

تخصیص بهینه تعمیرات و نگهداری پل‌های استان مازندران در شرایط محدودیت بودجه با استفاده از الگوریتم ژنتیک

محمدجواد طاهری امیری، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

فرشیدرضا حقیقی (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

علی رحمانی فیروزجائی، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

میلاذ همیتیان، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

مائده جواهری بارفروشی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران

Email: Haghghi@nit.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۰۶

دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۳۰

چکیده

پل‌ها با هر شکل سازه‌ای که طراحی شوند و با هر نوع مصالحی که ساخته شوند، دیر یا زود آثار فرسودگی در آنها ظاهر می‌شود لیکن در نوع و میزان این فرسودگی‌ها و روند گسترش آنها عوامل متعددی مانند شرایط جوی، وقوع سیل یا زلزله، افزایش بار بیش از میزان طراحی، کیفیت طراحی و اجرا و نوع مصالح تاثیرگذار هستند که تمامی این عوامل چنانچه مورد توجه و رسیدگی قرار نگیرند منجر به کاهش عمر مفید سازه خواهند شد. بنابراین رسیدگی به پل‌ها و تعمیر و نگهداری به موقع آنها، موجب افزایش عمر مفید پل‌ها می‌گردد. در این تحقیق پل‌های استان مازندران از لحاظ خرابی با دیدگاه تعمیر و نگهداری مطالعه شده و وضعیت خرابی و نقص‌های هر یک از این پل‌ها و همچنین وضعیت این پل‌ها در برابر عواملی همچون بار ترافیکی و دیگر متغیرهای موثر مورد بررسی قرار گرفته است. پس از انجام بازدیدهای میدانی و جمع‌آوری نتایج مورد نیاز، ابتدا پل‌ها براساس معیارهای ارزیابی نقص، با استفاده از روش تمیم‌گیری چندمعیاره تحلیل سلسله‌مراتبی اولویت بندی شده و سپس براساس سطح بودجه در دسترس، اقدامات اصلاحی بر روی هر پل مشخص شد. به این منظور ابتدا یک مدل برنامه ریزی ریاضی خطی ارائه شده و سپس به منظور حل مسئله ابعاد بالا یک الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای پیدا کردن اقدامات اصلاحی بهینه در نرم افزار MATLAB پیاده سازی و توسعه داده شد؛ نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک پیشنهادی عملکرد مناسبی در حل مسئله داشته است. به منظور بررسی صحت الگوریتم پیشنهادی، چندین سطح بودجه در نظر گرفته شده و روند تغییرات میزان اقدامات اصلاحی مورد ارزیابی قرار گرفته است. مشخص گردید که با افزایش سطح بودجه، میزان اثر بخشی از طریق افزایش تعداد اصلاحات با هزینه بیشتر، افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تعمیر و نگهداری پل، خرابی، هزینه تعمیر و نگهداری و الگوریتم ژنتیک

۱. مقدمه

بهینه‌سازی شبکه سیستم، مورد نیاز هستند [Sobanjo, 2004]. یکی از دلایلی که مدیریت پل در این قسمت مطرح شد، این است که بخش عمده‌ای از مدیریت پل، مربوط به تعمیر و نگهداری پل‌ها است. تعویق فعالیت نگهداری و نبود اولویت بندی اعتبار تخصیص داده شده به پروژه‌های تعمیر پل، تنها باعث بدتر شدن این وضع می‌شود. اگر خرابی پل به حدی برسد که برای تحمل بعضی از وسایل نقلیه مناسب نباشد، پل از نظر سازه‌ای معیوب بوده و فاقد ایمنی است. پل هنگامی از نظر عملکردی ناکارا به حساب می‌آید که برای سرویس دادن به انواع ترافیک عبوری مناسب نباشد. این امر ممکن است به دلیل عرض یا ارتفاع آزاد ناکافی پل و یا امتداد نامناسب مسیر پل و جاده باشد [Jones, 2002]. در ادامه مطالعات انجام گرفته در این حوزه در سالیان اخیر ارائه شده است.

اورسسی و فرانگوپول (۲۰۱۱) با مطالعه بر روی پل ویسکانسین، تمرکز خود را بر روی اطلاعات SHM گذاشته و چگونگی بهینه‌سازی اقدامات تعمیر و نگهداری در شرایط محدودیت بودجه که براساس این اطلاعات انجام می‌شود را مورد بررسی قرار دادند. هدف این مقاله استفاده از داده‌های SHM در تجزیه و تحلیل هزینه‌ی چرخه‌ی زندگی پل در جهت تعیین استراتژی‌های تعمیر و نگهداری بهینه بر مبنای نظارت بر این داده‌ها است که برای نشان دادن این منفعت استفاده از اطلاعات SHM در گزینه‌های مورد مطالعه، استراتژی‌های بهینه با و بدون در نظر گرفتن نتایج نظارت تعیین شدند [Orcessi and Frangopol, 2011].

تانگ یانگ و همکارانش (۲۰۱۲) با تحقیقی جدید در چارچوب روش‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه (MOPSO)^۱ و شبیه‌سازی مونت کارلو (MCS) جهت مدل‌کردن عدم قطعیت و اجرا بر روی یک پلت فرم محاسبات موازی با استفاده از سه الگوی برنامه‌نویسی Master-slave، Island و Diffusion جهت توزیع محاسبات در سراسر پردازنده‌ها و کنترل ارتباط بین پردازنده‌ها به انجام برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری پل‌ها پرداختند. این بهینه‌سازی شبیه‌سازی شده چند هدفه برای تبادل بین مقادیر مورد انتظار هزینه تعمیر و نگهداری و مقادیر عملکرد ارائه شده و اعتبار آن از طریق یک گزینه عملی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق حکایت از این دارد که چارچوب پیشنهادی بسیار انعطاف‌پذیر است. همچنین پلت فرم محاسبات موازی، مقیاس‌پذیری و

در بین زیر ساخت‌های بزرگراه‌ها، پل‌ها نقش مهمی در برقراری ارتباطات دارند و یکی از مهم‌ترین شاه‌رگ‌های ترافیکی به خصوص در کلان‌شهرها هستند. به آسانی می‌توان دریافت که خرابی شدید سازه‌ای و یا تخریب یک پل بخصوص پل‌های بزرگراهی، چه آثار زیانباری برای مدیریت کلان استان در پی خواهد داشت. در ضمن، با توجه به ترافیک کلان شهرها، در صورت بروز چنین مشکلاتی، امکان انجام مناسب عملیات تعمیراتی، بسیار سخت و محدود می‌گردد. از دیگر سو سرمایه‌گذاری اولیه برای ساختن آنها بسیار سنگین است، اما اگر ظرفیت تحمل بار آنها کاهش یابد و یا فرو ریزند، هزینه لازم برای بازسازی آنها به مراتب بیش از هزینه ساخت خواهد بود. طبق نظر پتروسکی در مورد پل‌ها، پل‌ها نیز به مانند سلامتی انسانها وقتی به ضرورت وجود آنها پی برده می‌شود که آنها از دست رفته‌اند [Petroski, 1995]. بنابراین سیاست‌گذاران نیز وقتی متوجه پل‌ها می‌شوند که اکثر آنها از لحاظ سازه‌ای دچار مشکل شده‌اند. به تمام فعالیت‌ها در طول عمر پل از ساخت و ساز تا جایگزینی (تعویض) جهت تأمین ایمنی و عملکرد لازم پل‌ها، مدیریت پل می‌گویند، عمده‌ترین مشکلی که ادارات راه و ترابری در شهرستانهای کشور با آن مواجه هستند، این است که هزینه نگهداری و تعمیر پل‌ها، بیش از بودجه تخصیص داده شده به آنها است. تعویق فعالیت نگهداری و عدم اولویت‌بندی اعتبار تخصیص داده شده به پروژه‌های تعمیر پل، تنها باعث بدتر شدن این وضع می‌شود، زیرا اگر خرابی پل به حدی برسد که برای تحمل بعضی از وسایل نقلیه مناسب نباشد، پل از نظر سازه‌ای معیوب بوده و فاقد ایمنی است. پل هنگامی از نظر عملکردی ناکارآمد به شمار می‌آید که برای سرویس دادن به انواع ترافیک عبوری مناسب نباشد. با در نظر گرفتن افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری پل‌ها از یک دوره تا دوره بعد و برای بهره‌وری مناسب، نگهداری پل‌ها در شرایط متعارف فیزیکی و احیانا "بازسازی و جایگزینی، نیاز به یک استراتژی جهت تعمیر و نگهداری منظم پل‌های در دست بهره‌برداری دارد، تا مشکل اصلی که مسئولین تعمیرات و نگهداری پل‌ها با آن مواجه هستند، یعنی بودجه اجرایی (بودجه در دسترس) که معمولاً کمتر از بودجه مورد نیاز کلیه تعمیرات پل‌ها است، بطور مناسب به پروژه‌ها اختصاص یابد. در نتیجه، به منظور کمینه کردن اتلاف سود، مدل‌های

نگهداری شبکه بزرگی از هزاران پل که در طول دوره‌های متعدد رو به زوال رفته‌اند، بپردازد [Hu et al. 2015].

ژانگ و وانگ (۲۰۱۷) مسئله اولویت‌بندی نگهداری و تعمیرات شبکه پل را تحت شرایط محدودیت بودجه مورد بررسی قرار دادند. به این منظور از روش‌های تحلیل شبکه، اصول ساختاری قابلیت اعتماد و الگوریتم‌های فراابتکاری برای یکپارچه‌سازی پارامترهایی مانند نرخ ظرفیت پل، شرایط. میزان ترافیک و مکان پل‌ها استفاده شده است. در این راستا داده‌های مربوط به ۱۶۰ پل با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو تولید شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است. عملکرد شبکه برحسب زمان سفر بین تمام جفت مبدأ-مقصد ممکن در شبکه ارزیابی شده است [Zhang and Wang, 2017].

عبدالله‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) به اولویت‌بندی پل‌ها از نظر نیازشان به تعمیر و نگهداری و انتخاب استراتژی تعمیر و نگهداری بهینه پل‌ها بر مبنای الگوریتم تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل برنامه‌ریزی ریاضی پرداختند. آن‌ها ابتدا عوامل مؤثر در ایمنی کاربران، عملکرد و سرعت خرابی پل‌ها را شناسایی و سپس با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی این عوامل را وزن‌دهی و با استفاده از اوزان به دست‌آمده، ارزیابی ۱۳ پل استان مازندران نسبت به هر یک از عوامل مذکور و روش‌های مقیاس ترتیبی، فوریت پل‌های مورد نظر را از نظر نیازشان به تعمیر و نگهداری بدست آوردند. همچنین با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با هدف بیشینه‌سازی مطلوبیت با توجه به شاخص اولویت هر پل، مقدار بودجه در دسترس، هزینه و اثربخشی روش‌های درمان، روش‌های تعمیر و نگهداری بهینه برای هر پل تعیین شده است [Abdollahzadeh et al. 2013].

با توجه به اینکه، ارگان‌های دولتی به منظور تامین بودجه مورد نیاز تعمیر و نگهداری پل‌ها با مشکل مواجه اند، و معمولاً بودجه محدودی برای این منظور در اختیار دارند و با بودجه محدود خود می‌خواهند تعمیرات بهینه را برای پل‌ها انجام دهند، ضرورت بررسی تعمیرات و نگهداری پل‌ها در حالت محدودیت بودجه احساس می‌شود. بررسی تحقیقات گذشته نشان داده است که این موضوع مورد بررسی قرار نگرفته است، از این‌رو، در این مطالعه، به بررسی پل‌های استان مازندران از نظر نیاز به تعمیر و نگهداری با بودجه محدود پرداخته شده است. با توجه به تعداد زیاد پل‌های استان و همچنین سن زیاد

بهره‌وری بسیاری دارد که این ویژگی، کلیدی برای بکارگیری در حل مسائلی با مقیاس بزرگ مثل در نظر گرفتن ده‌ها پل به‌صورت همزمان است. در انتها عنوان شده است که قدرت محاسباتی قالب ارائه‌شده می‌تواند از پیشرفت‌های سریع در تکنولوژی پردازنده‌های چند هسته‌ای بهره‌مند شود [Tung et al. 2012].

ژو و لیو هم با تحقیقی (۲۰۱۳) و در نظر گرفتن معیارهایی چون شاخص‌های عملکرد، عمر سرویس‌دهی و هزینه تعمیر و نگهداری چرخه عمر پل‌ها به بررسی بهینه‌سازی استراتژی تعمیر و نگهداری پل‌هایی با شاهتیرهای بتن‌آرمه پرداختند. بهینه‌سازی برنامه تعمیر و نگهداری چرخه عمر پل‌های رو به زوال در این مقاله به‌عنوان یک مسئله چندهدفه فرموله شده که توسط روش NSGA^۲ و نسخه‌گرایی نامغلوب^۳ بهبود می‌یابد و شاخص وضعیت، شاخص قابلیت اطمینان، عمر سرویس‌دهی و هزینه تعمیر و نگهداری چرخه عمر به‌عنوان چهار تابع هدف به‌صورت جداگانه در نظر گرفته شده است. نتایج نشانگر این است که به‌طور کلی مدل بهینه‌سازی چندهدفه پیشنهادشده در این مقاله می‌تواند رابطه بین عملکرد پل، طول عمر و هزینه را در نظر بگیرد و استراتژی تعمیر و نگهداری به‌دست‌آمده از این روش می‌تواند سازه‌ای با بهترین عملکرد و بیشترین طول عمر بر پایه هزینه تعمیر و نگهداری چرخه عمر (LCMC)^۴ کمتر ایجاد کند. همچنین معلوم شد که روش NSGA این پتانسیل را دارد که برای پیدا کردن راه‌حل‌های جایگزین جهت تصمیم‌گیری در بخش‌های مختلف مدیریت پل بکارگیری شود [Zhu and Liu, 2013].

هو و همکارانش (۲۰۱۵)، چگونگی پیدا کردن طرح بهینه‌ی تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان برای شبکه‌ای از پل‌های رو به وخامت در مقیاس بزرگ را مورد بررسی قرار دادند که هدف آن به حداقل رساندن اختلالی به نام مسافت اضافی سفر (VMT)^۵، ناشی از شکست بالقوه‌ی پل (بسته شدن پل) توسط سنجش هزینه واقعی کاربر و برنامه‌ریزی بلندمدت تحت محدودیت بودجه هست. از نتایج این مقاله می‌توان به این مورد اشاره کرد که هزینه‌های کلی کاربران به‌طور مستقیم توسط افزایش زمان و مسافت سفر اندازه‌گیری می‌شود که این دو فاکتور مرتبط‌ترین معیار در مقایسه با تحقیقات گذشته است؛ بنابراین باید عنوان کرد که روش ارائه شده بسیار کارآمد بوده و قادر است به بهینه‌سازی فعالیت‌های تعمیر و

ضعیف‌تر از بین می‌روند و موجودات قوی‌تر باقی می‌مانند. الگوریتم‌های ژنتیک، که بر مبنای ایده تکامل در طبیعت عمل می‌نمایند، بر روی جمعیتی از راه‌حل‌های بالقوه به جستجوی راه‌حل نهایی می‌پردازند. در هر نسل، بهترین‌های آن نسل انتخاب می‌شوند و پس از زاد و ولد، مجموعه جدیدی از فرزندان را تولید می‌کنند. در این فرآیند، افراد مناسب‌تر، با احتمال بیشتری در نسل‌های بعدی باقی خواهند ماند. در آغاز الگوریتم، تعدادی از افراد (جمعیت اولیه) به صورت تصادفی ساخته شده و تابع هدف برای تک تک آنها ارزیابی می‌شود. اگر شرط رسیدن به جواب برقرار نباشد، نسل بعدی با انتخاب والدین براساس میزان برازندگی‌شان تولید می‌شود و فرزندان با احتمال ثابتی دچار جهش می‌شوند. سپس میزان برازندگی فرزندان جدید، محاسبه شده و جمعیت جدید از جایگزینی فرزندان با والدین ایجاد می‌شود و این فرآیند تا برقرار شدن شرط خاتمه تکرار می‌شود. عمده‌ترین مزایای این روش در مقایسه با روش‌های متداول عبارتند از: جستجوی موازی در عوض جستجوی ترتیبی، عدم نیاز به هرگونه اطلاعات، کمکی نظیر روش حل مسأله، قطعی نبودن الگوریتم، پیاده‌سازی آسان و رسیدن به چند گزینه مطلوب، این الگوریتم در مسائل متنوعی نظیر بهینه‌سازی، شناسایی و کنترل سیستم، پردازش تصویر و مسائل ترکیبی، تعیین توپولوژی و آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم‌های مبتنی بر تصمیم و قاعده بکار می‌رود. در این تحقیق، از این الگوریتم به منظور تخصیص بهینه اقدامات اصلاحی پلها استفاده شده است. جهت معرفی بیشتر و اطلاعات از نحوه بهینه‌یابی در الگوریتم ژنتیک، مرجع [Sivanandam and Deepa, 2008] پیشنهاد می‌گردد.

۲-۲-۱ نقاط قوت استفاده از الگوریتم ژنتیک

اولین و مهم‌ترین نقطه قوت این الگوریتم‌ها این است که الگوریتم‌های ژنتیک ذاتا موازی‌اند. اکثر الگوریتم‌های دیگر موازی نیستند و فقط می‌توانند فضای مسأله مورد نظر را در یک جهت در یک لحظه جستجو کنند و اگر راه‌حل پیدا شده یک جواب بهینه محلی باشد و یا زیر مجموعه‌ای از جواب اصلی باشد، باید تمام کارهایی که تا به حال انجام شده را کنار گذاشت و دوباره از اول شروع کرد. از آنجایی که GA، چندین نقطه شروع دارد، در یک لحظه می‌تواند فضای مسأله را

این پل‌ها، نحوه تخصیص بودجه به این پل‌ها به نحوی که بتوان به بالاترین سطح اثربخشی رسید، از اهمیت بسزایی برخوردار است. برای این منظور مدل ریاضی مورد نظر مسئله ایجاد شده و با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک در نرم افزار MATLAB برنامه‌نویسی شده است.

۲. روش شناسی

۲-۱ روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

این تکنیک برای اولین بار از سوی توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد. این تکنیک بر مبنای مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده که امکان فرموله کردن مسائل را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و نیز میزان سازگاری یا ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد [Orace, 2009]. روشی است که در آن یک روش پیچیده به بخش‌های کوچکتر تجزیه می‌شود، سپس این اجزا در یک ساختار سلسله‌مراتبی قرار می‌گیرند. در این روش براساس قضاوت‌های ذهنی و با توجه به اهمیت هر معیار، مقادیر عددی اختصاص داده می‌شود و معیارهایی که بیشترین اهمیت را دارند، مشخص می‌شود. به عبارت دیگر، ترتیب اولویت معیارها تعیین می‌شود [Shams and Ghasemipour, 2011]. کاربردهای این روش تاکنون در بسیاری از زمینه‌های علمی به اثبات رسیده است. روشی مناسب برای تجزیه و تحلیل مسائل پیچیده است و اجازه می‌دهد که در فرایندهای تصمیم‌گیری، قضاوت‌های ذهنی تصمیم‌گیرنده در کنار ساختار معیارهای تأثیرگذار در نظر گرفته شوند در واقع AHP کمک کرده تا ساختار یک سیستم و محیط آن به گونه‌ای که اثر متقابل اجزا در خود دارد، درک شود و احتمال خطا را کاهش داده و نیز در این روش می‌توان تعداد زیادی از عوامل را دخالت داد و با استفاده از نظر کارشناسی وزن هر عامل را به دست آورد.

۲-۲ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، یکی از روش‌های ابتکاری در مسأله بهینه‌سازی است که ریشه آن از قانون بقای اصلح^۱ نشأت می‌گیرد و در واقع این الگوریتم، یک شبیه‌سازی مجازی از نظریه تکامل تدریجی داروین است که می‌گوید: موجودات

در هر نقطه از الگوریتم کاملاً احتمالی بوده و براساس قطعیت صورت نمی‌پذیرد. این امر از مزایای مهم این روش بوده و از افتادن سیستم در کمینه محلی جلوگیری می‌نماید. البته میزان احتمال به گونه‌ای است که احتمال حرکت به سمت مسأله بیشتر از احتمال حرکت آن به سمت مخالف جواب می‌باشد.

۱۳- تنها ملاک ارزشیابی و سنجش میزان شایستگی هر راه‌حل توسط الگوریتم‌های ژنتیک، مقدار تابع شایستگی آن در فضای کروموزوم‌هاست و نه معیارهای مورد نظر در سطح فضای راه‌حلها.

۱۴- این الگوریتم بیشتر در مسائل بهینه‌سازی و امثال آن بکار می‌رود. الگوریتم ژنتیک، قدرت خود را در حل مسائل پیچیده‌ای که روش‌های مبتنی بر مشتق، معمولاً در حل آنها دچار اشکال شده و روی مینیمم‌های محلی هم گرا می‌گردند، نشان داده است. از الگوریتم ژنتیک در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها استفاده‌های متعددی شده است که عمدتاً به منظور یافتن اندازه بهینه سیستم‌ها یا نحوه کنترل آنها بوده است.

با توجه به نقاط قوت و مزایای بسیار زیاد این الگوریتم، در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک استفاده خواهد شد.

۳. مدل‌سازی مسأله

برای حل مسأله مذکور به منظور پیشینه‌سازی مطلوبیت (نسبت عمر به هزینه) با در نظر گرفتن محدودیت بودجه، در این پژوهش به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی پرداخته شده است. اندیس‌ها و نمادگذاری به‌کار رفته در این مدل به شرح زیر است:

۳-۱ اندیس‌ها

j اندیس مربوط به هر پل ($j = 1, \dots, n$)

K اندیس مربوط به روش درمان

K_j اندیس مربوط به مجموعه‌ای از درمان‌های امکانپذیر برای

پل j

A اندیس مربوط به گروهی از پل‌هاست که به تعمیر نیاز دارند.

۳-۲ پارامترها

d_j شاخص اولویت مربوط به هر پل بر اساس نقص آن

از چند جهت مختلف جستجو کند. اگر یکی به نتیجه نرسید، سایر راه‌ها ادامه می‌یابند و منابع بیشتری در اختیارشان قرار می‌گیرد. یکی دیگر از مزایای الگوریتم، این است که آنها می‌توانند چندین پارامتر را همزمان تغییر دهند. بسیاری از مسائل واقعی نمی‌توانند محدود به یک ویژگی شوند تا آن ویژگی ماکزیمم شود و باید چند جنبه در نظر گرفته شوند. GA در حل این گونه مسائل بسیار مفیدند، و در حقیقت قابلیت موازی کار کردن آنها این خاصیت را به آنها می‌بخشد و ممکن است برای یک مسأله ۲ یا چند راه‌حل پیدا شود، که هر کدام با در نظر گرفتن یک پارامتر خاص به جواب رسیده‌اند. از جمله مزایای دیگر این الگوریتم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- با متغیرهای پیوسته و گسسته می‌تواند عمل بهینه‌سازی را انجام دهد.

۲- نیازی به محاسبه مشتق توابع ندارد.

۳- بطور همزمان می‌تواند تمامی ناحیه جستجو شونده وسیع تابع هزینه را جستجو کند.

۴- قادر به بهینه‌سازی مسائل با تعداد متغیرهای زیاد می‌باشد.

۵- قابل اجرا از طریق کامپیوترهای موازی است.

۶- توابع هزینه‌ای که بسیار پیچیده باشند نیز از این طریق قابل بهینه‌سازی می‌باشند و الگوریتم در اکستریم محلی به دام نمی‌افتد.

۷- قادر است تا چند جواب بهینه را بطور همزمان به دست آورد نه فقط یک جواب.

۸- الگوریتم‌های ژنتیک بر روی مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها اعمال می‌شوند و نه بر روی یک راه‌حل خاص.

۹- قادر است تا متغیرها را کدبندی نموده و بهینه‌سازی را با متغیرهای کدبندی شده انجام دهد. کدبندی، سرعت همگرایی الگوریتم را افزایش می‌دهد.

۱۰- الگوریتم، توانایی کار کردن با داده‌های عددی تولید شده و داده‌های تجربی را علاوه بر توابع تحلیلی دارد.

۱۱- فرآیند ارائه شده توسط الگوریتم‌های ژنتیک، بر روی فضایی از مجموعه نمایندگان یا همان فضای کروموزوم‌ها اعمال می‌گردد و نه بر روی خود فضای راه‌حلها.

۱۲- الگوریتم‌های ژنتیک، از قوانین انتقالی احتمالی به جای قوانین انتقالی قطعی استفاده می‌کنند، بدین معنا که حرکت آن

۴. جمع‌آوری داده‌ها

در این بخش اطلاعات مورد نیاز مدل از مطالعه موردی انجام گرفته استخراج شده است. در این بخش، با توجه به ضرورت بررسی مدیریت پل با استفاده از روش‌های مورد استفاده در مدیریت ریسک و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در پل‌ها در استان مازندران پرداخته شده است. با توجه به عبور محورهای ارتباط دهنده استان مازندران با مرکز از منطقه کوهستانی و وجود رودهای متعدد در مسیر جاده ساحلی، این استان دارای تعداد زیادی پل می‌باشد. با توجه به اهمیت سرویس دهی بی وقفه شریانهای حیاتی و عمر بالای اکثر پلهای موجود در مسیرهای استان، استفاده از یک سیستم مدیریت و نگهداری پلها حیاتی به نظر می‌رسد. به همین منظور در راستای انجام پروژه سیستم مدیریت و نگهداری پلها در ایران، برداشت اطلاعات مربوط به پلهای استان مازندران آغاز گردید. در مرحله اول سعی شده است تا پلهای با اهمیت بالاتر برداشت شده و تحت سیستم مدیریت پل ارزیابی گردد. از این رو اطلاعات مربوط به شناسنامه فنی، بازرسی عمومی و بازرسی اصلی پلهای با دهانه بیشتر از ۲۰ متر با انجام برداشت‌های میدانی جمع‌آوری شده است، که در نهایت تعداد ۱۱۶ پل از پلهای این استان در محورهای مختلف از جمله محور آمل-امامزاده‌هاشم، قائمشهر-فیروزکوه، ساری-گرگان، تنکابن-رامسر و ... مورد بررسی قرار گرفته است. سپس اولویت بندی پل‌ها براساس معیارهایی شامل بار ترافیکی، خصوصیات بستر رودخانه، نقص‌های موجود و سن پل‌ها انجام گرفت. جدول ۱ نتایج اعمال وزن معیارها برای چند پل را بطور نمونه نشان می‌دهد. در این بخش وزن معیارها و زیرمعیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP محاسبه شده است. پس از آنکه نتایج اعمال وزن‌ها برای پل‌های مختلف مشخص شد، پل‌ها براساس وزن مرتب و از زیاد به کم اولویت بندی شده‌اند. بدلیل تعداد زیاد پل‌ها ۷ پل که از بیشترین اهمیت و آخرین پل که از کمترین اهمیت برخوردارند، در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

a_{jk} نسبت عمر به هزینه (اثربخشی) مربوط به استفاده از روش درمان k ام برای پل j ام
 C_{jk} هزینه استفاده از روش درمان k ام برای پل j ام
 B میزان بودجه در دسترس است.

۳-۳ تابع هدف و متغیرهای مسئله

y_{jk} برابر ۱ است اگر روش درمان k ام برای پل j ام انتخاب گردد و در غیر این صورت صفر است.
 y_{total} تعداد کل درمان‌هایی که انجام می‌شود.

$$\max imise \left(\sum_{j \in A} \sum_{k \in K(j)} d_j a_{jk} y_{jk} \right) \quad (1)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{j \in A} \sum_{k \in K(j)} c_{jk} y_{jk} \leq B \quad (2)$$

$$y_{total} = \sum_{j \in A} \sum_{k \in K(j)} y_{jk} \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K(j)} y_{jk} \leq 1 \quad \forall_j \in A \quad (4)$$

$$y_{jk} = 0/1 \quad \forall_j \in A \quad \forall_k \in K(j) \quad (5)$$

این مدل با هدف بیشینه‌سازی ارزش برنامه تعمیر و نگهداری ارائه شده بر حسب میزان هزینه و اثربخشی اصلاحات و تعداد مواردی که تحت برنامه تعمیر و نگهداری قرار دارند است. منظور از اثربخشی در مدل پیشنهادی، نسبت دوام تعمیر به میزان هزینه انجام گرفته برای آن تعمیر است.

با توجه به محدودیت‌های مدل، رابطه (۲) نشان‌دهنده محدودیت بودجه در دسترس است، رابطه (۳) بیان‌کننده تعداد کل پل‌هایی است که مورد تعمیر قرار می‌گیرند و رابطه (۴) تضمین می‌کند که برای هر نقص تنها یک روش درمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این مدل به ارائه یک برنامه تعمیر و نگهداری بر اساس شاخص اولویت مربوط به هر پل و با در نظر گرفتن محدودیت بودجه در دسترس به منظور بیشینه نمودن اثربخشی درمان و تعداد پل‌هایی که تحت درمان قرار می‌گیرند می‌پردازد. این مدل در نرم‌افزار MATLAB با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک پیاده‌سازی شده و نتایج آن در بخش بعدی ارائه می‌شود.

جدول ۱. نتایج اعمال وزن‌ها برای پل‌های مختلف

ردیف	نام پل	معیار: بار ترافیکی		معیار: خصوصیات بستر رودخانه			معیار: نقص‌های موجود		معیار: سن پل		وزن نهایی
		وزن معیار	وزن زیر معیار	وزن معیار	وزن زیر معیار	وزن معیار	شدت وزنی خرابی	وزن معیار	وزن زیر معیار		
۱	پل تالار ۱	۰/۲۶۳۲۵	۰/۳۳۴	۰/۱۱۳	۰/۷۱۹	۰/۴۵۸۵	۰/۱	۰/۵	۰/۳۶۱	۰/۴۳۱۴	
							۰/۲۰۵	۰/۵			
							۰/۰۷۵	۰/۵			
							۰/۱۸۸	۰/۵			
							۰/۰۴۵	۰/۳			
۰/۱۵۳	۰/۷										
۲	پل ورسک	۰/۲۶۳۲۵	۰/۳۳۴	۰/۱۱۳	۰/۲۸۱	۰/۴۵۸۵	۰/۱	۰/۳	۰/۳۶۱	۰/۲۴۲۳	
							۰/۱۳۲	۰/۳			
							۰/۰۴۵	۰/۵			
							۰/۱۵۳	۰/۵			
۳	پل تجن ۲	۰/۲۶۳۲۵	۰/۳۳۴	۰/۱۱۳	۰/۲۸۱	۰/۴۵۸۵	۰/۱	۰/۳	۰/۲۴۲	۰/۲۴۹۷	
							۰/۲۰۵	۰/۳			
							۰/۰۷۵	۰/۵			
							۰/۰۴۵	۰/۵			
۰/۱۵۳	۰/۳										
۴	پل گزنک ۱	۰/۲۶۳۲۵	۰/۴۱۸	-	-	۰/۴۵۸۵	۰/۱	۰/۵	۰/۳۹۷	۰/۲۴۳۸	
							۰/۰۴۵	۰/۵			
							۰/۱۵۳	۰/۵			

جدول ۲. نتایج حاصل از اولویت‌بندی پل‌ها

رتبه	نام پل	اوزان
۱	پل تالار ۱	۰/۴۳۱۴
۲	پل تالار ۲	۰/۴۳۱۴
۳	پل وانا	۰/۳۹۰۶
۴	پل طالع ۱	۰/۳۵۷۷
۵	تیلورسر شمالی	۰/۳۱۸۴
۶	تیلورسر جنوبی	۰/۳۱۸۴
۷	پل لاسم	۰/۳۱۸۱
...
۱۱۶	پل روگذر کمربندی بهشهر	۰/۱۰۵۱

تخصیص بهینه تعمیرات و نگهداری پل‌های استان مازندران در شرایط ...

۵. طراحی الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

در این تحقیق از روش الگوریتم ژنتیک به منظور تخصیص بهینه اقدامات اصلاحی برای پل‌ها با توجه به بودجه محدود استفاده شده است. پس از حل مسئله با مقادیر مختلف پارامترهای الگوریتم ژنتیک، جمعیت اولیه برابر با ۵۰ و تعداد تکرارها برابر با ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. همچنین در نسل جدید، تعداد فرزند حاصل از تقاطع و جهش به ترتیب برابر ۷۰ و ۳۰ درصد جمعیت اولیه می‌باشد. با توجه به ماهیت مسئله، یک جواب شامل ۱۱۶ کروموزوم و به تعداد پل‌های مورد مطالعه می‌باشد. هر کروموزوم از ۹ ژن تشکیل شده که نشان دهنده ۹ تعمیر مختلف است. هر کروموزوم شامل مقادیری از ۰ و ۱ است که مقدار یک به معنی انتخاب آن تعمیر برای آن پل است. اگر تعمیری برای یک پل استفاده نشود، مقدار ابتدایی صفر برای ژن متناظر آن تعمیر در نظر گرفته می‌شود. شکل ۱ یک کروموزوم مربوط به یک جواب را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱ پنج تعمیر شماره ۲، ۳، ۴، ۵ و ۹ برای این پل در نظر گرفته شده است.

پس از اولویت بندی پل‌ها، برآورد هزینه مربوط به تعمیر هر یک از پل‌ها با توجه به نوع خرابی محاسبه گردید. جدول ۳ نشان دهنده میزان هزینه برآورد شده برای هر یک از پل‌ها می‌باشد. در این جدول علاوه بر هزینه، سن هر پل و متعاقب آن نسبت عمر به هزینه هر یک از آنها محاسبه و گزارش شده است. بدلیل تعداد زیاد پل‌ها تنها اطلاعات مربوط به چند پل در جدول ۳ نشان داده شده است.

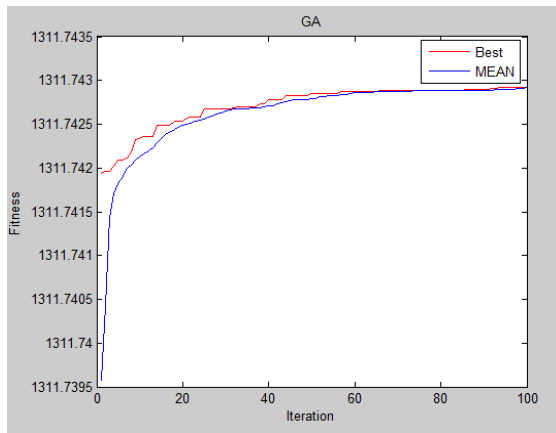
مطابق جدول ۳ هزینه تعمیر هر خرابی از حاصلضرب میزان خرابی در هزینه واحد تعمیر در احتمال تحقق کامل آن تعمیر بدست می‌آید. به عنوان مثال، هزینه تعمیر قلوه‌شدگی در پل گزنک ۱ با احتمال تحقق ۸۵٪ و هزینه واحد ۴۵۰ هزار ریال با میزان خرابی ۱۲ متر مربع برابر ۴۵۹۰ هزار ریال خواهد شد.

پس از جمع آوری داده‌های مورد نیاز، مسئله پیشنهادی در نرم افزار MATLAB پیاده سازی شده و نتایج آن در بخش ۶ ارائه شده است.

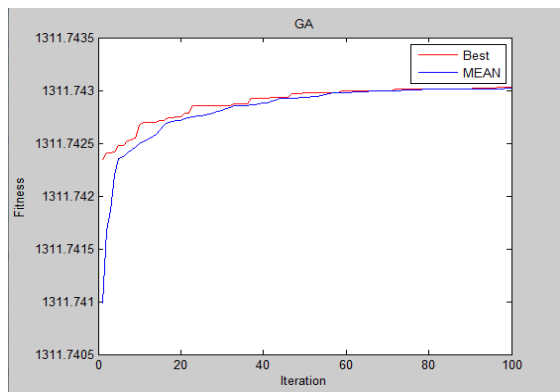
جدول ۳. نتایج حاصل از هزینه‌ها و اثر بخشی هر پل

ردیف	نام پل	نوع خرابی	درجه ضعف	میزان خرابی	واحد (هزار ریال)	هزینه واحد (هزار ریال)	احتمال تحقق کامل تعمیر (درصد)	هزینه هر خرابی (هزار ریال)	میزان اثربخشی تعمیرات (سال)	نسبت اثر بخشی به هزینه (a/jk)	هزینه کل خرابی برای هر پل (هزار ریال)
۱	گزنک ۱	قلوه شدگی	متوسط	۱۲	مترمربع	۴۵۰	۸۵٪	۴۵۹۰	۳	۰/۰۰۰۶۵	۱۶۳۵۷۶۶
									۴	۰/۰۰۱۴	
									۳	۰/۰۰۰۰۰۵	
۲	بایجان	فرسودگی سطح	زیاد	۳۰	مترطول	۳۸۰۰۰	۹۰٪	۱۰۲۶۰۰۰	۵	۰/۰۰۰۰۰۵	۲۲۱۲۲۰۰
									۱۴۰۰	۰/۰۰۰۰۰۶	
									۴۰	۰/۰۰۰۰۰۴	
۳	وانا	قلوه شدگی	زیاد	۱	مترمکعب	۴۴۰۰۰۰	۹۵٪	۴۱۸۰۰۰	۴	۰/۰۰۰۰۰۱	۱۵۲۴۱۰۰
									۷۰۰	۰/۰۰۰۰۰۱	
									۲۰	۰/۰۰۰۰۰۷	
۴	دریا سر ۱	خرابی درز انقطاع	زیاد	۴۰	مترطول	۳۸۰۰۰	۹۰٪	۱۳۶۸۰۰۰	۶	۰/۰۰۰۰۰۴	۱۳۶۸۰۰۰
									۴۰	۰/۰۰۰۰۰۴	
۵	دریا سر ۲	خرابی درز انقطاع	زیاد	۴۰	مترطول	۳۸۰۰۰	۹۰٪	۱۳۶۸۰۰۰	۶	۰/۰۰۰۰۰۴	۱۳۶۸۰۰۰

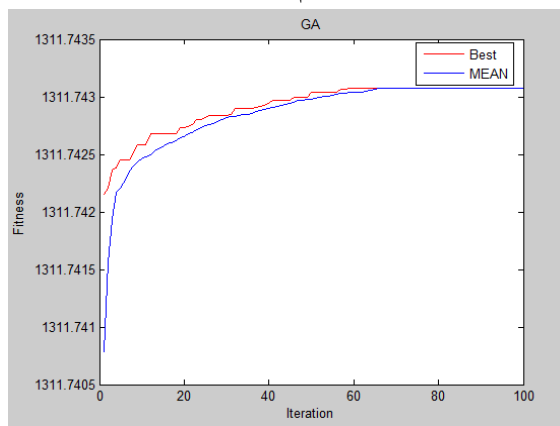
اثربخشی با افزایش تعداد تکرارها روند صعودی به خود می‌گیرد.



شکل ۲. میزان اثربخشی در هر تکرار با توجه به محدودیت بودجه یک میلیاردی



شکل ۳. میزان اثربخشی در هر تکرار با توجه به محدودیت بودجه یک و نیم میلیاردی



شکل ۴. میزان اثربخشی در هر تکرار با توجه به محدودیت بودجه دو میلیاردی

پس از اینکه جمعیت اولیه تولید شد، تابع برازش هر یک از آنها محاسبه گردید. در این مطالعه تابع هدف مسئله به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. پس از محاسبه تابع برازش، جمعیت برتر (دارای مقدار تابع هدف بیشتر در این مسئله) به نسل بعد راه می‌یابند و مابقی جمعیت براساس دو عملگر تقاطع و جهش تولید می‌شوند. در این مطالعه از روش چرخ رولت برای عملگر تقاطع استفاده شده است. به این ترتیب که ابتدا جواب‌ها از خوب به بد مرتب شده، سپس عددی به تصادف انتخاب شده و هر یک از جواب‌ها براساس وزن شان انتخاب می‌گردد. براین اساس دو جواب انتخاب شده و باهم عمل تقاطع را انجام می‌دهند. نحوه تقاطع به این ترتیب است که یک کروموزوم از یک والد جای خود را با یک کروموزوم از والد دیگر جابجا می‌کند. به این منظور ابتدا دو عدد تصادفی از بین ۱ تا تعداد پل‌ها تولید شده سپس این دو کروموزوم در دو والد با یکدیگر جابجا می‌شوند. در ادامه به منظور ایجاد جهش در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، ابتدا یک جواب به تصادف انتخاب شده سپس چند کروموزوم از آن به تصادف انتخاب شده و کروموزوم‌های دیگری جای آنها تولید می‌گردند. به این ترتیب مابقی جمعیت تولید شده و این روند تکرار می‌شود تا شرط توقف که در این مطالعه تعداد تکرار است، ارضا گردد.

۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱
---	---	---	---	---	---	---	---	---

شکل ۱. کروموزوم الگوریتم پیشنهادی

۶. نتایج محاسباتی

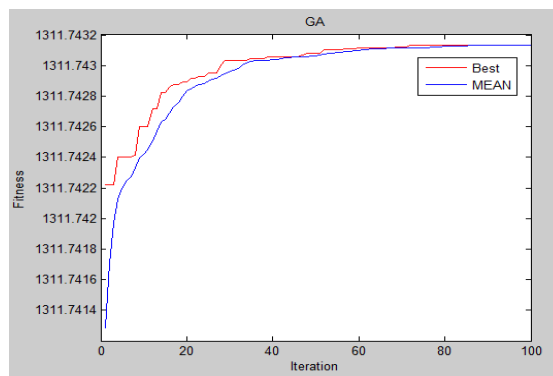
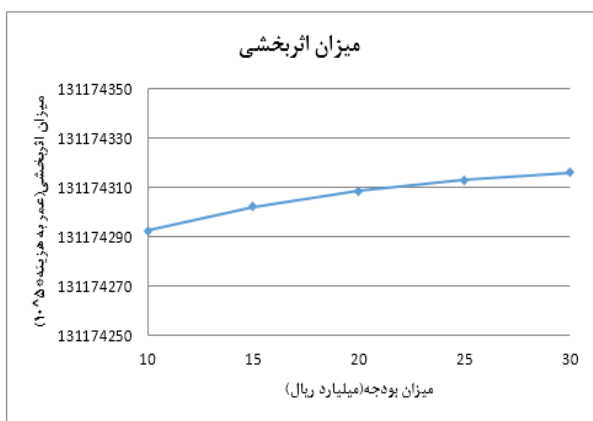
مسئله پیشنهادی با توجه به محدودیت بودجه مختلف حل شده و نتایج آن در جدول ۴ گزارش شده است. میزان اثربخشی، میزان هزینه و تعداد اصلاحات انجام گرفته به ازای هر بودجه پیشنهادی ارائه شده است. علاوه بر این، تعداد هر یک از انواع اصلاحات نیز بیان شده است. مشاهده می‌شود که در هر سطح بودجه، مدل پیشنهادی سعی در حداکثرسازی اثربخشی به واسطه افزایش تعداد اصلاحات داشته است.

شکل ۲ تا ۶ حداکثر و متوسط میزان اثربخشی مسئله را با توجه به محدودیت بودجه‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به ماهیت الگوریتم ارائه شده مشاهده می‌شود که میزان

تخصیص بهینه تعمیرات و نگهداری پل‌های استان مازندران در شرایط

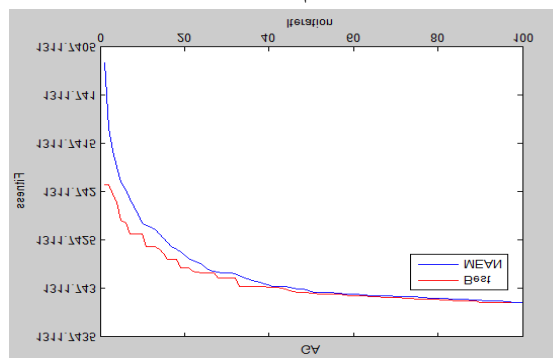
جدول ۴. نتایج بدست آمده با توجه به در نظر گرفتن محدودیت‌های بودجه متفاوت

محدودیت بودجه	تابع هدف (میزان اثربخشی)	میزان هزینه	مجموع اصلاحات	زمان حل	تعداد دفعات انتخاب شده از هر اصلاح به ازای تمام پلها									
					۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
۱ میلیارد	۱۳۱۱۷۴۲۹۲/۳	۹۷۸۶۹۵۷/۴	۱۴۲	۱/۳۵۱۷۶	۳۶	۸	۳۱	۵	۳۴	۴	۱۹	۴	۸	۹
۱/۵ میلیارد	۱۳۱۱۷۴۳۰۲/۱	۱۴۷۳۶۶۳۷/۸	۱۵۰	۰/۹۲۰۸۶۲	۴۱	۹	۳۲	۶	۳۵	۴	۱۷	۵	۵	۱
۲ میلیارد	۱۳۱۱۷۴۳۰۸/۵۱	۱۹۸۸۱۱۱۱	۱۵۳	۰/۸۲۱۴۷۲	۴۵	۹	۳۰	۶	۳۳	۵	۱۹	۵	۱	۱
۱/۵ میلیارد	۱۳۱۱۷۴۳۱۲/۸	۲۴۶۹۳۷۸۹	۱۵۷	۰/۷۶۳۴۳۴	۵۰	۱۰	۲۶	۶	۳۶	۴	۲۰	۳	۲	۲
۳ میلیارد	۱۳۱۱۷۴۳۱۶	۲۹۲۵۱۰۹۸/۵	۱۶۸	۰/۷۶۶۲۹۸	۵۴	۱۱	۳۱	۴	۳۵	۴	۲۲	۵	۲	۲



شکل ۵. میزان اثربخشی در هر تکرار با توجه به محدودیت بودجه

دو و نیم میلیاردی



شکل ۶. میزان اثربخشی در هر تکرار با توجه به محدودیت بودجه

سه میلیاردی

شکل ۷ میزان اثربخشی را براساس محدودیت بودجه نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد هر چه میزان بودجه افزایش پیدا می‌کند، میزان اثربخشی نیز بیشتر می‌شود که این امر ناشی از تخصیص بودجه بیشتر به پلها جهت تعمیرات اساسی تر و با هزینه بیشتر می‌باشد، بدیهی است که هر چه قدر تعمیرات اساسی بیشتری انجام شود، تاثیر چشمگیرتری بر اثربخشی حاصل از تعمیرات خواهد داشت.

شکل ۷. تغییرات میزان اثربخشی براساس محدودیت بودجه

شکل ۸، تعداد مجموعه اصلاحات را براساس محدودیت بودجه نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد. هر چه میزان بودجه افزایش پیدا می‌کند، مجموع اصلاحات نیز بیشتر می‌شود. مشخص است که با افزایش سطح بودجه تصمیم‌گیرنده حق انتخاب بیشتری جهت تعمیرات بیشتر و البته اساسی تر دارد از اینرو با انجام تعمیرات بیشتر سعی در افزایش میزان اثربخشی خواهد داشت. هر چند افزایش بودجه، تاثیر چشمگیری بر میزان اثربخشی و حتی با بدبینی بر تعداد مجموع اصلاحات نداشته، اما شکل ۹ نحوه اثرگذاری بودجه بر تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد، به نحویکه با افزایش بودجه، تعداد اصلاحات مربوط به تعمیراتی که بیشترین هزینه را داشته، به طور چشمگیری افزایش یافته است. همانطور که مشاهده می‌گردد، زمانی که بودجه برابر یک میلیارد باشد، تعداد اصلاحات مربوط به تعمیر نوع اول برابر با ۳۶ است، در حالی که این مقدار برای بودجه سه میلیاردی برابر با ۵۴ است. با توجه به اطلاعات موجود، تعمیر نوع اول بیشترین هزینه را در بین تعمیرات دارد.

افزایش می‌یابد. با توجه به خروجی‌های بدست آمده، مدل پیشنهادی قابلیت مشخص نمودن تعداد تعمیرات مهم براساس بودجه در دسترس را دارد. این امر به مدیران سازمان‌ها در جهت تعیین نوع و تعداد تعمیرات که منجر به اثربخشی بیشتر با بودجه محدود می‌شوند، کمک می‌کند.

۷. نتیجه گیری

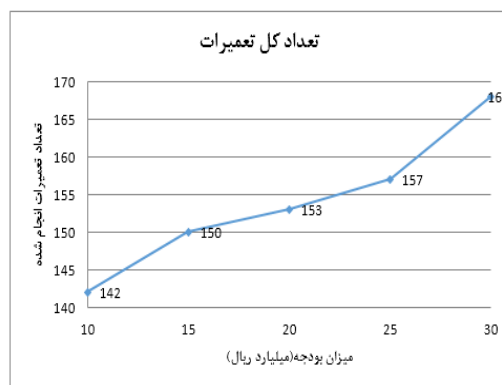
در این مطالعه، مسئله بهینه سازی اقدامات اصلاحی پل‌ها با توجه به بودجه محدود بررسی شده است. به این منظور ابتدا، خرابی‌های مربوط به پل‌ها از طریق بازدید میدانی مشخص شده و پل‌ها بر اساس معیارهایی همچون بار ترافیکی، خصوصیات بستر رودخانه، نقص‌های موجود و سن پل‌ها، اولویت بندی شدند. سپس به منظور انتخاب بهینه اقدامات اصلاحی، یک الگوریتم فراابتکاری ژنتیک توسعه داده شد. در این مطالعه، پل‌های استان مازندران به عنوان مطالعه موردی بررسی گردید. نتایج، حاکی از عملکرد مناسب الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در پیدا کردن اقدامات اصلاحی مناسب با توجه به محدودیت بودجه است. پس از بررسی هزینه تعمیر و نگهداری با توجه به خرابی‌های موجود در هر پل، مشخص گردید. مجموع هزینه تعمیرات مربوط به کل پل‌ها برابر ۴۳۲۸۴۶۲۵ واحد پولی شده است و پل‌های بایجان، گزنک، وانا و دریاسر به عنوان پرهزینه ترین پل‌ها شناخته شده اند. همچنین پس از حل مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک میزان اثربخشی و تعداد اصلاحات انجام گرفته با توجه به سطح بودجه در دسترس بدست آمده است. مشاهده گردید که با افزایش سطح بودجه میزان اثر بخشی و تعداد کل اصلاحات بخصوص تعداد اصلاحات مربوط به تعمیر با هزینه بیشتر افزایش یافته است.

۸. پی نوشتها

1. Multi Objective Particle Swarm Optimization
2. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
3. Controlled Elitism
4. Life cycle Maintenance Cost
5. Vehicle-Miles Traveled
6. Survival of the Fittest

۹. مراجع

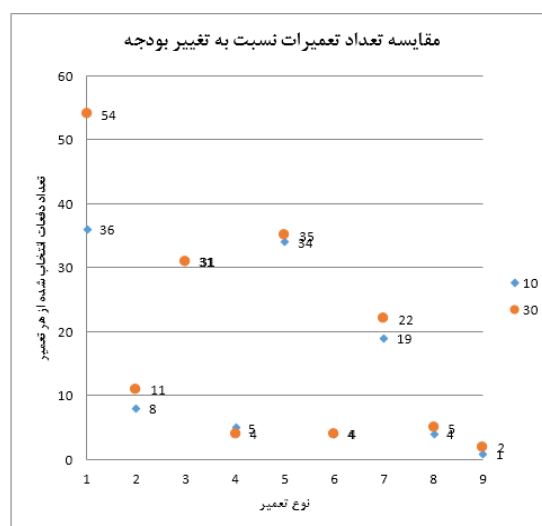
-Hu, X, Daganzo, C. and Madanat, S. (2015) "A reliability-based optimization scheme for maintenance management in large-scale bridge



شکل ۸. تغییرات تعداد تعمیرات با توجه به میزان بودجه



شکل ۹. مقایسه تعداد تعمیرات نسبت به بودجه یک و سه میلیاردی



شکل ۱۰. تغییرات تعداد اصلاح نسبت به بودجه

شکل ۱۰ تعداد اصلاحات مربوط به هر یک از تعمیرات را با توجه به تغییر بودجه نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود، با توجه به افزایش بودجه، تعداد اصلاحات نیز به طور نسبی

-Yang, T, Hsieh, Y. M. and Kung, L. O. (2012) "Parallel computing platform for multi objective simulation optimization of bridge maintenance planning", Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 138, No. 2, pp. 215- 226.

-Zhang, W. and Wang, N. (2017) "Bridge network maintenance prioritization under budget constraint", Structural Safety, Vol. 67, pp. 96-104.

-Zhu, J. and Liu, B. (2013) "Performance life cost-based maintenance strategy optimization for reinforced concrete girder bridges", Journal of Bridge Engineering, Vol. 18, No. 2, pp. 172-178.

-شمس، بتول و قاسمی‌پور، محمود. (۱۳۹۰) "تعیین مهم‌ترین معیارهای تاثیرگذار پرندگان مهاجر با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در تالاب سد حنا"، دومین کنفرانس ملی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران، ۱۳۹۰.

-عبدالله زاده، غلامرضا، نوروزی، حمید، طاهری امیری، محمدجواد و حقیقی، فرشیدرضا (۱۳۹۴) "انتخاب استراتژی تعمیر و نگهداری بهینه پل‌ها بر مبنای الگوریتم تصمیم‌گیری چند معیاره و مدل برنامه ریزی ریاضی (مطالعه‌ی موردی: پل‌های استان مازندران)"، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی حمل و نقل، سال ششم، شماره سوم، ص. ۴۶۳- ۴۷۸.

networks", Transportation Research Part C: Emerging, Vol. 55, pp. 166- 178.

-Oraee, K, Hosseini, N. and Gholinejad, M. (2009) "A new approach for determination of tunnel support system using analytical hierarchy process (AHP)", Underground Coal Operators Conference, pp. 78-89, 2009.

-Orcesi, Andre D. and Frangopol, Dan M. (2011) "Optimization of bridge maintenance strategies based on structural health monitoring information", Journal of Structural Safety, Vol. 33, No. 1, pp. 26- 41.

-Petroski, H. (1996) "Engineers of Dreams: Great bridge builders and the spanning of America", Alfred A. Knopf, NewYork.

-Sivanandam, S. N. and Deepa, S. N. (2008) "Introduction to genetic algorithms", Springer.

-Sobanjo, J. O. and Thompson, P. D. (2004) "Project planning models for Florida's bridge management system", State Maintenance Office, Florida Department of Transportation.

-William, J. C. (2002) "Highway bridge replacement and rehabilitation program (HBRRP)", Division Administrator, Federal Highway Administration (FHWA), U.S.A.

محمدجواد طاهری امیری، فرشیدرضا حقیقی، علی رحمانی فیروزجایی، میلاد همتیان، مانده جواهری بارفروشی

محمدجواد طاهری امیری، درجه کارشناسی در رشته عمران-عمران را در سال ۱۳۸۹ از موسسه آموزش عالی طبری بابل و درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران-مهندسی و مدیریت ساخت را در سال ۱۳۹۲ از موسسه آموزش عالی طبری بابل اخذ نمود و در حال حاضر دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت ساخت در دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مباحث مربوط به نگهداری و تعمیرات پلها، زمانبندی پروژه‌ها و استفاده از مسائل بهینه‌سازی در حوزه‌های مختلف رشته مهندسی و مدیریت ساخت است.



فرشیدرضا حقیقی، درجه کارشناسی در رشته عمران-عمران را در سال ۱۳۸۰ از دانشگاه مازندران و درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران-برنامه‌ریزی و حمل و نقل را در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در سال ۱۳۹۰ موفق به کسب درجه دکتری در رشته عمران-برنامه‌ریزی و حمل و نقل از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مباحث مربوط به ایمنی ترافیک، سیستم‌های هوشمند ترافیک، بهینه‌سازی در مسائل برنامه‌ریزی ترافیک و نگهداری و تعمیرات پلها بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل است.



علی رحمانی فیروزجایی، درجه کارشناسی در رشته عمران-عمران را در سال ۱۳۷۴ از دانشگاه تبریز و درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران-سازه‌های هیدرولیکی را در سال ۱۳۷۸ از دانشگاه شهید باهنر کرمان اخذ نمود. در سال ۱۳۸۹ موفق به کسب درجه دکتری در رشته عمران-مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مباحث مرتبط با مکانیک سیالات محاسباتی و بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری در مسائل مهندسی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل است.



میلاد همتیان، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸۹ از دانشگاه علوم و فنون مازندران و درجه کارشناسی ارشد در رشته صنایع را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه صنعتی اصفهان اخذ نمود و در حال حاضر دانشجوی دکتری صنایع در دانشگاه علوم و فنون مازندران است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مباحث مرتبط با مدیریت پروژه، زنجیره تامین و الگوریتم‌های فراابتکاری است.



مانده جواهری بارفروشی، درجه کارشناسی در رشته عمران-عمران را در سال ۱۳۹۰ از موسسه آموزش عالی طبری بابل و درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران-مهندسی و مدیریت ساخت را در سال ۱۳۹۴ از دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساری اخذ نمود و در حال حاضر دانشجوی دکتری عمران-مهندسی و مدیریت ساخت در دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مباحث مرتبط با آسیب‌پذیری و مدیریت بحران شهری پس از وقوع زلزله و روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره است

