

A Comparative Study of the Types of Atriums Form and Skylight to Improve the Energy Efficiency in Educational Buildings in Tehran

Ahmadreza Keshtkar Ghalati^{1*}, Maryam Farahkhiz²

Received: 2023/10/30

Revised: 2023/12/25

Accepted: 2024/01/17

Published: 2025/05/05

Highlights

- ≠ Energy Efficiency Comparison: The study provides a comprehensive comparison of different atrium forms (circular, square, rectangular) and skylight types (flat, spherical, cylindrical) to identify the most energy-efficient design for educational buildings in Tehran.
- ≠ Optimal Atrium Design: Results indicate that the circular atrium form combined with a flat skylight significantly reduces total energy consumption, highlighting the importance of geometrical characteristics in optimizing energy efficiency.
- ≠ Simulation and Analysis: Utilizing Design Builder software and Energy Plus engine for detailed simulations, the research offers valuable insights into the impact of atrium and skylight design on heating, cooling, lighting, and overall energy usage in educational spaces.

Extended Abstract

Introduction

This study investigates the impact of atrium form and skylight design on the energy efficiency of educational buildings in Tehran. Atriums, serving as passive light absorbers, not only enhance the psychological well-being by connecting indoor and outdoor spaces but also pose a challenge in managing heat during hot seasons. Without proper ventilation and shading, atriums can significantly increase cooling loads. The aim is to identify optimal atrium designs that balance light intake and energy consumption.

Theoretical Framework

The theoretical framework for this research is based on previous studies that highlight the importance of geometric characteristics in atrium daylighting performance. Key features such as skylight systems, atrium form, and surrounding interfaces are examined to understand their influence on energy efficiency. This study expands on the existing literature by providing a comparative analysis of different atrium and skylight configurations.

Methodology

The research utilizes Design Builder software for data simulation and analysis, leveraging the Energy Plus engine for precise calculations. Three atrium forms (circular, square, and rectangular) with identical areas are initially simulated. Subsequently, three types of skylight roofs (flat, spherical, and cylindrical) are evaluated for their impact on energy consumption. The simulations provide insights into the optimal design parameters for minimizing energy usage in educational buildings.

Results & Discussion

The results indicate that among the three atrium forms, the circular plan demonstrates the lowest total energy consumption at 215.5 MWh, followed by the square and rectangular plans. The circular atrium with a flat skylight shows the most effective energy efficiency at 207.1 MWh, compared to other skylight configurations. These findings

^{1*} Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Kharazmi University, Tehran, Iran; Corresponding Author, [Email: a.keshtkar@khu.ac.ir](mailto:a.keshtkar@khu.ac.ir)

² M.Sc. in Architecture and Energy, Department of Architecture, Faculty of Architecture, Rassam Institute of Higher Education, Karaj, Iran.

underscore the importance of selecting appropriate atrium and skylight designs to enhance energy efficiency in buildings.

Conclusion

In conclusion, the study highlights that the circular atrium form combined with a flat skylight roof significantly optimizes energy consumption in educational buildings. These insights can inform architectural designs and contribute to sustainable building practices in Tehran and similar climates. Further research may explore additional variables and broader applications to generalize the findings.

Keywords

Energy Efficiency, Atriums Form, Daylight, Educational Building, Tehran City.



Citation:

Keshtkar Ghalati, A., & Farahkhiz, M. (2025). A Comparative Study of the Types of Atriums Form and Skylight to Improve the Energy Efficiency in Educational Buildings in Tehran. *Journal of Urban Sustainable Development*, 6(18), 81-95.



DOI: <https://doi.org/10.22034/usd.2024.2014712.1154>



DOR:

URL: https://usdjournal.daneshpajooahan.ac.ir/article_724306.html?lang=en



Authors retain the copyright and full publishing rights.

Published by Daneshpajooahan Pishro Higher Education Institute. This article is an open access article licensed under the [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



بررسی تطبیقی انواع فرم آتریوم و هندسه نورگیر آن در راستای کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های آموزشی در شهر تهران

احمد رضا کشتکار قلاتی^{۱*}، مریم فرح‌خیز^۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸

چکیده: استفاده از نور طبیعی روز در ساختمان‌ها موجب ارتقاء کیفیت فضای داخلی و کاهش مصرف انرژی می‌گردد که این امر به خصوص در کاربری‌هایی که بار استفاده فراوان در طول روز دارند، مانند فضاهای اداری و آموزشی، اهمیت بیشتری دارد. آتریوم‌ها به عنوان ابزار مؤثر دریافت نور طبیعی در ساختمان، می‌توانند علاوه بر کاهش هزینه انرژی ناشی از نور مصنوعی، آسایش بصری، رفاه و راحتی ساکنان را در حین کار بهبود بخشند. برای طراحی مناسب آتریوم، به گونه‌ای که نور طبیعی بدون تلفات انرژی در فضا انتشار یابد، لازم است متغیرهای طراحی که تأثیر مستقیم بر بازدهی کارکرد حرارتی دارند، شناسایی شوند. این متغیرها شامل مصالح، فرم آتریوم و هندسه سقف نورگیر آن می‌شوند. هدف از این مطالعه مقایسه انواع فرم بدنه آتریوم و سقف نورگیر آن در یک فضای آموزشی دبستان در اقلیم تهران، در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی است. در این راستا دو مؤلفه فرم (پلان آتریوم) و هندسه نورگیر سقف در یک فضای آموزشی دبستان، با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر شبیه‌سازی و از موتور انرژی پلاس برای محاسبات بهره‌گیری و از نرم‌افزار اکوتکت جهت اعتبارسنجی نتایج استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که در پلان‌های مختلف آتریوم با مساحت مشابه، فرم آتریوم با پلان دایره بهترین و پلان مستطیل ضعیف‌ترین کارکرد را در کارایی انرژی ساختمان دارد. همچنین در خصوص هندسه نورگیر سقف، آتریوم با فرم پلان دایره و کلاهک مسطح نسبت به سایر فرم‌ها عملکرد بهتری در کارایی انرژی دارد. بنابراین می‌توان گفت افزایش کشیدگی پلان آتریوم و همچنین افزایش بیرون‌زدگی کلاهک نورگیر آن موجب کاهش کارایی انرژی ساختمان خواهد شد.

واژگان کلیدی: کارایی انرژی، فرم آتریوم، نور روز، ساختمان آموزشی، شهر تهران.

^{۱*} استادیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران؛ نویسنده مسئول: a.keshtkar@khu.ac.ir

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد معماری و انرژی، گروه معماری، دانشکده معماری، مؤسسه آموزش عالی رسام، کرج، ایران.

۱- مقدمه و بیان مسئله

فرآیند توسعه زندگی بعد از انقلاب صنعتی منجر به افزایش استفاده از انواع انرژی‌ها شده که اغلب آنها تجدیدناپذیر هستند. استفاده بهینه از منابع انرژی، با توجه به راهبردهای طراحی معماری، اولویتی برای کمک به پایداری شهرهای معاصر است (Verma, 2017). به‌طور کلی، تقاضای انرژی برای روشنایی ساختمان، حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد است (Chow et al., 2013). در مناطق شهری پرتراکم، ساختمان‌های بزرگ، هزینه انرژی بالایی برای تأمین روشنایی دائمی دارند (Esquivias et al., 2011). علاوه بر این، فضاهای نوررسان نقش انتقالی در سازمان‌دهی فضاها داشته (Pitts & Saleh, 2007) و در عین حال کیفیت فضای داخلی را ارتقاء می‌دهند. آتریوم‌ها به‌عنوان یک راهبرد زیست‌اقلیمی می‌توانند با دریافت نور طبیعی و کنترل دمای داخلی، کارایی انرژی ساختمان را بهبود بخشند (Danielski et al., 2016; Mahlabani et al., 2019).

هدف از این پژوهش بهینه‌یابی انواع فرم آتریوم و کلاهک نورگیر آن در راستای ارتقاء کارایی انرژی ساختمان است. در همین راستا سؤالات اصلی پژوهش عبارتند از:

۱. کشیدگی و تغییر فرم پلان آتریوم از قائم به دایره، چه تأثیری در کارایی انرژی ساختمان دارد؟
۲. فرم بیرون‌زدگی کلاهک نورگیر آتریوم چه تأثیری بر میزان مصرف انرژی ساختمان دارد؟

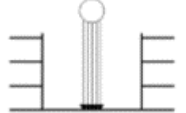
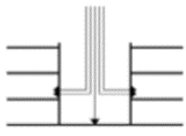
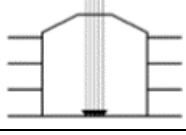
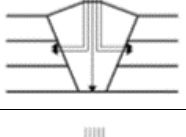
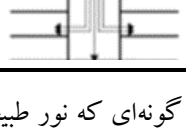
در همین راستا انواع پلان دایره، مربع و مستطیل و همچنین سه فرم کلاهک مسطح، محدب و بیرون‌زده ایستاده مورد آزمایش قرار گرفته است. جهت محاسبه مصرف انرژی از مقادیر انرژی مصرفی جهت سرمایش، گرمایش و روشنایی عمومی یک ساختمان آموزشی در تهران بهره‌گیری شده است. علت انتخاب ساختمان آموزشی به دلیل بار استفاده فراوان و اهمیت نورپردازی این نوع کاربری‌ها است.

۲- پیشینه و مبانی نظری پژوهش

۲-۱- ادبیات تحقیق

فضاهای نورگیر شامل فضاهای باز یا بسته محاط در ساختمان هستند که عمدتاً جهت حل مشکل نورگیری در ساختمان‌های با پلان وسیع به کار می‌روند. آتریوم‌ها فضاهای مرکزی مسقف شیشه‌ای هستند که معمولاً به صورت فضای بسته و کنترل شده در ساختمان‌های چندطبقه در نظر گرفته می‌شوند (جدول شماره ۱).

جدول ۱. انواع فضاهای نوررسان (فرخ‌خیز و کشتکار قلاتی، ۱۴۰۱)

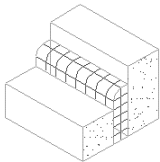
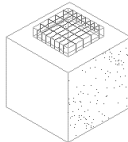
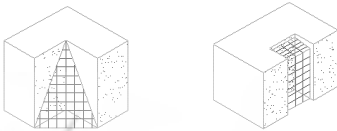
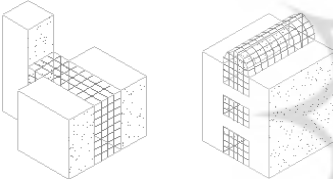
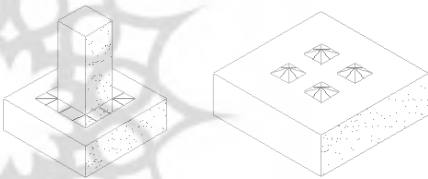
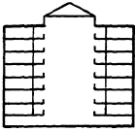
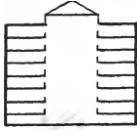
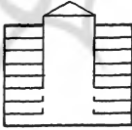
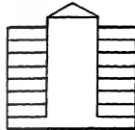
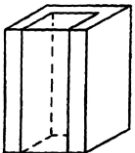
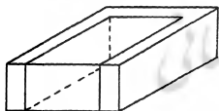
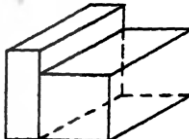
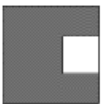
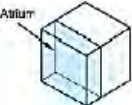
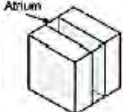
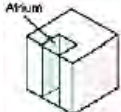
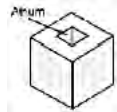
نام	تعریف	شکل
۱. فضای کاملاً باز	محاط در دیوار پیرامونی	
۲. فضای مرکزی مسقف شیشه‌ای	فضای بسته و کنترل شده در ساختمان‌های چندطبقه	
۳. آتریوم معکوس و پله‌ای	گشودگی بالای آتریوم برای افزایش دریافت نور	
۴. فضای نورگیر کنترل شده بین ساختمان	توزیع نور و افزایش نورگیری فضاهای مجاور	
۵. فضای کنترل نشده بین ساختمان	تأمین نور فضاهای مجاور	

برای طراحی مناسب آتریوم به گونه‌ای که نور طبیعی بدون تلفات انرژی (Omran et al., 2020) در فضا انتشار یابد لازم است متغیرهای اثرگذار بر کارکرد حرارتی شناسایی شود که مهم‌ترین آنها شامل هندسه آتریوم، زاویه تابش خورشید، نوع پوشش، فرم سقف و درصد نسبت پنجره به دیوار می‌شود (Sharples & Lash, 2006). مطالعات مختلف با استفاده از مدل‌های مقیاس، معادلات تحلیلی، اندازه‌گیری‌های میدانی و شبیه‌سازی نرم‌افزار، به ارزیابی این

و دیگران، ۱۳۹۸). بنابراین بایستی آتریوم‌ها با معیارها و الگوهای کاهش مصرف انرژی سنجیده شوند و گونه بار حرارتی چشمگیری به بنا تحمیل خواهند کرد (جدول شماره ۲).

متغیرها پرداخته‌اند (Littlefair, 2002). آتریوم به عنوان یک راهکار غیرفعال نورگیر، ممکن است باعث گرم شدن بیش از حد فضا در فصول گرم و در صورت عدم تهویه و سایه‌اندازی، موجب افزایش هزینه سرمایش گردد (چشمه‌نور

جدول ۲. انواع آتریوم از دیدگاه متخصصان

انواع				مبنا		
 خطی		 متمرکز		فرم	اقبال و دیگران، ۱۳۹۶	
 غیر محصور و سه طرف باز		 محصور و یک طرف باز				ارتباط
 خطی محصور و ارتباط دهنده چند ساختمان		 متمرکز گسسته و پیوسته				
 باز رو به طبقات راهروها	 باز رو به کل طبقات	 باز رو به طبقات پایین	 بسته	عملکرد	Bajracharya, 1997	
 برجی	 حجیم	 کوتاه	 الحاقی	ابعاد	Yoshino, 1995	
				فرم	Bendar, 1986	
						

۲-۲- بررسی پیشینه پژوهش

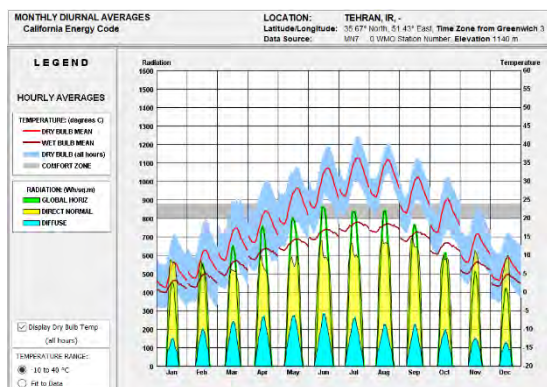
بسیاری مطالعات، نور روز آتریوم‌ها را مورد بررسی قرار داده و نشان داده‌اند که عملکرد روشنایی یک آتریوم تا حد زیادی به ویژگی هندسی آن بستگی دارد (جدول شماره ۳). ویژگی‌های اصلی آتریوم‌ها را می‌توان در سه بخش

جدول ۳. بررسی پیشینه پژوهش

پژوهش	پژوهشگر	کاربری	مؤلفه‌های هدف
انگلیسی بین‌المللی	Du & Sharples, 2012	نامشخص	مقیاس آتریوم (نسبت ابعاد در برش و نسبت ابعاد در پلان)، ارتفاع جهت بازتاب سطوح
	Mohsenin & Hu, 2015	نامشخص	مقیاس آتریوم (شاخص چاه)، فرم سقف نورگیر
	Ghasemi et al., 2016	اداری	مقیاس آتریوم (نسبت ابعاد در برش و نسبت ابعاد در پلان) ارتفاع سقف نورگیر، تعداد طبقه
	Sudan et al., 2017	نامشخص	مقیاس آتریوم (شاخص چاه و شاخص عمق چاه)، بازتاب سطوح
	Li et al., 2019	تجاری	فرم آتریوم (مقیاس ابعاد در پلان)، ارتفاع ساختمان، اندازه سقف نورگیر
	Rastegari et al., 2021	اداری	مقیاس آتریوم (نسبت عرض به ارتفاع)
	Wu et al., 2021	کتابخانه	مقیاس آتریوم (نسبت ابعاد در برش و نسبت ابعاد در پلان)، ارتفاع آتریوم
	Dong et al., 2022	تجاری	شکل و تعداد آتریوم، زاویه و انحراف نسبت ارتفاع نورگیر سقف
	Xue & Liu, 2022	تجاری	فرم و ارتفاع آتریوم
	Ibrahim et al., 2022	آموزشی	فرم آتریوم
فارسی ملی	Piraei et al., 2022	ساختمان میراث	فرم و تعداد آتریوم
	کاظم‌زاده و دیگران، ۱۳۹۴	اداری	فرم سقف آتریوم و ارتفاع نورگیر
	نصراللهی و دیگران، ۱۳۹۶	اداری	اثرات محیطی آتریوم
	تورانی و دیگران، ۱۳۹۶	آموزشی	زاویه‌های تمایل آتریوم بر مبنای جهت‌گیری به سمت دیاگرام خورشیدی
	چشمه‌نور و دیگران، ۱۳۹۸	اداری	جانمایی فضایی
	تقی‌پور میزانی و دیگران، ۱۳۹۹	آموزشی	تغییرات شکل سقف، ابعاد پلان آتریوم و سطح شیشه خور سقف
	زین‌العابدین زاده و دیگران، ۱۴۰۰ الف	تجاری	نوع شیشه نورگیر آتریوم
	زین‌العابدین زاده و دیگران، ۱۴۰۰ ب	تجاری	فرم و ارتفاع سقف نورگیر داخلی

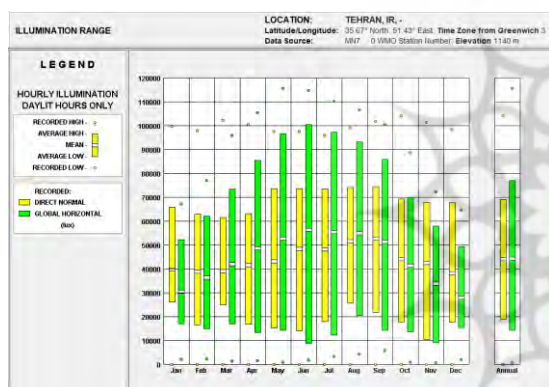
چنانچه در (جدول شماره ۳) مشاهده می‌شود عمده پژوهش‌های صورت گرفته در بستر کاربرهای اداری، تجاری و آموزشی می‌باشند که علت آن میزان مصرف انرژی و بار استفاده آنها در طول روز است. ضمناً عمده این پژوهش‌ها در خصوص مقیاس آتریوم (نسبت ابعاد در برش و نسبت ابعاد در پلان)، ارتفاع سقف نورگیر، فرم آتریوم (مقیاس ابعاد در پلان) و اندازه سقف نورگیر است. پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص فرم آتریوم عمدتاً به ابعاد پلان و ارتفاع پرداخته‌اند.

در این پژوهش ضمن مقایسه انواع پلان با مساحت یکسان، اولاً تأثیر کشیدگی پلان بر میزان کارایی انرژی آتریوم‌ها بررسی شده، ثانیاً در مورد پلان‌های با طول و عرض برابر، فرم خطوط نیز مورد سنجش قرار گرفته است. همچنین در خصوص کلاهی نورگیر، مقدار و فرم برآمدگی مورد آزمون قرار گرفته، که نوآوری این پژوهش محسوب می‌شود. ضمناً با توجه روند سلسله مراتبی فرآیند پژوهش، ضمن مقایسه انواع می‌توان به الگوی بهینه و کاربردی آتریوم دست یافت.



شکل ۳. میانگین دما روزانه و ماهانه

در (شکل شماره ۴) میانگین مقدار نور روز در ماههای مختلف در شهر تهران نشان داده شده است. در این شکل رنگ سبز نمایانگر تابش در سطح افق و رنگ زرد نمایانگر تابش مستقیم به سطح (عمود) است.



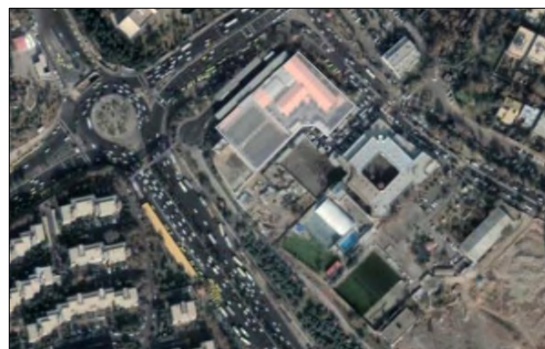
شکل ۴. میزان نور روز

۴- روش تحقیق

هدف از این مطالعه مقایسه انواع فرم بدنه آتریوم و سقف نورگیر آن در یک فضای آموزشی در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی است. برای این منظور از روش مدل‌سازی و با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر^۱ جهت شبیه‌سازی و تحلیل داده‌ها و همچنین از موتور انرژی پلاس^۲ برای محاسبات بهره‌گیری شده است. در این راستا مدل اولیه با سه پلان متفاوت آتریوم در نرم‌افزار دیزاین بیلدر شبیه‌سازی و پلان بهینه با توجه به میزان مصرف انرژی مشخص شده و سپس سه نوع سقف نورگیر به آتریوم الحاق و دوباره میزان مصرف انرژی در آنها بررسی گردیده است (شکل شماره ۵).

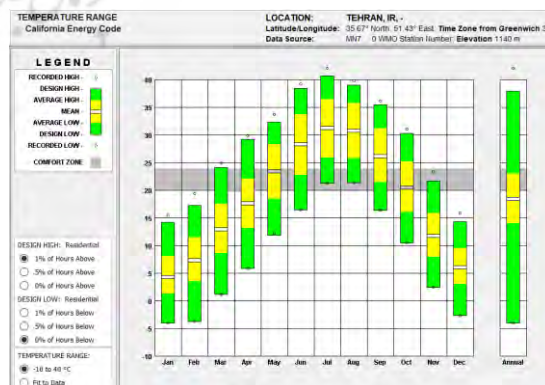
۳- معرفی نمونه مورد مطالعه

نمونه مورد مطالعه در ناحیه ۷ منطقه ۲ تهران قرار گرفته است. در شمال سایت خیابان ایران زمین، غرب آن بلوار خوردين و در جنوب غربی میدان صنعت قرار دارد (شکل شماره ۱).



شکل ۱. موقعیت قرارگیری نمونه مورد مطالعه

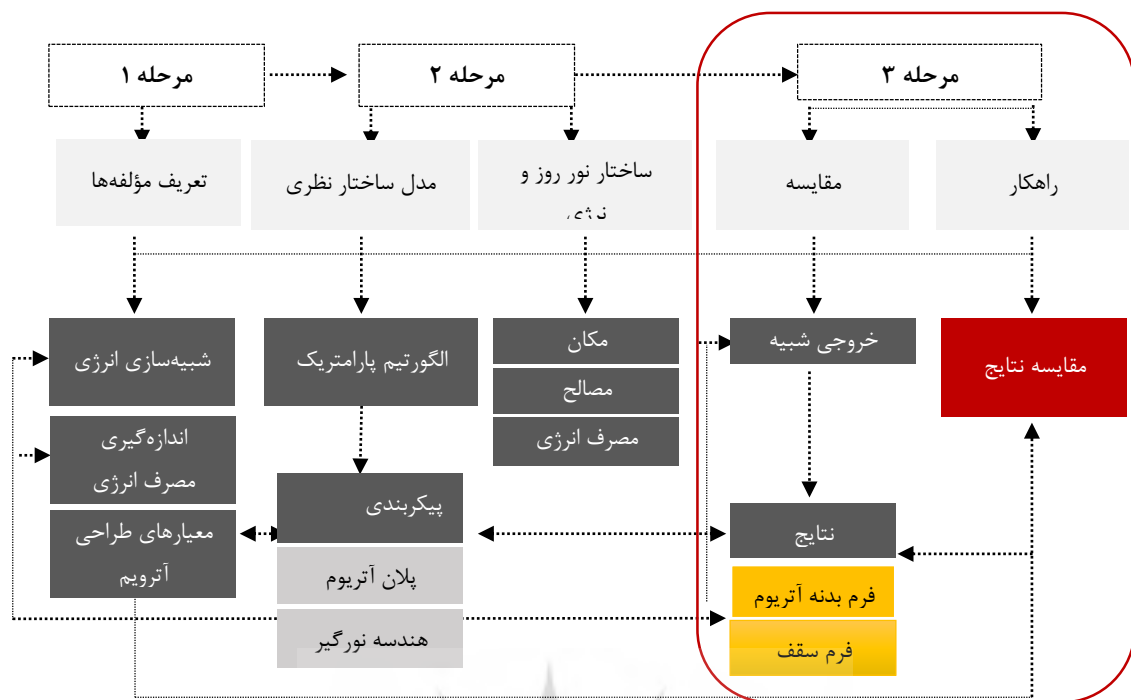
بر اساس داده‌های ۳۰ ساله ایستگاه سینوپتیک تهران، میانگین دمای سالانه تهران ۱۷/۳ درجه سانتیگراد است (شکل شماره ۲). رنگ طوسی محدوده آسایش را نشان می‌دهد. همچنین (شکل شماره ۳) میانگین دما روزانه و ماهانه (دمای خشک و دمای تر) را نشان می‌دهد.



شکل ۲. محدوده دما

^۲ Energy Plus engine

^۱ Design Builder



شکل ۵. چارچوب تحقیق

مصارف اجزاء و مساحت انواع فرم‌ها نیز ثابت می‌باشند. در فرآیند شبیه‌سازی تمام مشخصات شامل: تعداد افراد و تجهیزات، برنامه زمانی، عملکرد و خواص مواد و مصالح طبق استاندارد اشری^۱ (Aizlewood, 1995) و مقررات ملی ساختمان (دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۹) الگوبرداری شده است (جدول شماره ۴).

با توجه به نوع و روش تحقیق، متغیرهای مستقل در بخش اول (آزمون فرم پلان) شامل کشیدگی پلان آتریوم و فرم خطوط و در بخش دوم شامل مقدار و فرم بیرون‌زدگی کلاهک نورگیر است. همچنین متغیرهای وابسته در هر دو بخش شامل میزان جذب حرارتی و مصرف سالانه انرژی (مگاوات ساعت) و همچنین میزان آسایش حرارتی است.

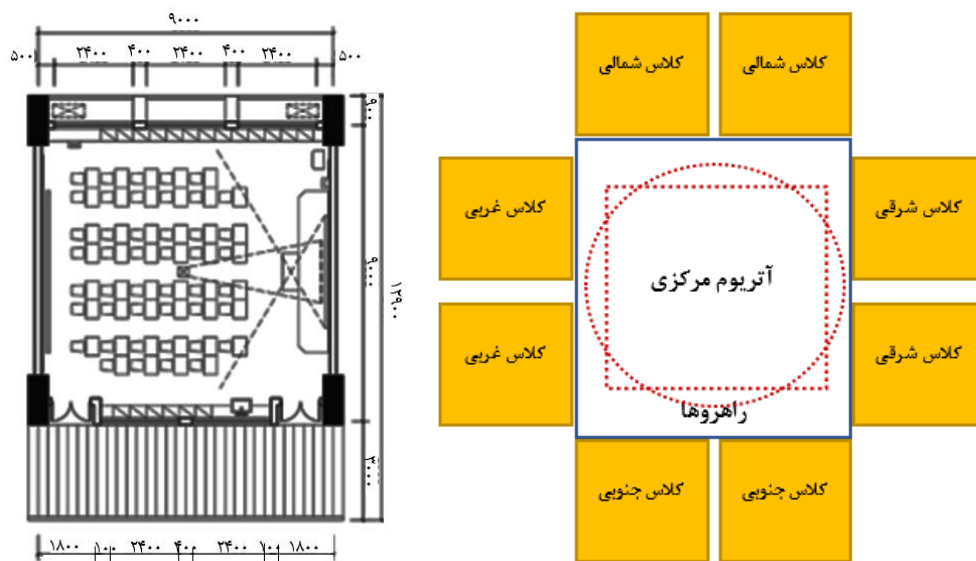
جدول ۴. مشخصات اجزای ساختمان مورد مطالعه

ضخامت مصالح دیواره (خارج به داخل)	سقف‌ها	مساحت (۲۵ متر مربع)
≠ آجر (۳۰ میلیمتر)	≠ سقف کمره‌ای (به قطر ۶ متر)	≠ دایره (قطر ۶ متر)
≠ ملات ماسه و سیمان (۳۰ میلیمتر)	≠ سقف استوانه‌ای با ارتفاع ۱،۲	≠ مربع (ابعاد ۵ در ۵ متر)
≠ بلوک سیمانی (۱۰۰ میلیمتر)	≠ سقف صاف	≠ مستطیل (ابعاد ۴ در ۶/۷۵ متر)
≠ سیمان، گچ و ملات گچ (۳۰ میلیمتر)	≠ جنس نورگیر سقف (ورق فایبرگلاس)	
≠ آستر خارجی (رنگ) (۱۳ میلیمتر)		

گردیده و ابعاد پلان‌ها طوری در نظر گرفته شده که مساحت یکسان داشته باشند (شکل شماره ۶).

نمونه موردی یک ساختمان یک طبقه آموزشی در شهر تهران است که فضاهای آموزشی در اطراف آن چیدمان

^۱ ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)



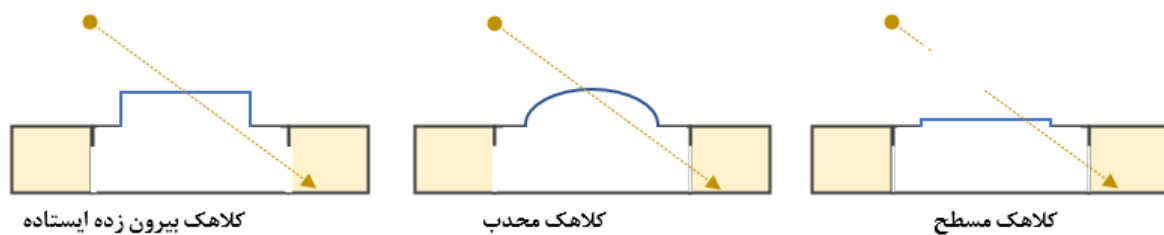
شکل ۶. پلان شماتیک ساختمان نمونه مورد مطالعه و پلان یکی از فضاهای آموزشی

جدول ۵. داده‌های ورودی

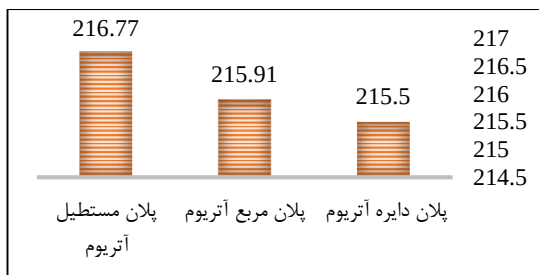
مقدار/تعداد	واحد اندازه گیری	مشخصه
۳۵	نفر	تعداد افراد هر کلاس
۸:۰۰-۱۳:۰۰	—	ساعات بهره‌برداری
۰/۷۵	CLO (واحد پوشش در نرم افزار)	سطح پوشش دانش‌آموزان
۰/۹	MET (واحد سوخت و ساز در نرم افزار)	سطح فعالیت دانش آموزان بر حسب
۲۷	درجه سانتیگراد	دمای تنظیم گرمایش
۲۷	درجه سانتیگراد	دمای تنظیم سرمایش
۳۰۰	لوکس	میزان روشنایی بر حسب لوکس
۰/۵	—	ضریب عملکرد سیستم سرمایش
۰/۶	—	ضریب عملکرد سیستم گرمایش
۱/۹	W/m2K (وات بر متر مربع کلین)	ضریب انتقال حرارتی دیوار خارجی
۰/۴۳	W/m2K (وات بر متر مربع کلین)	ضریب انتقال حرارتی سقف
۲/۷	W/m2K (وات بر متر مربع کلین)	ضریب انتقال حرارت پنجره
۱/۸	ACH (تعداد دفعه در ساعت)	میزان نفوذ هوا
۳	ACH (تعداد دفعه در ساعت)	نرخ تهویه طبیعی

داده‌های ورودی نرم‌افزار شامل اطلاعات مربوط به موقعیت مکانی و شرایط اقلیمی شهر تهران بر حسب طول و عرض و ارتفاع جغرافیایی می‌شود. این اطلاعات همچنین شامل دمای حباب خشک، رطوبت، دمای نقطه شبنم، سرعت و جهت باد، فشار هوا و میزان انرژی تابش خورشیدی (بر حسب وات بر مترمربع) است. تمام مناطق حرارتی و مشخصات آنها مانند برنامه زمانی استفاده، تعداد افراد ساکن، سیستم روشنایی و تجهیزات، بازه دمایی کارکرد و آسایش، کاربری مناطق مؤثر بر مصرف انرژی، بر اساس استانداردهای اشری مشخص شده است. بر همین اساس اطلاعات ورودی به نرم‌افزار شامل تعداد افراد هر کلاس، ساعات بهره‌برداری، سطح پوشش دانش‌آموزان، سطح فعالیت دانش‌آموزان، دمای تنظیم گرمایش، دمای تنظیم سرمایش، میزان روشنایی، ضریب عملکرد سیستم سرمایش و گرمایش، ضریب انتقال حرارتی دیوار خارجی، سقف و پنجره، میزان نفوذ هوا و نرخ تهویه طبیعی است (جدول شماره ۵).

در بخش دوم از انواع کلاهک نورگیر استفاده شده که شامل کلاهک‌های مسطح، محدب و بیرون زده ایستاده می‌شود. در (شکل شماره ۷)، مقاطع آن‌ها در مشخص شده است.



شکل ۷. مقطع کلاهک‌های نورگیر ساختمان نمونه مورد مطالعه



شکل ۸. مقایسه مصرف انرژی کل در فرم‌های مختلف آتریوم

دریافت انرژی از پنجره‌های بیرونی: میزان گرمایشی است که از طریق تابش خورشید بر پنجره‌ها در ساختمان جذب می‌شود. دو بخش بعدی میزان نیاز گرمایشی و میزان نیاز سرمایشی بوده و آخرین مؤلفه مربوط به گرمای نهان است. میزان دریافت انرژی خورشیدی در این شکل ۲۱۳/۷۸ مگاوات ساعت است. انرژی دریافتی از پنجره‌های بیرونی میزان گرمایشی است که از طریق تابش خورشید به پنجره‌ها در ساختمان جذب می‌شود که برابر ۲۱۰/۵۱ مگاوات ساعت است. در این مرحله نتایج تحلیل انرژی به دست آمده از سه فرم آتریوم را با هم مقایسه کرده و بهینه‌ترین فرم از نظر میزان مصرف انرژی انتخاب می‌شود. محاسبات مربوط به مصرف انرژی به صورت تفکیکی هم مورد ارزیابی قرار گرفته و میزان انرژی مصرفی تجهیزات، روشنایی، گرمایش، سرمایش و میزان انرژی جهت آب گرم مصرفی هم مشخص شده است. در خصوص میزان مصرف کل انرژی می‌توان گفت که فرم دایره بهترین فرم است که میزان مصرف انرژی کل آن برابر ۲۱۵/۵ مگاوات ساعت است (جدول شماره ۷).

۵- بحث و یافته‌های پژوهش

۵-۱- یافته‌های پژوهش

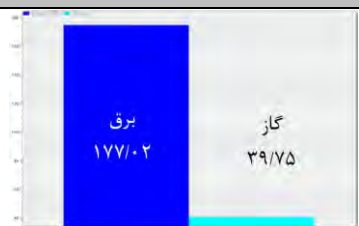
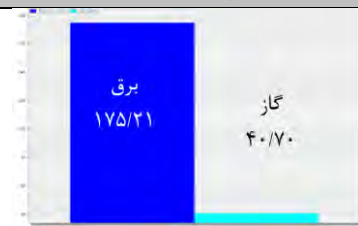
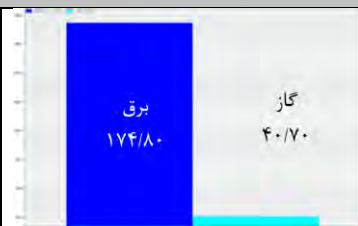
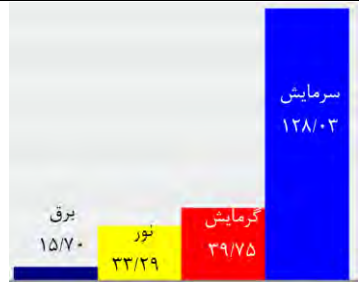
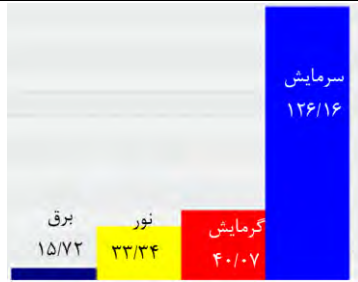
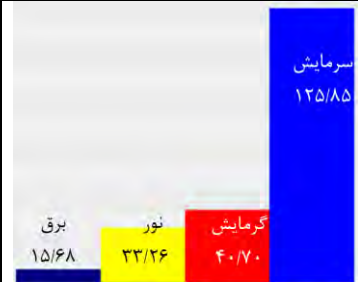
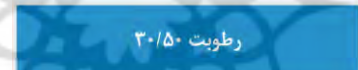
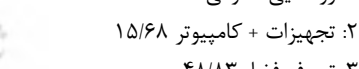
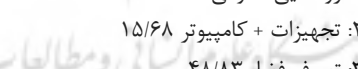
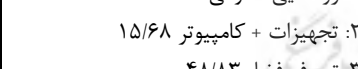
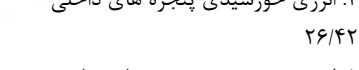
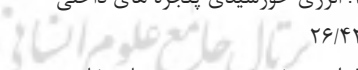
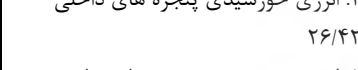
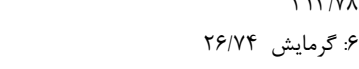
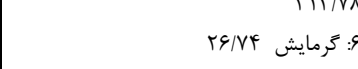
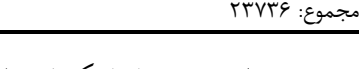
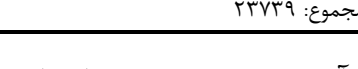
در مرحله اول پژوهش ابتدا سه پلان با مساحت‌های یکسان با سه فرم دایره و مربع و مستطیل شبیه‌سازی گردیده و میزان مصرف انرژی در هر کدام به دست آمد (جدول شماره ۶).

جدول ۶ مقایسه مصرف انرژی کل در فرم‌های مختلف آتریوم

مصرف انرژی		دایره	مربع	مستطیل
مصرف انرژی کل بر حسب MWh ^۱	گاز	۴۰/۷۰	۴۰/۰۷	۳۹/۷۵
	الکتریسیته	۱۷۴/۸۰	۱۷۵/۲۱	۱۷۷/۰۲
مصرف سوخت بر حسب MWh	گرمایش	۴۰/۷۰	۴۰/۰۷	۳۹/۷۵
	سرمایش	۱۲۵/۸۵	۱۲۶/۱۶	۱۲۹/۰۳
گرمای داخلی + خورشیدی بر حسب MWh		۲۱۳/۷۸	۲۱۰/۵۱	۲۱۵/۲۵
تولید دی اکسید کربن بر حسب کیلوگرم		۱۱۳/۵۶	۱۱۳/۶۹	۱۱۴/۷۳

میزان گرمای جذب شده توسط ساختمان شامل بخشهای مختلف است: قسمت اول میزان گرمایی که از طریق روشنایی مصنوعی ایجاد می‌شود. قسمت دوم مربوط به میزان مصرف تجهیزات مانند کامپیوتر و... است. قسمت سوم میزان گرمایی است که از طریق افراد وارد فضا می‌شود (شکل شماره ۸).

جدول ۷. میزان مصرف انرژی در انواع آتریوم

مصرف سالانه انرژی (مگاوات ساعت)	آتریوم مستطیل به ابعاد ۴ در ۶/۷۵ متر		آتریوم مربع به ابعاد ۵ در ۵ متر		آتریوم به فرم دایره به قطر ۶ متر	
	مصرف سالانه انرژی (مگاوات ساعت)		مصرف سالانه انرژی (مگاوات ساعت)		مصرف سالانه انرژی (مگاوات ساعت)	
	مصرف انرژی برق و گاز سالانه (مگاوات ساعت)		مصرف انرژی برق و گاز سالانه (مگاوات ساعت)		مصرف انرژی برق و گاز سالانه (مگاوات ساعت)	
میزان آسایش حرارتی						
						
						
میزان جذب حرارتی سالانه ساختمان						
						
						
میزان جذب حرارتی سالانه ساختمان						
						
						

در مرحله دوم بعد از اینکه فرم پلان آتریوم مشخص شد، سه فرم کلاهک کروی، مسطح و استوانه با ارتفاع ۱/۲۰ شبیه‌سازی می‌شود و میزان مصرف انرژی در هر کدام به دست می‌آید و در نهایت فرم مناسب‌تر از نظر میزان مصرف انرژی انتخاب می‌گردد. میزان گرمایشی که از طریق تابش خورشید بر پنجره‌ها در آتریوم به فرم دایره و کلاهک کروی جذب می‌شود برابر ۲۴۶/۵۳ مگا وات ساعت است. این میزان در فرم دایره و کلاهک مسطح برابر ۱۹۶/۴۱ مگا وات ساعت است. در آتریوم به فرم دایره و کلاهک استوانه میزان گرمایشی که از طریق تابش خورشید بر پنجره‌ها در ساختمان جذب می‌شود برابر ۲۱۳/۷۸ مگا وات ساعت است (جدول شماره ۸).

در مرحله دوم بعد از اینکه فرم پلان آتریوم مشخص شد، سه فرم کلاهک کروی، مسطح و استوانه با ارتفاع ۱/۲۰ شبیه‌سازی می‌شود و میزان مصرف انرژی در هر کدام به دست می‌آید و در نهایت فرم مناسب‌تر از نظر میزان مصرف انرژی انتخاب می‌گردد. میزان گرمایشی که از طریق تابش خورشید بر پنجره‌ها در آتریوم به فرم دایره و کلاهک کروی جذب می‌شود برابر ۲۴۶/۵۳ مگا وات ساعت است. این میزان در فرم دایره و کلاهک مسطح برابر ۱۹۶/۴۱ مگا وات ساعت است. در آتریوم به فرم دایره و کلاهک استوانه میزان گرمایشی که از طریق تابش خورشید بر پنجره‌ها در ساختمان جذب می‌شود برابر ۲۱۳/۷۸ مگا وات ساعت است (جدول شماره ۸).

جدول ۸. میزان مصرف انرژی در انواع نورگیر سقف آتریوم استوانه‌ای

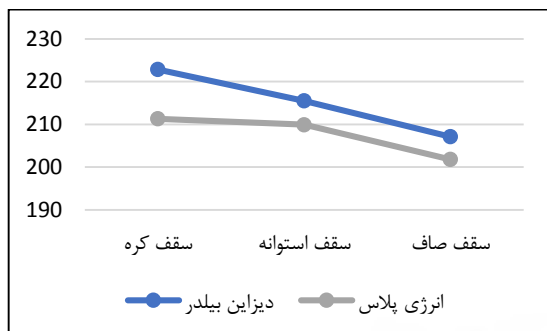
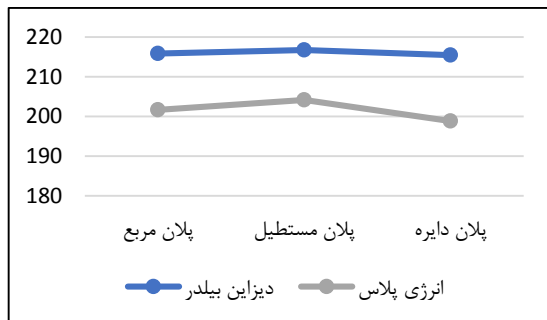
آتریوم به فرم دایره و کلاهک استوانه		آتریوم به فرم دایره و کلاهک مسطح		آتریوم به فرم دایره و کلاهک کروی	
مصرف سالانه انرژی (مگاوات ساعت)					
	سرمایش ۱۲۵/۸۵	سرمایش ۱۱۷/۹۷	سرمایش ۱۳۱/۲۲	سرمایش ۱۳۱/۲۲	سرمایش ۱۳۱/۲۲
	برق ۱۵/۶۸	برق ۱۵/۶۷	برق ۱۵/۷۴	برق ۱۵/۷۴	برق ۱۵/۷۴
میزان آسایش حرارتی					
	رطوبت ۳۰/۵۰	رطوبت ۳۰/۵۰	رطوبت ۳۰/۴۴	رطوبت ۳۰/۴۴	رطوبت ۳۰/۴۴
میزان جذب حرارتی سالانه ساختمان					
	۱: روشنایی عمومی ۳۳/۲۶	۱: روشنایی عمومی ۳۳/۲۳	۱: روشنایی عمومی ۳۳/۳۷	۱: روشنایی عمومی ۳۳/۳۷	۱: روشنایی عمومی ۳۳/۲۶
میزان جذب حرارتی سالانه ساختمان	۲: تجهیزات + کامپیوتر ۱۵/۶۸	۲: تجهیزات + کامپیوتر ۱۵/۶۷	۲: تجهیزات + کامپیوتر ۱۵/۷۴	۲: تجهیزات + کامپیوتر ۱۵/۷۴	۲: تجهیزات + کامپیوتر ۱۵/۶۸
	۳: تصرف فضا ۴۸/۸۳	۳: تصرف فضا ۴۸/۷۸	۳: تصرف فضا ۴۸/۹۵	۳: تصرف فضا ۴۸/۹۵	۳: تصرف فضا ۴۸/۸۳
میزان جذب حرارتی سالانه ساختمان	۴: انرژی خورشیدی پنجره های داخلی ۲۶/۴۲	۴: انرژی خورشیدی پنجره های داخلی ۳۲/۸۲	۴: انرژی خورشیدی پنجره های داخلی ۲۶/۴۲	۴: انرژی خورشیدی پنجره های داخلی ۲۶/۴۲	۴: انرژی خورشیدی پنجره های داخلی ۲۶/۴۲
	۵: انرژی خورشیدی پنجره های خارجی ۲۱۳/۷۸	۵: انرژی خورشیدی پنجره های خارجی ۱۹۶/۴۱	۵: انرژی خورشیدی پنجره های خارجی ۲۴۶/۵۳	۵: انرژی خورشیدی پنجره های خارجی ۲۴۶/۵۳	۵: انرژی خورشیدی پنجره های خارجی ۲۱۳/۷۸
میزان جذب حرارتی سالانه ساختمان	۶: گرمایش ۲۶/۷۴	۶: گرمایش ۲۶/۱۷	۶: گرمایش ۲۸/۴۲	۶: گرمایش ۲۸/۴۲	۶: گرمایش ۲۶/۷۴
	۷: سرمایش -۲۳۳/۸۳	۷: سرمایش -۲۰۹/۴۶	۷: سرمایش -۲۳۳/۷۵	۷: سرمایش -۲۳۳/۷۵	۷: سرمایش -۲۳۳/۸۳
میزان جذب حرارتی سالانه ساختمان	مجموع: ۲۳۶/۸۱	مجموع: ۲۳۶/۵۸۹	مجموع: ۲۳۷/۹۴	مجموع: ۲۳۷/۹۴	مجموع: ۲۳۶/۸۱

جدول ۹. مقایسه مصرف انرژی کل برای فرم‌های مختلف سقف آتریوم استوانه‌ای

استوانه	مسطح	کروی	انرژی
۴۰/۷۰	۴۰/۲۳	۴۲/۵۰	گاز
۱۷۴/۸	۱۶۶/۸۷	۱۸۰/۳۳	الکتریسیته
۴۲/۷۰	۴۰/۲۳	۴۲/۵۰	گرمایش
۱۲۵/۸۵	۱۱۷/۹۸	۱۳۱/۲۲	سرمایش
۲۱۳/۷۸	۱۹۶/۴۵	۲۴۶/۵۳	گرمایه‌های داخلی + خورشیدی
۱۱۳/۵۶	۱۰۸/۶۷	۱۱۴/۷۳	تولید دی اکسید کربن بر حسب کیلوگرم

۵-۲- تحلیل یافته‌ها

با توجه به نمودارهای میزان مصرف کل انرژی می‌توان گفت که فرم سقف صاف برای آتریوم استوانه‌ای بهترین فرم در بین آتریوم‌های مورد مطالعه است که میزان مصرف انرژی کل آن برابر ۲۰۷/۱ مگا وات ساعت است (جدول شماره ۹).

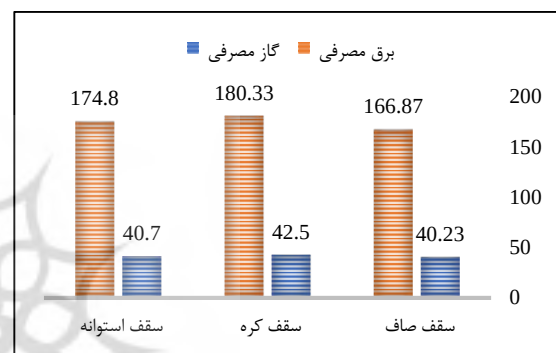
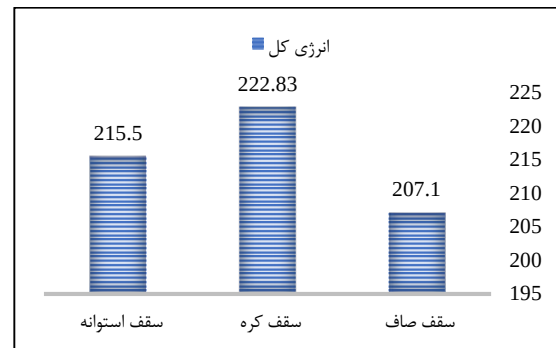


شکل ۱۰. مقایسه مصرف سالانه انرژی (مگاوات ساعت) انواع پلان (تصویر بالا) و انواع فرم (تصویر پایین) آتریوم در دو نرم‌افزار انرژی پلاس و دیزاین بیلدر

۴-۵- تعمیم‌پذیری

در خصوص تعمیم‌پذیری فارغ از نوع کاربری، نتایج نرم‌افزار در خصوص مقایسه نوع پلان و فرم کلاهک نورگیر قابل تعمیم است. ضمناً جهت اعتبارسنجی نتایج این پژوهش به یافته‌های پژوهش‌های مشابه اشاره می‌شود. دیگر پژوهش‌ها ضمن مقایسه انواع پلان آتریوم تأیید می‌کنند که آتریوم با پلان مربع عملکرد بهتری در مقایسه با پلان مستطیل دارد (Du & Sharples, 2012; Mohsenin & Hu, 2015; Ghasemi et al., 2016; Wu et al., 2021; Piraei et al., 2022) که مؤید یافته‌های این پژوهش در خصوص نسبت معکوس کشیدگی پلان آتریوم و کارایی آن است. دیگر پژوهش‌ها ضمن تحلیل عملکرد فرم و ارتفاع سقف نورگیر دریافته‌اند که فرم مسطح با ارتفاع سقف ۳ متر، در مقایسه با سقف‌های کروی، سهموی و مخروطی، با توجه به کاهش سطوح جداره نورگیر داخلی، بهترین فرم سقف نورگیر داخلی محسوب می‌شوند (Rastegari et al., 2021; Dong et al., 2022; Ibrahim et al., 2022)؛ که با یافته‌های این پژوهش در خصوص فرم سقف نورگیر منطبق است. در خصوص بیرون زدگی و فرم محدب چنانچه

مطابق نمودارها دز (شکل شماره ۹)، سقف کره بیشترین میزان و سقف صاف کمترین میزان مصرف انرژی را دارد



شکل ۹. مقایسه مصرف انرژی کل (تصویر بالا) و به تفکیک برق و گاز مصرفی (تصویر پایین) در انواع فرم آتریوم

۳-۵- اعتبارسنجی

برای بررسی اعتبار نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی، روش‌های مختلفی معرفی شده که به سه دسته تحلیلی، مقایسه‌ای و تجربی تقسیم می‌شوند (زمردیان و تحصیلدوست، ۱۳۹۴). در میان تحقیقات اعتبارسنجی نرم‌افزارهای انرژی ساختمان روش‌های تجربی و مقایسه‌ای رایج‌ترین تحقیقات اعتبارسنجی‌اند. در این تحقیق جهت اعتبارسنجی، نتایج دو نرم‌افزار مدلسازی انرژی ساختمان، دیزاین بیلدر و انرژی پلاس، با هم مقایسه شده است (شکل شماره ۱۰).

طبق نتایج به دست آمده نتایج حاصل از دو نرم‌افزار تفاوت چندانی نداشته و مصرف انرژی کل سالانه حدود ۷ درصد است که اختلاف به دست آمده عدد قابل قبولی است.

تهویه صورت گیرد (عبدلی و موسوی، ۱۳۹۶)، یافته‌های پژوهش تفاوت معناداری خواهد کرد (Shafiei & Moosavi, 2016; Sudan et al., 2017; Li et al., 2019; Xue & Liu, 2022).

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

ویژگی‌های اصلی آتریوم‌ها شامل (۱) سیستم نورگیر (ارتفاع نورگیر، شکل، مقیاس)؛ (۲) فرم آتریوم (ارتفاع چاهک، اشکال، مقیاس)؛ و (۳) رابط اطراف (راهروها، پنجره‌ها، و غیره) می‌شود. در این تحقیق دو مؤلفه مهم فرم (پلان آتریوم) و هندسه نورگیر سقف در یک فضای آموزشی دبستان بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که در پلان‌های مختلف آتریوم با مساحت مشابه، فرم پلان آتریوم با پلان دایره بهترین و فرم مستطیل ضعیف‌ترین کارکرد را در کارایی انرژی ساختمان دارد. در واقع کشیدگی بیشتر پلان آتریوم کارایی انرژی ساختمان را کاهش داده و در پلان با نسبت طول و عرض مساوی زوایای قائم نیز موجب کاهش کارایی انرژی می‌شوند. در مرحله دوم، سه فرم کلاهیک کروی و مسطح و استوانه با ارتفاع ۱/۲۰ شبیه‌سازی گردید. در این خصوص نیز نتایج نشان داد کمترین میزان مصرف انرژی مربوط به ساختمان با آتریوم به فرم پلان دایره و کلاهیک مسطح بوده و بیشترین میزان مصرف انرژی نیز مربوط به آتریوم به فرم پلان دایره و کلاهیک کروی است. در این خصوص نیز می‌توان گفت تحذب و بیرون‌زدگی کلاهیک نورگیر کارایی انرژی ساختمان را کاهش می‌دهد.

در مجموع می‌توان گفت آتریوم با فرم پلان دایره و کلاهیک مسطح نسبت به سایر فرم‌ها عملکرد بهتری در کارایی انرژی دارد.

۷- منابع

≠ اقبالی، فاطمه، فرخزاد، محمد، و پژوهان‌فر، مهدیه. (۱۳۹۶). کنترل دستیابی به نور طبیعی روز در آتریوم‌های میانی ساختمان‌ها. پنجمین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران: دبیرخانه دائمی کنفرانس.

<https://civilica.com/doc/735582>

≠ تقی‌پور میزانی، الهام، رشیدکلور، حجت‌اله، و اکبری، حسن. (۱۳۹۹). بررسی تاثیر شکل سقف آتریوم بر دریافت روشنایی داخلی آتریوم در فضاهای آموزشی شهر تبریز. نامه معماری و شهرسازی، ۱۳(۲۹)، ۹۷-۱۱۱.

<https://doi.org/10.30480/aup.2020.836>

≠ تورانی، احمدرضا، مفیدی شمیرانی، سید مجید، و طاهباز، منصوره. (۱۳۹۶). سنجش میزان تأثیر زاویه تمایل آتریوم بر آسایش بصری دانش‌آموزان توسط کارایی نور روز در ساختمان‌های آموزشی شهر تهران (یک مطالعه میدانی و شبیه سازی). پژوهش و برنامه ریزی شهری، ۸(۳۱)، ۲۴۹-۲۶۶.

<https://dori.net/dor/20.1001.1.22285229.1396.8.31.13.1>

≠ چشمه‌نور، مجیا، مهدیزاده سراج، فاطمه، و یزدانفر، سید عباس. (۱۳۹۸). تأثیر جانمایی فضاهای داخلی مجاور آتریوم از نظر پراکنش نور و حرارت دریافتی (مطالعه موردی: ساختمان اداری پژوهشگاه نیرو). معماری و شهرسازی پایدار، ۲۷(۲)، ۱۳۴-۱۱۹.

<https://doi.org/10.22061/jsaud.2020.4617.1363>

≠ دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۹). مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران (صرفه‌جویی در مصرف انرژی). ویرایش چهارم، تهران: نشر توسعه ایران.

≠ زمردیان، زهراسادات، و تحصیلدوست، محمد. (۱۳۹۴). اعتبارسنجی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی در ساختمان: با رویکرد تجربی و مقایسه‌ای. انرژی ایران، ۱۸(۴)، ۱۱۵-۱۳۲.

<https://necjournals.ir/article-1-803-fa.html>

≠ زین‌العابدین زاده، سمانه، مدی، حسین، و مافی، مصطفی. (۱۴۰۰ الف). تحلیل عملکرد مصرف انرژی مجتمع تجاری الماس شرق بر مبنای مناسب‌ترین نوع شیشه اتریوم و رنگ آبی لاجوردی با نماد معماری اسلامی. مطالعات هنر اسلامی، ۱۸(۴۲)، ۴۵۷-۴۴۲.

<https://doi.org/10.22034/ias.2020.225968.1222>

≠ زین‌العابدین زاده، سمانه، مدی، حسین، و مافی، مصطفی. (۱۴۰۰ ب). تحلیل عملکرد فرم و ارتفاع سقف نورگیر داخلی

<http://hdl.handle.net/1880/26688>

≠ Bendar, M. J. (1986). *The New Atrium*. New York: McGraw-Hill Book Company.

≠ Chow, S.K.H., Li, D.H.W., Lee, E.W.M., & Lam, J.C. (2013). Analysis and prediction of daylighting and energy performance in atrium spaces using daylight-linked lighting controls. *Applied Energy*, 112, 1016–1024.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.12.033>

≠ Danielski, I., Nair, G., Joelsson, A., & Fröling, M. (2016). Heated atrium in multi-storey apartment buildings, a design with potential to enhance energy efficiency and to facilitate social interactions. *Building and Environment*, 106, 352–364.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.038>

≠ Dong, L., He, Y., Qi, Q., & Wang, W. (2022). Optimization of Daylight in Atrium in Underground Commercial Spaces: A Case Study in Chongqing, China. *Energy and Buildings*, 256, 111739.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111739>

≠ Du, J., & Sharples, S. (2012). The Assessment of Vertical Daylight Factors across the Walls of Atrium Buildings, Part 2: Rectangular Atria. *Lighting Research & Technology*, 44(2), 124–138.

<https://doi.org/10.1177/1477153511412531>

≠ Esquivias, P.M., Navarro, J., & Muñoz, C.M. (2011). Hacia la optimización del aprovechamiento de la luz natural a través del diseño de huecos. *Comunicaciones de las Jornadas Técnicas Greencities: 2º Salón de la Eficiencia Energética en Edificación y Espacios Urbanos*, Málaga: University of Málaga.

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=aCWb6nIAAAAJ&citation_for_view=aCWb6nIAAAAJ:u-x6o8ySG0sC

≠ Ghasemi, M., Kandar, M.Z., & Noroozi, M. (2016). Investigating the Effect of Well Geometry on the Daylight Performance in the Adjoining Spaces of Vertical Top-Lit

مرکزی ساختمان‌های تجاری اقلیم سرد و خشک (شهر مشهد). علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۳(۳)، ۵۷-۷۱.

<https://doi.org/10.30495/jest.2020.47878.4844>

≠ فرح خیز، مریم، و کشتکار قلاتی، احمد رضا. (۱۴۰۱). تحلیل الگوی آتریوم در بهینه‌سازی مصرف انرژی. دومین کنفرانس بین‌المللی معماری، عمران، شهرسازی، محیط زیست و اقلیم‌های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب. تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

<https://civilica.com/doc/1613017>

≠ عبدلی، سید سجاد، و موسوی، روح الله. (۱۳۹۶). بررسی تأثیر تناسب و شکل آتریوم‌ها بر بهینه‌سازی انرژی در اقلیم سرد و کوهستانی. مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز، ۴۷(۴)، ۱۸۹-۱۸۳.

https://tumechj.tabrizu.ac.ir/article_7451.html

≠ کاظم‌زاده، مرضیه، قبادیان، وحید، و طاهباز، منصوره. (۱۳۹۴). آتریوم و روشنایی فضای داخلی ساختمان‌های اداری (بررسی تأثیر فرم سقف آتریوم بر دریافت روشنایی داخلی). معماری و شهرسازی آرمان شهر، ۸، ۶۱-۵۳.

https://www.armanshahjournal.com/article_39334.html

≠ نصراللهی، نازنین، عبدالله‌زاده، صفورا، و لیتکوهی، ساناز. (۱۳۹۶). بررسی تأثیر آتریوم بر شرایط محیط داخلی، آسایش حرارتی ساکنان و میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری، نمونه موردی: شهر تهران. معماری و شهرسازی آرمان شهر، ۱۰(۲۱)، ۱۳۸-۱۲۵.

https://www.armanshahjournal.com/article_58595.html

≠ Aizlewood, M.E. (1995). Daylighting of atria: A critical review. *Proceedings of the 1995 ASHRAE Annual Meeting*. San Diego: ASHRAE.

<https://www.osti.gov/biblio/211845>

≠ Bajracharya, S. (1997). *Computer simulation of thermal izof atriums*. Master's thesis, Faculty of Mechanical engineering, University of Calgary, Calgary, Canada.

- ≠ Pitts, A., & Bin Saleh, J. (2007). Potential for energy saving in building transition spaces. *Energy and Buildings*, 39(7), 815–822.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.02.006>
- ≠ Rastegari, M., Pournaseri, S., & Sanaieian, H. (2021). Daylight Optimization through Architectural Aspects in an Office Building Atrium in Tehran. *Journal of Building Engineering*, 33, 101718.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101718>.
- ≠ Shafiei Fini, A., & Moosavi, A. (2016). fff ett s ff aaa ll gggl arity ff ttrimm' nn iiiii lii ggs ttt rr ll vttd ilatin ddd teermll rrr fir mccc"" ddd CDDmllll . *Energy and Buildings*, 121, 265–283.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.054>
- ≠ Sharples, S., & Lash, D. (2006). Daylight in Atrium Buildings: A Critical Review. *Architectural Science Review*, 50, 301–312.
<https://doi.org/10.3763/asre.2007.5037>
- ≠ Sudan, M., Mistrick, R.G., & Tiwari, G.N. (2017). Climate-Based Daylight Modeling (CBDM) for an Atrium: An Experimentally Validated Novel Daylight Performance. *Solar Energy*, 158, 559–571.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.09.067>.
- ≠ Verma, A. (2017). *The effect of an atrium and building orientation on the daylighting and cooling load of an office building: An early stage study*. Master's thesis, Department of Civil and Architectural Engineering, KTH, School of Architecture and the Built Environment (ABE), Lund University, Lund, Sweden.
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1163933/FULLTEXT01.pdf>
- ≠ Wu, P., Zhou, J., & Li, N. (2021). Influences of Atrium Geometry on the Lighting and Thermal Environments in Summer: CFD Simulation Based on-site Measurements for Validation. *Building and Environment*, 197, 107853.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107853>
- ≠ Xue, Y., & Liu, W. (2022). A Study on Parametric Design Method for Atrium Buildings. *Indoor and Built Environment*, 25(6), 934–948.
<https://doi.org/10.1177/1420326X15589121>.
- ≠ Ibrahim, I., Al Badri, N., Mushtaha, E., & Omar, O. (2022). Evaluating the Impacts of Courtyards on Educational Buildings, Case Study in the University of Sharjah. *Sustainability*, 14(1), 141.
<https://doi.org/10.3390/su14010141>.
- ≠ Li, J., Ban, Q., Chen, X., & Yao, J. (2019). Glazing Sizing in Large Atrium Buildings: A Perspective of Balancing Daylight Quantity and Visual Comfort. *Energies*, 12(4), 701.
<https://doi.org/10.3390/en12040701>.
- ≠ Littlefair, P. (2002). Daylight Prediction in Atrium Buildings. *Solar Energy*, 73(2), 105–109.
[https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(02\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(02)00038-5)
- ≠ Mahlabani, Y.G., Araei, R.A., Boushehri, A.M., & Alamuti, Z.M. (2019). A Study of Optimal Area of Atrium for Daylight Utilization (Case Study: Administrative Building in Qazvin, Iran). *Architectural Engineering & Urban Planning*, 29(1), 39–46.
<http://dx.doi.org/10.22068/ijaup.29.1.39>
- ≠ Mohsenin, M., & Hu, J. (2015). Assessing Daylight Performance in Atrium Buildings by Using Climate Based Daylight Modeling. *Solar Energy*, 119, 553–560.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.05.011>.
- ≠ Omrany, H., Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., Ghaffarianhoseini, A., & Li, D.H.W. (2020). Is atrium an ideal form for daylight in buildings? *Architectural Science Review*, 63, 47–62.
<https://doi.org/10.1080/00038628.2019.1683508>
- ≠ Piraei, F., Matusiak, B., & Lo Verso, V.R.M. (2022). Evaluation and Optimization of Daylighting in Heritage Buildings: A Case-Study at High Latitudes. *Buildings*, 12(12), 2045.
<https://doi.org/10.3390/buildings12122045>.

- ≠ Yoshino, H., Ito, K., & Aozasa, K. (1995). Trends in thermal environmental design of atrium buildings in Japan. *Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ)*, 61(483), 63-72.

Optimization of Daylight in Commercial Buildings' Atrium in Cold Regions. *Sustainability*, 14(13), 7667.

<https://doi.org/10.3390/su14137667>.

http://dx.doi.org/10.3130/aija.61.63_1



نحوه ارجاع به مقاله:

کشتکار قلاتی، احمد رضا و فرح خیز، مریم. (۱۴۰۴). بررسی تطبیقی انواع فرم آتریوم و هندسه نورگیر آن در راستای کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های آموزشی در شهر تهران. توسعه پایدار شهری، ۶(۱۸)، ۹۵-۸۱.



DOI: <https://doi.org/10.22034/usd.2024.2014712.1154>



DOR:

URL: https://usdjournal.daneshpajooan.ac.ir/article_724306.html?lang=fa



Authors retain the copyright and full publishing rights.

Published by Daneshpajooan Pishro Higher Education Institute. This article is an open access article licensed under the [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)