نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۶، شماره۳، پاییز ۱۴۰۲، صفحه ۱-۱۴

بررسی تأثیر نمای دوپوسته بر بار سرمایش و گرمایش فضاهای اداری شهر یزد

مریم سیف شجاعی [۱]، لیلا موسوی [۲]

تاریخ دریافت:
۰۱ /۰۴/ ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش:
۱۵ /۰۷/ ۱۴۰۲

کلمات کلیدی:
هندسه نمای دوپوسته، متریال نمای دوپوسته، کاهش بارسرمایش و گرمایش، شبیه‌سازی دیزاین بیلدر، ساختمان اداری یزد

چکیده

به حداقل ر ساندن ا ستفاده از سوخت‌های ف سیلی و جایگزینی انرژی‌های تجدیدناپذیر می‌تواند نقش مهمی در کاهش انت شار کربن‌دی‌اک سید دا شته باشـد. با توجه‌به پتانسـیل ایران برای بهره‌گیری از انرژی‌های خورشـیدی، برای کاهش انتشـــار کربن‌دی‌اکســـید در بخش ســـاختمان، می‌توان از سیستم‌های غیرفعال خورشیدی بهره گرفت. پوسته بیرونی ساختمان تبادل انرژی بین محیط بیرون و داخل را تعیین می‌کند و بر مصـرف انرژی حاکم ا ست. از این رو در این پژوهش به ظرفیت به‌کارگیری از نمای دوپو سته در کاهش مصرف انرژی برای کاربری اداری اقلیم گرم و خشک (یزد) پرداخته شده است. همچنین تلاش می‌شود با تغییر هندسه و متریال نمای دوپوسته مدلی بهینه از نمای دو پو سته برای فضاهای اداری شهر یزد ارائه شود که موجب کاهش بار سرمایش و گرمایش ساختمان شود. برای این منظور از شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر استفاده شده است. مدل ارائه شده ۶۸٪ نسـبت به حالت بدون نمای دوپوسـته مجموع بار سـرمایش و گرمایش را کاهش می‌دهد. اگر از پنل‌های فتوولتاییک در جبهه جنوبی نمای دوپو سته (مطابق هندســه ارائه شــده) به عنوان ســایه‌انداز اســتفاده شــود؛ مجموع بار سرمای شی و گرمای شی ۶۱٪ کاهش می‌یابد و ۲/۷۷ برابر بار گرمایش و سرمایش انرژی تولید می شود. پنل‌های فتوولتاییک با زاویه ۱۰-۱۵ درجه بیشتر از عرض جغرافیایی بهترین عملکرد را دارند.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری و انرژی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه یزد **maryam.seyf.75@gmail.com**
۲. استادیار دانشکده هنر و معماری، دانشگاه یزد

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

۱. مقدمه

انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، به چالشی جهانی تبدیل شده و توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. از سال ۲۰۱۰ به بعد منطقه خاورمیانه نیز با رشد ۲/۶٪ در سال رتبه دوم رشد گازهای گلخانه‌ای به خود اختصاص داده است. کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن با جلوگیری از گرمایش کره زمین تأثیر مثبتی بر محیط زیست خواهد داشت. برای این منظور، منابع انرژی‌های تجدید پذیر باید جایگزین منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر شوند [۱-۴]. به ازای افزایش هر ۱٪ در پیشرفت انرژی‌های تجدیدپذیر، شدت انتشار کربن بین ۰/۰۲۸ ٪ تا ۰/۰۴۳ ٪ کاهش می‌یابد [۵]. در کشور ایران به علت وجود منابع نفت و گاز به استفاده از منابع تجدیدپذیر کمتر پرداخته شده است. درصورتی‌که سالانه بیش از ۲۸۰ روز، در بیش از ۹۰٪ از مساحت ایران آفتابی می‌باشد و ظرفیت بالایی جهت بهره‌مندی از انرژی خورشید دارد [۶].

با توجه به اینکه ۳۰ تا ۴۰ ٪ مصرف انرژی مربوط به ساختمان‌ها می‌با شد[۷]، صرفه جویی انرژی از طریق بهره‌وری انرژی در ساختمان اهمیت زیادی دارد [۸]. با بهره‌مندی از تکنیک‌های غیرفعال خورشیدی در ساختمان می‌توان مصرف انرژی را ۵۰ تا ۷۰ در صد کاهش داد [۹]. تکنیک‌های غیرفعال قرن‌هاست در کره زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد، که پاسخ اقتصادی منطقی متناسب با محیط را نشان می‌دهد. سیستم‌های غیرفعال خورشیدی به عوامل اقلیمی بسیار حساس هستند، لذا نیاز به درک وسیع از عوامل آب و هوایی توسط طراح دارند. اولویت اول این سیستم‌ها کاهش مصرف انرژی با استفاده از تهویه طبیعی و انرژی خورشیدی است. در حال حاضر سیستم‌های مختلف غیر فعال مانند نماهای دوپوسته، گلخانه خورشیدی، دیوارهای خورشیدی و سبز، دیوارهای تهویه شونده، جرم حرارتی جدار، دیوار ترومپ در نمای ساختمان استفاده می‌شود. [۱۰-۱۳].

۲. مبانی نظری

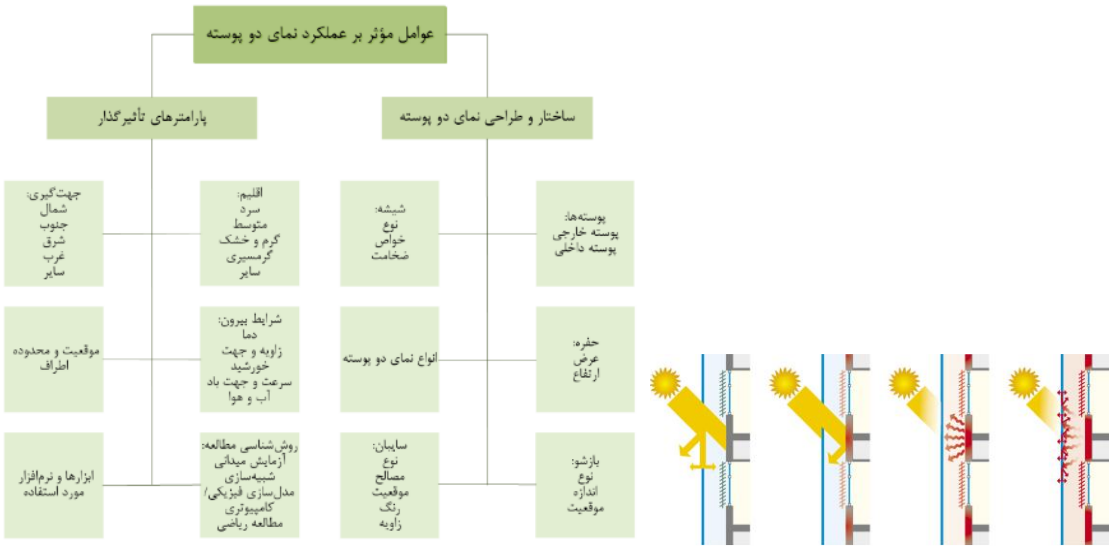
پوسته بیرونی محافظ اولیه ساختمان در برابر شرایط نامساعد جوی است و بیشترین میزان اتلاف حرارت را دارد در نتیجه نرخ تبادل حرارت به محیط را تعیین می‌کند و می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر مصرف انرژی داشته باشد. همچنین به عنوان رابط حرارتی در تعیین دمای داخلی و میزان انرژی مورد نیاز برای حفظ آسایش حرارتی بسیار موثر می‌باشد. به حداقل رساندن انتقال حرارت از طریق پوسته ساختمان به طور موثر انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش ساختمان را کاهش می‌دهد. از طرفی نمای ساختمان بزرگترین قسمت پوشش ساختمان را تشکیل می‌دهد و انتظار می‌رود که آسایش حرارتی و صوتی را در داخل ساختمان فراهم کنند، بدون اینکه زیبایی شناسی ساختمان را به خطر بیندازند. نمای ساختمان تأثیر قابل توجهی بر هزینه‌های عملیاتی و در نتیجه هزینه‌های چرخه عمر ساختمان دارد. تصمیمات اتخاذ شده توسط طراحان و سازندگان در رابطه با سیستم نمای ساختمان می‌تواند پیامدهای قابل توجهی بر هزینه‌های عملیاتی و عملکرد ساختمان در طول چرخه عمر آن داشته باشد، از جمله: مصرف انرژی، انتشار کربن، هزینه‌های انرژی، راحتی صوتی و حفاظت در برابر آتش. اتخاذ تصمیمات صحیح در مورد سیستم نما علاوه بر جلوگیری از آلودگی محیط زیست، کمک قابل توجهی به اقتصاد ساختمان و بهره‌وری انرژی می‌کند [۱۱, ۱۴-۱۷] مدیریت صحیح پوسته ساختمان می‌تواند تقاضای انرژی ساختمان را به میزان قابل توجهی کاهش دهد [۱۸]. از این رو طراحی دقیق پوشش ساختمان می‌تواند به طور قابل توجهی به دستیابی به اهداف گرمایش و سرمایش و بهبود بازده انرژی کمک کند. [۱۷].

عملکرد اصلی نما این است که به عنوان پوشش ساختمان عمل کند، سرما و آب را دور نگه می دارد و هوا و نور را وارد می‌کند [۱۹]. نما یکی از مهمترین عواملی است که در مصرف انرژی و پارامترهای آسایش (حرارتی، بصری و صوتی) هر ساختمان نقش دارد. نماهای پایدار باید سطوح بهینه آسایش را با استفاده از کمترین مقدار انرژی فراهم کنند. برای دستیابی به این عملکرد بالا، طراحان باید متغیرهای زیادی از جمله متغیرهای اقلیمی، رویکردهای طراحی مبتنی بر اقلیم، عملکرد حرارتی، نور روز، سایبان خورشیدی، تابش خیره کننده، انتقال رطوبت، مواد و تأثیرات محیطی آنها ،... را در نظر بگیرند [۲۰, ۲۱]. نماهای دو پوسته (DSF) به عنوان یک فناوری ساختمان غیرفعال

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

امیدوارکننده برای افزایش کارایی انرژی و بهبود آسایش حرارتی داخلی پیشنهاد می شوند [۲۲].تقاضا برای صرفه‌جویی در انرژی، آسایش حرارتی و بصری برای پوشش ساختمان‌های جدید را می‌توان با نمای دو پوسته (DSF) برآورده کرد [۲۳]. نماهای دو پوسته (DSF) یک عنصر معماری جالب و مهم در ساختمان هستند زیرا از نظر بصری بسیار جذاب، و در عین حال می‌توانند عملکرد بهتری نسبت به نماهای تک پوسته داشته باشند. DSF ها باید به درستی طراحی و اجرا شوند، در غیر این صورت ممکن است مزایای بالقوه آنها از بین برود. به همین دلیل، فرآیندهای فیزیکی که در یک DSF رخ می‌دهند باید به خوبی درک و پیش‌بینی شوند. با این حال، آنها بسیار پویا و در تعامل ثابت با یکدیگر هستند و به ویژگی های هندسی، ترموفیزیکی، نوری و آیرودینامیکی عناصر مختلف DSF بستگی دارند [۲۳, ۲۴]. نماهای دو پوسته در صورت طراحی مناسب می‌توانند آب و هوای داخل ساختمان را بهبود بخشند و مصرف انرژی را کاهش دهند [۱۹, ۲۵-۲۷]. هدف این نماها از یک سو افزایش آسایش داخلی و از سوی دیگر کاهش مصرف انرژی است [۲۸].نماهای دو پوسته فرصت‌های قابل توجهی را برای کاهش مصرف انرژی و مدیریت منفعلانه شرایط آسایش ارائه می‌دهند و در عین حال سطوح وسیعی از شیشه را با سطح شفافیت بصری بالایی ممکن می‌سازند [۲۹]. این نماها شامل؛ نمای خارجی کاملاً شفاف، پوسته داخلی، و یک لایه هوا بین این دو می‌باشد [۳۰]. حفره میانی DSF برای جمع‌آوری یا تخلیه تابش خورشیدی جذب شده توسط نماها استفاده می شود، در نتیجه آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخلی را بهبود می‌بخشد و در عین حال انرژی برای گرمایش و سرمایش را حفظ می‌کند [۳۱]. حفره را می‌توان به طور فعال از طریق سیستم‌های مکانیکی و یا به طور طبیعی تهویه کرد. این حفره همچنین فرصت‌هایی را برای ترکیب سیستم‌های سایه‌انداز برای کاهش بهره‌برداری خورشیدی ورودی به ساختمان و همچنین مدیریت تابش خیره‌کننده و نفوذ نور روز ارائه می‌دهد لایه خارجی از بارندگی محافظت می‌کند و ورود نویز خارجی را کاهش می‌دهد. لایه داخلی می‌تواند کاملاً بسته باشد تا عملکرد حرارتی را افزایش دهد یا برای فعال کردن تهویه غیرفعال به فضاهای داخلی باز باشد [۲۹].

عملکرد انرژی DSF عمدتا به شرایط آب و هوایی بستگی دارد. همچنین، نوع، پیکربندی، خواص ترموفیزیکی مواد و استراتژی‌های کنترل (استفاده) تأثیر زیادی بر کارایی نما دارند.[۳۲]. طراحی DSF شامل تصمیم‌گیری در مورد پارامترهای هندسی، انتخاب شیشه، استراتژی تهویه، سایه، روشنایی روز، زیبایی شناسی، بار باد، و انتظارات هزینه نگهداری و نظافت است. DSF بر چندین جنبه از مرحله طراحی یک ساختمان تأثیر دارد. به عنوان مثال، ویژگی‌های حرارتی، ویژگی‌های صوتی و نور روز در مرحله بهره برداری از ساختمان تحت تاثیر قرار می‌گیرند. علاوه بر این، از نظر ایمنی ساختمان، تعمیر و نگهداری انتشار آتش یا عایق حرارتی شیشه باید در نظر گرفته شود [۳۳].



شکل۱: اثر گلخانه‌ای در نمای دو پوسته و عوامل مؤثر بر عملکرد نمای دو پوسته [۲۷] و [۳۴]

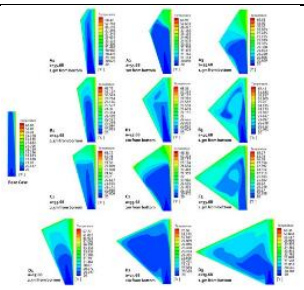
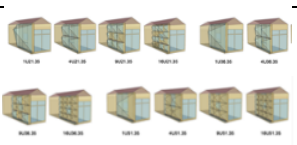
یکی از ویژگی های عالی نمای دو پوسته، اثر گلخانه‌ای است (شکل-۱). عوامل موثر بر اثر گلخانه ای عبارتند از: سطح تابش خورشیدی، جهت‌گیری و استفاده از دستگاه‌های سایه‌انداز، نسبت دیوار به پنجره، نمای داخلی، سرعت باد، رنگ دستگاه‌های سایه‌انداز و نمای داخلی،

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

عمق حفره دو پوسته، نوع شیشه در نمای داخلی و باز شوها در دو پوسته [۳۴]. نسبت پنجره به دیوار، جهت گیری، و هندسه باز شدن از دیگر پارامترهای حیاتی طراحی هستند که به طور قابل توجهی بر عملکرد سیستم DSF تأثیر می‌گذارند [۳۵]. عوامل دیگری نیز بر عملکرد نمای دو پوسته تأثیر می‌گذارند که در نمودار-۱ خلاصه آورده شده است.

جدول-۱ خلاصه‌ای از مقالاتی که فرم نمای دو پوسته مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند آورده شده است.

جدول۱: مقالات صورت گرفته در رابطه با فرم نمای دوپوسته

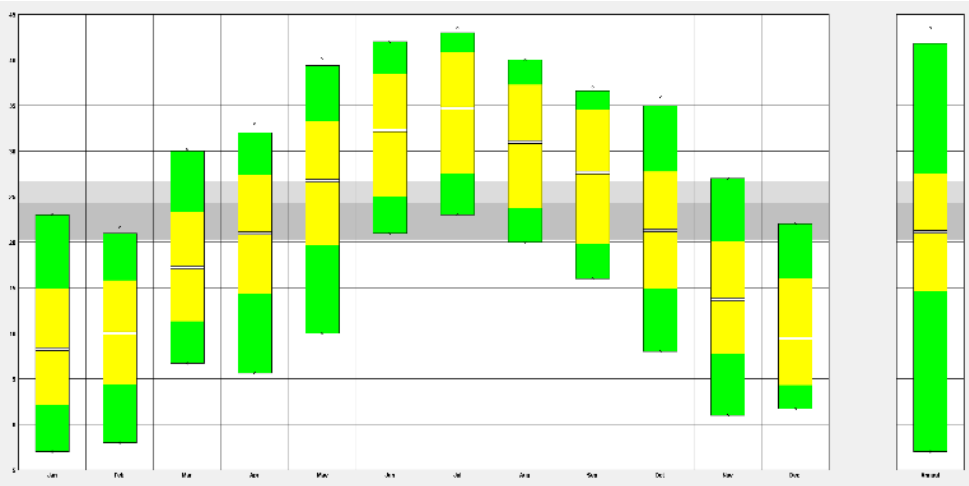
موقعیت	نتیجه	پارامترهای مورد بررسی	مدل مورد بررسی	ابزار	مقاله
فرانسه	زاویه شیب بر میدان های سرعت و فشار و جریان درون کانال تأثیر زیادی دارد. شیب ۱۰- درجه اطمینان از بهترین مصالحه بین ملاحظات معماری و انتقال گرما و جرم که منجر به جریان تهویه مناسب در حفره با راندمان بالا برای پیش گرم کردن جریان تهویه می شود را تضمین می کند.	هفت زاویه شیب ($-10° \le \alpha \le +10°$) مطالعه شد. مطالعه بر روی هر دو انتقال حرارت و دینامیک جریان در حالت پایدار در یک نماینده کانال		انسیس فلوئنت	[۳۶]
تهران	بر اساس تأثیر زاویه شیب و موقعیت چین‌خوردگی بر توزیع دما و میدان‌های سرعت، دمای دیواره بیرونی (دیواره چین‌خورده) با افزایش عمق چین‌خوردگی و در عین حال کاهش زاویه شیب افزایش می‌یابد. برای همه موارد، دمای هوا در ناحیه مرکزی و سطوح تا شده در مقایسه با حالت پایه کمتر است. تغییر زاویه شیب از یک سطح عمودی، کارایی را افزایش می‌دهد. عمق چین باید در سطحی بلندتر از ارتفاع متوسط قرار گیرد تا همزمان افزایش دما و سرعت جریان بالاتری به دست آید.	موارد تا شده در چهار نوع زاویه شیب (D=25.68، C=35.68، B=45.68 و A=55.68 درجه) در نظر گرفته شد.		انسیس فلوئنت	[۳۷]
آلبرتا، کانادا	نتایج نشان می‌دهد که اگرچه انحراف از نمای تخت پایه به طور کلی منجر به افزایش بار گرمایشی می‌شود، این با کاهش بار خنک‌کننده و افزایش قابل‌توجه در پتانسیل تولید انرژی از سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه نما متعادل می‌شود. موقعیت چین و عمق حفره تأثیر بسزایی بر بار حرارتی و پتانسیل تولید انرژی دارد. تحت شرایط آب و هوایی مورد مطالعه (کالگری، آلبرتا، کانادا - ۵۲ درجه شمالی)، کل پتانسیل تولید برق سالانه، با پیکربندی‌های چندگانه می‌تواند تا ۸۰ درصد از نمای مسطح فراتر رود.	این مقاله بر روی یک فضای اداری منفرد و محیطی متمرکز است. این منطقه متمرکز در منطقه محیطی جهت جنوب، در بخش میانی یک ساختمان اداری دوازده طبقه با پلان طبقه ۴۲ متر در ۳۵ متر واقع شده است.			[۳۸]
دیجون، کره جنوبی	به طور کلی، بار گرمایشی برای تمام طرح‌های تا شده افزایش می‌یابد، در حالی که بار سرمایش کاهش می‌یابد. تولید برق، هم سطح کل و هم در واحد سطح BIPV، به طور قابل توجهی بالاتر از تولید نمای مسطح است. تولید سالانه به طور کلی با یک حفره بزرگتر به دلیل افزایش سطح PV افزایش می یابد. U36.35 بالاترین بازده تولید سالانه PV را نشان می‌دهد. این عمدتا به دلیل زاویه شیب این واحد است که زاویه شیب بهینه را دارد	این مطالعه دو پیکربندی صفحه تاشو را انتخاب کرد که بر اساس یک هرم است. اولین پیکربندی، پیکربندی واحد هرم مثلثی (TP) است. پیکربندی دوم، پیکربندی واحد هرم مستطیلی (RP) است.		انرژی پلاس	[۳۹]

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

در ادامه به خلاصه‌ای از مقالات مروری در زمینه نمای دوپوسته اشاره شده است. سابرینا و کنث در مقاله مروری در رابطه با تهویه طبیعی در نمای دو پوسته انجام داده‌اند که پارامترهای مؤثر بر عملکرد حرارتی و انرژی را بررسی می‌کند. طبق این پژوهش نما، ساختمان و سایت تأثیر قابل توجهی بر عملکرد نمای دوپوسته دارند [۴۰]. غفاریان‌حسینی و همکارانش در پژوهشی مزایا و چالش‌های نمای دوپوسته را مورد بررسی قرار داده‌اند و تحلیل جامعی از طراحی فعلی DSF ها، ویژگی ساخت و جنبه‌های فنی آن‌ها ارائه داده‌اند. طبق این پژوهش DSF ها تأثیرات مثبتی از جمله "کاهش مصرف انرژی"، "تهویه، جریان هوا و افزایش راحتی حرارتی"، "کنترل نور روز و تابش نور"، "عایق صدا، کاهش نویز و بهبود صوتی" و "افزایش کیفیت بصری و زیبایی" را دارند. نقطه ضعف کلیدی DSF ها هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری آن‌ها در مقایسه با نماهای تک شیشه‌ای است. از طرفی راهکارهایی برای مقابله با مشکلات گرمای بیش از حد DSF در فصول گرم باید در نظر گرفته شود [۲۲]. لانچینو و همکارانش به مرور ابزارهای شبیه‌سازی DSF ها انجام داده‌اند. در این پژوهش شکاف‌ها و محدودیت‌های فعلی ابزارهای شبیه سازی مورد بررسی قرار گرفته است [۴۱]. در پژوهشی دیگر، تاثیر ویژگی‌های ساختمانی نمای دو پوسته بر انتقال حرارت و رفتار دینامیکی سیال مورد بررسی قرار گرفته است. براساس این پژوهش سیستم سایه‌زنی تاثیرگذارترین عنصر ساختاری را در کنترل رفتار حرارتی DSF تهویه‌شده به‌طور طبیعی و مکانیکی نشان می‌دهد. شیشه دومین عنصر ساختاری تاثیرگذار است. مسیر جریان هوا، ابعاد حفره و اندازه و هندسه دهانه‌ها سایر عوامل مرتبط هستند و برای بهینه سازی عملکرد حرارتی DSF باید به دقت هماهنگ شوند [۲۴]. مطالعه دیگر قابلیت حیات نماهای دوپوسته در قرن ۲۱ مورد بررسی قرار گرفته است. این پژوهش به عنوان خلاصه‌ای از تحقیقات نمای دوپوسته می‌باشد و تأثیر عوامل مؤثر بر عملکرد حرارتی را مورد بررسی قرار می‌دهد [۴۲].

۳. روش تحقیق

در این پژوهش ابتدا به بررسی ادبیات موضوع با استفاده از منابع موجود پرداخته شده است. شهر یزد در ۳۱° عرض و ۵۴° طول جغرافیایی واقع شده است. اقلیم شهر یزد با استفاده از داده‌های آب و هوایی (۲۰۰۷-۲۰۲۱) با استفاده از نرم افزار کلایمت کانسولتنت۳ مورد بررسی قرار گرفته است. براساس شکل۲ میانگین دمای شهر یزد در ماه‌های فروردین و آبان در محدوده آسایش قرار دارد. از فروردین تا آبان نیاز به بار سرمایش و از آبان تا فروردین نیاز به بار گرمایش دارد. لذا در این پژوهش سعی می‌شود با طراحی نمای دوپوسته مناسب، بار سرمایش و گرمایش کاهش یابد. برای این منظور از نرم افزار دیزاین بیلدر استفاده شده است. با استفاده از نرم‌افزار بار سرمایشی و گرمایشی برای مدل‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است و به کمک تحلیل نتایج مدل بهینه انتخاب شده است.



شکل۲: میانگین دمای هر ماه شهر یزد

[3] Climate Consultan

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

ابزار شبیه‌سازی

ابزارهای شبیه سازی انرژی به طور فزاینده‌ای برای تحلیل عملکرد انرژی ساختمان‌ها و آ سایش حرارتی ساکنان آن‌ها ا ستفاده می شوند. قابلیت اطمینان تبادل داده و رابط‌های ساده و کاربرپسند جنبه‌های اصلی ا ستفاده عملی از این ابزارها هستند [۴۳]. نرم افزار دیزاین بیلدر۴ دارای یک محیط مدل سازی کاربر پسند ا ست و از برنامه شبیه سازی پویا انرژی پلاس۵ که توسط D.J تهیه شده ا ست ا ستفاده می‌کند [۴۴]. با اســتفاده از دیزاین بیلدر ، می‌توان مطالعات دقیق مربوط به توده‌های حرارتی و جریان‌های تهویه طبیعی را تحت کنترل برنامه‌های عملکرد پویا (انرژی پلاس) با توجه به شرایط هواشناسی خارجی انجام داد [۴۵]. این نرم افزار مصرف انرژی ساختمان (کیلووات ساعت در سال) شامل سرمایش، گرمایش، رو شنایی و م صرف آب گرم خانگی را محا سبه می‌کند. این نرم افزار همچنین عملکرد سی ستم های فتوولتاییک و همچنین ســطوح نور طبیعی را از طریق شــبیه‌ســازی نور روز محاســبه می‌کند. انرژی پلاس به عنوان یک ابزار معتبر برای خروجی گرفتن ا ستفاده می شود که از ا ستاندارد ANSI/ASHRAE 140-2011 و IEA پیروی می‌کند [۴۶]. در مطالعات مختلف تأیید و ثابت شده ا ست که دیزاین‌بیلدر خطای بسیار کمی دارد علاوه بر این، دیزاین‌بیلدر توسط LEED تأیید شده ا ست و این ابزار الزامات روش رتبه‌بندی عملکرد پایه ASHRAE 90.1 2007 و ۲۰۱۰ را برآورده می‌کند [۴۷]. در سال ۲۰۱۸ مطالعه‌ای توسط یوسف عبا و همکاران به منظور اعتبارسنجی نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر در مدرسه‌ای در شهر بائوچی نیجیریه صورت گرفته است. در این مطالعه ابتدا از ۱۸ تا ۲۱ سپتامبر اندازه‌گیری میدانی صورت گرفته و سپس با نتایج شبیه سازی در دیزاین بیلدر مقایسه شده ا ست. بر ا ساس این پژوهش م شخص شد که می‌توان از دیزاین بیلدر برای ارزیابی عملکرد حرارتی ســقف و همچنین پیش‌بینی دمای هوای داخلی ســاختمان اســتفاده کرد [۴۸].در مطالعه‌ای در شهر پورتو برای ساختمان با نمای دوپو سته صورت گرفته ا ست که پارامترهای عمق شکاف، م سیر جریان هوا و جهت‌گیری ساختمان را با استفاده از دیزاین‌بیلدر مورد بررسی قرار گرفته است [۴۹]. در مطالعه دیگری که در شهر توکیو (ژاپن) صورت گرفته است؛ از نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای تعیین تأثیر نمای دوپوسته بر مصرف انرژی استفاده شده است [۵۰].

مشخصات مدل مورد بررسی

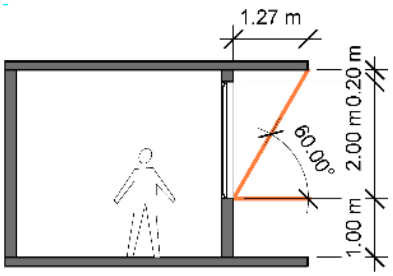
مدل پایه اتاقی با ابعاد ۳,۵*۳,۲۵ و کاربری اداری در نظر گرفته شـده اسـت. که در جبهه جنوبی نمای دو پوسـته قرار دارد که از سـه وجه دیگر، سقف و کف در مجاورت فضای کنترل شده قرار دارد تا تنها تأثیر جدار در ارتباط با نمای دوپوسته لحاظ شود. مشخصات این جدار در جدول۲ آورده شده است. در مبحث ۱۹ حداقل مقاومت حرارتی برای جدار در ارتباط با فضای کنترل نشده برای ساختمان بسیار کم انرژی ۱/۶ می‌با شد. ابعاد پنجره جدار اول ۲*۲,۲۵ و نسبت پنجره به دیوار (WWR) ۴۳٪ می‌با شد. عمق حفره برا ساس سایه‌بان مورد نیاز طبق مبحث ۱۹ برای شهر یزد در نظر گرفته شده ا ست (شکل۳). برنامه زمانبندی برای کاربری اداری که ۵ روز در هفته فعالیت دارد، به طور دقیق از پیوست ۵ مبحث ۱۹ به نرم‌افزار وارد شده است. سیستم مکانیکی مکمل فن کویل می‌باشد.

جدول۲: مشخصات فیزیکی جدار در ارتباط با نمای دوپوسته

لایه بندی جدار در ارتباط با نمای دوپوسته	ضخامت (cm)	مقاوت حرارتی (m^2K/W)	U-value (W/m^2K)
آجرنما (لایه بیرونی)	۵	۱/۷۸۷	۰/۵۶۰
مصالح بنایی (لایه میانی)	۳۰		
اندود گچ (لایه داخلی)	۲		

[4] Design Builder
[5] Energy Plus

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

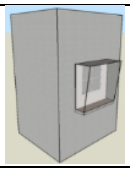
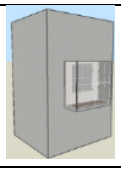
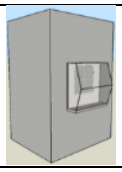
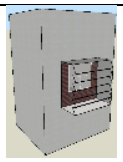
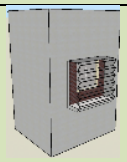
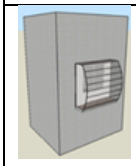


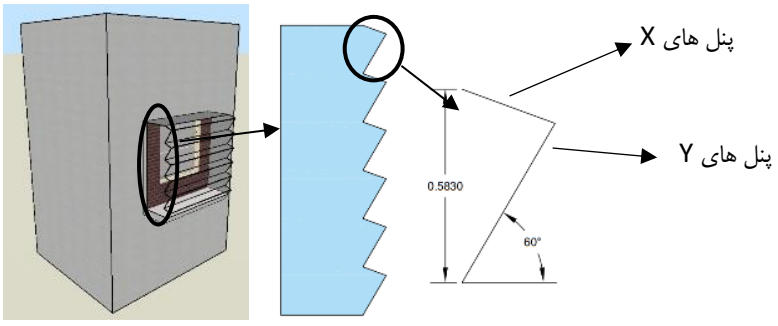
شکل۳: عمق سایبان

٤. بررسی و تحلیل نتایج

پس از مدلسازی دقیق اتاق براساس استانداردهای موجود، هفت هندسه مختلف برای نمای دوپوسته در نظر گرفته شده است. در تمامی مدل‌های بررسی شده این پژوهش، پنجره داخلی و جدار خارجی به طور کامل بسته در نظر گرفته شده است در جدول۳ بار سرمایش و گرمایش برای هفت هندسه از نمای دو پوسته و حالتی که نمای دوپوسته وجود نداشته باشد محاسبه شده است. در این آنالیز، تمامی اجزای نمای دوپوسته به غیر سقف و کف از شیشه هستند. براساس نتایج جدول۳ تمامی مدل‌های نمای دوپوسته از حالت بدون نمای دوپوسته عملکرد بهتری دارند. در مجموع بار گرمایش و سرمایش، بهترین عملکرد مربوط به هندسه هفتم می‌باشد. مطابق شکل۴ زاویه شیب پنل، ۶۰ درجه در نظر گرفته شده است. (این زاویه مطابق زاویه پرتو خورشید در مبحث ۱۹ می‌باشد.)

جدول۳: مقایسه هندسه‌های مختلف نمای دوپوسته

	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸
								
بار گرمایش (گاز) kwh	۰	۰/۰۳	۰/۴۶	۱/۰۱	۰/۱۶	۱/۸۷	۱۱/۳۶	۱/۴۱
بار سرمایش (برق) kwh	۱۰۹۷/۲۹	۸۴۱/۷۴	۹۴۱/۴۳	۷۸۸/۸۸	۸۶۴/۳۱	۸۵۶/۵۰	۷۱۱/۴۳	۸۳۳/۶۹



شکل۴: هندسه نمای دوپوسته با عملکرد بهینه

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

در ادامه متریال نمای دوپوسته برای مدل شکل۴ مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول۴ متریال سطوح جانبی نمای دوپوسته بررسی شده ا ست. سه حالت شفاف و کدر و با سایبان برای این سطوح در نظر گرفته شده ا ست. اگر پنل های جانبی کدر با شند و نوری عبور نکند عملکرد سیستم نما بسیار بالا می‌رود. و در بین متریال مورد بررسی پنل گچی و پنل آلومینیومی (ترمال بریک) عملکرد بهتری دارند. که با توجه به مقاومت بهتر آلومینیوم در برابر رطوبت در آنالیزهای بعدی از این متریال در سطوح جانبی نمای دو پوسته استفاده شده است.

جدول۴: متریال سطوح جانبی نمای دوپوسته

	کاملا بسته					**سایبان (مطابق مبحث ۱۹) غرب: ع.م شرق۶۰ افقی**	**کاملا شیشه**	
متریال	PVC 5 mm	Wood 2 cm	plasterbord 1.3 cm	brick 3 cm EPS 15 cm plasterbord 1.3 cm	brick 3 cm leica block 15 cm plasterbord 1.3 cm	(مطابق مبحث (۱۹ غرب: ع.م شرق۶۰ افقی	ترموکرمیک	دوجداره
بار گرمایش (گاز) kwh	۲۶/۱۵	۱۸/۰۸	۲۸/۰۹	۹/۶۵	۱۳/۵۱	۱۱/۹۱	۱۰/۹۶	۱۱/۳۶
بار سرمایش (برق) kwh	۵۶۱/۸۸	۶۰۷/۳۳	۵۵۶/۰۳	۶۱۸/۱۳	۵۹۸/۴۵	۶۷۱/۳۳	۶۹۰/۰۳	۷۱۱/۴۳

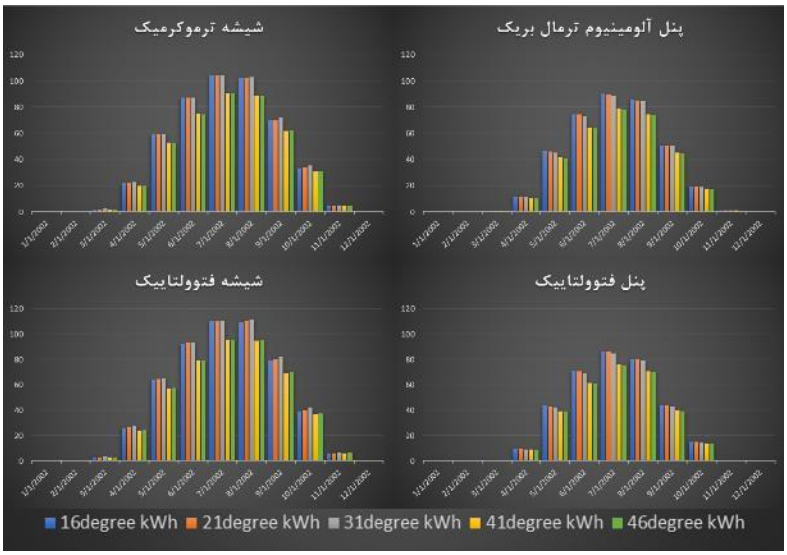
جدول۵ متریال پنل‌های Y (۶۰° در جبهه جنوب) مورد بررسی قرار گرفته است که براساس نتایج شیشه‌های ترموکرمیک و بعد از آن شیشه سه جداره کم گسیل مناسب هستند. در ادامه روند پژوهش متریال پنل‌های Y شیشه ترموکرمیک در نظر گرفته شده است.

جدول۵: متریال پنل شیشه‌ای ۶۰° جبهه جنوبی نمای دوپوسته

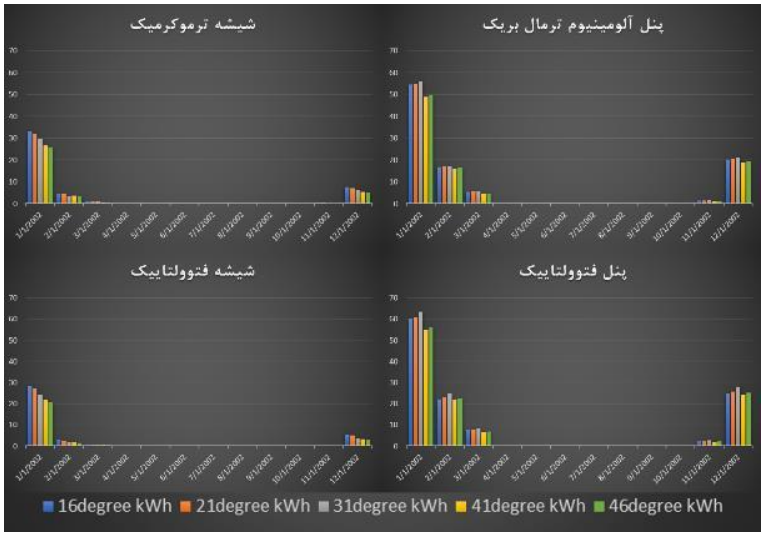
	پنل شیشه ای با زاویه ۶۰				
نوع شیشه	ترموکرمیک	سه جداره LOE	دو جداره LOE	دوجداره معمولی	تک جداره LOE
بار گرمایش (گاز) kwh	۳۸/۱۳	۳۵/۱۸	۳۲/۳۷	۲۶/۱۵	۲۴/۳۳
بار سرمایش (برق) kwh	۵۲۰	۵۳۷/۴۰	۵۴۴/۷۹	۵۶۱/۸۸	۵۶۴/۷۶

در نهایت متریال و زاویه پنل‌های X م شخص شده در شکل۴ مورد برر سی قرار گرفته ا ست. آنالیزهای صورت گرفته برای چهار متریال (شیشه ترموکرمیک، پنل آلومینیوم ترمال بریک، شیشه فتوولتاییک و پنل فتوولتاییک) در ۵ زاویه (۱۶°، ۲۱°، ۳۱°، ۴۱°، ۴۶°) است که نتایج به شرح زیر می‌باشد.

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



شکل۵: مقایسه بار سرمایشی در زوایا و متریال مختلف به صورت ماهانه برای پنل X



شکل۶: مقایسه بار گرمایشی در زوایا و متریال مختلف به صورت ماهانه برای پنل X

جدول۶: مقایسه بار سرمایشی سالانه برای متریال و زوایای مختلف برای پنل X

	شیشه ترموکرمیک	پنل آلومینیوم	شیشه فتوولتاییک	پنل فتوولتاییک
۱۶درجه	۴۸۲/۴۷۹	۳۷۸/۵۱	۵۲۸/۵۲	۳۵۰/۶۳
۲۱ درجه	۴۸۴/۶۴۲	۳۷۶/۸۹	۵۳۳/۱۲۹	۳۸۴/۴۱
۳۱ درجه	۴۸۹/۵۵۲	۳۷۲/۳۵	۵۴۱/۵۷	۳۴۱/۵۹
۴۱ درجه	۴۲۳/۹۲۴	۳۳۲/۵۳	۴۶۴/۶۹	۳۰۹/۵۳
۴۶ درجه	۴۲۴/۶۸۳	۳۲۹/۷۸	۴۶۷/۸۵	۳۰۶/۴۵

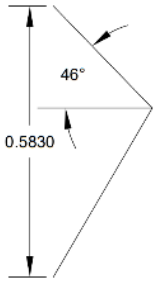
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

جدول۷: مقایسه بار گرمایشی سالانه برای متریال و زوایای مختلف برای پنل X

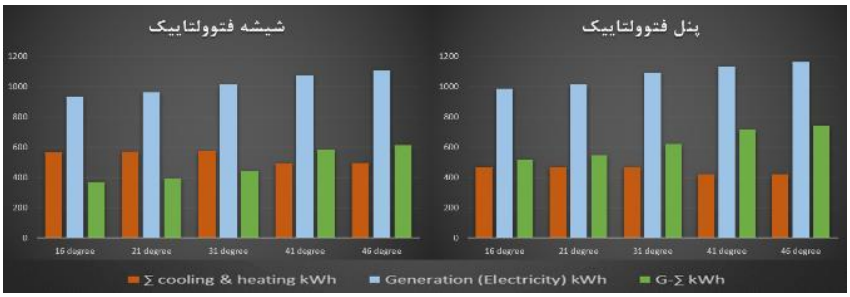
	شیشه ترموکرمیک	پنل آلومینیوم	شیشه فتوولتاییک	پنل فتوولتاییک
۱۶درجه	۴۶/۰۵	۹۷/۷۸	۳۷/۴۱	۱۱۶/۷۶
۲۱ درجه	۴۴/۲۳	۹۸/۸۲	۳۵/۰۶	۱۱۹/۳۰
۳۱ درجه	۳۹/۸۳	۱۰۱/۴۸	۳۰/۰۰	۱۲۶/۶۶
۴۱ درجه	۳۶/۰۱	۸۹/۰۹	۲۷/۰۰	۱۰۹/۳۱
۴۶ درجه	۳۴/۷۱	۹۱/۲۱	۲۵/۲۰	۱۱۲/۶۶

از بررسی اشکال ۵ و۶ و همچنین جدول‌های ۵ و ۶ می‌توان نتیجه گرفت که در بین ۵ زاویه بررسی شده، زاویه ۴۶° پنل برای تمامی متریال‌ها و چه از نظر بار گرمایشی و چه از نظر بار سرمایشی عملکرد بهتری نسبت به سایر زوایا دارد (شکل۶). از لحاظ متریال، اگر پنل‌ها سایه انداز باشند در کاهش بار سرمایش عملکرد بهتری دارند اما بار گرمایشی بیشتری نسبت به پنل‌های شفاف دارند. بنابراین در فصل تابستان پنل‌های شیشه‌ای و در سایر فصل‌ها پنل‌های سایه‌انداز مناسب هستند.

بر اساس نمودار-۵ فتوولتاییک‌ها در زاویه ۴۶° بیشترین کارایی را دارند. در این نمودار اختلاف بین انرژی تولید شده و مجموع بار گرمایشی و سرمایشی مورد بررسی قرار گرفته که پنل‌های فتوولتاییک با زاویه ۴۶° بهترین عملکرد را دارد.



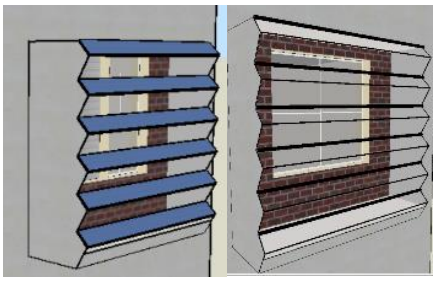
شکل۶ : زاویه بهینه پنل‌های X



شکل۷ : میزان انرژی مصرفی و تولید شده با استفاده از پنل و یا شیشه فتوولتاییک در زوایای مختلف

حال اگر پنل‌های X با زاویه ۴۶° و شیشه‌های دوجداره معمولی با سایه‌انداز بیرونی با شند به‌گونه‌ای که در ماه‌های گرم سال سایه‌اندازی صورت گیرد و در زمستان سایه‌بان جمع شود، (شکل۸) بار سرمایشی سالانه برابر با ۳۲۱/۹ و بار گرمایشی سالانه ۲۷/۶۹ می‌باشد. آنالیز ماهانه در شکل۹ آورده شده است.

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



شکل ۸: سایه‌بان جمع شو (به صورت ریلی) برای پنل‌های X



شکل ۹: بار سرمایش و گرمایش در صورت استفاده از سایبان‌های جمع‌شو در جبهه جنوب

۵. نتیجه گیری و پیشنهادات

باتوجه به آنالیزهای صورت گرفته به‌کارگیری نمای دوپو سته با سایه‌اندازی منا سب در اقلیم گرم و خ شک مانند یزد، می‌تواند در کاهش مصرف انرژی مفید باشد.

هند سه نمای دوپو سته می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش م صرف انرژی دا شته با شد. در این پژوهش با انتخاب هند سه منا سب ۳۴٪ نسبت به حالت بدون نمای دوپو سته م صرف انرژی کاهش یافته ا ست. و مجدداً با ا صلاح هند سه و تغییر زاویه در پنل‌ها ۱۷/۶٪ م صرف انرژی کاهش یافته است.

انتخاب متریال از نظر شفاف یا کدر بودن می‌تواند تأثیر قابل توجهی در بار سرمایشی و گرمایشی داشته باشد. در این پژوهش با تغییر متریال سطوح جانبی از شفاف به کدر ۱۸/۶٪ مصرف انرژی نسبت به حالت شفاف کاهش یافته است.

اگر پنل‌های جبهه جنوبی که با زاویه ۶۰° ه ستند از شی شه‌های ترموکرمیک با شند ۴٪ نسبت به شی شه دوجداره معمولی م صرف انرژی کاهش می‌یابد. و اگر برای پنل‌های ۴۶° جبهه جنوبی سایبان جمع شو طراحی شود که در زم ستان مانع عبور نور خور شید نشود و در سایر ماه‌ها سایه‌اندازی ایجاد کند ۳۷٪ نسبت به بدون سایه‌بان بار مصرفی کاهش می‌یابد.

بهترین زاویه پنل‌های فتوولتاییک ۱۰-۱۵ درجه بیشتر از عرض جغرافیایی می‌باشد.

در این پژوهش اگر پنل فتوولتاییک با زاویه ۴۶° (۱۵° بیشتر از عرض جغرافیایی) و ۴۸٪ از سطح کف در جبهه جنوبی نمای دوپوسته قرار گیرد (به عنوان سایه‌انداز)، ۲/۷۷ برابر بار سرمایش و گرمایش انرژی برق تولید می شود. بار سرمایش ۷۲٪ کاهش می‌یابد اما بار گرمایش افزایش می‌یابد و مجموع بارسرمایشی و گرمایشی ۶۱٪ کاهش می‌یابد.

استفاده از پنل فتوولتاییک به عنوان سایه‌انداز در جبهه جنوبی نمای دوپوسته اگرچه بار سرمایش را کاهش می‌دهد اما باعث افزایش بار گرمایشی در زمستان می‌شود. اما در مجموع مصرف انرژی را کاهش می‌دهند و انرژی تولید شده بار مصرفی را جبران می‌کند.

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

منابع

1. Hong, J., et al., *Greenhouse gas emissions during the construction phase of a building: a case study in China*. Journal of cleaner production, 2015. **103**: p. 249-259.
2. Lamb, W.F., et al., *A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018.* 2021. **16**(7): p. 073005.
3. Razmjoo, A., et al., *A Technical analysis investigating energy sustainability utilizing reliable renewable energy sources to reduce CO2 emissions in a high potential area.* 2021. **164**: p. 46-57.
4. Sebestyén, V.J.R. and S.E. Reviews, *Renewable and Sustainable Energy Reviews: Environmental impact networks of renewable energy power plants.* 2021. **151**: p. 111626.
5. Zheng, H., M. Song, and Z.J.E. Shen, *The evolution of renewable energy and its impact on carbon reduction in China.* 2021. **237**: p. 121639.
6. Alamdari, P., et al., *Solar energy potentials in Iran: A review.* 2013. **21**: p. 778-788.
7. Li, X., et al., *Energetic and economic evaluation of hybrid solar energy systems in a residential net-zero energy building.* 2019. **254**: p. 113709.
8. Chel, A. and G. Kaushik, *Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building.* Alexandria Engineering Journal, 2018. **57**(2): p. 655-669.
9. Sharma, A., A. Shukla, and L. Aye, *Low Carbon Energy Supply: Trends, Technology, Management*. 2018: Springer.
10. Benoudjafer, I., I.J.J.o.F. Benoudjaferf, and A. Sciences, *Innovation façade for an energy performance and thermal comfort of building in hot and dry climate.* 2020. **12**(3): p. 1350-1365.
11. Sadineni, S.B., et al., *Passive building energy savings: A review of building envelope components.* 2011. **15**(8): p. 3617-3631.
12. Chen, C., et al., *Theoretical and experimental study on selection of physical dimensions of passive solar greenhouses for enhanced energy performance.* 2019. **191**: p. 46-56.
13. Dabaieh, M. and A.J.S.E. Elbably, *Ventilated Trombe wall as a passive solar heating and cooling retrofitting approach; a low-tech design for off-grid settlements in semi-arid climates.* 2015. **122**: p. 820-833.
14. Bostancioglu, E., N.P.J.A.E. Onder, and D. Management, *Applying analytic hierarchy process to the evaluation of double skin façades.* 2019. **15**(1): p. 66-82.
15. Madadi, A., et al., *Dual-purpose model of energy consumption-construction cost to evaluate the construction methods of the outer shell of residential buildings: A real case study.* 2021. **14**(1): p. 35-50.
16. Kheiri, F.J.R. and S.E. Reviews, *A review on optimization methods applied in energy-efficient building geometry and envelope design.* 2018. **92**: p. 897-920.
17. Sozer, H.J.B. and environment, *Improving energy efficiency through the design of the building envelope.* 2010. **45**(12): p. 2581-2593.
18. Radwan, G.A. and N.J.P.E.S. Osama, *Biomimicry, an approach, for energy effecient building skin design.* 2016. **34**: p. 178-189.
19. Hendriksen, O.J., et al., *Double Skin Façades–Fashion or a step towards sustainable buildings.* 2000. **2000**.
20. Aksamija, A. *High-performance building envelopes: design methods for energy-efficient facades*. in *Proceedings of the BEST4 Conference, Kansas City, MO, USA*. 2015.
21. Bostancioglu, E.J.A.E. and D. Management, *Double skin façade assessment by fuzzy AHP and comparison with AHP*. 2021. **17**(1-2): p. 110-130.
22. Ghaffarianhoseini, A., et al., *Exploring the advantages and challenges of double-skin façades (DSFs).* 2016. **60**: p. 1052-1065.
23. Pasut, W. and M.J.A.T.E. De Carli, *Evaluation of various CFD modelling strategies in predicting airflow and temperature in a naturally ventilated double skin façade.* 2012. **37**: p. 267-274.
24. Jankovic, A., F.J.B. Goia, and Environment, *Impact of double skin facade constructional features on heat transfer and fluid dynamic behaviour.* 2021. **196**: p. 107796.
25. Poirazis, H., *Double skin façades for office buildings*. 2004, Report EBD.
26. Ahmed, M.M., et al., *Double skin façade: the state of art on building energy efficiency.* 2016. **4**(1): p. 84-89.
27. Al-awag, E. and I. Wahab. *Perspectives in double-skin façade (DSF) advantages and disadvantages*. in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. IOP Publishing.
28. Safer, N., M. Woloszyn, and J.J.J.S.E. Roux, *Three-dimensional simulation with a CFD tool of the airflow phenomena in single floor double-skin facade equipped with a venetian blind.* 2005. **79**(2): p. 193-203.

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

29. Hollingsbee, T., J. Kooymans, and T. McDonnell. *Designing the right double skin façade*. in *Structures Congress 2009: Don't Mess with Structural Engineers: Expanding Our Role*. 2009.
30. Hashemi, N., et al., *Thermal behaviour of a ventilated double skin facade in hot arid climate.* 2010. **42**(10): p. 1823-1832.
31. Zhou, J., Y.J.R. Chen, and S.E. Reviews, *A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China.* 2010. **14**(4): p. 1321-1328.
32. Anđelković, A.S., et al., *Experimental research of the thermal characteristics of a multi-storey naturally ventilated double skin façade.* 2015. **86**: p. 766-781.
33. Shameri, M., et al., *Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving.* 2011. **15**(3): p. 1468-1475.
34. Gratia, E., A.J.E. De Herde, and buildings, *Greenhouse effect in double-skin facade*. 2007. **39**(2): p. 199-211.
35. Preet, S., J. Mathur, and S.J.S.E. Mathur, *Influence of geometric design parameters of double skin façade on its thermal and fluid dynamics behavior: A comprehensive review.* 2022. **236**: p. 249-279.
36. Kimouche, N., et al., *Effect of inclination angle of the adiabatic wall in asymmetrically heated channel on natural convection: Application to double-skin façade design.* 2017. **12**: p. 171-177.
37. Ahmadi, J., M. Mahdavinejad, and S.J.I.J.o.S.E. Asadi, *Folded double-skin façade (DSF): in-depth evaluation of fold influence on the thermal and flow performance in naturally ventilated channels.* 2022. **41**(4): p. 382-411.
38. Hachem, C., M.J.E. Elsayed, and Buildings, *Patterns of façade system design for enhanced energy performance of multistory buildings.* 2016. **130**: p. 366-377.
39. Tien, T.N., et al., *Comparative investigation of double-skin façade (DSF) systems design for enhanced energy performance of commercial building.*
40. Barbosa, S., K.J.R. Ip, and S.E. Reviews, *Perspectives of double skin façades for naturally ventilated buildings: A review.* 2014. **40**: p. 1019-1029.
41. Catto Lucchino, E., et al. *Modelling of double skin facades in whole-building energy simulation tools: A review of current practices and possibilities for future developments*. in *Building Simulation*. 2019. Springer.
42. Pelletier, K., et al., *The viability of double-skin façade systems in the 21st century: A systematic review and meta-analysis of the nexus of factors affecting ventilation and thermal performance, and building integration.* 2022: p. 109870.
43. Maile, T., M. Fischer, and V.J.C.f.I.F.E.W.P. Bazjanac, *Building energy performance simulation tools-a life-cycle and interoperable perspective.* 2007. **107**: p. 1-49.
44. Ran, J., M.J.S.c. Tang, and society, *Passive cooling of the green roofs combined with night-time ventilation and walls insulation in hot and humid regions.* 2018. **38**: p. 466-475.
45. Laurini, E., et al., *Passive ventilation for indoor comfort: A comparison of results from monitoring and simulation for a historical building in a temperate climate.* 2018. **10**(5): p. 1565.
46. Italos, C., et al., *Energy Renovation of an existing building in Limassol, Cyprus, with double skin façade and building integration of active solar energy systems: Energy performance and Life Cycle Analysis.*
47. Al-Sakkaf, A., et al., *Studying Energy Performance and Thermal Comfort Conditions in Heritage Buildings: A Case Study of Murabba Palace.* 2021. **13**(21): p. 12250.
48. Abba, H.Y., et al., *VALIDATION OF DESIGNBUILDER SIMULATION ACCURACY USING FIELD MEASURED DATA OF INDOOR AIR TEMPERATURE IN A CLASSROOM BUILDING.* 2022. **7**(27): p. 171-178.
49. Alberto, A., N.M. Ramos, and R.M.J.J.o.B.E. Almeida, *Parametric study of double-skin facades performance in mild climate countries.* 2017. **12**: p. 87-98.
50. Srisamranrungruang, T., K.J.E. Hiyama, and Buildings, *Balancing of natural ventilation, daylight, thermal effect for a building with double-skin perforated facade (DSPF).* 2020. **210**: p. 109765.

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

نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۶، شماره۳، پاییز ۱۴۰۲، صفحه ۱-۱۴

Investigating the effect of double skin facade on the cooling and heating load of office spaces in Yazd city

Maryam Seyf Shojaei
Department of Architecture, School of Arts & Architecture, Yazd University, Yazd, Iran
maryam.seyf.75@gmail.com
(Corresponding Author)

Leila Moosavi
Department of Architecture, School of Arts & Architecture, Yazd University, Yazd, Iran
leilamoosavi@yahoo.com

Abstract:
Minimizing the use of fossil fuels and replacing them with non-renewable energies can play an essential role in reducing carbon dioxide emissions. Considering Iran's potential for using solar energy, passive solar systems can be used to reduce carbon dioxide emissions in the building sector. The outer skin of the building determines the energy exchange between the outside and inside environments and governs energy consumption. Therefore, in this research, the potential of using a double-skin facade to reduce energy consumption for office use in a hot and dry climate (Yazd) has been discussed. Also, by changing the geometry and material of the double-skin facade, an optimal model of the double-skin facade for the office spaces of Yazd City will be presented, which will reduce the cooling and heating loads of the building. For this purpose, simulation has been used in the Design Builder software. The presented model reduces the total load of cooling and heating by 68% compared to the case without a double skin-facade. If photovoltaic panels are used on the south front of the double-skin facade (according to the geometry provided) as shading, the total cooling and heating load is reduced by 61%, and 2.77 times the heating and cooling load energy is produced. Photovoltaic panels work best at an angle 10–15 degrees higher than latitude.

Keywords:
Double-skin facade geometry,
Double-skin facade material,
Reducing cooling and heating loads,
Design Builder simulation,
Yazd office building

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