

Evaluation and Prioritization of Sustainable Development Indicators in the Design Phase of Educational–Cultural Complexes Using an Integrated AHP–Value Engineering Framework

Babak Khorshidi^{1*}, Sara Bakhtiari²

1. PhD in Architecture, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2. Master's Degree Student in Psychology, Department of Psychology, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

ABSTRACT

Received: 19 Jul 2025

Accepted: 07 Jan 2026

First Available: 20 Jul 2026

Final Publication: 23 Sep 2026

Keywords

Analytic Hierarchy Process (AHP), Value Engineering, Sustainable Development, Project Design, Educational–Cultural Complexes.

This study aims to identify and prioritize key sustainable development indicators in the design phase of educational–cultural complexes using an integrated Analytic Hierarchy Process (AHP) and Value Engineering framework. This applied quantitative study employed a descriptive–analytical approach. The statistical population consisted of 50 experts in architecture, civil engineering, and project management in Tehran and Alborz provinces. Data were collected through pairwise comparison questionnaires based on Saaty's nine-point scale. Instrument validity was confirmed by expert review and reliability was ensured through acceptable inconsistency ratios. Five core indicators were extracted, including energy optimization, cost management, return on investment, environmental efficiency planning, and biophilic compatibility. Eight educational–cultural projects were analyzed as decision alternatives. The AHP results revealed that “return on investment” and “construction cost reduction” received the highest weights (0.375 and 0.299 respectively). Among the evaluated projects, Shamin Alborz ranked highest in energy efficiency, Arasbaran in cost reduction, and Golestan in return on investment, while all pairwise comparisons satisfied acceptable inconsistency thresholds. The findings indicate that under current economic conditions, economic sustainability functions as the primary driver for achieving environmental sustainability, and the integrated AHP–Value Engineering model substantially improves decision quality and long-term performance of educational–cultural projects.

How to cite:

Khorshidi, B. & Bakhtiari, S. (2026). Evaluation and Prioritization of Sustainable Development Indicators in the Design Phase of Educational–Cultural Complexes Using an Integrated AHP–Value Engineering Framework. *Study and Innovation in Education and Development*, 6(4), 1-18.

* Corresponding Author:

Babak Khorshidi

E-mail: Khorshidiibabak@gmail.com



© 2026 the authors. Published by Institute for Knowledge, Development, and Research.

This is an open access article under the terms of the [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) License.

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

The construction industry plays a fundamental role in national economic development while simultaneously exerting substantial pressure on natural resources and environmental systems. In recent decades, the concept of sustainable development has emerged as a dominant paradigm in urban planning and construction management, emphasizing the integration of economic viability, environmental protection, and social well-being within development processes (1-3). Educational and cultural complexes occupy a particularly strategic position within this framework, as they influence human capital formation, social cohesion, and long-term urban quality. However, many of these facilities continue to be designed using conventional approaches that overlook sustainability considerations, leading to high operational costs, excessive energy consumption, and diminished environmental performance (6, 7).

The design phase represents the most critical stage of a project's life cycle, as decisions made at this stage determine the majority of long-term costs and environmental impacts (8-10). Previous studies demonstrate that investments in sustainable design yield significant reductions in operating costs and enhance economic returns over the building's lifespan (8, 9). Energy efficiency strategies, including optimized building envelopes and passive design systems, have been shown to substantially reduce energy consumption and improve financial performance (4, 11, 12).

Value Engineering (VE) offers a systematic approach for optimizing project performance by maximizing functional value while minimizing unnecessary costs (10, 14, 15). Empirical evidence indicates that integrating VE into the design phase enhances both economic efficiency and sustainability outcomes (13, 16). Meanwhile, multi-criteria decision-making tools such as the Analytic Hierarchy Process (AHP) provide structured mechanisms for prioritizing complex and often conflicting design criteria (17, 18). Recent advancements in artificial intelligence and dynamic modeling further strengthen decision-making frameworks for sustainable construction (5, 19).

Despite the growing body of knowledge, a persistent gap remains between sustainability theory and real-world project implementation, particularly in developing urban contexts (1, 2). This study addresses this gap by proposing an integrated AHP–Value Engineering framework for prioritizing sustainable development indicators in the design phase of educational–cultural complexes.

METHODS AND MATERIALS

The study adopted an applied, descriptive–analytical quantitative research design. The statistical population consisted of professional architects, civil engineers, and project managers actively involved in educational and cultural construction projects in Tehran and Alborz provinces. Using purposive and snowball sampling, 50 qualified experts were selected. Data were collected through structured pairwise-comparison questionnaires based on Saaty’s nine-point scale.

The research process comprised three stages: identification of sustainability indicators through systematic literature review; localization and refinement of indicators using expert consultation; and prioritization using the AHP technique. Five primary indicators were finalized: energy optimization, construction cost management, return on investment (ROI), environmental efficiency planning, and biophilic compatibility. Eight major educational–cultural projects served as decision alternatives.

Data were processed using Expert Choice software. Consistency ratios were calculated to validate expert judgments, ensuring values remained below the acceptable threshold of 0.1. Descriptive statistics were analyzed using SPSS.

FINDINGS

The AHP results revealed that economic indicators dominate decision-making priorities. Return on Investment achieved the highest weight (0.375), followed by construction cost reduction (0.299). Energy optimization ranked third, confirming its importance in long-term operational efficiency. Environmental efficiency planning and biophilic compatibility received comparatively lower weights.

Among the evaluated projects, “Golestan” achieved the highest score for ROI, “Arasbaran” ranked first for construction cost efficiency, and “Shamin Alborz” demonstrated the strongest performance in energy optimization. All project comparisons exhibited acceptable consistency ratios, confirming the reliability of the analytical results.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The findings demonstrate that economic sustainability acts as the primary driver of sustainable decision-making in educational–cultural projects. Stakeholders prioritize financial feasibility before committing to environmental or social investments, reflecting the prevailing economic conditions of the construction sector. However, the results also confirm that economic sustainability and environmental responsibility are not conflicting objectives; when properly integrated through Value Engineering and structured decision-making, they reinforce one another.

The combined AHP–VE framework proved highly effective in managing complex design trade-offs, offering decision-makers a transparent and scientifically grounded method for prioritizing sustainability indicators. Projects that systematically applied this framework achieved superior performance in both economic efficiency and environmental quality.

This study concludes that sustainable development in educational–cultural construction is achievable only when economic logic, environmental stewardship, and strategic planning converge within the design phase. Institutionalizing such integrated decision frameworks can significantly enhance project success, urban resilience, and long-term societal well-being.

ارزیابی و رتبه‌بندی مؤلفه‌های توسعه پایدار در فاز طراحی مجتمع‌های آموزشی-فرهنگی با تلفیق AHP و مهندسی ارزش

بابک خورشیدی^{۱*}، سارا بختیاری^۲

۱. دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد روانشناسی، گروه روانشناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

چکیده

هدف این پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی مؤلفه‌های کلیدی توسعه پایدار در فاز طراحی مجتمع‌های آموزشی-فرهنگی با استفاده از یک چارچوب تلفیقی متشکل از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و مهندسی ارزش است. این تحقیق از نوع کاربردی و توصیفی-تحلیلی با رویکرد کمی است که جامعه آماری آن شامل ۵۰ نفر از متخصصان معماری، مهندسی عمران و مدیریت پروژه در استان‌های تهران و البرز می‌باشد. داده‌ها از طریق پرسشنامه مقایسات زوجی بر اساس مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی گردآوری شد. روایی ابزار توسط پنل خبرگان تأیید و پایایی آن از طریق کنترل نرخ ناسازگاری در نرم‌افزار Expert Choice تضمین گردید. پنج شاخص اصلی شامل بهینه‌سازی مصرف انرژی، مدیریت هزینه‌ها، نرخ بازگشت سرمایه، برنامه‌کارایی زیست‌محیطی و سازگاری بیوفیلیک استخراج و هشت پروژه آموزشی-فرهنگی به عنوان گزینه‌های تصمیم‌گیری تحلیل شدند. نتایج تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد که شاخص‌های «نرخ بازگشت سرمایه» و «کاهش هزینه‌های ساخت» با اوزان ۰/۳۷۵ و ۰/۲۹۹ بالاترین اولویت را در تصمیم‌گیری دارند. در ارزیابی پروژه‌ها، پروژه شمیم البرز از منظر صرفه‌جویی انرژی، پروژه ارسباران از نظر کاهش هزینه‌ها و پروژه گلستان از حیث نرخ بازگشت سرمایه بیشترین امتیاز را کسب کردند و تمامی مقایسات دارای نرخ ناسازگاری قابل قبول بودند. یافته‌ها بیانگر آن است که در شرایط اقتصادی کنونی کشور، پایداری اقتصادی نقش بنیادین در تحقق پایداری زیست‌محیطی ایفا می‌کند و تلفیق AHP با مهندسی ارزش می‌تواند ابزاری مؤثر برای بهبود کیفیت تصمیم‌گیری و تضمین موفقیت بلندمدت پروژه‌های آموزشی-فرهنگی باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۷

تاریخ چاپ اولیه: ۱۴۰۵/۰۴/۲۹

تاریخ چاپ نهایی: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها

تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، مهندسی ارزش، توسعه پایدار، طراحی پروژه‌های عمرانی، مجتمع‌های آموزشی-فرهنگی.

شیوه ارجاع‌دهی:

خورشیدی، بابک، و بختیاری، سارا. (۱۴۰۵). ارزیابی و رتبه‌بندی مؤلفه‌های توسعه پایدار در فاز طراحی مجتمع‌های آموزشی-فرهنگی با تلفیق AHP و مهندسی ارزش. پژوهش و نوآوری در تربیت و توسعه، ع(۴)، ۱-۱۸.

نویسنده مسئول:

بابک خورشیدی

پست الکترونیکی: Khorshidiibabak@gmail.com

© ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است.



انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی CC BY-NC 4.0 صورت گرفته است.

صنعت ساخت‌وساز در دهه‌های اخیر به عنوان یکی از پیشران‌های اصلی توسعه اقتصادی کشورها و در عین حال یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان منابع طبیعی و تولیدکنندگان آلاینده‌های زیست‌محیطی شناخته شده است. شتاب فزاینده شهرنشینی، رشد جمعیت شهری و افزایش نیاز به زیرساخت‌های آموزشی، فرهنگی و خدماتی، ضرورت بازاندیشی در الگوهای سنتی توسعه شهری را بیش از پیش نمایان ساخته است. در این میان، مفهوم توسعه پایدار به عنوان پارادایم مسلط برنامه‌ریزی شهری و عمرانی مطرح شده است که هدف آن ایجاد تعادل میان رشد اقتصادی، حفاظت محیط‌زیست و ارتقای کیفیت زندگی اجتماعی است (3-1). پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که تحقق اهداف توسعه پایدار بدون اصلاح اساسی در رویکرد طراحی و مدیریت پروژه‌های عمرانی امکان‌پذیر نخواهد بود (4, 5).

در این میان، مجتمع‌های آموزشی و فرهنگی به دلیل نقش راهبردی در شکل‌دهی سرمایه انسانی و هویت اجتماعی شهرها جایگاه ویژه‌ای در سیاست‌های توسعه شهری دارند. این بناها علاوه بر کارکرد آموزشی، در بازتولید فرهنگ، انسجام اجتماعی و ارتقای سلامت روان شهروندان نقشی تعیین‌کننده ایفا می‌کنند. با این حال، بخش قابل توجهی از این پروژه‌ها در ایران همچنان با الگوهای طراحی سنتی و بدون ملاحظات نظام‌مند پایداری احداث می‌شوند که پیامد آن افزایش مصرف انرژی، تولید پسماند ساختمانی، افت کیفیت محیطی و افزایش هزینه‌های بهره‌برداری است (6, 7). بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیش از ۷۰ درصد هزینه‌های چرخه عمر یک ساختمان در مرحله بهره‌برداری شکل می‌گیرد و این هزینه‌ها به طور مستقیم تحت تأثیر تصمیم‌های اتخاذشده در فاز طراحی هستند (8-10).

فاز طراحی، به عنوان حساس‌ترین مرحله چرخه عمر پروژه‌های عمرانی، نقطه‌ای است که بیشترین ظرفیت برای ایجاد ارزش افزوده پایدار در آن نهفته است. در این مرحله، انتخاب فرم، مصالح، سیستم‌های تأسیساتی، سازماندهی فضا و نحوه تعامل بنا با اقلیم و محیط پیرامون، سرنوشت عملکرد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی پروژه را برای دهه‌ها رقم می‌زند (4, 11, 12). با این وجود، شواهد تجربی در ایران حاکی از آن است که در بسیاری از پروژه‌های آموزشی و فرهنگی، تصمیم‌گیری‌ها در فاز طراحی بیشتر تحت تأثیر محدودیت‌های مالی کوتاه‌مدت و فشارهای اجرایی قرار دارد و کمتر بر تحلیل جامع هزینه چرخه عمر و پایداری بلندمدت مبتنی است (6, 13).

یکی از چالش‌های بنیادین در تحقق معماری پایدار، تضاد ظاهری میان هزینه‌های اولیه ساخت و منافع بلندمدت اقتصادی و زیست‌محیطی است. کارفرمایان و سرمایه‌گذاران معمولاً بر حداقل‌سازی هزینه‌های اولیه تمرکز دارند، در حالی که مطالعات متعدد نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری بیشتر در فاز طراحی پایدار منجر به کاهش چشمگیر هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری و مصرف انرژی در

طول عمر ساختمان می‌شود (8-10). به بیان دیگر، مفهوم پایداری تنها زمانی در نظام تصمیم‌گیری پروژه‌ها نهادینه می‌شود که بتواند منطق اقتصادی قابل دفاعی برای ذی‌نفعان ارائه کند.

در این چارچوب، مهندسی ارزش به عنوان یک رویکرد نظام‌مند و تحلیلی، نقش کلیدی در همگرایی میان اهداف اقتصادی و الزامات پایداری ایفا می‌کند. مهندسی ارزش با تمرکز بر نسبت کارکرد به هزینه چرخه عمر، تلاش می‌کند ضمن حفظ یا ارتقای کیفیت عملکرد، هزینه‌های غیرضروری را حذف و منابع را بهینه تخصیص دهد (10، 14، 15). پژوهش‌های انجام‌شده در پروژه‌های عمرانی ایران نشان داده‌اند که اجرای مهندسی ارزش در فاز طراحی می‌تواند به طور متوسط بین ۱۰ تا ۲۰ درصد از هزینه‌های کل پروژه بکاهد و در عین حال سطح پایداری محیطی را به شکل معناداری افزایش دهد (13، 16).

در کنار مهندسی ارزش، استفاده از ابزارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره برای مدیریت پیچیدگی تصمیم‌ها در پروژه‌های عمرانی ضروری است. طراحی مجتمع‌های آموزشی و فرهنگی مستلزم موازنه همزمان معیارهای متعددی نظیر بهره‌وری انرژی، بازگشت سرمایه، حفاظت محیط‌زیست، آسایش کاربران و سازگاری با بافت شهری است که غالباً در تعارض با یکدیگر قرار دارند. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به عنوان یکی از معتبرترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، امکان ساختاردهی این پیچیدگی و استخراج وزن نسبی معیارها بر اساس قضاوت خبرگان را فراهم می‌سازد (17، 18). مطالعات نشان می‌دهد که تلفیق AHP با رویکرد مهندسی ارزش، دقت تصمیم‌گیری در پروژه‌های پایدار را به شکل قابل توجهی افزایش می‌دهد (16، 18).

در سال‌های اخیر، ورود فناوری‌های نوین از جمله هوش مصنوعی به حوزه ساخت‌وساز، افق‌های تازه‌ای برای بهبود تصمیم‌گیری پایدار گشوده است. تحلیل کلان‌داده‌ها، شبیه‌سازی سناریوهای اقتصادی و زیست‌محیطی و پیش‌بینی عملکرد پروژه‌ها از طریق مدل‌های هوشمند، امکان ارزیابی دقیق‌تر پیامدهای تصمیم‌های طراحی را فراهم ساخته است (5، 19). این تحولات نشان می‌دهد که رویکردهای تلفیقی سنتی مانند AHP و مهندسی ارزش، در صورت همگرایی با ابزارهای هوشمند، می‌توانند به چارچوبی توانمند برای هدایت پروژه‌های عمرانی به سوی پایداری واقعی تبدیل شوند.

از منظر محیط‌زیستی، کاهش مصرف انرژی و مدیریت پسماند ساختمانی از مهم‌ترین اولویت‌های طراحی پایدار محسوب می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که ساختمان‌های عمومی در ایران سهم قابل توجهی از مصرف کل انرژی شهری را به خود اختصاص می‌دهند و بخش عمده‌ای از این مصرف ناشی از ضعف طراحی پوسته ساختمان و انتخاب نادرست سیستم‌های تأسیساتی است (11، 12). همچنین، مدیریت ناکارآمد پسماند ساختمانی در پروژه‌های بزرگ، فشار مضاعفی بر اکوسیستم شهری وارد می‌کند (7، 20).

در بعد اقتصادی، تحلیل هزینه چرخه عمر و نرخ بازگشت سرمایه به عنوان شاخص‌های کلیدی موفقیت پروژه‌های پایدار مطرح‌اند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که پروژه‌هایی که از همان فاز طراحی بر تحلیل چرخه عمر مبتنی بوده‌اند، نه تنها از نظر زیست‌محیطی عملکرد بهتری دارند بلکه در بازار نیز جذابیت اقتصادی بیشتری کسب می‌کنند (8، 9). این یافته‌ها بیانگر آن است که پایداری و سودآوری نه تنها متضاد نیستند، بلکه در چارچوب مدیریت علمی پروژه می‌توانند تقویت‌کننده یکدیگر باشند.

با وجود پیشرفت‌های نظری، در عمل هنوز شکاف معناداری میان دانش دانشگاهی و اجرای پروژه‌های عمرانی در ایران وجود دارد. بسیاری از پروژه‌های آموزشی و فرهنگی فاقد نظام جامع اولویت‌بندی شاخص‌های پایداری هستند و تصمیم‌ها بیشتر بر اساس تجربه فردی یا فشارهای زمانی اتخاذ می‌شود (2, 13). این خلأ پژوهشی ضرورت توسعه مدل‌های تصمیم‌گیری بومی و مبتنی بر داده‌های واقعی پروژه‌های کشور را برجسته می‌سازد.

در چنین بستری، پژوهش حاضر با تمرکز بر تلفیق مهندسی ارزش و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، در پی ارائه چارچوبی علمی برای ارزیابی و اولویت‌بندی شاخص‌های توسعه پایدار در فاز طراحی مجتمع‌های آموزشی و فرهنگی است؛ چارچوبی که بتواند همزمان منافع اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی پروژه‌ها را تضمین نماید و تصمیم‌گیران را در مسیر دستیابی به توسعه شهری پایدار یاری رساند (10, 16-18). هدف نهایی این پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های کلیدی توسعه پایدار در فاز طراحی مجتمع‌های آموزشی-فرهنگی با بهره‌گیری از چارچوب تلفیقی مهندسی ارزش و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به منظور ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری و افزایش پایداری اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی پروژه‌های عمرانی است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، در زمره پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد؛ زیرا به دنبال حل یک چالش واقعی در حوزه صنعت ساختمان (بهینه‌سازی طراحی مجتمع‌های آموزشی) است. از نظر ماهیت و روش، این تحقیق یک پژوهش توصیفی-تحلیلی با رویکرد کمی است. پارادایم حاکم بر این مطالعه، «اثبات‌گرایی» است که در آن تلاش می‌شود با استفاده از ابزارهای ریاضی و منطقی، روابط میان متغیرهای توسعه پایدار، مهندسی ارزش و موفقیت پروژه تبیین گردد. استراتژی انتخابی برای این تحقیق، استفاده از مدل‌سازی تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) و به طور مشخص روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) است که با نگاهی سیستمی، اولویت‌بندی شاخص‌های فاز طراحی را میسر می‌سازد.

فرآیند اجرای این تحقیق در سه مرحله اصلی تدوین شده است. در مرحله نخست، با استفاده از روش مطالعه کتابخانه‌ای و مرور سیستماتیک ادبیا، مخزن بزرگی از شاخص‌های اثرگذار در طراحی پایدار استخراج گردید. سپس برای بومی‌سازی این شاخص‌ها با شرایط اقلیمی و اقتصادی استان‌های تهران و البرز، از تکنیک دلفی استفاده شد. در این مرحله، پرسشنامه‌ای باز در اختیار ۱۰ نفر از خبرگان (دارای مدرک دکتری معماری یا مدیریت ساخت با سابقه بیش از ۱۵ سال) قرار گرفت. خروجی این مرحله، نهایی شدن ۵ شاخص محوری بود: ۱. بهینه‌سازی مصرف انرژی، ۲. مدیریت هزینه‌های اولیه، ۳. نرخ بازگشت سرمایه، ۴. برنامه‌ریزی صیانت از محیط‌زیست و ۵. سازگاری بیوفیلیک.

جامعه آماری این پژوهش شامل دو گروه اصلی است: ۱. مهندسان مشاور و طراحان ارشد فعال در شرکت‌های رتبه ۱ و ۲ معماری در تهران و کرج. ۲. مدیران پروژه و پیمانکاران رتبه ۱ ابنیه که سابقه اجرای پروژه‌های آموزشی و تفریحی ملی را در کارنامه

دارند. با توجه به تخصصی بودن موضوع، از روش نمونه‌گیری هدفمند و سپس گلوله برفی استفاده شد. تعداد نمونه آماری بر اساس فرمول کوکران برای جوامع محدود، ۵۰ نفر برآورد گردید که پرسشنامه‌های مقایسات زوجی در میان آن‌ها توزیع شد. حجم نمونه در روش AHP بر خلاف روش‌های پیمایشی کلاسیک، بر کیفیت و تخصص پاسخ‌دهندگان استوار است تا کمیت آن‌ها.

ابزار اصلی این تحقیق، پرسشنامه تخصصی مقایسات زوجی AHP است. این پرسشنامه بر اساس مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی تنظیم شده است که در آن عدد ۱ نشان‌دهنده اهمیت یکسان و عدد ۹ نشان‌دهنده اهمیت مطلق یک شاخص نسبت به شاخص دیگر است. برای سنجش روایی محتوایی، پرسشنامه توسط ۳ نفر از اساتید گروه معماری دانشگاه کردستان و ۲ نفر از خبرگان صنعت ساختمان تهران بازبینی و اصلاح گردید. در روش AHP، پایایی از طریق نرخ ناسازگاری سنجیده می‌شود. در این پژوهش، پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، داده‌ها وارد نرم‌افزار گردید و نرخ ناسازگاری برای تمامی مقایسات زوجی زیر ۰.۱ محاسبه شد که تاییدکننده ثبات و قابلیت اعتماد قضاوت‌های خبرگان است.

محدوده مکانی این پژوهش، استان‌های تهران و البرز (کرج) انتخاب شده است. دلیل این انتخاب، تمرکز بیشترین حجم سرمایه‌گذاری عمرانی و وجود تنوع اقلیمی و کالبدی در این دو استان است. برای ارزیابی عملی شاخص‌ها، ۸ پروژه شاخص (۶ پروژه در تهران و ۲ پروژه در البرز) که در فاز طراحی یا اواخر فاز ساخت بودند، به عنوان گزینه‌های تصمیم‌گیری انتخاب شدند. این پروژه‌ها شامل مجتمع‌های آموزشی نوین، مراکز فرهنگی چندمنظوره و باغ‌کتاب‌های استانی هستند که ویژگی‌های بارز معماری پایدار در آن‌ها مدنظر بوده است.

تحلیل داده‌ها در دو سطح انجام پذیرفته است:

۱. تحلیل آمار توصیفی: با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶، ویژگی‌های دموگرافیک خبرگان (تحصیلات، سابقه، تخصص) مورد واکاوی قرار گرفت.

۲- تحلیل سلسله‌مراتبی: در پروژه‌های عمرانی پیچیده مانند مجتمع‌های آموزشی و فرهنگی، طراحان و مدیران با معیارهای متعددی روبرو هستند که غالباً با یکدیگر در تضادند؛ برای مثال، افزایش کیفیت پایدار معمولاً منجر به افزایش هزینه‌های اولیه می‌شود. برای حل این چالش، بهره‌گیری از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبیکه توسط توماس ساعتی در دهه ۱۹۸۰ ابداع شد، یکی از قدرتمندترین و منعطف‌ترین این فنون است. AHP به تصمیم‌گیرنده اجازه می‌دهد تا یک مسئله پیچیده را به صورت سلسله‌مراتبی (هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها) ساختاردهی کرده و با استفاده از مقایسات زوجی، اوزان نسبی هر عامل را تعیین کند.

اساس روش AHP بر تجزیه مسئله به سطوح مختلف استوار است. در این پژوهش، سطح اول «انتخاب بهینه‌ترین طرح در فاز طراحی»، سطح دوم «شاخص‌های ۵ گانه پایداری و مهندسی ارزش» و سطح سوم «۸ پروژه مورد مطالعه در استان‌های تهران و البرز» را در بر می‌گیرد. پس از تشکیل سلسله‌مراتب، از مقایسات زوجی با استفاده از طیف ۹ ساعتی (از ۱ برای اهمیت یکسان تا ۹

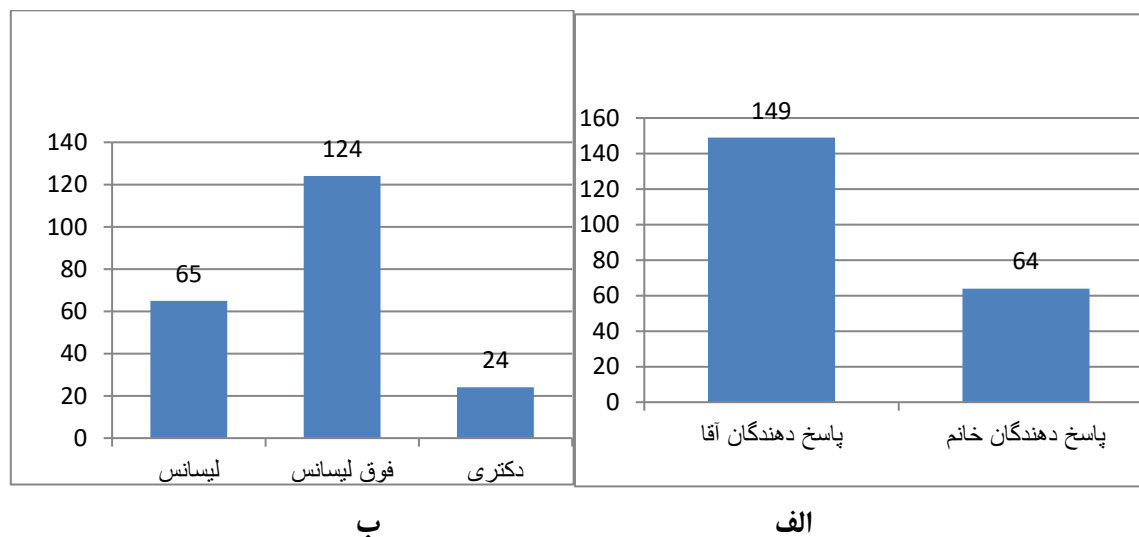
برای اهمیت بسیار زیاد) استفاده می‌شود. این روش به دلیل وارد کردن قضاوت‌های کیفی خبرگان در قالب اعداد کمی، در پروژه‌های معماری که دارای ابعاد زیبایی‌شناختی و فرهنگی هستند، بسیار کارآمد است.

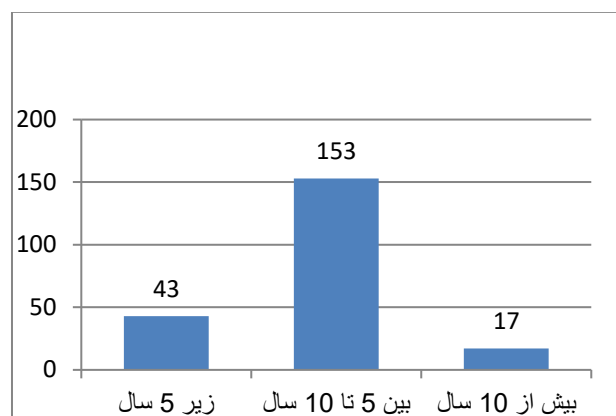
یکی از مزیت‌های اصلی AHP نسبت به سایر روش‌ها، قابلیت محاسبه نرخ ناسازگاری است. این شاخص نشان می‌دهد که آیا قضاوت‌های خبرگان و پاسخ‌دهندگان به پرسشنامه‌ها با یکدیگر منطبق هستند یا خیر. بر اساس استانداردها، اگر نرخ ناسازگاری (IR) کمتر از ۰.۱ باشد، تصمیمات اتخاذ شده دارای اعتبار علمی و منطقی هستند. در این پژوهش، تمامی داده‌های استخراج شده از پرسشنامه‌های متخصصان در استان‌های تهران و البرز وارد نرم‌افزار شده و نرخ ناسازگاری آن‌ها جهت تضمین صحت نتایج کنترل گردیده است.

نرم‌افزار Expert Choice به عنوان ابزار اصلی تحلیل در این تحقیق، امکان مدل‌سازی دقیق ریاضی را فراهم می‌آورد. این نرم‌افزار با استفاده از روش «بردار ویژه» (Eigenvector)، وزن نهایی هر یک از شاخص‌ها را محاسبه کرده و در نهایت، رتبه‌بندی پروژه‌های ۸ گانه را بر اساس تلفیق معیارهای توسعه پایدار و مهندسی ارزش ارائه می‌دهد. به عقیده Cebi (۲۰۲۰)، استفاده از این نرم‌افزار در فاز طراحی ساختمان‌های عمومی، ریسک خطای انسانی در تخصیص بودجه را تا ۶۰ درصد کاهش می‌دهد.

یافته‌ها

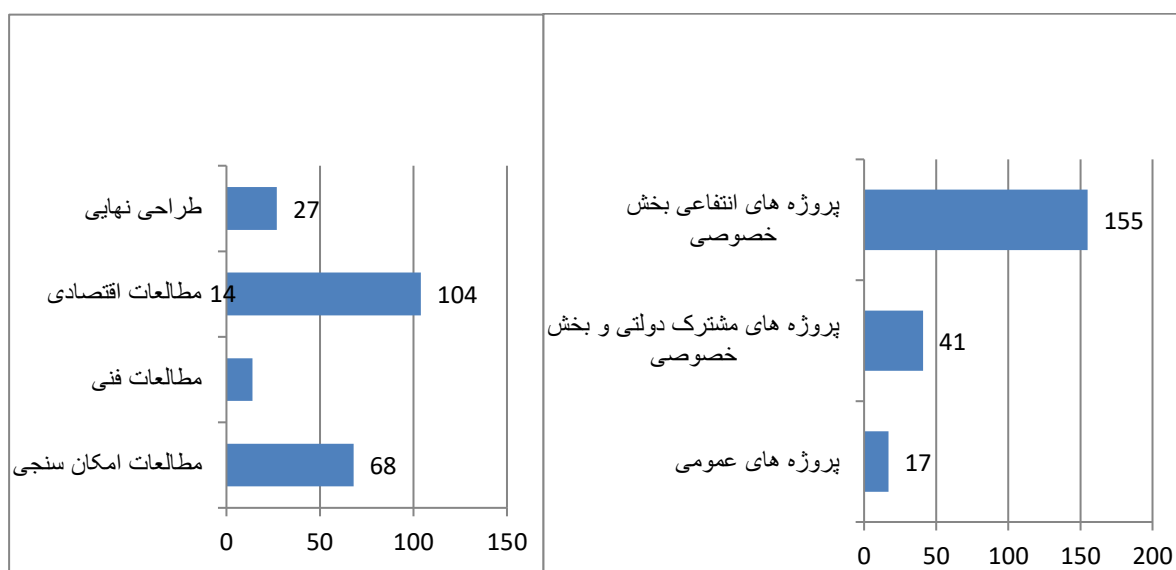
در این پژوهش ابتدا با استفاده از آمار توصیفی، شناختی از وضعیت و ویژگی‌های جمعیت شناختی پاسخ‌دهندگان حاصل می‌شود و در ادامه در آمار استنباطی این تحقیق به بررسی روابط علی بین متغیرهای تحقیق پرداخته می‌شود.





ج

شکل ۱. الف: سطح تحصیلات پاسخ‌دهندگان ب: ترکیب جنسیتی پاسخ‌دهندگان ج: سابقه کاری پاسخ‌دهندگان



ب

الف

شکل ۲. الف: کارایی مهندسی ارزش در پروژه‌های مختلف ب-اهمیت مطالعات مهندسی ارزش در بخش‌های مختلف

فاز طراحی پروژه

در ادامه نتایج این مدل بر اساس خروجی‌های نرم‌افزار EXPERT CHOICE بیان شده است. مقایسات زوجی از محاسبه میانگین نظرات مدیرعامل، مدیران فنی و کارشناسان با سابقه بیش از ۱۰ سال در شرکت ساختمانی معلم استخراج شده است. در معیارهای ارزیابی طرح‌ها به صورت زیر می‌باشد:

صرفه‌جویی در انرژی با توجه به کارایی پلان (c1)

هزینه‌های کمتر (c2)

نرخ بازگشت سرمایه بیشتر (c3)

وجود برنامه کارایی مدون جهت حفظ محیط زیست (c4)

برآورده شدن خواسته‌های کارفرما (c5)

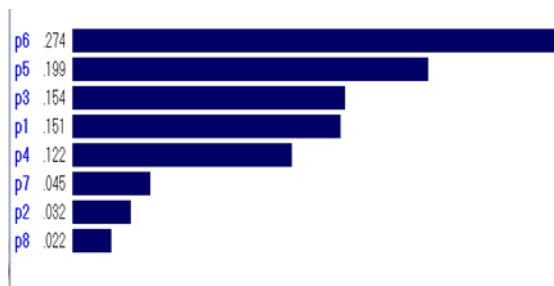
ماتریس مقایسه زوجی برای معیارها به صورت جدول ۱ می‌باشد:

جدول ۱. ماتریس مقایسه زوجی برای معیارها

	c۱	c۲	c۳	c۴	c۵
c۱	۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$
c۲	۳	۱	۱	۵	۲
c۳	۷	۱	۱	۵	۳
c۴	۳	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	۱	$\frac{1}{5}$
c۵	۴	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	۵	۱

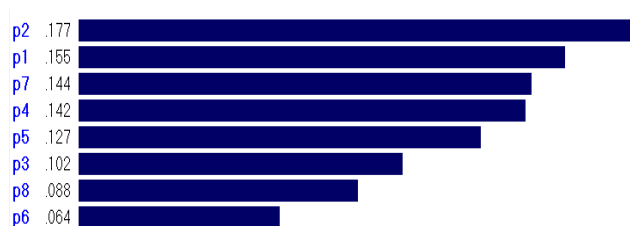
همان‌طور که از این تعیین وزن‌ها نشان داده شده است دو معیار نرخ بازگشت سرمایه و هزینه‌های کمتر معیارهای مهم‌تری نسبت به سایر معیارها می‌باشند و به ترتیب با وزن نسبی برابر با ۰/۳۷۵ و ۰/۲۹۹ دارای بیشترین اهمیت از نظر تصمیم گیرندگان بوده اند. حال به ازای هر کدام از معیارها برای هر ۸ پروژه مورد ارزیابی یک ماتریس مقایسه زوجی صورت می‌گیرد که در نتیجه ۵ ماتریس مقایسه زوجی داریم. مشخصات پروژه مورد بررسی عبارتند:

- ابن سینا (p1)
- ارسباران (p2)
- هنگام (p3)
- سرو (p4)
- گلستان (p5)
- شمیم البرز (p6)
- آوای هتزر (p7)
- مصباح (p8)



شکل ۳. وزن نسبی گزینه‌ها نسبت به معیار کارایی پلان

همانگونه که در شکل فوق مشاهده می‌شود، پروژه p6 با امتیاز ۰/۲۷۴ به عنوان مناسب‌ترین گزینه از لحاظ صرفه‌جویی در انرژی از دید متخصصان شناخته شد.



شکل ۴. وزن نسبی گزینه‌هانسبت به معیار هزینه‌های کمتر

همانگونه که در شکل فوق مشاهده می‌شود، p2 ۰/۱۷۷ به عنوان مناسب‌ترین گزینه از لحاظ هزینه از دید متخصصان شناخته شد.



شکل ۵. وزن نسبی گزینه‌هانسبت به معیار نرخ بازگشت سرمایه بیشتر

همانگونه که در شکل فوق مشاهده می‌شود پروژه p5 با امتیاز ۰/۱۶۳ به عنوان مناسب‌ترین گزینه از لحاظ نرخ بازگشت سرمایه بیشتر از دید متخصصان شناخته شد.



شکل ۶. وزن نسبی گزینه‌هانسبت به معیار وجود برنامه کارایی مدون

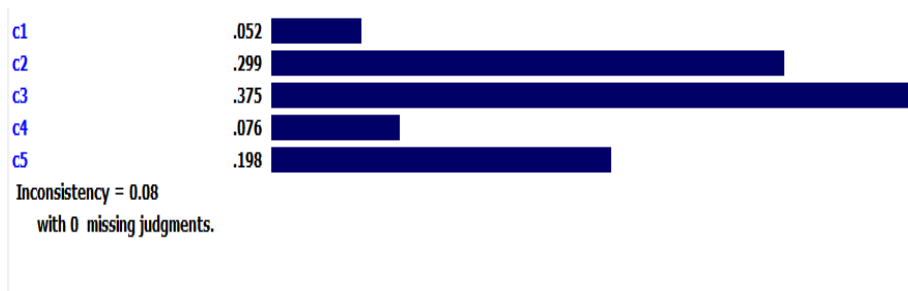
همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، پروژه p1 با امتیاز ۰/۲۰۳ به عنوان مناسب‌ترین گزینه از لحاظ وجود برنامه کارایی مدون حفظ محیط زیست از دید متخصصان شناخته شد.



شکل ۷. وزن نسبی گزینه‌هانسبت به معیار برآورده شدن خواسته‌های کارفرما

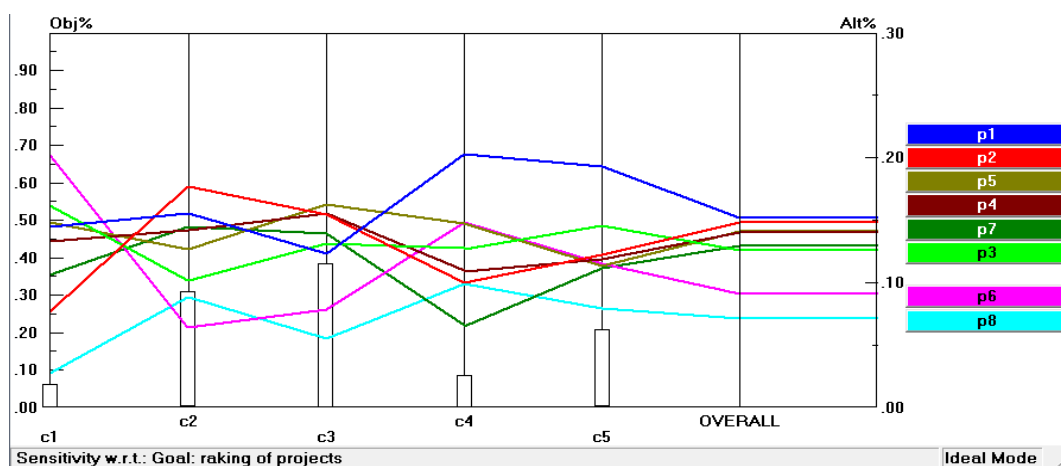
همانگونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود پروژه (p1) ابن سینا با امتیاز ۰/۱۹۳ به عنوان مناسب‌ترین گزینه از لحاظ معیار برآورده شدن خواسته‌های کارفرما از دید متخصصان شناخته شد.

با مقایسه نتایج به دست آمده بانرخ ناسازگاری مجاز (۰/۱) مشاهده می‌شود که در تمام موارد نرخ‌های ناسازگاری در محدوده مجاز می‌باشند. در صورتیکه نرخ ناسازگاری بیش از حد مجاز باشد، نتایج نهایی حاصل از تحلیل با برنامه Expert Choice غیرقابل اتکا بوده و بایستی مرحله نظرسنجی مجدداً تکرار شود.



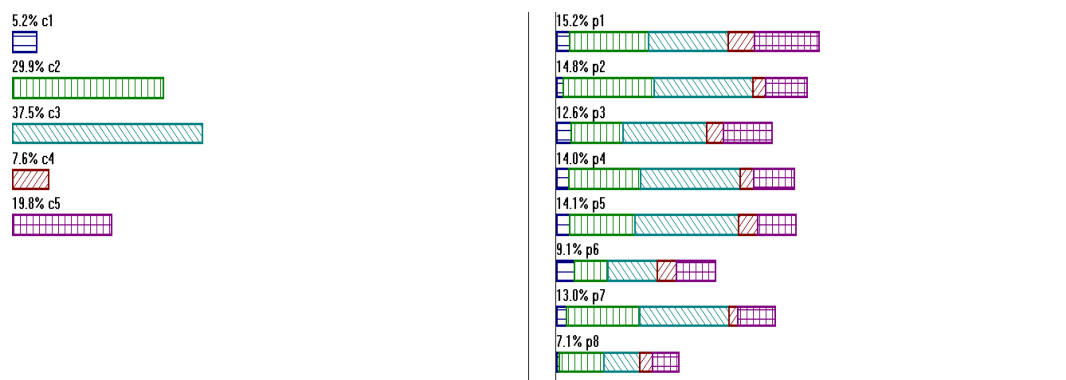
شکل ۸. وزن نسبی معیارهای ارزیابی مهندسی ارزش در کل پروژه‌ها

مقایسه هر کدام از پروژه‌ها با در نظر گرفتن هر کدام از معیارها به صورت زیر می‌باشد:



شکل ۹. مقایسه پروژه‌ها با یکدیگر با در نظر گرفتن معیارها

رتبه‌بندی این پروژه‌ها براساس مهندسی ارزش به صورت شکل زیر می‌باشد:



شکل ۱۰. رتبه‌بندی پروژه‌ها با توجه به معیارهای ارزیابی مهندسی

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که در میان مؤلفه‌های توسعه پایدار در فاز طراحی مجتمع‌های آموزشی-فرهنگی، شاخص‌های اقتصادی به‌ویژه «نرخ بازگشت سرمایه» و «کاهش هزینه‌های ساخت» بالاترین وزن تصمیم‌گیری را به خود اختصاص داده‌اند. این نتیجه به روشنی بیانگر آن است که در بستر اقتصادی کنونی کشور، پایداری زمانی برای کارفرمایان و مدیران پروژه معنا می‌یابد که دارای توجیه مالی روشن و قابل دفاع باشد. این یافته با نتایج مطالعات داخلی و بین‌المللی همخوانی کامل دارد که نشان می‌دهد سرمایه‌گذاری در طراحی پایدار، علی‌رغم افزایش هزینه اولیه، در طول چرخه عمر ساختمان موجب کاهش چشمگیر هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری و مصرف انرژی می‌شود و در نهایت نرخ بازگشت سرمایه را بهبود می‌بخشد (8-10). به بیان دیگر، پروژه‌هایی که از منظر اقتصادی پایداری خود را اثبات می‌کنند، شانس بیشتری برای تحقق اهداف زیست‌محیطی و اجتماعی خواهند داشت.

نتیجه‌گیری فوق همچنین مؤید این نکته است که نگاه کوتاه‌مدت و صرفاً هزینه‌محور که در بسیاری از پروژه‌های عمرانی مشاهده می‌شود، نه تنها مانعی برای توسعه پایدار است بلکه در بلندمدت منجر به افزایش بار مالی بر جامعه می‌شود. پژوهش‌های انجام‌شده در پروژه‌های عمرانی استان البرز نشان داده‌اند که عدم استفاده از مهندسی ارزش در فاز طراحی، سبب افزایش هزینه‌های اجرایی و کاهش کارایی عملکردی پروژه‌ها شده است (13). یافته‌های پژوهش حاضر با این نتایج همراستا بوده و بر ضرورت مداخله نظام‌مند در مرحله طراحی تأکید می‌کند.

در رتبه دوم، شاخص «بهینه‌سازی مصرف انرژی» قرار گرفت که بیانگر اهمیت فزاینده بحران انرژی در کشور است. این یافته نشان می‌دهد که خبرگان پروژه‌های آموزشی و فرهنگی به خوبی دریافته‌اند که مدیریت مصرف انرژی نه تنها یک الزام زیست‌محیطی بلکه یک ضرورت اقتصادی است. این نتیجه با پژوهش‌های صورت‌گرفته درباره نقش طراحی پوسته ساختمان، نور طبیعی و سیستم‌های غیرفعال در کاهش مصرف انرژی همسو است (4, 11, 12). به طور خاص، محمودی نشان داد که بهینه‌سازی پوسته ساختمان در اقلیم سرد و خشک می‌تواند مصرف انرژی را تا بیش از ۳۰ درصد کاهش دهد (11) که این امر مستقیماً با بهبود نرخ بازگشت سرمایه مرتبط است.

از منظر زیست‌محیطی، شاخص «وجود برنامه کارایی مدون جهت حفظ محیط‌زیست» در رتبه‌های بعدی قرار گرفت. این نتیجه اگرچه بیانگر توجه نسبی به ملاحظات محیط‌زیستی است، اما نشان می‌دهد که این مؤلفه هنوز در ذهن تصمیم‌گیران پروژه به عنوان اولویت اصلی نهادینه نشده است. این یافته با پژوهش‌های مربوط به مدیریت پسماند ساختمانی و الزامات محیط‌زیستی در پروژه‌های خدماتی همخوانی دارد که نشان می‌دهد بسیاری از پروژه‌ها فاقد برنامه‌های عملیاتی روشن برای کاهش آلودگی، مصرف منابع و مدیریت پسماند هستند (7, 20). در واقع، ضعف نظام‌مند در تدوین برنامه‌های محیط‌زیستی از مهم‌ترین موانع تحقق توسعه پایدار در صنعت ساخت‌وساز کشور محسوب می‌شود.

یکی از یافته‌های قابل تأمل پژوهش حاضر، وزن نسبتاً پایین شاخص «سازگاری بیوفیلیک و هماهنگی با محیط طبیعی» در مقایسه با شاخص‌های اقتصادی بود. این نتیجه در نگاه نخست با ادبیات نظری معماری پایدار که بر نقش حیاتی ارتباط با طبیعت در سلامت روان و کارایی فضاهای آموزشی تأکید دارد، در تعارض به نظر می‌رسد (4, 12). با این حال، بررسی دقیق‌تر نتایج نشان می‌دهد که فشارهای اقتصادی، کمبود زمین شهری و محدودیت‌های اجرایی سبب شده است که مؤلفه‌های کیفی محیطی در عمل قربانی الزامات مالی کوتاه‌مدت شوند. این شکاف میان نظریه و عمل پیش‌تر نیز در پژوهش‌های مدیریت پروژه‌های عمرانی کشور گزارش شده است (1, 2).

یافته‌های این پژوهش همچنین نقش کلیدی مهندسی ارزش در همگرایی میان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی را برجسته ساخت. نتایج تحلیل نشان داد پروژه‌هایی که در فاز طراحی از اصول مهندسی ارزش بهره برده‌اند، هم در شاخص‌های اقتصادی و هم در شاخص‌های پایداری عملکرد بهتری داشته‌اند. این نتیجه به طور مستقیم با ادبیات مهندسی ارزش که آن را ابزاری برای افزایش ارزش پروژه از طریق بهینه‌سازی رابطه کارکرد و هزینه می‌داند همسو است (10, 14, 15). همچنین یافته‌های Macedo تأیید می‌کند که تلفیق مهندسی ارزش با معیارهای پایداری در پروژه‌های زیربنایی موجب افزایش کارایی اقتصادی و کاهش آثار زیست‌محیطی می‌شود (16).

کاربرد فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در این پژوهش، امکان ساختاردهی مؤلفه‌های پیچیده تصمیم‌گیری را فراهم ساخت و نشان داد که این ابزار برای پروژه‌های چندمعیاره آموزشی-فرهنگی کاملاً کارآمد است. این نتیجه با یافته‌های Saaty و Cebi همراستا است که AHP را یکی از دقیق‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در حوزه ساختمان‌های سبز معرفی کرده‌اند (17, 18). به ویژه، امکان محاسبه نرخ ناسازگاری و کنترل ثبات قضاوت‌های خبرگان موجب افزایش اعتبار نتایج تصمیم‌گیری شد.

از منظر تحول دیجیتال، یافته‌های پژوهش با مطالعات اخیر درباره نقش مدل‌سازی پویا و هوش مصنوعی در تصمیم‌گیری پروژه‌های ساخت همخوانی دارد. پژوهش Motamedi نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های پویای ارزیابی سرمایه‌گذاری می‌تواند ریسک پروژه‌های ساختمانی را به طور چشمگیری کاهش دهد (19). همچنین مرور نظام‌مند Regona بر نقش هوش مصنوعی در تحقق اهداف توسعه پایدار نشان می‌دهد که تلفیق ابزارهای هوشمند با مدل‌های تصمیم‌گیری کلاسیک، افق‌های جدیدی برای بهینه‌سازی پروژه‌های عمرانی فراهم کرده است (5).

در مجموع، نتایج پژوهش حاضر تصویری روشن از منطق تصمیم‌گیری حاکم بر پروژه‌های آموزشی-فرهنگی کشور ارائه می‌دهد: پایداری زمانی پایدار خواهد شد که اقتصاد پروژه پایدار باشد. این نتیجه‌گیری با دیدگاه‌های کلان مدیریت پروژه و توسعه پایدار همخوانی دارد که تحقق اهداف زیست‌محیطی و اجتماعی را بدون بنیان اقتصادی مستحکم غیرممکن می‌دانند (2, 8, 9). بدین ترتیب، چارچوب تلفیقی مهندسی ارزش و AHP ارائه‌شده در این پژوهش می‌تواند به عنوان یک الگوی تصمیم‌سازی مؤثر برای ارتقای کیفیت طراحی پروژه‌های آموزشی-فرهنگی کشور مورد استفاده قرار گیرد.

از جمله محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به تمرکز جغرافیایی مطالعه بر استان‌های تهران و البرز، محدودیت در دسترسی به برخی اطلاعات مالی پروژه‌ها، و وابستگی تحلیل‌ها به قضاوت‌های خبرگان اشاره کرد که ممکن است تحت تأثیر سوگیری‌های فردی قرار گیرد.

پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، چارچوب ارائه‌شده با استفاده از داده‌های پروژه‌های اجرایی در سایر استان‌ها آزمون شود، همچنین نقش فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و تحلیل‌های پویا در بهبود تصمیم‌گیری پایدار در فاز طراحی مورد بررسی تجربی قرار گیرد.

برای بهبود عملکرد پروژه‌های آموزشی-فرهنگی، توصیه می‌شود نهادهای سیاست‌گذار الزام استفاده از مهندسی ارزش و تحلیل چندمعیاره را در فاز طراحی قانونی کنند، آموزش تخصصی مدیران پروژه در حوزه تصمیم‌گیری پایدار تقویت شود و نظام ارزیابی پروژه‌ها از معیارهای صرفاً مالی به سمت معیارهای ترکیبی اقتصادی-زیست‌محیطی-اجتماعی بازطراحی گردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازین اخلاق

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

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

منابع

1. Rezaei M. Sustainable city and climate challenges in Iranian metropolises. Tehran: University of Tehran Press; 2020.
2. Asgari N, et al. Strategic management of civil projects with a sustainability approach. Tehran: Amirkabir University of Technology Press; 2022.
3. Kumar MV. A Review on Sustainable Construction. International Journal of Research and Review. 2024;11(4):251-
8. doi: 10.52403/ijrr.20240427.

4. Kibert CJ. Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery: John Wiley & Sons; 2016.
5. Regona M, Yigitcanlar T, Hon C, Teo M. Artificial intelligence and sustainable development goals: Systematic literature review of the construction industry. *Sustainable Cities and Society*. 2024;105499. doi: 10.1016/j.scs.2024.105499.
6. Pak-Nahad M, Rahimi S. Evaluating the role of initial design in reducing construction waste and promoting physical sustainability. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Development*. 2021;9(2):18-35.
7. Sarafzadeh A. Investigating environmental requirements in the design phase of service complexes in Alborz province. *Journal of Project and Construction Management*. 2020;9(3):77-90.
8. Bakhtiari H. Life cycle cost analysis in sustainable metropolitan buildings and willingness to pay in the housing market. *Scientific Quarterly of Journal of Urban Economics and Management*. 2022;10(1):45-62.
9. Rafiei M. Housing economics, financial management, and return on investment in green buildings. Tehran: University of Tehran Press; 2021.
10. Dell'Isola A. Value Engineering: Practical Applications for Design and Construction: RSMeans; 2020.
11. Mahmoudi F. Optimization of building envelopes in cold and dry climates with an approach to reducing energy consumption. Karaj: Islamic Azad University Press; 2022.
12. Heschong L. Visual Delight in Architecture: Examining the Role of Nature in Building Design: Routledge; 2021.
13. Gholipour R. Evaluating the effectiveness of value engineering in the design phase of government projects in Alborz province. *Journal of Project and Construction Management*. 2021;11(4):102-18.
14. Jabal-Ameli MS, Mir-Mohammad-Sadeghi A. Value engineering in the construction industry: Concepts, processes, and applications. Tehran: Iran University of Science and Technology Press; 2018.
15. Younker DL. Value Engineering: Analysis and Methodology: CRC Press; 2017.
16. Macedo MC, et al. Value Engineering and Sustainability in Infrastructure Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2018;144(7).
17. Saaty TL. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation: McGraw-Hill; 2016.
18. Cebi S. A Multi-Attribute Decision-Making Model for Green Building Selection. *Sustainable Cities and Society*. 2020;54:102-15.
19. Motamedi M, Darvish Motavalli MH. Designing a Dynamic Model for Evaluating Construction Investment Projects Using a System Dynamics Approach. *Economic Research (Sustainable Growth and Development)*. 2025;25(1):291-318.
20. Ishak N. Elucidation of the Influence of Construction Waste Causative Factors and Strategies Towards Sustainable Construction Waste Management Improvement. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*. 2024;1303(1):012040. doi: 10.1088/1755-1315/1303/1/012040.