

ترجمه انگلیسی این مقاله نیز با عنوان:  
Analysis of the Synergistic Performance of Sabat and Windcatcher in  
Enhancing Natural Ventilation in Traditional Architecture of the Persian  
Gulf Margin (Case Study: Kong County, Hormozgan Province)  
در همین شماره مجله به چاپ رسیده است.

مقاله پژوهشی

## تحلیل هم‌افزایی عملکرد سابات و بادگیر در ارتقای تهویه طبیعی در معماری سنتی حاشیه خلیج فارس (مطالعه موردی: شهر بندر کنگ، استان هرمزگان)

ابراهیم اسمعیلی<sup>۱\*</sup>، حمیده جعفری<sup>۲</sup>، سید یعقوب ذوالفقاری<sup>۳</sup>

۱. گروه معماری، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

۲. گروه هنر، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳. گروه مهندسی عمران، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱

### چکیده

**بیان مسئله:** خانه‌های سنتی بندر کنگ در جنوب ایران، نمونه‌ای برجسته از معماری هم‌ساز با اقلیم هستند که برای مقابله با گرمای شدید و بهبود تهویه طبیعی، از عناصر بومی مانند بادگیر و سابات بهره می‌برند.

**هدف پژوهش:** این پژوهش با هدف تحلیل تأثیر سابات و بادگیر بر کیفیت تهویه طبیعی، به بررسی عددی سه سناریوی طراحی از طریق شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) پرداخته است. **روش پژوهش:** از سابات با عمق‌های متفاوت، با به‌کارگیری انواع بادگیر و ترکیب بهینه این دو عنصر استفاده می‌شود. برای ارزیابی عملکرد هر سناریو، یک مدل پایه به‌عنوان حالت مرجع (Case-Ref) در نظر گرفته شد که شامل خانه‌ای با حیاط مرکزی فاقد بادگیر و سابات بود و شرایط پایه جریان هوا و تهویه طبیعی را نشان می‌داد. عملکرد هر سناریو براساس سه شاخص سرعت جریان هوا، سن هوا و بازدهی تهویه با استفاده از نرم‌افزار Autodesk CFD 2018 شبیه‌سازی و با مدل مرجع مقایسه شد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این پژوهش نشان داد هر دو عنصر به‌طور مستقل در بهبود تهویه داخلی مؤثر بودند؛ به‌طوری که بادگیر چهارطرفه بازدهی تهویه را تا ۱۶ برابر افزایش داد و سابات‌های عمیق نیز با تقویت جریان افقی هوا، نقش مؤثری در ارتقای تهویه اطراف حیاط مرکزی ایفا کردند. باین‌حال، ترکیب هم‌زمان این دو عنصر در نمونه بهینه (Case-Fin) منجر به بهبود چشم‌گیری در تمامی شاخص‌ها شد: افزایش سرعت جریان هوا تا ۸/۸ برابر، کاهش سن هوا تا ۸۵ درصد و ارتقای بازدهی تهویه تا ۳۴/۷ برابر نسبت به حالت مرجع. این یافته‌ها حاکی از آن است که هم‌افزایی بین عناصر سنتی در طراحی اقلیمی می‌تواند الگویی مؤثر برای ارتقای کیفیت سکونت در مناطق گرم و مرطوب ارائه دهد و تلفیق هوشمندانه الگوهای بومی با ابزارهای شبیه‌سازی نوین، گامی مؤثر در راستای تحقق معماری پایدار است.

**واژگان کلیدی:** تهویه طبیعی، بادگیر، سابات، معماری سنتی، اقلیم گرم و مرطوب، بندر کنگ.

### مقدمه

خانه‌های سنتی مناطق گرم و خشک ایران، به‌ویژه در نواحی ساحلی و جنوبی، به‌طور ویژه‌ای برای مقابله با چالش‌های اقلیمی سخت طراحی شده‌اند. در این مناطق، شرایط دمایی بالا، تابش شدید آفتاب و

رطوبت غالب از مهم‌ترین ویژگی‌های محیطی هستند که تأثیرات عمده‌ای بر راحتی ساکنان می‌گذارند (Yazdi et al., 2021). در پاسخ به این مشکلات، معماری سنتی با به‌کارگیری روش‌های مختلفی همچون استفاده از بادگیرها، سابات‌ها و حیاط‌های مرکزی به

\* نویسنده مسئول: ebrahim.esmaeili@iau.ac.ir، ۰۹۱۷۱۹۸۶۰۹۹

کاربرد این عناصر به‌طور عملی و عددی تحلیل شود. نتایج عددی حاصل از شبیه‌سازی نمونه‌های موردی با استفاده از نرم‌افزار Autodesk CFD استخراج و به‌صورت تطبیقی در قالب سه متغیر سرعت هوا، سن هوا و بازدهی تهویه بررسی شدند. نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان یک مبنای علمی برای طراحی بهینه فضاها مسکونی در نواحی گرم و مرطوب باشد و به معماران و طراحان کمک کند از این ابزارها و روش‌ها در ایجاد بناهایی با کیفیت محیطی استفاده کنند. با این توضیحات سؤالات اصلی پژوهش به شرح زیر است:

عمق‌های مختلف سبابط چه تأثیری در ارتقای تهویه طبیعی در فضاها داخلی خانه با الگوی سنتی در شهرستان کنگ واقع در استان هرمزگان دارد؟  
استفاده از بادگیر با بازشوهای متفاوت چه تأثیری بر تهویه طبیعی در فضاها داخلی خانه حیاط‌مرکزی اقلیم گرم و مرطوب بندر کنگ دارد؟  
استفاده همزمان از بادگیر و سبابط در خانه‌های حیاط‌مرکزی اقلیم گرم و مرطوب جنوب ایران چه تأثیری بر عملکرد تهویه فضای درون بنا دارد؟

### پیشینه پژوهش

مطالعه تهویه طبیعی در معماری سنتی ایران، به‌ویژه در اقلیم گرم و مرطوب، یکی از محورهای مهم در حوزه طراحی اقلیمی است. خانه‌های سنتی جنوب ایران، به‌ویژه در بندر کنگ، با بهره‌گیری از عناصر بومی همچون بادگیر و سبابط، در پاسخ به شرایط اقلیمی خاص، سازوکارهای هوشمندانه‌ای برای گردش هوا و تأمین آسایش حرارتی به‌کار گرفته‌اند.

بادگیر، به‌عنوان شناخته‌شده‌ترین عنصر تهویه در معماری سنتی مناطق گرم و خشک و نیمه‌مرطوب، در مطالعات متعددی بررسی شده‌اند. برای نمونه، مطالعه دهقانی محمد آبادی و همکاران (Dehghani Mohamadabadi et al., 2017) نشان داد، بادگیرهای چندوجهی، به‌ویژه چهارطرفه، با بهره‌گیری از تفاوت فشار و دمای محیط، قادرند جریان هوای مطلوبی را وارد فضا کرده و هوای گرم را از بنا خارج کنند. نکوفر و همکاران (۱۴۰۳) نیز با استفاده از شبیه‌سازی CFD نشان دادند افزایش ارتفاع و بازشوهای جانبی بادگیر، عملکرد آن را در تخلیه هوای گرم و آلوده به شکل چشم‌گیری بهبود می‌بخشد.

در کنار بادگیر، سبابطها و فضاها نیمه‌باز همچون ایوان و تراس نیز به‌عنوان لایه‌های واسطه‌ای میان فضای باز و بسته، در کنترل تابش خورشیدی، کاهش دمای پوسته خارجی و هدایت جریان هوا به درون فضاها

طراحی فضاها مسکونی پرداخته است. این طراحی‌ها به‌منظور کاهش گرما، بهبود تهویه طبیعی و تأمین آسایش ساکنان ایجاد شده‌اند و از جمله نوآوری‌های هوشمندانه معماری بومی در پاسخ به شرایط خاص اقلیمی هستند (A'zami et al., 2005). بادگیرها، به‌عنوان یکی از عناصر مهم معماری در برخی از مناطق گرم و مرطوب، نقش کلیدی در تهویه طبیعی ساختمان‌ها ایفا می‌کنند (Sharifi et al., 2022). این سازه‌ها با بهره‌گیری از جریان‌های طبیعی باد، هوای تازه را به داخل فضا کشانده و جایگزین هوای مانده داخل می‌شوند. به این ترتیب جریانی عبوری از هوا ایجاد کرده و از ماندگاری هوای مرطوب در درون فضا جلوگیری می‌کنند (Ranjbar et al., 2010). استفاده از بادگیر در معماری سنتی شهرهای مختلفی از ایران مانند یزد، کرمان، اصفهان و بندرعباس مشاهده شده است و پژوهش‌های متعددی نیز بر تأثیر آن‌ها در بهبود شرایط اقلیمی داخلی تأکید داشته‌اند (Maleki, 2011; Moghaddam et al., 2011). سبابطها نیز به‌عنوان یک فضای واسطه‌ای میان ساختمان و محیط بیرون، به کاهش تابش مستقیم آفتاب به دیوارها و بهبود جریان هوای طبیعی کمک می‌کنند. این ویژگی‌ها موجب کاهش اثرات گرمای تابستانه و ایجاد شرایط مطلوب‌تر برای زندگی می‌شود.

بررسی پژوهش‌ها حاکی از آن است به‌رغم استفاده فراوان از این عناصر در معماری بومی، مطالعاتی که به‌طور خاص بر تأثیر همزمان بادگیرها و سبابطها در بهبود تهویه طبیعی در خانه‌های سنتی متمرکز باشد، محدود بوده است. بسیاری از مطالعات تنها به بررسی اثرات مجزای این عناصر پرداخته‌اند (Peker, 1991; Kalantari et al., 2012; Saadatian et al., 2015). بر همین اساس در این پژوهش سعی شده است این شکاف پژوهشی با استفاده از شبیه‌سازی‌های دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) پر شود. این ابزار قادر است تعاملات پیچیده میان بادگیر، سبابط، حیاط‌مرکزی و دیگر عناصر معماری در ایجاد شرایط مطلوب تهویه را به‌طور دقیق مدل‌سازی کرده و نتایج قابل اعتمادی ارائه دهد (Moukalled et al., 2011). بر همین اساس هدف این پژوهش، بررسی تأثیر استفاده همزمان بادگیر و سبابط در بهبود تهویه طبیعی در خانه‌های سنتی بندر کنگ است. نمونه‌های موردی در این پژوهش براساس سه سناریو به این شرح تعیین گردید: (۱) استفاده از سبابط با عمق‌های مختلف، (۲) استفاده از بادگیر با تعداد بازشوهای مختلف و (۳) ترکیب همزمان بادگیر و سبابط. این سناریوها با یک نمونه مرجع که فاقد هرگونه بادگیر و سبابط است، مقایسه شده‌اند تا اثرات

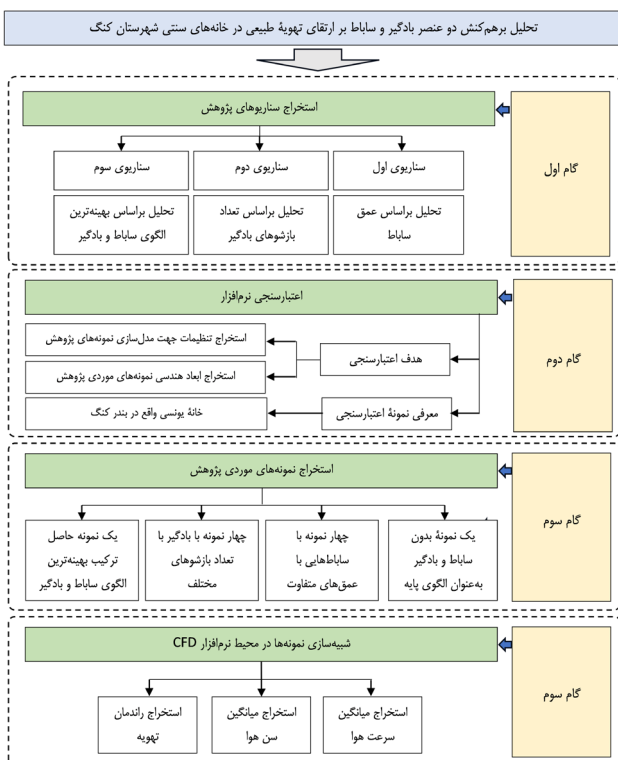
در این شهر انتخاب شد که در ادامه به معرفی ابعاد مختلف آن پرداخته می‌شود. پس از اعتبارسنجی نرم‌افزار، نمونه‌های موردی انتخاب و در محیط نرم‌افزار CFD شبیه‌سازی شدند. در تعیین نمونه‌های موردی سه سناریو به شرح زیر انتخاب شد:

۱) در سناریوی نخست صرفاً تأثیر متغیر «عمق ساباط» مدنظر قرار گرفت. بر همین اساس چهار نمونه با عمق‌های مختلف ساباط از یک متر تا ۲/۵ متر به‌عنوان نمونه‌های موردی پژوهش انتخاب شدند.

۲) در سناریوی دوم، تأثیر تعداد بازشوهای بادگیر مدنظر قرار گرفت و لذا در تعیین نمونه‌های موردی، در این سناریو از بادگیرهای یک، دو، سه و چهارطرفه استفاده شد. به این ترتیب چهار نمونه موردی نیز در این سناریو مدنظر قرار گرفت.

۳) در تعیین سناریوی سوم، تأثیر هم‌زمان استفاده از بادگیر و ساباط بر تهویه طبیعی فضاهای مدنظر پژوهش و بهینه‌ترین نمونه‌های استخراج‌شده از سناریوهای اول و دوم در ساخت نمونه موردی در این سناریو در نظر گرفته خواهد شد.

**تصویر ۱** دیاگرام فرایند پژوهش را نمایش می‌دهد؛ همچنین در ادامه نیز به معرفی سایر ابعاد مرتبط با این پژوهش پرداخته می‌شود.



تصویر ۱. دیاگرام فرایند انجام پژوهش. مأخذ: نگارندگان.

داخلی نقش بسزایی دارند. قهرمان ایزدی و همکاران (Ghahraman Izadi et al., 2023) با بررسی عوامل مؤثر بر طارمه به‌عنوان یکی از عناصر نیمه‌باز در معماری سنتی بوشهر، تأثیر عمق این عنصر بر تهویه طبیعی فضای پشت آن را بررسی کردند. آن‌ها ضمن تأکید بر اهمیت عمق طارمه بر کیفیت تهویه، عمق ۳/۵ متر و فرم L شکل از این عنصر را مناسب‌ترین فرم برای آن پیشنهاد دادند.

از منظر بین‌المللی نیز مطالعاتی مشابه صورت گرفته است. به‌طور مثال، پژوهش غفاریان حسینی و همکاران (Ghaffarianhoseini et al., 2016) نشان می‌دهد فضاهای نیمه‌باز مانند تراس‌ها و بالکن‌ها، در صورتی که در تعامل با جریان باد غالب طراحی شوند می‌توانند نقش مکملی برای سامانه‌های تهویه طبیعی ایفا کنند. همچنین در پژوهش حیدری و همکاران (Heidari et al., 2025)، ویژگی‌های مختلف بالکن از جمله عمق آن در ساختمان‌های مستقر در مجاورت یک دره شهری بررسی شد و تأثیر آن بر نحوه انتشار آلاینده‌ها و نیز کیفیت تهویه در فضای باز دره سنجش شد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد افزایش عمق بالکن باعث کاهش انتشار آلاینده‌ها و افزایش نرخ تعویض هوا در ساعت (ACH) در فضای دره می‌شود.

در اغلب این مطالعات، عملکرد بادگیر و ساباط به‌صورت مجزا بررسی شده است و کمتر پژوهشی به تحلیل برهم‌کنش هم‌زمان این عناصر در بهبود تهویه طبیعی پرداخته است. این پژوهش، با تمرکز بر خانه‌های سنتی بندر کنگ و با طراحی سه سناریو (ساباط، بادگیر و ترکیب آن‌ها) در قالب شبیه‌سازی CFD می‌کوشد تأثیر هم‌زمان این دو عنصر بر عملکرد تهویه طبیعی را با رویکردی عددی و دقیق تحلیل کند و از این طریق خلأ موجود در ادبیات را پوشش دهد.

## روش تحقیق

همان‌گونه که گفته شد، هدف اصلی این پژوهش، تحلیل تأثیر استفاده هم‌زمان بادگیر و ساباط در بهبود تهویه طبیعی در خانه‌های سنتی شهرستان کنگ واقع در استان هرمزگان است. برای این منظور از شبیه‌سازی رایانه‌ای با استفاده از نرم‌افزار Autodesk CFD 2018 استفاده شد. فرایند کار به این صورت انجام شد که ابتدا یک خانه با الگوی سنتی که واجد عناصر مدنظر (ساباط و بادگیر) باشد، به‌عنوان الگوی اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. هدف از این کار، استفاده از تناسب فضایی آن خانه به‌منظور استخراج ابعاد هندسی نمونه‌های موردی پژوهش و نیز استفاده از آن به‌منظور انجام مطالعات اعتبارسنجی نرم‌افزار استفاده‌شده در این پژوهش است. برای این منظور، خانه یونسی واقع

آبان، آذر و دی ماه ۱۴۰۳ با استفاده از دستگاه سرعت سنج آنومتر هات‌وایر هوشمند تستو مدل ۴۰۵i انجام شد. این دستگاه مجهز به سیستم حسگر حرارتی است که ضمن امکان ثبت سرعت‌های پایین هوا، امکان اتصال به رایانه جهت ثبت اطلاعات برداشت‌شده را دارد. مراجعات روزانه در چهار نوبت صبح، ظهر، عصر و شب انجام و در نهایت با میانگین‌گیری سرعت‌های به‌دست‌آمده در بازه‌های مذکور، میانگین سرعت روزانه استخراج شد. در این ارتباط از داده‌های اقلیمی ایستگاه هواشناسی بندر کنگ شامل میانگین سرعت ماهیانه باد و گلبادهای ویژه این شهر به‌منظور استخراج جهت باد غالب در این شهر نیز استفاده شد که برای این منظور از نرم‌افزار کلاسیک کانسولتانت نسخه شش استفاده شد (تصویر ۴).

پس از شبیه‌سازی خانه مذکور در محیط CFD و اعمال داده‌های اقلیمی شهرستان به نرم‌افزار در روزهای برداشت میدانی، نتایج استخراج و با نتایج برداشت‌های میدانی در ارتباط با دو فضای اتاق بادگیر و میان‌سرا مقایسه شد که نتایج آن در تصاویر ۵ و ۶ ارائه شده است. همان‌گونه که از تصاویر ۵ و ۶ پیداست، انطباق نسبتاً خوبی میان داده‌های شبیه‌سازی و نتایج تجربی در هر دو فضای اتاق بادگیر و میان‌سرا قابل مشاهده است به‌نحوی که خطای هشت درصدی در ارتباط با نتایج اتاق بادگیر و خطای شش درصدی در ارتباط با نتایج میان‌سرا مشاهده شده است. این موضوع حاکی از اعتبار بالای نتایج شبیه‌سازی رایانه‌ای در این پژوهش است.

#### • معرفی نمونه‌های موردی پژوهش

همان‌گونه که از عنوان و اهداف پژوهش مشخص است، متغیرهای مستقل، دو عنصر ساباط و بادگیر هستند که به‌عنوان عناصر هویت‌ساز در معماری سنتی بندر کنگ شناخته می‌شوند. اگرچه ویژگی‌های فضایی مختلفی در ارتباط با این عناصر قابل ذکر هستند اما در این پژوهش، ویژگی عمق در ارتباط با عنصر ساباط و تعداد بازو در ارتباط با عنصر بادگیر بررسی می‌شود. بر همین اساس نمونه‌های موردی در دو سناریوی اول، در ارتباط با دو متغیر عمق ساباط و تعداد بازوهای بادگیر تعیین می‌شوند.

پیش از پرداختن به نمونه‌های موردی، ابتدا ضروری است یک بنا با فرمی فاقد هرگونه ساباط و بادگیر، به‌عنوان نمونه مرجع در نظر گرفته شود تا بدین وسیله امکان مقایسه نتایج سایر نمونه‌ها با آن به‌منظور تحلیل میزان تأثیرگذاری عناصر بررسی‌شده فراهم شود. برای این منظور یک بنای حیاط‌مرکزی با چهار اتاق پیرامون آن که هر اتاق مجهز به یک در و دو پنجره رو به میان‌سرا

#### • اعتبارسنجی نرم‌افزار

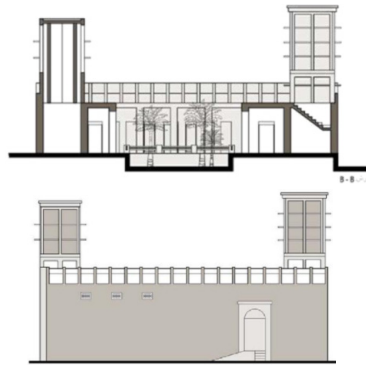
با توجه به اینکه در این پژوهش به‌منظور تحلیل تهویه طبیعی از روش دینامیک سیالات محاسباتی استفاده می‌شود لذا اعتبارسنجی نرم‌افزار شبیه‌ساز، امری ضروری است. در مطالعاتی از این دست به‌منظور اعتبارسنجی نرم‌افزار از دو روش تحلیل عددی<sup>۱</sup> و یا تحلیل تجربی<sup>۲</sup> استفاده می‌شود (Zomorodian & Tahsildoost, 2016). در روش تحلیل عددی، یک پژوهش آزمایشگاهی مرتبط با موضوع که پیش‌تر توسط دیگر محققین انجام شده است، مجدد شبیه‌سازی شده و نتایج آن با نتایج مطالعه تجربی اشاره‌شده، مقایسه می‌شود. این در حالی است که در روش تجربی، محقق خود به برداشت داده‌های کمی مرتبط با متغیرهای پژوهش از یک مدل واقعی و یا آزمایشگاهی می‌پردازد، سپس با شبیه‌سازی مدل مربوطه در نرم‌افزار و مقایسه داده‌های به‌دست‌آمده با نتایج برداشت‌شده، به اعتبارسنجی نرم‌افزار مربوطه می‌پردازد. با این توضیح، این پژوهش از روش دوم (روش تجربی) جهت اعتبارسنجی نرم‌افزار CFD استفاده می‌کند. برای این منظور ابتدا یک خانه با الگوی سنتی که عناصر بررسی‌شده در این پژوهش (بادگیر و ساباط) را داشته باشد، انتخاب شد. در مرحله بعد و پس از بررسی داده‌های هواشناسی شهرستان در بازه برداشت‌های میدانی، مقادیر سرعت هوا در اتاق‌های زیر بادگیر و نیز در فضای میانی حیاط استخراج و ثبت شد. در نهایت خانه مدنظر در محیط نرم‌افزار CFD شبیه‌سازی و نتایج آن با داده‌های برداشت‌شده در بخش میدانی مقایسه شد.

خانه انتخابی جهت انجام مطالعه اعتبارسنجی، خانه یونسی واقع در شهرستان کنگ است. این خانه یکی از بهترین نمونه‌های الگوی خانه در بندر کنگ است. تناسب فضای باز، نیمه‌باز و بسته در این خانه به‌گونه‌ای است که در نامناسب‌ترین شرایط آب‌وهوایی، آسایش محیطی در داخل این بنا برقرار است. این بنا دارای یک ورودی شاخص است که خود را با چند پله از سطح معبر جدا می‌کند و فضای داخلی آن فضایی دلنشین است که مستقیماً با میان‌سرا در ارتباط است. ساباط‌های این خانه در پیرامون میان‌سرا واقع شده‌اند که حد فاصل فضای باز و بسته را تعریف می‌کند و ارتباط با بام به واسطه راه‌پله‌ای در داخل فضای بسته شکل می‌گیرد. در فضای میان‌سرا به‌واسطه وجود مسنی، ارتفاع دیوارهای حیاط‌مرکزی افزایش یافته که این امر سبب سایه‌اندازی بهتر درختان شده است (تصاویر ۲ و ۳).

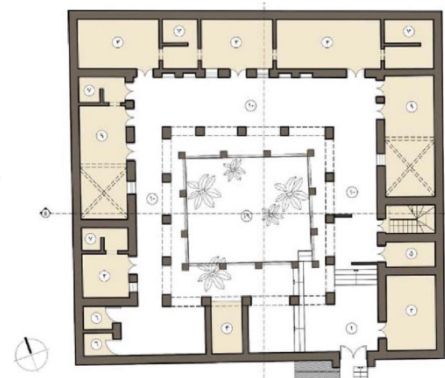
گردآوری داده‌های مربوط به سرعت هوا به‌صورت روزانه و در یک دوره ۱۵ روزه به‌صورت غیرمتوالی در بازه ماه‌های



(پ)

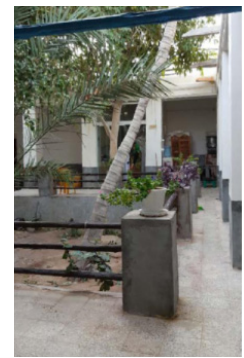


(ب)



(الف)

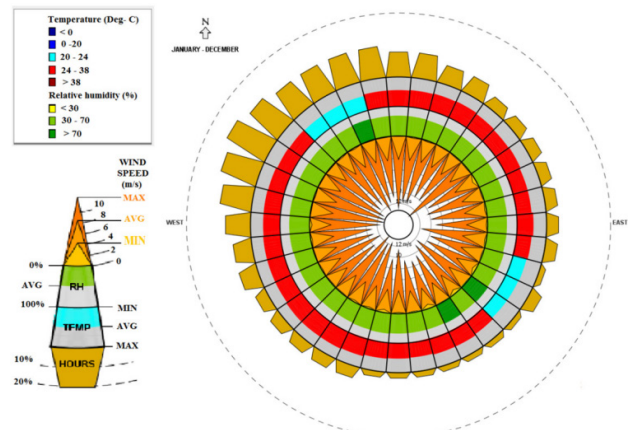
تصویر ۲. خانه یونسی واقع در بندر کنگ، (الف) پلان، (ب) برش و نما، (پ) پرسپکتیو کلی، (ت) سایر عناصر معماری. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۳. سایر عناصر معماری خانه یونسی واقع در بندر کنگ. مأخذ: آرشینو نگارندگان.

در تعیین نمونه‌های مرتبط با سناریوی اول که در ارتباط با عمق ساباط است، چهار ساباط با عمق‌هایی شامل یک متر، ۱/۵ متر، دو متر و ۲/۵ متر به ساختمان مرجع اضافه شد. ساباط‌های اضافه‌شده به صورت چهارطرفه به پیرامون حیاط مرکزی الحاق شدند. بر این اساس نمونه‌های مرتبط با این سناریو از نمونه ۰۱ تا نمونه ۰۴ نام‌گذاری شدند. در خصوص نمونه‌های مرتبط با سناریوی دوم که مربوط به تعداد بازشوهای بادگیر هستند، چهار گونه بادگیر شامل بادگیر یک‌طرفه، دو طرفه، سه طرفه و چهار طرفه بر فراز چهار اتاق مستقر در جبهه‌های مختلف حیاط در نظر گرفته شد. سطح مقطع، ارتفاع و مساحت بازشوی بادگیرها در تمام نمونه‌های موردی ثابت و از الگوهای رایج بادگیر در خانه‌های سنتی بندر کنگ برگرفته شدند. بدین ترتیب سطح مقطع چهار مترمربع، ارتفاع چهار متر و مساحت بازشوی چهار مترمربعی برای تمام بادگیرهای بررسی شده در این پژوهش در نظر گرفته شد. نمونه‌های مرتبط با این سناریو از نمونه ۰۵ تا نمونه ۰۸ نام‌گذاری شدند. تصویر ۸ نمای سه بعدی از نمونه‌های موردی مربوط به دو سناریوی اول و دوم پژوهش را نمایش می‌دهد.

(جمعاً به مساحت ۴/۵ مترمربع) است، به عنوان نمونه مرجع در نظر گرفته شد. تناسب هندسی این بنا از تناسب هندسی خانه یونسی که به عنوان نمونه اعتبارسنجی استفاده شد، احصا شده است و همین فرم به عنوان پایه شکل‌دهنده سایر نمونه‌های موردی نیز استفاده شده است (تصویر ۷).



تصویر ۴. متوسط سرعت و جهت بادهای محلی در بندر کنگ با استفاده از نرم افزار کلایمت کانسانلت. مأخذ: نگارندگان.

### • تنظیمات CFD

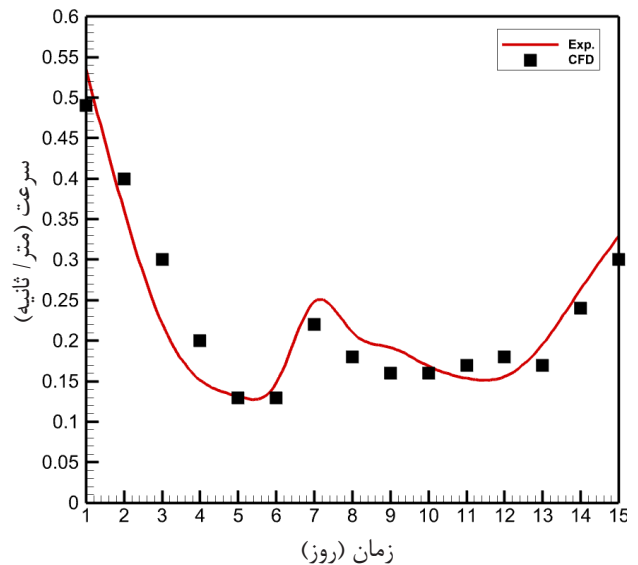
در مطالعات مبتنی بر شبیه‌سازی CFD، معرفی تنظیمات مرتبط با پارامترهایی چون دامنه محاسباتی، شرایط مرزی و شبکه مش امری ضروری است. در تعیین دامنه محاسباتی جهت تحلیل نمونه‌های موردی در این پژوهش، از دستورالعمل‌های فرانک و همکاران و تومینگا و همکاران (Franke et al., 2011; Tominaga et al., 2008) استفاده شده است. براساس این دستورالعمل ابعاد دامنه از بالادست و پایین‌دست<sup>۳</sup> به ترتیب معادل  $10H$  و  $20H$  و از طرفین  $10H$  در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اینکه ارتفاع بنا ( $H$ ) در نمونه‌های دارای بادگیر، هشت متر است لذا ابعاد دامنه محاسباتی در این پژوهش معادل  $L \times W \times H = 48 \times 255 \times 385$  m<sup>۳</sup> در نظر گرفته شده است (تصویر ۹). همچنین در ساخت شبکه محاسباتی<sup>۴</sup> از یک شبکه مش با تعداد  $1230 \times 150$  سلول استفاده شد. به منظور افزایش همگرایی و نیز کاهش خطاهای برشی، در ساخت شبکه مش در این پژوهش از سلول‌هایی به شکل شش‌وجهی استفاده شده است (تصویر ۱۰).

در این پژوهش در مدل‌سازی نمونه‌ها از ویژگی‌های لایه مرزی جو (ABL) با شرایط خنثی استفاده شده است (Richards, 1989; Harris, 1981). سرعت هوا در ورودی دامنه، معادل  $2/7$  متر بر ثانیه مطابق با میانگین ده ساله سرعت باد در بندر کنگ در ماه‌های آبان، آذر و دی در نظر گرفته شد. همچنین فشار استاتیکی صفر نیز در خروجی دامنه در نظر گرفته شد.

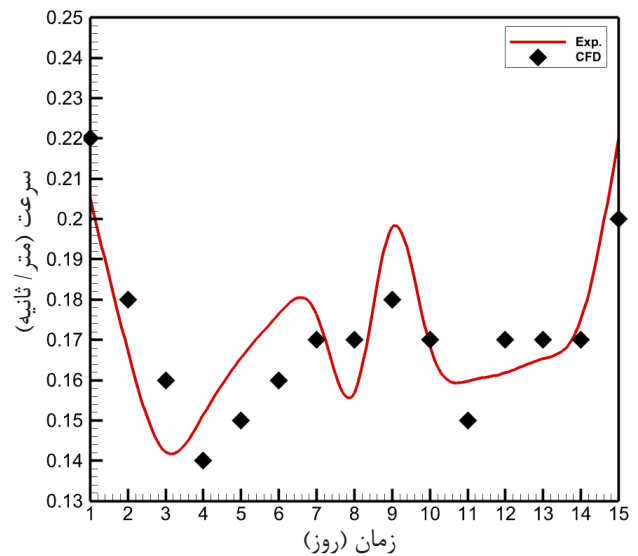
در این پژوهش از معادلات سه‌بعدی ثابت RANS در ترکیب با مدل آشفتگی SST  $k-\omega$  جهت حل معادلات استفاده شده است. طرز حل در حالت پایدار قرار دارد و جریان شبیه‌سازی شده تراکم‌ناپذیر استاز الگوریتم SIMPLE نیز برای جفت‌شدگی (coupling) فشار- سرعت و از طرح‌های گسسته‌سازی انتقال پنج (پتروف-گالرکین اصلاح شده) برای معادلات RANS استفاده شده است. مقادیر متوسط خارج شده باقی‌مانده برای میدان سرعت  $u$ ،  $10^{-5}$  متر بر ثانیه، برای میدان سرعت  $v$ ،  $10^{-6}$  متر بر ثانیه، و برای فشار برابر با  $10^{-11}$  پاسکال است.

### یافته‌ها

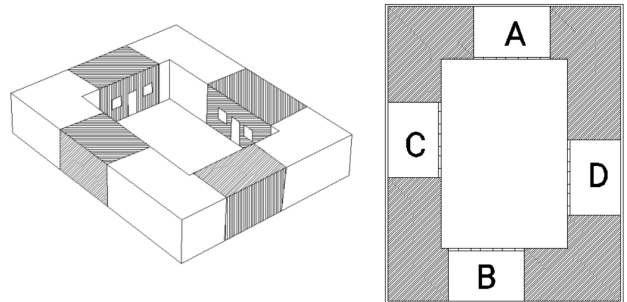
همان‌گونه که گفته شد، هدف اصلی در این پژوهش، بررسی تأثیر استفاده هم‌زمان از دو عنصر بادگیر و ساباط در بهبود تهویه طبیعی در خانه‌های سنتی بندر کنگ است. برای این منظور نمونه‌های موردی براساس سه سناریو انتخاب شدند که در سناریوی نخست، تأثیر عمق



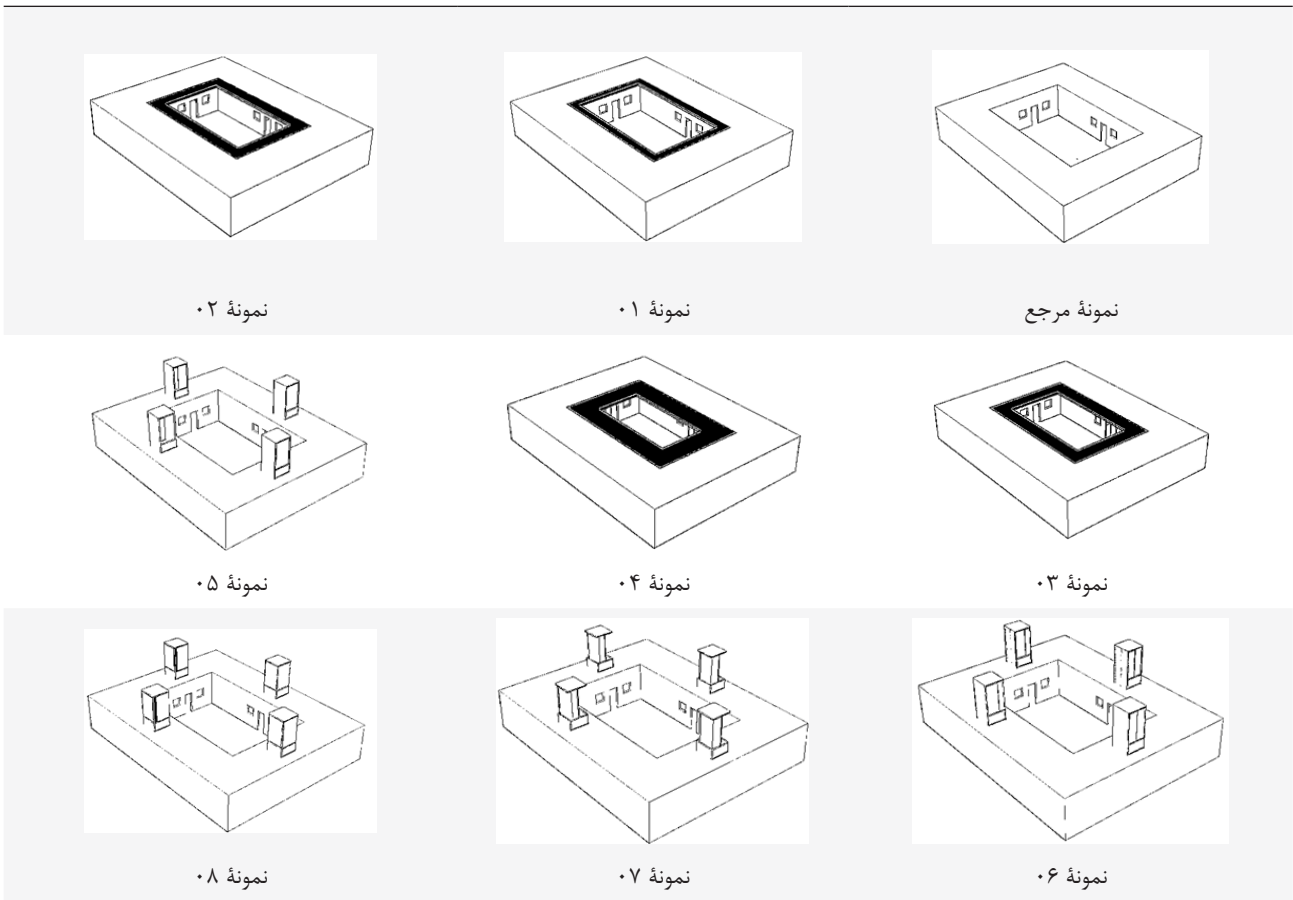
تصویر ۵. مقایسه نتایج شبیه‌سازی CFD و برداشت‌های میدانی از سرعت هوا در محدوده حیاط خانه یونسی واقع در بندر کنگ. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۶. مقایسه نتایج شبیه‌سازی CFD و برداشت‌های میدانی از سرعت هوا در محدوده اتاق بادگیر در خانه یونسی واقع در بندر کنگ. مأخذ: نگارندگان.



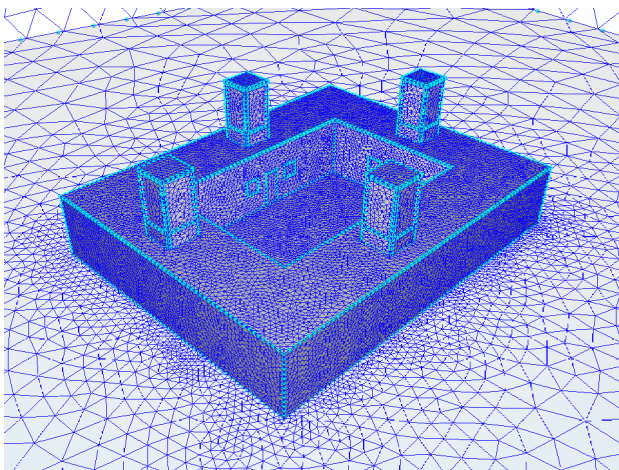
تصویر ۷. پلان و پرسپکتیو نمونه مرجع. مأخذ: نگارندگان.



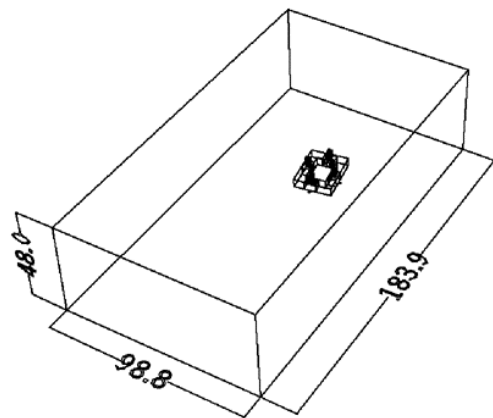
تصویر ۸. تصاویر سه‌بعدی از نمونه‌های موردی پژوهش. مأخذ: نگارندگان.

در سناریوی سوم بر پایه بهترین نتایج به دست آمده از سناریوهای اول و دوم انتخاب شده است، بنابراین تحلیل نتایج مربوط به آن در بخش بحث بررسی می‌شوند. از همین رو در بخش تحلیل یافته‌ها، صرفاً تمرکز بر تبیین و تحلیل نتایج عددی شبیه‌سازی نمونه‌های موردی در دو سناریوی نخست است.

سباب، در سناریوی دوم تأثیر تعداد بازشوهای بادگیر و در سناریوی سوم، تأثیر همزمان استفاده از سباب و بادگیر در عملکرد تهویه فضاهای مستقر در پیرامون حیاط مرکزی سنجش شدند. شاخص‌های بررسی شده به منظور تحلیل عملکرد تهویه در این پژوهش شامل سرعت هوا، سن هوا و بازدهی تهویه بودند. با توجه به این که نمونه بررسی شده



تصویر ۱۰. نمونه شبکه مش در شبیه‌سازی CFD نمونه‌های موردی. مأخذ: نگارندگان.



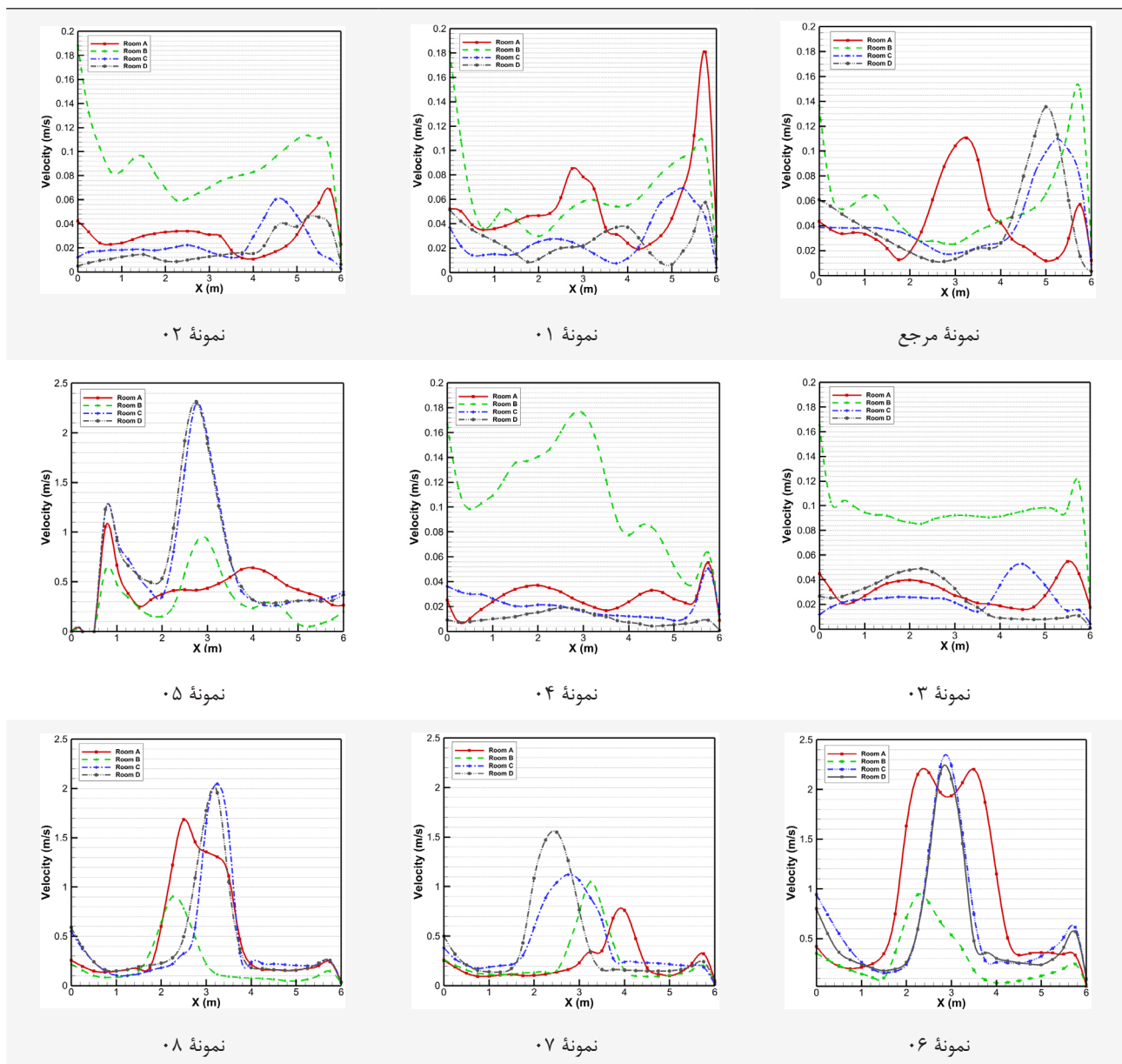
تصویر ۹. ابعاد دامنه محاسباتی در شبیه‌سازی نمونه‌های موردی. مأخذ: نگارندگان.

می‌دهد. لازم به ذکر است کلیه نمودارهای عددی و کانتورهای ارائه‌شده از ارتفاع ۱/۷ متری از سطح زمین استخراج شده‌اند.

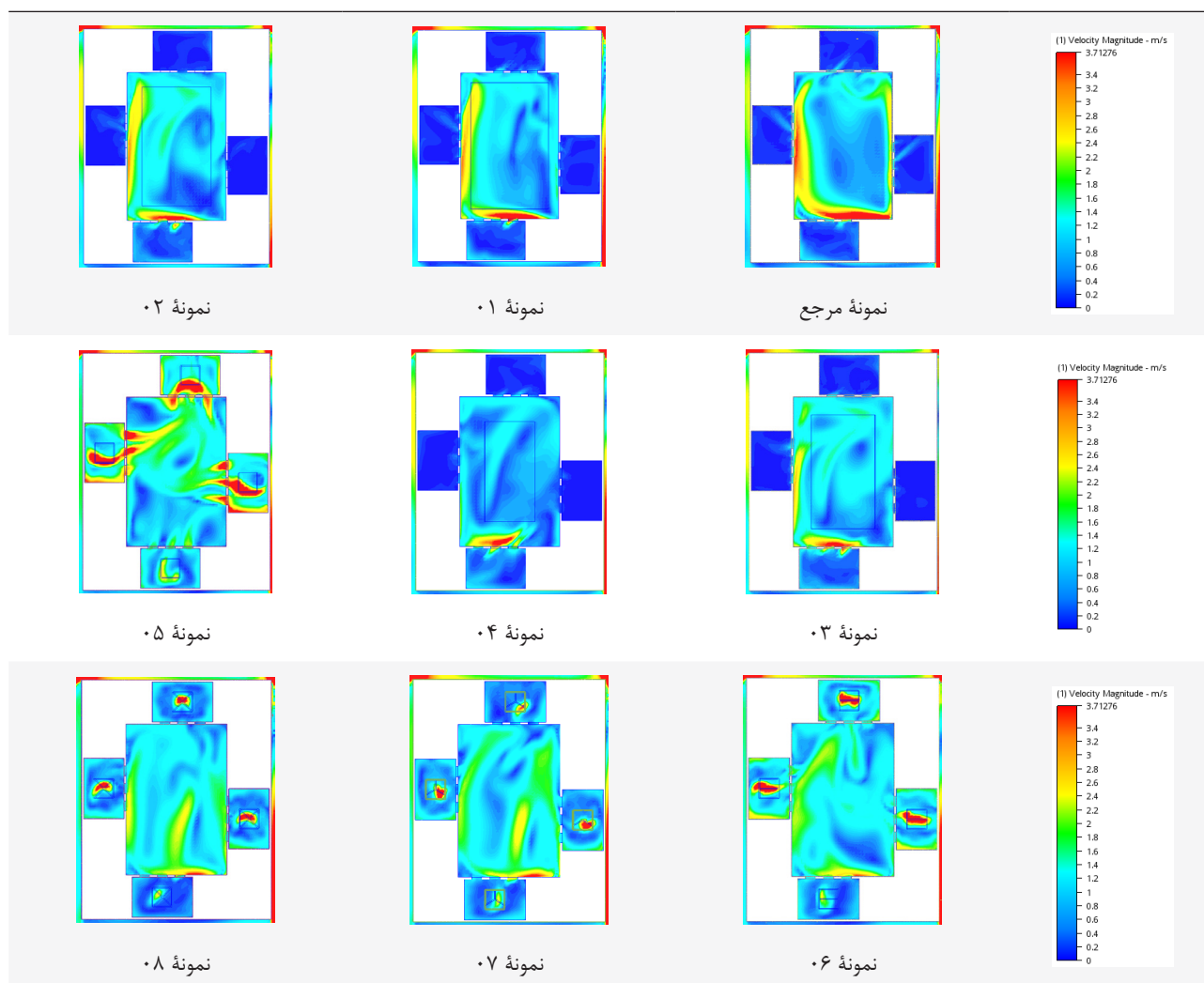
بررسی داده‌های مربوط به نمونه‌های نمونه ۰۱ تا نمونه ۰۴ که تفاوت آن‌ها در عمق ساباط است، نشان می‌دهد با افزایش عمق ساباط، میانگین سرعت هوا در تمامی اتاق‌های چهارگانه افزایش یافته است. این روند در اتاق B، که در جبهه روبه باد قرار دارد، به مراتب محسوس‌تر بوده و دلیل آن را می‌توان در نقش ساباط به‌عنوان یک فضای نیمه‌باز در هدایت جریان باد ورودی

### • تحلیل شاخص سرعت هوا

سرعت هوا یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در ارزیابی کیفیت تهویه طبیعی است و بیان‌گر میزان جابه‌جایی هوا در یک فضای واحد زمان است. افزایش این شاخص به‌طور معمول با بهبود حس آسایش حرارتی و افزایش کارایی تهویه همراه است (Allard & Ghiaus, 2012). تصویر ۱۱ نمودار عددی مربوط به تغییرات سرعت هوا در امتداد محور طولی هرکدام از اتاق‌های موجود در نمونه‌های موردی را نشان می‌دهد. همچنین تصویر ۱۲ کانتورهای گرافیکی از تغییرات سرعت هوا را در این فضاها نمایش



تصویر ۱۱. تغییرات سرعت در امتداد محور طولی اتاق‌های مستقر در هرکدام از نمونه‌های موردی. مأخذ: نگارندگان.



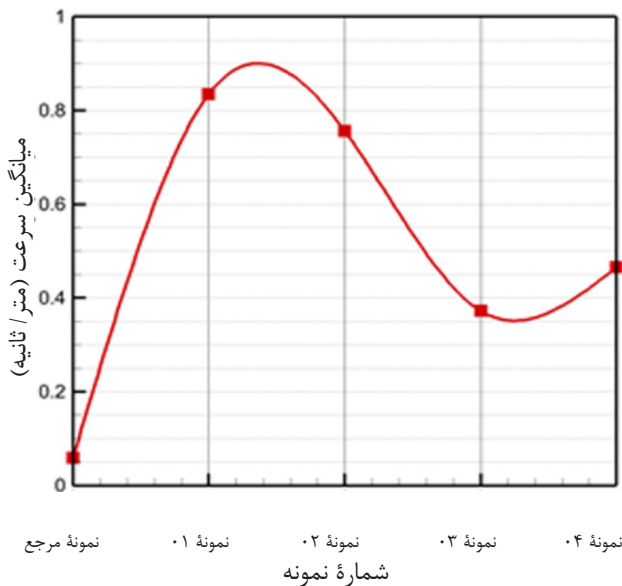
تصویر ۱۲. کانتور نمایش سرعت هوا در اتاق‌ها و حیاط مرکزی مربوط به نمونه‌های موردی. مأخذ: نگارندگان.

است. در این میان، بیش‌ترین سرعت مربوط به نمونه ۰۵ (بادگیر یک‌طرفه) با مقدار  $0.83$  متر بر ثانیه و کم‌ترین آن در نمونه ۰۷ (بادگیر سه‌طرفه) با  $0.37$  متر بر ثانیه ثبت شده است (تصویر ۱۴). به نظر می‌رسد با افزایش تعداد بازشوها، فشار منفی ناشی از اختلاف فشار در مسیر جریان کاهش یافته و جریان هوا به صورت یکنواخت‌تر توزیع می‌شود که در عین کاهش تمرکز جریان، منجر به کاهش سرعت آن نیز شده است. این نتایج مطابق یافته‌های مشابه در زمینه طراحی بادگیرها است که نشان می‌دهند تمرکز جریان در بادگیرهای یک‌طرفه، جریان سریع‌تری ایجاد می‌کند اما بادگیرهای چندطرفه جریان را گسترده‌تر و ملایم‌تر می‌سازند (Givoni, 1994).

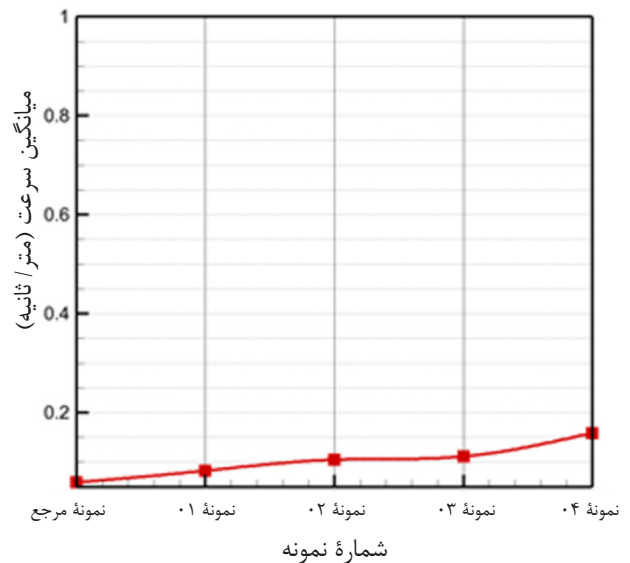
#### • تحلیل شاخص سن هوا

سن هوا یا مدت زمان ماندگاری هوا در یک فضا، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی برای ارزیابی اثربخشی

به داخل اتاق جست‌وجو کرد (تصویر ۱۱). به نظر می‌رسد افزایش عمق ساباط موجب ایجاد اختلاف فشار و کاهش مقاومت در مسیر جریان باد شده و در نتیجه، جریان هوا با سرعت بیشتری وارد فضای داخلی می‌شود. این موضوع به خوبی در مقایسه میانگین کلی سرعت هوا در چهار اتاق نمونه‌ها مشاهده می‌شود؛ به گونه‌ای که نمونه ۰۴ با میانگین  $0.23$  متر بر ثانیه بیش‌ترین و نمونه ۰۱ با  $0.12$  متر بر ثانیه، کم‌ترین سرعت هوا را دارد (تصویر ۱۳). در نمونه‌های نمونه ۰۵ تا نمونه ۰۸ که به تحلیل تأثیر بادگیر با تعداد بازشوهای مختلف اختصاص دارند، مشاهدات نشان می‌دهد در تمامی نمونه‌ها، ناحیه زیر بادگیر، به ویژه در اتاق‌های C و D (واقع در طرفین حیاط مرکزی)، با افزایش قابل توجه سرعت هوا مواجه شده است. این موضوع ناشی از مکانیسم تقویت‌کننده جریان در بادگیر و هدایت مستقیم هوا به فضای زیر آن



تصویر ۱۴. تغییرات میانگین کلی سرعت هوا در اتاق‌های موجود در نمونه‌های با بادگیر در مقایسه با نمونه مرجع. مأخذ: نگارندگان.



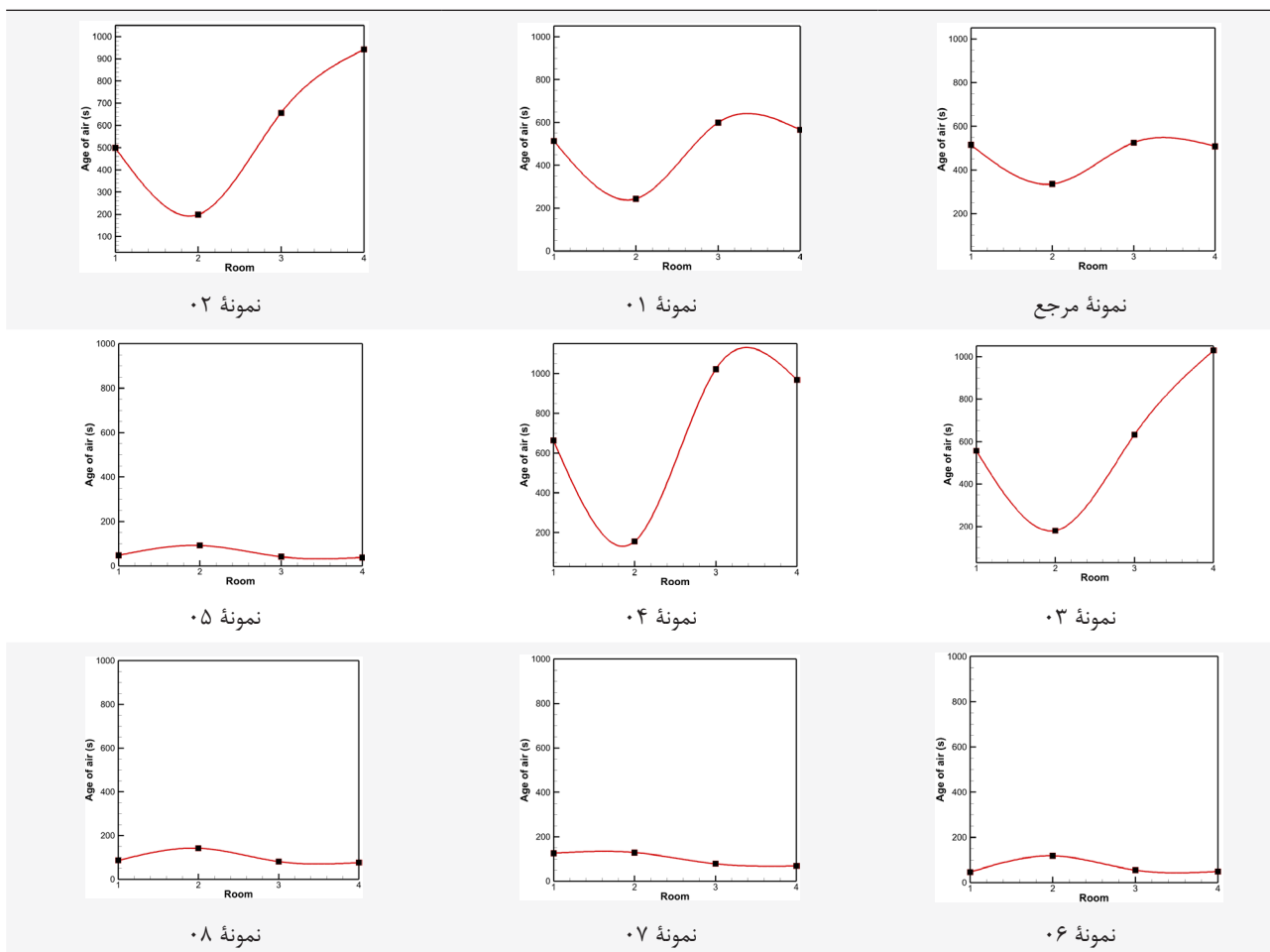
تصویر ۱۳. تغییرات میانگین کلی سرعت هوا در اتاق‌های موجود در نمونه‌های با سباباط در مقایسه با نمونه مرجع. مأخذ: نگارندگان.

حاکمی از آن است که اتاق B در نمونه ۰۸ با ۱۴۲ ثانیه، بیش‌ترین میزان ماندگاری هوا و اتاق D در نمونه ۰۵ با ۳۸ ثانیه، کم‌ترین میزان ماندگاری هوا در میان نمونه‌های موردی دارند.

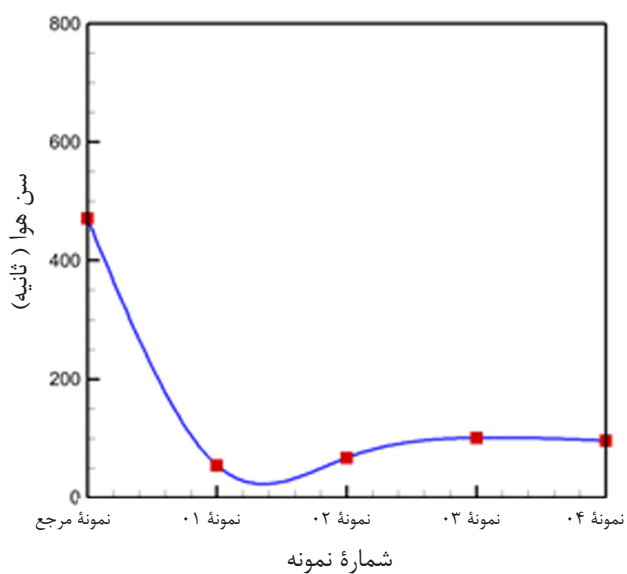
تصاویر ۱۶ و ۱۷ به ترتیب مقادیر میانگین‌های کلی سن هوا در چهار اتاق موجود در نمونه ۰۱ تا نمونه ۰۴ و در نمونه ۰۵ تا نمونه ۰۸ را در مقایسه نمونه مرجع نشان می‌دهد. داده‌های مربوط به این نمودارها حاکی از آن است که از نمونه ۰۱ تا نمونه ۰۴ که با افزایش عمق سباباط همراه است، میانگین کلی سن هوا روندی افزایش داشته است؛ به نحوی که میانگین کلی سن هوا در اتاق‌های موجود در نمونه ۰۱ با مقدار ۴۸۱ ثانیه، کم‌ترین و در نمونه ۰۴ با مقدار ۷۰۳ ثانیه، بیش‌ترین مقدار بوده است. با این توضیح می‌توان چنین برداشت کرد که با افزایش عمق سباباط در نمونه‌های موردی، میانگین کلی سن هوا در نمونه‌های موردی نیز با افزایش همراه بوده است. در مقابل با بررسی میانگین کلی سن هوا در نمونه ۰۵ تا نمونه ۰۸، مشاهده می‌شود نمونه ۰۵ با مقدار ۵۴ ثانیه، دارای کم‌ترین میانگین کلی سن هوا و نمونه ۰۷ با مقدار ۱۰۱ ثانیه، بیش‌ترین میانگین زمان ماندگاری هوا را دارد. این نتایج به خوبی نشان می‌دهد جانمایی عناصر تهویه در نسبت با فضاهای پیرامون، تأثیر زیادی بر کیفیت تهویه هر اتاق دارد. از سوی دیگر، افزایش عمق سباباط در سناریوی اول باعث افزایش میانگین کلی سن هوا (از ۴۸۱ به ۷۰۳ ثانیه) شده است که نشان می‌دهد علی‌رغم

تهویه طبیعی است. سن کمتر هوا نشان‌دهنده گردش بهتر هوا و ورود سریع‌تر هوای تازه است، درحالی که سن بالاتر، بیان‌گر راکد بودن فضا و تهویه نامطلوب است (Etheridge & Sandberg, 1996). در تصویر ۱۵، تغییرات میانگین سن هوا به تفکیک هر کدام از اتاق‌های موجود در نمونه‌های موردی پژوهش نشان داده شده است.

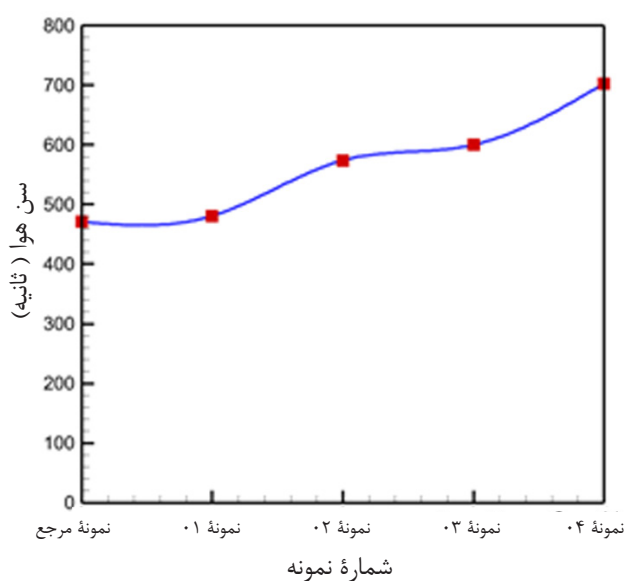
با توجه به داده‌های تصویر ۱۵ مشاهده می‌شود در سناریوی اول (نمونه ۰۱ تا نمونه ۰۴)، اتاق B (مستقر در جبهه روبه باد) دارای کم‌ترین میانگین سن هوا نسبت به سایر اتاق‌های موجود در بنا است. این به این معنی است که مدت زمان ماندگاری هوا در این اتاق کمتر از سایر اتاق‌ها است. همچنین بررسی داده‌های کمی سن هوا در این اتاق نشان می‌دهد میانگین سن هوای این اتاق در نمونه ۰۴ با مقدار ۱۵۶ ثانیه، کم‌ترین و در نمونه ۰۱ با میانگین ۲۴۴ ثانیه، بیش‌ترین مقدار را در میان چهار نمونه بررسی شده دارد. در ارتباط با مقادیر سن هوا در نمونه ۰۵ تا نمونه ۰۸، داده‌های به دست آمده حاکی از آن است که برعکس چهار نمونه اول، اتاق B بیش‌ترین میانگین سن هوا را نسبت به سایر اتاق‌های موجود در هر کدام از این نمونه‌ها دارد. به بیانی دیگر، با اضافه شدن بادگیر به بناهای بررسی شده، مدت زمان ماندگاری هوا را در اتاق‌های B موجود در هر بنا با افزایش مواجه شده است؛ این در حالی است که اتاق‌های D در این بناها با کاهش محسوس سن هوا نسبت به سایر اتاق‌ها مواجه شده است. داده‌های کمی مربوط به این چهار نمونه



تصویر ۱۵. تغییرات سن هوا در اتاق‌های چهارگانه مربوط به هر کدام از نمونه‌های موردی (شماره ۱ معادل اتاق A؛ شماره ۲ معادل اتاق B؛ شماره ۳ معادل اتاق C و شماره ۴ معادل اتاق D است). مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۱۷. تغییرات میانگین کلی سن هوا در اتاق‌های موجود در نمونه‌های با بادگیر در مقایسه با نمونه مرجع. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۱۶. تغییرات میانگین کلی سن هوا در اتاق‌های موجود در نمونه‌های با سباباط در مقایسه با نمونه مرجع. مأخذ: نگارندگان.

با جای گذاری مقادیر اشاره شده در فرمول های ۱ تا ۳، مقادیر راندمان تهویه به تفکیک هر اتاق در هر کدام از نمونه های موردی قابل استخراج است که نتایج آن در تصویر ۱۸ است. همچنین پس از میانگین گیری راندمان تهویه در هر چهار اتاق موجود در هر نمونه موردی، مقدار میانگین کلی راندمان تهویه برای هر کدام از نمونه های موردی نیز استخراج شد که نتایج آن نیز در تصویر ۱۹ است.

$$T_m = \frac{V}{Q} \quad \text{فرمول ۱}$$

$$T_m = \frac{V}{Q} \quad \text{فرمول ۲}$$

$$T_m = \frac{V}{Q} \quad \text{فرمول ۳}$$

بر اساس داده های حاصل از شبیه سازی، روند صعودی راندمان تهویه از نمونه ۰۱ تا نمونه ۰۸ بسیار واضح است. این روند را می توان به ارتقای تدریجی سازوکار تهویه از یک الگوی منفعل (ساباط تنها) به الگوی فعال تر و ترکیبی (ساباط + بادگیر) نسبت داد. در نمونه مرجع، یعنی الگوی پایه حیاط مرکزی بدون هیچ گونه عنصر کنترلی، راندمان تهویه تنها ۳۶ درصد بوده که نشان دهنده ناکارآمدی آن در اقلیم گرم و مرطوب است.

بهبود شرایط در اتاق روبه باد، تهویه کلی ساختمان با کندی بیشتری صورت گرفته است. این یافته ها با عملکرد کلاسیک بادگیرها که تهویه هدفمند در فضای خاصی را فراهم می کنند مطابقت دارد (Bansal et al., 1994).

#### • تحلیل شاخص راندمان تهویه

یکی از مهم ترین شاخص های تحلیل عملکرد تهویه در یک فضا، بررسی راندمان تهویه در آن فضا است. این کمیت از حاصل تقسیم حداقل زمان ممکن برای تغییر هوای درون فضا به مدت زمان واقعی تغییر هوای درون اتاق به دست می آید (Awbi, 2002). برای این منظور می توان از فرمول های ۱ تا ۳ استفاده کرد.

در فرمول های ۱ تا ۳،  $\varepsilon$  مقدار راندمان تهویه درون فضای مدنظر است که به صورت درصد بیان می شود؛  $T_m$  حداقل زمان ممکن برای تغییر هوای درون فضای مدنظر است و منظور از  $T_r$  مقدار زمان واقعی تغییر هوای درون آن فضا است. منظور از  $V$ ، حجم فضای مدنظر و منظور از  $Q$ ، مقدار دبی هوای ورودی و یا خروجی به فضای مدنظر است. با توجه به اینکه ابعاد تمام اتاق های موجود در هر کدام از نمونه های موردی با یکدیگر برابر است لذا مقدار  $V$  در تمام اتاق ها ثابت و معادل ۹۶ مترمکعب در نظر گرفته شده است. دبی هوای ورودی به اتاق ها نیز از نتایج شبیه سازی CFD قابل استخراج است که مقادیر آن برای هر کدام از نمونه های موردی به تفکیک اتاق ها مطابق جدول ۱ است.

جدول ۱. مقادیر دبی هوای ورودی و خروجی به هر کدام از اتاق های موجود در نمونه های موردی. مأخذ: نگارندگان.

نمونه ها	اتاق A	اتاق B	اتاق C	اتاق D
نمونه مرجع	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۳۸	۱/۰۳
نمونه ۰۱	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۴	۰/۵۸
نمونه ۰۲	۰/۴۶	۰/۴۷	۰/۳۴	۰/۴۲
نمونه ۰۳	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۱۹
نمونه ۰۴	۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۲۱
نمونه ۰۵	۱/۹۷	۰/۳۹	۰/۸۰	۰/۲۰
نمونه ۰۶	۰/۴	۰/۱۸	۰/۵۲	۰/۳۹
نمونه ۰۷	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۹
نمونه ۰۸	۰/۴۷	۰/۲۹	۰/۱۰	۰/۲۷

### بحث

در این پژوهش، به منظور تحلیل و ارزیابی نقش عناصر بادگیر و ساباط در بهبود تهویه طبیعی خانه‌های سنتی واقع در اقلیم گرم و مرطوب بندر کنگ، سه سناریوی اصلی طراحی و از طریق شبیه‌سازی عددی CFD بررسی شدند. این سه سناریو عبارت‌اند از:

- ۱) استفاده صرف از ساباط با عمق‌های مختلف در پیرامون حیاط مرکزی
- ۲) استفاده صرف از بادگیر با تعداد و جهت‌گیری متفاوت بازشوها
- ۳) استفاده هم‌زمان از ساباط و بادگیر در حالت بهینه هریک از عناصر

شبیه‌سازی‌ها با استفاده از روش CFD و بر مبنای مدل مرجع یک خانه حیاط مرکزی بدون بادگیر و ساباط (نمونه مرجع) انجام شد. هدف، ارزیابی عملکرد هر یک از سناریوها در ارتقای تهویه فضاهای داخلی اطراف حیاط مرکزی، براساس سه شاخص کلیدی سرعت جریان هوا، سن هوا (Air Age) و بازدهی تهویه (Ventilation Effectiveness) بود. نتایج حاصل به تفکیک هر سناریو به شرح زیر ارائه می‌شود:

سناریوی اول: استفاده صرف از ساباط

سرعت هوا: استفاده از ساباط در فضای پیرامونی حیاط مرکزی منجر به افزایش ۴۰ تا ۱۷۰ درصدی سرعت جریان هوا در مقایسه با حالت مرجع شد. نتایج نشان می‌دهد افزایش عمق ساباط، ارتباط مستقیمی با افزایش سرعت هوا در فضاهای داخلی دارد.

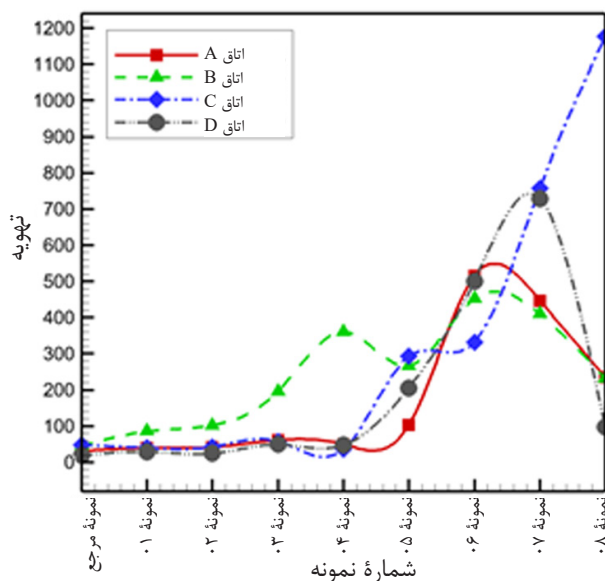
سن هوا: میانگین سن هوا در این سناریو بین دو تا ۴۹ درصد نسبت به نمونه مرجع افزایش یافته است. این موضوع می‌تواند ناشی از ایجاد جریان‌های چرخشی پایدارتر در اثر وجود سایه‌بان و ساختار نیمه‌باز ساباط باشد.

بازدهی تهویه: داده‌های به دست آمده نشان می‌دهند بازدهی تهویه با افزایش عمق ساباط افزایش می‌یابد. این افزایش در نتیجه بهبود جریان هوای افقی و کنترل حرارتی محیط پیرامونی حیاط مرکزی صورت گرفته است.

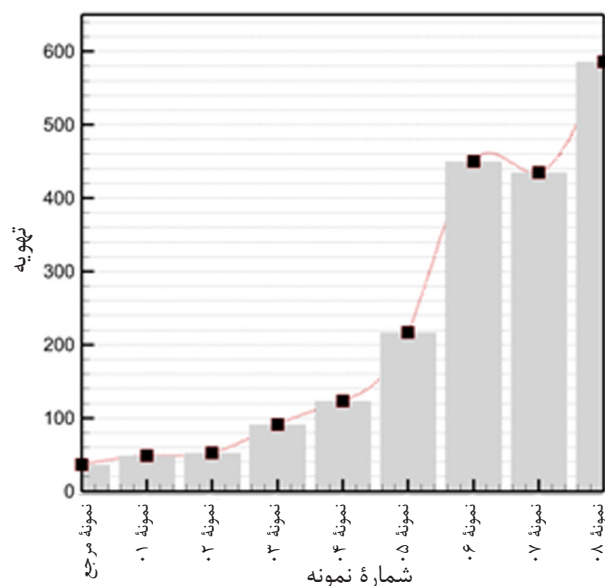
سناریوی دوم: استفاده صرف از بادگیر

سرعت هوا: داده‌ها بیانگر آن‌اند که استفاده از بادگیر باعث افزایش سرعت جریان هوا به میزان ۱۲ تا ۲۸ برابر نسبت به حالت مرجع شده است. بیش‌ترین سرعت هوا در شرایط استفاده از بادگیر یک‌طرفه مشاهده شد که موجب هدایت مستقیم جریان هوا به داخل فضا می‌شود.

سن هوا: این سناریو باعث کاهش چشم‌گیر سن هوا نسبت به سایر حالات شد. بادگیرهای چندوجهی، به‌ویژه بادگیر چهارطرفه، نقش مهمی در تسهیل تخلیه هوای کهنه و ارتقای کیفیت جریان ایفا کرده‌اند.



تصویر ۱۸. راندمان تهویه در نمونه‌های موردی به تفکیک اتاق. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۱۹. میانگین کلی راندمان تهویه در هر کدام از نمونه‌های موردی. مأخذ: نگارندگان.

افزایش عمق ساباط در نمونه ۰۱ تا نمونه ۰۴ باعث افزایش میزان نفوذ و گردش باد در اطراف حیاط شده و راندمان را به تدریج افزایش داده است. این روند در نمونه ۰۵ تا نمونه ۰۸ با ورود بادگیر وارد مرحله‌ای تازه شده و الگوی جریان هوا از یک‌طرفه به دوطرفه تغییر یافته است. این امر باعث افزایش شدید راندمان تهویه شده، به طوری که در نمونه ۰۸ مقدار ۵۸۶ درصد به‌عنوان بیش‌ترین راندمان به ثبت رسیده است. این نتیجه، تأکید روشنی بر نقش بادگیر در ایجاد مکش و فشار مثبت- منفی هم‌زمان و هدایت مؤثر جریان هوا دارد.

موجب ارتقای نسبی بازدهی تهویه شد، هرچند در برخی حالات منجر به افزایش سن هوا نیز گردید که نشان‌گر چرخش‌های هوای محبوس‌شده و کاهش نوسازی جریان است. این مسئله از منظر معماری می‌تواند به نقش سابات در ایجاد پایداری حرارتی و کنترل تابش خورشیدی نسبت داده شود.

در سناریوی دوم، بادگیر به‌ویژه در فرم چهارطرفه، با افزایش چشم‌گیر سرعت جریان و کاهش قابل توجه سن هوا، بالاترین میزان بازدهی تهویه را نسبت به سایر سناریوهای منفرد رقم زد. این عملکرد مؤثر را می‌توان نتیجه ساختار عمودی، بازشوهای چندجهته و مکانیسم مکش و رانش هوای تازه در فضای داخلی دانست؛ ویژگی‌هایی که در بافت سنتی بندر کنگ برای مقابله با رطوبت و گرمای اقلیم استفاده‌شده قرار گرفته‌اند.

در نهایت، سناریوی سوم که تلفیقی از سابات عمیق و بادگیر چهارطرفه (نمونه نهایی) بود، نشان داد ترکیب بهینه این دو عنصر سنتی، عملکرد تهویه را به شکل چشم‌گیری ارتقا می‌دهد. در این نمونه، سرعت هوا تا ۸/۸ برابر، سن هوا تا ۸۵ درصد و بازدهی تهویه تا ۳۴/۷ برابر نسبت به حالت مرجع بهبود یافت. این نتایج حاکی از یک اثر هم‌افزایی مثبت میان این دو عنصر در سطح عملکردی و کالبدی است.

از منظر معماری، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد هم‌افزایی عناصر اقلیم‌محور سنتی مانند سابات و بادگیر، نه تنها به تهویه مؤثر فضاهای داخلی کمک می‌کند بلکه از منظر فرم، سایه‌اندازی و کاهش تبادل حرارتی مستقیم با محیط، در بهینه‌سازی مصرف انرژی و ارتقای آسایش حرارتی نیز نقش کلیدی دارد. این رویکرد، الگویی کاربردی برای طراحی معماری پایدار در مناطق گرم و مرطوب فراهم می‌سازد.

در نتیجه، بازخوانی عناصر سنتی در طراحی معماری معاصر، با تکیه بر تحلیل‌های کمی و کیفی همچون CFD، می‌تواند راه‌گشای توسعه الگوهای سازگار با اقلیم و فرهنگ باشد. این پژوهش گامی است در مسیر احیای هوشمندانه دانش بومی با استفاده از ابزارهای نوین تحلیل که می‌تواند در بازتعریف سیاست‌های طراحی اقلیمی و بازسازی معماری پایدار در جنوب ایران، الهام‌بخش باشد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، تحلیل هم‌زمان شاخص‌های آسایش حرارتی مانند PMV و PPD، تأثیر موقعیت و جهت‌گیری بادگیر و سابات نسبت به باد غالب و تغییرات فصلی در کارایی تهویه نیز مدنظر قرار گیرد تا الگوی جامع‌تری از عملکرد این عناصر در دسترس قرار گیرد.

بازدهی تهویه: افزایش شش تا ۱۶ برابری در بازدهی تهویه نسبت به نمونه مرجع ثبت شد. در این میان، بادگیر چهارطرفه مؤثرترین عملکرد را نشان داد، زیرا امکان تهویه چندجهته و پایدار را فراهم می‌سازد.

سناریوی سوم: استفاده هم‌زمان از سابات و بادگیر آن‌چه در دو سناریوی پیشین بررسی شد، تأثیر ویژگی‌های مختلف دو عنصر سابات و بادگیر بر شاخص‌های مؤثر بر تهویه فضاهای داخلی به صورت مجزا بوده است. با این حال در معماری سنتی بندر کنگ، استفاده هم‌زمان از این دو عنصر معماری به وضوح قابل مشاهده است. بر همین اساس در این سناریو، تأثیر هم‌افزایی این دو عنصر در نمونه‌ای بهینه با عنوان نمونه نهایی بررسی شد. این نمونه شامل حیاط مرکزی با سابات به عمق ۲/۵ متر مطابق نمونه ۰۴ و بادگیر چهارطرفه بر فراز هر اتاق مطابق نمونه ۰۸ بود.

سرعت هوا: سرعت جریان هوا در نمونه نهایی به میزان ۸/۸ برابر بیشتر از نمونه نهایی، ۳/۲ برابر بیشتر از نمونه ۰۴ و ۱/۳ برابر بیشتر از نمونه ۰۸ بود. این یافته بیانگر اثر هم‌افزایی استفاده توأمان از بادگیر و سابات در افزایش تهویه طبیعی است.

سن هوا: مقدار سن هوا در این نمونه نسبت به نمونه مرجع، ۸۵ درصد کاهش، نسبت به نمونه ۰۴، ۱۳۴ درصد کاهش و نسبت به نمونه ۰۸، پنج درصد کاهش داشته است که نشان‌گر بهبود گردش و نوسازی هوا در فضاهای داخلی است.

بازدهی تهویه: در نهایت، بازدهی تهویه در نمونه نهایی با اختلاف چشم‌گیر، ۳۴/۷ برابر بیشتر از نمونه مرجع، ۱۰/۲ برابر بیشتر از نمونه ۰۴ و ۰/۵ برابر بیشتر از نمونه ۰۸ به ثبت رسیده است. این افزایش چشم‌گیر، بر نقش مؤثر ترکیب بهینه دو عنصر معماری در ارتقای عملکرد تهویه طبیعی تأکید دارد.

## نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف تحلیل نقش عناصر بادگیر و سابات در بهبود تهویه طبیعی خانه‌های سنتی بندر کنگ، از طریق سه سناریوی مجزا و ترکیبی و با بهره‌گیری از شبیه‌سازی CFD، به ارزیابی سه شاخص کلیدی سرعت جریان هوا، سن هوا و بازدهی تهویه پرداخت. یافته‌ها نشان می‌دهد هر یک از این عناصر به‌طور مستقل تأثیر معناداری بر ارتقای تهویه فضاهای پیرامون حیاط مرکزی دارند اما ترکیب هم‌زمان آن‌ها نتایجی به مراتب بهینه‌تر داشته است.

در سناریوی اول، سابات با افزایش سرعت و بهبود جریان هوای افقی در لایه‌های نزدیک به حیاط مرکزی،

پی‌نوشت‌ها

۱. Numerical study
۲. Experimental study
۳. Upstream and downstream
۴. Computational grid

فهرست منابع

- perspective. *Architectural Science Review*, 59(5), 338-357. <https://doi.org/10.1080/00038628.2015.1079164>
- Givoni, B. (1994). *Passive low energy cooling of buildings*. John Wiley & Sons.
  - Harris, R. I. (1981). The structure of strong winds. In *Proc. CIRIA Conf. on Wind engineering in the eighties. CIRIA*.
  - Heidari, A., Peyvastehtar, Y., Eskandari, H., & Mansourian, E. (2025). The effect of balcony configurations on ACH and pollutant concentration in symmetrical and asymmetrical street canyons. *Scientific Reports*, 15(1), 8894. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93736-5>
  - Kalantari, N. N. P., Singeri, M., & Jourshari, S. R. (2015). Investigation of the relationship between the climatic role of iwan and rate of energy consumption in traditional houses of Tabriz. *Procedia Engineering*, 118, 711-719. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.505>
  - Maleki, B. A. (2011). Wind catcher: passive and low energy cooling system in Iranian vernacular architecture. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE)*, 8, 130-137.
  - Moghaddam, E. H., Amandeldar, S., & Besharatizadeh, A. (2011). New approach to natural ventilation in public buildings inspired by Iranian's traditional windcatcher. *Procedia Engineering*, 21, 42-52. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.1985>
  - Moukalled, F., Verma, S., & Darwish, M. (2011). The use of CFD for predicting and optimizing the performance of air conditioning equipment. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(1-3), 549-563. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.09.015>
  - Peker, A. U. (1991). The monumental iwan: a symbolic space or a functional device?. *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11(1-2), 5-19. <https://hdl.handle.net/11511/51109>
  - Ranjbar, E., Pourjafar, M., & Khaliji, K. (2010). Innovations In climatic designing due to the wind flowing through the old Bushehr. *Bagh-e Nazar*, 7(13), 17-34.
  - Richards, P. J. (1989). Computational modelling of wind flow around low-rise buildings using PHOENICS. *Divisional Note, AFRC Institute of Engineering Research*.
  - Saadatian, O., Haw, L. C., Sopian, K., & Sulaiman, M. Y. (2012). Review of windcatcher technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1477-1495. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.037>
  - Sharifi, M., Sabernejad, J., & Ghodoosifar, H. (2022). Explaining the structure of windbreaks in creating natural ventilation in hot and humid climates; Case study: Pohl
  - نکوفر، کورس؛ ودودی، مهدی و سید شمس طالقانی، سید آر.ش. (۱۴۰۳). تأثیر برج بادگیر تک‌کاناله بر جریان هوا و سرمایه‌ش ساختمان. نشریه علمی تخصصی تبدیل انرژی، ۱۱(۳)، ۷۷-۵۹. <https://jreed.dezful.iau.ir/article-1-528-fa.html>
  - Allard, F., & Ghiaus, C. (Eds.). (2012). *Natural ventilation in the urban environment: assessment and design*. Routledge.
  - Awbi, H. B. (2002). *Ventilation of buildings*. Routledge.
  - A'zami, A., Yasrebi, S. H., & Salehipoor, A. (2005, May). Climatic responsive architecture in hot and dry regions of Iran. In *International conference "passive and low energy cooling for the built environment"*, Santorin, Greece.
  - Bansal, N. K., Hauser, G., & Minke, G. (1994). *Passive building design: a handbook of natural climatic control* (pp. 35-46). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier science BV.
  - Etheridge, D. W., & Sandberg, M. (1996). *Building ventilation: theory and measurement* (Vol. 50). Wiley.
  - Dehghani Mohamadabadi, H., Yazdanfar, S. A., Dehghan, A., & Aehghani Mohamadabadi, A. (2017). Numerical analysis of the performance of four-sided wind tower attached to parlor and courtyard in different wind incident angles. *Modares Mechanical Engineering*, 16(12), 125-134. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.10275940.1395.16.12.43.8>
  - Franke, J., Hellsten, A., Schlunzen, K. H., & Carissimo, B. (2011). The COST 732 Best Practice Guideline for CFD simulation of flows in the urban environment: a summary. *International Journal of Environment and Pollution*, 44(1-4), 419-427. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2011.038443>
  - Ghahraman Izadi, N., Taghipour, M., Eskandari, H., & Movahed, K. (2023). The role of the effective parameters of Taremeh in improving natural ventilation in the courtyard houses of Bushehr in the historical context. *Bagh-e Nazar*, 20(125), 23-42. <https://doi.org/10.22034/bagh.2023.385984.5336>
  - Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., Al Waer, H., Chang, S., Halawa, E., Ghaffarianhoseini, A., & Clements-Croome, D. (2016). What is an intelligent building? Analysis of recent interpretations from an international

port-Hormozgan province. *Journal of Housing and Rural Environment*, 41(180), 31-42. <http://dx.doi.org/DOI:%2010.22034/41.180.31>

• Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Yoshikawa, M., & Shirasawa, T. (2008). AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(10), 1749–1761. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jweia.2008.02.058>

• Yazdi, Y., Mofidi Shemirani, S. M., & Etesam, I. (2021). An investigation of the relation between the structural components of the vernacular houses in hot and arid areas in Iran (case study: Qajar houses in Yazd). *Bagh-e Nazar*, 18(96), 59-76. <https://doi.org/10.22034/bagh.2020.170445.3984>

• Zomorodian, Z. S., & Tahsildoost, M. (2016). Validation of energy simulation programs: an empirical and comparative approach. *Iranian Journal of Energy*, 18 (4). <http://necjournals.ir/article-1-803-fa.html>

**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/>).



نحوه ارجاع به این مقاله:  
اسمعیلی، ابراهیم؛ جعفری، حمیده و ذوالفقاری فر، سید یعقوب. (۱۴۰۴). تحلیل هم‌افزایی عملکرد ساباط و بادگیر در ارتقای تهویه طبیعی در معماری سنتی حاشیه خلیج فارس (مطالعه موردی: شهر بندرکنگ، استان هرمزگان). *باغ نظر*, ۲۲(۱۵۱), ۵۹-۷۴.

DOI: [10.22034/bagh.2025.530398.5849](https://doi.org/10.22034/bagh.2025.530398.5849)  
URL: [https://www.bagh-sj.com/article\\_232665.html](https://www.bagh-sj.com/article_232665.html)

