Research on The Sustainabillity of Place
Vol. 1, No. 1, Spring & Summer 2024, pp.164-182

# Investigating the Effect of the Distance between the Two-shell facades on the Thermal Load in an Office Building in the Hot and Dry Climate of Isfahan City

**Niloufer Adhamian Esfahani[1], Maryam Farhadian[2], Afroz Rahimi Aryai[3]**

1. Master's degree, Architecture and Energy, Advanced Scholars Institute of Higher Education, Isfahan, Iran (corresponding author)
2. Post-doctoral researcher of Tokyo City University, Tokyo, Japan and visiting assistant professor of architecture department, non-profit non-governmental leading scholars, Isfahan, Iran
3. Assistant Professor of the Department of Architecture, Non-Governmental Non-Profit Higher Education Sepehr Danesh Mazares, Isfahan, Iran

Received: 2023/11/05
Accepted: 2024/04/22

Research Paper

**Abstract**

In modern architecture, the transition from load-bearing wall systems to frame structures has enabled increased transparency to enhance natural light intake in buildings. However, the increased use of glass surfaces has led to higher energy consumption and increased heat loss in buildings. This challenge is more significant in cold and hot climates with higher temperature differentials. In this regard, one cost-effective technique in passive methods is the implementation of double-skin facades in buildings. The use of double-skin facades as a novel technology for energy savings in contemporary buildings has a significant impact on determining optimal facade behavior. The main issue addressed in this research is the assessment of the thermal load and the performance of the building envelope in heat exchange. Therefore, the main objective of this study is to achieve the optimal distance between the double skins to improve the thermal load of office buildings in the hot and dry climate of Isfahan city. This paper extracts the influential components on the thermal performance of the outer walls of office buildings based on theoretical foundations and then identifies scenarios accordingly. The software used for simulation in this research is Design Builder. Eventually, ten different scenarios of the distance between the double skins ranging from 200 millimeters to 200 centimeters in the south direction of the building were analyzed for thermal performance, and the best scenario was selected. The results indicate that the distance between the double skins has a considerable impact on thermal load performance. In fact, with an increase in the distance between the double skins, the thermal load decreases. Based on the analyses, the optimal system in terms of overall loads is a double-skin facade with a 2-meter distance between the two skins. These findings can be useful in the design of office buildings in hot and dry climates.

**Keywords:** Energy consumption reduction, Office building, Double-skin facade, Thermal load, Cavity depth, Hot and dry climate.

* **Corresponding author's Email**: niloofaradhamian@gmail.com

DOI: 10.30486/RSP.2024.1127417

پژوهش‌های پایداری مکان
دورهٔ اول، شمارهٔ اول، بهار و تابستان ۱۴۰۳، صفحهٔ ۱۸۲-۱۶۴

# ارزیابی تأثیر میزان فاصله‌ی دوجدار در نماهای دوپوسته بر میزان بار حرارتی در یک ساختمان اداری در اقلیم گرم خشک شهر اصفهان

**نیلوفر ادهمیان اصفهانی[۱]، مریم فرهادیان[۲]، افروز رحیمی آریایی[۳]**

۱.کارشناسی‌ارشد، معماری و انرژی، موسسه آموزش عالی دانش‌پژوهان پیشرو، اصفهان، ایران (نویسنده مسئول).
۲.پژوهشگر پسادکتری دانشگاه توکیو سیتی، توکیو، ژاپن و استادیار مدعو گروه معماری، غیرانتفاعی غیردولتی دانش‌پژوهان پیشرو، اصفهان، ایران.
۳.استادیار گروه معماری، آموزش عالی غیرانتفاعی غیردولتی سپهر دانش معاصر اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۳

**مقاله پژوهشی**

## چکیده

در معماری مدرن با تغییر سیستم دیوار باربر به سیستم تیر و ستونی، امکان افزایش شفافیت به‌منظور بالابردن کیفیت دید و دریافت نور طبیعی در ساختمان، فراهم و افزایش سطح شیشه، باعث بالا رفتن مصرف انرژی و اتلاف بیشترِ دما در ساختمان‌ها شده است. این چالش در اقلیم‌های سرد و گرم که تبادل دما بالاتر است، اهمیت بیشتری دارد. در این راستا یکی از تکنیک‌های به‌صرفه در روش‌های غیرفعال، دوپوسته‌سازی ساختمان‌ها است. استفاده از نماهای دوپوسته به‌عنوان یک فناوری نوین، درجهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌های امروزی، تأثیر بسزایی در تعیین رفتار بهینه نما دارد. مسئله اصلی این پژوهش، بررسی میزان بار حرارتی و عملکرد پوسته‌ی ساختمان در تبادل حرارتی است؛ لذا هدف اصلی این تحقیق، دستیابی به فاصله‌ی بهینه میان دوپوسته، جهت بهبود بار حرارتیِ ساختمانِ اداری در اقلیم گرم و خشکِ شهر اصفهان است. در این نوشتار، مؤلفه‌های اثرگذار بر عملکرد حرارتی جداره‌های بیرونی ساختمان‌های اداری، بر اساس مبانی نظری، استخراج و سپس بر اساس آن، سناریوها مشخص‌شده‌اند. ابزار مورداستفاده در این پژوهش جهت شبیه‌سازی، نرم‌افزار دیزاین بیلدر است. درنهایت ۱۰ سناریو متفاوت از فاصله میان دوپوسته از ۲۰۰ میلی‌متر تا ۲۰۰ سانتی‌متر در جهت جنوبی ساختمان ازنظر عملکرد حرارتی مورد تحلیل قرار گرفت و بهترین سناریو انتخاب شد. نتایج نشان داد که فاصله‌ی میان دوپوسته، تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد بار حرارتی دارد؛ درواقع با افزایش فاصله‌ی میان دوپوسته، بار حرارتی کاهش می‌یابد. بر اساس بررسی‌ها، بهینه‌ترین سامانه از نظر مجموع بارها، نمای دوپوسته با فاصله‌ی ۲ متری بین دوپوسته بوده است. این یافته‌ها می‌تواند در طراحی ساختمان اداری در اقلیم گرم‌وخشک مفید باشد.

**کلمات کلیدی:** کاهش مصرف انرژی، ساختمان اداری، نمای دوپوسته، بار حرارتی، حفره میانی، اقلیم گرم‌وخشک.

* **نویسنده مسئول**: niloofaradhamian@gmail.com

DOI: 10.30486/RSP.2024.1127417

**مقدمه**

مصرف انرژی در صنایع مختلف کشور طی سال‌های گذشته، همواره روند روبه رشدی داشته است؛ در این میان، ساختمان‌های اداری، به‌عنوان فضایی عمومی که هر روز، با کاربران، ارتباط مستقیم دارند، سهم عمده‌ای در مصرف انرژی دارند (Zolfaghari, et al., 2015). ساختمان‌های اداری به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در بخش ساختمان‌ها محسوب می‌شوند؛ با ارائه راه‌حل‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی، ارتقای اثربخشی و تغییر الگوی بهره‌برداری، می‌توان با کاهش میزان انرژی مصرفی، آسایش موردنظر را در این کاربری به وجود آورد (خدا رحمی و قبادی، ۱۳۹۵). بحران انرژی و افزایش آلودگی ناشی از مصرف بیش‌ازاندازه منابع انرژی تجدید پذیر در ساختمان‌ها، اثر منفی بر محیط‌زیست و آسایش کاربران داشته است؛ ازاین‌رو معماران به دنبال ارائه‌ی راهکارهای طراحی، جهت کاهش مصرف انرژی‌های تجدید پذیر در ساختمان‌ها هستند. این راهکارها که علاوه‌بر مزایای اقتصادی، مناقع ساختمانی را نیز بهبود می‌بخشد و در سه زیرمجموعه طراحی‌های ایستا، پویا و دینامیک خلاصه می‌شوند (رسولی و همکاران، ۱۳۹۸)؛ در این میان، طراحی‌های ایستا به دلیل سهولت اجرا، صرفه اقتصادی کوتاه‌مدت و سرعت اجرا، موردتوجه بسیاری از معماران و کارفرمایان بوده‌است؛ در این‌گونه از طراحی‌ها، به‌جای استفاده از فناوری‌های نوین و صرف هزینه اولیه‌ی گزاف، جهت تولید منابع جایگزین، از راهکارهای مقرون‌به‌صرفه، مانند طراحی‌های ساختمان‌های همساز با اقلیم به‌منظور به‌حداقل رساندن مصرف انرژی، استفاده می‌شود (Salameh, et al., 2020). در جریان بحران انرژی و توجه به مصرف بهینه‌ی آن، به‌خصوص در روش طراحی ایستا، جداره‌های خارجی، بنا به یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های تأثیرگذار در طراحیِ تمام کاربری‌ها، ازجمله کاربری‌های اداری، تبدیل‌گشته است؛ چراکه بیشتر تبادلات انرژی در ساختمان متعلق یا حداقل مرتبط با پوسته‌ی خارجی ساختمان است. پوسته بیرونی، محل تبادل، جذب انرژی‌های خورشیدی، تهویه، نفوذ نور و صدا به محیط داخلی است که با افزایش نسبت سطح آن‌ها میزان تبادل انرژی نیز در آن‌ها افزایش پیدا می‌کند (Hadianpour, et al., 2013). در ساختمان‌های اداری، جدارهای شفاف خارجی بنا، یکی از مهم‌ترین عناصر به‌منظور، دریافت نور روز و استفاده از منظره بیرونی، برای کارمندان می‌باشد. درعین‌حال پوسته‌ی ساختمان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع دریافت نور و انرژی خورشید، در مقایسه با سایر اجزای ساختمان، تأثیر قابل‌توجهی بر سرمایش و-گرمایش و کاهش مصرف انرژی دارند و به‌عنوان یک سیستم غیرفعال خورشیدی در فصول سرد، باعث کاهش بار گرمایشی در این ساختمان‌ها می‌شوند. سازوکار نماهای دوپوسته به این صورت است که این نماها دارای حداقل دوپوسته هستند و حدفاصل این دوپوسته، مسیری برای تهویه و جابه‌جایی هوا است. تهویه در این نماها معمولاً از نوع طبیعی یا مکانیکی است (Poirazis, 2004).

نماهای ساختمان از بخش‌های مهمی هستند که به‌طور قابل‌توجهی بر عملکرد حرارتی ساختمان تأثیر می‌گذارد و با افزایش سطح شفاف پوسته‌ی ساختمان، عملکرد انرژی ساختمان تحت تأثیر قرار می‌گیرد و سبب اتلاف گرما در زمستان و افزایش گرمای خورشیدی در تابستان می‌شود؛ بدین منظور نماهای دوپوسته، جهت بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها، استفاده می‌شوند (Saroglou, et al., 2020)؛ همچنین کارکرد کلی پوسته‌های دوجداره به علت تعداد عارضه‌های تأثیرگذار بر آن‌ها، بسیار پیچیده است؛ جریان هوا، انتقال حرارت، همرفت، تابش همگی بر عملکرد پوسته‌ها تأثیر می‌گذارند. به دلیل مؤثر بودن بار حرارتی در ساختمان‌های اداری در نظر گرفتن فاکتورهایی چون فاصله‌ی میان دوپوسته و محل قرارگیری دریچه‌های تهویه، بسیار حائز اهمیت است؛ به‌ویژه در اقلیم گرم‌وخشک که اگر به‌درستی طراحی نشود، باعث افزایش میزان بار حرارتی، سرعت جریان هوا و تغییرات دمای بین ۶ الی ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌شود (Hadianpour, et al., 2013)؛ درواقع، موضوع بررسی‌شده در این پژوهش

کاهش میزان بار حرارتی در ساختمان‌های اداری است که فراهم‌آمدن این شرایط نیازمند راه‌حلی برای بهینه‌کردن میزان بار حرارتی ساختمان است. یکی از این راه‌حل‌ها، استفاده از نمای‌های دوپوسته جعبه‌ای است؛ که به علت ویژگی‌هایی، همچون جلوگیری از انتقال صدا و آتش در طبقات و عملکرد مناسب‌تر بار حرارتی نسبت به مدل‌های دیگر در اقلیم گرم‌وخشک، این نوع نمای دوپوسته انتخاب‌شده است.

ازآنجاکه در ایران، ساختمان‌ها بیش از ٪۴۰ مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهند، در این پژوهش، این نوع کاربری موردبررسی قرارگرفته است. ساختمان‌های اداری، به دلیل مالکیت خصوصی و عدم وجود سیستم نظارتی مؤثر در این بخش، الگوی مصرف انرژی نسبتاً نامطلوبی داشته و نیازمند بازنگری در این بخش است که بیشترین مصرف انرژی در این ساختمان‌ها به سرمایش، گرمایش و روشنایی آن مرتبط است (Khayami and Daneshjoo, 2022). به دلیل عملکرد بهتر نماهای دوپوسته در جبهه‌ی جنوبی، باتوجه به میزان تابش نور خورشید، نمای دوپوسته در این جهت، گزینش و موردبررسی قرارگرفته است. ازآنجایی‌که بهینه‌سازی فاصله‌ی پوسته حائل و نمای اصلی نیز نقش مؤثری، در بهبود تعادل دمایی و بهبود بار حرارتی برای ساختمان دارد؛ ازاین‌رو با تمرکز به اقلیم گرم‌وخشک شمال‌غرب شهر اصفهان، فاصله بهینه‌ی نماهای دوپوسته و نمای اصلی ساختمان در این شهر به‌صورت هدفمند در این پژوهش، موردبررسی قرارگرفته است. این پژوهش به دنبال پاسخ به پرسشهای زیر است:

- میزان فاصله دو جدار در نمای دوپوسته، چه تأثیری بر بار حرارتی یک ساختمان اداری در اقلیم گرم‌وخشک دارد؟
- استفاده از نمای دوپوسته جعبه‌ای در ساختمان اداری در اقلیم گرم‌وخشک (شمال‌غرب شهر اصفهان)، چه تأثیری بر اتلافِ بار حرارتی و بار سرمایشی دارد؟
- بهینه‌ترین مکان برای قرارگیری دریچه‌های تهویه در نمای دوپوسته جعبه‌ای در ساختمان اداری کجاست؟

## روش تحقیق

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی است؛ همچنین از نظر ماهیت، توصیفی- تحلیلی است و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در پژوهش به‌صورت ترکیبی (کمی‌وکیفی) انجام شده‌است. به‌صورت کلی، دو روش برای ارزیابی نماهای دوپوسته وجود دارد: نخست، روش آزمایش تجربی در اتاقک‌های آزمون و اندازه‌گیری پارامترهای محیطی در آن و سپس تحلیل نتایج برای تعیین روابط میان متغیرهاست؛ روش دوم، شبیه‌سازی رایانه‌ای از طریق نرم‌افزارهایی چون انرژی پلاس[1] و دیزاین بیلدر[2] است. در این مقاله، مدل‌سازی کامپیوتری، با نرم‌افزار شبیه‌سازِ دیزاین بیلدر انجام‌شده است.

نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر برای شبیه‌سازی ساختمان از جنبه‌های مختلف، مانند فیزیک ساختمان (مصالح ساختمانی)، معماری ساختمان، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی، کاربری ساختمان، معماری ساختمان، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی و غیره؛ همچنین قابلیت محاسبه میزانِ روشنایی روز و حتی شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی را دارد و نیز قابلیت مدل‌سازی تهویه طبیعی و مکانیکی، محاسبه آسایش حرارتی در فضاهای داخلی ساختمان، میزان اتلاف و دریافت انرژی از عناصر مختلف ساختمانی را دارد. نرم‌افزار شبیه‌ساز دیزاین بیلدر با استفاده از فایل اقلیمی شهرهای مختلف، دریافت محاسبات، اتلاف و همچنین مصرف انرژی را دقیقاً بر اساس شرایط اقلیمی محل قرارگیری ساختمان انجام می‌دهد (Blanco, et al. 2016).

[1]. EnergyPlus
[2]. DesignBuilder

نتایج مدل‌سازی‌ها برای کل سال، در ماه‌های مختلف و همچنین به‌صورت روزانه و ساعتی برای کل ساختمان و یا یک طبقه‌ی خاص از ساختمان و نیز تک‌تک فضاهای ساختمان، قابل‌استخراج است؛ از دیگر ویژگی‌های این نرم‌افزار، امکان استخراج نتایج مدل‌سازی به‌صورت دیاگرام‌های گرافیکی و یا فایل‌های اکسل است که می‌تواند برای تجزیه‌وتحلیل‌های بعدی مورداستفاده قرار گیرد. این نرم‌افزار، علاوه بر اینکه از دقت بسیار بالای در محاسبات برخوردار است؛ حتی در مقایسه با نرم‌افزارهای دیگر مدل‌سازی موجود، واسطه کاربری مناسبی برای کاربران است؛ همچنین از ظرفیت لازم برای شبیه‌سازی مصرف انرژی برخورداراست و قابلیت نمایش و تصویرسازی سه‌بعدی دارا است (Khayami and Daneshjoo, 2022).

در این نوشتار با بررسی مبانیِ نظری، چارچوب نظری تحقیق، شامل مؤلفه‌های اثرگذار بر عملکرد حرارتی جداره‌های خارجی در ساختمان‌های اداری، استخراج گشته است؛ سپس در ابتدا، نمای دوپوسته‌ی جعبه‌ای، انتخاب‌شده و به کمک دستورات ترسیمی، ساختمان موردنظر در نرم‌افزار دیزاین بیلدر مدل‌سازی شده است؛ در گام بعدی با مشخص‌کردن مصالح دیوارها و بازشوها، تعیین سیستم تأسیساتی و تعیین کاربری ساختمان، بار حرارتی مجموعه محاسبه‌شده و در نهایت ۱۰ سناریوی متفاوت از فاصله میان دوپوسته از ۲۰۰ میلی‌متر تا ۲۰۰ سانتی‌متر در جهت جنوبی ساختمان، از نظر عملکرد حرارتی، موردبررسی و مقایسه قرارگرفته است؛ باتوجه به بررسی محققان پیشین، نمای دوپوسته در جهت جنوبی، عملکرد بهتری دارد و همچنین انتخاب این سناریوها باتوجه به مطالعات انتخاب‌شده و بهترین فاصله از نظر بار حرارتی، مشخص شده‌است. در ادامه جهت دستیابی به بهترین موقعیت قرارگیری دریچه‌های تهویه مدل‌سازی ایده‌ال در شرایط باز و بسته‌بودن بازشوها، تهویه بین دوپوسته و قرارگیری دریچه‌ها در قسمت فوقانی و تحتانی با ابعاد ۴۰ در ۱۰۰ سانتی‌متر با توجه به مطالعات محققان پیشین، انتخاب‌شده و مورد مقایسه قرارگرفته است.

## پیشینه پژوهش

تاریخچه‌ی استفاده از نمایِ دوپوسته، در کتاب‌ها، مقالات وگزارشات مختلفی، شرح داده شده‌است. در سال ۱۸۹۴ ژان باتیپیست ژوبارد مدیر موزه صنعتی بروکسل، نمونه‌ی اولیه نمای چند پوسته با تهویه مکانیکی را احداث کرد، وی همچنین به نحوه‌ی گردش هوای گرم بین دوپوسته در فصل سرما و نیز سرد شدن هوای لیه میانی در فصل تابستان نیز توجه داشت (Saelens, 2002)؛ سپس در سال ۱۹۰۳، نمای دوپوسته در کارخانه استیف، توسط ریچارد استیف[1] درگنیگن آلمان طراحی گردید که کرسپو[2] ادعا می‌کند، اولین نمای دوپوسته‌ی پرده‌ای است. در این پروژه به حداکثر رساندن نور روز با در نظر گرفتن هوای سرد و بادهای شدید منطقه، در اولویت قرار داشت؛ به این دلیل، ساختمانی ۳ طبقه با اسکلت تی‌شکل که این اسکلت دولایه نما را در ۲۵ سانتی‌متر از هم نگه‌می‌دارد، ساخته شده‌است. طبقه همکف به‌عنوان انبار و دوطبقه فوقانی برای فضای کاری ساخته شد. اجرای این ساختمان در نوع خود، یک دستاورد بزرگ، محسوب می‌شد و پس‌ازآن در دو ساختمان دیگر با سیستم مشابه در سال‌های ۱۹۰۴ و ۱۹۰۸ ساخته شد؛ اما به دلایل مسائل بودجه‌ای به‌جای فولاد از چوب در ساخت آن استفاده گردیده است (Alahmed, 2013). لوکوربوزیه[3] نیز در سال ۱۹۱۶، از نمای دوپوسته در ویلا اسکوب سوئیس استفاده کرد. او پنجره‌های بزرگی به ارتفاع دوطبقه در دو سطح، طراحی کرد. در اواخر دهه ۱۹۲۰ توسعه‌ی نماهای دوپوسته، با سرعت بیشتری همراه شد. در

[1]. Richard Steiff
[2]. Crespo
[3]. Lo Corbusieur

بلوک‌های مسکونی با نمای دوپوسته در روسیه ساخته شدند. پیشرفت‌های بعدی را باید، در بحران انرژی دهه ۷۰ جستجو کرد. بحث‌های مرتبط به راندمان انرژی و آسایش حرارتی، تنها مختص به اروپای شمالی نبود و در اواخر دهه ۷۰ و اوایل دهه ۸۰ نماهای دوپوسته‌ی تهویه شونده به‌صورت مکانیکی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای در ساختمان‌های اروپایی به کار گرفته شد (Saelens, 2002). در طول دهه ۸۰، به‌کارگیری از این نوع نماها سرعت گرفت. اغلب این نماها به دلایل اقلیمی طراحی می‌شدند و در بعضی موارد، به دلایل زیبایی‌شناسی، نمای یکپارچه شیشه‌ای مورداستفاده قرار می‌گرفتند. از دهه ۹۰ نیز تاکنون، با افزایش اهمیت مبحث ساختمان‌های پایدار و معماری اقلیمی، کاربرد نماهای دوپوسته در ساختمان‌ها گسترش‌یافته است (Yellamraju, 2004). در این راستا محققین پژوهش‌هایی برنماهای دوپوسته انجام دادند که در ادامه برخی از آن‌ها معرفی‌شده است.

نوری وند و همکارانش (۱۴۰۰) در مقاله‌ای به بررسی و شبیه‌سازیِ عملکرد انرژی نمای دوپوسته در ۳۶ سناریو متفاوت در ۴ گونه نمای دوپوسته در ساختمانی اداری در اقلیم سرد تبریز با نرم‌افزار دیزاین بیلدر پرداخته‌اند؛ نتایج حاکی از آن بود که گونه پنجره جعبه‌ای ۵ طبقه با عمق حفره ۱/۳ متر، دارای کمینه مصرف برق و گونه ۱۵ طبقه با عمق حفره ۰/۷ متر، دارای کمینه مصرف گاز است. در عمق حفره ثابت، با افزایش تعداد طبقات، مصرف برق افزایش و مصرف گاز کاهش می‌یابد؛ همچنین با افزایش عمق حفره مصرف برق روند نزولی پیدا می‌کند. با افزایش تعداد طبقات و درنتیجه آن افزایش ارتفاع فضای حفره مصرف گاز در زمستان به مقدار بیشتری کاهش پیدا می‌کند. یانگ (۲۰۱۶) در مقاله‌ای به بهینه‌سازی نماهای دوپوسته در اقلیم‌های متفاوت در کشور چین، پرداخته شده‌است که با افزایش عرض حفره میانی دوپوسته و عملکرد سایبان‌های داخلی نشان می‌دهد، با افزایش عرض، حفره گرما کاهش می‌یابد و باعث کاهش ۶۰ درصدی مصرف انرژی می‌شود (Yang, et al., 2016). آلبرتو[1] (۲۰۱۷) در پژوهشی با عنوان «بررسی پارامتری عملکرد نماهای دوپوسته در کشورهایی با آب‌وهوای معتدل» تحقیق کرده‌اند. این مقاله بر اساس جمع‌آوری اطلاعات، شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر تحلیل و بررسی داده‌های کمیِ حاصل از شبیه‌سازی ساختمان در اقلیم معتدل نشان می‌دهد که با افزایش فاصله‌ی میانیِ دو جدار، میزان تقاضا برای سرمایش فضا افزایش می‌یابد. تغییر فصول در عملکرد این نما مؤثر است. در طی فصول گرم، هوای دمیده شده در شکاف نما، حرارت ذخیره‌شده در آن را خارج می‌سازد؛ لذا از تئوری دمای غشای میانی، پایین نگه داشته و این امر، رسانش، همرفت و تابش گرما را از سطح شیشه‌ی داخلی به فضای زندگی کاهش می‌دهد و به دلیل اینکه دمای تشعشع فضا، کاهش می‌یابد، ساکنان، احساس آسایش بیشتری خواهند داشت؛ به بیانی دیگر با گرم‌شدن هوای داخلی شکاف، اثر مکش بیشتر شده و هوای خنک با سرعت بیشتری به فضای داخلی نما، کشیده می‌شود و به شیوه‌ای پارادوکسی گرمای خورشید، باعث خنک‌کردن نما می‌شود (Alberto, et al., 2017). محققی دیگر به بررسی رفتارهای حرارتی نمای دوپوسته از نظر مصرف انرژی در اقلیم معتدل مرطوب شمال ایران پرداخته است. عملکرد حرارتی ساختمان با استفاده از نرم‌افزار اکوتک در حالت تابش مستقیم و غیرمستقیم و سطح آسایش کاربران، مورد ارزیابی قرارگرفته است؛ در بررسی انجام‌شده، عمق حفره در فواصل ۲۵ سانتی‌متری،۵۰ سانتی‌متری، ۷۵ سانتی‌متری، ۱۰۰ سانتی‌متری و نوع نما در حالت جعبه‌ای و راهرویی بررسی گشته و مشخص شده‌است که استفاده از نمای دوپوسته جعبه‌ای با عمق حفره ۷۵ سانتی‌متری بهینه‌ترین سناریو ازلحاظ رفتار حرارتی ساختمان در اقلیم معتدل مرطوب شهر رشت است (Rezazadeh and Medi, 2017).

[1]. Alberto

سارگل[1]، سال (۲۰۱۹)، مقاله‌ای باعنوان (نماهای دوپوسته و طراحی جداره ساختمان‌های بلند در مدیترانه[2]) نگارش کرده‌است، در این مقاله طی چندین مرحله مدل‌های مختلفِ نمای دوپوسته در نرم‌افزار انرژی پلاس[3] شبیه‌سازی شده و با کمک مؤلفه‌هایی، مانند سرعت، دما و الگوی توزیع و گردش جریان هوا در فضای مابین دوپوسته و فضای داخل ساختمان، جهت تعیین اندازه بهینه، میان دو جدار، موردبررسی قرارگرفته است و در این پژوهش ۴ سناریو بافاصله ۲۰ سانتی‌متری،۵۰ سانتی‌متری، ۱ متری و ۲ متری بررسی‌شده و فاصله بهینه میان دوپوسته، مورد تحلیل قرارگرفته است. طبق نتایج شبیه‌سازی مدل‌ها، با افزایشِ میزانِ فاصله‌ی بین دوجداره، مصرف انرژی کاهش می‌یابد (Saroglou, et al., 2020). در مقاله‌ای دیگر نماهای دوپوسته و طراحی جدار ساختمان‌های بلند در مدیترانه، مورد ارزیابی قرارگرفته است و در آن طی چندین مرحله، مدل‌های مختلف نمای دوپوسته در نرم‌افزار انرژی پلاس، شبیه‌سازی‌شده و با کمک پارامترهایی چون سرعت، دما و الگوی توزیع و گردش جریان هوا در فضای مابین دوپوسته و فضای داخل ساختمان، جهت تعیین اندازه بهینه میان دو جدار بررسی‌شده که ۴ سناریو بافاصله ۲۰ سانتی‌متری، ۵۰ سانتی‌متری، ۱ متری و ۲ متری بررسی‌شده و فاصله بهینه میان دوپوسته موردبررسی و تحلیل قرارگرفته است. باتوجه به نتایج شبیه‌سازی مدل‌ها، نتیجه گرفته‌شده است که با افزایش میزان فاصله بین دوجدار مصرف انرژی کاهش می‌یابد (Saroglou, et al., 2020). در تحقیقی دیگر با عنوان تأثیر حرارتی برای یک ساختمان با نمای دوپوسته سوراخ‌دار می‌پردازد که با نرم‌افزار دیزاین بیلدر شبیه‌سازی شده‌است و با اختصاص دادن ۴۲ درصد از سطح نما به نمای دوپوسته مورد ارزیابی قرارگرفته است که باعث کنترل میزان تابش نور خورشید در طول روز شده و همچنین تهویه طبیعی افزایش‌یافته است (Srisamranrungruang and Hiyama, 2020). در پژوهشی دیگر محقق به عملکرد حرارتی نمای دوپوسته در شرایط آب‌وهوای کشور عربستان می‌پردازد و فاکتورهایی، همچون عمق حفره در غالب ۳ سناریو که در جبهه‌ی شمال، فاصله‌ی ۳۰ سانتی‌متری، ۶۰ سانتی‌متری، ۱۲۰ سانتی‌متری و قرارگیری سایبان‌ها مورد ارزیابی قرارگرفته است. مشخص می‌شود با کاهش فاصله میانی دوپوسته دمای هوا نیز کاهش می‌یابد و قرارگیری سایبان بر روی نمای دوپوسته باعث کاهش دما می‌شود (Kim, 2021; Kim, et al., 2021). بیدلی و همکارانش (۱۳۹۹) نیز در پژوهشی با بهره‌گیری از شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر، نشان دادند که نمای دوپوسته با عمق بین ۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متر، بهینه‌ترین فاصله در کاهش مصرف انرژی سرمایشی در مقایسه با فواصل دیگر در ساختمان اداری کوتاه مرتبه در اقلیم گرم‌ومرطوب خواهد بود (بیدلی و همکاران، ۱۳۹۹). در مقاله‌ای نیز تأثیر نمای دوپوسته بر تهویه طبیعی در ساختمان‌های اداری در اقلیم معتدل و مرطوب (رشت) موردبررسی قرارگرفته است و نتایج این پژوهش نشان داد که نمای دوپوسته در ساختمان ادراری تهویه طبیعی را افزایش و استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع مکانیکی را، کاهش می‌دهد (رحیمی و ایزدی زمان‌آبادی، ۱۴۰۱).

همان‌طور که نشان داده شد، تحقیقات انجام‌شده در زمینه نماهای دوپوسته نشان می‌دهند که عمق حفره، فاصله بین دوجداره و نوع نما تأثیر مهمی بر عملکرد حرارتی و مصرف انرژی ساختمان دارند. غالب این پژوهش‌ها، سناریوهای مختلفی را با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی همچون دیزاین بیلدر، فلوینت[4]، اکوتک[5]، انرژی پلاس، موردبررسی قرار داده‌اند. برخی از آن‌ها بر یک مؤلفه، همچون تهویه تمرکز داشته‌اند و کمتر به مکان دریچه تهویه توجه شده

[1]. Saroglou
[2]. Studies on the optimum double-skin curtain wall design for high-rise buildings in the Mediterranean climate
[3]. Energy plus
[4]. Fluent
[5]. Ecotech

است؛ همچنین پژوهشی که به‌صورت متمرکز نمای دوپوسته را در اصفهان و اقلیم گرم‌وخشک بررسی کرده باشد، یافت نشد؛ لذا این پژوهش بر آن است تا بخشی از خلأ تحقیقاتی در این حوزه را پوشش دهد.

## مبانی نظری

در ادامه به مؤلفه‌های اصلی در این نوشتار شامل پوسته‌ی ساختمان، نمای دوپوسته، حفره میانی و بار حرارتی پرداخته‌شده است؛ سپس سناریوهای انتخابی توسط نرم‌افزار شبیه‌سازی‌شده و نتایج، مورد بررسی‌وتحلیل قرارگرفته است.

### پوسته‌ی ساختمان

همان‌گونه که پوست، نقش مؤثری در تأمین آسایش برای انسان ایفا می‌کند، پوسته‌ی ساختمان نیز، نقش مهم و حیاتی در تأمین آسایش و آرامش ساکنین از نظر تأمین نور و انرژی سرمایشی‌وگرمایشی موردنیاز دارد. پوسته‌های ساختمانی، شامل کلیه سطوح دربرگیرنده فضای داخلی است که با محیط خارج و طبیعی در تماس است. این سطوح عمدتاً شامل دیوارها، بام، بازشوهای دیوارها، بازشوهای خارجی در و پنجره و سطوح نورگیر بام ساختمان می‌باشند (Salameh, et al., 2020). سطح‌های خارجی بنا، بیشترین تعامل را با محیط خارجی داشته و به همین دلیل نقش بنیادی در ایجاد آسایش حرارتی و تبادلات انرژی ساختمان با محیط بیرونی را دارد؛ ازاین‌رو کارکرد اساسی و مهم آن‌ها در ساختمان‌ها و معماری کنونی نیز، تعدیل شرایط آب‌وهوایی محیط طبیعی است.

عملکرد نماهای دوپوسته در راستای ایجاد شرایط حرارتی و آسایشی مناسب، تحت تأثیر عوامل متعددی است. این عوامل از یک‌سو به نوع پیکربندی و ساختار نما، مربوط می‌باشند و از سوی دیگر به منطقه و اقلیم موردنظر وابسته است؛ به‌طورکلی مهم‌ترین این عوامل به شرح زیر است:

- نوع جریان هوا؛
- عمق حفره هوا؛
- تعداد لایه‌های شیشه؛
- جانمایی ابزار سایه‌انداز؛
- ارتفاع حفره هوا؛
- عرض جغرافیایی و درنتیجه آن میزان تابش خورشید.

### حفره میان دوپوسته

عمق نما در گستره‌ی متفاوتی قرار می‌گیرد. در ساختمان‌های موجود این گستره بین ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌متر به‌صورت رخ‌به‌رخ بین پوسته‌ی داخلی و خارجی است. سه سبک غالب برای این عمق وجود دارد در سبک فشرده فاصله بین دوپوسته در گستره بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر منظور می‌شود. در سبک دوم غالباً فاصله چنان تنظیم می‌شود که امکان تمیز کردن سطوح میان شکاف نما وجود داشته باشد. سبک سوم یا سبک عریض حدود یک متر و یا بیشتر پهنا دارد. در این سبک امکان استفاده از فضای شکاف به‌عنوان کریدور خروج آتش وجود دارد؛ در واقع سبک سوم سبک گسترده‌ای است که فضای آتریوم مانندی به وجود می‌آورد. فاکتورهای بررسی‌شده در رابطه با عرض

حفره میانی نمای دوپوسته با توجه به پژوهش انجام‌شده، نشان می‌دهد که با افزایش میزان عرض حفره بین دوپوسته مصرف انرژی نیز افزایش می‌یابد.

از نظر جنبه‌ی مقوله آسایش حرارتی، در ساختمان‌های که دارای تهویه طبیعی نیستند (برای مثال در یک سیستم تهویه مطبوع بسته) تحمل دمای بالاتر از ۲۴ درجه سانتی‌گراد برای کاربران مشکل است. در ساختمان‌هایی که به‌صورت طبیعی تهویه می‌شوند؛ حتی دمای بالاتر از ۲۷ درجه سانتی‌گراد نیز ممکن است خوشایند باشد، توجه به این امر موجب مصرف انرژی در ساختمان می‌شود. پوسته خارجی نما به‌طور کامل شیشه‌ای است که معمولاً از شیشه مقاوم تهیه می‌گردد. پوسته داخلی اغلب به‌طور کاملاً شیشه‌ای نیست و شیشه به‌کاررفته در آن از نوع عایق است. فضای خالی بین دوپوسته که می‌تواند کاملاً به‌طور طبیعی یا به کمک فن یا به‌صورت ترکیبی از این دو تهویه گردد (Pilechiha, et al., 2019).

## بار حرارتی

مقدار حرارت تولیدشده در یک مجموعه، به‌عنوان بار حرارتی تعریف می‌شود. این مقدار، گرمایی است که تمام وسایل گرمایشی نصب‌شده در ساختمان از آن خارج می‌شوند. برای جلوگیری از هزینه‌های غیرضروری برای تولید کار و همچنین خرید دستگاه‌ها و مواد غیرضروری، محاسبه اولیه بارهای سرمایشی‌وگرمایشی لازم است. عواملی که باعث تولید بار حرارتی در ساختمان می‌شود عبارت‌اند از:

- بار حرارتی ناشی از نفوذ هوای خارج به داخل ساختمان؛
- بار حرارتی ناشی از رطوبت در صورت وجود؛
- بار حرارتی ناشی از تأمین آب‌گرم مصرفی ساختمان؛
- بار حرارتی ناشی از جداره‌های خارجی ساختمان (شیخزاده و همکاران، ۱۳۸۵).

## اطلاعات شبیه‌سازی

### اطلاعات شبیه‌سازی در مورد اقلیم شهر اصفهان و سایت

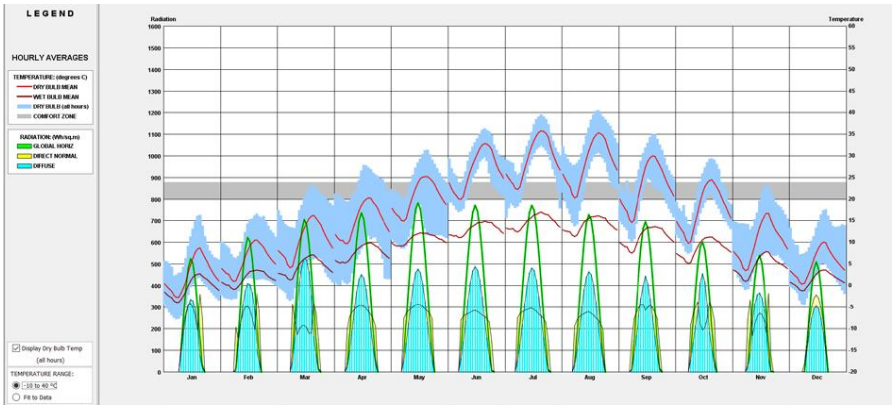
استان اصفهان با وسعت بیش از ۲۲۹ هزار کیلومترمربع، ششمین استان پهناور کشور محسوب می‌شود. وسعت زیاد این استان در کشور باعث شده‌است تا ویژگی‌های طبیعی و انسانی گوناگونی در آن شکل بگیرد (سلطانی‌محمدی و همکاران، ۱۳۹۸). بخش وسیعی از شهر اصفهان را، اقلیم خشک در برگرفته است و این به دلیل کم‌بودن میزان بارش سالیانه در بسیاری از مناطق استان و بالابودن نرمال سالیانه دما در گستره‌های وسیعی از استان اصفهان است؛ با توجه به وجود ناهمواری‌های استان که در قسمت‌های غربی و جنوب غربی توزیع‌شده است؛ بدون شک این نواحی دارای دمای کمتر بوده درصورتی‌که نواحی پست شرقی و شمال‌شرقی استان، دارای درجه حرارت بالاتری است. عوامل اصلی در شکل‌گیری اقلیم‌های استان اصفهان را می‌توان، مانند بسیاری از مناطق دیگر، در تغییرات ارتفاع، منابع رطوبتی، عرض جغرافیایی و تأثیر توده‌های هوا و سیستم‌های هواشناسی جستجو نمود که عوامل فرعی، نظیر پوشش گیاهی، کشاورزی و صنعت در کنار آن‌ها به‌نوبه خود، دارای تأثیراتی بر اقلیم استان می‌باشند (www.esfahanmet.ir) با توجه به تأثیر بادها و دوری و نزدیکی به منطقه کوهستانی غرب و دشت کویر در شرق و جنوب‌شرقی، می‌توان آب‌وهوای آن را به ۳ بخش متفاوت تقسیم کرد، آب‌وهوای بیابانی که شمال شهرستان نائین، حوزه بیابانک و انارک تا شمال اردستان را دربر می‌گیرد. مشخصه‌ی ویژه آن، تغییر شدید و سریع درجه حرارت،

کمی بارش باران و وزش بادهای تند در طول سال است. آب‌وهوای نیمه بیابانی که شهرستان اصفهان را دربر می‌گیرد و خشکی هوا و کمیِ بارندگی از مشخصات این نوع آب‌وهواست. رودخانه زاینده‌رود به طرز چشمگیری بر روی آب‌وهوای این ناحیه تأثیر مثبت دارد و آن را تعدیل می‌کند آب‌وهوای نیمه مرطوب سرد که قلمرو غرب و جنوب غربی اصفهان را دربر می‌گیرد. به نسبت افزایش ارتفاع، میزان بارندگی افزایش می‌یابد و از درجه گرمای هوا کاسته می‌شود.

سایت موردبررسی قرارگرفته در این پژوهش، واقع در شهرک صنعتی اصفهان خیابان ششم در قسمت جنوب‌شرقی ساختمان شیخ بهایی قرارداد. موقعیت، شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان، در منطقه‌ای است که به لحاظ عوامل دسترسی در ارتباط ویژه‌ای با محورهای صنعتی شهری، صنایع بزرگ و اصلی و مؤسسات آموزشی و پژوهشی قرار دارد. این موقعیت امکان برقراری ارتباطات علمی تحقیقاتی و تأمین نیازهای متقابل را بین شهرک علمی و تحقیقاتی، صنایع و مؤسسات آموزشی فراهم آورده است (www.istt.ir). مجاورت شهرک علمی و تحقیقاتی با این قطب علمی _ اقتصادی کشور، موقعیت ممتازی را برای شرکت‌ها و واحدهای مستقر در شهرک برای توسعه فعالیت‌های اقتصادی و ایجاد ارتباطات مناسب با دانشگاه‌های منطقه و صنایع ایجاد می‌نماید. علاوه بر عوامل فوق، احداث شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان در مجاورت شهر تاریخی و زیبای اصفهان، موقعیت مناسبی را برای زندگی محققان شاغل در واحدهای تحقیقاتی و شرکت‌های مهندسی فراهم نموده است. مساحت سایت موردنظر: ۲۲۰۰۰ که با توجه به مساحت بالایی و بخش شمالی سایت به این منظور، انتخاب و شبیه‌سازی برای این بخش از اصفهان انجام شده‌است.

### یافته‌های شبیه‌سازی

در این پژوهش، ساختمان موردنظر در شرایط اقلیمی شهر اصفهان که با استفاده از داده‌های آب‌وهوایی که از سازمان هواشناسی اصفهان برای بازه‌ی زمانی ۵ ساله استخراج‌شده و با فرمت EPW[1] شبیه‌سازی‌شده است. میزان تغییرات دمای هوای در اقلیم اصفهان مطابق شکل زیر است که از نرم‌افزار کلایمت گرفته شده‌است. کمترین دمای ساعتی ۸- سانتی‌گراد، مربوط به ماه دی و بیشترین دمای ساعتی ۴۱ درجه سانتی‌گراد به ماه مرداد است. در فرایند شبیه‌سازی این داده‌ها در قسمت فایل‌های آب‌وهوای محل موردنظر در دیزاین بیلدر آپلود شده‌است (شکل ۱).

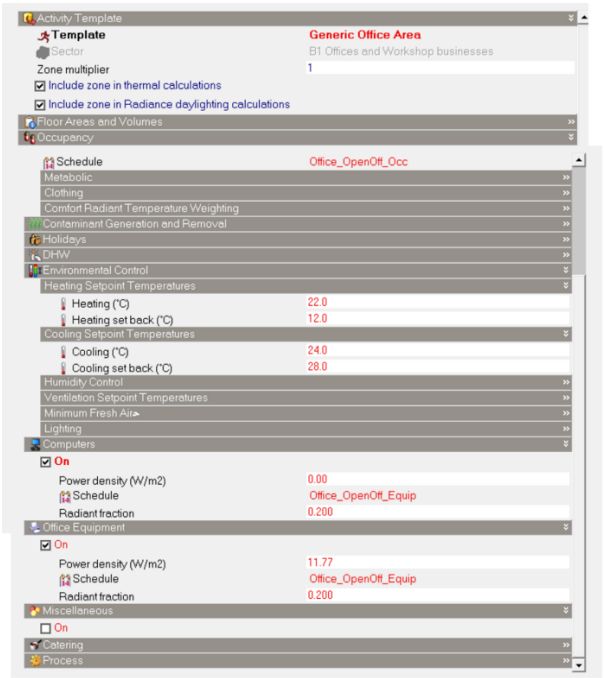



**شکل ۱: تغییرات دمای در ساعت‌های مختلف سال خروجی نرم‌افزار کلایمت، (نگارندگان)**

[1]. EnergyPlus Weather

## اطلاعات ساختمان

در شبیه‌سازی مدل این ساختمان تعداد ساکنین، تعداد تجهیزات و سیستم روشنایی و همچنین برنامه زمانی عملکرد آن‌ها مطابق با نمونه‌های استاندارد نرم‌افزار دیزاین بیلدر با درنظرگرفتن کاربری انتخاب شده‌است. مصالح انتخاب‌شده برای دیوار خارجی و سقف در ادامه، معرفی شده‌است. ضریب انتقال حرارت برای دیوار خارجی باتوجه به لایه‌ی هوا در نظر گرفته‌شده است. در شکل زیر، نوع کاربری فضا که اداری است، برنامه زمان‌بندی حضور افراد در فضا که از ساعت ۷ صبح تا ۶ بعد ظهر است، دمای گرمایش فضا که از ۱۲ درجه تا ۲۲ و دمای سرمایش فضا از ۲۴ تا ۲۸ مشخص‌شده است (شکل ۲).




**شکل ۲: مشخصات فیزیکی واردشده در نرم‌افزار دیزاین بیلدر، (نگارندگان)**

جزییات اجرایی ساختمان به شرح زیر در نظر گرفته‌شده دیوارهای خارجی از جنس آجر به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر به رنگ قرمز است، لایه پلاستر به ضخامت ۸ سانتی‌متر و لایه داخلی دیوار آجر به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر به رنگ قرمز است. سقف از جنس بتن سازه‌ای ۱۵ سانتی‌متر و پلاستر به ضخامت ۵ سانتی‌متر و پنجره‌ها به‌صورت تک‌لایه با پروفیل استیل و کف از جنس بتن سازه‌ای به ضخامت ۱۵ سانتی و تایل سیمان استفاده‌شده است (شکل ۴ و ۳).

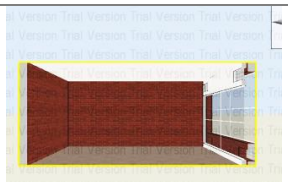
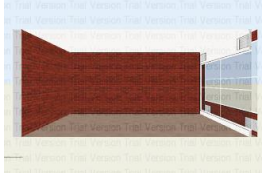
در این بخش مصالح دیوارها و کف تعریف‌شده و به دلیل اینکه بررسی مصالح جزو متغیرهای این پژوهش نبوده، مصالح پیش‌فرض نرم‌افزار در نظر گرفته‌شده و در طول شبیه‌سازی ثابت هستند. همین‌طور نفوذ هوای روشن در نظر گرفته شده‌است تا میزان اتلاف انرژی از درزهای پنجره‌ها و نفوذ هوا از درزها که در عمل اتفاق می‌افتد، در شبیه‌سازی لحاظ شود؛ همچنین متغیرهای متفاوتی بر عملکرد این نوع نما تأثیر می‌گذارد که شامل جنس مصالح ساختمان، جهت قرارگیری ساختمان، اقلیم، نوع نمای دوپوسته، سایبان‌های ساختمان و کاربری فضا می‌شود؛ ولی در این پژوهش صرفاً به فاصله میان دو جدار نمای دوپوسته ساختمان و محل قرارگیری دریچه‌های تهویه در نمای دوپوسته دریک اتاقک ۶*۸ در نظر گرفته‌شده و تعداد طبقات لحاظ نشده است.

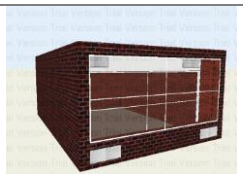
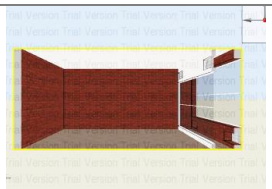
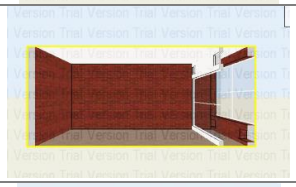
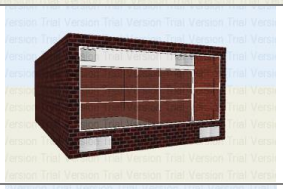
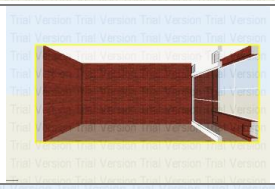
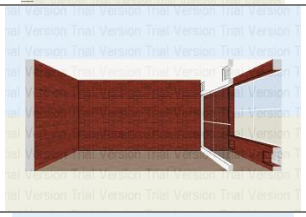
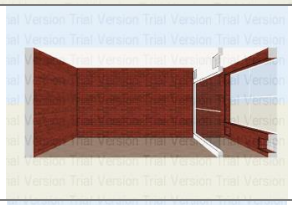
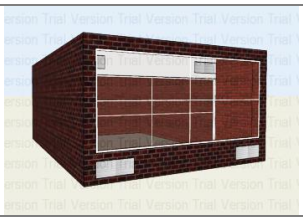
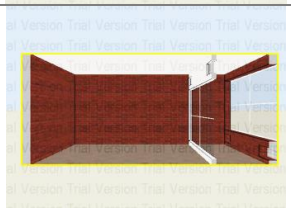
**شکل ۳: مشخصات جدارهای خارجی ساختمان نرم‌افزار دیزاین بیلدر، (نگارندگان)**

## معرفی سناریوها

اتاقکی به ابعاد ۸×۶ به ارتفاع ۳/۵ متر با سطح بازشوی ۱۸ مترمربع، در جداره‌های خارجی، با کاربری اداری و با در نظر گرفتن فعالیت افراد و در شرایط اقلیمی گرم‌وخشک شهر اصفهان در نرم‌افزار دیزاین بیلدر مدل شده‌است. این اطلاعات، تأسیسات اطلاعات سایت و جهت‌گیری مشخصات مصالح است که به‌صورت ۱۰ سناریوی متفاوت ازلحاظ میزان فاصله‌ی دوپوسته موردبررسی قرارگرفته است (جدول ۱).

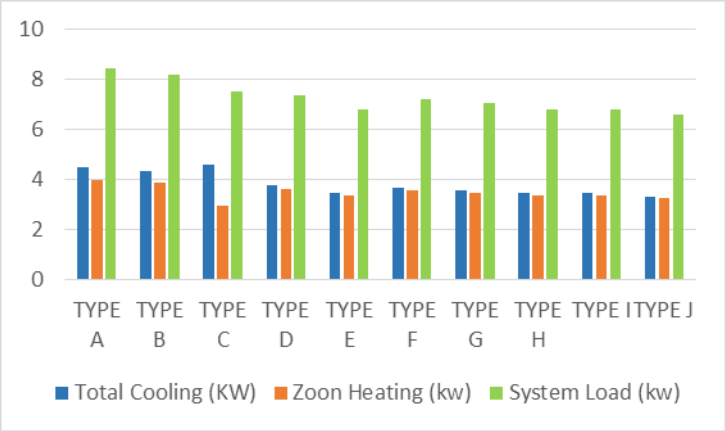
**جدول ۱: معرفی سناریوها، (نگارندگان)**

| | سه نما | مقطع | توضیحات |
|---|---|---|---|
| TYPE A | | | **فاصله میان دوپوسته ۲۰ سانتی‌متر ابعاد دریچه‌های تهویه ۴۰*۱۰۰ سانتی‌متر نوع نما: نمای دوپوسته‌ی جعبه‌ای** |
| TYPE B | |  | **فاصله میان دوپوسته ۴۰ سانتی‌متر ابعاد دریچه‌های تهویه ۴۰*۱۰۰ سانتی‌متر نوع نما: نمای دوپوسته‌ی جعبه‌ای** |
| TYPE C | |  | **فاصله میان دوپوسته ۶۰ سانتی‌متر ابعاد دریچه‌های تهویه ۴۰*۱۰۰ سانتی‌متر نوع نما: نمای دوپوسته‌ی جعبه‌ای** |
| TYPE D | | | **فاصله میان دوپوسته ۸۰ سانتی‌متر ابعاد دریچه‌های تهویه ۴۰*۱۰۰ سانتی‌متر نوع نما: نمای دوپوسته‌ی جعبه‌ای** |

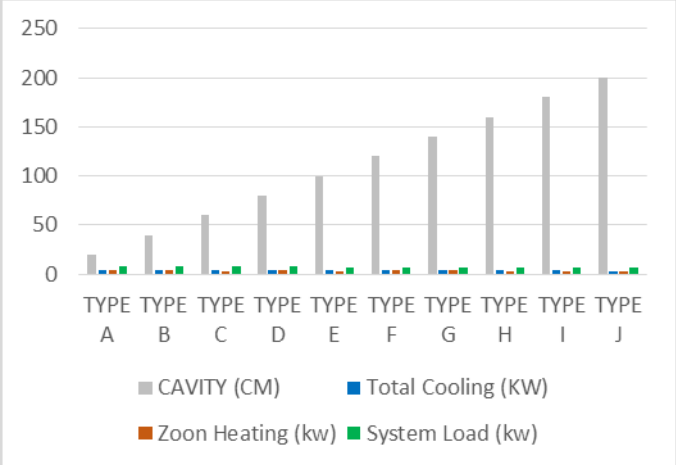
| | | | |
|---|---|---|---|
| TYPE E |  |  | فاصله میان دوپوسته ۱۰۰ سانتی‌متر ابعاد دریچه‌های تهویه ۴۰*۱۰۰ سانتی‌متر نوع نما: نمای دوپوسته‌ی جعبه‌ای |
| TYPE F | |  | فاصله میان دوپوسته ۱۲۰ سانتی‌متر ابعاد دریچه‌های تهویه ۴۰*۱۰۰ سانتی‌متر نوع نما: نمای دوپوسته‌ی جعبه‌ای |
| TYPE G |  |  | فاصله میان دوپوسته ۱۴۰ سانتی‌متر ابعاد دریچه‌های تهویه ۴۰*۱۰۰ سانتی‌متر نوع نما: نمای دوپوسته جعبه‌ای |
| TYPE H | |  | فاصله میان دوپوسته ۱۶۰ سانتی‌متر ابعاد دریچه‌های تهویه ۴۰*۱۰۰ سانتی‌متر نوع نما: نمای دوپوسته جعبه‌ای |
| TYPE I | |  | فاصله میان دوپوسته ۱۸۰ سانتی‌متر ابعاد دریچه‌های تهویه ۴۰*۱۰۰ سانتی‌متر نوع نما: نمای دوپوسته جعبه‌ای |
| TYPE J |  |  | فاصله میان دوپوسته ۲۰۰ سانتی‌متر ابعاد دریچه‌های تهویه ۴۰*۱۰۰ سانتی‌متر نوع نما: نمای دوپوسته جعبه‌ای |

## نتایج شبیه‌سازی میزان بار حرارتی در جبهه‌ی جنوبی ساختمان

بیشترین کاهش بار حرارتی مربوط به تیپ c با فاصله‌ی ۶۰ سانتی‌متری است که میزان آن ۹۶.۲ کیلو وات است و بیشترین میزان بار حرارتی مربوط تیپ A به فاصله ۲۰ سانتی‌متری است که میزان آن ۹۶.۳ کیلو وات است. در فاصله‌ی ۸۰ سانتی‌متر، میان دوپوسته دوباره بار حرارتی افزایش می‌یابد به میزان ۳.۶۱ و بعدازآن با افزایش فاصله دو جدار، به‌تدریج میزان بار حرارتی کاهش می‌یابد (شکل ۴ و ۵) (جداول، ۲ و ۳).




**شکل ۴: نمودار میزان بار حرارتی، بار سرمایشی، میزان بار کلی، (نگارندگان)**




**شکل ۵: نمودار میزان بار حرارتی، بار سرمایشی، میزان بار کلی نسبت به میزان حفره، (نگارندگان)**

**جدول ۲: میزان بار حرارتی، بار سرمایشی، (نگارندگان)**

| سناریوها | عمق حفره (CM) | بار سرمایشی (KW) | بار گرمایشی (kw) | مجموع بارها (kw) |
|---|---|---|---|---|
| TYPE A | ۲۰ | ۴/۴۷ | ۳/۹۶ | ۸/۴۳ |
| TYPE B | ۴۰ | ۴/۳۱ | ۳/۸۷ | ۸/۱۸ |
| TYPE C | ۶۰ | ۴/۵۸ | ۲/۹۶ | ۷/۵۴ |
| TYPE D | ۸۰ | ۳/۷۶ | ۳/۶۱ | ۷/۳۷ |
| TYPE E | ۱۰۰ | ۳/۴۵ | ۳/۳۶ | ۶/۸۱ |
| TYPE F | ۱۲۰ | ۳/۶۶ | ۳/۵۶ | ۷/۲۲ |
| TYPE G | ۱۴۰ | ۳/۵۶ | ۳/۴۸ | ۷/۰۴ |
| TYPE H | ۱۶۰ | ۳/۴۵ | ۳/۳۶ | ۶/۸۱ |
| TYPE I | ۱۸۰ | ۳/۴۴ | ۳/۳۷ | ۶/۸۱ |
| TYPE J | ۲۰۰ | ۳/۳۱ | ۳/۲۷ | ۶/۵۸ |

جدول ۳: میزان بار حرارتی، بار سرمایشی، (نگارندگان)

| سناریوها | عمق حفره (CM) | بار سرمایشی(KW) | بار گرمایشی (kw) | مجموع بارها (kw) |
|---|---|---|---|---|
| TYPE A | ۲۰ | کاهش | کاهش | کاهش |
| TYPE B | ۴۰ | کاهش | کاهش | کاهش |
| TYPE C | ۶۰ | کاهش | کاهش | کاهش |
| TYPE D | ۸۰ | کاهش | افزایش | کاهش |
| TYPE E | ۱۰۰ | کاهش | کاهش | کاهش |
| TYPE F | ۱۲۰ | کاهش | افزایش | افزایش |
| TYPE G | ۱۴۰ | کاهش | کاهش | کاهش |
| TYPE H | ۱۶۰ | کاهش | کاهش | کاهش |
| TYPE I | ۱۸۰ | کاهش | کاهش | کاهش |
| TYPE J | ۲۰۰ | کاهش | کاهش | کاهش |

## یافته‌های تحقیق

**مجموع بارها:** به‌طورکلی، استفاده از نمای دوپوسته در جداره جنوبی در فواصل بررسی‌شده سامانه DSF[1]، موجب کاهش مجموع بارها شده است. در بررسی فوق بهترین سامانه نمای دوپوسته از نظر مجموع بارها مربوط به نوع DSF –TYPE فاصله‌ی ۲ متری میان دوپوسته بوده است.

**بار سرمایش:** درکل، در تمامی حالات بررسی‌شده، سامانه DSF، موجب کاهش بار سرمایش شده‌است. در بررسی فوق، بهترین سامانه نمای دوپوسته ازنظر کاهش بار سرمایش در تابستان DSF–TYPE. J است؛ با توجه به جدول فوق، بهینه‌ترین مدل از نظر بار حرارتی سناریو TYPE. C که با کاهش ۲۵٪ بار حرارتی نسبت به مدل TYPE-A فاصله ۲۰ سانتی‌متری که بیشترین میزان بار حرارتی را دارد. با مدل پایه بدون DSF نشان می‌دهد که میزان بار حرارتی ۴۸٪ کاهش می‌یابد؛ پس استفاده از نمای دوپوسته، موجب کاهش بار حرارتی ساختمان می‌گردد. مدل TYPE. A بیشترین بار حرارتی را دارد و مقایسه آن، نسبت به مدل بدون نمای دوپوسته، کاهش ۴۸٪ بار حرارتی را نشان می‌دهد (جداول ۴ و ۵).

**بار گرمایش:** به‌طورکلی تمامی فاصله‌های بررسی‌شده سامانه DSF موجب کاهش بار گرمایش شده است که در بررسی فوق بهترین سامانه نمای دوپوسته از نظر کاهش بار گرمایش در زمستان DSF-TYPE. C بوده‌است.

**عمق محفظه هوا:** در تمامی جبهه‌ها و در تمامی نوع نمای دوپوسته هرچه عمق محفظه هوا بیشتر می‌شود، اثر سرمایشی سامانه بیشتر شده و میزان کاهش بار سرمایش بیشتر می‌گردد و هرچه عمق محفظه هوا کمتر می‌شود، اثر گرمایشی سامانه بیشتر شده و میزان کاهش بار گرمایش، بیشتر می‌شود.

[1]. DesignBuilder Simulation File

**جدول ۴: بهینه‌ترین سناریو، (نگارندگان)**

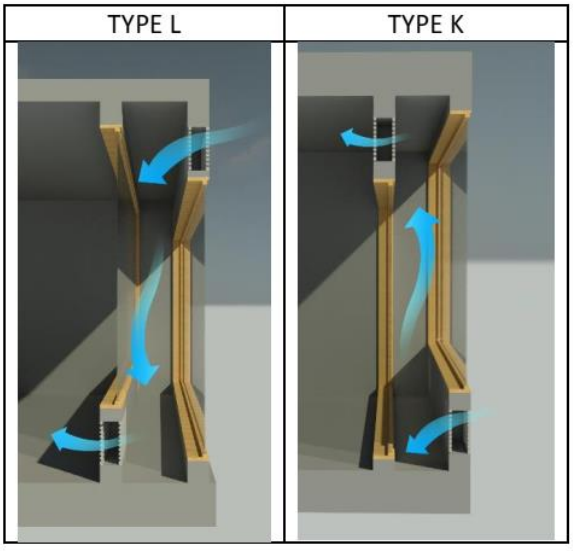
| عنوان | بهینه‌ترین سناریو TYPE C | بیشترین بار حرارتی TYPE A | درصد کاهش |
|---|---|---|---|
| میزان درصد کاهش بار حرارتی بهینه‌ترین مدل با مدلی که بیشترین بار حرارتی را دارد | ۲/۹۶ | ۳/۹۶ | ٪۲۵ |

**جدول ۵: بهینه‌ترین مدل پایه با مدل پایه بدون DSF، (نگارندگان)**

| عنوان | بهینه‌ترین سناریو TYPE C | مدل پایه بدون DSF | درصد کاهش |
|---|---|---|---|
| میزان درصد کاهش بار حرارتی بهینه‌ترین مدل با مدل پایه بدون DSF | ۲/۹۶ | ۵/۰۸ | ٪۴۸ |

**انتخاب نوع سامانه از نظر دریچه تهویه:**

نمای دوپوسته، از نظر نوع تهویه به سه دسته تقسیم می‌شود: تهویه طبیعی، تهویه با هواکش کمکی و تهویه مکانیکی. در این پژوهش تهویه طبیعی انتخاب‌شده و محل قرارگیری دریچه‌های تهویه، موردبررسی قرارگرفته است. پس از بررسی میزان فاصله دوپوسته، نوبت به بررسی محل قرارگیری دریچه‌های تهویه است. دریچه‌های تهویه، تحت عنوان دو سناریو ازلحاظ میزان بار حرارتی شبیه‌سازی شده‌است، قرارگیری دریچه‌ها در قسمت تحتانی پوسته‌ی خارجی و قسمت فوقانی پوسته داخلی مدل (TYPE. K) قرارگیری دریچه‌ها در قسمت فوقانی پوسته‌ی خارجی و قسمت تحتانی پوسته داخلی مدل (TYPE. l) (شکل ۷) (جدول ۶). قرارگیری دریچه‌های تهویه در قسمت تحتانی پوسته‌ی داخلی و قسمت فوقانی پوسته‌ی خارجی، موجب کاهش بار حرارتی نسبت به مدل TYPE. K می‌شود (جداول ۷، ۸، ۹).




**شکل ۷: محل قرارگیری دریچه‌های تهویه، (نگارندگان)**

**جدول ۶: میزان کاهش بار حرارتی دریچه‌های تهویه، (نگارندگان)**

| سناریو محل قرارگیری دریچه‌های تهویه در نمای دوپوسته | |
|---|---|
| قرارگیری دریچه‌های تهویه در قسمت تحتانی پوسته‌ی خارجی و قسمت فوقانی پوسته‌ی داخلی | **K** |
| قرارگیری دریچه‌های تهویه در قسمت تحتانی پوسته‌ی داخلی و قسمت فوقانی پوسته‌ی خارجی | **L** |

**جدول ۷: میزان کاهش بار حرارتی دریچه‌های تهویه، (نگارندگان)**

| SOUTH TYPE **L**CAVIT 60 -VENTILATION VENT | | |
|---|---|---|
| Total Cooling (KW) | Zoon Heating (KW) | System Load(kw) |
| ۳/۵۷ | ۲/۵۱ | ۶/۰۸ |

**جدول ۸: میزان کاهش بار حرارتی دریچه‌های تهویه، (نگارندگان)**

SOUTH TYPE **K**CAVIT 60 -VENTILATION VENT

| Total Cooling (KW) | Zoon Heating (KW) | System Load(kw) |
|---|---|---|
| ۴/۲۹ | ۲/۹۳ | ۷/۲۲ |

**جدول ۹: میزان کاهش بار حرارتی دریچه‌های تهویه، (نگارندگان)**

| عنوان | میزان بار حرارتی TYPE K | میزان بار حرارتی TYPE L | درصد کاهش |
|---|---|---|---|
| میزان درصد کاهش بار حرارتی مقایسه دو سناریو از نظر محل قرارگیری دریچه‌های تهویه | ۲/۹۳ | ۲/۵۱ | ٪۱۴ |

## بحث و نتیجه‌گیری

باتوجه به بررسی سناریوها مشخص می‌شود، فواصل میان دوپوسته نقش بسزایی در کاهش بار حرارتی دارند؛ پس از بررسی ده سناریو مشخص شد در سناریو TYPE C که فاصله ۶۰ سانتی‌متر میان دوپوسته است، ۳/۹۶ کیلو وات میزان بار حرارتی است و با افزایش میزان فاصله در مقطع ۸۰ و ۱۲۰ سانتی‌متری، بار افزایش می‌یابد و سپس تا فاصله‌ی دوم‌تری بار حرارتی کاهش می‌یابد. در بررسی میزان بار سرمایشی، مشخص‌شده با افزایش فاصله، میزان بار، کاهش می‌یابد و بیشترین میزان کاهش بار سرمایشی، مربوط به TYPE J بافاصله ۲ متر است که عدد ۳/۳۱ را نشان می‌دهد؛ همچنین ازلحاظ مجموع بارهای ساختمان TYPE J بیشترین میزان کاهش مجموع بارهای ساختمان را با ۶/۵۸ کیلووات بر ساعت دارد؛ پس انتخاب بهینه‌ترین سناریو، ازلحاظ میزان بار حرارتی، بررسی سناریو از نظر محل قرارگیری دریچه‌های تهویه صورت گرفت که قرارگیری دریچه‌های تهویه در قسمت فوقانی پوسته‌ی خارجی و قسمت تحتانی پوسته داخلی، نشان می‌دهد که میزان بار حرارتی ۱۴٪ کاهش داشته است؛ در بررسی‌های انجام‌شده، مشخص می‌شود استفاده از نمای دوپوسته در ساختمان اداری در اقلیم گرم‌وخشک، بافاصله میانی ۶۰ سانتی‌متر، موجب کاهش بار حرارتی شده‌است. این یافته‌ها ممکن است، در اقلیم متفاوت، یافته‌های دیگری داشته باشد. ازآنجایی‌که استفاده از نماهای دوپوسته، فناوری نوینی در ساختمان‌های اداری کشور محسوب می‌شود، بررسی فاکتورهایی، همچون عمق حفره، نوع اقلیم، نوع نمای دوپوسته، می‌تواند، موجب کاهش بارهای ساختمان و درنتیجه موجب کاهش مصرف انرژی شود. جهت پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد، عملکرد انواع دیگر نماهای دوپوسته، با نوع انتخابی در این پژوهش، مقایسه گردد. مشخصات پوسته‌ها، ضریب انتقال حرارتی لایه‌های تشکیل‌دهنده، نوع پوسته و همچنین این نوع سامانه برای اقلیم‌ها و عملکردهای دیگر نیز، می‌تواند مدنظر محققان باشد.

## منابع و مآخذ


بیدلی، مرسا؛ مدی، حسین؛ سهیلی، جمال‌الدین؛ و رهبری‌منش، کمال. (۱۳۹۹). ارزیابی تأثیر حفره میانی در عملکرد مصرف انرژی سرمایشی نمای دوپوسته گسترده در اقلیم گرم و مرطوب (جزیره کیش). معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۳(۳۰)، ۱۹-۲۹. https://doi.org/ 10.22034/aaud.2019.159288.1748.

خداکرمی، جمال؛ و قبادی، پریسا. (۱۳۹۵). بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان اداری مجهز به سیستم مدیریت هوشمند. مهندسی مدیریت انرژی (مدیریت انرژی)، ۶ (۲)، ۱۲-۲۳.

رسولی، مسعود؛ شهبازی، یاسر؛ و متینی، محمدرضا. (۱۳۹۸). عملکرد سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم متحرک در نمای دوپوسته ساختمان‌های اداری؛ ارزیابی و شبیه‌سازی پارامتریک. نقش‌جهان، ۹(۱)، ۲۳-۳۱ .

رحیمی، محمدعلی؛ و ایزدی زمان‌آبادی، سمانه. (۱۴۰۱). تأثیر نمای دوپوسته بر تهویه طبیعی در ساختمان‌های اداری در اقلیم معتدل و مرطوب؛ نمونه موردی: ساختمان اداری شبیه‌سازی‌شده در شهر رشت. شباک، ۸ (۴ (پیاپی ۶۷))، ۱-۱۲.

سلطانی محمدی، عقیل؛ ملایی‌نیا، محمودرضا؛ و عجم‌زاده، علی. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش بر اساس گزارش‌های چهارم و پنجم هیأت بین‌المللی تغییر اقلیم (مطالعه موردی: استان اصفهان). علوم مهندسی و آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، ۴۲(۲)، ۱-۱۶. https://doi.org/10.22055/jise.2017.19075.1373.

شیخ‌زاده، قنبر علی؛ خراسانی زاده، حسین؛ و سبزپوشانی، مجید. (۱۳۸۵). بررسی سایه‌بان‌های ساختمانی و تعیین تأثیر آن‌ها بر بارهای برودتی ساختمان. پنجمین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان. تهران: شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.

نوری‌وند، شیرین؛ بلیلان اصل، لیدا؛ ستارزاده، داریوش؛ و آصفی، مازیار. (۱۴۰۰). ارزیابی تاثیرافزایش عمق حفره و تعداد طبقات در عملکرد انرژی گونه‌های مختلف نمای دوپوسته در۳۶ سناریوی متفاوت در ساختمان‌های اداری اقلیم سرد (نمونه موردی: ساختمانی اداری در تبریز). علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۳(۷ (پیاپی ۱۱۰))، ۱-۱۹.
https://doi.org/10.30495/jest.2021.53808.5109.

Alahmed, Z. A. (2013). Double-skin facade in hot-arid climates: Computer simulation to find optimized energy and thermal performance of double skin facades. (Doctoral dissertation, University of Southern California).

Alberto, A., Ramos, N. M., & Almeida, R. M. (2017). Parametric study of double-skin facades performance in mild climate countries. Journal of Building Engineering, 12, 87-98. http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2017.05.013.

Blanco, J. M., Buruaga, A., Rojí, E., Cuadrado, J., & Pelaz, B. (2016). Energy assessment and optimization of perforated metal sheet double skin façades through Design Builder: A case study in Spain. Energy and Buildings, 111, 326-336. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.053.

Hadianpour, M., Mahdovinejad, M. J., Bamanian, M. R., & Haqshinaz, M. (2013). Capacity measurement and application of corrugated shells in hot and dry climate architectural design to reduce energy consumption: A case study of Yazd city.

Khayami, S., & Daneshjoo, K. (2022). The Effect of Dynamic Double Skin Façade on Energy Efficiency in Khayyam Administrative Building. Naqshejahan-Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning, 12 (2), 110-137. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1401.12.2.6.8.

Kim, D. D. (2021). Computational fluid dynamics assessment for the thermal performance of double-skin façades in office buildings under hot climatic condition. Building Services Engineering Research and Technology, 42 (1), 45-61. http://dx.doi.org/10.1177/0143624420952962.

Kim, Y., Aldawoud, A., Salameh, T., & Double skin façade: energy performance in the United Arab Emirates. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 16 (5), 387-405. https://doi.org/10.1080/15567249.2020.1813845.

Pilechiha, P., Mahdavinejad, M., Mirhosseini, S. N., & Ahmadi, J. (2019). Depth Optimization of Double Skin Facade, Considering Thermal Properties: Case Study of Karaj, Iran. African Journal of Engineering Research, 7 (3), 57-63. http://dx.doi.org/10.22034/AAUD.2019.114938.1411.

Poirazis, H. (2019). Double skin façades for office buildings (pp. 1-192). Report EBD.

Rezazadeh, N., & Medi, H. (2017). Thermal Behavior of Double Skin Facade in Terms of Energy Consumption in the Climate of North of Iran-Rasht. Space Ontology International Journal, 6 (4), 33-48. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23456450.2017.6.4.3.0.

Saelens, D. (2002). Energy performance assessment of single storey multiple-skin facades.

Salameh, T., Assad, M. E. H., Tawalbeh, M., Ghenai, C., Merabet, A., & Öztop, H. F. (2020). Analysis of cooling load on commercial buildings in the UAE climate using building-integrated photovoltaic façade system. Solar Energy, 199, 617-629. http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.062.

Saroglou, T., Theodosiou, T., Givoni, B., & Meir, I. A. (2020). Studies on the optimum double-skin curtain wall design for high-rise buildings in the Mediterranean climate. Energy and Buildings, 208, 109641. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109641.

Srisamranrungruang, T., & Hiyama, K. (2020). Balancing of natural ventilation, daylight, thermal effect for a building with double-skin perforated facade (DSPF). Energy and Buildings, 210, 109765. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109765.

Yang, H., Zhou, Y., Jin, F. Y., & Zhan, X. (2016). Thermal Environment Dynamic Simulation of Double Skin Façade with Middle Shading Device in Summer. Procedia Engineering. http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.384.

Yellamraju, V. (2004). Evaluation and design of double-skin facades for office buildings in hot climates (Doctoral dissertation). Texas A&M University.

Zolfaghari, A., Sa'adati Nasab, M., & Norouzi Jajarm, E. (2015). Utilizing phase change materials in double skin facade; An effective approach for using solar renewable energy. Journal of Renewable and New Energy, 2(2), 23-30.

www.esfahanmet.ir. Retrieved 2022, Dec.

www.istt.ir. Retrieved 2022, Dec.