



Cooling load reduction through the optimization of the external envelope of Qazvin high-rise residential buildings based on sensitivity analysis

ARTICLE INFO

Article Type
Analytic Study

Authors

Zahra Karimi ¹
Afsaneh Zarkesh ^{2*}

How to cite this article

Ron

URL: <http://>

ABSTRACT

Aims: In light of climate change and global warming, energy conservation in the cooling sector has become a prominent research focus in the present era. The primary objective of this research is to reduce energy consumption in the cooling sector of existing high-rise residential buildings in Qazvin, Iran. This is achieved by optimizing various design parameters of the building envelope including glazing type, window shading, roof shading, and thermal insulation of external walls.

Methods: This research employs a mixed-methods approach, combining qualitative research, theoretical framework and quantitative research, energy simulation using DesignBuilder.

Findings: A sensitivity analysis is conducted on three parameters, encompassing 23 variables applicable to the existing building to simultaneously assess their impact on cooling load. The optimal solution for the variables is selected based on their high impact coefficient and their ability to minimize cooling load. For each variable, various scenarios are considered, and the optimal variable is determined through parametric analysis. These optimal variables are then integrated into the existing building model to propose an energy-efficient model for similar buildings.

Conclusion: The findings indicate that the final model, referred to as the optimized building, achieves a cooling load reduction of approximately 45.47%. This reduction in energy consumption lowers the emission of greenhouse gases associated with energy use, which contributes to global warming. Additionally, this reduction enhances thermal comfort conditions.

Keywords: External shell, thermal performance, sensitive analysis, cooling load, parametric analysis.

CITATION LINKS

1- PhD Candidate, Architecture, Faculty of Arts, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Faculty of Arts, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

*Correspondence

Address: Faculty of Arts, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Email:

zarkesh@modares.ac.ir

Article History

Received:

Accepted:

Published:

[1] Mohammadi A, Joseph, A. Daraio. Improving the Energy Efficiency of Existing Residential Buildings.. [2] Vargas A, Leon, H. Thermal Energy Performance Simulation of a Residential Building Retrofitted... [3] Ibrahim F, Abdulwahid S, Abdulrahman R, Mosa M. Thermal Performance Optimization... [4] Poorsistani P, Medi H, Mafi M. The Role of Locating Solar Chimneys in Providing... [5] Salih, K.; Ledesma, M.; Saeed, Z. Simulation of energy efficiency measures for the residential build.. [6] Albatayneh A. Sensitivity analysis optimisation of building envelope parameters in.. [7] Rabani M, Madessa HB, Nord N. A state-of-art review of retrofit interventions in buildings towards... [8] madahi, M., tavanaiee, F. Optimization of Thermal performance of External Walls of Residential... [9] Bojic M, Alexandre P, Parvedy, Boyer H. Optimization of thermal comfort in building through [10] Abdeen A, Mushtaha E, Hussien A, Ghenai CH, Makoud A, Belpoliti V.... [11] Elnabawi, M. H., Saber, E., Bande, L. Passive Building Energy Saving: Building.. [12] Latreche S, Sriti, L, Mansouri K, Berbouche Ch. Envelope design for thermal performance... [13] Almushaikh AS, Almasri RA. Evaluating the potential energy savings of residential... [15] Alhuwayil, W.K.; Mujeebu, M.A.; Algarny, A.M.M.



کاهش بار سرمایشی با بهینه سازی پوسته خارجی ساختمان مسکونی بلند مرتبه قزوین مبتنی بر آنالیز حساسیت

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: تحقیق بنیادی

نویسندگان

زهرا کریمی^۱
افسانه زرکش^{۲*}

اهداف: با توجه به تغییرات شرایط آب و هوایی و روند گرمایش جهانی، حفظ انرژی در بخش سرمایش به یکی از عوامل پیشتاز در تحقیقات حاضر تبدیل شده است. هدف اصلی این تحقیق کاهش انرژی مصرفی در بخش سرمایش ساختمان های مسکونی بلند مرتبه موجود شهر قزوین بوده است. این امر با بهینه سازی متغیرهای مختلف طراحی پوسته خارجی ساختمان از جمله نوع شیشه، سایبان پنجره ها، سایه اندازی بام، عایق حرارتی جداره های خارجی، بدست آمده است.

روش ها: روش تحقیق در این پژوهش ترکیبی، کیفی، مطالعات در زمینه مبانی نظری و کمی، شبیه سازی انرژی در نرم افزار دیزاین بیلدر می باشد.

یافته ها: نرم افزار دیزاین بیلدر برای اجرای یک تحلیل حساسیت روی ۳ پارامتر، شامل ۲۳ متغیر قابل اجرا در ساختمان موجود به منظور ارزیابی همزمان تاثیر آنها بر بار سرمایش به کار گرفته شد. بهترین راه حل انتخاب شده برای متغیرها با ضریب تاثیر بالا بر اساس به حداقل رساندن بار سرمایشی بود. در نهایت برای هر متغیر حالت های مختلف در نظر گرفته شده و طریق تحلیل پارامتریک به متغیر بهینه دست یافته و با ترکیب آنها در مدل ساختمان موجود به ارائه مدلی انرژی کارا برای ساختمان های مشابه دست یافته شد.

نتیجه گیری: نتایج حاکی از آن است در مدل نهایی که به عنوان ساختمان بهینه معرفی شده است به میزان حدود ۴۵.۴۷ درصد کاهش در بار سرمایشی ساختمان دست یافته شده است. این کاهش مصرف انرژی، میزان گازهای گلخانه ای حاصل از مصرف انرژی، که خود عامل گرمایش جهانی هستند را کاهش داده و شرایط آسایش حرارتی نیز از طریق این عوامل فراهم می شود.

کلید واژگان: پوسته خارجی، عملکرد حرارتی، تحلیل حساسیت، بار سرمایشی، تحلیل پارامتریک.

۱. دانشجوی دکتری، معماری، دانشکده هنر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲. دکتری معماری، استادیار، گروه معماری، دانشکده هنر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

نویسنده مسئول *

zarkesh@modares.ac.ir

تاریخ مقاله

تاریخ دریافت:

تاریخ پذیرش:

تاریخ انتشار:

ارجاع دهی

URL: <http://>

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

مقدمه

تأثیرات موج گرما باعث افزایش دمای خارجی و در پی آن افزایش دمای داخلی می‌شود، تابستان‌ها گرم‌تر و زمستان‌ها معتدل‌تر، که عامل افزایش تقاضا برای انرژی برای تأمین بار سرمایشی می‌باشد. یکی از دلایل اصلی گرمایش جهانی و تغییرات شدید آب و هوا، افزایش سطح گازهای گلخانه‌ای که خود ناشی از مصرف بیش از حد انرژی‌های تجدید ناپذیر هست، می‌باشد. [۱] در قرن اخیر، جامعه مصرف انرژی زیادی برای فراهم آوردن شرایط آسایش حرارتی برای انجام فعالیت‌های روزانه و عملکرد صحیح برای ارائه یک کشوری که از لحاظ اقتصادی و اجتماعی مطلوب باشد، داشته است. [۲] همان طور که خورشید تأثیر مستقیم روی بشریت دارد و به عنوان منبع اولیه تمام انواع انرژی محسوب می‌شود و از همه مهم‌تر منبع نور طبیعی و گرما در زمین می‌باشد، اما اثرات منفی مانند گرم شدن بیش از حد در برخی نقاط جهان دارد. فهمیدن رابطه بین خورشید و زمین در بخش طراحی موقعیت ساختمان، طراحی ساختمان‌های کارآمد و کنترل مقدار دریافت گرمای غیر مطلوب بسیار مهم است. [۳] ساختمان‌های کارآمد در بحث انرژی یکی از عوامل مهم در کاهش نرخ انتقال گرما در داخل و خارج ساختمان در نظر گرفته می‌شوند. نور خورشید با عبور از جداره‌های نورگذر نیاز به روشنایی مصنوعی را کاهش می‌دهد و این باعث کاهش مصرف انرژی در زمینه نورپردازی می‌شود، همچنین اشعه تابشی خورشید از جداره ساختمان عبور کرده یا جذب مصالح شده و به این ترتیب باعث افزایش گرمای دریافتی ساختمان می‌شود که با راهکارهایی می‌توان از این افزایش گرما جلوگیری کرد و شرایط آسایش حرارتی را فراهم آورد. استفاده از انرژی در ساختمان‌ها سهم بزرگی از تقاضای انرژی جهانی و منطقه‌ای را در بر می‌گیرد. بخش گرمایش و سرمایش در مجموع تقاضای انرژی ساختمان تنوع زیادی دارد و میان ۱۸ تا ۷۳ درصد در تمامی جهان متفاوت است. [۴] در کشورهایی که ظرفیت انرژی آن‌ها نسبت به تقاضا به انرژی کمتر است، حفظ انرژی بسیار مهم می‌باشد. در نظر بگیرید که ۷۵ تا ۹۰ درصد ساختمان‌ها قبلاً ساخته شده‌اند، که با توجه به موضوع کمبود منابع انرژی و آلودگی‌های ناشی از مصرف آنها اهمیت دارد که به شدت مصرف انرژی این

ساختمان‌ها کاهش یابد. در حالی که تعداد کمی از کشورها قوانین اجباری برای ساختمان‌ها در بحث انرژی دارند. [۵] در حال حاضر یک جنبش جهانی برای اطمینان از مصرف بهینه‌تر انرژی در تمامی بخش‌ها به منظور کاهش چشمگیر تقاضای انرژی و استهلاك منابع طبیعی در حال شکل‌گیری است. بخش مسکونی سهم قابل توجهی از انرژی مصرف‌شده را به خود اختصاص می‌دهد. این امر ضرورت اجرای فناوری‌های با مصرف انرژی بهینه در پوسته ساختمان‌ها را برای به حداقل رساندن اتلاف انرژی و تضمین توسعه پایدار آینده، آشکار می‌کند. [۶] از این رو با توجه به اهمیت ذکر شده انرژی در بخش مسکونی، و با در نظر گرفتن افزایش بلند مرتبه سازی با توجه به افزایش قیمت زمین و جمعیت در بخش شهری، در این نوشتار ساختمان مورد بررسی با کاربری مسکونی و بلند مرتبه در نظر گرفته شد. دلیل انتخاب نمونه مورد بررسی این است که در شهر قزوین تعداد قابل توجهی از ساختمان مسکونی بلند مرتبه با کشیدگی شمالی- جنوبی وجود دارد. به عنوان نمونه می‌توان به برج‌های مسکونی پردیس مینودر که شامل ۳ بلوک ۹ طبقه، برج‌های مسکونی اهورا در محمدیه که شامل ۵ بلوک ۸ طبقه، برج مسکونی آژند ایستا شامل ۱۵ طبقه، و تعداد زیادی از مجتمع‌های ۸ طبقه ساخته شده در بخش مهرگان قزوین اشاره کرد. اقدامات کارآمد انرژی به راحتی در ساختمان‌های جدید قابل اجرا می‌باشند ولی ساختمان‌های موجود محدودیت‌هایی از قبیل تغییر جهت‌گیری، شکل و مصالح وجود دارد. این تحقیق تعدادی از پارامترهای کارآمد انرژی را در ساختمان‌های مسکونی که قبلاً ساخته شده مورد بررسی قرار داده است. ساختمان‌های موجود مسئول یک سوم کل مصرف انرژی در سراسر جهان هستند. که از این مقدار بخش قابل توجهی به منظور مطبوع سازی و تأسیسات فضاها کنترل شده در نظر گرفته شده است. [۷]

از این رو تحقیق حاضر با توجه به اهمیت روند گرمایش جهانی، با هدف بررسی تأثیر پارامترهای مختلف مؤثر در عملکرد حرارتی پوسته خارجی بر روی مصرف انرژی به منظور کاهش تقاضای انرژی در بخش سرمایش ساختمان‌های مسکونی بلند مرتبه موجود و در نتیجه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نظیر دی اکسید کربن که خود عامل گرمایش می

ساختمان‌ها نقش دارند و ضریب تأثیر آنها متفاوت است. در میان این پارامترها، پارامترهای مربوط به جداره‌های نور گذر بیشترین ضریب تأثیر را در کاهش بار سرمایشی در ساختمان‌ها دارد.

پیشینه پژوهش

حدود ۴۰ درصد کل انرژی در دنیا سالانه در ساختمان‌های مسکونی و تجاری مصرف می‌شود، که این به معنای سهم یک سومی ساختمان‌ها در صدور گازهای گلخانه‌ای در سرتاسر جهان است. بخش چشمگیری از این انرژی صرف سرمایش، گرمایش و تهویه هوای ساختمان‌ها برای رسیدن به دمای آسایش می‌شود. [۸] با توجه به مصرف بیش از حد انرژی‌های تجدید ناپذیر و مسئله گرمایش جهانی، بررسی پوسته ساختمان‌ها که مرز بین فضای کنترل شده داخل و فضای بیرون را تشکیل می‌دهند، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. [۹] به همین منظور لازم است به بخشی از مطالعات انجام شده در زمینه بهینه سازی جداره خارجی ساختمان جدید اشاره شود که در جدول ۱ خلاصه شده است.

باشد، صورت گرفته است. در ادامه این مطالعه، به بررسی مبانی نظری مرتبط با استراتژی‌های بهینه سازی انرژی پرداخته شده و سپس، با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی، مدل بهینه پوسته خارجی برای ساختمان‌های مسکونی موجود ارائه شده است.

پرسش‌های پژوهش

- ۱- بهسازی عملکرد حرارتی پوسته خارجی بنا به چه میزان در کاهش بار سرمایشی در ساختمان‌های موجود مؤثر خواهد بود؟
- ۲- کدام یک از پارامترهای بهینه سازی عملکرد حرارتی جداره ساختمان ضریب تأثیر بیشتری در کاهش بار سرمایشی در ساختمان دارد؟

فرضیات

اصلاح و بهینه سازی پوسته خارجی بنا در کاهش بار سرمایشی در ساختمان‌های موجود مؤثر است. پارامترهای مختلفی در بهینه‌سازی عملکرد حرارتی جداره ساختمان در کاهش بار سرمایشی در

جدول ۱- خلاصه پیشینه تحقیق در زمینه بهینه سازی جداره خارجی ساختمان

نویسندگان	عنوان	توضیحات
Abdeen et al, 2024 [۱۰]	Simulation-based multi-objective genetic optimization for promoting energy efficiency and thermal comfort in existing buildings of hot climate	نرم افزار: Design Builder متغیرها: - عایق دیوار و سقف - نوع شیشه - نرخ نفوذ - سایه اندازی پنجره نمونه مورد بررسی: ویلای مسکونی ۲ طبقه در شرجه نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل پارامتریک روی ۶ متغیر نتایج: ✓ کاهش ۳۸.۸ درصدی از عایق دیوار بهبود یافته ✓ ۲.۳ درصد کاهش با عایق بندی سقف ✓ ۹.۸ درصد صرفه جویی در استفاده از شیشه سه جداره شفاف ✓ کاهش ۹.۶ درصدی با کاهش نرخ نفوذ به ۲.۵ متر مکعب در ساعت مربع ✓ ۷.۵ درصد صرفه جویی در سایه پنجره
Elnabawi & etal, 2024 [۱۱]	Passive Building Energy Saving: Building Envelope Retrofitting Measures to Reduce Cooling Requirements for	نرم افزار: Design Builder version 7.0 متغیرها: - بام (در این مطالعه گزینه های مختلف سقف مانند سقف های خنک و سبز، شن و ماسه مورد بررسی قرار گرفته است) - عایق حرارتی در جداره های خارجی - نوع شیشه نمونه مورد بررسی: ساختمان ۲ طبقه مسکونی در دبی نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر

نتایج: استفاده از ۵۰ میلی متر عایق پلی استایرن منبسط شده در دیواره های خارجی به طور قابل توجهی مصرف انرژی برای نیازهای سرمایشی در آب و هوای خشک امارات متحده عربی را کاهش می دهد. علاوه بر این، تفاوت قابل توجهی در انتخاب های مختلف سقف از جمله سقف های خنک و سبز، شن و سقف های ماسه ای مشاهده نشد. علاوه بر این، انتقال کل انرژی خورشیدی (g-value) پنجره ها نقش مهم تری نسبت به انتقال حرارتی (U-value) در کاهش گرمای خورشیدی در فضاها دارد.	a Residential Building in an Arid Climate	
نرم افزار: نرم افزار TRNSYS 17 متغیرها: -ابعاد باز شو - متریال دیوارهای خارجی و بام نمونه مورد بررسی: اتاق خواب به ابعاد ۴ در ۴ متر به ارتفاع ۳ متر در الجزایر نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر نتایج: ✓ دیوارهای دو حفره ای از نظر آسایش حرارتی در دوره تابستان مزایای خاصی را ارائه می دهند. ✓ جهت گیری های جنوبی و شمالی مقادیر دمای داخلی مطلوب تری نسبت به مقادیر ثبت شده در شرق و غرب ارائه می دهند.	Envelope design for thermal performance in residential buildings under hot arid climate conditions	[۱۲] Latreche & etal, 2022
نرم افزار: Design Builder متغیرها: -درصد پنجره به دیوار -متریال طبقه همکف، سقف، دیوار - نوع سایه بان -میزان نفوذ هوا -نوع پنجره -میزان تهویه طبیعی - جهت گیری نمونه مورد بررسی: مسکونی یک طبقه نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل همزمان روی ۱۲ متغیر با هدف کاهش بار سرمایشی و گرمایشی و مصرف انرژی نتایج: میزان انرژی صرفه جویی شده برای کل مصرف انرژی، بار سرمایشی و بار گرمایشی به ترتیب ۸۸/۱، ۹۴/۲ و ۷۸/۵ درصد بود.	Optimising the Parameters of a Building Envelope in the East Mediterranean Saharan, Cool Climate Zone	[۶] Albatayneh, 2021
نرم افزار: eQuest متغیرها: -جهت بازشوها -جهت گیری بنا -شکل ساختمان نمونه مورد بررسی: ساختمان مسکونی ۶ طبقه نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر نتایج: کاهش مصرف ۳۵ درصدی انرژی الکتریکی به صورت سالانه	Thermal Performance Optimization for Residential Buildings in Basra City	[۳] ۲۰۲۱ Ibrahim & etal,
نرم افزار: eQuest متغیرها: -عایق جداره های خارجی -نسبت ابعاد باز شو به دیوار -سایه اندازی پنجره ها -نوع بهینه سیستم تأسیسات و نورپردازی نمونه مورد بررسی: ساختمان مسکونی ۲ طبقه در ریاض و قاسم نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر نتایج: کاهش مصرف انرژی ۲۷ تا ۲۹ درصد برای دیوارها، ۱۳ تا ۱۴ درصد برای سقف ها و ۶ درصد برای پنجره ها	Evaluating the potential energy savings of residential buildings and utilizing solar energy in the middle region of	Almushaikh and Almasri, [۱۳] 2020

	Saudi Arabia— Case study	
نرم افزار: Design Builder متغیرها: -جرم حرارتی -عایق حرارتی -نوع شیشه (۴ مدل) نمونه مورد بررسی: ساختمان مسکونی ۲ طبقه در اربیل عراق نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر نتایج: کاهش ۴۷.۲۸ درصدی بار سرمایشی	Cooling Load Reduction in a Single-Family House, an Energy-Efficient Approach	[۱۴]Algburi & Behan, 2019
نرم افزار: Design Builder (Version 4.5.0.148) متغیرها: -پوسته خود سایه انداز -دیوارهای خارجی و سقف با فایبرگلاس عایق بندی شده و پنجره ها دوجداره شدند نمونه مورد بررسی: هتل ۱۰ طبقه نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر نتایج: ✓ صرفه جویی در مصرف انرژی سالانه ساختمان به میزان ۲۰.۵ درصد نسبت به مدل پایه ✓ تنها کاهش ۵ درصدی در صورت عدم سایه اندازی و استفاده از پارامتر دوم	Impact of external shading strategy on energy performance of multi-story hotel building in hot-humid climate	[۱۵] ۲۰۱۹ & etal, Alhuwayil
نرم افزار: Design Builder متغیرها: -اضافه کردن عایق حرارتی به بام و دیوارهای خارجی -تغییر نوع شیشه نمونه مورد بررسی: ساختمان مسکونی ۲ طبقه در عربستان نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر نتایج: ✓ بهترین صرفه جویی در انرژی (۲۱ تا ۲۷ درصد) با تغییر نوع پنجره از شیشه تک شفاف به شیشه دوجداره با سطح بازتابنده به دست آمد. ✓ افزودن عایق به سقف های بدون عایق (۲۳ درصد صرفه جویی در مصرف انرژی)، افزایش عایق حرارتی دیوارهای خارجی (۱۱-۲۱ درصد) و نصب سایه های ثابت (۸-۱۳ درصد).	Buildings in Arid Desert Climate: Improving Energy Efficiency with Measures on the Building Envelope	[۱۶]Wahl, 2017
نرم افزار: Design Builder متغیرها: -عایق کاری دیوارهای خارجی -دوجداره کردن شیشه ها نمونه مورد بررسی: ساختمان روستایی یک طبقه نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر نتایج: ۶۰ درصد کاهش در بار گرمایشی	Analysis and optimization on energy performance of a rural house in northern China using passive retrofitting	[۱۷] ۲۰۱۷Liang & etal,
نرم افزار: Design Builder متغیرها: -عایق حرارتی در بام و دیوارهای خارجی -شیشه دوجداره با سایه بان	Developing sustainable residential	[۱۸]Taleb and Sharples, 2011

نمونه مورد بررسی: ساختمان مسکونی ۳ طبقه در عربستان	buildings in Saudi Arabia: A case study	یاری نژاد و مهروان، ۱۴۰۳ [۱۹]
نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر		
نتایج: کاهش ۳۲.۴ درصدی در مصرف سالانه انرژی الکتریسیته		
نرم افزار: Design Builder	بررسی تأثیر بهینه سازی پوسته خارجی و جدار نورگذر بر کاهش مصرف انرژی و زمان بازگشت سرمایه ساختمان های آموزشی در اقلیم معتدل با تابستان های خشک و بسیار گرم	مولایی و یونسی، ۱۴۰۳ [۲۰]
متغیرها: - نوع و ضخامت عایق کاری - نوع و ضخامت شیشه و گاز مابین جدار شیشه		
نمونه مورد بررسی: آموزشی ۲ طبقه در کرمانشاه		
نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر	بررسی تأثیر بهینه سازی پوسته خارجی و جدار نورگذر بر کاهش مصرف انرژی و زمان بازگشت سرمایه ساختمان های آموزشی در اقلیم معتدل با تابستان های خشک و بسیار گرم	مولایی و یونسی، ۱۴۰۳ [۲۰]
نتایج:		
✓ عایق پلی یورتان به ضخامت ۱۰ سانتی متر بهترین عملکرد را دارد.		
✓ در کلاس درس شمالی شیشه دوجداره با شیشه کم گسیل ۳ میلی متری با گاز آرگون ۱۳ میلی متری با ۲۸.۴۰ درصد کاهش انرژی و در کلاس درس جنوبی شیشه سه جداره با شیشه معمولی ۳ میلیمتر و ۱۳ میلیمتر هوا با ۲۳.۰۴ درصد بهترین عملکرد را دارد.	بررسی تأثیر بهینه سازی چند هدفه فرم پارامتریک بنای مسکونی بومی بر پایه آسایش در اقلیم گرم و خشک شهر یزد	حسینی واجاری و همکاران، ۱۴۰۳ [۲۱]
✓ عایق پشم سنگ با زمان بازگشت سرمایه ۲۷.۹۲ سال مناسبترین عایقکاری می باشد.		
نرم افزار: مدلسازی در گرسهپار، شبیه سازی هانی بی و لیدی باگ		
متغیرها: -شاخص فشردگی -فاکتور شکل -جهت گیری ساختمان	بررسی تطبیقی عملکرد حرارتی سایبان های چندلایه با هندسه های پیچیده در نمای دو پوسته	مهروز و همکاران، ۱۴۰۳ [۲۲]
نمونه مورد بررسی: بنای مسکونی در یزد		
نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل پارامتریک با هدف آسایش حرارتی		
نتایج: بهینه ترین فرم با در نظر گرفتن شاخص آسایش حرارتی فرم مکعب مستطیل با فاکتور شکل حدود ۱/۸ و جهتگیری شمالی-جنوبی است.	بررسی تأثیر بهینه سازی پوسته خارجی و جدار نورگذر بر کاهش مصرف انرژی و زمان بازگشت سرمایه ساختمان های آموزشی در اقلیم معتدل با تابستان های خشک و بسیار گرم	مولایی و یونسی، ۱۴۰۳ [۲۰]
نرم افزار: سالیدورک و کامسول مولتی فیزیک		
متغیرها: نوع سایبان		
نمونه مورد بررسی: ساختمان مسکونی تک واحد با نمای جنوبی و دوپوسته	بررسی تأثیر بهینه سازی پوسته خارجی و جدار نورگذر بر کاهش مصرف انرژی و زمان بازگشت سرمایه ساختمان های آموزشی در اقلیم معتدل با تابستان های خشک و بسیار گرم	مولایی و یونسی، ۱۴۰۳ [۲۰]
نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر		
نتایج: هندسه و سرعت جریان هوا بر سرعت و آشفته گی جریان هوا در داخل حفره پاکت دوپوسته تأثیرگذار است. هندسه ای با سایبان چندلایه (غیرمقارن)، ۱۸/۵ درصد کاهش دما را در همین سرعت باد نشان داد. بیشترین کاهش دما در هندسه ای با سایبان چندلایه (غیرمقارن) و سرعت جریان هوای ۵ متر بر ثانیه رخ داده است. به عبارتی، بهترین عملکرد حرارتی در سایبانهای چند لایه مشاهده شده است.	بررسی تأثیر بهینه سازی پوسته خارجی و جدار نورگذر بر کاهش مصرف انرژی و زمان بازگشت سرمایه ساختمان های آموزشی در اقلیم معتدل با تابستان های خشک و بسیار گرم	مولایی و یونسی، ۱۴۰۳ [۲۰]
نرم افزار: مدلسازی در گرسهپار و افزونه والسی		
متغیرها: -تناسبات اتاق -ارتفاع اتاق -نسبت سطح باز شو به دیوار - ارتفاع شناشیر از سقف و کف		

نمونه مورد بررسی: ساختمان اداری نحوه تحلیل متغیرها: پارامتریک نتایج: با بهینه سازی عناصر معماری به کار رفته در مسکن بوشهر، روشنایی مفید نور روز را تا ۹۶٪ افزایش و مصرف انرژی را تا ۱۷۴.۱ کیلووات ساعت بر متر مربع کاهش می‌یابد. در اقلیم گرم و مرطوب علاوه بر اهمیت استفاده از تهویه طبیعی توجه به حداقل جذب تابش خورشید اهمیت فراوانی دارد.	آسایش بصری و کنترل مصرف انرژی	
نرم افزار: گرسه‌پار-لیدی باگ و دراگون فلائی متغیرها: طرح چیدمان -فرم بلوک -تناسبات بلوک نمونه مورد بررسی: مجتمع مسکونی در شهر زنجان نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر نتایج: بهترین فرم های کارآمد هشت ضلعی و مربع شکل است و الگوهای که کشیدگی آن ها و نسبت طول به عرض بلوک ها در محدوده های ۱ تا ۱.۶ قرار دارند در مجموع دارای مصارف انرژی بهتری هستند.	گونه شناسی بلوک‌های مسکونی شهر زنجان با هدف ارزیابی عملکرد بارهای حرارتی	سیاحی و همکاران، ۱۴۰۳ [۲۳]
نرم افزار: Design Builder متغیرها: -جهتگیری -مصالص هواکش -موقعیت های مختلف هواکش نسبت به دیوار نمونه مورد بررسی: ساختمان مسکونی ۴ طبقه در ۶ زون در دزفول نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر نتایج: تغییرات مصالح و چرخش در سایت می تواند باعث تغییر عملکرد هواکش شود. مشخصا عملکرد شیشه می تواند بهتر از آلومینیوم باعث افزایش سرعت هوا شود. اما موقعیت هواکش در پلان تفاوت چشمگیری را عملکرد هواکش ایجاد نمی کند.	بررسی تهویه آپارتمان‌های اقلیم گرم و نیمه مرطوب	رضادوست دزفولی و همکاران، ۱۴۰۲ [۲۴]
نرم افزار: گرسه‌پار (هانی بی و لیدی باگ) متغیرها: -نوع هندسه - درصد تخلخل نمونه مورد بررسی: ساختمان اداری ۵ طبقه در مشهد نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر نتایج: با بکارگیری نمای دوپوسته متحرک با قابلیت کنترل ورود نور روز ارائه شده؛ که در نهایت این پوسته متحرک حدودا ۱۳۰ هزار کیلووات ساعت در سال، مصرف انرژی ساختمان را کاهش می دهد.	تاثیر نمای دو پوسته متحرک در بهره وری مصرف انرژی در ساختمان اداری خیام مشهد	خیامی و دانشجو، ۱۴۰۲ [۲۵]
نرم افزار: مدلسازی در نرم افزار Revit، شبیه سازی انرژی در Design Builder متغیرها: عایقکاری پوسته خارجی ساختمان نمونه مورد بررسی: مسکونی ۲ طبقه در شهر تهران نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر نتایج: کاهش ۱/۹۷ kW و ۲.۲ kW در میزان بارهای سرمایش و گرمایش و ۷۳۷/۳۹ kWh در میزان مصرف انرژی	تاثیر عایقکاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان بر میزان مصرف انرژی، تحت مدلسازی اطلاعات ساختمان BIM (نمونه موردی شهر تهران)	زهانی و کر، ۱۴۰۰ [۲۶]
نرم افزار: Ecotect2011 متغیرها: -الگوی توزیع تراس - عمق تراس	بررسی نقش تخلخل در خودسایه‌اندازی و کاهش	سلیقه و سعادت جو، ۱۳۹۸ [۲۷]

نمونه مورد بررسی: تراس آپارتمان ۴ طبقه در بندرعباس نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر نتایج: تغییرات عمق تراس تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر میزان سطوح تحت سایه ندارد و دامنه انرژی تابشی دریافتی در ارتباط مستقیم با تغییرات عمق تراس نیست. در حالت کلی مدل‌های متخلخل دانه‌ای بهترین و مدل‌های متخلخل ردیفی بدترین رفتار از منظر سایه‌اندازی و انرژی تابشی دریافتی را دارند.	انرژی دریافتی جداره‌ها در ساختمان‌های اقلیم گرم و مرطوب	
نرم افزار: Design Builder متغیرها: WWR- SHGC- U value نمونه مورد بررسی: ۲۶ تک فضا در ۱۶ نمونه از خانه ها و مدارس تاریخی کرمان نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر نتایج: نسبت ۳۰٪ به عنوان نسبت بهینه پنجره به دیوار مشخص شد. نسبت بهینه پنجره به دیوار در جبهه جنوبی دیوار در شهر کرمان، در صورت استفاده از شیشه‌های تک جداره برابر ۱۵٪ و در صورت استفاده از پنجره دوجداره برابر ۳۰٪ می‌شود، مشروط بر آن که ضریب بهره حرارتی خورشیدی پنجره از ۰/۴ کمتر نباشد.	تعیین نسبت بهینه پنجره به دیوار در جبهه جنوبی ساختمان‌های آموزشی در کرمان	فلاح، ۱۳۹۸ [۲۸]
نرم افزار: گرسه‌پار (هانی بی و لیدی باگ) متغیرها: -تناسبات پنجره - موقعیت های متنوع پنجره نمونه مورد بررسی: اتاق اداری در شهر تهران نحوه تحلیل متغیرها: پارامتریک و همزمان نتایج: پنجره در جبهه شمال شرقی و بعد از آن در شرق، بهترین نتایج را داشته‌اند. نسبت پنجره به دیوار ۲۰٪ تا ۲۸٪ با طول و عرض به ترتیب به‌طور میانگین ۶/۵۳ و ۰/۹ متر برای مدل پژوهش ایده‌آل‌ترین پاسخ ممکن بود. فاصله جداره پنجره‌ها از لبه دیوار و فاصله لبه بالای پنجره از کف به ترتیب به‌طور میانگین ۰/۶۵ و ۲/۲۲ متر بود.	بهینه سازی تناسبات بازشو و جبهه نورگیری با رویکرد کاهش مصرف انرژی در ساختمان های اداری	مولایی و همکاران، ۱۳۹۸ [۲۹]
نرم افزار: گرسه‌پار (مدلسازی پارامتریک سایه اندازها) و دیزاین بیلدر (شبیه سازی انرژی نمای دوپوسته با سایه اندازهای بهینه افقی و قائم) متغیرها: نوع سایبان (افقی و عمودی) نمونه مورد بررسی: اتاق اداری با ابعاد ۴ در ۵ متر و ارتفاع ۳ متر با پنجره جنوبی نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر نتایج: سایه‌اندازهای متحرک بهینه تر از حالت ثابت خود و سایه‌انداز کرکره افقی متحرک نیز بهینه‌ترین گزینه است. مجموع انرژی مصرفی سایه‌انداز کرکره افقی متحرک، بهینه‌ترین گزینه پیشنهادی، نسبت به سایه‌انداز کرکره‌ای افقی ثابت ۲۷٪/۳۴، نسبت به حالت کرکره‌ای قائم ثابت و متحرک به ترتیب ۸۷٪/۱۱ و ۳۷٪/۱ و نسبت به نمای دوپوسته بدون حضور سایه‌اندازها ۶۹٪/۵۰ بهینه تر است.	عملکرد سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم متحرک در نمای دوپوسته ساختمان‌های اداری؛ ارزیابی و شبیه‌سازی پارامتریک	رسولی و همکاران، ۱۳۹۸ [۳۰]
نرم افزار: Design Builder		مداحی و توانایی، ۱۳۹۸ [۸]

متغیرها: -جنس مصالح به کار رفته در نمای خارجی -ابعاد بازشو نسبت به نما	بهینه سازی عملکرد حرارتی جداره های خارجی یک ساختمان مسکونی میان مرتبه در اقلیم سرد و خشک با بهره گیری از نرم افزار شبیه ساز انرژی	
نمونه مورد بررسی: ساختمان مسکونی ۵ طبقه روی پیلوت در مشهد (تحلیل یک طبقه به علت سنگین شدن شبیه سازی)		
نحوه تحلیل متغیرها: بهینه سازی همزمان از طرق تحلیل پارامتریک		
نتایج: بلوک AAC با عایق حرارتی پلی استایرن اکستروود شده به عنوان مصالح بهینه در این اقلیم و بازه پیشنهادی برای بازشوها نسبت به نما ۲۵ تا ۳۰ درصد ارزیابی شده است		
نرم افزار: انرژی پلاس	ارزیابی میزان تاثیر نمای خارجی ساختمان بر مصرف انرژی سالانه در اقلیم های مختلف ایران	ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۳ [۳۱]
متغیرها: مصالح نما		
نمونه مورد بررسی: فضای مدلسازی مطابق با نمونه ۶۰۰ استاندارد اشرفی ۱۴۰ در نظر گرفته شده است که ابعاد آن ۸ در ۶ در ۲.۷ مترمکعب و دارای دو پنجره هر کدام به ابعاد ۶ مترمربع در جدار جنوبی میباشد		
نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر		
نتایج: برای شهر تهران استفاده از آجر نما با ۶.۹ درصد کاهش مصرف، شهر بندرعباس نمای آجر نسوز با حدود ۲۳ درصد کاهش مصرف و برای شهر تبریز نمای بتن رنگی با ۷.۱ درصد کاهش مصرف		
نرم افزار: IES-VE	مطالعه رفتار حرارتی مصالح رایج در ساخت دیوار مطالعه موردی: ساختمانهای مسکونی شهر تهران	شقایق محمد، ۱۳۹۲ [۳۲]
متغیرها: -جرم حرارتی -عایق حرارتی		
نمونه مورد بررسی: ساختمان ۴ طبقه مسکونی روی پیلوت (به منظور بررسی شرایط محیط داخل، یکی از فضاهای داخلی ساختمان انتخاب گردید. این فضا اتاق خواب واحد شرقی به عرض ۳.۴۵ و عمق ۵.۴۰ است که دارای پنجره های به ابعاد ۱.۶ در ۱.۷ متر رو به جنوب می باشد)		
نحوه تحلیل متغیرها: تحلیل تکی هر پارامتر		
نتایج: دیوار ساخته شده از دو ردیف بلوک لیکای ۱۰ سانتیمتری با ۵ سانتیمتر عایق در میانه آنها مناسب ترین عملکرد را از نظر توانایی تامین آسایش حرارتی داراست.		

انرژی برخوردار است. با توجه به تمامی مطالعه ها در بررسی اهمیت این پژوهش نسبت به سایر پژوهش های انجام شده باید خاطرنشان کرد که تاکنون مطالعه گسترده ای در بخش بهینه سازی انرژی در ساختمان های مسکونی بلند مرتبه صورت نگرفته است. همچنین تاکنون مطالعه جامعی در حوزه بهینه سازی انرژی از طریق نرم افزار شبیه سازی در شهر قزوین نیز صورت نگرفته است. از طرفی در بسیاری از تحقیقات تنها متغیرهای محدودی به صورت جداگانه مورد

بررسی پیشینه پژوهش نشان می دهد که پارامترهای موثر در بهینه سازی پوسته خارجی ساختمان ها به صورت قابل ملاحظه ای در کاهش مصرف انرژی موثر می باشند. بسیاری از پارامترهای بررسی شده از قبیل ابعاد بازشو، فرم و تناسبات، فاکتور شکل، جهت گیری و متریا ل مورد استفاده در جداره ها و ... در مطالعات پیشین مربوط به اقدامات بخش طراحی ساختمان می باشد، در حالی که بهسازی ساختمان های موجود نیز از اهمیت قابل ملاحظه ای در کاهش مصرف

ابزار تحلیل حساسیت به بررسی ضریب کارامدی هر یک از پارامترها در هدف پژوهش که بار سرمایشی می باشد، پرداخته شده و پارامترهای مؤثر انتخاب شده و در مرحله بعد برای هر یک از پارامترهای انتخاب شده، تعدادی متغیر در نظر گرفته و از طریق تحلیل پارامتریک به بررسی تأثیر همزمان متغیرها بر بار سرمایشی در نمونه مورد بررسی پرداخته شده و در نهایت با ترکیب متغیرهای مؤثر به یک مدل بهینه برای پوسته ساختمان دست یافته که نه تنها در تمامی ساختمان‌های مسکونی موجود بلکه در ساختمان‌ها با کاربری متفاوت نیز در اقلیم‌های مشابه در تعداد طبقات متفاوت قابل اجرا می‌باشد.

به طور کلی طبق استاندارد CIBSE(Chartered Institution of Building Services Engineers)،

دمای آسایش در زمستان بین ۱۸ تا ۲۳ درجه سانتیگراد و در تابستان زیر ۲۷ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می شود. [۳۳] به این ترتیب در بخش شبیه‌سازی، ست پوینت دمای گرمایشی ۲۰ درجه سانتیگراد و ست پوینت دمای سرمایشی ۲۴ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است. سیستم نورپردازی ال ای دی و سوخت مورد نیاز برای گرمایش گاز طبیعی و برای سرمایش الکتریسیته می‌باشد. ست پوینت تهویه طبیعی با برنامه زمانی تابستان ۲۲ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است و تحلیل به صورت سالانه می‌باشد. البته باید توضیح داده شود که در بخش مدل‌سازی و تحلیل انرژی فقط به تغییر پارامترها در ۱۵ طبقه مسکونی پرداخته شده و طبقه همکف که کاربری تجاری دارد، شامل تغییرات و بهینه‌سازی نمی‌باشد. با توجه به پلان و کاربری یکسان ۱۵ طبقه، به منظور جلوگیری از سنگین شدن در هنگام پردازش از قابلیت ضریب تکرار منطقه در نرم افزار استفاده شده است. ضریب تکرار منطقه به شما این امکان را می‌دهد تا اندازه مدل خود را در مواردی که ناحیه‌های مشابهی وجود دارد کاهش دهید. این کار با مشخص کردن این موضوع که برخی از ناحیه‌ها تکرار می‌شوند و بنابراین تنها یک بار نیاز به شبیه‌سازی دارند، انجام می‌شود. یک کاربرد معمولی برای ساختمان‌های چند طبقه با طبقات یکسان (یا بسیار مشابه) است. به این ترتیب که طبقه اول و پانزدهم و هشتم به طور کامل مدل‌سازی شده و برای طبقات میانی در کاربرگ

ارزیابی قرار گرفته است و تأثیر همزمان آنها بر روی هدف مورد نظر در تعداد محدودی مورد بررسی قرار گرفته است. امکان آنالیز حساسیت متغیرها (Sensitivity Analysis) و رسیدن به متغیر بهینه با بیشترین ضریب تأثیر در بار سرمایشی و تحلیل پارامتریک مولفه‌ها برای رسیدن به مدل ساختمان بهینه از دیگر نکات مهم این پژوهش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مقاله حاضر ماهیتی کاربردی دارد چرا که به دنبال ارائه راهکارهایی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی ساخته شده در سطح شهر می‌باشد. روش تحقیق در این پژوهش ترکیبی، کیفی (مطالعات در زمینه مبانی نظری) و کمی (شبیه‌سازی انرژی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر) می‌باشد. این بخش به تشریح فرآیند بهینه‌سازی پارامترهای طراحی پوسته ساختمان در یک مدل ساختمان مسکونی بلند مرتبه در قزوین می‌پردازد. این فرآیند شامل موارد زیر است:

- استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر برای شبیه‌سازی عملکرد حرارتی ساختمان مرجع
 - ارزیابی حساسیت پارامترهای طراحی بر بار سرمایش ساختمان
 - ارائه راه‌حل بهینه برای این پارامترهای طراحی
- دلیل انتخاب نمونه مورد بررسی این است که در شهر قزوین تعداد قابل توجهی از ساختمان‌های مسکونی بلند مرتبه با کشیدگی شمالی- جنوبی وجود دارد. به عنوان نمونه می‌توان به برج‌های مسکونی پردیس مینودر که شامل ۳ بلوک ۹ طبقه، برج‌های مسکونی اهورا در محمديه که شامل ۵ بلوک ۸ طبقه، برج مسکونی آژند ایستا شامل ۱۵ طبقه، و تعداد زیادی از مجتمع‌های ۸ طبقه ساخته شده در بخش مهرگان قزوین اشاره کرد. در مرحله اول ساختمان مورد نظر براساس نقشه‌های ساخته شده در نرم‌افزار مدل‌سازی شده و شبیه‌سازی انرژی در آن صورت گرفت و میزان مصرف انرژی، بار گرمایشی و سرمایشی، نفوذ هوای ناخواسته از پوسته خارجی، اتلاف حرارتی، نور و ... در آن بررسی شده است. در مرحله دوم پارامترهای غیر فعال تأثیرگذار بر عملکرد حرارتی پوسته خارجی ساختمان در نظر گرفته شده و برای این کار از روش گردآوری اطلاعات بر اساس مطالعات مقالات معتبر علمی داخلی و خارجی بهره گرفته شده است. سپس از طریق

است. این نرم افزار یکی از به روز ترین و معتبرترین نرم افزارهای کنونی دنیا برای شبیه سازی ساختمان ها از جنبه انرژی است که در آن بار سرمایش و گرمایش را بر اساس استاندارد ASHRAE و با استفاده از معادلات موازنه حرارتی موجود در انرژی پلاس محاسبه می نماید. مزیت این نرم افزار، انجام همزمان ترسیمات و محاسبات است که می تواند بدون ترک محیط آن انجام پذیرد. مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی و ممیزی انرژی و اندازه گیری میدانی نشان می دهد که نتایج نرم افزار دیزاین بیلدر به شرایط واقعی نزدیک تر است. در این نرم افزار با وارد کردن فایل اقلیمی شهر مورد نظر می توان ساختمان را در شرایط اقلیمی واقعی شبیه سازی کرد تا مشخص شود ساختمان مورد نظر در واقعیت چگونه عمل می کند. [۳۵] اعتبار نرم افزار انرژی پلاس که موتور شبیه سازی دیزاین بیلدر است، بر اساس استانداردهای جدول ۲ تایید شده است.

جدول ۲: استانداردهای نرم افزار دیزاین بیلدر (<http://designbuilder.co.uk/>)

توضیح	استاندارد
سیستم های گرمایشی در ساختمان ها. روش محاسبه بار حرارتی طراحی	ISO EN 12831
آزمایش اعتبارسنجی برای نشان دادن تطابق دما و جریان انرژی با سایر نرم افزارهای شبیه سازی	ASHRAE 140/BESTEST
	ISO EN 13790
	ISO EN 15193
	CIBSE TM33

جهت گیری، ساختمان ها می توانند مصرف انرژی را کاهش دهند، انتشار گازهای گلخانه ای را کمتر کنند و آسایش ساکنان را افزایش دهند. عوامل کلیدی که بر جهت گیری ساختمان تأثیر می گذارند شامل عناصر طبیعی مانند تابش خورشیدی، بادهای غالب و رطوبت اتمسفر، و همچنین عوامل ساخته دست بشر مانند پوشش گیاهی و سازه های همسایه هستند. در محیط های شهری، چیدمان خیابان ها و ساختمان های مجاور بر میزان دریافت نور خورشید و تهویه تأثیر می گذارند که این امر آسایش حرارتی و بهره وری انرژی را تحت تأثیر قرار می دهد. مطالعات نشان می دهند که تراز کردن محور طولی ساختمان در جهت شرق-غرب برای بهینه سازی جذب نور خورشید و سایه اندازی مناسب است.

اکتیویته برای طبقه هشتم در قسمت زون مالتیپلیر عدد ۱۳ برای شبیه سازی طبقات مشابه میانی قرار داده شده است. قطعاً طبقات بالایی و پایینی با استفاده از ضریب تکرار منطقه (zone multiplier) امکان پذیر نیست، چرا که آنها به ترتیب با سقف و زمین مجاورت دارند و بنابراین باید در مدل حفظ شوند. با این حال، هر ۱۳ طبقه میانی عملکرد و مجاورت یکسانی دارند و بنابراین می توانند ترکیب شوند.

نرم افزار: در این تحقیق از نرم افزار دیزاین بیلدر ورژن 6.1 که موتور شبیه سازی آن انرژی پلاس بوده که توسط بخش انرژی آمریکا در سال ۲۰۱۱ میلادی توسعه یافته و به عنوان یکی از معتبرترین نرم افزارهای مدلسازی انرژی شناخته شده است [۳۴]، استفاده شده است. این نرم افزار می تواند بر اساس ASHRAE 90.1/ SI محاسبه کند. دیزاین بیلدر یکی از خاص ترین نرم افزارهای شبیه سازی انرژی ساختمان

مبانی نظری

در این بخش به توضیح استراتژی های غیر فعال بهینه سازی انرژی به کار رفته در پوسته ساختمان پرداخته شده است:

جهت گیری ساختمان: جهت گیری ساختمان به قرارگیری استراتژیک یک سازه در محل خود، شامل جای گذاری بازشوها، انواع سقف و ابزارهای سایه اندازی، اشاره دارد. جهت گیری مؤثر با هدف حداکثر کردن نور طبیعی و به حداقل رساندن اتکا به سیستم های گرمایشی و سرمایشی مصنوعی انجام می شود. این رویکرد تضمین می کند که ساختمان ها می توانند نور خورشید را به صورت کارآمد جذب کرده و جریان هوای طبیعی را تقویت کنند، که برای طراحی پایدار و با بهره وری انرژی حیاتی است. با بهینه سازی

این تراز به نمای جنوبی اجازه می‌دهد تا در ماه‌های سردتر، گرمای بیشتری جذب کند، در حالی که نمای شمالی در گرمای شدید تابستان خنک‌تر باقی می‌ماند. جهت‌گیری صحیح همچنین تهویه طبیعی و نورپردازی روز را بهبود می‌بخشد، نیاز به سیستم‌های مکانیکی را کاهش داده و به صرفه‌جویی در انرژی کمک می‌کند. [۳۶]

عایق حرارتی در جداره‌های خارجی (بام، دیوارهای خارجی و کف خارجی): با توجه به افزایش روزافزون تقاضای انرژی، استفاده از مواد عایق حرارتی در ساختمان‌ها طی چند دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. عایق حرارتی شامل مواد یا ترکیباتی است که در صورت اجرای صحیح، به طور مؤثر مانع از جریان گرما از طریق رسانایی (conduction)، همرفت (convection)، و تابش (radiation) می‌شوند. استفاده از محصولات عایق حرارتی، وابستگی به سیستم‌های گرمایشی، تهویه و تهویه مطبوع (HVAC) برای حفظ آسایش در محیط داخلی را کاهش می‌دهد، که این امر به صرفه‌جویی در انرژی و به حداقل رساندن مصرف منابع طبیعی منجر می‌شود. مزایای دیگر مواد عایق حرارتی شامل کاهش هزینه‌ها، خواص دوست‌دار محیط زیست، افزایش مدت زمان آسایش حرارتی داخلی، کاهش صدا و محافظت در برابر آتش است. همچنین، عایق‌کاری به بهره‌وری انرژی در بخش‌های دیگری مانند سردخانه‌های مواد غذایی، یخچال‌ها و خطوط لوله نفت و گاز طبیعی مایع کمک می‌کند. عایق‌بندی یک روش با بهره‌وری انرژی است که در ساختمان‌های مسکونی، تجاری و صنعتی استفاده می‌شود. عایق حرارتی می‌تواند از یک ماده یا ماده کامپوزیت با مقاومت حرارتی بالا ساخته شود و نرخ جریان گرما را کاهش دهد. عایق‌بندی ساختمان به حفظ دمای مطلوب در فضای داخلی کمک می‌کند، در حالی که از اتلاف گرما به محیط جلوگیری می‌کند. [۳۷]

جرم حرارتی مصالح: مصالحی که دارای جرم حرارتی زیاد هستند، هنگامی که در معرض حرارت قرار می‌گیرند، می‌توانند حرارت بیشتری در قیاس با سایر مصالح در خود ذخیره کنند. آنها همچنین هنگامی که منبع حرارت حذف شود، گرمای ذخیره در خود را با سرعت کمتری آزاد می‌کنند. در روزهای زمستان، مصالح

با جرم حرارتی بالا، انرژی حرارتی حاصل از تابش خورشید را که از طریق بازشوها وارد فضای داخل گردیده و محبوس شده است در خود ذخیره کرده و سپس عصر هنگامی که خورشید غروب کرده و منبع حرارت حذف گردیده است و نیاز به گرما در فضای داخلی بیشتر است، دوباره به آهستگی این حرارت را به فضای داخل باز پس می‌دهند. این امر موجب کاهش بار گرمایشی ساختمان می‌گردد. [۳۸] به کمک ظرفیت حرارتی عناصر ساختمان، از نوسان شدید دما در فضای داخل کاسته می‌شود. میزان نیاز به عناصر حرارتی با ظرفیت حرارت زیاد بستگی به نوع استفاده از فضا دارد. در فضاهایی که در طول شبانه روز به طور مداوم از آنها استفاده می‌شود اینرسی حرارتی زیاد مطلوب است و عایق‌کاری حرارتی در سمت خارجی پوسته ساختمان توصیه می‌گردد. اما در فضاهای با استفاده منقطع در طول شبانه روز، اینرسی حرارتی بهتر است تا حد ممکن کم باشد و عایق‌کاری حرارتی در سمت داخلی پوسته ساختمان صورت گیرد. [۳۹]

نوع شیشه: یکی از ضعیف‌ترین نقاط در کنترل حرارت شیشه‌ها می‌باشند. سه پارامتر کلیدی برای ارزیابی عملکرد و ویژگی‌های پوشش شیشه‌ای ضریب انتقال حرارت U ، میزان انتقال نور مرئی (Visible Transmittance) T_v و ضریب افزایش گرمای خورشیدی (Solar Heat Gain Coefficient) $SHGC$ است. T_v میزان شفافیت شیشه را نشان داده و شامل بخشی از نور مرئی است که از شیشه عبور می‌کند. T_v پایین‌تر نشان‌دهنده انتقال نور کمتر و خیرگی کمتر است که آسایش بصری را افزایش می‌دهد [۴۰]. $SHGC$ عددی بین ۰-۱ می‌باشد و نشان می‌دهد که چه مقدار یک پنجره گرمای خورشید را مسدود می‌کند. بنابراین، هر چه این عدد کمتر باشد، میزان گرمایی که از بیرون از پنجره‌ها وارد زون می‌شود را کاهش می‌دهد و این به معنای کاهش بار سرمایشی و هزینه‌های مربوط به آن می‌باشد. [۴۱] مقدار U به عنوان ضریب انتقال حرارت استفاده می‌شود و U -value پایین‌تر نشان‌دهنده اتلاف حرارت کمتر و بهبود عملکرد عایق‌بندی است. بهره‌وری انرژی ساختمان می‌تواند با استفاده از شیشه‌هایی که علاوه بر ضرایب انتقال حرارت، میزان جذب

مانع از ورود تابش مستقیم خورشید به داخل و افزایش دما و ایجاد شرایط نامطلوب حرارتی در فضای داخل میشود. ابعاد سایبان باید به اندازه‌های باشد که، در اوقات گرم سال، از تابش خورشید به داخل جلوگیری کند و در اوقات سرد، برای استفاده از گرمای تابشی خورشید، امکان ورود تشعشع خورشید را به داخل فراهم کند. [۳۹]

تهویه طبیعی: تهویه یکی دیگر از جنبه‌های حیاتی طراحی ساختمان است. تهویه طبیعی از باد و شناوری برای وارد کردن و توزیع هوای تازه استفاده می‌کند و محیطی سالم را در فضای داخلی حفظ می‌کند. این روش به تنظیم حرکت هوا، مدیریت شرایط حرارتی و کنترل رطوبت کمک می‌کند. یکپارچه‌سازی تهویه طبیعی با طراحی معماری، از طریق عناصری مانند برج‌ها، آتریوم‌ها، و جرم حرارتی، می‌تواند آسایش و رفاه داخلی را افزایش دهد. تهویه طبیعی می‌تواند توسط فشارهای باد یا تفاوت‌های چگالی بین هوای داخل و خارج هدایت شود. تهویه با نیروی باد بر اختلاف فشارهای جوی ناشی از باد تکیه دارد. نزدیک سطح زمین، سرعت باد تحت تأثیر اصطکاک سطحی و زمین قرار می‌گیرد و تغییراتی در لایه مرزی جو ایجاد می‌کند. قرارگیری بازشوها در یک فضای بسته به طور قابل‌توجهی بر تهویه بادی تأثیر می‌گذارد و می‌تواند به سرمایش و آسایش حرارتی کمک کند. تهویه با نیروی شناوری (دودکش) بر این اصل استوار است که هوای گرم، به دلیل چگالی کمتر، به طور طبیعی در یک اتاق بالا می‌رود. با بالا رفتن آن، هوای خنک‌تر و متراکم‌تر از بیرون جایگزین می‌شود. یک صفحه فشار خشی وجود دارد که در آن اختلاف فشار بین داخل و خارج صفر است. اثربخشی اثر دودکش می‌تواند تحت تأثیر فشار باد، و همچنین طراحی بازشوها و چیدمان داخلی ساختمان قرار گیرد. وقتی باد با موانعی مانند درختان یا ساختمان‌ها برخورد می‌کند، فشار سرعت آن به فشار استاتیک تبدیل می‌شود. در سمت رو به باد یک ساختمان، این تبدیل یک فشار بیش از حد ایجاد می‌کند. برعکس، در سمت پشت به باد، یک فشار کمتر تولید می‌شود. [۳۶]

از میان استراتژی‌های بیان شده، برخی مانند جهت‌گیری، کاربرد مصالح بهینه (جرم حرارتی) و نسبت درصد پنجره به دیوار فقط در زمان طراحی ساختمان و ساخت قابل اجرا

حرارت خورشیدی را نیز کاهش می‌دهند، افزایش یابد [۴۲]. عملکرد انرژی ساختمان بسته به عملکرد نوری آن، مانند ضریب جذب حرارت خورشیدی و ضریب عبور نور مرئی، متفاوت است و به ویژه عملکرد نوری به طور قابل توجهی بر بار سرمایشی در تابستان تأثیر می‌گذارد [۴۳]. پنجره‌ها نه تنها نور و منظره فراهم می‌کنند بلکه از طریق انتقال حرارت بر بارهای گرمایشی و سرمایشی نیز تأثیر می‌گذارند. حرارت به دلیل جذب حرارت خورشیدی به داخل منتقل می‌شود که دمای ساختمان را بالا می‌برد. به ویژه، این امر منجر به افزایش بار سرمایشی برای ساختمان در تابستان می‌شود. [۴۴]

نسبت درصد بازشو به دیوار: پنجره‌ها یکی از عناصر مهم در پوسته ساختمان هستند و تأثیر قابل توجهی بر بار گرمایش و سرمایش دارند. علت این امر تسهیل جذب انرژی از تابش خورشید به علاوه افزایش نرخ نفوذ و هدایت حرارتی بین ساختمان و محیط خارج است. نسبت پنجره به دیوار با تقسیم کل مساحت شیشه‌ای ساختمان بر مساحت دیوار خارجی آن محاسبه می‌شود. [۶] نسبت پنجره به دیوار در نماها، بسته به جهت‌گیری آن‌ها، متفاوت است. بار حرارتی بر روی نماهای ساختمان با توجه به حرکت خورشید در تابستان و زمستان، از جهتی به جهت دیگر تغییر می‌کند. این امر مستلزم کاهش تعداد پنجره‌ها در یک بخش خاص از نماها و افزایش آن‌ها در نماهای دیگر است. [۴۵]

سایه بان: یکی از مهم ترین تصمیمات طراحی در پوسته ساختمان طراحی مناسب سایه اندازه‌ها است، چراکه به طور مؤثری همزمان بر دو متغیر بارهای سرمایشی-گرمایشی و کیفیت نور روز اثر می‌گذارد. نور روز فاکتوری اساسی برای تأمین سلامت و آسایش ساکنین در کیفیت فضای داخلی ساختمان است و همچنین دستورالعملی مؤثر و پایدار برای ارتقاء عملکرد انرژی ساختمان به حساب می‌آید. [۴۶] سایبان‌ها برای کنترل میزان تابش آفتاب به سطوح نورگذر ساختمان به کار می‌روند. در همه مناطق اقلیمی لزوماً به سایبان نیاز نیست. برای معلوم ساختن این نیاز، باید اقلیم منطقه به طور دقیق مطالعه شود. زاویه سایبان افقی یا عمودی باید با توجه به اوقات گرم سال و زوایای تابش خورشید در این اوقات تعیین شود. به این ترتیب، در اوقات گرم تمامی سطح پنجره در سایه قرار می‌گیرد و سایبان



شکل ۱- موقعیت مکانی و جهت گیری ساختمان نسبت به همجواری ها (مأخذ: نگارندگان)

ساختمان مورد مطالعه در این تحقیق بلوک غربی بهارستان می باشد که دارای ۱۵ طبقه مسکونی و طبقه همکف با کاربری تجاری و سه طبقه زیرزمین که به پارکینگ اختصاص دارد. هر طبقه مسکونی دارای ۸ واحد می باشد که تعداد کل واحدها در ۱۵ طبقه ۱۲۰ واحد می باشد. مشخصات ساختمان مورد بررسی در جدول ۳ و ۴ خلاصه شده است.

مشخصات حرارتی جدارهای مختلف، بسته به روش طراحی می تواند متفاوت باشد، ولی در تمامی شرایط، لازم است مقاومت حرارتی تمامی جدارهای پوسته خارجی ساختمان ها بیش از مقادیر ارائه شده در جدول ۵ باشد، که در مقایسه با ساختمان موجود حداقل مقاومت لازم در مورد بام و کف خارجی رعایت نشده است.

می باشند، لذا در این پژوهش پارامترهایی از قبیل نوع شیشه، سایه اندازی (پنجره ها و سایه اندازی بام)، عایق حرارتی جداره های خارجی که قابل اجرا در ساختمان های موجود هستند، مورد بررسی و آنالیز قرار می گیرد.



نمودار ۱- استراتژی های غیر فعال بهینه سازی انرژی به کار رفته در پوسته ساختمان

یافته ها

بخش اول: ساختمان مورد مطالعه

مجموعه مسکونی بهارستان در شهر قزوین واقع می باشد که دارای دو بلوک ساختمانی که به صورت شمالی - جنوبی قرار گرفته اند، که با فاصله ۲۵ متر از هم ساخته شده اند که هر بلوک دارای ۱۹ طبقه (به همراه زیرزمین) می باشند که در سال ۱۳۹۳ ساخته شده است. شکل ۱ موقعیت مکانی ساختمان مورد نظر را نشان می دهد.

جدول ۳: نوع و مشخصات حرارتی مصالح ساختمان موجود

اجزا	مصالح (بیرون به داخل)	ضخامت (m)	ضریب انتقال حرارتی (W/m^2K)	مقاومت حرارتی (m^2K/W)
دیوار خارجی	رنگ نما ملات سیمان تریدی پنل گچ و خاک اندود گچ	۰.۲۰۴۰	۰.۳۰۴	۳.۲۸۵
پارتیشن داخلی	اندود گچ گچ و خاک تریدی پنل گچ و خاک اندود گچ	۰.۱۶۴۰	۰.۴۳۰	۲.۳۲۴

۰.۶۴۵	۱.۵۵۰	۰.۳۸۲۰	عایق رطوبتی پوکه معدنی سقف سازه ای گچ و خاک اندود گچ	بام
۰.۶۲۱	۱.۶۰۹	۰.۴۰۲۰	سرامیک ملات ماسه سیمان پوکه معدنی سقف سازه ای ملات سیمان رنگ نما	کف خارجی
۰.۶۵۲	۱.۵۳۳	۰.۴۰۲۰	سرامیک ملات ماسه سیمان وکه معدنی سقف سازه ای گچ و خاک اندود گچ	کف داخلی
-	۲.۷۱۶	ضخامت شیشه ۳mm ضخامت هوا ۱۳mm	دوجداره شفاف SHGC:0.764	شیشه

جدول ۴: مشخصات ساختمان مورد بررسی

توضیح	خصوصیات
قزوین، طول جغرافیایی: ۵۰.۰۵° E - عرض جغرافیایی: ۳۶.۲۴° N	موقعیت مکانی
مستطیل (طول ۴۱.۹۰ متر - عرض ۲۱.۳۰ متر)	شکل
جبهه اصلی رو به غرب (کشیدگی شمالی - جنوبی)	جهت گیری
۸۹۲.۴۷ متر مربع	مساحت

جدول ۵: مقاومت حداقل لازم برای جدارهای پوسته خارجی ساختمان [۳۹]

اجزا	مقاومت حرارتی حداقل (m ² ·K/W)
دیوار	۰.۵۰
بام	۰.۷۰
کف در تماس با هوا (کف خارجی)	۰.۶۵

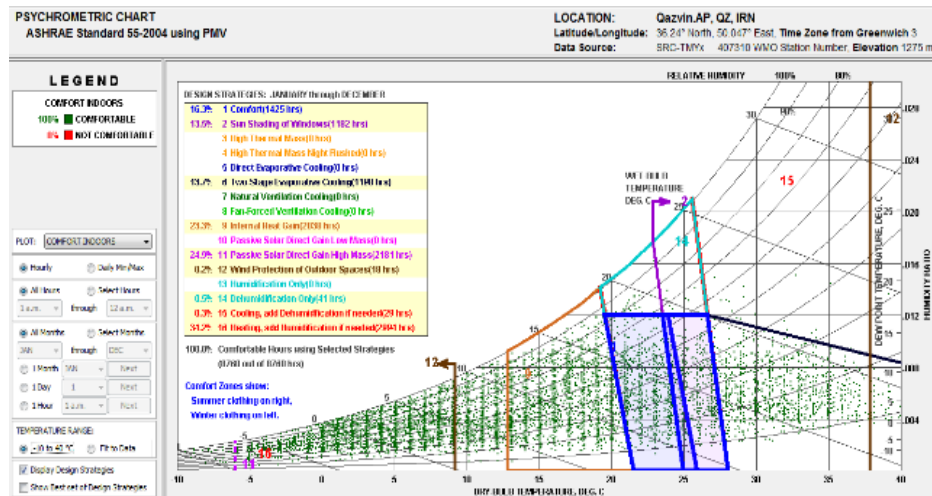
بخش دوم: اطلاعات اقلیمی

در فرآیند شبیه سازی در نرم افزار دیزاین بیلدر، پارامترهایی از قبیل میزان تابش خورشیدی، دمای هوا، سرعت و جهت باد و رطوبت نسبی مورد نیاز می باشد، که برای این منظور از فایل اقلیمی شهر قزوین با فرمت epw که قابل بارگذاری در نرم افزار شبیه سازی می باشد بهره گرفته شده است. فایل

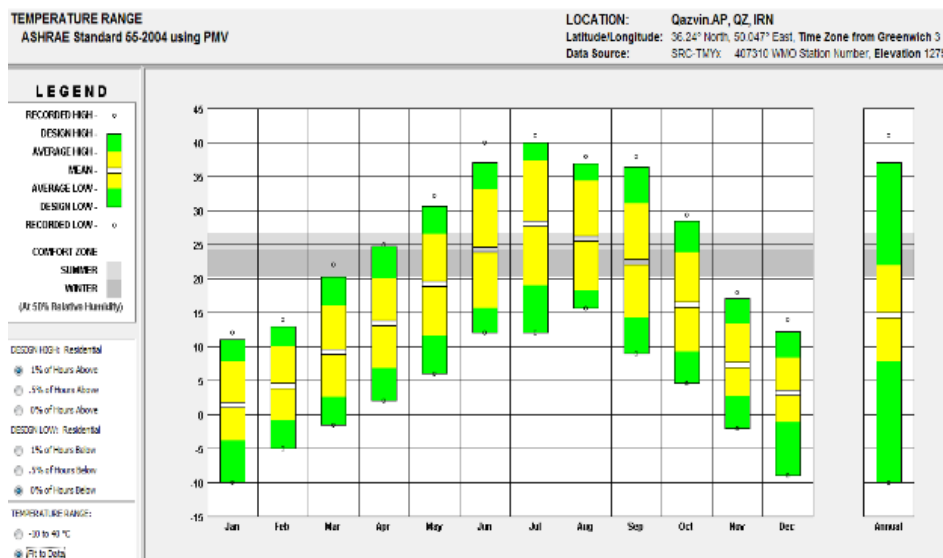
اقلیمی وارد شده در نرم افزار از سایت <https://climate.onebuilding.org> که مربوط به سال های ۲۰۲۱-۲۰۰۷ می باشد گرفته شده است. شهر قزوین طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ایران جز اقلیم سرد محسوب شده و بار گرمایشی در آن غالب می باشد. [۳۹] اما با توجه به روند گرمایش جهانی، مسئله خنک سازی بیشترین

طبق نمودار ۳ بالاترین دمای ثبت شده در سال ۴۲ درجه و پایین‌ترین ۱۰- درجه و میانگین دمای سالانه ۱۵ درجه می‌باشد. در ابتدا با توجه به داده‌های موجود به آنالیز سالانه و تحلیل وضع موجود پرداخته و مدل موجود در نرم‌افزار شبیه‌سازی شده و نمودارها در بخش‌های مختلف، در نمودارهای ۴ و ۵ ارائه شده است.

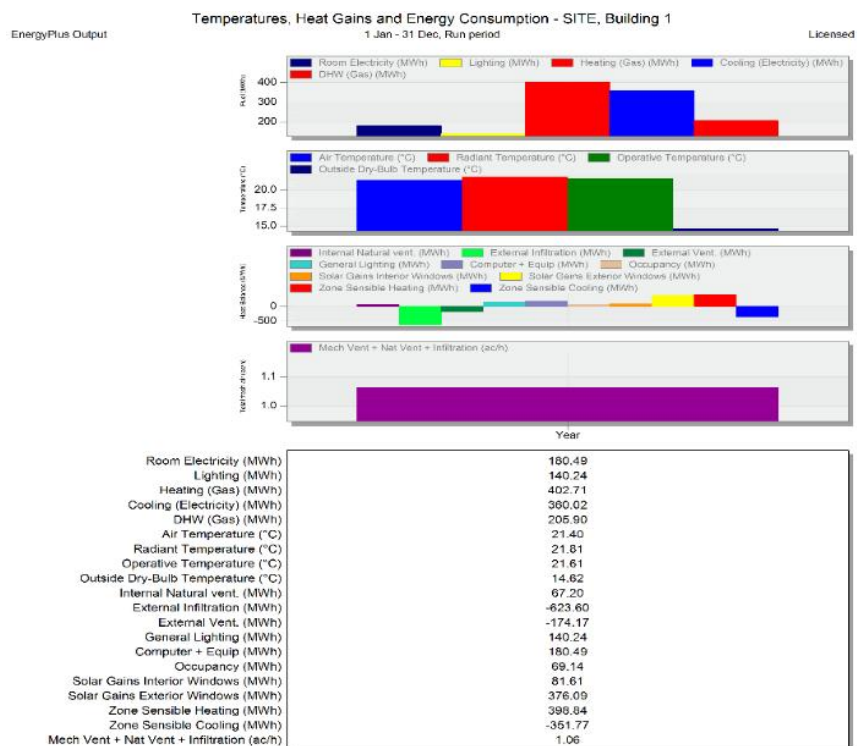
مصرف انرژی را به منظور تأمین شرایط آسایش کاربران به خود اختصاص داده است، در حالی که تقریباً نزدیک پنج ماه از سال برای رسیدن به شرایط آسایش حرارتی نیاز به سیستم سرمایشی برای اکثر ساختمان‌ها مشهود می‌باشد. در ادامه برای نمودار سایکرومتریک و اطلاعات اقلیمی مورد استفاده از نرم‌افزار اقلیمی Climate consultant استفاده شده است و نمودارها در نمودار ۲ و ۳ ارائه شده است.



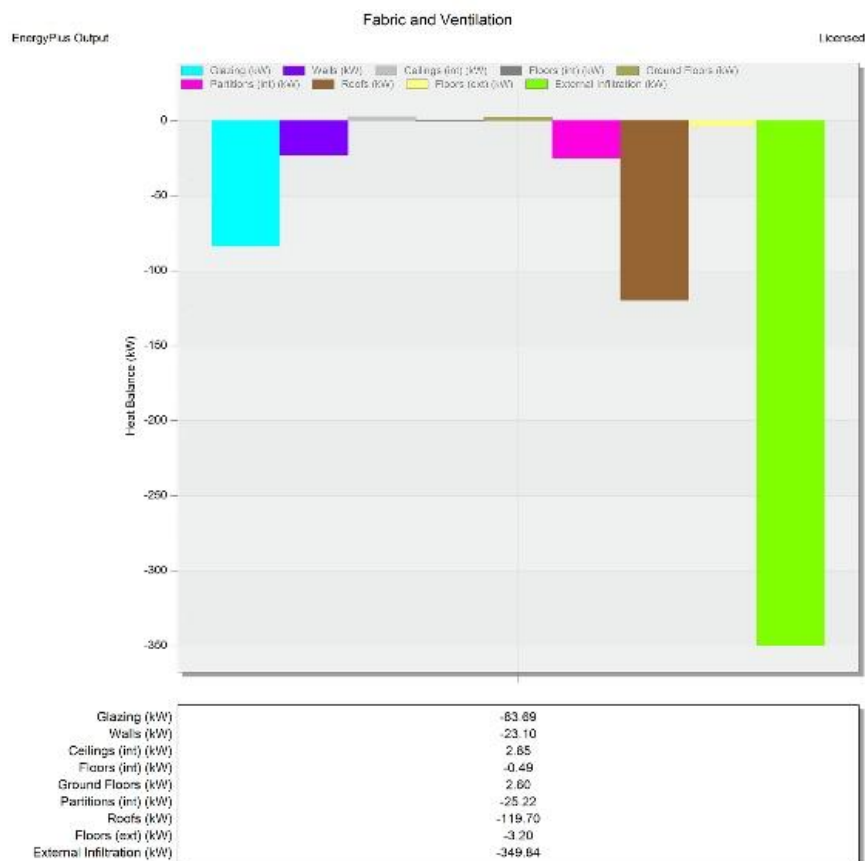
نمودار ۲- نمودار سایکرومتریک و محدوده آسایش شهر قزوین، منبع: Climate consultant



نمودار ۳- نمودار میانگین دمای ماهانه و سالیانه شهر قزوین، منبع: Climate consultant



نمودار ۴- داده‌های شبیه‌سازی سالانه ساختمان موجود در نرم‌افزار دیزاین بیلدر



نمودار ۵- اتلاف حرارتی سطوح ساختمان موجود در فصل زمستان در نرم‌افزار دیزاین بیلدر

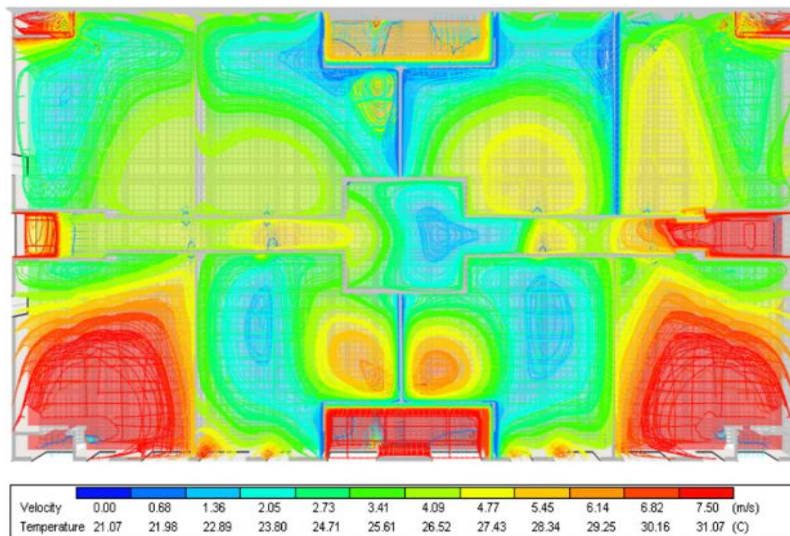
بر اساس نمودارهای بدست آمده از نرم افزار دیزاین بیلدر بار سرمایشی و گرمایشی و میزان کل انرژی مصرفی و اتلاف حرارتی جدارها در جدول ۶ به صورت خلاصه آورده شده است. در تمامی جدول ها و نمودارها، اعداد منفی به معنی از دست دادن حرارت و اعداد مثبت به معنی دریافت حرارت توسط زون می باشد، از طرفی بار سرمایشی با عدد منفی نمایش داده شده است.

به دلیل اینکه ساختمان مورد بررسی شامل ۱۵ طبقه مسکونی با پلان یکسان می باشد، فقط توزیع دمایی طبقه ۸ (طبقه میانی) و طبقه ۳ به عنوان نمونه در نظر گرفته شده است. هرچند که توزیع دمایی طبقات دیگر با توجه به ارتفاع و شرایط جریان هوایی قدری متفاوت خواهد بود. (دلیل

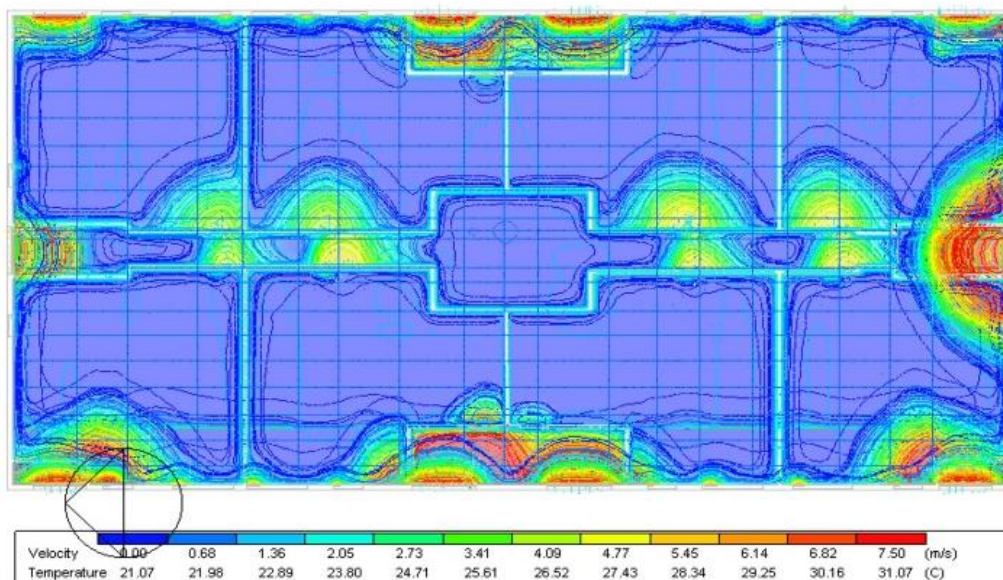
انتخاب این طبقات این است که بیشتر ساختمان هایی که جهت گیری مشابه نمونه مورد بررسی دارند، ۸ تا ۱۰ طبقه هستند) شکل ۲ و ۳ توزیع دمایی طبقه هشتم و سوم ساختمان در ساعت ۱۲ ظهر ۱۵ جولای تابستان را با روش دینامیک سیالات (CFD: Computational fluid dynamics) نشان می دهد. همانطور که در تصویر مشخص است، بیشترین دمای داخلی ساختمان در جبهه ی غربی می باشد. با توجه به کشیدگی اصلی ساختمان مورد بررسی که رو به غرب قرار گرفته، به منظور فراهم کردن شرایط آسایش حرارتی در فصل تابستان بار سرمایشی ساختمان به میزان قابل توجهی افزایش یافته است.

جدول ۶: خلاصه داده های به دست آمده از نرم افزار شبیه سازی دیزاین بیلدر

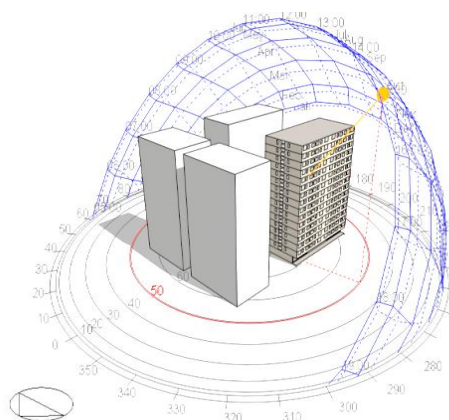
عنوان	میزان
بار سرمایشی (MWH)	-360.02
بار گرمایشی (MWH)	402.71
مقدار کل انرژی الکتریسیته (MWH)	680.75
مقدار کل گاز مصرفی (MWH)	608.61
مقدار گرمای دریافتی توسط پنجره های خارجی (MWH)	376.09
اتلاف حرارتی از طریق تهویه طبیعی خارجی (پنجره ها) (MWH)	-174.17
اتلاف حرارتی از طریق نفوذ هوای ناخواسته (MWH)	-623.60



شکل ۲- توزیع دمایی طبقه هشتم مدل ساختمان موجود با روش دینامیک سیالات (CFD)



شکل ۳- توزیع دمایی طبقه سوم مدل ساختمان موجود با روش دینامیک سیالات (CFD)



شکل ۴- نمایش حرکت خورشید بر روی ساختمان مورد بررسی

تحلیل حساسیت: از میان استراتژی های بازسازی انرژی، برخی مانند جهت گیری، کاربرد مصالح بهینه (جرم حرارتی) و نسبت درصد پنجره به دیوار فقط در زمان طراحی ساختمان و ساخت قابل اجرا می باشند، لذا در این پژوهش پارامترهایی از قبیل نوع شیشه، سایه اندازی (پنجره ها و سایه اندازی بام)، عایق حرارتی جداره های خارجی که قابل اجرا در ساختمان های موجود هستند، مورد بررسی و آنالیز قرار می گیرد. با توجه به اینکه هدف تحقیق کاهش بار سرمایشی ساختمان است، از تحلیل حساسیت برای رسیدن به متغیر با تأثیر بالا در سرمایش بهره گرفته شده است. متغیرهای در نظر گرفته شده در آنالیز در جدول ۷ آورده شده است.

تحلیل یافته ها

مصرف انرژی در ساختمان به برخی از عوامل از قبیل مصالح و ضخامت آنها، نوع شیشه ها، شرایط آب و هوایی و اقلیم و ساعت های استفاده از ساختمان بستگی دارد. در کل پوسته ساختمان ها با توجه به ارتباط آنها با فضای کنترل نشده بیرون نقش مهمی در عملکرد حرارتی و کاهش مصرف انرژی دارد. بنابراین بسیاری از محققان عملکرد حرارتی ساختمان را به منظور کاهش مصرف انرژی مورد مطالعه قرار می دهند. جهت استفاده از انرژی پاک و تجدیدپذیر خورشیدی در طراحی، طراح باید موقعیت خورشید (جهت تابش و زاویه ارتفاع آن) و جهت قرارگیری وجوه ساختمان را نسبت به آن بداند.

ساختمان مورد بررسی در این نوشتار نیز کشیدگی در جهت شمالی - جنوبی دارد، بدین ترتیب بیشترین طول آن در سمت غرب و شرق می باشد. بنابراین گرمای زیادی را از طریق تابش خورشید از جداره غربی و شرقی در تابستان دریافت می کند و این باعث افزایش بار سرمایشی و مصرف انرژی می شود. با توجه به طراحی ناکارآمد و قرار گرفتن پنجره ها در دو جداره شرقی و غربی میزان اتلاف حرارتی از طریق پنجره ها در زمستان برابر ۱۷۴.۱۷ مگاوات و مقدار حرارت جذب شده از طریق پنجره های خارجی برابر ۳۷۶.۰۹ مگاوات می باشد.

جدول ۷: داده ها و متغیر های در نظر گرفته شده در بخش آنالیز حساسیت

تعداد متغیر	داده
۶	۱-نوع عایق حرارتی در جداره های خارجی
۹	۲-نوع شیشه
۹	۳-سایه اندازی

سایه اندازی روی پنجره غربی از سایبان عمودی متحرک مقابل تمام پنجره، در ضلع شرقی سایبان افقی در نظر گرفته شده است. بر این اساس تعداد متغیر های مربوط به سایه بان شامل ۸ نوع می باشد. همانطور که نمودار ۸ نشان می دهد متغیر دوجداره انعکاسی ۶ میلیمتر با لایه ۱۳ میلیمتر گاز آرگون به همراه سایه بان افقی ۹۰ سانتی متری با باله های جانبی عمودی ۹۰ سانتی متری بیشترین تاثیر را بر میزان کاهش بار سرمایشی مدل نمونه دارد.

پارامتر دوم: سایه اندازی روی بام

یک راهکار غیرفعال دیگر در جهت خنک سازی ساختمان، سایه اندازی روی بام می باشد، چرا که در تابستان بیشترین دریافت تابش خورشید از بام می باشد. از طریق سایه اندازی می توان جذب مستقیم اشعه خورشید را در فصل گرم کاهش داد و شرایط آسایش حرارتی را برای ساکنین طبقات بالا فراهم آورد. بدین منظور یک ورق استیل سبک با انعکاس بالا با ضخامت ۵ سانتی متر در ارتفاع ۳ متری روی بام با سازه سبک در نظر گرفته شده و در نرم افزار شبیه سازی گردید. نتایج حاکی از آن است که بار سرمایشی حدود ۵ درصد کاهش یافته است. نمودار ۹ مقایسه میزان بار سرمایشی مدل ساختمان موجود و مدل ساختمان با سایه اندازی روی بام را نشان می دهد.

در نمودار ۱۰ مجموع گرمای دریافتی از طریق بام در دو مدل موجود و با استفاده از سایه اندازی روی بام در گرمترین ماه سال مقایسه شده اند. همانطور که از نمودار مشخص است مقدار گرمای دریافتی بام با سایه اندازی به طور قابل ملاحظه کاهش یافته است.

مدل بهینه

در نهایت بعد از تحلیل پارامتریک، به ترکیب متغیر های مؤثر در یک مدل (جدول ۱۰) و ارائه مدل ساختمان بهینه با بهترین عملکرد در کاهش بار سرمایشی پرداخته شد و مدل

با روش تحلیل حساسیت، ممکن است یافتن راه حل بهینه امکان پذیر نباشد، زیرا متغیر های طراحی ممکن است اثر متقابلی بر بار های گرمایش و سرمایش داشته باشند. بنابراین، فرآیند بهینه سازی برای همه این متغیر ها باید انجام شود. با این حال، این کار می تواند بسیار وقت گیر باشد، زیرا ممکن است تعداد زیادی متغیر وجود داشته باشد که ترکیبات گسترده ای از شبیه سازی ها را ایجاد کند. برای سرعت بخشیدن به بهینه سازی، برای شناسایی متغیر هایی که بیشترین و کمترین تاثیر را بر نتایج مورد نیاز دارند و تعداد متغیر های درگیر را کاهش می دهند، نیاز به انجام هر دو تحلیل عدم قطعیت جهانی و تحلیل حساسیت است (نمودار ۶ و ۷).

همانطور که در نمودار ۷ نشان داده شده است، SRC: Standard regression coefficient (ضریب رگرسیون استاندارد) بار سرمایشی نشان می دهد که بار سرمایشی تحت تاثیر قوی ترین نوع شیشه و سپس سایه اندازی قرار دارد و عایق بندی تاثیر قابل توجهی بر بار سرمایش ندارد، بنابراین، این ورودی را می توان در تجزیه و تحلیل های بعدی بار سرمایش برای این مدل نادیده گرفت.

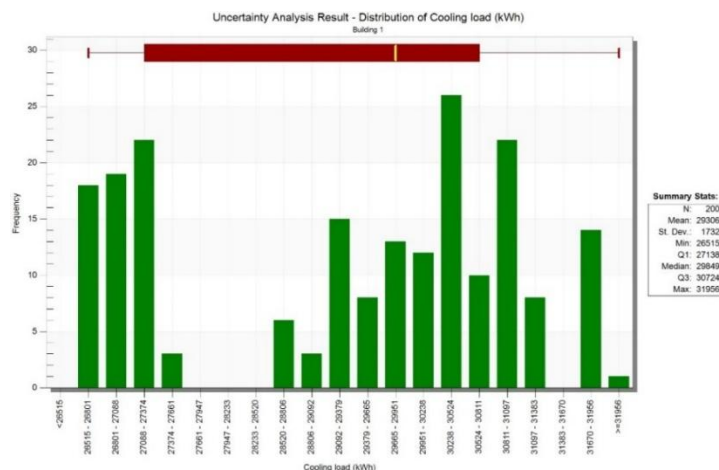
پارامتر اول: جداره های نور گذر (نوع شیشه و سایه اندازی): نوع متغیر های در نظر گرفته شده در بخش

بهینه سازی جداره های نور گذر در جدول ۸ و ۹ آورده شده است. به دلیل تعداد زیاد متغیر ها، تحلیل و شبیه سازی هر کدام از این متغیر ها به صورت جداگانه بسیار زمانبر می باشد، از این رو به منظور بررسی همزمان اثر متغیر ها بر روی مدل از تحلیل پارامتریک استفاده شده است. این تحلیل می تواند در شناسایی متغیری که بیشترین تاثیر را بر بار سرمایشی دارد کمک کند. برای سایبان از جدول پیوست ۱۰ مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ایران برای هر شهر تعیین شده، استفاده شده است. طبق مبحث ۱۹، برای شهر قزوین، برای

نرم افزار دیزاین بیلدر انجام گردید. شکل ۵ و ۶ به خوبی نشان می دهند که با راهکارهای به کار گرفته شده دمای داخلی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است که موجب کاهش بار سرمایی برای رسیدن به شرایط آسایش حرارتی در فصل تابستان می شود. در نمودار ۱۳ مقایسه بار سرمایشی مدل ساختمان موجود و بهینه آورده شده است.

بهینه در نرم افزار دیزاین بیلدر شبیه سازی شد و آنالیز به دست آمده در نمودار ۱۱ و ۱۲ ارائه شده است.

به دنبال مقایسه توزیع دمایی داخلی مدل ساختمان بهینه با وضع موجود، برای مدل نهایی نیز همانند مدل ساختمان موجود به کمک روش دینامیک سیالات نمودار توزیع دمایی در طبقه هشتم و سوم در ساعت ۱۲ ظهر ۱۵ جولای در



نمودار ۶- نمودار تحلیل عدم قطعیت بار سرمایشی



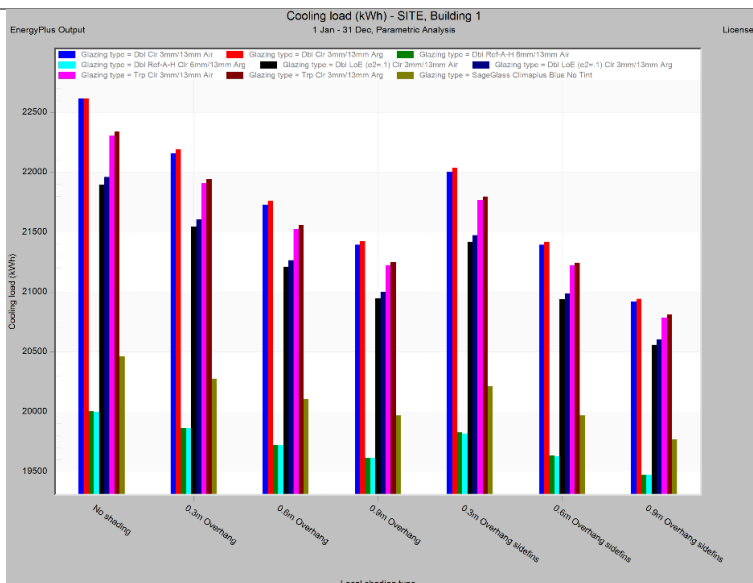
نمودار ۷- نمودار تحلیل عدم قطعیت بار سرمایشی

جدول ۸: متغیرهای مربوط به پارامتر نوع شیشه

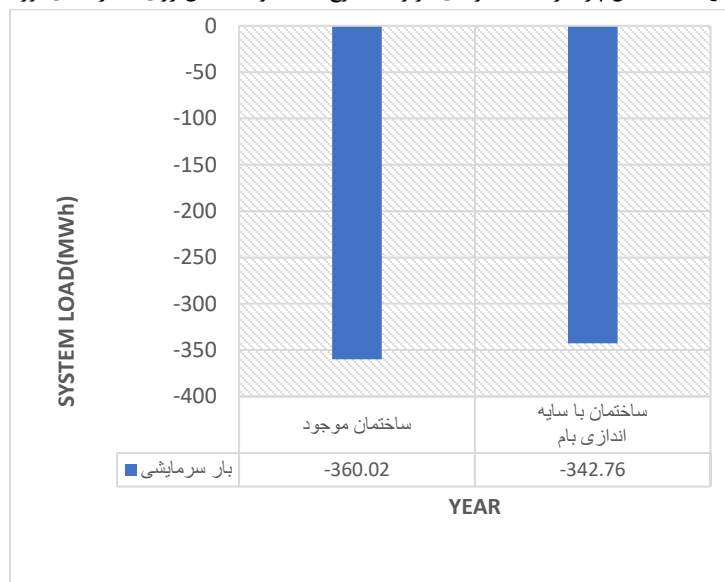
پارامتر	متغیر	Tv	SHGC	u-value(w/m ² -k)
نوع شیشه	۱-مدل موجود: دوجداره ساده شفاف ۳ میلیمتر با لایه ۱۳ میلیمتر هوا	۰.۸۱۲	۰.۷۶۴	۲.۷۱۶
	۲-دوجداره ساده شفاف ۳ میلیمتر با لایه ۱۳ میلیمتر گاز آرگون	۰.۸۱۲	۰.۷۶۴	۲.۵۵۶
	۳-دوجداره low-E شفاف ۳ میلیمتر با لایه ۱۳ میلی متر هوا	۰.۷۶۹	۰.۵۹۸	۱.۷۸۶
	۴-دوجداره low-E شفاف ۳ میلیمتر با لایه ۱۳ میلی متر گاز آرگون	۰.۷۶۹	۰.۵۹۷	۱.۵۱۲
	۵-دوجداره انعکاسی ۶ میلیمتر با لایه ۱۳ میلیمتر هوا	۰.۱۸۱	۰.۲۳۴	۲.۴۱۲
	۶-دوجداره انعکاسی ۶ میلیمتر با لایه ۱۳ میلیمتر گاز آرگون	۰.۱۸۱	۰.۲۲۸	۲.۲۳۳
	۷-شیشه هوشمند الکتروکرومیک	۰.۳۹۳	۰.۲۸۷	۱.۲۶۷
	۸-شیشه سه جداره شفاف ۳ میلیمتر با لایه ۱۳ میلیمتر هوا	۰.۷۳۸	۰.۶۸۴	۱.۷۵۷
	۹-شیشه سه جداره شفاف ۳ میلیمتر با لایه ۱۳ میلیمتر گاز آرگون	۰.۷۳۸	۰.۶۸۵	۱.۶۲۰

جدول ۹: متغیر های مربوط به پارامتر سایه بان

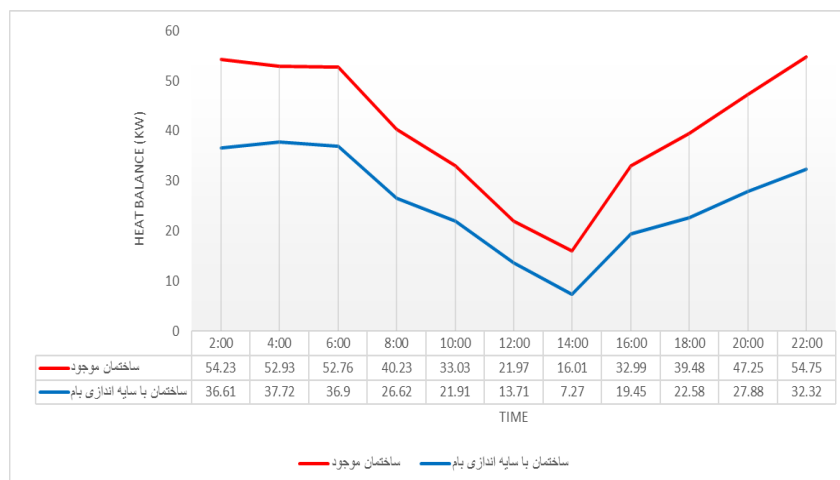
پارامتر	متغیر
سایه بان	۱- بدون سایه بان
	۲- سایه بان افقی ۳۰ سانتی متری
	۳- سایه بان افقی ۶۰ سانتی متری
	۴- سایه بان افقی ۹۰ سانتی متری
	۵- سایه بان افقی ۳۰ سانتی متری با باله های جانبی عمودی ۳۰ سانتی متری
	۶- سایه بان افقی ۶۰ سانتی متری با باله های جانبی عمودی ۶۰ سانتی متری
	۷- سایه بان افقی ۹۰ سانتی متری با باله های جانبی عمودی ۹۰ سانتی متری
	۸- سایبان عمودی متحرک در پنجره های جبهه غربی



نمودار ۸- تحلیل پارامتریک متغیرهای مربوط به نوع شیشه و سایه بان روی جداره های نورگذر



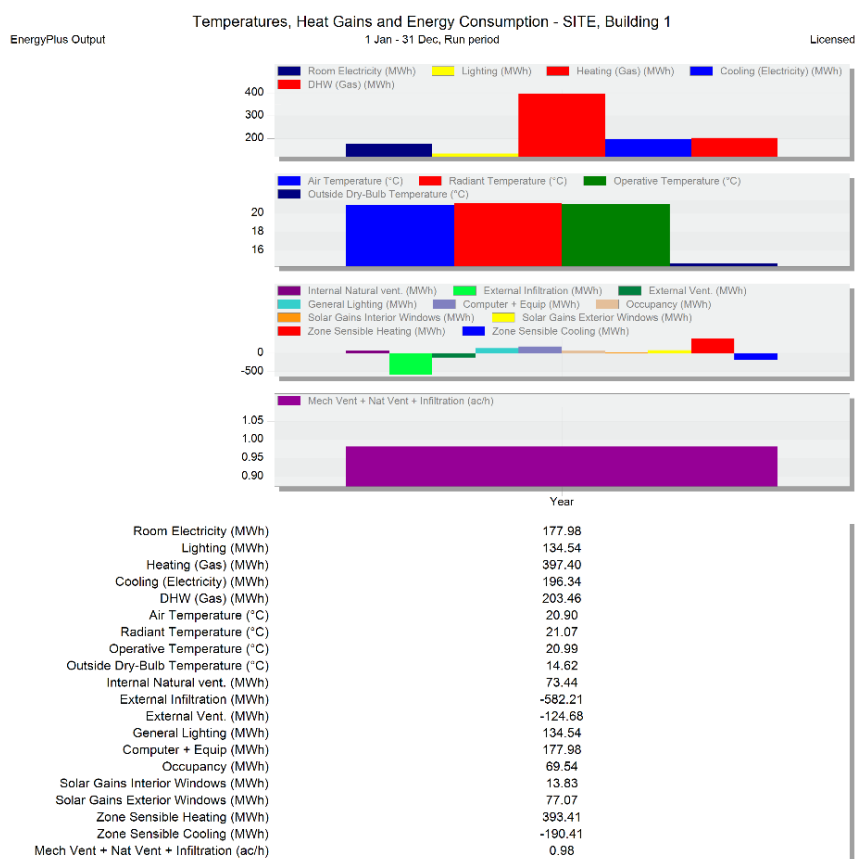
نمودار ۹- نمودار مقایسه ای بار سرمایشی ساختمان موجود و ساختمان با سایه اندازی بام



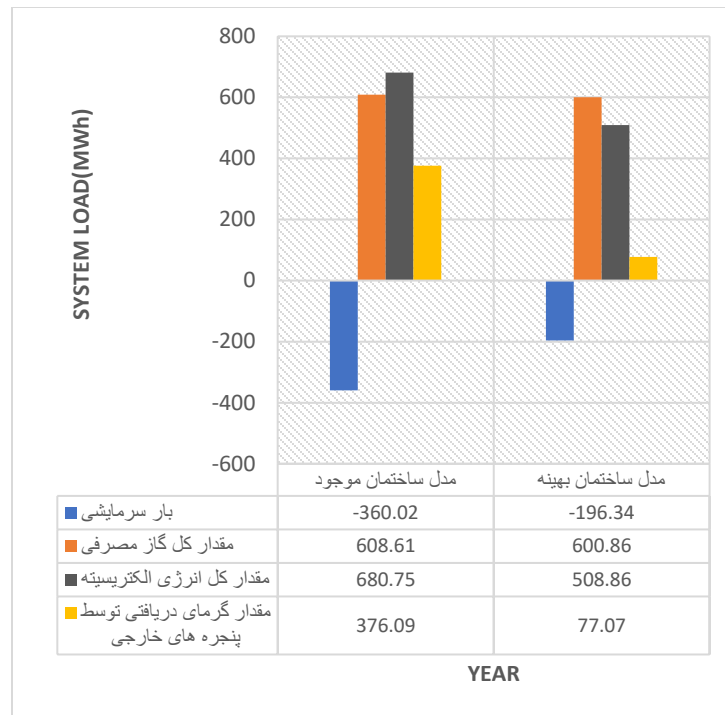
نمودار ۱۰- نمودار مقایسه ای مقدار گرمای دریافتی مدل ساختمان موجود و مدل ساختمان با سایه اندازی روی بام

جدول ۱۰: متغیر های بهینه بدست آمده از تحلیل پارامتریک

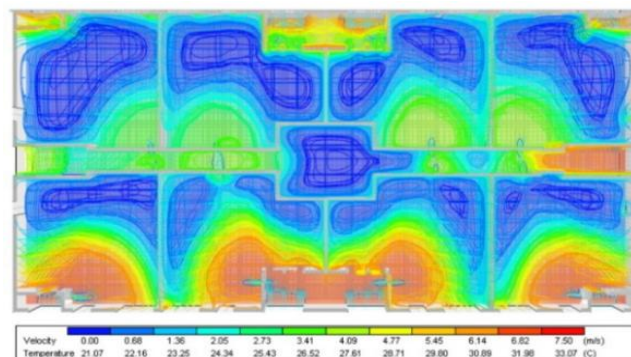
متغیر	نوع
نوع شیشه	دوجداره انعکاسی ۶ میلیمتر با لایه ۱۳ میلیمتر گاز آرگون
سایبان پنجره های شرقی	سایه بان افقی ۹۰ سانتی متری با باله های جانبی عمودی ۹۰ سانتی متری
سایبان پنجره های غربی	عمودی متحرک با انعکاس بالا
سایه اندازی روی بام	ورق استیل سبک با انعکاس بالا با ضخامت ۵ سانتی متر در ارتفاع ۳ متری روی بام



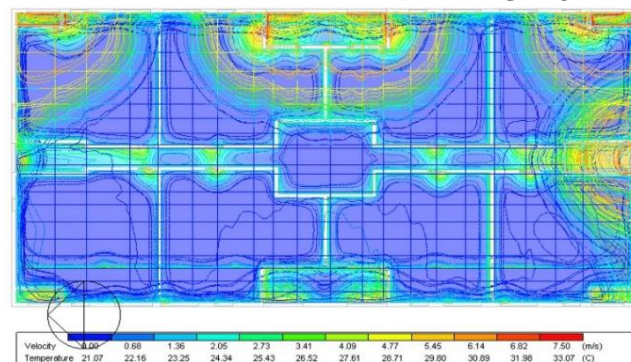
نمودار ۱۱- مصرف انرژی سالانه ساختمان مدل بهینه در نرم افزار دیزاین بیلدر



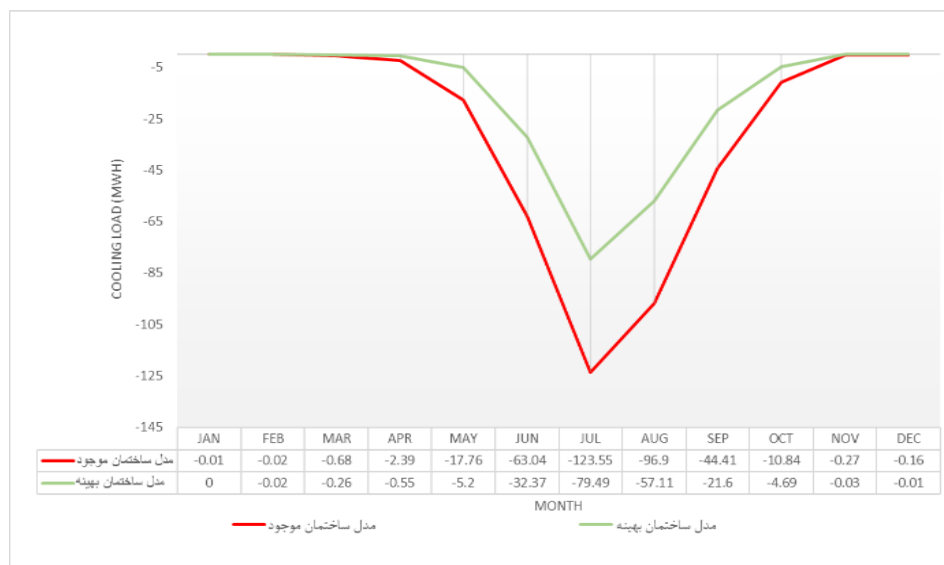
نمودار ۱۲- نمودار مقایسه‌ای مصرف انرژی و اتلاف حرارتی مدل ساختمان موجود و مدل ساختمان بهینه به صورت سالانه



شکل ۵- توزیع دمایی طبقه هشتم مدل ساختمان بهینه با روش دینامیک سیالات (CFD)



شکل ۶- توزیع دمایی طبقه سوم مدل ساختمان بهینه با روش دینامیک سیالات (CFD)



نمودار ۱۳- نمودار مقایسه‌ای بار سرمایشی مدل ساختمان موجود و مدل ساختمان بهینه در ماه‌های مختلف سال

بحث و نتیجه گیری

در پاسخ به سوال پژوهش باید گفت که فاکتورهای موثر زیادی در عملکرد حرارتی جداره خارجی ساختمان‌های موجود نقش دارند. که در تحقیق حاضر که با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر انجام شده، به بررسی و آنالیز تعدادی از پارامترهای کارآمد انرژی از قبیل نوع شیشه، سایه اندازی (پنجره‌ها و سایه‌اندازی بام)، عایق حرارتی جداره های خارجی که قابل اجرا در بناهای ساخته شده می باشند، پرداخته شده است. یک شبیه‌سازی از عملکرد حرارتی ساختمان پایه‌ی اولیه انجام شد که نشان داد ساختمان پایه‌ی اولیه ۳۶۰۰۲ کیلووات ساعت در سال برای بار سرمایش مصرف انرژی دارد. آنالیز حساسیت برای ۳ پارامتر شامل ۲۳ متغیر طراحی به منظور ارزیابی تأثیر آنها بر بار سرمایش به طور همزمان انجام شد. بر اساس نتایج آنالیز حساسیت، پارامترهای با اهمیت بالا، نوع شیشه و سایه اندازی شناسایی شد. سپس از طریق تحلیل پارامتریک به متغیرهای بهینه رسیده که شامل شیشه دوجداره انعکاسی ۶ میلیمتر با لایه ۱۳ میلیمتر گاز آرگون، سایبان افقی ۹۰ سانتی متری با باله های جانبی عمودی ۹۰ سانتی متری برای پنجره های جبهه شرقی، سایبان عمودی

متحرک با انعکاس بالا بر روی پنجره های جبهه غربی و ورق استیل سبک با انعکاس بالا با ضخامت ۵ سانتی‌متر در ارتفاع ۳ متری به عنوان سایه انداز بام می باشند. در نهایت با به کار گیری و ترکیب آن ها در مدل ساختمان به کاهش حدود ۴۵.۴۷ درصدی بار سرمایش دست یافته شد. نتایج و توصیه‌های ارائه شده در این مقاله می‌تواند به ایجاد دستورالعمل‌های بهینه‌سازی ساختمان در جهت حفظ انرژی در بخش ساختمان (کاربری های مختلف) کمک کند. در واقع به کار بردن راه‌حل‌ها و اقدامات کارآمد انرژی می‌تواند به کاهش تقاضای انرژی در بخش سرمایش و در نهایت با توجه به بحران گرمایش، به خنک‌سازی و ایجاد شرایط آسایش حرارتی کمک نماید. در ادامه این پژوهش می توان به بررسی عوامل تأثیر گذار دیگری مانند تهویه طبیعی، رنگ جداره خارجی و ... بر بار سرمایشی پرداخت. از طرفی در طراحی بهینه ساختمان‌های مسکونی، اولویتهای متعددی مانند به حداکثر رساندن مصرف انرژی، کاهش هزینه‌های مالی و به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی باید در نظر گرفته شوند. این امر موضوع پیچیده بهینه‌سازی چندهدفه را به عاملی مهم در پژوهش‌های آینده تبدیل می‌کند.

تشکر و قدردانی : این مقاله حاصل مطالعات نویسنده اول در کلاس درس نویسنده دوم است. بدین وسیله از زحمات استاد درس که راهنمایی ایشان در بهبود این مطالعه نقش قابل توجهی داشته است، تشکر و قدردانی می شود.

تأییدیه های اخلاقی : موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع : موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان : در مقاله نویسنده اول، تهیه متن اولیه، تهیه محتوای علمی و تحقیق میدانی، ۵۰٪ و نویسنده دوم با کنترل ارجاعات، تحلیل ادبیات موضوع و کنترل تحلیل های کمی و کیفی پژوهش ۵۰٪.

منابع مالی/حمایت ها : موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

References

- [1] Mohammadi A, Joseph, A. Daraio. Improving the Energy Efficiency of Existing Residential Buildings by Applying Passive and Cost-Effective Solutions in the Hot and Humid Region of Iran. Space Ontology International Journal, Vol. 9, Issue 4, Autumn 2020, 77- 96. Doi: [10.22094/soij.2020.680277](https://doi.org/10.22094/soij.2020.680277)
- [2] Vargas A, Leon, H. Thermal Energy Performance Simulation of a Residential Building Retrofitted with Passive Design Strategies: A Case Study in Mexico. Sustainability, 2021, 13, 8064. <https://doi.org/10.3390/su13148064>
- [3] Ibrahim F, Abdulwahid S, Abdulrahman R, Mosa M. Thermal Performance Optimization for Residential Buildings in Basra City. Journal of Physics: Conference Series. 1773. 012018. 10.1088/1742-6596/1773/1/012018
- [4] Poorsistani P, Medi H, Mafi M. The Role of Locating Solar Chimneys in Providing Comfort for an Office Building in the Hot and Dry Climate. Armanshahr Architecture & Urban Development, 2023; 16(43): 1-16. doi: 10.22034/aud.2023.238639.2380
- [5] Salih, K.; Ledesma, M.; Saeed, Z. Simulation of energy efficiency measures for the residential building stock: a case study in the semi-arid region. "IOP Conference Series: Materials Science and Engineering", 1 Març 2021, vol. 1090, núm. 1, p. 1-14. DOI: [10.1088/1757-899X/1090/1/012018](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1090/1/012018)
- [6] Albatayneh A. Sensitivity analysis optimisation of building envelope parameters in a sub-humid Mediterranean climate zone. Energy Exploration & Exploitation. 2021;39(6):2080-2102. doi:[10.1177/014455987211020432](https://doi.org/10.1177/014455987211020432)
- [7] Rabani M, Madessa HB, Nord N. A state-of-art review of retrofit interventions in buildings towards nearly zero energy level. Energy Procedia. 2017; (134) 317–326. DOI:[10.1016/j.egypro.2017.09.534](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.534)
- [8] madahi, M., tavanaiee, F. Optimization of Thermal performance of External Walls of Residential Building in Cold and Dry Climate by Utilizing the Energy Simulation Software (A Case Study: Mashhad, Iran). Energy Engineering and Management, 2023; 9(3): 108-121. doi: 10.22052/9.3.108
- [9] Bojic M, Alexandre P, Parvedy, Boyer H. Optimization of thermal comfort in building through envelope design. 2013. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1302.5941>
- [10] Abdeen A, Mushtaha E, Hussien A, Ghenai CH, Maksoud A, Belpoliti V. Simulation-based multi-objective genetic optimization for promoting energy efficiency and thermal comfort in existing buildings of hot climate. Results Eng. 2024; 21:101886. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101815>
- [11] Elnabawi, M. H., Saber, E., Bande, L. Passive Building Energy Saving: Building Envelope Retrofitting Measures to Reduce Cooling Requirements for a Residential Building in an Arid Climate. Sustainability, 2024, 16(2), 626. <https://doi.org/10.3390/su16020626>
- [12] Latreche S, Sriti, L, Mansouri K, Berbouche Ch. Envelope design for thermal performance in residential buildings under hot arid climate conditions. Technium Social Sciences Journal. 2022, 38. 755-767. 10.47577/tssj. V 38i1.7866. DOI: 10.47577/tssj. V 38i1.7866
- [13] Almushaikh AS, Almasri RA. Evaluating the potential energy savings of residential buildings and utilizing solar energy in the middle region of Saudi

Arabia – Case study. *Energy Exploration & Exploitation*. 2020;39(5):1457-1490. doi:[10.1177/0144598720975144](https://doi.org/10.1177/0144598720975144)

[14] Algburi O, Beyhan F. Cooling Load Reduction in a Single-Family House, an Energy-Efficient Approach. *Gazi University Journal of Science*. 2019;32(2):385-400

[15] Alhuwayil, W.K.; Mujeebu, M.A.; Algarny, A.M.M. Impact of external shading strategy on energy performance of multi-story hotel building in hot-humid climate. *Energy*, 2019, 169, 1166–1174. DOI: [10.1016/j.energy.2018.12.069](https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.069)

[16] Wahl, E. Buildings in Arid Desert Climate: Improving Energy Efficiency with Measures on the Building Envelope. 2017. Available online: [https://ltu.diva](https://ltu.diva.https://ltu.diva).

[17] Liang, X.; Wang, Y.; Zhang, Y.; Jiang, J.; Chen, H.; Zhang, X.; Roskilly, T. Analysis and optimization on energy per-formance of a rural house in northern China using passive retrofitting. *Energy Procedia*, 2017, 105, 3023–3030. doi: [10.1016/j.egypro.2017.03.618](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.618)

[18] Taleb, H.M.; Sharples, S. Developing sustainable residential buildings in Saudi Arabia: A case study. *Appl. Energy*, 2011, 88, 383–391. [10.1016/j.apenergy.2010.07.029](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.07.029)

[19] Yari nezhad, A., Mahravan, A. Investigating the effect of optimizing external skins and translucent walls on reducing energy consumption and investment return time of educational buildings in a temperate climate with dry and very hot summers. *Journal Of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, 2024; 36(1): 41-60. doi: [10.22067/jacsm.2023.81531.1175](https://doi.org/10.22067/jacsm.2023.81531.1175)

[20] Moulaii M, Younesi M. Multi-objective optimization of parametric form of native residential building based on comfort in hot and dry climate of Yazd city. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 2025; 14(4): 47-84. https://bsnt.modares.ac.ir/article_1008.html

[21] Hosseini Vajari M, Moradinasab H, Behzadnasab M., Nikkhah Shahmirzadi, M., Soltani, M.

Comparative Investigation of Thermal Performance of Multi-Layered Canopies with Complex Geometries in Double-Skin Facades. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 2025; 14(4): 125-156. https://bsnt.modares.ac.ir/article_1011.html

[22] Mehrvarz, F., Bemanian, M., Zarkesh, A. Optimizing a sample of Bushehr houses for visual comfort and energy-saving. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 2024; 14(2): 21-40. https://bsnt.modares.ac.ir/article_993.html

[23] Sayyahi, M., Mazaherian, H., Zamani, Z. Typology of residential blocks in Zanjan city with the aim of evaluating thermal load. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 2024; 14(2): 119-138. https://bsnt.modares.ac.ir/article_997.html

[24] Rezadoost Dezfuli, R., Taban, M., Bazazzadeh, H. Investigating ventilation in apartments in a hot and semi-humid climate. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 2023; 13(2): 85-103. [20.1001.1.23224991.1402.13.2.5.4](https://doi.org/10.1001.1.23224991.1402.13.2.5.4)

[25] Khayami, S., Daneshjoo, K. The Effect of Dynamic Double Skin Façade on Energy Efficiency in Khayyam Administrative Building. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 2022; 12(2): 110-137. [20.1001.1.23224991.1401.12.2.6.8](https://doi.org/10.1001.1.23224991.1401.12.2.6.8)

[26] Zohani S, Kar J. Effect of Thermal Insulation of the Building Envelope on Energy Consumption under Building Information Modeling (BIM) (Case Study: Tehran City). In: *The 4th International Conference on Building Information Modeling (BIM)*; 2021. Available from: <https://civilica.com/doc/1328639>

[27] Saligheh, E., Saadatjoo, P. Impact of Building Porosity on Self-Shading and Absorbed Solar Heat Reduction in Hot and Humid Regions. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 2020; 9(4): 257-271. [20.1001.1.23224991.1398.9.4.5.0](https://doi.org/10.1001.1.23224991.1398.9.4.5.0)

[28] Fallah, H. Determining the Most Efficient Window-to-Wall Ratio in Southern Façade of Educational Buildings in Kerman. *Naqshejahan-*

Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning, 2019; 9(2): 105-115. [20.1001.1.23224991.1398.9.2.3.4](https://doi.org/10.1001.1.23224991.1398.9.2.3.4)

[29] Moulaii, M., Pilechiha, P., Shadanfar, A. Optimization of Window Proportions with an Approach to Reducing Energy Consumption in Office Buildings. Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning, 2019; 9(2): 117-123. [20.1001.1.23224991.1398.9.2.6.7](https://doi.org/10.1001.1.23224991.1398.9.2.6.7)

[30] Rasuli, M., Shahbazi, Y., Matini, M., Matini, M. Horizontal and Vertical Movable Drop-Down Shades Performance in Double Skin Facade of Office Buildings; Evaluation and Parametric Simulation. Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning, 2019; 9(2): 135-144. [20.1001.1.23224991.1398.9.2.7.8](https://doi.org/10.1001.1.23224991.1398.9.2.7.8)

[31] Zolfaghari SA, Saadatnasab M, Norouzi Jajarm E. Evaluation of the Impact of Building Envelope on Annual Energy Consumption in Different Climates of Iran. Iran Energy J. 2014;17(4):69-80. <https://civilica.com/doc/1436895>

[32] Mohammad, S. Evaluating the thermal performance of wall construction materials Case study: Residential buildings of Tehran. Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning, 2013; 18(1): 69-78. [in persian] doi: 10.22059/jfaup.2013.36358

[33] Ghiyabakloo Z. Fundamentals of Building Physics 2 (Environmental Conditioning). 3rd ed. Tehran: Jahad Daneshgahi (Amirkabir University of Technology Unit); 2011

[34] Zomorodian Z S, Tahsildoost M. Validation of Energy Simulation Programs: An Empirical and Comparative Approach. IJE 2016; 18 (4). 115-132. URL: <http://necjournals.ir/article-1-803-fa.html>

[35] Altamemi AS A, Zarkesh A, Yeganeh M. Analysis of the effect of green building technique on reducing energy consumption (Green roof technique in an educational building in Wasit, Iraq), Journal of Sustainability, Development and Environment, 2023; 4(14): 15-37. magiran.com/p2609318

[36] Poddar A, Balani A, Jaiswal H. Optimizing residential building orientation: "A model-based

approach to improve comfort and efficiency". Int Res J Adv Eng Manag (IRJAEM). 2024;2:30,43-50. DOI:[10.47392/IRJAEM.2024.0449](https://doi.org/10.47392/IRJAEM.2024.0449)

[37] Ali, A., Issa, A., & Elshaer, A. A comprehensive review and recent trends in thermal insulation materials for energy conservation in buildings. Sustainability 2024, 16(20), 8782; <https://doi.org/10.3390/su16208782>

[38] Sharifian Ghazi Jahani H. Investigating the Effect of Thermal Mass of Common Materials in the Construction of Exterior Walls on Energy Consumption Reduction: A Case Study of Tabriz Buildings. In: International Conference on Architecture, Civil Engineering, and Urban Development in the Third Millennium; 2015. Tehran. <https://civilica.com/doc/414429>

[39] Iran National Building Regulations. Topic 19, Saving Energy in Buildings. 4th ed. Tehran: Ministry of Roads and Urban Development; 2020

[40] Yeom, S.; An, J.; Hong, T.; Kim, S. Determining the optimal visible light transmittance of semi-transparent photovoltaic considering energy performance and occupants' satisfaction. Build. Environ, 2023. 231, 110042. DOI:[10.1016/j.buildenv.2023.110042](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110042).

[41] Shaeri, J., Yaghoubi, M., Vakilinezhad, R. The Impact of Using Electrochromic on the Cooling Load in Offices at Hot and Dry, Hot and Humid, and Cold Climates in Iran. Energy Engineering and Management, 2023; 10(3): 90-99. doi: 10.22052/10.3.90

[42] Ko, Y.J.; Hong, H.K.; Min, J.K. Energy Performance Evaluation of Responsive Smart Windows Applying SPD According to Window Area Ratio and SHGC Range. Korean J. Air-Cond. Refrig. Energies 2020, 13(21), 5643; <https://doi.org/10.3390/en13215643>

[43] Choi, Y.; Song, D.; Yoon, S.; Koo, J. Comparison of Factorial and Latin Hypercube Sampling Designs for Meta-Models of Building Heating and Cooling Loads. Energies 2021, 14(2), 512; <https://doi.org/10.3390/en14020512>

[44] Lee Y-J, Kim S-H, Ryu J-H, Lee K-H. Optimizing Window Glass Design for Energy Efficiency in South Korean Office Buildings: A Hierarchical Analysis Using Energy Simulation. *Buildings*. 2023; 13(11):2850.

<https://doi.org/10.3390/buildings13112850>

[45] Goia, F. Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and the implications on total energy saving potential.

Solar Energy, 2016, 132, 467-492.
DOI:[10.1016/j.solener.2016.03.031](https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.03.031)

[46] Razmi, A., Tarkashvand, A., Rahbar, M., Ekhlas, A. Integrated Design of Shading Devices of Southern Building Envelope of a Dormitory in Tehran; Multi-objective Analysis of Cooling, Heating, Lighting, and Rainwater Harvesting. *Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning*, 2022; 27(1): 63-74.
doi: 10.22059/jfaup.2022.291603.672359