

Evaluation of the Effects of Central Atrium Design on Thermal Loads of Office Buildings in Isfahan in order to Derive an Energy Performance Algorithm

Mohammad Reza Abousebae,¹ Jamal Khodakarami,^{2*} Narges Dehghan,³ Nazanin Nasrollahi⁴

¹ Department of Architecture, Na.C., Islamic Azad University, Najafabad, Iran, m.abousaba@iau.ac.ir

² Architecture Department, Ilam University, Ilam, Iran, j.khodakarami@ilam.ac.ir

³ Department of Architecture, Advancement in Architecture and Urban Planning Research Center, Na.C., Islamic Azad University, Najafabad, Iran, nargesdehghan@iau.ac.ir

⁴ Architecture Department, Ilam University, Ilam, Iran, n.nasrollahi@ilam.ac.ir

Keywords:

atrium,
building thermal load,
Design Builder,
hot and dry climate,
thermal behavior algorithm

Original Research Article

Paper History:

Received: 28/07/2025

Revise: 18/08/2025

Accepted: 15/09/2025

Abstract: The increase in energy consumption in the office buildings in hot and dry climates has doubled the need to pay attention to architectural solutions, especially the design of the central atrium. This study aims to evaluate the effect of atrium design on thermal loads and extract an algorithm for predicting energy performance, examining the Amir Kabir office complex in Isfahan as a case study. The main research question is "which combination of geometric and physical features of the atrium can create the most optimal energy performance in office buildings in hot and dry climates". Design Builder and statistical analysis, using multivariate regression in the SPSS environment, were used as in this paper. The variables studied included the type of plan (open and combined), the ratio of the building and atrium dimensions (R1, R2, R3), the percentage of the atrium area (10%, 20%, 30%), and the type of atrium (without opening, with a skylight opening and with a roof canopy with different angles) simulated in the form of 54 scenarios. The findings showed that a 5-degree roof canopy was the most effective factor in reducing annual cooling load and energy consumption, while atriums without a canopy or opening created the highest thermal load. Also, the combination of R3 volumetric form (length to width ratio 3:2) with an open plan and appropriate canopy design provided optimal thermal performance in some scenarios. Finally, the algorithms obtained from regression analysis allowed for the prediction of annual heating, cooling, and energy consumption loads and could be used as a practical tool for architects' decision-making in the early stages of designing office buildings in hot and dry climates.

How to cite this article: Abousebae, M.R., Khodakarami, J., Dehghan, N., Nasrollahi, N., "A Proposed Bidding Structure of Reactive Power Provision by Three-Phase Inverter-Based (DERs) for Market Participation", Energy Engineering and Management, Vol. 14, No. 4, PP. 66-81, 2025. <https://doi.org/10.22052/EEM.2025.257171.1128>

© 2023 University of Kashan Press.

This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Extended Abstract

Introduction

Energy consumption in office buildings located in warm and dry climates such as Isfahan in central Iran, is a critical challenge for sustainable urban development. The building sector accounts for a significant share of energy use, largely driven by heating and cooling demands. Atriums, as prominent architectural elements, have the potential to influence the thermal behavior of buildings significantly through passive strategies such as natural ventilation, daylighting, and solar shading. However, the complex interaction of atrium geometric proportions, plan configurations, shading devices, and ventilation options makes it difficult to predict their net effect on building energy loads. Therefore, a quantitative and data-driven analysis is essential to optimize atrium design specifically for hot-dry climates, where reducing cooling loads is paramount.

Materials and Methods

This study performed an extensive simulation analysis of 54 design scenarios of office buildings incorporating central atriums, using the Design Builder energy modeling software. The scenarios systematically varied key architectural parameters: plan type (A: semi-enclosed with open ground floor; B: fully open), atrium geometric ratios (R1, R2, R3), atrium area percentages relative to the building floor area (10%, 20%, 30%), and atrium roof conditions (presence or absence of roof shading devices and openings). The roof shading devices were modeled with three angles (5°, 45°, 90°) to evaluate solar radiation control effectiveness. Each scenario's heating, cooling, and total annual energy loads were extracted as outputs.

To analyze the complex dependencies between architectural parameters and thermal loads, the simulation results were subjected to multivariate regression analysis using SPSS software. Nine regression models were developed corresponding to three atrium conditions: (1) central atrium with roof openings, (2) central atrium with roof shading, and (3) central atrium without roof openings or shading. Independent variables included building plan type (coded as numeric values), atrium-to-building ratio, percentage of atrium area, and shading angle (when applicable). The models aimed to establish predictive algorithms for early-stage architectural decision-making.

Results

The results revealed that atrium type and shading configuration significantly impacted thermal loads. Atriums with near-closed roof shading (5° angle) consistently reduced cooling loads by up to 30% compared to atriums without shading, demonstrating the critical role of solar radiation control in hot and dry climates. Increasing the atrium area from 10% to 30% generally increased cooling loads in unshaded scenarios by up to 25%, emphasizing that larger atriums without proper shading or ventilation exacerbate cooling demands. Atrium geometric ratios

exhibited nuanced effects; elongated R3 ratios combined with open plans and shading devices yielded the lowest annual energy loads, while R1 and R2 showed moderate loads.

Building plan types also influenced energy performance markedly. Open plan buildings (Plan B) facilitated better airflow and daylight penetration but tended to increase cooling loads unless combined with optimized shading. Semi-enclosed plans (Plan A) demonstrated lower cooling loads but higher heating demands, reflecting the trade-offs between airflow and insulation. Regression analysis confirmed these findings: the shading angle had the most substantial standardized coefficient in cooling load models (Beta up to 0.81), followed by atrium area percentage and plan type. Geometric ratios generally had weaker statistical significance but contributed positively in some scenarios.

Nine regression equations were formulated, enabling the calculation of heating, cooling, and annual loads based on the four key variables for each atrium condition. These models showed high predictive accuracy ($R^2 > 0.85$), offering reliable quantitative tools for architects to forecast energy impacts of atrium design choices at the concept stage.

Discussion and Conclusion

This research highlights the necessity of integrating passive solar control and ventilation strategies into atrium design to achieve energy-efficient office buildings in warm-dry climates. The substantial increase in cooling loads, observed in unshaded large atriums, underscores that size alone is not a sufficient criterion for sustainable design. Instead, careful consideration of shading angles and openings is essential. The identification of the 5° roof shading angle as optimal suggests that nearly closed shading devices effectively reduce solar gains while allowing daylight, balancing thermal comfort and lighting needs. The interplay between plan type and atrium geometry revealed design trade-offs: open plans could leverage ventilation but risk increased cooling demand if not paired with shading, while semi-enclosed plans provide thermal buffering but might have increased heating energy. The regression models derived from this study provided architects with flexible, data-driven algorithms to evaluate and optimize atrium designs before costly physical modeling or construction.

Overall, this study demonstrates that atrium design should not be driven solely by aesthetic or spatial considerations but must incorporate climate-responsive quantitative analyses to minimize energy consumption. Applying the proposed predictive equations facilitates the rapid exploration of design alternatives, reduces uncertainties, and supports sustainable architectural decision-making in the office buildings located in the warm-dry regions such as Isfahan. Future research could extend this framework by integrating occupant behavior, advanced materials, and dynamic climate conditions to further refine energy optimization strategies.

ارزیابی تأثیرات طراحی آتریوم مرکزی بر بارهای حرارتی ساختمان‌های اداری شهر اصفهان به منظور استخراج الگوریتم عملکرد انرژی

محمدرضا ابوسبا^۱، جمال خداکرمی^{۲*}، نرگس دهقان^۳، نازنین نصراللهی^۴

^۱ دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، m.abousaba@iau.ac.ir

^۲ دانشیار، گروه معماری، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، J.khodakarami@ilam.ac.ir

^۳ استادیار، گروه معماری، مرکز تحقیقات افق‌های نوین در معماری و شهرسازی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی،

نجف‌آباد، ایران، nargesdehghan@iau.ac.ir

^۴ استاد، گروه معماری، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، n.nasrollahi@ilam.ac.ir

چکیده: افزایش مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری اقلیم گرم و خشک، ضرورت توجه به راهکارهای معماری به‌ویژه طراحی آتریوم مرکزی را دوچندان کرده است. بر همین اساس، این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر طراحی آتریوم بر بارهای حرارتی و استخراج الگوریتم پیش‌بینی عملکرد انرژی، به بررسی مجموعه اداری امیرکبیر اصفهان به‌عنوان نمونه موردی پرداخته است. پرسش اصلی تحقیق آن است که کدام ترکیب از ویژگی‌های هندسی و کالبدی آتریوم می‌تواند بهینه‌ترین عملکرد انرژی را در ساختمان‌های اداری اقلیم گرم و خشک ایجاد کند. روش تحقیق مبتنی بر شبیه‌سازی انرژی با استفاده از نرم‌افزار DesignBuilder و تحلیل آماری با استفاده از رگرسیون چندمتغیره در محیط SPSS است. متغیرهای مورد بررسی شامل نوع پلان (باز و ترکیبی)، نسبت ابعاد ساختمان و آتریوم (R1, R2, R3)، درصد سطح آتریوم (۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪) و نوع آتریوم (بدون بازشو، دارای بازشوی نورگیر، دارای سایبان سقفی با زوایای مختلف) در قالب ۵۴ سناریو شبیه‌سازی شده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد که سایبان سقفی با زاویه ۵ درجه، مؤثرترین عامل در کاهش بار سرمایش و مصرف انرژی سالیانه است، درحالی‌که آتریوم‌های فاقد سایبان یا بازشو بیشترین بار حرارتی را ایجاد کرده‌اند. همچنین، ترکیب فرم حجمی R3 (نسبت طول به عرض ۳ به ۲) با پلان باز و طراحی سایبان مناسب در برخی سناریوها عملکرد بهینه حرارتی را فراهم ساخته است. درنهایت، الگوریتم‌های حاصل از تحلیل رگرسیونی امکان پیش‌بینی بار گرمایش، سرمایش و مصرف انرژی سالیانه را فراهم کرده و می‌تواند به‌عنوان ابزاری کاربردی برای تصمیم‌سازی معماران در مراحل اولیه طراحی ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم و خشک به کار گرفته شود.

مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۴

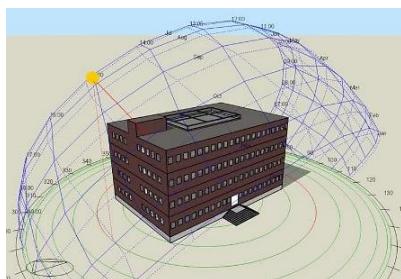
۱. مقدمه

رشد فزاینده مصرف انرژی در بخش ساختمان، به‌ویژه در اقلیم‌های گرم و خشک مانند مرکز ایران، یکی از چالش‌های اساسی در مسیر توسعه پایدار شهری است. ساختمان‌های اداری، به‌دلیل ساعات عملکرد مشخص، حجم بالای حضور کاربران و نیاز مستمر به سرمایش و گرمایش، از جمله مصرف‌کنندگان اصلی انرژی در این اقلیم‌ها به شمار می‌روند [۱]. در این میان، طراحی فضاهای داخلی نظیر آتریوم می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش بارهای حرارتی ایفا کند، مشروط بر آنکه به‌درستی با اقلیم، فرم و سیستم‌های مکانیکی ترکیب شوند [۲ و ۳]. آتریوم‌ها به‌عنوان فضاهایی شفاف یا نیمه‌شفاف در قلب ساختمان، علاوه بر ایجاد کیفیت فضایی، امکان بهره‌برداری از نور روز، تهویه طبیعی و تهویه شبانه را فراهم می‌سازند [۴]. با این حال، در صورتی که هندسه، موقعیت نورگیرها، میزان بازشو و ارتباط آن‌ها با سایر فضاها به‌درستی طراحی نشود، ممکن است بار سرمایش و گرمایش افزایش یابد و حتی موجب ناپایداری حرارتی در ساعات اوج شود [۵]. ازسوی دیگر، مطالعات تجربی نشان داده‌اند که طراحی یکپارچه آتریوم با سیستم‌های سرمایش، تهویه و کنترل خورشیدی می‌تواند منجر به بهینه‌سازی عملکرد انرژی شود [۶ و ۷]. بررسی‌های گذشته بر اهمیت مدل‌سازی دقیق و توسعه الگوریتم‌های پیش‌بینی‌پذیر برای تحلیل رفتار حرارتی آتریوم‌ها تأکید داشته‌اند. ابزارهایی مانند شبیه‌سازی CFD و شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌طور گسترده در پیش‌بینی جریان هوا، توزیع دما و بارهای انرژی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۸ و ۹]. با وجود این، عمده مطالعات در این حوزه یا محدود به اقلیم‌های معتدل و مرطوب بوده‌اند یا فقط به تحلیل یک بُعد از عملکرد آتریوم (نظیر تهویه یا روشنایی) پرداخته‌اند [۱۰ و ۱۱]. ازطرفی، پیشینه موجود کمتر به ترکیب متغیرهای طراحی مانند فرم پلان، نسبت ابعاد آتریوم، موقعیت بازشو و سایه‌بان‌ها در قالب الگوریتم‌های داده‌محور توجه کرده‌اند. در واقع، نیاز به الگوریتم‌هایی که بتوانند از نتایج شبیه‌سازی‌های دقیق، روابطی برای پیش‌بینی رفتار حرارتی استخراج کرده و به تصمیم‌سازی معمارانه در مراحل اولیه طراحی کمک کنند، همچنان احساس می‌شود [۱۲ و ۱۳]. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر فرم‌های مختلف طراحی آتریوم مرکزی در ساختمان‌های اداری شهر اصفهان انجام شده و سعی دارد شکاف موجود در ترکیب متغیرهای طراحی و الگوریتم‌های داده‌محور پیش‌بینی رفتار حرارتی را پر کند.

۲. پیشینه پژوهش

با افزایش نگرانی‌ها نسبت به مصرف انرژی و تأثیرات زیست‌محیطی ساختمان‌ها، طراحی اقلیمی و بهینه‌سازی بارهای حرارتی به یکی از موضوعات کلیدی در پژوهش‌های حوزه معماری و انرژی بدل شده است. در این میان، فضاهای میان‌افزا مانند آتریوم‌ها به‌دلیل پتانسیل بالا در به‌کارگیری نور و تهویه طبیعی و تعدیل شرایط حرارتی، مورد توجه ویژه پژوهشگران قرار گرفته‌اند. به‌ویژه در اقلیم گرم و خشک، که تابستان‌های داغ و زمستان‌های سرد، نیاز به راهکارهای دوگانه گرمایش و سرمایش را تشدید می‌کند، طراحی صحیح آتریوم می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش مصرف انرژی داشته باشد. مطالعات گسترده‌ای در سال‌های اخیر به تحلیل عملکرد انرژی آتریوم‌ها در شرایط اقلیمی مختلف، از جمله اقلیم گرم و خشک یا مشابه آن اختصاص یافته‌اند. برای نمونه، در بررسی نقش هندسه آتریوم، نشان داده شد که نسبت ابعاد، موقعیت نورگیرها و عمق فضایی بر بارهای سرمایش و گرمایش مؤثرند [۱۳ و ۱۴]. همچنین، مقایسه آتریوم با حیاط مرکزی در پژوهشی دیگر نشان داد که در ساختمان‌های چندطبقه، آتریوم‌ها در صورت طراحی مناسب عملکرد بهتری در حفظ انرژی دارند [۱۵]. تحلیل کمی ژو و همکاران نشان داد که پیکربندی فضایی می‌تواند بر بار سرمایش در آتریوم‌های نیمه‌باز اثرگذار باشد [۱۶]. در حوزه تحلیل رفتار حرارتی، مطالعات متعددی با استفاده از روش‌های عددی و مدل‌سازی CFD انجام شده‌اند. برای مثال، شبیه‌سازی عملکرد تهویه طبیعی و رانشی در آتریوم‌ها نشان داده است که انتخاب مدل توربولانس و هندسه سقف در پیش‌بینی دقیق جریان هوا اهمیت بالایی دارد [۱۷ و ۱۸]. همچنین آکرد و هانت با معرفی طراحی بدون بعد، امکان تعمیم‌پذیری تهویه در آتریوم‌های چندطبقه را مطرح کردند [۱۹]. بررسی تهویه شبانه نیز توسط لینچ و هانت صورت گرفته است که الگوهای جریان هوا وابسته به ساختار و میزان بازشوها را تحلیل کرده‌اند [۲۰]. افزون بر شبیه‌سازی عددی، توسعه مدل‌های ساده‌تر برای پیش‌بینی سریع رفتار حرارتی نیز مورد توجه بوده است. کین و همکاران از شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی پویای دما استفاده کردند [۱۲]. مطالعات جدیدتر با ترکیب مدل‌های CFD و یادگیری ماشین، پیش‌بینی دمای سه‌بعدی را در آتریوم‌های غیرمحمور ممکن ساخته‌اند [۹ و ۲۱]. این مطالعات زمینه‌ساز طراحی الگوریتم‌های پیش‌بینی بارهای حرارتی در سناریوهای مختلف طراحی محسوب می‌شوند. در اقلیم‌های گرم، تهویه شبانه و سرمایش طبیعی از راهکارهای کلیدی کاهش بار سرمایشی هستند. پژوهش‌های البوکورک و همکاران و موسوی و

میانگین سطح اشغال ساختمان‌ها ۶۷۶ متر مربع و ارتفاع آن‌ها از تراز زمین تا بام ۱۷/۲ متر است. متغیرهای مستقل شامل نوع فرم پلان (باز B و ترکیبی A)، نسبت سطح آتریوم مرکزی به سطح کل ساختمان (در سطوح ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪) و تناسبات هندسی کلی حجم ساختمان (در سه نسبت R1، R2 و R3) در نظر گرفته شده‌اند. همه ساختمان‌ها چهارطبقه هستند که در حالت B همه طبقات پلان باز و در حالت A همکف به صورت پلان باز و طبقات فوقانی به صورت دفاتر کار بسته مدل‌سازی شده‌اند. فرم پلان A منطبق با پلان اکثر ساختمان‌های مجموعه امیرکبیر که همکف به صورت پیشخوان و طبقات بسته است و پلان B (باز) براساس پیش‌بینی حالت بهینه حرارتی انتخاب گردید. تمامی آتریوم‌ها به صورت مرکزی و در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد از مساحت کل ساختمان طراحی شده‌اند. این انتخاب با هدف مقایسه عملکرد حرارتی در مقیاس‌های کوچک، متوسط و بزرگ انجام شد. مقدار ۳۰٪ نیز به عنوان حداکثر سطح منطقی براساس مطالعات پیشین [۲۵] و توصیه‌های طراحی پایدار در نظر گرفته شد تا تعادل بین بهره‌وری فضایی و بهبود شرایط حرارتی رعایت گردد. سه نسبت آتریوم (۱:۱، ۲:۱، ۳:۲) با هدف پوشش محدوده نسبت‌های هندسی متداول در ساختمان‌های اداری انتخاب شد. این نسبت‌ها که در محدوده ۱ تا ۲ قرار می‌گیرند، براساس بررسی پلان‌های اکثر ساختمان‌های مجموعه اداری امیرکبیر و بیشترین کاربرد و انعطاف‌پذیری در بهره‌وری فضایی، دریافت نور روز و تهویه طبیعی انتخاب شده‌اند. نسبت ۱:۱ نمایانگر فرم تقریباً مربعی، نسبت ۲:۱ نمایانگر فرم مستطیلی کشیده و نسبت ۳:۲ نمایانگر فرم میانه بین مربع و مستطیل است. با این انتخاب، تحلیل رفتار حرارتی آتریوم‌ها در گستره‌ای منطقی و متداول از فرم‌های معماری انجام شده و قابلیت تعمیم نتایج برای طراحی‌های واقعی افزایش یافته است. متغیرهای وابسته نیز شامل بار سرمایشی، گرمایشی و بار کل سالیانه ساختمان هستند. مطالعات گذشته نشان داده‌اند که روش‌های آماری می‌توانند رفتار حرارتی ساختمان‌ها را پیش‌بینی کنند، اما الگوریتم‌های دقیق برای آتریوم‌های مرکزی در اقلیم گرم و خشک کمتر توسعه یافته‌اند.



شکل (۱): ساختمان‌های دارای آتریوم مرکزی

همکاران نشان داده‌اند که تهویه شبانه در آتریوم‌های اداری می‌تواند مصرف انرژی را کاهش دهد؛ البته این موضوع به محل بازشو، ابعاد و شکل سقف وابسته است [۲۲ و ۲۳]. از منظر تلفیق آتریوم با سیستم‌های مکانیکی نیز، راتایپچاک و همکاران راهکارهایی برای طراحی یکپارچه آتریوم و سیستم‌های HVAC ارائه داده‌اند [۶]. خلجی اسدی و همکاران نیز با مدل‌سازی تحلیلی، نقش آتریوم را در تأمین گرمایش طبیعی بررسی کردند [۲۴]. ازسوی دیگر، عملکرد روشنایی طبیعی نیز در پژوهش‌های متعددی بررسی شده است. براردی و وانگ با تحلیل نورگیرهای فنوولتائیک نشان دادند که بهینه‌سازی هندسه نورگیرها می‌تواند کیفیت روشنایی و عملکرد سرمایشی را ارتقا دهد [۲۵ و ۱۰]. همچنین، دونگ و همکاران با شبیه‌سازی نورگیرهای سقفی در فضاها، تجاری زیرزمینی، بهترین ترکیب ابعاد و زاویه را ارائه دادند [۱۱]. در برخی پژوهش‌ها، چالش‌های ایمنی آتریوم در آتش‌سوزی نیز بررسی شده‌اند؛ برای نمونه آیالا و همکاران دریافتند که طراحی سقف‌های پله‌ای می‌تواند در کنترل دود و حرارت مؤثر باشد [۲۶]. ابعاد فضایی و اجتماعی آتریوم‌ها نیز در پژوهش دانلیسکی و همکاران و وو و همکاران مورد توجه قرار گرفته‌اند که نشان می‌دهند آتریوم‌ها علاوه بر عملکرد زیست‌محیطی، فضاهایی برای تعامل اجتماعی و آموزش فراهم می‌سازند [۲۷ و ۲۸].

مجموع این مطالعات نشان می‌دهد که طراحی مؤثر آتریوم، به‌ویژه در اقلیم گرم و خشک، نیازمند تحلیل همزمان مؤلفه‌هایی مانند نسبت‌های هندسی، ارتفاع، مساحت، نوع بازشو، وجود سایه‌بان و ارتباط با سیستم‌های مکانیکی است. این عوامل در ترکیب با الگوریتم‌های پیش‌بینی و مدل‌سازی آماری، می‌توانند مبنایی برای بهینه‌سازی عملکرد حرارتی ساختمان‌های اداری با آتریوم مرکزی فراهم سازند.

۳. ویژگی‌های مدل‌سازی

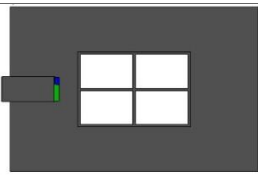
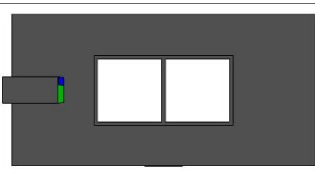
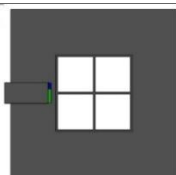
این پژوهش با رویکرد کمی و مبتنی بر راهبرد آزمایشی و شبیه‌سازی رایانه‌ای در محیط دیزاین بیلدر^۱ انجام شده است. در این تحقیق، تمرکز بر بررسی رفتار حرارتی ساختمان‌های اداری دارای آتریوم مرکزی در اقلیم گرم و خشک شهر اصفهان است. به منظور دستیابی به الگویی واقع‌گرایانه برای مدل‌سازی، مجموعه اداری امیرکبیر (واقع در خیابان ۲۲ بهمن اصفهان) به عنوان نمونه مبنا انتخاب شد. این مجموعه شامل ۳۲ ساختمان اداری مستقل است که به‌طور خاص و بدون محدودیت‌های متداول شهری، با کاربری اداری طراحی شده‌اند.

1. DesignBuilder

ساختمان‌ها در سه تیپ با تناسب‌های هندسی زیر طراحی گردید. بخش فوقانی (نورگیر) کلیه آتریوم‌ها از سطح بام ۱/۲۰ متر بالاتر است و در جداره‌های چهار جهت دارای بازشو می‌باشد که در دو نوع از آتریوم‌ها وضعیت آن‌ها تغییر کرده است (دارای بازشوی نورگیر و بدون بازشو). قرارگیری نورگیر آتریوم‌ها در ارتفاع ۱/۲۰ متر بالاتر از بام با هدف انطباق با شرایط واقعی ساخت و نصب سازه سقف شیشه‌ای صورت گرفت. در نوع آتریوم بدون بازشو، همه بازشوها در جداره‌های چهار جهت نورگیر بسته فرض شده و در نوع دارای بازشو در چهار جهت به صورت مجزا و یک حالت همه جهات باز مدل‌سازی شده است. در آتریوم سایبان‌دار، سایبان سقفی بر روی نورگیر پیش‌بینی شده که زوایای کرکره‌ها با سه زاویه ۵، ۴۵ و ۹۰ درجه مدل‌سازی شده است.

از آنجاکه در اقلیم گرم و خشک ایران، بهترین جهت‌گیری ساختمان برای کاهش بار سرمایش و گرمایش، راستای شرقی-غربی است تا طولانی‌ترین نماها به سمت شمال و جنوب قرار گیرد و امکان کنترل تابش با سایه‌بان بهینه‌تر شود، جهت‌گیری اصلی ساختمان‌ها در راستای شرق-غرب تعیین شد. شکل (۱) موقعیت خورشید در آسمان و دریافت انرژی خورشیدی را نشان می‌دهد. سطح بازشوها برابر با ۲۰٪ سطح نما در نظر گرفته شد. این درصد براساس مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان تعیین شده تا حداکثر تهویه مکانیکی بیش از ۲۰٪ از حداقل تهویه لازم نباشد. درصد بالاتر بار سرمایشی را افزایش و درصد پایین‌تر نور طبیعی را کاهش می‌دهد. برای جلوگیری از دخالت تهویه طبیعی در نتایج، بازشوها در وضعیت بسته شبیه‌سازی شدند. فرم آتریوم‌ها در هر مدل، متناسب با نسبت ابعاد حجم ساختمان تطبیق داده شده است. براساس جدول (۱) حجم کلی

جدول (۱): ابعاد آتریوم‌ها برحسب متر بدون احتساب سه نسبت مساحت آتریوم ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد

تناسبات آتریوم و ساختمان			مشخصات / تناسبات	
R3 (۳:۲)	R2 (۲:۱)	R1 (۱:۱)	ابعاد ساختمان	
۳۱/۸۶×۲۱/۲۴	۳۶/۸۰×۱۸/۴۰	۲۶/۰۰×۲۶/۰۰		
			درصد مساحت آتریوم	محل قرارگیری آتریوم
۱۰/۰۸×۶/۷۲	۱۱/۶۰×۵/۸۰	۸/۲۲×۸/۲۲	۱۰٪	مرکزی
۱۴/۱۰×۹/۴۰	۱۶/۴۶×۸/۲۳	۱۱/۶۲×۱۱/۶۲	۲۰٪	مرکزی
۱۷/۴۲×۱۱/۶۲	۲۰/۱۶×۱۰/۰۸	۱۴/۲۲×۱۴/۲۲	۳۰٪	مرکزی

جدول (۲): نحوه نام‌گذاری مدل‌ها بدون احتساب نسبت مساحت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد آتریوم

B			A			نوع پلان ساختمان	
R3	R2	R1	R3	R2	R1	تناسبات ساختمان و آتریوم	
BR3C-PON	BR2C-PON	BR1C-PON	AR3C-PON	AR2C-PON	AR1C-PON	در ضلع شمالی	دارای بازشوی نورگیر
BR3C-POS	BR2C-POS	BR1C-POS	AR3C-POS	AR2C-POS	AR1C-POS	در ضلع جنوبی	
BR3C-POE	BR2C-POE	BR1C-POE	AR3C-POE	AR2C-POE	AR1C-POE	در ضلع شرقی	
BR3C-POW	BR2C-POW	BR1C-POW	AR3C-POW	AR2C-POW	AR1C-POW	در ضلع غربی	
BR3C-POT	BR2C-POT	BR1C-POT	AR3C-POT	AR2C-POT	AR1C-POT	در کلیه جهات	
BR3C-PLR5	BR2C-PLR5	BR1C-PLR5	AR3C-PLR5	AR2C-PLR5	AR1C-PLR5	زاویهٔ سایبان ۵ درجه	دارای
BR3C-PLR45	BR2C-PLR45	BR1C-PLR45	AR3C-PLR45	AR2C-PLR45	AR1C-PLR45	زاویهٔ سایبان ۴۵ درجه	سایبان
BR3C-PLR90	BR2C-PLR90	BR1C-PLR90	AR3C-PLR90	AR2C-PLR90	AR1C-PLR90	زاویهٔ سایبان ۹۰ درجه	سقفی
BR3C	BR2C	BR1C	AR3C	AR2C	AR1C	بدون بازشو	

۴. اعتبارسنجی مدل سازی

ژانویه تا مه و اکتبر تا دسامبر (۸ ماه نسبتاً سرد) انتخاب شد. این بازه مطابق داده‌های اقلیمی شهر اصفهان و پیش‌بینی نیاز غالب گرمایشی ساختمان‌ها در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان تعیین شده است [۲۹]. برای ارزیابی دقت مدل‌سازی، مدل شهرداری منطقه ۴ اصفهان در مجموعه اداری امیرکبیر به عنوان نمونه شاهد شبیه‌سازی گردید. تطابق میان خروجی‌های شبیه‌سازی و داده‌های واقعی مصرف انرژی، امکان استخراج ضرایب اصلاحی جهت بومی‌سازی نتایج را به شرح جدول (۳) فراهم کرد.

مدل‌سازی انرژی ساختمان‌ها در نرم‌افزار دیزاین بیلدر ۷7.0.1.004 با تعیین موقعیت جغرافیایی اصفهان و نوع فعالیت^۱ انجام شد. برخی پارامترها با توجه به شرایط بومی و تحقیق حاضر به صورت دستی تنظیم شدند؛ از جمله نسبت سطح پنجره به نمای ساختمان برابر ۲۰٪، ارتفاع کف تا آستانه پنجره از ۸۰ به ۱۲۰ سانتی‌متر، تعریف برنامه زمان‌بندی استفاده از فضاها، وسایل، هواسازها و تجهیزات براساس نوع کاربری^۲. بازه عملکرد سیستم سرمایش در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر (۴ ماه نسبتاً گرم)، بازه عملکرد سیستم گرمایش در ماه‌های

جدول (۳): پارامترهای کلیدی و ضرایب اصلاح در مدل‌سازی انرژی

مؤلفه	COP سرمایش	نوع رفتار کاربر (سرمایش)	COP گرمایش	نوع رفتار کاربر (گرمایش)	دوره سرمایش (ژوئن-سپتامبر)	دوره گرمایش (ژانویه-مه و اکتبر-دسامبر)
مقدار در مدل انرژی	۱/۸	استاندارد/بهبوده	۰/۸۵	استاندارد/بهبوده	KWh ۴۵۷۹۶	KWh ۶۲۶۵۸
مقدار واقعی در ساختمان‌های موجود	۱/۲۵	۱۰٪ افزایش مصرف	۰/۲۵ (کاهش بازدهی)	۳۰٪ افزایش مصرف	KWh ۷۳۲۴۴	$25/854 \text{ m}^3 \times 11 = 284394 \text{ KWh}$
ضریب اصلاح	۱/۵۹۹		۲/۶۲۲		-	-
میزان انحراف	۱/۰۰۹		۱/۰۲۶		-	-

۵. بررسی تأثیر طراحی آتریوم بر بارهای حرارتی

ساختمان اداری

براساس نتایج مدل‌سازی در جدول (۴)، تجزیه و تحلیل اثر طراحی آتریوم بر بارهای حرارتی انجام شد.

۱.۵. تأثیر نوع آتریوم

نوع آتریوم مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر بارهای حرارتی بوده و تفاوت‌های محسوسی میان حالت‌های مختلف آن دیده می‌شود. برای بررسی دقیق‌تر، سه حالت زیر به تفکیک تحلیل می‌شود:

۱-۱. آتریوم بدون بازشو (محصور): این حالت در اغلب موارد دارای بالاترین بارهای حرارتی سالیانه است. برای نمونه، در پلان A، تناسب R1، آتریوم ۳۰٪، مدل AR1C بار کل سالیانه برابر با ۱۴۹۷۸۲ کیلووات ساعت است. در پلان B، تناسب R3، آتریوم ۳۰٪، مدل BR3C مقدار بسیار بالای ۱۶۲۰۷۲ کیلووات ساعت دارد. این نتایج نشان می‌دهد که نبود تهویه مؤثر منجر به افزایش بار سرمایش (به‌ویژه در فصل گرم سال) و افت عملکرد حرارتی شده است.

۲-۱. آتریوم دارای بازشوی نورگیر: در این حالت، امکان گردش طبیعی هوا فراهم شده و سطح روشنایی نیز افزایش یافته است. تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که در اغلب تناسب‌ها، بار کل سالیانه کمتر از حالت بسته است ولی همچنان در برخی موارد (به‌ویژه در پلان B با درصد آتریوم بالا)، بار سرمایشی افزایش پیدا کرده است. برای مثال، در BR1C-PON با آتریوم ۳۰٪، بار کل به KWh ۱۶۲۰۶۲ رسیده که تفاوت اندکی با حالت بسته دارد، اما در پلان A، تفاوت‌ها چشمگیرتر است.

۳-۱. آتریوم دارای سایبان سقفی: در اکثر سناریوها، کمترین بار حرارتی سالیانه متعلق به این نوع آتریوم است. سایبان با زوایای متغیر (۵، ۴۵، ۹۰ درجه) موجب کنترل تابش خورشیدی و تعدیل بار سرمایش شده است. به‌ویژه در زاویه ۵ درجه (تقریباً بسته) بار گرمایش را به حداقل رسیده است بدون اینکه افزایش زیاد بار سرمایش به وجود آمده باشد. برای مثال AR3C-PLR5 با آتریوم ۳۰٪، KWh ۱۰۲۲۸۷ و BR2C-PLR5 با آتریوم ۳۰٪، KWh ۱۰۰۶۷۱ است.

بنابراین افزودن سایبان به نورگیر آتریوم راهکار مؤثری برای کاهش هر دو نوع بار سرمایشی و گرمایشی است. در مقابل، نبود بازشو منجر به حبس انرژی گرمایی و افزایش بار سرمایش شده است.

1. Generic Office Area
2. Areas to Perform Office Work Including Offices and Meeting Rooms

۲.۵. تأثیر درصد مساحت آتریوم (۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪)

باعث افزایش بار سالیانه شده است. در حالت بدون بازشو، افزایش مساحت آتریوم به ۳۰٪، منجر به جهش بار سرمایش و در نتیجه افزایش بار کل شده است. بنابراین استفاده از سایبان و بازشو در افزایش مساحت، تأثیر مثبت دارد.

براساس شکل (۲) بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که افزایش سطح آتریوم همیشه به کاهش یا افزایش بار انرژی منجر نمی‌شود، بلکه وابسته به نوع آتریوم و پلان است. همان‌طور که در شکل (۳) آمده، در حالت دارای سایبان سقفی، افزایش درصد آتریوم تا ۳۰٪ غالباً

جدول (۴): نتایج حاصل از شبیه‌سازی

مساحت آتریوم ۳۰٪			مساحت آتریوم ۲۰٪			مساحت آتریوم ۱۰٪			نوع	د	ت	ت
سالیانه	بار سرمایش	بار گرمایش	سالیانه	بار سرمایش	بار گرمایش	سالیانه	بار سرمایش	بار گرمایش				
۱۴۹۶۸۳	۸۱۳۲۲	۶۱۳۶۱	۱۳۶۹۸۵	۷۵۱۵۳	۶۱۸۳۲	۱۲۳۰۴۷	۶۱۵۷۰	۶۱۴۷۷	AR1C-PON	دارای بازشوی نورگیر	R1	A
۱۴۹۷۳۱	۸۱۳۴۰	۶۱۳۹۱	۱۳۶۹۶۵	۷۵۱۳۲	۶۱۸۳۳	۱۲۳۳۵۴	۶۱۸۶۸	۶۱۴۸۷	AR1C-POS		R1	A
۱۴۹۷۱۵	۸۱۳۳۳	۶۱۳۸۲	۱۳۶۹۴۱	۷۵۱۹۰	۶۱۷۵۱	۱۲۳۰۵۷	۶۱۵۸۲	۶۱۴۷۶	AR1C-POE		R1	A
۱۴۹۷۱۳	۸۱۳۳۲	۶۱۳۸۱	۱۳۶۹۷۵	۷۵۱۵۹	۶۱۸۱۶	۱۲۳۳۶۱	۶۱۸۷۵	۶۱۴۸۶	AR1C-POW		R1	A
۱۴۹۴۱۶	۸۱۰۵۴	۶۱۳۶۱	۱۳۶۸۰۶	۷۴۹۸۹	۶۱۸۱۷	۱۲۳۲۴۰	۶۱۷۵۳	۶۱۴۸۷	AR1C-POT		R1	A
۱۰۷۷۳۶	۴۷۲۰۶	۶۰۵۳۰	۱۰۸۲۵۵	۴۷۵۸۵	۶۰۶۷۰	۱۰۸۲۷۱	۴۷۹۸۴	۶۰۲۸۷	AR1C-PLR5	دارای سایبان سقفی	R1	A
۱۱۹۰۸۴	۵۸۵۰۳	۶۰۵۸۱	۱۱۵۹۳۵	۵۵۲۵۰	۶۰۶۸۵	۱۱۲۶۵۸	۵۳۳۲۵	۶۰۳۳۲	AR1C-PLR45		R1	A
۱۳۴۱۴۷	۷۲۷۷۷	۶۱۳۶۹	۱۲۶۲۴۷	۶۴۴۱۲	۶۱۸۳۶	۱۲۳۲۸۶	۶۱۸۰۷	۶۱۴۷۸	AR1C-PLR90		R1	A
۱۴۹۷۸۲	۸۱۴۰۶	۶۱۳۷۶	۱۳۷۱۳۹	۷۵۳۲۴	۶۱۸۱۵	۱۳۷۱۳۹	۷۵۳۲۴	۶۱۸۱۵	AR1C	بدون بازشو	R1	A
۱۴۹۲۰۶	۸۳۹۴۵	۶۵۲۶۱	۱۳۷۷۸۱	۷۵۳۸۱	۶۲۴۰۱	۱۲۵۹۷۲	۶۲۴۹۳	۶۳۴۷۹	AR2C-PON	دارای بازشوی نورگیر	R2	A
۱۴۹۱۷۱	۸۳۹۶۲	۶۵۲۰۸	۱۳۷۷۸۸	۷۵۳۵۴	۶۲۴۳۳	۱۲۶۱۴۶	۶۲۷۷۷	۶۳۳۶۹	AR2C-POS		R2	A
۱۴۹۱۹۷	۸۳۹۹۹	۶۵۱۹۹	۱۳۷۸۰۱	۷۵۳۹۸	۶۲۴۰۳	۱۲۶۱۹۵	۶۲۷۸۱	۶۳۴۱۴	AR2C-POE		R2	A
۱۴۹۲۳۷	۸۴۰۰۳	۶۵۲۳۴	۱۳۷۸۰۰	۷۵۳۶۴	۶۲۴۳۶	۱۲۶۱۸۷	۶۲۷۷۶	۶۳۴۱۱	AR2C-POW		R2	A
۱۴۸۹۰۵	۸۳۷۰۴	۶۵۲۰۱	۱۳۷۵۹۵	۷۵۱۹۴	۶۲۴۰۱	۱۲۶۰۰۷	۶۲۶۳۳	۶۳۳۷۵	AR2C-POT		R2	A
۱۰۹۲۰۴	۴۷۱۲۶	۶۲۰۷۹	۱۰۹۴۷۶	۴۷۰۷۴	۶۲۴۰۲	۱۰۴۶۵۶	۴۰۶۴۳	۶۴۰۱۳	AR2C-PLR5	دارای سایبان سقفی	R2	A
۱۱۹۶۵۳	۵۸۳۳۴	۶۱۳۱۹	۱۱۶۸۹۶	۵۴۴۹۷	۶۲۳۹۹	۱۲۲۷۳۴	۵۳۳۳۱	۶۸۸۰۳	AR2C-PLR45		R2	A
۱۳۵۲۸۶	۷۲۱۰۰	۶۳۱۸۵	۱۲۶۷۰۱	۶۴۳۰۰	۶۲۴۰۱	۱۲۶۰۸۲	۵۸۱۷۰	۶۷۹۱۲	AR2C-PLR90		R2	A
۱۴۹۴۶۷	۸۴۲۵۶	۶۵۲۱۱	۱۳۷۹۹۵	۷۵۶۳۷	۶۲۳۵۷	۱۲۶۷۰۴	۶۴۱۶۵	۶۲۵۴۰	AR2C	بدون بازشو	R2	A
۱۴۲۱۰۱	۸۶۱۰۰	۵۶۰۰۲	۱۳۵۵۰۳	۷۲۹۲۹	۶۲۵۷۳	۱۲۲۵۹۴	۶۱۶۰۵	۶۰۹۸۸	AR3C-PON	دارای بازشوی نورگیر	R3	A
۱۴۲۱۰۴	۸۶۱۰۱	۵۶۰۰۲	۱۳۵۵۱۴	۷۲۹۴۸	۶۲۵۶۶	۱۲۲۶۰۶	۶۱۶۴۴	۶۰۹۶۱	AR3C-POS		R3	A
۱۴۲۱۴۵	۸۶۱۳۶	۵۶۰۰۹	۱۳۵۴۴۰	۷۳۲۸۱	۶۲۱۵۹	۱۲۳۱۰۲	۶۱۱۶۵	۶۱۹۳۸	AR3C-POE		R3	A
۱۴۲۱۵۱	۸۶۱۴۷	۵۶۰۰۴	۱۳۵۵۵۹	۷۲۹۹۱	۶۲۵۶۸	۱۲۲۵۹۷	۶۱۶۳۴	۶۰۹۶۳	AR3C-POW		R3	A
۱۴۱۷۷۶	۸۵۷۷۳	۵۶۰۰۳	۱۳۵۳۱۵	۷۲۷۴۶	۶۲۵۶۹	۱۲۲۴۲۵	۶۱۴۶۴	۶۰۹۶۱	AR3C-POT		R3	A
۱۰۲۲۸۸	۴۶۲۸۴	۵۶۰۰۴	۱۰۶۶۵۳	۴۶۲۲۳	۶۰۴۳۰	۱۰۶۶۱۵	۴۶۴۶۵	۶۰۱۵۰	AR3C-PLR5	دارای سایبان سقفی	R3	A
۱۱۳۳۵۸	۵۷۳۵۵	۵۶۰۰۳	۱۱۵۰۹۸	۵۲۳۵۰	۶۲۷۴۸	۱۱۱۴۴۸	۵۱۲۲۶	۶۰۲۲۲	AR3C-PLR45		R3	A
۱۲۶۶۱۷	۷۰۶۱۳	۵۶۰۰۴	۱۲۴۷۹۰	۶۲۶۳۲	۶۲۱۵۷	۱۱۶۴۶۹	۵۵۵۰۷	۶۰۹۶۳	AR3C-PLR90		R3	A
۱۴۲۴۷۷	۸۶۴۷۷	۵۶۰۰۱	۱۳۵۷۴۹	۷۳۱۷۹	۶۲۵۷۱	۱۲۲۸۷۴	۶۱۸۴۴	۶۱۰۳۰	AR3C	بدون بازشو	R3	A
۱۶۲۰۶۲	۱۱۴۹۴۴	۴۷۱۱۷	۱۴۱۶۲۵	۹۲۱۸۵	۴۹۴۴۱	۱۲۵۷۷۶	۷۵۳۵۵	۵۰۴۲۱	BR1C-PON	دارای بازشوی نورگیر	R1	B
۱۶۲۰۶۲	۱۱۴۹۵۰	۴۷۱۱۲	۱۴۱۶۲۵	۹۲۱۸۴	۴۹۴۴۰	۱۲۵۷۶۱	۷۵۳۴۲	۵۰۴۲۰	BR1C-POS		R1	B
۱۶۲۰۹۹	۱۱۴۹۸۱	۴۷۱۱۸	۱۴۱۶۰۰	۹۲۱۶۰	۴۹۴۴۰	۱۲۵۷۵۸	۷۵۳۳۹	۵۰۴۲۰	BR1C-POE		R1	B
۱۶۲۰۷۶	۱۱۴۹۵۶	۴۷۱۲۰	۱۴۱۶۱۳	۹۲۱۷۵	۴۹۴۳۸	۱۲۵۷۷۳	۷۵۳۵۳	۵۰۴۲۰	BR1C-POW		R1	B
۱۶۱۳۵۱	۱۱۴۲۲۹	۴۷۱۲۱	۱۴۱۰۹۳	۹۱۶۵۴	۴۹۴۳۹	۱۲۵۳۷۹	۷۴۹۵۹	۵۰۴۲۰	BR1C-POT		R1	B
۹۶۲۷۶	۵۰۰۷۷	۴۶۱۹۹	۹۸۵۵۳	۵۰۰۲۴	۴۸۵۳۰	۱۰۰۳۹۴	۴۹۹۷۵	۵۰۴۱۹	BR1C-PLR5	دارای سایبان سقفی	R1	B
۱۱۲۵۳۸	۶۶۳۳۹	۴۶۱۹۹	۱۰۹۳۹۶	۶۰۸۶۶	۴۸۵۳۰	۱۰۶۶۴۱	۵۶۲۲۲	۵۰۴۱۹	BR1C-PLR45		R1	B
۱۳۶۶۶۴	۸۹۵۴۵	۴۷۱۱۹	۱۲۵۱۸۲	۷۶۶۵۲	۴۸۵۳۰	۱۱۵۸۴۰	۶۵۴۱۷	۵۰۴۲۲	BR1C-PLR90		R1	B
۱۶۲۵۲۲	۱۱۵۴۰۶	۴۷۱۱۵	۱۴۲۰۳۲	۹۲۵۹۲	۴۹۴۴۱	۱۰۵۳۵۲	۷۵۷۴۴	۵۰۷۸۳	BR1C	بدون بازشو	R1	B

ردیف	نوع	مساحت آتریوم ۱۰٪			مساحت آتریوم ۲۰٪			مساحت آتریوم ۳۰٪		
		سالیانه	بار سرمایش	بار گرمایش	سالیانه	بار سرمایش	بار گرمایش	سالیانه	بار سرمایش	بار گرمایش
B	R2	۵۵۱۷۸	۶۹۷۱۸	۱۲۴۸۹۶	۵۲۲۲۹	۹۳۴۵۳	۱۴۵۶۸۲	۵۲۳۲۷	۱۱۶۹۵۶	۱۶۹۴۹۲
B	R2	۵۵۱۷۸	۶۹۷۱۸	۱۲۴۸۹۶	۵۲۲۲۹	۹۳۴۵۸	۱۴۵۶۸۷	۵۲۵۷۵	۱۱۶۴۶۳	۱۶۹۰۳۸
B	R2	۵۵۱۷۸	۶۹۷۱۸	۱۲۴۸۹۶	۵۲۲۲۹	۹۳۴۷۰	۱۴۵۶۹۹	۵۲۶۸۳	۱۱۵۰۱۶	۱۶۷۶۹۹
B	R2	۵۵۱۷۶	۶۹۶۹۱	۱۲۴۸۶۷	۵۲۲۲۹	۹۳۴۸۵	۱۴۵۷۱۴	۵۲۵۷۵	۱۱۶۵۲۶	۱۶۹۱۰۱
B	R2	۵۵۱۷۸	۶۹۴۱۸	۱۲۴۵۹۶	۵۲۲۲۹	۹۲۹۵۸	۱۴۵۱۸۷	۵۲۵۷۵	۱۱۵۸۷۲	۱۶۸۴۴۷
B	R2	۶۵۳۰۴	۵۲۳۰۱	۱۱۷۶۰۵	۵۲۲۲۹	۴۹۴۷۶	۱۰۱۷۰۶	۵۱۲۲۴	۴۹۴۴۷	۱۰۰۶۷۱
B	R2	۶۰۸۸۴	۵۷۸۳۶	۱۱۸۷۲۱	۵۲۲۲۹	۶۰۲۸۲	۱۱۲۵۱۱	۵۱۲۲۴	۶۶۰۹۰	۱۱۷۳۱۴
B	R2	۶۱۲۲۰	۶۳۷۷۰	۱۲۴۹۹۱	۵۲۲۲۹	۷۶۳۹۹	۱۲۸۶۲۸	۵۱۹۵۸	۹۰۵۸۵	۱۴۲۵۴۳
B	R2	۵۳۹۸۹	۷۳۱۴۴	۱۲۷۱۳۳	۵۲۲۲۹	۹۳۸۷۷	۱۴۶۱۰۶	۵۱۹۸۲	۱۱۷۰۸۸	۱۶۹۰۷۰
B	R3	۵۲۲۵۶	۶۹۴۹۹	۱۲۱۷۵۴	۵۱۳۱۵	۸۹۷۱۶	۱۴۱۰۳۰	۴۹۵۹۲	۱۱۲۰۴۰	۱۶۱۶۳۲
B	R3	۵۲۲۵۴	۶۹۵۱۸	۱۲۱۷۷۲	۵۱۳۱۶	۸۹۷۴۲	۱۴۱۰۵۸	۴۹۵۹۲	۱۱۲۰۰۱	۱۶۱۵۹۳
B	R3	۵۲۲۵۵	۶۹۵۰۷	۱۲۱۷۶۲	۵۰۹۱۲	۹۰۲۰۰	۱۴۱۱۱۲	۴۹۵۹۲	۱۱۲۰۶۳	۱۶۱۶۵۴
B	R3	۵۲۲۵۵	۶۹۵۲۰	۱۲۱۷۷۴	۵۱۳۱۹	۸۹۷۹۰	۱۴۱۱۰۹	۴۹۵۹۲	۱۱۲۰۵۱	۱۶۱۶۴۲
B	R3	۵۲۲۵۴	۶۹۲۱۸	۱۲۱۴۷۲	۵۱۳۱۹	۸۹۲۴۹	۱۴۰۵۶۸	۴۹۵۹۲	۱۱۱۳۶۰	۱۶۰۹۵۱
B	R3	۵۰۸۴۸	۴۸۲۰۴	۹۹۰۵۲	۴۸۹۸۶	۴۸۵۱۱	۹۷۴۹۷	۴۹۵۹۲	۴۸۴۹۴	۹۸۰۸۶
B	R3	۵۰۸۴۷	۵۴۶۶۱	۱۰۵۵۰۸	۴۸۹۸۶	۵۹۴۶۲	۱۰۸۴۴۸	۴۹۵۹۲	۶۴۲۱۰	۱۱۳۸۰۲
B	R3	۵۲۲۵۵	۶۱۱۷۸	۱۱۳۴۳۴	۵۰۹۱۰	۷۳۹۲۰	۱۲۴۸۳۰	۴۹۵۹۲	۸۷۳۲۸	۱۳۶۹۲۰
B	R3	۵۲۲۵۵	۶۹۹۰۵	۱۲۲۱۶۰	۵۰۶۶۷	۹۱۴۸۳	۱۴۲۱۵۰	۴۹۵۹۲	۱۱۲۴۸۱	۱۶۲۰۷۲

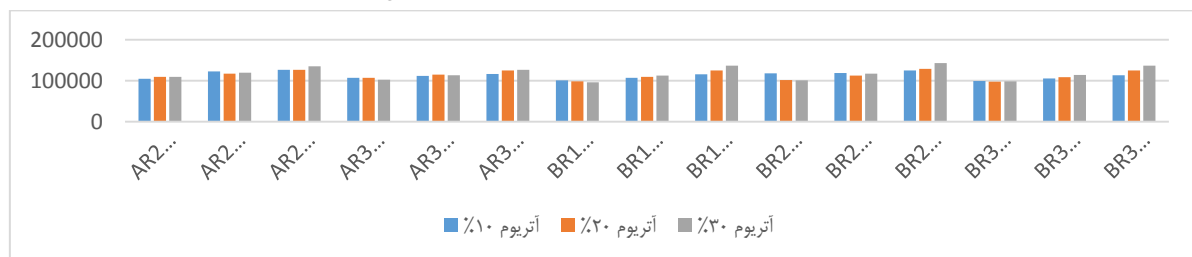
۳.۵. تأثیر تناسبات هندسی ساختمان و آتریوم (R1)، (R2، R3)

براساس شکل (۴)، بررسی تأثیر تناسبات هندسی نشان می‌دهد که فرم‌های فشرده‌تر در مقایسه با فرم‌های کشیده‌تر رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند. در ساختمان با پلان A، مدل‌های R1 اغلب دارای بار حرارتی متوسط هستند. مدل‌های R2 کمی بالاترند، اما تفاوت اصلی وابسته به نوع آتریوم است. در مدل‌های R3 در بعضی سناریوها مانند سایبان‌دار، کمترین بار کل مشاهده می‌شود. در ساختمان با پلان B، رفتار مشابه است، ولی تأثیر R1 در کاهش بار گرمایشی و R3 بیشتر محسوس است چون در فرم پلان باز جریان هوا مناسب‌تر گردش داشته است؛ به‌طوری‌که در مدل BR3C-PLR5 کمترین بارهای

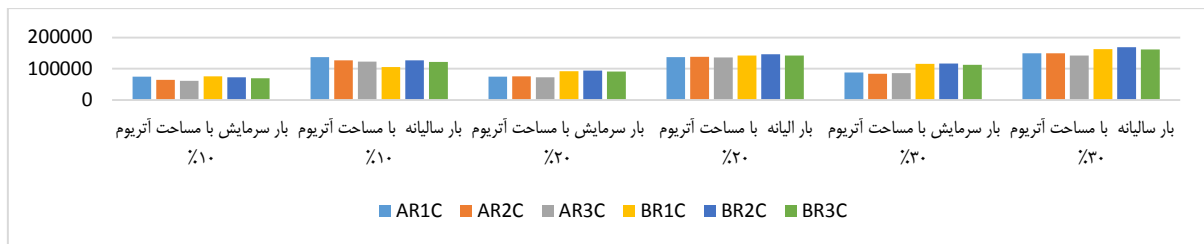
سالیانه در کل پلان B رخ داده است؛ لذا تناسب R3 در ترکیب با سایبان سقفی به‌ویژه در پلان B، بیشترین بهره‌وری را دارد.

۴.۵. تأثیر نوع پلان (A: همکف باز و طبقات بسته و B: باز)

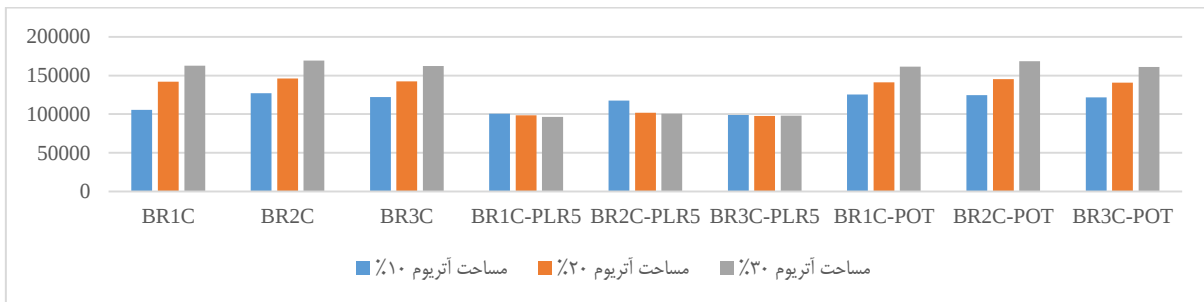
در پلان A طبقه همکف باز و طبقات بالا بسته هستند. در اکثر سناریوها، بار گرمایشی بیشتر ولی بار سرمایشی کنترل‌شده‌تر است. در پلان B گرمایش کاهش یافته ولی سرمایش افزایش یافته است و در صورتی‌که سایبان اضافه شود، پلان B بهترین عملکرد را دارد. بنابراین پلان B با آتریوم‌های بهینه (مثلاً سایبان‌دار یا با بازو مناسب) می‌تواند منجر به عملکرد انرژی بهتر شود. اما در حالت آتریوم بسته، پلان A اندکی بهتر عمل می‌کند.



شکل (۲): مقایسه تأثیر درصد مساحت آتریوم بر بار سالیانه (KWh) در مدل‌های سایبان‌دار



شکل (۳): مقایسه تأثیر افزایش مساحت آتریوم بر بار سرمایش و سالیانه (KWh) در مدل‌های بدون سایبان و بازشو



شکل (۴): مقایسه تأثیر تغییر تناسب هندسی ساختمان و آتریوم (R3, R2, R1) بر بار سالیانه (KWh) در مدل‌های با پلان B در کلیه حالات

در برخی سناریوها مصرف انرژی بهینه‌تری را نشان داده‌اند، گرچه اثر این متغیر نسبت به سایر عوامل متوسط ارزیابی می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که ترکیب صحیح هندسه پلان، مساحت آتریوم، جزئیات بازشو و طراحی سایبان، می‌تواند به‌طور معناداری عملکرد انرژی ساختمان را بهبود بخشد. این یافته‌ها اهمیت طراحی یکپارچه و مبتنی بر داده در فاز اولیه پروژه‌های اداری واقع در اقلیم‌های گرم و خشک را برجسته می‌سازند.

۶. استخراج الگوریتم رفتار حرارتی آتریوم مرکزی

برای پاسخ به سؤال پژوهش مبنی بر تأثیر متغیرهای طراحی آتریوم مرکزی بر بارهای حرارتی ساختمان‌های اداری، ابتدا داده‌های حاصل از سناریوهای طراحی مختلف وارد محیط SPSS شده و تحلیل رگرسیون چندمتغیره انجام شد. هدف این مرحله، استخراج الگوریتم‌های پیش‌بینی بار گرمایش، سرمایش و سالیانه براساس متغیرهای طراحی بود تا بتوان رابطه کمی میان پارامترها و رفتار حرارتی ساختمان‌ها تبیین کرد. بدین ترتیب، امکان تبیین کمی رابطه میان پارامترهای طراحی و بارهای گرمایش، سرمایش و سالیانه فراهم شد که چارچوبی برای تصمیم‌سازی مبتنی بر داده در فاز طراحی معماری ایجاد می‌کند. الگوریتم رفتار حرارتی ساختمان به‌صورت یک معادله رگرسیون چندمتغیره تعریف شده که در آن سه یا چهار متغیر مستقل شامل نوع پلان ساختمان (X_1)، تناسب آتریوم (X_2)، درصد مساحت آتریوم به سطح ساختمان (X_3) و زاویه سایبان (X_4) هستند. هر متغیر به‌صورت عددی مدل شده و دامنه‌های

درمجموع تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که میزان بارهای گرمایش، سرمایش و مصرف سالیانه انرژی، تحت تأثیر ترکیب چندین عامل معماری قرار دارد. در میان متغیرهای بررسی‌شده، نوع آتریوم (ویژگی‌هایی مانند وجود سایبان سقفی و بازشوها)، درصد سطح آتریوم نسبت به کل ساختمان، و نوع پلان (باز یا ترکیبی) بیشترین نقش را در عملکرد حرارتی ایفا می‌کنند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با افزایش مساحت آتریوم از ۱۰٪ به ۳۰٪، به‌ویژه در مدل‌های با پلان باز، بار سرمایشی به‌صورت قابل توجهی افزایش می‌یابد. این افزایش ناشی از رشد سطح تابش‌پذیر در فضای نیمه‌داخلی آتریوم و بالا رفتن بار خنک‌سازی در فصول گرم است. درمقابل، مدل‌هایی که دارای سایبان سقفی هستند، به‌طور متوسط عملکرد انرژی بهتری را نشان داده‌اند؛ به‌ویژه سایبان‌هایی با زاویه ۵ درجه (نزدیک به حالت بسته) در بیشترین موارد منجر به کاهش چشمگیر بار سرمایشی و کل بار سالیانه شده‌اند. این امر نشان می‌دهد که کنترل تابش مستقیم آفتاب، در اقلیم گرم و خشک، نقش کلیدی در کاهش مصرف انرژی ایفا می‌کند. زاویه ۴۵ درجه نیز در برخی فرم‌های خاص نتایج متعادلی ارائه داده، اما براساس داده‌های این پژوهش، زاویه ۵ درجه بهترین عملکرد حرارتی را ایجاد کرده است. در بررسی تأثیر نوع پلان، مشخص شد که مدل‌های با پلان باز B، به‌ویژه در درصد مساحت آتریوم بالا، گرایش به بار سرمایشی بیشتر دارند، درحالی‌که مدل‌های ترکیبی A، به‌دلیل تفکیک فضایی و محدودسازی جریان هوای گرم، عملکرد حرارتی متعادلت‌ری را ثبت کرده‌اند. همچنین، فرم‌های با تناسب حجمی R3 (مستطیلی کشیده)

سرمایش دارد ($=0/000$ = سطح احتمال)، همچنین درصد مساحت آتریوم (x_3) قوی‌ترین اثر را دارد ($=0/805$ = بتا) و نشان‌دهنده نقش تعیین‌کننده آن در افزایش نیاز سرمایشی است. درمقابل، تناسب هندسی آتریوم (x_2) اثر آماری معناداری نداشته و حذف آن در مدل‌های ساده‌تر محتمل است. در مدل بار سالیانه، هر سه متغیر تأثیر معناداری دارند. نوع پلان و درصد آتریوم با اثر مثبت معنادار و تناسب آتریوم با اثر مثبت ضعیف ($=0/048$ = سطح احتمال) است. نقش x_3 پیرنگ‌ترین و پایدارترین عامل در افزایش بار کل سالیانه است. در مجموع، در آتریوم مرکزی دارای بازشو در تاج، نوع پلان (x_1) و به‌ویژه درصد مساحت آتریوم (x_3) بیشترین اثر را بر رفتار حرارتی دارند، درحالی‌که تناسب هندسی (x_2) نقش نسبتاً ضعیف‌تری ایفا می‌کند.

پیشنهادی برای آن مشخص شده است. ضرایب مربوط به این متغیرها شامل b_1 (ضریب نوع پلان)، b_2 (ضریب تناسب آتریوم)، b_3 (ضریب درصد سطح آتریوم) و b_4 (ضریب زاویه سایبان) هستند که بسته به شرایط طراحی از جمله محل آتریوم، وجود یا نبود سایبان و بازشو در تاج تغییر می‌کنند. همچنین مقدار b_0 به‌عنوان مقدار ثابت در معادله لحاظ شده و نقش پایه در پیش‌بینی رفتار حرارتی ایفا می‌کند. این معادلات نقش مؤثری در تحلیل و پیش‌بینی عملکرد حرارتی آتریوم در مراحل اولیه طراحی ایفا کرده و به معماران کمک می‌کند تا تصمیمات خود را بر مبنای داده‌های کمی اتخاذ کنند.

الگوریتم رفتار حرارتی:

$$= b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4$$

متغیرهای مستقل

x_1 متغیر نوع ساختمان: براساس نوع پلان (A or B) متغیر نوع ساختمان براساس نوع پلان که در نوع A (ساختمان با مبلمان اداری باز) این عدد یک و در نوع B (ساختمان با مبلمان اداری همکف باز و طبقات بسته) این عدد دو در نظر گرفته شده است. x_2 متغیر تناسب ساختمان^۱ ضریب متغیر تناسب ساختمان که در نوع یک به یک=۱، دو به یک=۲ و در سه به دو=۱/۵ فرض شده است. x_3 متغیر درصد نسبت مساحت آتریوم به سطح مقطع ساختمان^۲: ضریب متغیر درصد نسبت مساحت آتریوم به سطح مقطع ساختمان که در آتریوم‌های ۱۰٪=۱۰، ۲۰٪=۲۰ و ۳۰٪=۳۰ در نظر گرفته شده است. x_4 متغیر زاویه سایبان^۳ زاویه سایبان در سایبان‌های ۵°=۵، ۴۵°=۴۵ و در ۹۰°=۹۰ در نظر گرفته شده است.

در حالت آتریوم مرکزی دارای بازشو در تاج که در جدول (۵) آمده، تحلیل رگرسیون خطی برای پیش‌بینی بارهای گرمایش، سرمایش و سالیانه براساس سه متغیر طراحی شامل نوع پلان ساختمان (x_1)، تناسب آتریوم به ساختمان (x_2) و درصد مساحت آتریوم (x_3) انجام شده است. درخصوص بار گرمایش، نوع پلان (x_1) بیشترین اثر را دارد و با ضریب منفی و بسیار معنادار ($-0/919$ = بتا و $=0/000$ = سطح احتمال) نشان می‌دهد که استفاده از پلان A به‌طور مشخص موجب کاهش بار گرمایش می‌شود. تناسب آتریوم (x_2) نیز اثری مثبت و معنادار دارد، درحالی‌که درصد مساحت آتریوم (x_3) با اثر منفی و معنادار ($=0/000$ = سطح احتمال) نشان می‌دهد که افزایش سطح آتریوم موجب کاهش گرمایش می‌شود. در داده‌های بار سرمایش، نوع پلان تأثیر مثبت و بسیار معناداری بر افزایش بار

1. Atrium and Building Ratio
2. Percentage of Atrium to Building
3. Lower Degree

جدول (۵): نتایج حاصل از رگرسیون خطی اثر متغیرها بر مجموع بار گرمایش، سرمایش و سالیانه در آتریوم‌های مرکزی دارای بازشو در تاج

حالت	ضرایب غیراستاندارد (خام)		ضرایب استاندارد	t	سطح احتمال
	مقدار واقعی ضریب	خطای استاندارد ضریب	بتا		
۱	ثابت معادله	۶۹۴۵۰/۱۴۶	۹۶۶/۳۷۰	۷۱/۸۶۷	۰/۰۰۰
	نوع پلان ساختمان A یا B	-۱۰۵۹۰/۲۱۱	۳۵۵/۸۴۶	-۰/۹۱۹	۰/۰۰۰
	تناسب آتریوم و ساختمان	۳۲۳۲/۳۴۱	۴۳۵/۸۲۱	۰/۲۲۹	۰/۰۰۰
	درصد مساحت آتریوم به سطح مقطع ساختمان	-۱۰۰/۰۶۰	۲۷/۷۹۱	-۰/۱۴۲	۰/۰۰۰
متغیر وابسته: بار گرمایش					
۲	ثابت معادله	۲۳۹۳۴/۱۶۹	۲۴۵۳/۲۹۸	۹/۷۵۶	۰/۰۰۰
	نوع پلان ساختمان A یا B	۱۸۳۱۱/۰۵۱	۹۰۳/۳۷۷	۰/۵۳۹	۰/۰۰۰
	تناسب آتریوم و ساختمان	-۱۰۲۷/۰۸۲	۱۱۰۶/۴۰۷	-۰/۰۲۵	۰/۰۰۰
	درصد مساحت آتریوم به سطح مقطع ساختمان	۱۶۷۳/۷۴۸	۵۵/۳۲۰	۰/۸۰۵	۰/۰۰۰
متغیر وابسته: بار سرمایش					
۳	ثابت معادله	۹۳۳۸۴/۳۱۵	۲۴۳۴/۴۷۹	۳۸/۳۵۹	۰/۰۰۰
	نوع پلان ساختمان A یا B	۷۷۲۰/۸۴۰	۸۹۶/۴۴۸	۰/۲۷۴	۰/۰۰۰
	تناسب آتریوم و ساختمان	۲۲۰۵/۲۵۹	۱۰۹۷/۹۲۰	۰/۰۶۴	۰/۰۰۰
	درصد مساحت آتریوم به سطح مقطع ساختمان	۱۵۷۳/۶۸۷	۵۴/۸۹۶	۰/۹۱۳	۰/۰۰۰
متغیر وابسته: بار سالیانه					

مدل بار سرمایش، متغیر x_4 (زاویه سایبان) با بالاترین ضریب استاندارد ($0/812 = \text{بتا}$) و سطح معناداری بسیار بالا ($0/000 = \text{سطح احتمال}$) به‌عنوان تأثیرگذارترین عامل در کاهش بار سرمایش است. همچنین، نوع پلان و درصد مساحت آتریوم نیز اثر مثبت و معناداری دارند، اما متغیر x_2 در این مدل بی‌اثر است ($0/691 = \text{سطح احتمال}$). در حالت بار سالیانه، زاویه سایبان نقش کلیدی و اثر مثبت داشته است؛ لذا اثر معنادار و بسیار قوی بر افزایش بار سالیانه دارد ($0/846 = \text{بتا}$). سایر متغیرها نیز تأثیر معناداری دارند؛ نوع پلان با اثر منفی، تناسب آتریوم و درصد مساحت هر دو با اثر مثبت و قابل توجه است. در مجموع، در این سناریو زاویه سایبان (x_4) مهم‌ترین عامل مؤثر در عملکرد سرمایشی آتریوم به‌شمار می‌رود.

بنابراین معادلات رفتار حرارتی آتریوم‌های مرکزی دارای بازشو در تاج به‌صورت زیر است:

معادله بار گرمایش ساختمان اداری با آتریوم مرکزی دارای بازشو

در تاج:

$$\text{Heating load} = 69450.146 - 10590.211x_1 + 3232.341x_2 - 100.060x_3 \quad (1)$$

معادله بار سرمایش ساختمان اداری با آتریوم مرکزی دارای بازشو

در تاج:

$$\text{Cooling load} = 23934.169 + 18311.051x_1 - 1027.082x_2 + 1673.748x_3 \quad (2)$$

معادله بار حرارتی سالیانه ساختمان اداری با آتریوم مرکزی دارای

بازشو در تاج:

$$\text{Annual load} = 93384.315 + 7720.840x_1 + 2205.259x_2 + 1573.687x_3 \quad (3)$$

در سناریوی آتریوم مرکزی با سایبان سقفی طبق جدول (۶)،

معادلات رگرسیون خطی برای پیش‌بینی بارهای حرارتی با استفاده از چهار متغیر طراحی شامل نوع پلان (x_1)، تناسب آتریوم به ساختمان (x_2)، درصد مساحت آتریوم (x_3) و زاویه سایبان (x_4) استخراج شده‌اند. درخصوص بار گرمایش، نوع پلان و تناسب آتریوم به‌ترتیب اثر منفی و مثبت معنادار دارند ($0/001 < \text{سطح احتمال}$) و درصد مساحت آتریوم نیز نقش کاهنده معناداری ایفا می‌کند. اما متغیر زاویه سایبان تأثیر آماری معناداری ندارد ($0/451 = \text{سطح احتمال}$) که با توجه به تعریف عملکرد سایبان فقط در فصول گرم، طبیعی است. در

جدول (۶): نتایج حاصل از رگرسیون خطی اثر متغیرها بر مجموع بار گرمایش، سرمایش و سالیانه در آتریوم مرکزی با سایبان سقفی

حالت	ضرایب غیراستاندارد (خام)		ضرایب استاندارد	t	سطح احتمال
	مقدار واقعی ضریب	خطای استاندارد ضریب	بتا		
۱ ثابت معادله	۶۷۸۹۹/۳۵۶	۱۹۶۵/۹۹۰		۳۴/۵۳۷	۰/۰۰۰
نوع پلان ساختمان A یا B	-۱۰۰۱۷/۹۹۸	۷۰۲/۷۳۹	-۰/۸۰۹	-۱۴/۲۵۶	۰/۰۰۰
تناسب آتریوم و ساختمان	۴۹۳۷/۷۳۸	۸۶۰/۶۷۷	۰/۳۲۶	۵/۷۳۷	۰/۰۰۰
درصد مساحت آتریوم به سطح مقطع ساختمان	-۲۱۳/۹۱۱	۴۳/۰۳۴	-۰/۲۸۲	-۴/۹۷۱	۰/۰۰۰
زاویه سایبان	۷/۶۹۷	۱۰/۱۲۰	۰/۰۴۳	۰/۷۶۱	۰/۴۵۱
متغیر وابسته: بار گرمایش					
۲ ثابت معادله	۲۷۸۳۷/۲۷۰	۳۳۶۵/۸۳۶		۸/۲۷۱	۰/۰۰۰
نوع پلان ساختمان A یا B	۶۸۳۶/۸۱۷	۱۲۰۳/۱۱۲	۰/۳۰۲	۵/۶۸۳	۰/۰۰۰
تناسب آتریوم و ساختمان	-۵۸۹/۱۰۵	۱۴۷۳/۵۰۵	-۰/۰۲۱	-۰/۴۰۰	۰/۶۹۱
درصد مساحت آتریوم به سطح مقطع ساختمان	۴۵۷/۷۵۰	۷۳/۶۷۵	۰/۳۳۱	۶/۲۱۳	۰/۰۰۰
زاویه سایبان	۲۶۴/۴۰۷	۱۷/۲۳۵	۰/۸۱۲	۱۵/۲۶۱	۰/۰۰۰
متغیر وابسته: بار سرمایش					
۳ ثابت معادله	۹۵۷۳۶/۶۲۶	۴۰۶۸/۵۵۰		۲۳/۵۳۱	۰/۰۰۰
نوع پلان ساختمان A یا B	-۳۱۸۱/۱۸۲	۱۴۵۴/۲۹۶	-۰/۱۴۲	-۲/۱۸۷	۰/۰۳۴
تناسب آتریوم و ساختمان	۴۳۴۸/۶۳۳	۱۷۸۱/۱۴۱	۰/۱۵۹	۲/۴۴۱	۰/۰۱۸
درصد مساحت آتریوم به سطح مقطع ساختمان	۲۴۳/۸۳۹	۸۹/۰۵۷	۰/۱۷۸	۲/۷۳۸	۰/۰۰۹
زاویه سایبان	۲۷۲/۱۰۴	۲۰/۹۴۳	۰/۸۴۶	۱۲/۹۹۳	۰/۰۰۰
متغیر وابسته: بار سالیانه					

می‌دهد که نوع پلان همچنان نقش کاهنده قوی بر بار گرمایش دارد (۰/۰۰۰ = سطح احتمال). متغیر X_2 (تناسب آتریوم) اثر مثبت و نسبتاً ضعیفی دارد که از نظر آماری معنادار است (۰/۰۲۱ = سطح احتمال)، در حالی که X_3 (درصد مساحت) اثر کاهشی غیرمعنادار دارد (۰/۱۲۵ = سطح احتمال). در تحلیل بار سرمایش؛ نقش X_1 به صورت معنادار و افزایشی ظاهر شده که نشان‌دهنده تأثیر مستقیم نوع پلان بر افزایش بار سرمایش است. در این میان، متغیر X_2 تقریباً بی‌تأثیر بوده (۰/۹۴۶ = سطح احتمال)، اما X_3 تأثیر بسیار قوی، مثبت و معناداری دارد (۰/۷۹۳ = بتا و ۰/۰۰۰ = سطح احتمال)، که بیانگر افزایش بار سرمایش با افزایش سطح آتریوم است. درخصوص بار سالیانه نیز، تأثیر X_1 مثبت و معنادار است. متغیر X_2 اثر مثبت اما آماری غیرمعنادار دارد (۰/۳۴۱ = سطح احتمال) و X_3 نقش قوی و معناداری را در افزایش بار سالیانه ایفا می‌کند (۰/۰۰۰ = سطح احتمال). به‌طور کلی، در این سناریو همچنان نوع پلان (X_1) و درصد مساحت آتریوم (X_3) مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر رفتار حرارتی هستند. درمقابل، تناسب هندسی آتریوم (X_2) تأثیر محدود و در اغلب موارد غیرمعناداری دارد.

بنابراین معادلات رفتار حرارتی آتریوم‌های مرکزی با سایبان سقفی به‌صورت زیر است:

معادله بار گرمایش ساختمان اداری با آتریوم مرکزی همراه با سایبان سقفی:

$$\text{Heating load} = 67899.356 - 10017.998x_1 + 4937.738x_2 - 213.911x_3 + 7.697x_4 \quad (۴)$$

معادله بار سرمایش ساختمان اداری با آتریوم مرکزی همراه با سایبان سقفی:

$$\text{Cooling load} = 27837.270 + 6836.817x_1 - 589.105x_2 + 457.750x_3 + 264.407x_4 \quad (۵)$$

معادله بار حرارتی سالیانه ساختمان اداری با آتریوم مرکزی همراه با سایبان سقفی:

$$\text{Annual load} = 95736.626 - 3181.182x_1 + 4348.633x_2 + 243.839x_3 + 272.104x_4 \quad (۶)$$

در سناریوی آتریوم مرکزی بدون سایبان و بازشو براساس جدول (۷)، تحلیل رگرسیون چندمتغیره برای سه بار حرارتی (گرمایش، سرمایش و سالیانه) بر پایه سه متغیر طراحی شامل نوع پلان (X_1)، تناسب آتریوم به ساختمان (X_2) و درصد مساحت آتریوم (X_3) انجام شده است. در بار گرمایش، ضریب منفی و معنادار X_1 نشان

جدول (۷): نتایج حاصل از رگرسیون خطی اثر متغیرها بر مجموع بار گرمایش، سرمایش و سالیانه در آتریوم مرکزی بدون سایبان و بازشو

حالت		ضرایب غیراستاندارد (خام)		ضرایب استاندارد		t	سطح احتمال
		مقدار واقعی ضریب	خطای استاندارد ضریب	بتا			
۱	ثابت معادله	۶۹۹۱۴/۸۸۱	۲۳۶۴/۴۶۸		۲۹/۵۶۹	۰/۰۰۰	
	نوع پلان ساختمان A یا B	-۱۰۷۴۳/۴۳۵	۸۷۰/۶۶۸	-۰/۹۳۱	-۱۲/۳۳۹	۰/۰۰۰	
	تناسب آتریوم و ساختمان	۲۷۷۶/۹۹۳	۱۰۶۶/۳۴۶	۰/۱۹۶	۲/۶۰۴	۰/۰۲۱	
	درصد مساحت آتریوم به سطح مقطع ساختمان	-۸۶/۹۶۰	۵۳/۳۱۷	-۰/۱۲۳	-۱/۶۳۱	۰/۱۲۵	
متغیر وابسته: بار گرمایش							
۲	ثابت معادله	۲۲۹۶۶/۳۳۶	۵۹۳۵/۱۰۹		۳/۸۷۰	۰/۰۰۲	
	نوع پلان ساختمان A یا B	۱۸۹۵۸/۸۰۹	۲۱۸۵/۴۸۴	۰/۵۵۹	۸/۶۷۵	۰/۰۰۰	
	تناسب آتریوم و ساختمان	-۱۸۴/۹۲۸	۲۶۷۶/۶۶۱	-۰/۰۰۴	-۰/۰۶۹	۰/۹۴۶	
	درصد مساحت آتریوم به سطح مقطع ساختمان	۱۶۴۵/۸۹۶	۱۳۳/۸۳۳	۰/۷۹۳	۱۲/۲۹۸	۰/۰۰۰	
متغیر وابسته: بار سرمایش							
۳	ثابت معادله	۹۲۸۸۱/۲۱۷	۵۸۳۱/۵۶۹		۱۵/۹۲۷	۰/۰۰۰	
	نوع پلان ساختمان A یا B	۸۲۱۵/۳۷۴	۲۱۴۷/۳۵۸	۰/۲۹۳	۳/۸۲۶	۰/۰۰۲	
	تناسب آتریوم و ساختمان	۲۵۹۲/۰۶۴	۲۶۲۹/۹۶۵	۰/۰۷۶	۰/۹۸۶	۰/۳۴۱	
	درصد مساحت آتریوم به سطح مقطع ساختمان	۱۵۵۸/۹۳۶	۱۳۱/۴۹۸	۰/۹۰۹	۱۱/۸۵۵	۰/۰۰۰	
متغیر وابسته: بار سالیانه							

بازه نیز از نظر آماری، اختلالی در ساختار معادله ایجاد نمی‌کند. در مورد x_3 (درصد مساحت آتریوم)، مقادیر بین ۱۰ تا ۳۰ درصد به عنوان بازه پیشنهادی معرفی شده، اما مقادیر کمتر یا بیشتر نیز از نظر منطقی در طراحی آتریوم قابل قبول هستند. همچنین متغیر x_4 (زاویه سایبان) در بازه گسترده تری از ۱ تا ۹۰ درجه قابل تعریف است. بنابراین، معادلات پیشنهادی از انعطاف پذیری کافی برای تحلیل سناریوهای متنوع طراحی برخوردارند و امکان استفاده از مقادیر پیوسته یا ترکیبی نیز برای دستیابی به نتایج دقیق تر وجود دارد.

۷. نتیجه گیری

این پژوهش با هدف بررسی کمی تأثیر طراحی آتریوم مرکزی بر بارهای حرارتی ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم و خشک شهر اصفهان، با رویکردی تحلیلی-آماری انجام شد. فرایند تحقیق شامل شبیه سازی انرژی ۵۴ سناریوی طراحی با توجه به ترکیب متغیرهای نوع پلان، تناسبات هندسی آتریوم، درصد مساحت آتریوم و نوع بازشو یا سایبان، و سپس تحلیل آماری نتایج با استفاده از رگرسیون چندمتغیره بود. نتایج حاصل از شبیه سازی ها نشان داد که نوع آتریوم مهم ترین عامل تأثیرگذار بر مصرف انرژی است. به طور خاص، آتریوم های دارای سایبان سقفی، به ویژه با زاویه ۵ درجه (تقریباً بسته)، عملکرد بسیار بهینه تری در کاهش بار سرمایش و در نتیجه بار انرژی سالیانه از خود نشان دادند. متغیر زاویه سایبان در مدل های آماری نیز به عنوان تأثیرگذارترین عامل در بهینه سازی عملکرد سرمایشی و بار

بنابراین معادلات رفتار حرارتی آتریوم های مرکزی بدون سایبان و بازشو به صورت زیر است:

معادله بار گرمایش ساختمان اداری با آتریوم مرکزی بدون سایبان و بازشو:

$$\text{Heating load} = 69914.881 - 10743.435x_1 + 2776.993x_2 - 86.960x_3 \quad (۷)$$

معادله بار گرمایش ساختمان اداری با آتریوم مرکزی بدون سایبان و بازشو:

$$\text{Cooling load} = 22966.336 + 18958.809x_1 - 184.928x_2 + 1645.896x_3 \quad (۸)$$

معادله بار حرارتی سالیانه ساختمان اداری با آتریوم مرکزی بدون سایبان و بازشو:

$$\text{Annual load} = 92881.217 + 8215.374x_1 + 2592.064x_2 + 1558.936x_3 \quad (۹)$$

در تعریف متغیرهای مستقل به کاررفته در مدل های رگرسیون، مقادیر عددی انتخاب شده صرفاً نمایانگر وضعیت های پایه در سناریوهای شبیه سازی هستند و الزامی به محدود شدن معادلات به این مقادیر وجود ندارد. برای مثال، متغیر x_1 (نوع پلان) به صورت عددی بین ۱ (پلان باز) و ۲ (پلان تقریباً بسته) تعریف شده، اما امکان استفاده از مقادیر بینابینی برای نمایش انواع ترکیبی نیز وجود دارد. متغیر x_2 (تناسبات آتریوم و ساختمان) با مقادیر $R1:1$ ، $R2:2$ و $R3:1/5$ مدل سازی شده، با وجود اینکه توصیه می شود در بازه ۱ تا ۲ باقی بماند تا دقت پیش بینی حفظ شود، استفاده از مقادیر خارج از این

پلان باز، در ترکیب با عناصر کنترل مناسب (سایبان یا بازشو)، عملکرد بهینه‌تری در کاهش بارهای سرمایشی و سالیانه ارائه کرده است. در ادامه، با بهره‌گیری از نتایج شبیه‌سازی، معادلات رگرسیون چندمتغیره برای تعیین الگوریتم پیش‌بینی بارهای گرمایش، سرمایش و انرژی سالانه در سه حالت آتریوم مرکزی (دارای بازشو، دارای سایبان، و فاقد بازشو و سایبان) استخراج شد. این معادلات، ارتباط کمی میان متغیرهای طراحی (نوع پلان، تناسب هندسی، درصد سطح آتریوم و زاویه سایبان) و عملکرد انرژی ساختمان را تبیین می‌کنند و الگوریتم‌های رفتار حرارتی دقیقی برای پشتیبانی از تصمیم‌سازی طراحی در مراحل ابتدایی پروژه فراهم می‌سازند. در مجموع، این پژوهش تأکید می‌کند که طراحی آتریوم نباید صرفاً بر مبنای ملاحظات فضایی یا زیباشناختی انجام شود بلکه باید با رویکردی داده‌محور و اقلیم‌پایه، بهینه‌سازی شود. استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی امکان ارزیابی سریع گزینه‌های طراحی و کاهش هزینه‌های انرژی در فاز مفهومی پروژه‌های اداری در اقلیم گرم و خشک را فراهم می‌کند.

کل سالیانه شناسایی شد. در مقابل، آتریوم‌های بسته (فاقد بازشو یا سایبان) بیشترین بار حرارتی را تولید کردند و معادلات رگرسیونی نیز نقش کاهنده پلان تقریباً بسته (A) و اثر معنادار درصد سطح آتریوم در این افزایش را تأیید می‌کنند. همچنین، افزایش درصد مساحت آتریوم (x_3) به‌تنهایی تضمین‌کننده بهبود عملکرد حرارتی نیست و اثر آن کاملاً به نوع طراحی آتریوم و شرایط پلان وابسته است. در حالی که افزایش سطح در سناریوهای دارای سایبان یا تهویه مؤثر، موجب کاهش یا کنترل بار انرژی شده، در حالت‌های فاقد سایبان یا بازشو، منجر به رشد شدید بار سرمایش شده است. متغیر درصد سطح آتریوم در این شرایط با ضریب بالا و معنادار، به‌ویژه در بار سرمایشی، تأثیرگذارترین عامل افزایش مصرف انرژی تشخیص داده شد. تناسب هندسی آتریوم (x_2) نیز نقشی ترکیبی داشته است. در اغلب مدل‌های آماری، تأثیر آن ضعیف یا غیرمعنادار بوده، اما در سناریوهای خاص، مانند ترکیب فرم R3 با پلان باز و سایبان مناسب، بارهای حرارتی به حداقل رسیده است. نوع پلان ساختمان (x_1) نیز در تمامی سناریوها از اهمیت بالایی برخوردار بوده و تفاوت قابل توجهی میان عملکرد پلان تقریباً بسته (A) و پلان باز (B) مشاهده شد؛ به‌طوری‌که

مراجع

- [1] Lu, Y., Xiang, Y., Chen, G., Liu, J., Wang, Y., "On-site measurement and zonal simulation on winter indoor environment and air infiltration", *Energy and Buildings*, Vol. 213, p. 110160, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110160>.
- [2] Vujošević, M., Krstić-Furundžić, A., "The influence of atrium on energy performance of hotel building", *Energy and Buildings*, Vol. 154, pp. 309–321, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.068>.
- [3] Pan, Y., Li, Y., Huang, Z., Wu, G., "Study on simulation methods of atrium building cooling load", *Energy and Buildings*, Vol. 42, No. 8, pp. 1223–1230, 2010, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.04.008>.
- [4] Horan, J. M., Finn, D. P., "Sensitivity of air change rates in a naturally ventilated atrium space", *Energy and Buildings*, Vol. 40, No. 2, pp. 157–167, 2008, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.013>.
- [5] Wang, F., Pichatwatana, K., Roaf, S., Zhao, L., Zhu, Z., Li, J., "Developing a weather responsive internal shading system for atrium spaces of a commercial building in tropical climates", *Building and Environment*, Vol. 78, pp. 96–109, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.10.003>.
- [6] Ratajczak, M., Jarzebska, A., Jaskulska, M., Siuta-Olcha, A., "Atrium as a component of HVAC system", *Energy and Buildings*, Vol. 255, p. 111717, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111717>.
- [7] Shafiei Fini, A., Moosavi, S., "The influence of atrium wall angularity on ventilation", *Energy and Buildings*, Vol. 92, pp. 139–153, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.056>.
- [8] Ray, S. D., Gong, N.-W., Glicksman, L. R., Paradiso, J. A., "Experimental characterization of full-scale naturally ventilated atrium", *Energy and Buildings*, Vol. 66, pp. 79–91, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.018>.
- [9] Zhao, Y., Zhao, K., Ge, J., "Predicting the temperature distribution of a non-enclosed atrium and adjacent zones based on the Block model", *Building and Environment*, Vol. 221, p. 108952, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108952>.
- [10] Fan, Z., Yang, Z., Yang, L., "Daylight performance assessment of atrium skylight with integrated semi-transparent photovoltaic for different climate zones in China", *Building and Environment*, Vol. 180, p. 107299, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107299>.
- [11] Dong, L., He, Y., Qi, Q., Wang, W., "Optimization of daylight in atrium in underground commercial spaces: A case study in Chongqing, China", *Energy and Buildings*, Vol. 253, p. 111739, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111739>.
- [12] Qin, R., Yan, D., Zhou, X., Jiang, Y., "Research on a dynamic simulation method of atrium thermal

- environment based on neural network*", Building and Environment, Vol. 46, No. 10, pp. 2027–2036, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.11.001>.
- [13] Aldawoud, A., "The influence of the atrium geometry on the building energy performance", Energy and Buildings, Vol. 54, pp. 225–230, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.038>.
- [14] Wang, L., Huang, Q., Zhang, Q., Xu, H., Yuen, R. K. K., "Role of atrium geometry in building energy consumption", Energy and Buildings, Vol. 143, pp. 118–130, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.064>.
- [15] Aldawoud, A., & Clark, R., "Comparative analysis of energy performance between courtyard and atrium in buildings", Energy and Buildings, Vol. 39, No. 9, pp. 1043–1050, 2007, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.02.017>.
- [16] Xu, F., Li, C., Tang, H., "Influence analysis of space configuration on cooling load of a large semi-closed atrium in hot and humid region", Building and Environment, Vol. 221, p. 109670, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109670>.
- [17] Liu, P.-C., Lin, H.-T., Chou, J.-H., "Evaluation of buoyancy-driven ventilation in atrium buildings using computational fluid dynamics and reduced-scale air model", Building and Environment, Vol. 44, No. 9, pp. 1918–1929, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.01.013>.
- [18] Hussain, S., Oosthuizen, P. H., "Validation of numerical modeling of conditions in an atrium space with a hybrid ventilation system", Building and Environment, Vol. 46, No. 5, pp. 1102–1115, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.12.016>.
- [19] Acred, A., Hunt, G. R., "Stack ventilation in multi-storey atrium buildings: A dimensionless design approach", Building and Environment, Vol. 66, pp. 65–76, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.10.007>.
- [20] Lynch, P. M., Hunt, G. R., "The night purging of a two-storey atrium building", Building and Environment, Vol. 45, No. 6, pp. 1373–1383, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.07.009>.
- [21] Liu, J., Xu, P., Yu, B., Guo, H., Wang, T., Liu, Y., "Fast 3D temperature prediction of entrance-atrium in commercial complex", Energy and Buildings, Vol. 263, p. 112032, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112032>.
- [22] Albuquerque, D. P., Mateus, N., Avantaggiato, M., Carrilho da Graça, G., "Full-scale measurement and validated simulation of cooling load reduction due to nighttime natural ventilation of a large atrium", Energy and Buildings, Vol. 224, p. 110233, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110233>.
- [23] Moosavi, L., Mahyuddin, N., Ghafar, N., "Atrium cooling performance in a low energy office building in the tropics, a field study", Building and Environment, Vol. 94, pp. 565–575, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.020>.
- [24] Khalaji Assadi, M., Dalir, F., Hamidi, A. A., "Analytical model of atrium for heating and ventilating an institutional building naturally", Energy and Buildings, Vol. 43, No. 11, pp. 3040–3047, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.05.009>.
- [25] Berardi, U., Wang, T., "Daylighting in an atrium-type high performance house", Building and Environment, Vol. 75, pp. 33–45, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.02.008>.
- [26] Ayala, P., Cantizano, A., Gutiérrez-Montes, C., Rein, G., "Influence of atrium roof geometries on the numerical predictions of fire tests under natural ventilation conditions", Energy and Buildings, Vol. 64, pp. 185–196, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.06.010>.
- [27] Danielski, I., Nair, G., Joelsson, A., Fröling, M., "Heated atrium in multi-storey apartment buildings, a design with potential to enhance energy efficiency and to facilitate social interactions", Building and Environment, Vol. 106, pp. 144–155, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.038>.
- [28] Wu, X., Oldfield, P., Heath, T., "Spatial openness and student activities in an atrium: A parametric evaluation of a social informal learning environment", Building and Environment, Vol. 183, p. 107141, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107141>.
- [29] Ministry of Roads and Urban Development, Plan and Budget Organization, and Road, Housing and Urban Development Research Center, "Topic 19: Energy conservation in buildings (3rd ed.)", National Building Regulations Office, 2013.