

ارائه مدل تعیین روش و زمان نگهداری روسازی‌های آسفالتی با استفاده از سیستم

استنتاج فازی - مطالعه موردی استان فارس

نوید ندیمی (مسئول مکاتبات)، استادیار، بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

حمیدرضا شهبازی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

آرش غیبی، دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

امیرحسین زارع میرحسینی، دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

E-mail: navidnadimi@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۳ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۹

چکیده

راه‌ها به‌عنوان یکی از گسترده‌ترین زیرساخت‌های عمرانی در هر کشور یک سرمایه محسوب می‌شوند. موضوع مدیریت تعمیر و نگهداری راه‌های یکی از مهم‌ترین موارد جهت حفظ راه‌ها با توجه به بودجه موجود است. دو موضوع در مبحث مدیریت تعمیر و نگهداری راه‌ها دارای اهمیت است: ۱- تعیین گزینه مناسب و ۲- زمان بکارگیری آن. در این مقاله سعی شده تا مدلی با بکارگیری ابزار هوش مصنوعی جهت ارائه الگوریتمی در خصوص تصمیم‌گیری در رابطه با گزینه مناسب جهت انجام عملیات تعمیر و نگهداری و نیز زمان مناسب به لحاظ اولویت‌بندی برای اجرای آن توسعه داده شود. برای این منظور از سیستم استنتاج فازی (FIS) جهت ارائه مدل تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. در این راستا از وضعیت فعلی روسازی شامل خرابی‌ها، وضعیت ناهمواری و مقاومت سازه‌ای به‌عنوان ورودی‌های مدل استفاده خواهد شد. خروجی‌ها نیز گزینه تعمیر و نگهداری مناسب و اولویت زمانی اجرای آن خواهد بود. در نهایت مدل توسعه داده شده برای یک مطالعه موردی در قطعاتی از راه‌های برون‌شهری استان فارس اجرا خواهد شد. جهت تعیین اعتبارسنجی مدل نیز نتایج حاصل از مدل با آنچه که در واقعیت اجرا شده مقایسه می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد تطابق نسبتاً خوبی میان نتایج حاصل از مدل فازی و آنچه که در واقعیت اجرا شده وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: استان فارس، اولویت‌بندی، فازی، نگهداری، هوش مصنوعی

۱. مقدمه

انتخاب گزینه مناسب، کاهش قابل توجهی در هزینه‌های کشور در این زمینه ایجاد کرد. در حال حاضر اکثر کشورهای در حال توسعه به دنبال ایجاد یک سیستم مدیریت نگهداری و سازه‌های کارآمد هستند تا بتوانند بیشترین بازده اقتصادی را از بودجه‌های کلانی که در بخش راه صرف می‌شود، به دست آورند [Haas, Hudson and Zaniewski, 1994, Hicks, Dunn and Moulthrop, 1997]. در نتیجه لازم است تا یک سیستم مناسب جهت تصمیم‌گیری در خصوص وضعیت سازه‌های براساس شرایط موجود تهیه شود. همچنین در این سیستم براساس شاخص‌های وضعیت سازه‌های در خصوص گزینه تعمیر و نگهداری مناسب و نیز زمان اجرای آن تصمیم‌گیری شود. بایستی توجه داشت که تدوین یک فرآیند تصمیم‌گیری سیستماتیک و ضابطه‌مند برای اتخاذ تصمیمات اساسی همواره به‌عنوان یکی از دغدغه‌های فکری مدیران مطرح بوده است. وجود چنین سیستمی، امکان اعمال سوابق و نظریات شخصی در فرآیند تصمیم‌گیری را منتفی کرده و قابلیت اطمینان و صحت تصمیمات را افزایش خواهد داد [Fakhri, Alale and Edrisi, 2016].

یکی از مهم‌ترین نکات در علم مدیریت اتخاذ تصمیمات مناسب براساس سطح بودجه است. در واقع مدیران همواره با مسائل بهینه‌سازی جهت کمینه کردن یا بیشینه کردن هدفی با توجه به برخی محدودیت‌ها مواجه هستند [Abdelrahim and George, 2000]. در مدیریت و نگهداری راه‌ها، مدیران بایستی براساس ورودی‌ها شامل: اطلاعات مربوط به خرابی سازه‌ها، ناهمواری، مقاومت لغزندگی و افت و خیز لایه‌ها اقدام به انتخاب گزینه تعمیر و نگهداری مناسب در زمان مناسب کنند. بدین ترتیب می‌توان تا حد زیادی تضمین نمود که مدیر مربوطه در تخصیص بودجه‌ها عملکرد مناسبی داشته است. اما، متغیرهای ورودی در تصمیم‌گیری بسیار زیاد و بعضاً پیچیده هستند. همچنین مدیریت سازه‌ها معمولاً با طول زیادی از راه‌ها و یا شبکه گسترده‌ای از معابر مواجه است. بنابراین نیاز است تا براساس یک مدل مبتنی بر اصول علمی با دریافت مشخصات ورودی هر قطعه از مسیر نسبت به انتخاب

روسازی‌ها سرمایه ملی کشورها محسوب می‌شوند که سالیانه بخش عمده‌ای از بودجه عمرانی سازمان‌های ذیربط صرف ترمیم، بهسازی، حفظ و نگهداری آنها می‌شود. تأمین اعتبار کافی برای این منظور چالشی است که تصمیم‌گیران همواره با آن مواجه و دست به گریبان بوده‌اند. گزینه‌های متفاوتی در زمان‌های مختلف برای بهبود وضعیت انواع سازه‌ها قابل ارائه است. اما موضوعی که در مدیریت و نگهداری راه‌ها اهمیت دارد انتخاب گزینه مناسب در زمان مناسب است. تنها در این صورت است که می‌توان اطمینان حاصل کرد که بودجه و سرمایه کلی به شکل مناسبی هزینه شده است.

بنابراین، "راه یک سرمایه عظیم ملی بوده و بر اساس هزینه‌های آن باید همواره عملکرد مناسبی نیز داشته باشد. عدم نگهداری مناسب یک راه باعث خرابی و زوال زودرس آن می‌شود. خرابی‌های راه باعث افزایش استهلاک وسایل نقلیه نیز می‌شود. سوانح و اتفاقات پیش‌بینی نشده نیز ممکن است در اثر خرابی‌های راه اتفاق بیفتد. هزینه نگهداری راه‌ها از ۳ تا ۱۰ درصد ارزش راه‌ها تغییر می‌کند و ضرورت دارد که نگهداری راه از آغاز بهره‌برداری آن شروع شده و عملیات نگهداری به‌طور مستمر و در طول عمر راه انجام شود [Abtahi, 2010].

رویکرد استفاده حداکثر از راه‌های موجود و سرمایه‌گذاری در راستای بهسازی و تعمیر آنها، گزینه‌ای است که از سوی بیشتر کشورهای مورد استفاده قرار می‌گیرد. محققان دریافته‌اند که ارتباط مستقیمی بین مقدار کیلومتر راه طی شده در کشورها و تولید ناخالص ملی آنها وجود دارد [Ameri and Eftekharzade, 2009, Pietrzyeki, 2014].

بنابراین بخش قابل توجهی از تولید ناخالص داخلی، همه‌ساله به نوسازی، تعمیر و نگهداری شبکه راه‌ها در سطح برون‌شهری و درون‌شهری اختصاص می‌یابد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در صورت اعمال یک مدیریت دقیق و اصولی در خصوص شبکه راه‌ها می‌توان با تعیین زمان مناسب تعمیر و نگهداری و نیز

ارائه مدل تعیین روش و زمان نگهداری روسازی‌های آسفالتی با استفاده از سیستم استنتاج فازی...

ترمیم و نگهداری مناسب، تجربه مهندسين بود. همچنين توجه چنداني به هزينه‌هاي چرخه عمر و يا به اولويت‌بندی براساس ضرورت در سطح شبکه معطوف نمی‌گردد. در اقتصاد امروزی به همان نسبت که از عمر روسازی‌های موجود می‌گذرد نیاز به یک روش سیستماتیک‌تر برای تعیین ضرورت‌ها در امر ترمیم و نگهداری بیشتر احساسی می‌گردد. امروزه شبکه روسازی‌ها نیاز به مدیریت دارد و نگهداری به تنهایی دیگر کافی نیست

[Ameri and Eftekharzade, 2009]

هدف اصلی مدیریت روسازی آن است که با نگهداری و بهسازی شبکه راه‌های موجود، امکان استفاده مداوم از آن را به نحوی کارآمد و ایمن ممکن سازد. مدیریت روسازی را می‌توان فرآیندی دانست که تلاش آن در جهت بهینه نمودن کارایی کلی شبکه راه‌ها در طول زمان است. فعالیت‌هایی که در مدیریت روسازی انجام می‌شوند شامل نگهداری، نوسازی و بهسازی راه و نظایر آن است. اندکی بهبود در هزینه‌های نگهداری زیرساخت‌های راه و هزینه‌های خدمات حمل و نقل و بهره‌برداری، می‌تواند منافع اقتصادی زیادی را حاصل نماید. به طور ساده، هر ۱ دلار هزینه کردن در امر حفظ و نگهداری راه، ۳ دلار برای استفاده‌کنندگان از راه صرفه‌جویی به همراه دارد [Ameri and Eftekharzade , 2009, Ameri,] 2009]

بطورکلی مدیریت و نگهداری راه‌ها دارای مزایایی بدین شرح است: کاهش روند اضمحلال، انتخاب راهبرد اقتصادی مناسب، کاهش هزینه‌های عملکردی خودروها، باز نگه داشتن راه، افزایش ایمنی و کاهش تخریب محیط زیست. در واقع ادارات بزرگراهی در سراسر جهان توجه خود را از طراحی و ساخت راه‌های جدید به سمت نگهداری راه‌های موجود معطوف ساخته‌اند. روسازی‌ها هنگامی که هنوز مفید، موثر و آماده بکار هستند، باید قبل از اینکه به مرحله بحرانی و روند اضمحلال سریع برسند، برای عملیات نگهداری انتخاب شوند. این تغییر راهبرد از گذشته تاکنون منجر به بروز سه نوع عملکرد نگهداری روسازی شده است که عبارتند از: تعمیر و نگهداری

گزینه تعمیر و نگهداری و نیز زمان اجرای آن تصمیم‌گیری شود. این مقاله در نظر دارد تا از ابزار فازی به عنوان یکی از قدرتمندترین روش‌ها در محاسبات نرم استفاده کند. در واقع، هدف اصلی این تحقیق ارائه روشی جهت تعیین نوع گزینه تعمیر و نگهداری و زمان انجام آن براساس اطلاعات مربوط به وضعیت روسازی و نیز بکارگیری ابزار هوش مصنوعی (منطق فازی) خواهد بود.

مقاله حاضر ۵ بخش دارد. در بخش دوم مروری بر ادبیات تحقیق مرتبط با موضوع مدیریت و نگهداری راه‌ها، عوامل موثر بر تصمیم‌گیری در رابطه با وضعیت روسازی، انواع روش‌های متداول در نگهداری راه‌ها و ... ارائه می‌شود. بخش سوم به تشریح روش تحقیق می‌پردازد. داده‌ها و نتایج تحقیق نیز در بخش چهارم ارائه می‌گردد. در نهایت بخش پنجم به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری می‌پردازد.

۲. مرور ادبیات تحقیق

بطورکلی سه موضوع اساسی در زمینه روسازی قابل طرح و پیگیری است. این موارد عبارتند از: ساخت روسازی، مدیریت روسازی و تحقیق در زمینه روسازی. موضوع مدیریت روسازی ممکن است مفاهیم متنوعی همراه داشته باشد، اما بطور ساده می‌توان گفت مدیریت روسازی یعنی "فرایند حفظ ساختار روسازی به‌شیوه هزینه- فایده". از سال ۱۹۹۳ در ایالات متحده موضوع مدیریت روسازی بعنوان "روشی سیستماتیک برای جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و بازیابی اطلاعات مرتبط با تصمیم‌گیری جهت استفاده حداکثری از هزینه‌های تخصیص داده شده جهت نگهداری" در نظر گرفته می‌شد. در مفهوم دیگر مدیریت روسازی "برنامه‌ای جهت بهبود کیفیت و عملکرد روسازی‌ها و کمینه کردن هزینه‌ها از طریق اقدامات مدیریتی مناسب" در نظر گرفته می‌شود [Rusu, Taut and Jecan, 2015]

در گذشته فقط به نگهداری روسازی‌ها توجه می‌شد و مدیریت روسازی‌ها امری ناآشنا بود. عامل تعیین‌کننده در انتخاب روش

۱-۲ خرابی‌ها

خرابی‌ها در روسازی‌های آسفالتی به انواع مختلفی قابل تقسیم‌بندی است و دلایل متفاوتی برای رخداد آنها وجود دارد. برای آنکه بتوان وضعیت خرابی روسازی را بنحو قابل اعتمادی پیش‌بینی نمود، می‌بایست از یک سیستم درجه‌بندی عینی و قابل تکرار برای شناسایی وضعیت روسازی استفاده شود. روشی که وجود دارد، محاسبه نشانه وضعیت روسازی (PCI) است که توسط گروه مهندسی ارتش ایالات متحده پیشنهاد شده است. [Ameri and Eftekhazade, 2009, Cook et al. 2004, MTC, 2014]

۲-۲ وضعیت سازه‌ای

یکی از قابل‌اعتمادترین روش‌هایی که برای تعیین وضعیت سازه‌ای یک روسازی در حال بهره‌برداری وجود دارد، استفاده از آزمایشات غیرمخرب NDT^2 به‌منظور تعیین افت و خیزها است. NDT در مقایسه با آزمایشات مخرب دارای دو مزیت عمده است: اولاً در آزمایشات مخرب بنا بر ماهیت آنها لایه‌های روی هم قرار گرفته روسازی دچار دستخوردگی می‌گردند و برداشتن و حمل مصالح روسازی به آزمایشگاه جهت انجام آزمایش ضروری است، در حالیکه در NDT که در حقیقت یک آزمایش درجاست، روسازی بدون هرگونه دست زدن یا تغییر دادن مصالح ارزیابی می‌شود. دومین مزیت NDT در آن است که نسبتاً سریع و کم هزینه بوده و اغلب به خاطر آنکه در روند ترافیک کمتر اختلال ایجاد می‌شود، امکان انجام آزمایش بطور کامل فراهم می‌آید.

یکی از مهم‌ترین شاخص‌هایی که برای تعیین وضعیت سازه‌ای روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، عدد سازه‌ای (SN^3) است. این عدد تابع ترکیبی از متغیرها و داده‌های طرح، شامل ضریب برجهنگی موثر خاک بستر (M_R)، تعداد کل بارهای معادل محوری ساده $8/2$ تنی، نشانه خدمت‌دهی نهایی روسازی و سطح قابلیت اطمینان است [Abaza et al. 2001, CODE 234, 2011 (in Persian)]

موضعی، فراگیر و اساسی [Caltrans, 2003, FHWA. 2005, Ameri, 2009 (in Persian)].

موضعی را می‌توان یا به‌عنوان یک ابزار مشکل‌گشای موقتی (دفع‌الوقتی) و یا به‌عنوان یک ابزار پیشگیرانه بکار گرفت. روش‌های متداول ترمیم و نگهداری موضعی در روسازی آسفالتی عبارتند از: وصله‌کاری عمقی و پر کردن ترک (آب بندی). ترمیم و نگهداری فراگیر، زمانی مقرون به صرفه خواهد بود که به‌صورت یک ابزار پیشگیرانه استفاده شود. روش‌های متداول در تعمیر و نگهداری فراگیر عبارتند از: اندود آبنندی بدون مصالح سنگی، جوانسازها، اندود آبنندی با اسلاری و روکاری با مصالح سنگی. ترمیم و نگهداری اساسی به منظور تصحیح یا اصلاح شرایط سازه‌ای و عملکردی روسازی بکار می‌رود. ترمیم و نگهداری اساسی اغلب برای روسازی‌های مضمحل شده، در شرایطی که سرعت اضمحلال روسازی زیاد باشد و برای روسازی‌هایی که در معرض نوسانات بارگذاری ترافیکی قرار دارند، از لحاظ اقتصادی قابل توجیه است. گزینه‌های مطرح جهت تعمیر و نگهداری اساسی عبارتند از: آسیاب سرد، بازیافت سرد، بازیافت گرم، شخم‌زنی گرم، روکش آسفالتی، روکش بتنی و بازسازی [Ameri and Eftekhazade, 2009, Ohio DOT, 2001, Premkumar, Vavrik and Harrell, 2014, Hicks, Dunn and Moulthrop, 1997]

جهت انتخاب گزینه‌های تعمیر و نگهداری نیز سه روش وجود دارد که عبارتند از: روش‌های مبتنی بر تجربیات قبلی، روش‌های مبتنی بر وضعیت کنونی و روش‌های مبتنی بر هزینه‌های چرخه عمر روسازی. در روش انتخاب بر مبنای وضعیت کنونی روسازی لازم است تا ارزیابی کاملی از وضعیت روسازی صورت پذیرد. برای این منظور خرابی‌ها، ناهمواری، افت و خیز و نیز مقاومت لغزندگی روسازی بایستی ارزیابی شود. [Ameri and Eftekhazade, 2009]

ارائه مدل تعیین روش و زمان نگهداری روسازی‌های آسفالتی با استفاده از سیستم استنتاج فازی...

۲-۳ ناهمواری

ناهمواری یک شاخص با اهمیت در رابطه با راحتی سواری و ایمنی روسازی است. برای یک راننده اتومبیل، رانندگی در راه‌های ناهموار به معنی فقدان راحتی، کاهش سرعت، خرابی احتمالی وسیله نقلیه و افزایش هزینه‌های عملیاتی است. از دید یک خلبان هواپیما ناهمواری سطح روسازی فرودگاه می‌تواند موجب از بین رفتن راحتی و باعث لرزشی صفحه کنترل دستگاه‌ها شود و بصورت بالقوه، ایمنی مسافری و هواپیما را به مخاطره اندازد. بنابراین ناهمواری یک شاخصی از وضعیت است که می‌بایست به هنگام ارزیابی روسازی‌های اصلی به دقت مورد ملاحظه قرار بگیرد. در سال ۱۹۸۲، آزمایش بین‌المللی ناهمواری راه در برزیل برگزار شد، هدف از این آزمایش تعیین یک نشانه ناهمواری بین‌المللی (IRI)، به منظور تسهیل در تبادل داده‌ها و انتشار رهنمودهایی برای اندازه‌گیری ناهمواری‌ها براساس یک مقیاس استاندارد بود. IRI عبارت است از نسبت اندازه‌گیری ناهمواری استاندارد به اندازه‌گیری‌هایی که با استفاده از یک راه‌سنج نصب شده بر روی وسایل نقلیه یا تریلرها بدست می‌آید [Ameri, Eftekharzade, 2009 (in Persian)].

۲-۴ مقاومت لغزندگی

مقاومت در برابر لغزندگی بعنوان نیرویی که در برابر سرخوردن لاستیک‌ها بر روی سطح در زمان ممانعت از چرخش لاستیک‌ها تعریف می‌شود. اگرچه مقاومت در برابر لغزندگی بعنوان یک ویژگی سطح روسازی قلمداد می‌شود لیکن شرایط مختلفی غیر از شرایط سطح روسازی بر نیروی عمل‌کننده بین لاستیک و روسازی تأثیر می‌گذارند: از جمله فشار لاستیک، آج لاستیک، وجود آب، درجه حرارت بارگذاری و سرعت وسیله نقلیه. [Ameri, Eftekharzade, 2009 (in Persian), Abaza et al. 2001]

محققان بسیاری تلاش کرده‌اند که مدلی برای نگهداری، ترمیم و تعمیر روسازی آسفالتی راه‌ها ارائه دهند. هانگمی لی و همکاران با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن

پارامترهای تصمیم‌گیری برای الویت بندی روش‌های مدیریت و نگهداری روسازی ارائه کردند و نشان دادند که می‌توان آن را به عنوان یک برنامه کارآمد برای استفاده توسط سازمان‌ها به کاربرد [Hongmei et al. 2017]. سبھی و همکاران با استفاده از بانک اطلاعاتی ویژگی‌های روسازی مبتنی بر GIS و نرم افزار PAVER توانستند یک روش سیستماتیک برای برنامه ریزی مدیریت روسازی ارائه دهند [Subhi et al. 2017]. لی ژانگ و همکاران یک مدل بهینه سازی برای مدیریت تعمیر و نگهداری راه با استفاده از روش گوس-نیوتن با هدف کاهش هزینه‌ها برای استفاده کنندگان و هم نهادهای مدیریتی ارائه کردند [Le et al. 2017]. کریستینا تورس و همکارانش با در نظر گرفتن عوامل زیست محیطی در کنار سایر عوامل یک مدل بهینه سازی با هدف افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها و کاهش آلودگی‌ها ارائه دادند [Cristina et al. 2017]. سرفراز و همکاران با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و استفاده از نظرات متخصصین یک روش الویت بندی برای گزینه‌های تعمیر و نگهداری ارائه دهد و با مقایسه روش خود با روش‌های سنتی برتری روش خود اثبات نمود [Sarfaraz, Vedagiri and Krishna, 2017]. وی‌هوا ژو و همکاران با استفاده از روش برنامه ریزی غیرخطی یک مدل جهت کاهش هزینه‌های چرخه‌های تعمیر و نگهداری برای کاربران و نهادهای مدیریت و نگهداری راه ارائه دهد [Weihua, Yanfeng and Samer, 2012]. باباشمسی و همکاران با استفاده از ترکیب روش فازی و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و به کمک الگوریتم VIKOR یک روش برای الویت بندی گزینه‌های تعمیر و نگهداری راه ارائه کرد [Babashamsi et al. 2016]. بین یو و همکاران با در نظر گرفتن پارامترهای عملکردی روسازی نظیر PCI، پارامترهای اقتصادی و پارامترهای زیست محیطی نظیر انرژی، یک مدل بهینه سازی برای برنامه ریزی مدیریت و تعمیر و نگهداری راه ارائه دهد [Bin et al. 2015]. فرهان و همکاران یک چارچوب بهینه سازی دو قسمت توسط الگوریتم فازی جهت ایجاد یک مدل برای تخصیص بودجه برای

خواهد بود. برای تصمیم‌گیری در این رابطه از ابزار هوش مصنوعی شامل سیستم استنتاج فازی استفاده خواهد شد.

در این مقاله اثر پارامترهای ترافیک عبوری، مشخصات خاک بستر و وضعیت آب و هوا به عنوان خروجی در شاخص PCI دیده شده است. زیرا تغییر هر یک از این پارامترها، شاخص PCI را نیز تغییر می‌دهد. به‌واقع تحلیل‌های این مقاله مبتنی بر وضعیت فعلی روسازی بوده و اثر کلیه پارامترهای مرتبط و تأثیرگذار بر تصمیم‌گیری در خصوص مدیریت تعمیر و نگهداری راه در وضعیت حال حاضر روسازی دیده شده است.

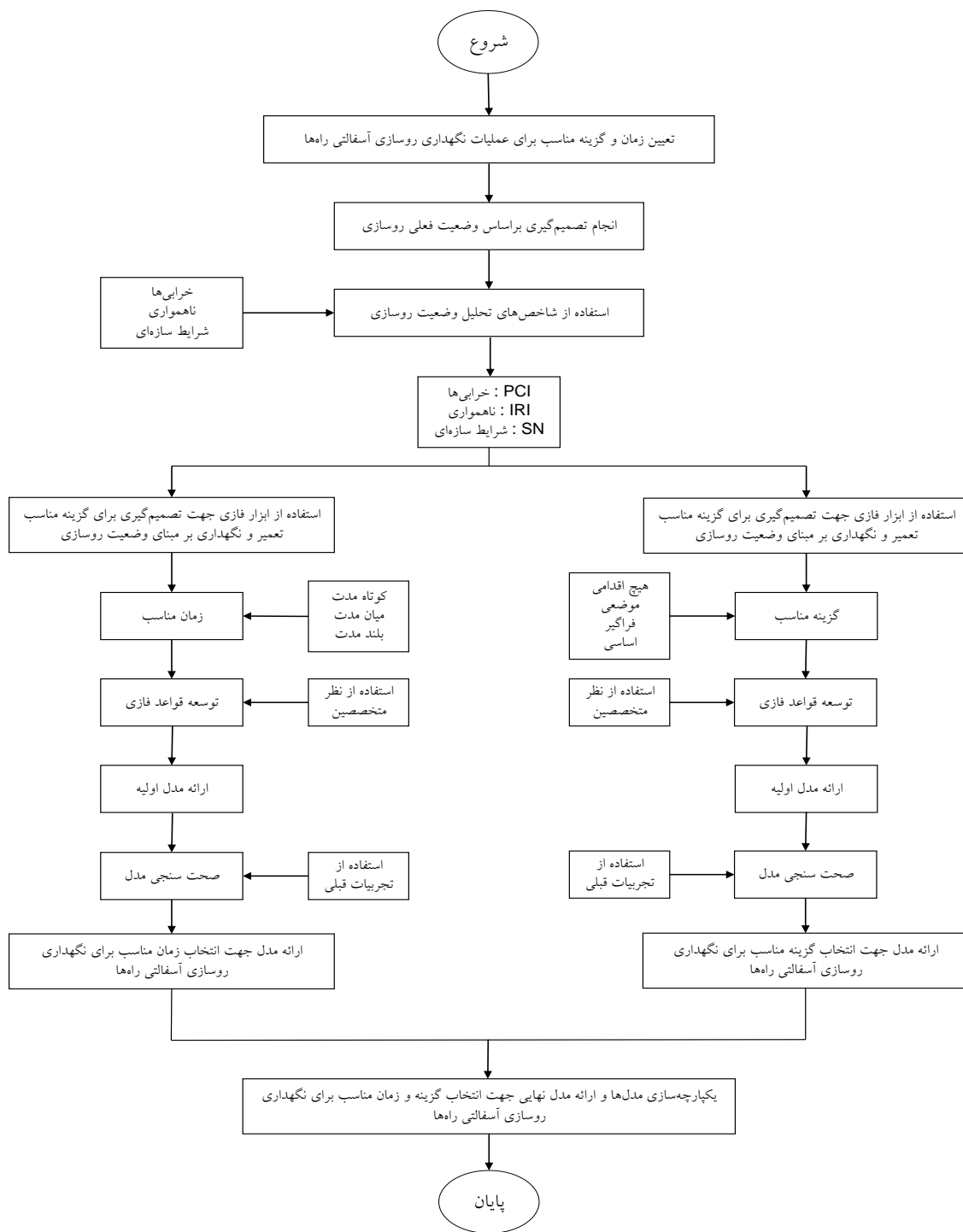
ابزار فازی در حال حاضر یکی از قدرتمندترین ابزارها جهت تصمیم‌گیری است. برای لحاظ نمودن وضعیت خرابی‌ها، ناهمواری و شرایط سازه‌ای نیاز است تا برای هر یک از این موارد از یک شاخص کمی استفاده شود. همانطور که در بخش پیش آمد برای همه این موارد شاخص‌هایی توسعه یافته است و در اینجا نیز از مهم‌ترین آنها یعنی PCI، IRI و SN استفاده خواهد شد. با توجه به تأثیر اندکی که وضعیت لغزندگی در تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت و نگهداری راه دارد و نیز بدلیل نبود اطلاعات کافی در خصوص این مورد، از در نظر گرفتن آن در تحلیل‌ها صرف‌نظر شده است. در فلوچارت شکل (۱) فرآیند تحقیق بطور خلاصه آمده است.

پروژه‌های تعمیر و نگهداری ارائه کرد [Fwa and Farahani, 2016]. خسوس دلاگازا و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی خطی تحت محدودیت‌های بودجه و شرایط عملکردی با استفاده از ابزار تصمیم‌گیری Risk Solver Platform برای تخصیص بودجه به برنامه‌های تعمیر و نگهداری ارائه داد [Jesus et al. 2016]. جوی شنگ‌جو و همکاران یک مدل بهینه‌سازی بر اساس الگوریتم MOPSO با در نظر گرفتن محدودیت‌های بودجه و قابلیت اطمینان برای برنامه‌ریزی مدیریت و تعمیر و نگهداری راه ارائه کرد [Jui-Sheng et al. 2011].

۳. روش تحقیق

هدف اصلی این مقاله توسعه مدلی است که بر مبنای آن بتوان سطح بودجه اختصاص یافته به مدیریت روسازی راه‌ها را مشخص نمود. بدین معنا که مشخص باشد در هر محور و برای هر قطعه مشخص شده در صورت وجود اطلاعات مربوط به وضعیت روسازی شامل خرابی‌ها، ناهمواری و وضعیت سازه‌ای به‌عنوان ورودی‌ها، اولویت نگهداری و نیز گزینه مورد نظر برای تعمیر و نگهداری به‌عنوان خروجی به چه صورت

ارائه مدل تعیین روش و زمان نگهداری روسازی‌های آسفالتی با استفاده از سیستم استنتاج فازی...



شکل ۱. فلوجارت فرایند تحقیق

است. این قواعد به‌طور موازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و ترتیب آنها اهمیتی ندارد. جهت نگاشت فضای ورودی به فضای خروجی نیاز به تابعی تحت عنوان تابع عضویت خواهد بود. تابع عضویت نموداری است که نحوه نگاشت هر نقطه از فضای ورودی را به یک مقدار عضویت (درجه عضویت) بین ۰ تا ۱ تعریف می‌کند. تنها شرطی که تابع عضویت باید ارضا کند این است که خروجی آن باید بین ۰ تا ۱ باشد [Zadeh, 1965, Bobrowicz et al. 1990]. بنابراین در مقاله حاضر، سیستم استنتاج فازی به‌عنوان ابزار تصمیم‌گیری استفاده خواهد شد. همچنین تصمیم‌گیری برمبنای ۳ مورد خرابی‌ها، ناهمواری و وضعیت سازه‌ای بعنوان ورودی-های مدل و ۳ شاخص IRI, PCI و SN به‌عنوان معیارهای کمی آنها انجام خواهد گرفت. در شرایط تصمیم‌گیری در رابطه با زمان مناسب برای تعمیر و نگهداری روسازی ۳ خروجی مطابق جدول (۱) در نظر گرفته خواهد شد.

خروجی‌های مورد انتظار به عنوان گزینه‌های تعمیر و نگهداری راه نیز در جدول (۲) آمده است.

همانطور که در شکل (۱) آمد، در این تحقیق در نظر است تا مدیریت روسازی در دو بخش جداگانه شامل زمان مناسب برای عملیات نگهداری و نیز گزینه مناسب برای نگهداری، انجام شود. در هر دو بخش از محاسبات نرم برای انجام محاسبات استفاده می‌شود. از آنجا که هدف این تحقیق توسعه مدلی در قالب قواعد اگر-آنگاه جهت مدیریت روسازی است از تئوری مجموعه‌های فازی استفاده می‌شود. تئوری مجموعه-های فازی یک روش نظام‌مند محاسباتی برای بحث در مورد اطلاعات زبان‌شناختی فراهم می‌آورد. این تئوری برمبنای محاسبات عددی بر روی مقادیر تولید شده توسط تابع عضویت برای هر یک از متغیرهای زبان‌شناختی عمل می‌نماید. علاوه بر آن، انتخاب قواعد اگر-آنگاه فازی، جز اصلی سیستم استنتاج فازی (FIS^۵) را تشکیل می‌دهد. به کمک این قواعد، می‌توان به‌شکل موثری تخصص یک انسان را در یک زمینه خاص مدل نمود [Schmucker, 1984, Juang, 1983, Zadeh, 1965].

هدف منطبق فازی، نگاشت از فضای ورودی به فضای خروجی است. یک ساز و کار ابتدایی در این راستا، استفاده از یک مجموعه از دستورهای اگر-آنگاه تحت عنوان قواعد فازی

جدول ۱. خروجی‌های مورد نظر برای تعیین اولویت تعمیر و نگهداری [VicRoads, 2017]

بازه زمانی	اولویت نگهداری
کمتر از یکسال	کوتاه مدت
۱ تا ۴ سال	میان مدت
۴ تا ۱۰ سال	بلند مدت

جدول ۲. خروجی‌های مورد انتظار به عنوان گزینه‌های تعمیر و نگهداری [Ameri and Eftekharzade, 2009 (in Persian)]

(۱) گزینه نگهداری	(۲) عملیات
(۳) نیاز به بهسازی	(۴) هیچ عملیاتی لازم نیست
ندارد	
موضعی	وصله‌کاری و پر کردن ترک
فراگیر	استفاده از اندوذهای آب‌بندی (نظیر اسلاری سیل)
اساسی	روکش یا بازیافت

ورودی شامل IRI، PCI و SN در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با مدیریت و نگهداری راه مشخص شود. سپس با در نظر گرفتن سه بازه کم، متوسط و زیاد برای هر ورودی، تلاش شده تا ترکیبات مختلف ورودی‌ها در کنار هم جهت تعیین خروجی‌های مدل (گزینه نگهداری مناسب و زمان مناسب برای شروع عملیات نگهداری) در نظر گرفته شود. برای این منظور به دلیل متفاوت بودن نظر متخصصین ابتدا برای هر ترکیب یک نمودار جعبه‌ای رسم شده. پس از حذف داده‌های پرت، از بقیه داده‌ها میانگین گرفته شده و از این مقدار به عنوان ورودی برای توسعه قواعد فازی استفاده می‌شود. کلیه مدلسازی‌ها با کدنویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB و با استفاده از ابزار فازی در این نرم‌افزار انجام گرفته است.

۴. داده‌های تحقیق

لازمه اجرای مدیریت پویا، در اختیار داشتن اطلاعات صحیح، کامل و با ذکر مکان است که با کم‌ترین هزینه و بالاترین سرعت در اختیار مدیریت قرار گیرد. علم مدیریت راه نیز از این قاعده مستثنی نبوده و امروزه در دنیا تلاش می‌شود تا ابزار قدرتمندتری جهت جمع‌آوری اطلاعات راه‌ها ساخته و در اختیار کارشناسان و تحلیل‌گران راه قرار گیرد. مشخصه مشترک این ابزار غیرمخرب بودن آنهاست که به‌طور کلی قادرند با سرعت مناسب بر سطح شبکه راه‌ها حرکت کرده و اطلاعات مورد نیاز بخش‌های مختلف راه (روسازی، ایمنی و ...) را برداشت و در اختیار تحلیل‌گران قرار دهد. یکی از پیشرفته‌ترین

همانطور که گفته شد، در سیستم فازی ورودی‌ها ابتدا بایستی با استفاده از قواعد زبانی به بازه‌هایی تقسیم‌بندی و توابع عضویت آنها نیز مشخص شود. برای این منظور هر ۳ ورودی به ۳ بازه کم، متوسط و زیاد تقسیم خواهند شد. از توابع عضویت گاووسی با توجه به دقت بالای ایجاد شده در محاسبات، برای ۳ ورودی مدل یعنی IRI، PCI و SN استفاده می‌شود. توسعه این توابع بر مبنای بازه تغییرات هر یک از شاخص‌ها و وضعیت روسازی خواهد بود.

یکی از مهم‌ترین مسائل در FIS، توسعه قواعد فازی است. منظور از قواعد، دستوریهایی است که براساس آنها بتوان ترکیبات مختلفی از ورودی‌ها را در کنار هم قرار داده و خروجی بدست آورد [Zadeh, 1965]. به واقع میزان درستی قواعد و مطابقت آنها با واقعیت می‌تواند نتایج را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. برای این منظور در اینجا برای توسعه قواعد مربوط به نوع گزینه تعمیر و نگهداری از داده‌های واقعی مربوط به پروژه کار شده در راه‌های استان فارس استفاده شده است. در کنار اطلاعات واقعی مربوط به این پروژه، برای تکمیل بانک اطلاعاتی، از نظرات متخصصین شامل اساتید دانشگاه، مدیران، کارشناسان، دانشجویان و ... استفاده شده است [Koduru, et al. 2010]. برای این منظور یک فرم نظرسنجی در قالب مبتنی بر وب توسعه یافته است. فرم برای تعداد حدود ۸۵۰ نفر از اساتید، کارشناسان، متخصصین، دانشجویان و ... در زمینه مدیریت و نگهداری راه‌ها ارسال گردیده است. در این فرم سعی شده است تا ابتدا وزن ۳

نوید ندیمی، حمیدرضا شهبازی، آرش غیبی، امیرحسین زارع میرحسینی

تجهیزات ارزیابی راه که تاکنون طراحی، ساخته و به کار گرفته شده است، دستگاه پیشرفته "تدبیرگر راه" است.

دستگاه تدبیرگر راه اطلاعات شبکه راهها و فرودگاهها شامل شرایط ظاهری، شرایط ناهمواری، شرایط سازه‌ای و شرایط زهکشی و ایمنی روسازی را در حداقل زمان ممکن جمع‌آوری می‌کند. به کمک این اطلاعات می‌توان یک پایگاه داده یکپارچه از داده‌های روسازی را ایجاد کرد. همچنین اطلاعات استخراجی و شاخص‌های مربوطه می‌تواند در محیط GIS و بر روی نقشه‌های هدفمند نمایش داده شود. این اطلاعات امکان ویرایش بوسیله داده‌هایی که در سال‌های آتی برداشت می‌شود را داراست.

تجهیزات خاصی بر روی دستگاه "تدبیرگر راه" نصب است. این تجهیزات دارای محدودیت در شب و روز بوده (مانند لیزرهای مربوط به پروفیل طولی و عرضی ناهمواری و تصاویر مربوط به خرابی‌های ظاهری سطح آسفالت) و برای این منظور برداشت میدانی با این دستگاه طی دو مرحله شب و روز

صورت می‌پذیرد. تجهیزات مورد استفاده در برداشت روز و شب به تفکیک عبارتند از:

- ۱- برداشت روز
 - دستگاه GPR^۱ (تعیین ضخامت لایه‌های روسازی و زیرسازی)
 - مسیریاب Path Logger (مشترک در برداشت روز و شب)
 - دوربین‌های سه بعدی‌سازی روبرو، ایمنی، زهکشی، حریم
 - دوربین‌های پانوراما ۳۶۰ درجه
 - ۲- برداشت شب
 - مسیریاب Path Logger
 - دستگاه تعیین پروفیل طولی ناهمواری
 - دستگاه تعیین پروفیل عرضی ناهمواری
 - دستگاه ثبت تصاویر خرابی‌های ظاهری سطح آسفالت
- در شکل (۲) دستگاه تدبیرگر راه نمایش داده شده است.



شکل ۲. ماشین تدبیرگر راه

ارائه مدل تعیین روش و زمان نگهداری روسازی‌های آسفالتی با استفاده از سیستم استنتاج فازی...

در این مقاله از اطلاعات بانک اطلاعاتی کاملی مبتنی بر نظرات متخصصین جهت توسعه قواعد فازی بکار گرفته شده است. و از اطلاعات برداشت شده مربوط به شاخص‌های IRI, PCI و SN در قطعات مختلف راه‌های استان فارس و نیز گزینه‌های پیشنهادی برای نگهداری این قطعات، برای صحت سنجی مدل استفاده خواهد شد. گزینه‌های پیشنهادی اداره راه شیراز براساس تجربیات قبلی آنها بوده است.

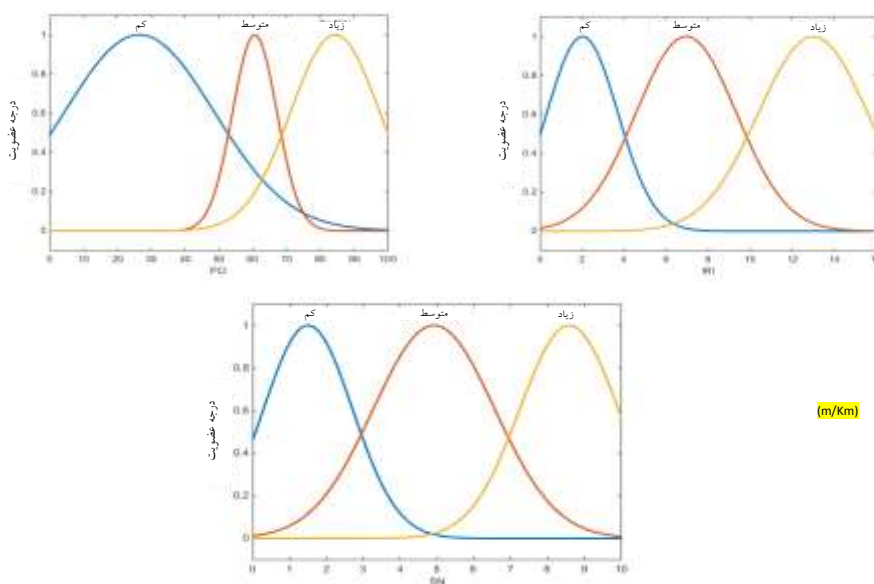
۵. نتایج تحقیق

همانطور که گفته شد، در سیستم فازی ورودی‌ها ابتدا بایستی با استفاده از قواعد زبانی به بازه‌هایی تقسیم‌بندی و توابع عضویت آنها نیز مشخص شود. از توابع عضویت گاووسی با توجه به دقت بالای ایجاد شده در محاسبات، برای ۳ ورودی مدل یعنی IRI, PCI و SN استفاده می‌شود. در شکل (۳) توابع عضویت برای متغیرهای ورودی نشان داده شده است. توابع عضویت متغیرهای ورودی با مطالعه دقیق ادبیات تحقیق جهت تعیین تغییرات هر یک از شاخص‌های IRI, PCI و SN و نیز ارزیابی تابع توزیع این متغیرها بر مبنای داده‌های واقعی تهیه شده است.

خروجی‌های نهایی دستگاه عبارتند از:

- مشاهده مقدار، شدت، نوع و کیلومترهای قرارگیری خرابی‌های سطحی مشخص شده در محور راه
- مشاهده وضعیت کل شبکه روسازی از لحاظ شاخص وضعیت روسازی در محیط Google Earth
- قطعه‌بندی اولیه براساس شاخص وضعیت روسازی، که در قطعه‌بندی نهایی که یکی از فرآیندهای مهم مدیریت روسازی است استفاده می‌گردد.
- ارزیابی کیفی قطعات براساس شاخص وضعیت روسازی (PCI) و دیگر شاخص‌های تعریف شده
- امکان تعیین حجم و هزینه لازم برای گزینه‌های تعمیر و نگهداری مختلف، متناسب با خرابی‌های موجود در روسازی در مرحله گزینه‌گذاری و برآورد اقتصادی

برای محاسبه SN دو روش کلی مخرب و غیرمخرب وجود دارد. در روش‌های غیرمخرب روش بارگذاری ضربه‌ای به لحاظ شبیه‌سازی بهتر اثر بارگذاری ترافیک عبوری، از مقبولیت بیشتری برخوردار است. معروف‌ترین این دستگاه‌ها دستگاه FWD^۷ است که در جمع‌آوری داده‌ها برای محاسبه SN در این تحقیق استفاده شده است.



شکل ۳. توابع عضویت شاخص‌های IRI, PCI و SN

نوید ندیمی، حمیدرضا شهبازی، آرش غیبی، امیرحسین زارع میرحسینی

جدول ۳. قواعد فازی برای تعیین گزینه تعمیر و نگهداری مناسب

گزینه پیشنهادی	ردیف	PCI	IRI	SN	گزینه پیشنهادی	ردیف	PCI	IRI	SN
موضوعی	۱	کم	کم	کم	فراگیر	۱۵	متوسط	متوسط	زیاد
فراگیر	۲	کم	کم	متوسط	فراگیر	۱۶	متوسط	زیاد	کم
فراگیر	۳	کم	کم	زیاد	موضوعی	۱۷	متوسط	زیاد	متوسط
فراگیر	۴	کم	متوسط	کم	فراگیر	۱۸	متوسط	زیاد	زیاد
نیاز ندارد	۵	کم	متوسط	متوسط	فراگیر	۱۹	زیاد	کم	کم
نیاز ندارد	۶	کم	متوسط	زیاد	فراگیر	۲۰	زیاد	کم	متوسط
نیاز ندارد	۷	کم	زیاد	کم	اساسی	۲۱	زیاد	کم	زیاد
نیاز ندارد	۸	کم	زیاد	متوسط	اساسی	۲۲	زیاد	متوسط	کم
نیاز ندارد	۹	کم	زیاد	زیاد	اساسی	۲۳	زیاد	متوسط	متوسط
نیاز ندارد	۱۰	متوسط	کم	کم	موضوعی	۲۴	زیاد	متوسط	زیاد
موضوعی	۱۱	متوسط	کم	متوسط	موضوعی	۲۵	زیاد	زیاد	کم
موضوعی	۱۲	متوسط	کم	زیاد	موضوعی	۲۶	زیاد	زیاد	متوسط
موضوعی	۱۳	متوسط	متوسط	کم	موضوعی	۲۷	زیاد	زیاد	زیاد
موضوعی	۱۴	متوسط	متوسط	متوسط	موضوعی				

جدول ۴. قواعد فازی برای تعیین زمان تعمیر و نگهداری مناسب

زمان پیشنهادی	ردیف	PCI	IRI	SN	زمان پیشنهادی	ردیف	PCI	IRI	SN
میان مدت	۱	کم	کم	کم	کوتاه مدت	۱۵	متوسط	متوسط	زیاد
کوتاه مدت	۲	کم	کم	متوسط	کوتاه مدت	۱۶	متوسط	زیاد	کم
کوتاه مدت	۳	کم	کم	زیاد	کوتاه مدت	۱۷	متوسط	زیاد	متوسط
کوتاه مدت	۴	کم	متوسط	کم	کوتاه مدت	۱۸	متوسط	زیاد	زیاد
بلندمدت	۵	کم	متوسط	متوسط	کوتاه مدت	۱۹	زیاد	کم	کم
بلندمدت	۶	کم	متوسط	زیاد	میان مدت	۲۰	زیاد	کم	متوسط
بلندمدت	۷	کم	زیاد	کم	کوتاه مدت	۲۱	زیاد	کم	زیاد
بلندمدت	۸	کم	زیاد	متوسط	کوتاه مدت	۲۲	زیاد	متوسط	کم
بلندمدت	۹	کم	زیاد	زیاد	کوتاه مدت	۲۳	زیاد	متوسط	متوسط
بلندمدت	۱۰	متوسط	کم	کم	میان مدت	۲۴	زیاد	متوسط	زیاد
میان مدت	۱۱	متوسط	کم	متوسط	میان مدت	۲۵	زیاد	زیاد	کم
میان مدت	۱۲	متوسط	کم	زیاد	میان مدت	۲۶	زیاد	زیاد	متوسط
بلندمدت	۱۳	متوسط	متوسط	کم	میان مدت	۲۷	زیاد	زیاد	زیاد
بلندمدت	۱۴	متوسط	متوسط	متوسط	میان مدت				

ارائه مدل تعیین روش و زمان نگهداری روسازی‌های آسفالتی با استفاده از سیستم استنتاج فازی...

و بلند مدت تعریف و بترتیب اعداد ۱ تا ۳ برای آنها لحاظ شده است. در نتیجه براساس عدد خروجی مدل FIS و گرد کردن آن می‌توان در خصوص خروجی مدل به لحاظ زمان تعمیر و نگهداری مناسب نیز اقدام نمود. بدین ترتیب مدلی با استفاده از FIS توسعه داده شده است که صرفاً با ارائه PCI، IRI و SN به‌عنوان ورودی می‌توان گزینه تعمیر و نگهداری و نیز اولویت زمانی آن به لحاظ اجرا را تعیین کرد.

در نهایت جهت اعتبارسنجی مدل، نتایج خروجی FIS با آنچه که در واقعیت اعمال شده مقایسه گردیده است. برای این منظور از اطلاعات ورودی شامل PCI، IRI و SN در هر قطعه استفاده و نتایج خروجی شامل گزینه مناسب برای عملیات تعمیر و نگهداری مناسب برای هر قطعه براساس مدل فازی ارائه شده در بخش قبلی تعیین می‌گردد. سپس این نتایج با آنچه که در واقعیت اجرا شده مقایسه می‌گردد. در این پژوهش اطلاعات ۳۵ قطعه برای اعتبار سنجی مدل استفاده شده است. در شکل (۴) نقشه راه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. در جدول (۵) اطلاعات مربوط به هر قطعه آورده شده است. برای انجام مقایسه آماری و مقایسه نتایج مدل با واقعیت مجدداً برای هر یک از خروجی‌ها کدهایی مطابق قبل در نظر گرفته می‌شود. به این مفهوم که برای گزینه "اقدامی لازم نیست" کد "۱"، "موضعی" کد ۲، "فراگیر" کد ۳ و "اساسی" کد ۴ در نظر گرفته می‌شود.

پس از پالایش نظرات حاصل از نظرسنجی از متخصصین، قواعد فازی جهت تعیین گزینه تعمیر و نگهداری مناسب، براساس شاخص‌های PCI، IRI و SN به‌شکل جدول (۳) در آمد همچنین پس از پالایش نتایج مربوط به نظرات متخصصین، قواعد فازی جهت تعیین اولویت تعمیر و نگهداری مناسب، براساس شاخص‌های PCI، IRI و SN به‌شکل جدول (۴) در آمد. کدنویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB جهت انجام تحلیل‌ها بر مبنای FIS انجام گرفت. منظور از کدنویسی تهیه یک فایل اسکریپت در محیط MATLAB است. در این فایل اسکریپت از دستورات جعبه ابزار فازی در MATLAB جهت سهولت و امکان مانور بیشتر در سایر بخش‌های کدنویسی استفاده شده است.

علیرغم آنکه خروجی‌های مورد انتظار ما در تعیین گزینه‌های تعمیر و نگهداری و نیز زمان انجام آنها از نوع گسسته بوده اما با توجه به ذات FIS، خروجی‌های مدل از نوع پیوسته است که با توجه به مقدار خروجی مدل و گرد کردن اعداد براساس قواعد ریاضیاتی می‌توان نسبت به تعیین دقیق خروجی اقدام کرد. بدین مفهوم که در رابطه با گزینه‌های تعمیر و نگهداری مناسب ۴ حالت شامل "اقدامی لازم نیست"، "موضعی"، "فراگیر" و "اساسی" در نظر گرفته شده است. معادل هر یک از این موارد اعداد ۱ تا ۴ به‌ترتیب لحاظ شده و براساس عدد خروجی مدل می‌توان در خصوص گزینه تعمیر و نگهداری (البته با گرد کردن آن) اقدام نمود. به همین ترتیب برای زمان تعمیر و نگهداری نیز ۳ گزینه، کوتاه‌مدت، میان‌مدت



شکل ۴. نقشه راه‌های مورد مطالعه در استان فارس

برای این ۳۵ قطعه نشان داده شده است. و در شکل (۶) گزینه مناسب نگهداری به دست آمده از مدل آورده شده است. همچنین خلاصه نتایج برای این ۳۵ قطعه برای گزینه تعمیر و نگهداری پیشنهادی اداره راه و گزینه تعمیر و نگهداری مناسب به دست آمده از مدل به صورت مقایسه‌ای مطابق شکل (۷) خواهد بود. در این شکل‌ها محور افقی شماره قطعه و محور قائم گزینه تعمیر و نگهداری است.

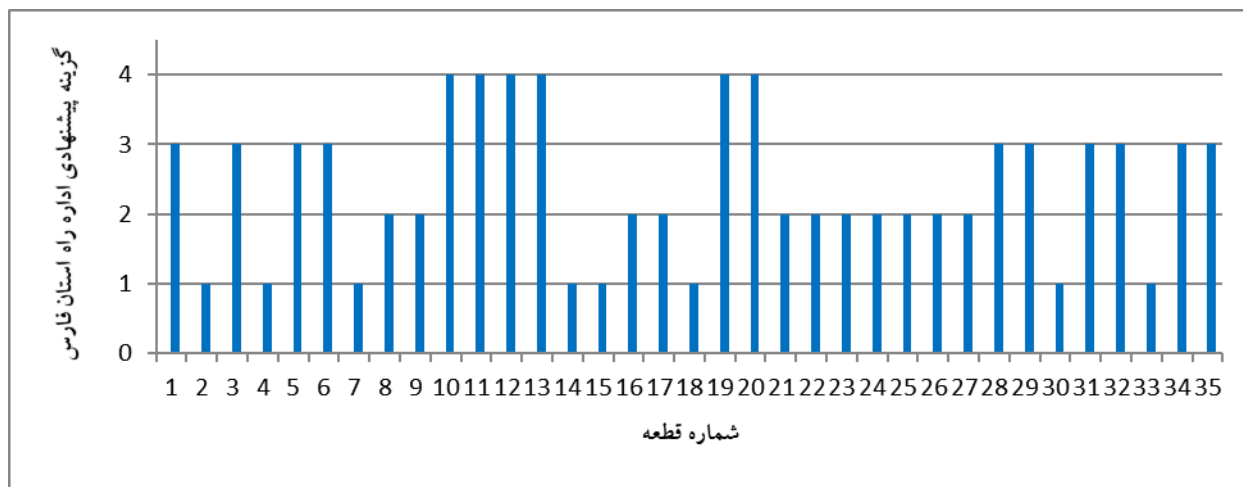
در جدول (۵) داده‌های لازم برای ورودی مدل در ۳۵ قطعه، گزینه پیشنهادی اداره راه استان فارس و گزینه مناسب نگهداری براساس مدل نشان داده شده است. لازم بذکر است که گزینه‌های اداره کل راه و شهرسازی استان فارس براساس تجربیات مهندسين با سابقه در زمینه مدیریت تعمیر و نگهداری راه‌ها و با توجه به مقادیر شاخص‌های IRI، PCI، SN ارائه گردیده است.

در شکل (۵) گزینه نگهداری پیشنهادی اداره راه استان فارس

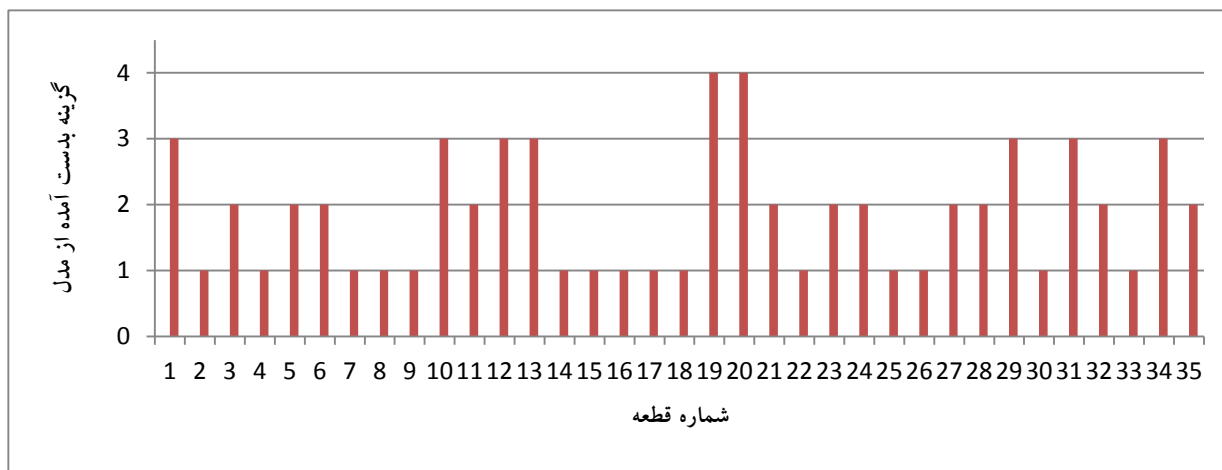
ارائه مدل تعیین روش و زمان نگهداری روسازی های آسفالتی با استفاده از سیستم استنتاج فازی...

جدول ۵. داده های ورودی مدل، گزینه پیشنهادی و گزینه خروجی مدل

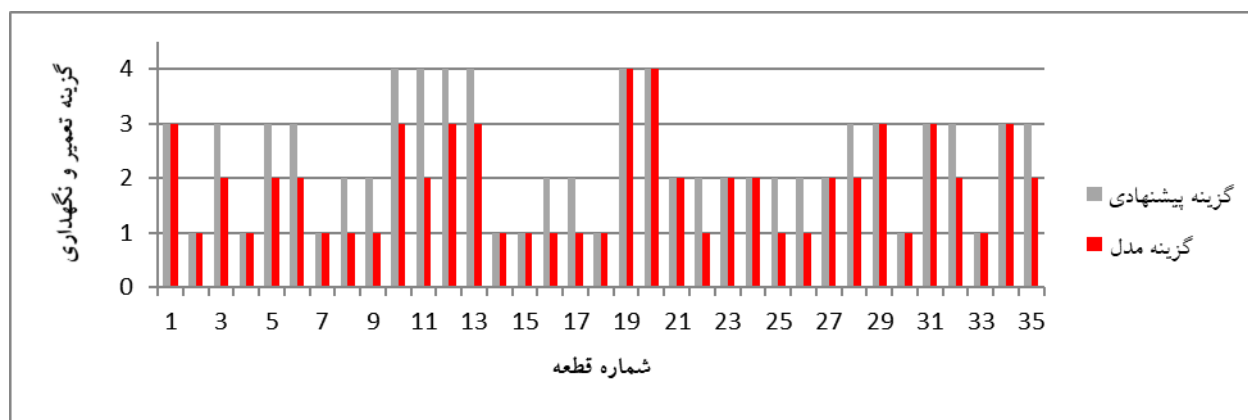
شماره قطعه	نام محور	PCI	IRI	SN	گزینه پیشنهادی	گزینه مدل
۱	شیراز - خروجی قلات	۵۲	۵۸	۴.۳	۳	۳
۲	شیراز - خروجی قلات	۹۶	۵	۵	۱	۱
۳	شیراز - خروجی قلات	۹۵	۴.۱	۴.۴	۳	۲
۴	شیراز - خروجی قلات	۸۲	۴.۱	۴.۱	۱	۱
۵	خروجی قلات - سه راه حسنی	۸۴	۴.۱	۴.۱	۳	۲
۶	خروجی قلات - سه راه حسنی	۸۴	۳.۷	۴.۵	۳	۲
۷	خروجی قلات - سه راه حسنی	۹۹.۶	۲.۷	۳.۹	۱	۱
۸	سه راه حسنی - سپیدان	۹۴	۴.۶	۳.۶	۲	۱
۹	سپیدان - سه راه حسنی	۹۱	۳.۹	۳.۶	۲	۱
۱۰	شیراز - پل چنار راهدار	۷۵	۵.۸	۴	۴	۳
۱۱	شیراز - پل چنار راهدار	۸۶	۵.۶	۶.۶	۴	۲
۱۲	پل چنار راهدار - شیراز	۷۳	۵.۶	۳.۷	۴	۳
۱۳	پل چنار راهدار - شیراز	۷۳	۶.۳	۶.۳	۴	۳
۱۴	پل چنار راهدار - خیرآباد	۹۶	۳.۶	۵.۴	۱	۱
۱۵	خیرآباد - چهل چشمه	۹۴	۴.۲	۶.۷	۱	۱
۱۶	خیرآباد - چهل چشمه	۸۸	۳.۵	۶.۵	۲	۱
۱۷	چهل چشمه - خیرآباد	۸۸	۳.۲	۶.۱	۲	۱
۱۸	چهل چشمه - خیرآباد	۹۴	۳.۹	۷.۴	۱	۱
۱۹	چهل چشمه - دشت ارژن	۳۰	۶.۸	۲.۳	۴	۴
۲۰	چهل چشمه - دشت ارژن	۶۳	۳.۶	۳.۷	۴	۴
۲۱	دشت ارژن - چهل چشمه	۸۸	۳.۷	۵.۹	۲	۲
۲۲	دشت ارژن - چهل چشمه	۸۷	۳.۶	۶.۵	۲	۱
۲۳	دشت ارژن - تقاطع غیر همسطح دشت ارژن	۸۶	۳.۹	۳.۸	۲	۲
۲۴	دشت ارژن - تقاطع غیر همسطح دشت ارژن	۹۰	۳.۶	۳.۸	۲	۲
۲۵	تقاطع غیر همسطح دشت ارژن - دشت ارژن	۹۳	۳.۶	۵.۴	۲	۱
۲۶	تقاطع غیر همسطح دشت ارژن - دشت ارژن	۹۵	۴.۵	۵.۷	۲	۱
۲۷	تقاطع غیر همسطح دشت ارژن - قائمیه	۹۰	۵.۳	۳.۳	۲	۲
۲۸	تقاطع غیر همسطح دشت ارژن - قائمیه	۶۲	۳.۸	۳.۷	۳	۲
۲۹	قائمیه - تقاطع غیر همسطح دشت ارژن	۴۱	۳.۲	۳.۴	۳	۳
۳۰	قائمیه - تقاطع غیر همسطح دشت ارژن	۹۴	۳.۴	۳	۱	۱
۳۱	قائمیه - تقاطع غیر همسطح دشت ارژن	۴۳	۳.۹	۳	۳	۳
۳۲	قائمیه - انتهای حوزه فارس	۸۶	۵.۲	۳.۴	۳	۲
۳۳	قائمیه - انتهای حوزه فارس	۹۶	۳.۶	۳.۵	۱	۱
۳۴	انتهای حوزه فارس - قائمیه	۵۷	۴	۳.۶	۳	۳
۳۵	انتهای حوزه فارس - قائمیه	۸۴	۵	۳.۵	۳	۲



شکل ۵. گزینه تعمیر و نگهداری پیشنهادی اداره راه استان فارس برای ۳۵ قطعه



شکل ۶. گزینه تعمیر و نگهداری مناسب بدست آمده از مدل



شکل ۷. مقایسه گزینه تعمیر و نگهداری پیشنهادی اداره راه استان فارس با گزینه مناسب بدست آمده از مدل

ارائه مدل تعیین روش و زمان نگهداری روسازی‌های آسفالتی با استفاده از سیستم استنتاج فازی...

شرایط گوناگون وجود دارد. نتایج کاربردی تحقیق بطور خلاصه شامل این موارد می‌شود:

۱- استفاده از ابزار فازی موجب افزایش دقت و سرعت در تصمیم‌گیری در رابطه با گزینه تعمیر و نگهداری مناسب و زمان اجرای آن می‌شود.

۲- میان نتایج حاصل از سیستم استنتاج فازی و آنچه که در گذشته اجرا شده تطابق به نسبت خوبی وجود دارد.

به این ترتیب می‌توان گفت با استفاده از نظرات و تجربیات متخصصین و نیز اعتبارسنجی نتایج در طول یک دوره زمانی مدل مبتنی بر سیستم استنتاج فازی پیشنهادی را بسط و توسعه داد و به‌عنوان یک ابزار کارا از آن جهت تصمیم‌گیری در خصوص تعیین گزینه مناسب تعمیر و نگهداری و نیز زمان اجرای آن اقدام نمود. به واقع کاربرد اصلی روش پیشنهادی در این مقاله زمانی است که یک بانک اطلاعاتی جامع و کامل از مشخصات عملکردی قطعات مختلف روسازی وجود داشته باشد و گزینه‌های مختلفی جهت تعمیر و نگهداری در طول زمان پیشنهاد و اجرا شده باشد. همچنین تأثیر هر یک از این موارد نیز در گذر زمان دیده شده و ثبت شود. بدین ترتیب با در نظر گرفتن هزینه‌های چرخه عمر روسازی امکان بهینه‌سازی قواعد فازی ارائه شده هم در خصوص زمان و هم گزینه پیشنهادی برای تعمیر و نگهداری وجود خواهد داشت. نظیر چنین داده‌ای در پایگاه داده^۸ LTPP موجود بوده و به‌عنوان موضوع تحقیقات آتی قابل پیشنهاد است.

۷. سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از زحمات دکتر محمد کاشانی‌نویین جهت در اختیار قراردادن داده‌های مقاله و نیز راهنمایی‌های متعدد ایشان در خصوص این داده‌ها، سپاسگزاری می‌کنند.

براساس آنچه که در شکل‌های ۵ و ۶ آمده می‌توان گفت نتایج حاصل از مدل فازی پیشنهادی برای تعیین گزینه تعمیر و نگهداری با آنچه که در واقعیت توسط مهندسین مشاور اجرا شده در قطعات مختلف همگونی نسبتاً قابل قبولی وجود دارد. همچنین برای بحث تعیین اولویت زمانی اجرای گزینه تعمیر و نگهداری مناسب نیز داده‌ای در پروژه واقعی انجام شده موجود نبوده و تنها شکل ۷ به‌عنوان خروجی مدل فازی برای قطعات ارائه شده است.

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی شد تا مدلی با استفاده از ابزار هوش مصنوعی جهت تعیین گزینه تعمیر و نگهداری مناسب و زمان اجرای آن ارائه گردد. برای این منظور براساس وضعیت روسازی یعنی خرابی‌ها، وضعیت سازه‌ای و ناهمواری در هر قطعه تصمیم‌گیری صورت پذیرفت. برای هر یک از این موارد بترتیب شاخص‌های SN، PCI و IRI به عنوان ورودی‌های مدل بکار گرفته شد. جهت انجام تصمیم‌گیری با استفاده از هوش مصنوعی مناسب-ترین ابزار سیستم استنتاج فازی است. در سیستم استنتاج فازی ابتدا بایستی متغیرهای ورودی براساس قواعد زبانی به بازه‌هایی تقسیم‌بندی شوند، این کار براساس تغییرات این شاخص‌ها در ادبیات تحقیق صورت پذیرفت. سپس قواعد لازم برای تعیین خروجی‌های مدل براساس ترکیبات مختلف ورودی‌ها با کمک نظرات متخصصین و نیز بکارگیری تجربیات قبلی توسعه یافت. در نهایت یک مدل جامع با کدنویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB ارائه گردید. با استفاده از این مدل می‌توان براحتی در خصوص گزینه تعمیر و نگهداری مناسب و نیز زمان اجرای آن در هر یک از قطعات راه اقدام نمود. اعتبارسنجی نتایج مدل با مقایسه آنها با تجربیات قبلی نشان می‌دهد که سازگاری زیادی میان نتایج حاصل از مدل فازی و واقعیت وجود دارد. یکی از مهم‌ترین مزیت‌های مدل پیشنهادی کاهش قابل توجه زمان محاسبات و ارائه الگوریتم تصمیم‌گیری براساس تجربیات قبلی و نظریات متخصصین است. همچنین امکان تغییر در ورودی‌های مدل (تغییر توابع عضویت) و نیز قواعد فازی جهت تطابق با

۸. پی نوشتها

- Bin Yu, Bin, Gu, Xing, Ni, Fujian and Guo, Rui (2015) "Multi-objective optimization for asphalt pavement maintenance plans at project level: Integrating performance, cost and environment", Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol. 41, pp. 64-74.

- Bobrowicz, O., Choulet, C., Haurat, A., Sandoz, F. and Tebaa, M. (1990) "A method to build membership functions proceedings", Proc., 3rd International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, IPMU'90, Paris, Springer.

- Caltrans (2003) "Caltrans maintenance technical advisory guide", Chapter 6: Fog Seals, Caltrans Division of Maintenance.

-Canada. Ministry of Transportation and Communications, MTC. (1982) "Manual for condition rating of flexible pavements, distress manifestations, SP004", Research and Development Branch, Ontario, Canada.

- Chou, Jui-Sheng and Le, Thanh Son (2011) "Reliability-based performance simulation for optimized pavement maintenance", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 96, Issue 10, pp. 1402-1410.

- Cook, M. C., Seeds, S. B., Zhou, H. and Hicks, R. G. (2004) "Guide for investigating and remediating distress in flexible pavements", California Department of Transportation's New Procedure, Transportation Research Record, No. 1896, pp. 147-161

- Farhan, J. and Fwa, T. F. (2016) "A decentralized multidistrict optimization framework for system-wide pavement maintenance resource allocation", International Journal of Pavement Research and Technology, Vol. 9, Issue 3, pp. 214-221

- Federal Highway Administration (2005) "ACTION: Pavement preservation definitions", FHWA Memorandum.

1. Pavement Condition Index (PCI)
2. Nondestructive Test (NDT)
3. Structural Number (SN)
4. International Roughness Index (IRI)
5. Fuzzy Inference System (FIS)
6. Ground Penetrating Radar (GPR)
7. Falling Weight Deflectometer (FWD)
8. Long Term Pavement Performance (LTPP)

۸. مراجع

- Abaza, K. A., Ashur, S. A., Abu-Eisheh, S. A. and Rabay'a, A. (2001) "Macroscopic optimum system for management of pavement rehabilitation." Journal of Transportation Eng., Vol. 127, No. 6, pp. 493-500.

- Abdelrahim, A. M. and George, K. P. (2000) "Artificial neural network for enhancing selection of pavement maintenance strategy", Transportation Research Record, No.1699, pp. 16-22.

- Babashamsi, Peyman, Golzadfar, Amin, Yusoff, Nur Izzi Md., Ceylan, Halil, Nor and Nor, Ghani Md (2016) "Integrated fuzzy analytic hierarchy process and VIKOR method in the prioritization of pavement maintenance activities", International Journal of Pavement Research and Technology, Vol. 9, Issue 2, pp. 112-120.

- Bazlamit, Subhi, M., Ahmad, Hesham, S. and Al-Suleiman, Turki, I. (Obaidat) (2017) "Pavement maintenance applications using geographic information systems", Procedia Engineering, Vol. 182, pp. 83-90.

Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 105, pp. 378-400.

- Li, Hongmei, Ni, Fujian, Dong, Qiao and Zhu, Yuqin, (2017) "Application of analytic hierarchy process in network level pavement maintenance decision-making", International Journal of Pavement Research and Technology, Vol. 11, No. 4, pp. 345-354.

- Ohio DOT. (2001) "Pavement preventative maintenance program guidelines", The Office of Pavement Engineering Report.

- Pietrzycki, P. (2014) "Analytical hierarchy process in pavement management systems", M.Sc. Thesis, The University of Toledo.

- Premkumar, L., Vavrik, W. R. and Harrell M. J. (2014) "Pavement performance model calibration for the Illinois tollway pavement management system", Report for the Illinois Tollway.

- Roads Corporation of Victoria, VicRoads. (2017) "Pavement management strategic plan overview", Roads Corp. Victoria.

-Rusu, L., Taut, D. and Jecan, S. (2015) "An integrated solution for pavement management and monitoring systems", 22nd International Economic Conferences- IECS.

- Sarfaraz Ahmed, P. Vedagiri, K. V. and Krishna, Rao (2017) "Prioritization of pavement maintenance sections using objective based Analytic Hierarchy Process", International Journal of Pavement Research and Technology, Vol. 10, Issue 2, pp. 158-170.

- Schmucker, K. J. (1984) "Fuzzy sets, natural language computations and risk analysis", Computer Science Press, Rockville, Mass.

- Zadeh, L. A. (1965) "Fuzzy sets", Inf. Control., 8, pp. 338-353

- Torres-Machi, Christina, Pellicer, Eugenio, Yepes, Victor, and Chamorro, Alondra (2017),

- Flintsch, G., Zaniewski, J. and Delton, J. (1996) "Artificial neural network for selecting pavement rehabilitation projects", In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1524, pp. 185-193.

- de la Garza, Jesus, M., Akyildiz, Sercan, Bish, Dough, R. and Krueger, Denis A. (2011) "Network-level optimization of pavement maintenance renewal strategies", Advanced Engineering Informatics, Vol. 25, Issue 4, pp. 699-712.

- Gu, Weihua, Ouyang, Yanfeng, and Madanat Samer (2012) "Joint optimization of pavement maintenance and resurfacing planning", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 46, Issue 4, pp. 511-519.

- Haas, R., Hudson, W. R. and Zaniewski, J. (1994) "Modern pavement management", Malabar, Florida, USA, Krieger Publishing Company.

- Hicks, R. G., Dunn, K. and Moulthrop, J. S. (1997) "Framework for selecting effective preventive maintenance treatments for flexible pavements", Transportation Research Record, No. 1597, Transportation Research Board, pp. 32-33.

- Juang, C. H. (1983) "Decision support system using fuzzy set theory", J. Microcomputer Civil Engineering, Vol. 12, pp. 32-38.

- Koduru, H. K., Xiao, F., Amirhanian, S. and Juang, C. H. (2010) "Using fuzzy logic and expert system approaches in evaluating flexible pavement distress: case study", Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 136, No. 2, pp. 149-157.

- Le, Zhang, Liangliang, Fu., Weihua, Gu., Yanfeng, Ouyang. and Yaohua, Hu. (2017) "A general iterative approach for the system-level joint optimization of pavement maintenance, rehabilitation, and reconstruction planning",

-عامری، محمود (۱۳۸۸) "مدیریت نوین روسازی"، پژوهشکده حمل و نقل"، پژوهشکده حمل و نقل، وزارت راه و ترابری.

-عامری، محمود و افتخارزاده، سیدفرهاد. (۱۳۸۸) "مدیریت روسازی برای راه‌ها، فرودگاه‌ها و پارکینگ‌ها"، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

-فخری، م.، آلاله، م. و ادیسی، ع. (۱۳۹۵) "ارائه مدل بهینه تعمیر و نگهداری روسازی با در نظر گرفتن هزینه کاربران برای ایران"، مجله علمی - پژوهشی مهندسی حمل و نقل، سال هفتم، شماره سوم، ص. ۵۴۰-۵۲۳.

"Towards a sustainable optimization of pavement maintenance programs under budgetary restrictions", Journal of Cleaner Production, Vol. 148, pp. 90-102.

-آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران (۲۳۴)، نشریه ۲۳۴، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، تجدید نظر اول.

-ابطحی، سید مهدی (۱۳۸۹) "آسفالت‌های سرد حفاظتی"، اصفهان، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان معاونت آموزشی.

-طباطبایی، امیر محمد (۱۳۹۰) "روسازی راه"، مرکز نشر دانشگاهی.

ارائه مدل تعیین روش و زمان نگهداری روسازی‌های آسفالتی با استفاده از سیستم استنتاج فازی...

نوید ندیمی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۷ از دانشگاه علم و صنعت و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- راه و ترابری را در سال ۱۳۸۹ از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. در سال ۱۳۹۴ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران- راه و ترابری از دانشگاه علم و صنعت گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی ترافیک، هوش مصنوعی، طرح هندسی راه و ... بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه شهید باهنر کرمان است.



حمیدرضا شهبازی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی برق- قدرت را در سال ۱۳۸۷ از دانشگاه علم و صنعت و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق- قدرت را در سال ۱۳۸۹ از دانشگاه علم و صنعت اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان هوش مصنوعی و بهینه‌سازی است. در حال حاضر وی دانشجوی دکتری برق- قدرت در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی است.



آرش غیبی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران - عمران را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه شهید باهنر کرمان اخذ نموده‌است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان حمل‌ونقل عمومی، ایمنی، ترافیک و طرح هندسی راه بوده و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش راه و ترابری در دانشگاه شهیدباهنر کرمان است.



امیرحسین زارع میرحسینی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران-عمران را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه شهیدباهنر کرمان اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی، ترافیک و طرح هندسی راه بوده و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری در دانشگاه شهیدباهنر کرمان است.

