

ارزیابی تاثیر افزایش عمق حفره و تعداد طبقات در عملکرد انرژی گونه های مختلف نمای دوپوسته در ۳۶ سناریوی متفاوت در ساختمان های اداری اقلیم سرد (نمونه موردی: ساختمانی اداری در تبریز)

شیرین نوری وند^۱

لیدا بلیلان اصل^{۲*}

Lidabalilan@hotmail.com

داریوش ستارزاده^۳

مازیار آصفی^۴

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۳

تاریخ دریافت: ۹۹/۴/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: در نتیجه افزایش آگاهی از مسائل محیط زیستی و افزایش هزینه انرژی متخصصان باید با استفاده از ابزارهای شبیه سازی، عملکرد انرژی رادر طراحی خود در نظر بگیرند. هدف از این مطالعه بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان های اداری در اقلیم سرد و معرفی مدل بهینه از انواع نمای دوپوسته در این اقلیم می باشد.

روش بررسی: روش پژوهش در این مقاله بر مبنای پژوهش علی و شبیه سازی است. ابزار این پژوهش نرم افزار Design Builder است. عملکرد انرژی نمای دوپوسته در ۳۶ سناریو متفاوت در ۴ گونه نمای دو پوسته در ساختمانی اداری در اقلیم سرد تبریز با سه عمق حفره ۰/۷، ۱/۳ و ۱/۵ متر در سه حالت ۵ طبقه، ۱۰ طبقه و ۱۵ طبقه، جهت دستیابی به حداقل مصرف انرژی مطالعه شد.

یافته ها: نتایج حاکی از آن است که گونه پنجره جعبه ای ۵ طبقه با عمق حفره ۱/۳ متر دارای کمینه مصرف برق و گونه چند طبقه ای ۱۵ طبقه با عمق حفره ۰/۷ متر دارای کمینه مصرف گاز است. در یک عمق حفره ثابت، با افزایش تعداد طبقات مصرف برق افزایش و مصرف گاز کاهش می یابد. همچنین با افزایش عمق حفره مصرف برق روند نزولی پیدامی کند. گونه چند طبقه ای ۱۵ طبقه با عمق حفره ۱ متر کمترین مصرف کل انرژی و گونه دلانی ۵ طبقه با عمق حفره ۰/۷ متر بیشترین مصرف کل انرژی را دارد. با افزایش تعداد طبقات و در نتیجه آن افزایش ارتفاع فضای حفره مصرف گاز در زمستان به مقدار بیشتری کاهش پیدامی کند. طبق یافته حاصل مدل نمای دوپوسته چند طبقه ای با

۱- دانشجوی دکتری گروه معماری، گروه معماری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

۲- دانشیار گروه معماری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. * (مسوول مکاتبات)

۳- دانشیار گروه معماری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

۴- استاد گروه معماری، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه هنر اسلامی، تبریز، ایران.

۱۵ طبقه و دارای عمق حفره ۰/۷ متر می تواند گزینه مناسبی از الگوی نمای دوپوسته در اقلیم سرد باشد و برعکس مدل دالانی با ۵ طبقه و عمق حفره ۱/۳ متر برای استفاده در نمای ساختمان های این اقلیم توصیه نمی شود.

بحث و نتیجه گیری: با توجه به نیاز بالای گرمایشی اقلیم سرد و بهره وری انرژی نمای دوپوسته لازم است گونه متناسب با این منطقه انتخاب گردد.

واژه های کلیدی: محیط زیست، شیشه سازی، عملکرد انرژی، نمای دوپوسته.

Assessment of the Impacts of Increasing Cavity Depth and Floor Numbers on Energy Performance of Different Types of Double Skin Facade in Office Buildings of Cold Climate in 36 Different Scenarios (Case Study: An Office Building in Tabriz)

Shirin Nourivand¹

Lida Balilan Asl^{2*}

Lidabalilan@hotmail.com

Dariush Sattarzadeh³

Maziar Asefi⁴

Admission Date: February 21, 2021

Date Received: July 7, 2020

Abstract

Background and Objective: As a result of the rising awareness of environmental issues and the increase in the cost of energy, building professionals increasingly have to consider the sustainability and energy performance of their designs by using building energy performance simulation tools. The aim of the current study is to optimize energy consumption of office buildings in cold climate of Tabriz and providing optimal model of double skin façade (DSF) in this climate.

Material and Methodology: The research method in this paper is based on causal research and simulation. The research tool in this paper is Design Builder software. The energy performance of DSF is studied in 36 scenarios under 4 types of DSFs in an office building in cold climate of Tabriz in three cavity depths of 0/7, 1 and 1/3m in three modes: 5,10 and 15-story to achieve minimum energy consumption.

Findings: The results indicate that, the 5-story box window type with a depth of 1/3m has a minimum electricity consumption and the 15-story multi-story type with a depth of 0/7m has a minimum gas consumption. In a fixed cavity depth, electricity consumption will increase and gas consumption will decrease by increasing the numbers of floors. Electricity consumption also increases with the increase of cavity depth. The 15-story multi-story DSF with a cavity depth of 1m has the lowest total energy consumption and the 5-story corridor DSF with a cavity depth of 0/7m has the highest total energy consumption.

Discussion and Conclusion: Due to the high heating needs of the cold climate and energy efficiency of DSF facades, it is necessary to choose the appropriate type for this region.

Keywords: Environment, Simulation, Energy Performance, Double Skin Façade.

1 - Ph.D. Candidate, Department of Art & Architecture, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

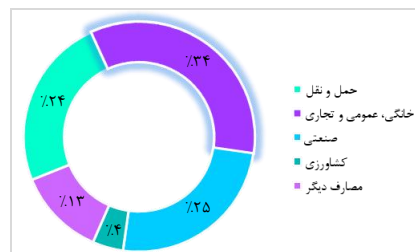
2-Association Professor, Department of Art & Architecture, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. *(Corresponding Author)

3 - Association Professor, Department of Art & Architecture, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

4 - Association Professor, Department of Architecture, Tabriz, Islamic Art University, Tabriz, Iran.

مقدمه

ایران درانتشارکربن ناشی ازصنعت ساختمان ۱۰۸مگاتن درسال ۲۰۱۷ بوده است (۲). با توجه به در نظر داشتن این حقیقت که شدت مصرف انرژی درایران بیش از چهار برابر متوسط جهانی آن برآورد شده است، بدین ترتیب با ادامه روند موجود در مصرف انرژی درکشور، در چشم انداز ۱۴۰۴، ایران از صادر کننده خالص انرژی به یک کشور وارد کننده انرژی مبدل خواهد شد (۳). براساس آخرین آمار سایت وزارت نیروی ایران که مربوط به سال ۱۳۹۶می باشد ۳۴٪ از انرژی کل کشور دربخش خانگی، عمومی و تجاری مصرف می شود (شکل ۱) (۴).



شکل ۱- درصد مصرف انرژی در ایران در بخش های مختلف در سال ۱۳۹۶

Fig1- Energy consumption in Iran in various sectors in 1396

هستی شناختی، مطالعات شبیه سازی سعی در به دست آوردن محتوای معنایی از مدل هایی دارند که سیستم های واقعی را عرضه می کنند (۶). شبیه سازی انرژی یک روش تحلیلی قدرتمند در تحقیق و ارزیابی انرژی ساختمان، طراحی معماری و همچنین هزینه و زمان است. هدف آن ایجاد شرایط واقعی فیزیکی یک ساختمان با ایجاد مدلی ریاضی جهت نشان دادن تمام مسیرهای جریان انرژی در یک ساختمان و نیز تعاملات آن ها می باشد (۷). از طرفی، DesignBuilder نرم افزاری است برای شبیه سازی که می تواند به عنوان رابط کاربری نرم افزار انرژی پلاس، برای ساخت مدل سه بعدی و محاسبه کلی بار حرارتی و برودتی ساختمان استفاده شود (۸). با توجه به بهره گیری از گونه بندی نامناسب نمای دوپوسته نه تنها افزایش کارایی انرژی ساختمان را به همراه ندارد که موجبات عدم آسایش در محیط را نیز افزایش می دهد، لازم است به جای تکرار نمونه های خارجی، بهره گیری از آن مبتنی بر مطالعات

امروزه به علت رشد روزافزون مصرف انرژی در جهان و با توجه به کمبود منابع سوخت های فسیلی و آلودگی های شدید زیست محیطی ناشی از احتراق آن ها، ضرورت به کارگیری راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی در جهت کاهش مصرف سوخت های فسیلی، افزایش یافته است. این در حالی است که حدوداً ۴۰٪ از انتشار دی اکسید کربن مربوط به صنعت ساختمان می باشد (۱). سایت جهانی نیروی دی اکسید کربن انتشار یافته در کل جهان در بخش ساختمان در سال ۲۰۱۹ را ۱۰ گیگاتن اعلام کرده که بیشترین سطح محاسبه شده تاکنون است. طبق آخرین آمار ارائه شده توسط این سایت سهم

یکی از راه های کاهش مصرف سوخت های فسیلی و نیز کاهش انتشار دی اکسید کربن ساخت واحدهای ساختمانی به گونه ای است که دارای مصرف انرژی پایین برای گرمایش و سرمایش باشد (۵). پوسته های ساختمانی به عنوان یک جداکننده بین فضای داخل و خارج، نقش مؤثری در تأمین آسایش حرارتی ساکنان به عهده دارد. حال ایجاد یک جداره حرارتی کارآمد در ساختمان با طراحی و تکنولوژی پایدار، برای به حداقل رساندن دفع گرما در زمستان و جذب گرما در تابستان بسیار مؤثر می باشد. نمای دوپوسته علاوه بر تأمین شفافیت مورد نیاز، تشعشع خورشیدی جذب شده توسط نمای شیشه ای خارجی را در زمستان ذخیره و یا به کمک تهویه مناسب، آن را در تابستان کاهش می دهد. اما استفاده مناسب از این نما، مستلزم شناخت رفتار و نحوه عملکرد این سیستم می باشد. از سوی دیگر شبیه سازی انرژی ساختمان در تحقیقات بهره وری انرژی در ساختمان ها نقش تعیین کننده ای ایفا می کند. از دیدگاه

تصرف، تجهیزات، همچنین دماهای طرح داخل و خارج وارد می‌شود. سربرگ Construction بخش مربوط به سازه و مصالح می‌باشد که در آن اطلاعات لایه های مختلف دیوار، کف، سقف و... به نرم افزار داده می‌شود. سربرگ HVAC مربوط به سیستم گرمایش و سرمایش ساختمان است. در این سربرگ نوع سیستم گرمایش و سرمایش نوع تهویه و برنامه های زمانی فعال بودن این سیستم ها تعیین می‌شود. در سربرگ Lighting سیستم روشنایی مشخص می‌شود. پس از وارد نمودن تمام داده ها در بخش Simulation در دوره زمانی مشخص (تا یکسال) شبیه سازی انجام می‌شود و نتایج به صورت نمودارهای گرافیکی حاصل می‌شوند. نقش موثر این نرم افزار زمانی روشن تر می‌گردد که در طی مراحل طراحی و مدل سازی ساختمان، با اعمال تغییرات کوچک و بزرگ در طراحی، تاثیرات این تغییرات در میزان مصرف و یا صرفه جویی انرژی ساختمان و یا هریک از فضاها مشخص می‌شود.

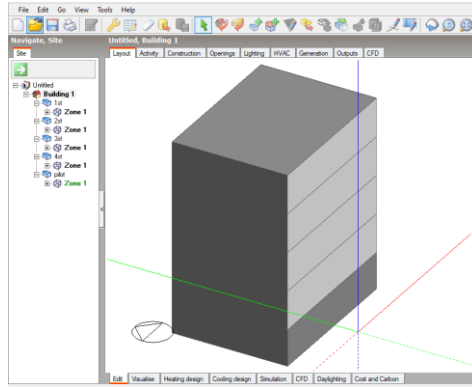
برخی از کاربردهای رایج این نرم افزار به شرح زیر می‌باشد:

- محاسبه مصرف انرژی ساختمان
- گزارش صرفه جویی در روشنایی الکتریکی به دلیل استفاده از نور طبیعی روز
- پیش بینی توزیع طبیعی نور روز از طریق شبیه سازی Radiance
- محاسبه ظرفیت تجهیزات گرمایشی و سرمایشی
- شبیه سازی دقیق و طراحی سیستم های تهویه مطبوع و تهویه طبیعی از جمله تأثیر توزیع هوای تأمین کننده بر دما و توزیع سرعت در اتاق با استفاده از CFD
- تجزیه و تحلیل اقتصادی بر اساس هزینه های ساخت و ساز، هزینه های آب و برق و هزینه های چرخه زندگی
- بهینه سازی طراحی با چندین هدف، محدودیت و متغیرهای طراحی

منطبق با اقلیم محلی و شرایط محیطی باشد. بدین منظور هدف از این پژوهش، بهینه سازی مصرف انرژی در بخش ساختمان های اداری از طریق طراحی الگوی بومی نمای دوپوسته با تحلیل عملکرد انرژی در ۴ گونه مختلف نمای دوپوسته در ۳۶ سناریوی متفاوت مختلف می‌باشد. در نهایت به این سوالات پاسخ داده خواهد شد: الگوی نمای دوپوسته بهینه در اقلیم سرد چه مشخصاتی دارد؟ افزایش تعداد طبقات و عمق حفره چه رابطه ای با میزان مصرف انرژی برق جهت سرمایش و گاز جهت گرمایش دارد؟ بهینه ترین حالت در هر کدام از گونه ها جهت استفاده در اقلیم سرد تبریز کدام است؟

مواد و روش ها

روش پژوهش در این مقاله بر مبنای پژوهش علی و شبیه سازی است. «بهترین و در عین حال قانع کننده ترین 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» (۹). ابزار پژوهش حاضر، شبیه سازی توسط نرم افزار DesignBuilder است که از موتور شبیه سازی انرژی پلاس (EnergyPlus) استفاده می‌کند. این نرم افزار داده های عملکرد محیطی مانند مصرف انرژی، میزان انتشار کربن، آسایش دمایی در فضا رابه صورت سالانه، ماهانه، روزانه، ساعتی و زیر ساعتی ارائه می‌کند. همچنین گزارش های مربوط به دریافت های خورشیدی بر روی سطوح، دمای سطوح و تبادل تابشی، سیستم های گرمایش و سرمایش و روشنایی روز را فراهم می‌سازد. این نرم افزار دارای محیط ترسیم می‌باشد که ابتدا کار با ابعاد بیرونی ساختمان را ترسیم و حجم سه بعدی آن را تکمیل می‌نماید شکل (۲). داخل هر طبقه با ترسیم دیوارهای داخلی زون های محاسباتی مشخص می‌شود. از طریق سربرگ Activity فعالیت ها و برنامه های عملکردی بخش هایی نظیر



شکل ۲- نرم افزار دیزاین بیلدر

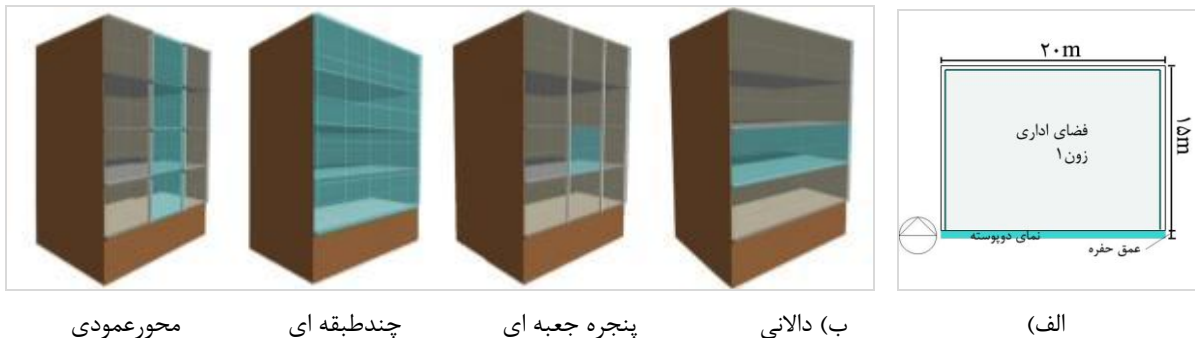
Figure 2. DesignBuilder software

در این پژوهش یک ساختمان اداری با عرض ۱۵ متر و طول ۲۰ متر و ارتفاع کف تا سقف هر طبقه ۵ متر می باشد. لازم به ذکر است نمای دوپوسته مورد مطالعه در ضلع جنوبی ساختمان جهت بهره گیری بیشتر ساختمان از تابش آفتاب شبیه سازی شده است (شکل ۳).

شبیه سازی

ابتدا ساختمان مدل شده و مشخصات ساختمان مطابق جدول (۲) به نرم افزار داده شد. این مشخصات در تمام گونه ها به عنوان پارامترهای ثابت می باشد.

در این پژوهش با استفاده از نرم افزار شبیه سازی DesignBuilder عملکرد انرژی ساختمان و در نتیجه آن میزان مصرف برق و گاز در ۴ گونه مختلف نماهای دوپوسته (چند طبقه ای-دالانی-پنجره جعبه ای-محور عمودی) با سه عمق حفره متفاوت ۰/۷، ۱/۳ و ۱ متر، در سه حالت مختلف ۵ طبقه، ۱۰ طبقه و ۱۵ طبقه تحلیل شد که در مجموع ۳۶ سناریوی مختلف می باشد (جدول ۱). ویژگی های اختصاصی هر گونه ذکر شده و با بررسی آنالیزهای حاصل از شبیه سازی و تفسیر آنها بهینه ترین حالت ارائه می شود. نمونه مورد بررسی


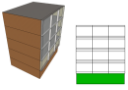
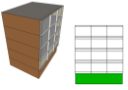


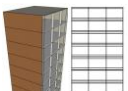
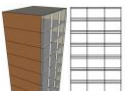

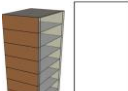
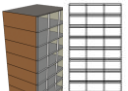
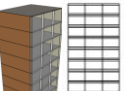


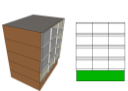
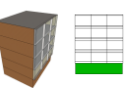
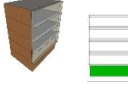
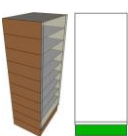
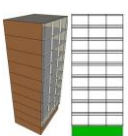
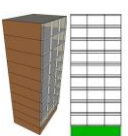
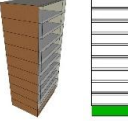

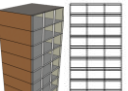
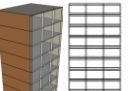


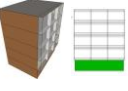
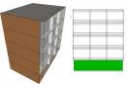
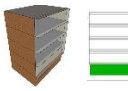
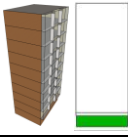
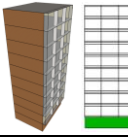
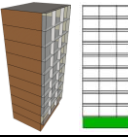
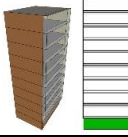


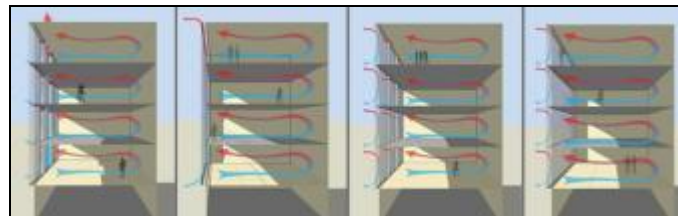
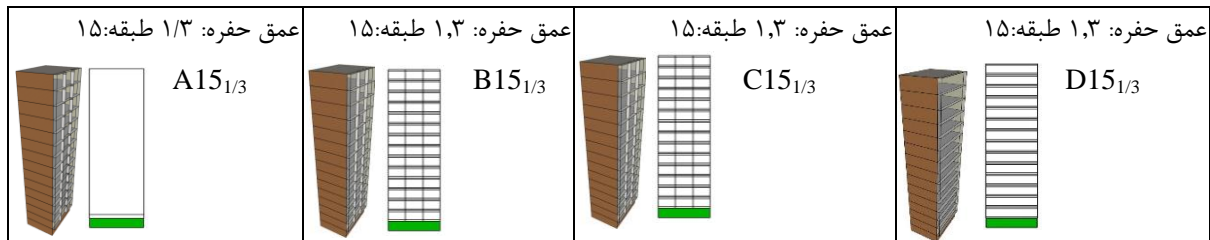
شکل ۳- الف) پلان ساختمان ب) چهار گونه نمای دوپوسته

Figure 3. a) Building plan b) 4 types of DSF

جدول ۱- سناریوهای پژوهش

Table 1. Research scenarios

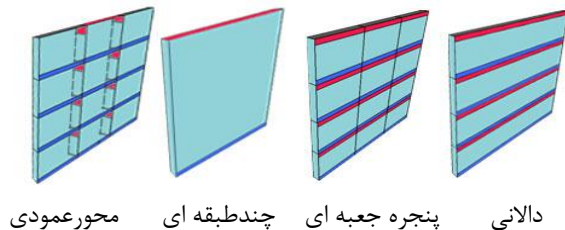
| چندطبقه ای | محور عمودی | پنجره جعبه ای | دالانی |
|--|--|--|--|
| عمق حفره: ۰/۷ طبقه: ۵  A5 _{0/7} | عمق حفره: ۰/۷ طبقه: ۵  B5 _{0/7} | عمق حفره: ۰/۷ طبقه: ۵  C5 _{0/7} | عمق حفره: ۰/۷ طبقه: ۵  D5 _{0/7} |
| عمق حفره: ۰/۷ طبقه: ۱۰  A10 _{0/7} | عمق حفره: ۰/۷ طبقه: ۱۰  B10 _{0/7} | عمق حفره: ۰/۷ طبقه: ۱۰  C10 _{0/7} | عمق حفره: ۰/۷ طبقه: ۱۰  D10 _{0/7} |
| عمق حفره: ۰/۷ طبقه: ۱۵  A15 _{0/7} | عمق حفره: ۰/۷ طبقه: ۱۵  B15 _{0/7} | عمق حفره: ۰/۷ طبقه: ۱۵  C15 _{0/7} | عمق حفره: ۰/۷ طبقه: ۱۵  D15 _{0/7} |
| عمق حفره: ۱ طبقه: ۵  A5 ₁ | عمق حفره: ۱ طبقه: ۵  B5 ₁ | عمق حفره: ۱ طبقه: ۵  C5 ₁ | عمق حفره: ۱ طبقه: ۵  D5 ₁ |
| عمق حفره: ۱ طبقه: ۱۰  A10 ₁ | عمق حفره: ۱ طبقه: ۱۰  B10 ₁ | عمق حفره: ۱ طبقه: ۱۰  C10 ₁ | عمق حفره: ۱ طبقه: ۱۰  D10 ₁ |
| عمق حفره: ۰/۷ طبقه: ۱۵  A15 ₁ | عمق حفره: ۱ طبقه: ۱۵  B15 ₁ | عمق حفره: ۱ طبقه: ۱۵  C15 ₁ | عمق حفره: ۱ طبقه: ۱۵  D15 ₁ |
| عمق حفره: ۱/۳ طبقه: ۵  A5 _{1/3} | عمق حفره: ۱/۳ طبقه: ۵  B5 _{1/3} | عمق حفره: ۱/۳ طبقه: ۵  C5 _{1/3} | عمق حفره: ۱/۳ طبقه: ۵  D5 _{1/3} |
| عمق حفره: ۱/۳ طبقه: ۱۰  A10 _{1/3} | عمق حفره: ۱/۳ طبقه: ۱۰  B10 _{1/3} | عمق حفره: ۱/۳ طبقه: ۱۰  C10 _{1/3} | عمق حفره: ۱/۳ طبقه: ۱۰  D10 _{1/3} |



دالانی پنجره جعبه ای چندطبقه ای محور عمودی

شکل ۴- دیاگرام تهویه طبیعی هوادرگونه های مختلف نمای دوپوسته در تابستان (شبیه سازی شده در دیزاین بیلدر)

Figure 4. Natural ventilation diagram of different types of DSF in summer (Created in Design Builder)



شکل ۵- دریچه های ورود و خروج هوادرگونه های مختلف نمای دوپوسته در تابستان

Figure 5. Air inlet & outlet vents of different types of DSF

جدول ۲- مشخصات ساختمان اداری

Table 2. Properties of the building

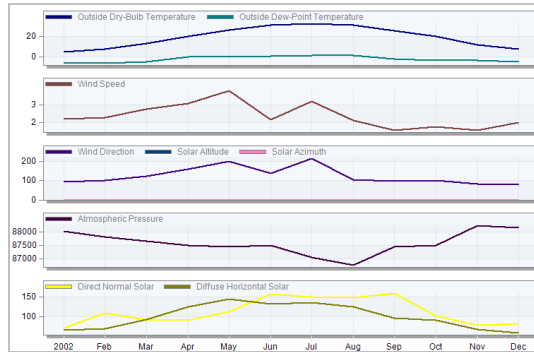
| | |
|--|----------------------|
| ۱۰ الیتر بر هر نفر | حداقل هوای تازه |
| ۲۸ درجه سانتیگراد | دمای طرح داخل سرمایش |
| ۲۰ درجه سانتیگراد | دمای طرح داخل گرمایش |
| شیشه تکجداره ۶ میلیمتری قاب: آلومینیوم ترمال بریک | پوسته خارجی |
| شیشه دوجداره پر شده با گاز آرگون قاب: آلومینیوم ترمال بریک | پوسته داخلی |
| ۱۰/۱ نفر بر متر مربع | حضور افراد |
| روشن | تهویه طبیعی |
| روشن | رایانه |
| فن کویل | تهویه مطبوع |
| ۷:۳۰-۱۴:۳۰ | برنامه کاری |

افزار نشان داده شده که در مدل های ۱۰ طبقه و ۱۵ طبقه نیز به همان ترتیب خواهد بود.

شکل ۳ چهارگونه نمای دوپوسته را نشان می دهد که تقسیم بندی آن بر طبق نوع حفره می باشد. در شکل ۴ دیاگرام تهویه طبیعی هوا در هر چهارگونه مدل پایه ۵ طبقه مدل شده در نرم-

در ابتدا لازم به ذکر است که در شبیه سازی از فایل آب و هوایی شهر تبریز موجود در نرم افزار DesignBuilder استفاده شده است. نمودار (۱) اطلاعات مربوط به آب و هوای تبریز می-باشد. طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان دمای طرح داخل گرمایش ۲۰ درجه و دمای طرح داخل سرمایش ۲۸ درجه باشد.

در ابتدا لازم به ذکر است که در شبیه سازی از فایل آب و هوایی شهر تبریز موجود در نرم افزار DesignBuilder استفاده شده است. نمودار (۱) اطلاعات مربوط به آب و هوای تبریز می-باشد. طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان دمای طرح داخل گرمایش ۲۰ درجه و دمای طرح داخل سرمایش ۲۸ درجه باشد.



نمودار ۱- اطلاعات آب و هوایی تبریز - نرم افزار Designbuilder

Diagram 1. Site data of Tabriz-Design builder

نمای دوپوسته چندطبقه ای (Multi-Story)

حالت ۱۰ طبقه ۲۰٪* ۱/۲ متر در حالت ۱۵ طبقه ۲۰٪* ۱/۸ متر انتخاب شد. این امر به دلیل جلوگیری از اشباع گرمایی در فصل تابستان صورت گرفته است. عرض دریاچه خروج هوا در بالای نمای دوپوسته نیز برابر با عمق حفره انتخاب شد.

نمای دوپوسته دالانی (Corridor)

نمای دالانی از یک فضای حائل هوا تشکیل شده است که ارتفاع آن برابر ارتفاع هر طبقه است. بازشوهای ورودی هوا نزدیک کف و خروجی ها نزدیک سقف هر طبقه قرار می-گیرند (۱۰). در این شبیه سازی نمای دوپوسته دالانی در سه عمق حفره ۰/۷، ۱/۳ و ۱/۳ متر به گونه ای افزوده شده که در ماه های سرد سال دریاچه ها بسته می باشند. در ماه های گرم سال هوا از طریق دریاچه های تعبیه شده در پایین نمای دوپوسته دالانی هر طبقه وارد شده و هوای گرم از دریاچه های بالایی واقع در آن طبقه خارج می شود. برنامه پنجره های نمای داخلی همانند گونه چند طبقه ای وارد شد طوری که در ماه های سرد سال در ساعات گرم باز و در ماه های گرم سال بسته می-باشند.

نمای دوپوسته چند طبقه ای دارای فضای حائل است که تقسیم افقی یا عمودی ندارد. این فضا ممکن است شامل محدوده ای به عرض چندین اتاق یا حتی دربرگیرنده کل نمای یک ساختمان باشد. پوسته های خارجی و داخلی یک نمای چند طبقه ای معمولاً از یکدیگر مستقل هستند. دریاچه های هوا فقط در پایین و بالای فضای حائل قرار دارند. هوا در قسمت فوقانی نما با خاصیت شناوری گرمایی یا با استفاده از تجهیزات مکانیکی تخلیه می شود شکل (۴). در این شبیه سازی نمای دوپوسته چند طبقه ای با عمق حفره ۰/۷، ۱/۳ و ۱/۳ متر به گونه ای افزوده شده که در ماه های سرد سال دریاچه ها بسته می باشند. پنجره های نمای داخلی طوری برنامه ریزی شدند که در ماه های اکتبر تا می که ماه های سرد است از ۱۰ صبح تا ۱۶ باز باشند تا گرمای محبوس در نمای دوپوسته به فضاهای داخلی منتقل شود و در ماه های ژوئن تا سپتامبر بسته باشند. در ماه های گرم سال هوا از طریق دریاچه های تعبیه شده در پایین نمای خارجی وارد شده و هوای گرم از دریاچه های بالایی خارج می شود. با دوبرابر شدن تعداد طبقات عرض دریاچه ورودی و دوبرابر می گردد. بنابراین ابعاد دریاچه ورودی در حالت ۵ طبقه ۲۰٪* ۰/۶ متر در

جعبه‌هایی با ابعاد $۵ \times ۶/۶۰$ متر به درسه عمق حفره $۱۰/۷$ و $۱/۳$ متر به نما افزوده شد. در ماه‌های سرد سال دریچه‌ها بسته می‌باشند. ابعاد دریچه‌های ورود هوا واقع در پایین جعبه‌ها $۶/۶۰ \times ۰/۱$ متر و ابعاد دریچه‌های خروج هوا واقع در بالای تیغه داخلی طوری است که طول آن به اندازه عمق حفره و عرض آن $۰/۷$ متر می‌باشد. در ماه‌های گرم سال هوا از طریق دریچه‌های تعبیه شده در پایین هر جعبه وارد و از دریچه واقع در بالای تیغه داخلی همان جعبه به سمت محور عمودی واقع در میانه نمای خارجی هدایت و از طریق دریچه قسمت فوقانی محور عمودی بر طبق اثر دودکشی خارج می‌شود (شکل ۴).

یافته‌ها

در این بخش ابتدائاً نتایج گونه‌های مختلف به ترتیب تحلیل و بهینه‌ترین حالت هر گونه انتخاب می‌شود و در مرحله بعدی بهینه‌ترین حالت در میان تمامی سناریوهای مطرح شده معرفی می‌شود. لازم به ذکر است که طبق مشخصات جدول (۱) مقدار عددی برق مربوط به مجموع برق مصرفی جهت سرمایه‌گذاری و تجهیزات مورد استفاده بوده و مصرف گاز تنها مربوط به سیستم گرمایش تعیین شده می‌باشد.

الف) نتایج چند طبقه‌ای

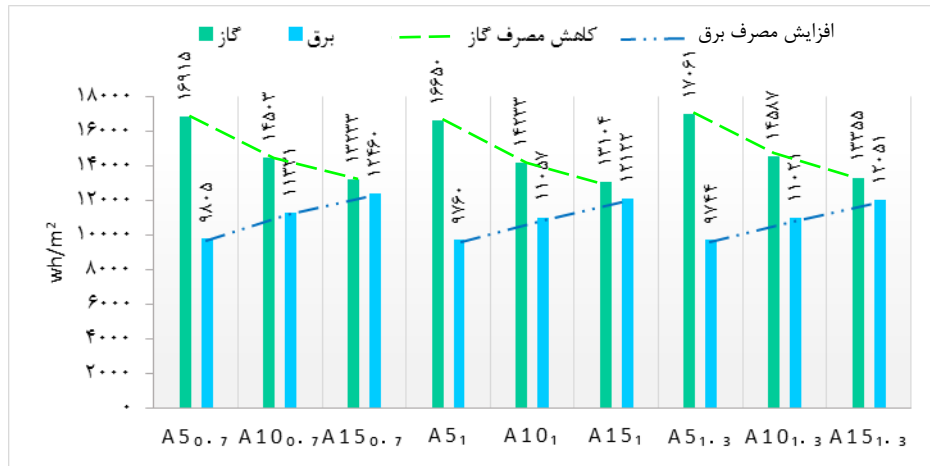
نمودار ۲ نشان می‌دهد که در سه عمق حفره ذکر شده، با افزایش تعداد طبقات از پنج به پانزده، میزان مصرف برق با شیبی تقریباً یکنواخت افزایش می‌یابد و دلیل آن رami توان افزایش دما در فضای حفره دانست در نتیجه این امر همانطور که از نمودار برمی‌آید مصرف گاز جهت گرمایش ساختمان در زمستان کاهش می‌یابد. در این گونه با افزایش تعداد طبقات نمودارها با شیب بیشتری در حال تغییر هستند.

نمای دوپوسته پنجره جعبه‌ای (Box Window)

پنجره جعبه‌ای قدیمی‌ترین شکل از نمای دو پوسته است. این سیستم شامل لایه شیشه‌ای دوم است که در مقابل پنجره‌ای که عموماً به سمت داخل باز می‌شود قرار می‌گیرد تا از مداخلات جلوگیری کرده و اجازه تمیز کردن بدهد. در این نوع نما، تقسیمات افقی و عمودی، نما را به جعبه‌های مجزا تقسیم می‌نماید. عملکرد پنجره جعبه‌ای به صورت مجزادر هر طبقه می‌باشد. این پنجره‌ها دارای یک قاب باز شو به سمت داخل می‌باشند که اجازه ورود و خروج هوا را می‌دهند. پوسته خارجی، باز شوهایی در بالا و پایین هر پنجره دارد. هوای تمیز از یک سمت وارد و هوای مصرف شده از طرف دیگر خارج می‌شود (۱۱). در این شبیه‌سازی جعبه‌هایی با ابعاد $۵ \times ۶/۶۰$ متر و در سه عمق حفره $۱۰/۷$ و $۱/۳$ متر به نما افزوده شده که در ماه‌های سرد سال دریچه‌ها بسته می‌باشند. ابعاد دریچه‌های ورود و خروج هوا واقع در بالا و پایین جعبه‌ها $۶/۶۰ \times ۰/۱$ متر می‌باشد. در ماه‌های گرم سال هوا از طریق دریچه‌های تعبیه شده در پایین هر جعبه وارد و از دریچه بالایی همان جعبه خارج می‌شود (شکل ۴). برنامه پنجره‌های نمای داخلی همانند دو گونه قبلی وارد شد.

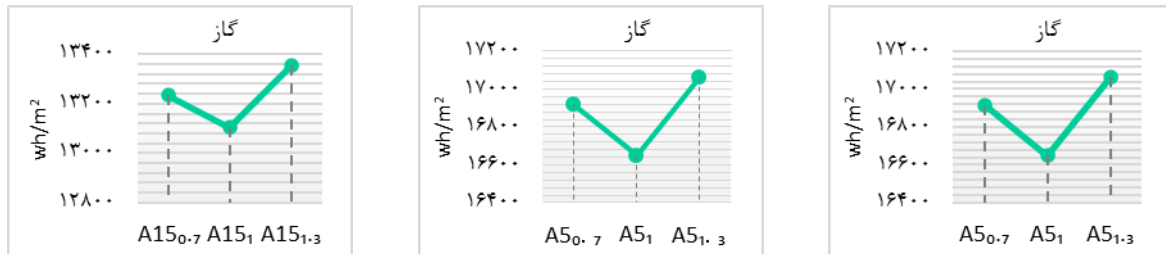
نمای دوپوسته محور عمودی (Shaft-box)

در این گونه، تعدادی پنجره جعبه‌ای به وسیله محورهای عمودی در نما به هم متصل می‌شوند. در هر طبقه محورهای عمودی توسط یک بازشوی فرعی با پنجره جعبه‌ای مجاورش ارتباط دارد (شکل ۵). هدف از پیکربندی این سیستم، افزایش اثر دودکش برای تهویه طبیعی فضای حائل است. هوای آزاد در تراز کف طبقه هر مدول وارد می‌شود و از فضای حائل محور عمودی چند طبقه بالاتر خارج می‌شود. در این شبیه‌سازی



نمودار ۲- نتایج برق و گاز سالانه با افزایش عمق حفره و تعداد طبقات در نمای دوپوسته چندطبقه ای

Diagram 2. Electricity & gas consumption by increasing cavity depth & floor numbers in corridor DSF



ج) ساختمان ۱۵ طبقه

ب) ساختمان ۱۰ طبقه

الف) ساختمان ۵ طبقه

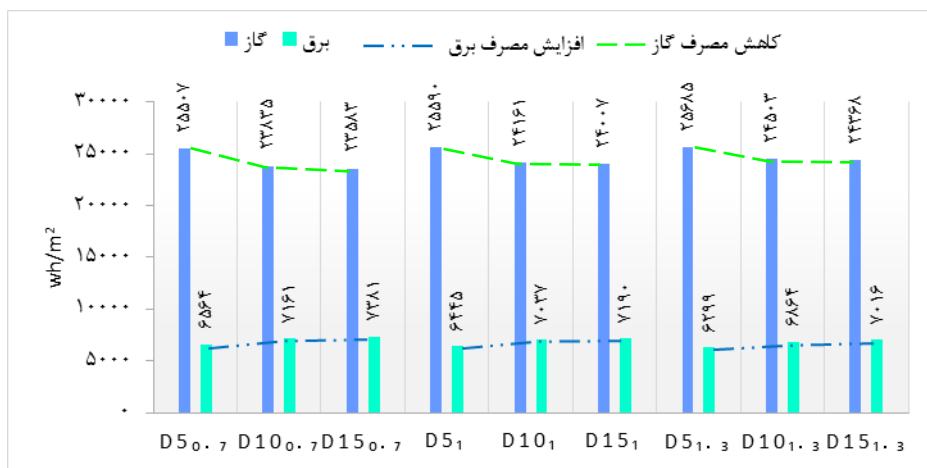
نمودار ۳- مصرف گاز در نتیجه افزایش عمق حفره در نمای دوپوسته چندطبقه ای

Diagram 3. Increasing gas consumption as a result of increasing cavity depth in Multi-story DSF

ب) نتایج دالانی

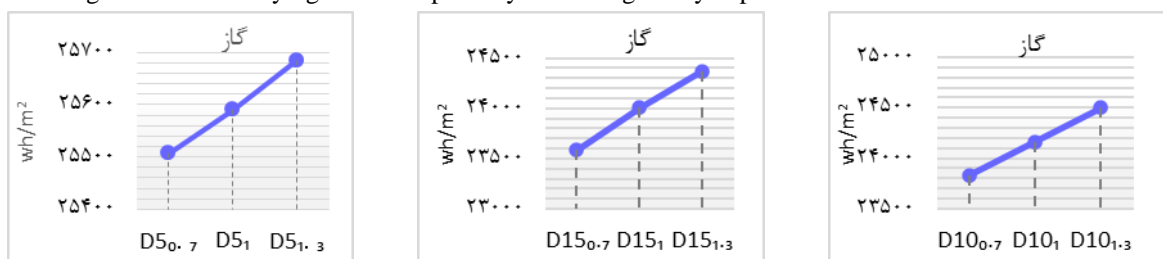
همانند نمونه چندطبقه ای در این گونه نیز در سه عمق حفره ذکر شده، با افزایش تعداد طبقات از پنج به پانزده، میزان مصرف برق به صورت خطی در حال افزایش و مصرف گاز در حال کاهش است. در هر سه مدل ۱۰، ۱۵ و ۱۵ طبقه با افزایش عمق حفره میزان مصرف برق روند نزولی داشته است نمودار (۴). از طرف دیگر مصرف گاز روند صعودی داشته است نمودار (۵). بنابراین مدل D150/7 که دارای ۱۵ طبقه و عمق حفره ۰/۷ متر با مجموع مصرف انرژی ۳۰۹۶۴ وات ساعت بر متر مربع معادل ۳۰/۹۶ کیلووات ساعت بر متر مربع بهینه ترین حالت برای نمای دوپوسته دالانی انتخاب شد.

همچنین در هر سه مدل ۱۰، ۱۵ و ۱۵ طبقه با افزایش عمق حفره میزان مصرف برق روند نزولی داشته است. این در حالی است که عمق حفره ۱ متر نسبت به عمق حفره ۰/۷ مصرف گاز کمتری داشته است لیکن با افزایش عمق به ۱/۳ متر نتیجه معکوس شده و سبب افزایش گاز مصرفی شده است نمودار (۳). بنابراین در الگوی نمای دوپوسته چندطبقه ای با تهویه طبیعی بهینه-ترین عمق حفره، ۱ متر محاسبه شد. در نهایت مدل A151 که دارای ۱۵ طبقه و عمق حفره ۱ متر است با مجموع مصرف انرژی ۲۵۲۲۶ وات ساعت بر متر مربع معادل ۲۵/۲۲ کیلووات ساعت بر متر مربع بهینه ترین حالت برای نمای دوپوسته چندطبقه ای انتخاب شد.



نمودار ۴- مصرف برق و گاز سالانه با افزایش عمق حفره و تعداد طبقات در نمای دوپوسته دالانی

Diagram 4. Electricity & gas consumption by increasing cavity depth & floor numbers in corridor DSF



ج) ساختمان ۱۵ طبقه

ب) ساختمان ۱۰ طبقه

الف) ساختمان ۵ طبقه

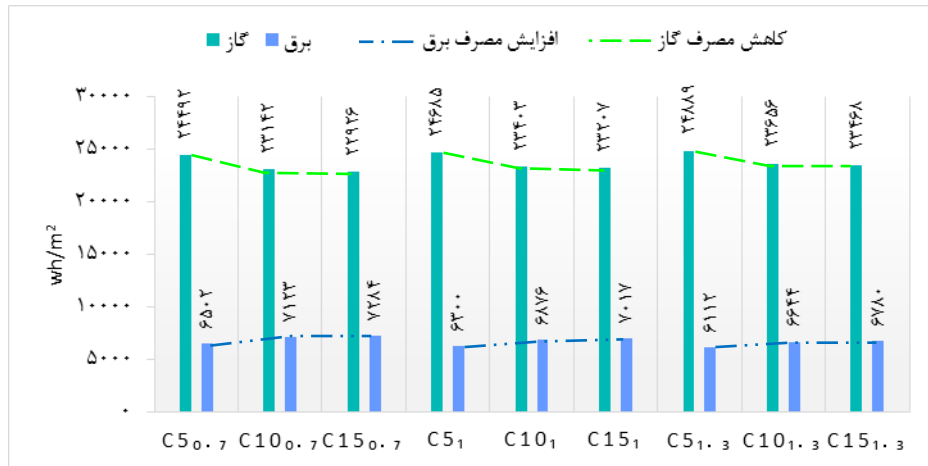
نمودار ۵- مصرف روبه رشد گاز در نتیجه افزایش عمق حفره در گونه دالانی

Diagram 5. Increasing gas consumption as a result of increasing cavity depth in corridor DSF

ج) نتایج پنجره جعبه ای

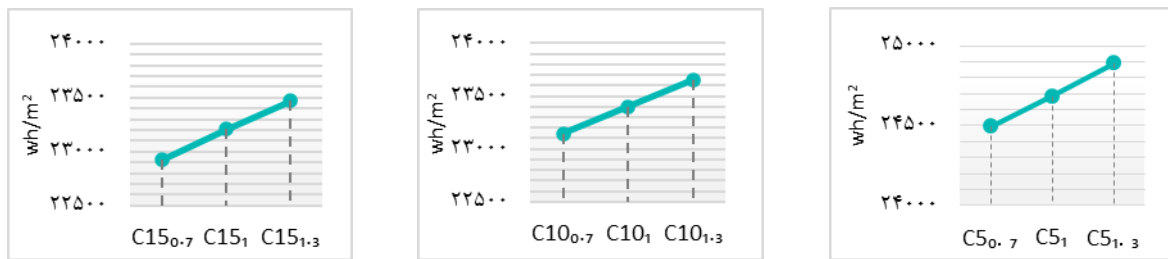
روبه کاهش بوده و میزان مصرف گاز روند صعودی داشته است نمودار (۷). در نهایت مدل C15_{0/7} که دارای ۱۵ طبقه و عمق حفره ۰/۷ متر است با مجموع مصرف انرژی ۳۰۲۱۰ وات ساعت بر متر مربع معادل ۳۰/۲۱ کیلووات ساعت بر متر مربع بهینه ترین حالت برای نمای دوپوسته پنجره جعبه ای انتخاب شد.

نمودار (۶) نشان می دهد که همانند دو گونه ذکر شده در بالا در این گونه نیز در سه عمق حفره ذکر شده، با افزایش تعداد طبقات از پنج به پانزده، میزان مصرف برق افزایش و مصرف گاز جهت گرمایش ساختمان در زمستان کاهش می یابد. همچنین در هر سه مدل ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه با افزایش عمق حفره میزان مصرف برق



نمودار ۶- نتایج برق و گاز سالانه با افزایش عمق حفره و تعداد طبقات در نمای دوپوسته پنجره جعبه ای

Diagram 6. Electricity & gas consumption by increasing cavity depth & floor numbers in Box window DSF



ج) ساختمان ۱۵ طبقه

ب) ساختمان ۱۰ طبقه

الف) ساختمان ۵ طبقه

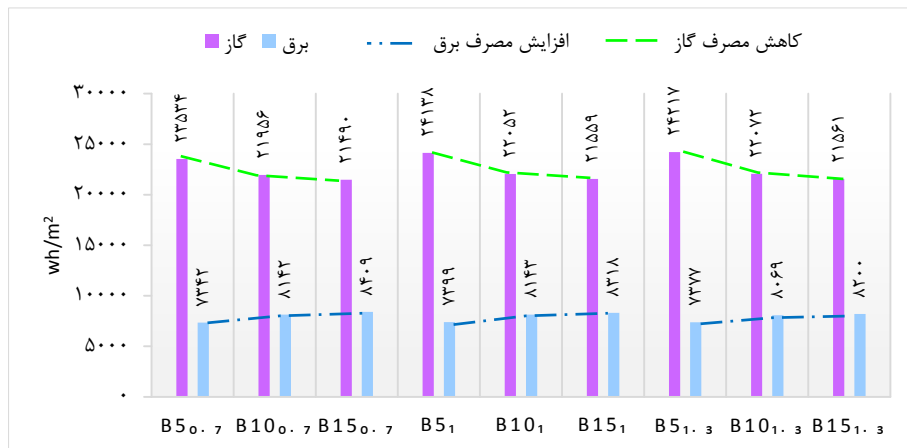
نمودار ۷- مصرف روبه رشد گاز در نتیجه افزایش عمق حفره در گونه پنجره جعبه ای

Diagram 7. Increasing gas consumption as a result of increasing cavity depth in Box-window DSF

د) نتایج محور عمودی

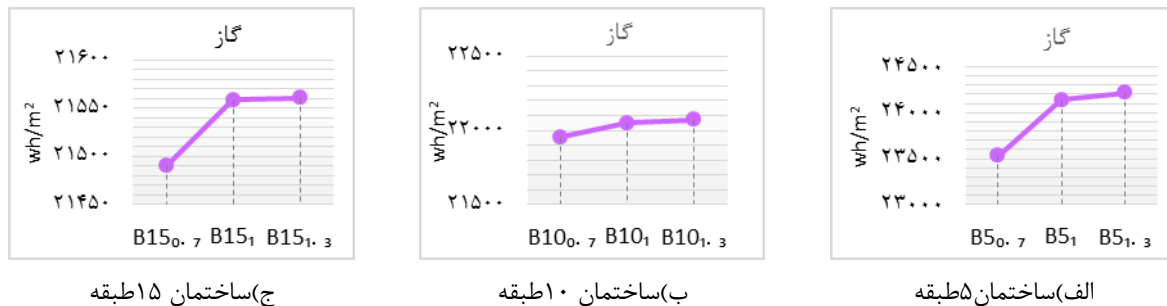
حفره و مصرف گاز افزایش می یابد. است. در این گونه، مدل B15_{1/3} که دارای ۱۵ طبقه و عمق حفره ۱/۳ متر است با مصرف انرژی کل ۲۹/۷۶ کیلووات ساعت بر متر مربع حالت بهینه برای نمای دوپوسته محور عمودی انتخاب شد.

نمودار (۸) نشان می دهد که در گونه محور عمودی نیز در عمق حفره های آزمون، با افزایش تعداد طبقات، مصرف برق افزایش و مصرف گاز جهت گرمایش ساختمان در زمستان کاهش می- یابد و مصرف برق در هر سه مدل ۱۵، ۱۰ و ۵ طبقه با افزایش عمق



نمودار ۸- نتایج برق و گاز سالانه با افزایش عمق حفره و تعداد طبقات در نمای دوپوسته محور عمودی

Diagram 8-Electricity & gas consumption by increasing cavity depth & floor numbers in Shaft-box DSF



نمودار ۹- مصرف روبه رشد گاز در نتیجه افزایش عمق حفره در گونه محور عمودی

Diagram 9. Increasing gas consumption as a result of increasing cavity depth in Shaft-box DSF

نتایج

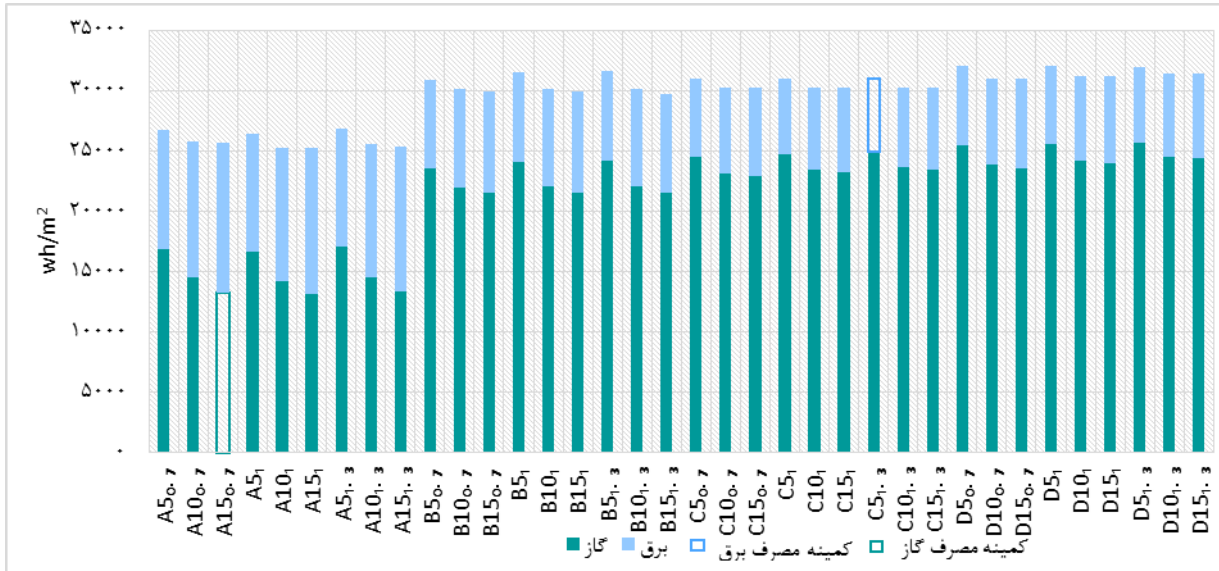
می گذارد. بدین ترتیب که با افزایش تعداد طبقات و در نتیجه آن افزایش ارتفاع فضای حفره مصرف گاز در زمستان به مقدار بیشتری کاهش پیدایمی کند دلیل این امر را می توان خاصیت شناوری گرمایی بیشتر عنوان نمود. همین خاصیت در تابستان باعث وقوع اشباع گرمایی شده و دمای فضاهای همجوار حفره را افزایش می دهد و سیستم سرمایش برای رساندن این دما به دمای آسایش برق بیشتری مصرف می کند. برطبق نتایج این موردی است که باید در هنگام استفاده از نمای دوپوسته در ساختمان های مرتفع مدنظر قرار گیرد. به عنوان راهکار این مسئله استفاده از سیستم تهویه مکانیکی پیشنهاد می شود که هوای گرم را از قسمت بالای حفره خارج کند.

نمودار (۱۰) مصرف سالانه برق و گاز در تمامی سناریوهای پژوهش رانشان می دهد. برطبق نتایج حاصل شده مدل C5_{1/3} به عنوان کمترین مصرف کننده برق در مقایسه با مدل A15_{0/7} که بیشترین مصرف برق را دارد ۶۰٪ مصرف برق

تحلیل های انرژی انواع مختلف گونه های نمای دوپوسته نشان داد که در گونه چندطبقه ای مدل A15₁ که دارای ۱۵ طبقه و عمق حفره ۱ متر با مجموع مصرف انرژی ۲۵۲۲۶ وات ساعت بر مترمربع، در گونه دالانی مدل D15_{0/7} که دارای ۱۵ طبقه و عمق حفره ۰/۷ متر با مجموع مصرف انرژی ۳۰۹۶۴ وات ساعت بر مترمربع در گونه پنجره جعبه ای مدل C15_{0/7} که دارای ۱۵ طبقه و عمق حفره ۰/۷ متر است با مجموع مصرف انرژی ۳۰۲۱۰ وات ساعت بر مترمربع و در گونه محور عمودی مدل B15_{1/3} که دارای ۱۵ طبقه و عمق حفره ۱/۳ متر است با مصرف انرژی کل ۲۹/۷۶ کیلووات ساعت بر مترمربع بهینه ترین حالت های گونه خودمی باشند و این می تواند راهنمایی باشد برای انتخاب عمق حفره و تعداد طبقه در ساختمان هایی که نمای دوپوسته استفاده شده است بطوریکه کمترین مصرف انرژی حاصل شود. نمودارهای ۲ و ۴ و ۸ و ۱۰ نشان داد که افزایش تعداد طبقات در گونه چندطبقه ای تاثیر بیشتری بر مصرف انرژی

طبق یافته حاصل مدل نمای دوپوسته چندطبقه ای با ۱۵ طبقه و دارای عمق حفره ۰,۷ متر می تواند گزینه مناسبی از الگوی نمای دوپوسته در اقلیم سرد باشد و برعکس مدل دالانی با ۵ طبقه و عمق حفره ۱,۳ متر برای استفاده در نمای ساختمان- های این اقلیم توصیه نمی شود.

کمتری دارد. با بدست آوردن این نتیجه می توان نسبت به اولویات انتخاب در مصرف گاز و یا برق بیشتر تصمیم اتخاذ نمود. مدل A15_{0/7} کمترین بار گرمایشی را دارد و در مقایسه با مدل D5_{1/3} که بیشترین بار گرمایشی دارد در حدود ۵۰٪ بار گرمایشی کمتری دارد در نتیجه مصرف گاز سیستم گرمایش کمتری دارد.

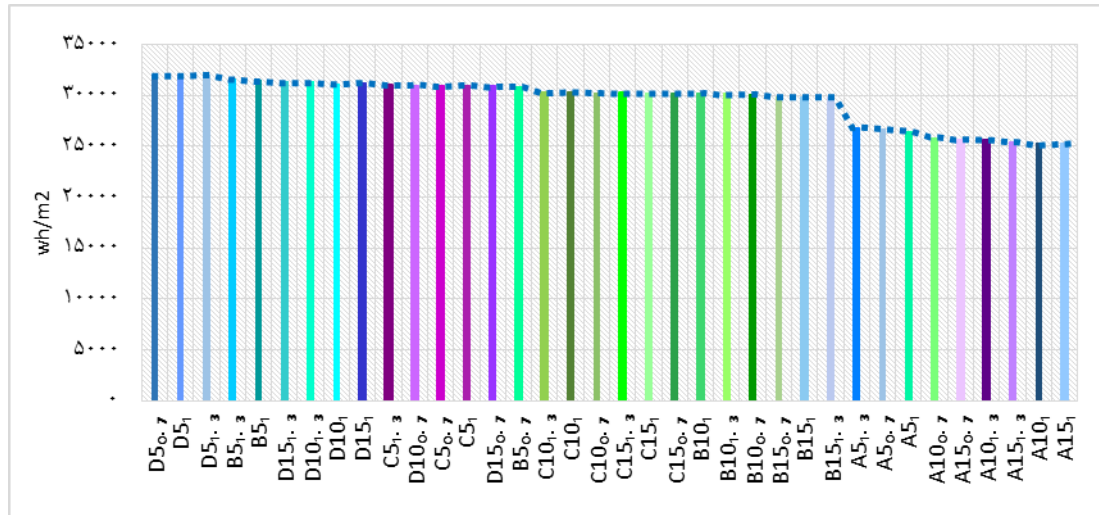


نمودار ۱۰- میزان مصرف سالانه برق و گاز در تمامی سناریوها

Diagram 10. Annual Electricity & gas consumption of all scenarios

دوپوسته استفاده کنیم نمای دوپوسته چندطبقه ای با احتساب ۱ متر عمق حفره بهینه ترین حالت خواهد بود. ساختمان پنج طبقه با نمای دوپوسته از گونه محور عمودی با عمق حفره ۰,۷ متر (D5_{0/7}) و مصرف انرژی ۳۲۰۷۱ وات ساعت بر مربع بیشترین مصرف انرژی را در بین ۳۶ نمونه مورد مطالعه دارد.

طبق نتایج و نمودار (۱۱) ساختمان پانزده طبقه با نمای دوپوسته از گونه چندطبقه ای با عمق حفره ۱ متر (A15₁) و مصرف انرژی ۲۵۲۲۶ وات ساعت بر متر مربع در سال کمترین مصرف انرژی را دارد. این بدان معناست که اگر بخواهیم در یک ساختمان بلندمرتبه در اقلیم سرد از نمای



نمودار ۱۱- میزان مصرف انرژی سالانه کل در تمامی سناریوها

Diagram 11.Total annual energy consumption of all scenarios

جدول ۳- افزایش و کاهش مصرف برق و گاز با افزایش عمق حفره و تعداد طبقات

Table3. Increase & decrease of the gas & electricity consumption by increasing the cavity depth & number of the floors

| | چند طبقه ای | | محور عمودی | | پنجره جعبه ای | | دالانی | |
|--------------------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------|--------------------|----------|----------|
| | مصرف گاز | مصرف برق | مصرف گاز | مصرف برق | مصرف گاز | مصرف برق | مصرف گاز | مصرف برق |
| افزایش عمق حفره | تاعمق ۱متر: کاهش | کاهش | تاعمق ۱متر: کاهش | کاهش | افزایش | کاهش | افزایش | کاهش |
| افزایش تعداد طبقات | کاهش | افزایش | کاهش | افزایش | کاهش | تا ۱۰ طبقه کاهش | کاهش | افزایش |

مصرف برق اهمیت بالایی دارد. بر طبق جدول ۳ افزایش تعداد طبقات ساختمان در تمامی گونه های نمای دو پوسته بررسی شده در مقاله حاضر کاهش مصرف گاز و افزایش مصرف برق به دلیل اثر دودکش را به همراه دارد. بنابراین استفاده از نمای دو پوسته در ساختمان های بلندمرتبه در اقلیم سرد مناسب تر می باشد.

جدول ۳ به بررسی افزایش و کاهش مصارف با افزایش عمق حفره و تعداد طبقات می پردازد. طبق نتایج در تمامی گونه ها با افزایش عمق حفره مصرف برق کاهش می یابد. بنابراین اگر هدف طراح، طراحی ساختمانی باشد که برق کمتری مصرف کند یک راهکار این است که عمق حفره نمای دو پوسته بیشتر از ۱ متر در نظر گرفته شود. همچنین در اقلیم های گرم افزایش عمق حفره پیشنهاد می شود که در آن ها میزان

جدول ۴- افزایش و کاهش مصرف انرژی با افزایش عمق حفره و تعداد طبقات

Table 4. Increase & decrease of energy consumption by increasing the cavity depth & number of the floors

| | چند طبقه ای | محور عمودی | پنجره جعبه ای | دالانی |
|--------------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
| | مجموع مصرف انرژی | مجموع مصرف انرژی | مجموع مصرف انرژی | مجموع مصرف انرژی |
| افزایش عمق حفره | تاعمق حفره ۱ متر کاهش | افزایش | افزایش | کاهش |
| افزایش تعداد طبقات | تا ۱۰ طبقه افزایش | کاهش | کاهش | کاهش |

۱,۳ متر (C5_{1/3}) با ۸۳۷۲,۲ کیلوگرم بر متر مربع کمترین انتشار کربن را به دارد. این مدل بر طبق نمودار ۱۰ کمترین مصرف برق را دارد و لازم به ذکر است تولید و مصرف برق باعث انتشار کربن بیشتری می شود. بر طبق نمودار ۱۱ مدل نمای دوپوسته از گونه چند طبقه ای با عمق حفره ۱ متر (A15₁) کمترین مصرف انرژی را دارد این در حالی است که انتشار کربن این مدل ۹۸۰۳,۷ کیلوگرم بر متر مربع است و با مدل C5_{1/3} ۱,۴۳۳,۵ کیلوگرم بر متر مربع اختلاف دارد. برای نیل به اهداف ساختمان های سبز استفاده از انرژی های تجدید پذیر نظیر سیستم های فتوولتائیک راهکار است که دوجنبه مصرف کم انرژی و آلودگی هوا را در پی خواهد داشت.

بر طبق جدول ۴ مصرف کل انرژی در طول یک سال در گونه های دالانی و چند طبقه ای با افزایش عمق حفره کاهش می یابد و در گونه های پنجره جعبه ای و محور عمودی افزایش می یابد. با افزایش تعداد طبقات در سه گونه دالانی، پنجره جعبه ای، محور عمودی میزان مصرف انرژی کاهش و در گونه چند طبقه ای تا ۱۰ طبقه افزایش می یابد. همانگونه که قبلاً ذکر شد بنابه آلودگی های شدید زیست- محیطی میزان انتشار کربن از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این راستا جدول ۵ میزان انتشار کربن سناریوهای پژوهش حاضر را نشان می دهد. نتایج نشان دهنده این است که مدل نمای دوپوسته پنجره جعبه ای و با ۵ طبقه و عمق حفره

جدول ۵- میزان انتشار کربن (Kg/m²) در تمامی سناریوهای پژوهش

Table 5. Increase & decrease of energy consumption by increasing the cavity depth & number of the floors

| انتشار کربن Kg/m ² | | | | | | | |
|-------------------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|--------|--------------------|--------|
| A5 _{0/7} | ۹۱۱۴,۴ | B5 _{0/7} | ۸۸۶۳,۶ | C5 _{0/7} | ۸۵۳۴,۳ | D5 _{0/7} | ۸۷۶۲,۳ |
| A1 _{00/7} | ۹۵۸۷,۲ | B10 _{0/7} | ۹۰۵۲,۲ | C10 _{0/7} | ۸۶۵۷ | D10 _{0/7} | ۸۸۱۰ |
| A15 _{0/7} | ۱۰۰۳۳,۱ | B15 _{0/7} | ۹۱۲۷ | C15 _{0/7} | ۸۷۱۴,۳ | D15 _{0/7} | ۸۸۹۶ |
| A5 ₁ | ۸۹۹۱,۲ | B5 ₁ | ۹۰۱۱,۲ | C5 ₁ | ۸۴۴۷,۸ | D5 ₁ | ۸۶۶۹,۶ |
| A10 ₁ | ۹۳۷۰,۲ | B10 ₁ | ۹۰۵۶,۲ | C10 ₁ | ۸۵۵۶,۴ | D10 ₁ | ۸۷۹۶,۴ |
| A15 ₁ | ۹۸۰۳,۷ | B15 ₁ | ۹۰۸۴,۲۶ | C15 ₁ | ۸۶۰۵ | D15 ₁ | ۸۸۶۰,۴ |
| A5 _{1/3} | ۹۱۰۴,۹ | B5 _{1/3} | ۹۰۱۲,۸ | C5 _{1/3} | ۸۳۷۲,۲ | D5 _{1/3} | ۸۶۳۵ |
| A10 _{1/3} | ۹۴۱۴,۷ | B10 _{1/3} | ۹۰۲۹,۶ | C10 _{1/3} | ۸۴۶۳,۱ | D10 _{1/3} | ۸۷۵۵,۵ |
| A15 _{1/3} | ۹۸۰۸ | B15 _{1/3} | ۹۰۱۳,۳ | C15 _{1/3} | ۸۵۱۰,۲ | D15 _{1/3} | ۸۸۲۲,۲ |

نتیجه گیری

نیز به کاربر فرصتی بی سابقه برای مداخله و تلاش برای ایجاد پیشرفت در عملکرد جهت آزمایش فرضیه ها و ایجاد پیش-

شبه سازی یک روش تحقیقاتی قدرتمند است که محققان را قادر می سازد به یک دنیای ساخته شده در آینده بنگرند و

Reference

1. Cho, S., Na, S., 2017. The reduction of co2 emissions by application of high-strength reinforcing bars to three different structural systems in South Korea, *Sustainability*, 9(9):1.
2. <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=IRAN&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2%20emissions%20by%20sector>.
3. Avazalipour, Sh., Taghizadeh, Y., Zabihi, H. 2019. Designing a native pattern in arid climate to reduce energy consumption in housing sector (Case study: Yazd), *Journal of Environmental Science and Technology (JEST)*, 3(21):236. (In Persian)
4. <http://www.moe.gov.ir/>
5. Bahadorinehad, M., Yaghubi, M. 2011. Natural ventilation and cooling in traditional Iranian buildings, University Publication Center, Tehran. (In Persian)
6. Panas, A. Pantouvakis, J. P., 2010. Evaluating research methodology in construction productivity studies, *The Built & Human Environment Review J*, 3(1): 70.
7. Nasrollahi, F., 2010. Window area in office buildings from the viewpoint of energy efficiency, Berlin University of technology, *Building technology and design*, Young cities, Germany.
8. Radhia, H., Sharples, S., Fikiry, F., 2013. Will multi-facade systems reduce cooling energy in fully glazed buildings? A scoping study of UAE buildings; *Energy and Buildings*, (56): 179–188.
9. Groat, L., Wang, D., 2002. *Architectural Research methods*. John Wiley & Sons.

بینی‌ها می‌دهد (۱۲). شبیه‌سازی رایانه‌ای می‌تواند به عنوان یک ابزار پیش‌بینی‌کننده برای پشتیبانی از فرآیند تصمیم‌گیری در مرحله طراحی استفاده شود (۱۳). توصیه می‌شود شبیه‌سازی در مرحله طراحی انجام شود. در این مرحله فرصت‌های بیشتری برای تأثیرگذاری بر طراحی ساختمان و تغییر طرح وجود دارد. واضح است که چنین پژوهش‌هایی جهت بومی‌سازی و انتخاب گزینه بهره‌ور نمای دوپوسته می‌تواند راهنمای کارفرمایان و طراحان باشد. در این پژوهش، چهار گونه مختلف نماهای دوپوسته (چندطبقه ای-دالانی-پنجره جعبه ای-محور عمودی) با سه عمق حفره متفاوت ۰/۷، ۱/۳ و ۱ متر در سه حالت مختلف ۵ طبقه، ۱۰ طبقه و ۱۵ طبقه جمعاً ۳۶ نمونه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به یافته‌ها، نتایج پژوهش به نحو ذیل تبیین می‌شود:

گونه پنجره جعبه ای ۵ طبقه با عمق حفره ۱/۳ متر دارای کمینه مصرف برق جهت سرمایش و گونه چندطبقه ای ۱۵ طبقه با عمق حفره ۰/۷ متر دارای کمینه مصرف گاز جهت گرمایش است.

نمای دوپوسته از گونه چندطبقه ای ۱۵ طبقه با عمق حفره ۱ متر کمترین مصرف کل انرژی و گونه دالانی ۵ طبقه با عمق حفره ۰/۷ متر بیشترین مصرف کل انرژی را دارد.

با افزایش تعداد طبقات در یک عمق حفره ثابت در تمامی گونه‌ها میزان مصرف برق جهت سرمایش در تابستان با شبیه‌سازی تقریباً یکنواخت افزایش می‌یابد و مصرف گاز جهت گرمایش ساختمان در زمستان کاهش می‌یابد.

مصرف برق جهت سرمایش با افزایش عمق حفره در تمام گونه‌ها روند نزولی پیدایمی‌کند.

گونه چندطبقه ای کمترین مصرف کل انرژی در اقلیم سرد دارد.

با افزایش تعداد طبقات بیشترین تغییر در نتایج مصرف انرژی در گونه چندطبقه ای نمود پیدا می‌کند.

با تلفیق تهویه طبیعی و تهویه مکانیکی مناسب و حل مسئله اشباع گرمایی در تابستان مصرف برق جهت سرمایش در تابستان در گونه چندطبقه ای و محور عمودی تقلیل پیدا کرده نتایج بهینه‌تری بدست می‌آید.

12. Dooley, K., 2002. Simulation research methods, Baum, J (ed.), Companion to Organizations, Blackwell, London, pp. 829-830.
13. Gasparia, J. Fabbrib, K. Cancellaric, T. Corazzic, G, and Vodolac, V., 2017. Building Simulation & ICT, The use of building performance simulation to support architectural design, CISBAT International Conference Future Buildings & Districts Energy Efficiency from Nano to Urban Scale, La, Switzerland.
10. Hadianpour, M., Zarkash, A., Mahdavinezhad, M. 2014. How to use double skin facade symbols in order to make optimal use of energy in buildings, Daneshnema, Specialized technical journal of Isfahan Province Building Engineering System Organization, Special issue: Building facilities and energy consumption optimization, 23(3). (In Persian)
11. Loncour, X., Deneyer, A., Blasco, M., Flamant, G., Wouters, P., 2004. Ventilated Double Façades, Classification & Illustration of Façade Concepts, Belgian, Building Research Institute.