تحلیل تاثیرات استفاده از نمای دو پوسته به عنوان راهکاری بر نگهداشت انرژی در ساختمان‌های مسکونی ایران با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر

مهران سعادتی نسب[۱] . سید علیرضا ذوالفقاری[۲] . الهه نوروزی جاجرم[۳] . حامد مصلحی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

Archive of SID

چکیده

امروزه کمبود زمین در شهرهای بزرگ از جمله مسائلی است که سیاست شهرسازی را به سمت بلند مرتبه سازی سوق داده است. تکنولوژی نمای دو پوسته اغلب برای ساختمان‌هایی با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی و پایداری و معماری سبز طراحی می‌شود بنابراین به علت استفاده بهینه از نور روز و نمای یکپارچه و زیبا تعداد این گونه ساختمان‌ها رو به افزایش است. در این تحقیق به مدل‌سازی یک ساختمان پنج طبقه با کاربری مسکونی در اقلیم سرد تبریز با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر پرداخته شده است. نرم‌افزار دیزاین بیلدر یکی از قویترین نرم‌افزارهای تجاری بهینه‌سازی مصرف انرژی در دنیا است. بررسی ها نشان می‌دهد پنجره به عنوان پوسته خارجی ضعیف‌ترین بخش ساختمان در مقابل اتلافات حرارتی است و به دلیل گرم شدن سریع داخل ساختمان در تابستان و سرد شدن سریع در زمستان آسایش حرارتی ساکنان را به طور کامل تامین نمی‌کند و نیاز ساختمان به انرژی را به شدت افزایش می‌دهد همچنین از طرفی پنجره‌های معمولی باعث انتشار آلودگی صوتی به داخل ساختمان می‌شوند. به طور خلاصه نتایج این مدل‌سازی نشان می‌دهد که استفاده از تکنولوژی نمای دو پوسته در ساختمان های تبریز می‌تواند میزان مصرف انرژی را در تابستان تا ۵۲ درصد و در ماه‌های اکتبر و می تا ۱۰۰ درصد کاهش دهد همچنین در زمستان تا ۸/۲ درصد و در ماه ژانویه تا ۹ درصد کاهش دهد. این در حالی است که استفاده از پنجره‌های دوجداره در بهترین حالت فقط توانسته حدود ۴ درصد مصرف سالانه انرژی را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: نمای دو پوسته، نرم‌افزار دیزاین بیلدر، معماری سبز، بهینه‌سازی

www.SID.ir

مقدمه

امروزه کمبود زمین در شهرهای بزرگ از جمله مسائلی است که سیاست شهر سازی را در مقیاس کلان به سمت بلند مرتبه سازی سوق داده است. از سوی دیگر نیاز به دید و منظر مناسب، ایجاد شفافیت و ارتباط مستقیم بین داخل و خارج ساختمان و همچنین رشد فناوری‌های جدید کاربرد نماهای شیشه‌ای در این بلند مرتبه‌سازی رو به افزایش است[۱].

با شروع جنبش مدرن در معماری، استفاده از نماهای شیشه‌ای به شدت افزایش یافته است زیرا گرفتن انرژی از تابش خورشید عمدتا یک خواسته‌ی موثر و مطلوب است اما از سوی دیگر باید جلوی تابش را گرفت و یا آن را محدود کرد. از آنجا که شیشه‌ها به عنوان پوسته‌ی خارجی ساختمان دارای مقاومت حرارتی کمی بوده و بیشترین اتلافات انرژی ساختمان از طریق آن‌ها انجام می‌شود، عملکرد ساختمان‌های با نمای شیشه‌ای منطبق بر سیاست‌های کلی صنعت ساختمان در بحث انرژی نمی‌باشد.

در سال‌های اخیر در کشورهای اروپایی خصوصا آلمان، هلند و انگلستان راه حلی به نام نمای دو پوسته ابداع شده است که این روش می‌تواند با تطبیق با شرایط هر منطقه در آن مورد استفاده قرار بگیرد اما در مورد تاریخچه‌ی ارائه‌ی این نماها نظرات مختلفی وجود دارد. سائلینز معتقد است که در سال ۱۸۴۹ ژان باپتیست ژوبارد مدیر وقت موزه‌ی صنعتی بروکسل شکل اویله از نماهای چندگانه با تهویه مکانیکی را ارائه کرد و توضیح داد که هوای بین دو پوسته در تابستان و زمستان چگونه باید جابه-جا شود. کرسپو معتقد است که اولین نمونه از نماهای دو پوسته در سال ۱۹۰۳ و در آلمان شکل گرفت. هدف ارائه این راهکار بیشینه کردن استفاده از روشنایی روز با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی بود که با توجه به دستیابی به اهداف مورد نظر فازهای توسعه‌ای آن در سال‌های ۱۹۰۴ و ۱۹۰۸ ساخته شد[۲و۳].

برای نماهای دو پوسته تعاریف بسیاری وجود دارد. برای نمونه کلیسنس و دی‌هرد نمای دو پوسته را اینگونه تعریف می‌کنند: نمای ثانویه یک پوسته‌ی اضافی است که روی نمای ساختمان نصب می‌گردد و معمولا شفاف است. فضای خالی بین نمای اولیه و نمای ثانویه فضایی است که ساختمان را ایزوله می‌کند. کتاب مرجع موسسه‌ی تحقیقات ساختمان بلژیک این نما را اینگونه معرفی می‌کند: نمای دو پوسته نمایی است که یک یا چند طبقه از ساختمان را با پوسته‌های چندگانه‌ی شفاف پوشش می‌دهد. این لایه‌ها می‌توانند نسبت به هوا عایق باشند یا نباشند و تهویه‌ی هوای محبوس در این فضا بسته به شرایط اقلیمی و زمانی می‌تواند طبیعی یا مکانیکی باشد[۲]. اهداف طراحی نماهای دو پوسته را می‌توان به صورت زیر برشمرد[۴]:

۱- تامین اهداف آکوستیکی برای یک نمای شیشه‌ای که منجر به افزایش شفافیت می‌شود

۲- توسعه‌ی آکوستیک برای ساختمان‌هایی که در مناطق شلوغ و پر رفت و آمد واقع شده‌اند

۳- استفاده از تهویه طبیعی به جای تهویه مکانیکی در ساختمان‌ها

۴- کاهش نیاز ساختمان به گرما و سرما در فصول سال

۵- استفاده از نور طبیعی به جای نور مصنوعی

۶- تنظیم دمای داخل ساختمان در تابستان و زمستان

Archive of SID

www.SID.ir

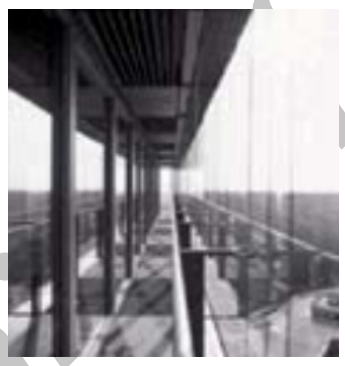
اجزاء نمای دو پوسته

الف) شیشه‌ی بیرونی: معمولا این شیشه‌ها یک جداره و سخت شده هستند و ضخامت آن‌ها نسبت به دیگر شیشه‌ها بیشتر است. نمای بیرونی می‌تواند کاملا شیشه‌ای باشد (شکل۱).

ب) شیشه‌ی درونی: این لایه می‌تواند کاملا شیشه‌ای نباشد و معمولا از شیشه‌های دو جداره‌ی عایق و یا شیشه‌های لمینت و بازتاب‌کننده استفاده می‌شود. این شیشه‌ها می‌تواند توسط کاربر باز یا بسته شوند که امکان تهویه طبیعی فضای داخلی ساختمان را فراهم می‌کند (شکل۲).

ج) فضای هوای بین دو شیشه: تهویه‌ی هوای بین دو شیشه می‌تواند کاملا طبیعی یا مکانیکی باشد. پهنای حفره‌ی هوای بین دو شیشه می‌تواند از ۲ تا ۶۰ سانتی‌متر متفاوت باشد (شکل۳).

شکل(۱): شیشه بیرونی



شکل(۲): شیشه درونی

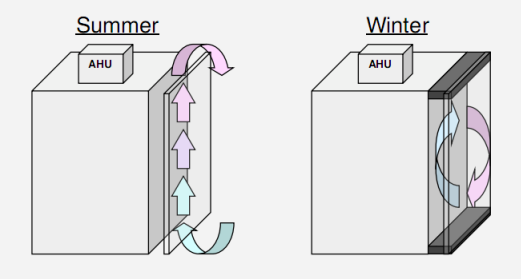
شکل(۳): فضای هوای بین دو شیشه

مکانیزم عملکرد نمای دو پوسته

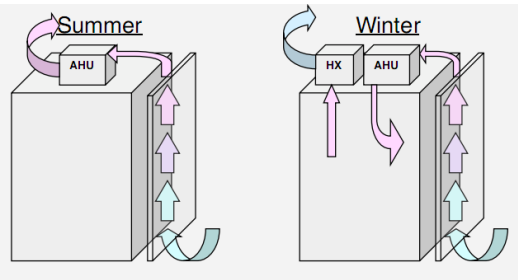
تغییر فصول در عملکرد این نما موثر است. در طی فصل گرم هوای دمیده شده در شکاف نما، حرارت ذخیره شده در آن را خارج می‌سازد و از نظر تئوری دمای غشاء میانی پایین نگه داشته می‌شود و این امر رسانش، همرفت و تابش گرما را از سطح شیشه‌ی داخلی به فضای زندگی کاهش می‌دهد. به بیان دیگر با گرم شدن هوای داخل شکاف اثر مکش قوی‌تر شده و هوای خنک با سرعت بیشتری به فضای داخلی نما کشیده می‌شود. همچنین اغلب وسایل سایه‌انداز مانند کرکره‌ها در فضای دو پوسته استفاده می‌شوند و انرژی خورشید را جذب یا منعکس می‌کنند. در طی فصول سرد نیز می‌توان دو حالت برای عملکرد این نما در نظر گرفت. در حالت اول نما به شکل سیستم بسته‌ای است که هوا در آن جریان دارد لذا هوای درون شکاف گرم شده و دمای سطح شیشه‌ی داخلی را گرم می‌کند و در نتیجه رسانش همرفت و اتلاف تابش کاهش می‌یابد. در حالت دوم هوای گرم از داخل ساختمان به فضای بین دو پوسته وارد می‌شود و همان نتایج فوق حاصل می‌شود (شکل‌های۴و۵) [۵].

Archive of SID

www.SID.ir



شکل(۴):شماتیک نمای دو پوسته با تهویه طبیعی[۲]



شکل(۵):شماتیک نمای دو پوسته با تهویه مکانیکی[۲]

در زمینه‌ی استفاده از نماهای دو پوسته کارهای تجربی و عددی بسیاری انجام شده است و روابط مختلف برای بررسی این نماها پیشنهاد شده است.

آقای وودجک استی و همکارش دولف ون پاسن در سال ۲۰۰۳ کلیه‌ی معادلات مربوط به مدل‌سازی نماهای دو پوسته را معرفی کردند و نتایج حاصل از محاسبات خود را با مقادیر اندازه‌گیری شده از یک ساختمان اداری تطبیق داده و معادلات خود را اعتبار سنجی و ارائه کردند[۶]. آقای پروفسور پری هسلبرگ و دستیارانش در سال ۲۰۰۸ در یک پروژه تجربی به بررسی عملکرد نمای دو پوسته پرداخته و نتایج خود را با نتایج حاصل از مدل‌سازی ساختمان در نرم افزار BSim اعتبار سنجی کردند و در نهایت وابستگی عملکرد نماهای دو پوسته به خواص نوری و حرارتی پنجره‌های بکار رفته در نمای دو پوسته را به خوبی نشان دادند[۷]. آقای تی برندل و همکارانش در پژوهشی به بررسی رفتار نماهای دو پوسته در صورت استفاده از سایبان‌ها در چیدمان‌های مختلف پرداختند و در یک حل عددی نحوه‌ی قرارگیری سایبان در نمای دو پوسته را بهینه کردند و نتایج خود را درغالب کدهای عددی و شکل‌های cfd ارائه کردند[۸]. آقای دیوید استریبلینگ و همکارش بایرون استیگ در پژوهشی با دید منتقدانه به بررسی عملکرد این نماها از منظر بازگشت سرمایه ناشی از اجرای این نما در کشورهای مختلف پرداختند و نشان دادند که برای شهری مثل لندن ۲۴۰ سال طول می‌کشد تا بازگشت سرمایه اتفاق بیفتد و برای نیویورک در آمریکا این مدت به ۱۰۸ سال می‌رسد[۹]. آقای گون کیم به همراه دوستانش در سال ۲۰۱۲ در پژوهشی تجربی، تاثیر استفاده از نماهای دو پوسته در ساختمان‌های مسکونی قدیمی بر میزان مصرف انرژی و کاهش تولید کربن در اثر عملکرد ساختمان را بررسی کردند و نتایج خود را برای چهار نمای دو پوسته با ابعاد مختلف و عملیات گوناگون برای تهویه‌ی فضا ارائه کردند[۱۰]. خانم مونا آذربایجانی در سال ۲۰۱۳ در تحقیق خود به ارزیابی عملکرد نمای دو پوسته در ساختمان چند طبقه در اقلیم مرطوب قاره‌ای در میشیگان پرداخت و نتایج مدل‌سازی خود را با نتایج واقعی تطبیق و مقایسه کرد. ایشان نشان داد که در اقلیم مرطوب قاره‌ای استفاده از سیستم‌های نمای دو پوسته می‌تواند ۵,۴ درصد مصرف انرژی را کاهش دهد[۱۱]. آقای ها یانگ و همکارانش در سال ۲۰۱۳ در یک کار تجربی به تحلیل تاثیرات اضافه کردن یک نمای دو پوسته به ساختمان در نواحی سرد چین پرداختند و تاثیرات باز یا بسته بودن بازشوها در جداره‌ی بیرونی و داخلی بر مصرف انرژی را بررسی کردند[۱۲]. با توجه به آنچه که در بخش مقدمه گفته شد برای استفاده از نماهای دو پوسته در هر اقلیمی باید متناسب با آن شرایط نمای دو پوسته طراحی و اجرا شود لذا در این تحقیق امکان‌سنجی استفاده از این نماها در اقلیم سرد تبریز پرداخته شده است.

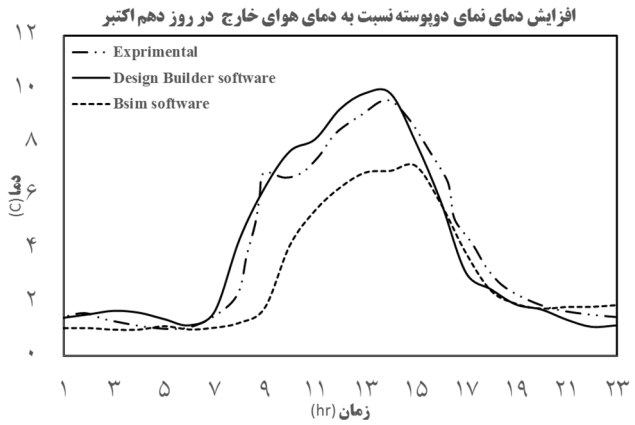
Archive of SID

www.SID.ir

اعتبارسنجی

پیش از اینکه تاثیر نمای دو پوسته بر عملکرد ساختمان را مورد بررسی قرار دهیم باید از صحت و اعتبار نرم‌افزار دیزاین بیلدر در مدل‌سازی نمای دو پوسته اطمینان حاصل نمود. برای این منظور از مقایسه‌ی نتایج خروجی از این نرم‌افزار با نتایج تحقیقات آقای هسلبرگ استفاده شده است[۷]. آقای هسلبرگ در یک کار تجربی در پاییز سال ۲۰۰۶ اتاقی به ابعاد ۶*۶*۶ مترمکعب را در کشور گرجستان و شهر بولنیسی با استفاده از نمای دو پوسته بنا کرد و به بررسی عملکرد این نما در دو هفته از یکم اکتبر تا پانزدهم اکتبر پرداخت و سپس نتایج کار تجربی خود را با مدل‌سازی ساختمان با نرم‌افزار BSim مقایسه کرد.

همان‌طور که شکل ۶ نشان می‌دهد نتایج مدل‌سازی صورت گرفته در این مقاله با نرم‌افزار دیزاین بیلدر تقریبا بر نتایج تجربی و نتایج مدل‌سازی آقای هسلبرگ با نرم افزار BSim منطبق است. این نتایج صحت و اعتبار مدل‌سازی اخیر را تا حد زیادی مشخص می‌کند. حال که تا حدی از صحت روش مدل‌سازی اطمینان یافتیم، در ادامه به بررسی تاثیر نمای دو پوسته بر عملکرد ساختمان‌های مسکونی بلند مرتبه می‌پردازیم.

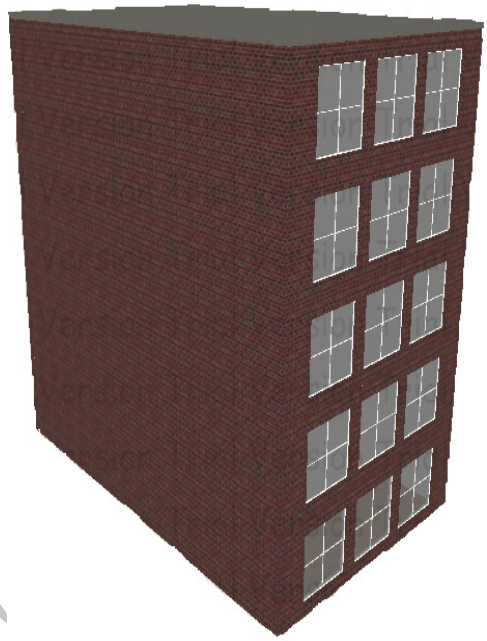


شکل(۶): نتایج اعتبار سنجی

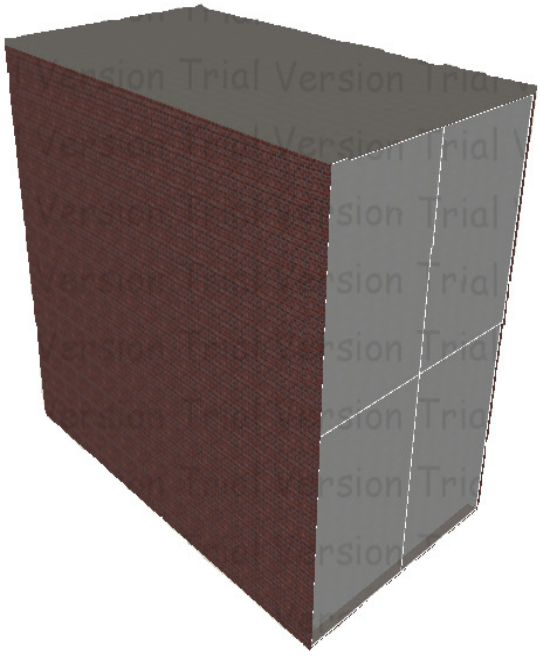
مدل‌سازی

به منظور بررسی تاثیر نمای دو پوسته بر میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی بلند مرتبه، ساختمانی ۵ طبقه به ارتفاع ۱۷,۵ متر در شهر تبریز در نظر گرفته شده است. مساحت هر طبقه ۲۰۰ متر مربع و ارتفاع آن ۳/۵ متر است. در نمای شمالی و جنوبی ساختمان در هر طبقه سه پنجره هرکدام به ابعاد ۲/۵*۲/۵ مترمربع به صورت متقارن قرار دارند که از نوع دو جداره با گاز آرگون و ضریب انتقال حرارت کلی $2/511 W/m^2.K$ می‌باشند. دمای تنظیم شده برای فصل تابستان ۲۸/۱ و برای فصل زمستان ۲۳/۴ درجه سانتی‌گراد منطبق بر بازه‌ی آسایش حرارتی افراد است. (شکل ۶). به طور متوسط در هر طبقه از ساختمان ۵ نفر متشکل از ۳ مرد و ۲ زن زندگی می‌کنند. ساختمان از سمت شرقی و غربی به ساختمان‌های مجاور متصل هستند و از نمای شمالی و جنوبی با هوای آزاد در ارتباط است. نمای دو پوسته‌ی ساختمان دارای ۶۰ سانتی‌متر عمق، ۱۷/۵ متر ارتفاع و عرضی برابر عرض ساختمان است (شکل ۷). جنس مصالح استفاده شده در جداره‌های ساختمان و ترتیب قرار گرفتن آن‌ها در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل(۶): شکل شماتیک ساختمان نمونه بدون نمای دو پوسته



شکل(۷): شکل شماتیک ساختمان نمونه با نمای دو پوسته

جدول(۲): جنس مصالح به کار رفته در ساختمان جدول

مواد و مصالح	ضریب هدایت حرارتی (w/m.k)	گرمای ویژه (j/kg.k)	چگالی (kg/m^3)
قیرگونی	0.25	1000	1700
آسفالت	1.15	1000	2110
آجر	1	840	1900
ملات	1.15	920	2000
بتن با پوکه	0.34	840	1300
دال بتنی	1.75	1000	2300
لایه هوا	0.3	1000	1000
گچ و خاک	1.15	840	1000
گچ	0.7	1000	1300
سنگ گرانیت	2.9	840	2500
رنگ روغن	0.1	1500	1000

(۳): ترتیب قرار گرفتن لایه‌ها و ضخامت آن‌ها از خارج به داخل

اجزاء ساختمان	لایه‌ها	ضخامت (m)
سقف ساختمان	آسفالت	0.04
	قیرگونی	0.03
	ملات	0.02
	بتن با پوکه	0.05
	دال بتنی	0.1
	لایه هوا	0.4
	گچ و خاک	0.02
	گچ	0.005
	رنگ روغن	0.001
دیوار خارجی	سنگ گرانیت	0.02
	ملات	0.02
	آجر	0.2
	گچ و خاک	0.02
	گچ	0.005
	رنگ روغن	0.001

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

با توجه به شکل‌های ۸ و ۹ که میزان مصرف انرژی سرمایشی و درصد بهینه‌سازی مصرف انرژی را برای ماههای گرم سال نشان می‌دهد، مشخص است که استفاده از نماهای دو پوسته همراه با سایبان داخلی در فضای بین دو پوسته برای شهر تبریز عملکرد چشمگیری داشته است به طوری که توانسته مصرف انرژی در ماه اکتبر را ۱۰۰ درصد کاهش داده و به صفر برساند. همچنین کاهش مصرف انرژی در ماه می حدود ۹۸ درصد است. این بدان معنا است که ساختمان در این دو ماه نیاز به صرف هزینه و انرژی جهت سرمایش ندارد. ماه‌های سپتامبر با ۸۳ درصد کاهش، ژوئن با ۶۳ درصد کاهش، جولای و آگوست با حدود ۴۴ درصد کاهش در رده‌های بعدی کاهش مصرف انرژی قرار می‌گیرند. دلیل نتایج مشاهده شده در شکل‌های زیر این است که میانگین دمای هوای شهر تبریز در تابستان کمی بیشتر از دمای آسایش ساکنان است و نمای دو پوسته به راحتی می‌تواند با تهویه‌ی طبیعی دمای داخل ساختمان را کنترل کند. همچنین استفاده از سایبان‌های داخلی در بین فضای نمای دو پوسته باعث شده که تابش مستقیم خورشید وارد ساختمان نشود ولی از نور طبیعی بیرون استفاده شود همین امر باعث شده دمای داخل ساختمان پایین نگه داشته شود و نیاز به بار شرمایشی کاهش یابد.

با توجه به شکل‌های ۹ و ۱۰ که میزان مصرف انرژی گرمایشی و درصد بهینه‌سازی مصرف انرژی را برای ماههای سرد سال نشان می‌دهد، مشخص است که استفاده از نماهای دو پوسته در اقلیم‌های بسیار سرد مانند تبریز گرچه باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود ولی این میزان کاهش مصرف نسبت به عملکرد این نما در ماه‌های گرم چشمگیر نیست به طوری که در بهترین حالت ممکن در مصرف انرژی در ماه‌های اکتبر، دسامبر و ژانویه حدودا ۹ درصد صرفه‌جویی شده است. ماه‌های فوریه با ۸/۳ درصد کاهش، آپریل و نوامبر با حدود ۷/۴ درصد کاهش، مارچ با ۶/۵ درصد کاهش و می با ۵/۳ درصد کاهش در رده-های بعدی قرار می‌گیرند. مهمترین دلیل نتایج فوق این واقعیت است که میانگین دمای هوا در فصل سرما در تبریز بسیار پایین است به طوری که کاهی به زیر صفر هم می‌رسد. این پایین بودن دمای هوا باعث می‌شود که دمای هوای محبوس شده در بین نمای دو پوسته زیاد افزایش پیدا نکند و با دمای تنظیم شده برای آسایش حرارتی ساکنان فاصله داشته باشد لذا دمای پایین هوای محبوس شده تا حد کمی می‌تواند مانع از اتلاف انرژی از طریق جداره‌ها شود و تاثیر آن بر عملکرد سیستم گرمایشی ساختمان کم است.

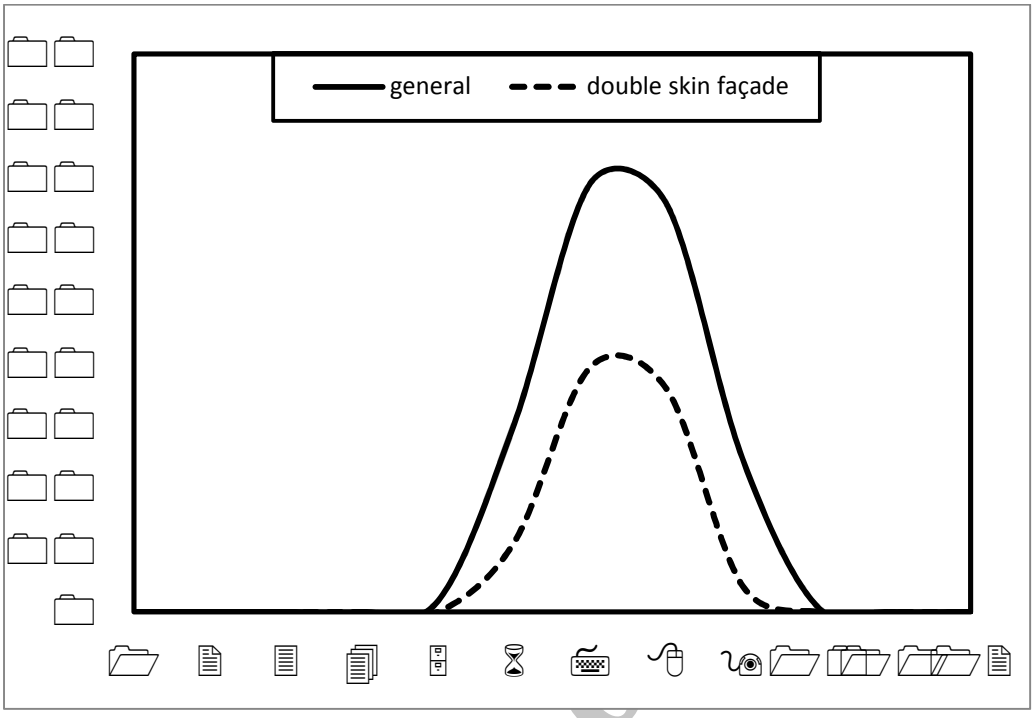
شکل‌های ۱۱ و ۱۲ برآیند عملکرد ماهانه‌ی نمای دو پوسته در تبریز هستند و میزان مصرف انرژی سالانه‌ی گرمایشی و سرمایشی ساختمان و درصد بهینه‌سازی را نشان می‌دهند. با توجه به این نمودارها مشخص می‌شود که میزان مصرف انرزی گرمایشی به میزان ۵۳ درصد در طول سال کاهش یافته است و این میزان کاهش برای انرژی گرمایشی مورد نیاز ساختمان به ۸/۲ درصد می‌رسد.

جمع‌بندی

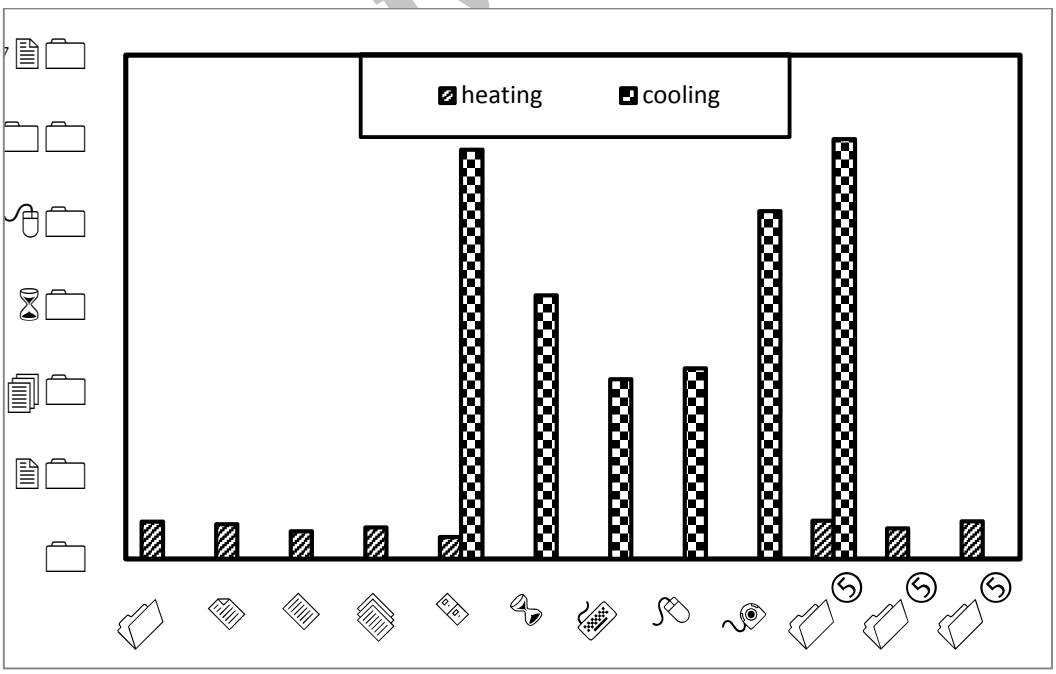
در مجموع و به طور خلاصه می‌توان گفت که استفاده از نماهای دو پوسته در اقلیم‌های بسیار سرد مانند تبریز با توجه به مصرف بالای انرژی در ماه‌های سرد و کاهش ۸ درصدی مصرف انرژی، توجیه‌پذیر است. این در حالی است که عملکرد خیره-کننده‌ی این نما در ماه‌های گرم این توجیه‌پذیری را قوت می‌بخشد.

Archive of SID

www.SID.ir

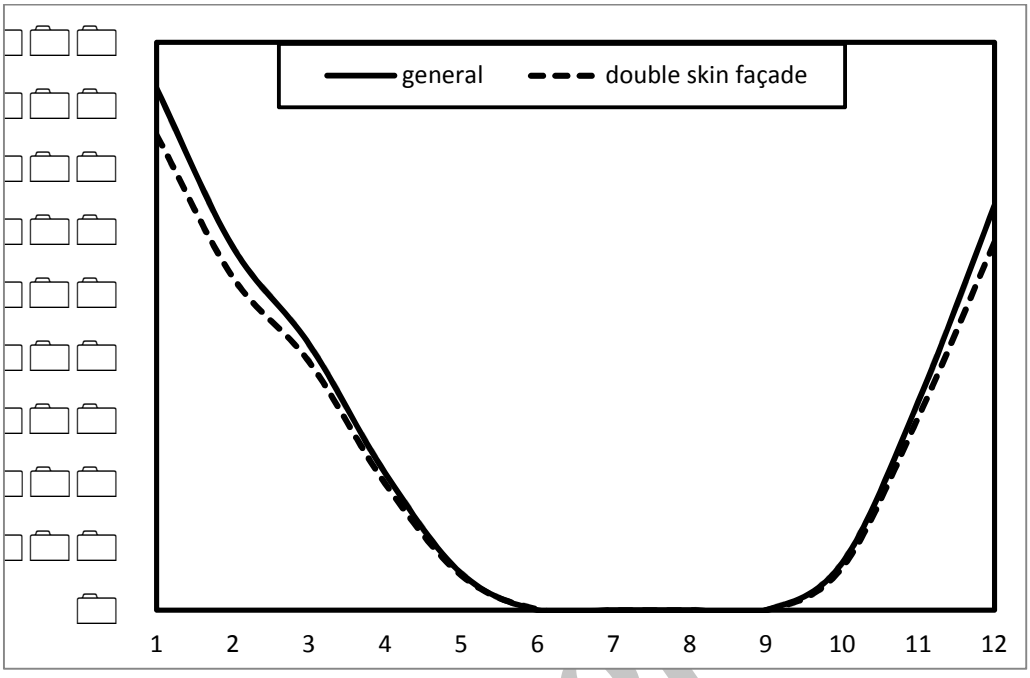


شکل(۸): میزان مصرف ماهانه‌ی انرژی سرمایشی (کیلووات ساعت)

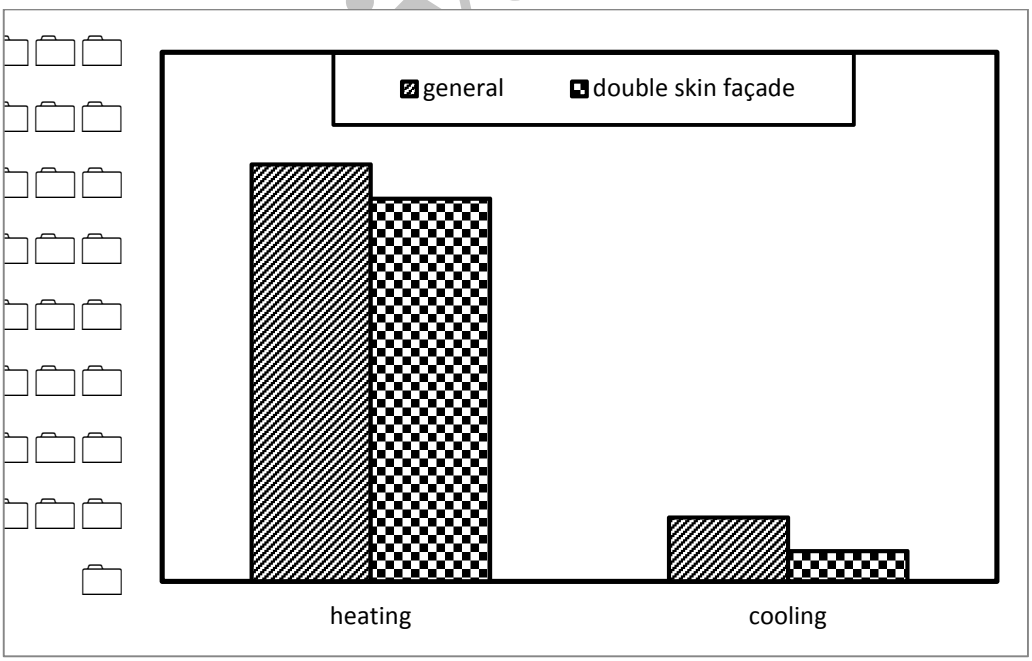


شکل(۹): درصد کاهش میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی ماهانه

www.SID.ir

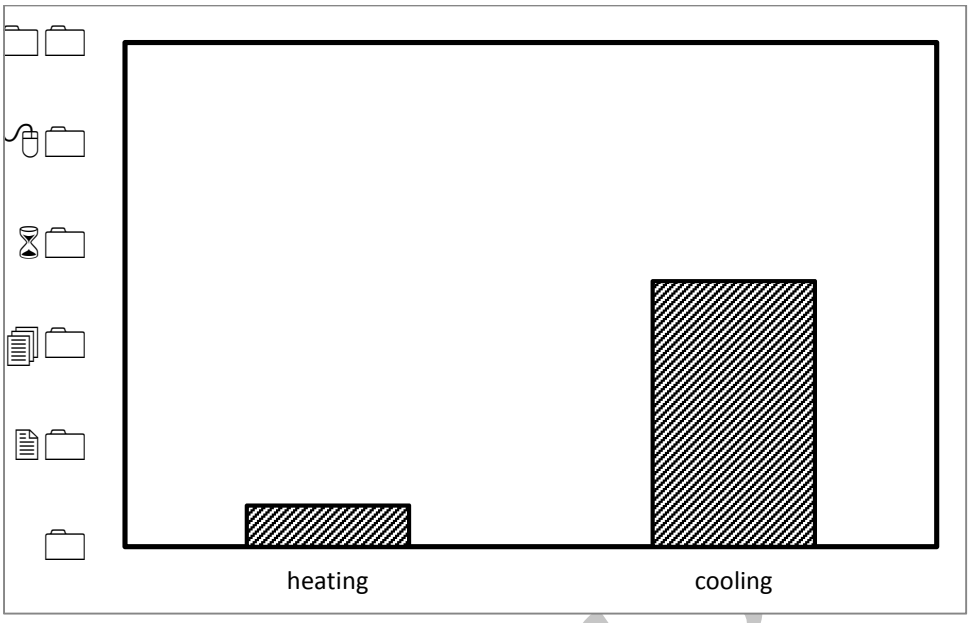


شکل(۱۰): میزان مصرف ماهانه‌ی انرژی گرمایشی (کیلووات ساعت)



شکل(۱۱): میزان مصرف سالانه انرژی گرمایشی و سرمایشی (کیلووات ساعت)

www.SID.ir



شکل(۱۲): درصد کاهش میزان مصرف سالانه انرژی گرمایشی و سرمایشی

مراجع

[1] m. kaveh, Evaluation of double skin facade technology reduces energy consumption in the building , *civil House,* The first year – second and third issue – fall and winter 2011. (In Persian)
[2] Poirazis, Harris. "Double Skin Facades for Office Buildings, literature review. Volume 4 , Issue 3 of Report EBDR, 2004
[3] A. Dickson, Modelling Double-Skin Facades, *A thesis submitted for the Degree: MSc Energy Systems & the Environment, Department of Mechanical EngineeringUniversity of Strathclyde, Glasgow UK*
[4] Z. Emami Tabrizi, Double skin facade new technology to reduce energy consumption in buildings, *The second National Conference on climate, building and energy efficiency*, Esfehan, 2012 (In Persian)
[5] S. Gilani, B. Mohammad Kari, Investigation of Greenhouse's Thermal Performance in Residential Buildings of Cold Climate Case Study: City of Ardebil, *Modares Mechanical Engineering*. Vol. 11, No. 2, pp. 147-157, 2011. (In Persian)
[6] W. Stec, D. Van Paassen, DEFINING THE PERFORMANCE OF THE DOUBLE SKIN FAÇADE WITH THE USE OF THE SIMULATION MODEL, *Eighth International IBPSA Conference*, Eindhoven, Netherlands August 11-14, 2003.
[7] R. Lund Jensen, O. Kalyanova, P. Heiselberg, , Modeling a Naturally VentilatedDouble Skin Façade with a Building Thermal Simulation Program, *8th Nordic Symposium*, Building Physics 2008.
[8] T. Brandle, M.Spinnler, J.Blumenberg, T.Sattelmayer, Numerical Simulation of the Thermal Behavior of DoubleSkin Façades with Diverse Sunscreen Configurations.
[9] D. Stribling, B. Stigge, A critical review of the energy savings and cost payback issuesof double facades.
[10] G. Kim, H. Soo Lim, J. Tai Kim, Development of a Double-Skin Façade for Sustainable Renovation of Old Residential Buildings, *7th International Symposium on Sustainable Healthy Buildings,* Seoul, Korea 18 May 2012
[11] M. Azarbayjani, Comparative Performance Evaluation of a Multistory Double Skin Façade Building in Humid Continental Climate, The Visibility of Research Sustainability: Visualization Sustainability and Performance, ARCC 2013
[12] H. Yang, J. Wang, G. Xia, Ch. Sun, X. Sun, Q. Wan, A STUDY ON APPLYING VENTILATED DOUBLE-SKIN FACADE TO A BUILDING DURING TRANSITION SEASONS IN COLD ZONE OF CHINA, *APEC Conference on Low-carbon Towns and Physical Energy Storage,* Changsha, China, May 25-26, 2013

Archive of SID

www.SID.ir