

انتخاب روش‌های بهینه تعمیر و نگهداری برای روسازی‌های شمال کشور با توجه به نوع خرابی‌های موجود و تخصیص بهینه اقدامات اصلاحی برای آنها

مقاله علمی - پژوهشی

محمدجواد طاهری امیری، استادیار، گروه عمران، موسسه آموزش عالی پارسا بابلسر، مازندران، ایران
میلاذ همتیان، دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، مازندران، ایران
فرشیدرضا حقیقی^{*}، دانشیار، گروه عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران
معصومه رضاییان، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی و مدیریت ساخت، موسسه آموزش عالی طبری بابل،
بابل، ایران

^{*}پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Haghighi@nit.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵ - پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۵

صفحه ۱۶۲-۱۴۷

چکیده

شبکه راه‌ها یکی از زیرساخت‌های اصلی توسعه بوده و جزء سرمایه‌های ملی کشورها محسوب می‌گردد. حفظ و نگهداری این سرمایه کلان نیازمند برنامه‌ریزی‌های دراز مدت و فعالیت مستمر تعمیر و نگهداری شبکه راه‌ها می‌باشد. در گذشته، روش‌های تعمیر و نگهداری سنتی بر روی فعالیت‌های ذاتاً اصلاحی یا سازمانی متمرکز شده بودند. از آنجا که اقدامات نگهداری پیشگیرانه عمر سرویس-دهی و بهره‌برداری روسازی را افزایش داده و کاهش هزینه‌های بلند مدت تسهیلات راه را بدنیاال خواهد داشت، امروزه نظریه اجرای نگهداری و تعمیرات قبل از آغاز اضمحلال بیشتر مورد توجه مدیران روسازی راه‌ها قرار گرفته است. مسیرهای بین شهری پرتردد استان مازندران، به ویژه شهرهای توریستی استان در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است. که پنج مسیر (ده مسیر رفت و برگشت) به دلیل ترافیک بالا و تردد وسایل نقلیه (میانگین تردد در ساعت) انتخاب شده است. برای حل این مسئله، پس از کدنویسی در نرم افزار متلب، براساس مدل ریاضی تعریف شده و الگوریتم مورد نظر، حالت‌های مختلفی براساس بازه‌های مختلف، تعداد انتخاب مسیر از دسته‌های تعمیراتی و سقف بودجهی محدود در نظر گرفته شده، تعریف و طبق همین حالت‌ها، خروجی‌های مطلوب از نرم افزار متلب گرفته شده است. پس از تشریح مشخصات جواب‌های مسئله در حالت‌های مختلف تعریف شده، به بررسی تغییرات هزینه، مطلوبیت و تعداد کل مسیرهای انتخاب شده و همچنین تعداد مسیرهای انتخابی از هر دسته تعمیراتی نسبت به تغییرات بودجه محدود پرداخته شد.

واژه‌های کلیدی: روسازی آسفالتی، نگهداری و تعمیرات، الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نخبه‌گرا

۱-مقدمه

جسم راه و روسازی که در معرض دید مستقیم استفاده کنندگان و متولیان راه‌ها قرار دارند، خرابی‌های ابنیه فنی راه غالباً در معرض دید قرار نمی‌گیرند و نسبت به رفع آنها دیرتر اقدام می‌شود. از مطالب ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که نگهداری و تعمیر ابنیه فنی راه از اهمیت بالایی برخوردار است. لازمه تصمیم‌گیری‌های صحیح در امر نگهداری و

ساختمان یک راه متشکل از جسم راه، روسازی و ابنیه فنی می‌باشد. در صورتی که هر یک از بخش‌های یک راه دچار خرابی شود، استفاده از راه و عبور و مرور دچار اختلال می‌شود. ایجاد خرابی در ابنیه فنی، به دلیل احتمال تخریب ناگهانی و انهدام آنی، دارای هزینه بیشتری نسبت به خرابی بقیه عناصر راه می‌باشد. علاوه بر این، برخلاف خرابی‌های

هر یک از این راه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. پس از انجام بازدیدهای میدانی و جمع‌آوری نتایج مورد نیاز، به بررسی در مورد اولویت‌بندی هر یک از مسیرها از نظر نیاز به نگهداری و تعمیر پرداخته شده است و در انتها با استفاده از روش الگوریتم فراابتکاری ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب (با استفاده از کدنویسی در نرم افزار MATLAB) به تخصیص بهینه روش‌های تعمیر مناسب برای این روسازی‌ها با توجه به بودجه محدود پرداخته شده است.

۲-پیشینه تحقیق

ریچی و همکارانش برنامه‌ای را به زبان فرترن به نام اسکپتر ارایه کردند که با توجه به ۴ شاخص ارزیابی و راحتی سفر، ایمنی، ظرفیت باربری و تخریب سطحی، روسازی را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. اطلاعات ورودی آن عبارتند از نوع و شدت خرابی، نرخ تخریب سالیانه، نوع آب و هوا و حجم ترافیک و اطلاعات خروجی آن گزینه‌های مختلف ترمیم و نگهداری، طول عمر هر گزینه و میزان احتمال بیشتر شدن این عمر است (Ritchi et al, 1987). به منظور جمع‌آوری تحقیقات گذشته و حال، پیرامون نگهداری روسازی یک پژوهش گسترده در ۵۰ ایالت کشور آمریکا و ۱۱ استان کشور کانادا صورت پذیرفت. این پژوهش نتایج کیفی قابل توجهی را از وضعیت عملیات نگهداری پیشگیرانه فراهم آورد (Beatty, 2001). تحقیقاتی در مالزی به منظور تعیین اقتصادی‌ترین روش نگهداری رویه‌های بتن آسفالتی ترک‌خورده توسط جونز و همکارانش انجام شد و به توصیف عملکرد و مسیر آزمایش براساس سنجش شرایط ایجاد شده انجام گردید (Jones&Ford, 1998). برای دستیابی به مدل‌های علمی در مدیریت و تعمیر راه‌ها یک سیستم کامپیوتری به نام نیومالی توسط برگر و همکارانش طراحی شده است. این برنامه به زبان فرترن بوده و ورودی‌های آن شامل ارزیابی نمونه، نوع روسازی، تاریخ ساخت، تعداد بار محوری، نرخ رشد سالیانه ترافیک، CBR، افت و خیز مشاهده شده و حداقل PCI قابل قبول و اطلاعات خروجی آن شامل PCI هر نمونه و کل راه، گزینه‌های تعمیراتی و هزینه‌های اجرای هر گزینه و تحلیل هزینه-فایده در مقاطع مختلف شبکه می‌باشد (Berger et al, 1991). تحقیقات بین‌المللی جهت بررسی تکنیک‌ها،

انجام به موقع عملیات تعمیر و ترمیم، بازرسی‌های مکرر و دقیق می‌باشد. شبکه راه‌ها یکی از زیرساخت‌های اصلی توسعه بوده و جزء سرمایه‌های ملی کشورها محسوب می‌گردد. حفظ و نگهداری این سرمایه کلان، نیازمند برنامه‌ریزی‌های دراز مدت و فعالیت مستمر تعمیر و نگهداری شبکه راه‌ها می‌باشد. در گذشته، روش‌های تعمیر و نگهداری سنتی بر روی فعالیت‌های ذاتا اصلاحی یا سازه‌ای متمرکز شده بودند. از آنجا که اقدامات نگهداری پیشگیرانه، عمر سرویس‌دهی و بهره‌برداری روسازی را افزایش داده و کاهش هزینه‌های بلند مدت تسهیلات راه را بدنبال خواهد داشت، امروزه نظریه اجرای نگهداری و تعمیرات قبل از آغاز اضمحلال بیشتر مورد توجه مدیران روسازی راه‌ها قرار گرفته است (Brien, 1989). عملیات نگهداری راه‌ها چنانچه در موعد لازم انجام شده و با انتخاب گزینه مناسب برای روش نگهداری صورت گیرد، علاوه بر آنکه تخریب آنها را به تأخیر می‌اندازد، به دلیل افزایش کیفیت سطح راه، موجب کاهش هزینه‌های عملکردی وسایل نقلیه و باز بودن مداوم راه می‌شود (Robinson et al, 1998). عملیات تعمیر و نگهداری در راه‌ها همزمان با افتتاح آنها آغاز می‌گردد و از این جهت حائز اهمیت می‌باشد که سهم بسزایی در میزان هزینه‌ها و بالا بردن عمر و افزایش کارایی آن خواهد داشت. امروزه برخی از سازمان‌ها و مؤسسات در دنیا با بکارگیری تجهیزات تست میدانی با مقیاس واقعی به پیش‌بینی رفتار روسازی‌ها پرداخته‌اند. این تجهیزات بدلیل هزینه فراوان و زمان‌بر بودن تست‌ها، فراگیر نبوده و تنها در برخی از کشورها مورد استفاده قرار گرفته است. بطور کلی در زوال روسازی راه پارامترهایی شامل: بار ترافیکی، شرایط محیطی و سن روسازی تأثیرگذار می‌باشند. از طرفی خستگی روسازی عبارتست از افزایش صدمات ناشی از تکرار بارگذاری و معمولاً روسازی‌ها در اثر خستگی دچار شکست می‌گردند. بدیهی است آگاهی از وضعیت روسازی راه در هر زمان از عمر بهره‌برداری می‌تواند در راستای اجرای مناسب‌ترین گزینه‌های تعمیر و نگهداری، کمک شایانی به مهندسان داشته باشد. به منظور انجام این تحقیق، پس از جمع‌آوری اطلاعات موجود در اداره راه، همچنین مذاکره با کارشناسان، متخصصان و اساتید این حوزه، با انجام بازدیدهایی از راه‌های شمال کشور، وضعیت خرابی و نقایص

مصلح، روش‌ها و تجهیزات نوینی که در کشورهای فرانسه، آفریقای جنوبی و استرالیا به عنوان کشورهای پیشرو جهت نگهداری روسازی‌ها صورت می‌گیرد با همکاری اداره راه‌های فدرال ایالات متحده آمریکا، انجمن ادارات حمل و نقل و راه‌های ایالاتی آمریکا و برنامه مشارکتی تحقیقاتی در زمینه راه‌های برون شهری و به هدف قابلیت کاربرد آن‌ها در ایالات متحده آمریکا انجام پذیرفت (نظری، ۱۳۹۱). اندرسن و چپمن (۲۰۱۱)، تأثیر وضعیت آب و هوایی در زمستان بر شرایط نگهداری راه و تصادفات در وست میدلندز انگلستان را مورد بررسی قرار دادند. آب و هوای زمستان می‌تواند یک علت قابل توجهی از تصادفات جاده باشد. این مقاله با استفاده از سناریوهای تغییر آب و هوا و آنالوگ زمانی به بررسی رابطه بین دما و حوادث شدید جاده در غرب میدلنز می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهند که کاهش پیش‌بینی شده در تعداد روزهای یخبندان باید به نوبه خود منجر به کاهش تعداد تصادفات جاده‌ای به حدود ۵۰٪ گردد. نتایج این مقاله، هشدار در خصوص سیستم‌های نگهداری زمستانی است. آب و هوای گرم‌تر ممکن است سبب کاهش بودجه‌ای برای تعمیر و نگهداری بزرگراه شود که به نوبه خود ممکن است به کاهش روند تصادفات منجر گردد (Andersson&Chapman, 2011). ژانگ و گائو (۲۰۱۲)، به بهینه کردن عملیات نگهداری راه با استفاده از سیستم‌های تصمیم‌گیری مارکوف پرداختند. از نظر آن‌ها مدل بهینه‌سازی برای کارآمدی و مقرون به صرفه بودن نگهداری از شبکه جاده‌ای ضروری است. در این راستا، تخریب جاده‌ها است که معمولاً به عنوان یک مدل زمان گسسته مارکوف در نظر گرفته می‌شود، می‌تواند سیاست نگهداری بهینه را براساس فرایندهای تصمیم‌گیری مارکوف و یا به عنوان یک فرآیند نوسازی به دست آورد. شبکه جاده فرضی نیز برای نشان دادن استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی ارایه شده است. نتایج نشان می‌دهد که این مدل برنامه‌ریزی خطی برای تعمیر و نگهداری از شبکه‌های جاده‌ای که تعداد زیادی از بخش جاده دارای محدودیت‌های مختلف در فرآیند تصمیم‌گیری، مانند عملکرد مورد نیاز و بودجه در دسترس است، کارآمد می‌باشد (Zhang&Gao, 2012). منسس و فریرا (۲۰۱۲)، مدل بهینه‌سازی جدید برای مدیریت نگهداری شبکه راه را مورد بررسی قرار دادند. این مقاله یک ابزار تصمیم‌گیری چند

هدفه تست شده با داده‌های از سیستم مدیریت روسازی در پرتغال می‌باشد. این سیستم سه هدف مختلف به حداقل رساندن هزینه‌های تعمیر و نگهداری، به حداقل رساندن هزینه‌های کاربر و حداکثر مقدار باقی‌مانده از روسازی را در نظر می‌گیرد (Meneses& Ferreira, 2012). دنویس و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی راهکار تعمیر و نگهداری قسمت‌های راه با استفاده از سیستم‌های چند عامله پرداختند. آن‌ها در این مقاله ابتدا مشکلات و وظایف تعمیر و نگهداری و تعمیر تجهیزات راه‌سازی را تعریف می‌کنند. سپس یک روش را مورد بررسی قرار می‌دهند که پشتیبانی تصمیم‌گیری در مدیریت تعمیر و نگهداری و تعمیر جاده‌ها و وسایل نقلیه براساس روشی مدرن ارائه شده است. سپس ساختار سیستم سازمان تعمیرات و نگهداری در بخش جاده با استفاده از سیستم‌های چند عامله تعریف شده است و مدل تعمیر و نگهداری سیستم برنامه‌ریزی و تعمیر و براساس عوامل به عنوان یک سیستم چندعامله ترکیب و ساختار عوامل هوشمند توسعه یافته است (Denisov et al, 2013). چن و هوانگ (۲۰۱۴)، بهینه کردن عملیات‌های روزانه نگهداری راه با استفاده از زمان سفر را مورد بررسی قرار دادند. این مقاله بررسی روش بهینه‌سازی برای یک مشکل معمول در عملیات تعمیر و نگهداری روزانه از شبکه جاده‌ها را بررسی می‌کند. زمان سفر در بخش جاده در نظر گرفته شده است (Chen& Hoang, 2014). کیم و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تحقیق در رابطه با «انتخاب خودکار دوره تناوبی گزینه‌های نگهداری و تعمیر روسازی بزرگراه‌ها و محاسبه هزینه برای تعمیر و نگهداری آن‌ها با روش تحلیل هزینه چرخه عمر پرداختند. براساس این تحقیق، تحلیل هزینه چرخه عمر برای پروژه بزرگراه یک تکنیک تحلیلی است که با استفاده از اصول اقتصادی برای ارزیابی طولانی مدت گزینه سرمایه‌گذاری، به ویژه برای مقایسه گزینه‌های طراحی روسازی بکار می‌رود. دستاوردها و نرم‌افزارهای متعددی تحت LCCA توسط سازمان‌های حمل و نقل در بسیاری از آژانس‌های ایالات متحده در دهه‌های گذشته توسعه یافته‌اند. برنامه (Real Cost 2.5 CA) به عنوان یک ابزار رسمی LCCA مطابق با الزامات قانونی برای بکارگیری در پروژه بزرگراه‌های دولت کالیفرنیا به تصویب رسیده است. استفاده از این نسخه کالیفرنایی Real Cost کمک می‌کند تا به منافع اقتصادی

قابل توجهی برای پروژه بزرگراهی دست یافت (Kim et al, 2015).

۳- معرفی مطالعه موردی

۳-۱- انتخاب مسیر

مسیرهای بین شهری پرتردد استان مازندران، به ویژه شهرهای توریستی استان در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است، که پنج مسیر (ده مسیر رفت و برگشت) به دلیل ترافیک بالا و تردد وسایل نقلیه (میانگین تردد در ساعت) انتخاب شده است. نحوه انتخاب مسیرهای بین شهری به

گونه‌ای بوده که میانگین تردد بیش از ۱۵۰ خودرو در ساعت برای هر مسیر به صورت رفت و برگشت مورد مطالعه قرار گرفته که در جدول زیر آن را مشاهده می‌کنید: مسیرهای خزرآباد به ساری (با میانگین تردد ۱۸۷)، قائمشهر به ساری (با میانگین تردد ۱۵۸)، گناب به بابل (با میانگین تردد ۱۵۸)، محمود آباد به آمل (با میانگین تردد ۱۷۰) و بابل به فریدونکنار (با میانگین تردد ۱۶۵)، بیشترین تردد را در مسیرهای بین شهری استان مازندران دارا می‌باشند. در جدول ۱ مسیرهای انتخاب شده براساس میانگین تردد نشان داده شده است.

جدول ۱. مسیرهای انتخاب شده براساس میانگین تردد

مسیر	شماره مسیر	میانگین تردد در ساعت	طول مسیر (کیلومتر)
محمود آباد به آمل	۱	۱۷۰	۱۲
ساری به خزر آباد	۲	۱۳۴	۲۴
آمل به محمود آباد	۳	۱۲۹	۱۲
بابل به گناب	۴	۶۶	۹
بابل به فریدونکنار	۵	۱۶۵	۷
خزرآباد به ساری	۶	۱۸۷	۲۴
ساری به قائمشهر	۷	۱۳۷	۱۲
قائم‌شهر به ساری	۸	۱۵۸	۱۲
گناب به بابل	۹	۱۵۸	۹
فریدونکنار به بابل	۱۰	۱۵۳	۷

در ادامه به توضیح در رابطه با هر یک از مسیرهای مشخص شده در این تحقیق پرداخته خواهد شد:

- مسیر خزر آباد به ساری و بلعکس با طول تقریبی ۲۴ کیلومتر و به پهنای دو باند که بیشترین خرابی‌ها در این مسیر، مختص اوایل مسیر تا کیلومتر ۷ جاده می‌باشد. اکثر ترک‌های این مسیر را ترک‌های طولی، موزائیکی و پوست سوسماری تشکیل می‌دهند.
- مسیر قائمشهر به ساری و بلعکس با طول تقریبی ۱۲ کیلومتر و به پهنای دو باند که بیشترین خرابی‌ها در این مسیر را، کندگی آسفالت، سنگ نما (پوسته) شدن و پوست سوسماری تشکیل می‌دهند.
- مسیر گناب به بابل و بلعکس با طول تقریبی ۹ کیلومتر و به پهنای یک باند (اوایل و انتهای مسیر) و در مناطق مسکونی، دو باند می‌باشد. بیشترین خرابی‌ها در این مسیر، به

دلیل کیفیت نامناسب تعمیراتی است که اخیراً انجام شده (وصله و لکه‌گیری) و دیگر خرابی که به چشم می‌خورد، ترک پوست سوسماری می‌باشد.

- مسیر چهارم، محمودآباد به آمل و بلعکس، با طول تقریبی ۱۲ کیلومتر و به پهنای دو باند می‌باشد. بیشترین خرابی‌ها در این مسیر، از ترک پوست سوسماری، کندگی و چاله شدن آسفالت تشکیل می‌شود.
- مسیر بابل به فریدونکنار و بلعکس، به طول تقریبی ۷ کیلومتر و به پهنای دو باند (اوایل و انتهای مسیر، سه باند) می‌باشد، که بیشترین خرابی را ترک‌های پوست سوسماری و موزائیکی تشکیل می‌دهند.

براساس بازدیدهای انجام شده، خرابی‌های موجود در مسیرهای مورد بررسی شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- ترک پوست سوسماری ۲- ترک موزائیکی ۳- چاله شدن ۴- موجی شدن آسفالت ۵- یالازدگی قیر ۶- ترک طولی (کناری) ۷- سنگ نما (پوسته شدن)

روش تعمیر با توجه به نوع خرابی و هزینه آن به صورت زیر می‌باشد:

- سیل کت (اجرای یک لایه قیر امولسیون به همراه پخش یک لایه ماسه روی آن، که معمولاً قیر امولسیون تندشکن در این کاربرد استفاده می‌شود) با هزینه تعمیر ۱۴,۰۰۰ ریال در هر متر مربع (که با A نشان داده می‌شود).

- لکه‌گیری (فرایندی است که در آن، محدوده‌ای از روسازی که دارای خرابی زیادی می‌باشد، برداشته شده و جایگزین می‌شود و یا مواد دیگری افزوده می‌شود تا محدوده تخریب شده را پوشش دهد) با هزینه تعمیر ۴,۰۰۰,۰۰۰ ریال در هر تن (B)

- درزگیری (عبارت است آماده‌سازی و تمیز کردن ترک بوسیله تراش و دمیدن هوای فشرده و بکارگیری یک نوار قیر اصلاح شده) با هزینه تعمیر ۴۷,۰۰۰ ریال در هر متر طول (C)

- آسفالت گرم (پوشش آسفالت بر روی محدوده‌ای از راه که دچار خرابی شده است) با هزینه تعمیر ۲,۰۰۰,۰۰۰ ریال در هر تن (D)

- اسلاری سیل (ترکیب مصالح ریز دانه، آب، قیر امولسیون دیر شکن و فیلر (غالباً سیمان) است که به وسیله ماشین‌های

مخصوص پاشش می‌شوند و علاوه بر پرکنندگی خلل و فرج مخلوط سطح راه، جنبه مقاومت هم به روکش می‌دهد) با هزینه تعمیر ۱۳,۵۰۰ ریال در هر متر مربع (F)

- میکرو سرفیسینگ (اجرای یک لایه سنگدانه، آب، قیر امولسیون کندشکن و فیلر (غالباً سیمان) است. بسته به شرایط آن ناحیه، باید طرح اختلاط مناسب و مواد افزودنی نیز، در این روکش استفاده شود تا سبب فیرزدگی نگردد. ماشین آسفالت آن نیز، ماشین خاصی است (شبیه به ماشین اسلاری سیل که به راحتی در محل کار قابل مونتاژ است) با هزینه تعمیر ۳۴,۰۰۰ ریال در هر متر مربع (G)

- تعمیر موضعی (مرمت و اصلاح انواع آسیب‌دیدگی‌های سطحی و سازه‌ای روسازی‌های آسفالتی با اندازه کوچک، شامل: تعمیرات سطحی، اجرای روکشهای تقویتی، بازیافت و یا ترکیبی از این عملیات می‌باشد) با هزینه تعمیر ۴,۰۰۰,۰۰۰ ریال در هر تن (U)

- فاگ سیل (اجرای صرفاً یک لایه قیر امولسیون کند شکن یا تندشکن رقیق روی سطح) با هزینه تعمیر ۱۳,۰۰۰ ریال در هر متر مربع (T).

در ادامه از طریق بازدیدهای میدانی انجام شده در مسیرهای مورد بررسی خرابی‌ها، نوع تعمیر، هزینه برای هر نوع تعمیر، شدت و اهمیت برای هر مسیر مشخص شده است که به طور نمونه اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق بازدیدهای میدانی برای مسیر محمودآباد به آمل در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. مسیر محمود آباد به آمل (مسیر ۱)

نوع خرابی	شدت خرابی	اهمیت	میزان خرابی	حجم خرابی	نوع تعمیر	هزینه
ترک پوست سوسماری	کم	کم	۳۰,۶	۷۱,۹۱	A	۴۲۸,۴۰۰
	کم	کم	۳۰,۶	۷۱,۹۱	F	۴۱۳,۱۰۰
	متوسط	کم	۰,۶	۱,۴۱	B	۵,۶۴۰,۰۰۰
		کم	۰,۶	۱,۴۱	D	۲,۸۲۰,۰۰۰
		متوسط	۱,۰۵	۲,۴۷	B	۹,۸۸۰,۰۰۰
		متوسط	۱,۰۵	۲,۴۷	D	۴,۹۴۰,۰۰۰
ترک موزائیکی	زیاد	-	-	-	-	-
	کم	-	-	-	-	-
	متوسط	-	-	-	-	-
	زیاد	-	-	-	-	-

۱۰۶,۶۸۰,۰۰۰	B	۲۶,۶۷	۱۱,۳۵	کم	کم	چاله شدن
۵۳,۳۴۰,۰۰۰	D					
۷,۰۰۰,۰۰۰	B	۱,۷۵	۰,۵	کم	متوسط	
۳,۵۰۰,۰۰۰	D					
۹,۸۸۰,۰۰۰	B	۲,۴۷	۱,۰۵	متوسط		
۴,۹۴۰,۰۰۰	D					
-		-	-	-	زیاد	موجی شدن آسفالت
-		-	-	-	کم	
-		-	-	-	متوسط	
-		-	-	-	زیاد	
۳۸,۰۸۰	A	۶,۴	۲,۷۲	کم	کم	بالا زدگی قیر
۳۶,۷۲۰	F					
۹۲,۴۸۰	G					
-		-	-	-	متوسط	
-		-	-	-	زیاد	
-		-	-	-	کم	
-		-	-	-	متوسط	
-		-	-	-	زیاد	
-		-	-	-	کم	سنگ نما (پوسته)
-		-	-	-	متوسط	
-		-	-	-	زیاد	

۴-تعریف مسئله

هدف نهایی این تحقیق، بهینه‌سازی استراتژی‌های تعمیر و نگهداری راه می‌باشد. با توجه به ادبیات موضوع و بررسی های متعدد، مشخص شد بهینه‌سازی این تحقیق از نوع دو هدفه است. هدف اول، مینیمم‌سازی هزینه تعمیرات و نگهدار و هدف دوم ماکزیمم‌سازی میزان اثربخشی (حداکثر نسبت عمر به هزینه) تمهیدات تعمیر و نگهداری بر روی روسازی‌های آسفالتی است. طبیعتاً برای اثربخشی باید هزینه‌ی بیشتری انجام داد و از طرف دیگر کم کردن هزینه منجر به کاهش اثربخشی می‌شود. پس باید یک تعادل بین این دو هدف، برقرار و راه‌حل یا راه‌حلهایی جهت بهینه‌سازی استراتژی‌های تعمیر و نگهداری پیدا شود. نکته‌ی دیگر در این مسئله، محدودیت بودجه‌ی در دسترس است.

این بودجه حتماً از مقدار کل بودجه مورد نیاز جهت تعمیر و نگهداری تمامی مسیرها کمتر است، زیرا همواره بودجه‌ی در دسترس سازمان‌ها و مدیران، کمتر از هزینه‌های پیش‌بینی شده‌ی آنهاست. به همین دلیل این کمبود بودجه، مدیران را بر آن می‌دارد تا به فکر بهینه‌سازی بودجه‌ی خود باشند تا بیشترین بهره‌وری را در تشکیلات خود داشته باشند. برای حل این مسئله، یک مدل ریاضی در نظر گرفته شده است تا علاوه بر تحقق دو هدف مینیمم هزینه و ماکزیمم اثربخشی، محدودیت‌هایی از قبیل کل بودجه‌ی در دسترس جهت تعمیر روسازی، بودجه‌ی در دسترس برای تعمیر هر مسیر و تعداد مسیرهای تحت تعمیر از هر نوع تعمیری را نیز رعایت کند.

۴-۱- اندیس‌های مسئله

$\{i_1, i_2, \dots, i_n\}$	i = مسیر مورد نظر
$\{j_1, j_2, \dots, j_n\}$	j = نوع خرابی
$\{\text{کم}, \text{متوسط و زیاد}\}$	l = شدت خرابی
$\{\text{کم}, \text{متوسط و زیاد}\}$	k = اهمیت خرابی
$\{A, B, C, D, F, G, U, T\}$	m = نوع تعمیر

۴-۲- پارامترهای مسئله

B_i = بودجه هر مسیر

B = بودجه کل

D_{lkm}^{ij} = اگر مسیر i دارای خرابی نوع j با شدت l و اهمیت k و نوع تعمیر m باشد ۱ و در غیر اینصورت ۰ است.

C_{lkm}^{ij} = هزینه تعمیر نوع m با اهمیت k و شدت l برای نوع خرابی j مسیر i

O_j = تعداد خرابی نوع j که باید انتخاب شود

M_k = تعداد خرابی با اهمیت k که باید انتخاب شود

N_m = تعداد تعمیر نوع m که باید انتخاب شود

L_i = حداقل تعداد تعمیر مسیر i

U_i = حداکثر تعداد تعمیر مسیر i

g_i = نسبت عمر به هزینه g_i = $\frac{\text{عمر}}{\text{هزینه}}$

۴-۳- تابع هدف مسئله

(۱) مجموع هزینه‌ها مینیمم شود:

$$\text{Min} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} C_{lkm}^{ij} X_{lkm}^{ij}$$

(۲) نسبت عمر به هزینه ماکسیمم شود:

$$\text{Max} \sum_{i \in I} g_i$$

۴-۴- محدودیت‌های مسئله

محدودیت‌های مسئله به صورت زیر ارائه شده است:

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} X_{lkm}^{ij} D_{lkm}^{ij} C_{lkm}^{ij} \leq B \quad \forall i \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \sum_{k \in K} \sum_{m \in M} X_{lkm}^{ij} D_{lkm}^{ij} C_{lkm}^{ij} \leq B \quad (2)$$

$$L_i \leq \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} X_{lkm}^{ij} \leq U_i \quad \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} X_{lkm}^{ij} \geq O_j \quad \forall j \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} X_{lkm}^{ij} \geq M_k \quad \forall k \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} X_{lkm}^{ij} \geq N_m \quad \forall m \quad (6)$$

(۱) محدودیت بودجه برای هر مسیر (هر مسیر بودجه محدودی دارد و کل هزینه‌ای که برای آن مسیر تخصیص داده می‌شود، از حد بودجه در نظر گرفته شده نباید تجاوز کند).

(۲) محدودیت بودجه برای کل مسیرها (کل مسیرهای در حال ترمیم نباید از کل بودجه تجاوز کند).

- ۳) تعداد تعمیرات هر مسیر (تعداد تعمیرهایی که برای هر مسیر انتخاب می‌شود، باید یک حداقل و یک حداکثر داشته باشد)
- ۴) از خرابی نوع J حداقل O_j مورد انتخاب شود.
- ۵) از آنجایی که خرابی دارای سه نوع اهمیت می‌باشد، از اهمیت خرابی k حداقل M_k مورد انتخاب شود.
- ۶) از تعمیر نوع m حداقل N_m مورد انتخاب شود.

۴-۵- تحلیل نتایج

۴-۵-۱- تحلیل نتایج به دست آمده از حل مسئله با الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGAII)

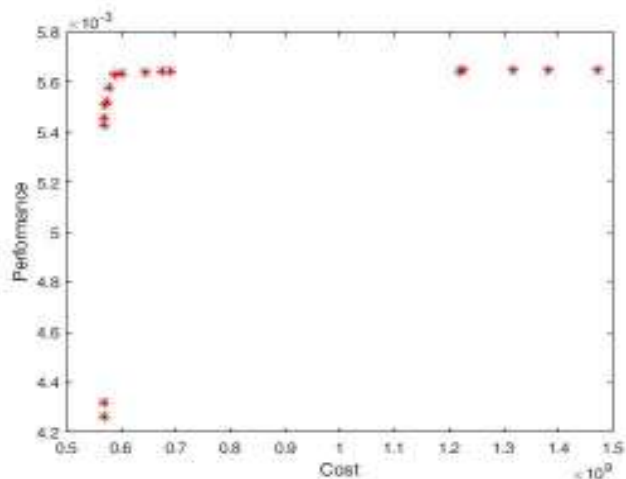
دسته تعمیر شوند. از طرفی می‌توان در بحث اخذ خروجی از الگوریتم ژنتیک تعریف شده براساس مدل، با تغییر میزان این دو پارامتر در دسته‌های تعمیراتی مختلف، حساسیت تعداد تعمیر و میزان هزینه را در برابر این تغییرات مشاهده کرده و به عددی بهینه (مثلاً برای یک مسیر که دارای ۷ نوع خرابی می‌باشد، حداقل ۲ نوع خرابی باید تعمیر شود) و منطقی جهت حد بالا و پایین تعداد انتخاب از هر دسته‌ی تعمیراتی رسید.

۴-۵-۲- جواب‌های بهینه الگوریتم در حالت‌های مختلف

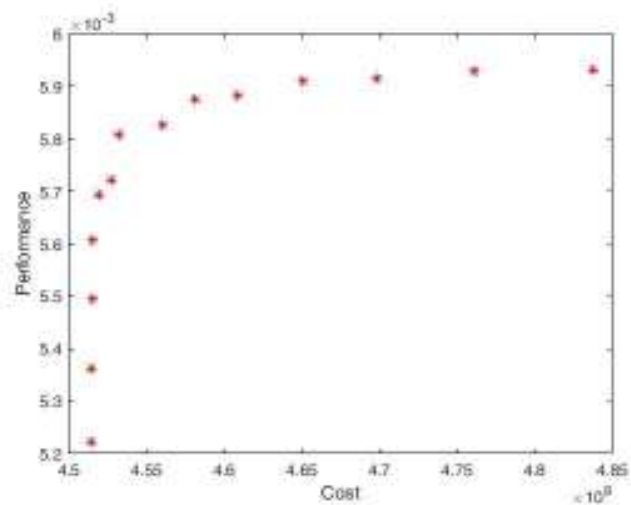
مسئله

جمعیت اولیه در نظر گرفته شده در این الگوریتم که منتخب جمعیت کلی می‌باشد ۲۰ در نظر گرفته شده و می‌توان به صورت دلخواه آن را به اعداد کمتر و بیشتر تغییر داد که برای رسیدن به جواب بهینه کمک می‌کند. برای تولید نسل جدید، ۷۰ درصد با استفاده از عملگر تقاطع و ۳۰ درصد آن با استفاده از عملگر جهش به دست می‌آید. حالت‌های مختلف برای مسئله در این پژوهش مطرح می‌شود که براساس مشخصات هر حالت، ویژگی‌های مسئله تغییر کرده و جواب‌های مختلفی حاصل می‌شود. شکل‌های ۱ الی ۶ حالت‌های مختلف مسئله‌ی تعریف شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

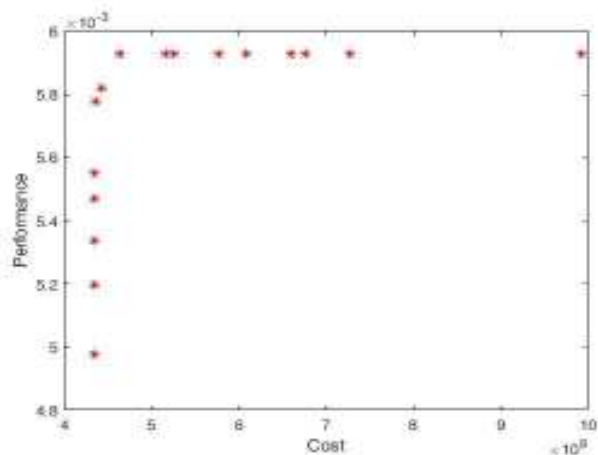
برای حل این مسئله، پس از کدنویسی در نرم افزار متلب، براساس مدل ریاضی تعریف شده و الگوریتم مورد نظر، حالت‌های مختلفی براساس بازه‌های مختلف، تعداد انتخاب مسیر از دسته‌های تعمیراتی و سقف بودجه‌ی محدود در نظر گرفته شده، تعریف و طبق همین حالتها، خروجی‌های مطلوب از نرم افزار متلب گرفته شده است. ورودی‌های مسئله در ۶ سطر (شماره مسیر، نوع خرابی، شدت خرابی، اهمیت خرابی، نوع تعمیر و هزینه تعمیر)، جایگذاری شده است. تعداد متغیرهای کلی که قرار است به صورت تصادفی یا بهینه انتخاب شود، ۱۳۸ متغیر می‌باشد که با توجه به ورودی‌های مسئله (شماره مسیر، نوع خرابی، شدت خرابی، اهمیت خرابی، نوع تعمیر و هزینه تعمیر) شماره‌گذاری شده است. با توجه به اینکه هزینه‌ی تعمیر و نگهداری هر مسیر و مجموع هزینه مورد نیاز جهت تعمیر و نگهداری این مسیرها مجهول است و میزان اختصاص بودجه به آن مسیر ربط دارد، پس به دلخواه بودجه کلی را یک میلیارد تومان در نظر گرفته و برای هر مسیر به صورت بهینه اختصاص داده شده است. حد بالا و حد پایین تعداد انتخاب مسیر از هر دسته‌ی تعمیراتی این دو پارامتر به محدودیت سوم مدل مربوط می‌شود و اجازه می‌دهد تا بازدهی مربوط به تعداد انتخاب مسیر از هر دسته‌ی تعمیراتی به صورت دلخواه انتخاب شود. این ویژگی اجازه می‌دهد تا تعداد انتخاب از دسته‌های تعمیراتی مهمتر را بیشتر کرده تا مسیرهای بیشتری از آن



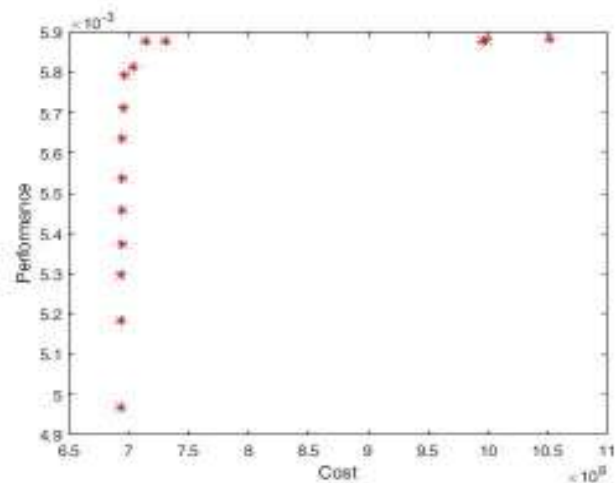
شکل ۲. خروجی مسه با ۵۰۰ تکرار و جمعیت اولیه ۲۰



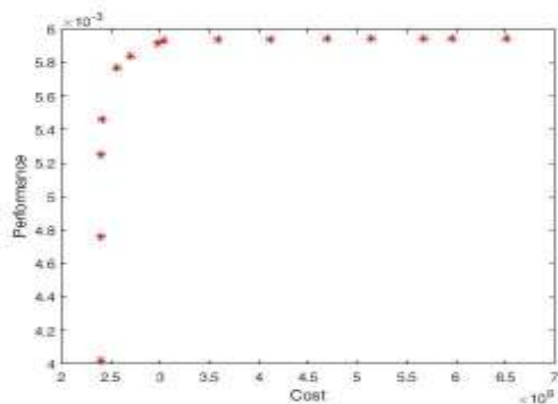
شکل ۱. خروجی مسه با ۳۰۰ تکرار و جمعیت اولیه ۲۰



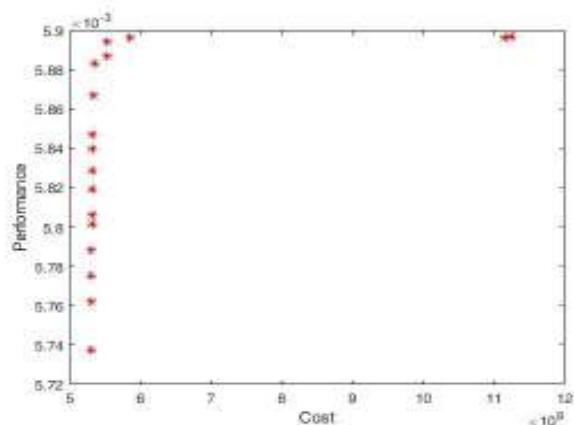
شکل ۴. خروجی مسه با ۱۰۰۰ تکرار و جمعیت اولیه ۲۰



شکل ۳. خروجی مسه با ۷۰۰ تکرار و جمعیت اولیه ۲۰



شکل ۶. خروجی مسه با ۲۰۰۰ تکرار و جمعیت اولیه ۲۰



شکل ۵. خروجی مسه با ۱۵۰۰ تکرار و جمعیت اولیه ۲۰

یا افزایش داد. مزیت این کار این است که یک روال منطقی در کاهش بودجه‌ی تخصیصی هر مسیر در شرایط محدودیت بودجه ایجاد می‌کند و با کاهش بودجه کل به هر مقدار، بودجه تخصیصی به هر مسیر به یک نسبت مشخص کاهش می‌یابد و مسیری که بیشترین سهم را در بودجه کل برای تعمیر و نگهداری دارد، همواره به عنوان پرهزینه‌ترین مسیر مشخص است. این اقدام باعث جلوگیری از دخالت شخص در تخصیص بودجه می‌شود. در مدل ریاضی تعریف شده، محدودیتی وجود دارد که اجازه نمی‌دهد برای هر مسیر، بیشتر از سهمش جهت تعمیر آن هزینه گردد.

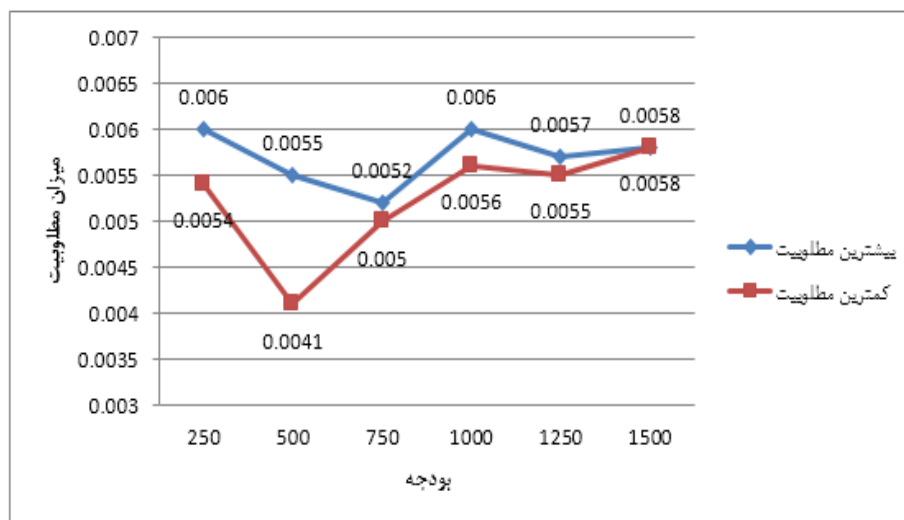
همانطور که در تمامی این نمودارها مشخص است، جواب‌های بهینه در حالت‌های مختلف در قسمت بالا و سمت چپ نمودار قرار دارند که این موضوع به این معنی است که با توجه به دو تابع هدف تعریف شده، تمامی جواب‌های بهینه دارای دو مشخصه‌ی اصلی کمترین هزینه و بیشترین اثربخشی هستند. تعداد تکرار این روند ۱۵۰۰، ۱۰۰۰، ۷۰۰، ۵۰۰، ۳۰۰ و ۲۰۰ در نظر گرفته شده است که بسته به خروجی‌های مسئله متغیر است. با توجه به اینکه هزینه‌ی تعمیر و نگهداری هر مسیر و مجموع هزینه مورد نیاز جهت تعمیر و نگهداری این مسیرها نامشخص است، می‌توان مقدار هزینه‌ی هر مسیر و یا کل بودجه را کاهش

جدول ۳. تغییر بودجه در مسئله و تاثیر آن بر روی هزینه و مطلوبیت

بودجه	کمترین هزینه	بیشترین هزینه	کمترین مطلوبیت	بیشترین مطلوبیت
۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰	4.55×10^7	4.7×10^7	۰,۰۰۵۴	۰,۰۰۶
۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	3.31×10^7	3.32×10^7	۰,۰۰۴۱	۰,۰۰۵۵
۷۵۰,۰۰۰,۰۰۰	5.63×10^7	5.63×10^7	۰,۰۰۵	۰,۰۰۵۲
۱,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	4.67×10^7	4.73×10^7	۰,۰۰۵۶	۰,۰۰۶
۱,۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰	2.03×10^7	3.52×10^7	۰,۰۰۵۵	۰,۰۰۵۷
۱,۵۰۰,۰۰۰	1.99×10^7	2.01×10^7	۰,۰۰۵۸	۰,۰۰۵۸

این نمودار بیانگر فاصله زیاد مطلوبیت در بالادست و پایین دست در بودجه‌های کمتر از ۷۵۰ میلیون تومان را نشان می‌دهد که این میزان در بودجه‌های بیشتر از ۷۵۰ میلیون تومان به حداقل خود رسیده و در نهایت مطلوبیت در بودجه ۱/۵ میلیارد تومان یکسان شده است. نتیجه‌ای که می‌توان از این نمودار گرفت این است که برای این مسیرها حداکثر مطلوبیتی که می‌توان با حداقل بودجه دست پیدا کرد، ۷۵۰ میلیون تا ۱/۵ میلیارد تومان بوده و مقدار بیش از این غیر منطقی است.

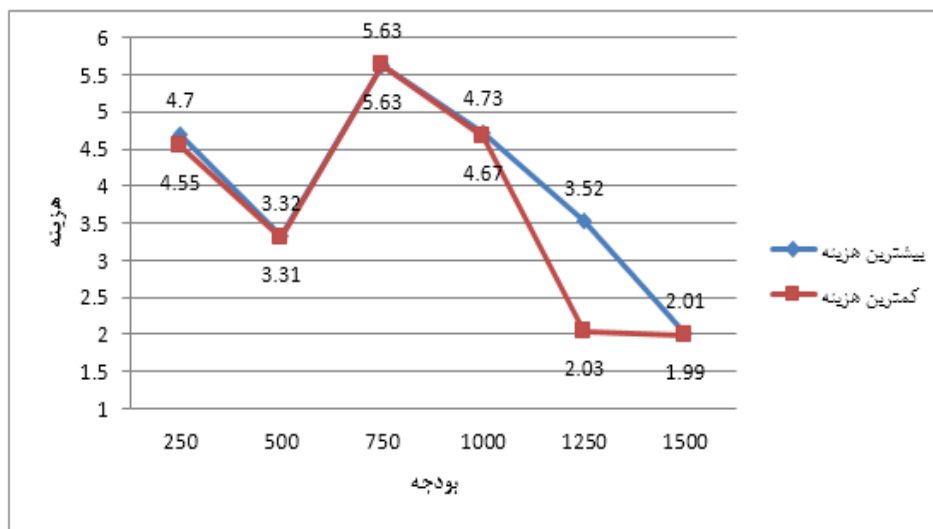
برای نشان دادن تغییرات مطلوبیت منتج از تعمیرات، نسبت به تغییر بودجه محدود، از میانگین مطلوبیت مختلف در یک بودجه محدود استفاده شده و به صورت شکل شماره ۷ نشان داده شده است. در این نمودار، محور افقی نشان‌دهنده میزان بودجه محدود و محور عمودی مقدار مطلوبیت از تغییر بودجه محدود مربوطه را نشان می‌دهد. برای نشان دادن تغییرات اثربخشی منتج از استراتژی‌های تعمیر و نگهداری نسبت به تغییر بودجه محدود، از میانگین اثربخشی سناریوهای مختلف در یک بودجه محدود استفاده شده است.



شکل ۷. نمودار بیشترین و کمترین مطلوبیت با بودجه‌های محدود

و تعمیر مسیر، می‌توان گفت با اختلاف ناچیزی تقریباً یکسان است، اما برای بودجه بالای یک میلیارد تومان، شرایط فرق کرده و میزان حد بالا و پایین هزینه به میزان چشم‌گیری تغییر کرده و در نهایت مجدداً به حالت اولیه خود بر می‌گردد. این به آن معناست که بودجه اختصاص داده شده تا یک میلیارد برای این مسیرها بسته به نوع تعمیر تفاوت چشم‌گیری نداشته و نمی‌توان هر نوع تعمیری را انتخاب کرده (به دلیل کمبود بودجه) و برای بودجه بالای یک میلیارد شرایط فرق کرده و می‌توان با در نظر گرفتن بودجه اختصاص داده شده، نوع تعمیر مناسب را برای مسیرها انتخاب کرد.

برای نشان دادن تغییرات هزینه کل تعمیر نسبت به تغییر بودجه کل در دسترس، از میانگین هزینه (بیشترین و کمترین هزینه اختصاص داده شده از ۲۰ جمعیت اولیه) مختلف در یک بودجه محدود استفاده شده و به صورت نمودار شکل ۸ نشان داده شده است. در این نمودار، محور افقی نشان‌دهنده میزان بودجه کل در دسترس و محور عمودی، مقدار میانگین هزینه کل تعمیر منتج به بودجه محدود مربوطه را نشان می‌دهد. در این نمودار، مقدار بودجه تخصیص داده شده تا ۱۰۰۰ (یک میلیارد) تأثیری آنچنانی بر بالادست و پایین دست هزینه نداشته است و نوع هزینه مصرفی برای نگهداری



شکل ۸. نمودار بیشترین و کمترین هزینه با بودجه‌های محدود

به منظور نشان دادن نمایش جواب‌های به دست آمده از اهمیت خرابی و نوع تعمیر مربوط به آن را مشخص کرده که نرم‌افزار متلب، لازم است ابتدا انواع خرابی، شدت خرابی، این موارد در جداول ۴ تا ۷ ارایه شده است.

جدول ۴. انواع خرابی

ردیف	نوع خرابی
۱	ترک پوست سوسماری
۲	ترک موزائیکی
۳	چاله شدن
۴	موجی شدن آسفالت
۵	بالا زدگی قیر
۶	ترک طولی (کناری)
۷	سنگ نما (پوسته)

جدول ۵. شدت خرابی

ردیف	شدت خرابی
۱	کم
۲	متوسط
۳	زیاد

جدول ۶. سطح اهمیت

ردیف	اهمیت
۱	کم
۲	متوسط
۳	زیاد

جدول ۷. نوع تعمیر

ردیف	نوع تعمیر
۱	سیل کت
۲	لکه گیری
۳	درزگیری (پور کردن)
۴	آسفالت گرم
۵	اسلاری سیل
۶	میکروسرفیسینگ
۷	تعمیر موضعی
۸	فاگ سیل

با توجه به ابزار مربوطه در نرم‌افزار متلب و ورودی‌های مربوط به حالت‌های مختلف مسئله، خروجی‌های متعددی از این نرم افزار حاصل می‌شود که با بررسی و مقایسه آنها با یکدیگر می‌توان به نتایج مختلفی دست پیدا کرد. از این رو از ۲۰ جواب حاصل، خروجی اول با ۳۸ تعداد تعمیر (کمترین تعداد) و خروجی بیستم با ۷۴ تعداد تعمیر (بیشترین تعداد) در جدول ۸ و جدول ۹ برای تشریح تعداد تعمیر در خروجی نشان داده می‌شود.

جدول ۸. نمایش جواب به دست آمده از خروجی اول حل مدل با الگوریتم NSGAII

ردیف	خرابی انتخاب شده	نوع خرابی	شدت خرابی	اهمیت	نوع تعمیر	هزینه
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۴۲۸۴۰۰
۲	۱	۱	۲	۱	۲	۵۶۴۰۰۰۰
۳	۱	۱	۲	۲	۴	۴۹۴۰۰۰۰
۴	۱	۳	۲	۲	۲	۹۸۸۰۰۰۰
.....						
۳۵	۱۰	۱	۱	۱	۱	۳۳۰۴۰۰
۳۶	۱۰	۲	۱	۱	۱	۲۲۴۰۰۰
۳۷	۱۰	۲	۲	۲	۲	۳۰۰۸۰۰۰۰
۳۸	۱۰	۳	۲	۲	۴	۳۲۰۰۰۰۰

جدول ۹. خروجی بیستم به دست آمده از حل مدل با الگوریتم NSGAII

ردیف	خرابی انتخاب شده	نوع خرابی	شدت خرابی	اهمیت	نوع تعمیر	هزینه
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۴۲۸۴۰۰
۲	۱	۱	۲	۱	۲	۵۶۴۰۰۰۰
۳	۱	۱	۲	۱	۴	۲۸۲۰۰۰۰
۴	۱	۱	۲	۲	۴	۴۹۴۰۰۰۰
۵	۱	۳	۲	۲	۲	۹۸۸۰۰۰۰
۶	۱	۵	۱	۱	۱	۳۸۰۸۰
۷	۱	۵	۱	۱	۵	۳۶۷۲۰
۸	۱	۵	۱	۱	۶	۹۲۴۸۰
۹	۲	۱	۳	۱	۴	۶۷۶۸۰۰۰۰
۱۰	۲	۳	۱	۱	۲	۵۰۰۰۰۰۰
۱۱	۲	۳	۱	۱	۴	۲۵۰۰۰۰۰
۱۲	۲	۳	۲	۲	۲	۱۶۵۰۰۰۰
۱۳	۲	۳	۲	۲	۴	۸۲۲۵۰۰۰۰
۱۴	۲	۵	۱	۱	۱	۲۹۱۲۰۰
.....						
۵۹	۸	۲	۱	۱	۳	۲۸۲۰۰۰۰
۶۰	۸	۳	۱	۱	۴	۴۷۰۰۰۰۰
۶۱	۸	۵	۱	۱	۶	۶۵۶۲۰
۶۲	۹	۱	۱	۱	۱	۱۲۷۴۰۰
۶۳	۹	۱	۱	۱	۵	۱۲۲۸۵۰
۶۴	۹	۲	۱	۱	۱	۵۶۰۰۰
۶۵	۹	۲	۱	۱	۳	۱۱۷۵۰۰۰
۶۶	۹	۳	۱	۱	۴	۴۵۶۰۰۰۰۰
۶۷	۹	۴	۳	۲	۲	۱۰۵۰۰۰۰
۶۸	۹	۶	۱	۱	۳	۴۵۱۲۰۰
۶۹	۱۰	۱	۱	۱	۱	۳۳۰۴۰۰

۷۰	۱۰	۱	۱	۱	۳۱۸۶۰۰
۷۱	۱۰	۲	۱	۱	۲۲۴۰۰۰
۷۲	۱۰	۲	۱	۱	۹۴۴۷۰۰۰
۷۳	۱۰	۲	۲	۲	۳۰۰۸۰۰۰۰
۷۴	۱۰	۳	۲	۲	۳۲۰۰۰۰۰

در این تحقیق، هر مسیر با توجه به اینکه در کدام نوع تعمیراتی قرار داشته باشد، حالت‌های مختلف نگهداری و تعمیر می‌تواند روی آن صورت بگیرد. اوزان به دست آمده در جدول ۸ و ۹ نشان می‌دهد، مسیرهایی که در بین شهرهای بزرگ و مهم مورد مطالعه قرار گرفتند، از اهمیت بالاتری نسبت به مسیرهای دیگر برخوردار هستند. دلیل اصلی این موضوع، بالا بودن شدت خرابی آنها در خرابی‌های مهم و اهمیت بالای مسیر که شدت خرابی آنها را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، مسیرهایی که دارای ترک‌های عمیق و خطرناک (شدت خرابی بالا) هستند نیز در اولویت بالاتری نسبت به خرابی‌های دیگر قرار گرفته‌اند، زیرا خرابی با شدت زیاد، بیشترین وزن را در میان خرابی‌های مهم دارد.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ابتدا با استفاده از منابع داخلی و خارجی و مقالات علمی، مطالبی در مورد تعمیر و نگهداری روسازی آسفالتی و هزینه‌های موثر در روند اجرا گفته شد. سپس با استفاده از مطالعات میدانی و نظر کارشناسان و متخصصین در حوزه راه و ترابری، مسیرهای پر تردد بین شهری، شناسایی شده و انواع خرابی‌ها و احجام آنها و نیز سایر مشخصات مرتبط با این تحقیق بررسی شد و مورد مطالعه قرار گرفت تا مدل ریاضی متناسب با آن نوشته شود. سپس مدل ریاضی مربوط به تحقیق در نرم افزار متلب برنامه‌نویسی شد و از روش (NSGAI) به دلیل پیچیدگی مساله و همچنین میسر نبودن حل دقیق مساله استفاده شد. این الگوریتم به نام الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب است که با حل مساله با آن، به جوابی نزدیک به جواب قطعی خواهیم رسید که همان تخصیص بهینه اقدامات اصلاحی برای روسازی‌ها با در نظر گرفتن خرابی‌های موجود با بودجه محدود است. روند رسیدن به نتایجی که در این تحقیق دریافت شد به این صورت است که مسیرهای مورد

نظر، با چند نوع خرابی در یک یا دو باند، تحت چند دسته انواع خرابی مرتبط با نوع مسیر قرار می‌گیرد و دسته‌های تعمیراتی مرتبط با انواع خرابی‌های راه نیز در نظر گرفته شده است. خرابی‌های یاد شده روی مسیر اثر منفی گذاشته، که منجر به تصادفات جاده‌ای و باعث کاهش عملکرد جاده نیز می‌شود. با گذشت زمان و با به وجود آمدن یکی از انواع خرابی‌ها روی مسیر، کیفیت و عملکرد مسیر کاهش می‌یابد و روند کاهشی، تا آنجایی ادامه پیدا می‌کند که در یک زمان مشخص ترمیم شده و بسته به نوع خرابی مسیر انجام گیرد که خود به خود باعث پایین آمدن کیفیت جاده و عملکرد آن می‌شود، ولی با وجود انجام ترمیم‌های مداوم کلی مسیر، از کیفیت جاده به مرور زمان کاسته و جاده از عملکرد پایینی (دست اندازهای آسفالتی ناشی از ترمیم) برخوردار می‌شود. با مرور زمان، خرابی‌های دیگری در مسیر رخ می‌دهد که دوباره باعث کاهش مقدار عملکرد می‌شود و این روند نزولی تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که تعمیر کلی اتفاق بیفتد و کیفیت جاده را به بالاترین سطح خود برساند. این روند همچنان ادامه پیدا می‌کند و در این میان ممکن است چندین بار مسیر تحت انواع خرابی‌ها قرار گیرد که طی آن تعمیراتی نیز بسته به نیاز انجام می‌پذیرد. روند ترمیم در بعضی مسیرها (به عنوان مثال مسیر ساری به خزرآباد) به اندازه‌ای تکرار شده است که منجر به کندی عبور و مرور، ناهماهنگی بین وسایل نقلیه و همچنین باعث تصادفات رانندگی می‌شود. با استفاده از شاخصی بنام سطح اهمیت خرابی در مسیر و شروع اولین برنامه تعمیر و تعیین نوع تعمیر، برای هر مسیر با توجه به دسته‌های سه‌گانه اهمیتی (کم، متوسط و زیاد) و همچنین هزینه تعمیر، بهینه‌سازی انجام شده است. با توجه به اینکه هزینه تعمیر و نگهداری هر مسیر و مجموع هزینه مورد نیاز جهت تعمیر و نگهداری این مسیرها مجهول است و به میزان اختصاص بودجه به آن مسیر ربط دارد، پس به دلخواه بودجه کلی را یک میلیارد تومان در نظر گرفته و برای هر مسیر به صورت بهینه اختصاص داده شده است. این

West Midlands UK", Accident Analysis & Prevention, Vol. 43, Issue 1, pp. 284-289.

-C.R Jones and W. GFord, (1998), "The Maintenance of Paved Roads in Malaysia: Performance of two Full Scale Experiments" Wellington, New Zealand: 9th REAAA Conference.

-L. Beatty, (2001), "Pavement preservation Technology in France, South Africa", Publications Federal Highway Administration.

-L. Berger and others, (1991), "Practical Applications of Models for Pavement Maintenance Management", Journal of Transportation Engineering.

-Lu Chen, Minh Hoang Ha, (2014), "Optimization Road Network Daily Maintenance Operations With Stochastic Service and Travel Times, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review", Vol. 64, April, pp. 88-102.

-M.V. Denisov, V.A. Kamaev, A.V. Kizim, (2013), "Organization of the Repair and Maintenance in Road Sector with Ontologies and Multi-agent Systems", Procedia Technology, Vol. 9, pp.819-825.

-O. Brien, L.G., (1989), NCHRP Synthesis of Highway Practice 153, "Evolution and Benefits of Preventive aintenance Strategies", Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

-Robinson, R., Danielson, U. and Snaith, M. (1998), "Road maintenance managment", First Edition, Macmillan, London, UK.

-S.Ritchi and others "Surface Condition Expert System for Pavement Rehabilitation" (1987), "A.S.C.E. Journal of Transportation Engineering", Vol. 113.

-Susana Meneses, Adelino Ferreira, (2012), "New Optimization Model for Road Network Maintenance Management, Procedia- Social and Behavioral Sciences", Vol. 54, pp. 956-965.

-Xueqing Zhang Hui Gao, (2012), "Road Maintenance Optimization Through a Discrete-time Semi-Markov Decision Process", Reliability Engineering & system Safety, Vol. 103, pp. 110-119.

ویژگی اجازه می‌دهد تا تعداد انتخاب از دسته‌های تعمیراتی مهمتر را بیشتر کرده تا مسیرهای بیشتری از آن دسته تعمیر شوند. از طرفی می‌توان در بحث اخذ خروجی از الگوریتم ژنتیک تعریف شده براساس مدل، با تغییر میزان این دو پارامتر در دسته‌های تعمیراتی مختلف، حساسیت تعداد تعمیر و میزان هزینه را در برابر این تغییرات مشاهده کرده و به عددی بهینه و منطقی از هر دسته‌ی تعمیراتی رسید. در ادامه، دو پارامتر هزینه و مطلوبیت به صورت مجزا تحت تحلیل حساسیت قرار گرفته و سناریوهایی برای هر دو پارامتر در نظر گرفته شد که در آن مقدار اولیه این پارامترها با نسبت‌های خاص افزایش پیدا کرد و جوابهای پارتو برای هر سناریو دریافت شد و سپس حد بالای مجموع هزینه به همراه مجموع عملکرد مرتبط با آن و تعداد تعمیرات آن و همچنین حد پایین مجموع هزینه و مجموع عملکرد و تعداد تعمیرات مربوط به آن مشخص شده و نمودارهای مربوط به آنها رسم شد. از نمودارهای رسم شده در قسمت تحلیل حساسیت پارامتر هزینه، اینطور می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش بودجه با یک نسبت مشخص در هر سناریو، مقدار مجموع هزینه افزایش پیدا کرده و به دنبال آن میزان مجموع عملکرد افزایش پیدا می‌کند که با مقایسه میزان تغییرات حد بالا و پایین هزینه با هم و تغییرات حد بالا و پایین مجموع عملکرد در نموداری دیگر، می‌توان به این نتیجه رسید که نوسانات در حد بالا بیشتر بوده و همچنین تعداد تعمیرات نیز در حد بالا بیشتر انجام شده است.

۶- مراجع

-نظری، ف.، (۱۳۹۱)، "نحوه بررسی توزیع اعتبارات نگهداری راه‌ها با استفاده از نرم افزارهای MICRO، PAVER، HDM"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز.

- Kim, C., Lee, E. B., Harvey, J. T., Fong, A., & Lott, R., (2015), "Automated Sequence Selection and Cost Calculation for Maintenance and Rehabilitation in Highway Life-Cycle Cost Analysis (LCCA)", International Journal of Transportation Science and Technology, 4(1), pp.61-76.

-Anna K. Andersson, Lee Chapman, (2011), "The impact of climate change on winter road maintenance and traffic accidents in

Selection the Optimal Methods for Pavement Maintenance Northern According to the Type of Damage and Remedial Action for their

*Mohammad Javad Taheri Amiri, Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering,
Parsa Institute of Higher Education, Mazandaran, Iran.*

*Milad Hematian, Ph. D., Department of Industrial Engineering, Mazandaran University
of Science and Technology, Mazandaran, Iran.*

*Farshidreza Haghighi, Associate Professor, Department of Civil Engineering,
Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.*

Masoumeh Rezaeyan, M.Sc., Grad., Tabari University of Babol, Babol, Iran.

Email: haghighi@nit.ac.ir

Received: July 2022- Accepted: November 2022

ABSTRACT

Road network is one of the main infrastructure developments and it is considered as the national capital. Maintaining this huge capital requires long-term planning and continuous activity of maintenance. In the past, traditional maintenance methods were focused on activities intrinsically or structures. Because preventative maintenance measures to increase pavement life-time service-systems and decrease the cost of long-term facilities, the theory carry out maintenance before the start of the collapse of the pavement is been considered by managers. Crowded intercity routes of Mazandaran province, especially in the tourist region studied in this research that was chosen because of high traffic and vehicle traffic. In order to solve this issue, after coding in MATLAB software, based on mathematical models and algorithms different states based on different period, the number of choosing the path of repairs category and a limited budget is defined, then desired results is obtained. The characteristics of solutions is defined in different states and changes in cost, utility and total number of selected routes as well as maintenance paths of selection from each category is analyzed.

Keywords: Asphalt Pavement, Maintenance, Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm