پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]

تحلیل رفتار باد در تهویه طبیعی مسکن بومی روستای قلعه‌نوی سیستان به کمک CFD

غلامحسین معماریان*، اصغر محمدمرادی*، سیدمصطفی حسینعلی‌پور**، ابوالفضل حیدری***، سعیده دودی****

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹٤/۰۸/۲٦
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹٤/۱۱/۱۸

چکیده

امروزه افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی در اثر استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تأمین آسایش حرارتی، یکی از معضلات این حوزه به‌شمار می‌رود. با رجوع به معماری گذشته می‌توان دریافت که تأمین تهویه طبیعی با بهره‌گیری حداکثری از نیروهای طبیعی (در این مقاله: باد) صورت می‌گرفته است. بنابراین می‌توان این‌گونه برداشت کرد که استفاده از روش‌های بومی به نوبه خود می‌تواند حل‌کننده مسائل و معضلات به‌وجود آمده در حوزه تهویه مطبوع بناهای جدید گردد. این مقاله گونه‌های مختلف اتاق در مسکن بومی موجود در روستای قلعه‌نوی سیستان را (که در نتیجه مطابقت با شرایط طبیعی منطقه و تأمین آسایش حرارتی در نسبت با فضای بیرون شکل گرفته‌اند) شناسایی کرده و رفتار باد در هریک از گونه‌ها را به‌لحاظ تهویه طبیعی مورد تحلیل و بررسی قرار داده و در نهایت گونه بهینه از نظر تهویه طبیعی انتخاب نموده است. در این پژوهش، ابتدا با استفاده از روش تحقیق کیفی، به‌صورت توصیفی- تحلیلی و با تکیه بر برداشت‌های میدانی از خانه‌های بومی روستای قلعه‌نو، به شناسایی و بررسی روش‌های استفاده از باد در مسکن بومی پرداخته شد و در ادامه به کمک مدل‌سازی CFD، با انتخاب گونه‌های غالب اتاق از نظر نحوه تهویه طبیعی، تحلیل رفتار باد در این گونه‌ها با استفاده از روش تحقیق شبیه‌سازی به‌وسیله نرم‌افزارهای Gambit 2.4.6 (جهت ساخت هندسه مسکن و ایجاد شبکه مش) و Ansis fluent 15 (جهت تحلیل رفتار باد) انجام گرفته است. به‌منظور اعتبارسنجی پژوهش، به کمک بادسنج دیجیتال، اندازه‌گیری‌های محیطی در محل انجام شده است. در نتیجه تحلیل‌ها، اتاق‌هایی که دارای کشیدگی شمال‌شرقی-جنوب‌غربی و در جهت عمود بر باد غالب منطقه بوده و از تمام عناصر بومی مانند «کُلَک» در سقف، دریچه‌های مشبک و «صورک» در دیوار جبهه شمال‌غربی با پراکندگی مناسب در سطح دیوار، جهت تهویه مطبوع بهره برده است به‌عنوان گونه بهینه اتاق در مسکن بومی انتخاب می‌شود ولی با توجه به محدودیت در ساخت کلک، در مسکن جدید تنها می‌توان از صورک و دریچه‌های مشبک استفاده کرد.

واژگان کلیدی: تهویه طبیعی، مسکن بومی، رفتار باد، روستای قلعه‌نوی سیستان، CFD.

* استاد گروه معماری، دانشگاه علم و صنعت ایران.
** دانشیار گروه مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران.
*** دانشجوی دکترای معماری، دانشگاه علم و صنعت ایران و عضو هیئت علمی دانشکده هنر و معماری دانشگاه زابل.
abolfazl_3137@yahoo.com
**** دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران.

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]

مقدمه

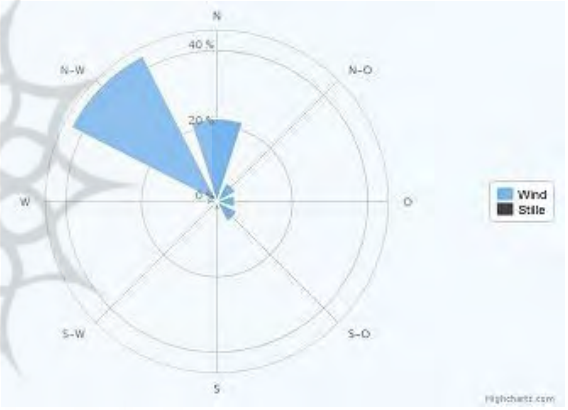
یکی از راه‌های شناخت معماری بومی هر منطقه، شناخت معماری روستایی آن منطقه است. منطقه سیستان نیز با داشتن معماری روستایی غنی و بکر از این قاعده مستثنا نیست. با توجه به موقعیت استراتژیک سیستان و واقع شدن آن در نقطه صفر مرزی و وجود روستاهای فراوان در حاشیه مرز، لزوم توجه بیشتر به روستاهای این منطقه ضروری است. مهمترین پدیده اقلیمی منطقه سیستان که معماری روستایی این منطقه را نیز تحت تأثیر قرار داده است، وزش بادهای موسمی این منطقه با نام "بادهای صد و بیست روزه" است. بیشترین جهات وزش این بادها، شمالی و شمال غربی است (تصویر شماره ۱) که حدود ۸۰ درصد کل موارد مشاهده را به خود اختصاص می‌دهند (فاضل نیا و همکاران،۱۳۹۰ :۷). متوسط سرعت این باد در شهر زابل حدود ۹ متر بر ثانیه است (علوی، باغبانی،۱۳۹۲ :۱). باد ۱۲۰ روزه سیستان از معروف‌ترین بادهای محلی ایران (نگارش و لطیفی،۱۳۸۸ :۷۳) و نیز از معروف‌ترین سامانه‌های وزشی مقیاس متوسط نیمکره شمالی می‌باشد (خسروی و سلیقه،۱۳۸٤ :۱۹). معماران بومی منطقه به‌منظور استفاده بهینه از باد، جهت‌گیری خانه‌های بومی و دریچه‌های ورود باد را بر مبنای جهت وزش این بادها شکل داده‌اند به‌طوری‌که بهره‌گیری از انرژی خدادادی باد به شکل مناسبی در ساخت مسکن این منطقه نمود پیدا می‌کند (سیمای تلاش،۱۳۸۲ :۳). استفاده از باد در مسکن بومی سبب صرفه‌جویی در مصرف سوخت و مهم‌تر از آن ارتقای کیفیت آسایش و بهداشت محیط‌های مسکونی و سالم‌سازی محیط زیست می‌شود (میرلطفی و همکاران،۱۳۹۱ :۳۹).

معماران بومی سیستان با اجرای راه‌حل‌هایی جالب و مؤثر که بعضاً در نوع خود بی‌نظیر هستند، شرایط سخت و آزاردهنده اقلیمی و آب و هوای خشن را مهار کرده و از این شرایط تعدیل شده به بهترین وجه در ایجاد محیطی آسوده و متعادل در سکونت‌گاه خود استفاده نموده‌اند. بادگیرهای یک‌طرفه (کُلَک[1])، خارخانه‌ها و بام گنبدی همگی عناصری هستند که جهت مقابله و یا تعدیل اوضاع جوی در خانه‌های سنتی لحاظ شده‌اند (داوطلب و آذرسا،۱۳۸۸:٦).

سقف‌های گنبدی این خانه‌ها باعث کاهش انتقال حرارت به درون ساختمان شده، به‌دلیل آن که هوای گرم اتاق به‌علت جرم مخصوص کمتر در زیر گنبد جمع می شود، انتقال حرارت از سقف اتاق به درون آن به خاطر آن‌که هوای گرم در نزدیکی سقف می‌باشد، کاهش می‌یابد. با توجه به جمع شدن هوای گرم در زیر گنبد به‌دلیل ارتفاع موجود بین سقف گنبدی و کف اتاق، محیط مناسب‌تر و راحتی در آن فضا ایجاد می‌گردد (دهقانی و آقانجفی،۱۳۸۳ :۱۵). علاوه بر این، شکل‌گیری خانه‌ها جهت استفاده حداکثری از باد طوری است که پنجره‌ها و کُلَک‌ها در قسمت شمال‌غربی و درب خانه‌ها در قسمت جنوب‌شرقی واقع می‌شود (گل‌محمدی،۱۳۹۰ :۹۰). مسکن بومی در منطقه سیستان قرن‌هاست با تأکید بر طراحی بر مبنای جریان هوای داخل و استفاده از باد برپا شده است. به‌نظر می‌رسد شناخت و تحلیل جریان هوای داخل در مسکن بومی این منطقه و مناسب‌سازی آن‌ها در مسکن روستایی امروز می‌تواند بخش بزرگی از مشکلات زیستی را در این منطقه برطرف نماید. بدین منظور و برای شناخت ارزش‌هایی که می‌توانند در معماری امروز منطقه سیستان قابل تکرار باشند روستای قلعه‌نوی سیستان (به‌دلیل اینکه بیش از ۹۰٪ مسکن موجود در بافت این روستا، مسکن بومی بوده و هنوز هم استفاده از باد جهت تهویه طبیعی در مسکن‌های بومی این روستا رایج

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]

است) به‌صورت نمونه موردی انتخاب گردید. سپس به کمک مدل‌سازی CFD[۲] به تحلیل رفتار باد در نمونه‌هایی از مسکن بومی این روستا پرداخته شد و راهکارهایی برای طراحی مسکن جدید جهت استفاده از تهویه طبیعی ارائه شد. با توجه به اینکه در میانگین سرعت باد منطقه (۹ متر بر ثانیه) پدیده طوفان که همراه با افزایش گرد و خاک است، اتفاق نمی‌افتد و هدف مقاله حاضر تحلیل رفتار باد در شرایط اقلیمی غالب منطقه است لذا پیشنهاد می‌گردد در تحقیقی جداگانه به راهکارهای مقابله با گرد و خاک در مسکن بومی پرداخته شود. در حال حاضر در مواقع طوفان، ساکنین بومی دریچه‌های ورود باد را مسدود می‌کنند.



ت ۱. گلباد شهر زابل. (منبع: سایت اینترنتی www.world-weather.com.de).

پرسش‌های پژوهش، روش تحقیق و گردآوری اطلاعات

در این نوشتار چارچوب کلی پژوهش در راستای پاسخگویی به سؤالات زیر سازمان یافته است:

– چند گونه اتاق از حیث تهویه طبیعی در مسکن بومی روستای قلعه‌نوی سیستان می‌توان شناسایی کرد؟

– رفتار باد در هر یک از گونه‌های اتاق در مسکن بومی این روستا چگونه است؟

– از نظر تهویه طبیعی کدام اتاق دارای عملکرد بهتری است؟

روش تحقیق به‌کار رفته در این مقاله شامل دو بخش کیفی و کمّی است. در مرحله شناخت معماری روستای قلعه‌نو از روش تحقیق کیفی استفاده شده است. بدین صورت که ابتدا با گردآوری اطلاعات از منابع کتابخانه‌ای و نیز برداشت‌های میدانی از مسکن‌های بومی منتخب در روستا (مسکن‌هایی که در آن‌ها از انرژی باد جهت تهویه طبیعی به‌صورت متنوع استفاده شده است) به تکمیل دانش پایه در مورد معماری و مسکن در این روستا پرداخته شده است.

در مرحله تحلیل داده‌ها، از روش تحقیق کمّی استفاده شده است. بدین‌صورت که ابتدا پارامترهای مؤثر بر تهویه هوای داخل مشخص شد. جهت تعدیل پارامترها و کاهش تعداد شبیه‌سازی‌ها از روش تاگوچی استفاده شده است. با استفاده از این روش تعداد شبیه‌سازی‌ها و گونه‌های منتخب، شش گونه اتاق انتخاب گردید که از نظر جهت کشیدگی و نوع تهویه با یکدیگر متفاوت هستند. این شش گونه به‌وسیله مهندسی محاسبات باد و با استفاده از روش تحقیق شبیه‌سازی و به کمک نرم‌افزارهای گمبیت (جهت ساخت هندسه اتاق و ایجاد شبکه مش در اطراف و داخل اتاق) و نرم‌افزار فلوئنت (جهت تحلیل رفتار باد) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. اطلاعات مربوط به جهت و سرعت باد که در داده‌های ورودی به نرم‌افزار فلوئنت ضروری است، با استفاده از میانگین ده‌ساله هواشناسی اداره هواشناسی شهرستان زابل گرفته شده است. از آنجا که در انجام مطالعات بر مبنای مدل‌سازی CFD اعتبارسنجی این مطالعات ضروری است، جهت اعتبارسنجی نتایج حاصل از روش تحقیق شبیه‌سازی، با استفاده از روش تحقیق تجربی و حضور میدانی در روستا، به کمک

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]

بادسنج دیجیتال اندازه‌های سرعت باد مورد مقایسه قرار گرفته است.

پیشینه تحقیق

در دهه‌های گذشته، تلاش‌های پژوهشی زیادی برای کمک به ارزیابی اجرای تهویه طبیعی ساختمان‌ها و مطالعات جامعی روی روش‌های تخمین ارزیابی کارکرد تهویه در ساختمان‌ها صورت گرفته است (Chen, 2009; Reichrath and Davies, 2002; Etheridge, 2011).

چن[3] (۲۰۰۹) اشاره می‌کند که مدل‌های CFD در حال حاضر پرکاربردترین روش برای مطالعه کیفیت هوای داخلی و تهویه طبیعی هستند. به‌همین دلیل، بسیاری از مطالعات روی تعیین و بهینه‌سازی پتانسیل تهویه طبیعی ساختمان‌ها، CFD را به خدمت گرفته است (Chen,2009:849). مطالعات CFD برای تهویه طبیعی هوای داخل در ساختمان‌ها به دو صورت انجام می‌گردد: (۱) مطالعات تهویه هوای داخل برای ساختمان‌های مجرد، و (۲) مطالعات تهویه هوای داخل برای ساختمان‌های موجود در بافت شهری. مطالعات برای ساختمان‌های ساده و تک اتاقی به‌وسیله (Evola and Popov. 2006; Chang. 2006; Meroney. 2009; Shen et al. 2012; Stavridou and Prinos. 2013,) ارائه‌شده است که مقاله حاضر نیز شامل این دسته از مطالعات می‌باشد. حجم زیادی از مطالعات دینامیک سیالات محاسباتی درباره تهویه، روی یک ساختمان تنها تمرکز کرده‌اند. به این دلیل که اثر به‌هم فشردن ساختمان‌های اطراف به‌طور عجیبی وسیع است (van Hooff and Blocken, 2010b). از جمله مطالعات صورت‌گرفته به این روش در ایران می‌توان به مطالعه محمودی و مفیدی (۱۳۸۷) اشاره کرد. آن‌ها ضمن گونه‌شناسی بادگیرهای یزد به انتخاب گونه بهینه کارکردی بادگیر با کمک CFD پرداخته‌اند. حزبئی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش CFD به تحلیل تهویه طبیعی در شوادون‌های دزفول پرداخته‌اند. احدی و علیرضایی (۱۳۹۳) با استفاده از مدل‌سازی CFD به بررسی فرم مناسب سقف و فواید استفاده از بادگیر در مسکن شهرستان چابهار پرداخته‌اند. در زمینه مطالعات مربوط به معماری و مسکن روستایی منطقه سیستان عمده مطالعات دارای روش تحقیق کیفی بوده و به‌صورت توصیفی- تحلیلی به بررسی مسکن روستایی منطقه سیستان پرداخته‌اند. از قدیمی‌ترین منابع موجود، می‌توان به گزارش مکتوب «جورج پیتر تیت» باستان‌شناس و مورخ انگلیسی که در سال‌های ۱۹۰۳ تا ۱۹۰۵ میلادی در سیستان اقامت داشت اشاره کرد. وی ضمن تشریح ویژگی‌های معماری سیستان می‌نویسد: "سیستانی‌ها در تطبیق خود با شرایط محیط اطرافشان مهارت زیادی نشان می‌دهند. خانه‌های مسکونی آن‌ها به‌صورت قابل‌تحسینی متناسب با آب و هوای منطقه ساخته می‌شود" (Tate, 1910 : 148). مستندسازی روستای قلعه‌نو توسط جمشید داوطلب (۱۳۸۲) با هدف معرفی معماری این روستا انجام گردیده است. سرگزی (۲۰۱٤) در مقاله خود به توصیف شیوه‌هایی پرداخته که بومیان منطقه سیستان در راستای رسیدن به معماری پایدار در معماری بومی خود استفاده کرده‌اند. غریب فاضل نیا و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای به بررسی انطباق الگوی بومی توسعه کالبدی – فیزیکی روستای تمبکاء شهرستان زابل با جهت حرکت طوفان‌های شن و ماسه پرداخته و اظهار داشته الگوی کالبدی- فیزیکی روستای تمبکاء برای روستاهای در معرض عبور ماسه‌های روان مناسب بوده و پیشنهاد کرده‌اند این الگو باید در ایجاد سکونتگاه‌های جدید مدنظر قرار گیرد. میرلطفی و همکاران (۱۳۹۱) پیشنهادها و راهکارهای علمی- اجرایی برای مسکن روستایی سیستان ارائه کرده‌اند. تحقیقی دیگر، روابط

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]

ویژگی‌های کالبدی شهر زابل را با جهت بادهای غالب منطقه مورد بررسی قرار داده و به نتایجی در مورد نحوه برخورد باد با ساختمان‌ها در خیابان‌های موازی با جهت باد غالب و عمود بر جهت باد غالب پرداخته است (سلیقه، ۱۳۸۲ :۱۱۶). اکرمی و همکاران (۱۳۹۱) در مقاله‌ای به بررسی کیفی و کمی انواع سیستم‌های برودتی رایج در روستای خور که دارای اقلیم مشابهی مانند سیستان می‌باشد پرداخته است. با این حال تحقیق جامعی در مورد تحلیل شیوه‌های بومی استفاده از باد در مسکن روستایی منطقه سیستان براساس مهندسی محاسبات باد و با تکیه بر مدل‌سازی CFD موجود نیست.

مهندسی محاسبات باد

مطالعات نشان می‌دهد که در دهه‌های گذشته توجه به "جریان هوای داخل" در قالب دانشی نوین به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است (حزبئی و همکاران،۱۳۹۳ :۳۸). تهویه طبیعی فاکتور مهمی در بهبود قابل‌تحمل بودن و سلامتی محیط‌های درون ساختمانی است که به‌وسیله نیروی باد یا شناوری یا اغلب به‌وسیله ترکیب این دو نیرو انجام می‌پذیرد (e.g. Chang, 2006; Chen et al., 2007; van Hoof and Blocken, 2012). این تحقیقات زیر مجموعه علم مهندسی محاسبات باد (CWE)[4] است. مهندسی محاسبات باد، به‌عنوان به‌کارگیری دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و دیگر مدل‌سازی‌های رایانه‌ای برای برنامه‌های کاربردی مهندسی باد می‌باشد. کاربردهای شبیه‌سازی CFD در حوزه ساختمان شامل موارد زیر می‌شود:

الف) شبیه‌سازی CFD برای شرایط باد سطح پیاده (PLW)[5] در ساختمان‌ها؛

ب) شبیه‌سازی CFD در تهویه‌های طبیعی (NV)[6] ساختمان‌ها؛

ج) شبیه‌سازی CFD در باران‌های ناشی از باد (WDR)[7] در نماهای ساختمان (Blocken, 2014).

بنابراین یکی از کاربردهای شبیه‌سازی CFD در حوزه ساختمان، شبیه‌سازی در تهویه‌های طبیعی (NV) ساختمان است که در این مقاله از این روش جهت تحلیل رفتار باد در تهویه طبیعی روستای قلعه‌نوی سیستان استفاده شده است.

روستای قلعه‌نوی سیستان

روستای قلعه‌نو با ٤٨٢ متر ارتفاع از سطح دریا، در فاصله ٨ کیلومتری جنوب شهرستان زهک و در ٤٤ کیلومتری جنوب‌شرقی زابل واقع شده است. این روستا در دشتی وسیع استقرار یافته و بافت مسکونی متراکمی دارد. بادگیرها و سقف‌های گنبدی شکل از مشخصه‌های معماری این روستا است. بافت کالبدی روستای قلعه‌نو به‌لحاظ منظر طبیعی و قدمت تاریخی در سال ۱۳۸۲ توسط سازمان میراث فرهنگی استان سیستان و بلوچستان در فهرست آثار ملی به ثبت رسیده است. مهم‌ترین ویژگی روستای قلعه‌نو، بافت فشرده پله‌ای ابنیه مسکونی موجود روستا بوده (معاونت عمران روستایی بنیاد مسکن، ۱۳۸۸ :٦) که با توجه به پله‌ای بودن بافت، ابنیه موجود عمدتاً در بخش رو به باد دارای فضای باز جهت بهره‌وری از انرژی باد هستند و لذا از عناصر بومی مختلفی جهت تهویه طبیعی در مسکن روستایی این روستا استفاده شده است. کشیدگی اتاق‌ها در مسکن روستایی این روستا غالباً در دو راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی (راستای باد غالب منطقه) و شمال‌شرقی-جنوب‌غربی (عمود بر باد غالب منطقه) است. نرمی و چسبندگی خاک رُس، بناهای این روستا را از هرگونه مصالح وارداتی بی‌نیاز می‌کند. با توجه به کمبود منابع سنگ در سیستان، کلیه تدابیر به‌کار رفته در معماری بر مبنای استفاده از مصالح بومی (خشت و گِل) متمرکز شده

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]

و این موضـوع خودبسـندگی قابـل ملاحظـه‌ای را بـرای معماری سیستان به ارمغان آورده است (تصویر شماره ۲).

ت ۲. نمایی از معماری بومی روستای قلعه‌نوی سیستان. مأخذ: نگارندگان.

شناخت عناصر مهم و تأثیرگذار بر تهویـه طبیعـی در معماری بومی روستا

جدول شماره ۱، عناصر مهم مسکن روستایی در ایـن روسـتا را کـه در تهویـه مطبـوع داخلـی مسـکن مـؤثر می‌باشد، نشان می‌دهد.

انواع سقف در مسکن بومی روستای قلعه‌نو

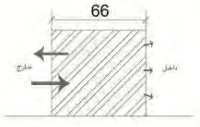
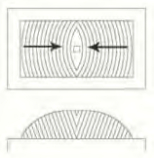
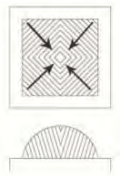
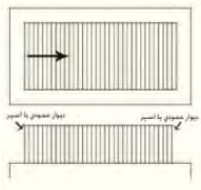
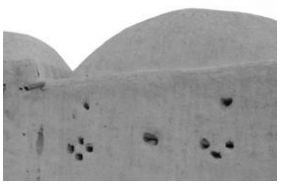
بـا اسـتفاده از مطالعـات و برداشـت‌هـای میـدانی از مسکن‌های منتخب و بومی در سـطح روسـتا مشـخص شد که انواع سقف متناسب با کاربری هر اتـاق در ایـن مسکن‌ها اجرا شـده اسـت. جـدول شـماره ۲، تعـدادی از خانه‌های بومی برداشت شده در روسـتای قلعـه‌نـو را نشان می‌دهد.

با توجه به فراوانی نوع سقف سیستانی، این مقالـه در تلاش است تا با تحلیل این نـوع سـقف و جهـت‌هـای متفاوت و دریچه‌های مختلف آن در نـرم‌افـزار فلوئنـت بتواند به فرم و جهت بهینه دست یابـد. بـدین منظـور و جهت تعدیل تعداد شبیه‌سازی‌ها و انتخـاب گونـه‌هـای محدود که منتخبی از اتاق‌های مسکن‌های بومی روسـتا بوده و نتـایج آن قابـل تعمـیم اسـت از روش تـاگوچی استفاده شده است. در گام نخست پارامترهای مـؤثر بـر رفتار باد در مسکن بومی در جدول شماره ۳ آورده شده است. با توجه به جدول هر یک از پارامترها دارای دو سطح می‌باشد و لذا تعداد شبیه‌سـازی‌هـایی کـه جهـت تحلیل جریان باد در مسکن بومی در حالت طبیعی بایـد انجام گردد دو به توان شش یعنی ٦٤ مورد شـبیه‌سـازی است که انجام تمامی ٦٤ مورد شبیه‌سازی کاری زمان‌بَـر است، بنابراین جهـت تعـدیل شـبیه‌سـازی‌هـا از روش تاگوچی استفاده شده است. این روش تحـت نـرم‌افـزار Minitab انجام شده بدین‌صورت که پارامترها و سـطح آزمایش موجود در جدول ۳ در روش تاگوچی به‌عنوان داده تعریف شد، سپس تـاگوچی گروهـی از مـؤثرترین شبیه‌سازی‌ها را که تعداد ۸ شبیه‌سازی بود و در تصـویر شماره ۲ مشخص است، پیشنهاد داد.

با توجه به برداشت‌های میدانی مسکن بومی روسـتای قلعه‌نو و مصاحبه با معماران بومی مشخص شـد کـه در تصویر شماره ۲، ردیف ۱ و ردیف ۸ کـه شـامل گونـه اتاق شمال غربی- جنوب‌شرقی و دارای صورک[8] است، در منطقه ساخته نشده است و لذا ردیـف‌هـای ۱ و ۸ از فرایند شبیه‌سازی حذف می‌گردد. بنابراین بـا توجـه بـه توضیحات بالا، فرایند شبیه‌سازی برای شش گونه اتـاق (ردیف‌های ۲ تا ۷ از تصویر شماره ۲) مطـابق آنچـه در جـدول شـماره ٤ آمـده اسـت صـورت مـی‌گیـرد. در

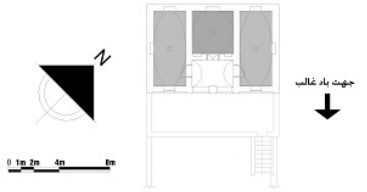
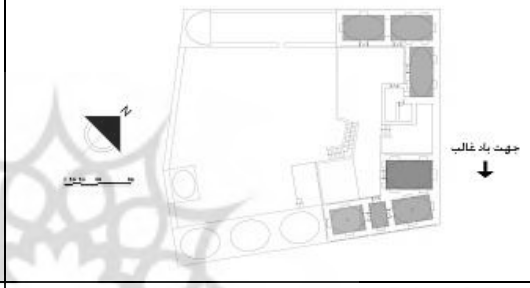
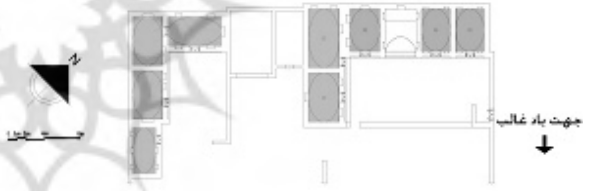
[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]

مدل‌سازی، ابعاد داخلی اتاق نیز ۶*۳ متر در نظر گرفته شده است زیرا عرض استاندارد اجرایی سقف سیستانی ۳ متر بوده و طول غالب اتاق در برداشت‌های میدانی ۶ متر است. مشاهدات میدانی از مسکن‌های روستایی، نشان می‌دهد که کلیه اتاق‌های اصلی به‌طور کامل با فرش پوشیده شده است.

ردیف	عوامل مؤثر بر تهویه طبیعی		شیوه ساخت	تصویر
۱	دیوارها		در ساخت دیوارها و سایر قسمت‌های بنا از خشت‌خام استفاده می‌شود. ابعاد هر خشت ۲۲×۲۲ سانتی‌متر می‌باشد، ضخامت دیوار نیز سه خشت یعنی ٦٦ سانتی‌متر است. با توجه به ضخامت زیاد دیوار و ضریب انتقال حرارت پایین خشت، گرمای بیرون در طول روز به داخل منتقل نمی‌شود و لذا فضای داخل خنک باقی می‌ماند.	
۲	سقف‌ها	سقف سیستانی (زبری)	اگر دهانه سقف سه متر و پلان اتاق مستطیلی باشد، آجرچینی از دو طرف شروع، به‌صورت قوسی ادامه پیدا کرده و در مرکز گنبد خاتمه می‌یابد (Memarian et al:2015, 1290).	
		سقف فیل‌پوش	اگر دهانه سقف بیش از سه متر یا کمتر از سه متر ولی با پلان مربعی باشد، آجرچینی از چهار گوشه اتاق شروع و در مرکز گنبد خاتمه می‌یابد (Memarian et al:2015, 1290).	
		سقف گهواره‌ای (بزدی‌پوش)	معمولاً برای سقف‌هایی کاربرد دارد که دارای عرض کم و طول زیاد هستند. ابتدا و انتهای سقف به‌صورت دیوار عمودی (اِسپَر) است و آجرچینی آن از یک طرف شروع شده و در طرف دیگر خاتمه می‌یابد. این نوع سقف، سقف بومی منطقه سیستان نیست (Memarian et al:2015, 1290).	
۳	هواکش‌ها	گُلک	بادگیر یک طرفه و بومی سیستان است که در بخش میانی و منتهی‌الیه سقف و در جهت باد غالب منطقه (شمال‌غرب به جنوب‌شرق) باز می‌شود. به هنگام وزش باد در این قسمت و با عبور باد از روی سطح کروی شکل سقف با کاهش اصطکاک باد بر روی سطح، سرعت آن بر روی سقف گنبدی افزایش یافته و با افت فشار در رأس گنبد، هوا با سرعت بیشتری به داخل راه می‌یابد (محمودی، ۱۳۸۸).	
		صورک	دریچه‌ای که در دیوار جبهه شمال‌غربی بدین‌صورت اجرای می‌شود که مجرای بیرونی بالاتر از مجرای داخلی بوده و باد با زاویه وارد اتاق می‌شود (Memarian et al:2015, 1290).	
		دریچه‌های مشبک	این دریچه‌ها نیز در دیوار جبهه شمال‌غربی کاربرد داشته با این تفاوت که مجرای داخل و خارج در یک راستا قرار دارد. باد به‌صورت مستقیم وارد اتاق می‌شود. در این شیوه می‌توان با انباشتن توده‌های خار در قسمت بیرونی اتاق و جلوی دریچه‌های مشبک، تهویه مطبوع ایجاد کرد. خار مرطوب، از گرمای هوای اطراف خود کاسته و محیط خنکی ایجاد کند (رازجویان، ۱۳۸۸ : ۳۵) و (سرتیپی‌پور، ۱۳۸۸ : ٤٠).	

ج ۱. عوامل مؤثر بر تهویه مطبوع در مسکن بومی سیستان.

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]

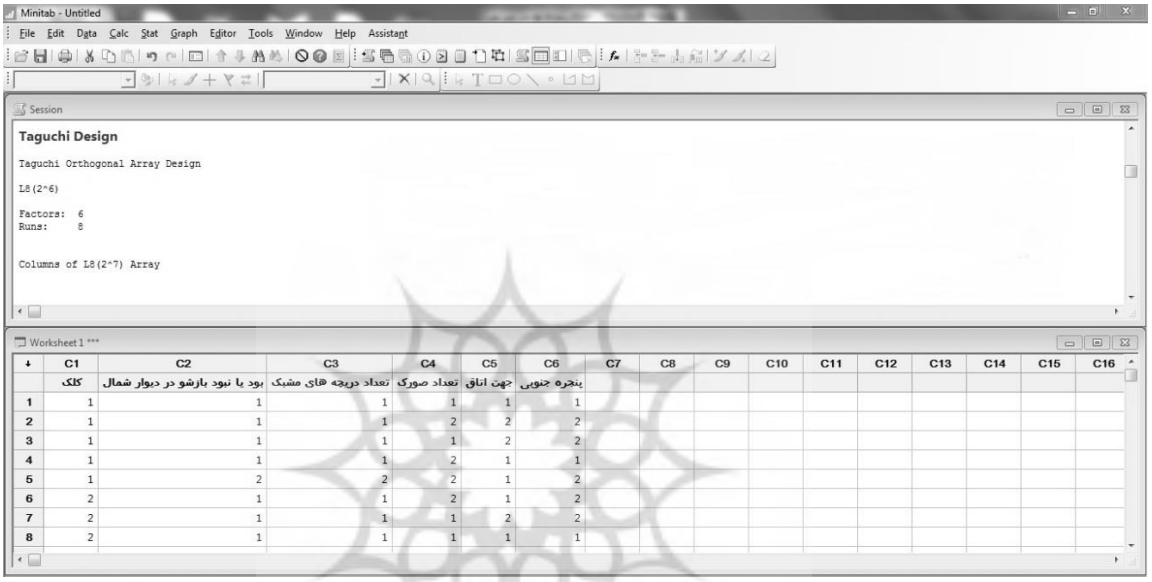
نسبت سقف‌ها	توضیحات	نمونه‌هایی از مسکن بومی در روستای قلعه‌نو
سقف سیستانی: ٪۶۷ سقف فیل‌پوش: ٪۳۳	اتاق‌های اصلی: سقف سیستانی اتاق‌های خدماتی: سقف فیل‌پوش	
سقف سیستانی: ٪۵۰ سقف فیل‌پوش: ٪۵۰	اتاق‌های میهمان: سقف سیستانی اتاق‌های عمومی و خدماتی: سقف فیل‌پوش	
سقف سیستانی: ٪۸۵ سقف فیل‌پوش: ٪۱۵	تنها یکی از فضاهای اصلی این واحد مسکونی دارای سقف فیل‌پوش می‌باشد.	
سقف سیستانی: ٪۱۰۰	تمامی اتاق‌های این واحد مسکونی دارای سقف سیستانی می‌باشند.	
سقف سیستانی: ٪۸۵ سقف فیل‌پوش: ٪۱۵	اتاق‌های اصلی این واحد مسکونی نیز دارای سقف سیستانی هستند. تنها سقف فیل‌پوش این واحد مربوط به فضای خدماتی است.	
سقف سیستانی: ٪۶۰ سقف فیل‌پوش: ندارد سقف گهواره‌ای: ٪۴۰	این واحد مسکونی سقف فیل‌پوش ندارد و فضاهای اصلی این واحد مسکونی دارای سقف سیستانی و سقف گهواره‌ای می‌باشد.	

ج ۲. پراکندگی انواع سقف در مسکن بومی سیستان، سقف‌های تیره به‌صورت کروی (فیل‌پوش)، سقف‌های روشن به‌صورت سیستانی (زبری) و سقف‌های سفیدرنگ به‌صورت گهواره‌ای (یزدی‌پوش) اجرا می‌شوند. منبع نقشه‌ها: داوطلب، ۱۳۸۲.

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]

پارامترهای مؤثر / سطح آزمایش	بود یا نبود دریچه ورود باد از سقف(کُلک)	بود یا نبود بازشو در دیوار جبهه شمالی	تعداد دریچه‌های مشبک (ابعاد ۰/۲* ۰/۲)	تعداد صورک (ابعاد ۰/۳* ۰/۲)	فرم کشیدگی اتاق	پنجره جنوبی
۱	۰/۲ *۰/۲	وجود دارد	٤	۳	شمالی – جنوبی	دارد
۲	بدون کُلک	بدون بازشو	بدون دریچه	بدون صورک	شرقی – غربی	ندارد

ج ۳. پارامترهای مؤثر بر رفتار جریان باد در مسکن روستایی سیستان.



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
	کلک	بود یا نبود بازشو در دیوار شمال	تعداد دریچه های مشبک	تعداد صورک	جهت اتاق	پنجره جنوبی										
1	1	1	1	1	1	1										
2	1	1	1	2	2	2										
3	1	1	1	1	2	2										
4	1	1	1	2	1	1										
5	1	2	2	2	1	2										
6	2	1	1	2	1	2										
7	2	1	1	1	2	2										
8	2	1	1	1	1	1										

ت ۳. تعداد شبیه‌سازی‌های پیشنهادی توسط روش تاگوچی برای گونه‌های مختلف اتاق (اعداد ۱ و ۲ که در زیر پارامترهای مؤثر بر تهویه هوا در مسکن نوشته شده، معرف سطح آزمایش است که این سطح نیز در جدول ۳ مشخص شده است).

رفتار باد در گونه‌های منتخب اتاق

نرم‌افزارهای به‌کار رفته جهت انجام مهندسی محاسبات باد در این مقاله، Gambit 2.4.6 جهت شبیه‌سازی اتاق و ایجاد شبکه مش و Ansis fluent 15 جهت تحلیل رفتار باد در اتاق می‌باشند. جهت انجام کار، هر یک از هندسه‌های موجود در جدول شماره ٤، ابتدا توسط نرم‌افزار گمبیت شبیه‌سازی شد. مرحله بعدی در فرایند شبیه‌سازی ایجاد شبکه مش برای هندسه ایجاد شده بود و در آخر شرایط مرزی برای ورودی‌ها و خروجی‌های جریان باد تعریف گردید.

به‌منظور تحلیل صحیح رفتار باد شبکه مش که برای تحلیل رفتار باد در این گونه‌ها توسط نرم‌افزار گمبیت ایجاد گردید شامل ایجاد مش در داخل و خارج از اتاق بود. از آنجا که رفتار باد با گذر از اتاق در پشت آن نیز حائز اهمیت بود بنابراین شبکه مش طولانی‌تری در بخش پشت به باد اتاق ایجاد گردید. در بخش جلو و روبه باد اتاق نیز سرعت باد باید از فاصله دورتری در نرم‌افزار فلوئنت تعریف می‌گردید تا تغییرات باد هنگام رسیدن به اتاق لحاظ شود. این فاصله معادل ۲/۵ برابر دیوار موازی جریان باد در نظر گرفته شد. تصویر شماره

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]

۳ ابعاد و اندازه‌های شبکه مش ایجاد شده در اطراف یک نمونه از اتاق در مسکن روستایی را نشان می‌دهد.

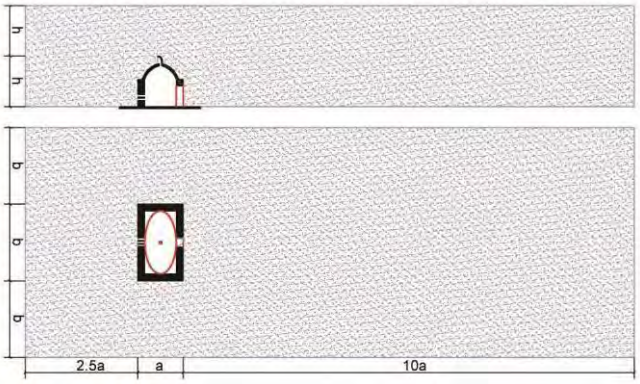
با توجه به تصویر ۳، شبکه مش ایجاد شده در پشت اتاق، ۱۰ برابر دیوار موازی جریان باد غالب است.

شماره گونه	پلان	مقطع (در راستای باد غالب) 0 1m 2m 4m 8m	جهت اتاق	کلک	صورک	دریچه‌های مشبک ۰/۲*۰/۲	پنجره جهت مکش
۱			شمال‌شرقی- جنوب‌غربی	دارد	ندارد	٤ دریچه	ندارد
۲			شمال‌شرقی- جنوب‌غربی	دارد	۳ صورک	٤ دریچه	ندارد
۳			شمال‌غربی- جنوب‌شرقی	دارد	ندارد	ندارد	ندارد
٤			شمال‌غربی- جنوب‌شرقی	دارد	ندارد	٤ دریچه	دارد ابعاد ۱/۲*۱
٥			شمال‌غربی- جنوب‌شرقی	ندارد	ندارد	٤ دریچه	دارد
٦			شمال‌شرقی- جنوب‌غربی	ندارد	۳ صورک	٤ دریچه	ندارد

ج ٤. حالات مختلف اتاق غالب بومی منطقه سیستان نسبت به استفاده از تهویه طبیعی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]



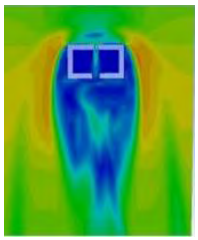
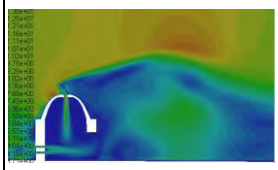
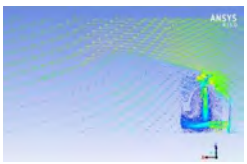
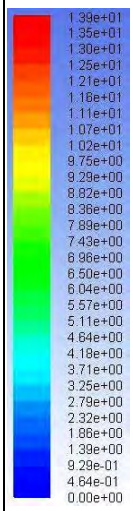
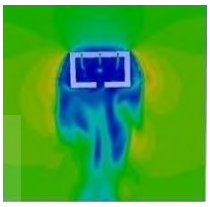
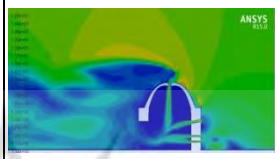
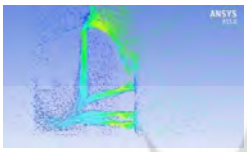
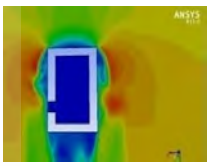
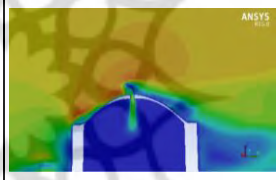
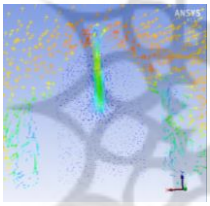
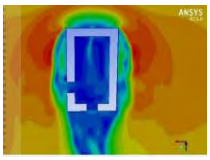
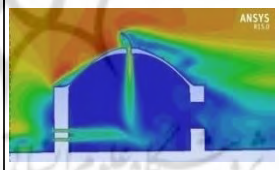
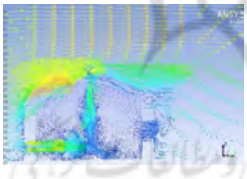
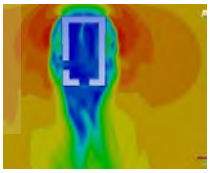
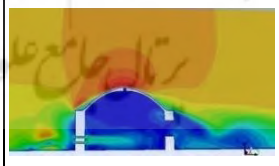
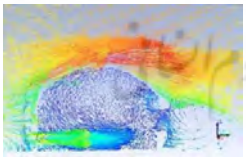
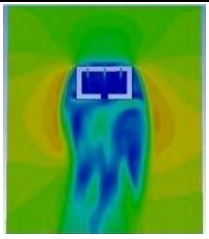
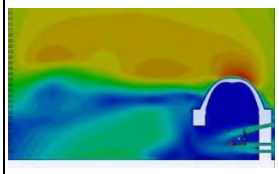
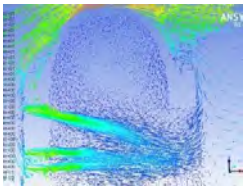
ت ٤. ابعاد و تناسبات شبکه مش ایجاد شده در اطراف اتاق موجود در مسکن بومی توسط نرم‌افزار گمبیت (جهت باد غالب در شکل فوق از سمت چپ به سمت راست است)، (عرض اتاق =a، طول اتاق =b، ارتفاع اتاق =h).

این شبکه مش در دو سمت اتاق، برابر طول اتاق و در بالای اتاق نیز برابر ارتفاع اتاق است. پس از تعریف شبکه مش برای اتاق‌های منتخب، رفتار این اتاق‌ها در برابر انرژی باد با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. سرعت بادی که در این نرم‌افزار به‌عنوان ورودی در فاصله ۲/۵ برابری شمال اتاق (سمت باد غالب منطقه) تعریف شده است، برابر با میانگین سرعت باد غالب ده‌ساله اخیر منطقه سیستان است که از داده‌های ایستگاه هواشناسی زابل به‌دست آمده و برابر با ۹ متر بر ثانیه است که پس از رسیدن به اتاق، سرعت میانگین آن به ۸ متر بر ثانیه کاهش می‌یابد. جدول شماره ۵، نتایج حاصل از تحلیل سرعت باد در هریک از گونه‌های منتخب را توسط نرم‌افزار فلوئنت نشان می‌دهد.

اعتبارسنجی مطالعات صورت گرفته

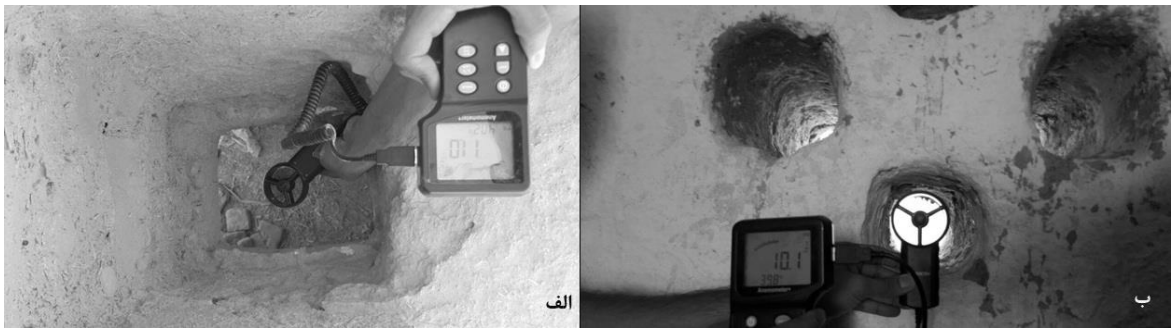
در تهویه طبیعی، اعتبارسنجی و تصدیق شبیه‌سازی‌های دینامیک سیالات محاسباتی، واجب است (Blocken, 2014). به‌منظور اعتبارسنجی مطالعات صورت‌گرفته در این رساله، مطالعات اندازه‌گیری محیطی سرعت باد توسط بادسنج دیجیتال Anenometer Kestrel 1000 با دقت اندازه‌گیری ۰/۱ متر بر ثانیه (تصویر شماره ٤) در دو گونه اتاق با مشخصات گونه‌های ۱ و ۲ مطابق جدول شماره ٤ طی دوره سه ماهه تابستان و در زمان وزش بادهای ۱۲۰ روزه، در روزهایی که سرعت باد غالب بین ۷ تا ۱۱ متر بر ثانیه بود صورت گرفت (۸ روز از خردادماه، ۱۳ روز از تیرماه، ۱۹ روز از مرداد ماه و ۱۱ روز از شهریورماه) و مشخص شد اندازه‌های به‌دست آمده توسط نرم‌افزار فلوئنت با اندازه‌های محیطی مطابقت دارد و لذا رفتار باد که توسط این نرم‌افزار تحلیل شده به واقعیت نزدیک است. جدول شماره ٦ میانگین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های سرعت باد توسط بادسنج را در گونه شماره ۱ و ۲ در طول ۵۱ روز منتخب که سرعت باد دارای میانگین ۹ متر بر ثانیه بود، نشان می‌دهد.

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]

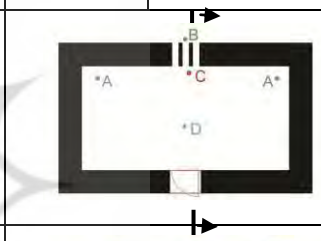
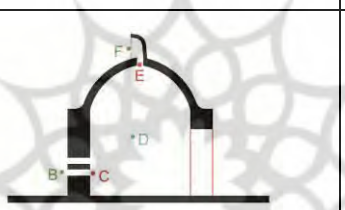
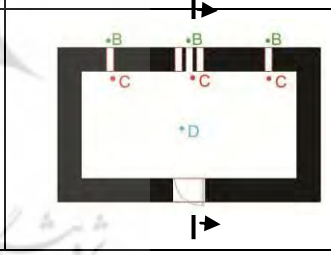
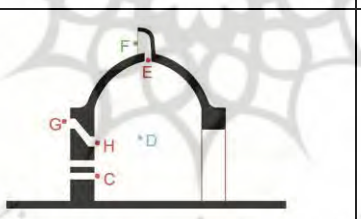
شماره گونه	سرعت باد در پلان	سرعت باد در مقطع	بردار سرعت در مقطع	توضیحات	راهنمای طیف سرعت باد
۱				بادی با میانگین ۸ متر بر ثانیه از کلک و دریچه‌های مشبک وارد اتاق شده، جریان اصلی باد با سرعت بین ۸-۵ متر بر ثانیه تا خروجی جریان باد (درب اتاق) برقرار بوده و با سرعت ۵ متر بر ثانیه از اتاق خارج می‌گردد. در طرفین محور مرکزی اتاق نیز سرعت باد بین ۲-۰ متر بر ثانیه برقرار است.	
۲				بادی با میانگین ۸ متر بر ثانیه از کلک در سقف، دریچه‌های مشبک در مرکز دیوار شمال‌غربی و ارتفاع ۰/۵ متری از کف و صورک‌ها در مرکز و طرفین دیوار جبهه شمال‌غربی و ارتفاع ۱/۵ متری از کف اتاق، وارد اتاق شده، با توجه به پراکندگی دریچه‌ها، جریان هوا در دورتادور اتاق برقرار بوده و مناسب برای نشستن است.	
۳				بادی با میانگین ۸ متر بر ثانیه تنها از طریق کلک وارد اتاق شده و با توجه به وجود یک ورودی و یک خروجی باد، جریان هوا تنها در فاصله این دو برقرار بوده و در سایر نقاط سرعت نزدیک به صفر است.	
٤				بادی با میانگین ۸ متر بر ثانیه از کلک و دریچه‌ها وارد اتاق شده و از درب خروجی خارج می‌شود، با توجه به تصویر بردار سرعت در مقطع، وجود پنجره در جبهه جنوب‌شرقی به‌دلیل وجود تلاطم در پشت اتاق نقش ورودی باد را دارد.	طیف آبی: از صفر تا ٤ متر بر ثانیه. طیف سبز و زرد: از ٤ تا ۹/۷۵ متر بر ثانیه. طیف قرمز: از ۹/۷۵ تا ١٤ متر بر ثانیه
٥				بادی با میانگین ۸ متر بر ثانیه از طریق دریچه‌ها وارد اتاق شده، در این گونه نیز پنجره در اثر چرخش باد در پشت اتاق نقش ورودی باد را دارد. با توجه به بستن کلک توسط ساکنین، در این شبیه‌سازی کلک بسته شده است.	
٦				بادی با میانگین ۸ متر بر ثانیه از طریق صورک و دریچه‌ها وارد اتاق شده و با توجه به پراکندگی دریچه‌ها، در محل‌های نشستن ساکنین در جریان بوده، ولی سرعت باد در نزدیک سقف به‌دلیل مسدود بودن کلک، نزدیک به صفر است.	

ج ۵. تحلیل رفتار باد در گونه‌های منتخب.

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]



ت ۵. تصاویری از اندازه‌گیری سرعت باد در اتاق‌های بومی (الف- سرعت باد در دهانه ورود باد از کلک، ب- سرعت باد در دهانه ورودی باد از دریچه‌های مشبک). مأخذ: نگارندگان.

شماره گونه	پلان	برش	اندازه‌گیری‌های سرعت باد در نقاط مختلف مسکن
۱			V_A= 0 m/s V_B= 3.5 - 9 m/s V_C= 5 - 14 m/s V_D= 1.5-1.7 m/s V_E= 8-13 m/s V_f= 7-8 m/s
۲			V_B= 3.5 - 9 m/s V_C= 5 - 14 m/s V_D= 1.5 -1.7 m/s V_E= 8-13 m/s V_f= 7-8 m/s V_G= 8-9 m/s V_H= 14-15 m/s

ج ٦. میانگین اندازه‌گیری‌های محیطی با استفاده از بادسنج دیجیتال در دو گونه منتخب در طول دوره سه‌ماهه (اواسط خردادماه تا اواسط شهریورماه ۹۴).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نتیجه

در مطالعات انجام شده و برداشت‌های میدانی از خانه‌های منتخب بومی در روستای قلعه‌نوی سیستان، شش گونه اتاق از حیث تهویه طبیعی شناسایی شد و به کمک علم مهندسی محاسبات باد، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تحلیل‌های نرم‌افزاری نشان می‌دهد که سرعت باد غالب در شمال‌غربی اتاق و نزدیکی اتاق کاهش یافته اما در محل دریچه‌ها به‌دلیل کوچک شدن ابعاد دریچه‌ها سرعت افزایش می‌یابد و در دهانه ورودی باد در اتاق‌ها به سرعت باد غالب نزدیک می‌شود.

توضیحات موجود در جدول شماره ۵ نشان می‌دهد

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]

که میانگین سرعت ورودی باد در محل دریچه‌ها حدود ۸ متر بر ثانیه است که تقریباً معادل سرعت باد در حالت درجه تند کولر آبی است. این سرعت سبب شده که عمل تهویه طبیعی و گردش باد در داخل اتاق‌ها به نحو مناسبی صورت گیرد و پتانسیل خنک‌سازی و رسیدن به تهویه مطبوع و دمای هوای ۲۵-۱۸ درجه سانتیگراد را داشته باشد که نیازمند تحقیقی جداگانه برای رسیدن به "حد مطبوع" است.

با توجه به اطلاعات موجود در جدول شماره ۵، می‌توان نتایج زیر را در مورد تحلیل رفتار باد در گونه‌های منتخب ذکر کرد:

– با توجه به کشیدگی گونه‌های ۱، ۲ و ٦ در راستای شمال‌شرقی- جنوب‌غربی و عمود بر باد غالب منطقه، تلاطم و چرخش جریان باد در پشت این گونه‌ها بیشتر بوده، به‌دلیل وجود چرخش در ناحیه پشت به باد این گونه‌ها، معماران بومی از ایجاد پنجره در دیوار جبهه جنوبی پرهیز کرده‌اند. بنابراین پیشنهاد می‌شود در مسکن جدید روستایی، برای اتاق‌های دارای کشیدگی شمال‌شرقی- جنوب‌غربی از احداث پنجره در دیوار جبهه جنوبی پرهیز شود.

– احداث ساختمان در پایین‌دست گونه‌های ۱، ۲ و ٦ باید در فاصله بیش از ٤a (با توجه به تناسبات شکل ۳) در جنوب این گونه‌ها صورت گیرد تا اثر جریان باد بر ساختمان‌های جدید مفید باشد.

– اثر چرخش باد در پشت گونه‌های ۳، ٤ و ۵ که دارای کشیدگی شمال‌غربی- جنوب‌شرقی هستند، حدود یک برابر طول اتاق بوده و پس از آن سرعت باد به حالت اولیه بر می‌گردد. لذا احداث ساختمان در جبهه جنوب‌شرقی این اتاق‌ها از فاصله ۲b (با توجه به تناسبات شکل ۳) می‌تواند فرایند تهویه را در ساختمان جدید مناسب سازد.

– گونه شماره ۳ که تنها از طریق کلک، باد را به داخل هدایت می‌کند به‌دلیل اینکه جریان هوا فقط در فاصله بین کلک و درب ورودی اتاق (جایی که انسان کمترین بهره را از آنجا می‌برد) در جریان است، ضعیف‌ترین گونه اتاق نسبت به تهویه طبیعی و حرکت باد در داخل اتاق است.

– در گونه‌های شماره ٤ و ۵ که از پنجره در جبهه جنوب‌شرقی استفاده شده است، با توجه به وجود جریان چرخشی در پشت اتاق، پنجره نه تنها نقش خروجی جریان باد را نداشته بلکه چرخش باد باعث شده که نقش ورودی جریان باد را داشته و لذا باید در طراحی پنجره تدابیری اندیشیده شود تا گردوخاک حاصل از چرخش باد وارد اتاق نگردد.

– گونه‌های دارای کشیدگی شمال‌شرقی- جنوب‌غربی عملکرد بهتری نسبت به تهویه طبیعی داخل دارند.

– مسدود بودن کلک در گونه‌های ۵ و ٦ سبب ساکن بودن هوا در نزدیک سقف و قرارگرفتن هوای گرم در این ناحیه شده و هوای این ناحیه تخلیه نمی‌گردد.

– گونه شماره ۲، با توجه به اینکه از هر سه نوع هواکش جهت تهویه طبیعی داخل بهره برده و پراکندگی هواکش‌ها در اتاق مناسب است بهترین عملکرد را نسبت به تهویه طبیعی داخل دارد.

بنابراین با توجه به نتایج بالا، می‌توان گونه شماره ۲ را که دارای کشیدگی شمال‌شرقی- جنوب‌غربی بوده و از هر سه نوع هواکش با پراکندگی مناسب در اتاق، استفاده نموده است، به‌عنوان گونه بهینه مسکن بومی از نظر تهویه طبیعی انتخاب کرد ولی با توجه به اینکه در مسکن امروز روستایی از سقف گنبدی استفاده نمی‌شود بنابراین گونه شماره ٦ که تنها از صورک و دریچه‌های مشبک در دیوار جبهه شمال‌غربی استفاده کرده، گزینه مناسبی برای استفاده از باد در مساکن جدید روستای

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]

قلعه‌نو است. در مسکن‌های جدید روستایی ساخته‌شده نیز با بستن پنجره‌های بزرگ دیوار جبهه شمال‌غربی و ساخت صورک و دریچه‌های مشبک با پراکندگی مناسب در این دیوار می‌توان شرایط مناسبی برای تهویه طبیعی و استفاده از باد مهیا نمود.

پی‌نوشت

۱. کُلَک (Kolak): بادگیر بومی سیستان که روزنه آن تنها در جهت باد غالب سیستان (شمال‌غرب) است.

۲. دینامیک سیالات محاسباتی (Computational Fluid Dynamics).

3. Chen

4. Computational Wind Engineering.

5. Pedestrian-level wind.

6. Natural ventilation.

7. Wind-driven rain.

۸. صورک (Sourak): از ابداعات مردم سیستان جهت ورود باد از دیوار جبهه شمال‌غربی به داخل اتاق است.

فهرست منابع

– احدی، امین‌اله؛ علیرضایی ورنوسفادرانی، بابک. (۱۳۹۳)، بررسی فرم مناسب سقف و سودمندی استفاده از بادخور و بادگیر در تهویه طبیعی مسکن چابهار، فصلنامه مسکن و محیط روستا، شماره ۱٤۸، صص ٤٤-۳۳.

– اکرمی، غلامرضا؛ یارمحمدی، هومن؛ داهی، سارا. (۱۳۹۱)، بررسی کیفی و کمی انواع سیستم‌های برودتی رایج در بناهای مسکونی روستایی، مطالعه موردی: روستای خور، فصلنامه مسکن و محیط روستا، شماره ۱۳۹، صص ۵۰-۳۳.

– حزبئی، مرتضی؛ ادیب، زهرا و نصراللهی، فرشاد. (۱۳۹۳)، تهویه طبیعی در شوادون‌های شهر دزفول با بهره‌گیری از مدل‌سازی **CFD**، فصلنامه علمی-پژوهشی باغ نظر، شماره ۳۰، صص٤۸-۳۷.

– خسروی، محمود؛ سلیقه، محمد. (۱۳۸٤)، اثرات اکولوژیکی و زیست محیطی بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، پژوهشکده علوم زمین و جغرافیا، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

– داوطلب، جمشید. (۱۳۸۲)، مستندسازی روستای قلعه‌نوی سیستان، مرکز اسناد اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان سیستان و بلوچستان.

– داوطلب، جمشید؛ آذرسا، ساناز. (۱۳۸۸)، الگوی مسکن روستایی سیستان با تأکید بر معماری بومی، اولین کنفرانس ملی مسکن و توسعه کالبدی روستا، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.

– دهقانی، علیرضا؛ آقانجفی، سیروس. (۱۳۸۳)، بررسی تجربی کارایی دو طرح جدید بادگیر و مقایسه آن‌ها با بادگیرهای سنتی، نشریه انرژی ایران، شماره ۲۱، صص ۲٦-۱٤.

– رازجویان، محمود. (۱۳۸۸)، آسایش در پناه معماری همساز با اقلیم، ویرایش دوم، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

– سلیقه، محمد. (۱۳۸۲)، توجه به باد در ساخت کالبدی شهر زابل، جغرافیا و توسعه، شماره ۲، صص ۱۲۱-۱۰۹.

– سرتیپی‌پور، محسن. (۱۳۸۸)، آسیب‌شناسی معماری روستایی: به‌سوی سکونتگاه مطلوب، انتشارات شهیدی، تهران.

– سیمای تلاش تثبیت شن و بیابان‌زدایی. (۱۳۸۲)، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان سیستان و بلوچستان.

– فاضل نیا، غریب؛ کیانی، اکبر؛ خسروی، محمدعلی؛ بندانی، میثم. (۱۳۹۰)، بررسی انطباق الگوی بومی توسعه کالبدی-فیزیکی روستای تمبکاء شهرستان زابل با جهت حرکت طوفان‌های شن و ماسه، فصلنامه مسکن و محیط روستا، شماره ۱۳٦، صص ۱٦-۳.

– علوی، امید؛ باغبانی، ابوالفضل. (۱۳۹۲)، "بررسی عوامل مؤثر در پتانسیل نیروگاه بادی در شهرستان زابل و محاسبه مقدار سود دهی آن"، مجموعه مقالات پنجمین همایش علمی تخصصی انرژی‌های تجدید پذیر و پاک و کارآمد، تهران.

– گل‌محمدی، فرهود. (۱۳۹۰)، بررسی شیوه‌های آموزش و ترویج دانش بومی معماری روستایی (نمونه موردی: استان سیستان و بلوچستان، فصلنامه مسکن و محیط روستا، شماره ۱۳٦، صص ۹٤-۷۹.

– محمودی، مهناز. (۱۳۸۸)، بادگیر نماد معماری ایران، انتشارات یزدا، تهران.

– محمودی، مهناز؛ مفیدی، سید مجید. (۱۳۸۷)، تحلیلی بر گونه‌شناسی معماری بادگیرهای یزد و یافتن گونه بهینه کارکردی، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۳٦، صص۳٦-۲۷.

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]

– معاونت عمران روستایی بنیاد مسکن انقلاب اسلامی. (۱۳۸۸)، قلعه‌نو، یادگاری از گذشته، میراثی برای آینده، انتشارات بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، تهران.
– میرلطفی، محمودرضا؛ توکلی، مرتضی؛ بندانی، میثم. (۱۳۹۱)، بررسی تطبیقی وضعیت استقرار جهات جغرافیایی مسکن روستایی و مصرف انرژی در منطقه سیستان، فصلنامه مسکن و محیط روستا، شماره ۱۳۸، صص ۵۲-۳۲.
– نگارش، حسین؛ لطیفی، لیلا. (۱۳۸۸)، بررسی خسارت‌های ناشی از حرکت ماسه‌های روان در شرق زابل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ش ۶۷، صص ۸۷-۷۳.
- Blocken, B., (2014). 50 years of Computational Wind Engineering Past, present and future. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.129 (2014). 69-102.
- Chang, W.R., (2006). Effect of porous hedge on cross ventilation of a residential building. Build. Environ. 41, 549-556.
- Chen, Q., (2009). Ventilation performance prediction for buildings: a method overview and recent applications. Build. Environ. 44(4), 848-858.
- Chen, Q., Glicksman, L.R., Lin, J., Scott, A., (2007). Sustainable urban housing in China. J. Harbin Inst. Tech. (New Ser.) 14, 6-9.
- Etheridge, D.W., (2011). Natural ventilation of buildings. Theory, measurement and design. Wiley p. 454.
- Evola, G., Popov, V., 2006. Computational analysis of wind driven natural ventilation in buildings. Energy Build. 38, 491-501.
- Memarian, G., Mohammadmoradi, A., Hosseinalipour, M., Heidari, A., & Abdi Ardekani, H. (2015). Vernacular Techniques of Using Wind in order to rehabilitate the Identity of Contemporary Rural Housing Architecture of Sistan. International Research Journal of Applied and Basic Science , 9 (8), 1287-1294.
- Meroney, R.N., (2009). CFD prediction of airflow in buildings for natural ventilation. In: Proceedings 11th Americas Conference on Wind Engineering, San Juan, Puerto Rico, pp. 1-11.
- Reichrath, S., Davvies, T.W., (2002). Using CFD to model the internal climate of greenhouses: past, present and future. Agronomie 22, 3-19.
- Sargazi, Mohammad Ali. (2014). Sustainable Development and its Concepts in Rural Residential Spaces of Sistan, Iran. European Online Journal of Natural and Social Sciences. 3 (4): 98-106.
- Shen, X., Zhang, G., Bjerg, B., (2012). Comparison of different methods for estimating ventilation rates through wind driven ventilated buildings. Energy Build. 54, 297-306.
- Stavridou, A.D., Prinos, P.E., (2013). Natural ventilation of buildings due to buoyancy assisted by wind: investigating cross ventilation with computational and laboratory simulation. Build. Environ. 66, 104-119.
- Tate, G. P. (1910). Sistan, A Memoir on the History, Topography, Ruins, and People of the Country. Calcutta: Supt. Govt. Print.
- van Hooff, T., Blocken, B., (2010b). On the effect of wind direction and urban surrounding on natural of a large semi-enclosed stadium. Comput. Fluids 39, 1146-1155.
- van Hooff, T., Blocken, B., (2012). Full-scale measurements of indoor environmental conditions and natural ventilation in a large semi-enclosed stadium: possibilities and limitations for CFD validation. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 104-106, 330-341.

[Downloaded from jhre.ir on 2023-06-03]