# تعیین مناسب‌ترین زمان بازدیدهای میدانی در روسازی‌های آسفالتی به کمک الگوریتم ژنتیک

**مقاله علمی – پژوهشی**

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

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰– پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵
صفحه ۲۶۶-۲۵۳

**چکیده**

***باتوجه به هزینه‌های گزافی که سالانه جهت ترمیم و بهسازی روسازی‌های آسفالتی پرداخت می‌شود و همچنین باتوجه به گسترش روزافزون استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری، هدف اصلی این مقاله تعیین مناسب‌ترین زمان برای برداشت‌های میدانی در مدیریت روسازی با بکارگیری الگوریتم‌های ابتکاری خواهد بود تا ضمن جلوگیری از هزینه‌های بیشتر، برنامه‌ریزی بهتری جهت نگهداری و تعمیر روسازی داشته باشیم تا همواره جاده‌ها سطح خدمت قابل قبولی داشته باشند. ضمناً در این مبحث نباید از مسائل مالی مربوط به برداشت‌های میدانی نیز غافل شد؛ ولی مشخص است که این هزینه‌ها در مقابل هزینه‌های هنگفت صرف شده در جاده‌ها بسیار ناچیز می‌باشد؛ منتها باید شاخص‌های مؤثر بر هزینه برداشت‌های میدانی نیز مشخص شده و همگام با تعیین بهترین زمان انجام بازرسی، این هزینه‌ها نیز بهینه‌سازی شوند. بنابراین این مقاله سعی دارد تا مناسب‌ترین زمان را برای برداشت‌های میدانی تعیین کرده تا با اولین برداشت‌ها، بتوان مدلسازی مربوطه، برنامه‌ریزی لازم، برآوردهای مالی و ... را انجام داده و در جهت بهینه‌سازی بازرسی‌های روسازی‌های آسفالتی گام برداشته و در این بین، مباحث ترافیکی و مالی را نیز در نظر دارد. به این منظور باتوجه به عوامل مؤثر و به کمک الگوریتم ژنتیک، برنامه موردنیاز در نرم‌افزار متلب پیاده شده و برای نمونه‌های مختلف از استان خوزستان تست شد که نتایج آن بسیار چشمگیر و منطقی می‌باشد. 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 بدست آید.***

**واژه‌های کلیدی** : روسازی آسفالتی، برداشت میدانی، الگوریتم زنتیک، بهینه‌سازی

## ۱-مقدمه

تلفیق پارامترهای ایمنی و سیستم مدیریت روسازی و همچنین نگهداری مناسب و ارزیابی متناوب پارامترهای مذکور جهت افزایش ایمنی راه‌ها ضروری به نظر می‌رسد. اطمینان از وضعیت رویه مناسب روسازی، استراتژی مؤثری برای کاهش تعداد و شدت تصادفات مربوط به روسازی خواهد بود. وضعیت روسازی یک عامل کلیدی در کیفیت سواری بوده و این عامل می‌تواند بر روی تصادفات و یا حتی بر شدت آنها مؤثر باشد(سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، ۱۳۹۷). فعالیت‌های نگهداری و بهسازی روسازی‌ها نیازمند تخصیص بودجه‌های بالایی است که تاکنون کاستی‌های بودجه، دست اندرکاران و تصمیم‌گیران را مجاب به اولویت‌بندی پروژه‌های نگهداری و بهسازی نموده است. از آنجایی که

مدیریت زیرساخت‌های هر کشور نیازمند در نظرگیری هر دو عملکرد سازه‌ای و هزینه نهایی انجام مدیریت آنها در طول چرخه عمر است، راه و روسازی آن نیز به‌عنوان یک زیرساخت مهم از این قاعده مستثنی نیستند. مدیریت روسازی در دو سطح جداگانه شبکه و پروژه با هدف استفاده بهینه از بودجه و منابع طبیعی موجود انجام می‌شود. اما در بسیاری از طرح‌های مدیریت روسازی، به دلیل کمبودهای مالی پیش‌بینی نشده در اجرای عملیات تعمیر و نگهداری راه، امکان اجرای تمام فعالیت‌های فنی لازم وجود ندارد. به طور مثال امکان تعمیر و نگهداری تمامی خرابی‌های موجود در یک واحد نمونه از یک مقطع وجود نداشته و مهندسین ذیربط به دلیل فقدان چارچوب مشخص، غافل از اینکه آیا خرابی ترمیم شده اثر سازنده‌تری نسبت به خرابی ترمیم نشده داشته است، ناگزیر با قضاوت مهندسی نسبت به گزینش خرابی‌ها از میان خرابی‌های موجود جهت ترمیم اقدام می‌نمایند. امروزه بعد از آن که شبکه راه‌های ارتباطی در یک کشور گسترش یافتند، عملیات حفظ و نگهداری باید در اولویت کاری قرار گیرد. ترمیم و نگهداری و بهسازی راه‌ها، دارای هزینه‌های بسیار بالایی بوده و این هزینه باید در زمان مطلوب و بهینه صرف گردد، در غیر اینصورت عملیات ترمیم و نگهداری غیر اقتصادی خواهد بود. بنابراین برای آنکه مدیریت و نگهداری روسازی در سطح و کیفیت قابل قبولی صورت پذیرد نیاز به یک سیستم پشتیبانی مدیریت می‌باشد. سیستم‌های گوناگونی امروز وجود دارد که می‌توان از آنها در راستای این هدف بهره برد. باتوجه به آنچه ذکر شد مشخص می‌شود که یکی از بزرگترین دغدغه‌های دولت‌ها، ساخت راه‌ها، نگهداری، کیفیت و ... آنها می‌باشد؛ چرا که علاوه بر هزینه‌های گزاف مورد نیاز، رضایت استفاده کنندگان نیز بسیار مهم می‌باشد. با گسترش چشمگیر شهرها، همواره باید به فکر ساخت راه‌های ارتباطی جدید بود. باتوجه به هزینه‌های گزافی که سالانه جهت ترمیم و بهسازی روسازی‌های آسفالتی پرداخت می‌شود، در این مقاله سعی خواهد شد براساس اطلاعات موجود و پیش‌بینی شده و البته باتوجه به هزینه‌های موردنیاز جهت برداشت‌های میدانی، مناسب‌ترین زمان را برای این برداشت‌ها بدست 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- پیشینه تحقیق

در مقاله قلی‌پور و همکاران(۱۳۹۷) هدف اصلی ارائه راهکارهای مناسب به منظور کاهش هزینه و بهبود کیفیت روسازی راه می‌باشد؛ همچنین با بهره‌گیری از مدیریت روسازی آسفالت به دنبال دستیابی روش‌ها و تکنولوژی‌های مناسب براساس شرایط موجود جهت افزایش بهره‌وری آسفالت می‌باشد. مدیریت روسازی با برداشت و شناسایی به هنگام خرابی‌ها و ناهمواری‌های به وجود آمده در سطح روسازی و ارائه راهکارهای بهینه تعمیر و نگهداری، تعیین زمان بهینه اعمال راهکارها و جلوگیری از ورود وضعیت روسازی به محدوده بحرانی سبب کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، خواهد شد. اهمیت و ضرورت انجام تحقیق پیاده‌سازی این سامانه به منظور اصلاح الگوی مصرف، اولویت‌بندی علمی و صحیح محورهای موجود جهت رسیدگی، اعمال یک نگهداری مناسب و مؤثر در بهترین زمان ممکن، نظام‌مندتر شدن صرف منابع، ایجاد بانک اطلاعاتی مفید برای مدیران، آگاهی از شرایط موجود و حفظ هرچه بیشتر محیط‌زیست می‌باشد. نتایج این تحقیق برای سازمان‌هایی که وظیفه بهره‌برداری و نگهداری از راه را بر عهده دارند می‌تواند مفید واقع گردد و در نهایت نفع عموم مردم که مالکین اصلی راه‌ها می‌باشند را به همراه خواهد داشت (قلی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷). مقدس نژآد و همکاران در مقاله خود بیان کردند که با توسعه راه‌ها و ساخت و سازها، اقدامات تعمیر و نگهداری و بهسازی و سیستم مدیریت روسازی مهمترین دغدغه مسئولان راه است. تعیین وضعیت روسازی و میزان خرابی‌ها در طول عمر بهره‌برداری آن، اساس سیستم مدیریت روسازی بوده که در نتیجه آن نوع پیشنهاد تعمیر و نگهداری ارائه می‌شود. اول، شاخص ناهمواری بین‌المللی که شاخصی از رفتار پیچیده روسازی در طول عمر بهره‌برداری آن است برای مقادیر ورودی سالانه نزدیک به این پارامتر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی شده است. دوم، نوع نگهداری و ترمیم در آینده با استفاده از سیستم‌های توسعه یافته و براساس تجربیات ارائه خواهد شد. نتیجه اصلی این تحقیق، سیستم توسعه یافته متخصص در مدیریت روسازی

است که توسط زبان برنامه نویسی C# تهیه شده است. این سیستم چنان انعطاف‌پذیر است که می‌تواند شرایط و محدودیت‌های مختلفی را برای IRI بحرانی در نظر بگیرد (Moghaddasnejad and et. al., 2012). سالینی و همکاران (۲۰۱۵) از هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی مدیریت روسازی استفاده کردند. هوش مصنوعی گروهی از تکنیک‌ها است که کاملاً قابل استفاده برای مهندسی و مدیریت روسازی است. در این مطالعه، یک رویکرد عملی، انعطاف‌پذیر و خارج از چارچوب برای استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک جهت بهینه‌سازی تخصیص بودجه و انتخاب استراتژی تعمیر و نگهداری راه برای یک شبکه جاده توسعه داده شد. هدف تهیه جایگزینی برای نرم‌افزارهای موجود و تطبیق بهتر نیازهای تعداد زیادی از مدیران روسازی است. برای دستیابی به اهداف، شاخص جدیدی به نام شاخص ارزش جهانی راه ایجاد شد تا شرایط روسازی، ترافیک و اهمیت اقتصادی و سیاسی را برای هر بخش جاده در نظر بگیرد. این مقاله رویکرد و اجزای آن را با مثالی تأیید می‌کند که الگوریتم‌های ژنتیک برای هدف مورد نظر بسیار مؤثر هستند.(Salini and et. Al., 2015). در مقاله Elhadidy و همکاران(۲۰۱٤)، یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه برای راهبردهای اصلی نگهداری و بهسازی روسازی در سطح شبکه مورد بحث قرار گرفته است. در اینجا یک مدل بهینه‌سازی دو هدفه، حداقل هزینه‌ها و حداکثر شرایط را برای شبکه راه استفاده شده در نظر می‌گیرد. در روش پیشنهادی، از مدل‌های زنجیره مارکوف برای پیش‌بینی عملکرد روسازی جاده و محاسبه خرابی مورد انتظار در دوره‌های مختلف زمانی استفاده می‌شود. یک روش الگوریتم ژنتیکی برای حل مشکل بهینه‌سازی چند هدفی ایجاد شده است. این مدل اقدامات بهینه تعمیر و نگهداری را در زمان مناسب برای یک روسازی با شرایط بد ارائه داد. براساس نتایج محاسبات، راه‌حل‌های بهینه «پارتو» از توابع بهینه‌سازی دو هدفی بدست می‌آید.

از راه‌حل‌های بهینه ارائه شده توسط هزینه و شرایط، یک تصمیم گیرنده می‌تواند به راحتی اطلاعات برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری را با حداقل هزینه و حداکثر شرایط بدست آورد. این مدل توسعه یافته در شبکه‌ای از جاده‌ها اجرا شده و قابلیت آن برای به دست آوردن راه‌حل بهینه، به اثبات رسیده است (Elhadidy and et. al., 2015). در مقاله Sarsam and Al-Geelawe (۲۰۱٦) استفاده از نرم‌افزار Vanguard جهت ارزیابی تصمیم‌گیری در مورد نگهداری روسازی آسفالتی شرح داده شده است. در اینجا برای ارزیابی وضعیت رویه بتن آسفالتی از بازدیدهای میدانی و چشمی استفاده شد. انواع متداول خرابی روسازی‌های آسفالتی از جمله انواع مختلف ترک، قیرزدگی، چاله، شیارزدگی و ... با شدت و گستردگی مختلف در بانک اطلاعاتی این نرم‌افزار گنجانده شده است. توصیه می‌شود که وضعیت روسازی بصورت چشمی ارزیابی شود و داده‌های خرابی بدست آمده به سیستم نرم‌افزاری منتقل شوند. انواع شدت و گستردگی خرابی‌های مختلف توسط سیستم مورد بررسی قرار گرفته و شاخص رتبه‌بندی شرایط موجود روسازی مشخص می‌شود. درخت تصمیم سیستم نرم‌افزاری، اقدامات لازم برای تعمیر و نگهداری را براساس بودجه موجود، طبقه‌بندی جاده و تغییرات مورد انتظار در طول عمر طراحی روسازی، پیش‌بینی می‌کند (Sarsam and Al-Geelawe, 2016). در مقاله Woo & Yeo (۲۰۱٦)، هدف استفاده کامل از مجموعه بزرگ اطلاعات ترافیکی بدست آمده از فناوری‌های سیستم حمل و نقل هوشمند 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 می‌هد. در این مقاله چارچوبی برای بهینه‌سازی یک برنامه بازرسی انعطاف‌پذیر در یک محدوده خطر تعریف شده توسط پیش‌بینی وضعیت روسازی با داده‌های ترافیکی ارائه شده است. نتایج بدست آمده دو طرح بازرسی منظم یک ساله و دو ساله را بعنوان طرح‌های بهینه معرفی می‌کنند. (Woo & Yeo; 2016)

در مقاله GeramiMatin و همکاران (۲۰۱۷) عنوان شده که برنامه‌ریزی بهینه شده برای نگهداری راه‌ها به دنبال راه‌حل‌هایی است که بتواند هزینه چرخه عمر شبکه جاده را به حداقل برساند و همزمان شرایط روسازی را به حداکثر برساند. با هدف ارائه مجموعه‌ای بهینه از راه‌حل‌های نگهداری جاده‌ها، الگوریتم‌های فراابتکاری زیادی در این تحقیق بررسی شدند. دو تکنیک اصلی بهینه‌سازی که همواره استفاده می‌شوند، عبارتند از : بهینه‌سازی تک هدفه و بهینه‌سازی چند هدفه. از الگوریتم‌های ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات و ترکیبی از این دو روش، در بهینه‌سازی تک هدفه استفاده

می‌شود؛ در حالیکه الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب و بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه برای حل مشکلات بهینه‌سازی چند هدفه استفاده می‌شود.

در این تحقیق یک مطالعه موردی واقعی از شبکه حمل و نقل روستایی ایران برای نشان دادن کارآیی الگوریتم بهینه‌سازی استفاده شده است. فرمول بندی مدل بهینه‌سازی به گونه‌ای انجام می‌شود که با حفظ سطح عملکرد شبکه راه در یک سطح مطلوب، به یک استراتژی نگهداری مقرون به صرفه برسد. بنابراین، توابع هدف عبارتند از: حداکثر عملکرد روسازی و حداقل هزینه نگهداری. این تحقیق نتیجه گرفته است که الگوریتم‌های چند هدفه از جمله الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه به دلیل قابلیت ایجاد تعادل بین هر دو هدف، بهتر از الگوریتم‌های تک هدفه عمل می‌کنند؛ این در حالیست که بین الگوریتم‌های مورد استفاده در بهینه‌سازی چند هدفه، NSGAII راه حل مناسب‌تری برای برنامه‌ریزی جهت نگهداری جاده ارائه می‌دهد. (GeramiMatin, 2017)

Domitrovic 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. در ۴۸۱/۳ کیلومتر راه‌های ملی در شهر اوزیجک – بارانجا از شبکه عصبی استفاده شد. 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. امروزه آژانس‌های راهداری بر حفظ و نگهداری جاده‌های موجود متمرکز شده‌اند. انتخاب یک استراتژی مناسب تعمیر و نگهداری یک کار پیچیده است که شامل عواملی از قبیل وضعیت فعلی روسازی، طبقه‌بندی جاده، حجم ترافیک و غیره است. این عوامل معمولاً در سیستم‌های مدیریت روسازی انجام می‌شود. مؤلفه‌های اصلی سیستم‌های مدیریت آسفالت، مدل‌های پیش‌بینی عملکرد روسازی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی است. (Domitrovic and et. al., 2018)

Almasi و همکاران (۲۰۱۹) نشان می‌دهد که در کلیه سیستم‌های مدیریت دارایی مدرن مبتنی بر فرآیندهای تصمیم‌گیری چند معیار، روش‌های بهینه‌سازی شامل یک یا چند هدف هستند. سیستم مدرن مدیریت آسفالت براساس 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. در این مقاله یک مدل تخریب ارائه می‌شود که برای پیش‌بینی ناهمواری کاربرد دارد و عملکرد سطح آسفالت در آینده را نشان می‌دهد. در نهایت پس از ارزیابی کل داده‌های بدست آمده، اطلاعات دقیقی در مورد خصوصیات کلی شرایط شبکه دائمی ارائه می‌شود. یک سیستم مدرن مدیریت آسفالت برای نگهداری از شبکه شهری ضروری است. شهرداری بوداپست برای عملیات آسفالت جاده‌های خود سیستم مدیریتی موجود را توسعه داده است. برای رسیدن به یک نتیجه کارآمد، جدیدترین روش‌ها برای جمع‌آوری داده‌ها با جدیدترین راه‌حل‌های ژئوماتیک انفورماتیک، استفاده می‌شود که به ما در فرآیند تصمیم‌گیری چند معیار کمک می‌کند. سیستم مدیریت روسازی بوداپست که در این مقاله ارائه شده، در مجارستان بی‌نظیر است؛ اما بدلیل روش جمع‌آوری و ارزیابی داده‌ها در این مقاله، ممکن است این سیستم در اروپا نیز بسیار نادر باشد. بسیار مهم است که تأکید کنیم پس از فرآیند جمع‌آوری و ارزیابی داده‌ها، این سیستم مدیریت روسازی از روش‌های بهینه‌سازی چند متغیره برای تعیین روش مناسب بهسازی، اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری در سطح شبکه و رتبه‌بندی پروژه‌های بهسازی، استفاده می‌کند. (Almassy and et. al., 2019).

هدف از مقاله Wu & Abadie (۲۰۱۸) گسترش یک مدل پیش بینی اصطکاک سطحی است که می‌تواند در طراحی روکش‌های آسفالتی استفاده شود. برای رسیدن به هدف، یک تحقیق تجربی در مورد ویژگی‌های اصطکاکی روکش‌های آسفالتی در لوئیزیانا انجام شد. دوازده مخلوط شامل نمونه‌های با دانه‌بندی متراکم و با دانه‌بندی باز، با انواع و درصدهای مختلف سنگدانه‌ها، مورد آزمایش قرار گرفتند. علاوه بر این، ویژگی‌های اصطکاکی سطح مخلوط‌های آسفالتی در بیست و دو مقطع انتخاب شده از روسازی آسفالتی با استفاده از دستگاه‌های مختلف درجا اندازه‌گیری شد.

نتایج این تحقیق منجر به توسعه روشی برای پیش‌بینی مقاومت لغزشی پایان عمر روسازی براساس 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 در لوئیزیانا استفاده می‌شود و مشخص شده که مقاومت سائیدگی ماسه سنگ نسبت به سنگ آهک بیشتر است. (Wu & Abadie, 2018).

مقاله Pantuso و همکاران (۲۰۱۹) یک روش برای تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از سطح روسازی برای اجرای یک برنامه مدیریت روسازی در سطح شبکه ارائه شده است؛ این تحقیق در کشور قزاقستان انجام شده است. این روش که می‌تواند برای شبکه جاده‌های سایر کشورهای در حال توسعه نیز مناسب باشد، بر پردازش داده‌های برداشت شده از سطح جاده متمرکز است تا روش‌های نگهداری مقرون به صرفه برای هر بخش جاده را تعیین کند. روش پیشنهاد شده با هدف پشتیبانی از یک فرآیند تصمیم‌گیری برای استفاده از تجزیه و تحلیل برنامه‌ریزی شده استراتژیک بوسیله استخراج اطلاعات از داده‌های برداشت شده از سطح جاده ارائه شد. در این تحقیق اطلاعات روسازی‌های بتن آسفالتی منطقه «کنتانای ابلاست» کشور قزاقستان شامل ۱۵۱٤ کیلومتر روسازی جمع‌آوری و استفاده شد. اطلاعات خرابی‌های سطح روسازی بوسیله تصاویر دیجیتال پیوسته و روش‌های اتوماتیک تشخیص ترک روسازی در مسیرهای رفت و برگشت، جمع‌آوری و تحلیل شد(Pantuso and et. al., 2019).

Yehia (۲۰۲۰) در پایان‌نامه خود گفته است که در سرتاسر دنیا، کشورها منابع مالی محدودی برای مدیریت زیرساخت‌های روسازی خود دارند؛ برنامه ریزی برای آینده شامل موارد عدم قطعیت مانند مطمئن نبودن از میزان ترافیک پیش‌بینی شده، هزینه اقدامات بهسازی، شاخص‌های هزینه‌ای و سایر موارد است. مدلسازی خرابی نیز شامل موارد عدم قطعیت مانند عدم قطعیت اندازه‌گیری و تصادفی است. توجه نکردن به این عدم قطعیت‌ها ممکن است منجر به سیاست‌های مدیریتی پایین‌تر از حد بهینه شود که قادر به انطباق با آینده نیستند. بنابراین، هدف این پایان‌نامه توسعه یک الگوریتم یادگیری تقویت کننده برای مدیریت سیستم‌های روسازی در سطح پروژه است که هزینه چرخه زندگی را به حداقل می‌رساند.

مدل خرابی با استفاده از رویکرد روش‌های تکراری برای برآورد مدل‌های عملکرد زیرساخت بر اساس نظریه نمونه‌برداری توسعه یافت. از طریق مطالعه موردی داده‌های زبری روسازی که به عنوان بخشی از برنامه عملکرد بلندمدت روسازی اداره بزرگراه فدرال جمع‌آوری شده است، رویکرد جدید واریانس را تا ١٤ درصد کاهش می‌دهد. همچنین باتوجه به ناهمگن بودن روش‌های مرسوم، این مدل به مدلسازها اجازه می‌دهد تا در برآوردهای آماری خود، بتوانند دوباره کارآیی لازم برای مدل را ایجاد کنند.

در کل اهداف این پایان‌نامه عبارتند از :

اولین هدف این پایان‌نامه توسعه یک مدل تخریب روسازی است که قادر به محاسبه شاخص زبری بین‌المللی باشد.

هدف دوم این پایان‌نامه تهیه دستورالعملی بود که هزینه مالی یک سازمان حمل و نقل جهت نگهداری روسازی راه‌ها برای یک دوره زمانی مشخص محاسبه کند. این دستورالعمل عدم قطعیت‌های مختلف فعلی و آینده مانند تخریب روسازی، شاخص‌های قیمت، هزینه ساخت و ساز، اقدامات نگهداری و رشد ترافیک را در بر می‌گیرد. (Yehia, 2020)

## ۳-روش تحقیق

### ۳-۱-عوامل مؤثر بر زمان برداشت‌های میدانی روسازی

باتوجه به بررسی‌های مفصل صورت گرفته، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تعیین مناسب‌ترین زمان برداشت‌های میدانی روسازی‌های آسفالتی به شرح ذیل می‌باشد.

**سن روسازی**

یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر کارآیی 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، باتوجه به اینکه میزان خرابی‌های آن نیز بیشتر خواهد بود، بنابراین، زمان برداشت‌های میدانی کمتر خواهد بود یعنی باید در فاصله زمانی کمتری مورد بازدید قرار گیرد.

**میزان ترافیک مسیر در مدت زمان بهره‌برداری**

باتوجه 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 مقاله نه تنها برای راه‌های تازه ساخته شده قابل استفاده خواهد بود، بلکه برای جاده‌های در حال استفاده نیز می‌توان استفاده نمود؛ بنابراین در مورد مسیرهای در حال استفاده، باید میزان ترافیک مسیر را در طول یکسال کامل بررسی کرده و این پارامتر را بدقت تجزیه و تحلیل نموده و سپس در الگوریتم وارد کنیم 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 آب و هوایی و ... را در نظر داشت.

میزان اهمیت و حساسیت مسیر

راه‌ها با در نظر گرفتن معیارهای مختلفی مانند میزان ترافیک عبوری، درجه اهمیت راه و ... به طبقه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. اهمیت و حساسیت مسیر پارامتر بسیار مهمی است چرا که نحوه خدمت‌دهی به استفاده کنندگان، نقش مسیر در شبکه راه‌ها، نقاطی که توسط این مسیر بهم 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 پر رنگ‌تر بوده و می‌تواند تفاوت‌های چشمگیری را رقم بزند. جهت در نظر گرفتن این پارامتر در الگوریتم مورد استفاده در این مقاله، باید این پارامتر را تبدیل به مقادیر عددی کرد؛ براین اساس به هر یک از انواع راه‌ها یک عدد اختصاص داده شد که عدد نشان‌دهنده بیشترین اهمیت و حساسیت می‌باشد. در این مقاله سیستم طبقه‌بندی راه‌ها براساس حجم رفت و آمد و سرعت مبنا(سرعت طرح) استفاده می‌شود؛ در این نوع طبقه‌بندی منظور از حجم رفت و آمد، عبارت است از متوسط روزانه یکساله تعداد وسیله نقلیه‌ای که می‌تواند با برخورداری از نظم و ایمنی مطلوب از راه عبور کند. سرعت طرح یا سرعت مبنا در قطعه معینی از راه عبارت است از سرعتی که براساس آن در نقاط مسئله‌دار مسیر، حداقل مشخصات هندسی راه تعیین گردد.

لذا، با استفاده از دو عامل مهم حجم و سرعت طبقه‌بندی راه‌های برون شهری و همچنین مقادیر عددی پارامتر اهمیت و حساسیت مسیر مطابق جدول ۱ می‌باشد.

میزان خرابی‌های مشاهده شده

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تعیین مناسب‌ترین زمان برداشت‌های میدانی، میزان خرابی‌های بوجود 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 چراکه 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 بر مناسب‌ترین زمان برداشت‌های میدانی بدست 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 بدست آورده و با تأثیر دادن این موراد در الگوریتم مورد نظر، مناسب‌ترین زمان برداشت‌های میدانی را تعیین کرد. برای پیش‌بینی میزان خرابی‌های روسازی از مدل ارائه شده در مقاله Llopis-Castelló و همکاران استفاده خواهد شد؛ در این مقاله عنوان شده است که مدل پیش‌بینی عملکرد روسازی مهمترین بخش از یک سیستم مدیریت روسازی است. اثر بخشی برنامه‌های بلندمدت و میان‌مدت تعمیرات و نگهداری راه، وابسته به صحت و اعتبار مدل پیش‌بینی عملکرد روسازی است. در مدل‌های خانواده، قطعات مختلف که مشخصات فنی مشابه داشته و روند افت کیفیت آنها یکسان باشد، در یک گروه قرار گرفته و برای مجموعه قطعات روسازی هر خانواده، یک مدل پیش‌بینی ساخته می‌شود. مدلسازی براساس خانواده روسازی با کمترین داده‌ها و با سریع‌ترین و ارزان‌ترین روش می‌تواند نتایجی با دقت بسیار خوب بدست دهد.

البته باید توجه داشت که برای پیش‌بینی وضعیت روسازی یا پیش‌بینی میزان خرابی‌های روسازی، مطالعات مختلفی صورت گرفته و روابط زیادی پیش‌بینی شده است؛ باتوجه به اینکه در این مقاله استان خوزستان به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است، رابطه (۱) که تقریباً انطباق خوبی با شرایط این استان دارد، جهت پیش‌بینی وضعیت روسازی آسفالتی(PCI شاخص وضعیت روسازی) مورد استفاده قرار گرفت.

(۱)

$$PCI = 137.43 - 6.6\,pa - 0.0054\,AADT - 3.89\,AAT - 0.1847\,AAT2$$

PCI شاخص وضعیت روسازی، pa سن روسازی بر حسب سال(**y**)، AADT ترافیک روزانه متوسط سالانه بر حسب وسیله نقلیه در روز (vpd)، AAT دمای متوسط سالانه بر حسب درجه سانتی‌گراد (°C) که از دمای هوای سالانه متوسط در طی عمر روسازی (pa) بدست می‌آید. (Llopis-Castelló and et. Al., 2020)

### دمای هوای

برای کارآیی 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 این مقاله از پارامتر دمای متوسط سالانه استفاده شده است.

### کیفیت روسازی اجرا شده

همواره کیفیت روسازی‌ها پارامتر بسیار مهمی بوده و بر سایر فاکتورها مؤثر می‌باشد؛ ولی باتوجه به مشکلاتی که در زمینه اجرا وجود دارد، در بیشتر مواقع کیفیت اجرا شده نسبت به طراحی پایین‌ترمی‌باشد. بنابراین یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر تعیین مناسب‌ترین زمان برداشت‌های میدانی، کیفیت اولیه روسازی می‌باشد؛ در این حالت جهت انتقال داده‌ها به الگوریتم موردنظر، مقادیر عددی پارامتر کیفیت روسازی مسیر براساس PCI اولیه مطابق جدول ۲ می‌باشد.

### مطالعه موردی

استان خوزستان با وسعت ٦٤٠٠٠ کیلومترمربع (٤ درصد از مساحت کل کشور) وسیع ترین استان در نیمه غربی کشور است. این استان در محدوده عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۳۳ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ٤٧ تا ٥٠ درجه شرقی قرار دارد (شکل ۱). موقعیت ویژه آن در یکی از حساس‌ترین نقاط جنوب غرب کشور و مجاورت با کشورهای خلیج‌فارس جایگاه منحصر به فردی به آن بخشیده است.

این استان از غرب با کشور عراق هم مرز است؛ استان‌های بوشهر در جنوب‌شرق، کهگیلویه‌وبویراحمد و چهارمحال و بختیاری در شرق و لرستان و ایلام در شمال آن قرار دارند. همجواری با این استان‌ها تأثیر زیادی در پیوند میان اقوام و خصوصیات فرهنگی و تاریخی آنها داشته است. خوزستان مانند استان‌های گیلان، گلستان و سیستان‌وبلوچستان دارای مرز آبی و خشکی می‌باشد. با توجه به قرارگیری استان در نیمه جنوبی ایران و فاصله کم آن از مدار ۲۳ درجه (رأس‌السرطان)، بطور نسبی از آب و هوای گرمی برخوردار است. ضمن آنکه بخش‌هایی از شمال و شمال‌شرقی که در ارتفاع بالاتری قرارگرفته است، از آب و هوای معتدل‌تری برخوردار است. در مجموع می‌توان گفت موقعیت جغرافیایی در وضعیت آب و هوایی، شکل و نوع سکونتگاه‌های انسانی، وضعیت خطوط ارتباطی، اوضاع اقتصادی و تحولات تاریخی استان نقش مؤثری داشته است. (سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، ۱۳۹٦)

### داده‌های جمع‌آوری شده

باتوجه به آنچه در بخش‌های قبلی ذکر شد، تقریباً انواع شرایط آب و هوایی در آن یافت می‌شود :

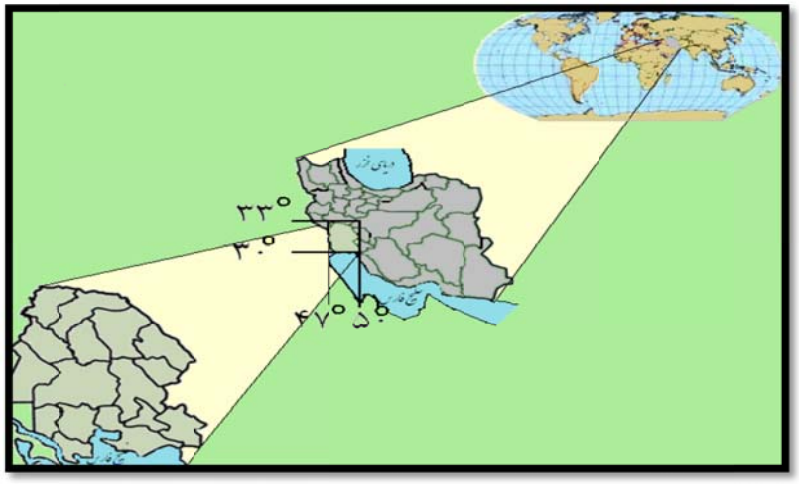
شمال‌شرق استان تحت تأثیر آب و هوای کوهستانی قرار دارد و دارای زمستان نسبتاً سرد و پربارش و تابستان معتدل است. بخش کوهپایه‌ای استان دارای آب و هوای نیمه‌خشک است. به غیر از بخش‌های کوهستانی، سایر مناطق استان در جنوب و غرب تحت تأثیر آب و هوای گرم و خشک قرار دارد؛ در این مناطق به دلیل ارتفاع کم، دمای هوا و میزان تبخیر افزایش می‌یابد اما مقدار بارش کمتر می‌شود. زمستان کوتاه و معتدل و تابستان بسیار گرم و طولانی از ویژگی‌های این نوع آب و هوا است. شکل ۲ انواع مناطق آب و هوایی استان خوزستان را نشان می‌دهد. بنابراین، باتوجه به اینکه استان خوزستان شرایط آب و هوایی مختلفی دارد، به تنهایی می‌تواند مطالعه موردی کاملی برای این مقاله باشد و می‌توان جاده‌های مختلف استان را بررسی کرد.

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

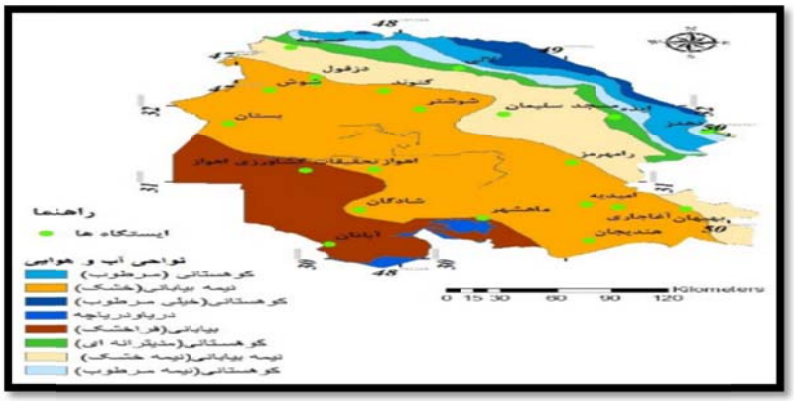
| ردیف | نوع مسیر | مقدار عددی پارامتر(I) |
|---|---|---|
| ۱ | آزادراه | ۱ |
| ۲ | بزرگراه | ۱ |
| ۳ | اصلی ملی | ۱ |
| ٤ | فرعی استانی | ۲ |
| ٥ | فرعی حوزه ای | ۳ |
| ٦ | فرعی روستایی | ٤ |

**جدول ۲. طبقه‌بندی راه‌ها و مقادیر پارامتر اهمیت و حساسیت مسیر**

| ردیف | PCI(شاخص وضعیت روسازی) | کیفیت روسازی | مقدار عددی پارامتر |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۱۰۰ – ۸۰ | عالی | ۱ |
| ۲ | ۸۰ – ۷۰ | خوب | ۲ |
| ۳ | ۷۰ – ٦۰ | متوسط | ۳ |
| ٤ | ٦۰ – ٥۰ | ضعیف | ٤ |
| ٥ | ٥۰ – ۰ | بد | ٥ |




**شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان خوزستان**




**شکل ۲. نواحی آب و هوایی استان خوزستان**

## ٤-الگوریتم

با توجه به موارد و عوامل اشاره شده در خصوص بهینه‌سازی زمان بازدید روسازی آسفاتی، ٦ عامل به شرح زیر در نظر گرفته شده‌اند:

- ترافیک روزانه متوسط سالانه مسیر
- سن روسازی
- اهمیت مسیر که به صورت ضرایب اهمیت از یک تا پنج مقداردهی شده‌اند.
- میزان خرابی مشاهده شده در مسیر که براساس مقدار PCI پیش‌بینی می‌شود.
- دمای متوسط سالانه که یک عدد صحیح بین ۱۰- تا ٦۰ درجه سانتی‌گراد لحاظ شده است.
- کیفیت روسازی مسیر یک متغیر اسمی است و بین ۱ تا ۵ بر اساس میزان کیفیت مسیر مقداردهی شده است.

متغیر پاسخ نیز به صورت درصدی از زمان لحاظ شده است. به منظور ایجاد رابطه معکوس بین متغیرها از تابع نمایی استفاده می‌کنیم. به صورتی که مقدار متغیر پاسخ به صورت ضریبی از متغیرهای مستقل به صورت زیر در نظر گرفته می‌شوند:

$$z = e^{-x1} + e^{-x2} + e^{-x3} + e^{-x4} + e^{-x5}$$

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

۱. شروع
۲. مقداردهی تعداد کروموزم‌ها، نرخ جهش، تقاطع و تعداد کروموزم برتر که به نسل بعدی منتقل می‌شود.
۳. مقداردهی اولیه تمامی کروموزم‌ها به صورت تصادفی
٤. محاسبه مقدار تابع هدف برای هر کروموزوم و در نظر گرفتن مقدار تابع هدف بدست آمده به عنوان تابع برازش
۵. محاسبه احتمال انتخاب هر کروموزوم(که برابرست با مقدار تابع هدف آن کروموزوم تقسیم بر مجموع کل توابع هدف‌های کروموزم‌ها)
٦. شروع شمارشگر نسل از ۱
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 رولتی یک کروموزوم را انتخاب کنید.
۱۰. دو عدد تصادفی بین ۱ 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 : براساس مکانیسم چرخ رولتی دو کروموزوم را انتخاب کنید؛ هر کروموزم 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 کروموزم دیگر انتخاب گردد.
۱٤. 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.
۱٦. یک واحد به شمارنده نسل‌ها اضافه کنید.
۱۷. اگر به شماره نسل نهایی رسیده‌ایم برو به ۱۸ در غیر اینصورت برو به ۷
۱۸. ارائه Zbest
۱۹. پایان الگوریتم

باتوجه به اینکه در هنگام استفاده از این برنامه، سن روسازی مشخص است؛ در ابتدا باید سن روسازی را بعنوان یک پارامتر ثابت وارد کرد. همچنین باتوجه به اینکه در هنگام طراحی و ساخت یک جاده، نوع آن کاملاً مشخص است، بنابراین ضریب اهمیت جاده نیز بعنوان 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 موردنظر و همچنین پارامترهای در اختیار، فرمول مناسب جهت پیش‌بینی وضعیت روسازی را انتخاب و در فایل اصلی برنامه وارد کرد.

باتوجه 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، شاخص وضعیت روسازی(PCI)، دما و ضریب کیفیت روسازی) را بهینه‌سازی می‌کند؛ به این منظور برای بررسی تغییرات میزان ترافیک روزانه متوسط سالانه مسیر، باید محدوده تغییرات را براساس ترافیک واقعی مسیر تعیین کرد. مقدار PCI نیز که باتوجه به فرمول استفاده شده، براساس پارامترهای موردنیاز پیش‌بینی می‌شود؛ باتوجه به بهینه‌سازی سایر متغیرها، مقدار PCI نیز بهینه می‌شود. محدوده تغییرات دمای متوسط سالانه نیز براساس گزارشات هواشناسی، تعیین می‌شود. باتوجه به آنچه در بخش ۳-۱ ذکر شد، ضریب کیفیت روسازی براساس 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. براین اساس برای رسیدن به هدف، برنامه موردنظر به کمک الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب نوشته شد.

## ٤-نتایج بدست آمده

باتوجه به مطالعه موردی انتخاب شده یعنی استان خوزستان، مسیرهای مختلفی از این استان را بعنوان نمونه انتخاب کرده و با جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز، با استفاده از این برنامه مناسب‌ترین زمان برای برداشت میدانی بدست آمد؛ چنانچه مشاهده می‌شود سن روسازی و ضریب اهمیت روسازی را باید به برنامه داده و براساس ترافیک متوسط روزانه در سال، محدوده ترافیک را در برنامه تعیین کنیم تا الگوریتم ژنتیک در این محدوده بهینه‌سازی خود را انجام دهد؛ همچنین براساس دمای متوسط سالانه مسیر، محدوده تغییرات دما را در برنامه تعیین می‌کنیم. محدوده تغییرات ضریب کیفیت روسازی آسفالتی را نیز براساس آنچه در قسمت‌های قبل ذکر شد، بین ۱ تا ۵ می‌باشد تا الگوریتم ژنتیک در این محدوده عمل کند. براین اساس 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 بدست آید. (جدول ۳) باید توجه داشت که پارامتر هزینه شامل هزینه بازدیدهای میدانی و هزینه ترمیم و مرمت می‌شود؛ در هزینه بازدید میدانی اجزاء مختلفی مانند هزینه ماشین‌آلات و تجهیزات، حقوق کارشناسان، دستمزد کارگران و ... دخیل می‌باشد. هزینه ترمیم و مرمت نیز براساس نوع عملیات مورد نیاز مانند چاله‌پرکنی، لکه‌گیری، آسفالت حفاظتی، روکش و ... متغیر می‌باشد.

در جدول فوق، چنانچه نتایج ردیف ٤ را در نظر بگیریم، مشاهده می‌شود که این مسیر یک راه با ضریب اهمیت ۳ یعنی راه اصلی درون استانی با محدوده ترافیک ۲۰۰۰۰-۱ وسیله نقلیه در روز می‌باشد که ٤ سال قبل ساخته شده است؛ محدوده دمایی این مسیر در استان خوزستان، ۷۰-۱۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است؛ با استفاده از اطلاعات بدست آمده و به کمک الگوریتم ژنتیک، مشخص می‌شود که بهترین زمان بازدید میدانی مسیر، ۳۱ روز پس از انجام این مطالعات است؛ در واقع این الگوریتم به ما می‌گوید که بهترین ترافیک برای بازدید مسیر ۱۲٦۹ وسیله نقلیه در روز، بهترین دما ۳۳ درجه سانتیگراد، PCI مناسب ۳۱/٤، ضریب کیفیت مناسب ۵ است که با این شرایط، ترمیم و مرمت هر کیلومتر مسیر حدود ۱۱٦ میلیون ریال هزینه خواهد داشت. مشخص است که تغییر زمان بازدید میدانی بدست آمده، تأثیر مستقیمی بر پارامترهای دخیل بویژه 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 می‌یابد. بنابراین مشخص می‌شود که زمان بازدید بدست آمده، تعادلی بین این هزینه‌ها ایجاد کرده و باعث بهینه‌سازی این هزینه‌ها می‌شود.

## ۵-نتیجه‌گیری

باتوجه به آنچه در بخش‌های مختلف مقاله ذکر شد و همچنین باتوجه به محدودیت‌ها و فرض‌های در نظر گرفته شده، تا حد امکان سعی شد که تمام عوامل مؤثر بطور کامل شناسایی شده و در الگوریتم زنتیک گنجانده شود؛ به نظر می‌رسد که عوامل مؤثر در زمان برداشت میدانی بخوبی شناسایی و در نظر گرفته شده و از الگوریتم زنتیک نیز بهره مناسبی گرفته شده است.

باتوجه به نتایج بدست 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 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 موردنظر، رضایت استفاده‌کنندگان را نیز جلب کرد.

**جدول ۳. نتایج بدست آمده از اجرای برنامه برای نمونه‌های مختلف در استان خوزستان**

| ردیف | سن روسازی | ضریب اهمیت روسازی | محدوده ترافیک | محدوده دما | محدوده ضریب کیفیت | ترافیک بهینه | دمای بهینه | PCI بهینه | ضریب کیفیت بهینه | هزینه (میلیون ریال) | زمان بهینه بازدید |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۳ | ۲ | ۱ – ۳۰۰۰۰ | ۱۰ – ۷۰ | ۱ – ۵ | ۲۰۲٤ | ۳۳ | ۳۳/۹ | ۵ | ۱٤۹ | ۸۱ |
| ۲ | ٤ | ۲ | ۱ – ۳۰۰۰۰ | ۱۰ – ۷۰ | ۱ – ۵ | ۲۰۱۰ | ۳۲ | ۳۵/۵ | ۵ | ۳۵٦ | ٦۷ |
| ۳ | ٤ | ۳ | ۱ – ۲۰۰۰۰ | ۱۰ – ۷۰ | ۱ – ۵ | ۲٦۲۸ | ۳۲ | ۳۲/۲ | ۵ | ۹٤٦ | ۳۱ |
| ٤ | ٤ | ۳ | ۱ – ۲۰۰۰۰ | ۱۰ – ۷۰ | ۱ – ۵ | ۱۲٦۹ | ۳۳ | ۳۱/٤ | ۵ | ۱۱٦ | ۳۱ |
| ۵ | ۵ | ٤ | ۱ – ۱۵۰۰۰ | ۱۰ – ۷۰ | ۱ – ۵ | ۱۵۲۸ | ۳۱ | ۳۹/۳ | ۵ | ۳۳۹ | ۱۳ |
| ٦ | ۵ | ٤ | ۱ – ۱۵۰۰۰ | ۱۰ – ۷۰ | ۱ – ۵ | ۱۲٤۲ | ۳۱ | ٤۰/۸ | ۵ | ۱۳۷ | ۱۳ |
| ۷ | ۵ | ٤ | ۱ – ۱۵۰۰۰ | ۱۰ – ۷۰ | ۱ – ۵ | ۱۰٦۳ | ۳۱ | ٤۱/۸ | ۵ | ۱٤۳ | ۱۳ |

## ٦- مراجع


- سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی (۱۳۹٦). *استان شناسی خوزستان*. وزارت آموزش و پرورش، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطه نظری. *شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران*.

- سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی (۱۳۹۷). *عملیات راهداری و نگهداری راه*. وزارت آموزش و پرورش، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، *رشته حمل و نقل*، گروه خدمات، شاخه فنی و حرفه‌ای.

- قلی‌پور، امیر، معهود، محمد، حجت‌پناه، شایان و محسنی، محیا (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 ملی دستاوردهای اخیر در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی. مؤسسه آموزش عالی نیکان، تهران.

-Almassy, K., Pusztai, G., Gaspar, L. & Logo, J., (2019). Optimization Methods of the Pavement Management System of Budapest. *Journal of Civil Engineering and Management.* Vol. 25, Issue 8, 798–804.

-Domitrovic, J., Dragovan, H., Rukavina, T. & Dimter, S., (2018). Application of an Artificial Neural Network in Pavement Management System. *Technical Gazette 25.* Suppl. 2, 466-473.

-Elhadidy, A.A., Elbeltagib, E.E. & Ammar, M.A., (2015). Optimum analysis of pavement maintenance using multi-objective genetic algorithms. *Housing and Building National Research Center (HBRC), Journal, No. 11*, 107-113.

-GeramiMatin, A., VataniNezafat, R. & Golroo, A., (2017). A comparative study on using meta-heuristic algorithms for road maintenance planning: Insights from field study in a developing country. *Journal of*

-Sarsam, S.I., & Al-Geelawe, E.K., (2016). Implementation of Computer Aided System for Management of Pavement Maintenance Decision. *Applied Research Journal.* Vol. 1, Issue: 1 March.

-Woo, S. & Yeo, H., (2016). Optimization of Pavement Inspection Schedule with Traffic Demand Prediction. *11th International Conference of the International Institute for Infrastructure Resilience and Reconstruction (I3R2): Complex Disasters and Disaster Risk Management; Procedia - Social and Behavioral Sciences 218*. 95 - 103.

-Wu, Z. & Abadie, C., (2018). Laboratory and field evaluation of asphalt pavement surface friction resistance. *Frontiers of Structural and Civil Engineering* Vol. 12, 372–381.

-Yehia, A. (2020). Understanding Uncertainty: a Reinforcement Learning Approach for Project-Level Pavement Management Systems. *Dissertation Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master of Applied Science, Faculty of Graduate and Postdoctoral Studies (Civil Engineering).* University of British Columbia. Vancouver, April.

*Traffic and Transportation Engineering*. No. 4, 477-486

-Llopis-Castelló, D., García-Segura, T., Montalbán-Domingo, L., Sanz-Benlloch, A. & Pellicer, E., (2020). Influence of Pavement Structure, Traffic and Weather on Urban Flexible Pavement Deterioration. *Sustainability Journal. 12*, 9717. doi:10.3390/su12229717

-Moghaddasnejad, F., Maskani, R., Rasouli, A., & 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. & Burkhanbaiuly Teltayev, B., (2019). Analysis of Pavement Condition Survey Data for Effective Implementation of a Network Level Pavement Management Program for Kazakhstan. *Sustainability Journal*. **doi:10.3390/10.3390/su11030901**

-Salini, R., Xu, B. & Lenngren, C.A., (2015). Application of Artificial Intelligence for Optimization in Pavement Management. *International Journal of Engineering and Technology Innovation.* Vol. 5, No. 3, 189-197.

# Determining the Most Suitable Time for Field Visits in Asphalt Pavements with the Help of Genetic Algorithm

*Jalal Ayoubinejad, Assistant Professor, Civil Engineering Group,*
*Payam-e-Noor University, Tehran, Iran.*
*Ali AkbariMotlagh, Ph.D., Student, Civil Engineering Group,*
*Payam-e-Noor University, Tehran, Iran.*

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

Received: June 2024- Accepted: September 2024

**ABSTRACT**
Considering the exorbitant costs that are paid annually for the repair and improvement of asphalt pavements and 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 observations in pavement management by using the algorithm. It will be innovative to prevent more costs and have better planning for pavement maintenance and repair so that the roads always have an acceptable level of service. In addition, in this topic, the financial issues related to field observations should not be neglected; but these costs are very small compared to the huge costs spent on roads; However, the indicators affecting the cost of field harvests should also be specified and these costs should be optimized along with determining the best time for conducting the inspection. Therefore, this article tries to determine the most appropriate time for field surveys, so that with the first surveys, relevant modeling, necessary planning, financial estimates, etc. can be done and steps can be taken to optimize inspections of asphalt pavements. In the meantime, traffic and financial issues are also in mind. For this purpose, according to the effective factors and with the help of genetic algorithm, the required program was implemented in MATLAB software and tested for different samples from Khuzestan province, the results of which are very impressive and reasonable. By giving the age of the pavement and the coefficient of importance of the pavement, the genetic algorithm starts working and optimizes the traffic, temperature, PCI and quality factor to finally obtain the optimal time of field harvests.

**Keywords:** Asphalt Pavement, Field Visit, Genetic Algorithm, Optimization