

ارائه مدل نگهداری و بهسازی شبکه راه‌های اصلی با به کارگیری تحلیل هزینه چرخه عمر - مطالعه موردی استان خراسان جنوبی

امیر کاووسی (نویسنده مسئول)، استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

محمدسینا سمنارشاد، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

محمود صفارزاده، استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

Email: kavussia@modares.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۲ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۲

چکیده

به علت گسترش روزافزون راه‌ها و محدودیت در بودجه، مدیریت رو سازی همواره مورد توجه محققان بوده است. هدف از این تحقیق در نظر گرفتن تحلیل هزینه چرخه عمر و نرم افزار HDM-4، در راستای تعیین نوع و زمان اجرای به صرفه‌ترین روش‌های نگهداری و بهسازی می‌باشد. بدین منظور، قطعات همگن اولیه با بررسی عواملی همچون شاخص وضعیت روسازی، شاخص ناهمواری بین المللی و افت و خیز دستگر مرکزی دستگاه FWD، در سطح شبکه‌ای از راه‌های اصلی، تشکیل شدند. سپس با ادغام آن‌ها، قطعات همگن نهایی مشخص و راهکارهایی به منظور بهبود شرایط، معرفی شدند. اثر هر یک از راهکارها بر ناهمواری، بررسی و مجموع هزینه‌های همراه شده با اجرای هر یک از راهکارها، محاسبه گشت و به صرفه‌ترین مورد برای هر قطعه، تعیین شد. اهمیت بودجه و نرخ تنزیل، موجب شد تا اثرات تغییر در آن‌ها، توسط آنالیز حساسیت، ارزیابی شود. نتایج نشان داد کلیه راهکارهای انتخابی (به جز راهکار پایه)، توانسته‌اند از ناهمواری در طول دوره تحلیل، بکاهند. همچنین مقادیر بالای هزینه‌های کاربران نسبت به هزینه‌های اداره‌های راهداری، اهمیت آن‌ها در تحلیل هزینه چرخه عمر را نمایان ساخت. از طرفی با افزایش نرخ تنزیل از صفر به دو درصد، با انتخاب راهکارهای ارزان‌تر یا پرهزینه‌تر در نرخ تنزیل صفر، گزینه‌های اجرایی به ترتیب ثابت مانده و یا به مورد ارزانتر تبدیل شده‌اند. این مورد اهمیت نرخ تنزیل در تحلیل‌های مربوطه را نشان می‌دهد. در مورد بودجه‌های تخصیصی اولیه از طرف سازمان راهداری، مشخص شد در نظر گرفتن بودجه ۱۰۰ میلیارد ریالی برای بهسازی شبکه در اولین سال از تحلیل با افزایش سالانه ۱۰ درصدی، برای برنامه عملیاتی پیشنهادی مکفی می‌باشد. همچنین بودجه ۷۰۰ میلیارد ریالی به عنوان حداقل بودجه مورد نیاز اجرای برنامه عملیاتی و ذخیره ۵۴ درصد از کل بودجه اولیه، تعیین شد که کارآمدی برنامه عملیاتی پیشنهادی در حفظ سرمایه‌های ملی را عنوان می‌دارد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل هزینه چرخه عمر، سیستم مدیریت روسازی، مدل بهسازی و نگهداری، نرم افزار HDM-4

۱. مقدمه

اصلی‌ترین چالش پیش روی مدیران راهداری حفظ وضعیت شبکه راه‌ها در سطحی قابل قبول از سرویس دهی می‌باشد که با شرایط بودجه‌ای سخت و فشرده همراه است. همچنین نبود ابزارهای ساده تصمیم‌گیری موجب تشدید مشکلات مربوط به انتخاب اقتصادی-ترین گزینه نگهداری و بهسازی شده است [De la Garza, et al, 2011]. ارائه یک سیستم مدیریت روسازی می‌تواند از هدر-رفت بودجه‌های تخصیصی جلوگیری کرده و موجب تقلیل هزینه‌ها شود [Salem and Genaidy, 2007]. سیستم مدیریت روسازی ارائه‌کننده روشی سیستماتیک برای انتخاب نوع عملیات نگهداری و بهسازی، اولویت بندی آن‌ها و ارائه زمان بهینه اجرا می‌باشد، که می‌توان آن‌ها را با تعیین وضع موجود و پیش‌بینی وضعیت آینده روسازی در نظر گرفت [Shanin, 2006]. مدیریت روسازی در دو سطح پروژه و شبکه (تحقیق پیش رو) صورت می‌پذیرد. در مورد مدیریت روسازی در سطح شبکه، راه‌ها در طول دوره تحلیل، جهت بهبود در وضعیت تخصیص بودجه و برنامه‌ریزی بر سر اولویت بندی پروژه‌های ترمیم و نگهداری، مورد بررسی قرار می‌گیرند [Wei and Feng, 2014].

بررسی مدل‌های اولویت بندی اقتصادی پروژه‌های نگهداری هدف اصلی این تحقیق می‌باشد. ارزیابی بر اساس تحلیل هزینه چرخه عمر^۱ (LCCA) یا روش نسبت سود به هزینه از روش‌های متداول در زمینه اولویت بندی پروژه‌ها و تحلیل فنی و اقتصادی در سطح شبکه هستند. در این روش‌ها راهکارهای پیشنهادی، در سطح شبکه و قطعات مختلف با یکدیگر مقایسه و راهکارها با بالاترین اولویت در طول دوره تحلیل مشخص می‌شوند [Kulkarani and Miller, 2003]. روش تحلیل هزینه‌های چرخه عمر، براساس کم‌ترین هزینه چرخه عمر مربوط به ترکیبی از گزینه‌های اجرایی با عنوان راهکار، در طول دوره تحلیل، صورت می‌پذیرد و اقتصادی‌ترین گزینه بر مبنای شاخص‌های اقتصادی تعیین می‌گردند. فرآیند تحلیل هزینه چرخه عمر شامل عواملی از قبیل راهکارهای بهسازی و نگهداری روسازی، دوره تحلیل، داده-های ترافیکی، نرخ تنزیل و ترتیب عملیات بهسازی و نگهداری آتی است [Caltrans, 2013]. به منظور ارزیابی شرایط کنونی

روسازی، پیش بینی شرایط آینده، به کارگیری تحلیل هزینه چرخه عمر، سرمایه گذاری بهینه و همچنین ایجاد ارتباط بین هزینه‌های اداره راه و هزینه‌های کاربر، از نرم افزار مدیریت و توسعه راه (HDM-4 1.3) استفاده شد.

سیستم شبکه راه‌های ایران در وضعیتی ضروری به منظور بهسازی و نگهداری همراه با تخصیص بهینه بودجه، قرار دارد و نیازمند یک سیستم مدیریت روسازی یکپارچه است. این نیاز تنها با تعیین وضعیت راه‌ها با شاخص‌های شناخته شده، به کارگیری روش‌های تحلیل اقتصادی و بکارگیری نرم افزارهای مدیریت روسازی بر طرف خواهد شد. در راستای رسیدن به این هدف، بررسی وضعیت شبکه‌ای چندصد کیلومتری از راه‌ها و ارزیابی انواع روش‌های نوین ترمیم و نگهداری، از مهمترین گام‌ها در این زمینه خواهد بود تا توسط آن صرفه جویی‌های اقتصادی همراه شده با برنامه مدیریت روسازی بررسی و اثبات شود. در ادامه به ارائه فهرستی از تحقیقات انجام شده، معرفی روش تحقیق و بررسی برنامه تعمیر و نگهداری برای شبکه راه‌های مورد مطالعه، پرداخته شده است.

۲. ادبیات تحقیق

در تحقیقات انجام شده در زمینه تحلیل هزینه چرخه عمر در سال ۲۰۰۴، با تشکیل پایگاه داده‌های جمع آوری شده از پروژه‌های اداره حمل و نقل واشنگتن، الگوریتم‌هایی در خصوص هزینه چرخه عمر برای طراحی و ساخت روسازی راه‌ها توسعه داده شد و مورد استفاده قرار گرفت [Gransberg and Diekmann, 2004]. در پژوهشی در کشور یک مدل مدیریت روسازی با بکارگیری نرم افزار HDM-4 و تحلیل سلسله مراتبی ارائه شد [Saffarzadeh, et al. 2006]. در این راستا، نرم افزار HDM-4 به کار گرفته و فهرستی از پروژه‌های اولویت بندی شده با تعیین نسبت ارزش خالص فعلی راهکارهای بهسازی تعیین گردید. سپس سیستم تصمیم‌گیری بر پایه روش AHP، به منظور ارائه بهترین گزینه‌های نگهداری و بهسازی، معرفی شد. به علت عدم قطعیت در داده‌های تحلیل هزینه چرخه عمر، در تحقیقی استفاده از منطق فازی برای مقایسه هزینه چرخه عمر پروژه‌های نگهداری و بهسازی

ارائه مدل نگهداری و بهسازی شبکه راه‌های اصلی با به کارگیری تحلیل هزینه.....

شرایط چرخه عمر و هزینه‌های مربوط به دوره تحلیل را با در نظر گرفتن شرایط مشخص شده توسط کاربر، مد نظر قرار می‌دهد [Sen, et al, 2014]. در ادامه، دیگر محققان به بررسی فواید حاصل شده از به کارگیری تحلیل هزینه چرخه عمر در سیستم مدیریت روسازی کشور اسلواکی پرداختند [Mikolaj and Remek, 2014]. نتیجه آن بود که کاربرد تحلیل هزینه چرخه عمر در سیستم مدیریت روسازی موجب تخصیص بودجه به قطعاتی می‌شود که بیشترین تقاضا را برای عملیات ترمیمی دارند. در سال ۲۰۱۵، امینی در رساله دکتری خود عنوان داشت که در تحلیل هزینه چرخه عمر پارامترهای اقتصادی، عملکرد روسازی، متغیرهای مربوط به حجم ترافیک و شرایط آب و هوایی بر هزینه‌های آتی تأثیر گذار بوده و نیاز به پیش بینی دارند که می‌بایست به شکل احتمالی مورد بررسی قرار گیرند [Amini, 2015]. بدین ترتیب، دو متغیر نرخ تنزیل و ضخامت لایه‌های روسازی مدنظر قرار گرفته و توابع توزیع احتمال برایشان پیشنهاد گردید. نتیجه شد که توابع چگالی احتمال مربوط به نرخ تنزیل و ضخامت، پیش بینی‌های مناسبی را ارائه می‌دهد. همچنین در این تحقیق مدلی یکپارچه برای تحلیل هزینه چرخه عمر در سطوح شبکه و پروژه ارائه شد. در سال ۲۰۱۶، در تحقیقی در زمینه اولویت بندی راهکارهای نگهداری، روش AHP فازی به همراه روش بهینه سازی چند معیاره و راهکار سازشی^۲ (VIKOR) مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش شاخص‌های مختلفی از قبیل PCI، حجم ترافیک، عرض راه، هزینه‌های بهبود و نگهداری و زمان اجرای عملیات در نظر گرفته شد. برای تعیین وزن شاخص‌ها، روش AHP فازی مورد استفاده قرار گرفت و متعاقباً اولویت‌های مربوط به راهکارها مطابق شاخص‌های وزن‌دهی شده، توسط مدل VIKOR، رتبه بندی گشت. در کل دو روش با هم ادغام شدند تا بتوان توسط آن‌ها، مسائل تصمیم گیری چند متغیره را حل نمود. بدین وسیله، عوامل تأثیرگذار در فرآیند تصمیم گیری تشخیص داده شدند و پروژه‌های بهسازی و نگهداری با اولویت بالاتر، جهت اجرا معرفی شدند [Babashamsi et al. 2016].

با توجه به بررسی مطالعات انجام شده، نبود سیستم مدیریت روسازی کارآمد در سطح شبکه‌ای چند صد کیلومتری از

مورد استفاده قرار گرفت [Chen, 2007]. در این تحقیق با ارائه مدل مبتنی بر الگوریتم فازی و انجام مطالعه موردی، مشخص شد که مدل ارائه شده قادر است عدم قطعیت‌های موجود در تحلیل هزینه چرخه عمر را، تا حد زیادی بر طرف سازد. در تحقیق دیگری، سرمایه‌گذاری در یک دوره چند ساله در قالب بهینه سازی چند هدفه غیرخطی عدد صحیح، مورد بررسی قرار گرفت و از الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله بهینه سازی استفاده شد [Ofosu, 2010]. در این تحقیق مشخص گشت که استفاده از تحلیل چند هدفه، انجام مقایسات زوجی بین عواملی از قبیل ارزش فعلی هزینه چرخه عمر، ارزش دارایی‌ها و شاخص خدمت رسانی دارایی‌ها را، فراهم می‌آورد. این امکان، موردی سودمند در جهت رسیدن به یک برنامه‌ریزی اقتصادی تشخیص داده شد. در تحقیقی دیگر به ارزیابی اقتصادی روش‌های بهسازی و نگهداری راه‌ها پرداخته شد که در آن نرم‌افزار RealCost مورد استفاده قرار گرفت [Abdollahzadeh, 2011]. از این تحقیق نتیجه شد که هزینه کاربران راه از عوامل مهم در تحلیل هزینه چرخه عمر روسازی و ارزیابی اقتصادی گزینه‌های بهسازی و نگهداری می‌باشد و استفاده از این قبیل نرم افزارها در زمینه مدیریت روسازی مناسب می‌باشد. در سال ۲۰۱۲ در کشور پرتغال سیستم تحلیل هزینه چرخه عمر جدیدی با عنوان "OPTPAV" بر مبنای مفهوم مدل بهینه سازی ارائه شد، که عملکرد روسازی را نیز مد نظر قرار می‌داد [Santos and Ferreira, 2012]. نتایج نشان داد که سیستم پیشنهادی، کاربردی بوده و برای طرح روسازی نه تنها با در نظر گرفتن معیارهای طراحی بلکه با در نظر گرفتن هزینه‌های ساخت و نگهداری آتی، هزینه‌های کاربران و ارزش باقیمانده روسازی، راهکار مناسب را ارائه می‌دهد. در همان سال، سیستم "OPTIPAV" مورد تجدید نظر قرار گرفت و نتایج حاصل از تحلیل حساسیت بر نرخ تنزیل، نشان داد که هزینه‌های ساخت هیچ گونه ارتباطی به مقادیر نرخ تنزیل ندارند و همچنین هزینه‌های نگهداری و بهسازی و ارزش باقیمانده همیشه با افزایش نرخ تنزیل کاهش می‌یابند [Ferreira and Santos, 2012]. در تحقیقی در مورد به کارگیری نرم افزار HDM-4 در زمینه تحلیل هزینه چرخه عمر، نتیجه شد که این نرم افزار در تحلیل‌های خود، مجموع

گردآوری داده‌های شاخص وضعیت روسازی (PCI)، شاخص ناهمواری بین المللی (IRI)، مقادیر افت و خیز لایه‌ها و ترافیک محورهای شبکه راه‌های مورد بررسی، اقدام شد. در این راستا، حدود ۵۰۰ کیلومتر از راه‌های اصلی استان خراسان جنوبی مورد بررسی قرار گرفت که شامل محورهای زیر می‌باشند.

- ۱) محور سه راهی خواف - کال شور به طول ۴۰/۷ کیلومتر، واقع در شاخه بیرجند - مشهد.
- ۲) محور سربیشه - درح به طول ۷۸/۴ کیلومتر، واقع در شاخه بیرجند - درح میل ۷۸
- ۳) محور سربیشه - شوسف به طول ۸۸/۳ کیلومتر، واقع در شاخه بیرجند - زاهدان.
- ۴) محور طبس - یزد به طول ۱۴۶ کیلومتر، واقع در شاخه طبس - انتهای حوزه استحفاظی (به سمت یزد)
- ۵) محور سه راهی راهداران - دیگ رستم به طول ۱۰۴/۶ کیلومتر، واقع در شاخه بیرجند - کرمان.

۳-۱-۱ جمع آوری داده‌های شاخص وضعیت روسازی

در این تحقیق به منظور ارزیابی خرابی‌های سطحی روسازی، از شاخص PCI استفاده شد. با توجه به تعیین مساحت مجاز یک واحد نمونه برای راه‌های آسفالتی به میزان 230 ± 90 متر مربع [Shanin, 2006]، با توجه به داده‌های در دسترس، طولی به اندازه ۵۰ متر (خط کندرو) برای واحدهای نمونه در نظر گرفته شد که توسط آن تعداد کل واحدهای نمونه، از تقسیم طول قطعه به طول هر واحد نمونه، به دست آمد. سپس حداقل تعداد واحد نمونه و فواصل آن‌ها به ترتیب مطابق با آیین نامه ASTM D6433 حاصل گشت. در ادامه نوع، شدت و میزان ۱۹ نوع خرابی، برداشت و در برگه‌هایی مخصوص یادداشت شدند. خرابی‌های برداشت شده برای هر واحد نمونه در قطعه مورد ارزیابی، به نرم افزار Micropaver 5.2 وارد و شاخص PCI برای قطعه مورد نظر محاسبه شد.

۳-۱-۲ جمع آوری داده‌های شاخص ناهمواری بین المللی

از شاخص بین المللی ناهمواری می‌توان به منظور ارزیابی روسازی راه در سطح شبکه استفاده کرد. پروفیل روسازی با تعیین این

راه‌های ایران با بکارگیری طیف وسیعی از داده‌های تعیین کننده شرایط روسازی، تحقیق پیش رو را ملزم ساخت. به کارگیری مفهوم تحلیل هزینه چرخه عمر به همراه استفاده از یکی از معتبرترین نرم افزارهای مدیریت روسازی (HDM-4)، از مشخصه‌های اصلی این تحقیق می‌باشند. همچنین با توجه به اینکه نرم افزار HDM-4 تنها شاخص ناهمواری بین المللی را مد نظر قرار می‌دهد؛ تحقیق پیش رو به منظور تعیین قطعات همگن و همچنین ارائه گزینه‌های نگهداری و بهسازی، دیگر شاخص‌ها از قبیل شاخص شرایط روسازی و افت و خیز حسگر مرکزی دستگاه FWD، را نیز مورد بررسی قرار داد. بدین طریق شرایط، برای معرفی برنامه تعمیر و نگهداری اقتصادی همراه شده با ذخیره سرمایه ملی و بودجه‌های تخصیصی ارائه گردید.

در این تحقیق در سطح شبکه‌ای از راه‌های اصلی کشور با بررسی عواملی از قبیل خرابی‌های سطح روسازی، ناهمواری و مقاومت سازه‌ای آن، روش‌های نگهداری و بهسازی مختلفی از قبیل، درزگیری و لکه گیری سالانه، اجرای روکش ۴ سانتی متری و اسلاری سیل و همچنین عملیات بهسازی تراش سرد روسازی و اجرای روکش ۸ سانتی متری، به عنوان پروژه‌های ترمیم و نگهداری پیشنهاد شد. در این راستا اقدام به ارائه برنامه عملیاتی مناسب به منظور تعیین نوع و زمان اجرای به صرفه‌ترین و مناسب‌ترین روش‌های نگهداری و بهسازی در قطعات شبکه راه گردید تا شبکه با محدودیت‌های موجود در بودجه‌های تخصیصی همواره در سطح مناسبی از سرویس دهی نگاه داشته شود.

۳. روش تحقیق

در این تحقیق با بکارگیری تحلیل هزینه چرخه عمر و مدل‌های تحلیلی موجود در نرم افزار HDM-4، به بررسی راهکارهای بهسازی پیشنهادی، جهت بهبود شرایط روسازی شبکه راه‌های اصلی استان خراسان جنوبی، پرداخته شد. شکل ۱، روند مراحل تحقیق را نشان می‌دهد.

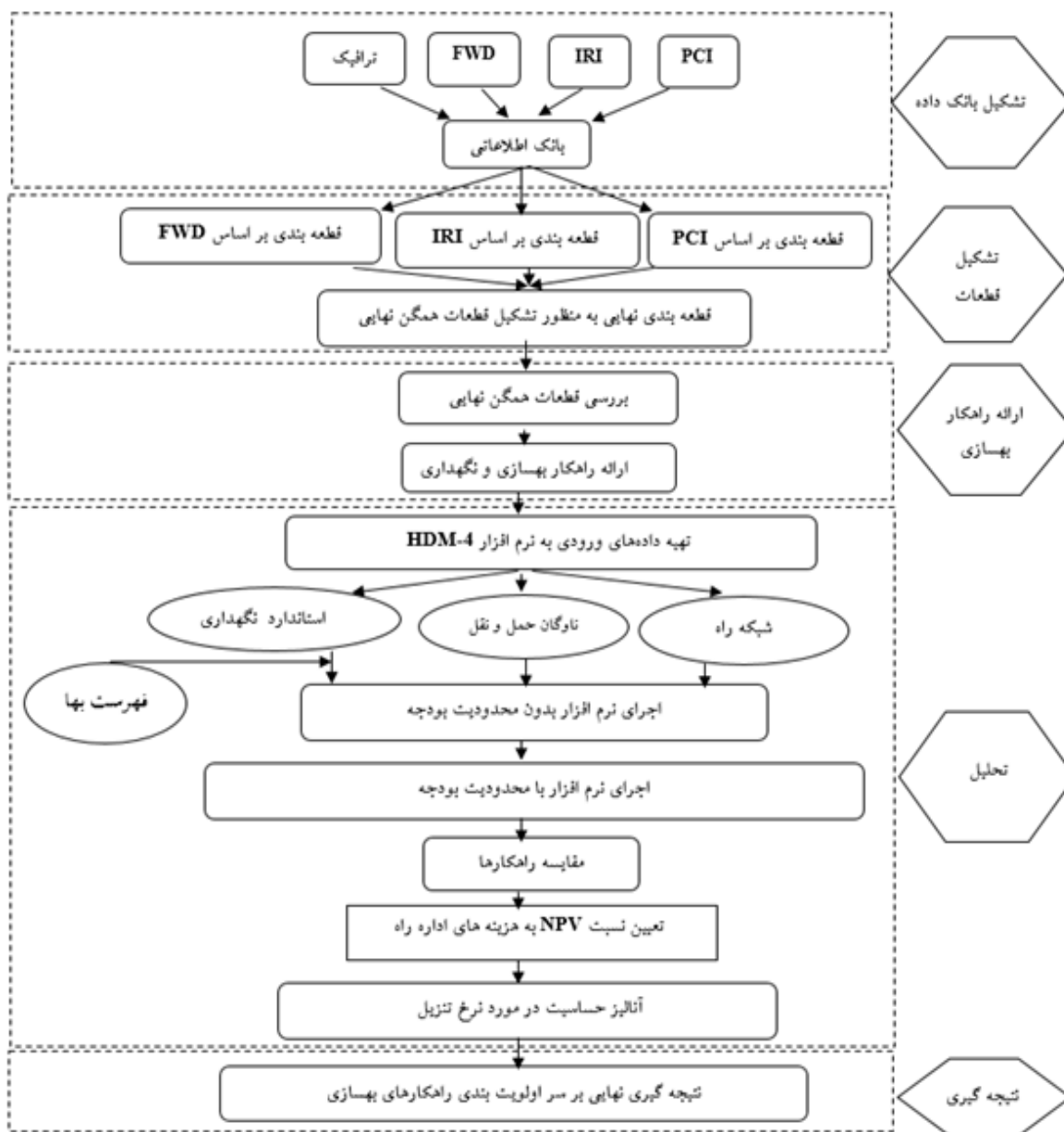
۳-۱-۳ تشکیل پایگاه داده‌ها

تشکیل بانک داده‌ها از اساسی‌ترین مراحل به منظور دست یافتن به یک سیستم مدیریت روسازی است. به این منظور در این تحقیق به

ارائه مدل نگهداری و بهسازی شبکه راه‌های اصلی با به کارگیری تحلیل هزینه.....

شاخص بین‌المللی راه‌ها برای ایران را، نشان می‌دهند [Kerali, 2002] و [Fakhri, 2010].

شاخص، با استفاده از دستگاه نیم‌رخ سطح راه (RSP) در دو مسیر چرخ‌های چپ و راست وسیله نقلیه، در امتداد محور طولی راه، اندازه‌گیری شد. جداول ۱ و ۲ به ترتیب محدوده‌های تعیین شده برای شاخص IRI توسط نرم افزار HDM-4 و کتاب



شکل ۱. مراحل تحقیق

جدول ۱. حدود شاخص IRI ارائه شده توسط نرم افزار HDM-4 [Kerali, 2002]

IRI (m/Km)	طبقه بندی
۰-۲	خوب
۲-۴	متوسط
۴-۶	ضعیف
۶-۸	بد

جدول ۲. حدود شاخص IRI پیشنهادی جهت شروع عملیات بهسازی [فخری، ۱۳۸۹]

نحوه اقدام	شاخص IRI (m/Km)
شروع اقدام عملیات ترمیم و نگهداری	۲/۸۵
شروع اقدامات اساس ترمیم و بهسازی نظیر اجرای روکش یا بازیافت رویه	۴/۵

به طور معمول در راه سازی داده های ترافیکی از قبیل متوسط سالانه ترافیک روزانه (AADT) یا متوسط ترافیک روزانه (ADT) مورد استفاده قرار می گیرند. در این راستا، از داده های ترافیکی گردآوری شده توسط دستگاه های تردد شمار برخط موجود در پایگاه اینترنتی سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای، بخش مرکز مدیریت راهها استفاده شد [سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای، ۱۳۹۵]. این اطلاعات در جدول ۳ ارائه شده اند.

۳-۲ قطعه بندی شبکه راه

مبنای کار برای تحلیل در نرم افزار HDM-4 تعیین قطعات همگن و تعریف آنها در نرم افزار است. قطعه همگن، قطعه ای است که در طول آن یک یا چند ویژگی یکسان و همسو، وجود داشته باشند. قطعات همگن اولیه بر اساس شاخص وضعیت روسازی، شاخص ناهمواری بین المللی و افت و خیز حسگر مرکزی تعیین شدند. بدین منظور، شاخص PCI توسط نرم افزار Micropaver محاسبه شد و با استفاده از روش تفاضلات تجمعی قطعه بندی بر اساس IRI و افت و خیز حسگر مرکزی صورت پذیرفت. سپس قطعات همگن اولیه با هم ترکیب گشته و قطعه بندی همگن نهایی برای شبکه منتخب راه استان، به دست آمد. مشخصات این قطعات عبارتند از، کیلومتراژ آنها، مقادیر PCI، IRI، افت و خیز حسگر مرکزی و ضخامت روکش مورد نیاز در هر قطعه همگن. در جدول ۴، تعداد قطعات همگن به دست آمده برای شبکه منتخب راه استان آورده شده است که همگی در نرم افزار HDM-4 تعریف شده اند.

۳-۱-۳ جمع آوری داده های آزمایش افت و خیز سنج ضربه ای

به منظور ارزیابی وضعیت سازه ای روسازی، آزمایش غیر مخرب FWD مطابق استاندارد ASTM D4694 در محورهای مورد مطالعه، مورد استفاده قرار گرفت. اجرای روکش سازه ای از مقبولترین و متعارفترین راهکارهای بهسازی می باشد که در صورت نازک بودن روکش از آن به عنوان نگهداری پیشگیرانه و در صورت تراش روسازی و اجرای روکش ضخیم یا در چند لایه، از آن به عنوان عملیات بهسازی یاد می شود. در این تحقیق مطابق راهنمای طرح روسازی آشتو، جهت تعیین عدد سازه ای مؤثر روسازی از روش غیرمخرب با استفاده از داده های دستگاه FWD استفاده شد. در این روش، سیستم روسازی، سازه ای دولایه ای شامل لایه های (روسازی و بستر) فرض می شود. پس از برداشت اطلاعات، با به کارگیری روش AASHTO 1993، تشریح شده در آیین نامه ۲۳۴ سازمان مدیریت و برنامه ریزی، با انجام محاسبات معکوس، مدول الاستیسیته کل لایه های روسازی روی بستر، ضریب برجهنگی خاک بستر، عدد سازه ای مؤثر (SN_{eff}) و ضخامت روکش مورد نیاز محاسبه شد تا بتوان وضعیت سازه ای روسازی آسفالتی و اجرای روکش در سطح شبکه را مورد بررسی قرار داد.

۳-۱-۴ داده های ترافیکی

ارائه مدل نگهداری و بهسازی شبکه راه‌های اصلی با به کارگیری تحلیل هزینه.....

جدول ۳. متوسط سالانه ترافیک روزانه مربوط به شبکه راه‌های مدنظر

نام محور	سه راهی خواف-کالشور	سربیشه-درج	سربیشه-شوسف	طبس-یزد	سه راهی راهدارن-دیگ رستم
AADT	۴۳۲۶	۹۶۵	۲۱۹۰	۱۳۵۲	۱۱۵۰

جدول ۴. قطعه بندی همگن نهایی با توجه به بررسی شاخص PCI، MRI و D0 شبکه راه

محور	کیلومتر/کیلومتر	ضخامت آسفالت	ضخامت اساس	PCI	MRI (متر/کیلومتر)	D0 میکرون	SN _{eff}	SN _{req}	ضخامت روکش
سه راهی خواف-کالشور	۰-۸	۱۴	۳۱	۹۶	۲	۵۳۷	۳/۸	۴/۴	۴
	۸-۱۱/۴	۱۲	۲۷	۳۵	۳/۹	۵۳۷	۲/۹	۴/۴	۹
	۱۱/۴-۲۱/۴	۹	۱۸	۳۵	۳/۹	۸۱۶	۲/۱	۴/۶	۱۴
	۲۱/۴-۲۴	۱۳	۲۱	۸۱	۱/۹	۸۱۶	۲/۲	۵	۱۶
	۲۴-۴۰/۷	۱۳	۲۱	۸۱	۱/۹	۵۷۸	۲/۹	۴/۶	۱۰
	۰-۲۶/۷	۱۰	۲۹	۸۲	۱/۸۵	۷۰۹	۲/۸	۴/۷	۷
	۲۶/۷-۲۷/۵	۸	۳۹	۷۵	۱/۸۵	۷۰۹	۲/۸	۳/۷	۵
	۲۷/۵-۲۸/۳	۸	۳۹	۷۵	۳/۶۷	۷۰۹	۲/۵	۳/۵	۸
	۲۸/۳-۳۲	۷	۲۹	۷۵	۳/۶۷	۵۱۲	۲/۸	۳/۶	۵
	۳۲-۳۹/۸	۶	۲۴	۷۶	۳/۶۷	۵۱۲	۲/۴	۳/۲	۵
سربیشه-درج	۳۹/۸-۴۶/۴	۵	۳۶	۸۵	۳/۶۷	۵۱۲	۳/۵	۲/۸	۰
	۴۶/۴-۴۹/۴	۶	۳۶	۸۳	۳/۶۷	۵۱۲	۳/۲	۲/۹	۰
	۴۹/۴-۶۰/۱	۶	۳۴	۸۳	۳/۶۷	۶۶۲	۲/۶	۳/۱	۴
	۶۰/۱-۶۵/۹	۷	۳۷	۶۴	۳/۶۷	۶۶۲	۳/۷	۳/۱	۳
	۶۵/۹-۶۷	۷	۳۹	۷۷	۲/۵۷	۶۶۲	۲/۷	۳	۲
	۶۷-۷۱/۴	۷	۳۹	۷۷	۲/۵۷	۶۶۲	۳/۳	۳/۳	۱
	۷۱/۴-۷۸/۴	۷	۴۰	۷۷	۲/۵۷	۵۰۷	۳/۶	۳/۱	۰
	۰-۱۷	۱۸	۲۶	۳۰	۴/۸۶	۴۳۲	۳/۲	۳/۷	۴
	۱۷-۲۸	۱۷	۲۷	۹۳	۲/۵	۴۳۲	۳/۴	۳/۸	۳
	۲۸-۳۳/۴	۱۶	۲۸	۶۵	۲/۵	۴۳۲	۳/۵	۴/۲	۵
سربیشه-شوسف	۳۳/۴-۳۵	۱۶	۲۹	۱۹	۲/۵	۴۳۲	۳	۴	۶
	۳۵-۳۷/۴	۱۶	۲۹	۱۹	۴/۱۶	۴۳۲	۲/۹	۳/۷	۴
	۳۷/۴-۵۸/۸	۱۵	۳۰	۱۹	۴/۱۶	۷۰۱	۲/۷	۴/۳	۹
	۵۸/۸-۶۰	۱۷	۳۰	۵۵	۲/۶۱	۷۰۱	۳/۲	۴/۱	۶
	۶۰-۷۷	۱۹	۳۰	۵۵	۲/۶۱	۴۲۴	۳/۸	۴/۲	۰
	۷۷-۸۸/۳	۱۸	۲۶	۵۵	۲/۶۱	۵۲۷	۳/۱	۴/۳	۷
	۰-۳/۹	۳	۳۲	۴۳	۲/۵۶	۳۹۳	۳/۵	۲/۶	۰
	۳/۹-۶/۱	۳	۳۱	۶۲	۲/۵۶	۳۹۳	۳/۱	۲/۷	۰
	۶/۱-۱۹/۲	۳	۲۷	۱۹	۲/۵۶	۳۹۳	۲/۴	۳/۴	۶
	۱۹/۲-۲۴/۳	۴	۲۷	۸۷	۲/۵۶	۳۹۳	۲/۴	۳/۱	۴
طبس-یزد									

۳	۳	۲/۵	۳۹۳	۲/۵۶	۳۱	۲۸	۵	۲۴/۳ - ۳۵
۳	۲/۹	۲/۶	۳۹۳	۲/۵۶	۲۸	۲۹	۴	۳۵ - ۳۸
۴	۳	۲/۴	۳۹۳	۳/۲۷	۲۸	۲۹	۴	۳۸ - ۴۳/۵
۷	۳/۴	۲/۲	۵۵۵	۳/۲۷	۲۸	۲۹	۳	۴۳/۵ - ۴۸/۵
۵	۳/۲	۲/۳	۵۵۵	۳/۲۷	۶۰	۳۰	۴	۴۸/۵ - ۶۲
۶	۳/۴	۲/۵	۵۵۵	۳/۲۷	۳۸	۳۱	۵	۶۲ - ۷۰
۲	۲/۹	۲/۷	۳۹۸	۳/۲۷	۳۸	۳۱	۵	۷۰ - ۷۱/۷
۲	۲/۷	۲/۸	۳۹۸	۳/۲۷	۷۴	۲۹	۶	۷۱/۷ - ۷۸
۳	۳	۲/۵	۳۹۸	۳/۲۷	۵۲	۲۸	۶	۷۸ - ۸۳/۵
۷	۳/۶	۲/۲	۵۰۲	۳/۲۷	۵۲	۲۷	۶	۸۳/۵ - ۸۹/۲
۶	۳/۲	۲/۲	۵۰۲	۳/۲۷	۶۱	۲۸	۴	۸۹/۲ - ۹۸
۴	۳/۱	۲/۴	۵۰۲	۲/۵۲	۶۱	۲۸	۴	۹۸ - ۱۱۱
۶	۳/۴	۲/۴	۶۱۹	۲/۵۲	۶۱	۲۹	۷	۱۱۱ - ۱۴۶
۱۱	۴/۶	۲/۶	۶۳۱	۲/۴۶	۴۴	۲۷	۹	۰ - ۱۲
۱۵	۵/۲	۲/۵	۶۳۱	۳/۸۶	۴۴	۲۷	۹	۱۲ - ۱۲/۸
۱۱	۴/۳	۲/۴	۶۳۱	۳/۸۶	۱۸	۲۵	۸	۱۲/۸ - ۲۶
۹	۴/۳	۲/۸	۴۹۵	۳/۸۶	۱۸	۲۶	۹	۲۶ - ۳۶
۵	۳/۵	۲/۸	۳۷۴	۲/۵۷	۶۷	۲۴	۹	۳۶ - ۴۹/۴
۹	۴/۳	۲/۸	۶۷۲	۲/۵۷	۶۷	۳۱	۹	۴۹/۴ - ۷۳/۸
۰	۳	۳/۳	۵۲۸	۲/۵۷	۶۷	۳۴	۱۰	۸۳/۸ - ۷۶/۱
۴	۳/۶	۳	۵۲۸	۲/۵۷	۲۷	۳۵	۱۰	۷۶/۱ - ۷۸
۳	۳/۷	۳/۴	۵۲۸	۴/۵۱	۲۷	۳۵	۱۱	۷۸ - ۱۰۴/۶

سه راهی اهداران-دیگ رستم

جدول ۵. مقادیر خرابی‌های موجود در سطح شبکه

نوع خرابی	ترک طولی و عرضی	ترک بلوکی	ترک خستگی	ترک لبه ای	هوازدگی	شن زدگی	قیرزدگی	شیارشدهگی
درصد خرابی در طول شبکه	۱۸	۲۳/۵	۳۰	۱۰/۵	۲/۵	۲/۵	۳/۵	۹/۵
کم	۵	۴/۵	۵/۴	۱/۵	۰/۷	۰/۵	۱/۵	۹/۵
شدت خرابی متوسط	۳	۷/۷	۸/۹	۴	۱/۸	۲	۲	۰
زیاد	۱۰	۱۱/۳	۱۵/۷	۵	۰	۰	۰	۰

۳-۳ ارائه راهکار نگهداری و بهسازی

شدت‌های مختلف در این شبکه از راه‌ها وجود دارد. جدول ۵ درصد‌های مربوط به هر یک از این خرابی‌ها را در کل شبکه راه‌های مورد بررسی، ارائه می‌دهد. همچنین با مراجعه به سایت اداره کل هواشناسی استان خراسان جنوبی و اخذ داده‌های دما و رطوبت،

با بررسی شبکه راه موجود، نتیجه شد که خرابی‌هایی از قبیل ترک-های طولی و عرضی، بلوکی، پوست سوسماری و لبه‌ای با شدت-های مختلف، هوازدگی و شن زدگی، قیر زدگی، شیارشدهگی با

ارائه مدل نگهداری و بهسازی شبکه راه‌های اصلی با به کارگیری تحلیل هزینه.....

راستای ارائه برنامه کاری بهینه و اقتصادی پرداخته شده است. در ادامه روابط مربوط به مفاهیم تحلیلی و مدل‌های موجود در نرم افزار، به کار گرفته در این تحقیق معرفی شده‌اند.

۱-۴-۳ تحلیل هزینه چرخه عمر

روش تحلیل هزینه چرخه عمر، مبتنی بر معیارها و روابطی می‌باشد که در آن‌ها تصمیم‌گیری بر مبنای ارزش خالص فعلی^۵ (NPV) یا هزینه‌های واحد معادل سالیانه^۶ (EUAC) صورت می‌پذیرد. به طور کلی در مورد مباحث سرمایه‌گذاری و اولویت بندی در بخش راهسازی، شاخصی که زیاد در مراجع به آن اشاره شده روش ارزش خالص فعلی می‌باشد که در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش، از هزینه‌ها، سودها و اختلاف بین سودها و هزینه‌ها، که معمولاً از آن با عنوان ارزش خالص فعلی یاد می‌شود، استفاده می‌شود. به منظور در نظر گرفتن و مقایسه دو یا چند گزینه بهسازی و نگهداری، سرمایه‌گذاری‌های حال و آینده، با به کارگیری نرخ تنزیل به ارزش فعلی آن‌ها برگردانده می‌شوند. سپس، گزینه‌ای که کمترین ارزش فعلی را دارا باشد، به لحاظ اقتصادی مناسبترین مورد خواهد بود. ارزش خالص فعلی هر یک از گزینه‌های موجود، با به کارگیری رابطه ۱ در زیر قابل محاسبه است.

$$NPV = C_i + \sum_{k=1}^N C_m \frac{1}{(1 + i_{dis})^n} \quad (1)$$

نتیجه شد که این استان در موقعیت آب و هوایی گرم و خشک قرار دارد. به منظور بهره‌گیری از نرم افزار (HDM-4) و انجام تحلیل هزینه چرخه عمر، با بررسی قطعات همگن نهایی و تعیین حدود تغییر شاخص‌های IRI، PCI وافت و خیز حسگر مرکزی FWD در سطح تنش ۹۰۰ کیلوپاسکال، به معرفی گزینه‌های اجرایی^۴ نگهداری و بهسازی مناسب برای بهبود وضعیت شبکه راه، پرداخته شد. سپس بر اساس روند عملکرد نرم افزار HDM-4 این فعالیت-ها با هم ترکیب و راهکارهایی متشکل از نگهداری پیشگیرانه، بهسازی و نوسازی در نرم افزار معرفی شدند تا در قطعات به اجرا در آمده و مورد تحلیل هزینه چرخه عمر قرار گیرند. سرانجام راهکار به صرفه از نظر اقتصادی در هر قطعه تعیین شد. در مورد معیار انتخاب و اجرای عملیات بهسازی و نگهداری بر اساس شاخص ناهمواری بین المللی در آنجا که ممکن بود، جدول ۲، ملاک عمل قرار گرفت. در جدول ۶، گزینه‌های اجرایی از فعالیت-های نگهداری و بهسازی تشکیل دهنده هر راهکار با عنوان راهکارهای پایه، بهسازی ۱ و بهسازی ۲ آورده شده‌اند.

۳-۴ مدل‌های تحلیلی

همانطور که پیشتر ذکر شد، در این تحقیق با استفاده از نرم افزار HDM-4، به تحلیل هزینه چرخه عمر راهکارهای پیشنهادی در

جدول ۶. معرفی راهکارهای نگهداری و بهسازی و گزینه‌های اجرایی در هر راهکار

راهکار	کد اختصاری در نرم افزار	گزینه‌های اجرایی (Work item)
راهکار پایه	1: Patch & Crack seal	لکه گیری و درزگیری (سالانه)
راهکار بهسازی ۱	2: Overlay 8 & Researl & Crack sealing & Reconst.	روکش ۸ سانتی متری، اجرای اسلاری سیل، درزگیری و نوسازی
راهکار بهسازی ۲	3: Mill 10 & OVL 4 & reconstruct	تراش سرد درجا به ضخامت ۱۰ سانتیمتر و اجرای روکش ۱۰ سانتی متری، روکش ۴ سانتیمتری و نوسازی

۳-۴-۳ اجرای نرم افزار HDM-4

داده‌های ورودی به این نرم‌افزار عبارتند از شبکه راه، ناوگان حمل و نقل و استانداردهای نگهداری و بهسازی راه. در مورد شبکه راه، مشخصات قطعات همگن نهایی تعیین شده از قبیل، اطلاعات کلی قطعه، شرایط فیزیکی، ترافیک، مشخصات رویه و تاریخچه ساخت، در نرم افزار تعریف شدند. ناوگان حمل و نقل مدنظر در این تحقیق عبارت بود از خودروی سواری، وانت، مینی‌بوس، اتوبوس، کامیون ۲ محور سبک، کامیون ۲ محور سنگین، کامیون ۳ محور و تریلی ۴ محور و بیشتر، که به نرم‌افزار HDM-4 معرفی شدند. در مورد استانداردهای نگهداری و بهبود نیز با توجه به بند ۳-۳، این راهکارها با معرفی معیارهای تداخلی و ذکر مشخصات طراحی و هزینه‌های اجرایی در نرم افزار تعریف شدند.

۴. بررسی فنی و اقتصادی راهکارهای نگهداری و

بهسازی

پس از وارد کردن اطلاعات به نرم افزار HMD-4، با اجرای هر مورد از راهکارها در هر یک از قطعات همگن و انجام تحلیل هزینه چرخه عمر همراه شده با فرآیند بهینه سازی، گزارش‌های مختلفی از تأثیر راهکارهای تعیین شده، بر عملکرد و هزینه‌های شبکه راه به دست آمد. در ادامه، در راستای هدف پژوهش، به ارائه و تحلیل مهمترین خروجی‌های نرم افزار پرداخته شده است تا به صرفه‌ترین راهکار و گزینه اجرایی، جهت اجرا بر اساس مدل‌های تحلیلی HDM-4 معرفی شوند.

۴-۱ تأثیر راهکارهای بهسازی بر شاخص بین المللی

ناهمواری

از آنجایی که در ایران، از شاخص IRI جهت بررسی شرایط راه به هنگام تحویل و همچنین معیار شروع عملیات نگهداری و بهسازی استفاده می‌شود و تحقیقات انجام شده در مورد آن، اعدادی را به عنوان معیار تصمیم گیری، تعیین کرده‌اند [فخری، ۱۳۸۹]؛ در این تحقیق نیز به بررسی هر چه دقیقتر آن پرداخته شده است.

در رابطه ۱، C_m و C_i به ترتیب عبارتند از هزینه سرمایه گذاری اولیه و هزینه تعمیر و نگهداری به پول امروز. همچنین Δdis ، N و n به ترتیب نرخ تنزیل، سال اجرای عملیات و دوره تحلیل می‌باشند. نرخ تنزیل، تابعی است از دو عامل نرخ تورم و نرخ بهره که در محاسبات تحلیل هزینه چرخه عمر از اهمیت زیادی برخوردار است. چنانچه نرخ بهره از نرخ تورم بیشتر باشد، نرخ تنزیل برابر است با تفاضل نرخ بهره و نرخ تنزیل [ACPA, 2011]. از آنجایی که همواره در ایران نرخ بهره از نرخ تورم بالاتر بوده، تحقیقات نشان داده که نرخ تنزیل عددی منفی می‌باشد [Amini, 2015]. مقدار منفی از نرخ تنزیل، قابل تعریف در نرم افزار HDM-4 نبوده و از این روی این عامل در تحقیق پیش رو صفر در نظر گرفته شد.

۳-۴-۲ مدل تحلیلی در نرم افزار HDM-4

در نرم افزار HDM-4 و در صورت گسترده بودن مسأله بهینه سازی، روش "مرز اقتصادی (رتبه بندی نرخ NPV/Cost افزایشی)"^۳ به منظور اولویت بندی پروژه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش عبارت است از بررسی گزینه‌های سرمایه گذاری، بر اساس مقایسه نرخ افزایشی NPV/Cost یک راهکار با دیگر راهکارها. نسبت NPV/Cost از مهمترین شاخص‌های اقتصادی در نرم افزار HDM-4 می‌باشد، که توسط رابطه (۲) محاسبه می‌شود. هدف انتخاب گزینه‌هایی با بیشترین نرخ افزایشی NPV/Cost می‌باشد تا به وسیله آن ارزش خالص فعلی برای هر محدودیت بودجه‌ای بیشینه شود [Kerali, 2002].

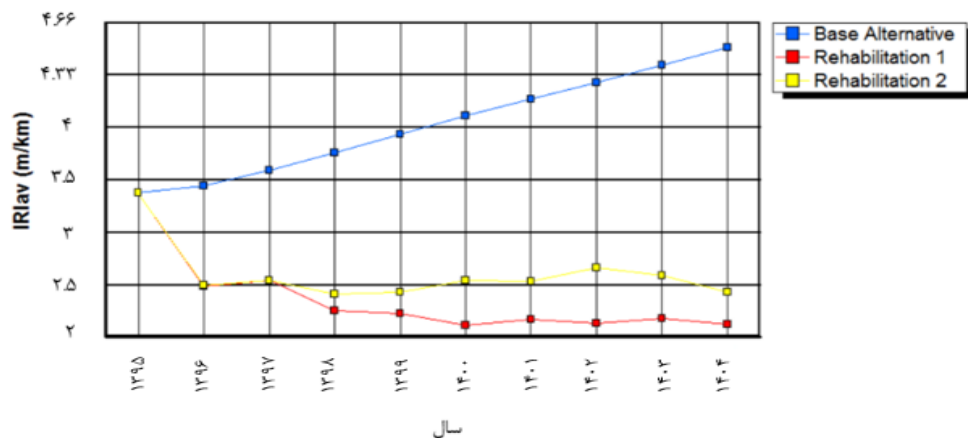
$$E_{ji} = \frac{(NPV_j - NPV_i)}{(Cost_j - Cost_i)} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، پارامترهای NPV_i و NPV_j به ترتیب عبارتند از ارزش‌های خالص فعلی راهکارهای ارزانتر و گرانتر و $Cost_i$ و $Cost_j$ نیز معرف هزینه‌های مربوط به راهکارهای ارزانتر و گرانتر می‌باشند.

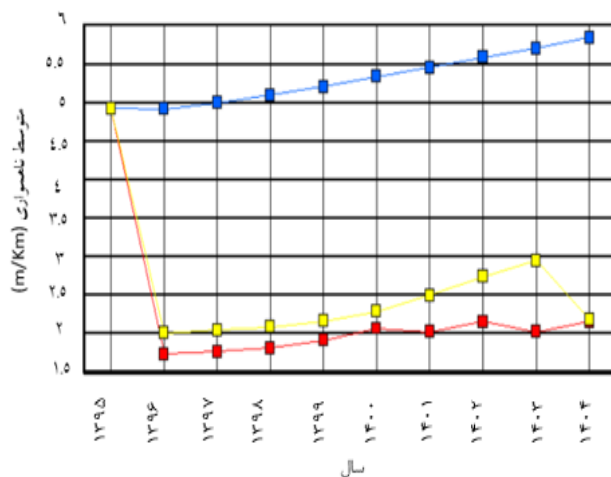
ارائه مدل نگهداری و بهسازی شبکه راه‌های اصلی با به کارگیری تحلیل هزینه.....

راهکار را توسط تحلیل هزینه چرخه عمر به دست آورد. اینگونه نتیجه شد که هر دو راهکار ۱ و ۲ با فراهم آوردن شرایط IRI در حد ۲ الی ۳ وضعیت مناسبی را برای شبکه راه‌ها به همراه داشته‌اند. در مورد تغییرات IRI، در میان قطعات همگن موجود دو قطعه سه راهی راهداران-دیگ رستم (کیلومتر ۶/۱۰۴ - ۷۸) و سربیشه-شوسف (کیلومتر ۱۷-۰) در شرایط بحرانی قرار داشته و در اولین سال از دوره تحلیل می‌بایست مورد بهسازی قرار گیرند. شکل ۳، نشان دهنده اثرگذاری عملیات بهسازی و نگهداری بر شاخص IRI در این قطعات است. اجرای عملیات بهسازی تراش سرد و روکش ۸ سانتی متری، با توجه به مقادیر PCI و IRI (به ترتیب ۲۷ و ۴/۵۱ متر بر کیلومتر) برای سه راهی راهداران-دیگ رستم (کیلومتر ۶/۱۰۴ - ۷۸) و ۳۰ و ۴/۸۶ متر بر کیلومتر برای سربیشه-شوسف (کیلومتر ۱۷-۰) انتخاب‌هایی مناسب اند.

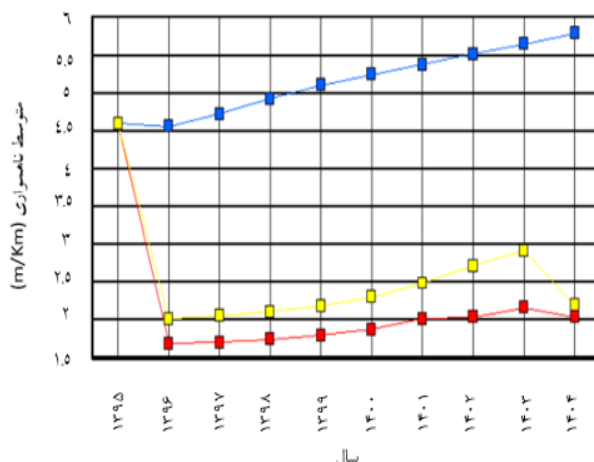
به منظور بررسی اثر پروژه‌های بهسازی منتخب بر شاخص IRI در کل شبکه، با توجه به طول قطعات همگن، سال-های اجرای عملیات بهسازی و تأثیر هر راهکار بر روند تغییر متوسط IRI، شکل ۲، از نتایج تحلیل برنامه توسط نرم افزار، در زیر آورده شده است. در کل، راهکار پایه در تمامی قطعات، تأثیر کاهشی بر مقادیر IRI نداشته و در طول دوره تحلیل و اجرای آن به صورت سالانه روندی افزایشی را به همراه داشته است. اما در مورد راهکارهای بهسازی (۱) و (۲)، به ترتیب با رنگهای قرمز و زرد، در طول دوره تحلیل کاهش یافته است. راهکار (۱) در طول دوره تحلیل مقادیر IRI کمتری را برای شبکه، نسبت به راهکار (۲)، دارا بوده است. این مورد را می‌توان به معیار تعریف شده برای آغاز عملیات نگهداری پیشگیرانه در هر یک از این راهکارها نسبت داد. این تغییر در معیار تعیین شده موجب بررسی دقیق هر راهکار خواهد شد تا بدین وسیله بتوان به صرفه‌ترین



شکل ۲. روند تغییر میانگین شاخص IRI مختص هر راهکار (وزندهی شده توسط طول قطعات)



(ب) سربیشه-شوسف (کیلومتر ۱۷-۰)



(الف) سه راهی راهداران-دیگ رستم (کیلومتر ۱۰۴/۶-۷۸)

شکل ۳ (الف)، (ب). اثر راهکارهای بهسازی پیشنهادی در تغییرات IRI در قطعات مختلف

۴-

برای قطعه سه راهی راهداران-دیگ رستم (کیلومتر ۱۰۴/۶-۷۸) در صورت اجرای راهکار (۱)، در سال ۱۳۹۵ گزینه اجرای بهسازی با عنوان روکش ۸ سانتیمتری همراه شده با لکه گیری و تعمیر ترک لبه‌ای پیش از روکش، تعیین شد. سپس در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۳ گزینه اجرایی اسلاری سیل با توجه به معیار آغاز عملیات تعریف شده، به اجرا درآمد. همچنین در مورد به کارگیری راهکار (۲)، اجرای عملیات بهسازی شامل تراش و روکش ۱۰ سانتیمتری در سال ۱۳۹۵ و در ادامه در سال ۱۴۰۳ اجرای روکش ۴ سانتیمتری در نظر گرفته شد.

برای قطعه سربیشه شوسف (کیلومتر ۱۷-۰) نیز در مورد به کارگیری راهکار (۱)، عملیات روکش ۸ سانتیمتری در سال ۱۳۹۵ و پس از آن گزینه اسلاری سیل، در سال‌های ۱۴۰۰، ۱۴۰۲ و ۱۴۰۴ تعیین شدند. در صورت نظر گرفتن اجرای راهکار (۲) در این قطعه، برنامه کاری تعیین شده همانند برنامه کاری قطعه سه راهی راهداران-دیگ رستم (کیلومتر ۱۰۴/۶-۷۸) می‌بود. نکته قابل توجه اینجاست که در هنگام بررسی راهکار (۱)، در هر دو قطعه روکش ۸ سانتیمتری در سال ۱۳۹۵ اجرا شد اما پس از آن، برای قطعه سه راهی راهداران-دیگ رستم (کیلومتر ۱۰۴/۶-۷۸) اجرای اسلاری سیل در سال ۱۴۰۱ و اجرای همین عملیات برای قطعه سربیشه-شوسف (کیلومتر ۱۷-۰) در سال ۱۴۰۰ پیشنهاد شد که

۲ تحلیل هزینه‌ها

به منظور انجام تحلیل هزینه چرخه عمر هزینه‌های کاربران و هزینه‌های اداره راه می‌بایست تخمین زده شوند. نرم افزار HDM-4 با پیش بینی وضعیت خرابی روسازی در دوره تحلیل و همچنین در نظر گرفتن نحوه اجرای راهکارهای پیشنهادی به منظور بهسازی قطعات شبکه راه، هزینه‌های وارده بر اداره راه از طرف اجرای راهکارهای پیشنهادی و همچنین هزینه‌های کاربران (هزینه استهلاک وسائل نقلیه و هزینه تأخیر در زمان سفر به علت مسدود شدن راه)، را برای قطعات مختلف محاسبه می‌کند. بدین وسیله با استفاده از نرخ تنزیل مشخص شده، هزینه‌های آتی به هزینه‌های کنونی تنزیل یافته و با شاخص‌های اقتصادی مد نظر، بهینه‌ترین راهکار انتخاب می‌شود. در ادامه برنامه کاری ارائه شده توسط نرم افزار برای دو قطعه معرفی شده شکل ۳، به همراه نحوه اجرای آن و هزینه‌های وارده بر اداره راه مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۲-۴ هزینه‌های اداره راه

با توجه به شکل ۳ و اثر کاهش راهکارهای بهسازی (۱) و (۲)، برنامه کاری و هزینه‌های همراه شده با آن، برای دوره تحلیل ۱۰ ساله، در ادامه تشریح شده است. نرم افزار هر یک از راهکارها را برای هر قطعه به اجرا در آورده که در جدول ۷، عنوان شده‌اند.

ارائه مدل نگهداری و بهسازی شبکه راه‌های اصلی با به کارگیری تحلیل هزینه.....

گرفتن الگوهای هزینه‌های مصرف سوخت و روغن، لاستیک، تعویض قطعات، تعمیرات، هزینه خدمه و هزینه‌های بالاسری صورت می‌پذیرد. این عوامل در نرم افزار از طریق مدل‌سازی و رابطه ریاضی بین عوامل مؤثر، مورد محاسبه قرار می‌گیرند. هزینه‌های مربوط به زمان سفر و تأخیر وارده به علت پروژه‌های نگهداری و بهسازی مسیر، تابعی از سرعت عملکرد وسایل نقلیه می‌باشند و توسط عواملی از قبیل هزینه‌های زمان سفر مسافران، هزینه‌های زمان تأخیر در رساندن بار، زمان مسدود بودن مسیر و حجم عملیات در نرم افزار مدل می‌شوند [Kerali, 2002].

حال با معرفی مفاهیم مربوط به بررسی هزینه‌های اداره راه و کاربران، حاصل از اجرای هر راهکار در سطح شبکه، به بررسی اثر این راهکارها در هزینه‌های مذکور، در طول دوره تحلیل ۱۰ ساله پرداخته خواهد شد. در جدول ۸، هزینه‌های اداره راه و هزینه‌های کاربران مسیر (به همراه اجزای تشکیل دهنده آن) در سطح شبکه عنوان شده‌اند که با بررسی جداگانه این هزینه‌ها در هر یک از محورها (موجود در بخش جریان مالی نرم افزار) و تجمیع آن‌ها محاسبه شده‌اند.

علت آن را می‌توان به متفاوت بودن اضمحلال روسازی‌ها ناشی از ترافیک عبوری، آب و هوای کیفیت ساخت نسبت داد. در کل مجموع هزینه‌های اجرایی راهکارهای تعریفی در صورت اجرا در قطعات بالا برای سه راهی راهداران دیگ رستم (کیلومتر ۶/۱۰۴-۷۸) با راهکارهای (۱) و (۲) در طول دوره تحلیل به ترتیب ۶۴۷۲۷۶۴۷۶۴۷۲ و ۶۴۷۲۷۶۹۱۵۴۶۴ ریال و برای قطعه سریشه-شوسف (کیلومتر ۱۷-۰) به ترتیب ۱۲۰۵۸۰۴۷۶۷۶ و ۵۳۷۶۳۳۵۳۷۶ ریال می‌باشد. این هزینه‌ها با در نظر گرفتن هزینه‌های کاربران، توسط تحلیل هزینه چرخه عمر و مقایسه با راهکار پایه مد نظر قرار خواهند گرفت تا راهکار اقتصادی برای هر قطعه تعیین شود. در ادامه به بررسی هزینه وارده بر کاربران از طرف راهکارهای معرفی شده، پرداخته شده است.

۲-۲-۴ هزینه‌های کاربران

هزینه‌های وارده بر کاربران راه در نرم افزار HDM-4 شامل هزینه‌های استهلاک وسیله نقلیه موتوری و افزایش زمان سفر می‌باشند. پیش بینی هزینه‌های مربوط به استهلاک وسایل نقلیه با در نظر

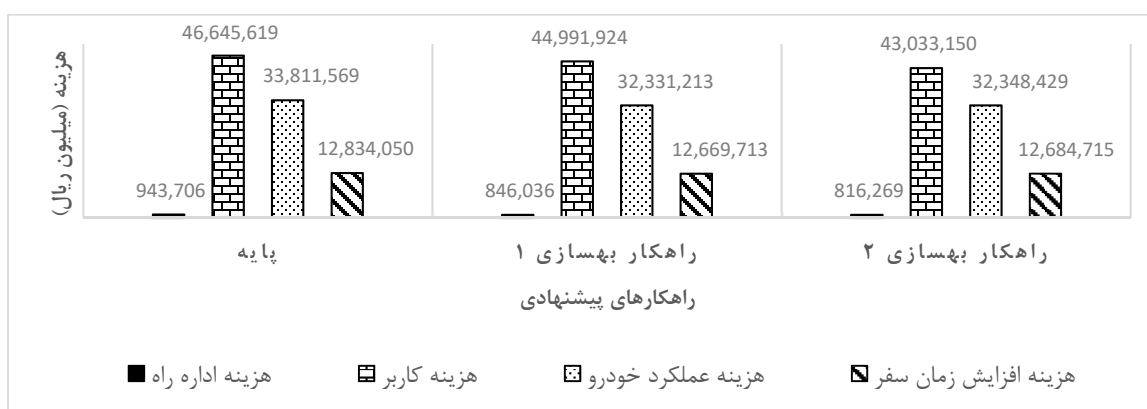
جدول ۷. ارائه برنامه عملیاتی محور سه راهی راهداران-دیگ رستم (کیلومتر ۶/۱۰۴-۷۸) و سریشه شوسف (۱۷-۰)

سه راهی راهداران-دیگ رستم (کیلومتر ۶/۱۰۴-۷۸)		سریشه شوسف (کیلومتر ۱۷-۰)	
راهکار بهسازی (۱)		راهکار بهسازی (۱)	
سال اجرا	گزینه اجرایی	سال اجرا	گزینه اجرایی
۱۳۹۵	روکش ۸ سانتی متری	۱۳۹۵	روکش ۸ سانتی متری
۱۴۰۱ و ۱۴۰۳	اجرای اسلاری سیل	۱۴۰۰، ۱۴۰۲ و ۱۴۰۴	اجرای اسلاری سیل
راهکار بهسازی (۲)		راهکار بهسازی (۲)	
۱۳۹۵	تراش سرد درجا و اجرای	۱۳۹۵	تراش سرد درجا و اجرای
	سانتیمتری		سانتیمتری
۱۴۰۳	روکش ۴ سانتیمتری	۱۴۰۳	روکش ۴ سانتیمتری

جدول ۸. هزینه‌های اداره راه و کاربران در سطح شبکه (میلیون ریال)

راهکار	هزینه اداره راه (۱)	هزینه کاربر* (۲)	هزینه عملکرد خودرو (۳)	هزینه افزایش زمان سفر (۴)
پایه	۹۴۳۷۰۶	۴۶۶۴۵۶۱۹	۳۳۸۱۱۵۶۹	۱۲۸۳۴۲۵۰
راهکار بهسازی ۱	۸۴۶۰۳۶	۴۴۹۹۱۹۲۴	۳۲۳۳۱۲۱۳	۱۲۶۶۹۷۱۳
راهکار بهسازی ۲	۸۱۶۲۶۹	۴۳۰۳۳۱۵۰	۳۲۳۴۸۴۲۹	۱۲۶۸۴۷۱۵

* هزینه کاربر شامل مجموع موارد ستون‌های (۳) و (۴) است.



شکل ۴. هزینه‌های تحلیل هزینه چرخه عمر در سطح شبکه مربوط هر راهکار بهسازی

۳-۴ تحلیل اقتصادی

در این بخش به معرفی نحوه تعیین به صرفه‌ترین راهکار بهسازی و نگهداری توسط نرم افزار پرداخته می‌شود. تحلیل‌های اقتصادی با توجه به نرخ تنزیل تعریف شده با استفاده از جریان‌های مالی مربوط به سودها و هزینه‌های حاصل شده از مقایسات زوجی هر راهکار با راهکار پایه، به صورت سال به سال محاسبه می‌شوند. در این راستا پارامترهای اقتصادی مختلف از قبیل، ارزش فعلی مجموع هزینه‌های اداره راه^۷ (RAC)، ارزش فعلی هزینه‌های سرمایه اداره راه^۸ (CAP)، افزایش در هزینه‌های اداره راه و کاهش در هزینه‌های استفاده کنندگان در جدول ۹، گردآوری شده‌اند.

ارزش فعلی مجموع هزینه‌های اداره راه در حقیقت اختلاف در هزینه سالانه وارده به اداره راهداری از طریق مقایسه هر راهکار با راهکار پایه می‌باشد. ارزش فعلی هزینه‌های سرمایه اداره راه نیز عبارت است از هزینه‌های وارده بر اداره راه از سوی اجرای راهکارهای ترمیم و نگهداری انتخاب شده از نوع دوره‌ای.

در مورد شکل ۴، ترسیم شده بر مبنای جدول ۸، می‌توان

نتایج زیر را عنوان نمود،

- (۱) از میان سه راهکار موجود، انتخاب راهکار پایه، بیشترین هزینه‌ها را برای اداره راه در بر دارد و احتمالاً نباید راهکار مناسبی باشد.
- (۲) راهکار بهسازی (۲)، در صورت اجرا، موجب کاهش هزینه‌های وارده بر اداره راه در مقایسه با دیگر روش‌ها خواهد شد.
- (۳) در مورد هزینه‌های تحمیل شده به کاربران در صورت به کارگیری هر یک از راهکارهای بهسازی در سطح شبکه، راهکار پایه و راهکار (۲) به ترتیب بیشترین و کمترین هزینه‌های کاربران راه را به خود اختصاص می‌دهند.
- (۴) اختلاف بین هزینه‌های اجرای هر یک از راهکارهای (۱) و (۲)، آنچنان زیاد نبوده و امکان استفاده از هر دوی آن‌ها وجود دارد.

ارائه مدل نگهداری و بهسازی شبکه راه‌های اصلی با به کارگیری تحلیل هزینه.....

افزایش در هزینه‌های اداره راه حاصل اختلاف ارزش فعلی مجموع هزینه‌های اداره راه مربوط به هر راهکار پیشنهادی و ارزش فعلی مجموع هزینه‌های اداره راه مربوط به راهکار پایه می‌باشد. سودهای اقتصادی سالانه موجود در کاهش در هزینه‌های کاربران، از طریق مدلسازی‌های مربوط به مجموع صرفه جویی مالی در هزینه‌های استهلاک وسائل نقلیه و هزینه‌های زمان سفر، محاسبه می‌شوند [Kerali, 2002]. عامل ارزش خالص فعلی نیز، با محاسبه اختلاف افزایش در هزینه وارد به اداره راه و کاهش در هزینه‌های استفاده کنندگان محاسبه می‌گردد. با مقایسه نسبت مقادیر ارزش خالص فعلی به ارزش فعلی کلیه هزینه‌های سرمایه اداره راه

افزایش در هزینه‌های اداره راه حاصل اختلاف ارزش فعلی مجموع هزینه‌های اداره راه مربوط به هر راهکار پیشنهادی و ارزش فعلی مجموع هزینه‌های اداره راه مربوط به راهکار پایه می‌باشد. سودهای اقتصادی سالانه موجود در کاهش در هزینه‌های کاربران، از طریق مدلسازی‌های مربوط به مجموع صرفه جویی مالی در هزینه‌های استهلاک وسائل نقلیه و هزینه‌های زمان سفر، محاسبه می‌شوند [Kerali, 2002]. عامل ارزش خالص فعلی نیز، با محاسبه اختلاف افزایش در هزینه وارد به اداره راه و کاهش در هزینه‌های استفاده کنندگان محاسبه می‌گردد. با مقایسه نسبت مقادیر ارزش خالص فعلی به ارزش فعلی کلیه هزینه‌های سرمایه اداره راه

را تعیین کرد. در این راستا به عنوان نمونه، محاسبات شاخص‌های اقتصادی مربوط به محور سربیشه-شوسف به عنوان نمونه در جدول (۹) آورده شده است. از آنجایی که بیشینه کردن نسبت NPV/CAP از اهداف بهینه سازی این تحقیق می‌باشد؛ در هر قطعه راهکاری که بیشترین مقدار NPV/CAP را دارا باشد به عنوان راهکار اقتصادی تر تعیین خواهد شد.

جدول ۹. محاسبات اقتصادی راهکارهای بهسازی محور سربیشه-شوسف

شماره راهکار	نوع راهکار	ارزش فعلی مجموع هزینه های اداره راه (RAC)	ارزش فعلی هزینه های سرمایه اداره راه (CAP)	افزایش در هزینه های اداره راه (A)	کاهش در هزینه های استفاده کنندگان (B)	ارزش خالص فعلی (NPV) C=(B-A)	نسبت (NPV/CAP)
سربیشه شوسف (کیلومتر ۱۷-۰)							
۱	پایه	۲۳۵۰۰/۴۵۸	۰	۰	۰	۰	۰
۲	بهسازی ۱	۴۷۳۷۶/۰۵۶	۴۷۳۵۵/۱۹۵	۲۳۸۷۵/۶	۱۸۰۶۲۹/۶۳۵	۱۵۶۷۵۴/۰۳۵	۳/۳۱
۳	بهسازی ۲	۵۵۰۶۳/۲۳۷	۵۴۹۵۰/۹۸۲	۳۱۵۶۲/۷۷۹	۱۷۷۰۷۷/۰۱	۱۴۵۵۱۴/۲۳۲	۲/۶۴۸
سربیشه شوسف (کیلومتر ۱۷-۲۸)							
۱	پایه	۱۰۵۳۱/۵۴۸	۰	۰	۰	۰	۰
۲	بهسازی ۱	۱۲۸۹۳/۹۳۲	۱۲۸۳۹/۹۳۲	۲۳۶۲/۳۸۴	۷۳۷۱/۵۷۱	۵۰۰۹/۱۸۷	۰/۳۸۸
۳	بهسازی ۲	۹۷۲۶/۵۷۹	۹۷۲۶/۵۷۹	-۸۰۴/۹۶۹	-۶۸۳۹/۴۳۵	۷۶۴۴/۴۰۵	۰/۷۸۶
سربیشه شوسف (کیلومتر ۴-۲۸-۳۳)							
۱	پایه	۱۱۷۶۹/۵۵۴	۰	۰	۰	۰	۰
۲	بهسازی ۱	۸۴۳۹/۶۶۵	۸۴۳۹/۶۶۵	-۳۳۲۹/۸۹۰	۶۷۰۸/۰۰۱	۱۰۰۳۷/۸۹۱	۱/۸۹
۳	بهسازی ۲	۴۷۷۴/۸۶۶	۴۷۷۴/۸۶۶	-۶۹۹۴/۶۸۹	۶۰۱۹/۳۶۵	۱۳۰۱۴/۰۵۳	۲/۷۲۶
سربیشه شوسف (کیلومتر ۳۵-۳۳/۴)							
۱	پایه	۲۶۲۷/۷۰۹	۰	۰	۰	۰	۰
۲	بهسازی ۱	۳۱۲۵/۸۰۱	۳۱۲۵/۸۰۱	۴۹۸/۰۹۲	۹۰۱/۸۲۱	۴۰۳/۷۲۹	۰/۱۲۹
۳	بهسازی ۲	۳۰۰۳/۲۳۴	۲۸۲۹/۵۵۰	۳۷۵/۵۲۵	۶۲۱/۴۳۱	۲۴۵/۹۰۶	۰/۰۸۷

۱-۳-۴ اثر وجود محدودیت در بودجه

طبق اطلاعات جمع آوری شده از اداره راهداری استان خراسان جنوبی، کل بودجه تخصیصی به این طول از شبکه راه در سال ۱۳۹۵ در حدود ۱۰۰ میلیارد ریال می‌باشد. این بودجه به همراه افزایش ۱۰ درصدی سالیانه، برای مابقی سال‌های دوره تحلیل نیز در نظر گرفته شد. با توجه به کل بودجه تعیین شده برای دوره تحلیل، شاهد عدم تغییر در برنامه کاری گزارش شده توسط نرم افزار می‌باشیم که بازگو کننده مناسب بودن بودجه موجود برای اجرای راهکارهای بهسازی معرفی شده در این تحقیق می‌باشد. با توجه به مشکلات موجود در زمینه تعیین بودجه برای دوره‌های طولانی، با بررسی مجموع هزینه‌های وارد شده به اداره راه در طول دوره تحلیل، مقدار بودجه مورد نیاز ۷۰۰ میلیارد ریال تعیین شد. بنابراین با وارد کردن بودجه ۶۰۰ میلیارد ریالی، راهکارها و گزینه‌های اجرایی تعیین شده برای بهسازی قطعات شبکه راه تغییر یافت که نمونه‌ای از آن در جدول ۱۱ آورده شده است.

با در نظر گرفتن راهکار منتخب در هر قطعه (مورد با NPV/CAP بالاتر)، گزینه‌های اجرایی پیشنهاد شده در جدول (۶)، متناسب با شرایط راه انتخاب می‌شوند که در جدول ۱۰ به همراه سال اجرا، آورده شده‌اند. این جدول بخشی از خروجی نهایی نرم افزار HDM-4 است.

نمونه‌ای از برنامه عملیاتی نهایی تعیین شده بر اساس بالاترین نسبت NPV/CAP در پیوست (الف) آورده شده است. این جدول شامل نام قطعه و برنامه کاری (عملیات بهسازی و سال اجرای آن)، طول قطعه و ترافیک آن در سال اجرای عملیات می‌باشد که برای دوره تحلیل ده ساله ارائه شده است. پیوست (الف) برای حالت عدم وجود محدودیت در بودجه می‌باشد. همواره تعیین بودجه سال‌های آتی از دوره تحلیل و همچنین مقادیر نرخ تنزیل با مشکلات و خطاهایی همراه است. به همین دلیل اثرات محدودیت در بودجه و تغییرات نرخ تنزیل در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۱۰. برنامه کاری محور سربیشه-شوسف در طول دوره تحلیل

قطعه	سال اجرا	گزینه اجرایی
سربیشه-شوسف (کیلومتر ۱۷-۰)	۱۳۹۵	بهسازی توسط لکه‌گیری و تعمیر ترک لبه و اجرای روکش ۸ سانتیمتری
	۱۴۰۴-۱۴۰۲-۱۴۰۰	اجرای اسلاری سیل
	۱۴۰۴	اجرای اسلاری سیل
سربیشه شوسف (کیلومتر ۲۸-۱۷)	۱۳۹۹	اجرای روکش نازک ۴ سانتیمتری
سربیشه شوسف (کیلومتر ۲۸-۳۳/۴)	۱۳۹۸	اجرای روکش نازک ۴ سانتیمتری
سربیشه شوسف (کیلومتر ۳۵-۳۳/۴)	۱۴۰۳-۱۳۹۹-۱۳۹۷-۱۳۹۵	اجرای اسلاری سیل

جدول ۱۱. برنامه کاری محور سربیشه-شوسف در طول دوره تحلیل در حالت وجود محدودیت در بودجه

قطعه	سال اجرا	گزینه اجرایی
سربیشه-شوسف (کیلومتر ۱۷-۰)	۱۳۹۵	بهسازی توسط اجرای روکش ۸ سانتیمتری
	۱۴۰۴-۱۴۰۲-۱۴۰۰	اجرای اسلاری سیل
سربیشه شوسف (کیلومتر ۲۸-۳۳/۴)	۱۳۹۸	اجرای روکش نازک ۴ سانتیمتری

ارائه مدل نگهداری و بهسازی شبکه راه‌های اصلی با به کارگیری تحلیل هزینه.....

۲-۳-۴ تأثیر مقادیر نرخ تنزیل

گرفته شد. با توجه به احتمال وجود مقادیر مختلف از نرخ تنزیل، سعی شد با انجام تحلیل حساسیت اثر مقادیر ۰، ۱ و ۲ درصدی از نرخ تنزیل در تحلیل اقتصادی شبکه راه، مورد بررسی قرار گیرد. و نتایج این تغییر، در جدول ۱۲ گردآوری شود.

نرخ تنزیل از مهمترین پارامترها در تحلیل هزینه چرخه عمر بوده و تعیین مقادیر صحیح از آن در نتایج تحلیل مؤثر است. همانطور که پیشتر عنوان شد، در این تحقیق نرخ تنزیل برابر صفر در نظر

جدول ۱۲. افزایش درصد نرخ تنزیل بر نسبت‌های NPV/CAP در تعیین راهکار مناسب بهسازی

قطعه	نرخ تنزیل = ۰			نرخ تنزیل = ۱			نرخ تنزیل = ۲		
	نسبت NPV/Cost	سال اجرا	گزینه اجرایی	نسبت NPV/Cost	سال اجرا	گزینه اجرایی	نسبت NPV/Cost	سال اجرا	گزینه اجرایی
سهراهی راهداران- دیگ رستم (کیلومتر ۱۲-۰)	۵/۳۴۰	۱۳۹۹	اسلاری سیل	۱/۸۱	۱۳۹۹	اسلاری سیل	۴/۹۹۱	۱۳۹۹	اسلاری سیل
		۱۴۰۲	اسلاری سیل		۱۴۰۲	اسلاری سیل		۱۴۰۲	اسلاری سیل
		۱۳۹۵	روکش نازک		۱۳۹۵	روکش نازک		۱۳۹۵	اسلاری سیل
سهراهی راهداران- دیگ رستم (کیلومتر ۱۲/۸-۱۲)	۳/۰۴۱	۱۴۰۰	روکش نازک	۲/۹۴۰	۱۴۰۰	روکش نازک	۴/۲۶۵	۱۳۹۹	اسلاری سیل
		۱۴۰۰	۴ سانتیمتری		۱۴۰۰	۴ سانتیمتری		۱۴۰۱	اسلاری سیل
		۱۴۰۳	۴ سانتیمتری		۱۴۰۳	۴ سانتیمتری		۱۴۰۳	اسلاری سیل
سربیشه-درج (کیلومتر ۳۹/۸-۳۲)	۱/۱۹۵	۱۳۹۵	روکش نازک	۱/۳۰۶	۱۳۹۷	اسلاری سیل	۱/۲۶۵	۱۳۹۷	اسلاری سیل
		۱۳۹۹	۴ سانتیمتری		۱۳۹۹	اسلاری سیل		۱۳۹۹	اسلاری سیل
		۱۴۰۲	روکش نازک		۱۴۰۲	روکش نازک		۱۴۰۱	اسلاری سیل
طیس-یزد (کیلومتر ۳۸-۳۵)	۰/۷۳۲	۱۳۹۹	اسلاری سیل	۰/۷۲۲	۱۳۹۷	اسلاری سیل	۰/۷۱۲	۱۳۹۹	اسلاری سیل
		۱۴۰۱	اسلاری سیل		۱۴۰۱	اسلاری سیل		۱۴۰۱	اسلاری سیل
		۱۴۰۳	اسلاری سیل		۱۴۰۳	اسلاری سیل		۱۴۰۳	اسلاری سیل
طیس-یزد (کیلومتر ۷۱/۱-۷۰)	۲/۵۲۰	۱۳۹۵	روکش نازک	۲/۴۳۳	۱۳۹۵	روکش نازک	۲/۱۷۱	۱۳۹۹	اسلاری سیل
		۱۳۹۵	۴ سانتیمتری		۱۳۹۵	۴ سانتیمتری		۱۳۹۷	اسلاری سیل
		۱۴۰۱	روکش نازک		۱۴۰۱	روکش نازک		۱۴۰۱	اسلاری سیل
		۴ سانتیمتری			۴ سانتیمتری		۱۴۰۳	اسلاری سیل	

- (۱) راهکار پایه موجب کاهش مقادیر IRI در طول دوره تحلیل نشده است و راهکار (۲)، مقادیر IRI بالاتری نسبت به راهکار (۱) دارا می‌باشد. در کل هر دو راهکار (۱) و (۲) با فراهم آوردن IRI در محدوده ۲ الی ۳ متر در کیلومتر، وضعیت مناسبی را برای شبکه به همراه داشتند.
- (۲) از میان سه راهکار موجود، اجرای راهکار پایه در سطح شبکه بیشترین هزینه را برای اداره راه و کاربران به همراه داشته است و راهکار بهسازی (۲)، موجب کاهش هزینه‌های وارده بر اداره راه و کاربران در مقایسه با دیگر راهکارها شده است.
- (۳) به طور کلی اجرای یکی از هر دو راهکار (۱) و (۲) در قطعات مختلف گزارش شده است و راهکار پایه، موردی مناسب تشخیص داده نشد.
- (۴) به هنگام اجرای تمامی راهکارهای بهسازی پیشنهادی در سطح شبکه، هزینه‌های اداره راه به میزان قابل توجهی از هزینه‌های وارده بر کاربران، کمتر بوده است که این مورد اهمیت در نظر گرفتن هزینه‌های کاربران را در تحلیل‌های اقتصادی و تعیین به صرفه‌ترین راهکار نمایان می‌سازد.
- (۵) در مورد بودجه تخصیصی و محدودیت در آن مشخص شد که تخصیص بودجه‌ای به اندازه ۱۰۰ میلیارد ریال برای بهسازی شبکه راه در اولین سال از دوره تحلیل و افزایش سالانه ۱۰ درصدی آن، برای برنامه عملیاتی تهیه شده کافی می‌باشد. همچنین از طریق اعتبار سنجی و مقایسه کل بودجه تخصیصی، مشخص گشت که بودجه ۷۰۰ میلیارد ریالی (۴۶ درصد از کل بودجه تخصیصی از طرف سازمان راهداری) حداقل بودجه مورد نیاز به منظور حفظ شبکه راه در سطحی از خدمت دهی مناسب خواهد بود.
- (۶) با در نظر گرفتن درصدهای مختلف نرخ تنزیل، به بررسی تغییرات ایجاد شده در برنامه تعمیر و نگهداری شبکه مورد نظر پرداخته شد. به طور کلی افزایش نرخ تنزیل از صفر به ۲ درصد موجب تغییر مقادیر نسبت تصمیم‌گیری

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۱۲، می‌توان شاهد تغییر در نسبت‌های NPV/CAP مربوط به نمونه قطعات مطالعه شده از شبکه راه بود. این تغییرات در برخی قطعات موجب اختیار راهکار بهسازی متفاوت در سال‌های مختلف شده است. به عنوان نمونه، در قطعه همگن سربیشه-درج (کیلومتر ۳۹/۸-۳۲)، طبس-یزد (کیلومتر ۷۱/۱-۷۰) و سه راهی راهداران-دیگ رستم (کیلومتر ۱۲/۸-۱۲)، در نرخ تنزیل صفر درصد، گزینه اجرایی روکش نازک ۴ سانتیمتری (پرهزینه‌تر) به عنوان راهکار بهسازی اقتصادی انتخاب شده اما با افزایش نرخ تنزیل، این گزینه به اجرای اسلاری سیل (ارزان‌تر) در سال‌های مختلف تغییر یافته است. در برخی قطعات مانند طبس-یزد (کیلومتر ۳۸-۳۵) و سه راهی راهداران-دیگ رستم (کیلومتر ۱۲-۰) با افزایش درصد نرخ تنزیل، اگرچه مقادیر نسبت‌های NPV/CAP تغییر کرده اما تغییری در راهکار بهسازی ایجاد نکرده است و تنها در برخی موارد موجب تغییر در سال‌های اجرای هر یک از گزینه‌های اجرایی شده است. با توجه به موارد ذکر شده، می‌توان به اهمیت تعیین دقیق درصد نرخ تنزیل در راستای ارائه راهکار بهسازی مناسب برای تعمیر و نگهداری راه‌ها پی برد.

۵. نتیجه گیری

در این تحقیق پس از تشریح نحوه جمع‌آوری داده‌های مربوط به بررسی شبکه راه‌ها، به تعیین حدود قطعات همگن نهایی بر اساس شاخص‌های انتخابی اقدام شد. سپس با توجه به وضعیت سطح روسازی، ناهمواری و وضعیت سازه‌ای آن فهرستی از روش‌های تعمیر و نگهداری پیشنهاد گردید. در انتها اثرات راهکارهای پیشنهادی بر تغییرات ناهمواری کل شبکه و برخی قطعات، هزینه‌های اداره راه و هزینه‌های کاربران توسط تحلیل هزینه چرخه عمر و نرم افزار HDM-4، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تغییرات در برنامه عملیاتی پیشنهادی با در نظر گرفتن محدودیت در بودجه و تغییرات در نرخ تنزیل نیز مورد بررسی قرار گرفت. از این تحقیق نتایج زیر حاصل شد،

- معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور (۱۳۹۰)
" نشریه شماره ۲۳۴ ، آیین نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران"،
ویرایش اول.

- ASTM D4694 – 09 (2015) "Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device", ASTM International.

- ASTM D6433-11 (2011) "Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, www.astm.org

- Babashamsi, P., Golzadfar, A., Yusoff, N.I.M., Ceylan, H. and Nor, N.G.M. (2016) "Integrated fuzzy analytic hierarchy process and VIKOR method in the prioritization of pavement maintenance activities", International Journal of Pavement Research and Technology, Vol. 9, No. 2, pp. 112–120.

- California Department of Transportation (Caltrans). (2013) "Life Cycle Cost Analysis Procedures Manual", State of California Department of Transportation Division of Maintenance Pavement Program.

- Chen, C. (2007) "Soft computing-based life cycle cost analysis tools for transportation infrastructure management", PhD dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University.

- De la Garza, J.M., Akyildiz, S., Bish, D.R. and Krueger D.A. (2011) "Network-level optimization of pavement maintenance renewal strategies", Advanced Engineering Informatics, Vol. 25, No. 4, pp. 699-712.

- Ferreira, Adelino and Santos, J. (2012) "LCCA system for pavement management: sensitivity analysis to the discount rate", 5th International Congress - Sustainability of Road Infrastructures. Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 53, pp.1174 – 1183.

- Gransberg, D.D. and Diekmann, J. (2004) "Quantifying pavement life cycle cost inflation

(NPV/Cost) شده و در برخی قطعات، راهکارهای پیشنهادی، گزینه‌های اجرایی و سال اجرای آن‌ها، تغییر نمود.

۶. پی نوشت‌ها

1. Life Cycle Cost Analysis
2. mpromisno Resenje (multi-criteria optimization and compromise solution)
3. Mean roughness index
4. Work item
5. Net Present Value
6. Equivalent Unit Annual Cost
7. Incremental NPV/Cost ranking
8. Present Value of Total Agency Cost (RAC)
9. Present Value of Agency Capital Costs (CAP)

۷. مراجع

- امینی، امیرعلی (۱۳۹۳) "ارائه مدل یکپارچه احتمالی هزینه چرخه عمر برای راه‌هایی با روسازی انعطاف پذیر در سطوح شبکه پروژه"، رساله دکتری استاد راهنما: حمید بهبهانی، حسن زیاری، تهران: دانشکده فنی - مهندسی، گروه مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه علم و صنعت ایران.

- سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای (۱۳۹۵) "مرکز مدیریت راه"، وبسایت: www.rmto.ir

- صفارزاده، محمود، کاووسی، امیر و باقری ساری، محمد (۱۳۸۵)
"ارائه مدلی برای مدیریت روسازی راه در سطح پروژه به روش تحلیلی سلسله مراتبی"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال سوم، شماره ۲.

- عبدالله زاده، اسماعیل (۱۳۹۰) "تحلیل و بررسی هزینه های نگهداری روسازی راه با استفاده از نرم افزار Real Cost"، واحد درسی سمینار مقطع کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر غلامعلی شفابخش، سمنان، دانشکده فنی - مهندسی، گروه مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه سمنان.

- فخری، منصور (۱۳۸۹) "حدود شاخص بین‌المللی ناهمواری (IRI) برای راه‌های ایران"، تهران: وزارت راه و ترابری، معاونت آموزش تحقیقات و فناوری، پژوهشکده حمل و نقل.

- Salem, S. and Genaidy, A. (2008) “Improved models for user costs analysis”, Ohio Department of Transportation, FHWA/OH-2008/3.
- Santos, J. and Ferreira, A. (2012) “Life-cycle cost analysis system for pavement management”, Transportation Research Arena- Europe 2012, Procedia, Social and behavior sciences. Vol. 48. pp. 331-430.
- Sen, T., Onyango, M., Owino J., Fomunung I., Maxwell J. and Byard B. (2014) “Pavement management analysis of Hamilton County, Tennessee USA, Using HDM-4 and HPMa”, IRF Examiner, Vol 2: Road Asset Management, summer 2014.
- Shahin, Mohammad (2006) “Pavement management for airports, roads, and parking lots (2nd ed.)” New York: Springer.
- 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, Pages 92–100.
- uncertainty”, AACE International Transaction, ProQuest. Pg. RI81.
- Kerali, H.G.R. (2002) “Highway Development and management Manual (HDM-4 version 1.3)”, The World Road Association (PIARC).
- Kulkarni, R.B. and Miller, W.R. (2003) “Pavement Management Systems: Past, Present, And Future”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1853, pp. 65-71.
- Mikolaj, J. and Remek L. (2014) “Life Cycle Cost Analysis – Integral Part of Road Network Management System”, XXIII R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (23RSP) (TFoCE 2014), Procedia Engineering, Vol. 91, pp. 487 – 492.
- Ofosu, K. (2010) “AN integrated approach to transportation infrastructure management”, PhD dissertation, The Florida State University.

پیوست الف. برنامه کاری قطعات در حالت عدم وجود محدودیت در بودجه

HDM - 4 Work Programme Unconstrained by Section

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Study Name: KHORASAN JOONUBI 3

Run Date: 15-08-2016

All costs are expressed in: Rial (millions)

Section	Road Class	Length (km)	AADT	Surface Class	Year	Work Description	NPV/CAP	Financial Costs	Cumulative Costs
3rahhaf-kal 11.4-21.4	Primary or Trunk	10.0	4729	Bituminous	2016	Reseal	8.565	3,960.776	3,960.776
	Primary or Trunk	10.0	5172	Bituminous	2018	Reseal	8.565	3,960.776	7,921.552
	Primary or Trunk	10.0	5658	Bituminous	2020	Reseal	8.565	3,960.776	11,882.328
	Primary or Trunk	10.0	6190	Bituminous	2022	Reseal	8.565	3,960.776	15,843.104
	Primary or Trunk	10.0	6775	Bituminous	2024	Reseal	8.565	3,960.776	19,803.880
3rahhaf-kal 21.4-24	Primary or Trunk	2.6	5918	Bituminous	2021	Overlay 4 cm	5.003	2,330.503	22,134.382
3rahhaf-kal 24-40.7	Primary or Trunk	16.7	5918	Bituminous	2021	Overlay 4 cm	3.47814	968.999	37,103.381
3rahhaf-kal 8-11.4	Primary or Trunk	3.4	4729	Bituminous	2016	Overlay 4 cm	7.039	3,047.580	40,150.962
	Primary or Trunk	3.4	6190	Bituminous	2022	Overlay 4 cm	7.039	3,047.580	43,198.542
3rahhaf-dig 0-12	Primary or Trunk	12.0	1284	Bituminous	2017	Reseal	1.810	2,708.400	45,906.942
	Primary or Trunk	12.0	1435	Bituminous	2020	Reseal	1.810	2,708.400	48,615.342
	Primary or Trunk	12.0	1605	Bituminous	2023	Reseal	1.810	2,708.400	51,323.742
3rahhaf-dig 12.8-26	Primary or Trunk	13.2	1237	Bituminous	2016	Overlay 4 cm	3.04111	831.783	63,155.526
	Primary or Trunk	13.2	1489	Bituminous	2021	Overlay 4 cm	3.04111	831.783	74,987.309
3rahhaf-dig 12-12.8	Primary or Trunk	0.8	1237	Bituminous	2016	Overlay 4 cm	4.967	717.078	75,704.387
	Primary or Trunk	0.8	1546	Bituminous	2022	Overlay 4 cm	4.967	717.078	76,421.465
3rahhaf-dig 26-36	Primary or Trunk	10.0	1237	Bituminous	2016	Overlay 4 cm	2.861	8,963.472	85,384.937
	Primary or Trunk	10.0	1489	Bituminous	2021	Overlay 4 cm	2.861	8,963.472	94,348.409
3rahhaf-dig 36-49.6	Primary or Trunk	13.6	1332	Bituminous	2018	Reseal	1.099	5,386.655	99,735.065
	Primary or Trunk	13.6	1435	Bituminous	2020	Reseal	1.099	5,386.655	105,121.720
	Primary or Trunk	13.6	1546	Bituminous	2022	Reseal	1.099	5,386.655	110,508.375
	Primary or Trunk	13.6	1666	Bituminous	2024	Reseal	1.099	5,386.655	115,895.030
3rahhaf-dig 49.6-73.8	Primary or Trunk	24.2	1332	Bituminous	2018	Reseal	1.921	9,585.078	125,480.108
	Primary or Trunk	24.2	1435	Bituminous	2020	Reseal	1.921	9,585.078	135,065.187
	Primary or Trunk	24.2	1546	Bituminous	2022	Reseal	1.921	9,585.078	144,650.265
	Primary or Trunk	24.2	1666	Bituminous	2024	Reseal	1.921	9,585.078	154,235.343
3rahhaf-dig 73.8-76.1	Primary or Trunk	2.3	1332	Bituminous	2018	Reseal	1.579	910.978	155,146.322

امیر کاووسی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۵۸ از دانشگاه نپالز ایتالیا و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران، را و ترابری در سال ۱۳۶۰ را از دانشگاه نپالز ایتالیا اخذ نمود. در سال ۱۳۶۷ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران، را و ترابری از دانشگاه بیرمنگام انگلستان گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان راه سازی، طراحی روسازی، تکنولوژی آسفالت، تعمیر و نگهداری روسازی، مواد روسازی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد در دانشگاه تربیت مدرس است.



محمدسینا سمنارشاد، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه آزاد واحد کرج و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران-راه و ترابری در سال ۱۳۹۵ را از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدیریت روسازی آسفالتی، مهندسی روسازی، برنامه ریزی تعمیر و نگهداری، روش های بهینه سازی، کاربرد نانومواد در مخلوط های آسفالتی، ایمنی راه و مهندسی ترافیک است.



محمود صفارزاده، درجه کارشناسی را در رشته مهندسی عمران-عمران، در سال ۱۳۶۶ از دانشگاه شهید باهنر کرمان و درجه کارشناسی ارشد را در رشته مهندسی عمران، گرایش راه و ترابری در سال ۱۳۷۰ از دانشگاه کارلتون کانادا اخذ نمود. وی در سال ۱۳۷۴ موفق به کسب درجه دکتری در رشته عمران، گرایش راه و ترابری از دانشگاه کارلتون کانادا گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان برنامه ریزی فرودگاه، طرح هندسی راه، مهندسی ترافیک بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد در دانشگاه تربیت مدرس است.

