

ارزیابی تاثیر سایه‌انداز متحرک داخلی و ثابت خارجی بر مصرف انرژی یک ساختمان اداری در اقلیم کرمان

سیدمحمد رضاموسوی مطلقیان^(۱)، سیدمحمدحجت محمدی*^(۱)، ابراهیم جهانشاهی جواران^(۲)

^(۱) گروه انرژی‌های تجدیدپذیر و تبدیل انرژی، پژوهشکده انرژی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

^(۲) دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

چکیده

پنجره‌ها بخش قابل توجهی از اتلافات در ساختمان را به دلیل عبور تابش و حرارت خورشید، به خود اختصاص می‌دهند. استفاده از وسایل سایه‌انداز یک استراتژی مناسب در جهت بهبود وضعیت مصرف انرژی در ساختمان‌ها ارزیابی می‌شود. در این مقاله مشخصات فیزیکی یک ساختمان اداری در شهر کرمان، در نرم‌افزار اسکچاپ مدل‌سازی شده است. سپس با مشخص نمودن مصالح، مدل ساختمان توسط نرم‌افزار اپن‌استودیو تکمیل شده است. در نهایت محاسبات مربوط به میزان مصرف انرژی در شرایط حضور سایه‌اندازهای ثابت خارجی و متحرک داخلی و همچنین بکارگیری همزمان آنها، در نرم‌افزار انرژی پلاس انجام شده است. نتایج نشان داد که استفاده از سایه‌اندازهای ثابت خارجی عملکرد به مراتب بهتری در راستای کاهش مصرف انرژی نسبت به سایه‌اندازهای متحرک داخلی دارند. در این راستا سایه‌انداز ثابت خارجی با عمق (cm) ۱۵۰ با کاهش ۱۸/۹۲ درصدی در مصرف انرژی سالیانه نسبت به حالت پایه، بهترین نتیجه را به ثبت رسانده است. در بخش استفاده ترکیبی از سایه‌اندازهای داخلی و خارجی، استفاده همزمان سایه‌انداز ثابت خارجی با عمق (cm) ۱۰۰ و سایه‌انداز متحرک داخلی پرده ساده با صرفه‌جویی (GJ) ۶۳/۵۷ در مصرف انرژی سالیانه ساختمان، بیشترین میزان کاهش مصرف انرژی را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: مصرف انرژی ساختمان، ساختمان اداری، انرژی پلاس، سایه‌انداز داخلی، سایه‌انداز خارجی

Evaluating the effect of movable internal and fixed external shading devices on the energy consumption of an office building in Kerman

Mohamad Reza Motlaghian⁽¹⁾, S.M.H.Mohammadi*⁽¹⁾, Ebrahim Jahanshahi Javaran⁽²⁾

⁽¹⁾Department of Energy, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

⁽²⁾Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Abstract

Windows include a significant part of waste in buildings as they are transparent to solar heat and radiation. The use of shading devices is evaluated as a suitable strategy in order to improve the energy performance of the building. In this article, physical specifications of an office building in Kerman are modeled in Sketch Up software. Then, by assigning materials to the building components in Open Studio software, the building is simulated. Finally, the building energy consumption in the presence of fixed external shading devices, internal movable shading devices and simultaneous use of these two shadings, is calculated in Energy Plus software. Results show that the use of external fixed shading devices has better performance in reducing energy consumption compared to internal movable shading devices. In this regard, the external fixed shade with a depth of 150 (cm) has recorded the best result with reduction of 18.92% in annual energy consumption compared to the base state. The simultaneous use of external fixed shading with depth of 100 (cm) and internal movable shade with 63.57 (GJ) saving, shows the most reduction in building annual energy consumption.

Keywords: Building energy consumption, Office Building, Energy plus, Internal shading device, External overhang.

۱- مقدمه

امروزه ۴۰ درصد از کل انرژی مصرفی و ۳۵ درصد از کل تولید دی‌اکسیدکربن در کشور به بخش ساختمان اختصاص یافته است [۱]. مصرف انرژی پس از رشد صنعت و شهرنشینی شدت یافته است، شهرنشینی با تأثیر بر تولید قادر است تا بر مصرف انرژی، تأثیر روزافزون بگذارد [۲]. از طرفی با افزایش نگرانی‌ها در مورد گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی، توجه بیشتری به تلفات انرژی در ساختمان‌ها معطوف شده است [۳]. براساس اعلام دفتر مقررات ملی ساختمان وزارت راه و شهرسازی [۴]، ۵۰ درصد از مصرف انرژی در بخش ساختمان در ساختمان‌های عمومی و اداری تلف می‌شود که پنجره‌ها بخش قابل توجهی از اتلافات را در این بخش به خود اختصاص می‌دهند. مهم‌ترین عامل در این اتلاف، ورود نور خورشید و حرارت ناشی از آن می‌باشد. استفاده از وسایل سایه‌انداز و روش‌های کنترل نورخورشید به عنوان انتخابی هوشمندانه در راستای بهینه‌سازی و بهره‌گیری به هنگام از نورخورشید در فصول مختلف، می‌تواند به عنوان راهکاری موثر در جهت کاهش اتلافات از طریق پنجره‌ها و جدارهای نورگذر معرفی شود. در پژوهشی [۵] استفاده از سایه‌بان ثابت خارجی به عنوان یک استراتژی غیرفعال خورشیدی معرفی شده است. در این مطالعه که از نرم‌افزار شبیه‌ساز درجهت مدل‌سازی یک مدرسه سه طبقه در شرایط آب و هوایی مالزی بهره گرفته شده است، به مقایسه سایه‌بان‌های عمودی، افقی و ترکیبی پرداخته شده است. در این پژوهش استفاده از تمام طراحی‌ها نتایج مثبتی

در پی داشته است. اقبال‌شاه و همکاران [۶] اثرات پیکربندی‌های مختلف سایه را بر روی یک نمای مات مقایسه کرده‌اند. سپس، یک مطالعه شبیه‌سازی برای تعیین کمیت اثرات سیستم‌های سایه‌انداز بر روی نماهای مات با مقادیر انتقال حرارتی متفاوت انجام داده‌اند. نتایج این مطالعه مزایای متعددی را برای استقرار سیستم‌های سایه‌انداز بر روی نماهای کدر ساختمان نشان داده است که شامل کاهش حرارت رسانایی ساختمان، بارهای خنک‌کننده ساختمان، دمای ریزاقلیم در نزدیکی نما و همچنین کاهش بالقوه انتشار کربن بر روی چرخه زندگی ساختمان است. در مقاله‌ای دیگر، الهوییل و همکاران [۷] به بررسی تأثیر استفاده از وسایل سایه‌انداز خارجی بر عملکرد انرژی یک هتل بلند مرتبه در شرایط اقلیمی گرم و مرطوب پرداخته‌اند. ارزیابی استفاده از وسایل سایه‌انداز خارجی در چهار جنبه ساختمان در مقابل استفاده از عایق‌های بهبود یافته پلی‌اورتان و فایبرگلاس از دیدگاه مصرف انرژی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر^۱ مورد بررسی قرار گرفته است.

لی و همکاران [۸] یک دستگاه سایه‌انداز خودکار دو فلزی^۲ را براساس اثر حرارتی تابش خورشیدی پیشنهاد کرده‌اند که مکانیسم سایه‌زنی را از طریق تغییر زاویه خمش دو فلز گرم شده اجرا می‌کند. براساس نتایج محاسبات شبیه‌سازی، افزایش گرمای داخلی را می‌توان حدود ۵۸ درصد در تابستان و ۱/۵۳ درصد در زمستان کاهش داد که کاربرد مؤثر آن در یکن را نشان می‌دهد. در پژوهشی دیگر [۹] نقش وسایل سایه‌انداز در

² Bimetal

¹ Design Builder

جهت بهبود شرایط آسایش دمایی و بصری در ساختمانی با نمای شیشه مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به نتایج این پژوهش، استفاده از پرده سایه‌انداز متحرک خارجی نسبت به پرده متحرک داخلی به ویژه در نمای جنوبی بسیار ارجح‌تر ارزیابی شده و استفاده از فیلم‌های کنترلی نور در تمامی جهات مطلوب ارزیابی شده است. کریم‌دوست و معرفت [۱۰] به بررسی پارامتریک عملکرد نورگیرها با هدف بهبود روشنایی در یک ساختمان چهار طبقه با استفاده از روش رادیوسیتی پرداخته‌اند. نتایج تحقیق نشان داد که ضلع نورگیر تاثیر به‌سزایی در میزان نوری که وارد ساختمان می‌شود دارد و نتایج بدست آمده می‌تواند در بهبود طراحی و معماری از حیث میزان دسترسی به نور طبیعی به طبقات ساختمان بسیار موثر باشد. بوراتی [۱۱] به ارزیابی وسایل سایه‌انداز، استفاده از شیشه‌هایی با ضریب عبور کم در نما و جهت‌گیری مناسب ساختمان یک مدرسه برای اقلیم گرم و خشک شیراز پرداخته است. استفاده از وسایل سایه‌انداز خارجی افقی و عمودی بسیار موثرتر از دو فاکتور دیگر ارزیابی شده است، به طوری که استفاده از وسایل سایه‌انداز تا ۴۸٪، استفاده از شیشه یا ضریب عبور کم در نما تا ۲۹٪ و جهت‌گیری بهینه جغرافیایی ۲۵٪ کاهش در مصرف انرژی سالیانه را نسبت به حالت پایه به ثبت رسانده‌اند. در پژوهش عرب‌سلغار و همکاران [۱۲] به بررسی اثر پدیده کوران بر فاکتورهای آسایش حرارتی براساس مدل فن‌گر در یک ساختمان با دیوار شیشه‌ای پرداخته شده است. در این مقاله رویکرد به‌کارگیری سیستم گرمایش جابجایی اجباری با هدف کاهش اثرات کوران در سه نوع مختلف با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی شبیه‌سازی شده است. نتایج پژوهش حاکی از آن است که استفاده از دمنده‌های ترکیبی در بالا و پایین پنجره دارای تطبیق قابل قبولی با استانداردهای آسایش حرارتی اشرف و ایزو ۷۷۳۰ است.

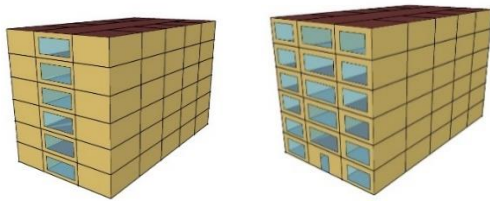
در پژوهش پارک و همکاران [۱۳] به ارزیابی استفاده از سایه‌انداز در حضور مواد تغییر فاز دهنده و بدون حضور آن‌ها پرداخته شده است. از نتایج حاصل شده در این پژوهش کاهش ۴۴ درصدی مصرف انرژی مورد نیاز سرمایه‌ش است. البته از دیدگاه اقتصادی بیان شده در حالی که از وسایل سایه‌انداز با مواد تغییر فاز دهنده استفاده شود، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بیشتر ارزیابی شده، اگرچه دوره بازگشت سرمایه به میزان سه سال نسبت به حالتی که از مواد تغییر فاز دهنده استفاده نشده،

کاهش یافته است. کریمتات و همکاران [۱۴] در یک مقاله مروری به بررسی استفاده از وسایل سایه‌انداز در ساختمان‌ها پرداخته‌اند. براساس بررسی آن‌ها کاهش مصرف انرژی از طریق ایجاد تغییرات در معماری و نمای ساختمان امکان‌پذیر است. براساس نتایج این مقاله محافظت از پنجره‌ها در تابستان و اجازه استفاده حداکثری پنجره‌ها و محیط داخل در زمستان از پرتو خورشید کمک شایانی به کاهش بار مصرفی خواهد کرد. مطالعات پیشین اگرچه تحلیلی جامع بر نقش نورطبیعی و برهم کنش آن با پنجره در ساختمان و تاثیر وسایل سایه‌انداز در این بین بر مصرف انرژی ارائه داده‌اند، لیکن خلا تاثیر یک برنامه زمانی به‌کارگیری از وسایل سایه‌انداز متحرک داخلی در کنار استفاده همزمان با وسایل سایه‌انداز ثابت خارجی و تاثیر عوامل یاد شده بر مصرف انرژی ساختمان احساس می‌شود. بنابراین در این پژوهش به بررسی تاثیر استفاده از وسایل سایه‌انداز داخلی و خارجی در شرایط آب و هوایی شهر کرمان پرداخته شده است. لذا سایه‌بان‌های ثابت خارجی در ۳ عمق مختلف و سایه‌اندازهای متحرک داخلی در ۳ نوع متفاوت در نرم‌افزار شبیه‌ساز، مدل‌سازی شده است. در ادامه، تاثیر انواع مختلف سایه‌انداز بر میزان مصرف انرژی محاسبه شده است و مقایسه‌ای بین تاثیر آن‌ها بر مصرف انرژی صورت گرفته است. همچنین استفاده ترکیبی از هر دو نوع سایه‌انداز و تاثیر کمی آنها بر میزان کاهش مصرف انرژی، مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقایسه بین وسایل سایه‌انداز مدل‌شده و تاثیر استفاده همزمان از آنها در کنار یک برنامه زمان‌بندی به‌کارگیری از دیدگاه مصرف انرژی در شرایط اقلیمی شهر کرمان برای یک ساختمان با کاربری اداری از نوآوری‌های پژوهش حاضر است.

۲- شرایط اقلیمی و جغرافیایی شهر کرمان

دشت کرمان [۱۵] در دامنه‌ی دو رشته کوه که از شمال شرقی و جنوب‌غربی آن می‌گذرند، گسترده شده است. ارتفاع این دشت از سطح دریا متغیر و حداکثر ۲۱۰۰ متر در نواحی جنوب‌شرقی و حداقل ۱۶۵۰ متر در نواحی شمال‌غرب است. در اقلیم کرمان عواملی مانند ارتفاعات و کویر نقش عمده‌ای در شرایط آب و هوایی شهر دارند و این اقلیم را به شهری خشک تا فراخشک بدل کرده‌اند.

اختلاف شدید درجه حرارت در فصول سرد و گرم و حتی در شب و روز از ویژگی‌های این اقلیم است. میانگین درجه

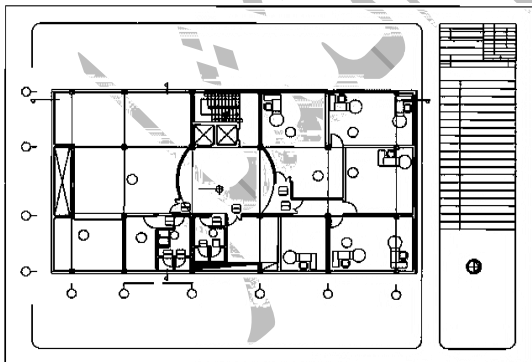


شکل ۱- ساختمان مدل شده در نرم افزار اسکچاپ
(الف) نمای جنوبی (ب) نمای شمالی

ترسیم پلان اولیه ساختمان و تبدیل آن به یک مدل سه بعدی در نرم افزار اسکچاپ، تعریف و تخصیص مصالح مورد استفاده در نرم افزار اپن استودیو و در نهایت محاسبه انرژی مصرفی مورد نیاز برای تامین آسایش حرارتی با نرم افزار انرژی پلاس صورت گرفته است.

۴- ترسیم هندسه ساختمان در نرم افزار اسکچاپ

ترسیم هندسه ساختمان، دیوارهای داخلی و خارجی، نما و سقف و بازشوها و جدارهای نورگذر و ایجاد یک مدل سه بعدی از ساختمان با استفاده از نرم افزار اسکچاپ انجام شده است. پلان اولیه ساختمان مدل شده در نرم افزار اسکچاپ در شکل (۲) قابل مشاهده است.



شکل ۲- پلان ساختمان مدل شده در نرم افزار اسکچاپ

از جمله مهم ترین ویژگی های هندسی ساختمان مدل شده در اسکچاپ موارد زیر هستند.

حرارت سالانه این شهر ۱۵ درجه سانتی گراد و تحت تاثیر بادهای موسمی و خشک است. طول جغرافیایی این شهر $57/8^{\circ} E$ و عرض آن $30/28^{\circ} N$ است.

۳- بیان مسئله

در این پژوهش به منظور ارزیابی تاثیر استفاده از وسایل سایه انداز بر مصرف انرژی مورد نیاز جهت تامین شرایط آسایش، یک ساختمان با کاربری اداری در شش طبقه که نمای اصلی آن رو به جنوب است و شامل ۱۷ پنجره در نمای جنوبی می باشد، در نرم افزار انرژی پلاس [۱۶] شبیه سازی شده است. شکل (۱) نمای ساختمان شبیه سازی شده را نمایش می دهد. این ساختمان اداری که در شرایط اقلیمی شهر کرمان قرار دارد از شنبه تا چهارشنبه از ساعت ۷:۳۰ تا ۱۶:۰۰ فعال است و برای روزهای آخر هفته تعطیل می باشد.

محاسبات میزان مصرف انرژی در یک بازه زمانی یک ساله که شامل فصول گرم و سرد سال است انجام شده و فرضیات در نظر گرفته شده برای شبیه سازی به قرار زیر است.

۱. دمای طراحی ساختمان ۲۲ درجه سانتی گراد برای دمای تنظیم گرمایش و ۲۶ درجه سانتی گراد برای دمای تنظیم سرمایش می باشد.

۲. با توجه به اینکه تخمین مناسبی از دمای زمین در طول سال در دسترس نمی باشد، از دمای ۱۸ درجه سانتی گراد به صورت میانگین در طول سال استفاده شده است.

۳. ساختمان در راستای محور جنوب طراحی شده و هیچ گونه زاویه ای با این محور ندارد.

۴. الگوریتم محاسبات انتقال حرارت سطوح ساختمان در معادلات انتقال حرارت بر اساس گرمای محسوس لحاظ شده و از رطوبت سطوح و عدم یکپارچگی آن ها و مصالح صرف نظر شده است. در مرحله شبیه سازی این پژوهش از سه نرم افزار اسکچاپ^۱ [۱۷]، اپن استودیو^۲ [۱۸] و انرژی پلاس^۳ استفاده شده است.

¹ Sketch up

² Open studio

³ Energy plus

۱. تعداد ۶۶ فضای حرارتی ایجاد شده
۲. تعداد ۴۴۴ سطح هندسی ایجاد شده
۳. تعداد ۲۴ سطح زیر مجموعه شامل پنجره و در

۵- تخصیص مصالح به هندسه ساختمان در نرم افزار اپن استودیو

قابلیت‌های موجود در نرم‌افزار اپن استودیو این امکان را ایجاد می‌کند که برای هندسه ایجاد شده در نرم‌افزار اسکچاپ، مصالح مورد نیاز را تعریف کرد و به قسمت‌های مختلف ساختمان اختصاص داد. مصالح ایجاد شده در این نرم‌افزار بر اساس استانداردهای موجود و ویژگی‌های تعریف شده برای آن‌ها بر اساس مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان [۱۹] انتخاب شده‌است که در جداول (۱) تا (۳) به تفکیک ملاحظه می‌شود.

جدول ۱- مصالح مربوط به سقف ساختمان از خارجی‌ترین لایه به داخلی‌ترین لایه [۱۹]

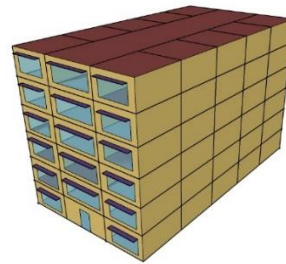
ضخامت (m)	نوع مصالح		ردیف
	زیرگروه	گروه اصلی	
۰/۰۰۵	ورق پیش ساخته قیر	عایق رطوبتی	۱
۰/۰۲	-	اندود و ملات آهکی یا سیمانی	۲
۰/۰۶	متشکل از پرلیت یا ورمیکولیت	بتن با سنگدانه بسیار سبک	۳
۰/۲۵	ارتفاع بلوک: ۲۰ سانتی‌متر، عرض پاشنه تیرچه ۱۴ سانتی‌متر، فاصله محورها ۶۴ سانتی‌متر	تیرچه و بلوک پلی استایرن منبسط	۴
۰/۰۲	-	اندود و ملات آهکی یا سیمانی	۵
۰/۰۱	قطعات پیش ساخته گچی	گچ	۶

جدول ۲- مصالح مربوط به کف طبقات از خارجی‌ترین لایه به داخلی‌ترین لایه [۱۹]

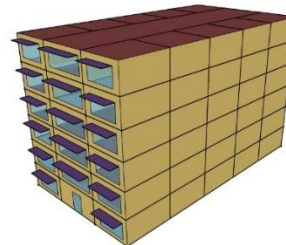
ضخامت (m)	نوع مصالح		ردیف
	زیرگروه	گروه اصلی	
۰/۰۲	موزاییک	بتن و فرآورده‌های بتنی	۱
۰/۰۲	-	اندود و ملات آهکی یا سیمانی	۲

۴-۱- مدل‌سازی سایه‌بان خارجی ثابت در نرم‌افزار اسکچاپ

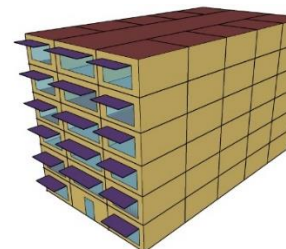
با توجه به اینکه سایه‌بان‌های ثابت خارجی از اجزای هندسی ساختمان هستند، مدل‌سازی آن‌ها در نرم‌افزار اسکچاپ و بر روی ۱۲ پنجره ایجاد شده است. شکل (۳) سایه‌بان‌های ثابت خارجی را در نمای جنوبی ساختمان و در سه عمق ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر را نشان می‌دهد.



(الف) سایه‌بان ثابت خارجی با عمق ۵۰ cm



(ب) سایه‌بان ثابت خارجی با عمق ۱۰۰ cm



(ج) سایه‌بان ثابت خارجی با عمق ۱۵۰ cm
شکل ۳- سایه‌بان‌های خارجی مدل شده در نرم‌افزار اسکچاپ در سه عمق مختلف

۰/۰۱	قطعات پیش ساخته گچی	گچ	۸
------	---------------------	----	---

۱-۶- شبیه سازی سایه اندازهای داخلی در نرم افزار

انرژی پلاس

سایه اندازهای متحرک داخلی به دلیل اینکه از اجزای هندسی ساختمان به شمار نمی روند، در این قسمت شبیه سازی می شوند. سه نوع سایه انداز شبیه سازی شده برای استفاده در پنجره های نمای جنوبی شامل سه نوع پرده ساده، کرکره، توری [۲۲] هستند، که در شکل (۴) نمونه ای از آن ها نشان داده شده است. در راستای بهبود عملکرد مصرف انرژی ساختمان، از یک برنامه زمانی برای به کارگیری سایه اندازها استفاده شده است. این برنامه به گونه ای تعریف شده است که در فصول سرد سال در زمان حضور نور خورشید سایه انداز را حذف و در زمان عدم حضور نور خورشید سایه انداز را به منظور کاهش اتلاف پنجره ها، فعال می کند. عکس این شرایط در تابستان اعمال می شود.



شکل ۴- سایه اندازهای متحرک انتخاب شده (الف) پرده (ب) کرکره (ج) توری

شکل ۴- سایه اندازهای متحرک انتخاب شده

۷- روش تحقیق

محاسبات انجام شده در این پژوهش توسط نرم افزار انرژی پلاس انجام می شود [۲۳]. این نرم افزار یک موتور محاسباتی می باشد، لذا کار آن بر پایه تعریف ورودی ها بر مبنای متن و عدد و انجام محاسبات و ایجاد خروجی های متنی و عددی است. می توان معادلات حاکم را بر اساس معادلات محاسباتی توسط هسته نرم افزار بیان کرد. در حالت کلی این معادلات شامل محاسبه تأثیر تابش و رسانش و محاسبه برهم کنش انتقال حرارت و جرم است. بنابراین، بالانس انرژی ناشی از تابش روی سطوح خارجی ساختمان از رابطه (۱) محاسبه می شود.

۰/۰۰۵	ورق پیش ساخته قیر	عایق رطوبتی	۳
۰/۰۶	مشکل از پرلیت یا ورمیکولیت	بتن با سنگدانه بسیار سبک	۴
۰/۲۵	ارتفاع بلوک: ۲۰ سانتی متر، عرض پاشنه تیرچه ۱۴ سانتی متر، فاصله محورها ۶۴ سانتی متر	تیرچه و بلوک پلی استایرن منبسط	۵
۰/۰۱	قطعات پیش ساخته گچی	گچ	۶

۶- شبیه سازی ساختمان در نرم افزار انرژی پلاس

از جمله مراحل که در این بخش تنظیم و شبیه سازی شده است، فایل آب و هوایی شهر کرمان [۲۰] به همراه گرم ترین و سردترین روز سال، تعریف برنامه ای زمان بندی ساعت کار سیستم های تهویه مطبوع و تاسیسات، تعریف و تنظیم سیستم تاسیساتی و سایه اندازهای متحرک داخلی است [۲۱]. لازم به ذکر است که این نرم افزار یکی از قدرتمندترین نرم افزارهای شبیه سازی انرژی حال حاضر دنیاست که یک شبیه سازی جامع انرژی از ساختمان را ایجاد و محاسبه می کند.

جدول ۳- مصالح مربوط به دیوار نما از خارجی ترین لایه به

داخلی ترین لایه [۱۹]

ضخامت (m)	متریال		ردیف
	زیرگروه	گروه اصلی	
۰/۰۳	آجرنما	آجر پلاک در نما	۱
۰/۰۲	-	اندود و ملات آهکی یا سیمانی	۲
۰/۰۰۵	ورق پیش ساخته قیر	عایق رطوبتی	۳
۰/۰۶	بتن هوادار اتوکلاو شده	بتن و فرآورده های بتنی	۴
۰/۲۵	ارتفاع بلوک: ۲۰ سانتی متر، عرض پاشنه تیرچه ۱۴ سانتی متر، فاصله محورها ۶۴ سانتی متر	تیرچه و بلوک پلی استایرن منبسط	۵
۰/۰۶	سطح افقی - جریان حرارت رو به بالا	لایه هوای محبوس	۶
۰/۰۱	پشم شیشه	عایق های حرارتی معدنی	۷

توسط نرم افزار انرژی پلاس محاسبه شده و نتایج حاصل در جدول (۴) مورد مقایسه قرار گرفته است.

جدول ۴- اعتبارسنجی نتایج

Hanoi (Vietnam)	Naples (USA)	Kolkata (India)	انرژی سالیانه محاسبه شده (MJ/m ²)
۸۴۸/۹۷	۷۸۵/۵۸	۱۰۶۲/۱۷	مرجع [۲۴]
۸۶۱/۳۹	۸۱۵/۲۵	۱۰۲۰/۹۸	پژوهش حاضر
۱۲/۴۲	۲۹/۶۷	۴۱/۱۹	میزان تغییرات
۱/۴۴	۳/۶۴	۳/۸۷	درصد تغییرات (%)

همانطور که مشاهده می شود، نتایج حاصل از شبیه سازی با نتایج موجود در مرجع [۲۴] اختلاف قابل قبولی دارند که می تواند ناشی از اختلاف بین فایل های آب و هوایی و اطلاعات کتابخانه ای مورد استفاده در دو پژوهش باشد.

۹- نتایج و بحث

نتایج بدست آمده در سه بخش ارائه شده است.

- نتایج حاصل از تاثیر سایه اندازهای ثابت خارجی
 - نتایج حاصل از تاثیر وسایل سایه انداز داخلی متحرک
 - نتایج حاصل از تاثیر وسایل سایه انداز ثابت خارجی و سایه اندازهای متحرک داخلی به صورت همزمان
- لازم به ذکر است که میزان مصرف انرژی برای ساختمان اداری در حالت پایه یعنی شرایطی که از هیچ یک از سایه اندازهای داخلی و خارجی استفاده نشده است، برابر با ۲۶۱/۱۴ GJ در شرایط اقلیمی شهر کرمان می باشد که از این میزان ۱۰۴/۱۰ GJ سهم بار گرمایش و ۱۵۷/۰۴ GJ سهم بار سرمایش است.

۹-۱- نتایج مدل سازی انرژی ساختمان در حضور

سایه اندازهای ثابت خارجی

نتایج مدل سازی این بخش که حاصل مدل سازی ساختمان اداری در شرایط آب و هوایی شهر کرمان است، در حضور سایه اندازهای ثابت خارجی در سه عمق ۵۰ سانتی متر، ۱۰۰ سانتی متر و ۱۵۰ سانتی متر، در جدول (۵) قابل مشاهده است.

$$q''_{asol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0 \quad (1)$$

در رابطه (۱)

- q''_{asol} ، شار حرارتی تابش (با طول موج کوتاه) خورشید
- q''_{conv} ، تبادل شار حرارت جابجائی با هوا
- q''_{ko} ، شار حرارت رسانشی به دیوار
- q''_{LWR} ، تبادل خالص شار حرارتی تابش (با طول موج بلند) سطح با هوا و محیط اطراف است که براساس قانون استفان بولتزمن از رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$q''_{LWR} = \varepsilon \sigma F_{gnd} (T_{gnd}^4 - T_{surf}^4) + \varepsilon \sigma F_{sky} (T_{sky}^4 - T_{surf}^4) + \varepsilon \sigma F_{air} (T_{air}^4 - T_{surf}^4) \quad (2)$$

در رابطه (۲) ε ضریب صدور (با طول موج بلند) سطح، σ ثابت استفان بولتزمن، F_{gnd} ضریب دید دیوار نسبت به زمین، F_{sky} ضریب دید دیوار نسبت به آسمان، F_{air} ضریب دید دیوار نسبت به هوا، T_{surf} دمای سطح خارجی دیوار، T_{gnd} دمای سطح زمین، T_{sky} دمای آسمان و T_{air} دمای هوا می باشد.

۸- اعتبارسنجی

به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصل از شبیه سازی، از پژوهش گوش و نئوگی [۲۴] استفاده شده است که در آن به بررسی اثر طراحی پنجره و پنجره بندی و سایه اندازی بر مصرف انرژی در ساختمان و ارزیابی عملکرد یک سیستم جدید سایه اندازی پرداخته شده است. لذا ورودی های مختلف از جمله دماهای برنامه ریزی شده، ترموستات ساختمان، مصالح استفاده شده در کف و سقف و دیوارها، سیستم تهویه مطبوع، تعداد افراد حاضر و سایر موارد وارد نرم افزار انرژی پلاس گردیده است. در نهایت مصرف انرژی سالیانه ساختمان بر واحد سطح که عبارت است از یک ساختمان معیار با ابعاد ۳×۵×۵ مترمکعب و یک پنجره به ابعاد ۱×۲ مترمربع، واقع در نمای جنوبی ساختمان که به سایه انداز ثابت خارجی به عمق ۰/۵ متر مجهز شده است، برای سه شهر با شرایط آب و هوایی مختلف

مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج در جدول (۶) نمایش داده شده است.

جدول ۶- میزان مصرف انرژی سالیانه در شرایط حضور

سایه‌اندازهای داخلی

نوع سایه‌انداز داخلی	مصرف انرژی (GJ) سالیانه (GJ)	کاهش مصرف انرژی (GJ)	درصد کاهش مصرف انرژی (%)
پرده ساده	۲۲۶/۲۰	۳۴/۹۴	۱۳/۳۷
پرده کرکره	۲۳۶/۲۸	۲۴/۸۶	۹/۵۱
پرده توری	۲۳۱/۷۸	۲۹/۳۶	۱۱/۲۴

از جدول (۶) می‌توان دریافت که بیشترین کاهش در میزان مصرف انرژی سالیانه را سایه‌انداز داخلی پرده ساده در شرایط اقلیمی کرمان به خود اختصاص داده است که بخشی از این عملکرد به دلیل توانایی این پرده در فیلتر کردن مناسب نور خورشید در فصل گرم نسبت به دو پرده دیگری و بخشی دیگر به دلیل جلوگیری از تبادل حرارت هوای محیط داخل با پنجره ها در فصل سرد است. اگرچه سایه‌اندازهای متحرک داخلی تاثیر مطلوبی در کاهش مصرف انرژی دارند اما در مقایسه با سایه‌اندازهای ثابت خارجی تاثیر کمتری دارند. در پژوهشی دیگر [۹] نیز که به مقایسه سایه‌اندازهای داخلی و خارجی پرداخته شده است نتایج مشابهی حاصل شده است و عملکرد سایه‌اندازهای خارجی بهتر از سایه‌اندازهای داخلی ارزیابی شده است. سایه‌اندازهای ثابت خارجی به دلیل توانایی در جلوگیری از تابش مستقیم خورشید قبل از پنجره و عدم تبادل حرارت با آن عملکرد بهتری در فصول گرم سال دارند. سایه‌اندازهای متحرک داخلی اجازه برخورد تابش مستقیم خورشید با پنجره و تبادل حرارت پنجره با محیط پیرامون آن را می‌دهند و به طبع تاثیر کمتری در کاهش دما و انرژی مصرفی ساختمان دارند.

۳-۹- نتایج مدل‌سازی انرژی ساختمان در استفاده همزمان از سایه‌انداز ثابت خارجی و سایه‌اندازهای متحرک داخلی

بر این اساس، بیشترین میزان کاهش مصرف انرژی را ساختمان مجهز به سایه‌انداز ثابت خارجی با عمق ۱۵۰ سانتی‌متر به ثبت رسانده است. نتایج این بخش با پژوهشی [۲۵] که در اقلیم مدیترانه‌ای کشور ایتالیا صورت گرفته است مشابه است، بطوریکه در هر دو مطالعه با افزایش عمق سایه‌انداز ثابت خارجی توانایی آن برای کاهش بار سرمایشی افزایش یافته است و سایه‌انداز با عمق بیشتر تاثیر بیشتری در کاهش سالانه مصرف انرژی دارد.

جدول ۵- میزان مصرف انرژی سالیانه در شرایط حضور

سایه‌بان‌های ثابت خارجی

عمق سایه‌بان (cm)	مصرف انرژی (GJ) سالیانه (GJ)	کاهش مصرف انرژی (GJ) (GJ)	درصد کاهش مصرف انرژی (%)
۵۰	۲۲۶/۱۰	۳۵/۰۴	۱۳/۴۲
۱۰۰	۲۱۲/۵۳	۴۸/۶۱	۱۸/۶۱
۱۵۰	۲۱۱/۷۳	۴۹/۴۱	۱۸/۹۲

نتایج شبیه‌سازی سایه‌بان ثابت خارجی در سه عمق عملکرد مثبتی را از لحاظ کاهش مصرف انرژی نشان می‌دهد. با افزایش عمق سایه‌بان به دلیل پوشش‌دهی بیشتر زوایای ارتفاع خورشیدی و به طبع افزایش مدت زمان سایه‌اندازی عملکرد آن در راستای کاهش مصرف بار سرمایشی بیشتر می‌شود. لازم به ذکر است سایه‌بان مدل‌شده در این بخش سایه‌بان افقی است لذا توانایی سایه‌اندازی به‌طور پیوسته در طول روز ندارد و در بعضی زوایا و ساعات نزدیک به طلوع و غروب خورشید متناسب با عمق سایه‌بان این امکان وجود ندارد. با نگاهی مقایسه‌ای به پژوهش تجربی [۲۶] صورت گرفته در زمینه استفاده از وسایل سایه‌انداز خارجی بر مصرف انرژی یک ساختمان ورزشی که کاهش ۳۹ درصدی از میزان انرژی ورودی از جدارهای نور گذر به ساختمان را در فصل تابستان نشان داده، می‌توان دریافت که نتایج حاصل شده در این بخش با نتایج تجربی هم راستا و هم جهت است.

۲-۹- نتایج مدل‌سازی انرژی ساختمان در حضور

سایه‌اندازهای متحرک داخلی

سایه‌اندازهای متحرک داخلی شامل سه نوع پرده ساده، پرده کرکره و پرده توری می‌باشند و پوشش‌دهنده قاب پنجره هستند. در این بخش نتایج حاصل از مدل‌سازی انرژی ساختمان تجهیز شده به سه نوع مختلف سایه‌انداز داخلی،

در راستای ارزیابی میزان صرفه‌جویی ناشی از استفاده از وسایل سایه‌انداز به صورت ترکیبی، سایه‌اندازهای داخلی و خارجی به صورت همزمان برای ساختمان در ۹ حالت مجزا شبیه‌سازی و بر اساس عمق سایه‌بان خارجی طبقه‌بندی شده است. ترکیب آنها به منظور بهبود و پوشش نقاط ضعف یکدیگر و افزایش تأثیرگذاری بر عملکرد انرژی ساختمان انجام شد. نتایج شبیه‌سازی برای ساختمان مجهز به سایه‌انداز ثابت خارجی با عمق ۵۰ سانتی‌متر و سایه‌اندازهای داخلی در جدول (۷) مشاهده می‌شود.

جدول ۷- میزان مصرف انرژی سالیانه در شرایط حضور سایه‌بان ثابت خارجی با عمق ۵۰ سانتی‌متر در ترکیب با سایه‌اندازهای داخلی متحرک

نوع سایه‌انداز ترکیبی با سایه‌انداز خارجی با عمق ۵۰ cm	مصرف انرژی سالیانه (GJ)	کاهش مصرف انرژی (GJ)	درصد کاهش مصرف انرژی (%)
پرده ساده	۲۰۵/۹۴	۵۵/۳۰	۲۱/۱۴
پرده کرکره	۲۱۵/۳۰	۴۵/۹۴	۱۷/۵۹
پرده توری	۲۰۹/۶۹	۵۱/۴۵	۱۹/۷۰

استفاده از سایه‌انداز ثابت خارجی با عمق ۵۰ سانتی‌متر در ترکیب با سایه‌اندازهای متحرک داخلی کارایی آنها را از دیدگاه مصرف انرژی افزایش داده است. درحالی‌که استفاده منفرد از پرده ساده بهترین عملکرد را نسبت به سایر سایه‌اندازهای متحرک داخلی دارد، استفاده ترکیبی از آن با سایه‌انداز ثابت خارجی به عمق ۵۰ سانتی‌متر نسبت به سایر سایه‌اندازهای متحرک داخلی کارایی بهتری را نشان می‌دهد. براین اساس سایه‌انداز ثابت خارجی با عمق ۵۰ سانتی‌متر و پرده ساده مصرف انرژی سالیانه را ۲۱/۱۴ درصد کاهش داده است که معادل ۵۵/۳۰ گیگا ژول در سال است. نتایج حاصل از ترکیب سایه‌انداز خارجی با عمق ۱۰۰ سانتی‌متر و سه نوع سایه‌اندازهای متحرک داخلی در جدول (۸) نمایش داده شده است.

جدول ۸- میزان مصرف انرژی سالیانه در شرایط حضور سایه‌بان ثابت خارجی با عمق ۱۰۰ سانتی‌متر در ترکیب با سایه‌اندازهای داخلی متحرک

نوع سایه‌انداز ترکیبی با سایه‌انداز خارجی با عمق ۱۰۰ cm	مصرف انرژی سالیانه (GJ)	کاهش مصرف انرژی (GJ)	درصد کاهش مصرف انرژی (%)
پرده ساده	۱۹۷/۵۷	۶۳/۵۷	۳۴/۳۴
پرده کرکره	۲۰۶/۳۲	۵۴/۹۲	۲۱/۰۳
پرده توری	۱۹۹/۵۴	۶۱/۶۰	۳۳/۵۹

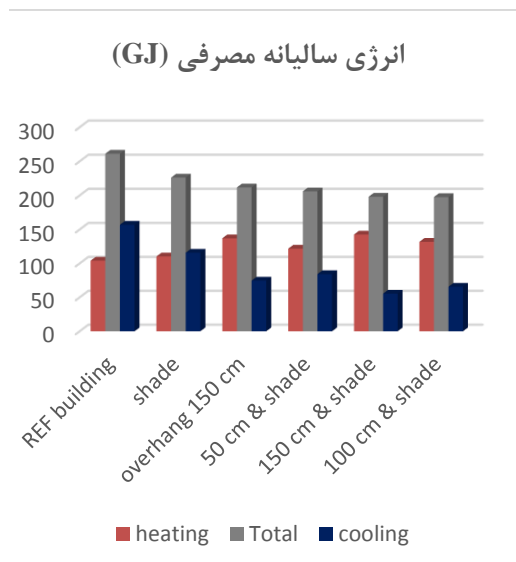
شایان ذکر است که همانند بخش قبل ساختمان تجهیز شده با سایه‌انداز خارجی با عمق ۱۰۰ سانتی‌متر و پرده ساده کمترین میزان انرژی مصرفی در شرایط یکسان شبیه‌سازی برای این بخش را به ثبت رسانده‌اند. میزان مصرف انرژی سالیانه حاصل از بکارگیری سایه‌انداز خارجی با عمق ۱۵۰ سانتی‌متر و سایه‌اندازهای متحرک داخلی در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول ۹- میزان مصرف انرژی سالیانه در شرایط حضور سایه‌بان ثابت خارجی با عمق ۱۵۰ سانتی‌متر در ترکیب با انواع سایه‌اندازهای داخلی متحرک

نوع سایه‌انداز ترکیبی با سایه‌انداز خارجی با عمق ۱۵۰ cm	مصرف انرژی سالیانه (GJ)	کاهش مصرف انرژی (GJ)	درصد کاهش مصرف انرژی (%)
پرده ساده	۱۹۸/۰۵	۶۳/۰۹	۳۴/۱۶
پرده کرکره	۲۰۶/۸۲	۵۴/۳۲	۲۰/۸۰
پرده توری	۱۹۹/۲۷	۶۱/۸۷	۳۳/۶۹

براساس نتایج، بیشترین میزان کاهش مصرف انرژی مربوط به سایه‌اندازهای ترکیبی ثابت خارجی با عمق ۱۵۰ سانتی‌متر و سایه‌انداز متحرک پرده ساده است. نتایج نشان داد که استفاده ترکیبی از وسایل سایه‌انداز باعث بهبود عملکرد آنها و افزایش توانایی آنها در کاهش مصرف انرژی می‌شود. تجهیز ساختمان با استفاده از آنها تأثیر بسزایی در کاهش بار سرمایشی ساختمان دارد اما متأسفانه نمی‌توان تأثیر مخرب آنها بر بار گرمایشی را نادیده گرفت. در این راستا وسایل سایه‌اندازی که در هر جدول بهترین عملکرد را از دیدگاه

مصرف انرژی دارند از دیدگاه سرمایه‌ش و گرمایش در شکل (۵) مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.



شکل ۵- مقایسه نموداری میزان مصرف سالیانه انرژی به تفکیک سرمایه‌ش و گرمایش برای ساختمان مجهز به وسایل سایه‌انداز

مشاهده می‌شود که با افزایش عملکرد وسایل سایه‌انداز در کاهش بار سرمایه‌ش ساختمان، اثر مخرب آنها بر بار گرمایشی نیز افزایش می‌یابد. اما تاثیر آنها بر کاهش بار سرمایه‌ش بیشتر از تاثیر آنها بر افزایش بار گرمایشی است. از این رو، کارایی آنها قابل قبول ارزیابی می‌شود. حفاظت از پنجره‌ها در فصل گرما به کاهش بار سرمایه‌ش کمک می‌کند، در حالی که حداکثر استفاده پنجره‌ها از تابش پرتو خورشیدی به کاهش بار گرمایشی کمک می‌کند. بنابراین با استفاده از وسایل سایه‌انداز در تابستان و حذف آنها در زمستان، می‌توان عملکرد آنها را به میزان قابل توجهی ارتقا بخشید و کارایی آنها را از دیدگاه انرژی و صرفه‌جویی در مصرف آن افزایش داد.

۱۰- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر بکارگیری سایه‌اندازهای خارجی و داخلی در یک ساختمان اداری نمونه در شهر کرمان، با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس مورد مطالعه قرار گرفته است. در حالت کلی استفاده از وسایل سایه‌انداز در فصول گرم به دلیل کنترل

و مهار تابش مستقیم خورشید مثبت ارزیابی می‌شود و تاثیر قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی مورد نیاز در بخش سرمایه‌ش دارد. این میزان از کاهش با در نظر گرفتن شرایط وسیله مورد استفاده برای سایه‌زنی، مکان قرارگیری و چگونگی توانایی وسیله سایه‌انداز در کنترل و فیلتر کردن نور خورشید متفاوت است.

سایه‌اندازهای ثابت خارجی در مقایسه با سایه‌اندازهای متحرک داخلی به دلیل کنترل و جلوگیری از تابش مستقیم خورشید به پنجره مانع از افزایش دمای پنجره و تبادل حرارت با محیط پیرامون پنجره می‌شوند و کارایی بهتری از جهت کاهش مصرف انرژی و بار سرمایه‌ش دارند. هرچه که عمق سایه‌انداز ثابت خارجی بیشتر باشد، به دلیل افزایش توانایی در جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید و پوشش‌دهی بیشتر زوایای ارتفاع خورشیدی و افزایش مدت زمان سایه‌اندازی، میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی نیز بیشتر است. به عنوان مثال برای سایه‌بان با عمق ۱۵۰ سانتی‌متر، کاهش مصرف به میزان ۴۹/۴۱ گیگاژول محاسبه شده است که کاهش در حدود ۱۸/۹۲٪ را نشان می‌دهد و بهترین کارایی را در بخش استفاده منفرد از وسایل سایه‌انداز نشان می‌دهد.

استفاده از وسایل سایه‌انداز در فصول سرد سال به دلیل جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید به عنوان عاملی مزاحم در جهت کاهش مصرف انرژی ارزیابی می‌شود. در شرایط استفاده همزمان از سایه‌اندازهای ثابت خارجی و سایه‌اندازهای متحرک داخلی، ۹ حالت مختلف مورد بررسی قرار گرفت که در این میان، بیشترین میزان کاهش مصرف انرژی در استفاده همزمان از سایه‌بان ثابت خارجی با عمق ۱۰۰ سانتی‌متر و سایه‌انداز متحرک داخلی از نوع پرده ساده است. این کاهش مصرف انرژی به میزان ۶۳/۵۷ گیگاژول در سال است که سهمی معادل ۲۴/۳۴٪ در کاهش مصرف انرژی نسبت به ساختمان پایه را نشان می‌دهد.

در شرایط آب و هوایی کرمان با توجه به اینکه غالب انرژی ساختمان در جهت تامین بار سرمایه‌ش مصرف می‌شود و همچنین نسبت کاهش بار سرمایه‌ش در مقایسه با افزایش بار گرمایشی با استفاده از وسایل سایه‌انداز بیشتر است، بکارگیری وسایل سایه‌انداز مثبت ارزیابی می‌شود و براساس نتایج این کار پژوهشی تاثیر مناسبی در کاهش مصرف سالانه انرژی ساختمان دارند.

۱۱- فهرست علائم

o: خارجی

sky: آسمان

surf: سطح

F_i : ضریب دید

q'' : نرخ انتقال حرارت بر واحد سطح (W/m^2)

T : دما ($^{\circ}C$)

نمادهای یونانی

ε : ضریب صدور تابش

σ : ثابت استیفسان بولتزمن

زیر نویس ها

air: هوا

sol: تابش (طول موج کوتاه) خورشید

conv: انتقال حرارت جابجائی

gnd: زمین

k: انتقال حرارت رسانشی

LWR: تابش با طول موج بلند

۱۲- واژه نامه

Design Builder

Bimetal

Sketch up

Open studio

Energy plus

دیژاین بیلدر

دو فلزی

اسکچاپ

اوپن استودیو

انرژی پلاس

۱۳- مراجع

[1] Amini. F, Shafizadeh. M. A, Fatahi. L. S, Tuanpour. M, Suleimanpour. P, Farmad. M, Gol Garhamani. N, Khodi. M. Energy balance sheet for 2019, Deputy of Electricity and Energy Affairs, Electricity and Energy Master Planning Office, Tehran, Ministry of Energy, Fall 2022. (In Persian)

[2] Yari nezhad. A, Mahravan. A, Investigating the effect of optimizing external skins and translucent walls on reducing energy consumption and investment return time of educational buildings in a temperate climate with dry and very hot summers, *Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, vol. 35, pp. 41-60, (2023). (In Persian) <https://doi.org/10.22067/JACSM.2023.81531.1175>.

- [3] Amiri. A, Yarinezhad. A, Investigating the Effect of Phase Change Materials on Energy Consumption in Lightweight Prefabricated Relief Buildings, *Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, vol. 30, pp. 35-52, (2022). (In Persian)
<https://doi.org/10.22067/JACSM.2022.78503.1136>.
- [4] The Islamic republic News Agency, Available: <https://irna.ir/xjbKR> , [Accessed Fall 2022]. (In Persian)
- [5] Shahdan. M. S, Ahmad. S. S, Hussin. M. A, External shading devices for energy efficient building Series, *Earth and Environmental Science*, vol. 118, e012034, (2018).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/117/1/012034>
- [6] Shah. I, Soh. B, Lim. C, Lau. S, Ghahramani. A, Thermal transfer and temperature reductions from shading systems on opaque facades: Quantifying the impacts of influential factors, *Energy Build*, vol. 278, e112604, (2023).
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112604>.
- [7] Alhuwayil. W, Mujeebu. M, Algarny. A, Impact of External Shading Strategy on Energy Performance of Multi-Story Hotel Building in Hot humid Climate, *Energy*, vol. 169, pp. 1166 -1174, (2019). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.069>.
- [8] Li. Z, Zhang. Z, Chang. J, Zhao. F, Zhao. Y, Gao. J, Simulation study on light environment performance and heat gain of applying a bimetal automatic shading device to rooms, *Energy Build*, vol. 211, e109820, (2020).
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109820>.

- [9] Evolaa. G, Gullob. F, Marlettaa. L, The role of shading devices to improve thermal and visual comfort in existing glazed buildings, *Energy Procedia*, vol. 134, pp. 346–355, (2017). <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.543>.
- [10] Marefat. M, Karimdoost-Yasuri. A, Parametric Study on Illumination Performance of Skylights for Daylighting Enhancement, *Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, vol. 1, pp. 15-32, (2009). (In Persian) <https://doi.org/10.22067/FUM-MECH.V2I1I.7704>.
- [11] Buratti. C, Belloni. E, Merli. F, Mastoori. M, Sharifi. S, Pignatta. G, Evaluating the Impact of Shading Devices, Glazing Systems, and Building Orientation on the Energy Consumption in Educational Spaces, *Environ. Sci. Proc*, vol. 12, no. 1, pp. 22, (2021). <https://doi.org/10.3390/environsciproc2021012022>.
- [12] Arabsolghar. A, Heidari. N, Shafiey dehaj. M, Iranmanesh. A, Investigation of Down-Draught Effect on The Thermal Comfort Indexes in The Building With Glazing Envelope, *Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, vol. 25, pp. 35- 52, (2021). (In Persian) <https://doi.org/10.22067/JACSM.2021.70588.1030>.
- [13] Park. J, Yun. B, Chang. S, Wi. S, Jeon. J, Kim. S, Impact of a passive retrofit shading system on educational building to improve thermal comfort and energy consumption, *Energy Build*, vol.216, e109930, (2020). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109930>.
- [14] Kirimtat. A, Koyunbaba. B, Chatzikonstantinou. I, Sariyildiz. S, Review of simulation modeling for shading devices in buildings. *Renewable and Sustainable*

Energy Reviews, vol. 53, pp. 23-49, (2016).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.020>.

[15] Wikipedia, the free encyclopedia, Available:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Kerman>, [Accessed Spring 2023].

[16] Energy Plus energy simulation software Version 9.2.0 U.S. Department of Energy.

[17] Sketch Up pro 2017 simulation software Version 17.1.174 64-bit.

[18] Open Studio simulation software Version 2.9.1 U.S. National Renewable Energy Laboratory.

[19] Iran's national building regulations, energy saving, topic 19, Road and Urban Development Research Center of the Ministry of Roads and Urban Development, Fourth edition, 2019. (In Persian)

[20] L. L. K. Drury, B. Crawley, Development of Global Typical Meteorological Years (TMYx). 2022. Available: <http://climate.onebuilding.org>.

[21] Energy plus input output reference U.S. Department of energy September 27, 2019.

[22] Energy Plus Reference Data Set for Window, Blinds, Shade, Screen materials, Version 9.2.0 U.S. Department of Energy.

[23] Energy plus engineering reference U.S. Department of energy September 27, 2019.

[24] Ghosh. A, Neogi. S, Effect of fenestration geometrical factors on building energy consumption and performance evaluation of a new external solar shading device in

warm and humid climatic condition, *sol. energy*, vol. 169, pp. 94-104, (2018).

<https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.04.025>.

[25] Bellia. L, De Falco. F, Minichiello. F, Effects of solar shading devices on energy requirements of standalone office buildings for Italian climates, *Applied Thermal Engineering*, vol. 54, pp. 190-201, (2013).

<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.01.039>.

[26] Evangelisti. L, Guattari. C, Asdrubali. F, de Lieto Vollaro. R, An experimental investigation of the thermal performance of a building solar shading device, *Journal of Building Engineering*, vol. 28, e101089, (2020).

<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101089>.

پست
انتشار