

## بررسی و شناخت اثر خارخانه بر میزان سرعت باد در مسکن بومی سیستان

ابوالفضل حیدری\* (استادیار گروه معماری، دانشگاه زابل)

جمشید داوطلب (استادیار گروه معماری، دانشگاه زابل)

### چکیده

یکی از نقاط بادخیز ایران، منطقه سیستان است و وزش باد در این منطقه تأثیر فراوانی بر روی ساخت وسازهای روستایی گذاشته و الگوهای منحصر به فردی را ایجاد کرده است. خارخانه‌های ساخته شده توسط معماران بومی سیستان یکی از الگوهای هستند که در جهت تعدیل اوضاع جوی به خصوص سرعت جریان باد در معماری بومی این منطقه شکل گرفته‌اند. تاکنون تحقیقاتی در مورد شناخت اثر خارخانه بر میزان سرعت باد و شرایط بهینه آن در مسکن بومی سیستان انجام نگرفته است؛ از این رو این مقاله میزان سرعت باد در داخل فضای مسکن بومی دارای خارخانه اندازه‌گیری و شرایط آسایش انسانی را با فضای مشابهی که بدون خارخانه است، مقایسه کرده و به نوعی دنبال بهینه‌ترین سرعت باد در جهت دستیابی به آسایش حرارتی ساکنان مسکن بومی سیستان بوده است. در مقاله حاضر از روش پژوهش اندازه‌گیری میدانی بر روی دو گونه اتاق کاملاً مشابه دارای خارخانه و بدون خارخانه و همچنین نقطه‌ای به عنوان مبنا در بیرون بنا، طی گرم‌ترین روزهای سال در تیر ۱۳۹۸ و با فواصل زمانی ۳ ساعته استفاده شده است و برای تحلیل داده‌ها از روش آمار توصیفی توسط نرم‌افزار اکسل استفاده شده است. یافته‌های تحقیق نشان داده است که با توجه به برهم کنش سرعت جریان باد و دمای هوا برای رسیدن به آسایش حرارتی، در دمای کمتر از  $32/5$  درجه، جریان هوا تأثیر مثبت و در دمای بیش تر از آن اثر منفی بر آسایش حرارتی دارد؛ حال آنکه مطابق با تحلیل داده‌های میدانی، میانگین دمای هوا در فضای بیرون و اتاق بومی بدون خارخانه در تابستان بیش از  $32/5$  درجه سانتی‌گراد است و جریان باد در این دو مکان اثر منفی دارد؛ در حالی که در اتاق دارای خارخانه، دما در تمام ساعات شبانه‌روز زیر  $30$  درجه سانتی‌گراد است و جریان هوای حدود ۱ متر بر ثانیه در این فضا اثر بسیار مثبتی بر آسایش افراد داشته است.

تاریخ دریافت: ۱۲ مرداد ۱۳۹۸

تاریخ پذیرش: ۱۷ اسفند ۱۳۹۸

صفحات: ۶۴-۴۹



کلید واژه‌ها:

خارخانه، باد، دمای هوا، مسکن بومی، سیستان.

## مقدمه

فهم چشم‌گیر ایرانیان در زندگی در این سرزمین خشک حاصل هزاران سال تجربه‌اندوژی در این اقلیم است. آنچه نشانه نبوغ نادر ایرانیان است، ساختن تمدنی درخشان در اوضاع بسیار سخت طبیعی است (بیزلی<sup>۱</sup> و هارورسن<sup>۲</sup>، ۱۳۹۲: ۱۹). یکی از پدیده‌های اقلیمی مهم در ایران «باد» است؛ که از پارامترهای بسیار ناپایدار آب و هوایی بوده و بسته به شرایط آب و هوایی هر منطقه تغییر می‌کند (کاک‌نیلسن<sup>۳</sup>، ۱۳۸۹: ۲۸). ایرانیان زیستگاه‌ها را چنان جهت داده‌اند که از باد در امان باشند و هم‌زمان بتوانند به روش‌های ویژه نیروی آن را بگیرند. اهمیت باد در طرح و ساخت محیط مسکونی از دیرباز مورد توجه بوده‌است؛ به طوری که ارسطو چهار قرن قبل از میلاد و ویتروویوس<sup>۴</sup> یک قرن قبل از میلاد از روش استفاده از باد در معماری صحبت کرده‌اند (قلعه‌نوی، ۱۳۹۱: ۵).

یکی از نقاط بادخیز ایران، منطقه سیستان است (خسروی، ۱۳۸۹: ۳). مطالعات بسیاری باد سیستان موضوع اصلی بررسی پژوهش‌های بی‌شماری قرار گرفته‌است. در این میان، برخی مطالعات به شناخت ویژگی‌های آماری باد سیستان چون: شدت، فراوانی وقوع، مدت وزش باد پرداخته‌اند؛ در حالی که بخش دیگری از مطالعات نقش باد سیستان در ایجاد فرسایش بادی یا توان بالقوه این باد در رابطه با استفاده از انرژی نو را مورد بررسی قرار داده‌اند؛ از جمله این مطالعات می‌توان به کاویانی (۱۳۷۴)، هادریادی (۱۳۷۹)، گندمکار (۱۳۸۵)، گندمکار (۱۳۸۸)، علیجانی و رئیس‌پور (۱۳۹۰)، خسروی و نظری‌پور (۱۳۹۱) و پودینه و همکاران (۱۳۹۷) اشاره داشت. در کتاب «جغرافیای تاریخ سیستان، سفر با سفرنامه‌ها»

اشاره شده‌است که اگر قرار باشد به سرزمینی نام «مملکت باد» اطلاق شود، مناسب‌تر از ایالت سیستان پیدا نخواهد شد. وزش این باد انسان را تا حد فرسودگی اعصاب ناراحت می‌کند؛ از طرف دیگر، وزیدن این باد در سیستان یک نوع نعمت است، چون که گرمای سیستان را تخفیف می‌دهد. بدون این باد زندگی در تابستان مصیبت بزرگی است (مکماهون<sup>۵</sup>، ۱۳۷۸: ۳۸۷). وزش بادهای شمالی و شمال‌غربی در ماه‌های گرم سال پدیده‌ای به نام بادهای ۱۲۰ روزه را به وجود می‌آورد (فاضل‌نیا و همکاران، ۱۳۹۰: ۷) که متوسط سرعت این باد در شهر زابل حدود ۹ متر بر ثانیه است (علوی، باغبانی، ۱۳۹۲: ۱). جدول شماره ۱ میانگین سرعت باد به تفکیک ماه را در ایستگاه زابل طی دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۹۶ و شکل شماره ۱ نیز گلباد این ایستگاه را نشان می‌دهد (فرج‌زاده و رازی، ۱۳۹۰: ۲۸). سرچشمه این باد از فلات پامیر و صحاری هرات بوده و از سرحد شرقی افغانستان وارد منطقه سیستان می‌شود (رفاهی، ۱۳۷۸: ۷). خسروی (۱۳۸۷) نیز علت وزش بادهای شمال تا شمال‌غرب در سیستان را حاصل تضاد فشار هوا بین کانون کم‌فشار موسمی مستقر در جنوب ایران و پاکستان و مراکز پرفشار دریای خزر تا آسیای میانه و شمال افغانستان می‌داند (حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵: ۸۴).

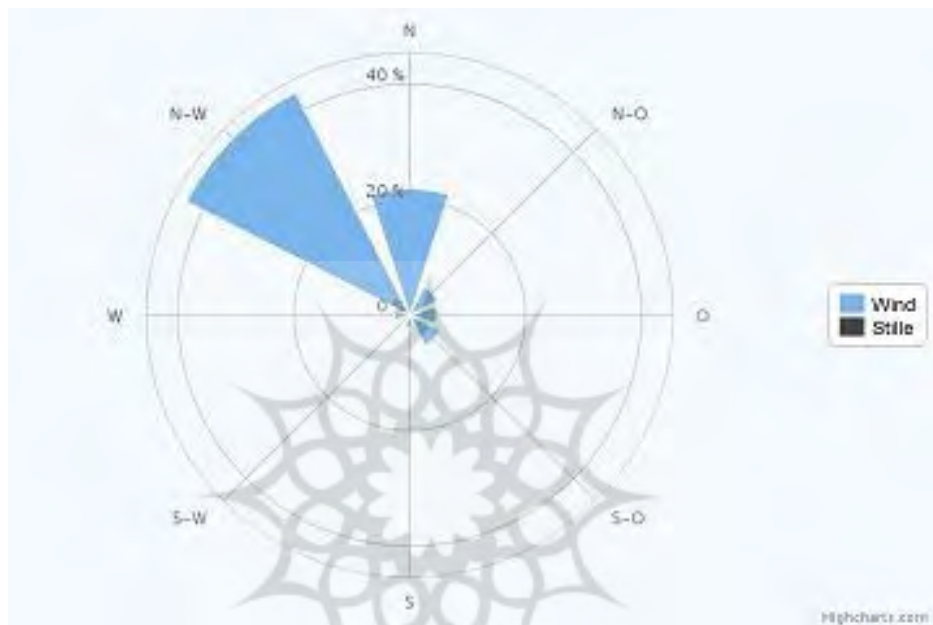
1. Elizabeth Beazley
2. Michael Harverson
3. Holger Koch-Nielsen
4. Marcus Vitruvius Pollio

5. McMahon, S. H.

جدول ۱. میانگین سرعت باد به تفکیک ماه در ایستگاه زابل طی دوره آماری (۱۹۹۶-۲۰۰۵)

زابل	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	م	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
سرعت (m/s)	۴/۹	۶/۴	۷	۷/۹	۱۰/۶	۱۱/۹	۱۵/۷	۱۵/۳	۱۱/۳	۱۰/۸	۵/۸	۴/۴

(منبع: فرج‌زاده و رازی، ۱۳۹۰)



شکل ۱. گلباد شهرستان زابل

(منبع: معماریان و همکاران، ۱۳۹۶)

مصرف سوخت و مهم‌تر از آن ارتقای کیفیت آسایش و بهداشت محیط‌های مسکونی و سالم‌سازی محیط‌زیست می‌شود (میرلطفی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۹).

تأثیر بادهای ۱۲۰ روزه سیستم در تعدیل شرایط گرمای منطقه تا حدی است که بر جهت‌گیری کالبدی سکونتگاه‌های زابل به نحوی تأثیر گذاشته‌است که امکان هدایت جریان باد به داخل منازل مسکونی را از طریق بادگیرهایی موسوم به «کُک» تأمین کند

وزش باد در منطقه سیستم، تأثیر فراوانی بر روی معماری و مسکن روستایی گذاشته و الگوهای منحصر به فردی را به وجود آورده‌است. معماری بومی در این منطقه مانند هر منطقه دیگر متأثر از شرایط اقلیمی و فرهنگی آن منطقه است (حیدری، ۱۳۹۴: ۳). اجرای روش‌های مناسب در طراحی ساختمان که با اقلیم محلی و منطقه‌ای هماهنگی داشته باشد، همواره مورد توجه معماران بومی منطقه سیستم قرار گرفته و توجه به نیروهای طبیعی و زوال‌ناپذیر همچون باد از دیرباز در این منطقه معمول بوده‌است. استفاده از نیروی باد در ساختمان سبب صرفه‌جویی در

بدون وزش بادهای ۱۲۰ روزه در تابستان شرایط دمایی غیرقابل تحمل خواهد بود و باید به دنبال راهکارهایی برای استفاده بهینه از انرژی باد در فضای داخل بود.

این مقاله در تلاش است تا با استفاده از خارخانه که ابداعی بومی در جهت خنک کردن هوای داخل است، میزان سرعت باد را در داخل فضای مسکن بومی اندازه گیری کرده و شرایط آسایش انسانی را با فضای مشابهی که بدون خارخانه است مقایسه کند و به نوعی به دنبال بهینه ترین سرعت باد در جهت دستیابی به آسایش حرارتی ساکنان مسکن بومی سیستان است. این مهم با پاسخگویی به سؤالات زیر امکان پذیر است:

- سرعت باد در داخل مسکن بومی سیستان در چه محدوده آسایشی قرار دارد؟

- خارخانه به عنوان یکی از عناصر مؤثر در تهویه طبیعی مطبوع در مسکن بومی سیستان تا چه میزان سرعت باد را به شرایط بهینه نزدیک می کند؟

در دهه های گذشته، تلاش های پژوهشی زیادی برای کمک به ارزیابی اجرای تهویه طبیعی ساختمان ها و مطالعات جامعی روی روش های تخمین ارزیابی کارکرد تهویه در ساختمان ها صورت گرفته است (Chen, 2009; Reichrath and Davis, 2002; Etheridge, 2011). در سال ۱۹۹۴ گیونی<sup>۲</sup> و در سال ۱۹۹۹ همفریز<sup>۳</sup> در این مورد پژوهش های قابل توجهی داشته اند. گیونی حد آسایش و عدم آسایش ناشی از جریان هوا را بین ۲۹ تا ۳۰ درجه سانتی گراد ذکر کرد و همفریز تا ۳۰/۸ برای مردم اروپا آن را تغییر و افزایش داد. دیگر پژوهشگران از جمله (Rohles, et al, 1974; Tanabe, et al, 1989; Fountain, et al, 1994; Mayer, 1992 and Arens, et al, 1998) به این نتیجه رسیده و تأکید داشته اند که جریان هوا تأثیر قابل توجهی در رسیدن به آسایش حرارتی یا

(فاضل نیا و همکاران، ۱۳۹۰: ۷). معماران بومی سیستان با اجرای راه حل هایی جالب و مؤثر که بعضاً در نوع خود بی نظیر 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 سکونت گاه خود استفاده کرده اند. خارخانه ها یکی از عناصری هستند که برای مقابله یا تعدیل اوضاع جوئی در معماری بومی این منطقه لحاظ شده اند (داوطلب و آذرسا، ۱۳۸۸: ۶). معماریان و همکاران (۱۳۹۶) عناصر مهم و تأثیرگذار بر تهویه طبیعی در معماری بومی سیستان را دیوارها، سقف های گنبدی و هواکش ها معرفی کرده و بیان می دارند که برای تعدیل دما و استفاده بهتر از انرژی باد در جهت خنک کردن فضای داخل در پشت هواکش هایی که در دیوار جبهه شمال غربی مسکن قرار گرفته است، با انباشتن توده های خار موسوم به «خارخانه» در قسمت بیرونی اتاق و جلوی هواکش ها از گرمای هوای اطراف کاسته و محیط خنکی ایجاد می شده است (معماریان و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۷).

پس از وقوع خشک سالی و به دنبال بروز پدیده طوفان و افزایش ریزگردها که در نوع خود مخاطرات زیادی را متوجه فعالیت و زیست ساکنان نواحی روستایی در معرض این پدیده کرده است، ایده های مختلفی در جهت مقابله با آن مطرح شده است؛ در این میان به طور معمول روش ها و ایده هایی که بیشترین تطبیق را با شرایط بومی و محلی داشته باشند، ارجحیت خواهند داشت (فاضل نیا و همکاران، ۱۳۹۰: ۴). این مطالعات بیانگر این است که با تغییر اقلیم در منطقه سیستان و افزایش ریزگردها نیاز به مقابله، انحراف و کاهش سرعت باد قبل از رسیدن به سکونتگاه ها بیش از پیش احساس می شود؛ از طرفی در داخل سکونتگاه ها نیز

2. Givoni  
3. Humpherys

1. Kharkhona

(حیدری، ۱۳۹۱: ۴۱). رازجویان در کتاب «آسایش در پناه باد» تأکید دارد که در اقلیم‌هایی که جریان باد مزاحم است، می‌توان ساختمان‌ها را در پناه یکدیگر و موانع طبیعی و گیاهی بنا کرد تا در مسیر جریان سریع باد قرار نگیرند (رازجویان، ۱۳۷۹: ۸۶). حسن فتحی معمار معروف عرصه روستایی در مصر به ارائه طرح‌هایی در جهت بهبود معماری روستایی مصر پرداخته که با توجه به شباهت بافت روستایی مصر و منطقه سیستان، می‌تواند راهنمای مناسبی در جهت بهینه‌سازی مسکن روستایی در منطقه سیستان باشد. ازجمله این راهکارها، ساخت تلفیقی بادگیرها و خارخانه‌هایی است که در جهت استفاده از تهویه طبیعی استفاده و طراحی کرده‌است (فتحی، ۱۳۸۲: ۶۴). (Py1a/#533: #64)

در مطالعات مربوط به باد در حوزه معماری سیستان، سلیقه در تحقیقی، روابط ویژگی‌های کالبدی شهر زابل را با جهت بادهای غالب منطقه مورد بررسی قرار داده و به این نتایج دست یافت: خیابان‌هایی که جهت آن‌ها به موازات جهت بادهای غالب است، اثر کانالیزاسیون خیابان‌ها باعث افزایش سرعت بادهای می‌شود؛ خیابان‌هایی که عمود بر جهت وزش باد غالب است، اثر سیرکولاسیون و چرخش هوا، سبب انباشته شدن ماسه‌های بادی و آلودگی‌های محیطی می‌شود (سلیقه، ۱۳۸۲: ۱۱۶). فاضل‌نیا و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای به بررسی انطباق الگوی بومی توسعه کالبدی - فیزیکی روستای تمبکاء<sup>۳</sup> شهرستان زابل با جهت حرکت طوفان‌های شن و ماسه پرداخته و اظهار داشته‌اند که در بافت قدیمی روستا، جهت استقرار مسکن به سمت جنوب بوده و دریچه‌هایی را در سمت شمال مسکن قرار می‌داده‌اند تا هوای لطیف و خنک وارد خانه شود. در#تابستان‌ها نیز پشته‌ای از بوته‌های خار را مقابل

عدم آسایش حرارتی افراد دارد. تافتوم<sup>۱</sup> (۲۰۰۴) به این نتیجه رسید که مردم در شرایط دمایی کمی سرد تا کمی گرم به جریان هوا حساس‌اند. او به این منظور مسئله را در سطح جریان هوای زیر ۰/۱۵ متر بر ثانیه و بیش‌تر از آن بررسی کرد. حاصل تحقیقات وی این بود که وقتی افراد در حالت خنثی یا کمی گرم هستند، درخواست جریان هوای بیشتری دارند. در همین مورد زنگ و همکارانش<sup>۲</sup> (۲۰۰۵) دریافتند که در دمای کمتر از ۲۳ درجه (سرد) حدود ۶۰٪ درخواست کاهش جریان هوا، در دمای بیش از ۲۶ درجه حدود ۷۰٪ درخواست افزایش جریان هوا و در بین این دو حد بیش از ۸۵٪ درخواست عدم تغییر در شدت جریان هوا هستند. حیدری (۱۳۹۱) اشاره دارد که در طول روز بادهای در مناطق گرم سرعت زیادی دارند و طراح به خوبی نمی‌تواند این نکته را تشخیص دهد که این باد برای استفاده‌کنندگان از فضا مطلوب است یا خیر؟ وی ضمن بررسی برهم‌کنش جریان هوا، دما و راحتی در اقلیم گرم‌وخشک ایران نشان می‌دهد که در دمای ۲۷ و ۲۸ درجه سانتی‌گراد هیچ تفاوتی در احساس حرارتی ناشی از تأثیر سرعت جریان هوا وجود ندارد. دلیل آن این است که دمای خنثی مناطق گرم کشور براساس مطالعات وی حدود ۲۸ درجه‌است؛ اما در دمای ۲۹ تا ۳۲ درجه، سرعت هوای بیش‌تر باعث آسایش حرارتی بیش‌تری می‌شود. جالب این‌که در دمای بالاتر، سرعت هوا تأثیر منفی دارد و احساس حرارتی را به سمت عدم آسایش بیش‌تر سوق می‌دهد. تحلیل‌های وی در نهایت نشان می‌دهد که در دمای کمتر از ۳۲/۵ درجه، جریان هوا تأثیر مثبت و در دمای بیش‌تر از آن اثر منفی بر آسایش حرارتی دارد. این نکته کلیدی بی‌تردید در طراحی معماری با تکیه بر آسایش حرارتی بسیار مؤثر و تعیین‌کننده است

1. Toftum  
2. Hui Zhang, et al

3. Tembaka

148: 1910). سرگزى (۱۳۹۵) در مقاله خود ضمن اشاره به راهکارهای معماری بومی منطقه در تأمین شرایط آسایش داخلی بنا، نشان داده‌است که شرایط حرارتی منطقه سیستان در حدود ۹ ماه از سال خارج از محدوده آسایش قرار دارد و نیاز به بهره‌گیری از تجهیزات فعال برای رسیدن به آسایش حرارتی است (سرگزى، ۱۳۹۵: ۲۵). سرتیپی پور (۱۳۸۸) و رازجویان (۱۳۸۸) اشاره دارند که مردم منطقه سیستان برای تهویه مطبوع مسکن با انباشت خار در پنجره‌های رو به باد، هوای مطبوعی در داخل مسکن ایجاد می‌کرده‌اند. معماریان و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله خود به تحلیل رفتار باد در تهویه طبیعی مسکن بومی روستای قلعه‌نوی سیستان به کمک<sup>۲</sup> CFD پرداخته‌اند و ضمن گونه‌شناسی انواع اتاق در مسکن بومی، رفتار باد را در هر یک از این گونه اتاق‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و در نهایت به این نتیجه رسیده‌اند که گونه اتاقی که دارای کشیدگی شمال شرقی- جنوب غربی بوده و از تمام عناصر مؤثر بر تهویه طبیعی بهره می‌گیرد، بیشترین کارایی را برای استفاده از انرژی باد داراست (معماریان و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۴).

از بررسی پیشینه و نتایج تحقیقات اشاره شده در بالا، چنین برمی‌آید که تاکنون اظهارنظرهایی کیفی و کلی در مورد استفاده از باد در مسکن بومی سیستان صورت پذیرفته‌است؛ اما هیچ‌یک از تحقیقات انجام شده به‌طور کمی به اثر مثبت یا منفی باد به‌ویژه به برهم‌کنش آن با دمای هوا در مسکن بومی سیستان نپرداخته‌است؛ از این رو مقاله حاضر با هدف روشن‌سازی این شکاف علمی انجام خواهد شد.

## داده‌ها و روش تحقیق

۲. دینامیک سیالات محاسباتی

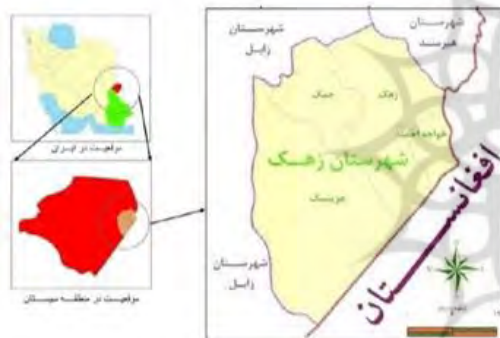
دریچه‌ها قرار می‌دادند و با ریختن آب بر روی بوته‌های خار باعث اعتدال بادهای گرم تابستان به داخل خانه‌ها می‌شدند (فاضل نیا و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۰). همچنین سرعت باد در خیابان‌های موازی با وزش باد، افزایش یافته که باعث عبور ماسه‌ها از همکاران، ۱۳۹۰: ۱۰). همچنین سرعت باد در خیابان‌های موازی با وزش باد، افزایش یافته که باعث عبور ماسه‌ها از سطح روستا و عدم انباشت آن‌ها می‌شود و ساکنان روستای تمبکاء با آگاهی از وضعیت اقلیمی منطقه و با شناختی که میزان تأثیر باد در دوران ترسالی و همچنین خشک‌سالی‌های منطقه داشتند، بافت کالبدی- فیزیکی روستا را همساز با بادهای غالب طراحی کرده‌اند (فاضل نیا و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۵). میرلطفی و همکاران<sup>#</sup>(۱۳۹۱) اشاره دارند که ضمن افزایش آگاهی خانوارها نسبت به تأثیرگذاری معماری همساز با اقلیم در مقوله صرفه‌جویی در مصرف انرژی، باید نمای مسکن روستایی سیستان در جهت جنوبی یا جنوب شرقی، برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر (باد و خورشید) در راستای تهویه مسکن و صرفه‌جویی در مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر ساخته شوند (میرلطفی و همکاران، ۱۳۹۱: ۵۰).

از قدیمی‌ترین منابع موجود در زمینه استفاده از باد در مسکن روستایی سیستان، می‌توان به گزارش مکتوب «جورج پیت تیت<sup>۱</sup>»، باستان‌شناس و مورخ انگلیسی که در سال‌های ۱۹۰۳ تا ۱۹۰۵ میلادی در سیستان اقامت داشت اشاره کرد. وی با استفاده از روش تحقیق کیفی 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, )

## منطقه مورد مطالعه

بستر مطالعاتی مقاله حاضر در مجتمع بقیه‌الله‌الاعظم (عج) دانشگاه زابل واقع در ۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان زهک در شمال استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. این مجموعه با طول جغرافیایی "۶۱°/۷۱" و عرض جغرافیایی "۳۰°/۸۴" و وسعتی حدود ۶۰۰۰ هکتار شامل پژوهشکده‌های کشاورزی، تالاب بین‌المللی هامون و دام‌های خاص است که در حاشیه چاه‌نیمه‌های سیستان واقع شده است (شکل شماره ۲). هدف از ایجاد این مجتمع علاوه بر جوانب تفریحی، انجام فعالیت‌های پژوهشی

برای حل مشکلات منطقه تعریف شده است. در همین راستا و به منظور مطالعات در حوزه توسعه پایدار، دانشگاه زابل اقدام به احداث دریاچه مصنوعی هامونک کرده که در حوزه‌های انرژی، آب و محیط زیست به حل مشکلات منطقه سیستان می‌پردازد. در ضلع جنوب غربی دریاچه، مرکز تحقیقات بوم‌گردی دانشگاه واقع شده است. این مرکز با معماری کاملاً بومی ساخته شده و یکی از اهداف آن، انجام مطالعه بر روی معماری و مسکن بومی منطقه سیستان است که مطالعات اثر خارخانه بر میزان سرعت باد در مقاله حاضر در این مجموعه صورت گرفته است.



شکل ۲. سمت چپ: موقعیت شهرستان زهک در استان سیستان و بلوچستان (منبع: اصغری لقمجانی و معصومی جشنی، ۱۳۹۵: ۱۷۴); سمت راست: موقعیت مرکز تحقیقات بوم‌گردی (سایت مورد مطالعه) نسبت به شهرستان زهک (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

## روش تحقیق

روش تحقیق مورد استفاده در این مقاله از لحاظ هدف کاربردی و از نظر روش کمی است. معمولاً در تحقیقات کمی از روش‌های شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار، محاسبه و اندازه‌گیری میدانی استفاده می‌شود. به دلیل عدم کفایت مطالعات نرم‌افزاری و محاسباتی با توجه به اینکه چنین برنامه‌هایی در شرایطی خاص و برای مکانی خاص طراحی می‌شوند و تعمیم آن به مکان‌های

دیگر عموماً شایسته نیست، در مقاله حاضر از روش پژوهش اندازه‌گیری میدانی استفاده شده است. به این ترتیب که در راستای اهداف تحقیق و پاسخگویی به پرسش نخست مقاله، از مطالعات انجام‌شده پیشین و پاسخگویی به پرسش دوم تحقیق، از اندازه‌گیری میدانی بر روی دو اتاق کاملاً مشابه یکی مجهز به خارخانه ابداعی توسط نگارندگان (شکل شماره ۳) و اتاق دیگر بدون خارخانه، در مسکن بومی سیستان استفاده شده است. مطالعات اندازه‌گیری محیطی

مبنا در بیرون بنا، طی گرم‌ترین روزهای سال در تیر (روزهای ۶، ۷، ۸ و ۹ تیر ۱۳۹۸) و در زمان وزش بادهای ۱۲۰ روزه، با فواصل زمانی ۳ ساعته در ساعت‌های ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱ و ۲۴ انجام گرفت. در پایان برای تحلیل داده‌ها از روش آمار توصیفی به وسیله نرم‌افزار اکسل<sup>۳</sup> استفاده شده است.

سرعت باد توسط بادسنج دیجیتال Anemometer Kestrel 4600<sup>۱</sup> (شکل شماره ۴) با دقت اندازه‌گیری ۰/۱ متر بر ثانیه که در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین (پوردیهیمی، ۱۳۹۰؛ CIBSE<sup>۲</sup>, 2002) در ایستگاه‌های موردنظر نصب شده است؛ در دو گونه اتاق دارای خارخانه و بدون خارخانه و همچنین نقطه‌ای به‌عنوان



شکل ۳. سمت چپ: تصاویر نمای داخلی خارخانه ابداعی؛ سمت راست: تصاویر نمای بیرونی خارخانه ابداعی (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)



شکل ۴. دستگاه هواشناسی Kestrel (منبع: [www.Kestrelweather.com](http://www.Kestrelweather.com))

۱. دستگاه Kestrel یک دستگاه هواشناسی نسبتاً کامل به حساب می‌آید. این دستگاه علی‌رغم کوچکی، از نظر دقت ثبت اطلاعات در میان سایر دستگاه‌های هواشناسی از رتبه خوبی برخوردار است. این دستگاه دیتالاگر بوده و قابلیت ثبت تا ۲۰۰۰۰۰ داده را در خود دارد. ترموکوبل حرارتی و سنسور رطوبت این دستگاه مطابق با استانداردهای جهانی (ISO7726 1998; WMO-No.8 2008) به نحوی داخل مجرای پلاستیکی و مشبک قرار گرفته است که از تابش مستقیم آفتاب به دور بوده و در معرض جریان هوا قرار دارد.

2. Chartered Institution of Building Services Engineers



## روند گردآوری و تجزیه داده‌ها

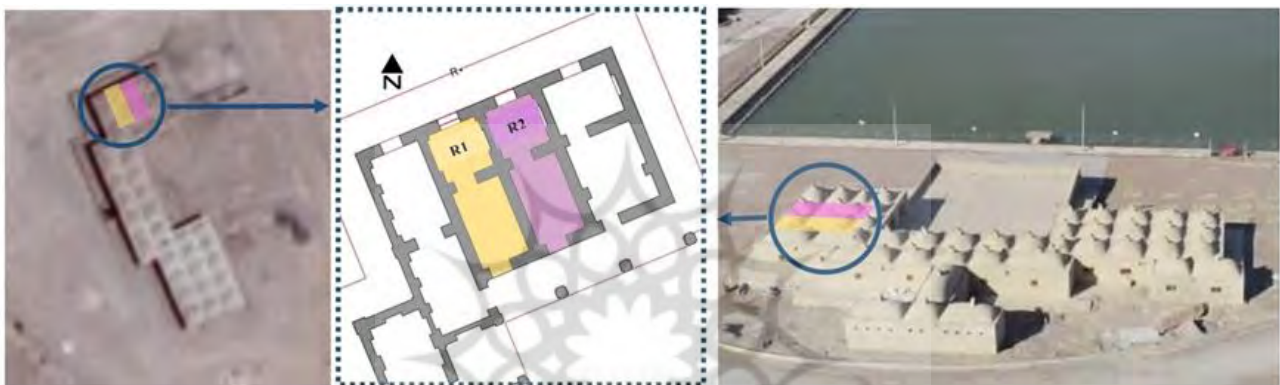
به منظور گردآوری داده‌ها با توجه به هدف تحقیق - شناخت اثر خارخانه بر سرعت باد و میزان تعدیل آن در جهت نزدیک شدن به شرایط آسایش حرارتی - سه مکان به عنوان ایستگاه اندازه‌گیری در نظر گرفته شد (شکل شماره ۵):

۱. ایستگاه R در فضای باز و در فاصله ۲ متری جبهه شمال غربی (جهت باد غالب منطقه) بنای مورد مطالعه

جهت ثبت وضعیت سرعت باد قبل از ورود به داخل فضای بسته؛

۲. ایستگاه R<sub>1</sub> به عنوان آزمون، در اتاقی که در پنجره جبهه شمال غربی آن خارخانه نصب شد؛

۳. ایستگاه R<sub>2</sub> به عنوان شاهد، در اتاقی کاملاً مشابه اتاق آزمون از نظر فرم، ابعاد و مصالح، اما بدون وجود خارخانه.



شکل ۵. سمت چپ: موقعیت دو اتاق بومی مورد مطالعه در تصویر هوایی؛ وسط: موقعیت دو اتاق در پلان (اتاق R<sub>1</sub>: اتاق دارای خارخانه و اتاق R<sub>2</sub>: اتاق بدون خارخانه)؛ سمت راست: موقعیت دو اتاق در پرسپکتیو هوایی (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

علاوه بر آنکه متغیر سرعت باد در هر یک از ایستگاه‌های فوق در ایام و ساعات تعیین شده برداشت شد، دمای هوا نیز جهت تعیین بازه اثر مثبت یا منفی سرعت باد بر شرایط آسایش ثبت شد (جدول شماره ۲).

جدول ۲. میانگین سرعت باد (V) و دمای هوای (Ta) روزهای اندازه‌گیری شده به تفکیک ساعت

ایستگاه اندازه‌گیری	متغیر محیطی	ساعت ۶	ساعت ۹	ساعت ۱۲	ساعت ۱۵	ساعت ۱۸	ساعت ۲۱	ساعت ۲۴
(فضای باز بیرون R)	Ta (°C)	۲۹,۲	۳۵,۶۵	۴۲,۰۵	۴۳,۴۸	۴۲,۶۰	۳۵,۰۳	۳۱,۶۳
	V (m/s)	۶,۲۸	۵,۷۱	۴,۵۲	۳,۸۶	۳,۴۵	۴,۱۹	۴,۶۸
(اتاق دارای خارخانه R1)	Ta (°C)	۲۵,۸۳	۲۷,۷۸	۲۹,۹۸	۳۱,۶۸	۳۱,۸۰	۳۰,۷۰	۲۸,۰۳
	V (m/s)	۱,۱۳	۱,۱۳	۰,۸۹	۱,۱۰	۰,۷۸	۰,۹۰	۱,۰۵
(اتاق بدون خارخانه R2)	Ta (°C)	۲۹,۶۵	۳۴,۳۳	۴۰,۰۰	۴۱,۶۰	۴۰,۹۰	۳۵,۸۸	۳۳,۲۰
	V (m/s)	۲,۵۱	۲,۵۶	۲,۲۸	۱,۸۵	۱,۷۴	۱,۹۱	۲,۰۴

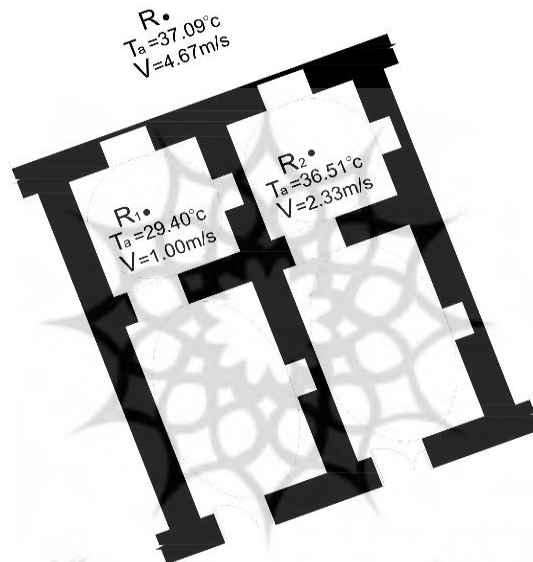
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

همچنین میانگین سرعت باد و دمای روزانه هر یک از ایستگاه‌های سه‌گانه در ایام و ساعات برداشت‌شده محاسبه و در جدول شماره ۳ و شکل شماره ۶ ارائه شده‌است.

جدول ۳. میانگین سرعت باد و دمای هوای روزهای اندازه‌گیری شده طی روز

ایستگاه اندازه‌گیری	میانگین دمای هوای روزانه	میانگین سرعت باد روزانه
R	۳۷,۰۹	۴,۶۷
R1	۲۹,۴۰	۱,۰۰
R2	۳۶,۵۱	۲,۱۳

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)



شکل ۶. میانگین سرعت باد و دمای هوای روزهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سه‌گانه طی تیر ۱۳۹۸

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

## نتایج و بحث

جریان هوا در خارج از خانه تا ۵ متر در ثانیه (در ارتفاع عابر پیاده) مطبوع است (گاندِر<sup>۲</sup> و گیو<sup>۳</sup>، ۱۳۷۴: ۴۱).

بر اساس تحقیقات انجام‌گرفته توسط رازجویان، نمی‌توان از جریان هوای سریع‌تر از ۱/۵ متر در ثانیه (جدول شماره ۴) برای خنک‌شدن بهره‌برداری کرد (رازجویان، ۱۳۸۸: ۷۰)؛ همچنین سرعت جریان هوا در داخل ساختمان نباید بیش از ۱/۵ متر در ثانیه باشد، حال آنکه مطابق با مقیاس بیوفورت<sup>۱</sup> سرعت

2. Gander  
3. Gev

1. Beaufort

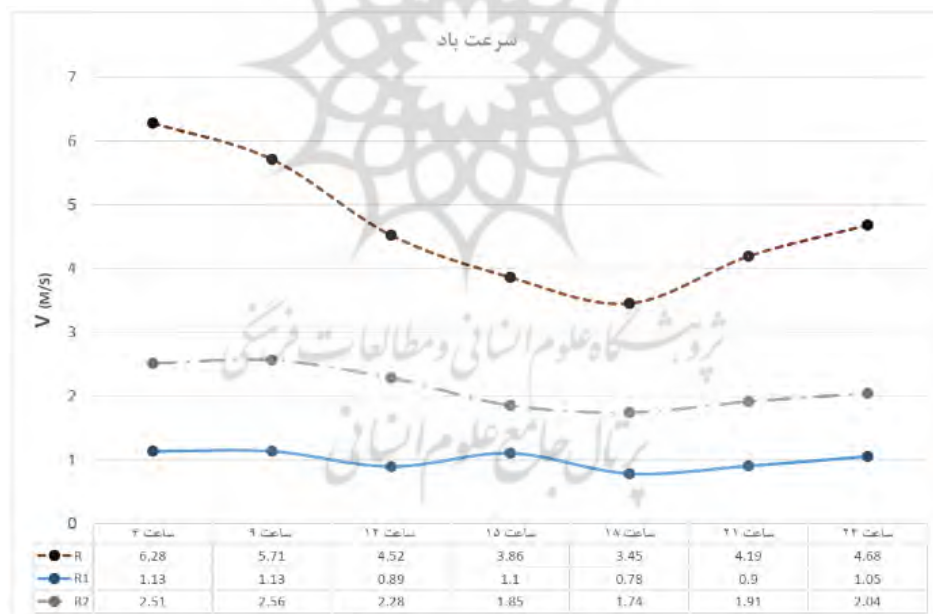
جدول ۴. واکنش انسان نسبت به جریان هوا

واکنش انسان به هوا	سرعت جریان هوا (متر بر ثانیه)
نامحسوس	کمتر از ۰/۲۵
مطبوع	بین ۰/۲۵ تا ۰/۵۰
محسوس و مطبوع	۰/۵۰ تا ۱/۰۰
گاهی ناراحت کننده	۱/۰۰ تا ۱/۵۰
در بسیاری از موارد مزاحم و حتی مضر	بیشتر از ۱/۵۰

(منبع: رازجویان، ۱۳۸۸)

خارج از محدوده آسایش هستند و اختلاف فاحشی با ایستگاه واقع در اتاق دارای خارخانه (R1) دارند. این در حالی است که سرعت جریان باد در اتاق دارای خارخانه بین ۰/۷۸ تا ۱/۱۳ تغییر کرده است و عموماً واکنش انسان در این فضا محسوس و مطبوع است.

تحلیل ساعتی سرعت جریان باد در ایستگاه‌های برداشت شده (شکل شماره ۷) نشان می‌دهد که در تمام ساعات شبانه‌روز سرعت باد در ایستگاه R واقع در فضای باز بیرونی بالای ۳/۵ متر بر ثانیه و در ایستگاه R2 داخل اتاقی بومی بدون خارخانه بالای ۱/۷۴ متر بر ثانیه بوده و مطابق با جدول شماره ۴ هر دو مکان



شکل ۷. تغییرات ساعتی سرعت باد در ایستگاه‌های سه‌گانه در روزهای اندازه‌گیری طی تیر ۱۳۹۸

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

جریان هوا بین ۲۹ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد، همفریز (تا ۳۰/۸ درجه سانتی‌گراد) و حیدری (حد مرزی ۳۲/۵ درجه سانتی‌گراد) و لحاظ کردن فصل مشترک

با توجه به برهم‌کنش سرعت جریان باد و دمای هوا برای رسیدن به آسایش حرارتی و حدود تعیین شده توسط گیونی (حد آسایش و عدم آسایش ناشی از

از ۳۲/۵ درجه سانتی‌گراد است و جریان باد در این دو مکان اثر منفی دارد؛ در حالی که وجود خارخانه در اتاق R1 باعث شده است که دمای آن در تمام ساعات شبانه‌روز زیر ۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد و جریان هوای حدود ۱ متر بر ثانیه در این فضا اثر بسیار مثبتی بر آسایش افراد داشته باشد.

این بازه‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که در دمای کمتر از ۳۲/۵ درجه، جریان هوا تأثیر مثبت و در دمای بیش‌تر از آن اثر منفی بر آسایش حرارتی دارد. حال آن‌که مطابق با شکل شماره ۸ دمای هوا در فضای بیرون و اتاق بومی بدون خارخانه در تابستان در تمام ساعات شبانه‌روز (به‌استثنای ساعت ۱۲ شب تا ۶ صبح) بیش

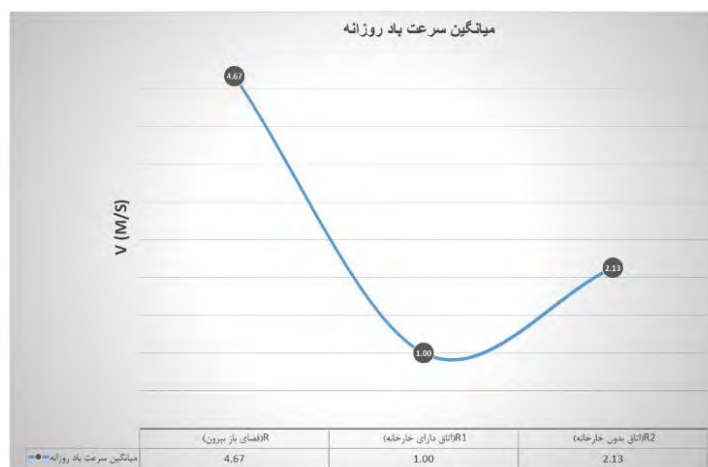


شکل ۸. تغییرات ساعتی دمای هوا در ایستگاه‌های سه‌گانه در روزهای اندازه‌گیری طی تیر ۱۳۹۸

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

پنجره به ۱ متر بر ثانیه کاهش یافته است. البته مقدار اثر کاهش سرعت باد خارخانه به عوامل متعددی از جمله تراکم خارها و سطح خارخانه بستگی دارد؛ به طوری که هرچه تراکم خارها و سطح خارخانه بیشتر شود، کاهش بیشتر سرعت باد اتفاق می‌افتد که این عامل در تحقیقات آتی قابل بررسی است.

اما به‌طور کلی و براساس تحلیل میانگین سرعت روزانه باد در ایستگاه‌های سه‌گانه برداشت‌شده طی تیر ۱۳۹۸، (جدول شماره ۳ و شکل‌های شماره ۶ و ۹)، میانگین سرعت جریان هوای فضای بیرون به‌واسطه دیوارها و مصالح بنایی از ۴/۶۷ متر بر ثانیه در بیرون به ۲/۱۳ متر بر ثانیه در داخل فضای R2 رسیده و این عدد در اتاق R1 به دلیل وجود توده خار در داخل



شکل ۹. میانگین سرعت باد اندازه‌گیری شده در طول شبانه‌روز در ایستگاه‌های سه‌گانه طی تیر ۱۳۹۸ (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

### نتیجه‌گیری

وزش باد در منطقه سیستان، تأثیر فراوانی بر روی معماری و مسکن روستایی گذاشته و الگوهای منحصر به فردی را به وجود آورده است. معماران بومی سیستان با اجرای راه‌حل‌هایی جالب و مؤثر که بعضاً در نوع خود بی‌نظیر هستند، شرایط سخت و آزاردهنده اقلیمی و آب‌وهوای خشن را مهار کرده و از این شرایط تعدیل شده به بهترین وجه در ایجاد محیطی آسوده و متعادل در سکونت‌گاه خود استفاده کرده‌اند. خارخانه‌ها یکی از عناصری هستند که در جهت مقابله یا تعدیل اوضاع جوّی در معماری بومی این منطقه لحاظ شده‌اند. این مقاله با استفاده از خارخانه که ابداعی بومی برای خنک کردن هوای داخل است، میزان سرعت باد را در داخل فضای مسکن بومی اندازه‌گیری و شرایط آسایش انسانی را با فضای مشابهی که بدون خارخانه است، مقایسه کرده و به‌نوعی دنبال بهینه‌ترین سرعت باد در جهت دستیابی به آسایش حرارتی ساکنان مسکن بومی سیستان بوده است. در مقاله حاضر از روش پژوهش اندازه‌گیری میدانی بر روی دو گونه اتاق کاملاً مشابه دارای خارخانه و بدون خارخانه و همچنین نقطه‌ای به‌عنوان مبنا در بیرون بنا، طی

گرم‌ترین روزهای سال در تیر ۱۳۹۸ و با فواصل زمانی ۳ ساعته بهره گرفته شده و برای تحلیل داده‌ها از روش آمار توصیفی توسط نرم‌افزار اکسل استفاده شده است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که با توجه به برهم‌کنش سرعت جریان باد و دمای هوا برای رسیدن به آسایش حرارتی و حدود تعیین شده توسط گیونی، هم‌فریز و حیدری و لحاظ کردن فصل مشترک بازه‌های تعیین شده این محققان، می‌توان نتیجه گرفت که در دمای کمتر از ۳۲/۵ درجه، جریان هوا تأثیر مثبت و در دمای بیش‌تر از آن اثر منفی بر آسایش حرارتی دارد. حال آنکه مطابق با تحلیل داده‌های این تحقیق، دمای هوا در فضای بیرون و اتاق بومی بدون خارخانه در تابستان در تمام ساعات شبانه‌روز (به‌استثنای ساعت ۱۲ شب تا ۶ صبح) بیش از ۳۲/۵ درجه سانتی‌گراد است و جریان باد در این دو مکان اثر منفی دارد؛ در حالی که در اتاق دارای خارخانه، دما در تمام ساعات شبانه‌روز زیر ۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد و جریان هوای حدود ۱ متر بر ثانیه در این فضا اثر بسیار مثبتی بر آسایش افراد داشته باشد.

حمیدیان پور، محسن؛ مفیدی، عباس؛ و سلیقه، محمد. (۱۳۹۵)، تحلیل ماهیت و ساختار باد سیستان، مجله ژئوفیزیک ایران، انجمن ژئوفیزیک ایران، دوره ۱۰، شماره ۲، صص ۱۰۹-۸۳. [http://www.ijgeophysics.ir/article\\_33350.html](http://www.ijgeophysics.ir/article_33350.html)  
حیدری، ابوالفضل. (۱۳۹۴)، مطالعه و تحلیل شیوه‌های بومی استفاده از باد در جهت الگوگیری و اصلاح معماری مسکن روستایی سیستان، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران.  
حیدری، شاهین. (۱۳۹۱)، برهم‌کنش جریان هوا، دما و راحتی در فضاهای باز شهری مطالعه موردی اقلیم گرم‌وخشک ایران، نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، دانشگاه تهران، دوره ۱۷، شماره ۲، صص ۴۲-۳۷.

[https://jfaup.ut.ac.ir/article\\_30158.html](https://jfaup.ut.ac.ir/article_30158.html)

خسروی، محمود. (۱۳۸۷)، تاثیرات محیطی اندرکنش نوسان‌های رودخانه هیرمند با بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، پژوهشکده امیرکبیر، دوره ۴، شماره ۹۱، صص ۴۹-۱۹.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=97726>.

خسروی، محمود. (۱۳۸۹)، بررسی توزیع عمودی گردوغبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS در منطقه سیستان ایران، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام (ICIWG, 2010)، ایران، زاهدان، ۲۵-۲۷ فروردین.

[https://www.civilica.com/Paper-ICIWG04-ICIWG04\\_053.html](https://www.civilica.com/Paper-ICIWG04-ICIWG04_053.html)

خسروی، محمود؛ و نظری‌پور حمید. (۱۳۹۱)، مطالعه‌ی هم‌دید تپ‌های هوای غالب منطقه‌ی سیستان (ایستگاه‌زابل)، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دانشگاه تهران، دوره اصغری لغمجانی، صادق؛ و معصومی جشنی، مهدی. (۱۳۹۵)، ارزیابی کیفیت اجرای طرح‌های هادی و اثرات آنها در روستاهای مرزی (مطالعه موردی: شهرستان زهک). فصلنامه علمی- پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، موسسه آموزش عالی قشم، شماره ۱، صص ۱۸۷-۱۶۹.

[http://www.jgeoqeshm.ir/article\\_44995.html](http://www.jgeoqeshm.ir/article_44995.html)

بی‌زلی، الیزابت؛ هارورسن، مایکل. (۱۳۹۲)، معماری و آبادانی بیابان (بناهایی برای زیستن در فلات ایران)، ترجمه: مهدی گلچین عرفی و نگار صبوری، انتشارات روزنه، چاپ اول، تهران.  
پودینه، اسمعیل؛ برومند، صلاحی؛ خسروی، محمود؛ و حمیدیان پور، محسن. (۱۳۹۷)، تحلیل روند تغییرات بیشینه سرعت بادهای ۱۲۰ روزه سیستان با آزمون‌های من-کندال و شیب تخمین سن، پژوهش‌های دانش زمین، دانشگاه شهید بهشتی، سال ۹، شماره ۳۴، صص ۱۲۸-۱۱۴.

<http://esrj.sbu.ac.ir/issue/view/1061>

رازجویان، محمود. (۱۳۸۸)، آسایش به وسیله معماری همساز با اقلیم، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

با توجه به اینکه آمار جمعیت روستایی در منطقه سیستان از جمعیت شهری بیشتر بوده و مسکن بومی این منطقه همچنان در حال استفاده است؛ از این رو یافته‌های این تحقیق و استفاده از این نوع خارخانه که در راستای توسعه پایدار و توجه به اقتصاد روستاییان طراحی شده است، می‌تواند به‌عنوان الگویی در جهت تهیه مطبوع طبیعی در فضای داخل مسکن بومی این منطقه و اقلیم‌های مشابه پیشنهاد شود.

### تقدیر و تشکر

از آقایان مهندس علی حیدری، محمدعلی سرگزی و مهدی خواجه که امکان انجام برداشت‌های میدانی تحقیق را فراهم کرده‌اند و به‌ویژه از خانم دکتر منصوره طاهباز دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی، به‌منظور در اختیار قرار دادن ابزار اندازه‌گیری صمیمانه قدرانی می‌شود. هزینه‌های این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه زابل از محل پژوهشگاه شماره UOZ-GRANT-9618-26 تأمین شده است.

### منابع

اصغری لغمجانی، صادق؛ و معصومی جشنی، مهدی. (۱۳۹۵)، ارزیابی کیفیت اجرای طرح‌های هادی و اثرات آنها در روستاهای مرزی (مطالعه موردی: شهرستان زهک). فصلنامه علمی- پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، موسسه آموزش عالی قشم، شماره ۱، صص ۱۸۷-۱۶۹. [http://www.jgeoqeshm.ir/article\\_44995.html](http://www.jgeoqeshm.ir/article_44995.html)  
بی‌زلی، الیزابت؛ هارورسن، مایکل. (۱۳۹۲)، معماری و آبادانی بیابان (بناهایی برای زیستن در فلات ایران)، ترجمه: مهدی گلچین عرفی و نگار صبوری، انتشارات روزنه، چاپ اول، تهران.  
پودینه، اسمعیل؛ برومند، صلاحی؛ خسروی، محمود؛ و حمیدیان پور، محسن. (۱۳۹۷)، تحلیل روند تغییرات بیشینه سرعت بادهای ۱۲۰ روزه سیستان با آزمون‌های من-کندال و شیب تخمین سن، پژوهش‌های دانش زمین، دانشگاه شهید بهشتی، سال ۹، شماره ۳۴، صص ۱۲۸-۱۱۴.

قلعه‌نوی، افسانه. (۱۳۹۱)، "تأثیر بهره‌گیری از تهویه طبیعی بر بهینه‌سازی مصرف انرژی"، مجموعه مقالات دومین همایش ملی انرژی باد و خورشید، تهران.

[https://www.civilica.com/Paper-WINDCONF02-WINDCONF02\\_004.html](https://www.civilica.com/Paper-WINDCONF02-WINDCONF02_004.html)

کاک نیلسن، هالگر. (۱۳۸۹)، معماری همساز با اقلیم؛ اصول طراحی زیست محیطی در مناطق گرم، ترجمه: فرزانه سفلی، انتشارات مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری، چاپ اول، تهران.

کاوایی، محمدرضا. (۱۳۷۴)، توربین‌های بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، پژوهشکده امیرکبیر، شماره ۳۶، صص ۱۴۴-۱۲۷.

<http://ensani.ir/fa/article/233274>

گاندز، ژ؛ گیو، ای. (۱۳۷۴). تأثیر باد در شکل‌گیری فضاهای شهری، مترجم: فیروز جناب، نشر صاحب اثر، چاپ اول، تهران.

گندمکار، امیر. (۱۳۸۵)، بررسی سینوپتیک انرژی باد در منطقه سیستان، پایان‌نامه دکتری رشته اقلیم‌شناسی، دانشگاه اصفهان.

گندمکار، امیر. (۱۳۸۸)، ارزیابی پتانسیل باد در کشور ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه اصفهان، سال ۲۰، شماره ۴، صص ۸۵-۱۰۰.

[http://gep.ui.ac.ir/article\\_18451.html](http://gep.ui.ac.ir/article_18451.html)

معماریان، غلامحسین؛ محمدمردادی، اصغر؛ حسینعلی‌پور، سیدمصطفی؛ حیدری، ابوالفضل؛ دودی، سعیده. (۱۳۹۶)، تحلیل رفتار باد در تهویه طبیعی مسکن بومی روستای قلعه-نوی سیستان به کمک CFD، فصلنامه مسکن و محیط روستا، پژوهشکده سوانح طبیعی، دوره ۳۶، شماره ۱۵۷، صص ۳۶-۲۱.

<http://jhre.ir/article-1-1200-fa.html>

مکماهون، سرآرتور هنری. (۱۳۷۸)، مجموعه جغرافیای تاریخی سیستان، ترجمه و تدوین: حسن احمدی، نشر مؤلف، چاپ اول، تهران.

میرلطفی، محمدرضا؛ توکلی، مرتضی؛ بندانی، میثم. (۱۳۹۱)، بررسی تطبیقی وضعیت استقرار جهات جغرافیایی مسکن روستایی و مصرف انرژی در منطقه سیستان، فصلنامه مسکن و محیط روستا، پژوهشکده سوانح طبیعی، دوره ۳۱، شماره ۱۳۸، صص ۵۲-۳۹.

<http://jhre.ir/article-1-139-fa.html>

هادربادی، غلامرضا. (۱۳۷۹)، پیش‌بینی سرعت و جهت بادهای فرساینده، مطالعه موردی: منطقه زابل، پایان‌نامه کارشناسی-ارشد، دانشگاه شیراز.

رازجویان، محمود. (۱۳۷۹)، آسایش در پناه باد، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، چاپ اول، تهران.

رفاهی، حسینقلی. (۱۳۷۸)، فرسایش بادی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، تهران.

سرتیپی‌پور، محسن. (۱۳۸۸)، آسیب‌شناسی معماری روستایی بسوی سکونتگاه مطلوب، انتشارات شهیدی، چاپ اول، تهران.

سرگزی، محمدعلی. (۱۳۹۵)، تأثیر محدوده آسایش حرارتی بر طراحی معماری منطقه سیستان، جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، دانشگاه سیستان و بلوچستان، شماره ۱۹، صص ۲۶-۱۷.

[http://gaij.usb.ac.ir/article\\_2437.html](http://gaij.usb.ac.ir/article_2437.html)

سلیقه، محمد. (۱۳۸۲)، توجه به باد در ساخت کالبدی شهر زابل، جغرافیا و توسعه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دوره ۱، شماره ۲، صص ۱۲۱-۱۰۹.

[http://gdij.usb.ac.ir/article\\_3818.html](http://gdij.usb.ac.ir/article_3818.html)

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

[https://www.civilica.com/Paper-WINDCONF05-WINDCONF05\\_004.html](https://www.civilica.com/Paper-WINDCONF05-WINDCONF05_004.html)

علیچانی، بهلول؛ و رئیس‌پور، کوهزاد. (۱۳۹۰)، تحلیل آماری، همدیدی طوفان‌های گرد و خاک در جنوب شرق ایران، مطالعه موردی: منطقه سیستان، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی دانشگاه حکیم سبزواری، دوره ۲، شماره ۵، صص ۱۳۲-۱۰۷.

<http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/article-1-104-fa.html>

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، مسکن و محیط روستا، پژوهشکده سوانح طبیعی، دوره ۳۰، شماره ۱۳۶، صص ۱۶-۳.

<http://jhre.ir/article-1-246-fa.html>

فتحی، حسن. (۱۳۸۲)، ساختمان‌سازی با مردم، ترجمه علی اشرفی، نشر دانشگاه هنر، چاپ دوم، تهران.

فرج‌زاده، منوچهر؛ رازی، مهین. (۱۳۹۰)، بررسی توزیع زمانی و مکانی طوفان‌ها و بادهای شدید در ایران، فصلنامه پژوهش-های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شماره ۹۱، صص ۳۲-۲۲.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=152451>

- International Organization for Standardization. Geneva.
- Mayer, E (1992), New Measurements of the Convective Heat Transfer Coefficients: Influences of Turbulence, Mean Air Velocity and Geometry of Human Body, Proceedings of ROOMVENT'92, Lyngby, Danish Association of HVAC Engineers.
- Pyla, Panayiota I., (2007). Hassan Fathy Revisited Postwar Discourses on Science, Development, and Vernacular Architecture, Journal of Architectural Education, pp: 28-39.  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.1531-314X.2007.00093.x>
- Reichrath, S., Davvies, T.W., (2002). Using CFD to model the internal climate of greenhouses: past, present and future. *Agronomie* 22, pp: 3-19.  
[https://www.researchgate.net/publication/248850216\\_Using\\_CFD\\_to\\_model\\_the\\_internal\\_climate\\_of\\_greenhouses\\_past\\_present\\_and\\_future](https://www.researchgate.net/publication/248850216_Using_CFD_to_model_the_internal_climate_of_greenhouses_past_present_and_future)
- Rohles, F et al. (1974), the Effect of Air Movement and Temperature on the Thermal Sensations of Sedentary Man, ASHRAE Transactions, Vol. 80 (1).
- Toftum, J., (2004), Air Movement – Good or Bad? *Indoor Air*, Vol. (14), pp 40-45.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15330770>
- Tanabe, S and Kimura, K (1989), Thermal Comfort Requirements under Hot and Humid Conditions, Proceedings of the First ASHRAE Far East Conference on Air Condition.
- Tate, G. P., (1910). *Sistan, a Memoir on the History, Topography, Ruins, and People of the Country*. Calcutta: Supt. Govt. Print.
- WMO-No. 8. 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, seventh ed. World Meteorological Organization (WMO).  
[www.cibse.org/Knowledge/knowledge-items/detail?id=a0q200000817o8](http://www.cibse.org/Knowledge/knowledge-items/detail?id=a0q200000817o8)  
[www.Kestrelweather.com](http://www.Kestrelweather.com)
- Arens, E A, Xu, T, Miura, K, Zhang, H, Fountain, M and Bauman, F (1998), A Study of Occupant Cooling by Personally Controlled Air Movement, *Building and Energy*, Vo27, pp 45-59.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877889700025X>
- Chen, Q., (2009). Ventilation performance prediction for buildings: a method overview and recent applications. *Build. Environ.* 44(4), pp: 848-858.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132308001510>
- Etheridge, D.W., (2011). *Natural ventilation of buildings. Theory, measurement and design*. Wiley p: 454.
- Fountain, M E, Arens, E, de Dear, R, Bauman, F and Miura, K (1994), Locally Controlled Air Movement Preferred in Warm Isothermal Environments, *ASHRAE Transactions*, Vol 100(2), pp: 937-952.  
[https://www.researchgate.net/publication/238692120\\_Locally\\_controlled\\_air\\_movement\\_preferred\\_in\\_hot\\_isothermal\\_environments](https://www.researchgate.net/publication/238692120_Locally_controlled_air_movement_preferred_in_hot_isothermal_environments)
- Givoni, B. (1994), *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*, New York, Van Nostrand Reinhold.
- Hui Zhang, Edward Arens, Sahar Abbaszadeh Fard, Charlie Huizenga, Gwelen Paliaga\*, Gail 8-Brager, Leah Zagreus (2005), Air movement preferences observed in office buildings, Report of Center for the Built Environment - UC Berkeley, Berkeley, CA USA.
- Humphreys, M. A. (1999), The Relationship Between Scales of Comfort and Scales of Warmth, UK Thermal comfort group meeting, University of Sheffield, Sep.
- ISO 7726. Ergonomics of the Thermal Environment – Instruments for Measuring Physical Quantities.