

مقایسه تطبیقی تأثیر نمای دوپوسته دالانی و جعبه‌ای بر میزان مصرف انرژی در اقلیم‌های چهارگانه ایران

سینا الهیاری¹، زهرا رحمانی خرم²، طاها صباغیان³ و احد شاه‌حسینی^{4*}

تاریخ دریافت: 1402/10/19

تاریخ پذیرش: 1403/06/11

(صفحات 67-55)

چکیده

مقدمه: توجه به پوسته ساختمان به عنوان یک عامل اصلی در بهبود کارایی انرژی ساختمان‌ها افزایش یافته است. بهره‌وری از نماهای دوپوسته نسبت به نماهای تک‌پوسته در این زمینه کارایی بیشتری دارد. نماهای دوپوسته نقش اساسی در حفاظت از محیط داخل، جذب انرژی خورشید و تهویه دارند. بنابراین، نیاز است که در طراحی و نصب نماهای دوپوسته دقت کافی صورت گیرد تا عملکرد مناسبی نسبت به شرایط داشته باشد و استفاده از سیستم‌های شبیه‌سازی بهترین روش برای اطمینان از عملکرد نماها است. هدف پژوهش حاضر برآورد مصرف انرژی در ساختمان اداری با استفاده از نمای دوپوسته دالانی و جعبه‌ای در اقلیم چهارگانه ایران است.

روش تحقیق: روش پژوهش در این مقاله بر مبنای شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Design Builder و گردآوری داده‌های کتابخانه‌ای است که برای یک ساختمان اداری 5 طبقه در هر چهار اقلیم ایران برای فصل سرد با دو گونه نمای دوپوسته دالانی و جعبه‌ای عملکرد انرژی جهت دستیابی به حداقل مصرف انرژی محاسبه شده است.

نتایج و بحث: نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که عملکرد نمای دوپوسته به طراحی و شرایط اقلیمی وابسته است. در اقلیم سرد و کوهستانی (تبریز)، نمای دوپوسته جعبه‌ای با عمق 70 سانتی‌متر در جبهه جنوبی کاهش مصرف انرژی گرمایش را به میزان 15 درصد و مصرف سرمایش را به میزان 25/74 درصد نسبت به نمای دوپوسته دالانی نشان داد. در اقلیم گرم و خشک (یزد)، عملکرد مشابهی مشاهده شد. نمای جعبه‌ای توانست دمای فضای داخلی را بهینه‌تر حفظ کند و به ترتیب کاهش 15/91 درصدی در بار سرمایش و 20/63 درصدی در بار گرمایش ایجاد کند. در اقلیم معتدل و مرطوب (رامسر)، تفاوت عملکرد میان دو نوع نمای دوپوسته کمتر بود؛ هر دو نوع نما تقریباً کارایی مشابهی داشتند. نمای دوپوسته جعبه‌ای اندکی مؤثرتر عمل کرد و منجر به کاهش مصرف انرژی گرمایشی به میزان 18/25 درصد و سرمایشی به میزان 14/40 درصد شد. در اقلیم گرم و مرطوب (بندرعباس)، بار سرمایشی اهمیت بیشتری نسبت به بار گرمایشی داشت؛ در این منطقه، نمای دوپوسته جعبه‌ای توانست مصرف انرژی سرمایشی را حدود 3/94 درصد کاهش دهد، در حالی که تأثیر آن در کاهش بار گرمایشی بسیار ناچیز بود.

نتیجه‌گیری: به طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق بیان می‌کند نمای دوپوسته جعبه‌ای برای اقلیم‌های سرد و کوهستانی و گرم و خشک، به دلیل کنترل بهتر دما، گزینه مناسبی برای کاهش مصرف انرژی است؛ در حالی که در اقلیم‌های معتدل و مرطوب، استفاده از این نما به همراه سیستم‌های فعال مانند کلکتور خورشیدی می‌تواند به افزایش بهره‌وری انرژی منجر شود.

واژگان کلیدی: نمای دوپوسته دالانی، نمای دوپوسته جعبه‌ای، بهینه‌سازی مصرف انرژی، ساختمان اداری، اقلیم چهارگانه ایران.

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد، معماری انرژی دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

² دانشجوی کارشناسی ارشد، معماری انرژی دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

³ دانشجوی دکتری معماری، گروه ساختمان، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

⁴ دانشیار، دانشکده طراحی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران. (نویسنده مسئول) ahad.shahhoseini@tabriziau.ac.ir

1- مقدمه

امروزه به علت رشد روزافزون مصرف انرژی در جهان و با توجه به کمبود انرژی‌های تجدیدپذیر و آلودگی‌های شدید زیست‌محیطی ناشی از سوخت، ضرورت اجرای راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی به دلیل افزایش مصرف جهانی انرژی و کاهش منابع تجدیدپذیر اهمیت بیشتری پیدا کرده است. میزان مصرف و تقاضای انرژی جامعه در بخش ساختمان در حال افزایش بوده است و بیش از یک سوم انتشارات گازهای گلخانه‌ای در کشورهای پیشرفته به دلیل فعالیت‌های صنعت ساختمانی روی می‌دهد که نشان از نیاز فوری به توجه به کارایی انرژی در این صنعت دارد (Ascione et al., 2021). مصرف انرژی در ایران 4 برابر مصرف دیگر کشورهای دنیا برآورد شده است. مصرف بالای انرژی در ایران، نیازمند اعمال سیاست‌ها و راهکارهای مؤثر برای بهینه‌سازی مصرف انرژی است، زیرا آن نشان دهنده نیاز فوری به اقدامات جدی در این زمینه در کشور است (AvazalipourHaqiqatparast et al., 1970). بر اساس آخرین آمار سایت وزارت نیروی ایران که مربوط به سال 1396 است 34 درصد از انرژی کل کشور در بخش خانگی، عمومی و تجاری مصرف می‌شود (moe.gov.ir). افزایش نیاز ساختمان به عناصر کارآمد در حوزه انرژی باعث افزایش توجه به نقش و عملکرد عناصر ساختمانی شده که یکی از این عناصر مهم پوسته‌هاست. پوسته‌های ساختمان، از اهمیت بالایی برای ساختمان‌های کم‌مصرف برخوردارند و نیازمند توجه ویژه به بهبود کارایی انرژی در طراحی ساختمان‌ها هستند (Keshavarz et al., 2017). این عنصر مهم نقش اساسی در حفاظت و کنترل از محیط داخل، تبادل میان محیط داخل و خارج، جذب انرژی‌های خورشید، تهویه طبیعی، نفوذ نور و صدا به محیط داخل را به عهده دارد. این نکته که 22 درصد از جذب و اتلاف گرما از طریق پوسته‌های ساختمانی انجام می‌شود باعث به کارگیری تکنولوژی‌های غیر فعال در پوسته‌های ساختمانی به منظور کاهش مصرف انرژی شده است (Sadeghpour & Yavari, 2022). امروزه تمایل نمای ساختمان‌ها به ترکیب با شیشه و ایجاد نمایی شفاف برای بهره‌گیری

بیشتر از نور باعث افزایش استفاده از نمای دپوسته شده است. علاوه بر آن تأثیر به سزایی در سلامتی و آسایش ساکنان را در پی دارد. با توجه به تعداد افراد، میزان ساعات کاری (به طور متوسط 8 ساعت)، نوع مصرف انرژی و میزان نور دریافتی در طی روز، سهم مصرف انرژی برای ساختمان اداری بالا است و استفاده از نمای دپوسته به عنوان نما در این کاربری باعث کاهش چشم‌گیری از مصرف انرژی می‌شود.

هدف اصلی در طراحی، ارائه راهکاری به منظور کاهش مصرف انرژی به کمترین میزان ممکن است. این نماهای دپوسته، به دلیل توانایی جذب و ذخیره تابش خورشیدی در زمستان و کاهش تابش خورشیدی در تابستان، به عنوان یک راه‌حل سبز و پایدار مطرح شده است. در این روش، نمای دو پوسته با استفاده از شیشه‌های خاص، قادر به جذب تابش خورشیدی در زمستان و نگهداری آن برای استفاده در زمان‌های سرد است. در عین حال، در تابستان، نمای دپوسته می‌تواند تابش خورشیدی را کاهش داده و دفع گرما را سریع‌تر و با کارایی بیشتری انجام دهد. در نظر گرفتن پوسته بر روی نمای ساختمان باعث تأثیرات مثبتی همچون کاهش هزینه‌های انرژی، حفظ محیط زیست، افزایش راحتی و کیفیت زندگی ساکنان و کارایی بیشتر سیستم‌های گرمایش و سرمایش می‌شود و در نتیجه، انرژی بیشتری ذخیره و صرفه‌جویی در هزینه‌ها ایجاد می‌شود. به طور کلی، استفاده از نمای دپوسته باعث می‌شود که ساختمان‌ها از ظرفیت خود برای جذب و ذخیره انرژی خورشیدی استفاده کنند و به ساکنان اجازه دهند تا از مزایای این فناوری سبز و پایدار بهره‌مند شوند؛ اما استفاده کارآمد و مناسب از این نما، نیازمند شناخت رفتار و نحوه عملکرد این سیستم در ساختمان است که یکی از این روش‌ها جهت بدست آوردن اطمینان از درستی این سیستم، شبیه‌سازی انرژی است که در بهره‌وری انرژی ساختمان‌ها نقش اساسی دارد (Panas & Pantouvakis, 2010).

نمای دپوسته در صورت طراحی صحیح، می‌تواند شرایطی فراهم کند که همزمان هوای داخلی را بهبود و مصرف انرژی را کاهش دهد. زمانی که رویکرد کلی و

اهداف مشخص و واضح باشند، سیستم مذکور هم، به اندازه کافی انعطاف‌پذیر است که با تغییر آب‌وهوا برای انواع مختلف کاربری‌های ساختمان سازگار باشد.

1-1- مروری بر پیشینه پژوهشی

طراحی ساختمان‌ها برای دستیابی به شرایط مطلوب آسایش محیطی ساکنان بر اساس پارامترهایی مانند دما، رطوبت و جریان هوا انجام می‌شود که هرکدام نقشی اساسی در بهبود کیفیت زندگی دارند. با توجه به این نگرش، لزوم دقت در نوع اقلیم و شرایط آب‌وهوایی منطقه مورد نظر برای طراحی جداره‌های ساختمان انکارناپذیر است. در اقلیم سرد، جداره‌ها و پوسته‌های بنا، ابزاری در راستای حفظ و دریافت حرارت هستند. در اقلیم گرم، پوسته‌ها در کنار ایجاد تهویه (در ساعاتی که دمای هوای خارج مناسب باشد)، شرایطی را ایجاد می‌کنند که از ورود و دریافت ناخواسته تابش خورشید پیش‌گیری به عمل آید. جداره‌های دوپوسته به عنوان یک سیستم مؤثر می‌توانند نیازهای مختلف آسایش محیطی از جمله تهویه طبیعی و کنترل حرارت را برآورده کنند و موجب صرفه‌جویی انرژی شوند (Hood et al., 2018). نمای دوپوسته به‌عنوان یک سیستم غیر فعال، نقش مؤثری در جذب و نگهداری انرژی خورشیدی در فصول سرد ایفا می‌کند. اما در دوره گرما یا در مناطقی با اقلیم گرم، دما در حفره میانی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته که خود منجر به افزایش زیاد بار سرمایشی ساختمان می‌شود. در این صورت میزان زیادی از انرژی ذخیره شده در دوره سرما به دلیل عملکرد گلخانه‌ای نمای دوپوسته می‌بایست صرف بار سرمایشی ساختمان در دوره گرم شود (Farrokhzad & Nayeibi, 2014). در پژوهشی تحت عنوان «بررسی میزان اثر بخشی جداره دوپوسته بر بارهای سرمایشی و گرمایشی برای شرایط اقلیمی سردسیری و گرمسیری» به بررسی کاهش مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی ساختمان از طریق نمای دوپوسته برای شهر مسکو در روسیه با شرایط آب و هوایی سردسیری و شهر یزد با شرایط آب و هوایی گرمسیری پرداختند. در طرح پیشنهادی برای نمای دوپوسته در فصل‌های سرد با مسدود کردن بالا و پایین

نمای دوپوسته، هوای محبوس شده در بین دوپوسته به صورت عایق عمل کرده و هدر رفت انرژی کاهش یافت (Mirmohammadi & Taghizade, 2020). همچنین در فصول گرم، با ایجاد جریان هوا در نمای دوپوسته، می‌توان انتقال حرارت و تهویه را بهبود بخشید و از افزایش دمای داخلی جلوگیری کرد. نتایج حاصل نشان داد که استفاده از این روش در شهر مسکو میزان بار سرمایشی سالانه را 43 درصد و میزان بار گرمایشی سالانه را 3/4 درصد کاهش داد. همچنین نتایج برای شهر یزد افزایش 8/36 درصدی بار گرمایشی سالانه و کاهش 5/30 درصدی بار سرمایشی سالانه را نشان داد. با استفاده از نمای دوپوسته، عملکرد حرارتی ساختمان به ویژه در آب‌وهوای گرم مانند شهر بصره بهبود یافته است. در این پژوهش، با استفاده از شبیه‌سازی‌های حرارتی دینامیکی توسط نرم‌افزار TRNSYS 17 و بررسی مدل‌های کوچک مقیاس، مشخص شد که این نوع نما در تابستان، با کاهش دمای داخلی و نیاز به تهویه، به‌عنوان عایق حرارتی مؤثر عمل کرده و از اتلاف انرژی جلوگیری می‌کند. افزایش عامل سایه در نمای دوپوسته موجب کاهش دمای محیط داخلی به میزان 1/2 درجه سانتی‌گراد در تابستان می‌شود، در حالی که در زمستان، این عامل باعث افزایش نیاز به گرمایش می‌شود (Khadraoui et al., 2021).

در مطالعه‌ای با عنوان «بهینه‌سازی عملکرد حرارتی نمای دوپوسته تیپ جعبه‌ای با تهویه طبیعی در فصل تابستان در شهر تهران» به بررسی بهینه‌سازی عملکرد حرارتی نمای دوپوسته با تغییر سطح مقطع دریچه‌های تهویه، تغییر عرض حفره میانی و استفاده از شیشه معمولی و کم‌گسیل برای جداره‌های شفاف، در فصل تابستان، در شهر تهران پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که، افزایش عرض حفره میانی می‌تواند منجر به بهبود عملکرد حرارتی نما شود. افزایش سطح مقطع دریچه‌های تهویه ورودی و خروجی و به تبع آن افزایش نرخ حجمی جریان هوا در حفره میانی، لزوماً منجر به ارتقا عملکرد حرارتی نما نمی‌شود و استفاده از شیشه کم‌گسیل در قیاس با شیشه‌های معمولی، مخصوصاً برای جداره خارجی نمای دوپوسته باعث کاهش شار گرمایی عبوری از سطح شیشه داخلی نمای دوپوسته به داخل فضای

ساختمان به مقدار متوسط 23/1 درصد می‌شود (Siadati & Fayyaz, 2021).

در پژوهشی، تأثیر پیکربندی‌های مختلف نمای دوپوسته بر بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان در شهر اربیل بررسی شده است. با شبیه‌سازی و استفاده از مدل‌سازی پارامتری، پیکربندی‌های متفاوت نمای دوپوسته شامل نماهای ارتفاع ساختمان، ارتفاع طبقه، پنجره-باکس و شفت-باکس ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که جریان هوای زیاد بین مناطق حرارتی شفت-باکس موجب کاهش قابل توجه نیاز به سرمایش می‌شود، به‌طوری‌که تقاضای سالانه برای سرمایش تا 9 تا 14 درصد کاهش یافت و میزان انرژی سالانه تا 116574 کیلووات‌ساعت کاهش یافت. این نوع نما به‌خصوص در اقلیم معتدل اردبیل دارای مزایای بسیاری است و به‌طور مؤثری مصرف انرژی ساختمان را کاهش می‌دهد (Naddaf & Baper, 2023).

با مسدود کردن دریچه‌های موجود در قسمت فوقانی و تحتانی نمای دوپوسته که برای تهویه و گردش هوا تعبیه می‌شوند در فصول سرد، هوای محبوس شده در بین دوپوسته به صورت عایق عمل کرده و هدر رفت انرژی کاهش می‌یابد. همچنین در فصل‌های گرم از طریق باز گذاشتن بالا و پایین پوسته و ایجاد جریان هوا از بین دوپوسته انتقال حرارت از ساختمان افزایش یافته و در نتیجه دمای داخل آن کاهش می‌یابد و با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر می‌توان دریافت که در شهر تبریز میزان بارسرمایشی سالانه را 45 درصد و میزان بارگرمایشی سالانه را 5 درصد کاهش می‌دهد (Ghoddosifar & Faramarzi Asl, 2022).

در پژوهشی با موضوع «طراحی مبتنی بر شبیه‌سازی در تحقیقات تجربی عملکرد ساختمان، مورد مطالعاتی: یک ساختمان اداری در تبریز» به بررسی نماهای دوجداره و شبیه‌سازی پرداختند و نتایج شبیه‌سازی کاهش اتلاف انرژی می‌تواند به کنترل میزان انتقال حرارت از دیوارها، سقف و کف کمک کند. همچنین، در این مطالعه به بررسی روش‌های کاهش تقاضای انرژی در ساختمان‌ها پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با کاهش رسانایی حرارتی به عنوان عوامل مرتبط با ساخت و ساز، بار گرمایشی برای دیوارها به میزان 38 درصد و برای

سقف‌ها به میزان 77 درصد کاهش می‌یابد و کنترل خودکار روشنایی، پنجره، دمای تنظیم داخلی، تهویه طبیعی و سایبان به عنوان عوامل مرتبط با بهره‌برداری، مصرف کل انرژی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد و استفاده از ابزار شبیه‌سازی در طراحی ساختمان‌ها می‌تواند به بهبود عملکرد ساختمان، کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت زندگی ساکنین کمک کند (Nourivand et al., 2021). در طراحی ساختمان‌های مختلف، از جمله ساختمان‌های اداری، تجاری و مسکونی برای کاهش مصرف انرژی و کنترل تعامل حرارتی از نمای دو لایه شیشه‌ای استفاده شد. این نما، بهبودی در بارگذاری سرمایشی ساختمان و راحتی حرارتی ساکنان ایجاد می‌کند (Farrokhzad & Nayeibi, 2014).

با استفاده از شبیه‌سازی‌های نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر، تأثیر نمای دوپوسته بر کاهش مصرف انرژی ساختمان در شهر اهواز مورد بررسی قرار گرفته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که در فصل سرد، با بسته‌بودن دریچه‌های بالایی و پایینی، هوای محبوس‌شده در میان دو پوسته به‌عنوان عایق عمل کرده و اتلاف حرارت را کاهش می‌دهد. در فصل گرم، با باز بودن این دریچه‌ها، جریان هوا در فضای میان دو پوسته ایجاد شده و دمای داخلی کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از نمای دوپوسته می‌تواند میزان مصرف انرژی گرمایشی را تا 14 درصد کاهش دهد (Anahid & Ebrahimi Asl, 2023).

پژوهشی برای ارزیابی عملکرد نمای دوپوسته در کاهش تقاضای گرمایشی و بهبود آسایش حرارتی در مناطق سردسیر، مدلی حرارتی مبتنی بر شبکه عصبی برای تحلیل دقیق انتقال حرارت ارائه کرده است. داده‌های یک ساله‌ی واقعی از یک نمای موجود گردآوری و برای تحلیل حساسیت جهت شناسایی متغیرهای کلیدی مؤثر بر اتلاف حرارت استفاده شد. سپس این متغیرها در توسعه مدل انتقال حرارت نمای موجود به کار رفتند و با اعتبارسنجی در مقابل داده‌های تجربی، مدل بهبود یافته‌ای برای ارزیابی نمای دوپوسته طراحی شد. ارزیابی‌های انجام شده تحت شرایط مختلف از جمله حالت بسته، تهویه طبیعی و مکانیکی، نشان داد که در زمستان، نمای دوپوسته در مقایسه با نمای تک‌پوسته تا

از اجزای متحرک کمتری بهره‌گیری شده است. با این حال، یکی از نقاط ضعف این طراحی، افزایش بیش از حد دمای فضای داخلی در فصول گرم است (Preet et al., 2021). در این قسمت به انواع نماهای دوپوسته پرداخته شده است که به شرح زیر است:

با توجه به شکل شماره 1 (تصویر الف) که نمایانگر نمای دوپوسته دالانی است، هر طبقه به صورت مجزا از سایر طبقات عمل می‌کند، به طوری که حرارت به طبقات بالاتر منتقل نمی‌شود و ارتفاع نمای داخلی با ارتفاع هر طبقه مطابقت دارد. دریچه‌های ورودی و خروجی هوا در هر طبقه به طور جداگانه در نزدیکی کف و سقف قرار گرفته‌اند. نمای دالانی با جلوگیری از انتقال صدا و دود، و استقلال تهویه در هر طبقه، امکان حداکثر تهویه طبیعی را فراهم می‌سازد (Jankovic & Goia, 2021).

شکل شماره 1 (تصویر ب) نشان دهنده نمای دوپوسته چند طبقه‌ای است. این نما دوپوسته با فضای میانی، اتخاذ رویکردی بی‌تقسیم و یکپارچه بدون تقسیمات افقی و عمودی روی نمای ساختمان، به شکلی که در تمامی نقاط آن به صورت عمودی و هماهنگ طراحی شده است. در این ساختار، بازشوهای ورودی و خروجی هوا در بخش پایین‌ترین و بالاترین نقاط فضای میانی قرار می‌گیرند، تا فرایند تهویه هوا به گونه‌ای که از خاصیت شناوری یا با بهره‌گیری از ابزارها و دستگاه‌های مکانیکی صورت گیرد، انجام شود (Iken et al., 2019).

در این گونه نمای دوپوسته که در شکل شماره 1 (تصویر ج) مشاهده می‌شود، فضای میانی با تقسیماتی به وسعت یک الی دو دهانه در محور عمودی نما از یکدیگر جدا می‌شود. هوای ورودی از قسمت پایینی فضای میانی به هر یک از این محورها وارد می‌شود و از بالاترین نقطه طبقه آخر خروجی پیدا می‌کند. هدف اصلی این تقسیم بندی در محور عمودی، افزایش خاصیت دودکشی برای تهویه طبیعی در فضای میانی است (Yan et al., 2019). همان طور که در شکل شماره 1 (تصویر د) نشان داده شده است، طراحی نمای پنجره جعبه‌ای در نمای دوپوسته، با ایجاد محفظه‌های مستقل در برابر هر پنجره، امکان کنترل مستقیم تهویه و بهبود جریان هوای داخلی را برای هر طبقه فراهم می‌کند. پوسته بیرونی، دارای

24/65 درصد کاهش در اتلاف حرارت را فراهم می‌کند و در تابستان، نمای دوپوسته با تهویه مکانیکی و جریان هوا با سرعت 1/6 متر بر ثانیه، تا 33/7 درصد کاهش در جذب حرارت را نشان می‌دهد. مدل توسعه‌یافته دقت بالایی با میانگین خطای کمتر از 0/20 درصد در زمستان و 0/32 درصد در تابستان داشت. نتایج این تحقیق اهمیت نمای دوپوسته در بهبود کارایی انرژی و آسایش حرارتی در مناطق سرد را برجسته می‌سازد (Araji et al., 2024).

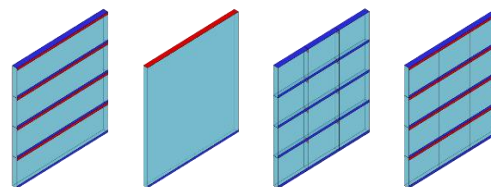
پژوهشی با عنوان «بررسی رفتار حرارتی نماهای دوپوسته در اقلیم شهر تهران» با هدف تحلیل عملکرد حرارتی نماهای دوپوسته در کاهش مصرف انرژی سیستم‌های HVAC و بهبود آسایش حرارتی انجام شده است. برای این منظور، شبیه‌سازی‌هایی با استفاده از نرم‌افزار E-QUEST روی یک ساختمان اداری در شهر تهران انجام شد. مدل‌سازی‌ها شامل بررسی دو حالت نمای تک‌پوسته و دوپوسته بود و تأثیر عواملی مانند لایه‌بندی نما، شفافیت و جهت آن بر مصرف انرژی سیستم‌های گرمایش و سرمایش تحلیل شد. نتایج نشان داد که نمای دوپوسته می‌تواند مصرف انرژی سیستم HVAC را بین 16 تا 20 درصد کاهش دهد. همچنین، در کاهش پیک بار سرمایش و گرمایش، به‌ویژه در جهات جنوبی و شرقی، تأثیر مثبتی داشته است. طراحی بهینه این نماها، شامل توجه به تهویه حفره میانی، استفاده از تجهیزات سایه‌انداز و تعیین مشخصات فیزیکی مناسب، نقش مهمی در بهبود عملکرد انرژی و افزایش آسایش حرارتی ساختمان ایفا می‌کند. این تحقیق نشان‌دهنده اهمیت استفاده از نمای دوپوسته در کاهش مصرف انرژی و ایجاد شرایط پایدار در ساختمان‌های اقلیم گرم است (Ghasnbaran & Aminpour, 2014).

1-2- چارچوب نظری

1-2-1- نمای دوپوسته

در این طراحی نمای دوپوسته، از شیشه به عنوان لایه بیرونی نما استفاده می‌شود که ظاهری یک‌دست و هماهنگ به ساختمان می‌بخشد. تهویه هوا در این نوع نما تنها در بخش‌های بالایی و پایینی صورت می‌گیرد و

دریچه‌هایی در قسمت فوقانی و تحتانی هر پنجره است که هوای تمیز را از یک جهت وارد و از جهت دیگر خارج می‌کند (Hassanli et al., 2018).



شکل 1- نماهای دوپوسته (تصویر چپ به راست الف) نمای دوپوسته دالانی (ب) نمای دوپوسته چندطبقه‌ای (ج) نمای دوپوسته محور عمودی (د) نمای دوپوسته جعبه‌ای

Fig. 1-Double-Skin Facades (from left to right in the image: a) Corridor double-skin facade b) Multi-story double-skin facade c) Shaft-box double-skin facade d) Box window double-skin facade)

2- روش تحقیق

روش کمی و گردآوری اطلاعات به گونه کتابخانه‌ای و با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار DesignBuilder مطابق شکل 2 و 3، به بررسی میزان مصرف انرژی نمای دوپوسته دالانی و جعبه‌ای برای این پژوهش در نظر گرفته شده است.

جهت انجام آزمایش دقیق در مبحث مورد نظر، باید متغیرهای نهفته را کنترل کرد. به همین دلیل، آزمایش با رعایت کنترل‌های دقیقی انجام شده است تا تأثیر اشتباهات ناشی از متغیرهای نهفته کاهش یابد. نرم‌افزار DesignBuilder، اطلاعاتی درباره عملکرد محیطی ساختمان را در دوره‌های سالانه، ماهانه، روزانه، ساعتی و زیر ساعتی فراهم می‌کند. این اطلاعات شامل مصرف انرژی، میزان انتشار کربن و آسایش دمایی در فضا است. همچنین، گزارش‌هایی درباره دریافت‌های خورشیدی، دمای سطوح، تبادل تابشی، سیستم‌های گرمایش و سرمایش و روشنایی روز نیز در این نرم‌افزار قابل دسترسی هستند. برای استفاده از این نرم‌افزار، کاربر ابتدا باید بعد بیرونی ساختمان را در محیط ترسیمی نرم‌افزار، ترسیم کند و سپس حجم سه بعدی آن را تکمیل کند. این نرم‌افزار قابلیت ترسیم بسیار دقیق و جزئیاتی از بخش‌های مختلف ساختمان را داراست و به کاربر امکان

می‌دهد تا با تغییر پارامترهای مختلف مانند سیستم‌های گرمایش و سرمایش، جنس و عایق‌بندی دیوارها و پنجره‌ها و غیره، عملکرد محیطی ساختمان را تحلیل و بهبود بخشد. البته در کار با این نرم‌افزار، باید به دقت و رعایت اصول و روش‌های مناسب، به تحلیل و شبیه‌سازی پرداخت تا نتایج دقیق و قابل اعتمادی به دست آید. این نرم‌افزار دارای کاربردهای متعددی است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- محاسبه مصرف انرژی ساختمان
- گزارش صرفه‌جویی در روشنایی الکتریکی به دلیل استفاده از نور طبیعی روز
- پیش‌بینی توزیع طبیعی نور روز از طریق شبیه‌سازی Radiance
- محاسبه ظرفیت تجهیزات گرمایشی و سرمایشی
- شبیه‌سازی دقیق و طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع و تهویه طبیعی از جمله تأثیر توزیع هوای تأمین‌کننده بر دما و توزیع سرعت در اتاق با استفاده از CFD
- تجزیه و تحلیل اقتصادی براساس هزینه‌های ساخت و ساز، هزینه‌های آب و برق و هزینه‌های چرخه زندگی
- بهینه‌سازی طراحی با چندین هدف، محدودیت و متغیرهای طراحی (Nourivand et al., 2021)

در این پژوهش، از این روش برای شهر تبریز، یزد، رامسر و بندرعباس، که شامل اقلیم‌های چهارگانه ایران است، استفاده شده است.

نمونه مورد بررسی در این پژوهش، یک ساختمان اداری با عرض 15 متر، طول 20 متر و ارتفاع کف تا سقف 4 متر است که در 4 سناریو مختلف مورد تحلیل قرار می‌گیرد. انتخاب این ساختمان با ویژگی‌ها و مشخصات خاص مطرح شده در مقاله به دلیل تطابق آن با اهداف پژوهش و امکان ارزیابی دقیق تأثیر نمای دوپوسته بر مصرف انرژی است. این ساختمان به عنوان یک نمونه نماینده از ساختمان‌های اداری انتخاب شده تا تأثیرات استفاده از نمای دوپوسته در شرایط اقلیمی خاص به‌طور واقعی و عملیاتی سنجیده شود. علاوه بر این، این ساختمان به گونه‌ای طراحی شده که شبیه‌سازی‌ها بتوانند نتایج دقیقی ارائه دهند، چرا که ابعاد و فرم آن

جدول 1- مواد سقف
Tab. 1- Ceiling material

جنس سقف	ضخامت (cm)	مقاومت حرارتی (W/m-k)	گرمای ویژه (J/kg-K)
موزائیک	3	0/022	900
ماسه نرم	3	0/04	800
عایق حرارتی	5	1/25	1300
عایق رطوبتی	1	0/042	1400
سیمان لیسهای	2	0/05	840
پوکه معدنی	10	0/122	960

جدول 2- مواد دیوار
Tab. 2- Wall material

جنس دیوار	ضخامت (cm)	مقاومت حرارتی (W/m-k)	گرمای ویژه (J/kg-K)
آجر مجوف	22	0/28	850
هوا	0/5	0/11	1005
عایق یونولیت	5	1/25	1300
آجر سبک	10/5	0/13	840
گچ کاری	1/2	0/21	1090

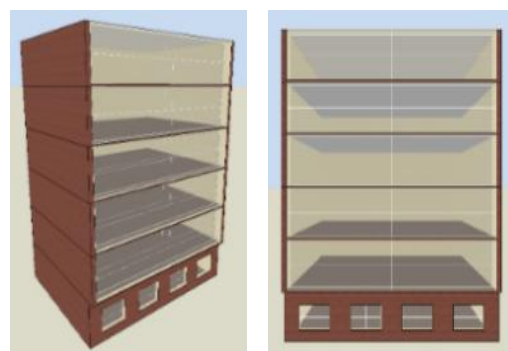
جدول 3- مواد کف
Tab. 3- Floor material

جنس کف	ضخامت (cm)	مقاومت حرارتی (W/m-k)	گرمای ویژه (J/kg-K)
فوم	13/5	0/042	1400
بتن سبک دانه	10	1/22	900
کف پوش	7/5	0/33	1080
پوشش چوب	3/2	1/33	1700

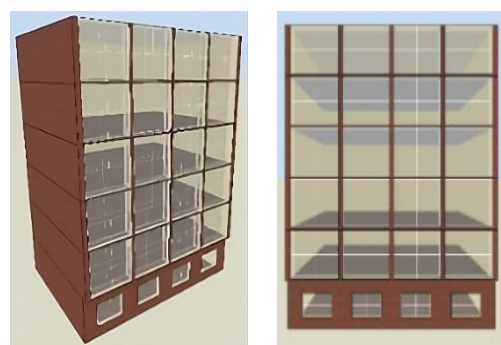
جدول 4- مواد شیشه
Tab. 4- Glass material

جنس شیشه	ضخامت (cm)	مقاومت حرارتی (W/m-k)	گرمای ویژه (J/kg-K)
شیشه دوجداره پر شده از هوا	1.2	0/6	840
شیشه تک جداره	0/6	0/17	840

امکان کنترل دقیق متغیرها را فراهم می‌کند. عمق نماهای دو پوسته دالانی و پنجره جعبه‌ای 70 سانتی متر در نظر گرفته شده است. (Nourivand et al., 2021) لازم به ذکر است که نمای دو پوسته در ساختمان اداری در 4 شهر تبریز، یزد، رامسر و بندرعباس در ضلع جنوبی ساختمان و متناسب با جهت بهره‌گیری بیشتر ساختمان از تابش آفتاب شبیه‌سازی شده است. با بررسی آنالیزهای حاصل از شبیه‌سازی، بهینه‌ترین حالت ارائه می‌شود.



شکل 2- نمای دو پوسته دالانی
Fig. 2- Corridor double-skin facade

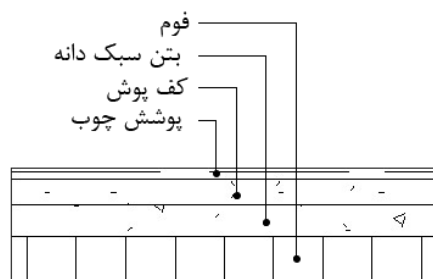


شکل 3- نمای دو پوسته جعبه‌ای
Fig. 3- Box window double-skin facade

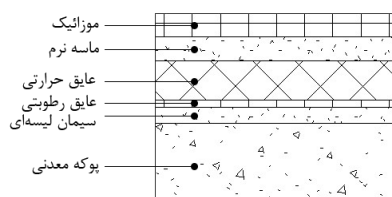
1-2- شبیه‌سازی

در این بخش، شبیه‌سازی ساختمان با نمای دو پوسته در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر برای بررسی اثر این نوع نما در کاهش مصرف انرژی انجام می‌شود و جداول 1، 2، 3، 4 که به ترتیب بیانگر مواد لایه‌های تشکیل دهنده سقف، دیوار، کف و شیشه است، به نرم‌افزار داده شد. باید توجه شود که این مشخصات در تمام گونه‌ها به عنوان پارامترهای ثابت و مستخرج از مقررات ملی 19، پیوست 7، 8، 9 است.

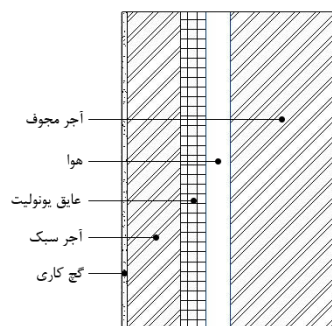
ساختمان مورد بررسی با مساحت 1800 متر مربع است. ابتدا هندسه ساختمان بدون در نظر گرفتن نمای دوپوسته ترسیم می‌شود و سپس هر یک از نماهای دوپوسته به این ساختمان اضافه و ساختمان با نمای دوپوسته ایجاد شده، در حافظه رایانه ثبت می‌شود. نمای دوپوسته مطابق با جدول شماره 4 با شیشه تک جداره به ضخامت 0/6 سانتی متر و فاصله 70 سانتی متر از نمای اصلی در ضلع جنوبی ساختمان قرار گرفته است. همان طور که در جدول شماره 2 قابل مشاهده است، تمامی جداره‌ها متشکل از آجر مجوف به ضخامت 22 سانتی متر، یک لایه هوا به ضخامت 0/5 سانتی متر، عایق یونولیت با 5 سانتی متر ضخامت، آجر سبک 10/5 سانتی متر و در انتها یک لایه گچ کاری با ضخامت 1/2 سانتی متر است.



شکل 4- جزئیات کفسازی
Fig. 4- Flooring details



شکل 5- جزئیات سقف
Fig. 5- Ceiling details



شکل 6- جزئیات دیوار
Fig. 6- Wall details

سقف در نظر گرفته شده طبق جدول شماره 1 برای ساختمان اداری با لایه‌بندی به ترتیب موزائیک و ماسه نرم هر کدام با ضخامت 3 سانتی متر، دو عایق حرارتی و رطوبتی با ضخامت 5 و 1 سانتی متر و دو لایه سیمان لیسهای و پوکه معدنی با ضخامت‌های 2 و 10 سانتی متر تشکیل شده است. مواد لایه‌بندی کف مطابق جدول شماره 3 بدین صورت است که ابتدا یک لایه فوم با ضخامت 13/5 سانتی متر سپس بتن سبک دانه با ضخامت 10 سانتی متر، لایه کف پوش با ضخامت 7/5 سانتی متر و پوشش چوب با ضخامت 3/2 سانتی متر قرار گرفته است.

2-2- اعتبارسنجی نتایج

به منظور اعتبارسنجی نتایج و اطمینان از دقت شبیه‌سازی‌ها، در این پژوهش از دو نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی بهره گرفته شده است. علاوه بر نرم‌افزار DesignBuilder، که شبیه‌سازی‌های اصلی تحقیق بر مبنای آن انجام شده است، نرم‌افزار EnergyPlus نیز به کار گرفته شد تا نتایج شبیه‌سازی‌ها در هر دو نرم‌افزار بررسی و با یکدیگر مقایسه شوند. انتظار می‌رود که اختلاف میان نتایج حاصل از این دو نرم‌افزار، در صورتی که کلیه پارامترهای شبیه‌سازی از جمله مواد، شرایط اقلیمی، و سایر مشخصات دقیقاً یکسان در نظر گرفته شوند، کمتر از 5 درصد باشد.

با توجه به مطالعات پیشین در مورد نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزارهای مختلف، این اختلاف جزئی به دلیل تفاوت‌های اندک در الگوریتم‌های پردازش داده در نرم‌افزارهای گوناگون، طبیعی بوده و در محدوده قابل‌قبولی قرار دارد؛ این امر اطمینان از صحت نتایج را فراهم می‌سازد. (Kensek et al., 2013; Zhu et al., 2012).

با انجام شبیه‌سازی در هر دو نرم‌افزار EnergyPlus و DesignBuilder، اختلاف 2/7٪ میان نتایج مشاهده شد که در محدوده قابل قبول کمتر از 5٪ قرار دارد. این اختلاف، ناشی از تفاوت‌های جزئی در الگوریتم‌های محاسباتی دو نرم‌افزار است و نشان‌دهنده دقت و صحت نتایج به دست آمده در این پژوهش است.

و در بخش بار سرمایش به 15744/3 کیلو وات ساعت رسید که در نتیجه نمای دوپوسته جعبه‌ای، در بار گرمایش معادل 16401/2 کیلو وات ساعت و در بار سرمایش معادل 5465/3 کیلو وات ساعت باعث کاهش مصرف انرژی شد.

نتایج حاصل نشان داد که در بهبود طراحی و بهره‌بری از نمای دوپوسته، نمای دوپوسته جعبه‌ای تأثیر قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی در هر بخش گرمایش و سرمایش خواهد داشت و استفاده از این نمای دوپوسته برای اقلیم سرد و کوهستانی توصیه می‌شود.



شکل 7- مدل سه بعدی در EnergyPlus
Fig. 7- 3D-model in EnergyPlus

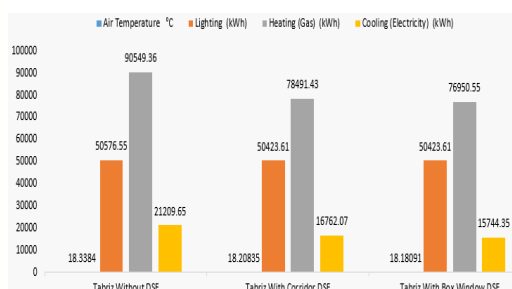
3- نتایج و بحث

بار سرمایش و گرمایش در 3 ماه سرد سال برای یک ساختمان اداری در 8 سناریو و مدل پایه برای هر اقلیم در نظر گرفته شده است که در این بخش نتایج را بر اساس نوع اقلیم تقسیم بندی کرده و برای هر یک، نمای دوپوسته انتخابی را تحلیل و بهینه‌ترین آن را معرفی شده است.

3-1- اقلیم سرد و کوهستانی

با توجه به نتایج شبیه‌سازی مدل پایه برای این اقلیم در شهر تبریز با اطلاعات آب‌وهوایی آن منطقه با دمای میانگین 18 درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده، نشان می‌دهد که میزان انرژی مصرفی برای بخش روشنایی معادل 50576/5 کیلو وات ساعت و میزان مصرف انرژی بار گرمایش به صورت گاز 90549/3 کیلو وات ساعت و انرژی مصرفی بار سرمایش به صورت الکتریکی 21209/6 کیلو وات ساعت بدست آمده است.

حال با در نظر گرفتن نمای دوپوسته دالانی بروی نمای جنوبی ساختمان اداری، مصرف انرژی در بخش روشنایی به 50423/6 کیلو وات ساعت و میزان مصرف انرژی بار گرمایش به 70491/4 کیلو وات ساعت و در بخش بار سرمایش به 16762/07 کیلو وات ساعت رسید که نمای دوپوسته دالانی، در بخش گرمایش 12057/03 کیلو وات ساعت و سرمایش 4447/58 کیلو وات ساعت منجر به کاهش مصرف انرژی شد. با به کارگیری نمای دوپوسته جعبه‌ای بر روی ساختمان، به ترتیب مصرف انرژی در بخش روشنایی به 50423/6 کیلو وات ساعت و میزان مصرف انرژی بار گرمایش به 76950/5 کیلو وات ساعت



شکل 8- نمودار اقلیم سرد و کوهستانی (از چپ به راست

الف) ساختمان بدون نمای دوپوسته ب) ساختمان با نمای

دوپوسته دالانی ج) ساختمان با نمای دوپوسته جعبه‌ای

Fig. 8- Cold and mountainous climate diagram (from left to right: A) Building without a double-skin facade B) Building with a corridor double-skin facade C) Building with a box window double-skin facade)

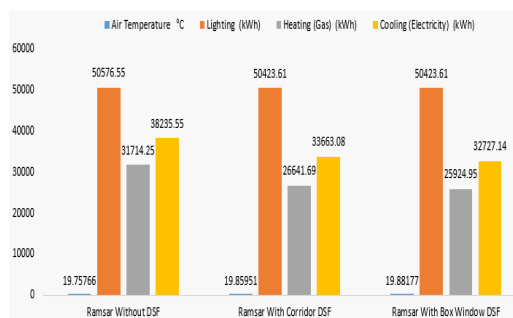
3-2- اقلیم گرم و خشک

با توجه به نتایج شبیه‌سازی مدل پایه در شهر یزد با اطلاعات آب و هوایی آن منطقه با دمای میانگین 20 درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده، نشان می‌دهد که میزان مصرف انرژی برای بخش روشنایی معادل 50576/5 کیلو وات ساعت و میزان مصرف انرژی بار گرمایش به صورت گاز معادل 41648/8 کیلو وات ساعت و انرژی مصرفی بار سرمایش به صورت الکتریکی معادل 48982/04 کیلو وات ساعت بدست آمد.

با در نظر گرفتن نمای دوپوسته دالانی بر روی نمای جنوبی ساختمان اداری، مصرف انرژی در بخش روشنایی به 50423/6 کیلو وات ساعت و میزان مصرف انرژی بار گرمایش به 34344/02 کیلو وات ساعت و در بخش بار سرمایش به 42882/6 کیلو وات ساعت رسید که نمای دوپوسته دالانی، در بخش گرمایش معادل 7304/7 کیلو

با در نظر گرفتن نمای دوپوسته دالانی بر روی نمای جنوبی ساختمان اداری، مصرف انرژی در بخش روشنایی به 50423/6 کیلووات ساعت و میزان مصرف انرژی بار گرمایش به 26641/6 کیلووات ساعت و در بخش بار سرمایش به 33663/08 کیلووات ساعت رسید که در نتیجه نمای دوپوسته دالانی، در بخش گرمایش معادل 5072/6 کیلووات ساعت و در بخش سرمایش معادل 4572/4 کیلووات ساعت منجر به کاهش مصرف انرژی شد. با به کارگیری نمای دوپوسته جعبه‌ای بر روی ساختمان، به ترتیب مصرف انرژی در بخش روشنایی به 50423/6 کیلووات ساعت و میزان مصرف انرژی بار گرمایش به 25924/9 کیلووات ساعت و در بخش بار سرمایش به 32727/1 کیلووات ساعت رسید که در نهایت نمای دوپوسته جعبه‌ای، در بار گرمایش معادل 5789/3 کیلووات ساعت و بار سرمایش معادل 5508/4 کیلووات ساعت باعث کاهش مصرف انرژی شد.

نتایج حاصل بیانگر این است که در بهبود طراحی و بهره‌بری از نمای دوپوسته دالانی و جعبه‌ای هر دو تقریباً به یک میزان تأثیر در کاهش مصرف انرژی در بخش گرمایش و سرمایش خواهند داشت اما تأثیر نمای دوپوسته جعبه‌ای مقدار کمی بیشتر است و در این اقلیم به کارگیری نمای دوپوسته به عوامل دیگر مانند هزینه و نوع اجرا و غیره بستگی دارد که مستلزم بررسی بیشتر است.



شکل 10- نمودار اقلیم معتدل و مرطوب (از چپ به راست

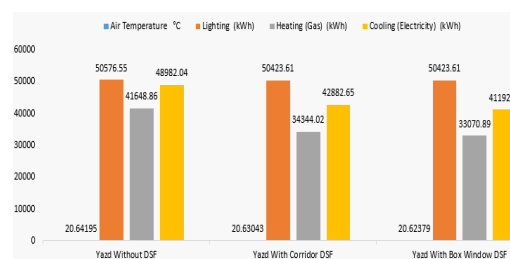
الف) ساختمان بدون نمای دوپوسته ب) ساختمان با نمای

دوپوسته دالانی ج) ساختمان با نمای دوپوسته جعبه‌ای

Fig. 10- Temperate and humid climate diagram (from left to right: A) Building without a double-skin facade B) Building with a corridor double-skin facade C) Building with a box window double-skin facade)

وات ساعت و در بخش سرمایش معادل 6099/4 کیلووات ساعت باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود. با به کارگیری نمای دوپوسته جعبه‌ای بر روی ساختمان، به ترتیب مصرف انرژی در بخش روشنایی به 50423/6 کیلووات ساعت و میزان مصرف انرژی بار گرمایش به 33070/8 کیلووات ساعت و در بخش بار سرمایش به 41192/8 کیلووات ساعت رسید که در نتیجه نمای دوپوسته جعبه‌ای، در بار گرمایش معادل 8578 کیلووات ساعت و بار سرمایش معادل 7789/2 کیلووات ساعت سبب کاهش مصرف انرژی شد.

نتایج حاصل بیانگر این است که در بهبود طراحی و بهره‌بری از نمای دوپوسته جعبه‌ای تأثیر بیشتری نسبت به نمای دوپوسته دالانی در کاهش مصرف انرژی در هر دو بخش گرمایش و سرمایش خواهد داشت و استفاده از این نمای دوپوسته برای اقلیم گرم و خشک توصیه می‌گردد.



شکل 9- نمودار اقلیم گرم و خشک (از چپ به راست

الف) ساختمان بدون نمای دوپوسته ب) ساختمان با نمای

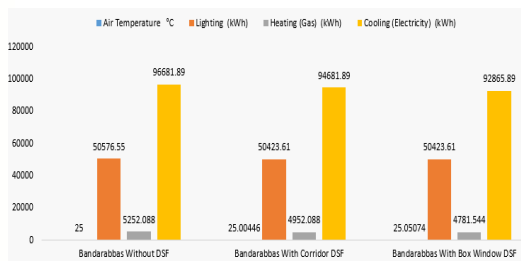
دوپوسته دالانی ج) ساختمان با نمای دوپوسته جعبه‌ای

Fig. 9- Warm and arid climate diagram (from left to right: A) Building without a double-skin facade B) Building with a corridor double-skin facade C) Building with a box window double-skin facade)

3-3- اقلیم معتدل و مرطوب

با توجه به نتایج شبیه‌سازی مدل پایه در شهر رامسر با اطلاعات آب‌وهوایی آن منطقه با دمای میانگین 19 درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده، نشان می‌دهد که میزان مصرف انرژی برای بخش روشنایی معادل 50576/5 کیلووات ساعت و میزان مصرف انرژی بار گرمایش به صورت گاز معادل 31714/2 کیلووات ساعت و انرژی مصرفی بار سرمایش به صورت الکتریکی معادل 38235/5 کیلووات ساعت به‌دست آمد.

سپس این نمای دوپوسته به ترتیب در اقلیم‌های گرم و خشک و معتدل و مرطوب کاهش مصرف انرژی را در بر دارد. همچنین در استفاده از نمای دوپوسته جعبه‌ای در اقلیم‌های مذکور، بیشترین کاهش مصرف انرژی به ترتیب مربوط به اقلیم سرد و کوهستانی، اقلیم گرم و خشک، اقلیم معتدل و مرطوب و در نهایت اقلیم گرم و مرطوب است.



شکل 11- نمودار اقلیم گرم و مرطوب (از چپ به راست الف) ساختمان بدون نمای دوپوسته ب) ساختمان با نمای دوپوسته دالانی ج) ساختمان با نمای دوپوسته جعبه‌ای
Fig. 11- Warm and humid climate diagram (from left to right: A) Building without a double-skin facade B) Building with a corridor double-skin facade C) Building with a box window double-skin facade)

جدول 5- دسته بندی میزان تأثیر نماهای دوپوسته
Tab. 5- Classification of the impact level of double-skin facades

اقلیم	بدون نمای دوپوسته	نمای دوپوسته دالانی	نمای دوپوسته جعبه‌ای
اقلیم سرد و کوهستانی	111759/01	95253/5	92694/9
اقلیم گرم و خشک	90630/9	77226/67	74263/77
اقلیم معتدل و مرطوب	69949/8	60304/77	58652/09
اقلیم گرم و مرطوب	101933/97	99633/97	97647/43

4- نتیجه‌گیری

یکی از مسائل اصلی و حائز اهمیت برای معماران، طراحان و کاربران ساختمان، میزان مصرف انرژی، میزان دریافت و حفظ انرژی، عدم دریافت گرمای خورشید در

4-3- اقلیم گرم و مرطوب

نتایج شبیه‌سازی مدل پایه در شهر بندرعباس با اطلاعات آب‌وهوایی آن منطقه با دمای میانگین 25 درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده، نشان داد که میزان مصرف انرژی برای بخش روشنایی معادل 50576/5 کیلووات ساعت و میزان مصرف انرژی بار گرمایش به صورت گاز معادل 5252/08 کیلووات ساعت و مصرف انرژی بار سرمایش به صورت الکتریکی معادل 96681/8 کیلووات ساعت به دست آمد.

با در نظر گرفتن نمای دوپوسته دالانی بر روی نمای جنوبی ساختمان اداری، مصرف انرژی در بخش روشنایی به 50423/6 کیلووات ساعت و میزان مصرف انرژی بار گرمایش به 4952/08 کیلووات ساعت و در بخش بار سرمایش به 94681/8 کیلووات ساعت رسید که در نهایت نمای دوپوسته دالانی، در بخش گرمایش معادل 300 کیلووات ساعت و در بخش سرمایش معادل 2000 کیلووات ساعت سبب کاهش مصرف انرژی شد. با به کارگیری نمای دوپوسته جعبه‌ای بر روی ساختمان، به ترتیب مصرف انرژی در بخش روشنایی به 50423/6 کیلووات ساعت و میزان مصرف انرژی بار گرمایش به 4781/5 کیلووات ساعت و در بخش بار سرمایش به 92855/6 کیلووات ساعت رسید که در نتیجه نمای دوپوسته جعبه‌ای، در بار گرمایش معادل 470 کیلووات ساعت و در بار سرمایش معادل 3816 کیلووات ساعت باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود.

نتایج حاصل بیانگر این است که در بهبود طراحی و بهره‌بری از نمای دوپوسته جعبه‌ای تأثیر بیشتری نسبت به نمای دوپوسته دالانی در کاهش مصرف انرژی در هر دو بخش گرمایش و سرمایش خواهد داشت، گرچه در این اقلیم بار گرمایش مصرف ناچیزی دارد ولی مصرف انرژی در بخش سرمایش مقدار قابل توجهی است و استفاده از این نمای دوپوسته برای اقلیم گرم و مرطوب توصیه می‌گردد.

با توجه به جدول شماره 5، به کارگیری نمای دوپوسته دالانی در اقلیم‌های چهارگانه ایران ابتدا بیشترین تأثیر در کاهش مصرف انرژی، در اقلیم سرد و کوهستانی و کمترین تأثیر در اقلیم گرم و مرطوب مشاهده می‌شود،

Building and Environment, 256, 111500. DOI: 10.1016/j.buildenv.2024.111500

Ascione, F., Bianco, N., Iovane, T., Mastellone, M., & Mauro, G. M. (2021). The evolution of building energy retrofit via double-skin and responsive façades: A review. *Solar Energy*, 224, DOI: 10.1016/j.solener.2021.06.035

AvazalipourHaqiqatparast, S., Taghizadeh, Y., & Zabihi, H. (2019). Designing a native pattern in arid climate to reduce energy consumption in housing sector (Case study: Yazd). *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(3), <https://www.magiran.com/paper/2007687>

Farrokhzad, M., Nayeibi, Z. (2014). Double skin glass façade and its effect on saving energy. *Iran University of Science & Technology*, 24(2), <http://ijaup.iust.ac.ir/article-1-144-en.html>

Ghasnbaran, A., & Aminpour, A. (2014). Assessment of Thermal Behavior of Double Skin Façade in the Climate of Tehran. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, 1(2), 43–53. https://jsaud.sru.ac.ir/article_175.html

Ghoddosifar, S. M., & Faramarzi Asl, M. (2022). Analyzing the double skin facade moving in the efficiency of energy consumption in residential buildings sustainability in Tabriz city. *Sustainability, Development & Environment*, 3(4),

Hassanli, S., Kwok, K. C., & Zhao, M. (2018). Performance assessment of a special Double Skin Façade system for wind energy harvesting and a case study. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 175, DOI: 10.1016/j.jweia.2018.02.002

Hood, S., Mahmoodi Zarendi, M., & Kamyabi, S. (2018). Optimal placement of shadow tools of double-skin facade with the aim of achieving thermal comfort in hot climate. *Naqshejahan-Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 8(3), <http://bsnt.modares.ac.ir/article-2-30719-en.html>

<http://www.moe.gov.ir> ./

Iken, O., Dlimi, M., Agounoun, R., Kadiri, I., & Sbati, K. (2019). Thermal and energy performance investigation of a smart double skin facade integrating vanadium dioxide through CFD simulations. *Energy Conversion and Management*, 195, DOI: 10.1016/j.enconman.2019.04.070

فصل گرم و بهره‌بری مناسب از گرمای خورشید در فصل سرد سال است. برای دستیابی به این هدف در نظر گرفتن شرایط آب و هوای منطقه در طراحی و رعایت اصول طراحی متناسب با نیاز کاربران و کاربری ساختمان از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین دلیل استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای می‌تواند به عنوان یک ابزار پیش‌بینی برای سهولت در تصمیم‌گیری و طراحی استفاده شود. شبیه‌سازی در مرحله طراحی امکان تغییر طرح و تأثیر گذاری بار طراحی را به معماران و طراحان می‌دهد. در این پژوهش، دو نوع نمای دوپوسته دالانی و جعبه‌ای در 4 اقلیم ایران در فصل سرد برای یک ساختمان اداری با مشخصات، نمای دوپوسته در جبهه جنوبی با عمق 70 سانتی متر مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از نمای دوپوسته دالانی نسبت به نمای دوپوسته جعبه‌ای در کاهش مصرف انرژی در اقلیم‌های چهارگانه تأثیر کمتری داشته است. نمای دوپوسته جعبه‌ای در شهر تبریز 2/29 درصد، شهر یزد 3/27 درصد، شهر رامسر 2/36 درصد و شهر بندرعباس 1/95 درصد بیشتر از نمای دوپوسته دالانی در کاهش مصرف انرژی تأثیر داشته است. اما با توجه به شرایط آب و هوایی متعادل‌تر در برخی اقلیم‌ها، در این مناطق توصیه می‌شود از سیستم‌های فعال مختلف برای کاهش مصرف انرژی استفاده شود. از این رو، در اقلیم‌های سخت (سرد و کوهستانی و گرم و خشک)، می‌توان از نمای دوپوسته بهره‌برداری کرد، اما در اقلیم‌های دیگر، به منظور کاهش مصرف انرژی، سیستم‌های فعال دیگری مانند آبگرمکن خورشیدی، کلکتورها و گرمایش از کف پیشنهاد می‌شود. این انتخاب بستگی به شرایط آب و هوایی و محیطی هر منطقه دارد.

References

Anahid, B., & Ebrahimi Asl, & H. (2023). Sustainable Architectural Development and Double-Shell Facades: Application of Double-Shell Facades in Reducing Environmental Pollution and Preventing Energy Waste. *Islamic Art Studies*, 20(50), 282-309. DOI: 10.22034/IAS.2021.304985.1725

Araji, M. T., Elmalky, A. M., & Yao, M. G. (2024). Experimental validation of ventilated double-skin façades aided by neural networks and thermal modelling for heating demand reduction.



Skin Facade in Office Buildings of Cold Climate in 36 Different Scenarios (Case Study: An Office Building in Tabriz). *Journal of Environmental Science and Technology*, 23(7), 1–19. <https://www.magiran.com/p2397008>

Panas, A., & Pantouvakis, J. P. (2010). Evaluating research methodology in construction productivity studies. *The Built & Human Environment Review*, 3(1), https://www.researchgate.net/publication/282715366_Evaluating_research_methodology_in_construction_productivity_studies

Preet, S., Sharma, M. K., Mathur, J., Chowdhury, A., & Mathur, S. (2021). Analytical model of semi-transparent photovoltaic double-skin façade system (STPV-DSF) for natural and forced ventilation modes. *International Journal of Ventilation*, DOI: 10.1080/14733315.2021.1971873

Sadeghpour, A. H., & Yavari, N. (2022). Analysis of dynamic mechanisms in building facades. *Journal of Renewable and New Energy*, 9(2), DOI: 20.1001.1.24234931.1401.9.2.11.4

Siadati, F. S., & Fayyaz, R. , & N. (2021). Optimization of Thermal Performance of a Double- Keshavarz Summer in Tehran. *Journal of Hot and Dry Climate Architecture*, 9(13), 155-175. DOI: 10.29252/AHDC.2021.15119.1432

Yan, S., Li, X., Wang, B., Shi, W., & Lyu, W. (2019). A method to describe the thermal property of pipe-embedded double-skin façade: Equivalent glass window. *Energy and Buildings*, 195, DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.04.041

Zhu, D., Hong, T., & Yan, D. (2012). A Detailed Comparison of Three Building Energy Modeling Programs: EnergyPlus, DeST, and DOE-2.1E. Lawrence Berkeley National Laboratory and Tsinghua University. DOI: 10.1007/s12273-013-0126-7

Jankovic, A., & Goia, F. (2021). Impact of double skin facade constructional features on heat transfer and fluid dynamic behaviour. *Building and environment*, 196, 107796. DOL: 10.1016/j.buildenv.2021.107796

Kensek, K., Martinez, A., Tucker, T., & Singh, S. (2013). Comparing Building Performance Trends in Three Energy Simulation Programs. *American Solar Energy Society Conference Proceedings*. DOI: 10.13140/2.1.2222.7200

Keshavarz, T., Mohsen, M., & Mehrakizadeh, & M. (2017). Evaluation of Natural Ventilation in a Corridor Double Skin Facade (Case Study Office Building in Shiraz). *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, 5(13), 15–28. 20.1001.1.25886274.1396.5.1.2.6

Khadraoui, M. A., Besbas, S., Guedouh, M. S., & Sriti, L. (2021). The impact of the double skin facade on the thermal and energy efficient of buildings. *NewMat'21 – 1st International Conference: New Trends on Innovative Construction Materials*, Tlemcen, Algeria, December 13-14. DOI: 10.5281/zenodo.1285954

Mirmohammadi, A., & Taghizade, M. (2020). Studying Effectiveness of the Double Skin Façade on the Tropical and Cold Climate Conditions. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, 8(2), 41–50. DOI: 10.22061/jsaud.2020.6437.1660

Naddaf, M. S., & Baper, S. Y. (2023). The role of double-skin facade configurations in optimizing building energy performance in Erbil city. *Scientific Reports*, 13, 8394. DOI: 10.1038/s41598-023-35555-0

Nourivand, S., Balilan, A. L., Sattarzadeh, D., & Asefi, M. (2021). Assessment of the Impacts of Increasing Cavity Depth and Floor Numbers on Energy Performance of Different Types of Double