

نقش آفرینی مجتمع های کلان تجاری بر پایداری الگوی مصارف انرژی در توسعه کالبدی کلان شهرهای منطقه ای مورد مطالعه: کلان شهر مشهد

اسماعیل علی اکبری^۱، مصطفی طالشی^۲، عارفه علی اکبری^۳

۱. استاد گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۲. استاد گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۳. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

نویسنده مسئول مقاله: اسماعیل علی اکبری

ایمیل نویسنده مسئول: E-mail: aliakbari@pnu.ac.ir

ایمیل و تلفن نویسنده ی اول: : اسماعیل علی اکبری، E-mail: aliakbari@pnu.ac.ir ،
۰۹۱۲۳۸۴۰۵۹۴

ایمیل و تلفن نویسنده ی دوم : مصطفی طالشی، E-mail: m_taleshi@pnu.ac.ir
09128177477

ایمیل و تلفن نویسنده ی سوم : عارفه علی اکبری، E-mail: arc.aliakbari@gmail.com ،
۰۹۱۵۳۷۷۹۵۵۰

چکیده :با توجه به رشد فزاینده ساخت وسازه های تجاری بلندمرتبه در مراکز شهری و پیامدهای آن بر الگوی مصرف انرژی، این پژوهش با هدف ارزیابی و تحلیل نقش آفرینی این مجتمع ها بر شاخص های انرژی در کلان شهر مشهد است. در این پژوهش به منظور سنجش و ارزیابی از شش معیار، نوع سیستم تأمین انرژی، موقعیت مکانی، ارتفاع سازه، نوع مصالح پوسته، نوع تجهیزات سرمایشی-گرمایشی و قابلیت

ذخیره‌سازی انرژی با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای برنامه‌ریزی و توسعه کالبدی انجام شده است. داده‌های مورد نیاز از طریق مصاحبه و پرسشنامه تخصصی با خبرگان حوزه معماری، عمران، انرژی و مدیریت پروژه و جغرافیدانان شهری جمع‌آوری شده و با ابزارهای آماری مناسب تجزیه و تحلیل شده است.

جامعه آماری پژوهش دوازده مجتمع تجاری بلندمرتبه و میان‌مرتبه در مناطق مختلف شهری مشهد است. نتایج نشان داد که نوع مصالح پوسته، ارتفاع سازه و سیستم تأمین انرژی بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های وابسته از جمله مصرف برق، هزینه انرژی، انتشار CO_2 ، پایداری تأمین انرژی و قابلیت ذخیره‌سازی دارند. به‌ویژه، استفاده از مصالح با عایق حرارتی بالا و سیستم‌های نوین تأمین انرژی نظیر تولید هم‌زمان برق و (CHP) نقش مؤثری در کاهش مصرف انرژی و ارتقای پایداری ایفا می‌کنند.

این پژوهش ضمن ارائه الگویی بومی‌سازی شده برای تحلیل انرژی در سازه‌های بلندمرتبه تجاری، می‌تواند راه‌گشای سیاست‌گذاران، طراحان و مدیران پروژه‌ها در بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی در برنامه‌ریزی توسعه کالبدی کلان شهرهای منطقه ای قرار گیرد.

واژگان کلیدی: نقش آفرینی، مجتمع‌های کلان تجاری، پایداری الگوی مصرف انرژی، توسعه کالبدی، کلان شهر منطقه ای مشهد

The role of mega commercial complexes on energy sustainability in the spatial development of regional metropolises

A Case study of Mashhad

Esmail AliAkbari 1, Mostafa Taleshi 2, Arefeh AliAkbari 3

1. Professor, Department of Geography, Payam Noor University, Tehran, Iran.

2. Professor, Department of Geography, Payam Noor University, Tehran, Iran.

3. Ph.D. student in Geography and Urban Planning, Payam Noor University, Tehran, Iran

Abstract

Given the increasing growth of high-rise commercial buildings in urban centers and their impact on energy consumption patterns, this research aims to evaluate and analyze the role of these complexes on energy indicators in the metropolis of Mashhad. In this study, six criteria—the type of energy supply system, location, building height, type of envelope materials, type of cooling and heating equipment, and energy storage capability—were used for measurement and evaluation, employing the Analytical Hierarchy Process (AHP) method for physical planning and development. The necessary data were collected through interviews and specialized questionnaires with experts in architecture, civil engineering, energy, project management, and urban geographers, and analyzed using appropriate statistical tools. The statistical population of the study consists of twelve high-rise and mid-rise commercial complexes in different urban areas of Mashhad. The results showed that the type of envelope materials, building height, and energy supply system have the greatest impact on dependent indicators, including electricity consumption, energy cost, CO₂ emissions, energy supply stability, and storage capacity. In particular, the use of materials with high thermal insulation and modern energy supply systems such as combined heat and power (CHP) play an effective role in reducing energy consumption and promoting sustainability. This research, while providing a localized model for energy analysis in high-rise commercial buildings, can guide policymakers, designers, and project managers in optimizing energy consumption patterns in the physical development planning of regional metropolises.

Keywords: Role-playing, large commercial complexes, sustainability of energy consumption patterns, physical development, Mashhad regional metropolis.

رشد فزاینده ساخت‌وسازهای تجاری بلندمرتبه در مراکز شهری، به‌واسطه افزایش فعالیت‌های انسانی و تراکم بهره‌برداری، می‌تواند الگوی مصرف انرژی را در مقیاس شهر تغییر داده و پیامدهایی برای پایداری انرژی، هزینه‌های بهره‌برداری و انتشار آلاینده‌ها ایجاد کند (ژانگ، ۲۰۲۰)^۱. از این‌رو، بررسی نقش مجتمع‌های تجاری در شاخص‌های انرژی، در پیوند با سایر ابعاد توسعه پایدار، به یکی از دغدغه‌های مهم برنامه‌ریزی توسعه کالبدی در کلان‌شهرهای منطقه‌ای تبدیل شده است.

پایداری شهری^۲ مفهومی چندبعدی است که با کاهش مصرف، افزایش بهره‌وری و ارتقای تاب‌آوری پیوند دارد و الگوی مصرف انرژی شهری نیز تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند ساختار اقتصادی^۳ - اجتماعی^۴ و زیست‌محیطی شهر^۵، کیفیت و ظرفیت زیرساخت‌های انرژی، و ویژگی‌های کالبدی ساختمان و نحوه بهره‌برداری از سامانه‌های تأمین و مصرف انرژی قرار می‌گیرد. در این میان، ساختمان‌های تجاری بلندمرتبه به دلیل تراکم عملکردی بالا، ساعات بهره‌برداری طولانی و وابستگی گسترده به سامانه‌های مکانیکی و روشنایی، می‌توانند اثر معناداری بر مصرف انرژی شهری داشته باشند (خلید و همکاران، ۲۰۲۰)^۶ و در نتیجه به افزایش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف منجر شوند (توانا و همکاران، ۲۰۲۲)^۷. همچنین، در صورت هم‌راستا نبودن توسعه مجتمع‌های تجاری با رویکردهای برنامه‌ریزی پایدار، پیامدهایی مانند افزایش مصرف انرژی و تشدید فشار بر زیرساخت‌ها و چالش‌های زیست‌محیطی محتمل است (امیرفخریان، ۱۳۹۹)^۸.

¹ Zhang

² Urban sustainability

³ Economic

⁴ Socia

⁵ Environmental

⁶ Khalid

⁷ Tavana

⁸ Amirfakhriyan

از سوی دیگر، مطالعات نشان می‌دهد الگوی مصرف انرژی در شهرهای مختلف تحت تأثیر عواملی همچون رشد جمعیت، ساختار و فعالیت‌های اقتصادی و ظرفیت زیرساخت‌های شهری است (لیو و همکاران، ۲۰۲۱)^۹. در طراحی شهری نیز توجه هم‌زمان به مؤلفه‌هایی مانند پایداری زیست‌محیطی، اجتماعی-فرهنگی و اقتصادی و عدالت فضایی ضروری است (مولائی، ۱۴۰۱)^{۱۰}؛ با این حال، عدم انطباق توسعه مجتمع‌های تجاری با برنامه‌ریزی شهری می‌تواند زمینه بروز چالش‌هایی در حمل‌ونقل و آلودگی زیست‌محیطی و نیز تضعیف هویت فرهنگی و افزایش مصرف انرژی و منابع طبیعی را فراهم آورد (عنابستانی، کلانتری و نیکنامی، ۱۴۰۲)^{۱۱}. همچنین، با افزایش جمعیت و شهرنشینی، تقاضای انرژی رو به رشد است، در حالی‌که زیرساخت‌های تولید انرژی غالباً در دهه‌های گذشته ایجاد شده‌اند و در صورت نوسازی ناکافی، پاسخ‌گویی به نیازهای آینده دشوار خواهد بود. کیفیت طراحی شهری با محوریت الگوهای بومی نیز به ارتقای پایداری، مطلوبیت و انسان‌مداری کمک می‌کند (صادقی، شاکرمی و حیدری نثار، ۱۴۰۲)^{۱۲}. افزون بر این، در ارزیابی زیست‌پذیری شهری بر پایداری اجتماعی، شاخص اقتصادی بیشترین و شاخص زیست‌محیطی کمترین اثرگذاری را دارد (خلیفاوی، کرامتی و سلطان‌زاده و متین، ۱۴۰۲)^{۱۳}.

بر پایه شکاف پژوهشی موجود در بررسی هم‌زمان ابعاد کالبدی-عملکردی مجتمع‌های تجاری بلندمرتبه و اثر آن بر شاخص‌های انرژی، این پژوهش با هدف ارزیابی و تحلیل نقش‌آفرینی مجتمع‌های تجاری بر شاخص‌های انرژی در کلان‌شهر مشهد انجام شده است. جامعه آماری پژوهش شامل ۱۲ مجتمع تجاری بلندمرتبه و میان‌مرتبه در مناطق مختلف شهری مشهد است. در این مطالعه، شش معیار «نوع سیستم تأمین انرژی»، «موقعیت مکانی»، «ارتفاع سازه»، «نوع مصالح پوسته»، «نوع تجهیزات سرمایشی-گرمایشی» و «قابلیت ذخیره‌سازی انرژی» در چارچوب تحلیل سلسله‌مراتبی

⁹ Liu

¹⁰ Molaee

¹¹ Annabestani, Kalaniati, Niknami

¹² Sadeghi, Shakarami, Heydari nesar

¹³ Khalifavi, Keramati, Soltanzade, Matin

(AHP) سنجش شد. داده‌ها از طریق مصاحبه و پرسشنامه تخصصی با خبرگان معماری، عمران، انرژی و مدیریت پروژه و نیز جغرافیدانان شهری گردآوری و با ابزارهای آماری تحلیل شد.

نتایج نشان داد «نوع مصالح پوسته»، «ارتفاع سازه» و «سیستم تأمین انرژی» بیشترین اثر را بر شاخص‌هایی مانند «مصرف برق»، «هزینه انرژی»، «انتشار CO2»، «پایداری تأمین انرژی» و «قابلیت ذخیره‌سازی انرژی» دارند. به‌طور مشخص، استفاده از مصالح با عایق حرارتی مناسب و به‌کارگیری سیستم‌های نوین تأمین انرژی (از جمله تولید هم‌زمان برق و CHP) می‌تواند به کاهش مصرف و ارتقای پایداری منجر شود؛ همچنین در مطالعه‌ای در تهران، استفاده از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر به کاهش مصرف انرژی در مجتمع‌های تجاری مرتبط دانسته شده است (قدیمی و همکاران، ۲۰۲۱)^{۱۴}. از سوی دیگر، افزایش ارتفاع ساختمان ممکن است به افزایش مصرف انرژی و هزینه‌های نگهداری منجر شود، در حالی که کاهش نیاز به حمل‌ونقل و بهره‌گیری از نور طبیعی می‌تواند به بهینه‌سازی مصرف انرژی کمک کند (صبوری و حسینی، ۱۴۰۲)^{۱۵}. در نهایت، یافته‌ها تأکید می‌کند مجتمع‌های تجاری بزرگ می‌توانند نقش مهمی در پایداری الگوی مصرف انرژی در شهرها داشته باشند، به شرط مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب برای کاهش مصرف و افزایش بهره‌وری انرژی (کیم و همکاران، ۲۰۲۲)^{۱۶}.

داده‌ها و روش کار

این پژوهش از رویکرد ترکیبی (کیفی-کمی) و از نوع کاربردی با طرح توصیفی-تحلیلی بهره می‌گیرد. هدف آن، بررسی و تحلیل اثر سازه‌های تجاری بلندمرتبه بر الگوی پویای مصرف انرژی در شهر مشهد است. در بخش کیفی، مؤلفه‌های مؤثر بر مصرف انرژی از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساخت‌یافته با متخصصان انرژی و ساختمان، مدیران پروژه‌های تجاری، و کارشناسان شهرداری و برنامه‌ریزی شهری شناسایی شد. در بخش کمی، داده‌ها با استفاده از

¹⁴ Ghadimi

¹⁵ Sabouri،Hosaeyni

¹⁶ kim

تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)^{۱۷} و در چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)^{۱۸} برای اولویت‌بندی معیارها و تعیین وزن آنها تحلیل شدند. ابزار گردآوری داده‌ها شامل مصاحبه و پرسشنامه بود. جامعه آماری پژوهش نیز شامل مالکان، بهره‌برداران، سازندگان، و مراجعان دائمی و موقت مجتمع‌های تجاری بلندمرتبه در کلان‌شهر مشهد است. ویژگی‌های کالبدی ۱۲ این مجتمع تجاری عظیم در کلان‌شهر مشهد در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. موقعیت و مشخصات مجتمع‌های مورد بررسی در این پژوهش

نام مجموعه	موقعیت مکانی	ارتفاع سازه	نوع مصالح پوسته
اطلس مال	توسعه یافته	بلند مرتبه	سالید و مش آلومینیوم
الماس شرق	حاشیه	میان مرتبه	شیشه، سنگ بایرامیکس و الکوئاند
آرمیتاژ گلشن	مرکزی	بلند مرتبه	شیشه و آلکوبان
آلتون	مرکزی	بلند مرتبه	شیشه و آلکوبان
پروما	مرکزی	میان مرتبه	شیشه سکوریت آبی رفلکس بلژیک
تابان	مرکزی	میان مرتبه	پنل‌های مشبک GFRC (کربن فایبر تقویت شده با الیاف شیشه)، آجر و سنگ تراورتن، کامپوزیت و لوورهای آلومینیومی
مجتمع تک	مرکزی	میان مرتبه	سنگ و آجر با پوسته کامپوزیت
خورشید	مرکزی	بلند مرتبه	کامپوزیت و شیشه
زیست‌خاور	مرکزی	میان مرتبه	سنگ و آجر
سلمان	مرکزی	بلند مرتبه	نمای اصلی کامپوزیت و شیشه
مجد	مرکزی	بلند مرتبه	سنگ تراورتن
سپهر کوهسنگی	مرکزی	بلند مرتبه	سنگ پرسیلانی و ورق مس تشکیل شده که به صورت خشک‌چین

¹⁷ Analytic Hierarchy Process

¹⁸ Multi-Criteria Decision Making

در این پژوهش، افزون بر تحلیل مضمون^{۱۹} برای استخراج مؤلفه‌ها، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نیز برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر مصرف انرژی استفاده شد. بر این اساس، شاخص‌های ارزیابی مصرف انرژی و الگوهای ساخت‌وساز در مجتمع‌های تجاری بلندمرتبه مشهد شناسایی و وزن‌دهی شدند. در فرایند AHP، مقایسات زوجی میان پنج متغیر مستقل شامل نوع سیستم تأمین انرژی، موقعیت مکانی، ارتفاع ساختمان، نوع مصالح پوسته و نوع تجهیزات سرمایشی-گرمایشی انجام گرفت و متغیرهای وابسته نیز شامل میزان مصرف برق، هزینه‌های انرژی، انتشار CO₂، پایداری تأمین انرژی و قابلیت ذخیره‌سازی انرژی بودند. برای اطمینان از اعتبار نتایج، شاخص سازگاری^{۲۰} (CI) و نسبت سازگاری^{۲۱} (CR) محاسبه شد که نتایج، سازگاری قابل قبول تمامی مقایسات را تأیید کرد؛ به گونه‌ای که مقدار CR در همه موارد کمتر از ۰,۱ بود. همچنین، روایی پرسشنامه با نظر خبرگان و پایایی آن با ضریب آلفای کرونباخ سنجیده شد و مقدار آلفا برای پرسشنامه‌های نهایی بیش از ۰,۷ به دست آمد که نشان‌دهنده پایایی مناسب ابزار پژوهش است.

در این پژوهش، ضمن توجه به مبانی نظری مرتبط با بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها، برنامه‌ریزی شهری پایدار و مدل‌های تحلیل انرژی پویا^{۲۲}، شکاف پژوهشی موجود در بررسی هم‌زمان ابعاد کالبدی-عملکردی مجتمع‌های تجاری بلندمرتبه و الگوی پویای مصرف انرژی در مشهد مورد توجه قرار گرفت. فقدان مطالعات مکان‌محور در این زمینه، ضرورت انجام پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش می‌تواند برای مدیران شهری، معماران، مهندسان و توسعه‌دهندگان در کاهش پیامدهای منفی زیست‌محیطی و بهبود عملکرد انرژی سازه‌های عظیم تجاری مفید باشد. بر این اساس، ۱۲ مجتمع تجاری عظیم مشهد به صورت

¹⁹ Thematic Analysis

²⁰ Compatibility Index

²¹ Compatibility Ratio

²² Dynamic energy analysis models

موردی بررسی شده‌اند تا اثرات ساختاری و عملکردی آن‌ها بر پایداری انرژی و راهکارهای ارتقای آن تحلیل شود.

داده‌ها و روش کار

این پژوهش از رویکرد ترکیبی (کیفی-کمی) و از نوع کاربردی با طرح توصیفی-تحلیلی بهره می‌گیرد. هدف آن، بررسی و تحلیل اثر سازه‌های تجاری بلندمرتبه بر الگوی پویای مصرف انرژی در شهر مشهد است. در بخش کیفی، مؤلفه‌های مؤثر بر مصرف انرژی از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساخت‌یافته با متخصصان انرژی و ساختمان، مدیران پروژه‌های تجاری، و کارشناسان شهرداری و برنامه‌ریزی شهری شناسایی شد. در بخش کمی، داده‌ها با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)^{۲۳} و در چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)^{۲۴} برای اولویت‌بندی معیارها و تعیین وزن آن‌ها تحلیل شدند. ابزار گردآوری داده‌ها شامل مصاحبه و پرسشنامه بود. جامعه آماری پژوهش نیز شامل مالکان، بهره‌برداران، سازندگان، و مراجعان دائمی و موقت مجتمع‌های تجاری بلندمرتبه در کلان‌شهر مشهد است. ویژگی‌های کالبدی ۱۲ این مجتمع تجاری عظیم در کلان‌شهر مشهد در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. موقعیت و مشخصات مجتمع‌های مورد بررسی در این پژوهش

نام مجموعه	موقعیت مکانی	ارتفاع سازه	نوع مصالح پوسته
اطلس مال	توسعه یافته	بلند مرتبه	سالید و مش آلومینیوم
الماس شرق	حاشیه	میان مرتبه	شیشه، سنگ بایرامیکس و الکوئاند
آرمیتاژ گلشن	مرکزی	بلند مرتبه	شیشه و آلکوئاند
آلتون	مرکزی	بلند مرتبه	شیشه و آلکوئاند

²³ Analytic Hierarchy Process

²⁴ Multi-Criteria Decision Making

پروما	مرکزی	میان مرتبه	شیشه سکوریت آبی رفلکس بلژیک
تابان	مرکزی	میان مرتبه	پنل های مشبک GFRC (کربن فایبر تقویت شده با الیاف شیشه)، آجر و سنگ تراورتن، کامپوزیت و لوورهای آلومینیومی
مجتمع تک	مرکزی	میان مرتبه	سنگ و آجر با پوسته کامپوزیت
خورشید	مرکزی	بلند مرتبه	کامپوزیت و شیشه
زیست خاور	مرکزی	میان مرتبه	سنگ و آجر
سلمان	مرکزی	بلند مرتبه	نمای اصلی کامپوزیت و شیشه
مجد	مرکزی	بلند مرتبه	سنگ تراورتن
سپهر کوهسنگی	مرکزی	بلند مرتبه	سنگ پرسلانی و ورق مس تشکیل شده که به صورت خشک چین

در این پژوهش، افزون بر تحلیل مضمون برای استخراج مؤلفه‌ها، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نیز برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر مصرف انرژی استفاده شد. بر این اساس، شاخص‌های ارزیابی مصرف انرژی و الگوهای ساخت‌وساز در مجتمع‌های تجاری بلندمرتبه مشهد شناسایی و وزن‌دهی شدند. در فرایند AHP، مقایسات زوجی میان پنج متغیر مستقل شامل نوع سیستم تأمین انرژی، موقعیت مکانی، ارتفاع ساختمان، نوع مصالح پوسته و نوع تجهیزات سرمایشی-گرمایشی انجام گرفت و متغیرهای وابسته نیز شامل میزان مصرف برق، هزینه‌های انرژی، انتشار CO₂، پایداری تأمین انرژی و قابلیت ذخیره‌سازی انرژی بودند. برای اطمینان از اعتبار نتایج، شاخص سازگاری (CI) و نسبت سازگاری (CR) محاسبه شد که نتایج، سازگاری قابل قبول تمامی مقایسات را تأیید کرد؛ به گونه‌ای که مقدار CR در همه موارد کمتر از ۰٫۱ بود. همچنین، روایی پرسشنامه با نظر خبرگان و پایایی آن با ضریب آلفای کرونباخ سنجیده شد و مقدار آلفا برای پرسشنامه‌های نهایی بیش از ۰٫۷ به دست آمد که نشان‌دهنده پایایی مناسب ابزار پژوهش است.

شرح و تفسیر نتایج

به منظور دستیابی به نتایج، داده‌های مورد نیاز پردازش شد. در این پژوهش، برای تعیین اهمیت نسبی معیارها، ماتریس مقایسه زوجی برای متغیرهای مستقل و وابسته تدوین شد. در گام نخست، هر یک از معیارهای مؤثر بر شاخص‌های انرژی به صورت زوجی با سایر معیارها مقایسه شد تا وزن نسبی آن‌ها تعیین گردد.

۱. میزان مصرف برق:

جدول ۲. ماتریس مقایسه زوجی تاثیر معیارهای شاخص انرژی در میزان مصرف برق

سیستم تأمین انرژی	موقعیت مکانی	ارتفاع سازه	نوع مصالح پوسته	نوع تجهیزات سرمایشی- گرمایشی	قابلیت ذخیره سازی انرژی
سیستم تأمین انرژی	1.00	1.61	1.05	0.93	1.70
موقعیت مکانی	0.62	1.00	0.65	0.58	1.05
ارتفاع سازه	0.95	1.54	1.00	0.89	1.61
نوع مصالح پوسته	1.07	1.73	1.13	1.00	1.82
نوع تجهیزات سرمایشی- گرمایشی	0.82	1.33	0.86	0.77	1.40
قابلیت ذخیره سازی انرژی	0.59	0.96	0.62	0.55	1.00
جمع کل	300.06	191.16	286.32	320.18	249.15

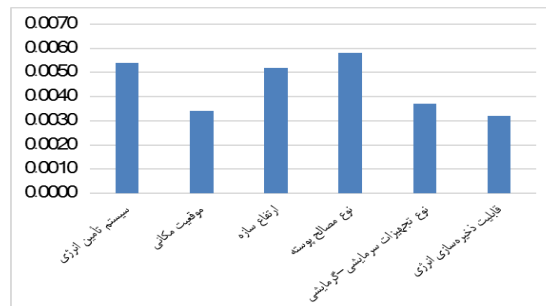
در گام بعدی ماتریس، نرمالیزاسیون انجام شد و وزن نسبی (میانگین) به دست آمد.

جدول ۳. نرمالیزاسیون ماتریس تاثیر معیارهای شاخص انرژی در میزان مصرف برق

میانگین	سیستم تأمین	موقعیت مکانی	ارتفاع سازه	نوع مصالح پوسته	نوع تجهیزات سرمایشی- گرمایشی	قابلیت ذخیره سازی
---------	-------------	--------------	-------------	-----------------	------------------------------	-------------------

انرژی	انرژی	گرمایشی				انرژی	
0.0054	0.0093	0.0049	0.0029	0.0037	0.0084	0.0033	سیستم تأمین انرژی
0.0034	0.0058	0.0030	0.0018	0.0023	0.0052	0.0021	موقعیت مکانی
0.0052	0.0088	0.0046	0.0028	0.0035	0.0080	0.0032	ارتفاع سازه
0.0058	0.0100	0.0052	0.0031	0.0039	0.0091	0.0036	نوع مصالح پوسته
0.0037	0.0076	0.0040	0.0024	0.0030	0.0069	0.0027	نوع تجهیزات سرمایشی- گرمایشی
0.0032	0.0055	0.0029	0.0017	0.0022	0.0050	0.0020	قابلیت ذخیره سازی انرژی

بر اساس نتایج تحلیل **AHP**، نوع مصالح پوسته با وزن نسبی ۰,۰۰۵۸ بیشترین تأثیر را بر مصرف برق سازه‌های تجاری دارد. این یافته نشان می‌دهد که ویژگی‌های حرارتی پوسته ساختمان، از طریق کنترل انتقال حرارت و تابش خورشید، نقش تعیین‌کننده‌ای در بار سرمایشی و گرمایشی و در نتیجه مصرف برق دارند. در رتبه بعد، نوع سیستم تأمین انرژی با وزن ۰,۰۰۵۴ قرار دارد که بیانگر اهمیت منبع و شیوه تأمین انرژی در سطح مصرف نهایی ساختمان است. ارتفاع سازه نیز با وزن ۰,۰۰۵۲ در رتبه سوم قرار گرفته و نشان می‌دهد افزایش ارتفاع می‌تواند به دلیل پیچیدگی بیشتر سامانه‌های تأسیساتی و بهره‌برداری، مصرف برق را افزایش دهد. در ادامه، نوع تجهیزات سرمایشی-گرمایشی با وزن ۰,۰۰۳۷ در جایگاه چهارم قرار دارد. همچنین موقعیت مکانی با وزن ۰,۰۰۳۴ و قابلیت ذخیره‌سازی انرژی با وزن ۰,۰۰۳۲ کمترین تأثیر را نشان داده‌اند. این امر می‌تواند ناشی از یکنواختی نسبی شرایط مکانی پروژه‌ها و نیز محدود بودن کاربرد واقعی سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی در نمونه‌های مورد مطالعه باشد.



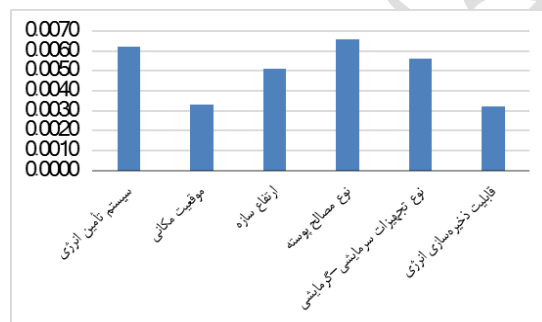
شکل ۱. ضریب تأثیر معیارهای شاخص انرژی در میزان مصرف برق

بر پایه نتایج به دست آمده، می توان نتیجه گرفت که در طراحی سازه های تجاری بلندمرتبه در مشهد، با هدف کاهش مصرف برق، توجه اصلی باید بر بهینه سازی مصالح پوسته، انتخاب سیستم تأمین انرژی با راندمان بالا، و لحاظ کردن ارتفاع ساختمان به عنوان عامل مؤثر در طراحی سامانه های انرژی بر متمرکز شود. از سوی دیگر، بهبود کارایی انرژی در پروژه های آبی مستلزم انجام پژوهش های تکمیلی درباره نقش موقعیت مکانی و اقلیمی و نیز سامانه های ذخیره سازی انرژی است؛ زیرا در صورت اجرای مناسب، این مؤلفه ها می توانند به کاهش مصرف برق کمک کنند. در ادامه و در چارچوب تحلیل سلسله مراتبی، همین فرایند (مقایسه زوجی و نرمالاسیون و وزن دهی)، برای سایر متغیرهای سطح ۲ (هزینه انرژی، انتشار CO₂، پایداری تأمین انرژی، قابلیت ذخیره سازی انرژی) نیز تکرار شد که نتایج آن به شرح زیر ارائه می شود.

ب- هزینه انرژی به عنوان یکی از متغیرهای کلیدی در طراحی و بهره برداری سازه های تجاری بلندمرتبه، تحت تأثیر مجموعه ای از عوامل مختلف قرار دارد.

بر اساس نتایج AHP، نوع مصالح پوسته با وزن ۰,۰۰۶۶، بیشترین تأثیر را بر هزینه انرژی داشته است؛ زیرا ویژگی های حرارتی و فیزیکی پوسته ساختمان از طریق کنترل بارهای حرارتی و برودتی، نقش تعیین کننده ای در هزینه های نهایی انرژی دارند. در رتبه های بعدی،

نوع سیستم تأمین انرژی با وزن ۰,۰۰۶۲ و نوع تجهیزات سرمایشی-گرمایشی با وزن ۰,۰۰۵۶ قرار گرفتند که نشان‌دهنده اثر مستقیم راندمان و نوع سامانه‌های تأمین و مصرف انرژی بر هزینه‌های بهره‌برداری است. ارتفاع سازه نیز با وزن ۰,۰۰۵۱ در رتبه چهارم قرار گرفت، زیرا افزایش ارتفاع معمولاً به پیچیدگی بیشتر سامانه‌های تأسیساتی و در نتیجه افزایش هزینه انرژی منجر می‌شود. در مقابل، موقعیت مکانی با وزن ۰,۰۰۳۳ و قابلیت ذخیره‌سازی انرژی با وزن ۰,۰۰۳۲ کمترین اثر را داشتند که می‌تواند ناشی از شباهت نسبی شرایط اقلیمی و محدود بودن کارکرد عملی سامانه‌های ذخیره‌سازی در نمونه‌های مورد مطالعه باشد.

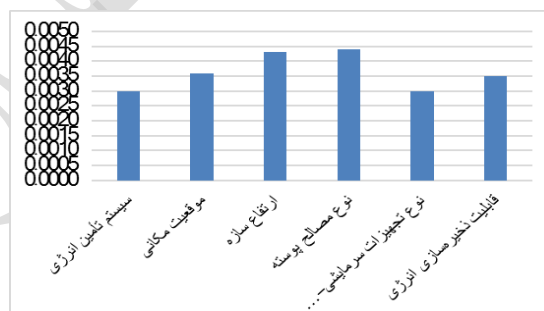


شکل ۲. ضریب تاثیر معیارهای شاخص انرژی در میزان هزینه انرژی

نتایج نشان می‌دهد که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر هزینه انرژی، متغیرهای مرتبط با رفتار حرارتی ساختمان و راندمان سامانه‌های انرژی هستند. از این رو، انتخاب بهینه مصالح پوسته و ارتقای سیستم‌های تأمین و مصرف انرژی در مراحل طراحی و ساخت، باید در اولویت قرار گیرد. در مقابل، موقعیت مکانی و قابلیت ذخیره‌سازی انرژی در نمونه‌های مورد بررسی، اثر محدودتری بر هزینه انرژی داشته‌اند. بر این اساس، مداخلات مهندسی و سیاست‌گذاری باید عمدتاً بر بهبود سامانه‌های فعال انرژی و مصالح غیرفعال اثرگذار بر مصرف متمرکز شوند.

۲. انتشار گازهای گلخانه‌ای : انتشار گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن (CO_2)، یکی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی پایداری انرژی و زیست‌محیطی سازه‌های شهری است. در این بخش، شش معیار اصلی مرتبط با ویژگی‌های انرژی در سازه‌های تجاری بلندمرتبه، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) ارزیابی شدند تا میزان اثرگذاری هر یک بر انتشار (CO_2)، مشخص شود.

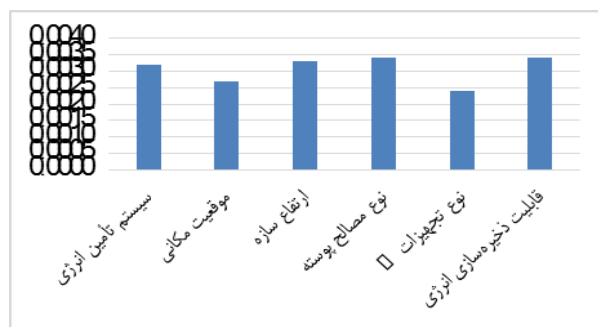
بر اساس نتایج، نوع مصالح پوسته با وزن ۰,۰۰۴۴ بیشترین تأثیر را بر انتشار (CO_2)، داشته است؛ زیرا این عامل از طریق کنترل عملکرد حرارتی ساختمان، بر نیاز به گرمایش و سرمایش و در نتیجه بر مصرف انرژی و انتشار کربن اثر مستقیم می‌گذارد. ارتفاع سازه با وزن ۰,۰۰۴۳ در رتبه دوم قرار گرفت که بیانگر اثر غیرمستقیم آن از طریق افزایش نیاز به تجهیزات انرژی‌بر است. موقعیت مکانی نیز با وزن ۰,۰۰۳۶ در رتبه سوم نشان داد که شرایط اقلیمی و دمای محیط بر بار حرارتی و میزان انتشار (CO_2)، مؤثرند. قابلیت ذخیره‌سازی انرژی با وزن ۰,۰۰۳۵ در رتبه بعدی قرار گرفت، در حالی که سیستم تأمین انرژی و نوع تجهیزات سرمایشی-گرمایشی هر دو با وزن ۰,۰۰۳۰ کمترین اثر را نشان دادند؛ امری که می‌تواند ناشی از یکنواختی نسبی فناوری‌ها و منابع انرژی در نمونه‌های مورد بررسی باشد.



شکل ۳. ضریب تأثیر معیارهای شاخص انرژی در میزان انتشار CO_2

نتایج نشان می‌دهد که ویژگی‌های غیرفعال ساختمان، به‌ویژه نوع مصالح و مؤلفه‌های هندسی مانند ارتفاع، اثر بیشتری بر انتشار (CO_2)، دارند تا تجهیزات فعال و سامانه‌های تأمین انرژی. این امر بر اهمیت طراحی غیرفعال و به‌کارگیری مصالح با عملکرد حرارتی بالا در کاهش ردپای کربن ساختمان‌ها تأکید می‌کند. از سوی دیگر، اثر محدود برخی سامانه‌های انرژی و تجهیزات سرمایشی-گرمایشی می‌تواند بیانگر ظرفیت‌های بهبود در طراحی، انتخاب فناوری و بهره‌برداری ساختمان باشد. پایداری تأمین انرژی نیز به معنای دسترسی مستمر، قابل‌اعتماد و بلندمدت به منابع انرژی است که از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه و از منظر زیست‌محیطی سازگار با اصول پایداری باشد.

۳. میزان تأمین انرژی: نتایج تحلیل AHP نشان می‌دهد که نوع مصالح پوسته و قابلیت ذخیره‌سازی انرژی، هر دو با وزن ۰,۰۰۳۴، بیشترین تأثیر را بر پایداری تأمین انرژی داشته‌اند. مصالح پوسته با حفظ شرایط حرارتی داخلی و کاهش اتلاف انرژی، و ذخیره‌سازی انرژی با امکان تأمین نیاز ساختمان در ساعات اوج مصرف یا شرایط اختلال، نقش مهمی در افزایش پایداری ایفا می‌کنند. در رتبه‌های بعد، ارتفاع سازه با وزن ۰,۰۰۳۳ و سیستم تأمین انرژی با وزن ۰,۰۰۳۲ قرار دارند که بیانگر نقش ساختار هندسی ساختمان و نوع منبع انرژی در تداوم و اطمینان‌پذیری تأمین انرژی است. در مقابل، موقعیت مکانی با وزن ۰,۰۰۲۷ و نوع تجهیزات سرمایشی-گرمایشی با وزن ۰,۰۰۲۴ کمترین اثر را داشته‌اند؛ زیرا این عوامل به‌تنهایی تعیین‌کننده پایداری نیستند و اثر آن‌ها بیشتر در تعامل با سایر اجزای عملکردی ساختمان آشکار می‌شود.

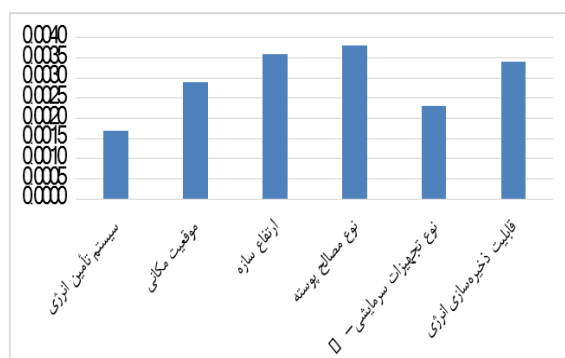


شکل ۴. ضریب تاثیر معیارهای شاخص انرژی در میزان میزان تامین انرژی

نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که طراحی مناسب پوسته ساختمان و پیش‌بینی قابلیت‌های ذخیره‌سازی انرژی، از مهم‌ترین عوامل در ارتقای پایداری بلندمدت تأمین انرژی در سازه‌های تجاری هستند. از این رو، استفاده از مصالح با عملکرد حرارتی بالا و تلفیق سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی می‌تواند علاوه بر افزایش بهره‌وری، تداوم و پایداری تأمین انرژی را نیز تقویت کند. همچنین، معیارهای وابسته به شرایط بیرونی یا تجهیزات فعال، در مقایسه با عناصر طراحی غیرفعال، اثر کمتری بر پایداری داشته‌اند. این یافته می‌تواند مبنای مناسبی برای تصمیم‌گیری معماران، مهندسان انرژی و سیاست‌گذاران شهری در طراحی پروژه‌های آینده باشد.

۴. میزان قابلیت ذخیره‌سازی انرژی: نوع مصالح پوسته با وزن 0.0038 بیشترین تأثیر را بر قابلیت ذخیره‌سازی انرژی داشته است. این نتیجه نشان می‌دهد که مصالح با ظرفیت گرمایی بالا، از جمله مصالح با جرم حرارتی زیاد یا مصالح فازتغییری، می‌توانند با جذب و آزادسازی تدریجی حرارت، به ذخیره‌سازی غیرفعال انرژی کمک کنند. در رتبه دوم، ارتفاع سازه با وزن 0.0036 قرار دارد که بیانگر نقش آن در فراهم‌سازی فضاهای مناسب برای استقرار سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی در بخش‌هایی مانند بام، زیرزمین و طبقات خدماتی است. قابلیت ذخیره‌سازی انرژی نیز با وزن 0.0034 در رتبه سوم قرار گرفت که نشان‌دهنده انسجام مدل و اهمیت این مؤلفه در تحلیل است. موقعیت مکانی با وزن 0.0029 در رتبه چهارم نشان داد که شرایط اقلیمی و شدت تابش بر میزان بهره‌گیری از سامانه‌های ذخیره‌سازی اثرگذارند. نوع

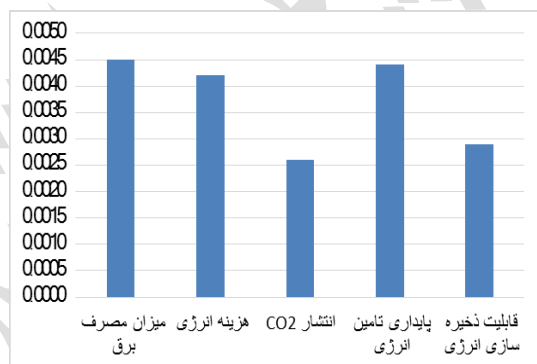
تجهیزات سرمایشی-گرمایشی با وزن ۰,۰۰۲۳ اثر متوسطی داشت، در حالی که سیستم تأمین انرژی با وزن ۰,۰۰۱۷ کمترین تأثیر را نشان داد؛ زیرا منبع انرژی به تنهایی ظرفیت ذخیره سازی را تعیین نمی کند، مگر آنکه با سامانه های ذخیره ساز تلفیق شود.



شکل ۵. ضریب تاثیر معیارهای شاخص انرژی در میزان قابلیت ذخیره سازی انرژی

نتایج نشان می دهد که عوامل فیزیکی و کالبدی ساختمان، به ویژه نوع مصالح و ارتفاع سازه، بیش از متغیرهای مرتبط با تأمین یا مصرف انرژی بر قابلیت ذخیره سازی انرژی اثر دارند. این یافته بیانگر آن است که ذخیره سازی انرژی صرفاً به سامانه های مکانیکی وابسته نیست، بلکه به طور قابل توجهی از طراحی معماری و انتخاب مصالح هوشمند تأثیر می پذیرد. همچنین، موقعیت مکانی، به ویژه در اقلیم مشهد، می تواند فرصت های مناسبی برای بهره گیری از ذخیره سازی انرژی حرارتی و خورشیدی فراهم کند. در مجموع، پایداری در سازه های بلندمرتبه مستلزم ارزیابی دقیق شاخص های مؤثر بر عملکرد انرژی و پایداری زیست محیطی و اقتصادی است. بر این اساس، نتایج این پژوهش می تواند مبنایی برای اولویت بندی راهبردهای بهینه سازی انرژی توسط طراحان، تصمیم گیران و سیاست گذاران باشد.

۵. میزان ذخیره سازی انرژی: مصرف برق با وزن ۰,۰۰۴۵ بالاترین اهمیت را در میان شاخص‌ها داشته و نشان‌دهنده اصلی‌ترین دغدغه در بهره‌وری انرژی ساختمان‌های تجاری است. بخش عمده انرژی این ساختمان‌ها صرف سرمایش، گرمایش، روشنایی و تجهیزات الکترونیکی می‌شود؛ بنابراین کاهش مصرف برق می‌تواند هم هزینه‌ها و وابستگی به شبکه را کاهش دهد و هم به کاهش انتشار CO_2 و ارتقای پایداری کمک کند. پایداری تأمین انرژی با وزن ۰,۰۰۴۴ در رتبه دوم قرار دارد و بر اهمیت تداوم و قابلیت اطمینان سامانه‌های انرژی تأکید می‌کند. هزینه انرژی نیز با وزن ۰,۰۰۴۲ در رتبه سوم قرار گرفته که بیانگر نقش بالای ملاحظات اقتصادی در تصمیم‌گیری‌های ساختمانی است. در مقابل، قابلیت ذخیره‌سازی انرژی اهمیت کمتری داشته، هرچند از منظر تاب‌آوری انرژی همچنان راهبردی است. انتشار CO_2 با وزن ۰,۰۰۲۶ کمترین اهمیت را نشان داده که می‌تواند ناشی از اولویت یافتن ملاحظات عملکردی و اقتصادی نسبت به ملاحظات زیست‌محیطی در شرایط فعلی باشد.



شکل ۶ معیارهای وابسته قابل بررسی برای پایداری سازه های بلند مرتبه و عظیم تجاری

نتایج تحلیل AHP نشان می‌دهد که تصمیم‌گیران و ذی‌نفعان پروژه‌های تجاری بلندمرتبه، بیشترین اولویت را به شاخص‌های مصرف برق، پایداری تأمین انرژی و هزینه انرژی داده‌اند؛

شاخص‌هایی که هم ابعاد عملکردی و هم اقتصادی را پوشش می‌دهند. در مقابل، شاخص‌های زیست‌محیطی و فنی مانند انتشار CO₂ و قابلیت ذخیره‌سازی انرژی در اولویت پایین‌تری قرار داشته‌اند، هرچند توجه به آن‌ها در چارچوب توسعه پایدار ضروری است. این نتایج می‌تواند مبنایی برای سیاست‌گذاری انرژی، بودجه‌بندی و بهینه‌سازی طراحی معماری در راستای تحقق معماری پایدار در بافت شهری باشد.

۶. محاسبه وزن نهائی : در گام نهایی، با تلفیق وزن‌های به‌دست‌آمده در سطوح مختلف سلسله‌مراتبی و بر پایه روابط ضرب ماتریسی، وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها محاسبه و رتبه‌بندی آن‌ها تعیین شد. این مرحله مبنای تصمیم‌گیری نهایی و استخراج اولویت‌های بهینه را فراهم می‌کند.

جدول ۴. محاسبه وزن نهائی

میزان مصرف برق	هزینه انرژی	انتشار CO ₂	پایداری تامین انرژی	قابلیت ذخیره سازی انرژی	
0.0054	0.0062	0.0030	0.0032	0.0017	سیستم تأمین انرژی
0.0034	0.0033	0.0036	0.0027	0.0029	موقعیت مکانی
0.0052	0.0051	0.0043	0.0033	0.0036	ارتفاع سازه
0.0058	0.0066	0.0044	0.0034	0.0038	نوع مصالح پوسته
0.0037	0.0056	0.0030	0.0024	0.0023	نوع تجهیزات سرمایشی-گرمایشی
0.0032	0.0032	0.0035	0.0034	0.0034	قابلیت ذخیره‌سازی انرژی
0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	جمع کل

در وزن نهایی، نوع مصالح پوسته با وزن ۰,۰۰۰۰۹۱۲۴ بالاترین اهمیت را داشته و نشان می‌دهد که ویژگی‌های حرارتی و نوری پوسته، نقش تعیین‌کننده‌ای در مدیریت انرژی

ساختمان دارند. ارتفاع سازه با وزن ۰,۰۰۰۰۸۰۹۶ در رتبه دوم قرار گرفته و به دلیل تأثیر بر تبادل حرارتی و نیازهای مکانیکی، از متغیرهای مهم در پایداری انرژی محسوب می‌شود. نوع سیستم تأمین انرژی با وزن ۰,۰۰۰۰۷۷۱۵ و نوع تجهیزات سرمایشی-گرمایشی با وزن ۰,۰۰۰۰۶۵۲۰ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. قابلیت ذخیره‌سازی انرژی با وزن ۰,۰۰۰۰۶۱۷۶ و موقعیت مکانی با وزن ۰,۰۰۰۰۵۸۸۱ کمترین اهمیت را نشان داده‌اند. در مجموع، نتایج بر برتری عوامل کالبدی و معماری نسبت به متغیرهای بهره‌برداری در تعیین عملکرد انرژی ساختمان‌های بلندمرتبه تأکید دارد.

جدول ۵. اولویت بندی شاخص‌ها

اولویت	شاخص انرژی	Weight
1	نوع مصالح پوسته	0.00009124
2	ارتفاع سازه	0.00008096
3	سیستم تأمین انرژی	0.00007715
4	نوع تجهیزات سرمایشی-گرمایشی	0.00006520
5	قابلیت ذخیره‌سازی انرژی	0.00006176
6	موقعیت مکانی	0.00005881

بر اساس وزن نهایی شاخص‌ها در تحلیل AHP، عوامل معماری به‌ویژه نوع مصالح و ارتفاع ساختمان، اثر بیشتری بر پایداری انرژی نسبت به تجهیزات مکانیکی و موقعیت جغرافیایی دارند. این نتیجه نشان می‌دهد که تصمیم‌گیری در مراحل اولیه طراحی، به‌خصوص در انتخاب مصالح و فرم ساختمان، نقشی تعیین‌کننده در کاهش مصرف انرژی و ارتقای عملکرد پایدار دارد. در مقابل، شاخص‌هایی مانند قابلیت ذخیره‌سازی انرژی و موقعیت مکانی، هرچند کمتر مورد توجه بوده‌اند، نیازمند تقویت در سطح سیاست‌گذاری و توسعه فناوری‌های نوین هستند.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که در میان شاخص‌های مورد بررسی، نوع مصالح پوسته و سپس ارتفاع سازه بیشترین نقش را در بهینه‌سازی انرژی و ارتقای پایداری ساختمان‌های تجاری بلندمرتبه دارند. این نتیجه بیانگر آن است که تصمیمات معماری در لایه‌های اولیه طراحی، به‌ویژه در انتخاب مصالح و شکل‌گیری پوسته، اثرگذارتر از مداخلات صرفاً تأسیساتی هستند. از منظر فنی، پوسته ساختمان به‌عنوان مرز اصلی تبادل حرارت، تعیین‌کننده بارهای گرمایشی و سرمایشی و در نتیجه مصرف برق و هزینه بهره‌برداری است. به همین دلیل، استفاده از مصالح با مقاومت حرارتی مناسب، سامانه‌های پوسته چندلایه و راهکارهای طراحی اقلیمی می‌تواند به‌طور معناداری عملکرد انرژی ساختمان را بهبود دهد.

در مقایسه با مطالعات پیشین، این یافته‌ها با بخش عمده‌ای از پژوهش‌های حوزه معماری پایدار و بهره‌وری انرژی همسواست؛ در این مطالعات نیز تأکید شده که پوسته ساختمان و فرم معماری از مهم‌ترین عوامل کنترل مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه هستند. همچنین، نقش ارتفاع سازه در افزایش سطح تماس با محیط بیرونی، تشدید تبادل حرارتی و پیچیده‌تر شدن مدیریت انرژی، با نتایج پژوهش‌های قبلی درباره اثر ابعاد کالبدی ساختمان بر عملکرد انرژی همخوانی دارد. از این منظر، نتایج حاضر تأیید می‌کند که در ساختمان‌های مرتفع، ملاحظات معماری باید پیش از مداخلات مکانیکی مدنظر قرار گیرد.

در مقابل، نوع سیستم تأمین انرژی و قابلیت ذخیره‌سازی انرژی نیز اثر قابل توجهی نشان دادند، هرچند وزن آن‌ها پایین‌تر از عوامل کالبدی بود. این امر با نتایج برخی مطالعات پیشین که بر اهمیت سامانه‌های هیبریدی، انرژی‌های تجدیدپذیر و ذخیره‌سازی در افزایش تاب‌آوری انرژی تأکید کرده‌اند، همسو است. با این حال، پایین‌تر بودن وزن این شاخص‌ها در این پژوهش می‌تواند نشان دهد که در بستر مورد مطالعه، هنوز ظرفیت‌های طراحی معماری نسبت به فناوری‌های تأسیساتی نقش پررنگ‌تری در مدیریت انرژی دارند.

همچنین، موقعیت مکانی کمترین وزن را به خود اختصاص داد که احتمالاً ناشی از همگنی نسبی شرایط اقلیمی و تمرکز پروژه‌ها در بافت شهری مشهد است. این نتیجه در برخی مطالعات مشابه نیز گزارش شده که در مقیاس شهری محدود و در اقلیم نسبتاً یکنواخت، اثر موقعیت مکانی کمتر از عوامل درون‌ساختمانی است؛ هرچند در شهرها یا مناطق با تنوع اقلیمی بیشتر، این متغیر می‌تواند اهمیت بالاتری داشته باشد. از این رو، عدم همسویی نسبی با برخی پژوهش‌ها را می‌توان به تفاوت مقیاس مکانی، بستر اقلیمی و نوع نمونه‌های آماری نسبت داد.

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پایداری انرژی در ساختمان‌های تجاری بلندمرتبه بیش از هر چیز تابع تصمیمات معماری و کالبدی است و سپس تحت تأثیر سامانه‌های تأسیساتی و انرژی قرار می‌گیرد. بنابراین، در پروژه‌های آتی، اولویت باید به طراحی پوسته بهینه، انتخاب مصالح با عملکرد حرارتی بالا، کنترل اثر ارتفاع، و تلفیق راهکارهای تأمین و ذخیره‌سازی انرژی داده شود. این رویکرد می‌تواند به کاهش مصرف برق، کاهش هزینه‌های انرژی و ارتقای پایداری محیطی در مقیاس شهری منجر شود.

منابع

- امیرفخریان، مصطفی، (۱۳۹۹)، تحلیل فضایی الگوی استقرار مجتمع های بزرگ تجاری در شهر مشهد و تقابل/تعامل آن با اصول رشد هوشمند؛ نمونه مجتمع تجاری فردوسی، نهمین کنفرانس و دومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت شهری، مشهد، <https://civilica.com/doc/1138165>
- امیرفخریان، مصطفی و محمدی، عالیه . (۱۴۰۳). نقش ویژگی‌های زمینه‌ای شهروندان در مواجهه با عوامل استرس‌زا محیطی در فضای شهری (مورد مطالعه : منطقه ۱۰ شهر مشهد). برنامه ریزی توسعه کالبدی، ۱۱

- حسنی، پریناز و سیدالحسینی، سید مسلم و سروری، هادی و حنایی، تکتیم، (۱۴۰۱)، اولویت بندی مولفه های رفتار شهروند سازمانی در نظام برنامه ریزی شهری (نمونه موردی: شهر مشهد)، <https://civilica.com/doc/1564124>.
- خلیفاوی، احمد و کرامتی، غزال و سلطانزاده، حسین و متین، مهرداد، (۱۴۰۲)، سنجش میزان موفقیت مجتمع های تجاری در سازماندهی فضاهای تفریح-خرید (مجتمع های تجاری نوین منتخب شهر تهران: تیراژه-کروش- پالادیوم و تیراژه <https://civilica.com/doc/1626104>).
- صادقی، علی، شاکرمی، کیان و حیدری نثار، مینا. (۱۴۰۲). قابلیت زیست پذیری شهرها در راستای پایداری اجتماعی شهری (مورد مطالعه: کلان شهر مشهد).
پژوهشهای جغرافیای انسانی
<https://doi.org/10.22059/jhgr.2022.333390.1008406>
- صبور، مرضیه و حسینی، سیدمصطفی. (۱۴۰۲). شناسایی کلان روندهای مؤثر بر بازآفرینی پایدار کلان شهر مشهد. آینده پژوهی / ایران، ۸(۲)، ۲۹۹-۳۲۵.
<https://doi.org/10.30479/jfs.2024.20241.1540>
- عنابستانی، علی اکبر، کلانتری، محسن و نیکنامی، نسیم. (۱۴۰۲). تحلیل فضایی شاخص های شهر هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا در کلانشهر مشهد، برنامه ریزی فضایی ۱۷۳۲، ۱۳۸، ۲۰۲۳، ۱۰.۲۲۱۰۸/sppl.۲۰۲۳.۱۳۸۰۳۷.۱۷۳۲، ۹۶-۷۱، ۱۲(۴).
- عنابستانی، علی اکبر، جوانشیری، مهدی و عنابستانی، زهرا. (۱۳۹۴). مقایسه تطبیقی روش های تصمیم گیری چند معیاره در مکان یابی بهینه ساختمان های بلندمرتبه (مطالعه موردی: منطقه ۹ شهرداری مشهد). برنامه ریزی فضایی. 24-1، 5(3)،
https://sppl.ui.ac.ir/article_20600_83c6e3f4acd40003d72dd28ef962cf6e.pdf
- مولائی، اصغر. (۱۴۰۱). واکاوی جایگاه کیفیت های طراحی شهری در طراحی ایستگاه های مترو با تأکید بر الگوهای بومی (نمونه موردی: ایستگاه های متروی امام

خمینی، هفت تیر، میدان انقلاب تهران). برنامه ریزی فضایی ۱۲(۱)، ۱۲۱-۱۴۸.
<https://doi.org/10.22108/sppl.2022.125264.1539>

References

- Amirfakhrian, M. (2020). Spatial analysis of the location pattern of large commercial complexes in Mashhad city and its interaction/confrontation with smart growth principles: Case study of Ferdowsi commercial complex. 9th Conference and 2nd Urban Planning and Management Conference, Mashhad. <https://civilica.com/doc/1138165>
- Amirfakhrian, M., & Mohammadi, A. (2024). The role of citizens' contextual characteristics in coping with environmental stressors in urban space (Case study: District 10 of Mashhad city). *Physical Development Planning*, 11(2), 17-32. <https://doi.org/10.30473/psp.2024.71107.2726>
- Hasani, P., Seyyed-al-Hosseini, S. M., Sarvari, H., & Hanaei, T. (2022). Prioritizing components of organizational citizenship behavior in urban planning system (Case study: Mashhad city). <https://civilica.com/doc/1564124>
- Khalifavi, A., Karamati, G., Soltanzadeh, H., & Matin, M. (2023). Measuring the success rate of commercial complexes in organizing recreational-shopping spaces (Selected modern commercial complexes of Tehran: Tirajeh, Kourosh, Palladium, and Tirajeh). <https://civilica.com/doc/1626104>
- Sadeghi, A., Shakeri, K., & Heydari Nesar, M. (2023). Urban livability capability toward social urban sustainability (Case study: Metropolitan Mashhad). *Human Geography Research*. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2022.333390.1008406>
- Sabouri, M., & Hosseini, S. M. (2023). Identifying major trends affecting sustainable regeneration of metropolitan Mashhad. *Iran Futures Studies*, 8(2), 299-325. <https://doi.org/10.30479/jfs.2024.20241.1540>
- Anabestani, A. A., Kalantari, M., & Niknami, N. (2023). Spatial analysis of smart city indicators based on Internet of Things in metropolitan Mashhad. *Spatial Planning*, 13(4), 71-96. <https://doi.org/10.22108/sppl.2023.138037.1732>
- Anabestani, A. A., Javanshiri, M., & Anabestani, Z. (2015). Comparative study of multi-criteria decision-making methods in optimal location of high-rise buildings (Case study: District 9 of Mashhad municipality). *Spatial Planning*, 5(3), 1-24.

https://sppl.ui.ac.ir/article_20600_83c6e3f4acd40003d72dd28ef962cf6e.pdf

- Khalid, R., et al. (2020). Energy consumption patterns in urban areas: A review. *Journal of Cleaner Production*, **288**, 121654. doi: [10.1016/j.jclepro.2020.121654](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121654)
- Molaei, A. (2022). Investigating the role of urban design qualities in metro station design with emphasis on indigenous patterns (Case study: Imam Khomeini, Haft-Tir, Enghelab Square metro stations, Tehran). *Spatial Planning*, 12(1), 121–148. <https://doi.org/10.22108/sppl.2022.125264.1539>
- Liu, X., et al. (2021). Energy consumption patterns in urban areas: A case study of Beijing, China. *Journal of Energy Research and Reviews*, **7(2)**, 100043. doi: [10.1016/j.jerrev.2021.100043](https://doi.org/10.1016/j.jerrev.2021.100043)
- Tavana, M., et al. (2022). Assessing the impact of commercial complexes on urban energy consumption: A case study of Mashhad, Iran. *Journal of Building Engineering*, **45**, 103043. doi: [10.1016/j.jobbe.2022.103043](https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.103043)
- Zhang, Y., et al. (2020). Impact of urbanization on energy consumption patterns in China: A case study of Guangzhou, China. *Journal of Cleaner Production*, **286**, 121135. doi: [10.1016/j.jclepro.2020.121135](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121135)