Civil and Project Journal, 2025, 7(3), 47-66
https://doi.org/10.22034/cpj.2025.521692.1363

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

Research Article

Investigating the possibility of green intelligence in structures by using modern smart materials

Hadi Soltani Nejad[1]*, Amir Robati[2]

1-M.Sc., Civil Engineering,Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Kerman Branch, Iran*
2-Assistant Professor, Civil Engineering,Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Kerman Branch, Iran

Received: 05 April 2025; Revised: 10 May 2025; Accepted: 12 May 2025; Published: 22 May 2025

Abstract

A smart building refers to a type of facility that integrates optimal design principles, advanced materials, intelligent systems, and modern technologies to provide a responsive and adaptive environment for users throughout the building's lifecycle. Among the most significant applications of modern building technologies is smartization, which aims to improve building performance through the integration of intelligent control systems. A truly smart building must incorporate four core components—systems, infrastructure, services, and management—as well as the dynamic interrelations between them. The primary objective of implementing smart control systems is to enable efficient energy storage and optimized energy consumption, which is increasingly recognized not as a luxury but as a practical necessity in the design and operation of high-rise and large-scale buildings. This study identifies the key factors influencing the implementation of green smartization through the use of intelligent materials, using a comprehensive literature review. Subsequently, these factors are prioritized using the Fuzzy VIKOR multi-criteria decision-making method. The results indicate that the following ten factors play a critical role in the adoption of green smart technologies using smart materials: integrated building monitoring and control (0.041), enhancement of occupant comfort and convenience (0.1057), improved service delivery (0.1526), reduction in energy consumption, better fulfillment of user needs, decreased maintenance costs, software-enabled integration of materials and facilities, advanced fire suppression systems, strategic cost savings, and temperature management (heating and cooling). These factors collectively underline the importance of incorporating smart and sustainable technologies in modern civil and structural engineering practice.

Keywords: Smartization; Green Materials; Intelligent Materials; Sustainable Development; Energy.

Cite this article as: soltani nejad, H. and robai, A. (2025). Investigating the possibility of green intelligence in structures by using modern smart materials. *Civil and Project*, *7*(3), -.https://doi.org/10.22034/cpj.2025.521692.1363

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2025 by the authors.

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

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

*Corresponding author E-mail address:soltani.hadi89@gmail.com

نشریه عمران و پروژه، ۱۴۰۴، ۷(۳)، ۴۷-۶۶
https://doi.org/10.22034/cpj.2025.521692.1363

نشریه عمران و پروژه
http://www.cpjournals.com/

بررسی امکان هوشمندسازی سبز در سازه با بکارگیری مصالح هوشمند نوین

هادی سلطانی‌نژاد[1*]، امیر رباطی[2]

*۱- کارشناسی ارشد، ، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران
۲- استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت ۱۶ فروردین ۱۴۰۴؛ تاریخ بازنگری: ۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۲۲ اردیبهشت ۱۴۰۴؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ خرداد ۱۴۰۴

چکیده:

ساختمان هوشمند به دسته‌ای از مکان‌ها اطلاق می‌شود که بهترین اصول طراحی، مصالح، سامانه‌ها و فناوری‌ها را جهت ارائه محیطی هوشمند، پاسخگو برای استفاده‌کنندگان، در طول عمر ساختمان به کار می‌برد .لازم به ذکر است که از کاربردهای تکنولوژی نوین در ساختمان می‌توان به هوشمندسازی ساختمان اشاره کرد است .ساختمان هوشمند بایستی دارای چهارعنصر اصلی یعنی سیستم‌ها، ساختار، سرویس‌ها و مدیریت و روابط درونی آنها باشد و هدف اصلی استفاده از سیستم کنترل هوشمند در ساختمان ذخیره‌سازی و مصرف درست و بهینه‌سازی انرژی است که امروزه به‌عنوان یک نیاز واقعی، نه به‌عنوان یک تکنولوژی لوکس در طراحی ساختمان‌های بلند و گسترده توسط مهندسان و مدیران ملاحظه می‌شود. در این تحقیق ضمن شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر در استفاده از هوشمندسازی سبز با مصالح هوشمند با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، به رتبه‌بندی این عوامل با استفاده از روش ویکور فازی پرداخته شده است نتایج آن بدین صورت است عوامل مانیتورینگ و کنترل یکپارچه ساختمان (۰/۰۴۱)، بالابردن رفاه و آسایش ساکنان (۰/۱۰۵۷)، سرویس‌دهی بهتر (۰/۱۵۲۶)، کاهش مصرف انرژی، تأمین نیاز ساکنین، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، امکان استفاده نرم‌افزاری از مصالح و امکانات، اطفای حریق، صرفه‌جویی در هزینه‌های راهبردی ساختمان، مدیریت دما (سرمایش و گرمایش) جز ده عامل مؤثر در استفاده از هوشمندسازی سبز با مصالح هوشمند هستند.

کلمات کلیدی: هوشمندسازی، مصالح سبز، مصالح هوشمند، توسعه پایدار، بهینه سازی انرژی.

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: soltani.hadi89@gmail.com

۱- مقدمه

در عصر حاضر، گرایش جوامع صنعتی پیشرفته و درحال‌توسعه به استفاده از سیستم‌های اتوماسیون در صنایع، سازمان‌ها و مراکز مختلف، باهدف کاهش نیروی انسانی و صرفه‌جویی در هزینه‌های اقتصادی، منجر به نصب و راه‌اندازی حجم گسترده‌ای از سیستم کنترل هوشمند در محیط‌های مختلف صنعتی، تجاری، اداری و حتی مسکونی گردیده است (Anjomshoa, 2024; Sandberg et al., 2016). برای نمونه در ساختمان‌های تجاری و اداری سیستم روشنایی و دستگاه‌های تهویه‌مطبوع بیشترین انرژی را مصرف می‌کنند (Ejidike & Mewomo, 2023). ازاین‌جهت استفاده بهینه از تکنولوژی و بکار گیری فناوری ارتباطات و اتوماسیون ساختمان حائز اهمیت می‌گردند که در مجموع صرفه‌جویی انرژی را در برخواهد داشت (Berawi et al., 2017). هم اکنون در جای‌جای شهرهای بزرگ ایران برج‌های تجاری، مسکونی و اداری سر به فلک کشیده‌اند و لذا بهره‌گیری از سیستم‌های هوشمند مبتنی بر فناوری‌های اطلاعاتی نوین تنها راه نجات این ساختمان‌ها از مشکلات حاصل از بار جمعیتی زیاد است. مهم‌ترین چالش پیشرو در بهره‌گیری از چنین سیستم‌هایی هزینه‌های اولیه راه‌اندازی بوده که نیاز به حمایت‌های لازم را می‌طلبد (Anjomshoa, 2024; Mahdavinejad et al., 2011). کاهش هزینه‌های بالای مصرف انرژی در ساختمان‌ها و به‌ویژه مجتمع‌های مسکونی، توجه به حفظ محیط‌زیست و کاهش مشکلات زیست‌محیطی از جمله دغدغه‌هایی هستند که توجه به آنها هر روز بیش از گذشته در حال افزایش است. طراحی و ساخت مجتمع‌های مسکونی هوشمند راه‌حلی خلاقانه برای ایجاد ساختمان‌های پایدارِ اجتماعی‌تر، دوستدار محیط‌زیست‌تر و اقتصادی‌تر است (Casini, 2014).

باتوجه‌به اهمیت مقوله انرژی، می‌توان گفت بشر امروزی همواره در پی راهکارهایی در جهت برطرف‌کردن چالش‌های پیشرو است، از سویی دیگر با تحلیل آمارهای انرژی می‌توان مشاهده نمود که ۸۰٪ از مصرف در ساختمان ها، اعم از مسکونی، تجاری، آموزشی و اداری در مصارف تهویه و روشنایی می باشد (Qader et al., 2019). در این چارچوب یکی از روش های مورد استفاده که به منظور بهینه سازی مصرف انرژی بکار گرفته می شود، سیستم های مدیریت انرژی در بخش ساختمان ها می باشد. می توان منظور از بهینه سازی مصرف انرژی را انتخاب الگو ها و بکارگیری سیاست هایی در مصرف درست انرژی دانست که از نظر اقتصادی مطلوب باشد و استمرار دوام انرژی و همچنین ادامه حیاط را تضمین کند (Cheng et al., 2016).

اصلی‌ترین هدفی که استفاده‌کنندگان از سیستم‌های مدیریت هوشمند به دست خواهند آورد، می‌توان به صرفه‌جویی مالی اشاره نمود (Pan & Zhang, 2023). از سویی دیگر بکارگیری چنین سیستمی از نظر اقتصادی کاهش هزینه های جاری از طریق صرفه جویی انرژی مصرفی تجهیزات تهویه مطبوع و در نهایت بازگشت سرمایه اولیه می باشد. در واقع می توان با کنترل فرآیند تولید و انتقال انرژیدرساختمانها،آنهارابهصورتیکنترلنمودکهفقطبهاندازهمصرفانرژیتولیدنمایند. این فرآیند می تواند بصورت خودکار و از طریق میکرو کامپیوتر کنترل شود (Vandenbogaerde et al., 2023).

مصرف روزافزون انرژی، پایان‌پذیر بودن منابع آن و اثرات نامطلوب و بعضاً جبران‌ناپذیر مصرف بی‌رویه انرژی بر محیط‌زیست از یک سو افزایش قیمت آن در سال‌های اخیر از سوی دیگر، باعث گردیده است تا متولیان امر و مصرف‌کنندگان انرژی به دنبال راه‌هایی برای صرفه‌جویی و استفاده صحیح از انرژی باشند. ازآنجاکه هزینه‌های مرتبط با نگهداری و تعمیرات در طول عمر مفید ساختمان سهم قابل‌توجهی از هزینه‌های ساختمان را شامل می‌شود، سیستم هوشمند مدیریت ساختمان باتوجه‌به نقش مهمی که در کاهش این هزینه‌ها دارد، سبب می‌شود تا برگشت سرمایه در زمان معقولی انجام پذیرد (Marinakis et al., 2013).

در این پژوهش، ضمن شناسایی مهمترین عوامل موثر در استفاده از مصالح هوشمند نوین در ایجاد هوشمندسازی ساختمان های سبز، با استفاده از روش ویکور فازی، به رتبه بندی و تحلیل عوامل پرداخته شده است و راهکارهایی جهت بهبود استفاده از این مصالح در صنعت ساختمان ارائه گردیده است.

بنابراین، با توجه به افزایش نیاز به بهره‌برداری پایدار از منابع و چالش‌های زیست‌محیطی، هدف اصلی این پژوهش، ارائه مدلی کاربردی جهت شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر در استفاده از مصالح هوشمند در فرایند هوشمندسازی سبز ساختمان‌ها است. نوآوری این تحقیق در ترکیب تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی (روش ویکور فازی) با رویکرد هوشمندسازی ساختمان و کاربرد مصالح هوشمند، در جهت طراحی چارچوبی تصمیم‌یار برای بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی و بهبود کیفیت محیطی ساختمان‌ها، به ویژه در بستر بومی ایران می‌باشد؛ رویکردی که در ادبیات پژوهش کمتر به‌طور هم‌زمان مورد توجه قرار گرفته است.

۲- ادبیات پژوهش

مطالعات متعددی در سال‌های اخیر به بررسی جنبه‌های مختلف هوشمندسازی ساختمان و نقش آن در بهینه‌سازی مصرف انرژی، ارتقای آسایش ساکنین و افزایش تاب‌آوری پرداخته‌اند. در دهه‌های اخیر، روند جهانی توسعه پایدار و افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی منجر به شکل‌گیری مفاهیم نوینی در صنعت ساختمان شده است. ساختمان‌های هوشمند به‌عنوان یکی از مؤثرترین نوآوری‌های فناوری‌محور در پاسخ به چالش‌های زیست‌محیطی و بهره‌وری انرژی، توانسته‌اند نقش مهمی در مدیریت منابع، بهبود عملکرد انرژی و ارتقای سطح آسایش و ایمنی کاربران ایفا کنند. به طور خاص، ساختمان‌های هوشمند از طریق یکپارچه‌سازی سیستم‌های مکانیکی، الکتریکی و فناوری اطلاعات، به استفاده بهینه از انرژی، ارتقای آسایش حرارتی، کاهش هزینه‌های عملیاتی، و پاسخ‌گویی به نیازهای پویای کاربران کمک می‌کنند. ساختمان‌های هوشمند با استفاده از سیستم‌های مدیریت هوشمند ساختمان (BMS)، سنسورها، سیستم‌های تحلیل داده، و فناوری اینترنت اشیای (IoT)، توانایی سازگاری بلادرنگ با شرایط محیطی و رفتاری را دارند.

مطالعه‌ای توسط سیمپه و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که استفاده از سیستم‌های هوشمند HVAC همراه با کنترل روشنایی تطبیقی، می‌تواند بیش از ۳۰ درصد در مصرف انرژی سالانه صرفه‌جویی ایجاد کند. همچنین این سیستم‌ها با ایجاد شرایط ترموفیزیولوژیکی مطلوب، به افزایش رضایت ساکنان کمک می‌کنند.

از سوی دیگر، هنان و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای میدانی در چین بیان کردند که ترکیب سیستم‌های BMS با فناوری اینترنت اشیاء، به بهینه‌سازی بارهای حرارتی و کاهش بارهای اوج مصرف انرژی منجر می‌شود. آن‌ها تأکید کردند که ماهیت داده‌محور این سیستم‌ها، امکان تصمیم‌گیری تطبیقی را فراهم می‌سازد.

در حوزه تاب‌آوری، یو و ژانگ (۲۰۲۴) بیان کردند که ساختمان‌های هوشمند نقش کلیدی در افزایش تاب‌آوری در برابر بلایای طبیعی ایفا می‌کنند. با بهره‌گیری از سیستم‌های خودپایدار انرژی و پاسخ‌پذیری سریع به بحران، این ساختمان‌ها می‌توانند عملکرد سامانه‌های حیاتی را در شرایط اضطراری حفظ کنند.

جی و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای بر روی ساختمان‌های مسکونی اروپایی، استفاده از سیستم‌های مدیریت هوشمند پیش‌بین مبتنی بر یادگیری ماشین را بررسی کردند. نتایج نشان داد این سیستم‌ها نه‌تنها مصرف انرژی را بهینه می‌کنند، بلکه طول عمر تجهیزات مکانیکی را افزایش داده و هزینه‌های تعمیرات دوره‌ای را تا ۲۵ درصد کاهش می‌دهند.

در زمینه ارتباطات میان سیستمی، وندزل و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که استفاده از پروتکل‌های ارتباطی مانند KNX و Zigbee، امکان یکپارچه‌سازی و ارتباط میان زیربخش‌های مختلف ساختمان را فراهم کرده و زمینه مدیریت انرژی یکپارچه و آسایش حرارتی بهینه را مهیا می‌سازد.

از منظر معماری پاسخ‌پذیر، جیا و همکاران (۲۰۱۸) تأکید دارند که استفاده از مصالح هوشمند و طراحی اقلیم‌پذیر در ترکیب با سیستم‌های کنترل هوشمند، وابستگی به سیستم‌های مکانیکی پرمصرف را کاهش می‌دهد و تطبیق‌پذیری محیط داخلی با تغییرات اقلیمی را افزایش می‌دهد.

در یک مطالعه مروری جامع، ویجایان و همکاران(۲۰۲۰) با تحلیل بیش از ۱۲۰ مقاله معتبر نشان دادند که ساختمان‌های هوشمند با تکیه بر فناوری‌هایی همچون اینترنت اشیاء، یادگیری ماشین، BEMS، و مصالح پیشرفته، نه‌تنها موجب ارتقاء بهره‌وری انرژی و آسایش کاربران می‌شوند، بلکه بستری برای توسعه شهرهای هوشمند مقاوم در برابر بحران‌ها فراهم می‌آورند.

در نتیجه، ادبیات موجود نشان می‌دهد که ساختمان‌های هوشمند نه فقط در کاهش مصرف انرژی و هزینه‌ها مؤثرند، بلکه به‌عنوان بستری برای افزایش تاب‌آوری، آسایش و پایداری در سطح شهری و منطقه‌ای ایفای نقش می‌کنند. بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در این زمینه نه‌تنها به منزله ارتقای عملکرد ساختمان‌هاست، بلکه گامی اساسی در جهت تحقق اهداف توسعه پایدار و تغییرات اقلیمی نیز به شمار می‌رود.

نعمتی و همکاران (۲۰۱۸) با تأکید بر نقش فناوری‌های نوین در ارتقاء رفاه اجتماعی، نشان دادند که استفاده از فناوری‌های هوشمند می‌تواند هم‌زمان منجر به صرفه‌جویی انرژی و بهبود کیفیت زندگی ساکنان شود. وحیدیان و نجاتی (۲۰۱۵) سیستم مدیریت هوشمند ساختمان (BMS) را به‌عنوان ابزاری مؤثر برای کاهش هزینه‌های انرژی و افزایش بهره‌وری معرفی کردند و عناصر چهارگانه سیستم‌ها، ساختار، سرویس‌ها و مدیریت را در پیاده‌سازی موفق این سیستم‌ها حیاتی دانستند.

در مطالعه حسینی شریف و حسن‌پور (۲۰۱۵) مزایای اقتصادی و عملیاتی سیستم‌های هوشمند از جمله انعطاف‌پذیری بالا، قابلیت کنترل از راه دور و کاهش هزینه‌های نگهداری و انرژی مورد تأکید قرار گرفت. به‌طور مشابه، داوریان و همکاران (۲۰۱۶) نیز به ارائه راهکارهای فنی همچون کنترل سیستم‌های تهویه، استفاده از مصالح هوشمند و توجه به نیازهای کاربران برای بهینه‌سازی مصرف انرژی پرداختند.

برهان و طبائیان (۲۰۱۵) و بانشی و مهربان (۲۰۱۶) در تحقیقات خود به نقش BMS در کاهش هزینه‌ها، کاهش خطا، افزایش اثربخشی و برگشت‌پذیری سرمایه‌گذاری در ساختمان‌های هوشمند پرداختند. آن‌ها تأکید کردند که این فناوری‌ها نه‌تنها موجب کاهش مصرف انرژی می‌شوند؛ بلکه آسایش، امنیت و شرایط محیطی بهتری را نیز برای ساکنین فراهم می‌سازند.

مفید و کسمایی (۲۰۱۹) نیز با تمرکز بر مصالح هوشمند و معماری انطباق‌پذیر، نقش این فناوری‌ها را در افزایش پایداری و حفاظت از منابع برای نسل‌های آینده برجسته کردند.

یزدان‌پناهی و فیلی (۲۰۱۹) با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی(FAHP) ، نشان دادند که عوامل اقتصادی و بهداشتی نقش کلیدی در موفقیت پروژه‌های هوشمندسازی ایفا می‌کنند و باید در تعامل متعادل با یکدیگر مورد توجه قرار گیرند.

دهقان نیری و شیخی عنبران (۲۰۱۵) اهمیت به‌کارگیری پروتکل‌های ارتباطی نظیر KNX در فرآیند هوشمندسازی و ادغام فناوری اطلاعات با صنعت ساختمان را برجسته کرده‌اند؛ به‌گونه‌ای که این پروتکل‌ها با پشتیبانی از ارتباط بی‌سیم و استانداردهای باز، امکان کنترل و مدیریت مؤثر انرژی را فراهم می‌کنند.

جولایهی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی انرژی مصرفی در ساختمان‌های اداری را مورد پژوهش قرار دادند. در این پژوهش مشخص شد با بهره‌گیری از سیستم مدیریت انرژی در یک ساختمان اداری می‌توان تا ۳۰٪ مصرف انرژی را کاهش داد، همچنین با بهره‌گیری از تکنیک‌های ذخیره انرژی می‌توان بر این درصد افزود.

در پژوهشی چنگ و همکاران (۲۰۱۶) به تجزیه و تحلیل اقتصادی و مصرف انرژی پیرامون ساختمان هوشمند مسکونی به نام خانه مگا با تاکید بر چهار زمینه اصلی اعم از مواد و ابزار، الکترونیک، بهره گیری از اصول ساختمان سبز و استفاده از اتوماسیون هوشمند پرداختند. اندازه گیری ها در چهار مرحله تجربی و محاسبات اقتصادی نشان دهنده عملکرد مطلوب صرفه جویی انرژی بود.

پوپیوس و پردا به (۲۰۱۵) بررسی برخی از جنبه‌های مربوط به تکنولوژی دیجیتال در اجرای سیستم مدیریت هوشمند ساختمان از جمله ابزارهای یکپارچه در جهت نظارت و کنترل سیستم‌ها، آسایش و کارایی در استفاده از ساختمان‌های هوشمند و ادغام این تکنولوژی‌ها با فناوری اطلاعات پرداختند.

براوی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی به تحقیق و پیرامون پیاده‌سازی فن آوری هوشمند در صنعت ساخت‌وساز پرداخته‌اند. هدف از این پژوهش توسعه مفهوم ساختمان هوشمند با استفاده از رویکرد مهندسی ارزش در جهت به‌دست‌آوردن ارزش افزوده در زمینه کیفیت بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های هوشمند است. در نتیجه مشخص شد که ساختمان هوشمند هزینه اولیه بالاتری داشته؛ ولی هزینه‌های نگهداری و عملیاتی پایین‌تری را طلب خواهد نمود. همچنین نسبت سود در ساختمان‌های هوشمند بسیار بالاتر از ساختمان‌های معمولی است.

مانیک و همکاران (۲۰۱۶)، به بررسی به‌کارگیری سامانه‌های هوشمند در ساختمان‌ها پرداختند. در نتیجه مشخص شد، بهره‌گیری از سیستم‌های هوشمند ساختمان از جمله سیستم‌های گرمایش، سرمایش هوشمند، روشنایی هوشمند و یکپارچه‌سازی این سیستم‌ها باعث کاهش چشمگیر انرژی، کاهش هزینه‌ها و افزایش عمر مفید در اجرا یک سیستم خواهد شد.

۳- روش شناسی پژوهش

تحقیق حاضر از نوع تحقیقات کاربردی، توصیفی و پیمایشی است. در تحقیق حاضر، جامعه آماری تحقیق شامل گروهی از اساتید دانشگاه و مهندسان مشغول به کار در هوشمندسازی سبز و مصالح هوشمند در شهر کرمان است و برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز انتخاب شده‌اند. نمونه انتخابی در این تحقیق شامل ۲۴ تن از اساتید و مهندسان مشغول به کار در هوشمند سازی ساختمان و مواد هوشمند در شهر کرمان میباشد. پس از تعیین جامعه آماری که صرفا شامل افراد با تخصص بسیار بالا در رابطه با موضوع پژوهش، جهت تعیین نمونه آماری از جدول مورگان استفاده گردیده است. دلیل انتخاب این افراد تخصص لازم و درک قابل قبول نسبت به موضوع پژوهش است.

مراحل انجام این پژوهش به شرح ذیل است:

- در فاز نخست، مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی تحقیقات گذشته جهت شناسایی و استخراج فهرستی از عوامل تأثیرگذار در استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند انجام می‌شود.
- در فاز دوم، ماتریس تصمیم‌گیری برای روش ویکور فازی بر اساس شاخص‌ها و معیارها تشکیل می‌گردد.
- در فاز سوم بر اساس دیدگاه کارشناسان و خبرگان در حوزه مورد مطالعه، عوامل تأثیرگذار در استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند از منظر شدت تأثیر، شدت اهمیت و احتمال خطا بر مبنای داده‌های به‌دست‌آمده، بر اساس تکنیک ویکور فازی و با استفاده از نرم‌افزار BT Fuzzy Vikor solver رتبه‌بندی می‌گردد. در این مرحله به‌منظور گردآوری داده‌های مورد نیاز، از پرسش‌نامه‌های مربوط به روش ویکور فازی استفاده می‌شود.

در این تحقیق برای رتبه‌بندی عوامل تأثیرگذار در استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند از مدل تصمیم‌گیری ویکور فازی استفاده شده است. بدین صورت که به هر یک از متغیرهای مورد بررسی امتیازاتی داده شده و سپس بر اساس این امتیازات به بررسی و تجزیه‌وتحلیل آن پرداخته و رتبه‌بندی خواهند شد تا بر اساس نتایج مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند مشخص شوند.

در این پژوهش، جهت رتبه‌بندی عوامل مؤثر در هوشمندسازی سبز با مصالح هوشمند از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره ویکور فازی استفاده شده است. مراحل اجرای این روش به‌صورت گام‌به‌گام شامل موارد زیر است:

۱. **شناسایی معیارها و طراحی پرسش‌نامه :**پس از بررسی ادبیات و مشورت با خبرگان، ۴۲ عامل مؤثر شناسایی شد. برای هر عامل، پرسش‌نامه‌ای با مقیاس‌های زبانی فازی (بسیار کم تا بسیار زیاد) طراحی گردید. این پرسش‌نامه سه شاخص اصلی شامل شدت تأثیر، شدت اهمیت و احتمال خطای اجرایی را برای هر عامل در نظر گرفته است.

۲. **تعریف توابع عضویت :**مقادیر زبانی پاسخ‌دهندگان به‌صورت مثلثی فازی با سه مؤلفه (L,M,U) مدل‌سازی شده‌اند. به عنوان مثال، عبارت «زیاد» با مقادیر فازی (۵،۷،۹) و «متوسط» با مقادیر (۳،۵،۷) تعریف شد.

۳. **تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی :**بر اساس پاسخ‌های به‌دست آمده از ۲۴ خبره، سه ماتریس فازی برای سه شاخص ذکر شده ساخته شد.

۴. **شناسایی مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی :**برای هر معیار، مقادیر بهترین (مثبت) و بدترین (منفی) با توجه به دامنه پاسخ‌ها تعیین شدند.

۵. **محاسبه شاخص‌های فازی S و:R**

- شاخص بیانگر مجموع فاصله گزینه i از حالت ایده‌آل مثبت است و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود :
- شاخص بیشینه فاصله در میان تمام معیارها را نشان می‌دهد :که در آن، وزن معیار j و فاصله فازی بین گزینه i و مقدار ایده‌آل مثبت معیار j است.

۶. **محاسبه شاخص ترکیبی :Q** شاخص Q بر اساس رابطه زیر به دست می‌آید :که در آن v معمولاً برابر ۰,۵ فرض می‌شود و * نشان‌دهنده مقدار بهینه است.

۷. **دی‌فازی‌سازی :**برای تبدیل مقادیر فازی به عدد قطعی، روش مرکز ثقل (Centroid Method) برای هر مقدار فازی مثلثی به‌صورت زیر استفاده شد :

۸. **مثال عددی :**فرض کنید یکی از عوامل دارای مقدار فازی برای اهمیت برابر (۳،۵،۷) و مقدار ایده‌آل برابر (۷،۹،۱۰) باشد. فاصله فازی با استفاده از معیار فاصله چبیشف محاسبه شده و در ادامه شاخص‌های S و R طبق روابط فوق به دست آمده‌اند.

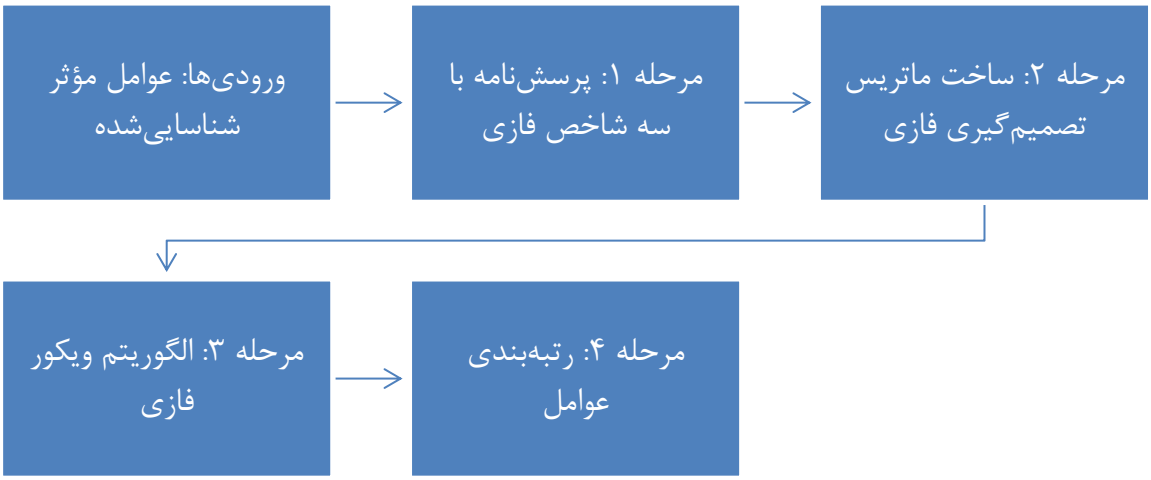
توضیح درباره جامعه آماری :جامعه آماری تحقیق متشکل از ۲۴ نفر از خبرگان حوزه هوشمندسازی ساختمان و مصالح هوشمند در شهر کرمان بوده است. این افراد شامل اعضای هیئت علمی دانشگاه ، کارشناسان ارشد سازمان نظام مهندسی، و مهندسان مشاور فعال در پروژه‌های اجرایی هوشمندسازی می‌باشند. انتخاب نمونه‌ها به صورت هدفمند (غیرتصادفی قضاوتی) و با ملاک‌های تخصصی نظیر سابقه فعالیت پژوهشی یا حرفه‌ای مرتبط، تحصیلات تکمیلی در زمینه‌های مرتبط با انرژی و ساختمان، و آشنایی با مفاهیم فناوری هوشمند و مصالح نوین صورت گرفته است. تلاش شده است که تنوع کاربردی در تخصص افراد رعایت شود تا اعتبار داده‌ها و تعمیم‌پذیری نتایج در چارچوب منطقه‌ای حفظ گردد.

برای درک بهتر فرآیند، جدول‌هایی شامل نمونه‌هایی از ماتریس تصمیم، مقادیر فازی‌شده، و نتایج دی‌فازی شده در بخش نتایج مقاله ارائه شده‌اند.

مدل مفهومی پژوهش

برای تبیین روابط میان اجزای مدل پژوهش، یک مدل مفهومی طراحی شده است که ارتباط میان ورودی‌ها (عوامل تأثیرگذار)، فرآیند ارزیابی (روش ویکور فازی)، و خروجی‌ها (رتبه‌بندی نهایی) را به‌صورت سیستماتیک نشان می‌دهد.

در این مدل، سه شاخص اصلی (شدت تأثیر، اهمیت، احتمال خطا) از طریق پرسش‌نامه جمع‌آوری و به‌صورت داده‌های فازی مدل‌سازی می‌شوند. سپس، مقادیر فازی در ماتریس تصمیم‌گیری وارد شده و با استفاده از مراحل الگوریتم (ویکور فازی) شامل محاسبه شاخص‌های S ، Rو Q و دی‌فازی‌سازی، رتبه نهایی هر عامل به‌دست می‌آید.



شکل۱ مدل مفهومی پژوهش

۳-۱- استفاده از تکنیک ویکور فازی

نخستین‌بار سرافیم اپریکویک [1](۲۰۰۰) در مقاله‌ای با عنوان روش ویکور فازی و کاربرد آن در برنامه‌ریزی منابع آب از تکنیک ویکور با رویکرد فازی استفاده کرده است. روش ویکور فازی برای تعیین راه‌حل توافقی مسئله چندمعیاره فازی توسعه‌یافته است. گام‌های اجرایی پیاده‌سازی روش ویکور فازی به شرح ذیل است:

۱- تشکیل ماتریس تصمیم فازی

$$\tilde{X} = \begin{pmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{pmatrix} \quad (۱)$$

۲- شناسایی بهترین مقدار و بدترین مقدار در هر معیار ماتریس (جواب های ایده آل مثبت و منفی)

$$\tilde{f}_j^* = \max_i \tilde{x}_{ij}, \tilde{f}_j^- = \min_i \tilde{x}_{ij} \quad (۲)$$

۳- محاسبه مقادیر شاخص های مطلوبیت یا سودمندی (S) و عدم مطلوبیت و نارضایتی(R)

$$\tilde{S}_i = \bigoplus_{j=1}^{n} \tilde{w}_j \otimes \left((\tilde{f}_j^* \,!\, \tilde{x}_{ij}) \% (\tilde{f}_j^* \,!\, \tilde{f}_j^-) \right) \quad (۳)$$

$$\tilde{R}_i = \max_j \left(\tilde{w}_j \otimes \left((\tilde{f}_j^* \,!\, \tilde{x}_{ij}) \% (\tilde{f}_j^* \,!\, \tilde{f}_j^-) \right) \right) \quad (۴)$$

۴- محاسبه شاخص Q با استفاده از مقادیر شاخص های S و R

$$Q_i = v \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1-v) \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \quad (۵)$$

۵- فازی زدایی (دیفازی کردن)

فازی زدایی با روش مرکز ثقل انجام می‌شود.

۴- ارائه نتایج پژوهش

۴-۱- تعیین مهم ترین عوامل تاثیرگذار در استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند

همان‌طور که مشخص است عوامل متعددی در حوزه استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند وجود دارد. در تحقیق حاضر برای تعیین مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند، با انجام مطالعات کتابخانه‌ای بر مبنای تحقیقات گذشته پیرامون موضوع تحقیق، فهرستی از عوامل تأثیرگذار در استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند تهیه گردید. فهرست یاد شده در جدول ۱ ارائه شده است.

[1] Serafim Opricovic

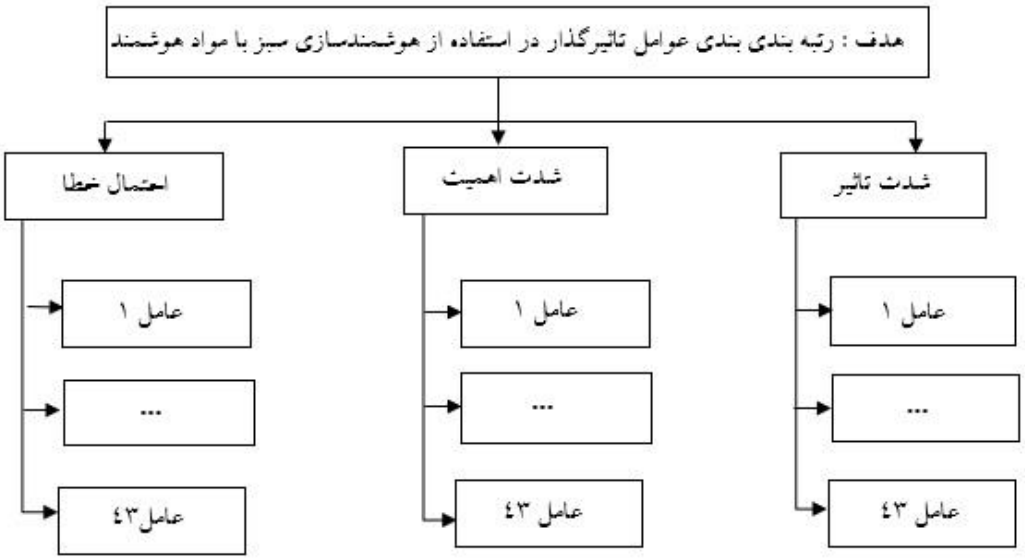
جدول ۱: عوامل تاثیر گذار در استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند (نگارندگان، ۱۴۰۴)

ردیف	عامل مؤثر	ردیف	عوامل موثر
۱	مانیتورینگ و کنترل یکپارچه ساختمان	۲۲	بازدهی بالای مصالح
۲	متعادل‌کردن عملکرد اجزای مختلف ساختمان	۲۳	اطفای حریق
۳	کاهش مصرف انرژی	۲۴	سیستم هشدار هنگام بلایای طبیعی
۴	صرفه‌جویی در هزینه‌های راهبردی ساختمان	۲۵	امکان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر
۵	بالابردن رفاه و آسایش ساکنان	۲۶	کاهش استفاده از انرژی‌های فسیلی
۶	بهره‌گیری از تکنولوژی	۲۷	صرفه‌جویی در زمان
۷	کاهش نیروی انسانی	۲۸	کاهش خطاپذیری
۸	تهویه‌مطبوع	۲۹	سرویس‌دهی بهتر
۹	پایداری اقلیمی	۳۰	قابلیت برنامه‌ریزی زمانی برای سیستم‌های کنترلی
۱۰	افزایش درآمد ملی و رشد اقتصادی	۳۱	تأمین نیازهای مدیریتی ساختمان
۱۱	افزایش امنیت	۳۲	امکان استفاده نرم‌افزاری از مصالح و امکانات
۱۲	روشنایی مطلوب	۳۳	رونق در بازار فناوری
۱۳	بهینه‌سازی	۳۴	امکان ارتباط از راه دور
۱۴	قابلیت بازگشت سرمایه	۳۵	امکان هوشمندسازی اتوماسیون اداری
۱۵	کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری	۳۶	امکان مدیریت مناسب منابع
۱۶	افزایش عمر مفید ساختمان	۳۷	بیشینه‌کردن عملکرد فنی
۱۷	ایمنی بیشتر	۳۸	کاهش هزینه‌های چرخه عمر
۱۸	مدیریت سیستم‌های صوتی و تصویری	۳۹	کاهش هزینه‌های سخت‌افزاری
۱۹	مدیریت دما (سرمایش و گرمایش)	۴۰	دسترسی به لوازم خانه و کنترل کارکرد آنها
۲۰	مدیریت و کنترل آبیاری	۴۱	انعطاف‌پذیری در اجرا
۲۱	تأمین نیاز ساکنین	۴۲	دوام بالا

۴-۲- ساختار سلسله مراتبی عوامل برای روش ویکور فازی

ازآنجاکه در تحقیق حاضر رتبه‌بندی عوامل تأثیرگذار در استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند با استفاده از روش ویکور فازی انجام می‌گیرد، حال می‌بایست ساختار سلسله‌مراتبی و درختی عوامل برای روش ویکور فازی ترسیم گردد. برای این منظور مهم‌ترین عوامل شناسایی شده بر اساس ۳ معیار اصلی شدت تاثیر ، شدت اهمیت و احتمال خطا مورد بررسی و رتبه بندی قرار میگیرند.

ساختار سلسله‌مراتبی و درختی عوامل تأثیرگذار بر اساس معیارهای یاد شده در شکل ۱ نمایش داده شده است:



شکل ۱: ساختار سلسله مراتبی و درختی عوامل تاثیرگذار در استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند

۴-۳- پیاده سازی روش ویکورفازی

همان‌طور که اشاره گردید، در تحقیق حاضر به‌منظور رتبه‌بندی عوامل تأثیرگذار در استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند بر اساس دیدگاه اساتید و مهندسان مشغول به کار در هوشمندسازی ساختمان و مواد هوشمند در شهر کرمان، از تکنیک ویکور فازی استفاده شده است. برای این منظور داده‌های مورد نیاز از پرسش‌نامه‌های تخصصی با مقیاس‌های زبانی فازی استخراج شده و سپس تجزیه‌وتحلیل گردیدند. در ادامه نتایج به‌دست‌آمده حاصل از رتبه‌بندی عوامل مؤثر در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۲: شناسایی بهترین مقدار و بدترین مقدار در هر معیار ماتریس

راه حل ها	میزان تاثیر			میزان اهمیت			احتمال خطای اجرایی		
حد<--	L	M	U	L	M	U	L	M	U
ایده آل مثبت	۷/۵	۹/۲۵	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۰	۰/۹۱	۲/۸
ایده آل منفی	۰/۹۵	۲/۸۷۵	۴/۸۳	۰	۱	۳	۳	۵	۷

جدول ۳: تشکیل ماتریس تصمیم ویکور فازی

شاخص ویکور	Q		
حد<--	L	M	U
مانیتورینگ و کنترل یکپارچه ساختمان	-۸/۱۰۳۷	۰	۸/۳۴۴۵
متعادل کردن عملکرد اجزاء مختلف ساختمان	-۶/۴۲۱۱	۰/۶۸۵۲	۱۲/۶۷۹۵
کاهش مصرف انرژی	-۷/۷۱۰۸	۰/۰۷۶۶	۹/۰۶۳۶
صرفه جویی در هزینه های راهبردی ساختمان	-۷/۶۱۱۲	۰/۲۰۸۴	۹/۵۲۷۸
بالابردن رفاه و آسایش ساکنان	-۸/۰۸۸۵	۰/۰۰۵۷	۸/۷۰۰۱
بهره گیری از تکنولوژی	-۷/۳۸۳۳	۰/۳۶۴۸	۱۱/۱۰۴۱

کاهش نیاز به نیروی انسانی	-۵/۵۱۲۶	۰/۸۶۷۷	۱۷/۷۱۰۱
تهویه مطبوع	-۶/۸۴۴۱	۰/۷۳۸۲	۱۳/۲۶۸
پایداری اقلیمی	-۷/۷۹۶۲	۰/۳۶۷۸	۹/۱۹۳۸
افزایش درآمد ملی و رشد اقتصادی	-۶/۸۴۸۵	۰/۲۵۶۹	۱۲/۶۸۸۹
افزایش امنیت	-۷/۵۱۵	۰/۱۵۴۶	۱۲/۱۹
روشنایی مطلوب	-۶/۹۶۳۶	۰/۵۷۶۱	۱۳/۳۵۷۷
بهینه سازی	-۶/۶۹۸۵	۰/۸۲۶۹	۱۳/۷۷۱۳
قابلیت بازگشت سرمایه	-۷/۰۴۹۵	۰/۵۴۷۷	۱۲/۹۹۳۲
کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری	-۷/۶۴۷۳	۰/۳۱۷۷	۸/۳۰۴۸
افزایش عمر مفید ساختمان	-۷/۲۹۳۳	۰/۳۹۳۱	۱۱/۴۲۰۵
ایمنی بیشتر	-۷/۲۵۸۲	۰/۳۴۱۳	۱۲/۹۶۰۱
مدیریت سیستم های صوتی و تصویری	-۷/۴۰۱۸	۰/۷۷۵۸	۹/۳۸۱۵
مدیریت دما(سرمایش و گرمایش)	-۷/۷۸۸۵	۰/۳۴۶۳	۹/۲۵۲۳
مدیریت و کنترل آبیاری	-۷/۵۲	۰/۱۹۲۷	۱۱/۱۹۶۲
تامین نیاز ساکنان	-۷/۹۸۹۷	۰/۲۳۸	۸/۸۶۲۹
بازدهی بالای مصالح	-۷/۶۳۴۳	۰/۱۱۱۷	۱۰/۸۲۲۹
اطفاء حریق	-۷/۶۸۵۹	۰/۰۸۰۹	۹/۹۳۵۷
سیستم هشدار هنگام بلایای طبیعی	-۵/۹۴۷۵	۰/۴۷۸۴	۱۷/۲۶۲۹
امکان استفاده از انرژی های تجدید پذیر	-۷/۳۵۶۲	۰/۲۴۸۶	۱۲/۷۸۰۳
کاهش استفاده از انرژی های فسیلی	-۷/۳۵۰۸	۰/۲۶۱۷	۱۲/۶۱۹۴
صرفه جویی در زمان	-۷/۲۳۱۵	۰/۳۵۶۳	۱۳/۱۲۹۹
کاهش خطاپذیری	-۷/۱۹۰۱	۰/۴۹۵۱	۱۱/۲۸۰۱
سرویس دهی بهتر	-۸/۱۱۵۳	۰/۰۶۴۲	۸/۷۷۳۹
قابلیت برنامه ریزی زمانی برای سیستم های کنترلی	-۷/۴۹۱۹	۰/۱۳۴۶	۱۲/۲۸۸۶
تامین نیازهای مدیریتی ساختمان	-۷/۱۰۱۶	۰/۵۱۳۴	۱۱/۹۱۱۸
امکان استفاده نرم افزاری از مصالح و امکانات	-۷/۸۶۴۳	۰/۳۶۰۵	۸/۹۱۱
رونق در بازار فناوری	-۷/۳۳۶۵	۰/۴۱۱	۱۰/۷۶۶۳
امکان ارتباط از راه دور	-۷/۶۰۵۸	۰/۰۸۶۱	۱۰/۸۸۵
امکان هوشمندسازی اتوماسیون اداری	-۷/۶۰۸۸	۰/۲۷۳	۱۰/۰۱۶۴
امکان مدیریت مناسب منابع	-۷/۳۶۹۵	۰/۱۹۰۲	۱۳/۰۶۲۹
بیشینه کردن عملکرد فنی	-۷/۰۰۷۱	۰/۶۲۲۶	۱۳/۱۴۲۳
کاهش هزینه های چرخه عمر	-۵/۵۴۳۸	۰/۸۱۷۸	۱۷/۵۶۷۷
کاهش هزینه های سخت افزاری	-۶/۵۹۷۴	۱	۱۳/۶۴۵۶
دسترسی به لوازم خانه و کنترل کارکرد آنها	-۷/۲۸۲۳	۰/۳۲۲۵	۱۲/۹۲۵۴
انعطاف پذیری در اجرا	-۷/۱۴	۰/۵۴۸۴	۱۰/۷۵۷۶
دوام بالا	-۶/۹۲۹۴	۰/۵۴۹۱	۱۰/۷۲۰۶
قابلیت اجرا در شرایط مختلف جغرافیایی	-۷/۵۵۲۴	۰/۵۳۸۷	۹/۸۶۲

جدول ۴: رتبه بندی گزینه ها بر اساس شاخص های Q , S , R

مقادیر قطعی / رتبه	S	رتبه	R	رتبه	Q	رتبه
مانیتورینگ و کنترل یکپارچه ساختمان	۰/۰۲۹	۱	۰/۵۶۳۸	۱	۰/۰۴۰۱	۱
متعادل‌کردن عملکرد اجزاء مختلف ساختمان	۱/۳۶۸	۳۸	۱/۱۷۲۱	۳۵	۱/۴۹۹۹	۳۷
کاهش مصرف انرژی	۰/۲۶۱۹	۵	۰/۶۵۴۴	۵	۰/۲۷۶۶	۴
صرفه‌جویی در هزینه‌های راهبردی ساختمان	۰/۴۱۷۴	۱۱	۰/۷۳۵۸	۷	۰/۴۵۸۴	۹
بالابردن رفاه و آسایش ساکنان	۰/۰۷۱۷	۲	۰/۵۹۹۸	۲	۰/۱۰۵۷	۲
بهره‌گیری از تکنولوژی	۰/۷۷۰۶	۲۱	۰/۹۲۳۶	۱۷	۰/۸۶۳۴	۱۹
کاهش نیاز به نیروی انسانی	۲/۳۴۲۸	۴۳	۱/۶۵۷۵	۴۲	۲/۶۱۱۴	۴۳
تهویه‌مطبوع	۱/۳۴۸۴	۳۷	۱/۲۳۶۸	۳۷	۱/۵۶۲۸	۳۸
پایداری اقلیمی	۰/۴۱۵۸	۱۰	۰/۷۵۳۸	۹	۰/۴۷۸۲	۱۱
افزایش درآمد ملی و رشد اقتصادی	۱/۰۲۸۳	۳۳	۱/۰۳۰۹	۲۶	۱/۱۴۴۶	۳۰
افزایش امنیت	۰/۶۷۰۵	۱۸	۰/۹۷۹۹	۲۳	۰/۸۸۲۳	۲۰
روشنایی مطلوب	۱/۲۷۳۹	۳۶	۱/۱۷۵۲	۳۶	۱/۴۴۹۸	۳۶
بهینه‌سازی	۱/۵۵۵	۳۹	۱/۲۸	۳۹	۱/۷۳	۳۹
قابلیت بازگشت سرمایه	۱/۱۹۲۷	۳۵	۱/۱۳۳۵	۳۴	۱/۳۵۵۷	۳۴
کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری	۰/۳۶۷۶	۹	۰/۶۴۱	۴	۰/۳۲۱۴	۶
افزایش عمر مفید ساختمان	۰/۸۱۸۵	۲۳	۰/۹۶۵۴	۲۲	۰/۹۵	۲۲
ایمنی بیشتر	۰/۹۹۷۳	۳۰	۱/۰۷۵۳	۳۱	۱/۱۷۷۹	۳۲
مدیریت سیستم‌های صوتی و تصویری	۰/۶۸۶۵	۱۹	۰/۹۴۱۳	۲۱	۰/۸۴۷۲	۱۸
مدیریت دما (سرمایش و گرمایش)	۰/۳۴۷۵	۷	۰/۷۸۴۹	۱۱	۰/۴۷۴۸	۱۰
مدیریت و کنترل آبیاری	۰/۵۸۶۲	۱۵	۰/۸۹۸۶	۱۶	۰/۷۴۱۱	۱۵
تأمین نیاز ساکنان	۰/۲۱۸۶	۴	۰/۷	۶	۰/۳۰۴۲	۵
بازدهی بالای مصالح	۰/۴۸۷۴	۱۳	۰/۸۲۹۷	۱۳	۰/۶۰۵۹	۱۴
اطفای حریق	۰/۳۶۲۴	۸	۰/۷۳۷۳	۸	۰/۴۲۸۹	۸
سیستم هشدار هنگام بلایای طبیعی	۱/۸۷۷	۴۱	۱/۵۳۴۳	۴۱	۲/۲۰۴۹	۴۱
امکان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر	۰/۸۲۹۱	۲۵	۱/۰۶۴۶	۲۹	۱/۰۶۹۷	۲۷
کاهش استفاده از انرژی‌های فسیلی	۰/۸۲۰۳	۲۴	۱/۰۵۴	۲۸	۱/۰۵۲۶	۲۶
صرفه‌جویی در زمان	۱/۰۲۲۸	۳۲	۱/۱	۳۳	۱/۲۲۰۶	۳۳
کاهش خطاپذیری	۰/۸۵۲۴	۲۶	۱/۰۰۲۴	۲۵	۱/۰۱۱۷	۲۵
سرویس‌دهی بهتر	۰/۱۱۴۵	۳	۰/۶۱۹۴	۳	۰/۱۵۲۶	۳
قابلیت برنامه‌ریزی زمانی برای سیستم‌های کنترلی	۰/۶۴۴۶	۱۶	۰/۹۹۸۷	۲۴	۰/۸۸۹۲	۲۱
تأمین نیازهای مدیریتی ساختمان	۱/۰۱۶۵	۳۱	۱/۰۳۶۲	۲۷	۱/۱۴۴	۲۹
امکان استفاده نرم‌افزاری از مصالح و امکانات	۰/۲۹۰۵	۶	۰/۷۶۰۸	۱۰	۰/۴۱۴۸	۷

رونق در بازار فناوری	۰/۷۳۲۶	۲۰	۰/۹۱۷	۱۸	۰/۸۴۵۶	۱۷
امکان ارتباط از راه دور	۰/۴۴۴۹	۱۲	۰/۸۴۹۱	۱۴	۰/۶۰۳۹	۱۳
امکان هوشمندسازی اتوماسیون اداری	۰/۵۳۶۸	۱۴	۰/۷۸۵۴	۱۲	۰/۵۸۳۳	۱۲
امکان مدیریت مناسب منابع	۰/۸۱۷۸	۲۲	۱/۰۷۵۴	۳۲	۱/۰۷۵۷	۲۸
بیشینه‌کردن عملکرد فنی	۱/۰۸۸۲	۳۴	۱/۲۵۶۸	۳۸	۱/۴۳۷۶	۳۵
کاهش هزینه‌های چرخه عمر	۲/۲۲۱۹	۴۲	۱/۶۶۳۳	۴۳	۲/۵۴۹۲	۴۲
کاهش هزینه‌های سخت‌افزاری	۱/۶۱۹۷	۴۰	۱/۳۴۵	۴۰	۱/۸۴۱۴	۴۰
دسترسی به لوازم خانه و کنترل کارکرد آنها	۰/۹۶۴۷	۲۹	۱/۰۷۲	۳۰	۱/۱۵۵۵	۳۱
انعطاف‌پذیری در اجرا	۰/۹۲۷۳	۲۷	۰/۹۲۷۵	۱۹	۰/۹۶۸۶	۲۳
دوام بالا	۰/۹۵۶۸	۲۸	۰/۹۳۸۵	۲۰	۰/۹۹۷۹	۲۴
قابلیت اجرا در شرایط مختلف جغرافیایی	۰/۶۶۵	۱۷	۰/۸۶۱۹	۱۵	۰/۷۴۴	۱۶

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، در رتبه اول عامل "مانیتورینگ و کنترل یکپارچه ساختمان" میباشد که با اتصال به روی شبکه های کامپیوتری و کنترل سیستم بدون نیاز به کابل کشی پر هزینه و همینطور تجهیزات گران امکان پایش دائمی تمام قسمت های ساختمان را فراهم میکند،امکان استفاده در جهت حفظ امنیت و همچنین امکان پایش دائمی فعالیت های مختلف تجهیزات منزل از طریق نرم افزار و از راه دور که این عامل خود باعث آسودگی خاطر ساکنین در مواقعی که در منزل حضور ندارند میشود.

در رتبه دوم عامل "بالابردن رفاه و آسایش ساکنان" قرار دارد، این سیستم می‌تواند بسیاری از کارهای تکراری و بازرسی‌های مورد نیاز را به طور هوشمند انجام دهد. به طور مثال با حضور افراد نسبت به روشن‌شدن روشنایی و فن‌کوئل اقدام نمایند و یا آبیاری فضای سبز را به طور خودکار انجام دهد و یا با تنها فشار یک دکمه حالت‌های از پیش تعریف شده‌ای را اجرا نماید و یا دما و نور و رطوبت مکان‌ها را در حد مطلوب تنظیم نماید. ساختمان هوشمند با استفاده از اتوماسیون و بر عهده گرفتن برخی کارهای تکراری راحتی بیشتری برای ساکنان خود به ارمغان می‌آورد. از طرف دیگر، برای ایجاد فضای دلخواه در ساختمان هوشمند تنها یک اشاره کافی است، سناریوها وظیفه تنظیم دقیق محیط را به عهده می‌گیرند.

در رتبه سوم عامل "سرویس‌دهی بهتر" است، سیستم یکپارچه‌سازی زیرساخت‌های فوق و ایجاد ارتباط منطقی بین اجزای سیستم توزیع برق اضطراری، سیستم دریافت اطلاعات میزان مصرف و عملکردهای بخش‌های مختل ساختمان برای تصمیم‌گیری‌های مناسب، امکان تغییر شیوه توزیع انرژی و امکانات در زمان‌های خاص و موقعیت‌های بحرانی. نمونه‌هایی از کاربرد امکانات سیستم هوشمند ارائه می‌شود:

کنترل از راه دور : می توان به وسیله تلفن یا اینترنت، تصویری از داخل ساختمان ایجاد و کلیهٔ سیستم ها را کنترل نمود.

کنترل روشنایی : براساس آمار سازمان بهینه سازی مصرف سوخت، بیش از ۴۰٪ از انرژی الکتریکی ورودی ساختمان در وسایل روشنایی صرف می شود، در حالی که معمولاً نور مناسب تأمین نمی‌گردد.

کنترل امنیت و ایمنی : در این سیستم، تابع کنترل امنیت، تمامی سیگنال های وابسته به دستگاه های امنیتی را مدیریت نموده و سیگنال های خطر را تنظیم می نماید.

شبیه سازی حضور ساکنین : در طول غیبت ساکنین، پنجره ها به طور کاملاً عادی باز و بسته و لامپ ها و سیستم صوتی مانند زمان حضور افراد روشن و خامو می شوند تا سارقین و مهاجمین از خالی بودن ساختمان مطلع نشوند . وضعیت قفل ها : هنگاام بسته شدن در ها و پنجره ها تمام کنتاکت ها چک می شوند . در صورت بسته شدن ناقص، هشداردهنده ها اخطار می دهند.

اعلام و اطفاء حریق : حسگرهای درک دود یا حرارت با سیستم های الکتریکی داخل ساختمان تنظیم می شوند . در حقیقت سیستم های داخل ساختمان مانند زنجیره های متصل به هم در برابر خطرات احتمالی برنامه ریزی می شوند و علاوه بر آن، تدابیر امنیتی در زمان مناسبی که آسیب های وارد شده هنوز موجب تخریب ساختمان نشده است، به کار گرفته می شوند .

هشدار های فنی : ساختمان هوشمند، پیام های فنی را مدیریت می کند . بنابراین، ساکنین از آسیب های به وجود آمده در سیستم های آب یا مدارهای برقی به موقع اطلاع یافته و از بروز مشکلات بعدی جلوگیری می کنند

در رتبه چهارم عامل "کاهش مصرف انرژی" است، مطالعات نشان داده است که استفاده از سیستم هوشمند می‌تواند به طور متوسط ۲۰ درصد از مصرف انرژی و هزینه‌های جاری ساختمان می‌کاهد .این سیستم علاوه بر کاهش مصرف انرژی با خاموش نمودن و کنترل آنها موجب کاهش استهلاک و افزایش طول عمر دستگاه‌ها و کاهش هزینه‌های مربوطه می‌گردد. مدیریت مصرف انرژی در ساختمان هوشمند تأثیر بسزایی در صرفه‌جویی مصرف انرژی دارد .وابسته کردن نور و سیستم تهویه به حضور شخص و برنامه‌ریزی بهینه‌دمای اتاق‌ها در ساعات مختلف شبانه‌روز از مصادیق این مدیریت مصرف انرژی است. همچنین جلوگیری از تابش مستقیم نور آفتاب به داخل ساختمان در تابستان توسط کنترل اتوماتیک پرده و کرکره، سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی برای دستگاه‌های سرمایشی می‌شود. اجرای این سیستم کاهش نیروی انسانی را در برخواهد داشت که منجر به‌صرفه جویی در هزینه‌های اقتصادی می‌شود .این سیستم در واقع باعث کاهش مصرف انرژی شده و با اتصال به روی شبکه‌های کامپیوتری و کنترل سیستم بدون نیاز به کابل‌کشی پر هزینه و همین‌طور تجهیزات گران نقش آن را پررنگ‌تر می‌کند. ۳۰ درصد از انرژی مصرفی هر ساله در کشور را ساختمان‌ها مصرف می‌کنند و این اندازه در مقایسه با مصرف دیگر کشورها رقم بالایی است و برای شناخت اهمیت اقتصادی سیستم‌های مدیریت انرژی همین موضوع کافی‌ست که در یک ساختمان هوشمند نسبت به ساختمانی که کنترل آن به روش سنتی انجام می‌گردد هزینه انرژی آن معادل ۰,۱ است. با استفاده از سیستم‌های کنترل هوشمند در ساختمان، در ساختمان‌های غیرمسکونی و اداری صرفه‌جویی متوسط معادل ۴۰٪ است که این رقم حائز اهمیت است.

رتبه پنجم "تأمین نیاز ساکنان" است، همان‌طور که در بخش مبانی نظری به طور کامل توضیح داده شد سیستم‌های هوشمند قادرند که نیازهای مختلف ساکنین باتوجه‌به کاربری ساختمان را فراهم کنند از جمله روشنایی مطلوب، تهویه هوا، مدیریت دما، مدیریت سیستم‌های صوتی و تصویری و مثلاً برای کاربری‌های اداری امکان هوشمندسازی اتوماسیون اداری و... را دارا است.

رتبه ششم "کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری" است. از نتایج پیداست وقتی امکان کنترل و پایش دائمی تجهیزات و قسمت‌های مختلف ساختمان به‌صورت دائمی وجود داشته باشد امکان ازکارافتادگی و خرابی‌ها زودهنگام ناشی از عدم کنترل تجهیزات نمی‌باشد؛ لذا هزینه‌های این بخش کاهش است، همچنین با استفاده از مواد و مصالح هوشمند بادوام و کیفیت بالا طول عمر این مصالح نسبت به حالت‌های عادی افزایش پیدا می‌کند و هزینه‌های بخش تعمیری و نگهداری آنها کاهش میابد.

در رتبه هفتم " امکان استفاده نرم‌افزاری از مصالح و امکانات" قرار دارد. همان‌طور که مشخص است در بخش تجهیزات و سیستم‌های هوشمند تمامی کنترل‌ها با استفاده از نرم‌افزار و با پرتکل‌های مخصوص است؛ لذا باعث راحتی بیشتر و افزایش سرعت در هنگام کار با تجهیزات مختلف می‌گردد، در بخش مصالح هوشمندسازی ضمن افزایش سرعت و کیفیت در هنگام سفارش‌ها مصالح برای قسمت‌های مختلف امکان استفاده از نرم‌افزار امکان هدررفت زمان را برطرف می‌کند و با کمترین زمان امکان سفارش و استفاده از مصالح وجود دارد.

در رتبه هشتم "اطفای حریق" قرار دارد، حسگرهای درک دود یا حرارت با سیستم‌های الکتریکی داخل ساختمان تنظیم می‌شوند. در حقیقت سیستم‌های داخل ساختمان مانند زنجیره‌های متصل‌به‌هم در برابر خطرات احتمالی برنامه‌ریزی می‌شوند و علاوه‌برآن، تدابیر امنیتی در زمان مناسبی که آسیب‌های وارد شده هنوز موجب تخریب ساختمان نشده است، به کار گرفته می‌شوند. ین عامل نیز از عواملی است که خود باعث آسایش خاطر و امنیت ساکنین ضمن افزایش کارایی با استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند است.

در رتبه نهم " صرفه‌جویی در هزینه‌های راهبردی ساختمان" است که ضمن توضیحات داده شده درمیابیم که عوامل مؤثر مختلفی در استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند وجود دارند که در درازمدت موجب کاهش هزینه‌های راهبردی ساختمان می‌شوند.

در رتبه دهم " مدیریت دما (سرمایش و گرمایش) " است، این سیستم‌ها قابلیت تنظیمات مختلف دما در ساختمان را دارا هستند به‌گونه‌ای که هم امکان تنظیم زمانی و هم خودکار جهت تنظیم دمای ساختمان و نیز تهویه وجود دارد. این کار هم به‌صورت نرم‌افزاری و با امکان کنترل از راه دور صورت می‌گیرد.

۵- نتیجه گیری و پیشنهادهای کاربردی

نتایج نشان می‌دهد که در رتبه‌بندی عوامل تأثیرگذار در استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند با استفاده از تکنیک ویکور فازی، ده عامل مؤثر به ترتیب شامل: مانیتورینگ و کنترل یکپارچه ساختمان، بالابردن رفاه و آسایش ساکنان، سرویس‌دهی بهتر، کاهش مصرف انرژی، تأمین نیاز ساکنین، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، امکان استفاده نرم‌افزاری از مصالح و امکانات، اطفای حریق، صرفه‌جویی در هزینه‌های راهبردی ساختمان، مدیریت دما (سرمایش و گرمایش) هستند.

باتوجه‌به رتبه‌بندی عوامل مؤثر در استفاده از هوشمندسازی سبز با مواد هوشمند، امکان مانیتورینگ و کنترل یکپارچه" ساختمان وجود دارد؛ لذا می‌تواند از این سیستم‌ها برای ارتقای سیستم‌های ایمنی منازل مسکونی، اداری، تجاری، فروشگاه‌ها و... استفاده کرد و همین‌طور باتوجه‌به پایش مداوم کارکرد قسمت‌های مختلف مانند سیستم‌ها آبیاری، روشنایی، صوتی و تصویری و... فراهم است؛ لذا کاربرد وسیع این سیستم را می‌توان در کاربری‌های مختلف استفاده کرد.

باتوجه‌به اینکه استفاده از سیستم‌های هوشمند سبز باعث کاهش مصرف انرژی و همچنین امکان استفاده از انرژی‌ها تجدیدپذیر را فراهم می‌کند توصیه می‌شود از این سیستم در مراکز آموزشی و تجاری و اداری که میزان استفاده انرژی در آنها بسیار بالاست استفاده شود و این امر موجب کاهش هزینه‌های راهبردی ساختمان در درازمدت نیز می‌شود.

استفاده از این سیستم باعث کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌شود که این عامل نیز باعث افزایش عمر ساختمان می‌شود؛ لذا این عامل خود استفاده از این سیستم و مصالح هوشمند را توجیه می‌کند.

باتوجه‌به امکان اطفای حریق به‌صورت هوشمند توصیه می‌شود حتماً در منازل مسکونی، اداری، تجاری، هتل‌ها، انبارها و... از این سیستم‌های هوشمند و مصالح و مواد هوشمند استفاده شود؛ زیرا علاوه بر اطفای حریق امکان پایش مداوم آنها را نیز فراهم می‌کند.

باتوجه‌به امکان مدیریت مصرف آب در این سیستم‌ها به طور هوشمند، پیشنهاد می‌شود در بخش‌های کشاورزی استفاده شود؛ زیرا در درازمدت علاوه بر کاهش هزینه‌های مربوط به آبیاری امکان کنترل هوشمند آن نیز میسر است.

از مهم‌ترین دستاوردهای این پژوهش، ارائه چارچوبی کاربردی برای تصمیم‌گیری در زمینه هوشمندسازی سبز با تمرکز بر مصالح هوشمند و تحلیل داده‌های حاصل از نظرات خبرگان با روش ویکور فازی است. این پژوهش توانسته است شکاف موجود در مطالعات پیشین را که عمدتاً فاقد رویکرد کمی در اولویت‌بندی مؤلفه‌های کلیدی هوشمندسازی ساختمان با مصالح نوین بوده‌اند، پوشش دهد. نوآوری پژوهش حاضر در ارائه مدلی یکپارچه برای ارزیابی و رتبه‌بندی عوامل اثرگذار با تأکید بر شرایط بومی و نیازهای خاص شهر کرمان می‌باشد. همچنین، استفاده از روش فازی در قالب تصمیم‌گیری چندمعیاره، به دقت و واقع‌بینی تحلیل‌ها در مواجهه با عدم‌قطعیت داده‌ها افزوده است.

مراجع

Addington, M. and D. Schodek, Smart materials and technologies in architecture. 2012: Routledge.

Amani, N., A.A. Reza Soroush, M. Moghadas Mashhad, and K. Safarzadeh, Energy analysis for construction of a zero-energy residential building using thermal simulation in Iran. International Journal of Energy Sector Management, 2021. 15(5): p. 895-913.

Anjomshoa, E. and A. Karbakhsh, Investigating the safety level of urban deep excavation projects stabilized by method of braced excavations (struts) using methods based on risk assessment and failure analysis. Journal of Structural and Construction Engineering, 2023. 10(8): p. 87-110.

Anjomshoa, E., Investigation of lightweight gypsum based on montmorillonite nanoclay with enhanced insulation properties. International Journal of Building Pathology and Adaptation, 2024. https://doi.org/10.1108/IJBPA-10-2023-0155

Anjomshoa, E., Key performance indicators of construction companies in branding products and construction projects for success in a competitive environment in Iran. Engineering, Construction and Architectural Management, 2024. 31(5): p. 2151-2175. https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2023-0852

Anjomshoa, E., The application of building information modeling (BIM) system in the smartification of green and sustainable buildings. Engineering, Construction and Architectural Management, 2024. https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2024-0291

Banshi, E., & Mehrban, M. H. (2015). Performance analysis of smart buildings and Building Management Systems (BMS). International Conference on Research in Science and Technology, Tehran, Saramad Hamayesh Karin Institute. (In Persian)

Berawi, M.A., P. Miraj, M.S. Sayuti, and A.R.B. Berawi. Improving building performance using smart building concept: Benefit cost ratio comparison. in AIP Conference Proceedings. 2017. AIP Publishing.

Bhattacharjee, J. and S. Roy, Smart materials for sustainable energy. Nat Resour Conserv Res, 2024. 7: p. 5536.

Borhan, A., & Tabaaian, S. M. (2019). Investigation of Building Management System (BMS) and analysis of the impact of smart systems on energy efficiency and cost reduction. The 6th National Congress on Civil Engineering, Architecture, and Urban Development, Tehran, Iran University of Science and Technology, Permanent Secretariat of the Congress – Miad University, in collaboration with Shiraz University, Maragheh University, and Iran University of Science and Technology. (In Persian)

Boroumand, M., Evaluation of smart materials application in optimizing energy consumption in office buildings (Case Study: cold and mountainous regions of Iran, Tabriz). International Journal of Urban Management and Energy Sustainability, 2023. 4(2): p. 153-167.

Casini, M., Smart materials and nanotechnology for energy retrofit of historic buildings. Int J f Civ Struct Eng IJCSE, 2014: p. 2372-3971.

Chan, N., T.F. Go, L.K. Moey, and C.M. Chia, Short review on renewable energy policy and energy consumption of buildings in Malaysia. Journal of Engineering & Technological Advances, 2022. 7(1): p. 64-82.

Cheng, M. Y., Chiu, K. C., Lien, L. C., Wu, Y. W., Lin, J. J., "Economic and energy consumption analysis of smart buildinge MEGA house". Building and Environment; 100: 215-226, 2016.

Cheng, M.-Y., K.-C. Chiu, L.-C. Lien, Y.-W. Wu, and J.-J. Lin, Economic and energy consumption analysis of smart building–MEGA house. Building and Environment, 2016. 100: p. 215-226.

Davarian, A., Dehghan Touranposhti, A., & Tayefi Nasrabadi, A. (2016). Investigation of smartening strategies for residential complexes with an approach to optimal energy consumption. The 1st National Conference on Technology in Applied Engineering, Tehran, Islamic Azad University, West Tehran Branch. (In Persian)

Drossel, W.-G., H. Kunze, A. Bucht, L. Weisheit, and K. Pagel, Smart3–Smart materials for smart applications. Procedia Cirp, 2015. 36: p. 211-216.

Ejidike, C.C. and M.C. Mewomo, Benefits of adopting smart building technologies in building construction of developing countries: Review of literature. SN Applied Sciences, 2023. 5(2): p. 52.

Fotopoulou, E., A. Zafeiropoulos, F. Terroso-Sáenz, U. Şimşek, A. González-Vidal, G. Tsiolis, P. Gouvas, P. Liapis, A. Fensel, and A. Skarmeta, Providing personalized energy management and awareness services for energy efficiency in smart buildings. Sensors, 2017. 17(9): p. 2054.

Hannan, M.A., M. Faisal, P.J. Ker, L.H. Mun, K. Parvin, T.M.I. Mahlia, and F. Blaabjerg, A review of internet of energy based building energy management systems: Issues and recommendations. IEEE access, 2018. 6: p. 38997-39014.

Heidari, F., M. Mahdavinejad, and S. Sotodeh. Renewable energy and smart hybrid strategies for high performance architecture and planning in case of tehran, Iran. in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. IOP Publishing.

Hosseini Sharif, S. A., & Hasanpour, M. (2019). Investigation of the effects of smart technologies in residential and commercial units and their impact on energy consumption reduction. The 2nd International Conference on New Horizons in Basic and Engineering Sciences, Tehran, New Horizon Association of Science and Technology. (In Persian)

Ji, S., B. Lee, and M.Y. Yi, Building life-span prediction for life cycle assessment and life cycle cost using machine learning: A big data approach. Building and Environment, 2021. 205: p. 108267.

Jia, R., B. Jin, M. Jin, Y. Zhou, I.C. Konstantakopoulos, H. Zou, J. Kim, D. Li, W. Gu, and R. Arghandeh, Design automation for smart building systems. Proceedings of the IEEE, 2018. 106(9): p. 1680-1699.

Julaihi, F., Ibrahim, S. H., Baharun, A., Affendi, R., Nawi, M. N. M., " The Effectiveness of Energy Management System on EnergyEfficiency in the building" , The 2nd International Conference on Applied Science and Technology (ICAST17), Langkawi, Malaysia, 2017.

Julaihi, F., S. Ibrahim, A. Baharun, R. Affendi, and M. Nawi. The effectiveness of energy management system on energy efficiency in the building. in AIP Conference Proceedings. 2017. AIP Publishing.

Khodabandelou, R., Sheikhi Anbaran, F., & Dehghan Neyri, S. (2015). Investigation of management protocols for Building Management Systems (BMS). The 2nd National Conference on Computer Engineering and Information Technology Management, Tehran, Bouali Research Group. (In Persian)

Liu, H., N. Nikitas, Y. Li, and R. Yang, Big Data in Energy Economics. 2022: Springer.

Mahdavi, M. , Babaafjaei, A. and Hosseini, S. R. (2023). Evaluation and Comparison of Seismic Performance in Irregular Steel Structures with Modern Concentrically Braces. *Computational Engineering and Physical Modeling*, *6*(4), 57-76. doi: 10.22115/cepm.2024.434360.1277

Mahdavi, M. , Hosseini, S. and Babaafjaei, A. (2023). Modelling and Comparison of Plastic Performance in Ten Types of New Steel Braces under Pushover Analysis. *Computational Engineering and Physical Modeling*, *6*(2), 73-89. doi: 10.22115/cepm.2023.428826.1262

Mahdavi, Masoud,1401,Types of Failure in Reinforced Concrete Structures and Methodsof Preventing Failure in the Structures,The first international conference on creative works of architecture, urban planning and environment in sustainable residential development,Mashhad,https://civilica.com/doc/1594228

Mahdavinejad, M., M. Bemanian, G. Abolvardi, and N. Khaksar. The Strategies of Outspreading Smart Materials in Building Construction Industry in Developing Countries; Case Study: Iran. in International Conference on Intelligent Building and Management Proc. of CSIT. 2011.

Marinakis, V., C. Karakosta, H. Doukas, S. Androulaki, and J. Psarras, A building automation and control tool for remote and real time monitoring of energy consumption. Sustainable Cities and Society, 2013. 6: p. 11-15.

Mir, B.A., Smart materials and their applications in civil engineering: An overview. International Journal of Civil Engineering and Construction Science, 2017. 4(2): p. 11-20.

Mofid, M., & Kamran Kasmaei, H. (2019). The impact of smart residential buildings on energy consumption optimization. The 4th International Conference on Research in Science and Engineering, Bangkok – Kasem Bundit University, Permanent Secretariat of the Conference and University. (In Persian)

Nemati, R., Hassanzadeh, M. R., & Maleki, M. (2018). Application of modern technologies in the study of smart buildings with emphasis on social welfare. Bimonthly Journal of Elites in Science and Engineering, 3(3). (In Persian)

Nilimaa, J. and V. Zhaka, An overview of smart materials and technologies for concrete construction in cold weather. Eng, 2023. 4(2): p. 1550-1580.

Pan, Y. and L. Zhang, Integrating BIM and AI for smart construction management: Current status and future directions. Archives of Computational Methods in Engineering, 2023. 30(2): p. 1081-1110.

Popescu, D. E., Prada, M. F., "Some Aspects about Smart Building Management Systems - Solutions for Green, Secure and Smart Buildings". Recent Advances in Environmental Science; 126-132, 2015.

Qader, I.N., M. Kök, F. Dagdelen, and Y. Aydoğdu, A review of smart materials: researches and applications. El-Cezeri, 2019. 6(3): p. 755-788.

Sandberg, M., R. Gerth, W. Lu, G. Jansson, J. Mukkavaara, and T. Olofsson. Design automation in construction: An overview. in 33rd CIB W78 Conference 2016, Oct. 31st–Nov. 2nd 2016, Brisbane, Australia. 2016.

Simpeh, E.K., J.-P.G. Pillay, R. Ndihokubwayo, and D.J. Nalumu, Improving energy efficiency of HVAC systems in buildings: a review of best practices. International Journal of Building Pathology and Adaptation, 2022. 40(2): p. 165-182.

Vahidian, M., & Nejati, V. (2015). Economic analysis, optimization, and the concept of Building Management System (BMS) in smart control systems. The 1st International Conference on Air Conditioning and Heating & Cooling Installations, Tehran, May 2015. (In Persian)

Vandenbogaerde, L., S. Verbeke, and A. Audenaert, Optimizing building energy consumption in office buildings: A review of building automation and control systems and factors influencing energy savings. Journal of Building Engineering, 2023. 76: p. 107233.

Vijayan, D., A.L. Rose, S. Arvindan, J. Revathy, and C. Amuthadevi, Automation systems in smart buildings: a review. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2020: p. 1-13.

Wendzel, S., J. Tonejc, J. Kaur, and A. Kobekova, Cyber security of smart buildings. Security and Privacy in Cyber-Physical Systems: Foundations, Principles and Applications, 2017: p. 327-351.

Yazdanpanahi, A., & Feili, A. (2019). Identification and prioritization of key success factors in smart buildings using the fuzzy AHP approach. The 1st International Conference on Smart City, Shiraz, Apadana Institute of Higher Education. (In Persian)

Yu, J. and N. Zhang, Development of a Comprehensive Urban Resilience Assessment Framework: The Intersection of Smart Buildings and Disaster Mitigation. 2024.

Zhuang, H., J. Zhang, S. CB, and B.A. Muthu, Sustainable smart city building construction methods. Sustainability, 2020. 12(12): p. 4947.