



ارزیابی بهره‌گیری از نمای دو پوسته به منظور کاهش مصرف انرژی در اقلیم سرد و خشک (نمونه موردی ساختمان تجاری در شهر کرج)

علی خالقی بابائی^۱، اردلان افلاکی^{۲*}، معصومه میرصفا^۳

۱- کارشناسی ارشد، معماری، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- استادیار، معماری، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۳- محقق پسادکتر، دانشگاه دانمارک جنوبی، کپنهاگ، دانمارک

* رشت، ۴۱۹۹۶۱۳۷۷۶، ar.aflaki@guilan.ac.ir

چکیده

مصرف زیاد انرژی در ساختمان‌های تجاری به دلیل استفاده عموم در ساعات مختلف، تبعات جبران‌ناپذیری از جمله آسیب به محیط‌زیست را به دنبال دارد. نما به عنوان یک جز مؤثر ساختمان در کنترل تابش، نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی دارد. متأسفانه در سال‌های اخیر توجه به بعد زیبایی‌شناختی بنا باعث شده که نقش نما و استفاده از راهکارهای به‌روز در زمینه تکنولوژی ساختمان به‌عنوان کاهنده مؤثر انرژی کمتر مورد بررسی قرار گیرد. مطالعه حاضر با استفاده از نمای دو پوسته به جای نمای تک پوسته و یا ترکیب تک پوسته و دو پوسته در ساختمان تجاری در کرج، به نقش استفاده از نمای دو پوسته و ترکیبی در کاهش هدرفت سرما و گرما از طریق دیوارها می‌پردازد. این پژوهش از لحاظ هدف از نوع توسعه‌ای-کاربردی می‌باشد و از روش تحقیق شبیه‌سازی برای سنجش میزان اثرگذاری راهکارها در اقلیم سرد و خشک بهره می‌برد. همچنین از ابزار مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی برای انجام پیشینه تحقیق استفاده شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که گاز و برق مصرفی در سردترین و گرم‌ترین ماه سال در نمای ترکیبی تک پوسته-دو پوسته نسبت به تک پوسته به ترتیب به میزان تقریبی ۲۰٪ و ۱۵٪ کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، با توجه به کاهش نامحسوس انرژی در مقایسه نماهای دو پوسته و ترکیبی، جهت کاهش هزینه‌های ساخت و اجرا در ساختمان، نمای ترکیبی در اقلیم سرد و خشک، توجیه‌پذیری بهتری دارد.

کلیدواژه‌گان: نمای دو پوسته، کاهش مصرف انرژی، تکنولوژی ساختمان، مطالعات پارامتریک، شبیه‌سازی انرژی

Evaluation of double skin façade application to reduce energy consumption in cold and dry climate (Case study: A commercial building in Karaj City)

Ali Khaleghi Babaei, Ardalan Aflaki, Masomeh Mirsafa

1-Master Student, School of Architecture and Art, University of Guilan, Rasht, Iran

2-Assistant Professor, School of Architecture and Art, University of Guilan, Rasht, Iran

3-Postdoctoral Researcher, Faculty of Engineering, University of Southern Denmark, Copenhagen, Denmark

*P.O.B 4199613776, Rasht, Iran, ar.aflaki@guilan.ac.ir

Received: ۰۶ June 2024 Accepted: 26 October 2024

Abstract

High consumption of energy in commercial buildings due to public use at different hours leads to irreparable consequences, including damage to the environment. As an effective building component in radiation control, facade plays an important role in reducing energy consumption. Unfortunately, in recent years, attention to the aesthetic dimension of the building has caused the role of the facade and the use of up-to-date techniques in the field of building technology to be less investigated as an effective energy reducer. The current study, by using a double-shell facade instead of a single-shell facade or a combination of single-shell and two-shell facades in a commercial building in Karaj, investigates the role of using double-skin facades and combined facades in reducing heat and cold loss through walls. The study conducts library and documentary studies to conduct research background, and establishes simulation method using Design Builder software to measure the effectiveness of the mentioned technique in cold and dry climate. The results of the study show that the consumption of gas and electricity in the coldest and hottest months of the year in the combined facade compared to single skin facade is reduced by approximately 20% and 15%, respectively. On the other hand, due to the insignificant reduction of energy in the comparison of two-layer and combined facades, in order to reduce the costs of construction and execution in the building, the combined facade has a better justification in cold and dry climates.



Keywords: Double-Skin Façade, Energy Consumption Reduction, Building Technology, Parametric studies, Energy Simulation**۱- مقدمه**

دیگر نمای دوپوسته نمایی است که یک یا چندطبقه از ساختمان را با پوسته-های چندگانه پوشش می‌دهد. این لایه‌ها می‌تواند نسبت به هوا عایق باشند یا نباشند. در این نوع نماها فضای خالی بین پوسته‌ها می‌تواند طبیعی و یا مکانیکی تهویه شود [۱۱]. علاوه بر این نمای دوپوسته از لایه‌های مختلف تشکیل شده که در اغلب موارد یک‌لایه آن شفاف بوده و دارای لایه داخلی و خارجی می‌باشد [۱۲]. این نماها دارای حداقل دو غشاء هستند و حداقل دو غشاء مسیری برای حرکت و تهویه هوا در نظر گرفته می‌شود که این تهویه می‌تواند از نوع طبیعی یا مکانیکی باشد [۱۳]. نماهای دوپوسته نمونه خوبی از نماهای ترکیبی می‌باشند که دارای ارزش معماری بوده و تأثیر زیادی در کاهش مصرف انرژی دارند [۱۴].

۲-۱- انواع نمای دوپوسته بر اساس نوع حفره بین دولایه نما

جدول ۲ دسته‌بندی انواع نماهای دوپوسته را نمایش می‌دهد. براساس مطالعات انجام شده، این نوع از نماها به چهار دسته تقسیم می‌شوند.

- نمای چندطبقه: در این روش ستون‌های عمودی یا افقی بین لایه‌ها وجود ندارد. در تهویه حفره جریان هوا از طریق سوراخ‌های نزدیک زمین و پشت‌بام ساختمان انجام می‌گیرد [۱۵].
- نمای کریدوری (دالانی): در این سیستم بازشوهای ورودی و خروجی نزدیک به کف و سقف قرار می‌گیرند و معمولاً به‌صورت تناوبی عمل می‌کنند، از ورود هوای خروجی از طبقه پایین‌تر به ورودی طبقه بالاتر جلوگیری می‌کند. انجام تهویه در این سیستم به‌خوبی انجام می‌شود [۱۶].
- نمای پنجره‌ای جعبه‌ای: قدیمی‌ترین نوع نمای دولایه هستند. دارای یک بازشو به سمت داخل است. پوسته خارجی دارای دریچه‌هایی هستند که امکان ورود هوای تازه و خروج هوای مصرف شده را فراهم می‌کند [۱۷].
- نمای نیزه‌ای (محافظ عمودی): فضای حائل با تقسیمات عمودی به فاصله یک یا چنددهانه تفکیک می‌شود. این سیستم هرچند تهویه طبیعی را به دلیل بهبود اثر دودکشی بهتر انجام می‌دهد اما از نظر حفاظت در برابر آتش‌سوزی و صدا مناسب نیست و باعث تداخل هوای تازه با هوای آلوده می‌شود [۱۸].

۲-۲- دسته‌بندی نمای دوپوسته بر اساس نوع پوسته

نمای دوپوسته بر اساس نوع پوسته به انواع حائل یا سپر، استخراج‌کننده هوا، نمای دوجانبه و نمای ترکیبی تقسیم می‌شود که در جدول ۲ به این موارد نحوه عملکرد آنها اشاره شده است.

جدول ۱ دسته‌بندی نمای دوپوسته بر اساس نوع حفره، [۲۰۲۰، ۴]

ردیف	نوع	تصویر	جزئیات (پلان، نما)

مصرف سرانه انرژی در ایران از متوسط مصرف سرانه در جهان حدود ۶۰ درصد بیشتر است، همچنین مصرف سرانه انرژی در کشورهای درحال توسعه همچون ترکیه، هند و چین از ایران بسیار پایین‌تر است [۱]. در ایران حداکثر مصرف انرژی در بخش‌های حمل‌ونقل و سکونت صورت می‌پذیرد به‌طوری‌که ساختمان‌ها مسئول حدوداً ۴۰ درصد مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند [۲]. در بین ساختمان‌ها، ساختمان‌های عمومی مانند تجاری، اداری بخش عمده‌ای از مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهند [۳]. مصرف زیاد انرژی معضلاتی از جمله تخریب محیط‌زیست، گرم شدن زمین و اتمام منابع انرژی را به دنبال دارد [۴]. با توجه به نوآوری‌هایی که در صنعت ساختمان در دهه‌های اخیر اتفاق افتاده است، می‌توان با بهره‌گیری از مصالح سازگار و عملکرد مناسب، میزان مصرف انرژی را در ساختمان‌ها کاهش داد. در این روند نمای ساختمان به‌عنوان حداقل درون و بیرون، نقش بسزایی در کاهش مصرف انرژی و همچنین بیشترین نقش را در استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر دارد [۵].

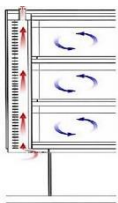
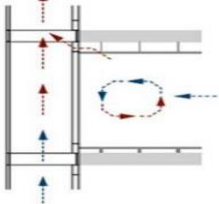
نمای ساختمان به‌عنوان جداره اصلی و ظاهری ساختمان در حکم پوشش نهایی بنا محسوب می‌شود [۶]. ازجمله انتظاراتی که در همه نوع نما مشترک است، علاوه بر زیبایی ظاهری ساختمان و هماهنگی با نمای عمومی شهر جلوگیری از نفوذ گرمای تابستان و سرمای زمستان است. نمای ساختمان‌های تجاری به دلیل قرارگیری در مقابل نور آفتاب و وزش باد توانایی زیادی در افزایش و کاهش مصرف انرژی دارد و می‌توان با طراحی درست نما در این ساختمان‌ها مصرف انرژی را کاهش داد. بحث نماهای هوشمند، یکی از راهکارهایی است که در زمینه پایداری بنا و کاهش مصرف انرژی مطرح می‌گردد و نقش بسزایی در حرکت به سمت پایداری و جنبه‌های مختلف آن دارد [۷]. هوشمندسازی ساختمان‌ها و تبدیل آن‌ها به ساختمان‌های پاسخگو از طریق استفاده از نماهای دوپوسته و مصالح هوشمند از راهکارهای جدید برای حفظ منابع و کاهش مصرف می‌باشد [۸]. هدف از این پژوهش بهره‌گیری از نمای دوپوسته در یک ساختمان تجاری در شهر کرج به‌طور ترکیب با نمای تک‌پوسته یا کاملاً دوپوسته به‌منظور ارزیابی تأثیر این راهکار غیرفعال در کاهش مصرف انرژی سالانه ساختمان در نظر گرفته شده است.

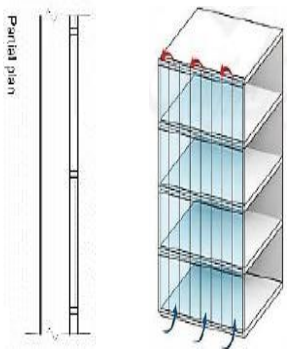
۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق**۲-۱- مفهوم نمای ساختمان**

نمای ساختمان به‌عنوان جداره اصلی و ظاهری ساختمان و در حکم پوشش نهایی یک بنا محسوب می‌شود. این جداره دربردارنده عناصر مکمل دیگری است که همگی آن‌ها در شکل دادن و پیکره‌بندی آن نقش به‌سزایی را ایفا می‌کنند [۹]. به‌بیان‌دیگر نما مرز درون و بیرون بناست و به‌عنوان عنصری سه‌بعدی، محل تلاقی ویژگی‌ها و جنبه‌های خصوصی، معماری بنا و جنبه‌های عمومی و شهری است [۱۰].

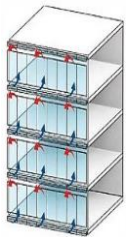
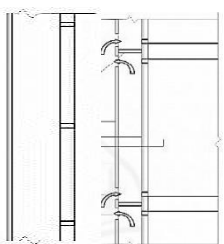
۲-۲- نمای دوپوسته

نمای دوپوسته، نمای مضاعف، پوشش مضاعف، نمای شیشه‌ای دوجداره، نمای دیوار، نمای تهویه همگی از نام‌های دیگر این نوع نما می‌باشند [۱۰]. به تعبیری

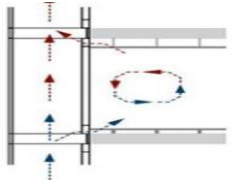
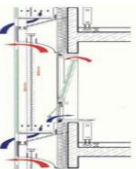
فضای داخلی بسته است و به‌عنوان عایق عمل می‌کند. فضای بیرونی از دولایه شیشه بافاصله ۲۵۰ تا ۷۵۰ تشکیل شده است.		۱ نمای حائل یا سپر
فضای داخلی دارای سیستم تهویه مکانیکی است و از یک‌لایه شیشه و یک پوسته لعابی روی شیشه ساخته شده است.		۲ نمای استخراج‌کننده هوا

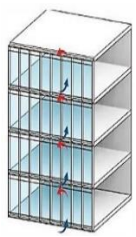
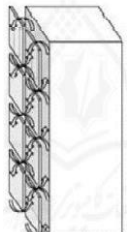
نمای چندطبقه		۱
--------------	--	---

ادامه جدول ۱ دسته‌بندی نمای دوپوسته بر اساس نوع حفره، [۲۲،۲۰،۴]

ردیف	نوع	تصویر	جزئیات (پلان، نما)
۲	نمای کریدوری		

ادامه جدول ۲ دسته‌بندی نمای دوپوسته بر اساس نوع پوسته، [۲۲،۲۰،۴]

ردیف	نوع پوسته	جزئیات (پلان، نما)
۳	نمای دوجانبه	
۴	نمای ترکیبی	

نمای پنجره جعبه‌ای		۳
نمای نیزه‌ای		۴

جدول ۲ دسته‌بندی نمای دوپوسته بر اساس نوع پوسته، [۲۲،۲۰،۴]

ردیف	نوع پوسته	جزئیات (پلان، نما)
------	-----------	--------------------

۲-۳- نقش نمای دوپوسته در کاهش مصرف انرژی

بهره‌گیری از نمای دوپوسته در ساختمان به‌عنوان یک راهکار مؤثر غیرفعال در کاهش مصرف انرژی مطرح شده است. همچنین عوامل متعدد دیگری از جمله عایق‌کاری حرارتی دیوارهای داخلی و خارجی ساختمان با توجه به اقلیم، نصب فوم عایق روی طبقات، نصب پنجره‌های دوجداره به‌جای پنجره‌های معمولی، استفاده از درب‌های ورودی دومرحله‌ای در مکان‌های پرتردد مانند مراکز تجاری مؤثرند [۲۱-۱۳]. قنبران و حسین پور در تحقیقی در سال ۱۳۹۲ به بررسی نقش استفاده از سیستم‌های غیرفعال در کاهش مصرف انرژی پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد با استفاده از نمای دوپوسته می‌توان ۱۶ تا ۲۰ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد. در تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد، قسمت

قسمت‌هایی که پوشش نهایی آن از نوع دیوار پرده‌ای است از نوع استخراج-کننده هوا می‌باشد. دلیل انتخاب این نوع نما، امکان بهره‌مندی از تهویه طبیعی و مکانیکی و همچنین استفاده از لایه عایق هوا بین پوسته‌ها برای عایق حرارتی بوده است. در قسمت‌هایی که نمای دوپوسته با پوشش نهایی سرامیک خشک استفاده شده است، نوع نمای دوپوسته از نوع حائل می‌باشد تا بتوان از لایه عایق هوا محبوس شده به‌عنوان عایق استفاده کرد. در دو حالت نمای دوپوسته با پوشش نهایی یعنی دیوار پرده‌ای و سرامیک خشک، نوع نمای دوپوسته از لحاظ نوع هندسه حفره از نوع چندطبقه می‌باشد زیرا اجرای این نما نسبت به سایر انواع آن هزینه کمتری دارد.

۳-۳- داده‌های اولیه در محیط شبیه‌سازی

بر اساس هدف مطالعه، سه مدل در نرم‌افزار جهت انجام شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است که این سه حالت عبارت‌اند از: ساختمان تجاری با نمای تک-پوسته با لایه خارجی از جنس سرامیک (مدل ۱)، ساختمان تجاری با ترکیب نمای تک‌پوسته و دوپوسته با لایه خارجی از جنس سرامیک و دیوار پرده‌ای (مدل ۲)، ساختمان تجاری با نمای کاملاً دوپوسته با لایه خارجی از جنس سرامیک (مدل ۳). به‌منظور کاهش مصرف انرژی در ساختمان با توجه به پیشینه ارائه‌شده، از لایه‌های مختلف در دیوار خارجی ساختمان استفاده شده است. به‌این ترتیب، بیرونی‌ترین لایه دیوار سرامیک خشک به ضخامت ۰/۱۲- متر در نظر گرفته‌شده و پس از سرامیک، یک‌لایه عایق پلی‌استایرن به ضخامت ۰/۰۵ متر و پس از آن سازه اصلی دیوار بلوک بتنی به ضخامت ۰/۲ متر در نظر گرفته شده است. در نهایت در قسمت پوشش داخلی یک‌لایه گچ به‌عنوان نازک‌کاری به ضخامت ۰/۰۱ متر اجرا شده است. برای پنجره‌های ساختمان شیشه‌های دوجداره به ضخامت ۱۳ میلی‌متر لایه هوا در نظر گرفته شده است. به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی در فصول سرد سال، مدت معین در طول یک روز برای باز بودن بازشوها در نظر گرفته شده است که این مدت در فصل زمستان مجموعاً یک ساعت در روز می‌باشد و در فصل تابستان و پاییز به‌منظور بهره‌مندی از تهویه طبیعی بازشوهای ساختمان به مدت شش ساعت در طول یک روز باز در نظر گرفته شده‌اند.

به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بهره‌مندی از تهویه طبیعی، در دیوار پرده‌ای، بازشو در نظر گرفته شده که این بازشوها در قسمت پایینی و بالای سقف قرار داده شده است. در فصل تابستان با باز کردن بازشوها امکان تهویه و ورود هوای تازه به داخل از طریق بازشوها فراهم می‌شود و در فصل زمستان، از گرمای حبس‌شده ناشی از تابش خورشید بین دوپوسته نما می‌توان استفاده کرد و گرما را از طریق بازشوها به داخل انتقال داد. مطابق با مطالعات و اهداف در راستای صرفه‌جویی مصرف انرژی که در طول مطالعات اشاره شد، بهره‌مندی از تهویه مکانیکی مطابق با زمان‌بندی ساعتی در فصول گرم و سرد در نظر گرفته شده است به این صورت که سیستم گرمایش در طول تابستان خاموش و در طول زمستان در یک روز به مدت شش ساعت فعال است. بهره‌مندی از سیستم سرمایش در طول فصل زمستان خاموش و در طول فصل تابستان با توجه به سیستم نمای دوپوسته و بازشوهای تعبیه شده به مدت پنج ساعت در طول یک روز فعال است تا با بهره‌مندی از تهویه طبیعی با توجه به اقلیم منطقه در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنیم.

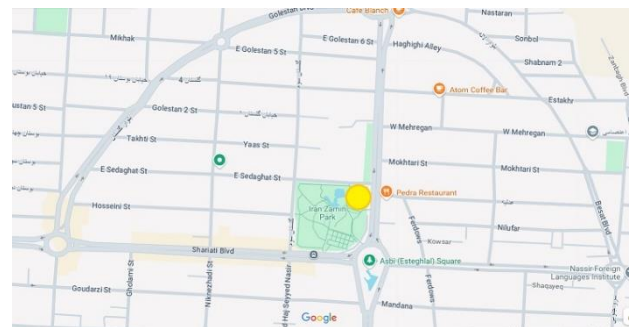
اعظم حرارت، حدود ۳۷ تا ۴۵ درصد از طریق انتقال از دیوار از بین می‌رود. درحالی‌که هزینه دیوارهای دارای عایق حرارتی حدود ۳ تا ۶ درصد بیشتر بوده است و قابلیت ذخیره انرژی آن‌ها ۲۷ تا ۴۷ درصد بیشتر از دیوارهای معمولی است [۲۲]. مطالعات آهریز و همکاران در سال ۲۰۲۲ نشان می‌دهد استفاده از نمای دوپوسته در اقلیم مدیترانه‌ای باعث صرفه‌جویی ۲۸ درصدی در مصرف انرژی گرمایی و کاهش ۵۳ درصدی استفاده از وسایل سرمایشی در فصول گرم سال می‌شود [۲۳]. مطالعات دیگری در سال ۲۰۱۴ نشان از کاهش ۹ تا ۱۴ درصدی مصرف انرژی در شهر اربیل عراق با استفاده از نمای دوپوسته به‌جای نمای تک‌پوسته می‌دهد [۲۴].

۳- روش تحقیق

این پژوهش از نظر هدف کاربردی بوده و از مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی برای جمع‌آوری اطلاعات در ارتباط با نمای دوپوسته و مصرف انرژی در ساختمان‌ها و از ابزار شبیه‌سازی برای سنجش میزان اثرگذاری نمای دوپوسته در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های تجاری بهره می‌گیرد. بدین ترتیب در بخش اول با رجوع به منابع کتابخانه‌ای به جمع‌آوری اطلاعات در مورد مفاهیم پایه تحقیق از جمله ساختمان‌های تجاری، نماهای دوپوسته، نقش این گونه نماها در کاهش مصرف انرژی پرداخته شده است. پس از شناسایی مؤلفه‌های مؤثر در طراحی نمای دوپوسته، با استفاده از ابزار مقایسه و به کمک نرم‌افزار دیزاین بیلدر میزان مصرف انرژی ساختمان تجاری درحالات برخورداری از نمای دوپوسته، تک‌پوسته، ترکیبی از نمای تک‌پوسته و دوپوسته مورد بررسی قرار می‌گیرد تا میزان کارایی انواع نماها در کاهش مصرف انرژی ارزیابی شود. از نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای شبیه‌سازی ساختمان از جنبه‌های مختلف همانند مصالح، سیستم‌های گرمایش و سرمایش، معماری ساختمان، نورپردازی و غیره استفاده می‌شود.

۳-۱- سایت و محدوده قرارگیری ساختمان

شکل ۱ محدوده سایت موردنظر واقع در استان البرز، شهر کرج و در منطقه عظیمیه را نشان می‌دهد. این ناحیه با توجه به وجود ساختمان‌های مسکونی، خدماتی، تجاری، درمانی و... نمونه خوبی از پهنه شهری مختلط را ارائه می‌کند.

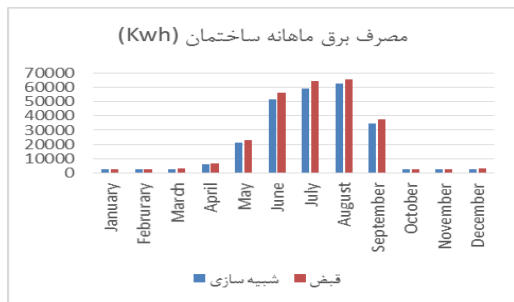


شکل ۱ محدوده طراحی در منطقه عظیمیه کرج

۳-۲- مدل‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر

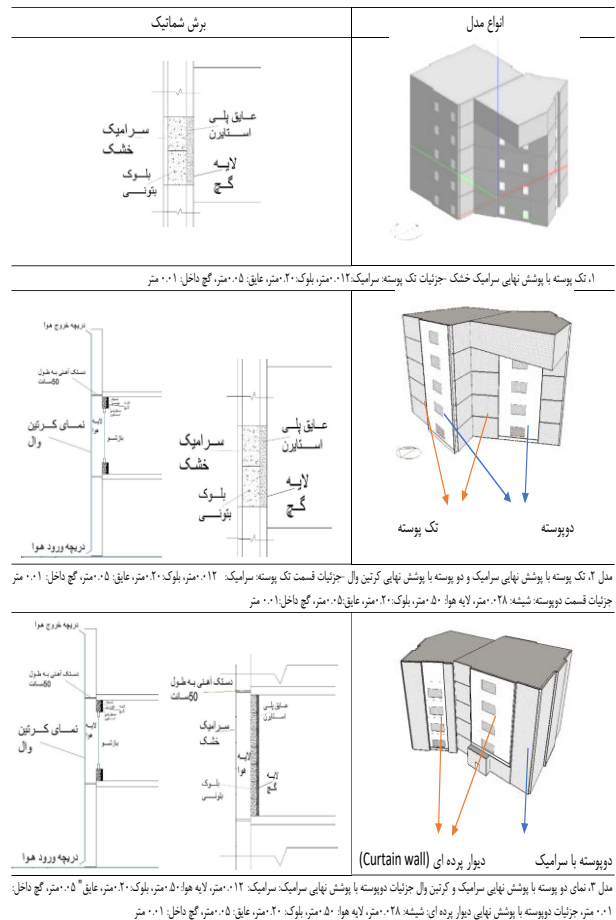
در این مطالعه یک ساختمان با کاربری تجاری در پنج طبقه در نظر گرفته شده است و متناسب با آن به طراحی مدل در نرم‌افزار دیزاین بیلدر پرداخته شده است. شکل ۲ مدل‌های ایجادشده در نرم‌افزار به‌منظور شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. نمای دوپوسته مورد استفاده در این مطالعه از لحاظ نوع پوسته در

در فصل زمستان $3/6^{\circ}$ - سلسیوس در نظر گرفته شده است این درحالیست که دمای متوسط داخلی در حدود 18° سلسیوس در نظر گرفته شده است. شکل ۴ نمودار خروج گرمای داخل ساختمان از سطوح در فصل زمستان در حالت نمای تک‌پوسته، نمای ترکیبی تک‌پوسته-دوپوسته و نمای کاملاً دوپوسته را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، اتلاف حرارتی از دیوارهایی با نمای تک‌پوسته در فصل زمستان، $32/39$ کیلووات بوده است. بر اساس نتایج، اتلاف حرارت از طریق بام معادل $165/88$ کیلووات برآورد شده است. در حالت ترکیبی نمای تک‌پوسته-دوپوسته، میزان اتلاف حرارت ساختمان در فصل زمستان در مقایسه با حالت تک‌پوسته تغییرات محسوسی نداشته به طوری که اتلاف حرارت از طریق دیوارها $32/60$ کیلووات بوده است. در این صورت می‌توان نتیجه گرفت که اعمال نمای دوپوسته به‌طور ترکیب با تک‌پوسته نمی‌تواند راه‌حل مناسبی برای کاهش چشم‌گیر مصرف انرژی ساختمان باشد. در حالت اجرای نمای دوپوسته به‌تنهایی برای کل نمای ساختمان، میزان خروج گرمای داخلی ساختمان از جدارها به 29.87 کیلووات کاهش یافته است. این درحالیست که خروج گرما از سقف در ساختمان با نمای کاملاً دوپوسته افزایش داشته است. به طوری که گرمای خارج شده از سقف به $171/89$ کیلووات افزایش یافته است. به‌طور کلی اجرای نمای دوپوسته می‌تواند منجر به کاهش اتلاف حرارت از دیوارهای ساختمان گردد و به‌منظور خروج گرما از سقف باید تمهیداتی اضافه‌تر برای این نوع ساختمان‌ها اندیشیده شود.



شکل ۳ اعتبارسنجی نتایج حاصل از شبیه‌سازی در نرم‌افزار

۳-۴- نتایج هدررفت سرما در ساختمان از طریق سطوح در سه حالت شبیه‌سازی در ادامه شبیه‌سازی ساختمان، هدررفت سرما در فصل تابستان برای سه حالت تک‌پوسته، ترکیبی تک‌پوسته-دوپوسته و دوپوسته مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل ۵ جذب و هدررفت هوای سرد از داخل ساختمان به محیط خارج از سطوح در حالت نمای تک‌پوسته را نمایش می‌دهد. با توجه به شکل، هدررفت سرمای محیط داخل از دیوارها در گرم‌ترین روز سال در ساعت ۱۲ ظهر معادل $46/76$ کیلووات می‌باشد که بیشترین میزان اتلاف سرمایش از دیوار را در این ساعت شاهد هستیم. میزان هدررفت سرما از کل سطوح شامل سقف‌ها، دیوارها، درها و پنجره‌ها به $366/88$ کیلووات و به بالاترین مقدار در ساعت ۱۴ رسیده است. در حالت دوم شبیه‌سازی که ترکیبی از نمای تک‌پوسته و دوپوسته در پوسته خارجی مدل اعمال شده بود، میزان هدررفت سرما از داخل ساختمان به محیط بیرون مطابق شکل ۶ در گرم‌ترین روز سال و در ساعت ۱۲ ظهر به عدد $38/17$ کیلووات بر ساعت رسیده است که نسبت به حالت تک-پوسته هدررفت سرما حدوداً 10 کیلووات بر ساعت کاهش یافته است. مطابق شکل ۷، در حالت سوم شبیه‌سازی، میزان اتلاف سرمای داخل ساختمان به



شکل ۲ مدل‌های ساخته شده در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر جهت شبیه‌سازی

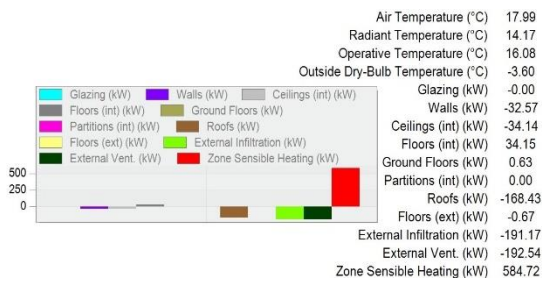
۴- نتایج شبیه‌سازی

۴-۱- اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی

با بررسی سوابق برق مصرفی به تفکیک ماه در ساختمان نمونه، مقادیر واقعی مصرف انرژی ارائه شده است. در کنار این داده‌ها، میزان مصرف انرژی ساختمان در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر شبیه‌سازی شده است تا با مقایسه با مقادیر ارائه شده در قبض ساختمان، میزان خطای احتمالی شبیه‌سازی معین گردد. با توجه به شکل ۳، به علت تأثیر بعضی از پارامترهای نامشخص، مقادیر حاصل از شبیه‌سازی در ماه‌های مختلف با مقادیر واقعی اختلاف دارد اما روند مصرف انرژی شبیه‌سازی شده در طول سال مشابه با مقادیر واقعی بوده است. مقدار واقعی کل مصرف برق در طول یک سال برابر با 269210 کیلووات-ساعت بوده است درحالی‌که میزان مصرف برق در شبیه‌سازی برای ساختمان برابر با 249800 کیلووات-ساعت محاسبه شده است که درکل دارای اختلاف $7/2\%$ بوده است.

۴-۲- نتایج اتلاف گرمایی ساختمان از طریق سطوح در سه حالت شبیه‌سازی پس از مدل‌سازی و ارائه داده‌های اولیه در نرم‌افزار، نتایج مربوط به اتلاف گرما و مصرف گاز و برق ساختمان در حالات مختلف شبیه‌سازی معین گردید. بر اساس داده‌های اولیه هواشناسی ذخیره‌شده در نرم‌افزار، دمای متوسط بیرون

خارج از طریق جداره‌ها در گرم‌ترین روز سال در ساعت ۱۲/۴۶ کیلووات بر ساعت رسیده است که حدوداً ۱۲ کیلووات ساعت کاهش نسبت به نمای ترکیبی را نشان می‌دهد.

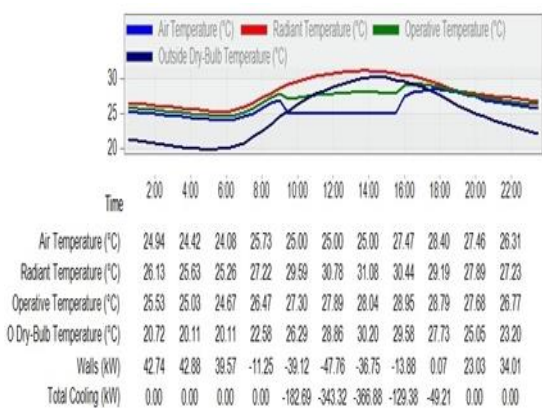


در مقایسه با دو مدل قبلی، میزان هدررفت سرما از سطح طبقات، سقف-های داخلی و طبقه همکف کاهش قابل‌ملاحظه‌ای داشته است. علاوه بر این مقایسه سه حالت نشان می‌دهد که میزان هدررفت کلی سرما از همه جداره‌ها در حالت تک‌پوسته در بیشترین میزان قرار داشته است؛ اما این نکته حائز اهمیت است که با تغییر از حالت ترکیبی به دوپوسته کامل، اختلاف چشمگیری در کاهش هدررفت سرما رخ نداده است و حتی در ساعات بین ۱۲ تا ۱۴ میزان هدررفت در نمای دوپوسته بیشتر از نمای ترکیبی تک‌پوسته-دوپوسته بوده است. با توجه به تابش عمودی در این ساعات، نمای دوپوسته در حالت دودکشی قرار گرفته است و میزان گرمای بیشتری جذب می‌کند که این موضوع باعث اتلاف سرما به‌طور عمودی از طریق حفره بین دوجداره شده است.

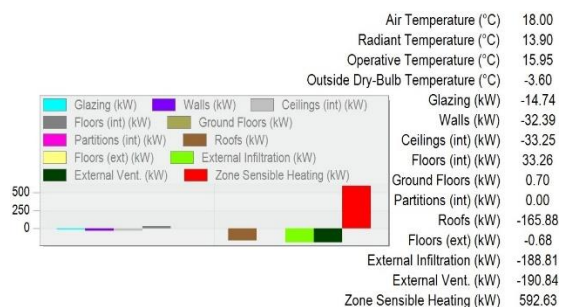
۴-۴- قبض مصرف سوخت ساختمان در سه حالت شبیه‌سازی

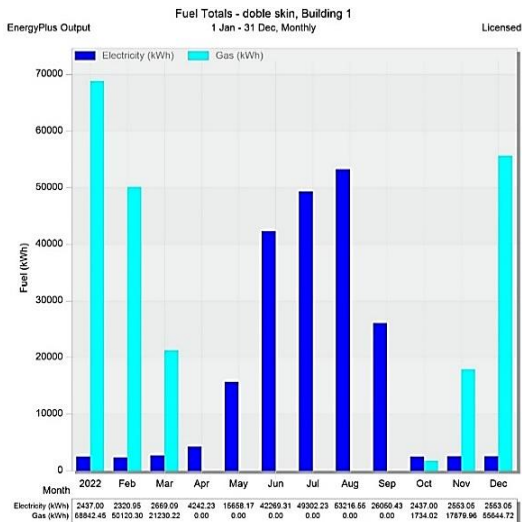
هم‌زمان با بررسی اتلاف حرارت و هدررفت سرما در سه مدل شبیه‌سازی شده، میزان مصرف گاز و برق به ترتیب برای ماه‌های سرد و تابستان محاسبه و مقایسه قرار گرفته است. با توجه به شکل ۸ در حالت نمای تک‌پوسته بیش‌ترین میزان مصرف گاز جهت تأمین سیستم سرمایشی در ماه دی و بهمن (ژانویه) می‌باشد که با توجه به اقلیم نیمه کوهستانی استان البرز عددی معادل ۸۹۰۰۰ کیلووات بر ساعت معادل (۸۴۷۶) مترمکعب بوده است. از طرفی بیش‌ترین میزان مصرف برق جهت تأمین سیستم سرمایشی ساختمان در ماه‌های تیر و مرداد (آگوست) عددی معادل ۶۲۸۸۲ کیلووات بر ساعت بوده است. در حالت دوم شبیه‌سازی مطابق شکل ۹، بیش‌ترین میزان مصرف گاز در سردترین ماه سال عدد ۷۱۹۸۷ کیلووات بر ساعت (۶۹۲۱) مترمکعب باشد و در تابستان با مقایسه گرم‌ترین ماه سال به عدد ۵۳۷۴۸ کیلووات بر ساعت در مقایسه نتایج، گاز مصرفی در سردترین ماه سال در نمای ترکیبی تک‌پوسته-دوپوسته به میزان تقریبی ۲۰٪ کاهش را نشان می‌دهد. همچنین برق مصرفی در تیر و مردادماه (آگوست) در حالت ترکیبی تقریباً ۱۵٪ کاهش در مقایسه با نمای تک‌پوسته را نشان می‌دهد. در حالت سوم شبیه‌سازی مطابق شکل ۱۰، قبض کلی ساختمان در مقایسه با دو حالت قبل کاهش داشت. در این مقایسه صرفه‌جویی در مصرف انرژی را شاهد هستیم. با توجه به تغییرات مصرف گاز در دی و بهمن‌ماه تنها ۳۱۴۵/۴۹ کیلووات بر ساعت کاهش داشته است. همچنین در ماه‌های تیر و مرداد، مصرف برق ۵۲۹/۶۸ کیلووات بر ساعت کاهش داشته است. لذا جهت کاهش هزینه‌های ساخت و اجرا در ساختمان، نمای ترکیبی تک‌پوسته-دوپوسته در مقایسه با نمای کاملاً دوپوسته با توجه به میزان اختلاف کم در کاهش مصرف انرژی، توجیه‌پذیری بهتری دارد.

شکل ۴ نمودار خروج گرمای داخل به خارج ساختمان از طریق سطوح (الف) تک‌پوسته، (ب) ترکیب تک‌پوسته با دوپوسته، (ج) دوپوسته



شکل ۵ اتلاف هوای سرد ساختمان در فصل تابستان از طریق سطوح در حالت نمای تک‌پوسته





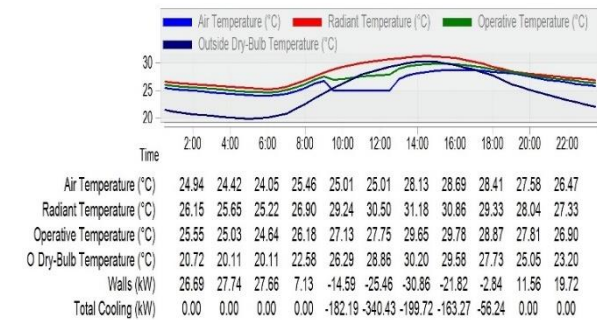
شکل ۱۰ مصرف سوخت ساختمان در حالت نمای دوپوسته

۵- بحث و پیشنهادها

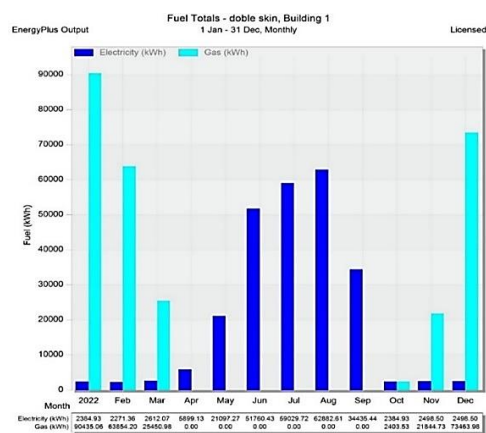
در این پژوهش با در نظر گرفتن شرایطی یکسان همچون دمای سرمایش و گرمایش یکسان در فصول مختلف برای فضاهای داخلی، باز شدن بازشوها با توجه به برنامه زمان‌بندی، فعالیت سیستم گرمایش و سرمایش ساختمان در فصول و ساعات مشخص، ساختمان موردنظر مدل شده است. در نتیجه خروجی‌ها در سه حالت شبیه‌سازی تنها با تغییر در نوع نما بکار گرفته شده به دست آمده است. با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۳، بیش‌ترین میزان خروج گرما از دیوارها مربوط به حالت نمای تک‌پوسته می‌باشد و کم‌ترین میزان خروج گرما مربوط به نمای دوپوسته می‌باشد. در نمای دوپوسته و ترکیب نمای دوپوسته و تک‌پوسته چون سطح بام بیش‌تری داریم در نتیجه اتلاف حرارتی بیش‌تری را نسبت به نمای تک‌پوسته شاهد هستیم. از طرف دیگر، بیش‌ترین میزان خروج سرمای داخل در گرم‌ترین روز تابستان به بیرون مربوط به نمای تک‌پوسته می‌باشد. کم‌ترین میزان هدررفت سرما مربوط به نمای دوپوسته می‌باشد. در قسمت سقف و کف طبقات تغییر چندان در شبیه‌سازی مشاهده نشده اما در دو حالت نمای ترکیبی دوپوسته و تک‌پوسته و دوپوسته کامل با توجه به افزایش سطح بام، میزان هدررفت سرما بیش‌تر از حالت تک‌پوسته است.

جدول ۴ میزان مصرف گاز و برق به ترتیب برای ماه‌های سرد و گرم در سه حالت شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، بیش‌ترین میزان مصرف گاز ساختمان در حالت نمای تک‌پوسته به میزان (۸۵۵۷ مترمکعب) بوده است و کمترین میزان مصرف مربوط به نمای دوپوسته (۶۶۱۹ مترمکعب) محاسبه شده است. در مقایسه با دو حالت دوپوسته و ترکیبی تک‌پوسته-دوپوسته تأثیر چندان مشاهده نمی‌شود اما در مقایسه با نمای تک‌پوسته کاهش ۲۳ درصدی مشاهده شده است. از طرف دیگر، بیش‌ترین میزان مصرف برق مربوط به نمای تک‌پوسته و کمترین میزان مربوط به نمای دوپوسته می‌باشد. میزان مصرف نمای دوپوسته در مقایسه با نمای تک‌پوسته ۲۰ درصد کاهش داشته است. لذا مصرف انرژی ارتباط مستقیم برقرار است بطوریکه با استفاده از نمای دوپوسته می‌توان به میزان ۲۵٪ در مصرف گاز و ۲۲٪ در مصرف برق صرفه‌جویی کرد.

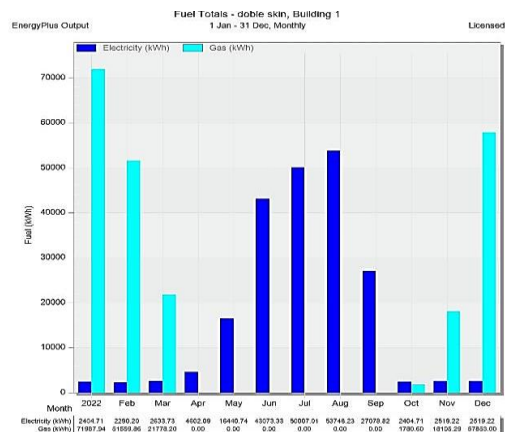
شکل ۶ اتلاف سرما در ساختمان در فصل تابستان از طریق سطوح در حالت نمای ترکیبی تک‌پوسته- دوپوسته



شکل ۷ اتلاف سرما در ساختمان در فصل تابستان از طریق سطوح در حالت نمای دوپوسته



شکل ۸ مصرف سوخت ساختمان در حالت نمای تک‌پوسته



شکل ۹ مصرف سوخت ساختمان در حالت نمای تک‌پوسته و دوپوسته

مصرف انرژی می‌شود و این در حالی است که در شهر کرج میزان صرفه‌جویی مطابق با نتایج شبیه‌سازی بسیار بیش‌تر از شهر رشت بوده است. این مقایسه نشان می‌دهد که استفاده از نمای دوپوسته در اقلیم معتدل و مرطوب کارایی مؤثر مانند استفاده از آن در اقلیم سرد و خشک را ندارد.

با توجه به اقلیم سرد و کوهستانی شهر کرج، استفاده از نمای دوپوسته دوجانبه که لایه داخلی آن دیوار با بازشو و لایه خارجی آن سرامیک خشک به همراه دیوار پرده‌ای مشابه آنچه که در این مطالعه استفاده شد، توصیه می‌شود. در نتیجه با قرارگیری لایه هوا محبوس شده بین دوپوسته در زمستان از این لایه به‌عنوان عایق حرارتی و در تابستان به‌منظور تهویه می‌توان استفاده کرد. همچنین توصیه می‌شود به‌منظور بهره‌مندی از تهویه طبیعی در فصول مختلف سال، از شیوه تأمین هوا مطابق با دسته‌بندی‌های ارائه‌شده استفاده کرد و هوای محیط خارج را در صورت نیاز وارد محیطی داخلی کرد و در صورت عدم نیاز دریچه‌ها را بسته نگه داشت و هوا را در بین دولایه محبوس کرد. با توجه به مطالعات صورت‌گرفته در اقلیم مشابه، استفاده از شیشه دوجداره در هریک از پوسته‌ها مطابق با طراحی مدنظر توصیه می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر با بهره‌گیری از نمای دوپوسته به‌جای نمای تک‌پوسته و یا ترکیب تک‌پوسته-دوپوسته در یک ساختمان تجاری طراحی‌شده در شهر کرج، به ارزیابی میزان کاهش مصرف انرژی سالیانه پرداخته شده است. نتایج هدررفت گرما برای سه حالت شبیه‌سازی در فصل زمستان نشان می‌دهد که با استفاده از نمای دوپوسته برای کل سطوح می‌توان هدررفت گرما را تا ۲۹/۸۷ کیلووات بر ساعت کاهش داد. حال آنکه مطالعه پیشنهاد می‌کند به‌منظور کاهش هدررفت گرما در ساختمان مجهز به نمای دوپوسته، عایق‌بندی سقف‌ها به‌خوبی انجام شود. همچنین استفاده از نمای دوپوسته می‌تواند سبب کنترل و عدم خروج هوای خنک و مطبوع از داخل به بیرون ساختمان شود بطوریکه اتلاف هوای سرد از دیواره‌ها در نمای دوپوسته به ۲۵/۴۶ کیلووات بر ساعت در گرم‌ترین روز سال کاهش را نشان می‌دهد. در مقایسه با نمای ترکیبی، استفاده کامل از نمای دوپوسته تا میزان ۱۲ کیلووات بر ساعت از اتلاف و هدررفت سرما در فصل تابستان کاسته است. همچنین مقایسه سه حالت شبیه‌سازی‌شده نشان می‌دهد که میزان هدررفت کلی سرما از همه جداره‌ها در حالت تک‌پوسته در بیش‌ترین میزان قرار داشته است؛ اما این نکته حائز اهمیت است که با تغییر از حالت ترکیبی به دوپوسته کامل، اختلاف چشمگیری در کاهش هدررفت سرما رخ نداده است و حتی در ساعات بین ۱۲ تا ۱۴ میزان هدررفت در نمای دوپوسته بیشتر از نمای ترکیبی تک‌پوسته-دوپوسته بوده است. با توجه به تابش عمودی در این ساعات، نمای دوپوسته در حالت دودکشی عمل کرده و میزان گرمای بیشتری جذب می‌کند که این موضوع باعث اتلاف سرما از طریق جداره-های داخلی و جریان عمودی از طریق حفره بین دوجداره شده است. نتایج برق و گاز مصرفی ساختمان در سه حالت شبیه‌سازی نشان می‌دهد که گاز مصرفی در سردترین ماه سال در نمای ترکیبی تک‌پوسته-دوپوسته به میزان تقریبی ۲۰٪ کاهش داشته است. همچنین برق مصرفی در تیر و مردادماه (آگوست) در حالت ترکیبی تقریباً ۱۵٪ کاهش در مقایسه با نمای تک‌پوسته را نشان می‌دهد. اگرچه قبض کلی ساختمان در نمای کاملاً دوپوسته کاهش بار سرمایشی و گرمایشی را نشان می‌دهد اما میزان این کاهش در مقایسه با نمای ترکیبی چشمگیر نبوده است بطوریکه میزان مصرف گاز در دی و بهمن‌ماه تنها

جدول ۳ میزان خروج گرما و سرما از سطوح مختلف در فصل زمستان و تابستان				
میزان خروج گرما از سطوح (کیلووات-ساعت) در فصل زمستان				
ردیف	نوع نما	دیوار	بام	سقف
۱	تک‌پوسته	۳۲/۳۹	۱۶۵/۸۸	۳۳/۲۵
۲	تک‌پوسته و دوپوسته	۳۲/۶	۱۶۸/۴۲	۳۴/۱۴
۳	دوپوسته	۳۰/۴۸	۱۷۱/۶۹	۳۳/۹۱
میزان خروج سرما از سطوح (کیلووات-ساعت) در فصل تابستان				
۴	تک‌پوسته	۴۷/۷۶	۳۸۲	۱۷/۸۳
۵	تک‌پوسته و دوپوسته	۳۸/۱۷	۳۸۹	۲۳/۱۴
۶	دوپوسته	۲۵/۴۶	۳۹۶	۲۱/۷۵
جدول ۴ میزان مصرف برق و گاز در فصل‌های سرد و گرم ساختمان				
ردیف	نوع نما	میزان مصرف گاز (مترمکعب)	میزان مصرف برق (کیلووات-ساعت)	
۱	تک‌پوسته	۸۹۰۰۰	۶۳۰۰۰	
۲	تک‌پوسته و دوپوسته	۷۲۰۰۰	۵۳۷۴۳	
۳	دوپوسته	۶۸۸۵۲	۵۰۵۲۶	

مطالعات گذشته بر نماهای دوپوسته اجراشده در ساختمان‌ها، کاهش مصرف گاز و برق را در زمستان و تابستان نشان می‌دهند. در مطالعه صورت گرفته توسط قنبران و حسین پور در سال ۱۳۹۲ در تهران، به این نتیجه رسیدند که استفاده از نمای دوپوسته به‌جای نمای تک‌پوسته تا میزان ۲۶٪ در میزان گرمایش و ۳۰٪ در میزان انرژی برای سرمایش صرفه‌جویی کرد. در مقایسه با نتایج شبیه‌سازی که در شرایط آب‌وهوایی کرج انجام شده است با استفاده از نمای کاملاً دوپوسته در مقایسه با نمای تک‌پوسته و ترکیبی تک‌پوسته و دوپوسته به میزان ۲۵٪ در مصرف گاز و ۲۲٪ در مصرف برق صرفه‌جویی را شاهد هستیم که با توجه به اقلیم نیمه کوهستانی استان البرز غالباً بار گرمایشی می‌باشد و میزان مصرف صرفه‌جویی در مصرف گاز بیش‌تر از برق است. در مطالعه‌های دیگر، ذوالفقاری و همکاران در سال ۱۳۹۴ به بررسی رفتار نمای دوپوسته در فصول گرم و سرد سال پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد استفاده از نمای دوپوسته در فصول گرم سال موجب افزایش ۴/۶٪ مصرف انرژی شده است. از طرف دیگر در فصول سرد سال استفاده از نمای دوپوسته می‌تواند مؤثر باشد بطوریکه موجب کاهش ۲۰٪ مصرف برق شده است. نمای دوپوسته بکار گرفته شده به‌صورت طبیعی تهویه شده بود که تقریباً مشابه با مدل استفاده شده در اقلیم کرج است، حال آنکه در اقلیم کرج با استفاده از نمای دوپوسته در فصل گرم سال به میزان ۲۲٪ در مصرف انرژی در مقایسه با اقلیم تهران صرفه‌جویی صورت گرفته است. هرچند که نتایج این مطالعه نشان داد در ساعات ۱۲ تا ۱۴ ظهر، به سبب تهویه دودکشی ایجادشده در حفره نمای دوپوسته، بار سرمایشی ساختمان در حالت نمای کاملاً دوپوسته نسبت به حالت ترکیبی افزایش یافته است که منجر به افزایش مصرف برق برای سرمایش ساختمان شده است. رحیمی و همکاران در سال ۱۴۰۱ به شبیه‌سازی یک ساختمان اداری در شهر رشت پرداختند و نقش نمای دوپوسته در تهویه مطبوع و کاهش مصرف انرژی را بررسی کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که استفاده از نمای دوپوسته به‌جای نمای تک‌پوسته موجب کاهش تنها ۵٪ در

- [16] M. Moghtadi & M. Khanmohammadi, "Investigating the features of two skin facades and optimal use of energy in line with the goals of environmentally sustainable architecture in high-rise buildings of the third millennium," *International Conference on Research in Science and Technology*, Malaysia, 2014. (in Persian).
- [17] Z. Keshavarz, M. Taban, & M. Mehrzadeh, "Optimizing natural ventilation in the two-layer facade of a case study office building in Shiraz," *Sustainable Architect Design Journal*, vol. 5, no. 1, 2017. (in Persian).
- [18] M. Shamas Dehkordi, S. Sadeghi, & A. Esmaili, "Double skin facades: An architectural solution in cold and mountainous climates," *International Conference on Architecture, Urban Planning, Civil Engineering, Art, and Environment*, Tehran, 2012. (in Persian).
- [19] M. Rahimi & S. Ezadabadi, "The effect of double skin façade on natural ventilation in office buildings in temperate and humid climates," *Green Architect Journal*, vol. 3, no. 8, 2022. (in Persian)
- [20] F. Ahmadi, M. Farokhzad, & M. Paghohanfard, "An overview of the criteria and advantages of using double skin facades in office buildings," *The 4th Technology Development Forum, The Annual Exhibition and Conference of New Civil-Architectural Findings and the Construction Industry of Iran*, 2020. (in Persian).
- [21] A. Ghanbaran & A. Hossienpour, "Investigating the thermal behavior of double skin facades in the thermal climate of Tehran," *Two Quarterly Journals of Architecture and Sustainable Urban Development*, vol. 1, no. 2, pp. 43–53, 2013. (in Persian).
- [22] A. Hossieni & A. Gharakhani, "Sustainable architecture and reducing energy consumption in shopping malls," *5th International Conference on Research in Science and Technology*, London, England, 2016. (in Persian).
- [23] A. Ahriz, A. Mesloub, L. Djeflal, B. Alsolami, A. Ghosh, & M. Abdelhafez, "The use of double skin façade to improve the energy consumption of high-rise office buildings in a Mediterranean climate," *Sustainability Journal*, vol. 14, no. 6004, 2022.
- [24] M. Hadianpour, A. Zarkesh, & M. Mahdavinazhad, "How to use double skin facades in line with the optimal use of energy in buildings," *Danesh Nama Journal*, no. 227, pp. 28–36, 2014. (in Persian).
- ۳۱۴۵/۴۹ کیلووات بر ساعت کاهش داشته است. همچنین در ماه‌های تیر و مرداد، مصرف برق ۵۲۹/۶۸ کیلووات بر ساعت کاهش داشته است. لذا جهت کاهش هزینه‌های ساخت‌و‌اجرا در ساختمان، نمای ترکیبی تک‌پوسته-دوپوسته در مقایسه با نمای کاملاً دوپوسته با توجه به میزان اختلاف کم در کاهش مصرف انرژی، توجیه‌پذیری بهتری دارد. در نهایت استفاده از نمای ترکیبی تک-پوسته-دوپوسته که لایه داخلی آن دیوار با بازشو و لایه خارجی آن سرامیک خشک به همراه دیوار پرده‌ای باشد برای اقلیم سرد و خشک کارا و مؤثر می‌باشند. حال آنکه استفاده از این نوع نما در اقلیم معتدل و مرطوب به جهت کاهش نامحسوس بار سرمایش و گرمایش ساختمان توصیه نشده است.
- ۷- مراجع**
- [1] M. Rafian, A. Fathjalali, & A. Dadashpour, "Investigation and feasibility of the effect of the form and density of residential blocks on urban energy consumption: A case study of the new city of Hashtgerd," *Arman Shahr Journal*, no. 6, 2019. (in Persian).
- [2] Kh. Haji pour & N. Forozan, "Investigating the effect of city form on the amount of functional energy consumption in the residential sector: Case study: Shiraz city," *Journal of Fine Arts, Architecture, and Urban Design*, vol. 19, no. 4, 2013. (in Persian).
- [3] F. Mohammadpour, M. Kazemi, & B. Mardani, "Investigating factors affecting the reduction of energy consumption in residential structures," *The First International Conference on New Achievements in Science and Technology*, 2017. (in Persian).
- [4] N. Nazifi & N. Rahimi, "Double skin facade: A solution to reduce energy consumption in buildings," *International Conference on Sustainable Development and Urban Development*, 2019. (in Persian).
- [5] M. Hossieni, "Intelligent skin in commercial buildings," *International Conference of New Horizons in Civil-Architectural Engineering and Urban Planning*, 2016. (in Persian)
- [6] M. Soheilrad, "Localization of smart facade technology according to the principles of Iranian geometry," *The Second International Research Conference in Civil-Architecture and Urban Planning*, 2014. (in Persian).
- [7] S. Ahmadi, A. Seydian, & M. Jamshidi, "A case study of new systems of intelligent facades with an efficiency approach," *The Third International Conference on New Findings of Architecture-Civilization and Construction Industry*, 2018. (in Persian).
- [8] H. Sadeghi & H. Okhovat, "Surveying the facade of smart buildings," *The Third International Conference on Civil-Architecture and Urban Design*, 2016. (in Persian).
- [9] M. Taraz, K. Taghizadeh, & M. Azizi, "Energy and efficiency analysis of a movable facade in Tehran," *Naqsh Jahan Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 55–64, 2015. (in Persian).
- [10] A. Ebrahimi & M. Ghajari, "The reasons for using classical facades in Iranian buildings," *The Second International Conference on Modern Researches in Civil Engineering, Architecture, Urban Management, and Environment*, Karaj, 2018. (in Persian).
- [11] N. Babalhaveigi & B. Mirzadeh, "The effect of double skin facade in energy saving of buildings," *The Second Sustainable Architecture Conference*, 2011. (in Persian).
- [12] A. Arjmandnia, "Using smart materials and facades with a sustainable approach," *Monthly Research in Art and Human Sciences*, vol. 1, no. 1(4), pp. 31–41, 2016. (in Persian).
- [13] A. Jankovic & F. Goia, "Impact of double skin façade constructional features on heat transfer and fluid dynamic behaviour," *Building and Environment Journal*, 2021.
- [14] A. Zolfaghari, M. Saadati, & E. Nourozi, "Energy analysis of the use of double skin facades with phase change materials in a high-rise building in Tehran," *Modares Mechanical Engineering Journal*, vol. 15, no. 5, pp. 34–40, 2015. (in Persian).
- [15] A. Dugue, "Case study of a double skin façade: Focus on the gap between predicted and measured performance," *VII International Congress on Architectural Envelopes*, May 27–29, 2015, San Sebastian-Donostia, Spain.