بررسی میزان اثربخشی جداره دوپوسته بر بارهای سرمایشی و گرمایشی برای شرایط اقلیمی سردسیری و گرمسیری

علی میرمحمدی[1] و میلاد تقی‌زاده[2]

تاریخ دریافت: 98/10/28
تاریخ پذیرش: 99/06/30

چکیده: امروزه با افزایش جمعیت کره‌ی زمین، علوم مهندسی در تلاش هستند تا شرایط آسایش انسان‌ها را فراهم آورند. فراهم آوردن این شرایط نیازمند مصرف انرژی برای تأمین سرمایش یا گرمایش است. موضوعی که امروزه مطرح است، ذخیره انرژی در ساختمان‌های نوین بدون از بین بردن شرایط راحتی افراد است. در این پژوهش کاهش مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی ساختمان از طریق نمای دوپوسته برای شهر مسکو در روسیه با شرایط آب‌وهوایی سردسیری و شهر یزد با شرایط آب‌وهوایی گرمسیری بررسی شد. هدف از بررسی دو شهر با شرایط آب‌وهوایی متفاوت مقایسه‌ی تاثیر شرایط محیطی در اثربخشی این‌نوع نماست. در طرح پیشنهادی برای نمای دوپوسته در فصل‌های سرد با مسدودکردن بالا و پایین نمای دوپوسته، هوای محبوس شده در بین دوپوسته به صورت عایق عمل‌کرده و هدررفت انرژی کاهش می‌یابد. همچنین در فصل‌های گرم از طریق بازگذاشتن بالا و پایین پوسته و ایجاد جریان هوا از بین دوپوسته انتقال حرارت از ساختمان افزایش یافته و در نتیجه دمای داخل آن کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از حل عددی معادلات دینامیک سیالات محاسباتی در نرم افزار دیزاین‌بیلدر نشان داد که استفاده از این روش در شهر مسکو میزان بار سرمایشی سالانه را 43 درصد و میزان بار گرمایشی سالانه را 4.3 درصد کاهش می‌دهد. همچنین نتایج برای شهر یزد افزایش 36.8 درصدی بارگرمایشی سالانه و کاهش 30.5 درصدی بار سرمایشی سالانه را نشان داد.

واژگان کلیدی: ساختمان‌های نوین، صرفه‌جویی مصرف انرژی، نمای دوپوسته، دیزاین‌بیلدر.

[1]**استادیار** مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) a.mirmohammadi@sru.ac.ir

[2]**دانشجوی کارشناسی** مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی،تهران، ایران.

1–مقدمه

با توسعه صنعت و افزایش کیفیت زندگی، سطح توقعات افراد جامعه افزایش یافته و تمایل به راحتی بیشتر در زندگی و مصرف انرژی زیاد شده است. در مقابل کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی در جهان و آلودگی‌های ناشی از استفاده بی‌رویه از این سوخت‌ها سبب شده تا کشورها برای کاهش مصرف انرژی در کوتاه‌مدت و بلندمدت برنامه‌ریزی کنند.

گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها یکی از بخش‌های پرمصرف انرژی است. از این‌رو راهکارهای متعددی برای کاهش مصرف آن طرح شده که استفاده از نمای دو-پوسته یکی از آنها است.

1-1- مروری بر پیشینه پژوهش

«ساختمان‌ها به منظور دست‌یابی به محیطی مناسب جهت تأمین آسایش انسان، طراحی می‌شوند. شرایط محیطی و اقلیمی، مؤلفه‌های بسیار مهمی در طراحی ساختمان هستند»(Emadian Razavi, 2018). «ایجاد شرایط آسایش انسان در محیط‌های مختلف از طریق اجرای یک سلسله عملیات بر روی هوا، از قبیل افزایش یا کاهش دما و رطوبت و نیز کاهش میزان گازها و ترکیبات مضر موجود در هوا صورت می‌گیرد» (Tabatabai, 2016). تهیه هوای مطبوع مستلزم مصرف انرژی است و با شرایط فعلی کره زمین و محدودیت منابع انرژی نیاز به صرفه‌جویی در مصرف انرژی بیش از پیش احساس می‌شود. یکی از روش‌های کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های نوین استفاده از نمای دوپوسته است. «نمای دوپوسته با دارابودن حداقل دولایه بین فضای داخلی و محیط بیرون از سایر نماها متمایز می‌شود. در حد فاصل این دو لایه مسیری برای حرکت هوا تعبیه شده است که حرکت هوا از میان نما نیز تمایز عمده آن از پنجره‌های با شیشه دوجداره است. همچنین در فاصله دولایه نما غالبا از وسایل سایه‌انداز استفاده می‌شود» (Tagi, N., MontazerMotamedi, S., 2006).

نمای دوپوسته در انواع مختلف و با توجه به محل ساختمان و فصول مختلف سال انتخاب شده و سبب کاهش مصرف انرژی ساختمان به میزان قابل ملاحظه‌ای می‌شود. مطالعاتی درباره استفاده از نمای دوپوسته در جهان انجام شده و نمونه‌هایی از آن ساخته شده است. «در سال‌های اخیر در کشورهای اروپایی خصوصا آلمان، هلند و انگلستان راه حلی به نام نمای دوپوسته ابداع شده است که این روش می‌تواند با تطبیق با شرایط هر منطقه، مورد استفاده قرار گیرد. در مورد تاریخچه‌ی ارائه این نماها نظرات مختلفی وجود دارد. سائلینز معتقد است که ژانبا پتیستژو بارد مدیر وقت موزه صنعتی بروکسل در سال 1849 شکل اولیه از نماهای چندگانه با تهویه مکانیکی را ارائه و توضیح داده‌اند که هوای بین دوپوسته در تابستان و زمستان چگونه باید جابه‌جا شود. کرسپو معتقد است که اولین نمونه از نماهای دوپوسته در سال 1903 و در آلمان شکل گرفته است. هدف ارائه این راهکار بهره‌مندی بیشینه از روشنایی روز با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی بود که با توجه به دست‌یابی به اهداف مورد نظر مراحل توسعه‌ای آن درسال‌های 1904 و 1908 ساخته‌شد»(Sa’adati Nasab, et al., 2014).

«در پایان دهه 1920 ساختمان‌های با نمای دوپوسته به همراه اولویت‌های دیگر توسعه یافتند» (Poirazis, 2004).

شکل1 نمونه‌ای از ساختمان‌های اداری با به‌کارگیری نمای دوپوسته را در کشور آلمان در محدوده دروازه شهر دوسلدورف نشان می‌دهد. نوع نمای استفاده شده در این ساختمان از نوع دالانی (راه سرپوشیده) است که فضای میانی بین دوپوسته در هر طبقه بسته شده است. دریچه‌های ورود وخروج هوا در لایه‌ی بیرونی نمای ساختمان در نزدیکی کف و سقف واقع‌شده است. آنها به شکل شیب‌دار کار گذاشته شده‌اند، تا از ورود هوای آلوده خارج شده از یک طبقه به فضای طبقه بالا پیش‌گیری کنند. همه ساختمان با لایه‌ای از شیشه پوشانده‌شده - است. بنابراین یک فضای دهلیز به ارتفاع 56 متر در وسط ایجاد شده است. لایه‌ی خارجی از 12 میلی‌متر شیشه ایمن و لایه داخلی شیشه با قاب چوبی با ضریب گذر نور کم ساخته شده است. دو راهرو عرضی 90 سانتی‌متر و 140 سانتی‌متر در ساختمان وجود دارد. پرده‌های خورشیدی در نزدیکی لایه‌ی شیشه‌ای خارجی قرارگرفته‌اند. تهویه طبیعی در فضای وسط اجازه

می‌دهد، تا اتاق‌ها در طول دوره‌های طولانی سال به صورت طبیعی توسط هوای بیرون تهویه شوند. نتایج طرح در سال‌های اولیه بعد از عملیاتی شدن نشان داده-است که این ساختمان تقریبا به میزان 70 تا 75 درصد از سال را می‌تواند به صورت طبیعی تهویه شود. هیچ سیستم تهویه‌ای برای اتاق‌های اداری نصب نشده است و فقط اتاق‌های اداری با پنل سرمایشی سقفی مجهز شده‌اند(Poirazis, 2004).

(ب) (b) (الف) (a)

(ج)(c)

شکل 1- نمونه‌ای از ساختمان‌های اداری با تکنولوژی نمای دو پوسته (الف-پوسته جنوبی، ب- تصویر حفره، ج-تصویر داخلی)

(Source: Poirazis, 2004)

Fig.1-Double Skin Façades for Office Buildings (a- South face of "City Gate",b- View of the D.S.F. cavity,c- View of the interior glazing)

(Source: Poirazis, 2004)

2- روش تحقیق

بیشترین و کمترین دمای ثبت شده، برای شهر مسکو در چند سال اخیر به ترتیب مثبت 38 درجه و منفی 35 درجه سلسیوس است. بیشترین و کمترین دما برای شهر یزد نیز به ترتیب مثبت 48 و منفی 21 درجه سلسیوس است(www.msn.com/en-us/weather/records) . داده های فوق نشان می‌دهد که شهرهای مسکو و یزد دو نمونه مناسب جهت بررسی تأثیر شرایط محیط خارج ساختمان بر اثربخشی نمای دوپوسته هستند. به عبارت دیگر با بررسی این دو شهر می‌توان پی‌برد که استفاده از نمای دوپوسته در کدام اقلیم آب‌وهوایی سرد یا گرم تأثیر بیشتری دارد.

هدف این مقاله بررسی تأثیر نمای دوپوسته در فصول سرد و گرم برای ساختمانی در شرایط آب‌وهوایی سردسیری (شهر مسکو در روسیه) با نیاز بار گرمایی خیلی زیاد و شهر یزد در ایران با نیاز بار سرمایی زیاد و مقایسه میزان اثر بخشی نمای دوپوسته در هریک از این شرایط آب‌وهوایی است. علت انتخاب دو شهر یزد و مسکو و مقایسه آن‌ها، بررسی اثر تغییر فصول و در نتیجه تغییرات محیط خارج ساختمان بر درصد کاهش مصرف انرژی ساختمان است.

دینامیک سیالات محاسباتی یکی از روش‌های حل عددی مسائل مهندسی مکانیک سیالات است که برای محاسبه دما، سرعت و خواص دیگر جریان استفاده می-شود.

بخش دینامیک سیالات محاسباتی در نرم‌افزار دیزاین-بیلدر می‌تواند برای آنالیز جریان بیرون و داخل ساختمان یا هر فضای مشابه دیگری مورد استفاده قرارگیرد. داده‌های خروجی این نرم‌افزار می‌تواند برای ارزیابی اثربخشی طرح‌های مختلف سیستم‌های سرمایش، گرمایش و تهویه ساختمان‌ها و همچنین ارزیابی شرایط آسایش داخل ساختمان مورد استفاده قرارگیرد (DesignBuilder energy plus simulation documentation).

در این پژوهش معادلات دینامیک سیالات محاسباتی حل می‌شود و با استفاده از نتایج حاصل از حل این معادلات در ابتدا روایی استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر تأیید می‌شود سپس از این نرم‌افزار در جهت محاسبه بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌های با نمای دوپوسته و بدون نمای دو پوسته استفاده می‌شود.

2-1- معادلات حاکم

روش عددی دینامیک سیالات محاسباتی که توسط دیزاین‌بیلدر استفاده می‌شود، شامل حل مجموعه‌ای از معادلات: بقای جرم، مومنتوم (معادلات ناویر-استوکس) و انرژی است. مجموعه معادلات شامل سه مؤلفه سرعت و یک مؤلفه دماست. مجموعه معادلات دیفرانسیل جزئی مرتبه دوم غیر خطی کوپل شده دارای فرم کلی معادله (1) است که در آن،Ø معرف متغیرهای وابسته است:

معادله (1) :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\emptyset) + div(\rho u\emptyset) = div(\Gamma \text{ grad } \emptyset) + S$$

در معادله (1) مؤلفه$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\emptyset)$ نرخ تغییرات، مؤلفه $div(\rho u\emptyset)$ انتقال از طریق جابه‌جایی، مؤلفه$\text{div}(\Gamma \text{grad}\emptyset)$ انتقال از طریق نفوذ و S مؤلفه چشمه است. مجموعه‌ی معادلات به دلیل غیر خطی بودن نمی‌توانند با تکنیک‌های تحلیلی حل شوند. در نتیجه استفاده از یک روش عددی ضروری است.

روش عددی استفاده شده توسط دیزاین‌بیلدر شامل تبدیل معادله مشتقات جزئی به صورت مجموعه‌ای از معادلات جبری با شبکه‌بندی کردن فضای هندسی ساختمان (یا دامنه محاسبات) به مجموعه‌ای ازسلول‌ها یا حجم‌های محدود و بدون هم‌پوشانی است که به طور کل به عنوان شبکه‌بندی حجم محدود شناخته می‌شود. سپس مجموعه معادلات به صورت مجموعه‌ای از معادلات جبری خطی برای هر سلول در داخل شبکه‌بندی و همه مجموعه معادلات با استفاده از روش تکرار حل می‌شوند. غیر خطی بودن مجموعه معادلات با استفاده از یک برنامه تکرار تودرتو، محاسبه می‌شود که به وسیله آن هر معادله متغیر وابسته (مؤلفه‌های سرعت، دما و...) حل می‌شود(Design Builder energy plus simulation documentation).

2-2- اعتبارسنجی

دو روش برای اعتبارسنجی نتایج این مقاله استفاده شده است.

در روش اول از داده‌های تجربی برای اثبات درستی خروجی‌های نرم‌افزار بهره گرفته می‌شود. داده‌های تجربی پژوهش استاوراکاکیس برای تطبیق با نتایج این مقاله استفاده خواهد شد که در آن نتایج تجربی با شبیه‌سازی رایانه‌ای مقایسه شده است. نتایج تحقیقات ایشان نشان داده است که پیش‌بینی‌های قابل اعتمادی با استفاده از شبیه‌سازی عددی با دیزاین‌بیلدر می‌توان به‌دست آورد(Stavrakakis et al., 2008).

در روش دوم نتایج حاصل از این پژوهش با پژوهشی مشابه تطبیق داده می‌شود تا صحت نتایج تأیید گردد. برای این منظور از پژوهشی که برای شهر تبریز به عنوان یک شهر سردسیر انجام شده است، استفاده خواهد شد. این پژوهش نشان داده است که میزان مصرف انرژی در تابستان تا حدود 52 درصد و در زمستان تا حدود 8 درصد کاهش می‌یابد(Sa'adati Nasab, et al., 2014).

ابتدا اعتبار سنجی این مقاله با استفاده از داده‌های تهویه طبیعی یک کلبه که به صورت تجربی و عددی ثبت شده است، انجام می‌شود. مطابق شکل2 کلبه‌ای برای اهداف تست کیفیت هوای داخل آن ساخته شده و از یک سقف پوشیده از سفال رومی و یک سیستم عایق بازتابنده تشکیل شده است. دو درب آن در قسمت دیوارهای شمالی و جنوبی قرار گرفته‌اند و اتاق توسط این بازشوها تهویه می‌شود. از آنجایی که نیروهای باد مدنظر هستند، هر دو درب برای اطمینان از تفاوت فشارهای نسبتا بزرگ به صورت کاملا باز قرار گرفته‌اند. مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایش تجربی در نقاط پایش در جدول1، شرایط-مرزی دیواره‌های کلبه در جدول 2 و شرایط محیطی برای طرح خارج ساختمان در جدول 3 ارائه شده است(Stavrakakis et al., 2008). برای اعتبار سنجی فقط دو نقطه‌ی پایشB1 و B3 در نتایج شبیه‌سازی شکل 3 و شکل 4 با جدول1 مقایسه می‌شود.

ملاحظه می‌شود که برای مقدار دما در نقاط پایش، اختلاف بین نتایج خروجی این مقاله، با مقدار اندازه‌گیری شده تجربی، برای نقطه B1 درحدود 0.25 درجه سانتیگراد و برای نقطهB3 در حدود 0.05 درجه سانتی-گراد است. لذا اعتبار نتایج شبیه‌سازی در مقایسه با داده‌های تجربی با تقریب قابل قبولی تأیید می‌شود.

جدول1- مقادیر اندازه‌گیری شده در تست تجربی در نقاط مانیتورینگ (Stavrakakis et al., 2008)

Tab.1- Experimental conditions for monitoring points
(Stavrakakis et al., 2008)

مورد B	A1	B1	B2	B3
مختصات(m)	5.25 , 0 , 1.1	3 ,2, 0.2	3 , 2 ,2	3 , 2 ,3
دما(°C)	32.35	30.85	31.85	31.35
سرعت(m/s)	1.25	0.4	0.1	0.25

جدول 2- شرایط مرزی از تست تجربی (Stavrakakis et al., 2008)

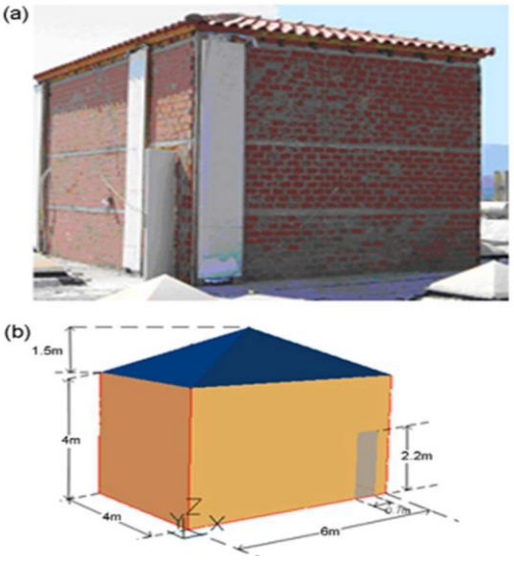
Tab.2-boundry condition from experimental test
(Stavrakakis et al., 2008)

موارد	Teast wall (K)	Twest wall (K)	Tsouthwall (K)	Tnorthwall (K)
موردA	302	301.4	303	300.9
موردB	302.1	302	302.1	302

جدول 3 - شرایط محیطی برای طرح خارج ساختمان
(Stavrakakis et al., 2008)

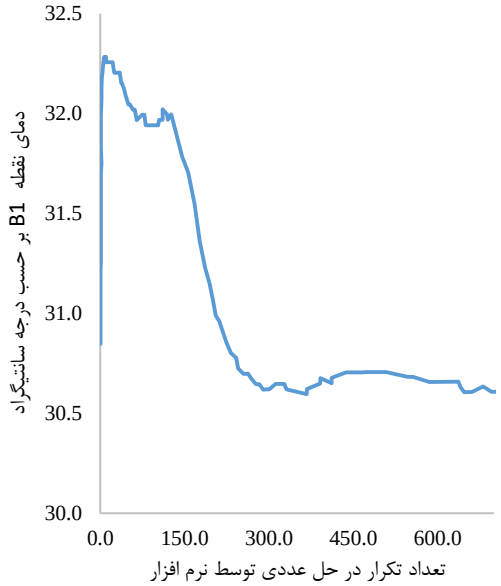
Tab.3-External conditions of building
(Stavrakakis et al., 2008)

زاویه برخورد	سرعت باد در 7.5متر(m/s)	دمای خارج (°C)	رطوبت نسبی (درصد)
90	2.85	32.35	24.8



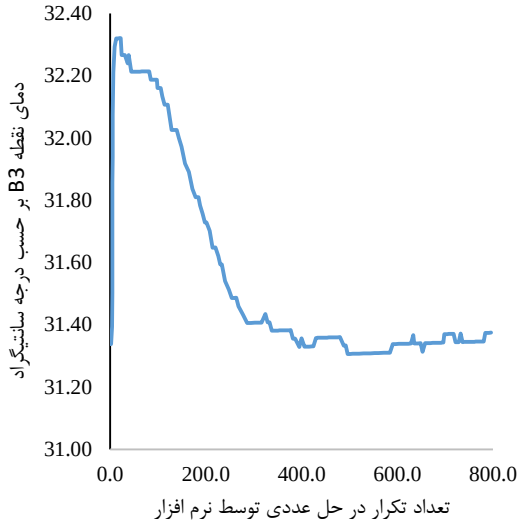
شکل2- کلبه تست تجربی و شبیه‌سازی (Stavrakakis et al., 2008)

Fig.2-(a) Experimental chamber and (b) geometrical details.
(Stavrakakis et al., 2008)



شکل 3- نتایج شبیه‌سازی برای نقطهB1

Fig.3-simulation results for(B1)point



شکل 4- نتایج شبیه‌سازی برای نقطهB3

Fig.4-simulation results for (B3) point

3-2- شبیه‌سازی

بعد از اعتبارسنجی نتایج، در این‌بخش شبیه‌سازی ساختمان با نمای دوپوسته در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر برای بررسی اثر این‌نوع نما در کاهش مصرف انرژی انجام می‌شود. در این مقاله دو نوع ساختمان یکی با نمای دو-پوسته و دیگری فاقد آن، در دو شهر مسکو در کشور روسیه که دارای آب‌وهوای سردوخشک است و شهر یزد در ایران که دارای آب‌وهوای گرم‌وخشک است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. دلیل انتخاب این دو شهر بررسی میزان اثربخشی نمای دوپوسته در آب‌وهوای کاملا

متفاوت و تأثیر دمای خشک محیط در اثربخشی نمای دوپوسته است.

ساختمان مورد مطالعه ابعاد 10×10×3.5 متر دارد. چون هدف اصلی تعیین هدررفت انرژی از دیواره‌های خارجی ساختمان است، از جزئیات داخل ساختمان چشم‌پوشی شده است. ابتدا هندسه ساختمان بدون نمای دوپوسته ترسیم و در حافظه رایانه ذخیره و بعد از آن نمای دو-پوسته به این‌ساختمان اضافه و ساختمان با نمای دو-پوسته نیز ایجاد و ذخیره شد. نمای دوپوسته به فاصله‌ی 60 سانتی‌متری جدار خارجی در یک سمت ساختمان ایجاد شده است. ساختمان دوم که دارای نمای دوپوسته است از دوناحیه تشکیل شده که یکی از آن‌ها حفره نمای دوپوسته و دیگری ساختمان اصلی است.

در پژوهش‌های مختلف و در ساختمان‌های ساخته شده با این نوع نما، برای پهنای حفره هوای بین دو شیشه بازه‌های مختلفی در نظر گرفته شده است به طور مثال مرجع (Sa'adati Nasab, et al., 2014) از 2 تا 60 سانتی‌متر متغیر گرفته است. در این پژوهش نیز از این بازه استفاده می‌شود.

کاربری ساختمان اداری تعریف شده است. نسبت تعداد افراد حاضر به واحد سطح 0.111 فرض شد و برنامه زمانبندی بر اساس برنامه باز و بسته شدن درب اداره تنظیم شده است. در بخش متابولیسم، نوع فعالیت افراد حاضر در داخل ساختمان، کار سبک اداری، ایستادن و راه رفتن تعریف شد و فاکتور جنسیت 0.9 وارد شد. ضریب لباس افراد حاضر در محل در زمستان 1 و در تابستان 0.5 فرض شد. در بخش کنترل محیطی، برای زیر بخش دمای نقطه تنظیم گرمایش و دمای نقطه تنظیم سرمایش به ترتیب از اعداد جدول 4 استفاده شد.

جدول 4- تنظیمات دمای سیستم گرمایشی و سرمایشی
Tab.4-heating and cooling system temperature settings

Heating	22 (°C)
Heating setback	12 (°C)
Cooling	24 (°C)
Cooling setback	28 (°C)

در قسمت دمای نقطه تنظیم تهویه و زیربخش تهویه طبیعی برای کنترل دمای کمینه داخلی عدد 24 درجه سانتیگراد انتخاب شد. هوای تازه کمینه 10 لیتر بر ثانیه به ازای هر نفر تعیین شد و وسایل دفتری 11.77 وات بر متر مربع با برنامه زمان‌بندی ابزار دفتری (باز و بسته بودن دفاتر اداری) و کسر تابشی 0.2 انتخاب شد. جنس دیوار خارجی، به جز یکی از دیوارها که شیشه‌ای انتخاب شده است. بقیه دیوارها از 4 لایه تشکیل شده که به ترتیب از خارج به داخل در جدول5 آمده‌است. جنس سقف صاف نیز از خارج به داخل در جدول6 آمده است. همچنین جنس کف از خارج به داخل در جدول7 آمده-است.

در انتخاب مصالح سعی شد تا از مصالح رایج‌تر و همچنین مواد استفاده شده در مراجعی مانند (Poirazis, 2004) و همچنین مصالح پیش‌فرض خود نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر استفاده شود.

جدول5- جنس دیوارهای خارجی
Tab.5-Exterior wall material

جنس دیواره‌ها	ضخامت (mm)
آجری، لایه بیرونی	100
پلی استایرن اکسترود شده-XPS CO_2	79.5
بلوک بتونی متوسط	100
گچ‌کاری اندود	13

جدول6- جنس سقف صاف
Tab.6-Flat roof material

جنس سقف صاف	ضخامت (mm)
آسفالت	10
پشم شیشه MW	144.5
فاصله‌ی هوایی	25
تخته‌بندی گچی	13

جدول 7- جنس کف
Tab.7-Floor material

جنس کف	ضخامت (mm)
فوم فرمالدهید اوره	132.7
بتن ریخته	100
کف‌پوش کف یا سقف	70
کف‌پوش چوبی	30

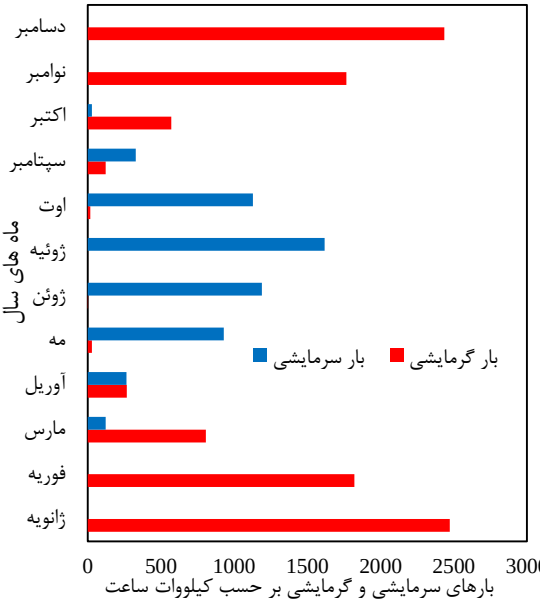
دیوار شیشه‌ای از 90 درصد شیشه به‌علاوه 10 درصد مصالح دیوار خارجی که جنس آن در بالا بیان شد، تشکیل شده است. شیشه دارای طرح‌بندی نوار افقی 90 درصد لعاب‌دار است. جنس شیشه شامل لایه خارجی از

نوع generic PYDB clear به ضخامت 3 میلی‌متر، فاصله هوایی 13 میلی‌متری و لایه داخلی generic clear، 3 میلی‌متری است. الگوی روشنایی از نوع reference انتخاب شد و روشنایی عمومی فعال شده و دارای مقادیر پیش‌فرض نرم‌افزار است. سیستم HVAC ساختمان از نوع فن‌کویل 4 لوله‌ای و چیلر هواخنک انتخاب شد. نوع تهویه، تهویه مکانیکی با برنامه زمان‌بندی باز و بسته شدن دفاتر اداری است. نوع سوخت مصرفی برای گرمایش، گاز طبیعی و نوع انرژی مصرفی برای سرمایش الکتریسیته تعیین شد. جنس شیشه نمای دوپوسته Quadruple LOE Films (88)3mm/8mm و 100درصد دیوار شیشه‌ای انتخاب شد.

3– نتایج و بحث

3-1-بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان بدون نمای دو پوسته در شرایط شهرمسکو-روسیه

شکل 5 بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان بدون نمای دوپوسته در شرایط شهر مسکو را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بارسرمایشی سالانه 5612.14 کیلووات‌ساعت و بار گرمایشی سالانه 10318.73 کیلووات‌ساعت محاسبه شده‌است .

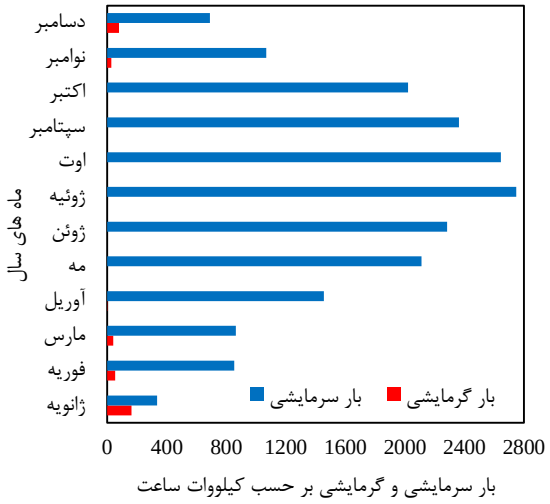


شکل5- بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان بدون نمای دو پوسته در شرایط شهر مسکو

Fig.5-Heating and cooling load of building without DSF technology in Moscow city climate

3-2- بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان بدون نمای دوپوسته در شرایط شهر یزد - ایران

شکل 6 بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان بدون نمای دو پوسته در شرایط شهر یزد را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بارسرمایشی سالانه 19442.99 کیلووات ساعت و بار گرمایشی سالانه 362.8 کیلووات‌ساعت محاسبه شده‌است .



شکل 6- بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان بدون نمای دو پوسته در شرایط شهر یزد

Fig.6-Heating and cooling load for building without DSF technology in Yazd city climate

3-3- بار گرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در شرایط شهر مسکو- روسیه

برای ساختمان‌های با نمای دوپوسته برای بارهای سرمایشی و گرمایشی هر کدام دارای نمودارهای متفاوتی خواهند بود. دلیل آن هم متفاوت بودن شرایط در محاسبه دو نوع بار حرارتی است. به عبارت دیگر چون در حالت سرمایش باید حفره نمای دوپوسته تهویه طبیعی شود، در نتیجه نتایج دارای شرایط و نمودارهای جداگانه‌ای برای بارهای سرمایشی و گرمایشی است.

«جهت بهبود عملکرد نماهای دوپوسته در فصل تابستان، تهویه مناسب آن امری ضروری است، زیرا در اقلیم گرم افزایش دمای حفره میانی با توجه به اثر گلخانه‌ای بسیار بالا خواهد بود که ممکن است باعث ایجاد شرایط عدم آسایش ساکنان شود»

(Ghanbaran, A., HosseinPour A.,2013).

شکل7 بار گرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در شرایط شهر مسکو -روسیه را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بار گرمایشی سالانه 9877.08 کیلووات‌ساعت است.

3-4- بار سرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در شرایط شهر مسکو - روسیه

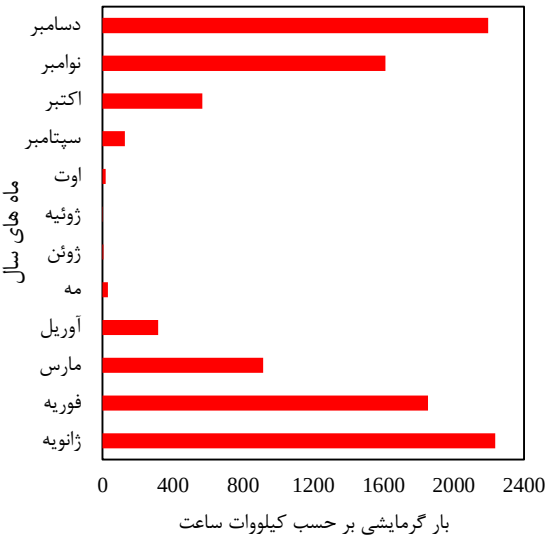
شکل8 بار سرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در شرایط شهر مسکو -روسیه را نشان می‌دهد و مشاهده می‌شود که بار سرمایشی سالانه3199.41 کیلووات‌ساعت است.

3-5- بار گرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در شرایط شهر یزد-ایران

شکل9 بار گرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در شرایط شهر یزد -ایران را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بار گرمایشی سالانه 496.32 کیلووات ساعت است.

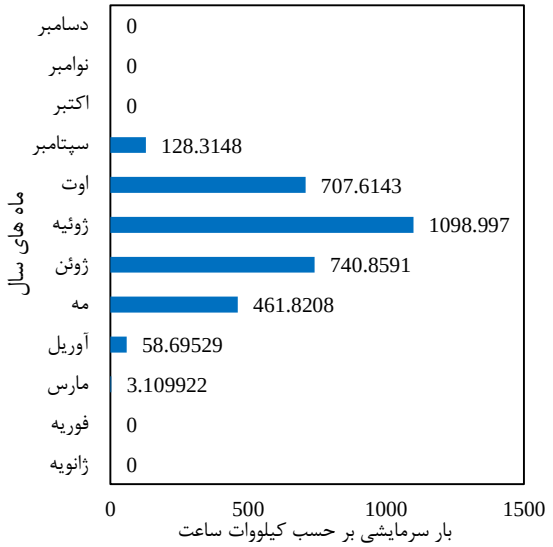
3-6-بار سرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در شرایط شهر یزد - ایران

شکل10 بار سرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در شرایط شهر یزد -ایران را نشان می‌دهد و مشاهده می‌شود که بار سرمایشی سالانه 13512.15 کیلووات ساعت است .



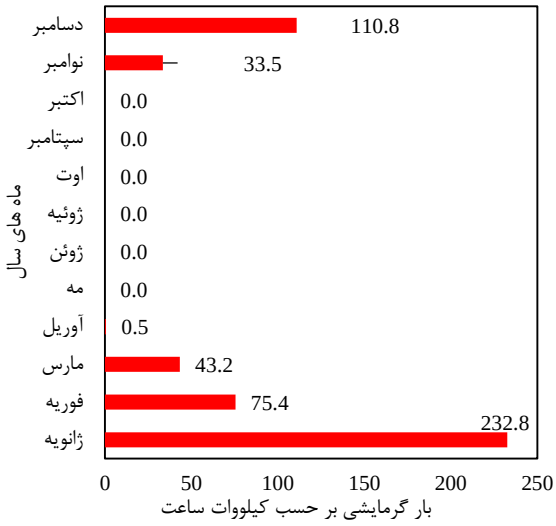
شکل 7- بار گرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در شرایط شهر مسکو

Fig.7- Heating load for building with DSF technology in Moscow city climate



شکل 8-بار سرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در شرایط شهر مسکو – روسیه

Fig.8- cooling load for building with DSF technology in Moscow city climate



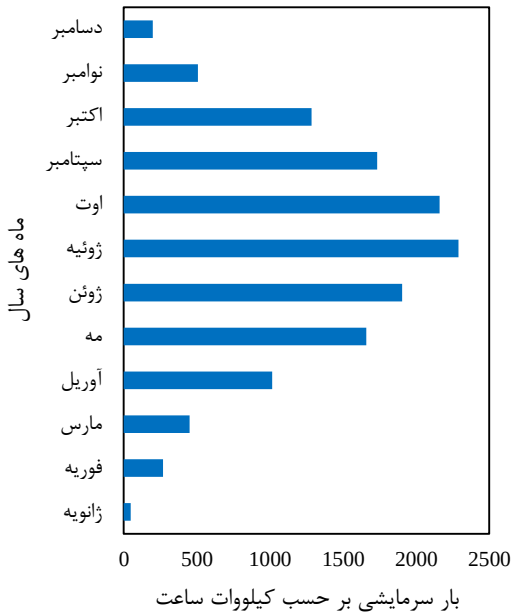
شکل9-بار گرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در شرایط شهر یزد – ایران

Fig.9- Heating load for building with DSF technology in Yazd climate

جداول 8 و9 مقادیر بار سرمایشی و گرمایشی سالانه محاسبه شده برای ساختمان بدون و با نمای دوپوسته و مقدار و درصد کاهش یا افزایش در اثر استفاده از نمای دوپوسته را برای دو شهر مسکو و یزد را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده برای شهر مسکو، اثربخشی

نمای دوپوسته برای شهرهای سردسیری مانند مسکو در فصل تابستان بسیار بیشتر از فصول سرد سال است و این نتایج با نتایج حاصل از مرجع (Sa'adati Nasab, et al., 2014) تأیید می‌شود.

گزارش‌های اخیر نشان می‌دهد که انرژی استفاده شده در ساختمان‌ها یک سوم انرژی استفاده شده در جهان را تشکیل می‌دهد (Ahmed, et al., 2016). تحقیقات بسیاری درباره استفاده از نمای دو پوسته در جهان انجام شده است. تحقیقاتی که از آزمایش‌های تجربی استفاده کرده‌اند، نشان داده که استفاده از نمای دو پوسته احتمالا منجر به کاهش مصرف انرژی به اندازه 15 درصد با استفاده از تهویه طبیعی در تابستان و تا 30 درصد با استفاده از گرمایش خورشیدی منفعل در زمستان می‌شود(Ji, et al, 2007:1491). اعداد و ارقام این تحقیقات، نتایج حاصل از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر را با دقت مناسبی تأیید می‌کند.



شکل 10- بار سرمایشی ساختمان با نمای دو پوسته در شرایط شهر یزد

Fig.10- cooling load for building with DSF technology in Yazd climate

جدول 8 - خلاصه نتایج حاصل از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر برای شرایط شهر مسکو

Tab.8-Summary of the results of Design Builder software for Moscow City

نوع ساختمان	بار گرمایشی سالانه kwh	بار سرمایشی سالانه kwh
ساختمان بدون نمای دو پوسته	10318.73	5612.14
ساختمان با نمای دو پوسته	9877.08	3199.41
مقدارتغییر	441.65	2412.73
درصد کاهش/افزایش	کاهش 4.3	کاهش 43

همچنین روش‌های مختلفی برای بهبود کارکرد این نوع نما وجود دارد، مثلا افزایش نرخ جریان تهویه‌ای می‌تواند گرمای دریافتی نمای دوپوسته را کاهش دهد، اما مزایای حرارتی حاصل از نرخ جریان بالاتر ممکن است با هزینه‌های عملکردی مرتبط با تجهیزات تهویه مورد نیاز برای رسیدن به این‌نرخ‌های تهویه تحت‌الشعاع قرار گیرد (Parra et al, 2015).

جدول 9 - خلاصه نتایج حاصل از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر برای شرایط شهر یزد

Tab.9-Summary of the results of Design Builder software for Yazd City

نوع ساختمان	بار گرمایشی سالانه kwh	بار سرمایشی سالانه kwh
ساختمان بدون نمای دو پوسته	362.8	19442.99
ساختمان با نمای دو پوسته	496.32	13512.15
مقدارتغییر	133.52	5930.84
درصد کاهش/ افزایش	افزایش 36.8	کاهش 30.5

4- نتیجه گیری

نمای دوپوسته یکی از روش‌های کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها است. این نوع نما به تغییرات فصل و در نتیجه‌ی آن تغییرات دمای طرح خارج ساختمان حساس است. در این‌مقاله استفاده از این نوع نما در ساختمانی در دو نوع آب‌وهوای کاملا متفاوت بررسی شد. نتیجه‌ی بررسی کاهش 2412.73 کیلووات‌ساعت بار سرمایشی سالانه و کاهش 441.65 کیلووات‌ساعت بار گرمایشی سالانه ساختمانی در شهر سردسیر مسکو در کشور روسیه و افزایش 133.52 کیلووات‌ساعت بار گرمایشی سالانه و کاهش 5930.84 کیلووات‌ساعت بار سرمایشی سالانه برای ساختمانی با شرایط مشابه در شهر یزد با آب‌وهوای گرم و خشک را نشان داد. مقایسه نتایج حاصل از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر نشان داد که در شهر مسکو میزان بار سرمایشی سالانه 43 درصد و میزان بار گرمایشی سالانه 4.3 درصد کاهش می‌یابد. مقایسه نتایج در شهر یزد نیز افزایش 36.8 درصدی در بارگرمایشی سالانه و کاهش 30.5 درصدی در بار سرمایشی سالانه را نشان داد. بنابراین می توان نتیجه گرفت استفاده از نمای دو پوسته برای مناطق سردسیرکاملاً کارآمد است و در مجموع باعث کاهش مصرف انرژی در ساختمان خواهد شد ، با توجه به داده‌های به دست‌آمده از نرم‌افزار تنها مشکلی که در استفاده از این نوع نما برای مناطق گرمسیر وجود دارد افزایش بارگرمایشی ساختمان است که البته با توجه به ناچیز بودن این افزایش
(133.52کیلووات‌ساعت) در مقایسه با میزان کاهش بار سرمایشی (5930.84 کیلووات‌ساعت) ، استفاده از این نوع نما برای این مناطق هم توجیه پذیر است.

منابع

Ahmed, M. M., Abdel-Rahman, A. K., Ali, A. H. H., and Suzuki, M. (2016). Double Skin Façade: The State of Art on Building Energy Efficiency, Journal of Clean Energy Technologies, Vol. 4 (1), pp. 84-89.

Design Builder Energy plus Simulation Documentation v5, Design Builder CFD Draft Manual.

Emadian Razavi, S.Z., (2018). Evaluating Thermal performance of Earth-sheltered Buildings in Heating Season (Case Study: Hot-Arid Climate of Yazd)., Journal of Hot and Dry Climate Architecture, Sixth year, seventh issue, spring and summer of 2018, pages 85 to 99. [In Persian]

Ghanbaran, A., HosseinPour A., (2013). Assessment of Thermal Behavior of Double Skin Façade in the Climate of Tehran. Journal of Sustainable Architecture and Urban Design. First year, second issue, autumn and winter 2013. Pages 43 to 53. [In Persian]

Ji, Y., Cook, MJ., Hanby, VI., Infield, DG., Loveday, DL,. Mei, L. (2007). CFD modelling of double-skin facades with venetian blinds. In: Building Simulation, 2007, pp. 1491–1498.

Parra, J., Guardo, A., Egusquiza, E. and Alavedra, P. (2015). Thermal Performance of Ventilated Double Skin Façades with Venetian Blinds: Energies, 8(6), pp. 4882-4898.

Poirazis, H., (2004). Double skin facades for office buildings. Literature review, Department of Construction and Architecture, Lund University.

Sa'adati Nasab, M., Zolfaghari, S.A., NorouziJajrom, E.,Moslehi,H., (2014). Analysis of the effect of using double skin façade as a solution to energy conservation in residential buildings in Iran using design builder software,Third Conference on New Approaches to Energy Conservation . [In Persian]

Stavrakakis, G.M., Koukou, M.K., Vrachopoulos, M.G., Markatos, N.C. (2008). Natural cross ventilation in buildings: Building- scale experiments, numerical simulation and thermal comfort evaluation. Energy and Buildings 40 (2008) 1666–1681.

Tabatabai, S.M., (2016). Building Facility Calculations (Book, 19th Edition), Tehran, Roozbehan Publications, Page 12. [In Persian]

Tagi, N., Montazer Motamedi, S., (2006). Use of double-skin facade and HVAC system in high-rise buildings. Fifth Conference on Fuel Consumption Optimization in Buildings (April 25 and 26, 2006) [In Persian]

www.msn.com/en-us/weather/records