

## اولویت‌بندی گزینه‌های تعمیر و نگهداری روسازی راه با رویکرد محدودیت بودجه (مطالعه موردی: محور کلارآباد - عباس‌آباد)

محمدحسین جعفری، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، ایران

حسین حسین جانزاده، گروه عمران، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، ایران

حسن دیوانداری\*، گروه عمران، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: divandari@iauns.ac.ir

دریافت: ۹۶/۱۰/۰۶ - پذیرش: ۹۷/۰۴/۲۰

صفحه ۱۱-۱

### چکیده

تعمیر و نگهداری راه‌های کشور یکی از مراحل ضروری بهبود شرایط فیزیکی راه‌ها هستند که در تحلیل چرخه عمر روسازی نقش مهمی دارند و از همان اولین سال بهره‌برداری آغاز می‌شوند. با در نظر داشتن این امر، سالانه بخش عظیمی از بودجه عمرانی کشور صرف ترمیم و نگهداری و بهسازی راه‌ها می‌شود. آنچه که مطرح شد، نیاز اساسی یک برنامه مدون اقتصادی و فنی، به‌عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری‌ها و بیننده‌سازی هزینه‌های ترمیم و نگهداری است. در این پژوهش اولویت‌های گزینه‌های تعمیر و نگهداری روسازی راه از طریق نرم‌افزار جامع و کاربردی HDM-4 مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور محور کلارآباد - عباس‌آباد به صورت پایلوت در نظر گرفته شد (که به علت شباهت مشکلات محورهای راه‌های مواصلاتی شهرهای استان مازندران، روند عملیاتی را می‌توان تعمیر داد). در این مطالعه بررسی دقیق اطلاعات ورودی به نرم‌افزار شامل هزینه‌ها و مشخصات ناوگان ترافیکی و شبکه راه بررسی شده است. نرم‌افزار HDM-4 نتایج اولویت‌بندی گزینه‌های پیشنهادی را در دو سناریوی بدون محدودیت بودجه که فنی‌ترین گزینه و سناریوی با محدودیت بودجه که اقتصادی‌ترین گزینه می‌باشد را معرفی می‌کند. با در نظر داشتن نتایج تحلیل نرم‌افزار و همچنین باتوجه به شاخص ارزش خالص فعلی (NPV) گزینه‌ای که هم برای کاربران راه و هم برای کارفرما به‌عنوان مقرون به صرفه‌ترین گزینه تناوبی تعمیر و نگهداری روسازی است، برای محور کلارآباد - عباس‌آباد معرفی گردید. با توجه به خروجی‌های بدست آمده، نرم‌افزار با بودجه نامحدود، گزینه (وصله - درزگیری ترک و بازسازی با روکش 10cm) را پیشنهاد کرد. همچنین با رویکرد بودجه محدود، نرم‌افزار راهکار پایه که شامل (وصله و درزگیری ترک) می‌باشد را پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: تعمیر و نگهداری، روسازی راه، محدودیت بودجه، HDM-4

### ۱- مقدمه

برای تداوم کار با حداکثر بازدهی و کاهش هزینه، سبب افزایش سرمایه‌گذاری‌ها در صنایع در شرایطی که محدودیت در منابع و مواد اولیه وجود دارد، می‌گردد. 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 راه خواهد داشت. امروزه برخی از سازمان‌ها و مؤسسات در دنیا با بکارگیری تجهیزات تست میدانی با مقیاس واقعی به پیش‌بینی رفتار روسازی‌ها

نگهداری و تعمیرات روسازی راه، یکی از بخش‌های مهم در تعمیر و نگهداری راه بوده که علاوه بر جلوگیری از کاهش سطح سرویس و در نتیجه کاهش ظرفیت محور مورد نظر، یک عامل مهم در رضایت کاربران و نیز عاملی موثر بر کاهش تصادفات راه ناشی از مانورهای ناگهانی رانندگان وسایل نقلیه برای فرار از معایب سطحی راه می‌باشد. استفاده از سیستم برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری و ارائه مناسب آن، ضمن ایجاد مطلوبترین سرویس‌های تعمیراتی و اتخاذ بهترین روش‌ها

ژانگ و گائو<sup>۲</sup> (۲۰۱۲)، به بهینه کردن عملیات نگهداری راه با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری مارکوف پرداختند. از نظر آنها تبعیت از یک مدل بهینه‌سازی جهت کارآمدی و مقرون به صرفه بودن عملیات نگهداری در سطح شبکه جاده‌ای، ضروری است. در این راستا، روند تخریب روسازی که معمولاً به عنوان یک مدل زمان گسسته مارکوف در نظر گرفته می‌شود، می‌تواند سیاست نگهداری بهینه را براساس فرآیندهای تصمیم‌گیری مارکوف و یا به‌عنوان یک فرآیند نوسازی در اختیار قرار دهد. این مدل به شکل برنامه‌ریزی خطی برای هر دو افق برنامه ریزی بی‌نهایت و محدود به منظور استنتاج سیاست‌های نگهداری بهینه برای به حداقل رساندن هزینه چرخه عمر شبکه، پیاده سازی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که این مدل برنامه‌ریزی خطی برای تعمیر و نگهداری شبکه‌های جاده‌ای که دارای محدودیت‌های مختلف در فرآیند تصمیم‌گیری و بودجه در دسترس هستند، کارآمد و مفید می‌باشد.

منس و فریرا<sup>۳</sup> (۲۰۱۲)، در پژوهش خود مدل بهینه‌سازی جدیدی را برای مدیریت نگهداری شبکه راه‌ها ارائه نمودند. این مدل یک ابزار تصمیم‌گیری چند منظوره به حساب می‌آید که در مدیریت نگهداری روسازی شبکه راه‌های پرتغال به کارگرفته شد. سیستم مدیریت روسازی استفاده شده در کشور پرتغال شامل یک مدل بهینه‌سازی با هدف به حداقل رساندن مجموع هزینه‌ها و حفظ استانداردهای جاده‌ای می‌باشد. این سیستم در بخش نخست (هزینه‌ها)، دو هدف مختلف را دنبال می‌کند که شامل به حداقل رساندن هزینه‌های تعمیر و نگهداری و به حداقل رساندن هزینه‌های کاربر راه، می‌باشند.

دنيسوو، کاماو و کیزیم<sup>۴</sup> (۲۰۱۳)، به بررسی راهکارهای تعمیر و نگهداری راه با استفاده از سیستم‌های چند عامله پرداختند. آنها ضمن معرفی مدل‌های پشتیبان تصمیم، این مدل‌ها را در فرآیند تعمیر و نگهداری روسازی، پیاده نمودند. پایه و اساس چنین مدلی، اتخاذ تصمیمات مبتنی بر ترکیب چندین عامل تاثیرگذار می‌باشد. این مدل‌ها هوشمند بوده و قابلیت ارتقاء و توسعه سیستماتیک را دارا می‌باشند.

چن و هوانگ‌ها<sup>۵</sup> (۲۰۱۴)، در تحقیق خود به بهینه سازی عملیات روزانه نگهداری راه با استفاده از زمان سفر پرداختند. هدف ایشان بهینه سازی عملیات تعمیر و نگهداری راه با هدف حداقل نمودن زمان سفر در سطح شبکه راه، تعریف شده بود.

می‌پردازند. 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 هستند. از طرفی خستگی روسازی ناشی از تکرار بارگذاری نیز باعث بروز صدمات دیگری در آن می‌گردد. 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. سیستم مدیریت و نگهداری راه به عنوان یک سیستم مدرن برای آنالیز آلترناتیوهای سرمایه‌گذاری و مدیریت راه، شناخته می‌شود. ایجاد ارتباط بین هزینه‌های راهداری و هزینه‌های کاربر راه در قالب آنالیز هزینه‌های چرخه عمر، استفاده از پارامترهای کالیبره شده برای کاربردهای گسترده در شرایط آب و هوایی مختلف، استفاده از ابزار طراحی مناسب برای روسازی راه در صورت کالیبراسیون صحیح، از مزایای اصلی سیستم مذکور به شمار می‌رود. در پژوهش حاضر، با بررسی روش‌های مختلف تعمیر و نگهداری روسازی راه، گزینه‌های تعمیر و نگهداری با استفاده از نرم‌افزار HDM-4<sup>۱</sup>، مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس خروجی این نرم‌افزار که بهترین گزینه با توجه به بودجه برای محور مطالعاتی بوده است، مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، محور کلار آباد - عباس آباد از استان مازندران به عنوان مطالعه موردی، بررسی شد.

به طور کلی در این تحقیق هدف‌های ذیل پیگیری گردید:

۱. معرفی روش‌های مختلف تعمیر و نگهداری
۲. انتخاب بهترین گزینه تعمیر و نگهداری محور مورد مطالعه
۳. معرفی نرم‌افزار ارزیابی اقتصادی HDM-4 و روش کار آن و همچنین بررسی داده‌های ورودی و نتایج خروجی آن به منظور استفاده در سیستم مدیریت نگهداری روسازی کشور
۴. ایجاد یک الگوی عملکردی برای مدیریت تعمیر و نگهداری راه‌های مشابه با محور مطالعاتی در استان مازندران.

## ۲- پیشینه تحقیق

با توجه به هزینه بالای ساخت راه، موضوع مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی راه‌ها پررنگ‌تر می‌شود. در این زمینه در کشورهای مختلف و همچنین ایران تحقیقات فراوانی صورت گرفته است که در این بخش به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود.

مدل پیش‌بینی هزینه‌های احتمالی برای حفاظت و نگهداری جاده‌ها در سال ۲۰۱۶ توسط دکتر تاینندرا کریستال مورد بررسی قرار گرفت. عموماً پیش‌بینی هزینه‌های احتمالی<sup>۷</sup> در یک پروژه با هدف پوشش تغییر در برنامه‌ها<sup>۸</sup> (CO) که در حین مرحله ساخت ممکن است بوجود آیند، محاسبه می‌شود. (CO) شامل شرایط پیش‌بینی نشده، خطاهای طراحی و تغییرات طرح است. اگر هزینه‌های احتمالی را بتوان در مرحله تدارکات یک قرارداد به طور دقیق محاسبه نمود، هزینه (CO) به شکل کارآمدی در مرحله ساخت، مدیریت خواهد شد. عموماً رسم بر این است که ۱۰ تا ۱۵ درصد هزینه یک پروژه، به عنوان هزینه‌های احتمالی تخصیص یابد. در این پژوهش روشی معرفی شده که به وسیله یک مدل ریاضی می‌توان هزینه‌های احتمالی یک قرارداد تعمیر و نگهداری جاده را با استفاده از یک نمونه شبکه عصبی مصنوعی براساس داده‌های قبلی (CO)، پیش‌بینی نمود و بخشی از آن را تحت عنوان هزینه‌های نگهداری با هدف پوشش نواقص اجرا، در نظر گرفت. بدین ترتیب وقوع محدودیت‌های بودجه‌ای با دلیل عدم پیش‌بینی‌های قبلی، کاهش می‌یابد.

### ۳- ضرورت پژوهش

هدف اصلی این پژوهش، اولویت‌بندی گزینه‌های تعمیر و نگهداری محورهای برون شهری در دو حالت با در نظر گرفتن محدودیت بودجه و بدون اعمال محدودیت بودجه می‌باشد.

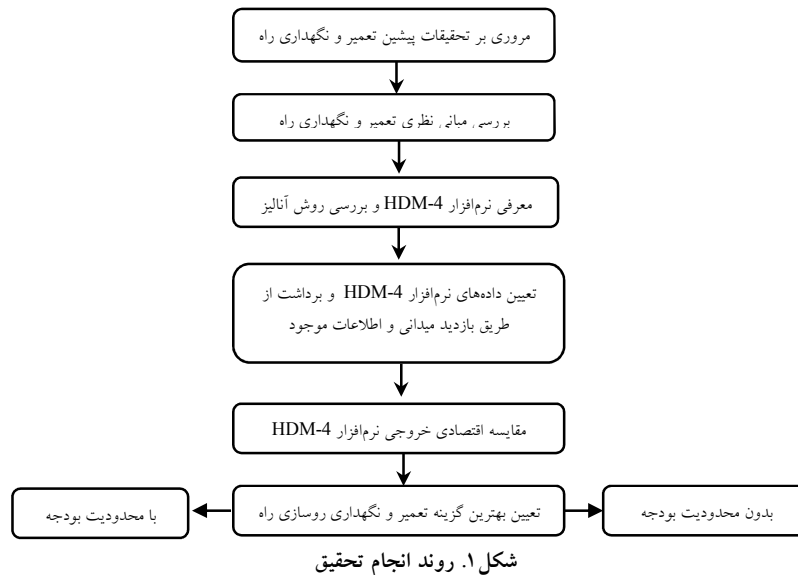
### ۴- متدولوژی تحقیق

#### ۴-۱- روش انجام تحقیق

در این پژوهش در ابتدا مروری کلی بر تحقیقات انجام شده در خصوص تعمیر و نگهداری روسازی انجام گردید. در ادامه ضمن معرفی نرم‌افزار HDM-4، مبنای عملکرد و تصمیم‌گیری در این نرم‌افزار بررسی شد. سپس در محور مورد مطالعه، جمع‌آوری و برداشت اطلاعات مورد نیاز، طی بازدیدهای میدانی متعدد، انجام گردید. داده‌های ورودی بدست آمده به نرم‌افزار HDM-4 وارد شد. سپس خروجی‌های نرم‌افزار برای تعیین بهترین گزینه در دو حالت با محدودیت بودجه و بدون محدودیت بودجه مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۱) روند انجام تحقیق را نشان می‌دهد.

در سال ۱۳۸۷، ابطی و میرجعفری، به ارزیابی اقتصادی به‌کارگیری برنامه نگهداری پیش‌بینانه در روسازی راه به کمک مدل HDM و مطالعه موردی محور ارتباط اصفهان- ناین پرداختند. به نظر آنها، سامانه مدیریت نگهداری روسازی راه‌ها ابزاری جهت تصمیم‌گیری برای اجرای بهینه نگهداری روسازی راه‌ها و کاهش هزینه‌های مربوط به نگهداری آنها می‌باشد. سیستم HDM متشکل از مدل‌هایی است که توسط بانک جهانی و چندین موسسه تحقیقاتی طی ۱۸ سال تحقیق بر روی شبکه راه‌های چند کشور طراحی شده است. HDM برای برآورد و مقایسه هزینه‌ها و تحلیل اقتصادی گزینه‌های مختلف سرمایه‌گذاری بخش راه طراحی شده است. این مدل هزینه‌ها را برای تعداد زیادی از گزینه‌ها طی یک دوره تحلیل و با در نظر گرفتن نرخ تنزیل برای هزینه‌ها، برآورد می‌کند. (ابطی، ۱۳۸۷) در سال ۱۳۹۱، میربها و اسدامرچی به ارائه مدل تخصیص هزینه‌های تعمیر و نگهداری راه در کشور پرداختند. از دید آنها، عملیات نگهداری راه در زمره عملیات‌های هزینه‌بر محسوب می‌گردد که لازم است مطابق با برنامه‌ریزی کاملاً مشخص و مطابق با نیازها و مشکلات راه، تعیین گردد. فرآیند کنونی تخصیص بودجه نگهداری راه در کشور برای راه‌های ملی به صورت استانی و براساس روش راه همسنگ انجام می‌شود. ادبیات تحقیق در این زمینه نشان‌دهنده وابستگی فرآیند توزیع بودجه در سطح کلان به پارامترهای وابسته به شرایط راه‌های مناطق مختلف می‌باشد. شرایط کنونی توزیع بودجه بین راه‌های کشور بر مبنای کمیت‌های مرتبط با راه‌های هر استان بوده و کمتر به مشخصات کیفی آن می‌پردازد. این موضوع موجب عدم حساسیت مدل فعلی به شرایط خرابی راه‌ها گشته است. در تحقیق اخیر مدلی برای توزیع بودجه نگهداری راه‌های کشور ارائه شد که در آن تا حد زیادی نواقص الگوی گذشته برطرف شده است. در این مدل که خود از چند زیر مدل تشکیل می‌شود، پارامترهایی همچون کیفیت راه‌های هر استان، میزان اهمیت آنها و همچنین ضرایب مربوط به هزینه‌های نگهداری اضطراری وارد گردید. میزان اهمیت و وزن پارامترها در بخش‌هایی که آمار مستندی وجود نداشت و یا نیاز به تبدیل یک پارامتر کیفی به کمی وجود داشت، با طراحی و توزیع فرم‌های نظرسنجی و تحلیل آنها از روش AHP<sup>۶</sup> انجام و اعتبارسنجی شد. (اسدامرچی، ۱۳۹۱)

در کنفرانس بین‌المللی طراحی، مهندسی و ساخت پایدار،



#### ۴-۲- روش آنالیز در نرم افزار HDM-4

هدف از تجزیه و تحلیل برنامه، ارزیابی گزینه‌های تعمیر و نگهداری و همچنین انتخاب مجموعه سرمایه‌گذاری‌هایی است که باید در بخش‌هایی از روسازی در یک شبکه راه انجام شود تا تابع هدف، بهینه گردد. به عبارت دیگر هدف اصلی جستجو برای ترکیبی از گزینه‌های سرمایه‌گذاری است که تابع را تحت محدودیت‌های بودجه‌ای، بهینه نماید به طوریکه مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری کمتر از بودجه در دسترس باشد.

روش‌های آنالیز در نرم افزار HDM-4 به دو بخش تجزیه و تحلیل چرخه‌ی عمر و تجزیه و تحلیل برنامه‌های چندساله آینده تقسیم می‌شود. در هر بخش، تجزیه و تحلیل پروژه، برنامه‌ها، استراتژی‌ها و آنالیز چرخه عمر اجرا می‌شود. بدین معنی که برای هر قسمت، HDM-4 شرایط و هزینه‌های چرخه عمر روسازی راه را در یک دوره تجزیه و تحلیل مشخص، تحت مجموعه شرایط مشخص شده توسط کاربر، پیش‌بینی می‌نماید. مجموعه هزینه‌های ابتدایی در تجزیه تحلیل چرخه عمر شامل هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه نگهداری و هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه می‌باشد که هزینه زمان سفر نیز به عنوان یک گزینه می‌تواند به آن اضافه شود.

#### ۵- داده‌های لازم ورودی به نرم افزار

باتوجه به مباحث بیان شده در معرفی نرم‌افزار HDM-4 به منظور اجرای تحلیلی درست، می‌بایست داده‌های دقیق مورد نیاز که در اکثر نرم‌افزارهای مدیریت و نگهداری راه‌ها نیز مشترک است، تهیه و وارد نرم‌افزار شوند. داده‌های مورد نیاز نرم‌افزار به دسته‌های ذیل تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱. ناوگان وسایل نقلیه
۲. شبکه راه‌ها
۳. استانداردهای نگهداری و بهسازی
۴. تنظیمات و پیکره‌بندی

در پژوهش حاضر برخی از این داده‌ها به صورت میدانی برداشت شدند و برخی از سایر تحقیقات استخراج گردیدند.

#### ۵-۱- اطلاعات ناوگان حمل و نقل محور

پس از بدست آوردن اطلاعات ناوگان حمل و نقل محور، مشخصات اساسی هر خودرو، طبق جدول (۱) وارد نرم‌افزار شدند. مشخصات اقتصادی ناوگان وسایل نقلیه نیز مطابق جدول (۲) تعیین گردید.

جدول ۱. مشخصات اساسی ناوگان

اتوبوس (مسافربری)		کامیون				شخصی			کلاس خودرو
اتوبوس برون شهری	مینی بوس	کامیون چهار محور و بیشتر	کامیون سه محور	کامیون دو محور سنگین	کامیون دو محور سبک	دو دیفرانسیل	وانت	سواری	نوع خودرو
۱۸	۶	۴۴	۲۹	۲۱	۸/۵	۲	۳/۵	۱/۵	وزن عملیاتی (تن)
۱/۸۴۸	۰/۳۷۶	۵/۶۵۴	۳/۲۲۷۵	۲/۹۷۱۷۵	۱/۱۴۷۳۵	۰/۰۰۹۸۷	۰/۰۵۷۹۳۵	۰/۰۰۳۷۷	تعداد محور معادل استاندارد برای هر وسیله نقلیه (محور ساده منفرد)
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷۵	۰	۷۵	درصد سفرهای کاری انجام شده
۲۵	۱۶	۱	۱	۱	۱	۳	۱	۳	متوسط تعداد مسافر (نفر)
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰	درصد استفاده شخصی
۱۷	۱۸	۲۴	۲۴	۲۲	۲۲	۱۷	۱۸	۲۰	میانگین عمر (سال)
۲۶۳۲	۲۰۵۶	۱۵۶۵	۱۴۵۴	۱۴۵۳	۱۴۵۳	۴۰۰	۹۱۴	۴۰۰	ساعات کاری
۷۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۸۶۰۰۰	۸۶۰۰۰	۴۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۳۲۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۲۳۰۰۰	میانگین پیمایش سالانه (کیلومتر)
		رایدال	بایاس	بایاس	بایاس	رایدال	رایدال	رایدال	نوع لاستیک
۳	۲	<۱	۳	۲	۲	۲	۲	۲	تعداد محور
۶	۴	۱۸	۱۰	۶	۶	۴	۴	۴	تعداد چرخ
۱/۷	۱/۴	۱/۸	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱/۱	۱	فضای معادل وسیله نقلیه

جدول ۲. مشخصات اقتصادی ناوگان وسایل نقلیه (نوبخت و همکاران، ۱۳۹۲)

اتوبوس (مسافربری)		کامیون				شخصی			کلاس خودرو
اتوبوس برون شهری	مینی بوس	کامیون چهار محور و بیشتر	کامیون سه محور	کامیون دو محور سنگین	کامیون دو محور سبک	دو دیفرانسیل	وانت	سواری	نوع خودرو
۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	نرخ بهره بر درصد
۶۸۳۴۹۶۳۰	۶۸۱۱۰۶۹	۳۲۱۱۱۷۰	۱۸۳۴۹۶۳۰	۱۱۴۶۸۴۶۰	۱۱۴۶۸۵۶۰	۴۵۸۷۳۰۰	۴۵۸۷۳۰۰	۴۵۸۷۳۰۰	هزینه سربار
۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	افت قیمت سالانه (درصد)
۱۲۰۰۰۰۰۰۰	۳۷۵۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰۰	۹۸۰۰۰۰۰۰	۸۹۲۰۰۰۰۰	۲۸۰۰۰۰۰۰	۷۳۰۰۰۰۰	۲۸۰۰۰۰۰۰	۷۳۰۰۰۰۰۰	هزینه سالیانه (ریال)
۲۶۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰	۲۴۰۰۰۰	۲۴۰۰۰۰	۲۲۰۰۰۰	۱۷۰۰۰۰	۰	۰	۰	هزینه خدمه و راننده و وسیله (ریال/ساعت)
۱۳۷۵۰۰	۹۱۷۵۰	۱۳۷۵۰۰	۱۳۷۵۰۰	۱۳۷۵۰۰	۱۳۷۵۰۰	۹۱۷۵۰	۹۱۷۵۰	۹۱۷۵۰	هزینه نگهداری وسیله نقلیه (ریال/ساعت)
۸۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	روغن موتور مصرفی (ریال/لیتر)
۶۰۰۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	قیمت سوخت مصرفی (ریال/لیتر)
۱۱۸۵۰۰۰۰	۳۵۷۰۰۰۰	۱۵۲۰۰۰۰۰	۱۵۲۰۰۰۰۰	۱۵۲۰۰۰۰۰	۴۲۵۰۰۰۰	۷۰۰۰۰۰۰	۲۶۵۰۰۰۰	۲۷۰۰۰۰۰	قیمت لاستیک (ریال/لیتر)
۴۹۸۲۰۰۰۰۰	۱۱۶۰۰۰۰۰۰	۴۷۶۰۰۰۰۰۰	۴۰۵۰۰۰۰۰۰	۳۲۱۰۰۰۰۰۰	۸۹۵۰۰۰۰۰۰	۱۰۹۶۰۰۰۰۰۰	۲۹۵۶۰۰۰۰۰۰	۵۷۹۰۰۰۰۰۰۰	قیمت وسیله نقلیه (ریال)

### ۲-۵- مشخصات راه در محور مورد مطالعه

داده‌ها در سطح شبکه به صورت کیفی به نرم‌افزار HDM-4 معرفی می‌شوند. دسته‌بندی کیفی به شرح جدول (۳) برای محور مورد مطالعه تعیین گردید.

### ۳-۵- گزینه‌های تعمیر و نگهداری و هزینه‌های آنها

یکی از مراحل اصلی و کلیدی در تحلیل برنامه نگهداری، مشخص کردن روش‌های نگهداری و بهسازی شبکه راه مورد نظر است. به این ترتیب که برای هر قطعه از شبکه راه، چندین گزینه انتخابی تعریف می‌شود. اولین گزینه که معمولاً به‌عنوان گزینه پایه<sup>۹</sup> شناخته می‌شود، صرفاً شامل عملیات نگهداری معمولی می‌باشد و هیچ عملیات اضافه‌ای را در بر نمی‌گیرد. در تعریف سایر گزینه‌ها، این مهندس نگهداری است که بایستی گزینه‌های ممکن را از لیست گزینه‌های مناسب تشخیص داده و به یک قطعه خاص اختصاص دهد. نرم‌افزار، یک مدیر برای

سیستم نگهداری نیست. بلکه نقش مدل‌ها و نرم‌افزارهای مربوط، صرفاً پشتیبانی تصمیم‌گیری است. این مفهوم بدین معنی است: زمانی که مدیر در تصمیم‌گیری چندین گزینه دارد و تفاوت آن گزینه‌ها در بلنمدت برای او آشکار نیست، نرم افزار و مدل با کمک زیر مدل‌های پیش‌بینی، به مهندس نگهداری کمک می‌کند تا تشخیص دهد که انتخاب هر یک از گزینه‌ها چه سودها و چه ضررهایی برای سیستم به دنبال خواهد داشت. بنابراین نقش کلیدی تصمیم‌گیری همچنان به عهده مهندس روسازی است. جدول (۴) گزینه‌های (آلترناتیوهای) پیشنهادی معرفی شده به نرم‌افزار و جدول (۵) هزینه هر گزینه را نشان می‌دهد. با توجه به این که استاندارد در خصوص زمان اجرای تعمیر و نگهداری متناسب با تعریف پایه‌ای نرم‌افزار HDM-4 موجود نیست، در تعریف زمان اجرای تعمیر و نگهداری از سایر منابع قابل استناد استفاده شده است. (موروسیک و رایلی<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۸)

جدول ۳. شبکه راه مورد مطالعه

ردیف	مسیر	میزان آن‌ها عبور و مرور	کیفیت سازهای	کیفیت فابریک	تهای مسبر (متر)	تهای شانه (متر)	تهای برزبان (متر)	تعداد خطرط	کیفیت سزازی	وضعیت رویه	بافت رویه
۱	کلارآباد- عباس آباد	زیاد	متوسط	خوب	۷/۵	۱/۵	یک طرفه	۲	خوب	خوب	خوب

جدول ۴. گزینه‌های معرفی شده به نرم‌افزار

سال تأثیرگذاری	نوع نگهداری	آلترناتیوها
۲۰۱۶	وصله	آلترناتیو پایه
	درزه‌گیری ترک	آلترناتیو ۲
	اندود اسلاری	
	جوانساز	آلترناتیو ۳
	وصله	
	درزه‌گیری ترک	
	روکش ۵ سانتی متری	آلترناتیو ۴
	اندود اسلاری	
	جوانساز	
	روکش ۵ سانتی متری	
	وصله	آلترناتیو ۵
	درزه‌گیری ترک	
	بازسازی (روکش ۱۰cm)	
	روکش ۵ سانتی متری	آلترناتیو ۶

جدول ۵. هزینه و واحد هر گزینه تعمیر و نگهداری (نویخت و همکاران، ۱۳۹۲)

نوع نگهداری	زمان اجرای نگهداری	واحد	هزینه هر واحد (ریال)
وصله	تعداد چاله‌ها در هر کیلومتر مساوی با بیش از ۱۰ عدد	مترمربع	۴۷۴۸۶
درزه‌گیری ترک	تعداد ترک‌های عرضی مساوی با بیش از ۱۵ عدد و سطح ترک‌های سازه‌ای مساوی یا بیش از ۱۰ درصد سطح روسازی	مترمربع	۷۲۷۶۵
اندود اسلاری	سطح لکه‌گیری سطحی مساوی با بیش از ۱۵ درصد روسازی و مجموع سطح ترک خورده مسیر مساوی با بیش از ۲۰ درصد سطح روسازی	مترمربع	۹۹۲۲۵
جوانساز	مجموع سطح ترک خورده مسیر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد سطح روسازی	مترمربع	۱۵۳۵۶۳
روکش ۵ سانتی‌متری	مجموع سطح ترک خورده مسیر مساوی یا بیش از ۵ درصد سطح روسازی و میزان ناهمواری مسیر مساوی یا بیش از ۵ واحد IRI	مترمربع	۳۵۳۱۶۰
بازسازی	میزان ناهمواری مسیر مساوی یا بیش از ۸/۵ واحد IRI	مترمربع	۱۴۱۷۵۰۰

#### ۵-۴- بررسی ترافیک محور کلارآباد-عباس‌آباد

محور در ماه‌های فصل بهار و تابستان دارای حجم ترافیک بالاتری نسبت به ماه‌های فصول پاییز و زمستان می‌باشد. با توجه به این آمار، AADT برای سال ۹۵ این محور، برابر با ۶۰۸۱۸۰ وسیله نقلیه می‌باشد.

تغییرات میانگین روزانه ترافیک در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۵، در محور کلارآباد-عباس‌آباد و بالعکس در جدول (۶) نشان داده شده است. طبق جدول مذکور همان‌طور که انتظار می‌رود این

جدول ۶. تردد سالانه محور کلارآباد-عباس‌آباد به صورت رفت و برگشت در طول سال ۱۳۹۵

زمان شروع	نام محور	تعداد کل وسیله نقلیه
فروردین	کلارآباد-عباس‌آباد	۶۸۲۰۹۰
	عباس‌آباد-کلارآباد	۶۷۹۲۱۸
اردیبهشت	کلارآباد-عباس‌آباد	۶۱۷۹۹۲
	عباس‌آباد-کلارآباد	۵۹۹۲۹۰
خرداد	کلارآباد-عباس‌آباد	۶۰۶۰۲۳
	عباس‌آباد-کلارآباد	۶۰۹۲۲۴
تیر	کلارآباد-عباس‌آباد	۶۴۰۲۱۵
	عباس‌آباد-کلارآباد	۶۲۹۹۰۶
مرداد	کلارآباد-عباس‌آباد	۶۶۷۵۶۸
	عباس‌آباد-کلارآباد	۶۵۶۳۳۰
شهریور	کلارآباد-عباس‌آباد	۷۶۶۲۰۴
	عباس‌آباد-کلارآباد	۷۴۶۳۴۰
مهر	کلارآباد-عباس‌آباد	۵۷۶۳۴۶
	عباس‌آباد-کلارآباد	۵۷۲۷۲۹
آبان	کلارآباد-عباس‌آباد	۵۶۱۳۵۴
	عباس‌آباد-کلارآباد	۵۶۰۳۰۷
آذر	کلارآباد-عباس‌آباد	۵۳۸۱۶۶
	عباس‌آباد-کلارآباد	۵۳۹۲۵۹
دی	کلارآباد-عباس‌آباد	۵۵۳۳۵۲
	عباس‌آباد-کلارآباد	۵۵۸۶۴۰
بهمن	کلارآباد-عباس‌آباد	۵۲۱۳۲۰
	عباس‌آباد-کلارآباد	۵۲۵۲۵۳
اسفند	کلارآباد-عباس‌آباد	۶۱۹۱۲۲
	عباس‌آباد-کلارآباد	۵۷۱۳۶۸
میانگین ترافیک روزانه دو طرف برای سال ۹۵		۶۰۸۱۸۰

نتیجه دهد به عنوان راهکار نگهداری، انتخاب و معرفی می‌شود.

#### ۶-۱-۱- گزینۀ بهینه بدون محدودیت بودجه

اصلی‌ترین خروجی برنامه در این تحلیل، معرفی گزینۀ بهینه تعمیر و نگهداری است. جدول (۷) گزینۀ بهینه نگهداری پیشنهادی برای شبکه راه را نشان می‌دهد. براساس جدول مذکور، آترناتیو شماره (۵) که شامل (وصله، درزگیری ترک و بازسازی «روکش cm ۱۰») بوده است، پیشنهاد گردید.

#### ۶- نتایج تحلیل گزینه‌ها در HDM-4

نتایج در دو رویکرد بدون محدودیت بودجه و با محدودیت بودجه در نرم‌افزار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

#### ۶-۱- تحلیل بدون محدودیت بودجه

در این حالت، نرم‌افزار بدون در نظر گرفتن محدودیت بودجه و با در نظر گرفتن بودجه نامحدود، هزینه‌ها را براساس چرخه عمر بهینه می‌کند. نحوه انجام تحلیل به این صورت است که هزینه نگهداری هر یک از گزینه‌ها با گزینۀ پایه مقایسه شده و ارزش خالص فعلی<sup>۲</sup>، به دست می‌آید. از بین گزینه‌های تعریف شده برای نرم‌افزار، گزینۀ ای که بیشترین (NPV) را

جدول ۷. تعیین آترناتیو بهینه توسط نرم‌افزار در حالت بدون محدودیت بودجه

#### HDM-4 HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

#### Optimum Section Alternative

Study Name: A.m

Run Data: 12-12-2017

All costs are expressed in the following currency: Rial (millions)					
Section	Road Class	Length (km)	Initial	Surface class	Alternativedesc
kelarabad- abbasabad	Primary or Trunk	18.00	AADT		
All Sections		18.00	608180	Bituminous	5

#### ۶-۲- تحلیل با محدودیت بودجه

۲ درصد و در سال‌های پایان بهره‌برداری معادل ۶ درصد در نظر گرفته می‌شود.

مطابق فهرست بهای سال ۹۶، هزینه ساخت هر کیلومتر راه اصلی درجه یک تقریباً بیست میلیارد ریال تعیین می‌گردد. این مبلغ برای محور کلارآباد-عباس آباد با طول تقریبی ۱۸ کیلومتر برابر با ۳۶۰ میلیارد ریال برآورد می‌شود. این عدد با شیب (۱۲/۲-۶) بین ۱۳ سال تقسیم شد تا هزینه هر سال نگهداری راه مورد نظر بدست آید. در این محاسبات فرض شد که بودجه احداث هر یک کیلومتر راه مقدار ثابت ۲۰ میلیارد ریال باقی بماند. جدول (۸)، بودجه نگهداری را در محور مورد مطالعه برای سال‌های طرح نگهداری راه، نشان می‌دهد.

در بسیاری موارد بودجه مورد نیاز برای اجرای عملیات پیشنهادی، موجود نیست. در این زمان باید براساس محدودیت‌های بودجه‌ای، باصرفه‌ترین گزینه پیشنهادی را انتخاب نمود.

آمار مشخصی در مورد چگونگی تخصیص بودجه نگهداری راه‌ها وجود ندارد و الگوی منظمی نیز برای راهداری و تخصیص بودجه، موجود نیست. براساس معیارهای بین المللی، اعتباری که به امر نگهداری راه‌ها تعلق می‌گیرد، معادل ۲ تا ۶ درصد ارزش روز راه به عنوان میزان بودجه سالانه نگهداری می‌باشد. این درصد برحسب عمر مفید راه تعیین می‌گردد به گونه‌ای که در سال‌های اولیه بهره برداری راه، معادل



جدول ۸. تعیین بودجه تعمیر و نگهداری محور مورد مطالعه

ردیف	سال	بودجه یک کیلومتر (یک میلیون ریال)	بودجه کل مسیر (۱۸ کیلومتر)	بودجه تخصیص یافته برای تعمیر و نگهداری کل محور (یک میلیون ریال)
۱	۲۰۱۶	۲۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۷۲۰۰
۲	۲۰۱۷	۲۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۸۴۰۰
۳	۲۰۱۸	۲۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۹۶۰۰
۴	۲۰۱۹	۲۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۱۰۸۰۰
۵	۲۰۲۰	۲۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۱۲۰۰۰
۶	۲۰۲۱	۲۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۱۳۲۰۰
۷	۲۰۲۲	۲۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۱۴۴۰۰
۸	۲۰۲۳	۲۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۱۵۶۰۰
۹	۲۰۲۴	۲۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۱۶۸۰۰
۱۰	۲۰۲۵	۲۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۱۸۰۰۰
۱۱	۲۰۲۶	۲۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۱۹۲۰۰
۱۲	۲۰۲۷	۲۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۲۰۴۰۰
۱۳	۲۰۲۸	۲۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰	۲۱۶۰۰

۶-۲-۱- گزینه بهینه با در نظر گرفتن محدودیت بودجه  
نرم افزار آلترناتیو بهینه را در حالت در نظر گرفتن

محدودیت بودجه طبق جدول (۹)، آلترناتیو پایه (وصله،  
درزه گیری ترک) پیشنهاد می نماید.

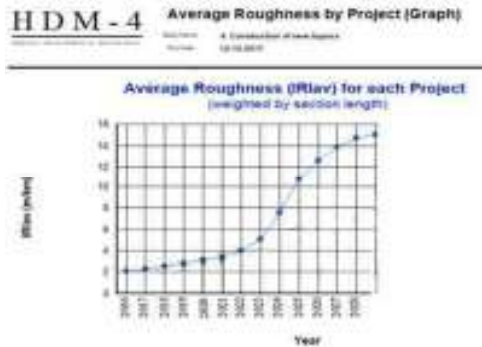
جدول ۹. تعیین آلترناتیو بهینه با در نظر گرفتن محدودیت بودجه

HDM-4  
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Optimum Section Alternative  
Study Name: A.m  
Run Data: 12-12-2017

All costs are expressed in the following currency: Rial (millions)					
Section	Road Class	Length (km)	Initial	Surface class	Alternativedesc
kelarabad- abbasabad	Primary or Trunk	18.00	AADT		
All Sections		18.00	608180	Bituminous	Base alternative

حالت (ضعیف) و حتی (غیر قابل قبول) قرار می دهد. بدین  
ترتیب لزوم اعمال سایر گزینه های تعمیر و نگهداری در طول  
عمر بهره برداری مشخص می گردد.



شکل ۲. تغییرات شاخص ناهمواری راه در طی دوره تحلیل

در نرم افزار (HDM-4) عدد (IRI) به عنوان شاخصی برای  
ناهمواری سطح جاده بکار می رود که بخش عمده ای از هزینه  
استفاده کنندگان متناسب با آن محاسبه می شود. نرخ افزایش  
(IRI) مستقیماً با بار ترافیک، یعنی تعداد بار محوری هم ارز  
عبوری در چرخه عمر روسازی، سن رویه راه، عدد سازه ای،  
نوع، شدت، میزان و تراکم خرابی ها متناسب است. برای راه  
اصلی، وضعیت روسازی (خوب)، با IRI حداکثر برابر با ۴  
مشخص می شود. شکل (۲) تغییرات این شاخص را پس از  
اعمال آلترناتیو پایه نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود  
برای محور مورد مطالعه، روند افزایش شاخص ناهمواری از  
سال ششم به شدت افزایش می یابد و وضعیت روسازی را در

## ۷- نتیجه گیری

با توجه به آنچه که بیان شد، سعی شد تا تاثیر محدودیت‌های بودجه‌ای بر مدیریت و نگهداری روسازی راه با استفاده از روش‌های نوین بررسی گردد. از این‌رو، به عنوان مطالعه موردی، محور کلارآباد-عباس‌آباد با استفاده از نرم‌افزار HDM-4 مورد بررسی قرار گرفت.

همانطور که اشاره شد بسیاری از پروژه‌های تعمیر و نگهداری روسازی راه با هزینه‌های بسیار سنگین اجرا می‌شوند و پس از مدتی به سبب عدم رسیدگی به وضعیت روسازی در زمان مناسب، خرابی روسازی گسترش یافته و با گذشت زمان هزینه‌های بسیار سنگینی را به کشور تحمیل می‌کنند. اولویت‌بندی پروژه‌های نگهداری راه و انجام آنها در زمان مناسب نه تنها به بهبود وضعیت روسازی راه کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به اقتصادی نمودن سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته در پروژه‌های نگهداری راه و بهینه کردن بودجه‌های اختصاص یافته کمک کند.

آنالیز هزینه‌های چرخه عمر بهترین روش برای انتخاب بهینه ترین گزینه انتخابی، در تعمیر و نگهداری پروژه‌های عمرانی می‌باشد. از این‌رو این روش یک ارزیابی اقتصادی بسیار مناسب بوده و در محدودیت‌های مالی بسیار کارآمد می‌باشد. پس از تعیین داده‌های ورودی مورد نیاز، با بررسی سوابق و برداشت‌های میدانی، مقادیر هر یک مشخص گردید. در ادامه تحلیل وضعیت روسازی محور مورد مطالعه با نرم‌افزار HDM-4، در دو حالت بدون محدودیت بودجه و با محدودیت بودجه انجام گردید.

در حالت بدون محدودیت بودجه، آلترناتیو ۵ (وصله، درزگیری ترک، بازسازی «روکش ده سانتی») به عنوان بهینه‌ترین گزینه پیشنهادی با توجه به شرایط محور موجود و با توجه به عدم محدودیت مالی در ارائه تعمیرات، به دلیل کیفیت مطلوب‌تر برای کاربران راه، پیشنهاد گردید.

در حالت با محدودیت بودجه‌ای، نرم‌افزار آلترناتیو پایه را به دلیل کمتر بودن آیت‌ها و به تبع آن، هزینه کمتر پیشنهاد داد. در ادامه مشخص شد، به دلیل افزایش چشمگیر روند خرابی در طول چرخه عمر روسازی در این حالت، به منظور تامین حداقل شاخص ناهمواری، استفاده از سایر گزینه‌های تعمیر و نگهداری در کنار گزینه پایه، اجتناب ناپذیر خواهد بود.

## ۸- پی‌نوشت‌ها

1. Highway Development and Management
2. Zhang and Gao
3. Meneses and Ferrera
4. Denisov, Kamaev and Kizim
5. Chen and Hoangha
6. Analytical Hierarchy Process (AHP)
7. Contingency Cost
8. Change Order (CO)
9. Base Alternative
10. Morosiuk and Riley
11. Average Annual Daily Traffic (AADT)
12. Net Present Value (NPV)

## ۹- مراجع

- ابطحی، س.م.، میرجعفری، س.الف.، (۱۳۸۷)، "ارزیابی اقتصادی بکارگیری برنامه نگهداری پیش‌بینانه در روسازی راه به کمک مدل HDM مطالعه موردی: محور ارتباطی اصفهان ناین"، سومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب‌یابی، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، انجمن نگهداری و تعمیرات.
- میربهاء، ب.، اسدامرجی، م.، (۱۳۹۱)، "ارائه مدل تخصیص هزینه‌های تعمیر و نگهداری راه در کشور"، یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، تهران، سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران، معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران.
- نوبخت، ش.، حسینی، س.، حقیقی، ف.، (۱۳۹۲)، "پیاده‌سازی نسل نوین مدیریت مالی راهداری در ایران مطالعه موردی محور سوادکوه مازندران"، اولین کنفرانس ملی زیرساخت‌های حمل و نقل، تهران، پژوهشکده حمل و نقل، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- Chen, L. and Hoangha, M. (2014), "Optimizing road network daily maintenance operations with stochastic service and travel times", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume 64, April, pp. 88-102.
- Denisov, M.V., Kamaev, V.A. and Kizim, A.V. (2013), "Organization of the Repair and maintenance in Road Sector with Ontologies and Multi- agent Systems", *Procedia Technology* Volume 9, pp. 819-825.

- Tabindra, C. (2016), "Predicting possible costs for road maintenance, international conference on Engineering and sustainable Engineering Design, India.
- Zhang, X. and Gao, H. (2012), "Road maintenance optimization through a discrete-time semi-Markov decision process, Reliability Engineering & System Safety, Volume 103, July, pp. 110-119.
- Meneses, S. and Ferrcira, A. (2012), "New Optimization Model for Road Network maintenance management", Procedia- Social and Behavioral Sciences, Volume 54, 4 October, pp. 956-965.
- Morosiuk, G. and Riley, M. (2008), "HDM-4 Highway Development and Maintenance Management series.