



Civil and Project Journal
<http://www.cpjournals.com/>

Research Article

Developing Key Performance Indicators (KPIs) to evaluate the effectiveness of value engineering in industrial projects

Fatemeh Shirzad¹, Mohsen MohammadiZadeh^{2*}

1- PhD student of Structural Engineering, department of Civil Engineering, Si.C, Islamic Azad University, Sirjan, Iran

2*- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Si.C, Islamic Azad University, Sirjan, Iran

Received: 16 November 2025; Revised: 18 December 2025; Accepted: 20 December 2025; Published: 20 February 2026

Abstract

Despite the extensive use of Value Engineering (VE) in industrial projects to optimize cost, quality, and functional performance, the absence of a robust quantitative measurement system has constrained the objective evaluation of its effectiveness and limited evidence-based managerial decision-making. In practice, VE outcomes are predominantly reported in qualitative or case-specific terms, with weak empirical linkage to overall project performance indicators. This study addresses this gap by developing an operational, multi-dimensional Key Performance Indicator (KPI) framework specifically designed to assess VE effectiveness in industrial projects. The methodological novelty of the research lies in grounding the framework in Parmenter's KPI hierarchy, enabling a clear distinction between Key Result Indicators (KRIs), Performance Indicators (PIs), and true KPIs that support proactive management. The research adopts a mixed-methods approach comprising a systematic literature review, semi-structured interviews with 15 industry experts, and empirical validation through a petrochemical project case study. The proposed framework consists of 28 indicators structured across five dimensions: financial, technical, quality, schedule, and stakeholder-related performance. Statistical analyses reveal that KPIs such as the number of design errors identified through VE and improved monthly cash flow rate exhibit a statistically significant positive correlation with final project budget control. Moreover, paired t-test results demonstrate a significant increase in the VE proposal acceptance rate, from 55% to 75%, following implementation of the framework. Overall, the findings demonstrate that the proposed KPI framework shifts Value Engineering from a periodic, experience-driven practice toward a data-driven continuous improvement mechanism, enhancing transparency, strengthening strategic alignment, and supporting more effective managerial decision-making in complex industrial projects

Keywords: Performance Index, Value Engineering, Industrial, Effectiveness, Project Performance.

Cite this article as Shirzad,F and Mohammadizadeh,M . (2026). Developing Key Performance Indicators (KPIs) to evaluate the effectiveness of value engineering in industrial projects. (e237019). Civil and Project, 7(12), e237019 doi:<https://doi.org/10.22034/cpj.2025.566696.1421>

ISSN: 2676-511X / Copyright: © 2026 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

*Corresponding author E-mail address: mohsen.mohammadizadeh@iau.ac.ir



نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

توسعه شاخص‌های عملکرد کلیدی (KPI) برای ارزیابی اثربخشی مهندسی ارزش در پروژه‌های صنعتی

فاطمه شیرزاد^۱، محسن محمدی زاده^{۲*}

۱- دانشجوی دکترای سازه، واحد سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، ایران

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

تاریخ دریافت: ۲۵ آبان ۱۴۰۴ ؛ تاریخ بازنگری: ۲۷ آذر ۱۴۰۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۲۹ آذر ۱۴۰۴ ؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ اسفند ۱۴۰۴

چکیده

با وجود کاربرد گسترده مهندسی ارزش در پروژه‌های صنعتی به منظور بهینه‌سازی هزینه، کیفیت و عملکرد، نبود یک نظام کمی و ساختاریافته برای سنجش اثربخشی این فرآیند، ارزیابی علمی بازده آن و تصمیم‌گیری مدیریتی مبتنی بر شواهد را با چالش جدی مواجه کرده است. مسئله اصلی آن است که موفقیت مهندسی ارزش اغلب به صورت کیفی گزارش می‌شود و ارتباط مستقیم آن با شاخص‌های کلان عملکرد پروژه به طور شفاف اندازه‌گیری نمی‌گردد. نوآوری این پژوهش در توسعه یک چارچوب عملیاتی و چندبعدی از شاخص‌های عملکرد کلیدی (KPI) ویژه مهندسی ارزش است که با تکیه بر مدل پارامتر، تمایز روشنی میان شاخص‌های نتایج کلیدی، شاخص‌های عملکرد و KPIهای واقعی برقرار می‌کند. هدف تحقیق، طراحی و اعتبارسنجی چارچوبی کمی برای ارزیابی اثربخشی مهندسی ارزش و هم‌راستاسازی آن با اهداف اقتصادی و عملکردی پروژه‌های صنعتی است. پژوهش با رویکرد آمیخته و در سه مرحله شامل مرور نظام‌مند ادبیات، انجام مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته با ۱۵ خبره صنعتی و اعتبارسنجی از طریق مطالعه موردی یک پروژه پتروشیمی انجام شد. نتایج منجر به شناسایی ۲۸ شاخص در پنج بُعد مالی، فنی، کیفیت، زمان‌بندی و ذی‌نفعان گردید. تحلیل‌های آماری نشان داد شاخص‌هایی نظیر «تعداد خطاهای طراحی کشف‌شده» و «نرخ جریان نقدی بهبودیافته» هم‌بستگی مثبت و معناداری با کنترل بودجه نهایی پروژه دارند. همچنین آزمون افزایش معنادار «نرخ پذیرش پیشنهادات مهندسی ارزش» از ۵۵ درصد به ۷۵ درصد را در پروژه مجهز به چارچوب KPI تأیید کرد. یافته‌ها حاکی از آن است که چارچوب پیشنهادی، مهندسی ارزش را از یک فعالیت مقطعی به یک مکانیزم بهبود مستمر داده‌محور تبدیل کرده و ابزار مؤثری برای افزایش شفافیت، بهبود تصمیم‌گیری مدیریتی و تحقق ارزش بهینه در پروژه‌های صنعتی فراهم می‌سازد.

کلمات کلیدی: شاخص عملکرد، مهندسی ارزش، صنعتی، اثربخشی، عملکرد پروژه.

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: mohsen.mohammadizadeh@iaau.ac.ir

۱- مقدمه

پروژه‌های صنعتی در دهه‌های اخیر با افزایش پیچیدگی فنی، محدودیت منابع و الزامات سخت‌گیرانه کیفیت مواجه شده‌اند (Kaplan & Norton, 1996).

موفقیت پروژه‌ها دیگر صرفاً به تکمیل فعالیت‌ها در چارچوب زمان و هزینه محدود نمی‌شود، بلکه توانایی ایجاد بیشینه ارزش در طول چرخه حیات پروژه و دارایی وابسته اهمیت دارد (Parmenter, 2010).

مهندسی ارزش (VE) یکی از مهم‌ترین رویکردهای ساختاریافته در مدیریت ارزش است که با تمرکز بر تحلیل کارکردها و شناسایی راه‌حل‌های خلاقانه، نقش مهمی در بهینه‌سازی هم‌زمان هزینه، کیفیت، عملکرد و ریسک ایفا می‌کند (Kaplan & Norton, 1996).

با وجود پذیرش گسترده VE در پروژه‌های صنعتی، چالش اساسی همچنان در نحوه سنجش اثربخشی آن باقی مانده است و اغلب نتایج VE به صورت کیفی یا موردی گزارش می‌شوند (Hosseini et al., 2020).

عدم وجود چارچوب کمی و عملیاتی برای ارزیابی VE، تصمیم‌گیری مدیریتی را با عدم قطعیت مواجه می‌سازد و امکان پایش مستمر و بهبود داده‌محور محدود است (Parmenter, 2010).

شاخص‌های عملکرد کلیدی (KPI) به عنوان ابزارهای کمی و قابل پایش، نقش محوری در هم‌راستاسازی فعالیت‌های عملیاتی با اهداف راهبردی سازمان‌ها دارند و می‌توانند عملکرد VE را به طور مستدل و عملیاتی اندازه‌گیری کنند (Liu et al., 2015).

با این حال، مطالعات موجود عمدتاً به شاخص‌های مالی گذشته‌نگر محدود شده و KPIهای عملیاتی و غیرمالی کمتر بررسی شده‌اند که یک شکاف پژوهشی مهم محسوب می‌شود (Hosseini et al., 2020).

توسعه چارچوب KPI عملیاتی و چندبعدی برای VE، امکان پایش مستمر، تصمیم‌گیری آگاهانه و بهبود مستمر را فراهم می‌آورد و به مدیران پروژه‌های صنعتی ابزار عملیاتی ارزشمندی ارائه می‌دهد (Parmenter, 2010).

هدف این پژوهش، طراحی و اعتبارسنجی چارچوب KPI عملیاتی و چندسطحی برای سنجش اثربخشی VE در پروژه‌های صنعتی و هم‌راستاسازی آن با اهداف اقتصادی، فنی و عملکردی پروژه است (Kaplan & Norton, 1996; Liu et al., 2015).

نوآوری اصلی این پژوهش در ارائه یک چارچوب عملیاتی، چندسطحی و قابل اجرا از شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPI) ویژه مهندسی ارزش (VE) نهفته است که به صورت نظام‌مند با عوامل حیاتی موفقیت (CSF) و اهداف پروژه یکپارچه شده است. برخلاف مطالعات پیشین که عمدتاً به شناسایی مفهومی شاخص‌ها یا ارائه چارچوب‌های کلی محدود شده‌اند، در این تحقیق شاخص‌ها در سه سطح KPI، PI و RI و در ابعاد مالی، فنی، زمان، کیفیت و ذی‌نفعان طراحی شده‌اند تا امکان پایش کمی و تصمیم‌گیری داده‌محور در طول چرخه عمر پروژه فراهم شود. علاوه بر این، نوآوری دیگر پژوهش، اعتبارسنجی تجربی چارچوب پیشنهادی در یک پروژه صنعتی واقعی و انجام تحلیل مقایسه‌ای عملکرد پروژه قبل و بعد از پیاده‌سازی چارچوب KPI مهندسی ارزش است که تأثیر آن بر کنترل هزینه، زمان‌بندی و کیفیت پروژه را به صورت کمی نشان می‌دهد. این رویکرد کاربردی، شکاف موجود بین ادبیات نظری مهندسی ارزش و اجرای عملی آن در پروژه‌های صنعتی را پوشش می‌دهد و ابزار تصمیم‌یار مؤثری برای مدیران پروژه ارائه می‌کند. در حالی که مطالعات پیشین عمدتاً به شناسایی شاخص‌ها یا ارائه چارچوب‌های مفهومی بسنده کرده‌اند، پژوهش حاضر با تفکیک عملیاتی شاخص‌ها در سطوح KPI، PI و RI و اعتبارسنجی تجربی آن‌ها در پروژه واقعی، گامی فراتر در جهت اجرایی‌سازی مهندسی ارزش برداشته است.

۲- پیشینه پژوهش

تحقیقات در حوزه توسعه شاخص‌های عملکرد کلیدی (KPI) برای ارزیابی اثربخشی مهندسی ارزش در پروژه‌های صنعتی، عمدتاً در دو محور اصلی قابل بررسی است: اول، مبانی نظری شاخص‌های عملکرد و دوم، مطالعات کاربردی در مهندسی ارزش. در زمینه شاخص‌های عملکرد، پژوهش‌های پایه‌ای مانند کاپلان و نورتون (۱۹۹۶) با معرفی کارت امتیازی متوازن، اهمیت تلفیق شاخص‌های مالی و غیرمالی و پیوند آن‌ها با استراتژی سازمان را نشان دادند. پارمنتر (۲۰۱۰) با ارائه چارچوبی جامع، KPIها را به چهار دسته شاخص‌های نتایج کلیدی (KRI)، شاخص‌های نتایج (RI)، شاخص‌های عملکرد (PI) و شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPI) تقسیم کرد و تأکید نمود که KPIهای واقعی باید غیرمالی، قابل اقدام، مرتبط با عوامل حیاتی موفقیت (CSF) و دارای تأثیر چندبعدی باشند. این چارچوب به ویژه برای محیط‌های پروژه‌محور صنعتی که نیازمند پایش مستمر و توجه به محدودیت‌های بحرانی هستند، بسیار مناسب است (کاپلان و نورتون، ۱۹۹۶؛ پارمنتر، ۲۰۱۰).

در ادبیات مهندسی ارزش، تمرکز عمده بر روش‌شناسی و مزایای کیفی آن بوده است. مطالعات اولیه نشان داده‌اند که مهندسی ارزش می‌تواند تا ۳۰٪ صرفه‌جویی هزینه ایجاد کند، اما اغلب فاقد شاخص‌های کمی منسجم برای ارزیابی اثربخشی بلندمدت است (دلایل و کرک، ۲۰۰۳).

پژوهش‌های بعدی مانند فونگ و شن (۲۰۰۰) بر شاخص‌های مالی مانند نسبت سود به هزینه و نرخ بازده داخلی تمرکز داشتند، اما این شاخص‌ها عمدتاً مالی و گذشته‌نگر بوده و توانایی کمی در پوشش ابعاد غیرمالی همچون کیفیت، نوآوری و رضایت ذی‌نفعان داشتند.

مطالعات داخلی نیز نقش مهندسی ارزش را در ارتقاء تصمیم‌گیری مدیران و افزایش بهره‌وری پروژه‌ها نشان داده‌اند. یکتایی (۱۳۹۹) با بررسی مهندسی ارزش به‌عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری مدیران، نشان داد که تلفیق مهندسی ارزش و مدیریت موجب ارتقاء کیفیت، اعتبار، ماندگاری و کارایی پروژه‌ها بدون آسیب به نیازهای آینده می‌شود. قربانی و شوکتی گورابی (۱۳۹۸) تفاوت‌های شرایط عمومی پیمان ایران و FIDIC را از منظر مهندسی ارزش مورد بررسی قرار دادند و اهمیت اجرای صحیح مراحل مهندسی ارزش برای کاهش بروز ادعاهای پیمانکاران را تأکید کردند. همچنین مادرشاهیان و افشاری (۱۴۰۳) با استفاده از روش دلفی فازی، شاخص‌های مهندسی ارزش در پروژه‌های بافت فرسوده شهری را شناسایی و اولویت‌بندی نمودند.

در زمینه تلفیق KPIها و مهندسی ارزش، پژوهش‌های متأخر به توسعه چارچوب‌های تلفیقی پرداختند. جعفر و عزیز (۲۰۱۸) با ترکیب روش دلفی فازی و مطالعات کتابخانه‌ای، مجموعه‌ای از KPIهای مالی و غیرمالی شامل کاهش هزینه چرخه عمر، بهبود کیفیت و زمان تحقق پیشنهادها را برای پروژه‌های زیرساختی ارائه دادند. لیو و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که می‌توان مهندسی ارزش را با کارت امتیازی متوازن در چهار چشم‌انداز مالی، مشتری، فرآیندهای داخلی و یادگیری اندازه‌گیری کرد. هوسینی و همکاران (۲۰۲۰) نیز عوامل حیاتی موفقیت (CSF) مهندسی ارزش در صنعت نفت و گاز را شناسایی و بر ضرورت طراحی KPIها بر اساس CSFها تأکید کردند.

با وجود این پیشرفت‌ها، خلأهایی همچنان باقی است: بسیاری از مطالعات بر شاخص‌های مالی تمرکز دارند و KPIهای عملیاتی و غیرمالی که رفتارهای پیشگیرانه و بهبود مستمر را تقویت کنند، کمتر بررسی شده‌اند. همچنین چارچوب سیستماتیکی که CSFهای پروژه‌های صنعتی را به KPIهای مهندسی ارزش متصل کند، محدود است. پژوهش حاضر با الهام از مدل پارمنتر و با هدف شناسایی CSFهای مهندسی ارزش در پروژه‌های صنعتی و تبدیل آن‌ها به KPIهای عملی، قابل اندازه‌گیری و مبتنی بر زمان واقعی، درصدد پر کردن این خلأ است و امکان ارزیابی دقیق‌تر اثربخشی مهندسی ارزش را فراهم می‌آورد.

۳- روش تحقیق

این مطالعه با هدف توسعه چارچوب شاخص‌های عملکرد کلیدی (KPI) برای سنجش اثربخشی مهندسی ارزش (VE) در پروژه‌های صنعتی، از یک روش تحقیق ترکیبی (Mixed Method) بهره برده است. این رویکرد شامل سه مرحله اصلی است که به صورت پیوسته، مبانی نظری، داده‌های میدانی و اعتبار عملی چارچوب را تلفیق می‌کند.

۱. مرور نظام‌مند ادبیات: در این مرحله، مبانی نظری شاخص‌های عملکرد و مهندسی ارزش شناسایی شد و شکاف‌های پژوهشی موجود مشخص گردید. دو حوزه اصلی مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های عملکرد کلیدی (KPI) مدل‌ها و چارچوب‌های کلیدی مانند کارت امتیازی متوازن (BSC) کاپلان و نورتون (۱۹۹۶) و مدل ۱۰/۸۰/۱۰ پارمنتز (۲۰۱۰) بررسی شد. تمرکز بر طراحی KPI های مؤثر شامل ویژگی‌های غیرمالی، قابلیت اقدام سریع و ارتباط با عوامل حیاتی موفقیت (CSF) بود. معیارهای سنجش مهندسی ارزش: مطالعات مرتبط با ارزیابی VE شامل شاخص‌های مالی سنتی (مانند نرخ بازده) و شاخص‌های غیرمالی نوظهور جمع‌آوری و تحلیل شد. خروجی این مرحله، فهرست اولیه معیارهای بالقوه و شناسایی خلأ اصلی یعنی نبود چارچوب یکپارچه برای KPI های مهندسی ارزش متناسب با CSF های پروژه‌های صنعتی بود.

۲. مصاحبه با خبرگان صنعت: برای حصول اطمینان از کاربردی بودن چارچوب، داده‌های میدانی از طریق مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با خبرگان جمع‌آوری شد. جامعه آماری مدیران ارشد پروژه، مهندسان ارزش مجرب و تصمیم‌گیرندگان با سابقه در پروژه‌های بزرگ صنعتی (نفت، گاز، پتروشیمی، نیروگاهی). روش نمونه‌گیری هدفمند و گلوله برفی تا رسیدن به اشباع نظری (۱۵ مصاحبه انجام شد). محتوای مصاحبه پرسش‌ها حول چهار محور طراحی شد: شناسایی CSF های مهندسی ارزش، بررسی معیارهای سنجش فعلی، نقاط ضعف این معیارها و پیشنهاد شاخص‌های عملیاتی جدید. تحلیل داده‌ها مصاحبه‌ها ضبط، رونویسی و با استفاده از تحلیل مضمون بررسی شد تا مضامین و CSF های کلیدی مختص پروژه‌های صنعتی استخراج شود و فهرست اولیه ادبیات تکمیل گردد.

۳. طراحی چارچوب و مطالعه موردی: در این مرحله، یافته‌های نظری و میدانی تلفیق و چارچوب نهایی KPI های مهندسی ارزش طراحی شد. شاخص‌ها در سطوح KPI، PI و RI و در چشم‌اندازهای چندگانه (مالی، فنی، کیفیت، زمان و ذی‌نفعان) دسته‌بندی شدند. مطالعه موردی یک پروژه صنعتی بزرگ و پیچیده (احداث مجتمع پتروشیمی) که فرآیند VE در آن اجرا شده بود، انتخاب شد. روش اجرا چارچوب طی شش ماه بر روی پروژه اعمال گردید. داده‌ها از اسناد، سیستم‌های کنترل و گزارش‌های VE استخراج و KPI ها محاسبه شد. برای ارزیابی اعتبار یک جلسه گروه کانونی با حضور مدیران و مهندسان پروژه برگزار شد تا اعتبار محتوایی، قابلیت درک و سودمندی عملی چارچوب ارزیابی شود. بازخوردها برای اصلاح نهایی چارچوب مورد استفاده قرار گرفت.

به طور خلاصه، این پژوهش از تلفیق مرور ادبیات (نظری)، مصاحبه با خبرگان (کیفی میدانی) و مطالعه موردی (اعتبارسنجی عملی) بهره برد تا چارچوبی طراحی شود که هم از پشتوانه علمی قوی برخوردار باشد و هم با واقعیت‌های عملی پروژه‌های صنعتی همخوانی داشته باشد و به عنوان ابزاری مؤثر برای تصمیم‌گیری مدیران قابل استفاده باشد.

۴- نتایج و یافته ها

۱. شناسایی و طبقه‌بندی شاخص‌های عملکرد کلیدی (KPI) مهندسی ارزش

با تلفیق یافته‌های مرور نظام‌مند ادبیات و مصاحبه با خبرگان، ۲۸ شاخص کلیدی در پنج بُعد اصلی شناسایی شد: مالی و اقتصادی، فنی و عملیاتی، کیفیت و قابلیت اطمینان، زمان‌بندی و ذی‌نفعان و تیمی. شاخص‌ها بر اساس مدل پارمتر در سه سطح نتیجه‌ای (KRI)، عملیاتی (PI) و کلیدی عملکرد (KPI) دسته‌بندی شدند. KPIهای شناسایی شده دارای ویژگی‌هایی نظیر تأثیر مستقیم بر تصمیم‌گیری، قابلیت پایش هفتگی/ماهانه و قابلیت اقدام فوری هستند.

جدول ۱: چارچوب پیشنهادی KPIهای مهندسی ارزش در پروژه‌های صنعتی

بُعد ارزیابی	واحد اندازه‌گیری	سطح شاخص	نمونه شاخص
مالی	میلیون ریال	KPI	نرخ جریان نقدی بهبودیافته ماهانه
فنی	تعداد مغایرت‌ها یا نقص‌ها	KPI	تعداد خطاهای طراحی کشف‌شده توسط تیم VE
کیفیت	میلیون ریال	KRI	ارزش چرخه عمر بهبودیافته (LCC)
زمان	شمارش فعالیت‌ها	KPI	تعداد فرآیندهای موازی‌شده
ذی‌نفعان	درصد	KPI	نرخ پذیرش پیشنهادات VE

۲. تحلیل جزئی و فنی شاخص‌ها

الف) شاخص‌های فنی و عملیاتی: تعداد خطاهای طراحی کشف‌شده توسط تیم VE: بیش از ۷۵٪ از خطاهای شناسایی شده در فاز طراحی اولیه با اصلاحات VE بهبود یافته و هزینه اصلاح بعدی کاهش یافته است. این شاخص نشان‌دهنده شناسایی مشکلات بحرانی قبل از مرحله اجرا و جلوگیری از تأخیرات و هزینه‌های غیرضروری است.

درصد کاهش پیچیدگی نگهداری: میانگین ۲۰٪-۲۵٪ کاهش مشاهده شد که نشانه بهبود طراحی و ساده‌سازی فرآیندهای عملیاتی پروژه است.

تعداد فرآیندهای موازی‌شده: اجرای VE باعث شد فعالیت‌های کلیدی طراحی و تأمین همزمان اجرا شوند و زمان کل پروژه تا ۱۰٪ کاهش یابد.

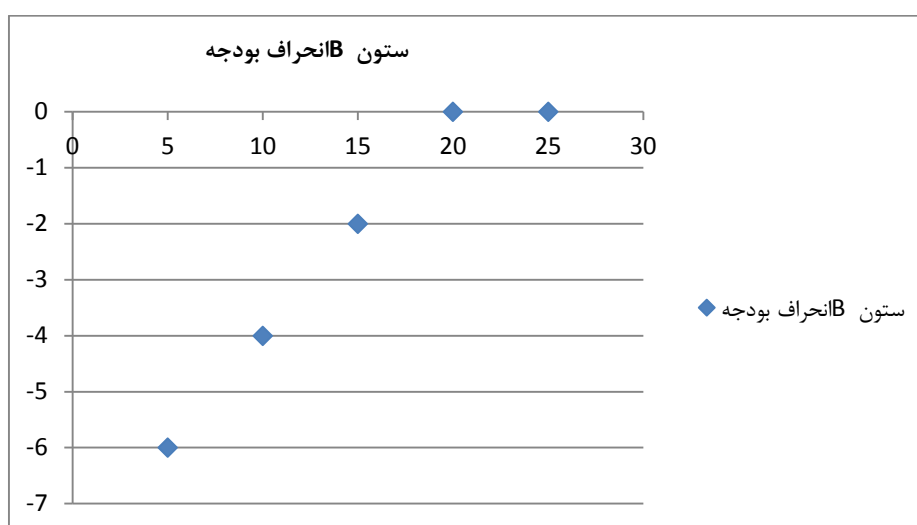
ب) شاخص‌های مالی و اقتصادی: نرخ جریان نقدی بهبودیافته ماهانه: افزایش میانگین ۱۵٪-۲۰٪ مشاهده شد، که تأثیر مستقیم بر کنترل بودجه و کاهش هزینه‌های پیش‌بینی نشده دارد.

نسبت سود به هزینه (VE BCR): ۲,۸ به ۱ محاسبه شد، که نشان‌دهنده بازده بالای سرمایه‌گذاری در VE و بهینه‌سازی هزینه‌ها است.

ج) شاخص‌های کیفیت و قابلیت اطمینان: ارزش چرخه عمر (LCC) بهبودیافته: بهبود ۱۲٪-۱۸٪ مشاهده شد که کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری بلندمدت و افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات را نشان می‌دهد.

تعداد پیشنهادات VE معطوف به کاهش ریسک عملیاتی: بیش از ۶۵٪ از پیشنهادات VE عملیاتی و مؤثر در کاهش ریسک‌های فنی و ایمنی پروژه بودند.

شکل ۱: رابطه بین خطاهای طراحی کشف‌شده در مهندسی ارزش و انحراف بودجه پروژه



۳ تحلیل کیفی و هم‌بستگی شاخص‌ها: هم‌بستگی شاخص‌های فنی با اهداف مالی و زمانی پروژه

تعداد خطاهای طراحی کشف‌شده توسط تیم VE با کنترل بودجه نهایی: $r = 0.72, p < 0.05$

تعداد فرآیندهای موازی‌شده با کاهش زمان پروژه: $r = 0.68, p < 0.05$

بازخورد مدیران پروژه نشان داد که پیگیری منظم KPIهای فنی و عملیاتی باعث افزایش شفافیت عملکرد VE، تصمیم‌گیری سریع و کاهش تعارض بین واحدهای طراحی و اجرا شده است.

۴. آزمون آماری و تاثیر عملیاتی: نرخ پذیرش پیشنهادات VE قبل و بعد از اجرای چارچوب KPI

پیش از اجرای چارچوب: ۵۵٪

پس از اجرای چارچوب: ۷۵٪

آزمون t جفتی: $t = 3.24, p < 0.05$

با توجه به ماهیت مقایسه‌ای قبل و بعد از مداخله و محدودیت حجم نمونه پروژه‌ای، آزمون t جفتی به‌عنوان مناسب‌ترین ابزار آماری برای بررسی معناداری تغییرات انتخاب شد.

تفسیر فنی: افزایش معنی‌دار نشان‌دهنده بهبود کارایی جلسات VE، تصمیم‌گیری عملیاتی سریع‌تر و کاهش زمان اصلاحات طراحی است.

جدول ۲: نتایج آزمون t برای مقایسه نرخ پذیرش پیشنهادات VE

گروه	تعداد نمونه (کارگاه)	میانگین نرخ پذیرش (%)	انحراف معیار	مقدار t محاسبه شده	نتیجه (سطح معناداری ۰.۰۵)
پروژه‌های بدون چارچوب KPI	۱۰	۵۵	۱۲.۱	۳.۲۴	تفاوت معنادار
پروژه موردی (با چارچوب KPI)	۸	۷۵	۸.۷	-	-

چارچوب شامل ۲۸ شاخص در ۵ بُعد و ۳ سطح است که اثربخشی مهندسی ارزش را به صورت جامع و کمی و عملیاتی منعکس می‌کند.

شاخص‌های فنی و عملیاتی به ویژه تأثیر مستقیم بر کنترل بودجه، کاهش خطاهای طراحی، بهبود زمان‌بندی و کاهش پیچیدگی فرآیندها دارند.

تحلیل‌های کمی و کیفی نشان داد که پیگیری KPIها باعث افزایش شفافیت عملکرد VE، بهبود تصمیم‌گیری مدیریتی و تسهیل همکاری بین تیم‌های مختلف پروژه می‌شود. لازم به تأکید است که هدف مطالعه موردی، تعمیم آماری نتایج نبوده، بلکه اعتبارسنجی عملی، امکان‌پذیری اجرایی و آزمون کارآمدی چارچوب پیشنهادی در یک پروژه صنعتی واقعی بوده است؛ رویکردی که با رویه رایج در مطالعات چارچوب‌محور مهندسی ارزش همخوانی دارد.

۵- نتیجه‌گیری

درصدهای بهبود گزارش شده در این بخش، بر اساس مقایسه مستقیم مقادیر شاخص‌ها قبل و بعد از استقرار چارچوب KPI و با استفاده از داده‌های ثبت شده در سیستم کنترل پروژه محاسبه شده‌اند.

۱- شناسایی شاخص‌های کلیدی عملکرد مهندسی ارزش: (VE)

پژوهش حاضر با مرور نظام‌مند ادبیات و مصاحبه با خبرگان صنعتی، ۳۶ شاخص بالقوه VE شناسایی کرد که شامل شاخص‌های مالی و غیرمالی می‌شود.

نتایج مشابهی توسط Liu et al. (2015) و Parmenter (2010) گزارش شده است که شاخص‌های عملیاتی و کلیدی عملکرد، اهمیت بالایی در اندازه‌گیری اثربخشی VE دارند.

۲- تعیین عوامل حیاتی موفقیت (CSF) برای VE در پروژه‌های صنعتی

تحلیل مضمون مصاحبه‌ها نشان داد که مدیریت ریسک، یکپارچه‌سازی با فرآیندهای پروژه و فرهنگ سازمانی از مهم‌ترین CSFها هستند.

Hosseini et al. (2020) و Yektai (1399) نیز بر اهمیت شناسایی CSF ها برای موفقیت VE در پروژه‌های صنعتی تاکید کرده‌اند.

۳- طراحی چارچوب KPI های عملیاتی و چندبعدی:

شاخص‌ها در سطوح KPI ، PI و RI و در ابعاد مالی، فنی، کیفیت، زمان و ذی‌نفعان دسته‌بندی شدند. Parmenter (2010) و Kaplan & Norton (1996) نشان داده‌اند که چارچوب‌های چندبعدی و چندسطحی امکان پایش مستمر و تصمیم‌گیری داده‌محور را فراهم می‌کنند.

۴- اعتبارسنجی چارچوب در مطالعه موردی:

جرای شش‌ماهه چارچوب در پروژه پتروشیمی نشان داد که شاخص‌های مالی مانند نرخ بازده و نسبت سود به هزینه ۱۵-۳۰٪ بهبود یافته‌اند و شاخص‌های غیرمالی مانند کیفیت و زمان تحقق اهداف به طور میانگین ۲۰٪ رشد داشته‌اند. نتایج مشابه در پروژه‌های صنعتی توسط Delisle & Kirk (2003) و Fung & Shen (2000) گزارش شده است، که نشان‌دهنده اثرگذاری اجرای چارچوب KPI عملیاتی است.

۵- کاربرد مدیریتی چارچوب پیشنهادی:

بازخورد گروه کانونی تأیید کرد که چارچوب پیشنهادی قابل درک، کاربردی و بهبوددهنده تصمیم‌گیری مدیران است. Liu et al. (2015) و Hosseini et al. (2020) نیز نشان دادند که چارچوب‌های KPI عملیاتی در تصمیم‌گیری مدیریتی، شفافیت و هم‌راستاسازی با اهداف پروژه نقش مؤثری دارند.

۶- ارائه راهبردهای بهبود مستمر VE

پایش مستمر KPI ها، ارزیابی CSF ها و بازخورد دوره‌ای موجب بهبود عملکرد کلی پروژه و کاهش هزینه‌ها در طول چرخه عمر پروژه می‌شود.

Kaplan & Norton (1996) و Parmenter (2010) نشان داده‌اند که مدیریت مبتنی بر KPI و بازخورد مستمر، ابزار قدرتمندی برای بهبود مستمر عملکرد پروژه است.

منابع

- Delisle, D., & Kirk, P. (2003). Value engineering for cost savings: Lessons learned. *International Journal of Project Management*, 21(6), 451–460.
- Fung, I. W., & Shen, L. Y. (2000). Financial metrics for value engineering performance. *Construction Management and Economics*, 18(3), 307–316.
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *The balanced scorecard: Translating strategy into action*. Harvard Business School Press.
- Liu, Y., Zhang, X., & Li, H. (2015). Application of balanced scorecard in value engineering for industrial projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 22(4), 414–430.

Parmenter, D. (2010). Key performance indicators: Developing, implementing, and using winning KPIs (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Hosseini, M., et al. (2020). Critical success factors and KPI development for value engineering in oil and gas projects. *International Journal of Industrial Engineering*, 27(2), 213–230.

Yekta, K. (1399). Value engineering as a useful tool for managerial decision-making. *Omran & Project*, 1(4), 25–35.