

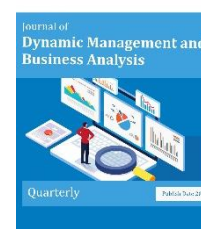


Journal Website

Article history:
Received 07 April 2026
Revised 25 August 2026
Accepted 02 September 2026
Initial Publication 11 September 2026
Final Publication 23 October 2027

Dynamic Management and Business Analysis

Volume 6, Issue 4, pp 1-28



E-ISSN: 3041-8933

Designing a Multi-Objective Mathematical Programming (MOLP) Structure for Assessing and Improving Value Efficiency in Civil Project Management

Ali Sedaghatpour¹, Morteza Shafiee^{1*}, Mohammad Reza Mozaffari², Hassan Soltani³

¹ Department of Industrial Management, K.I.C., Islamic Azad University, Kish, Iran

² Department of Mathematics, Shi.C., Islamic Azad University, Shiraz, Iran

³ Department of Industrial Management, Shi.C., Islamic Azad University, Shiraz, Iran

* Corresponding author email address: morteza.shafiee@iau.ac.ir

Article Info

Article type:

Original Research

How to cite this article:

Sedaghatpour, A., Shafiee, M., Mozaffari, M. R., & Soltani, H. (2027). Designing a Multi-Objective Mathematical Programming (MOLP) Structure for Assessing and Improving Value Efficiency in Civil Project Management. *Dynamic Management and Business Analysis*, 6(4), 1-28. <https://doi.org/10.61838/dmbaj.442>



© 2027 the author(s). Published by Knowledge Management Scientific Association. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) License.

ABSTRACT

Objective: This study aimed to design and propose a multi-objective mathematical programming structure for assessing and improving the value efficiency of civil projects by integrating Data Envelopment Analysis with managerial preference information.

Methodology: This applied quantitative study employed a mathematical modeling approach. The study population consisted of civil projects implemented by the Sadra New City Development Company, and all 33 available projects were included as decision-making units through a census approach. Contract amount, contract duration, contract extension duration, and net contractor receivables were specified as model inputs, while physical progress and project quality percentages were considered outputs. Project value efficiency was assessed using Data Envelopment Analysis based on the directional distance function under three technological regimes: constant returns to scale (CRS), variable returns to scale (VRS), and Free Disposal Hull (FDH). Managerial preference information was incorporated into the evaluation framework through multi-objective linear programming. Efficiency was additionally examined using input-oriented, output-oriented, and combined directional specifications.

Findings: Under the CRS technology, 9 of the 33 projects were identified as fully efficient, with an average efficiency score of 80.64%. Under VRS, the number of efficient projects increased to 24, and the mean efficiency reached 98.27%. The FDH technology identified 26 efficient projects and produced the highest mean efficiency score of 98.56%. Project 3 appeared in the reference set of seven of the nine inefficient VRS projects and was identified as the principal performance benchmark. Nine projects achieved complete efficiency under both CRS and VRS technologies, indicating relatively robust performance across scale assumptions. In contrast, Project 11 ranked lowest overall, with an efficiency score of 85.00% under VRS and 69.79% under CRS.

Conclusion: The proposed framework provides an effective quantitative mechanism for integrating multi-objective programming, Data Envelopment Analysis, and managerial preferences. It facilitates the identification of benchmark projects, distinguishes scale-related from managerial inefficiencies, and provides practical guidance for improving the financial and temporal management of civil projects.

Keywords: Multi-objective mathematical programming; Data Envelopment Analysis; Directional distance function; Value efficiency; Returns to scale; Civil projects.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Civil and construction projects constitute a major component of infrastructure development and play a decisive role in economic growth, urban development, and the provision of public services. Because these projects typically require substantial financial, human, and temporal resources, improving their efficiency is a central concern for project managers, contractors, public organizations, and policymakers. Despite advances in project planning and control, many construction projects continue to experience cost escalation, schedule overruns, contract extensions, delayed contractor payments, and discrepancies between planned and realized physical progress. Evidence from municipal construction projects indicates that improving implementation strategies and strengthening managerial control are essential for enhancing project efficiency (Mohammadi, 2024). Similarly, cost increases in construction projects have been associated with the capability and efficiency of contractors and the conditions governing project tendering and execution (Zarinzadeh, 2024). These challenges highlight the need for analytical frameworks capable of assessing project performance on the basis of multiple interacting inputs and outputs rather than relying solely on isolated indicators.

Contemporary project management literature has increasingly moved beyond the traditional iron triangle of time, cost, and quality. Project success is now understood as a multidimensional concept that should also reflect value creation, stakeholder expectations, organizational objectives, and long-term outcomes (Ika & Pinto, 2022). Within this broader perspective, value management assumes particular importance because the efficient use of resources should ultimately be judged in relation to the benefits and functions generated by a project. Cost and value management therefore requires simultaneous consideration of resource consumption and performance outcomes rather than merely minimizing expenditure (Venkataraman & Pinto, 2023). Consistent with this view, project performance measurement increasingly relies on integrated metrics, key performance indicators, and monitoring systems capable of revealing deviations from desired performance and supporting corrective decision-making (Kerzner, 2023).

The concept of value efficiency is particularly relevant to construction projects because such projects commonly involve several heterogeneous inputs and outputs. Contract value, contract duration, extension time, and outstanding contractor receivables reflect different dimensions of financial and temporal resource consumption, whereas physical progress and project quality represent important dimensions of project output. Value engineering has also been shown to contribute to greater efficiency in construction project management through the elimination of unnecessary costs while maintaining required functions and quality (Mokhiri, 2023). Organizational mechanisms can similarly improve performance. The establishment of project management offices has been associated with improved coordination, monitoring, standardization, and efficiency in construction projects (Nik Akhtar et al., 2023), while effective project management has been identified as an important contributor to the efficient development and timely completion of urban rail projects (Foroughi Kordshouli, 2023). Financial arrangements are also relevant, as the efficiency of financing mechanisms can influence continuity of construction activities and the capacity to manage project expenditures and contractor claims (Aliyari & Taherinejad, 2021).

At the operational level, efficient planning and scheduling are essential for controlling waste and optimizing project resources. Lean construction principles have demonstrated potential for improving both the efficiency and effectiveness of construction planning and scheduling through waste reduction and better workflow organization ([Abdullahi & Tembo, 2023](#)). However, project managers rarely pursue a single objective. Reducing project duration, controlling costs, maintaining quality, optimizing resource utilization, and satisfying stakeholders may involve competing objectives. Consequently, multi-objective mathematical programming provides a more realistic framework for project decision-making. Multi-objective scheduling models have been successfully developed to simultaneously optimize project scheduling and customer satisfaction ([Ghodrati et al., 2024](#)).

Recent international research also demonstrates the growing application of multi-objective optimization to construction management. Pareto-based optimization using NSGA-III has been applied to construction project management to generate efficient alternatives and facilitate multi-criteria decision-making ([Zhan et al., 2024](#)). Similarly, NSGA-II-based multi-objective optimization has been applied to engineering projects within the context of green construction ([Zhang, 2024](#)). Multi-objective optimization has also been integrated with linear scheduling for off-site construction manufacturing ([Rahman & Han, 2024](#)), applied to workforce scheduling efficiency under complex operating conditions ([Corral et al., 2023](#)), and incorporated into expressway construction management using improved particle swarm optimization algorithms ([Liu, 2024](#)). These applications confirm that construction project efficiency is inherently multidimensional and that effective decision-making requires methods capable of simultaneously addressing multiple performance criteria.

An additional challenge is that managerial preferences and project data may not always be completely certain or homogeneous. Multi-objective linear programming under spherical fuzzy conditions demonstrates the importance of incorporating uncertainty and decision-maker preferences into mathematical optimization ([Yuvashri & Saraswathi, 2024](#)). Likewise, research on interval multi-objective linear programming has emphasized that the identification of efficient solutions depends substantially on the structure of the feasible set and the treatment of uncertainty ([Batamiz & Hladík, 2024](#)). Sensitivity analysis in multi-objective linear programming further demonstrates the need to assess whether efficient solutions remain stable when model parameters, constraints, or preference structures change ([Sitarz, 2025](#)). Taken together, these developments indicate a need for an analytical framework that combines relative efficiency assessment, multiple inputs and outputs, alternative technological assumptions, and managerial preference information. Therefore, the present study aimed to design a multi-objective mathematical programming structure based on Data Envelopment Analysis and the directional distance function for assessing and improving value efficiency in civil project management.

Materials and Methods

This study was applied in purpose and quantitative in approach and was based on mathematical modeling. The study population consisted of civil projects implemented by the Sadra New City Development Company. Because of the nature of Data Envelopment Analysis, probabilistic sampling was not applied; instead, all 33 available projects were included through a census approach and treated as decision-making units.

Variables were selected from official contractual, financial, and technical records. Four variables were specified as model inputs: contract amount, contract duration, contract extension duration, and net

contractor receivables. These variables represented the principal financial and temporal resources consumed during project implementation. Two variables were defined as model outputs: percentage of physical progress and project quality percentage, representing the main measurable achievements of project execution.

Value efficiency was evaluated using Data Envelopment Analysis formulated through a directional distance function. The model was estimated under three technological regimes: constant returns to scale (CRS), variable returns to scale (VRS), and Free Disposal Hull (FDH). The CRS model assumed proportional changes between inputs and outputs, whereas the VRS model incorporated the convexity constraint to allow comparison among projects operating at different scales. Under FDH, the convexity assumption was removed and projects were compared only with actually observed production possibilities.

Managerial preference information was incorporated into the assessment through a multi-objective linear programming structure. Reference sets were determined for inefficient projects, and preferred efficient units were identified as potential managerial benchmarks. The directional vector was considered under input-oriented, output-oriented, and combined specifications, enabling the framework to evaluate potential input reductions, output expansions, or simultaneous improvement in both dimensions. Final project rankings were based primarily on combined value-efficiency scores under VRS, with CRS efficiency used as a secondary criterion to differentiate projects that achieved identical VRS scores.

Findings

The application of the directional distance function produced substantially different efficiency patterns across the three technological assumptions. Under CRS technology, 9 of the 33 projects were fully efficient. These were Projects 3, 5, 10, 13, 18, 19, 20, 26, and 29. The mean efficiency score under CRS was 80.64%, indicating a considerable efficiency gap when all projects were evaluated against a common constant-returns frontier. Project 7 obtained the lowest CRS efficiency score of 58.33%.

When the VRS assumption was introduced, the number of fully efficient projects increased markedly to 24 out of 33, and the overall mean efficiency increased to 98.27%. Only Projects 1, 2, 4, 11, 14, 21, 22, 28, and 33 remained inefficient. Among these projects, Project 11 recorded the lowest VRS efficiency score at 85.00%, followed by Projects 28 and 33, each with an efficiency score of 90.00%.

Under FDH technology, 26 projects were identified as fully efficient, and the mean value-efficiency score increased further to 98.56%, representing the highest average across the three models. Projects 4 and 22, which had VRS efficiency scores of 97.49% and 97.37%, respectively, reached full efficiency under FDH. Thus, the principal difference between VRS and FDH was attributable to the removal of hypothetical convex combinations of observed projects from the reference frontier.

Reference-set analysis showed that Project 3 played the most prominent benchmarking role. It appeared in the reference sets of seven of the nine VRS-inefficient projects and therefore emerged as the principal performance benchmark. Project 3 combined a short contract period, no contract extension, and 100% physical progress and quality. Projects 13 and 26 also served as reference units for some inefficient projects, particularly those requiring a combination of efficient benchmarks.

The final ranking showed that nine projects achieved complete efficiency under both CRS and VRS. Project 3 ranked first, followed by Projects 5, 10, 13, 18, 19, 20, 26, and 29. At the opposite end, Project 11 ranked last, with a VRS efficiency of 85.00% and a CRS efficiency of 69.79%. The comparison

also demonstrated that several projects receiving a perfect VRS score displayed substantially different CRS efficiencies, revealing important differences in scale efficiency that would have remained hidden if only the VRS model had been considered.

Discussion and Conclusion

The findings demonstrate that the estimated value efficiency of civil projects is strongly influenced by the technological assumptions used to construct the efficiency frontier. The considerably lower average efficiency under CRS suggests that a substantial proportion of apparent inefficiency results from scale effects. When projects were allowed to operate under variable returns to scale, most units moved to the efficiency frontier, indicating that their resource utilization was relatively appropriate when compared with projects of similar operational scale.

The small difference between mean VRS and FDH efficiency further suggests that convex combinations of reference projects had only a limited effect on the overall frontier, although they were important for individual projects such as Projects 4 and 22. FDH provides a practically attractive interpretation because benchmarks are restricted to actually observed projects rather than hypothetical combinations. Nevertheless, using the three technologies jointly offers richer managerial information than relying on any single efficiency specification.

The repeated appearance of Project 3 in the reference sets is an important practical result. Its combination of short contract duration, absence of contract extension, and complete physical and qualitative achievement suggests that effective control of temporal inputs alongside strong output performance creates a favorable value-efficiency profile. Inefficient projects can therefore use such benchmark units to identify realistic targets for reducing resource consumption or improving outputs.

The results for Project 11 indicate a different pattern. Its relatively low score under both VRS and CRS suggests that its inefficiency cannot be explained solely by project scale. Instead, the project requires closer examination of the relationship between its financial and temporal inputs and the outputs achieved. This distinction illustrates an important strength of applying multiple technological assumptions: managers can differentiate inefficiency associated with operating scale from inefficiency more directly related to resource management and execution.

Project 29 provides another important interpretive insight. Although its physical progress was only 26%, it was classified as efficient because of its particular input-output configuration, especially the absence of outstanding contractor receivables. This finding emphasizes that Data Envelopment Analysis measures relative rather than absolute performance. Accordingly, an efficient project is not necessarily complete or universally superior; rather, it represents a unit for which no observed comparator can proportionally reduce inputs or increase outputs under the specified model. For this reason, incorporating managerial preferences is essential when translating mathematical efficiency into managerial value.

Overall, the proposed multi-objective mathematical programming structure provides a comprehensive mechanism for assessing value efficiency in civil projects. By integrating Data Envelopment Analysis, directional distance functions, alternative technological assumptions, managerial preferences, and benchmark identification, the framework moves beyond simple performance ranking. It provides information on whether inefficiency is associated with scale, identifies realistic reference projects, and highlights potential directions for improving financial, temporal, physical, and qualitative



performance. The framework can therefore support more evidence-based allocation of resources, targeted corrective interventions, and systematic performance monitoring in civil project management.



طراحی ساختار برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه (MOLP) برای ارزیابی و بهبود کارایی ارزشی در مدیریت پروژه‌های عمرانی

علی صداقت پور^۱، مرتضی شفیع^{۱*}، محمد رضا مظفری^۲، حسن سلطانی^۳

۱. گروه مدیریت صنعتی، واحد بین المللی کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، کیش، ایران

۲. گروه ریاضی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

۳. گروه مدیریت صنعتی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: morteza.shafiee@iau.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله

پژوهشی/اصیلی

نحوه استناد به این مقاله:

صداقت پور، علی، شفیع، مرتضی، مظفری، محمد رضا، و سلطانی، حسن. (۱۴۰۶). طراحی ساختار برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه (MOLP) برای ارزیابی و بهبود کارایی ارزشی در مدیریت پروژه‌های عمرانی. مدیریت پویا و تحلیل کسب و کار، ۶(۴)، ۲۸-۱.



© ۱۴۰۶ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده(گان) است. انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY 4.0) صورت گرفته است.

هدف: پژوهش حاضر با هدف طراحی و ارائه یک ساختار برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه برای ارزیابی و بهبود کارایی ارزشی پروژه‌های عمرانی از طریق تلفیق تحلیل پوششی داده‌ها و اطلاعات ترجیحی مدیران انجام شد. **روش‌شناسی:** این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر رویکرد، کمی و مبتنی بر مدل‌سازی ریاضی بود. جامعه مورد مطالعه شامل پروژه‌های عمرانی شرکت عمران شهر جدید صدرا بود که تمامی ۳۳ پروژه موجود به روش سرشماری به‌عنوان واحدهای تصمیم‌گیری وارد تحلیل شدند. مبلغ قرارداد، مدت قرارداد، مدت تمدید قرارداد و مطالبات خالص پیمانکار به‌عنوان ورودی و درصد پیشرفت فیزیکی و درصد کیفی پروژه به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شدند. کارایی ارزشی پروژه‌ها با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر تابع فاصله جهت‌دار و تحت سه رژیم فناوری بازده ثابت نسبت به مقیاس (CRS)، بازده متغیر نسبت به مقیاس (VRS) و پوش آزاد داده‌ها (FDH) ارزیابی شد. همچنین، اطلاعات ترجیحی مدیران از طریق ساختار برنامه‌ریزی خطی چندهدفه وارد مدل شد و کارایی در جهت‌گیری‌های ورودی‌محور، خروجی‌محور و ترکیبی مورد بررسی قرار گرفت. **یافته‌ها:** در فناوری CRS، ۹۰ پروژه از ۳۳ پروژه کاملاً کارا بودند و میانگین کارایی برابر با ۸۰/۶۴ درصد به‌دست آمد. با استفاده از فناوری VRS، تعداد پروژه‌های کارا به ۲۴ پروژه و میانگین کارایی به ۹۸/۲۷ درصد افزایش یافت. در فناوری FDH نیز ۲۶ پروژه کارا شناسایی شدند و میانگین کارایی به ۹۸/۵۶ درصد رسید. پروژه ۳ در مجموعه مرجع هفت مورد از نه پروژه ناکارای VRS حضور داشت و به‌عنوان اصلی‌ترین الگوی عملکردی شناسایی شد. همچنین، نه پروژه در هر دو فناوری CRS و VRS کارایی کامل داشتند، در حالی که پروژه ۱۱ با کارایی ۸۵ درصد در VRS و ۶۹/۷۹ درصد در CRS پایین‌ترین رتبه نهایی را به خود اختصاص داد. **نتیجه‌گیری:** ساختار پیشنهادی با تلفیق برنامه‌ریزی چندهدفه، تحلیل پوششی داده‌ها و ترجیحات مدیریتی، چارچوبی کارآمد برای شناسایی پروژه‌های مرجع، تفکیک ناکارایی مقیاسی از ناکارایی مدیریتی و هدایت اقدامات اصلاحی در مدیریت منابع مالی و زمانی پروژه‌های عمرانی فراهم می‌کند.

کلیدواژه‌گان: برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه؛ تحلیل پوششی داده‌ها؛ تابع فاصله جهت‌دار؛ کارایی ارزشی؛ بازده نسبت به مقیاس؛ پروژه‌های عمرانی.

مقدمه

پروژه‌های عمرانی از مهم‌ترین ابزارهای تحقق توسعه اقتصادی، اجتماعی و زیرساختی در جوامع به شمار می‌روند و کیفیت برنامه‌ریزی، تخصیص منابع و اجرای آنها می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای برای رشد منطقه‌ای، رفاه عمومی و بهره‌وری سرمایه‌های ملی داشته باشد. سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های شهری، شبکه‌های حمل‌ونقل، ساختمان‌های عمومی، تأسیسات و سایر طرح‌های عمرانی معمولاً حجم قابل توجهی از منابع مالی، انسانی و زمانی را به خود اختصاص می‌دهد؛ از این‌رو، هرگونه ناکارایی در این پروژه‌ها می‌تواند هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم قابل ملاحظه‌ای ایجاد کند. با وجود اهمیت استراتژیک پروژه‌های عمرانی، مشکلاتی نظیر افزایش هزینه‌ها، طولانی‌شدن مدت اجرا، تمديد‌های مکرر قراردادها، مطالبات انباشته پیمانکاران، ضعف هماهنگی میان عوامل پروژه و فاصله میان پیشرفت واقعی و اهداف برنامه‌ریزی شده همچنان از مسائل رایج این حوزه هستند. ارزیابی راهبردهای اجرایی پروژه‌های عمرانی شهری نیز نشان می‌دهد که افزایش کارایی مستلزم توجه هم‌زمان به سازماندهی منابع، کیفیت اجرا و کنترل عوامل ایجادکننده انحراف از برنامه است (Mohammadi, 2024). از سوی دیگر، بررسی علل افزایش هزینه طرح‌های عمرانی نشان داده است که کارایی و توان اجرایی پیمانکاران و شرایط حاکم بر فرآیند انتخاب و مناقصه می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در کنترل یا تشدید هزینه‌های پروژه داشته باشد (Zarinzadeh, 2024). بنابراین، مدیریت پروژه‌های عمرانی دیگر نمی‌تواند صرفاً بر کنترل سنتی زمان و هزینه متکی باشد و به چارچوب‌هایی نیاز دارد که کارایی را در بستری چندبعدی، مقایسه‌ای و مبتنی بر ارزش ارزیابی کنند.

مفهوم موفقیت پروژه نیز طی سال‌های اخیر دستخوش بازنگری اساسی شده است. دیدگاه سنتی، موفقیت را عمدتاً بر اساس سه معیار زمان، هزینه و کیفیت تعریف می‌کرد، اما پیچیدگی روزافزون پروژه‌ها، تعدد ذی‌نفعان و تفاوت در اهداف سازمانی موجب شده است که این تعریف برای ارزیابی جامع عملکرد کافی نباشد. Ika و Pinto نشان داده‌اند که موفقیت پروژه باید با نگاهی گسترده‌تر و متناسب با ارزش ایجادشده، منافع ذی‌نفعان و پیامدهای بلندمدت مورد بازتعریف قرار گیرد؛ زیرا پروژه‌ای که صرفاً در محدوده زمانی یا مالی تعیین‌شده تکمیل می‌شود، لزوماً پروژه‌ای موفق از نظر ارزش‌آفرینی نیست (Ika & Pinto, 2022). این تحول نظری، توجه به مفهوم «ارزش» را در کنار مفهوم «کارایی» ضروری می‌سازد. در این چارچوب، ارزیابی پروژه نه فقط به میزان مصرف منابع، بلکه به رابطه میان منابع مصرف‌شده و دستاوردهای ایجادشده وابسته است. مدیریت هزینه و ارزش در پروژه نیز بر این اصل استوار است که تصمیم‌های مدیریتی باید به ایجاد بیشترین ارزش ممکن با استفاده بهینه از منابع محدود منجر شوند (Venkataraman & Pinto, 2023). در نتیجه، کارایی ارزشی را می‌توان به‌عنوان توانایی یک پروژه در دستیابی به مجموعه مطلوبی از نتایج فیزیکی و کیفی در برابر حداقل مصرف یا اتلاف منابع مالی و زمانی در نظر گرفت.

برای تحقق چنین نگرشی، استفاده از نظام‌های سنجش عملکرد دقیق و شاخص‌های کمی ضروری است. مدیریت مدرن پروژه متکی بر مجموعه‌ای از معیارها، شاخص‌های کلیدی عملکرد و ابزارهای پایش است که امکان شناسایی انحراف‌ها و اتخاذ تصمیم‌های اصلاحی را فراهم می‌کنند. Kerzner تأکید می‌کند که شاخص‌های عملکرد زمانی ارزش مدیریتی پیدا می‌کنند که بتوانند وضعیت پروژه را به‌صورت قابل‌اندازه‌گیری نشان داده و میان عملکرد واقعی و اهداف مورد انتظار ارتباط برقرار کنند (Kerzner, 2023). با این حال، بسیاری از پروژه‌های عمرانی دارای چندین ورودی و خروجی ناهمگون هستند. برای مثال، یک پروژه ممکن است دارای مبلغ قرارداد بالا، مدت اجرای کوتاه، تمديد اندک و درصد پیشرفت فیزیکی مطلوب باشد، در حالی که پروژه‌ای دیگر با مبلغ کمتر، مدت طولانی‌تر و کیفیت بالاتر اجرا شده باشد. در چنین شرایطی، اتکا به یک شاخص منفرد یا نسبت ساده نمی‌تواند تصویری منصفانه از عملکرد ارائه کند. از این‌رو، مسئله اصلی ارزیابی پروژه‌های

عمرانی نه صرفاً اندازه‌گیری شاخص‌ها، بلکه نحوه ترکیب هم‌زمان چندین معیار و تعیین موقعیت نسبی هر پروژه در مقایسه با سایر پروژه‌ها است.

در کنار رویکردهای اندازه‌گیری عملکرد، مهندسی ارزش یکی از حوزه‌هایی است که به شکل مستقیم با بهبود کارایی پروژه‌های عمرانی ارتباط دارد. مهندسی ارزش بر شناسایی کارکردها، کاهش هزینه‌های غیرضروری و حفظ یا افزایش کیفیت تمرکز دارد و به همین دلیل می‌تواند در بهبود نسبت میان منابع مصرفی و نتایج پروژه نقش داشته باشد. بررسی پروژه‌های عمرانی شهرداری نشان داده است که به‌کارگیری مهندسی ارزش می‌تواند موجب افزایش کارایی مدیریت پروژه‌های عمرانی شود و زمینه تصمیم‌گیری منطقی‌تر درباره هزینه‌ها و عملکردهای مورد انتظار را فراهم سازد (Mokhiri, 2023). این دیدگاه نشان می‌دهد که ارزش و کارایی دو مفهوم جدا از یکدیگر نیستند، بلکه در بسیاری از تصمیم‌های مدیریتی به‌صورت هم‌زمان مطرح می‌شوند. با این حال، اندازه‌گیری کارایی ارزشی زمانی پیچیده‌تر می‌شود که مدیران با چند هدف متعارض مواجه باشند؛ برای مثال کاهش هزینه ممکن است با ارتقای کیفیت در تعارض باشد یا کاهش مدت اجرا نیازمند مصرف منابع مالی بیشتری باشد. از این‌رو، لازم است ابزارهایی توسعه یابند که بتوانند این تعارض‌ها را به‌صورت صریح در ساختار ارزیابی و تصمیم‌گیری وارد کنند.

ساختارهای مدیریتی و نهادی نیز در کارایی پروژه‌ها مؤثر هستند. ایجاد دفتر مدیریت پروژه یکی از رویکردهای سازمانی برای هماهنگ‌سازی برنامه‌ریزی، نظارت و کنترل پروژه‌های متعدد است. نتایج بررسی اثر دفتر مدیریت پروژه در پروژه‌های عمرانی نشان داده است که PMO می‌تواند با استانداردسازی فرآیندها، بهبود نظارت و افزایش هماهنگی میان واحدهای اجرایی، کارایی مدیریت پروژه را ارتقا دهد (Nik Akhtar et al., 2023). همچنین، پژوهش انجام‌شده در حوزه پروژه‌های قطار شهری بر اهمیت مدیریت نظام‌مند پروژه در بهبود کارایی، توسعه و تکمیل به‌موقع خطوط تأکید کرده است (Foroughi Kordshouli, 2023). این شواهد بیانگر آن است که عملکرد پروژه محصول یک عامل منفرد نیست، بلکه نتیجه تعامل میان منابع، فرآیندهای مدیریتی، ساختارهای نظارتی و ویژگی‌های اجرایی است. در نتیجه، چارچوب ارزیابی باید ظرفیت تحلیل هم‌زمان مجموعه‌ای از متغیرهای مالی، زمانی و عملکردی را داشته باشد.

تأمین مالی نیز یکی دیگر از ابعاد اساسی کارایی پروژه‌های عمرانی است. تأخیر در پرداخت‌ها یا محدودیت منابع مالی می‌تواند موجب کندی عملیات، افزایش مدت قرارداد و انباشت مطالبات پیمانکاران شود. بررسی کارایی اسناد خزانه اسلامی در تأمین منابع مالی پروژه‌های عمرانی نشان داده است که انتخاب ابزارهای مناسب تأمین مالی می‌تواند در مدیریت جریان منابع پروژه و حمایت از استمرار اجرای طرح‌ها اهمیت داشته باشد (Aliyari & Taherinejad, 2021). بنابراین، متغیرهایی مانند مبلغ قرارداد و مطالبات پیمانکار صرفاً شاخص‌های مالی منفعل نیستند، بلکه می‌توانند نمایانگر سطح فشار مالی و نحوه مصرف منابع در پروژه باشند. هنگامی که ارزیابی کارایی این عوامل را در کنار مدت قرارداد، تمهیدات، پیشرفت فیزیکی و کیفیت قرار می‌دهد، می‌توان تصویر واقع‌بینانه‌تری از ارزش حاصل از منابع مصرف‌شده به دست آورد.

در سطح عملیات نیز بهبود برنامه‌ریزی و زمان‌بندی می‌تواند آثار مستقیمی بر کارایی داشته باشد. اصول ناب با هدف کاهش اتلاف، حذف فعالیت‌های فاقد ارزش افزوده و ایجاد جریان کار منسجم‌تر در صنعت ساخت‌وساز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یافته‌های Abdullahi و Tembo نشان داد که به‌کارگیری اصول ناب در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه‌های ساخت می‌تواند اثربخشی و کارایی فرآیند اجرا را افزایش دهد (Abdullahi & Tembo, 2023). در شرایط پیچیده‌تر، مسئله زمان‌بندی خود به یک مسئله چندهدفه تبدیل می‌شود؛ زیرا مدیران مجبورند میان زمان، هزینه، منابع انسانی، کیفیت و رضایت ذی‌نفعان توازن برقرار کنند. برای نمونه، Ghodrati و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه برای بهینه‌سازی زمان‌بندی پروژه با لحاظ رضایت مشتری ارائه کردند که نشان می‌دهد استفاده از مدل‌های ریاضی می‌تواند

اهداف سنتی پروژه را با معیارهای مبتنی بر ارزش تلفیق کند (Ghodrati et al., 2024). چنین مطالعاتی اهمیت حرکت از تصمیم‌گیری تک‌هدفه به چارچوب‌های چندهدفه را برجسته می‌سازند.

بهینه‌سازی چندهدفه به‌ویژه در مدیریت پروژه‌های عمرانی به دلیل ماهیت متعارض بسیاری از اهداف، جایگاه رو به رشدی یافته است. در این رویکرد، هدف یافتن یک راه‌حل واحد که همه اهداف را به‌طور مطلق بهینه سازد نیست؛ بلکه مجموعه‌ای از راه‌حل‌های کارا تولید می‌شود که در آنها بهبود یک هدف بدون کاهش عملکرد هدف دیگر امکان‌پذیر نیست. Zhan و همکاران با استفاده از الگوریتم NSGA-III در مدیریت پروژه ساخت، توسعه جبهه پارتو و فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که مدل‌های چندهدفه امکان مقایسه نظام‌مند میان گزینه‌های مختلف مدیریتی را فراهم می‌کنند (Zhan et al., 2024). همچنین، Zhang در زمینه ساخت‌وساز سبز، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر NSGA-II برای پروژه‌های مهندسی توسعه داد و نشان داد که اهداف اقتصادی و سایر الزامات پروژه را می‌توان در یک چارچوب بهینه‌سازی یکپارچه مورد ملاحظه قرار داد (Zhang, 2024). این مطالعات بیانگر افزایش توجه به رویکردهایی هستند که در آنها عملکرد پروژه حاصل موازنه میان چندین معیار است.

کاربرد بهینه‌سازی چندهدفه تنها به سطح کلان مدیریت پروژه محدود نیست و در مسائل تخصصی ساخت‌وساز نیز توسعه یافته است. Rahman و Han با تلفیق روش زمان‌بندی خطی و بهینه‌سازی چندهدفه در تولید خارج از محل ساخت نشان دادند که تصمیم‌های زمان‌بندی را می‌توان بر اساس اهداف متعدد به‌طور هم‌زمان بهینه کرد (Corral, 2024). Rahman و Han و همکاران نیز در زمینه زمان‌بندی نیروی کار پروژه‌های ساختمانی در شرایط همه‌گیری کووید-۱۹، مدلی چندهدفه برای ارزیابی کارایی زمان‌بندی نیروی انسانی به کار گرفتند؛ رویکردی که اهمیت سازگاری مدل‌های تصمیم‌گیری با محدودیت‌های واقعی و شرایط غیرعادی محیط پروژه را نشان می‌دهد (Corral et al., 2023). در حوزه مدیریت ساخت بزرگراه‌ها نیز Liu از الگوریتم بهبودیافته ازدحام ذرات برای بهینه‌سازی چندهدفه استفاده کرده است و نشان داده که الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌توانند برای مدیریت هم‌زمان معیارهای مختلف در پروژه‌های زیرساختی به کار روند (Liu, 2024). در مجموع، این پژوهش‌ها بیانگر ظرفیت بالای مدل‌های چندهدفه در تبدیل مسائل پیچیده مدیریت پروژه به ساختارهای کمی و تصمیم‌پذیر هستند.

بااین‌حال، بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری در پروژه‌های عمرانی با عدم قطعیت همراه‌اند و مقادیر متغیرها، ترجیحات تصمیم‌گیرندگان یا حدود قابل‌قبول عملکرد همواره به‌صورت قطعی مشخص نیستند. از این منظر، توسعه برنامه‌ریزی خطی چندهدفه در محیط‌های عدم قطعیت اهمیت ویژه‌ای یافته است. Yuvashri و Saraswathi رویکردی جدید برای برنامه‌ریزی خطی چندهدفه در محیط فازی کروی ارائه کردند که امکان در نظر گرفتن اطلاعات مبهم و ترجیحات تصمیم‌گیرندگان را در مدل فراهم می‌سازد (Yuvashri & Saraswathi, 2024). Batamiz و Hladík نیز مسئله یافتن راه‌حل‌های کارا در مدل‌های برنامه‌ریزی خطی چندهدفه بازه‌ای را با استفاده از نظریه عدم قطعیت بررسی کردند و به مسئله کارایی در شرایطی پرداختند که ضرایب مدل دقیقاً مشخص نیستند (Batamiz & Hladík, 2024). این مطالعات از این فرض اساسی حمایت می‌کنند که در مسائل چندهدفه، «کارایی» مفهومی وابسته به ساختار مدل، اطلاعات تصمیم‌گیرنده و ماهیت فضای امکان‌پذیر است؛ بنابراین، تعیین پروژه‌های کارا باید بر اساس چارچوبی انجام شود که بتواند این ویژگی‌ها را منعکس کند.

تحلیل حساسیت نیز بخشی جدایی‌ناپذیر از برنامه‌ریزی چندهدفه است؛ زیرا مدیران نیاز دارند بدانند تغییر در پارامترها، ترجیحات یا محدودیت‌ها چه اثری بر راه‌حل‌های کارا خواهد داشت. Sitarz با بررسی کاربردهای تحلیل حساسیت در مسائل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه نشان داده است که بررسی پایداری جواب‌ها و واکنش راه‌حل کارا به تغییرات داده‌ها می‌تواند به تفسیر بهتر نتایج مدل و افزایش قابلیت اعتماد تصمیم‌ها کمک کند (Sitarz, 2025). این موضوع به‌ویژه در پروژه‌های عمرانی مهم است؛ زیرا داده‌هایی مانند هزینه، زمان اجرا، مدت تمدید

و پیشرفت فیزیکی همواره ثابت نیستند و ممکن است در طول چرخه پروژه تغییر کنند. از این منظر، به کارگیری یک ساختار برنامه‌ریزی ریاضی که نه فقط یک مقدار عملکرد، بلکه مرزهای کارایی و گزینه‌های مرجع را نیز مشخص کند، می‌تواند نسبت به روش‌های ساده رتبه‌بندی، اطلاعات مدیریتی بیشتری فراهم آورد.

یکی از روش‌های مناسب برای ارزیابی نسبی عملکرد واحدهای دارای چندین ورودی و خروجی، تحلیل پوششی داده‌ها است. منطق اصلی این روش بر مقایسه واحدهای تصمیم‌گیری مشابه و تشکیل یک مرز تجربی از بهترین عملکردهای مشاهده‌شده استوار است. مزیت اساسی چنین رویکردی برای پروژه‌های عمرانی این است که بدون نیاز به تبدیل تمامی شاخص‌ها به یک واحد مشترک، می‌توان متغیرهای مالی، زمانی، فیزیکی و کیفی را در یک مدل وارد کرد و موقعیت هر پروژه را در مقایسه با سایر پروژه‌ها سنجید. علاوه بر این، استفاده از تابع فاصله جهت‌دار امکان آن را فراهم می‌کند که کاهش ورودی‌ها و افزایش خروجی‌ها به‌طور هم‌زمان یا در جهت‌های انتخاب‌شده بررسی شود. این ویژگی با منطق مدیریت پروژه همخوانی دارد؛ زیرا یک مدیر ممکن است در برخی پروژه‌ها کاهش مطالبات و مدت تمدید را در اولویت قرار دهد و در برخی دیگر افزایش پیشرفت فیزیکی یا کیفیت را مهم‌تر بداند. در نتیجه، چارچوب تحلیل کارایی زمانی ارزش بیشتری پیدا می‌کند که بتواند ترجیحات مدیریتی را نیز در تعریف جهت بهبود وارد سازد.

در این میان، تلفیق تحلیل کارایی با برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه می‌تواند محدودیت‌های روش‌های صرفاً فنی ارزیابی را کاهش دهد. یک مدل صرفاً مبتنی بر داده ممکن است پروژه‌ای را از نظر ریاضی کارا شناسایی کند، اما این پروژه الزاماً از دید مدیران یا از منظر ارزش سازمانی مطلوب‌ترین الگو نباشد. برای مثال، ممکن است یک پروژه به دلیل مقدار بسیار پایین یکی از ورودی‌ها روی مرز کارایی قرار گیرد، درحالی‌که عملکرد فیزیکی آن هنوز کامل نشده باشد. در چنین موقعیتی، وارد کردن اطلاعات ترجیحی تصمیم‌گیرندگان می‌تواند میان کارایی فنی و کارایی ارزشی تمایز ایجاد کند. مدیریت ارزش پروژه نیز بر اهمیت این تمایز تأکید دارد، زیرا ارزش صرفاً تابع کاهش هزینه نیست و باید با میزان دستیابی به کارکردها و اهداف مورد انتظار سنجیده شود (Venkataraman & Pinto, 2023). بنابراین، یک چارچوب کارایی ارزشی می‌تواند به‌جای ارائه یک رتبه‌بندی خام، پروژه‌هایی را شناسایی کند که از دیدگاه مدیریت ترکیب مطلوب‌تری از نهاده‌ها و ستاده‌ها دارند.

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از پژوهش‌های مدیریت پروژه بر بهبود زمان‌بندی، کنترل هزینه، مهندسی ارزش، ساختارهای سازمانی یا الگوریتم‌های بهینه‌سازی تمرکز داشته‌اند. در سطح داخلی، پژوهش‌های مربوط به راهبردهای افزایش کارایی پروژه‌های شهری (Mohammadi, 2024)، علل افزایش هزینه‌ها (Zarinzadeh, 2024)، اثر مهندسی ارزش (Mokhiri, 2023)، نقش دفتر مدیریت پروژه (Nik Akhtar et al., 2023)، مدیریت پروژه‌های قطار شهری (Foroughi Kordshouli, 2023) و شیوه‌های تأمین مالی پروژه‌های عمرانی (Aliyari & Taherinejad, 2021)، هر یک بخشی از مسئله کارایی را روشن کرده‌اند. در سطح بین‌المللی نیز پژوهش‌ها بر بازتعریف موفقیت پروژه (Ika & Pinto, 2022)، مدیریت هزینه و ارزش (Venkataraman & Pinto, 2023)، سنجش عملکرد (Kerzner, 2023)، اصول ناب (Abdullahi & Tembo, 2023) و انواع الگوریتم‌ها و ساختارهای چندهدفه (Corral et al., 2023; Liu, 2024; Rahman & Han, 2024; Zhan et al., 2024; Zhang, 2024) تمرکز کرده‌اند. با وجود این، پیوند مستقیم میان مفهوم کارایی ارزشی، ارزیابی چندورودی - چندخروجی پروژه‌های عمرانی و وارد کردن ترجیحات مدیریتی در یک ساختار برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

این خلأ از آن جهت اهمیت دارد که پروژه‌های عمرانی معمولاً از نظر اندازه مالی، مدت اجرا، وضعیت تمدید قرارداد و سطح پیشرفت یکسان نیستند و مقایسه مستقیم آنها می‌تواند به قضاوت نادرست درباره عملکرد منجر شود. پروژه‌های کوچک و بزرگ ممکن است تحت شرایط بازده نسبت به مقیاس متفاوت عمل کنند و نوع فناوری مورد استفاده در تشکیل مرز کارایی نیز بر تعداد پروژه‌های کارا و نحوه انتخاب



الگوهای مرجع تأثیر بگذارد. بنابراین، مقایسه کارایی تحت فروض متفاوت، از جمله بازده ثابت نسبت به مقیاس، بازده متغیر نسبت به مقیاس و ساختارهای غیرمحدب، می‌تواند نشان دهد چه میزان از ناکارایی به عملکرد مدیریتی و چه میزان به اندازه و ویژگی‌های مقیاسی پروژه مربوط است. افزون بر این، شناسایی مجموعه‌های مرجع برای پروژه‌های ناکارا، نتیجه تحلیل را از یک تشخیص صرف فراتر می‌برد و آن را به ابزاری برای پیشنهاد مسیر بهبود تبدیل می‌کند.

از دیدگاه کاربردی، توسعه چنین مدلی می‌تواند برای مدیران شرکت‌های عمرانی، نهادهای توسعه شهری و دستگاه‌های اجرایی چند مزیت ایجاد کند. نخست، امکان شناسایی پروژه‌هایی فراهم می‌شود که با منابع مالی و زمانی موجود، سطح مطلوب‌تری از پیشرفت و کیفیت ایجاد کرده‌اند. دوم، پروژه‌های ناکارا می‌توانند با پروژه‌های مرجع مشخص مقایسه شوند و شکاف عملکرد آنها به‌طور روشن‌تر تفسیر گردد. سوم، استفاده از ترجیحات مدیریتی موجب می‌شود مدل صرفاً بر منطق ریاضی استوار نباشد و اولویت‌های واقعی سازمان نیز در انتخاب پروژه‌های مطلوب لحاظ شود. چهارم، تحلیل هم‌زمان چند فناوری می‌تواند از نتیجه‌گیری ساده‌انگارانه بر اساس یک فرض ثابت جلوگیری کند. در نهایت، تلفیق این عناصر می‌تواند به تخصیص کارآمدتر منابع، کاهش اتلاف‌های مالی و زمانی و ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری درباره پروژه‌های جاری و آتی منجر شود.

بر این اساس، هدف پژوهش حاضر طراحی یک ساختار برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه (MOLP) مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها و تابع فاصله جهت‌دار برای ارزیابی و بهبود کارایی ارزشی پروژه‌های عمرانی است.

روش پژوهش

این مطالعه از منظر هدف در دسته تحقیقات کاربردی و از حیث رویکرد در زمره پژوهش‌های کمی قرار دارد که بر بستر مدل‌سازی ریاضی استوار است. ابزار اصلی تحلیل، روش تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از ساختار تابع فاصله جهت‌دار برای سنجش کارایی ارزشی پروژه‌های عمرانی می‌باشد. مراحل اجرا به این ترتیب طراحی شده است: ابتدا فضای امکان‌پذیر تولید مبتنی بر نهاده‌ها و ستاده‌های پروژه‌ها مشخص می‌گردد، سپس مدل تابع فاصله جهت‌دار تحت سه رژیم فناوری شامل بازده ثابت نسبت به مقیاس، بازده متغیر نسبت به مقیاس و FDH تدوین می‌شود. در مرحله بعد، ترجیحات مدیریتی از طریق چارچوب برنامه‌ریزی خطی چندهدفه وارد فرآیند ارزیابی شده و واحدهای برتر از دیدگاه مدیریت شناسایی می‌گردند. نهایتاً مدل‌ها بر داده‌های واقعی پروژه‌های عمرانی شهر جدید صدرا پیاده‌سازی شده و شاخص‌های کارایی ارزشی هر پروژه در سه رویکرد ورودی‌گرا، خروجی‌گرا و ترکیبی محاسبه می‌شود.

قلمرو مطالعاتی پژوهش را پروژه‌های عمرانی شرکت عمران شهر جدید صدرا تشکیل می‌دهد که براساس مستندات قراردادی، ۳۳ پروژه به‌عنوان واحدهای تصمیم‌گیری وارد تحلیل شده‌اند. با عنایت به ماهیت DEA، نمونه‌گیری احتمالی امکان‌پذیر نبوده و کلیه واحدها به‌صورت سرشماری بررسی می‌شوند. حجم نمونه با ضابطه رایج DEA (حداقل دو برابر مجموع نهاده‌ها و ستاده‌ها) مطابقت دارد و برای تخمین مرز کارایی کافی است.

متغیرهای این پژوهش بر اساس داده‌های قراردادی و اجرایی پروژه‌های عمرانی شهر جدید صدرا در دو دسته ورودی و خروجی تعریف می‌شوند. مبلغ قرارداد، مدت قرارداد، مدت تمدید قرارداد و مطالبات خالص پیمانکار به‌عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شده‌اند زیرا افزایش هر یک از این متغیرها به معنای مصرف بیشتر منابع مالی و زمانی پروژه است. درصد پیشرفت فیزیکی و درصد کیفی پروژه به‌عنوان خروجی مدل انتخاب شده‌اند زیرا افزایش این شاخص‌ها بیانگر بهبود عملکرد اجرایی پروژه است. انتخاب این متغیرها بر اساس دسترسی به مستندات رسمی ثبت‌شده در سامانه مالی و فنی شرکت انجام شده و صحت داده‌ها بر همین اساس تأیید می‌گردد.

تحلیل داده‌ها بر پایه مدل تابع فاصله جهت‌دار انجام می‌شود که امکان محاسبه کارایی را در فناوری‌های مختلف بازده به مقیاس فراهم می‌سازد. فرض کنید n واحد تصمیم‌گیری ($j = 1, \dots, n$) با بردار ورودی x_j و بردار خروجی y_j وجود دارد. مدل پایه تابع فاصله جهت‌دار به شکل زیر تعریف می‌شود.

$$\begin{aligned} \beta_o^* &= \max \beta_o + \epsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{k=1}^p s_k^+ \right) \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= x_{io} - \beta_o g_{io}^-, i = 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{kj} - s_k^+ &= y_{ko} + \beta_o g_{ko}^+, k = 1, \dots, p \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1, \lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

در این مدل g بردار جهت است و از دو بخش g^- برای کاهش ورودی و g^+ برای افزایش خروجی تشکیل می‌شود. مقدار β_o^* ناکارایی فنی واحد تحت بررسی را نشان می‌دهد و ϵ یک عدد غیر ارشمیدسی کوچک است.

فناوری بازده به مقیاس ثابت با حذف قید $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ از مدل پایه به دست می‌آید در حالی که فناوری بازده به مقیاس متغیر همان مدل پایه را با حفظ این قید در بر می‌گیرد. در فناوری FDH که مجموعه امکان‌پذیری تولید محدب نیست متغیر λ_j به صورت باینری در نظر گرفته می‌شود.

$$\begin{aligned} \beta_o^* &= \max \beta_o + \epsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{k=1}^p s_k^+ \right) \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= x_{io} - \beta_o g_{io}^-, i = 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{kj} - s_k^+ &= y_{ko} + \beta_o g_{ko}^+, k = 1, \dots, p \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1, \lambda_j \in \{0, 1\}, j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (2)$$

برای تقریب مرز تابع ارزش در فناوری FDH از مخروط‌های محدب استفاده می‌شود. برای نقاط $z_1, \dots, z_r$ با رأس z_q مخروط به شکل زیر تعریف می‌شود.

$$\begin{aligned} C(z_1, \dots, z_r; z_q) &= \{z \mid z = z_q + \sum_{l=1, l \neq q}^r (z_q - z_l) \mu_l, \mu_l \geq 0, l \\ &= 1, \dots, r, l \neq q\} \end{aligned} \quad (3)$$

مدل تشخیص سلطه توسط مخروط به شکل زیر است.

$$\begin{aligned} & \max \beta + \epsilon^T s \\ & \text{s.t. } z_q + \sum_{l=1, l \neq q}^r (z_q - z_l) \mu_l - \beta w - s = z \\ & \mu_l \geq 0, w \in R^{m+p}, w \geq 0, w \neq 0, s \geq 0, l = 1, \dots, r \end{aligned} \quad (4)$$

اگر مقدار بهینه β در این مدل مثبت باشد نقطه z توسط مخروط C مغلوب می‌شود.

برای اعمال اطلاعات ترجیحی تصمیم‌گیرنده در فناوری بازده به مقیاس متغیر ابتدا مدل پایه تابع فاصله جهت‌دار حل می‌شود و مجموعه مرجع واحد تحت بررسی به شکل $R_o = \{j \mid \lambda_j^* > 0\}$ تعیین می‌گردد. سپس واحدهای دارای بیشترین ترجیح مدیریتی از میان اعضای مجموعه مرجع یا بر اساس نظر تصمیم‌گیرنده انتخاب می‌شوند. در گام پایانی مدل کارایی ارزشی با قید افزوده λ آزاد برای اعضای مجموعه مرجع و λ نامنفی برای سایر واحدها حل می‌شود.

$$\begin{aligned} & \beta_o^* = \max \beta_o + \epsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{k=1}^p s_k^+ \right) \\ & \text{s.t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{io} - \beta_o g_{io}^-, i = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{kj} - s_k^+ = y_{ko} + \beta_o g_{ko}^+, k = 1, \dots, p \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0 \text{ if } \lambda_j^* = 0 \\ & \lambda_j \text{ free if } \lambda_j^* > 0 \end{aligned} \quad (5)$$

انتخاب جهت بردار g در این پژوهش در سه حالت انجام می‌شود. در حالت ورودی‌محور $g_o = (x_o, 0)$ در نظر گرفته می‌شود، در حالت خروجی‌محور $g_o = (0, y_o)$ به کار می‌رود و در حالت ترکیبی $g_o = (x_o, y_o)$ استفاده می‌شود. نمره کارایی نهایی هر پروژه بر اساس جهت انتخابی محاسبه می‌شود. در حالت ورودی‌محور نمره کارایی از رابطه $\theta = 1 - \beta_o^*$ به دست می‌آید، در حالت خروجی‌محور از رابطه $\theta = \frac{1}{1 + \beta_o^*}$ استفاده می‌شود و در حالت ترکیبی هر دو رابطه به صورت هم‌زمان گزارش می‌گردد. مدل تابع فاصله جهت‌دار در هر سه فناوری دارای ویژگی‌های ناوردایی نسبت به انتقال، ناوردایی نسبت به واحد اندازه‌گیری، شدنی بودن همیشگی و قابلیت انتخاب جهت دلخواه است. این ویژگی‌ها امکان مقایسه پروژه‌های عمرانی با مقیاس‌ها و واحدهای اندازه‌گیری متفاوت را در قالب یک چارچوب یکپارچه فراهم می‌سازد.

یافته‌ها

در این بخش یافته‌های حاصل از اجرای مدل تابع فاصله جهت‌دار بر روی داده‌های ۳۳ پروژه عمرانی شرکت عمران شهر جدید صدرا ارائه می‌شود. ابتدا آمار توصیفی متغیرهای پژوهش گزارش می‌گردد و سپس نمرات کارایی ارزشی در سه فناوری بازده به مقیاس ثابت، بازده به مقیاس متغیر و FDH به ترتیب تشریح می‌شود. در ادامه واحدهای مرجع و مجموعه MPS برای پروژه‌های ناکارآمد معرفی می‌گردد و در پایان رتبه‌بندی نهایی پروژه‌ها بر اساس نمره کارایی ترکیبی ارائه می‌شود.

متغیرهای ورودی و خروجی این پژوهش پیش از ورود به مدل تابع فاصله جهت‌دار از نظر پراکندگی و دامنه تغییرات بررسی شدند. مبلغ قرارداد به‌عنوان اصلی‌ترین ورودی مالی، دامنه گسترده‌ای از ۵.۴۷ میلیارد ریال تا ۳۶۹.۵۷ میلیارد ریال را در بر می‌گیرد که نشان‌دهنده تنوع بالای مقیاس پروژه‌های شهر صدرا است. مدت تمدید قرارداد نیز پراکندگی چشمگیری دارد و برخی پروژه‌ها بدون هیچ تمدیدی به اتمام رسیده‌اند در حالی که یک پروژه تا ۱۲۵۶ روز تمدید داشته است. درصد پیشرفت فیزیکی با ورود پروژه ۲۹ دامنه پایین‌تری نیز به خود گرفت و درصد کیفی پروژه‌ها همچنان پراکندگی محدودی دارد.

جدول ۱

آمار توصیفی متغیرهای ورودی و خروجی پژوهش

متغیر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
مبلغ قرارداد (میلیارد ریال)	۱۰۱.۹۳	۹۷.۶۲	۵.۴۷	۳۶۹.۵۷
مدت قرارداد (ماه)	۹.۶۴	۴.۱۵	۴.۰۰	۲۴.۰۰
مدت تمدید (روز)	۳۶۲.۸۲	۳۰۸.۷۹	۰.۰۰	۱۲۵۶.۰۰
مطالبات معوق (میلیارد ریال)	۲۷.۶۸	۳۵.۰۸	۰.۰۰	۱۵۲.۹۸
پیشرفت فیزیکی (درصد)	۹۰.۷۳	۱۶.۶۴	۲۶.۰۰	۱۰۰.۰۰
درصد کیفی پروژه	۹۱.۹۷	۴.۴۰	۸۵.۰۰	۱۰۰.۰۰

نتایج جدول ۱ نشان داد پراکندگی بالای مبلغ قرارداد و مدت تمدید در کنار پراکندگی نسبتاً محدود شاخص کیفی می‌تواند به وجود اختلاف معنادار در نمرات کارایی ارزشی پروژه‌ها منجر شود. کاهش حداقل پیشرفت فیزیکی به ۲۶٪ و افزایش انحراف معیار این متغیر به ۱۶.۶۴ نسبت به تحلیل‌های قبلی، ناشی از ورود پروژه ۲۹ با پیشرفت فیزیکی پایین است که دامنه واقعی عملکرد پروژه‌های این جامعه آماری را بهتر نشان می‌دهد. انحراف معیار نزدیک به میانگین در متغیر مطالبات معوق نیز بیانگر ناهمگونی بالای این متغیر میان پروژه‌های مورد مطالعه است.

مدل تابع فاصله جهت‌دار در فناوری بازده به مقیاس ثابت با حذف قید تحذب برای هر ۳۳ پروژه اجرا شد. این فناوری به‌دلیل عدم لحاظ محدودیت مقیاس، معمولاً نمرات کارایی پایین‌تری نسبت به فناوری بازده به مقیاس متغیر تولید می‌کند و بنابراین نتایج آن معیاری محافظه‌کارانه‌تر برای ارزیابی عملکرد پروژه‌ها محسوب می‌شود. جدول ۲ مقدار بهینه پارامتر ناکارایی و نمره کارایی هر یک از ۳۳ پروژه را در این فناوری ارائه می‌دهد.

جدول ۲

نمرات کارایی ارزشی پروژه‌ها در فناوری بازده به مقیاس ثابت

شماره پروژه	β^*	نمره کارایی	وضعیت
۱	۰.۵۹۵۷	۰.۶۲۶۷	ناکارا
۲	۰.۳۴۹۹	۰.۷۴۰۸	ناکارا
۳	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۴	۰.۲۶۸۲	۰.۷۸۸۵	ناکارا
۵	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۶	۰.۵۰۰۰	۰.۶۶۶۷	ناکارا



۷	۰.۷۱۴۳	۰.۵۸۳۳	ناکارا
۸	۰.۳۳۳۳	۰.۷۵۰۰	ناکارا
۹	۰.۵۰۰۰	۰.۶۶۶۷	ناکارا
۱۰	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۱	۰.۴۳۲۹	۰.۶۹۷۹	ناکارا
۱۲	۰.۱۱۱۱	۰.۹۰۰۰	ناکارا
۱۳	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۴	۰.۲۲۴۵	۰.۸۱۶۷	ناکارا
۱۵	۰.۳۸۴۶	۰.۷۲۲۲	ناکارا
۱۶	۰.۱۱۹۰	۰.۸۹۳۷	ناکارا
۱۷	۰.۳۳۳۳	۰.۷۵۰۰	ناکارا
۱۸	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۹	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۰	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۱	۰.۵۱۹۰	۰.۶۵۸۳	ناکارا
۲۲	۰.۳۹۹۴	۰.۷۱۴۶	ناکارا
۲۳	۰.۵۰۰۰	۰.۶۶۶۷	ناکارا
۲۴	۰.۴۲۸۹	۰.۶۹۹۹	ناکارا
۲۵	۰.۵۰۰۰	۰.۶۶۶۷	ناکارا
۲۶	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۷	۰.۵۷۱۳	۰.۶۳۶۴	ناکارا
۲۸	۰.۵۳۸۵	۰.۶۵۰۰	ناکارا
۲۹	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۳۰	۰.۲۰۰۰	۰.۸۳۳۳	ناکارا
۳۱	۰.۲۰۰۰	۰.۸۳۳۳	ناکارا
۳۲	۰.۱۵۹۳	۰.۸۶۲۶	ناکارا
۳۳	۰.۲۷۲۹	۰.۷۸۵۶	ناکارا

نتایج جدول ۲ نشان داد از میان ۳۳ پروژه، ۹ پروژه شامل پروژه‌های ۳، ۵، ۱۰، ۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۶ و ۲۹ در فناوری بازده به مقیاس ثابت کاملاً کارا شناخته شدند و میانگین نمره کارایی کل نمونه در این فناوری ۸۰.۶۴٪ به دست آمد. کارا بودن پروژه ۲۹ با وجود پیشرفت فیزیکی پایین ۲۶٪ ناشی از مقدار صفر بودن مطالبات معوق آن است که در ساختار تابع فاصله جهت‌دار، این پروژه را از نظر ورودی مالی معوق در جایگاه ممتاز قرار می‌دهد. پایین‌ترین نمره کارایی همچنان مربوط به پروژه ۷ با نمره ۵۸.۳۳٪ بود که با توجه به مدت قرارداد ۲۴ ماهه و مبلغ قرارداد بالا نسبت به سایر پروژه‌ها، بیشترین فاصله را تا مرز کارایی نشان می‌دهد.

در فناوری بازده به مقیاس متغیر با افزودن قید تحذب به مدل، پروژه‌ها تنها با واحدهایی در مقیاس مشابه خود مقایسه می‌شوند. این ویژگی باعث می‌شود پروژه‌های کوچک‌تر یا بزرگ‌تر از میانگین جامعه نیز فرصت مقایسه منصفانه‌تری داشته باشند. جدول ۳ نتایج این فناوری را برای هر ۳۳ پروژه ارائه می‌دهد.

جدول ۳

نمرات کارایی ارزشی پروژه‌ها در فناوری بازده به مقیاس متغیر

شماره پروژه	β^*	نمره کارایی	وضعیت
۱	۰.۰۵۲۶	۰.۹۵۰۰	ناکارا
۲	۰.۰۲۰۴	۰.۹۸۰۰	ناکارا
۳	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۴	۰.۰۲۵۸	۰.۹۷۴۹	ناکارا
۵	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۶	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۷	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۸	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۹	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۰	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۱	۰.۱۷۶۵	۰.۸۵۰۰	ناکارا
۱۲	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۳	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۴	۰.۰۵۲۶	۰.۹۵۰۰	ناکارا
۱۵	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۶	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۷	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۸	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۹	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۰	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۱	۰.۰۵۲۶	۰.۹۵۰۰	ناکارا
۲۲	۰.۰۲۷۰	۰.۹۷۳۷	ناکارا
۲۳	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۴	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۵	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۶	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۷	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۸	۰.۱۱۱۱	۰.۹۰۰۰	ناکارا
۲۹	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۳۰	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۳۱	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۳۲	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۳۳	۰.۱۱۱۱	۰.۹۰۰۰	ناکارا

نتایج جدول ۳ نشان داد با لحاظ فرض بازده به مقیاس متغیر، تعداد پروژه‌های کارا به ۲۴ پروژه از ۳۳ پروژه افزایش یافت و میانگین نمره کارایی کل نمونه به ۹۸.۲۷٪ رسید. تنها ۹ پروژه شامل پروژه‌های ۱، ۲، ۴، ۱۱، ۱۴، ۲۱، ۲۲، ۲۸ و ۳۳ در این فناوری ناکارا شناخته شدند که کمترین نمره کارایی با ۸۵٪ متعلق به پروژه ۱۱ بود. حضور پروژه ۲۹ در جمع پروژه‌های کارا در این فناوری نیز مانند فناوری CRS



تکرار شد که نشان می‌دهد این پروژه با وجود پیشرفت فیزیکی محدود، از نظر مصرف منابع مالی و زمانی نسبت به مقیاس خود در مرز کارایی قرار دارد.

فناوری FDH با فرض عدم تحذب مجموعه امکان‌پذیری تولید، هر پروژه را تنها با پروژه‌های واقعاً مشاهده‌شده مقایسه می‌کند و امکان مقایسه با ترکیبات فرضی میان پروژه‌ها را حذف می‌کند. این ویژگی معمولاً به افزایش بیشتر تعداد واحدهای کارا منجر می‌شود. جدول ۴ نتایج این فناوری را برای هر ۳۳ پروژه نشان می‌دهد.

جدول ۴

نمرات کارایی ارزشی پروژه‌ها در فناوری FDH

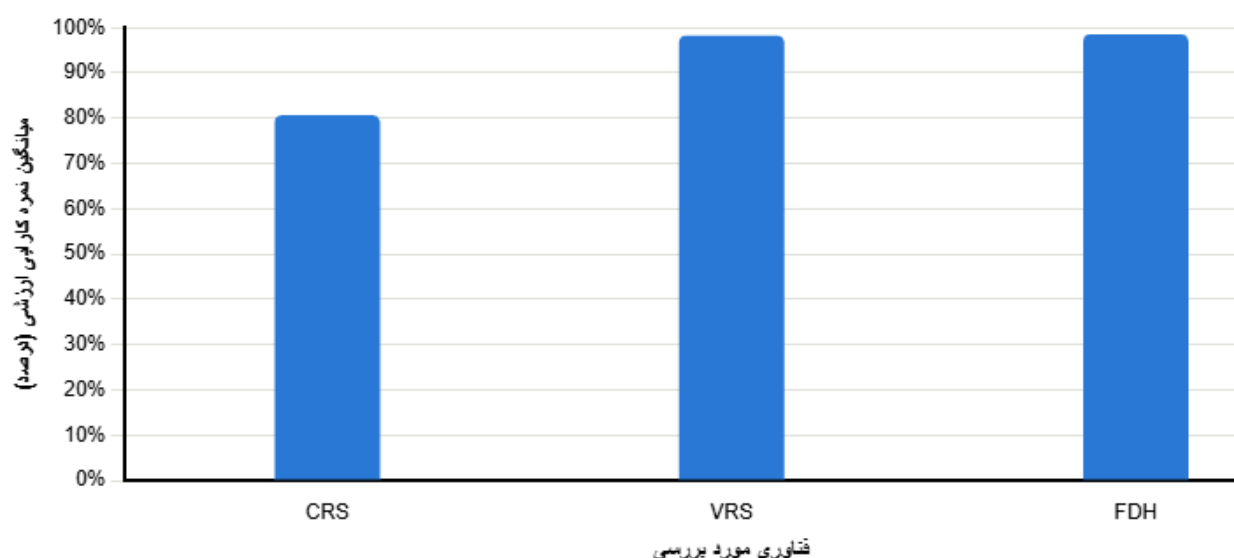
شماره پروژه	β^*	نمره کارایی	وضعیت
۱	۰.۰۵۲۶	۰.۹۵۰۰	ناکارا
۲	۰.۰۲۰۴	۰.۹۸۰۰	ناکارا
۳	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۴	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۵	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۶	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۷	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۸	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۹	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۰	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۱	۰.۱۷۶۵	۰.۸۵۰۰	ناکارا
۱۲	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۳	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۴	۰.۰۵۲۶	۰.۹۵۰۰	ناکارا
۱۵	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۶	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۷	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۸	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۱۹	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۰	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۱	۰.۰۵۲۶	۰.۹۵۰۰	ناکارا
۲۲	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۳	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۴	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۵	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۶	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۷	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۲۸	۰.۱۱۱۱	۰.۹۰۰۰	ناکارا
۲۹	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۳۰	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۳۱	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۳۲	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	کارا
۳۳	۰.۰۵۸۸	۰.۹۴۴۴	ناکارا

نتایج جدول ۴ نشان داد تعداد پروژه‌های کارا در فناوری FDH به ۲۶ پروژه از ۳۳ پروژه رسید و میانگین نمره کارایی کل نمونه به ۹۸.۵۶٪ افزایش یافت که بالاترین میانگین در میان سه فناوری بررسی شده است. تفاوت اصلی نتایج این جدول با جدول ۳ در پروژه‌های ۴ و ۲۲ مشاهده می‌شود که در فناوری VRS به ترتیب نمرات ۹۷.۴۹٪ و ۹۷.۳۷٪ داشتند اما در فناوری FDH به کارایی کامل رسیدند. این تغییر نشان می‌دهد بخشی از ناکارایی این دو پروژه در فناوری VRS ناشی از مقایسه با ترکیبات فرضی محذب بوده است که در دنیای واقعی امکان اجرای آن برای پیمانکاران وجود نداشته است.

مقایسه میانگین نمرات کارایی در سه فناوری بررسی شده الگوی روشنی از اثر فرض بازده به مقیاس بر ارزیابی پروژه‌های عمرانی ارائه می‌دهد. میانگین نمره کارایی در فناوری بازده به مقیاس ثابت ۸۰.۶۴٪ بود در حالی که این میانگین در فناوری بازده به مقیاس متغیر به ۹۸.۲۷٪ و در فناوری FDH به ۹۸.۵۶٪ رسید. این روند افزایشی تأیید می‌کند که سخت‌گیرترین ارزیابی مربوط به فناوری بازده به مقیاس ثابت است زیرا این فناوری هیچ محدودیتی برای مقیاس واحدهای مرجع قائل نمی‌شود و پروژه‌های کوچک را نیز مجبور به رقابت با پروژه‌های بزرگ مقیاس می‌کند. فاصله اندک میان میانگین فناوری VRS و FDH نیز نشان می‌دهد در جامعه آماری این پژوهش، ترکیبات محذب فرضی نقش محدودی در تعیین مرز کارایی داشته‌اند.

شکل ۱

مقایسه میانگین نمره کارایی ارزشی در سه فناوری بازده به مقیاس ثابت، بازده به مقیاس متغیر و FDH برای ۳۳ پروژه



تعیین واحدهای دارای بیشترین ترجیح مدیریتی برای پروژه‌های ناکارا بر اساس حل مدل کارایی ارزشی در فناوری بازده به مقیاس متغیر انجام شد. مجموعه مرجع هر پروژه ناکارا شامل واحدهایی است که مقدار متغیر لاندا برای آنها در جواب بهینه مثبت بوده است و بنابراین این واحدها الگوی عملکردی مطلوب برای بهبود پروژه ناکارا محسوب می‌شوند. جدول ۵ مجموعه مرجع و ضرایب لاندا برای هر یک از ۹ پروژه ناکارای فناوری VRS را ارائه می‌دهد.



جدول ۵

مجموعه مرجع و ضرایب لاندای پروژه‌های ناکارا در فناوری VRS

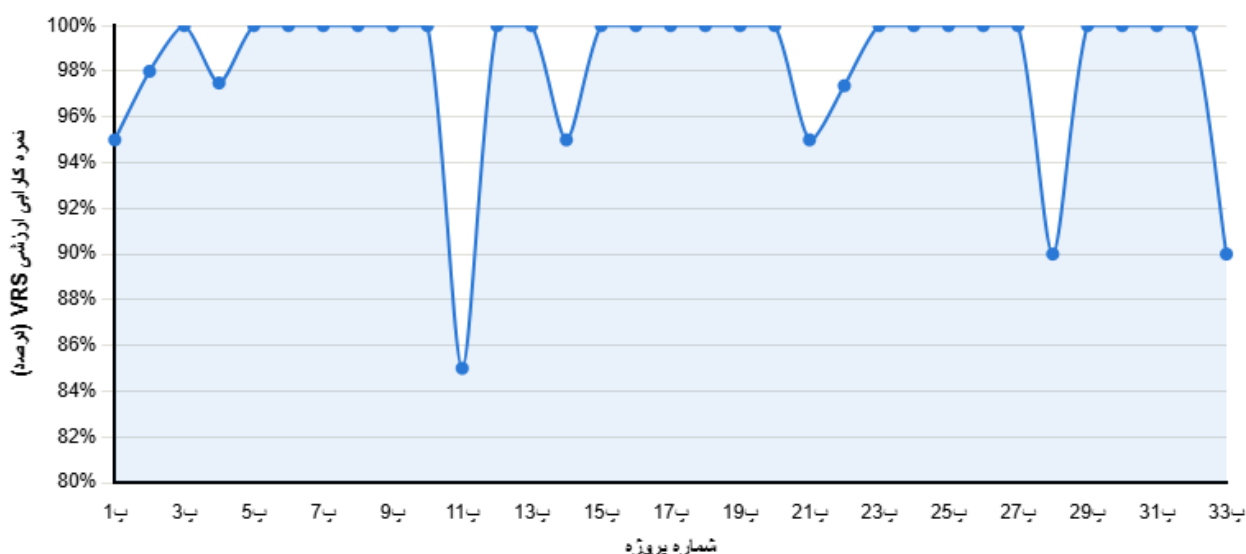
پروژه ناکارا	نمره کارایی VRS	مجموعه مرجع (پروژه، ضریب لاندای)
۱	۰.۹۵۰۰	پروژه ۳ (۱.۰۰۰)
۲	۰.۹۸۰۰	پروژه ۳ (۱.۰۰۰)
۴	۰.۹۷۴۹	پروژه ۳ (۰.۱۲۰)، پروژه ۱۳ (۰.۶۸۸)، پروژه ۱۶ (۰.۰۳۴)، پروژه ۲۶ (۰.۱۵۹)
۱۱	۰.۸۵۰۰	پروژه ۳ (۱.۰۰۰)
۱۴	۰.۹۵۰۰	پروژه ۳ (۱.۰۰۰)
۲۱	۰.۹۵۰۰	پروژه ۳ (۱.۰۰۰)
۲۲	۰.۹۷۳۷	پروژه ۳ (۰.۴۴۴)، پروژه ۱۳ (۰.۰۳۰)، پروژه ۱۶ (۰.۰۳۲)، پروژه ۲۶ (۰.۴۹۴)
۲۸	۰.۹۰۰۰	پروژه ۳ (۱.۰۰۰)
۳۳	۰.۹۰۰۰	پروژه ۳ (۰.۹۰۷)، پروژه ۱۳ (۰.۰۹۳)

نتایج جدول ۵ نشان داد پروژه ۳ در مجموعه مرجع ۷ پروژه از ۹ پروژه ناکارا حضور دارد و بنابراین به‌عنوان اصلی‌ترین الگوی عملکردی جامعه آماری شناخته می‌شود. این پروژه با مدت قرارداد کوتاه، بدون تمدید و با پیشرفت فیزیکی و کیفی ۱۰۰٪، ترکیب مطلوبی از ورودی محدود و خروجی حداکثری را نشان می‌دهد. پروژه‌های ۱۳ و ۲۶ نیز در مجموعه مرجع پروژه‌های ۴، ۲۲ و ۳۳ حضور دارند و نشان می‌دهند برای پروژه‌های با مقیاس مالی بزرگ‌تر، الگوی بهبود باید ترکیبی از چند واحد کارا باشد نه یک واحد منفرد. پروژه ۲۹ با وجود ورود به تحلیل، در هیچ‌یک از مجموعه‌های مرجع پروژه‌های ناکارا حضور ندارد زیرا خود در فناوری VRS کاملاً کارا شناخته شده است.

بررسی روند نمرات کارایی VRS به ترتیب توالی پروژه‌ها نشان می‌دهد نوسانات کارایی عمدتاً در پروژه‌های میانی جدول رخ داده است در حالی که پروژه‌های ابتدایی و انتهایی نمونه بیشتر در محدوده کارایی کامل قرار می‌گیرند. میانگین نمره کارایی VRS در پروژه‌های زیربنایی ۹۸.۲۷٪ و در سایر پروژه‌ها نیز ۹۸.۲۷٪ به‌دست آمد که برابری کامل این دو میانگین نشان می‌دهد. این نتیجه تأیید می‌کند نوع پروژه به‌تنهایی عامل تعیین‌کننده در سطح کارایی ارزشی نیست و ترکیب ورودی و خروجی هر پروژه به‌طور مستقل نقش اصلی را در تعیین جایگاه آن نسبت به مرز کارایی ایفا می‌کند.

شکل ۲

رشد نمره کارایی ارزشی VRS به تفکیک ۳۳ پروژه عمرانی شهر صدر



رتبه‌بندی نهایی پروژه‌ها بر اساس نمره کارایی ارزشی ترکیبی در فناوری بازده به مقیاس متغیر و با معیار ثانویه نمره کارایی در فناوری بازده به مقیاس ثابت انجام شد. این رویکرد امکان تفکیک دقیق‌تر پروژه‌های کارای مشترک در فناوری VRS را با استفاده از عملکرد آنها در فناوری سخت‌گیرانه‌تر CRS فراهم می‌سازد. جدول ۶ رتبه نهایی هر یک از ۳۳ پروژه را ارائه می‌دهد.

جدول ۶

رتبه‌بندی نهایی پروژه‌های عمرانی شهر صدر بر اساس نمره کارایی ارزشی ترکیبی

رتبه	پروژه	نمره VRS	نمره CRS
۱	۳	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰
۲	۵	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰
۳	۱۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰
۴	۱۳	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰
۵	۱۸	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰
۶	۱۹	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰
۷	۲۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰
۸	۲۶	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰
۹	۲۹	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰
۱۰	۱۲	۱.۰۰۰۰	۰.۹۰۰۰
۱۱	۱۶	۱.۰۰۰۰	۰.۸۹۳۷
۱۲	۳۲	۱.۰۰۰۰	۰.۸۶۲۶
۱۳	۳۰	۱.۰۰۰۰	۰.۸۳۳۳
۱۴	۳۱	۱.۰۰۰۰	۰.۸۳۳۳
۱۵	۸	۱.۰۰۰۰	۰.۷۵۰۰
۱۶	۱۷	۱.۰۰۰۰	۰.۷۵۰۰



۱۷	۱۵	۱.۰۰۰۰	۰.۷۲۲۲
۱۸	۲۴	۱.۰۰۰۰	۰.۶۹۹۹
۱۹	۶	۱.۰۰۰۰	۰.۶۶۶۷
۲۰	۹	۱.۰۰۰۰	۰.۶۶۶۷
۲۱	۲۳	۱.۰۰۰۰	۰.۶۶۶۷
۲۲	۲۵	۱.۰۰۰۰	۰.۶۶۶۷
۲۳	۲۷	۱.۰۰۰۰	۰.۶۳۶۴
۲۴	۷	۱.۰۰۰۰	۰.۵۸۳۳
۲۵	۲	۰.۹۸۰۰	۰.۷۴۰۸
۲۶	۴	۰.۹۷۴۹	۰.۷۸۸۵
۲۷	۲۲	۰.۹۷۳۷	۰.۷۱۴۶
۲۸	۱۴	۰.۹۵۰۰	۰.۸۱۶۷
۲۹	۲۱	۰.۹۵۰۰	۰.۶۵۸۳
۳۰	۱	۰.۹۵۰۰	۰.۶۲۶۷
۳۱	۳۳	۰.۹۰۰۰	۰.۷۸۵۶
۳۲	۲۸	۰.۹۰۰۰	۰.۶۵۰۰
۳۳	۱۱	۰.۸۵۰۰	۰.۶۹۷۹

نتایج جدول ۶ نشان داد ۹ پروژه شامل پروژه‌های ۳، ۵، ۱۰، ۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۶ و ۲۹ در هر دو فناوری VRS و CRS کاملاً کارا هستند و بنابراین به عنوان الگوهای عملکردی پایدار جامعه آماری قابل معرفی‌اند. در مقابل پروژه ۱۱ با نمره VRS ۸۵٪ و نمره CRS ۶۹.۷۹٪ در پایین‌ترین رتبه قرار گرفت و نیازمند بازنگری جدی در مدیریت ورودی‌های مالی و زمانی است. مقایسه رتبه پروژه‌های ۱۰ تا ۲۴ که همگی نمره VRS برابر ۱ دارند اما نمرات CRS متفاوتی نشان می‌دهند، اهمیت استفاده هم‌زمان از هر دو فناوری در تحلیل‌های عملی را تأیید می‌کند زیرا اتکای صرف به فناوری VRS می‌تواند تفاوت‌های واقعی در کارایی مقیاسی پروژه‌ها را پنهان نگه دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف طراحی ساختار برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه برای ارزیابی و بهبود کارایی ارزشی در مدیریت پروژه‌های عمرانی انجام شد. نتایج نشان داد که ارزیابی کارایی پروژه‌ها به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر نوع فناوری و فرض بازده نسبت به مقیاس قرار دارد. در فناوری بازده ثابت نسبت به مقیاس (CRS)، تنها ۹ پروژه از مجموع ۳۳ پروژه مورد بررسی کاملاً کارا شناخته شدند و میانگین نمره کارایی ۸۰.۶۴ درصد بود. در مقابل، با استفاده از فناوری بازده متغیر نسبت به مقیاس (VRS)، تعداد پروژه‌های کارا به ۲۴ مورد افزایش یافت و میانگین کارایی به ۹۸.۲۷ درصد رسید. همچنین، در فناوری FDH تعداد پروژه‌های کارا به ۲۶ مورد افزایش یافت و میانگین کارایی ۹۸.۵۶ درصد به دست آمد. این الگو نشان می‌دهد که فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس، ارزیابی سخت‌گیرانه‌تری از عملکرد پروژه‌ها ارائه می‌کند، در حالی که فناوری‌های VRS و FDH با در نظر گرفتن تفاوت مقیاس پروژه‌ها، بخش بیشتری از واحدها را کارا شناسایی می‌کنند. چنین یافته‌ای بیانگر آن است که ارزیابی عملکرد پروژه‌های عمرانی بدون توجه به تفاوت در اندازه، منابع مالی، مدت قرارداد و شرایط اجرایی می‌تواند تصویری ناقص یا حتی گمراه‌کننده از کارایی واقعی آنها ارائه دهد.

پایین‌تر بودن میانگین کارایی در فناوری CRS را می‌توان با ماهیت این فناوری توضیح داد. در این رویکرد فرض می‌شود همه پروژه‌ها صرف‌نظر از اندازه و مقیاس خود تحت شرایط مشابهی فعالیت می‌کنند و افزایش متناسب نهاده‌ها باید به افزایش متناسب ستاده‌ها

منجر شود. با این حال، پروژه‌های عمرانی در عمل از نظر مبلغ قرارداد، مدت اجرا، دامنه عملیات، سطح پیچیدگی و شرایط محیطی با یکدیگر تفاوت‌های زیادی دارند. بنابراین، الزام پروژه‌های کوچک و بزرگ به رقابت بر اساس یک مرز واحد می‌تواند سبب آشکار شدن ناکارایی مقیاسی شود. این یافته با دیدگاه Ika و Pinto همسو است که تأکید دارند مفهوم موفقیت پروژه باید فراتر از شاخص‌های سنتی و یکسان‌نگر زمان، هزینه و کیفیت مورد بازتعریف قرار گیرد و شرایط، ویژگی‌ها و ارزش ایجادشده توسط هر پروژه نیز در ارزیابی عملکرد لحاظ شود (Ika & Pinto, 2022). همچنین، Venkataraman و Pinto تأکید می‌کنند که مدیریت هزینه و ارزش باید بر رابطه میان منابع مصرف‌شده و نتایج ایجادشده متمرکز باشد و ارزیابی صرف هزینه‌ها بدون توجه به میزان ارزش حاصل‌شده نمی‌تواند معیار مناسبی برای قضاوت درباره عملکرد پروژه باشد (Venkataraman & Pinto, 2023).

افزایش قابل توجه تعداد واحدهای کارا در فناوری VRS نیز نشان می‌دهد که بخش مهمی از ناکارایی مشاهده‌شده در مدل CRS احتمالاً به تفاوت در مقیاس فعالیت پروژه‌ها مرتبط بوده است، نه صرفاً ضعف مدیریتی یا اجرایی. در فناوری VRS، پروژه‌ها عمدتاً با واحدهایی مقایسه می‌شوند که در مقیاس مشابه فعالیت دارند، بنابراین امکان تفکیک بهتر ناکارایی مدیریتی از ناکارایی ناشی از مقیاس فراهم می‌شود. این نتیجه از دیدگاه مدیریتی اهمیت زیادی دارد؛ زیرا یک پروژه ممکن است از نظر استفاده از منابع و مدیریت اجرایی عملکرد مناسبی داشته باشد، اما به دلیل مقیاس فعالیت خود در فناوری CRS ناکارا شناخته شود. Kerzner نیز بر ضرورت استفاده از مجموعه‌ای از شاخص‌ها و معیارهای چندبعدی برای ارزیابی عملکرد پروژه تأکید کرده و معتقد است که قضاوت درباره موفقیت یا شکست پروژه تنها بر مبنای یک معیار یا یک چارچوب ثابت نمی‌تواند وضعیت واقعی آن را منعکس کند (Kerzner, 2023). بنابراین، استفاده هم‌زمان از فناوری‌های مختلف کارایی می‌تواند دید جامع‌تری درباره منابع ناکارایی ارائه دهد.

نتایج فناوری FDH نیز نشان داد که با حذف فرض تحدب و مقایسه پروژه‌ها تنها با واحدهای واقعاً مشاهده‌شده، تعداد پروژه‌های کارا به ۲۶ مورد رسید و بالاترین میانگین کارایی در میان سه فناوری حاصل شد. این یافته نشان می‌دهد که بخشی از ناکارایی‌های مشاهده‌شده در فناوری VRS ناشی از مقایسه پروژه‌ها با ترکیبات فرضی محدب از چند پروژه مرجع بوده است؛ ترکیباتی که ممکن است در دنیای واقعی قابلیت تحقق نداشته باشند. این مسئله از نظر تصمیم‌گیری اجرایی اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا مدیران پروژه بیش از آنکه به الگوهای فرضی و ترکیبی نیاز داشته باشند، به پروژه‌های واقعی و قابل مشاهده به عنوان معیار مقایسه نیازمندند. توجه به امکان‌پذیری واقعی راه‌حل‌ها با مباحث مطرح‌شده در برنامه‌ریزی چندهدفه نیز همسو است. Batamiz و Hladik نشان داده‌اند که مفهوم راه‌حل کارا در مسائل برنامه‌ریزی چندهدفه به ساختار مجموعه امکان‌پذیر و ماهیت محدودیت‌ها وابسته است و تغییر در این ساختار می‌تواند مجموعه پاسخ‌های کارا را تغییر دهد (Batamiz & Hladik, 2024). همچنین، Sitarz اهمیت تحلیل حساسیت و بررسی پایداری راه‌حل‌های چندهدفه در برابر تغییر فروض و پارامترهای مدل را مورد تأکید قرار داده است (Sitarz, 2025). بر این اساس، تفاوت نتایج CRS، VRS و FDH را می‌توان شاهدی بر ضرورت بررسی حساسیت ارزیابی کارایی نسبت به فروض فناوری دانست.

یکی دیگر از یافته‌های مهم پژوهش، شناسایی پروژه ۳ به عنوان اصلی‌ترین الگوی عملکردی بود. این پروژه در مجموعه مرجع ۷ پروژه از ۹ پروژه ناکارای فناوری VRS حضور داشت و از نظر ویژگی‌های اجرایی، ترکیبی مطلوب از مدت قرارداد کوتاه، عدم تمدید، پیشرفت فیزیکی ۱۰۰ درصدی و کیفیت ۱۰۰ درصدی را نشان داد. حضور مکرر این پروژه در مجموعه مرجع نشان می‌دهد که مدیریت هم‌زمان زمان، منابع و کیفیت می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در دستیابی به کارایی ارزشی داشته باشد. این یافته با نتایج Foroughi Kordshouli همسو است که بر نقش مدیریت کارآمد پروژه در بهبود کارایی، توسعه و تکمیل به موقع پروژه‌های عمرانی تأکید کرده است (Foroughi Kordshouli, 2023). همچنین، نتایج Nik Akhtar و همکاران نشان داد که ساختارهای مدیریتی مانند دفتر مدیریت پروژه می‌توانند از طریق بهبود

هماهنگی، نظارت و کنترل، کارایی مدیریت پروژه‌های عمرانی را افزایش دهند (Nik Akhtar et al., 2023). بنابراین، عملکرد پروژه ۳ را می‌توان نمونه‌ای از اهمیت یکپارچگی مدیریت زمان، کیفیت و منابع در ایجاد ارزش دانست.

یافته مربوط به پروژه ۳ همچنین با اصول مدیریت ناب در پروژه‌های ساخت‌وساز قابل تبیین است. Abdullahi و Tembo نشان دادند که استفاده از اصول ناب در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه می‌تواند از طریق کاهش اتلاف، حذف فعالیت‌های فاقد ارزش افزوده و استفاده بهینه از منابع، کارایی و اثربخشی پروژه را افزایش دهد (Abdullahi & Tembo, 2023). پروژه‌ای که بدون تمدید قرارداد و با دستیابی کامل به اهداف فیزیکی و کیفی به اتمام می‌رسد، در واقع ویژگی‌هایی مشابه یک فرآیند اجرایی با اتلاف کمتر دارد. از سوی دیگر، Mokhiri نیز نشان داد که مهندسی ارزش می‌تواند به افزایش کارایی مدیریت پروژه‌های عمرانی منجر شود، زیرا تمرکز آن بر حذف هزینه‌های غیرضروری بدون کاهش کارکرد و کیفیت است (Mokhiri, 2023). در نتیجه، برتری پروژه ۳ را می‌توان حاصل تعامل مناسب میان کنترل زمان، حفظ کیفیت و استفاده مؤثر از منابع دانست که از منظر کارایی ارزشی وضعیت مطلوبی ایجاد کرده است.

در مقابل، پروژه ۱۱ با نمره کارایی ۸۵ درصد در فناوری VRS و ۶۹.۷۹ درصد در فناوری CRS پایین‌ترین رتبه نهایی را به خود اختصاص داد. این نتیجه نشان می‌دهد که ناکارایی این پروژه تنها ناشی از مقیاس فعالیت نبوده است؛ زیرا حتی پس از کنترل اثر مقیاس در فناوری VRS نیز فاصله قابل توجهی با مرز کارایی داشته است. چنین وضعیتی می‌تواند نشانگر مصرف نامتناسب منابع مالی یا زمانی نسبت به میزان پیشرفت و کیفیت حاصل‌شده باشد. Zarinzadeh در بررسی علل افزایش هزینه‌های پروژه‌های عمرانی بر نقش توان و کارایی مجریان و پیمانکاران در شکل‌گیری هزینه‌های اضافی تأکید کرده است (Zarinzadeh, 2024). همچنین، Mohammadi نشان داده است که افزایش کارایی پروژه‌های عمرانی نیازمند بازنگری در راهبردهای اجرایی و کنترل دقیق‌تر عوامل مؤثر بر انحراف عملکرد است (Mohammadi, 2024). بر این اساس، پایین بودن کارایی پروژه ۱۱ می‌تواند نشانه‌ای از ضرورت بازنگری در فرآیند برنامه‌ریزی، کنترل هزینه، مدیریت زمان و نحوه تخصیص منابع آن باشد.

از یافته‌های قابل توجه دیگر، کارا شناخته شدن پروژه ۲۹ در هر سه فناوری با وجود پیشرفت فیزیکی نسبتاً پایین آن بود. بر اساس داده‌های پژوهش، این پروژه پیشرفت فیزیکی ۲۶ درصدی داشت، اما به دلیل صفر بودن مطالبات معوق و وضعیت خاص نهادهای مالی خود بر مرز کارایی قرار گرفت. این نتیجه اهمیت ماهیت نسبی تحلیل پوششی داده‌ها را نشان می‌دهد؛ به این معنا که کارایی لزوماً به مفهوم دستیابی به بیشترین خروجی مطلق نیست، بلکه نشان‌دهنده تناسب میان سطح ورودی‌ها و خروجی‌ها در مقایسه با سایر واحدهاست. این مسئله با دیدگاه Venkataraman و Pinto درباره مدیریت ارزش همخوانی دارد؛ زیرا ارزش حاصل از پروژه باید در نسبت با منابعی که برای دستیابی به نتایج مصرف شده‌اند ارزیابی شود (Venkataraman & Pinto, 2023). همچنین، Aliyari و Taherinejad بر اهمیت کارایی سازوکارهای تأمین مالی در پروژه‌های عمرانی تأکید کرده‌اند و نشان داده‌اند که نحوه مدیریت منابع مالی می‌تواند بر فرآیند اجرای پروژه اثرگذار باشد (Aliyari & Taherinejad, 2021). بنابراین، وضعیت پروژه ۲۹ بیانگر آن است که انضباط مالی و کنترل مطالبات می‌تواند حتی در مراحل اولیه‌تر پیشرفت نیز بر جایگاه نسبی پروژه از نظر کارایی اثرگذار باشد.

با این حال، این یافته هم‌زمان نشان می‌دهد که تفسیر نمرات کارایی باید با احتیاط انجام شود. کارا بودن یک پروژه در DEA الزاماً به معنای کامل بودن یا موفقیت مطلق آن از همه جنبه‌ها نیست، بلکه به معنای قرار گرفتن آن بر مرز کارایی نسبت به مجموعه داده‌های مورد بررسی است. همین موضوع ضرورت تلفیق اطلاعات ترجیحی مدیران با ساختار ریاضی را آشکار می‌سازد. مدیران ممکن است پروژه‌ای با پیشرفت پایین را، حتی اگر از نظر ریاضی کارا باشد، به‌عنوان الگوی اجرایی مطلوب تلقی نکنند. Saraswathi و Yuvashri نیز در توسعه مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه در محیط فازی نشان دادند که ترجیحات تصمیم‌گیرنده نقش اساسی در تعیین راه‌حل‌های مطلوب در مسائل

چندهدفه دارد (Yuvashri & Saraswathi, 2024). بنابراین، یکی از مزیت‌های ساختار پژوهش حاضر آن است که امکان ترکیب ارزیابی کمی کارایی با ترجیحات مدیریتی را فراهم کرده و از اتکای صرف به خروجی یک مدل فنی جلوگیری می‌کند. نتایج رتبه‌بندی نهایی نیز نشان داد که ۹ پروژه شامل پروژه‌های ۳، ۵، ۱۰، ۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۶ و ۲۹ در هر دو فناوری VRS و CRS به کارایی کامل دست یافته‌اند. این پروژه‌ها را می‌توان واحدهایی با عملکرد نسبتاً پایدار دانست؛ زیرا حتی در فناوری سخت‌گیرانه CRS نیز بر مرز کارایی قرار گرفته‌اند. این یافته اهمیت استفاده از چند معیار برای رتبه‌بندی پروژه‌ها را نشان می‌دهد؛ زیرا بسیاری از پروژه‌ها در فناوری VRS نمره کامل داشتند، اما نمره آنها در CRS متفاوت بود. این تفاوت‌ها امکان شناسایی بهتر کارایی مقیاسی را فراهم می‌کنند. Ghodrati و همکاران نیز نشان داده‌اند که مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه می‌توانند در بهینه‌سازی زمان‌بندی پروژه با در نظر گرفتن هم‌زمان چند معیار مؤثر باشند (Zhan, 2024). (Ghodrati et al., 2024) و همکاران نیز با استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه و توسعه جبهه پارتو نشان دادند که تصمیم‌گیری پروژه زمانی دقیق‌تر خواهد بود که به جای یک معیار واحد، مجموعه‌ای از اهداف و گزینه‌های کارا به‌طور هم‌زمان ارزیابی شوند (Zhan et al., 2024).

یافته‌های پژوهش حاضر همچنین با روند رو به گسترش استفاده از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه در مدیریت ساخت همسو است. Zhang با توسعه مدل NSGA-II در زمینه ساخت‌وساز سبز نشان داد که پروژه‌های مهندسی با اهداف متعارض روبه‌رو هستند و ایجاد توازن میان این اهداف نیازمند مدل‌های چندهدفه است (Rahman, 2024). (Zhang, 2024) و Han نیز نشان دادند که تلفیق زمان‌بندی خطی با بهینه‌سازی چندهدفه می‌تواند کارایی تصمیم‌گیری در سیستم‌های ساخت خارج از محل را ارتقا دهد (Rahman & Han, 2024). همچنین، Liu با استفاده از الگوریتم بهبودیافته ازدحام ذرات در پروژه‌های بزرگ‌راهی نشان داد که بهینه‌سازی هم‌زمان معیارهای چندگانه می‌تواند مبنای مناسبی برای بهبود تصمیم‌های مدیریت ساخت فراهم سازد (Liu, 2024). این مطالعات در مجموع از رویکرد پژوهش حاضر حمایت می‌کنند که در آن کارایی پروژه به‌عنوان یک مسئله چندبعدی و چندهدفه در نظر گرفته شده است.

همچنین، نتایج پژوهش Corral و همکاران درباره ارزیابی کارایی زمان‌بندی نیروی کار در پروژه‌های ساختمانی نشان داد که بهینه‌سازی چندهدفه می‌تواند در شرایط پیچیده و محدودیت‌های واقعی محیط پروژه نیز مورد استفاده قرار گیرد (Corral et al., 2023). این یافته با منطق پژوهش حاضر همسو است؛ زیرا پروژه‌های عمرانی نیز با مجموعه‌ای از محدودیت‌های هم‌زمان مالی، زمانی و اجرایی مواجه‌اند و ارزیابی عملکرد آنها باید منعکس‌کننده همین پیچیدگی باشد. بر این اساس، استفاده از یک ساختار تلفیقی مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها، تابع فاصله جهت‌دار و برنامه‌ریزی چندهدفه می‌تواند نسبت به روش‌های تک‌شاخصی ظرفیت بیشتری برای بازنمایی واقعی وضعیت پروژه‌ها داشته باشد.

در مجموع، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که کارایی پروژه‌های عمرانی مفهومی چندبعدی و وابسته به مقیاس، نحوه مصرف منابع، میزان دستیابی به اهداف اجرایی و ترجیحات مدیریتی است. اختلاف میان نتایج سه فناوری تأکید می‌کند که هیچ یک از مدل‌های کارایی به‌تنهایی نباید مبنای قضاوت نهایی قرار گیرد. CRS برای شناسایی ناکارایی‌های ناشی از مقیاس و ارائه یک معیار سخت‌گیرانه مفید است، VRS امکان ارزیابی منصفانه‌تر پروژه‌ها با مقیاس‌های متفاوت را فراهم می‌کند و FDH تصویری مبتنی بر پروژه‌های واقعی و مشاهده‌شده ارائه می‌دهد. تلفیق این سه دیدگاه در کنار اطلاعات ترجیحی مدیران می‌تواند نه‌تنها پروژه‌های ناکارا را شناسایی کند، بلکه پروژه‌های مرجع و مسیرهای بالقوه بهبود را نیز مشخص سازد. بنابراین، ساختار پیشنهادی پژوهش از ظرفیت بالایی برای تبدیل ارزیابی کارایی از یک ابزار صرفاً توصیفی به یک سازوکار پشتیبان تصمیم‌مدیریتی برخوردار است.

پژوهش حاضر با چند محدودیت همراه بود. نخست، داده‌های مورد استفاده تنها به ۳۳ پروژه عمرانی شرکت عمران شهر جدید صدرا محدود بود؛ بنابراین، تعمیم نتایج به سایر سازمان‌ها، شهرها و انواع پروژه‌های عمرانی باید با احتیاط صورت گیرد. دوم، مدل بر اساس داده‌های ثبت‌شده مالی، زمانی، پیشرفت فیزیکی و کیفیت پروژه‌ها طراحی شد و برخی متغیرهای بالقوه مهم، از جمله رضایت ذی‌نفعان، ایمنی، عملکرد زیست‌محیطی، پیچیدگی فنی، ریسک‌های پروژه، تجربه پیمانکار، تغییرات قیمت و شرایط اقتصادی وارد مدل نشدند. سوم، تحلیل پوششی داده‌ها ماهیتی نسبی دارد و نتایج آن به مجموعه واحدهای مورد بررسی و انتخاب نهاده‌ها و ستاده‌ها وابسته است؛ بنابراین، ورود یا حذف پروژه‌ها می‌تواند مرز کارایی را تغییر دهد. چهارم، داده‌های پژوهش ماهیت مقطعی داشتند و تغییرات کارایی پروژه‌ها در طول زمان بررسی نشد. همچنین، ترجیحات مدیریتی در چارچوب موجود وارد مدل شدند، اما امکان اختلاف میان ترجیحات مدیران متعدد یا تغییر این ترجیحات در طول چرخه پروژه به‌طور مستقل بررسی نشد.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده مدل حاضر در نمونه‌های بزرگ‌تر و در پروژه‌های عمرانی متعلق به شهرها، سازمان‌ها و صنایع مختلف آزمون شود تا میزان پایداری و قابلیت تعمیم نتایج مشخص گردد. همچنین، می‌توان متغیرهایی نظیر رضایت ذی‌نفعان، ایمنی، پایداری زیست‌محیطی، ریسک، پیچیدگی پروژه، تجربه پیمانکار و نوسانات اقتصادی را به‌عنوان نهاده، ستاده یا متغیر محیطی وارد مدل کرد. استفاده از داده‌های چنددوره‌ای و روش‌های تحلیل کارایی پویا نیز می‌تواند تغییرات عملکرد پروژه‌ها را در طول زمان آشکار سازد. مقایسه مدل پیشنهادی با روش‌هایی مانند تحلیل مرزی تصادفی، مدل‌های شبکه‌ای DEA، DEA پویا، تحلیل کارایی بوت‌استرپ و سایر رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره نیز می‌تواند به ارزیابی استحکام نتایج کمک کند. همچنین، بررسی سناریوهای مختلف ترجیحات مدیریتی و انجام تحلیل حساسیت نسبت به وزن اهداف، جهت تابع فاصله و انتخاب متغیرها می‌تواند درک دقیق‌تری از پایداری رتبه‌بندی پروژه‌ها فراهم آورد. پیشنهاد می‌شود مدیران پروژه‌های عمرانی از ارزیابی هم‌زمان کارایی تحت چند فناوری استفاده کنند و از اتکای صرف به یک نمره واحد خودداری نمایند. پروژه‌هایی که در هر دو فناوری CRS و VRS کارایی کامل دارند می‌توانند به‌عنوان الگوهای پایدار برای الگوبرداری مدیریتی مورد توجه قرار گیرند. برای پروژه‌های ناکارا، لازم است مجموعه‌های مرجع به‌طور مشخص بررسی و تفاوت آنها در متغیرهایی مانند مدت قرارداد، میزان تمدید، مطالبات پیمانکار، پیشرفت فیزیکی و کیفیت استخراج شود. کاهش تمیدیهای غیرضروری، کنترل مطالبات معوق، بازنگری در تخصیص منابع، ارتقای نظام نظارت بر پیشرفت و ایجاد نظام منظم پایش کارایی می‌تواند در اولویت اقدامات اصلاحی قرار گیرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود سازمان‌های عمرانی یک سامانه تصمیم‌یار مبتنی بر مدل حاضر ایجاد کنند تا با ورود مستمر داده‌های پروژه‌ها، نمرات کارایی، رتبه‌بندی، پروژه‌های مرجع و شکاف عملکردی هر پروژه به‌صورت دوره‌ای در اختیار مدیران قرار گیرد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازن اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازن و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

شفافیت داده‌ها

داده‌ها و مآخذ پژوهش حاضر در صورت درخواست از نویسنده مسئول و ضمن رعایت اصول کپی رایت ارسال خواهد شد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

References

- Abdullahi, C. M., & Tembo, M. (2023). Improving the Efficiency and Effectiveness of Construction Project Planning and Scheduling Using Lean Principles. *International Journal of Construction Engineering and Management*, 12(3), 75-80.
- Aliyari, F., & Taherinejad, J. (2021). *Examining the Efficiency of Islamic Treasury Bills in Financing Construction Projects* Second International Conference on Construction Law,
- Batamiz, A., & Hladík, M. (2024). Finding Efficient Solutions in Interval Multi-Objective Linear Programming Models by Uncertainty Theory. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 32(06), 923-954. <https://doi.org/10.1142/S0218488524500235>
- Corral, F., Forcael, E., & Linfati, R. (2023). Workforce Scheduling Efficiency Assessment in Construction Projects through a Multi-Objective Optimization Model in the COVID-19 Context. *Heliyon*, 9(6), e16745. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16745>
- Foroughi Kordshouli, M. (2023). *The Role of Project Management in Urban Rail Construction Projects for Improving Efficiency, Development, and Completion of Lines* Eighth International Conference on Civil Engineering, Architecture and Sustainable Green City,
- Ghodrati, N., Zamanian, E., & Khalilzadeh, M. (2024). *A Multi-Objective Mathematical Programming Model for Project Scheduling Optimization Considering Customer Satisfaction: A Case Study of a Power Plant Overhaul Project* Fourth International Conference on Management, Business, Economics and Accounting,
- Ika, L. A., & Pinto, J. K. (2022). The 'Re-Meaning' of Project Success: Updating and Recalibrating for a Modern Project Management. *International Journal of Project Management*, 40(7), 835-848. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2022.08.001>
- Kerzner, H. (2023). *Project Management Metrics, KPIs, and Dashboards: A Guide to Measuring and Monitoring Project Performance*. John Wiley & Sons.
- Liu, X. (2024). Multi-Objective Optimization of Construction Management of Expressway Engineering Based on Improved Particle Swarm Optimization Algorithm. *Archives of Civil Engineering*, 70(3), 359-372. <https://doi.org/10.24425/ace.2024.150988>
- Mohammadi, R. (2024). *Evaluation of Implementation Strategies for Increasing Efficiency in Municipal Construction Projects* Fourth International Conference on Architecture, Civil Engineering, Earth Sciences and Healthy Environment,
- Mokhiri, M. (2023). *Determining the Effect of Value Engineering on Increasing the Efficiency of Construction Project Management: A Case Study of Mashhad Municipality Construction Projects* First International Conference on Architecture, Civil Engineering, Earth Sciences and Healthy Environment,
- Nik Akhtar, A., Amiri, M., & Ahmadinejad, I. (2023). *Examining and Analyzing the Impact of the Project Management Office (PMO) on Increasing Project Management Efficiency in Construction Projects: A Case Study of Line 3 of the Mashhad Urban Railway* Third International Conference on Architecture, Civil Engineering, Urban Planning, Environment and Horizons of Islamic Art in the Second Step of the Revolution Statement,
- Rahman, M., & Han, S. H. (2024). Linear Scheduling Method-Based Multi-Objective Optimization for Off-Site Construction Manufacturing. *Automation in Construction*, 167, 105712. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105712>
- Sitarz, S. (2025). Applications of Sensitivity Analysis in Multi-Objective Linear Programming Problems. *Multiple Criteria Decision Making*, 19, 123-137. <https://doi.org/10.22367/mcdm.2025.19.06>
- Venkataraman, R. R., & Pinto, J. K. (2023). *Cost and Value Management in Projects*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781394207190>
- Yuvashri, P., & Saraswathi, A. (2024). A Novel Approach for Multi-Objective Linear Programming Model under Spherical Fuzzy Environment and Its Application. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 46(2), 3259-3280. <https://doi.org/10.3233/JIFS-233441>



- Zarinzadeh, M. (2024). Examining the Causes of Cost Increases in Construction Projects with an Emphasis on the Efficiency and Capability of Contractors in Construction Project Tenders. *Sivand*.
- Zhan, Z., Hu, Y., Xia, P., & Ding, J. (2024). Multi-Objective Optimization in Construction Project Management Based on NSGA-III: Pareto Front Development and Decision-Making. *Buildings*, 14(7), 2112. <https://doi.org/10.3390/buildings14072112>
- Zhang, F. (2024). Constructing a Multi-Objective Optimization Model for Engineering Projects Based on NSGA-II Algorithm under the Background of Green Construction. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 7(1), 37-53. <https://doi.org/10.31181/dmame712024895>