ISSN: 2538-2594; Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2020;10(2):137-152

Impact of Central Courtyard Proportions on Passive Cooling Potential in Hot and Humid Regions (Case Study: Single-story Buildings in Bandar Abbas)

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Saligheh E.[1] *MSc,*
Saadatjou P.*[1] *PhD*

How to cite this article
Saligheh E, Saadatjou P. Impact of Central Courtyard Proportions on Passive Cooling Potential in Hot and Humid Regions; (Case Study: Single-story Buildings in Bandar Abbas). Na-qshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Pl-anning. 2020;10(2):137-152.

[1]Architecture Department, Civil Engineering Faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran

Correspondence
Address: Architecture Department, Civil Engineering Faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran.
Phone: -
Fax: -
paria.saadatjoo@tabrizu.ac.ir

Article History
Received: February 12, 2020
Accepted: March 14, 2020
ePublished: September 20, 2020

ABSTRACT

Aims The central courtyard can play an important role in reducing energy consumption, increasing shading, enhancing the flow of passage and creating evaporative cooling in windphil buildings. This paper seeks to examine the role of central courtyard proportions in the amount of shading, radiant energy received, cooling load and natural ventilation potential.

Methods The research method in this research is a descriptive-analytical one in which the software of Design builder 6.1.2.009, Computational Fluid Dynamics (CFD), and Ecotect 2011 were applied to investigate the effect of central yard width change on wind flow pattern, shading pattern and the amount of radiant energy received and the calculation cooling load of windphil architecture.

Findings Comparing U-shaped quadruple buildings with a central courtyard with a fixed volume-to surface ratio, the 4-meter-wide courtyard building model is the best option. Changing the width of central courtyard from 4 to 10 meters resulted in a %13 increase in cooling load and a %10 decrease in shaded areas. However, increasing the width of the courtyard from 4 to 6 meters resulted in a speed reduction of 18.75% and a change of width from 6 to 10 meters lead to a 6% increase in flow rate.

Conclusion Increasing the width of the central courtyard degrades the passive cooling potential of the building. As a result, a courtyard would perform as an efficient passive cooling system when its proportions are approximately 1: 2.5.

Keywords Windphil Architecture; Courtyard; Cooling; Shading; Ventilation; Energy

CITATION LINKS

[1] A review on buildings energy consumption ... [2] Localization pattern for assessment of ... [3] International energy outlook ... [4] Review of passive solar heating and cooling ... [5] Effect of passive techniques on interior ... [6] Optimization of ventilation system design and ... [7] Natural ventilation as energy efficient solution ... [8] A study on terraced apartments and ... [9] The impact of high-rise building form on climatic ... [10] Typology of Tabriz traditional courtyard houses ... [11] The adoption of central courtyard as a traditional ... [12] Introduction to Iranian residential ... [13] Principles of passive cooling systems in ... [14] Enhanced natural ventilation in hot arid ... [15] The influence of courtyard geometry on ... [16] Airflow in courtyard and atrium buildings ... [17] Effect of courtyard proportion on natural ... [18] Fundamentals of building physics 4 ... [19] Optimization of canopy performance to reduce ... [20] Defining sustainability characteristics for ... [21] Windphil poetic in architecture: energy efficient ... [22] Porosity rendering in high-performance ... [23] Environmental site layout planning: solar access ... [24] Geometry of building's courtyards to favour ... [25] An experimental study of the effect of surface ... [26] The impact of courtyard parameters on its ... [27] Performance-based evaluation of courtyard ... [28] Effect of courtyard shape factor on ... [29] Determining optimal courtyard pattern ... [30] A ventilated courtyard as a passive ... [31] Impact of geometric indicators on ... [32] Meteorological Statistics ... [33] Investigating Climatic Impacts on ... [34] Impacts of high-rise buildings form on ... [35] Impacts of urban morphology on ... [36] AIJ guidelines for practical applications ... [37] Golbad, Bandar Abbas, for the period 1957 ... [38] Airflow assessment in cross-ventilated ... [39] A review on interaction of innovative ... [40] Introducing an innovative variable ... [41] Assessment of design parameter influence ...

Copyright© 2020, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

بررسی نقش تناسبات حیاط مرکزی بر سرمایش ایستای ساختمان در اقلیم گرم و مرطوب (نمونه موردی: ساختمان‌های یک‌مرتبه شهر بندرعباس)

الهام سلیقه MSc
گروه معماری، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
پریا سعادت‌جو * PhD
گروه معماری، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

اهداف: حیاط مرکزی می‌تواند نقش مهمی در کاهش میزان مصرف انرژی، افزایش سایه‌اندازی، تقویت جریان عبوری و ایجاد سرمایش تبخیری در ساختمان‌های بادآهنگ داشته باشد. این مقاله در پی آن است تا به بررسی نقش تناسبات حیاط مرکزی در میزان سایه‌اندازی، انرژی تابشی دریافتی، میزان بار سرمایشی و پتانسیل تهویه طبیعی بپردازد.

روش‌ها: روش تحقیق در این پژوهش از نوع توصیفی- تحلیلی است که در آن از نرم‌افزارهای دیزاین بیلدر ۶/۱/۲/۰۰۹، گروه دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و اکوتکت ۲۰۱۱ به ترتیب برای بررسی تاثیر تغییر عرض حیاط مرکزی بر الگوی جریان باد، الگوی سایه‌اندازی و میزان انرژی تابشی دریافتی و محاسبه بار سرمایشی معماری بادآهنگ استفاده شد.

یافته‌ها: در مقایسه ساختمان‌های چهارگانه Uشکل دارای حیاط مرکزی با نسبت حجم به سطح ثابت، مدل مربوط به ساختمان با عرض حیاط ۴متر به‌عنوان بهترین گزینه مطرح است. تغییر عرض حیاط از ۴ تا ۱۰متر، منجر به افزایش ۱۳درصدی بار سرمایشی و کاهش ۱۰درصدی سطوح تحت سایه می‌شود. در حالی که افزایش عرض حیاط از ۴ به ۶متر منجر به کاهش سرعت به میزان ۱۸/۷۵% و تغییر عرض از ۶ تا ۱۰متر همراه با رشد ۶درصدی سرعت جریان است.

نتیجه‌گیری: افزایش عرض حیاط مرکزی پتانسیل سرمایش ایستای ساختمان را تضعیف می‌کند. تعبیه حیاط مرکزی به‌منظور ارتقای کارآیی سرمایشی ساختمان زمانی موثر است که حیاط‌ها از تناسبات طولی کشیده شمالی- جنوبی با تناسبات ۱:۲/۵ برخوردار باشند.

کلیدواژه‌ها: معماری بادآهنگ، حیاط مرکزی، سرمایش، سایه‌اندازی، تهویه، انرژی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۴

*نویسنده مسئول: paria.saadatjoo@tabrizu.ac.ir

مقدمه

امروزه حفظ انرژی نقش اساسی در توسعه‌های اقتصادی و اجتماعی جامعه دارد. طراحان و سازندگان و ارگان‌های تصمیم‌گیری حوزه مسکن با مسایل مختلف مربوط به حفظ انرژی و استفاده حداقل از انرژی‌های تجدیدناپذیر مواجه هستند[1]. صنعت ساختمان یکی از مهم‌ترین و فعال‌ترین صنایع موجود در کشور محسوب می‌شود که بهره‌وری در مصرف انرژی در آن از اهمیت و ضرورت ویژه‌ای برخوردار است[2]. در حال حاضر ساختمان‌ها بیش از ۲۰/۱% کل انرژی مصرفی جهان را به خود اختصاص داده‌اند[3] که در این بین حدود ۶۰% این میزان انرژی صرف تهویه، سرمایش و گرمایش ساختمان‌ها می‌شود[4, 5]. لازم به ذکر است که سیستم‌های سرمایشی و تهویه مطبوع اصلی‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی در ساختمان‌ها هستند[4, 6]. از این رو به‌کارگیری تمهیدات لازم به‌منظور بهره‌وری از سامانه‌های ایستای انرژی و کاهش بار سرمایشی ساختمان در اقلیم‌های گرم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است[7]. ویژگی‌های معماری و خصوصیات کالبدی ساختمان از مهم‌ترین مسایل مربوط به استفاده از سامانه‌های ایستا در ساختمان هستند که می‌توانند با ارتقای خودسایه‌اندازی، بهره‌گیری از جریان هوا، تهویه طبیعی و کاهش بار سرمایشی ساختمان، میزان انرژی مصرفی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر دهند[8, 9].

عناصر کالبدی به‌کاررفته در معماری سنتی به طرز موثری بر گرمایش و سرمایش بنا تاثیرگذار بوده‌اند. در این میان یکی از الگوهای کهن و ارزشمند معماری اقلیمی ایران، الگوی حیاط مرکزی است. این الگو به‌عنوان عنصر سازمان‌دهنده خانه‌های سنتی ایران ابعاد مختلفی از نیازهای زیستی، اجتماعی و فرهنگی را پاسخ داده است[10, 11]. حیاط مرکزی افزون بر ایجاد وحدت رویه بین عناصر، نوعی ارتباط پیمایشی بین آنها ایجاد می‌کند که این ارتباط یا از ورودی ساختمان به مقصد دیگر فضاهای پراکنده صورت می‌گیرد یا با استقرار محوطه اصلی تابستانی و زمستانی در جبهه‌های مختلف، ارتباط‌دهنده بخش‌های اصلی خانه است[12].

از دیدگاه محیطی نیز، حیاط مرکزی به‌عنوان عضوی از معماری بادآهنگ، وظیفه خود را در حفاظت ساکنین از شرایط نامساعد جوی و محیطی و بهره‌مندی از سیستم‌های غیرفعال تامین انرژی در مناطق مختلف به‌خوبی انجام داده است. این عنصر به‌واسطه بهره‌گیری از سامانه‌های سرمایش تبخیری، تهویه عبوری، سرمایش تابشی و سایه‌اندازی به خنک‌سازی و کاهش بار سرمایشی ساختمان کمک می‌کند[13]. در این میان مولفه‌های کالبدی حیاط مرکزی اعم از شکل کلی حیاط، تناسبات حیاط و ساختار فرمی جداره‌های آن نقش موثری در سرمایش ایستا دارند و امری مهم و قابل پژوهش هستند[14-17].

پژوهش حاضر در پی آن است تا نقش یکی از ویژگی‌های مهم حیاط مرکزی یعنی ابعاد و تناسبات را در میزان انرژی خورشیدی دریافتی، سایه‌اندازی، بار سرمایشی بنا و پتانسیل تهویه طبیعی در فضای داخلی و حیاط مرکزی در ساختمان‌های یک‌طبقه Uشکل با نسبت حجم به سطح ثابت بنا در شهر بندرعباس را بررسی نماید.

پیشینه پژوهش

بهره‌گیری از سامانه‌های ایستا جزء کارآمدترین روش‌هایی است که تامین نیازهای حرارتی ساختمان را بدون استفاده از انرژی فسیلی، نیروی مکانیکی و صرفاً با بهره‌مندی از منابع تجدیدپذیر انرژی همچون خورشید، باد و غیره مد نظر قرار می‌دهد[18]. با نگاهی به روش‌های سنتی در تامین شرایط آسایش اقلیمی می‌بینیم که راهبرد اصلی آنها استفاده حداقل از انرژی و تکیه بر روش‌های ساخت اقلیمی بوده است که امروزه با پیشرفت تکنولوژی و استفاده از بسیاری وسایل تامین آسایش باز هم فراهم‌آوردن آن شرایط به‌صورت کامل امکان‌پذیر نیست[19].

استفاده از حیاط مرکزی به‌عنوان عنصری دیرینه در معماری ایرانی یکی از روش‌های بهره‌گیری از سامانه‌های ایستا است که با استراتژی‌های مختلف موجب کاهش بار سرمایشی ساختمان می‌شود[18, 20, 21]. استفاده از این عنصر سنتی نه به معنی تقلید از گذشته بلکه به‌عنوان عنصری اصیل، در کنار احیای هویت بومی می‌تواند پاسخگوی بسیاری از نیازهای معاصر نیز باشد[11]. این ساختمان‌ها به‌عنوان معماری بادآهنگ، ضمن ارتقای کارآیی تهویه طبیعی بنا می‌توانند با بهبود سایه‌اندازی و کاهش بار سرمایشی، پتانسیل سرمایش ایستای ساختمان را ارتقا دهند[21, 22]. در این خصوص مطالعات مختلفی به انجام رسیده است که هر یک از جنبه‌های متفاوت تاثیرات حیاط مرکزی بر انرژی مصرفی ساختمان را بررسی کرده‌اند. الگوی جریان و عملکرد حرارتی حیاط مرکزی بستگی به ویژگی‌های مختلف آن از جمله مشخصه‌های تناسباتی (نسبت عرض به ارتفاع)[15, 17, 23, 24] و ساختار مورفولوژیکی حیاط[25] دارد. *الحفیث* و همکاران در سال ۲۰۱۷ با بررسی تاثیر خصوصیات حیاط مرکزی بر میزان سایه‌اندازی در نمونه‌های موردی موجود در شهر بغداد به‌عنوان نمونه اقلیم گرم و خشک، به این نتیجه رسیده‌اند که هندسه حیاط مرکزی و جهت‌گیری آن تاثیر بسزایی بر میزان سایه‌اندازی دارد. همچنین از منظر این پژوهش، مهم‌ترین عامل تاثیرگذار در این خصوص نسبت عرض به ارتفاع حیاط مرکزی است[26]. در پژوهشی دیگر *شو* و همکاران به ارزیابی تاثیر نحوه طراحی حیاط مرکزی بر عملکرد آن در اقلیم‌هایی با زمستان سرد و تابستان گرم پرداخته و به‌عنوان مورد مطالعاتی کشور چین را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این پژوهش نشانگر آن است که ترکیب مناسب طرح کلی حیاط و تناسبات آن می‌تواند تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر میزان و نحوه تهویه در فصل تابستان و جلوگیری از باد نامطلوب در زمستان داشته باشد[27]. پژوهش انجام‌گرفته توسط *پرتا* و همکاران در سال ۲۰۰۲ نشان داد که خرد اقلیم ایجادشده به‌واسطه حیاط مرکزی نقش مهمی بر کاهش بار سرمایشی و گرمایشی در تابستان و زمستان دارد[5]. در تحقیقی دیگر *مانی‌اوغلو* و *اورال* در سال ۲۰۱۵ به بررسی تاثیر شکل حیاط مرکزی بر بار سرمایشی و گرمایشی در مناطق گرم و خشک پرداختند. براساس این پژوهش، شکل حیاط مرکزی (تناسبات حیاط) بر میزان سایه‌اندازی و انرژی تابشی دریافتی و به تبع آن بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان تاثیر قابل توجهی دارد[28]. *محسن تابان* و همکاران در مقاله‌ای با عنوان "تعیین الگوی بهینه حیاط مرکزی در مسکن سنتی دزفول با تکیه بر تحلیل سایه دریافتی سطوح مختلف حیاط"، به انجام مطالعه در خصوص میزان سایه‌اندازی الگوهای مختلف حیاط با تناسبات گوناگون در شهر دزفول پرداخته‌اند. نتایج این مقاله حاکی از آن است که در بناهایی که حیاط آنها دارای نسبت ۱ تا ۱/۴ میان طول و عرض و همچنین نسبت طول به ارتفاع ۱/۱ تا ۱/۲ است، مناسب‌ترین میزان سایه در فصول گرم روی کف و جداره‌ها ایجاد خواهد شد[29].

راجاپاکشا و همکاران طی تحقیقی در سال ۲۰۰۳ به بررسی پتانسیل تهویه طبیعی حیاط مرکزی به‌عنوان راهکاری برای سرمایش ایستای ساختمان در اقلیم گرم و مرطوب پرداختند. نتیجه این تحقیق نشان داد که پتانسیل حیاط مرکزی به‌عنوان بخشی از معماری بادآهنگ، تابعی از جریان هوای داخلی است و حیاط مرکزی به‌صورت یک القاکننده مکشی برای تهویه عمل می‌کند[30]. مطالعه دیگر انجام‌گرفته در خصوص تاثیر تناسبات حیاط بر نحوه رفتار باد نشانگر آن است که نسبت ابعادی طول به عرض کمتر، بهترین حالت از نظر گردش هوا و نسبت ابعاد متوسط، بهترین حالت از نظر عملکرد حرارتی است[23]. *قدسی* و همکاران با بررسی ۱۰ حجم مختلف، شاخص‌های هندسی موثر بر رفتار حرارتی ساختمان‌ها در اقلیم گرم و خشک را مورد بررسی قرار داده‌اند. از میان ساختمان‌های حیاط‌دار، ساختمان‌های Lشکل با کمترین و ساختمان‌های Hشکل با بیشترین نیاز سرمایشی معرفی شده‌اند[31].

سعادت‌جو و همکاران در پژوهش‌های خود نقش حیاط در ارتفاع ساختمان میان مرتبه شهری از منظر تهویه طبیعی و سایه‌اندازی را مورد بررسی قرار داده‌اند. حیاط‌های سنتی در ترکیب با بلوک‌های صلب آپارتمانی منجر به خلق معماری بادآهنگ می‌شوند که ضمن تعامل فضای داخل و خارج، با بهبود عملکرد تهویه طبیعی و سایه‌اندازی، کارآیی سرمایش ایستای ساختمان را ارتقا می‌دهند[8, 22].

تحلیل شرایط اقلیمی نمونه مورد مطالعه

شهر بندرعباس با اقلیمی گرم و مرطوب در اکثر ماه‌های سال گرم و خارج از منطقه آسایش قرار دارد. از مهم‌ترین ویژگی‌های اقلیمی این شهر می‌توان به دما و رطوبت زیاد هوا در تمام طول سال، میزان بارندگی منظم سالانه با متوسط حدود ۱۸۰میلی‌متر، تغییرات نامحسوس دمای شب و روز و نیز بادهایی با سرعت متوسط اشاره کرد. آمارهای ۳۰ساله گذشته سازمان آب و هواشناسی شهر بندرعباس نشان می‌دهد که متوسط دمای هوای بندرعباس ۲۵/۹°C و اختلاف دمای سالانه آن ۲۵°C است و تقریباً همیشه در گروه رطوبتی ۵۰% الی ۷۰% قرار دارد[32].

استفاده از سیستم‌های مکانیکی سرمایشی قادر است تا با تعدیل دما، شرایط آسایش حرارتی را در فضای داخلی ساختمان‌ها برقرار سازد. بررسی نمودارهای آسایش حرارتی حاکی از آن است که این شهر در ماه‌های آبان، اسفند و فروردین در محدوده آسایش قرار دارد و نیازی به استفاده از سیستم‌های مکانیکی نیست؛ این در حالی است که استفاده از کوران هوا در ماه‌های مهر و اردیبهشت می‌تواند به برقراری شرایط آسایش نسبی کمک کند. با توجه به این که شهر مورد بررسی جزء اقلیم گرم و مرطوب است، ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور گرم‌ترین ماه‌های این شهر به شمار می‌آیند که برای کنترل و کاهش دمای هوا استفاده از سیستم تهویه مطبوع، مناسب‌ترین سیستم برای کنترل و کاهش دمای هوای داخل

ساختمان است. تغییرات دما و رطوبت هوا در زمستان در بندرعباس نشان می‌دهد که سرمای زمستان در حدی است که در صورت استفاده از رعایت اصول طراحی متناسب، نیاز مبرم به دستگاه‌های گرمازا وجود ندارد. از این رو می‌توان چنین نتیجه گرفت که دغدغه اصلی در این شهر، کنترل و کاهش دمای هوا در ماه‌های گرم سال در تابستان و اواخر بهار است؛ از این رو توجه به این مقولات در طراحی مساله‌ای ضروری است[33]. بررسی نمودارهای آسایش حرارتی این شهر بیانگر آن است که در ۵۲/۵% ساعات سال با بهره‌گیری از سیستم‌های سرمایشی و رطوبت‌زدایی و در ۳۰/۲% ساعات سال با استفاده از سایه‌اندازهای خورشیدی می‌توانیم در حوزه آسایش اقلیمی قرار گیریم. معماری بادآهنگ می‌تواند به‌عنوان راهکاری مناسب، ضمن ارتقای تهویه طبیعی و تعدیل شرایط حرارتی به تامین آسایش ساکنین در این اقلیم کمک کند.

شرایط شبیه‌سازی

طراحی مناسب در اقلیم گرم و مرطوب مستلزم به‌کارگیری راهکارهای معمارانه برای کاهش گرمای تابشی دریافتی و بهره‌گیری از روش‌های مختلف سرمایش ایستا است. در این پژوهش به‌منظور بررسی نقش تناسبات حیاط بر تهویه طبیعی، سایه‌اندازی، میزان انرژی تابشی دریافتی و بار سرمایشی ساختمان بادآهنگ از سه نرم‌افزار ایرپک ۳/۰/۱۶، اکوتکت ۲۰۱۱، دیزاین بیلدر ۶/۱/۲/۰۰۹ استفاده شد. در این راستا پس از تبیین ویژگی‌های ساختاری و مشخصه مدل‌های مورد بررسی به توضیح شرایط شبیه‌سازی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها به ترتیب مذکور (تهویه طبیعی، سایه‌اندازی، میزان انرژی تابشی دریافتی و بار سرمایشی) پرداخته شد.

مدل‌های شبیه‌سازی‌شده در این پژوهش ساختمان‌های مسکونی Uشکل یک‌طبقه حیاط‌دار واقع در شهر بندرعباس (اقلیم گرم و مرطوب) هستند. در شبیه‌سازی تحقیق حاضر، امتداد شمال- جنوب به‌عنوان جهت قرارگیری هر بلوک ساختمانی در نظر گرفته شده است؛ ضمناً شبیه‌سازی بنا به‌صورت منفرد به‌منظور صرف نظر از تاثیر ساختمان‌های مجاور در ایجاد سایه و بار سرمایشی انجام گرفته است. چهار بنای مسکونی شبیه‌سازی‌شده، ساختمان‌هایی یک‌طبقه به ارتفاع ۳ متر هستند که مهم‌ترین ویژگی آنها ثابت‌بودن نسبت حجم به سطح است. در مدل‌های حاضر فاکتورهایی چون جانمایی و تعبیه پارتیشن‌های داخلی منطبق بر مدل‌های واقعی نیستند؛ چرا که هدف پژوهش بررسی تطبیقی مدل‌هایی با تناسبات متفاوت حیاط و تاثیر آن بر متغیرهای وابسته مذکور است. از این رو در این مدل‌ها هیچ گونه پارتیشن و دیوار در فضای داخلی واحدهای مسکونی وجود ندارد (جدول ۱). بازشوها در مدل‌های شبیه‌سازی‌شده در چهار دیواره شامل سه دیوار رو به حیاط و نیز دیوار شمالی بنا تعبیه شده‌اند. تمامی این بازشوها دارای عرض یک‌متر هستند که در ارتفاع یک‌متری از سطح زمین قرار گرفته‌اند. طول بازشوها در مدل‌ها ثابت و در دیواره شمالی بنا و دیواره جنوبی رو به حیاط ٤متر و در دیوارهای شرقی و غربی رو به حیاط ۹/۵متر هستند (شکل ۱).

۱- شرایط شبیه‌سازی تهویه طبیعی

فرم و ویژگی‌های کالبدی یک ساختمان تاثیر بسزایی بر نحوه رفتار باد دارد[34, 35]. ساختمان‌های بادآهنگ قادرند تا با بهبود جریان پیرامونی و داخلی ساختمان، میزان وابستگی بنا به سیستم‌های مکانیکی را به حداقل برسانند[8]. تحلیل‌های دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) صورت‌گرفته در این مقاله در راستای بررسی نقش ابعاد حیاط بر جریان باد فضای داخل ساختمان و حیاط مرکزی هستند. در این راستا با مدل‌سازی ۴ ساختمان حیاط‌دار با تناسبات متفاوت حیاط، رابطه میان تناسبات و رفتار جریان بررسی و بهترین گزینه از میان آنها انتخاب شد.

برای حل عددی جریان سیال از روش میانگین‌گیری رینولدز معادلات ناویر- استوکس (RANS) استفاده شده است که در این روش معادلات ناویر- استوکس که متوسط‌گیری زمانی شده‌اند حل می‌شوند. در گام اول به شناسایی دامنه محاسباتی موثر باد براساس استاندارد موسسه معماری ژاپن (AIJ) [36] پرداختیم. طبق این راهنما تعیین اندازه دقیق منطقه‌ای که تحت تاثیر باد ناشی از مانع قرار می‌گیرد بسیار مهم است؛ زیرا طول کم این منطقه باعث ایجاد جریان برگشتی و خطا در محاسبات می‌شود. براساس استاندارد AIJ طول مناطق رو به باد 5 H، گوشواره‌ها 5 H و پشت به باد 10 H محاسبه می‌شود. ابعاد دامنه محاسباتی مدل‌های مختلف در جدول ۲ ارایه شده است.

برای تعریف شرایط ورود و خروج هوا به دامنه محاسباتی، صفحه ورود باد را به‌عنوان (۱) Velocity inlet، جبهه خروج هوا را به‌عنوان (۴) Pressure Outlet، و جناحین و همچنین صفحه فوقانی را به‌عنوان (۲-۳) Symmetry تعریف کردیم. کف زمین Wall-function تعریف شده است (شکل ۲).

مدل توربولانسی انتخاب‌شده در این شبیه‌سازی‌ها مدل k-ε است. در این مدل برای محاسبه I (شدت آشفتگی)، عدد رینولدز، k (شدت آشفتگی جنبشی) و ε (میزان ازبین‌رفتن انرژی جنبشی آشفته) از روابط زیر استفاده شده است:

$$I = 0.16\,(Re)^{\frac{-1}{8}}$$ (رابطه ۱)

$$Re = 0.5\times L\times V\times 10^4 \qquad k(y) = 3/2(u_{avg}(y)I(y))^2$$ (رابطه ۲)

$$\varepsilon\,(y) = C_u^{\frac{3}{4}} \times \frac{k^{\frac{3}{2}}}{l}$$ (رابطه ۳)

در این روابط C_u، کمیتی ثابت و برابر با ۰/۰۹، $l = 0.07\times L$ که در این رابطه L طول جبهه رو به باد ساختمان است و V سرعت مبنای باد در ارتفاع ۱۰متری است.

شرایط ورود هوا به دامنه، تابع نمودار لگاریتمی باد است که بر مبنای سرعت متوسط هوا در ارتفاع ۱۰متری تعریف شده است. برای

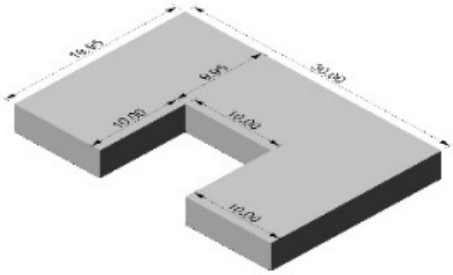
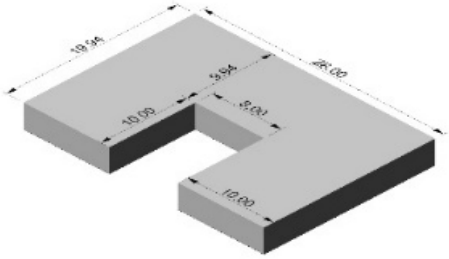
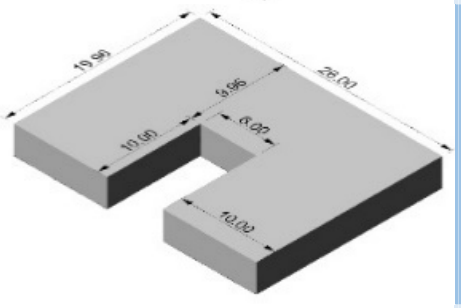
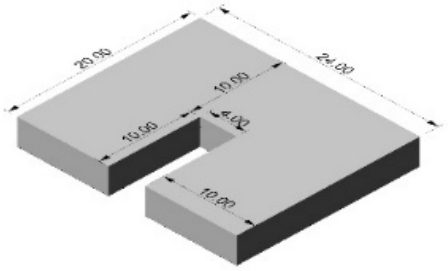
تعریف نقاط نمودار لگاریتمی پس از دریافت اطلاعات اقلیمی مربوط به شهر بندرعباس، سرعت باد برای ارتفاع ۱۸-۰ (ارتفاع دامنه محاسباتی) متناسب‌سازی شد. براساس داده‌های اقلیمی، متوسط سرعت باد از اول آوریل تا ۳۰ اکتبر طی یک دهه گذشته، ۳/۷۱متر بر ثانیه است (اول آوریل تا ۳۰ اکتبر معادل ۱۳ فروردین تا ۱۰ آبان و به‌عنوان بازه زمانی گرم سال در شهر بندرعباس است که نیاز به سرمایش دارد). متناسب‌سازی سرعت باد برای ارتفاع با استفاده از رابطه زیر انجام شده است:

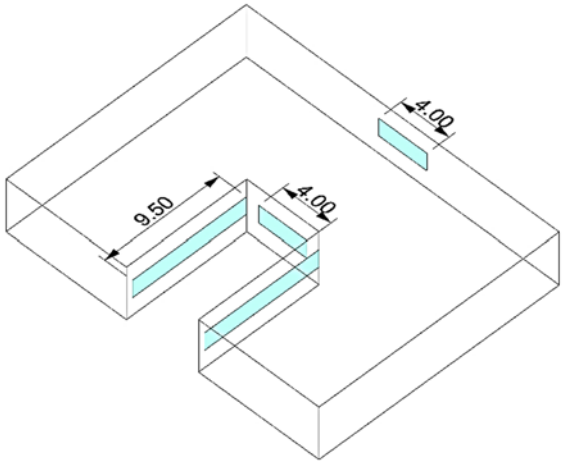
$$\frac{\bar{V}_z}{\bar{V}_{z_{10}}}=\left[\frac{Z}{Z_{10}}\right]^{\propto} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

در این رابطه $\bar{V}_z$ سرعت متوسط باد در ارتفاع مورد نظر بر حسب متر بر ثانیه، $\bar{V}_{z_{10}}$ سرعت متوسط باد در ارتفاع دیده‌بانی، z ارتفاع مورد نظر بر حسب متر، Z_{10} ارتفاع دیده‌بانی (ده متر) و $\propto$ عددی است که مقدار آن بستگی به همواری سطح زمین دارد که از جدول ۳ قابل استخراج است. سرعت باد برای ارتفاع مورد نظر در دامنه محاسباتی براساس رابطه ۴ و جدول ۳ محاسبه و نتایج حاصله در جدول ۴ ارایه شده است. شبیه‌سازی‌های جریان بر مبنای جهت باد غالب شهر بندرعباس و راستای جنوبی انجام گرفته است (شکل ۳)[37].

برای اعتبارسنجی نتایج به شبیه‌سازی مدل‌های آزمایشگاهی تست‌شده توسط *کاراو*[38] در آزمایشگاه دانشگاه کونکوردیا پرداختیم. به‌منظور بررسی استقلال حل از شبکه به بررسی سه نوع شبکه‌بندی مختلف و مقایسه نتایج با خروجی‌های تونل باد پرداختیم. در این راستا، شبکه‌بندی با مشخصات ریزترین مش ۰/۰۱ و درشت‌ترین مش ۰/۶ با ضریب رشد ۱/۵ با نزدیک‌ترین نتایج به تست‌های تونل باد مورد تایید قرار گرفت و در شبیه‌سازی‌ها اعمال شد. با مشخصات مذکور تعداد مش‌ها در دامنه محاسباتی برابر با ۴۰۹۱۳۴ است (شکل ۴).

جدول ۱) نام و مشخصات مدل‌های شبیه‌سازی‌شده

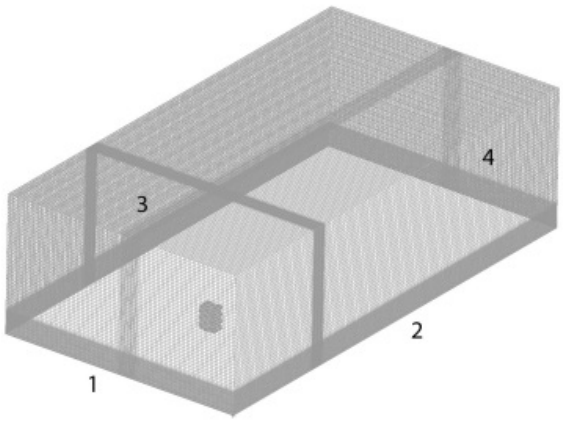
نام مدل	شکل	ابعاد حیاط (متر)	نسبت حجم به سطح	طول و عرض بنا (متر)	زیربنا (متر مربع)
CO-W-10		۱۰×۱۰	۱/۱	۱۹/۹۵۳×۳۰	٤۹۸/٥۹
CO-W-8		۸×۱۰	۱/۱	۱۹/۹٤۰×۲۸	٤۷۸/۳۲
CO-W-6		٦×۱۰	۱/۱	۱۹/۹٤۹×۲٦	٤٥۸/٦۷٤
CO-W-4		٤×۱۰	۱/۱	۲۰/۰۰×۲٤	٤٤۰



شکل ۱) ابعاد و موقعیت بازشوها در مدل‌های ساختمانی؛ موقعیت و ابعاد بازشوها در هر چهار مدل یکسان است.

جدول ۲) ابعاد دامنه محاسباتی در مدل‌های مختلف

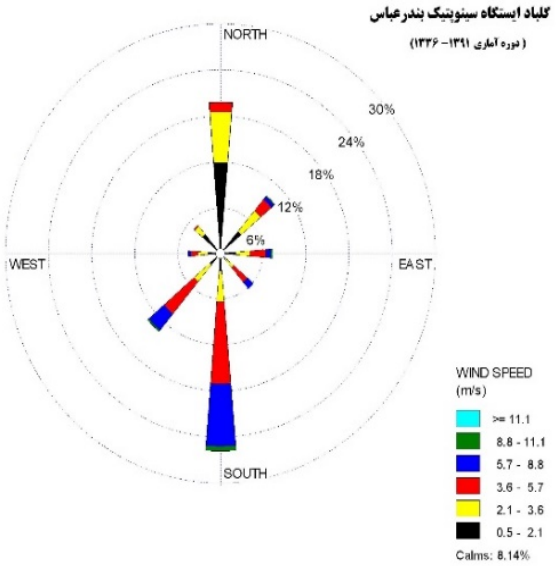
نام مدل	ابعاد دامنه
CO-W-4	۸۰×۵٤×۱۸
CO-W-6	۷۹/۹٤×۵٦×۱۸
CO-W-8	۷۹/۹٤×۵۸×۱۸
CO-W-10	۷۹/۹٦×٦۰×۱۸



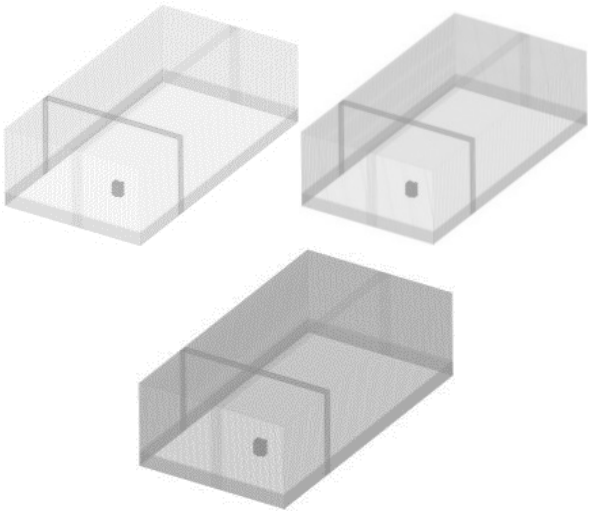
شکل ۲) شبکه‌بندی دامنه محاسباتی و شرایط مرزی؛ ۱) Velocity inlet، ۲) Symmetry، ۳) Symmetry، ۴) Pressure outlet

جدول ۳) مقدار α و ارتفاع گرادیان در بافت‌های متفاوت[18]

بستر زمین	مشخصات بستر	ارتفاع گرادیان	مقدار α
گونه اول	دریای آزاد، بیابان، پهنه یخ	۲۵۰متر	۰/۱۱
گونه دوم	روستای باز، درختان پراکنده، بوته‌های کوتاه	۳۰۰متر	۰/۱٤
گونه سوم	محیط حومه‌ای، شهرهای کوچک	٤۰۰متر	۰/۲۲
گونه چهارم	ساختمان‌های بلند در مراکز شهری، محدوده‌های شهری	۵۰۰متر	۰/۳۳



شکل ۳) گلباد شهر بندرعباس برای بازه زمانی ۱۳۳۶ تا ۱۳۹۱؛ اداره کل هواشناسی استان هرمزگان[37]



شکل ۴) دامنه مدل‌های محاسباتی با سه اندازه و تعداد مش متفاوت؛ ابعاد مش در ریزترین شبکه ۰/۰۱ و در درشت‌ترین حالت برابر با ۰/۶ است.

جدول ۴) سرعت باد متناسب‌سازی‌شده بر حسب ارتفاع

ارتفاع	سرعت
۰	۰
۲	۲/۰۷
٤	۲/٦٦
٦	۳/۰۸
۸	۳/٤۲
۱۰	۳/۷۱
۱۲	۳/۹٦
۱٤	٤/۱۸
۱۵	٤/۳۹
۱۸	٤/۵۸

۲- شرایط شبیه‌سازی بار سرمایشی

مدل‌های این پژوهش ساختمان‌های مسکونی هستند که تعداد ساکنین آن ۴ نفر در نظر گرفته شده است. کاربری این بنا مسکونی است و منابع گرمایشی داخل ساختمان همانند یک ساختمان مسکونی استاندارد (کامپیوتر، چراغ‌ها، لوازم پخت و پز و تعدادی وسیله الکتریکی) در نظر گرفته شده است. بررسی تطبیقی انرژی سرمایشی مورد نیاز ساختمان به‌صورت میانگینی از بار سرمایشی محسوس، نامحسوس و بار سرمایشی کل محاسبه و در مدل‌های چهارگانه با یکدیگر مقایسه شد. میزان این انرژی که تابعی از میزان انرژی مبادله‌شده از سقف، کف، جداره‌های ساختمان و پنجره‌ها با محیط پیرامونی (پوسته ساختمان)، منابع حرارتی داخل بنا اعم از ساکنین داخل بنا، لوازم الکتریکی، تجهیزات روشنایی و میزان نفوذپذیری جریان است، به دست آمده است.

بازه زمانی شبیه‌سازی انرژی سرمایشی برای ماه‌های گرم سال در شهر بندرعباس و از اول آوریل تا ۳۰ اکتبر (۱۳ فروردین تا ۱۰ آبان) در نظر گرفته شده است. برنامه‌های زمانی کارکرد لوازم، حضور افراد در فضا و غیره بر مبنای استانداردهای مربوطه تنظیم شده است.

پوسته ساختمان به‌عنوان جداکننده فضای داخلی و محیط خارجی ساختمان، علاوه بر القای ماهیت زیبایی‌شناسانه به بنا، نقش مهمی در رفتار حرارتی ساختمان دارد[39-41]. انتخاب لایه‌های تشکیل‌دهنده جداره‌های مختلف پوسته ساختمان بر مبنای ضرایب هدایت حرارتی پیشنهادی (جدول ۵) برای ساختمان‌های مسکونی شهر بندرعباس در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان صورت گرفته است (شکل ۵). براساس مبحث ۱۹ مقررات ملی، گونه‌بندی کاربری ساختمان از نوع الف، گونه‌بندی شهر محل استقرار شهر بزرگ، و گونه‌بندی نیاز سالانه انرژی، زیاد و نیاز غالب حرارتی سرمایش بوده و گروه ساختمان از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی، گروه ۱ است (مبحث ۱۹ مقررات ملی، ۱۳۸۹). جزئیات لایه‌های مختلف کف، سقف و دیوار خارجی برای ساختمان‌های مورد نظر در شکل ۵ نشان داده شده است. ضرایب هدایت حرارت این جداره‌ها توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر محاسبه و در جدول ۶ ارایه شده است. انطباق این داده‌ها با استانداردهای پیشنهادی مبحث ۱۹ مقررات ملی حاکی از درستی انتخاب مصالح و جزئیات در مدل‌های مورد نظر است.

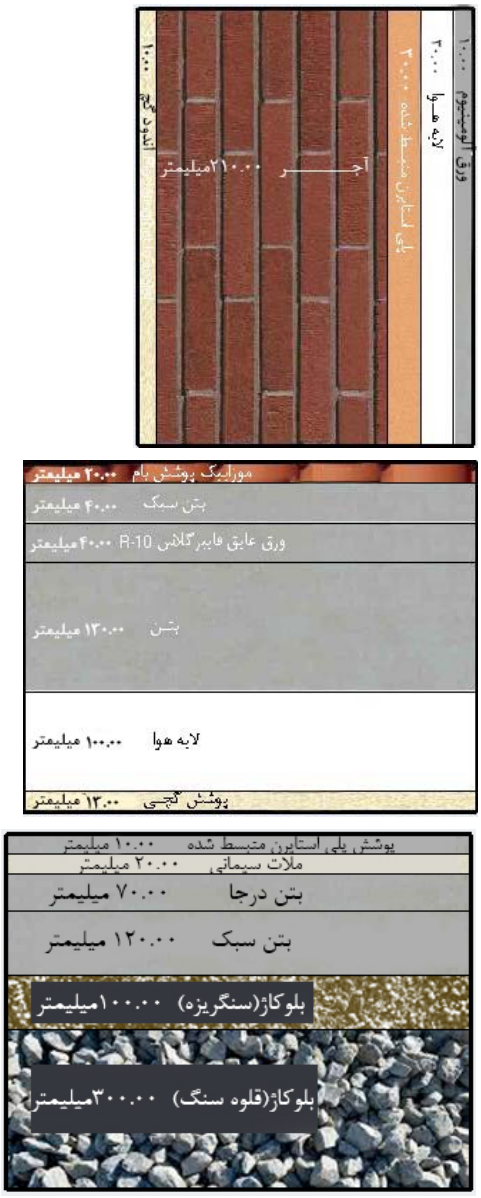
به‌منظور بررسی تطبیقی بهتر مدل‌های چهارگانه، میزان انرژی سرمایشی کل بنا با استفاده از روابط زیر بر مبنای سطح بنا محاسبه شد. در این رابطه Q_{c_i} انرژی سرمایشی مورد نیاز و A_i مجموع سطوح پیرامونی بنا که در ارتباط با محیط پیرامون قرار دارند است.

$$q_c=\frac{\sum_{n=1}^{i} Q_{c_i}}{\sum_{n=1}^{i} A_i} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

نقطه مبدا سرمایشی برای مدل‌ها ۲۷°C و مبدا گرمایشی آنها ۱۸°C در نظر گرفته شده است.

جدول ۵) ضرایب هدایت حرارت استاندارد برای اجزای مختلف ساختمان در شهر بندرعباس براساس مبحث ۱۹ مقررات ملی (مبحث ۱۹ مقررات ملی، ۱۳۸۹)

عنصر ساختمانی	ضریب هدایت حرارت $\frac{W}{m^2K}$
کف	۰/۳۱-۰/۴۸
سقف	۰/۳۳-۰/۴۸
دیوار خارجی	۰/۴۳-۰/۸۳



(الف)

(ب)

(ج)

شکل ۵) لایه‌های مختلف و مصالح تشکیل‌دهنده: الف) دیوار خارجی، ب) سقف، ج) کف

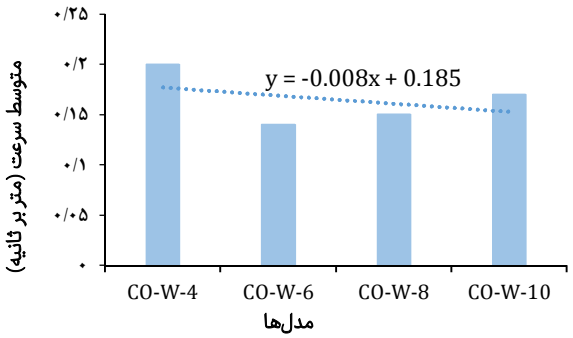
جدول ۶) ضریب هدایت حرارت محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر براساس لایه‌های تشکیل‌دهنده کف، سقف و دیوار

جداره مورد نظر	ضریب هدایت حرارت $\frac{W}{m^2K}$
کف	۰/۴۸
سقف	۰/۴۷
دیوار خارجی	۰/۷۳
پنجره	۳/۱۵

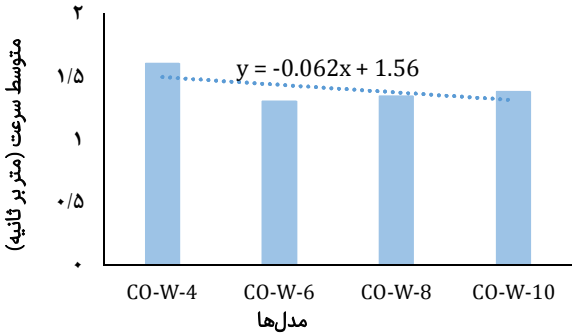
یافته‌ها

۱- تحلیل یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی جریان باد

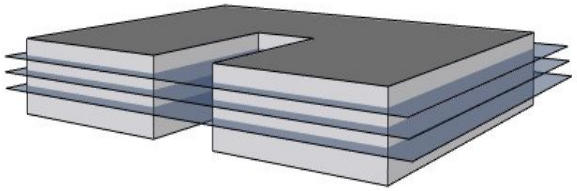
بررسی رفتار باد در داخل ساختمان و حیاط مرکزی از ارتفاع صفر تا ۳متر برای کل حجم ساختمان و حیاط مرکزی انجام گرفت و نتایج به‌صورت متوسط و ماکزیمم سرعت جریان باد در نمودارهای ۱ و ۲ نمایش داده شد. شکل ۶ موقعیت صفحات سنجش برای نمایش کانتورهای باد را نشان می‌دهد.



نمودار ۱) متوسط سرعت جریان در داخل ساختمان در مدل‌های چهارگانه بر حسب متر بر ثانیه



نمودار ۲) متوسط سرعت جریان درون حیاط در مدل‌های چهارگانه بر حسب متر بر ثانیه

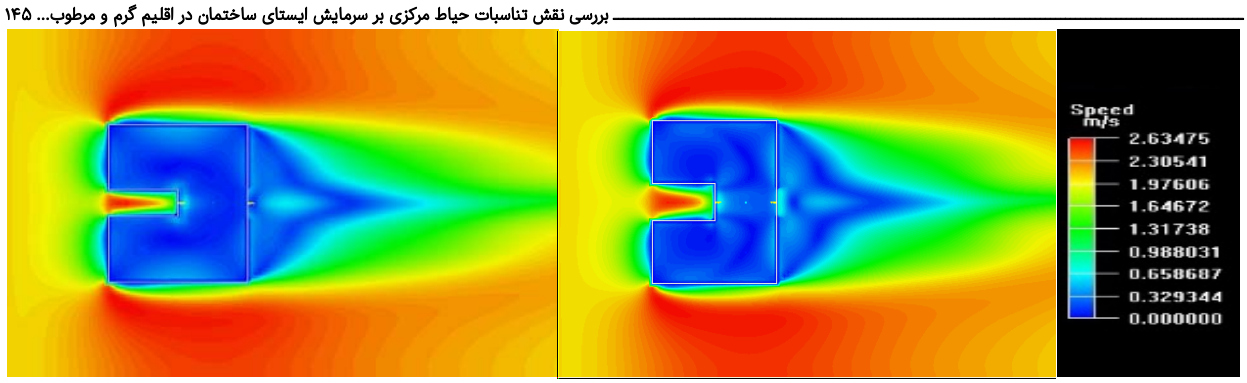


شکل ۶) موقعیت صفحات نمایش کانتور سرعت باد در داخل بنا و حیاط مرکزی

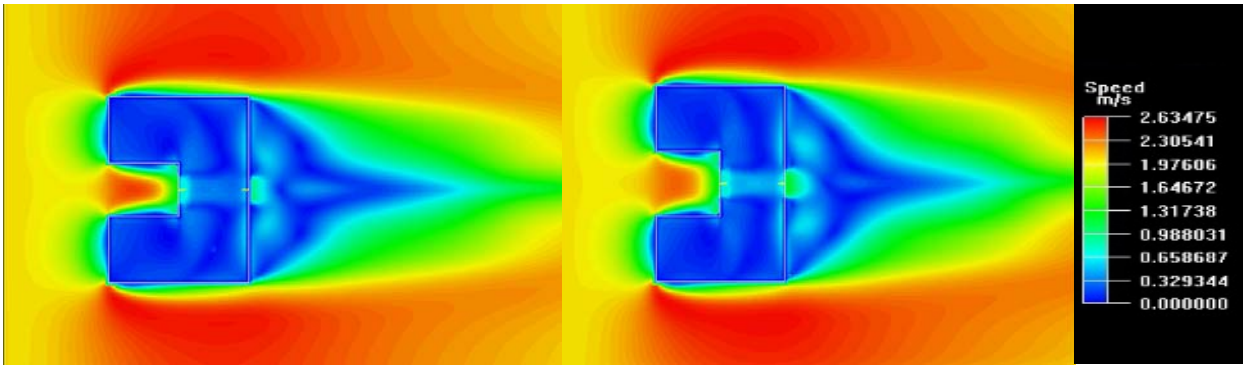
به‌منظور بررسی تطبیقی الگوی جریان باد در داخل بنا و درون حیاط مرکزی، کانتورهای گرافیکی جریان باد روی سه صفحه سنجش در ترازهای ۱، ۱/۵ و ۲ متر از کف استخراج و در قالب کانتورهای شکل‌های ۷ تا ۹ ارایه شده‌اند. کانتورهای سرعت جریان باد (شکل‌های ۹-۷) در سه تراز مختلف ۱، ۱/۵ و ۲متری از سطح زمین نشان داد که تغییر تناسبات حیاط، رفتار باد درون معماری بادآهنگ و فضای پیرامونی آن را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. با توجه به این که هدف اصلی این پژوهش بررسی رفتار جریان در درون ساختمان و داخل حیاط است صرفاً به تحلیل جریان در این مناطق اکتفا نموده و از تحلیل حوزه‌های پیرامونی چشم‌پوشی شد. طبق این کانتورها با مشاهده توزیع متعادل جریان باد در مدل CO-W-4، با افزایش عرض حیاط از ۴متر به ۶متر با کاهش جریان در بال‌های شرقی و غربی ساختمان مواجه هستیم. افزایش ۲متری عرض حیاط از ۶ به ۸متر باعث بهبود جریان فضای داخلی و هدایت جریان به جناحین ساختمان می‌شود. این روند با افزایش عرض حیاط به ۱۰متر به‌صورت فزاینده ادامه می‌یابد، به‌طوری که در مدل CO-W-10 توزیع نسبتاً متعادل جریان باد در فضای داخلی ساختمان مشهود است. لازم به ذکر است با افزایش عرض حیاط از ۴ تا ۱۰متر جریان هوای موجود میان دو بازشوی هم‌راستا در جبهات شمالی و جنوبی ساختمان روندی صعودی دارد. کانتورهای فوق‌الذکر نشانگر آن است که مدل CO-W-4 با عرض حیاط ۴متر و تناسباتی کشیده به‌عنوان یک تله جریان باد عمل نموده و در نتیجه سرعت جریان در داخل حیاط در این مدل نسبت به سه مدل دیگر رفتار مطلوبی از خود نشان می‌دهد. با افزایش عرض حیاط از ۴ به ۶متر کاهش قابل ملاحظه سرعت جریان در حیاط مشهود است، این در حالی است که با ادامه روند افزایش عرض حیاط سرعت جریان در داخل حیاط با شیب مثبت افزایش می‌یابد.

خروجی‌های کمی حاصل از آنالیزهای انجام‌شده توسط نرم‌افزار CFD و نمودارهای میله‌ای موید نتایج حاصل از کانتورهای گرافیکی است (نمودار ۳). خروجی‌های مذکور نشان داد که با افزایش عرض حیاط از ۴ به ۶متر، متوسط سرعت جریان داخل بنا به میزان ۳۰% کاهش می‌یابد. با ادامه روند و افزایش عرض به ۸متر با افزایش ۷/۱۲درصدی و از ۸ به ۱۰متر با افزایش ۱۳/۳۳درصدی متوسط سرعت جریان باد داخلی مواجه هستیم. بنابراین از منظر متوسط سرعت جریان داخلی، مدل CO-W-4 بهترین رفتار را از خود نشان داد و مدل‌های CO-W-10 و CO-W-8 به ترتیب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند؛ این در حالی است که مدل CO-W-6 با متوسط سرعت جریان داخلی ۰/۱۴ متر بر ثانیه ضعیف‌ترین رفتار را در مقایسه با سه مدل دیگر گروه دارد.

نتایج کمی متوسط سرعت جریان باد در داخل حیاط حاکی از آن است که مدل CO-W-4 با متوسط سرعت ۱/۶متر بر ثانیه مطلوب‌ترین رفتار را در مقایسه با سایر مدل‌ها دارد. با افزایش عرض حیاط از ۴متر به ۶متر متوسط سرعت جریان داخل حیاط به میزان ۱۸/۷۵% کاهش می‌یابد. با ادامه روند افزایش عرض حیاط نمودار سرعت متوسط جریان داخلی حیاط شیبی مثبت به خود گرفته و مقدار آن از ۱/۳ به ۱/۳۴متر بر ثانیه (۳/۰۷%) افزایش می‌یابد. ادامه همین روند و افزایش عرض حیاط از ۸ به ۱۰متر افزایش ۲/۹۸درصدی جریان را به دنبال دارد. در خصوص متوسط سرعت داخل حیاط نیز نمودار ۳ نشانگر آن است که مدل CO-W-4 با بالاترین متوسط سرعت جریان داخل حیاط بهترین گزینه و مدل‌های CO-W-10، CO-W-8 به ترتیب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند؛ این در حالی است که مدل CO-W-6 ضعیف‌ترین عملکرد را از حیث جریان درون حیاط مرکزی داراست.

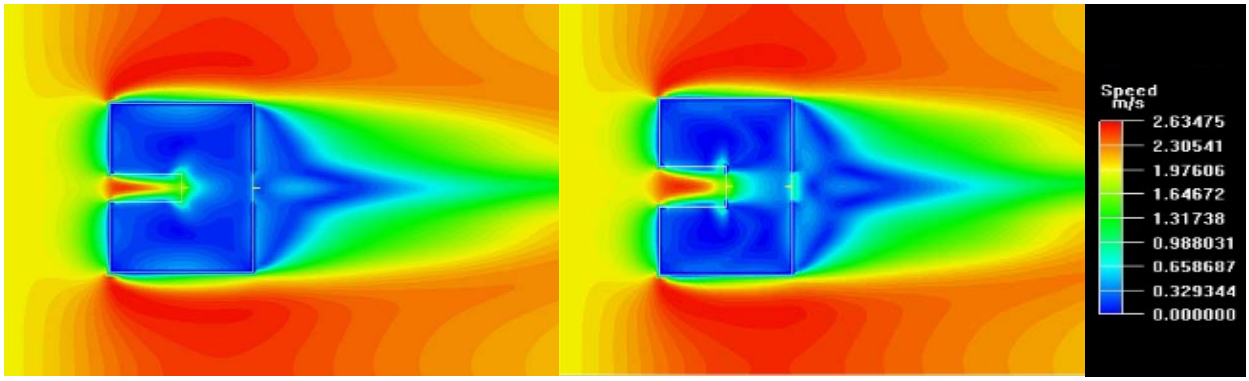


CO-W4 CO-W6

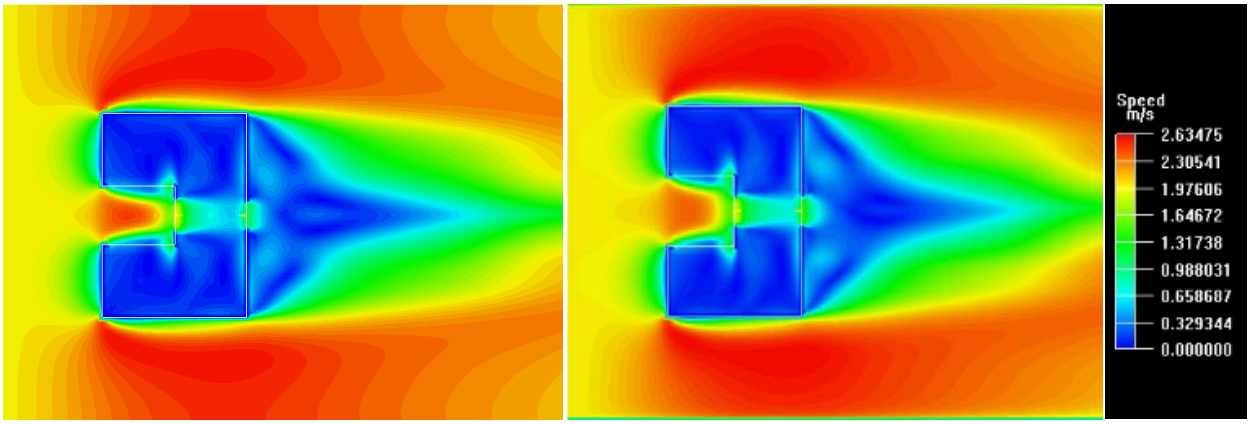


CO-W8 CO-W10

شکل ۷) کانتورهای گرافیکی سرعت باد در ارتفاع یک‌متری از کف ساختمان برای مدل‌های چهارگانه

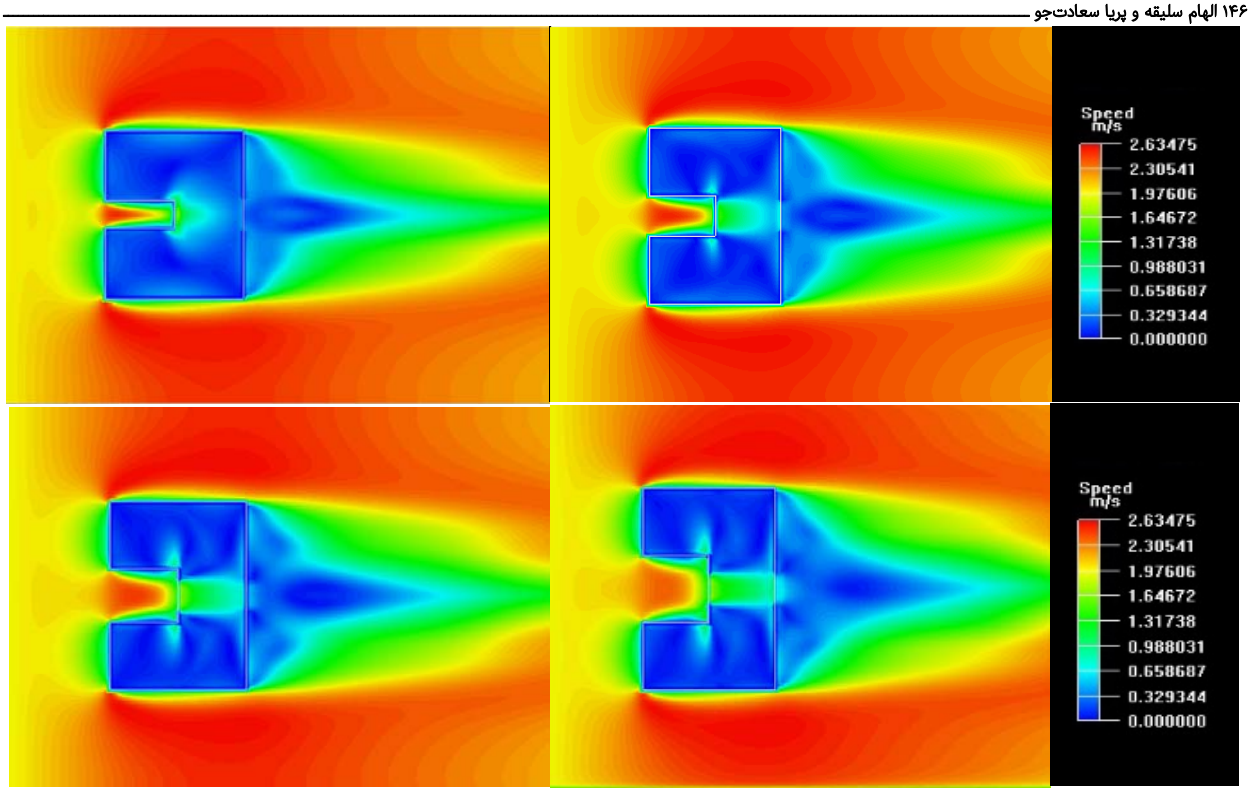


CO-W4 CO-W6

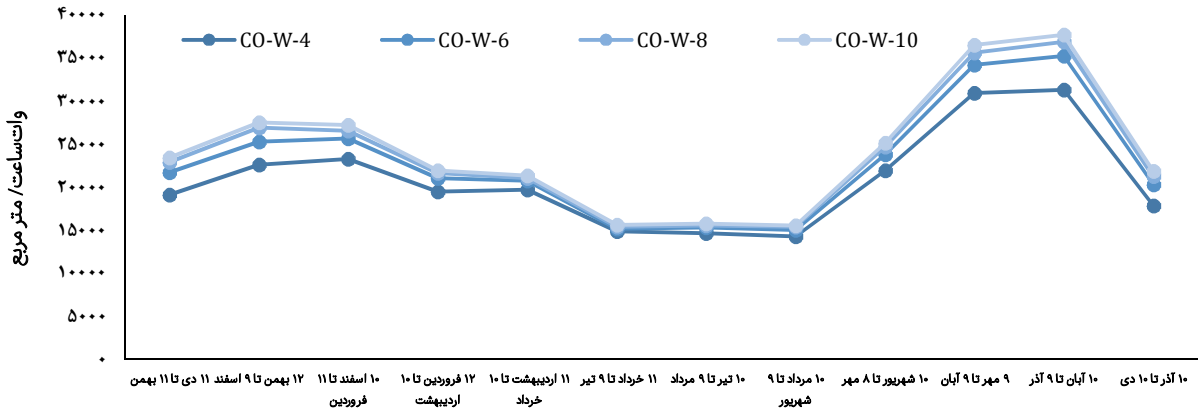


CO-W10 CO-W8

شکل ۸) کانتورهای گرافیکی سرعت باد در ارتفاع ۱/۵متری از کف ساختمان برای مدل‌های چهارگانه



شکل ۹) کانتورهای گرافیکی سرعت باد در ارتفاع ۲متری از کف ساختمان برای مدل‌های چهارگانه



نمودار ۳) متوسط انرژی تابشی دریافتی سالانه در مدل‌های چهارگانه بر حسب وات‌ساعت/متر مربع

۲- تحلیل یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی بار سرمایشی

محاسبه بار سرمایشی برای ۷ ماه گرم سال، براساس جزئیات و برنامه زمانی ارایه‌شده در نرم‌افزار دیزاین بیلدر انجام گرفت و نتایج در قالب بار سرمایشی محسوس، نامحسوس و کل برای مدل‌های چهارگانه ارایه شد (نمودار ۴). لازم به ذکر است که بار سرمایشی کل به دو نوع بار سرمایشی محسوس و غیرمحسوس تفکیک می‌شود که بار سرمایشی محسوس در هوا مربوط به میزان انرژی است که در راستای حذف گرمای محسوس از محیط مورد نیاز است و در آن هیچ رطوبتی از محیط گرفته نمی‌شود، حال آن که بار سرمایشی غیرمحسوس، به انرژی مورد نیاز برای دفع رطوبت از محیط گفته می‌شود.

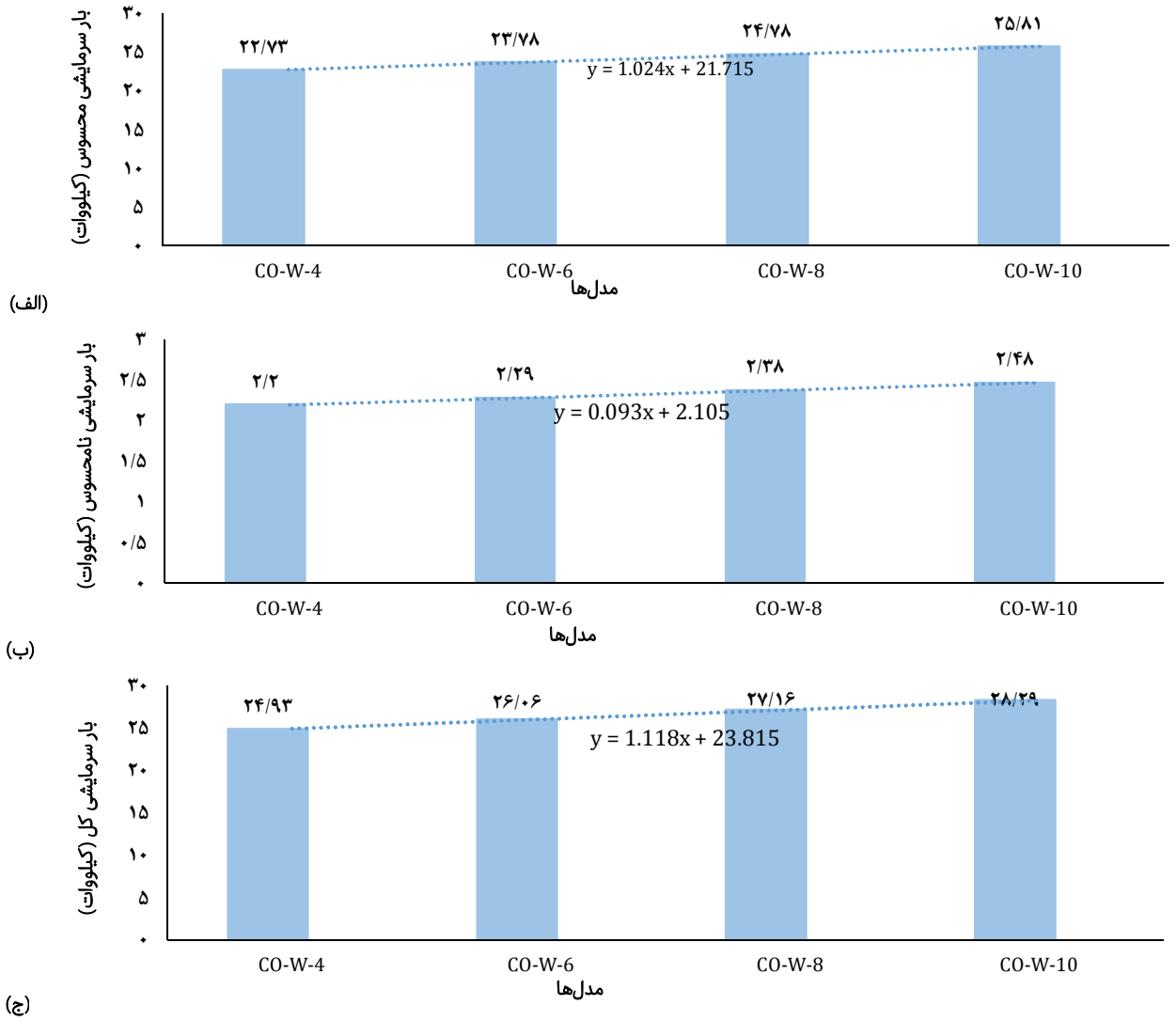
نمودار ۴ (ج) نشانگر میزان بار سرمایشی کل در مدل‌های چهارگانه است که با شیب مثبت ۱/۱۱۸ از مدل CO-W-4 تا مدل CO-W-10 در حال افزایش است. در این نمودار میزان بار سرمایشی کل در مدل CO-W-6 نسبت به مدل CO-W-4 دارای ۴/۵۳%، مدل CO-W-8 نسبت به مدل CO-W-6 دارای ۴/۲۲% و مدل CO-W-10 نسبت به مدل CO-W-8، دارای افزایش ۴/۱۶درصدی است. به این ترتیب مدل CO-W-4 با کمترین میزان بار سرمایشی کل، بهترین و مدل CO-W-10 با بیشترین میزان بار سرمایشی کل، نامناسب‌ترین گزینه‌های گروه از منظر سرمایش ایستای ساختمان به حساب می‌آیند. نمودارهای بار سرمایشی محسوس و بار سرمایشی نامحسوس با شیب‌های ۱/۰۲+، ۰/۰۹+ از روندی مشابه با بار سرمایشی کل برخوردار هستند (نمودار ۴ بخش‌های الف و ب).

۳- تحلیل یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی انرژی تابشی

چنانچه بیان شد کاهش دریافت گرمای خورشید و استفاده از راهکارهای سرمایش ایستا در شهر بندرعباس با اقلیم گرم و مرطوب یک نیاز اساسی در طول سال به شمار می‌آید. از این رو، مدل‌های شبیه‌سازی‌شده در طول سال از نظر سایه‌اندازی و میزان دریافت انرژی بررسی و آنالیز شدند. نتایج این شبیه‌سازی‌ها که توسط نرم‌افزار Ecotect 2011 انجام پذیرفته است، به‌صورت متوسط سایه‌اندازی و میانگین ماهانه انرژی دریافتی تابشی خورشید در واحد سطح بنا در قالب جدول ۷ ارایه شده است (نمودارهای ۵ تا ۹).

بررسی تطبیقی ماهانه انرژی تابشی دریافتی در مدل‌ها نشانگر آن است که با افزایش عرض حیاط، میزان سایه‌اندازی کاهش یافته و میزان متوسط انرژی تابشی بر واحد سطح افزایش می‌یابد. نمودار ۳ بیانگر این است که متوسط میزان انرژی تابشی دریافتی بر سطح در چهار مدل شبیه‌سازی‌شده در ماه‌های مختلف سال روند مشابهی را طی می‌کند؛ به‌طوری که از ۱۱ دی تا ۱۱ فروردین اختلاف مقدار متوسط انرژی دریافتی در مدل‌ها بیشتر بوده و از ۱۳ فروردین تا ۸ مهر نمودار انرژی تابشی دریافتی مدل‌ها بسیار نزدیک به هم است و مجدداً از ۹ مهر تا ۱۰ دی اختلاف بیشتر می‌شود. نمودار ۹ نیز نشان‌دهنده متوسط انرژی تابشی بر واحد سطح در هفت ماه گرم سال است. چنانچه از این نمودار برمی‌آید با افزایش عرض حیاط مرکزی از ٤ تا ۱۰متر میزان انرژی تابشی دریافتی بر سطح نیز افزایش می‌یابد.

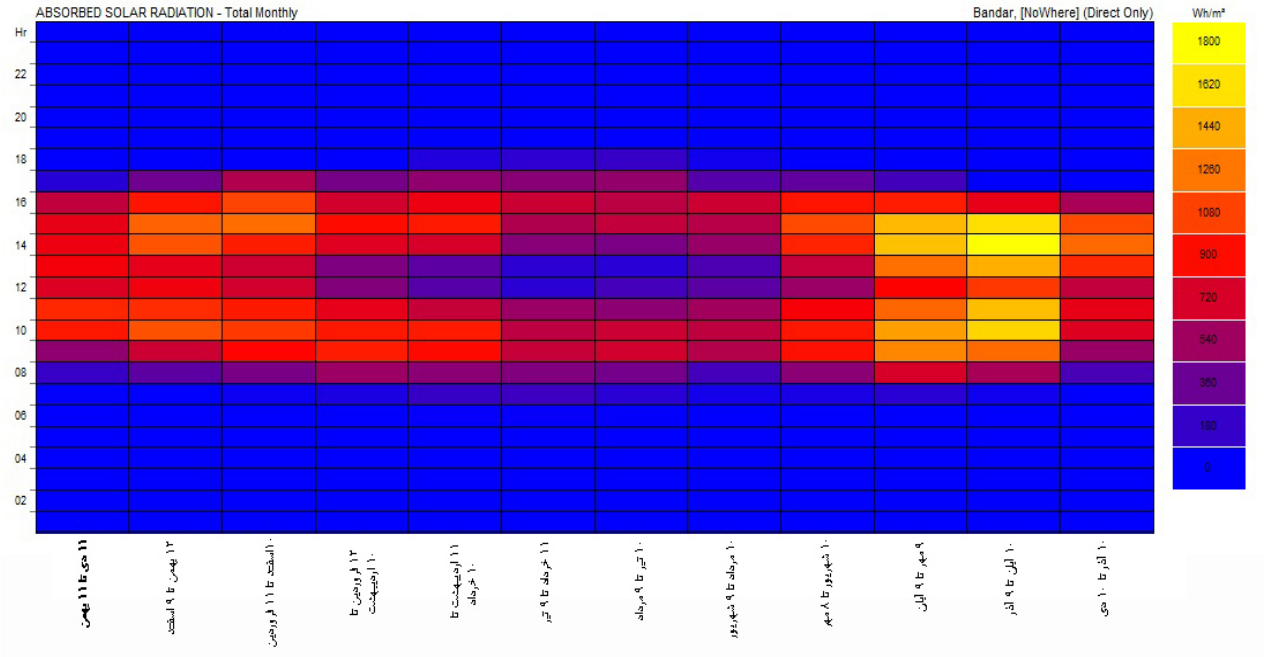
نمودار ۱۰ نشانگر متوسط درصد سطوح تحت سایه در چهار مدل شبیه‌سازی‌شده در ماه‌های مختلف سال است. نمودار به‌روشنی بیانگر تفاوت و تغییر درصد سایه‌اندازی روی سطوح است؛ همان طور که مشاهده می‌شود مدل CO-W-4 دارای بیشترین مقدار سایه در ماه‌های مختلف سال در مقایسه با سایر مدل‌هاست. در نمودار ۱۱ نیز متوسط درصد سطوح تحت سایه در هفت ماه گرم سال مشاهده می‌شود. در این نمودار نیز شاهد کاهش تدریجی متوسط درصد سطوح تحت سایه از مدل CO-W-4 تا مدل CO-W-10 هستیم (نمودارهای ۱۰ و ۱۱).



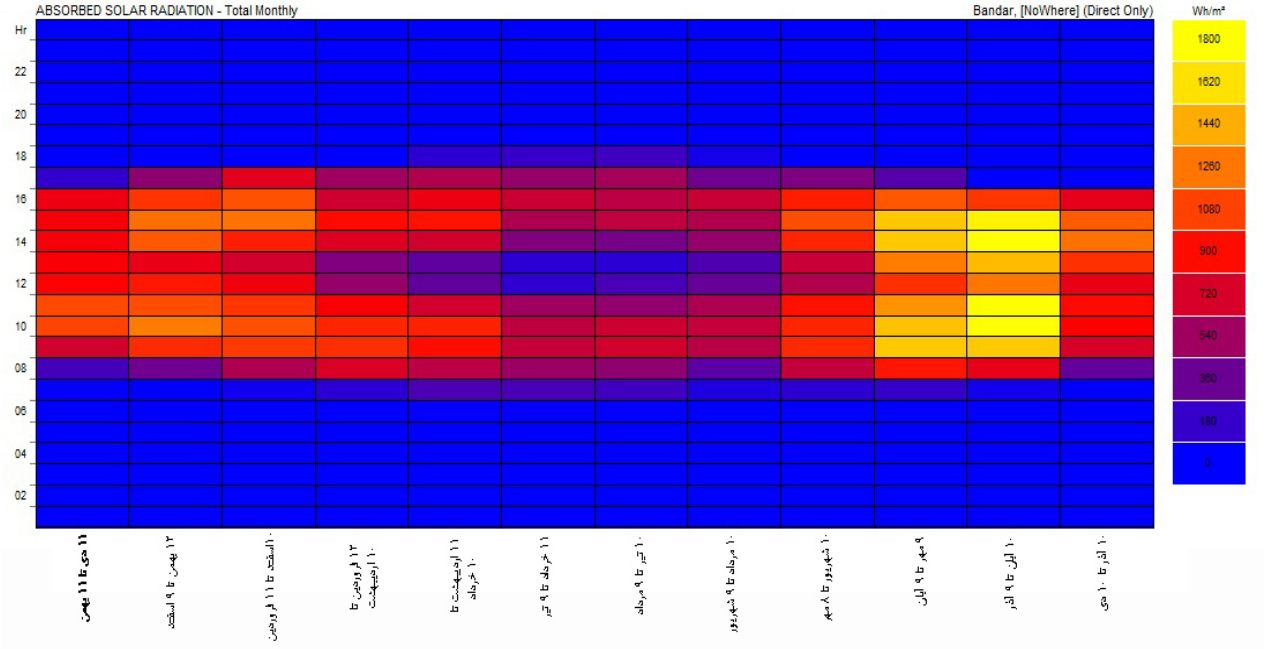
نمودار ۴) بار سرمایشی محسوس (الف)، نامحسوس (ب) و کل (ج) در مدل‌های چهارگانه

جدول ۷) مقدار میانگین ماهانه انرژی تابشی دریافتی بر سطوح و میزان متوسط سایه‌اندازی در مدل‌های شبیه‌سازی‌شده با عرض متفاوت حیاط

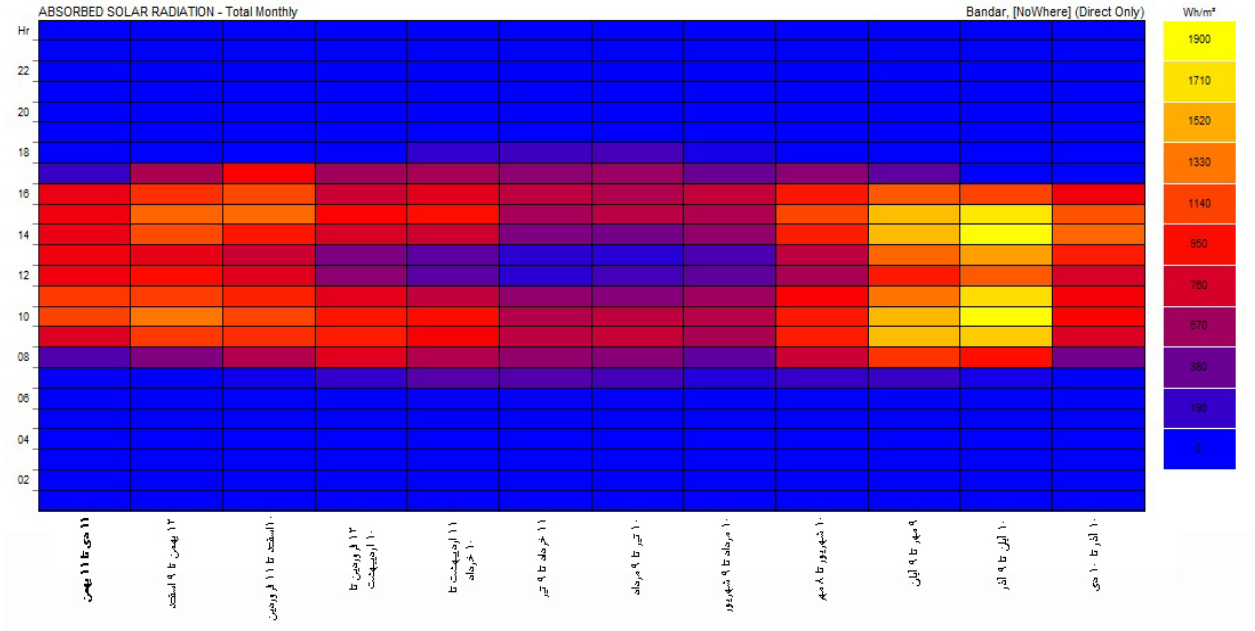
نام مدل	میانگین ماهانه انرژی دریافتی تابشی در واحد سطح (وات‌ساعت/متر مربع)	میزان متوسط سایه‌اندازی بر سطوح
CO-W-4	۲۰۷۸۰/٦٦	%٦١
CO-W-6	۲۲۷۳۷/٤٨	%٥٧
CO-W-8	۲۳٦۰۹/۲۸	%٥٥
CO-W-10	۲٤۰٦۸/٤۸	%٥٤



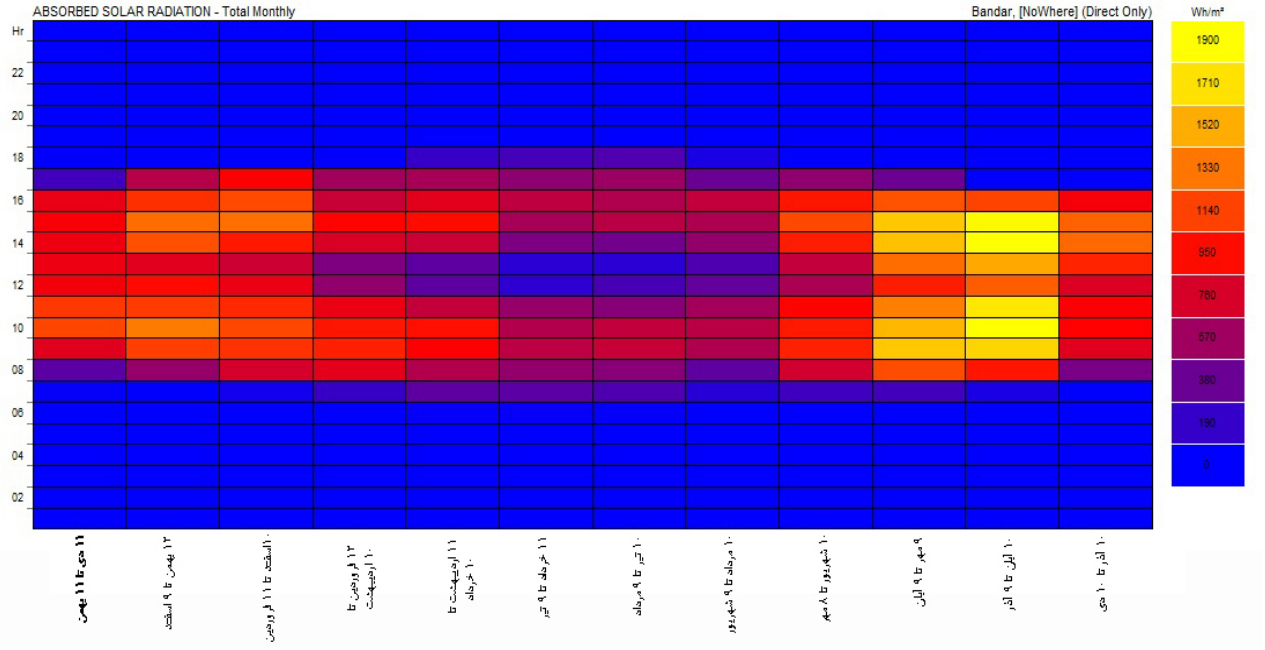
نمودار ۵) میانگین ماهانه انرژی تابشی دریافتی برای مدل CO-W-4



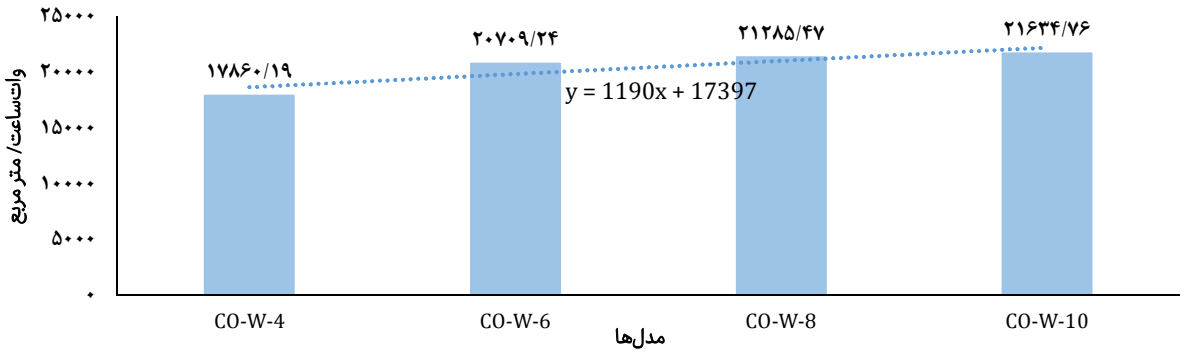
نمودار ۶) میانگین ماهانه انرژی تابشی دریافتی برای مدل CO-W-6



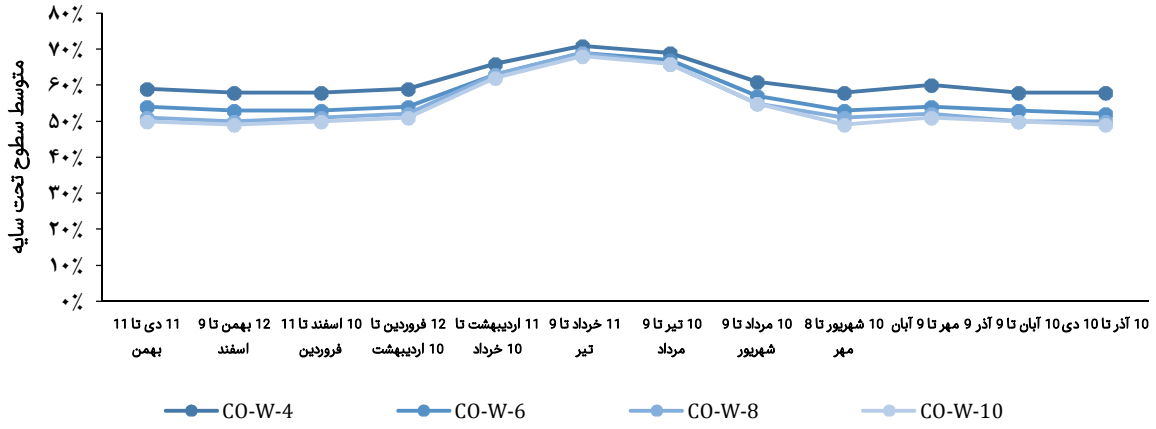
نمودار ۷) میانگین ماهانه انرژی تابشی دریافتی برای مدل CO-W-8



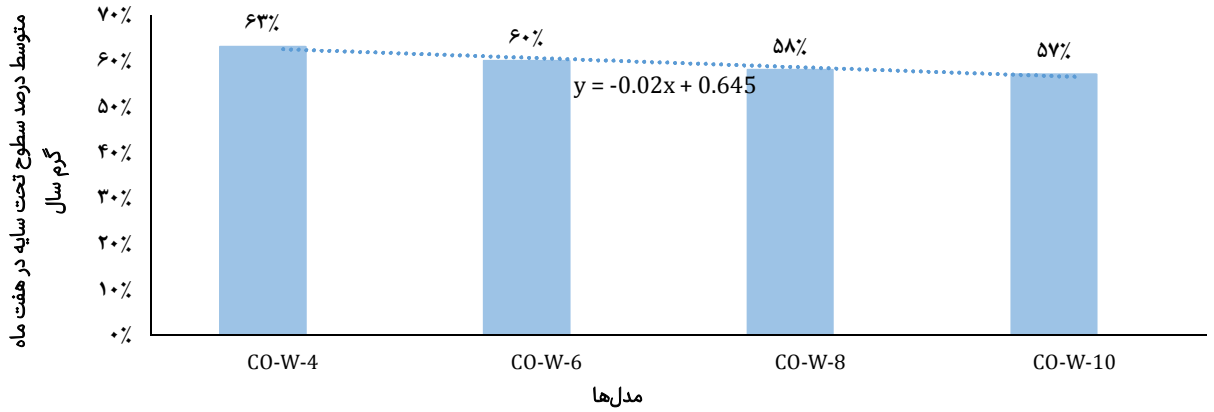
نمودار ۸) میانگین ماهانه انرژی تابشی دریافتی برای مدل CO-W-10



نمودار ۹) متوسط انرژی تابشی دریافتی برای هفت ماه گرم سال در مدل‌های چهارگانه بر حسب وات‌ساعت/متر مربع



نمودار ۱۰) متوسط درصد سطوح تحت سایه سالانه در مدل‌های چهارگانه



نمودار ۱۱) متوسط درصد سطوح تحت سایه هفت ماه گرم سال در مدل‌های چهارگانه

بحث

۱- نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها بیانگر آن است که مدل CO-W-4 با عرض حیاط ۴متر با کمترین بار سرمایشی، بیشترین متوسط سرعت جریان باد، کمترین میزان انرژی تابشی دریافتی و بالاترین میزان متوسط سطوح تحت سایه در هفت ماه گرم سال به‌عنوان بهترین گزینه از حیث سرمایش ایستای ساختمان در شهر بندرعباس به حساب می‌آید.

۲- میانگین نتایج حاصل از تحلیل بار سرمایشی کل در مدل‌های چهارگانه حاکی از ضعف عملکرد برودتی ساختمان با افزایش عرض حیاط است. نتایج حاصل از آنالیز میزان انرژی تابشی دریافتی و سطوح تحت سایه نیز موید همین موضوع است؛ به‌طوری که با افزایش تدریجی عرض حیاط میزان متوسط انرژی تابشی رو به افزایش و درصد سطوح تحت سایه رو به کاهش است. به این معنی که از منظر میزان بار سرمایشی کل، انرژی تابشی دریافتی و درصد سطوح تحت سایه مدل CO-W-4 با عرض حیاط ۴متر به‌عنوان بهترین گزینه و مدل CO-W-10 با عرض حیاط ۱۰متر نامطلوب‌ترین گزینه هستند.

۳- نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های جریان باد بیانگر این نکته است که الگوی جریان باد در مدل‌های مورد بررسی از سیری نسبتاً متفاوت با متغیرهای فوق (بار سرمایشی کل، میزان انرژی تابشی دریافتی و درصد سطوح تحت سایه) برخوردار است؛ به‌طوری که با افزایش عرض حیاط از ۴ به ۶متر عملکرد تهویه طبیعی تضعیف شده و از این نقطه به بعد تا عرض ۱۰متر با شیبی مثبت این عملکرد بهبود می‌یابد. به‌طور کلی می‌توان گفت مدل CO-W-4 با بالاترین سرعت متوسط جریان باد در داخل ساختمان و درون حیاط به‌عنوان بهترین گزینه و مدل CO-W-6 با کمترین سرعت متوسط جریان به‌عنوان ضعیف‌ترین گزینه از میان مدل‌های چهارگانه به شمار می‌آید.

۴- بررسی‌های فوق حاکی از آن است که مدل CO-W-4 با عرض حیاط ۴متر به‌عنوان بهترین و مطلوب‌ترین گزینه با بهره‌مندی از حداکثر جریان طبیعی باد، بیشترین سطوح تحت سایه، کمترین بار سرمایشی و کمترین میزان انرژی تابشی دریافتی در ۷ ماه گرم سال در شهر بندرعباس بیشترین پتانسیل سرمایش ایستای ساختمان را داراست.

نتیجه‌گیری

حیاط مرکزی به منزله دستگاهی کارآمد و پاسخده، وظیفه خود را در حفاظت ساکنین از شرایط نامساعد جوی و محیطی و بهره‌مندی

از سیستم‌های غیرفعال تامین انرژی در مناطق مختلف به‌خوبی انجام داده است. این عنصر به‌عنوان بخشی از معماری بادآهنگ، قادر است تا به‌واسطه بهره‌گیری از سامانه‌های مختلف از جمله سرمایش تبخیری، تهویه عبوری، سرمایش تابشی و سایه‌اندازی به خنک‌سازی و کاهش بار سرمایشی ساختمان کمک کند. در این میان مولفه‌های کالبدی حیاط مرکزی اعم از شکل کلی حیاط، تناسبات حیاط و نیز ساختار فرمی جداره‌های آن نقش موثری در سرمایش ایستا دارند و امری مهم و قابل پژوهش هستند. به تبع این موضوع، پژوهش حاضر تاثیر عرض حیاط مرکزی در ساختمان‌های Uشکل را در میزان انرژی خورشیدی دریافتی، سایه‌اندازی، بار سرمایشی بنا و پتانسیل تهویه طبیعی در فضای داخلی و حیاط مرکزی بررسی نمود.

مدل‌های چهارگانه ساختمان‌های یک‌طبقه Uشکل با نسبت حجم به سطح ثابت، عرض حیاط متغیر و ابعاد و تعداد بازشوهای مشابه هستند. بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های CFD، آنالیزهای حرارتی و سایه‌اندازی، تاثیر تغییر عرض حیاط بر پتانسیل سرمایش ایستای ساختمان را به اثبات رسانید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نشان داد که میزان بار برودتی بنا با افزایش ۲متری عرض حیاط در هر مرحله، افزایش تقریبی ۴درصدی بار سرمایشی را به دنبال دارد. به عبارتی تغییر عرض حیاط به میزان ۶متر می‌تواند با افزایش ۱۲/۹۱درصدی بار سرمایشی ساختمان همراه باشد. بررسی الگوی سایه‌اندازی در مدل‌های چهارگانه نیز نشان داد که با افزایش عرض حیاط، درصد سطوح تحت سایه به‌تدریج کاهش می‌یابد؛ به‌طوری که این اختلاف در ماکزیمم حالت خود به مرز ۱۰% نیز می‌رسد. آنالیزهای CFD جریان حاکی از روند نسبتاً متفاوت نتایج تحلیل باد با دو متغیر بار سرمایشی و سایه‌اندازی است؛ به‌طوری که با افزایش عرض حیاط از ۴ به ۶متر شاهد افت شدید جریان به میزان ۱۸/۷۵% و پس از آن رشد سرعت جریان تا حدود ۶% هستیم.

برآیند نتایج نشان داد که در میان مدل‌های موجود، ساختمان با عرض حیاط ۴متر به‌عنوان بهترین و مطلوب‌ترین گزینه با بهره‌مندی از حداکثر جریان طبیعی باد، بیشترین سطوح تحت سایه، کمترین بار سرمایشی و کمترین میزان انرژی تابشی دریافتی در ۷ ماه گرم سال در شهر بندرعباس بیشترین پتانسیل سرمایش ایستای ساختمان را داراست. بر این اساس، افزایش تدریجی عرض حیاط مرکزی از ۴متر به ۱۰متر پتانسیل سرمایش ایستای ساختمان را تضعیف می‌کند. از این رو می‌توان چنین نتیجه گرفت که تعبیه حیاط مرکزی به‌منظور ارتقای کارآیی سرمایشی ساختمان زمانی موثر است که حیاط‌ها از تناسبات طولی کشیده شمالی- جنوبی با تناسبات تقریبی ۱:۲/۵ برخوردار باشند.

نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان الگوی کمک طراحی راهنمای معماران در جهت طراحی ساختمان‌های بادآهنگ در اقلیم گرم و مرطوب باشد. می‌توان اذعان نمود اگرچه الگوی حیاط مرکزی به‌عنوان یک راهکار دیرینه و کارا برای ارتقای پتانسیل سرمایشی ساختمان به شمار می‌رود، اما تغییراتی جزئی در ساختار کالبدی آن می‌تواند مولفه‌های سرمایشی ساختمان اعم از بار سرمایشی، الگوی جریان و سایه‌اندازی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت‌الشعاع قرار دهد. از این رو بهره‌گیری از چنین تیپولوژی ساختمانی در ابنیه مدرن مستلزم انجام شبیه‌سازی‌های دقیق انرژی و مطالعاتی عمیق قبل از طراحی در راستای بهره‌وری حداکثری از پتانسیل‌های طبیعی و تعدیل شرایط نامطلوب اقلیمی است.

تشکر و قدردانی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تاییدیه اخلاقی: ما نویسندگان مقاله "بررسی نقش تخلخل در خودسایه‌اندازی و کاهش انرژی دریافتی جداره‌ها در ساختمان‌های اقلیم گرم و مرطوب" با اعلام موافقت خود مبنی بر ارسال این مقاله به نشریه نقش جهان، مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی، تعهد می‌نماییم که این مقاله در زمان ارسال برای این نشریه در هیچ نشریه ایرانی یا غیرایرانی در حال بررسی نبوده و تا تعیین تکلیف قطعی در این نشریه برای هیچ نشریه ایرانی یا غیرایرانی دیگری ارسال نخواهد شد.

تعارض منافع: موردی از سوی نویسندگان یافت نشد.

سهم نویسندگان: الهام سلیقه (نویسنده اول)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر اصلی/تحلیلگر آماری (۵۰%)؛ پریا سعادت‌جو (نویسنده دوم)، روش‌شناس/پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (۵۰%)

منابع مالی: هزینه‌های مرتبط با این مطالعه به عهده نویسندگان است.

منابع

1- Pérez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A review on buildings energy consumption information. Energy Build. 2008;40(3):394-8.

2- Noroozian N. Localization pattern for assessment of energy efficiency in buildings in Tehran. Naqsh-e Jahan. 2016;6(3):63-74. [Persian]

3- Us Energy Information Administration. International energy outlook 2016. Washington D.C: Energy Information Administration; 2016.

4- Chan H-Y, Riffat SB, Zhu J. Review of passive solar heating and cooling technologies. Renew Sustain Energy Rev. 2010;14(2):781-9.

5- Porta-Gándara MA, Rubio E, Fernandez JL, Muñoz VG. Effect of passive techniques on interior temperature in small houses in the dry, hot climate of Northwestern Mexico. Renew Energy. 2002;26(1):121-35.

6- Zhou L, Haghighat F. Optimization of ventilation system design and operation in office environment, Part I: Methodology. Build Environ. 2009;44(4):651-6.

7- Taleb HM. Natural ventilation as energy efficient solution for achieving low-energy houses in Dubai. Energy Build. 2015;99:284-91.

8- Saadatjoo P, Mahdavinejad M, Zhang G. A study on terraced apartments and their natural ventilation performance in hot and humid regions. Build Simul. 2018;11(2):359-72.

9- Rezaei Hariri MT, Najaf Khosravi S, Saadatjoo P. The impact of high-rise building form on climatic comfort at the pedestrian level. J Architect Urban Plann. 2017;9(17):61-77. [Persian]

10- Moradi S, Matin M, Fayyaz R, Dehbashi Sharif M. Typology of Tabriz traditional courtyard houses based on physical criteria related to the climatic performance of the

central courtyard. Int J Urban Rural Manag. 2018;17(51):106-87. [Persian]
11- Mahdavinejad M, Moradchelleh A, Dehghani S, Mirhosseini SM. The adoption of central courtyard as a traditional archetype in contemporary architecture of Iran. World Appl Sci J. 2013;21(6):802-11.
12- Memarian GH. Introduction to Iranian residential architecture, Introverted Typology. Tehran: Iran University of Science and Technology; 2009. p. 480. [Persian]
13- Vakilinejad R, Mehdizadeh Seraj F, Mofidi Shemirani SM. Principles of passive cooling systems in vernacular architectural elements of Iran. Iran Architect Urban. 2013;(5):147-59. [Persian]
14- Prelgauskas E. Enhanced natural ventilation in hot arid lands (DES 20). Australia: The Royal Australian Institute of Architects; 2003.
15- Tablada A, Blocken B, Carmeliet J, Troyer F, Verschure H. The influence of courtyard geometry on air flow and thermal comfort: CFD and thermal comfort simulations. In; Proceedings of the 22nd Conference on Passive and Low Energy Architecture; 2005 Nov 13-16; Beirut, Lebanon.
16- Sharples S, Bensalem R. Airflow in courtyard and atrium buildings in the urban environment: a wind tunnel study. Solar Energy. 2001;70(3):237-44.
17- Saadatjoo P, Mahdavinejad M, Najaf Khosravi S, Kaveh N. Effect of courtyard proportion on natural ventilation efficiency. Int J Adv Mech Civil Engin. 2013;3(5):92-7.
18- Ghiabaklou Z. Fundamentals of building physics 4 (passive cooling). Tehran: Jahad Daneshgahi Press; 2013. [Persian]
19- Abazari T. Optimization of canopy performance to reduce summer heat cooling in buildings, sample: Anarak residential complex design [Dissertation]. Tehran: Tarbiat Modarres University; 2016. [Persian]
20- Attarian K, Najjar BSA. Defining sustainability characteristics for residential buildings in hot and humid climate. Naqsh-e Jahan. 2018;8(3):161-70. [Persian]
21- Samadzadehyazdi S, Khalili MJ, Samadzadehyazdi S, Mahdavinejad M. Windphil poetic in architecture: energy efficient strategies in modern buildings of Iran. Int J Civil Environ Engin. 2018;12(6):651-8.
22- Saadatjoo P, Mahdavinejad M, Zarkesh A. Porosity rendering in high-performance architecture: wind-driven natural ventilation and porosity distribution patterns. Armanshahr Architect Urban Dev. 2019;12(26):73-88.
23- Littlefair PJ, Santamouris M, Alvarez S, Dupagne A, Hall D, Teller J, et al. Environmental site layout planning: solar access, microclimate and passive cooling in urban areas. London: Building Research Establishment Ltd (BRE); 2000.
24- Tablada A, Blocken B, Carmeliet J, De Troyer F, Herschure H. Geometry of building's courtyards to favour natural ventilation :comparison between wind tunnel experiment and numerical simulation. In; Proceedings of the 2005 World Sustainable Building Conference; 2005 Sep 27-29; Tokyo, Japan.
25- Ok V, Yasa E, Ozgunler M. An experimental study of the effect of surface openings on air flow caused by wind in courtyard buildings. Architect Sci Rev. 2008;51(3):263-8.
26- Al-Hafith O, B K S, Bradbury S, de Wilde P. The impact of courtyard parameters on its shading level an experimental study in Baghdad, Iraq. Energy Procedia. 2017;134:99-109.
27- Xu X, Luo F, Wang W, Hong T, Fu X. Performance-based evaluation of courtyard design in China's cold-winter hot-summer climate regions. Sustainability. 2018;10:1-19.
28- Manioğlu G, Oral GK. Effect of courtyard shape factor on heating and cooling energy loads in hot-dry climatic zone. Energy Procedia. 2015;78:2100-5.
29- Taban M, Pourjafar MR, Bemanian M, Heidari S. Determining optimal courtyard pattern in Dezful traditional houses by relying on shadow analysis. Bagh-e Nazar. 2014;10(27):39-48. [Persian]
30- Rajapaksha I, Nagai H, Okumiya M. A ventilated courtyard as a passive cooling strategy in the warm humid tropics. Renew Energy. 2003;28(11):1755-78.
31- Ghodsi M, Daneshjoo K, Mofidi Shemirani SM. Impact of geometric indicators on residential thermal behavior in hot arid climate (case study: Yazd). Naqsh-e Jahan. 2018;8(3):143-8. [Persian]
32- Office HPM. Meteorological Statistics Report 1974-2004. 2006.
33- Omidvar K, Rostami Gourani E, Beyranvandzadeh M, Ebrahimi S. Investigating Climatic Impacts on Native Architecture of Iran's South Coast: Bandar Abbas. In: Proceedings of the 4th International Congress of Islamic Geographers of the Islamic World; 2010 Apr 14-16; University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. [Persian]
34- Yousefian S, Pourjafar MR, Ahmadpour Kalhroudi N. Impacts of high-rise buildings form on climatic comfort with emphasis on airflow through ENVI-met software. Naqsh-e Jahan. 2017;7(2):1-10. [Persian]
35- Javanroodi K, Mahdavinejad M, Nik VM. Impacts of urban morphology on reducing cooling load and increasing ventilation potential in hot-arid climate. Appl Energy. 2018;231:714-46.
36- Tominaga Y, Mochida A, Yoshie R, Kataoka H, Nozu T, Yoshikawa M, et al. AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. J Wind Engin Ind Aerodyn. 2008;96(10-11):1749-61.
37- Hormozgan Meteorological Department. Golbad, Bandar Abbas, for the period 1957 to 2011 [Internet]. Bandar Abbas: Hormozgan Meteorological Department; 2018 [cited 2019 May 15]. Available from: http://www.hormozganmet.ir/images/synoptic/Windrose/bandarabbas.JPG- 2019.12.25.
38- Karava P, Stathopoulos T, Athienitis AK. Airflow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements. Build Environ. 2011;46(1):266-79.
39- Talaei M, Mahdavinejad M, Zarkesh A, Motevali Haghighi H. A review on interaction of innovative building envelope technologies and solar energy gain. Energy Procedia. 2017;141:24-8.
40- Taraz M, Taghizadeh K, Azizi Ghohroudi M. Introducing an innovative variable building layers system (V.B.L.S). Naqsh-e Jahan. 2015;5(2):55-64. [Persian]
41- Ghanbaran A, Hosseinpour MA. Assessment of design parameter influence on energy efficiency in educational buildings in Tehran's climate. Naqsh-e Jahan. 2016;6(3):51-62. [Persian]