نشریه علمی - پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۷، شماره ۲، سال ۱۳۹۹، صفحه ۷۵ تا ۹۴

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)

www.jsce.ir

ارزیابی پل های استان مازندران با استفاده روش های تصمیم چند معیاره براساس خرابی‌های موجود

محمدجواد طاهری امیری [۱]، فرشیدرضا حقیقی *[۲]، میلاد همتیان [۳]، مائده جواهری بارفروشی [۴]

۱- دانشجوی دکترای مهندسی و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی بابل، بابل، ایران
۲- استادیار گروه عمران دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران
۳- دانشجوی دکترای صنایع دانشگاه علوم وفنون بابل، بابل، ایران
۴-دانشجوی دکترای مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران

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 می‌باشند 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 پژوهش به ارزیابی پل‌های بین شهری استان مازندران از نظر نیاز به تعمیر و نگهداری پرداخته شده است. به منظور انجام این تحقیق، ابتدا به انجام بازدیدهای میدانی از پل‌های دارای اهمیت بالای استان مازندران (بیش از ۱۰۰ پل در این تحقیق مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است) پرداخته شده و وضعیت خرابی و نقص‌های هر یک از این پل‌ها و همچنین وضعیت این پل‌ها در برابر عواملی همچون بار ترافیکی و بستر رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است. پس از انجام بازدیدهای میدانی و جمع‌آوری نتایج مورد نیاز، به بررسی در مورد اولویت‌بندی هر یک از پل‌ها در استان مازندران از نظر نیاز به تعمیر و نگهداری پرداخته شده است. همچنین به منظور مشخص شدن میزان هزینه‌های لازم به منظور تعمیر و نگهداری پل‌ها از کارشناسان متخصص در این زمینه بهره گرفته شد و هر پل به صورت مجزا مورد ارزیابی قرار گرفته و در نهایت میزان هزینه ترمیمی لازم برای هر پل مشخص گردید.

کلمات کلیدی: پل، ریسک، تعمیر و نگهداری، خرابی، هزینه تعمیر و نگهداری

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/jsce.2018.121655.1495
۱۳۹۶/۱۲/۱۵	۱۳۹۷/۰۴/۱۷	۱۳۹۷/۰۶/۱۱	۱۳۹۹/۰۱/۱۵	۱۳۹۹/۰۱/۱۵	doi: 10.22065/jsce.2018.121655.1495

*نویسنده مسئول: فرشیدرضا حقیقی

پست الکترونیکی: Haghighi@nit.ac.ir

The vulnerability and crisis management of Babol city under the impact of earthquakes using ArcGIS software

Mohammad Javad Taheri Amiri[1], Farshidreza Haghighi[2*], Milad Hematian[3], Maedeh Javaheri Barforoshi[2]

1- Ph.D. Candidate of Construction Engineering and Management, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
2- Assistant professor, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
3- Ph.D. Candidate of Industrial Engineeringt Mazandaran Universirsity of Science and Technology, Babol, Iran,
Ph.D. Candidate of Construction Engineering and Management, Islamic Azad University, Arak Branch, Arak, Iran

ABSTRACT

The bridges with any form of structure that are designed and made with any kind of materials that are being manufactured, sooner or later, appear in their burnout effects, but in the type and extent of these exhaustions and their expansion, there are several factors such as conditions Atmospheric, flood or earthquake occurrence, increase in load over design, design quality, and type of materials affecting all of these factors, if not addressed, will lead to a reduction in the useful life of the structure. Therefore, handling bridges and timely maintenance of them will increase the useful life of the bridges. In this research, the evaluation bridges of Mazandaran province has been considered for the needs of maintenance. In order to carry out this research, firstly, the field visits of high importance bridges in Mazandaran province (more than 100 bridges have been investigated and evaluated in this research), and the failure and defect status of each of these bridges As well as the condition of these bridges against the factors such as traffic load and river bed, were studied. After conducting field visits and collecting the required results, we have studied the priority of each of the bridges in Mazandaran province regarding the need for maintenance. Also, in order to determine the amount of costs necessary for the maintenance of bridges, experts in this field were used and each bridge was evaluated separately and finally the amount of repair cost needed for each bridge was identified.

ARTICLE INFO

Receive Date: 06 March 2018
Revise Date: 08 July 2018
Accept Date: 02 September 2018

Keywords:
bridge,
risk,
maintenance and repair,
destruction,
maintenance and repair cost

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2018.121655.1495

*Corresponding author: Farshidreza Haghighi
Email address: Haghighi@nit.ac.ir

۱- مقدمه

جایگاه و نقش حمل و نقل در ابعاد مختلف اقتصادی، سیاسی و اجتماعی جوامع امروزی بر کسی پوشیده نیست. حمل و نقل یکی از پایه‌های اصلی توسعه پایدار و متوازن در جوامع بشری محسوب شده و در واقع شبکه‌های حمل و نقل با مؤلفه‌های مهمی همچون اقتصاد، امنیت و عدالت اجتماعی ارتباط تنگاتنگ دارند. در فرآیند توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها، همبستگی مستقیم، میان گسترش حمل و نقل و دستیابی به نرخ رشد اقتصادی و اجتماعی کشورها وجود دارد. به عبارت دیگر همراه با افزایش تولید ناخالص داخلی، میزان ارزش افزوده بخش حمل و نقل نیز افزایش می‌یابد و به همین دلیل است که توسعه و رشد اقتصادی، وابسته به توسعه بخش حمل و نقل است و فعالیت‌های حمل و نقل از جمله فعالیت‌های اساسی و زیربنایی برای رشد و تحول اقتصاد به حساب می‌آید[۱]. پل‌ها نیز مانند هر سازه دیگر و شاید بیش از بسیاری از آن‌ها تحت تأثیر محیط قرار دارند و حتی با فرض طراحی صحیح و اجرای دقیق، عوامل بسیاری در دوام و سلامت آن‌ها مؤثر است و از آنجا که جزء سازه‌های پرهزینه و حساس محسوب می شوند؛ کوتاهی در نگهداری آن‌ها در دوران بهره برداری، اثرات مخربی به دنبال خواهد داشت. به این ترتیب، تشخیص این محدودیت‌ها و بازرسی‌های مرتب و برنامه‌ریزی شده پل‌ها، برای پیش‌گیری از خرابی‌های جدی و خطر آفرین و همچنین جلوگیری از صرف هزینه‌های گزاف جبران این خرابی‌ها، بسیار ضروری می‌نماید. بیان این مطلب، حساسیت و ضرورت این موضوع را در کشور ما با توجه به امکانات، کیفیت طراحی و الگوی رایج در نحوه ساخت و اجرای ابنیه، بیش از پیش روشن می‌سازد. طبق نظر پتروسکی[1] در مورد پل‌ها، وقتی به ضرورت و اهمیت پل‌ها پی برده می‌شود که آنها از دست رفته‌اند[۱]. بنابراین سیاستگذاران نیز وقتی متوجه پل‌ها می‌شوند که اکثر آنها از لحاظ سازه‌ای دچار مشکل شده‌اند. نادیده گرفتن موضوع دوام پل و صرف هزینه‌های نگهداری پائین و هزینه کردن کمترین بودجه‌ها برای طرح و اجرا، چه نتایجی را در پی خواهد داشت. لذا وجود یک برنامه مدیریتی منسجم که همواره در تمام طول عمر پل دنبال شود؛ مورد نیاز خواهد بود که این برنامه سیستم مدیریت پل[2](BMS) نامیده شده است. مدیریت پل، ابزاری است که به وسیله آن مجموعه پل از لحظه تصمیم‌گیری تا انتهای عمر مفید آن، مراقبت می‌شود. در بیشتر موارد، مسئولان از نگهداری پل در دوران بهره‌برداری چشم‌پوشی کرده و به استراتژی درمان به جای پیشگیری روی آورده‌اند. در نتیجه این رویکرد، نسل حاضر مهندسان پل، با پل‌هایی مواجهند که به شدت رو به زوال گذاشته و اکنون باید تعمیر، مقاوم‌سازی، تقویت یا جایگزین شوند و یا محدودیت‌های بارگذاری برای آن‌ها وضع گردد. خوشبختانه در سال‌های اخیر رویکرد آینده‌نگرانه مدیران و تصمیم گیرندگان در بخش های عمرانی، میدان را برای برپا کردن برنامه‌های گسترده‌ای چون "سیستم مدیریت پل" فراهم کرده و برخی از نهادها و مسئولین از پیشگامان این امر محسوب می‌شوند. جامعه نوین مهندسی نیز که همواره در پی اجرای طرح‌های کاربردی در کشور می‌باشند با آغوش باز از این پروژه‌ها که گامی بزرگ در جهت توسعه پایدار محسوب می‌شوند استقبال می‌کند. در این میان، پل‌ها نقش به سزایی در شبکه حمل و نقل زمینی ایفا می‌نمایند. پل‌ها از پرهزینه‌ترین و راهبردی‌ترین عناصر راه و راه‌آهن محسوب می‌شوند که با عبور از موانع طبیعی و مصنوعی احداث می‌گردند. هرگونه اختلال و خرابی در پل‌ها، مسیر را از سرویس‌دهی بازداشته یا بر عبور و مرور سریع و روان تأثیر می‌گذارد. موضوع ارزش پل‌ها و خسارات ناشی از بی‌توجهی به نگهداری آن‌ها یکی از مواردی است که باید به طور وسیع و گسترده مورد توجه مسئولان قرار گیرد. با توجه به ضرورت تعمیر و نگهداری پل‌ها، در این تحقیق به ارزیابی وضعیت پلهای استان مازندران از نظر نیاز به تعمیر و نگهداری پرداخته شده است. به منظور انجام این تحقیق ابتدا به انجام بازدیدهای میدانی از پل‌های دارای اهمیت بالای استان مازندران (بیش از ۱۰۰ پل در این تحقیق مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است) پرداخته شده و وضعیت خرابی و نقص‌های هر یک از این پل‌ها و همچنین وضعیت این پل‌ها در برابر عواملی همچون بار ترافیکی و بستر رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است. پس از انجام بازدیدهای میدانی و جمع‌آوری نتایج مورد نیاز، به بررسی در مورد اولویت‌بندی هر یک از پل‌ها در استان مازندران از نظر نیاز به تعمیر و نگهداری پرداخته شده است. همچنین به منظور مشخص شدن میزان هزینه‌های لازم به منظور تعمیر و نگهداری پل‌ها از کارشناسان متخصص در این زمینه بهره گرفته شد و هر پل به صورت مجزا مورد ارزیابی قرار گرفته و در نهایت میزان هزینه ترمیمی لازم برای هر پل مشخص گردید.

[1]-Petroski
[2]-Bridge Management System

۲- مرور ادبیات

پل‌ها به عنوان پیوندهای مهم ارتباطی تمامی شبکه‌های جاده‌ای و خطوط راه‌آهن به حساب می‌آیند که سرمایه هنگفتی برای ساخت آنها مورد نیاز است. اگر پل‌ها به دلیل سن زیاد، فرسودگی، بار زیاد، شرایط آب و هوایی، بلایای طبیعی و غیره از بین بروند، کارهای تعمیراتی بسیار پر هزینه‌تر از فعالیت‌های مربوط به حفظ و نگهداری از آنهاست. بودجه در دسترس برای بازسازی و تعمیر و نگهداری، معمولاً برای حفظ وضعیت سیستم به حالت ثابت در تمام طول عمر خود کافی نیست. براساس گزارش‌های کنونی، تقریباً ۳۳۳۰۰۰ پل فقط در شبکه‌های جاده‌ای ایران وجود دارد که طول مجموع آنها، ۱۲۵۸ کیلومتر می‌شود. بسیاری از این پل‌ها، بطور میانگین بیش از ۳۰ سال مورد استفاده قرار گرفتند و بسیاری از آنها نیز به دلیل حجم سنگین ترافیکی و شرایط سخت، خراب شده‌اند و یا نیاز به تعمیر و مقاوم‌سازی دارند[۲]. در ادامه برخی از مطالعات انجام گرفته در این حوزه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

یانگ و همکاران در سال ۲۰۰۶، یک شاخص عملکرد دوگانه برای بهترین استراتژی نگهداری از سازه‌های فرسوده را در نظر گرفتند. دقت این روش از روش مدل آسیب مداوم، کمتر است، اما می‌توان آنرا با استفاده از اطلاعات در دسترس، بر روی اکثر سازه‌ها اجرا کرد.کارکردهای طول عمر برای مدلسازی تکامل در زمان عملکرد سازه‌های فرسوده، تحت تأثیر اقدامات تعمیر و نگهداری، کافی می‌باشد. عدم قطعیت در طول عمر قطعات فرسوده، از طریق توزیع ویبول و توزیع های نمایی، شناسایی شد. فرآیند بهینه‌سازی براساس کارکردهای طول عمر، استراتژی نگهداری بهینه برای اهداف برنامه‌ریزی اولیه را پدید می‌آورد. نتایج به دست آمده، تغییرات قابل توجهی را در استراتژی بهینه و ارزش فعلی مرتبط با هزینه تراکمی در میان مدل‌های مختلف سیستم نشان می‌دهد. بنابراین، تعریف صحیح از مدل سیستم در طراحی، ارزیابی و برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری بهینه برای سازه‌های فرسوده، بسیار مهم است. ارزش فعلی هزینه تراکمی طرح-های نگهداری بهینه، برای تمام مدل‌های سیستم، برای نرخ تخفیفی، بسیار حساس است[۳].

ژیائو و همکاران در سال ۲۰۱۰ عنوان کردند که ارزیابی وضعیت مدیریت و تعمیر و نگهداری از پل‌ها را مخصوصاً در زمانیکه از دانش متخصصان استفاده می‌شود، می‌توان به عنوان یک مشکل طبقه‌بندی در نظر گرفت. آنها برای حل این مشکل، یک مدل ارزیابی براساس نظریه مجموعه ناهمواری و ساختارهای جبری ساختند. از این مدل برای آزمایش و ارزیابی روابط بین شش شاخص ارزیابی تعمیر و نگهداری و یک متغیر تصمیم‌گیری در داده‌های بدست آمده از ۵۵ پل موجود در استان چونگ کینگ کشور چین، استفاده شد. نتایج آنان نشان داد که این روش جدید در مقایسه با مدل قدیمی مجموعه ناهموار و ماشین بردار پشتیبان، هم امکان‌پذیر و هم مؤثر می‌باشد. در این تحقیق، مدلی برای تصمیم‌گیری مجموعه ناهموار با ترکیب روابط هم‌ارزی نظریه مجموعه ناهموار و نظریه ساختارهای جبری، ارائه شده است[۴].

دی ارسسی و همکاران در سال ۲۰۱۰ در مقاله‌ای، چارچوبی کلی که شامل اطلاعات "نظارت بر سلامت سازه‌ای (SHM)[3]" در تجزیه و تحلیل‌های جهانی بهینه‌سازی مبتنی بر واقعیت است را ارائه نمودند و شرایط مختلف محدودیت تحت عدم قطعیت را مورد توجه قرار دادند. استفاده ازSHM در چارچوب کلی قابلیت اطمینان، یک چالش زمانبر به حساب می‌آید و روش پیشنهادی آنها مفهومی ارائه می-کند که این مسئله را به شیوه‌ای عملی، امکان‌پذیر می‌کند. اطلاعات نظارتی امکان بروزرسانی برخی از پارامترهای توابع محدودیت را امکان پذیر می‌کند. برای این کار، از یک فرآیند بهینه‌سازی براساس الگوریتم ژنتیک که شرایط محدودیت را بطور جداگانه و همزمان مد نظر قرار می‌دهد، استفاده شده است[۵].

[3] Structural Health Monitoring

دی ارسسی و فرانگوپل در تحقیقی دیگر در سال ۲۰۱۰، روشی عملی برای تعیین استراتژی بهینه تعمیر و نگهداری مبتنی بر اطلاعات نظارتی، ارائه دادند. برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری بهینه برای اجزای پل، از مجموعه‌هایی از مسئله بهینه‌سازی دو منظوره راه‌حل-های پارتو با هزینه کلی شکست مورد انتظار و هزینه کلی مالکیت (از جمله هزینه نظارت یا هزینه تعمیر و نگهداری یا هر دو) به عنوان اهداف متناقض، حاصل شده است. روش پیشنهاد شده، با استفاده از داده‌های نظارتی جمع‌آوری شدهٔ مربوط به پل ویسکانسین، بکار گرفته شده است. اندازه‌گیری داده‌های دامنه فشار مؤثر و سیکل‌های کشش، اساس واقعی برای عمر فرسودگی باقیمانده را ارائه نموده و بروزرسانی کارکردهای طول عمر به شیوه‌ای کارآمد را امکان پذیر می‌سازد. کیفیت، طول مدت و تجزیه و تحلیل برنامه نظارت، نه تنها اطلاعات مورد استفاده در فرایند بروزرسانی، بلکه هزینه برنامه نظارت را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد[۶].

هوا یانگ و هی یانگ در سال ۲۰۱۱ در تحقیقی به تبیین مفهوم "تعمیر و نگهداری همزمان اجزا" پرداختند. به عقیده آنها مفهوم تعمیر و نگهداری همزمان، تلاش دارد تا زمان‌بندی برای تعمیر و نگهداری از اجزای مختلف پل را با هم ترکیب کند تا از این طریق بتواند مدت زمان اجرای فعالیت‌های تعمیر و نگهداری و هزینه‌های کاربر را در طی چرخه حیات پل کاهش دهد. مدل پیشنهادی آنها، برنامه‌ریزی‌های مربوط به محدودیت‌ها را به عنوان الگوریتم جستجو برای بهینه‌سازی استراتژی تعمیر و نگهداری از هر پل، اتخاذ می‌کند. نتایج بدست آمده نشان داد که روش پیشنهادی آنها به منظور کاهش هزینه‌های کاربر و نیز هزینه‌های کلی چرخه حیات پل، مؤثر است[۷].

غلامی و همکاران در سال ۲۰۱۳ سیستم مدیریت پل در ایران را مورد ارزیابی قرار دادند. تحقیق آنها نشان داد که نیاز است در آینده نزدیک، تلاش‌هایی جدی برای اجرای این سیستم صورت گیرد. با این وجود، تکرار مراحل ذکر شده برای تمامی استان‌ها و نیز فرآیند جمع‌آوری داده‌ها، همگی استفاده از سیستم مدیریت پل را پیشنهاد کردند. زمانیکه در ایران تصمیم به استفاده از این روش گرفته شد، این روش تقریباً در تمامی کشورهای توسعه یافته مورد استفاده قرار می‌گرفت. در مجموع، با توجه به شرایط ایران، برخی عوامل مهم وجود دارد که می‌تواند این فرآیند را به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود ببخشد:

- حمایت مدیریتی در سطح عمده
- قصد جدی مدیریت مرکزی و متخصصان مربوطه
- ارائه طرح توسعه اجرایی و یک جدول زمان‌بندی تعریف شده
- انتصاب یک مدیر قدرتمند و کارا (شخص یا گروه) برای غلبه بر مشکلات
- ارائه قدرت کامل به مدیر شامل سرمایه و امکانات مورد نیاز و قدرت تصمیم‌گیری

کنترل تمامی مراحل و نظارت دقیق بر کارها به منظور جلوگیری از بروز هرگونه مشکل[۲].

۳- روش آنالیز حالات خرابی و اثرات آن (FMEA)[۴]

در چارچوب FMEA تحلیل ریسک از مرحله جزئی سیستم شروع و یک لیست از حالات خرابی مرتب شده و تأثیر آن حالات خرابی با محاسبه یک شاخص به نام عدد اولویت ریسک مورد تحلیل قرار می‌گیرد.. از این روش برای شناسایی ریسک‌های به وجود آمده در روند خرید یک بیمارستان عمومی استفاده شده است که در نهایت منجر به بهبود روند خرید این بیمارستان عمومی گشته است[۸]. همچنین از این روش در زمینه مدیریت پروژه‌ها نیز بهره گرفته شده است که در نهایت استفاده از این روش منجر به کم شدن هزینه‌های پروژه شده است[۹]. FMEA را می‌توان در سه مرحله زیر بکار گرفت[۱۰]:

4. Failure Mode and Effects Analysis

۳-۱- شناسایی حالات خرابی سیستم

در این مرحله به شناسایی حالات خرابی در سیستم پرداخته و دلایل مختلف بروز این خرابی‌ها و اثراتشان بر روی سیستم تعیین می‌شود

۳-۲- محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN)[۵]

در روش FMEA، درجه وضعیت بحرانی با محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN)که محدوده بین ۱ تا۱۰۰۰ را دارد تعیین می‌شود. RPN از حاصل ضرب سه فاکتور شدت اثر ریسک (S)[۶]، وقوع (O)[۷] و درجه شناسایی (D)[۸] بدست می‌آید. شدت اثر ریسک (S)، میزان جدیت تاثیر خرابی را منعکس می‌کند تا اثر بالقوه حالات خرابی مشخص شود. وقوع (O)، از احتمال رخدادن خرابی و علت بروز خرابی سرچشمه می‌گیرد و درجه شناسایی (D)، به عنوان مقیاسی از قابلیت کنترل‌های فعلی برای یافتن علت و مکانیزم شکست تعریف می‌شود. هر سه فاکتور درمحدوده ۱ تا ۱۰ مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

۳-۳- کاهش حالات خرابی

در این مرحله بر اساس RPN محاسبه شده اعضای تیم برای کاهش خرابی‌های شناخته شده تلاش می‌کنند.

FMEA، در کنار مزیت‌هایی همچون فراهم نمودن اطلاعات ارزشمند برای تحلیل درخت خطا و حمایت از شناسایی حالات خرابی ممکن، محدودیت‌هایی نیز دارد که از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود[۱۰]:

- هیچ دلیلی وجود ندارد که S، OوD ضرب شوند تا RPN بدست آید.
- وجود نقص در مورد روش اجرای محاسبات با استفاده از عمل ضرب و همچنین روش تفسیر نتایج

به عنوان مثال RPN دو حالت خرابی با شدت اثر، وقوع و شناسایی به ترتیب (۹، ۵، ۵) و (۶، ۷، ۶) برابر ۲۲۵ و ۲۵۲ می‌باشد. در صورتی که اولین خرابی به دلیل شدت بالاتر باید اولویت بالاتری برای عملیات اصلاحی داشته باشد.

- تمایز قائل نشدن بین اهمیت متغیرهای ورودی یعنی شدت، وقوع و شناسایی به هنگام محاسبه RPN
- فقدان دستور العمل‌های رسمی برای ارتباط RPN محاسبه شده با عملیات اصلاحی مورد نیاز

۴- تلفیق FMEA با منطق فازی[۱۰]

۴-۱- تعریف اصطلاحات

آسیب‌پذیری کلی ناشی از خطر زلزله در گستره مورد مطالعه با استفاده از شاخص‌های فیزیکی و اجتماعی ارزیابی گردید.

5. Risk Priority Number
6. Severity
7. Occurance
8. Detect

۴-۲- تعریف عبارات زبانی برای متغیرهای ورودی

با استفاده از نظر کارشناسان برای متغیرهای ورودی، سه عبارت زبانی بالا، متوسط و کم در نظر گرفته شده که در جداول شماره ۱، ۲ و ۳ تعاریف مربوط به عبارت‌های زبانی در یک پروژه پل‌سازی ارائه شده است. تعاریف مربوط به عبارات زبانی برای متغیر ورودی شناسایی/کنترل برگرفته از مرجع ([۱۰]) است که مورد قبول برای پروژه پل‌سازی قرار گرفته است.

جدول ۱- تعریف عبارات زبانی برای احتمال وقوع

احتمال وقوع	عبارت زبانی
شانس وقوع بالای ۵۵٪	بالا
شانس وقوع بین ۱۵٪ تا ۵۵٪	متوسط
شانس وقوع بین ۱٪ تا ۱۵٪	کم

جدول ۲- تعریف عبارات زبانی برای تاثیر

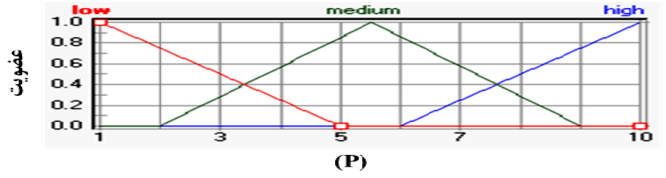
مقوله تاثیر	عبارات زبانی
غیرقابل تعمیر باخسارت مخرب به تجهیزات	بالا
غیرقابل تعمیر وخسارت به تجهیزات جزیی	متوسط
سیستم قابل تعمیر با افت کم عملکرد آن	کم

جدول ۳- تعریف عبارات زبانی برای برای شناسایی/کنترل

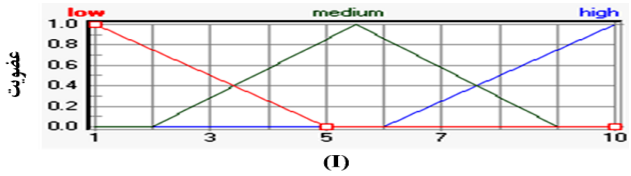
شناسایی/کنترل	عبارت زبانی
تیم پروژه قادر به شناسایی یک استراتژی پاسخ ریسک با شانس بالای شناسایی رویداد ریسک،کنترل دلایل اصلی و نتیجه رویداد ریسک می‌باشد.	بالا
تیم پروژه قادر به شناسایی یک استراتژی پاسخ ریسک با شانس متوسط شناسایی رویداد ریسک،کنترل دلایل اصلی و نتیجه رویداد ریسک می‌باشد.	متوسط
تیم پروژه قادر به شناسایی یک استراتژی پاسخ ریسک با شانس کم شناسایی رویداد ریسک،کنترل دلایل اصلی و نتیجه رویداد ریسک می‌باشد.	کم

۴-۳- تعریف توابع عضویت برای متغیرهای ورودی و خروجی

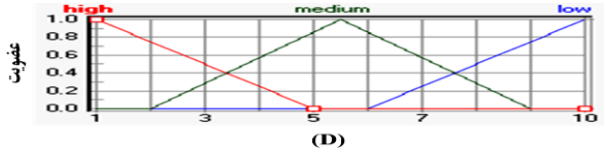
با استفاده از تکنیک دلفی فازی و با توجه به جداول ۱ تا ۳، توابع عضویت برای متغیرهای ورودی و متغیر خروجی مشخص شده است. شکل‌های ۱ تا ۴ نتایج را نشان می‌دهند.



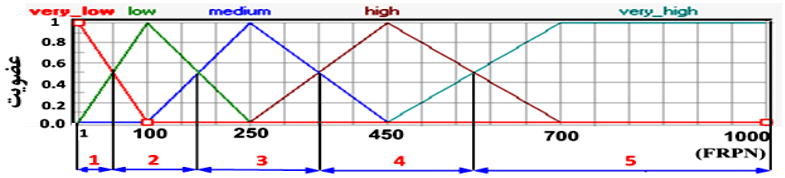
شکل۱- توابع عضویت برای احتمال وقوع



شکل ۲- توابع عضویت برای تاثیر



شکل۳- توابع عضویت برای شناسایی/کنترل



شکل ۴- توابع عضویت برای FRPN تخصیص اولویت برای ایجاد عملیات اصلاحی مطابق با FRPN محاسبه شده

کارشناسان با استفاده از شکل ۴، ارتباط بینFRPN محاسبه شده و نیاز به ایجاد عملیات اصلاحی را مطابق با جدول ۴ مشخص کردند[۱۰].

جدول ۴- FRPN و اولویت لازم برای انجام عملیات اصلاحی

ردیف	اولویت لازم برای انجام عملیات اصلاحی	مقدارFRPN
۱	انجام عملیات اصلاحی ضروری نیست	X<۵۰
۲	اولویت کم برای انجام عملیات اصلاحی	۵۰≤X<۱۷۵
۳	اولویت متوسط برای انجام عملیات اصلاحی	۱۷۵≤X<۳۵۰
۴	اولویت بالا برای انجام عملیات اصلاحی	۳۵۰X<۵۷۵
۵	ضروری بودن انجام عملیات اصلاحی	۵۷۵≤X<۱۰۰۰

۵- روش AHP

این روش براساس تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده و فازی پیشنهاد گردیده است. این روش توسط محققی به نام توماس–ال- ساعتی[9] در سال ۱۹۷۰پیشنهاد گردید. بطوریکه کاربردهای متعددی از آن زمان تاکنون برای این روش مورد بحث قرار گرفته‌اند. در بین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP بیش از همه در حل مسائل رتبه‌بندی مورد توجه قرار گرفته است بگونه‌ایکه تاکنون در طی ۱۵ سال بیش از ۱۰۰۰ مرجع علمی از مطالعه ساعتی بنیانگذار روش AHP نام برده‌اند[۱۱]. کاربرد AHP در سال‌های اخیر به طور وسیع به عنوان یک ابزار سودمند در تصمیم‌گیری چندمعیاره برای مکان‌یابی محل مناسب ساخت مواردی همچون

[9] -Thomas L Saaty

مراکز توزیع[۱۲] و معادن سنگ‌آهک[۱۳] مورد استفاده قرار گرفته است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP، اولین بار در سال ۱۹۹۲ توسط نیدیک و هیل مورد استفاده قرار گرفت[۱۴]. این روش در سال‌های بعد نیز بدین منظور مورد استفاده قرار گرفت. به طور نمونه، هندفیلد و همکاران در سال ۲۰۰۲ از روش AHP برای انتخاب تأمین کننده استفاده نمودند[۱۵]. بوتا و هاک نیز در همین سال از این روش بدین منظور استفاده کردند[۱۶]. همچنین در سال ۱۹۹۴ شنکرمن در مقاله معروف خود، استفاده از رتبه‌بندی معکوس در روش AHP را نمی‌پذیرد[۱۷]. یک سال بعد، لوییس جی وارگاس در پاسخ به شنکرمن مقاله‌ای ارائه کرد که در آن ضمن دفاع از AHP ، به ایرادات مطرح شده از سوی شنکرمن نیز پاسخ داد[۱۸]. علاوه بر این تاکنون مقالات و تالیفات مختلفی نیز در بهبود فرآیند AHP به رشته تحریر در آمده است. به منظور از بین بردن عدم قطعیت ناشی از قضاوت انسانی در داده‌های ورودی روش AHP، از منطق فازی در حل مسائل استفاده شده است[۱۹]. در این راستا، تحلیل سلسله مراتبی فازی جهت حل مسائل تصمیم‌گیری سلسله مراتبی AHP توسعه پیدا نمود. چانگ و همکاران با استفاده از ابزار سیستم اطلاعات جغرافیایی[۱۰](GIS) و تصمیم‌گیری چندمعیاره تحلیل سلسله مراتبی فازی مکان‌های مناسب برای دفن زباله‌های شهری را شناسایی نمودند[۲۰]. همچنین پن رویکرد Fuzzy-AHP را برای انتخاب بهترین روش ساخت پلاژ بین سه روش موجود، مورد تحلیل قرار داد[۲۱]. ژائو و چن نیز مدلی بر مبنای تحلیل فازی جهت شناسایی آسیب‌های محتمل وارده به سازه پل را ارائه نمودند که در برگیرنده اطلاعات سودمندی جهت آشنایی طراحان پل با عوامل گوناگون مخرب سازه پل و درک تأثیر هر یک از این عوامل روی خرابی پل است[۲۲]. وانگ و الهانگ مدل تصمیم‌گیری گروهی فازی برای ریسک پل ارائه نمودند که این مدل فاکتورهای ریسک پل را با استفاده از ترم‌های زبانی مورد ارزیابی قرار می‌دهند[۲۳].

۶- ارزیابی ریسک پل (مطالعه موردی: پل‌های استان مازندران)

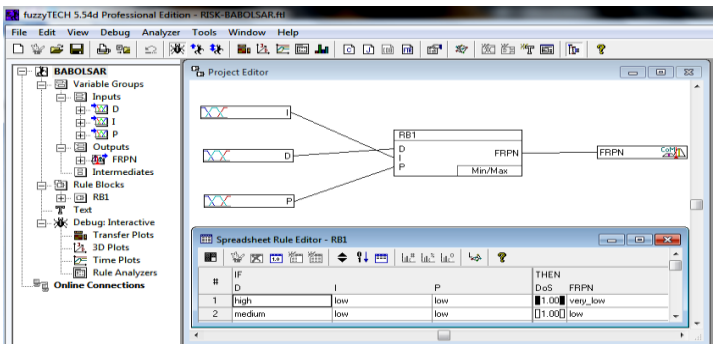
پل‌های شهری یکی از مهم‌ترین عناصر سازه‌ای می‌باشند که موجب کاهش در مشکلات ترافیکی می‌گردند. سیستم مدیریت پل یکی از ۶ مؤلفه سیستم مدیریت حمل و نقل می‌باشد. اختصاص بودجه مناسب برای تعمیر و نگهداری پل‌ها برای نهادهای دولتی امری ضروری است. بنابراین در شهرهای بزرگ با تعداد پل‌های متعدد و بودجه محدود، نیاز به بررسی پل‌ها و اولویت‌بندی آنها از نظر تعمیر و نگهداری،تقویت، مقاوم‌سازی و یا حتی جایگزین کردن پل‌های دیگر به جای پل‌های با خطرپذیری بیشتر می‌گردد. 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 می باشد .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 می رسد .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 از۲۰ متر با انجام برداشت های میدانی جمع آوری 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.

۱-۶- عوامل موثر بر ایمنی کاربران، عملکرد و سرعت خرابی پل‌ها

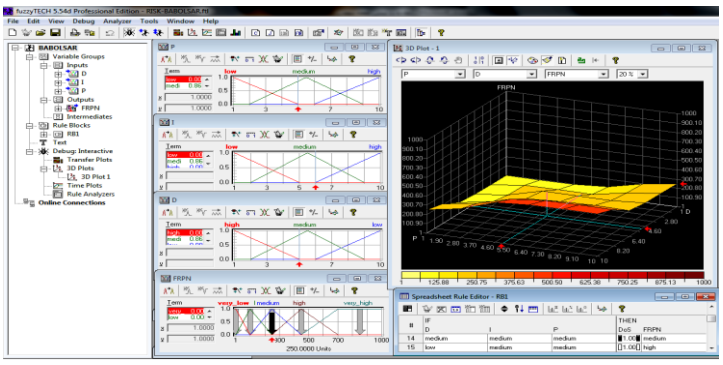
به علت تخصیص بودجه‌های محدود در امر تعمیر و نگهداری، اولویت بندی پل‌ها که شریانهای اصلی ارتباطات هستند از نظر فوریت تعمیر و نگهداری، بسیار مهم است، لذا مدل پیشنهادی به دنبال ارائه یک سیستم پشتیبان تصمیم گیری برای مدیران به منظور

[10] -Geographic Information System

اولویت‌بندی پل‌ها برای تخصیص امر تعمیر و نگهداری در یک بازه زمانی، می‌باشد، بنابراین معیارهای مهم در امر اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری شناسایی شد، سپس بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی این معیارها و زیر معیارها مورد اولویت‌بندی قرارگرفتند تا بتوان با توجه به ارزیابی هر پل نسبت به هریک از معیارها و زیر معیارها فوریت تعمیر نگهداری آنها را تعیین نمود. به منظور تعیین عوامل مهم در بررسی پل‌ها به منظور تعمیر و نگهداری از روش FMEA-FUZZY مورد استفاده قرار گرفته است.برای این منظور ابتدا باید عوامل مهم در بررسی تعمیر و نگهداری پل شناسایی گردد. به منظور شناسایی عوامل، با مطالعه مقالات مختلف و نظر متخصصان امر در زمینه پل‌ها عوامل تأثیرگذار بر خرابی پل‌ها بدست آمده است[۲۴، ۲۵، ۲۶] که پس از شناسایی عوامل، برای اولویت‌بندی عوامل بحرانی از روش FMEA-FUZZY استفاده شده است. بدین منظور، پرسش‌نامه‌ای تنظیم و میان کارشناسان توزیع شده تا آنها نظراتشان را در خصوص احتمال وقوع و تاثیر هر یک از ریسک‌ها و همچنین شانس شناسایی/کنترل ریسک‌ها بیان نمایند. سپس مقادیر متغیرهای ورودی P,D و I برای محاسبه مقدار FRPN وارد سیستم خبره فازی ایجاد شده در نرم افزار FuzzyTech 5.54_ گردید. شکل‌های ۵ و ۶ سیستم خبره ایجاد شده در نرم افزار و جدول ۵ نتایج بدست آمده مربوط به FRPN محاسبه شده برای ریسک‌های شناسایی شده را نشان می-دهند.



شکل ۵- سیستم خبره فازی برای تحلیل وضعیت بحرانی ریسک



شکل ۶- سیستم خبره فازی برای تحلیل وضعیت بحرانی ریسک

پس از مشخص شدن عوامل تأثیرگذار در تعمیر و نگهداری پل‌ها، لازم است بحرانی‌ترین ریسک را شناسایی کرده و با بررسی دقیق این پارامتر از خسارت‌های احتمالی به وجود آمده در اثر بروز این پارامتر می‌توان جلوگیری کرد. بنابراین به منظور اولویت‌بندی عوامل از روش FMEA-FUZZY با توجه به عبارت‌های زبانی تعریف شده استفاده شده است که نتایج حاصل از اولویت‌بندی در جدول شماره ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- نتایج حاصل از اولویت‌بندی گزینه‌ها به روش FMEA-FUZZY

اولویت	ریسک	عدد FRPN
اولویت اول	نقص‌های موجود پل	۴۶۸
اولویت دوم	افزایش سن و خستگی پل	۳۱۷
اولویت سوم	تراکم بارهای وارده	۲۵۰
اولویت سوم	وضعیت بستر رودخانه	۲۵۰
اولویت چهارم	کیفیت نامناسب ساخت	۱۶۵
اولویت پنجم	طراحی نامناسب و نوع سازه	۱۵۵
اولویت ششم	هوا و شرایط جوی	۱۴۶
اولویت هفتم	مصالح ساختمانی	۱۱۷
اولویت هشتم	تغییرات حرارتی	۶۷

با توجه به اینکه مقدار مشخص شده برای عوامل بحرانی، از عدد ۱۷۵ به بالا می‌باشد پارامترهای نقص‌های موجود پل، افزایش سن و خستگی پل، تراکم بارهای وارده و وضعیت بستر رودخانه به عنوان پارامترهای تاثیرگذار در بررسی تعمیر و نگهداری در این تحقیق شناخته شده‌اند. بنابراین زیرمعیارهایی را برای عوامل بدست آمده مشخص کرده تا به بررسی دقیق هر یک از پارامترها پرداخته شود. میزان تاثیر و رتبه بندی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر ایمنی کاربران، عملکرد و سرعت خرابی پل‌ها از دیدگاه کارشناسان با استفاده از پرسش‌نامه ویژه طراحی شده جهت رتبه بندی، در نرم افزار Excel محاسبه شده است. جامعه آماری نیز شامل۲۷ نفر از کارشناسان خبره در زمینه تعمیر و نگهداری پل ها بوده است. وزن و اولویت هر یک از معیارها در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول۶- اولویت بندی معیارها و زیرمعیارهای تعمیر و نگهداری پلها

معیارها	میزان تاثیر (وزن)	اولویت	زیر معیارها	میزان تاثیر (وزن)	اولویت
نقص های موجود	۰,۴۵۸۵	۱	فرسودگی سطح	۰,۱	۶
			آسیب مفاصل	۰,۱۳۲	۴
			ترک خوردگی/خوردگی میلگرد	۰,۱۸۸	۲
			خرابی عایق آب	۰,۰۷۵	۷
			آسیب نرده	۰,۱۰۲	۵
			خرابی سیستم زهکشی عرشه	۰,۰۴۵	۸
			فرسایش فنداسیون	۰,۲۰۵	۱
			پوسته،قلوه کن شدن یا ترک خوردگی	۰,۱۵۳	۳
خصوصیات بستر رودخانه	۰,۱۱۳	۴	جریان آرام - شیب کم	۰,۲۸۱	۲
			جریان سریع – شیبدار	۰,۷۱۹	۱
بار ترافیکی	۰,۲۶۳۲۵	۲	بار ترافیکی زیاد (بیشتر از ظرفیت هرخط عبوری)	۰,۴۱۸	۱
			بار ترافیکی متوسط (برابر با ظرفیت هر خط عبوری)	۰,۳۳۴	۲
			بار ترافیکی کم (کمتر از ظرفیت هر خط عبوری)	۰,۲۴۸	۳
سن پل	۰,۱۶۵۲۵	۳	کمتر از ۲۰ سال	۰,۲۴۲	۳
			بین ۲۰ تا ۵۰ سال	۰,۳۶۱	۲
			بیش از ۵۰ سال	۰,۳۹۷	۱

پس از شناسایی عوامل تأثیرگذار بر روی ریسک پل‌ها در حالت بهره‌برداری، به بررسی دقیق پارامترهای ذکر شده در بالا بر روی پل‌های استان مازندران پرداخته شده است. ابتدا سن هر یک از پل‌های استان مازندران بدست آمد. همانطورکه در جدول ۶ نشان داده شده سه بازه زمانی برای پل‌ها در نظر گرفته شده و هر یک از پل‌ها در یکی از این بازه‌ها قرار گرفته است که جدول ۷ بدلیل تعداد زیاد پل‌ها تنها چند مورد از ۱۱۶ پل را نشان می‌دهد.

جدول ۷- سن چند مورد از پل‌های استان مازندران طبق دسته‌بندی انجام شده

ردیف	نام پل	سن پل
۱	کمربندی بابلسر ۱	زیر ۲۰ سال
۲	شیرود شمالی	زیر ۲۰ سال
۳	ورسک	بین ۲۰ تا ۵۰ سال
۴	پل سفید	بین ۲۰ تا ۵۰ سال
۵	گدوک	بالای ۵۰ سال
۶	پلور	بالای ۵۰ سال

سپس میزان ترافیک عبوری از روی پل‌ها در ساعات اوج ترافیکی عصر محاسبه گردید و در جدول ۸ بدلیل تعداد زیاد پل‌ها برای چند مورد نشان داده شده است.

جدول ۸- آمار ترافیکی گرفته شده در ساعت اوج ترافیکی عصر

ردیف	پل‌ها	شخصی	تاکسی	وانت	موتور	کامیون و اتوبوس	مینی‌بوس
۱	کمربندی بابلسر ۱	۸۰۰	۴۶	۱۱۲	۸۸	۴۶	۱۲
۲	پل کلاک	۵۶۶	۱۲	۸۸	۲۸	۱۴۸	۶
۳	ورسک	۱۴۹۲	۹۲	۱۶۸	۲۰	۲۸۴	۲۰
۴	تالار ۱	۱۶۰۸	۱۵۲	۲۹۴	۳۴	۲۴۲	۱۴
۵	گدوک	۱۴۹۲	۹۲	۱۶۸	۲۰	۲۸۴	۲۰
۶	پلور	۱۳۰۸	۱۵۶	۳۰۶	۲	۶۲۸	۳۴

پس از آمارگیری، برای اینکه میزان ترافیک هر یک از پل‌ها مشخص شده و بتوان پل‌ها را از لحاظ ترافیکی با هم مقایسه کرد، همه وسایل نقلیه در ضرایب از پیش تعریف شده به یک وسیله نقلیه مشخص، تبدیل گردید تا بتوان آمار ترافیکی هر یک از پل‌ها را براساس واحد یکسان مشخص کرد. بدین منظور تمام وسایل نقلیه ذکر شده با استفاده از ضرایبی که در جدول ۹ آمده است تبدیل به یک وسیله نقلیه شخصی شده تا در ادامه با هم مقایسه گردند.

جدول ۹- ضرایب وسایل نقلیه مختلف بر حسب یک وسیله نقلیه شخصی[۲۷]

وسایل نقلیه	شخصی	تاکسی	وانت	موتور	کامیون	اتوبوس	مینی بوس
ضرایب	۱	۱,۳	۱,۳	۰,۵	۴	۴	۲,۵

پس از اعمال کردن ضرایب، ترافیک عبوری بر روی هر یک از پل‌ها براساس وسیله نقلیه شخصی بدست می‌آید که این میزان برای هر یک از پل‌ها مطابق جدول۱۰می‌باشد.

جدول ۱۰- آمار ترافیکی یک ساعته بدست آمده برای هر پل

شماره پل	پل‌ها	میزان ترافیک عبوری
۱	کمربندی بابلسر ۱	۱۲۶۳,۴
۲	پل کلاک	۱۱۹۱,۶
۳	ورسک	۳۳۰۳,۸
۴	تالار ۱	۳۲۰۷,۸
۵	گدوک	۳۳۰۳,۸
۶	پلور	۴۵۰۷,۶

پس از اینکه حجم ترافیک عبوری از روی پل مشخص شد، باید مشخص کرد میزان ترافیک عبوری با ظرفیت عبوری از روی پل چه تناسبی دارد که نتایج آن با استفاده از سطح سرویس هر یک از پل‌ها مشخص می‌گردد. به منظور محاسبه سطح سرویس هر یک از پل-ها، حجم ترافیک عبوری بر میزان ظرفیت پل مورد نظر تقسیم گردید و بدین ترتیب میزان سطح سرویس هر یک از پل‌ها تعیین گردید. با توجه به این نسبت، ۶ سطح سرویس مختلف بدست آمده که در جدول ۱۱ نشان داده شده است. جدول ۱۲ میزان سطح سرویس نمونه‌ای از پل‌ها را نمایش می‌دهد.

جدول ۱۱- مقدار مجاز سطح سرویس‌ها

سطح سرویس	مقدار مجاز $\frac{V}{C}$
سطح سرویس A	۰,۳۱۵
سطح سرویس B	۰,۵۴
سطح سرویس C	۰,۷۷
سطح سرویس D	۰,۹۳
سطح سرویس E	۱
سطح سرویس F	بزرگ تر از ۱

جدول ۱۲- مقدار سطح سرویس به دست آمده برای هر پل

ردیف	نام پل	مقدار $\frac{V}{C}$	سطح سرویس
۱	کمربندی بابلسر ۱	۰,۳۱۵۸	سطح سرویس B
۲	پل کلاک	۰,۲۹۸	سطح سرویس A
۳	ورسک	۰,۸۲۶	سطح سرویسD
۴	تالار ۱	۰,۸۰۱	سطح سرویسD
۵	تالار ۲	۰,۷۶۵۲	سطح سرویسC
۶	پلور	۱,۱۲۷	سطح سرویسF

بعد از محاسبه حجم ترافیک پل‌ها، سطح بستر رودخانه برای هر یک از پل‌ها به منظور بررسی عامل دیگر یعنی سیل و آبشستگی پایه پل‌ها، تعیین گردیده و نتایج آن از طریق بازدیدهای میدانی از پل‌ها بدست آمده است. جدول ۱۳ وضعیت چند پل را از نظر سطح بستر رود نشان می‌دهد.

جدول ۱۳- شرایط بستر رودخانه برای هر یک از پل‌های مورد بررسی

ردیف	نام پل	شرایط بستر رودخانه
۱	پل تالار۱(قائمشهر به ساری)	جریان سریع-شیب زیاد
۲	پل کمربندی بابلسر ۱	جریان آرام-شیب کم
۳	پل تجن ۱(ساری به گرگان)	جریان آرام-شیب کم
۴	پل ورسک	جریان آرام-شیب کم
۵	پل کلاک	جریان آرام-شیب کم
۶	پل وانا	-

یکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار بر روی خرابی پل‌ها در حالت بهره‌برداری، شرایط طراحی و نقص‌های موجود بر روی پل‌ها می‌باشد که در این تحقیق پارامترهای زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

۱-فرسودگی سطح ۲-فرسایش فونداسیون ۳-آسیب تکیه‌گاه و مفاصل

۴-خرابی درز انبساط ۵-خوردگی فولاد ۶-خرابی سیستم زهکشی

۷-پوسته،قلوه کن شدن یا ترک‌خوردگی ۸ -آسیب نرده یا جان پناه

در ادامه در جدول ۱۴، معیار میزان خرابی برای هریک از نقص‌های موجود در پل‌ها و همچنین روش ترمیم آن آورده شده است.

جدول ۱۴- معیار میزان خرابی

نوع خرابی	شدت	واحد	توضیحات	روش ترمیمی
قلوه شدگی	کم	متر مربع	کرمو شدن یا پوسته شدن بتن در حالی که تمام کاور آسیب ندیده باشد	استفاده از ترمیم کننده بتن
	متوسط	متر مربع	از بین رفتن کاور بطوریکه آرماتور ها مشخص شوند	استفاده از ترمیم کننده ویژه بتن
	زیاد	مترمکعب	خرابی بتن دور آرماتور	استفاده از ملات اپوکسی
ترک خوردگی	کم	متر طول	سطحی غیر سازه ای	استفاده از ترمیم کننده ویژه بتن
	متوسط	متر طول	عمیق غیر سازه ای	استفاده از ماستیک پلی یورتان
	زیاد	متر طول	سازه ای	استفاده از ملات اپوکسی
فرسودگی سطح	کم	متر مربع	ترک سطحی و خطی آسفالت	استفاده از ماسه و قیر ترمیمی
	متوسط	متر مربع	ترک های روی سطح که باید بصورت موردی برداشت و اصلاح گردد	تخریب بخش آسیب دیده و آسفالت مجدد
	زیاد	متر مربع	خرابی آسفالت که نیاز به تعویض کلی آسفالت دارد	تخریب کل آسفالت و اجرای مجدد
آسیب نرده	کم	متر طول	آسیب نرده‌های فولادی	صافکاری، جوش قطعات و سپس رنگ‌آمیزی و گالوانیزه کردن آن

	متوسط	متر طول	آسیب نرده‌های فولادی	نیاز به تعویض بخشی از نرده است
	زیاد	متر طول	نرده ندارد یا نیاز به تعویض کلی است	احداث نرده فلزی
خرابی درز انقطاع	کم	متر طول	شل شدن پیچ و پرچ های درز	پیچ و پرچ‌های شل درز باز و دوباره تنظیم شود و پوشش گردد
	متوسط	متر طول	خرابی درز های انقطاع بتنی	اجرای پوشش درز با ماستیک پلی یورتان
	زیاد	متر طول	نداشتن درز یا خرابی کلی درز	تعویض کامل یا اجرای کامل درز
آسیب تکیه گاه	کم	متر مربع	از بین رفتن کاور بطوریکه آرماتور ها مشخص شوند	استفاده از ترمیم کننده ویژه بتن
	متوسط	مترمکعب	خرابی بتن دور آرماتور	استفاده از ملات اپوکسی
	زیاد	مترمکعب	خرابی در سطح و عمق زیاد	استفاده از بتن تقویتی یا پدستال
پوسیده شدن	کم	متر طول	پوشش نرده	استفاده از رنگ های الاستیک
	متوسط	متر مربع	دیواره های نگهبان فلزی	استفاده از رنگ های اپوکسی
	زیاد	متر مربع	پوشش اسکلت فلزی	استفاده از رنگ های اپوکسی
فرسایش فونداسیون	کم	متر مربع	از بین رفتن کاور بطوریکه آرماتور ها مشخص شوند	استفاده از ترمیم کننده ویژه بتن
	متوسط	مترمکعب	خرابی بتن دور آرماتور	استفاده از ملات اپوکسی
	زیاد	مترمکعب	خرابی در سطح و عمق زیاد	استفاده از بتن تقویتی یا پدستال
خرابی زهکش	کم	عدد	گرفتگی لوله	تمیز کردن سیستم تخلیه آب عرشه با استفاده از فشار آب یا میلهٔ گمانه زنی.
	متوسط	متر مربع	اشکال در شیب بندی و جمع شدگی آب	اجرای شیب بندی مجدد
	زیاد	-	نبود سیستم زهکش	اجرای سیستم زهکشی

با توجه به انواع خرابی ذکر شده، نقص‌های موجود در هر یک از پل‌ها مورد بررسی قرار گرفته و همچنین میزان خرابی آنها تخمین زده شده که بدلیل تعداد زیاد پل‌ها چند مورد از آنها در جدول ۱۵ ارائه شده است.

جدول ۱۵- نقص‌های موجود و میزان خرابی هریک از پل‌ها

ردیف	نام پل	نوع خرابی							
		فرسودگی سطح	فرسایش فونداسیون	آسیب تکیه‌گاه و مفاصل	خرابی درز انبساط	خوردگی فولاد	خرابی سیستم زهکشی	پوسته،قلوه کن شدن یا ترک خوردگی	آسیب نرده یا جان پناه
۱	پل تالار۱(قائمشهر به ساری)	متوسط	متوسط	ندارد	متوسط	متوسط	کم	زیاد	ندارد
۲	پل ورسک	کم	ندارد	کم	ندارد	ندارد	متوسط	متوسط	ندارد
۳	پل تجن ۱(ساری به گرگان)	کم	کم	ندارد	متوسط	ندارد	متوسط	ندارد	ندارد
۴	پل گزنک ۱	متوسط	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	متوسط	متوسط	ندارد
۵	پل کلاک	کم	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	کم	ندارد
۶	پل وانا	متوسط	متوسط	ندارد	ندارد	متوسط	زیاد	زیاد	ندارد

پس از مشخص شدن میزان خرابی هر یک از پل‌ها و اعمال ضرایب پارامترهای سن، ترافیک، آب‌شستگی و سیل و انجام محاسبات مربوط به آن، نتایج اعمال وزن‌ها برای پل‌های مختلف محاسبه شده و بدلیل تعداد زیاد، تنها چند مورد از آن به شرح جدول ۱۶ ارائه شده است.

جدول ۱۶- 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	وزن زیر معیار	شدت خرابی	وزن معیار	وزن زیر معیار	
۱	پل تالار۱	۰,۲۶۳۲۵	۰,۳۳۴	۰,۱۱۳	۰,۷۱۹	۰,۴۵۸۵	۰,۱	۰,۵	۰,۱۶۵۲۵	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	۰,۱۶۵۲۵	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	۰,۱۶۵۲۵	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	۰,۱۶۵۲۵	۰,۳۹۷	۰,۲۴۳۸
							۰,۰۴۵	۰,۵			
							۰,۱۵۳	۰,۵			

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 ۱۷ نشان داده شده‌اند.

جدول ۱۷- نتایج حاصل از اولویت‌بندی پل‌ها

رتبه	نام پل	اوزان
۱	پل تالار۱	۰,۴۳۱۴
۲	پل تالار۲	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

پس از مشخص شدن میزان خرابی هر یک از پلهای مورد بررسی، با همکاری متخصصان امر در زمینه تعمیر و نگهداری، ریز هزینه ها و همچنین هزینه نهایی برای ترمیم هریک از پلهای مورد بررسی برآورد شده و بعنوان نمونه ریزهزینه چند مورد از پلها به تفسیر در جدول ۱۸ آورده شده است. هزینه کل تعمیر خرابی مجموع پل‌ها برابر ۴۳۲۸۴۶۲۵۰۰۰ ریال برآورد شده است.

جدول۱۸- هزینه نهایی تعمیر هریک از پلها

ردیف	نام پل	نوع خرابی	درجه ضعف	میزان خرابی	واحد	هزینه واحد (هزار ریال)	میزان اثر بخشی (ریسک)	هزینه هر خرابی(هزار ریال)	هزینه کل خرابی برای هر پل(هزار ریال)
۱	گزنک ۱	قلوه شدگی	متوسط	۱۲	مترمربع	۴۵۰	٪۸۵	۴۵۹۰	۱۶۳۵۷۶۶
		ترک خوردگی	زیاد	۴	مترطول	۶۸۰	٪۸۰	۲۱۷۶	
		فرسودگی سطح	زیاد	۱۰۰۰	مترمربع	۶۷۰	٪۹۰	۶۰۳۰۰۰	
		خرابی درز انقطاع	زیاد	۳۰	مترطول	۳۸۰۰۰	٪۹۰	۱۰۲۶۰۰۰	
۲	بایجان	فرسودگی سطح	زیاد	۱۴۰۰	مترمربع	۶۷۰	٪۹۰	۸۴۴۲۰۰	۲۲۱۲۲۰۰
		خرابی درز انقطاع	زیاد	۴۰	مترطول	۳۸۰۰۰	٪۹۰	۱۳۶۸۰۰۰	
۳	وانا	قلوه شدگی	زیاد	۱	مترمکعب	۴۴۰۰۰۰	٪۹۵	۴۱۸۰۰۰	۱۵۲۴۱۰۰
		فرسودگی سطح	زیاد	۷۰۰	مترمربع	۶۷۰	٪۹۰	۴۲۲۱۰۰	
		خرابی درز انقطاع	زیاد	۲۰	مترطول	۳۸۰۰۰	٪۹۰	۶۸۴۰۰۰	
۴	دریا سر ۱	خرابی درز انقطاع	زیاد	۴۰	مترطول	۳۸۰۰۰	٪۹۰	۱۳۶۸۰۰۰	۱۳۶۸۰۰۰
۵	دریا سر ۲	خرابی درز انقطاع	زیاد	۴۰	مترطول	۳۸۰۰۰	٪۹۰	۱۳۶۸۰۰۰	۱۳۶۸۰۰۰

۷- نتیجه گیری

پس از بررسی و آنالیز مقادیر بدست آمده در بخش قبل، نتایجی به شرح زیر حاصل گردید:

۱- نتایج بدست آمده از جدول ۵ نشان می‌دهد که نقص‌های موجود بر روی پل‌ها بیشترین امکان ایجاد خسارت برای پل‌ها را خواهند داشت و سن پل ، بار ترافیکی و شرایط بستر رودخانه در جایگاه‌های بعدی قرار دارند و به عنوان عوامل بحرانی و دارای اولویت به منظور بررسی وضعیت تعمیر و نگهداری پل‌ها می‌باشند.

۲- با توجه به نتایج بدست آمده از جدول ۶ مشاهده می‌شود در پارامتر نقص‌های موجود، زیرمعیارهای فرسایش فنداسیون، خوردگی میلگرد و پوسته و قلوه کن شدن از بیشترین درجه اهمیت برخوردارند.

۳- با توجه به نتایج جدول ۱۰ مشخص است که پل‌های محور هراز از بدترین وضعیت ترافیک عبوری برخوردار می‌باشند که این امر بدین دلیل بوده که ترافیک از دو سمت بر روی پل وارد شده و پل‌ها ترافیک عبوری بیشتری نسبت به ظرفیت خود دارند.

۴- با توجه به نتایج جدول ۱۷ مشخص است که پل‌های تالار ۱ و ۲، وانا و طالع ۱ به ترتیب در وضعیت بد و بحرانی قرار گرفته و در اولویت تعمیر و نگهداری قرار گرفته‌اند.

۵- با توجه به وضعیت بد پل‌های ذکر شده در نتیجه ۴، پیشنهاد می‌گردد این پل‌ها مورد بررسی بیشتر و مقاوم‌سازی قرار گیرند.

۶- با توجه به هزینه های نهایی حاصل از جدول ۱۸، مشخص شد که پلهای بایجان، گزنک ۱، وانا، و دریاسر ۱و۲، دارای بیشترین هزینه جهت تعمیر و نگهداری می باشند.

۷- از نتایج ۴ و ۶ اینگونه برمی‌آید که پل وانا نه تنها در وضعیت بحرانی قرار دارد بلکه هزینه تعمیر و نگهداری بالایی نیز دارد، لذا به نظر می‌رسد که با اهمیت ترین پل به لحاظ اولویت تعمیر و نگهداری، همین پل می باشد.

۸- به طور معمول به منظور تخصیص بودجه‌های مربوط به تعمیرات و نگهداری، محدودیت‌هایی وجود دارد. با توجه به نتایج بدست آمده از جدول ۱۷ و ۱۸، نحوه تخصیص بودجه در این مطالعه می‌تواند براساس اولویت‌های بدست آمده برای پل‌ها در نظر گرفته شود.

مراجع

[۱]. **"مدیریت پل"**وزارت راه و ترابری معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری پژوهشکده حمل و نقل، پاییز، **۱۳۸۵**

[2]. M. Gholami, A.R.B.M. Sam, J.M. Yatim, Assessment of Bridge Management System in Iran, Procedia Engineering, 54, 573 – 583, **2013**.

[3]. J.M. van Noortwijk, H.E. Klatter, The use of lifetime distributions in bridge maintenance and replacement modelling, Computers and Structures, 82, 1091–1099, **2004**.

[4]. Z. Xiao, L. Chen, B. Zhong, model based on rough set theory combined with algebraic structure and its application: Bridges maintenance management evaluation, Expert Systems with Applications, 37, 5295–5299, **2010**.

[5]. A.D. Orcesi, D.M. Frangopol , Optimization of bridge maintenance strategies based on structural health monitoring information, Structural Safety, 33, 26–41, **2011**.

[6]. S.I. Yang, D.M. Frangopol, L.C. Neves, Optimum maintenance strategy for deteriorating bridge structures based on lifetime functions, Engineering Structures, 28, 196–206, **2006**.

[7]. Y.H. Haung, H.Y. Haung, A model for concurrent maintenance of bridge elements, Automation in Construction, 21, 74–80, **2012**.

[8]. Kumru, M., Kumru, P., " Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital".Applied Soft Computing, 13(1), 721–733, **2013**.

[9]. Bahrami, M., HadizadehBazzaz, D., Sajjadi,M., "Innovation and Improvements In Project Implementation and Management; Using FMEA Technique", 41, 418 – 425, **2012**.

[10]. Abdelgawad,M., and Fayek, A. R, "Risk in the management construction industry using combined fuzzy FMEA and fuzzy AHP", Journal of Construction Engineering and Managemen, 136(9), 1028-1036, ASCE, **2010**.

[11]. Rieetveld, P., Ouwesloot, H.; "Ordinal Data in Multicritiria Decision Making, a Stchastic Dominance Approach to Sitting Muclear Power Plants", European J. Oper, 56,249-262, **1992**.

[12]. Ozer, I.," Multi-Criteria Group Decision Making Method Using AHP and Integrated Web-Based Decision Support System", M.Sc. Thesis University of Ottawa, Canada, **2007**.

[13]. Dey, P.K., Ramcharan, E.K., "Analytical Hierachy Process Helps Select Site for Limestone Quarry Expansion in Barbodos", Journal of Environmental Management, 88, pp. 1384-1395, **2008**.

[14]. Shyur, H.J.and Shih, H.S, "A hybrid MCDM model for strategic Vendor selection. Mathematical and computer modeling", 44,749-761, **2006**.

[15]. Handfield, R.B., Walton, S.V., Sroufe, R.and Melynyk, S.A, "Applying environmental criteria to supplier assessment: a study in the application of analytic hierarchy process", European Journal of operational Reaserch, 141, 70-87, **2002**.

[16]. Bhutta, k.s.and Huq, F, "Supplier selection problem, a comparison of the total cost of ownership and analytic hierarchy process approaches", Supply chain Management an International Journal, 7:3,126-135, **2002**.

[17]. Stan Schenkerman, "Avoiding rank-reversal in AHP decision support models", European Journal of operation Research 74,407-419, **1994**.

[18]. Luis G.Vargas, Reply to Schenkerman s avoiding rank reversal in AHP decision support model, European Journal of operation Research, 74,420-425, **1994**.
[19]. Buyukozkan, Gulcin., "A Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach for Software Development Strategy Selection", International Journal of General System, Vol. 33 (2-3), pp.259-280, **2003**.
[20]. Chang, N.B., Parvathinathan, G., Breeden, J.B.," Combining GIS with Fuzzy Multi criteria Decision Making for Landfill Siting in a Fast-Growing Urban Region", Journal of Environmental Management, **2007**.
[21]. Pan, N.F., "Fuzzy AHP Approach for Selecting the Suitable Bridge Construction Method", Automation in construction 17, pp.958-965, **2008**.
[22]. , Z.C., Chen, "A Fuzzy System for Concrete Bridge Damage Diagnosis", Computers and Structure 80, 629-641, **2002**.
[23]. Wang.Y.M., Elhag.M.S, "A Fuzzy Group Decision Making approach for bridge risk assessment", Computers &Industrial Engineering.53, 137-148, **2007**.
[24]. Wideman, R.M. "Project &program risk management: A Guide to managing Project Risk and opportunities", Project Management institute,**1992**.
[25]. Project Management Institute (PMI), "A guide to the project management body of knowledge", 3rd Ed, Wexford, Pa, **2004**.
[26]. Schultz, R.L, D .P Slelvin,and J.K pinto, "Strategy and tactics in proves model of project implementation." Interface: 34-46, **1987**.
[27]. Highway Geometric Design Code, No.415,Office of Deputy for Strategic Supervision Department of Technical Affairs, Islamic Republic of Iran, **2012**.