



## NEW APPROACHES in CONSTRUCTION and PROJECT MANAGEMENT

Quarterly Journal of the Civil Engineering Department, Faculty of Engineering

<https://cpm.aletaha.ac.ir>



### Investigating the Effective Factors on Quality Performance in Bridge Construction Projects Using Hierarchical Analysis (Case Study: Bridge Projects in Shiraz)

Mohammad Amir Sherafati<sup>a\*</sup>, Mohammad Hossein Soltani Sarvestani<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shi.C., Islamic Azad University, Shiraz, Iran;  
[m.a.sherafati@iaui.ac.ir](mailto:m.a.sherafati@iaui.ac.ir)

<sup>b</sup> M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Shi.C., Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

#### Abstract

The qualitative performance of bridge construction projects plays a vital role in improving transportation infrastructure and enhancing road safety. However, the lack of proper management in areas such as planning, selection of execution methods, financial and human resource management leads to reduced quality and increased costs in these projects. This study aims to investigate the factors influencing the qualitative performance of bridge construction projects in the city of Shiraz. Initially, using the Delphi method, 39 relevant indicators were identified. In the next step, these indicators were categorized into four main dimensions: organizational, financial, infrastructural, and human factors. They were then weighted and prioritized using the Analytic Hierarchy Process (AHP). Based on the obtained results, the financial dimension (weight 0.325) is the most important factor in enhancing qualitative performance, followed by organizational factors (weight 0.281), infrastructural factors (weight 0.221), and human factors (weight 0.173). Among the sub-indicators, "accurate financial management and budgeting" ranked first, followed by "evaluation and selection of experienced contractors" and "precise control of incoming materials". The findings of this study indicate that implementing strategies such as efficient project management, training of human resources, coordination among teams, continuous control of financial and technical processes, and attention to environmental and climatic issues can significantly improve the quality of execution and durability of bridge construction projects.

Article history:

Received: 28/09/2024

Revised: 21/12/2024

Accepted: 01/04/2025

#### Keywords

Bridge Construction, Project Quality, Analytic Hierarchy Process, Financial Management, Project Management, Human Resource Management

\* corresponding author: Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shi.C., Islamic Azad University, Shiraz, Iran;  
[m.a.sherafati@iaui.ac.ir](mailto:m.a.sherafati@iaui.ac.ir); ORCID: 0000-0003-2031-4800



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
موسسه آموزش عالی آل ط

## رویکردهای نوین در مدیریت ساخت و پروژه

فصلنامه گروه مهندسی عمران دانشکده فنی و مهندسی

<https://cpm.aletaha.ac.ir>



### بررسی عوامل مؤثر بر عملکرد کیفی در اجرای پروژه‌های پل سازی با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: پل سازی در شهر شیراز)

محمدامیر شرافتی<sup>۱\*</sup>، محمدحسین سلطانی سروستانی<sup>۲</sup>

۱. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده صنعت ساختمان و محیط زیست، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران؛

[m.a.sherafati@iaau.ac.ir](mailto:m.a.sherafati@iaau.ac.ir)

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده صنعت ساختمان و محیط زیست، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

#### چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷  
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۲

عملکرد کیفی پروژه‌های پل سازی نقش حیاتی در بهبود زیرساخت‌های حمل و نقل و ارتقای ایمنی راه‌ها دارد. با این حال، کمبود مدیریت مناسب در حوزه‌هایی چون برنامه‌ریزی، انتخاب روش‌های اجرایی، مدیریت مالی و انسانی، منجر به کاهش کیفیت و افزایش هزینه در این پروژه‌ها می‌شود. در این پژوهش، با هدف بررسی عوامل مؤثر بر عملکرد کیفی پروژه‌های پل سازی در شهر شیراز، ابتدا با استفاده از روش دلفی ۳۹ شاخص مرتبط شناسایی گردید. در گام بعدی، این شاخص‌ها در قالب چهار بُعد اصلی شامل عوامل سازمانی، مالی، زیرساختی و انسانی دسته‌بندی و با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) وزن‌دهی و اولویت‌بندی شدند. بر اساس نتایج به دست آمده، بُعد مالی (وزن ۰/۳۲۵) مهم‌ترین عامل در ارتقای عملکرد کیفی است و پس از آن عوامل سازمانی (وزن ۰/۲۸۱)، زیرساختی (وزن ۰/۲۲۱) و انسانی (وزن ۰/۱۷۳) قرار گرفتند. در میان زیرشاخص‌ها، «مدیریت مالی دقیق و بودجه‌بندی» در اولویت نخست، «ارزیابی و انتخاب پیمانکاران با تجربه» و «کنترل دقیق مصالح ورودی» به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که به کارگیری راهکارهایی نظیر مدیریت پروژه کارآمد، آموزش نیروهای انسانی و هماهنگی میان تیم‌ها، کنترل مستمر فرایندهای مالی و فنی و همچنین توجه به مسائل زیست‌محیطی و اقلیمی، می‌تواند بهبود چشمگیری در کیفیت اجرا و دوام پروژه‌های پل سازی داشته باشد.

#### واژگان کلیدی

پل سازی، کیفیت پروژه، تحلیل سلسله‌مراتبی، مدیریت مالی، مدیریت پروژه، مدیریت منابع انسانی.

\* نویسنده مسئول: استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده صنعت ساختمان و محیط زیست، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران؛

[m.a.sherafati@iaau.ac.ir](mailto:m.a.sherafati@iaau.ac.ir)

## ۱. مقدمه

پروژه‌های پل‌سازی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های عمرانی، نقش بسزایی در بهبود جریان حمل‌ونقل و توسعه اقتصادی جوامع دارند [۱]. با این حال، چالش‌های متعددی مانند دوباره‌کاری، افزایش هزینه‌ها، عدم هماهنگی میان عوامل اجرایی و افت کیفیت سازه‌ها، اجرای این پروژه‌ها را پیچیده می‌سازد. در چنین شرایطی، توجه به مدیریت کیفیت در تمامی مراحل طراحی، ساخت و بهره‌برداری پل، کلیدی است [۲]. این موضوع با بهره‌گیری از رویکردهای علمی نوین، مانند روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، امکان‌پذیر می‌شود.

مسئله اصلی پژوهش حاضر آن است که چگونه می‌توان عوامل مؤثر بر عملکرد کیفی پروژه‌های پل‌سازی را شناسایی و اولویت‌بندی کرد تا ضمن صرفه‌جویی در زمان و هزینه، سطح کیفی ساخت پل‌ها ارتقا یابد. در این راستا، مفاهیم کلیدی نظیر مدیریت پروژه کارآمد، کیفیت مصالح، نیروی انسانی متخصص، استانداردهای زیست‌محیطی و مدیریت ریسک‌های ساخت در موفقیت پروژه‌های پل‌سازی حیاتی به نظر می‌رسند [۳].

در سال‌های اخیر، مطالعاتی که به بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت اجرای پروژه‌های عمرانی پرداخته‌اند، گسترش یافته است [۴]. با این حال، پژوهش‌های اختصاص‌یافته به مدیریت کیفیت در پروژه‌های پل‌سازی به دلیل ابعاد ویژه و حساسیت فنی این حوزه، نسبتاً محدودتر بوده‌اند. در این بخش، مهم‌ترین تحقیقات مرتبط با موضوع حاضر که در سه تا چهار سال اخیر و نیز برخی از پژوهش‌های بنیادی انجام شده را مرور می‌کنیم (جدول ۱).

ثامتی (۱۳۸۲) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود، به مبحث برنامه‌ریزی و کنترل پروژه مبتنی بر بانک اطلاعاتی در پروژه‌های پل‌سازی پرداخت. وی ضمن تأکید بر لزوم همکاری هماهنگ سه رکن اصلی پروژه (کارفرما، مشاور و پیمانکار)، الگوریتمی برای سیستم مدیریت اطلاعات در پل‌سازی پیشنهاد داد. این الگوریتم، گردآوری دقیق اطلاعات عمومی پروژه از جمله مشخصات سیستم‌های سازه‌ای، شرایط کاری و هزینه‌های پیش‌بینی‌شده را نقطه آغاز برنامه‌ریزی کارآمد می‌داند [۵].

ثامتی و مالک (۱۳۸۳) در پژوهشی مشترک با عنوان «برنامه‌ریزی و کنترل پروژه مبتنی بر بانک اطلاعاتی راهنمای مدیریت در پروژه‌های پل‌سازی»، تأکید کردند که برنامه‌ریزی واقع‌گرایانه در پروژه‌های عمرانی نیازمند گردآوری مستمر و نظام‌مند داده‌ها درباره مقادیر کار، منابع و هزینه‌هاست. آن‌ها خاطرنشان ساختند که فقدان اطلاعات هدفمند در طول فرآیند اجرا، منجر به دوباره‌کاری و تکرار اشتباهات گذشته می‌شود [۲].

حسینیان و نوری (۱۳۸۷) کیفیت را به‌عنوان «درجه تطابق ویژگی‌های ذاتی یک سازه با الزامات موردنظر» تعریف کرده و اظهار داشتند عنصر حیاتی در مدیریت کیفیت پروژه، تبدیل انتظارات ذینفعان به الزامات روشن در مدیریت محدوده پروژه است. مطالعه آن‌ها در حوزه ساخت‌وساز نشان داد که رعایت این الزامات موجب کاهش هزینه‌ها و افزایش رضایت کارفرمایان می‌گردد [۷].

اسپوتین و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی ارتباط بین زمان، هزینه، کیفیت و ریسک در پروژه‌های عمرانی پرداختند و سد مخزنی قوچم را به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در صورت وجود مدیریت مالی ناکارآمد، تأخیرهای زمانی و افت کیفیت اجتناب‌ناپذیر است. در بخش کیفی تحقیق، تأکید شد که استفاده از روش‌های بهینه‌سازی فراابتکاری (نظیر الگوریتم ژنتیک و شاهین هریس) می‌تواند در کاهش هزینه‌های دوباره‌کاری و ارتقای سطح کیفی اجرا مؤثر باشد [۸].

صائمی و خزایی (۱۳۹۵) در پژوهشی بر روی پروژه‌های پل‌سازی شهری دریافتند اعمال یک سیستم مدیریت کیفیت جامع در تمامی مراحل طراحی، ساخت و بهره‌برداری، ضمن برآورده ساختن نیازهای کارفرما و کاهش دوباره‌کاری، موجب افزایش منافع اقتصادی می‌شود. آن‌ها بیان کردند که فقدان کنترل و نظارت مستمر در مرحله ساخت، عامل اصلی بروز نقص‌های پیش‌بینی‌نشده در سازه پل‌هاست [۹].

نودین ام سیانتوری و همکاران (۲۰۲۲) عوامل مؤثر بر تأخیر و کمبود کیفی را در پروژه پل سی‌وامپو بررسی کردند. آن‌ها از رویکرد کیفی با توصیف میدانی بهره‌گرفتند و نشان دادند سه عامل اصلی یعنی عملکرد کارفرمای پروژه، عوامل میدانی و ضریب تغییرات سفارش بیشترین تأثیر را در کاهش کیفیت نهایی داشته‌اند. این مطالعه به تصمیم‌گیرندگان ساخت پل پیشنهاد می‌کند که در پروژه‌های بعدی از ابزارهای برنامه‌ریزی دقیق‌تر و بازرنگری در سفارش‌های تغییر استفاده نمایند [۱۰].

عباسبای و پاتل (۲۰۲۰) صنعت ساخت را به دلیل تعدد ذینفعان و وجود پیچیدگی‌های فنی، اقتصادی و مدیریتی، بسیار پویا توصیف کردند. نتایج پژوهش آن‌ها در منطقه احمدآباد هندوستان نشان داد که وجود یک مدیریت پروژه قوی و افراد واجد مهارت حرفه‌ای، در موفقیت پروژه‌های ساخت پل نقش تعیین‌کننده دارد. این تیم پنجاه‌وهفت عامل تأثیرگذار بر عملکرد را شناسایی و در دسته‌های هزینه، زمان، کیفیت، ایمنی و محیط تقسیم‌بندی نمود [۱۱].

سرکالم مولا و همکاران (۲۰۲۰) در شهر آدیس آبابا، به عوامل اساسی مؤثر بر اجرای پروژه‌های ساختمانی عمومی پرداختند و ۴۶ عامل کلیدی را شناسایی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد متغیرهایی نظیر هزینه، زمان، کیفیت، بهره‌وری، رضایت مشتری، سلامت و ایمنی در اجرای پروژه‌های عمرانی - و به تبع آن پل‌سازی - تأثیرگذار هستند. پژوهشگران در این مطالعه تصریح کردند که عدم رعایت استانداردهای ایمنی و ضعف در تأمین مالی پروژه، از عواملی است که بیشترین نقش را در کاهش کیفیت سازه‌ها دارد [۱۲].

تقدس و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای بر روی روش‌های اجرای پروژه‌های پل‌سازی شهری با استفاده از شبیه‌سازی، نشان دادند که انتخاب روش اجرای بهینه با در نظر گرفتن شاخص‌های ایمنی، زمان و هزینه، می‌تواند علاوه بر افزایش سرعت ساخت، تأثیر مثبت بر رضایت بهره‌برداران و کاهش ریسک‌های اجرایی داشته باشد. آنان تأکید کردند که شبیه‌سازی فرایند ساخت، امکان سنجش تأثیر هر یک از تغییرات در پارامترهای کلیدی پروژه (مانند تغییر در نوع مصالح یا روش اجرای پایه‌ها) را پیش از اقدام عملی فراهم می‌سازد [۱۳].

عالی و هادی‌زاده مقدم (۱۴۰۰) در پژوهشی که بر پروژه‌های عمرانی کشورهای در حال توسعه متمرکز بود، نشان دادند عدم توجه به تغییرات مدام در قوانین و مقررات، مقررات پیمانکاری و محیط‌های فرهنگی، می‌تواند سبب افزایش هزینه و زمان اجرای پروژه شود. آن‌ها پیشنهاد کردند که روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر AHP و تاپسیس (TOPSIS) فازی، راهکار مناسبی برای رتبه‌بندی عوامل و اتخاذ تصمیم‌های صحیح در شرایط عدم قطعیت باشد [۱۴].

جدول ۱. خلاصه پژوهش‌های مرتبط

نام نویسنده و سال انتشار	عنوان مقاله/پژوهش	شرح نتایج
ثامتی (۱۳۸۲)	برنامه‌ریزی و کنترل پروژه مبتنی بر بانک اطلاعاتی در پروژه‌های پل‌سازی	تأکید بر جمع‌آوری و سامان‌دهی اطلاعات پروژه (کار، منابع و هزینه‌ها) به صورت سیستمی و نقش آن در جلوگیری از دوباره‌کاری می‌باشد.
ثامتی و مالک (۱۳۸۳)	برنامه‌ریزی و کنترل پروژه مبتنی بر بانک اطلاعاتی راهنمای مدیریت در پروژه‌های پل‌سازی	لزوم برنامه‌ریزی واقع‌گرایانه بر پایه داده‌های مستمر و منسجم؛ ضعف در گردآوری داده‌ها سبب تکرار اشتباهات در اجرای پروژه‌ها می‌گردد.
حسینیان و نوری (۱۳۸۷)	مدیریت کیفیت در ساخت‌وساز و تاثیر آن بر پروژه‌های عمرانی	تعریف کیفیت به‌عنوان درجه تطابق ویژگی‌های ذاتی سازه با الزامات پروژه؛ عنصر حیاتی در مدیریت کیفیت، تبدیل انتظارات ذینفعان به الزامات صریح است.
اسپوتین و همکاران (۱۴۰۰)	ارتباط میان زمان، هزینه، کیفیت و ریسک در پروژه‌های عمرانی (مطالعه موردی سد مخزنی قوچم)	مدیریت مالی ناکارآمد منجر به تأخیر و افت کیفیت می‌شود؛ کاربرد الگوریتم‌های فراابتکاری در کاهش هزینه‌های دوباره‌کاری و ارتقای کیفیت ساخت استفاده شد.
صائمی و خزایی (۱۳۹۵)	الگویی برای مدیریت کیفیت در پروژه‌های پل‌سازی شهری	استقرار سیستم مدیریت کیفیت جامع در مراحل طراحی تا بهره‌برداری، باعث کاهش دوباره‌کاری و تأمین نیازهای کارفرما شده و منافع اقتصادی را افزایش می‌دهد.
نودین ام سیانتوری و همکاران (۲۰۲۲)	عوامل مؤثر بر تاخیر زمانی و کمبود کیفی پروژه پل سی‌وامپو	سه عامل عملکرد کارفرما، شرایط میدانی و تغییرات سفارش، بیشترین تأثیر را بر افت کیفیت پروژه داشته و بر لزوم برنامه‌ریزی دقیق‌تر در تغییرات سفارش تأکید می‌کند.
عباسبای و پاتل (۲۰۲۰)	نقش مدیریت پروژه قوی و مهارت حرفه‌ای نیروی انسانی در پروژه‌های ساخت پل	شناسایی ۵۷ عامل مؤثر بر عملکرد؛ دسته‌بندی در گروه‌های هزینه، زمان، کیفیت و ایمنی؛ تأکید بر لزوم توانمندسازی تیم‌ها و رهبری کارآمد برای بهبود کیفیت بوده است.
سرکالم مولا و همکاران (۲۰۲۰)	شناسایی و ارزیابی عوامل کلیدی در اجرای پروژه‌های ساختمانی عمومی در آدیس آبابا	۴۶ عامل کلیدی در حوزه هزینه، زمان، کیفیت، بهره‌وری و ایمنی شناسایی شد؛ عدم رعایت استانداردهای ایمنی و تأمین مالی ضعیف، عامل اصلی کاهش کیفیت پروژه‌هاست.

نام نویسنده و سال انتشار	عنوان مقاله/پژوهش	شرح نتایج
تقدس و همکاران (۱۳۹۳)	بررسی روش‌های اجرای پروژه‌های پل‌سازی شهری با بهره‌گیری از شبیه‌سازی	انتخاب روش اجرای بهینه با در نظر گرفتن ایمنی، زمان و هزینه؛ اجرای شبیه‌سازی ساخت برای ارزیابی تأثیر تغییر پارامترهای کلیدی (نوع مصالح، روش اجرای پایه‌ها و ...) بر کیفیت.
عالی و هادی‌زاده مقدم (۱۴۰۰)	شناسایی و رتبه‌بندی عوامل انسانی مؤثر بر افزایش هزینه و زمان پروژه‌های عمرانی	تغییرات در قوانین پیمانکاری و شرایط فرهنگی از عوامل کلیدی افزایش هزینه‌اند؛ استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (AHP و تاپسیس فازی) برای اولویت‌بندی مؤثر است.

## ۲. روش‌های پژوهش

در این بخش، چارچوب طراحی پژوهش حاضر، جامعه آماری، روش‌های نمونه‌گیری، ابزارهای گردآوری داده‌ها و فنون تحلیل آماری تشریح می‌گردد. هدف اصلی، تبیین فرایندی است که از طریق آن داده‌های خام در اختیار قرار گرفته و در نهایت، شاخص‌های تأثیرگذار بر عملکرد کیفی پروژه‌های پل‌سازی شناسایی و رتبه‌بندی شده‌اند. رویکرد عمده پژوهش، ترکیبی از روش دلفی (جهت پالایش و اجماع شاخص‌ها) و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP (جهت اولویت‌بندی عوامل کلیدی) است.

### ۲-۱. طرح پژوهش

این مطالعه از حیث هدف، در رده پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد؛ زیرا نتایج آن به بهبود و ارتقای کیفیت پروژه‌های پل‌سازی در عمل کمک می‌کند. از نظر گردآوری داده‌ها نیز در زمره پژوهش‌های توصیفی-پیمایشی به‌شمار می‌رود؛ بدین معنا که داده‌ها، عمدتاً از طریق پرسشنامه و مصاحبه ساختارمند جمع‌آوری شده است. علاوه بر این، به سبب استفاده از روش‌های همبستگی (جهت بررسی روابط بین عوامل) و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، می‌توان این تحقیق را از جنبه ابزارهای تحلیل نیز چندوجهی دانست.

### ۲-۲. جامعه آماری و روش نمونه‌گیری

جامعه آماری اصلی این تحقیق را مهندسان، کارشناسان و متخصصان فعال در حوزه پل‌سازی شهر شیراز تشکیل می‌دهند. این افراد به‌گونه‌ای گزینش شده‌اند که حداقل پنج سال سابقه‌ی کار مرتبط با پروژه‌های عمرانی - به‌ویژه در زمینه‌ی طراحی، نظارت یا اجرای پل‌ها - داشته باشند. در مرحله نخست، از بین جامعه مذکور، ۳۰ نفر به‌روش نمونه‌گیری هدفمند و غیراحتمالی برای مشارکت در روش دلفی و تکمیل پرسشنامه‌های مقایسه زوجی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برگزیده شدند. معیار ورود نمونه‌ها عبارت بود از:

۱. داشتن تحصیلات کارشناسی یا بالاتر در رشته‌های مرتبط با مهندسی عمران، مدیریت ساخت یا سازه؛
۲. داشتن حداقل پنج سال سابقه کاری مؤثر در طراحی، نظارت یا اجرای پروژه‌های پل‌سازی؛
۳. تمایل و امکان همکاری در چند مرحله توزیع پرسشنامه و ارائه بازخورد.

### ۲-۳. ابزار گردآوری داده‌ها

پژوهش حاضر از دو دسته ابزار برای گردآوری داده‌ها بهره برده است:

۱. **ابزار کتابخانه‌ای:** شامل بررسی اسناد، گزارش‌ها، آیین‌نامه‌های مرتبط، مقالات علمی و پایان‌نامه‌های موجود در حوزه مدیریت کیفیت و پل‌سازی.
۲. **ابزار میدانی:**
  - پرسشنامه‌ی دلفی: برای شناسایی، پالایش و اجماع نظر خبرگان درباره شاخص‌های اثرگذار.
  - پرسشنامه مقایسه زوجی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP): به‌منظور اولویت‌بندی شاخص‌ها و تعیین ضرایب اهمیت.

## ۲-۴. روش دلفی

برای تعیین و پالایش شاخص‌های اولیه مؤثر بر عملکرد کیفی در اجرای پروژه‌های پل‌سازی، از روش دلفی در سه مرحله استفاده شد.

### • مرحله نخست (شناسایی اولیه شاخص‌ها):

با رجوع به مبانی نظری و نیز انجام مصاحبه‌های اکتشافی، ۵۷ شاخص شناسایی گردید. پرسشنامه‌ای شامل این ۵۷ شاخص در میان ۳۰ خبره توزیع شد و از آن‌ها خواسته شد تا هر شاخص را بر اساس طیف لیکرت پنج‌گزینه‌ای (کاملاً مخالف تا کاملاً موافق) درجه‌بندی کنند. در پایان، آن دسته از شاخص‌هایی که میانگین وزنی امتیازشان زیر حد نصاب (میانگین کم‌تر از ۳) بود، حذف گردیدند.

### • مرحله دوم (بازنگری و تکرار):

در این مرحله، شاخص‌های باقیمانده به همراه شاخص‌های ادغام‌شده (مطابق با پیشنهاد خبرگان) مجدداً به خبرگان ارائه شد تا پایایی ارزیابی‌ها و شاخص‌های جدید نیز مورد سنجش قرار گیرد. همچنین در این مرحله، از ضریب کندال (Kendall's W) برای ارزیابی سطح توافق بین خبرگان استفاده شد. در صورت بالاتر بودن ضریب کندال از آستانه ۰/۷، می‌توان اجماع مناسبی را میان نظرات خبرگان نتیجه گرفت.

### • مرحله سوم (تثبیت و دستیابی به اشیاع نظری):

پس از دریافت پاسخ‌های مرحله دوم، پرسشنامه‌ی دوره سوم صرفاً شامل آن دسته از شاخص‌هایی بود که هنوز نیاز به بازبینی یا تطبیق داشتند. در نهایت، با رسیدن به نرخ بالایی از اجماع و عدم تغییر معنادار در انتخاب شاخص‌ها، مرحله دلفی خاتمه یافت. خروجی نهایی عبارت بود از ۳۹ شاخص تأییدشده در چهار بعد کلی: مالی، سازمانی، زیرساختی و انسانی. ضریب کندال در دور سوم پرسشنامه مقدار ۰/۸۱/ محاسبه شد که نشان از اجماع نظر خبرگان دارد.

## ۲-۴-۱. نکته فنی در آزمون شاخص‌ها

جهت تأیید اعتبار نتایج هر دور از دلفی، علاوه بر آزمون تی تک‌نمونه‌ای (ارزیابی معناداری میانگین شاخص‌ها)، شاخص‌های CVR و CVI (نسبت<sup>۱</sup> و شاخص اعتبار محتوا<sup>۲</sup>) نیز به کار برده شدند. این رویکرد موجب افزایش اطمینان از مناسب بودن شاخص‌های استخراجی برای استفاده در مرحله رتبه‌بندی شد.

## ۲-۵. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

به منظور اولویت‌بندی شاخص‌های نهایی و تعیین ضرایب اهمیت هر یک، از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده گردید. منطق اصلی این روش بر مقایسات زوجی معیارها و زیرمعیارها استوار است و خروجی آن، وزن نسبی هر شاخص در ساختار سلسله‌مراتبی پژوهش محسوب می‌شود.

### ۱. ساختار سلسله‌مراتبی

ساختار سلسله‌مراتبی در چهار سطح شکل گرفت:

- سطح اول: هدف اصلی (بهبود عملکرد کیفی در اجرای پروژه‌های پل‌سازی).
- سطح دوم: ابعاد کلان (عوامل مالی، سازمانی، زیرساختی و انسانی).
- سطح سوم: زیرمعیارهای هر بُعد (مجموع ۳۹ زیرشاخص).
- سطح چهارم (گزینه‌های تصمیم): در این پژوهش، گزینه‌های مستقیم تصمیم وجود ندارد، اما هر زیرشاخص به عنوان یک سنجه رتبه‌بندی می‌شود.

### ۲. طراحی پرسشنامه مقایسات زوجی

برای هر یک از ابعاد و زیرمعیارها، پرسشنامه‌هایی تنظیم شد تا خبرگان درجه اهمیت نسبی میان دوبه‌دو شاخص‌ها را مشخص کنند. مقیاس عددی ۱ تا ۹ ساعتی مورد استفاده قرار گرفت؛ بدین معنا که عدد ۱ حاکی از اهمیت یکسان دو شاخص و عدد ۹ نمایانگر برتری مطلق یک شاخص بر دیگری است.

1. Content Validity Ratio  
2. Content Validity Index

### ۳. تجميع نظرات و محاسبه وزن‌ها

پس از تکميل پرسشنامه‌های مقایسات زوجی توسط همان ۳۰ خبره منتخب، داده‌های هر جدول مقایسه‌ی زوجی در نرم‌افزار Expert Choice وارد شد. میانگین هندسی قضاوت‌های خبرگان، به عنوان دیدگاه نهایی گروه در نظر گرفته شد. سپس از روش زیر برای نرمال‌سازی ستون‌های ماتریس مقایسات زوجی و محاسبه وزن هر شاخص استفاده می‌شود. در این روش، بعد از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی، ابتدا میانگین هندسی هر یک از سطرهای ماتریس محاسبه می‌شود؛ سپس در مرحله دوم ماتریس ستونی حاصل با تقسیم هر یک از مؤلفه‌هایش بر مجموع مؤلفه‌های موجود نرمالیزه می‌گردد. ماتریس ستونی جدید حاصل شده همان ماتریس وزن شاخص‌های مسئله مورد نظر است. فرم ریاضی این روش را در رابطه زیر می‌توان مشاهده نمود.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \xrightarrow{1} \begin{bmatrix} \sqrt[n]{a_{11} \dots a_{1n}} \\ \vdots \\ \sqrt[n]{a_{n1} \dots a_{nn}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \pi_1 \\ \vdots \\ \pi_n \end{bmatrix} \xrightarrow{2} \begin{bmatrix} \frac{\pi_1}{\sum_{i=1}^n \pi_i} \\ \vdots \\ \frac{\pi_n}{\sum_{i=1}^n \pi_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix}$$

### ۴. کنترل سازگاری

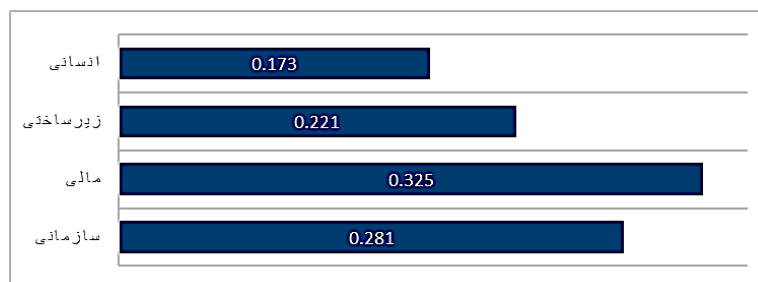
برای اطمینان از منطقی بودن مقایسات، پیش از میانگین‌گیری از نظر خبرگان، نرخ ناسازگاری (IR) پاسخ خبرگان به صورت جداگانه محاسبه شد و طبق نظر ساعتی پاسخ‌های با نرخ ناسازگاری کمتر از ۱۰٪ از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی حذف می‌شوند. پس از میانگین‌گیری از نظر خبرگان، نرخ ناسازگاری برآیند نظر خبرگان محاسبه شد. نتایج محاسبات نرخ ناسازگاری معیار عوامل انسانی برابر ۰٫۵٪، عوامل زیرساختی ۰٫۱٪، عوامل مالی ۳٪ و عوامل سازمانی ۰٫۱٪ محاسبه شدند که نشان از پایایی پرسشنامه مقایسات زوجی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی دارد.

### ۳. استخراج نتایج نهایی

پس از گردآوری پرسشنامه‌های مقایسات زوجی (AHP) و اطمینان از سازگاری آن‌ها، داده‌ها در نرم‌افزار Expert Choice (یا ابزار معادل تحلیلی دیگر) وارد شد. بدین ترتیب، وزن نسبی هر یک از ابعاد و زیرمعیارهای شناسایی شده در چهار بُعد مالی، سازمانی، زیرساختی و انسانی محاسبه گردید. در ادامه، چگونگی محاسبه اوزان و تفسیر نتایج ارائه می‌گردد.

### ۳-۱. تعیین اوزان ابعاد اصلی

بر اساس خروجی نرم‌افزار و روش تحلیل سلسله‌مراتبی، معیار عوامل مالی با وزن نرمال شده ۰٫۳۲۵ بالاترین اولویت را در عملکرد کیفی پروژه‌های پل‌سازی کسب کرد. پس از آن، عوامل سازمانی با وزن ۰٫۲۸۱، عوامل زیرساختی با وزن ۰٫۲۲۱ و در نهایت، عوامل انسانی با وزن ۰٫۱۷۳ قرار گرفتند (شکل ۱). این یافته نشان می‌دهد در محیطی که پروژه‌های بزرگ و پرهزینه نظیر پل‌سازی اجرا می‌شود، توجه به تخصیص بودجه، مدیریت هزینه‌ها و سازوکارهای مالی در اولویت نخست قرار دارد. همچنین، نقش سازمان‌دهی مناسب و مدیریت پروژه کارآمد در مرحله بعد، حاکی از اهمیت تصمیم‌گیری صحیح و هماهنگ در سطوح مدیریتی است.



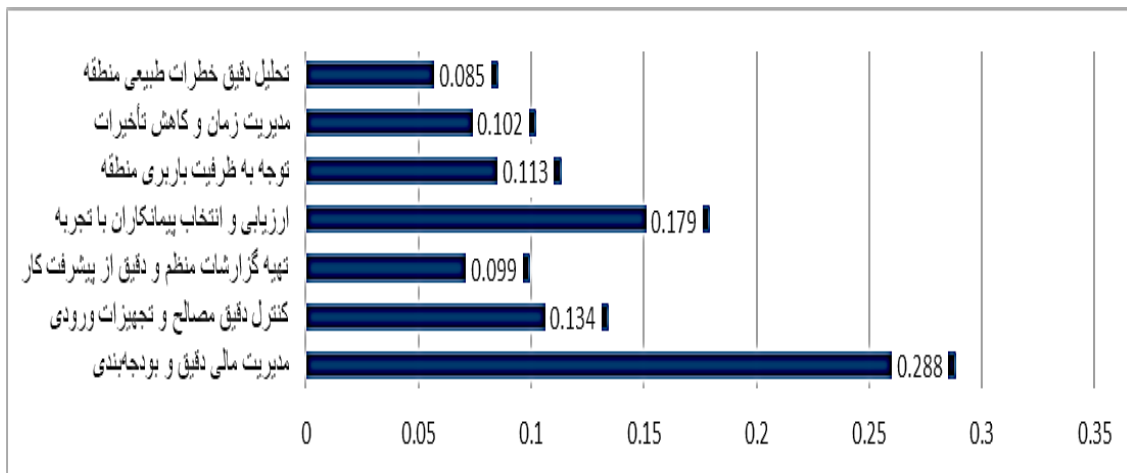
شکل ۱. وزن معیارهای اصلی

### ۳-۲. رتبه‌بندی زیرمعیارها در هر بعد

پس از تعیین اوزان ابعاد اصلی، برای هر بعد نیز زیرمعیارهای متناظر با مقایسات زوجی ارزیابی شدند. نتایج نهایی زیرمعیارها در هر بعد، بر اساس وزن نسبی به دست آمده، به شرح زیر است:

#### ۱. عوامل مالی:

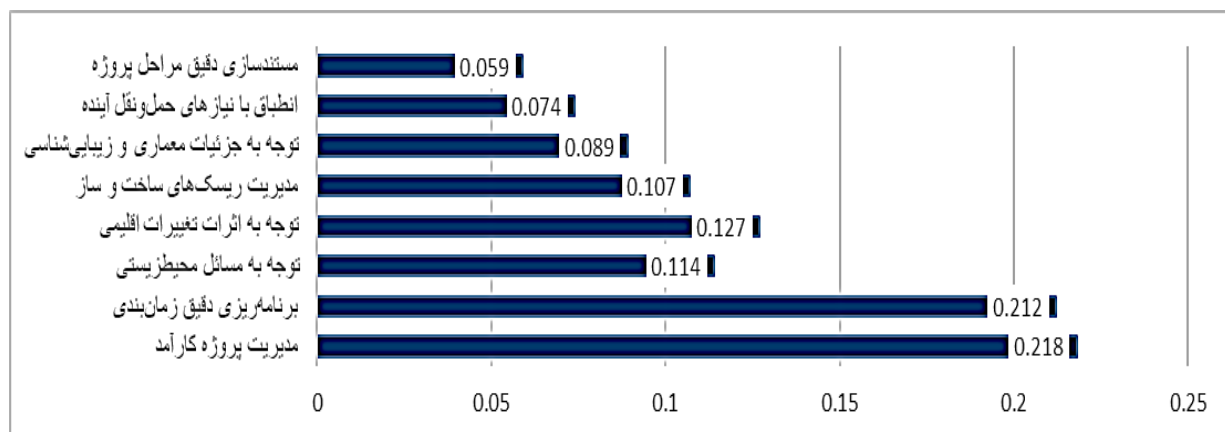
نتایج حاکی است "مدیریت مالی دقیق و بودجه‌بندی" با وزن ۰/۲۲۸ بالاترین اولویت را در میان زیرمعیارهای مالی داراست. این امر تایید می‌کند که برنامه‌ریزی مالی منسجم، مانع از اتلاف منابع و دوباره‌کاری می‌شود. همچنین "ارزیابی و انتخاب پیمانکار با تجربه" با وزن ۰/۱۷۹، "کنترل دقیق مصالح ورودی" با وزن ۰/۱۳۴، به ترتیب در جایگاه دوم و سوم قرار گرفتند (شکل ۲). چنین رتبه‌بندی‌ای بیانگر آن است که بهترین برنامه مالی در صورت انتخاب پیمانکار ناآشنا به اصول کیفیت کنترل، موثر خواهد بود.



شکل ۲. اولویت‌بندی زیر معیارهای عوامل مالی

#### ۲. عوامل سازمانی:

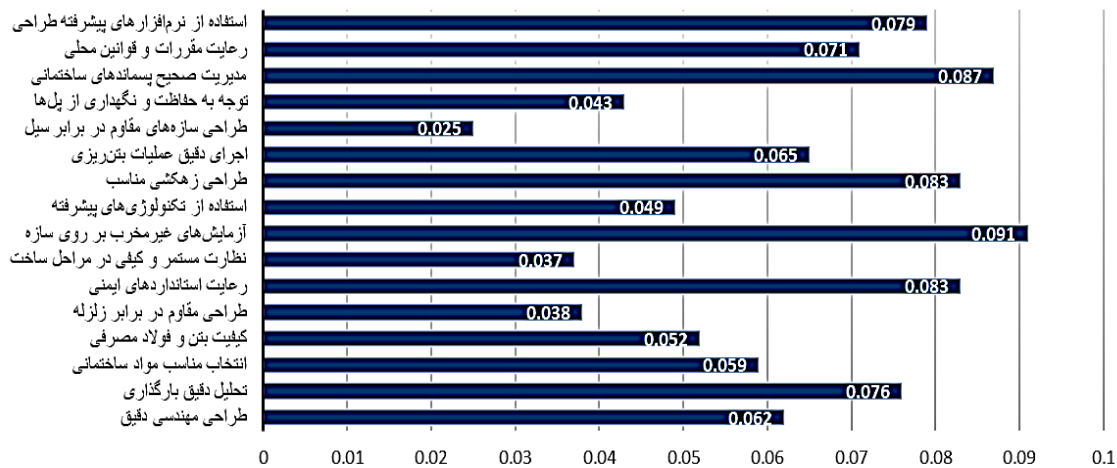
در این بعد، "مدیریت پروژه کارآمد" با وزن ۰/۲۱۸، مهمترین نقش را در بهبود کیفیت پروژه‌های پل‌سازی ایفا می‌کند. "برنامه‌ریزی دقیق زمان‌بندی" با وزن ۰/۲۱۲ در رتبه بعدی است. این یافته‌ها با مطالعات ثامتی و مالک<sup>[۲]</sup> و همچنین پژوهش‌های مشابه در حوزه ساخت‌وساز همسو است. افزون بر این، زیرمعیار "توجه به اثرات تغییرات اقلیمی" با وزن ۰/۱۲۷ و توجه به مسائل محیط‌زیستی" با وزن ۰/۱۱۹ نیز حاکی از آن است که شیراز، با داشتن شرایط آب‌وهوایی متنوع، نیازمند لحاظ تمهیدات ویژه برای مقاومت سازه در برابر پدیده‌هایی مانند سیلاب و تغییر دما است (شکل ۳).



شکل ۳. اولویت‌بندی زیر معیارهای عوامل سازمانی

### ۳. عوامل زیرساختی:

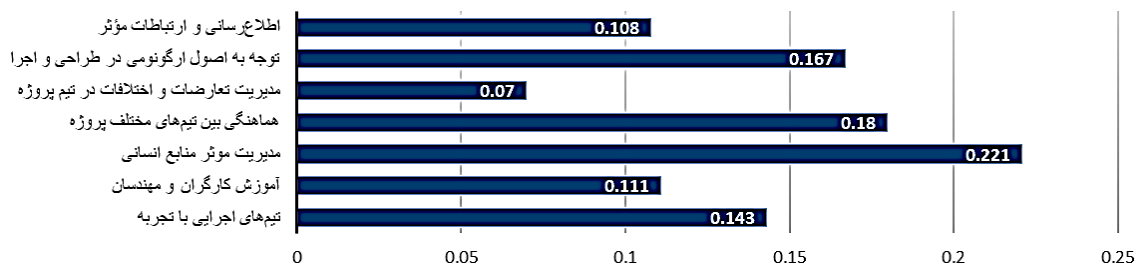
نتایج مقایسات زیرساختی نشان داد که "آزمایش‌های غیرمخرب بر روی سازه" (NDT) با وزن ۰/۰۹۱ در صدر زیرمعیارها قرار دارد. این یافته با نتایج تحقیقات صائی و خزایی<sup>۱۵</sup> هم‌سو است که تأکید دارند بی‌توجهی به کنترل کیفی مداوم، ریسک بروز عیوب پنهان در سازه را به شدت افزایش می‌دهد. در رتبه‌های بعدی، "مدیریت صحیح پسماندهای ساختمانی" با وزن ۰/۰۸۷ و "رعایت استانداردهای ایمنی" با وزن ۰/۰۸۳ قرار گرفتند (شکل ۴). با توجه به گستردگی عملیات خاکی و بتن‌ریزی در پروژه‌های پل‌سازی، مدیریت اصولی پسماندها و نظارت مستمر بر اجرای استانداردهای ایمنی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در ارتقای کیفیت و دوام سازه‌ها داشته باشد.



شکل ۴. اولویت‌بندی زیرمعیارهای عوامل زیرساختی

### ۴. عوامل انسانی:

در بُعد انسانی، "مدیریت مؤثر منابع انسانی" با وزن ۰/۲۲۱ به‌عنوان مهم‌ترین عامل شناسایی شد. این نتیجه به‌طور ضمنی یافته‌های پژوهش مکنوزیا، جاوید عباسی، و پاتل<sup>۱۶</sup> را تأیید می‌کند که نشان می‌دهد موفقیت پروژه‌های ساخت پل به شدت وابسته به کارآمدی نیروی انسانی است. در رتبه‌های بعدی، "هماهنگی بین تیم‌های مختلف پروژه" با وزن ۰/۱۸۰ و "توجه به اصول ارگونومی در طراحی و اجرا" با وزن ۰/۱۶۷ قرار دارند (شکل ۵). این یافته‌ها بر اهمیت همسوسازی اهداف تیم‌های مشاور، پیمانکار، و کارفرما تأکید می‌کند و همچنین نشان‌دهنده ضرورت رعایت استانداردهای ارگونومیک، به‌ویژه در محیط‌های کارگاهی است.



شکل ۵. اولویت‌بندی زیرمعیارهای عوامل انسانی

### ۴. تفسیر و مقایسه با پژوهش‌های پیشین

#### ۱. اولویت عوامل مالی

تقدم عوامل مالی بر سایر ابعاد، نشانگر آن است که در پروژه‌های زیرساختی با هزینه‌های بالا، مدیریت بودجه و تأمین مالی از اساسی‌ترین ارکان تضمین کیفیت به شمار می‌رود. فقدان کنترل مالی کارآمد، حتی در صورت رعایت مسائل فنی، منجر به تأخیر در تأمین مصالح و در نهایت افت کیفیت اجرای پل می‌شود.

## ۲. اهمیت مدیریت پروژه و هماهنگی سازمانی

این نتیجه، همسو با مطالعات ثامتی و مالک [۲] و ظریف حسینیان و نوری [۳] است که نشان دادند برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت صحیح پروژه، خطر دوباره‌کاری و عدم هم‌راستایی بین تیم‌های اجرایی را کاهش می‌دهد.

## ۳. نقش آزمایش‌های غیرمخرب و رعایت استانداردهای زیرساختی

ضرورت توجه به کنترل‌های مستمر کیفی در سازه‌های پل، تأییدکننده پژوهش صائمی و خزایی [۵] است که بی‌توجهی به فرایند تست سازه‌ای را عاملی کلیدی در بروز عیوب ناگهانی دانست. همچنین، اجرای دقیق عملیات بتن‌ریزی و طراحی زهکشی مناسب هم از جمله معیارهای اثرگذار بر ایمنی و دوام پل محسوب می‌شود.

## ۴. سرنوشت‌ساز بودن نیروی انسانی و آموزش

یافته‌های حاضر درباره تقدم مدیریت مؤثر منابع انسانی و هماهنگی تیمی، با نتایج مکنوزیا جاوید عباسی و پاتل [۷] و سرکالم مولا و همکاران [۸] انطباق دارد؛ چراکه ضعف در مهارت‌های اجرایی و رهبری تیم، تا حد چشمگیری کیفیت کارگاهی را تنزل می‌دهد.

## ۵. بحث

یافته‌های به‌دست‌آمده از این پژوهش حاکی از آن است که عوامل مالی با کسب بالاترین وزن نسبی، بیشترین سهم را در تضمین کیفیت پروژه‌های پل‌سازی شهر شیراز دارد. این اولویت، به‌ویژه درباره «مدیریت مالی دقیق و بودجه‌بندی» برجسته است؛ موضوعی که در مطالعاتی مانند اسپوتین و همکاران [۴] و عالی و هادی‌زاده مقدم [۱۰] نیز مورد تأکید قرار گرفته است. مقایسه تطبیقی این پژوهش با تحقیقاتی که در حوزه مدیریت ساخت صورت گرفته نشان می‌دهد که توجه به جریان مالی، امکان تأمین به‌موقع مصالح و پیشگیری از دوباره‌کاری‌های پرهزینه را فراهم می‌آورد. به بیان دیگر، اگرچه سایر ابعاد نظیر برنامه‌ریزی زمانی و کنترل کیفی سازه در پروژه‌های پل‌سازی حائز اهمیت هستند، اما در نبود یک چارچوب دقیق بودجه‌ای، تحقق اهداف کیفی به‌سهولت امکان‌پذیر نخواهد بود.

همچنین، در بُعد سازمانی، «مدیریت پروژه کارآمد» و «برنامه‌ریزی زمان‌بندی دقیق» با وزن‌های نسبتاً بالا، هم‌راستا با نتایج پژوهش‌های ثامتی و مالک [۲] و ظریف حسینیان و نوری [۳]، از عوامل اساسی در موفقیت پل‌سازی قلمداد شده‌اند. از منظر زیرساختی، نتایج این مطالعه بر انجام آزمایش‌های غیرمخرب سازه و رعایت استانداردهای ایمنی تأکید دارد؛ این همسویی با صائمی و خزایی [۵] و نیز پژوهش‌های مرتبط با کنترل کیفی مداوم، نشان می‌دهد توجه به تست‌های دوره‌ای می‌تواند احتمال بروز نقص‌های ناگهانی و پرهزینه را کاهش دهد. در بعد انسانی، «مدیریت مؤثر منابع انسانی» و «هماهنگی تیم‌های مختلف پروژه» بر ضرورت سرمایه‌گذاری بر توانایی‌های نیروی انسانی و فرهنگ تعامل در کارگاه دلالت دارد؛ موضوعی که دیگر مطالعات [۷] و [۸] نیز بر آن مهر تأیید گذاشته‌اند.

با وجود این، باید یادآور شد که نتایج حاضر تماماً به‌معنای نفی اهمیت جنبه‌های دیگر نیست؛ بلکه حاکی از آن است که، در چارچوب پژوهش حاضر، ابعاد مالی و سازمانی برتری نسبی داشته‌اند. بدین ترتیب، این مطالعه به‌صورت محافظه‌کارانه نشان می‌دهد که اولویت‌بندی دقیق منابع و ارتقای مدیریت پروژه، می‌تواند در ارتقای عملکرد کیفی پل‌سازی در شهر شیراز مؤثرتر باشد. چنین برداشتی البته رد یا پذیرش قاطع نتایج دیگر مطالعات را در پی ندارد؛ بلکه زمینه‌ای برای درک تمایز این پژوهش فراهم می‌آورد، به‌نحوی که پژوهشگران و مدیران اجرایی، با استناد به آن بتوانند تصمیم‌های بهتری در تأمین مالی و سازمان‌دهی پروژه اتخاذ نمایند.

## ۶. جمع‌بندی

پژوهش حاضر با هدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عملکرد کیفی پروژه‌های پل‌سازی در شهر شیراز انجام شده است. در این راستا، با بهره‌گیری از روش دلفی، ابتدا ۳۹ شاخص در چهار بُعد مالی، سازمانی، زیرساختی و انسانی پالایش گردید؛ سپس با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، میزان اهمیت هر یک از شاخص‌ها مشخص شد.

نتایج نشان داد بعد مالی - بالاخص مدیریت مالی دقیق و بودجه‌بندی - بیشترین تأثیر را بر کیفیت پروژه‌های پل‌سازی دارد و عوامل سازمانی نظیر مدیریت پروژه و برنامه‌ریزی زمان‌بندی در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. این یافته علاوه بر تأیید مطالعات پیشین، رویکرد جامعی را در اختیار مدیران و متخصصان این حوزه قرار می‌دهد تا با تمرکز بر برنامه‌ریزی مالی و هماهنگ‌سازی سازمانی، کیفیت ساخت

و اجرای پل‌ها را بهبود بخشند. در مقایسه با تحقیقات مشابه، این پژوهش برتری‌اش را در همگرایی نگاه سیستمی به ابعاد اقتصادی، مدیریتی، فنی و انسانی نشان می‌دهد؛ به نحوی که می‌تواند برای پروژه‌های آینده مدلی عملیاتی در تصمیم‌گیری و تخصیص منابع ارائه دهد. سایر محققین می‌توانند از اطلاعات پروژه‌های مشابه در مکان‌های دیگر جهت تعمیق نتایج حاصل استفاده نمایند. همچنین در تحقیقات آتی می‌توان از روش مشابه جهت بررسی عوامل مؤثر بر عملکرد کیفی سایر پروژه‌های زیربنایی استفاده نمود.

## منابع

1. Frederic, H., & Eugenia N.I., (2023). Factors Affecting Cost and Execution Period of Trail Bridge Construction Project in Nyamagabe District, Rwanda. *Journal of Entrepreneurship & Project Management*, 7(5), 21-44.
2. Zhu, Y., Jinwen Z., & Xinglin G. (2018). Construction Management and Technical Innovation of the Main Project of Hong Kong–Zhuhai–Macao Bridge. *Frontiers of engineering management*, 5(1), 128-132.
3. Zhou, D., et al., (2024). Innovative BIM Technology Application in the Construction Management of Highway. *Scientific reports*, 14(1), 15298.
4. Yan, X., et al., (2025). BIM-focused Incentive-driven Adoption of Information Management Technology in Bridge Construction. *Automation in Construction*, 172, 106052.
5. Sameti, M. T. (1382). *Project Planning and Control Based on Database in Bridge Construction Projects*, M.Sc. Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran. (in Persian)
6. Sameti, M. T., & Malek, A. (1383). *Database-Based Project Planning and Control: A Management Guide for Bridge Construction Projects*. Proceedings of the National Conference on Construction Management, Tehran, Iran. (in Persian)
7. Hoseinian, S. S. Z., & Nouri, S. (1387). *Providing a Value-Oriented Project Management Model in Construction Projects*. 3rd National Conference on Engineering Management, Tehran, Iran. (in Persian)
8. Spotin, B., & Meradiniya, S. F. (1400). Optimization of Quantitative and Qualitative Indices of Construction Projects using Knowledge of Project Management (Case Study: Ghoocham Dam). *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 52(1), 67-79. (in Persian)
9. Saemi, H., & Khazaei, S. (1395). *Providing a Quality Management Model in Bridge Construction Projects*. Journal of Modern Research in Engineering Sciences, 1(1), 1-9. (in Persian)
10. N. M. Siantouri, A. K. Waskito, & D. P. Sinaga (2022). Analysis of Time Delays and Quality Shortcomings in the Siwampu Bridge Project: A Qualitative Approach. *Journal of Civil Infrastructure*, 12(3), 112–126.
11. Abbasbay, M. J., & Patel, A. S. (2020). Analyzing Key Performance Factors in Bridge Construction Projects in Ahmedabad Region. *Construction and Project Management Quarterly*, 18(4), 77–90.
12. Mola, S., Berhanu, L., Degefu, A., & Gebeyehu, K. (2020). Identifying the Critical Success Factors in Public Construction Projects: A Case Study of Addis Ababa. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(9), 2385–2399.
13. Taghaddos, M., Heravi, G., & Alvanchi, A. (1393). *Investigating the Execution Methods of Urban Bridge Projects Using Simulation to Select the Optimal Method*. 15th Congress of Civil Engineering Students Nationwide, Tehran, Iran. (in Persian)
14. Aali, A., & Hadizadeh-Moghaddam, A. (1400). Identifying and Ranking of Human Factors Affecting Increased Costs in Construction Projects Using Fuzzy AHP. *Journal of Modern Achievements in Humanities Studies*, 4(2), 45–62. (in Persian).