ISSN: 2538-2594; Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2025;16(1): 57-74

Evaluation and Optimal Selection of Wall and Façade Systems Using Multi-Criteria Decision-Making: Model Development, Tools, and Implementation Details

ARTICLE INFO

Article Type
Analytic Study

Authors
Hamed Keikha [1 *]

How to cite this article
Ron
URL: http://

ABSTRACT

Aims: The selection of building envelope systems in Iranian construction is often subjective, lacking a systematic, evidence-based framework. This absence negatively impacts long-term building performance, cost efficiency, and overall sustainability. This research aims to develop a comprehensive Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) model for the systematic assessment and optimal selection of non-load-bearing wall and façade systems, specifically targeting mass housing projects.

Methods: This descriptive-analytical study identified 22 common systems and a comprehensive set of key evaluation criteria through extensive literature review and structured expert interviews. The relative importance (weights) of these criteria were quantified by professionals using a reliable Likert-scale questionnaire (Cronbach's alpha: 0.885 for walls, 0.884 for façades). A second detailed questionnaire evaluated the performance of each system against these weighted criteria, with the analysis also considering Iran's three major climatic zones.

Findings: For wall systems, "Nailability," "Weight," and "Enhancement of Space Efficiency" were identified as the most critical criteria, with AAC wall panels and AAC blocks ranking as the top-performing options. For façade systems, "Labor Cost," "Physical Durability," and "Material Cost" were the highest-priority factors, favoring Precast Concrete Façades and Dry Stone Façades. Region-specific rankings and detailed insights for climate-responsive design were also generated.

Conclusion: The primary outcomes are an adaptable analytical tool to help designers and managers select optimal system combinations based on project specifics, and a set of detailed executive drawings for the nine top-performing combinations. This research provides a structured, multi-criteria framework that enhances decision-making transparency, reduces subjectivity, and supports sustainable and cost-effective construction practices in Iran.

Keywords: Wall and Façade Systems, Multi-Criteria Decision-Making (MCDM), Likert scale, Analytical-Management Tool, Executive Details, Iran Construction Industry.

CITATIONLINKS

1- Assistant Professor, Structural Retrofitting and Reconstruction Research Group, Natural Disaster Research Institute (NDRI), Tehran, Iran.

***Correspondence**
Address: Natural Disaster Research Institute (NDRI), Tehran, Iran.
Email: keikha@ndri.ac.ir

Article History
Received:
Accepted:
Published:

[4]. Gregory K, Moghtaderi B, Sugo H, Page A. Effect of thermal mass on the thermal performance of various Australian residential construction systems….[6]. Keikha H, Ghodrati Amiri G. Seismic performance assessment of quintuple friction pendulum isolator with a focus on frictional behavior impressionability….[7]. Keikha H, Ghodrati Amiri G. Numerical development and assessment of 3D quintuple…[8]. Keikha H, Ghodrati Amiri G. Developing a simplified method for analysis and design of.. [10]. Bolattürk A. Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling…[11]. Dombaycı ÖA, Gölcü M, Yürümez Y. The environmental impact of optimum insulation…[12]. Martabid JE, Mourgues C. Criteria used for selecting envelope wall systems in Chilean…[13]. Zavadskas EK, Vilutienė T. A multiple criteria evaluation of multi-family apartment block…[14]. Mikaeili R, Karami E, Yousefi M. Investigation and analysis of quality assessment indicators of contemporary Iranian…[16]. Cronbach LJ. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*….[19]. Ortiz O, Castells F, Sonnemann G. Sustainability in the construction industry: a review…[20]. Khasreen MM, Banfill PF, Menzies GF. Life-cycle assessment and the environmental……

Copyright© 2021, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-Non-Commercial terms.

eISSN:2538-2594 نقش جهان - مطالعات نظری و فناوری های نوین معماری و شهرسازی-۱۴۰۴؛ (۱) ۱۶:۷۴-۵۷

از معیار تا ساخت: مدلی یکپارچه برای تصمیم‌گیری چندمعیاره در انتخاب بهینه سیستم‌های دیوار و نما

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: تحقیق بنیادی

نویسندگان

حامد کیخا [۲*]

۱. استادیار، گروه مقاوم سازی و بازسازی سازه‌ها، پژوهشکده سوانح طبیعی، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

نویسنده مسئول *

keikha@ndri.ac.ir

تاریخ مقاله

تاریخ دریافت:

تاریخ پذیرش:

تاریخ انتشار:

چکیده

اهداف: انتخاب سیستم‌های جداره ساختمان در ایران اغلب مبتنی بر قضاوت شخصی و فاقد چارچوب علمی و نظام‌مند است. هدف این پژوهش، توسعه یک مدل جامع تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) برای ارزیابی سیستماتیک و انتخاب بهینه سیستم‌های دیوار غیرباربر و نما، با تمرکز ویژه بر نیازهای پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن است.

روش‌ها: در این مطالعه توصیفی-تحلیلی، ۲۲ سیستم رایج و معیارهای کلیدی ارزیابی (عملکردی، اقتصادی، محیطی، اجرایی و...) از طریق مرور دقیق اسناد و مصاحبه با خبرگان شناسایی شدند. سپس، معیارها توسط متخصصان صنعت ساختمان با استفاده از پرسشنامه لیکرت معتبر (آلفای کرونباخ: ۰.۸۸۵ برای دیوار و ۰.۸۸۴ برای نما) وزن‌دهی شدند. پرسشنامه دوم، عملکرد هر سیستم را در برابر این معیارهای وزن‌دار، با در نظر گرفتن سه منطقه اقلیمی اصلی ایران، به‌دقت ارزیابی کرد.

یافته‌ها: در سیستم‌های دیوار، معیارهایی چون «قابلیت میخ‌پذیری»، «وزن» و «بهینه‌سازی فضا» به‌عنوان حیاتی‌ترین معیارها شناخته شدند و «پانل دیواریAAC» و «بلوکAAC» بالاترین رتبه را کسب کردند. در سیستم‌های نما، «هزینه اجرا»، «دوام فیزیکی» و «هزینه مصالح» مهم‌ترین عوامل بودند که منجر به برتری «نمای بتنی پیش‌ساخته» و «نمای سنگی با اجرای خشک» گردید. رتبه‌بندی‌های دقیق و مختص اقلیم نیز استخراج شد.

نتیجه‌گیری: دستاوردهای اصلی این پژوهش شامل یک ابزار تحلیلی-مدیریتی انطباق‌پذیر مبتنی بر اکسل برای کمک به ذینفعان در انتخاب ترکیب بهینه سیستم بر اساس محدودیت‌های پروژه و اقلیم، و همچنین مجموعه‌ای از جزئیات اجرایی دقیق برای ۹ ترکیب برتر است. این تحقیق، چارچوبی ساختاریافته فراهم می‌کند که ذهنیت‌گرایی را کاهش داده و از تصمیم‌گیری‌های پایدارتر و مقرون‌به‌صرفه‌تر در ساخت‌وساز ایران پشتیبانی می‌کند.

کلید واژگان: سیستم‌های دیوار و نما، تصمیم‌گیری چندمعیاره، طیف لیکرت، ابزار تحلیلی-مدیریتی، جزئیات اجرایی، صنعت ساختمان ایران.

ارجاع‌دهی

URL: http://

این نشریه ی دارای دسترسی باز، تحت قوانین گواهینامه بین‌المللی Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License منتشر می‌شود که اجازه اشتراک (تکثیر و بازآرایی محتوا به هر شکل) و انطباق (بازترکیب، تغییر شکل و بازسازی بر اساس محتوا) را می‌دهد.

مقدمه

مسکن به عنوان یکی از اساسی‌ترین نیازهای انسانی، در کانون سیاست‌گذاری‌های اجتماعی و اقتصادی ایران قرار دارد. رشد جمعیت، مهاجرت به شهرها و تغییرات ساختار جمعیتی، تقاضا برای مسکن مناسب و مقرون‌به‌صرفه را به یک چالش ملی تبدیل کرده است [۱]. در پاسخ به این نیاز، دولت طرح‌های گسترده‌ای نظیر «مسکن ملی» را برای تأمین سرپناه اقشار کم‌درآمد و متوسط جامعه به اجرا گذاشته است. موفقیت این طرح‌ها نه‌تنها به کمیت، بلکه بیش از آن به کیفیت، دوام، ایمنی و پایداری واحدهای مسکونی وابسته است. در این میان، انتخاب مصالح و سیستم‌های ساختمانی، به‌ویژه برای جداره‌های داخلی (دیوار) و پوسته خارجی (نما)، نقشی تعیین‌کننده ایفا می‌کند. تنوع فناوری‌های موجود، تعدد معیارهای تاثیرگذار (از منظر فنی و اقتصادی تا زیبایی‌شناختی و زیست‌محیطی) و همچنین تفاوت‌های اقلیمی گسترده در مناطق مختلف کشور، این فرآیند انتخاب را به مسأله‌ای پیچیده تبدیل کرده است. [۲] و [۳]

پوسته خارجی ساختمان، مرز میان فضای کنترل‌شده داخلی و محیط متغیر بیرونی است و بیش از ۶۰٪ از اتلاف انرژی ساختمان از طریق آن صورت می‌گیرد [۴]. نما علاوه بر تأثیر مستقیم بر مصرف انرژی، هویت بصری ساختمان و سیمای شهری را شکل می‌دهد. معماری تاریخی ایران همواره از اصولی منسجم برای خلق نماهایی هماهنگ با فرهنگ و اقلیم بهره می‌برد [۵]. اما امروزه، شتاب‌زدگی در ساخت‌وسازهای انبوه و فقدان ضوابط یکپارچه، موجب آشفتگی بصری در شهرها شده و انتخاب نما را به امری سلیقه‌ای بدل کرده است. این در حالی است که معیارهای مهمی چون ایمنی در برابر زلزله و حریق، عایق‌بندی صوتی و حرارتی، دوام و هزینه‌های نگهداری اغلب نادیده گرفته می‌شوند.

در حوزه دیوارهای داخلی غیربابر نیز چالش‌های مشابهی وجود دارد. دیوارهای غیرسازه‌ای بخش قابل توجهی از وزن مرده ساختمان را تشکیل می‌دهند. استفاده از مصالح سنگین و سنتی، علاوه بر افزایش نیروی زلزله وارده بر سازه، در هنگام وقوع زلزله خطرات جانی و مالی فراوانی به بار می‌آورد (شکل ۱). درنتیجه کاهش وزن دیوارها می‌تواند به‌طور چشمگیری موجب کاهش تقاضای لرزه‌ای گردد. در غیر اینصورت، تقویت مقاومت جانبی سازه یا به‌کارگیری سامانه‌های جذب و اتلاف انرژی، نظیر جداسازهای لرزه‌ای ـ که در پژوهش‌های پیشین نویسنده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند ـ ضرورت دارد [۶]، [۷] و [۸]. بنابراین انتخاب دیوارهای سبک، ایمن و با اجرای سریع می‌تواند تأثیر چشمگیری بر کاهش خسارات و افزایش سرعت ساخت داشته باشد [۹].

شکل ۱: نمونه‌ای از آسیب و تَرَک وارده به یک دیوار بنایی متشکل از مصالح سنگین و سنتی در زلزله.

با وجود اهمیت این موضوع، فرآیند تصمیم‌گیری برای انتخاب سیستم‌های دیوار و نما در صنعت ساختمان ایران فاقد یک چارچوب علمی و نظام‌مند است. تصمیمات اغلب بر پایه تجربه شخصی، سهولت دسترسی به مصالح یا صرفاً ملاحظات اقتصادی کوتاه‌مدت اتخاذ می‌شود. این امر می‌تواند در بلندمدت به بروز مشکلاتی همچون عملکرد ضعیف حرارتی و آکوستیکی، نیاز به تعمیر و نگهداری زودهنگام، افزایش مصرف انرژی و در مواردی، کاهش ایمنی سازه منجر شود [۱۰] و [۱۱]. در نتیجه، عدم توجه به معیارهای چندگانه در مرحله طراحی، یکی از دلایل اصلی افت کیفیت در پروژه‌های انبوه‌سازی است.

این پژوهش با درک این خلاء، در پی ارائه یک راهکار جامع است. هدف اصلی، تدوین یک چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)، برای ارزیابی و انتخاب بهینه سیستم‌های دیوار و نما در پروژه‌های ساختمانی ایران است. این چارچوب با شناسایی و وزن‌دهی به مجموعه‌ای کامل از معیارهای فنی (مانند الزامات لرزه‌ای و حرارتی مباحث مقررات ملی)، اجرایی، اقتصادی، زیست‌محیطی و زیبایی‌شناختی، به دنبال تبدیل فرآیند انتخاب از یک امر سلیقه‌ای به یک فرآیند علمی و مستند مهندسی است. در این راستا، پژوهش حاضر به سوالات زیر پاسخ خواهد داد:

۱. مهم‌ترین معیارهای فنی و عملکردی برای ارزیابی و انتخاب سیستم‌های دیوار و نما در شرایط ایران کدام‌اند و وزن اهمیت هر یک چقدر است؟
۲. عملکرد سیستم‌های رایج دیوار و نما در ایران بر اساس معیارهای استخراج‌شده چگونه است؟
۳. بهینه‌ترین گزینه‌ها برای شرایط اقلیمی مختلف ایران (گرم و خشک، معتدل و مرطوب، و کوهستانی)، با تأکید بر اولویت‌های مهندسی لرزه‌ای و حرارتی، کدام‌اند؟

خروجی این پژوهش یک ابزار تحلیلی- مدیریتی است که می‌تواند به عنوان یک راهنمای کاربردی برای مهندسان، معماران و مدیران پروژه‌های ساختمانی، به‌ویژه در طرح‌های کلان مانند مسکن ملی، مورد استفاده قرار گیرد و گامی در جهت ارتقای کیفیت، پایداری و بهره‌وری این صنعت بردارد.

پیشینه پژوهش

موضوع انتخاب مصالح ساختمانی با رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) در سطح بین‌المللی مورد توجه پژوهشگران بوده است. با این حال، ارتقاء این مدل‌ها از یک ابزار صرفاً مدیریت فرآیند به یک مدل تحلیلی فنی نیازمند توجه به دو حوزه کلیدی است: ارزیابی چرخه عمر (LCA) برای پایداری درازمدت و عملکرد لرزه‌ای سامانه‌های غیرسازه‌ای برای ایمنی ساختمانی.

۱-۲- مدل‌های MCDM و تلفیق تحلیل چرخه عمر (LCA)

پژوهش‌هایی چون مارتابد و مورگوس (۲۰۱۵) در شیلی [۱۲] و زاوادسکاس و ویلوتینِه (۲۰۰۶) در لیتوانی [۱۳] بر شناسایی معیارهای سنتی تمرکز داشتند. اما مدل‌های نوین MCDM در ساخت‌وساز، فراتر از هزینه‌های اولیه، هزینه کل مالکیت (Total Cost of Ownership)و تأثیرات زیست‌محیطی بلندمدت را در نظر می‌گیرند. مطالعات اورتیز و همکاران (۲۰۰۹) [۱۹] و خاسرین و همکاران (۲۰۰۹) [۲۰]، نشان داده‌اند که تصمیم‌گیری بهینه در ساختمان‌سازی، تلفیقی از هزینه اولیه، هزینه‌های نگهداری و آثار زیست‌محیطی در طول عمر مفید ساختمان (Life Cycle Assessment - LCA) است. عدم گنجاندن کامل LCA در مدل‌های تصمیم‌گیری، منجر به انتخاب‌هایی می‌شود که در درازمدت برای محیط زیست و اقتصاد کلان پرهزینه‌اند. از این رو، مدل حاضر، با وارد کردن معیارهایی چون دوام فیزیکی و شیمیایی، بازیافت‌پذیری و مصرف انرژی در تولید مصالح، تلاش کرده تا شاخص‌هایی کلیدی از LCA را در چارچوب وزن‌دهی خود جذب نماید تا پایداری انتخاب‌ها تقویت گردد.

در داخل کشور نیز پژوهشاتی در این زمینه انجام شده است که مؤید این مسئله هستند که معیارهای زیست‌محیطی و مصرف انرژی در کنار ملاحظات فرهنگی، باید وزن بیشتری در تصمیم‌گیری‌ها داشته باشند. میکائیلی و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی AHP، شاخص‌های کیفی مسکن معاصر ایرانی- اسلامی را مورد مطالعه قرار دادند که نشان‌دهنده علاقه پژوهشگران به مدل‌سازی تصمیم‌گیری در حوزه ساخت‌وساز است [۱۴]. همچنین، پژوهش‌های مختاری و همکاران [۲۵]، که بر گونه‌شناسی ساختمان از منظر عملکرد اقلیمی و بهینه‌سازی انرژی تمرکز دارد، و

پژوهش‌های نهری و معتمدمنش[۲۴]، بر نقش مدل‌های کمی در ارزیابی عملکرد حرارتی و محیطی ساختمان و تأثیر فناوری‌های نوین در افزایش کیفیت پروژه‌های دولتی تأکید دارند که نشان‌دهنده علاقه پژوهشگران داخلی به مدل‌سازی تصمیم‌گیری در حوزه ساخت‌وساز است. با این حال، پژوهشی جامع که به طور همزمان سیستم‌های دیوار داخلی و نمای خارجی را با استفاده از یک چارچوب یکپارچه و مبتنی بر نظرات خبرگان طیف وسیعی از صنعت ساختمان (مدیران دولتی، مشاوران، محققان) ارزیابی کند، کمتر یافت می‌شود. اکثر پژوهش‌ها یا بر یک نوع سیستم خاص (مثلاً نما) متمرکز بوده یا دامنه محدودی از معیارهای ارزیابی را پوشش داده‌اند.

۲-۲- تأثیر سامانه‌های غیرسازه‌ای (دیوار و نما) بر عملکرد لرزه‌ای

خرابی و ریزش اجزای غیرسازه‌ای (Non-Structural Elements)، به‌ویژه دیوارهای میان‌قاب سنگین و نماها، در زلزله‌ها دلیل اصلی تلفات جانی و خسارات مالی بوده‌اند. ضوابط بین‌المللی (مانند راهنماهای FEMA E-74 [۲۱] ، FEMA P-749 [۲۲] و آیین‌نامه‌های داخلی (مانند استاندارد ۲۸۰۰) بر اهمیت مهار مناسب اجزای غیرسازه‌ای و همچنین سبک‌سازی تأکید دارند. نوری‌فرد و همکاران [۲۳]، بر اساس تجارب زلزله‌های گذشته، اهمیت ارزیابی مفهومی و عملکرد لرزه‌ای دیوارهای غیرسازه‌ای را در ساختمان‌های میان‌مرتبه متعارف تأکید کرده‌اند. پژوهشگران دریافته‌اند که کاهش وزن مرده دیوارهای غیرسازه‌ای (مانند استفاده از AAC)، تقاضای لرزه‌ای سازه را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد و خطر جانی ناشی از فروریزش را به حداقل می‌رساند. بنابراین، در یک چارچوب MCDM فنی، معیارهایی نظیر وزن سیستم (Mass)، ایمنی در برابر ریزش(Durability)، و اتصالات انعطاف‌پذیر لرزه‌ای به قاب سازه (Seismic Performance) اهمیت فوق‌العاده‌ای پیدا می‌کنند [۹]. انتخاب سیستم‌های سبک یک تصمیم صرفاً اقتصادی نیست، بلکه یک ضرورت مهندسی لرزه‌ای است که در این مدل، بالاترین وزن‌ها را به خود اختصاص داده‌اند.

۳-۲- نوآوری پژوهش حاضر

نوآوری این پژوهش در ارائه یک مدل کمی-فنی است که: الف) وزن اهمیت معیارهای مهندسی (لرزه‌ای، حرارتی، اجرایی) را استخراج می‌کند؛ ب) عملکرد سیستم‌ها را در سه اقلیم متفاوت می‌سنجد؛ و ج) از تحلیل‌های کمی فراتر رفته و راهنمای فنی و جزئیات اجرایی ترکیب‌های برتر را بر مبنای الزامات آیین‌نامه‌ای و عملکردی ارائه می‌دهد. این رویکرد، شکاف میان مدل‌های نظری و نیازهای عملی و فنی صنعت ساختمان ایران را پر می‌کند و با تمرکز بر سیستم‌های پیشرفته مصالح و اجرا همچون AAC و اجرای خشک، مستقیماً به حوزه فناوری‌های نوین معماری می‌پردازد.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش، توصیفی-تحلیلی با رویکرد پیمایشی است. فرآیند پژوهش در سه مرحله اصلی طراحی و اجرا شده است که به طور کلی در فلوچارت شکل ۲ به تفصیل نمایش داده شده است.

۱-۳- مرحله اول: گردآوری داده‌ها و تعریف ساختار تصمیم‌گیری

در این مرحله، ابتدا از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی اسناد فنی (استانداردها و مقررات ملی ساختمان) و مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با متخصصان صنعت ساختمان، لیستی از رایج‌ترین و جدیدترین سیستم‌های دیوار و نما در ایران تهیه شد. در مجموع، ۱۱ سیستم دیوار و ۱۱ سیستم نما (مجموعاً ۲۲ سیستم) برای بررسی انتخاب شدند (شکل ۳). سپس، معیارهای موثر بر انتخاب این سیستم‌ها استخراج و در شش گروه اصلی دسته‌بندی شدند (که در شکل ۲ نیز به تفکیک گروه‌ها برای سیستم های نما و دیوار ارائه گردیده است):

معیارهای فنی و عملکردی: مقاومت در برابر حریق، مقاومت در برابر ضربه، احتمال آسیب جسمانی، دوام و ماندگاری فیزیکی، دوام و ماندگاری شیمیایی، عایق صوتیف عایق حرارتی-برودتی، افزایش فضای مفید معماری، وزن و قابلیت میخ‌پذیری و نصب و اضافه کردن الحاقات.

معیارهای اجرایی و عملیاتی: عملیات اجرایی اضافی، تجربه‌های قبلی در اجرا و عدم نیاز به آموزش، میزان و قابلیت پیش‌ساختگی، انطباق‌پذیری و قابلیت هماهنگی با تاسیسات، قابلیت ایجاد تغییرات تاسیساتی، وابستگی به ماشین آلات و تجهیزات خاص ، سهولت در تعمیر، تعویض و نگهداری.

معیارهای زمانی: کاهش مراحل اجرایی، امکان همپوشانی فعالیتهای اجرایی، محدودیت‌های فصلی در اجرا، سرعت اجرا.
معیارهای زیست‌محیطی: میزان انرژی مصرفی در فرآیند تولید و اجرا، میزان آلایندگی حاصل از فرآیند تولید و اجرا، میزان مصرف منابع طبیعی بازگشت‌ناپذیر، میزان بازیافت‌پذیری مصالح تشکیل دهنده.

معیارهای بصری-زیبایی شناختی (صرفاً برای نما): قابلیت تمیزشوندگی، هماهنگی بصری مصالح با محیط پیرامونی، پذیرش اجتماعی و فرهنگی، انعطاف‌پذیری در طراحی، برخورداری از مصالح با ابعاد و اندازه‌های متنوع.
معیارهای هزینه: فرآیندهای ساخت و تولید مصالح، نصب و اجرا، سهولت دسترسی به مصالح محلی، حمل‌ونقل مصالح .
بر اساس این معیارها، پرسشنامه اول برای تعیین وزن اهمیت هر معیار تدوین شد.

۲-۳- مرحله دوم: تحلیل و اعتبارسنجی

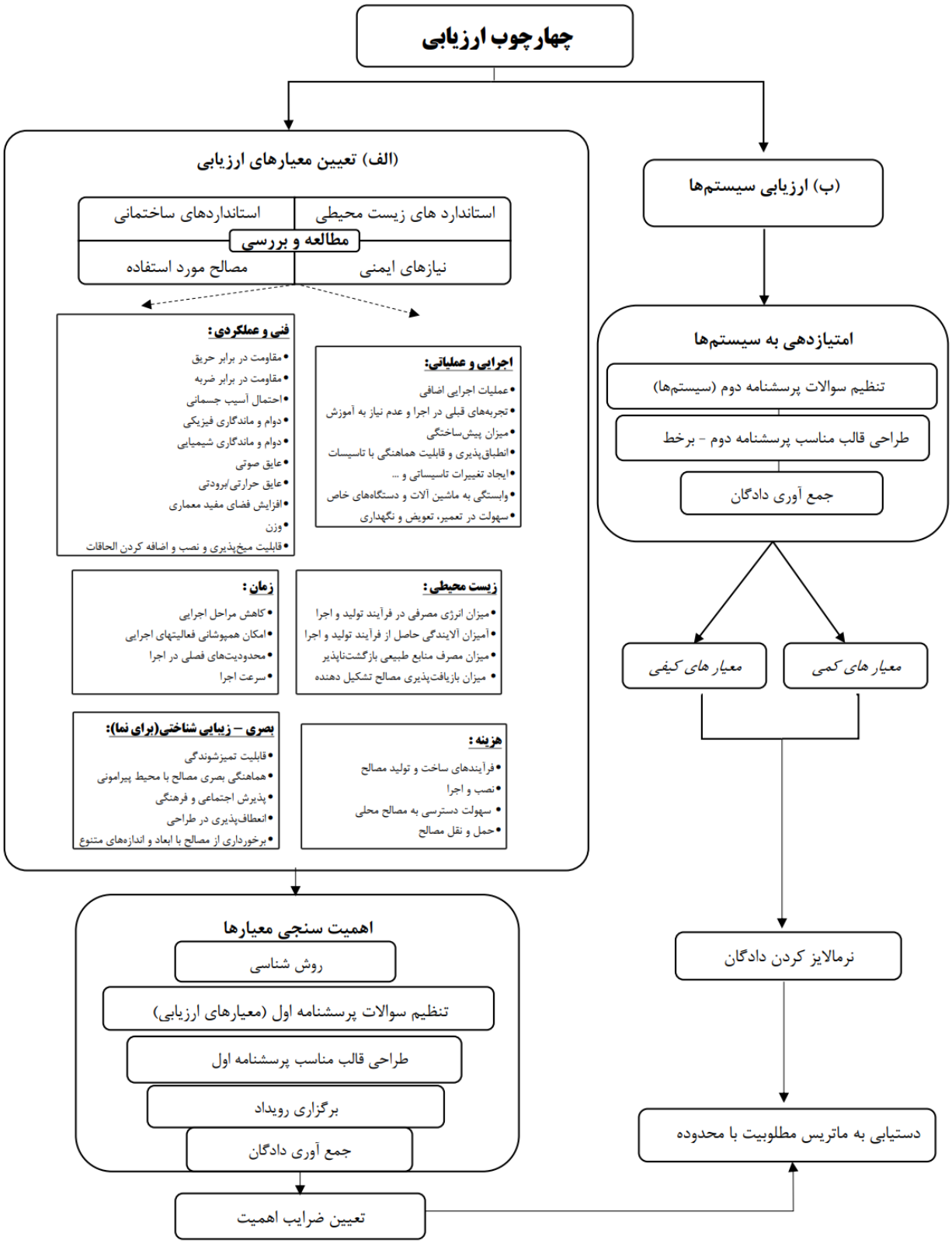
پرسشنامه اول با استفاده از مقیاس پنج‌درجه‌ای لیکرت [۱۵] (از ۱=بسیار کم‌اهمیت تا ۵=بسیار پراهمیت) طراحی و در اختیار گروهی ۵۶ نفره از خبرگان شامل مدیران و کارشناسان بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، مهندسان مشاور، پژوهشگران و اساتید دانشگاه متخصص در این حوزه قرار گرفت. پس از جمع‌آوری داده‌ها، میانگین امتیاز هر معیار به عنوان «وزن اهمیت» آن در نظر گرفته شد. برای سنجش پایایی و سازگاری درونی پرسشنامه، از آزمون آلفای کرونباخ در نرم‌افزار SPSS استفاده شد [۱۶]. نتایج این آزمون (مطابق جدول ۱) برای هر سه بخش دیوار (۰.۸۸۵)، نما (۰.۸۸۴) و پوسته کلی (۰.۹۲۲) مقادیر بالایی را نشان داد که بر اساس جدول ۲، پایایی «خوب» و «عالی» نتایج حاصل از پرسشنامه وزن‌دهی معیارهای ارزیابی را تأیید می‌کند.

جدول ۱ : ضریب آلفای کرونباخ محاسبه‌شده برای وزن معیار سیستم‌ها

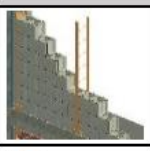
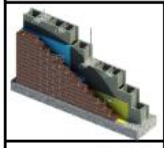
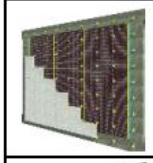
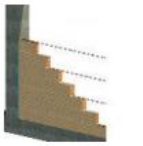
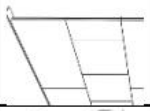
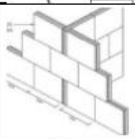
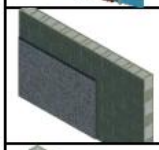
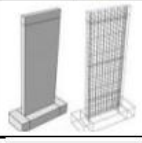
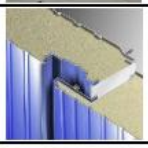
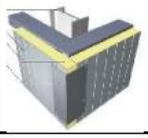
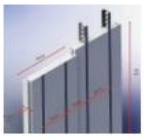
سیستم	پایایی نتایج وزن معیارها	
	آلفای کرونباخ	تعداد آیتم‌های پرسشنامه
دیوار	۰/۸۸۵	۴۲
پوشش نما	۰/۸۸۴	۴۲
پوسته بیرونی	۰/۹۲۲	۴۲

جدول ۲ : میزان کیفیت پایایی و دامنه‌ی اعتبار ضریب آلفای کرونباخ

پایایی درونی	ضریب آلفای کرونباخ
عالی	$\alpha \geq$ ۰/۹
خوب	۰/۸> $\alpha \geq$ ۰/۹
قابل قبول	۰/۷> $\alpha \geq$ ۰/۸
مورد سؤال	۰/۶> $\alpha \geq$ ۰/۷
ضعیف	۰/۵> $\alpha \geq$ ۰/۶
غیرقابل قبول	$\alpha >$ ۰/۵



شکل ۲ : نمایش گرافیکی روش‌شناسی و فرآیند پژوهش (ارزیابی معیارها و سیستم‌ها)

مصالح دیوار			مصالح پوشش نما		
بلوک لیکا (بلوک بتنی با دانه‌های رس منبسط شده سبک)			آجر فشاری (آجر ماشینی یا آجر نسوز نما)		
بلوک AAC (هبلکس - بلوک بتن هوادار اتوکلاوشده)			نمای سنگی با نصب مستقیم (دوغابی)		
بلوک سفالی توخالی (بدون عایق)			نمای سنگی با نصب غیرمستقیم (اجرای خشک)		
پانل والکریت (پانل بتن سبک)			نمای سرامیکی با نصب غیرمستقیم (اجرای خشک)		
بلوک گچی			پوشش نمای تراکوتا با نصب غیرمستقیم (اجرای خشک)		
پانل سه‌بعدی (3D پنل)			نمای پیوسته سیمانی (استاکو، EIFS، ETICS)		
پانل دیواری JK			نمای پانل کامپوزیت آلومینیوم		
پانل دیواری AAC (پانل بتن هوادار اتوکلاوشده)			نمای ترموود		
دیوار پیش‌ساخته ساندویچ پانل			نمای بتن مسلح با الیاف شیشه (GFRC)		
پانل دیواری پیش‌ساخته وال‌اسپید (drywall عایق‌دار - SpeeesWall)			نمای بتن پیش‌ساخته		
پانل گچی کناف (Drywall - دیواخشک)			نمای واشبتن (سیمان شسته)		

شکل ۳ : رایج‌ترین مصالح نما و دیوار (مورد مطالعه در این پژوهش)

- مرحله سوم: عملیات و ارزیابی نهایی

پس از تعیین وزن معیارها، پرسشنامه دوم برای ارزیابی عملکردهر یک از ۲۲ سیستم دیوار و نمای ساختمانی در برابر معیارهای وزن‌دهی‌شده، طراحی شد. این پرسشنامه نیز مبتنی بر مقیاس ۱ تا ۵ بود (۱=عملکرد بسیار ضعیف، ۵=عملکرد بسیار عالی). هر یک از آیتم‌ها در این پرسشنامه به‌طور مستقیم با معیارهای شناسایی‌شده متناظر بوده و موارد کم‌اهمیت حذف گردید. بدین ترتیب، فرمت نهایی دومین پرسشنامه (ارزیابی سیستم ها) مشتمل بر ۲۹ سؤال در ارتباط با سیستم‌های دیوار و ۳۳ سؤال در خصوص نماها (از ۳۴ سؤال اولیه) تدوین شد و به صورت آنلاین در اختیار جامعه آماری گسترده‌تری از متخصصان قرار گرفت. برای تحلیل نهایی و رتبه‌بندی سیستم‌ها، از رابطه زیر برای محاسبه امتیاز نهایی (Q_i) هر سیستم استفاده گردید:

$$(۱)\ Q_i = \sum_1^n CI_j \times P_{j.i} = \sum \left\{ M_j + D_j \times \left(\frac{E_i}{k}\right) \right\} \times P_{j.i}$$

که در آن Qi امتیاز نهایی سیستم i-ام، Clj ضریب اهمیت معیار j-ام (خروجی پرسشنامه اول)، Pj,i امتیاز عملکرد سیستم i-ام نسبت به معیار j-ام (خروجی پرسشنامه دوم)، و n تعداد کل معیارها است.

این محاسبات یک بار برای امتیاز کلی و سه بار به تفکیک برای شرایط اقلیمی مختلف (گرم و خشک، معتدل و مرطوب، و کوهستانی) انجام شد تا رتبه‌بندی دقیقی از سیستم‌ها به دست آید.

یافته‌های پژوهش

۴-۱- وزن اهمیت معیارها

تحلیل مستخرج از نتایج پرسشنامه اول (جهت تعیین وزن معیارها)، نشان‌دهنده اولویت‌های متخصصان در مهم‌ترین معیارهای انتخاب سیستم‌های دیوار و نما بود.

در سیستم‌های دیوار، ۱۰ معیار برتر به ترتیب اهمیت عبارت بودند از:

- قابلیت میخ‌پذیری و نصب و اضافه کردن الحاقات با امتیاز ۴.۶۴
- وزن با امتیاز ۴.۵۹
- افزایش فضای مفید معماری با امتیاز ۴.۵۵
- عایق حرارت- برودتی با امتیاز ۴.۵۲
- انطباق‌پذیری و قابلیت هماهنگی با تاسیسات با امتیاز ۴.۵۲
- عملیات اجرایی اضافی با امتیاز ۴.۵۱
- سهولت دسترسی به مصالح محلی با امتیاز ۴.۴۷
- عایق صوتی با امتیاز ۴.۴۳
- هزینه فرآیندهای ساخت و تولید مصالح با امتیاز ۴.۳۹
- احتمال آسیب جسمانی با امتیاز ۴.۳۵

در سیستم‌های نما، ۱۰ معیار تأثیرگذارتر به شرح زیر بودند:

- هزینه اجرا و نصب با میانگین امتیاز ۴.۵۷
- دوام و ماندگاری فیزیکی (در اقلیم کوهستانی) با امتیاز ۴.۵۲
- هزینه فرآیندهای ساخت و تولید مصالح با امتیاز ۴.۵۲
- احتمال آسیب جسمانی با امتیاز ۴.۴۷
- قابلیت تمیزشوندگی با امتیاز ۴.۴۶
- آلودگی بصری/ هماهنگی بصری مصالح با محیط پیرامونی با امتیاز ۴.۳۹
- محدودیت‌های فصلی در اجرا (در اقلیم کوهستانی) با امتیاز ۴.۳۹
- سهولت دسترسی به مصالح محلی با امتیاز ۴.۳۸
- انعطاف‌پذیری در طراحی با امتیاز ۴.۳۳
- سرعت اجرا (در اقلیم کوهستانی) با امتیاز ۴.۳۱

۴-۱-۱- تفسیر فنی نتایج وزن‌دهی

سیستم‌های دیوار: بالاترین وزن معیارها (قابلیت میخ‌پذیری: ۴.۶۴ و وزن: ۴.۵۹) نشان می‌دهد که اولویت متخصصان نه تنها هزینه، بلکه الزامات ایمنی، سازه‌ای و بهره‌وری فضا است. قابلیت میخ‌پذیری به نصب مطمئن و ایمن تجهیزات (مانند کابینت و تأسیسات) مربوط است، و «وزن» مستقیماً با کاهش نیروی اینرسی لرزه‌ای سازه در ارتباط است. کاهش وزن دیوارهای غیرسازه‌ای یکی از مؤثرترین راهکارها برای کاهش تقاضای لرزه‌ای کلی ساختمان و جلوگیری از

شکست‌های برشی زودهنگام میان‌قاب‌ها است. همچنین، «عایق حرارتی» و «انطباق‌پذیری با تأسیسات» به دلیل اهمیت در رعایت مبحث ۱۹ مقررات ملی (انرژی) و اجرای سریع (عملیات اجرایی اضافی) در اولویت قرار دارند.

سیستم‌های نما: بالاترین امتیاز برای «هزینه اجرا» و «دوام فیزیکی» نشان‌دهنده اولویت‌بخشی به کاهش هزینه‌های چرخه عمر و مهم‌تر از آن، ایمنی عمومی و جلوگیری از ریزش نما در برابر عوامل محیطی و لرزه‌ای است. این تمرکز قویاً انتخاب نماهای اجرای خشک و پیش‌ساخته را که خطر کمتری در زلزله دارند، تأیید می‌کند. همچنین، معیارهای مرتبط با شرایط اقلیمی سخت (مانند مناطق کوهستانی) اهمیت ویژه‌ای می‌یابند (مطابق قیاس صورت گرفته برای اقلیم‌های مختلف در چارت‌های شکل ۴).

۲-۴- رتبه‌بندی نهایی سیستم‌ها

پس از اعمال وزن‌های به دست آمده به امتیازات عملکرد سیستم‌ها (معیارهای ارزیابی)، امتیاز نهایی و رتبه‌بندی آن‌ها با استفاده از محاسبات کمی و کیفی (پرسشنامه دوم که به صورت برخط جهت امتیازدهی به سیستم‌ها با استفاده از معیارهای اولویت بندی شده در مرحله قبل تنظیم گردید)، مشخص شد. درنتیجه رتبه‌بندی سیستم‌های دیوار و پوشش نمای برتر بر اساس امتیاز کل بدست آمده از نتایج محاسبات (مطابق جدول ۳) نشان دهنده‌ی این موضوع است که:

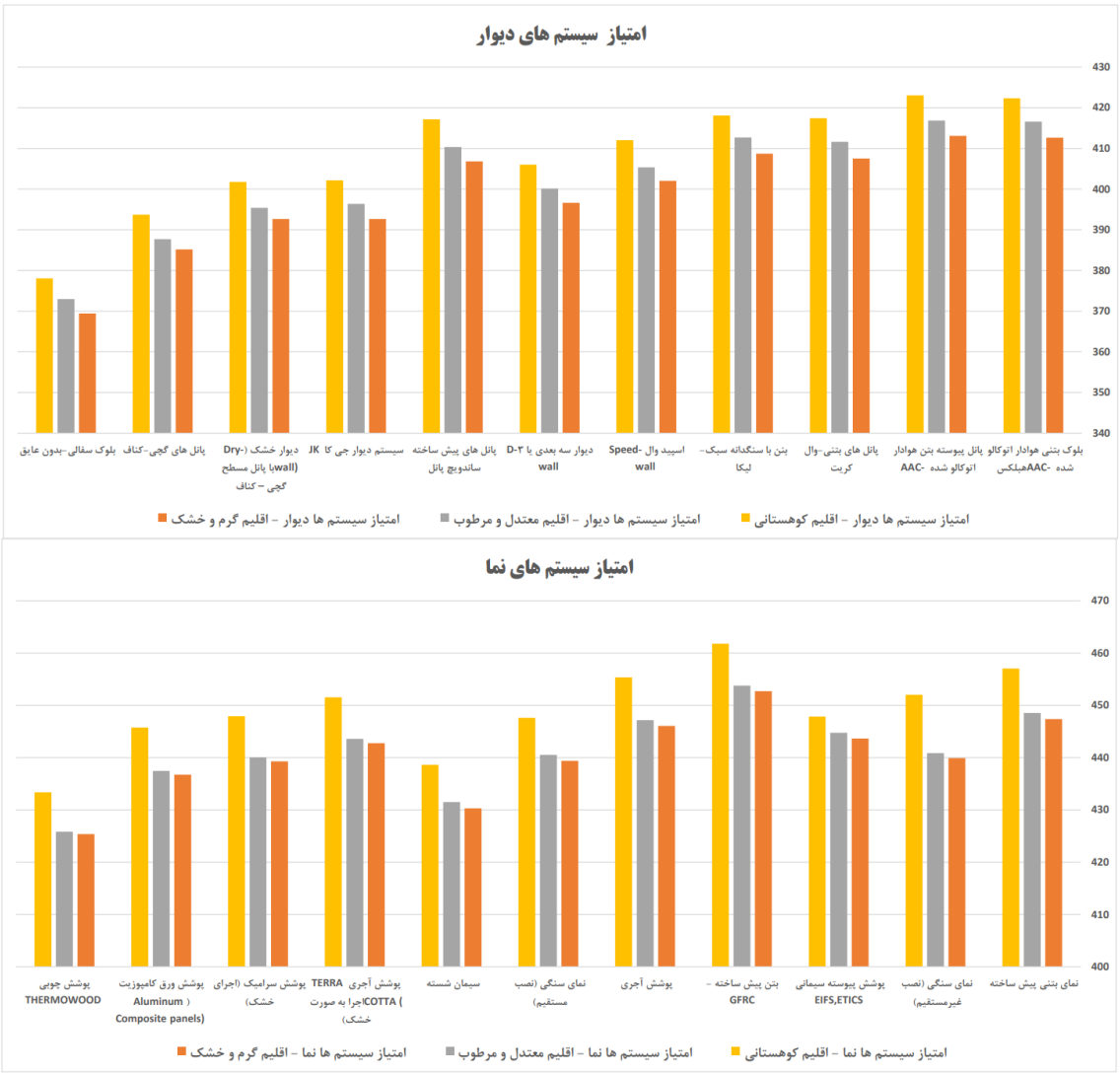
برای بخش دیوار، سیستم‌های مدرن و سبک مبتنی بر بتن هوادار اتوکلاو شده (Autoclaved aerated concrete (AAC)) و پانل‌های پیش‌ساخته بهترین عملکرد را داشته‌اند. بلوک سفالی توخالی که یکی از رایج‌ترین مصالح در ساخت‌وساز سنتی ایران است، به دلیل وزن بالا، عملکرد حرارتی و صوتی ضعیف و سرعت اجرای پایین، در انتهای این رتبه‌بندی قرار گرفت.

در بخش نما، سیستم‌های با اجرای خشک و پیش‌ساخته به دلیل سرعت بالا، کیفیت کنترل‌شده و دوام، امتیازات بالاتری کسب کردند. نمای سنگی با اجرای مستقیم (دوغابی) به دلیل سرعت اجرای پایین‌تر و احتمال جدا شدن از بدنه در بلندمدت، رتبه پایین‌تری نسبت به اجرای خشک کسب کرد. نمای ترموود نیز با وجود زیبایی، به دلیل هزینه بالاتر و نیاز به نگهداری، در انتهای لیست قرار گرفت.

تحلیل‌های تفکیکی بر اساس اقلیم نیز نتایج جالبی را نشان داد. برای مثال، در اقلیم‌های مرطوب، دوام شیمیایی مصالح اهمیت بیشتری یافت و در اقلیم‌های گرم و خشک، عملکرد حرارتی به یک معیار کلیدی تبدیل شد. نمودارهای مقایسه‌ای (شکل ۴) نیز این تفاوت‌ها را به خوبی نشان می‌دهند.

جدول ۳ : رتبه‌بندی سیستم‌های نما و دیوار بر اساس امتیاز کلی

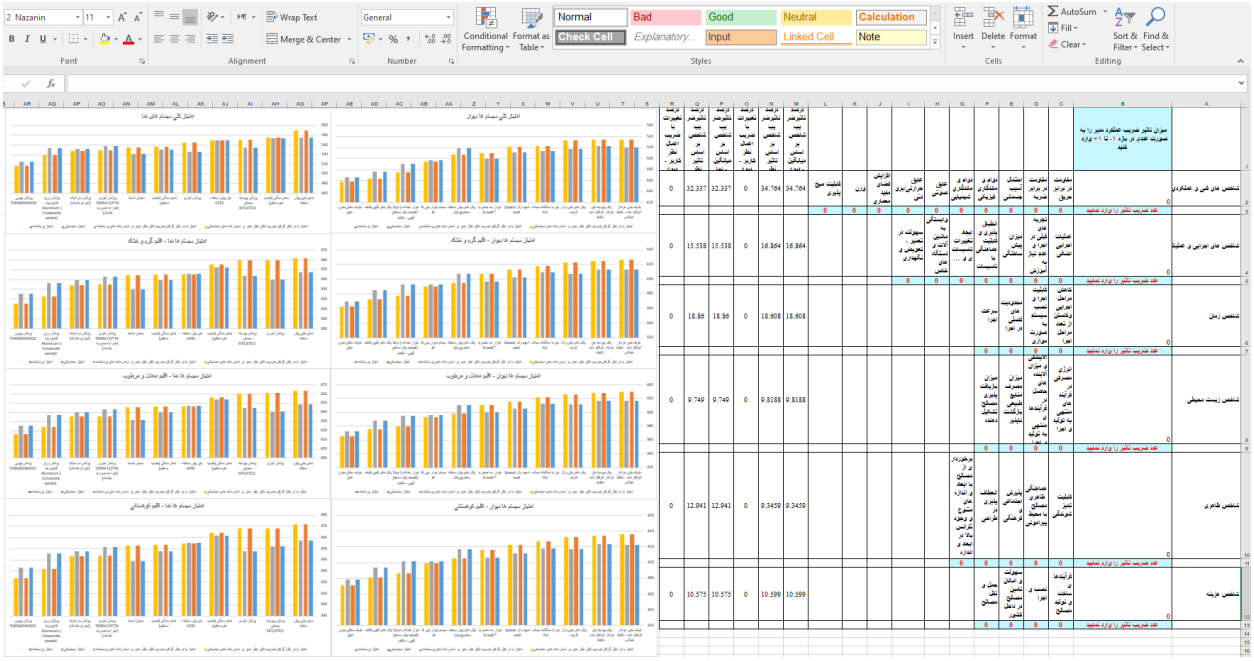
نما		دیوار		
امتیاز کلی	سیستم – مصالح	امتیاز کلی	سیستم – مصالح	رتبه
۵۷۵/۳۵	نمای بتن پیش‌ساخته	۵۲۳/۰۴	پانل دیواریAAC	۱
۵۷۳/۱۲	نمای سنگی با نصب غیرمستقیم (اجرای خشک)	۵۲۰/۴۷	بلوک AAC	۲
۵۷۰/۰۲	نمای بتن مسلح با الیاف شیشه (GFRC)	۵۱۹/۵	دیوار پیش‌ساخته ساندویچ پانل	۳
۵۵۶/۹۴	پوشش نمای تراکوتا با نصب غیرمستقیم (اجرای خشک)	۵۱۸/۲۱	پانل والکریت (WALLCRETE)	۴
۵۵۵/۰۲	نمای پیوسته سیمانی (Stucco façade, ETICS, EIFS)	۵۱۴/۲۶	بلوک لیکا	۵
۵۵۲/۸۶	نمای پانل کامپوزیت آلومینیوم	۵۱۰/۹۳	پانل دیواری پیش‌ساخته وال‌اسپید	۶
۵۵۲/۴۲	نمای سرامیکی با نصب غیرمستقیم (اجرای خشک)	۴۹۹/۵۷	پانل سه‌بعدی (3D پنل)	۷
۵۵۰/۵۵	نمای سنگی با نصب مستقیم (دوغابی)	۴۹۷/۳۵	پانل دیواری جی‌کا JK [۱۸]	۸
۵۴۵/۵۶	آجر فشاری (آجر ماشینی یا آجر نسوز نما)	۴۹۰/۷۶	پانل گچی کناف (KNAUF)	۹
۵۴۱/۰۹	نمای واشبتن (سیمان شسته)	۴۷۶/۱۶	بلوک گچی	۱۰
۵۲۵/۳۸	نمای ترموود (Thermowood)	۴۶۵/۷۴	بلوک سفالی توخالی (بدون عایق)	۱۱



شکل ۴ : قیاس نمودارهای امتیاز سیستم های دیوار و نما در اقلیم های مختلف

۳-۴-ابزار توسعه‌یافته برای انتخاب بهینه سیستم‌های دیوار و نما در راستای فراهم آوردن یک رویکرد علمی و نظام‌مند برای انتخاب سیستم‌های دیوار و نما، ابزاری مبتنی بر نرم‌افزار اکسل توسعه داده شده است. این ابزار به کاربران این امکان را می‌دهد که با وارد کردن وزن اهمیت هر معیار (بر اساس نظرات خبرگان و مدیران پروژه) و همچنین عملکرد هر سیستم در قبال این معیارها، به امتیاز نهایی هر گزینه دست یابند. یکی از ویژگی‌های کلیدی این ابزار، قابلیت اعمال "ضریب تصمیم‌گیری مدیر" است که به مدیران پروژه اجازه می‌دهد تا با توجه به اولویت‌ها و شرایط خاص هر پروژه، تأثیر وزن‌دهی معیارها را تعدیل کرده و به نتایج واقع‌بینانه‌تر و کاربردی‌تری برسند. این ضریب به ابزار انعطاف‌پذیری لازم را برای سازگاری با نیازهای متنوع صنعت ساختمان می‌بخشد. در شکل ۵ نمایی از ابزار توسعه یافته نشان داده شده است.

ارائه جزئیات اجرایی ترکیب‌های مختلف دیوارها و نماهای برتر با توجه به نتایج ارائه شده در بخش قبل، سه گزینه دیوار پانل پیوسته بتن هوادار اتوکلاو شده AAC [۱۷]، بلوک بتنی هوادار اتوکلاو شده AAC- هبلکس و پانل های بتنی-وال کریت به عنوان دیوارهای برتر و همچنین نمای بتنی پیش ساخته، نمای سنگی (نصب غیرمستقیم) و پوشش سیمانی اتیکس به عنوان سه نمای برتر انتخاب شدند. در ادامه، تصاویر سه بعدی، پلان و مقطع این دیوارها و نماهای برتر به صورت ترکیبی و در کنار یکدیگر به عنوان سیستم‌های پوسته خارجی منتخب ارائه می‌گردد.



شکل ۵ : ابزار تحلیلی-مدیریتی توسعه یافته تحت اکسل برای انتخاب سیستم بهینه نما و دیوار ساختمانی در اقلیم‌های مختلف

۱-۴-۴-نمای سنگی با نصب غیرمستقیم (اجرای خشک) و عملکرد لرزه‌ای: نمای سنگی با اجرای خشک (Dry Façade)، به دلیل عدم استفاده از ملات و اتصال مکانیکی به سازه، بالاترین امتیاز دوام فیزیکی و ایمنی لرزه‌ای را کسب کرده است. این روش، پاسخ مستقیمی به خطرات ناشی از ریزش نمای دوغابی (نصب مستقیم) در هنگام زلزله است و با الزامات استاندارد ۲۸۰۰ در خصوص مهار لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای مطابقت دارد.

مزیت فنی کلیدی: این سیستم به سنگ نما اجازه می‌دهد که مستقل از سازه در معرض تنش‌های حرارتی (انبساط و انقباض) و همچنین حرکات نسبی لرزه‌ای جابجا شود.

تأکید بر اتصالات لرزه‌ای: زمانی که نمای سنگ پلاک به صورت غیرمستقیم بر روی دیوار پشتیبان نصب می‌شود، استفاده از سامانه‌های وال پُست انعطاف‌پذیر (Flexible Wall Posts)و اتصالات مکانیکی (انکرها و براکت‌های فلزی) ضروری است. این اتصالات باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که فاصله جداسازی لرزه‌ای (Separation Gap) لازم را میان دیوار غیرسازه‌ای (میان‌قاب) و قاب سازه‌ای (ستون و تیر) فراهم کنند. این درز انقطاع (مطابق شکل ۶)، جابه‌جایی‌های جانبی سازه را بدون ایجاد تنش مستقیم به دیوار میان‌قاب امکان‌پذیر می‌سازد و از شکست و خرابی‌های زودرس دیوار جلوگیری می‌کند.

پس زمانی که نمای سنگ پلاک به صورت غیر مستقیم بر روی دیوار پشتیبان نصب می‌شود، باید از وال پست استفاده شود تا نبشی‌ها به آن‌ها متصل گردند. در این حالت مسلح کردن دیوار با شبکه الیاف هزینه اضافی برای تدارک زیرسازی جهت اجرای سنگ را به همراه خواهد داشت.

نمای پوشش سیمانی ETICS (سیستم عایق حرارتی از بیرون) و نقطه شبنم: سیستم ETICS (External Thermal Insulation Composite System) یک سیستم جامع است که نه تنها یک پوشش نما، بلکه یک راهکار کامل عایق حرارتی از بیرون ارائه می‌دهد که مطابق با الزامات مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان عمل می‌کند.

مزیت فنی کلیدی (نقطه شبنم):عملکرد فنی اصلی ETICS، قرار دادن نقطه شبنم (Dew Point) در لایه بیرونی و داخل ضخامت عایق حرارتی است. با این کار، از میعان بخار آب (Condensation) در داخل ساختار دیوار جلوگیری می‌شود. میعان در دیوارهای داخلی می‌تواند منجر به آسیب سازه‌ای، کاهش عملکرد عایق، و افزایش رطوبت شود.

جزئیات اجرایی: لایه پایه سیمانی باید با شبکه الیاف شیشه مقاوم به قلیا (Alkali-Resistant Fiberglass Mesh) مسلح شود تا در برابر تنش‌های حرارتی و جابه‌جایی‌های جزئی ساختمان، از ایجاد ترک در نما جلوگیری شود.

زمانی که نمای پوشش سیمانی بر روی دیوار پشتیبان نصب می‌شود، در این حالت مسلح کردن دیوار با شبکه الیاف بدون مانع است و از هزینه‌های اضافی جهت استفاده از وال پست می‌کاهد.

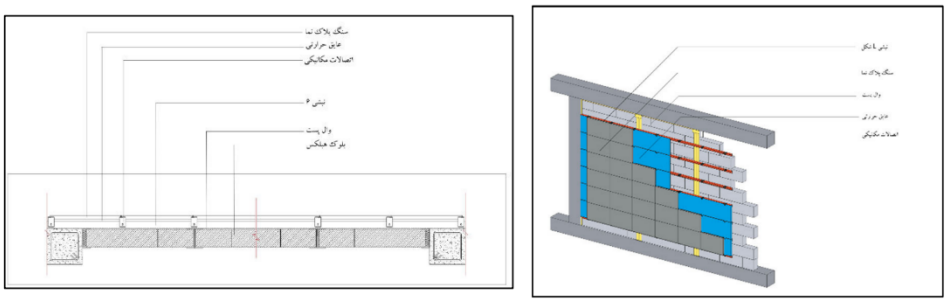
۳-۴-۴- نمای بتنی پیش‌ساخته و کنترل کیفیت

اجرای نمای بتنی پیش ساخته نیز نیازی به وال پست ندارد و می‌توان دیوارها را به کمک شبکه الیاف مسلح کرد.

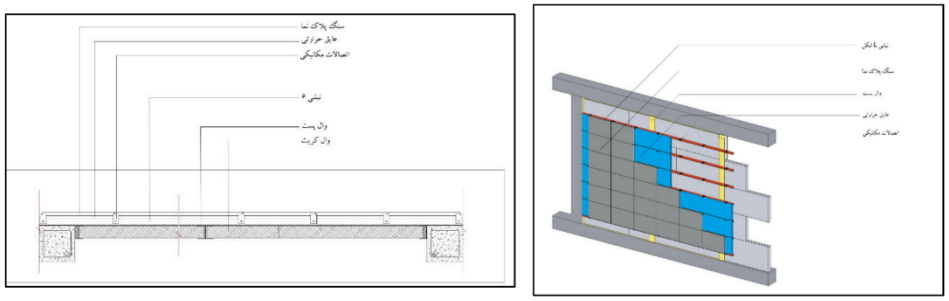
مزیت فنی کلیدی (کنترل کیفیت): استفاده از نماهای بتنی پیش‌ساخته (Precast Concrete Façades) امکان کنترل کیفیت بسیار بالا (تحت شرایط کارخانه) را فراهم می‌آورد. این امر به کاهش خطا در اجرا و اطمینان از پایداری ابعادی کمک می‌کند.

مهار و اتصال: اجرای نمای بتنی پیش ساخته نیز نیازمند سیستم اتصالات مکانیکی است که باید برای تحمل بارهای لرزه‌ای، باد و ضربه و همچنین تأمین درزهای کنترلی طراحی شوند. در این سیستم‌ها، اتصال محکم نما به سازه اصلی، ایمنی را در برابر ریزش در زلزله تضمین می‌کند و نیاز به وال پست برای دیوار پشتیبان را کاهش می‌دهد.

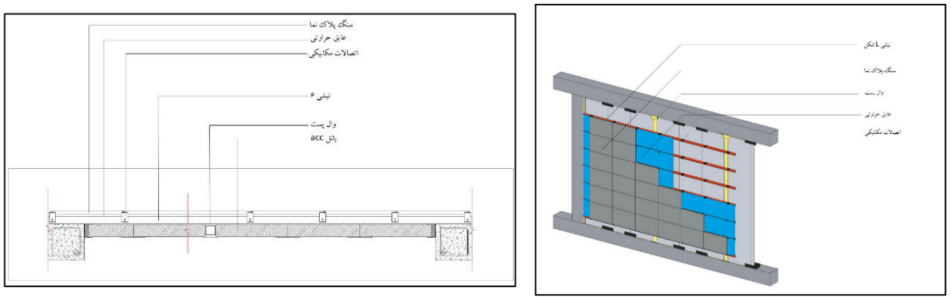
(الف) نمای سنگ پلاک با دیوار پشتیبان از جنس هبلکس



(ب) نمای سنگ پلاک با دیوار پشتیبان از جنس پانل های بتنی-وال کریت

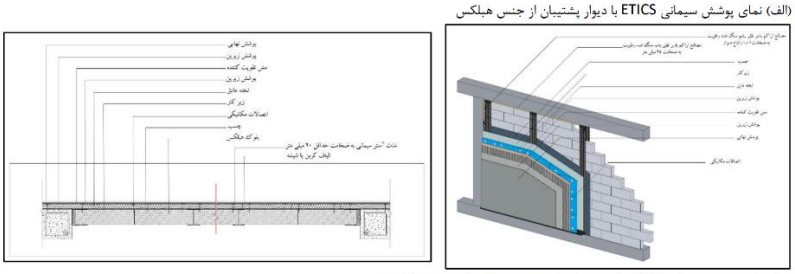


(ج) نمای سنگ پلاک با دیوار پشتیبان از جنس پانل پیوسته بتن هوادار اتوکلاو شده AAC

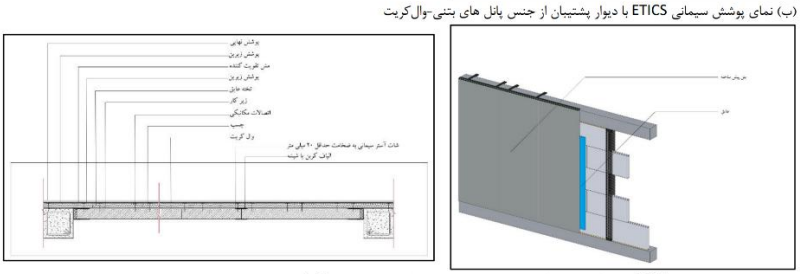


شکل ۶ : پوسته خارجی ساختمان ترکیب نمای سنگ پلاک (نصب غیرمستقیم) با سه سیستم برتر دیوار

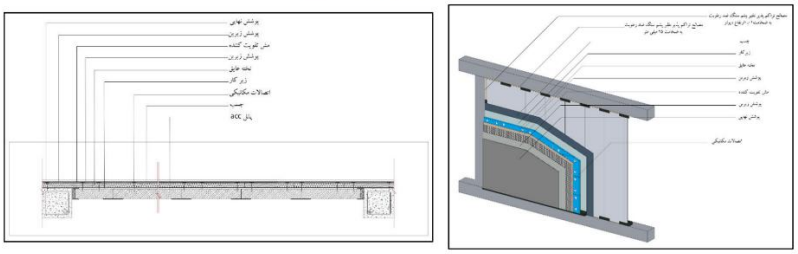
(الف) نمای پوشش سیمانی ETICS با دیوار پشتیبان از جنس هبلکس



(ب) نمای پوشش سیمانی ETICS با دیوار پشتیبان از جنس پانل های بتنی-وال کریت

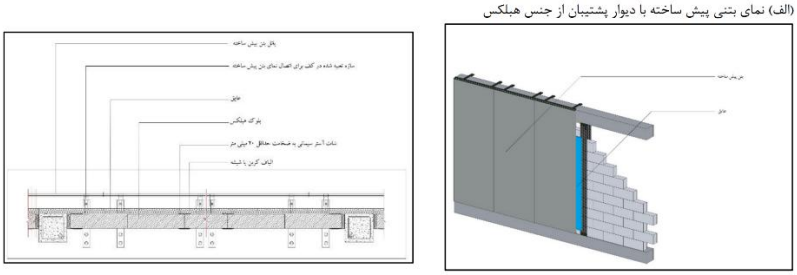


(ج) نمای پوشش سیمانی ETICS با دیوار پشتیبان از جنس پانل پیوسته بتن هوادار اتوکلاو شده AAC

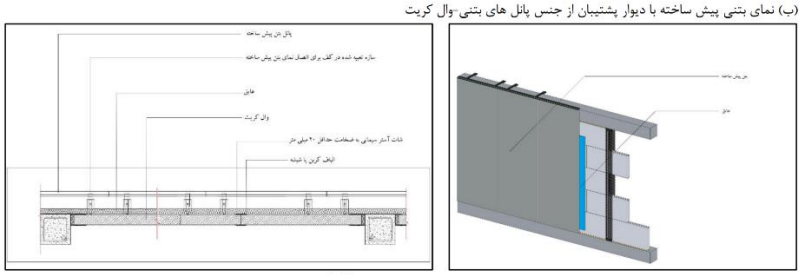


شکل ۷ : پوسته خارجی ساختمان ترکیب نمای پوشش سیمانی ETICS با سه سیستم برتر دیوار

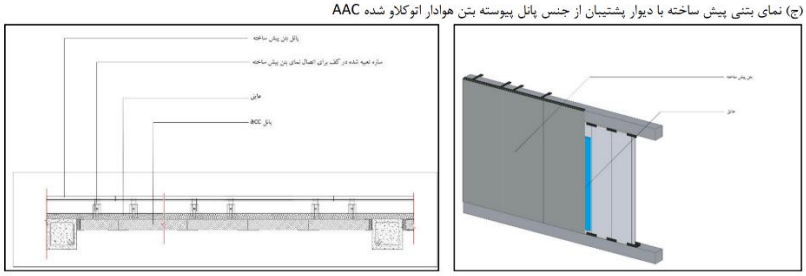
(الف) نمای بتنی پیش ساخته با دیوار پشتیبان از جنس هبلکس



(ب) نمای بتنی پیش ساخته با دیوار پشتیبان از جنس پانل های بتنی-وال کریت



(ج) نمای بتنی پیش ساخته با دیوار پشتیبان از جنس پانل پیوسته بتن هوادار اتوکلاو شده AAC



شکل ۸ : پوسته خارجی ساختمان ترکیب نمای بتنی پیش‌ساخته با سه سیستم برتر دیوار

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش با هدف ارائه یک رویکرد علمی و یکپارچه برای انتخاب سیستم‌های دیوار و نما در صنعت ساختمان ایران تدوین شد. نتایج به وضوح نشان داد که فرآیند تصمیم‌گیری در این حوزه، یک مسئله چندبعدی است که نیازمند در نظر گرفتن همزمان معیارهای متعدد فنی، اقتصادی، اجرایی و زیست‌محیطی است. چارچوب توسعه‌یافته در این پژوهش، با تبدیل دانش و تجربه متخصصان به یک مدل کمی و قابل سنجش، این امکان را فراهم می‌آورد.

مهم‌ترین دستاوردها و نتایج این پژوهش را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

۱) **شناسایی و وزن‌دهی معیارها:** این پژوهش نشان داد که برخلاف تصور رایج که هزینه را تنها عامل تعیین‌کننده می‌داند، معیارهای عملکردی و اجرایی مانند «قابلیت میخ‌پذیری» برای دیوارها و «دوام فیزیکی» برای نماها از اهمیت بسیار بالایی در دیدگاه متخصصان برخوردارند. این یافته می‌تواند به اصلاح نگرش‌ها در فرآیند طراحی و انتخاب مصالح کمک شایانی نماید.

۲) **رتبه‌بندی عینی سیستم‌ها:** پژوهش حاضر با ارائه یک رتبه‌بندی مستند، برتری سیستم‌های مدرن، سبک و پیش‌ساخته را بر روش‌های سنتی به اثبات رساند. سیستم‌هایی مانند پانل‌ها و بلوک‌های AAC برای دیوار و نماهای پیش‌ساخته و با اجرای خشک، نه تنها از نظر فنی (وزن، عایق‌بندی) برتر هستند، بلکه در معیارهای زمانی و اجرایی نیز امتیازات بالاتری کسب می‌کنند. این نتیجه می‌تواند مبنایی برای بازنگری در فهرست‌بهای پروژه‌های ملی و ترویج فناوری‌های نوین ساختمانی قرار گیرد.

۳) **توسعه ابزار تحلیلی-مدیریتی:** خروجی کاربردی این پژوهش، یک ابزار تصمیم‌گیری مبتنی بر اکسل است که به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد تا با وارد کردن اولویت‌های خاص پروژه (از طریق اعمال "ضریب تصمیم‌گیری مدیر")، رتبه‌بندی سفارشی خود را دریافت کنند. این ابزار شکاف میان پژوهش‌های دانشگاهی و نیازهای عملی صنعت ساختمان را پر کرده و به عنوان یک راهنمای منعطف عمل می‌کند.

۴) **ارائه جزئیات اجرایی و بصری:** این پژوهش با ارائه تصاویر پرسپکتیو، و جزئیات اجرایی از ۹ ترکیب برتر دیوار و نما، از سطح تحلیل نظری فراتر رفته و یک راهنمای بصری و اجرایی برای طراحان و مهندسان فراهم کرده است. این جزئیات به درک بهتر نحوه عملکرد و اجرای ترکیبی سیستم‌های منتخب کمک کرده و فرآیند طراحی و ساخت را تسهیل می‌بخشد.

بر اساس یافته‌های این پژوهش، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

- **برای سیاست‌گذاران و نهادهای متولی مسکن**: توصیه می‌شود نتایج این پژوهش به عنوان یک راهنمای فنی در پروژه‌های مسکن ملی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، لازم است با تدوین ضوابط تشویقی، استفاده از سیستم‌های برتر
چرخه عمر (LCA)» و ارزیابی سیستم‌های بومی و نوین دیگر، توسعه یابد. همچنین، بررسی تأثیر متقابل انتخاب سیستم دیوار و نما بر یکدیگر می‌تواند موضوع پژوهش‌های آتی باشد.
- **برای مهندسان مشاور و طراحان:** پیشنهاد می‌شود از چارچوب و ابزار ارائه‌شده در این پژوهش برای مستندسازی و توجیه انتخاب‌های خود در مرحله طراحی استفاده کنند. این امر به افزایش کیفیت و بهینه‌سازی پروژه‌ها کمک شایانی خواهد کرد.
- **برای پژوهشگران آینده:** این پژوهش می‌تواند با افزودن معیارهای جدیدی مانند « تحلیل جامع

در مجموع، این پژوهش یک راه حل جامع، از شناسایی معیارها تا انتخاب نهایی و نمایش جزئیات اجرایی، ارائه می‌دهد که می‌تواند به عنوان یک مرجع قابل اتکا برای بهینه‌سازی انتخاب پوسته‌های خارجی ساختمان در پروژه‌های انبوه‌سازی و ملی مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی: بدین‌وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را از جناب آقای دکتر رُهام افغانی خراسکانی و جناب آقای مصطفی تقی‌زاده به‌خاطر تلاش‌ها، همکاری‌ها و پشتکار ارزشمند ایشان ابراز می‌داریم. بی‌تردید، مشارکت‌های منحصربه‌فرد و روحیه‌ی همکاری این عزیزان نقش بسزایی در پیشبرد موفقیت‌آمیز این پژوهش داشته است.

تأییدیه‌های اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان در مقاله: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع مالی/ حمایت‌ها: حمایت‌ها و پشتیبانی‌های بنیاد مسکن انقلاب اسلامی و پژوهشکده سوانح طبیعی ـ به‌عنوان حامیان مالی و پشتیبانان علمی ـ سهمی تعیین‌کننده در امکان‌پذیری و اجرای این پژوهش داشته است.

References

[1]. Azizi MM. A study on housing indicators in different countries of the world. Tehran: National Land and Housing Organization, Office of Housing Planning and Economics; 1994. [In Persian].

[2]. Bahmani A, Ghaed Rahmati S. Evaluation of Mehr housing in terms of qualitative indicators of suitable housing (case study: 22 Bahman Mehr housing in Zanjan city). *J Geogr Reg Dev*. 2016;14(1):47–65. [In Persian].

[3]. Afghani Khoraskani R, et al. Guideline and booklet for designing details of peripheral walls and external facades of common buildings in Sarpol-e Zahab county with a climatic and environmental approach. Tehran: Housing Foundation of Islamic Revolution, Deputy of Reconstruction and Rural Housing; 2022. [In Persian].

[4]. Gregory K, Moghtaderi B, Sugo H, Page A. Effect of thermal mass on the thermal performance of various Australian residential construction systems. *Energy Build*. 2008;40(4):459–465. Available from: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.04.001

[5]. Khakzand M, Mohammadi M, Jam F, Zakeri K. Identifying effective factors in the design of urban facades with emphasis on aesthetic and environmental dimensions (case study: Valiasr Street, Qeshm city). *Urban Stud Q*. 2014;3(10):15–26. [In Persian].

[6]. Keikha H, Ghodrati Amiri G. Seismic performance assessment of quintuple friction pendulum isolator with a focus on frictional behavior impressionability from velocity and temperature. *J Earthq Eng*. 2021;25(7):1256–1286. Available from: https://doi.org/10.1080/13632469.2019.1568929

[7]. Keikha H, Ghodrati Amiri G. Numerical development and assessment of 3D quintuple friction pendulum isolator element based on its analytical and mathematical models. *J Earthq Eng*. 2021;25(13):2718–2757. Available from: https://doi.org/10.1080/13632469.2019.1643808

[8]. Keikha H, Ghodrati Amiri G. Developing a simplified method for analysis and design of isolated structures with the novel quintuple friction pendulum system under bidirectional near-field excitations. *J Vib Control*. 2023;29(1–2):453–465. Available from: https://doi.org/10.1177/10775463211048261

[9]. Charleson A. *Seismic Design for Architects: Outwitting the Quake*. Oxford: Architectural Press; 2008.

[10]. Bolattürk A. Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey. *Build Environ*. 2008;43(6):1055–1064. Available from: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.02.014

[11]. Dombaycı ÖA, Gölcü M, Yürümez Y. The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings. *Build Environ*. 2007;42(11):3855–3859. Available from: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.054

[12]. Martabid JE, Mourgues C. Criteria used for selecting envelope wall systems in Chilean residential projects. *J Constr Eng Manag*. 2015;141(12):05015011. Available from: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001025

[13]. Zavadskas EK, Vilutienė T. A multiple criteria evaluation of multi-family apartment block maintenance contractors: I—Model for maintenance contractor evaluation and determination of selection criteria. *Build Environ*. 2006;41(5):621–632. Available from: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.02.019

[14]. Mikaeili R, Karami E, Yousefi M. Investigation and analysis of quality assessment indicators of contemporary Iranian-Islamic housing based on the analytical hierarchy process method (case study: housing built in the last forty years). *Islam Archit Urban Cult*. 2021;6(1):18–38. [In Persian]. Available from: https://doi.org/10.52547/ciauj.6.1.19

[15]. Likert R. A technique for the measurement of attitudes. *Arch Psychol*. 1932;22(140):1–55.

[16]. Cronbach LJ. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*. 1951;16(3):297–334. Available from: https://doi.org/10.1007/BF02310555

[17]. Plan and Budget Organization of Iran. Publication No. 326: Guideline for the design and execution of walls made of autoclaved aerated concrete (AAC) blocks. Tehran: Plan and Budget Organization; 2020. [In Persian].

[18]. Zahraei SM, Khalili A. Investigation and introduction of the JK wall and its role in the industrialization of construction. *Shabak Monthly*. 2016;2(2). [In Persian].

[19]. Ortiz O, Castells F, Sonnemann G. Sustainability in the construction industry: a review of recent developments based on life cycle assessment. *Constr Build Mater*. 2009;23(1):28–39. Available from: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012

[20]. Khasreen MM, Banfill PF, Menzies GF. Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: a review. *Sustainability*. 2009;1(3):674–701. Available from: https://doi.org/10.3390/su1030674

[21]. Federal Emergency Management Agency (FEMA). *Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage—A Practical Guide (FEMA E-74)*. Washington (DC): FEMA; 2012.

[22]. Federal Emergency Management Agency (FEMA). *Earthquake-Resistant Design Concepts: An Introduction to the NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures (FEMA P-749)*. Washington (DC): FEMA; 2010.

[23]. Noorifard A, Mahdizadeh Saradj F, Vafamehr M. Conceptual assessment of seismic performance of nonstructural walls in conventional medium-rise buildings according to experiences of past earthquakes. *Naqshejahan: Basic Stud New Technol Archit Plan*. 2016;6(3):38–50.

[24]. Nahri Z, Motamedmanesh M. A new perspective on enhancing national Iranian projects through adoption of new technologies. *Naqshejahan: Basic Stud New Technol Archit Plan*. 2024;14(2):41–56.

[25]. Mokhtari L, Kariminia S, Kianersi M. Typology of general form and relative compactness of residential buildings in Tehran from the perspective of climatic performance and energy consumption optimization. *Naqshejahan: Basic Stud New Technol Archit Plan*. 2022;11(4):60–78.