Journal of Structural and Construction Engineering, 9(10), 2023, pp. 152-174

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Determining the critical status of bridges for allocating the repair and maintenance using hybrid fuzzy multi-criteria decision-making methods (Case study: Tehran urban overpass bridges)

Shahnam Javadian[1], Babak Aminnejad[2*], Alireza Lork[3]

1- Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Kish International Branch, Islamic Azad University, Kish island, Iran
2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Rudehen Branch, Islamic Azad University, Rudehen, Iran
3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Safadasht Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT

The present paper aimed to develop a bridge management system using a combination of new fuzzy multi-criteria decision making methods. The developed system consists of a three-phase protocol. In the first phase, using past studies, personal intuitions and judgments and experts' experiences, a database containing critical factors affecting the critical condition of bridges was prepared, as well as identifying a number of urban overpass bridges in Tehran city with relatively similar characteristics and in need of maintenance. In the second and third phases, considering the uncertainties in the decision-making problem, by combining Delphi-SWARA-ARAS methods in a fuzzy environment, while screening and prioritizing more efficient and effective critical factors, the critical situation was assessed and the steps studied were selected. The results of Fuzzy SWARA method to determine the effective final factors showed that the factors of seam filling and discontinuity of the bridge related to the main structural index, average and duration of maximum annual rainfall at the bridge location of the main index of climate and hydrology, drainage, water discharge Surface and insulation of the bridge from the main index of safety, proximity and convenience of bridge access to adjacent arterial roads in terms of the main index of strategic (regional) importance, cost-benefit ratio for maintenance or reconstruction and replacement of the bridge from the main budget index and finally The volume of traffic passing over the bridge has gained higher ranks than the main index of traffic and pavement, respectively. Also, the results of Fuzzy ARAS method based on final critical factors (18 factors) showed that among the 24 bridges, Sheikh Fazlollah-SattarKhan, Hakim-Sheikh Baha'i, Hemmat-Africa, Lashkari-Aircraft industries bridges And Resalat-Haqqani with usefulness of 3.226, 3.171, 3.081, 3.080 and 3.077, respectively, are considered as the most preferred bridges in terms of the need for maintenance allocation.

ARTICLE INFO

Receive Date: 27 November 2021
Revise Date: 06 February 2022
Accept Date: 14 March 2022

Keywords:
Bridge Management System
Critical Status of Bridges
Repair and Maintenance
Fuzzy Decision Making Methods
Tehran Urban Overpass Bridges.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2022.315155.2642

*Corresponding author: Babak Aminnejad
Email address: aminnejad@riau.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

تعیین وضعیت بحرانی پل‌ها برای تخصیص تعمیر و نگهداری با تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی (مطالعه موردی: پل‌های روگذر شهری تهران)

شهنام جوادیان[۱]، بابک امین نژاد[۲*]، علیرضا لرک[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد بین المللی کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد صفادشت، دانشگاه آزاد اسلامی، صفادشت، ایران

چکیده

پل‌های روگذر شهری موجود در شبکه حمل‌ونقل کشور ایران با فرسودگی مواجه بوده و بروز خرابی در این پل‌ها، بسیار چالش‌برانگیز می‌باشد. ازاینرو توسعه یک سیستم مدیریت پل جهت ارزیابی وضعیت بحرانی پل‌ها جهت تخصیص تعمیر و نگهداری بسیار حائز اهمیت است. هدف مقاله حاضر توسعه یک سیستم مدیریت پل با استفاده از تلفیق روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی می‌باشد. سیستم توسعه یافته مشتمل بر یک پروتکل سه فازه است. در فاز اول با بهره‌گیری از مطالعات گذشته، شهود و قضاوت‌های شخصی و تجارب خبرگان اقدام به تهیه پایگاه داده مشتمل بر فاکتورهای موثر بر وضعیت بحرانی پل‌ها و همچنین شناسایی تعدادی پل روگذر شهری با مشخصات نسبتاً یکسان و نیازمند به تعمیر و نگهداری در شهر تهران شد. در فازهای دوم و سوم، با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در مسئله تصمیم‌گیری، با ترکیب روش‌های دلفی- سوارا- آراس در محیط فازی، ضمن غربالگری و اولویت‌بندی فاکتورهای بحرانی کارآمدتر، به اولویت‌بندی وضعیت بحرانی پل‌های مورد مطالعه پرداخته شد. نتایج روش سوارای فازی نشان داد که فاکتورهای پرشدگی درز انقطاع و اختلال در عملکرد پل مرتبط با شاخص اصلی سازه‌ای، میانگین و مدت زمان بیشترین بارش سالیانه در محل پل از شاخص اصلی اقلیم و هیدرولوژی، زهکشی، تخلیه آب‌های سطحی و عایق‌بندی پل از شاخص اصلی ایمنی، نزدیکی و راحتی دسترسی پل به راه‌های شریانی مجاور از نظر شاخص اصلی اهمیت استراتژیکی (منطقه‌ای)، نسبت هزینه به فایده برای تعمیر و نگهداری یا بازسازی و تعویض پل از شاخص اصلی بودجه و درنهایت حجم ترافیک عبوری از روی پل از شاخص اصلی ترافیک و روسازی به‌ترتیب رتبه‌های بالاتری را کسب نموده‌اند. همچنین نتایج روش آراس فازی برای رتبه‌بندی ۲۴ پل روگذر شهری مورد مطالعه برحسب فاکتورهای بحرانی نهایی (۱۸ فاکتور) نشان داد که پل‌های شیخ فضل‌اله-ستارخان، حکیم-شیخ بهایی، همت-آفریقا، لشگری-صنایع هواپیمایی و رسالت-حقانی به‌ترتیب با درجه کیفیت (مطلوبیت) نسبی ۳,۲۲۶، ۳,۱۷۱، ۳,۰۸۱، ۳,۰۸۰ و ۳,۰۷۷ ارجح‌ترین پل‌ها جهت تخصیص تعمیر و نگهداری به‌شمار می‌روند.

کلمات کلیدی: سیستم مدیریت پل، وضعیت بحرانی پل‌ها، تعمیر و نگهداری، روش‌های تصمیم‌گیری فازی، پل‌های روگذر شهری تهران.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:	
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://doi.org/10.22065/jsce.2022.315155.2642	doi:
۱۴۰۰/۰۹/۰۶	۱۴۰۰/۱۱/۱۷	۱۴۰۰/۱۲/۲۳	۱۴۰۰/۱۲/۲۳	۱۴۰۱/۱۰/۳۰	10.22065/jsce.2022.315155.2642	

*نویسنده مسئول: بابک امین نژاد

پست الکترونیکی: aminnejad@riau.ac.ir

۱- مقدمه

در بین سازه‌های موجود در شبکه حمل‌ونقل، پل‌ها نقش مهمی را در برقراری ارتباطات ایفا می‌کنند و همواره به‌عنوان یکی از مهمترین شریان‌های حیاتی ترافیکی به‌خصوص در کلان‌شهرها به شمار می‌روند [۱]. اغلب این طور تصور می‌شود که پل‌ها سازه‌هایی دائمی بوده و توجه به خرابی و زوال آنها در طول زمان نادیده گرفته می‌شود. این در حالی است که پل‌ها نیز همچون سایر سازه‌ها با گذشت زمان دچار فرسودگی و آسیب‌دیدگی می‌شوند [۲]. بسته به اینکه چه نوع سیستم سازه‌ای و چه نوع مصالحی در طراحی و ساخت یک پل استفاده شده باشد، دیر یا زود اثرات ناشی از فرسایش و تخریب در اعضای آن پل نیز قابل مشاهده است [۳]. خرابی پل‌ها به‌صورت جزئی یا کلی علاوه بر مسائل ایمنی، باعث نارسایی شبکه حمل‌ونقل می‌گردد و در برخی موارد ممکن است تا مختل شدن جریان ترافیکی یک شبکه پیش رود. این نارسائی ممکن است به عواقب اقتصادی قابل توجهی اعم از هزینه‌های ناشی از تعمیر و بازسازی و هزینه‌های گزاف ذینفعان و کاربران نیز منجر شود [۴]. این در حالی است که از یک سو، مسئولان تعمیر و نگهداری پل‌ها با مشکل کمبود بودجه و نیز تخصیص بهینه آن مواجه هستند و از سوی دیگر هرچه تعمیر و بازسازی پل‌ها به تعویق بیافتد، وضعیت پل‌ها بحرانی‌تر و هزینه تعمیر آنها بیشتر خواهد شد [۵]. بر این اساس، به سهولت می‌توان دریافت که موضوع بازرسی، تعمیر، نگهداری و بازسازی پل‌ها به‌طور مستمر، برای حفظ سطوح عملکرد رضایت‌بخش و سرویس‌دهی مناسب در کل دوره عمر مفیدشان بصورت مجزا و یا به‌عنوان بخشی از شبکه حمل‌ونقل، مسئله‌ای بسیار حائز اهمیت می‌باشد [۶].

بیشتر پل‌های روگذر شهری موجود در شبکه حمل‌ونقل کشور ایران با فرسودگی مواجه بوده و عدم نظارت‌های دقیق و دوره‌ای جهت تعمیر، نگهداری و بازسازی پل‌ها، منجر به ایجاد وضعیت بحرانی برای تعداد زیادی از آنها شده است. این مسئله در کلانشهرهای ایران همچون شهر تهران به صورت چالش برانگیزتری وجود دارد [۷]. به آسانی قابل درک است که با توجه به وضعیت ترافیکی این کلانشهر، در صورت بروز خرابی در پل‌های شهری، عملیات تعمیر و بازسازی آنها بسیار دشوار بوده و نیاز به سرمایه‌های هنگفت دارد. از همین رو اهمیت توسعه یک سیستم مدیریت پل با کارآیی بالا جهت ارزیابی و اولویت‌بندی وضعیت بحرانی پل‌های روگذر شهری و تخصیص تعمیر و نگهداری به آنها به‌طور مشهود احساس می‌شود [۸].

هدف اصلی تحقیق حاضر، پیشنهاد یک سیستم مدیریت پل برای ارزیابی وضعیت بحرانی پل‌های روگذر شهری جهت تخصیص تعمیر و نگهداری می‌باشد. در این راستا پس از شناسایی فاکتورهای موثر بر تعیین وضعیت بحرانی پل‌ها ازطریق مطالعات عمیق کتابخانه‌ای، اقدام به اولویت‌بندی فاکتورهای بحرانی‌تر می‌گردد. در ادامه با انجام بازرسی‌های میدانی و عینی در پل‌های روگذر شهر تهران و تهیه چک لیست‌های مربوطه، به رتبه‌بندی و تعیین وضعیت این پل‌ها از نظر نیاز به تعمیر و نگهداری برحسب فاکتورهای بحرانی پرداخته می‌شود. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به عدم قطعیت‌های زیاد موجود در فرآیند تصمیم‌گیری برای ارزیابی وضعیت پل‌ها، در راستای دستیابی به هدف مذکور از تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی بهره گرفته می‌شود تا بدین طریق یک سیستم مدیریت پل بومی متناسب با پل‌های روگذر شهری در کشور ایران ارائه گردد.

۲- چارچوب نظری

۲-۱- سیستم مدیریت پل

سیستم مدیریت پل ابزاری است که به منظور مدیریت مجموعه پل و استفاده بهینه از منابع موجود جهت تصمیم‌گیری در خصوص هرگونه عملیات بازرسی، نگهداری، بازسازی، تعمیر و یا نوسازی آنها، از ابتدای زمان ساخت تا انتهای عمر مفیدشان مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹]. سیستم مدیریت پل درواقع نقش یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌ساز را برای مدیریت شهری ایفا می‌نماید که در آن برمبنای اطلاعات جمع‌آوری و به‌هنگام شده از پل‌ها، مدیران نگهداری را در هر زمان از وضعیت پل‌ها مطلع می‌نماید و آنها را در فرآیند تصمیم‌گیری جهت انجام تعمیرات یاری می‌رساند [۱۰]. امروزه در اغلب کشورهای پیشرفته و در حال توسعه جهان، با ارائه مدل‌ها و

نرم‌افزارهای مختلف، اقدام به ایجاد و توسعه سیستم‌های نوین مدیریت پل شده است؛ از جمله این سیستم‌ها می‌توان به dTIMSCT (توسعه یافته در کشور کانادا)، Exor Highway (مورد استفاده در کشورهای بریتانیایی)، Confirm TNG (بریتانیا) و Huefner (در کشور استرالیا) و موارد بیشمار دیگری از این قبیل اشاره نمود [۱۱].

یک سیستم مدیریت پل مناسب قبل از هر چیز نیاز به یک پایگاه داده و سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای پردازش داده‌ها دارد. چنین پایگاه داده‌ای متشکل از سه بخش اصلی شامل فاکتورهای کلیدی اثرگذار بر تعیین وضعیت بحرانی پل، ارزیابی وضعیت پل‌ها جهت نیاز به تعمیر و نگهداری و تخصیص راهکارهای بهینه برای این منظور است. پارامترهای موجود در این سه بخش نباید آنقدر محدود باشند که خطای اولویت‌بندی را بالا ببرند و یا آنقدر گسترده باشند که که سبب پیچیدگی آنالیزها شوند [۱۲]. یکی از مشکلات اساسی در سیستم‌های موجود مدیریت پل، عدم وجود اطلاعات کافی در بخش‌های مختلف این سیستم و توصیف بیشتر اطلاعات موجود با متغیرهای معنایی متفاوت است که موجب بروز عدم قطعیت‌های بالا در نتایج حاصله می‌گردد. علاوه بر این با توجه به استفاده از نظرات خبرگان و عبارت‌های کلامی در توسعه این سیستم‌ها، وجود ابهام و ذهنیت معیوب در نتایج آنها بارز است. در این راستا برای انتخاب یک پل از میان چندین پل برای تخصیص تعمیر و نگهداری، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تلفیقی فازی نتایج مطلوب‌تری را به همراه دارد. این روش‌ها، ابزار مناسبی برای دریافت اطلاعات دقیق با لحاظ کردن اثر عدم قطعیت‌های موجود در فرآیند تصمیم‌گیری فراهم می‌آورند.

۲-۲- وضعیت پل‌های روگذر در کشور ایران

هرساله شبکه راه‌های ارتباطی کشور ایران در حال گسترش بوده و اهمیت احداث پل‌ها به‌عنوان یکی از پرهزینه‌ترین بخش‌های این شبکه انکارناپذیر است. پل‌ها به‌دلیل وضعیت خاص سازه‌ای و استفاده مکرر در طول عمر خود، جزو قدیمی‌ترین و در عین حال آسیب‌پذیرترین عناصر شبکه راه‌های شهری به‌شمار می‌روند. از همین رو بسیاری از پل‌های موجود در این شبکه، دارای ساختارهای فرسوده بوده و سالانه هزینه زیادی برای نگهداری، تعمیر خرابی‌های آنها صرف می‌شود. این در حالی است که با داشتن یک سیستم مدیریت پل کارآمد، علاوه بر کاهش هزینه‌های گزاف تعمیر و بازسازی پل‌ها، می‌توان طول عمر مفید این سازه‌ها را نیز افزایش داد [۸].

در مواجهه با محدودیت منابع جهت تخصیص برای عملیات تعمیر و نگهداری و از طرفی روبرو شدن با خرابی‌های متعدد در شرایط امروزی پل‌های شبکه حمل‌ونقل شهری در کلان‌شهرهای کشور ایران، نیاز به یک روش مناسب و کارا به منظور اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری پل‌ها شدیداً احساس می‌شود [۱۳]. به‌طور مثال تعداد زیادی از ۶۷۷۵ پل‌های موجود در کلانشهر تهران، معیوب و یا دارای نقص بوده و بایستی در مدت کوتاهی تعمیر و یا نوسازی شوند. این در حالی است که اعتبار موجود برای تعمیر و نگهداری پل‌ها در مقایسه با سرمایه‌گذاری اختصاص‌یافته محدود هستند، بنابراین ضروری است که اعتبارات موجود به نحو منطقی هزینه شوند. همین موضوع ضرورت تهیه و تدوین یک سیستم مدیریت پل مناسب بری ارزیابی وضعیت پل‌ها در تخصیص تعمیر و نگهداری را ضروری نموده است.

۲-۳- ادبیات تحقیق

با شناسایی فاکتورهای بحرانی موثر و اولویت‌بندی پل‌ها از نظر نیاز به تعمیر و نگهداری، توانایی اضلاع مثلث معروف ساخت (هزینه، زمان و کیفیت) در توسعه یک سیستم مدیریت پل افزایش می‌یابد. زیرا با تمرکز بر فاکتورهای بحرانی‌تر، امر تخصیص بودجه برای تعمیر و نگهداری پل‌ها بهینه می‌گردد [۱۴]. براساس مطالعات گذشته، نتایج مؤثری در زمینه توسعه سیستم‌های مدیریت پل جهت تخصیص اقدامات تعمیر و نگهداری پل‌ها در دسترس می‌باشد. علی‌رغم تحقیقات فراوان در این حوزه (که بخشی از آنها در جدول ۱ آمده است)، برخی خلأهای موجود، بررسی‌های بیشتر درخصوص شناسایی و ارزیابی فاکتورهای موثر بر تعیین وضعیت بحرانی پل‌های روگذر شهری و بهره‌گیری از روش‌های منسجم همچون روش‌های نوین تلفیقی تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت اولویت‌بندی پل‌ها از نظر نیاز به تعمیر و نگهداری را ضروری نموده است. از طرفی مطالعات پیرامون موضوع پژوهش، کمبود اطلاعات برای تصمیم‌گیری درخصوص اولویت‌بندی پل‌ها در شرایط وجود عدم قطعیت‌های زیاد موجود در این فرآیند را نشان می‌دهد. این کمبودها در کنار عدم یکپارچگی

تحقیقات گذشته در شناسایی عدم قطعیت‌های موجود در ارزیابی وضعیت پل‌های روگذر شهری، انگیزه کافی برای پیشبرد مطالعه حاضر را فراهم نموده است.

جدول ۱: مرور مختصری بر تحقیقات گذشته درخصوص توسعه سیستم تعمیر و نگهداری پل‌ها

پژوهشگران (سال) [مرجع]	عنوان پژوهش	روش پژوهش	یافته‌ها
ال‌بهایری، ۲۰۰۷ [۱۴]	رتبه‌بندی پارامترهای موثر در ایجاد خرابی پل‌های روگذر در کشور کانادا	روش AHP	شناسایی مهمترین معیارها با ترتیب اولویت میزان اختلال در خدمات عبوری، فضای آزاد عرشه پل، مقدار ظرفیت عبوری از روی پل، نوع مسیر و نوع سازه پل
مامونور، ۲۰۰۸ [۱۲]	توسعه یک سیستم مدیریت پل‌های بزرگراهی در کشور تایلند	اندازه گیری منافع و سودها با مدل تصمیم گیری	پیشنهاد چهار عنصر اساسی شامل سیستم روسازی، سیستم پل‌ها، عناصر کناره جاده ای و دستگاه های کنترل ترافیک برای ارزیابی مدل
وانگ و همکاران[□]، ۲۰۰۸ [۱۵]	ارزیابی ریسک در پل‌ها	رویکرد یکپارچه (AHP-DEA[□□])	سنجش ارزش هر یک از ریسکها در پل‌های بزرگراهی
والنزوئلا و همکاران، ۲۰۱۰ [۵]	توسعه شاخص مجتمع پل جهت ارزیابی اولویت‌بندی پل‌ها	توسعه ابزار محاسباتی	پیشنهادات استراتژیک درخصوص تعمیر و نگهداری پل‌ها در شبکه حمل‌ونقل کشور شیلی
زی‌هونگ و همکاران، ۲۰۱۱ [۱۰]	توسعه سیستم هوشمند پشتیبانی جهت تعمیر و نگهداری پل	آنالیز الزامات مدیریت اطلاعات پل‌ها	پشتیبانی کامل از اجرای تعمیر و نگهداری پل و اطلاع رسانی وضعیت آن
ساسمال و همکاران، ۲۰۱۲ [۱۶]	تصمیم گیری و رتبه بندی شرایط نگهداری پل‌های مختلف شهری	روش AHP	رتبه‌بندی گیرداری تکیه‌گاه، وضعیت روسازی‌ها، عرشه و دیافراگم‌های عرضی پل، ترک‌های موجود در اعضای مختلف پل، پایه‌های میانی، فونداسیون
لی و همکاران، ۲۰۱۴ [۱]	ارزیابی پل‌های بزرگراهی جهت تعمیر و نگهداری	مدل زنجیره مارکوف-چین[□□□]	درجه بندی وضعیت بحرانی و میزان احتمال تخریب پل‌ها در آینده جهت سرویس رسانی در شهر شانگهای چین
گاراواگلیا و همکاران، ۲۰۱۶ [۳]	ائه مدل انتخاب استراتژی‌های نگهداری پل‌های فولادی در معرض آسیب‌های سازه‌ای	روش مونت‌کارلو[□□] و رویکرد احتمالات مارکووین[□]	تعیین هزینه چرخه عمر استراتژی تعمیر و نگهداری پل‌ها با بیشترین خطر احتمال گسیختگی
فوکاساوا و همکاران، ۲۰۱۷ [۲]	آنالیز اثربخشی برنامه مدیریت پل	شبیه‌سازی چند عاملی با تمرکز بر ارزش اقتصادی	پیشنهاد یک رویکرد مدیریت پل با تاکید بر ارزش اقتصادی پل
گائو و همکاران، ۲۰۱۹ [۱۷]	ارزیابی پل‌های بتن مسلح برای اولویت‌بندی وضعیت بحرانی آنها در ضرورت تعمیر و نگهداری	روش ویکور[□□]	ارزیابی تاثیر معیارها در شرایط پل برمبنای وضعیت ترافیک روزانه بر اساس نوع وسایل نقلی (سواری، کامیون) و سال‌های خدمت رسانی پل
کنتراس نیتو و همکاران[□□□]، ۲۰۱۹ [۱۸]	اولویت‌بندی تعیمر پل	روش AHP	رتبه بندی تعدادی از پل‌های اوکلاهامای آمریکا برای تعمیر با درنظرگیری ترافیک متوسط روزانه
منصور و همکاران، ۲۰۱۹ [۴]	توسعه مدل ارزیابی اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری پل‌ها	بازرسی بصری و ابزار پرسشنامه	اولویت‌بندی شاخص‌های کلی پل‌های کشور مصر در تخصیص تعمیر و نگهداری
فابیانوسکی و جاکیل[□□□□]، ۲۰۱۹ [۱۹]	توسعه سیستم فازی برای مدیریت پل‌های راه آهن در کشور لهستان	الگوریتم مرکب AHP فازی و برتر	اولویت‌بندی پل‌های با شرایط بحرانی جهت تخصیص تعمیر و نگهداری
عبداله‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳ [۷]	انتخاب روشهای تعمیر و نگهداری بهینه برای پل‌های شهری	پرسشنامه و مدل برنامه ریزی ریاضی	با توجه به شاخص اولویت، هزینه و اثربخشی روشهای تعمیر و نگهداری تعیین کننده روش درمان پل‌هاست
یاوری‌نیا و شاه حسینی، ۱۳۹۴ [۲۳]	ارائه مدل رده‌بندی پل‌های بتنی برمبنای شاخص سلامت و بودجه	سیستم‌های خبره تصمیم گیری	ارزیابی و اولویت‌بندی معیارهای موثر بر وضعیت سلامت پل‌های بتنی جهت تخصیص بودجه نگهداری
اسکندری شبستری و دنیوی، ۱۳۹۶ [۲۰]	پیشنهاد طرحی برای تعمیر و نگهداری پل‌های بتنی	روش AHP	شناسایی عوامل تاثیرگذار در ایمنی استفاده کنندگان راه، عملکرد پل بتنی و نرخ خرابی پل‌های بتنی
طاهری امیری و همکاران، ۱۳۹۷ [۸]	ارائه الگویی برای تخصیص بهینه تعمیرات و نگهداری با توجه به وضعیت خرابی و نقص های پل‌ها	مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی	با افزایش سطح بودجه، میزان اثر بخشی از طریق افزایش تعداد اصلاحات با هزینه بیشتر، افزایش می یابد
دهقانی و ودیعتی، ۱۳۹۸ [۲۱]	ارائه مدل مفهومی جهت رده بندی پل‌ها برمبنای شاخص ایمنی	روش AHP	عوامل سازه‌ای بیشترین تاثیر را بر ایمنی پل‌ها جهت اولویت‌بندی و بودجه بندی نگهداری دارد.

۳- روش تحقیق

انتخاب روش مناسب جهت انجام تحقیق به نوع مسئله، اهداف مورد نظر و امکانات موجود بستگی دارد. این انتخاب با توجه به عوامل مختلفی چون زمان، هزینه‌های تحقیق و نیازهای جامعه صورت می‌پذیرد [۲۲]. روش تحقیق حاضر برمبنای دو بخش اصلی شامل هدف تحقیق و نحوه گردآوری داده‌ها قابل طبقه‌بندی است. به‌طوری‌که از جنبه هدف، کاربردی و توسعه‌ای به‌شمار رفته و در راستای توسعه یک سیستم مدیریت پل بومی‌سازی‌شده به‌منظور تعیین وضعیت بحرانی پل‌های روگذر شهری و اولویت‌بندی آنها از نظر نیاز به تعمیر و نگهداری در کشور ایران گام برمی‌دارد. از جنبه جمع‌آوری اطلاعات نیز پژوهشی توصیفی-میدانی به‌شمار می‌رود که با بازدیدهای عینی و بررسی وضعیت موجود پل‌های روگذر شهری تهران به انجام می‌رسد. همچنین رویکرد تلفیقی مقاله حاضر از نوع اکتشافی است. در طرح پژوهش تلفیقی اکتشافی، ابتدا داده‌های کیفی و سپس داده‌های کمی گردآوری می‌شوند. داده‌های کیفی جهت موشکافی پدیده مورد بررسی، گردآوری شده و پژوهشگر براساس یافته‌های حاصل از داده‌های کیفی، به جمع‌آوری داده‌های کمی پرداخته و تعمیم‌پذیری یافته‌ها را میسر می‌سازد [۲۳]. دلیل به‌کارگیری این روش در مقاله حاضر، ضعف در پیشینه نظری و تجربی موضوع پژوهش و نیز عدم اجماع پژوهشگران نسبت به توسعه یک سیستم مدیریت پل جامع‌نگر با توجه به وضعیت پل‌های روگذر شهری در کشور ایران است.

۳-۱- ابزار و تکنیک‌ها

۳-۱-۱- جامعه آماری و نمونه پژوهش

جامعه هدف پژوهش حاضر دربرگیرنده مجموعه‌ای از متخصصین عمران و مدیران ارشد پروژه‌ها اعم از مشاوران، کارشناسان، پیمانکاران و سرمایه‌گذاران مشغول به کار در شرکت‌های فعال در زمینه پل‌های روگذر شهری در کلانشهر تهران می‌باشند. با توجه به حجم وسیع جامعه مزبور، نمونه‌گیری به معنای انتخاب تعدادی از افراد یا اعضاء در بین مجموعه وسیعی از افراد _به نحوی که بتوان با مطالعه این مجموعه محدود از افراد، نتایج را به کل افراد مورد نظر تعمیم داد_ ضروری است [۲۴]. در پژوهش حاضر، نمونه‌گیری با روش تصادفی و قضاوتی هدفمند بر روی تعداد جامعه محدود انجام شده و حجم نمونه یا پنل خبرگان مشتمل بر ۱۲ نفر از خبرگان و مسئولان سازمان شهرداری تهران در حوزه تعمیر و نگهداری پل‌های شهری تعیین گردیده است. این متخصصین به‌گونه‌ای انتخاب شده‌اند که به چهار خصوصیت اصلی (۱) دانش و تجربه در حوزه بحث، (۲) تمایل برای شرکت در بحث، (۳) زمان کافی برای شرکت در نظرسنجی و (۴) مهارت‌های ارتباطی مؤثر مجهز بوده‌اند. اطلاعات جمعیت شناختی افراد منتخب به‌عنوان پنل خبرگان در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲: اطلاعات جمعیت شناختی پنل خبرگان

پارامتر	مؤلفه	فراوانی	درصد فراوانی
تحصیلات	کارشناسی	۳	۲۵
	کارشناسی ارشد	۷	۵۸,۳۳
	دکترا و بالاتر	۲	۱۶,۶۷
سابقه و تجربه کاری	بین ۵ تا ۱۰ سال	۵	۴۱,۶۷
	بین ۱۰ تا ۲۰ سال	۵	۴۱,۶۷
	بیش از ۲۰ سال	۲	۱۶,۶۶
مهارت و تخصص	تعداد ورکشاپ‌ها و سمینارهای آموزشی مرتبط با پل	حداقل ۲۲	
	تعداد مشارکت در پروژه‌های تعمیر و نگهداری پل	حداقل ۱۹	
	تعداد مشارکت در بازدیدهای میدانی از وضعیت پل	حداقل ۲۱	

۳-۱-۲- پرسشنامه و اعتبارسنجی آن

در یک برنامه نظرسنجی، خبرگان از قابلیت‌های ذهنی خود برای ارائه نظرات استفاده می‌کنند. اما با توجه به این حققیت که ذهن انسان از توانایی کامل برای کمی‌سازی نظرات برخوردار نیست، از همین‌رو قضاوت بشر عموماً با درجه‌ای از عدم قطعیت همراه است. در

شرایط وجود عدم قطعیت در داده‌ها، استفاده از رویکردهای فازی برای اطمینان از دقت نتایج جهت تصمیم‌گیری در مسائل دنیای واقعی ضروری است [۲۵]. ماهیت منطق فازی در یک مسئله تصمیم‌گیری بر این اساس است که نه‌تنها تفاوت‌های نسبی اثر نظرات در دستیابی به پاسخ در نظر گرفته می‌شود، بلکه همزمان ابهام موجود در برخی نظرات کیفی و کمی نیز در پاسخ‌ها جای می‌گیرد [۲۶]. در این رویکرد، می‌توان تأثیر قضاوت تصمیم‌گیرندگان که عموماً تحت شرایط نامعلوم با استفاده از واژگان غیردقیق و غیرکمی، اتفاقات و اشیای فازی را محدود می‌کنند را کمی نمود [۲۷].

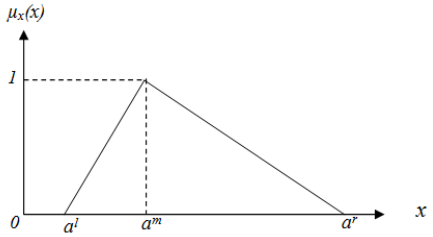
برای مقابله با عدم قطعیت ناشی از عدم دقت و ابهام در تصمیم‌گیری، نظریه مجموعه‌های فازی توسط زاده (۱۹۶۵) بنا نهاده شد [۲۸]. این نظریه قادر است در شرایط عدم اطمینان، بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌های مبهم را به‌صورت ریاضی بیان نماید. این نظریه زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم می‌آورد [۲۹]. مجموعه فازی دسته‌ای از اشیاء است که دارای درجه عضویت پیوسته است. چنین مجموعه‌ای با یک تابع عضویت مشخص می‌شود که به هر شی درجه‌ای از عضویت بین ۰ تا ۱ اختصاص می‌دهد [۳۰]. تعریف تابع عضویت در مجموعه‌های فازی بستگی به زمینه کاربرد آنها دارد. براساس این نظریه، یک عدد فازی به‌صورت مجموعه فازی خاصی طبق معادله ۱ می‌باشد که در آن x مقادیر حقیقی عضو مجموعه R دارای تابع عضویت $\mu_{\tilde{A}}(x)$ را می‌پذیرد.

$$\tilde{A} = x \in R / \mu_{\tilde{A}}(x) \qquad (۱)$$

در ادبیات نظریه مجموعه‌های فازی، چند تابع عضویت استاندارد معرفی شده که یکی از پرکاربردترین آنها، تابع عضویت مثلثی است [۳۱]. مطابق شکل ۱، یک عدد فازی مثلثی (TFN)، $A(a^l, a^m, a^u)$ عددی با تابع عضویت تکه‌ای خطی μ_A است که به‌صورت معادله ۲ تعریف می‌شود.

$$\mu_x(x) = \begin{cases} (x - a^l)/(a^m - a^l) & a^l \le x < a^m \\ 1 & x = a^m \\ (a^u - x)/(a^u - a^m) & a^m < x \le a^u \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad (۲)$$

پارامترهای a^l، a^m و a^u به‌ترتیب نشان‌دهنده کران پایین (کمترین)، کران محتمل (امیدوارکننده‌ترین) و کران بالا (بزرگترین) مقدار ممکن است که یک رویداد فازی را توصیف می‌کند. طبق قرارداد وقتی که $a^l = a^m = a^u$ باشد، A یک عدد غیرفازی است. عملیات جبری بر روی دو عدد فازی مثلثی را می‌توان در مراجع یافت [۳۰]. استفاده از اعداد فازی در بیان ارزیابی‌های کیفی تصمیم‌گیرنده برای بیان ارزش یک شی به سهولت امکان‌پذیر است. از این‌رو، استفاده از اعداد فازی در روش‌های تصمیم‌گیری گسترش زیادی یافته است [۳۲].



شکل ۱: تابع عضویت مثلثی و توابع عضویت فازی [۳۱]

در مسئله تصمیم‌گیری پژوهش حاضر، پرسشنامه‌ها در سه بخش به‌صورت بسته‌پاسخ و به فرم فازی طراحی شده‌اند. در پرسشنامه‌های بخش اول، فاکتورهای بحرانی شناسایی شده برحسب مقیاس پنج گزینه‌ای لیکرت مورد سنجش قرار گرفته‌اند. در این مقیاس یک طیف از عبارت‌های زبانی مبهم از اهمیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد برای تعیین اهمیت گویه‌ها در نظر گرفته می‌شود که در ادامه جزئیات آن معرفی گردیده است. در بخش دوم پرسشنامه‌ها، میزان میزان ارجحیت فاکتورهای بحرانی کارآمد به‌صورت

مقایسه‌ای و با استفاده از عبارات کلامی مورد سنجش قرار گرفته است. درنهایت بخش سوم پرسشنامه‌ها نیز مشتمل بر مقایسه وضعیت موجود پل‌های منتخب مورد مطالعه برحسب فاکتورهای بحرانی کارآمد نهایی بوده است.

برای اعتبارسنجی گویه‌های شناسایی شده در پرسشنامه‌ها، اقدام به تعیین روایی و پایایی آنها برحسب معیارهای اصلی شده است. روایی اصطلاحی است که به هدفی که آزمون برای تحقق بخشیدن به آن طراحی شده، اشاره دارد. روایی پرسشنامه‌ها براساس دو اصل واضح بودن و ساده بودن بنا شده است [۳۳]. در این پژوهش از شاخص نسبت روایی محتوا (*CVR*) ابداع شده توسط لاوشه[□□] (۱۹۷۵) [۳۴] مطابق رابطه ۳ برای تعیین روایی بهره گرفته شده است.

$$CVR = \frac{n_e - n/2}{n/2} \qquad (۳)$$

در این رابطه n تعداد کل متخصصین و n_e نیز تعداد متخصصینی هستند که گزینه ضروری را انتخاب کرده‌اند. تعداد متخصصین در این مرحله ۱۲ نفر بوده و با توجه به حداقل *CVR* و متخصصان نمره‌گذار، مقدار مجاز ۰/۵۷ برای روایی مورد پذیرش می‌باشد [۳۵].

پایایی همبستگی میان یک مجموعه از نمرات و مجموعه دیگری از نمرات در یک آزمون معادل است که به‌صورت مستقل در یک گروه آزمودنی تعیین می‌گردد. روش‌های مختلفی برای تعیین پایایی پرسشنامه‌ها ازجمله روش‌های کودر، موازی، تصنیف، بازآزمایی آزمون و آلفای کرونباخ وجود دارد [۳۶]. در این تحقیق پس از جمع‌آوری نتایج پرسشنامه‌های بخش اول، به منظور تعیین پایایی آنها از روش آلفای کرونباخ و تعیین ضریب پایایی R_α (مطابق رابطه ۴) برای معیارهای اصلی بهره گرفته شده است.

$$R_\alpha = \left(k/k-1\right)\left(1-\sum\sigma_j^2/\sigma^2\right) \qquad (۴)$$

در این رابطه، k تعداد کل سؤالات آزمون، σ_j^2 واریانس نمرات سؤال jام و σ^2 واریانس نمرات کل سؤالات می‌باشد. برای پایا قلمداد کردن یک ابزار، حداقل مقدار ۰/۷ برای ضریب آلفای کرونباخ لازم است [۳۷].

۳-۲- فرآیند حل مسئله

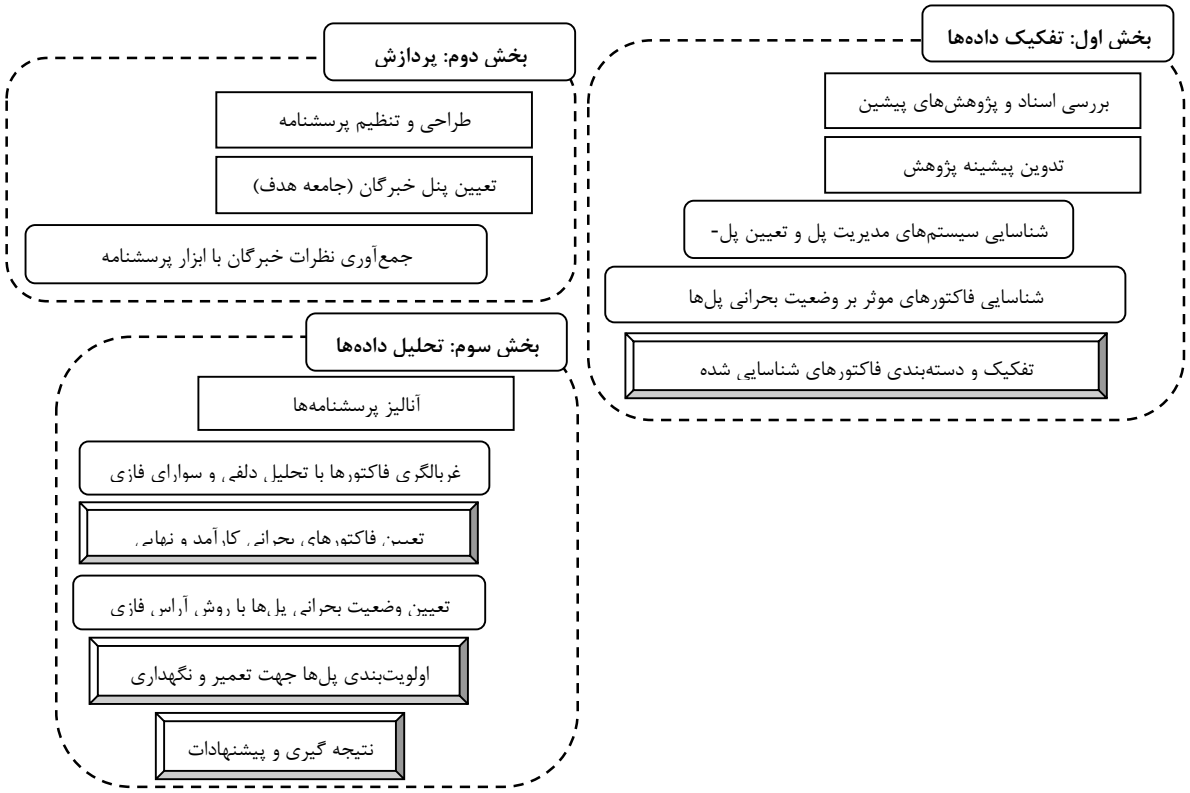
فرآیند حل مسئله در پژوهش حاضر جهت توسعه یک سیستم مدیریت پل به منظور شناسایی و اولویت‌بندی فاکتورهای موثر بر وضعیت بحرانی پل‌های روگذر شهری نیازمند تعمیر و نگهداری مشتمل بر سه بخش اصلی و یک پروتکل سه فازه مطابق با فلوچارت نشان داده شده در شکل ۲ می‌باشد که در ادامه به تشریح هر یک این فازها پرداخته شده است.

۳-۲-۱- فاز اول: تهیه پایگاه داده

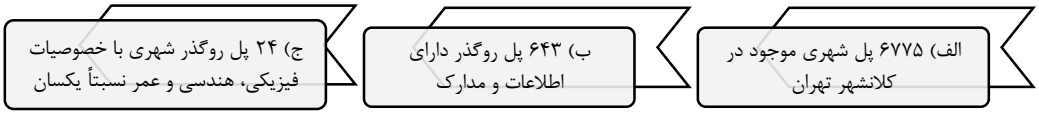
در فاز اول مطالعه اقدام به تهیه پایگاه داده مشتمل بر فاکتورهای بحرانی موثر بر وضعیت بحرانی پل‌ها و همچنین شناسایی پل‌های مورد مطالعه شده است. متداول‌ترین تکنیک برای شناسایی و تفکیک فاکتورهای موثر بر وضعیت بحرانی پل‌های شهری، بهره‌گیری از یافته‌های حاصل از تحقیقات قبلی، شهود و قضاوت‌های شخصی و تجارب خبرگان است. در تحقیق حاضر برای شناسایی مهمترین فاکتورهای موثر بر تعیین وضعیت بحرانی پل‌های روگذر شهری، همزمان با مطالعه منابع مکتوب کتابخانه‌ای در بین تحقیقات گذشته در کشورهای مختلف و شبکه جهانی اطلاعات و مطالعه آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مدیریت پل، اقدام به پیمایش میدانی در پل‌های روگذر در شهر تهران شده است. از این طریق علاوه بر تجارب شخصی محقق، ازطریق ارتباط‌گیری، مصاحبه و واکاوی پرسش و پاسخ و استعلامات اخذشده از نظرات متخصصین در امر نگهداری تعمیر و نگهداری پل‌ها جهت شناسایی فاکتورهای موثر بهره گرفته شده است.

همانگونه که پیش از این بیان شد، در تحقیق حاضر پل‌های روگذر شهری تهران به‌عنوان مطالعه موردی تحقیق انتخاب شده‌اند. براساس آمار منتشر شده، تعداد زیادی از ۶۷۷۵ پل موجود در این شهر، معیوب و یا دارای نقص بوده و شدیداً نیاز به تعمیر و نگهداری و یا بازسازی دارند. این در حالی است که اعتبار موجود برای این منظور محدود بوده، بنابراین ضروری است که هرچه سریعتر یک سیستم

مدیریت پل مناسب در این خصوص تهیه و تدوین گردد. پس از اخذ آمار و اطلاعات دقیق پل‌های روگذر شهری موجود در کلانشهر تهران از سوی شهرداری، تعداد ۶۴۳ پل روگذر دارای نقص شناسایی شد. جهت محدود نمودن مطالعات موردی با توجه کمبود زمان و امکانات بازدید میدانی، با مبنا قرار دادن مشخصات پل (هندسه، نوع مصالح، نوع دال) و از همه مهمتر سن آن (در حدود ۲۰ سال یا بیشتر که به‌عنوان عمر مفید یک پل در کشور شناخته می‌شود)، درنهایت تعداد ۲۴ پل روگذر دارای مشخصات نسبتاً یکسان و دارای وجه التزام به تخصیص تعمیر و نگهداری به‌عنوان مطالعه موردی تحقیق انتخاب شد. در شکل ۳ و جدول ۳ به‌ترتیب فرآیند انتخاب و اطلاعات پل‌های روگذر شهری مورد مطالعه در تحقیق حاضر آمده است.



شکل ۲: فلوچارت فرآیند حل مسئله در تحقیق حاضر



شکل ۳: فرایند انتخاب پل های روگذر شهری مورد مطالعه در کلانشهر تهران

۳-۲-۲- فاز دوم: غربالگری فاکتورهای شناسایی شده با تکنیک دلفی فازی (Fuzzy DELPHI)

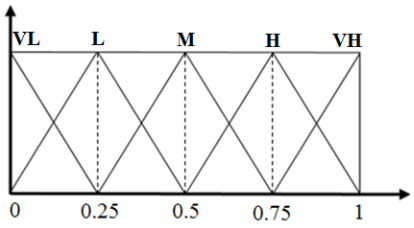
پس از شناسایی و دسته‌بندی فاکتورها در فاز قبلی، در فاز دوم به پالایش و غربالگری آنها با استفاده از تکنیک دلفی فازی (Fuzzy Delphi) با کسب نظرات ۱۲ نفر از پنل خبرگان پرداخته شده است. هدف از این فاز، غربال و تائید نهایی فاکتورها با اهمیت بیشتر بوده است. تکنیک دلفی یکی از بهترین روش‌های گردآوری نظرات، بینش، تجربه و تصورات متخصصان در ارزیابی یک مسئله با استفاده از پرسشنامه به‌شمار می‌رود. روش دلفی معمولاً در چندین دور انجام گرفته و در انتهای هر دور، اطلاعات بدست آمده تحلیل شده و در دور بعدی داده‌های جدید همراه با سؤالات جدید در اختیار خبرگان قرار می‌گیرد [۳۸].

در تحقیق حاضر، از تکنیک دلفی فازی در سه دور بهره گرفته شده است. در دور اول و دوم، ضمن حذف و ادغام فاکتورهای دارای محتوای تکراری و همپوشانی مفهومی از لیست اولیه، براساس نظرات خبرگان برخی فاکتورهای جامانده و جدید به لیست اضافه شد. در دور

دوم، پس از تایید نهایی فاکتورها، اقدام به‌دسته‌بندی و تفکیک نهایی آنها گردید. در دور سوم با توزیع پرسشنامه اول، میزان اهمیت هر یک از فاکتورهای نهایی برحسب نظرات خبرگان و با عبارت‌های کلامی طیف لیکرت تعیین شده است. در این مطالعه عبارت‌های کلامی برای تعیین اهمیت فاکتورها مطابق با اعداد فازی مثلثی نشان داده شده در شکل ۴ و جدول ۴ فازی‌سازی شده است.

جدول ۳: اطلاعات پایه پل های روگذر شهری مورد مطالعه در تحقیق حاضر

ردیف	نام پل	نماد	سال ساخت	مشخصات پل				
				مصالح	نوع دال	عرض	طول	تعداد دهانه
۱	نیایش- سعادت آباد	B1	۱۳۷۵-۱۳۷۳	مرکب	تیر پیش ساخته و دال درجا	۱۷,۵	۵۲,۵	۲
۲	شیخ فضل‌اله- ستارخان	B2	۱۳۷۴	بتن مسلح	دال بتنی	۲۰	۴۰	۳
۳	حکیم- شیخ فضل الله	B3	۱۳۸۱	مرکب	تیر پیش ساخته و دال درجا	۱۰	۱۰	۶
۴	دریا- رودخانه درکه	B4	۱۳۶۴	بتن مسلح	تیر و دال درجا	۲۵,۵	۵۱	۳
۵	ستاری- متروی تهران، کرج	B5	۱۳۷۹-۱۳۷۴	بتن مسلح	تیر پیش ساخته و دال درجا	۹	۵۱	۳
۶	حکیم- ستاری	B6		بتن مسلح	دال بتنی	۳۱,۵	۷۲	۵
۷	لشگری- صنایع هواپیمایی	B7	۱۳۷۴	بتن مسلح	دال بتنی	۲۶,۵	۵۳	۲
۸	یادگار امام- آزادی	B8	۱۳۷۳	بتن مسلح	دال بتنی	۵۴	۱۰۸	۱
۹	حکیم- اشرفی اصفهانی	B9	۱۳۷۹-۱۳۷۴	مرکب	تیر پیش ساخته و دال درجا	۳۱	۶۲	۳
۱۰	آزادگان- رودخانه کن	B10	۱۳۷۲	بتن مسلح	تیر پیش ساخته و دال درجا	۱۳	۶۲	۳
۱۱	لشگری- رودخانه وردآورد	B11	۱۳۷۸	بتن مسلح	تیر پیش ساخته و دال درجا	۱۰,۵	۴۲	۵
۱۲	امام رضا- بسیج مستضعفان	B12	۱۳۷۲	بتن مسلح	دال بتنی پیش ساخته	۲۲	۱۰۲	۶
۱۳	حکیم- چمران	B13	۱۳۸۲-۱۳۸۰	بتن-فولاد	دال بتنی-تیر فولادی	۱۲	۱۶۰	۵
۱۴	تندگویان- آزادگان	B14	۱۳۷۹	بتن مسلح	تیر و دال بتنی	۲۰	۱۰۰	۴
۱۵	حکیم- کارگر	B15	۱۳۸۲-۱۳۸۰	بتن مسلح	تیر پیش ساخته و دال بتنی	۱۸	۳۶	۶
۱۶	حکیم- شیخ بهایی	B16	۱۳۷۹	بتن	دال بتنی-تیر بتنی	۱۷	۳۴	۲
۱۷	نواب- مرتضوی	B17	۱۳۷۹-۱۳۷۵	فولاد و بتن آرمه	دال بتنی- تیر فولادی	۲۰,۵	۴۸	۲
۱۸	صدر- پاسداران	B18	۱۳۷۹-۱۳۷۴	بتن مسلح	دال بتنی	۲۷	۵۴	۲
۱۹	بابایی- امام علی	B19	۱۳۷۹-۱۳۷۴	بتن مسلح	تیر پیش ساخته و دال درجا	۱۸	۱۰۸	۵
۲۰	همت- آفریقا	B20	۱۳۷۴	بتن مسلح	دال بتنی	۱۲	۲۴	۲
۲۱	رسالت- حقانی	B21	۱۳۷۹-۱۳۷۴	بتن مسلح	دال درجا	۳۵	۸۰	۴
۲۲	همت- حقانی	B22	۱۳۷۹-۱۳۷۴	بتن مسلح	دال درجا	۱۷	۳۵	۲
۲۳	چمران- شیراز (پل نمایشگاه)	B23	۱۳۷۹-۱۳۷۴	بتن مسلح	دال بتنی	۱۵	۴۴	۲
۲۴	رسالت- صیاد	B24	۱۳۷۹-۱۳۷۴	بتن مسلح	دال بتنی صندوقه‌ای	۳۹	۸۴	۴



شکل ۴: تابع عضویت مثلثی و توابع عضویت فازی [۳۱]

جدول ۴: اعداد فازی مثلثی مبتنی بر طیف لیکرت ۵ درجه‌ای [۳۱]

میزان اهمیت (عبارت کلامی)	مقدار فازی	عدد فازی مثلثی
خیلی کم (VL)	$\tilde{1}$	(0,0,0.25)
کم (L)	$\tilde{2}$	(0,0.25,0.5)
متوسط (M)	$\tilde{3}$	(0.25,0.5,0.75)
زیاد (H)	$\tilde{4}$	(0.5,0.75,1)
خیلی زیاد (VH)	$\tilde{5}$	(0.75,1,1)

پس از گردآوری نظرات خبرگان از n پرسشنامه، میانگین فازی نظرات برای هر یک از فاکتورها (رابطه ۵) محاسبه شده و در ادامه از روش مرکز ثقل (رابطه ۶) برای فازی‌زدایی و تعیین عدد قطعی[۳۳] درخصوص میزان اهمیت هر یک از فاکتورهای بحرانی گردیده است. لازم به ذکر است که روش‌های مختلفی همچون روش مرکز سطح، روش مینکوفسکی و روش مرکز ثقل برای فازی‌زدایی پیشنهاد شده است که نتایج حاصل از این روش‌ها تقریباً یکسان بوده و یکی از رایج‌ترین و پرکاربردترین این روش‌ها به‌خصوص برای تبدیل اعداد فازی مثلثی ذوزنقه ای به یک عدد قطعی، روش مرکز ثقل است که در پژوهش حاضر نیز از این روش مورد استفاده قرار گرفته است.

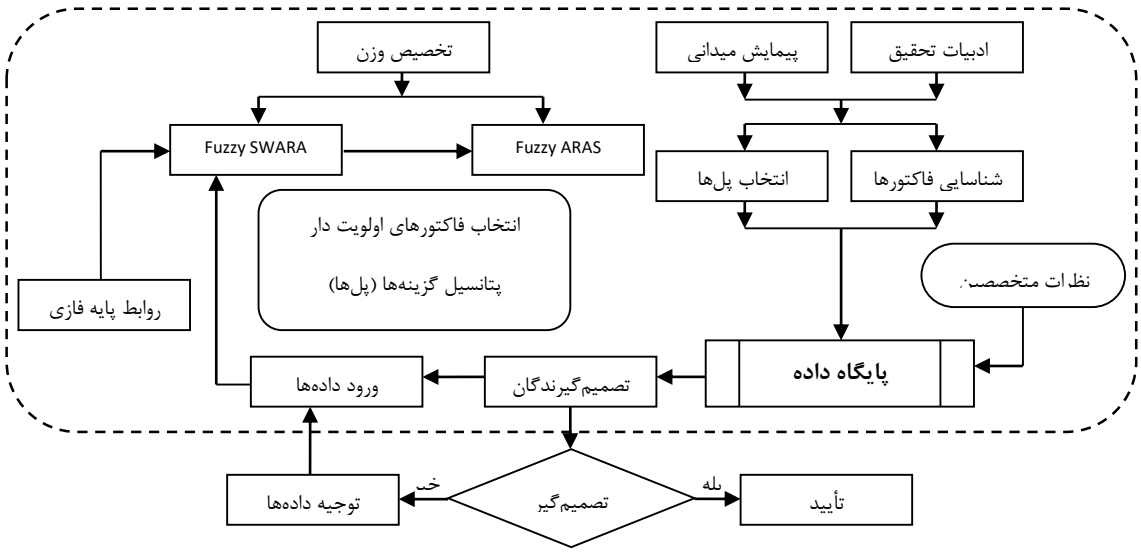
$$\tilde{\tilde{A}} = \left(\bar{a}^l, \bar{a}^m, \bar{a}^u\right) = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} a^l}{n} + \frac{\sum_{i=1}^{n} a^m}{n} + \frac{\sum_{i=1}^{n} a^u}{n} \right) \quad (۵)$$

$$\left.\begin{aligned} x^l_{\max} &= \left(a^l + a^m + a^u\right)/3 \\ x^m_{\max} &= \left(a^l + 4a^m + a^u\right)/6 \\ x^u_{\max} &= \left(a^l + 2a^m + a^u\right)/4 \end{aligned}\right\} \xrightarrow{\text{Crisp number}} \max\left(x^l_{\max}, x^m_{\max}, x^u_{\max}\right) \quad (۶)$$

درنهایت هر فاکتوری که دارای مقدار قطعی بزرگتر از ۰,۵ باشد جزء فاکتورهای بحرانی کارآمد به‌شمار رفته و فاکتورهای دارای مقدار قطعی کمتر از ۰,۵ به‌عنوان فاکتورهای ناکارآمد حذف می‌شوند.

۳-۲-۲- فاز سوم: اولویت‌بندی فاکتورها و انتخاب پل‌ها با روش تلفیقی فازی (Fuzzy SWARA- Fuzzy ARAS)

با توجه به ازدیاد فاکتورهای بحرانی موثر بر ارزیابی وضعیت پل‌های روگذر شهری، استخراج شده از فاز قبلی پس از حذف فاکتورهای ناکارآمد، امکان بروز خطا در آنالیزهای کمی برای ارزیابی تعداد زیادی فاکتور و پل مورد مطالعه بسیار بالاست. از همین رو بهره‌گیری از روش‌های تلفیقی تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی برای توسعه یک سیستم مدیریت پل می‌تواند نتایج مطلوبی را به همراه داشته باشد. در این فاز، برای شناسایی و اولویت‌بندی فاکتورهای موثرتر بر وضعیت بحرانی پل‌ها از یک سو و انتخاب پل‌های ارجح‌تر از نظر نیاز به تخصیص تعمیر و نگهداری، مطابق فلوچارت نشان داده شده در شکل ۵ از یک روش تلفیقی تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر دو روش سوارای فازی[۳۴]- آراس فازی[۳۵] (Fuzzy SWARA- Fuzzy ARAS) بهره گرفته شده که جزئیات این روش‌ها در ادامه معرفی گردیده است.



شکل ۵: ساختار الگوی تصمیم‌گیری تلفیقی فازی

جهت اجرای روش مذکور، ابتدا با توزیع پرسشنامه‌های بخش دوم، از خبرگان درخواست شد تا نظرات خود را درخصوص میزان ارجحیت فاکتورهای بحرانی کارآمد به‌صورت مقایسه‌ای و با استفاده از عبارات کلامی بیان نمایند. در ادامه با نشان دادن برخی تصاویر بازدیدهای میدانی صورت گرفته از پل‌های مورد مطالعه به خبرگان، پرسشنامه‌های بخش سوم در بین آنها توزیع گردید. بدین طریق از آنها درخواست شد تا نظرات خود را درخصوص مقایسه وضعیت موجود پل‌ها برحسب فاکتورهای بحرانی کارآمد نهایی با استفاده از عبارات کلامی مندرج در جدول ۴ ابراز نمایند.

روش سوارا به معنی آنالیز نسبت ارزیابی وزن مرحله‌ای اولین بار توسط کرسولین و همکاران[۵۵] (۲۰۱۰) [۳۹] یک روش خبره محور به‌عنوان جایگزینی برای روش‌های AHP، ANP و برای تحلیل اولویت‌بندی در مسائل تصمیم‌گیری معرفی شد. از جمله مزایای اصلی این روش در مقایسه با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره قدیمی‌تر، می‌توان به تعداد مقایسات کمتر، استفاده موثرتر از دانش، تجربیات و اطلاعات ضمنی متخصصین، ارزیابی آزادانه معیارها بدون استفاده از مقیاس، فرمول‌بندی ساده و صرفه‌جویی در زمان اشاره نمود [۴۰]. همچنین با توجه به رتبه‌بندی نزولی معیارها در روش سوارا، بنابراین نیازی به بررسی سازگاری قضاوت‌ها نیست [۴۱].

روش آراس به معنی ارزیابی نسبت تجمعی، یکی از روش‌های جدید برای انتخاب گزینه برتر در یک مسئله تصمیم‌گیری استراتژیک به شمار می‌رود که نخستین بار توسط زاوادسکاس و ترکسیس[۵۶] (۲۰۱۰) [۴۱] معرفی شد. عملکرد این روش همانند روش‌های قدیمی‌تر مشابهت به راه حل ایده‌آل (تاپسیس)، ویکور و الکتره می‌باشد. به‌طوری که با محاسبه سطح عملکرد گزینه‌ها، نسبت مربوط به هر گزینه را برای تعیین گزینه ایده‌آل تعیین می‌کند [۴۲]. ازجمله مزیت‌های اصلی روش آراس در مقایسه با سایر روش‌های تصمیم‌گیری می‌توان به سادگی مراحل محاسباتی، تفکیک معیارهای مثبت (سود) و منفی (هزینه)، ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف برحسب تعداد زیاد معیارهای شناسایی شده به‌صورت مستقل (بدون نیاز به مقایسات زوجی زیاد) اشاره نمود. این روش بر این استدلال استوار است که با استفاده از مقایسات ساده نسبی می‌توان پدیده‌های دنیای پیچیده را با دقت قابل قبولی درک کرد [۴۱].

روش‌های سوارا و آراس صریح همچون روش AHP از توانایی کافی برای تعیین عدم قطعیت پارامترها بخصوص در استفاده از عبارت‌های کلامی برخوردار نیستند [۴۳]. بر همین اساس استانوجیکیچ[۵۷] (۲۰۱۵) [۴۴]، اقدام به توسعه این روش‌ها در شرایط وجود ابهام در اطلاعات، در فرم اعداد فازی نموده‌اند. هر یک از روش‌های سوارای فازی و آراس فازی مشتمل بر شش گام اصلی هستند که جزئیات محاسبات اجرای این روش‌ها به‌صورت گام به گام در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است.

جدول ۵: تشریح گام به گام تصمیم‌گیری با روش سوارای فازی

گام	تشریح	روابط
اول	مرتب کردن نزولی معیارها به ترتیب اهمیت	در این گام، فاکتورهای کارآمد استخراج شده از فاز قبلی مبتنی بر روش دلفی فازی به‌صورت نزولی مرتب می‌شوند.
دوم	تعیین اهمیت نسبی فازی ($\tilde{S}_j$) عامل j نسبت به عامل قبلی (j-1) با اهمیت بیشتر مطابق با نظر خبرگان	در این گام اهمیت نسبی هر معیار نسبت به معیار قبل از خود با استفاده از عبارات کلامی موجود در جدول ۳ تعیین می‌گردد.
سوم	تعیین ضریب فازی ($\tilde{k}_j$)	$\tilde{k}_j = \begin{cases} 1 & j=1 \\ \tilde{S}_j + 1 & j>1 \end{cases}$
چهارم	تعیین وزن فازی اولیه ($\tilde{q}_j$)	$\tilde{q}_j = \begin{cases} 1 & j=1 \\ \tilde{k}_{j-1} / \tilde{k}_j & j>1 \end{cases}$
پنجم	تعیین وزن فازی نسبی معیارهای ارزیابی ($\tilde{w}_j$)	$\tilde{w}_j = \tilde{q}_j / \sum_{k=1}^{n} \tilde{q}_k$
ششم	فازی‌زدایی وزن فازی نسبی معیار j با استفاده از روش مرکز منطقه	$w_j = \frac{1}{3}\tilde{w}_j = \frac{1}{3}\left(\left(w_{j\gamma} - w_{j\alpha}\right) + \left(w_{j\beta} - w_{j\alpha}\right) + w_{j\alpha}\right)$ $w_{j\alpha}$، $w_{j\beta}$ و $w_{j\gamma}$ به‌ترتیب نشان دهنده کران پایین، وسط و بالای وزن فازی نسبی فاکتورها می‌باشند.

جدول ۶: تشریح گام به گام تصمیم‌گیری با روش آراس فازی

گام	تشریح	روابط
اول	تشکیل ماتریس تصمیم فازی: ماتریس معیار-گزینه	$\tilde{X} = \tilde{x}_{ij} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \dots & \tilde{x}_{1j} & \tilde{x}_{0n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{i1} & \dots & \tilde{x}_{ij} & \tilde{x}_{in} \\ \tilde{x}_{m1} & \dots & \tilde{x}_{mj} & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 0,1,..,m;\ j = 1,2,...,n$ $\tilde{x}_{ij}$ یک عدد فازی است که نشان دهنده عملکرد گزینه iام در معیار jام می‌باشد. m تعداد گزینه‌ها و n نیز تعداد معیارها می‌باشد. برای تشکیل ماتریس تصمیم فازی، سطری به نام مقدار بهینه ایده‌آل فرضی برای معیارها ($\tilde{x}_{0j}$ مقدار بهینه برای معیار jام) بصورت زیر قابل محاسبه است: $\tilde{x}_{0j} = \underset{i}{Max}\, \tilde{x}_{ij} \quad if \quad \underset{i}{Max}\, \tilde{x}_{ij},$ is prefreable $\tilde{x}_{0j} = \underset{i}{Min}\, \tilde{x}_{ij} \quad if \quad \underset{i}{Min}\, \tilde{x}_{ij},$ is prefreable بر این اساس معیارهای مثبت (از جنس سود: معیارهایی که افزایش آن باعث بهتر شدن شرایط می‌شود) با مقادیر بیشتر و معیارهای منفی (از جنس هزینه: معیارهایی که کاهش آن به صرفه‌تر است) با مقادیر کمتر، ارجح‌تر به شمار می‌روند.
دوم	نرمال سازی ماتریس تصمیم	$\overline{X} = \begin{bmatrix} \tilde{\overline{x}}_{01} & \dots & \tilde{\overline{x}}_{0j} & \tilde{\overline{x}}_{0n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{\overline{x}}_{i1} & \dots & \tilde{\overline{x}}_{ij} & \tilde{\overline{x}}_{in} \\ \tilde{\overline{x}}_{m1} & \dots & \tilde{\overline{x}}_{mj} & \tilde{\overline{x}}_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 0,1,..,m;\ j = 1,2,...,n$ $\overline{x}_{ij}$ مقادیر نرمالایزشده درایه‌های ماتریس $\overline{X}$ هستند. در این مرحله معیارهای مثبت و منفی به‌صورت جداگانه و طبق روابط زیر نرمالایز می‌شوند: $\tilde{\overline{x}}_{ij} = \tilde{x}_{ij} / \sum_{i=0}^{m} \tilde{x}_{ij}; \qquad \tilde{x}_{ij} = \frac{1}{\tilde{x}^{*}_{ij}}, \tilde{\overline{x}}_{ij} = \tilde{x}_{ij} / \sum_{i=0}^{m} \tilde{x}_{ij}$
سوم	تشکیل ماتریس تصمیم نرمال موزون	$\hat{X} = \begin{bmatrix} \tilde{\hat{x}}_{01} & \dots & \tilde{\hat{x}}_{0j} & \tilde{\hat{x}}_{0n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{\hat{x}}_{i1} & \dots & \tilde{\hat{x}}_{ij} & \tilde{\hat{x}}_{in} \\ \tilde{\hat{x}}_{m1} & \dots & \tilde{\hat{x}}_{mj} & \tilde{\hat{x}}_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 0,1,..,m;\ j = 1,2,...,n$ $\tilde{\hat{x}}_{ij} = w_j \tilde{\overline{x}}_{ij} \quad i = 0,1,..,m;\ j = 1,2,...,n$ برای تخصیص وزن اولیه به معیارهای موجود در ماتریس تصمیم، کافی است از وزن‌های نهایی بدست آمده در روش‌هایی همچون آنتروپی شانون یا FAHP بهره گرفت. در تحقیق حاضر در این گام، وزن حاصل از روش سوارا به‌عنوان وزن اولیه معیارها انتخاب شده‌اند.
چهارم	تعیین $\tilde{S}_i$ مقدار تابع بهینگی iامین گزینه (درجه مطلوبیت کل هر گزینه)	$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^{n} \tilde{\hat{x}}_{ij} \quad i = 0,1,..,m;\ j = 1,2,...,n$ هرچه مقدار $\tilde{S}_i$ بیشتر باشد، آن گزینه بهتر است.
پنجم	فازی‌زدایی تابع بهینگی با روش مرکز سطح (به‌عنوان ساده‌ترین روش)	$S_i = \frac{1}{3} \tilde{S}_i = \frac{1}{3}\left(\left(S_{i\gamma} - S_{i\alpha}\right) + \left(S_{i\beta} - S_{i\alpha}\right) + S_{i\alpha}\right)$ $S_{i\alpha}$، $S_{i\beta}$ و $S_{i\gamma}$ به‌ترتیب نشان دهنده بدبینانه‌ترین، محتمل‌ترین و خوش‌بینانه‌ترین مقدار عدد فازی مثلثی $\tilde{S}_i$ می‌باشند.
ششم	اولویت‌بندی گزینه‌ها با محاسبه درجه کیفیت (مطلوبیت) نسبی	$Q_i = \frac{S_i}{S_0} \quad i = 0,1,..,m$ Q_i مقدار درجه کیفیت (مطلوبیت) نسبی هر گزینه و S_0 مطلوب‌ترین گزینه می‌باشند. هرچه مقدار درجه مطلوبیت برای گزینه‌ای بیشتر باشد، آن گزینه اولویت و رتبه بهتری را کسب خواهد کرد.

۴- یافته‌ها

۴-۱- نتایج فاز اول: شناسایی فاکتورها و دسته‌بندی آنها

براساس نتایج فاز اول مطالعه و همچنین دورهای اول و دوم تکنیک دلفی فازی، پایگاه داده مشتمل بر ۵۴ فاکتور تعیین کننده وضعیت بحرانی پل‌ها و اطلاعات اولیه ۲۴ پل روگذر شهری منتخب جهت بازدیدهای میدانی (جدول ۲) تعیین شد. پس از تفکیک نهایی، این فاکتورها در شش حوزه اصلی مشتمل بر شاخص‌های سازه‌ای (C_1)، اقلیم و هیدرولوژی (C_2)، ایمنی (C_3)، اهمیت استراتژیکی (منطقه‌ای) (C_4)، بودجه (C_5) و ترافیک و روسازی (C_6) طبقه‌بندی شدند. پایگاه داده مشتمل بر شاخص‌های اصلی و فاکتورهای فرعی شناسایی شده مربوط به هر شاخص به همراه کد و مراجع معرفی کننده هر یک از آنها در جدول ۷ آمده است. نتایج تحلیل پایایی و روایی داده‌ها برحسب R_α و CVR به ازای شاخص‌های اصلی در این جدول آمده است. با توجه به بیشتر بودن R_α و CVR از مقادیر مجاز برای تمامی شاخص‌های اصلی، می‌توان پرسشنامه طرح شده براساس شیوه هماهنگی درونی گویه‌ها را پایا و روا قلمداد نمود.

جدول ۷: تفکیک شاخص‌های اصلی و فاکتورهای فرعی تعیین کننده وضعیت بحرانی پل‌های روگذر شهری

شاخص اصلی (کد)	شرح	روایی و پایایی (R_α ،CVR)	فاکتور فرعی (کد)
سازه‌ای (C_1)	این شاخص وضعیت ساختار پل را از نظر خرابی‌های ایجادشده در المان‌های سازه‌ای پل همچون عرشه، پایه و کوله و دیوارها و تکیه‌گاه‌ها، شاهتیرها و فونداسیون مورد بررسی قرار می‌دهد.	(۰،۸۴ ،۰،۶۴)	ظرفیت باربری و عملکرد المان‌های سازه‌ای پل (C_{1-1}) وضعیت گسیختگی دیافراگم پل (C_{1-2}) کیفیت اجرا هنگام ساخت پل (C_{1-3}) پرشدگی درز انقطاع و اختلال در عملکرد پل (C_{1-4}) نارسایی‌های سطحی: ترک‌خوردگی، شوره‌زدگی، پوسته و قلوه‌شدگی روسازی پل (C_{1-5}) نوع سازه پل (بتنی، فلزی، بتنی پیش تنیده) (C_{1-6}) وضعیت خرابی اجزای سازه‌ای پل بر اساس نوع، شدت و گستردگی (C_{1-7}) فضای آزاد عرشه پل (C_{1-8}) کیفیت مصالح ساخت اجزای سازه‌ای و روسازی پل (C_{1-9}) تاریخچه تعمیر و نگهداری پل (C_{1-10})
اقلیم و هیدرولوژی (C_2)	این شاخص وضعیت تخریب فولاد، بتن و اجزای پل در اثر فرسایش برحسب عواملی همچون خصوصیات آب و هوایی منطقه، مشخصات و نوع رودخانه موجود در منطقه پل، مواد مخرب (مهاجم) موجود در آب، خاک و هوای منطقه را مورد سنجش قرار می‌دهد.	(۰،۸۹ ،۰،۵۱)	آسیب‌پذیری هیدرولیکی (C_{2-1}) آب‌شستگی پایه و کوله پل (C_{2-2}) تغییرات آب و هوایی و رطوبت محیط در محل پل (C_{2-3}) آلودگی آب، خاک و هوای منطقه (C_{2-4}) میانگین و مدت زمان بیشترین بارش سالیانه در محل پل (C_{2-5}) ریزش مواد شیمیایی توسط وسایل نقلیه عبوری از روی پل (C_{2-6}) استفاده از شن و ماسه و یا نمک برای جلوگیری از لغزش وسایل نقلیه (C_{2-7})
ایمنی (C_3)	این شاخص تابعی از تاریخچه تصادفات و عوامل موثر بر آن و ظرفیت گسیختگی المان‌های پل و همچنین نحوه اجرای دستورالعمل‌های آئین‌نامه‌ای در زمان طراحی پل بوده و به نوعی سطح عملکرد بهره‌برداری از پل در زمان‌های مختلف را بسته به شرایط ایمن مورد نیاز تعیین می‌نماید.	(۰،۹۴ ،۰،۶۲)	تاریخچه تصادفات (ضربات وارد بر پل) (C_{3-1}) روشنایی کافی، علائم ترافیکی و نمود رنگ‌ها بر دید رانندگان (C_{3-2}) میزان خستگی (چرخه بارگذاری پل در شبانه روز) (C_{3-3}) ایمنی ترافیک عبوری از روی پل (C_{3-4}) شکل ظاهری تاسیسات ایمنی پل (C_{3-5}) گسیختگی، آسیب‌دیدگی و خوردگی جداول، گاردریل‌ها و اتصالات (C_{3-6}) وضعیت اجرای شرایط آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های طراحی پل (C_{3-7}) زهکشی، تخلیه آب‌های سطحی و عایق‌بندی پل (C_{3-8}) سن پل (C_{3-9})

جدول ۷ (ادامه)

شاخص اصلی (کد)	شرح	روایی و پایایی (R_α ،CVR)	فاکتور فرعی (کد)
اهمیت استراتژیکی (منطقه‌ای) (C_4)	این شاخص نشان‌دهنده موقعیت قرارگیری پل از نظر راهبردی، سیاسی و منطقه‌ای در نزدیکی مناطق استراتژیک همچون مراکز بیمارستانی مهم، مراکز نظامی، مراکز مدیریت بحران، آتش‌نشانی بوده و نقش رابط پل با این مناطق را بازی می‌کند.	(۰,۹۴ ،۰,۶۲)	موقعیت لرزه‌خیزی پل ($C_{4\text{-}1}$) شرایط ژئوتکنیکی محل پل ($C_{4\text{-}2}$) اهمیت پل در مواقع بحران ($C_{4\text{-}3}$) نزدیکی و راحتی دسترسی پل به راه‌های شریانی مجاور ($C_{4\text{-}4}$) اهمیت بهره‌برداری پل ($C_{4\text{-}5}$) اهمیت نمادین اجتماعی، سیاسی و فرهنگی پل ($C_{4\text{-}6}$) اهمیت نظامی پل ($C_{4\text{-}7}$) ارزش تاریخی پل ($C_{4\text{-}8}$) مجاورت پل با سازه‌های مهم استراتژیکی ($C_{4\text{-}9}$) اهمیت زیبایی‌شناسی پل ($C_{4\text{-}10}$) فعالیت‌های اقتصادی در منطقه اطراف پل ($C_{4\text{-}11}$)
بودجه (C_5)	این شاخص یکی از مهمترین عوامل موثر بر تصمیم‌گیری جهت شناخت وضعیت پل‌ها بوده و همواره به دنبال شناخت بهینه‌ترین حالت در فرآیند تعمیر و نگهداری پل می‌باشد.	(۰,۸۸ ،۰,۶۶)	سهولت اجرای عملیات تعمیر و نگهداری ($C_{5\text{-}1}$) دسترسی به پرسنل، ماشین‌آلات و مصالح مورد نیاز جهت تعمیر و نگهداری ($C_{5\text{-}2}$) نسبت هزینه به فایده برای تعمیر و نگهداری یا بازسازی و تعویض پل ($C_{5\text{-}3}$) هزینه‌های ناشی از تاخیر ترافیک ($C_{5\text{-}4}$) عمر مفید باقیمانده پل ($C_{5\text{-}5}$) مصرف سوخت وسایل نقلیه عبوری از مسیر انحرافی در صورت تعمیر پل ($C_{5\text{-}6}$) صدمات مالی ناشی از خرابی و ریزش پل ($C_{5\text{-}7}$) صرفه‌جویی در هزینه و زمان سفر بعد از تعمیر و نگهداری ($C_{5\text{-}8}$)
ترافیک و روسازی (C_6)	این شاخص به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم تعیین‌کننده کیفیت خدمت‌رسانی بی‌وقفه یک پل در شبکه حمل‌ونقل شهری می‌باشد. در این شاخص، عوامل مختلف ترافیکی و روسازی همچون سرعت مبنای طرح، نوع و میزان ترافیک عبوری و نوع جاده و مسیر در زمان طراحی و شرایط کنونی پل مد نظر قرار می‌گیرد.	(۰,۸۷ ،۰,۵۲)	حجم ترافیک عبوری از روی پل ($C_{6\text{-}1}$) حداکثر و متوسط سرعت وسایل نقلیه عبوری از روی پل ($C_{6\text{-}2}$) بازدهی ترافیک سالیانه ($C_{6\text{-}3}$) نوع جاده و مسیر عبوری از روی پل ($C_{6\text{-}4}$) نوع و وزن وسایل نقلیه عبوری از روی پل ($C_{6\text{-}5}$) کیفیت سرویس دهی ترافیکی پل در منطقه ($C_{6\text{-}6}$) ظرفیت پل در ایجاد پیوستگی جریان ترافیکی ($C_{6\text{-}7}$) جنس روسازی پل ($C_{6\text{-}8}$) اختلال در خدمات عمومی جهت انجام عملیات تعمیری ($C_{6\text{-}9}$)

۴-۲- نتایج فاز دوم: پایش و غربال فاکتورها

در این فاز پالایش و غربالگری فاکتورهای بحرانی شناسایی شده با استفاده از دور سوم تکنیک دلفی فازی ارائه شده است. نتایج مقادیر میانگین فازی و قطعی درخصوص میزان اهمیت، نوع (کارآمد/ ناکارآمد) و جنس فاکتور (هزینه/ سود) به ازای هر یک از فاکتورهای بحرانی در جدول ۸ آمده است. براساس نتایج به‌دست آمده، فاکتورهای دارای مقدار قطعی بیشتر از ۰,۵ به‌عنوان فاکتورهای کارآمد برای ارزیابی وضعیت پل‌های روگذر شهری انتخاب شدند. در این فاز همچنین فاکتورهای کارآمد استخراج شده به ترتیب نزولی مرتب گردیده و جنس آنها (سود یا هزینه) مشخص شد. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه فاکتورهایی همچون کیفیت اجرا هنگام ساخت پل از اهمیت بسزایی در بحث تعمیر و نگهداری برخوردار است، اما با توجه به قدیمی بودن پل‌های مورد مطالعه و عدم دسترسی به اطلاعات کامل از تاریخچه ساخت آنها، تصمیم‌گیری برای تخصیص بودجه براساس این فاکتور را دچار چالش می‌نماید. از سوی دیگر با توجه به نبود اطلاعات کافی، تعیین ظرفیت باربری و عملکرد سازه‌ای اجزای پل با استفاده از روش آزمایش‌های غیرمخرب پایش سلامت سازه امکانپذیر است که این موضوع خود نیازمند تخصیص بودجه فراوانی بوده و در شرایط حاضر تامین این بودجه به سهولت امکان‌پذیر نیست.

جدول ۸: نتایج میانگین فازی، عدد قطعی، نوع و جنس فاکتورهای موثر بر وضعیت بحرانی پل‌های روگذر شهری

شاخص اصلی	فاکتور فرعی	میانگین فازی نظرات			فازی‌زدایی			عدد قطعی	نوع فاکتور	جنس فاکتور (هزینه/ سود)	رتبه نزولی
		$\bar{a}^l$	$\bar{a}^m$	$\bar{a}^u$	$x^l_{\max}$	$x^m_{\max}$	$x^u_{\max}$				
C_1	C_{1-1}	۰,۲۲۹	۰,۴۱۷	۰,۶۶۷	۰,۴۳۸	۰,۴۲۷	۰,۴۳۸	۰,۴۳۸	ناکارآمد	-	۷
	C_{1-2}	۰,۲۷۱	۰,۵۲۱	۰,۷۷۱	۰,۵۲۱	۰,۵۲۱	۰,۵۱۶	۰,۵۲۱	کارآمد	هزینه	۴
	C_{1-3}	۰,۲۷۱	۰,۳۹۶	۰,۵۸۳	۰,۴۱۷	۰,۴۰۶	۰,۳۹۱	۰,۴۱۷	ناکارآمد	-	۱۰
	C_{1-4}	۰,۳۹۶	۰,۵۸۳	۰,۷۹۲	۰,۵۹۰	۰,۵۸۷	۰,۵۴۲	۰,۵۹۰	کارآمد	هزینه	۳
	C_{1-5}	۰,۲۷۱	۰,۵۲۱	۰,۷۵۰	۰,۵۱۴	۰,۵۱۷	۰,۵۰۵	۰,۵۱۷	کارآمد	هزینه	۵
	C_{1-6}	۰,۲۰۸	۰,۴۱۷	۰,۶۴۶	۰,۴۲۴	۰,۴۲۰	۰,۴۲۷	۰,۴۲۷	ناکارآمد	-	۸
	C_{1-7}	۰,۴۵۸	۰,۶۸۸	۰,۸۵۴	۰,۶۶۷	۰,۶۷۷	۰,۵۹۹	۰,۶۷۷	کارآمد	هزینه	۱
	C_{1-8}	۰,۳۱۳	۰,۴۷۹	۰,۶۶۷	۰,۴۸۶	۰,۴۸۳	۰,۴۵۳	۰,۴۸۶	ناکارآمد	-	۶
	C_{1-9}	۰,۲۲۹	۰,۴۱۷	۰,۶۲۵	۰,۴۲۴	۰,۴۲۰	۰,۴۱۷	۰,۴۲۴	ناکارآمد	-	۹
	C_{1-10}	۰,۳۷۵	۰,۶۰۴	۰,۸۱۳	۰,۵۹۷	۰,۶۰۱	۰,۵۵۷	۰,۶۰۱	کارآمد	سود	۲
C_2	C_{2-1}	۰,۲۹۲	۰,۵۰۰	۰,۷۲۹	۰,۵۰۷	۰,۵۰۳	۰,۴۹۰	۰,۵۰۷	کارآمد	هزینه	۳
	C_{2-2}	۰,۲۰۸	۰,۴۳۸	۰,۶۸۸	۰,۴۴۴	۰,۴۴۱	۰,۴۵۳	۰,۴۵۳	ناکارآمد	-	۴
	C_{2-3}	۰,۳۷۵	۰,۶۲۵	۰,۸۱۳	۰,۶۰۴	۰,۶۱۵	۰,۵۶۳	۰,۶۱۵	کارآمد	هزینه	۱
	C_{2-4}	۰,۲۹۲	۰,۴۱۷	۰,۵۸۳	۰,۴۳۱	۰,۴۲۴	۰,۳۹۶	۰,۴۳۱	ناکارآمد	-	۵
	C_{2-5}	۰,۳۷۵	۰,۵۸۳	۰,۷۹۲	۰,۵۸۳	۰,۵۸۳	۰,۵۴۲	۰,۵۸۳	کارآمد	هزینه	۲
	C_{2-6}	۰,۲۰۸	۰,۳۵۴	۰,۵۶۳	۰,۳۷۵	۰,۳۶۵	۰,۳۷۰	۰,۳۷۵	ناکارآمد	-	۷
	C_{2-7}	۰,۱۴۶	۰,۳۵۴	۰,۶۰۴	۰,۳۶۸	۰,۳۶۱	۰,۳۹۱	۰,۳۹۱	ناکارآمد	-	۶
C_3	C_{3-1}	۰,۲۵۰	۰,۳۷۵	۰,۶۰۴	۰,۴۱۰	۰,۳۹۲	۰,۳۹۶	۰,۴۱۰	ناکارآمد	-	۸
	C_{3-2}	۰,۳۵۴	۰,۶۰۴	۰,۷۹۲	۰,۵۸۳	۰,۵۹۴	۰,۵۴۷	۰,۵۹۴	کارآمد	سود	۲
	C_{3-3}	۰,۲۰۸	۰,۳۷۵	۰,۶۰۴	۰,۳۹۶	۰,۳۸۵	۰,۳۹۶	۰,۳۹۶	ناکارآمد	-	۹
	C_{3-4}	۰,۳۹۶	۰,۶۰۴	۰,۷۲۹	۰,۵۷۶	۰,۵۹۰	۰,۵۱۶	۰,۵۹۰	کارآمد	سود	۳
	C_{3-5}	۰,۲۹۲	۰,۵۰۰	۰,۷۲۹	۰,۵۰۷	۰,۵۰۳	۰,۴۹۰	۰,۵۰۷	ناکارآمد	-	۶
	C_{3-6}	۰,۴۱۷	۰,۶۴۶	۰,۷۹۲	۰,۶۱۸	۰,۶۳۲	۰,۵۵۷	۰,۶۳۲	کارآمد	هزینه	۱
	C_{3-7}	۰,۲۹۲	۰,۴۷۹	۰,۶۸۸	۰,۴۸۶	۰,۴۸۳	۰,۴۶۴	۰,۴۸۶	ناکارآمد	-	۷
	C_{3-8}	۰,۳۱۳	۰,۵۴۲	۰,۷۹۲	۰,۵۴۹	۰,۵۴۵	۰,۵۳۱	۰,۵۴۹	کارآمد	سود	۵
	C_{3-9}	۰,۳۷۵	۰,۵۸۳	۰,۷۷۱	۰,۵۷۶	۰,۵۸۰	۰,۵۳۱	۰,۵۸۰	کارآمد	هزینه	۴
C_4	C_{4-1}	۰,۲۷۱	۰,۵۲۱	۰,۷۲۹	۰,۵۰۷	۰,۵۱۴	۰,۴۹۵	۰,۵۱۴	کارآمد	هزینه	۶
	C_{4-2}	۰,۲۵۰	۰,۴۵۸	۰,۶۶۷	۰,۴۵۸	۰,۴۵۸	۰,۴۴۸	۰,۴۵۸	ناکارآمد	-	۸
	C_{4-3}	۰,۳۱۳	۰,۵۴۲	۰,۷۲۹	۰,۵۲۸	۰,۵۳۵	۰,۵۰۰	۰,۵۳۵	کارآمد	هزینه	۴
	C_{4-4}	۰,۳۱۳	۰,۵۲۱	۰,۷۰۸	۰,۵۱۴	۰,۵۱۷	۰,۴۸۴	۰,۵۱۷	کارآمد	سود	۵
	C_{4-5}	۰,۳۹۶	۰,۶۲۵	۰,۸۵۴	۰,۶۲۵	۰,۶۲۵	۰,۵۸۳	۰,۶۲۵	کارآمد	سود	۱
	C_{4-6}	۰,۲۵۰	۰,۴۵۸	۰,۶۶۷	۰,۴۵۸	۰,۴۵۸	۰,۴۴۸	۰,۴۵۸	ناکارآمد	-	۸
	C_{4-7}	۰,۲۹۲	۰,۴۵۸	۰,۶۴۶	۰,۴۶۵	۰,۴۶۲	۰,۴۳۸	۰,۴۶۵	ناکارآمد	-	۷
	C_{4-8}	۰,۳۳۳	۰,۵۶۳	۰,۸۱۳	۰,۵۶۹	۰,۵۶۶	۰,۵۴۷	۰,۵۶۹	کارآمد	سود	۲
	C_{4-9}	۰,۲۰۸	۰,۳۷۵	۰,۵۶۳	۰,۳۸۲	۰,۳۷۸	۰,۳۷۵	۰,۳۸۲	ناکارآمد	-	۱۱
	C_{4-10}	۰,۳۳۳	۰,۵۴۲	۰,۷۲۹	۰,۵۳۵	۰,۵۳۸	۰,۵۰۰	۰,۵۳۸	کارآمد	سود	۳
	C_{4-11}	۰,۲۵۰	۰,۴۳۸	۰,۶۴۶	۰,۴۴۴	۰,۴۴۱	۰,۴۳۲	۰,۴۴۴	ناکارآمد	-	۱۰
C_5	C_{5-1}	۰,۳۱۳	۰,۵۴۲	۰,۷۵۰	۰,۵۳۵	۰,۵۳۸	۰,۵۱۰	۰,۵۳۸	کارآمد	سود	۴
	C_{5-2}	۰,۱۰۴	۰,۲۷۱	۰,۵۲۱	۰,۲۹۹	۰,۲۸۵	۰,۳۲۸	۰,۳۲۸	ناکارآمد	-	۸
	C_{5-3}	۰,۳۷۵	۰,۵۸۳	۰,۷۷۱	۰,۵۷۶	۰,۵۸۰	۰,۵۳۱	۰,۵۸۰	کارآمد	هزینه	۲
	C_{5-4}	۰,۲۷۱	۰,۴۱۷	۰,۶۰۴	۰,۴۳۱	۰,۴۲۴	۰,۴۰۶	۰,۴۳۱	ناکارآمد	-	۶
	C_{5-5}	۰,۳۵۴	۰,۶۰۴	۰,۸۳۳	۰,۵۹۷	۰,۶۰۱	۰,۵۶۸	۰,۶۰۱	کارآمد	سود	۱
	C_{5-6}	۰,۳۱۳	۰,۵۶۳	۰,۷۹۲	۰,۵۵۶	۰,۵۵۹	۰,۵۳۶	۰,۵۵۹	کارآمد	هزینه	۳
	C_{5-7}	۰,۲۹۲	۰,۴۵۸	۰,۶۸۸	۰,۴۷۹	۰,۴۶۹	۰,۴۵۸	۰,۴۷۹	ناکارآمد	-	۵
	C_{5-8}	۰,۱۶۷	۰,۳۵۴	۰,۶۰۴	۰,۳۷۵	۰,۳۶۵	۰,۳۹۱	۰,۳۹۱	ناکارآمد	-	۷

C_6	C_{6-1}	۰,۳۵۴	۰,۵۶۳	۰,۷۲۹	۰,۵۴۹	۰,۵۵۶	۰,۵۰۵	۰,۵۵۶	کارآمد	سود	۳
	C_{6-2}	۰,۲۰۸	۰,۳۹۶	۰,۶۴۶	۰,۴۱۷	۰,۴۰۶	۰,۴۲۲	۰,۴۲۲	ناکارآمد	-	۷
	C_{6-3}	۰,۲۷۱	۰,۴۳۸	۰,۶۶۷	۰,۴۵۸	۰,۴۴۸	۰,۴۴۳	۰,۴۵۸	ناکارآمد	-	۶
	C_{6-4}	۰,۳۹۶	۰,۶۰۴	۰,۷۷۱	۰,۵۹۰	۰,۵۹۷	۰,۵۳۶	۰,۵۹۷	کارآمد	هزینه	۱
	C_{6-5}	۰,۲۷۱	۰,۴۷۹	۰,۷۰۸	۰,۴۸۶	۰,۴۸۳	۰,۴۷۴	۰,۴۸۶	ناکارآمد	-	۵
	C_{6-6}	۰,۳۵۴	۰,۵۸۳	۰,۷۷۱	۰,۵۶۹	۰,۵۷۶	۰,۵۳۱	۰,۵۷۶	کارآمد	سود	۲
	C_{6-7}	۰,۲۰۸	۰,۳۵۴	۰,۵۶۳	۰,۳۷۵	۰,۳۶۵	۰,۳۷۰	۰,۳۷۵	ناکارآمد	-	۸
	C_{6-8}	۰,۳۱۳	۰,۵۴۲	۰,۷۷۱	۰,۵۴۲	۰,۵۴۲	۰,۵۲۱	۰,۵۴۲	کارآمد	هزینه	۴
	C_{6-9}	۰,۱۶۷	۰,۲۹۲	۰,۵۲۱	۰,۳۲۶	۰,۳۰۹	۰,۳۳۳	۰,۳۳۳	ناکارآمد	-	۹

۴-۳- نتایج فاز سوم: توسعه سیستم مدیریت پل (اولویت‌بندی فاکتورها و انتخاب پل‌ها)

در این فاز به اولویت‌بندی فاکتورهای کارآمد استخراج شده از فاز قبلی جهت شناسایی فاکتورهای نهایی موثر بر وضعیت بحرانی پل‌ها در بخش اول و رتبه‌بندی پل‌های روگذر شهری مورد مطالعه از نظر نیاز به تخصیص تعمیر و نگهداری در بخش دوم پرداخته شده است. در بخش اول برای اجرای محاسبات روش سوارای فازی، ابتدا فاکتورهای بحرانی شناسایی شده برحسب امتیاز حاصل از روش دلفی فازی به ترتیب اهمیت و به‌صورت نزولی مرتب شدند. در ادامه با محاسبه اهمیت نسبی فازی ($\tilde{S}_j$) مطابق با عبارات کلامی اخذشده از نظرات خبرگان، محاسبه ضریب فازی ($\tilde{k}_j$)، وزن فازی اولیه ($\tilde{q}_j$) و نسبی ($\tilde{w}_j$) و درنهایت فازی‌زدایی آن با روش مرکز منطقه، فاکتورهای بحرانی نهایی و رتبه آنها تعیین گردید. در جدول ۹ جزئیات محاسبات روش سوارای فازی آمده است. براساس نتایج، سه فاکتور با رتبه بالاتر مرتبط با هر یک از شاخص‌های اصلی به‌عنوان فاکتورهای نهایی انتخاب شدند. طبق نتایج مشاهده شد که فاکتورهای پرشدگی درز انقطاع و اختلال در عملکرد پل (C_{1-4})، وضعیت گسیختگی دیافراگم پل (C_{1-2}) و نارسایی‌های سطحی: ترک‌خوردگی، شوره‌زدگی، پوسته و قلوه‌شدگی و خرابی‌های دیگر روسازی پل (C_{1-5}) مرتبط با شاخص اصلی سازه‌ای (C_1) به‌ترتیب رتبه‌های بالاتری را کسب نموده‌اند.

مشاهدات میدانی پل‌های انتخاب شده نشان می‌دهد که وضعیت عمومی درزهای انقطاع در بیشتر این پل‌ها معیوب بوده و همین موضوع موجب بروز آسیب‌دیدگی‌های شدیدی همچون پولکی و پوسته شدگی سطح راه، قلوه‌کن شدن یا پکیدگی و ایجاد حفره در مسیر پل، ترک خوردگی دال بتنی و خوردگی فولاد در محل درزها شده است. فاکتورهای میانگین و مدت زمان بیشترین بارش سالیانه در محل پل (C_{2-5})، تغییرات آب و هوایی و رطوبت محیط در محل پل (C_{2-3}) و آسیب‌پذیری هیدرولیکی (C_{2-1}) از شاخص اصلی اقلیم و هیدرولوژی (C_2) به‌ترتیب حائز رتبه‌های بالاتری بوده‌اند. با توجه به اینکه تغییرات وضعیت آب و هوایی در شهر تهران در بازه زمانی ساخت پل‌های مورد مطالعه تاکنون نسبتاً شدید بوده است، این موضوع سبب بروز عوامل مهاجم همچون رطوبت زیاد و تعرق اجزای پل، تر و خشک شدن‌های متوالی، یخ و ذوب شدگی متناوب، انبساط و انقباض مداوم، تماس با خاک‌ها و عوامل شیمیایی مهاجم، مواد خوردنده، موجب فرسایش نسبتاً زیادی در اجزای سازه‌های پل‌ها شده است. از سوی دیگر با توجه به نبود رودخانه در مسیر پل‌های مورد مطالعه، مسئله آسیب‌های هیدرولیکی همچون فرسایش بستر رودخانه در پایه این پل‌ها، کمتر اتفاق افتاده و میزان رسوب‌گذاری در آنها تقریباً ناچیز بوده است. فاکتورهای زهکشی، تخلیه آب‌های سطحی و عایق‌بندی پل (C_{3-8})، ایمنی ترافیک عبوری از روی پل (C_{3-4}) و گسیختگی، آسیب‌دیدگی و خوردگی جداول، گاردریل‌ها و اتصالات (C_{3-6}) از شاخص اصلی ایمنی (C_3) به‌ترتیب رتبه‌های بالاتری دارند. بیشتر زهکش‌های موجود در پل‌های روگذر شهری دچار گرفتگی شدید بوده و به دلیل عدم وجود مسرهای جایگزین ای یک سو و حجم ترافیک عبوری سنگین از روی پل‌ها به سهولت امکان ترمیم زهکش‌ها به منظور افزایش ضریب اصطکاک سطح وجود ندارد. از سوی دیگر به دلیل سن بالای پل‌ها، اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای آنها همچون جداول و گاردریل‌ها عمدتاً دارای نقص بوده و نیاز به تمیرات اساسی و فوری دارند. از نظر شاخص اصلی اهمیت استراتژیکی (منطقه‌ای) (C_4)، فاکتورهای نزدیکی و راحتی دسترسی پل به راه‌های شریانی مجاور (C_{4-4})، اهمیت زیبایی‌شناسی پل (C_{4-10}) و اهمیت بهره‌برداری پل (C_{4-5}) به‌ترتیب دارای رتبه‌های بالاتری بوده‌اند. فاکتورهای نسبت هزینه به فایده برای تعمیر و نگهداری یا بازسازی و تعویض پل (C_{5-3})، سهولت اجرای عملیات تعمیر و نگهداری (C_{5-1}) و عمر مفید باقیمانده پل (C_{5-5}) از شاخص اصلی بودجه (C_5) به‌ترتیب دارای رتبه‌های بالاتری هستند. درنهایت حجم ترافیک عبوری از روی پل (C_{6-1})، کیفیت سرویس دهی ترافیکی پل در منطقه (C_{6-6}) و نوع جاده و مسیر عبوری از روی پل (C_{6-4}) از شاخص اصلی ترافیک و روسازی (C_6) به‌ترتیب دارای رتبه‌های

بالاتری بوده‌اند. وزن بالاتر این فاکتورها حاکی از آن است که مسئولین در تخصیص تعمیر و نگهداری با چند مسئله اساسی همچون مواجهه با پل‌هایی که به‌دلیل اجرای نامناسب در زمان ساخت هم‌اکنون دچار مشکلاتی همچون خرابی‌های زودرس شده، عدم اهمیت‌دهی به بحث تعمیر و نگهداری در تاریخچه پل و صدمات مالی ناشی از تخریب پل روبرو هستند.

جدول ۹: نتایج محاسبات تعیین رتبه فاکتورهای بحرانی کارآمد برحسب روش سوارای فازی

شاخص اصلی	فاکتور فرعی	$\tilde{S}_j$			$\tilde{k}_j$			$\tilde{q}_j$			$\tilde{w}_j$ فازی			wj قطعی	رتبه اولیه
		$S_{j\alpha}$	$S_{j\beta}$	$S_{j\gamma}$	$k_{j\alpha}$	$k_{j\beta}$	$k_{j\gamma}$	$q_{j\alpha}$	$q_{j\beta}$	$q_{j\gamma}$	$w_{j\alpha}$	$w_{j\beta}$	$w_{j\gamma}$		
C_1	C_{1-7}	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰,۱۸۰	۰,۱۶۸	۰,۱۵۷	۰,۰۴۸۶۱	۴
	C_{1-10}	۰,۲۵۰	۰,۴۳۸	۰,۶۴۶	۱,۲۵۰	۱,۴۳۸	۱,۶۴۶	۱,۶۴۶	۱,۶۴۶	۱,۲۵۰	۰,۲۹۶	۰,۲۴۱	۰,۱۹۷	۰,۰۴۷۵۷	۵
	C_{1-4}	۰,۲۷۳	۰,۵۲۱	۰,۶۸۲	۱,۲۷۳	۱,۵۲۱	۱,۶۸۲	۱,۰۲۲	۱,۰۲۲	۱,۰۱۸	۰,۱۸۴	۰,۱۷۸	۰,۱۶۰	۰,۰۵۱۵۰	۱
	C_{1-2}	۰,۳۰۰	۰,۵۴۲	۰,۷۰۰	۱,۳۰۰	۱,۵۴۲	۱,۷۰۰	۱,۶۶۴	۱,۶۶۴	۱,۲۷۷	۰,۲۹۹	۰,۲۴۵	۰,۲۰۱	۰,۰۴۹۰۱	۲
	C_{1-5}	۰,۳۰۶	۰,۴۵۸	۰,۶۹۴	۱,۳۰۶	۱,۴۵۸	۱,۶۹۴	۱,۰۱۹	۱,۰۱۹	۱,۰۲۳	۰,۱۸۳	۰,۱۶۸	۰,۱۶۱	۰,۰۴۸۷۳	۳
C_2	C_{2-3}	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰,۳۰۴	۰,۲۹۳	۰,۲۶۹	۰,۰۸۶۳۰	۲
	C_{2-5}	۰,۲۷۱	۰,۴۷۹	۰,۶۸۸	۱,۲۷۱	۱,۴۷۹	۱,۶۸۸	۱,۶۸۸	۱,۴۷۹	۱,۲۷۱	۰,۵۱۳	۰,۴۳۴	۰,۳۴۲	۰,۰۸۷۸۳	۱
	C_{2-1}	۰,۲۹۵	۰,۳۷۵	۰,۷۲۷	۱,۲۹۵	۱,۳۷۵	۱,۷۲۷	۱,۰۲۴	۰,۹۳۰	۱,۰۱۹	۰,۳۱۱	۰,۲۷۳	۰,۲۷۵	۰,۰۷۸۷۶	۳
C_3	C_{3-6}	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰,۱۸۲	۰,۱۶۶	۰,۱۵۷	۰,۰۴۶۹۲	۳
	C_{3-2}	۰,۲۹۲	۰,۵۲۱	۰,۷۲۹	۱,۲۹۲	۱,۵۲۱	۱,۷۲۹	۱,۷۲۹	۱,۵۲۱	۱,۲۹۲	۰,۳۱۵	۰,۲۵۳	۰,۲۰۲	۰,۰۴۶۷۱	۴
	C_{3-4}	۰,۲۷۳	۰,۶۰۴	۰,۷۰۵	۱,۲۷۳	۱,۶۰۴	۱,۷۰۵	۰,۹۸۶	۱,۰۵۵	۰,۹۸۵	۰,۱۸۰	۰,۱۷۶	۰,۱۵۴	۰,۰۵۰۰۶	۲
	C_{3-9}	۰,۲۲۵	۰,۴۳۸	۰,۶۷۵	۱,۲۲۵	۱,۴۳۸	۱,۶۷۵	۱,۶۹۹	۱,۳۶۳	۱,۲۴۳	۰,۳۱۰	۰,۲۲۷	۰,۱۹۵	۰,۰۳۷۲۳	۵
	C_{3-8}	۰,۱۹۴	۰,۴۵۸	۰,۶۳۹	۱,۱۹۴	۱,۴۵۸	۱,۶۳۹	۰,۹۶۵	۱,۰۷۰	۰,۹۶۱	۰,۱۷۶	۰,۱۷۸	۰,۱۵۱	۰,۰۵۰۹۱	۱
C_4	C_{4-5}	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰,۱۴۹	۰,۱۳۵	۰,۱۲۵	۰,۰۳۶۹۷	۳
	C_{4-8}	۰,۲۹۲	۰,۵۲۱	۰,۷۲۹	۱,۲۹۲	۱,۵۲۱	۱,۷۲۹	۱,۷۲۹	۱,۵۲۱	۱,۲۹۲	۰,۲۵۷	۰,۲۰۵	۰,۱۶۱	۰,۰۳۶۳۸	۴
	C_{4-10}	۰,۲۷۳	۰,۶۰۴	۰,۷۰۵	۱,۲۷۳	۱,۶۰۴	۱,۷۰۵	۰,۹۸۶	۱,۰۵۵	۰,۹۸۵	۰,۱۴۷	۰,۱۴۲	۰,۱۲۳	۰,۰۳۹۵۳	۲
	C_{4-3}	۰,۲۲۵	۰,۴۳۸	۰,۶۷۵	۱,۲۲۵	۱,۴۳۸	۱,۶۷۵	۱,۶۹۹	۱,۳۶۳	۱,۲۴۳	۰,۲۵۳	۰,۱۸۴	۰,۱۵۵	۰,۰۲۸۷۴	۶
	C_{4-4}	۰,۱۹۴	۰,۴۵۸	۰,۶۳۹	۱,۱۹۴	۱,۴۵۸	۱,۶۳۹	۰,۹۶۵	۱,۰۷۰	۰,۹۶۱	۰,۱۴۳	۰,۱۴۴	۰,۱۲۰	۰,۰۴۰۲۵	۱
	C_{4-1}	۰,۱۹۴	۰,۵۰۰	۰,۵۸۳	۱,۱۹۴	۱,۵۰۰	۱,۵۸۳	۱,۶۴۲	۱,۴۰۲	۱,۲۴۳	۰,۲۴۴	۰,۱۸۹	۰,۱۵۵	۰,۰۳۳۳۵	۵
C_5	C_{5-5}	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰,۲۰۳	۰,۱۸۸	۰,۱۷۵	۰,۰۵۳۱۴	۳
	C_{5-3}	۰,۴۷۹	۰,۷۲۹	۰,۸۷۵	۱,۴۷۹	۱,۷۲۹	۱,۸۷۵	۱,۸۷۵	۱,۷۲۹	۱,۴۷۹	۰,۳۸۰	۰,۳۲۵	۰,۲۵۸	۰,۰۶۷۴۹	۱
	C_{5-6}	۰,۴۷۷	۰,۵۰۰	۰,۸۶۴	۱,۴۷۷	۱,۵۰۰	۱,۸۶۴	۰,۹۹۴	۰,۸۶۷	۰,۹۹۹	۰,۲۰۲	۰,۱۶۳	۰,۱۷۴	۰,۰۴۵۱۸	۴
	C_{5-1}	۰,۴۵۰	۰,۵۰۰	۰,۸۵۰	۱,۴۵۰	۱,۵۰۰	۱,۸۵۰	۱,۸۶۱	۱,۷۲۹	۱,۴۵۲	۰,۳۷۸	۰,۳۲۵	۰,۲۵۳	۰,۰۶۶۸۳	۲
C_6	C_{6-4}	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰,۲۲۲	۰,۲۰۴	۰,۱۸۵	۰,۰۵۵۵۵	۲
	C_{6-6}	۰,۲۷۱	۰,۵۰۰	۰,۷۲۹	۱,۲۷۱	۱,۵۰۰	۱,۷۲۹	۱,۷۲۹	۱,۵۰۰	۱,۲۷۱	۰,۳۸۴	۰,۳۰۶	۰,۲۳۵	۰,۰۵۲۲۴	۳
	C_{6-1}	۰,۲۵۰	۰,۵۸۳	۰,۷۰۵	۱,۲۵۰	۱,۵۸۳	۱,۷۰۵	۰,۹۸۶	۱,۰۵۶	۰,۹۸۴	۰,۲۱۹	۰,۲۱۶	۰,۱۸۲	۰,۰۵۹۳۸	۱
	C_{6-8}	۰,۲۲۵	۰,۴۱۷	۰,۶۷۵	۱,۲۲۵	۱,۴۱۷	۱,۶۷۵	۱,۶۹۹	۱,۳۴۲	۱,۲۴۵	۰,۳۷۸	۰,۲۷۴	۰,۲۳۰	۰,۰۴۲۱۵	۴

در بخش دوم این فاز، رتبه پل‌های روگذر شهری مورد مطالعه از نظر نیاز به تخصیص تعمیر و نگهداری با استفاده از روش آراس فازی تعیین شد. در جدول ۱۰ نتایج محاسبات این روش آمده است. برای رتبه‌بندی پل‌ها، نرخ وقوع فاکتورهای بحرانی اصلی ازطریق بازرسی و مشاهدات عینی تعیین گردیده و ماتریس تصمیم فازی مطابق با نتایج عینی به‌دست آمده از نظرات خبرگان برای هر کدام از پل‌ها تشکیل شد. این ماتریس متشکل از ۱۸ فاکتور نهایی (معیار) و ۲۴ پل مورد مطالعه (گزینه) (B1 تا B24) است. وزن به‌دست آمده از روش سوارای فازی برای رتبه‌بندی فاکتورها در بخش قبلی، به‌عنوان وزن اولیه معیارهای موجود در ماتریس تصمیم در نظر گرفته شد و در سطر جداگانه‌ای با نام B0 نمایش داده شده است. همچنین معیارهای مثبت (سود) و معیارهای منفی (ضرر) برای هر یک از پل‌های مورد مطالعه تعیین گردید. پس از نرمال‌سازی ماتریس تصمیم فازی و تشکیل ماتریس نرمالایزشده موزون از روی آن، مقدار تابع بهینگی (درجه مطلوبیت) فازی ($\tilde{S}_i$) برحسب مؤلفه‌های $S_{i\alpha}$، $S_{i\beta}$ و $S_{i\gamma}$ که به‌ترتیب نشان‌دهنده بدبینانه‌ترین، محتمل‌ترین و خوش‌بینانه‌ترین مقدار عدد فازی مثلثی $\tilde{S}_i$ می‌باشند، محاسبه می‌شود. درنهایت با فازی‌زدایی آن با روش مرکز سطح، مقدار درجه کیفیت (مطلوبیت) نسبی هر

گزینه (Q_i) به‌دست آمده و نتیجتاً رتبه نهایی پل‌های مورد مطالعه تعیین می‌گردد. نتایج نشان داد که از بین ۲۴ پل مورد مطالعه، پل‌های شیخ فضل‌اله- ستارخان (B2)، حکیم- شیخ بهایی (B16)، همت- آفریقا (B20)، لشگری- صنایع هواپیمایی (B17) و رسالت- حقانی (B21) به‌ترتیب با درجه کیفیت (مطلوبیت) نسبی ۳,۲۲۶، ۳,۱۷۱، ۳,۰۸۱، ۳,۰۸۰ و ۳,۰۷۷ به‌عنوان ارجح‌ترین پل‌ها از نظر نیاز به تخصیص تعمیر و نگهداری به‌شمار می‌روند.

جدول ۱۰: نتایج محاسبات تعیین تابع بهینگی (درجه مطلوبیت) و رتبه‌بندی پل‌های مورد مطالعه برحسب روش آراس فازی

پل-ها	فاکتورهای بحرانی نهایی															$\tilde{S}_i$			S_i قطعی	Q_i	رتبه
	C_{1-4}					...	C_{1-2}					...	C_{6-6}			$S_{i\alpha}$	$S_{i\beta}$	$S_{i\gamma}$			
	۰,۰۵۱۵	۰,۰۵۱۵	۰,۰۵۱۵	۰,۰۴۹۰	۰,۰۴۹۰	...	۰,۰۴۹۰	۰,۰۴۹۰	۰,۰۴۹۰	۰,۰۵۱۵	۰,۰۵۱۵	...	۰,۰۵۲۲	۰,۰۵۲۲	۰,۰۵۲۲	۰,۰۲۲۶۷	۰,۰۲۲	۰,۰۲۰۷	۰,۰۰۶۷	–	–
B0	۰,۱۸۴	۰,۱۷۸	۰,۱۶۰	۰,۲۹۹	۰,۲۴۵	...	۰,۲۰۱	۰,۲۴۵	۰,۲۹۹	۰,۱۶۰	۰,۱۷۸	...	۰,۰۰۰۲۳	۰,۰۰۰۲۸	۰,۰۰۰۳۰	۰,۰۳۱۹۵	۰,۰۳۹	۰,۰۴۷۱	۰,۰۱۷۹	–	–
B1	۰,۲۰۸	۰,۲۲۹	۰,۲۵۰	۰,۳۸۹	۰,۴۱۷	...	۰,۴۴۵	۰,۴۱۷	۰,۳۸۹	۰,۲۵۰	۰,۲۲۹	...	۰,۰۰۱۳۶	۰,۰۰۱۶۷	۰,۰۰۲۰۴	۰,۰۴۰۷۰	۰,۰۴۸	۰,۰۵۷۳	۰,۰۲۱۶	۲,۶۸۱	۱۷
B2	۰,۴۵۸	۰,۴۷۹	۰,۵۰۰	۰,۷۰۱	۰,۷۲۹	...	۰,۷۵۷	۰,۷۲۹	۰,۷۰۱	۰,۵۰۰	۰,۴۷۹	...	۰,۰۰۱۹۱	۰,۰۰۲۲۶	۰,۰۰۲۶۸	۰,۰۳۷۹۲	۰,۰۴۵	۰,۰۵۳۸	۰,۰۲۰۳	۳,۲۲۶	۱
B3	۰,۵۴۲	۰,۵۶۳	۰,۵۸۴	۰,۷۴۳	۰,۷۷۱	...	۰,۷۹۹	۰,۷۷۱	۰,۷۴۳	۰,۵۸۴	۰,۵۶۳	...	۰,۰۰۲۵۵	۰,۰۰۲۹۵	۰,۰۰۳۴۲	۰,۰۲۹۱۵	۰,۰۳۶	۰,۰۴۳۶	۰,۰۱۶۷	۳,۰۳۵	۷
B4	۰,۱۶۷	۰,۱۸۸	۰,۲۰۹	۰,۲۴۳	۰,۲۷۱	...	۰,۲۹۹	۰,۲۷۱	۰,۲۴۳	۰,۲۰۹	۰,۱۸۸	...	۰,۰۰۲۹۲	۰,۰۰۳۳۵	۰,۰۰۳۸۵	۰,۰۳۰۲۴	۰,۰۳۷	۰,۰۴۴۹	۰,۰۱۷۲	۲,۴۹۴	۲۴
B5	۰,۰۸۳	۰,۱۰۴	۰,۱۲۵	۰,۲۶۴	۰,۲۹۲	...	۰,۳۲۰	۰,۲۹۲	۰,۲۶۴	۰,۱۲۵	۰,۱۰۴	...	۰,۰۰۳۰۱	۰,۰۰۳۴۵	۰,۰۰۳۹۵	۰,۰۳۴۲۱	۰,۰۴۱	۰,۰۴۹۷	۰,۰۱۸۹	۲,۵۶۳	۱۸
B6	۰,۱۸۷	۰,۲۰۸	۰,۲۲۹	۰,۳۸۹	۰,۴۱۷	...	۰,۴۴۵	۰,۴۱۷	۰,۳۸۹	۰,۲۲۹	۰,۲۰۸	...	۰,۰۰۲۱۸	۰,۰۰۲۵۶	۰,۰۰۳۰۰	۰,۰۳۷۱۶	۰,۰۴۴	۰,۰۵۲۹	۰,۰۲۰۰	۲,۸۲۰	۱۵
B7	۰,۳۹۶	۰,۴۱۷	۰,۴۳۸	۰,۶۱۸	۰,۶۴۶	...	۰,۶۷۴	۰,۶۴۶	۰,۶۱۸	۰,۴۳۸	۰,۴۱۷	...	۰,۰۰۲۴۳	۰,۰۰۲۸۲	۰,۰۰۳۲۸	۰,۰۳۶۴۹	۰,۰۴۴	۰,۰۵۲۴	۰,۰۱۹۸	۲,۹۸۷	۹
B8	۰,۲۹۲	۰,۳۱۳	۰,۳۳۴	۰,۴۵۱	۰,۴۷۹	...	۰,۵۰۷	۰,۴۷۹	۰,۴۵۱	۰,۳۳۴	۰,۳۱۳	...	۰,۰۰۱۹۳	۰,۰۰۲۲۸	۰,۰۰۲۶۹	۰,۰۲۹۳۴	۰,۰۳۶	۰,۰۴۳۹	۰,۰۱۶۸	۲,۹۶۴	۱۱
B9	۰,۲۰۸	۰,۲۲۹	۰,۲۵۰	۰,۳۸۹	۰,۴۱۷	...	۰,۴۴۵	۰,۴۱۷	۰,۳۸۹	۰,۲۵۰	۰,۲۲۹	...	۰,۰۰۱۱۶	۰,۰۰۱۴۶	۰,۰۰۱۸۱	۰,۰۲۹۶۲	۰,۰۳۶	۰,۰۴۴۲	۰,۰۱۶۹	۲,۵۱۲	۲۳
B10	۰,۲۲۹	۰,۲۵۰	۰,۲۷۱	۰,۴۳۰	۰,۴۵۸	...	۰,۴۸۶	۰,۴۵۸	۰,۴۳۰	۰,۲۷۱	۰,۲۵۰	...	۰,۰۰۱۴۱	۰,۰۰۱۷۲	۰,۰۰۲۰۹	۰,۰۳۵۳۹	۰,۰۴۲	۰,۰۵۱۲	۰,۰۱۹۴	۲,۵۲۸	۲۲
B11	۰,۲۷۱	۰,۲۹۲	۰,۳۱۳	۰,۴۷۲	۰,۵۰۰	...	۰,۵۲۸	۰,۵۰۰	۰,۴۷۲	۰,۳۱۳	۰,۲۹۲	...	۰,۰۰۲۰۹	۰,۰۰۲۴۶	۰,۰۰۲۸۹	۰,۰۳۲۷۴	۰,۰۴۰	۰,۰۴۸۰	۰,۰۱۸۳	۲,۹۰۰	۱۳
B12	۰,۱۸۷	۰,۲۰۸	۰,۲۲۹	۰,۴۱۰	۰,۴۳۸	...	۰,۴۶۶	۰,۴۳۸	۰,۴۱۰	۰,۲۲۹	۰,۲۰۸	...	۰,۰۰۲۲۸	۰,۰۰۲۶۶	۰,۰۰۳۱۰	۰,۰۳۶۷۷	۰,۰۴۴	۰,۰۵۲۶	۰,۰۱۹۹	۲,۷۳۳	۱۶
B13	۰,۳۵۴	۰,۳۷۵	۰,۳۹۶	۰,۵۹۷	۰,۶۲۵	...	۰,۶۵۳	۰,۶۲۵	۰,۵۹۷	۰,۳۹۶	۰,۳۷۵	...	۰,۰۰۲۷۳	۰,۰۰۳۱۵	۰,۰۰۳۶۳	۰,۰۳۰۳۰	۰,۰۳۷	۰,۰۴۴۸	۰,۰۱۷۱	۲,۹۷۴	۱۰
B14	۰,۲۷۱	۰,۲۹۲	۰,۳۱۳	۰,۳۸۹	۰,۴۱۷	...	۰,۴۴۵	۰,۴۱۷	۰,۳۸۹	۰,۳۱۳	۰,۲۹۲	...	۰,۰۰۲۷۳	۰,۰۰۳۱۵	۰,۰۰۳۶۳	۰,۰۳۷۲۶	۰,۰۴۵	۰,۰۵۳۴	۰,۰۲۰۲	۲,۵۵۸	۲۰
B15	۰,۱۸۷	۰,۲۰۸	۰,۲۲۹	۰,۳۲۶	۰,۳۵۴	...	۰,۳۸۲	۰,۳۵۴	۰,۳۲۶	۰,۲۲۹	۰,۲۰۸	...	۰,۰۰۲۹۲	۰,۰۰۳۳۵	۰,۰۰۳۸۵	۰,۰۳۹۴۸	۰,۰۴۷	۰,۰۵۶۲	۰,۰۲۱۲	۳,۰۲۳	۸
B16	۰,۱۸۷	۰,۲۰۸	۰,۲۲۹	۰,۳۲۶	۰,۳۵۴	...	۰,۳۸۲	۰,۳۵۴	۰,۳۲۶	۰,۲۲۹	۰,۲۰۸	...	۰,۰۰۲۶۴	۰,۰۰۳۰۵	۰,۰۰۳۵۳	۰,۰۳۸۱۷	۰,۰۴۵	۰,۰۵۴۵	۰,۰۲۰۶	۳,۱۷۱	۲
B17	۰,۱۲۵	۰,۱۴۶	۰,۱۶۷	۰,۳۲۶	۰,۳۵۴	...	۰,۳۸۲	۰,۳۵۴	۰,۳۲۶	۰,۱۶۷	۰,۱۴۶	...	۰,۰۰۳۰۱	۰,۰۰۳۴۵	۰,۰۰۳۹۵	۰,۰۳۰۵۷	۰,۰۳۷	۰,۰۴۵۰	۰,۰۱۷۱	۳,۰۸۰	۴
B18	۰,۳۳۳	۰,۳۵۴	۰,۳۷۵	۰,۵۷۶	۰,۶۰۴	...	۰,۶۳۲	۰,۶۰۴	۰,۵۷۶	۰,۳۷۵	۰,۳۵۴	...	۰,۰۰۲۶۴	۰,۰۰۳۰۵	۰,۰۰۳۵۳	۰,۰۳۵۴۹	۰,۰۴۳	۰,۰۵۱۲	۰,۰۱۹۴	۲,۵۶۲	۱۹
B19	۰,۲۲۹	۰,۲۵۰	۰,۲۷۱	۰,۳۴۷	۰,۳۷۵	...	۰,۴۰۳	۰,۳۷۵	۰,۳۴۷	۰,۲۷۱	۰,۲۵۰	...	۰,۰۰۲۶۴	۰,۰۰۳۰۵	۰,۰۰۳۵۳	۰,۰۳۸۶۳	۰,۰۴۶	۰,۰۵۴۷	۰,۰۲۰۶	۲,۹۰۳	۱۲
B20	۰,۴۱۷	۰,۴۳۸	۰,۴۵۹	۰,۶۱۸	۰,۶۴۶	...	۰,۶۷۴	۰,۶۴۶	۰,۶۱۸	۰,۴۵۹	۰,۴۳۸	...	۰,۰۰۳۱۰	۰,۰۰۳۵۴	۰,۰۰۴۰۶	۰,۰۳۸۱۵	۰,۰۴۵	۰,۰۵۴۵	۰,۰۲۰۶	۳,۰۸۱	۳
B21	۰,۱۸۷	۰,۲۰۸	۰,۲۲۹	۰,۳۴۷	۰,۳۷۵	...	۰,۴۰۳	۰,۳۷۵	۰,۳۴۷	۰,۲۲۹	۰,۲۰۸	...	۰,۰۰۳۰۱	۰,۰۰۳۴۵	۰,۰۰۳۹۵	۰,۰۳۰۱۲	۰,۰۳۷	۰,۰۴۴۵	۰,۰۱۷۰	۳,۰۷۷	۵
B22	۰,۲۷۱	۰,۲۹۲	۰,۳۱۳	۰,۴۷۲	۰,۵۰۰	...	۰,۵۲۸	۰,۵۰۰	۰,۴۷۲	۰,۳۱۳	۰,۲۹۲	...	۰,۰۰۲۸۳	۰,۰۰۳۲۵	۰,۰۰۳۷۴	۰,۰۳۴۸۲	۰,۰۴۲	۰,۰۵۰۱	۰,۰۱۹۰	۲,۵۴۰	۲۱
B23	۰,۳۹۶	۰,۴۱۷	۰,۴۳۸	۰,۶۱۸	۰,۶۴۶	...	۰,۶۷۴	۰,۶۴۶	۰,۶۱۸	۰,۴۳۸	۰,۴۱۷	...	۰,۰۰۲۲۸	۰,۰۰۲۶۶	۰,۰۰۳۱۰	۰,۰۳۸۰۱	۰,۰۴۵	۰,۰۵۴۰	۰,۰۲۰۴	۲,۸۳۸	۱۴
B24	۰,۲۹۲	۰,۳۱۳	۰,۳۳۴	۰,۵۱۴	۰,۵۴۲	...	۰,۵۷۰	۰,۵۴۲	۰,۵۱۴	۰,۳۳۴	۰,۳۱۳	...	۰,۰۰۳۳۸	۰,۰۰۳۸۴	۰,۰۰۴۳۸	۰,۰۲۲۶۷	۰,۰۲۲	۰,۰۲۰۷	۰,۰۰۶۷	۳,۰۴۳	۶

۵- بحث و بررسی یافته‌ها

در این مقاله یک مدل محاسبه تصمیم‌گیری ترکیبی جهت ارزیابی وضعیت بحرانی پل‌های روگذر شهر تهران از نظر نیاز به تخصیص تعمیر و نگهداری پیشنهاد شده است. الگوریتم یکپارچه توسعه یافته در این مقاله، پیاده‌سازی مدل برای ارزیابی وضعیت بحرانی کلیه پل‌ها را با در نظر گرفتن ابهامات ناشی از عدم قطعیت‌ها در فرآیند تصمیم‌گیری برای انتخاب پل امکان‌پذیر می‌نماید. برخلاف سیستم‌های مدیریت پل قدیمی که تاکنون پیشنهاد گردیده‌اند [۱-۱۲]، الگوریتم ترکیبی پیشنهادی بازتاب فرآیندهای ارزیابی واقعی شرایط فنی را با استفاده از بازرسی‌های دوره‌ای پل‌ها و عناصر تجهیزات آنها تسهیل می‌کند. امکان اعمال مدل پیشنهادی بر روی یک گروه از ۲۴ پل روگذر شهری در کلانشهر تهران، به کاربر اجازه می‌دهد تا ارزیابی‌های کارشناسی را شبیه‌سازی کند. همچنین نتایج به‌دست آمده صحت روش و پتانسیل بالای کاربرد آن را تأیید می‌کند. مهم‌ترین مزایای سیستم پیشنهادی شامل موارد زیر است:

- ✓ ارزیابی بدون ابهام از وضعیت بحرانی گروهی از پل‌های موجود در یک شبکه حمل و نقلی و ارائه راه‌حل‌های تخصیص بودجه برای تعمیر و نگهداری هر پل به ترتیب اولویت
- ✓ امکان توصیف وضعیت بحرانی پل که اغلب در ارزیابی وضعیت فنی به‌کار می‌رود.
- ✓ نمایش اطلاعات به‌دست آمده با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مختلف تشخیص وضعیت بحرانی پل
- ✓ در نظر گرفتن خصوصیات مبهم ارزیابی‌ها، داده‌های ناقص و ارزیابی گروهی انجام شده توسط تیم‌های متخصص به‌ویژه در صورت خرابی و تخصیص بودجه تعمیر و نگهداری برای گروهی از پل‌ها
- ✓ امکان ارجاع ارزیابی‌های نهایی حاصلاز وضعیت فنی پل‌ها به مقیاس زبانی غیرخطی مربوط به پدیده های موجود در واقعیت

آنچه که حائز اهمیت است، وضوح ارزیابی نهایی پل‌ها صرف نظر از تعداد آنها است. بنابراین، امکان مدیریت مجموعه‌ای نامحدود از پل‌ها، در عین حال تخصیص مناسب منابع مالی تعمیر و نگهداری، جنبه عملی مدل پیشنهادی است. علاوه بر این، این مدل پیاده‌سازی را در شرایط واقعی به‌عنوان ابزار نظارت و پیش‌بینی برای بایگانی داده‌های مربوط به یک پل معین برمبنای وضعیت فعلی پل و تعیین تأثیر کار تعمیرات انجام شده بر وضعیت آینده آن تسهیل می‌کند. ضرورت ارزیابی وضعیت پل‌ها با مشخصات نسبتاً یکسان از نظر خصوصیات قدمت، جنس مصالح و سازه پل از معدود اشکالات الگوریتم پیشنهادی در این تحقیق است. صرف‌نظر از این موارد، پیاده‌سازی الگوریتم تجمیع شده در سیستم مدیریت نگهداری پل‌های روگذر شهری باید ابزاری پیشرفته برای مدیران آن باشد که در هنگام انتخاب استراتژی‌های بهینه تعمیر و نگهداری به ویژه در رابطه با پل‌های با قدمت زیاد و در معرض عوامل مختلف تخریب، یاری‌رسان باشد. با توجه به معرفی مدل مرجع، الگوریتم پیشنهادی برای کاربرد در سایر رشته‌ها به‌طور مثال در معماری یا شهرسازی برای تحلیل راهکارهای طراحی و اجرا در بناهای تاریخی نیز مناسب است.

۶- نتیجه گیری

توسعه قابل ملاحظه شبکه حمل‌ونقل شهری کشور ایران در برنامه‌های کوتاه مدت و بلندمدت دولت از یک سو و عدم وجود برنامه‌های مشخص و مدون جهت تخصیص تعمیر و نگهداری بهینه پل‌های روگذر شهری موجود در این شبکه از سوی دیگر، لزوم توسعه سیستم‌های مدیریت پل بومی‌سازی شده با بهره‌گیری از روش‌های نوین تصمیم‌گیری و نظرات خبرگان باتجربه در این خصوص را بسیار حائز اهمیت نموده است. این موضوع با توجه به محدودیت منابع جهت تخصیص بودجه برای عملیات تعمیر و نگهداری، سن بالای پل‌های موجود و خرابی‌های متعدد آنها از اهمیت دوچندان برخوردار شده است. به همین منظور در مقاله حاضر، ضمن شناسایی فاکتورهای موثر بر تعیین وضعیت بحرانی پل‌های روگذر شهری، با استفاده از تلفیق روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی اقدام به توسعه یک سیستم مدیریت پل جهت تخصیص تعمیر و نگهداری به پل‌هایی با وضعیت بحرانی‌تر شده است. سیستم توسعه‌یافته در این تحقیق مشتمل بر یک پروتکل سه فازه است. در فاز اول با بهره‌گیری از یافته‌های حاصل از تحقیقات قبلی، شهود و قضاوت‌های شخصی و تجارب خبرگان اقدام به تهیه پایگاه داده مشتمل بر فاکتورهای بحرانی موثر بر وضعیت بحرانی پل‌ها و همچنین شناسایی تعدادی پل روگذر شهری با مشخصات نسبتاً یکسان و نیازمند به تعمیر و نگهداری در شهر تهران شد. در فازهای دوم و سوم، با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در مسئله تصمیم‌گیری، با ترکیب روش‌های دلفی- سوارا- آراس در محیط فازی، ضمن غربالگری و اولویت‌بندی فاکتورهای بحرانی کارآمد و موثرتر، به ارزیابی وضعیت بحرانی و انتخاب پل‌های مورد مطالعه پرداخته شد.

نتایج حاصل از روش سوارای فازی برای تعیین فاکتورهای نهایی موثر نشان داد که فاکتورهای $C_{1\text{-}4}$، $C_{1\text{-}2}$ و $C_{1\text{-}5}$ مرتبط با شاخص C_1، فاکتورهای $C_{2\text{-}5}$، $C_{2\text{-}3}$ و $C_{2\text{-}1}$ از شاخص C_2، فاکتورهای $C_{3\text{-}8}$، $C_{3\text{-}4}$ و $C_{3\text{-}6}$ از شاخص C_3، فاکتورهای $C_{4\text{-}4}$، $C_{4\text{-}10}$ و $C_{4\text{-}5}$ از شاخص C_4، فاکتورهای $C_{5\text{-}3}$، $C_{5\text{-}1}$ و $C_{5\text{-}5}$ از شاخص C_5 و درنهایت فاکتورهای $C_{6\text{-}1}$، $C_{6\text{-}6}$ و $C_{6\text{-}4}$ از شاخص C_6 به‌ترتیب اولویت رتبه‌های بالاتری را در هر شاخص به خود اختصاص داده‌اند. همچنین نتایج روش آراس فازی برای رتبه‌بندی پل‌های روگذر شهری مورد مطالعه برحسب فاکتورهای بحرانی نهایی (۱۸ فاکتور) نشان داد که از بین ۲۴ پل مورد مطالعه، پل‌های شیخ فضل‌اله- ستارخان (B2)، حکیم- شیخ بهایی (B16)،

همت- آفریقا (B20)، لشگری- صنایع هواپیمایی (B17) و رسالت- حقانی (B21) به‌ترتیب با درجه کیفیت (مطلوبیت) نسبی ۳,۲۲۶، ۳,۱۷۱، ۳,۰۸۱، ۳,۰۸۰ و ۳,۰۷۷ به‌عنوان ارجح‌ترین پل‌ها از نظر نیاز به تخصیص تعمیر و نگهداری به شمار می‌روند.

سیستم مدیریت پل پیشنهادی در تحقیق حاضر می‌تواند در دو سطح مختلف یعنی از یک سو و تعیین درجه وضعیت پل‌های موجود در یک شبکه حمل‌ونقل براساس خرابی‌های مشاهده شده در پل مورد استفاده قرار بگیرد. لازم به ذکر است که در تخصیص رتبه مناسب به وضعیت بحرانی پل‌های مورد مطالعه از نظر نیاز به تعمیر و نگهداری، نقش بازرسی‌های دوره‌ای و اطلاعات کامل خبرگان در موفقیت روش قضاوت پیشنهادی بسیار تعیین‌کننده است.

مراجع

[1] Li, L. Sun, L. and Ning, G. (2014). Deterioration Prediction of Urban Bridges on Network Level Using Markov-Chain Model, *Hindawi Publishing Corporation, Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2014, Article ID 728107, 1-10.

[2] Fukasawa, Y. Nariaki, N. Yukihisa, K. (2017). Analysis for Effectiveness of Bridge Management Plan Focused on the Economic Value by Multi-agent Simulation, *Procedia CIRP*, 62, 94-99.

[3] Garavaglia, E. and Sgambi, L. (2016). Selective maintenance planning of a steel truss bridge based on the Markovian approach, *Engineering Structures*, 125, 532–545.

[4] Mansour, D.M.M. MahdiMoustafa, I. HusseinKhalil, A. ArafatMahd, H. (2019). An assessment model for identifying maintenance priorities strategy for bridges, *Ain Shams Engineering Journal*, 10(4), 695-704.

[5] Valenzuela, S. deSolminihac, H. and Echaveguren, T. (2010). Proposal of an integrated index for prioritization of bridge maintenance, *Journal of Bridge Engineering*, 15(3), 337–343.

[6] Chassiakos, A.P. Vagiotas, P. Theodorakopoulos, D.D. (2005). A knowledge-based system for maintenance planning of highway concrete bridges, *Advances in Engineering Software*, 36(11–12), 740-749.

[7] Abdollahzadeh, G.R., Nowruzi, H., TaheriAmiri, M.J., and Haghighi, F.R. (2014). Selection of Optimal Maintenance Strategy for Stairs Based on Multi-Criteria Decision Algorithm and Mathematical Planning Model Case Study: Stairs in Mazandaran Province, *Transportation Engineering Quarterly*, 6 (3), 478-463 (In Persian).

[8] TaheriAmiri, M.J., Haghighi, F.R., Rahmani Firoozjaei, H., and Hemtian, M. (2018). Optimal allocation of repairs and maintenance of bridges in Mazandaran province in conditions of budget constraint using genetic algorithm, *Transportation Engineering Quarterly*, 10 (2), 211-199 (In Persian).

[9] Ryall, M.J. (2001). *Bridge management*, 1st Ed. Butterworth- Heinemann, Oxford.

[10] Zi-hong, Y. Yuan-fu, L. Jian, G. and Yan, L. (2011). Integration Research and Design of the Bridge Maintenance Management System, *Procedia Engineering*, 15, 5429-5434.

[11] Rahgozar, M.A., Haghshenas, H., Birjandi, P., and Birjandi, P. (2018). Prioritization of bridges in the traffic performance of urban road network (Case study: Isfahan road network), *Transportation Engineering Quarterly*, 10 (1), 17-1 (In Persian).

[12] Mamunur, R.M. (2008). Multiattribute Prioritization Framework for Bridges, Roadside Elements, and Traffic Control Devices Maintenance, *Tenth International Conference on Bridge and Structure Management*, E-C128, ISSN: 0097-8515, 175-188.

[13] Eskandari Shabestari, F., and Dunivi, A. (2016). Identification and prioritization of effective factors in bridge maintenance and repair system using hierarchical technique, *the first national conference on applied research in civil engineering (structural engineering and construction management)*, Tehran, Sharif University of Technology(In Persian).

[14] Elbehairy, H. (2007). *Bridge Management System WITH Integrated Life Cycle Cost Optimization*, A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering.

[15] Wang, Y.M. Liu, J. and Elhag, T.M.S. (2008). An integrated AHP–DEA methodology for bridge risk assessment, *Computers & Industrial Engineering*, 54, 513-525.

[16] Sasmal, S. Ramanjaneyulu, K. and Iyer, N.R. (2012). Condition Ranking and Rating of Bridges Using Fuzzy Logic, *Fuzzy Logic-Emerging Technologies and Applications*, Prof. Elmer Dadios (Ed.), ISBN: 978-953-51-0337-0.

[17] Gao, Z. Liang Distinguished, R.Y. and Xuan, T. (2019). VIKOR method for ranking concrete bridge repair projects with target-based criteria, *Results in Engineering*, 3(100018), ISSN 2590-1230.

[18] Contreras-Nieto, C. Shan, Y. Lewis, P. Hartell, J. (2019). Bridge maintenance prioritization using analytic hierarchy process and fusion tables, *Automation in Construction*, 101, 99-110.

[19] Fabianowski, D. and Jakiel, P. (2019). An expert fuzzy system for management of railroad bridges in use, Automation in Construction, *Automation in Construction*, 106, ISSN 0926-5805.

[20] YavariNia, F., and ShahHosseini, V. (2015). Presenting a conceptual model and a new approach for evaluating and

classifying bridges based on health index criteria, in order to prioritize and budget bridge maintenance, *International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Infrastructure*, Tabriz, Permanent Secretariat of the Conference (In Persian).
[21] Dehghani, H., and Wadiati, M.R. (2019). Identifying and prioritizing the factors affecting the safety of stairs, *the 6th National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Management*, Tehran - Khajeh Nasir al-Din Tusi University of Technology, Khajeh Nasir al-Din Tusi University of Technology (In Persian).
[22] DanaeiFard, H., Alwani, M., and Azar, A. (1387). Quantitative research methodology in management, a comprehensive approach, Tehran: Saffar Ishraqi Publications (In Persian).
[23] Chan, C.M.R. and Harris, F.C. (2006). A database/spreadsheet application for equipment selection, *Construction Management and Economics*, 7(3), 235–247.
[24] Moor, D. and Mccabe, G. (2006). *Introduction to the practice of statistics*, Fourth Edition, NewYork: WH Freema & Co.
[25] Ferrante, A. and Mihalakakou, G. (2001). The influence of water, green and selected passive techniques on the rehabilitation of historical industrial buildings in urban areas, *Solar Energy*, 70(3), 245-253.
[26] Zadeh, L.A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, *Information Sciences*, 8(3), 199-249.
[27] Pelletier, F.J. (2000). Review of Metamathematics of fuzzy logics, *The Bulletin of Symbolic Logic*, 6 (3), 342–346
[28] Zadeh, L.A. (1965). *Fuzzy Sets Information and Control*, 8, 338-353.
[29] Atanasov, K. (1986). Intuitionistic Fuzzy Sets, *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87–96.
[30] Rashvandi, H. (2006). *Fuzzy set theory and its application in industrial engineering and management*, First edition, Tehran: Basic Science Publication.
[31] Deschrijver, G. and Kerre, E.E. (2003). On the relationship between some extensions of fuzzy set theory, *Fuzzy Sets and Systems*, 133(2), 227–235.
[32] Kwong, C.K. and Bai, H. (2003). Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach, *IIE Transactions*, Vol. 35, No. 7, pp. 619-626.
[33] Momeni, M. (2008). *New Issues in Operations Research*, University Press, Faculty of Management, Tehran Second Edition.
[34] Lawshe, C.H. (1975). A quantitative approach to content validity, *Personnel Psychology*, 28, 563-575.
[35] Taherdoost, H. (2016). Validity and Reliability of the Research Instrument; How to Test the Validation of a Questionnaire/Survey in a Research, *International Journal of Academic Research in Management*, 5, 28-36.
[36] Ketabdari, S. (2016). *Principles and Research on Engineering Sciences*, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran.
[37] Kumar, S. (2020). Validity and Reliability: 2 Powerful Testing Tools Kindle Edition, Education Theory Research, Education & Teaching.
[38] Rowe, G. and Wright, G. (1999). The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis, *International Journal of Forecasting*, 15(4), 353-375.
[39] Keršuliene, V. Zavadskas, E.K. and Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA), *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243–258.
[40] Mardani, A. Nilashi, M. Zakuan, N. Loganathan, N. Soheilirad, S. Saman, M.Z.M. and Ibrahim, O. (2017). A systematic review and meta-Analysis of SWARA and WASPAS methods: theory and applications with recent fuzzy developments, *Applied Soft Computing*, 57, 265-292.
[41] Zavadskas, E.K. and Turskis, Z. (2010). A new additiveratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making, *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159-172.
[42] Zavadskas, E. Turskis, Z. Vilutienė, T. and Lepkova, N. (2017). Integrated group fuzzy multi-criteria model: Case of facilities management strategy selection, *Expert Systems with Applications*, 82, 317-331.
[43] Karabasevic, D. Paunkovic, J. and Stanujkic, D. (2016). Ranking of companies according to the indicators of corporate social responsibility based on SWARA and ARAS methods, *Serbian Journal of Management*, 11, 43-53.
[44] Stanujkic, D. (2015). Extension of the ARAS method for decision-making problems with interval-valued triangular fuzzy numbers, *Informatica*, 26, 335-355.

Wang et al.

Data Envelopment Analysis

Markov-chain

Monte Carlo

Markov-chain

□□ VIKOR

□□□ Contreras et al.

□□□□ Fabianowski and Jakiel

□□ Fuzzy sets

□ triangular fuzzy number

□□ Lawshe

□□□ Crisp number

□□□□ Fuzzy Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis

□□□ Fuzzy Additive Ratio Assessment

□□ Keršuliene et al.

□□□ Zavadskas and Turskis

□□□□ Stanujkic