

مدیریت نگهداری روسازی شبکه معابر شهری با استفاده از MicroPaver

(مطالعه موردی: شهر آستارا)

مقاله علمی - پژوهشی

محمد جواد فرج نیا، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، ایران
سعید صبحی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران
*بابک گلچین (نویسنده مسئول)، دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: b.golchin@uma.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۰۷ - پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۷

صفحه ۲۹۱-۳۱۸

چکیده

روسازی معابر شهری در شهرهای پرتردد و ترانزیتی، به دلیل ترافیک سنگین و محدودیت منابع مالی، مستعد افت عملکرد و گسترش خرابی‌ها است. از این رو، استفاده از سیستم‌های مدیریت روسازی می‌تواند نقش مؤثری در برنامه‌ریزی نگهداری و تخصیص بهینه منابع ایفا کند. در این پژوهش، قابلیت نرم‌افزار MicroPaver در مدیریت نگهداری روسازی شبکه معابر شهری آستارا، به عنوان یکی از مهم‌ترین شهرهای بندری و ترانزیتی شمال کشور، مورد ارزیابی قرار گرفت. وجود گمرک، بندر و حجم بالای تردد وسایل نقلیه سنگین و گردشگران، موجب شده است که روسازی معابر این شهر بیش از بسیاری از شبکه‌های شهری در معرض خرابی قرار گیرد. برای این منظور، شبکه مورد مطالعه در واحد نمونه مشخص تعریف شد و پس از برداشت میدانی خرابی‌ها، شاخص وضعیت روسازی برای قطعات مختلف محاسبه گردید. سپس با تعریف مدل رفتار روسازی بر مبنای PCI بحرانی برابر ۵۵ و متوسط ترافیک روزانه حدود ۶۶۰۰ وسیله نقلیه، عملکرد شبکه در افق ۱۰ ساله تحت چهار سناریوی مدیریتی تحلیل شد. نتایج نشان داد که در صورت عدم اجرای برنامه منظم نگهداری، مقدار PCI شبکه از ۷۱٫۵۸ به ۶۶٫۸۶ کاهش می‌یابد. همچنین، در سناریوی بودجه محدود، بخش قابل توجهی از قطعات بدون مداخله باقی مانده و روند افت عملکرد روسازی تشدید می‌شود، در حالی که افزایش سطح بودجه و تمرکز بر نگهداری پیشگیرانه، موجب کنترل بهتر خرابی‌ها و حفظ سطح خدمت‌دهی شبکه می‌گردد. به طور کلی، نتایج نشان داد که استفاده از سیستم‌های مدیریت روسازی مبتنی بر رویکرد نگهداری پیشگیرانه، می‌تواند نقش مؤثری در افزایش دوام عملکردی شبکه و بهینه‌سازی تخصیص منابع ایفا نماید.

واژه‌های کلیدی: سیستم مدیریت روسازی، سناریو بودجه بندی، ترمیم و نگهداری، MicroPaver، PCI

۱- مقدمه

روسازی‌ها به طور مستقیم تحت تأثیر عوامل متعددی نظیر بارهای ترافیکی، شرایط اقلیمی، کیفیت مصالح، روش‌های اجرا و نگهداری قرار داشته و به مرور زمان دچار افت عملکرد و بروز انواع خرابی‌های سطحی و سازه‌ای می‌شوند. در صورت عدم مدیریت صحیح این فرآیند، کاهش سطح سرویس‌دهی، افزایش هزینه‌های بهره‌برداری وسایل نقلیه و

شبکه‌های حمل و نقل جاده‌ای به عنوان یکی از زیرساخت‌های حیاتی توسعه، نقش بنیادینی در رشد اقتصادی، تسهیل جابه‌جایی، ارتقای ایمنی و بهبود کیفیت زندگی ایفا می‌کنند. در این میان، روسازی راه‌ها به عنوان اصلی‌ترین جزء سازه‌ای این شبکه، وظیفه انتقال بارهای ترافیکی و تأمین سطحی ایمن و هموار برای تردد را بر عهده دارند. با این حال، عملکرد

تحلیل هزینه‌های سنگین بازسازی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود (Almuhanna et al., 2018).

بررسی رفتار عملکردی روسازی‌ها در مطالعات مختلف نشان می‌دهد که روند خرابی آن‌ها ماهیتی غیرخطی دارد به‌طوری که روسازی‌ها بخش قابل توجهی از عمر بهره‌برداری خود را در شرایط نسبتاً پایدار سپری می‌کنند، اما پس از رسیدن به یک سطح بحرانی، نرخ تخریب به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. این مفهوم در ادبیات مدیریت روسازی به‌عنوان نقطه بحرانی عملکرد شناخته می‌شود و در مدل‌های عملکردی ارائه‌شده در سیستم‌های مدیریت روسازی و به‌ویژه در چارچوب مدل‌های HDM-4 مورد تأکید قرار گرفته است (Justo-Silva et al., 2021; Anand et al., 2025).

در چنین شرایطی، تأخیر در انجام اقدامات نگهداری می‌تواند منجر به افزایش تصاعدی هزینه‌های تعمیر و بازسازی شده و بهره‌وری شبکه را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد.

در گذشته، مدیریت نگهداری روسازی عمدتاً مبتنی بر رویکردهای واکنشی بوده است به‌طوری‌که اقدامات نگهداری تنها پس از بروز خرابی‌های شدید و رسیدن روسازی به شرایط نامطلوب انجام می‌شد. این رویکرد علاوه بر افزایش هزینه‌های چرخه عمر، موجب کاهش کارایی شبکه و اتلاف منابع مالی می‌شود. در مقابل، رویکردهای مبتنی بر نگهداری پیشگیرانه با تأکید بر اجرای اقدامات سبک در مراحل اولیه خرابی، به‌عنوان راهکاری مؤثر برای کنترل روند تخریب و افزایش دوام روسازی مطرح شده‌اند و مطالعات نشان داده‌اند که این رویکرد می‌تواند نرخ افت عملکرد را کاهش داده و زمان نیاز به بازسازی اساسی را به‌طور قابل توجهی به تأخیر اندازد (Zimmerman et al., 2003). در این چارچوب، سیستم‌های مدیریت روسازی (PMS) به‌عنوان ابزاری نظام‌مند و علمی برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در حوزه نگهداری روسازی توسعه یافته‌اند. این سیستم‌ها با بهره‌گیری از داده‌های میدانی، مدل‌های پیش‌بینی عملکرد و تحلیل‌های اقتصادی، امکان ارزیابی وضعیت موجود، پیش‌بینی رفتار آینده روسازی و انتخاب بهینه گزینه‌های نگهداری را فراهم می‌کنند. یکی از مهم‌ترین مزایای PMS، توانایی آن در تحلیل سناریوهای مختلف مدیریتی و بررسی اثرات آن‌ها بر عملکرد بلندمدت شبکه است که نقش کلیدی در تخصیص بهینه منابع محدود ایفا می‌کند (Rejani et al., 2023; Almuhanna et al., 2023).

2018). یکی از اجزای کلیدی در این سیستم‌ها، استفاده از شاخص‌های کمی برای ارزیابی وضعیت روسازی است. در این میان، شاخص وضعیت روسازی (PCI) به‌عنوان یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها، بر اساس نوع، شدت و میزان خرابی‌های سطحی تعیین شده و عددی بین صفر تا ۱۰۰ را به روسازی اختصاص می‌دهد. این شاخص امکان ارزیابی یکنواخت وضعیت روسازی، مقایسه بخش‌های مختلف شبکه و تعیین اولویت اقدامات نگهداری را فراهم می‌سازد (Shahin, M.Y., Walter, 1990). علاوه بر این، مفهوم PCI بحرانی به‌عنوان نقطه‌ای که پس از آن نرخ خرابی افزایش می‌یابد، در بسیاری از مطالعات به‌عنوان مبنایی برای تعیین زمان بهینه مداخلات نگهداری معرفی شده است (Radwan et al., 2025).

در سال‌های اخیر، توسعه نرم‌افزارهای تخصصی موجب کاربردی‌تر شدن سیستم‌های PMS شده است. در این میان، نرم‌افزار MicroPAVER به‌عنوان یکی از پرکاربردترین ابزارهای مدیریت روسازی، به‌طور گسترده در مدیریت شبکه‌های شهری و فرودگاهی مورد استفاده قرار گرفته است. این نرم‌افزار با فراهم کردن قابلیت‌هایی نظیر ایجاد بانک اطلاعاتی از وضعیت روسازی، تحلیل روند تغییرات شاخص PCI، پیش‌بینی عملکرد و ارائه سناریوهای مختلف نگهداری، امکان تصمیم‌گیری مبتنی بر داده را فراهم می‌سازد (Almuhanna et al., 2018).

مطالعات متعددی به بررسی کاربرد MicroPAVER در مدیریت روسازی پرداخته‌اند و نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که این نرم‌افزار قادر است وضعیت روسازی را با دقت قابل قبولی ارزیابی کرده و روند تغییرات شاخص PCI را در طول زمان پیش‌بینی نماید. همچنین، یکی از مهم‌ترین قابلیت‌های این سیستم، تحلیل سناریوهای مختلف تخصیص بودجه و بررسی تأثیر آن‌ها بر عملکرد آینده شبکه است. در این زمینه، نتایج مطالعات نشان می‌دهد که سطح بودجه تأثیر مستقیمی بر روند تغییرات شاخص PCI دارد به‌طوری‌که کاهش منابع مالی می‌تواند منجر به افت سریع عملکرد روسازی و افزایش نیازهای معوق نگهداری شود، در حالی که تخصیص بهینه منابع می‌تواند عملکرد شبکه را در سطح مطلوب حفظ نماید (Zhu et al., 2023; Guan et al., 2023).

معابر شهری آستارا به عنوان نمونه موردی انتخاب شده و با استفاده از داده های میدانی، روند تغییرات شاخص PCI در شرایط مختلف مدیریتی تحلیل شده است. آنچه این پژوهش را از مطالعات پیشین متمایز می سازد، تلفیق ارزیابی وضعیت، پیش بینی عملکرد و تحلیل سناریوهای بودجه ای در یک محیط نرم افزاری یکپارچه و در مقیاس یک شبکه واقعی شهری است که می تواند به عنوان ابزاری کاربردی برای مدیران شهری در شرایط محدودیت منابع مورد استفاده قرار گیرد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- شهر مورد مطالعه

شهرستان آستارا به عنوان یکی از شهرهای مرزی و پرتدد کشور، به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی، وجود مرز زمینی و دریایی و حجم بالای تردد وسایل نقلیه سبک و سنگین، از اهمیت ویژه ای در مطالعات مدیریت روسازی برخوردار است. حجم بالای ترانزیت کالا، تردد گردشگران و توسعه زیرساخت های حمل و نقل (نظیر اتصال ریلی) موجب افزایش بار ترافیکی و تسریع روند خرابی روسازی در شبکه معابر شهری این منطقه شده است. از این رو، ارزیابی وضعیت روسازی و برنامه ریزی نگهداری آن در این شهر ضروری به نظر می رسد.

۲-۲- جمع آوری اطلاعات اولیه

در گام نخست، به منظور شناخت شرایط حمل و نقل و ویژگی های شبکه مورد مطالعه در شهر آستارا، اطلاعات پایه از منابع مختلف گردآوری گردید. این اطلاعات شامل موارد زیر می باشد:

- طرح جامع شهری، تاریخچه ساخت راه ها، نوع عملیات ترمیم و نگهداری و هزینه های سالیانه مربوطه، اخذ شده از شهرداری آستارا

- آمار حجم مسافر و بار ورودی و خروجی سالیانه، استخراج شده از وزارت راه و شهرسازی و سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای

- آمار حجم مبادلات بار ورودی و خروجی از گمرک زمینی آستارا

- آمار حجم بار تخلیه و بارگیری از اسکله بندر آستارا
- آمار تعداد گردشگران داخلی و خارجی سالیانه در آستارا

در کنار مطالعات بین المللی، پژوهش های متعددی در داخل کشور نیز به بررسی کاربرد سیستم های مدیریت روسازی و نرم افزار MicroPAVER پرداخته اند. نتایج این تحقیقات نشان می دهد که شاخص PCI ابزار مناسبی برای ارزیابی وضعیت روسازی در شبکه های شهری و روستایی ایران است و استفاده از PMS می تواند به بهبود فرآیند تصمیم گیری در حوزه نگهداری کمک کند (Elyasi et al., 2026, Babagoli. 2025, Tahmoursi et al., 2023).
برخی مطالعات داخلی با تمرکز بر تحلیل سناریوهای مختلف نگهداری نشان داده اند که محدودیت منابع مالی می تواند منجر به افت تدریجی عملکرد روسازی و افزایش نیازهای معوق شود، در حالی که تخصیص مناسب منابع می تواند عملکرد شبکه را در سطح قابل قبول حفظ کند (Moayedfar and baharvandi. 2021). علاوه بر این، در برخی پژوهش ها بر اهمیت دقت داده های برداشت و نقش آن در افزایش قابلیت اطمینان نتایج تحلیل تأکید شده است (Akbarigheibi and Amoozadeh Omrani. 2021).

با وجود پیشرفت های صورت گرفته، بررسی مطالعات پیشین نشان می دهد که بخش قابل توجهی از پژوهش ها عمدتاً بر ارزیابی وضعیت موجود روسازی یا توسعه مدل های پیش بینی تمرکز داشته و کمتر به تحلیل هم زمان سناریوهای مختلف مدیریتی در یک چارچوب یکپارچه پرداخته اند. همچنین، در بسیاری از شهرهای کوچک و متوسط، محدودیت منابع مالی، نبود پایگاه داده منسجم و ضعف در یکپارچه سازی داده ها، استفاده مؤثر از سیستم های مدیریت روسازی را با چالش مواجه کرده است. از سوی دیگر، با افزایش پیچیدگی شبکه های حمل و نقل و محدودیت منابع، ضرورت استفاده از ابزارهای تصمیم گیری مبتنی بر داده بیش از پیش احساس می شود. در این شرایط، تحلیل سناریوهای مختلف مدیریتی، به ویژه در زمینه تخصیص بودجه، می تواند نقش مهمی در بهینه سازی عملکرد شبکه ایفا کند. با این حال، همچنان نیاز به مطالعات کاربردی که بتوانند این تحلیل ها را در شرایط واقعی و مبتنی بر داده های میدانی ارائه دهند، وجود دارد. بر این اساس، در پژوهش حاضر تلاش شده است تا با بهره گیری از نرم افزار MicroPAVER، مدیریت نگهداری روسازی معابر شهری در قالب تحلیل هم زمان سناریوهای مختلف تخصیص بودجه مورد بررسی قرار گیرد. در این مطالعه، شبکه

اخذ شده از فرمانداری شهرستان آستارا.

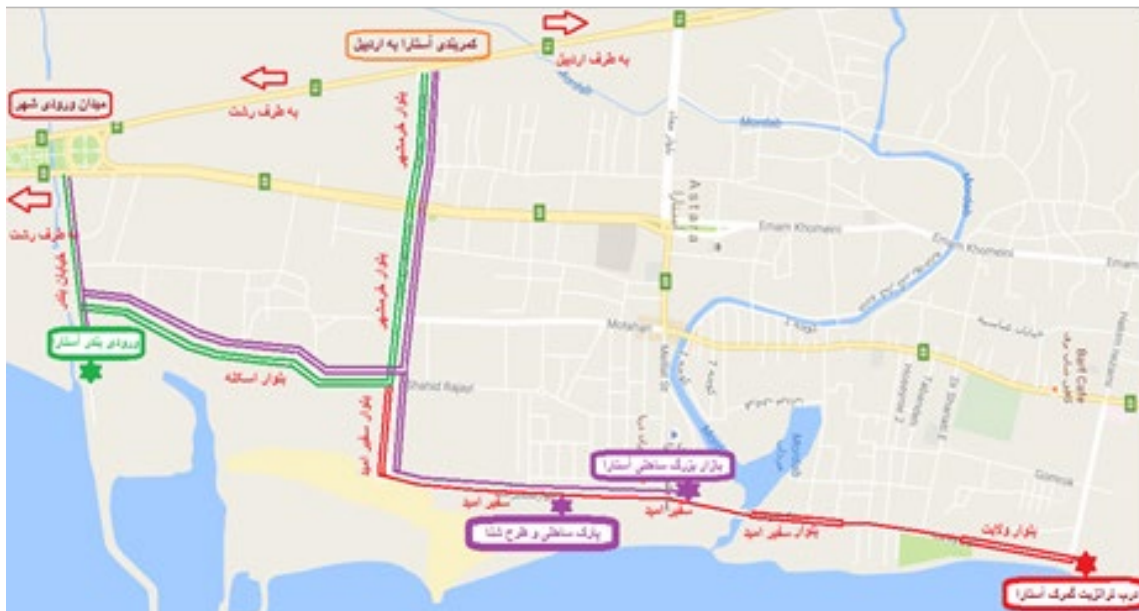
علاوه بر این، اطلاعات میدانی مربوط به مسیر مورد مطالعه با مساحت تقریبی ۱۲۹۳۱۲ متر مربع برداشت گردید. این اطلاعات شامل مشخصات مکانی، ویژگی‌های سازه‌ای روسازی، سوابق ساخت و نگهداری، شرایط اقلیمی و جغرافیایی، مشخصات هندسی مسیر و داده‌های ترافیکی می‌باشد. این اطلاعات به‌عنوان ورودی اصلی در تحلیل‌های سیستم مدیریت روسازی و مدل‌سازی در نرم‌افزار MicroPaver مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۳- انتخاب شبکه، شاخه و قطعات

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و انطباق آن‌ها با نقشه‌های طرح جامع شهری، نقشه دقیق شبکه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار AutoCAD ترسیم گردید. در این راستا، مسیرهای مورد مطالعه ابتدا در محیط Google Earth استخراج و به‌منظور تفکیک مسیرها، با رنگ‌های مختلف مشخص شدند که نمایی از آن در شکل ۱ ارائه شده است. در این نقشه، موقعیت شاخه‌ها، قطعه‌ها و واحدهای نمونه به صورت اولیه مشخص شد و سپس مسیرهای ترانزیتی درون شهری آستارا به عنوان شبکه انتخاب گردید. شبکه مورد مطالعه به ۳ مسیر اصلی در

قالب ۶ شاخه، ۲۸ قطعه و ۴۳۴ واحد نمونه تفکیک شد که در شکل ۲ نمونه ای از واحدهای انتخاب شده جهت بازرسی (رنگ شده) در بلوار اسکله آمده است.

طول کل مسیرهای اصلی (مطابق شکل ۱) شامل مسیر منتهی به درب ترانزیت اداره کل گمرک (خط قرمز)، مسیر منتهی به درب اصلی اسکله (خط سبز) و مسیر منتهی به بازار بزرگ و پارک ساحلی (خط بنفش) جمعاً برابر ۵۲۱۶ متر بوده که با احتساب مقاطع بلواری دوطرفه، طول مؤثر شبکه به ۸۰۰۱ متر افزایش می‌یابد. از نظر هندسی، شبکه مورد مطالعه شامل سه نوع مقطع عرضی اصلی از نوع بلوارهای دوطرفه با عرض حدود ۱۲ تا ۱۵ متر به همراه رفیوژ میانی، خیابان‌های عریض با عرض متغیر بین ۲۰ تا ۲۴ متر، و میدانی شهری بود که این تنوع هندسی در تحلیل وضعیت روسازی و برنامه‌ریزی نگهداری نقش قابل توجهی دارد. اطلاعات مربوط به تاریخ ساخت و زمان برداشت خرابی شاخه‌های مختلف در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین مشخصات کلی شبکه، شامل مساحت قطعات، تعداد واحدهای نمونه و تعداد واحدهای مورد بازرسی در جدول ۲ آورده شده است. انتخاب واحدهای نمونه جهت بازرسی بر اساس اصول سیستم مدیریت روسازی و با هدف نمایندگی مناسب از کل شبکه انجام شده است.



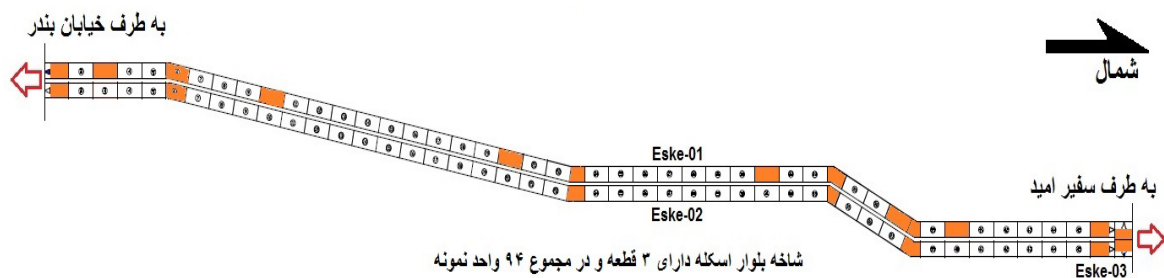
شکل ۱. نمایش مسیرهای مورد مطالعه در محیط Google Earth با تفکیک رنگی مسیرهای ترانزیتی



ورودی شاخه بلوار اسکله از سمت شاخه خیابان بندر (ورودی به در اسکله)



انتهای شاخه بلوار اسکله منتهی به شاخه بلوار سفیر امید (اتصال به بلوار سفیر امید و بلوار خرمشهر)



شکل ۲. شاخه بلوار اسکله و ۲۰ واحد نمونه ای که باید مورد بازرسی قرار گیرند (خانه‌های رنگی)

جدول ۱. تاریخ ساخت و زمان برداشت خرابی شاخه‌های شبکه مورد مطالعه

ردیف	شاخه	تاریخ ساخت	تاریخ برداشت خرابی
۱	خیابان بندر	۱۳۹۲/۰۸/۱۰	۱۳۹۵/۰۶/۲۰
۲	بلوار اسکله	۱۳۹۳/۰۶/۰۶	۱۳۹۵/۰۶/۲۰
۳	بلوار خرمشهر	۱۳۶۸/۰۴/۲۰	۱۳۹۵/۰۶/۲۴
۴	سفیر امید	۱۳۸۷/۱۱/۳۰	۱۳۹۵/۰۶/۲۵
۵	خیابان مخیری	۱۳۶۵/۰۷/۱۵	۱۳۹۵/۰۶/۲۶
۶	بلوار ولایت	۱۳۹۴/۰۵/۲۸	۱۳۹۵/۰۶/۲۶

جدول ۲. مشخصات شاخه‌ها، قطعه‌ها و واحدهای نمونه و نتایج بازرسی

شاخه	قطعه	مساحت قطعه (m ²)	تعداد واحد نمونه	تعداد واحد بازرسی	شماره واحدهای نمونه نهایی که بازرسی شده‌اند
بندر	Band-1	9600	30	4	1-15-22-30
اسکله	Eske-1	13440	46	12	1-3-6-10-20-23-31-34-37-38-40-46
اسکله	Eske-2	13440	46	6	1-6-23-34-38-46
اسکله	Eske-3	486	2	2	1-2
خرمشهر	Khor-1	5320	19	4	1-6-9-11
خرمشهر	Khor-2	5320	19	5	1-6-9-15-19
خرمشهر	Khor-3	753.75	3	1	3
خرمشهر	Khor-4	753.75	3	2	1-3
خرمشهر	Khor-5	4522	15	3	1-11-13

2-8-10-13-15	5	15	4522	Khor-6	خرمشهر
2	1	2	586.25	Khor-7	خرمشهر
1-2	2	2	586.25	Khor-8	خرمشهر
1-6	2	8	2380	Khor-9	خرمشهر
3-5-8	3	8	2380	Khor-10	خرمشهر
2	1	2	603	Safir-1	سفیر
1-2	2	2	603	Safir-2	سفیر
1-3-7	3	11	3388	Safir-3	سفیر
2-4-10-11	4	11	3388	Safir-4	سفیر
2-3-5-6	4	6	1809	Safir-5	سفیر
1-2-15-19-40-58-60-64-65-82-84	11	84	25872	Safir-6	سفیر
1-2	2	2	540	Safir-7	سفیر
1-4-5-7	4	10	3000	Safir-8	سفیر
3-4-5-7-8-9	6	10	3000	Safir-9	سفیر
1-2	2	2	540	Safir-10	سفیر
1-15-19-21-28-29-32-40	8	44	12672	Mokh-1	مخیری
1-9-12-14	4	15	4500	Vela-1	ولایت
1-7-11-13-14-15	6	15	4500	Vela-2	ولایت
1-2	2	2	627	Vela-3	ولایت

۲-۴- اطلاعات ترافیکی مسیر

با توجه به اتصال مسیر مورد مطالعه به محور ترانزیتی آستارا-اردبیل، مسیرهای ورودی شهر و همچنین بندر و گمرک آستارا، این مسیر به عنوان یک خیابان شریانی درجه ۱ با رویه آسفالتی طبقه بندی می شود. داده های ترافیکی مورد نیاز از آمار مبادی ورودی و خروجی کالا در بندر و گمرک آستارا استخراج گردید. بر این اساس، میزان کالای جابجا شده از طریق مرز زمینی و دریایی آستارا در سال های ۱۳۹۳ و ۹۴ به ترتیب حدود ۵۲۹۶۸۰ و ۱۱۸۹۱۸ تن گزارش شده است. لازم به ذکر است با تکمیل پست های جدید اسکله بندر آستارا، ظرفیت تخلیه و بارگیری کالا تا حدود ۳,۵ میلیون تن در سال افزایش خواهد یافت که این موضوع در تحلیل دوره ۱۰ ساله طرح مدنظر قرار گرفته است. همچنین علاوه بر ترافیک سنگین، بدلیل گردشگر پذیر بودن شهر آستارا و وجود بازار بزرگ ساحلی، سالانه بیش از ۶ میلیون گردشگر وارد این شهر می شوند که این امر منجر به تردد حدود ۱,۵ میلیون وسیله نقلیه سبک در شبکه مورد مطالعه می گردد. لذا بر این اساس و با در نظر گرفتن ترکیب ترافیک سبک و سنگین، مقدار متوسط

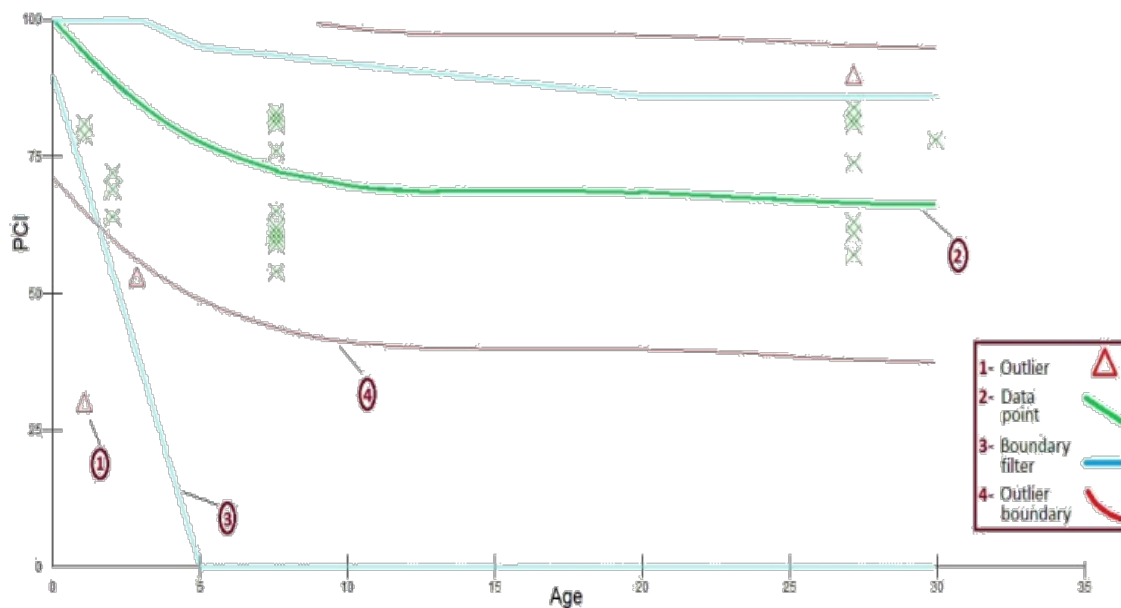
ترافیک روزانه سالانه (AADT) برای مسیر مورد مطالعه برابر ۴۶۰۰ وسیله نقلیه در روز در نظر گرفته شد.

۲-۵- تشکیل مدل خانواده

با توجه به نوع کاربری شبکه، شرایط ترافیکی و سطح سرویس دهی، کلیه قطعات شبکه مورد مطالعه در یک خانواده روسازی با عنوان خانواده ترانزیت درون شهری آستارا تعریف شدند. در نرم افزار MicroPaver، مدل های پیش بینی عملکرد روسازی بر اساس خانواده های مختلف ارائه می شود. در این تحقیق، مدل مربوط به ترافیک با مقدار AADT بالاتر از ۴۶۰۰ انتخاب گردید که با شرایط ترافیکی شبکه مورد مطالعه (حدود ۴۶۰۰ وسیله نقلیه در روز) تطابق دارد. همچنین، مقدار PCI بحرانی برابر ۵۵ و افق برنامه ریزی ۱۰ ساله در نرم افزار تعریف شد. بر این اساس، تحلیل وضعیت روسازی در سطوح شبکه، شاخه و قطعه در بازه زمانی مذکور انجام گردید. شکل ۳، مدل اضمحلال روسازی مربوط به خانواده روسازی انتخاب شده در این تحقیق را نشان

می‌دهد. معادله ریاضی شماره ۱ این مدل امکان پیش‌بینی مقدار شاخص PCI در سال‌های آینده را بر اساس سن روسازی و با جایگذاری آن در پارامتر X فراهم می‌سازد.

$$PPCI = 100 - 6.6953X + 0.52243X^2 - 0.01754X^3 + 0.00021X^4 \quad (۱)$$



شکل ۳. مدل پیش‌بینی وضعیت روسازی برای خانواده انتخاب شده در این تحقیق

۷-۲- تعریف سیاست‌های ترمیمی

اندودهای سطحی مدنظر قرار گرفته است. همچنین عملیات اساسی شامل بازسازی و روکش‌های سازه‌ای در قالب سناریوهای دیگر تعریف شده است. با توجه به نوساز بودن بخش عمده مسیر مورد مطالعه، غالب خرابی‌ها در حد موضعی بوده و نیاز به عملیات‌هایی نظیر لکه‌گیری، درزگیری و پرکردن چاله‌ها مشاهده گردید. با این حال، در برخی شاخه‌ها نظیر خیابان مخیری و بلوار خرمشهر، به دلیل قدمت بیشتر روسازی، نیاز به اجرای روکش کلی و در برخی قطعات، روکش مجدد نیز ضروری تشخیص داده شد. این سیاست‌ها به عنوان ورودی اصلی در تعریف سناریوهای مختلف نگهداری در نرم‌افزار MicroPaver مورد استفاده قرار گرفتند.

سیاست‌های ترمیم و نگهداری این تحقیق با توجه به پیش‌فرض‌های نرم‌افزار به صورت سیاست‌های ترمیم و نگهداری پیشگیرانه، ترمیم و نگهداری‌های موضعی ایمن، ترمیم و نگهداری فراگیر و اساسی انتخاب شدند. جزییات خط‌مشی هر یک از این سطوح در جداول ۳ تا ۵ ارائه شده است. همچنین هزینه عملیات مختلف ترمیم و نگهداری بر اساس فهرست بهای راهداری سال ۱۳۹۵ محاسبه و در جداول ۶ و ۷ ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که عملیات نگهداری پیشگیرانه و موضعی عمدتاً شامل درزگیری، لکه‌گیری و ترمیم‌های سطحی بوده، در حالی که در سیاست‌های فراگیر، عملیات‌هایی نظیر روکش‌های نازک و

جدول ۳. خط مشی ترمیم و نگهداری پیشگیرانه

ردیف	نوع خرابی	کد خرابی	شدت خرابی	نوع و شرح کار ترمیم
۱	ترک پوست سوسماری	1	M	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۲	ترک پوست سوسماری	1	H	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۳	ترک موزاییکی یا بلوکی	3	M	پر کردن درز-بتن آسفالتی
۴	ترک موزاییکی یا بلوکی	3	H	پر کردن درز-بتن آسفالتی
۵	بر آمدگی و فرو رفتگی	4	M	وصله کاری کم عمق-بتن آسفالتی
۶	بر آمدگی و فرو رفتگی	4	H	وصله کاری کم عمق-بتن آسفالتی
۷	موج زدگی	5	M	وصله کاری سطحی-بتن آسفالتی
۸	موج زدگی	5	H	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۹	تو رفتگی (نشست موضعی)	6	M	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۱۰	تو رفتگی (نشست موضعی)	6	H	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۱۱	ترک لبه‌ها	7	M	پرکردن درز-بتن آسفالتی
۱۲	ترک لبه‌ها	7	H	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۱۳	ترک انعکاسی درز	8	M	پرکردن درز-بتن آسفالتی
۱۴	ترک انعکاسی درز	8	H	پرکردن درز-بتن آسفالتی
۱۵	پایین افتادگی شانه راه	9	M	وصله کاری سطحی-بتن آسفالتی
۱۶	پایین افتادگی شانه راه	9	H	وصله کاری سطحی-بتن آسفالتی
۱۷	ترک طولی و عرضی	10	M	پرکردن درز-بتن آسفالتی
۱۸	ترک طولی و عرضی	10	H	پرکردن درز-بتن آسفالتی
۱۹	وصله و کنده کاری	11	M	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۲۰	وصله و کنده کاری	11	H	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۲۱	چاله	13	M	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۲۲	چاله	13	H	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۲۳	شیار شدگی جای چرخ	15	M	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۲۴	شیار شدگی جای چرخ	15	H	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۲۵	کنار رفتگی	16	M	وصله کاری کم عمق-بتن آسفالتی
۲۶	کنار رفتگی	16	H	وصله کاری کم عمق-بتن آسفالتی
۲۷	ترک لغزشی	17	L	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۲۸	ترک لغزشی	17	M	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۲۹	ترک لغزشی	17	H	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی

جدول ۴. خط مشی ترمیم و نگهداری موضعی ایمن

ردیف	نوع خرابی	کد خرابی	شدت خرابی	نوع و شرح کار ترمیم
۱	بر آمدگی و فرو رفتگی	4	H	وصله کاری کم عمق-بتن آسفالتی
۲	پایین افتادگی شانه راه	9	H	وصله کاری سطحی-بتن آسفالتی
۳	وصله و کنده کاری	11	H	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۴	چاله	13	M	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی
۵	چاله	13	H	وصله کاری عمیق-بتن آسفالتی

جدول ۵. خط مشی ترمیم و نگهداری فراگیر

ردیف	نوع خرابی	کد خرابی	شدت خرابی	نوع و شرح کار ترمیم
۱	قیر زدگی	2	L	آببندی با مصالح سنگی-روکش نازک
۲	قیر زدگی	2	M	آببندی با مصالح سنگی-روکش نازک
۳	قیر زدگی	2	H	آببندی با مصالح سنگی-روکش نازک
۴	ترک بلوکی	3	L	آببندی سطحی با جوانسازها
۵	ترک بلوکی	3	M	آببندی سطحی با جوانسازها
۶	ترک بلوکی	3	H	آببندی سطحی با جوانسازها
۷	ترک طولی و عرضی	10	L	آببندی سطحی با جوانسازها
۸	ترک طولی و عرضی	10	M	آببندی سطحی با جوانسازها
۹	ترک طولی و عرضی	10	H	آببندی سطحی با جوانسازها
۱۰	صیقلی شدن دانه‌ها	12	L	اندود آببندی با مصالح سنگی-روکش نازک
۱۱	صیقلی شدن دانه‌ها	12	M	اندود آببندی با مصالح سنگی-روکش نازک
۱۲	صیقلی شدن دانه‌ها	12	H	اندود آببندی با مصالح سنگی-روکش نازک
۱۳	هوازدگی	19	L	آببندی سطحی با استفاده از جوانسازها
۱۴	هوازدگی	19	M	آببندی سطحی با استفاده از جوانسازها
۱۵	هوازدگی	19	H	آببندی سطحی با استفاده از جوانسازها
۱۶	بدون خرابی و یا خرابی جزئی	-	-	اندود آببندی بدون مصالح سنگی

جدول ۶. هزینه ترمیم موضعی ایمن و پیشگیرانه

ردیف	مشخصه	نوع مرمت انجام شده برای تعمیر و نگهداری	هزینه (ریال)	هزینه (دلار)
۱	CS-AC	درزگیری ترک	۹۷,۹۰۹	۲,۵۲
۲	GR-PP	تراشیدن روسازی - موضعی	۴۱,۶۰۶	۱,۰۹
۳	JS-LC	آب بندی درزها - موضعی	۱۱۱,۹۷۵	۲,۹۳
۴	JS-SI	آب بندی درزها - پر کردن با فیلر یا سیلیس	۱۳۰,۵۷۲	۳,۴۱
۵	PA-AD	وصله عمقی	۷۴۴,۰۸۹	۱۹,۴۶
۶	PA-AL	وصله سطحی	۳۸۷,۱۳۵	۱۰,۱۲
۷	PA-AS	وصله پاره عمقی	۵۵۳,۳۶۳	۱۴,۴۷
۸	SH-LE	تسطیح شانه راه	۶۲,۵۳۲	۱,۶۴

جدول ۷. هزینه ترمیم فراگیر

ردیف	مشخصه	نوع مرمت انجام شده برای تعمیر و نگهداری	هزینه (ریال)	هزینه (دلار)
۱	NONE	بدون تعمیر و نگهداری سراسری و جامع	۰	۰
۲	OL-AT	روکش آسفالتی نازک سراسری	۴۱۷,۰۴۹	۱۰,۹۰
۳	SS-CT	درزگیری سطحی - قطران زغال سنگ	۱۵۶,۵۱۷	۴,۰۹
۴	SS-FS	درزگیری سطحی - روکش قیری	۱۵۸,۶۸۴	۴,۱۵
۵	SS-RE	درزگیری سطحی - جوان سازی	۱۸۷,۷۳۱	۴,۹۱
۶	ST-SB	روکش و اندود سطحی - قیر معدنی	۱۵۵,۰۴۹	۴,۰۵
۷	ST-SS	روکش و اندود سطحی - ملات فیلر، ماسه و امولسیون قیر	۲۴۴,۹۲۰	۶,۴۰
۸	ST-ST	روکش و اندود سطحی - ملات ماسه و قیر قطرانی	۲۳۴,۹۲۳	۶,۱۴

بودجه و سیاست‌های نگهداری پیش‌بینی گردید. بر اساس این سناریوها، نتایج مختلفی اخذ شد که در ادامه تشریح می‌شود.

۳-۱- خرابی‌ها و وضعیت فعلی روسازی

مساحت کل مسیر مورد مطالعه برابر ۱۲۹۳۱۲ متر مربع بوده که از این مقدار، ۱۱۱ واحد نمونه با مساحت حدود ۳۲۰۷۸ متر مربع (معادل حدود ۲۵ درصد) مورد بازرسی قرار گرفت. در مجموع، ۱۹۷ مورد خرابی در قالب ۱۷ نوع مختلف و با شدت‌های گوناگون شناسایی شد. خرابی‌های ترک انعکاسی درز و گذرگاه راه‌آهن به دلیل عدم وجود زیرساخت مربوطه در مسیر مشاهده نگردید. مجموع مساحت خرابی‌ها برابر ۳۰۳۱ متر مربع و خرابی‌های طولی معادل ۵۱۳ متر برآورد شد. این مقادیر به ترتیب معادل ۹/۴۵ درصد از مساحت واحدهای نمونه بازرسی‌شده و حدود ۲/۳۵ درصد از کل مسیر مورد مطالعه می‌باشد که بیانگر وضعیت نسبتاً قابل قبول روسازی در بخش عمده شبکه است. بر اساس نتایج به دست آمده، قطعه Khor-04 با مقدار PCI برابر ۸۹ در بهترین وضعیت و قطعه Vela-03 با مقدار PCI برابر ۳۰ در بدترین شرایط قرار دارد. این اختلاف نشان‌دهنده ناهمگنی قابل توجه در وضعیت روسازی قطعات مختلف شبکه می‌باشد.

نتایج طبقه‌بندی خرابی‌ها (جدول ۸) نشان می‌دهد که هوازگی (دانه‌دانه شدن) با ۲۱ مورد و مساحت ۳۷۸ متر مربع، بیشترین فراوانی را در میان خرابی‌ها داشته است. همچنین خرابی‌هایی نظیر نشست موضعی، ترک‌های بلوکی و شیارشدگی نیز سهم قابل توجهی از خرابی‌های شبکه را به خود اختصاص داده‌اند. این امر نشان‌دهنده تأثیر همزمان عوامل محیطی و بار ترافیکی بر تخریب روسازی می‌باشد.

شکل ۴ توزیع قطعات بر اساس وضعیت فعلی روسازی را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۵، روند تغییرات شاخص PCI در افق ۱۰ ساله و در حالت عدم انجام عملیات نگهداری ارائه شده است که بیانگر کاهش تدریجی کیفیت روسازی در طول زمان می‌باشد.

۲-۸- تعریف سناریوهای مختلف بودجه بندی

در تحقیق جاری بر نا مه ریزی جهت تعمیر و نگهداری روسازی با افق ۱۰ ساله با استفاده از ۴ سناریوی مختلف بودجه ای اشاره شده در ذیل انجام گرفت:

- سناریوی بودجه محدود سالیانه (سطح پایین): با هدف بررسی عملکرد شبکه تحت محدودیت شدید منابع مالی، با بودجه سالیانه ۱/۷۵ میلیارد ریال.

- سناریوی بودجه محدود سالیانه (سطح متوسط): با هدف تحلیل اثر افزایش نسبی بودجه، با اعتبار سالیانه ۱۰ میلیارد ریال.

- سناریوی بودجه نامحدود: به منظور ارزیابی بهترین حالت ممکن و تأمین کامل نیازهای نگهداری کلیه قطعات شبکه.

- سناریوی حفظ وضعیت موجود روسازی با رقم PCI فعلی: با هدف تعیین حداقل بودجه مورد نیاز برای حفظ شاخص PCI در سطح فعلی.

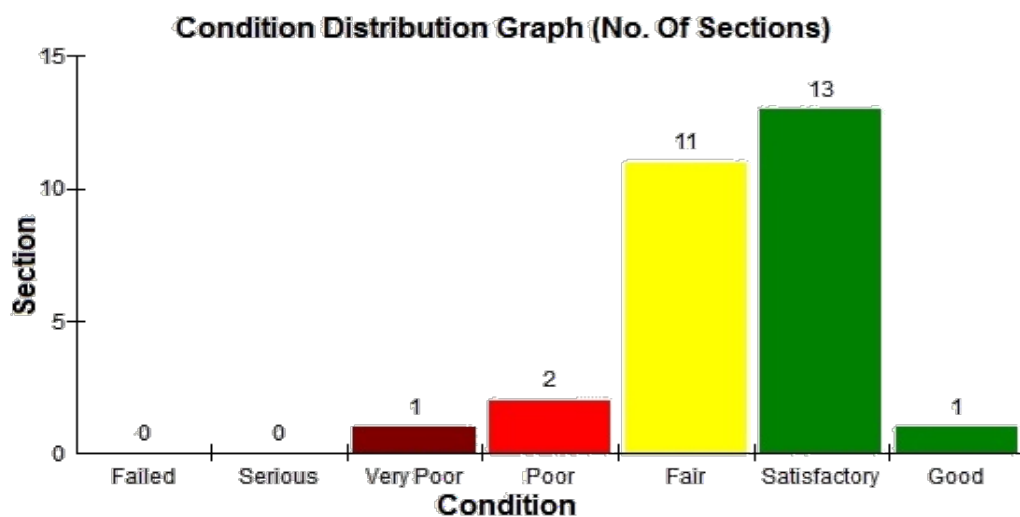
در این راستا، هزینه‌های تعمیر و نگهداری با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی و بر اساس فهرست‌بهای مربوطه محاسبه و در نرم‌افزار MicroPaver اعمال گردید. همچنین نرخ تبدیل ارز معادل ۳۸،۲۴۵ ریال برای هر دلار (در تاریخ ۱۳۹۵/۱۱/۱۰) در محاسبات لحاظ شد. بر اساس اطلاعات دریافتی از شهرداری آستارا، بودجه سالیانه اختصاص یافته به عملیات تعمیر و نگهداری شبکه معابر در سال ۱۳۹۶ حدود ۴ میلیارد تومان بوده است که به عنوان مبنای مقایسه با سناریوهای تعریف شده مورد استفاده قرار گرفت.

۳- نتایج تحقیق

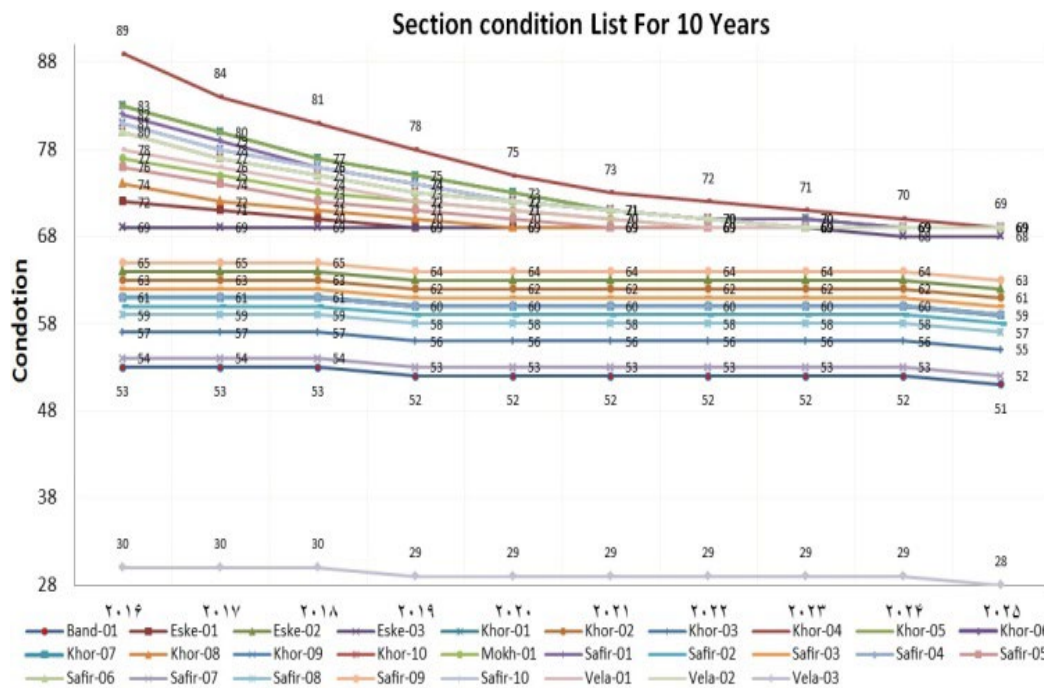
پس از برداشت و ثبت داده‌های مربوط به خرابی‌ها، این داده‌ها در نرم افزار تحلیل شدند و وضعیت روسازی قطعات مسیر با شاخص PCI محاسبه گردید. سپس با استفاده از مدل تعریف شده برای پیش بینی وضعیت اضمحلال روسازی، روند تغییرات PCI در افق ۱۰ ساله و تحت سناریوهای مختلف

جدول ۸. دسته بندی ترتیبی خرابی های بازرسی شده

ردیف	نوع و شدت خرابی	تعداد	مقدار خرابی	واحد اندازه گیری خرابی
۱	هوازگی (دانه دانه شدن)	21	378	متر مربع
۲	تورفتگی (نشست موضعی)	20	385	متر مربع
۳	ترک موزاییکی یا بلوکی	19	349	متر مربع
۴	شیار شدگی جای چرخ	18	387	متر مربع
۵	قیر زدگی (رو زدن قیر)	17	260	متر مربع
۶	صیقلی شدن دانه ها	14	232	متر مربع
۷	موج زدگی	12	216	متر مربع
۸	ترک طولی و عرضی	11	227	متر طول
۹	وصله و کنده کاری	11	216	متر مربع
۱۰	ترک خوردگی لغزشی	10	215	متر مربع
۱۱	برآمدگی و فرو رفتگی	9	156	متر طول
۱۲	ترک پوست سوسماری	9	154	متر مربع
۱۳	کنار رفتگی (فتیله شدن)	9	139	متر مربع
۱۴	تورم	8	100	متر مربع
۱۵	ترک خوردگی لبه ها	6	98	متر طول
۱۶	پایین افتادگی شانه	2	32	متر طول
۱۷	چاله	1	-	عدد



شکل ۴. تعداد و وضعیت قطعات در حال حاضر

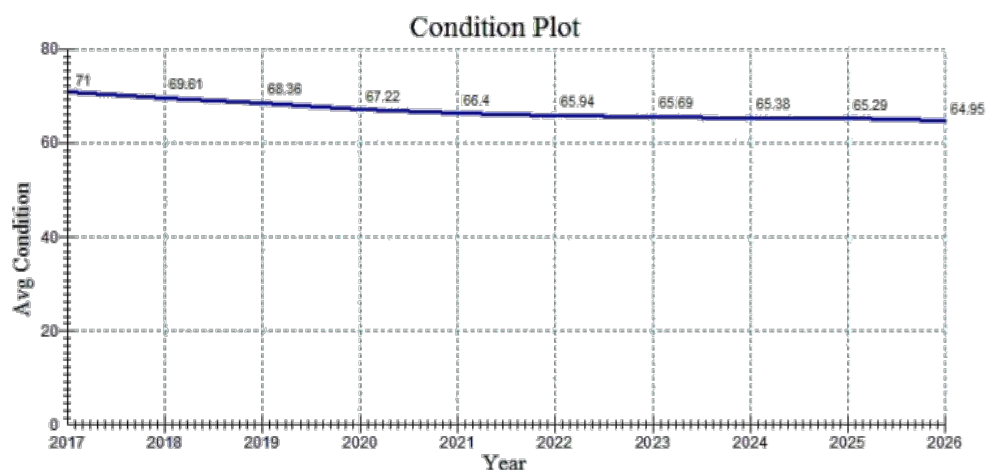


شکل ۵. PCI کلیه قطعات مسیر در حال حاضر (۲۰۱۶) و در طول ۱۰ سال آتی

۳-۲- بودجه سالیانه محدود با مبلغ ۱۷۵ میلیون تومان (معادل ۴۵,۷۵۸ دلار) در هر سال

در این سناریو، عملکرد سیستم نگهداری روسازی تحت محدودیت بودجه سالیانه ۱۷۵ میلیون تومان (معادل ۴۵,۷۵۸ دلار) در افق ۱۰ ساله مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحلیل، کلیه سیاست‌های تعمیر و نگهداری شامل عملیات موضعی ایمن، پیشگیرانه، فراگیر و اساسی در نظر گرفته شد. همچنین نرخ تورم ۱۰ درصد و نرخ بهره ۱۲ درصد در محاسبات لحاظ گردید. با توجه به محدودیت بودجه سالیانه، امکان تخصیص اعتبار به تمامی قطعات مسیر وجود نداشته و بخشی از نیازهای تعمیر و نگهداری به سال‌های آتی موکول می‌شود. در این شرایط، اولویت‌بندی عملیات نگهداری در هر سال به صورت مستقل و بر اساس وضعیت روسازی انجام شده و تمرکز اصلی بر استفاده از روش‌های کم‌هزینه و با بازده مناسب نظیر درزگیری و لکه‌گیری قرار می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، مقدار میانگین PCI در طول دوره تحلیل دارای روند کاهشی می‌باشد که نشان می‌دهد فراگیر و اساسی فراهم نمی‌باشد.

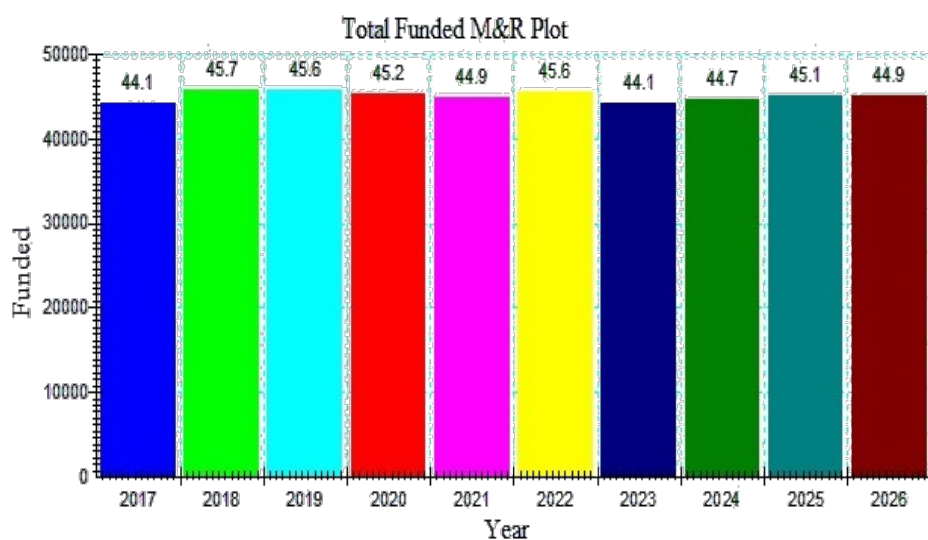
در این سناریو، عملکرد سیستم نگهداری روسازی تحت محدودیت بودجه سالیانه ۱۷۵ میلیون تومان (معادل ۴۵,۷۵۸ دلار) در افق ۱۰ ساله مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحلیل، کلیه سیاست‌های تعمیر و نگهداری شامل عملیات موضعی ایمن، پیشگیرانه، فراگیر و اساسی در نظر گرفته شد. همچنین نرخ تورم ۱۰ درصد و نرخ بهره ۱۲ درصد در محاسبات لحاظ گردید. با توجه به محدودیت بودجه سالیانه، امکان تخصیص اعتبار به تمامی قطعات مسیر وجود نداشته و بخشی از نیازهای تعمیر و نگهداری به سال‌های آتی موکول می‌شود. در این شرایط، اولویت‌بندی عملیات نگهداری در هر سال به صورت مستقل و بر اساس وضعیت روسازی انجام شده و تمرکز اصلی بر استفاده از روش‌های کم‌هزینه و با بازده مناسب نظیر درزگیری و لکه‌گیری قرار می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، مقدار میانگین PCI در طول دوره تحلیل دارای روند کاهشی می‌باشد که نشان می‌دهد



شکل ۶. وضعیت میانگین PCI قطعات با سناریوی بودجه محدود ۴۵,۷۵۸ دلاری

جدول ۹. مجموع بودجه سرمایه گذاری شده با سناریوی بودجه محدود ۴۵,۷۵۸ دلاری

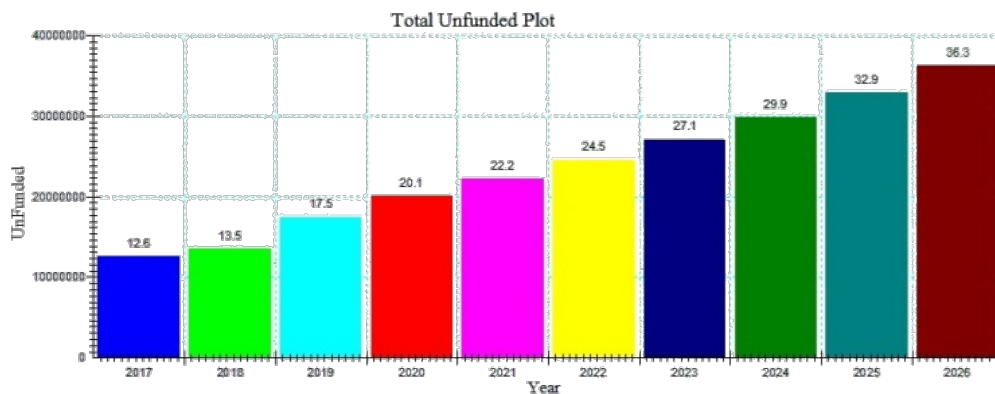
Plan Year	Sum of Stop Gap Funded	Sum of Preventative Funded	Sum of Global Funded	Sum of Major Under Critical	Sum of Major Above Critical	Total
03/21/2017	\$ 14,329.92	\$ 29,777.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 44,106.92
03/21/2018	\$ 8,377.46	\$ 37,276.91	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 45,654.36
03/21/2019	\$ 9,236.90	\$ 36,410.31	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 45,647.21
03/21/2020	\$ 10,184.52	\$ 34,988.94	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 45,173.46
03/21/2021	\$ 11,229.23	\$ 33,630.38	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 44,859.61
03/21/2022	\$ 12,381.03	\$ 33,199.10	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 45,580.13
03/21/2023	\$ 13,650.90	\$ 30,407.86	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 44,058.76
03/21/2024	\$ 15,051.03	\$ 29,634.78	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 44,685.82
03/21/2025	\$ 16,594.58	\$ 28,476.25	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 45,070.82
03/21/2026	\$ 18,296.32	\$ 26,641.72	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 44,938.04



شکل ۷. مجموع بودجه سرمایه گذاری شده سالانه در سناریوی بودجه محدود ۴۵,۷۵۸ دلاری

تصمیم نهایی برای تخصیص بودجه در شکل ۹ نمایش داده شده است. همچنین، نتایج اولویت‌بندی عملیات نگهداری در سال نخست (شکل ۷) نشان می‌دهد که حدود ۶۸ درصد از قطعات بدون انجام عملیات باقی مانده، در حالی که تنها ۷ درصد از قطعات تحت عملیات ترمیم موضعی ایمن و ۲۵ درصد تحت نگهداری موضعی پیشگیرانه قرار گرفته‌اند. این توزیع بیانگر آن است که در شرایط محدودیت شدید بودجه، سیستم ناگزیر به تمرکز بر حداقل مداخلات ضروری بوده و بخش قابل توجهی از شبکه بدون رسیدگی باقی می‌ماند. در مجموع، نتایج این سناریو نشان می‌دهد که استفاده از بودجه محدود اگرچه می‌تواند هزینه‌های کوتاه‌مدت را کنترل نماید، اما در بلندمدت منجر به کاهش سطح خدمت‌رسانی و افزایش هزینه‌های نگهداری در سال‌های آتی خواهد شد.

از سوی دیگر، نتایج ارائه‌شده در شکل ۶ و جدول ۱۰ هزینه اختصاص داده نشده (بودجه سرمایه‌گذاری نشده) در سناریوی بودجه محدود را برای هر یک از دسته‌بندی چهارگانه تعمیر و نگهداری به ازای هر سال در طول مدت ۱۰ ساله طرح نشان می‌دهد. مطابق این جدول، مبالغ مورد نیاز برای تعمیرات و نگهداری هر سال بیشتر از مبلغ تعیین شده اولیه است. این به آن معنا است که نرم‌افزار، فعالیت‌های تعمیر و نگهداری که انجام نگرفته را به صورت انباشته شده تعیین نموده و سپس برای هر یک از دسته‌بندی‌های تعمیر و نگهداری موجود، بودجه مورد نیاز آن را مشخص می‌نماید. بدیهی است که بخشی از فعالیت‌های ضروری نگهداری انجام نشده و به سال‌های بعد منتقل می‌شوند که این امر می‌تواند در بلندمدت منجر به تشدید خرابی‌ها و افزایش نیاز به مداخلات اساسی گردد.



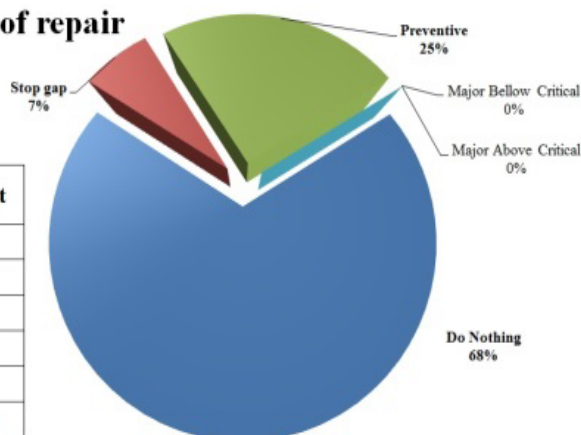
شکل ۸. مجموع بودجه تامین نشده با سناریوی بودجه محدود ۴۵,۷۵۸ دلاری

جدول ۱۰. بودجه تامین نشده برای فعالیت‌های نگهداری مختلف با سناریوی بودجه محدود ۴۵,۷۵۸ دلاری

Plan Year	Sum of Stop Gap Unfunded	Sum of Preventative Unfunded	Sum of Global Unfunded	Sum of Major Under Critical Unfunded	Sum of Major Above Critical Unfunded	Unfunded
03/21/2017	\$ 0.00	\$ 568,030.08	\$ 5,970,092.14	\$ 1,246,809.89	\$ 4,837,319.88	\$ 12,622,251.98
03/21/2018	\$ 0.00	\$ 160,591.58	\$ 6,567,101.35	\$ 1,374,293.56	\$ 5,439,406.45	\$ 13,541,392.95
03/21/2019	\$ 0.00	\$ 203,444.11	\$ 9,663,567.13	\$ 1,514,805.81	\$ 6,095,931.45	\$ 17,477,748.49
03/21/2020	\$ 0.00	\$ 247,907.74	\$ 11,369,507.31	\$ 1,669,686.91	\$ 6,809,830.61	\$ 20,096,932.56
03/21/2021	\$ 0.00	\$ 293,539.34	\$ 12,506,458.04	\$ 1,840,385.97	\$ 7,580,849.07	\$ 22,221,232.42
03/21/2022	\$ 0.00	\$ 339,277.99	\$ 13,757,103.84	\$ 2,028,527.90	\$ 8,418,037.63	\$ 24,542,947.36
03/21/2023	\$ 0.00	\$ 387,581.24	\$ 15,132,814.22	\$ 2,235,894.35	\$ 9,333,554.39	\$ 27,089,844.20
03/21/2024	\$ 0.00	\$ 435,110.14	\$ 16,646,095.65	\$ 2,464,462.49	\$ 10,331,475.82	\$ 29,877,144.10
03/21/2025	\$ 0.00	\$ 486,405.43	\$ 18,310,705.21	\$ 2,716,370.38	\$ 11,421,862.01	\$ 32,935,343.03
03/21/2026	\$ 0.00	\$ 542,543.28	\$ 20,141,775.73	\$ 2,994,015.10	\$ 12,618,695.25	\$ 36,297,029.36

M&R distribution for the first year of repair

Maintenance Policy	Number of Section	Percent
Do Nothing	19	%68
Stop gap	2	%7
Preventive	7	%25
Major Bellow Critical	0	%0
Major Above Critical	0	%0
TOTAL	28	%100

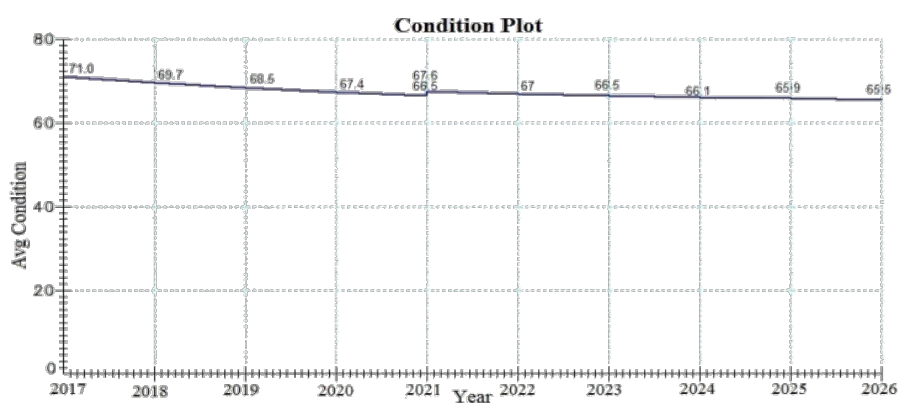


شکل ۹. توزیع انواع بودجه بین روش های مختلف ترمیم و نگهداری در سال اول در سناریوی بودجه محدود ۴۵،۷۵۸ دلاری

۳-۳- بودجه محدود سالیانه با مبلغ ۱ میلیارد تومان (معادل ۲۶۱،۴۷۲ دلار)

شرایط، علاوه بر عملیات های موضعی و پیشگیرانه، بخشی از بودجه نیز به فعالیت های فراگیر و اساسی اختصاص یافته است. در این راستا معمولاً از عملیاتی نظیر درزگیری و وصله کاری که بازده خوبی دارند استفاده می شود. همان طور که در شکل ۸ مشاهده می شود، روند تغییرات میانگین PCI در طول دوره تحلیل نسبت به سناریوی بودجه محدود دارای وضعیت مناسب تری بوده و کاهش شاخص PCI با شیب ملایم تری اتفاق می افتد. این موضوع نشان می دهد که افزایش بودجه سالیانه نقش مؤثری در کنترل روند اضمحلال روسازی و حفظ سطح خدمت شبکه دارد.

در این سناریو، عملکرد سیستم نگهداری روسازی تحت بودجه سالیانه ۱ میلیارد تومان (معادل ۲۶۱،۴۷۲ دلار) در افق ۱۰ ساله مورد بررسی قرار گرفت. در این تحلیل، کلیه سیاست های تعمیر و نگهداری شامل عملیات موضعی ایمن، پیشگیرانه، فراگیر و اساسی در نظر گرفته شد. همچنین نرخ تورم ۱۰ درصد و نرخ بهره ۱۲ درصد در محاسبات لحاظ گردید. در این سناریو با افزایش سطح بودجه نسبت به سناریوی قبل، امکان تخصیص اعتبار به تعداد بیشتری از قطعات شبکه فراهم شده و بخشی از فعالیت های نگهداری که در سناریوی بودجه محدود انجام نشده بودند، در این حالت قابل اجرا می باشند. در این



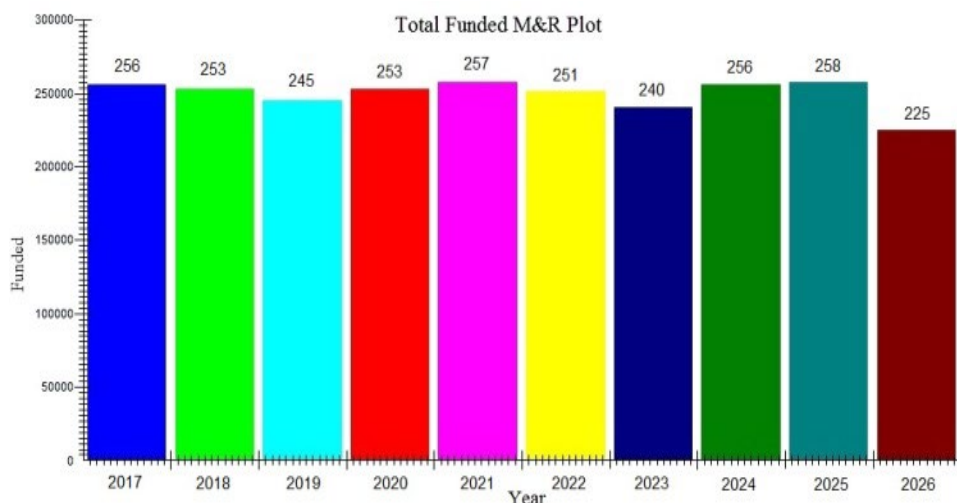
شکل ۱۰. وضعیت PCI قطعات با سناریوی محدود ۲۶۱،۴۷۲ دلاری

به ازای هر سال در طول مدت ۱۰ ساله طرح را در مسیر مورد مطالعه مشاهده نمود. در این سناریو، مجموع هزینه کرد بودجه برای هر سال از مبلغ ۲۶۱،۴۷۲ دلار فراتر نرفته

مطابق شکل ۱۱ و جدول ۱۱ می توان میزان هزینه کرد کل (بودجه سرمایه گذاری شده) با سناریوی بودجه محدود را برای هر یک از دسته بندی چهارگانه تعمیر و نگهداری و

عملیات‌های پیشگیرانه و فراگیر اختصاص یافته است و این امر بیانگر آن است که با افزایش سطح بودجه، سیستم مدیریت روسازی امکان استفاده از روش‌های مؤثرتر و با دوام بیشتر را فراهم می‌نماید که در نهایت منجر به کاهش نرخ خرابی روسازی در سال‌های آینده خواهد شد.

است و مطابق این جدول مبالغ اختصاصی به تعمیرات و نگهداری هر سال کمتر از مبلغ تعیین شده اولیه بوده و این نشان دهنده آن است که سیستم از هر چهار رده‌بندی ترمیم یعنی موقتی ایمن، پیشگیرانه، فراگیر و اساسی استفاده نموده است. البته این نکته نیز قابل ذکر است که در توزیع بودجه در این سناریو، سهم بیشتری از منابع مالی به



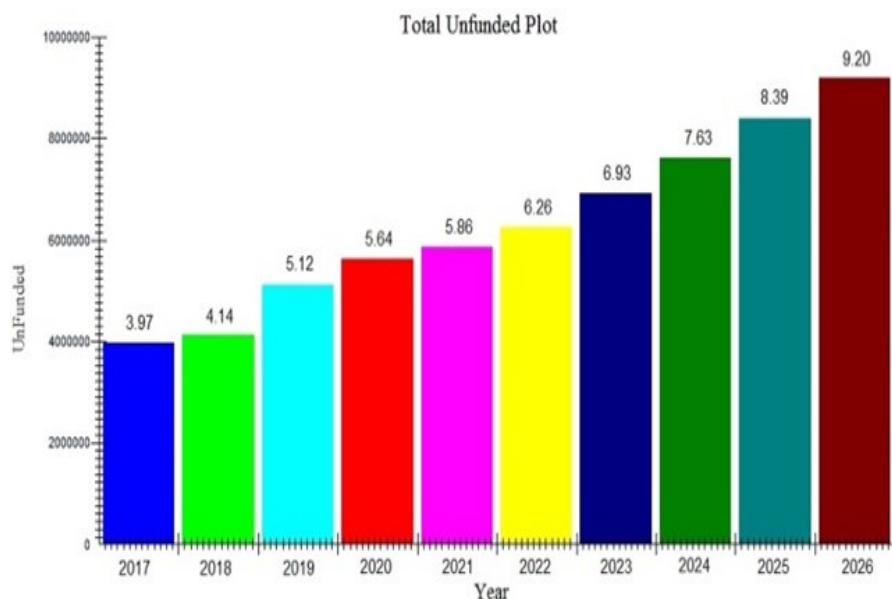
شکل ۱۱. مجموع بودجه سرمایه گذاری شده با سناریوی بودجه محدود ۲۶۱،۴۷۲ دلاری

جدول ۱۱. مجموع بودجه سرمایه گذاری شده با سناریوی بودجه محدود ۲۶۱،۴۷۲ دلاری

Plan Year	Sum of Stop Gap Funded	Sum of Preventative Funded	Sum of Global Funded	Sum of Major Under Critical Funded	Sum of Major Above Critical Funded	Total
03/21/2017	\$ 4,776.64	\$ 199,269.03	\$ 51,516.05	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 255,561.72
03/21/2018	\$ 2,741.71	\$ 64,546.80	\$ 185,434.88	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 252,723.39
03/21/2019	\$ 2,968.02	\$ 76,633.58	\$ 165,055.61	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 244,657.21
03/21/2020	\$ 3,213.01	\$ 88,622.34	\$ 160,787.52	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 252,622.87
03/21/2021	\$ 3,478.19	\$ 96,649.54	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 157,368.80	\$ 257,496.53
03/21/2022	\$ 3,765.23	\$ 108,391.21	\$ 138,765.62	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 250,922.06
03/21/2023	\$ 4,075.93	\$ 119,469.05	\$ 116,920.90	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 240,465.88
03/21/2024	\$ 4,412.27	\$ 131,225.47	\$ 120,634.30	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 256,272.05
03/21/2025	\$ 4,776.32	\$ 143,334.56	\$ 109,646.73	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 257,757.61
03/21/2026	\$ 5,170.37	\$ 156,446.62	\$ 63,517.37	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 225,134.36

آن نسبت به سناریوی بودجه محدود به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است. این موضوع بیانگر بهبود توان سیستم در پاسخ‌گویی به نیازهای واقعی شبکه می‌باشد.

همچنین نتایج مربوط به بودجه تأمین‌نشده در شکل ۱۲ و جدول ۱۲ نشان می‌دهد که اگرچه همچنان بخشی از نیازهای نگهداری بدون تأمین اعتبار باقی می‌ماند، اما مقدار



شکل ۱۲. مجموع بودجه تامین نشده با سناریوی بودجه محدود ۲۶۱،۴۷۲ دلاری

جدول ۱۲. مجموع بودجه تامین نشده با سناریوی بودجه محدود ۲۶۱،۴۷۲ دلاری

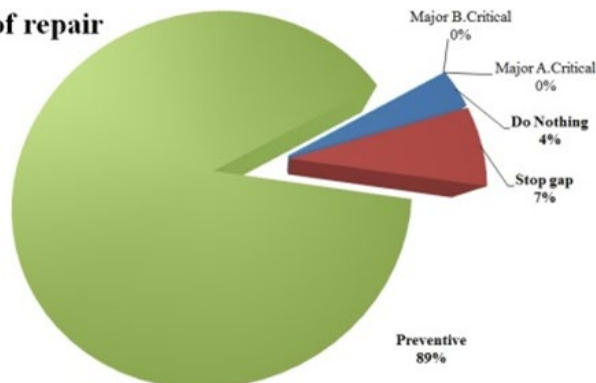
Plan Year	Sum of Stop Gap Unfunded	Sum of Preventative Unfunded	Sum of Global Unfunded	Sum of Major Under Critical Unfunded	Sum of Major Above Critical Unfunded	Unfunded
03/21/2017	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 1,938,514.63	\$ 415,603.30	\$ 1,612,439.96	\$ 3,966,557.89
03/21/2018	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 1,908,160.92	\$ 449,768.80	\$ 1,779,885.98	\$ 4,137,815.70
03/21/2019	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 2,679,706.10	\$ 486,740.91	\$ 1,956,314.18	\$ 5,122,761.18
03/21/2020	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 2,966,618.92	\$ 526,752.98	\$ 2,143,429.47	\$ 5,636,801.36
03/21/2021	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 3,103,707.60	\$ 570,048.68	\$ 2,183,562.35	\$ 5,857,318.63
03/21/2022	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 3,261,732.22	\$ 616,900.44	\$ 2,381,322.50	\$ 6,259,955.16
03/21/2023	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 3,678,214.57	\$ 667,600.18	\$ 2,583,979.08	\$ 6,929,793.82
03/21/2024	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 4,094,358.27	\$ 722,467.72	\$ 2,811,207.43	\$ 7,628,033.42
03/21/2025	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 4,548,509.82	\$ 781,837.13	\$ 3,055,304.08	\$ 8,385,651.03
03/21/2026	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 5,033,165.67	\$ 846,081.82	\$ 3,316,503.01	\$ 9,195,750.50

خرابی بوده و از گسترش و تشدید خرابی‌ها در سال‌های آینده جلوگیری می‌نماید. از سوی دیگر، کاهش نیاز به عملیات‌های اساسی و اضطراری در این سناریو نشان‌دهنده آن است که افزایش بودجه سالیانه می‌تواند نقش مؤثری در کنترل روند اضمحلال روسازی و کاهش هزینه‌های بلندمدت نگهداری داشته باشد. به‌طور کلی، نتایج این سناریو بیانگر عملکرد مناسب‌تر سیستم مدیریت روسازی در شرایط تأمین بودجه کافی‌تر می‌باشد.

نتایج اولویت‌بندی عملیات تعمیر و نگهداری برای سال اول در شکل ۱۱ ارائه شده است و این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش بودجه، درصد بیشتری از قطعات (۸۹ درصد) تحت پوشش عملیات تعمیر و نگهداری موضعی پیشگیرانه، ۷ درصد از قطعات تحت ترمیم موضعی ایمن قرار گرفته و سهم قطعات بدون مداخله (۴ درصد) کاهش یافته است. در این سناریو درصد بالای سهم عملیات پیشگیرانه بیانگر آن است که سیستم مدیریت روسازی در این شرایط قادر به اجرای اقدامات نگهداری در مراحل اولیه

M&R distribution for the first year of repair

Maintenance Policy	Number of Section	Percent
Do Nothing	1	%4
Stop gap	2	%7
Preventive	25	%89
Major Bellow Critical	0	%0
Major Above Critical	0	%0
TOTAL	28	%100



شکل ۱۳. توزیع انواع رده بندی ترمیم در سال اول با سناریوی بودجه محدود ۲۶۱،۴۷۲ دلاری

۳-۴- بودجه نامحدود جهت تعیین بهره‌مندی کلیه قطعه‌های مسیر از گزینه‌های ترمیم

اعمال می‌نماید. مطابق شکل ۱۴، مقدار PCI در طول دوره ۱۰ ساله تحلیل دارای تغییرات اندک بوده و در سطح مطلوب حفظ شده است. مقدار PCI کل شبکه از ۷۱ در سال ۲۰۱۷ به ۷۱،۶۹ در انتهای دوره تحلیل (۲۰۲۶) رسیده است که نشان‌دهنده پایداری وضعیت روسازی در این سناریو می‌باشد. در این سناریو، نرم‌افزار Micropaver با ارائه فعالیت‌هایی نظیر درزگیری و وصله سطحی، شاخص وضعیت PCI را در طول مدت طرح در سطح بالای وضعیت بحرانی نگه می‌دارد. همچنین، در سال‌های ابتدایی و میانی طرح (اول و ششم) با اجرای عملیات‌های نگهداری و ترمیم مناسب، مقدار PCI افزایش یافته و در سال ششم طرح (۲۰۲۲) به مقدار ۸۰،۵۴ رسیده است. پس از آن، شاخص PCI روند کاهشی ملایمی داشته و در سال ۲۰۲۶ با مقدار PCI برابر ۷۱،۶۹ و ایجاد پایداری نسبی توسط سیستم، اما همچنان در محدوده قابل قبول باقی مانده است.

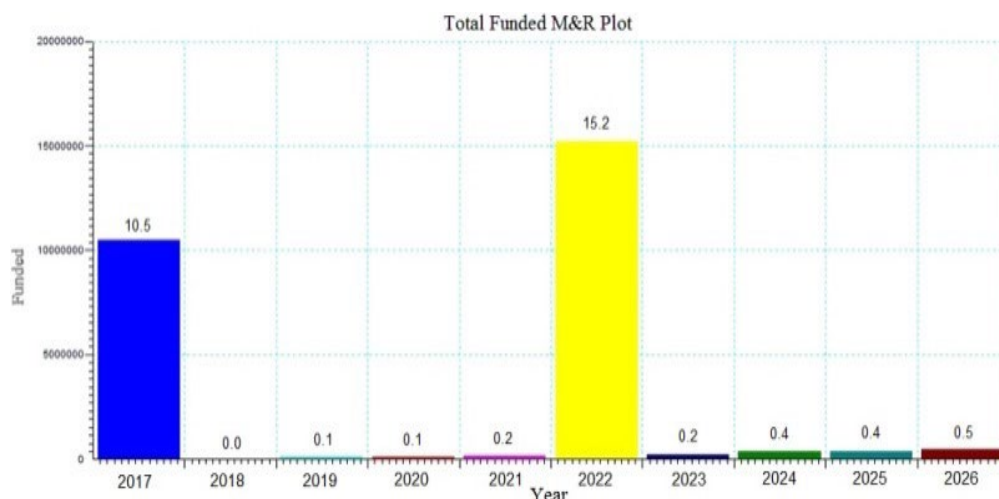
در این سناریو، فعالیت‌های ترمیم و نگهداری بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های مالی و با در نظر گرفتن نرخ تورم ۱۰٪ و نرخ بهره ۱۲٪ انجام می‌گیرد. بنابراین قطعه‌ای که دچار خرابی می‌گردد با یکی از روش‌های ترمیم مورد بهسازی قرار می‌گیرد. این الگوریتم برای تخمین مقدار بودجه مورد نیاز یک شبکه جهت ترمیم و نگهداری کلیه قطعات و مقاطع در شرایط مناسب به کار می‌رود و چون هیچ انتخابی در سطح شبکه انجام نمی‌گیرد، بنابراین این روش یک الگوریتم موثر و کارآمد برای هر نوع شبکه کوچک و بزرگ می‌باشد. از آنجا که در این سناریو محدودیتی برای بودجه سالیانه در نظر گرفته نشده است، کلیه نیازهای تعمیر و نگهداری شبکه تأمین شده و مقدار بودجه تأمین‌نشده در طول دوره تحلیل برابر صفر می‌باشد. همچنین به دلیل وجود اعتبار کافی، هیچگاه عملیات نگهداری موضعی موقت صورت ننگرفته و ستون‌های مربوط به Stop Gape همواره صفر خواهد شد و در مقابل سیاست‌های ترمیمی مناسب و موثر را برای هر قطعه



شکل ۱۴. وضعیت PCI قطعات با سناریوی بودجه نامحدود

رسیده است. همچنین، در سال ششم طرح (۲۰۲۲)، به دلیل اجرای برخی عملیات‌های فراگیر، مجدداً افزایش قابل توجهی در بودجه مصرفی (حدود ۱۵ میلیون دلار) مشاهده می‌شود. در سایر سال‌ها، هزینه‌های صرف‌شده عمدتاً مربوط به عملیات‌های پیشگیرانه و موضعی بوده است.

شکل ۱۵ و جدول ۱۳ بودجه سرمایه گذاری شده با سناریوی بودجه نامحدود را در طول دوره تحلیل نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در سال‌های ابتدایی طرح به دلیل نیاز شبکه به عملیات‌های فراگیر و اساسی، هزینه‌های نگهداری افزایش قابل توجهی داشته و در سال ۲۰۱۷ مقدار بودجه مصرف‌شده به بیش از ۱۰ میلیون دلار



شکل ۱۵. مجموع بودجه سرمایه گذاری شده با سناریوی بودجه نامحدود

جدول ۱۳. مجموع بودجه سرمایه گذاری شده با سناریوی بودجه نامحدود

Plan Year	Sum of Stop Gap Funded	Sum of Preventative Funded	Sum of Global Funded	Sum of Major Under Critical Funded	Sum of Major Above Critical Funded	Total
03/21/2017	\$ 174,023.51	\$ 4,218,032.19	\$ 1,246,809.89	\$ 4,837,319.88	\$ 10,476,185.46	\$ 174,023.51
03/21/2018	\$ 31,935.74	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 31,935.74	\$ 31,935.74
03/21/2019	\$ 60,564.23	\$ 43,328.26	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 103,892.49	\$ 60,564.23
03/21/2020	\$ 114,543.32	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 114,543.32	\$ 114,543.32
03/21/2021	\$ 170,356.33	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 170,356.33	\$ 170,356.33
03/21/2022	\$ 243,545.58	\$ 14,956,303.88	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 15,199,849.47	\$ 243,545.58
03/21/2023	\$ 206,161.20	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 206,161.20	\$ 206,161.20
03/21/2024	\$ 294,909.83	\$ 69,780.60	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 364,690.43	\$ 294,909.83
03/21/2025	\$ 387,172.39	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 387,172.39	\$ 387,172.39
03/21/2026	\$ 478,716.19	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 478,716.19	\$ 478,716.19

جدول هیچ بودجه تامین نشده‌ای جهت تعمیر و نگهداری برای سال‌های طرح ثبت نشده است چرا که با سناریوی بودجه نامحدود، نرم‌افزار Micropaver کل هزینه‌های

جدول ۱۴ بودجه تامین نشده با سناریوی بودجه نامحدود را برای هر یک از دسته بندی چهارگانه تعمیر و نگهداری در طول مدت ۱۰ ساله را نشان می‌دهد. بر اساس این

نگهداری مورد نیاز شبکه بدون محدودیت مالی قابل اجرا بوده و وضعیت روسازی در طول دوره طرح در سطح قابل قبول و پایدار حفظ می گردد.

ترمیمی را در بودجه های سرمایه گذاری شده اختصاص داده و با سقف بودجه مالی ۱۶ میلیون دلار هیچ کمبود مالی احساس نشده است. در این سناریو تمامی فعالیت های

جدول ۱۴. مجموع بودجه تامین نشده با سناریوی بودجه نامحدود

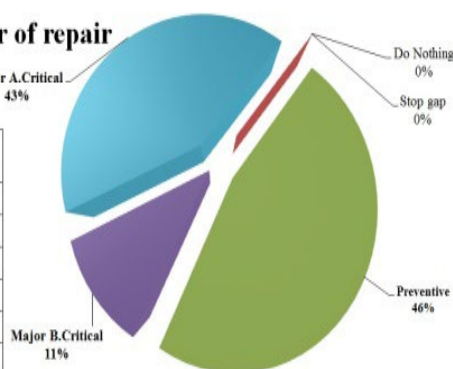
Plan Year	Sum of Stop Gap Unfunded	Sum of Preventative Unfunded	Sum of Global Unfunded	Sum of Major Under Critical Unfunded	Sum of Major Above Critical Unfunded	Unfunded
03/21/2017	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
03/21/2018	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
03/21/2019	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
03/21/2020	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
03/21/2021	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
03/21/2022	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
03/21/2023	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
03/21/2024	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
03/21/2025	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
03/21/2026	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00

و ۴۳ درصد تحت ترمیم اساسی بالاتر از حد بحرانی قرار گرفته اند. این موضوع بیانگر آن است که در شرایط تأمین کامل منابع مالی، سیستم مدیریت روسازی قادر خواهد بود کلیه نیازهای تعمیر و نگهداری شبکه را پوشش داده و با اجرای به موقع عملیات های ترمیمی مناسب، از کاهش شاخص PCI جلوگیری نماید.

نتایج اولویت بندی شده تعمیر و نگهداری برای سال اول در شکل ۱۶ نشان داده شده است. مطابق این شکل، هیچ بخشی از شبکه بدون رسیدگی باقی نمانده و کلیه قطعات تحت یکی از سیاست های نگهداری قرار گرفته اند. بر این اساس، ۴۶ درصد از قطعات تحت نگهداری موضعی پیشگیرانه، ۱۱ درصد تحت ترمیم اساسی زیر حد بحرانی

M&R distribution for the first year of repair

Maintenance Policy	Number of Section	Percent
Do Nothing	0	%0
Stop gap	0	%0
Preventive	13	%46
Major Bellow Critical	3	%11
Major Above Critical	12	%43
TOTAL	28	%100

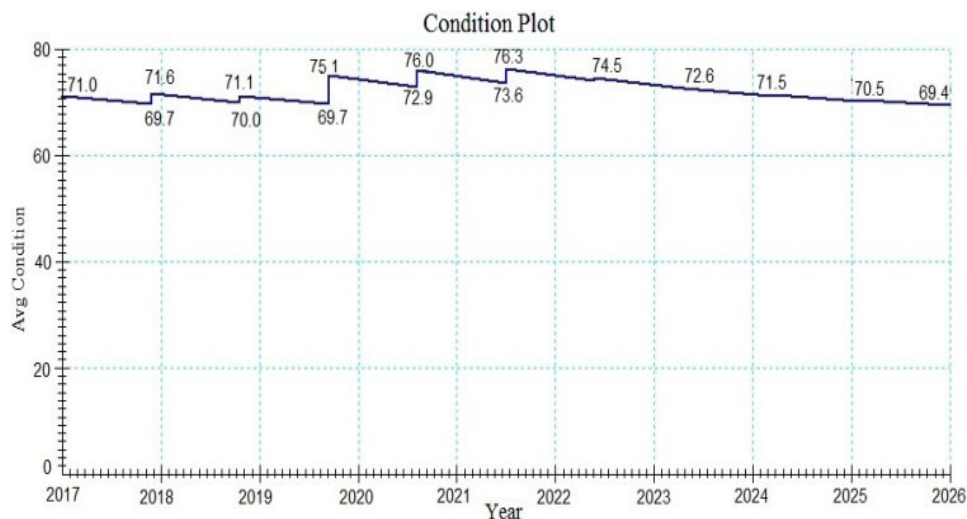


شکل ۱۶. توزیع انواع رده بندی ترمیم در سال اول با سناریوی بودجه نامحدود

۳-۵- سناریو حفظ وضعیت روسازی با مقدار PCI فعلی و با تعیین بودجه سالانه مورد نیاز

در این سناریو هدف حفظ وضعیت فعلی روسازی شبکه و جلوگیری از کاهش شاخص PCI در طی دوره ۱۰ ساله تحلیل می‌باشد. بدین منظور، با توجه به وضعیت روسازی قطعات و روند اضمحلال آن‌ها، بسیاری از استراتژی‌های بلند مدت شامل مدت زمان اجرای طرح و همچنین میزان بودجه با انواع فعالیت‌های ترمیمی توسط نرم‌فزار Micropaver مشخص می‌گردد. بر همین اساس هزینه‌ها و مزایای هر یک از استراتژی‌های ترمیم محاسبه شده و کل بودجه مورد نیاز برای حفظ متوسط ارزش PCI فعلی در تمام قطعات به دست می‌آید. در این سناریو نیز نرخ تورم ۱۰٪ و نرخ بهره برابر ۱۲٪ لحاظ شده است. مطابق شکل ۱۷، مقدار PCI کل شبکه در طول دوره ۱۰ ساله دارای

تغییرات اندکی بوده و از مقدار ۷۱ در سال ۲۰۱۷ و به مقدار ۶۹,۳۸ در سال انتهای طرح رسیده است. همانطور که مشاهده می‌گردد PCI قطعات روسازی مسیر در صورت کاهش با اعمال فعالیت‌های ترمیمی به صورت تناوبی ارتقاء وضعیت یافته و در نهایت در سال انتهای طرح با کاهش بسیار جزئی با رقم ۶۹,۳۸ خاتمه می‌یابد. مطابق این شکل، مقدار PCI میانگین در سال‌های اول تا پنجم طرح با اعمال سیاست‌های ترمیمی، افزایش پلکانی می‌یابد. این افزایش به نحوی است که در سال پنجم (۲۰۲۱) طرح، مقدار PCI برابر ۷۶,۲۶ شده و از آن به بعد به تدریج تا انتهای طرح کاهش تدریجی را نشان می‌دهد.



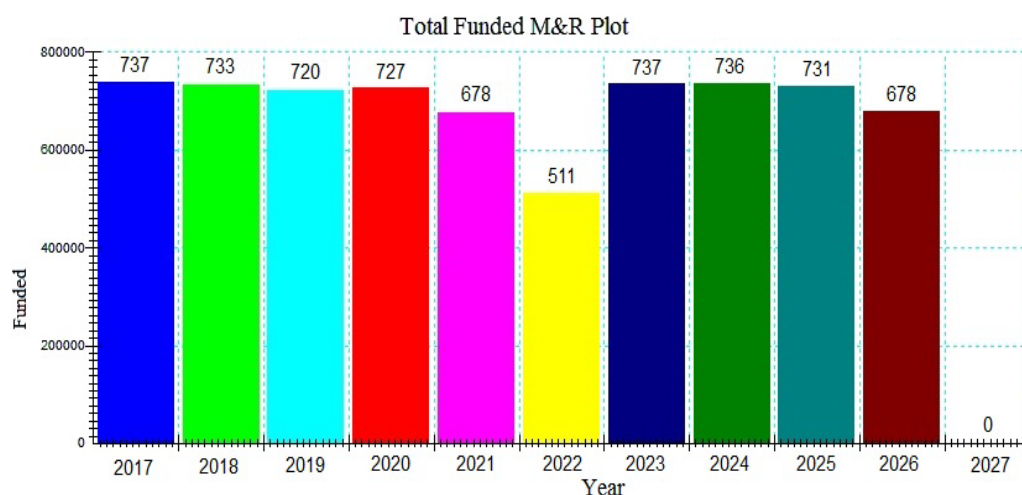
شکل ۱۷. وضعیت PCI قطعات با سناریوی بودجه نامحدود

فعلی قطعات مسیر را در شرایط نسبی مطلوب حفظ نمود. شکل ۱۹ و جدول ۱۶ روند تغییرات بودجه تأمین‌نشده در طول دوره تحلیل را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار بودجه تأمین‌نشده در سال‌های ابتدایی طرح دارای روند کاهشی بوده و از حدود ۳,۴۸ میلیون دلار در سال ۲۰۱۷ به ۲,۰۸ میلیون دلار در سال ۲۰۲۲ کاهش یافته است. این موضوع بیانگر آن است که در سال‌های ابتدایی،

مطابق شکل ۱۸ و جدول ۱۵ می‌توان میزان هزینه‌کرد لازم را با سناریوی حفظ وضعیت فعلی مشاهده نمود. در این جدول مجموع هزینه‌کرد بودجه برای هر سال از مبلغ ۷۳۷۳۸۰ دلار فراتر رفته و در برخی از سنوات مانند ۲۰۲۱-۲۰۲۲ شاهد کاهش چشمگیر هزینه تا ۵۱۱ هزار دلار هستیم. این کاهش هزینه‌ها بیانگر آن است که در این سال‌ها می‌توان با کمترین بودجه ممکن وضعیت PCI

به بیش از ۵ میلیون دلار رسیده است. این روند نشان می‌دهد که با افزایش سن روسازی و گسترش خرابی‌ها، نیاز شبکه به عملیات‌های فراگیر و اساسی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته و سطح بودجه تخصیص‌یافته پاسخگوی کلیه نیازهای نگهداری نمی‌باشد.

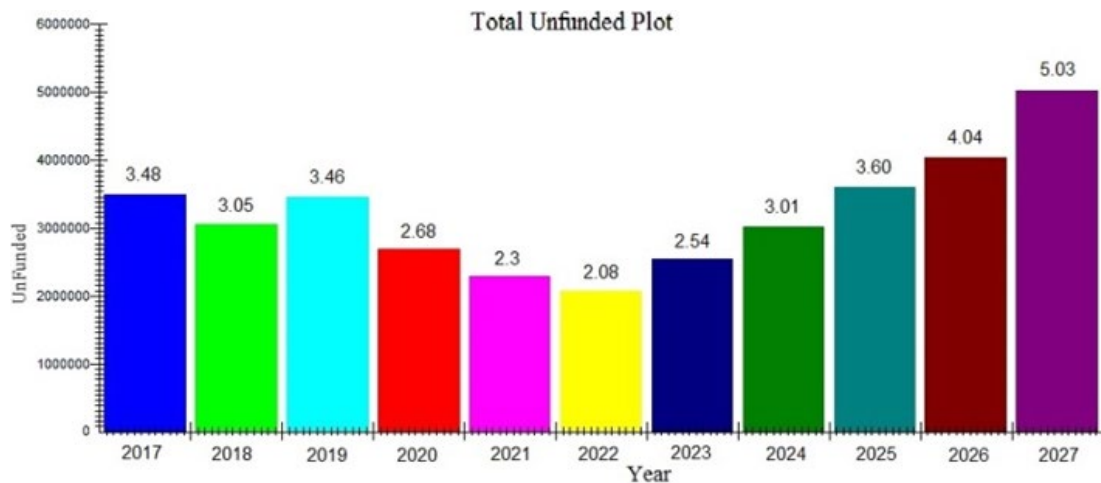
سیستم مدیریت روسازی توانسته است با استفاده از عملیات‌های نگهداری مناسب، بخشی از خرابی‌های موجود شبکه را کنترل نموده و نیازهای نگهداری را کاهش دهد. با این حال، پس از سال ۲۰۲۲ روند بودجه تأمین‌نشده مجدداً افزایشی شده و در انتهای دوره تحلیل (۲۰۲۷)



شکل ۱۸. مجموع بودجه سرمایه‌گذاری شده با سناریوی تعیین بودجه با حفظ وضعیت فعلی

جدول ۱۵. مجموع بودجه سرمایه‌گذاری شده با سناریوی تعیین بودجه با حفظ وضعیت فعلی

Plan Year	Sum of Stop Gap Funded	Sum of Preventative Funded	Sum of Global Funded	Sum of Major Under Critical Funded	Sum of Major Above Critical Funded	Total
03/21/2017	\$ 4,776.64	\$ 199,269.03	\$ 533,334.13	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 737,379.80
03/21/2018	\$ 2,741.71	\$ 61,349.33	\$ 546,351.18	\$ 0.00	\$ 122,758.77	\$ 733,201.00
03/21/2019	\$ 2,968.02	\$ 66,398.08	\$ 528,475.88	\$ 0.00	\$ 122,523.37	\$ 720,365.35
03/21/2020	\$ 3,076.97	\$ 61,282.21	\$ 0.00	\$ 25,663.18	\$ 637,090.45	\$ 727,112.81
03/21/2021	\$ 2,612.14	\$ 62,933.11	\$ 177,760.39	\$ 42,003.03	\$ 392,225.85	\$ 677,534.52
03/21/2022	\$ 2,821.11	\$ 63,544.92	\$ 33,785.95	\$ 0.00	\$ 410,677.42	\$ 510,829.41
03/21/2023	\$ 3,046.80	\$ 76,576.46	\$ 657,134.41	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 736,757.67
03/21/2024	\$ 3,290.54	\$ 89,196.50	\$ 643,274.25	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 735,761.29
03/21/2025	\$ 3,553.79	\$ 106,859.09	\$ 620,774.63	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 731,187.50
03/21/2026	\$ 3,838.09	\$ 122,909.71	\$ 550,829.95	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 677,577.75



شکل ۱۹. مجموع بودجه تامین نشده با سناریوی تعیین بودجه با حفظ وضعیت فعلی

جدول ۱۶. مجموع بودجه تامین نشده با سناریوی تعیین بودجه با حفظ وضعیت فعلی

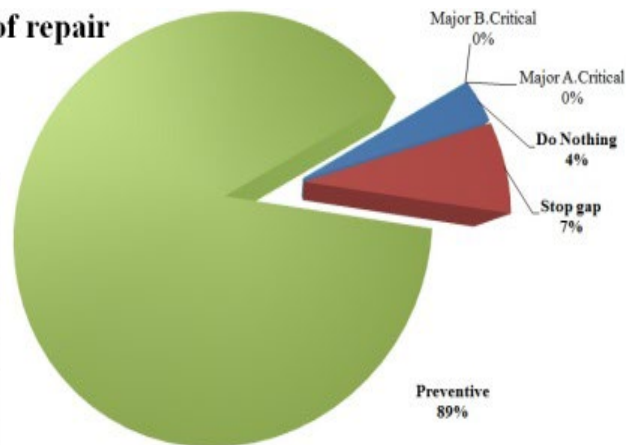
Plan Year	Sum of Stop Gap Unfunded	Sum of Preventative Unfunded	Sum of Global Unfunded	Sum of Major Under Critical Unfunded	Sum of Major Above Critical Unfunded	Unfunded
03/21/2017	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 1,456,696.55	\$ 415,603.30	\$ 1,612,439.96	\$ 3,484,739.81
03/21/2018	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 947,306.69	\$ 449,768.80	\$ 1,649,338.94	\$ 3,046,414.44
03/21/2019	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 1,278,563.26	\$ 486,740.91	\$ 1,694,200.25	\$ 3,459,504.41
03/21/2020	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 965,034.51	\$ 501,089.79	\$ 1,217,566.39	\$ 2,683,690.69
03/21/2021	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 864,476.88	\$ 500,267.88	\$ 931,057.01	\$ 2,295,801.76
03/21/2022	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 933,635.03	\$ 541,470.72	\$ 601,423.38	\$ 2,076,529.13
03/21/2023	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 1,300,257.82	\$ 586,064.31	\$ 653,835.99	\$ 2,540,158.13
03/21/2024	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 1,663,783.22	\$ 634,331.26	\$ 710,798.31	\$ 3,008,912.79
03/21/2025	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 2,146,499.18	\$ 686,566.04	\$ 762,634.41	\$ 3,595,699.64
03/21/2026	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 2,467,715.88	\$ 743,098.63	\$ 829,060.35	\$ 4,039,874.85

به موقع عملیات‌های کم‌هزینه و مؤثر، از گسترش خرابی‌ها و نیاز به ترمیم‌های اساسی در سال‌های آتی جلوگیری نماید. این موضوع نشان می‌دهد که سناریوی حفظ وضعیت فعلی روسازی، ضمن نیاز به بودجه‌ای به مراتب کمتر از سناریوی بودجه نامحدود، قادر است شرایط عملکردی شبکه را در سطح نسبتاً پایدار حفظ نموده و مانع کاهش شدید کیفیت روسازی شود.

همچنین نتایج اولویت بندی شده ترمیم در سال اول در شکل ۲۰ نشان می‌دهد که تنها ۴ درصد از قطعات بدون انجام عملیات نگهداری باقی مانده‌اند، در حالی که ۷ درصد از قطعات تحت ترمیم موضعی ایمن و ۸۹ درصد تحت عملیات نگهداری پیشگیرانه قرار گرفته‌اند. سهم بالای نگهداری پیشگیرانه در این سناریو نشان دهنده آن است که سیستم مدیریت روسازی تلاش نموده است با اجرای

M&R distribution for the first year of repair

Maintenance Policy	Number of Section	Percent
Do Nothing	1	%4
Stop gap	2	%7
Preventive	25	%89
Major Bellow Critical	0	%0
Major Above Critical	0	%0
TOTAL	28	%100



شکل ۲۰. توزیع انواع رده بندی ترمیم در سال اول با سناریوی تعیین بودجه با حفظ وضعیت فعلی

۳-۶- جمع بندی و مقایسه عملکرد سناریوهای مختلف بودجه‌ای

و افت PCI محسوس‌تر بوده است. این موضوع نشان می‌دهد که بودجه محدود، تنها امکان انجام مداخلات حداقلی را فراهم کرده و بخشی از نیازهای نگهداری به سال‌های بعد منتقل می‌شود.

در سناریوی بودجه متوسط، افزایش اعتبار سالیانه به ۱ میلیارد تومان موجب کاهش سهم قطعات بدون عملیات به ۴ درصد و افزایش سهم نگهداری پیشگیرانه به ۸۹ درصد شده است. در این حالت، روند افت PCI نسبت به سناریوی محدود ملایم‌تر بوده و بودجه تأمین‌نشده نیز کمتر است، بنابراین این سطح از بودجه توانسته است عملکرد شبکه را در وضعیت نسبتاً پایدار حفظ نماید.

در سناریوی حفظ وضعیت فعلی روسازی نیز عمده فعالیت‌ها بر پایه نگهداری پیشگیرانه انجام شده و وضعیت شبکه در محدوده قابل قبول حفظ گردیده است. اگرچه در سال‌های انتهایی بخشی از نیازهای نگهداری بدون تأمین اعتبار باقی مانده، اما این سناریو نسبت به بودجه نامحدود با هزینه کمتر، سطح عملکردی قابل قبولی ارائه می‌دهد.

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که افزایش بودجه سالیانه، مستقیماً موجب کاهش سهم قطعات بدون عملیات، افزایش سهم نگهداری پیشگیرانه و کنترل بهتر روند افت PCI شده است. در مقابل، محدودیت شدید بودجه باعث انتقال نیازهای نگهداری به سال‌های بعد و افزایش بودجه تأمین‌نشده می‌شود. بنابراین، برای شبکه مورد مطالعه، اتکا به نگهداری پیشگیرانه و اجرای به‌موقع آن، نسبت به تأخیر

بر اساس مقدار AADT حدود ۴۶۰۰ وسیله نقلیه در روز، مدل رفتار خانواده با استفاده از PCI بحرانی ۵۵ در نرم‌افزار MicroPaver تعریف گردید. سپس وضعیت روسازی مسیر در سطح شبکه، شاخه و قطعه برای افق ۱۰ ساله مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که در صورت عدم انجام عملیات تعمیر و نگهداری، مقدار PCI کل شبکه از ۷۱،۵۸ در سال ۲۰۱۶ به ۶۴،۸۶ در سال ۲۰۲۵ کاهش می‌یابد. این موضوع بیانگر آن است که اگرچه وضعیت کلی روسازی در طول دوره تحلیل در محدوده قابل قبول قرار دارد، اما روند افت تدریجی شاخص PCI نشان‌دهنده نیاز شبکه به اجرای عملیات‌های نگهداری به‌موقع به‌منظور جلوگیری از گسترش خرابی‌ها در سال‌های آتی می‌باشد. به‌منظور مقایسه سناریوهای مختلف بودجه‌ای، نتایج تحلیل‌ها در جداول ۱۷ و ۱۸ خلاصه شده است. جدول ۱۷ وضعیت کلی هر سناریو را از نظر روند تغییرات PCI، بودجه تأمین‌نشده، نوع غالب فعالیت‌های نگهداری و عملکرد نهایی شبکه نشان می‌دهد.

جدول ۱۸ نیز نحوه اولویت‌بندی عملیات ترمیم و نگهداری در سال اول طرح را برای هر سناریو ارائه می‌کند.

مطابق جداول ۱۷ و ۱۸، در سناریوی بودجه محدود ۱۷۵ میلیون تومانی، به‌دلیل کمبود شدید منابع مالی، ۶۸ درصد از قطعات بدون عملیات باقی مانده و تنها ۲۵ درصد تحت نگهداری پیشگیرانه قرار گرفته‌اند. در نتیجه، بودجه تأمین‌نشده در سال‌های پایانی روند افزایشی داشته

در اقدامات و حرکت به سمت ترمیم‌های اساسی، گزینه‌ای منطقی‌تر و اقتصادی‌تر به نظر می‌رسد. این موضوع به‌ویژه برای شهرهای کوچک و متوسط که با محدودیت منابع مالی مواجه هستند، اهمیت بیشتری دارد زیرا در چنین شرایطی، هدف اصلی تنها افزایش PCI نیست، بلکه حفظ سطح خدمت قابل قبول با کمترین فشار مالی ممکن است.

جدول ۱۷. مقایسه عملکرد سناریوهای مختلف بودجه‌ای در مدیریت روسازی شبکه مورد مطالعه

سناریو	بودجه سالیانه	روند تغییرات PCI	وضعیت بودجه تأمین‌نشده	نوع غالب فعالیت‌های نگهداری	وضعیت عملکردی شبکه در پایان دوره
بودجه محدود	۱۷۵ میلیون تومان	افت تدریجی و محسوس PCI در طول دوره تحلیل	بسیار زیاد و با روند افزایشی در سال‌های پایانی	عملیات‌های موضعی ایمن و نگهداری پیشگیرانه محدود	کاهش سطح خدمت‌دهی و افزایش نیاز به ترمیم‌های اساسی
بودجه متوسط	۱ میلیارد تومان	افت ملایم PCI و کنترل نسبی روند اضمحلال	متوسط و کمتر از سناریوی بودجه محدود	نگهداری پیشگیرانه، موضعی و بخشی از عملیات‌های فراگیر	حفظ نسبی شرایط عملکردی شبکه و کاهش نرخ خرابی
بودجه نامحدود	بدون محدودیت	حفظ PCI در سطح مطلوب و پایدار در کل دوره تحلیل	صفر	عملیات‌های فراگیر و ترمیم‌های اساسی به‌همراه نگهداری پیشگیرانه	پایداری مناسب شبکه و جلوگیری از افت کیفیت روسازی
حفظ وضعیت فعلی روسازی	حدود ۷۰۰ هزار دلار	حفظ نسبی PCI در محدوده قابل قبول	متوسط و افزایشی در سال‌های انتهایی	عمدتاً نگهداری پیشگیرانه و بخشی از عملیات‌های موضعی	حفظ وضعیت موجود شبکه با حداقل افت عملکرد

جدول ۱۸. مقایسه نتایج اولویت بندی ترمیم در سال اول در سناریوهای مختلف بودجه‌ای

عملیات ترمیم / سناریو	بدون عملیات (درصد)	موضعی ایمن (درصد)	پیشگیرانه (درصد)	اساسی زیر بحرانی (درصد)	اساسی بالای بحرانی (درصد)
بودجه محدود	۶۸	۷	۲۵	۰	۰
بودجه متوسط	۴	۷	۸۹	۰	۰
بودجه نامحدود	۰	۰	۴۶	۱۱	۴۳
حفظ وضعیت فعلی	۴	۷	۸۹	۰	۰

۵- نتیجه‌گیری

در این شهر از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا، نتایج تحقیق بیانگر آن بود که به‌کارگیری نرم‌افزار MicroPaver می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد برای ارزیابی وضعیت موجود شبکه، پیش‌بینی روند افت عملکرد روسازی و تحلیل سناریوهای مختلف مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد. بررسی روند تغییرات شاخص PCI نشان داد که در صورت عدم اجرای برنامه‌ریزی منظم

نتایج این پژوهش نشان داد که با توجه به موقعیت ویژه شهر آستارا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شهرهای بندری، مرزی و ترانزیتی شمال کشور، وجود گمرک، بندر و حجم بالای تردد وسایل نقلیه سنگین و ترانزیتی، روسازی معابر شهری این منطقه بیش از بسیاری از شبکه‌های شهری در معرض خرابی و اضمحلال قرار دارد و از این‌رو، برنامه‌ریزی منظم و علمی برای ترمیم و نگهداری روسازی

عملکرد مناسب‌تری داشته و می‌تواند ضمن کاهش هزینه‌های بلندمدت، زمان نیاز به ترمیم‌های اساسی و بازسازی را به تعویق اندازد. به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش بر اهمیت استفاده از سیستم‌های مدیریت روسازی مبتنی بر داده در شبکه‌های شهری پرتردد و ترانزیتی تأکید داشته و نشان می‌دهد که چنین سامانه‌هایی می‌توانند نقش مؤثری در اولویت‌بندی عملیات نگهداری، تخصیص بهینه منابع و افزایش دوام عملکردی روسازی ایفا نمایند.

نگهداری، افت عملکرد روسازی در سال‌های آتی تشدید خواهد شد، در حالی که تخصیص هدفمند منابع و اجرای به‌موقع عملیات نگهداری می‌تواند نقش مؤثری در کنترل روند خرابی‌ها و حفظ سطح خدمت‌دهی شبکه ایفا نماید. همچنین نتایج تحلیل سناریوهای بودجه‌ای نشان داد که محدودیت منابع مالی، موجب افزایش قطعات بدون مداخله و کاهش سهم عملیات نگهداری پیشگیرانه می‌شود، در حالی که رویکرد مبتنی بر نگهداری پیشگیرانه، در مقایسه با مداخلات واکنشی و دیر هنگام، از نظر فنی و اقتصادی

۶- مراجع

-Akbarigheibi, R. and Amoozadeh Omrani, M. (2021). Assessment of Asphalt Pavement Failures of University Campuses: Case Study of Eastern Mediterranean University (EMU) Campus in North Cyprus (in Persian). *Civil and Project*, 2(12), 26-39.

-Almuhanna, R. R., Ewadh, H. A., & Alasadi, S. J. (2018). Using PAVER 6.5. 7 and GIS program for pavement maintenance management for selected roads in Kerbala city. *Case Studies in Construction Materials*, 8, 323-332.

-Anand, S., Gaur, A., & Hussain, S. (2025). Pavement deterioration modelling for urban and rural roads using HDM-4. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 18(2), 493-515.

-Babagoli, R. (2021). A Pavement Management System Model for Rural Roads in Mazandaran Province (in Persian). *Journal of Transportation Research*, 18(4), 267-281. doi: 10.22034/tri.2021.142129

-Elyasi, M., Daryaei, D. and Vahedian, M. (2026). Prioritization, credit allocation for asphalt pavement maintenance based on multi-criteria decision-making methods (Case study: Malayer city) (in Persian). *Journal of Structural and Construction Engineering*, 12(11), 19-40. doi: 10.22065/jsce.2025.487243.3565

-Guan, X., Zhang, H., Du, X., Zhang, X., Sun, M., & Bi, Y. (2023). Optimization for asphalt pavement maintenance plans at network level: Integrating maintenance funds, pavement performance, road users, and environment. *Applied Sciences*, 13(15), 8842.

-Justo-Silva, R., Ferreira, A., & Flintsch, G. (2021). Review on machine learning techniques for developing pavement performance prediction models. *Sustainability*, 13(9), 5248.

-Moayedfar, R. and baharvandi, M. (2021). The mechanism of budget prioritization for

roads maintenance and rehabilitation at uncertainty condition (case study of khorram abad-doroud road) (in Persian). *Journal of Transportation Research*, 18(2), 15-34. doi: 10.22034/tri.2021.113132

-Radwan, M. M., Zahran, E. M., Dawoud, O., Abunada, Z., & Mousa, A. (2025). Comparative analysis of asphalt pavement condition prediction models. *Sustainability*, 17(1), 109.

-Rejani, V. U., Janani, L., Venkateswaralu, K., Sunitha, V., & Mathew, S. (2023). Strategic pavement maintenance and rehabilitation analysis of urban road network using HDM-4. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 16(4), 927-942.

-Shahin, M.Y., Walter, J.A., (1990). Pavement Maintenance for Roads and Streets Using the PAVER System: Final Report, Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, IL, USA.

-Tahmoursi, G., Fazlollahi, M. R. and Divandari, H. (2023). Presenting a Pavement Performance Model Based on Pavement Condition Index Using Long-Term Pavement Performance Data (in Persian). *Road*, 31(114), 1-14. doi: 10.22034/road.2022.326974.2028

-Zhu, H., Huang, J., Yin, C., Komma, C., & Liu, Y. (2023). Optimisation method of network level pavement maintenance planning based on benefit maximisation subject to budget constraints and a case study. *International Journal of Pavement Engineering*, 24(1), 2017432.

-Zimmerman, K. A., & Peshkin, D. G. (2003). Pavement management perspective on integrating preventive maintenance into a pavement management system. *Transportation Research Record*, 1827(1), 3-9.

Pavement Maintenance Management of Urban Road Networks Using MicroPaver (Case Study: Astara City)

Mohammad Javad Farajnia, M.Sc., Grad., Islamic Azad University of Ahar Branch, Iran.

Saeid Sobhi, M.Sc., Grad., Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

Babak Golchin, Associate Professor, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

E-mail: b.golchin@uma.ac.ir

Received: February 2026- Accepted: May 2026

ABSTRACT

Urban pavements in transit-heavy cities frequently suffer from rapid deterioration caused by heavy traffic loads and constrained financial resources. To address this, the implementation of data-driven Pavement Management Systems (PMS) is essential for efficient maintenance planning and optimal resource allocation. This study evaluates the effectiveness of MicroPaver software in managing the urban road network of Astara, Iran a critical transit hub characterized by significant port activities, customs facilities, and high volumes of heavy vehicle traffic. Researchers defined sample units across the network and conducted field surveys to calculate the Pavement Condition Index (PCI). Using a performance model based on a critical PCI of 55 and an average daily traffic volume of approximately 4,600 vehicles, the study simulated the network's condition over a 10-year period under four distinct management scenarios. The findings highlight the risks of inaction: in the absence of a structured maintenance program, the network's average PCI declined from 71.58 to 64.86. Furthermore, scenarios constrained by limited budgets resulted in widespread neglected sections and accelerated pavement deterioration. Conversely, increasing budget allocations and prioritizing preventive maintenance strategies proved highly effective in controlling distress and preserving network serviceability. In conclusion, the study demonstrates that leveraging data-based PMS, coupled with a focus on preventive maintenance, is a vital strategy for improving infrastructure performance. This approach not only mitigates long-term deterioration but also enables the optimization of limited municipal funds in high-traffic urban environments.

Keywords: Pavement Management System, Budgeting Scenarios, Repair and Maintenance, PCI, MicroPaver