



Semnan University



Research Article

Optimizing the time of field visits in asphalt pavements by using the roughness index, considering the cost issues

Ayoubinejad, J.^{a*} , Akbari Motlagh, A.^b

^a Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, I. R. Iran.

^b Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, I. R. Iran.

PAPER INFO

Paper history:

Received: 2023-10-07

Revised: 2023-11-11

Accepted: 2023-11-21

Keywords:

Asphalt pavement;

Field visit;

International roughness index;

Cost;

Genetic algorithm.

ABSTRACT

Considering the exorbitant costs that are paid annually for repair and improvement of asphalt pavements and also considering the increasing use of heuristic and meta-heuristic algorithms, the main goal of this article is to determine the most appropriate time for field surveys in pavement management by using the genetic algorithm to prevent more expenses and have better planning for pavement maintenance and repair so that the roads have always an acceptable level of service. However, the indexes affecting different costs should also be determined and these costs should be optimized at the same time as determining the best time to conduct the inspection. For this purpose, according to the factors affecting the optimal time of field surveys and with the help of genetic algorithm, the required program was implemented in MATLAB software and tested for different samples from Khuzestan province. According to the obtained impressive and reasonable results, it can be seen that by using this method and determining the most appropriate time for field survey of a road, it is possible to avoid excessive and irreparable expenses. With the help of this method and having the basic information of the road, it is possible to prevent excessive damages to the road as well as high costs, and while maintaining the service level of the road in the desired state, attract satisfaction of the users.

DOI: <https://doi.org/10.22075/jtie.2023.32003.1653>

* Corresponding author.

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

How to cite this article: Ayoubinejad, J., & Akbari Motlagh, A. (2023). Optimizing the time of field visits in asphalt pavements by using the roughness index, considering the cost issues. *Journal of Transportation Infrastructure Engineering*, 9(3), 103-118. doi: [10.22075/jtie.2023.32003.1653](https://doi.org/10.22075/jtie.2023.32003.1653)



Semnan University

مجله زیر ساخت های حمل و نقل

وبسایت نشریه: <https://jtie.semnan.ac.ir/?lang=en>

شاپا: 2821-0549



مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی زمان بازدیدهای میدانی در روسازی‌های آسفالتی با استفاده از شاخص ناهمواری با در نظر گرفتن مباحث هزینه‌ای

جلال ایوبی‌نژاد^{۱*}، علی اکبری مطلق^۲

^۱ استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران

^۲ دانشجوی دکترا، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>با توجه به هزینه‌های گزافی که سالانه جهت ترمیم و بهسازی روسازی‌های آسفالتی پرداخت می‌شود و همچنین با توجه به گسترش روزافزون استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری، هدف اصلی این مقاله تعیین مناسب‌ترین زمان برای برداشت‌های میدانی در مدیریت روسازی، با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک، است تا ضمن جلوگیری از هزینه‌های بیشتر، برنامه‌ریزی بهتری جهت نگهداری و تعمیر روسازی داشته باشیم تا همواره جاده‌ها سطح خدمت قابل قبولی داشته باشند؛ منتها باید شاخص‌های مؤثر بر هزینه‌های مختلف نیز مشخص شده و همگام با تعیین بهترین زمان انجام بازرسی، این هزینه‌ها نیز بهینه شوند. به این منظور، با توجه به عوامل مؤثر بر زمان بهینه بازدیدهای میدانی و به کمک الگوریتم ژنتیک، برنامه مورد نیاز در نرم‌افزار متلب پیاده شده و برای نمونه‌های مختلف از استان خوزستان آزمایش شد. با توجه به نتایج چشمگیر و منطقی به‌دست آمده، مشاهده می‌شود که می‌توان با بهره‌گیری از این روش و تعیین مناسب‌ترین زمان برداشت میدانی یک مسیر، از صرف هزینه‌های گزاف و جبران‌ناپذیر جلوگیری کرد. به کمک این روش و با داشتن اطلاعات اولیه مسیر، می‌توان از خرابی بیش از حد مسیر و در نتیجه هزینه‌های زیاد جلوگیری کرده و ضمن حفظ سطح سرویس‌دهی مسیر در حالت مورد نظر، رضایت استفاده‌کنندگان را نیز جلب کرد.</p>	<p>دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵ بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۳۰</p> <p>واژگان کلیدی: روسازی آسفالتی، بازدید میدانی، شاخص زبری بین‌المللی، هزینه، الگوریتم ژنتیک.</p>

DOI: <https://doi.org/10.22075/jtie.2023.32003.1653>

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: j.ayoubinejad@pnu.ac.ir

استناد به این مقاله: ایوبی‌نژاد، جلال & اکبری مطلق، علی. (۱۴۰۲). بهینه‌سازی زمان بازدیدهای میدانی در روسازی‌های آسفالتی با استفاده از شاخص ناهمواری با در نظر گرفتن مباحث هزینه‌ای. مهندسی زیر ساخت های حمل و نقل. ۹(۳)، ۱۱۸-۱۰۳. doi: 10.22075/jtie.2023.32003.1653

۱. مقدمه

روسازی راه‌ها از سرمایه‌های ملی هر کشور محسوب شده و هر ساله بخشی از بودجه‌های عمرانی صرف ترمیم، بهسازی، حفظ و نگهداری شبکه راه‌ها می‌شود. تأمین اعتبار کافی برای این منظور چالشی است که مدیران عالی همواره با آن مواجه هستند. در گذشته، فقط به نگهداری روسازی‌ها توجه می‌شد و مدیریت روسازی‌ها امری ناشناخته بود. در این شرایط، عامل تعیین‌کننده در انتخاب روش ترمیم و نگهداری مناسب، تجربه مهندسين بوده است که در عین حال توجه چندانی به هزینه‌های چرخه عمر و یا اولویت‌بندی بر اساس ضرورت در سطح شبکه معطوف نمی‌گردید.

عملیات نگهداری راه‌ها اهمیت زیادی در حفظ و جلوگیری از اضمحلال زودرس آنها و بهره‌گیری از حداکثر ظرفیت راه در عمر پیش‌بینی شده خدمت‌رسانی آن دارد. در این خصوص، با توجه به این مهم که مسئله محدودیت بودجه برای عملیات نگهداری راه امری طبیعی به نظر می‌رسد، لازم است تا ساختار مشخصی برای تخصیص بودجه تعمیر و نگهداری راه‌های گوناگون که امکان توزیع عادلانه امکانات و منابع را در پروژه‌های گوناگون تعمیر و نگهداری روسازی راه فراهم می‌کند، ایجاد گردد (رحیمی و زنگانه رنجبر، ۱۳۸۹).

امروزه، لزوم برنامه‌ریزی مناسب به منظور برآورد صحیح زمان و هزینه انجام پروژه و میزان منابع مورد نیاز در یک پروژه که تأثیر مستقیم بر اجرا، اداره و بهره‌برداری مناسب از پروژه دارند بر کسی پوشیده نیست. به طور کلی، مدیریت و برنامه‌ریزی فعالیت‌ها و منابع مورد نیاز در یک پروژه نیازمند تحلیل‌های متنوعی است که یکی از آنها مدل‌سازی و تخمین صحیح هزینه و زمان اتمام منابع می‌باشد.

مدیریت و نگهداری راه‌ها یکی از مهم‌ترین ارکان در حفظ و نگهداری راه‌ها به‌شمار می‌رود. اهمیت و توجه لازم نسبت به این گونه اقدامات باعث می‌شود تا راه‌های

سالم‌تر و بادوام‌تری در شبکه راه‌های کشور وجود داشته باشد. طبق گزارش‌های سازمان‌های بین‌المللی معتبر، در کشورهایی که مدیریت روسازی را به شکل صحیحی پیاده‌سازی نموده‌اند تا ۳۰ درصد در هزینه‌های تعمیر و نگهداری آنها صرفه‌جویی شده است. متأسفانه در ایران تا کنون اقدامات صحیحی در راستای نگهداری پیشگیرانه صورت نگرفته است. عدم وجود برنامه‌ریزی صحیح و دقیق در راستای نگهداری و اقدامات مدیریتی باعث شده است تا سرمایه‌های هنگفتی صرف ساخت و ترمیم راه‌ها گردد.

فعالیت‌های نگهداری و بهسازی روسازی‌ها نیازمند تخصیص بودجه‌های کلانی است که کمبود بودجه، دست‌اندرکاران و تصمیم‌گیران را مجاب به اولویت‌بندی پروژه‌های نگهداری و بهسازی نموده است. از آنجایی که مدیریت زیرساخت‌های کشور نیازمند در نظر گرفتن عملکرد سازه‌ای و هزینه نهایی انجام مدیریت آنها در طول چرخه عمر می‌باشد، راه و روسازی به عنوان یک زیرساخت مهم از این قاعده مستثنی نیستند.

ایمنی و راحتی کاربران جاده‌ای به نحو چشمگیری به میزان کیفیت تعمیر و نگهداری روسازی راه وابسته است. در این میان، تشخیص سریع، صحیح و به موقع علت خرابی و ارائه راه‌حل مناسب، کلیدی‌ترین گزینه در افزایش کیفیت نگهداری جاده می‌باشد زیرا علاوه بر آنکه موجب تأخیر در تخریب آن می‌گردد، باعث کاهش هزینه‌های کاربران و باز بودن مداوم راه می‌شود.

با توجه به آنچه که ذکر شد، مشخص می‌شود که یکی از بزرگترین دغدغه‌های دولت‌ها، ساخت راه‌ها و نگهداری کیفیت آنها می‌باشد، چرا که علاوه بر هزینه‌های گزاف مورد نیاز، رضایت استفاده‌کنندگان نیز بسیار مهم می‌باشد. با گسترش چشمگیر شهرها، همواره باید به فکر ساخت راه‌های ارتباطی جدید بود. با توجه به هزینه‌های گزافی که سالانه جهت ترمیم و بهسازی روسازی‌های آسفالتی پرداخت می‌شود، در این مقاله سعی شده تا بر

شاخص ارزش جهانی راه (RGVI) ایجاد شد تا شرایط روسازی، ترافیک و اهمیت اقتصادی و سیاسی را برای هر بخش از جاده در نظر بگیرد. در این مقاله، با بررسی‌ها و تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته، مشخص شد که الگوریتم ژنتیک برای هدف مورد نظر بسیار مؤثر است.

در تحقیق وو و یئو (۲۰۱۶)، هدف، استفاده کامل از مجموعه بزرگ اطلاعات ترافیکی به دست آمده از فناوری‌های ITS و مدل‌های پیش‌بینی جریان ترافیک است. با استفاده از این منابع، می‌توان یک مدل فیزیکی را برای پیش‌بینی وضعیت روسازی‌ها پیاده‌سازی کرد که متغیرهای مؤثر بر روند فرسودگی، از جمله ویژگی‌های ترافیکی، خصوصیات سازه‌ای روسازی و عوامل محیطی را با یکدیگر مطابقت می‌دهد. نتایج به دست آمده، دو طرح بازرسی منظم یک ساله و دو ساله را به عنوان طرح‌های بهینه معرفی می‌کند.

در تحقیق دومیتروویچ و همکاران (۲۰۱۸) امکان استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای ارزیابی وضعیت موجود در روسازی و کاربرد احتمالی آن برای تعریف استراتژی نگهداری از جاده‌های ملی کرواسی بررسی شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند برای بهینه‌سازی راهکارهای نگهداری یا بهسازی و ارزیابی وضعیت روسازی در سطح پروژه و سطح شبکه مورد استفاده قرار گیرند.

نتایج تحقیق المسی و همکاران (۲۰۱۹) نشان می‌دهد که PMS بر اساس داده‌های فنی و مالی موجود و فرآیند بهینه‌سازی آن، یک پیشنهاد بهسازی آسفالت برای هر جاده در شبکه حمل و نقل بوداپست را ارائه می‌دهد. بسیار مهم است که تأکید شود پس از فرآیند جمع‌آوری و ارزیابی داده‌ها، این سیستم مدیریت روسازی از روش‌های بهینه‌سازی چندمتغیره برای تعیین روش مناسب

اساس اطلاعات موجود و پیش‌بینی شده و البته با توجه به هزینه‌های مورد نیاز جهت برداشت‌های میدانی، مناسب‌ترین زمان را برای این برداشت‌ها به دست آورد تا بتوان با کمترین هزینه، بیشترین بهره‌وری را داشت و همواره جاده‌ها سطح خدمت قابل قبولی داشته باشند. بنابراین، این مقاله در جهت بهینه‌سازی بازرسی‌های روسازی‌های آسفالتی گام برداشته و در این بین، مباحث ترافیکی و مالی را نیز در نظر دارد.

۲. سابقه و پیشینه

قلی‌پور و همکاران (۱۳۹۷) هدف اصلی تحقیق خود را ارائه راهکارهای مناسب به منظور کاهش هزینه و بهبود کیفیت روسازی راه قرار دادند. همچنین، با بهره‌گیری از مدیریت روسازی آسفالت، به دنبال دستیابی به روش‌ها و فناوری‌های مناسب، بر اساس شرایط موجود، جهت افزایش بهره‌وری آسفالت بودند. نتایج این تحقیق می‌تواند برای سازمان‌هایی که وظیفه بهره‌برداری و نگهداری از راه‌ها را بر عهده دارند مفید واقع شود و در نهایت نفع عموم مردم که مالکین اصلی راه‌ها می‌باشند را به همراه خواهد داشت.

مقدس‌نژاد و همکاران (۲۰۱۲) در مقاله خود بیان کرده‌اند که با توسعه راه‌ها و ساخت‌وسازها، اقدامات تعمیر و نگهداری و بهسازی و سیستم مدیریت روسازی مهمترین دغدغه مسئولان راه است. نتیجه اصلی این تحقیق، سیستم توسعه یافته متخصص در مدیریت روسازی است که توسط زبان برنامه‌نویسی C-Sharp تهیه شده است. این انعطاف‌پذیری می‌تواند شرایط و محدودیت‌های مختلفی را برای شاخص زبری بین‌المللی^۱ (IRI) بحرانی در نظر بگیرد.

سلینی و همکاران (۲۰۱۵) از هوش مصنوعی (AI) برای بهینه‌سازی مدیریت روسازی استفاده کردند. برای دستیابی به اهداف مورد نظر، شاخص جدیدی به نام

^۱- International Roughness Index (IRI)

آینده مانند تخریب روسازی، شاخص‌های قیمت، هزینه ساخت‌وساز، اقدامات نگهداری و رشد ترافیک را در بر می‌گیرد.

المنصور و همکاران (۲۰۲۲) یک سیستم تخصصی را بر اساس مدل‌های عملکرد روسازی ایجاد کردند که داده‌های تعمیر و نگهداری موجود را با دانش به‌دست آمده از اداره کل عملیات و نگهداری در ریاض یکپارچه می‌کند. برای چهار استراتژی نگهداری و تعمیر (M&R)، یعنی عدم نگهداری، تعمیر و نگهداری معمولی، بازسازی برای ترافیک کم و سنگین، در ابتدا هشت مدل رگرسیون ایجاد شد. سپس، برای کمک به فرآیند تعمیر و نگهداری روسازی، یک سیستم ویژه واقع‌بینانه در تعیین موفقیت‌آمیزترین و کارآمدترین استراتژی‌های M&R و همچنین فرصت مناسب برای کاربرد، توسعه یافت.

سندامال و همکاران (۲۰۲۳) از الگوریتم‌های یادگیری ماشین قابل توضیح و نظارت شده برای پیش‌بینی شاخص زبری بین‌المللی (IRI) روسازی بتنی آسفالتی در جاده‌های شریانی سریلانکا از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ استفاده کردند. در این مطالعه، از دو متغیر پیش‌بینی‌کننده، سن روسازی و حجم ترافیک تجمعی استفاده شد. این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نسبت به تحلیل رگرسیون سنتی در پیش‌بینی IRI مؤثرتر است. به‌طور کلی، با استفاده از این رویکرد، مسئولین مربوطه می‌توانند برای نگهداری به موقع برنامه‌ریزی کنند تا از بازسازی پرهزینه و گسترده جلوگیری شود. بنابراین، حمل‌ونقل پایدار را می‌توان با افزایش عمر روسازی و کاهش بازسازی مکرر ارتقا داد.

۳. روش تحقیق

در ابتدای این بخش، عواملی که می‌توانند زمان بهینه برداشت‌های میدانی روسازی‌ها را تحت تأثیر قرار دهند بررسی می‌شوند.

بهسازی، اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری در سطح شبکه و رتبه‌بندی پروژه‌های بهسازی، استفاده می‌کند.

هدف از تحقیق وو و آبادی (۲۰۱۸) گسترش یک مدل پیش‌بینی اصطکاک سطحی است که می‌تواند در طراحی روکش‌های آسفالتی استفاده شود. نتایج این تحقیق منجر به توسعه روشی برای پیش‌بینی مقاومت لغزشی پایان عمر روسازی بر اساس مقدار سنگدانه‌ها، پارامترهای دانه‌بندی و ترافیک شد. دوازده لایه مخلوط سنگدانه پوشیده شده با آسفالت شامل دو منبع سنگدانه (ماسه سنگ خرد شده و سنگ آهک سیلیسی) و چهار نوع ترکیب در ارزیابی اصطکاک آزمایشگاهی بررسی شدند. از هر دو نمونه سنگدانه معمولاً در ساخت مخلوط‌های آسفالتی استفاده می‌شود. مشخص شد که مقاومت سائیدگی ماسه سنگ نسبت به سنگ آهک بیشتر است.

پانتوسو و همکاران (۲۰۱۹) روشی را برای تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از سطح روسازی برای اجرای یک برنامه مدیریت روسازی در سطح شبکه در کشور قزاقستان ارائه داده‌اند. روش پیشنهاد شده با هدف پشتیبانی از یک فرآیند تصمیم‌گیری برای استفاده از تجزیه و تحلیل برنامه‌ریزی شده استراتژیک به‌وسیله استخراج اطلاعات از داده‌های برداشت شده از سطح جاده ارائه شد. اطلاعات خرابی‌های سطح روسازی به‌وسیله تصاویر دیجیتال پیوسته و روش‌های اتوماتیک تشخیص ترک روسازی در مسیرهای رفت و برگشت، جمع‌آوری و تحلیل شد.

هدف پایان‌نامه یحیی (۲۰۲۰) توسعه یک الگوریتم یادگیری تقویت‌کننده برای مدیریت سیستم‌های روسازی در سطح پروژه است که هزینه چرخه زندگی را به حداقل می‌رساند. هدف دوم این تحقیق تهیه دستورالعملی بود که هزینه مالی یک سازمان حمل‌ونقل جهت نگهداری روسازی راه‌ها برای یک دوره زمانی مشخص را محاسبه کند. این دستورالعمل عدم قطعیت‌های مختلف فعلی و

۳-۱. عوامل مؤثر بر زمان برداشت‌های میدانی

روسازی

با توجه به بررسی‌های مفصل صورت گرفته، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تعیین مناسب‌ترین زمان برداشت‌های میدانی روسازی‌های آسفالتی به شرح زیر می‌باشد:

۱. سن روسازی

یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر کارایی و عملکرد یک روسازی آسفالتی، سن آن می‌باشد. به مرور و با گذشت زمان، از کیفیت روسازی کاسته شده و سطح خدمت‌دهی آن کاهش می‌یابد. بنابراین، سن روسازی تأثیر مستقیمی بر زمان برداشت‌های میدانی خواهد داشت به نحوی که هر چه سن روسازی بیشتر باشد، با توجه به اینکه میزان خرابی‌های آن نیز بیشتر خواهد بود، بنابراین زمان برداشت‌های میدانی کمتر خواهد بود؛ یعنی باید در فاصله زمانی کمتری بازدید شود.

۲. ترافیک مسیر

با توجه به اینکه ترافیک عبوری یکی از مهم‌ترین عوامل در طراحی مسیر و همچنین یکی از دلایل اصلی خرابی مسیر می‌باشد، جهت تعیین مناسب‌ترین زمان برداشت‌های میدانی بایستی این پارامتر را به دقت بررسی کرد. این پارامتر از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر مناسب‌ترین زمان برداشت‌های میدانی می‌باشد چرا که نتایج این تحقیق نه تنها برای راه‌های تازه ساخته شده قابل استفاده خواهد بود، بلکه برای جاده‌های در حال استفاده نیز می‌تواند مفید باشد. بنابراین، در مورد مسیرهای در حال

استفاده باید میزان ترافیک مسیر را در طول یکسال به‌طور کامل بررسی کرده و این پارامتر را به‌دقت تجزیه و تحلیل نموده و سپس در الگوریتم وارد کرد تا بتوان بهترین زمان برای برداشت میدانی را پیدا کرد. در این خصوص باید حتماً هزینه انجام برداشت‌های میدانی، هزینه‌های تحمیل شده ناشی از بسته شدن احتمالی مسیر، احتمال استفاده از مسیر جایگزین، شرایط آب‌وهوایی و ... را در نظر داشت.

۳. اهمیت و حساسیت مسیر

راه‌ها با در نظر گرفتن معیارهای مختلفی مانند میزان ترافیک عبوری، درجه اهمیت و ... به طبقه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. اهمیت و حساسیت مسیر، پارامتر بسیار مهمی است چرا که نحوه خدمت‌دهی به استفاده‌کنندگان، نقش مسیر در شبکه راه‌ها، نقاطی که توسط این مسیر به‌هم متصل می‌شوند و ... تابع این پارامتر بوده و در نتیجه این پارامتر نقشی اساسی در تعیین مناسب‌ترین زمان برداشت‌های میدانی خواهد داشت. قاعدتاً در مسیرهای مهم و حساس، نقش برداشت‌های میدانی پُررنگ‌تر بوده و می‌تواند تفاوت‌های چشمگیری را رقم بزند.

جهت در نظر گرفتن این پارامتر در الگوریتم مورد استفاده در این مقاله، باید آن را تبدیل به مقادیر عددی کرد. لذا، به هر یک از انواع راه‌ها یک عدد اختصاص داده شد که عدد ۱ نشان‌دهنده بیشترین اهمیت و حساسیت می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱. طبقه‌بندی راه‌ها و مقادیر پارامتر اهمیت و حساسیت مسیر

مقدار عددی پارامتر (I)	نوع مسیر	ردیف
۱	آزادراه	۱
۱	بزرگراه	۲
۱	اصلی ملی	۳
۲	فرعی استانی	۴
۳	فرعی حوزهای	۵
۴	فرعی روستایی	۶

با توجه داده‌های پالایش شده مدل زیر پیشنهاد شده است:

$$PCI = 113.768 - 14.335 \times IRI \quad (1)$$

که PCI شاخص وضعیت روسازی و IRI شاخص ناهمواری بین‌المللی است.

با توجه به اینکه هدف این مقاله تعیین زمان بهینه بازدید است، به شرطی که روسازی در یک سطح خدمت‌دهی موردنظر باقی بماند و وضعیت روسازی از حالت مورد نظر وخیم‌تر نشود، در این الگوریتم، برای محدود کردن سطح خدمت‌دهی، از پارامتر IRI استفاده می‌شود. به این منظور، از یک رابطه جهت پیش‌بینی مقدار IRI در طول زمان استفاده شد.

سندامال و همکاران (۲۰۲۳) در مقاله خود نشان دادند که استفاده از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نسبت به تحلیل رگرسیون سنتی در پیش‌بینی IRI مؤثرتر بود. به طور کلی، با استفاده از این رویکرد، سازمان‌های متولی راه‌ها می‌توانند برای نگهداری به‌موقع برنامه‌ریزی کنند تا از بازسازی پُر هزینه و گسترده جلوگیری شود. بنابراین، حمل‌ونقل پایدار را می‌توان با افزایش عمر روسازی و کاهش بازسازی مکرر ارتقا داد. در این پژوهش، در نهایت رابطه (۲) جهت پیش‌بینی شاخص ناهمواری جاده بر اساس سن روسازی و ترافیک تجمعی پیشنهاد شد:

$$IRIn = IRI0 + 1.569 + 0.305 \times Age + 0.01 \times CUMAADT \quad (2)$$

که IRI: IRI0 اولیه جاده، Age سن روسازی، IRIn : IRI جاده بعد از n سال و CUMAADT حجم ترافیک تجمعی بر حسب میلیون وسیله نقلیه سواری پس از n سال است.

۵. دمای هوا

برای کارایی بهتر این طرح جهت مناطق سردسیر و گرمسیر، از پارامتر دمای هوا استفاده می‌شود، چرا که یکی از عوامل مخرب روسازی‌های آسفالتی، دما می‌باشد. در

در این مقاله، سیستم طبقه‌بندی راه‌ها بر اساس حجم رفت و آمد و سرعت مبنا (سرعت طرح) استفاده می‌شود. لذا، با استفاده از دو عامل مهم حجم و سرعت، طبقه‌بندی راه‌های برون‌شهری و همچنین مقادیر عددی پارامتر اهمیت و حساسیت مسیر مطابق جدول ۱ می‌باشد.

۴. میزان خرابی‌های مسیر

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تعیین مناسب‌ترین زمان برداشت‌های میدانی، میزان خرابی‌های به‌وجود آمده در سطح جاده است. در این خصوص باید توجه داشت که هدف از تعیین زمان مناسب برای برداشت‌های میدانی، جلوگیری از تخریب روسازی و در واقع جلوگیری از ضررهای مالی بیشتر می‌باشد. بنابراین، میزان خرابی‌های احتمالی می‌تواند پارامتر بسیار مهمی باشد چرا که ممکن است یک روسازی به حدی بی‌کیفیت باشد که حتی در یک زمان بسیار کوتاه نیز خرابی‌هایی داشته باشد.

در این بخش باید پیش‌بینی میزان خرابی‌ها را نیز مدنظر قرار داده تا بتوان اثر آنها را بر مناسب‌ترین زمان برداشت‌های میدانی به‌دست آورد. زمان برداشت‌های میدانی باید به گونه‌ای باشد تا مسیر به حالت بحرانی نرسد. بنابراین، باید از طریق پیش‌بینی میزان خرابی مسیر، زمان بحرانی شدن مسیر بر اثر افزایش خرابی‌ها را به‌دست آورده و با تأثیر دادن این موارد در الگوریتم مورد نظر، مناسب‌ترین زمان برداشت‌های میدانی را تعیین کرد.

از آنجا که روند ساخت و نگهداری روسازی در نقاط مختلف جهان متفاوت است، روند اضمحلال روسازی، نوع و شدت خرابی‌ها در محورهای مختلف نیز می‌تواند متغیر باشد. با توجه به شرایط ویژه ایران از لحاظ توپوگرافی، آب‌وهوا و تکنولوژی، انتظار می‌رود روند اضمحلال روسازی راه‌ها نسبت به کشورهای دیگر متفاوت باشد. لذا طبیعی است که پیش‌بینی‌های انجام شده با استفاده از روابط پیشنهادی در دیگر کشورها برای محورهای ایران از دقت کافی برخوردار نباشند. از این‌رو،

شده نسبت به طراحی نامناسب‌تر می‌باشد. بنابراین، یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر تعیین مناسب‌ترین زمان برداشت‌های میدانی، کیفیت اولیه روسازی است. در این حالت، جهت انتقال داده‌ها به الگوریتم مورد نظر، مقادیر عددی پارامتر کیفیت روسازی مسیر، بر اساس PCI اولیه مطابق جدول ۲ است.

این مقاله، از پارامتر دمای متوسط سالانه (AAT) استفاده شده است.

۶. کیفیت روسازی اجرا شده

کیفیت روسازی‌ها همواره پارامتر بسیار مهمی بوده و بر سایر فاکتورها برتری دارد. ولی با توجه به مشکلاتی که در زمینه اجرا وجود دارد، در بیشتر مواقع، کیفیت اجرا

جدول ۲. طبقه‌بندی راه‌ها بر اساس مقادیر PCI

مقدار عددی پارامتر	کیفیت روسازی	PCI	ردیف
۱	عالی	۸۰ - ۱۰۰	۱
۲	خوب	۷۰ - ۸۰	۲
۳	متوسط	۶۰ - ۷۰	۳
۴	ضعیف	۵۰ - ۶۰	۴
۵	بد	۰ - ۵۰	۵

مرمت و نگهداری باید استفاده شود، مواجهه است (فخری و همکاران، ۱۳۹۵).

با توجه به اینکه همواره مباحث مالی نقش تعیین‌کننده‌ای در تمامی پروژه‌های مطالعاتی، تحقیقاتی و عمرانی دارد، در این بخش سعی بر آن است تا فاکتور هزینه را نیز در تعیین زمان بهینه بازدید میدانی روسازی تأثیر داده و با توجه به هزینه‌های انجام شده و نیز پیش‌بینی هزینه‌های آتی، بتوان به کمک الگوریتم ژنتیک به هدف نهایی این تحقیق رسید. برای در نظر گرفتن مبحث هزینه، دو بخش مجزا در نظر گرفته شده است: الف- هزینه نگهداری راه و ب- هزینه کاربران.

۷- الف. هزینه نگهداری راه

ابطحی (۱۳۸۹) عنوان کرده است که با بررسی و تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته در خصوص انواع راه‌های ایران، به این نتیجه رسیده که هزینه نگهداری سالانه راه‌ها

۷. هزینه

سیستم مدیریت روسازی، روش و یا عملکردی ایجاب می‌کند که مدیران از آن در هدایت و کنترل منابع خود در جهت کاهش هزینه‌ها استفاده کنند. در این بین، استفاده بهینه از فعالیت‌های بهسازی نقش قابل توجهی در کاهش هزینه‌های مدیریت راه دارد. در سال‌های اخیر، علم نگهداری راه به یک موضوع کلیدی در مدیریت‌های راه تبدیل شده و سبب شده تمرکز ارگان‌ها و سازمان‌های متولی از ساخت راه‌های جدید به نگهداری راه‌های موجود تغییر کند. اگرچه نگهداری راه‌ها یکی از فعالیت‌های پُرهزینه در زمینه حمل‌ونقل به شمار می‌آید، اما می‌توان با یک برنامه‌ریزی بهینه و مناسب، هزینه‌های نگهداری را کاهش داد. جهت رسیدن به این هدف، فرد تصمیم‌گیرنده با موانع بزرگی از جمله تعیین قطعه‌هایی از روسازی که نیاز به بهسازی دارند، تعیین زمان و چگونگی بهسازی آن قطعه‌ها و این که کدام گزینه‌های

ارزش ریالی ساعات کاری و غیرکاری مسافران، بار و هزینه تصادفات، آمار دقیقی وجود ندارد، این مقادیر برابر صفر در نظر گرفته شده و در تحلیل فقط از عوامل هزینه‌های عملیاتی وسیله نقلیه استفاده گردیده است. هزینه عملکردی انواع وسایل نقلیه به کمک HDM-4 محاسبه شده است که نتایج به صورت تابعی از ناهمواری راه بیان می‌شود. رابطه (۳)، تابع هزینه عملکردی خودروی سواری را بر مبنای شاخص ناهمواری بین-المللی، بر حسب ریال بر کیلومتر بر وسیله نقلیه، نشان می‌دهد (فخری و همکاران، ۱۳۹۵):

$$FC = -0.2577*IRI^3 + 13.2954*IRI^2 + 1.9202*IRI + 3172.9 \quad (3)$$

که FC هزینه عملکردی خودروی سواری و IRI شاخص ناهمواری بین‌المللی است.

بنابراین، ابتدا هزینه عملکردی فوق را در طول مسیر بر حسب کیلومتر ضرب کرده تا هزینه بر مبنای ریال بر وسیله نقلیه به دست آید. سپس، هزینه به دست آمده را در تعداد وسایل نقلیه معادل سواری در روز ضرب کرده تا هزینه عملکردی بر مبنای ریال به دست آید. در نهایت، می‌توان با تقسیم این هزینه بر یک میلیون، هزینه عملکردی را بر حسب میلیون ریال بیان کرد.

۲-۳. مطالعه موردی

استان خوزستان با وسعت ۶۴۰۰۰ کیلومتر مربع (۴ درصد از مساحت کل کشور) وسیع‌ترین استان در نیمه غربی کشور است. این استان در محدوده عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۳۳ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۷ تا ۵۰ درجه شرقی قرار دارد (شکل ۱). موقعیت ویژه آن در یکی از حساس‌ترین نقاط جنوب غرب کشور و مجاورت با کشورهای خلیج فارس جایگاه منحصر به فردی به آن بخشیده است.

بین ۳ تا ۱۰ درصد ارزش راه است. برای به دست آوردن ارزش راه می‌توان از فهرست بهای واحد پایه راه، رسته راه و ترابری، استفاده کرد.

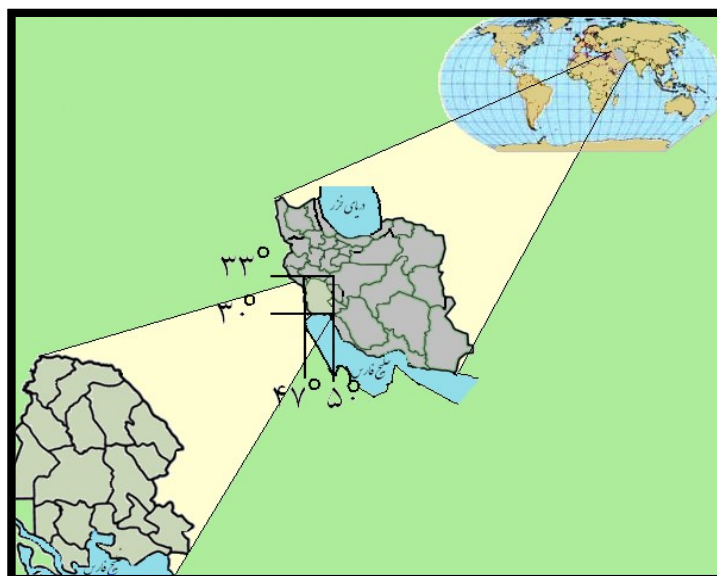
براین اساس در این تحقیق، بطور میانگین هزینه نگهداری سالانه راه‌ها، ۵ درصد ارزش راه در نظر گرفته شده است. بنابراین باید ارزش راه را با استفاده از فهرست بهای واحد پایه راه رسته راه و ترابری به دست آورده و در الگوریتم طراحی شده در متلب، وارد نمود تا بر اساس آن، هزینه نگهداری سالانه راه را به دست آورده و در نهایت میانگین هزینه نگهداری روزانه به دست می‌آید.

۷-ب. هزینه کاربران

برای دست‌یابی به یک برنامه‌ریزی مناسب، هزینه کاربران راه نیز مانند هزینه مدیریت راه اهمیت فراوانی دارد و نیازمند بررسی و ارزیابی است. هزینه کاربران راه یکی از هزینه‌های مهم در برآورد اقتصادی پروژه‌های ترمیم و نگهداری روسازی راه می‌باشد. از هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه می‌توان به منظور مقایسه سیستم‌های حمل‌ونقل و تعیین منابع استفاده‌کنندگان از راه استفاده نمود (فخری، ۱۳۸۶).

همچنین، با توجه به روند افزایشی قیمت سوخت و ناوگان حمل‌ونقل کشور، کاهش هزینه کاربران راه نیز حائز اهمیت است. بنابراین، با اعمال گزینه‌های مناسب نگهداری راه در زمان‌های مناسب، علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه‌های مرمت و نگهداری، می‌توان این هزینه‌ها را نیز کاهش داد (شورمیچ، ۱۳۹۱).

هزینه عملکردی وسایل نقلیه را بر اساس مشخصات جاده (ناهمواری راه، عرض جاده، شیب و ...) و مشخصات وسایل نقلیه (سرعت، وزن وسیله، قیمت سوخت و روغن و ...) تعیین می‌کنند. از آنجایی که برای عوامل تشکیل‌دهنده هزینه‌های سفر، از جمله سفرهای کاری مسافران، درصد استفاده شخصی از وسیله نقلیه و



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان خوزستان

پایش شبکه راه‌های کشور به صورت مستمر، با برنامه-ریزی و اعزام اکیپ‌های تخصصی و مجهز به تجهیزات هوشمند لیزری و تصویربرداری پیشرفته منطبق با استانداردهای بین‌المللی، در مدت زمانی کمتر از هفت ماه، تکمیل و وارد فاز بهره‌برداری شد. با تکمیل دوره چهارم پایش راه‌های شریانی، علاوه بر توسعه مدل‌های جدید، داده‌ها و اطلاعات ارزشمندی جمع‌آوری شده که مبنای انتخاب گزینه، نظارت مؤثر و تخصیص بهینه منابع در سطح شبکه خواهد شد. پایش وضعیت رویه راه‌ها قابلیت‌های جدیدی را در سایر حوزه‌های زیرساختی راه-ها مانند پل‌ها، ابنیه فنی و ایمنی گشوده و فرصت‌های تحلیلی فراوانی را برای توسعه مدیریت سیستماتیک نگهداری در کشور ایجاد کرده است.

جدول ۳، نتایج به دست آمده از طرح ملی پایش تعدادی از محورهای شریانی استان خوزستان را به تفکیک شهرستان نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در این طرح فقط راه‌های شریانی برداشت شده است، بنابراین در این جدول برای هر شهرستان، محورها به سه دسته آزادراه، بزرگراه و راه اصلی تقسیم شده‌اند.

این استان از غرب با کشور عراق هم مرز است؛ استان‌های بوشهر در جنوب شرق، کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال و بختیاری در شرق و لرستان و ایلام در شمال آن قرار دارند. با توجه به موقعیت قرارگیری این استان در ایران و فاصله کم آن از مدار ۲۳ درجه (رأس-السرطان)، به طور نسبی از آب‌وهوای گرمی برخوردار است. ضمن آنکه بخش‌هایی از شمال و شمال‌شرقی آن که در ارتفاع بالاتری قرار گرفته‌اند از آب‌وهوای معتدل-تری برخوردارند. در مجموع، می‌توان گفت که موقعیت جغرافیایی در وضعیت آب‌وهوایی، شکل و نوع سکونتگاه‌های انسانی، وضعیت خطوط ارتباطی، اوضاع اقتصادی و تحولات تاریخی این استان نقش مؤثری داشته است (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰).

۳-۳. داده‌های جمع‌آوری شده

۳-۳-۱. نتایج به دست آمده از طرح ملی پایش شبکه راه‌های شریانی کشور

جدول ۳. سامانه مدیریت زیرساخت حمل‌ونقل جاده‌ای کشور- شاخص وضعیت روسازی (PCI)

ردیف	شهرستان	نوع راه	طول (کیلومتر)	PCI	IRI
۱	امیدیه	راه اصلی	۲۶۰	۴/۷۳	۳/۳
۲	اندیکا	راه اصلی	۱۲۹	۳/۷۴	۶/۳
		آزادراه	۸۰	۳/۷۹	۴/۲
۳	اندیمشک	بزرگراه	۱۳۱	۶/۷۲	۳
		راه اصلی	۱۴۰	۵/۷۵	۵/۲
		آزادراه	۹۶	۷/۹۰	۸/۱
۴	اهواز	بزرگراه	۸۷	۷/۸۵	۲/۲
		راه اصلی	۴۸۷	۵/۸۱	۹/۲
۵	ایذه	راه اصلی	۶۱	۷۴	۲/۳
		بزرگراه	۴۵	۱/۷۱	۷/۳
۶	آبادان	راه اصلی	۲۹۲	۹/۷۹	۵/۳

۳-۴. استفاده از الگوریتم ژنتیک در برنامه متلب

ارزیابی کارآ و مؤثر وضعیت موجود شبکه روسازی راه‌ها و پیش‌بینی عملکرد و عمر مفید روسازی‌ها، هماهنگی کلیه فعالیت‌های طرح، ساخت و نگهداری روسازی راه، ارزیابی سیاست‌ها، استانداردها و برنامه‌های ساخت، ترمیم و نگهداری روسازی راه‌ها، اولویت‌بندی فعالیت‌های ساخت، ترمیم و بازسازی روسازی‌ها، تخصیص بهینه بودجه و نیز بهینه‌سازی سرمایه‌ها در فعالیت‌های تعمیر و نگهداری و صرفه‌جویی اقتصادی ناشی از کاهش هزینه‌های ساخت و نگهداری و امکان انتخاب بهترین زمان و روش ترمیم و نگهداری اهدافی است که با اجرای صحیح سامانه مدیریت روسازی راه‌ها در کشور، تحقق آنها امکان‌پذیر خواهد بود.

با ارزیابی وضعیت روسازی و پیش‌بینی آن در آینده، نیازهای مالی در دو سطح شبکه و پروژه تحلیل می‌گردد. این دو سطح از مدیریت مکمل یکدیگر بوده و باید در ارتباط مستقیم با یکدیگر قرار داشته باشند.

با توجه به موارد و عوامل اشاره شده در خصوص بهینه‌سازی زمان بازدید روسازی آسفالتی، هفت عامل به شرح زیر در نظر گرفته شده‌اند:

- ترافیک روزانه متوسط سالانه مسیر (AADT)
- سن روسازی
- ضریب اهمیت مسیر که به صورت ضرایبی از یک تا پنج مقاداردهی شده‌اند.
- میزان خرابی مشاهده شده در مسیر که بر اساس مقدار پیش‌بینی شده PCI ارائه می‌شود.
- دمای متوسط سالانه که یک عدد بین ۱۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس لحاظ شده است.
- کیفیت روسازی مسیر یک متغیر اسمی است و بین یک تا پنج بر اساس میزان کیفیت مسیر مقاداردهی می‌شود.
- هزینه‌ها شامل هزینه نگهداری و هزینه کاربران متغیر پاسخ نیز به صورت درصدی از زمان لحاظ شده است. به منظور ایجاد رابطه بین متغیرها، از تابع نمایی استفاده می‌شود به صورتی که مقدار متغیر پاسخ به صورت ضریبی از متغیرهای مستقل به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$z = e^{-x_1} + e^{-x_2} + e^{-x_3} + e^{-x_4} + e^{-x_5} + e^{-x_6} + e^{-x_7} \quad (4)$$

۱۴- مقدار تابع هدف هر دو کروموزوم جدید را محاسبه نموده و جایگزین مقادیر قبلی نمایید.

۱۵- بهترین مقدار تابع هدف همه کروموزومها را در Zbest قرار دهید.

۱۶- یک واحد به شمارنده نسلها اضافه کنید.

۱۷- اگر به شماره نسل نهایی رسیده‌اید برو به ۱۸ در غیر اینصورت برو به ۷

۱۸- ارائه Zbest

۱۹- پایان الگوریتم

بر اساس فلوچارت بالا، الگوریتم ژنتیک مورد نظر در نرم‌افزار متلب نوشته می‌شود.

با توجه به اینکه در هنگام استفاده از این برنامه، سن روسازی مشخص است، در ابتدا باید سن روسازی را به‌عنوان یک پارامتر ثابت وارد کرد. همچنین، با توجه به اینکه در هنگام طراحی و ساخت یک جاده، نوع آن کاملاً مشخص است، بنابراین ضریب اهمیت جاده نیز به‌عنوان یک پارامتر ثابت مشخص بوده و در ابتدای اجرای برنامه باید وارد شود.

همچنین باید توجه داشت که در این برنامه باید از یک فرمول جهت پیش‌بینی میزان خرابی یا پیش‌بینی وضعیت روسازی در آینده استفاده کرد. با بررسی مطالعات صورت گرفته در این خصوص، مشخص می‌شود که روابط زیادی جهت پیش‌بینی وضعیت روسازی ارائه شده است که هر یک از متغیرهای مختلفی استفاده کرده و برای شرایط متفاوتی پیشنهاد شده‌اند. بنابراین، باید قبل از استفاده از این برنامه، با سنجش شرایط و مشخصات منطقه مورد نظر و همچنین پارامترهای در اختیار، فرمول مناسب جهت پیش‌بینی وضعیت روسازی را انتخاب و در فایل اصلی برنامه وارد کرد.

با توجه به آنچه ذکر شد، این برنامه دو متغیر سن روسازی و ضریب اهمیت جاده را ثابت در نظر گرفته و با استفاده از الگوریتم ژنتیک، بقیه متغیرها (ترافیک، PCI،

الگوریتم حل این مسئله به کمک روش الگوریتم ژنتیک به صورت زیر قابل ارائه می‌باشد:

۱- شروع

۲- مقداردهی تعداد کروموزومها، نرخ جهش، تقاطع و تعداد کروموزوم برتر که به نسل بعدی منتقل می‌شوند.

۳- مقداردهی اولیه تمامی کروموزومها به صورت تصادفی
۴- محاسبه مقدار تابع هدف برای هر کروموزوم و در نظر گرفتن مقدار تابع هدف به‌دست آمده به عنوان تابع برآزش

۵- محاسبه احتمال انتخاب هر کروموزوم (که برابر است با مقدار تابع هدف آن کروموزوم تقسیم بر مجموع کل توابع هدف کروموزومها)

۶- شروع شمارشگر نسل از یک

۷- تولید یک عدد تصادفی جهت مشخص کردن اقدام مربوطه در آن نسل

۸- اگر بر اساس عدد تصادفی بند ۷ نیاز به جهش بود برو به ۹ و اگر نیاز به تقاطع بود برو به ۱۲

۹- جهش: بر اساس چرخ رولت، یک کروموزوم را انتخاب کنید.

۱۰- دو عدد تصادفی بین یک تا طول رشته کروموزوم انتخاب کنید. جای دو جایگاه تولید شده در رشته را عوض کنید.

۱۱- مقدار تابع هدف جدید را جایگزین تابع هدف قبلی آن رشته نمایید.

۱۲- تقاطع: بر اساس مکانیسم چرخ رولت، دو کروموزوم را انتخاب کنید؛ هر کروموزوم را به سه قسمت تقسیم نمایید.

۱۳- دو کروموزوم جدید بسازید به طوری که یک سوم اول و آخر از یک کروموزوم و قسمت میانی از کروموزوم دیگر انتخاب گردد.

به‌دست می‌آورد. بر این اساس، برای رسیدن به هدف این مقاله، برنامه مورد نظر به کمک الگوریتم ژنتیک در نرم-افزار متلب نوشته و اجرا شد.

۴. نتایج و بحث

با توجه به مطالعه موردی انتخاب شده، یعنی استان خوزستان، مسیرهای مختلفی از این استان را به‌عنوان نمونه انتخاب کرده و با جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، با استفاده از این برنامه، مناسب‌ترین زمان برای برداشت میدانی به‌دست آمد. چنانچه مشاهده می‌شود، سن روسازی و ضریب اهمیت روسازی را باید به برنامه داده و بر اساس ترافیک متوسط روزانه در سال، محدوده ترافیک را در برنامه تعیین کنیم تا الگوریتم ژنتیک در این محدوده بهینه‌سازی خود را انجام دهد. همچنین، بر اساس دمای متوسط سالانه مسیر، محدوده تغییرات دما را در برنامه تعیین می‌کنیم. محدوده تغییرات ضریب کیفیت روسازی آسفالتی نیز بر اساس آنچه در قسمت-های قبل ذکر شد، بین ۱ تا ۵ می‌باشد تا الگوریتم ژنتیک در این محدوده عمل کند (جدول ۴).

دما و ضریب کیفیت روسازی) را بهینه‌سازی می‌کند. به این منظور، برای بررسی تغییرات میزان ترافیک روزانه متوسط سالانه مسیر (AADT) باید محدوده تغییرات را بر اساس ترافیک واقعی مسیر تعیین کرد. مقدار PCI نیز که با توجه به فرمول استفاده شده، بر اساس پارامترهای مورد نیاز پیش‌بینی می‌شود، با توجه به بهینه‌سازی سایر متغیرها، مقدار PCI نیز بهینه می‌شود. محدوده تغییرات دمای متوسط سالانه نیز بر اساس گزارش‌های هواشناسی، تعیین می‌شود. طبق آنچه که قبلاً ذکر شد، ضریب کیفیت روسازی بر اساس مقدار PCI مسیر، از ۱ تا ۵ تغییر می‌کند. بنابراین، در برنامه نوشته شده، محدوده تغییرات ضریب کیفیت روسازی بین ۱ تا ۵ تعیین شده است.

همچنین باید توجه داشت که بر اساس مطالب ذکر شده قبلی، هزینه کلی شامل هزینه نگهداری و هزینه عملکردی خودروی سواری خواهد بود. در این الگوریتم، باید ارزش راه را بر اساس فهرست بهای مربوطه محاسبه کرده و در برنامه وارد کرد. الگوریتم بر اساس ارزش راه، هزینه نگهداری سالانه راه (۵ درصد ارزش راه) را محاسبه کرده و سپس هزینه نگهداری روزانه راه را به‌دست می‌آورد. همچنین، با استفاده از روابط فوق، هزینه عملکردی خودروی سواری را بر اساس IRI مسیر

جدول ۴. نتایج به‌دست آمده از اجرای الگوریتم طراحی شده برای نمونه‌های مختلف در استان خوزستان

زمان بهینه بازدید	هزینه (mRial)	PCI بهینه	ترافیک بهینه	ارزش اولیه مسیر (میلیون ریال)	IRI	ضریب کیفیت	ضریب اهمیت روسازی	طول مسیر (km)	محدوده ترافیک مسیر (Veh/Day)	ترافیک روزانه (Veh/Day)	سن روسازی	ردیف
۲۷	۳۲۲۸	۸۵	۷۰۶۷	۱۰۰۰۰۰۰	۱	۲	۵	۱۰۰	۴۳۰۰-۷۲۰۰	۶۷۸۶	۳	۱
۱۳	۳۲۲۸	۸۵	۵۱۲۳	۱۰۰۰۰۰۰	۱	۲	۵	۱۰۰	۴۳۰۰-۷۲۰۰	۶۷۸۶	۴	۲
۶۷	۳۲۲۸	۸۵	۴۶۹۵	۱۰۰۰۰۰۰	۱	۲	۲	۱۰۰	۴۳۰۰-۷۲۰۰	۶۷۸۶	۴	۳
۶۷	۳۲۲۸	۸۵	۵۶۵۳	۶۰۰۰۰۰	۱	۲	۲	۱۰۰	۴۳۰۰-۷۲۰۰	۶۷۸۶	۴	۴
۶۷	۳۲۹۱	۷۰	۵۶۰۴	۱۵۰۰۰۰۰۰	۱	۲	۲	۱۶۷	۴۳۰۰-۷۲۰۰	۶۷۸۶	۴	۵
۲۴	۳۲۹۱	۷۱	۶۴۴	۳۰۰۰۰۰	۲	۳	۳	۶۷	۲۳۴-۸۵۰	۶۷۸	۹	۶
۲۴	۳۲۲۸	۸۵	۷۳۴	۳۰۰۰۰۰	۲	۳	۳	۶۷	۲۳۴-۸۵۰	۶۷۸	۱۹	۷

می‌یابد. بنابراین، مشخص می‌شود که زمان بازدید به‌دست آمده، تعادلی بین این هزینه‌ها ایجاد کرده و باعث بهینه‌سازی این هزینه‌ها می‌شود. باید توجه داشت که بازدیدهای ماهانه قبل از این موعد، فقط هزینه اضافی تحمیل شده به هزینه‌های نگهداری راه می‌باشد و بازدیدهای دیرتر از این موعد، باعث تحمیل هزینه‌های بیشتر به‌واسطه افزایش خرابی‌های مسیر و در نتیجه کاهش سطح خدمت‌دهی آن و در نتیجه افزایش هزینه‌های کاربران خواهد شد.

برای بررسی صحت و سقم نتایج به‌دست آمده از الگوریتم طراحی شده، از اطلاعات و داده‌های آماری اداره کل راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای استان خوزستان استفاده می‌شود. در این راستا، از نتایج پروژه سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای کشور که طی آن اطلاعات کلیه محورهای استان خوزستان برداشت شده و شاخص‌هایی مانند PCI، IRI و ... به‌دست آمده، نیز استفاده شد.

با هماهنگی‌های صورت گرفته با اداره کل راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای استان خوزستان، برای چند مسیر نمونه ابتدا به کمک الگوریتم طراحی شده، بهترین زمان بازدید میدانی به‌دست آمد و سپس کارشناسان این اداره کل بر اساس این نتایج، بازدیدهای خود را انجام دادند. برای برخی مسیرها، کارشناسان مربوطه زودتر از زمان بهینه اقدام به بازدید مسیر کردند که در نهایت مشخص شد این گونه بازدیدها فقط باعث تحمیل هزینه‌های بیشتر می‌شود. در بعضی دیگر از این مسیرها، کارشناسان بازدید میدانی را به تأخیر انداخته و بدون توجه به زمان بهینه، پس از گذشت زمان قابل توجهی از زمان بهینه، اقدام به بازدید نمودند که بر اساس بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد در این حالت، به‌علت تأخیر بازدید، خرابی مسیر زیاد شده و در نتیجه هزینه‌های تعمیر و نگهداری آن مقرون به صرفه نمی‌باشد. در حالت بعدی، کارشناسان بر اساس نتایج الگوریتم‌ها و با انطباق شرایط بازدید با

بر اساس نتایج، دیده می‌شود که با تغییر سن روسازی، ضریب اهمیت مسیر، محدوده ترافیک، محدوده دما و ... داده شده به برنامه، زمان بهینه برداشت‌های میدانی تغییر می‌کند. با دادن سن روسازی و ضریب اهمیت روسازی، الگوریتم ژنتیک شروع به کار کرده و ترافیک، دما، PCI و ضریب کیفیت را بهینه‌سازی کرده تا در نهایت زمان بهینه برداشت‌های میدانی به‌دست آید.

در جدول ۴، چنانچه نتایج ردیف ۵ را در نظر بگیریم، مشاهده می‌شود که این مسیر یک راه به طول ۶۷ کیلومتر است که ۴ سال از ساخت آن می‌گذرد. ضریب اهمیت مسیر ۳ یعنی راه اصلی می‌باشد که ترافیک متوسط روزانه آن ۶۷۸۶ وسیله نقلیه سواری در روز می‌باشد و حداکثر ترافیک این مسیر ۷۲۰۰ و حداقل آن ۴۳۰۰ وسیله نقلیه سواری در روز به‌دست آمده است. محدوده دمایی این مسیر در استان خوزستان، ۱-۵۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است. با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده و به کمک الگوریتم ژنتیک، مشخص می‌شود که بهترین زمان بازدید میدانی مسیر، ۶۷ روز پس از انجام این مطالعات است. در واقع، این الگوریتم به ما می‌گوید که بهترین ترافیک برای بازدید مسیر ۵۶۰۴ وسیله نقلیه در روز و PCI مناسب ۷۰ است که با این شرایط، هزینه‌های تحمیل شده کلی مسیر حدود ۳۲۹۱ میلیون ریال برآورد شده است. بر اساس مقدار اولیه و پیش‌بینی شده IRI، مقادیر PCI نیز محاسبه شده و در نهایت با در نظر گرفتن اینکه نباید مقدار IRI از مقدار پیش‌بینی شده بیشتر شود، یعنی سطح خدمت‌دهی راه از یک سطح خدمت‌دهی قابل قبول کمتر نشود، مقدار PCI بهینه به‌دست می‌آید. مشخص است که تغییر زمان بازدید میدانی به‌دست آمده تأثیر مستقیمی بر پارامترهای دخیل، به‌ویژه هزینه، خواهد داشت. با کم کردن این زمان، هزینه‌های ترمیم و مرمت کم خواهد شد ولی هزینه‌های بازدیدهای دوره‌ای افزایش می‌یابد. با افزایش این زمان، هزینه‌های بازدیدهای دوره‌ای کم خواهد شد ولی هزینه‌های ترمیم و مرمت افزایش

نظر گرفتن اینکه نباید مقدار IRI مسیر از مقدار پیش‌بینی شده بیشتر شود، یعنی سطح خدمت‌دهی راه از یک سطح خدمت‌دهی قابل قبول کمتر نشود، مقدار PCI بهینه به دست می‌آید.

باید توجه داشت که در حال حاضر، ادارات راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای و همچنین ادارات راه و شهرسازی شهرستان‌های مختلف، برنامه خاصی جهت بازدید میدانی روسازی‌ها ندارند. کارشناسان این ادارات بر اساس تردهای گاه و بیگاه در محورها، وضعیت روسازی را در نظر می‌گیرند. همچنین، در بسیاری از مواقع، بر اساس گزارش‌ها و شکایات مردمی ثبت شده در سامانه‌های مختلف مانند سامانه ۱۴۱ سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای کشور، مسئولین ذیربط متوجه خرابی‌های جاده‌ها می‌شوند. در پاره‌ای از اوقات، برخی ادارات برنامه‌های منظم جهت بازدیدهای میدانی ترتیب می‌دهند که در این موارد هم به علت تعدد بازدیدها، هزینه‌های تحمیل شده زیاد بوده و مقرون به صرفه نمی‌باشند چرا که ممکن است این بازدیدها یک‌ماهه باشند، در حالی که در نهایت بعد از ۲ سال نیاز به تعمیر و مرمت جزئی داشته باشند. بنابراین، فقط یک‌سری هزینه اضافی به پروژه تحمیل می‌شود. این در حالیست که با استفاده از الگوریتم ارائه شده در این مقاله، بهترین زمان بازدید بر اساس پارامترهای مختلف به دست می‌آید و در نتیجه هزینه بازدیدهای اضافی حذف می‌شود.

این نتایج، اقدام به بازدید نمودند که نتایج نشان داد که این حالت نسبت به حالت‌های قبل، هزینه منطقی‌تر و بهینه‌تری داشته و مشکلات فوق‌الذکر را نیز پوشش می‌دهد.

۵. نتیجه‌گیری

با توجه به آنچه در بخش‌های مختلف مقاله ذکر شد و همچنین با توجه به محدودیت‌ها و فرض‌های در نظر گرفته شده، تا حد امکان سعی شد که تمام عوامل مؤثر به‌طور کامل شناسایی شده و در الگوریتم ژنتیک گنجانده شود. به نظر می‌رسد که عوامل مؤثر در زمان برداشت میدانی به‌خوبی شناسایی و در نظر گرفته شده و از الگوریتم ژنتیک نیز بهره مناسبی برده شده است.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که می‌توان با بهره‌گیری از روش پیشنهادی و تعیین مناسب‌ترین زمان برداشت میدانی یک مسیر، از صرف هزینه‌های گزاف و جبران‌ناپذیر جلوگیری کرد؛ به کمک این روش و با داشتن اطلاعات اولیه مسیر، می‌توان بهترین زمان برداشت میدانی را تعیین کرده تا بتوان از خرابی بیش از حد مسیر و در نتیجه هزینه‌های زیاد جلوگیری کرده و ضمن حفظ سطح سرویس‌دهی مسیر در حالت مورد نظر، رضایت استفاده‌کنندگان را نیز جلب کرد.

در این الگوریتم، بر اساس مقدار اولیه و پیش‌بینی شده IRI، مقادیر PCI نیز محاسبه شده و در نهایت با در

۶. مراجع

- ابطحی، س. م. ۱۳۸۹. "آسفالت‌های سرد حفاظتی". انتشارات جهاد دانشگاهی واحد دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.
- رحیمی، ک. و زنگانه رنجبر، پ. ۱۳۸۹. "ارائه مدلی جهت اولویت‌بندی تعمیر و بهسازی روسازی‌های آسفالتی". همایش ملی یافته‌های نوین در مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، ص. ۳-۵.
- شورمیج، ا. ۱۳۹۱. "ارزیابی شرایط روسازی بر هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه با استفاده از HDM-4 در شبکه راه‌های استان خوزستان". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.
- فخری، م. ۱۳۸۶. "حدود شاخص بین‌المللی ناهمواری برای راه‌های ایران". انتشارات پژوهشکده حمل‌ونقل، تهران.
- فخری، م.، آلاله، م. و ادریسی، ع. ۱۳۹۵. "ارائه مدل بهینه تعمیر و نگهداری روسازی با در نظر گرفتن هزینه کاربران برای ایران". نشریه مهندسی حمل‌ونقل، ۷(۳): ۵۴۰-۵۲۳.
- قلی‌پور ا. ح.، معهود، م.، حجت‌پناه، ش. و محسنی، م. ۱۳۹۷. "ارزیابی استفاده از راهکار سامانه مدیریت روسازی آسفالت در کاهش هزینه و بهبود کیفیت، مدیریت تعمیر و نگهداری معابر شهر تهران (مطالعه موردی: بزرگراه شهید همت)". پنجمین کنفرانس دستاوردهای اخیر در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، مؤسسه آموزش عالی نیکان، تهران.
- مرکز آمار ایران. ۱۴۰۰. "استان خوزستان- فصل اول: سرزمین و آب‌وهوا". وزارت کشور، تهران.
- Al-Mansour, A., Wayne Lee, W. K. and Al-Qaili, A. H. 2022. "Prediction of pavement maintenance performance using an expert system". *Appl. Sci. J.*, 12: 4802. <https://doi.org/10.3390/app12104802>
- Almassy, K., Pusztai, G., Gaspar, L. and Logo, J. 2019. "Optimization methods of the pavement management system of Budapest". *J. Civ. Eng. Manag.*, 25(8): 798-804.
- Domitrovic, J., Dragovan, H., Rukavina, T. and Dimter, S. 2018. "Application of an artificial neural network in pavement management system". *Tech. Gaz.*, 25(S2): 466-473.
- Moghaddasnejad, F., Maskani, R., Rasouli, A. and Imaninasab, R. 2012. "Prediction of pavement condition and maintenance and rehabilitation action using artificial neural network and expert system". 13th International Conference on Transport and Traffic Engineering, Tehran.
- Pantuso, A., Loprencipe, G., Bonin, G. and Burkhanbaiuly Teltayev, B. 2019. "Analysis of pavement condition survey data for effective implementation of a network level pavement management program for Kazakhstan". *Sustain. J.*, 11(3): 901. doi: 10.3390/su11030901
- Sandamal, K., Shashprabha, S., Muttill, N. and Rathnayake, U. 2023. "Pavement roughness prediction using explainable and supervised machine learning technique for long-term performance". *Sustain. J.*, 15(12): 9617. <https://doi.org/10.3390/su15129617>
- Salini, R., Xu, B. and Lenngren, C. A. 2015. "Application of artificial intelligence for optimization in pavement management". *Int. J. Eng. Tech. Innov.*, 5(3): 189-197.
- Woo, S. and Yeo, H. 2016. "Optimization of pavement inspection schedule with traffic demand prediction". *Proc.- Soc. Behav. Sci.*, 218: 95-103.
- Wu, Z. and Abadie, C. 2018. "Laboratory and field evaluation of asphalt pavement surface friction resistance". *Front. Struct. Civ. Eng.*, 12: 372-381.
- Yehia, A. 2020. "Understanding uncertainty: A reinforcement learning approach for project-level pavement management systems". PhD Dissertation, University of British Columbia, Vancouver, Canada.