



Semnan University



Research Article

Multi-Criteria Analysis and Prioritization of Bridge Construction Methods Using AHP: Evaluation of Key Project Performance Criteria

Hossein Khosravi^{a,*}, Hadi Shakiba Zahed^b, Vahid Keshmiri^c

^aAssistant Professor, Department of Civil Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

^bAssistant Professor, Department of Civil Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

^cMSc, Department of Civil Engineering of Civil Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

PAPER INFO

Paper history:

Received: 2025-05-16

Revised: 2025-07-28

Accepted: 2025-08-11

Keywords:

Multi-Criteria Decision Making (MCDM),
Bridge construction methods,
Analytic Hierarchy,
Performance,
Evaluation.

ABSTRACT

Selecting an appropriate superstructure construction method is crucial for the success of bridge projects. This study aims to evaluate and prioritize various bridge construction methods using a multi-criteria decision-making approach based on the Analytic Hierarchy Process (AHP). Five key criteria—quality, cost, safety, project duration, and structural form—were identified as the most influential factors in the decision-making process. The statistical population included engineers, contractors, consultants, and supervisors involved in bridge construction projects, from which 68 experts were selected through convenience sampling. Data collection was conducted using both library research and field methods, including interviews and questionnaires. Data analysis was carried out using Expert Choice software. Results indicate that the cable-stayed bridge construction method ranked highest with a priority weight of 0.280, making it the most suitable option for bridge implementation in Iran. Following this, incremental launching, prestressed concrete, precast concrete, span-by-span steel, balanced cantilever steel, and cast-in-place concrete methods were ranked accordingly. Among the criteria, safety was identified as the most significant factor across most construction methods, except for the prestressed concrete method, where quality held the highest importance. The findings of this study offer valuable insights for decision-makers in selecting bridge construction methods under various project conditions.

* Corresponding author.

E-mail address: h.khosravi@hsu.ac.ir

How to cite this article: Khosravi, H., Shakiba Zahed, H., and Keshmiri, V. (2025). Multi-Criteria Analysis and Prioritization of Bridge Construction Methods Using AHP: Evaluation of Key Project Performance Criteria. *Journal of Transportation Infrastructure Engineering*, 11(3), 75-89. <https://doi.org/10.22075/JTIE.2025.37772.1723>

This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



مقاله پژوهشی

تحلیل و اولویت‌بندی روش‌های ساخت پل با رویکرد AHP: ارزیابی چندمعیاره بر اساس عملکرد پروژه

حسین خسروی^{۱*}، هادی شکبیا زاهد^۲ و وحید کشمیری^۳

^۱استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

^۲استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

^۳کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۲۶ بازنگری مقاله: ۱۴۰۴/۰۵/۰۶ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰	انتخاب روش مناسب ساخت روبنای پل، نقش مهمی در موفقیت پروژه‌های عمرانی ایفا می‌کند. این پژوهش، با هدف ارزیابی و اولویت‌بندی روش‌های ساخت پل با بهره‌گیری از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره و تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام گرفت. پنج معیار اصلی شامل کیفیت، هزینه، ایمنی، مدت زمان پروژه و شکل سازه به‌عنوان مؤثرترین عوامل در انتخاب روش ساخت شناسایی شدند. جامعه آماری شامل مهندسان، پیمانکاران، مشاوران و ناظران پروژه‌های عمرانی مرتبط با ساخت پل بود که از طریق نمونه‌گیری در دسترس، ۶۸ نفر انتخاب شدند. گردآوری داده‌ها به روش کتابخانه‌ای و میدانی، و ابزار تحقیق شامل مصاحبه و پرسشنامه بود. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice انجام شد. نتایج نشان داد که روش ساخت ترکه‌ای کابلی با ضریب اهمیت ۰/۲۸۰ در رتبه نخست قرار دارد و مناسب‌ترین گزینه برای اجرای پل در ایران است. پس از آن، روش‌های پیش‌رانی بتنی، پیش‌تنیده بتنی، پیش‌ساخته بتنی، دهانه به دهانه فلزی، طره‌ای متعادل فلزی و برجا بتنی به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. همچنین، ایمنی به‌عنوان مهم‌ترین معیار در اغلب روش‌ها شناخته شد، به‌جز در روش پیش‌تنیده بتنی که کیفیت بیشترین اولویت را کسب نمود. یافته‌های پژوهش می‌تواند راهنمای مفیدی برای تصمیم‌گیرندگان حوزه ساخت پل در شرایط متنوع اجرایی باشد.

واژه‌های کلیدی:

تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش‌های ساخت پل، تحلیل سلسله‌مراتبی، ارزیابی.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: h.khosravi@hsu.ac.ir

استناد به این مقاله: خسروی، ح.، شکبیا زاهد، ه. و کشمیری، و. ۱۴۰۴. تحلیل و اولویت‌بندی روش‌های ساخت پل با رویکرد AHP: ارزیابی چندمعیاره بر اساس عملکرد پروژه. مهندسی زیرساخت‌های حمل و نقل، ۱۱(۳)، ۷۵-۸۹. <https://doi.org/10.22075/jtie.2025.37772.1723>

۱. مقدمه

پل‌ها از اجزای حیاتی و کلیدی در شبکه راه‌های شهری و بین‌شهری به شمار می‌روند و نقش مهمی در عملکرد زیرساخت‌های حمل‌ونقل ایفا می‌کنند. با توجه به هزینه زیاد احداث پل نسبت به سایر بخش‌های راه، انتخاب سیستم سازه‌ای مناسب در پروژه‌های پل‌سازی، یک تصمیم راهبردی محسوب می‌شود که تأثیر قابل توجهی بر هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری پروژه دارد (هرانده و همکاران، ۲۰۱۵؛ متقی و گلابچی، ۲۰۱۵). پیشرفت‌های مداوم در فناوری مصالح و روش‌های تحلیل سازه‌ای، زمینه توسعه و کاربرد سیستم‌های سازه‌ای نوین نظیر بتن پیش‌تension، قطعات پیش‌ساخته و تیرهای پیوسته را فراهم کرده است. هر یک از این فناوری‌ها دارای مزایا و محدودیت‌های خاص خود بوده و بسته به شرایط پروژه، به‌کارگیری روش‌های سنتی یا نوین ساخت پل ممکن است ارجحیت یابد. با این حال، در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های نوین ساخت قطعه‌ای، به‌ویژه استفاده از اجزای پیش‌ساخته، افزایش یافته است. اجرای پل‌ها به شیوه پیش‌ساخته می‌تواند موجب کاهش زمان ساخت، تسهیل اجرای پروژه در شرایط توپوگرافی دشوار و بهبود اقتصادی طرح شود. همچنین، این روش از نظر حفظ کیفیت بتن، کاهش تأثیر شرایط جوی، افزایش سرعت اجرا و کاهش نیاز به نیروی انسانی مزایای قابل توجهی دارد. روش‌های پیش‌ساخته در محل نیز از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار بوده، غالباً ساده‌تر و مقرون‌به‌صرفه‌تر هستند و قابلیت انطباق با الزامات فنی متنوع را دارند (اوپادیا و همکاران، ۲۰۲۱). با وجود مزایای متعدد این فناوری، نمی‌توان در مورد میزان تطبیق‌پذیری و مطلوبیت آن در تمامی شرایط، به‌طور قطعی اظهار نظر کرد.

در حال حاضر، انتخاب روش ساخت پل‌ها عمدتاً بر اساس تجربه طراحان و با توجه به برخی ویژگی‌های غالب پل و شرایط سایت انجام می‌شود. این رویکرد تجربی می‌تواند منجر به شرایط مبهم و پیچیده‌ای گردد،

به‌ویژه زمانی که معیارهای تصمیم‌گیری با یکدیگر در تضاد باشند. انتخاب صحیح روش ساخت، با در نظر گرفتن عواملی چون شرایط اجرایی، محیط پیرامونی، اهداف پروژه و سایر الزامات فنی، می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در دستیابی به صرفه‌جویی اقتصادی در اجرای پروژه داشته باشد (چاپالکار و شرک، ۲۰۱۳). هر یک از روش‌های ساخت دارای مزایا و چالش‌های خاص خود هستند و ارزیابی دقیق آن‌ها زمانی دشوار می‌شود که فهرست مشخص و جامعی از عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری وجود نداشته باشد. در بسیاری از موارد، مقایسه بین روش‌های ساخت صرفاً بر اساس میزان مصالح مصرفی انجام می‌گیرد. در حالی که این معیار تنها بخشی از واقعیت را بازتاب می‌دهد و عوامل متعدد دیگری نیز باید در فرایند تصمیم‌گیری لحاظ شوند.

انتخاب مؤثر روش ساخت روبنای پل نقش حیاتی در موفقیت کلی پروژه دارد. در این فرایند، معیارهای متعددی دخیل‌اند که از اهمیت نسبی متفاوتی برخوردارند و همین امر موجب پیچیدگی و ابهام در تصمیم‌گیری می‌شود. برای غلبه بر این چالش، نیاز به ابزاری وجود دارد که امکان تحلیل کمی معیارها و عوامل مؤثر در انتخاب روش‌های ساخت را فراهم آورد. یکی از رویکردهای کارآمد در این زمینه، تصمیم‌گیری چندمعیاره است که می‌تواند انتخابی منطقی و بهینه را پشتیبانی کند. هدف این پژوهش، بررسی روش‌های مختلف ساخت پل، شناسایی عوامل تأثیرگذار بر انتخاب روش بهینه، و اولویت‌بندی این روش‌ها با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی (تصمیم‌گیری چندمعیاره) است تا مناسب‌ترین گزینه با توجه به شرایط زمانی و مکانی پروژه تعیین شود.

تحقیق حاضر می‌تواند کمک شایانی به مدیران و تصمیم‌گیران وزارت راه و شهرسازی، همچنین شرکت‌های فعال در حوزه ساخت پل ارائه دهد؛ به‌ویژه در زمینه شناسایی و کمی‌سازی مزایا و معایب روش‌های

نیروی انسانی زیاد و هزینه‌های قابل توجهی است. در مقابل، روش‌های نوین ساخت مبتنی بر استفاده از قطعات پیش‌ساخته، که در کشورهای توسعه‌یافته به‌طور گسترده به کار گرفته می‌شوند، توانسته‌اند به‌طور چشمگیری زمان و هزینه اجرای پل‌های سواره‌رو را کاهش دهند. افزون بر این، به‌کارگیری این روش‌ها موجب ارتقای ایمنی نیروی کار، به حداقل رساندن مخاطرات اجرایی و کاهش آثار زیست‌محیطی ناشی از عملیات ساخت‌وساز می‌شود (شری‌عتمدار و همکاران، ۲۰۱۱).

۲-۲. تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که نخستین بار توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ معرفی شد. (آفولایان و همکاران، ۲۰۲۰). این تکنیک، به عنوان یکی از ابزارهای مهم در حل مسائل تصمیم‌گیری ترکیبی، به‌ویژه در شرایطی که معیارهای کمی و کیفی به‌صورت هم‌زمان در تصمیم‌گیری دخیل هستند، کاربرد فراوانی یافته است (مو و پریا روخاس، ۲۰۱۶) و روشی مناسب برای ارزیابی مجموعه‌ای محدود از گزینه‌ها و معیارهاست و امکان ارائه قضاوت‌های دقیق درباره معیارهای مختلف را فراهم می‌سازد (فنگ و پرتوی، ۲۰۲۱). مؤلفه‌های اصلی این فرآیند شامل مقایسه‌های زوجی، تشکیل و تحلیل ماتریس‌های تصمیم و سنجش میزان سازگاری در قضاوت‌هاست. بهره‌گیری از این روش به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا مسائل پیچیده را به‌صورت ساختاریافته تحلیل، اولویت‌بندی و در نهایت انتخابی منطقی و مستدل داشته باشند (کاوايو، ۲۰۱۷).

سنتی و نوین ساخت پل بر اساس پارامترهای متنوع. این امر امکان انجام محاسبات دقیق‌تر و علمی‌تر را برای انتخاب روش بهینه ساخت در پروژه‌های آینده فراهم می‌سازد. افزون بر این، تعیین میزان اهمیت و رتبه‌بندی معیارهای مؤثر بر انتخاب روش‌های ساخت پل در بستر جغرافیایی ایران، برای نخستین بار در این پژوهش، می‌تواند ضمن شناسایی عوامل کلیدی، نقش و وزن هر عامل را در فرآیند تصمیم‌گیری مشخص سازد. این نتایج برای پیمانکاران، مهندسان ناظر و مشاوران پروژه در انتخاب روشی متناسب با شرایط جغرافیایی، محدودیت‌های مالی و سایر الزامات منطقه‌ای بسیار سودمند خواهد بود. در همین راستا، این پژوهش به ارزیابی و اولویت‌بندی روش‌های ساخت پل با بهره‌گیری از تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) می‌پردازد.

۲. چارچوب نظری و پیشینه

۲-۱. روش‌های ساخت پل

ساخت پل یکی از فرایندهای پیچیده و تخصصی در مهندسی سازه است که طراحی و اجرای آن مستلزم رعایت الزامات فنی دقیق، به‌ویژه از منظر ایمنی و مقاومت سازه می‌باشد (صفوری‌زاده، ۲۰۱۰). پل‌ها متشکل از اجزا و اتصالات متعددی هستند که در فرآیند ساخت آن‌ها باید هماهنگی کامل میان اجزای مختلف رعایت شود. در روش‌های سنتی ساخت پل، که مبتنی بر اجرای مرحله به مرحله اجزای سازه‌ای است، عملیات ساخت ممکن است بسته به ابعاد و اهمیت پل، از چند ماه تا بیش از یک سال به طول انجامد. در این روش، پس از اجرای هر بخش مانند پی، پایه‌ها و کوله‌ها، لازم است زمان کافی برای گیرش بتن در نظر گرفته شود تا اجرای مراحل بعدی ممکن گردد. این فرایند زمان‌بر، مستلزم

جدول ۱. پیشینه تحقیقات

ردیف	نویسنده و سال	خلاصه نتایج
۱	قیامت و مدح- خان (۲۰۲۱)	در این پژوهش، پل استقلال اصفهان که در سال ۱۳۹۶ به بهره‌برداری رسیده است، به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. مقایسه نتایج حاصل از طراحی بهینه این پل با طرح اجرایی آن نشان می‌دهد که استفاده از رویکرد بهینه‌سازی می‌توانست منجر به صرفه‌جویی ۱۳ درصدی در هزینه و وزن روسازه گردد.
۲	پاک باز و همکاران (۲۰۱۸)	نتایج تحقیق حاکی از آن است که استفاده از این سازه آبگذر توانسته است به‌طور مؤثر پهنه‌بندی سیلاب در منطقه را کنترل نماید. علاوه بر این، این سازه بستری مناسب برای تردد افراد و وسایل نقلیه در بلندمدت فراهم کرده است.
۳	متقی و گلابچی (۲۰۱۵)	برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS بهره گرفته شد. این تحقیق به‌عنوان یک الگوی کارآمد و دقیق، ابزار مناسبی برای طراحان سازه‌های پل به‌عنوان تصمیم‌گیرندگان فراهم می‌آورد تا بهترین گزینه‌ها را در انتخاب سیستم سازه‌ای، روش اجرا و مصالح ساخت بر اساس معیارهای مختلف شناسایی و انتخاب نمایند.
۴	بهولا و همکاران (۲۰۲۱)	نتایج تحقیق نشان می‌دهد که روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، به‌عنوان روشی کارآمد و مؤثر، می‌توانند در ساخت روبنای پل و حل مسائل مشابه به‌طور مؤثر به کار گرفته شوند.
۵	جیا و همکاران (۲۰۱۶)	نتایج تحقیق نشان داد که روش ABC ممکن است هزینه ساخت بالاتری نسبت به روش‌های سنتی داشته باشد. با این حال، در صورتی که تمامی عوامل مرتبط با هزینه‌های ساخت و ساز و هزینه‌های مربوط به کاربر به‌طور کامل محاسبه شوند، هزینه کل پروژه می‌تواند کمتر از سایر روش‌ها باشد.
۶	پان (۲۰۰۸)	در این تحقیق، پنج معیار اصلی شامل کیفیت، هزینه، ایمنی، مدت زمان و شکل ظاهری پل، به همراه زیرمعیارهای مرتبط با هر یک، مورد ارزیابی قرار گرفتند. مدل پیشنهادی یک رویکرد ساختاریافته و سیستماتیک برای شناسایی و اولویت‌بندی مؤثر روش‌های ساخت پل ارائه می‌دهد. براساس این مدل، روش تقویتی پیشرفته به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه شناسایی شد و در حدود ۴۰ درصد از پروژه‌های پل‌سازی در کشور تایوان به‌کار گرفته می‌شود.

۳. روش و ابزار تحقیق

خبرگان با تجربه و مسلط به موضوع تحقیق بود که از طریق روش نمونه‌گیری غیرتصادفی در دسترس و با استفاده از جدول کرجسی و مورگان، ۶۸ نفر به‌عنوان حجم نمونه آماری انتخاب شدند. برای جمع‌آوری داده‌ها، از دو روش کتابخانه‌ای و میدانی استفاده شد. مهم‌ترین ابزارهای تحقیق شامل

روش تحقیق از نظر هدف کاربردی و از نظر روش و ماهیت، توصیفی از نوع پیمایشی است و از نظر زمانی، تحقیق به‌صورت مقطعی انجام شده است. جامعه آماری این تحقیق شامل کلیه مهندسان پروژه، پیمانکاران، مشاوران، ناظران پروژه‌های منتخب و کارشناسان و

پرسشنامه گزارش گردید. برای تعیین میزان پایایی پرسشنامه، از نرخ ناسازگاری در نرم افزار Expert Choice استفاده شد. نرم افزار Expert Choice ابزاری تخصصی در زمینه تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است که با بهره گیری از روش مقایسات زوجی، امکان استخراج دقیق وزن و اولویت معیارها را فراهم می سازد. این نرم افزار با ترکیب وزن های به دست آمده در مراحل مختلف تصمیم گیری، ارجحیت نهایی گزینه ها را محاسبه می کند. در این پژوهش، ابتدا پرسشنامه های مقایسات زوجی بر اساس مقیاس ۹ امتیازی ساعتی طراحی شدند، به گونه ای که عدد ۱ نشان دهنده اهمیت برابر و عدد ۹ بیانگر بالاترین ارجحیت است. سپس داده های حاصل از قضاوت خبرگان در نرم افزار وارد شد و نرخ ناسازگاری محاسبه گردید. تمامی نرخ های ناسازگاری کمتر از ۰/۱ به دست آمد که نشان دهنده اعتبار و پایایی قابل قبول داده ها است. در نهایت، با استفاده از قابلیت های نرم افزار Expert Choice، وزن نهایی هر یک از معیارها و زیرمعیارها محاسبه شد و اولویت نهایی روش های ساخت پل استخراج گردید.

مصاحبه و پرسشنامه بودند. محقق با بررسی دقیق مقالات فوق و ادغام روش های ساخت پل و معیارهای مورد نظر از دیدگاه طراحان، پیمانکاران و کارشناسان ساخت، به ۷ روش ساخت مختلف شامل روش های ساخت برجا بتنی، پیش ساخته بتنی، دهانه به دهانه فلزی، طره ای متعادل فلزی، پیشرانی بتنی، پیش تنیده بتنی و ترکیه ای کابلی رسید. همچنین شناسایی شد که پنج معیار اصلی شامل کیفیت، هزینه، ایمنی، مدت زمان پروژه و شکل سازه در طراحی پل و انتخاب روش ساخت نقش مهمی دارند. برای شناسایی عوامل مؤثر بر انتخاب هر یک از روش های ساخت پل، از نظرات خبرگان و کارشناسان با استفاده از روش دلفی و تکنیک مصاحبه و پرسشنامه محقق ساخته استفاده شد. پس از آن، معیارها و زیرمعیارهای مؤثر بر انتخاب روش ساخت پل در قالب پرسشنامه مقایسات زوجی (مقیاس ۹ امتیازی) طراحی گردید. با بهره گیری از نظرات کارشناسان و خبرگان، وزن نهایی هریک از معیارها و زیرمعیارها مشخص شد. این پرسشنامه به صورت مقایسات زوجی و دوبه دو طراحی و اجرا گردید. روایی صوری و محتوایی پرسشنامه از طریق ارزیابی توسط اساتید راهنما و مشاور و کارشناسان مربوطه تأیید شد و پس از بررسی، مناسب بودن



شکل ۱. روش شناسی تحقیق

۴. محدودیت‌های پژوهش

هر پژوهشی، به‌ویژه در حوزه‌های کاربردی مهندسی، با چالش‌ها و محدودیت‌هایی همراه است که عمدتاً خارج از اختیار پژوهشگر قرار دارند. شناسایی و گزارش این محدودیت‌ها از آن جهت اهمیت دارد که استفاده‌کنندگان از نتایج پژوهش، نسبت به شرایط خاص اجرای تحقیق آگاهی یابند و در تفسیر یافته‌ها دقت بیشتری داشته باشند. در این مطالعه نیز محدودیت‌های زیر مدنظر قرار گرفته‌اند:

- محدودیت جغرافیایی جامعه آماری: گردآوری داده‌ها تنها در استان خراسان رضوی انجام شده و پاسخ‌دهندگان شامل مهندسان، مشاوران و کارشناسان بومی بوده‌اند. از این‌رو، تعمیم نتایج به سایر مناطق کشور نیازمند مطالعات مکمل در حوزه‌های جغرافیایی متنوع‌تر است.
- روش نمونه‌گیری غیرتصادفی: استفاده از روش نمونه‌گیری در دسترس (Convenience sampling) به دلیل محدودیت در دسترسی به جامعه متخصص، ممکن است بر میزان تعمیم‌پذیری نتایج تأثیرگذار باشد.
- محدود بودن دامنه روش‌های ساخت: اگرچه روش‌های متعدد ساخت پل وجود دارند، اما در این پژوهش تنها آن دسته از روش‌هایی بررسی شدند که از نظر اثربخشی، کارایی و کاربرد عملی در ایران، دارای ارجحیت بیشتری بودند. لذا ممکن است برخی از روش‌های دیگر در تحلیل نهایی لحاظ نشده باشند.
- طولانی بودن فرآیند گردآوری داده‌ها: طراحی پرسش‌نامه‌های مقایسات زوجی و اعتبارسنجی آن‌ها، به همراه دسترسی به پاسخ‌دهندگان متخصص،

نیازمند زمان و منابع قابل‌توجهی بوده است که فرآیند اجرایی پژوهش را پیچیده و زمان‌بر ساخت. • محدودیت‌های نرم‌افزار: Expert Choice گرچه این نرم‌افزار ابزار کارآمدی برای تحلیل AHP است، اما در مقایسه با روش‌های ترکیبی مانند Fuzzy AHP یا ANP، برخی قابلیت‌های تحلیلی پیشرفته را در اختیار قرار نمی‌دهد.

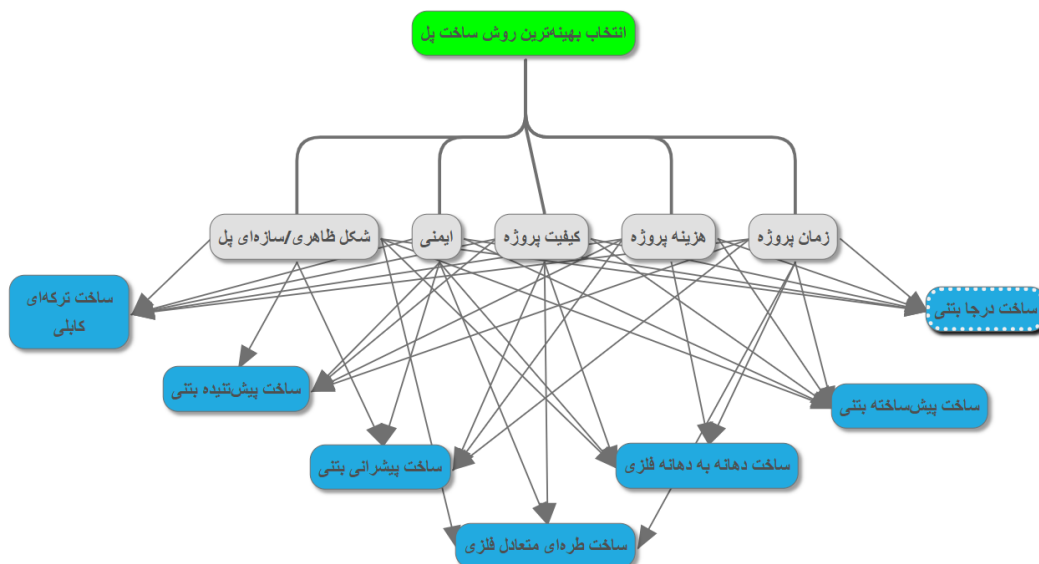
۴-۱. مقایسه روش‌های ساخت پل با استفاده از

رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره

۴-۱-۱. روش برجا بتنی

این روش در مقایسه با سایر روش‌های ساخت پل، با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی، ضریب اهمیت ۰/۰۴۴ را کسب نمود. روش ساخت برجا بتنی بر پایه پنج معیار مؤثر که در این مقاله مد نظر است، مورد ارزیابی قرار گرفت. برای اولویت‌بندی روش‌های ساخت پل، از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره و تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل مقایسات زوجی روش‌های ساخت پل نشان داد که روش‌های مختلف به ترتیب دارای ضرایب اهمیت زیر بوده‌اند: برجا بتنی (۰/۰۴۴)، پیش‌ساخته بتنی (۰/۰۹۴)، دهانه‌به‌دهانه فلزی (۰/۹۷۸)، طره‌ای متعادل فلزی (۰/۰۷۳)، پیش‌رانی بتنی (۰/۲۱۹)، پیش‌تنیده بتنی (۰/۲۱۱) و ترکه‌ای کابلی (۰/۲۸۰).

بنابراین، روش ساخت پل ترکه‌ای کابلی با کسب بالاترین ضریب اهمیت، بیشترین اولویت را در میان گزینه‌های مورد بررسی از دیدگاه تحلیل سلسله‌مراتبی به‌دست آورده است.



شکل ۲. ماتریس مقایسات زوجی و نتایج حاصل از معیارها

روش‌های ساخت پل را بر پایه تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نمایش می‌دهد.

۵. یافته‌ها

در گام نخست، با بررسی‌های اولیه، مهم‌ترین روش‌های ساخت پل شناسایی شدند. سپس برای تکمیل پرسشنامه‌های مقایسات زوجی (AHP)، از نظرات اساتید دانشگاه، مهندسان پروژه، پیمانکاران، مشاوران، ناظران پروژه‌های منتخب و کارشناسان با تجربه و آگاه به موضوع استفاده شد. داده‌های گردآوری‌شده مبنای تحلیل قرار گرفتند.

برای اولویت‌بندی روش‌های ساخت پل با بهره‌گیری از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره، از تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی و نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد. شکل ۲، ساختار سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی روش‌های ساخت پل را به تصویر می‌کشد. پس از غربال‌گری و شناسایی پرسش‌نامه‌های معتبر و قابل‌استفاده، داده‌های به‌دست‌آمده در نرم‌افزار Expert Choice وارد شدند. برای انجام مقایسات زوجی میان گزینه‌ها، از وزن‌های استخراج‌شده توسط این نرم‌افزار استفاده گردید. جدول ۲، ماتریس مقایسات زوجی

جدول ۲. ماتریس مقایسات زوجی اولویت‌بندی روش‌های ساخت پل با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (نرخ ناسازگاری

۰/۰۹)

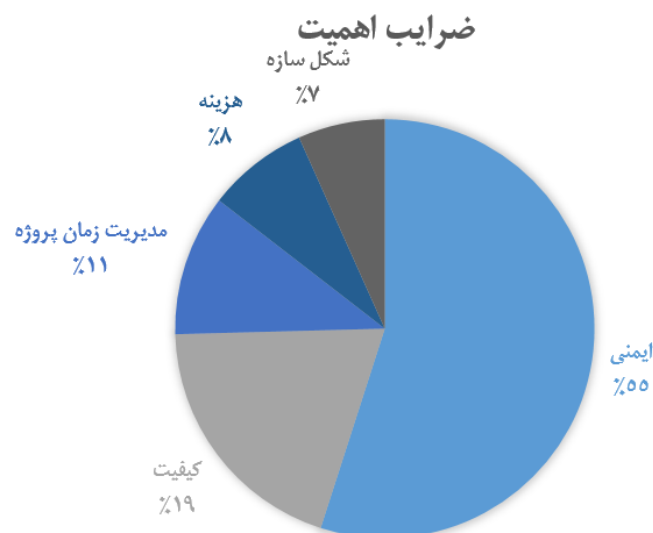
معیارها	برجا بتنی	پیش‌ساخته بتنی	دهانه به دهانه فلزی	طره‌ای متعادل فلزی	پیش‌راننی بتنی	پیش‌تنبیده بتنی	ترکه‌ای کابلی	وزن نهایی
برجا بتنی	۱	۰/۲۰	۱	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۰۴۴
پیش‌ساخته بتنی		۱	۰/۵	۱	۰/۲۵	۰/۵	۰/۵	۰/۰۹۴
دهانه به دهانه فلزی			۱	۱	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۰۷۸

طره‌ای	متعادل	۱	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۰۷۳
فلزی						
پیش‌رانی بتنی		۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۲۱۹
پیش‌تنیده بتنی			۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۱۱
ترکه‌ای کابلی				۱	۰/۲۸۰	۰/۲۸۰

جدول ۳. ماتریس مقایسات زوجی معیارهای مؤثر بر روش ساخت برج بتنی (نرخ ناسازگاری ۰/۰۷)

معیارها	کیفیت	هزینه	ایمنی	مدت زمان پروژه	شکل سازه	وزن نهایی
کیفیت	۱	۴	۰/۲	۲	۳	۰/۱۹۶
هزینه		۱	۰/۲	۱	۱	۰/۰۷۸
ایمنی			۱	۶	۵	۰/۵۴۹
مدیریت زمان پروژه				۱	۳	۰/۱۰۹
شکل سازه					۱	۰/۰۶۷

نتایج تحلیل نشان داد که زیرمعیارهای مورد بررسی به ترتیب دارای ضرایب اهمیت شکل ۳ بوده‌اند.



شکل ۳. زیرمعیارهای مورد بررسی به ترتیب دارای ضرایب اهمیت

بنابراین، ایمنی به عنوان مهم‌ترین و با اولویت‌ترین معیار در انتخاب روش ساخت برج بتنی شناخته شد.

۴-۱-۲. روش پیش‌ساخته بتنی

این روش در مقایسه تأثیرگذاری روش‌های ساخت پل با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی ضریب اهمیت ۰/۰۹۴ را کسب نمود. تجزیه و تحلیل نشان داد که زیرعامل‌های کیفیت ضریب اهمیت (۰/۱۹۸)، هزینه ضریب اهمیت

(۰/۰۷۲)، ایمنی ضریب اهمیت (۰/۵۴۷)، مدیریت زمان پروژه ضریب اهمیت (۰/۰۹۲) و شکل سازه ضریب اهمیت (۰/۰۹۱) را کسب نمودند. بنابراین، معیار ایمنی بیشترین اهمیت و اولویت را در روش ساخت پیش-ساخته بتنی دارا می‌باشد.

جدول ۴. ماتریس مقایسات زوجی معیارهای مؤثر بر روش ساخت پیش ساخته بتنی (نرخ ناسازگاری ۰/۰۸)

معیارها	کیفیت	هزینه	ایمنی	مدت زمان پروژه	شکل سازه	وزن نهایی
کیفیت	۱	۳	۰/۱۶۶	۲	۴	۰/۱۹۸
هزینه		۱	۰/۲	۱	۰/۵	۰/۰۷۲
ایمنی			۱	۴	۵	۰/۵۴۷
مدیریت زمان پروژه				۱	۱	۰/۰۹۲
شکل سازه					۱	۰/۰۹۱

۴-۱-۳. روش دهانه به دهانه فلزی

در مقایسه تأثیرگذاری روش‌های ساخت پل با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی، روش مورد بررسی ضریب اهمیت ۰/۰۷۸ را کسب کرده است. نتایج حاصل از تحلیل نشان می‌دهد که زیرمعیارهای کیفیت، هزینه، ایمنی، مدیریت زمان پروژه و شکل سازه به‌ترتیب ضرایب اهمیت ۰/۲۵۳، ۰/۰۷۶، ۰/۵۱۴، ۰/۰۹۱ و ۰/۹۶۶ را به خود اختصاص داده‌اند. بر این اساس، معیار ایمنی از بیشترین وزن و اهمیت در روش ساخت فلزی دهانه به دهانه برخوردار است.

در مقایسه تأثیرگذاری روش‌های ساخت پل با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی، روش مورد بررسی ضریب اهمیت ۰/۰۷۸ را کسب کرده است. نتایج حاصل از تحلیل نشان می‌دهد که زیرمعیارهای کیفیت، هزینه، ایمنی، مدیریت زمان پروژه و شکل سازه به‌ترتیب ضرایب اهمیت

جدول ۵. ماتریس مقایسات زوجی معیارهای مؤثر بر روش ساخت دهانه به دهانه فلزی (نرخ ناسازگاری ۰/۰۹)

معیارها	کیفیت	هزینه	ایمنی	مدت زمان پروژه	شکل سازه	وزن نهایی
کیفیت	۱	۵	۰/۲	۴	۴	۰/۲۵۳
هزینه		۱	۰/۲۵	۱	۱	۰/۰۷۶
ایمنی			۱	۴	۵	۰/۵۱۴
مدیریت زمان پروژه				۱	۲	۰/۰۹۱
شکل سازه					۱	۰/۰۶۶

۴-۱-۴. روش طره‌ای متعادل فلزی

در ارزیابی مقایسه‌ای روش‌های ساخت پل با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی، روش طره‌ای متعادل فلزی ضریب اهمیت ۰/۰۷۳ را به دست آورد. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که زیرمعیارهای کیفیت، هزینه، ایمنی، مدیریت زمان پروژه و شکل سازه به‌ترتیب دارای ضرایب اهمیت ۰/۱۷۲، ۰/۱۰۲، ۰/۴۳۶، ۰/۱۵۳ و ۰/۱۳۶ هستند. بر این اساس، معیار ایمنی بیشترین وزن و اولویت را در ارزیابی این روش ساخت به خود اختصاص داده است.

در ارزیابی مقایسه‌ای روش‌های ساخت پل با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی، روش طره‌ای متعادل فلزی ضریب اهمیت ۰/۰۷۳ را به دست آورد. نتایج تحلیل نشان

جدول ۶. ماتریس مقایسات زوجی معیارهای مؤثر بر روش ساخت طرح‌ای متعادل فلزی (نرخ ناسازگاری ۰/۰۹)

معیارها	کیفیت	هزینه	ایمنی	مدت زمان پروژه	شکل سازه	وزن نهایی
کیفیت	۱	۲	۰/۲۵	۲	۱	۰/۱۷۲
هزینه		۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۱۰۲
ایمنی			۱	۴	۳	۰/۴۳۶
مدیریت زمان پروژه				۱	۲	۰/۱۵۳
شکل سازه					۱	۰/۱۳۶

۴-۱-۵. روش پیشرانی بتنی

تحلیل نشان داد که زیرمعیارهای کیفیت، هزینه، ایمنی، مدیریت زمان پروژه و شکل سازه به‌ترتیب دارای ضرایب اهمیت ۰/۲۵۲، ۰/۱۰۳، ۰/۳۹۲، ۰/۱۶۰ و ۰/۰۹۴ هستند. بر این اساس، معیار ایمنی بیشترین وزن و اولویت را در انتخاب روش ساخت پیشرانی بتنی داراست.

در ارزیابی مقایسه‌ای روش‌های ساخت پل با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، روش پیشرانی بتنی ضریب اهمیت ۰/۲۱۹ را به خود اختصاص داد. نتایج

جدول ۷. ماتریس مقایسات زوجی معیارهای مؤثر بر روش ساخت پیشرانی بتنی (نرخ ناسازگاری ۰/۰۹)

معیارها	کیفیت	هزینه	ایمنی	مدت زمان پروژه	شکل سازه	وزن نهایی
کیفیت	۱	۳	۰/۳۳	۳	۲	۰/۲۵۲
هزینه		۱	۰/۵	۰/۵	۱	۰/۱۰۳
ایمنی			۱	۳	۳	۰/۳۹۲
مدیریت زمان پروژه				۱	۳	۰/۱۶۰
شکل سازه					۱	۰/۰۹۴

۴-۱-۶. روش پیش‌تنیده بتنی

زیرمعیارهای کیفیت، هزینه، ایمنی، مدیریت زمان پروژه و شکل سازه به‌ترتیب ضرایب اهمیت ۰/۲۹۶، ۰/۱۴۲، ۰/۲۸۹، ۰/۱۶۹ و ۰/۱۰۳ را کسب کرده‌اند. بر این اساس، معیار کیفیت بیشترین وزن و اولویت را در ارزیابی روش ساخت پیش‌تنیده بتنی دارد.

در مقایسه تأثیرگذاری روش‌های مختلف ساخت پل با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، روش ساخت پیش‌تنیده بتنی ضریب اهمیت ۰/۲۱۱ را به خود اختصاص داد. نتایج حاصل از تحلیل نشان می‌دهد که

جدول ۸. ماتریس مقایسات زوجی معیارهای مؤثر بر روش ساخت پیش تنیده بتنی (نرخ ناسازگاری ۰/۰۸)

معیارها	کیفیت	هزینه	ایمنی	مدت زمان پروژه	شکل سازه	وزن نهایی
کیفیت	۱	۳	۰/۵	۳	۲	۰/۲۹۶
هزینه		۱	۰/۰۵	۱	۲	۰/۱۴۲
ایمنی			۱	۱	۲	۰/۲۸۹
مدیریت زمان پروژه				۱	۲	۰/۱۶۹
شکل سازه					۱	۰/۱۰۳

۴-۷. روش ترکیب‌های کابلی

۰/۱۷۷، ۰/۱۴۳، ۰/۴۱۴، ۰/۱۶۳ و ۰/۱۰۳ هستند. بر این اساس، معیار ایمنی بیشترین وزن و اولویت را در انتخاب روش ساخت ترکیب‌های کابلی به خود اختصاص داده است (جدول ۹).

در مقایسه تأثیرگذاری روش‌های مختلف ساخت پل با بهره‌گیری از تحلیل سلسله‌مراتبی، روش ساخت ترکیب‌های کابلی ضریب اهمیت ۰/۲۸۰ را کسب نمود. نتایج تحلیل نشان داد که زیرمعیارهای کیفیت، هزینه، ایمنی، مدیریت زمان پروژه و شکل سازه به ترتیب دارای ضرایب اهمیت

جدول ۹. ماتریس مقایسات زوجی معیارهای مؤثر بر روش ساخت ترکیب‌های کابلی (نرخ ناسازگاری ۰/۰۱)

معیارها	کیفیت	هزینه	ایمنی	مدت زمان پروژه	شکل سازه	وزن نهایی
کیفیت	۱	۱	۰/۵	۱	۲	۰/۱۷۷
هزینه		۱	۰/۳۳	۱	۱	۰/۱۴۳
ایمنی			۱	۳	۴	۰/۴۱۴
مدیریت زمان پروژه				۱	۲	۰/۱۶۳
شکل سازه					۱	۰/۱۰۳

نشان‌دهنده اهمیت بالای رعایت اصول ایمنی در پروژه‌های ساخت پل است. در این بین، کیفیت به عنوان عامل اصلی در روش پیش‌تنیده بتنی برجسته بود. به طور کلی، انتخاب روش مناسب با توجه به ترکیب معیارها می‌تواند به بهبود عملکرد پروژه‌های ساخت پل در کشور کمک کند.

نتایج تحلیل ماتریس‌های مقایسات زوجی نشان داد که از بین روش‌های مختلف ساخت پل، روش ترکیب‌های کابلی با ضریب اهمیت ۰/۲۸۰ بالاترین اولویت را در ایران دارد. پس از آن، روش پیش‌رانی بتنی با ضریب اهمیت ۰/۲۱۹ و پیش‌تنیده بتنی با ضریب اهمیت ۰/۲۱ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. همچنین، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در بیشتر روش‌ها ایمنی شناخته شد که

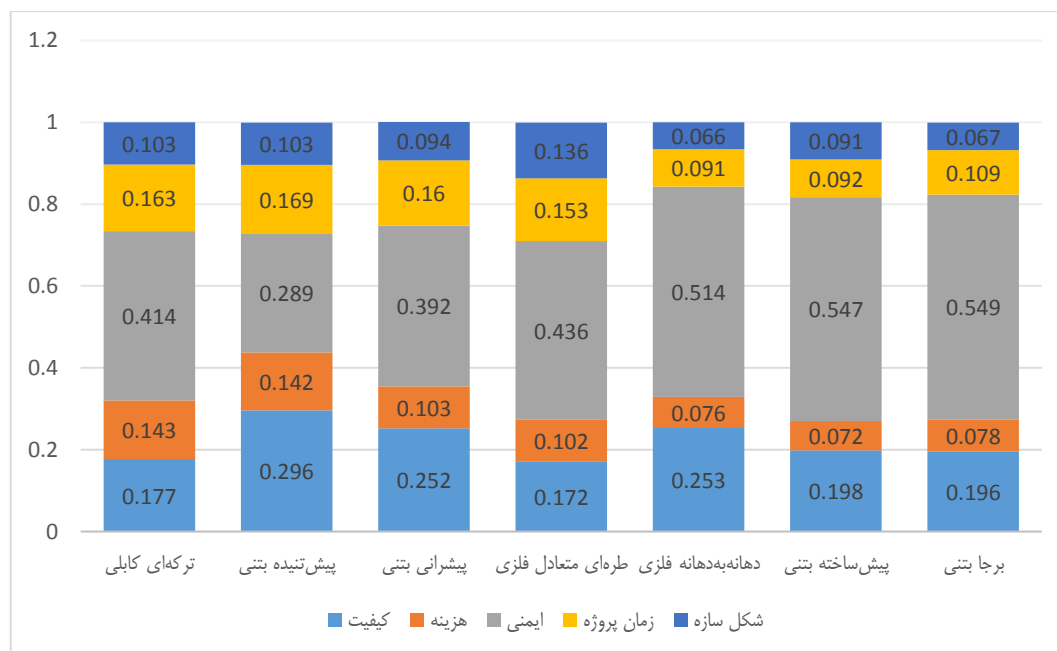
جدول ۱۰. جمع‌بندی ضرایب اهمیت معیارها در هر روش

روش ساخت	کیفیت	هزینه	ایمنی	زمان پروژه	شکل سازه	معیار غالب
برجا بتنی	۰/۱۹۶	۰/۰۷۸	۰/۵۴۹	۰/۱۰۹	۰/۰۶۷	ایمنی
پیش‌ساخته بتنی	۰/۱۹۸	۰/۰۷۲	۰/۵۴۷	۰/۰۹۲	۰/۰۹۱	ایمنی
دهانه به دهانه فلزی	۰/۲۵۳	۰/۰۷۶	۰/۵۱۴	۰/۰۹۱	۰/۰۶۶	ایمنی
طره‌ای متعادل فلزی	۰/۱۷۲	۰/۱۰۲	۰/۴۳۶	۰/۱۵۳	۰/۱۳۶	ایمنی
پیش‌رانی بتنی	۰/۲۵۲	۰/۱۰۳	۰/۳۹۲	۰/۱۶۰	۰/۰۹۴	ایمنی
پیش‌تنیده بتنی	۰/۲۹۶	۰/۱۴۲	۰/۲۸۹	۰/۱۶۹	۰/۱۰۳	کیفیت
ترکه‌ای کابلی	۰/۱۷۷	۰/۱۴۳	۰/۴۱۴	۰/۱۶۳	۰/۱۰۳	ایمنی

اغلب روش‌ها بیشترین وزن را دارد. در مقابل، معیار شکل سازه معمولاً کمترین سهم را به خود اختصاص داده است. روش‌های برجا بتنی و پیش‌ساخته بتنی بیشترین وابستگی را به ایمنی دارند. در حالی که روش پیش‌تنیده بتنی وابستگی بیشتری به کیفیت نشان می‌دهد. این شکل، دید مناسبی برای مقایسه ساختاری اولویت معیارها در روش‌های گوناگون ارائه می‌دهد.

۴-۱-۸. مقایسه روش‌ها

شکل ۴، وزن نهایی هر یک از پنج معیار اصلی شامل کیفیت، هزینه، ایمنی، مدت زمان پروژه و شکل سازه را برای هفت روش مختلف ساخت پل نمایش می‌دهد. داده‌ها بر اساس نتایج حاصل از مقایسات زوجی و تحلیل سلسله‌مراتبی در نرم‌افزار Expert Choice استخراج شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، معیار ایمنی در



شکل ۴. مقایسه وزن معیارها در روش‌های مختلف ساخت پل

۵. بحث و نتیجه گیری

عنوان عامل اصلی معرفی شد، ایمنی دارای بیشترین ضریب اهمیت بوده و نیاز به توجه ویژه و جدی در تمامی مراحل ساخت پل دارد.

با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، توصیه می شود مدیران، مهندسان و پیمانکاران پروژه های ساخت پل در ایران، ضمن در نظر گرفتن شرایط متنوع پروژه ها، نسبت به به کارگیری یافته های تحقیق با احتیاط و با آگاهی از محدودیت هایی مانند جامعه آماری محدود و ابزار تحلیل خاص اقدام نمایند. در پروژه های بزرگ و زیرساختی، تمرکز بر روش ترکیب کابلی به عنوان گزینه ای دارای اولویت بالا پیشنهاد می شود. توسعه و بهبود این روش با بهره گیری از مدل های طراحی نوین و فناوری های به روز می تواند کارایی و اثربخشی آن را افزایش دهد. همچنین، با توجه به اهمیت بالای ایمنی در تمامی روش های مورد بررسی، ضروری است که در تمامی مراحل طراحی و اجرای پروژه های عمرانی، ارزیابی و کنترل دقیق شاخص های ایمنی مورد توجه جدی قرار گیرد.

در نهایت، با توجه به نقش برجسته ایمنی و کیفیت در این انتخاب ها، پیشنهاد می شود که مدیران و مسئولان پروژه ها با ارائه تسهیلات مالی و اعتباری، امکانات لازم برای استفاده از مواد و مصالح نوین و تکنولوژی های به روز را فراهم کنند تا این فرآیندها به ارتقای کیفیت ساخت پل ها و افزایش ایمنی در طول عمر پروژه ها منجر شوند.

۶. مراجع

- Afolayan, A. H., Ojokoh, B. A. and Adetunmbi, A. O. 2020. "Performance analysis of fuzzy analytic hierarchy process multi-criteria decision support models for contractor selection". Sci. Afr., 9, e00471.
- Cavallo, B. 2017. "Computing random consistency indices and assessing priority vectors reliability." Inform. Sci., 420: 532-542.
- Chaphalkar, N. B. and Shirke, P. P. 2013. "Application of multi-criteria decision making techniques for bridge construction". Int. J. Innov. Res. Sci., Eng. Technol., 2(8): 3617-3626.
- Fang, J. and Partovi, F. Y. 2021. "Criteria determination of analytic hierarchy process using a topic model". Expert Syst. Appl., 169: 114306.

این پژوهش با هدف ارزیابی و اولویت بندی روش های مختلف ساخت پل با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام شد. بر اساس مطالعات ادبیات نظری و مقالات علمی و پژوهشی داخلی و خارجی، به ویژه پژوهش های بهولا و همکاران (۲۰۱۶) و پان (۲۰۰۸) و نظرات اساتید و کارشناسان، پنج معیار اصلی شامل کیفیت، هزینه، ایمنی، مدت زمان پروژه و شکل سازه به عنوان مهمترین معیارهای تأثیرگذار بر انتخاب روش های ساخت پل شناسایی شدند.

یافته های این پژوهش نشان می دهد که روش ساخت ترکیب کابلی با ضریب اهمیت ۰/۲۸۰، به عنوان مهمترین و اولویت دارترین روش ساخت پل در ایران شناخته شد. پس از آن، روش های ساخت پیشرانی بتنی (ضریب اهمیت ۰/۲۱۹)، پیش تنیده بتنی (ضریب اهمیت ۰/۲۱)، پیش ساخته بتنی (ضریب اهمیت ۰/۰۹۴)، دهانه به دهانه فلزی (ضریب اهمیت ۰/۰۷۸)، طره ای متعادل فلزی (ضریب اهمیت ۰/۰۷۳) و برجا بتنی (ضریب اهمیت ۰/۰۴۴) به ترتیب رتبه های دوم تا هفتم را کسب کردند. این نتایج حاکی از آن است که روش ساخت ترکیب کابلی به دلیل زیبایی و شکوه سازه ها و تنوع در روش های اجرایی به عنوان انتخاب برتر برای ساخت پل ها در شهرهای مختلف کشور ایران مطرح است. از سوی دیگر، ایمنی به عنوان مهمترین عامل تأثیرگذار در انتخاب روش ساخت در اکثر روش ها شناخته شده است. در تمامی روش ها، به جز پیش تنیده بتنی که کیفیت به

- Ghiamat, R. and Madhkhan, M. 2021. "Analysis and optimal design of segmental precast concrete bridges with balanced cantilever construction (Case study: Esteghlal bridge in Isfahan)". J. Struct. Constr. Eng., 8(4): 5-25.
- Harandeh, M. R., Akbarpournik, A. and Rezaei, F. 2015. "New methods of implementation in the new bridge construction process (Concrete bridges with box sections)". First National Conference of Urban Management of Iran, Tehran. [In Persian]
- Jia, J., Ibrahim, M., Hadi, M., Orabi, W., Ali, M. and Xiao, Y. 2016. "Estimation of the total cost of bridge construction for use in accelerated bridge construction selection decisions". Transportation Research Board 95th Annual Meeting, Washington DC, USA.
- Motaghi, A. and Golabchi, M. 2015. "Selection of the most appropriate structural system, construction method and materials for bridges using the TOPSIS multi-criteria decision-making method". Second National Conference on Structural Engineering of Iran, Tehran. [In Persian]
- Mu, E. and Pereyra-Rojas, M. 2016. "Practical decision making: An Introduction to the Analytic Hierarchy Process (AHP) using super decisions. V2, Springer.
- Pak Baz, H., Safai Kouchasaraei, A. and Habibi, M. R. 2018. "Investigation of basic parameters of execution and construction of culvert structure (bridge) in the river course." Quarter. J. Water Eng., 6(2): 124-131.
- Pan, N. F. 2008. "Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method." Automat. Constr., 17(8): 958-965.
- Bhola, P., A.-G. Chronis, P. Kotsampopoulos, and N. Hatziaargyriou. 2023. "Business model selection for community energy storage: a multi criteria decision making approach." Energies, 16(18): 6753.
- Saffourizadeh Sehi, Gh. 2010. "A study of the history of bridge construction and their optimal safety assessment". Fifth International Conference on Civil Engineering, Architecture and Sustainable Green Cities. [In Persian]
- Shariatmadar, H., Mohseni, S. and Mohseni, M. 2011. "Design and typology of prefabricated bridge decks with rapid installation capability". 6th National Civil Engineering Congress, Semnan University, Iran. [In Persian]
- Upadhy, P. R., Das, M. S. and Das, B. B. 2021. "Multi-criteria decision-making approach for selecting a bridge superstructure construction method". In Recent Trends in Civil Engineering: Select Proceedings of TMSF 2019 (pp. 497-508), Springer, Singapore.