مستخرج از پایان نامه

پایداری، توسعه و محیط زیست، دوره سوم، شماره ٤، زمستان ١٤٠١(٤١-٢١)

تحلیل نمای دو پوسته متحرک در بهره‌وری مصرف انرژی در پایداری ساختمانهای مسکونی شهر تبریز

سیدمهدی قدوسی فر[1]

مهسا فرامرزی اصلی[2*]

Faramarzi@iaut.ac.ir.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۲ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۱**

چکیده

زمینه و هدف: نماهای دو پوسته یک عنصر معماری جالب و مهم در ساختمان‌ها هستند زیرا از نظر بصری بسیار جذاب هستند و در عین حال می‌توانند عملکرد بهتری نسبت به نماهای تک پوسته داشته باشند. نماهای دو پوسته باید به درستی طراحی و اجرا شوند، در غیر این صورت ممکن است مزایای بالقوه آنها از بین برود. به همین دلیل، فرآیندهای فیزیکی که در یک نمای دوپوسته رخ می‌دهند باید به خوبی درک و پیش‌بینی شوند. با این حال، آنها بسیار پویا و ثابت هستند. هدف تحقیق حاضر تحلیل نمای دو پوسته متحرک در بهره‌وری مصرف انرژی در ساختمانهای مسکونی شهر تبریز می‌باشد.

روش بررسی: در این تحقیق از روش توصیفی تحلیلی و همچنین از معادلات عددی، نرم افزار دیزاین بیلدر، کانورج و آنالیز حساسیت استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که برای نمای دو پوسته در فصلهای سرد با مسدودکردن بالا و پایین نمای دو پوسته، هوای محبوس شده در بین دو پوسته به صورت عایق عملکرده و هدررفت انرژی کاهش می‌یابد. همچنین در فصلهای گرم از طریق باز گذاشتن بالا و پایین پوسته و ایجاد جریان هوا از بین دو پوسته انتقال حرارت از ساختمان افزایش یافته و در نتیجه دمای داخل آن کاهش می‌یابد.

بحث و نتیجه گیری: نتایج حاصل از حل عددی معادلات دینامیک سیالات محاسباتی در نرم افزار دیزاین بیلدر نشان داد که با استفاده از این روش در شهر تبریز میزان بار سرمایشی سالانه را ۴۵ درصد و میزان بار گرمایشی سالانه را ۵ درصد کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: نمای دوپوسته، ساختمان مسکونی، مصرف انرژی، پایداری، شهر تبریز.

۱- دانشجوی دکترای پژوهش محور معماری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

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

J. Sus. Dev. & Env., Vol 3, No.4, winter 2023, pp.21-41

Analyzing the double skin facade moving in the efficiency of energy consumption in residential buildings sustainability in Tabriz city.

Seyed Mehdi Ghoddosifar [1]
Mahsa Faramarzi Asl [2 *]
mahsa_faramarzi@yahoo.com

Admission Date:January 11, 2023 Date Received: August 3, 2022

Abstract

Background and Objective: Double skin facades (DSF) are an interesting and important architectural element in buildings because they are very visually appealing and at the same time can perform better than single skin facades. Double skin facades must be properly designed and implemented, otherwise their potential benefits may be lost. For this reason, the physical processes occurring in a double skin facade must be well understood and predicted. However, they are very dynamic and static. The aim of the current research is to analyze the double skin facade moving in the efficiency of energy consumption in residential buildings in Tabriz city.

Material and Methodology: In this research, the analytical descriptive method as well as numerical equations, Design Builder software, Converge and sensitivity analysis were used.

Findings: The results showed that for the double skinned facade in cold seasons, by blocking the top and bottom of the double skinned facade, the air trapped between the double skinned facades is functional insulation and energy loss is reduced. Also, in hot seasons, by leaving the top and bottom of the skin open and creating air flow between the double skin, the heat transfer from the building increases and as a result, the temperature inside it decreases.

Discussion and Conclusion: The results of numerical solution of computational fluid dynamics equations in Design Builder software showed that using this method in Tabriz city, the annual cooling load is reduced by 45% and the annual heating load is reduced by 5%.

Keywords: Double skin facades, Residential building, Energy consumption, Sustainability, Tabriz city.

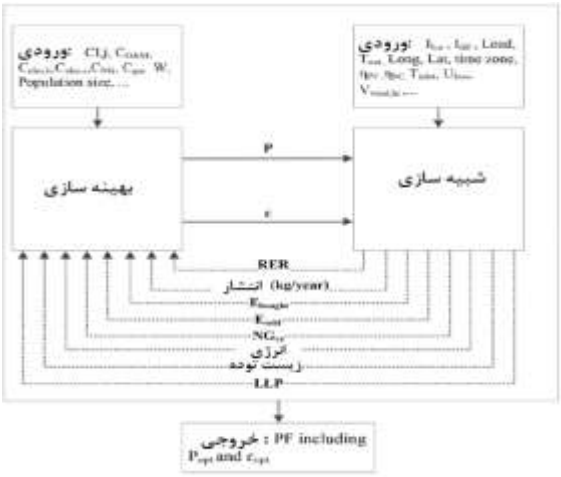
1- PhD Student in Architecture Research Oriented, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
2- Assistant Professor of Architecture, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabiz, Iran. *(*Corresponding Author*)

مقدمه

قیمت نفت و سوخت‌های فسیلی پی در پی در حال افزایش است، و همین مسئله میزان مصرف و چگونگی تولید انرژی را به یکی از چالش‌های اساسی برای کشورهای در حال توسعه تبدیل کرده است. در دهه‌های اخیر، میزان تقاضای انرژی جامعه ما به خصوص در بخش ساختمان به طور پیوسته در حال افزایش است. مصرف انرژی ساختمان‌ها در کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه حدود ۴۰٪ از کل انرژی مصرفی را تشکیل می-دهد (۱). در دهه‌ی اخیر سرانه‌ی مصرف انرژی در ایران حدود پنج برابر سرانه‌ی جهانی آن است (۲). افزایش پیوسته تقاضا برای ساختمان‌های با انرژی کارآمد، توجه گسترده‌ای را در عملکردها و نقش‌های عناصر ساختمانی مختلف به خود جلب کرده است (۳). پوسته‌ها، به‌عنوان اصلی‌ترین عنصر ساختمانی نقشی حیاتی در حفاظت از محیط‌های داخلی و کنترل تعاملات بین فضاهای داخلی و خارجی دارند. معمولا پوسته‌های ساختمانی را متشکل از سطوح قابل نفوذ و غیرقابل نفوذ در نظر می‌گیرند (۴). نماهای مرسوم می‌توانند منجر به تهویه طبیعی ضعیف، سطح پایین نور روز، عدم آسایش حرارتی، و افزایش مصرف انرژی شوند (۵). این معایب غالبا در نماهای مدرن که دارای مقادیر قابل توجهی شیشه هستند، تشدید می‌شود. در اثر جذب حرارت خورشیدی بالا یا میزان قابل توجهی از اتلاف حرارتی در شب یا اقلیم سرد، نماهای شیشه‌ای وسیع منجر به مصرف انرژی زیادی می‌شوند. جذب حرارت خورشیدی از طریق شیشه‌ها، منجر به ۵۰ درصد از بار سرمایشی ساختمان شده و بنابراین تاثیرات قابل توجهی بر بارهای حرارتی دارد. با در نظر گرفتن این نکته که ۲۲درصد از جذب و اتلاف گرما از طریق پوسته ساختمان صورت می‌گیرد، ضرورت بهره‌گیری از تکنولوژیهای غیرفعال در پوسته‌های ساختمانی به منظور کاهش مصرف انرژی ساختمان روشن می‌شود (۶). "ساختمان غیرفعال" ساختمانی است که در آن محیط داخلی بجای استفاده از سیستم‌های سرمایش و گرمایش مکانیکی، با سازه و طراحی معماری ساختمان و اجزا آن کنترل می‌شود. در میان راهکارهای غیرفعال، نمای دوپوسته اخیرا به یک فناوری محبوب تبدیل شده است. تمایل به ترکیب نمای شفاف ساختمان‌های مدرن با بهره‌وری انرژی، منجر به استفاده ازنمای دوپوسته‌ها شده است. مسئله روشنایی طبیعی در خود-کارآمد بودن ساختمان‌ها تاثیرگذار است؛ چرا که روشنایی، ۱۵٪ از انرژی مصرفی ساختمان‌ها در سراسر جهان را به خود اختصاص می‌دهد. این مسئله به خصوص در حوزه ساختمان‌های مسکونی توجه بیشتری را می‌طلبد؛ چرا که مصرف انرژی برای روشنایی این بخش به تنهایی بین ۲۰٪ تا ۴۰٪ از کل انرژی مصرفی را شامل می‌شود (۷). در ایران، روشنایی مصنوعی ۳۰٪ از مصرف برق در ساختمان‌های مسکونی را به خود اختصاص می‌دهد. مطالعات و ارزیابی‌های انجام شده نشان می‌دهد که در حدود ۴۸۰۰ میلیون کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی (معادل ۲/۵ درصد از کل انرژی مصرفی کشور) صرف تامین نیازهای ساختمانهای مسکونی می‌گردد. میزان این مصرف ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلو وات ساعت به ازاء هر فرد در مترمربع بسته به مکان قرارگیری ساختمان مسکونی، ابعاد آن و تعداد و نوع تجهیزات مورد استفاده در آن متغیر است (۸). نور روز یک منبع مهم انرژی تجدیدپذیر است که به سادگی در دسترس است و بعید است که در آینده پیش‌رو به پایان برسد. علی‌رغم آنکه ایران در ساعات کاری از نور روز زیادی برخوردار است (تبریز به‌طور متوسط ۸ ساعت در روز آفتابی است) این سطح از مصرف برق نسبتا بالا می‌ماند. در سایه‌ی آگاهی جهانی از اهمیت عملکرد پایدارتر و کارآمدتر ساختمان، لازم است که روش‌هایی برای به حداقل رساندن مصرف برق برای روشنایی از طریق بهترین تصمیمات طراحی ارائه شود. یک روش کارآمد استفاده موثرتر از نور روز طبیعی در فضاهای داخلی است. بهره-گیری از نور روز نقشی اساسی در روشنایی ساختمان دارد، و استفاده بهینه از آن می‌تواند مصرف انرژی کلی ساختمان را کاهش دهد. علاوه بر آن، وارد کردن نور روز به محیط داخلی تاثیر به سزایی در سلامتی و آسایش ساکنین دارد. برای تامین نور مناسب سه عامل باید همیشه مورد توجه قرار گیرند: کمیت و کیفیت نور و نحوه توزیع آن، نور روز لحظه به لحظه به لحاظ

شدت و کیفیت متغیر است و میزان مطلوب یا قابل تحمل این تغییر بسته به کاربری خاص یک فضاست. در سال‌های گذشته، محققان سعی بر این داشته‌اند که با استفاده از نور روز طبیعی به عنوان منبع اصلی انرژی ساختمان، وابستگی خود را به منابع انرژی غیرقابل تجدید کاهش دهند. بیشتر این مطالعات برروی بهینه‌سازی نور روز داخل ساختمان‌ها تمرکز کرده‌اند. اگرچه، در متدهای آنها، به دلیل محدودیت‌های روش‌های تحقیق آنها، بالاترین حد کارآیی ممکن میسر نبود. در رویکردهای خاص، اگرچه استراتژی‌های بهینه‌سازی نور روز به بهترین زاویه‌ی عناصر سایه‌انداز دست یافته‌اند، اما این سیستم را نمی‌توان به صورت سه بعدی حرکت داد، در نتیجه میزان بهینه و در دسترس نور در طول روز کاهش می‌یابد. در طراحی‌های بهینه، به حداقل رساندن مصرف انرژی هدف اصلی است. براین اساس، بازشوهایی برای ورود نور خورشید به داخل فضا در نظر می گیرند و از این طریق با کاهش روشنایی الکتریکی، مصرف انرژی کاهش می‌یابد. پژوهش‌های قبلی ضعف‌هایی داشتند، چرا که یک متدولوژی برای تامین نور روز بهینه در فضای داخلی نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد. در پژوهش حاضر، با ارزیابی یک پوسته‌ی دوم متحرک در ساختمان مسکونی که قابلیت کنترل آن توسط ساکنین برای بهینه‌سازی ورود نور روز به داخل فضا وجود دارد، میزان روشنایی فضای داخلی، گرمایش و سرمایش از طریق ذخیره‌سازی نور خورشید در طی روز بهینه شده و همچنین در تهویه مطبوع و آسایش حرارتی موثر است. این سیستم متحرک که متشکل از اجزاء عملکردی مستقلی است، نه‌تنها به بهره‌گیری از نور روز کمک می‌کند، بلکه میزان نور روز را در کل فضا متعادل می‌کند و در عین حال از تابش مستقیم نور روز به داخل فضا جلوگیری می‌کند. این پوسته متحرک با کاهش نیاز به روشنایی مصنوعی و سرمایش (به لحاظ استفاده از منابع تجدیدناپذیر) باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. این پژوهش با هدف ارزیابی یک پوسته‌ی متحرک که حرکت و چرخش اجزاء آن به منظور بهینه‌ساز ی ورود نور روز به داخل قابل کنترل است، صورت گرفته است. در نتیجه یکی از در دسترس‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر، نور خورشید است که به صورت‌های مختلفی می‌تواند در کاهش روند مصرف انرژی تاثیر بسزایی داشته باشد. با این حال، این منبع انرژی می‌تواند در فصول گرم نتیجه عکس داشته و بار سرمایشی محیط را افزایش دهد. به این منظور با به کارگیری روشی که بتواند امکان بهره‌گیری از انرژی خورشیدی را در فصول سرد فراهم کرده و در عین حال از تاثیرات نامطلوب این منبع انرژی در فصول گرم جلوگیری کند، می‌تواند تاثیری دوچندان در بهبود روند مصرف انرژی داشته باشد. نوآوری تحقیق حاضر به این دلیل است که در شهر تبریز نمای دو پوسته متحرک بیشتر در رابطه با ساختمان‌های اداری انجام شده است و در رابطه با ساختمان‌های مسکونی انجام نگرفته است. این پژوهش در راستای استفاده از نماهای دوپوسته متحرک در ساختمان‌های مسکونی برای اولین بار در شهر تبریز برای کاهش مصرف و بهینه‌سازی انرژی می‌باشد.

تحقیقات شبیه‌سازی سعی در کسب محتوای معنایی از مدلهایی دارند که سیستم‌های واقعی را نشان می‌دهند. شکل (۱) مراحل فول چارت شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- فول چارت روش بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی (۵)

Figure 1. Full chart of optimization method based on simulation (5)

شبیه‌سازی رایانه‌ای با الگویی از رفتار سیستمی که محقق قصد بررسی آن را دارد، آغاز می‌شود (۹). بطور کلی برای مدل‌های پویا، ویژگی‌ها و جزئیات درگیر در حالات مدل، سطح جزئیات را تعیین می‌کنند. وقتی حالات مدل را تعریف می‌کنیم، هدف تعیین قوانین تغییری است که در این سطح عمل می‌کند. قوانین تغییر بطور دقیق با کمک یک تابع انتقال بیان می‌شوند. توابع انتقال مدل غالباً از طریق معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی یا الگوریتم‌های رایانه‌ای مشخص می‌شوند و مفهوم علیت را دربر می‌گیرند. در سالهای اخیر، ابزارهای زیادی برای شبیه-سازی انرژی ساختمان به لحاظ کمک به معماران، مشاوران ساختمان‌ها و سایر متخصصان جهت ارزیابی مصرف انرژی ساختمان‌ها بطور فزاینده‌ای بوجود آمده‌اند (۱۰). با توجه به فهرست ابزارهای نرم‌افزار انرژی ساختمان، بیش از چهارصد ابزار ارائه شده توسط سازمان امنیت ملی ایالات متحده در سال ۲۰۱۷ وجود داشته است. استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان توسط متخصصان طراحی به یک روش اساسی جهت، پشتیبانی از تصمیمات طراحی برای ساختمان‌هایی با انرژی کارآمد تبدیل شده است (۱۱). فرمول‌بندی مسئله بهینه‌سازی شامل متغیرهای تصمیم، اهداف و قیدهایی است که به کمک الگوریتم بهینه‌سازی مورد استفاده به صورت دقیق پیاده‌سازی شده‌اند. ماژول شبیه‌سازی وظیفه استخراج مدل‌های ریاضی مربوط به تأمین‌کننده‌های انرژی را بر عهده دارد. ابتدا، مجموعه‌ای از پاسخ‌های تصادفی تولید می‌شود تا جمعیت اولیه ذرات را تشکیل دهد و سپس ماژول شبیه‌سازی پاسخ‌های کاندید را برای تست عملی آن‌ها دریافت می‌کند. در واقع، نقض ماژول شبیه‌سازی محاسبه عملکرد هر یک از ترکیب‌های پیشنهادی نظیر RER، انتشار CO_2 و یا LLP می‌باشد (۱۲). مرحله بعدی مربوط است به بررسی معیار توقف، در صورتی که برآورده نشده باشد، مجموعه پاسخ‌ها مطابق بر اساس عملگرهای اعمال شده روی الگوریتم بهینه‌سازی، آپدیت سازی می‌شوند (۱۳). جمعیت آپدیت شده دوباره می‌بایست به ماژول شبیه‌سازی هدایت شده تا قابلیت پیاده‌سازی آن‌ها بررسی گردد. نقطه پایان این سیکل بر اساس معیار توقف تعیین شده، مشخص می‌گردد (۱۴). خروجی این روند محاسبانی مجموعه‌ای از پاسخ‌های غیر غالب است که به عنوان بهترین پاسخ‌های یافت شده تاکنون، در نظر گرفته می‌شوند. معیارهای نرم‌افزارهای رایج در شبیه‌سازی (۱۵):

- ویژگی‌های کلی برنامه‌ها مانند قابلیت‌های اصلی، زبان برنامه نویسی/پلتفرم، مجوز، توسعه دهنده/شرکت
- مرحله طراحی یکپارچه، موتور شبیه‌سازی، قابلیت همکاری/تبادل داده، معیارهای عملکرد، برنامه‌ها/توابع
- نقاط قوت و محدودیت‌های اصلی، فرمت‌های فایل ورودی و خروجی، داده‌های آب و هوا و اعتبارسنجی.

نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر

نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر دسترسی به معمول ترین قابلیت‌های شبیه‌سازی مورد نیاز در ساختمان شامل بافت ساختمان، جرم حرارتی، نصب پنجره، سایه‌اندازی، انرژی‌های تجدید پذیر، تهویه مطبوع و تجزیه و تحلیل مالی را فراهم می‌کند و از موتور شبیه‌سازی انرژی پلاس استفاده می‌کند (۱۶). داده‌های به دست آمده را می‌توان به دلخواه فیلتر و در نمودارها ارائه کرد. ویژگی‌های کلیدی شبیه‌سازی این ابزار عبارتند از (۱۷):

- ارائه داده‌های عملکرد محیطی مانند مصرف انرژی، انتشار کربن، دمای آسایش در فواصل سالانه، ماهانه، روزانه، ساعتی و زیر ساعتی؛
- گزارش دریافت نور خورشیدی در سطوح، دمای سطح و تبادلات تابشی؛
- دسترسی به طیف گسترده‌ای از نتایج برای ساختما نها و سیستم‌ها.

نمای دو پوسته

در این نوع از نمای دو پوسته، در لایه خارجی نمای ساختمان از متریال شیشه‌ای استفاده می‌شود، به این صورت نمای ساختمان یکپارچه به نظر خواهد رسید. به عبارتی در این روش از طراحی نمای دو پوسته، مکانیزم تهویه‌ی هوا فقط در قسمت بالایی و پایینی نما به چشم می‌خورد و در آن از بخش‌های متحرک زیادی استفاده نشده است. از جمله معایب این نوع از نمای دو پوسته می‌توان به گرم شدن بیش از حد فضاهای داخلی در فصول گرم اشاره کرد (۱۸).

نمای دوپوسته چند طبقه‌ای

دارای حفره‌ای است که تقسیم بندی افقی و عمودی ندارد. پوسته‌های خارجی و داخلی یک نمای چند طبقه‌ای معمولاً مستقل از یکدیگر هستند. خروج هوا در بالای نما با خاصیت شناوری حرارتی و یا وسایل مکانیکی صورت می‌گیرد (۱۹). در طول ماه‌های زمستان، حفره نمای دوپوسته آب‌بندی شده و به عنوان یک بافر حرارتی عمل می‌کند. همچنین در پوسته خارجی، دو دریچه یکی در پایین پنجره و دیگری در سطح سقف مدل‌سازی می‌شوند. ابعاد دریچه‌های ورودی و خروجی هوا در بالا و پایین ۲. ۲۳ * ۰,۴ هستند (۲۰).

نمای دو پوسته پنجره جعبه ای

در این نوع از نمای دو پوسته پنل‌های به کار رفته شده در هر طبقه به صورت جداگانه طراحی و پیاده‌سازی می‌شود، به این صورت ساکنین می‌توانند تنظیم تهویه هوای طبقات خود را به عهده بگیرند.با این حال این روش از طراحی نمای دو پوسته نیز از معایبی برخوردار است؛ برای مثال به دلیل امکان تغییر نحوه تهویه هوا در هر طبقه، در صورتی که طبقات پایین تنظیمات تهویه خود را تغییر دهند، ممکن است امکان تهویه در طبقات بالا از بین برود (۲۱).

نمای دو پوسته دالانی

در نمای کریدور تا حد زیادی سعی شد که مشکل تداخل تهویه‌ی هوا بین طبقات مختلف از بین برود. همچنین در بعضی از انواع نمای کریدور امکان سوار کردن سپرهای ضد صدا برای عایق‌بندی صوتی نمای دوپوسته نیز وجود دارد که مانع از انتقال انرژی صوتی از یک طبقه به طبقه‌ی دیگر می‌شود. البته این نکته حائز اهمیت است، که اجرای سپرهای ضد صدا، بسته به نوع نمای دوپوسته متفاوت است و ممکن است در برخی از انواع نمای دوپوسته اجرایی نشود (۲۲).

روش کار

بیشترین و کمترین دمای ثبت شده، برای شهر تبریز در چند سال اخیر به ترتیب مثبت ۴۱ درجه سانتیگراد و منفی ۵- درجه سانتیگراد است. هدف این مقاله بررسی تأثیر نمای دوپوسته در فصول سرد و گرم برای ساختمانی در شرایط آب و هوایی شهر تبریز در محله ولیعصر با نیاز بار گرمایی خیلی زیاد و مقایسه میزان اثر بخشی نمای دوپوسته در شرایط آب و هوایی مورد مطالعه است. دینامیک سیالات محاسباتی یکی از روشهای حل عددی مسائل مهندسی مکانیک سیالات است که برای محاسبه دما، سرعت و خواص دیگر جریان استفاده می‌شود. 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 اثر بخشی طرح‌های مختلف

سیستم‌های سرمایش، گرمایش و تهویه ساختمانها و همچنین ارزیابی شرایط آسایش داخل ساختمان مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش معادلات دینامیک سیالات محاسباتی حل می‌شود و با استفاده از نتایج حاصل از حل این معادلات در ابتدا روایی استفاده از نرم افزار دیزاین‌بیلدر تأیید می‌شود. سپس از این نرم افزار در جهت محاسبه بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌های با نمای دوپوسته و بدون نمای دوپوسته استفاده می‌شود. در آخر از آنالیز حساسیت هم استفاده شد.

معادلات

روش عددی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) که توسط دیزاین‌بیلدر استفاده می‌شود، شامل حل مجموعه‌ای از معادلات: بقای جرم، مومنتوم (معادلات ناویر-استوکس) و انرژی است (۲۳). مجموعه معادلات شامل سه مؤلفهٔ سرعت و یک مؤلفهٔ دماست (۲۴).

مجموعه معادلات دیفرانسیل جزئی مرتبه دوم غیر خطی کوپل شده دارای فرم کلی معادله (۱) است که در آن، $\emptyset$ معرف متغیرهای وابسته است:

(۱)

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

در معادله (۱) مولفهٔ $\frac{\partial}{\partial t}(p\theta)$ نرخ تغییرات، مولفه $div(puθ)$ انتقال از طریق جابجایی، مولفه $\text{div}(\Gamma \text{ grad}\,\theta)$ انتقال از طریق نفوذ و S مولفهٔ چشمه است. مجموعه ی معادلات به دلیل غیر خطی بودن نمی‌توانند با تکنیکهای تحلیلی حل شوند. در نتیجه استفاده از یک روش عددی ضروری است.

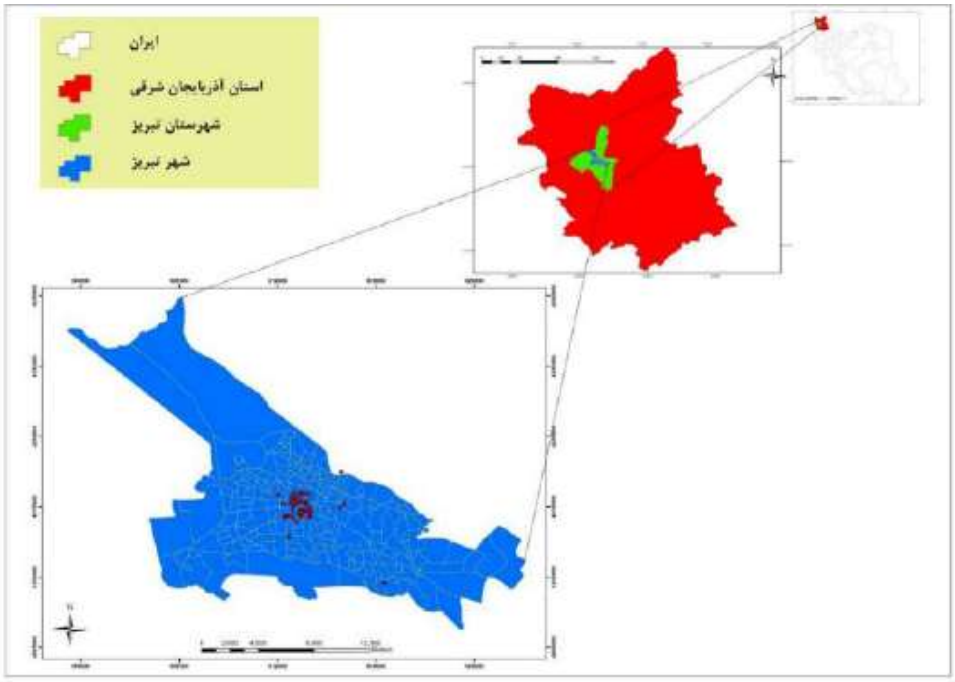
روش عددی استفاده شده توسط دیزاین بیلدر شامل تبدیل معادله مشتقات جزئی به صورت مجموعه‌ای از معادلات جبری با شبکه‌بندی کردن فضای هندسی ساختمان یا دامنه محاسبات به مجموعه‌ای از سلول‌ها یا حجم‌های محدود و بدون همپوشانی است که به‌طور کل به‌عنوان شبکه‌بندی حجم محدود شناخته می‌شود. سپس مجموعه معادلات به‌صورت 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

اعتبارسنجی

برای اعتبار سنجی از داده‌های تجربی برای اثبات درستی خروجی‌های نرم افزار بهره گرفته می‌شود. داده‌های تجربی پژوهش استاوراکاکیس (۲۵) برای تطبیق با نتایج این مقاله استفاده 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 دیزاین بیلدر می‌توان به دست آورد. برای این منظور در این پژوهش شهر تبریز که به عنوان یک شهر سردسیر است از این روش استفاده شد.

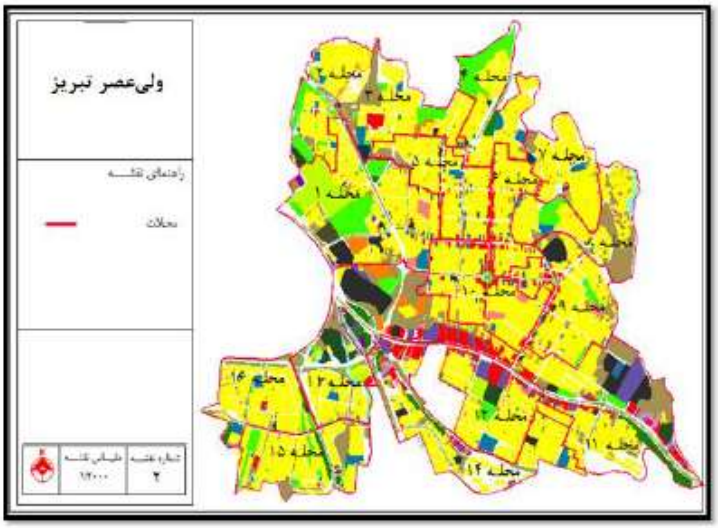
محدوده مورد بررسی

شهر تبریز مرکز استان آذربایجان‌شرقی است، محله ولیعصر هم یکی از محله‌های بزرگ و پر وسعت شهر تبریز است. این محله از جهت ارتفاع یکی از مناطق مرتفع تبریز محسوب می‌شود، در ناحیه شرقی شهر تبریز واقع شده، چهل سال پیش زمین‌هایی با قیمت نازل بود و قسمتی از آن را درهای بزرگ تشکیل می‌داد. این منطقه جز حوزه استحفاظی شهرداری منطقه ۱ تبریز می‌باشد. بعد از انقلاب هم نقش مهمی از لحاظ تاریخی و سیاسی یافت. متأسفانه فعالیت گروهک‌ها، مجاهدین و ترورهای سالهای اول شرایط ناامنی را بر کشور حاکم کرده بود، تبریز هم از این قاعده مستثنی نبود. همه به حاشیه شهر رفتند، ثروتمندان و قسمتی از طبقه متوسط به محله ولیعصر رفتند. پدیده جدید و قشر خاصی در فرهنگ شهرنشینی تبریز به وجود آمد. خیابان مشرف به فلکه را توسط شهرداری منطقه ۱ بسته شد و سنگ‌فرش کردند که به شانزه لیزه معروف شد. جمعیت این محله برابر ۹۸۵۲۲ است و مساحت محله ولیعصر برابر ۸۳۴/۵ هکتار می‌باشد (۲۶).



شکل ۲- موقعیت شهر تبریز در ایران

Figure 2. Location of Tabriz city in Iran



شکل ۳ - موقعیت محله ولیعصر

Figure 3. The location of Waliasr neighborhood

یافته ها

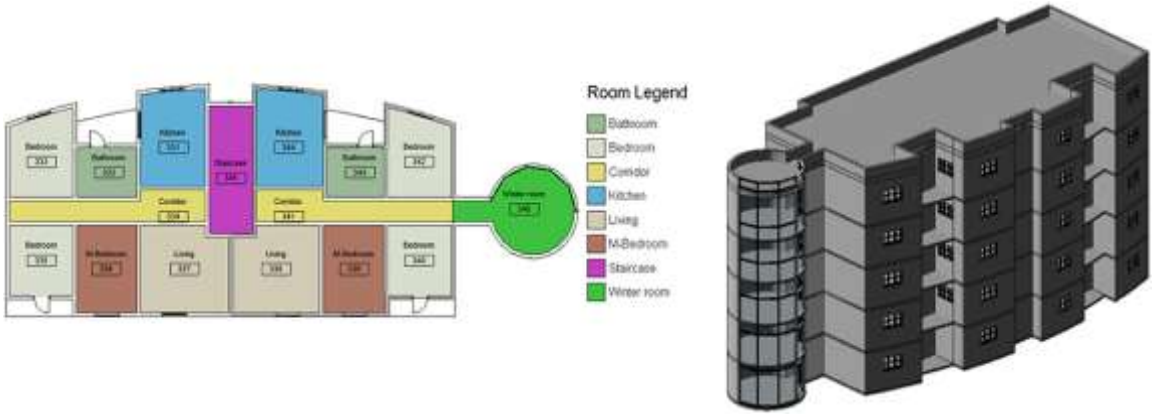
این پژوهش نشان داده است که میزان مصرف انرژی در تابستان تا حدود ۵۲ درصد و در زمستان تا حدود ۸ درصد کاهش می‌یابد. ابتدا اعتبار سنجی این مقاله با استفاده از داده‌های تهویه طبیعی یک ساختمان مسکونی که به صورت تجربی و عددی ثبت شده است، انجام شد. مطابق شکل (۴، ۵، ۶) برای اهداف تست کیفیت هوای داخل آن ساخته شده 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 اتاقها 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 جدول ۲، شرایط مرزی دیواره‌های ساختمان در جدول ۳ و شرایط محیطی برای طرح خارج ساختمان در جدول ۴ ارائه شده است برای اعتبار سنجی فقط دو نقطه‌ی پایش B1 و B3در نتایج شبیه‌سازی شکل ۷ و شکل ۸ با جدول ۲ مقایسه می‌شود.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی مدول پایه

Table 1. Physical specifications of the base module

پارامتر	مقدار ورودی
ست پوینت گرمایش‌ت بک گرمایش	c°۲۲
	c°۱۲
ست پوینت سرمایش‌ست بک سرمایش	c°۲۴
	c°۲۸
کمینه هوای تازه	۱۲لیتربرثانیه برنفر
رایانه	۵۵وات برمترمربع
برنامه زمانی	۲۴ ساعته
تجهیزات	۱۲۵وات بر مترمربع
تهویه مطبوع	زیرزمین: خاموش، طبقه همکف، اول و دوم: روشن (فن کویل)
بازدهی تهویه مطبوع	۱ گرمایش-۲/۳ سرمایش
بازشوها	شیشه تک جداره ۶ میلیمتری با پرده داخلی – قاب: آلومینیومی
ضریب انتقال حرارت دیوارها	۲/۳وات برمترمربع سانتیگراد



شکل۴- ساختمان مورد بررسی به همراه پلان

Figure 4. The building under investigation along with the plan

جدول ۲- مقادیر اندازه‌گیری شده در تست تجربی در نقاط مانیتورینگ

Table 2. Values measured in the experimental test at the monitoring points

مورد n	A1	B1	B2	B3
مختصات (m)	۱/۲۵، ۰، ۵/۵	۳/۳ ،۱/۹ ،۱/۸	۳/۱ ،۲/۳ ،۲/۳	**۳/۱ ،۲/۳ ،۳/۱**
دما (c^0)	۳۳/۱۵	۳۱/۶۷	۳۲/۸۲	**۳۲/۹۱**
سرعت (m/s)	۱/۴۹	۰/۵	۰/۰۹	**۰/۲۳**

جدول ۳-شرایط مرزی از تست تجربی

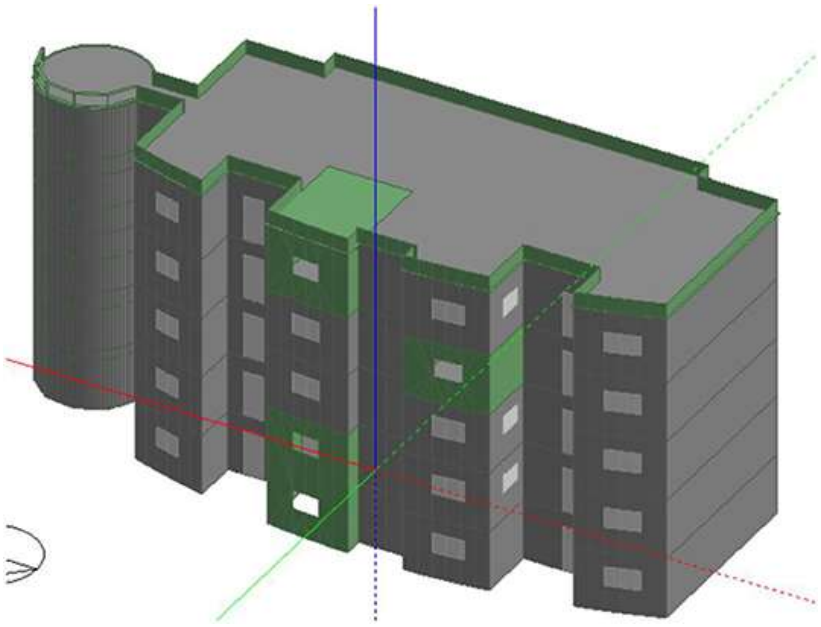
Table 3. Boundary conditions from the experimental test

موارد	T east wall(c^0)	T west wall(c^0)	T south wall(c^0)	T north wall (c^0)
مورد A	۳۰۴	۳۰۳,۱	۳۰۵	۳۰۲,۹
مورد B	۳۰۴,۵	۳۰۳,۹۵	۳۰۴	۳۰۳,۲

جدول ۴- شرایط محیطی برای طرح خارج ساختمان

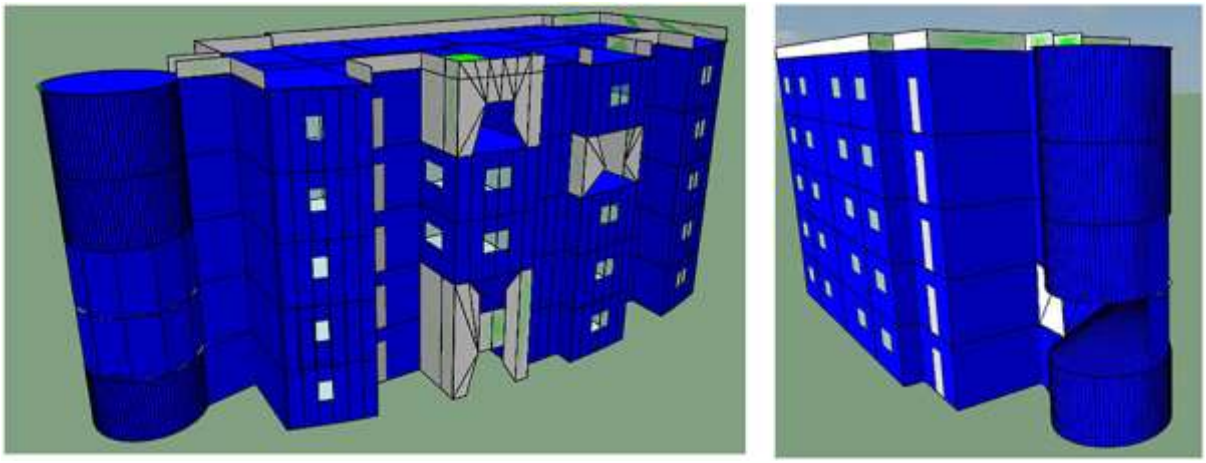
Table 4. Environmental conditions for the design outside the building

زاویه برخورد	سرعت باد ۷ متر در (m/s)	دمای خارج (c^0)	رطوبت نسبی درصد
۱۱۰	۳	۳۳/۱۵	۲۳/۹۶



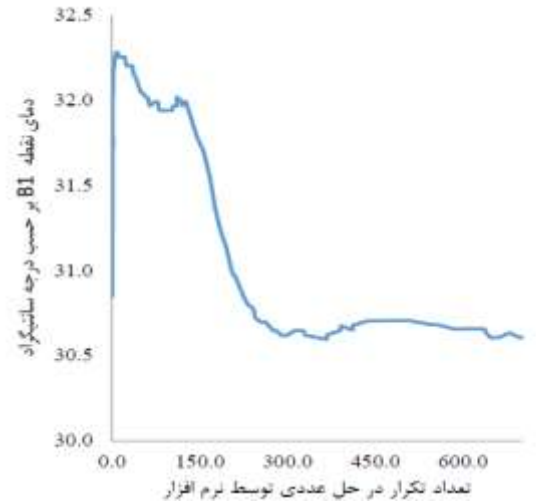
شکل ۵- نمای ساختمان بدون دوپوسته نرم‌افزار شبیه‌ساز دیزاین‌بیلدر(7.0.082)، ۲۰۲۱

Figure 5. The view of the building without a double design of the Design Builder simulator software (7.0.082), 2021



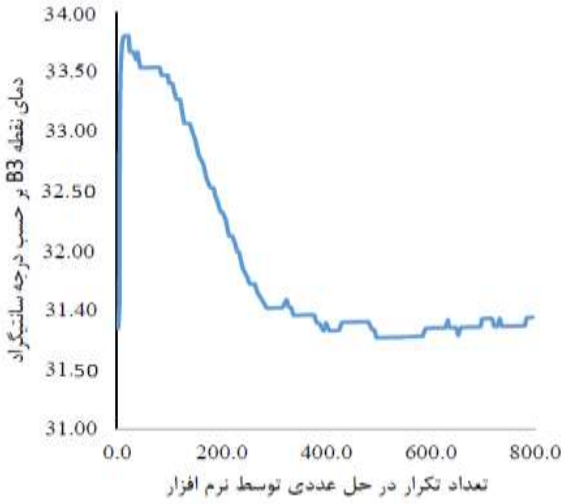
شکل۶- نمای ساختمان با دوپوسته نرم‌افزار شبیه‌ساز دیزاین‌بیلدر (7.0.082)، ۲۰۲۱

Figure 6. The facade of the building with double design builder simulator software (7.0.082), 2021



شکل ۷- نتیجه شبیه‌سازی برای نقطه B1 با نرم‌افزار کانورج

Figure 7. Simulation result for point B1 with Converge software



شکل ۸- نتیجه شبیه‌سازی برای نقطه B3 با نرم‌افزار کانورج

Figure 8. Simulation result for point B3 with Converge software

شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان مسکونی

عملکرد ساختمان یک راه‌حل مناسب برای ارزیابی بسیاری از آلترناتیوهای مختلف طراحی با فیدبک‌های مثبت و منفی مختلف و دستیابی به راه‌حل بهینه یا نزدیک به بهینه برای یک هدف یا ترکیبی از اهداف مشخص است (۱۱) بعد از اعتبارسنجی نتایج، در این بخش شبیه‌سازی ساختمان با نمای دوپوسته در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر برای بررسی اثر این نوع نما در کاهش مصرف انرژی انجام می‌شود. ساختمان مورد مطالعه ۳۶۰ مترمربع است. چون هدف اصلی تعیین هدر رفت 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 دوپوسته به این ساختمان اضافه و ساختمان با نمای دوپوسته نیز ایجاد و ذخیره شد. نمای دوپوسته به فاصله‌ی ۶۰ سانتیمتری جدار خارجی در یک سمت ساختمان ایجاد شده است. ساختمان دوم که دارای نمای دوپوسته است از دو ناحیه تشکیل شده که یکی از آنها حفره نمای دوپوسته و دیگری ساختمان اصلی است. در پژوهش‌های مختلف و در ساختمان-های ساخته شده با این نوع نما، برای پهنای حفره هوای بین دو شیشه بازه‌های مختلفی در نظر گرفته شده است، مثلا ۲-۶۰ که در اینجا هم از این بازه استفاده شد. کاربری ساختمان مسکونی هم تعریف شده است. نسبت تعداد افراد حاضر به واحد سطح ۰/۱۲ فرض شد. در بخش متابولیسم، نوع فعالیت افراد حاضر در داخل ساختمان مسکونی، ایستادن و راه رفتن تعریف شد و فاکتور جنسیت ۰/۶ وارد شد. ضریب لباس افراد حاضر در محل در زمستان ۱/۱ و در تابستان ۰/۴ فرض شد. در بخش کنترل محیطی، برای زیربخش دمای نقطه تنظیم گرمایش و دمای نقطه تنظیم سرمایش به ترتیب از اعداد جدول ۵ استفاده شد.

جدول ۵-تنظیمات دمای سیستم گرمایشی و سرمایشی (۲۷)

Table 5. Heating and cooling system temperature settings (27)

پارامتر	مقدار ورودی
ست پوینت	c۲۲
گرمایش‌ست بک	c۱۲
گرمایش پوینت	c۲۴
سرمایش	c۲۸
ست بک سرمایش	

در قسمت دمای نقطه تنظیم تهویه و زیربخش تهویه طبیعی برای کنترل دمای کمینه داخلی عدد ۲۴ درجه سانتیگراد انتخاب شد. هوای تازه کمینه ۱۲ لیتر بر ثانیه به ازای هر نفر تعیین شد. جنس دیوار خارجی، به جز یکی از دیوارها که شیشه‌ای انتخاب شده است. بقیه دیوارها از ۴ لایه تشکیل شده که به ترتیب از خارج به داخل در جدول ۶ آمده است. جنس سقف صاف نیز از خارج به داخل در جدول ۷ آمده است.

همچنین جنس کف از خارج به داخل در جدول ۸ آمده است. در انتخاب مصالح سعی شد از مصالح رایج در دیزاین‌بیلدر استفاده شود.

جدول ۶- جنس دیوارهای خارجی (۲۸، ۲۹، ۳۰)

Table 6. Material of external walls (28, 29, 30)

جنس دیواره‌ها	ضخامت(mm)	مقاومت حرارتی (w/m/k)
آجری لایه بیرونی	۹۵	۰/۷۲
پلی استایرن اکسترود شده XPS Co_2	۸۰	۰/۰۳
بلوک بتنی متوسط	۹۵	۰/۱۵۳
گچ‌کاری اندود	۱۲	۰/۲۱

جدول ۷- جنس سقف صاف (۲۸، ۲۹، ۳۰)

Table 7. Material of flat roof (28, 29, 30)

جنس سقف	ضخامت(mm)	مقاومت حرارتی (w/m/k)
آسفالت	۱۲	۰/۴۴
پشم شیشه	۱۴۵	۰/۰۵۴
فاصله هوایی	۲۷	۰/۹۷
تخته‌بندی گچی	۱۲	۰/۱۱

جدول ۸-جنس کف (۲۸، ۲۹، ۳۰)

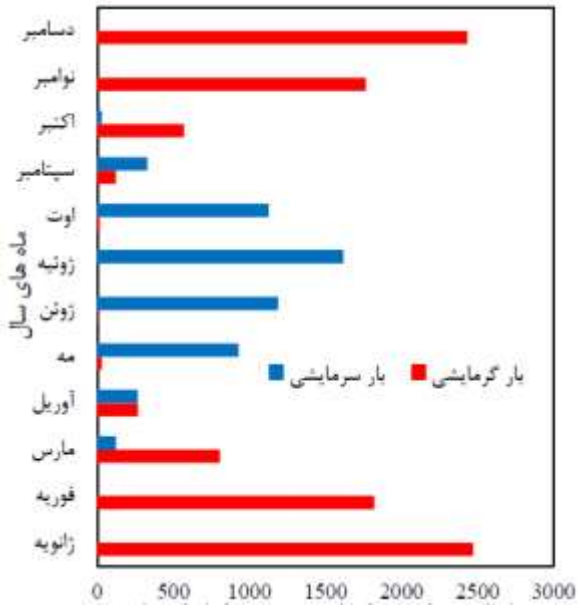
Table 8. Floor material (28, 29, 30)

جنس کف	ضخامت(mm)	مقاومت حرارتی (w/m/k)
فوم فرمالدئید اوره	۱۳۵	۰/۰۴۲
بتن ریخته شده	۹۵	۰/۷۸
کف‌پوش کف یا سقف	۷۵	۰/۳۳
کف‌پوش چوبی	۳۲	۰/۲۷

دیوار شیشه‌ای از ۹۰ درصد شیشه به علاوه ۱۰ درصد مصالح دیوار خارجی که جنس آن در بالا بیان شد، تشکیل شده است. شیشه دارای طرح‌بندی نوار افقی ۹۰ درصد لعابدار است. جنس شیشه شامل لایه خارجی از نوع generic PYDB clear به ضخامت ۳ میلی‌متر، فاصله هوایی ۱۲ میلی‌متری و لایه داخلی generic clear، ۲ 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 ۴ لوله‌ای و چیلر هوا خنک انتخاب شد. نوع تهویه، تهویه مکانیکی با برنامه باز و بسته شدن درها تنظیم شده 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 و۱۰۰درصد دیوار شیشه‌ای انتخاب شد.

بررسی بار سرمایش و گرمایش ساختمان مسکونی در شهر تبریز بدون نمای دوپوسته

شکل (۹) بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان بدون نمای دوپوسته در ولیعصر شهر تبریز را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بارسرمایشی سالانه ۵۷۱۱/۳۵کیلو وات ساعت و بار گرمایشی سالانه ۱۰۴۰۱/۸۲ کیلو وات ساعت محاسبه شده است.



شکل ۹- بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان بدون نمای دوپوسته در شرایط شهر تبریز

Figure 9. Cooling and heating load of a building without a double facade in the conditions of Tabriz city

بار گرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در ولیعصر شهر تبریز

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. شکل (۱۰) و جدول بار گرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در ولیعصر شهر تبریز را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بار گرمایشی سالانه ۹۸۷۹/۱۲ کیلو وات ساعت است.

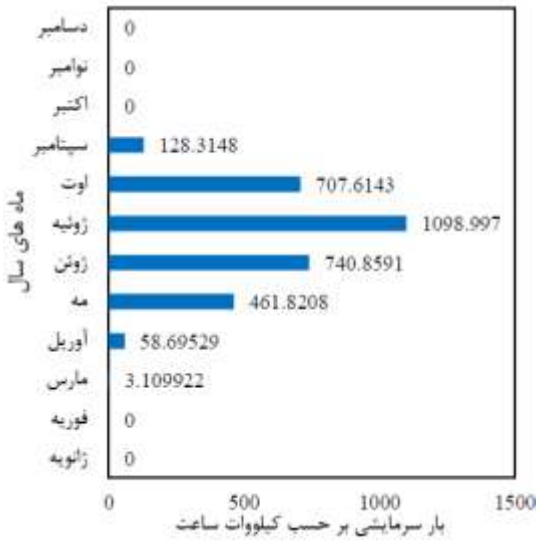
شکل ۱۰- بار گرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در محله ولیعصر تبریز

Figure 10. Heating load of the building with double facade in Waliasr neighborhood of Tabriz

بار سرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در محله ولیعصر شهر تبریز

سالانه ۳۲۰۰/۵۶ کیلو وات ساعت است.

شکل بار سرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در محله ولیعصر شهر تبریز را نشان می‌دهد و مشاهده می‌شود که بار سرمایشی



شکل ۱۱- بار سرمایشی ساختمان با نمای دوپوسته در محله ولیعصر تبریز

Figure 11. Cooling load of a building with a double facade in Waliasr neighborhood of Tabriz

نمای دوپوسته برای شهرهای سردسیری مانند تبریز در فصل تابستان بسیار بیشتر از فصول سرد سال است. گزارش‌های اخیر نشان می‌دهد که انرژی استفاده شده در ساختمان‌ها یک سوم انرژی استفاده شده در جهان را تشکیل می‌دهد. تحقیقات بسیاری درباره استفاده از نمای دوپوسته در جهان انجام شده است. تحقیقاتی که از آزمایش‌های تجربی استفاده کرده‌اند، نشان داده که استفاده از نمای دوپوسته احتمالا منجر به کاهش مصرف انرژی به اندازه ۵ درصد با استفاده از تهویه طبیعی در تابستان تا ۴۵ درصد با استفاده از گرمایش خورشیدی منفعل در زمستان می‌شود. اعداد و ارقام این تحقیقات، نتایج حاصل از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر را با دقت مناسبی تأیید می‌کند و در جدول ۹ بیان شده است.

جدول ۹- خلاصه نتایج حاصل از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر(7.0.008)، ۲۰۲۱، برای شهر تبریز

Table 9. Summary of the results of Design Builder software (7.0.008), 2021, for the city of Tabriz

نوع ساختمان	بار گرمایشی سالانه kwh	بارسرمایشی سالانه kwh
ساختمان بدون نمای دوپوسته	۱۰۴۰۱/۸۲	۵۷۱۱/۳۵
ساختمان با نمای دوپوسته	۹۸۷۹/۱۲	۳۲۰۰/۵۶
مقدار تغییر	۵۲۲/۷	۲۵۱۰/۷۹
درصد کاهش/ درصد افزایش	۵	۴۵

در نهایت شهر کرمان هم به عنوان یکی از اقلیم گرم و خشک برای مقایسه با اقلیم سرد (شهر تبریز) انتخاب شد.

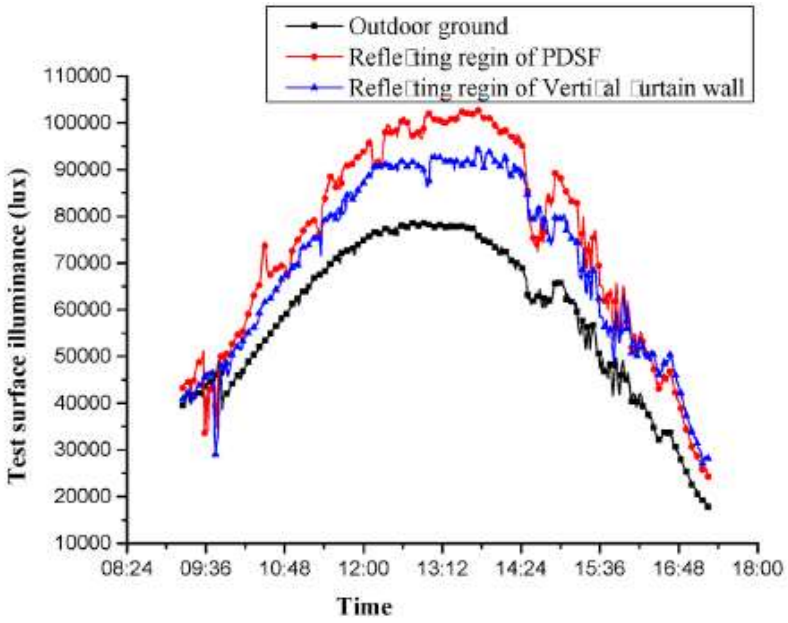
جدول ۱۰- خلاصه نتایج حاصل از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر(7.0.008)، ۲۰۲۱، برای شهر کرمان

Table 10. Summary of the results of Yazain Builder software (7.0.008), 2021, for the city of Kerman

بارسرمایشی سالانه kwh	بار گرمایشی سالانه kwh	نوع ساختمان
۱۹۴۴۲/۹۹	۳۶۲/۸	ساختمان بدون نمای دوپوسته
۱۳۵۱۲/۱۵	۴۹۶/۳۲	ساختمان با نمای دوپوسته
۵۹۳۰/۸۴	۱۳۳/۵۲	مقدار تغییر
۲۹/۶ کاهش	۳۵/۲ افزایش	درصد کاهش/ درصد افزایش

تحقیقاتی که از آزمایش‌های تجربی استفاده کرده‌اند، نشان داده که استفاده از نمای دوپوسته احتمالا منجر به کاهش مصرف انرژی به اندازه ۲۹/۶ درصد با استفاده از تهویه طبیعی در تابستان تا ۳۵/۲ درصد با استفاده از گرمایش خورشیدی منفعل در زمستان می‌شود. اعداد و ارقام این تحقیقات، نتایج حاصل از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر را با دقت مناسبی تأیید می‌کند و در جدول ۱۰ بیان شده است.

همچنین با تجزیه و تحلیل یافته‌ها افزایش روشنایی نور خورشید در سطح انعکاس شده در ساختمانهای دو پوسته بیشتر است. شکل (۱۲)



شکل ۱۲- نمودار تجزیه و تحلیل افزایش روشنایی سطح منعکس کننده

Figure 12. Diagram of the analysis of the increase in brightness of the reflective surface

تحلیل آنالیز حساسیت

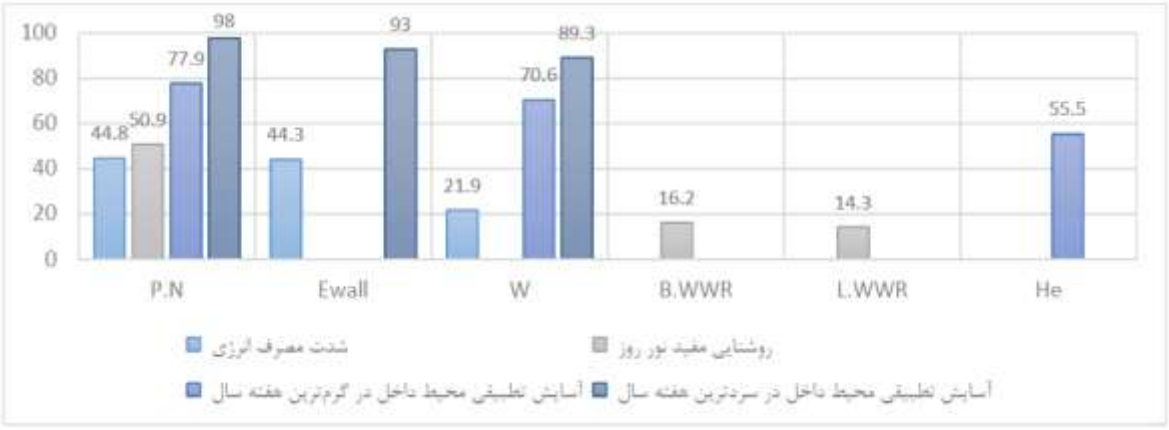
تحلیل حساسیت برای هر مؤلفه براساس رابطه زیر (۳۱) محاسبه می شود. تحلیل حساسیت یک روش برای اتخاذ تصمیم با ایجاد یک نظام اولویت‌بندی برای مؤلفه‌های طراحی است.

X_{worst} = متوسط مقدار تابع هدف کل حالات طراحی برای بدترین حالت مؤلفه موردنظر

X_{best} = متوسط مقدار تابع هدف کل حالات طراحی برای بهترین حالت مؤلفه موردنظر

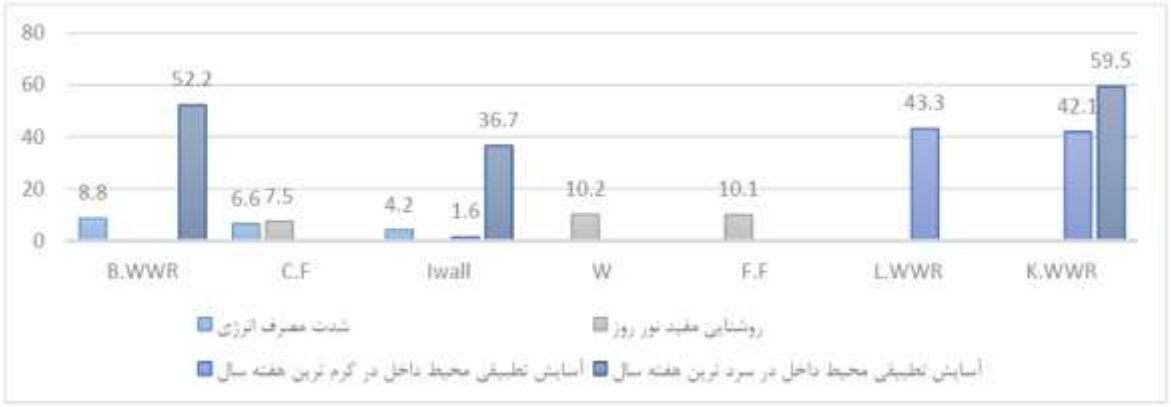
متوسط مقدار تابع هدف کل حالات طراحی برای بدترین حالت مؤلفهٔ موردنظر متوسط مقدار تابع هدف کل حالات طراحی برای بهترین حالت مؤلفه موردنظر نتایج تحلیل حساسیت برای توابع هدف به طور خلاصه در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان داده

شده است. مؤثرترین مؤلفه‌ها در تابع هدف شدت مصرف انرژی، پلان‌بندی (با شاخص ۴۴,۳٪) و مصالح دیوار خارجی (با شاخص ۴۸,۸٪)؛ در روشنایی مفید نور روز پلان‌بندی (با شاخص ۵۰,۹٪)، درصد پنجره به دیوار اتاق خواب (با شاخص ۱۶,۲٪) و نشیمن (با شاخص ۱۴,۳٪)؛ در آسایش تطبیقی محیط داخل در گرم‌ترین هفته سال پلان بندی (با شاخص ۷۷,۹٪)، جنس پنجره (با شاخص ۷۰,۶٪) و ارتفاع مفید (با شاخص ۵۵,۵٪) و در آسایش تطبیقی محیط داخل در سردترین هفته سال پلان‌بندی (با شاخص ۹۸٪)، مصالح دیوار خارجی (با شاخص ۹۳٪) و جنس پنجره (با شاخص ۸۹,۳٪) هستند. کم اثرترین مؤلفه برای شدت مصرف انرژی و آسایش تطبیقی محیط داخل در سردترین و گرم‌ترین هفته سال دیوار داخلی (به ترتیب با شاخص‌های ۴,۲٪، ۱,۶٪ و ۳۶,۷٪) و در روشنایی مفید نور روز سطح نهایی سقف (با شاخص ۷,۵٪) بوده است.



شکل ۱۳- نمودار نتایج تحلیل حساسیت برای سه تابع هدف مختلف که بیشترین اثر دارد.

Figure 13. Diagram of sensitivity analysis results for three different objective functions that have the most effect.



شکل ۱۴- نمودار نتایج تحلیل حساسیت برای سه تابع هدف مختلف که کمترین اثر دارد.

Figure 14. Diagram of sensitivity analysis results for three different objective functions that have the least effect

بحث و نتیجه گیری

یکی از چالش های اصلی میان معماری و بهینه‌سازی کارایی انرژی ساختمان، پیچیدگی و عدم درک معمار از چگونگی و تحلیل نتایج شبیه سازی در فرآیند طراحی معماری است. از جمله انواع روش‌های طراحی نمای مدرن، می‌توان به نمای دوپوسته اشاره کرد. نمای دوپوسته از جمله نماهای ساختمانی به حساب می‌آید که از عایق حرارتی و صوتی مناسبی برخوردار

است و استفاده از آن در معابر پر رفت و آمد بسیار توصیه می‌شود، با شناخت بهتر انواع نمای دو پوسته می‌توانید از آن متناسب با سازه‌ی ساختمان خود و موقعیت جغرافیایی محل پروژه بهره ببرید.

این نوع نما به تغییرات فصل و در نتیجه‌ی آن تغییرات دمای طرح خارج ساختمان حساس است. در این مقاله استفاده از این نوع نما در ساختمانی در آب و هوای سردسیری تبریز در محله ولیعصر بررسی شد. نتیجه‌ی بررسی کاهش ۲۵۱۰,۷۹ کیلو وات ساعت بار سرمایشی سالانه و کاهش ۵۲۲,۷ کیلو وات ساعت بار گرمایشی سالانه ساختمانی در محله ولیعصر شهر تبریز را نشان داد. نتایج حاصل از نرم افزار دیزاین بیلدر نشان داد که در محله ولیعصر شهر تبریز میزان بار سرمایشی سالانه ۴۵ درصد و میزان بار گرمایشی سالانه ۵ درصد کاهش می‌یابد. با آنالیز حساسیت در قسمت یافته‌ها مؤثرترین مؤلفه‌ها در تابع هدف شدت مصرف انرژی، پلان‌بندی (با شاخص ۴۴,۳٪) و مصالح دیوار خارجی (با شاخص ۴۸,۸٪)؛ در روشنایی مفید نور روز پلان‌بندی (با شاخص ۵۰,۹٪)، درصد پنجره به دیوار اتاق خواب (با شاخص ۱۶,۲٪) و نشیمن (با شاخص ۱۴,۳٪)؛ در آسایش تطبیقی محیط داخل در گرم‌ترین هفته سال پلان بندی (با شاخص ۷۷,۹٪)، جنس پنجره (با شاخص ۷۰,۶٪) و ارتفاع مفید (با شاخص ۵۵,۵٪) و در آسایش تطبیقی محیط داخل در سردترین هفته سال پلان‌بندی (با شاخص ۹۸٪)، مصالح دیوار خارجی (با شاخص ۹۳٪) و جنس پنجره (با شاخص ۸۹,۳٪) هستند. کم اثرترین مؤلفه برای شدت مصرف انرژی و آسایش تطبیقی محیط داخل در سردترین و گرم‌ترین هفته سال دیوار داخلی (به ترتیب با شاخص‌های ۴,۲٪، ۱,۶٪ و ۳۶,۷٪) و در روشنایی مفید نور روز سطح نهایی سقف (با شاخص ۷,۵٪) بوده است.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از نمای دوپوسته برای مناطق سردسیر کوهستانی کاملاً کارآمد است و در مجموع باعث کاهش مصرف انرژی در ساختمان خواهد شد. ساختمان‌های دارای نمای دوپوسته در افزایش پایداری و توسعه بسیار مفید و قابل‌توجه هستند. نمای دوپوسته از اتلاف حرارت جلوگیری کرده و صداهای خارجی را کاهش می‌دهد. در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌کند. سیستم نمای دوپوسته برای به حداقل رساندن مصرف انرژی مفید است و آسایش حرارتی را برای محیط داخلی ساختمان فراهم می‌کند. در تابستان، نمای دوپوسته انرژی حرارتی را با کمک تهویه طبیعی و مکانیکی از طریق شکاف میانی بین نمای داخلی و خارجی کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، نمای دوپوسته اجازه گرما را از طریق بازیابی حرارت خورشیدی در زمستان می‌دهد. همچنین نور روز را بهبود می‌بخشد و دید بهتری به بیرون ساختمان می‌دهد. با این حال، هزینه بالا یکی از معایب نمای دو پوسته است، اما نمای دوپوسته در دراز مدت مقرون به‌صرفه است، زیرا در مقایسه با سایر نماها دوام و ماندگاری بیشتری دارد. از این رو به دستیابی به اهداف پایداری کمک می‌کند.

پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی سایر بخش‌های مصرف کننده انرژی همچون صنعت و ... در شهر تبریز یا سایر کلانشهرهایی که سهم عمده ای از مصرف انرژی کشور را دارند مورد بررسی قرار گیرند و راهکارهای مناسب برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در آنها ارائه شود. همچنین با توجه به شرایط شهرها و بخشهای مختلف مصرف کننده انرژی در آنها می توان از روشهای مختلفی برای برنامه ریزی انرژی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در مناطق مسکونی همچون مدل راهنمای انرژی و طراحی زیست محیطی (LEED) یا سایر روشها استفاده کرد

References

1. Ascione, F., Bianco, N., Iovane, T., Mastellone, M., & Mauro, G. M. 2021. The evolution of building energy retrofit via double-skin and responsive façades: A review. Solar Energy, 224, 703-717. doi: 10.1016/j.solener.2021.06.0.
2. Amani, N., Moghadas Mashhad, M. 2022, The Feasibility of Construction of Zero-Energy Building in the Cold and Semi-Arid Climate (Case Study: Mashhad). Journal of Environmental Science and Technology, 22(5): 57-71.

doi: 10.22034/jest.2020.36362.4297. (In Persian)

3. Zanni, J.; Cademartori, S.; Marini, A.; Belleri, A.; Passoni, C.; Giuriani, E.; Riva, P.; Angi, B.; Brumana, G.; Marchetti, A.L. 2021, Integrated Deep Renovation of Existing Buildings with Prefabricated Shell Exoskeleton. Sustainability, 13, 11287. https://doi.org/10.3390/su132011287.
4. Pan, W; Iturralde, K; Bock, T; Martinez, R G; Juez, O M; Finocchiaro, P, 2020. A Conceptual Design of an Integrated FaÃ§ade System to Reduce Embodied Energy in Residential Buildings. Sustainability, 12(14), 5730. doi: 10.3390/su12145730
5. Eskandani, H O; Yılmaz S; Doraj P. 2021, Analysis of Double Shell Domes in Iranian Architecture. ulakbilge, 56, 90-98. doi: 10.7816/ulakbilge-09-56-08.
6. Sadeghpour, A. H., Yavari, N. 2022, Analysis of dynamic mechanisms in building facades. Journal of Renewable and New Energy, 2022; 9(2): 101-112. (In Persian)
7. Al-awag, E. A. N & Wahab, I. A, 2022, Perspectives in double-skin façade (DSF) advantages and Disadvantages, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 10(22), 012003, 1-11 doi: 10.1088/1755-1315/1022/1/012003.
8. Siadati, F; Fayaz, R.; Nikkadam, N., 2021, Optimization of the thermal performance of in double-skin façade box-type with natural ventilation in the summer season in Tehran, Hot and Dry Climate Architecture, 13, 155-174. (In Persian)
9. Zhzng, Y, Zhang, Y, Li, Z, 2021, A novel productive double skin façades for residential buildings: Concept, design and daylighting performance investigation, Building and Environment, 212, 1-19. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108817 108817.
10. Choi, H, Kang, Y. An, K. Yoon, S, Kim, T, 2019, Cooling energy performance and thermal characteristics of a naturally ventilated slim double-skin window, Appl. Therm. Eng. 160, 1-15. 114113.
11. Rezazadeh, N & Medi, H, 2017, Thermal Behavior of Double Skin Facade in Terms of Energy Consumption in the Climate of North of Iran-Rasht, Space Ontology International Journal, 6(4), 33 - 48.
12. Ioannidis, Z., Buonomano, A., Athienitis, A.K. and Stathopoulos, T. 2017. Modeling of Double Skin Façades Integrating Photovoltaic Panels and automated roller shades: Analysis of the Thermal and Electrical Performance. And Buildings, 154(186), 1-42. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.046.
13. Li, Y., Darkwa, J., Kokogiannakis, G. & Su, W. 2019. Phase change material blind system for double skin façade integration: System development and thermal performance evaluation. Applied Energy, 252(58), 1-17.
14. Hu, Y, Heiselberg, P.K, Johra, H, Guo, R, 2020, Experimental and numerical study of a PCM solar air heat exchanger and its ventilation preheating effectiveness, Renew. Energy 145, 106-115. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.115
15. Lee, C, Lee, H, Choi, M, Yoon, J,

2019, Design optimization and experimental evaluation of photovoltaic double skin facade, Energy Build. 202(179), 1-19. 109314. http: //dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.07 .031.

16. Cho, K, Cho, D, 2018, Solar heat gain coefficient analysis of a slim-type double skin window system: using an experimental and a simulation method, Energies 11(1), 1-17. 115. doi: 10.3390/en11010115.
17. Yang, F, Yuan, F. Qian, F, Zhuang, Z, Yao, J, 2018, Summertime thermal and energy performance of a double-skin green facade: a case study in Shanghai, Sustain. Cities Soc. 39(45), 43-51. https: //doi.org/10.1016/J.SCS.2018.01.049.
18. Preet S, Sharma, M. K, Mathur, J, Chowdhury A, Mathur, S, 2021, Analytical model of semi-transparent photovoltaic double-skin façade system (STPV-DSF) for natural and forced ventilation modes, International Journal of Ventilation, 20(3), 1-18, https: //doi.org/10.1080/14733315.2021.1971 873.
19. Iken, O, Fertahi, S ed-D, Dlimi, M, Agounoun, R, Kadiri, R, Sbai, K, 2019, Thermal and energy performance investigation of a smart double skin facade integrating vanadium dioxide through CFD simulations, Energy Convers. Manag. 195, 650-671. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021 .107796.
20. Yan, S, Li, X, Wang, B, Shi, W. Lyu, W, 2019, A method to describe the thermal property of pipe-embedded double-skin façade: equivalent glass window, Energy Build. 195(172), 33-44.
21. Hassanli S, Kwok, KC. S. Zhao, M, 2017, Performance assessment of a special Double Skin Façade system for wind energy harvesting and a case study, J. Wind Eng. Ind. Aerod. 175 292-304. http: //dx.doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.202 0.106288.
22. Jankovic, A, Goia; 2021. Impact of double skin facade constructional features on heat transfer and fluid dynamic behave our. Building and Environment, Building and Environment 196, 1-32 107796. doi: 10.1016/j.buildenv.2021.107796.
23. Stavrakakis, G.M. & Markatos, N.C., 2009. Simulation of Airflow in One- and Two-Room Enclosures Containing a Fire Source, International Journal of Heat and Mass Transfer, 52, 2690-2703.
24. Zhai, Z. 2006. Application of Computational Fluid Dynamics in Building Design: Aspects and Trends, Indoor and Built Environment, 15: 305-313.
25. Lin Z, Deng S. 2008. A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics-developing a thermal comfort model for sleeping environments. Building and Environment; 43:70-
26. Asghari, A., Ebrahimi Asl, S., Maleki Gavgani, A., Sattari Sarbangholi, H. 2021, Evaluation of Urban Sustainable Neighbourhood with Zero Energy Buildings in Valiasr Neighbourhood of Tabriz. Sustainable city, 4(2): 91-106. doi: 10.22034/jsc.2021.259714.1364. (In Persian)
27. Balilan Asl, L., Nourivand, S., Sattarzadeh, D., Asefi, M. 2021,

Simulation-Based Design in Experimental Researches of Building Performance: A Case Study of an Office Building in Tabriz. Armanshahr Architecture & Urban Development,14(36): 113-131. doi: 10.22034/aaud.2021.214618.2083. (In Persian)

28. National Construction Regulations, 2018, Topic 5, Construction Materials and Products, Ministry of Roads and Urban Development, Road, Housing and Urban Development Research Center.
29. National Construction Regulations, 2018, Topic 19, frugality energy consumption, Ministry of Roads and Urban Development, Road, Housing and Urban Development Research Center. (In Persian)
30. Baghuzian, R., 2019, Calculations of building facilities (2nd edition), Tehran: Yazda Press. (In Persian)
31. Samuelson, H., Claussnitzer, S., Goyal, A., Chen, Y., Romo Castillo, A. 2016. Parametric energy simulation in early design: High rise residential buildings in urban contexts. Building and environment, 101(85), 19-31, https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.018.