	٣٠	٢٩	٢٢	٦٨٩٧	٦٧	٧٨	٢٥	٣٠
٨	١٨٥٩	٦١	٧٦	٢٥	٢٦	٢٣	٢٥٩٤	٦٩	٧٧	٢٠	٢٩
٩	١٤١٧	٦٩	٧٠	٣٠	٢٧	٢٤	١٤٨٥	٦٥	٥٧	٢٩	٢٧
١٠	٣٤٣٩	٦١	٧٠	٢٥	٢٩	٢٥	٥٩٢١	٦٠	٧١	٢٤	٢٥
١١	١٤٨١	٦٢	٥٤	٢٠	٢٦	٢٦	٢٢٢٦	٦٢	٦٧	٢٦	٢٨
١٢	٨٧٨	٦٧	٦٠	٢٥	٣٠	٢٧	٤٤٣٩	٧٦	٥٧	٢٨	٣٠
١٣	٥٦٦٩	٦٣	٦٤	٢٩	٢٨	٢٨	١٥٩٩	٨٠	٥٦	٢٦	٢٧
١٤	٢٤٤٤	٦٧	٥٩	٢٩	٣٠	٢٩	١٢٥٢	٦٠	٦٠	٢٧	٢٨
١٥	١٤٤٩	٦٩	٥٨	٢٥	٢٧	٣٠	٣٠٨٩	٦٠	٥٨	٢٧	٢٧

۳- ۲- ساخت مدل

در پژوهش پیش رو از یک تابع هدف خطی جهت تعیین نحوه مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی جاده‌ها تحت عدم قطعیت های بودجه ای استفاده شده است. در تابع هدف، از شاخص ارتقای ایمنی جاده در اثر مدیریت مناسب تعمیر و نگهداری جاده استفاده شده است. شاخص اول با استفاده از یک متغیر گسسته (باینری) و شاخص دوم با استفاده از یک متغیر پیوسته، میزان ارتقای ایمنی را پس از اعمال تعمیر و نگهداری مورد نظر وارد تابع هدف می‌کنند. به عبارت دیگر، متغیرهای گسسته "اجرا یا عدم اجرا" و متغیرهای گسسته"میزان طول مورد نیاز" به جهت تعمیر و نگهداری را تعیین می‌کنند. ضرایب این متغیرها، بر اساس میزان اصلاحی که این اقدامات بر کاهش تصادفات دارند در نظر گرفته شده‌اند.

تابع هدف مورد نظر بصورت زیر است:

$$Max \sum_{k\epsilon s}\sum_{i\epsilon R_k} p_{ki}\, x_{ki} + \sum_{k\epsilon s}\sum_{j\epsilon D_k} q_{kj}\, y_{kj} \qquad (۱)$$

محدودیت‌های در نظر گرفته شده:

$$\sum_{k\epsilon s}\sum_{i\epsilon R_k} c_{ki}\, x_{ki} + \sum_{k\epsilon s}\sum_{j\epsilon D_k} d_{kj}\, y_{kj} \le b \qquad (۲)$$

$$x_{ki} \le l_k \quad \forall k \in S \qquad (۳)$$

$$x_{ki} \ge 0, i \in R_k \ \forall k \in S \qquad (٤)$$

$$y_{kj} \in \{0,1\}, j \in D_k \ \forall k \in S \qquad (۵)$$

که در آن:

S : مجموعه اندیس‌های قطعات بزرگراه ؛ R_k: مجموعه اندیس‌های تعمیر و نگهداری‌های پیوسته ; D_k : مجموعه اندیس‌های تعمیر و نگهداری‌های گسسته برای نقطهk

w_{ki}: فاکتور کاهش تصادفات ناشی از اعمال تعمیر و نگهداری پیوسته i روی بخش k (تصادفات در میلیون وسیله درکیلومتر)؛

w_{kj} : فاکتور کاهش تصادفات ناشی از اعمال تعمیر و نگهداری گسسته j روی نقطه k (تصادفات در میلیون وسیله) ; c_{ki} : هزینه تعمیر و نگهداری پیوسته i روی بخش k ؛ d_{kj}: *هزینه تعمیر و نگهداری گسسته* j *روی نقطه* k ؛ v_k : متوسط ترافیک در قطعه k (میلیون وسیله)؛

$p_{ki} = w_{ki}v_k$:کاهش تصادفات روزانه در بخش k در اثر تعمیر و نگهداری پیوسته i (شمار تصادفات در هر کیلومتر)؛

$q_{ki} = w_{kj}v_k$: کاهش تصادفات روزانه در نقطه k در اثر تعمیر و نگهداری گسسته j (شمار تصادفات)؛

l_k : طول بخش k ؛ b : بودجه موجود؛ x_{ki} : طولی از بخش k که بر روی آن تعمیر و نگهداری پیوسته i صورت می‌گیرد؛

y_{kj} : متغیر ۰ و ۱ (یک اگر تعمیر و نگهداری گسسته j روی نقطه k انجام گیرد، صفر اگر این تعمیر و نگهداری انجام نشود).

متغیرهای پیوسته در نظر گرفته شده:

۱- مرمت دست اندازها و گودال ها، x_{k1}

۲- مرمت شانه ها و کناره های راه، x_{k2}

متغیرهای گسسته در نظر گرفته شده:

۱- اصلاح قوس افقی، y_{k1}

۲- خط‌کشی و اجرای چشم‌گربه‌ای، y_{k2}

٣- پاکسازی سطح راه از هر گونه مواد زائد ، x_{k3}
٤- تمیز کردن و ترمیم علائم افقی و عمودی راه ، x_{k3}

٣- اندود قیری و پر کردن (درزبندی) ترک ها ، y_{k3}
٤- روکش های سازه ای ، y_{k4}

لازم به توضیح است که رابطه شماره (٢)، بودجه در دسترس را محدود می‌نماید. در سوی مقابل، رابطه شماره (٣)، حداکثر میزان طول قابل بهسازی در متغیرهای پیوسته را مشخص می‌کند. پس از تعیین ضرایب و حل مسئله توسط نرم‌افزار گمز مقدار هر یک از متغیرهای تصمیم تعیین خواهد شد. ، با توجه به مقادیر به دست آمده می‌توان مشخص کرد که آیا یک تعمیر و نگهداری گسسته باید انجام گیرد یا خیر. بنابراین می‌توان مشخص نمود که از بین متغیرهای پیوسته، چه میزان نسبت به کل تعمیر و نگهداری ارجح است.

٣- ٢- ١- محاسبه ضرایب w_{ki} و w_{kj}

به منظور ارزیابی سود به هزینه راهکارهای تعمیر و نگهداری در نظر گرفته شده برای ٨٢ مقطع مورد نظر مورد مطالعه در این پروژه از معیار کاهش نصادفات استفاده شده است. این معیار در قالب ضریب کاهش تصادفات ارائه می شود که بیان کمی از درصد تصادفات کاهش یافته به ازای هر راهکار تعمیر و نگهداری می باشد. در نهایت با ضرب این مقدار در تعداد تصادفات هر کدام از مقاطع و نقاط، تعداد تصادفات کاهش یافته پیش‌بینی شده پس از تعمیر و نگهداری قابل حصول است که به عنوان ضریب فنی هر یک از متغیرهای تصمیم وارد تابع هدف می‌شود. با توجه به عدم تعریف ضرایب کاهش تصادف در ایران، تعیین این ضریب با استفاده از آیین‌نامه HSM صورت گرفته است. برای تعیین ضرایب کاهش تصادف دو روش "قبل و بعد" و "مقطعی" وجود دارد. در تعیین ضرایب کاهش تصادف به طور معمول، روش" قبل و بعد" به کار می‌رود. داده‌های تصادف معمولا در دوره‌های سه ساله برداشت شده و بعضاً می‌توان داده‌های احجام ترافیک، تعداد خطوط، طول مقطع و سایر موارد ممکن را نیز برداشت کرد.

٣-٢-٢- ضرائب اصلاح تصادف (AMFs)

ضرایب اصلاح تصادف، بصورت نسبت تصادفات بعد از تعمیر و نگهداری به قبل از آن در یک مقطع یا نقطه تعریف می‌شود:

(٦)

$$AMF = N_a/N_b$$

N_a : تعداد تصادفات بعد از تعمیر و نگهداری

N_b : تعداد تصادفات قبل از تعمیر و نگهداری

٣-٢-٣- ضرایب کاهش تصادف (CMFs)

این ضریب میزان کاهش تعداد تصادفات را نشان داده و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$CMF = 100 \times (1 - AMF) \quad (٧)$$

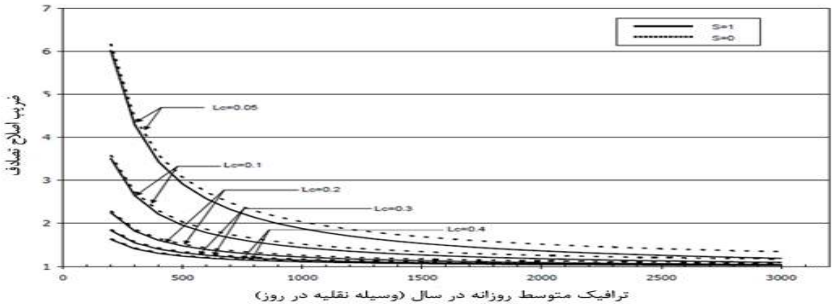
٣-٢-٤- تعیین ضریب اصلاح تصادفات

پس از طبقه‌بندی مقاطع مسیر مورد مطالعه بر مبنای راهکارهای تعمیر و نگهداری ارائه شده، می‌توان ضرایب اصلاح مربوطه را از جداول و نمودارهای آیین‌نامه HSM استخراج نمود. که منظور از تصادفات، کل تصادفات شامل تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی از هر نوع می‌باشد. با توجه به این مطالب و در نظرگیری دو نوع متغیر پیوسته و گسسته بر اساس راهکارهای تعمیر و نگهداری، ضرایب اصلاح تصادف در هر گروه به صورت زیر تعیین می‌شود.

٣-٢-٥- راهکارهای تعمیر و نگهداری گسسته

اصلاح قوس افقی

این ضریب از طریق نمودار و رابطه بدست می‌آید. برای دو حالت قبل و بعد از اصلاح ضرایب محاسبه شده و نسبت آن تعیین می‌شود. واضح است که با افزایش شعاع قوس، طول قوس و طراحی قوس کلوتوئید، ضرایب کوچک‌تر می‌شوند.



شکل ١. نمودار تعیین ضریب اصلاح تصادف در اثر اصلاح قوس

جدول ٤. ضریب اصلاح تصادف برای نصب چشم‌گربه‌ای

راهکار اصلاح	نوع راه	حجم ترافیک	نوع تصادف	AMF
خط‌کشی لبه و محور وسط و نصب چشم‌گربه‌ای	شهری و برون شهری (بزرگراه)	نامشخص	تصادفات کل	٠/٥٥

شرایط پایه: عدم وجود خط کشی

خط‌کشی و نصب چشم‌گربه‌ای

نصب تجهیزات برجسته بر روی لبه‌های خط و محور اصلی که در آیین‌نامه HSM قید شده است، در این پروژه معادل با نصب چشم‌گربه‌ای در نظر گرفته شده است. در حالتی که این عوارض موجود نباشد ضریب اصلاح برابر با ١ فرض می‌شود.

اندود قیری و پر کردن (درزبندی) ترک‌ها

ضریب اصلاح تصادف برای اندود قیری و پر کردن (درزبندی) ترک ها در انواع راه‌ها با توجه به جدول زیر به دست می‌آید.

جدول ۵. ضریب اصلاح تصادف برای اندود قیری و پر کردن (درزبندی) ترک‌ها

راهکار اصلاح	نوع راه	حجم ترافیک	AMF
اندود قیری و پر کردن (درزبندی) ترک ها	نامشخص	نامشخص	۰/۷۵

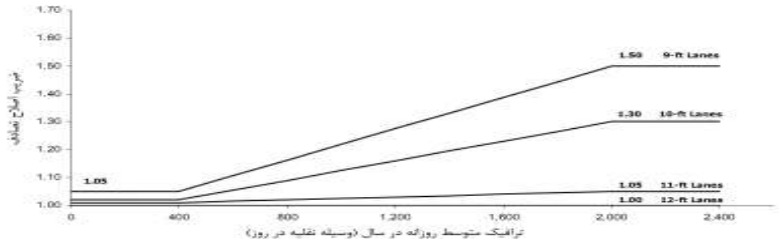
روکش‌های سازه‌ای

پر هزینه‌ترین نوع تعمیر و نگهداری، اجرای روکش‌های سازه‌ای است و آخرین راهکار برای تعمیر و نگهداری بخش‌هایی از راه است که دیگر انواع تعمیر و نگهداری کارایی خود را از دست داده باشند. ضریب اصلاح تصادف برای اجرای روکش‌های جاده‌ای در آیین نامه HSM برابر با ۰,۹ تعیین شده است.

مرمت دست اندازها و گودال‌ها

مرمت دست اندازها و گودال‌ها تاثیر بسیاری در کاهش تعداد تصادف دارد که با توجه به میزان ترافیک روزانه در سال طبقه‌بندی شده است. ضریب اصلاح عرض پایه ۳/٦٥ متر (۱۲ فوت)، برابر با ۱ در نظر گرفته شده، ضریب سایر عرض‌ها از نمودار شکل (۱) بدست آمده و نسبت ضرایب به عنوان ضریب اصلاح جدید محاسبه می‌گردد.

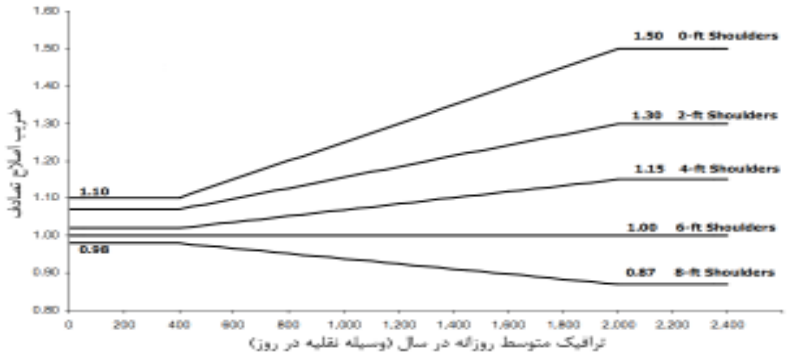
راهکارهای اصلاح پیوسته



شکل ۲. تعیین ضریب اصلاح تصادف در اثر مرمت دست اندازها و گودال ها

مرمت شانه‌ها و کناره‌های راه

مرمت شانه‌ها و کناره‌های راه نیز با توجه به میزان ترافیک روزانه در سال و به نسبت عرض شانه ۱/۸متر (٦ فوت)، که برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود به دست می‌آید. این ضرایب از نمودار شکل (۲) به دست آمده و نسبت ضرایب به عنوان ضریب اصلاح جدید محاسبه می‌شود.



پاکسازی سطح راه از هر گونه مواد زائد

رایج‌ترین نوع تعمیر و نگهداری، پاکسازی سطح راه در نواحی شهری و برون‌شهری است که ضریب آن در آیین نامه HSM برابر با ٠/٦ تعیین شده است.

جدول ٦. ضریب اصلاح تصادف برای پاکسازی سطح راه از هر گونه مواد زائد

راهکار تعمیر و نگهداری	نوع راه	حجم ترافیک	AMF
پاکسازی سطح راه	شهری/ برون‌شهری (بزرگراه)	نامشخص	٠/٦

شرایط پایه: عدم وجود سرعت‌گیر

تمیز کردن و ترمیم علائم افقی و عمودی راه

ضریب اصلاح تصادفات برای تمیز کردن و ترمیم علائم افقی و عمودی راه که رایج‌ترین نوع آنها علائم محدوده سرعت و گردش‌ها می‌باشد، به صورت نشان داده شده در جدول (٧) می‌باشد. بر اساس آنچه در قسمت‌های پیشین ذکر گردید، ضریب متغیرهای تصمیم مسئله، که در واقع، بیانگر میزان کاهش تصادفات در نقطه مذکور هستند، مطابق با جدول زیر وارد برنامه گمز گردید. باید گفت که تعریف و اختصاص این متغیرها، بر اساس مطالعات اداره کل راه و شهرسازی استان لرستان صورت گرفته است.

جدول ٧. ضریب اصلاح تصادف برای تمیز کردن و ترمیم علائم افقی و عمودی راه

راهکار اصلاح	نوع راه	حجم ترافیک	AMF
تمیز کردن و ترمیم تابلوهای گردش و سرعت	نامشخص	نامشخص	٠,٨

جدول ٨ ضرایب متغیر پیوسته *Xki* در تابع هدف

X_{ki}	Co.	X_{ki}	Co.	X_{ki}	Co.	X_{ki}	Co.
X1A	0.012400	X6C	0.001116	X13C	0.001116	X23C	0.001116
X2A	0.012400	X7C	0.001116	X15C	0.001116	X24B	0.007440
X3C	0.001116	X8A	0.012400	X16C	0.001116	X25C	0.001116
X4C	0.001116	X10C	0.001116	X18A	0.012400	X27A	0.012400
X5A	0.012400	X11C	0.001116	X20C	0.001116	X27C	0.001116
X5C	0.001116	X13A	0.012400	X22C	0.001116	X30A	0.012400

منظور از X1A تعمیر و نگهداری نوع A در قطعه شماره ١ می‌باشد.

جدول ۹. ضرایب متغیر گسسته Ykj در تابع هدف

Y_{kj}	Co.	Y_{kj}	Co	Y_{kj}	Co	Y_{kj}	Co	Y_{kj}	co
Y1A	16.0	**Y22A**	16.0	**Y41A**	16.0	**Y56C**	8.0	**Y70B**	5.2
Y3B	5.2	**Y23D**	19.2	**Y42A**	16.0	**Y57D**	19.2	**Y71D**	19.2
Y4A	16.0	**Y24C**	8.0	**Y42C**	8.0	**Y58D**	19.2	**Y72A**	16.0
Y5A	16.0	**Y24D**	19.2	**Y43D**	19.2	**Y59B**	5.2	**Y74B**	5.2
Y6A	16.0	**Y25A**	16.0	**Y44A**	16.0	**Y59C**	8.0	**Y75B**	5.2
Y10D	19.2	**Y28D**	19.2	**Y45D**	19.2	**Y60A**	16.0	**Y76D**	19.2
Y11A	16.0	**Y30A**	19.2	**Y47D**	19.2	**Y61A**	16.0	**Y77D**	19.2
Y12D	19.2	**Y31A**	16.0	**Y48D**	19.2	**Y62B**	5.2	**Y78B**	5.2
Y13D	19.2	**Y32D**	19.2	**Y49A**	16.0	**Y63D**	19.2	**Y80B**	5.2
Y14D	19.2	**Y33D**	19.2	**Y50A**	16.0	**Y64A**	16.0	**Y80C**	8.0
Y15D	19.2	**Y35D**	19.2	**Y51D**	19.2	**Y65A**	16.0		
Y17B	5.2	**Y36D**	19.2	**Y52D**	19.2	**Y66D**	19.2		
Y18D	19.2	**Y37D**	19.2	**Y53D**	19.2	**Y67B**	5.2		
Y19D	19.2	**Y38C**	8.0	**Y54A**	16.0	**Y68A**	16.0		
Y20D	19.2	**Y39D**	19.2	**Y55D**	19.2	**Y68C**	8.0		
Y21D	19.2	**Y40A**	16.0	**Y56A**	16.0	**Y69B**	5.2		

منظور از Y3B اصلاح نوع B در قطعه شماره ۳ می‌باشد.

در سوی مقابل، مقادیر ضرایب هزینه تعمیر و نگهداری‌های مورد نیاز، بر اساس برآوردهای صورت گرفته توسط اداره کل راه و شهرسازی استان لرستان، مطابق با جداول زیر وارد برنامه گردید:

جدول ۱۰. ضرایب متغیر پیوسته *Xki* در عدم قطعیت‌های بودجه‌ای

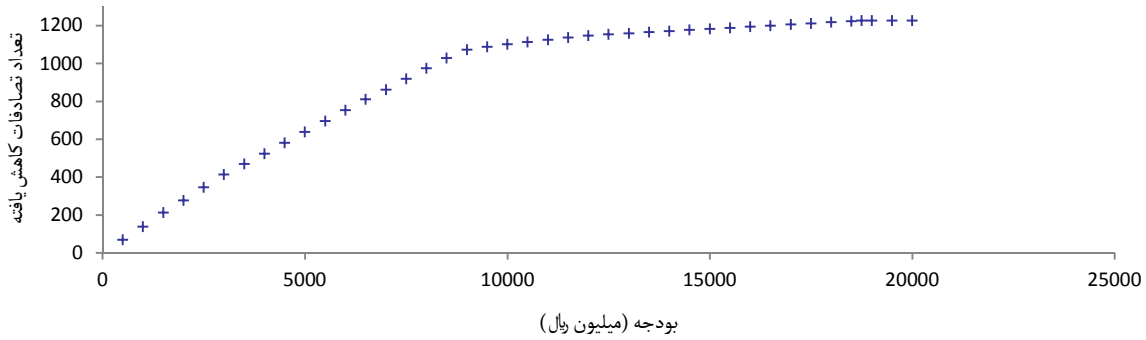
X_{ki}	Co.	X_{ki}	Co.	X_{ki}	Co.	X_{ki}	Co.
X1A	1.068	X27A	0.030	X27C	0.030	X30A	0.030
X2A	1.068	X6C	0.030	X13A	0.030	X20C	0.365
X3C	0.030	X7C	1.068	X13C	0.030	X22C	0.030
X4C	0.030	X8A	0.030	X15C	1.068	X23C	1.068
X5A	1.068	X10C	0.030	X16C	0.030	X24B	0.030
X5C	0.030	X11C	1.068	X18A	0.030	X25C	1.068

جدول ١١. ضرایب متغیر گسسته Ykj در عدم قطعیت‌های بودجه‌ای

Y_{kj}	Co.	Y_{kj}	Co	Y_{kj}	Co	Y_{kj}	Co	Y_{kj}	Co
Y1A	115	**Y22A**	115	**Y41A**	115	**Y56C**	325	**Y70B**	55
Y3B	55	**Y23D**	115	**Y42A**	115	**Y57D**	170	**Y71D**	170
Y4A	115	**Y24C**	325	**Y42C**	325	**Y58D**	170	**Y72A**	115
Y5A	115	**Y24D**	170	**Y43D**	170	**Y59B**	55	**Y74B**	55
Y6A	115	**Y25A**	115	**Y44A**	115	**Y59C**	325	**Y75B**	55
Y10D	170	**Y28D**	170	**Y45D**	170	**Y60A**	115	**Y76D**	170
Y11A	115	**Y30A**	115	**Y47D**	170	**Y61A**	115	**Y77D**	170
Y12D	170	**Y31A**	115	**Y48D**	170	**Y62B**	55	**Y78B**	55
Y13D	170	**Y32D**	170	**Y49A**	115	**Y63D**	170	**Y80B**	55
Y14D	170	**Y33D**	170	**Y50A**	115	**Y64A**	115	**Y80C**	325
Y15D	170	**Y35D**	170	**Y51D**	170	**Y65A**	115		
Y17B	55	**Y36D**	170	**Y52D**	170	**Y66D**	170		
Y18D	170	**Y37D**	170	**Y53D**	170	**Y67B**	55		
Y19D	170	**Y38C**	325	**Y54A**	115	**Y68A**	115		
Y20D	170	**Y39D**	170	**Y55D**	170	**Y68C**	325		
Y21D	170	**Y40A**	115	**Y56A**	115	**Y69B**	55		

٤- ارائه نتایج

در این مطالعه، به دلیل مشخص نبودن میزان دقیق بودجه قابل اختصاص به موارد اصلاحی مطرح شده در مطالعات انجام شده توسط اداره کل راه و شهرسازی استان لرستان، آنالیز تابع هدف با مقادیر بودجه متفاوتی انجام شده است. نتایج حاصل از این آنالیز، به صورت نموداری در شکل شماره (٤) ارایه شده است. در این مطالعه، خروجی‌های تابع هدف با عدم قطعیت بودجه‌ای برابر با ١٠٠٠٠ میلیون ریال ارائه می‌گردد. جداول (١٢) و (١٣) مقادیر متغیرهای تصمیم را در ازای بودجه مذکور نشان می‌دهد.



شکل٤. نمودار تعداد تصادفات کاهش یافته در برابر بودجه تخصیص یافته

جدول ۱۲. مقادیر متغیر پیوسته *Xki* با عدم قطعیت بودجه ۱۰۰۰۰ میلیون ریال

X_{ki}	Co.	X_{ki}	Co.	X_{ki}	Co.	X_{ki}	Co.
X1A	0.0	X27A	900.0	X27C	700.0	X30A	800.0
X2A	0.0	X6C	1100.0	X13A	500.0	X20C	160.3
X3C	800.0	X7C	0.0	X13C	700.0	X22C	1100.0
X4C	1000.0	X8A	850.0	X15C	0.0	X23C	0.0
X5A	0.0	X10C	600.0	X16C	1000.0	X24B	900.0
X5C	600.0	X11C	0.0	X18A	1000.0	X25C	0.0

جدول۱۳. متغیر پیوسته *Ykj* با عدم قطعیت بودجه ۱۰۰۰۰ میلیون ریال

Y_{kj}	Co.	Y_{kj}	Co	Y_{kj}	Co	Y_{kj}	Co	Y_{kj}	Co
Y1A	1	**Y22A**	1	**Y41A**	1	**Y56C**	0	**Y70B**	1
Y3B	1	**Y23D**	1	**Y42A**	1	**Y57D**	1	**Y71D**	1
Y4A	1	**Y24C**	1	**Y42C**	0	**Y58D**	1	**Y72A**	1
Y5A	1	**Y24D**	1	**Y43D**	1	**Y59B**	1	**Y74B**	1
Y6A	1	**Y25A**	1	**Y44A**	1	**Y59C**	1	**Y75B**	1
Y10D	1	**Y28D**	1	**Y45D**	1	**Y60A**	1	**Y76D**	1
Y11A	1	**Y30A**	1	**Y47D**	1	**Y61A**	1	**Y77D**	1
Y12D	1	**Y31A**	1	**Y48D**	1	**Y62B**	1	**Y78B**	1
Y13D	1	**Y32D**	1	**Y49A**	1	**Y63D**	1	**Y80B**	1
Y14D	1	**Y33D**	1	**Y50A**	1	**Y64A**	1	**Y80C**	0
Y15D	1	**Y35D**	1	**Y51D**	1	**Y65A**	1		
Y17B	1	**Y36D**	1	**Y52D**	1	**Y66D**	1		
Y18D	1	**Y37D**	1	**Y53D**	1	**Y67B**	1		
Y19D	1	**Y38C**	0	**Y54A**	1	**Y68A**	1		
Y20D	1	**Y39D**	1	**Y55D**	1	**Y68C**	0		
Y21D	1	**Y40A**	1	**Y56A**	1	**Y69B**	1		

٥- نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، پس از رسیدن میزان بودجه مصرفی به سقفی در حدود ١٠٠٠٠ میلیون ریال، شیب بهینگی میزان تصادفات کاهش یافته به صورت قابل توجهی کم می‌شود. این مسئله نشان می‌دهد که این عدد را می‌توان به عنوان ملاک مناسبی برای مدیران و تصمیم‌گیران در تخصیص میزان بودجه در بخش‌های مختلف حمل و نقل قرار داد. به عبارت دیگر، به جای اینکه تصمیم بر آن باشد که بودجه محدودی را به ارتقای ایمنی اختصاص دهیم، سقفی از میزان بودجه مورد نیاز به جهت رسیدن به این نقطه را تعیین و در سایر بخش‌ها سیاست‌هایی را اعمال نمود که این میزان بودجه مورد نیاز تامین گردد. همان گونه که از نتایج قابل مشاهده است، دو راهکار مرمت دست اندازها و گودال‌ها و اندود قیری و پر کردن (درزبندی) ترک‌ها به منظور حداکثرسازی کاهش تصادفات در بودجه‌های محدود به دلیل نسبت کم کاهش تصادف به هزینه، مقرون به صرفه نیستند. از طرفی اقداماتی از قبیل پاکسازی سطح راه، تمیزکردن و ترمیم علائم افقی و عمودی راه و خط کشی و اجرای چشم گربه‌ای به دلیل بالاتربودن نسبت کاهش تصادفات به هزینه از اولویت بالاتری برخوردار هستند. باید گفت که مقدار تابع هدف به دست آمده از حل مسئله در این حالت، برابر با ١١٠٠/٦٤٥٨ به دست آمده است که بیانگر کاهش١١٠٠ تصادف با توجه به تعمیر و نگهداری‌های پیوسته و گسسته انجام شده است.

٦- مراجع

- سیف، ب.، و عباسیان جهرمی، ح.ر.، (١٣٩٤)، "مدیریت روسازی راه‌های روستایی استان خوزستان با استفاده از منطق فازی"، هفتمین همایش قیر و آسفالت ایران، ص. ١-٩.

- فن وی و وانگ فنگ، (٢٠١٤)، "مدیریت نگهداری روسازی و پروژه‌های توانبخشی تحت عدم اطمینان بودجه".

- نثری، پ. و همکارانش، (١٣٩٤)، "طراحی سیستم خبره فازی برای تعیین خط مشی ترمیم و نگهداری راه و جاده"، دوازدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع، ص. ١-١٤.

-مخملباف، م.م. و همکارانش، (١٣٩٣)، "به کارگیری روش الگوریتم ژنتیک در مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی راه‌ها بر پایه مفاهیم توسعه پایدار"، چهارمین کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار و عمران شهری، ص. ١-٩.

-K. Formela, M. Klein, X. Colom, M.R. Saeb, (2016), “Investigating the combined impact of plasticizer and shear force on the efficiency of low temperature reclaiming of ground tire rubber (GTR)”, Polym, Degrad, Stab. 125, pp.1–11.

-M. Liang, X. Xin, W. Fan, H. Sun, Y. Yao, B. Xing, (2015), “Viscous properties, storage stability and their relationships with microstructure of tire scrap rubber modified asphalt”, Constr, Build, Mater, 74 pp.124–131.

-“Bitumen emulsions”, (2008), “Syndicat des fabricants d'émulsions routières de bitumen”, Paris, France, pp.282-290.

-Chou, J. S. (2009), “Web-based CBR system applied to early cost budgeting for pavement maintenance project”, Expert Systems with Applications, 36, pp.2947–2960.

-Croteau JM, Davidson JK, Perrone P., (2002), “Surface Slurry Sealing Systems in Canada: Performance and Practice”, Proceedings, Canadian Technical Asphalt Association, 47, pp.433 – 450.

-Fan W, Machemehl R. B., (2007), “A multi-stage Monte Carlo sampling based stochastic programming model for the dynamic vehicle allocation problem, Journal of Advances in Transportation Studies, 12, pp.27-44.

-Fan W, Machemehl R. B., Lownes N E. Carsharing, (2008), “A dynamic vehicle allocation decision making problem. Transportation Research Record 2063, TRB, National Research Council, Washington D. C.

-S.A. Sultan, Z. Guo, (2016), "Evaluating life cycle costs of perpetual pavements in China using operational pavement management system International Journal of Transportation Science and Technology 5", pp.103–109.

-Seran D., (2015), "The effect of polyethylene wax on asphalt performance, Building and Environment", Volume 43, Issue 6, June, pp.1065-1071.

-Shatanawi et al., (2012), "Effects of furfural activated crumb rubber on the properties of rubberized asphalt", Construction and Building Materials 28, pp.96–103.

-Shen Aiqin, (2012), "China Journal of Highway and Transport".

-Wang F, Zhang Z, Machemehl R. B. (2003), "Decision-making problem for managing pavement maintenance and rehabilitation projects. Transportation Research Record 1853, TRB, National Research Council, Washington D. C.

-Wang, X., (2013), "Long-Life Asphalt Pavement in China. Research Institute of Highway", MOT, PRC, Bangkok.

-Wei, F. and Feng, W., (2014), "Managing pavement maintenance and rehabilitation projects under budget uncertainties", Journal of Transportation System Engineering and Technology, Vol. 14, No. 6, pp. 92–100.

-Guy, P. et al, (2015), "Comparative study of French and Chinese asphalt pavement design methods", J. Appl. Sci. 15 (6), pp.923–928.

-Judycki, B. Dołżycki, M. Pszczoła, M. Jaczewski, C. Szydłowski, (2014), "Tests and analysis of application of polymer-rubber modified bitumen to asphalt mixtures (in Polish)", Final Report, Gdansk University of Technology, Highway Engineering Division, Gdansk, Poland, pp. 11912.

-Lei et al., (2016), "Using DSR and MSCR tests to characterize high temperature performance of different rubber modified asphalt", Construction and Building Materials 127 (2016), pp.466–474.

-Lu XH, Isacsson U., (2008), "Chemical and rheological evaluation of aging properties of SBS polymer modified bitumens", Fuel; 77(9/10): 961.

-Presti, D.L., (2013), "Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixtures", A literature review Constr Build Mater 49, pp. 863–881.

-Q. Wang, S. Li, X. Wu, S. Wang, C. Ouyang, (2016), "Weather aging resistance of different rubber modified asphalts, Constr, Build, Mater 106", pp.443–448.

-R.V.O. Almeida, E.F.N. Ju´ nior, B.A. Prata, (2012), "Prioritization of Earth roads maintenance based on analytic hierarchy process", Int. J. Pavement Res. Technolgy 5 (3), pp.187–195.

The Mechanism of Budget Prioritization for Roads Maintenance and Rehabilitation at Uncertainty Condition (Case Study: Khorram Abad-Doroud Road)

Reza Moayedfar, Assistant Professor, Faculty of Engineering, Arak University, Arak, Iran.

Milad Baharvandi, M.Sc., Candidate, Islamic Azad University, South of Tehran Branch, Tehran, Iran.

E-mail: r-moayedfar@araku.ac.ir

Received: January 2021-Accepted: May 2021

ABSTRACT

Pavement management system (PMS) is the coordinate and regular process for doing all of the activities in roads. The main purpose of PMS is the prediction of pavement condition and the life cycle cost for determining the suitable time table. By true construction and management, we can provide a true decision making and sustainable maintenance for rehabilitation and reconstruction of the roads. PMS is the economic method for maintenance of the one of the most important national funds. The aim of this research is that according to the uncertainty of the assigned budgets, the optimum management for M&R methods was done. At this research, the road of Khorramabad-dorood was selected as the case study. The objective function at this research is the promotion of the roads quality according to budget limitations. For calculations, GAMS software has been used. The results show that, how we can prioritize the budget among the several sections.

Keywords: Maintenance And Rehabilitation Management, Budget's Uncertainty, Roads Safety, Objective Function