



Horizontal and Vertical Movable Drop-Down Shades Performance in Double Skin Façade of Office Buildings; Evaluation and Parametric Simulation

ARTICLE INFO

Article Type

Descriptive Study

Authors

Rasuli M.¹ MSc,
Shahbazi Y.*¹ PhD,
Matini M.R.² PhD

How to cite this article

Rasuli M, Shahbazi Y, Matini M.R. Horizontal and Vertical Movable Drop-Down Shades Performance in Double Skin Façade of Office Buildings; Evaluation and Parametric Simulation. Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2019;9(2): 135-144.

ABSTRACT

Building skins and facades have an important role in reducing energy consumption. The double skin façade (DSF) as a passive solar system reduces significantly the heating load during cold periods. However, during warm periods or in areas with warm climates, the building's cooling load increases due to the high temperature of the intermediate cavity. The use of shades is one of the effective approaches to building's cooling load. The fixed shades block solar beam radiation in winter. On the other hand, movable shading devices can be adjusted in optimal angle to changing outdoor conditions in which more effective control of sky diffuse radiation may be obtained. In this paper, the effects of horizontal and vertical drop-down fixed and movable shades have been investigated on double skin facade energy consumption in office buildings. The office building and parametric modeling of shades are created using Rhino software and Grasshopper plug-in, respectively. A standard office room with the dimensions of 5m×4m and a 3m height and a southward window was examined in the modeling process. The simulation results suggest that movable shades have more efficient function than their fix state. The horizontal moving shade has also the most optimal state and has the lowest annual energy consumption. The total amount of energy consumption in horizontal movable shades, the most optimal option, is 34 % compared to horizontal drop-down fix shade, is 11.87% and 1.37%, respectively, compared to the fix and moving vertical drop-down and is 50.69% more efficient compared to double skin facade without shades.

Keywords Double Skin Façade; Drop-Down Shades; Parametric Simulation; Diva; DesignBuilder

¹Architecture Department, Architecture and Urbanism Faculty, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran

²Architecture Department, Architecture & Urban Planning Faculty, University of Art, Tehran, Iran

*Correspondence

Address: Architecture and Urbanism Faculty, Tabriz Islamic Art University, Mosalla Street, Maghsoudieh Street, Saat Square, Tabriz, Iran. Postal Code: 5137753579
Phone: +98 (41) 35539207
Fax: +98 (41) 35539200
y.shahbazi@tabriziau.ac.ir

Article History

Received: October 09, 2018

Accepted: December 06, 2018

ePublished: September 21, 2019

CITATION LINKS

[1] A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China [2] Greenhouse effect in double-skin facade [3] Thermal behavior of a ventilated double skin facade in hot arid climate [4] Experimental and zonal modeling for wind pressures on double-skin facades of a tall building [5] A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China [6] Analytical solution for energy modeling of double skin façades buildings [7] Numerical analysis and parametric study of the thermal behavior in multiple-skin façades [8] Validation of EnergyPlus thermal simulation of a double skin naturally and mechanically ventilated test cell [9] Double skin glass façade and its effect on saving energy [10] Modelling the double skin façade with plants [11] An investigation into the impact of movable solar shades on energy, indoor thermal and visual comfort improvements [12] The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand [13] Building Applications, opportunities and challenges of active shading systems: A state-of-the-art review [14] Evaluating thermal and lighting energy performance of shading devices on kinetic façades

عملکرد سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم متحرک در نمای دوپوسته ساختمان‌های اداری؛ ارزیابی و شبیه‌سازی پارامتریک

مسعود رسولی MSc

گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

یاسر شهبازی PhD

گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

محمد رضا متینی PhD

گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران

چکیده

دوپوسته‌ها و نماهای ساختمانی نقش موثری در کاهش مصرف انرژی دارند. نمای دوپوسته به‌عنوان یک سیستم غیرفعال خورشیدی در دوره سرما بار گرمایشی ساختمان را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد، ولی در دوره گرما با افزایش دمای حفره میانی بار سرمایشی ساختمان و انرژی مصرفی سرمایشی افزایش می‌یابد. استفاده از سایه‌اندازها یک راهکار موثر در کاهش بار سرمایشی ساختمان است. سایه‌اندازهای ثابت عملکرد نماهای دوپوسته را در زمستان به‌دلیل ممانعت از نفوذ تشعشعات خورشیدی و کاهش جذب مستقیم، به‌طور زیادی کاهش می‌دهند. برای رفع آن باید در سایه‌اندازهای متحرک، زاویه بهینه قرارگیری را در طول سال محاسبه نمود. در این مطالعه، عملکرد سالیانه نماهای دوپوسته برای یک اتاق اداری در تهران با حضور سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم ثابت و متحرک بررسی شدند. فضا در نرم‌افزار راینو و مدل پارامتریک سایه‌اندازها در پلاگین گرس‌هاپر ایجاد شد. در مدل‌سازی، یک فضای اداری استاندارد با ابعاد ۴ در ۵ متر و به ارتفاع ۳ متر با پنجره‌ای رو به جنوب بررسی، سپس نمای دوپوسته با سایه‌اندازهای بهینه افقی و قائم متحرک در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر مدل‌سازی و میزان بهره‌وری و ذخیره سالیانه انرژی آن در مقایسه با نمای دوپوسته بدون سایه‌انداز بررسی شد. طبق نتایج سایه‌اندازهای متحرک بهینه‌تر از حالت ثابت خود و سایه‌انداز کرکره افقی متحرک نیز بهینه‌ترین گزینه است. مجموع انرژی مصرفی سایه‌انداز کرکره افقی متحرک، بهینه‌ترین گزینه پیشنهادی، نسبت به سایه‌انداز کرکره‌ای افقی ثابت ۳۴/۲۷٪، نسبت به حالت کرکره‌ای قائم ثابت و متحرک به ترتیب ۱۱/۸۷٪ و ۱/۳۷٪ و نسبت به نمای دوپوسته بدون حضور سایه‌اندازها ۵۰/۶۹٪ بهینه‌تر است.

کلیدواژه‌ها: نمای دوپوسته، سایه‌انداز کرکره‌ای، شبیه‌سازی پارامتریک انرژی، دیوا، دیزاین‌بیلدر

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۵

*نویسنده مسئول: y.shahbazi@tabriziau.ac.ir

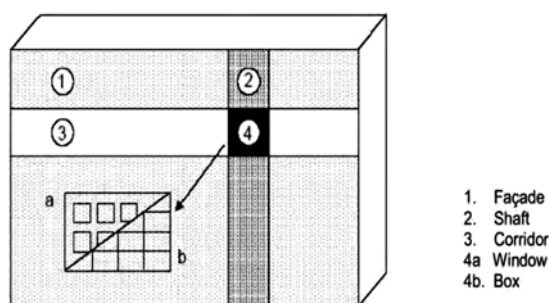
۱- مقدمه

لزوم حفظ انرژی و توسعه پایدار در ساختمان باعث علاقه جدید به منابع تجدید پذیر بجای سوخت‌های فسیلی شده است. در واقع به‌جای تمرکز بر سوخت‌های فسیلی به‌عنوان گزینه اصلی یا ابتدایی در تولید انرژی ساختمان‌های مسکونی یا اداری، استفاده از انرژی از منابع تجدیدپذیر مورد توجه محققین، دولتمردان و

صاحبان صنایع قرار گرفته است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به سیستم خورشیدی غیرفعال اشاره نمود^[1].

دوپوسته‌های ساختمانی مرز بین فضای داخل و خارج ساختمان بوده و نقش موثری در کاهش مصرف انرژی بر عهده دارند. نمای دوپوسته یکی از گزینه‌ها به‌عنوان پوسته ساختمانی است. اصطلاح نمای دوپوسته در واقع همان ایده نمای انعطاف‌پذیر متشکل از دو جداره مختلف است که با یک حفره میانی از هم جدا می‌شوند. حفره میانی وظایف جمع‌آوری تابش خورشیدی در زمستان (اثر گلخانه‌ای) یا تخلیه آن در تابستان را بر عهده دارد^[2].

روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی سیستم نماهای دوپوسته وجود دارد. این سیستم‌ها را می‌توان براساس روش ساخت، مبدأ، مقصد و نوع جریان هوا در حفره میانی و غیره طبقه‌بندی کرد. در مقاله لو و همکاران نماهای دوپوسته در چهار گروه کلی نماهای پنجره جعبه‌ای، نماهای دالانی، نماهای چندطبقه و نماهای محفظه عمودی دسته‌بندی شده‌اند^[4]. انواع نماهای دوپوسته معرفی‌شده در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱) انواع نماهای دوپوسته بر مبنای سیستم حفره میانی‌های مختلف^[4]

توسعه نمای دوپوسته در اقلیم‌های سرد آغاز شد. اولین نمای دوپوسته واقعی در سال ۱۹۰۳ در آلمان ساخته شده و پیشرفت‌های بعدی این سیستم در اواخر دهه ۷۰ به اوج رسید. در سال ۱۹۷۸ گروه معماری کنان با کمک هوک، ساختمان اداری هوکر در نیویورک را طراحی نمود. این اولین طراحی نمای دوپوسته بود که همزمان طراحی سیستم تهویه را نیز مدنظر قرار داد^[4]. با پذیرش نماهای دوپوسته در اروپا، آمریکای شمالی و ژاپن بعد از سال ۱۹۸۰، این سیستم گسترش چشمگیری یافت^[5]. تا جایی که در سال ۱۹۹۸ رنزو پیانو، سازگارترین سیستم نمای دوپوسته را در برج دیبیس طراحی نمود.

در سال ۲۰۱۲، مدل تحلیلی از توزیع سرعت و دما در نمای دوپوسته به همراه عملکرد این نماها به لحاظ فنی و اقتصادی مورد بررسی قرار گرفت^[6]. همچنین تحلیل پارامتریک رفتار حرارتی یک نمای چند پوسته در اقلیم تهران و میزان حرارت عبوری در نماهایی با بیش از دو پوسته تحت تاثیر عوامل مختلف ارایه شده است^[7]. برای شبیه‌سازی انرژی نماهای دوپوسته، نرم‌افزارهای

با حداقل جذب مستقیم همراه باشد. در چنین زاویه بهینه‌ای است که میزان بار سرمایشی و بار روشنایی الکتریکی در طول دوره گرم‌کمینه می‌شود.

۲- طراحی پارامتریک فضای اداری و سایه‌اندازها

در طراحی پارامتریک که روش ارتباط ابعاد و متغیرها به هندسه است، اصلاحات در طراحی به‌طور قابل ملاحظه‌ای سریع‌تر از زمان ترسیمات مجدد مورد نیاز در سیستم‌های CAD سنتی انجام می‌گیرد. همچنین، با استفاده از برنامه‌نویسی یا افزونه‌های موجود در نرم‌افزارهای پارامتریک، می‌توان تغییرات پارامترهای مولد در طراحی را بررسی نمود. در این مقاله نیز مدل‌سازی پارامتریک حجم اتاق اداری و سایه‌انداز مورد نظر در افزونه گرس‌هایپر انجام شده است. پس از تعریف پارامترهای چرخش، مدل مورد نظر به افزونه دیگری بنام دیوا وارد شده و به‌ازای هر ۵ درجه چرخش، میزان مصرف انرژی سالیانه سرمایشی، گرمایشی و روشنایی به دست آمده است. از مزایای شبیه‌سازی پارامتریک انرژی آن است که میزان مصرف انرژی فضای مورد نظر با تغییر پارامتر زاویه محاسبه می‌شود. دیوا از جمله نرم‌افزارهای چندجانبه است به‌گونه‌ای که برای آنالیز نور و روشنایی از نرم‌افزار دایسیم به‌عنوان موتور جداگانه و از موتور شبیه‌ساز انرژی پلاس برای شبیه‌سازی حرارتی استفاده می‌کند. نکته‌ای که بایستی در نظر داشت آن است که این نرم‌افزار قابلیت آنالیز حرارتی برای یک زون حرارتی را دارد. در حالی که، نماهای دوپوسته دارای دو زون حرارتی شامل فضای داخلی و حفره میانی است. بنابراین، ابتدا سایه‌اندازهای مورد نظر در روزهای انتخابی برای نمای تک‌پوسته در نرم‌افزار دیوا آنالیز شده و زوایای بهینه برای هر دوره زمانی مشخص می‌شود. سپس، اثر سایه‌اندازها و زوایای بهینه آنها برای نمای دوپوسته در نرم‌افزار دیزاین بیلدر، که توانایی آنالیز حرارتی هر تعداد زون حرارتی را دارد، بررسی شده است.

در مدل‌سازی، یک فضای اداری استاندارد با ابعاد ۵×۴ متر و به ارتفاع ۳ متر با پنجره‌ای رو به جنوب مورد بررسی قرار گرفته است. در داخل اتاق، یک میز تحریر به ابعاد ۱/۲×۰/۷ متر، ارتفاع ۰/۹۰ متر و به فاصله ۱/۲ متر از پنجره تعبیه شده است. دیوار ضلع جنوبی به ضخامت ۰/۳۰ متر و از جنس آجر است. ۷۰٪ دیوار اتاق را پنجره‌ای تشکیل می‌دهد که ارتفاع کف پنجره ۰/۹۰ متر و ارتفاع کل پنجره ۲/۱۰ متر است. شیشه پنجره تک‌جداره و به ضخامت ۶ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. جداره‌های اطراف پارتیشن‌های ۱۰ سانتی‌متر در حالت آدیاباتیک (بی در رو) در نظر گرفته شده‌اند. بدین‌منظور که از جداره‌های کنار هیچ انتقال حرارتی صورت نگیرد. حفره میانی نمای دوپوسته به عرض یک متر و از نوع نماهای پنجره جعبه‌ای بوده و تمامی جداره‌های اطراف حفره میانی، محفظه حفره میانی، کف و سقف اتاق اداری نیز آدیاباتیک فرض شده است. در این صورت، انتقال حرارت تنها از جداره خارجی ساختمان امکان‌پذیر است. مدل اتاق اداری و حالت آدیاباتیک

مختلفی استفاده شده است که در این میان می‌توان به مدل استاندارد نمای دوپوسته در نرم‌افزار انرژی پلاس اشاره نمود. صحت سنجی نتایج شبیه‌سازی انرژی این مدل استاندارد توسط متئوس و همکاران ارایه شده است [8].

نمای دوپوسته به‌عنوان یک سیستم غیرفعال خورشیدی طی دوره سرما عمل می‌کند. اما در دوره گرم یا در مناطقی با اقلیم گرم، دما در حفره میانی به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته که خود منجر به افزایش زیاد بار سرمایشی ساختمان می‌شود. در این صورت میزان زیادی از انرژی ذخیره‌شده در دوره سرما به‌دلیل عملکرد گلخانه‌ای نمای دوپوسته می‌بایست صرف بار سرمایشی ساختمان در دوره گرم شود. بنابراین برخی از افراد بر این باورند که نمی‌توان از نمای دوپوسته در تابستان گرم استفاده کرد. در حالی که، راهکار حل این مشکل را می‌توان در استفاده از روش‌های طبیعی ارتقای بار سرمایشی مثلاً از طریق سایه‌اندازها جستجو نمود [9]. یکی از راهکارهای طبیعی سرمایش استفاده از گیاهان برگ‌ریز در حفره میانی است [10]. ایده نوین دیگر استفاده از سایه‌اندازها است که از متداول‌ترین آنها می‌توان به سایه‌اندازهای کرکوه‌ای، دندان‌های، غلتکی اشاره نمود. سایه‌اندازها ممکن است ثابت یا متحرک باشند. سایه‌اندازهای ثابت معمولاً در نمای ساختمان برای جلوگیری از نور خورشید استفاده می‌شوند. با این حال، آنها مقدار قابل توجهی از تابش خورشیدی که ساکنین برای کاهش مصرف انرژی گرمایشی در زمستان نیاز دارند را مسدود می‌کنند. در عوض، سایه‌اندازهای متحرک را می‌توان نسبت به تغییرات شرایط در فضای باز به‌نحوی تنظیم نمود تا در کنترل تابش‌های خورشیدی نسبت به نوع ثابت خود مفیدتر واقع شوند. برای سایه‌اندازهای متحرک، محل قرارگیری آنها در فضای خارج نما یا داخل و نیز زاویه قرارگیری‌شان تأثیر بسزایی در عملکرد حرارتی ساختمان دارند. این مطلب برای نمای دوپوسته از اهمیت دو چندان برخوردار است [11-14].

در این مقاله، فضای اتاق اداری واقع در شهر تهران در نرم‌افزار راینو ۵/۷/۳۱۲۱۳ مدل‌سازی و مدل پارامتریک سایه‌اندازها در پلاگین گرس‌هایپر ایجاد شده است. سپس، با انجام شبیه‌سازی‌های پارامتریک انرژی در افزونه دیوا و نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر ۴/۵/۰/۱۴۸، زوایای بهینه هر یک از سایه‌اندازهای افقی و قائم ثابت و متحرک به همراه میزان انرژی‌های مصرفی آنها برای نمای تک‌پوسته و دوپوسته تعیین و با یکدیگر مقایسه شدند.

دلیل تأکید این مقاله بر سایه‌اندازهای متحرک افقی و قائم نسبت به نوع ثابت آنها آن است که بیشینه کاهش بار سرمایشی در دوره گرما زمانی محقق می‌شود که سایه‌اندازهای افقی یا قائم کاملاً بسته باشند. اما در این حالت، به‌منظور تامین روشنایی فضای داخلی، بار الکتریکی روشنایی بیشتری تحمیل می‌شود. در نتیجه به‌جای بستن کامل، سایه‌اندازها باید در زاویه‌ای قرار گیرند، از این به بعد زاویه بهینه اطلاق می‌شود، که حداکثر نور طبیعی ورودی



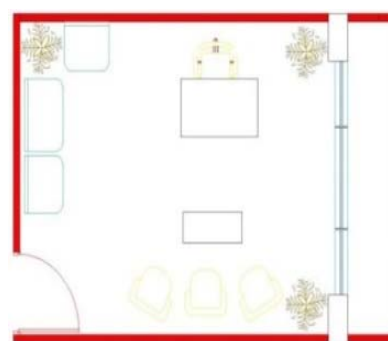
شکل ۴) سایه‌اندازهای کرکره‌ای قائم

در این مقاله پانل‌های مستطیلی از جنس آلومینیوم فرض شده‌اند. سایه‌اندازهای مدل‌سازی شده شامل ۱۸ عدد کرکره متحرک به عرض ۱۷ سانتی‌متر و ضخامت یک سانتی‌متر هستند. کرکره‌ها به رنگ روشن با ضریب جذب ۰/۱۷ و ضریب انعکاس ۰/۳۵ می‌باشند. کرکره‌های افقی می‌توانند در راستای عمودی از صفر تا ۹۰ درجه و کرکره‌های قائم در راستای افقی از صفر تا ۱۸۰ درجه بچرخند.

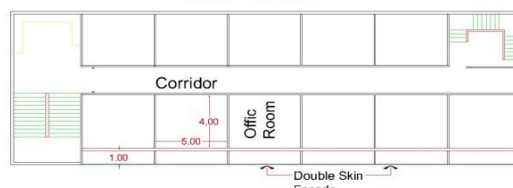
۳- انتخاب سایت، روزهای گرم و سرد نمونه

برای بررسی تاثیر وجود یا عدم وجود سایه‌اندازها و مقایسه هر چه دقیق‌تر عملکرد آنها بر میزان انرژی مصرفی ساختمان با نمای دوپوسته، سایت انتخابی باید به گونه‌ای انتخاب شود که نیازهای سرمایش و گرمایش یکسانی داشته باشد. این ضابطه به این دلیل در نظر گرفته می‌شود تا نمای دوپوسته پاسخ‌گوی هر دو شرایط گرم و سرما باشد. در نتیجه با توجه به نتایج برنامه تحلیل اقلیمی کلایمت کنسالت، که در شکل ۵ ارائه شده است، محل قرارگیری ساختمان در منطقه مهرآباد تهران انتخاب شد. منطقه انتخابی دارای دوره گرم و سرمای یکسان با تراکم ساختمان‌های اداری است. شکل ۵، میانگین دمای بالای ۳۵ درجه در تابستان و میانگین دمای ۵- درجه در زمستان را نشان می‌دهد. با نگاهی به جدول سایکرومتریک شکل ۵، ۱۸/۵٪ اوقات آسایش حرارتی به واسطه سایه‌بان‌های خورشیدی و ۱۴/۷٪ اوقات به واسطه سیستم‌های غیرفعال جذب مستقیم فراهم می‌شود. برای محاسبه بار الکتریکی روشنایی در آنالیزهای انرژی، سنسوری در نقطه وسط اتاق اداری قرار داده شده تا حداقل میزان متوسط روشنایی ۲۰۰ لوکس را فراهم سازد. در شکل ۵، قسمت‌های قرمز رنگ معرف روزها با دمایی بیشتر از شرایط آسایش بوده که به سایه‌انداز در نما نیاز است. در عوض، روزهای آبی تیره روزهایی هستند که دمای محیط پایین‌تر از شرایط آسایش است و به جذب حرارتی برای افزایش دمای محیط نیاز داریم. بر مبنای شکل ۵، در منطقه مهرآباد تهران دوره گرم سال از روزهای ۲۱ آپریل تا ۵ اکتبر (معادل اول اردیبهشت تا اواسط آبان) و دوره‌های سرد سال از ۲۱ اکتبر تا ۵ آپریل (معادل اول آذر تا ۱۵ فروردین) هستند. در نتیجه، برای شبیه‌سازی‌های پارامتریک انرژی و با توجه به نتایج برنامه کلایمت کنسالت شکل ۵، ۱۲ روز گرم و ۱۲ روز سرد نمونه، اول و وسط هر یک از ماه‌های شمسی، انتخاب شده است.

مفروض را می‌توان این گونه تصور نمود که اتاق اداری در طبقات ساختمان به گونه‌ای قرار دارد که در اطراف آن، فضاهایی مشابه و هم دما وجود دارد. در شکل ۲، پلان مجموعه اداری و بزرگنمایی یکی از اتاق‌های اداری مورد نظر به همراه جداره‌های حرارتی آدیاباتیک آن ارائه شده است. انتخاب مناسب نوع و محل قرارگیری سایه‌بان تاثیر بسزایی در افزایش یا کاهش دمای حفره میانی دارد. با وجود سایه‌بان‌های کارآمد خارجی، می‌توان بیشتر از ۹۰٪ گرمای خورشیدی را از بین برد. در حالیکه در سایه‌بان‌های ناکارآمد با رنگ تیره، احتمال ورود ۷۵ تا ۸۰٪ تابش‌های خورشیدی که به پنجره برخورد می‌کنند به فضای داخلی وجود دارد [5].

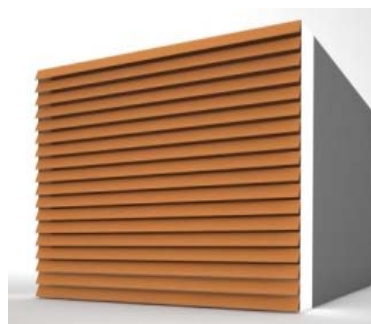


Adiabatic



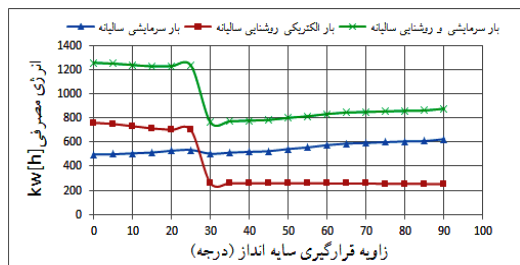
شکل ۲) پلان مجموعه اداری (بالا): پلان یکی از اتاق‌های اداری به همراه نواحی آدیاباتیک (پایین)

سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم از متداول‌ترین سایبان‌های خورشیدی به شمار می‌روند. سایه‌اندازهای کرکره‌ای از مدول‌هایی از جنس چوب، آلومینیوم، پلاستیک و یا مواد سبک با جرم حرارتی پایین ساخته می‌شوند. مدول‌ها با فاصله و زاویه ثابتی نسبت به هم قرار می‌گیرند. در شکل‌های ۳ و ۴ سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم نشان داده شده‌اند.

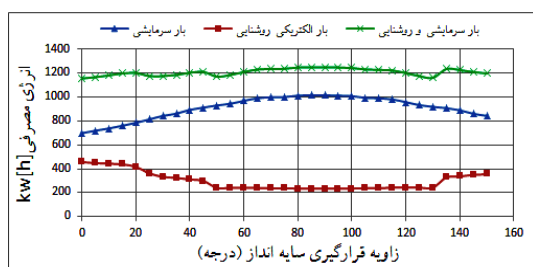


شکل ۳) سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی

سالیانه بدون دخالت‌دادن اثرات نمای دوپوسته است. همان‌طور که قبلاً بیان شد معیار انتخاب زاویه بهینه، کمترین مقدار مجموع بار سرمایشی و روشنایی الکتریکی است. در نمودارهای ۱ و ۲، میزان بار سرمایشی، روشنایی الکتریکی و مجموع آن برای سایه‌اندازهای کرک‌های ثابت افقی و عمودی ارایه شده است.



نمودار ۱) میزان مصرف انرژی سالیانه با لوورهای افقی ثابت



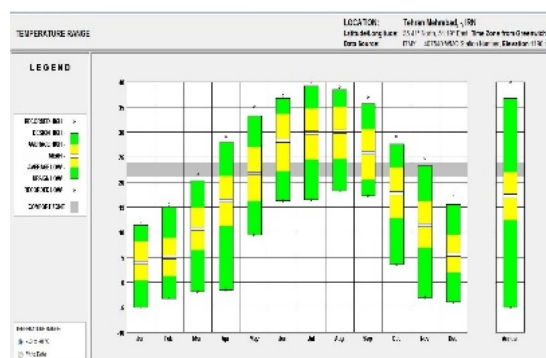
نمودار ۲) میزان مصرف انرژی سالیانه با لوورهای افقی قائم

نتایج حاکی از آن است که زاویه بهینه برای سایه‌اندازهای کرک‌های ثابت افقی و عمودی به‌ترتیب ۳۰ و ۵۰ درجه است. لازم به ذکر است که بررسی عملکرد سایه‌اندازهای قائم نشان داد که با افزایش زاویه چرخش بیشتر از ۱۵۰ درجه، میزان مصرف انرژی نیز افزایش می‌یابد. از این رو، دامنه حرکتی آنها از صفر تا ۱۵۰ درجه در نظر گرفته شد. به‌جای ثابت‌ماندن زاویه قرارگیری کرک‌ها در طول سال، با تعیین هر چه دقیق‌تر زوایای بهینه در هر یک از روزهای سال، می‌توان سایه‌اندازهای متحرکی ارایه نمود که از مصرف انرژی سالیانه کمتری برخوردار باشند. به‌دلیل حجم بالای عملیات شبیه‌سازی، در اکثر کارهای تحقیقاتی از برخی روزهای نمونه سال شامل انقلاب تابستانی و زمستانی و اعتدال بهاری و پاییزی استفاده می‌شود.

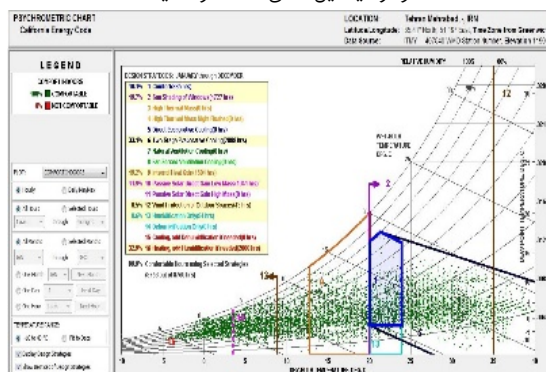
در این مقاله، زاویه بهینه و مصرف انرژی ماهیانه به‌ازای هر ۵ درجه چرخش سایه‌اندازهای افقی و قائم ثابت در ۲۴ روز گرم و سرد انتخابی تعیین شده است. در این مرحله نیز معیار انتخاب زاویه بهینه در دوره گرما مانند مرحله قبل بوده ولی معیار انتخاب زاویه بهینه در دوره سرما مقدار مجموع بار گرمایشی و روشنایی الکتریکی است. آنالیزهای انرژی برای تمامی ۲۴ روز نمونه انجام شده است. در ادامه به‌عنوان نمونه نتایج میزان بار روشنایی و سرمایشی دو روز ۵ آگوست، متعلق به دوره گرما، و ۲۱ ژانویه، مربوط به دوره سرما، در نمودارهای ۳ تا ۶ برای کرک‌های افقی و قائم ارایه شده است.

روزهای گرم نمونه برای آنالیزهای انرژی شامل ۲۱ آپریل، ۵ و ۲۲ می، ۵ و ۲۲ ژوئن، ۵ و ۲۲ ژوئیه، ۵ و ۲۲ آگوست، ۵ و ۲۲ سپتامبر و ۵ اکتبر هستند.

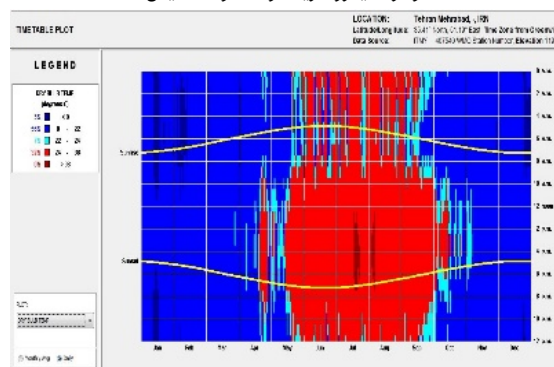
در مقابل، روزهای سرد نمونه انتخابی شامل ۲۱ اکتبر، ۵ و ۲۱ نوامبر، ۵ و ۲۱ دسامبر، ۵ و ۲۱ ژانویه، ۵ و ۲۱ فوریه، ۵ و ۲۱ مارس و ۵ آپریل هستند.



نمودار میانگین دمای ماهانه و سالیانه



نمودار سایکرومتریک و محدوده آسایش



نمودار دمای هوای خشک سالیانه

شکل ۵) اطلاعات هواشناسی تهران

۴- آنالیز حرارتی

اولین مرحله از بخش آنالیزهای حرارتی، تعیین مصرف انرژی سالیانه شامل میزان بار سرمایشی، روشنایی الکتریکی و بار گرمایشی به ازای هر ۵ درجه چرخش سایه‌اندازهای کرک‌های افقی و قائم ثابت برای نمای تک‌پوسته است. در این قسمت، هدف تعیین زاویه بهینه برای هر یک از سایه‌اندازها در آنالیز انرژی

فوریه تا ۲۰ فوریه ۱۰۰ درجه، ۲۱ فوریه تا ۲۰ مارس ۱۱۵ درجه و در دوره ۲۱ مارس تا ۴ آوریل ۱۱۰ درجه به دست آمده است.

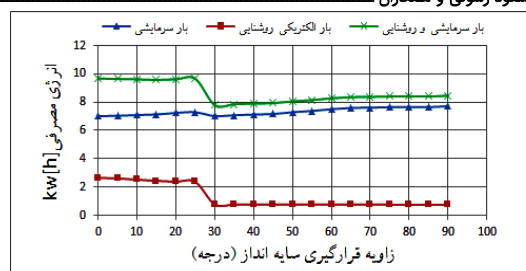
تمامی آنالیزهای انجام شده در قسمت فوق و مقایسه بین انرژی مصرفی سالیانه هر یک از حالات موردنظر به طور جامع در جدول ۱ ارایه شده است. با نگاهی به این جدول می توان اثرات سایه اندازهای کرکره ای افقی و قائم ثابت و متحرک بر میزان مصرف انرژی سالیانه و بهره وری ساختمان اداری مورد نظر با نمای تک پوسته را به صورت زیر بیان نمود:

۱) با استفاده از سایه اندازهای کرکره ای افقی در زاویه بهینه ثابت ۳۰ درجه، مجموع انرژی مصرفی در حدود ۵۰/۹۰٪ نسبت به حالت سایه اندازهای کرکره ای قائم با زاویه بهینه ثابت ۵۰ درجه، کاهش می یابد.

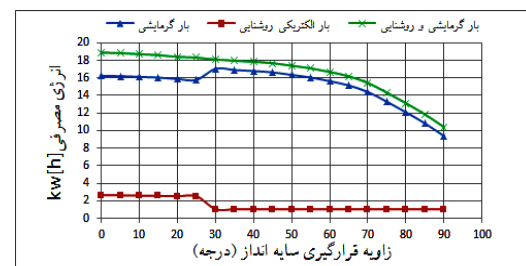
۲) قرارگیری سایه اندازها در زوایای بهینه متحرکی که از نتایج آنالیز روزهای نمونه به دست آمده اند، تاثیر مثبتی در کاهش مصرف انرژی سالیانه نسبت به حالت ثابت آنها خواهند داشت. به نحوی که کرکره های متحرک افقی و قائم با زوایای بهینه ماهیانه نسبت به حالت ثابت خود به ترتیب در حدود ۸/۷۹٪ و ۲/۲۶٪ به کاهش مصرف انرژی کمک می کنند.

۳) در میان دو حالت کرکره های افقی و قائم متحرک، انتخاب سایه انداز کرکره ای متحرک افقی مقرون به صرفه تر خواهد بود زیرا نسبت به حالت قائم متحرک در حدود ۶/۱۸٪ مصرف انرژی سالیانه را کاهش می دهد.

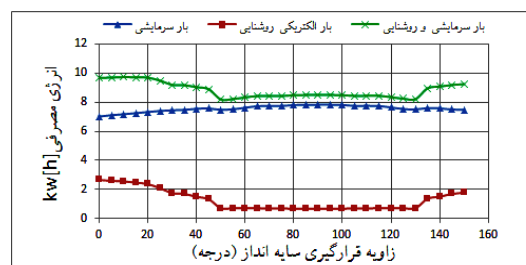
آخرین مرحله از آنالیزهای حرارتی صورت گرفته که شالوده مقاله را در بر دارد، آنالیز حرارتی ساختمان اداری مورد نظر با نمای دوپوسته در حضور سایه اندازهای کرکره ای افقی و قائم برای هر دو حالت ثابت و متحرک است. در واقع، در این قسمت تمامی آنالیزهای مراحل قبل به جای نمای تک پوسته، برای نمای دوپوسته بررسی شده است تا اثر همزمان نمای دوپوسته و سایه اندازها در کاهش مصرف انرژی سالیانه و میزان بهره وری انرژی اتاق اداری مورد نظر ارزیابی شود. از آنجایی که نرم افزار پارامتریک دیوا، قادر به آنالیز و شبیه سازی یک زون حرارتی است، ناچار به استفاده از نرم افزار دیگری هستیم که ضمن برخورداری از موتور شبیه ساز انرژی یکسان (انرژی پلاس) بتواند نمای دوپوسته را مدل سازی نماید. از این رو، نرم افزار دیزاین بیلدر به دلیل وجود قابلیت مدل سازی حفره میانی نمای دوپوسته در پیش فرض های آن انتخاب شد. در مدل سازی فضای اداری در نرم افزار دیزاین بیلدر نیز، همانند مرحله مدل سازی نمای تک پوسته، علاوه بر جداره های کناری، سقف و کف نمونه مورد آنالیز، جداره های اطراف حفره میانی نیز بی در رو در نظر گرفته شده است. در این صورت، انتقال حرارت از جداره های کناری حفره بسیار ناچیز فرض شده و تنها از جداره بیرونی جذب یا پرت حرارتی وجود خواهد داشت. مدل سازی مورد نظر به مثابه آن است که فضای موردنظر در طبقه میانی یک ساختمان اداری قرار گرفته و با تمامی فضاهای اطراف آن و حفره میانی نمای دوپوسته پنجره جعبه ای هم دم است. اتاق اداری



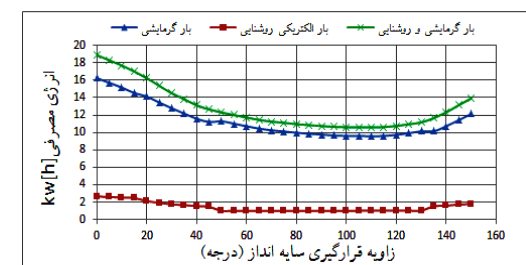
نمودار ۳) میزان مصرف انرژی در ۵ آگوست با لوور افقی



نمودار ۴) میزان مصرف انرژی در ۲۱ ژانویه با لوور افقی



نمودار ۵) میزان مصرف انرژی در ۵ آگوست با لوور قائم



نمودار ۶) میزان مصرف انرژی در ۲۱ ژانویه با لوور قائم

با محاسبه انرژی مصرفی هر یک از ماه های سال می توان بیان نمود که که کرکره های افقی در تمامی روزهای گرم نمونه به ازای زاویه ۲۷ درجه، در روزهای سرد نمونه ۲۱ اکتبر و ۵ نوامبر به ترتیب در ۸۵ و ۷۰ درجه و برای سایر روزهای نمونه سرد در زاویه ۹۰ درجه در بهینه ترین حالت خود قرار می گیرند. به طور مشابه می توان زوایای بهینه در روزهای نمونه گرم و سرد را برای کرکره قائم تعیین نمود. برای کرکره های قائم، تغییرات بیشتری برای زوایای بهینه به دست آمده است. زاویه بهینه در بازه ۵ و ۲۱ آوریل ۱۳۰ درجه، ۲۲ آوریل تا ۲۰ اکتبر ۵۰ درجه، ۲۱ اکتبر تا ۴ نوامبر ۳۰ درجه، ۵ تا ۲۰ نوامبر ۵۰ درجه، ۲۱ نوامبر تا ۴ دسامبر ۱۳۰ درجه، ۵ دسامبر تا ۲۰ دسامبر ۱۲۵ درجه، ۲۱ دسامبر تا ۴ ژانویه ۱۰۵ درجه، ۵ ژانویه تا ۲۰ ژانویه ۱۰۰ درجه، ۲۱ ژانویه تا ۴ فوریه ۱۱۰ درجه، ۵

عملکرد سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم متحرک در نمای دوپوسته ساختمان‌های اداری ۱۴۱
نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر (سمت راست) در شکل ۶ نشان داده شده است.

مورد نظر با نمای دوپوسته بدون و با حضور سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی ۳۰ درجه و قائم ۵۰ درجه (سمت چپ) و مدل‌سازی آنها در

جدول ۱) نتایج شبیه‌سازی انرژی‌های مصرفی سالیانه برای ساختمان اداری با نمای تک‌پوسته

مصرف انرژی سالیانه (کیلووات ساعت)	بار گرمایشی سالیانه (کیلووات ساعت)	بار الکتریکی روشنایی سالیانه (کیلووات ساعت)	بار سرمایشی سالیانه (کیلووات ساعت)	
۳۰۹۳/۸۳	۲۳۳۰/۸۲	۲۵۹/۵۲	۵۰۳/۴۹	کرکره افقی ثابت با زاویه بهینه ۳۰ درجه
۲۵۰۲/۸۹	۱۳۳۰/۹۴	۲۴۰/۷۲	۹۳۱/۲۴	کرکره قائم ثابت با زاویه بهینه ۵۰ درجه
۲۲۱۴/۷۹	۱۴۹۰/۸۷	۲۳۶/۵۲	۴۸۷/۴۱	کرکره افقی متحرک با زوایای بهینه مشخص شده
۲۲۷۶/۵۹	۱۳۸۸/۸۵	۲۲۹/۱۰	۶۵۸/۶۴	کرکره قائم متحرک با زوایای بهینه مشخص شده



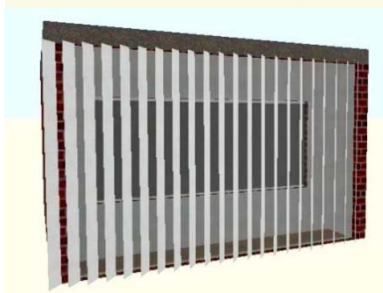
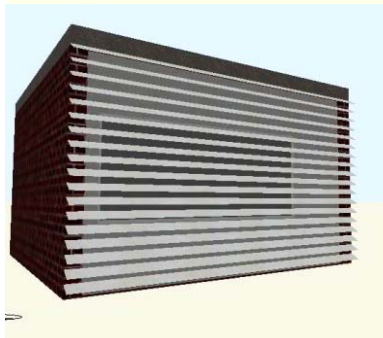
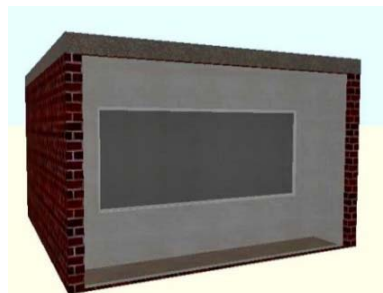
(الف)



(ب)



(ج)



شکل ۶) مدل اتاق اداری با نمای دوپوسته: (الف) بدون سایه‌انداز، (ب) سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی، (ج) سایه‌اندازهای کرکره‌ای قائم

سایه‌اندازهای افقی و قائم در طول دوره سرما میزان جذب مستقیم خورشیدی توسط پوسته داخلی و در نتیجه آن دمای حفره میانی کاهش یافته و میزان مصرف هر دو انرژی گرمایشی و روشنایی نسبت به حالت بدون سایه‌انداز افزایش می‌یابد. برای مثال، میزان مصرف انرژی روشنایی سالیانه در سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی ۶۳٪ و در سایه‌اندازهای کرکره‌ای قائم ۶۳٪ افزایش می‌یابد. اما، در نهایت اثرات حضور سایه‌اندازها در کاهش مصرف انرژی سالیانه مثبت ارزیابی می‌شود چرا که میزان انرژی مصرفی سرمایشی نمای بدون سایه‌انداز به مراتب بیشتر از حالت حضور سایه‌اندازهای افقی و قائم است.

در مرحله دوم از آنالیزهای حرارتی نمای دوپوسته، سایه‌اندازهای

در اولین مرحله از شبیه‌سازی‌های پارامتریک انرژی برای نمای دوپوسته، سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم ثابت در زوایای بهینه آنها، به ترتیب ۳۰ و ۵۰ درجه، به کار رفته‌اند. با حضور سایه‌اندازهای ثابت، میزان مصرف انرژی سرمایشی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد به گونه‌ای که میزان مصرف انرژی سرمایشی سالیانه با حضور سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم بهینه ثابت به ترتیب ۵۷/۴۷٪ و ۵۱/۰۱٪ کاهش می‌یابد. نکته مهمی که باید بدان توجه شود آن است که در دوره سرما برای نمای دوپوسته بدون حضور سایه‌انداز و صرفاً با ایجاد یک سیستم غیرفعال خورشیدی، میزان مصرف انرژی گرمایشی سالیانه در فضای اداری مورد نظر صفر است. در حالی که در حضور

کرکره‌ای افقی و قائم در زوایای بهینه به‌دست‌آمده براساس روزهای نمونه گرم و سرد به کار رفته‌اند. بدین‌منظور تمامی زوایای بهینه دوره‌های زمانی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر شبیه‌سازی شده و میزان مصرف انرژی سالیانه برای هر یک از سایه‌اندازهای افقی و قائم متحرک محاسبه شده است.

نتایج صرف شبیه‌سازی‌ها حاکی از آن است که با متحرک‌کردن سایه‌اندازها، میزان مصرف انرژی سرمایشی در دوره سرما نسبت به سایه‌اندازهای ثابت افزایش می‌یابد. دلیل این امر آن است که در دوره سرما، سایه‌اندازها در زاویه‌ای بهینه به‌گونه‌ای قرار می‌گیرند تا با حداکثر جذب مستقیم خورشیدی توسط جداره داخلی، افزایش دمای حفره میانی و تقویت اثر گلخانه‌ای، میزان مصرف انرژی گرمایشی ساختمان را به حداقل میزان خود رساند، اما در شبیه‌سازی‌های نرم‌افزاری زمانی که دمای زون‌های حرارتی به‌دلیل اثر گلخانه‌ای بیشتر از 24°C شود، در نرم‌افزار دمای 24°C آستانه آسایش گرمایی تعریف شده است، سیستم‌های سرمایشی فعال شده و مصرف انرژی سرمایشی در دوره سرما نیز محاسبه می‌شود. در حالی که در واقعیت چنین عملی به‌منظور رسیدن به شرایط آسایش صورت نمی‌گیرد، بلکه با گشودن پنجره یا سایر بازشوها و بدون صرف انرژی سرمایشی دمای آسایش فراهم می‌شود. به عبارت دیگر اگر ملاک مقایسه را خروجی نرم‌افزاری بگیریم میزان انرژی سرمایشی در سایه‌انداز کرکره‌ای افقی متحرک $0/83\%$ نسبت به حالت ثابت خود افزایش می‌یابد اما اگر میزان مصرف انرژی سرمایشی در دوره سرما (۲۱ اکتبر تا ۵ مارس) صفر در نظر گرفته شود، میزان مصرف انرژی سرمایشی از $17/784$ کیلووات ساعت به $18/682$ کیلووات ساعت تقلیل می‌یابد. در این صورت، میزان مصرف انرژی سرمایشی کرکره‌های افقی متحرک نسبت به حالت ثابت خود 13% و نسبت به نمای دوپوسته بدون حضور سایه‌اندازها $60/89\%$ کاهش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی‌ها در بحث انرژی الکتریکی روشنایی مطلب غیرقابل پیش‌بینی دیگری را نشان می‌دهد. انتظار می‌رود با متحرک‌کردن سایه‌اندازها میزان نفوذ نور طبیعی به درون فضا افزایش یابد. این بحث در مقایسه سایه‌اندازهای ثابت و متحرک صادق بوده و به‌طور مثال انرژی الکتریکی روشنایی سایه‌اندازهای کرکره افقی متحرک $57/46\%$ نسبت به حالت ثابت خود کاهش می‌یابد. اما مصرف انرژی الکتریکی نسبت به نمای دوپوسته بدون سایه‌انداز با افزایشی در حدود $13/04\%$ روبه‌رو است. این مقدار افزایش به این دلیل است که سایه‌اندازها در دوره گرما به‌منظور کاهش جذب حرارتی و کاهش اثر نامطلوب گلخانه‌ای در دوره گرما که جزء مشکل اصلی نمای دوپوسته است، در زاویه‌ای قرار می‌گیرند تا نور کمتری نسبت به نبود سایه‌اندازها وارد فضا می‌شود. در شکل ۷، مقایسه تطبیقی از انرژی‌های مصرفی سرمایشی، الکتریکی روشنایی و گرمایشی و مجموع کل آنها برای نمای دوپوسته بدون و با حضور سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم ثابت و متحرک بهینه ارایه

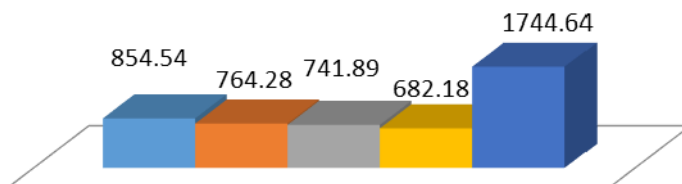
شده است.

در نمای دوپوسته بدون حضور سایه‌اندازها بار سرمایش در طول دوره گرما بسیار بالا بوده و عملکرد سالیانه نمای دوپوسته را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با حضور سایه‌اندازها بار سرمایش به میزان قابل توجهی کاهش یافته به‌گونه‌ای که در سایه‌اندازهای کرکره‌ای قائم ثابت و متحرک و سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی ثابت و متحرک، میزان بار سرمایش سالیانه به‌ترتیب $51/01\%$ ، $56/19\%$ ، $57/47\%$ و $60/89\%$ نسبت به نمای دوپوسته بدون سایه‌اندازها کاهش می‌یابد. سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی اعم از ثابت و متحرک نسبت به سایه‌اندازهای قائم بهینه‌تر هستند. در واقع سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی بنا بر حالت قرارگیری و همچنین زاویه تابش خورشید، همواره مانع بهتری نسبت به پرتوهای تابشی خورشیدی هستند.

در بحث روشنایی روند به گونه دیگری است. سایه‌انداز کرکره‌ای افقی به‌دلیل حالت قرارگیری و زاویه نسبت به تشعشعات خورشیدی، نسبت به تمامی حالات دیگر میزان مصرف انرژی الکتریکی روشنایی را افزایش می‌دهد به‌گونه‌ای که نسبت به نمای دوپوسته با سایه‌انداز افقی متحرک $57/46\%$ و نسبت به نمای دوپوسته با سایه‌انداز کرکره‌ای قائم متحرک و ثابت و نسبت به نمای دوپوسته بدون سایه‌انداز به‌ترتیب $60/64\%$ ، $62/01\%$ و $63/01\%$ میزان مصرف انرژی الکتریکی روشنایی بیشتر است. با حضور نمای دوپوسته در ساختمان اداری میزان مصرف انرژی گرمایشی در طول سال برابر صفر می‌شود. این بدین‌معنا است که دمای فضای داخلی ساختمان در طی دوره سرما از 22°C کمتر نشده و سیستم‌های گرمایشی فعال نخواهند نشد. اما سایه‌اندازهای ثابت کرکره افقی و قائم بهینه میزان مصرف انرژی گرمایشی را افزایش می‌دهد زیرا سایه‌اندازها در دوره سرما مانع جذب مستقیم تشعشعات خورشیدی توسط جداره داخلی حفره میانی می‌شوند. سایه‌اندازهای متحرک افقی و قائم بهینه پاسخ مناسب‌تری در طول زمستان فراهم می‌سازد. به‌طوری که مصرف انرژی گرمایشی سایه‌انداز کرکره‌ای قائم متحرک نسبت به سایه‌انداز افقی ثابت، متحرک و سایه‌انداز قائم ثابت به‌ترتیب $88/88\%$ ، $62/46\%$ ، $42/83\%$ کمتر بوده و بهینه‌ترین سایه‌انداز در کاهش بار گرمایشی است. در مجموع، برای میزان مصرفی سالیانه انرژی‌ها شامل سرمایش، الکتریکی روشنایی و گرمایش، عملکرد سایه‌اندازهای متحرک بهینه‌تر از حالت ثابت خود است. در این میان، سایه‌انداز کرکره افقی متحرک بهینه‌ترین حالت را شامل بوده و حداقل مصرف انرژی سالیانه را دارد. میزان مجموع انرژی مصرفی سایه‌انداز کرکره افقی متحرک، بهینه‌ترین گزینه پیشنهادی، نسبت به سایه‌انداز کرکره‌ای افقی ثابت $34/27\%$ ، نسبت به حالت کرکره‌ای قائم ثابت و متحرک به‌ترتیب $11/87\%$ و $1/37\%$ و نسبت به نمای دوپوسته بدون حضور سایه‌اندازها $50/69\%$ بهینه‌تر است.

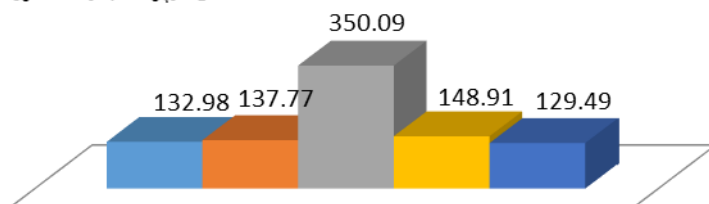
مقایسه تطبیقی میزان سالانه انرژی سرمایشی مصرفی

- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای قائم متحرک
- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای افقی متحرک
- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای قائم ثابت
- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای افقی ثابت
- نمای دوپوسته بدون حضور سایه اندازه‌ها



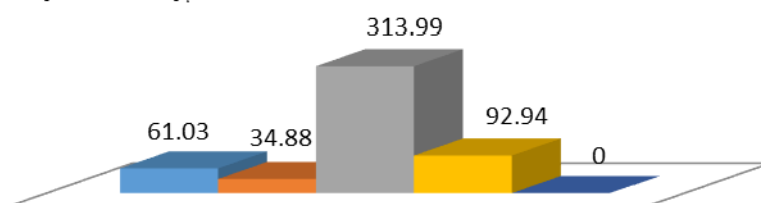
مقایسه تطبیقی میزان سالانه انرژی روشنایی مصرفی

- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای قائم متحرک
- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای افقی متحرک
- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای قائم ثابت
- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای افقی ثابت
- نمای دوپوسته بدون حضور سایه اندازه‌ها



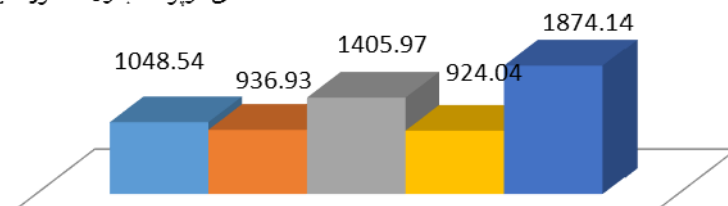
مقایسه تطبیقی میزان سالانه انرژی گرمایشی مصرفی

- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای قائم متحرک
- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای افقی متحرک
- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای قائم ثابت
- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای افقی ثابت
- نمای دوپوسته بدون حضور سایه اندازه‌ها



مقایسه تطبیقی میزان مجموع انرژی مصرفی سالانه

- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای قائم متحرک
- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای افقی متحرک
- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای قائم ثابت
- نمای دوپوسته با سایه اندازه‌های کرکره ای افقی ثابت
- نمای دوپوسته بدون حضور سایه اندازه‌ها



شکل ۷) مقایسه تطبیقی میزان مصرفی سالیانه انرژی اتاق اداری با نمای دوپوسته و سایه‌انداز

دوپوسته دالانی از قبیل چندطبقه یا محفظه عمودی انتخاب نموده و میزان بهروری انرژی آنها را با یکدیگر مقایسه نمود. در آخر، بررسی کارایی انرژی نمای دوپوسته تحت تاثیر هندسه سایر سایه‌اندازهای پیشرفته در نماهای متحرک همچون نماهای پنوماتیک و نماهای دیافراگمی می‌تواند به‌عنوان زمینه‌های تحقیقاتی آتی به شمار رود.

از محدودیت‌های مطالعه حاضر می‌توان به نوع کاربری، سیستم نمای دوپوسته و سایه‌انداز بررسی‌شده در تحقیق اشاره نمود. در ادامه تحقیق حاضر پیشنهاد می‌شود مطالعات عددی در کاربری‌های غیراداری و با توجه به نیاز روشنایی، گرمایش و سرمایش آنها انجام شود. از طرف دیگر، نوع سیستم نمای دوپوسته به‌جای پنجره جعبه‌ای را می‌توان از دیگر نماهای

نتیجه گیری

نما دوپوسته یکی از بهینه ترین گزینه ها در مدیریت تعامل انرژی بین فضای داخلی و خارجی ساختمان است. نمای دوپوسته به عنوان یک سیستم غیرفعال خورشیدی در دوره سرما بار گرمایشی ساختمان را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد، اما در دوره گرما با افزایش دما در حفره میانی بار سرمایشی ساختمان و به دنبال آن انرژی مصرفی سرمایشی را افزایش می دهد. استفاده از سایه اندازها راهکاری مناسب به منظور کاهش بار سرمایشی است. سایه اندازهای ثابت به میزان قابل توجهی از عملکرد نماهای دوپوسته در زمستان کاسته و مانع نفوذ تشعشعات خارجی و جذب مستقیم می شود. در عوض، می توان سایه اندازهای متحرک افقی یا قائم را در طول سال در زوایای بهینه قرار داد که حداکثر نور طبیعی ورودی با حداقل جذب مستقیم همراه باشد. در زاویه بهینه ای میزان بار سرمایشی و بار روشنایی الکتریکی در طول دوره گرما کمینه می شود.

در این مقاله، فضای اتاق اداری واقع در تهران در نرم افزار راینو مدل سازی شده و سپس مدل پارامتریک سایه اندازها در پلاگین گرس هاپر ایجاد شده است. سپس، با انجام شبیه سازی های پارامتریک انرژی در افزونه دیوا، زوایای بهینه برای هر دو نوع سایه انداز کرکره افقی و قائم برای نمای تک پوسته تعیین شده است. در ادامه، هر یک از سایه اندازهای افقی و قائم ثابت و متحرک با زوایای بهینه مربوطه برای نمای دوپوسته به نرم افزار دیزاین بیلدر وارد شده و شبیه سازی انرژی صورت گرفته است، در شبیه سازی های انجام شده برای هر یک از سایه اندازها، میزان مصرف سالیانه انرژی سرمایشی، الکتریکی روشنایی و گرمایشی محاسبه و در نهایت با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج شبیه سازی ها حاکی از آن است که عملکرد سایه اندازهای متحرک بهینه تر از حالت ثابت خود است. در این میان، سایه انداز کرکره افقی متحرک نیز بهینه ترین حالت را شامل بوده و حداقل مصرف انرژی سالیانه را دارد. میزان مجموع انرژی مصرفی سایه انداز کرکره افقی متحرک، بهینه ترین گزینه پیشنهادی، نسبت به سایه انداز کرکره ای افقی ثابت ۳۴/۲۷٪، نسبت به حالت کرکره ای قائم ثابت و متحرک به ترتیب ۱۱/۸۷٪ و ۱/۳۷٪ و نسبت به نمای دوپوسته بدون حضور سایه اندازها ۵۰/۶۹٪ بهینه تر است.

تشکر و قدردانی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

تاییدیه اخلاقی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

منابع مالی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

- 1- Zhou J, Chen Y. A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China. *Renew Sustain Energy Rev.* 2010;14(4):1321-8.
- 2- Gratia E, De Herde A. Greenhouse effect in double-skin facade. *Energy Build.* 2007;39(2):199-211.
- 3- Hashemi N, Fayaz R, Sarshar M. Thermal behavior of a ventilated double skin facade in hot arid climate. *Energy Build.* 2010;42(10):1823-32.
- 4- W. Lou W, Huang M, Zhang M, Lin N. Experimental and zonal modeling for wind pressures on double-skin facades of a tall building. *Energy Build.* 2012;54:179-91.
- 5- Zhou J, Chen Y. A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China. *Renew Sustain Energy Rev.* 2010;14(4):1321-8.
- 6- Ghadamian H, Ghadimi M, Shakouri M, Moghadasi M, Moghadasi M. Analytical solution for energy modeling of double skin façades buildings. *Energy Build.* 2012;50:158-65.
- 7- Ghadimi M, Ghadamian H, Hamidi AA, Shakouri M, Ghahremanian S. Numerical analysis and parametric study of the thermal behavior in multiple-skin façades. *Energy Build.* 2013;67:44-55.
- 8- Mateus MN, Pinto A, Graca G. Validation of EnergyPlus thermal simulation of a double skin naturally and mechanically ventilated test cell. *Energy Build.* 2014;75:511-22.
- 9- M. Farrokhzad, Z. Nayeibi. Double skin glass façade and its effect on saving energy. *Int J Archit Eng Urban Plan.* 2014;24(2):65-74.
- 10- Stec WJ, Van Paassen AHC, Maziarz A. Modelling the double skin façade with plants. *Energy Build.* 2005;37(5):419-27.
- 11- Yao J. An investigation into the impact of movable solar shades on energy, indoor thermal and visual comfort improvements. *Build Environ.* 2014;71:24-32.
- 12- Tzempelikos A, Athienitis A. The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. *Solar Energy.* 2007;81(3):369-82.
- 13- Al Dakheel J, Aoul K. Building Applications, opportunities and challenges of active shading systems: A state-of-the-art review. *Energ.* 2017;10(10):1672.
- 14- Lee DS, Koo SH, Seong YB, Jo JH. Evaluating thermal and lighting energy performance of shading devices on kinetic façades. *Sustain.* 2016;8(9):883.