نشریه مطالعات هنر اسلامی
www.sysislamicartjournal.ir

تطبیق مزایا و کاربرد آتریم ها و سقف های مدور سنتی با تاکید بر بهینه سازی مصرف انرژی در مراکز تجاری تهران

امیر شایانیان [1]، فاطمه مظفری قادیکلائی [2*]

[1] دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران. amir.shayanian@yahoo.com

[2*] (نویسنده مسئول) دکتری تخصصی، استادیار، گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران.
drmozafarighadikalaei@yahoo.com

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی
شماره ۴۵
دوره ۱۹
صفحه ۳۹۴ الی ۴۰۷

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۲۷
تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۰۶/۱۳
تاریخ صدور پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۱/۰۱

کلمات کلیدی
بهینه‌سازی،
انرژی،
آتریم،
تجاری،
تهران.

ارجاع به این مقاله
شایانیان, امیر, مظفری قادیکلائی, فاطمه. (۱۴۰۱). تطبیق مزایا و کاربرد آتریم ها و سقف های مدور سنتی با تاکید بر بهینه سازی مصرف انرژی در مراکز تجاری تهران. مطالعات هنر اسلامی, ۱۹(۴۵), ۳۹۴-۴۰۷.

dorl.net/dor/20.1001.1.1735708.1401.19.45.8.2

dx.doi.org/10.22034/IAS.2020.250686.1368

چکیده

امروزه یکی از دغدغه‌های مهم در مسئله طراحی، چگونگی مدیریت انرژی است. آتریم‌ها یکی از مؤلفه های تأثیرگذار در مصرف انرژی است. روش تحقیق در این پژوهش با توجه به ماهیت آن، شبیه‌سازی و با رویکرد مطالعه موردی و تحلیلی و ازنظر نوع کاربردی است. در این تحقیق، ابتدا مدل پایه با توجه به قبوض مصرفی مرکز تجاری موردنظر، اعتبارسنجی می‌گردد. سپس با مقایسه ۱۱ فاز مختلف در نرم‌افزار مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد. پس از اعمال راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی و هوشمند سازی ساختمان، مشخص می‌گردد که آتریوم مرکزی به ترتیب در مراکز تجاری کوتاه مرتبه (۳ طبقه)، میان مرتبه (۵ طبقه) و سپس بلندمرتبه (۱۳ طبقه)، راندمان بهتری نسبت به مدل پایه (بدون اعمال راهکارها) داشته و حذف جداره‌های جانبی در این آتریم‌ها، تهویه طبیعی را در ساختمان بهبود می‌بخشد. از این مطالعات که با دقت محاسباتی بالا و توسط مدل‌سازی دینامیکی با نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر انجام می‌گردد، نشان می‌دهد که پتانسیل افزایش بهره‌وری و صرفه‌جویی انرژی در این ساختمان‌ها بسیار بالاست. همچنین این تحقیق نشان می‌دهد که مجموع کاهش مصرف انرژی سالیانه پس از اعمال راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی نسبت به عدم اجرای این راهکارها، در مقایسه دو ساختمان آتریمی ۱۳ طبقه (۱۱ درصد) و در مقایسه دو ساختمان ۵ طبقه (بدون آتریم و با آتریم با اعمال راهکارها) به میزان (۱۱,۷ درصد) و در مقایسه دو ساختمان آتریمی ۵ طبقه (۱۶ درصد) و در مقایسه دو ساختمان آتریمی ۳ طبقه (۱۹درصد) و در مقایسه دو ساختمان آتریمی ۳ طبقه با ۵ طبقه (۵۰,۸ درصد) است. در نهایت نیز موجب کاهش قابل‌توجه گاز دی‌اکسید کربن و بهبود ضریب آسایش حرارتی در ساختمان‌های تجاری می‌گردد.

اهداف پژوهش:

۱. کاهش مصرف انرژی با تأکید بر نقش حرارتی آتریم‌ها در مراکز تجاری بخش مرکزی تهران.
۲. تأمین آسایش حرارتی و کاهش انتشار گازهای دی‌اکسید کربن در مراکز تجاری بخش مرکزی تهران.

سؤالات پژوهش:

۱. بهینه‌ترین نوع جداره جانبی آتریم‌ها جهت تأمین آسایش حرارتی در مراکز تجاری بخش مرکزی تهران چیست؟
۲. بهینه‌ترین ارتفاع آتریم‌ها جهت افزایش بهره‌وری انرژی در مراکز تجاری بخش مرکزی تهران چیست؟

**این مقاله مستخرج از رساله دکتری، در گروه معماری، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری با عنوان "بهینه‌سازی مصرف انرژی با تأکید بر نقش حرارتی آتریم‌ها در مراکز تجاری شمال و مرکز تهران" است.

2676-7759/ © 2020 Islamic Art Press. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/BY/4.0/)

مقدمه

بهینه‌سازی مصرف انرژی در سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از اولویت‌های مهم برای طراحان ساختمان تبدیل‌شده است، به‌ویژه برای ساختمان‌های عمومی و تجاری، تقاضای استفاده از سیستم‌های مکانیکی مانند گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع (HVAC)، یک مشکل اساسی است که می‌تواند بر روی بارهای حرارتی ساختمان‌ها تأثیر گذاشته و درنهایت موجب مصرف بیش‌ازحد انرژی شود. یکی از راه‌حل‌های متداول برای کاهش انرژی موردنیاز شهروندان در مناطق خشک، استفاده از سیستم‌های منفعل است (رستمی و همکاران: ۲۲۸). آتریم‌ها در ساختمان به‌عنوان یک سیستم منفعل خورشیدی می‌تواند علاوه بر تأمین نور و حرارت خورشید، میزان مصرف سیستم‌های روشنایی و تهویه مصنوعی را در فضاهای گسترده بخصوص در مراکز تجاری کاهش دهد و ضمن ایجاد یک خرد اقلیم مناسب در ساختمان، موجب بالا بردن کیفیت هوا، کاهش هزینه‌های نگهداری و همچنین افزایش صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌ها گردد؛ بنابراین ضروری است که با بهینه‌سازی مصرف سوخت‌های فسیلی و استفاده از روش‌های غیرفعال خورشیدی در ساختمان، میزان انتشار دی‌اکسید کربن نیز تا حد امکان کاهش یافته و موجب جلوگیری از گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی گردد.

در گزارشی که توسط آژانس بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۱۴ میلادی منتشر شد، حدود ۴۰ درصد از انرژی‌های تولیدشده در بخش ساختمان استفاده می‌گردد (Cuce and Riffat, 2014) که ۸۰ درصد از کل آن، به خدماتی چون تهویه مطبوع، روشنایی و تجهیزات مربوط می‌شود (Ihm et al., 2009). بدیهی است که پایداری انرژی در مراکز تجاری عظیمی که روزانه هزاران مخاطب از آن‌ها بازدید می‌کند به‌مراتب مؤثرتر از کنترل انرژی در یک خانه مسکونی است. ازاین‌روست که معماری فضاهای تجاری به‌شدت درگیر با اصول معماری پایدار و نکات فنی می‌گردد. تهویه طبیعی در چنین ساختمان‌هایی نقش کلیدی در ارائه کیفیت بهینه گردش هوا در داخل ساختمان و حفظ سطح قابل‌قبول آسایش حرارتی بدون نیاز به استفاده از دستگاه‌های مکانیکی مانند گرمایش، تهویه و سرمایش (HVAC) است. بنابراین، تهویه طبیعی قادر به کاهش مصرف انرژی سیستم‌های تهویه مطبوع ساختمان است که سهم قابل‌توجهی در صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌ها داشته (Thirugnanasambandam et al., 2010) و بیش از ۶۰ درصد از کل مصرف انرژی ساختمان را شامل می‌شود (Chan et al., 2010). مزیت اصلی استفاده از تهویه طبیعی در طراحی آتریم در ساختمان، فقط صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هزینه‌های صرفه‌جویی نیست، بلکه فراهم آوردن شرایطی قابل‌قبول راحت، سالم و سازنده برای ساکنین است. وارد کردن هوای گرم به داخل، در طول زمستان‌های سرد و خروج هوای گرم در طول تابستان، هدفی مهم در معماری بیابانی است (رستمی و همکاران: ۲۳۰) در این تحقیق، نمونه موردی انتخاب‌شده جهت مطالعه، مناطق مرکزی استان تهران و مرکز تجاری یاس است. به دلیل پیچیدگی متغیرها و پارامترهای موجود در مصرف انرژی در ساختمان، بدون در نظر گرفتن ابزارهای شبیه‌سازی نمی‌توان تصمیم‌گیری درستی در ارتباط با بهینه‌سازی مصرف انرژی داشت؛ بنابراین در این تحقیق، متغیرها و پارامترهایی که بر عملکرد حرارتی آتریم‌ها تأثیر می‌گذارند در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر شبیه‌سازی می‌گردد و با مقایسه تطبیقی عملکرد حرارتی آتریم‌ها در اقلیم مناطق مرکزی تهران، محاسبات موردنیاز دریافت و اتلاف و مصرف انرژی را دقیقاً بر اساس شرایط اقلیمی انجام می‌شود و نتایج شبیه‌سازی‌ها برای کل ساختمان مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد و در نهایت منجر به ارائه راهکارهایی معمارانه و پایدار جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی در مراکز تجاری در مناطق

مرکزی تهران خواهد شد. روش تحقیق نیز در این پژوهش با توجه به ماهیت آن، شبیه‌سازی و با رویکرد مطالعه موردی و تحلیلی و ازنظر نوع کاربردی است.

مطالعات و تحقیقات گسترده‌ای درزمینه عملکرد آتریم‌ها و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها با موضوعات مختلف انجام‌شده است. در تحقیقات نوواب و سلکوویتز (۱۹۸۴)، یکی از فراگیرترین مطالعات در مورد سازه‌های سقف آتریم با چهارده تنظیم انواع شیشه در شرایط مختلف آسمان انجام گردیده است (Navvab and Selkowitz, 1984). وال (۱۹۹۶)، در مورد یک آپارتمان چند طبقه با طراحی آتریم سرد و معبری با سقف شیشه‌ای در سوئد تحقیق کرد. طبق تحقیق وال اگر آتریم در شرایط آسایش حرارتی در آب‌وهوای نوردیک گرم شود، تقاضای کلی انرژی نهایی ساختمان برای آتریم و ساختمان‌های مجاور افزایش می‌یابد (Wall, 1996). بانزال و همکاران (۱۹۹۳) برای تقویت تهویه پشته از دودکش خورشیدی استفاده کرد و به دبی صدها مترمکعب هوا در ساعت رسیدند (Bansal and Mathur, 1993). هاگن و همکاران (۲۰۰۱) در یک مطالعه موردی با شبیه‌سازی عددی برای ارزیابی آسایش حرارتی و بهینه‌سازی، طراحی تهویه آتریم موردبررسی قراردادند (Hangen et al., 2001). یانگ و لی (۲۰۰۵)، اثر جرم حرارتی در مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری با تهویه هوا در روز و سرمایش در شب را برای تعیین کمیت تغییرات ساعت و بار خنک‌کننده تهویه مطبوع موردمطالعه قرار دادن (Yang and Li, 2008). حسین و اوستویزن (۲۰۱۲) نیز از روش‌های تجربی و CFD برای ارزیابی افزایش کارایی ابعاد و هندسه‌های مختلف آتریم استفاده نمودند (Hussain and Oosthuizen, 2012). براردی و وانگ (۲۰۱۴)، میزان جذب تابش خورشیدی را از طریق آتریم بررسی کرده و نشان دادند که با استفاده از نور طبیعی می‌توان مصرف انرژی روشنایی ساختمان را تا حد زیادی کاهش داد (Berardi and Wang, 2014). جیا و لی (۲۰۱۸)، طراحی یک الگوی بهینه جهت‌گیری ساختمان‌ها در مجتمع‌های مسکونی با تحلیل سطح مصرف انرژی در مسکن مهر در تهران را موردمطالعه قراردادند. در ایران نیز درزمینه انرژی و طراحی اقلیمی تعدادی از محققان به مطالعه و تحقیق پرداخته‌اند. نصراللهی (۱۳۹۰) در مقاله‌ای به تأثیر طراحی معماری بر میزان مصرف انرژی در اقلیم سرد (تبریز) با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر پرداخته است (نصراللهی، ۱۳۹۰). فتحعلیان و همکاران (۱۳۹۶)، مقاله‌ای تحت عنوان شبیه‌سازی انرژی ساختمان اداری با نرم‌افزار دیزاین بیلدر و اعتبارسنجی آن با قبوض انرژی را ارائه نمودند. سپهری و مثنوی (۲۰۱۶) در مقاله‌ای با عنوان بهینه‌سازی مصرف انرژی با راهکار انتخاب فرم ساختمان توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر در اقلیم تهران (با طراحی نمونه موردی)، به تحقیق در این خصوص پرداختند. در سال ۲۰۱۶، مدیر روستا و بوستانی (۲۰۱۶) نحوه طراحی آتریم‌ها و میزان جذب انرژی و تأثیر آن‌ها بر مصرف انرژی ساختمان را موردبررسی قرار دادند (Modirrousta and Boostani, 2016). در مقاله حاضر که مستخرج از رساله دکتری است، عملکرد حرارتی آتریم‌ها در مراکز تجاری بخش مرکزی تهران با ۹ متغیر هم‌زمان و در ۱۱ فاز و سناریوی مختلف توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر موردتحقیق قرار می‌گیرد و به این نتیجه دست پیدا خواهد نمود که بهینه‌ترین نوع آتریم در این اقلیم، از نوع بدون جداره جانبی و با ارتفاع کوتاه مرتبه است که تاکنون یا این وسعت متغیر انجام نشده است.

۱.تیپولوژی آتریم مورد مطالعه

نتایج تحقیقات ارلندسون نشان می‌دهد که از بین فرم‌های مثلث، مربع و دایره، فرم دایره و سپس فرم مربع در افزایش سطح روشنایی فضای داخل آتریوم مؤثرترند. همچنین نتایج محققین نشان داده که در بین فرم‌های معمول آتریم، فرم آتریم مرکزی و خطی، مؤثرترین انواع آتریم در به حداقل رساندن

نوسانات دما در فصول گرم و متوسط است؛ بنابراین با توجه به موارد فوق، در جهت یافتن بهینه‌ترین حالت، صرفاً به مطالعه در مورد آتریم با فرم مرکزی و با پلان مربعی شکل در این تحقیق پرداخته می‌شود. قابل‌ذکر است حداقل مساحت نورگیرها مطابق با ضوابط معماری و مرجع (مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۱)، در قطعات بزرگ‌تر از ۲۰۰ مترمربع تا ارتفاع ۵ طبقه برای فضاهای اصلی معادل ۱۲ مترمربع با حداقل بعد نورگیر ۳ متر است و برای ساختمان‌های بلندتر از ۵ طبقه (۲۳ متر ارتفاع) نیز باید از نورگیرهای بزرگ‌تر استفاده نمود؛ بنابراین در این تحقیق نیز حداقل ابعاد آتریم مربعی را با توجه به ضوابط مذکور به متراژ ۳,۵* ۳,۵ متر (مساحتی حدود ۱۲ مترمربع) در نظر گرفته شده است و حداکثر ابعاد آن نیز محدود به فضای خالی موجود بین پله‌برقی‌های میانی ساختمان یعنی ۱۰* ۱۰ متر در نظر گرفته شده است. قابل‌ذکر است با توجه به محدودیت تعیین پهنه‌های بلندمرتبه‌سازی و تدوین ضوابط ویژه ساخت‌وساز در تهران، حداکثر ارتفاع ساختمان بلندمرتبه در این تحقیق ۱۳ طبقه در نظر گرفته شده است که در سه رنج ارتفاعی کوتاه (۳ طبقه) و میان مرتبه (۵ طبقه) و بلندمرتبه (۱۳ طبقه) موردمطالعه قرار گرفته است.

۲.ویژگی سایت موردمطالعه

شهر تهران در ۵۱ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرضی قرار گرفته است و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد بین ۱۸۰۰ متر تا ۱۲۰۰ متر در مرکز و ۱۰۵۰ متر در جنوب متغیر است (تاریخچه تهران، ۱۳۸۷). طبق آمار اداره کل هواشناسی استان تهران، ایستگاه سینوپتیک مهرآباد تهران در محدوده جغرافیایی ۵۱,۱۸,۴۶ درجه طول شرقی و در ۳۵,۴۱,۳۵ درجه عرضی با ارتفاع ۱۱۹۱ متر از سطح دریا است (اداره کل هواشناسی استان تهران، ۱۳۹۵) که در صورت تبدیل به مختصات UTM، معادل با طول شرقی ۵۱,۳۱۲۷۸ و عرضی ۳۵,۶۹۳۰۶ درجه دسی‌مان می‌شود که به‌عنوان نماینده بخش مرکزی تهران انتخاب شده است. سایت موردمطالعه در این تحقیق که به‌عنوان نماینده بخش مرکزی تهران واقع در محدوده منطقه ۷ شهر تهران به آدرس میدان هفت تیر، نبش کوچه آذری، مرکز تجاری یاس است. زمین این سایت طبق سند به مساحت ۲۰۵۴ مترمربع و دارای ۱۵۳۰۲ مترمربع زیربنا است. این مرکز خرید دارای ابعاد تقریبی ۴۵,۹۰*۵۳,۳۰ متر و در ۵ طبقه و ۳ طبقه پارکینگ در زیرزمین است که در سال ۱۳۸۶ ساخته شده است.

در این تحقیق بر اساس روش دمارتن و طبق آمار درازمدت ۱۹ ساله سازمان هواشناسی جهانی (سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۹۱)، در ایستگاه فرودگاه مهرآباد تهران که به‌عنوان نماینده مناطق مرکزی استان تهران در نظر گرفته شده است، میانگین بارندگی سالانه ۲۳۳,۴۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۹,۴۰ درجه سانتی‌گراد است، بنابراین ضریب شاخص خشکی ۷,۹۴ گردیده و منطقه موردمطالعه در پهنه (خشک) قرار می‌گیرد.

۳. شبیه‌سازی در فازهای مختلف

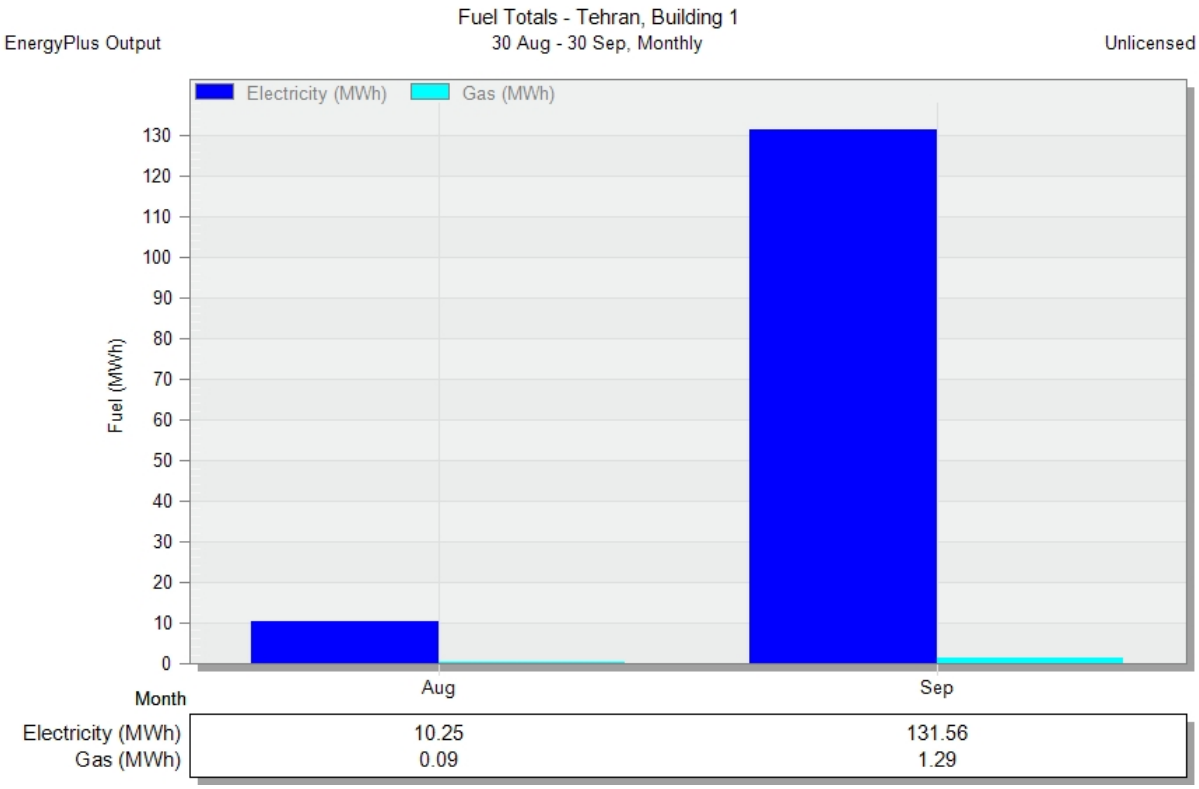
فازها و سناریوهای متعددی برای ساختمان آتریمی با فرم مرکزی در نظر گرفته شده است که شامل ۱۱ فاز اصلی و ۲۱ حالت شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر است که تاکنون به این وسعت و با این تعداد متغیر انجام نشده است. سپس با توجه به مقایسه کاهش مصارف انرژی در هر فاز با مدل پایه، بهینه‌ترین گزینه شبیه‌سازی هر فاز به مرحله بعدی انتقال‌یافته و در انتها به بحث، تحلیل و نتیجه‌گیری در این خصوص پرداخته‌شده است.

متغیرهای بکار رفته در این تحقیق شامل: جنس مصالح بدنه آتریم، انواع سقف شیشه‌ای آتریم، ابعاد دریچه‌های هوای آتریم، ابعاد هندسی سقف آتریم، تغییر ارتفاع یا تعداد طبقات ساختمان، تغییرات کنترل هوشمند بازشوهای تهویه آتریم در دماهای مختلف داخلی و همچنین کنترل هوشمند سایه در آتریم با استفاده از سایبان‌های متحرک، سنسور نور، تغییرات جنس مصالح دیوارها، سقف‌ها و بام است.

۳,۱.فاز ۱ (اعتبارسنجی)

با توجه به برداشت میدانی و شرایط واقعی ساختمان، این فاز صرفاً جهت اعتبارسنجی نرم‌افزار دیزاین بیلدر در این تحقیق مدل‌سازی گردید. مشخصات این فاز دقیقاً مطابق با وضعیت واقعی ساختمان مرکز تجاری یاس است که در ۵ طبقه و در اقلیم مرکزی تهران و بدون هرگونه (آتریوم، بازشوی فعال، تهویه طبیعی، کنترل نوری و سایه‌بان هوشمند) است. مشخصات نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی، بنام دیزاین‌بیلدر از نوع (Design Builder v 6.1.2.009) مورداستفاده قرار می‌گیرد.

در این تحقیق از روش تجربی جهت اعتبارسنجی استفاده شده است. بدین منظور، ساختمان تجاری مرکز خرید یاس واقع در میدان هفت تیر تهران به‌عنوان ساختمان نمونه انتخاب و اعتبارسنجی گردیده است. این ساختمان در شرایط واقعی، بدون هرگونه (آتریوم، بازشوی پنجره فعال، تهویه طبیعی، کنترل نوری و سایه‌بان هوشمند) است که (به‌عنوان فاز ۱) با نرم‌افزار دیزاین بیلدر مدل‌سازی گردید. سپس شبیه‌سازی دقیقاً در تاریخ قرائت کنتور و قبض برق مرکز خرید یاس و در بازه زمانی ۸ شهریور تا ۸ مهرماه ۱۳۹۸ شمسی (که مصادف با ۳۰ آگوست تا ۳۰ سپتامبر سال ۲۰۱۹ میلادی است و تقریباً مقارن با اعتدالین پاییزی است) انجام گردید. در نتایج این شبیه‌سازی مشخص شد که میزان برق مصرفی در ساختمان نمونه مطالعاتی به میزان ۱۴۱۸۱۰ کیلووات ساعت است. سپس صحت نتایج حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر مندرج در قبوض برق مصرفی در همان ماه در ساختمان موجود (که جمعاً به میزان ۱۵۵۳۷۰ کیلووات ساعت است) اعتبارسنجی گردید. درنهایت، نتایج اعتبارسنجی نشان می‌دهد که با مقایسه عددی بین مقادیر واقعی مصرف انرژی در ماه موردنظر در ساختمان نمونه با خروجی ماهیانه نرم‌افزار شبیه‌ساز، اختلافی به میزان ۸,۷ درصد (در محدوده مجاز کمتر از ۱۵ درصد) دارد و بنابراین صحت این اعتبارسنجی موردقبول است.



تصویر ۱: نمودار برق مصرفی مرکز خرید یاس از ۳۰ آگوست تا ۳۰ سپتامبر ۲۰۱۹، شبیه‌سازی با نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر (منبع: نگارنده)

۳،۲.فاز ۲ (ساخت مدل پایه)

مشخصات این فاز دقیقا طبق مدل واقعی ساختمان و دارای ۵ طبقه است، ولی دارای پنجره‌هایی صرفاً جهت استفاده از نور طبیعی در جبهه غربی ساختمان و بدون امکان بازشو با مساحت کلی ۸۰ مترمربع است. آتریم فاقد جداره جانبی است و کلاهک آتریوم با ابعاد ۱۰ در ۱۰ و بدون بازشو یا دریچه خروج هوا در کلاهک آتریم است. مساحت پنجره‌های نما با بازشوهای جانبی کلاهک آتریوم مساوی است و برابر با ۸۰ مترمربع است و هر دو بسته است. آتریم با دریچه خروجی بسته و بدون هیچ‌گونه راهکار و تمهیدات بهینه‌سازی انرژی است.

	ضریب آسایش حرارتی Fanger- PMV	دی‌اکسید کربن Kg× 10^3	انرژی سرمایش و گرمایش MWh	گاز MWh	الکتریسیته MWh
مدل پایه (فاز ۲)	۱،۰۳	۸۱۳،۲۱	۵۵۶،۲۷	۱۰	۱۳۴۰

جدول ۱: جدول عوامل مهم مصرف انرژی سالیانه، ضریب آسایش حرارتی و انتشار گاز دی‌اکسید کربن در مدل پایه (منبع: نگارنده)

۳،۳.فاز ۳ (تأثیرات تهویه طبیعی با شروط کنترل هوشمند حداقل دمای داخل ساختمان)

در این فاز، استفاده تهویه طبیعی در پنج مرحله جهت انتخاب شرایط بهینه، مورد آزمایش و شبیه‌سازی قرار می‌گیرد؛ بنابراین تأثیرات تهویه طبیعی با شروط کنترل هوشمند حداقل دمای داخل ساختمان در دماهای ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ درجه سانتی‌گراد مورد تحلیل و شبیه‌سازی شد. در این مرحله، درصد بازشو پنجره‌ها ۸۰ درصد ثابت فرض شده است.

۳،۴.فاز ۴ (سایبان هوشمند در آتریم)

در این فاز از سه سایه‌بان هوشمند در آتریم و بدون جداره جانبی در آتریم به شرح ذیل استفاده شد:

۴. ۴. ۱. سایه‌بان هوشمند در آتریم (Window Shading) از نوع Cooling.

۴. ۴. ۲. سایه‌بان هوشمند (Window Shading) از نوع Outside Air Temperature (24) + Solar on window.

۴. ۴. ۳. سایه‌بان هوشمند (Window Shading) از نوع Inside Air temperature (24).

۳،۵.فاز ۵ (متغیر جداره جانبی آتریم)

در این فاز، سه نوع مختلف جداره آتریم به شرح ذیل تحلیل‌شده است:

۴. ۵. ۱. استفاده از جداره‌های جانبی با اینرسی حرارتی بالا در آتریم.

۴. ۵. ۲. استفاده از جداره‌های شیشه‌ای در آتریوم.

۴. ۵. ۳. عدم استفاده از جداره جانبی در آتریم.

۳،۶.فاز ۶ (تغییر ارتفاع دریچه خروجی کلاهک آتریوم)

در این فاز، سه نوع مختلف ارتفاع دریچه خروجی هوای آتریم (۱ و ۲ و ۴) متر مورد آزمایش و شبیه‌سازی گردید.

۳،۷.فاز ۷ (استفاده از سنسورهای نور)

در این بخش، از سنسورهای نوری با مکان‌یابی مناسب (میانگین نوری) به جهت کاهش میزان مصرف برق در قسمت روشنایی استفاده شده است. همچنین در دو طرف آتریم مرکزی، دو مکان جهت نصب سنسور (Lighting Area) در این بخش استفاده شده است. ضمناً کلیه مشخصات و مصالح بهینه فازهای قبلی به این بخش نیز وارد می‌گردد.

۳،۸.فاز ۸ (جنس متفاوت شیشه‌های سقف آتریم)

در این بخش از سه نوع جنس مختلف برای شیشه‌ها به شرح ذیل استفاده شده است:

۴. ۸. ۱. استفاده از شیشه‌های Dbl Clear 3mm/13mm Air.

۴. ۸. ۲. استفاده از شیشه‌های Dbl Loe E Clear 3mm/ 13 mm Arg.

۴. ۸. ۳. استفاده از شیشه‌های Triple-LowE-3mm/13Arg.

۳,۹.فاز ۹ (تغییر مقاومت حرارتی و جنس مصالح به‌کاررفته در دیوارهای خارجی ساختمان و بام).

در این فاز، متغیرهای جنس مصالح کف، بام، شیشه‌ها و سایبان هوشمند برای پنجره‌های نمای ساختمان به شرح ذیل شبیه‌سازی گردیده است:

۴. ۹. ۱. بهبود جنس مصالح دیوار خارجی ساختمان با استفاده از عایق XPS باضخامت ۳ سانتیمتر که دارای (U-Value= 0.395 w/m2-k) است.

۴. ۹. ۲. بهبود جنس مصالح بام ساختمان با استفاده از عایق XPS باضخامت ۵,۶ سانتیمتر که دارای (U-Value= 0.315 w/m2-k) است.

۴. ۹. ۳. بهبود شیشه‌ها به Dbl LoE (e2=.1) Clr 3mm/13mm Arg که دارای (U-Value= 1.512 w/m2-k) است.

۴. ۹. ۴. برای پنجره‌های موجود در نمای اصلی ساختمان (در ضلع غرب) نیز سیستم سایبان هوشمند متحرک از نوع Outside Air Temperature (24) + Solar on window استفاده گردید.

۳,۱۰.فاز ۱۰ (متغیر ابعاد سقف آتریوم)

در این بخش، سقف آتریم با دو ابعاد مختلف (۳,۵*۳,۵) و (۱۰*۱۰) متر مورد شبیه‌سازی و تحلیل قرار می‌گیرد.

۳,۱۱.فاز ۱۱ (متغیر ارتفاع آتریم در ساختمان)

در این بخش، مقایسه‌ای بین فاز ۲ (مدل پایه)، بدون ارائه راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی با فاز ۱۰ (آخرین مدل منتخب) به همراه کلیه راهکارهای بهینه‌سازی گفته‌شده در فازهای قبل در سه ارتفاع (۳ و ۵ و ۱۳) طبقه باهم مقایسه شده‌اند؛ تا درصد کاهش مصرف انرژی مشخص شود. قابل‌ذکر است که در مدل‌سازی ساختمان تجاری یاس، ارتفاع طبقه همکف ۵ متر و مابقی طبقات بالاتر ۴,۲۰ است.

۴.تجزیه و تحلیل شبیه‌سازی

۵. ۱. در نتایج شبیه‌سازی فاز ۱ مشخص گردید که میزان برق مصرفی در ساختمان نمونه مطالعاتی به میزان ۱۴۱۸۱۰ کیلووات ساعت است. سپس صحت نتایج حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر مندرج در قبوض برق مصرفی در همان ماه در ساختمان موجود (که جمعاً به میزان ۱۵۵۳۷۰ کیلووات ساعت است) اعتبارسنجی گردید. درنهایت، نتایج اعتبارسنجی نشان می‌دهد که با مقایسه عددی بین مقادیر واقعی مصرف انرژی در ماه موردنظر در ساختمان نمونه با خروجی ماهیانه نرم‌افزار شبیه‌ساز، اختلافی به میزان ۸,۷ درصد (در محدوده مجاز کمتر از ۱۵ درصد) دارد و بنابراین صحت این اعتبارسنجی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر (ورژن ۶,۱,۲,۰۰۹) موردقبول است.

۵. ۲. با مقایسه عملکرد حرارتی ساختمان در فاز ۱ (بدون آتریم) و فاز ۲ (با آتریم با دریچه خروجی بسته و بدون هیچ‌گونه راهکار و تمهیدات بهینه‌سازی انرژی) مشاهده می‌گردد که مصرف انرژی سالیانه به ترتیب از ۱,۲۸ مگاوات به ۱,۳۵ مگاوات افزایش یافته است. این بدان معنی است که در صورت عدم اجرای تمهیدات معمارانه در طراحی آتریم، می‌تواند به دلیل افزایش حرارت و نور خورشید بجای کمک به سیستم گرمایش و سرمایش، موجب اختلال در این سیستم و افزایش بار مصرفی به ساختمان گردد.

ضمنا در ساختمان (فاقد آتریم) ۵ طبقه (فاز ۱) که به‌عنوان مدل واقعی مرکز خرید یاس در اقلیم تهران مرکزی مدل‌سازی شده است، بدون اعمال کلیه راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی با مجموع مصرف انرژی سالیانه 1280 MWh (که میزان 1270 MWh مربوط به مصرف انرژی برق سالیانه و میزان 10 MWh مربوط به مصرف گاز سالیانه است)، نسبت به ساختمان (دارای آتریم) ۵ طبقه در همان اقلیم تهران مرکزی با اعمال کلیه راهکارها (با مجموع مصرف انرژی سالیانه 1130 MWh که 1110 MWh مربوط به مصرف انرژی برق سالیانه و 20 MWh مربوط به مصرف گاز سالیانه است)، دارای مصرف انرژی بیشتری است. درنتیجه مشخص می‌گردد که ساختمان (دارای آتریم) ۵ طبقه در اقلیم تهران مرکزی با اعمال کلیه راهکارها، دارای مصرف انرژی کمتر و عملکرد حرارتی بهتری نسبت به ساختمان (فاقد آتریم) ۵ طبقه در همان اقلیم است.

همچنین مشخص گردید که در صورت طراحی نامناسب آتریم، این ساختار نه‌تنها نمی‌تواند مصرف انرژی را کاهش ندهد بلکه موجب افزایش بار مصرفی در ساختمان می‌گردد. به‌عنوان نمونه در ساختمان مدل پایه (فاز ۲) که در ۵ طبقه و (دارای آتریم) ولی بدون تمهیدات بهینه‌سازی است (با مجموع مصرف انرژی سالیانه 1350 MWh که 1340 MWh مربوط به مصرف انرژی برق سالیانه و 10 MWh مربوط به مصرف گاز سالیانه)، نسبت به ساختمان (دارای آتریم) ۵ طبقه (فاز ۱۱) در اقلیم تهران مرکزی با اعمال کلیه راهکارها (با مجموع مصرف انرژی سالیانه 1130 MWh که 1110 MWh مربوط به مصرف انرژی برق سالیانه و 20 MWh مربوط به مصرف گاز سالیانه)، دارای مصرف انرژی سالیانه بیشتری است. درنتیجه مشخص می‌گردد که ساختمان (دارای آتریم) ۵ طبقه در اقلیم تهران مرکزی با اعمال کلیه راهکارها، دارای مصرف انرژی کمتر و عملکرد حرارتی بهتری نسبت به ساختمان (دارای آتریم) ۵ طبقه (مدل پایه- فاز ۲) در همان اقلیم دارد.

۵. ۳. در نتایج شبیه‌سازی فاز ۳ مشخص گردید که در ساختمان آتریمی ۵ طبقه با دریچه خروجی باز و با رعایت شرایط هوشمند کنترلی دمای داخلی ساختمان در حالت ۲۲ درجه، مجموع مصرف انرژی در بخش سرمایش در بازه تابستان، 303.28 MWh گردیده که نسبت به فاز ۲ (317.49 MWh) به میزان ۴,۵ درصد کاهش مصرف انرژی دارد؛ بنابراین نتیجه می‌گردد که این فاز نسبت به فاز ۲ عملکرد بهتری دارد؛ و این ساختمان‌ها دارای عملکرد مطلوب‌تری نسبت به ساختمان‌های آتریمی با دریچه خروجی بسته و بدون هوشمند سازی دمای داخلی دارد.

همچنین در ساختمان‌های آتریمی با کاربری تجاری در ارتفاعات با طبقات ۳ و ۵ و ۱۳ طبقه در اقلیم مرکز تهران، بهره‌گیری از Ventilation Setpoint Temperature در رنج دمایی ۲۰ تا ۲۲ درجه (بخصوص ۲۲ درجه) مطلوبیت و راندمان مناسبی را برای عملکرد حرارتی و تهویه طبیعی در ساختمان ایجاد می‌کند.

۵. ۴. در نتایج شبیه‌سازی فاز ۴ مشخص گردید که در ساختمان‌های آتریمی با کاربری تجاری در ارتفاعات با طبقات ۳ و ۵ و ۱۳ طبقه در اقلیم مرکز تهران، استفاده از سایه‌بان هوشمند (Window Shading) از نوع Outside Air Temperature (24) + Solar on window راندمان بهتری جهت مصرف انرژی نسبت به انواع Cooling و Inside Air temperature (24) ایجاد کرده است.

۵. ۵. در نتایج شبیه‌سازی فاز ۵ مشخص گردید که در ساختمان‌های آتریمی با کاربری تجاری در اقلیم مرکز تهران و در ارتفاعات با طبقات ۳ و ۵ و ۱۳ طبقه، برخلاف تصور سایر محققین، در بین سه نوع آتریوم (شامل: آتریوم بدون جداره‌های محدودکننده - آتریوم با جداره شیشه‌ای و آتریوم با دیواره‌هایی با مشخصه اینرسی بالا)؛ حالت اول یعنی آتریوم بدون هیچ‌گونه جداره محدودکننده، عملکرد حرارتی بهتری را در رابطه با راندمان مصرف انرژی دارد.

۵. ۶. در نتایج شبیه‌سازی فاز ۶ مشخص گردید که در ساختمان‌های آتریمی با کاربری تجاری در ارتفاعات با طبقات ۳ و ۵ و ۱۳ طبقه در اقلیم مرکز تهران، در رابطه با ابعاد دریچه خروجی آتریم، افزایش میزان مساحت خروجی هوا نسبت به ورودی هوا، تأثیر مناسبی را بر افزایش بهینه‌سازی مصرف انرژی به‌ویژه در بخش سرمایش داشته است. به‌عنوان نمونه، بهره‌مندی از دریچه خروجی هوا در کلاهک آتریوم با ارتفاع ۴ متر شرایط بهتری را به لحاظ تهویه طبیعی و عملکرد حرارتی نسبت به ارتفاع ۲ و ۱ متر ایجاد کرده است.

۵. ۷. در نتایج شبیه‌سازی فاز ۷ مشخص گردید که در ساختمان‌های آتریمی با کاربری تجاری در ارتفاعات با طبقات ۳ و ۵ و ۱۳ طبقه در اقلیم مرکز تهران، استفاده از سنسورهای نوری تأثیر بسیار مناسبی در کاهش مصرف انرژی بخصوص در بخش روشنایی داشته است.

۵. ۸. در نتایج شبیه‌سازی فاز ۸ مشخص گردید که در ساختمان‌های آتریمی با کاربری تجاری در ارتفاعات با طبقات ۳ و ۵ و ۱۳ طبقه در اقلیم مرکز تهران، استفاده از شیشه‌های Dbl Clear 3mm/13mm Air و Dbl Loe E Clear 3mm/ 13 mm Arg نسبت به نوع Triple-LowE-3mm/13Arg راندمان بهتری و مصرف انرژی سالیانه کمتری را دارند ولی بهره‌مندی از Dbl Loe E Clear 3mm/ 13 mm Arg به دلیل افزایش میزان بار روشنایی در ساختمان توصیه نمی‌شود.

۵. ۹. نتایج شبیه‌سازی در فاز ۹ حاکی از آن است که علی‌رغم باور سایر محققین در اقلیم مرکزی تهران، با کاهش ارزش حرارتی مصالح (U-Value)، (در دیوارهای خارجی، سقف و بام ساختمان) موجب کاهش در مصرف انرژی نسبت به حالت قبل نشده است که علت آن می‌تواند بار مصرفی بالا به دلیل لایتینگ و تجهیزات مرکز تجاری باشد که عایق‌کاری دیوارها، حبس حرارت را بیشتر کرده و سبب افزایش بار سرمایش می‌شود و هم‌چنین به همین دلیل و ناچیز بودن میزان بار گرمایش در برابر سرمایش و روشنایی تأثیر چندانی بر بخش گرمایش (به‌عنوان مهم‌ترین بخش تأثیرپذیر از عایق‌های حرارتی) ندارد.

قابل‌ذکر است این نتایج با توجه به شرایط، متغیرها و فرضیات این تحقیق و برای ساختمان‌های تجاری معمول در شهر تهران که عمدتاً دارای بازشوهای کمی در نمای ساختمان هستند و همچنین اقلیم‌های مشابه در کشور صادق است. بدیهی است در صورت تغییر کاربری ساختمان به ساختمان‌های اداری یا مسکونی که دارای بازشوهای بیشتری در نما باشند نیاز به بررسی و تحقیق بیشتری در این زمینه است.

درنتیجه در ساختمان‌های آتریمی با کاربری تجاری در ارتفاعات با طبقات ۳ و ۵ و ۱۳ طبقه در اقلیم تهران مرکزی، استفاده از عایق‌ها علی‌رغم کارایی مثبت در بخش گرمایش ولی به دلیل افزایش Heat Gain و گرمایش داخلی در فضاهای تجاری بسته تجاری مانند این پروژه موجب افزایش بار مصرفی در ساختمان گردیده و بخصوص در تابستان توصیه نمی‌شود.

۵. ۱۰. در نتایج شبیه‌سازی فاز ۱۰ مشخص گردید که در ساختمان‌های آتریمی با کاربری تجاری در ارتفاعات با طبقات ۳ و ۵ و ۱۳ طبقه در اقلیم تهران مرکزی، استفاده از سقف آتریم با دو ابعاد مختلف (۳,۵*۳,۵) و (۱۰*۱۰) متر مورد شبیه‌سازی و تحلیل قرار گرفت و مشخص گردید که ابعاد وسیع‌تر دارای کاهش مصرف انرژی بیشتری در این ساختمان است و در این اقلیم راندمان مطلوب‌تری دارد.

۵. ۱۱. در تجزیه‌وتحلیل نمودارهای مصارف انرژی در فاز نهایی (فاز ۱۱) توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر، به این نتیجه می‌رسیم که برای اقلیم تهران مرکزی، مصارف انرژی در بازه زمانی تابستان و زمستان برای ساختمان مدل پایه ۵ طبقه (1350 MWh) است و برای ساختمان ۳ طبقه بعد از ارائه راهکار (663.63 MWh) شده است که در مقایسه

باهم، به میزان (686.37 MWh) کاهش مصرف انرژی داشته و به میزان (۵۰,۸) درصد موجب بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌گردد؛ بنابراین مقایسه ساختمان ۳ با ۵ طبقه، در این بخش به‌عنوان بهترین گزینه و در رده اول برای اقلیم تهران مرکزی انتخاب می‌گردد. این کار با مقایسه عددی عوامل مهم مصرف سالیانه انرژی ساختمان ۳ طبقه نسبت به مدل پایه (فاز ۲) ۵ طبقه انجام‌شده و مشاهده می‌گردد که درصد مصرف انرژی سالانه الکتریسیته (۵۱,۱ درصد)، انرژی سرمایش و گرمایش (۴۷,۸ درصد)، میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن (۵۱ درصد) کاهش یافته و ضریب آسایش حرارتی ساکنین نیز (۲۹,۱ درصد) بهبود یافته و حتی مصرف گاز نیز (۴,۹ درصد) بهبود یافته است؛ بنابراین به‌عنوان (فاز منتخب رده اول برای اقلیم تهران مرکزی) برگزیده می‌شود.

همچنین گزینه منتخب دوم برای اقلیم تهران مرکزی، با مقایسه ساختمان با ارتفاع ۳ طبقه (با ارائه راهکارها) در برابر ساختمان ۳ طبقه (بدون راهکارها) با (۱۹ درصد) کاهش مصرف انرژی است که در رده دوم است. این کار با مقایسه عددی عوامل مهم مصرف سالیانه انرژی ساختمان سه‌طبقه این فاز نسبت به مدل پایه (فاز ۲) در ۳ طبقه انجام‌شده و مشاهده می‌گردد که درصد مصرف انرژی سالانه الکتریسیته (۱۹,۷ درصد)، انرژی سرمایش و گرمایش (۱۵,۹ درصد)، میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن (۱۹,۵ درصد) کاهش یافته و ضریب آسایش حرارتی ساکنین نیز (۲۵,۵ درصد) بهبود یافته ولی فقط مصرف گاز (۶۷,۱ درصد) افزایش یافته است؛ بنابراین به‌عنوان (فاز منتخب رده دوم برای اقلیم تهران مرکزی) برگزیده می‌شود.

همچنین در مقایسه دو ساختمان ۱۳ طبقه می توان گفت: مجموع مصارف انرژی سالیانه، قبل از ارائه راهکار برای ساختمان مدل پایه ۱۳ طبقه (3.16 GWh) است و برای ساختمان ۱۳ طبقه بعد از ارائه راهکار (2.81 GWh) شده است که در مقایسه باهم، به میزان (0.35 GWh) کاهش مصرف انرژی دارد و درصد کاهش بعد از ارائه راهکارها (۱۱ درصد) می گردد. پس این گزینه نسبت به ساختمان کوتاه و میان مرتبه، گزینه مناسبی نبوده و مردود است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق پس از شبیه‌سازی و آنالیز عملکرد حرارتی آتریم‌ها و با اعمال راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی، ازجمله رعایت مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، حذف جداره‌های جانبی آتریم، افزایش ابعاد دریچه‌های خروجی هوا، افزایش ابعاد سقف آتریم، هوشندسازی ساختمان از طریق تهویه هوشمند با کنترل دمای داخلی ۲۲ درجه، نصب سنسور نور و سایبان متحرک و نصب شیشه‌های با تکنولوژی نوین، درنهایت مشخص گردید که آتریوم مرکزی به ترتیب در مراکز تجاری کوتاه مرتبه (۳ طبقه)، میان مرتبه (۵ طبقه) و سپس بلندمرتبه (۱۳ طبقه)، راندمان بهتری نسبت به مدل پایه (بدون اعمال راهکارها) داشته و حذف جداره‌های جانبی در این آتریم‌ها، تهویه طبیعی را در ساختمان بهبود می‌بخشد. همچنین این تحقیق نشان داد مجموع کاهش مصرف انرژی سالیانه پس از اعمال راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی نسبت به عدم اجرای این راهکارها، در مقایسه دو ساختمان آتریمی ۱۳ طبقه (۱۱ درصد) و در مقایسه دو ساختمان ۵ طبقه (بدون آتریم و با آتریم با اعمال راهکارها) به میزان (۱۱,۷ درصد) و در مقایسه دو ساختمان آتریمی ۵ طبقه (۱۶ درصد) و در مقایسه دو ساختمان آتریمی ۳ طبقه (۱۹درصد) و در مقایسه دو ساختمان آتریمی ۳ طبقه با ۵ طبقه (۵۰,۸ درصد) است. درنهایت نیز موجب کاهش قابل‌توجه گاز دی‌اکسید کربن و بهبود ضریب آسایش حرارتی در ساختمان‌های تجاری گردید.

برای مطالعات آینده توصیه می‌گردد به جهت تدقیق بیشتر مطالعات در زمینه آتریم‌ها بخصوص در کاربری‌های تجاری، نتایج شبیه‌سازی حاصل از دمای پیش‌گرمایش و پیش سرمایش محیط داخلی ساختمان و همچنین تغییر مساحت بازشوهای نما نیز بعنوان متغیرهای جدید مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گیرد.

منابع

Bansal, N. K., Mathur, R., & Bhandari, M. S. (1993). Solar chimney for enhanced stack ventilation. *Building and environment*, *28*(3), pp. 373-377. https://doi.org/10.1016/0360-1323(93)90042-2. Google Scholar, Scopus

Berardi, U., & Wang, T. (2014). Daylighting in an atrium-type high performance house. *Building and Environment*, *76*, pp. 92-104. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.02.008. Google Scholar, Scopus

Fath'alian, A., & Kargar, Sh. (2017). *Simulation of office building energy with builder design software and its validation with energy bills*, 3rd Iranian Conference on Heat and Mass Transfer, Noshirvani University of Technology, Babol, Iran. [in Persian]

Hangan, H., McKenty, F., Gravel, L., & Camarero, R. (2001). Case study: Numerical simulations for comfort assessment and optimization of the ventilation design for complex atriums. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, *89*(11-12), pp. 1031-1045. https://doi.org/10.1016/S0167-6105(01)00097-6. Google Scholar, Scopus

Hussain, S., & Oosthuizen, P. H. (2012, July). A numerical study of the effect of thermal mass on the transient thermal performance of a simple three storied atrium building. In *Heat Transfer Summer Conference* (Vol. 44786, pp. 943-952). American Society of Mechanical Engineers. https://doi.org/10.1115/HT2012-58132. Google Scholar, Scopus

Hussain, S., Oosthuizen, P. H., & Kalendar, A. (2012). Evaluation of various turbulence models for the prediction of the airflow and temperature distributions in atria. *Energy and Buildings*, *48*, 18-28. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.004. Google Scholar, Scopus

Iran Energy Efficiency organization, <www.saba.org>, 2021/11/04.

Nasrollahi, F. (2011). "National building regulations and reduction of energy consumption in the building and residential sector", the second conference and exhibition of energy management and optimization, Industry Conference Institute in Tehran. [in Persian]

Rostami, G., & Javidinejad, M., & Mansouri, B. (1398). *Coordination of technique, materials and environment and its application in the beauty and performance of traditional buildings in desert cities of Iran*, Journal of Islamic Art Studies, Year 15, No. 34, Summer Season 98 [in Persian].

Sepehri, M., & Masnavi, M. (2016). *Optimization of energy consumption with the solution of building form selection by Design Builder software in Tehran climate (with case design)*, 4th International Congress, Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Shahid Beheshti University, Tehran [in Persian]

Unnamed. (2007). *Tehran Master Plan*, Ecological Consulting Engineers, Tehran: Ministry of Housing and Urban Development. [in Persian]

Unnamed. (2012). *Topic 19 National Building Regulations*, Tehran: Office of National Building Regulations, Iran Development Publishing. [in Persian]

Unnamed. (2016). *Specifications of meteorological stations*, General Meteorological Office of Tehran Province, Deputy of Statistics and Information, Tehran: Management and Planning Organization, [in Persian]

Wall, M. (1996). *Climate and energy use in glazed spaces*, Doctoral Monography, Building Science, Lund University, pp: 408. Google Scholar, Scopus

Modirrousta, S., & Boostani, H. (2016). Analysis of atrium pattern, Trombe wall and solar greenhouse on energy efficiency. *Procedia Engineering*, *145*, pp. 1549-1556. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.195. Google Scholar, Scopus

Navvab, M., & Selkowitz, S. (1984). *Daylighting data for atrium design*, In: Proceedings of Ninth National Passive Solar Conference, American solar energy society, Columbus, Ohio, pp. 495-500. Google Scholar

Yang, L., & Li, Y. (2008). Cooling load reduction by using thermal mass and night ventilation. *energy and buildings*, *40*(11), pp. 2052-2058. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.05.014. Google Scholar, Scopus