علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره شانزدهم، شماره سه ، پاییز ۹۳

تاثیر تعداد جداره‌های لایه درونی و بیرونی نماهای دوپوسته بر میزان مصرف انرژی ساختمان‌های اداری و آموزشی

(مطالعه ساختمان دانشکده علوم پایه دانشگاه علم و صنعت ایران)

فاطمه مهدیزاده سراج[۱]

محمد مهدی دانش[۲*]

Mohammad.Mehdi.Danesh@gmail.com

هانیه صنایعیان[۳]

تاریخ دریافت:۹۲/۵/۲۳ **تاریخ پذیرش:۹۳/۱/۲۷**

چکیده

زمینه و هدف: ظهور کامپیوترها و دیگر ابزارهای الکتریکی در ساختمان‌های اداری و آموزشی باعث شده دمای داخلی این ساختمان‌ها بالا رود و با وجود نماهای شیشه‌ای گسترده، افزایش دمای داخلی دوچندان می‌شود. مسئله این است که چگونه می‌توان دمای آسایش داخل را، در حالی که از نمای شیشه‌ای گسترده برای ارتباط بصری با بیرون برخوردار هستیم، بدون افزایش مصرف انرژی جهت سرمایش و گرمایش حفظ کرد؟ هدف از این مطالعه تعیین تاثیر تعداد جداره‌های لایه درونی و بیرونی نماهای دوپوسته برافزایش قابلیت نمای دوپوسته در صرفه جویی در مصرف انرژی می‌باشد.

روش بررسی: روش پژوهش در این مقاله بر مبنای پژوهش علی و شبیه‌سازی است. ابزار مورد استفاده در این پژوهش نرم‌افزار شبیه‌ساز حرارتی Design Builder می‌باشد. حالات گوناگون جداره‌ها در هر لایه در نماهای دو پوسته با بهره‌گیری از این نرم افزار مورد تحلیل قرار گرفت تا بتوان به حداکثر کاهش مصرف انرژی در ساختمان دست یافت.

یافته ها: نتیجه حاصل نشان می‌دهد که در نمای دوپوسته تغییر در تعداد جداره لایه درونی در کاهش مصرف انرژی موثرتر می‌باشد و تغییر در تعداد جداره لایه بیرونی در جهت کاهش مصرف انرژی نقشی ایفا نمی‌کند. حضور بیشتر تابش آفتاب در جبهه جنـوبی باعث می‌شود که استفاده از نمای دوپوسته در این جبهه موثرتر باشد.

۱- دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه علم و صنعت ایران *(مسئول مکاتبات)

۳- دانشجوی دکتری معماری دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه علم و صنعت ایران

نتایج: با توجه به درجه روز گرمایش و سرمایش شهر تهران که به ترتیب برابر است با ۱۶۱۰ و ۱۴۳۵ درجه سانتی گراد، در فصول گرم قابلیت سکنی‌پذیری و سطح آسایش ساکنان بیشتر خواه بود. بنابراین در تابستان نیز تغییر در تعداد جداره‌های لایه درونی موثرتر از لایه بیرونی می‌باشد.

واژه های کلیدی: نمای دوپوسته، مصرف‌انرژی، ساختمان اداری و آموزشی

مقدمه

استفاده از نماهای شیشه‌ای به دلیل شفافیت و ارتباط بصری که با بیرون دارد همواره مورد توجه بوده است. شفافیت معمولاً عمده‌ترین دلیل در استفاده از نمای دوپوسته می‌باشد، زیرا این امکان را به ساکنان می‌دهد تا ارتباط نزدیکی با محیط بیرون از ساختمان داشته باشند (۱). علاوه بر شفافیت، جذابیت بصری این نماها، دریافت نور طبیعی و همچنین به نمایش گذاشتن نمایی یکپارچه از بنا از دیگر ویژگی‌های این نوع نما می‌باشد (۲).

اما نماهای شیشه‌ای عامل ایجاد پدیده گلخانه‌ای است که باعث افزایش بسیار زیاد حرارت در ساختمان‌های اداری می‌شود. در کنار این موضوع ، ظهور وسایل الکترونیکی جدید از جمله رایانه‌ها باعث افزایش دمای ساختمان‌های اداری و آموزشی شده است. همچنین استفاده از سطوح شیشه‌ای گسترده با سایه-اندازی ضعیف این موضوع را تشدید کرده و باعث می‌شود تا دمای هوای داخل این ساختمان‌ها بالا رود (۳). همین امر موجب افزایش مصرف انرژی جهت دست‌یابی به دمای آسایش شده، درنتیجه هزینه‌های ساختمان بالا می‌رود که آلودگی محیط زیست را نیز درپی دارد. از دهه ۱۹۹۰، نگرانی‌ها از افزایش دمای کره زمین بیشتر شده و پی‌آمد آن علاقه به استفاده از تهویه طبیعی و دیگر راهبردها مانند استفاده از عناصر سایه‌انداز مفید می‌باشد (۳). در ایران نیز تلاش بر آن بوده تا حتی‌الامکان اتکا به منابع فسیلی مانند نفت، زغال‌سنگ و گاز کاهش داده شود و با مصرف بیش از اندازه به تخریب منابع زیرزمینی و ایجاد آلودگی‌های محیط‌زیستی دامن زده نشود (۴). همچنین در سال‌های اخیر با افزایش قیمت انرژی و افزایش حساسیت جامعه نسبت به تخریب محیط‌زیست تلاش‌ها برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی افزایش پیدا کرده است (۵). بنابراین باید به دنبال راه‌حلی بود تا علاوه بر بهره‌گیری از مزیت شفافیت این نوع نماها از افزایش مصرف انرژی در ساختمان جلوگیری نمود. یکی از این راه‌حل‌ها استفاده از نمای دوپوسته می‌باشد که هدف طراحی آن صرفه‌جویی در مصرف انرژی و نزدیک شدن به معماری سبز است (۲).

کارایی نماهای دوپوسته به عوامل زیادی بستگی دارد. این عوامل شامل نوع و کاربری ساختمان، چگونگی عایق‌بندی نمای ساختمان، نسبت بین سطوح شفاف و کدر پوسته داخلی، مکان‌یابی سایه‌اندازها بین لایه بیرونی و درونی، کیفیت و ابعاد بازشوهای نمای دوپوسته، تعداد جداره‌های لایه‌های درونی و بیرونی نمای دوپوسته و ... است (۶). شبیه‌سازی‌های بسیاری پیش از این برای مطالعه رفتار نمای دوپوسته انجام یافته است (۷) و (۸). نتایج این شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد بار گرمایش در ساختمان‌ها با نمای دوپوسته کاهش پیدا می‌کند. همچنین می‌توان از گرمای بالای نمای دوپوسته برای بخش‌های سردتر ساختمان استفاده کرد (۳). ازطرف دیگر شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که بار سرمایش در ساختمان‌های اداری و آموزشی با نمای دوپوسته افزایش پیدا می‌کند. در حقیقت لایه هوای گرم نمای دوپوسته مانعی برای سرمایش ساختمان می‌باشد، بنابراین راهبردهای سرمایش طبیعی و استفاده از عناصر سایه‌انداز مفید در ساختمان‌های با نمای دوپوسته نسبت به ساختمان‌های بدون این نوع نما حیاتی‌تر است (۹). مکان قرارگیری عناصر سایه‌انداز در بین دو لایه به میزان گرمای انتقال یافته به داخل ساختمان موثر است. با قرارگیری در فاصله بسیار نزدیک به لایه داخلی، جریان هوا در اطراف این عناصر ناکافی است و انتقال گرما از طریق هدایت و تشعشع به فضای داخلی افزایش پیدا می‌کند. با قرار گرفتن عناصر سایه‌انداز در وسط دو لایه فضای کافی برای به جریان افتادن هوا در اطراف عناصر سایه‌انداز وجود خواهد داشت و دمای هوا بین دولایه با تماس با شیشه

خارجی که سرد می‌باشد، پایین می‌آید. با استفاده از عناصر سایه‌انداز به رنگ روشن دمای داخل نمای دوپوسته در حدود ۲/۵ درجه سانتی‌گراد پایین می‌آید زیرا مقدار بیش‌تری از اشعه‌های خورشیدی به بیرون منعکس می‌شود و تاثیری در دمای داخل نمای دو پوسته نخواهد داشت. اما دمای داخل ساختمان به مقدار خیلی کم افزایش پیدا خواهد کرد زیرا مقداری از اشعه‌های خورشیدی به داخل منعکس می‌شود. دمای داخل نمای دوپوسته در تابستان بالا می‌رود (۳) و گرم شدن عناصر سایه‌انداز به این افزایش دما کمک می‌کند. با ایجاد بازشوهایی در پایین و بالای نمای دوپوسته، اثر دودکشی باعث می‌شود هوای گرم بالا رفته و از دریچه بالایی خارج شود (۳). تهویه شبانه به طور قابل ملاحظه‌ای بار سرمایش را کاهش می‌دهد. در ساختمان‌هایی با نمای دوپوسته استفاده از این راهبرد به دلیل امنیت آن در شب بسیار راحت و معقول است (۳). اگر راهبردهای سرمایش طبیعی برای ساختمانی با نمای دوپوسته اتخاذ شود بار سرمایش نسبت به ساختمانی مشابه بدون اتخاذ این راهبردها یک ششم می‌باشد (۹). دمای هوا در نمای دوپوسته عمیق (فاصله بین دولایه زیاد باشد) نسبت به نمای دوپوسته با عمق کم‌تر، پایین‌تر است. همچنین تهویه در نمای دوپوسته عمیق راحت‌تر می‌باشد (۲). فاصله بین دولایه می‌تواند از ۲۰ سانتی‌متر تا ۲ متر باشد (۱۰). دمای هوای لایه میانی در نمای دوپوسته تحت تاثیر عوامل زیادی قرار دارد که شامل تشعشعات خورشیدی، دمای بیرون، سرعت باد و حضور عناصر سایه‌انداز و جنس شیشه بیرونی و درونی است (۱۱).

با توجه به بالا بودن مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش ساختمان در ایران، به اهمیت موضوع بهینه سازی انرژی در این بخش می‌توان پی برد. بنابراین جهت اتخاذ تصمیمات اساسی برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها برنامه های کاربردی وجود دارند که تحت عنوان نرم افزار شبیه سازی انرژی با تحلیل انرژی ساختمان استفاده می‌شوند. از این برنامه‌ها می‌توان برای مدیریت انرژی در ساختمان یا به عبارت دیگر ارزیابی پتانسیل‌های صرفه جویی های انرژی و گزینه های متعدد صرفه جویی انرژی استفاده کرد. این امر منجر به شناسایی راه‌های اتلاف انرژی و در نتیجه جلوگیری از اتلاف انرژی قبل از ساخت ساختمان و حتی پس از ساخت ساختمان می‌شود.

نمای دو پوسته نقش غیرقابل انکاری در صرفه جویی در مصرف انرژی دارد و می توان با راهکارهایی معین بهره وری آن‌ها را افزایش داد. هدف از این مطالعه تعیین تاثیر تعداد جداره‌های لایه درونی و بیرونی نماهای دوپوسته بر میزان مصرف انرژی می‌باشد.

روش تحقیق

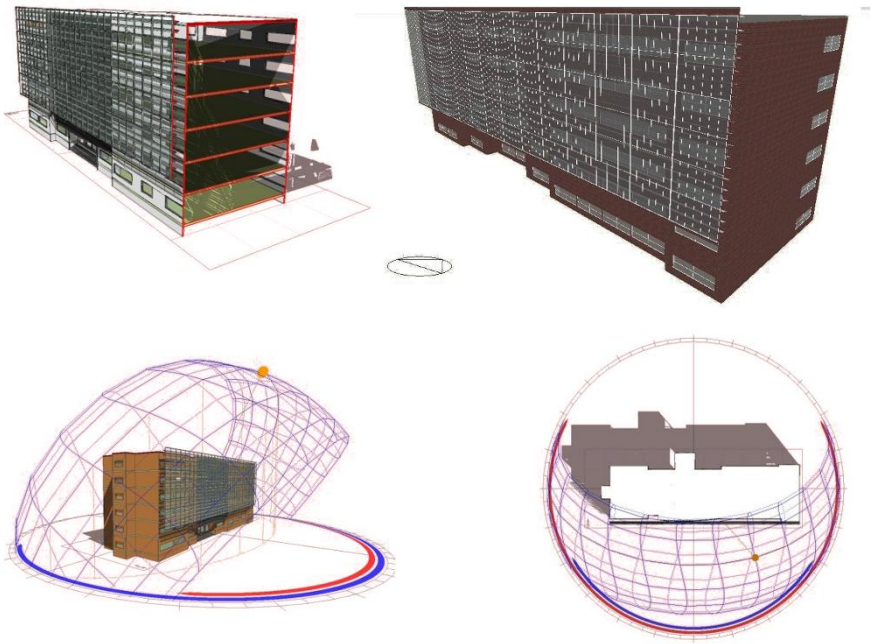
روش پژوهش در این مقاله بر مبنای پژوهش علی و شبیه‌سازی می‌باشد. « بهترین و در عین حال قانع کننده‌ترین روش برای ایجاد رابطه علی، آزمایش دقیقی است که در آن تاثیر متغیرهای نهفته کنترل شده باشد. معنای آزمایش، تغییر فعال X و مشاهده اثر آن بر Y است» (۱۲). ابزار آزمایش این پژوهش، شبیه‌سازی به وسیله نرم‌افزار حرارتی است که در جستجوی اثر دمایی شرایط مختلف بر حسب لایه درونی و بیرونی نمای دوپوسته و تعداد جداره‌های این دو لایه می‌باشد. اندازه‌گیری متغیرها نیز از محاسبه دقیق تغییر در میزان مصرف انرژی صورت گرفته است.

شبیه‌سازی در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Design Builder صورت گرفته که نرم‌افزاری جهت تحلیل حرارتی ساختمان است و تاثیر عوامل محیطی بر ساختمان را اندازه‌گیری می‌کند. قابلیت‌های این نرم‌افزار شامل محاسبه کل انرژی مصرفی ساختمان، محاسبه بار سرمایش و گرمایش ساختمان، تصویرسازی تشعشعات خورشیدی روی پنجره‌ها و دیگر سطوح، محاسبه عوامل نور روز و نمایش موقعیت خورشید و مسیر خورشید نسبت به مدل در هر روز و ساعت می‌باشد. این نرم‌افزار می‌تواند براساس اطلاعات آب و هوایی مقدار انرژی مصرفی را در ساعت، روز، ماه و سال محاسبه کند و به تیم طراحی کمک کند تا براساس اطلاعات واقعی تصمیمات طراحی را بگیرند. اعتبار نرم‌افزار Design Builder در تحقیقات متعدد پیشین به اثبات رسیده است. با مراجعه به صفحهٔ اصلی وبگاه این نرم افزار می‌توان ملاحظه نمود که در مراجع تصمیم گیری کشور انگلستان نیز نتایج حاصل از شبیه سازی ها با وارد نمودن

خصوصیات و داده های آب و هوایی مناطق گوناگون، کاملاً معتبر بوده و به رسمیت شناخته شده است (۱۳). جهت ذکر نمونه هایی از تحقیقات پیشین با کمک نرم افزار Design Builder می‌توان به مطالعه رفتار ساختمان‌های اداری از نقطه نظر مصرف انرژی اشاره نمود که در آن راه‌های دستیابی به بهره‌وری انرژی با ارزیابی اثر شاخص‌های مختلف معماری از قبیل جهت‌گیری، میزان سطح بازشوها در جبهه‌های مختلف، سایبان‌ها، تهویه طبیعی و نرخ تعویض هوا از طریق نشت بر میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها، با استفاده از مدل‌سازی انرژی (با نرم افزار Design Builder) حاصل شده است (۱۴). همچنین با کمک تحلیل‌های این نرم‌افزار، میزان اتلاف حرارتی بام ساختمان با لحاظ نمودن انواع گوناگون بام‌ها نظیر بام تخت، بام دوپوسته، حوضچه بام و بام سبز محاسبه شده است که با توجه به نقاط بحرانی نتایج، امکانات وضع موجود و هزینه‌های ساخت مناسب‌ترین تکنیک انتخاب شده و جداره حرارتی آن نیز طراحی شده است (۱۵).

با استفاده از نرم افزار شبیه سازی Design Builder تغییر رفتار حرارتی ساختمان با توجه به تعداد جداره‌های لایه‌های درونی و بیرونی نمای دوپوسته مورد بررسی قرار گرفته است. هر کدام از این دو دسته (لایه‌های درونی و بیرونی) دارای سه زیرشاخه که شامل پنجره یک‌جداره، دوجداره و سه‌جداره است. با درنظر گرفتن دو لایه نمای دوپوسته و دخیل کردن تعداد جداره‌های دولایه درونی و بیرونی ۶ متغیر مستقل وجود دارد که برای هرکدام از این متغیرها شبیه‌سازی حرارتی صورت گرفته است. در نتیجه با توجه به ضریب انتقال حرارت هر یک از این شیشه‌ها میزان انتقال انرژی متفاوتی به داخل بنا وجود خواهد داشت که متغیر وابسته را شامل می‌شود. بنابراین می-توان محاسبه کرد که چه تغییراتی در بار سرمایش و گرمایش ساختمان رخ خواهد داد. در انتها با توجه به نمودارهای استخراج شده از این نرم‌افزار، به تحلیل داده‌ها پرداخته می‌شود و درآخر با توجه به تحلیل داده‌ها نتیجه‌گیری می‌شود کدام یک از لایه‌ها و با چند جداره، در کاهش هرچه بیشتر انتقال انرژی موثرتر است.

نمونه مورد بررسی در این مقاله ساختمان دانشکده علوم‌پایه دانشگاه علم و صنعت ایران (ساخته شده در سال ۱۳۸۸) است که در پردیس اصلی دانشگاه واقع شده است. این ساختمان شامل ۵ طبقه برروی همکف می‌باشد که طول آن ۷۳ متر و عرض آن ۲۲ متر و زیربنای آن ۱۱۵۳۵ متر مربع است. پلان این دانشکده دارای کشیدگی شرقی-غربی است و نمای دوپوسته به دلیل این‌که نمای جنوبی در ساعات بیش‌تری از شبانه‌روز در معرض تابش آفتاب قرار دارد، شبیه‌سازی در این جبهه انجام می‌گردد (شکل۱).

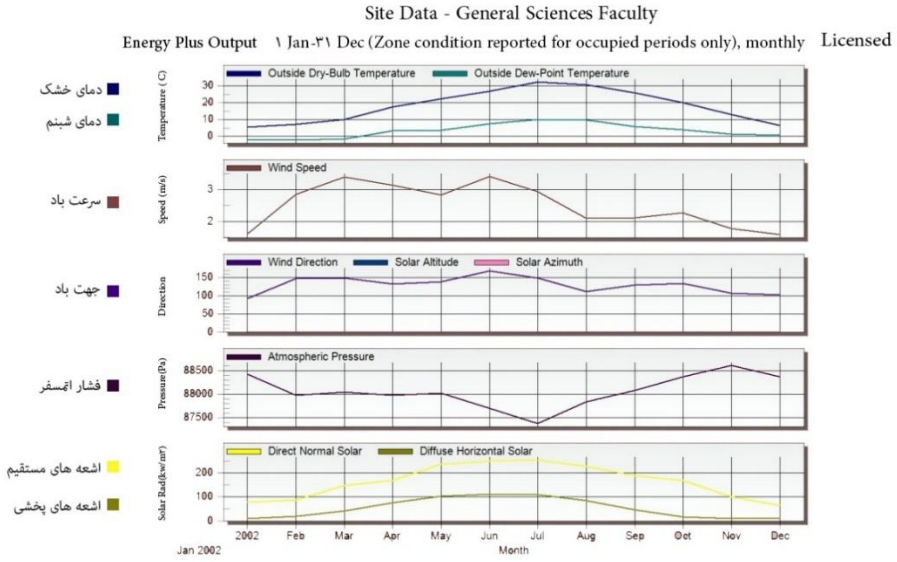


شکل ۱- دانشکده علوم پایه، شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار Design Builder

یافته های شبیه سازی

۱. اطلاعات آب و هوایی نمونه مورد مطالعه

با توجه به قرارگیری ساختمان مورد مطالعه در دانشگاه علم و صنعت ایران، اطلاعات آب و هوایی شهر تهران، از نرم‌افزار Design Builder استخراج و مبنای تحلیل‌های دیگر قرار گرفت. در شکل ۲ اطلاعات آب و هوایی شهر تهران در طول دوره یک ساله ارایه شده است.



شکل ۲- اطلاعات اقلیمی شهر تهران- نرم‌افزار Design Builder

۲. تحلیل رفتار حرارتی ساختمان با تغییرات جداره‌های لایه درونی و بیرونی نمای دو پوسته با استفاده از شبیه-سازی‌نرم‌افزاری

با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام یافته در نرم‌افزار Design Builder و نمودارهای استخراج شده از این نرم‌افزار، جنس عناصر سایه‌انداز نقش کوچکی در تغییر رفتار حرارتی دانشکده ایفا می‌کنند. اما نوع شیشه پوسته بیرونی و درونی در تغییر رفتار حرارتی ساختمان موثر است. در جدول ۱ ضریب انتقال حرارت و میزان دریافت اشعه خورشید در شیشه‌های یک‌جداره، دوجداره و سه‌جداره معرفی شده است (این ضرایب برگرفته شده از نرم‌افزار Design builder می‌باشد). در ادامه به بررسی جنس شیشه پوسته بیرونی و درونی بر تغییر رفتار حرارتی ساختمان مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

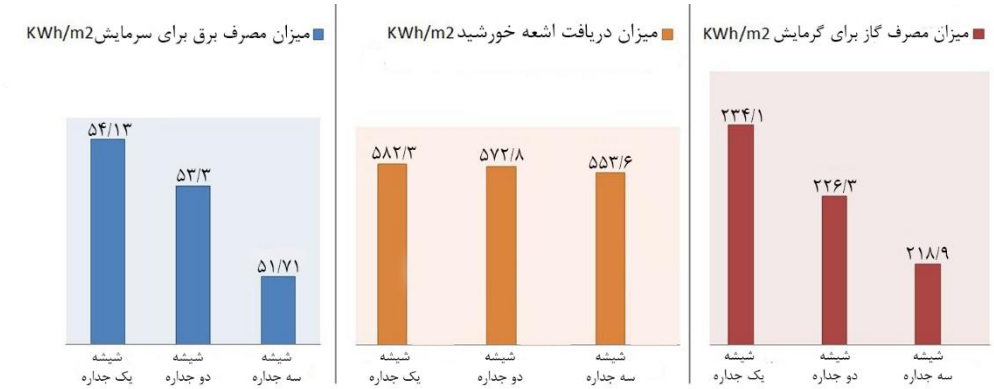
جدول ۱- ضریب انتقال حرارت و میزان دریافت اشعه خورشید در شیشه‌های یک‌جداره، دوجداره و سه‌جداره

نوع پنجره	شیشه یک جداره شفاف	شیشه دو جداره شفاف	شیشه سه جداره شفاف
ضریب انتقال حرارت	۵/۸ W/m^2K	۲/۷۱۶ W/m^2K	۰/۷۸ W/m^2K
میزان دریافت اشعه خورشید	۰/۸۶۱ Wh/m^2	۰/۷۶۴ Wh/m^2	۰/۴۷۴ Wh/m^2

۱.۲. آزمون نتایج حاصل از اعمال تغییرات در لایه درونی نمای دوپوسته در نمونه مورد مطالعه

در حالت اول شیشه لایه بیرونی[1] یک جداره در نظر گرفته شده است و جنس شیشه نمای جنوبی ساختمان در سه حالت یک جداره، دو جداره و سه جداره شبیه سازی گردید. با تغییر شیشه یک جداره به سه جداره میزان مصرف الکتریسیته جهت سرمایش تقریبا ۳ کیلووات ساعت بر مترمربع کاهش پیدا می-کند. همین امر در میزان مصرف گاز نیز صادق است و با استفاده از شیشه سه جداره به‌جای شیشه یک‌جداره میزان مصرف گاز جهت گرمایش تقریبا به مقدار ۱۵/۲ کیلووات‌ساعت بر مترمربع کاهش پیدا می‌کند. همچنین میزان دریافت و انتقال اشعه‌های خورشیدی نیز از ۵۸۲/۳ کیلووات‌ساعت بر مترمربع به ۵۵۳/۳ کیلووات ساعت بر مترمربع تغییر می‌کند. به منظور سهولت در مقایسه سه عامل متوسط انرژی خورشیدی دریافت شده از طریق شیشه ها، متوسط انرژی لازم برای سرمایش و متوسط انرژی لازم برای گرمایش در سال، به صورت میله ای درنمودار۱ ارایه شده است.

1- curtain wall

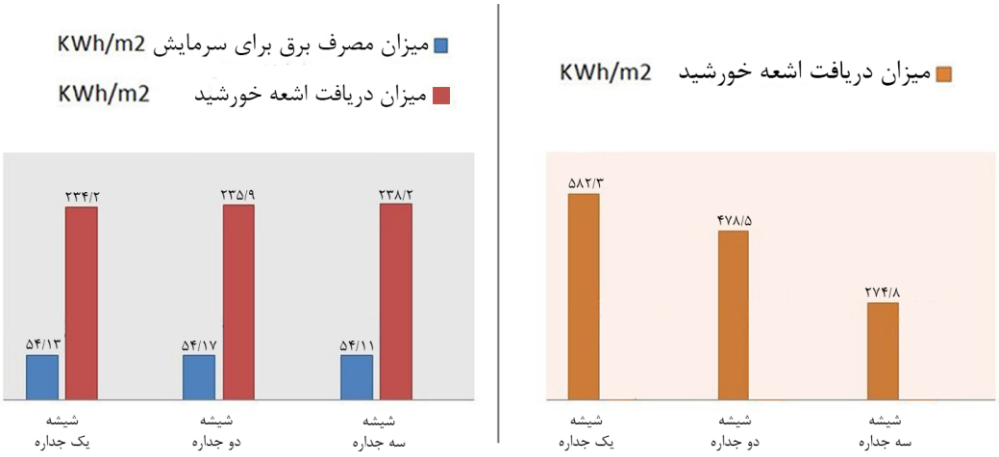


نمودار ۱- متوسط میزان مصرف انرژی و دریافت اشعه خورشید در سال با تغییر تعداد جداره شیشه لایه درونی

با تغییر در لایه های درونی نمای دوپوسته، میزان دریافت انرژی خورشیدی تفاوت چندانی نمی‌کند، لیکن در مصرف انرژی در بخش سرمایش و گرمایش تغییراتی دیده می شود که در حدود ۱۵/۲ کیلووات ساعت برای مصرف گاز جهت گرمایش و ۲/۴۱ کیلووات ساعت در میزان مصرف برق جهت سرمایش صرفه جویی می‌شود.

۲،۲. آزمون نتایج حاصل از اعمال تغییرات در لایه بیرونی نمای دو پوسته در نمونه مورد مطالعه

در حالت دوم اثر جنس شیشه لایه بیرونی در سه حالت یک جداره، دو جداره و سه جداره در میزان مصرف انرژی در داخل بنا مورد بررسی قرار گرفته است . تفاوت تعداد لایه ها در این حالت در کاهش میزان دریافت اشعه‌های خورشید محسوس می‌باشد. با تغییر شیشه یک جداره به سه‌جداره میزان دریافت اشعه‌های خورشید از ۵۸۲/۳ به ۲۷۴/۳ کیلووات ساعت بر مترمربع کاهش پیدا می‌کند. به منظور سهولت در مقایسه سه عامل متوسط انرژی خورشیدی دریافت شده از طریق شیشه ها، متوسط انرژی لازم برای سرمایش و متوسط انرژی لازم برای گرمایش در سال، به صورت میله ای در نمودار۲ ارایه شده است.



نمودار ۲- متوسط میزان مصرف انرژی و دریافت اشعه خورشید در سال با تغییر تعداد جداره شیشه لایه بیرونی

با تغییر در لایه بیرونی نمای دوپوسته، تغییرات در میزان دریافت انرژی خورشیدی محسوس است که این میزان ۳۰۷/۵ کیلووات ساعت بر متر مربع می‌باشد. اما در مصرف انرژی جهت سرمایش و گرمایش تغییراتی محسوس دیده نمی‌شود. همان-طور که از نمودار۲ دریافت می‌شود با تغییر در تعداد جداره‌های لایه بیرونی نه‌تنها صرفه‌جویی در مصرف گاز دیده نمی‌شود، بلکه در حدود ۴ کیلووات ساعت بر متر مربع بر مصرف گاز جهت گرمایش افزوده می‌شود. همین‌طور ۰/۲ کیلووات ساعت بر متر مربع بر میزان مصرف برق جهت سرمایش افزوده می شود.

جدول ۲- میزان مصرف انرژی جهت گرمایش در سردترین ماه سال و دریافت اشعه خورشیدی در گرم‌ترین ماه سال

	انرژی لازم برای گرمایش – دی ماه		میزان دریافت اشعه خورشیدی - تیرماه	
	لایه درونی	لایه بیرونی	لایه درونی	لایه بیرونی
یک جداره	۶۱/۲	۵۹/۸	۶۸/۱	۶۸/۲
دو جداره	۵۷/۱	۶۰/۳	۶۶/۹	۵۸/۳
سه جداره	۵۴/۵	۶۰/۶	۶۵/۳	۳۹/۱

بحث و نتیجه‌گیری

با یک جداره بودن شیشه لایه درونی نمای دوپوسته میزان مصرف انرژی جهت گرمایش در سردترین ماه سال (دی) ۶۱/۲ کیلووات‌ساعت بر متر مربع می‌باشد. با دوجداره کردن لایه درونی نمای دوپوسته میزان مصرف انرژی جهت گرمایش در همین ماه به ۵۷/۱ کیلووات‌ساعت بر متر مربع می‌رسد. با سه جداره کردن لایه درونی این روند کاهشی ادامه پیدا کرده و میزان مصرف انرژی برای گرمایش در همین ماه به ۵۴/۵ کیلووات‌ساعت بر متر مربع می‌رسد. در حالی که با تغییر تعداد جداره لایه بیرونی از یک‌جداره به دوجداره میزان مصرف انرژی برای گرمایش در دی‌ماه به ترتیب برابر خواهد بود با ۵۹/۸ کیلووات‌ساعت بر متر مربع و ۶۰/۳ کیلووات ساعت بر متر مربع. میزان مصرف انرژی با سه‌جداره کردن لایه بیرونی در همین ماه برابر است با ۶۰/۶ کیلووات ساعت بر متر مربع. همان طور که از نمودار۲ دریافت می‌شود نه‌تنها تغییر تعداد جداره‌های لایه بیرونی نمای دوپوسته تاثیر کمی بر روی میزان مصرف انرژی دارد، بلکه این تغییرات در لایه بیرونی از یک جداره به سه جداره باعث افزایش مصرف گاز جهت گرمایش می‌شود.

به لحاظ دریافت اشعه خورشیدی وضعیت متفاوت است. به عنوان مثال در گرم‌ترین ماه سال (تیر) با یک‌جداره بودن لایه درونی نمای دوپوسته میزان دریافت اشعه خورشیدی برابر است با ۶۸/۱ کیلووات ساعت بر متر مربع. همین مقدار با دوجداره و سه جداره کردن لایه درونی در ماه تیر دریافت اشعه خورشیدی به ترتیب برابر است با ۶۶/۹ و ۶۵/۳ کیلووات‌ساعت بر متر مربع . همان طور که از نمودار۱ دریافت می‌شود تغییر تعداد جداره-های لایه درونی نمای دوپوسته تاثیر کمی بر میزان دریافت اشعه خورشیدی دارد. اما با تغییر تعداد جداره‌های لایه بیرونی از یک‌جداره به دوجداره و سه‌جداره میزان دریافت اشعه خورشیدی در تیرماه به ترتیب برابر است با ۶۸/۲، ۵۸/۳ و ۳۹/۱ کیلووات‌ساعت بر متر مربع. همان طور که از نمودار۲ دریافت می‌شود تغییر تعداد جداره‌ها لایه بیرونی نمای دوپوسته در کاهش دریافت اشعه‌های خورشید محسوس می‌باشد.

با توجه به این که کاهش دریافت اشعه خورشید با تغییر در تعداد جداره‌های لایه بیرونی بیش‌تر است، اما شاهد کاهش بیش‌تر مصرف انرژی با تغییر در تعداد جداره‌های لایه درونی

هستیم. بنابراین با مطالعه و تغییر تعداد جداره‌های لایه درونی و بیرونی می‌توان به تعداد بهینه لایه ها در کاهش مصرف انرژی و بنابراین اهداف طراحی پایدار در اقلیم‌های گوناگون دست یافت.

در مجموع ازجمله عوامل تاثیرگذار بر بازدهی نمای دوپوسته، نوع شیشه لایه‌ها می‌باشد. در نمای دوپوسته نوع شیشه مورد استفاده در لایه درونی نسبت به نوع لایه بیرونی موثرتر است. به عنوان مثال با تغییر شیشه یک جداره به سه جداره در لایه درونی میزان مصرف الکتریسیته جهت سرمایش تقریبا ۳ کیلووات ساعت بر مترمربع کاهش پیدا می‌کند. همین امر در میزان مصرف گاز برای گرمایش فضا نیز صادق می‌باشد و با استفاده از شیشه سه جداره به‌جای شیشه یک‌جداره (در لایه درونی) میزان مصرف گاز تقریبا به مقدار ۱۵/۲ کیلووات‌ساعت بر مترمربع کاهش پیدا می‌کند. همچنین میزان دریافت اشعه-های خورشیدی نیز از ۵۸۲/۳ کیلووات‌ساعت بر مترمربع به ۵۵۳/۳ کیلووات ساعت بر مترمربع تغییر می‌کند. در عین حال با تغییر در جداره لایه درونی نمای دوپوسته، تاثیر گذاری بر کاهش مصرف انرژی داخل بنا مشاهده می‌شود که در قیاس با تغییر در جداره لایه بیرونی محسوس‌تر است. در عین حال لازم است تا این میزان کاهش انرژی حاصل از افزایش تعداد لایه‌ها در نمای دوپوسته با ملاحظات اقتصادی مورد ارزیابی قرار گیرد.

با توجه به درجه روز گرمایش و سرمایش شهر تهران که به ترتیب برابر است با ۱۶۱۰ و ۱۴۳۵ درجه سانتی‌گراد (۱۶)، در فصول گرم قابلیت سکنی‌پذیری و سطح آسایش ساکنان بیش‌تر خواهد بود. بنابراین در تابستان نیز تغییر در تعداد جداره‌های لایه درونی موثرتر از لایه بیرونی می‌باشد. در عین حال لازم است تا این میزان کاهش انرژی حاصل از افزایش تعداد لایه‌ها در نمای دوپوسته با ملاحظات اقتصادی مورد ارزیابی قرار گیرد. می توان نتیجه را این گونه بیان کرد که رفتار چند جداره کردن لایه های درونی و بیرونی در زمستان و تابستان یکسان است. افزایش تعداد جداره ها در لایه درونی پاسخ بهتری در زمستان و تابستان به لحاظ کاهش مصرف انرژی جهت گرمایش و سرمایش دارد، در حالی که افزایش تعداد جداره ها در لایه بیرونی در تابستان و زمستان کاهش مصرف انرژی را جهت سرمایش و گرمایش به دنبال نخواهد داشت.

منابع

1. Baldinelli, g., (2009). Double skin facade for warm climate regions: Analysis of a solution with an integrated movable shading system. Building and Environment, vol. 44, pp. 1107-1118
2. Gratia, E., Deherde, A., 2007b. The most efficient position of shading devices in a double-skin façade. Energy and Buildings, vol. 39, pp. 364-373.
3. Gratia, E., Deherde, A., 2004a. Natural cooling strategies efficiency in an office building with a double-skin façade. Energy and Buildings, vol. 36, pp. 1139-1152.
4. Salehi, S., Mahmoodi, H., Dibaei, N., Karimzadeh, S., 2012. An Analysis of the Relationship between the New Environmental Paradigm and Household Energy Consumption. Environmental Sciences, vol. 9(4), pp. 29-44.
5. Farsi mohammadi pour, A., (2010). The best architectural form BiPV in tehran. Environmental Science, vol. 7(3), pp. 43-54.
6. Gratia, E., Deherde, A., 2004b. Optimal operation of a south double-skin façade. Energy and Buildings, vol. 36, pp. 41-60.
7. Balocco, C., 2002. A simple model to study ventilated facades energy performance. Energy and Buildings, vol. 34, pp. 469-475.
8. Manz, H., FRANK, T., 2005. Thermal simulation of buildings with double-

skin facades. Energy and Buildings, vol. 37, pp. 1114-1121.
9. Gratia, E., Deherde, A., 2007a. Greenhouse effect in double-skin facade. Energy and Buildings, vol. 39, pp. 199-211.
10. Poirazis, H., 2004. Double Skin Façades for Office Buildings. Lund University.
11. Shameri, M.A., Alghoul, A.M., Sopian, K., Fauzi, M., Zian, M., Elayeb, O., 2011. Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, pp. 1468-1475.
12. Groat, L., Wang, D., (2002). Architectural Research methods. John Wiley & Sons.
13. DesignBuilder, (2010). DesignBuilder SBEM Approval, Available in: http://www.designbuilder.co.uk/conten t/view/112/175/, [Accessed date: 29/12/2013]

۱۴. نصراللهی- ف، « پایداری و صرفه‌جویی انرژی در طراحی پروژه پایلوت ساختمان اداری نسل جدید » - نهمین کنفرانس بین‌المللی انرژی، بهمن‌ماه ۱۳۹۱- تهران- ایران.
۱۵. مسندی، مریم و همکاران، « شبیه‌سازی بام‌ها، راهکار بررسی دقیق تاثیرات دمایی در محیطی مجازی »، نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، تابستان ۱۳۸۹، شماره ۴۲: ۱۲ – ۵.
۱۶. حقیقت‌جو- پ، « کاربرد درجه روز گرمایشی و سرمایشی در تعیین مقدار انرژی و سوخت مورد نیاز و قابلیت سکنی‌پذیری مناطق مختلف کشور»- دومین همایش بین المللی بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، ۱۳۸۱- تهران- ایران.