بهینه‌سازی برنامه بازدید روسازی‌ها به کمک پیش‌بینی حجم ترافیک

مقاله علمی – پژوهشی

جلال ایوبی‌نژاد*، استادیار، گروه عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
علی اکبری‌مطلق، دانشجوی دکترا، گروه عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: j.ayoubinejad@pnu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰– پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵
صفحه ۹۴-۸۳

چکیده

علیرغم اینکه بسیاری از مطالعات تلاش کرده‌اند تا سیستم بازرسی فعلی مدیریت روسازی را بهبود بخشند، ولی این بهبود موقتی است و نیاز به قضاوت ذهنی دارد؛ آنها خطر بازرسی ناگهانی را ارزیابی نمی‌کنند و دلایل فیزیکی را در پیش بینی وضعیت روسازی در نظر نمی‌گیرند. هدف این مقاله استفاده کامل از مجموعه بزرگ اطلاعات ترافیک از فناوری‌های ITS و مدل‌های پیش‌بینی جریان با دقت بالا است. با استفاده از این منابع، می‌توان مدل مکانیکی‌تری را برای پیش‌بینی وضعیت روسازی پیاده‌سازی کرد که متغیرهایی را که در واقع در فرآیند خرابی نقش دارند، مانند ویژگی‌های ترافیکی، ویژگی‌های ساختاری روسازی‌ها و عوامل محیطی، تطبیق می‌دهد. بنابراین، باتوجه به ضعف موجود در روش‌های ارائه شده قبلی، این مقاله چهارچوبی را برای بهینه‌سازی یک برنامه بازرسی انعطاف‌پذیر پیشنهاد می‌کند که هدف اصلی آن به حداقل رساندن هزینه چرخه عمر بازرسی و جلوگیری از خطر بازرسی ناگهانی است. به طور خلاصه، از مقایسه بین بازرسی منظم ۱ ساله، بازرسی منظم ۲ ساله و بازرسی بهینه مشخص می‌شود که : الف) بازرسی بهینه شده از نظر بازده کل که شامل راندمان بازه‌ای، راندمان توزیع و جریمه ریسک است، بهتر از بازرسی‌های معمولی عمل می‌کند ب) کارآیی کل برای بازرسی بهینه نسبتاً قوی‌تر از بازرسی‌های معمولی با سناریوهای مختلف ترافیک است و پ) کارآیی کل برای سه بازرسی مختلف به شدت تحت تأثیر میانگین جریان ترافیک شبکه جاده‌ای است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که بازرسی انعطاف‌پذیر از نظر بازده کل که شامل راندمان بازه‌ای، راندمان توزیع و جریمه ریسک است، بهتر از بازرسی‌های معمولی عمل می‌کند و کارآیی کل این نوع بازرسی نسبتاً قوی‌تر از سایر روش‌های بازرسی است.

واژه‌های کلیدی: بازرسی روسازی، تقاضای ترافیک، تعمیر و مرمت روسازی، بهینه‌سازی

۱-مقدمه

راه‌ها سرمایه ملی هرکشوری محسوب می‌شوند و سالانه بخش عظیمی از بودجه ی عمرانی کشورها صرف ترمیم و نگهداری و بهسازی آنها می‌شود، بنابراین در شبکه راه‌ها، استفاده از یک سامانه ی مدیریت و نگهداری که بتوان از آن به عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری‌ها و بهینه‌کردن هزینه‌های ترمیم و نگهداری استفاده کرد، امری ضروری است. یکی از وظایف متولیان راه‌ها در کشور ایجاد راه‌های جدید و حفظ و نگهداری از راه‌های موجود و تأمین ایمنی آنها در قالب سیستم‌های مدیریتی است. در کشور ما که بیش از ۸۰ درصد جابجایی‌ها در آن از طریق شبکه حمل و نقل جاده‌ای صورت می‌گیرد، مسئله فوق چهره نمایان‌تری پیدا می‌کند. (Moayedfar and Baharvandi, 2021) نگهداری و تعمیرات روسازی راه، یکی از بخش‌های مهم در 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 مؤثر 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 إیجاد مطلوب‌ترین سرویس‌های تعمیراتی و اتخاذ بهترین روش‌ها 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. (Jaafari, HoseinJanzadeh and Divandari, 2018).دولت معمولاً مدیریت و بهره‌برداری از جاده‌ها را در دست می‌گیرد. اغلب مشاهده می‌شود که سیستم‌های بازرسی منظم و موقتی جاده‌ها که معمولاً با فاصله زمانی ۱ یا ۲ ساله بخشی از کل شبکه جاده‌ای را نمونه‌برداری می‌کنند، ضروری هستند؛ با این حال، این روش‌ها به خاطر سادگی، خطر بازرسی ناگهانی را در بر نمی‌گیرند. برخی از این نمونه‌های سیستم بازرسی، توسط وزارت حمل و نقل ویسکانسین و مینه‌سوتا ارائه شده است که هر دو به طور منظم بخشی از کل شبکه جاده را بازرسی می‌کنند.

(Office of Materials and Road Search, 2014)

با این حال، هنگامیکه منبع فراوانی از داده‌های ترافیکی از زیرساخت‌های مختلف در دسترس باشد، تخمین رگرسیون کارآمدترین معیار نیست؛ به عنوان مثال، تقاضای ترافیک در جاده که توسط سنسورها اندازه‌گیری می‌شود، ممکن است متغیر بهتری برای تخمین زوال روسازی باشد زیرا عبور وسیله نقلیه عامل اصلی مکانیسم خرابی است. (Sultan and Guo, 2016)

۲-پیشینه تحقیق

تحقیقات زیادی در خصوص مبحث بهینه‌سازی بازرسی روسازی انجام نشده است؛ اگرچه بسیاری از آنها که بازرسی را در بهینه‌سازی سیستم مدیریت روسازی گنجانده‌اند، ادعا می‌کنند که بازرسی انعطاف‌پذیر بهتر از بازرسی منظم عمل می‌کند. این تحقیقات از فرآیند تصمیم گیری مارکوف برای مدل خرابی پیوندهای روسازی استفاده کردند و برنامه بازرسی را همراه با تعمیر و نگهداری و بازسازی در نظر گرفتند، در حالیکه برنامه تعمیر و نگهداری را به صورت انعطاف‌پذیر با عدم قطعیت اندازه‌گیری، طراحی کردند. همه این تحقیقات در ارائه برنامه بازرسی انعطاف‌پذیر و کاهش هزینه چرخه عمر سیستم مدیریت روسازی عملکرد خوبی دارند. با این حال، آنها محدودیت‌های خاصی دارند؛ اولاً، آنها خطرات مربوط به بازرسی ناگهانی وضعیت روسازی را در نظر نمی‌گیرند؛ توابع هدف این روش‌ها فقط شامل هزینه چرخه عمر مدیریت است و معیاری برای ریسک ندارند که بتواند به عنوان راهنمایی برای جلوگیری از مشکلات احتمالی ناشی از عملکرد نادرست روسازی‌ها عمل کند یا نشان دهد که سیستم مدیریت چقدر ریسک را با برنامه نهایی متحمل می‌شود. ثانیاً، اگرچه فرآیند تصمیم‌گیری مارکوف در مدل‌های خرابی روسازی‌ها کارآمد بوده است، اما این مکانیسم چگونگی تخریب روسازی را در نظر نمی‌گیرد؛ مانند شرایط متفاوت آب و هوایی یا وزن وسایل نقلیه. (WOO & Yeo, 2016)

احمد و همکاران از مدل بهینه‌سازی گروه ذرات چند هدفه گسسته با روش آشفتگی برای مدیریت ترمیم و نگهداری روسازی استفاده کردند. هدف اصلی این پژوهش یافتن استراتژی بهینه ترمیم و نگهداری برای روسازی‌های بتن آسفالتی با حداقل کردن هزینه ترمیم و نگهداری و حداکثر کردن عملکرد روسازی بود. (Ahmed, Al-Khateeb and Mahmood, 2019)

Varelaa and Orozco در مقاله خود به بررسی کاربرد بهینه‌سازی فراابتکاری در مدیریت روسازی پرداخته و عنوان می‌کنند که روش‌های فراابتکاری ابزارهای قدرتمندی برای بهینه‌سازی فعالیت‌های مدیریت روسازی هستند، به‌ویژه برای مشکلات چند هدفه‌ای مانند به حداقل رساندن هزینه‌ها و به حداکثر رساندن شرایط روسازی در سطح شبکه و پروژه. باتوجه به کاربردهای بررسی شده، سه نوع کلی تابع هدف وجود دارد.

۱. براساس هزینه یا مخارج به شرح زیر: (الف) به حداقل رساندن هزینه‌های تعمیر و نگهداری (ب) حداکثر استفاده از بودجه تخصیص یافته و (پ) حداکثر صرفه‌جویی در بخش وسیله نقلیه در هزینه‌های عملیاتی.

۲. براساس مصرف منابع به شرح زیر: (الف) حداکثر استفاده از نیروی کار موجود (ب) حداکثر استفاده از تجهیزات موجود و (پ) به حداکثر رساندن فرآیند تعمیر و نگهداری.

۳. براساس وضعیت روسازی یا عملیات شبکه به شرح زیر: (الف) حداکثر کردن کارآیی (ب) حداکثر کردن شرایط روسازی در شبکه (پ) به حداکثر رساندن مقاومت در برابر لغزش (ت) به حداقل رساندن کل زمان سفر وسایل نقلیه در یک شبکه تحت تعمیر (ث) به حداقل رساندن تصادفات. (Vásquez-Varelaa and García-Orozco, 2021)

چن و همکارانش در مقاله خود بیان می‌کنند که مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی‌های آسفالتی در سطح شبکه برای مدت طولانی برای آژانس‌های بزرگراهی یک چالش بوده است

و عوامل زیادی در آن دخیل بوده‌اند. در این مقاله، یک روش بهینه‌سازی در سطح شبکه با ادغام مزایای نگهداری در مدل بهینه‌سازی برنامه‌نویسی صفر-یک ایجاد شد. یک روش ارزیابی عملکرد بهینه روسازی آسفالتی پیشنهاد شد که شامل ۱۱ نوع مختلف ترکیب است.

براساس روش ارزیابی ساده و همچنین مدل سود نگهداری کمی، یک مدل بهینه‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی صفر و یک ایجاد شد. این مدل بهینه‌سازی با هدف به حداکثر رساندن نسبت بهبود/قیمت نگهداری روسازی برای کل شبکه روسازی انجام شد. کاربرد مدل جدید پیشنهادی با مطالعه‌های موردی تأیید شد. روش توسعه‌یافته در این مطالعه به ارائه دستورالعمل‌هایی به آژانس‌های بزرگراه در مدیریت و تصمیم‌گیری در مورد تعمیر و نگهداری روسازی در سطح شبکه کمک می‌کند.(Chen and et. Al., 2021)

هدف اصلی مقاله بهبهانی و همکاران ارائه چارچوبی با مدلسازی و برنامه‌ریزی ریاضی، برای تعیین گزینه بهینه ترمیم و نگهداری در قطعات روسازی بتن آسفالتی در هر بازه زمانی است. در این راستا ابتدا با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی شاخه‌های موجود در شبکه روسازی مدنظر اولویت‌بندی می‌شوند. در گام بعد با استفاده از سیستم استنتاج فازی احتمال انتخاب هر گزینه ترمیم و نگهداری در هر قطعه روسازی به دست می‌آید. در نهایت با استفاده از برنامه‌ریزی خطی تابع هدف با لحاظ نمودن تعدادی محدودیت بیشینه می‌شود. براساس نتایج حاصل شده می‌توان گفت که الگوریتم به کار رفته در این مقاله می‌تواند با در نظر گرفتن پارامترها و شاخص‌های مختلف مربوط به شاخه‌ها و قطعات روسازی، سناریوهای مختلفی برای انتخاب گزینه‌های ترمیم و نگهداری در بازه‌های زمانی یک ساله به سازمان متولی راه بدهد و این الگوریتم فرآیند انتخاب گزینه‌های ترمیم و نگهداری در قطعات مختلف را تسهیل می‌کند و یک روش علمی و مدون جهت مدیریت تعمیر و نگهداری راه‌ها ارائه می‌دهد. (Behbehan, Nadimi and Khaleghi, 2022)

در مقاله Al-Mansour و همکاران یک سیستم خبره مبتنی بر مدل‌های عملکرد روسازی ایجاد کرد که داده‌های نگهداری موجود را با دانش به‌دست‌آمده از کارشناسان اداره کل عملیات و نگهداری در ریاض، عربستان سعودی ترکیب می‌کند. هشت مدل رگرسیون ابتدا برای چهار استراتژی تعمیر و نگهداری و توانبخشی توسعه یافتند، یعنی عدم نگهداری، تعمیر و نگهداری معمول، پوشش و بازسازی برای ترافیک کم و زیاد. سپس، یک سیستم خبره عملی برای کمک به مهندسان تعمیر و نگهداری روسازی در یافتن موثرترین و کارآمدترین استراتژی‌های تعمیر و نگهداری و توانبخشی و زمان مناسب برای کاربرد توسعه یافت. مدل‌های رگرسیون نشان داد که تأثیر تعمیر و نگهداری معمولی و بازسازی در ترافیک کم بیشتر از ترافیک زیاد است؛ در حالی‌که تأثیر همپوشانی در ترافیک زیاد بیشتر از ترافیک کم است.(Al-Mansour, Wayne Lee and Al-Qaili, 2022)

با استفاده از داده‌های ترافیکی بدست آمده از زیرساخت‌های کنار جاده و به کمک تکنیک‌های پیش‌بینی دقیق ترافیک، می‌توان مستقیماً به طور دقیق‌تری خرابی روسازی‌ها را تخمین زد. بنابراین شرایط مرزی برای بازرسی براساس ریسک را می‌توان با وضعیت خرابی پیش‌بینی شده از تقاضا تعریف کرد و یک سیستم بازرسی روسازی قابل اعتمادتر که هم ایمنی در جاده و هم کارآیی مدیریت را در نظر می‌گیرد، را می‌توان توسعه داد. به منظور بهبود سیستم‌های بازرسی فعلی در مورد بهینه‌سازی برنامه بازرسی روسازی، در این قسمت یک چهارچوب برنامه‌ریزی بازرسی پیشنهاد می‌شود که هزینه چرخه عمر بازرسی را در یک مرز خطر از پیش تعریف‌شده، براساس وضعیت روسازی پیش‌بینی‌شده از یک مدل تجربی- مکانیکی، کاهش می‌دهد؛ سپس این برنامه بازرسی بهینه شده در مقایسه با دو سیستم بازرسی دیگر ارزیابی می‌شود.

۳-چهارچوب بهینه‌سازی بازرسی

چهارچوب بهینه‌سازی بازرسی در شکل ۱ توضیح داده شده است. ابتدا اطلاعات جریان ترافیک از حسگرهای نصب شده در جاده‌ها جمع‌آوری می‌شود. با استفاده از تکنیک‌های پیش‌بینی جریان ترافیک، مانند میانگین تاریخی، جریان ترافیک آینده در بازه زمانی که بازرسی برای آن برنامه‌ریزی خواهد شد، پیش‌بینی می‌شود. دوم، یک مدل تجربی- مکانیکی خرابی روسازی براساس تقاضای ترافیک پیش‌بینی‌شده در جاده برای پیش‌بینی وضعیت روسازی آینده هر پیوند از کل شبکه راه‌ها استفاده می‌شود. این مدل مرز خطر را برای هر پیوند روسازی مشخص می‌کند که با زمان بازرسی قبل از اینکه پیوند روسازی به زیر سطح آستانه‌ای از وضعیت بحرانی روسازی کاهش یابد، مشخص می‌شود. سوم، در مرز ریسک، یک برنامه بازرسی

انعطاف‌پذیر از الگوریتم ژنتیک یافت می‌شود که هزینه چرخه عمر بازرسی را از نظر بازده کل بازرسی به حداقل می‌رساند. در ادامه مدل تجربی- مکانیستی سازگار برای پیش‌بینی وضعیت روسازی در آینده و تابع هدف برای به حداقل رساندن هزینه چرخه عمر بازرسی به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد.

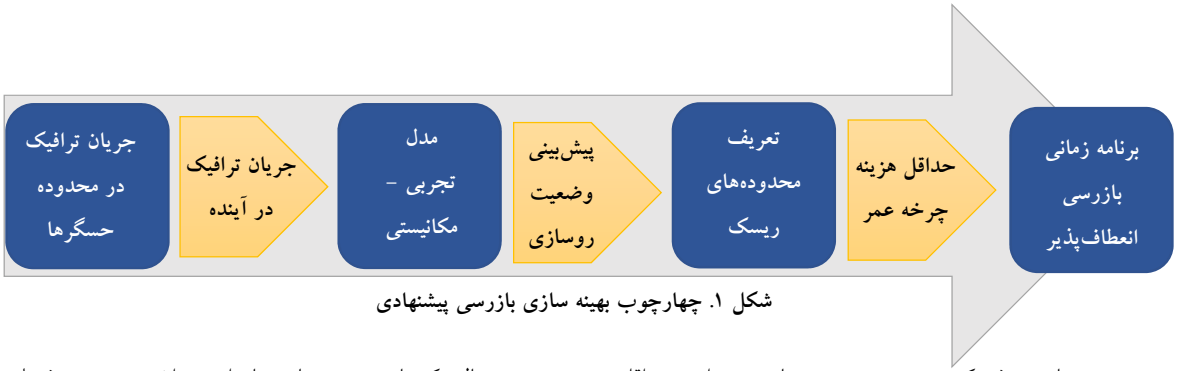
٤- روش‌شناسی

ابتدا روش پیش‌بینی وضعیت روسازی مورد بحث قرار می‌گیرد. معمولاً هنگام بهینه‌سازی هزینه چرخه عمر مدیریت روسازی، فرآیند تصمیم‌گیری مارکوف اغلب در پیش‌بینی وضعیت روسازی استفاده می‌شود. با این حال، مطالعات بر روی تخمین وضعیت روسازی نشان می‌دهد که یک چشم‌انداز مکانیکی از خرابی روسازی نیز می‌تواند ایجاد شود؛ برای مثال داده‌های تست جاده AASHTO .

این مدل‌ها قابلیت سرویس‌دهی روسازی را به عنوان تابعی از متغیرهایی تولید می‌کنند که مستقیماً بر روند خرابی روسازی تأثیر می‌گذارند و بهتر توصیف می‌کنند. نمونه‌هایی از این متغیرها، ویژگی‌های ترافیکی، ویژگی‌های سازه‌ای روسازی و شرایط محیطی است که در رابطه ۱ توضیح داده شده است.

این یک مدل تجربی- مکانیکی است زیرا پارامترهای مدل با متغیرهای مکانیکی مرتبط به صورت تجربی یافت می‌شوند. هنگامی که این مدل تطبیق داده می‌شود، برنامه بازرسی می‌تواند با استفاده از جریان ترافیک آینده پیش‌بینی شده با داده‌های آشکارسازهای حلقه‌ای، فرآیند خرابی را با جزئیات بیشتری نسبت به فرآیند زنجیره مارکوف توصیف کند. در میان تعدادی از مطالعات پیش‌بینی قابلیت سرویس‌دهی، روش اثر تصادفی برای تخمین پارامترها توسط WOO و Yeo به دلیل عملکرد برتر آن به عنوان یک مدل پیش‌بینی سرویس‌دهی انتخاب شده است. بنابراین، در اینجا از روش اثر تصادفی و پارامترهای آن برای پیش‌بینی سرویس‌دهی آینده یک پیوند روسازی i در زمان t، با دانش فرضی در مورد سرویس‌پذیری اولیه P_0 و داده‌هایی مانند جریان ترافیک تجمعی تاریخی، و جریان ترافیک آینده استفاده می‌شود. نتیجه این مدل به عنوان ورودی برای تعریف محدوده ریسک بازرسی برای هر پیوند روسازی عمل می‌کند که زمان معین بازرسی برای آن لینک را در برابر آستانه سرویس‌دهی مشخصی توصیف می‌کند. (WOO & Yeo, 2016)

در میان تعدادی از مطالعات پیش‌بینی قابلیت سرویس‌دهی، روش اثر تصادفی برای تخمین پارامترها توسط WOO و Yeo به دلیل عملکرد برتر آن به عنوان یک مدل پیش‌بینی سرویس‌دهی انتخاب شده است. بنابراین، در اینجا از روش اثر تصادفی و پارامترهای آن برای پیش‌بینی سرویس‌دهی آینده یک پیوند روسازی i در زمان t، با دانش فرضی در مورد سرویس‌پذیری اولیه P_0 و داده‌هایی مانند جریان ترافیک تجمعی تاریخی، و جریان ترافیک آینده استفاده می‌شود. نتیجه این مدل به عنوان ورودی برای تعریف محدوده ریسک بازرسی برای هر پیوند روسازی عمل می‌کند که زمان معین بازرسی برای آن لینک را در برابر آستانه سرویس‌دهی مشخصی توصیف می‌کند. (WOO & Yeo, 2016)



شکل ۱. چهارچوب بهینه سازی بازرسی پیشنهادی

دوم، تابع هدف که هزینه چرخه عمر بازرسی را به حداقل می‌رساند، توضیح داده شده است. تحت محدودیت مرز ریسک، الگوریتم ژنتیک بهترین برنامه بازرسی انعطاف‌پذیر را برای کل شبکه روسازی در سال بودجه موضوع جستجو می‌کند و هزینه چرخه عمر را به حداقل می‌رساند. فرض بر این است که سال بودجه یک فاصله زمانی یک ساله دارد در حالی که بازرسی روسازی‌ها را می‌توان به صورت فصلی انجام داد، اگرچه این پارامترها را می‌توان به راحتی در چهارچوب کلی تغییر داد؛ افق برنامه‌ریزی سیستم ۳۰ سال در نظر گرفته شده است. توجه داشته باشید که تمامی برنامه‌های بازرسی پس از بهینه‌سازی، در معرض مرز ریسک نرم از پیش‌بینی وضعیت روسازی با جریمه بازرسی ناگهانی از

نظر مالی، قرار می‌گیرند. تابع هدف بهینه‌سازی به شرح رابطه ۲ است. راندمان کل، که باید بهینه شود، از راندمان بازه‌ای و راندمان توزیعی تشکیل شده است. اولاً، راندمان بازه‌ای، بازدهی از تعدیل انعطاف‌پذیر برنامه بازرسی یک پیوند روسازی در سال بودجه است، به عبارت دیگر «برنده شدن یا به دست آوردن» زمان بیشتر بدون بازرسی است. این بر هزینه چرخه عمر بازرسی پیوند تأثیر می‌گذارد. فرض کنید که هر شش ماه یک بازرسی منظم روی لینک i روسازی با فاصله زمانی منظم یک ساله انجام شود؛ هزینه بازرسی بدون تورم ثابت فرض می‌شود. هزینه رفت و آمد پیوند i روسازی در ارزش فعلی قبل از بهینه‌سازی به صورت زیر توضیح داده شده است و هزینه رفت و برگشت بدون تفاوت فواصل زمانی نامیده می‌شود (رابطه ۳). اکنون با بهینه‌سازی زمان‌بندی بازرسی، ممکن است بازرسی انعطاف‌پذیر تفاوت‌هایی را در فواصل زمانی ایجاد کند و منجر به دو مورد هزینه رفت و آمد شود؛ یکی از این هزینه‌ها موردی است که بازرسی با تأخیر انجام می‌شود، برای مثال بازرسی در سه ماهه چهارم سال گذشته برای سه ماهه دوم سال با شش ماه تأخیر برنامه‌ریزی شده است. هزینه دیگر جایی است که بازرسی پیش از موعد انجام شده است، برای مثال بخشی که باید در سه ماهه اول امسال بازرسی شود، در سه ماهه دوم سال گذشته انجام شده است. بازرسی تأخیری، هزینه‌های سفر را کاهش می‌دهد، زیرا ارزش فعلی هزینه‌های چرخه عمر را کاهش می‌دهد یا حتی تعداد بازرسی‌های انجام‌شده در افق برنامه‌ریزی را در کل کاهش می‌دهد. در مقابل، بازرسی پیش از موعد، هزینه تمام شده را در ارزش فعلی افزایش می‌دهد. بنابراین، هزینه رفت و آمد با برنامه بازرسی مدوله‌شده انعطاف‌پذیر پیوند i در ارزش فعلی را می‌توان به صورت رابطه ٤ بیان کرد.

به عنوان مثال، سه ماهه بازرسی شده در اینجا مقدار ٤ را برای بازرسی در سه ماهه چهارم در نظر می‌گیرد؛ این را هزینه رفت و آمد با رعایت فواصل می‌نامند. با تفریق هزینه انجام شده با تفکیک، که در رابطه ٤ مشاهده می‌شود از هزینه بدون تفکیک مشاهده شده در رابطه ۳، می‌توان راندمان بازه زمانی برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر بازرسی را پیدا کرد که به طور مفصل به شرح رابطه ۵ است. دوم، زمانی که فرض می‌شود ظرفیت بازرسی ثابتی وجود دارد که می‌تواند در ساعات کاری عادی انجام شود، کارآیی توزیع یکنواخت بار بازرسی در بازه‌های سه ماهه در سال بودجه، راندمان توزیعی نامیده می‌شود. اگر بار بازرسی هر سه ماهه بیش از ظرفیت باشد، بازده بازرسی کاهش می‌یابد و باید در ساعات اضافه کاری انجام شود. برنامه مرجع برای مقایسه عملکرد بازرسی انعطاف‌پذیر دارای بیشترین توزیع یکنواخت کل بازرسی‌های مورد نیاز است، با کمترین بار بازرسی در اضافه کاری. بازده توزیع را می‌توان به صورت رابطه ٦ بیان کرد.

باید توجه داشت که راندمان توزیع این است که حتی اگر سیستم بازرسی فعلی یک ظرفیت سه ماهه به اندازه کافی بزرگ داشته باشد و اجازه دهد بازرسی در مدت زمان کوتاهی در سال بودجه متمرکز شود، همچنان به متخصصین این توانایی را می‌دهد که به تدریج ظرفیت بازرسی را به سطح مطلوب در آینده کاهش دهند. این موضوع کمک می‌کند تا حداقل سطح مورد نیاز از ظرفیت بازرسی را با توجه به نحوه توزیع بار بازرسی پیدا کرد. با جمع راندمان بازه‌ای و راندمان توزیع که هر دو به صورت پولی هستند، تابع بازده کل به صورت رابطه ۷ بدست می‌آید. در محدوده ریسک ایجاد شده از مدل قابلیت سرویس‌دهی هر پیوند، الگوریتم ژنتیک به دنبال یک برنامه بازرسی انعطاف‌پذیر در سال بودجه برای کل مجموعه پیوندهای روسازی است که کارآیی کل را به حداکثر می‌رساند.

(۱)

$$P_t = P_0 + \alpha \sum_{s=0}^{t-1} N_s^{\delta} \Delta N_{s+1}$$

P_t سرویس‌دهی (خدمت‌رسانی) روسازی در زمان t

N_t ترافیک تجمعی تا زمان t

ΔN_t افزایش ترافیک از زمان t-1 تا t

α و δ پارامترهایی که باید ارزیابی شوند

(۲)

(Total Efficiency) = (IntervalEfficiency + Max Distribution Efficiency)

حداکثر (راندمان کل) = حداکثر(راندمان بازه‌ای + راندمان توزیعی)

(۳)

$$\sum_{t=1}^{120} inspection\ cost\ of\ link\ i\ \times\ (1+r)^{-(t-current\ quarter)}$$

t تعداد ربع‌های (چهارک) باقیمانده در افق برنامه‌ریزی، از ۱ تا ۱۲۰ ربع r نرخ تنزیل(سه ماهه)

(٤)

$$\sum_{t=1}^{120} cost\ of\ link\ i\ \times\ (1+r)^{-(t-current\ quarter)}$$

(۵)

$$Interval\ Efficiency = \sum_{i=1}^{\#\ of\ links} \sum_{k=1}^{m} \frac{L_i\ \times\ S^{-1}\ \times w}{(1+r)^{Q_{k,i}}} - \sum_{k=1}^{n} \frac{L_i\ \times\ S^{-1}\ \times w}{(1+r)^{q_{k,i}}}$$

L_i طول پیوند i و r نرخ سه ماهه تخفیف

k تعداد بازرسی‌های باقیمانده در چرخه عمر برای پیوند i

برای بازرسی منظم k=[1,m] و برای بازرسی انعطاف‌پذیر k=[1,n] w دستمزد برای بازرسی، ۸ دلار بر ساعت

S سرعت وسیله بازرسی بر حسب کیلومتر بر ساعت

$Q_{k,i}$ تعداد ربع‌های (چهارک‌های) سپری شده برای بازرسی k ام پیوند i با برنامه انعطاف‌پذیر

برای مثال (۱-۵)

$$Q_{k,i} = (4,8,12,16,\dots\dots).\ 0 \le Q_{k,i} \le planning\ horizon\ in\ quarters$$

$q_{k,i}$ تعداد ربع‌های (چهارک‌های) سپری شده برای بازرسی k ام پیوند i با برنامه منظم

برای مثال (۲-۵)

$$q_{k,i} = (2,6,10,14,\dots\dots).\ 0 \le q_{k,i} \le planning\ horizon\ in\ quarters$$

(٦)

$$Distribution\ Efficiency = w_{over}\left(L_{over,even} - L_{over,GA}\right) + w_{normal}\left(L_{normal,even} - L_{normal,GA}\right)$$

W_{over} دستمزد اضافه‌کاری، ١٦ دلار بر ساعت W_{normal} دستمزد عادی، ۸ دلار بر ساعت

(٦-١)

$$L_{over,X} = \sum_{s=1}^{4} (L_{s,X} - C)$$

مجموع طول پیوندهای بازرسی شده در زمان اضافه با برنامه X

برنامه X می‌تواند یک برنامه مرجع زوج یا یک برنامه از الگوریم ژنتیک (GA) را در اختیار بگیرد

$L_{s,X}$ مجموع طول پیوندهای بازرسی شده در سه ماه sام در سال بودجه با برنامه X

C ظرفیت سه ماهه، که مجموع طول پیوندهایی است که می‌تواند در زمان کاری عادی در طی یک بازه سه ماهه انجام شود

(٦-٢)

$$L_{normal,X} = \sum_{i=1}^{number\ of\ links} L_i - L_{over,X}$$

مجموع طول پیوندهای بازرسی شده در ساعات عادی با برنامهX

(۷)

$$Total\ Efficiency\ = \sum_{i=1}^{number\ of\ links} \sum_{k=1}^{m} \frac{L_i \times S^{-1} \times w}{(1+r)^{Q_{k,i}}} - \sum_{k=1}^{n} \frac{L_i \times S^{-1} \times w}{(1+r)^{q_{k,i}}}$$

$$= w_{over}\left(L_{over,even} - L_{over,GA}\right) + w_{normal}\left(L_{normal,even} - L_{normal,GA}\right)$$

داده‌ها و نتایج

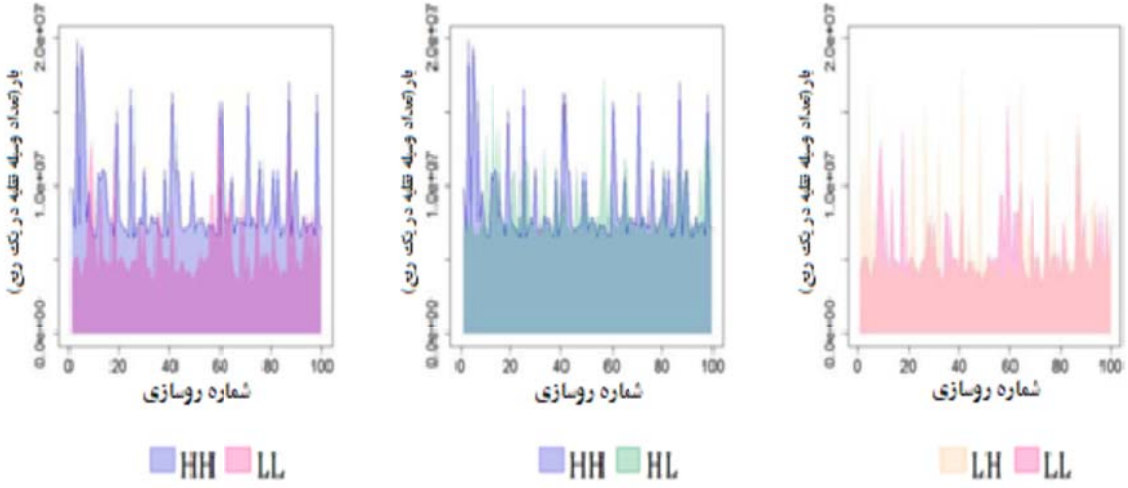
نتیجه بازرسی انعطاف‌پذیر در مقایسه با دو روش بازرسی مرسوم دیگر (برنامه بازرسی منظم با فاصله زمانی یک ساله و دو ساله) ارزیابی می‌شود. این سه برنامه بازرسی براساس سه معیار (راندمان بازه‌ای، راندمان توزیع و جریمه بازرسی ناگهانی) ارزیابی می‌شوند. راندمان بازه‌ای و راندمان توزیع با توابع منطبق بر معادلات (۵) و (٦) ارزیابی می‌شود که سه برنامه بازرسی را براساس مباحث پولی درجه‌بندی می‌کند. جریمه بازرسی ناگهانی یک معیار اضافی برای ارزیابی خطر مرتبط با بازرسی‌های منظم است که وضعیت پیش‌بینی شده روسازی‌ها را نادیده می‌گیرد. جریمه ۵ میلیون ریالی به ازای هر پیوند در نظر گرفته می‌شود و به هر بازه سه ماهه‌ای که بازرسی برای آن در مقایسه با زمانی که پیش‌بینی سرویس‌دهی به زیر مقدار آستانه ۳ می‌رسد، با تأخیر برنامه‌ریزی می‌شود، اختصاص می‌یابد.

علاوه بر این، چهار سناریوی ترافیکی مختلف وجود دارد که هر ترکیب ممکنی از جریان ترافیک متوسط بالا یا پایین و جریان ترافیک متمرکز بالا یا پایین در کل شبکه جاده‌ای است. شکل ۲ نشان می‌دهد که چگونه یک نمونه از ۱۰۰ پیوند روسازی ممکن است جریان ترافیک متفاوتی در هر سه ماه داشته باشد. کدهای HH، LH، LL و HL، سناریوهای ترافیکی مختلفی را نشان می‌دهند، برای مثال، HL نشان‌دهنده بار متوسط بالا و بار متمرکز کم است. در سمت چپ در شکل ۲، می‌توان مشاهده کرد که یک شبکه جاده با سناریوی ترافیک HH دارای میانگین جریان ترافیک بالاتری نسبت به LL است. در مرکز در شکل ۲، می‌توان مشاهده کرد که شبکه‌های جاده‌ای با HH و HL دارای میانگین جریان ترافیکی مشابهی هستند، اما HH دارای فرکانس بیشتری از بار ترافیکی متمرکز نسبت به HL است. این برای سمت راست شکل ۲ مشابه است، جایی که یک شبکه جاده با LH دارای فرکانس بار ترافیکی متمرکز بیشتری نسبت به LL است، در حالی که دارای میانگین جریان ترافیک مشابه است.

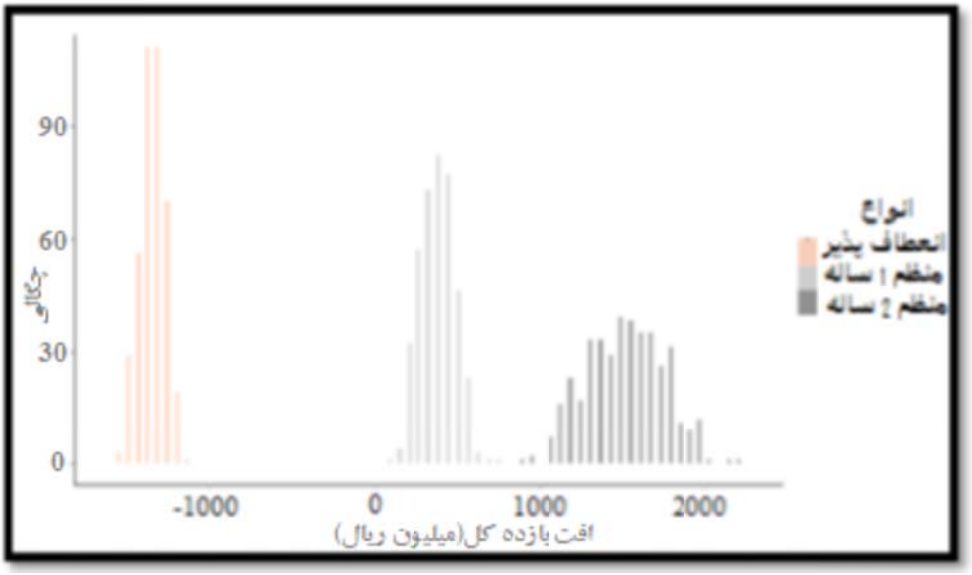
نمونه‌ای از صد پیوند روسازی به صورت تصادفی صد بار برای چهار سناریوی مختلف ایجاد شده است که در مجموع ٤۰۰۰۰ پیوند روسازی را آزمایش می‌کند. برای شروع، ما عملکرد سه برنامه بازرسی را با توجه به افت بازده کل، که شامل بازده بازه‌ای، بازده توزیع و جریمه ریسک بازرسی ناگهانی است، تجزیه و تحلیل می‌کنیم. نمودار چگالی در شکل ۳ ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می شود، بازده کل برای بازرسی بهینه شده از الگوریتم ژنتیک، بالاترین است و پس از آن بازرسی منظم با فاصله ۱ ساله و سپس بازرسی منظم با فاصله ۲ ساله قرار دارد. برای تجزیه و تحلیل اینکه چرا برنامه بازرسی بهینه شده بهتر از دو مورد دیگر عمل کرده است، جدول ۱ برای نشان دادن مقادیر میانگین هر یک از مقادیر کارآیی برای سه طرح بازرسی ارائه شده است.

جدول ۱ نشان می‌دهد که از دست دادن بازده منفی به معنای افزایش کارآیی و افت بازده مثبت به معنای عملکرد ضعیف‌تر بازرسی است. ابتدا بازرسی منظم با فاصله ۲ ساله بهترین عملکرد را دارد و پس از آن بازرسی بهینه شده و سپس بازرسی به طور منظم با فاصله ۱ ساله قرار دارد. افت راندمان بازه‌ای بازرسی منظم ۱ ساله، صفر است، زیرا این برنامه در واقع برنامه بازرسی مرجع بود که دو برنامه بازرسی دیگر با آن مقایسه می شود. به عبارت دیگر، بازرسی منظم ۱ ساله برای محاسبه قسمتی که با رابطه (۳) نشان داده شده است، استفاده شده است که بخشی فرعی از معادله (۵) است. بدیهی است که بازرسی منظم ۲ ساله بهتر از زمان‌بندی بهینه شده عمل می‌کند، زیرا کلیه پیوندهای روسازی دارای فواصل ۲ ساله بین بازرسی هستند، در حالی که در برنامه بازرسی بهینه، روسازی‌ها دارای فواصل بازرسی بین ۱ تا ۲ سال هستند. دوم، راندمان توزیع بازرسی‌های منظم بهتر از بازرسی

بهینه است. توجه داشته باشید که برنامه بازرسی برای بازرسی منظم در سال قبل، فرض شده بود که قبلاً به طور مساوی توزیع شده است، بنابراین کارآیی بالایی دارد. همچنین راندمان توزیع بازرسی‌های منظم یکسان است، زیرا برنامه بازرسی آنها به جز تفاوت در سال‌ها، یکسان است؛ به عنوان مثال برنامه یکسانی تا سال ۲۰۲۱ برای بازرسی منظم ۱ساله و تا سال ۲۰۲۲ برای بازرسی منظم ۲ساله، اعمال شده است. دلیل اینکه بازرسی بهینه عملکرد ضعیف‌تری دارد این است که این سیستم باید از مرز خطر از پیش تعیین شده توسط پیش‌بینی‌های سرویس‌دهی روسازی تبعیت کند، علیرغم ناکارآمدی ناشی از بار بیشتر متمرکز در یک‌چهارم خاص.



شکل ۲. یک مثال از سناریوهای ترافیکی مختلف



شکل ۳. مقایسه افت بازده کل بین سه برنامه بازرسی

جدول ۱. مقادیر میانگین معیار راندمان برای سه روش بازرسی

	بازرسی بهینه	بازرسی منظم دو ساله	بازرسی منظم یک ساله
افت راندمان بازه‌ای (میلیون ریال)	۹۰۰	۱۰۰۰	۰
افت راندمان توزیع (میلیون ریال)	۵۰	۳۰	۳۰
جریمه ریسک (میلیون ریال)	۰	۱۹۰۰	۲۲۰
افت بازده کل (میلیون ریال)	۸۵۰	۹۵۰	۲۵۰

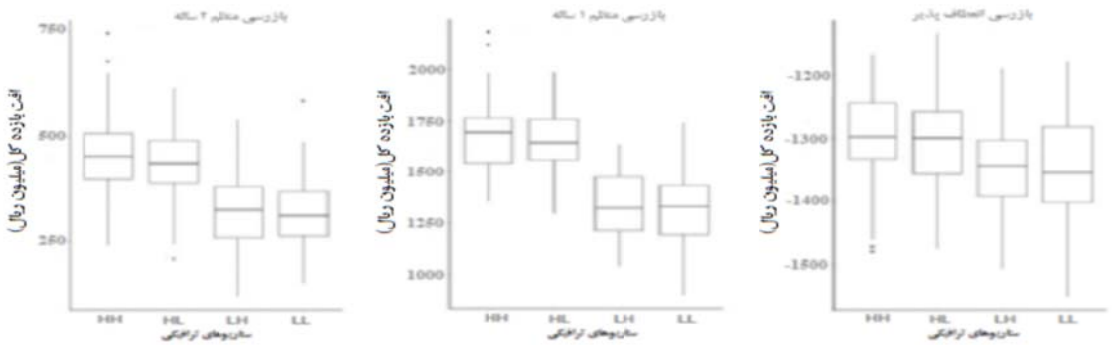
سوم، جریمه ریسک برای بازرسی منظم ۲ساله بیشترین استو بدترین عملکرد را دارد؛ زیرا این برنامه، بازرسی‌ها را بسیار دیرتر از دو برنامه دیگر برنامه‌ریزی می کند و خطرات بیشتری را برای بازرسی ناگهانی ایجاد می‌کند. از آنجایی که الگوریتم ژنتیک یک راه حل را دقیقاً در محدوده ریسک پیدا می‌کند، برنامه بهینه شده دارای جریمه ریسک صفر است.

در مجموع، از مشاهده به تعویق انداختن فواصل بازرسی روسازی‌ها بدون ایجاد خطر، می‌فهمیم که بازرسی بهینه‌شده بالاترین کارآیی را در مجموع دارد. بازرسی های منظم دارای مزیت قوی در سهولت اجرا هستند، اما خطری مرتبط با برنامه ریزی کورکورانه برنامه بازرسی بدون در نظر گرفتن وضعیت روسازی دارند؛ به خصوص برای بازرسی‌های منظم با فاصله زمانی ۲ ساله، خطر بازرسی ناگهانی با وجود افزایش کارآیی آن در طولانی‌ترین زمان به تعویق انداختن بازرسی، حیاتی به نظر می‌رسد. علاوه بر مقایسه کارآیی، استحکام سه سیستم با سناریوهای مختلف ترافیک قابل مشاهده است. تجزیه و تحلیل مزایا و معایب منحصر به فرد سه بازرسی در سناریوهای مختلف ترافیک می‌تواند بینش عمیق‌تری به ما بدهد و ما را در انتخاب برنامه بازرسی مناسب در کاربرد عملی راهنمایی کند.

بنابراین، کارآیی کل برای سه طرح بازرسی برای سناریوهای مختلف ترافیک ارائه شده است(شکل ٤)؛ کارآیی کل برای سه برنامه بازرسی با سناریوهای مختلف ترافیک HH، HL، LH و LL ارائه شده است. اولین نگاه از سه نمودار به ما می‌گوید که با سناریوهای مختلف ترافیک، هزینه بهره‌وری به طور قابل توجهی برای بازرسی‌های منظم ۱ ساله و ۲ ساله متفاوت است. این نشان می‌دهد که برنامه بازرسی بهینه شده کمترین تغییر را با سناریوهای مختلف ترافیک دارد. به طور دقیق‌تر، انحراف استاندارد افت بازده کل برای بازرسی‌های منظم ۱ ساله، منظم ۲ ساله و بهینه شده به ترتیب ۱۰٤/۸، ۲۳۲/۱ و ۷۷/۷ میلیون ریال است. کوچکترین انحراف معیار بازرسی بهینه شده دوباره نشان می‌دهد که برنامه بازرسی بهینه شده توزیع باریک‌تری نسبت به بازرسی‌های معمولی دارد. این یک نقطه قوت برنامه بازرسی بهینه است زیرا به مدیران روسازی ایده بهتری برای انجام بازرسی در سطح مشخصی از محدودیت بودجه ارائه می‌دهد. علاوه بر این، می‌توان تشخیص داد که کدام نوع سناریوی ترافیکی به طور قابل توجهی بر کارآیی بازرسی‌ها تأثیر می‌گذارد. جدول ۲ نتیجه آزمون فرضیه میانگین‌های مختلف چهار سناریو ترافیک را برای هر بازرسی نشان می‌دهد. به عنوان مثال، اولین مقدار ۰/۳٦٥۲، مقدار p برای تفاوت بین میانگین تلفات بازده مورد HH و مورد HL در فاصله زمانی منظم ۱ ساله با آمار آزمون t به صورت رابطه ۱۰ است.

واضح است که بین میانگین جریان‌های ترافیکی مشابه، یعنی بین HH و HL، همه برنامه‌های بازرسی عملکرد مشابهی با مقادیر بالای P دارند. برعکس، بین میانگین جریان‌های ترافیکی مختلف، به عنوان مثال بین HL و LL، همه برنامه‌های بازرسی دارای بازدهی بسیار متفاوت با یکدیگر با مقادیر پایین P هستند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که وقتی شبکه‌ای از روسازی‌ها در معرض میانگین بار ترافیکی بالاتری قرار می‌گیرد، بازده بازرسی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

به طور خلاصه، از مقایسه بین بازرسی منظم ۱ ساله، بازرسی منظم ۲ ساله و بازرسی بهینه مشخص می‌شود که الف) بازرسی بهینه شده از نظر بازده کل که شامل راندمان بازه‌ای، راندمان توزیع و جریمه ریسک است، بهتر از بازرسی‌های معمولی عمل می‌کند ب) کارآیی کل برای بازرسی بهینه نسبتاً قوی‌تر از بازرسی‌های معمولی با سناریوهای مختلف ترافیک است و پ) کارآیی کل برای سه بازرسی مختلف به شدت تحت تأثیر میانگین جریان ترافیک شبکه جاده‌ای است.



شکل ٤. کارآیی کل برنامه‌های بازرسی با سناریوهای مختلف ترافیک

(۱۰)

$$T = \frac{Total\ Cost\ of\ 1-year\ Regular\ Inspection\ (HH) - Total\ Cost\ of\ 1-year\ Regular\ Inspection\ (HL)}{Standard\ Error \Big/ \sqrt{Sample\ Size}}$$

جدول ۲. مقادیر P برای آزمایش فرضیه برای تفاوت در میانگین کارآیی‌های بازرسی

	سناریوی ترافیکی	منظم ۱ ساله	منظم ۲ ساله	بهینه
بین میانگین جریان‌های ترافیکی مشابه	HH و HL	۰/۳٦٥۲	۰/۲۰۱٦	۰/٤۲۷۲
	LL و LH	۰/٤۹۲۱	۰/۲۲۱۸	۰/۸۱۳۷
بین میانگین جریان‌های ترافیکی مختلف	HH و LL	$۲/۲\times۱۰^{-۱٦}$	$۲/۲\times۱۰^{-۱٦}$	$۲/٦۷٥\times۱۰^{-٦}$
	HH و LH	$۲/۲\times۱۰^{-۱٦}$	$۲/۲\times۱۰^{-۱٦}$	$۸/۹۱۹\times۱۰^{-۷}$
	HL و LL	$۲/۲\times۱۰^{-۱٦}$	$۲/۲\times۱۰^{-۱٦}$	$۱/۰۲٤\times۱۰^{-٤}$
	HL و LH	$۲/۲\times۱۰^{-۱٦}$	$۲/۲\times۱۰^{-۱٦}$	$٦/۲۱٦\times۱۰^{-۵}$

۵-نتیجه‌گیری

علیرغم اینکه بسیاری از مطالعات تلاش کرده‌اند تا سیستم بازرسی فعلی مدیریت روسازی را بهبود بخشند، ولی این بهبود موقتی است و نیاز به قضاوت ذهنی دارد؛ آنها خطر بازرسی ناگهانی را ارزیابی نمی‌کنند و دلیل فیزیکی را در پیش‌بینی وضعیت روسازی در نظر نمی‌گیرند. هدف این مقاله استفاده کامل از مجموعه بزرگ اطلاعات ترافیک به کمک فناوری‌های ITS و مدل‌های دقیق پیش‌بینی جریان است. با استفاده از این منابع، ما می‌توانیم مدل مکانیکی‌تری را برای پیش‌بینی وضعیت روسازی پیاده‌سازی کنیم که متغیرهایی را که در واقع در فرآیند خرابی نقش دارند، مانند ویژگی‌های ترافیکی، ویژگی‌های ساختاری روسازی‌ها و عوامل محیطی، تطبیق می‌دهد. این مقاله چهارچوبی را برای بهینه‌سازی یک برنامه بازرسی انعطاف‌پذیر پیشنهاد می‌کند که هدف اصلی آن به حداقل رساندن هزینه چرخه عمر بازرسی و جلوگیری از خطر بازرسی‌های ناگهانی است. هزینه چرخه عمر تابعی از کارآیی است که شامل بازده بازه‌ای و بازده توزیع است که میزان کارآیی را از تنظیم انعطاف‌پذیر برنامه بازرسی اندازه‌گیری می‌کند. همچنین، یک تجزیه و تحلیل عملکرد عمیق در برنامه بازرسی بهینه شده، در مقایسه با دو سیستم بازرسی معمولی (سیستم‌های بازرسی منظم با فاصله زمانی ۱ ساله و فاصله زمانی ۲ ساله) انجام می‌شود. در این تجزیه و تحلیل، عملکرد برتر بازرسی بهینه نسبت به بازرسی‌های

معمولی تأیید شد. علاوه بر این، سناریوهای مختلف ترافیک بر عملکرد برنامه‌های بازرسی روسازی تأثیر می‌گذارد؛ با این حال، به نظر می‌رسد بازرسی بهینه شده نسبت به بازرسی‌های معمولی قوی‌تر باشد. جریمه ریسکی که به بازرسی‌های منظم داده می‌شود ممکن است کلید استحکام عملکرد بازرسی باشد. ارزیابی سه سیستم بازرسی در این مقاله دری وسیع را برای آزمایش‌های احتمالی در جستجوی بهترین برنامه بازرسی باز می‌کند. علاوه بر سناریوهای مختلف ترافیک، عملکرد برنامه‌های بازرسی ممکن است با بسیاری از عوامل دیگر مانند وضعیت اولیه روسازی، آب و هوا و سن روسازی که توسط تقاضای تجمعی اولیه ترافیک و وضعیت اولیه روسازی نمایش داده می‌شود، ارزیابی شود. به خصوص با تغییر سن روسازی، ممکن است تلاش شود تا روند هزینه رفت و برگشت را ارزیابی کرده و استحکام یک بازرسی انعطاف‌پذیر را در مقایسه با بازرسی‌های منظم ۱ ساله و ۲ ساله که ممکن است به ترتیب برای روسازی‌های قدیمی و جوان سودمند باشد، آزمایش کند. همچنین پیش‌بینی قطعی وضعیت روسازی در این مقاله می‌تواند برای انعکاس یک فرآیند تصادفی خرابی، ایجاد شود و فضا برای آزمایش انعطاف‌پذیری برنامه بازرسی حتی بیشتر شود. علاوه بر این، این مقاله از این جهت محدود است که هزینه نگهداری در ارزیابی هزینه چرخه عمر در تابع هدف لحاظ نشده است.

٦-مراجع

-بهبهانی، حمید، ندیمی، نوید و خالقی، مصطفی (١٤٠٠). ارائه یک روش جدید جهت برنامه‌ریزی فرآیند تعمیر و نگهداری روسازی راه‌ها. *نشریه مهندسی عمران امیرکبیر*، دوره ۵۳، شماره ۷، ۲۸۲۰-۲۸۰۱.

doi:10.22060/CEEJ.2020.17506.6585

- جعفری، محمدحسین، حسین‌جان‌زاده، حسین و دیواندری، حسن (۱۳۹۷). اولویت‌بندی گزینه‌های تعمیر و نگهداری روسازی راه با رویکرد محدودیت بودجه (مطالعه موردی: محور کلاراباد- عباس‌آباد). *فصلنامه جاده*، شماره ۹۵ ، تابستان، ۱۱-۱.

-مؤیدفر، رضا و بهاروندی، میلاد (١٤٠٠). مکانیزم اولویت بندی تخصیص بودجه تعمیر و نگهداری راه در شرایط عدم قطعیت (مطالعه موردی : محور خرم‌آباد- درود). *فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل*، سال هجدهم، دوره دوم، شماره ٦٧، تابستان، ٣٤-١٥.

doi:10.22034/TRI.2021.113132

-Ahmed, K., Al-Khateeb, B., & Mahmood, M. (2019). Application of chaos discrete particle swarm optimization algorithm on pavement maintenance scheduling problem. *Cluster computing*, p: 4647-4657.

doi.org/ 10.1007/s10586-018-2239-3

-Al-Mansour, A., Wayne Lee, W.K., & Al-Qaili, A.H. (2022). Prediction of Pavement Maintenance Performance Using an Expert System. *Applied sciences journal*, Appl. Sci.12,4802. **doi.org/ 10.3390/app12104802**

-Chen, L., Fan, Z., Liu, P. & Qian, Z. (2021). Optimization Model of Network-Level Pavement Maintenance Decision considering User Travel Time and Vehicle Fuel Consumption Costs. *Advances in Civil Engineering Journal*, Volume 2021, Article ID 4699838, 1-9. **doi.org/ 10.1155/2021/4699838**

- Office of Materials and Road Search, (2014). Pavement Condition Annual Report.

-Sultan, S.A. & Guo, Z. (2016). Evaluating life cycle costs of perpetual pavements in China using operational pavement management system International, *Journal of Transportation Science and Technology*, 103–109. **doi.org/ 10.1016/j.ijtst.2016.09.007**

-Vásquez-Varelaa, L.R. & García-Orozco, F.J. (2021). Applied Metaheuristic Optimization in Asphalt Pavement Management. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, Vol. 31(2), 75-92. **doi.org/ 10.18359/rcin.4371**

-Woo, S. & Yeo, H. (2016). Optimization of Pavement Inspection Schedule with Traffic Demand Prediction. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 218, 95 – 103. **doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.04.013**

Optimizing Pavement Inspection Planning with the Help of Traffic Volume Forecasting

Jalal Ayoubinejad, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.
Ali Akbari Motlagh, Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

E-mail: j.ayoubinejad@pnu.ac.ir

Received: June 2023- Accepted: November 2023

ABSTRACT
Although many studies have tried to improve the current pavement management inspection system, this improvement is temporary and requires subjective judgment; they do not assess the risk of sudden inspection and do not consider the physical reason in predicting the condition of the pavement. The aim of this paper is to make full use of the large collection of traffic information from ITS technologies and high-accuracy flow prediction models. Using these resources, it is possible to implement a more mechanistic model for pavement condition prediction that accommodates variables that contribute to the failure process, such as traffic characteristics, structural characteristics of pavements, and environmental factors. Therefore, considering the weakness of the previously presented methods, this paper proposes a framework for optimizing a flexible inspection schedule, the main objective of which is to prevent the sudden inspection risk from predicting the pavement condition while minimizing the inspection life cycle cost. The obtained results show that flexible inspection performs better than conventional inspections in terms of total efficiency, which includes interval efficiency, distribution efficiency, and risk penalty, and the overall efficiency of this type of inspection is relatively stronger than other inspection methods.

Keywords: Pavement Inspection, Traffic Demand, Pavement Repair and Restoration, Optimization