نشریهٔ علمی باغ نظر، ۲۰(۱۲۵)، ۲۳-۴۲ / آبان ۱۴۰۲
DOI:10.22034/BAGH.2023.385984.5336

ترجمهٔ انگلیسی این مقاله نیز با عنوان:
The role of the effective parameters of Taremeh in improving natural ventilation in the courtyard houses of Bushehr in the historical context
.در همین شمارهٔ مجله به‌چاپ رسیده است

مقالهٔ پژوهشی

نقش پارامترهای مؤثر طارمه در بهبود تهویهٔ طبیعی در خانه‌های حیاط‌مرکزی بافت تاریخی بوشهر*

ندا قهرمان‌ایزدی [۱]، ملیحه تقی‌پور [۲**]، حمید اسکندری [۳]، خسرو موحد [۴]

۱. پژوهشگر دکتری، گروه معماری، دانشکدهٔ هنر و معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.
۲. دانشیار معماری، گروه معماری، دانشکدهٔ هنر و معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.
۳. استادیار معماری، گروه مهندسی عمران، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
۴. دانشیار معماری، گروه معماری و شهرسازی پایدار، دانشگاه کلمبیا، واشینگتن، آمریکا.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۸ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۸/۰۱

چکیده

بیان مسئله: بوشهر در کرانهٔ شمالی خلیج‌فارس یکی از بحرانی‌ترین اقلیم‌های گرم‌ومرطوب ایران است. همواره، تهویهٔ طبیعی یکی از روش‌های متداول تأمین آسایش حرارتی ساکنان بوده‌است. معماری بافت تاریخی بوشهر به‌دلیل درون‌گرایی و برون‌گرایی توأمان و بهره‌گیری از انواع فضاهای نیمه‌باز درونی و بیرونی نمونه‌ای شاخص در معماری ایران است. یکی از فضاهای نیمه‌باز مؤثر در تهویهٔ طبیعی، طارمه است. این پژوهش درصدد است با مبناقراردادن طارمه و پارامترهای آن به بررسی تهویه، در فضای مسکونی بوشهر بپردازد.

هدف پژوهش: این پژوهش با هدف بررسی تهویهٔ طبیعی ناشی از پتانسیل‌های طارمه صورت گرفته‌است.

روش پژوهش: به منظور تحقق اهداف پژوهش با روش تحقیق ترکیبی، ابتدا با استفاده از بررسی میدانی، مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی اسناد و مدارک بناهای تاریخی، داده‌های ۲۹ بنای طارمه‌دار که واجد ارزش تاریخی و ثبت در میراث فرهنگی بوشهر هستند را جمع‌آوری کرده‌است. در ادامه، با استفاده از راهبردی تجربی، متغیرهای مستقل تأثیرگذار بر کیفیت تهویهٔ طبیعی شناسایی و متغیرهای وابسته توسط دستگاه‌های دقیق دیجیتال در یک نمونهٔ موردی (عمارت دهدشتی) اندازه‌گیری و سپس داده‌های آن برای اعتبارسنجی نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفته‌است. پس از اعتبارسنجی نرم‌افزار، شبیه‌سازی مدل‌ها در نرم‌افزار cfd Autodesk 2018 و با تکیه بر روش 1CFD صورت گرفته‌است. سنجش شبیه‌سازی مدل‌های طارمه به صورت درونی، میانی و بیرونی برای مؤلفه‌های سرعت جریان و عمر هوا و نیز کلیات گردش باد، با لحاظ کردن اجزای پایه‌ای معماری شامل: ابعاد و اندازه (طول، عمق)، تأثیر اتاق و بازشو (با بازشو و بدون بازشو)، مکان بازشو اتاق، تعداد و فاصلهٔ بین ستون‌ها و فرم قرارگیری آن‌ها در بنا (خطی، L-شکل، U شکل و ۴طرفه)، انجام شده‌است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد، «طارمهٔ درونی» به فرم خطی در حالتی که جزئی از مساحت حیاط است، بیشترین و طارمه ۴طرفه، کمترین سرعت جریان هوا در حیاط و فضای نیمه‌باز را دارد. اهمیت و تأثیر تغییرات توده به مراتب بیش از سایر مؤلفه‌هااست. گردش باد در محدودهٔ میانی کمتر و به سمت جداره‌ها بیشتر می‌شود. و طارمهٔ درونی U شکل بیشترین سرعت را در اتاق ایجاد کرده‌است. با کاهش تعداد ستون‌ها و افزایش ابعاد ستون‌ها در طارمه، سرعت جریان هوا در فضای طارمه کاسته می‌شود. با افزایش ارتفاع از طبقه همکف به اول و دوم در تمامی حالت‌ها سرعت جریان هوا در طارمه بیشتر می‌شود. در «طارمهٔ میانی» عمق مهم‌ترین عنصر کالبدی مؤثر بر تهویه است و افزایش عرض طارمه سرعت جریان هوا تا حدودی کاهش می‌یابد. افزودن «طارمه‌های بیرونی» باعث بهبود قابل توجه در کیفیت هوای فضای نیمه‌باز بیرونی شده است. از منظر عمق، عمق متناسب برای طارمه ۳/۵ و فرم L-شکل بهینه‌ترین تهویه را از بابت سرعت جریان و کمترین عمر هوا و فرم خطی بدترین تهویه شامل کمترین سرعت جریان و بیشترین عمر هوا را دارد.

واژگان کلیدی: *بوشهر، تهویهٔ طبیعی، طارمه، روش CFD.*

*این مقاله برگرفته از رسالهٔ دکتری «معماری» با عنوان «بهبود بهره‌وری تهویهٔ طبیعی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم گرم‌ومرطوب با اولویت‌بخشی به پارامترهای مؤثر فضاهای نیمه‌باز (نمونهٔ موردی: شهر بوشهر)» است که به راهنمایی دکتر «ملیحه تقی‌پور» و مشاورهٔ دکتر «حمید اسکندری» و دکتر «خسرو موحد» در دانشکدهٔ هنر و معماری دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز در حال انجام است.

** نویسنده مسئول: ۰۹۱۷۳۱۴۶۳۷۹، Malihe.Taghipour@iau.ac.ir

مقدمه و بیان مسئله

تهویهٔ طبیعی در مناطق گرم و مرطوب از مهم‌ترین عوامل ایجاد آسایش حرارتی است (هدایت و ضیایی، ۱۳۹۱). کیفیت این تهویه در فضاهای داخلی خانه‌های حیاط‌مرکزی بافت تاریخی بوشهر، مسئله‌ای بوده که علاوه بر شرایط جوی و اقلیمی به فرم بنا و هندسهٔ اجزای معماری آن نیز بستگی داشت. به همین دلیل، فرم متداول بناهای تاریخی این شهر اغلب کشیده، کم‌عرض، با پلان‌هایی گسترده و باز و استفاده از فضاهای نیمه‌باز همچون طارمه، برای ایجاد کوران بیشتر و استفاده حداکثری از نسیم دریا و بادهای غالب بوده است. در بوشهر رطوبت نسبی هوا حداقل ۳۵ تا ۵۵ درصد و حداکثر ۷۰ تا ۸۵ درصد و مشکل اصلی، گرمای توام با رطوبت زیاد است (شاهی و تکاپومنش، ۱۳۸۵). از همین روست که، طارمه با قابلیت‌های خود در ورود جریان هوای بیرون به درون ساختمان و نیز توزیع باد در فضاهای داخلی نقشی اساسی در این فرایند ایفا کرده است. همچنین، معماری بوشهر به گونه‌ای شکل گرفته است که جریان هوا به بهترین شکل صورت بگیرد و گویی تمام بافت بوشهر در خدمت باد است تا جایی که برای دستیابی به این هدف در جبهه‌های غربی و شمالی ارتفاع ساختمان‌ها کمتر است تا زمینهٔ ورود جریان باد به درون بافت فراهم شود (انصاری، ۱۳۹۳). وجود طارمه‌ها و ایوان‌های وسیع در به داخل کشاندن باد مطلوب و ایجاد تهویهٔ داخلی سهم مؤثری دارد (کریمی، ۱۳۹۱). از این رو در پژوهش حاضر، هدف اصلی، بهبود تهویهٔ فضای داخلی با توجه به فضاهای نیمه‌باز (طارمه) بوده است. با قرارگیری فضاهای نیمه‌باز در کنار فضاهای بسته و نفوذپذیری بیشتر نمای ساختمان‌ها از راکد ماندن دما جلوگیری خواهدشد. بنابراین تردد هوا، ایجاد سایه و جذب حداقلی دما حاصل چنین راهبردی خواهد بود. فرم و تناسبات کالبدی عناصر اقلیمی پاسخگو همچون ایوان‌ها و واکنش آن‌ها به شرایط آب‌وهوایی محیط پیرامون مهم‌ترین ساختار تشکیل‌دهندهٔ این پژوهش بوده است. بر این اساس شناخت عملکرد حرارتی عناصر اقلیمی بوم‌گرا و تأثیرگذاری آن‌ها در بهبود تهویه از اهمیت و ضرورت پژوهش بوده است. این نوشتار مؤلفه‌های تأثیرگذار طارمه و نقش آن‌ها در بهبود تهویهٔ طبیعی را مورد بررسی قرار می‌دهد. با هدف تحلیل بهینه‌ترین حالت بهره‌مندی از وزش باد جهت تهویهٔ طبیعی در فضاهای نیمه‌باز، متداول‌ترین شاخصه‌های معماری خانه‌های حیاط‌مرکزی بافت تاریخی بوشهر از لحاظ فرم اتاق، فرم حیاط، فرم فضای نیمه‌باز، نوع بازشوهای ورودی و خروجی اتاق، عمق فضای نیمه‌باز، تعداد و ابعاد ستون‌های طارمه و نیز ترازهای ارتفاعی، دسته‌بندی و در مرحلهٔ شبیه‌سازی مدل‌ها اعمال شده‌است. چنین پژوهش‌هایی پیش‌زمینهٔ تدوین الگوهایی جهت ارائهٔ تهویهٔ بهینه در ساختمان‌ها خواهد بود. لذا شناخت مؤلفه‌های کالبدی فضاهای نیمه‌باز (طارمه) و مؤثر بر تهویهٔ طبیعی از نتایج بدیع این تحقیق بوده است. در این پژوهش داده‌های آب و هوایی در خانهٔ انتخابی از طریق روش تحقیق کمی مبتنی بر آزمون میدانی به همراه دستگاه‌های بادسنج، دماسنج و رطوبت‌سنج مورد برداشت قرار گرفته است و اعتبارسنجی برای اطمینان از صحت خروجی‌های نرم‌افزار صورت گرفت و سپس با یاری‌گرفتن از روش CFD با استفاده از نرم‌افزار Cfd Autodesk داده‌های میدانی وارد و مدل‌ها شبیه‌سازی و ارزیابی شدند که در نهایت نتایج مستخرج از تحقیق در جداول و نمودارها ارائه شده است.

پیشینهٔ تحقیق

پژوهش‌هایی که به مقولهٔ تهویهٔ طبیعی در بافت‌های تاریخی می‌پردازند در سال‌های اخیر افزایش یافته است. در زمینهٔ موضوعات، مسائل و کاربردهای جریانات باد و هوا پژوهش‌های متعددی انجام شده است. ولیکن، پژوهش‌هایی که با استفاده از شبیه‌سازی CFD انجام شده‌اند، بیشتر به واسطهٔ پیشرفت نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای رایانه‌ای طی دههٔ اخیر، توسعه یافته‌اند. الهینی و همکاران (Al-Hinai, Batty & Probert,1993) در بررسی معماری بومی عمان نشان می‌دهند که فرم‌های ساختمانی اتخاذ شده در مناطق مختلف به طور خاص به تأمین آسایش حرارتی مربوط می‌شود. اویکونومو (Oikonomou, 2005) در ساختمان‌های سنتی فلورینا، در فصول تابستان و زمستان از طریق شبیه‌سازی به مقایسهٔ داده‌های اندازه‌گیری شده تحت خروجی نرم‌افزار کامپیوتری می‌پردازد. به این ترتیب درک کاملی از رفتار حرارتی و بررسی دما در خانه‌های سنتی در شهر فلورینا حاصل می‌شود. آنکاریکانادا (Antarikananda, Douvlou & McCartney, 2006) با استفاده از نرم‌افزار عملکرد حرارتی انواع ساختمان‌های سنتی و معاصر در تایلند با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی و بر اساس مجموعه‌ای از معیارهای عملکرد حرارتی مؤلفه شکل ساختمان و مصالح مورد بررسی قرار داده است. ریو و همکاران (Ryu, Kim & Lee, 2009) ایجاد جریان هوای سرد در ساختمان‌های سنتی کره در اقلیم گرم و مرطوب، درفضای نیمه‌باز Daechung برای تفسیر اثرات ویژگی‌های باد بر آسایش حرارتی را بررسی کرده‌اند. رملی (Ramli, 2012) به بررسی عناصر طراحی آسایش با تمرکز بر فاکتورهایی مانند جهت‌گیری ساختمان، فضای چیدمان داخلی، تهویه و روشنایی طبیعی، طرح‌های پنجره‌ها و اثر پشته بر روی طراحی پرداخته است.کریستیانتو و همکاران (Kristianto, Utama & Fathoni, 2014) شرایط آسایش

حرارتی در محیط داخلی خانه‌های سنتی میناهاسا را بررسی کرده‌اند. خانه‌هایی که تراس مسقف دارند و ارتفاع بیشتری از سطح زمین دارد، در مقایسه با خانه‌هایی که تنها دارای پنجره به عنوان بازشو هستند و ارتفاع کمتری از سطح زمین دارند، سرعت باد بیشتری را تجربه می‌کنند (Bay, Martinez-Molina & Dupont, 2022). در این تحقیق رابطه بین تهویهٔ طبیعی و میکرو اقلیم داخلی را در یک ساختمان تاریخی در سن آنتونیو، تگزاس، بررسی کرده‌اند. پیشنهاد خنک‌کنندهٔ غیرفعال با استفاده از تهویهٔ طبیعی به منظور کنترل و کاهش دمای هوای داخلی و رطوبت نسبی با روش CFDاز نتایج این پژوهش است. در رابطه با معماری همساز با اقلیم و نیز اهمیت باد در طراحی معماری بافت سنتی بوشهر در گذشته تحقیقاتی صورت گرفته است. از جمله این‌که هدایت و طبائیان (۱۳۹۱) نیز در مقاله‌ای با عنوان «بررسی عناصر شکل‌دهنده و دلایل وجودی آن‌ها در خانه‌های بافت تاریخی بوشهر» به معرفی مسکن بومی بوشهر پرداخته‌اند و بیان می‌کند، طراحی بر اساس جریان وزش باد در این محدودهٔ ارزشمند در ویژگی‌هایی از قبیل جهت‌گیری گذرها، نسبت عرض معابر به ارتفاع جداره‌های کناری (مقطع عرضی گذر)، تراکم و ارتفاع بنا، فضاهای پر و خالی، مکانیابی معابر و میادین، شکل‌گیری عناصر معماری از قبیل شناشیر، بام، طارمه و با بالاترین کیفیت تبلور می‌یابد. رنجبر، پورجعفر و خلیجی (۱۳۸۹) در مقالهٔ «خلاقیت‌های طراحی اقلیمی متناسب با جریان باد در بافت قدیم بوشهر» به این نتیجه دست یافته‌اند که فضای معماری و جزئیاتی همچون اتاق، حیاط، پنجره، شناشیر، طارمه، بون و پیش‌بون در تهویه و سرعت باد مؤثرند. زارعی و بهبودی (۱۳۹۵) در بررسی سکونتگاه قلعه‌ای ورمال سیستان با روش cfd بیان می‌کنند که فضای حیاط مرکزی به عنوان یک هواکش طبیعی با عبور جریان باد، باعث کاهش محسوس سرعت و فشار حرکت باد در فضاهای داخلی شده‌است.

. سلیقه و سعادت‌جو (۱۳۹۸) با شبیه‌سازی design builder بحث تخلخل و تراس و طراحی فرم‌های سایه‌انداز به عنوان اولین و مؤثرترین گام طراحی پایدار را برای سایه‌اندازی و پرهیز از انرژی تابشی دریافتی بررسی کرده‌اند. کریم‌زاده، مهدی‌نژاد درزی و کریمی (۱۴۰۰ و ۱۴۰۱) شناخت عملکرد حرارتی ایوان را با توجه به تناسبات کالبدی و اثر تعدیل‌گر ایوان بر شاخص آسایش حرارتی و دمای متوسط تابشی مدنظر قرار داده‌اند. سعادت‌جو، سلیقه و سعادت‌جو (۱۳۹۸) با تجزیه و تحلیل CFD اثر نفوذپذیری به شکل تراس را بر رفتار باد و راندمان تهویهٔ طبیعی در یک ساختمان متوسط مقایسه می‌کند. پارامترهای ارزیابی تهویه مانند میانگین سرعت هوا و میانگین سن هوا برای مقایسهٔ عملکرد تهویهٔ طبیعی اندازه‌گیری شدند. محمدی و همکاران (Mohammadi, Saghafi, Tahbaz & Nasrollahid, 2017) با قراردادن فضاهای نیمه‌باز و تولید سایه و ایجاد تهویه متقاطع از طریق اجرای دهانه‌های مناسب از نظر ابعاد و تعداد، آسایش حرارتی آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار DesignBuilderرا مورد پژوهش قرار داده‌اند. کی‌سئا و همکاران (Cuce, Sherc, Sadiq, Cuce & Besir, 2019) اثرات طراحی معماری را بر تهویهٔ غیرفعال مانند جهت، عمق اتاق، دهلیز و دودکش خورشیدی در ساختمان‌های مدارس ارزیابی می‌کند و بر عوامل بالقوهٔ مؤثر بر آسایش در ساختمان مدرسه به عنوان رطوبت نسبی، دما، سرعت جریان هوا، نویز، بو، هوای تازه و CO^2 تأکید دارند. وای تاک (Wai Tuck, 2021) تز دکتری خود را بر روی ساختمان‌های مسکونی تراس‌دار در شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب با هدف ارزیابی عملکرد انواع ساختمان‌ها و فرم‌های ساختمانی بر روی شرایط حرارتی (دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت هوا) انجام داده است. کومار و همکاران (Kumar, Kubota, Bardhan & Tominaga, 2020) با استفاده دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) با کمک آزمایش تونل باد به مطالعهٔ اثر تهویه فضاهای خالی با اندازه‌های مختلف، بادگیر و اندازهٔ پنجره پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که ایجاد فضای خالی می‌تواند تهویهٔ طبیعی را در واحدهای بادگیر ساختمان افزایش دهد. کوچکترین اندازه فضای خالی بیشترین سرعت باد را نشان داد. تهیهٔ بادگیر و پنجره با اندازه بزرگتر باعث افزایش تهویهٔ طبیعی در واحدهای بادگیر ساختمان شد. شو و همکاران (Xu, Li & Tang, 2022) با استفاده از شبیه‌سازی برای بهبود محیط حرارتی داخلی آتریوم‌های بزرگ نیمه‌بسته در مناطق گرم و مرطوب فاکتورهایی مانند انتقال و جذب سقف، مساحت دهانه‌های بالا، نسبت ابعاد مقطع و نسبت سطح بالا به پایین دهلیز، با شبیه‌سازی و اندازه‌گیری دما تحلیل شدند. جدول ۱ مؤلفه‌های مستخرج از پژوهش‌های گذشته را به طور خلاصه نمایش می‌دهد.

برابر مطالعات انجام‌شده در پیشینهٔ تحقیق با توجه به جدیدبودن مباحث مربوط به تهویهٔ طبیعی و روش CFD هنوز پژوهشی با این عنوان که تأثیر ریز مؤلفه‌های طارمه را بر بهبود تهویهٔ داخلی در اقلیم‌های گرم و مرطوب مورد بررسی قرار دهد، صورت نگرفته است؛ بنابراین تکراری‌نبودن موضوع و برخورداری از نگاهی نو به فضای نیمه‌باز، به ویژه جزئیات و فرم طارمه و بهبود تهویهٔ طبیعی ضرورت بررسی حاضر را موجه می‌سازد. همچنین می‌توان گفت در بررسی تجارب مختلف در مورد وضعیت و یا عوامل داخلی و خارجی تأثیرگذار بر بهبود تهویهٔ طبیعی، علاوه بر این که مطالعات چندانی صورت نگرفته، بیشتر به بحث کاهش بار سرمایشی

جدول ۱. شاخصه‌های تأثیرگذار و متغیرهای مورد بررسی توسط محققین و پژوهشگران جهت بررسی تهویهٔ طبیعی محیط. مأخذ: نگارندگان.

محققان و پژوهشگران	شاخصه‌های تأثیرگذار بر تهویهٔ طبیعی (متغیر مستقل پژوهش‌ها)	پارامترهای ارزیابی تهویه (متغیر وابسته پژوهش)
الهینی و همکاران Al-Hinai et al., 1993	فرم‌های ساختمان- بازشوها	سرعت باد
اویکونومو Oikonomou, 2005	خانهٔ سنتی	سرعت باد
آنکاریکانادا Antarikananda et al. 2006	ساختمان و مصالح	دما
ریو و همکاران Ryu et al., 2009	فضای نیمه‌باز	جریان باد
زارعی و بهبودی ۱۳۹۵		سرعت و فشار باد
رملی Ramli, 2012	جهت‌گیری، بازشو، نوع تهویه	سرعت هوا
کریستیانتو Kristianto et al, 2014	فرم. ارتفاع. فضای نیمه‌باز	سرعت باد
بی Bay et al., 2022	خنک‌کنندهٔ غیرفعال	سرعت، دما، رطوبت نسبی
هدایت وطبائیان ۱۳۹۱	جهت‌گیری، تناسبات، فضاهای پر و خالی، فضای نیمه‌باز (شناشیر، بام، طارمه)	-
رنجبر و همکاران، ۱۳۸۹	اتاق، حیاط، پنجره، شناشیر، طارمه، بون و پیش‌بون	-
معصومی، نجاتی و امین الله Masoumi, Nejati & Amin Alah 2016	فرم. هندسه، تناسبات، جهت‌گیری مناسب توده‌ها، فضاهای باز	فشار و سرعت جریان هوا
محمدی و همکاران Mohammadi et al., 2017	تناسبات، فضای نیمه‌باز	دما و باد ، آسایش حرارتی، مصرف انرژی
شو و همکاران Xu et al., 2022		
کی‌سئا و همکاران Cuce et al., 2019	جهت، عمق	رطوبت نسبی، دما، سرعت جریان هوا، نویز، بو، هوای تازه و CO_2
کومار و همکاران Kumar et al., 2020	فضای خالی، بازشو	سرعت باد جریان باد
سلیقه و سعادت‌جو ۱۳۹۸	فضای نیمه‌باز ایوان مساحت، تناسبات کالبدی	میانگین سرعت هوا و میانگین سن هوا سایه‌اندازی جریان باد
وای تاک Wai Tuck, 2021		دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت هوا
کریم‌زاده و همکاران ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱		دمای متوسط تابشی

و ابعاد کمی پرداخته شده است. لذا نقش فرم و استفادهٔ حداکثری از جریان باد طبیعی برای بهبود تهویه در اقلیم‌های بحرانی مثل اقلیم گرم و مرطوب محقیقین را بر آن داشت تا با نگاهی متفاوت به این موضوع پرداخته شود و دستاورد آن در قالب یک استراتژی جامع در توسعهٔ پایدار به عنوان راهکاری مناسب برای آینده استفاده تا بتوان از این فضا به عنوان یک فضای عملکردی و مفید بهره برد.

مبانی نظری تحقیق

• تهویهٔ طبیعی، چگونگی عملکرد و عوامل مؤثر در آن

تهویهٔ هوا به عمل جانشین‌کردن و یا جابجاکردن هوا در یک فضا گفته می‌شود که به منظور تأمین هوای تازه، خارج‌کردن هوای گرم و مرطوب و خنک‌کردن فضا و تأمین آسایش حرارتی انسان انجام می‌شود. در روش تهویهٔ طبیعی عمل جابجایی هوا از طریق اثر دودکشی که مبتنی بر حرکت هوای گرم به بالا و ورود هوای سرد از پایین به جای آن است و یا از طریق کوران هوا که جابجایی هوا از طریق فشار مثبت و منفی باد انجام می‌شود (واتسون و لبز، ۱۳۸۷). نیروهایی که باعث تهویهٔ طبیعی می‌شوند در دو عامل کلی خلاصه می‌شود (CIBSE, 2005, 10) نیروهای باد و خاصیت شناوری. این نیروها مکانیزم‌های مربوط به تهویهٔ طبیعی را مشخص می‌کند. شکل و مکان ساختمان (برای نمونه قرارداشتن در محیط باز یا متراکم، مرتفع یا کم‌ارتفاع بودن) چگونگی تهویهٔ طبیعی ساختمان را مشخص می‌کند. بر این اساس سه حالت برای تهویهٔ طبیعی می‌توان درنظر گرفت: تهویهٔ یک‌طرفه، تهویهٔ دوطرفه و تهویهٔ دودکشی. هرکدام از این حالات نشان می‌دهد هوای داخل بنا که نیاز به تهویه دارد، چگونه با جریان هوای خارج مرتبط می‌شود (Andersen, 2002). تهویهٔ طبیعی بر سه پدیدهٔ اقلیمی سرعت باد، جهت باد و اختلاف دمایی مبتنی است. موارد زیر مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در عملکرد تهویهٔ طبیعی است که در این پژوهش به آن‌ها پرداخته شده است.

سرعت باد[۲]: مسافت طی‌شده توسط ملکول‌های هوای متحرک را در واحد زمان بر حسب متر در ثانیه، کیلومتر در ساعت و یا مقیاس قدیمی گره (معدل یک مایل دریایی یا۸۵/ ۱کیلومتر در ساعت) بیان می‌کند.

عمرمتوسط موضعی هوا:[۳] به عنوان زمان عمرمتوسط هوا در موقعیت خاصی در داخل فضا نسبت به زمانی که هوا برای اولین بار وارد فضا شده است، تعریف می‌شود و در واقع عمرمتوسط موضعی هوا معیاری از تازگی هوا به‌دست می‌دهد.

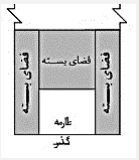
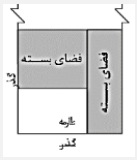
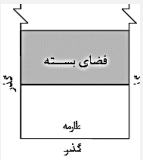
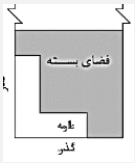
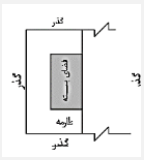
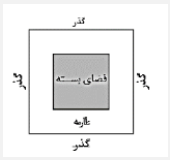
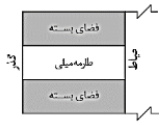
• کلیات گونه‌شناسی طارمه

گونه‌شناسی به نوعی دسته‌بندی اشاره دارد که در آن تعدادی اشیا مختلف بر اساس یک یا مجموعه‌ای از ویژگی‌های مشترک سازمان‌دهی می‌شوند. پژوهشگران مختلف به بحث گونه‌شناسی بنا و عناصر معماری بوشهر پرداخته‌اند. رئیسی (۱۳۸۵) به ریخت‌شناسی حیاط‌های بوشهر، هدایت و عشرتی (۱۳۹۵) به گونه شناسی شناشیر و همچنین به گونه‌شناسی طارمه پرداخته‌اند. در معماری بوشهر ایجاد کوران و تهویه اهمیت بالایی دارد و باد در معماری بوشهر مهم‌ترین عامل اقلیمی به شمار می‌رود و چنان به نظر می‌رسد که اغلب عناصر معماری در این بافت ارزشمند در خدمت باد هستند (مقیمی، کیانی‌برازجانی، امیرزاده، بحرینی و قنواتی، ۱۳۹۸). در مورد این پژوهش که با تمرکز بر عنصر طارمه شکل گرفته است و مطالعات و بررسی‌های میدانی و کتابخانه‌ای انجام شده بر روی ۲۹ عمارت تاریخی طارمه‌دار بوشهری نشان می‌دهد که طارمه‌ها را براساس محل استقرار در بنا می‌توان به سه گونهٔ «بیرونی»، «میانی» و «درونی» تقسیم کرد که نمونهٔ پرکاربرد آن طارمهٔ درونی است (جدول ۲). همچنین طارمه‌های بوشهری از نظر شکلی به چهار دستهٔ خطی(مستطیل)، ال‌شکل، یوشکل و چهاربر قابل تقسیم هستند که گونهٔ خطی مستطیل‌شکل، گونهٔ غالب برشمرده می‌شود. جهت غالب طارمه‌ها رو به جنوب و غرب است و در تمامی بناهای جدارهٔ ساحلی حداقل یک طارمه دید به دریا دارد که این امر بر نقش اقلیم و دریا در جهت‌گیری طارمه تأکید می‌کند. طارمه‌ها غالباً عریض و از یک تا سه طرف باز هستند. کف غالباً مستطیل‌شکل، طول برابر با طول اتاق هم‌جوار یا کل نماست. عرض طارمه بین ۲ تا ۵ متر، ارتفاع جان‌پناه حدود ۱ متر و دارای آفتابگیر با ارتفاع ۱۰۰ تا ۱۲۰ سانتیمتر هستند.

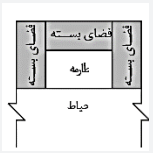
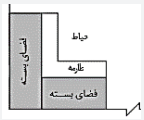
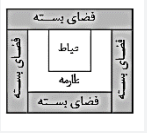
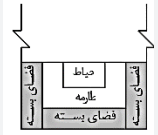
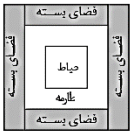
روش تحقیق

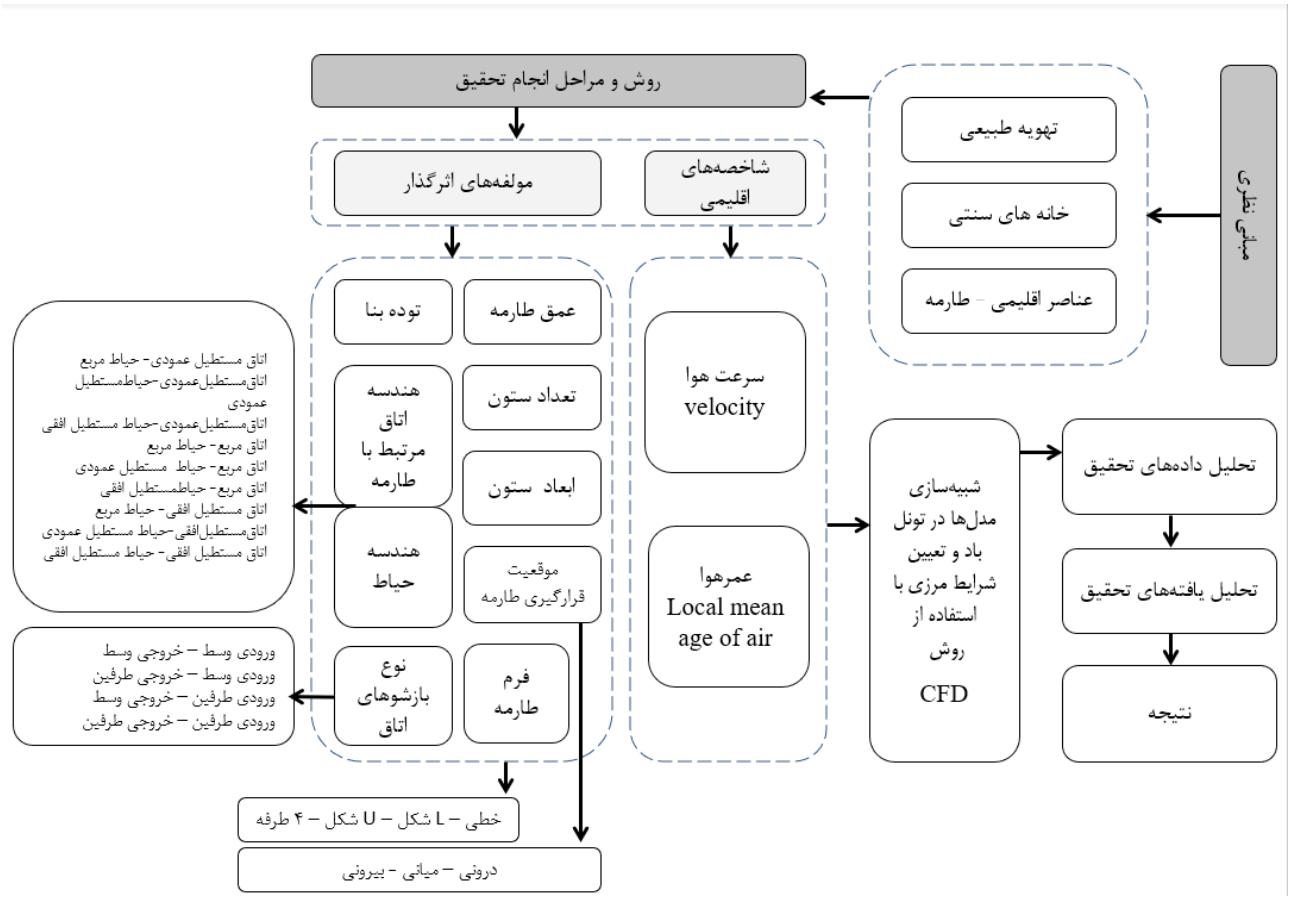
تحقیق حاضر ماهیت بین‌رشته‌ای و ترکیبی دارد که دارای دو بخش کیفی و کمی است. در مرحلهٔ شناخت مؤلفه‌های مؤثر از روش کیفی و در مرحلهٔ شبیه‌سازی و تحلیل‌داده‌ها از روش‌های کمی بهره برده است. درابتدا به‌روش کیفی با گردآوری اطلاعات از منابع کتابخانه‌ای و نیز برداشت‌میدانی از خانه‌های بوشهر، دانش پایه پیرامون معماری، مسکن و فضای طارمه در این اقلیم تکمیل و پارامترهای مؤثر بر کیفیت تهویه‌طبیعی هوای داخل اتاق شناسایی شد. سپس با استفاده از یک راهبرد تجربی، آزمون‌هایی اجرا و متغیرهای مستقل تعیین شدند. در نتیجه طارمه و مشخصه‌های فضایی آن شامل ابعاد و اندازه (طول، عمق)، تأثیر اتاق و بازشو (با بازشو و بدون بازشو)، تعداد و فاصلهٔ بین ستون‌ها و نحوهٔ قرارگیری در جبهه‌های مختلف حیاط (خطی، L-شکل، U-شکل و ۴-طرفه)، به عنوان متغیرهای مستقل و کیفیت جریان‌هوای اتاق و حیاط شامل دو مؤلفهٔ سرعت هوا (Velocity) و عمرهوا (Local mean age of air) به‌عنوان متغیر وابسته درنظر گرفته شد (تصویر ۱).

جدول ۲. گونه‌شناسی طارمه: بیرونی- میانی- درونی. مأخذ: هدایت و عشرتی، ۱۳۹۹.

	مکان استقرار	دسته‌بندی بر اساس پلان		دسته‌بندی بر اساس جهات		نمونه عمارت
بیرونی		شکل کلی	تعداد	جهت	تعداد	تجارت خانه ایرانی-
	خطی	مستطیل	۷	جنوب	۳	بیلیارد- امیریه- نوذری-
		خطی	۲	غرب	۲	حمال‌باشی- ملک
		ذوزنقه	۲	جنوب و غرب	۶	
	ال شکل		۲	شمال و غرب	۱	
				شمال و شرق	۱	
	یو شکل		۲	شمال و غرب و جنوب	۱	
				شرق و شمال و جنوب	۱	
	چهار بر		۱	چهار جهت	۱	
		دسته‌بندی بر اساس محصوریت				
	پلان محصوریت	یک طرف باز و سه طرف بسته	دو طرف باز و دو طرف بسته	سه طرف باز و یک طرف بسته	دو طرف باز و دو طرف بسته	سه طرف باز و یک طرف بسته
		خطی		ال شکل	یوشکل	چهاربر
	تعداد	۳	۴	۳	۲	۱
	دیاگرام					 
میانی		دسته‌بندی بر اساس پلان		دسته‌بندی بر اساس جهات		نمونه عمارت
	شکل کلی	تعداد		جهت	تعداد	علوی- هفته- رفیعی-
	خطی- مستطیلی	۹		جنوب	۵	حاج رئیس- جعفری
		۲		شمال	۳	
		۲		غرب	۱	
		دسته‌بندی بر اساس محصوریت				
	محصوریت	دو طرف باز و دو طرف بسته				
	تعداد	۹				
	دیاگرام					
درونی	دسته‌بندی بر اساس پلان			دسته‌بندی بر اساس جهات		علوی- رفیعی- آذین-
	شکل کلی	تعداد		جهت	تعداد	جعفری- نوذری
	خطی- مستطیلی	۱۳		جنوب	۶	
				غرب	۳	
				شرق	۲	
				شمال	۲	
	ال شکل	۱		شمال و غرب		طیب
	یو شکل	۶		جنوب/غرب/ شرق	۱	امیریه- رستمی- حمال باشی- زنده پی
				چهار جهت	۱	
	چهاربر	۲		چهار جهت	۲	طیب – حاج رئیس
		دسته‌بندی بر اساس محصوریت				
	پلان	خطی	ال شکل	یو شکل		چهار بر

ادامهٔ جدول ۲.

مکان استقرار	دسته‌بندی بر اساس پلان			دسته‌بندی بر اساس جهات		نمونه عمارت
محصوریت	یک طرف باز و سه طرف بسته	دو طرف باز و دو طرف بسته	دو طرف باز و دو طرف بسته	سه طرف باز و یک طرف بسته	دو طرف باز و دو طرف بسته	یک طرف باز و سه طرف بسته
تعداد	۱۱	۱	۱	۴	۲	۲
دیاگرام						

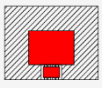


تصویر ۱. ساختار و چارچوب نظری پژوهش. مأخذ: نگارندگان.

پس از گونه‌شناسی خانه‌های بوشهر، باتوجه به فرم غالب خانه‌ها، ۹ گونه قابل بررسی است (جدول ۳). که پس از شبیه‌سازی انواع گونه‌ها با توجه به داشتن کیفیت تهویهٔ مطلوب‌تر، گونهٔ شماره ۲ (اتاق مستطیل عمودی- حیاط مستطیل عمودی) که داری ۸ متر توده از طرفین است، با بازشوهای ورودی و خروجی غیرهم‌راستا در تراز ارتفاعی دوم برای اجرای شبیه‌سازی انتخاب شده‌است (لازم به ذکر است انواع گونه‌ها، ترازهای ارتفاعی و ضخامت توده قبلاً مورد شبیه‌سازی واقع شده و از نتیجهٔ آن، که گونهٔ شماره ۲ است برای ادامهٔ شبیه‌سازی‌ها استفاده شده است).

حالت‌های مختلف طارمه به جهت محل استقرار، در سه حالت بیرونی، میانی و درونی است، که حالت‌های درونی و بیرونی نیز به لحاظ قرارگیری در جبهه‌های مختلف حیاط و بنا، خود شامل چهار حالت خطی، ال شکل، یو شکل و ۴طرفه است. تمامی این گونه‌ها با کمک دینامیک سیالات محاسباتی یا CFD و با استفاده از نرم‌افزارAutodesk CFD 2018 شبیه‌سازی و در ادامه هندسهٔ اتاق و شبکهٔ مش در

جدول ۳. الگوهای غالب مسکونی در خانه‌های بوشهر برای شبیه‌سازی. مأخذ: نگارندگان.

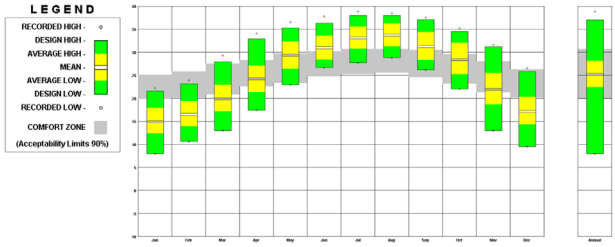
گونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
پلان									
اتاق	مستطیل عمودی	مستطیل عمودی	مستطیل عمودی	مربع	مربع	مربع	مستطیل افقی	مستطیل افقی	مستطیل افقی
حیاط	مربع	مستطیل عمودی	مستطیل افقی	مربع	مستطیل عمودی	مستطیل افقی	مربع	مستطیل عمودی	مستطیل افقی

اطراف و داخل اتاق تحلیل شدند. برای برداشت میدانی داده‌ها و اعتبارسنجی نرم‌افزار عمارت دهدشتی (فضاهای طبقهٔ دوم، حیاط و بام) آن درنظر گرفته شد که پس از تطبیق داده‌های تجربی با شبیه‌سازی صحت نرم‌افزار مورد تأیید قرار گرفت. درنهایت این پژوهش از منظر هدف در گروه پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد. مراحل شبیه‌سازی به این صورت است که ابتدا حجم سه‌بعدی تمامی گونه‌ها در محیط اتوکد[۴] ساخته شد، سپس در نرم‌افزار Autodesk CFD ۲۰۱۸ با تعیین شرایط مرزی در مسیر تونل باد قرار گرفته و پس از اجرای نرم‌افزار کانتورها[۵] استخراج، دسته‌بندی و به صورت جدول جهت مقایسه و تحلیل گزارش شدند. شبیه‌سازی تونل باد با اعمال دو مولفهٔ سرعت جریان هوا بر حسب متر بر ثانیه و عمر هوا بر حسب متر بر ساعت اجرا شد. استخراج و نمایش داده‌ها در قالب تصاویر گرافیکی به صورت برش افقی (پلان) از ارتفاع ۱۵۰ سانتیمتری از کف اتاق و برش عمودی از مرکز اتاق انجام شد. نمایش گرافیکی جریان هوا، درک نحوهٔ حرکت باد را آسان‌تر می‌کند.

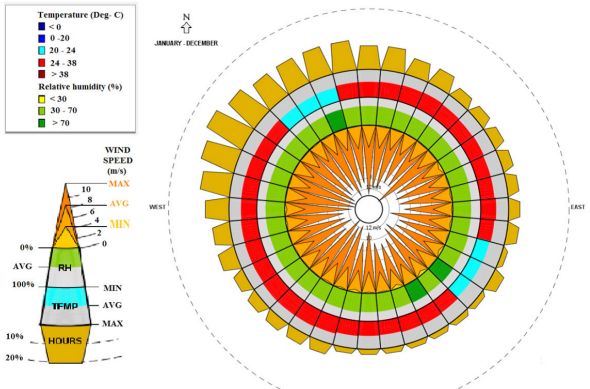
- **اطلاعات آب و هوایی میدانی**

دمای خشک بندر بوشهر در تصویر ۲ نشان داده شده است. حداکثر دما، حداقل دما و متوسط دمای مربوط به هر ماه در تصویر ۱ مشخص شده است. میانگین بالاترین دما در بازهٔ زمانی از ۱۰ تیر تا ۹ شهریور برابر ۳۶ درجه سانتیگراد است و از ۱۱ دی تا ۹ اسفند، در روز و شب نیاز به گرمایش است. طبق تصویر ۲، از ۱۰ آبان تا ۱۰ دی و از ۱۱ اسفند تا ۱۱ فروردین در شب‌ها نیاز به گرمایش بوده و در روزهای این ماه‌ها شرایط آسایش برقرار است. در شب‌ها و روزها از ۱۰ تیر تا ۹ شهریور نیاز به سرمایش و در شب‌های بقیهٔ ماه‌های سال آسایش برقرار و روزها هوا گرم است. میانگین رطوبت نسبی در بندر بوشهر به طور متوسط بین ۶۰% تا ۷۰ % است (تصویر ۳).

اطلاعات سرعت باد محیطی در بوشهر بر اساس داده‌های آب‌وهوایی پنجاه‌ساله (برگرفته از سایت



تصویر ۲. نمودار دما درماه‌های سال در شهر بوشهر. مأخذ: نرم‌افزار climate consultant



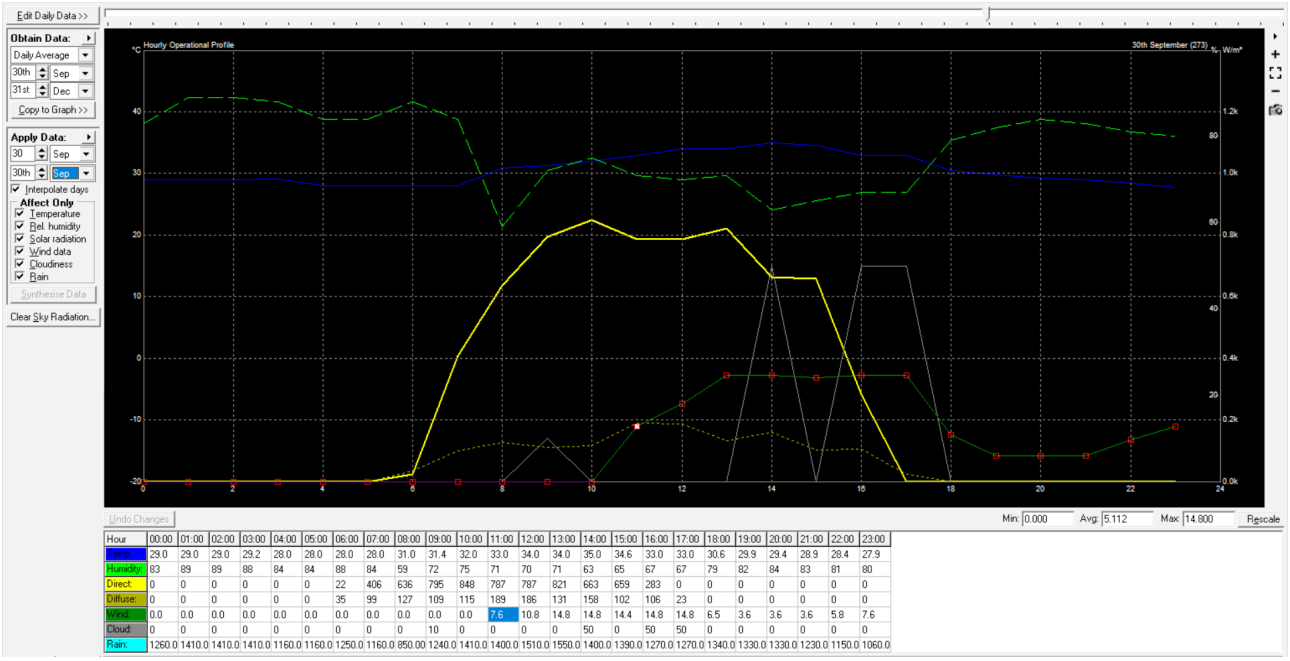
تصویر ۳. متوسط سرعت و جهت بادهای محلی بوشهر در کل سال. مأخذ: نرم‌افزار climate consultant.

رسمی Energyplus.com) استخراج شده و طبق تصویر ۴ با نرم‌افزار weather tool بررسی شد.

- **اعتبارسنجی[۶]**

اعتبارسنجی مدل‌سازی شبکه جریان هوای نرم‌افزار با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در محل (عمارت دهدشتی) توسط دستگاه‌های دقیق دیجیتال سنجش باد، دما و رطوبت (جدول ۴) و تطبیق آن‌ها با مدل شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار انجام و همهٔ اطلاعات اقلیمی در روز ۳۰ شهریورماه ۱۴۰۰ و در ارتفاع ۵. ۱متر (برای فرد ایستاده) در ۴ فضا (دو اتاق واقع در طبقه دوم، حیاط و بام) اندازه‌گیری شدند.

نتایج نشان می‌دهد، داده‌های مدل برداشت شده



تصویر ۴. استخراج سرعت باد در نرم‌افزار weather tool. مأخذ: نگارندگان با استفاده از Energyplus.com.

جدول ۴. اطلاعات دستگاه‌های اندازه‌گیری برای جمع‌آوری داده‌های اقلیمی. مأخذ: نگارندگان.

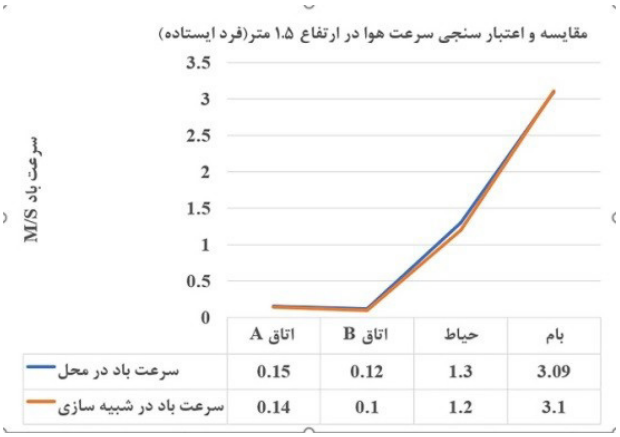
نوع دستگاه	تصویر دستگاه	فاکتور	محدودهٔ اندازه‌گیری	دقت اندازه‌گیری	رزولوشن
Hotwire an-emome-ter. testo ٤٠٥i		دما	to 140 °F / -20 to °-4 +60 °C	F / ±0.5 °C° ±0.9	F / 0.1 °C° 0.1
		باد	to 5906 fpm / 0 to 0 30 m/s	fpm + 5 % of mv) (0 to 19.7)± 394 fpm) / ±(0.1 m/s + 5 % of (mv) (0 to 2 m/s fpm + 5 % of mv) (394 59.1)± to 2953 fpm) / ±(0.3 m/s + 5 % (of mv) (2 to 15 m/s	fpm / 0.01 m/s 1.97
Klima logger		رطوبت نسبی	٪۰ ٪ ۱۰۰		

عمارت دهدشتی (تصویر ۵) و مدل شبیه‌سازی شده، عدم‌انطباق اندکی وجود دارد که نشان‌دهندهٔ قدرت بالا و قابل‌اعتمادبودن آن است. نتایج شبیه‌سازی و اعداد به‌دست آمده از آزمون‌های تجربی (تصویر ۶) قابل مقایسه است و اختلاف بسیار اندکی (حدود۰/۵درصد) دیده شد که طبق استاندارد اشری[۷] کمتر از ۱۰ درصد و قابل قبول است.

• شرایط مرزی[۸]

جهت انجام آزمون‌ها، کلیهٔ مدل‌ها با شرایط مرزی یکسان و بر اساس استاندارد تونل باد (تصویر ۷) در مقایسه با یکدیگر ایجاد شده‌اند، که این شرایط مرزی با شرایطی که برای اعتبارسنجی درنظرگرفته شده، یکسان است. ضرایب فشار جریان باد وارد بر ساختمان به عنوان تابعی از جهت باد و هندسهٔ بنا استخراج شده است. در ابتدا، مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار اتوکد طراحی، سپس در نرم‌افزار cfd Autodesk ارزیابی شد. پس از ساختن مدل‌ها، شبکه‌بندی آن پس از بررسی استقلال از شبکه[۹] با تراکم بالا نزدیک به ۲ میلیون گره (تصویر ۸) تعریف شده است. البته تغییر این شرایط در نرم‌افزار cfd Autodesk در مراحل بعدی تحلیل امکان‌پذیر است. شرایط مرزی دریچه‌ها بدون محدودیت و آزاد درنظر گرفته شده تا در شرایط پرفشار یا کم‌فشار حاکم

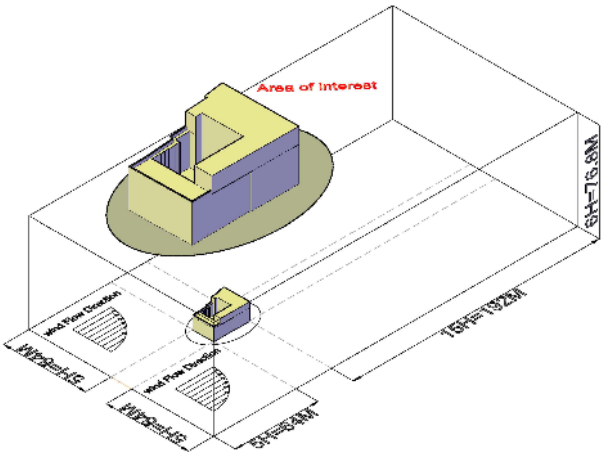
تصویر ۵. فضای داخلی عمارت دهدشتی. مأخذ: آرشیو نگارندگان.



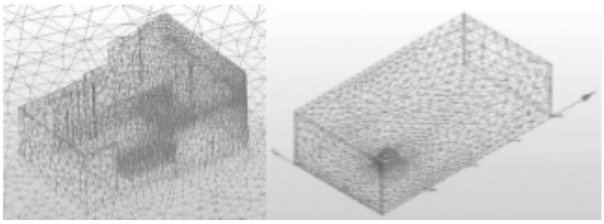
	اتاق A	اتاق B	حیاط	بام
سرعت باد در محل	0.15	0.12	1.3	3.09
سرعت باد در شبیه سازی	0.14	0.1	1.2	3.1

تصویر ۶. مقایسهٔ سرعت هوادر شبیه سازی و آزمون تجربی برای اعتبار سنجی. مأخذ: نگارندگان.

بر آنها عملکرد صحیح دریچه‌ها مشخص شود. از آنجاکه در این مرحله بررسی سرعت و فشار جریان برای مقایسهٔ مدل‌ها کفایت می‌کند و همچنین سیال مورد استفاده هوا است و نه گاز ایده‌آل بنابراین معادلهٔ انرژی، غیرفعال درنظر گرفته‌شد. سیال جریان باتوجه به سرعت‌ورودی ۶/ ۷ متر بر ثانیه (سرعت باد در محل) غیرقابل‌تراکم[۱۰] فشار ۱۰۱۳۲۵ پاسکال[۱۱] است. در انتخاب مدل لزجت[۱۲] باتوجه به شرایط جریان؛ از مدل آشفتگی k- epsilon استفاده شد. معادلات پیوستگی[۱۳]، ممنتوم[۱۴] و epsilon k-، حاکم بر جریان بودند و محدودهٔ خطا برای حل این معادلات ۰۴-le و تعداد تکرار معادلات ۵۰۰۰ درنظر گرفته



تصویر ۷. ابعاد تونل باد. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۸. شبکهٔ مش. مأخذ: نگارندگان

شد و پس از ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ تکرار همگرا شدند. در آنالیز مدل‌ها از بردارهای سرعت، فشارهای دینامیکی و اختلاف فشار ایجادشده در اطراف و داخل مدل استفاده شد. زاویهٔ برخورد باد به ساختمان زاویهٔ عمود بر طارمه به صورت ۹۰ درجه است. مصالح بنا آجر و دمای محیطی۲/ ۳۳ سانتی‌گراد (دمای برداشت‌شده در محل) درنظر گرفته شد.

یافته‌ها و بحث

برای شبیه‌سازی هریک از مدل‌های طارمه (درونی، میانی و بیرونی)، باید مجموعه‌ای از مؤلفه‌های کیفی تهویهٔ طبیعی (سرعت جریان و عمر هوا) و نیز کلیات چرخش و راستای حرکت باد را با لحاظ‌کردن اجزای پایه‌ای معماری شامل: ابعاد و اندازه (طول، عمق)، محصوریت، تأثیر اتاق و بازشو (با بازشو و بدون بازشو)، تعداد و فاصلهٔ بین ستون‌ها و نحوهٔ قرارگیری در جبهه‌های مختلف حیاط (خطی، L-شکل، U-شکل و ۴-طرفه) سنجیده شده است. لازم به ذکر است، کلیه شبیه‌سازی‌های این مرحله دارای شرایط ثابت و یکسانی هستند، مگر در مواردی که به‌صورت مشخص تغییر در شرایط اعلام گردد. نمودارهای کانتورهای کیفیت هوا مطابق جدول ۵ است.

- **طارمهٔ درونی**

برای سنجش عناصر مؤثر بر کیفیت تهویه‌طبیعی فضای نیمه‌باز، ابتدا ضروری است تا گردش باد در فضای حیاط،

فضای نیمه‌باز و پیرامون توده بدون وجود هیچ‌گونه عناصر الحاقی همچون بازشو و ستون بررسی‌شود. درنتیجه، شبیه‌سازی مطابق حالت الف جدول ۶ برای هر چهار حالت مختلف فرم طارمه انجام شد. مقایسهٔ نحوهٔ گردش باد در فضای حیاط در گونهٔ شمارهٔ ۲ (بدون فضای باز) و اضافه‌شدن فضای نیمه‌باز در حالت پایه (طارمه درونی) در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد:

طارمهٔ خطی: هرچند سرعت جریان هوای حیاط در حالت یک‌طرفه از حالت پایه کمتر است، ولیکن درمقایسه با سه حالت دیگر، بیشترین سرعت جریان هوا را دارد. گردش باد در محدودهٔ میانی کمتر و به سمت جداره‌ها بیشتر می‌شود.

طارمهٔ L-شکل: با اضافه شدن فضای نیمه‌باز به اضلاع B و D، سرعت جریان باد در سمت مقابل آن و چسبیده به گوشهٔ ضلع C، بسیار زیاد است، هرچند که درمجموع از حالت خطی سرعت کمتری دارد.

طارمهٔ U-شکل: در این حالت دو مرکز پرفشار هوا در وسط حیاط تشکیل شده که بیشترین سرعت را دارد ولیکن فاصلهٔ بین آن‌ها سرعت کمتری را نشان می‌دهد. این محدوده در حیاط و فضای نیمه‌باز سمت ضلع D، سرعت بیشتری را نسبت به ضلع A دارد.

طارمهٔ ۴-طرفه: همچون حالت Uشکل، الگوی حرکت هوای یکسان اما سرعت کمتری را نشان می‌دهد.

- **توده**

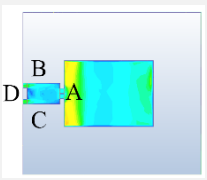
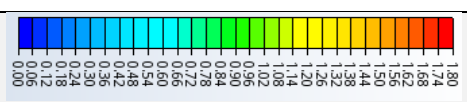
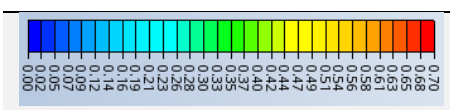
با افزایش و کاهش ضخامت تودهٔ جبهه‌های حیاط، سرعت و کیفیت تهویهٔ طبیعی متفاوت خواهد بود. می‌توان گفت اهمیت و تأثیر تغییرات توده به مراتب بیش از سایر مؤلفه‌ها است. برای سنجش چگونگی و میزان این تأثیر، مقایسه‌ای در جدول ۶ بین دو حالت «الف» که مساحت حیاط ثابت است و فضای نیمه‌باز به عرض ۳/۵متر به مساحت توده اضافه شده و حالت «ب» که مساحت حیاط هم‌چنان ثابت، ولیکن مساحت طارمه جزئی از مساحت توده است، انجام شد. یافته‌ها نشان می‌دهد، نحوهٔ گردش باد در هر دوحالت «الف» و «ب» تقریباً یکسان، ولیکن در حالت «ب» به دلیل ضخامت تودهٔ کمتر، تاحدودی سرعت جریان هوا بیشتر و عمرهوا کمتر است. همچنین کانتورهای عمرهوا نشان می‌دهد، با افزوده شدن طارمه به جبهه‌های مختلف حیاط، عمر هوا در حالت «ب» کمتر از «الف» است. درمجموع، طارمهٔ خطی در حالت «ب» بهینه‌ترین و طارمهٔ ۴ طرفه در حالت «الف» بیشترین عمرهوا و بدترین کیفیت هوا را دارد.

- **ابعاد ستون‌ها**

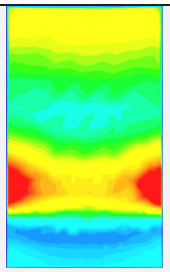
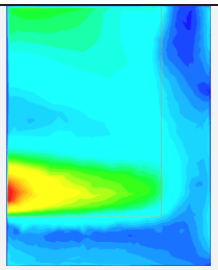
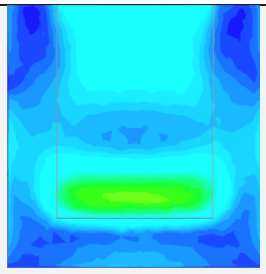
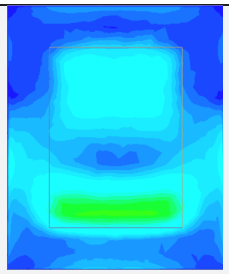
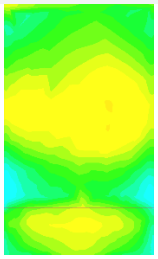
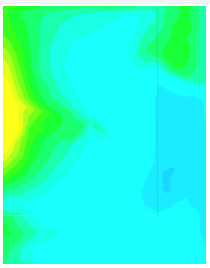
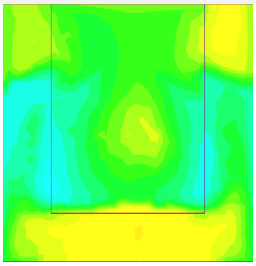
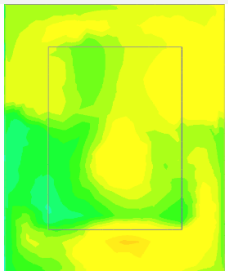
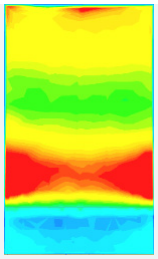
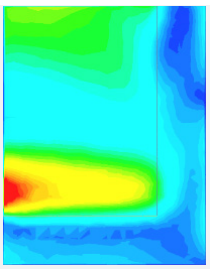
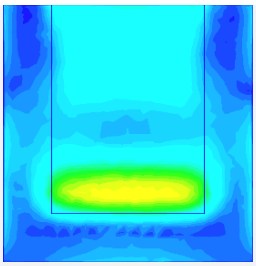
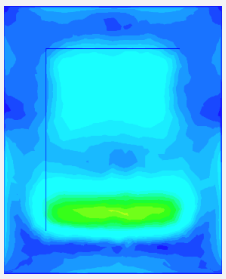
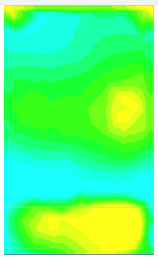
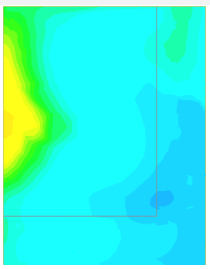
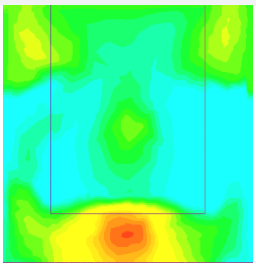
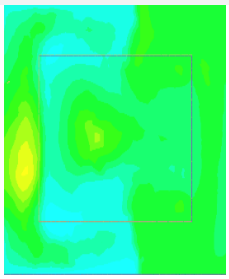
شبیه‌سازی در طول جبههٔ D (جنوبی)، با تعیین فاصلهٔ بین ستون‌ها به میزان ۸۰ سانتیمتر ثابت و تعداد ستون‌ها از ۵ تا ۱۱ و ابعاد ستون‌ها از ۲۶۰ تا ۱۲/۷۲سانتیمتر اجرا شد. تحلیل جریان چرخش باد در جدول ۷ نشان می‌دهد، با کاهش تعداد ستون‌ها و افزایش ابعاد ستون‌ها، از یک‌سو، سرعت جریان هوا در فضای طارمه کاسته می‌شود و از سوی دیگر، با کاهش نسبت فضای نیمه‌باز به توده (ستون‌ها) سرعت جریان هوا در فضای حیاط افزایش می‌یابد. به صورت کلی، جریان باد به دور ستون‌های کوچکتر حرکت می‌کند، ولیکن برای ستون‌های با ابعاد بزرگتر و نیز به دلیل کاهش فاصله بین آن‌ها، دالانی برای هدایت باد ایجاد می‌شود. این امر به‌ویژه برای طارمه با ۵ ستون، خود را نشان می‌دهد. هرچند کلیت الگوی چرخش باد در فضای حیاط متأثر نشده، ولیکن، با افزایش ابعاد ستون‌ها در پشت ستون‌ها از سمت حیاط جبههٔ پرفشاری در طبقات اول و دوم ایجاد می‌شود. افزون بر آن، با افزایش ارتفاع در تمامی حالت‌ها سرعت جریان هوا بیشتر می‌شود.

مقایسهٔ انجام‌شده در جدول ۸ نشان می‌دهد، با افزوده‌شدن اتاق و بازشوها در حالت «ب: با اتاق و بازشو» بین حیاط، فضای نیمه‌باز و بیرون حجم ارتباط برقرار می‌شود. باتوجه به ماهیت تونل باد، مسیر جریان هوای اتاق از سمت بیرون فضا به داخل اتاق و طارمه است. درنتیجه، علی‌رغم شباهت‌های کلی در متوسط سرعت جریان هوا و عمر هوا با حالت «الف: بدون اتاق و بازشو» اما نحوهٔ گردش باد متفاوتی دارد. در این حالت به دلیل حرکت باد از سمت اتاق به فضای طارمه، هم باعث گردش بیشتر هوا و عدم‌یکنواختی مسیر حرکت باد

جدول ۵. راهنمای اضلاع و کانتورهای مؤلفه‌های کیفیت هوا. مأخذ: نگارندگان.

نامگذاری اضلاع	سرعت جریان هوا	عمر هوا
		

جدول ۶. سنجش توده در طارمه درونی. مأخذ: نگارندگان.

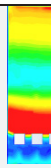
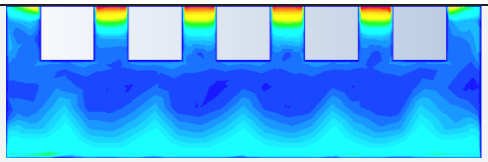
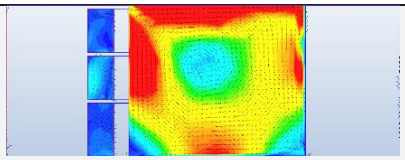
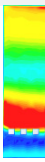
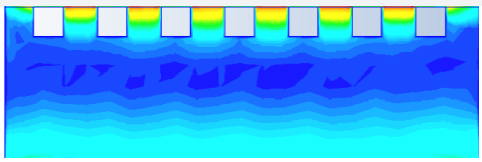
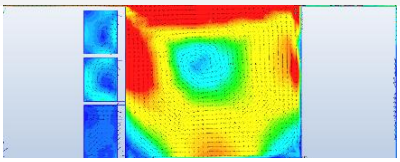
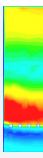
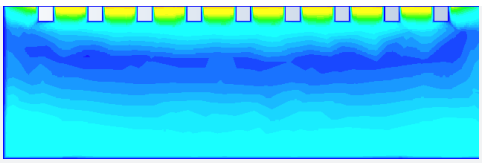
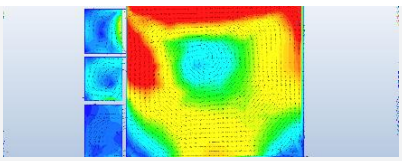
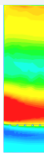
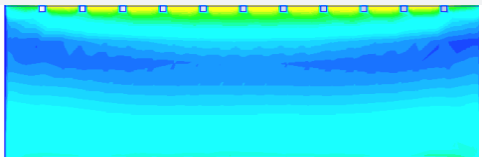
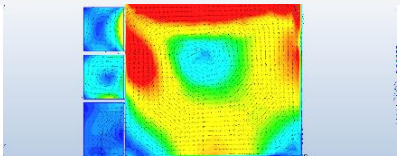
حالت	فرم	خطی	L-شکل	U-شکل	۴ طرفه
الف- طارمه به توده و حیاط اضافه شده (ضخامت توده: ۱۱.۵ متر)	پلان (سرعت جریان هوا)				
	پلان (عمرهوا)				
ب- طارمه جزئی از توده (ضخامت توده: ۸متر)	پلان (سرعت جریان هوا)				
	پلان (عمرهوا)				

شده و هم کیفیت هوای بهتری را فراهم می‌کند. همچنین با افزایش ارتفاع در تمامی حالت‌ها، سرعت جریان هوا بیشتر و عمرهوا کمتر می‌شود.

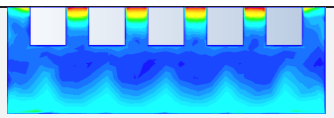
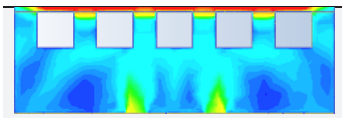
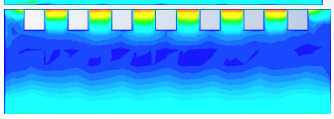
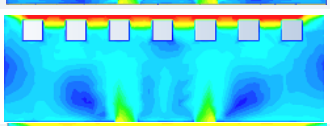
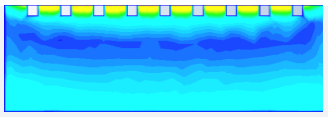
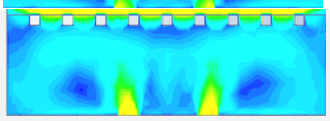
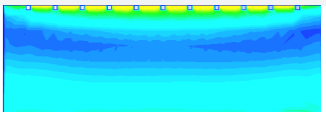
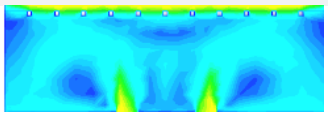
- **فاصلهٔ بین ستون‌ها**

با توجه به جدول ۹ تحلیل جریان چرخش باد در حالت «الف» نشان می‌دهد، با افزایش تعداد ستون‌ها و کاهش فاصلهٔ بین ستون‌ها، هم از سرعت جریان هوا در فضای نیمه‌باز کاسته می‌شود و هم به دلیل کاهش نسبت فضای نیمه‌باز به توده، سرعت جریان هوا در حیاط افزایش می‌یابد. هرچند کوران باد محدودی در فاصله بین ستون‌ها ایجاد می‌شود، ولیکن سرعت باد در فضای طارمه افت می‌کند. تحلیل جریان چرخش باد در حالت «ب» نشان می‌دهد، با افزوده‌شدن اتاق و بازشوها بین فضای درون و بیرون ارتباط برقرار می‌شود. درنتیجه، جزیره‌های منفرد بادی با سرعت کمتر پدید می‌آید. هرچند کلیت الگوی چرخش باد در فضای حیاط متأثر نشده، ولیکن، با افزایش تعداد ستون‌ها در پشت ستون‌ها از سمت حیاط

جدول ۷. سنجش ابعاد ستون‌ها در طارمهٔ درونی به فرم خطی. مأخذ: نگارندگان.

ابعاد ستون (سانتیمتر)	پلان حیاط	پلان طارمه	برش از کلیت حجم
۵ (۱۲۴*۱۲۴)			
۷ (۶۶*۶۶)			
۹ (۳۳*۳۳)			
۱۱ (۱۳*۱۳)			

جدول ۸. مقایسهٔ ابعاد ستون‌ها در طارمهٔ درونی به فرم خطی. مأخذ: نگارندگان.

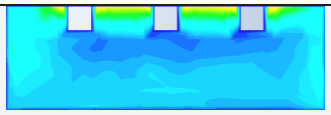
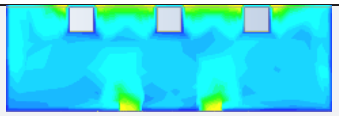
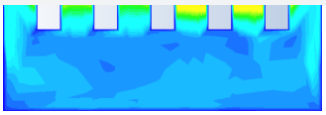
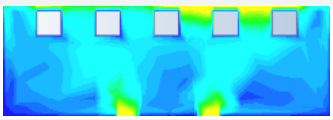
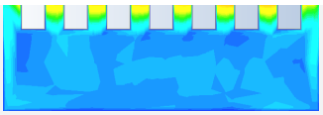
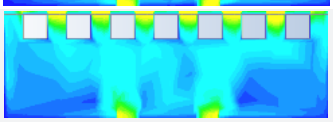
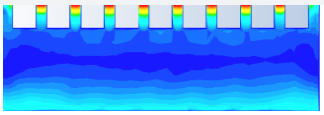
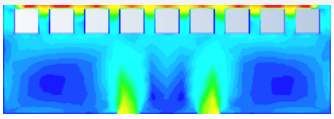
فرم کلی و تعداد ستون	الف: پلان طارمه (بدون اتاق و بازشو)	ب: پلان طارمه (با اتاق و بازشو)
۵		
۷		
۹		
۱۱		

جبههٔ پرفشاری در طبقات اول و دوم ایجاد می‌شود. همچنین، با افزایش ارتفاع از طبقه همکف به اول و دوم در تمامی حالت‌ها سرعت جریان هوا در طارمه بیشتر می‌شود.

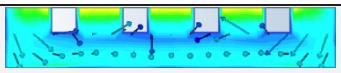
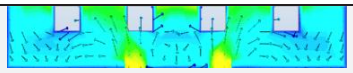
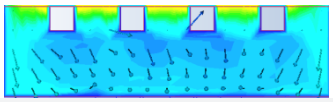
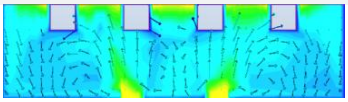
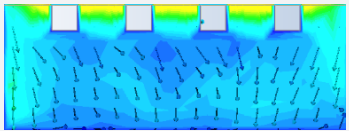
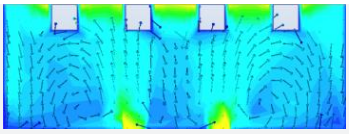
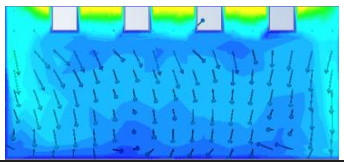
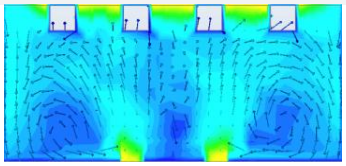
• **عمق**

پیرامون سنجش تأثیر میزان عمق بر کیفیت تهویهٔ طبیعی در فضای نیمه‌باز، جدول ۱۰ سرعت جریان هوا را برای طارمهٔ درونی به فرم خطی (بدون اتاق و بازشو) را بررسی می‌کند. شبیه‌سازی برای طارمه خطی با ۴ستون ۸۰* ۸۰ با فاصلهٔ ۱۵۶ سانتیمتر، برای عمق‌های ۲ تا ۵ متر اجرا شد. در حالت «الف» با ثابت‌ماندن ابعاد و فاصلهٔ بین ستون‌ها و افزایش عمق، سرعت جریان هوا به‌صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. به‌دلیل عدم وجود بازشو، جریان باد در سمت انتهای

جدول ۹. مقایسهٔ فاصله بین ستون‌ها در طارمهٔ درونی به فرم خطی. مأخذ: نگارندگان.

فرم کلی تعداد ستون	الف- طارمه (بدون اتاق و بازشو)	ب- طارمه (با اتاق و بازشو)
۳		
۵		
۷		
۹		

جدول ۱۰. تأثیر عمق بر سرعت جریان هوا در طارمه درونی خطی. مأخذ: نگارندگان.

فرم کلی عمق (متر)	الف- طارمه (بدون اتاق و بازشو)	ب- طارمه (با اتاق و بازشو)
۲		
۳		
۴		
۵		

فضا و چسبیده به دیوار جبههٔ D کمترین سرعت جریان هوا را دارد و همچون تهویهٔ یک‌طرفه عمل می‌کند. باد به صورت دوار در این فضا می‌چرخد و در کنج‌ها و فضای زیرسقف کمترین میزان را دارد. ولیکن، در حالت «ب» و با افزوده‌شدن اتاق و بازشو به این فضا، کیفیت هوا به‌طور قابل ملاحظه‌ای بهتر می‌شود. همچنین، با افزایش تراز ارتفاعی، سرعت جریان هوای طارمه بیشتر می‌شود.

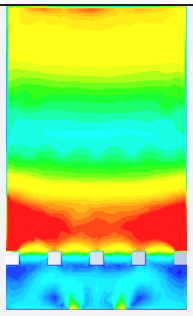
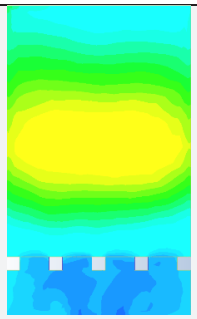
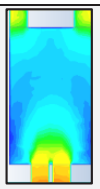
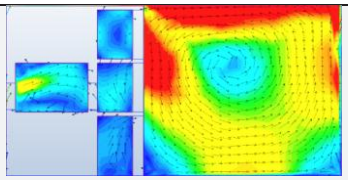
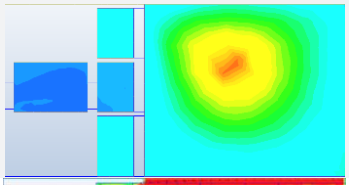
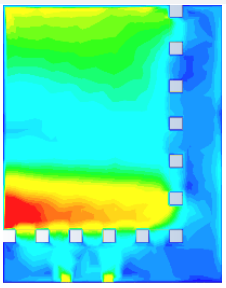
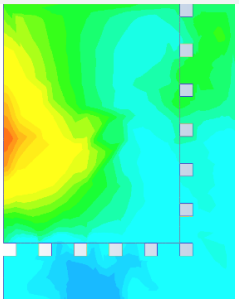
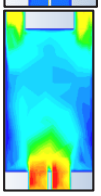
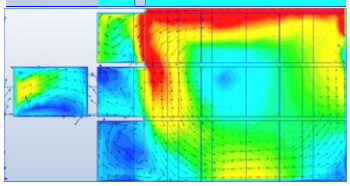
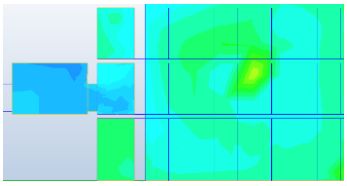
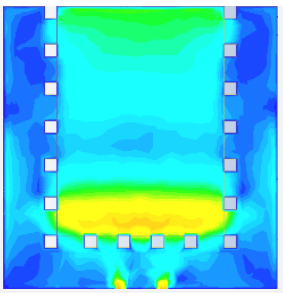
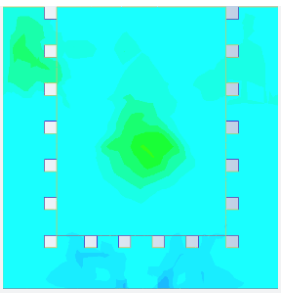
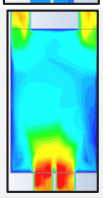
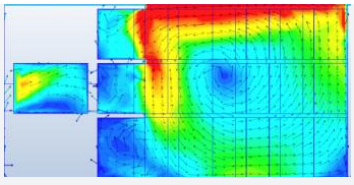
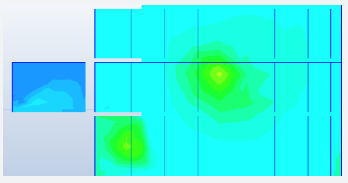
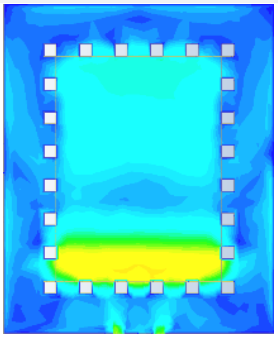
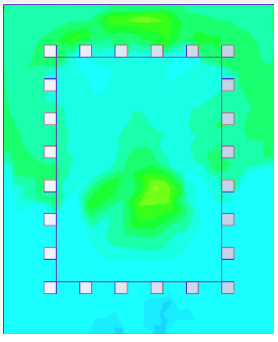
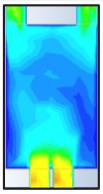
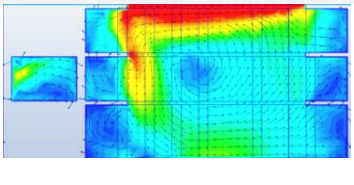
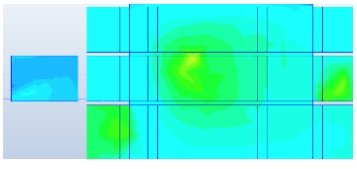
- **بررسی فرم طارمه‌ها**

با توجه به جدول ۱۱ در این مرحله ضروری است تا تعدادی از مؤلفه‌های مؤثر را به صورت ترکیبی با یکدیگر مقایسه شود. به همین‌منظور، شبیه‌سازی سرعت جریان و عمر هوا برای هر ۴ حالت فرم طارمه به عمق ۳/۵ متر، با اتاق و بازشو و به ضخامت ۸ متر انجام شد. تحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد، با الحاق ضلع‌های بیشتر به فضای نیمه‌باز، از سرعت جریان هوای حیاط کاسته و در فضای نیمه‌باز توزیع می‌شود. درنتیجه، طارمه به فرم خطی، بیشترین و طارمهٔ ۴ طرفه، کمترین سرعت جریان هوا در حیاط و فضای نیمه‌باز را دارد.

- **طارمهٔ میانی**

تمامی طارمه‌های میانی دوطرف باز و دوطرف بسته هستند. در این قسمت نیاز است تا «عمق» طارمه را به‌عنوان مهم‌ترین عنصر

جدول ۱۱. سنجش تأثیر فرم طارمه درونی. مأخذ: نگارندگان.

فرم	پلان طارمه (سرعت جریان هوا)	پلان طارمه (عمرهوا)	پلان اتاق	برش	مؤلفه
خطی					سرعت جریان هوا
					عمرهوا
L-شکل					سرعت جریان هوا
					عمرهوا
U-شکل					سرعت جریان هوا
					عمرهوا
۴-طرفه					سرعت جریان هوا
					عمرهوا

کالبدی مؤثر بر آن، بررسی کرد. به همین منظور جدول ۱۲، شبیه‌سازی مؤلفه‌های کیفیت‌هوا برای طارمهٔ میانی در حالت‌های «الف: با بازشو و اتاق» و «ب: بدون بازشو و اتاق» برای عرض‌های ۱، ۲ و ۳ متر انجام شد. تحلیل حالت‌های مختلف نشان می‌دهد،

باتوجه به راستای حرکت باد، الگوی کلی چرخش باد یکسان است. برای عرض یک متر به‌دلیل ایجاد یک راهروی بلند با عرض کم، تونل باد ایجاد می‌شود که در آن، حالت بدون بازشو بهتر از اضافه‌شدن اتاق و بازشو است. همچنین، با افزایش عرض طارمه سرعت جریان هوا تا حدودی کاهش می‌یابد، ولیکن تفاوت ناچیز است.

• طارمهٔ بیرونی

- سنجش عمق

در این مرحله لازم است تأثیر عرض طارمهٔ بیرونی مورد سنجش قرار گیرد. به همین منظور، شبیه‌سازی برای سه فرم خطی، L-شکل و U-شکل برای عرض‌های ۲ و ۵ متر انجام شد. یافته‌های جدول ۱۳ نشان می‌دهد، طارمهٔ خطی با عرض ۵ متر بیشترین و L-شکل با عرض ۵ متر کمترین سرعت جریان هوا را دارد. هرچند درمجموع تمامی حالت‌ها سرعت جریان هوا نسبت به حالت بدون طارمه تا حدی کاهش یافته است، ولیکن می‌توان گفت افزودن طارمهٔ بیرونی کیفیت‌هوای بهینه‌ای را هم در فضای نیمه‌باز و هم در اتاق فراهم آورده است.

• بررسی تأثیر فرم طارمه

درابتدا لازم است تا الگوی کلی چرخش باد در فضای نیمه‌باز

جدول ۱۲. تأثیر عمق بر سرعت جریان هوا در طارمه میانی. مأخذ: نگارندگان.

پلان کلی عرض(متر)	حجم کلی	پلان اتاق	پلان طارمه
۱			
۲			
۳			

جدول ۱۳. سنجش عرض طارمهٔ بیرونی- سرعت جریان هوا (عرض ۲ و ۵ متر). مأخذ: نگارندگان.

فضا	خطی ۲متر	خطی ۵متر	L-شکل ۲متر	L-شکل ۵متر	U-شکل ۲متر	U-شکل ۵متر
پلان اتاق						
کلیت حجم						

به‌صورت طارمهٔ بیرونی بدون وجود بازشو و ستون بررسی شود. به همین منظور، شبیه‌سازی ۴ حالت مختلف طارمهٔ بیرونی پیرامون توده (جدول ۱۴) و ۲ حالت پیرامون اتاق (جدول ۱۵)، با عرض ۵/ ۳ متر انجام گرفت. یافته‌های جدول ۱۴ نشان می‌دهد، به‌صورت کلی افزودن طارمه‌های بیرونی باعث بهبود قابل‌توجه در کیفیت هوای فضای نیمه‌باز بیرونی شده است. در جبهه‌های B و C باد موازی با راستای تونل باد و در طول فضای نیمه‌باز حرکت می‌کند و بیشترین سرعت جریان هوا و کمترین عمر هوا را دارد. سرعت جریان هوا در جبههٔ D در فرم خطی نسبت به L-شکل کمتر، نسبت به U-شکل کمتر و نسبت به ۴-طرفه تقریباً یکسان است. عمر هوای جبههٔ D در فرم خطی در بیشترین مقدار خود است و پس از آن فرم‌های U-شکل و ۴-طرفه تهویهٔ بسیار بهتری و درنهایت فرم L-شکل کمترین عمرهوا و بهترین تهویه را دارد. در مجموع، جبههٔ D در فرم L-شکل بهینه‌ترین تهویه را از بابت بیشترین سرعت جریان و کمترین عمر هوا و در فرم خطی بدترین تهویه شامل کمترین سرعت جریان و بیشترین عمر هوا را دارد. افزون بر آن، سرعت جریان هوای

جدول ۱۴. سنجش فرم طارمه بیرونی: سرعت جریان و عمر هوا (برای حالت بدون اتاق و بازشو، به عرض۳/۵متر). مأخذ: نگارندگان.

فرم	پلان طارمه (عمرهوا)	پلان طارمه (سرعت جریان هوا)	پلان حیاط	برش	مؤلفه
خطی					سرعت جریان‌هوا
					عمرهوا
L-شکل					سرعت جریان‌هوا
					عمرهوا
U-شکل					سرعت جریان‌هوا
					عمرهوا
۴-طرفه					سرعت جریان‌هوا
					عمرهوا

فضای نیمه‌باز در تمامی ترازهای ارتفاعی در جبهۀ A رو به باد بیشترین و در جبهۀ D پشت به باد کم‌ترین است. گردش باد و مؤلفه‌های کیفیت هوا در هر ۳ طبقه و در هر ۴ فرم تقریباً (بجز در طبقۀ دوم در جبهۀ رو به باد) از الگوی یکسانی پیروی می‌کنند.

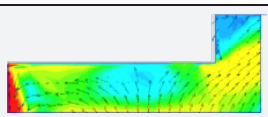
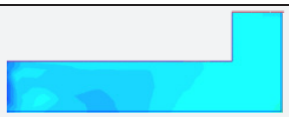
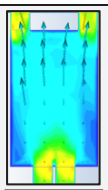
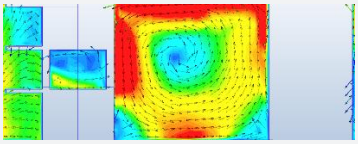
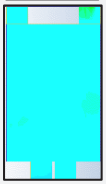
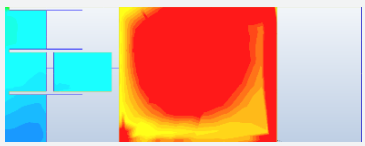
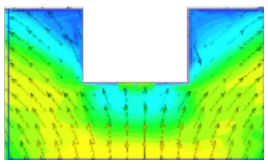
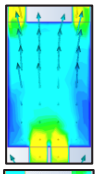
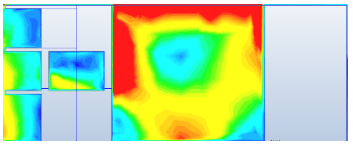
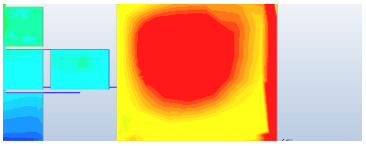
یافته‌های جدول ۱۵ نشان می‌دهد، افزوده‌شدن فضای نیمه‌باز پیرامون اتاق در جبهۀ D باعث بهبود مؤلفه‌های سرعت جریان و عمر هوا در فضای نیمه‌باز و اتاق شده است. همچنین با افزوده‌شدن اتاق و بازشو در تراز ارتفاعی دوم، کیفیت هوا در فضای نیمه‌باز این طبقه بهتر از سایر طبقات شده است.

در مجموع، افزوده‌شدن طارمۀ بیرونی در تمامی جهات (بجز فرم ۴-طرفه) بر کیفیت تهویۀ اتاق افزوده و همچنین کیفیت هوای مطلوبی نیز در خود فضای نیمه‌باز ایجاد کرده و تنها حالت ۴-طرفه است با کاهش سرعت جریان هوا روبه‌روست و در سایر فرم‌ها افزوده‌شدن فضای نیمه‌باز تقریباً باعث کاهش در فضای اتاق نشده است.

نتیجه‌گیری

باتوجه به هدف این پژوهش در سنجش شاخصه‌های مرتبط با فضاهای نیمه‌باز در خانه‌های تاریخی حیاط‌مرکزی برای بهره‌مندی از تهویۀ طبیعی و رسیدن به راه‌حل‌های معمارانه، نتایج حاصل از جداول مقایسه‌ای پیرامون طارمه‌های درونی نشان می‌دهد، با افزایش حجم کلی بنا، ناشی از افزودن طارمه بین حیاط و توده، کیفیت تهویه در حیاط و اتاق کاهش می‌یابد. با کاهش تعداد ستون‌ها و افزایش ابعاد ستون‌ها و نیز درحالتی که ابعاد ستون‌ها ثابت و فاصلۀ بین ستون‌ها افزایش می‌یابد، سرعت جریان هوا در فضای طارمه کاسته می‌شود، ولیکن در حیاط افزایش می‌یابد. در تمامی حالت‌ها با افزایش ارتفاع سرعت جریان هوای حیاط بیشتر و عمرهوا کمتر می‌شود. با افزوده‌شدن اتاق و بازشوها در جبهۀ D، بین حیاط، فضای نیمه‌باز و بیرون حجم ارتباط برقرار شده و کیفیت تهویه بهتر می‌شود. درنهایت، طارمۀ درونی به فرم خطی، بیشترین و طارمۀ ۴-طرفه، کمترین سرعت جریان هوا در حیاط و فضای نیمه‌باز را دارد. پیرامون طارمۀ میانی نتایج نشان می‌دهد، برای عرض یک متر به دلیل ایجاد یک راهروی بلند با عرض کم، تونل باد ایجاد می‌شود که در آن، حالت بدون بازشو بهتر از اضافه‌شدن اتاق و بازشو است. همچنین، با افزایش عرض طارمۀ میانی سرعت جریان هوا تا حدودی کاهش می‌یابد، ولیکن تفاوت ناچیز است. پیرامون طارمۀ بیرونی نتایج نشان می‌دهد، افزوده‌شدن فضای نیمه‌باز پیرامون اتاق در جبهۀ D باعث بهبود مؤلفه‌های سرعت جریان و عمر هوا در فضای نیمه‌باز و اتاق شده است. همچنین با افزوده‌شدن اتاق و بازشو در تراز

جدول ۱۵. سنجش تأثیر فرم طارمۀ بیرونی بر کیفیت جریان هوای اتاق (عرض طارمه: ۳/۵ متر). مأخذ: نگارندگان.

فرم	پلان طارمه (عمرهوا)	پلان طارمه (سرعت جریان هوا)	پلان اتاق	برش	مؤلفه
L-شکل					سرعت جریان‌هوا
					عمرهوا
U-شکل					سرعت جریان‌هوا
					عمرهوا

ارتفاعی دوم، کیفیت هوا در فضای نیمه‌باز این طبقه بهتر از سایر طبقات شده است. درمجموع، افزوده‌شدن طارمهٔ بیرونی در تمامی جهات (بجز فرم ۴-طرفه) بر کیفیت تهویهٔ اتاق افزوده و همچنین کیفیت هوای مطلوبی نیز در خود فضای نیمه‌باز ایجاد کرده و تنها در حالت ۴-طرفه است که با کاهش سرعت جریان هوا روبه‌رو هستیم و در سایر فرم‌ها افزوده‌شدن فضای نیمه‌باز تقریباً باعث کاهش در فضای اتاق نشده است.

پی‌نوشت‌ها

۱. Computational fluid dynamics
۲. velocity
۳. Local mean age of air
۴. AutoCAD
۵. Contour
۶. Validation
۷. ASHRAE
۸. Boundary conditions
۹. Grid study
۱۰. incompressible
۱۱. Pascal
۱۲. Viscose Model
۱۳. Continuity
۱۴. Momentum

فهرست منابع

• انصاری، احمد. (۱۳۹۳). معرفی بافت تاریخی بندر بوشهر. *سروستان*، (۶)، ۱۵-۲۶.

• رنجبر، احسان؛ پورجعفر، محمدرضا و خلیجی، کیوان. (۱۳۸۹). خلاقیت‌های طراحی اقلیمی متناسب با جریان باد در بافت قدیم بوشهر. *باغ نظر*، ۷ (۱۳)، ۱۷-۳۴.

• رئیسی، ایمان. (۱۳۸۵). ریخت‌شناسی حیاط مرکزی در خانه‌های بوشهر. *شارستان*، (۱۳)، ۷-۱۱.

• زارعی، محمد ابراهیم و بهبودی، نغمه. (۱۳۹۵). بررسی سرعت و فشار حرکت باد در بخش مرکزی سکونتگاه قلعه‌های ورمال سیستان با بهره‌گیری از شبیه‌سازی cfd. *پژوهش های معماری اسلامی*، (۴)۱۰، ۹۴-۱۱۰.

• سلیقه، الهام و سعادت‌جو، پریا. (۱۳۹۸). بررسی نقش تخلخل در خودسایه‌اندازی و کاهش انرژی دریافتی جداره‌ها در ساختمان‌های اقلیم گرم و مرطوب. *نقش جهان*، ۹(۴)، ۲۵۷-۲۷۱.

• شاهی، افشین و تکاپومنش، شیده. (۱۳۸۵)، شناخت الگوهای معماری پایدار در بناهای مسکونی بافت قدیم بوشهر. *معماری و ساختمان*، ۷(۱۰)، ۱۳۰-۱۳۵.

• کریمی، باقر.(۱۳۹۱). تأثیر معماری قدیم بوشهر بر فرهنگ و معماری کشورهای حاشیه خلیج فارس (مطالعهٔ موردی محله البستکیه شهر دبی). *هویت شهر*، ۶(۱۱)، ۸۵-۹۶.

• کریم‌زاده، جمشید؛ مهدی‌نژاد درزی، جمال الدین، کریمی، باقر. (۱۴۰۰). سنجش عملکرد عناصر اقلیمی خانه‌های سنتی بافت تاریخی شیراز با رویکرد آسایش حرارتی؛ موردپژوهی: ایوان. *مطالعات معماری ایران*، (۲۰)، ۸۹-۱۱۵.

• کریم‌زاده، جمشید؛ مهدی‌نژاد درزی، جمال الدین و کریمی، باقر. (۱۴۰۱). تأثیر تناسبات کالبدی بر عملکرد حرارتی ایوان‌ها در بافت تاریخی شیراز مبتنی بر بهبود شاخص آسایش حرارتی. *نامهٔ معماری و شهرسازی*، (۳۶)۱۵، ۲۷-۵۲.

• مقیمی، وحید؛ کیانی برازجانی، کیانا؛ امیرزاده، فاطمه؛ بحرینی، دریا و قنواتی، سمیرا. (۱۳۹۸). بررسی جهت‌گیری بهینهٔ طارمه نسبت به جریان باد در بناهای سنتی بوشهر. *پژوهش‌های گردشگری و توسعهٔ پایدار*، ۴(۷)، ۲۷-۳۶.

• واتسون، دانلد و لبز، کنت. (۱۳۸۷). *طراحی اقلیمی: اصول نظری و اجرائی کاربرد انرژی در ساختمان* (ترجمهٔ وحید قبادیان و محمد فیض مهدوی). تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

• هدایت، اعظم و ضیایی، مسعود. (۱۳۹۱). *تحلیل نقش باد در شکل‌گیری سیمای بافت تاریخی بوشهر. دومین همایش ملی انرژی باد و خورشید*. شرکت هم اندیشان انرژی کیمیا، تهران.

• هدایت، اعظم و طبائیان، سیده مرضیه. (۱۳۹۱). بررسی عناصر شکل‌دهنده و دلایل وجودی آن‌ها در خانه‌های بافت تاریخی بوشهر. *معماری اقلیم گرم و خشک*، ۳(۳)، ۳۵-۵۲.

• هدایت، اعظم و عشرتی، پرستو. (۱۳۹۵). گونه‌شناسی شکلی و استقراری شناشیر در معماری بومی بندر بوشهر. *پژوهش‌های معماری اسلامی*، ۴(۱۳)، ۴۰-۶۰.

• هدایت، اعظم و عشرتی، پرستو. (۱۳۹۹). گونه‌شناسی طارمه در معماری بافت تاریخی بندر بوشهر. *مسکن و محیط روستا*، ۳۹ (۱۷۲)، ۱۰۶- ۱۱۹.

• Al-Hinai, H., Batty, W. J. & Probert, S. D. (1993). Vernacular architecture of Oman: Features that enhance thermal comfort achieved within buildings. *Applied Energy*, 44(3), 233–258.

• Andersen, K. T. (2002). *Naturlig ventilation i erhvervsbygninger, By og Byg, Statens Byggeforskningsinstitutt Horsholm.* Denmark: Alborg University.

• Antarikananda, P, Douvlou, E. & McCartney, K. (2006). *Lessons from traditional architecture: Design for a climatic responsive contemporary house in Thailand*. In Proceedings of the 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture-PLEA2006-, Geneva, Switzerland.

• Bay, E., Martinez-Molina, A. & Dupont, W. (2022). Assessment of natural ventilation strategies in historical buildings in a hot and humid climate using energy and CFD simulations. *Building Engineering*, 51 (1), 104287.

• CIBSE, Chartered Institution of Building Services Engineers. (2005). *Natural ventilation in nondomestic buildings*. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.

• Cuce, E., Sherc, F., Sadiqc, H., Cuce, P., Guclua, T. & Besira, A. (2019). Sustainable ventilation strategies in buildings: CFD research. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, (36), 100540.

• Kristianto, M. A., Utama, N. A. & Fathoni, A. M. (2014). Analyzing Indoor Environment of Minahasa. Traditional House

Using CFD. *Procedia Environmental Sciences*, (20), 172-179.

• Kumar, N., Kubota, T., Bardhan, R. & Tominaga, Y. (2020). CFD analysis of airflow in voids for better cross ventilation in midrise buildings in hot and humid climates. *Building Simulation Conference Proceedings*, (6), 3879-3885.

• Mohammadi, A., Saghafi, M. R., Tahbaz, M. & Nasrollahi, F. (2017). Potentials of Vernacular Climatic Solutions (VCS) in Energy Efficiency of Domestic Buildings in Hot and Humid Climate: The Case Study of Bushehr, Iran. *Space Ontology International Journal*,.6(3), 59 – 76.

• Masoumi, H., Nejati, N. & Amin Alah, A. (2016). Learning from the Heritage Architecture: Developing Natural Ventilation in Compact Urban Form in Hot-Humid Climate: Case Study of Bushehr, Iran. *International Journal of Architectural Heritage*, 11(3), 414-432.

• Oikonomou, A. (2005). *Winter thermal comfort in 19th century traditional buildings of the town of Florina, in north-western Greece*, In Proc. 22nd PLEA Conference, Beirut-Lebanon, 353-358.

• Ramli, N. H. (2012). Re-adaptation of Malay House Thermal Comfort Design Elements into Modern Building Elements – Case Study of Selangor Traditional Malay House & amp; Low Energy Building in Malaysia. *Energy & Environment*, (3), 19–23.

• Ryu, Y., Kim, S. & Lee, D. (2009). The influence of wind flows on thermal comfort in the Daechung of a traditional Korean house. *Building and Environment,* 44(1), 18–26.

• Wai Tuck, N. G. (2021). *Effectiveness of passive cooling strategies of indoor thermal conditions for terrace house under hot and humid climate.* (Unpulished Phd Thesis). Razak Faculty of Technology and Informatics, Universiti Teknologi Malaysia.

• Xu, F., Li, Ch. & Tang, H. (2022). Influence analysis of space configuration on cooling load of a large semi-closed atrium in hot and humid region. *Building and Environment*, (225), 109670.

COPYRIGHTS
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Bagh-e Nazar Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نحوهٔ ارجاع به این مقاله:
قهرمان‌ایزدی، ندا؛ تقی‌پور، ملیحه؛ اسکندری، حمید و موحد، خسرو. (۱۴۰۲).نقش پارامترهای مؤثر طارمه در بهبود تهویهٔ طبیعی در خانه‌های حیاط‌مرکزی بافت تاریخی بوشهر. *باغ نظر*، ۲۰(۱۲۵)، ۲۳-۴۲.

DOI:10.22034/BAGH.2023.385984.5336
URL:https://www.bagh-sj.com/article_178203.html