Archive of SID

نشریه علمی - پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۶، شماره ویژه ۲، سال ۱۳۹۸، صفحه ۹۳ تا ۱۰۸

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)

www.jsce.ir

اولویت‌بندی ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی شبکه راه‌های استان خراسان رضوی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

سهیل قره[1*]، کیوان بینا[2]، احسان فرشته پور[3]

۱- دانشیار، بخش فنی مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲- استادیار، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خیام، مشهد، ایران
۳- دانشجوی دکتری مهندسی سازه، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی عمران، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

با توجه به ضرورت توسعه شبکه راه‌های کشور، پل‌ها به عنوان سازه‌های زیربنایی، نقشی کلیدی در امداد رسانی و تداوم فعالیت‌های حیاتی در مرحله بازیابی پس از بروز حوادث و بلایای طبیعی را بر عهده دارند. در استان خراسان رضوی با توجه به شرایط اقلیمی و آب و هوایی از یک سو و وجود نمک‌های خورنده در پروفیل خاک بسیاری از مناطق و همچنین وجود رودخانه‌های فصلی با شوری آب بالا از سوی دیگر، بسیاری از ابنیه فنی راه‌های استان از قبیل پل‌ها، آبگذرها و شالوده‌های بتنی در معرض خوردگی و تخریب قرار دارند. لذا تحقیق حاضر با هدف اولویت بندی ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی با اهمیت واقع در راه‌های اصلی استان خراسان رضوی انجام گردید. در این تحقیق تعداد ۵۲ پل بتنی با طول بیش از ۱۵ متر در نقاط مختلف استان خراسان رضوی پس از بررسی مطالعات ژئوتکنیک، دفترچه محاسبات و نقشه‌های اجرایی، تحت بازدیدهای میدانی دقیق قرار گرفت و پس از وزن دهی معیارهای خرابی بر اساس نظر کارشناسان خبره، در نهایت با کمک روش تحلیل سلسله مراتبی (Analytic Hierarchy Process, AHP) و بکارگیری نرم افزار Expert Choice، پل-های بتنی نیازمند ترمیم و بازسازی اولویت‌بندی گردید و ۱۰ پل با بالاترین اولویت ترمیم و بازسازی مشخص شد. در راستای این تحقیق نتایج نشان می‌دهد مهم‌ترین و تأثیرگذارترین معیار در زمینه اولویت‌بندی ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی، معیار ویژگی‌های عمومی ساختگاه پل با شاخص اولویت ۰/۱۱۵ و کم اثرترین معیار در این زمینه، معیار ایجاد فضای سبزِ منجر به آثار مضمحل کنندهٔ مصالح پی در مجاورت پی‌ها با شاخص اولویت ۰/۰۱۴ می‌باشد. لازم به ذکر است نتایج تحلیل حساسیت بر اساس عملکرد برای معیارهای اولویت بندی پل‌های نیازمند ترمیم و بازسازی، نشان می‌دهد معیار میزان اهمیت پل، دارای بیش‌ترین حساسیت در اولویت بندی ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی بزرگ واقع در شبکه راه‌های اصلی استان خراسان رضوی می‌باشد.

کلمات کلیدی: روش تحلیل سلسله مراتبی، پل بتنی، خوردگی، Expert Choice، تحلیل حساسیت

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/JSCE.2018.97455.1317
۱۳۹۶/۰۶/۱۴	۱۳۹۶/۱۰/۱۷	۱۳۹۶/۱۲/۱۲	۱۳۹۶/۱۲/۱۲	۱۳۹۸/۰۶/۰۱	doi: 10.22065/JSCE.2018.97455.1317

***نویسنده مسئول:** سهیل قره
پست الکترونیکی: Ghareh_soheil@pnu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Prioritizing of Repair and Rehabilitation for Concrete Bridges of Road Network in Khorasan Razavi Province, Using Analytical Hierarchy Process (AHP)

Soheil Ghareh[1*], Kaivan Bina[2] , Ehsan Fereshtehpoor[3]

1- Associate professor, Part of Engineering, Department of Civil Engineering, Payame Noor University,Tehran, Iran
2- Assistant professor, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Khayyam University, Mashhad, Iran
3- Ph.D. Candidate in Structural Engineering, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering,Central Tehran Branch, Islamic Azad University,Tehran, Iran

ABSTRACT

Considering the necessity of developing the road network, bridges as infrastructures, play a key role in helping and sustaining vital activities in the recovery phase after natural disasters and events. So, In Khorasan Razavi province, with regard to climatic conditions on the one hand, and the presence of corrosive agents in the soil profile of many areas, as well as seasonal rivers with high water salinity, on the other hand, many concrete structures of roads such as bridges, culverts and concrete foundations are subject to corrosion and degradation. Therefore, the present study aimed to prioritize the restoration and reconstruction of important concrete bridges in the main roads of Khorasan Razavi province. This prioritization provides the possibility of allocating the annual budget necessary for the maintenance and utilization of concrete bridges of the roads in this province. In this research, 52 concrete bridges with a length of more than 15 meters in different parts of Khorasan Razavi province were studied under precision field observations after geotechnical studies, review of design procedure and as-built maps and after weighing the failure criteria according to the expert opinion, concrete bridges that requiring repair and Rehabilitation were prioritized using Analytical Hierarchy Process (AHP) with Expert Choice software and finally 10 bridges with the highest priority were identified. In line with this research, the results show that the most important and influential criterion in prioritizing the restoration and reconstruction of concrete bridges is the general characteristics of the bridge site with a priority index of 0.115 and the least effective criterion in this field is creating green area which leads to deterioration of foundation materials near footing, with priority index of 0.014. At the end, results of the sensitivity analysis based on performance for prioritization criteria of the bridges needed restoration and reconstruction showed that the bridge importance criterion has the most sensitivity in prioritizing the restoration and reconstruction of large concrete bridges located in the main roads of Khorasan Razavi province.

ARTICLE INFO

Received: 05/09/2017
Revised: 07/01/2018
Accepted: 03/03/2018

Keywords:
Analytical hierarchy process,
Concrete bridge,
Corrosion,
Expert choice,
Sensitivity analysis.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2018.97455.1317

*Corresponding author: Soheil Ghareh
Email address: Ghareh_soheil@pnu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

در چند دهه گذشته به موازات توسعه شبکه راه‌های کشور، حجم قابل توجهی از بودجه‌های مربوطه، به ساخت پل‌ها اختصاص یافته است. متأسفانه علی‌رغم پیشرفت‌های فناوری در عرصه مواد و مهندسی، هنوز این سازه‌ها با گذشت زمان به دلایل مختلفی از جمله شرایط محیطی، بهره‌برداری نامناسب و همچنین خوردگی بتن و آرماتورها دچار خرابی می‌شوند. این خرابی‌ها در صورت عدم توجه به موقع، علاوه بر کاهش سطوح بهره‌برداری و عمر مفید سازه، هزینه‌های تعمیر و نگهداری را به میزان قابل توجهی افزایش خواهد داد. لذا پروژه‌های مرتبط با ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی نیاز به استفاده از روش‌های منطقی و علمی در تخصیص بودجه‌های موجود و یا به عبارت دیگر تعیین اولویت‌بندی پل‌های نیازمند به بازسازی دارد. پیچیدگی و تعدد عوامل مرتبط با خوردگی پل‌های بتنی مسلح و همچنین کمبود منابع مالی و زمان عملیات اجرایی ترمیم و بازسازی این سازه‌ها، سبب می‌گردد تمام عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری برای انتخاب چندین گزینه با شرایط مختلف در نظر گرفته نشود. بنابراین ضروری است با استفاده از یک فرآیند تصمیم‌گیری، به اولویت‌بندی گزینه‌های بازسازی و نوسازی پل‌ها پرداخته شود. هدف از این تحقیق، ایجاد یک مدل با کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای اولویت‌بندی ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی می‌باشد که بتوان با استفاده از مدل مذکور، علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه‌ها، میزان سرویس‌دهی، طول عمر مفید پل و قابلیت اطمینان آن را افزایش داده و از خرابی کامل پل‌ها جلوگیری نمود.

بیش از پنج دهه از ارائه اولین روش‌های تعیین اولویت‌ها یا گزینه‌های برتر در طرح‌ها، برنامه‌ها و بخش‌های مختلف اقتصادی می‌گذرد. در طی این مدت روش‌های مورد استفاده روند تکاملی داشته و از محاسبات مبتنی بر عوامل کمی به سوی محاسبات عوامل کیفی و همچنین از نظرات فردی به تصمیم‌گیری‌های گروهی ارتقاء یافته است[۱]. امروزه با توجه به پیشرفت علم و افزایش پیچیدگی‌های ارتباط آن‌ها با یکدیگر، توجه محققین معطوف به مدل‌های چند معیاره برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده گردیده است. در بسیاری از مطالعات مختلف، تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM) به عنوان یکی از شاخه‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، در جهت شناسایی برترین گزینه از میان مجموعه‌ای از گزینه‌های موجود، بکار می‌رود. برای حل هر یک از مدل‌های مذکور، روش‌هایی نظیر روش اولویت محور، روش فاصله محور، روش رتبه‌بندی گزینه‌ها و ترکیب هریک از این روش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر این، روش‌های حل به روش‌های محاسباتی، تصادفی و فازی نیز تقسیم‌بندی می‌شوند. با توجه به تعداد شرکت کنندگان، روش‌های حل به روش‌های تصمیم گیری فردی و گروهی نیز تقسیم می‌گردند[۲]. از روش‌های نوینی که به منظور تصمیم‌گیری کیفی مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توان به تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ای اشاره نمود.

روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اولین بار توسط توماس ال. ساعتی عراقی الاصل در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید[۳]. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از بهترین و دقیق‌ترین روش‌های رتبه‌بندی و تصمیم‌گیری بر اساس چندین شاخص می‌باشد و به تصمیم‌گیرنده امکان دخالت قضاوت‌های شخصی و تجربیات خود، در مسئله را می‌دهد[۴]. روش تحلیل سلسه مراتبی بر اساس تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده و فازی پیشنهاد می‌گردد[۵]. این تکنیک، مسائل پیچیده را بر اساس آثار متقابل آن‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد و آن‌ها را به شکلی ساده تبدیل کرده و به حل آن می‌پردازد. در این روش به منظور مدل‌سازی مسئله می‌توان از مجموعه اعداد فازی در مقایسات دودویی بهره جست. فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) یکی دیگر از سری تکنیک‌های تصمیم‌گیری است که شباهت زیادی به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) دارد. هر یک از این روش‌ها بر اساس یک سری فرضیات بنا شده‌اند که اگر معیارها مستقل از هم بوده و مقایسات زوجی امکان‌پذیر باشد، مدل تصمیم‌گیری مناسب روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و درصورتی‌که معیارها مستقل نباشند، روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) ارجح می‌باشد. تاکنون مطالعات بسیاری با استفاده از این دو روش به منظور تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه بهینه انجام شده است. از جمله می‌توان به مطالعات اوکادا و همکاران[۶] در بررسی اثرات بهبود مدیریت و سخت افزار به منظور عملکرد مطلوب‌تر پروژه‌های آبیاری و تحقیقات منتظر و زادباقر[۷] در بررسی و ارزیابی شبکه‌های آبیاری اشاره نمود. همچنین ازغدی و همکاران[۸] با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به ارزیابی حاصل‌خیزی خاک برای گیاه گندم بر اساس فاکتورهای فسفر، پتاسیم و مواد آلی پرداختند.

www.SID.ir

Archive of SID

ابراهیمی و همکاران[۹] از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به منظور بررسی مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی در شهر شاهرود استفاده کردند. چابک بلداجی و همکاران[۱۰]، از این روش در مکان‌یابی پخش سیلاب در حوضه آبخیز عشق آباد طبس استفاده کردند. تحقیقات دندی و انگلهارت[۱۱] بر روی یک برنامه‌ریزی بهینه برای بازسازی و تعویض لوله‌های آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک به منظور کمینه کردن هزینه‌های تعمیر انجام گردید، آن‌ها با مطالعه موردی بر روی شهر آدلاید استرالیا نشان دادند الگوریتم ژنتیک ابزاری قدرتمند برای کمک به برنامه‌ریزی در بازسازی لوله‌های آب می‌باشد. مورایس و آلمدیا[۱۲] رویکرد تصمیم‌گیری گروهی برای بازسازی شبکه آب را مورد بررسی قرار داده و یک مدل تصمیم‌گیری گروهی مبتنی بر تجزیه و تحلیل رتبه‌بندی منحصر به فرد با هدف انتخاب گزینه‌ای مناسب را پیشنهاد نمودند.

کاربرد روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) در تحقیقات کم‌تر از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد. از جمله مطالعات صورت گرفته با این روش می‌توان به اولویت‌بندی گزینه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای کارون بزرگ[۱۳]، تعیین سیستم‌های جمع‌آوری آب باران در اراک[۱۴]، تعیین عرصه‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی در فسا[۱۵] و تخصیص بهینه منابع آب سد بوستان[۱۶] اشاره کرد. وفایی[۱۷] در تحقیقات خود روش‌های متفاوت تصمیم‌گیری چند معیاره را بر اساس ۱۳ شاخص موثر از جمله توانایی حل مسأله در دنیای واقعی، قابلیت اعتماد به نتایج، مفید بودن نتایج برای تصمیم گیرنده، توانایی بکارگیری در تصمیم‌گیری گروهی، توانایی پیش‌بینی گزینه برتر و رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها را ارزیابی نمود که نتایج آن نشان می‌دهد روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در میان ۲۰ روش مورد بررسی و بر اساس برآیند شاخص‌ها، بهترین روش برای رتبه‌بندی گزینه‌های یک مساله به شمار می‌آید. با توجه به نتایج فوق‌الذکر در این تحقیق با مطالعه موردی تعدادی از پل‌های بتنی واقع در راه‌های اصلی استان خراسان رضوی، ضمن بررسی خرابی‌ها و نارسایی‌های آن‌ها، به اولویت‌بندی بازسازی و رفع خرابی پل‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پرداخته شد. در تحقیق حاضر علت انتخاب روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در مقایسه با سایر روش‌های تصمیم گیری چند متغیره (مانند ANP)، مستقل بودن معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها از یکدیگر و همچنین ساختار چند سطحی مساله به جای ساختار شبکه‌ای می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- روش تحقیق

تحقیق حاضر به لحاظ هدف، کاربردی و به لحاظ روش، تحلیلی- توصیفی می‌باشد و روش انجام تحقیق به سه مرحله کلی تقسیم گردیده است. در اولین مرحله به شناسایی علل و عوامل خوردگی و خرابی پل‌های بتنی راه‌های استان خراسان رضوی می‌پردازد. در دومین مرحله وزن‌دهی نسبی هر یک از علل و عوامل (معیارها و شاخص‌های درخت تحلیل سلسله مراتبی) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) تعیین و در مرحله نهایی، گزینه‌های تحقیق (پل‌های مورد بررسی) بر مبنای شاخص‌ها و معیارهای وزن دهی شده و به ترتیب نیاز به ترمیم و بازسازی، اولویت بندی شده است. گردآوری اطلاعات در این تحقیق از طریق تحقیقات انجام شده در گذشته، مذاکرات صورت گرفته با صاحب نظران، اساتید دانشگاه در رشته مهندسی عمران، کارشناسان متخصص در زمینه سازه‌های بتنی و پل‌ها در اداره کل راه و شهرسازی و شهرداری مشهد به عنوان خبرگان موضوع تحقیق انجام گردید. در این راستا ابزار اصلی تکمیل پرسشنامه‌ها می‌باشد که پرسشنامه اول شامل علل، عوامل و شواهد خوردگی، خرابی و اضمحلال در اجزای مختلف پل‌های بتنی راه‌های استان خراسان رضوی بود که توسط چند تیم متخصص کارشناسی و بر اساس بازدیدهای میدانی تکمیل گردید و پرسشنامه دوم به منظور مقایسه‌های زوجی و وزن‌دهی معیارها و زیر معیارهای انتخاب شده در پرسشنامه اول، در راستای اولویت‌بندی ترمیم و بازسازی پل‌ها توسط کارشناسان متخصص در زمینه سازه‌های بتنی و پل‌ها تکمیل شد.

www.SID.ir

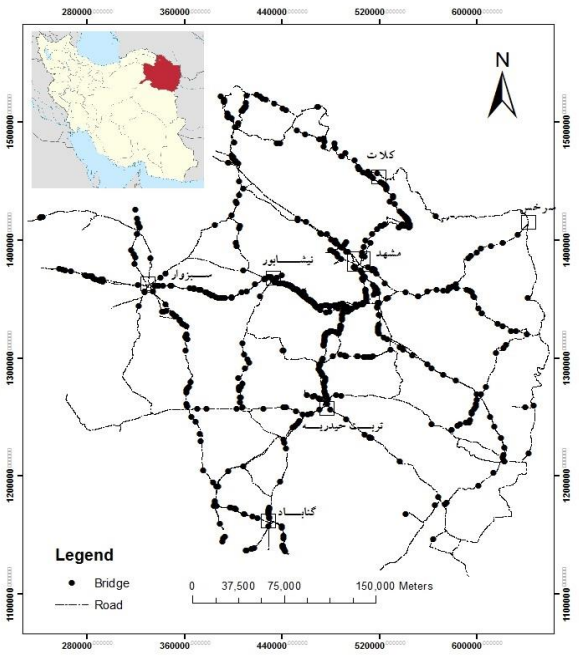
Archive of SID

۲-۲- تعیین معیارهای اولویت‌بندی

در مرحله شناسایی علل و عوامل خوردگی و خرابی پل‌های بتنی و به منظور استانداردسازی روند بازرسی پل‌های بتنی پرسشنامه‌ای (چک لیستی) برای بازدید پل‌ها تهیه گردید. این پرسشنامه بر مبنای معیارهای درج شده در نشریه شماره ۵۱۱ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری[۱۸] و برای هر یک از پل‌های بتنی مورد بررسی، تکمیل شد. شایان توجه می‌باشد در این پرسشنامه پارامترهایی نظیر میزان اهمیت پل، میزان اهمیت مسیر زیرگذر و تأسیسات زیرین پل، ویژگی‌های عمومی ساختگاه پل، خوردگی، شرایط اقلیمی، بروز فرونشست، تاثیر احداث فضای سبز، تاثیر احداث گودبرداری، علایم و شواهد آبشستگی، مسائل ساخت و نگهداری پل، وضعیت دفع آب‌های سطحی، وضعیت ترک‌های پل، گسترهٔ فعل و انفعالات شیمیایی در مصالح بتنی، آثار کرمو شدن بتن، کیفیت درزهای انبساط، کیفیت روسازی و عایق بندی، عملکرد زهکش دیوارها و همچنین وضعیت پوشش بتنی اجزای بتن آرمه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. با توجه به این که پرسشنامه با استفاده از آیین‌نامه‌های معتبر موجود و گروهی از کارشناسان خبره آماده‌سازی و تایید شده است، لذا به لحاظ محتوی از روایی قابل قبولی برخوردار است.

۲-۳- تعیین گزینه‌های اولویت‌بندی

در تحقیق حاضر از میان لیست پل‌های بزرگ (پل‌های با طول کل بیش از ۲۰ متر) در حوزه استحفاظی اداره کل راه و ترابری استان خراسان رضوی که شامل ۱۳۶ پل بتنی با طول‌های متفاوت می‌باشد، تعداد ۵۲ پل با توجه به درجه اهمیت و دسترسی در شرایط وقوع بحران به عنوان نمونه‌های آماری مورد بازدید میدانی و بررسی دقیق قرار گرفت. پل‌های مذکور به گونه‌ای انتخاب شدند که اولاً تمامی نقاط استان با آب و هوا و شرایط اقلیمی مختلف را در برگرفته و ثانیاً در مسیر راه‌های اصلی و بر روی رودخانه‌های مهم استان خراسان رضوی قرارگرفته باشند. شکل ۱ نقشه پراکندگی پل‌های اصلی واقع شده در مسیر راه‌های استان خراسان رضوی را نشان می‌دهد که از میان آن‌ها، ۵۲ پل، مورد بازدید میدانی و بررسی دقیق قرار گرفتند، لازم به ذکر است موقعیت و وسعت محدوده مورد مطالعه نسبت به کشور ایران نیز در این شکل نشان داده شده است.



شکل۱: نقشه پراکندگی پل‌های بتنی اصلی واقع شده در مسیر راه‌های استان و موقعیت مسیرهای طی شده جهت بازدید این پل‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین شکل ۲ آثار خوردگی در برخی از پل‌های بتنی استان خراسان رضوی که در تحقیق حاضر مورد بررسی و بازدید میدانی قرار گرفتند را نشان می‌دهد. با توجه به بازدیدهای انجام شده و مطالعات صورت گرفته بر روی پل‌های بتنی بزرگ استان خراسان رضوی در تحقیق حاضر، مهم‌ترین علل خوردگی و خرابی پل‌ها را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

- خوردگی ناشی از محلول آب و نمک پخش شده بر روی روسازی جهت جلوگیری از یخ زدگی.
- وجود کربنات کلسیم (شوره) در زیر دال پل‌ها.
- زهکشی نامناسب آب سطحی.
- درزه‌های انبساط و اجرایی با آب‌بندی.
- عدم کارایی مناسب لوله‌های زهکش در دیواره و کف به دلیل گرفتگی.
- کرمو شدن بتن خصوصاً در دیواره‌ها و پایه‌های پل.
- پوشش بتنی نامناسب و ناکافی بر روی آرماتور.
- عدم حفاظت مناسب فونداسیون پایه‌های پل واقع در رودخانه در مقابل آب شستگی.

شکل۲: آثار خوردگی در برخی از پل‌های بتنی مورد بررسی در استان خراسان رضوی

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۴- تهیه ساختار سلسله مراتبی

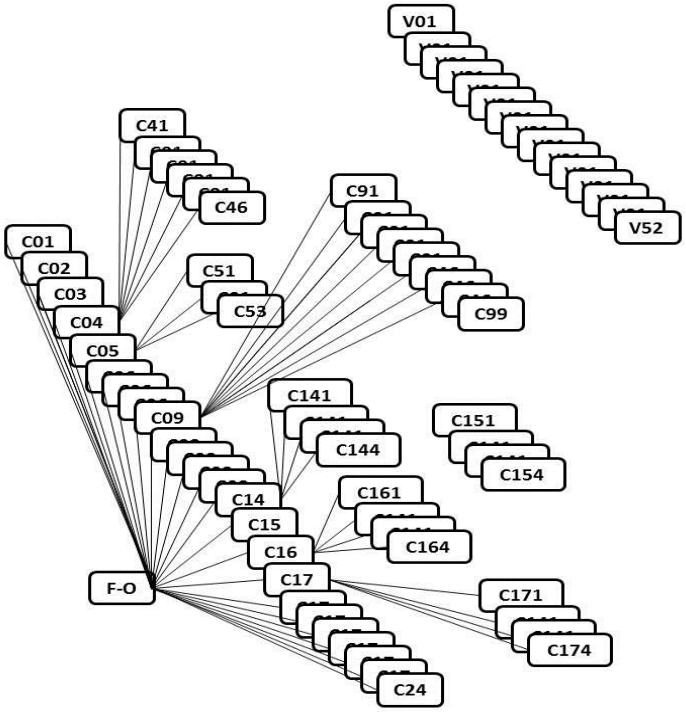
اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد نمایش گرافیکی مسأله با در نظر گرفتن اهداف، معیارها و گزینه‌ها می‌باشد. سطح یک در تحلیل سلسله مراتبی هدف را نشان داده و سطوح میانی معیارهای موثر بر تصمیم‌گیری و در نهایت سطح آخر، گزینه‌های تصمیم‌گیری هستند. مهم‌ترین بخش در این مرحله انتخاب معیارها و عوامل موثر بر هدف تصمیم است. بر مبنای معیارهای بدست آمده [۱۸]، درخت تحلیل سلسله مراتبی مطابق شکل ۳ ترسیم گردید که جزئیات آن در جدول ۱ آورده شده است، لازم به ذکر است در این جدول هدف نهایی با F-O، معیارها با C01 تا C24، زیرمعیارها با C41 تا C174 و گزینه‌ها با V01 تا V52 نشان داده شده است و درخت تحلیل سلسله مراتبی این تحقیق شامل ۲۴ معیار تصمیم‌گیری، ۳۴ زیر معیار و ۵۲ گزینه شامل پل‌های مورد اولویت بندی، می‌باشد.

جدول ۱: جزئیات درخت تحلیل سلسله مراتبی با هدف اولویت بندی بازسازی پل‌های بتنی

هدف نهایی	F-O	اولویت‌بندی پل‌های مورد تعمیر و بازسازی			
معیارها	C01	میزان اهمیت پل	زیر معیارها	C41	از نظر پهنه‌بندی لرزه‌ای (آیین‌نامه)
	C02	خوردگی در محل مستعد آبشستگی و فرسایش (قرنیز بتنی)		C42	از دیدگاه احتمال بروز روانگرایی
	C03	میزان اهمیت مسیر زیرگذر یا ابنیه و تأسیسات زیرین پل		C43	از دیدگاه احتمال بروز زمین‌لغزش
	C04	ویژگی‌های عمومی ساختگاه پل		C44	خطر پذیری در ارتباط با سیل و طغیان
	C05	شرایط اقلیمی و آب و هوا		C45	از دیدگاه احتمال ریزش سنگ و خاک
	C06	بروز فرونشست یا اختلاف نشست پی‌ها		C46	خطر پذیری تحت تأثیر سایر مخاطرات طبیعی
	C07	ایجاد فضای سبزِ منجر به آثار مضمحل کنندهٔ مصالح در مجاورت پی		C51	نوع اقلیم
	C08	گودبرداری با عمق بیش از عمق پی در مجاورت پی پس از احداث پل		C52	رطوبت نسبی
	C09	علایم و شواهد آبشستگی		C53	وجود آثار املاح و مواد شیمیایی
	C10	مسائل طرح، ساخت و نگهداری		C91	وجود شواهد دال بر بروز آب شستگی در گذشته یا پتانسیل آب شستگی در آتیه
	C11	وضعیت خوردگی قطعات فلزی		C92	وجود آثار آب شستگی در محل کوله‌ها
	C12	وضعیت رنگ و پوشش قطعات فلزی		C93	وجود حفرات ناشی از آبشستگی در اطراف پایه‌ها
	C13	وضعیت دفع آب‌های سطحی		C94	شرایط مستعد گسترش آبشستگی در آتیه
	C14	وضعیت ترک‌ها، خوردگی و نارسایی‌های مشهود دال‌های بتنی مقاطع مختلط		C95	کمبود تدابیر جهت کاهش آبشستگی
	C15	وضعیت ترک‌ها، خوردگی و نارسایی‌های تیرهای عرشه‌های بتنی درجا یا پیش ساخته		C96	رتبه‌بندی در مقابل آب شستگی
	C16	وضعیت ترک‌ها، خوردگی و نارسایی‌ها در پایه‌های بتنی		C97	برنامه‌ریزی عملیاتی از دیدگاه مسایل مرتبط با آب شستگی
	C17	وضعیت ترک‌ها، خوردگی و نارسایی‌ها در دیوارها، فونداسیون و شمع‌های بتنی		C98	جدا شدن و لغزش و فروافتادن عرشه از پایه‌ها
	C18	گسترهٔ فعل و انفعالات شیمیایی در مصالح بتنی		C99	آبشستگی زیر و اطراف پی ها
	C19	آثار کرمو شدن در بتن عرشه و پایه‌ها		C141	الگوی ترک خوردگی
	C20	کیفیت درزهای انبساط		C142	بازشدگی ترکها
	C21	کیفیت روسازی و عایق بندی کف عرشه		C143	میزان خوردگی
	C22	آثار خوردگی اطراف لوله‌های زهکش عرشه پل		C144	سطح متوسط خوردگی
	C23	عملکرد زهکش دیوارها		C151	الگوی ترک خوردگی
	C24	وضعیت پوشش بتنی اجزای بتن آرمه		C152	بازشدگی ترکها
				C153	میزان خوردگی
				C154	سطح متوسط خوردگی
			C161-C164 C171-C174		مشابه C151 تا C154
گزینه‌ها	V01-V52	پل‌های مورد بررسی و بازدید			

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳: نمایش درخت تحلیل سلسله مراتبی با هدف اولویت‌بندی بازسازی پل‌های بتنی

۲-۵- وزن‌دهی معیارها

در این تحقیق جهت وزن‌دهی معیارها یا شاخص‌ها و گزینه‌ها، از روش مقایسات زوجی استفاده می‌شود. به این صورت که تصمیم‌گیر یا تصمیم گیرندگان، معیارها و زیر معیارهای هر معیار یا شاخص را فقط به صورت دو به دو و زوج به زوج مقایسه می‌کنند و نیازی به وزن‌دهی هم‌زمان تمامی معیارها یا شاخص‌ها وجود ندارد. در صورتی‌که در مقایسات زوجی معیارها یا شاخص‌ها، سازگاری وجود نداشته باشد، این ناسازگاری و قابلیت اعتماد تصمیمات، قابل محاسبه می‌باشند؛ به عبارت دیگر تصمیم‌گیر بایستی برای هر معیار ارزش نسبی زیر معیارهای مربوط به آن معیار را در قالب ماتریس مقایسات زوجی (رابطه ۱) که در حالت وجود n زیر معیار، یک ماتریس n×n است، محاسبه نماید. اعضای این ماتریس، نسبت وزن معیار یا شاخص i به معیار یا شاخص j را نشان می‌دهند. همچنین تخصیص امتیازات عددی مربوط به مقایسه زوجی اهمیت دو گزینه یا دو شاخص، بر اساس جدول ۲ صورت می‌گیرد. همان گونه که اشاره شد مقایسات زوجی بر این فرض استوار است که برای تصمیم‌گیر، مقایسه دو مقدار در یک زمان آسان‌تر از آن است که بخواهد هم‌زمان کل مجموعه معیارها یا شاخص‌ها را وزن‌دهی کند[۳].

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (۱)$$

در رابطه فوق a_{ij} ترجیح عنصر i نسبت به عنصر j می‌باشد. در مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر بنا به شرط معکوسی، رابطه ۲ برقرار است.

www.SID.ir

Archive of SID

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (۲)$$

تکمیل جدول مقایسات زوجی برای معیارها و زیرمعیارها در تحقیق حاضر توسط گروهی از کارشناسان خبره با تخصص سازه‌های بتنی و پل انجام پذیرفت. برای ترکیب جداول مقایسه‌ای تکمیل شده توسط کارشناسان مختلف که بعضاً نظرات متفاوتی دارند، روش‌های مختلفی وجود دارد. توصیه‌های معمول در این زمینه آن است که یا تمام افراد پس از انجام یکسری جلسات توجیهی به یک جدول مقایسه-ای زوجی مشترک برسند و یا این که هر یک از افراد نظر خود را اعلام نموده و سپس با انجام میانگین‌گیری، جدول مقایسات زوجی نهایی ایجاد شود. در روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌توان از محاسبه میانگین هندسی برای ترکیب نظرات استفاده نمود[۱۹]. صامتی و همکاران[۲۰]، شاکری و سلیمی[۲۱]، از میانگین هندسی برای ترکیب قضاوت‌ها در روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده نمودند. لذا در راستای این تحقیق نیز از روش میانگین‌گیری هندسی استفاده گردید. گام بعدی در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، تعیین وزن معیارهای تصمیم‌گیری نسبت به یکدیگر از طریق مجموعه‌ای از محاسبات عددی می‌باشد که انجام محاسبات لازم برای تعیین اولویت هر یک از عناصر تصمیم، با استفاده از اطلاعات ماتریس‌های مقایسات زوجی صورت می‌گیرد. لذا ابتدا مجموع اعداد هر ستون از ماتریس مقایسات زوجی را محاسبه نموده، سپس هر عنصر ستون را بر مجموع اعداد آن ستون تقسیم می‌نماییم. ماتریس جدیدی که بدین صورت بدست می‌آید، ماتریس مقایسات نرمال شده نامیده می‌شود. در ادامه میانگین اعداد هر سطر از ماتریس مقایسات نرمال شده محاسبه می‌گردد.

جدول۲: مقیاس انجام مقایسات زوجی[۲]

مقایسه نسبی شاخص‌ها (قضاوت شفاهی)	امتیاز عددی
اهمیت مطلق	۹
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت قوی	۵
اهمیت ضعیف	۳
اهمیت یکسان	۱
ترجیحات بین فاصله‌های بالا	۲، ۴، ۶ و ۸

این میانگین، وزن نسبی معیارهای تصمیم با سطرهای ماتریس را ارائه می‌کند که به منظور رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم، در این مرحله بایستی وزن نسبی هر عنصر در وزن عناصر بالاتر ضرب و از رابطه ۳ مقدار وزن نهایی بدست آید.

$$A = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}.w_j \quad (۳)$$

در این رابطه w_j نشانگر اهمیت یا وزن معیار و A ماتریس مقایسه زوجی است.

www.SID.ir

Archive of SID

در تحقیق حاضر عملیات ریاضی مربوط به روش تحلیل سلسله مراتبی به کمک نرم‌افزار Expert Choice و با کسب نظرات کارشناسی در غالب تکمیل پرسشنامه و بر مبنای محاسبه مقادیر عددی برای روابط ۱ تا ۳ انجام شد. در این راستا از نظر گروهی از کارشناسان مرتبط با موضوع و با تخصص‌های مختلف بهره گرفته شده که کارشناسان مذکور متشکل از اعضای هیات علمی دانشگاه در رشته مهندسی عمران، کارشناسان ارشد مهندسی عمران- سازه اداره کل راه و شهرسازی استان خراسان رضوی، مدیران اجرایی پروژه‌های عمرانی استان خراسان رضوی، کارشناسان شرکت‌های مهندسین مشاور و کارشناسان شرکت‌های پیمانکار تعمیر و نگهداری پل‌ها می‌باشند. این نرم‌افزار به طور خاص جهت تحلیل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی طراحی‌شده که مورد تائید و حمایت توماس ال ساعتی بنیان‌گذار روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد. این نرم‌افزار که برای اولین بار سال ۱۹۸۳ در دانشگاه پنسیلوانیا مطرح شد، علاوه بر امکان طراحی نمودار سلسله مراتب تصمیم‌گیری، طراحی سوالات، تعیین اولویت‌ها و محاسبه وزن نهایی، قابلیت تحلیل حساسیت تصمیم‌گیری نسبت به تغییرات در پارامترهای مسئله را نیز دارا می‌باشد[۲۱]. تصمیم‌گیری گروهی یکی از خصوصیات مهم این نرم‌افزار بوده و مهم‌تر از همه این که در بسیاری از موارد از نمودارهای مناسب جهت ارائه نتایج و عملکردها بهره گرفته می‌شود.

۲-۶- سازگاری در قضاوت‌ها

تقریباً تمامی محاسبات مربوط به فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بر اساس قضاوت اولیه تصمیم گیرنده که در قالب ماتریس مقایسات زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و هرگونه خطا و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین گزینه‌ها و شاخص‌ها، نتیجه نهایی به دست آمده از محاسبات را مخدوش می‌سازد. نرخ ناسازگاری[1] معیاری است که سازگاری را مشخص ساخته و نشان می‌دهد تا چه حد می‌توان به اولویت‌های حاصل از مقایسات اعتماد کرد. شاید مقایسه دو گزینه امری ساده باشد، اما هنگامی که تعداد مقایسات افزایش یابد اطمینان از سازگاری مقایسات به راحتی میسر نبوده و باید با به کارگیری نرخ سازگاری به این اعتماد دست یافت. نرخ ناسازگاری بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$I.R = \frac{I.I}{R.I.I} \quad (۴)$$

که در آن $I.R$ نرخ ناسازگاری، $I.I$ شاخص ناسازگاری[2] (از رابطه ۵ محاسبه می‌گردد) و $R.I.I$ شاخص ناسازگاری تصادفی[3] (از رابطه ۶ محاسبه می‌گردد) می‌باشد.

$$I.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (۵)$$

$$R.I.I = 1.98\frac{n-2}{n} \quad (۶)$$

که در روابط مذکور λ_{max} حداکثر مقدار ویژه ماتریس و n بعد ماتریس است.

نرخ ناسازگاری ۰/۱ یا کم‌تر، سازگاری در مقایسات را بیان می‌کند[۲۲]. به عبارتی در صورتی‌که $I.R$ کم‌تر از ۰/۱ باشد می‌توان سازگاری مقایسه‌ها را پذیرفت و در غیر این صورت باید مقایسه‌ها مجدداً انجام گردد. لازم به ذکر است نرخ ناسازگاری محاسبه شده در این مقایسه ۰/۰۷ می‌باشد که نشان‌دهنده سازگاری معیارهای انتخاب شده با هدف تحقیق است. در ادامه برای مقایسه میزان مطابقت نظر هر

[1] Inconsistency Ratio (I.R)
[2] Inconsistency Index (I.I)
[3] Random Inconsistency Index (R.I.I)

www.SID.ir

Archive of SID

یک از کارشناسان مورد استفاده در تحقیق حاضر در زمینه انتخاب مؤثرترین معیارهای دخیل در اولویت‌بندی ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی راه‌های استان خراسان رضوی با برآیند نظر تیم کارشناسی، جدول ۳ تهیه گردید.

جدول۳: مقایسه درصد تطابق نتایج اولویت‌بندی معیارها بین تک‌تک کارشناسان با نظر تیم کارشناسی

مشخصات کارشناس	کارشناس ۱	کارشناس ۲	کارشناس ۳	کارشناس ۴	کارشناس ۵
درصد مطابقت نظر هر کارشناس با نظر تیم کارشناسی	٪۶۰	٪۴۵	٪۵۵	٪۴۰	٪۶۰

مشاهده می‌شود بیش‌ترین تطابق معیارها بین یک کارشناس و تیم کارشناسی، معادل ٪۶۰ و کم‌ترین آن ٪۴۰ می‌باشد. لذا در راستای این تحقیق تصمیم‌گیری تیم کارشناسی می‌تواند در برگیرنده نظرات مختلف از دیدگاه‌های گوناگون باشد.

۲-۷- کنترل روایی و پایایی پرسشنامه

مفهوم اعتبار یا روایی به این سوال پاسخ می‌دهد که ابزار اندازه‌گیری تا چه حد خصیصه مورد نظر را می‌سنجد. بدون آگاهی از اعتبار ابزار اندازه‌گیری نمی‌توان به دقت داده‌های حاصل از آن اطمینان داشت. ابزار اندازه‌گیری ممکن است برای اندازه‌گیری یک خصیصه ویژه دارای اعتبار باشد، درحالی‌که برای سنجش همان خصیصه بر روی جامعه دیگر از هیچ گونه اعتباری برخوردار نباشد. با توجه به این که پرسشنامه تحقیق حاضر با استفاده از آیین‌نامه‌های معتبر موجود و نظرات گروهی از کارشناسان خبره آماده‌سازی و تایید گردید، لذا پرسشنامه به لحاظ محتوی از روایی قابل قبولی برخوردار است.

قابلیت اعتماد که واژه‌هایی مانند پایایی، ثبات و اعتبار برای آن به کار برده می‌شود، یکی از ویژگی‌های ابزار اندازه‌گیری (پرسشنامه یا مصاحبه یا سایر آزمون‌های علوم اجتماعی) است. مفهوم یاد شده با این امر سر و کار دارد که ابزار اندازه‌گیری در شرایط مشابه تا چه اندازه نتایج یکسانی به دست می‌دهد. با توجه به این امر معمولاً دامنه ضریب قابلیت اعتماد از صفر (عدم قابلیت اعتماد) تا ۱+ (قابلیت اعتمادکامل) است. ضریب قابلیت اعتماد نشانگر آن است که تا چه اندازه ابزار اندازه‌گیری ویژگی‌های با ثبات آزمودنی و یا ویژگی‌های متغیر و موقتی وی را می‌سنجد. یکی از روش‌های محاسبه قابلیت اعتماد استفاده از فرمول کرونباخ است[۲۲]. این روش برای محاسبه هماهنگی درونی ابزار اندازه‌گیری از جمله پرسشنامه‌ها یا آزمون‌هایی که خصیصه‌های مختلف را اندازه‌گیری می‌کند، بکار می‌رود. در این گونه ابزارها، پاسخ هر سوال می‌تواند مقادیر عددی مختلف را اختیار کند. برای محاسبه ضریب آلفای کرونباخ ابتدا باید واریانس نمره‌های هر یک از سوال‌های پرسشنامه و واریانس کل را محاسبه کرد و سپس با استفاده از فرمول زیر مقدار ضریب آلفا را محاسبه نمود.

$$r_a = \frac{j}{j-1}\left(1-\frac{\sum S_j^2}{S^2}\right) \quad (۷)$$

که در آن j تعداد سوال‌های پرسشنامه، S_j^2 واریانس پرسش j ام و S^2 واریانس کل سوالات پرسشنامه است. بر این اساس، میزان ضریب کرونباخ برای هر سوال پرسشنامه به صورت جداگانه بین ۰/۶۳ تا ۰/۸۸ ارزیابی گردید و لذا پرسشنامه مورد بررسی از قابلیت اعتمادپذیری بالایی برخوردار بوده است.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

با استفاده از پرسشنامه‌های مربوط به ارزیابی وضعیت ۲۴ معیار و ۳۴ زیرمعیار انتخاب شده برای هریک از ۵۲ گزینه پل بتنی مورد بررسی در این تحقیق و همچنین ترکیب نظرات کارشناسان خبره، تحلیل سلسله مراتبی با هدف تعیین اولویت پل‌های نیازمند ترمیم

www.SID.ir

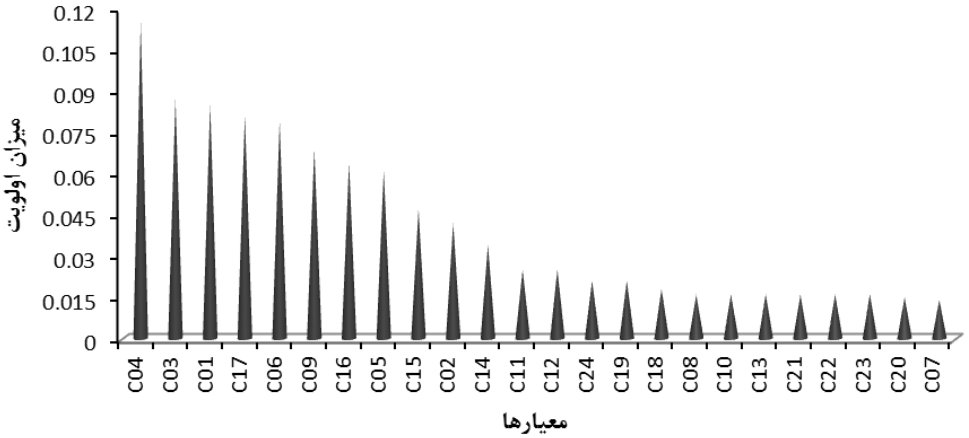
Archive of SID

و بازسازی به کمک نرم افزار Expert Choice انجام شد. نتایج مدل‌سازی در قالب سه بخش اولویت‌بندی معیارها، اولویت‌بندی گزینه‌ها و تحلیل حساسیت ارائه گردید.

۳-۱- اولویت‌بندی معیارها

در این بخش اولویت‌بندی معیارها به عنوان شاخص‌های اصلی تصمیم‌گیری در مقوله بازسازی پل‌های بتنی واقع در راه‌های اصلی استان خراسان رضوی ارائه می‌گردد. نتیجه تیم کارشناسی با امکان تصمیم‌گیری گروهی نرم‌افزار Expert Choice ترکیب و به عنوان گروه کارشناسی معرفی گردید.

همان‌گونه که در شکل ۴ ملاحظه می‌گردد معیار ویژگی‌های عمومی ساختگاه پل که شامل زیر معیارهای پهنه‌بندی لرزه‌ای (آیین‌نامه)، دیدگاه‌هایی در مورد احتمال وقوع پدیده‌هایی نظیر روانگرایی، زمین‌لغزش، سیل و طغیان و ریزش خاک و سنگ می‌باشد. مهم‌ترین و تأثیرگذارترین معیار در زمینه اولویت‌بندی ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی، برآیند نظرات تیم کارشناسی این تحقیق بوده است. همچنین میزان اهمیت مسیر زیرگذر یا ابنیه و تأسیسات زیرین پل نیز اولویت بعدی را به خود اختصاص داده است. این معیار از دیدگاه مدیریت بحران و کاهش خطرپذیری بسیار قابل توجه است زیرا پل‌های بتنی بزرگ جزء سازه‌های حیاتی و زیربنایی محسوب گشته و در شرایط پس از بلایای طبیعی نقش مهمی در عملیات امداد و نجات برعهده دارند. در مقابل معیار ایجاد فضای سبز منجر به آثار مضمحل کنندهٔ مصالح پی، در مجاورت پی‌ها کم‌ترین تأثیر را در اولویت‌بندی ترمیم و بازسازی پل‌ها بر عهده داشته است که این موضوع با توجه به این که تمامی پل‌های مورد بازدید در خارج شهرها و عمدتاً در مناطق با اقلیم خشک احداث شده‌اند و فاقد فضای سبز پیرامونی هستند، کاملاً منطقی می‌باشد.



شکل۴: نمودار اولویت معیارها برای تیم کارشناسی تحقیق حاضر

۳-۲- اولویت‌بندی گزینه‌ها

در نهایت اولویت‌بندی گزینه‌های پل‌های بتنی که هدف نهایی مدل تصمیم‌گیری تحقیق حاضر در اولویت‌بندی ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی بزرگ واقع در راه‌های اصلی استان خراسان رضوی می‌باشد، انجام گردید و نتایج آن برای تیم کارشناسی در شکل ۵ ارائه شده است. نتایج تیم کارشناسی بیانگر این است که ارجح‌ترین پل بتنی برای بازسازی، پل شماره ۲۰ در لیست پل‌های مورد بازدید در این تحقیق (پل کلاته حسن در محور نیشابور- سبزوار) و آخرین اولویت، مربوط به پل شماره ۴۳ (پل کوشان در محور نیشابور- باغچه) می‌باشد. همچنین نرخ ناسازگاری محاسبه شده در این مقایسه ۰/۰۸ است که نشان‌دهنده سازگاری گزینه‌ها با معیارهای تحقیق می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

به منظور تخصیص صحیح بودجه‌های سالانه در زمینه تعمیر و نگهداری پل‌های بتنی استان، جدول ۴ که حاوی لیست مشخصات ۱۰ پل بتنی دارای اولویت ترمیم و بازسازی می‌باشد، تهیه گردید.

شکل۵: اولویت‌بندی ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی راه‌های استان خراسان رضوی برمبنای نظر تیم کارشناسی

۳-۳- تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت[4] به مطالعه تأثیرپذیری متغیرهای خروجی از متغیرهای ورودی یک مدل آماری گفته می‌شود که در مدل‌های تصمیم‌گیری نقش بسزایی دارد. هدف اصلی این کار تعیین میزان پایداری نتایج به دست آمده، نسبت به ایجاد تغییرات در پارامترهای مؤثر است. همچنین به کمک تحلیل حساسیت می‌توان مهم‌ترین یا بحرانی‌ترین معیار و میزان و چگونگی تأثیر آن‌ها در نتیجه حاصله و تغییر در رتبه‌بندی شاخص‌ها را شناسایی و تحلیل کرد. حساسیت گزینه‌ها نسبت به همه معیارها یکسان نیست. نتایج تحلیل حساسیت بر اساس عملکرد در مدل تحلیل سلسله مراتبی تحقیق حاضر که توسط نرم افزار Expert Choice انجام شده، در شکل ۶ آورده شده است. در این نمودار اهمیت نسبی هر گزینه نسبت به سایر گزینه‌ها از نظر معیارها و هدف کلی اولویت بندی مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر این نمودار نشان می‌دهد چگونه گزینه‌ها با توجه به تغییر وزن معیارها تغییر می‌کنند. در این شکل محور قائم نمودار ستونی وزن‌های نسبی هریک از معیارها و محور افقی وزن‌های نسبی هریک از گزینه‌ها را نشان می‌دهد. این نمودار پویا می‌باشد، یعنی به‌وسیله کشیدن میله‌های مربوط به معیارها (افزایش یا کاهش وزن معیار خاص) تأثیرات در گزینه‌ها مشخص شده و طوری عمل می‌کند که با تغییر وزن یک معیار، وزن کلی سایر معیارها تغییر کرده اما وزن معیارها در گزینه‌های مختلف بدون تغییر باقی می‌ماند.

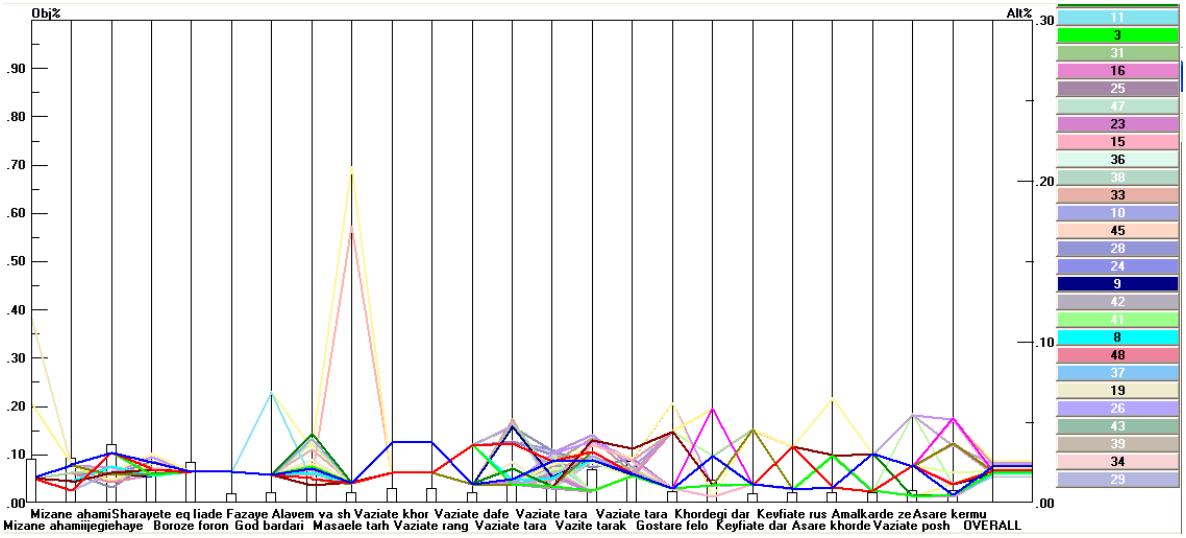
در این تحقیق تعیین میزان حساسیت رتبه‌بندی گزینه‌ها (پل‌ها) نسبت به تغییر در وزن معیارها، با هدف ترمیم و بازسازی پل‌ها، با استفاده از نمودار آنالیز حساسیت بر اساس عملکرد نرم‌افزار Expert Choice انجام گردید. جهت انجام این‌کار برای تک تک معیارها (محور افقی نمودار شکل ۶) تغییر در وزن معیار از طریق کشیدن میله مربوطه به سمت بالا یا پایین تا حدی انجام شود که باعث تغییر در رتبه‌بندی گزینه‌ها (ستون سمت راست نمودار شکل۶) نگردد. بر این اساس کم‌ترین درصدی که باید وزن معیار تغییر یابد تا موجب تغییر در رتبه‌بندی گزینه‌ها نشود، معادل ۱۶٪ و متعلق به معیار میزان اهمیت پل می‌باشد که نشان‌دهنده بالاترین حساسیت رتبه‌بندی گزینه‌ها نسبت به این معیار، از میان ۲۴ معیار در نظر گرفته شده در این تحقیق است. در مقابل معیار ایجاد فضای سبزِ منجر به آثار مضمحل کنندهٔ مصالح در مجاورت پی، با بیش‌ترین درصد تغییر در وزن معیار (۶۵٪)، تأثیری در تغییر اولویت‌بندی گزینه‌ها نداشته و

[4] Sensitivity Analysis

www.SID.ir

Archive of SID

لذا احتمالاً به دلیل میزان تغییرات کم این معیار، کم‌ترین حساسیت رتبه‌بندی را به خود اختصاص داده است. لازم به ذکر است مشخصات ده پل بتنی بزرگ دارای اولویت ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی راه‌های استان خراسان رضوی در جدول ۴ آورده شده است.



شکل۶: نمودار تحلیل حساسیت عملکرد تحقیق حاضر

جدول۴: ده پل بتنی بزرگ دارای اولویت ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی راه‌های استان خراسان رضوی

ترتیب اولویت	شماره پل در لیست	شاخص اولویت	نام پل	شهرستان	نام محور	کیلومتر	سال احداث	طول پل (متر)
۱	۲۰	۰/۰۲۶	کلاته حسن	نیشابور	نیشابور- سبزوار	۴۴+۸۲۵	۱۳۶۶	۶۲
۲	۲۲	۰/۰۲۵	کلاته حاج ملا	نیشابور	نیشابور- سبزوار	۴۱+۳۵۰	۱۳۶۶	۶۲
۳	۱۷	۰/۰۲۴	-	احمد آباد	مشهد- تربت حیدریه	۵۱+۷۰۰	۱۳۵۸	۳۰
۴	۱۸	۰/۰۲۴	-	احمد آباد	مشهد- تربت حیدریه	۵۱+۷۰۰	۱۳۵۸	۵۰
۵	۱	۰/۰۲۳	-	گناباد	گناباد- قاین	۸+۵۰۰	۱۳۵۶	۵۶
۶	۱۴	۰/۰۲۲	کامه	تربت حیدریه	تربت حیدریه- مشهد	۲۴+۴۵۰	۱۳۵۹	۳۵
۷	۲	۰/۰۲۰	-	گناباد	گناباد- قائن	۱۸+۷۵۰	۱۳۵۶	۹۰
۸	۴	۰/۰۲۰	-	گناباد	گناباد- تربت حیدریه	۸+۲۰۰	۱۳۵۶	۶۴
۹	۵	۰/۰۲۰	-	گناباد	گناباد- تربت حیدریه	۵+۲۵۰	۱۳۵۶	۴۸
۱۰	۶	۰/۰۲۰	-	گناباد	گناباد- تربت حیدریه	۱۳+۷۵۰	۱۳۵۶	۷۰

با بررسی میدانی دقیق ۱۰ پل دارای بالاترین اولویت بازسازی مشخص گردید عمده دلایل خرابی پل‌های مذکور عبارتند از:

- خطرپذیری بالا در مقابل سیل و طغیان رودخانه های فصلی مجاور.
- شرایط اقلیمی خورنده شامل وجود یون کلر و کربنات کلسیم (خصوصاً عملیات نمک پاشی در زمستان).
- وضعیت نامطلوب دفع آب‌های سطحی و نارسایی کانال‌های زهکش.
- کیفیت نامطلوب روسازی و عایق‌بندی نامناسب عرشه پل.
- عدم اجرای مناسب پوشش بتنی اجزای سازه و جدا شدن آن.

www.SID.ir

Archive of SID

- وجود ترک‌ها در اجزای مختلف سازه شامل عرشه، پایه‌ها، جان پناه و دیوارها.
- خوردگی در اطراف لوله‌های زهکش عرشه پل.

در خصوص راهکار ترمیم پل‌های مذکور توصیه می‌گردد در مرحله اول آزمایش‌های سنجش میزان فعالیت خوردگی و عمق کربناسیون در سازه این پل‌ها انجام شده و وضعیت فعال یا غیرفعال بودن ترک‌ها مشخص گردد، سپس ترک‌های مذکور با استفاده از تزریق اپوکسی، الاستومرها و یا پلیمرهای مناسب پر گردد.

۴- نتایج

۱- مهم‌ترین و تأثیرگذارترین معیار در زمینه اولویت‌بندی ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی بزرگ واقع در شبکه راه‌های اصلی استان خراسان رضوی، معیار ویژگی‌های عمومی ساختگاه پل با شاخص اولویت ۰/۱۱۵ می‌باشد که این معیار شامل زیر معیارهای پهنه‌بندی لرزه‌ای (آیین‌نامه)، دیدگاه احتمال وقوع پدیده‌هایی نظیر روانگرایی، زمین لغزش، سیل و طغیان و ریزش خاک و سنگ است. لازم به ذکر است با توجه به این که پل‌های بتنی بزرگ جزء سازه‌های حیاتی و زیربنایی محسوب گشته و در شرایط پس از بلایای طبیعی نقش مهمی در عملیات امداد و نجات برعهده دارند، این معیار از دیدگاه مدیریت بحران و کاهش خطرپذیری نیز بسیار قابل توجه می‌باشد.

۲- در راستای این تحقیق در زمینه اولویت‌بندی ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی بزرگ واقع در شبکه راه‌های اصلی استان خراسان رضوی، پس از معیار ویژگی‌های عمومی ساختگاه پل، معیار میزان اهمیت مسیر زیرگذر یا ابنیه و تأسیسات زیرین پل با شاخص اولویت ۰/۰۸۷ دارای اولویت بعدی می‌باشد.

۳- در راستای این تحقیق معیار ایجاد فضای سبزِ منجر به آثار مضمحل کنندهٔ مصالح پی در مجاورت پی‌ها با شاخص اولویت ۰/۰۱۴ کم‌ترین اثر و نقش را در اولویت‌بندی ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی بزرگ واقع در شبکه راه‌های اصلی استان خراسان رضوی بر عهده داشته است.

۴- در تحقیق حاضر ارجح‌ترین پل بتنی بزرگ واقع در شبکه راه‌های اصلی استان خراسان رضوی برای بازسازی، پل کلاته حسن در محور نیشابور- سبزوار با شاخص اولویت ۰/۰۲۶ و آخرین اولویت بازسازی مربوط به پل کوشان در محور نیشابور- باغچه با شاخص اولویت ۰/۰۱۶ می‌باشد.

۵- بیش‌ترین تطابق معیارها بین یک کارشناس و یک تیم کارشناسی، برابر ۶۰ درصد و کم‌ترین آن ۴۰ درصد بوده است. لذا در راستای این تحقیق تصمیم‌گیری تیم کارشناسی می‌تواند در برگیرنده نظرات مختلف از دیدگاه‌های گوناگون باشد.

۶- نتایج تحلیل حساسیت بر اساس عملکرد برای معیارهای اولویت بندی پل‌های نیازمند ترمیم و بازسازی، نشان می‌دهد معیار میزان اهمیت پل، بیش‌ترین حساسیت و معیار ایجاد فضای سبزِ منجر به آثار مضمحل کنندهٔ مصالح در مجاورت پی دارای کم‌ترین حساسیت در اولویت بندی ترمیم و بازسازی پل‌های بتنی بزرگ واقع در شبکه راه‌های اصلی استان خراسان رضوی می‌باشد.

سپاسگزاری

در پایان نویسندگان این مقاله لازم می‌دانند مراتب تقدیر و سپاسگزاری خود را از اداره کل راه و شهرسازی استان خراسان رضوی بابت همکاری صمیمانه در جهت تامین منابع مالی و اطلاعات فنی مورد نیاز، اعلام دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[1] Masummzadeh, S. M., Torabzadeh, A. (2004). Ranking of Iran Industrial Products using Analytical Hierarchy Process. *Trade studies Journal*, Vol. 8, No. 30, Pages 69 -84. (In Persian)
[2] Qodsipoor, S. H. (2007). *Analytical Hierarchy Process*. Fifth Edition. Tehran: Amir Kabir Industrial University Publication, 224 Pages.
[3] Moradi, A. Akhtarkavan, M. (2009). Identification Method of Analytical Hierarchy Process. *Armanshahr Journal*, Vol. 2, No. 2, Pages 113 -125. (In Persian)
[4] Akbari, N. Zahedi, K. M. (2007). *Application of ranking and Multi-Criteria Decision Making methods*, Tehran: Iran's Municipalities and village administrators Publication.
[5] Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
[6] Okada, H. Styles, S. W. Grismer, M. E. (2008). Application of the Analytic Hierarchy Process to Irrigation Project Improvement. Part II. How professionals evaluate an irrigation project for its improvement. *Agricultural water management Journal*, Vol. 95, Issue 3, Pages 205-210.
[7] Montazar, A. Zadbagher, E. (2010). An Analytical Hierarchy Model for Assessing Global Water Productivity of Irrigation Networks in Iran. *Water Resources Management*, Vol. 24, Issue 11, Pages 2817-2832.
[8] Aama Azghadi, A. Khorassani, R. Mokarram, M. Moezi, A. A. (2010). Soil Fertility Evaluation Based on Soil K, P and Organic Matter Factors for Wheat by Using Fuzzy Logic-AHP and GIS Techniques, *Journal of Water and Soil*, Vol. 24, No.5, Pages 973-984.
[9] Ebrahimi, F. Karami, Gh. Hafezi Moghadas, N. (2011). AHP Method Used in Site Selection of Artificial Recharge in Shahrood County, In: *7th Iranian Conference of Engineering Geology and the Environment*, Shahrood: Shahrood University Technology.
[10] Chabak Beldaji, M. Hasanzadeh Nafooti, M. Ebrahimi Khusfi, Z. (2011), Site Selection of Areas Influencing to Flood Control Using analytic hierarchy process Case Study Eshgh Abad of Tabas Basin. *Journal of Economic Modelling Research*, Vol. 2, No. 6, Pages 31-38.
[11] Dandy, G. C. Engelhardt, M. (2001). Optimal Scheduling of Water Pipe Replacement Using Genetic Algorithms. *Journal of Water Resource Planning and Management*, Vol. 127, Issue 4, Pages 214–223.
[12] Morais, D. C. Almeida, A. T. (2010). Water network rehabilitation: a group decision-making approach. *Water SA (Online)*, vol. 36, No.4, Pages 487-494
[13] Razavi Toosi, S. L. Samani, J. M. V. (2012). Evaluating water transfer projects using Analytic Network Process (ANP). *Water resources Management*, Vol. 26, Issue 7, Pages 1999- 2014.
[14] Varvani, J. Varvani, H. Mardiyan, M. (2012). Investigation of Application of Storm Runoff Harvesting System in Arak Urbanized Watershed. *Journal of Water and Wastwater*, Vol. 23, No. 3, Pages 85-94. (In Persian)
[15] Faraji Sabokbar, H. Nasri, H. Hamzeh, M. Talebi, S. Rafiei, Y. (2011). Determination of suitable fields for artificial nutrition based on the integration of ANP methods and paired comparison Using by GIS; Case Study Gorbygan of Fasa Plane. *Journal of Geographic and Enviromental Planning*, Vol. 44, No. 4, Pages 143-166. (In Persian)
[16] Sadoddin, A. Hili, M. Gh. Mosaedi, A. (2010). Reservoir Operation Management Using MultiCriteria Decision Making Methods in Bustan Dam-Golestan Province. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, Vol. 4, No. 11, Pages 25-34. (In Persian)
[17] Vafaie, F. (2007). *Design of Mathematic model to Estimate Efficiency of Compensatory models using by Data coverage analysis method in the excellence model scoring system*. Doctoral Dissertation. Tarbiat Moddares University, Pages 43-75.
[18] Office of Deputy for Strategic Supervision Bureau of Technical Execution System., (2011). *"Guide Manual for the Seismic Vulnerability Assessment and Retrofit of Bridges",* No. 511.
[19] Saaty T.L. and Vargas, L. G. (1987). Uncertainty and Rank order in the analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, Vol. 32, Issue 1, Pages 107-117.
[20] Sameti, M. Sameti, M. Asghari, M. (2003). Preference of Resource Allocation in the Sectors of Industry in Isfahan Province by Method of Analytical Hierarchy Resource (AHP). *Iranian Journal of Trade Studies*, Vol. 7, No. 27, Pages 59-90. (In Persian)
[21] Shakeri, A. Salimi, F. (2006). Effective Factors on Investment Absorption in the Chabahar Free-Zone and Giving Priority to Them by Using the Mathematical Techniques of AHP. *Journal of Economic Research*, Vol. 6, No. 20, Pages 95-129. (In Persian)
[22] French, S. Xu, D. L. (2005). Comparison Study of Multi-Attribute Decision Analytic Software. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 13 (2–3), Pages 65-80.
[23] Mehrgan, M. R. (2004). *Advanced operational research*, Tehran: Ketab-e-Daneshgahi Publications. 264 Pages.

www.SID.ir