

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

غلامحسین معاریان*، اصغر محمدمرادی*، سیدمصطفی حسینعلی پور**، ابوالفضل حیدری***، سعیده دودی***

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۹۴/۰۸/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۳۹۴/۱۱/۱۸

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 برداشته‌های 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 Ansys fluent 15 (جهت تحلیل رفتار باد) انجام گرفته است. به‌منظور اعتبارسنجی پژوهش، به کمک بادنسج 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 «کُلک» 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 دکتری 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.

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 بادهای 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، ۱۳۸۴: ۱۹). معماران بومی منطقه به منظور استفاده بهینه از باد، جهت‌گیری خانه‌های بومی و دریچه‌های ورود باد را بر مبنای جهت وزش این بادهای شکل داده‌اند به طوری که 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 (کُلک^۱)، خارخانه‌ها و بام‌گنبدی همگی عناصری هستند که جهت مقابله و یا تعدیل اوضاع جوی در خانه‌های سنتی لحاظ شده‌اند (داوطلب و آذرسا، ۱۳۸۸: ۶).

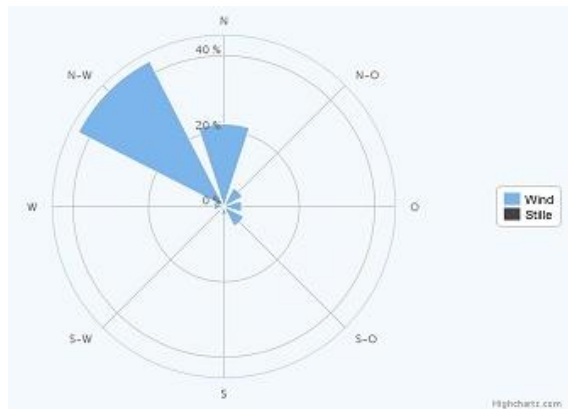
سقف‌های گنبدی این خانه‌ها باعث کاهش انتقال حرارت به درون ساختمان شده، به دلیل آن که هوای گرم اتاق به علت جرم مخصوص کمتر در زیر گنبد جمع می‌شود، انتقال حرارت از سقف اتاق به درون آن به خاطر آن که هوای گرم در نزدیکی سقف می‌باشد، کاهش می‌یابد. با توجه به جمع شدن هوای گرم در زیر گنبد به دلیل ارتفاع موجود بین سقف گنبدی و کف اتاق، محیط مناسب‌تر و راحتی در آن فضا ایجاد می‌گردد (دهقانی و آقاجفی، ۱۳۸۳: ۱۵). علاوه بر این، شکل‌گیری خانه‌ها جهت استفاده حداکثری از باد طوری است که پنجره‌ها و کُلک‌ها 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. به نظر 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 (به دلیل 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

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

روش تحقیق به کار رفته در این مقاله شامل دو بخش کیفی و کمی 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 به صورت 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 کمی استفاده شده است. بدین صورت که ابتدا پارامترهای مؤثر بر تهویه هوای داخل مشخص شد. جهت تعدیل پارامترها و کاهش تعداد شبیه‌سازی‌ها از روش تاگوجی 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 به وسیله 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 فلونت (جهت تحلیل رفتار باد) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. اطلاعات مربوط به جهت و سرعت باد که در داده‌های ورودی به نرم‌افزار فلونت 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

است) به صورت 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؟

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^۳ (۲۰۰۹) اشاره می‌کند که مدل‌های CFD در حال حاضر پرکاربردترین روش برای مطالعه کیفیت هوای داخلی و تهویه طبیعی هستند. به همین 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 به وسیله (Evola and Popov, 2006; Chang, 2006; Meroney, 2009; Shen et al. 2012; Stavridou and Prinos, 2013) ارائه شده 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 به هم فشردن ساختمان‌های اطراف به طور عجیبی وسیع است (van Hooff and Blocken, 2010b). از جمله مطالعات صورت گرفته 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. حزئی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش CFD به تحلیل

تهویه طبیعی در شواون‌های 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 به صورت توصیفی - تحلیلی به بررسی مسکن روستایی منطقه سیستان پرداخته‌اند. از قدیمی‌ترین منابع موجود، می‌توان به گزارش مکتوب «جورج پیترتیت» 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 به صورت قابل تحسینی 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 (۲۰۱۴) 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

ویژگی‌های کالبدی شهر زاہل 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)^۴ 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)^۵ در ساختمان‌ها؛

ب) شبیه‌سازی CFD در تهویه‌های طبیعی (NV)^۶ ساختمان‌ها؛

ج) شبیه‌سازی CFD در باران‌های ناشی از باد (WDR)^۷ 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 ۴۸۲ متر ارتفاع از سطح دریا، در فاصله ۸ کیلومتری جنوب شهرستان زهک و در ۴۴ کیلومتری جنوب‌شرقی زاہل 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: ۶) 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، کلبه تدابیر به‌کار رفته در معماری بر مبنای استفاده از مصالح بومی (خشت و گل) متمرکز شده

و این موضوع خودبسندگی قابل ملاحظه‌ای را برای

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 تهویه طبیعی در

معماری بومی روستا

جدول شماره ۱، عناصر مهم مسکن روستایی در این روستا را که در تهویه مطبوع داخلی مسکن مؤثر می‌باشد، نشان می‌دهد.

انواع سقف در مسکن بومی روستای قلعه‌نو

با استفاده از مطالعات و برداشت‌های میدانی از مسکن‌های منتخب و بومی در سطح روستا مشخص شد که انواع سقف متناسب با کاربری هر اتاق در این مسکن‌ها اجرا شده است. جدول شماره ۲، تعدادی از خانه‌های بومی برداشت شده در روستای قلعه‌نو را نشان می‌دهد.

با توجه به فراوانی نوع سقف سیستانی، این مقاله در تلاش است تا با تحلیل این نوع سقف و جهت‌های متفاوت و دریچه‌های مختلف آن در نرم‌افزار فلونت بتواند به فرم و جهت بهینه دست یابد. بدین منظور و جهت تعدیل تعداد شبیه‌سازی‌ها و انتخاب گونه‌های محدود که منتخبی از اتاق‌های مسکن‌های بومی روستا بوده و نتایج آن قابل تعمیم است از روش تاگوچی استفاده شده است. در گام نخست پارامترهای مؤثر بر 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 شبیه‌سازی‌هایی که جهت تحلیل جریان باد در مسکن بومی در حالت طبیعی باید انجام گردد دو به توان شش یعنی ۶۴ مورد شبیه‌سازی است که انجام تمامی ۶۴ مورد شبیه‌سازی کاری زمان‌بر است، بنابراین جهت تعدیل شبیه‌سازی‌ها از روش تاگوچی استفاده شده است. این روش تحت نرم‌افزار Minitab انجام شده بدین صورت که پارامترها و سطح آزمایش موجود در جدول ۳ در روش تاگوچی به‌عنوان داده تعریف شد، سپس تاگوچی گروهی از مؤثرترین شبیه‌سازی‌ها را که تعداد ۸ شبیه‌سازی بود و در تصویر شماره ۲ مشخص است، پیشنهاد داد.

با توجه به برداشت‌های میدانی مسکن بومی روستای قلعه‌نو و مصاحبه با معماران بومی مشخص شد که در تصویر شماره ۲، ردیف ۱ و ردیف ۸ که شامل گونه اتاق شمال غربی - جنوب شرقی و دارای صورک^۱ است، در منطقه ساخته نشده است و لذا ردیف‌های ۱ و ۸ از فرایند شبیه‌سازی حذف می‌گردد. بنابراین با توجه به توضیحات بالا، فرایند شبیه‌سازی برای شش گونه اتاق (ردیف‌های ۲ تا ۷ از تصویر شماره ۲) مطابق آنچه در جدول شماره ۴ آمده است صورت می‌گیرد. در

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 ۶۶ 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	سقف سیستانی (زبری)	اگر دهانه سقف سه متر و پلان اتاق مستطیلی باشد، آجرچینی از دو طرف شروع، به صورت قوسی ادامه پیدا کرده و در مرکز گنبد خاتمه می‌یابد (Memarian et al:2015, 1290).	
	سقف قبل‌پوش	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 گپورهای (بزنی‌پوش)	معمولاً برای سقف‌هایی کاربرد دارد که دارای عرض کم و طول زیاد هستند. ابتدا و انتهای سقف به صورت دیوار عمودی (اسپر) 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	گنک	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).	
	صورتک	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 : ۴۰).	

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

نسبت سقف‌ها	توضیحات	نمونه‌هایی از مسکن بومی در روستای قلعه‌نو
سقف سیستانی: ۶۷٪ سقف فیل پوش: ۳۳٪	اتاق‌های اصلی: سقف سیستانی اتاق‌های خدماتی: سقف فیل پوش	
سقف سیستانی: ۵۰٪ سقف فیل پوش: ۵۰٪	اتاق‌های میهمان: سقف سیستانی اتاق‌های عمومی و خدماتی: سقف فیل پوش	
سقف سیستانی: ۸۵٪ سقف فیل پوش: ۱۵٪	تنها یکی از فضاهای اصلی این واحد مسکونی دارای سقف فیل پوش می‌باشد.	
سقف سیستانی: ۱۰۰٪	تمامی اتاق‌های این واحد مسکونی دارای سقف سیستانی می‌باشند.	
سقف سیستانی: ۸۵٪ سقف فیل پوش: ۱۵٪	اتاق‌های اصلی این واحد مسکونی نیز دارای سقف سیستانی هستند. تنها سقف فیل پوش این واحد مربوط به فضای خدماتی است.	
سقف سیستانی: ۶۰٪ سقف فیل پوش: ندارد سقف گهواره‌ای: ۴۰٪	این واحد مسکونی سقف فیل پوش 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 به صورت کروی (فیل پوش)، سقف‌های روشن به صورت سیستانی (زبری) و سقف‌های سفیدرنگ به صورت گهواره‌ای (یزدی پوش) اجرا می‌شوند. منبع نقشه‌ها: داوطلب، ۱۳۸۲.

پنجره جنوبی	فرم کشیدگی اتاق	تعداد صورت (ابعاد ۰/۲ * ۰/۳)	تعداد درجه‌های مشبک (ابعاد ۰/۲ * ۰/۲)	بود یا نبود بازشو در دیوار جبهه شمالی	بود یا نبود درجه ورود باد از سقف (کُلک)	پارامترهای مؤثر سطح آزمایش
دارد	شمالی - جنوبی	۳	۴	وجود دارد	۰/۲ * ۰/۲	۱
ندارد	شرقی - غربی	بدون صورت	بدون درجه	بدون بازشو	بدون کُلک	۲

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
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱										
۲	۱	۱	۱	۱	۲	۲										
۳	۱	۱	۱	۱	۱	۲										
۴	۱	۱	۱	۱	۲	۱										
۵	۱	۲	۲	۲	۲	۱										
۶	۲	۱	۱	۲	۲	۱										
۷	۲	۱	۱	۱	۱	۲										
۸	۲	۱	۱	۱	۱	۱										

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

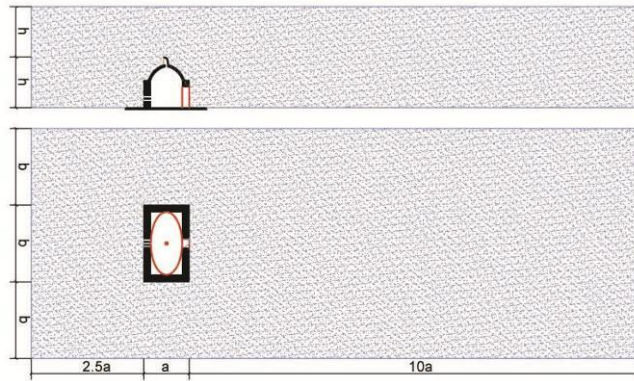
به منظور تحلیل صحیح رفتار باد شبکه مش که برای تحلیل رفتار باد در این گونه‌ها توسط نرم‌افزار گمبیت ایجاد گردید شامل ایجاد مش در داخل و خارج از اتاق بود. از آنجا که رفتار باد با گذر از اتاق در پشت آن نیز حائز اهمیت بود بنابراین شبکه مش طولانی‌تری در بخش پشت به باد اتاق ایجاد گردید. در بخش جلو و روبه باد اتاق نیز سرعت باد باید از فاصله دورتری در نرم‌افزار فلونتت 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

نرم‌افزارهای به‌کار رفته جهت انجام مهندسی محاسبات باد در این مقاله، Gambit 2.4.6 جهت شبیه‌سازی اتاق و ایجاد شبکه مش و Ansys fluent 15 جهت تحلیل رفتار باد در اتاق می‌باشند. جهت انجام کار، هر یک از هندسه‌های موجود در جدول شماره ۴، 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.

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)	جهت اتاق	کلک	صورتک	دریچه‌های مشبک	پنجره جهت مکش
۱			شمال شرقی - جنوب غربی	دارد	ندارد	۴ دریچه	ندارد
۲			شمال شرقی - جنوب غربی	دارد	۳ صورتک	۴ دریچه	ندارد
۳			شمال غربی - جنوب شرقی	دارد	ندارد	ندارد	ندارد
۴			شمال غربی - جنوب شرقی	دارد	ندارد	۴ دریچه	دارد ابعاد ۱*۱/۲
۵			شمال غربی - جنوب شرقی	ندارد	ندارد	۴ دریچه	دارد
۶			شمال شرقی - جنوب غربی	ندارد	۳ صورتک	۴ دریچه	ندارد

ج ۴. حالات مختلف اتاق غالب بومی منطقه سیستان نسبت به استفاده از تهویه طبیعی.



ت ۴. ابعاد و تناسبات شبکه مش ایجاد شده در اطراف اتاق موجود در مسکن بومی توسط نرم افزار گمبیت (جهت باد غالب در شکل فوق از سمت چپ به سمت راست است)، (عرض اتاق = a ، طول اتاق = b ، ارتفاع اتاق = h).

است (Blocken, 2014). به منظور اعتبارسنجی مطالعات صورت گرفته در این رساله، مطالعات اندازه گیری محیطی سرعت باد توسط بادسنج دیجیتال Anemometer Kestrel 1000 با دقت اندازه گیری ۰/۱ متر بر ثانیه (تصویر شماره ۴) در دو گونه اتاق با مشخصات گونه های ۱ و ۲ مطابق جدول شماره ۴ 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 اندازه های محیطی مطابقت توسط نرم افزار فلونت با اندازه های محیطی مطابقت دارد و لذا رفتار باد که توسط این نرم افزار تحلیل شده به واقعیت نزدیک است. جدول شماره ۶ میانگین داده های حاصل از اندازه گیری های 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 می دهد.

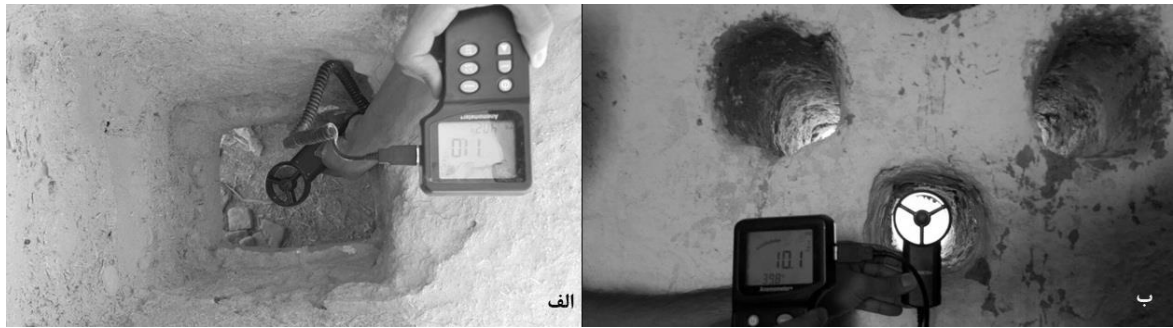
این شبکه مش در دو سمت اتاق، برابر طول اتاق و در بالای اتاق نیز برابر ارتفاع اتاق است. پس از تعریف شبکه مش برای اتاق های منتخب، رفتار این اتاق ها در برابر انرژی باد با استفاده از نرم افزار فلونت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. سرعت بادی که در این نرم افزار به عنوان ورودی در فاصله ۲/۵ برابری شمال اتاق (سمت باد غالب منطقه) تعریف شده است، برابر با میانگین سرعت باد غالب ده ساله اخیر منطقه سیستم است که از داده های ایستگاه هواشناسی زابل به دست آمده و برابر با ۹ متر بر ثانیه است که پس از رسیدن به اتاق، سرعت میانگین آن به ۸ متر بر ثانیه کاهش می یابد. جدول شماره ۵، نتایج حاصل از تحلیل سرعت باد در هر یک از گونه های منتخب را توسط نرم افزار فلونت نشان می دهد.

اعتبارسنجی مطالعات صورت گرفته

در تهویه طبیعی، اعتبارسنجی و تصدیق شبیه سازی های دینامیک سیالات محاسباتی، واجب

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 ۵-۸ 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.	<p>طیف آبی: از صفر تا ۴ متر بر ثانیه. طیف سبز و زرد: از ۴ تا ۹/۷۵ متر بر ثانیه. طیف قرمز: از ۹/۷۵ تا ۱۴ متر بر ثانیه</p>
۲				بادی با میانگین ۸ متر بر ثانیه از کلک در سقف، دریچه‌های مشبک در مرکز دیوار شمال غربی و ارتفاع ۰/۵ متری از کف و ورودی در مرکز و طرفین دیوار جبهه شمال غربی 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.	
۴				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 جنوب شرقی به دلیل وجود تلاطم در پشت اتاق نقش ورودی باد را دارد.	
۵				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.	
۶				بادی با میانگین ۸ متر بر ثانیه از طریق صورتک و دریچه‌ها وارد اتاق شده و با توجه به پراکندگی دریچه‌ها، در محل‌های نشستن ساکنین در جریان بوده، ولی سرعت باد در نزدیک سقف به دلیل مسدود بودن کلک، نزدیک به صفر است.	

ج ۵. تحلیل رفتار باد در گونه‌های منتخب.



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			$V_A = 0 \text{ m/s}$ $V_B = 3.5 - 9 \text{ m/s}$ $V_C = 5 - 14 \text{ m/s}$ $V_D = 1.5 - 1.7 \text{ m/s}$ $V_E = 8 - 13 \text{ m/s}$ $V_F = 7 - 8 \text{ m/s}$
۲			$V_B = 3.5 - 9 \text{ m/s}$ $V_C = 5 - 14 \text{ m/s}$ $V_D = 1.5 - 1.7 \text{ m/s}$ $V_E = 8 - 13 \text{ m/s}$ $V_F = 7 - 8 \text{ m/s}$ $V_G = 8 - 9 \text{ m/s}$ $V_H = 14 - 15 \text{ m/s}$

ج ۶. میانگین اندازه‌گیری‌های محیطی با استفاده از بادسنج دیجیتال در دو گونه منتخب در طول دوره سه‌ماهه (اواسط خردادماه تا اواسط شهریورماه ۹۴).

نتیجه

سرعت باد غالب در شمال‌غربی اتاق و نزدیکی اتاق کاهش یافته اما در محل دریچه‌ها به دلیل 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

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

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 ۱۸-۲۵ 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 ۶ در راستای شمال‌شرقی - جنوب‌غربی و عمود بر باد غالب منطقه، تلاطم و چرخش جریان باد در پشت این گونه‌ها بیشتر بوده، به دلیل 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 ۶ باید در فاصله بیش از ۴a (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، ۴ 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 به دلیل 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 ۴ 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 ۶ 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 ۶ که تنها از سورک و دریچه‌های مشبک در دیوار جبهه شمال‌غربی استفاده کرده، گزینه مناسبی برای استفاده از باد در مسکن جدید روستای

- 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؛ آفانجفی، سیروس. (۱۳۸۳)، بررسی تجربی کارایی دو طرح جدید بادگیر و مقایسه آن‌ها با بادگیرهای سنتی، نشریه انرژی ایران، شماره ۲۱، صص ۲۶-۱۴.

- 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: به سوی سکونتگاه مطلوب، انتشارات شهیدی، تهران.

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

- فاضل‌نیا، 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 ۱۳۶، صص ۱۶-۳.

- 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 ۱۳۶، صص ۹۴-۷۹.

- 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 ۳۶، صص ۳۶-۲۷.

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

پی‌نوشت

۱. کُلک (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. صورتک (Sourak): از ابداعات مردم سیستان جهت ورود باد از دیوار جبهه شمال‌غربی به داخل اتاق است.

فهرست منابع

- احدی، امین‌اله؛ علیرضایی ورنوسفادرائی، بابک. (۱۳۹۳)، بررسی فرم مناسب سقف و سوده‌مندی استفاده از بادخور و بادگیر در تهویه طبیعی مسکن چابهار، فصلنامه مسکن و محیط روستا، شماره ۱۴۸، صص ۴۴-۳۳.

- 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.

- حزبی، 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، صص ۴۸-۳۷.

- خسروی، محمود؛ سلیقه، محمد. (۱۳۸۴)، اثرات اکولوژیکی و زیست محیطی بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، پژوهشکده علوم زمین و جغرافیا، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

- 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.
- 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., Davies, 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.