**J**ournal of **N**ovel **R**esearches on **S**mart **P**ower **S**ystems - Vol. 14 - No. 3 – Autumn 2025
P-ISSN: 2322-2468, E-ISSN: 2981-0272, https://jeps.dezful.iau.ir/

**Research Article**

# Providing a Framework for Modeling and Optimizing Energy Consumption in Contemporary Buildings in Iran Based on Sustainability Indicators

**Nasim Zahraei[1],Master, Mahmoud Samiei Moghaddam [2,*], *Assistant Professor***

[1] Department of Architecture, Da.C., Islamic Azad University, Damghan, Iran.
[2] Department of Electrical Engineering, Da.C., Islamic Azad University, Damghan, Iran.
samiei352@iau.ac.ir

**Abstract:**
In Iran, the growing rate of urbanization, inefficient architectural design patterns, and heavy reliance on fossil energy resources have led buildings to account for a significant share of the country's total energy consumption. The aim of this research is to analyze methods of energy consumption modeling in contemporary buildings in Iran and to propose architectural strategies for its optimization based on selected sustainability indicators. To achieve this goal, the factors influencing energy consumption—including climatic characteristics, the type and performance of building materials, architectural organization and form, mechanical and service systems, and patterns of building operation—were first identified and modeled within a base model for a contemporary office building in the climate of Tehran. Subsequently, using energy modeling methods and building thermal simulation tools, different scenarios for upgrading the building envelope and modifying the architectural design were defined, and annual energy consumption patterns and energy performance indicators were evaluated. At the level of optimization scenarios, improving the thermal insulation of the building envelope leads to a 23.2% reduction in heating load; reducing the window-to-wall ratio on the eastern and western façades decreases the cooling load by 18.2%; and the use of shading devices proves to be the most effective strategy in reducing cooling load, achieving a 24.2% reduction. In the combined scenario, where all architectural strategies are applied simultaneously, the building's Energy Use Intensity (EUI) decreases by 23.3% compared with the base model. These quantitative results demonstrate that integrating climate-responsive design strategies and building envelope optimization with energy modeling can significantly improve the energy performance and environmental sustainability of contemporary buildings in Iran, and can serve as an effective tool in the architectural design decision-making process.

**Keywords:** Building energy modeling, energy consumption optimization, sustainability indicators, passive building design, thermal simulation.

**Received:** 16 Aug. 2025
**Revised:** 12 Oct. 2025
**Accepted:** 2 Nov. 2025

*** Corresponding Author:** Dr. Mahmoud Samiei Moghaddam

Citation: M. Samiei Moghaddam, N. Zahraei, "Providing a Framework for Modeling and Optimizing Energy Consumption in Contemporary Buildings in Iran Based on Sustainability Indicators", Journal of Novel Researches on Smart Power Systems, vol. 14, no. 3, pp. 31-53, December 2025 (in Persian).

[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]

مقاله پژوهشی

# ارائه چارچوبی برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر ایران مبتنی بر شاخص‌های پایداری

**نسیم زهرائی[1]، کارشناسی ارشد، محمود سمیعی مقدم*[2]، استادیار**

۱-گروه معماری ، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران
*۲- گروه مهندسی برق، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران

**چکیده:** در ایران نیز رشد فزاینده شهرنشینی، الگوهای ناکارآمد طراحی معماری و اتکای شدید به منابع انرژی فسیلی، موجب شده است که ساختمان‌ها سهم قابل‌توجهی از مصرف کل انرژی کشور را به خود اختصاص دهند. هدف این پژوهش، تحلیل روش‌های مدل‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر ایران و ارایه‌ی راهکارهای معماری برای بهینه‌سازی آن بر پایه شاخص‌های منتخب پایداری است. بدین منظور، ابتدا عوامل مؤثر بر مصرف انرژی، شامل ویژگی‌های اقلیمی، نوع و عملکرد مصالح ساختمانی، سازمان‌دهی و شکل‌دهی معماری، سیستم‌های تأسیساتی و الگوهای بهره‌برداری شناسایی و در قالب یک مدل پایه برای یک ساختمان اداری معاصر در اقلیم تهران مدلسازی شده است. سپس با استفاده از روش‌های مدل‌سازی انرژی و ابزارهای شبیه‌سازی حرارتی ساختمان، سناریوهای مختلف ارتقای پوسته و اصلاح طراحی معماری تعریف و الگوهای مصرف انرژی سالانه و شاخص‌های عملکرد انرژی ارزیابی شده‌اند. در سطح سناریوهای بهینه‌سازی، بهبود عایق‌بندی پوسته ساختمان منجر به کاهش ۲۳,۲ درصدی بار گرمایش می‌شود، کاهش نسبت پنجره به دیوار در نماهای شرقی و غربی بار سرمایش را به میزان ۱۸,۲ درصد کاهش می‌دهد و استفاده از سایه‌بان‌ها مؤثرترین راهکار در کاهش بار سرمایش با کاهش ۲۴,۲ درصدی است. در سناریوی ترکیبی، که همه راهکارهای معماری به‌صورت هم‌زمان اعمال شده‌اند، شدت مصرف انرژی ساختمان (EUI) نسبت به مدل پایه ۲۳,۳ درصد کاهش می‌یابد. این نتایج کمی نشان می‌دهد که ادغام راهکارهای مبتنی بر طراحی اقلیمی و بهینه‌سازی پوسته با مدل‌سازی انرژی می‌تواند به‌طور معناداری عملکرد انرژی و پایداری زیست‌محیطی ساختمان‌های معاصر ایران را ارتقا دهد و به‌عنوان ابزاری مؤثر در فرآیند تصمیم‌گیری طراحی معماری مورد استفاده قرار گیرد.

**کلمات کلیدی:** مدل‌سازی انرژی ساختمان، بهینه‌سازی مصرف انرژی، شاخص‌های پایداری، طراحی غیرفعال ساختمان، شبیه‌سازی حرارتی.

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۴/۵/۲۵
**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۴/۷/۲۰
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۴/۸/۱۱

* **نام نویسنده مسئول:** دکتر محمود سمیعی مقدم
**نشانی نویسنده مسئول:** گروه مهندسی برق، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 3- Winter 2025

**۱- مقدمه**

در دهه‌های اخیر، مسئله مصرف انرژی و پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از آن به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های جهانی در حوزه توسعه پایدار تبدیل شده است. رشد سریع جمعیت، گسترش شهرنشینی، توسعه فناوری و افزایش تقاضا برای منابع انرژی موجب شده است که مصرف انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی به طور چشمگیری افزایش یابد. در این میان، بخش ساختمان به عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در جهان شناخته می‌شود و سهم قابل توجهی در مصرف انرژی نهایی و همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. بر اساس گزارش‌های بین‌المللی، حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد از مصرف انرژی جهانی به بخش ساختمان اختصاص دارد و بخش قابل توجهی از انتشار دی‌اکسید کربن نیز ناشی از فعالیت‌های مرتبط با ساخت، بهره‌برداری و نگهداری ساختمان‌ها است. از این‌رو، مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین راهکارهای کاهش مصرف منابع انرژی، کاهش اثرات زیست‌محیطی و دستیابی به اهداف توسعه پایدار مورد توجه گسترده پژوهشگران، معماران و سیاست‌گذاران قرار گرفته است.

در ایران نیز به دلیل شرایط خاص اقتصادی، اقلیمی و الگوهای توسعه شهری، مصرف انرژی در بخش ساختمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آمارهای رسمی نشان می‌دهد که بخش ساختمان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در کشور به شمار می‌رود و سهم قابل توجهی از مصرف کل انرژی نهایی را به خود اختصاص داده است. وابستگی گسترده به منابع انرژی فسیلی، یارانه‌های انرژی، رشد سریع شهرنشینی و توسعه ساخت‌وسازهای شهری از جمله عواملی هستند که موجب افزایش مصرف انرژی در این بخش شده‌اند. علاوه بر این، در بسیاری از ساختمان‌های معاصر ایران اصول طراحی اقلیمی، بهینه‌سازی انرژی و استفاده از فناوری‌های کارآمد به طور کامل مورد توجه قرار نگرفته است. در نتیجه، بسیاری از ساختمان‌ها از نظر عملکرد انرژی در وضعیت مطلوبی قرار ندارند و برای تأمین شرایط آسایش حرارتی کاربران به میزان قابل توجهی به سیستم‌های مکانیکی سرمایش و گرمایش وابسته هستند.

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افزایش مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر ایران، فاصله گرفتن از اصول معماری بومی و اقلیمی است. معماری سنتی ایران طی قرن‌ها با توجه به شرایط اقلیمی، فرهنگی و محیطی شکل گرفته و راهکارهای هوشمندانه‌ای برای کنترل شرایط حرارتی، استفاده بهینه از نور طبیعی و کاهش مصرف انرژی ارائه داده است. عناصر و مفاهیمی همچون حیاط مرکزی، بادگیر، ایوان، سایه‌اندازها، ضخامت مناسب دیوارها و جهت‌گیری مناسب ساختمان نمونه‌هایی از این راهکارها به شمار می‌آیند. این ویژگی‌ها موجب می‌شدند که ساختمان‌ها با حداقل مصرف انرژی، شرایط آسایش نسبی را برای ساکنان فراهم کنند. با این حال، در معماری معاصر ایران به دلایل مختلفی از جمله تغییر الگوهای ساخت‌وساز، استفاده گسترده از مصالح صنعتی، فشارهای اقتصادی و تقلید از الگوهای معماری غیر بومی، بسیاری از این اصول نادیده گرفته شده‌اند. در نتیجه، ساختمان‌های جدید اغلب دارای عملکرد انرژی نامناسب بوده و مصرف انرژی در آن‌ها نسبت به ظرفیت‌های اقلیمی کشور بسیار بالاتر است.

در پاسخ به این چالش‌ها، مفهوم معماری پایدار به عنوان یکی از رویکردهای مهم در طراحی و ساخت ساختمان‌ها مطرح شده است. معماری پایدار بر ایجاد تعادل میان ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی در فرآیند طراحی و بهره‌برداری از ساختمان‌ها تأکید دارد. هدف اصلی این رویکرد، کاهش مصرف منابع طبیعی، کاهش تولید آلاینده‌ها، افزایش کارایی انرژی و ارتقای کیفیت محیط زندگی انسان‌ها است. در این چارچوب، ساختمان پایدار ساختمانی است که در طول چرخه عمر خود از مرحله طراحی و ساخت تا بهره‌برداری و حتی تخریب، کمترین اثرات منفی زیست‌محیطی را داشته و در عین حال شرایط مطلوب آسایش و سلامت را برای کاربران فراهم آورد. به همین دلیل، یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های معماری پایدار، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها است.

در سال‌های اخیر، استفاده از شاخص‌های پایداری به عنوان ابزاری برای ارزیابی عملکرد ساختمان‌ها در زمینه مصرف انرژی، اثرات زیست‌محیطی و کیفیت محیط داخلی مورد توجه قرار گرفته است. این شاخص‌ها معمولاً مجموعه‌ای از معیارها و پارامترهای قابل اندازه‌گیری هستند که می‌توانند میزان پایداری یک ساختمان را در ابعاد مختلف ارزیابی کنند. در بسیاری از کشورها، سیستم‌های ارزیابی ساختمان پایدار مانند LEED، BREEAM و Green Star توسعه یافته‌اند که از طریق مجموعه‌ای



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]

از شاخص‌ها، عملکرد زیست‌محیطی و انرژی ساختمان‌ها را مورد سنجش قرار می‌دهند. این سیستم‌ها نشان می‌دهند که با استفاده از رویکردهای علمی و شاخص‌های مشخص می‌توان فرآیند طراحی و ارزیابی ساختمان‌ها را به سمت پایداری و کاهش مصرف انرژی هدایت کرد.

در کنار شاخص‌های پایداری، استفاده از روش‌های مدل‌سازی و شبیه‌سازی انرژی نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای تحلیل عملکرد انرژی ساختمان‌ها مطرح شده است. مدل‌سازی انرژی ساختمان به فرآیندی اطلاق می‌شود که در آن با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی، رفتار حرارتی و مصرف انرژی یک ساختمان در شرایط مختلف اقلیمی و بهره‌برداری شبیه‌سازی می‌شود. این روش به معماران و مهندسان امکان می‌دهد تا پیش از اجرای پروژه یا در مراحل اولیه طراحی، تأثیر عوامل مختلفی همچون فرم و هندسه ساختمان، جهت‌گیری، نوع مصالح، ویژگی‌های پوسته ساختمان، میزان بازشوها، سیستم‌های تأسیساتی و الگوهای بهره‌برداری را بر مصرف انرژی بررسی کنند. از طریق این فرآیند می‌توان سناریوهای مختلف طراحی را ارزیابی کرده و گزینه‌ای را انتخاب کرد که کمترین مصرف انرژی و بیشترین کارایی را داشته باشد.

اهمیت مدل‌سازی انرژی در سال‌های اخیر به ویژه در فرآیند طراحی معماری پایدار افزایش یافته است، زیرا این روش امکان تصمیم‌گیری مبتنی بر داده و تحلیل علمی را فراهم می‌کند. در واقع، ترکیب مدل‌سازی انرژی با شاخص‌های پایداری می‌تواند به عنوان یک چارچوب جامع برای تحلیل و بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان‌ها مورد استفاده قرار گیرد. این رویکرد به طراحان کمک می‌کند تا علاوه بر در نظر گرفتن جنبه‌های زیبایی‌شناختی و عملکردی معماری، تأثیرات زیست‌محیطی و مصرف انرژی ساختمان را نیز به صورت دقیق مورد ارزیابی قرار دهند.

با وجود اهمیت این موضوع، بررسی مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که در بسیاری از پژوهش‌های مرتبط با معماری و انرژی در ایران، یا تمرکز اصلی بر جنبه‌های فنی و مهندسی مصرف انرژی بوده و یا شاخص‌های پایداری به صورت کلی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در حالی که ارتباط میان مدل‌سازی انرژی و شاخص‌های پایداری در چارچوب معماری معاصر ایران کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از سوی دیگر، تنوع اقلیمی گسترده در ایران شامل اقلیم‌های گرم و خشک، گرم و مرطوب، سرد و کوهستانی و معتدل و مرطوب، ضرورت بررسی دقیق‌تر راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی را در شرایط مختلف اقلیمی دوچندان می‌کند.

بنابراین، نیاز به پژوهش‌هایی که بتوانند با رویکردی جامع به بررسی مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر ایران پرداخته و آن را در چارچوب شاخص‌های پایداری تحلیل کنند، بیش از پیش احساس می‌شود. چنین پژوهش‌هایی می‌توانند علاوه بر ارائه درک دقیق‌تری از عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در ساختمان‌ها، راهکارهای عملی و کاربردی برای بهبود عملکرد انرژی و ارتقای سطح پایداری در معماری ارائه دهند.

بر این اساس، هدف اصلی پژوهش حاضر مدل‌سازی و تحلیل مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر ایران و ارائه راهکارهایی برای بهینه‌سازی آن بر اساس شاخص‌های پایداری است. در این پژوهش تلاش می‌شود تا با شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در ساختمان‌ها و بررسی آن‌ها در قالب مدل‌های انرژی، چارچوبی تحلیلی برای ارزیابی و بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان‌های معاصر ارائه شود. نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان مبنایی برای بهبود فرآیند طراحی معماری، ارتقای کارایی انرژی ساختمان‌ها و توسعه رویکردهای پایدار در معماری معاصر ایران مورد استفاده قرار گیرد.

## ۲- بیان مسئله

در ایران نیز بخش ساختمان سهم قابل توجهی از مصرف انرژی نهایی کشور را به خود اختصاص داده است. بررسی آمارهای موجود نشان می‌دهد که میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های ایران در مقایسه با بسیاری از کشورهای جهان بالاتر است. این موضوع تا حد زیادی ناشی از عواملی همچون طراحی نامناسب ساختمان‌ها، عدم توجه کافی به اصول طراحی اقلیمی، استفاده از مصالح ساختمانی با کارایی حرارتی پایین، بهره‌گیری محدود از فناوری‌های نوین بهینه‌سازی انرژی و وابستگی گسترده به سیستم‌های مکانیکی سرمایش و گرمایش است. در نتیجه، بسیاری از ساختمان‌های معاصر کشور از نظر عملکرد انرژی در وضعیت مطلوبی قرار ندارند و برای تأمین شرایط آسایش حرارتی، مصرف انرژی بالایی دارند.



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 3- Winter 2025

از سوی دیگر، در سال‌های اخیر تغییرات قابل توجهی در الگوهای معماری و ساخت‌وساز در ایران رخ داده است. گسترش شهرنشینی، افزایش تراکم ساختمانی، استفاده گسترده از مصالح صنعتی و الگوهای معماری وارداتی موجب شده است که در بسیاری از پروژه‌های ساختمانی، اصول معماری اقلیمی و راهکارهای سنتی کاهش مصرف انرژی کمتر مورد توجه قرار گیرد. این در حالی است که معماری بومی ایران در گذشته با استفاده از راهکارهای هوشمندانه‌ای همچون جهت‌گیری مناسب ساختمان، استفاده از حیاط مرکزی، سایه‌اندازها، تهویه طبیعی و بهره‌گیری از مصالح متناسب با اقلیم توانسته بود شرایط آسایش حرارتی را با حداقل مصرف انرژی فراهم کند. فاصله گرفتن از این اصول در معماری معاصر موجب افزایش وابستگی ساختمان‌ها به انرژی‌های فسیلی و افزایش شدت مصرف انرژی در بخش ساختمان شده است.

در پاسخ به این چالش‌ها، رویکرد معماری پایدار به عنوان یکی از مهم‌ترین رویکردهای معاصر در حوزه طراحی ساختمان مطرح شده است. این رویکرد تلاش می‌کند تا از طریق کاهش مصرف منابع طبیعی، افزایش کارایی انرژی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و بهبود کیفیت محیط داخلی، اثرات منفی ساختمان‌ها بر محیط زیست را کاهش دهد. در این میان، بهینه‌سازی مصرف انرژی به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های پایداری در ساختمان‌ها شناخته می‌شود. دستیابی به این هدف نیازمند شناخت دقیق عوامل مؤثر بر مصرف انرژی و استفاده از روش‌های علمی برای تحلیل و ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان‌ها است.

یکی از ابزارهای مهم در این زمینه، استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی انرژی ساختمان است. مدل‌سازی انرژی این امکان را فراهم می‌کند که رفتار حرارتی و مصرف انرژی ساختمان در شرایط مختلف اقلیمی و طراحی مورد بررسی قرار گیرد و تأثیر عوامل مختلفی همچون فرم ساختمان، جهت‌گیری، نوع مصالح، ویژگی‌های پوسته ساختمان، میزان بازشوها و سیستم‌های تأسیساتی بر مصرف انرژی تحلیل شود.

از سوی دیگر، تنوع اقلیمی گسترده در ایران موجب می‌شود که راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها متناسب با شرایط اقلیمی هر منطقه مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین، ارائه چارچوبی که بتواند با استفاده از مدل‌سازی انرژی و شاخص‌های پایداری، عملکرد انرژی ساختمان‌های معاصر ایران را تحلیل کرده و راهکارهای بهینه‌سازی متناسب با شرایط اقلیمی ارائه دهد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

بر این اساس، مسئله اصلی این پژوهش آن است که چگونه می‌توان با استفاده از مدل‌سازی مصرف انرژی و بهره‌گیری از شاخص‌های پایداری، عملکرد انرژی ساختمان‌های معاصر ایران را ارزیابی کرده و راهکارهای مؤثری برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در آن‌ها ارائه داد. در واقع، این پژوهش تلاش می‌کند تا با بررسی عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در ساختمان‌ها و تحلیل آن‌ها در چارچوب شاخص‌های پایداری، چارچوبی علمی برای بهبود عملکرد انرژی در معماری معاصر ایران ارائه دهد. نتایج این پژوهش می‌تواند در فرآیند طراحی معماری، برنامه‌ریزی شهری و سیاست‌گذاری در حوزه انرژی ساختمان مورد استفاده قرار گیرد و گامی در جهت توسعه معماری پایدار و کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان کشور باشد.

### ۳- اهداف پژوهش

با توجه به افزایش مصرف انرژی در بخش ساختمان و اهمیت به‌کارگیری رویکردهای پایدار در طراحی معماری، ضرورت انجام پژوهش‌هایی که بتوانند با رویکردی علمی به تحلیل و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها بپردازند، بیش از پیش احساس می‌شود. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی و مدل‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر ایران و ارائه راهکارهایی برای بهینه‌سازی آن بر اساس شاخص‌های پایداری انجام شده است. دستیابی به این هدف مستلزم شناسایی عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در ساختمان‌ها، تحلیل عملکرد انرژی آن‌ها و ارزیابی راهکارهای بهینه‌سازی در چارچوب اصول معماری پایدار است.

هدف کلی این پژوهش، ارائه چارچوبی برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر ایران بر اساس شاخص‌های پایداری است تا از طریق آن بتوان عملکرد انرژی ساختمان‌ها را تحلیل کرده و راهکارهایی برای کاهش مصرف انرژی و افزایش کارایی زیست‌محیطی آن‌ها ارائه داد.



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]

در راستای تحقق هدف کلی پژوهش، اهداف جزئی زیر دنبال می‌شود:

- شناسایی و تبیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر ایران.
- بررسی نقش ویژگی‌های معماری ساختمان، از جمله فرم، جهت‌گیری، مصالح و پوسته ساختمان، در میزان مصرف انرژی.
- تحلیل شاخص‌های پایداری مرتبط با مصرف انرژی در ساختمان‌ها و بررسی کاربرد آن‌ها در ارزیابی عملکرد انرژی.
- بررسی و تحلیل روش‌های مدل‌سازی و شبیه‌سازی انرژی در ساختمان‌ها به عنوان ابزاری برای پیش‌بینی و ارزیابی مصرف انرژی.
- ارائه راهکارهای طراحی معماری و فنی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر ایران.
- ارائه چارچوبی تحلیلی برای تلفیق مدل‌سازی انرژی با شاخص‌های پایداری در فرآیند طراحی و ارزیابی ساختمان‌ها.

تحقق این اهداف می‌تواند به درک بهتر الگوهای مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر ایران کمک کرده و زمینه‌ای برای توسعه راهبردهای طراحی پایدار و کاهش اثرات زیست‌محیطی بخش ساختمان فراهم آورد. همچنین نتایج این پژوهش می‌تواند برای معماران، برنامه‌ریزان شهری و سیاست‌گذاران حوزه انرژی به عنوان مبنایی برای تصمیم‌گیری در جهت بهبود عملکرد انرژی ساختمان‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

## ۴- فرضیه‌های پژوهش

با توجه به اهمیت تحلیل علمی مصرف انرژی در ساختمان‌ها و نقش معماری پایدار در کاهش اثرات زیست‌محیطی، این پژوهش مجموعه‌ای از سؤالات و فرضیات را در قالب یک بخش واحد و منسجم تدوین می‌کند. هدف از طرح این سؤالات و فرضیات، شفاف‌سازی مسیر تحقیق و ایجاد چارچوبی نظری برای بررسی روابط میان متغیرهای مؤثر بر مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر ایران است. در این راستا، ابتدا سؤالات پژوهش به منظور تبیین ابعاد مسأله ارائه می‌شود و سپس فرضیاتی مطرح می‌گردد که جهت‌گیری اصلی تحقیق را برای پاسخ‌گویی به این سؤالات مشخص می‌کند.

سؤال اصلی این پژوهش آن است که چگونه می‌توان با استفاده از مدل‌سازی انرژی و بهره‌گیری از شاخص‌های پایداری، عملکرد انرژی ساختمان‌های معاصر ایران را ارزیابی و بهینه‌سازی کرد. به دنبال این سؤال کلیدی، پرسش‌های دیگری شکل می‌گیرد؛ از جمله اینکه چه عواملی در معماری و طراحی ساختمان بیشترین تأثیر را بر مصرف انرژی دارند، کدام شاخص‌های پایداری می‌توانند مبنایی مناسب برای تحلیل عملکرد انرژی باشند، مدل‌سازی انرژی تا چه اندازه می‌تواند رفتار واقعی ساختمان را در شرایط اقلیمی مختلف پیش‌بینی کند، رابطه میان ویژگی‌های معماری مانند فرم، جهت‌گیری، مصالح و کیفیت پوسته ساختمان با میزان مصرف انرژی چگونه است و اینکه چگونه می‌توان از نتایج مدل‌سازی انرژی برای ارائه راهکارهایی مؤثر در کاهش مصرف انرژی بهره گرفت. همچنین این پرسش مطرح است که آیا می‌توان چارچوبی تلفیقی ارائه کرد که مدل‌سازی انرژی را با شاخص‌های پایداری در فرآیند طراحی معماری ترکیب کند و موجب تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر در مراحل اولیه طراحی شود.

برای پاسخ‌گویی به این پرسش‌ها، پژوهش حاضر بر پایه چند فرضیه شکل گرفته است. نخست اینکه ویژگی‌های معماری ساختمان از جمله فرم، جهت‌گیری، نوع مصالح و کیفیت پوسته حرارتی تأثیر مستقیم و معناداری بر مصرف انرژی دارند و اصلاح آن‌ها می‌تواند به شکل قابل توجهی از میزان مصرف انرژی بکاهد. فرضیه دوم بر این اساس است که شاخص‌های پایداری، به‌ویژه شاخص‌های مرتبط با مدیریت انرژی، می‌توانند چارچوبی مناسب برای ارزیابی جامع عملکرد انرژی ساختمان‌ها فراهم کنند و ترکیب این شاخص‌ها با مدل‌سازی انرژی به تحلیل دقیق‌تر عملکرد واقعی ساختمان منجر می‌شود. فرضیه دیگر آن است که استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی انرژی این امکان را فراهم می‌کند که گزینه‌های مختلف طراحی معماری پیش از اجرا مورد ارزیابی قرار گیرند و راهکارهایی مبتنی بر داده برای کاهش مصرف انرژی ارائه شود. همچنین فرض بر آن است که ارائه چارچوبی تلفیقی که مدل‌سازی انرژی را با شاخص‌های پایداری در طراحی معماری پیوند دهد، می‌تواند فرآیند



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 3- Winter 2025

تصمیم‌گیری در مراحل اولیه طراحی را بهبود بخشد و به ارائه راهکارهای پایدار و کم‌مصرف برای ساختمان‌های معاصر ایران منجر شود.

## ۵- مرور ادبیات

### ۵-۱-معماری پایدار و جایگاه مصرف انرژی در ساختمان‌ها

گسترش شهرنشینی، افزایش سطح زیربنای ساختمانی و اتکای روزافزون به سامانه‌های مکانیکی گرمایش و سرمایش، سبب شده است که بخش ساختمان یکی از اصلی‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی نهایی در جهان و ایران باشد. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که سهم ساختمان‌ها از مصرف کل انرژی در بسیاری از کشورها بین ۳۰ تا ۴۰ درصد است و بخش قابل توجهی از این مصرف، به گرمایش، سرمایش و روشنایی باز می‌گردد [۱–۳]. این روند، هم از منظر امنیت انرژی و هم از منظر آثار زیست‌محیطی به‌ویژه انتشار گازهای گلخانه‌ای، چالشی اساسی برای توسعه پایدار به حساب می‌آید [۴].

در واکنش به این وضعیت، مفهوم معماری پایدار و طراحی پایدار ساختمان مطرح شده است که بر کاهش مصرف منابع، بهینه‌سازی عملکرد انرژی و حداقل‌سازی آثار منفی زیست‌محیطی در چرخه حیات بنا تأکید دارد [۵]. در مطالعه [۶] نشان داده شده است که ادغام اصول معماری پایدار در مراحل اولیه طراحی، می‌تواند بدون افزایش قابل توجه هزینه‌های ساخت، کاهش معنی‌داری در مصرف انرژی و انتشار $CO_2$ ایجاد کند. همچنین پژوهش [۷] با تمرکز بر ساختمان‌های اداری نشان می‌دهد که اتخاذ راهبردهای غیرفعال (Passive) در پوسته و فرم معماری، در بسیاری از اقلیم‌ها از جمله اقلیم‌های گرم و خشک، کاراترین راهبرد برای کاهش بارهای حرارتی است.

### ۵-۲-اصول طراحی اقلیمی و مؤلفه‌های معماری مؤثر بر مصرف انرژی

یکی از محورهای اصلی ادبیات مرتبط، طراحی اقلیمی و استفاده از شرایط محیطی (تابش خورشید، باد، دما، رطوبت و...) برای کاهش نیاز به انرژی‌های فسیلی است. در مطالعه [۸] که به بررسی اصول طراحی اقلیمی در مناطق گرم و خشک پرداخته است، نشان داده می‌شود که جهت‌گیری مناسب ساختمان، کنترل نسبت سطح به حجم، تعبیه حیاط‌های میانی و ایجاد سایه بر پوسته، می‌تواند به میزان چشمگیری بار سرمایش را کاهش دهد.

مطالعه [۹] نیز نشان می‌دهد که انتخاب فرم‌های فشرده‌تر و نسبت پایین‌تر سطح به حجم، در اقلیم‌های سرد، به کاهش بار گرمایش منجر می‌شود؛ در حالی که در اقلیم‌های گرم، فرم‌های کشیده با امکان تهویه طبیعی عرضی، کارایی بیشتری دارند.

در سطح جزئی‌تر، مطالعات متعددی به نقش پوسته ساختمان پرداخته‌اند. در پژوهش [۱۰] با شبیه‌سازی چند سناریوی مختلف پوسته برای ساختمان اداری، نشان داده شد که بهبود ویژگی‌های حرارتی دیوارها و سقف (افزایش مقاومت حرارتی، استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی مناسب) می‌تواند بار گرمایش را بین ۱۵ تا ۳۰ درصد کاهش دهد. در مطالعه [۱۱] نیز تأثیر نسبت پنجره به دیوار (WWR) و نوع شیشه بر عملکرد انرژی بررسی شده و نشان داده شده است که کاهش WWR در جبهه‌های شرقی و غربی و استفاده از شیشه‌های کم‌گسیل (Low-E) در اقلیم‌های گرم و خشک، بار سرمایش را به شکل محسوسی کم می‌کند.

سیستم‌های سایه‌انداز نیز در ادبیات به‌عنوان یکی از مؤثرترین ابزارها برای کنترل تابش مستقیم خورشید مطرح شده‌اند. در مطالعه [۱۲]، اثر سایبان‌های افقی و عمودی برای نماهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که سایبان‌های مناسب در نماهای شرقی و غربی، می‌توانند بار سرمایش را تا حدود ۲۰–۲۵ درصد کاهش دهند؛ رقمی که با یافته‌های عددی این مقاله درباره کاهش بار سرمایش در سناریوهای به‌کارگیری سایه‌اندازها هم‌خوانی دارد.

به‌طور کلی، ادبیات نشان می‌دهد که متغیرهای معماری اصلی مؤثر بر مصرف انرژی شامل فرم و جهت‌گیری، نسبت سطح به حجم، ویژگی‌های حرارتی پوسته، نسبت پر و خالی (پنجره به دیوار)، عمق فضاها و نحوه سازماندهی پلان، و نیز استراتژی‌های سایه‌اندازی و بهره‌گیری از نور روز هستند [۸–۱۲]. این همان دسته متغیرهایی است که در مقاله حاضر برای تعریف سناریوهای طراحی و مدل‌سازی مصرف انرژی انتخاب شده‌اند.



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 3- Autumn 2025

### ۳-۵- استانداردها و نظام‌های ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان

بخش مهمی از ادبیات مرتبط، به استانداردها و دستورالعمل‌های رسمی ارزیابی و بهینه‌سازی عملکرد انرژی در ساختمان‌ها اختصاص دارد. استاندارد ASHRAE 90.1 یکی از مراجع بین‌المللی شناخته‌شده است که الزامات حداقل کارایی انرژی در طراحی ساختمان‌های جدید و نوسازی‌ها را مشخص می‌کند [۱۳]. در مطالعه [۱۴] با استفاده از الزامات ASHRAE 90.1، سناریوهای مختلف بهسازی پوسته و سیستم‌های تأسیساتی در یک ساختمان اداری شبیه‌سازی شده و نشان داده شده است که تطبیق طراحی با این استاندارد می‌تواند کاهش قابل توجهی در مصرف سالانه انرژی ایجاد کند.

از سوی دیگر، استاندارد ISO 13790 چارچوب محاسباتی جامعی برای ارزیابی مصرف انرژی گرمایش و سرمایش در ساختمان‌های غیرصنعتی ارائه می‌دهد [۱۵]. این استاندارد در بسیاری از ابزارهای شبیه‌سازی و برآورد انرژی، به‌عنوان مبنای محاسبات تراز حرارتی و نیاز انرژی فصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پژوهش [۱۶] کاربرد ISO 13790 در ارزیابی سناریوهای بهسازی انرژی ساختمان‌های مسکونی در اقلیم مدیترانه‌ای بررسی شده و نشان داده شده است که مدل مبتنی بر این استاندارد، نتایجی قابل قبول در مقایسه با اندازه‌گیری‌های میدانی ارائه می‌دهد.

در سطح ملی، مقررات ملی ساختمان ایران، به‌ویژه مباحث مرتبط با صرفه‌جویی در مصرف انرژی، چارچوب‌هایی برای طراحی حرارتی پوسته، انتخاب مصالح، عایق‌کاری و الزامات سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی ارائه کرده است [۱۷]. مطالعه [۱۸] نشان می‌دهد که رعایت کامل ضوابط این مباحث در ساختمان‌های جدید، می‌تواند مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش را تا حدود ۳۰–۴۰ درصد نسبت به وضع رایج کاهش دهد؛ با این حال، فاصله قابل توجهی میان وضعیت موجود ساختمان‌های معاصر و این الزامات مشاهده می‌شود.

در کنار استانداردهای عملکرد انرژی، نظام‌های رتبه‌بندی و گواهی‌های پایداری مانند LEED و BREEAM نیز به‌طور گسترده در ادبیات مورد توجه قرار گرفته‌اند. این نظام‌ها، معیارهای چندبعدی برای ارزیابی ساختمان‌ها از منظر انرژی، آب، مصالح، کیفیت محیط داخلی و سایر جنبه‌های زیست‌محیطی ارائه می‌کنند [۱۹]. مطالعه [۲۰] نشان می‌دهد ساختمان‌هایی که به سطوح بالای گواهی LEED یا BREEAM دست یافته‌اند، در مقایسه با ساختمان‌های متعارف، معمولاً ۲۰ تا ۴۰ درصد مصرف انرژی کمتری دارند و این کاهش عمدتاً ناشی از تصمیمات آگاهانه در مرحله طراحی معماری و انتخاب سیستم‌های کارآمد است.

### ۴-۵-مدل‌سازی و شبیه‌سازی انرژی ساختمان و پژوهش‌های مرتبط با اقلیم ایران

در دهه‌های اخیر، مدل‌سازی و شبیه‌سازی انرژی ساختمان به یکی از محورهای اصلی پژوهش در حوزه معماری و مهندسی ساختمان تبدیل شده است. ابزارهایی مانند EnergyPlus، DesignBuilder، TRNSYS و غیره امکان تحلیل دقیق رفتار حرارتی ساختمان، اثر متغیرهای معماری و عملکرد سیستم‌های تأسیساتی را فراهم می‌کنند [۱۰، ۱۱، ۱۴]. در مطالعه [۱۰] با استفاده از EnergyPlus، یک ساختمان اداری نمونه تحت سناریوهای مختلف پوسته و سیستم‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته و حساسیت مصرف انرژی نسبت به تغییر ضریب انتقال حرارت دیوارها، نوع شیشه و کارایی تجهیزات بررسی شده است. پژوهش [۱۱] نیز از DesignBuilder به‌عنوان واسط گرافیکی برای مدل‌سازی سه‌بعدی و تحلیل هم‌زمان گرمایش، سرمایش و روشنایی بهره گرفته است.

در زمینه اقلیم ایران، مطالعات متعددی به بررسی عملکرد انرژی ساختمان‌های مسکونی و اداری در شهرهایی مانند تهران، اصفهان، مشهد، شیراز و تبریز پرداخته‌اند. در مطالعه [۲]، سناریوهای مختلف جهت‌گیری و نسبت پنجره به دیوار برای یک بلوک مسکونی در اقلیم نیمه‌خشک تهران شبیه‌سازی شده و نشان داده شده است که چرخش ساختمان و بهینه‌سازی سطح بازشوها می‌تواند به کاهش قابل توجه مصرف سالانه انرژی منجر شود. پژوهش [۳] در اقلیم گرم و خشک یزد، نشان داده است که استفاده از بازشوهای محدود در جبهه‌های شرقی و غربی، سایبان‌های عمیق در جبهه جنوبی و تقویت عایق حرارتی سقف، ترکیب مناسبی برای کاهش بار سرمایش و گرمایش فراهم می‌آورد.



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 3- Winter 2025

همچنین، مطالعه [۱۸] عملکرد ساختمان‌های معاصر مسکونی در اصفهان را با الزامات مباحث مقررات ملی ساختمان مقایسه کرده و نشان داده است که در بسیاری از موارد، ضخامت عایق، نوع شیشه و جزئیات اتصال پوسته، فاصله‌ای جدی با مقادیر پیشنهادی استاندارد دارند؛ این امر سبب افزایش شدت مصرف انرژی (EUI) در این ساختمان‌ها شده است. مطالعه [۷] نیز به تحلیل ساختمان‌های اداری در تهران پرداخته و نشان داده است که ترکیب اصلاح پوسته (عایق‌کاری و انتخاب شیشه مناسب) با ارتقای سیستم‌های تأسیساتی، بیشترین تأثیر را بر کاهش مصرف انرژی دارد.

### ۵-۵-جمع‌بندی ادبیات و جایگاه پژوهش حاضر

مرور ادبیات نشان می‌دهد که از یک سو، اصول معماری پایدار و طراحی اقلیمی چارچوب نظری محکمی برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها ارائه می‌کنند و از سوی دیگر، استانداردهای بین‌المللی (نظیر ASHRAE 90.1 و ISO 13790)، مقررات ملی و نظام‌های ارزیابی پایداری (LEED، BREEAM) ابزارهایی عملی برای سنجش و هدایت بهینه‌سازی عملکرد انرژی در اختیار طراحان قرار می‌دهند [۵، ۱۳–۲۰]. در عین حال، مطالعات شبیه‌سازی انرژی در اقلیم‌های مختلف ایران نشان داده‌اند که متغیرهایی چون فرم، نسبت سطح به حجم، جهت‌گیری، ویژگی‌های حرارتی پوسته، نسبت پنجره به دیوار، عمق فضاها و نوع سیستم‌های سایه‌انداز، مهم‌ترین عوامل معماری تأثیرگذار بر مصرف انرژی هستند [۲، ۳، ۸–۱۲، ۱۸].

با وجود این بدنه قابل توجه پژوهش، شکاف‌هایی نیز مشاهده می‌شود؛ از جمله کمبود چارچوب‌های یکپارچه‌ای که نتایج پراکنده مطالعات را در قالب مجموعه‌ای روشن از شاخص‌ها و سناریوهای قابل استفاده برای طراحی ساختمان‌های معاصر ایران (به‌ویژه در کاربری اداری و در اقلیم‌هایی مانند تهران) ادغام کند. پژوهش حاضر با تکیه بر این ادبیات، تلاش می‌کند چارچوبی برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک نمونه ساختمان اداری معاصر در اقلیم تهران ارائه دهد که در آن، متغیرهای معماری کلیدی (فرم، پوسته، نسبت پنجره به دیوار، سایه‌اندازها و...) در قالب سناریوهای طراحی تعریف شده و از طریق شبیه‌سازی انرژی، اثر هر سناریو بر شاخص‌های عملکرد انرژی مانند شدت مصرف انرژی (EUI)، تفکیک بار گرمایش و سرمایش و میزان کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن ارزیابی می‌شود. بدین ترتیب، نتایج ادبیات موجود به یک ابزار تصمیم‌گیری عملی برای طراحی معماری معاصر در ایران تبدیل می‌گردد.

## ۶- روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر ماهیت، کاربردی و از نظر روش، توصیفی ـ تحلیلی با رویکرد کمی و مبتنی بر شبیه‌سازی عددی است. هدف اصلی، مدل‌سازی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر ایران بر اساس شاخص‌های پایداری و استخراج راهکارهای طراحی معماری است که بتوانند به‌طور عملی در فرآیند طراحی و تصمیم‌گیری به کار گرفته شوند. روش تحقیق در چند مرحله متوالی شامل: ۱) تدوین مبانی نظری و چارچوب مفهومی، ۲) انتخاب و تعریف نمونه موردی، ۳) تعریف سناریوهای طراحی و پارامترهای متغیر، ۴) مدل‌سازی هندسی و فنی ساختمان، ۵) انجام شبیه‌سازی‌های انرژی، ۶) تحلیل داده‌ها و مقایسه سناریوها بر اساس شاخص‌های پایداری و ۷) استخراج چارچوب پیشنهادی و راهکارهای طراحی، سازمان‌دهی شده است.

در مرحله نخست، به منظور تدوین مبانی نظری و چارچوب مفهومی پژوهش، از روش مطالعه اسنادی و کتابخانه‌ای استفاده شده است. در این مرحله، ابتدا ادبیات مرتبط با معماری پایدار، مبانی نظری مصرف انرژی در ساختمان‌ها، اصول طراحی اقلیمی و استانداردهای ملی و بین‌المللی ارزیابی عملکرد انرژی (نظیر ASHRAE 90.1، ISO 13790، مباحث مرتبط مقررات ملی ساختمان ایران و در صورت لزوم نظام رتبه‌بندی LEED یا BREEAM) مورد بررسی قرار گرفته است. سپس مطالعات پیشین در زمینه مدل‌سازی و شبیه‌سازی انرژی ساختمان‌ها، روش‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی و پژوهش‌های انجام‌شده در بستر اقلیم‌های مختلف ایران تحلیل شده است. این مرحله منجر به شناسایی متغیرهای اصلی معماری مؤثر بر مصرف انرژی (از جمله فرم، نسبت سطح به حجم، جهت‌گیری، مشخصات پوسته، نسبت پر و خالی، عمق فضاها، سیستم‌های سایه‌اندازی، و غیره) و نیز تعیین شاخص‌های پایداری مرتبط با عملکرد انرژی (مانند مصرف سالانه انرژی نهایی، شدت مصرف انرژی بر



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 3- Autumn 2025

حسب kWh/m².year، تفکیک مصرف گرمایش، سرمایش و روشنایی، و میزان کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در سناریوهای مختلف) شده است.

در مرحله دوم، به منظور انجام مدل‌سازی دقیق، نمونه یا نمونه‌های موردی پژوهش تعیین شده‌اند. معیارهای انتخاب نمونه موردی شامل: قرار داشتن در زمره ساختمان‌های معاصر (طراحی و اجرای پس از دهه ۱۳۸۰)، کاربری مشخص (مثلاً مسکونی آپارتمانی یا اداری)، قرارگیری در یکی از شهرهای شاخص اقلیمی ایران (برای نمونه تهران، اصفهان، مشهد، شیراز یا تبریز) و دسترسی به اطلاعات نسبتاً کامل معماری و فنی بوده است. پس از غربالگری اولیه پروژه‌های ممکن، یک ساختمان شاخص که نماینده الگوی رایج طراحی معاصر در کاربری و اقلیم مورد نظر است، انتخاب شده است. اطلاعات مورد نیاز شامل نقشه‌های معماری (پلان‌ها، مقاطع، نماها)، اطلاعات ابعادی، نوع و جنس مصالح پوسته (دیوارها، سقف، کف، پنجره‌ها)، سیستم‌های تأسیساتی (نوع سیستم گرمایشی و سرمایشی، راندمان تجهیزات، نوع کنترل و زمان‌بندی عملکرد)، و همچنین اطلاعات بهره‌برداری (ساعات استفاده، تعداد کاربران، الگوی حضور و روشنایی) از طریق نقشه‌های اجرایی، گزارش‌های فنی، بازدید میدانی و در صورت امکان مصاحبه با مدیر ساختمان یا طراح جمع‌آوری شده است.

در مرحله سوم، بر اساس مبانی نظری و ویژگی‌های نمونه موردی، سناریوهای طراحی و پارامترهای متغیر پژوهش تعریف شده‌اند. سناریوها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که بتوانند تأثیر عوامل اصلی معماری بر مصرف انرژی را به‌صورت مجزا و ترکیبی آشکار سازند. این سناریوها شامل: سناریوی پایه (وضعیت موجود یا طراحی متعارف ساختمان بدون مداخلات پایدار) و چند سناریوی اصلاحی است که در آن‌ها متغیرهایی نظیر جهت‌گیری ساختمان، نسبت پنجره به دیوار در جهات مختلف، نوع شیشه و قاب پنجره، ضخامت و نوع عایق حرارتی دیوارها و سقف، ضریب انتقال حرارت پوسته، استفاده از سایه‌بان‌های افقی یا عمودی، بهینه‌سازی عمق پلان برای بهره‌گیری از نور روز، و بهبود کارایی سیستم‌های تأسیساتی در سطوح مشخص تغییر داده می‌شوند. به منظور قابل مقایسه بودن نتایج، در تعریف سناریوها تلاش شده است سایر شرایط (کاربری، مساحت زیربنا، الگوی حضور، و شرایط اقلیمی) ثابت نگه داشته شود و تنها متغیرهای مورد مطالعه تغییر یابند.

در مرحله چهارم، مدل‌سازی هندسی و فنی ساختمان در محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی انجام شده است. برای این منظور، ابتدا هندسه سه‌بعدی ساختمان بر اساس نقشه‌های معماری در نرم‌افزار مدلسازی (مانند DesignBuilder به عنوان واسط گرافیکی EnergyPlus) بازسازی و زون‌بندی حرارتی ساختمان بر اساس کاربری فضاها، جهت‌گیری، ارتفاع و شرایط بهره‌برداری انجام شده است. سپس لایه‌بندی اجزای پوسته شامل دیوارهای خارجی، سقف‌ها، کف‌های روی فضای باز یا خاک، و پنجره‌ها با ذکر نوع مصالح، ضخامت، ضریب هدایت حرارتی، چگالی و ظرفیت حرارتی ویژه در مدل تعریف شده است. اطلاعات مربوط به خواص حرارتی مصالح، در صورت در دسترس بودن، بر اساس داده‌های سازنده یا استانداردهای فنی و در غیر این صورت بر اساس منابع معتبر بین‌المللی و استانداردهای متعارف وارد شده است. برای پنجره‌ها نیز مشخصاتی مانند ضریب انتقال حرارت کلی، ضریب بهره خورشیدی، ضریب عبور مرئی و نوع قاب در نظر گرفته شده است.

در ادامه این مرحله، شرایط مرزی و اقلیمی مدل تعریف شده‌اند. داده‌های آب و هوایی شهر مورد مطالعه از فایل‌های استاندارد اقلیمی (مانند فایل‌های EPW یا TMY) متناسب با اقلیم ایران در نرم‌افزار فراخوانی شده است تا تغییرات ساعتی دما، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد، تابش مستقیم و پراکنده خورشید و سایر پارامترهای اقلیمی در طول سال در نظر گرفته شود. همچنین الگوی بهره‌برداری از ساختمان شامل ساعات کاربری روزانه، روزهای کاری هفته، الگوی حضور کاربران، میزان تولید حرارت داخلی ناشی از حضور افراد و تجهیزات، و سناریوی روشنایی مصنوعی (استاندارد سطح روشنایی مورد نیاز و نوع چراغ‌ها) بر اساس استانداردهای رایج و اطلاعات واقعی ساختمان در مدل اعمال شده است. سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی موجود، با تعریف نوع سیستم (مانند چیلر و بویلر، اسپلیت یونیت، فن‌کویل و غیره)، راندمان اسمی، منحنی عملکرد و استراتژی کنترل دما (ست‌پوینت‌های گرمایش و سرمایش در فصل‌های مختلف) در مدل وارد شده‌اند.

در مرحله پنجم، شبیه‌سازی‌های انرژی برای سناریوی پایه و سناریوهای اصلاحی در بازه زمانی یک‌ساله و با گام زمانی ساعتی انجام می‌شود. ابتدا مدل پایه اجرا شده و نتایج مربوط به مصرف سالانه انرژی گرمایشی، سرمایشی، تهویه و روشنایی، پیک بارهای گرمایشی و سرمایشی و توزیع ساعتی بارهای حرارتی استخراج می‌گردد. سپس سناریوهای اصلاحی به‌صورت



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 3- Winter 2025

سیستماتیک و با تغییر یکی‌یکی متغیرهای تعریف‌شده (روش آنالیز حساسیت تک‌عاملی) و نیز در برخی موارد با ترکیب هم‌زمان چند متغیر (برای بررسی هم‌افزایی یا تعارض اثرات) شبیه‌سازی می‌شوند. در تمامی شبیه‌سازی‌ها، تنظیمات عددی نرم‌افزار (نظیر همگرایی محاسباتی، گام زمانی، و الگوریتم حل) مطابق با توصیه‌های نرم‌افزار و استانداردهای پذیرفته شده تنظیم شده است تا از پایداری و دقت نتایج اطمینان حاصل شود.

در مرحله ششم، داده‌های خروجی نرم‌افزار شبیه‌سازی استخراج، پالایش و تحلیل می‌شوند. برای این کار، ابتدا خروجی‌های خام نرم‌افزار (به صورت جداول و فایل‌های متنی) با استفاده از نرم‌افزارهای کمکی (مانند Excel و SPSS) دسته‌بندی و برای هر سناریو شاخص‌های کلیدی عملکرد انرژی محاسبه می‌شود. شاخص‌های محاسبه‌شده شامل مصرف سالانه انرژی نهایی (kWh/year)، شدت مصرف انرژی بر حسب واحد سطح زیربنا ($kWh/m^2.year$)، سهم نسبی هر یک از اجزای بار (گرمایش، سرمایش، تهویه، روشنایی)، میزان کاهش مصرف انرژی در هر سناریو نسبت به حالت پایه (به صورت درصد)، و در صورت امکان تخمین کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از کاهش مصرف سوخت یا برق است. سپس این شاخص‌ها با استفاده از شاخص‌های پایداری منتخب (مانند کارایی انرژی، کاهش بارهای اوج، بهبود شرایط آسایش حرارتی، و نسبت هزینه به صرفه‌جویی انرژی در حد قابل اشاره) مقایسه و تحلیل می‌شوند تا الگوی تأثیر هر متغیر معماری بر مصرف انرژی و عملکرد پایدار ساختمان روشن گردد.

در تحلیل داده‌ها، علاوه بر مقایسه مستقیم سناریوها، از روش‌های آماری توصیفی (میانگین، درصد تغییر، نمودارهای مقایسه‌ای) و در صورت کافی بودن تعداد سناریوها و داده‌ها، از تحلیل حساسیت و در صورت امکان تحلیل رگرسیونی ساده برای بررسی شدت و جهت تأثیر برخی متغیرها استفاده می‌شود. این تحلیل‌ها کمک می‌کند تا متغیرهایی که بیشترین نقش را در کاهش مصرف انرژی دارند شناسایی شده و اهمیت نسبی آن‌ها در چارچوب طراحی معماری پایدار تعیین شود.

در مرحله نهایی، بر اساس یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی و تحلیل داده‌ها، چارچوبی پیشنهادی برای طراحی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر ایران تدوین می‌شود. این چارچوب شامل مجموعه‌ای از توصیه‌های طراحی معماری (در زمینه فرم، جهت‌گیری، پوسته، بازشوها، سایه‌اندازی و عمق فضاها) و نیز راهبردهای کلی برای انتخاب و تنظیم سیستم‌های تأسیساتی و الگوی بهره‌برداری است که با شاخص‌های پایداری تعریف‌شده همسو باشد. این چارچوب به گونه‌ای ارائه می‌شود که بتواند در مراحل اولیه طراحی معماری به عنوان ابزاری تصمیم‌یار برای معماران و طراحان مورد استفاده قرار گیرد و امکان ارزیابی و مقایسه گزینه‌های مختلف طراحی از منظر مصرف انرژی و پایداری را فراهم آورد.

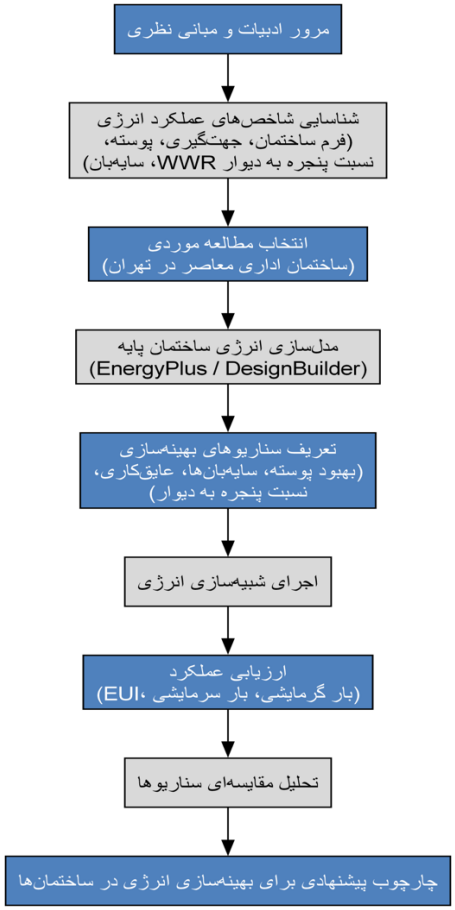
به منظور افزایش اعتبار نتایج، در صورت امکان، مدل شبیه‌سازی با داده‌های واقعی مصرف انرژی ساختمان (نظیر قبوض انرژی یا قرائت‌های سالانه) مورد ارزیابی قرار گرفته و با تنظیم برخی پارامترهای مدل (کالیبراسیون) تلاش می‌شود اختلاف میان نتایج شبیه‌سازی و رفتار واقعی ساختمان کاهش یابد. همچنین محدودیت‌های پژوهش، از جمله محدودیت در دسترسی به اطلاعات دقیق مصالح و سیستم‌ها، فرضیات ساده‌سازی‌شده در مدل و تعمیم‌پذیری نتایج به سایر انواع ساختمان‌ها و اقلیم‌ها در بخش نتیجه‌گیری مورد بحث قرار خواهد گرفت. این ساختار روش‌شناختی امکان پیاده‌سازی دقیق فرآیند مدل‌سازی و شبیه‌سازی در بخش بعدی مقاله را فراهم می‌کند و زمینه مناسبی برای بیان شفاف مراحل شبیه‌سازی، سناریوها و نتایج فراهم می‌سازد.

در شکل (۱) روند کلی روش تحقیق این پژوهش به صورت یک فلوچارت گرافیکی نمایش داده شده است. این فرآیند با مرحله مرور ادبیات و مطالعات نظری آغاز می‌شود که در آن منابع مرتبط با معماری پایدار، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان و استانداردهای ارزیابی عملکرد انرژی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در ادامه، بر اساس نتایج این مطالعات، شاخص‌ها و متغیرهای مؤثر معماری شامل فرم ساختمان، نسبت سطح به حجم، جهت‌گیری بنا، ویژگی‌های پوسته ساختمان و سیستم‌های سایه‌انداز استخراج می‌شوند. سپس نمونه موردی انتخاب و مدل پایه ساختمان در محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی (DesignBuilder/EnergyPlus) مدل‌سازی می‌شود. در مرحله بعد، سناریوهای مختلف بهینه‌سازی با تغییر پارامترهای معماری تعریف شده و شبیه‌سازی انرژی برای هر سناریو انجام می‌گیرد. در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده با مدل پایه مقایسه شده و از



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 3- Autumn 2025

طریق تحلیل شاخص‌هایی مانند مصرف انرژی سالانه و بارهای گرمایش و سرمایش، چارچوب پیشنهادی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر ارائه می‌شود.




**شکل (۱): چارچوب رویکرد پیشنهادی مقاله**

Figure (1): Framework of the Proposed Approach of the Article

## ۷- نتایج شبیه‌سازی‌ها

این بخش به تشریح کامل فرایند شبیه‌سازی انرژی، پارامترهای مورد استفاده و تحلیل نتایج حاصل از آن می‌پردازد. هدف اصلی، ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان اداری معاصر در اقلیم تهران و بررسی اثربخشی راهکارهای مختلف بهینه‌سازی معماری بر کاهش مصرف انرژی است.

### ۷-۱-معرفی سیستم مورد مطالعه

ساختمان مورد مطالعه یک ساختمان اداری پنج طبقه با زیربنای کل ۳۲۰۰ مترمربع است که در منطقه ۶ شهر تهران واقع شده است. این ساختمان به عنوان نماینده‌ای از الگوهای رایج ساخت‌وساز اداری در ایران در نظر گرفته شده است. ویژگی‌های هندسی و کاربری ساختمان در جدول (۱) نشان داده شده است.

### ۷-۲-پارامترهای ورودی شبیه‌سازی

در این پژوهش، نرم‌افزار EnergyPlus به عنوان موتور شبیه‌سازی اصلی مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای ورودی مدل بر اساس استانداردهای رایج و مشخصات ساختمان تعریف شدند.



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 3- Winter 2025

Table (1): General Building Specifications

**جدول (۱): مشخصات کلی ساختمان**

| پارامتر | مقدار |
|---|---|
| کاربری | اداری |
| موقعیت جغرافیایی | تهران – منطقه ۶ |
| ارتفاع از سطح دریا | ۱۱۹۰ متر |
| سال ساخت | پس از ۱۳۸۵ |
| زیربنای کل | ۳۲۰۰ مترمربع |
| تعداد طبقات | ۵ طبقه روی زمین + ۱ زیرزمین |
| ارتفاع خالص طبقات | ۲,۸ متر |
| ارتفاع ناخالص طبقات | ۳,۵ متر |
| فرم معماری | مستطیلی |
| ابعاد پلان | ۳۶ × ۱۸ متر |
| نسبت سطح به حجم (S/V) | ۰,۴۲ |
| پلان | باز (Open Office) |

### ۳-۷-داده‌های اقلیمی

داده‌های اقلیمی شهر تهران از فایل استاندارد EPW [1] استخراج گردید. مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی به شرح جدول (۲) می‌باشد.

Table (2): Climatic Characteristics of Tehran

**جدول (۲): مشخصات کلی ساختمان**

| پارامتر | مقدار متوسط سالانه |
|---|---|
| دمای متوسط سالانه | ۱۷,۶ درجه سانتی‌گراد |
| حداکثر دمای ثبت‌شده | ۴۰,۲ درجه سانتی‌گراد |
| حداقل دمای ثبت‌شده | -۴,۷ درجه سانتی‌گراد |
| میانگین رطوبت نسبی | ۴۱ درصد |
| میانگین سرعت باد | ۲,۸ متر بر ثانیه |
| متوسط ساعات آفتابی سال | ۲۸۰۰ ساعت |

### ۴-۷-مشخصات مصالح پوسته

مشخصات حرارتی اجزای پوسته ساختمان بر اساس مصالح متداول در ساخت‌وسازهای معاصر ایران تعیین شد، در جدول (۳) این جزیات ذکر شده است.

Table (3): Climatic Characteristics of Tehran

**جدول (۳): مشخصات حرارتی اجزای پوسته**

| عنصر ساختمانی | لایه‌بندی | ضریب هدایت(k) (W/m.K) | ضریب انتقال حرارت U (W/m².K) |
|---|---|---|---|
| دیوار خارجی | آجر سه‌جداره + ملات + بلوک + گچ | ۰,۸۷ | ۱,۴۵ |
| سقف | بتن + عایق پلی‌یورتان + اندود | ۰,۴۲ | ۰,۹۰ |
| کف | بتن + ملات | ۱,۱۵ | ۱,۱۰ |
| پنجره | شیشه دوجداره + قاب آلومینیومی | ۲,۸۰ | ۲,۸۰ |
| در بیرونی | فلزی با عایق داخلی | - | ۱,۶۰ |

### ۵-۷- مشخصات بازشوها

نسبت پنجره به دیوار (WWR)[2] در نماهای مختلف ساختمان برای مدل پایه به صورت جدول (۴) تعیین شده است.



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]

Table (4): Window-to-wall ratio on different façades

**جدول (۴): نسبت پنجره به دیوار در نماهای مختلف**

| نما | نسبت پنجره به دیوار(WWR) |
|---|---|
| شمالی | ۳۵ درصد |
| جنوبی | ۴۰ درصد |
| شرقی | ۴۵ درصد |
| غربی | ۴۵ درصد |

### ۶-۷- پارامترهای نفوذ هوا

نرخ نفوذ هوای ناخواسته از طریق درزهای پوسته ساختمان به عنوان یکی از پارامترهای مهم در شبیه‌سازی در نظر گرفته شد که در جدول (۵) نشان داده شده است.

Table (5): Air infiltration rate

**جدول (۵): نرخ نفوذ هوا**

| پارامتر | مقدار |
|---|---|
| نرخ نفوذ هوا (ACH) | ۰,۸۵ |
| نشت پوسته ($m^3/h.m^2$) | ۵,۱ |
| راندمان هوابندی | متوسط |

### ۷-۷- بارهای داخلی

بارهای حرارتی ناشی از حضور افراد، تجهیزات و روشنایی بر اساس استاندارد ASHRAE 90.1 برای کاربری اداری تعریف گردید، که در جدول (۶) نشان داده شده است.

Table (6): Internal loads

**جدول (۶): بارهای داخلی**

| پارامتر | مقدار |
|---|---|
| تراکم نفرات | ۰,۰۹ نفر/مترمربع |
| بار حرارتی نفرات | ۷۵ وات حسّی / ۵۵ وات نهان (هر نفر) |
| تجهیزات اداری | ۱۲ وات بر مترمربع |
| روشنایی | ۱۲ وات بر مترمربع |
| ساعات کار | ۸ تا ۱۸:۰۰ |

### ۸-۷- سیستم‌های تأسیساتی

مشخصات و راندمان سیستم‌های گرمایش، سرمایش و تهویه ساختمان به شرح جدول (۷) در نظر گرفته شده است.

Table (7): Specifications of building service systems

**جدول (۷): مشخصات سیستم‌های تأسیساتی**

| سیستم | نوع | راندمان/ضریب عملکرد(COP) |
|---|---|---|
| گرمایش | بویلر گازی + فن‌کویل | ۸۵٪ |
| سرمایش | چیلر تراکمی هواخنک | COP=۳,۱ |
| تهویه | هواساز مرکزی + فیلتر متوسط | ۷۰٪ |
| روشنایی | فلورسنت T8 | ۶۰ لومن بر وات |

### ۹-۷-سناریوهای شبیه‌سازی

پنج سناریوی مختلف برای ارزیابی اثربخشی راهکارهای بهینه‌سازی در نظر گرفته شد، که به جزیات در جدول (۸) نشان داده شده است.



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]

Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 3- Winter 2025

Table (8): Description of the scenarios under study

**جدول (۸): توضیح سناریوهای مورد بررسی**

| سناریو | عنوان | شرح |
|---|---|---|
| سناریو ۱ | مدل پایه | وضعیت موجود ساختمان |
| سناریو ۲ | عایق‌بندی تقویت‌شده | افزایش ضخامت و کیفیت عایق حرارتی پوسته |
| سناریو ۳ | کاهش WWR شرق/غرب | کاهش نسبت پنجره به دیوار در نماهای شرقی و غربی |
| سناریو ۴ | سایه‌بان‌های ادغام‌شده | نصب سایه‌بان‌های افقی و عمودی در نماهای مناسب |
| سناریو ۵ | ترکیبی | اعمال همزمان راهکارهای سناریوهای ۲، ۳ و ۴ |

## ۸-تجزیه و تحلیل

نتایج شبیه‌سازی انرژی در طول یک دوره یک‌ساله ساعتی محاسبه و در قالب جداول خلاصه شده است. مصرف کل انرژی ساختمان در هر سناریو در طول یک سال شبیه‌سازی شده است. در جدول (۹) نتایج شبیه‌سازی مصرف سالانه انرژی ساختمان در سناریوهای مختلف ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سناریوی پایه (سناریو ۱) با مجموع مصرف ۴۶۸۰۰۰ کیلووات ساعت در سال بیشترین میزان مصرف انرژی را دارد. با اعمال راهکارهای بهینه‌سازی در سناریوهای مختلف، میزان مصرف انرژی کاهش یافته است. در میان سناریوها، سناریو ۵ با مجموع مصرف ۳۶۰۰۰۰ کیلووات ساعت در سال کمترین میزان مصرف انرژی را نشان می‌دهد که بیانگر بیشترین بهبود عملکرد انرژی ساختمان است. این کاهش مصرف عمدتاً ناشی از کاهش بارهای گرمایش و سرمایش ساختمان است، در حالی که مصرف انرژی مربوط به روشنایی و تجهیزات در تمامی سناریوها ثابت در نظر گرفته شده است. نتایج جدول نشان می‌دهد که بهینه‌سازی ویژگی‌های پوسته و راهکارهای طراحی اقلیمی می‌تواند نقش قابل توجهی در کاهش مصرف سالانه انرژی ساختمان داشته باشد.

Table (9): Annual building energy consumption (kilowatt-hours per year)

**جدول (۹): مصرف سالانه انرژی ساختمان (کیلووات ساعت بر سال)**

| سناریو | گرمایش | سرمایش | روشنایی | تجهیزات | مجموع |
|---|---|---|---|---|---|
| سناریو ۱ | ۱۴۲۰۰۰ | ۱۹۸۰۰۰ | ۷۶۰۰۰ | ۵۲۰۰۰ | ۴۶۸۰۰۰ |
| سناریو ۲ | ۱۰۹۰۰۰ | ۱۷۶۰۰۰ | ۷۶۰۰۰ | ۵۲۰۰۰ | ۴۱۳۰۰۰ |
| سناریو ۳ | ۱۳۵۰۰۰ | ۱۶۲۰۰۰ | ۷۶۰۰۰ | ۵۲۰۰۰ | ۴۲۵۰۰۰ |
| سناریو ۴ | ۱۳۸۰۰۰ | ۱۵۰۰۰۰ | ۷۶۰۰۰ | ۵۲۰۰۰ | ۴۱۶۰۰۰ |
| سناریو ۵ | ۹۸۰۰۰ | ۱۳۴۰۰۰ | ۷۶۰۰۰ | ۵۲۰۰۰ | ۳۶۰۰۰۰ |

شاخص شدت مصرف انرژی، معیار مقایسه‌ای برای ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان در سناریوهای مختلف است. در جدول (۱۰) شدت مصرف انرژی ساختمان (EUI) برای سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. شدت مصرف انرژی شاخصی مهم برای ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان محسوب می‌شود و میزان مصرف سالانه انرژی را نسبت به مساحت زیربنا نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، در سناریوی پایه (سناریو ۱) شدت مصرف انرژی برابر با ۱۴۶ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال است. با اعمال راهکارهای بهینه‌سازی در سناریوهای مختلف، این مقدار کاهش یافته است. سناریوهای ۲، ۳ و ۴ به ترتیب کاهش ۱۱,۶، ۸,۹ و ۱۱ درصدی نسبت به سناریوی پایه را نشان می‌دهند که بیانگر تأثیر اقدامات بهبوددهنده در کاهش مصرف انرژی ساختمان است. در این میان، سناریو ۵ با شدت مصرف انرژی ۱۱۲ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال، بیشترین میزان بهبود عملکرد را داشته و کاهش ۲۳,۳ درصدی نسبت به حالت پایه را نشان می‌دهد. این نتایج بیانگر آن است که ترکیب مناسب راهکارهای طراحی و بهینه‌سازی پوسته ساختمان می‌تواند نقش مؤثری در کاهش شدت مصرف انرژی و ارتقای کارایی انرژی ساختمان داشته باشد.

[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]

Table (10): Building energy use intensity (kilowatt-hours per square meter per year)

**جدول (۱۰): شدت مصرف انرژی ساختمان (کیلووات ساعت بر مترمربع در سال)**

| سناریو | شدت مصرف انرژی(EUI) | درصد کاهش نسبت به پایه |
|---|---|---|
| سناریو ۱ | ۱۴۶ | - |
| سناریو ۲ | ۱۲۹ | ۱۱,۶٪ |
| سناریو ۳ | ۱۳۳ | ۸,۹٪ |
| سناریو ۴ | ۱۳۰ | ۱۱,۰٪ |
| سناریو ۵ | ۱۱۲ | ۲۳,۳٪ |

مصرف انرژی در بخش‌های مختلف به تفکیک ماه‌های سال نشان‌دهنده روند فصلی مصرف است. در جدول (۱۱) مصرف ماهانه انرژی برای سرمایش در دو حالت سناریوی پایه (سناریو ۱) و سناریوی بهینه (سناریو ۵) در طول سال ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مصرف انرژی سرمایشی در ماه‌های گرم سال رخ می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که در سناریوی پایه، اوج مصرف در ماه مرداد با مقدار ۴۶۲۰۰ کیلووات ساعت مشاهده می‌شود. با اجرای راهکارهای بهینه‌سازی در سناریو ۵، مصرف انرژی سرمایشی در تمامی ماه‌ها کاهش یافته است. به‌طور نمونه، مصرف انرژی در ماه‌های تیر و مرداد به ترتیب از ۳۹۸۰۰ و ۴۶۲۰۰ کیلووات ساعت در سناریوی پایه به ۳۰۵۰۰ و ۳۵۸۰۰ کیلووات ساعت در سناریوی ۵ کاهش یافته است. همچنین در ماه‌های انتقالی مانند اردیبهشت، مهر و آبان نیز کاهش قابل توجهی در مصرف انرژی مشاهده می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که راهکارهای بهینه‌سازی به‌کاررفته در سناریوی ۵ توانسته‌اند با کاهش بار سرمایشی ساختمان، عملکرد انرژی آن را در طول سال بهبود بخشند.

Table (11): Monthly energy consumption for cooling (kilowatt-hours)

**جدول (۱۱): مصرف ماهانه انرژی برای سرمایش (کیلووات ساعت)**

| ماه | سناریو ۱ (پایه) | سناریو ۵ |
|---|---|---|
| فروردین | ۴۵۰۰ | ۳۸۰۰ |
| اردیبهشت | ۱۲۸۰۰ | ۱۰۵۰۰ |
| خرداد | ۲۸۵۰۰ | ۲۲۰۰۰ |
| تیر | ۳۹۸۰۰ | ۳۰۵۰۰ |
| مرداد | ۴۶۲۰۰ | ۳۵۸۰۰ |
| شهریور | ۳۵۸۰۰ | ۲۸۰۰۰ |
| مهر | ۱۹۵۰۰ | ۱۵۰۰۰ |
| آبان | ۷۲۰۰ | ۵۸۰۰ |
| آذر | ۱۲۰۰ | ۱۰۰۰ |
| دی | ۶۰۰ | ۵۰۰ |
| بهمن | ۹۰۰ | ۷۰۰ |
| اسفند | ۲۱۰۰ | ۱۷۰۰ |

میزان دریافت انرژی خورشیدی از طریق نماهای مختلف ساختمان، عامل مهمی در تعیین بار حرارتی است. در جدول (۱۲) میزان دریافت سالانه انرژی خورشیدی برای نماهای مختلف ساختمان در سناریوی پایه (سناریو ۱) و سناریوی ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در سناریوی پایه، بیشترین دریافت انرژی خورشیدی مربوط به نمای غربی با مقدار ۱۰۴۰ کیلووات ساعت بر مترمربع و پس از آن نمای شرقی با مقدار ۹۸۰ کیلووات ساعت بر مترمربع است، در حالی که نمای شمالی کمترین میزان دریافت انرژی خورشیدی را دارد. با اعمال راهکارهای بهینه‌سازی در سناریوی ۴، میزان دریافت انرژی خورشیدی در تمامی نماها کاهش یافته است. این کاهش به‌ویژه در نماهای جنوبی و غربی چشمگیرتر است؛ به‌طوری که دریافت انرژی خورشیدی در نمای جنوبی از ۸۲۰ به ۴۵۰ و در نمای غربی از ۱۰۴۰ به ۶۸۰ کیلووات ساعت بر مترمربع کاهش



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 3- Winter 2025

یافته است. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از راهکارهایی مانند سایه‌اندازها و بهبود طراحی پوسته ساختمان می‌تواند نقش مؤثری در کنترل تابش خورشیدی و در نتیجه کاهش بار سرمایشی ساختمان داشته باشد.

Table (12): Annual solar energy gain (kilowatt-hours per square meter)

**جدول (۱۲): دریافت انرژی خورشیدی سالانه (کیلووات ساعت بر مترمربع)**

| نما | سناریو ۱ (پایه) | سناریو ۴ |
|---|---|---|
| جنوب | ۸۲۰ | ۴۵۰ |
| شرق | ۹۸۰ | ۷۵۰ |
| غرب | ۱۰۴۰ | ۶۸۰ |
| شمال | ۳۲۰ | ۳۰۰ |

تأثیر هر یک از راهکارهای بهینه‌سازی بر کاهش بارهای سرمایشی و گرمایشی به طور جداگانه ارزیابی شد. در جدول (۱۳) میزان کاهش بارهای حرارتی ساختمان شامل بار سرمایش و گرمایش در سناریوهای مختلف نسبت به مدل پایه ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که هر یک از سناریوهای پیشنهادی تأثیر متفاوتی بر کاهش بارهای حرارتی ساختمان داشته‌اند. به‌طوری‌که در سناریو ۲ کاهش بار سرمایش برابر با ۱۱,۱ درصد و کاهش بار گرمایش ۲۳,۲ درصد گزارش شده است که بیانگر تأثیر قابل توجه این سناریو بر کاهش بار گرمایشی ساختمان است. در سناریوهای ۳ و ۴ نیز کاهش بیشتری در بار سرمایش مشاهده می‌شود، به‌گونه‌ای که سناریو ۴ با کاهش ۲۴,۲ درصدی بیشترین تأثیر را بر کاهش بار سرمایشی در میان این سناریوها داشته است، در حالی که تأثیر آن بر کاهش بار گرمایش محدودتر بوده است. در نهایت، سناریو ۵ بهترین عملکرد را در میان تمامی سناریوها نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که کاهش ۳۲,۳ درصدی در بار سرمایش و ۳۱ درصدی در بار گرمایش را به همراه داشته است. این نتایج نشان می‌دهد که ترکیب همزمان راهکارهای بهینه‌سازی در پوسته ساختمان و طراحی اقلیمی می‌تواند به طور قابل توجهی در کاهش بارهای حرارتی و بهبود عملکرد انرژی ساختمان مؤثر باشد.

Table (13): Reduction in thermal load compared to the base model (percent)

**جدول (۱۳): کاهش بار حرارتی نسبت به مدل پایه (درصد)**

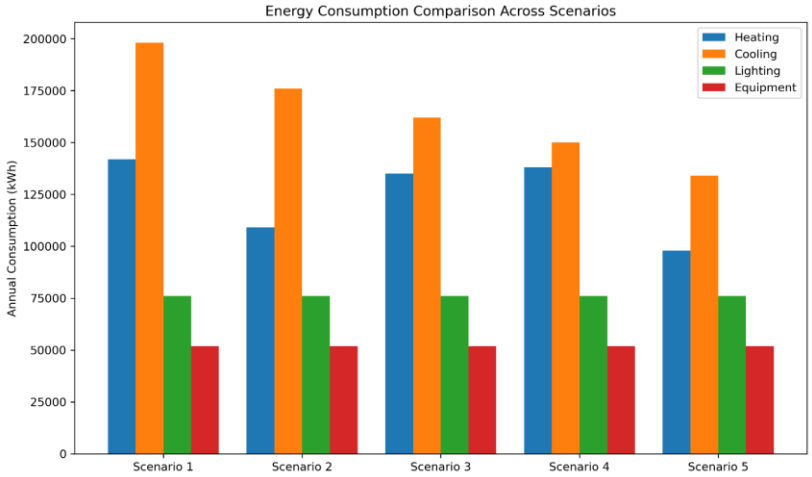
| سناریو | کاهش بار سرمایش | کاهش بار گرمایش |
|---|---|---|
| سناریو ۲ | ۱۱,۱٪ | ۲۳,۲٪ |
| سناریو ۳ | ۱۸,۲٪ | ۴,۹٪ |
| سناریو ۴ | ۲۴,۲٪ | ۲,۸٪ |
| سناریو ۵ | ۳۲,۳٪ | ۳۱,۰٪ |

تحلیل داده‌های شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در ساختمان اداری مورد مطالعه در اقلیم تهران، بار سرمایش سهم غالب مصرف انرژی سالانه را به خود اختصاص داده است (حدود ۴۲٪ در مدل پایه)، که این امر ناشی از تابش شدید خورشید و دمای بالای هوای خارجی در فصول گرم است. پس از آن، بار گرمایش با حدود ۳۰٪ مصرف، در رتبه دوم قرار دارد. مقایسه سناریوهای مختلف نشان می‌دهد که هر یک از راهکارهای بهینه‌سازی تأثیر قابل توجهی بر کاهش مصرف انرژی دارند. بهبود عایق‌بندی پوسته (سناریو ۲) بیشترین تأثیر را بر کاهش بار گرمایش (۲۳,۲٪) داشته است، در حالی که استفاده از سایه‌بان‌ها (سناریو ۴) مؤثرترین راهکار برای کاهش بار سرمایش (۲۴,۲٪) بوده است. کاهش نسبت پنجره به دیوار در نماهای شرقی و غربی (سناریو ۳) نیز به طور مؤثری به کاهش بار سرمایش (۱۸,۲٪) کمک کرده است. سناریوی ترکیبی (سناریو ۵) که تمامی راهکارهای فوق را به طور هم‌زمان اعمال می‌کند، بهترین عملکرد را با کاهش کلی شدت مصرف انرژی به میزان ۲۳,۳٪ نسبت به مدل پایه نشان می‌دهد. این نتایج مؤید این مطلب است که اتخاذ رویکردی جامع و ترکیبی در طراحی معماری پایدار، برای دستیابی به حداکثر صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌های اداری این منطقه ضروری است. یافته‌های این پژوهش بر اهمیت ادغام اصول طراحی معماری پایدار، از جمله توجه به جهت‌گیری ساختمان، بهینه‌سازی پوسته حرارتی، کنترل مناسب بازشوها و



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]

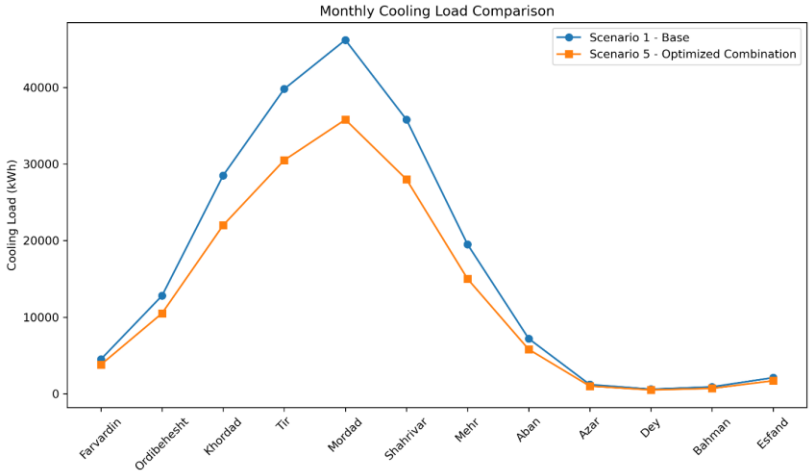
استفاده از عناصر سایه‌انداز، در مراحل اولیه طراحی تأکید دارد. این رویکرد می‌تواند منجر به کاهش چشمگیر مصرف انرژی، بهبود آسایش حرارتی و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری ساختمان شود.




**شکل (۲): مقایسه مصرف انرژی سالانه در سناریوهای مختلف**

Figure (2): Comparison of annual energy consumption across different scenarios

در شکل (۲) مصرف انرژی سالانه برای سناریوهای پنج‌گانه نمایش داده شده است. چهار مؤلفه‌ی اصلی مصرف (گرمایش، سرمایش، روشنایی و تجهیزات) به صورت میله‌ای تفکیک شده‌اند. از روند نمودار مشاهده می‌شود که سناریوی پنجم، که ترکیبی از اصلاحات طراحی و تجهیزاتی است، کمترین مصرف کل را دارد و مؤثرترین بهبود انرژی را نسبت به حالت اولیه ایجاد می‌کند.

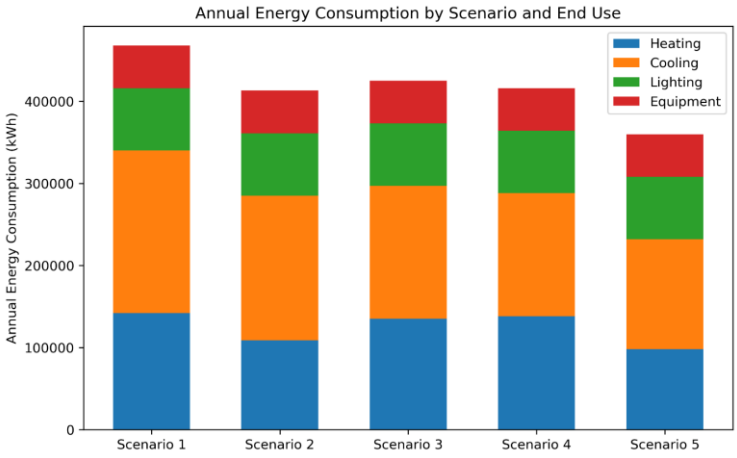



**شکل (۳): مقایسه بار سرمایش ماهانه بین سناریوی پایه و سناریوی ترکیبی**

Figure (3): Comparison of monthly cooling load between the base scenario and the combined scenario

در شکل (۳) تغییرات بار سرمایش در طول ماه‌های سال برای دو حالت «پایه» و «بهینه ترکیبی» ترسیم شده است. بار سرمایش در سناریوی بهینه عمدتاً در ماه‌های گرم سال کاهش یافته است و در ماه‌های تیر و مرداد به میزان بیش از ۳۰٪ افت نشان می‌دهد که نشانه‌ی عملکرد مؤثر سایه‌بان‌ها و مصالح کم‌نفوذ حرارتی است.

[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]

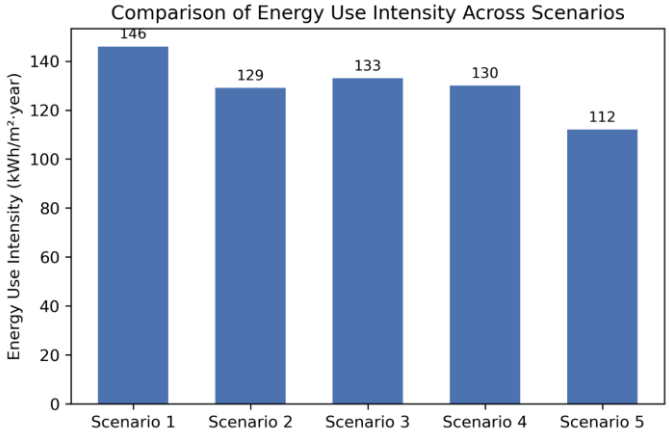



**شکل (۴): نمودار پشته‌ای مصرف سالانه انرژی بر اساس نوع کاربری در سناریوهای مختلف**

Figure (4): Stacked chart of annual energy consumption by end-use in different scenarios

در شکل (۴) انرژی مصرفی سالانه به صورت تجمیعی (پشته‌ای) برای سناریوهای گوناگون نشان داده شده است. هر بخش از ستون نمایانگر نوع استفاده‌ی انرژی (گرمایش، سرمایش، روشنایی و تجهیزات) است. روند شکل بیانگر آن است که با گذر از سناریوی اول به پنجم، سهم بار سرمایش در کل مصرف به‌طور پیوسته کاهش یافته و روشنایی و تجهیزات در حد ثابت باقی مانده‌اند.

در شکل (۵) شاخص شدت مصرف انرژی، بر حسب کیلووات‌ساعت بر مترمربع در سال، برای پنج سناریو مقایسه شده است. کاهش مقدار EUI در سناریوهای چهارم و پنجم تأییدکننده‌ی اثربخشی بهینه‌سازی‌های ترکیبی در ارتقای راندمان کلی ساختمان است. کمترین مقدار شاخص مربوط به سناریوی پنجم با حدود ۱۱۲ کیلووات‌ساعت بر مترمربع در سال است.




**شکل (۵): شدت مصرف انرژی (EUI) در سناریوهای بهینه‌سازی**

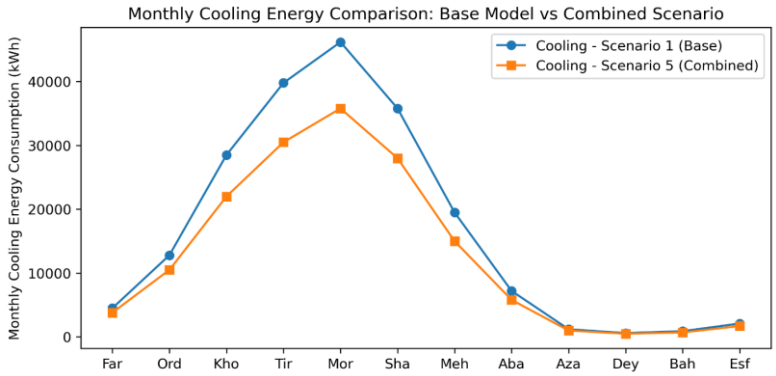
Figure (5): Energy Use Intensity (EUI) in optimization scenarios

در شکل (۶) منحنی‌های انرژی ماهانه برای دو مدل «پایه» و «ترکیبی» مقایسه شده‌اند. مقادیر پیک انرژی در ماه‌های تیر و مرداد برای مدل پایه بسیار بالا است، در حالی‌که در مدل ترکیبی به طور محسوس کاهش یافته است. الگوی نمودار میزان تأثیر راهکارهای طراحی غیرفعال بر پاسخ حرارتی ساختمان را نشان می‌دهد.

در شکل (۷) اثر استفاده از عناصر سایه‌انداز در سناریوی چهارم بر کاهش دریافت تابش خورشیدی در چهار جهت اصلی ساختمان (جنوب، شرق، غرب و شمال) نشان داده شده است. بیشترین کاهش در جبهه غربی مشاهده می‌شود که دریافت تابش بالایی در حالت پایه داشت. این نتایج نقش طراحی سایبان در کنترل تابش و کاهش بار سرمایش را برجسته می‌کند.

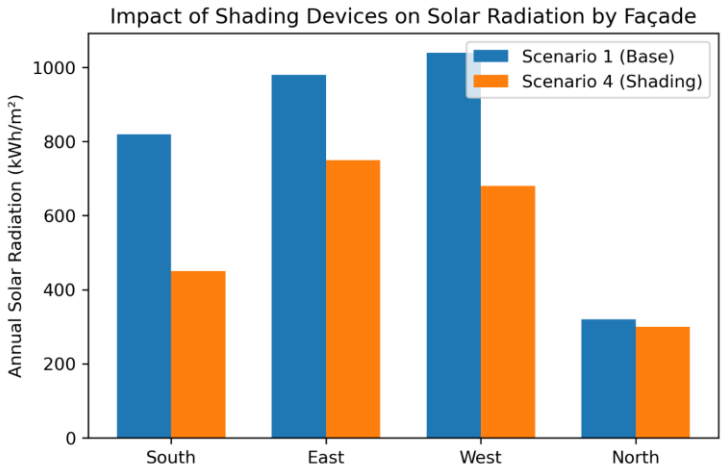
[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 3- Autumn 2025

در شکل (۸) سهم درصدی هر بخش از مصرف انرژی (سرمایش، گرمایش، روشنایی، تجهیزات، و فن‌ها و پمپ‌ها) نمایش داده شده است. بیشترین سهم مربوط به سرمایش (۴۲٪) و گرمایش (۳۰٪) است. این توزیع اهمیت اصلاح سامانه‌های حرارتی در کاهش مصرف کل انرژی را نشان می‌دهد.



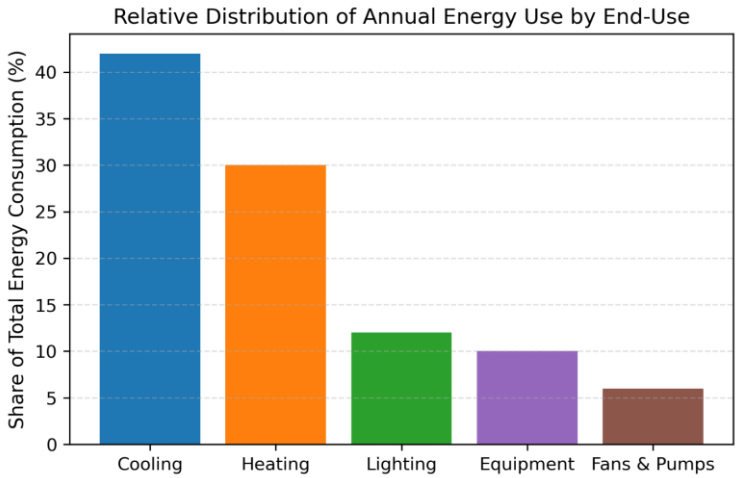

**شکل (۶): مقایسه انرژی سرمایش ماهانه بین مدل پایه و مدل ترکیبی**

Figure (6): Comparison of monthly cooling energy between the base model and the combined model




**شکل (۷): اثر سایه‌انداز بر میزان دریافت تابش خورشیدی بر جبهه‌های مختلف**

Figure (7): Effect of shading devices on solar radiation received by different façades

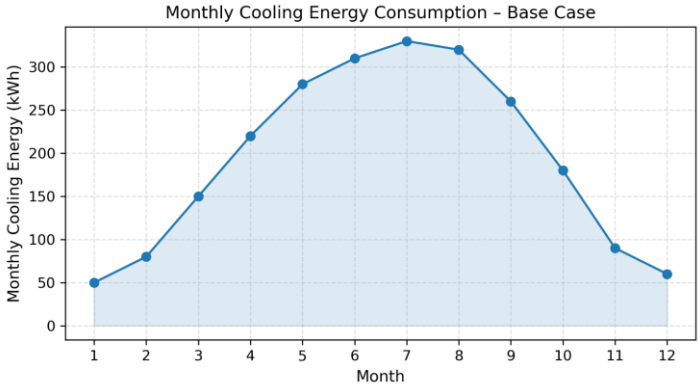



**شکل (۸): توزیع نسبی مصرف انرژی سالانه بر اساس نوع کاربری**

Figure (8): Relative distribution of annual energy consumption by end-use



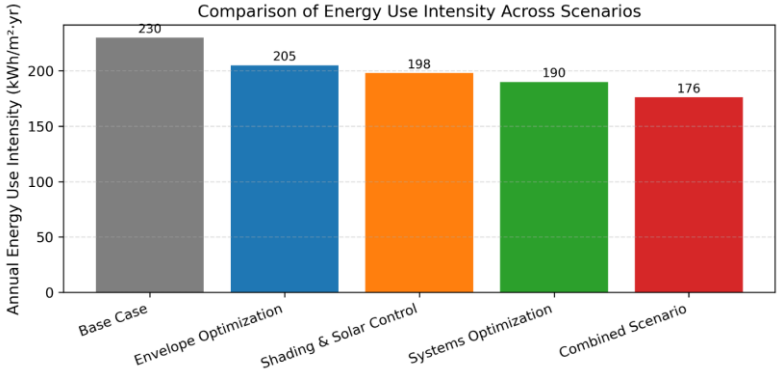
[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]




**شکل (۹): مصرف ماهانه انرژی سرمایش در مدل پایه**

Figure (9): Monthly cooling energy consumption in the base model

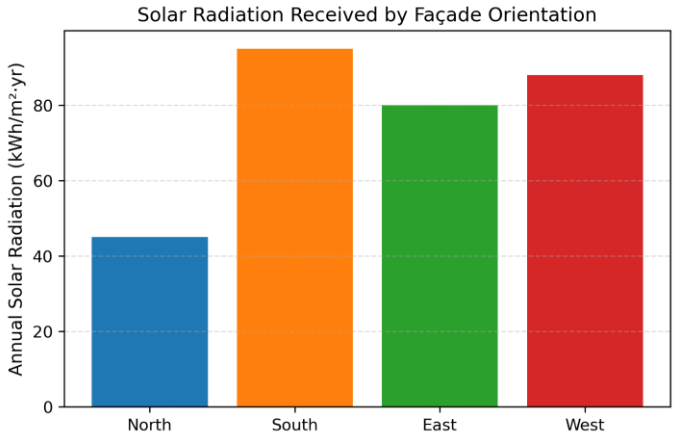
در شکل (۹) روند تغییرات مصرف انرژی سرمایش در طول ۱۲ ماه سال به‌صورت منحنی پیوسته نمایش داده شده است. مقدار مصرف از ماه فروردین تا مرداد به‌تدریج افزایش می‌یابد و سپس کاهش پیدا می‌کند. این رفتار حرارتی بیانگر حساسیت عملکرد سیستم سرمایش به تغییرات دمای بیرونی و تابش خورشیدی است.




**شکل (۱۰): مقایسه شدت مصرف انرژی (EUI) بین سناریوهای طراحی مختلف**

Figure (10): Comparison of Energy Use Intensity (EUI) across different design scenarios

در شکل (۱۰) شاخص EUI برای پنج استراتژی طراحی متفاوت (حالت پایه، بهینه‌سازی پوسته، کنترل خورشید، بهبود سیستم‌ها و سناریوی ترکیبی) مقایسه شده است. نمودار نشان می‌دهد که با هر مرحله بهینه‌سازی، میزان انرژی مصرفی کاهش می‌یابد و بهترین عملکرد با ترکیب اقدامات به دست می‌آید. کاهش کلی حدود ۲۴٪ نسبت به حالت پایه مشاهده می‌شود.




**شکل (۱۱): میزان دریافت تابش خورشیدی بر حسب جهت‌گیری جبهه‌ها**

Figure (11): Solar radiation received by different façade orientations



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 3- Autumn 2025

در شکل (۱۱) مقدار تابش خورشیدی سالانه دریافت‌شده بر هر جبهه ساختمان (شمال، جنوب، شرق و غرب) نمایش داده شده است. جبهه جنوبی بیشترین دریافت تابش را دارد و پس از آن جبهه غربی قرار می‌گیرد. این نمودار مبنایی برای ارزیابی نیاز سایه‌اندازی، نوع شیشه و مصالح در طراحی اقلیمی ساختمان فراهم می‌آورد.

## ۷- نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف ارزیابی و بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان از طریق بررسی راهکارهای معماری و طراحی اقلیمی انجام شد. در این راستا، ابتدا شاخص شدت مصرف انرژی (EUI) به‌عنوان معیار اصلی سنجش عملکرد انرژی در ساختمان انتخاب گردید و سپس سناریوهای مختلف طراحی شامل نحوه دریافت تابش خورشیدی، به‌کارگیری سایه‌اندازها در جبهه‌های مختلف ساختمان و تحلیل الگوی مصرف انرژی در کاربری‌های گوناگون مورد بررسی قرار گرفت. روش پیشنهادی پژوهش مبتنی بر تحلیل مقایسه‌ای سناریوهای طراحی و ارزیابی تأثیر هر یک از راهکارهای معماری بر میزان مصرف انرژی سالانه ساختمان است. این رویکرد امکان شناسایی مؤثرترین راهکارهای غیرفعال برای کنترل بارهای حرارتی و بهبود کارایی انرژی ساختمان را فراهم می‌کند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که استفاده هدفمند از عناصر کنترل تابش خورشیدی، به‌ویژه سایه‌اندازها، می‌تواند به‌طور قابل توجهی میزان تابش دریافتی در جبهه‌های مختلف ساختمان را تنظیم کرده و در نتیجه بارهای سرمایشی و گرمایشی را کاهش دهد. همچنین مقایسه سناریوهای مختلف بیانگر آن است که بهینه‌سازی طراحی پوسته ساختمان و توجه به اصول طراحی اقلیمی، کاهش محسوسی در شاخص EUI ایجاد می‌کند. بررسی توزیع نسبی مصرف انرژی سالانه نیز نشان می‌دهد که بخش عمده مصرف انرژی به سیستم‌های حرارتی و برودتی اختصاص دارد؛ ازاین‌رو بهبود عملکرد این سامانه‌ها در کنار استفاده از راهکارهای غیرفعال معماری می‌تواند نقش مهمی در افزایش بهره‌وری انرژی ایفا کند. در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که رویکرد یکپارچه در طراحی معماری، شامل ترکیب راهکارهای غیرفعال کنترل تابش، بهینه‌سازی پوسته ساختمان و ارتقای سامانه‌های تأسیساتی، می‌تواند به کاهش قابل توجه مصرف انرژی در ساختمان‌ها منجر شود. این نتایج بر اهمیت توجه همزمان به ملاحظات معماری و عملکرد انرژی در فرآیند طراحی تأکید کرده و می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای توسعه راهبردهای طراحی پایدار در ساختمان‌های آینده مورد استفاده قرار گیرد.

## References

## مراجع


[1] Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings, 40(3), 394–398.

[2] Chirarattananon, S., & Taweekun, J. (2003). A technical review of energy conservation programs for commercial and government buildings in Thailand. Energy Conversion and Management, 44(5), 743–762.

[3] Ma, Z., Cooper, P., Daly, D., & Ledo, L. (2012). Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. Energy and Buildings, 55, 889–902.

[4] Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L. F., Serrano, S., Barreneche, C., & Petrichenko, K. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 85–98.

[5] Kibert, C. J. (2016). Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

[6] Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T., & Zeumer, M. (2008). Energy Manual: Sustainable Architecture. Basel: Birkhäuser.

[7] Mushtaha, E., & Refaee, M. (2015). Energy performance assessment for office buildings in hot climates. Energy and Buildings, 108, 379–389.

[8] Olgyay, V. (2015). Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism (New and expanded edition). Princeton, NJ: Princeton University Press.

[9] Steadman, P., Hamilton, I., & Evans, S. (2014). Energy and urban built form: An empirical and statistical approach. Building Research & Information, 42(1), 17–30.

[10] Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., & Griffith, B. T. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. Building and Environment, 43(4), 661–673.


[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 3- Winter 2025

[11] Attia, S., Hensen, J. L. M., Beltrán, L., & De Herde, A. (2012). Selection criteria for building performance simulation tools: Contrasting architects' and engineers' needs. Journal of Building Performance Simulation, 5(3), 155–169.
[12] Tzempelikos, A., & Athienitis, A. K. (2007). The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. Solar Energy, 81(3), 369–382.
[13] ASHRAE. (2019). ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
[14] Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., & Crawley, D. (2006). Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, CA.
[15] ISO. (2008). ISO 13790: Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling. Geneva: International Organization for Standardization.
[16] Balaras, C. A., Gaglia, A. G., Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., & Lalas, D. P. (2007). European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings. Building and Environment, 42(3), 1298–1314.
[۱۷]مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. (۱۳۹۹). مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان: صرفه‌جویی در مصرف انرژی. تهران: وزارت راه و شهرسازی.
[18] Karatasou, S., Santamouris, M., & Gaglia, A. (2004). Daylight calculations in buildings: Methods, calculations and software. Advances in Building Energy Research, 1(1), 101–144.
[19] USGBC. (2013). LEED v4 for Building Design and Construction. Washington, DC: U.S. Green Building Council.
[20] BRE Global. (2016). BREEAM International New Construction 2016: Technical Manual. Watford: BRE Global.

**زیرنویس‌ها:**

[1] EnergyPlus Weather Data
[2] Window-to-Wall Ratio

[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-06-24 ]