ISSN: 2538-2594; Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2019;9(2):135-144

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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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

Copyright© 2019, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

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
پوسته‌ها 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 ۵متر و به ارتفاع ۳متر 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 به‌ترتیب 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

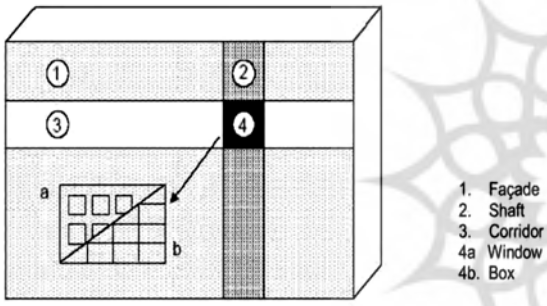
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۵
*نویسنده مسئول: y.shahbazi@tabriziau.ac.ir

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].

پوسته‌های 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, 3].

روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی سیستم نماهای دوپوسته وجود دارد. این سیستم‌ها را می‌توان براساس روش ساخت، مبدا، 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 معماری‌کنان 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 تهرن 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

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 گرما 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 کرکره‌ای، 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 تاثیر بسزایی در عملکرد حرارتی ساختمان دارند. این مطلب برای نمای دوپوسته از اهمیت دو چندانی 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 گرس‌هاپر ایجاد شده است. سپس، با انجام شبیه‌سازی‌های پارامتریک انرژی در افزونه دیوا و نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر ٤/٥/٠/١٤٨، زوایای بهینه هر یک از سایه‌اندازهای افقی و قائم ثابت و متحرک به همراه میزان انرژی‌های مصرفی آنها برای نمای تک پوسته و دوپوسته تعیین و با یکدیگر مقایسه شدند.

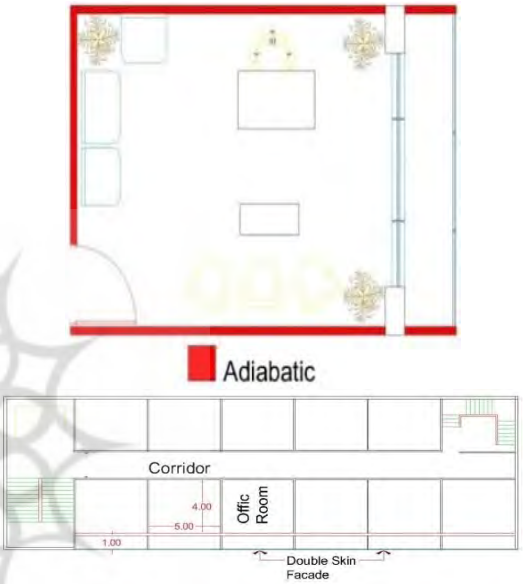
دلیل تاکید این مقاله بر سایه‌اندازهای متحرک افقی و قائم نسبت به نوع ثابت آنها آن است که بیشینه کاهش بار سرمایشی در دوره گرما زمانی محقق می‌شود که سایه‌اندازهای افقی یا قائم کاملاً بسته باشند. اما در این حالت، به‌منظور تامین روشنایی فضای داخلی، بار الکتریکی روشنایی بیشتری تحمیل می‌شود. در نتیجه به‌جای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

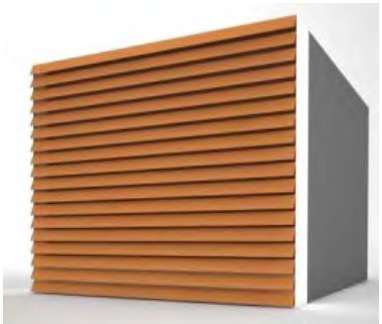
در مدل‌سازی، یک فضای اداری استاندارد با ابعاد ٤×٥متر و به ارتفاع ۳متر با پنجره‌ای رو به جنوب مورد بررسی قرار گرفته است. در داخل اتاق، یک میز تحریر به ابعاد ۱/۲×۰/۷۰متر، ارتفاع ۰/۹۰متر و به فاصله ۱/۲متر از پنجره تعبیه شده است. دیوار ضلع جنوبی به ضخامت ۰/۳۰متر و از جنس آجر است. ۷۰% دیوار اتاق را پنجره‌ای تشکیل می‌دهد که ارتفاع کف پنجره ۰/۹۰متر و ارتفاع کل پنجره ۲/۱۰متر است. شیشه پنجره تک‌جداره و به ضخامت ٦میلی‌متر در نظر گرفته شده است. جداره‌های اطراف پارتیشن‌های ۱۰سانتی‌متر 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

مفروض را می‌توان این گونه تصور نمود که اتاق اداری در طبقات ساختمان به‌گونه‌ای 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 به‌همراه جداره‌های حرارتی آدیاباتیک آن ارایه 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].



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 ٤ سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم نشان داده شده‌اند.



شکل ۳) سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی

شکل ۴) سایه‌اندازهای کرکره‌ای قائم

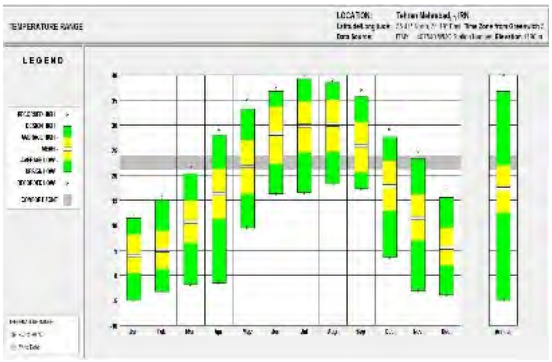
در این مقاله پانل‌های مستطیلی از جنس آلومینیوم فرض شده‌اند. سایه‌اندازهای مدل‌سازی‌شده شامل ۱۸ عدد کرکره متحرک به عرض ۱۷سانتی‌متر و ضخامت یک‌سانتی‌متر هستند. کرکره‌ها به رنگ روشن با ضریب جذب ۰/۱۷ و ضریب انعکاس ۰/۳۵ می‌باشند. کرکره‌های افقی می‌توانند در راستای عمودی از صفر تا ۹۰ درجه و کرکره‌های قائم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

۳- انتخاب سایت، روزهای گرم و سرد نمونه

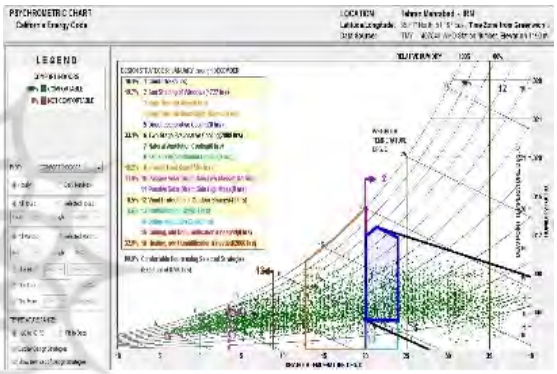
برای بررسی تاثیر وجود یا عدم وجود سایه‌اندازها و مقایسه هر چه دقیق‌تر عملکرد آنها بر میزان انرژی مصرفی ساختمان با نمای دوپوسته، سایت انتخابی باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که نیازهای سرمایش و گرمایش یکسانی داشته باشد. این ضابطه به این دلیل در نظر گرفته می‌شود تا نمای دوپوسته پاسخ‌گوی هر دو شرایط گرما و سرما باشد. در نتیجه با توجه به نتایج برنامه تحلیل اقلیمی کلایمت کنسالت، که در شکل ۵ ارایه شده است، محل قرارگیری ساختمان در منطقه مهرآباد تهران انتخاب شد. منطقه انتخابی دارای دوره گرما 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 به‌واسطه سایه‌بان‌های خورشیدی و ١٤/٧% اوقات به‌وسیله 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 ۲۰۰لوکس 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.

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

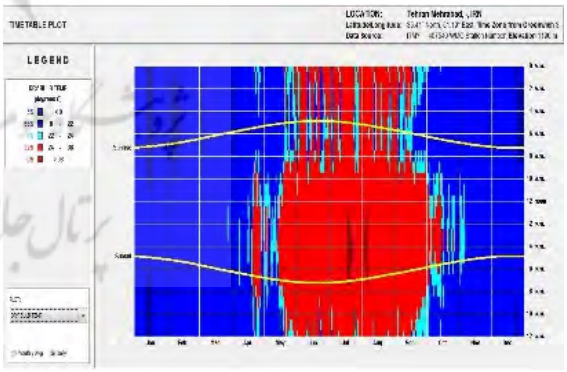
در مقابل، روزهای سرد نمونه انتخابی شامل ۲۱ اکتبر، ۵ و ۲۱ نوامبر، ۵ و ۲۱ دسامبر، ۵ و ۲۱ ژانویه، ۵ و ۲۱ فوریه، ۵ و ۲۱ مارس و ۵ آپریل هستند.



نمودار میانگین دمای ماهانه و سالیانه



نمودار سایکرومتریک و محدوده آسایش

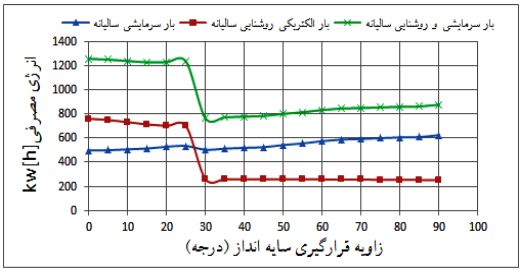


نمودار دمای هوای خشک سالیانه

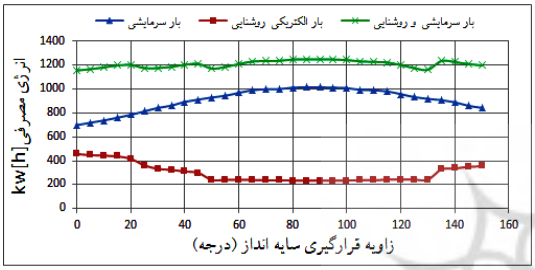
شکل ۵) اطلاعات هواشناسی تهران

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 کرکره‌ای افقی و قائم ثابت برای نمای تک‌پوسته است. در این قسمت، هدف تعیین زاویه بهینه برای هر یک از سایه‌اندازها در آنالیز انرژی 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 کرکره‌ای ثابت افقی و عمودی ارایه شده است.



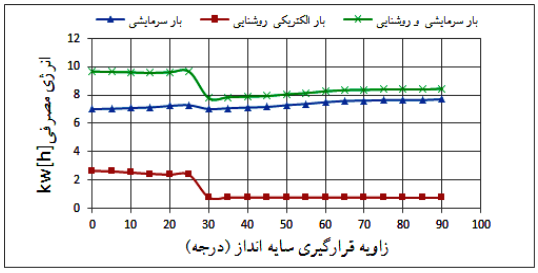
نمودار ۱) میزان مصرف انرژی سالیانه با لوورهای افقی ثابت



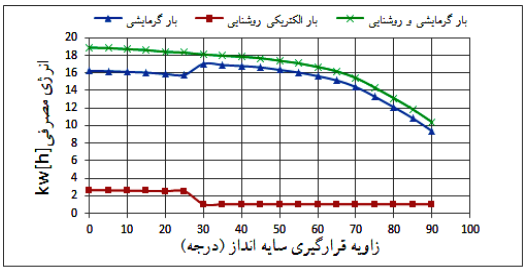
نمودار ۲) میزان مصرف انرژی سالیانه با لوورهای افقی قائم

نتایج حاکی از آن است که زاویه بهینه برای سایه‌اندازهای کرکره‌ای 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 کرکره‌ها 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.

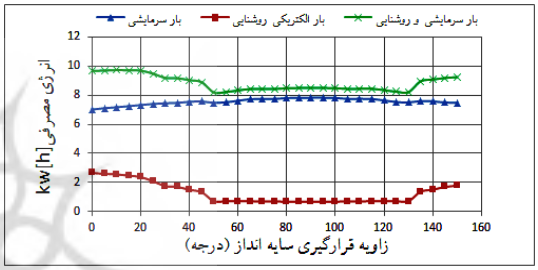
در این مقاله، زاویه بهینه و مصرف انرژی ماهیانه به‌ازای هر ۵ درجه چرخش سایه‌اندازهای افقی و قائم ثابت در ۲۴ روز گرم و سرد انتخابی تعیین شده است. در این مرحله نیز معیار انتخاب زاویه بهینه در دوره گرما مانند مرحله قبل بوده ولی معیار انتخاب زاویه بهینه در دوره سرما مقدار مجموع بار گرمایشی و روشنایی الکتریکی 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 کرکره‌های افقی و قائم ارایه شده است.



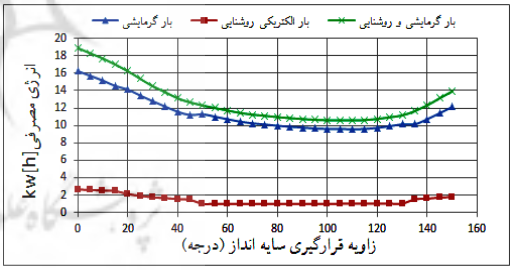
نمودار ۳) میزان مصرف انرژی در ۵ آگوست با لوور افقی



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 ماه‌های سال می‌توان بیان نمود که که کرکره‌های افقی در تمامی روزهای گرم نمونه به‌ازای زاویه ۲۷ درجه، در روزهای سرد نمونه ۲۱ اکتبر و ۵ نوامبر به‌ترتیب در ۸۵ و ۷۰ درجه و برای سایر روزهای نمونه سرد در زاویه ۹۰ درجه در بهینه‌ترین حالت خود قرار می‌گیرند. به‌طور مشابه می‌توان زوایای بهینه در روزهای نمونه گرم و سرد را برای کرکره قائم تعیین نمود. برای کرکره‌های قائم، تغییرات بیشتری برای زوایای بهینه به دست آمده است. زاویه بهینه در بازه ۵ و ۲۱ آپریل ۱۳۰ درجه، ۲۲ آپریل تا ۲۰ اکتبر ۵۰ درجه، ۲۱ اکتبر تا ٤ نوامبر ۳۰ درجه، ۵ تا ۲۰ نوامبر ۵۰ درجه، ۲۱ نوامبر تا ٤ دسامبر۱۳۰ درجه، ۵ دسامبر تا ۲۰ دسامبر ۱۲۵ درجه، ۲۱ دسامبر تا ٤ ژانویه۱۰۵ درجه، ۵ ژانویه تا ۲۰ ژانویه ۱۰۰ درجه، ۲۱ ژانویه تا ٤ فوریه ۱۱۰ درجه، ۵ فوریه تا ۲۰ فوریه ۱۰۰ درجه، ۲۱ فوریه تا ۲۰ مارس ۱۱۵ درجه و در دوره ۲۱ مارس تا ٤ آپریل ۱۱۰ درجه به دست آمده است.

تمامی آنالیزهای انجام‌شده در قسمت فوق و مقایسه بین انرژی مصرفی سالیانه هر یک از حالات موردنظر به‌طور جامع در جدول ۱ ارایه شده است. با نگاهی به این جدول می‌توان اثرات سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم ثابت و متحرک بر میزان مصرف انرژی سالیانه و بهره‌وری ساختمان اداری مورد نظر با نمای تک‌پوسته را به‌صورت زیر بیان نمود:

۱) با استفاده از سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی در زاویه بهینه ثابت ۳۰ درجه، مجموع انرژی مصرفی در حدود ۵/۹۰% نسبت به حالت سایه‌اندازهای کرکره‌ای قائم با زاویه بهینه ثابت ۵۰ درجه، کاهش می‌یابد.

۲) قرارگیری سایه‌اندازها در زوایای بهینه متحرکی که از نتایج آنالیز روزهای نمونه به دست آمده‌اند، تاثیر مثبتی در کاهش مصرف انرژی سالیانه نسبت به حالت ثابت آنها خواهند داشت. به‌نحوی که کرکره‌های متحرک افقی و قائم با زوایای بهینه ماهیانه نسبت به حالت ثابت خود به‌ترتیب در حدود ۸/۷۹% و ۲/۲٦% به کاهش مصرف انرژی کمک می‌کنند.

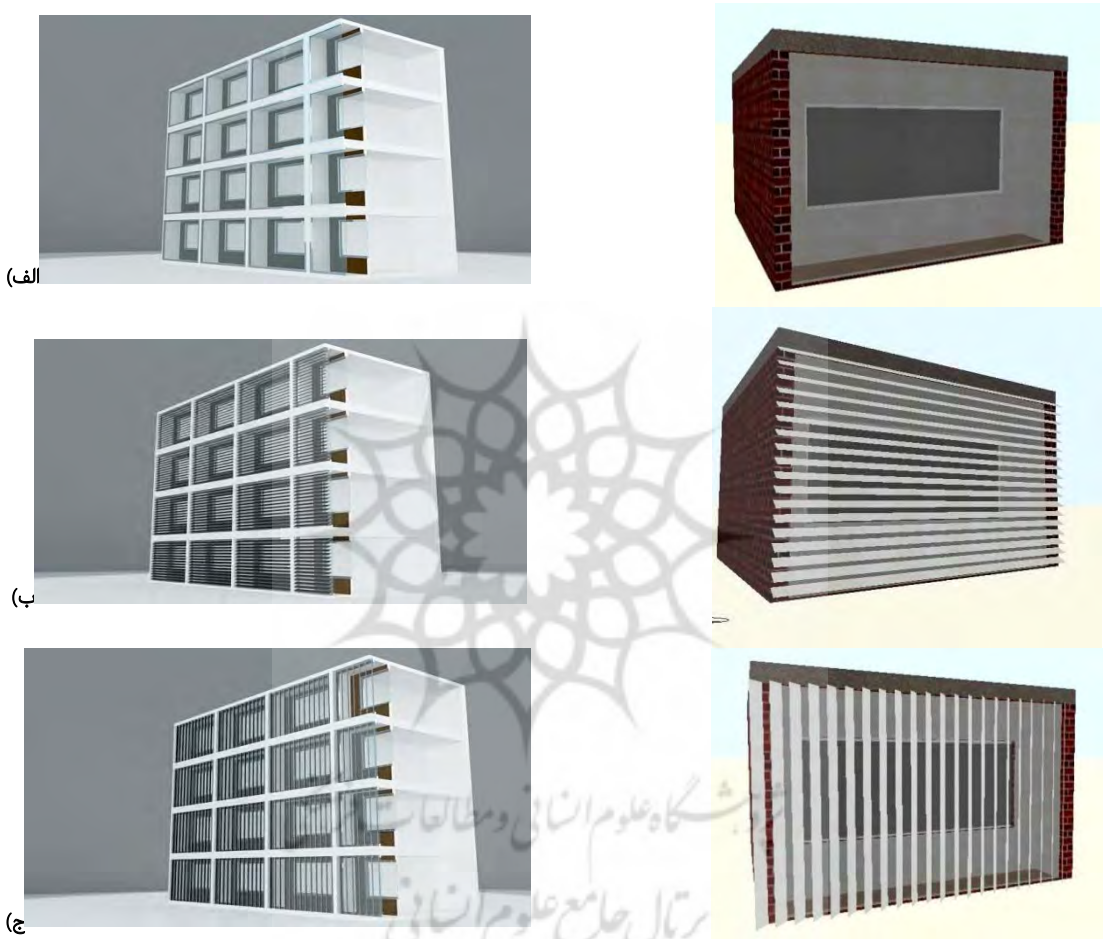
۳) در میان دو حالت کرکره‌های افقی و قائم متحرک، انتخاب سایه‌انداز کرکره‌ای متحرک افقی مقرون به صرفه‌تر خواهد بود زیرا نسبت به حالت قائم متحرک در حدود ٦/۱۸% مصرف انرژی سالیانه را کاهش می‌دهد.

آخرین مرحله از آنالیزهای حرارتی صورت‌گرفته که شالوده مقاله را در بر دارد، آنالیز حرارتی ساختمان اداری مورد نظر با نمای دوپوسته در حضور سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم برای هر دو حالت ثابت و متحرک است. در واقع، در این قسمت تمامی آنالیزهای مراحل قبل به‌جای نمای تک‌پوسته، برای نمای دوپوسته بررسی شده است تا اثر همزمان نمای دوپوسته و سایه‌اندازها در کاهش مصرف انرژی سالیانه و میزان بهره‌وری انرژی اتاق اداری مورد نظر ارزیابی شود. از آنجایی که نرم‌افزار پارامتریک دیوا، قادر به آنالیز و شبیه‌سازی یک زون حرارتی است، ناچار به استفاده از نرم‌افزار دیگری هستیم که ضمن برخورداری از موتور شبیه‌ساز انرژی یکسان (انرژی پلاس) بتواند نمای دوپوسته را مدل‌سازی نماید. از این رو، نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر به‌دلیل وجود قابلیت مدل‌سازی حفره میانی نمای دوپوسته در پیش‌فرض‌های آن انتخاب شد. در مدل‌سازی فضای اداری در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر نیز، همانند مرحله مدل‌سازی نمای تک‌پوسته، علاوه بر جداره‌های کناری، سقف و کف نمونه مورد آنالیز، جداره‌های اطراف حفره میانی نیز بی در رو در نظر گرفته شده است. در این صورت، انتقال حرارت از جداره‌های کناری حفره بسیار ناچیز فرض شده و تنها از جداره بیرونی جذب یا پرت حرارتی وجود خواهد داشت. مدل‌سازی 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 جعبه‌ای هم‌دما است. اتاق اداری

مورد نظر با نمای دوپوسته بدون و با حضور سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی ۳۰ درجه و قائم ۵۰ درجه (سمت چپ) و مدل‌سازی آنها در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر (سمت راست) در شکل ٦ نشان داده شده است.

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

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



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

در اولین مرحله از شبیه‌سازی‌های پارامتریک انرژی برای نمای دوپوسته، سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم ثابت در زوایای بهینه آنها، به‌ترتیب ۳۰ و ۵۰ درجه، به کار رفته‌اند. با حضور سایه‌اندازهای ثابت، میزان مصرف انرژی سرمایشی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد به‌گونه‌ای که میزان مصرف انرژی سرمایشی سالیانه با حضور سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم بهینه ثابت به‌ترتیب 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 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 ۰/۶۳% و در سایه‌اندازهای کرکره‌ای قائم ۲/۶۳% 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 به‌مراتب بیشتر از حالت حضور سایه‌اندازهای افقی و قائم است.

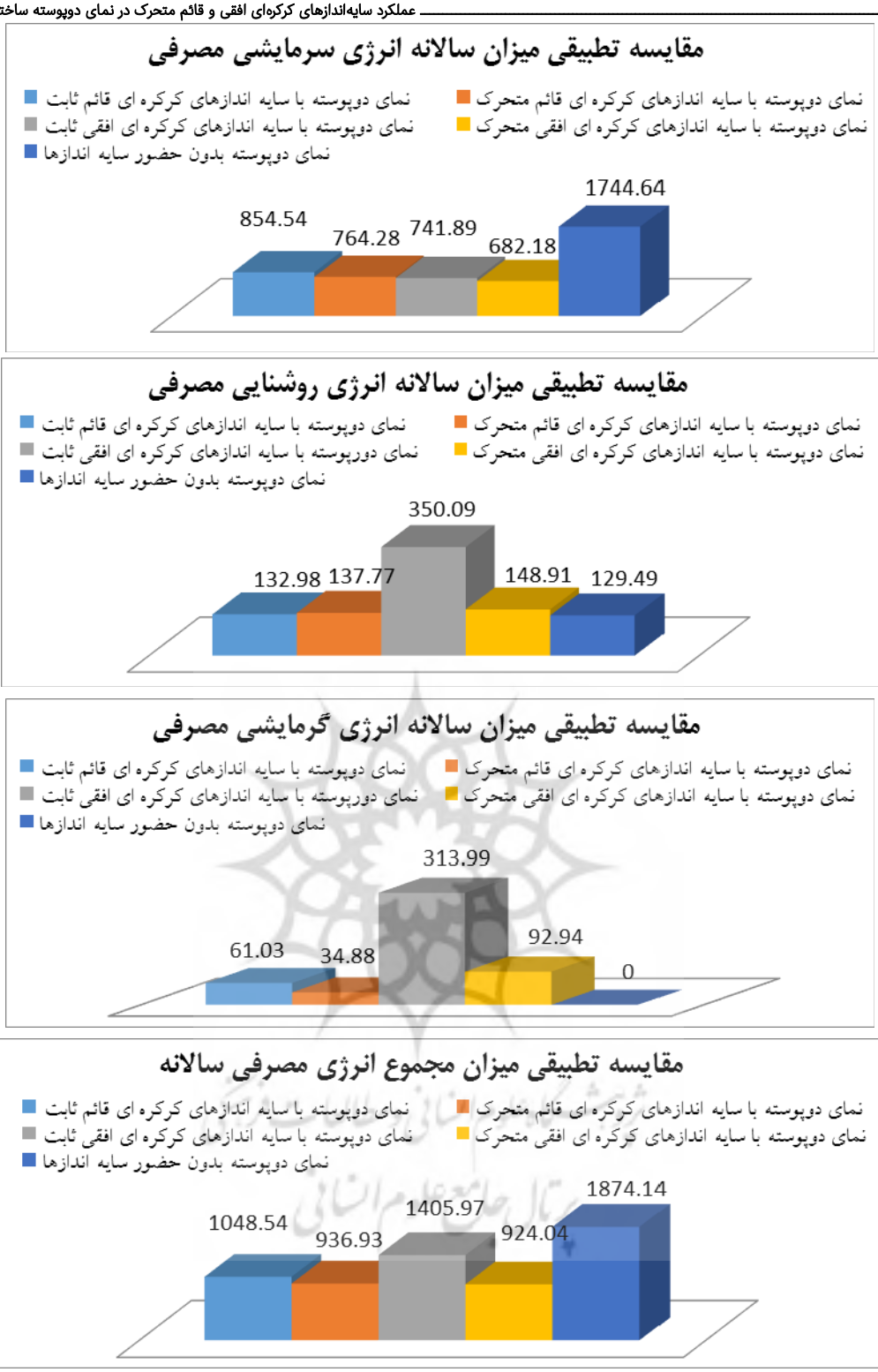
در مرحله دوم از آنالیزهای حرارتی نمای دوپوسته، سایه‌اندازهای

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 ۲۴°C شود، در نرم‌افزار دمای ۲۴°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 ۰/۸۳% 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 ۱۷/۷۸۴کیلووات ساعت به ۱۸/۶۸۲کیلووات ساعت تقلیل می‌یابد. در این صورت، میزان مصرف انرژی سرمایشی کرکره‌های افقی متحرک نسبت به حالت ثابت خود ۱۳% و نسبت به نمای دوپوسته بدون حضور سایه‌اندازها ۶۰/۸۹% 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 ۵۷/۴۶% نسبت به حالت ثابت خود کاهش می‌یابد. اما مصرف انرژی الکتریکی نسبت به نمای دوپوسته بدون سایه‌انداز با افزایشی در حدود ۱۳/۰۴% 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 ۵۱/۰۱%، ۵۶/۱۹%، ۵۷/۴۷% و ۶۰/۸۹% 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 ۵۷/۴۶% و نسبت به نمای دوپوسته با سایه‌انداز کرکره‌ای قائم متحرک و ثابت و نسبت به نمای دوپوسته بدون سایه‌انداز به‌ترتیب ۶۰/۶۴%، ۶۲/۰۱% و ۶۳/۰۱% 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 ۲۲°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 ۸۸/۸۸%، ۶۲/۴۶%، ۴۲/۸۳ % 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 ۳۴/۲۷%، نسبت به حالت کرکره‌ای قائم ثابت و متحرک به‌ترتیب ۱۱/۸۷% و ۱/۳۷% و نسبت به نمای دوپوسته بدون حضور سایه‌اندازها ۵۰/۶۹% بهینه‌تر است.



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

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 دوپوسته دالانی از قبیل چندطبقه یا محفظه عمودی انتخاب نموده و میزان بهروری انرژی آنها را با یکدیگر مقایسه نمود. در آخر، بررسی کارآیی 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نتیجه‌گیری

نما دوپوسته یکی از بهینه‌ترین گزینه‌ها در مدیریت تعامل انرژی بین فضای داخلی و خارجی ساختمان است. نمای دوپوسته به‌عنوان یک سیستم غیرفعال خورشیدی در دوره سرما بار گرمایشی ساختمان را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد، اما در دوره گرما با افزایش دما در حفره میانی بار سرمایشی ساختمان و به‌دنبال آن انرژی مصرفی سرمایشی را افزایش می‌دهد. استفاده از سایه‌اندازها راهکاری مناسب به‌منظور کاهش بار سرمایشی است. سایه‌اندازهای ثابت به میزان قابل توجهی از عملکرد نماهای دوپوسته در زمستان کاسته و مانع نفوذ تشعشعات خارجی و جذب مستقیم می‌شود. در عوض، می‌توان سایه‌اندازهای 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 بهینه‌ای میزان بار سرمایشی و بار روشنایی الکتریکی در طول دوره گرما کمینه می‌شود.

در این مقاله، فضای اتاق اداری واقع در تهران در نرم‌افزار راینو مدل‌سازی شده و سپس مدل پارامتریک سایه‌اندازها در پلاگین گرس‌هاپر ایجاد شده است. سپس، با انجام شبیه‌سازی‌های پارامتریک انرژی در افزونه دیوا، زوایای بهینه برای هر دو نوع سایه‌انداز کرکره افقی و قائم برای نمای تک‌پوسته تعیین شده است. در ادامه، هر یک از سایه‌اندازهای افقی و قائم ثابت و متحرک با زوایای بهینه مربوطه برای نمای دوپوسته به نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر وارد شده و شبیه‌سازی انرژی صورت گرفته است، در شبیه‌سازی‌های انجام شده برای هر یک از سایه‌اندازها، میزان مصرف سالیانه انرژی سرمایشی، الکتریکی روشنایی و گرمایشی محاسبه و در نهایت با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج شبیه‌سازی‌ها حاکی از آن است که عملکرد سایه‌اندازهای متحرک بهینه‌تر از حالت ثابت خود است. در این میان، سایه‌انداز کرکره افقی متحرک نیز 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 ۳٤/۲۷%، نسبت به حالت کرکره‌ای قائم ثابت و متحرک به‌ترتیب ۱۱/۸۷% و ۱/۳۷% و نسبت به نمای دوپوسته بدون حضور سایه‌اندازها ۵۰/۶۹% بهینه‌تر است.

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

تاییدیه‌اخلاقی: 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. Nayebi. 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.