امکان سنجی کاهش مصرف انرژی در ساختمان های اداری با استفاده نمای دوپوسته در اقلیم گرم و خشک ایران

فریال سادات سیادتی
دانشجو دکتری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب-تهران
faryal.siadati@gmail.com

ریما فیاض (نویسنده مسئول)
دانشیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر- تهران
fayaz@art.ac.ir

نیلوفر نیک قدم
استادیار، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب-تهران
n-nikghadam@azad.ac.ir

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۹/۰۵

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۸/۲۶

کلمات کلیدی:
تهویه طبیعی
نمای دوپوسته
نرم افزار فلوئنت
نرم افزار انرژی پلاس
اقلیم گرم و خشک ایران
ساختمان های اداری

چکیده

نماهای دوپوسته بایستی براساس شرایط اقلیمی بکارگیری شوند. هدف این مقاله، برر سی امکان سنجی ا ستفاده از نماهای دوپو سته در ساختمان‌های اداری اقلیم گرم وخشک ایران، جهت دستیابی به مدل بهینه نمای دوپوسته درجهت کاهش دما و شـــارگرمایی عبوری از شـــیشـــه داخلی نما بود. لذا عملکرد حرارتی نما های دوپوســـته در حالات مختلف باتغییر متغیر های م ستقل باعملکرد حرارتی نمای تک پو سته ومیزان م صرف انرژی مقایسه شد. دراین مقاله از روش شبیه‌سازی و مدل‌سازی با نرم‌افزار انسیس فلوئنت ورژن ۲۰۱۹ رویژن ۲ جهت بررســـی عملکرد حرارتی نمای دوپوســـته با بررسی نتایج دما و انرژی گرمایی عبوری از سطوح شفاف و نرم افزار انرژی پلاس ورژن ۹,۶,۰ جهت بررسی انرژی مصرفی در ساختمان در سناریوهای مختلف ا ستفاده شد. برای صحت سنجی رو شهای شبیه سازی، از اندازه گیری های آزمایشـگاهی معتبر اسـتفاده شـد. برای ۳۶ سـناریو اسـتفاده از نمای دوپوسته باعث کاهش دما و شار گرمایی عبوری ازسطح شیشه داخلی نما به داخل ساختمان برای گرمترین روز سال به ترتیب به میزان ۱۲,۹٪ تا ۱۵,۵٪ و ۶۹,۷٪ تا ۷۴,۱٪ و کاهش مصرف انرژی در اتاق مشخصه مرتبط به نمای درساختمان در کل فصل تابستان به میزان ۶,۶٪ تا ۱۶,۳٪ نسبت به نمای تک پوسته شد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

۱. مقدمه

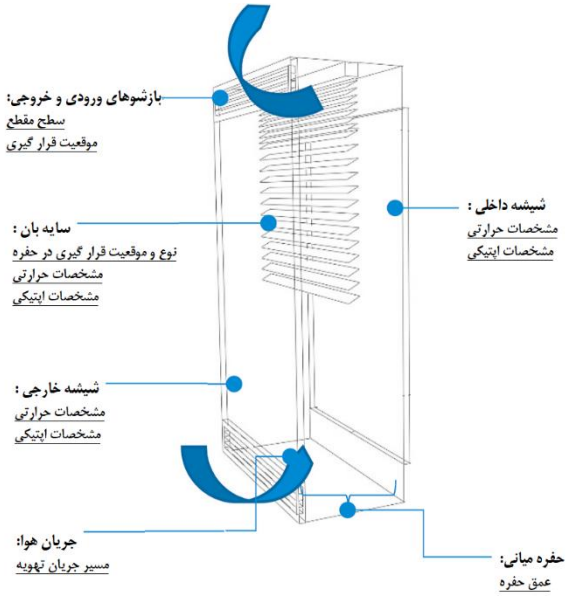
امروزه هزینه بالای انرژی و استفاده بهینه از منابع انرژی یکی از بحث‌های مهم جهانی به شمار می‌رود. لزوم حفظ انرژی و توسعه پایدار در طراحی ساختمان‌ها، باعث شده است تا دیدگاه های جدیدی نسبت به استفاده از انرژی های تجدیدپذیر و غیر فسیلی شکل گیرد. پوسته ساختمان به عنوان جدا کننده فضای داخلی و محیط خارجی ساختمان میتواند نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی و کنترل رفتار حرارتی ساختمان ایفا کند. این بخش به عنوان مهمترین منبع دریافت نور و انرژی خورشیدی، تاثیر بر گرمایش و سرمایش، تهویه تعمدی و ناخواسته، کنترل نوفه های صوتی و ابعاد زیبایی شناسی تاثیر قابل توجهی در میان سایر اجزا ساختمان دارد (کسمایی، ۱۳۸۲؛ حیدری، ۱۳۸۴؛ Yellamraju, ۲۰۰٤). پیکر بندی نمای ساختمان به عنوان عاملی جهت صرفه جویی انرژی است که بایستی در طراحی آن به کاربری ، اقلیم منطقه قرار گیری و طبع کاربران استفاده کننده از آن توجه ویژه ای شود. فقدان استراتژی مناسب در طراحی نمای ساختمان می تواند منجر به مصرف بالای انرژی، خصوصا در ساختمان های با سطوح شیشه ای بزرگ شود (Gratia et al., ۲۰۰۷; Gomes et al., ۲۰۱٤; Hashemi et al., ۲۰۱۰; Alberto et al., ۲۰۱۷).

متاسفانه در اغلب موارد در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، ساختمان سازی به صورت الگو برداری سطحی از ساختمان های کشورهای توسعه یافته انجام می شود که از نتایج آن، استفاده از نماهای شیشه ای بدون ایجاد تمهیدات کنترلی در برابر شرایط اقلیمی است. این در حالی است که با توجه به بحران انرژی و گرم شدن کره زمین، می توان از این بخش از ساختمان به عنوان فرصتی در جهت کاهش مصرف انرژی ساختمان بهره گرفت (حسین پور ستوبادی و قنبران، ۱۳۹۱). در ساختمان های تک جداره سنتی، شیشه به عنوان پوسته ی خارجی ساختمان از لحاظ اتلاف انرژی حرارتی، ضعیف ترین بخش ساختمان محسوب می شود و مشکلاتی از جمله اتلاف حرارتی، میعان وگرمای فوق العاده زیاد در تابستان و سرد شدن سریع فضاها در زمستان را به همراه دارد. از این رو ضرورت استفاده از دستگاه های مکانیکی به عنوان راه حل های فعال یا بکار گیری راه حل های غیر فعال برای تنظیم عملکرد نمای ساختمان بیش از پیش احساس می شود (Ziyi et al., ۲۰۱۷; Allan, ۲۰۰٦; Bakar et al., ۲۰۱٥; Barbosa, ۲۰۱٤). یکی از راه حل های رفع مشکلات فوق، ایجاد یک جداره ی حرارتی کارآمد در ساختمان، با رویکرد طراحی پایدار برای به حداکثر رساندن جذب و جلوگیری از هدر رفت گرما در زمستان و کاهش جذب گرما در تابستان، به عنوان یک راه حل غیر فعال در نمای ساختمان و یا بکار گیری این راه حل غیر فعال با تمهیداتی فعال در نمای ساختمان بسیار مؤثر است(Ziyi et al., ۲۰۱۷; Pasquay, ۲۰۰٤; Pomponi et al., ۲۰۱٦). در مقایسه با نما های تک لایه، استفاده از راهکار نمای دوپوسته یکی از انتخاب ها در مدیریت تعامل انرژی بین فضای داخلی و خارجی ساختمان ها هستند (Hashemi et al., ۲۰۱۰; Hazem et al., ۲۰۱٥; Joe et al., ۲۰۱٤). این تکنولوژی در بیشتر نقاط دنیا، مخصوصا در اروپا و آمریکا برای ساختمان های بلند مرتبه (بخصوص در ساختمانهای اداری) به کار گرفته شده است. استفاده از این سیستم در اقلیم های مختلف با چالش هایی همراه است و می تواند سبب کاهش آسایش حرارتی و افزایش مصرف انرژی نسبت به ساختمان های تک جداره سنتی می شود (Moghimi and Azizpour, ۲۰۱٤; Pasut and Carli, ۲۰۱۲).

در عملکرد نماهای دوپوسته، متغیر هایی وجود دارند که بر عملکرد بهینه یک نمای دو پوسته تاثیر گذار هستند و در عین حال بسیار وابسته به اقلیم مورد استفاده نیز بوده تا در مجموع نمای دو پوسته عملکرد مناسبی را داشته باشد و انتخاب نامناسب هر کدام از متغییرها می تواند هدف بکارگیری نمای دو پوسته را که کاهش مصرف انرژی ساختمان است به مخاطره بیندازد. از جمله این متغیر ها می توان به فاصله دو پوسته از یکدیگر (حفره تهویه)، جنس شیشه، تیپ های هندسی متفاوت، ابعاد و محل دریچه هـــای تهویه، سیستم تهویه طبیعی یا مکانیکی اشاره نمود (Nasrollahi and Salehi, ۲۰۱٥; Parra et al., ۲۰۱٥; Barbosa et al., ۲۰۱٤; Gelesz and Reith, ۲۰۱٥). در شکل ۱ متغیر های مستقل موثر در عملکرد حرارتی نمای دوپوسته جعبه ای با تهویه طبیعی نشان داده شد. متغییرهای وابسته که عملکرد

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

حرارتی نمای دوپوسته را میتوان با آنها مورد ارزیابی قرار داد، دما و شار گرمایی عبوری از سطح شیشه داخلی و سرعت جریان هوا در حفره میانی است.



شکل ۱: ویژگی های ساختاری موثر بر رفتار حرارتی و دینامیک سیالاتی نمای دوپوسته با تهویه طبیعی

نماهای دو پوسته بایستی بر اساس شرایط اقلیمی مختلف هر اقلیم و مشخصات هندسی و ابعادی مناسب در هر اقلیم بکار گیری شوند زیرا در صورتی که نمای دو پوسته متناسب با اقلیم استفاده نگردد نه تنها باعث کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش حرارتی نمی شود بلکه باعث رخداد شرایط برعکس خواهد شد. ایده نمای دوپوسته در واقع ترکیب روشهای غیر فعال (مانند تهویه طبیعی، استفاده از نور روز و جذب تابش خورشید) با پوسته یک ساختمان است. بخش عمده مطالعات و پروژه های انجام شده در زمینه نماهای دوپوسته با موضوع آسایش حرارتی و صرفه جویی انرژی، عموما در اقلیم های سرد اروپایی و شمال آمریکا انجام گرفته است. در این تحقیقات تاثیرات بکارگیری این سیستم ها بررسی و نتایج آن منتشر گردیده است. به کارگیری نمای دوپوسته در اقلیم گرم و خشک، مستلزم مدلسازی دقیق عملکرد آن به خصوص در فصل گرم سال بوده به طوری که در فضای حفره میانی نمای دو پوسته برافروختگی در فصل تابستان رخ ندهد (Lee et al., ۲۰۱۵; Yellamraju, ۲۰۰٤; Lee and Changa, ۲۰۱۵).

نماهای دو پوسته یک ویژگی محبوب در ساختمان های اداری است. اگرچه این سیستم ها به طور قابل توجهی تقاضای انرژی گرمایشی را در آب و هوای سرد کاهش می دهند، گرمای بیش از حد فضاهای داخلی و در نتیجه مصرف بیش از حد انرژی خنک کننده می تواند از مشکلات اصلی نماهای دوپوسته در آب و هوای گرم باشد (Zomorodian and Tahsildoost, ۲۰۱۸). در صورت توجه به متغییرهای تعیین کننده در عملکرد حرارتی نمای دوپوسته، مصرف انرژی سالیانه در یک ساختمان اداری چند طبقه در شهر تهران می تواند بین ۷٫۹ تا ۱۴٫۸ درصد (بر حسب تیپ هندسی نما) کاهش پیدا کند. برای نمای دوپوسته تیپ جعبه ای مقدار کاهش مصرف انرژی سالیانه ۱۰٫۱ درصد بدست آمد (شبیه سازی با نرم افزارهای دیزاین بیلدر و انرژی پلاس). با این حال، دوره بازپرداخت هزینه های انجام شده برای نمای دوپوسته جعبه ای ۸۷٫۵ سال یعنی بیش از طول عمر ساختمان ها (۵۰ سال) تحت قیمت فعلی انرژی در ایران است (Zomorodian and Tahsildoost, ۲۰۱۸). پژوهشی که بر روی ۵۰ نمای دوپوسته در اقلیم گرم انجام شده نشان داد که این نوع نما می تواند تا ۹۰ درصد در مصرف انرژی گرمایشی و تا ۳۰ درصد در مصرف انرژی سرمایشی صرفه جویی ایجاد نماید(Pomponi et al., ۲۰۱٦). در اقلیم گرم و خشک کشور امارات، شهر دوبی، نمای دوپوسته با تهویه طبیعی پتانسیل کاهش بار سرمایشی سالیانه ساختمان اداری به میزان تا ۲۲ درصد و در حالت تهویه مکانیکی تا ۳۲ درصد نسبت به نمای تک پوسته را دارد (شبیه سازی با نرم افزارهای دیزاین بیلدر و انرژی پلاس). تیپ جعبه ای با کاهش ۲۲ درصدی و تیپ ستونی با کاهش ۱۷ درصد بار سرمایشی، عملکرد بهتری نسبت تیپ کریدوری و پیوسته داشتند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

افزایش عرض حفره میانی از ۶۰ سانتیمتر به ۱۲۰ سانتیمتر باعث کاهش بار سرمایشی سالیانه ساختمان از ۱۶ درصد به ۲۲ درصد شد (Aldawoud et al., ۲۰۲۰). افزایش عرض حفره میانی باعث می شود بخش های گرم شده حفره میانی نمای دوپوسته با فاصله بیشتری از شیشه داخلی نما قرار گیرند و بدین ترتیب تبادل حرارتی کمتری با شیشه داخلی نما داشته باشند، اگرچه افزایش عرض حفره میانی مستلزم پرداخت هزینه ساخت بیشتر است. بدین ترتیب نمای دوپوسته علیرغم آنکه پتانسیل کاهش مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی را در اقلیم گرم و خشک دارد اما به دلیل قیمت فعلی برق در ایران که پس از پرداخت یارانه سنگین دولت محاسبه می شود توجیه اقتصادی ندارد (قیمت برق در اسفند ماه ۱۳۹۹، در پله اول یعنی مصرف ماهیانه تا ۱۰۰ کیلووات ساعت برابر ۵۶ تومان، معادل ۰,۲۲۵ سنت و در پله آخر یعنی مصرف بیش از ۶۰۰ کیلووات ساعت برابر ۴۱۹ تومان، معادل ۱,۶۸ سنت). باید توجه نمود هزینه متوسط برق به ازای هر کیلووات ساعت در آمریکا ۱۳,۳ سنت، در کانادا ۱۱ سنت، در استرالیا ۳۳,۸ سنت، در آلمان حدود ۳۱ سنت، در عراق ۱۲ سنت و در ترکیه ۱۰ سنت است.

در این مقاله صرفنظر از قیمت فعلی یا قیمت تمام شده برق و سایر منابع انرژی و به تبع آن دوره بازپرداخت هزینه های ساخت نمای دوپوسته تیپ جعبه ای با تهویه طبیعی در ایران و با توجه به نقش دولت در هدایت جامعه به صرفه جویی در مصرف انرژی و اینکه نمای دوپوسته اکثرا در ساختمان های اداری بلندمرتبه قابلیت اجرا داشته و شهر تهران به عنوان پایتخت ایران پتانسیل استفاده از چنین نماهایی را در ساختمان های اداری دولتی دارد، هدف مقاله، بررسی امکان سنجی استفاده از نماهای دوپوسته در ساختمان اداری در شهر تهران به عنوان نماینده اقلیم گرم و خشک ایران، با مقایسه عملکرد حرارتی نماهای دوپوسته در ساعات ظهر روزهای فصل تابستان در حالات مختلف با تغییر متغییرهای مستقل با عملکرد حرارتی نمای تک پوسته و بررسی و مقایسه میزان انرژی مصرفی (بار سرمایشی) در اتاق مشخصه ای در ساختمان اداری که یک دیوار آن با نمای ساختمان در ارتباط بوده، در حالات مختلف نمای دوپوسته و نمای تک پوسته است. ضمنا در بسیاری از پژوهش های پیشین، برای انجام محاسبات مربوط به تاثیرات جریان تهویه در حفره میانی نمای دوپوسته ناشی از تابش خورشید از نرم افزار دیزاین بیلدر و برای محاسبات مربوط به انرژی مصرفی از نرم افزار انرژی پلاس استفاده شده است زیرا ارتباط بین نتایج این دو نرم افزار به سهولت قابل انجام است لیکن در این مقاله برای انجام محاسبات مربوط به تاثیرات جریان تهویه در حفره میانی نمای دوپوسته ناشی از تابش خورشید از نرم افزار فلوئنت استفاده شد که نتایج بسیار دقیق تری در مقایسه با نرم افزار دیزاین بیلدر دارد و در برای ارتباط بین نتایج حاصل از شبیه سازی با نرم افزار فلوئنت و استفاده از این نتایج در نرم افزار انرژی پلاس برای محاسبات مربوط به انرژی مصرفی، روشی پیشنهاد و ارائه گردید.

۲. شبیه سازی و اعتبار سنجی

از آنجا که این مقاله در حوزه معماری و انرژی بود و توصیف و استنباط هر یک از مقولات نیاز به تحلیل و تفسیر داشت، لذا به روش تحقیق کیفی نیاز بود. برای دستیابی به نتیجه منطقی و معتبر در این پژوهش از روش استدلال منطقی که زیر مجموعه طرح تحقیق کیفی است استفاده شد. ضمنا برای به دست آوردن نتایج کامل از روش تحقیق کمّی و از دو روش ۱-شبیه سازی و مدل سازی و ۲-مقایسه ای-تطبیقی استفاده شد. برای بررسی عملکرد حرارتی نمای دوپوسته دو روش تحقیق مطالعات آزمایشگاهی (تجربی) و آنالیز عددی مبتنی بر شبیه سازی و مدل سازی وجود دارد. مطالعات آزمایشگاهی اولین و معتبرترین منبع اطلاعات است. لیکن مطالعات آزمایشگاهی نسبت به مطالعات عددی عدم انعطاف پذیری دارد که باعث می شود مطالعات عددی در بسیاری از موارد نسبت به مطالعات تجربی ارجحیت داشته باشد. از طرف دیگر مطالعات آزمایشگاهی تنها راه کالیبراسیون و اعتبار سنجی روش های عددی می باشند(Jankovic and Goia, ۲۰۲۱).

در این مقاله از روش شبیه سازی و مدل سازی جهت بررسی عملکرد حرارتی نمای دوپوسته در سناریوهای مختلف برای استخراج بهینه ترین حالت استفاده شد. در پژوهش های مقایسه ای-تطبیقی، گروه های آزمایش بر حسب یک متغیر وابسته با هم مقایسه می شوند. بدین منظور مشخصات هندسی سناریوهای مختلف نمای دو پوسته با یکدیگر مقایسه شد و مشخصات هندسی و ابعادی مناسب مشخص گردد. جهت بررسی پیشینه در بخش مطالعات کتابخانه ای به بررسی برخی از پژوهش های مرتبط با موضوع پژوهش پرداخته و در ادامه با انجام

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

شبیه سازی نمای دوپوسته با نرم افزار انسیس فلوئنت ورژن ۲۰۱۹ رویژن ۲ (Ansys Fluent-Ver ۲۰۱۹ R۲) و بررسی نتایج سرعت جریان هوا، دما و انرژی گرمایی عبوری از سطوح شفاف، عملکرد حرارتی نمای دو پوسته تیپ جعبه‌ای ارزیابی شد.

۲. ۱. معادلات حاکم

در نرم افزار فلوئنت، جریان هوا با استفاده از معادلات پایستگی جرم و تکانه محاسبه می شود. شناوری حرارتی، مکانیزم اصلی جریان هوا در درون فضای نمای دو پوسته است. معادله ۱ بیانگر پایستگی جرم و یا معادله پیوستگی است. معادلات پایستگی تکانه در یک قاب مرجع اینرسی(بدون شتاب) به صورت معادله ۲ است. انتقال گرما می تواند توسط سه روش رسانش، همرفتی و تابشی رخ دهد. مدل های فیزیکی که فقط رسانش یا همرفت می شوند از ساده ترین مدل ها بوده در حالی که مدل هایی که شامل رانش جریان شناوری، همرفتی طبیعی و مدل های پرتو زایی می شوند دارای پیچیدگی بیشتری هستند. معادله ۳ معادله انرژی برای انتقال گرما به سه روش رسانش، همرفتی و تابشی است (Iyi et al., ۲۰۱٤).

$$\frac{\delta\rho}{\delta t}+\nabla.(\rho\vec{v})=S_m \qquad (۱)$$

$$\frac{\delta}{\delta t}(\rho\vec{v})+\nabla.(\rho\vec{v}\vec{v})=-\nabla P+\nabla.(\bar{\tau})+\rho\vec{g}+\vec{F} \qquad (۲)$$

$$\frac{\delta}{\delta t}(\rho E)+\nabla.(\vec{v}(\rho E+\rho))=-\nabla.(\sum_{i=1}^{n}h_iJ_i)+S_h \qquad (۳)$$

معادله ۴ نشان دهنده مدل آشفتگی RNG k-ε و معادله ۵ نشان دهنده مدل تابشی DO در نرم افزار فلوئنت است.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i)=\frac{\partial}{\partial x_i}\left[a_k u_{eff}\frac{\partial k}{\partial xj}\right]+G_k+G_b-\rho\varepsilon-Y_M+S_k \qquad (۴)$$

$$\frac{dI(\vec{r},\vec{s})}{ds}+(a+\sigma_s)I(\vec{r},\vec{s})=an^2\frac{\sigma T^4}{\pi}+\frac{\sigma_s}{4\pi}\int_0^{4\pi}I(\vec{r},\vec{s'})\varphi(\vec{s}.\vec{s'})d\Omega' \qquad (۵)$$

در معادلات ۱ تا ۵، ρ چگالی برحسب کیلوگرم بر مترمکعب ، t زمان بر حسب ثانیه، $\vec{v}$ بردار سرعت بر حسب متر بر ثانیه ، S شار گرمایی بر حسب وات بر مترمربع، P فشار بر حسب نیوتن بر متر مربع، g شتاب ثقل بر حسب متر بر مجذور ثانیه، F بردار نیرو، k انرژی جنبشی متلاطم بر حسب ژول ، ε نرخ اتلاف آشفتگی، α ضریب جذب و n ضریب شکست است.

۲. ۲. صحت سنجی

برای صحت سنجی روش شبیه سازی با نرم افزار فلوئنت، از اندازه گیری های آزمایشگاهی می و همکاران (Mei et al, ۲۰۰۷) استفاده شد. با مقایسه نتایج ثبت شده آزمایشگاهی می و همکاران که بر روی یک نمونه نمای دوپوسته جعبه ای تجاری با تهویه طبیعی انجام شده با شبیه سازی همین نمونه در نرم افزار فلوئنت، صحت سنجی روش شبیه سازی در نرم افزار فلوئنت بررسی شد. در شکل ۲، مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی می و همکاران (خط پر) و نتایج شبیه سازی با نرم افزار فلوئنت (خط چین) برای مدل سه بعدی و زاویه های سایه بان ۰، ۴۵ و۹۰ درجه، برای پارامتر های دمای سطح شیشه داخلی نمای دو پوسته و سرعت جریان تهویه در حرفه میانی نمای دو پوسته نشان داده شد. علت بروز اختلاف بین نتایج شبیه سازی و نتایج آزمایشگاهی می و همکاران می تواند به ترتیب الویت ناشی از موارد زیر باشد:

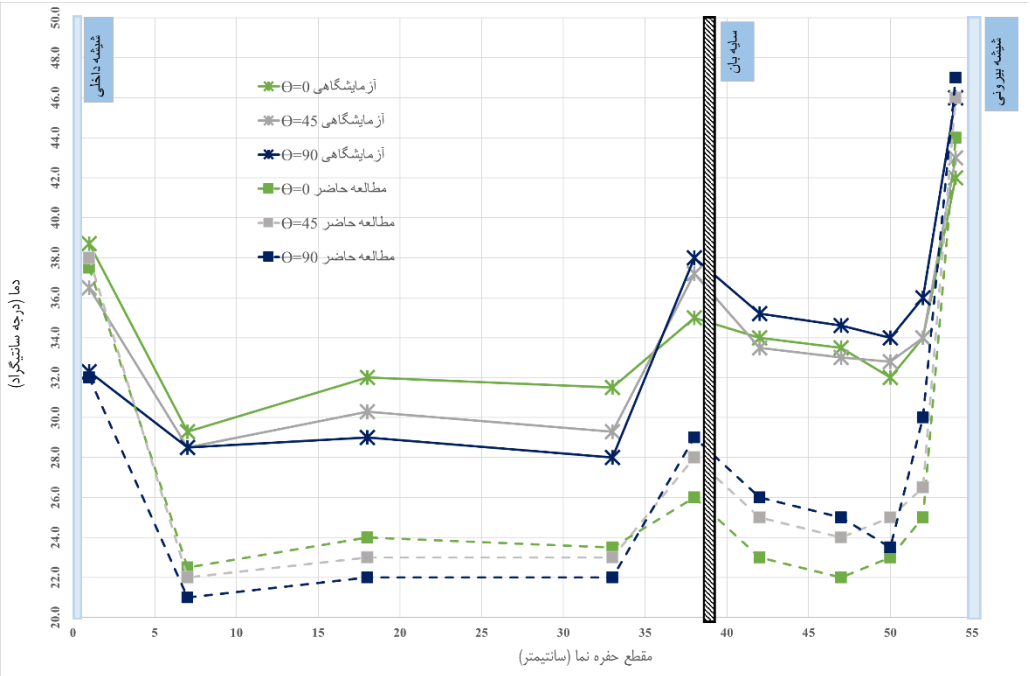
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

۱- در مقاله می و همکاران که در آن شرح آزمایش و نتایج اندازه گیری ها گزارش شده است، جنس دقیق مصالح شامل ضرائب جذب، گسیل و انعکاس حرارتی شیشه و آلومینیوم به کار رفته در نمونه آزمایشگاهی گزارش نشده و فقط جنس شیشه از نوع معمولی و جنس سایه بان از نوع آلومینیوم رنگ روشن گزارش شده است. با بررسی سایر مقالات بین المللی در زمینه نمای دوپوسته که از نتایج آزمایشی می و همکاران برای صحت سنجی روش شبیه سازی خود استفاده کرده بوده اند نیز چنین اختلافی دیده شد که از جمله می توان به مقاله پاسوت و کارلی (Pasut & Carli, ۲۰۱۲) و یی و همکاران اشاره نمود (Iyi et al., ۲۰۱٤).

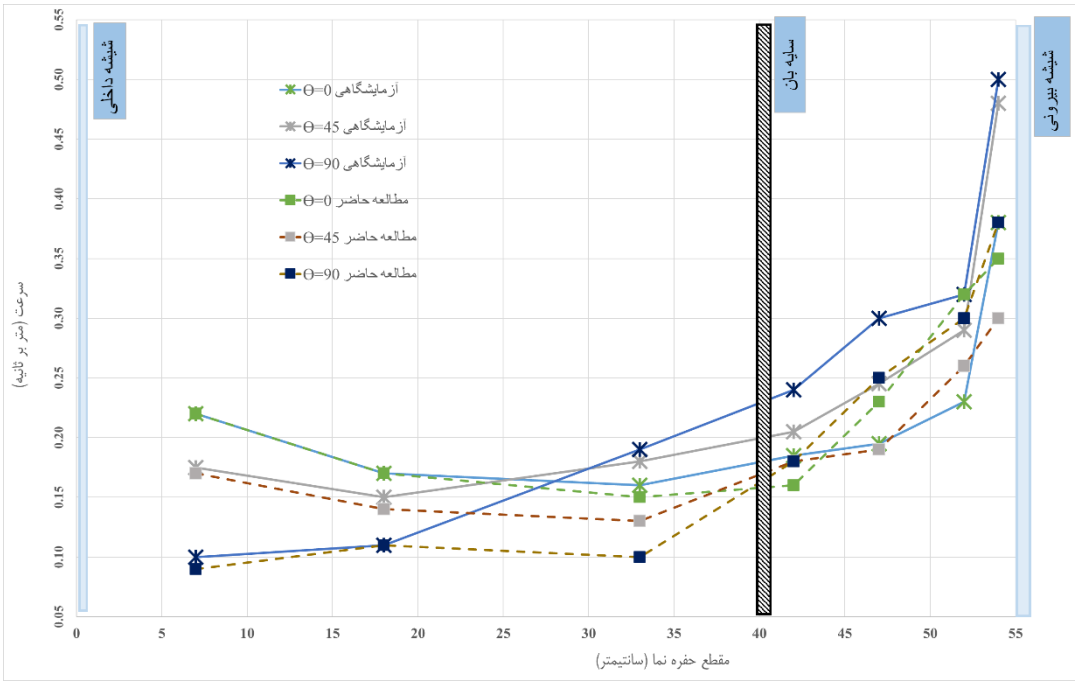
۲- محدودیت های مدل آشفتگی جریان ، مدل تابشی ، الگوریتم حل و طرح متغیر ها که شبیه سازی با این مدل ها و الگوریتم ها در نرم افزار فلوئنت انجام می شود.

۳-با توجه به اینکه پارامتر اصلی خروجی نرم افزار، دما در محل دیواره ها (شیشه های داخلی و خارجی و سایه بان) نسبت به سایر نقاط مقطع نمای دوپوسته است، بنابراین ابعاد شبکه در محل دیواره ها ریزتر (۸ میلیمتر) بوده و با فاصله گرفتن از دیواره ها، ابعاد شبکه به تدریج بزرگتر (تا ۲۰ میلیمتر) تعریف شده است لذا نتایج در محل دیواره ها نسبت به سایر نقاط دقیق تر و مقدار خطا کمتر است. ابعاد مش یکسان (۸ میلیمتر) برای تمامی نقاط نمای دوپوسته باعث می شود زمان محاسبات کامپیوتری به مقدار بسیار زیادی افزایش یابد.

مقایسه نتایج سرعت جریان هوا در حفره بر اساس نتایج آزمایشگاهی و نتایج شبیه سازی انطباق مناسب را نشان می دهد (شکل ۲ – پایین). در مورد انطابق نتایج دما بر اساس نتایج آزمایشگاهی و نتایج شبیه سازی، در نزدیکی دو سطح شیشه ای و سطح سایه بان انطباق مناسب و در داخل حفره اختلاف در نتایج وجود دارد. ضمن آنکه در این پژوهش نتایج از نتایج دما در مجاورت سطح شیشه داخلی، حاصل شده از شبیه سازی با نرم افزار فلوئنت استفاده شده که روش شبیه سازی، مطابق شکل ۲-بالا، انطباق مناسبی با نتایج آزمایشگاهی دارد. بدین ترتیب نتایج شبیه سازی با نرم افزار فلوئنت با نتایج آزمایشگاهی می و همکاران انطباق قابل قبولی داشته و روش شبیه سازی به کار گیری شده توسط نویسندگان مورد تایید است. پژوهشهای بسیاری از مقاله ذکر شده برای صحت سنجی استفاده کرده اند.

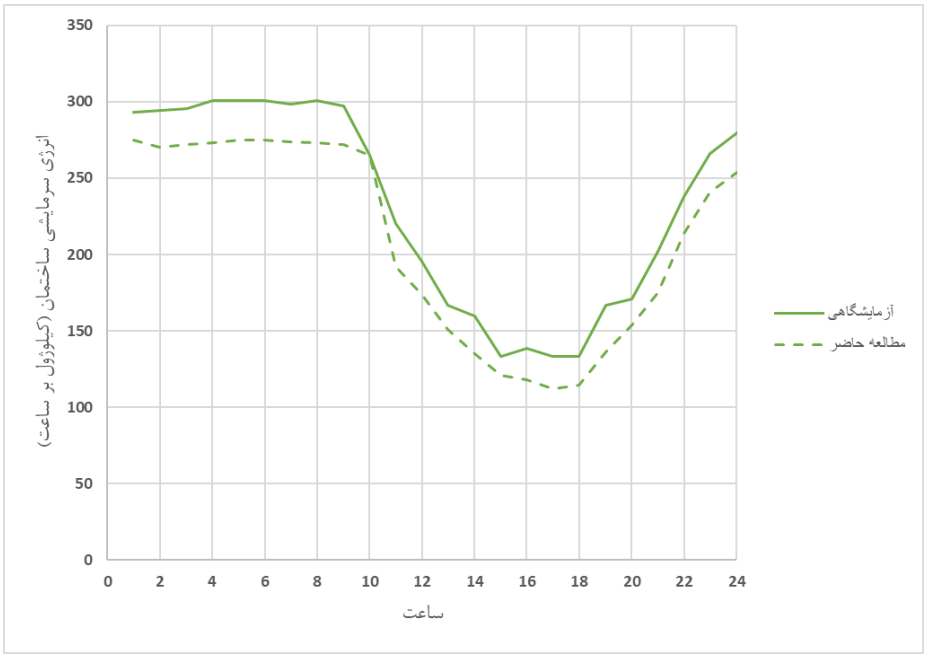


[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]



شکل۲: مقایسه بین نتایج حاصل از شبیه سازی با نرم افزار فلوئنت (خط چین) ، زاویه های سایه بان ۰، ۴۵ و ۹۰ درجه و اندازه گیری های آزمایشگاهی می و همکاران (خط پر)، بالا: دمای شیشه داخلی نما، پایین: سرعت جریان هوا در حفره

در این پژوهش برای صحت سنجی روش شبیه سازی با نرم افزار انرژی پلاس جهت مشخص شدن مقدار مصرف انرژی سرمایشی ساختمان از داده های مقاله اسکین و تورکمن (Eskin and Turkmen, ۲۰۰۸) استفاده شد. در شکل ۳ مقایسه بار سرمایشی با روش شبیه سازی در این پژوهش با نرم افزار انرژی پلاس و اندازه گیری های ارائه شده در مقاله اسکین و تورکمن از ۱۳ ژانویه تا ۳۰ دسامبر سال ۲۰۰۱ برای یک متر مربع از ساختمان نشان داده شد.



شکل ۳: مقایسه بار سرمایشی شبیه سازی در این پژوهش و اندازه گیری شده در مقاله اسکین و تورکمن از ۱۳ ژانویه تا ۳۰ دسامبر سال ۲۰۰۱ برای یک متر مربع از ساختمان

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

۲. ۳. شبیه سازی

شهر تهران به عنوان پایتخت ایران که بیشترین تمرکز را در وجود ساختمان های اداری بلند مرتبه در کشور دارا است و نمونه هایی از اجرای نمای دوپوسته در آن وجود دارد به عنوان شهر مورد مطالعه در این پژوهش برای اقلیم گرم و خشک (نیمه بیابانی خشک و سرد) ایران انتخاب شد.

نرم افزار فلوئنت نتایج را برای یک روز و یک ساعت مشخص در فصل تابستان ارائه می کند، بدین صورت که اطلاعات دما، شدت تابش و زاویه تابش برای یک زمان مشخص به نرم افزار داده می شود ولی نرم افزار انرژی پلاس بر اساس بازه ای از اطلاعات آب و هوایی که به آن ارائه می شود، می تواند برای کل فصل تابستان مقدار انرژی سرمایشی لازم را محاسبه نماید. لذا برای استفاده و تحلیل نتایج این دو نرم افزار بایستی روش مشخصی استفاده شود. در ظهر اول تیر، زاویه تابش خورشید به سطح شیشه ای نمای جنوبی، ۶۲/۲ درجه و شدت تابش ۸۶۲ وات بر متر مربع، در ظهر پانزدهم مرداد، زاویه تابش، ۵۵/۸ درجه و شدت تابش ۸۵۲ وات بر متر مربع، در ظهر پایان شهریور، زاویه تابش، ۳۹/۶ درجه و شدت تابش ۸۶۹ وات بر متر مربع است. دمای میانگین ده سال نشان می دهد، در ظهر اول تیر دمای متوسط در ساعات تابش خورشید به نمای جنوبی، ۳۵/۸ سانتیگراد ، ظهر پانزدهم مرداد دمای متوسط در ساعات تابش خورشید به نمای جنوبی، ۳۶/۹ سانتیگراد و ظهر پایان شهریور دمای مورد اشاره ۲۸/۲ سانتیگراد بوده است. لذا در فصل تابستان و در محدوده ساعات ظهر که نمای جنوبی بیشترین تابش را دریافت می کند، پارامتر شدت تابش ، تغییراتی کمتر از ۳٪ داشته و به نظر نمی رسد تغییر آن پارامترهای اثر گذاری در نتایج نرم افزار فلوئنت باشد. لیکن دمای هوا و زاویه تابش خورشید بایستی مورد توجه قرار گیرد که از اول تیر تا پایان شهریور، محدوده تغییرات بیشتری دارد. در شکل ۴ نحوه ارتباط این دو نرم افزار و استفاده از نتایج نرم افزار فلوئنت در نرم افزار انرژی پلاس برای محاسبات مربوط به انرژی سرمایشی مصرفی نشان داده شد. بازه تغییرات دما، شدت و زاویه تابش بین روز های اول تا ۱۵ تیر، ۱۶ تیر تا ۲۰ مرداد و ۲۱ مرداد تا پایان شهریور محدودتر است لذا به ترتیب روز های اول تیر، اول مرداد و اول شهریور به عنوان نماینده سه بازه روزهای مشخص شده فصل تابستان انتخاب گردید. هر شبیه سازی نمای دوپوسته جعبه ای در نرم افزار فلوئنت ساعت ها زمان لازم دارد که بر حسب قدرت رایانه و برخی پارامتر های تنظیمی در نرم افزار متغیر است. لذا امکان گرفتن خروجی از نرم افزار فلوئنت برای تمام روزهای فصل تابستان عملا محکوم به شکست بوده و هیچ پژوهش داخلی و خارجی دیگری چنین سابقه وجود ندارد. بدین ترتیب برای عملی شدن اتصال نتایج این دو نرم افزار و محاسبات مربوط به انرژی مصرفی در اتاقی مشخص در ساختمان که با نما مرتبط است در این پژوهش مطابق الگوریتم شکل ۴ عمل گردید.

در این پژوهش ۳۶ سناریوی شبیه سازی برای حالات مختلف هندسی نما و برای ۳ زمان مشخص شده در فصل تابستان (روزهای اول تیر، اول مرداد و اول شهریور) با نرم افزار فلوئنت انجام و عملکرد حرارتی آنها با نمای تک پوسته مورد مقایسه قرار گرفت. شرایط مرزی شامل مشخصات تابشی و حرارتی اعمال شده به نمای دو پوسته تیپ جعبه ای و ابعاد هندسی و جنس مصالح نمای دو پوسته در دو قسمت پارامترهای ثابت و پارامترهای متغیر در شبیه سازی به شرح زیر است:

-پارامترهای ثابت در سناریوهای شبیه سازی در نرم افزار فلوئنت:

پوسته شفاف نمای تک پوسته از شیشه شفاف دو جداره به ضخامت ۶ میلیمتر با عرض ۲۰۰ سانتیمتر و ارتفاع ۲۵۰ سانتیمتر داخل قاب آلومینیومی است. جنس شیشه از نوع معمولی در نظر گرفته شد.

پوسته شفاف داخلی و خارجی نمای دو پوسته از شیشه شفاف دو جداره به ضخامت ۶ میلیمتر با عرض ۲۰۰ سانتیمتر و ارتفاع ۲۵۰ سانتیمتر داخل قاب آلومینیومی است. جنس شیشه داخلی و خارجی از نوع معمولی در نظر گرفته شد. ابعاد سایه بان کرکره ای

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

۲۰۰ سانتیمتر عرض در ۲۱۰ سانتیمتر ارتفاع و هر ردیف کرکره سایه بان به عرض ۸ سانتیمتر و ضخامت ۱ سانتیمتر و از جنس آلومینیوم است. محل قرار گیری سایه بان در یک سوم سمت خارجی نمای دو پوسته به سمت لایه خارجی نما است. دمای اولیه هوای داخل نمای دو پوسته، سایه بان ها و شیشه داخلی و خارجی و فریم های شیشه ها مطابق آمار دمای ۱۰ ساله هواشناسی ایستگاه مهر آباد در روز اول مرداد ماه، بین ساعت ۱۱ تا ۱۵ که بیشترین تابش به نمای جنوبی صورت می گیرد، معادل ۳۸ درجه سانتیگراد، شدت تابش مستقیم خورشید در روز اول مرداد ماه، بین ساعات مذکور با شدت ۸۵۵ وات بر متر مربع و تابش انعکاسی بر سطوح عمودی، ۱۴۵ وات بر متر مربع و با زاویه تابشی متوسط ۶۰ درجه نسبت به خط افق به سطح شیشه خارجی نمای دو پوسته سمت جنوبی ساختمان به عنوان ورودی در نرم افزار فلوئنت اعمال شد. برای روز های اول تیرماه و اول شهریور ماه نیز داده ها در نرم افزار فلوئنت وارد شد.

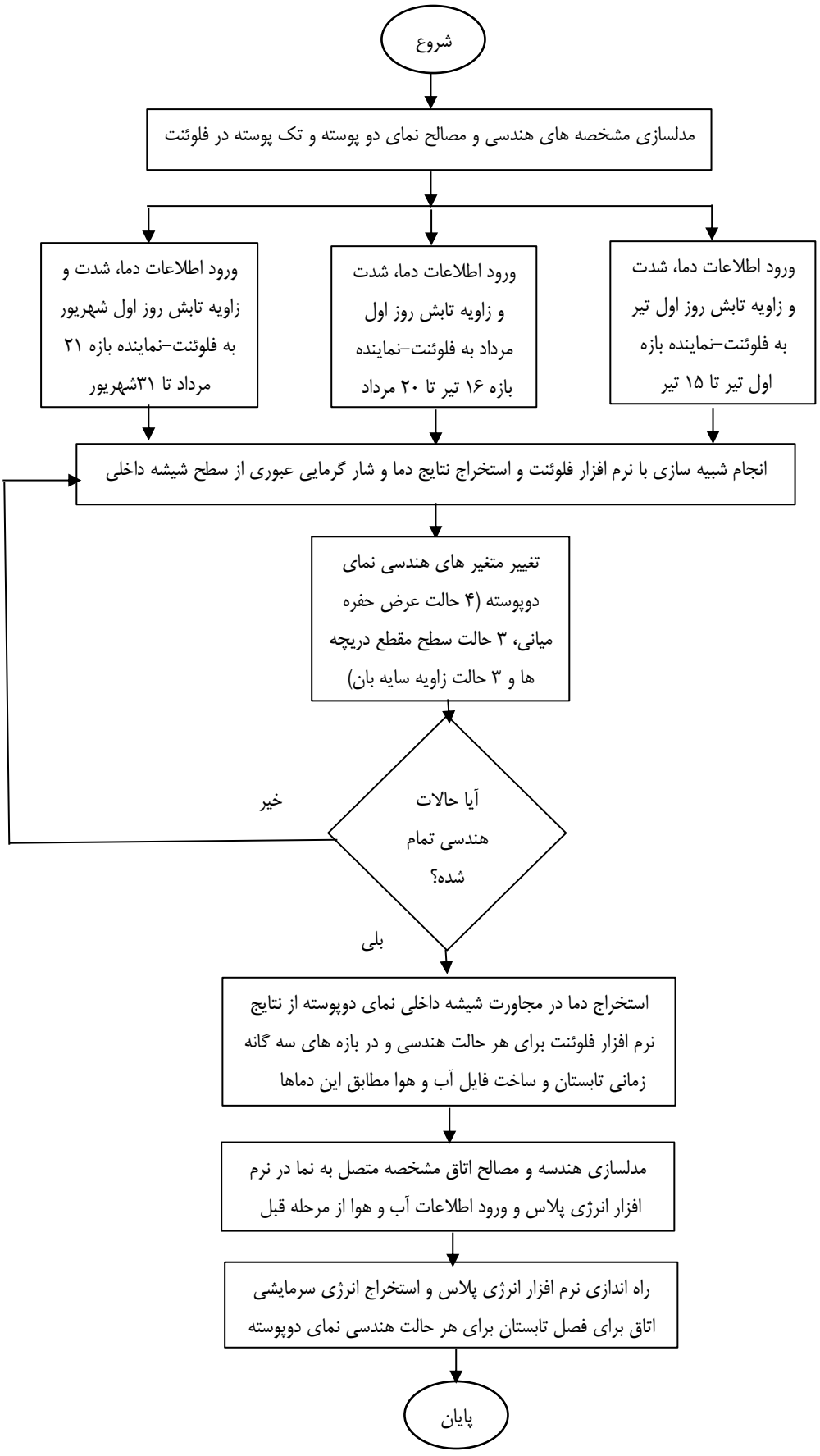
-پارامترهای متغیر در سناریوهای شبیه سازی در نرم افزار فلوئنت :

متغیرهای هندسی: شبیه سازی نمای دو پوسته برای عمق حفره میانی به مقدار ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ سانتیمتر و سطح مقطع دریچه های ورودی و خروجی ۰,۱۰، ۰,۲۰ و ۰,۳۰ متر مربع انجام گردید. بدین ترتیب تاثیر متغیر های مستقل عمق حفره میانی در متغیر های وابسته سرعت جریان هوا، دما و شار گرمایی عبوری از جداره های شیشه ای نمای دو پوسته قابل بررسی گردید. متغیر سایه بان: برای بررسی عملکرد نماهای دوپوسته با سایه بان و بررسی سرعت جریان تهویه، دما و انرژی گرمایی جداره های شیشه ای نمای دو پوسته، نمای دو پوسته با سایه بان با زوایای ۰، ۴۵ و ۹۰ درجه در یک سوم نزدیک به جداره خارجی نما و حالت بدون سایه بان، بررسی گردید. در جدول ۱ مشخصات مصالح به کار رفته در شبیه سازی های نمای دو پوسته در نرم افزار فلوئنت ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات مصالح به کار رفته در شبیه سازی های نمای دو پوسته (Iyi et al., ۲۰۱٤).

مشخصات مصالح	شیشه معمولی	شیشه کم گسیل	سایه بان آلومینیومی
چگالی	۲۵۰۰		۲۷۱۹
گرمای ویژه (kg/m^3)	۸۴۰		۸۷۱
رسانایی گرمایی (J/kg.k)	۱,۷۰		۲۰۲,۴
ضریب جذب (w/m.k)	۳۰		-
ضریب شکست (۱/m)	۱/۵	۱/۵	۱,۴۴
ضریب گسیل	۰,۸۴	۰,۲۴	۰,۷۰
ضریب گذر خورشیدی	۰,۸۴	۰,۴۲	-
ضریب انعکاس خورشیدی	۰,۰۷۵	۰,۲۵	-
ضریب جذب خورشیدی	۰,۰۸۵	۰,۳۳	-
ضریب گذر نور مرئی	۰,۹	۰,۷۹	-
ضریب انعکاس نور مرئی	۰,۰۸	۰,۰۹	-
ضریب جذب نور مرئی	۰,۰۲	۰,۱۲	-

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

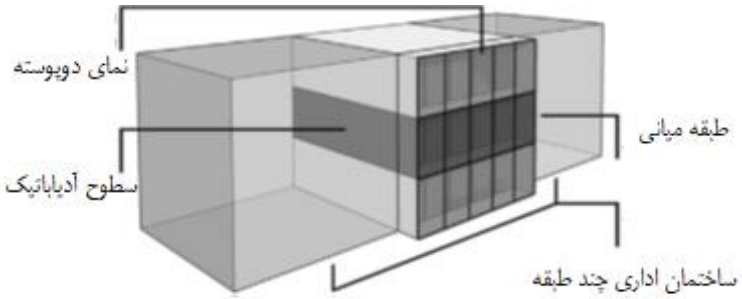


شکل ۴: الگوریتم اتصال نتایج دو نرم افزار فلوئنت و انرژی پلاس در این پژوهش

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

در سال ۲۰۰۵ و با هدف دسته بندی کلیه تحقیقات شبیه سازی بر روی نماهای دو پوسته در اروپا بر روی ساختمان های اداری، پلان اداری با ابعاد ۲۰ * ۲۰ متر و با ارتفاع ۳ متر مشخص گردید تا با انجام کلیه پژوهش ها با این ابعاد ساختمان، نتایج پژوهش های مختلف قابل مقایسه و کاتالوگ کردن باشد.(André Alberto et.al, ۲۰۱۷).

در این پژوهش نیز برای مدل سازی نمای دوپوسته جعبه ای ، پلان مربع شکل به ابعاد ۲۰*۲۰ متر مد نظر قرار می گیرد. این پلان مربع را منطبق بر جهت های اصلی مختصاتی در نظر گرفته شد. در هر ضلع پلان چهار اتاق اداری وجود دارد و فضای وسط پلان به فضاهای عمومی پلان اختصاص دارد. مدل سازی یک اتاق در ضلع جنوبی پلان به ابعاد ۵*۵ متر و ارتفاع طبقه ۳,۰ متر در نرم افزار انرژی پلاس مد نظر است. سقف و کف و سه دیواره شمالی، غربی و شرقی اتاق را به صورت آدیاباتیک در نظر می گیریم و دیواره جنوبی که پنجره ای به ابعاد پنجره داخلی نمای دوپوسته روی آن قرار دارد (شکل ۵).



شکل ۵- شمایی از حجم و بخش مدل شده (André Alberto et.al, ۲۰۱۷).

۳. نتایج و تحلیل

دمای سطح شیشه نمای تک پوسته در اثر شرایط مرزی شرح داده شده، ۴۵,۸ درجه سانتیگراد و شار گرمایی عبوری از آن ۱۶۳,۳ وات بر متر مربع شد. با توجه به هدف این مقاله که مقایسه نتایج عملکرد حرارتی نمای دوپوسته در مصرف انرژی سرمایشی در مقایسه با بار سرمایشی اتاق مشخصه در نمای تک پوسته بوده و نمای دوپوسته به همراه سایه بان است، بنابراین در شبیه سازی با نرم افزار انرژی پلاس سه حالت سایه بان ۰، ۴۵ و ۹۰ درجه به صورت کرکره ای پشت پنجره داخل اتاق مشخصه مدل گردید.

این نتایج با نتایج دما ، شار گرمایی عبوری از سطح شیشه داخلی نمای دوپوسته و بار سرمایشی اتاق مشخصه به ابعاد ۵*۵ متر، در جداول ۲ تا ۴ و در شکل ۶ سرعت جریان هوا در حفره میانی نمای دوپوسته ارایه و مقایسه شد. بار سرمایشی اتاق مشخص شده با نمای تک پوسته در طول فصل تابستان برای سایه بان کرکره ای با زاویه صفر درجه، ۴۴۸,۹ کیلووات ساعت، سایه بان ۴۵ درجه ۴۳۲,۴ کیلووات ساعت و سایه بان ۹۰ درجه ۴۲۰,۹ کیلووات ساعت شد.

در حالت سایه بان با زاویه صفر درجه، دمای سطح شیشه داخلی نمای دوپوسته بین ۳۸,۹ تا ۳۹,۹ درجه سانتیگراد و شار گرمایی عبوری از سطح شیشه داخلی بین ۴۲,۳ تا ۴۷,۱ وات بر متر مربع تغییر می کند. استفاده از نمای دوپوسته با زاویه سایه بان صفر درجه منجر به کاهش دما بین ۱۲,۹٪ تا ۱۵,۱٪ و کاهش شار گرمایی عبوری بین ۷۱,۲٪ تا ۷۴,۱٪ نسبت به نمای تک پوسته می شود. بار سرمایشی اتاق مشخصه برای کل فصل تابستان بین مقادیر ۳۷۸,۰ تا ۴۱۶,۴ کیلووات ساعت تغییر می کند و کاهش ۷,۲٪ تا ۱۵,۸٪ را نسبت به بار سرمایشی اتاق در حالت نمای تک پوسته نشان می دهد.

در حالت سایه بان با زاویه ۴۵ درجه، دمای سطح شیشه داخلی نمای دوپوسته بین ۳۸,۷ تا ۳۹,۵ درجه سانتیگراد و شار گرمایی عبوری از سطح شیشه داخلی بین ۴۳,۰ تا ۴۵,۸ وات بر متر مربع تغییر می کند. استفاده از نمای دوپوسته با زاویه سایه بان ۴۵ درجه منجر به کاهش دما بین ۱۴,۰٪ تا ۱۵,۵٪ و کاهش شار گرمایی عبوری بین ۷۲,۰٪ تا ۷۳,۷٪ نسبت به نمای تک پوسته می شود. بار سرمایشی اتاق مشخصه برای کل فصل تابستان بین مقادیر ۳۶۱,۹ تا ۴۰۳,۹ کیلووات ساعت تغییر می کند و کاهش ۶,۶٪ تا ۱۶,۳٪ را نسبت به بار سرمایشی اتاق در حالت نمای تک پوسته نشان می دهد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

جدول ۲: نتایج دما و شار گرمایی عبوری از سطح شیشه داخلی نمای دوپوسته و مقایسه با نتایج نمای تک پوسته (دما ۴۵,۸ ، شار گرمایی عبوری ۱۶۳,۳ و بار سرمایشی ۴۴۸,۹)

ردیف	عمق حفره میانی (سانتیمتر)	سطح دریچه تهویه ورودی و خروجی(متر مربع)	وضعیت سایه بان	دمای سطح شیشه داخلی نمای دو پوسته (سانتیگراد)	شار عبوری گرمایی از سطح شیشه داخلی (وات بر متر مربع)	بار سرمایشی در فصل تابستان	درصد کاهش دمای سطح شیشه داخلی نسبت به تک پوسته	درصد کاهش شار عبوری گرمایی از سطح شیشه داخلی نسبت به تک پوسته	درصد کاهش بار سرمایشی نسبت به تک پوسته
۱	۳۰	۰,۱۰	صفر درجه	۳۹,۴	۴۴,۹	۴۱۶,۴	٪۱۴,۰	٪۷۲,۵	٪۷,۲
۲		۰,۲۰		۳۹,۲	۴۲,۳	۴۰۹,۹	٪۱۴,۴	٪۷۴,۱	٪۸,۷
۳		۰,۳۰		۳۹,۸	۴۵,۲	۴۰۷,۳	٪۱۳,۱	٪۷۲,۳	٪۹,۳
۴	۴۵	۰,۱۰	صفر درجه	۳۹,۳	۴۶,۲	۳۹۷,۳	٪۱۴,۲	٪۷۱,۷	٪۱۱,۵
۵		۰,۲۰		۳۹,۱	۴۵,۷	۳۹۶,۰	٪۱۴,۶	٪۷۲,۰	٪۱۱,۸
۶		۰,۳۰		۳۹	۴۵,۴	۳۹۵,۱	٪۱۴,۸	٪۷۲,۲	٪۱۲,۰
۷	۶۰	۰,۱۰	صفر درجه	۳۹,۹	۴۵,۹	۳۸۸,۳	٪۱۲,۹	٪۷۱,۹	٪۱۳,۵
۸		۰,۲۰		۳۹,۶	۴۶,۶	۳۸۵,۲	٪۱۳,۵	٪۷۱,۵	٪۱۴,۲
۹		۰,۳۰		۳۹,۸	۴۷,۱	۳۸۱,۷	٪۱۳,۱	٪۷۱,۲	٪۱۵,۰
۱۰	۷۵	۰,۱۰	صفر درجه	۳۹,۱	۴۲,۷	۳۷۹,۶	٪۱۴,۶	٪۷۳,۹	٪۱۵,۴
۱۱		۰,۲۰		۳۸,۹	۴۲,۶	۳۷۸,۴	٪۱۵,۱	٪۷۳,۹	٪۱۵,۷
۱۲		۰,۳۰		۳۹	۴۳,۱	۳۷۸,۰	٪۱۴,۸	٪۷۳,۶	٪۱۵,۸

در حالت سایه بان با زاویه ۹۰ درجه، دمای سطح شیشه داخلی نمای دوپوسته بین ۳۹,۱ تا ۳۹,۹ درجه سانتیگراد و شار گرمایی عبوری از سطح شیشه داخلی بین ۴۷,۷ تا ۴۹,۴ وات بر متر مربع تغییر می کند. استفاده از نمای دوپوسته با زاویه سایه بان صفر درجه منجر به کاهش دما بین ۱۲,۹٪ تا ۱۴,۶٪ و کاهش شار گرمایی عبوری بین ۶۹,۷٪ تا ۷۰,۸٪ نسبت به نمای تک پوسته می شود. بار سرمایشی اتاق مشخصه برای کل فصل تابستان بین مقادیر ۳۵۴,۲ تا ۳۸۱,۲ کیلووات ساعت تغییر می کند و کاهش ۹,۴٪ تا ۱۵,۸٪ را نسبت به بار سرمایشی اتاق در حالت نمای تک پوسته نشان می دهد.

جدول ۳- نتایج دما و شار گرمایی عبوری از سطح شیشه داخلی نمای دوپوسته و مقایسه با نتایج نمای تک پوسته (دما ۴۵,۸ ، شار گرمایی عبوری ۱۶۳,۳ و بار سرمایشی ۴۳۲,۴)

ردیف	عمق حفره میانی (سانتیمتر)	سطح دریچه تهویه ورودی و خروجی(متر مربع)	وضعیت سایه بان	دمای سطح شیشه داخلی نمای دو پوسته (سانتیگراد)	شار عبوری گرمایی از سطح شیشه داخلی (وات بر متر مربع)	بار سرمایشی در فصل تابستان	درصد کاهش دمای سطح شیشه داخلی نسبت به تک پوسته	درصد کاهش شار عبوری گرمایی از سطح شیشه داخلی نسبت به تک پوسته	درصد کاهش بار سرمایشی نسبت به تک پوسته

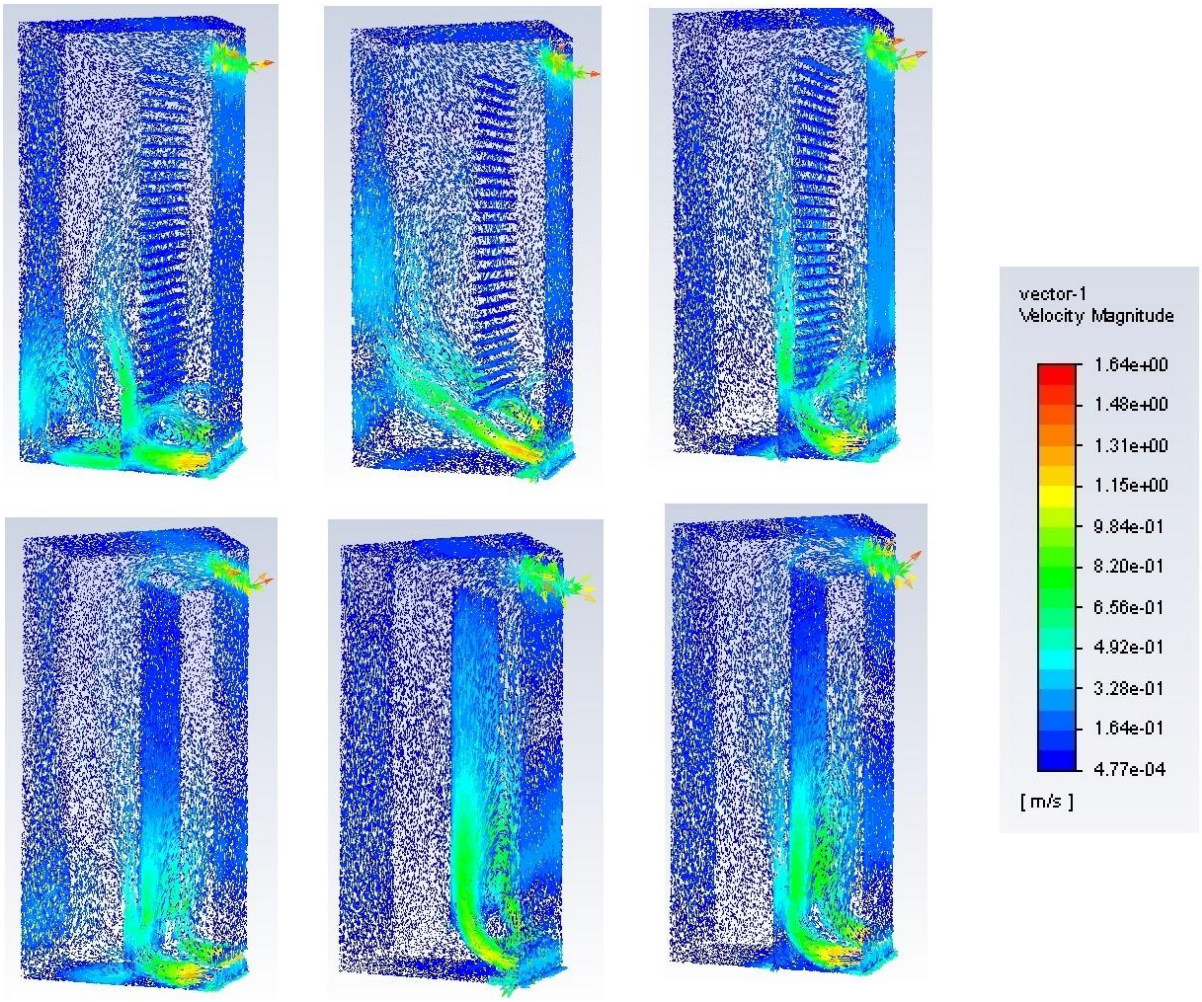
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

۱	۳۰	۰,۱۰	۴۵ درجه	۳۹,۲	۴۴,۳	۴۰۳,۹	٪۱۴,۴	٪۷۲,۹	٪۶,۶
۲		۰,۲۰		۳۹,۱	۴۳	۴۰۱,۶	٪۱۴,۶	٪۷۳,۷	٪۷,۱
۳		۰,۳۰		۳۹,۴	۴۴,۸	۴۰۰,۴	٪۱۴,۰	٪۷۲,۶	٪۷,۴
۴	۴۵	۰,۱۰	۴۵ درجه	۳۹	۴۵,۸	۳۹۱,۲	٪۱۴,۸	٪۷۲,۰	٪۹,۵
۵		۰,۲۰		۳۸,۹	۴۵	۳۸۵,۵	٪۱۵,۱	٪۷۲,۴	٪۱۰,۸
۶		۰,۳۰		۳۸,۹	۴۴,۹	۳۸۱,۸	٪۱۵,۱	٪۷۲,۵	٪۱۱,۷
۷	۶۰	۰,۱۰	۴۵ درجه	۳۹,۳	۴۵,۱	۳۷۶,۲	٪۱۴,۲	٪۷۲,۴	٪۱۳,۰
۸		۰,۲۰		۳۹,۵	۴۴,۳	۳۷۵,۸	٪۱۳,۸	٪۷۲,۹	٪۱۳,۱
۹		۰,۳۰		۳۹,۵	۴۵,۵	۳۷۷,۲	٪۱۳,۸	٪۷۲,۱	٪۱۲,۸
۱۰	۷۵	۰,۱۰	۴۵ درجه	۳۸,۸	۴۳,۵	۳۶۳,۱	٪۱۵,۳	٪۷۳,۴	٪۱۶,۰
۱۱		۰,۲۰		۳۸,۷	۴۳,۱	۳۶۱,۹	٪۱۵,۵	٪۷۳,۶	٪۱۶,۳
۱۲		۰,۳۰		۳۸,۸	۴۳,۴	۳۶۲,۹	٪۱۵,۳	٪۷۳,۴	٪۱۶,۱

جدول ۴: نتایج دما و شار گرمایی عبوری از سطح شیشه داخلی نمای دوپوسته و مقایسه با نتایج نمای تک پوسته (دما ۴۵,۸ ، شار گرمایی عبوری ۱۶۳,۳ و بار سرمایشی ۴۲۰,۹)

ردیف	عمق حفره میانی (سانتیمتر)	سطح دریچه تهویه ورودی و خروجی(متر مربع)	وضعیت سایه بان	دمای سطح شیشه داخلی نمای دو پوسته (سانتیگراد)	شار عبوری گرمایی از سطح شیشه داخلی (وات بر متر مربع)	بار سرمایشی در فصل تابستان	درصد کاهش دمای سطح شیشه داخلی نسبت به تک پوسته	درصد کاهش شار عبوری گرمایی از سطح شیشه داخلی نسبت به تک پوسته	درصد کاهش بار سرمایشی نسبت به تک پوسته
۱	۳۰	۰,۱۰	۹۰ درجه	۳۹,۴	۴۸,۲	۳۸۰,۳	٪۱۴,۰	٪۷۰,۵	٪۹,۶
۲		۰,۲۰		۳۹,۳	۴۷,۹	۳۸۱,۲	٪۱۴,۲	٪۷۰,۷	٪۹,۴
۳		۰,۳۰		۳۹,۵	۴۷,۷	۳۷۷,۶	٪۱۳,۸	٪۷۰,۸	٪۱۰,۳
۴	۴۵	۰,۱۰	۹۰ درجه	۳۹,۳	۴۹,۲	۳۷۲,۹	٪۱۴,۲	٪۶۹,۹	٪۱۱,۴
۵		۰,۲۰		۳۹,۴	۴۹,۱	۳۶۹,۶	٪۱۴,۰	٪۶۹,۹	٪۱۲,۲
۶		۰,۳۰		۳۹,۲	۴۸,۸	۳۶۷,۴	٪۱۴,۴	٪۷۰,۱	٪۱۲,۷
۷	۶۰	۰,۱۰	۹۰ درجه	۳۹,۷	۴۹,۲	۳۶۵,۴	٪۱۳,۳	٪۶۹,۹	٪۱۳,۲
۸		۰,۲۰		۳۹,۸	۴۹,۴	۳۶۴,۷	٪۱۳,۱	٪۶۹,۷	٪۱۳,۴
۹		۰,۳۰		۳۹,۹	۴۹,۲	۳۶۱,۹	٪۱۲,۹	٪۶۹,۹	٪۱۴,۰
۱۰	۷۵	۰,۱۰	۹۰ درجه	۳۹,۲	۴۷,۷	۳۶۰,۰	٪۱۴,۴	٪۷۰,۸	٪۱۴,۵
۱۱		۰,۲۰		۳۹,۱	۴۸,۳	۳۵۸,۷	٪۱۴,۶	٪۷۰,۴	٪۱۴,۸
۱۲		۰,۳۰		۳۹,۳	۴۸,۶	۳۵۴,۲	٪۱۴,۲	٪۷۰,۲	٪۱۵,۸

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]



شکل ۶-جریان هوا در حفره میانی نمای دوپوسته – عرض حفره ۷۵ سانتیمتر و زاویه سایه بان صفر درجه (تصاویر بالا) و ۹۰ درجه (تصاویر پایین) و از راست به چپ سطح مقطع دریچه ها ۰,۱۰ ، ۰,۲۰ و ۰,۳۰ متر مربع خروجی نرم افزار فلوئنت

در شکل ۶ جریان هوا شکل در حفره میانی نمای دوپوسته برای عرض حفره ۷۵ سانتیمتر و زاویه سایه بان صفر درجه (تصاویر بالا) و ۹۰ درجه (تصاویر پایین) و از راست به چپ سطح مقطع دریچه ها ۰,۱۰ ، ۰,۲۰ و ۰,۳۰ متر مربع ارائه شد. برای حالتی که زاویه سایه بان ۹۰ درجه است (تصاویر پایین)، به سبب بسته شدن کامل سایه بان، عمده جریان هوا برای هر سه حالت سطح مقطع دریچه ها، بین سایه بان و شیشه خارجی نما شکل گرفته است و بدین ترتیب افزایش سطح مقطع تاثیر بسزایی در جریان هوا نگذاشته است. برای حالتی که زاویه سایه بان صفر درجه است (تصاویر بالا)، افزایش سطح مقطع دریچه ها از چپ به راست باعث نفوذ بیشتر جریان هوا به سمت شیشه داخلی نما شده و بنا به سایر عوامل موثر بر عملکرد حرارتی نما، می تواند به صورت نامنظم و تا حدود جزئی باعث کاهش بار سرمایشی یا افزایش بار سرمایشی اتاق مشخصه گردد. نتایج عددی تاثیرات نامنظم افزایش سطح مقطع دریچه ها در بار سرمایشی اتاق مشخصه در جداول ۲ تا ۴ قابل مشاهده است.

هدف این مقاله، امکان سنجی کاهش مصرف انرژی در ساختمان های اداری با استفاده نمای دوپوسته در اقلیم گرم و خشک ایران با مقایسه عملکرد حرارتی نماهای دوپوسته در حالات مختلف با تغییر متغییرهای مستقل با عملکرد حرارتی نمای تک پوسته و مقایسه بار سرمایشی در حالات مختلف بود. در این پژوهش نتایج ۳۶ سناریوی شبیه سازی نمای دوپوسته جعبه ای با تهویه طبیعی با نتایج عملکرد حرارتی نمای تک پوسته برای ظهر روز های اول تیر، اول مرداد و اول شهریور برای نمای جنوبی در شهر تهران مقایسه شد. به کارگیری نمای دوپوسته در اقلیم گرم و خشک با چالش برافروختگی حفره میانی در فصل تابستان روبرو بوده (Lee et al., ۲۰۱۵; Yellamraju, ۲۰۰٤; Lee and Changa, ۲۰۱۵) و لذا هدف مقاله بررسی امکان سنجی استفاده از نمای دوپوسته در شهر تهران به عنوان نماینده اقلیم گرم و

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

خشک ایران بود که با توجه به نتایج حاصل شده، استفاده از نمای دوپوسته باعث کاهش دما و شار گرمایی عبوری از سطح شیشه داخلی نما به داخل ساختمان به ترتیب به میزان ۱۲,۹٪ تا ۱۵,۵٪ و ۶۹,۷٪ تا ۷۴,۱٪ نسبت به نمای تک پوسته شد. برای مطالعات آتی بررسی عملکرد حرارتی نماهای دوپوسته در تیپ هایی به جز جعبه ای و برای حالاتی که نمای ساختمان نسبت به سمت جنوب دارای زاویه است پیشنهاد می گردد.

٤. نتیجه گیری

نماهای دو پوسته بایستی براساس شرایط اقلیمی طراحی شوند و در غیر این صورت نه تنها باعث صرفه جویی در مصرف انرژی نمی شوند بلکه باعث رخداد شرایط برعکس خواهد شد لذا در این مقاله، به بررسی امکان سنجی استفاده از نماهای دوپوسته در اقلیم گرم و خشک ایران، در جهت کاهش دما و شار گرمایی عبوری از شیشه داخلی نما پرداخته شد. برای بررسی امکان سنجی استفاده از نمای دوپوسته در اقلیم گرم و خشک ایران، عملکرد حرارتی نماهای دوپوسته در حالات مختلف با تغییر متغییرهای مستقل با عملکرد حرارتی نمای تک پوسته مقایسه شد. در این مقاله از روش شبیه سازی و مدل سازی جهت بررسی عملکرد حرارتی نمای دوپوسته در سناریوهای مختلف برای استخراج بهینه ترین حالت استفاده شد. بدین منظور مشخصات هندسی سناریوهای مختلف نمای دوپوسته بایکدیگر مقایسه شد. شبیه سازی ها با نرم افزار انسیس فلوئنت ورژن ۲۰۱۹ رویژن ۲ و با بررسی نتایج دما و انرژی گرمایی عبوری از سطوح شفاف، عملکرد حرارتی نمای دو پوسته تیپ جعبه‌ای ارزیابی شد. برای صحت سنجی روش شبیه سازی، از اندازه گیری های آزمایشگاهی معتبر استفاده شد. دمای سطح شیشه نمای تک پوسته در ظهر گرمترین روز تابستان، ۴۵,۸ درجه سانتیگراد و شار گرمایی عبوری از آن ۱۶۳,۳ وات بر مترمربع شد. برای ۳۶ سناریو استفاده از نمای دوپوسته باعث کاهش دما و شار گرمایی عبوری ازسطح شیشه داخلی نما به داخل ساختمان به ترتیب به میزان ۱۲,۹٪ تا ۱۵,۵٪ و ۶۹,۷٪ تا ۷۴,۱٪ نسبت به نمای تک پوسته شد. با توجه به نتایج حاصل شده، استفاده از نمای دوپوسته باعث کاهش دما و شار گرمایی عبوری از سطح شیشه داخلی نما به داخل ساختمان گردید. در این پژوهش الگوریتمی برای استفاده از خروجی نتایج نرم افزار فلوئنت به عنوان ورودی به نرم افزار انرژی پلاس برای محاسبات مربوط به بار سرمایشی اتاقی که در سمت جنوبی آن نمای دوپوسته قرار دارد، استفاده شد. نرم افزار انرژی پلاس قادر به انجام محاسبات مربوط به جریان هوای شکل گرفته در حفره میانی نمای دوپوسته نیست بنابراین حتی اگر نمای دوپوسته با تمام جزئیات آن در هندسه و مصالح به کار رفته و اطلاعات آب و هوا در نرم افزار انرژی پلاس شبیه سازی شود، نتایج حاصل شده معتبر نخواهد بود زیرا جریان هوای شکل گرفته در حفره میانی نمای دوپوسته منجر به کاهش دما شیشه داخلی نمای دوپوسته (متصل به اتاق مشخصه) شده در نرم افزار انرژی پلاس در نظر گرفته نمی شود. در این پژوهش دما در مجاورت شیشه داخلی نمای دوپوسته که از خروجی نرم افزار فلوئنت گزارش شده، به عنوان ورودی به نرم افزار انرژی پلاس در فایل آب و هوا وارد شد و محاسبات بار سرمایشی انجام گردید. نتایج نشان دهنده کاهش مصرف انرژی در اتاق مشخصه مرتبط به نمای درساختمان در کل فصل تابستان به میزان ۶,۶٪ تا ۱۶,۳٪ نسبت به نمای تک پوسته بود.

منابع

[۱] حسین پور ستوبادی، قنبران، حمید، (۱۳۹۱)، «بررسی عوامل موثر بر بهبود رفتار حرارتی نماهای دو پوسته در اقلیم شهر تهران و طراحی یک ساختمان اداری با نمای دو پوسته»، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی.

[۲] حیدری، شاهین، (۱۳۸۴) بهینه سازی م صرف انرژی در ساختمان با تکیه بر ا ستاندارد نوین آ سایش حرارتی در ایران، وزارت نیرو، معاونت امور انرژی، دفتر بهینه سازی مصرف سوخت، سازمان چاپ. انتشارات وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، ۱۳۸۴

[۳] کسمایی، م،(۱۳۸۲) اقلیم و معماری، چاپ اول، نشر خاک، ۱۳۸۲

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

[٤] Alberto, A. Nuno M.M. Ramos, Ricardo M.S.F. Almeida. (٢٠١٧). Parametric study of double-skin facades performance in mild climate countries., Journal of Building Engineering, ١٢, ٨٧-٩٨, http://dx.doi.org/١٠,١٠١٦/j.jobe.٢٠١٧,٠٥,٠١٣.

[٥] Aldawoud, A. Salameh, T. Kim Y.K. (٢٠٢٠): Double skin façade: energy performance in the United Arab Emirates, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, DOI: ١٠,١٠٨٠/١٥٥٦٧٢٤٩,٢٠٢٠,١٨١٣٨٤٥

[٦] Allan D, (٢٠٠٦), modeling double skin façade", A thesis submitted for the Degree of MSc Energy Systems & the Environment, Department of Mechanical Engineering University of Strathclyde, Glasgow UK.

[٧] Bakar, N. Hassan, M. Abdullah, H. (٢٠١٥).; Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: a review, Renew Sustain Energy Rev, ٤٤, ١.

[٨] Barbosa, S. Ip, K. (٢٠١٤). Double skin façade for naturally ventilated office buildings in Brazil. World Sustainable Building.

[٩] Eskin, N. Türkmen, H. (٢٠٠٨). Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey. Energy and Buildings, Volume ٤٠, Issue ٥, ٢٠٠٨, Pages ٧٦٣-٧٧٣.

[١٠] Gelesz, A. Reith, A. (٢٠١٥). Climate-based performance evaluation of double skin facades by building energy modelling in Central Europe. Energy Procedia ٧٨, ٥٥٥–٥٦٠.

[١١] Gomes, M. Santos A. and Rodrigues A. M. (٢٠١٤). Solar and visible optical properties of glazing systems with venetian blinds: Numerical, experimental and blind control study. Building and Environment, ٧١, ٤٧.

[١٢] Gratia, E., & Deherde, A. (٢٠٠٧). The most efficient position of shading devices in a double skin façade. Energy and buildings, ٣٩, ٣٦٤-٣٧٣.

[١٣] Hashemi, N. Fayaz, R. Sarshar, M. (٢٠١٠). "Thermal behaviour of a ventilated double skin facade in hot arid climate ", Energy and Buildings, ٤٢, pp ١٨٢٣–١٨٣٢.

[١٤] Hazem, A. Ameghchouche, M. Bougriou, C. (٢٠١٥). A numerical analysis of the air ventilation management and assessment of the behavior of double skin facades. Energy and Buildings, ١٠٢, ٢٢٥.

[١٥] D. Iyi, R. Hasan, R. Penlington, C. Underwood, Double Skin Façade: Modelling Technique and Influence of Venetian Blinds on the Airflow and Heat Transfer, Applied Thermal Engineering (٢٠١٤), doi: ١٠,١٠١٦/□.□□□□□□□□□□□□□□□□.٢٠١٤,٠٦,٠٢٤.

[١٦] Jankovic, A. Goia, F. (٢٠٢١). Impact of double skin facade constructional features on heat transfer and fluid dynamic behavior. Building and Environment. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.buildenv.٢٠٢١,١٠٧٧٩٦.

[١٧] Joe, J. Choi, W. Kwak Y. Huh, J. H. (٢٠١٤) Optimal design of a multi-story double skin façade. Energy and Buildings, ٧٦, ١٤٣.

[١٨] Lee, J. Changa, D. (٢٠١٥); Influence on Vertical Shading Device Orientation and Thickness on the Natural Ventilation and Acoustical Performance of a Double Skin Facade. Procedia Engineering, ١١٨, ٣٠٤.

[١٩] Lee, J. Alshayeb, M. Chang. J. D. (٢٠١٥) A Study of Shading Device Configuration on the Natural Ventilation Efficiency and Energy Performance of a Double Skin Façade, Procedia Engineering, ١١٨, ٣١٠.

[٢٠] Mei, L. Loveday, D.L. Infield, D.G. Hanby, V. Cook, M. Li, Y. Holmes, M. Bates, J. (٢٠٠٧) The influence of blinds on temperatures and air flows within ventilated double-skin façades. Proceedings of clima ٢٠٠٧ WellBeing Indoors, (http:// usir.salford.ac.uk/١٥٨٧٠/١/Clima_٢٠٠٧_B٠٢E١٦٠٦.pdf).

[٢١] Moghimi, S. Azizpour, F. Mat, S. (٢٠١٤) Building energy index and end-use energy analysis in large-scale hospitals-case study in Malaysia. Energy Efficiency, ٧, ٢٤٣.

[٢٢] Nasrollahi, N. Salehi, M. (٢٠١٥) Performance enhancement of double skin facades in hot and dry climates using wind parameters. Renewable Energy, ٨٣, ١.

[٢٣] Pasquay, T. (٢٠٠١). Natural Ventilation in High-rise Buildings with Double Facades, Saving or Waste of Energy. ١٨th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Brazil.

[٢٤] Pasut, W. Carli, Di. (٢٠١٢) Evaluation of various CFD modelling strategies in predicting airflow and temperature in a naturally ventilated double skin façade, Applied Thermal Engineering ٣٧.

[٢٥] Parra, J. Guardo, A. Egusquiza, E. Alavedra, P. (٢٠١٥) Thermal Performance of Ventilated Double Skin Façades with Venetian Blinds. Energies, ٨, ٤٨٨٢.

[٢٦] Pomponi, F. Piroozfar, P. Southall, R. Ashton, P. and Farr, E. R. (٢٠١٦) Energy performance of Double-Skin Façades in temperate climates: A systematic review and meta-analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, ٥٤, ١٥٢٥.

[٢٧] Yellamraju, V. (٢٠٠٤). Evaluation and design of double skin façade for office building in hot climates. Ms diss., Texas A&M university.

[٢٨] Zomorodian, Z. Tahsildoost, M. (٢٠١٨) Energy and carbon analysis of double skin façades in the hot and dry climate. Journal of Cleaner Production, ١٩٧, ٨٥-٩٦. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.jclepro.٢٠١٨,٠٦,١٧٨.

[٢٩] Ziyi Su, Xiaofeng Li, Fei Xue. (٢٠١٧). Double-skin façade optimization design for different climate zones in China. Solar Energy, ١٥٥, ٢٨١–٢٩٠.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

Feasibility study of reducing energy consumption in office buildings using double skin facade in hot and dry climate of Iran

Faryal Sadat Siadati
PhD student, Islamic Azad University,
South Teharn Branch,
Department of Art and Architecture
faryal.siadati@gmail.com

Rima Fayaz
Associate Professor, Department of Architecture and Energy,
Faculty of Architecture and Urbanism,
University of Art
fayaz@art.ac.ir
(Corresponding Author)

Niloofar Nickghdam
Assistant Professor, Islamic Azad University,
South Teharn Branch,
Department of Art and Architecture
n-nikghadam@azad.ac.ir

Received:
۲۰۲۱/۱۱/۲۶

Accepted:
۲۰۲۲/۱۱/۱۷

Keywords:
Natural Ventilation,
Double Skin Façade,
FLUENT Software,
Energy Plus Software,
Hot and Dry Climate of IRAN,
Office Building

Abstract:

Double skin facades (DSFs) should be used based on climatic conditions. The purpose of this article was to investigate the feasibility of using DSFs in office buildings in hot and dry climate of Iran, in order to achieve the optimal model of DSF to reduce the temperature and heat flux through the inner glass of the facade. Therefore, the thermal performance of DSFs in different situations with independent variables was compared with the thermal performance of single skin facades (SSFs) and energy consumption. In this paper, the simulation and modeling method with Ansys Fluent software version ۲۰۱۹-R۲ to evaluate the thermal performance of the DSF by examining the results of temperature and thermal energy passing through transparent surfaces and Energy Plus software version ۹,۶,۰ to investigate energy consumption in buildings in different scenarios used. Valid laboratory measurements were used to validate the simulation methods. For ۳۶ scenarios, the use of a DSFs reduces the temperature and heat flux passing through the inner glass surface of the facade into the building by ۱۲,۹٪ to ۱۵,۵٪ and ۶۹,۷٪ to ۷۴,۱٪ and reduces energy consumption in the characteristic room related to the building facade by ۶,۶٪ to ۱۶,۳٪ compared to the SSFs.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]