

مطالعات معماری ایران

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال دهم، شماره ۲۰، پاییز و زمستان ۱۴۰۰



- ◆ کاشی‌های هفت‌رنگ مزار در زیارتگاه‌های سلطان عتابخس و سلطان امیراحمد کاشان (سدهٔ دهم تا سیزدهم ه. ق)
 - محمدرضا غیاثیان / محمد مشهدی نوش آبادی
- ◆ بررسی آرایه‌های آجری خانه‌های تاریخی بهبهان در دورهٔ پهلوی
 - زینب مشهور
- ◆ مساجد جامع شهر کرمان؛ شناسایی و تبیین جایگاه شهری و تاریخی
 - ذات‌الله نیک‌زاد
- ◆ مقایسهٔ عملکرد حرارتی شگردهای اقلیمی درجه، کُلک و خارخُنه در دورهٔ گرم سال در مسکن بومی منطقهٔ سیستان
 - محمدعلی سرگزی / منصوره طاهباز / اکبر حاج ابراهیم زرگر
- ◆ سنجش عملکرد عناصر اقلیمی خانه‌های سنتی بافت تاریخی شیراز با رویکرد آسایش حرارتی؛ مورد پژوهی: ایوان
 - جمشید کریم‌زاده / جمال‌الدین مهدی‌نژاد درزی / باقر کریمی
- ◆ ارزیابی میزان خلاقیت و موفقیت تحصیلی دانشجویان معماری دانشگاه تهران از منظر ربع‌های چهارگانهٔ مغزی ند هرمان
 - فؤاد خرّمی / سید امیرسعید محمودی / مصطفی مختاباد
- ◆ تحلیل فناوری ساخت بنای سد تاریخی کریت طبس
 - امیرحسین صادق‌پور
- ◆ مطالعهٔ تطبیقی ریخت‌شناختی بافت شهری بیرجند از منظر تقاضای انرژی
 - مصطفی حسینی / محمود شکوهی / فرشاد نصراللهی
- ◆ مطالعهٔ تطبیقی لانهٔ مورخانه و مجموعهٔ زیرزمینی نوش‌آباد
 - بابک عالمی
- ◆ شاخص‌های به‌کارگیری ظرفیت میراث‌فرهنگی برای توسعهٔ پایدار اقتصاد محلی
 - سارا تیمورتاش / پیروز حناچی / محمدحسن طالبیان
- ◆ واکاوی مؤلفه‌های مؤثر بر طبقه‌بندی آثار میراث معماری بر اساس رویکردها و سیاست‌های حفاظت در کشورهای اروپا
 - ساشا ریاحی‌مقدم / محمدحسن طالبیان / اصغر محمدمرادی
- ◆ یک مدل نظری برای مطالعهٔ روابط همسایگی در محیط‌های مسکونی
 - رضا سرّعلی / شهرام پوردیهیمی

مطالعات معماری ایران

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال دهم، شماره ۲۰، پاییز و زمستان ۱۴۰۰
صاحب امتیاز: دانشگاه کاشان
مدیر مسئول: دکتر علی عمرانی پور
سر دبیر: دکتر غلامحسین معماریان
مدیر داخلی: دکتر بابک عالمی

هیئت تحریریه (به ترتیب الفبا):
دکتر ایرج اعتصام، استاد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات
دکتر عباس اکبری، دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر حمیدرضا جیحانی، دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر پیروز حناچی، استاد دانشگاه تهران
دکتر شاهین حیدری، استاد دانشگاه تهران
دکتر محمدصادق طاهر طلوع دل، دانشیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دکتر علی عبد الرؤوف، استاد دانشگاه حمد بن خلیفه قطر
دکتر علی عمرانی پور، دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر فاطمه کاتب، استاد دانشگاه الزهرا (س)
دکتر حسین کلانتری، استاد جهاد دانشگاهی
دکتر اصغر محمد مرادی، استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر غلامحسین معماریان، استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر محسن نیازی، استاد دانشگاه کاشان

درجه علمی پژوهشی دوفصلنامه مطالعات معماری ایران طی نامه شماره ۱۶۱۶۷۶ مورخ ۱۳۹۰/۰۸/۲۱ دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور،

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ابلاغ گردیده است.

پروانه انتشار این نشریه به شماره ۹۰/۲۳۰۳۰ مورخ ۹۱/۹/۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی صادر شده است.

این نشریه حاصل همکاری مشترک علمی دانشگاه کاشان با دانشکده معماری دانشگاه تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه الزهرا (س)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه شهید رجایی و پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی است. نشریه مطالعات معماری ایران در پایگاه استنادی علوم کشورهای اسلامی (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، پایگاه مجلات تخصصی نور (noormags.ir)، پرتال جامع علوم انسانی (ensani.ir) و بانک اطلاعات نشریات کشور (magiran.com) نمایه می شود. تصاویر بدون استناد در هر مقاله، متعلق به نویسنده آن مقاله است.

(نسخه الکترونیکی مقاله های این مجله، با تصاویر رنگی در تارنمای نشریه قابل دریافت است.)

عکس روی جلد: محمد موحذنزاد
(شبهستان مسجد جامع اصفهان)
ویراستار ادبی فارسی: معصومه عدالت پور
ویراستار انگلیسی: غزل نفیسه تابنده
همکار اجرایی: نغمه اسدی چیمه
نشانی دفتر نشریه: کاشان، بلوار قطب رواندی، دانشگاه کاشان، دانشکده معماری و هنر، کدپستی: ۸۷۳۱۷-۵۳۱۵۳
رایانامه: j.ir.arch.s@gmail.com
دورنگار: ۰۳۱-۵۵۹۱۳۱۳۲
پایگاه اینترنتی: jias.kashanu.ac.ir

شاپا: ۰۶۳۵-۲۲۵۲

ناشر: مرکز منطقه ای اطلاع رسانی علوم و فناوری (RICEST)

انتشارات: ۰۷۱-۳۶۴۶۸۴۵۲
نمابر: ۰۷۱-۳۶۴۶۸۳۵۲

این نشریه در «ایران ژورنال» نظام نمایه سازی مرکز منطقه ای اطلاع رسانی علوم و فناوری (RICEST) به نشانی

http://ricest.ac.ir و پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) به نشانی http://isc.gov.ir نمایه می شود.



دانشگاه تربیت مدرس

فهرست

- ۵ کاشی‌های هفت‌رنگ مزار در زیارتگاه‌های سلطان عتابخش و سلطان امیراحمد کاشان (سدهٔ دهم تا سیزدهم ه. ق)
محمدرضا غیاثیان / محمد مشهدی نوش‌آبادی
- ۲۷ بررسی آرایه‌های آجری خانه‌های تاریخی بهبهان در دورهٔ پهلوی
زینب مشهور
- ۴۹ مساجد جامع شهر کرمان؛ شناسایی و تبیین جایگاه شهری و تاریخی
ذات‌الله نیک‌زاد
- ۶۷ مقایسهٔ عملکرد حرارتی شگردهای اقلیمی دُرچِه، کُلک و خارخَنه در دورهٔ گرم سال در مسکن بومی منطقهٔ سیستان
محمدعلی سرگزی / منصوره طاهباز / اکبر حاج ابراهیم زرگر
- ۸۹ سنجش عملکرد عناصر اقلیمی خانه‌های سنتی بافت تاریخی شیراز با رویکرد آسایش حرارتی؛ مورد پژوهی: ایوان
جمشید کریم‌زاده / جمال‌الدین مهدی‌نژاد درزی / باقر کریمی
- ۱۱۷ ارزیابی میزان خلاقیت و موفقیت تحصیلی دانشجویان معماری دانشگاه تهران از منظر ربع‌های چهارگانهٔ مغزی ند هرمان
فؤاد خَرَمی / سید امیرسعید محمودی / مصطفی مختاباد
- ۱۳۵ تحلیل فناوری ساخت بنای سد تاریخی کُریت طبس
امیرحسین صادق‌پور
- ۱۵۳ مطالعهٔ تطبیقی ریخت‌شناختی بافت شهری بیرجند از منظر تقاضای انرژی
مصطفی حسینی / محمود شکوهی / فرشاد نصراللهی
- ۱۷۷ مطالعهٔ تطبیقی لانهٔ مور یانه و مجموعهٔ زیرزمینی نوش‌آباد
بابک عالمی
- ۱۹۵ شاخص‌های به‌کارگیری ظرفیت میراث‌فرهنگی برای توسعهٔ پایدار اقتصاد محلی
سارا تیمورتاش / پیروز حناچی / محمدحسن طالبیان
- ۲۱۳ واکاوی مؤلفه‌های مؤثر بر طبقه‌بندی آثار میراث معماری بر اساس رویکردها و سیاست‌های حفاظت در کشورهای اروپا
ساشا ریاحی‌مقدم / محمدحسن طالبیان / اصغر محمدمرادی
- ۲۳۹ یک مدل نظری برای مطالعهٔ روابط همسایگی در محیط‌های مسکونی
رضا سرّعلی / شهرام پوردیهیمی
- ۲۵۹ راهنمای تدوین و ارسال مقاله
- ۲۶۱ بخش انگلیسی

مقایسه عملکرد حرارتی شگردهای اقلیمی درچه، کلک و خارخنه در دوره گرم سال در مسکن بومی منطقه سیستان*

محمدعلی سرگزی**

منصوره طاهباز***

اکبر حاج ابراهیم زرگر****

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۵

علمی پژوهشی

چکیده

آسایش حرارتی یکی از مسائل مهم و مورد توجه در معماری است. مطالعه در این زمینه از اوایل قرن بیستم شروع شده و دستاوردهای قابل توجهی داشته است. با وجود این یکی از چالش‌های معماری امروز، تأمین آسایش حرارتی ساکنان بناها با کمترین وابستگی به انرژی‌های فسیلی است. در عین حال به نظر می‌رسد معماری بومی که حاصل قرن‌ها تجربه و برآمده از آزمون‌های واقعی است موفقیت‌های قابل توجهی در این زمینه داشته و به شگردهای پاسخ‌دهنده اقلیمی خاصی دست یافته است که می‌تواند به طراحی غیرفعال و ایجاد معماری پایدار در اقلیم‌های مختلف کمک کند. معماری بومی منطقه سیستان نمونه‌ای از این نوع معماری است که توانسته است شرایط اقلیمی محیط داخل را در اغلب اوقات برای ساکنان قابل پذیرش کند. از این رو پژوهش حاضر در یک نمونه پژوهی به بررسی عملکرد شگردهای اقلیمی و نقش آن‌ها در تأمین آسایش حرارتی در معماری بومی منطقه سیستان می‌پردازد. برای این منظور، یک بنای بومی انتخاب شده و از طریق تحلیل کیفی و کمی، عملکرد شگردهای درچه، کلک و خارخنه که به تأمین آسایش حرارتی در دوره گرم سال کمک می‌کنند مورد بررسی قرار گرفته و میزان تأثیر آن‌ها بر سه پارامتر دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد در فضای داخلی و آسایش حرارتی مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد اگرچه در دوره گرم سال، شرایط محیطی فضای داخلی معماری بومی منطقه سیستان در محدوده آسایش حرارتی کلاسیک (۲۳ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد) قرار ندارد ولی بهره‌گیری از شگردهای اقلیمی مورد اشاره تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر بهبود پارامترهای محیطی فضای داخلی در اوقات مختلف شبانه‌روز داشته است. علاوه بر آن، این پژوهش ثابت می‌کند پارامترهای محیط داخل حاصل از عملکرد شگرد خارخنه نتایج خوبی را برای اوقات گرم روز نشان داده و شگردهای درچه و کلک می‌توانند فضاهای داخلی را در مواقعی که محیط خارج خنک‌تر است قابل تحمل نمایند.

کلیدواژه‌ها:

شگردهای پاسخ‌دهنده اقلیمی، آسایش حرارتی، معماری بومی، فضاهای داخلی، منطقه سیستان.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری با عنوان شگردهای معماری و رفتارهای سازگاران پاسخ‌دهنده به آسایش حرارتی در فضاهای داخلی معماری (نمونه موردی: مسکن بومی منطقه سیستان) نگارش محمدعلی سرگزی، به راهنمایی دکتر منصوره طاهباز و دکتر اکبر حاج ابراهیم زرگر در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی است.

** دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه شهید بهشتی

*** دانشیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، نویسنده مسئول، m-tahbaz@sbu.ac.ir

**** استاد، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

مطالعات معماری ایران

دو فصلنامه معماری ایرانی

شماره ۲۰ - پاییز و زمستان ۱۴۰۰

صفحات ۶۷-۸۸

۶۷

پرسش‌های پژوهش

۱. تأثیر شگردهای کلک، درچه و خارخنه در معماری بومی منطقه سیستان بر کیفیت حرارتی محیط داخلی در دوره گرم سال چگونه است؟
۲. کدام شگرد دوره گرم سال تأثیر بهتری بر آسایش حرارتی ساکنان در فضای داخلی دارد؟

مقدمه

پرمصرف بودن اغلب ساختمان‌های معاصر و نتایج غیرقابل انکار روند کنونی مصرف انرژی از جمله کاهش منابع فسیلی و گرم شدن کره زمین (Xu et al. 2016, 306) و همچنین سهم قابل ملاحظه‌ای که ساختمان‌سازی جدید از کل مصرف انرژی‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد (Nguyen et al. 2011, 2088)، مقوله نحوه تأمین آسایش حرارتی در معماری معاصر را به امری پیچیده تبدیل کرده است. در عین حال شگردهای پاسخ‌دهنده اقلیمی به کاررفته در معماری بومی علاوه بر تأمین آسایش حرارتی ساکنان، نقش قابل ملاحظه‌ای در کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی دارد (Nguyen et al. 2011, 2088; Rubio-Bellido, Arcas, and Lainez 2016, 2). نشان داده است این معماری که حاصل تجربه صدها سال سکونت بومی است، سازگار با اقلیم بوده و درس‌های زیادی در زمینه طراحی پاسخ‌دهنده اقلیمی دارد (Foruzanmehr and Vellinga 2011, 284; Rubio-Bellido, Arcas, and Lainez 2016, 1; Philokyprou et al. 2017, 92). چندان که مطالعات متعددی فراهم کردن شرایط آسایش حرارتی را یکی از نقاط قوت معماری بومی در اقلیم‌ها و مناطق مختلف به شمار می‌آورند؛ از جمله: Dili, Naseer, and Varghese 2010, 917; Nguyen et al. 2011, 2088; Rubio-Bellido, Arcas, and Lainez 2016, 1; Victoria et al. 2017, 564 و طاهباز و جلیلیان ۱۳۹۰؛ ۱۳۹۵. با وجود این، بررسی پیشینه مطالعات صورت‌گرفته در معماری بومی از جنبه آسایش حرارتی و استراتژی‌های پاسخ‌دهنده اقلیمی نشان می‌دهد دلایلی از جمله فقدان ارزیابی جامع از عملکرد محیطی بناهای بومی (Huang et al. 2017, 1317)، نیاز به کشف، مستندسازی و تحلیل اصول طراحی و اجزای معماری بومی (Oikonomou and Bougiatioti 2011, 669) و نبود یا اندک بودن تعداد مطالعات کمی برای اثبات میزان تأثیر راه‌حل‌های متفاوت اقلیمی بناها در بهره‌وری انرژی (Bodach, Lang, and Hamhaber 2014, 227; Du, Bokel, and Dobbelsteen 2014, 216; Fernandes et al. 2015, 325; Xu et al. 2016, 306) بر ضرورت پژوهش درباره شگردهای پاسخ‌دهنده اقلیمی معماری بومی و تأثیر آن‌ها بر پارامترهای محیطی فضاهای داخلی افزوده است.

مطالعات پیشین همچنین اشاره دارند کشف این شگردها می‌تواند به بهبود بهره‌وری انرژی (Holmes and Hack-er 2007, 805)، کنترل بهتر محیط داخلی بناها (Kim 2006, 1905; Baran, Yıldırım, and Yılmaz 2011, 619) و حفظ ارزش‌های محیطی و تاریخی بناهای بومی (Alev et al. 2014, 58) کمک کند. از این رو شناسایی و تعیین نقش و میزان تأثیر آن‌ها در بهبود کیفیت حرارتی محیط و آسایش حرارتی امری ضروری به نظر می‌رسد. پژوهش‌های متعددی به بررسی نقش و تأثیر شگردهای اقلیمی در معماری بومی پرداخته‌اند. در این پژوهش‌ها، عملکرد کلی استراتژی‌های پاسخ‌دهنده اقلیمی به کاررفته در بنا یا تأثیر یک عنصر یا شگرد خاص اقلیمی بر کیفیت محیط داخلی یا پارامترهای محیطی فضای داخلی مورد نظر بوده است. پژوهش‌های زیر بخشی از کارهای انجام‌شده در این زمینه است:

Cañas and Martin 2004; Hatamipour, Mahiyar, and Taheri 2007; Fezzioui et al. 2009; Foruzanmehr and Vellinga 2011; Radhakrishnan et al. 2011; Bodach, Lang, and Hamhaber 2014; Du, Bokel, and Dobbelsteen 2014; Prasetyo, Alfata, and Pasaribu 2014; Kubota and Toe 2015; Huang et al. 2016؛ شاعری و دیگران ۱۳۹۶؛ طاهباز و جلیلیان ۱۳۹۰؛ ۱۳۹۵.

بخش دیگری از پژوهش‌ها بر ضرورت شناخت شگردهای اقلیمی در مناطق و اقلیم‌های مختلف تأکید داشته است؛ مانند: Fernandes et al. 2015; Huang et al. 2016; Xu et al. 2016; Huang et al. 2017. از این منظر، پژوهش بر روی شگردهای اقلیمی معماری بومی منطقه سیستان به دلیل داشتن اقلیمی گرم و خشک با وزش بادهای شاخص می‌تواند واجد اهمیت باشد. این منطقه با داشتن بادهای گرم و مداوم ۱۲۰ روزه، خرد اقلیمی خاص در شرق کشور محسوب می‌شود. سکونت در آن سابقه‌ای طولانی داشته و معماری بومی آن توانسته است از طریق به‌کارگیری شگردهای معماری متناسب با اقلیم خاص منطقه مأمّن ساکنان خود باشد. بررسی اولیه نشان می‌دهد شگردهای اقلیمی به‌کاررفته در معماری بومی منطقه سیستان دو دسته‌اند: ۱. شگردهای ثابت شامل جهت‌گیری بنا، تعداد و ابعاد بازشوها، نوع و ضخامت مصالح به‌کاررفته در جداره‌ها، عملکرد حیاط و موارد دیگری از این دست که در طول سال در ترکیب با هم بر کیفیت حرارتی محیط داخل اثر می‌گذارند؛ ۲. شگردهای غیرثابت شامل شگردهای معماری که اگرچه مشابه شگردهای دسته اول در کالبد بنا تعبیه شده‌اند، فعال کردن و میزان استفاده از آن‌ها در کنترل ساکنان است. این شگردها در کنار شگردهای دسته اول نقش قابل ملاحظه‌ای در بهبود کیفیت محیط داخل دارند (تصویر ۱).



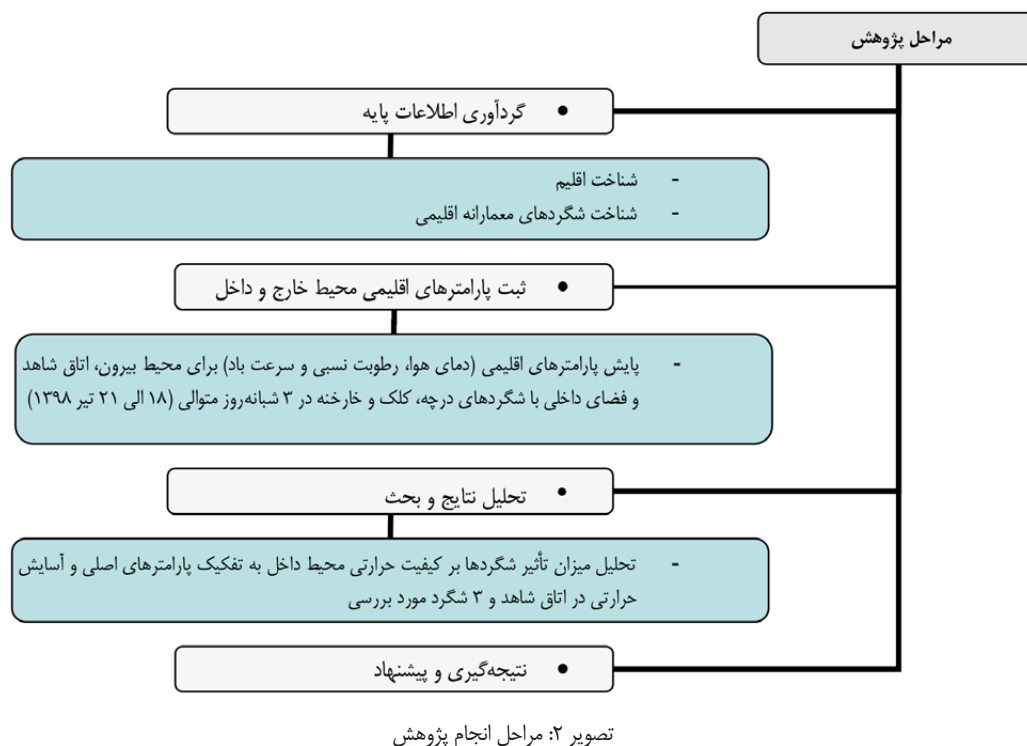
تصویر ۱: شگردهای معماری بومی منطقه سیستان در ارتباط با اقلیم

بررسی‌های میدانی صورت‌گرفته برای پژوهش حاضر در دوره گرم سال در منطقه سیستان نشان داد شگردهای ثابت به‌تنهایی قادر به تأمین آسایش حرارتی ساکنان در اوقات مختلف روز نیستند. ساکنان معماری بومی منطقه در دوره گرم سال، به کمک شگردهای غیرثابت شامل درچه، کلک و خارخنه به آسایش حرارتی رسیده یا محیط داخلی را قابل تحمل می‌کنند. بر این اساس و با توجه به جایگاه شگردهای غیرثابت در آسایش حرارتی در معماری بومی منطقه سیستان، مقاله حاضر به بررسی و شناخت میزان تأثیر این شگردها (درچه، کلک و خارخنه) بر کیفیت حرارتی فضای داخلی در مسکن بومی منطقه سیستان می‌پردازد.

مرور پیشینه پژوهش‌های انجام‌شده در این باب در معماری و سکونت منطقه سیستان نشان می‌دهد محققانی چون مولانایی و سلیمانی (۱۳۹۵) نحوه عملکرد شگردهایی چون درچه، کلک و خارخنه را به روش کیفی تشریح کرده‌اند. معماریان و دیگران (۱۳۹۶) و حیدری و همکارانش (Heidari, Sahebzadeh, and Dalvand 2017) این شگردها را از منظر بررسی نقش باد در آن‌ها به کمک نرم‌افزار CFD مورد بررسی قرار داده‌اند. پژوهش داوطلب، حافظی، و ادیب (۱۳۹۵) نقش پوشش گیاهی بر خرداقلیم منطقه را مورد بررسی قرار داده و حیدری و داوطلب (۱۳۹۸؛ ۱۳۹۹) و داوطلب و حیدری (۱۳۹۹) به بررسی رفتار حرارتی یک نمونه خارخنه ابداعی در اتاقی با ویژگی‌های معماری بومی منطقه پرداخته‌اند. در پژوهش دیگری داوطلب و حیدری (Davtalab and Heidari 2021) نقش یک خارخنه ابداعی در فضای باز را بر آسایش حرارتی محیط خارج بررسی کرده‌اند. در عین حال جست‌وجو در مطالعات پیشین نشان می‌دهد بررسی تطبیقی تأثیر شگردهای پاسخ‌ده اقلیمی معماری بومی در منطقه سیستان بر کیفیت حرارتی محیط داخل در دوره گرم سال و تحلیل عملکرد آن‌ها از نظر تأثیر بر آسایش حرارتی به روش کمی صورت نگرفته است.

مرور روش‌های پژوهش بر روی شگردهای معماری نشان می‌دهد مطالعات قبلی برای دستیابی به تأثیر این شگردها بر کیفیت حرارتی محیط داخل، از روش‌های مختلفی استفاده کرده‌اند. دسته‌بندی این روش‌ها در دو پژوهش شرح داده شده است: Nguyen et al. 2011, 2089 و Manu et al. 2018, 2. روش انتخاب‌شده برای این پژوهش،

ترکیب روش‌های کیفی^۱ و کمی^۲ بر پایه مطالعات زمینه‌ای است. برای این منظور، از طریق حضور در بنا، ابعاد کیفی و کمی شگردهای پاسخ‌ده اقلیمی و تأثیر آن‌ها بر عملکرد حرارتی بنا و آسایش حرارتی محیط داخل بررسی می‌شود. در بخش کیفی، عملکرد حرارتی اجزای مختلف ساختمان در ارتباط با شرایط غالب اقلیمی ارزیابی و تحلیل می‌شود (Oikonomou and Bougiatioti 2011, 669; Xu et al. 2016, 306). ویژگی بارز این روش اتکا به مشاهده و در نهایت توصیف و تحلیل نتایج حاصل از آن بر اساس منابع در دسترس است. در بخش کمی پژوهش، ارزیابی ساختمان(ها) از طریق اندازه‌گیری میدانی پارامترهای مختلف اقلیمی در داخل و خارج بنا، به‌منظور استخراج نتایجی مرتبط با عملکرد حرارتی بناها صورت می‌پذیرد (Lee, Han, and Lim 1996; Ooka 2002). مراحل پژوهش در تصویر ۲ دیده می‌شود.



۱. مواد و روش‌ها

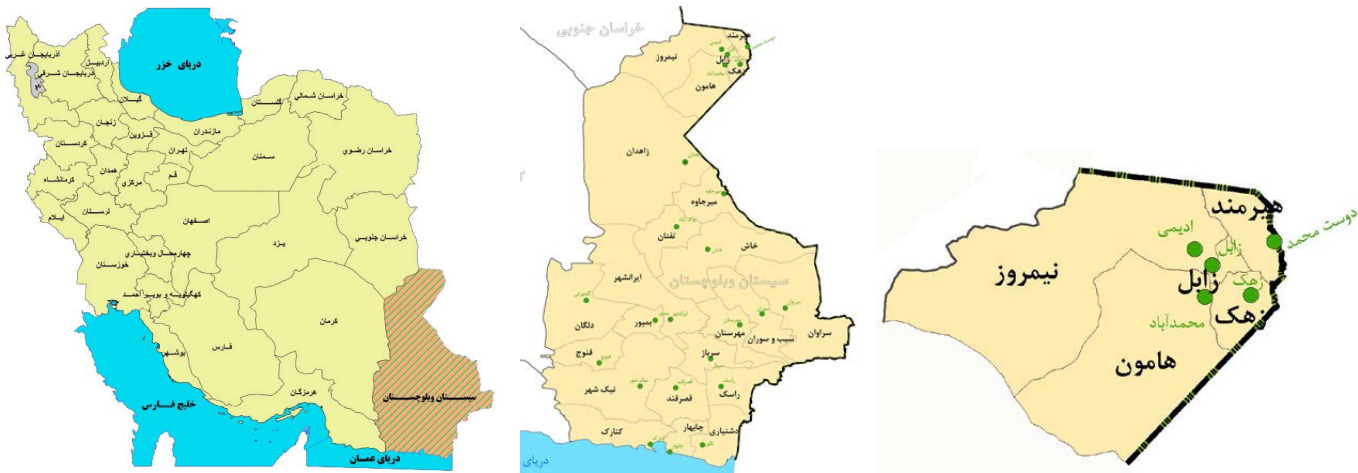
این پژوهش بر مبنای برداشت‌های میدانی، مشاهده و اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی مسکن بومی منطقه سیستان در گرم‌ترین روزهای تابستان ۱۳۹۸ انجام شده است. گردآوری و تحلیل اطلاعات پایه شامل شناخت اقلیم و شگردهای مورد نظر به روش کیفی و بررسی و تحلیل تأثیر شگردها بر پارامترهای محیط داخل به روش کمی صورت گرفته است. برای تحلیل عملکرد حرارتی شگردهای غیرثابت، بررسی‌ها به‌طور هم‌زمان در دو فضا صورت گرفته است. فضای اول اتاق شاهد است که صرفاً از شگردهای ثابت بهره می‌گیرد و فضای دوم اتاقی است که هم‌زمان با شگردهای ثابت از یکی از شگردهای غیرثابت نیز بهره برده است. برای این منظور در این فضا در ۲۴ ساعت اول از شگرد درچه، در ۲۴ ساعت دوم از شگرد کلک و در ۲۴ ساعت سوم از شگرد خارخنه استفاده شده است. برای تحلیل وضعیت آسایش حرارتی فضاها از نمودار سایکرومتریک گیوانی و همچنین پیش‌بینی متوسط آراء احساس حرارتی (PMV) بر اساس پارامترهای محیطی فضای داخلی و مقیاس ۷ واحدی اشری استفاده شده است (جدول ۱).

جدول ۱: مقیاس‌های به‌کارگرفته‌شده در پژوهش (ASHRAE 2004)

مقیاس	۳	۲	۱	۰	-۱	-۲	-۳
احساس حرارتی (اشری)	خیلی گرم (داغ)	گرم	کمی گرم	خنثی	کمی سرد	سرد	خیلی سرد

۱.۱. موقعیت جغرافیایی و اقلیم منطقه

منطقه سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان و در شرق ایران قرار دارد (تصویر ۳) و مساحتی حدود ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع از استان را به خود اختصاص داده است. این منطقه بین ۵۹ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه طولی شرقی و ۳۰ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۴۸۹ متر از سطح دریا واقع شده است.



تصویر ۳: از چپ به راست؛ الف. نقشه ایران، ب. نقشه استان سیستان و بلوچستان، ج. نقشه منطقه سیستان (مرکز آمار ایران)

مطالعه معماری ایران

دو فصلنامه معماری ایرانی
شماره ۲۰ - پاییز و زمستان ۱۴۰۰

۷۱

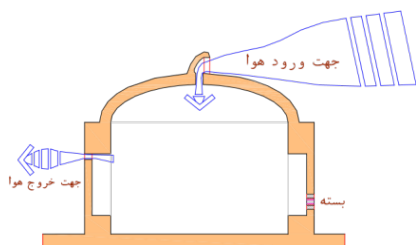
منطقه سیستان از نظر اقلیمی در گروه خشک و گرم قرار دارد (سلیقه، بریمانی، و اسمعیل‌نژاد ۱۳۸۷، ۱۰۸). بالاترین میانگین حداکثر دما با $41/7$ درجه سانتی‌گراد مربوط به جولای (تیرماه) است. پایین‌ترین میانگین حداقل دما نیز با درجه حرارت $1/8$ درجه سانتی‌گراد مربوط به ژانویه (دی‌ماه) است. بررسی آمار رطوبت نسبی نشان می‌دهد ماه‌های ژانویه (دی) با میانگین ۵۷ درصد و آگوست (مرداد) با میانگین ۲۲ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین میزان رطوبت نسبی را دارند. تحلیل این آمار نشان می‌دهد ۷ ماه از سال با میانگین دمای ماهانه بیش از 22 درجه سانتی‌گراد دارای شرایط گرم و بسیار گرم است. حداکثر دمای محیط خارج در ماه‌های آپریل (فروردین) تا اکتبر (مهر) بین $30/5$ و $41/7$ درجه سانتی‌گراد و در همین بازه زمانی حداقل رطوبت نسبی بین ۱۵ تا ۲۳ درصد است. بررسی آمار وزش باد نشان می‌دهد جهت باد در منطقه سیستان در ماه‌های فوریه (بهمن) و مارس (اسفند) شمال به جنوب و در سایر ماه‌ها شمال غربی به جنوب شرقی است. از نظر سرعت باد، جولای (تیر) با ۱۰ متر بر ثانیه و پس از آن آگوست (مرداد) و جون (خرداد) به ترتیب با $9/7$ متر بر ثانیه و $8/9$ متر بر ثانیه بیشترین میزان سرعت باد را داشته‌اند. کمترین میزان سرعت باد با $2/2$ متر بر ثانیه مربوط به دسامبر (آذر) است (جدول ۲).

جدول ۲: آمار ماهانه دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد در ایستگاه زابل (سازمان هواشناسی، دوره ۱۹۶۲-۲۰۱۵)

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
۱/۸	۴/۴	۹/۵	۱۵/۷	۲۱/۱	۲۵/۴	۲۷/۸	۲۶/۱	۲۰/۶	۱۳/۹	۷/۲	۲/۷	۱۴/۷
۱۵/۲	۱۸/۵	۲۴/۶	۳۱/۷	۳۶/۶	۴۰/۵	۴۱/۷	۴۰	۳۶/۱	۳۰/۵	۲۳/۴	۱۷/۲	۲۹/۷
-۱۲	-۹	-۲/۲	۳	۷/۲	۱۴	۱۹	۱۲	۶	۰	-۴	-۱۰	-۱۲
۲۹	۳۲/۸	۳۸/۴	۴۳	۴۸	۴۹/۶	۴۹	۵۱	۴۶/۸	۴۲	۳۶	۲۹	۵۱
۷۴	۷۰	۶۵	۵۷	۴۳	۳۴	۳۱	۳۰	۳۴	۴۶	۶۱	۷۱	۵۱
۴۴	۳۹	۳۳	۲۷	۲۱	۱۸	۱۸	۱۷	۱۶	۲۱	۲۸	۳۸	۲۷
۳۱۵	۳۶۰	۳۶۰	۳۱۵	۳۱۵	۳۱۵	۳۱۵	۳۱۵	۳۱۵	۳۱۵	۳۱۵	۳۱۵	۳۱۵
۲/۶	۳/۲	۳/۵	۴	۵/۹	۸/۹	۱۰	۹/۷	۷/۶	۴/۷	۲/۸	۲/۲	۵/۳

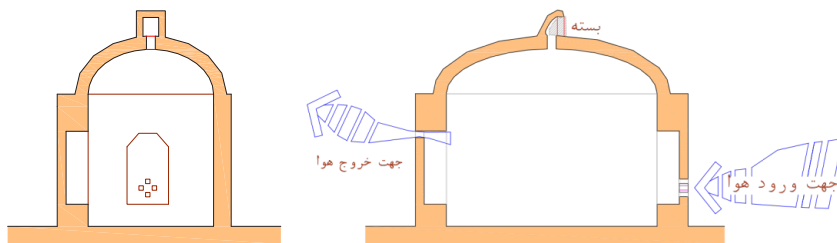
۲.۱. شگردهای اقلیمی مورد مطالعه

شگردهای اقلیمی مورد استفاده در منطقه سیستان که در اغلب بناهای بومی منطقه دیده شده و به عنوان شاخصه سیمای بافت منطقه محسوب می‌شوند، دو نقش عمده را بر عهده دارند. نقش اول ایجاد کوران طبیعی در فضاهای داخلی است. سرعت بالای باد در دوره گرم سال که به میانگین ۱۰ متر بر ثانیه هم می‌رسد (سازمان هواشناسی، دوره ۱۹۶۲-۲۰۱۵) باعث شده است بادگیرهای منطقه که به «کلک» معروف‌اند، سطح نسبتاً کوچکی (حدود ۰/۳۵ متر در ۰/۵ متر) داشته باشند. کارکرد این بادگیرها، انتقال جریان هوا از بام اتاق به درون آن است (تصویر ۴).



تصویر ۴: به ترتیب از راست به چپ؛ نمای روبه‌رو، نمای داخلی و مقطع کلک

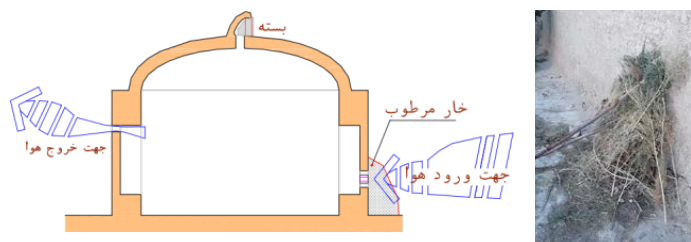
درچه، عنصر معماری دیگر برای ایجاد کوران در فضای داخلی است. هر درچه دارای ۳ تا ۴ حفره یا روزنه برای عبور باد است و سطحی معادل ۰/۵ متر مربع دارد. این روزنه‌ها باد را از جبهه رو به شمال اتاق به درون آن هدایت می‌کنند (تصویر ۵).



تصویر ۵: به ترتیب از راست به چپ؛ تصویر، مقطع و نمای درچه از داخل فضا

تأمین رطوبت مورد نیاز فضاهای داخلی، نقش دیگر شگردهای مورد استفاده در ایام گرم سال است. در این امکان که توسط درچه‌ها فراهم می‌شود، با قرار دادن خار در پشت درچه‌ها و مرطوب نگه داشتن آن‌ها، سیستمی با عنوان

خارخنه (تصویر ۶) ایجاد می‌شود. این شگرد ضمن برقراری کوران هوا در فضای داخلی، رطوبت مورد نیاز برای رسیدن به آسایش حرارتی را تأمین می‌کند.



تصویر ۶: نمای خارجی (سمت راست) و مقطع (سمت چپ) خارخنه

در همه شگردهای ذکر شده عنصر معمارانه حیاط نقش مهمی در تکمیل عملکرد و ایجاد کوران طبیعی در فضاهای داخلی دارد.

در مجموع، این شگردها که برای ایجاد کوران طبیعی و بالابردن رطوبت نسبی از طریق بازشوهایی در سقف و جداره‌های رو به باد ابداع شده‌اند، می‌توانند در شرایط خیلی سخت تابستان کارآمد بوده و فضاهای داخلی را برای زیست قابل استفاده کنند. اطلاعات کامل تری درباره تحلیل رفتار و سیرکولاسیون باد در این شگردها به کمک نرم‌افزار CFD در پژوهش معماریان و همکارانش (۱۳۹۶) و حیدری و دیگران (Heidari, Sahebzadeh, and Dalvand 2017) در دسترس است.

در عین حال هر کدام از این شگردها محدودیت‌ها و معایبی دارند. از جمله مواردی که در تحلیل کیفی می‌توان اشاره کرد ضعف شگردهای درجه و کلک در مواقع طوفانی و ورود گردوغبار محیط خارج به فضای داخلی است. این مشکل در شگرد خارخنه به دلیل وجود یک لایه خار مرطوب در مسیر هوا کمتر دیده می‌شود. با وجود این، مرطوب نگه داشتن خارها در اوقات خواب غیرممکن است. از دیگر معایب این شگرد، تأثیر نامطلوب رطوبت ناشی از آب بر روی جداره‌های مجاور خارهای مرطوب در شگرد خارخنه است.

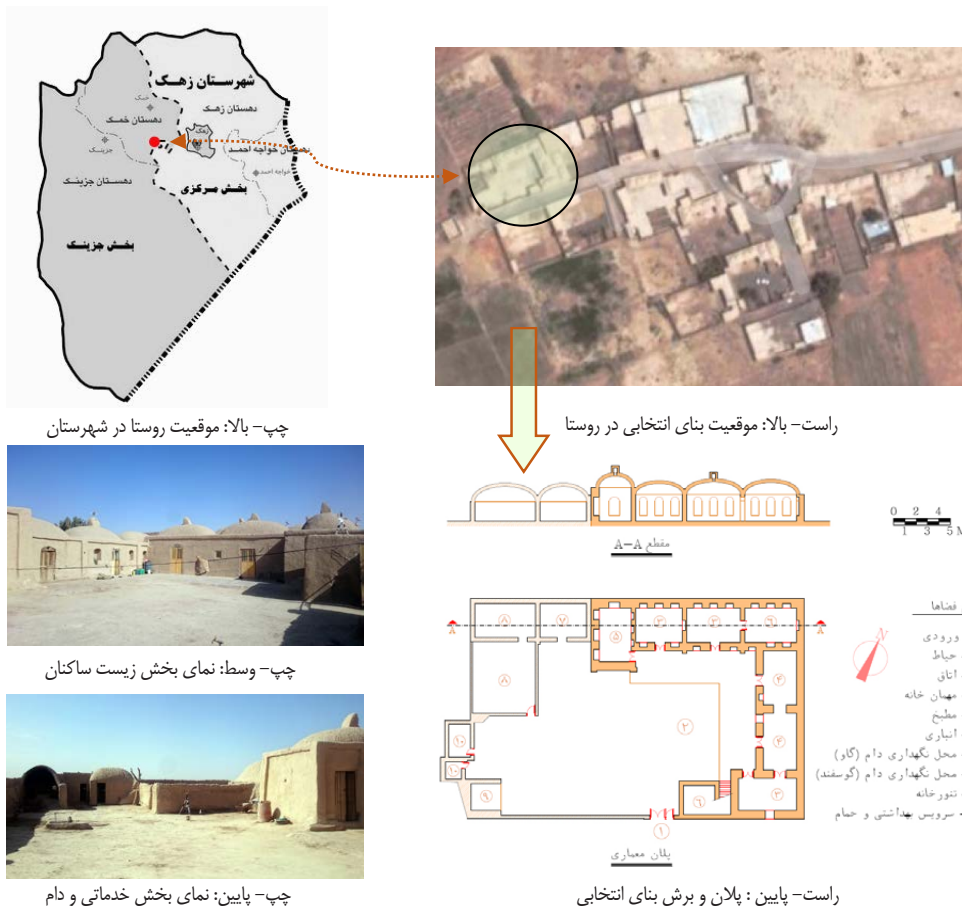
۳.۱. انتخاب بنا

مطالعه بر روی آسایش حرارتی در معماری بومی ملاک‌های مشخصی را در زمینه انتخاب بنای مطلوب طلب می‌کند. مرور مطالعات گذشته نشان می‌دهد این معیارها در سه دسته ویژگی‌های معماری بنا، نحوه سرمایش و گرمایش و نوع همکاری ساکنان با پژوهش مورد نظر قابل تفکیک هستند. از ویژگی‌های بارز معماری بنا می‌توان به بومی بودن بنا (Huang et al. 2016, 702)، حفظ اصالت یا عدم تغییرات (Xu et al. 2016, 310) و دسترسی به اطلاعات محلی راجع به بنا (Prasetyo, Alfata, and Pasaribu 2014, 163) اشاره کرد. در مورد نحوه سرمایش و گرمایش بنا، میزان اتکا به سرمایش و گرمایش غیرفعال و امکان کنترل در صورت بهره‌گیری از سرمایش و گرمایش فعال در زمان مطالعه حائز اهمیت است (Oikonomou and Bougiatioti 2011, 678). رضایت ساکنان مساله مهم دیگری است که در انتخاب بنای مورد مطالعه نقش اساسی دارد (Prasetyo, Alfata, and Pasaribu 2014, 163). در سوی دیگر، تعداد نمونه‌های موردی پژوهش برای دستیابی به نتایج قابل قبول از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مرور پیشینه نشان می‌دهد اغلب پژوهش‌هایی که روش پژوهش آن‌ها بر کار میدانی از نوع کمی استوار بوده است یک بنا را برای مطالعه انتخاب کرده‌اند (Dincyurek, Mallick, and Numan 2003; Dili, Naseer, and Varghese 2010; Bassaran 2011; Radhakrishnan et al. 2011; Larsen, Filippin, and González 2012; Priya et al. 2012; Du, Bokel, and Dobbelsteen 2014; Fernandes et al. 2015; Hyde, Upadhyay, and Treviño 2016; (Huang et al. 2016; Shastry, Mani, and Tenorio 2016; Huang et al. 2017

برای دستیابی به معیارهای مورد اشاره و انتخاب بنای واجد شرایط، کل منطقه سیستان مورد پیمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد جمعیت قابل توجهی از مردم منطقه سیستان در روستاها سکونت دارند که سبک زندگی و نوع معیشت آنان وابسته به کشاورزی و دامداری است. معماری بومی منطقه توانسته است به این شرایط پاسخ مناسب داده و مطابق گذشته به حیات خود ادامه دهد. از این رو بنای مورد نظر از بین گونه‌های غالب معماری مسکن در روستاهای منطقه سیستان انتخاب شده است.

۴.۱. مشخصات بنای انتخاب شده

بنای انتخاب شده برای این پژوهش در روستای کَمک از توابع شهرستان زهک و در جنوب غربی منطقه سیستان واقع شده است.



تصویر ۷: موقعیت، نقشه‌ها و تصاویر بنای انتخاب شده

قدمت این بنا حدود ۱۰۰ سال است و همانند سایر بناهای بومی منطقه از خشت و گل ساخته شده و دارای سه بخش فضاهای زیست ساکنان، فضاهای خدماتی و فضاهای نگهداری دام و طیور است. ابعاد تقریبی بنا ۳۰×۲۰ متر است که بخش سمت راست به فضاهای زیست ساکنان و بخش سمت چپ به فضاهای خدماتی و نگهداری دام و طیور تعلق دارد. حیاط به دو بخش قابل تقسیم است: بخش سمت راست حیاط به ابعاد تقریبی ۱۰×۱۰ متر مختص فضای زیست ساکنان بوده و ارتباط بین فضاهای بخش زیست ساکنان را فراهم می‌کند. اطراف این بخش از حیاط ۷ فضای متنوع

وجود دارد که به طور مستقیم به حیاط دسترسی دارند. در عین حال تفکیک واضحی بین دو بخش حیاط وجود ندارد (تصویر ۷: راست- پایین). ضخامت دیوارهای داخلی و جداکننده حدود ۴۰ سانتی متر و دیوارهای خارجی (مجاور فضای باز) بین ۶۵ تا ۸۰ سانتی متر است. این ویژگی باعث افزایش قابلیت حرارتی دیوارها شده و از انتقال سریع حرارت بین فضای داخلی و محیط اطراف جلوگیری می کند.

۵.۱. جزئیات روش کار میدانی

به منظور بررسی رفتار حرارتی شگردهای مورد استفاده در معماری بومی منطقه و تأثیر آن‌ها بر کیفیت حرارتی محیط داخل، برداشت میدانی اطلاعات توسط دستگاه‌های هواشناسی انجام شده است. برای این منظور پارامترهای دمای هوا، دمای تابشی، رطوبت نسبی و سرعت جریان هوا مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

برای اندازه‌گیری پارامترهای مذکور از دستگاه‌های Kestrel، WBGT و Kimo (جدول ۳) استفاده شده است. میزان دقت دستگاه‌های مورد استفاده در پارامترهای مختلف توسط اداره تجهیزات مهندسی سازمان هواشناسی ایران مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر اساس نتایج این ارزیابی، پارامترهای دمای هوا و سرعت باد توسط دستگاه Kestrel، دمای تابشی توسط دستگاه WBGT و رطوبت نسبی توسط دستگاه Kimo اندازه‌گیری شده است.

جدول ۳: مشخصات تجهیزات مورد استفاده برای ثبت پارامترهای اقلیمی

(<https://kestrelmeters.com>; <http://www.kimocanada.com>; <https://www.reedinstruments.com>)

عنوان دستگاه	نام تجاری	پارامتر اندازه‌گیری	محدوده	دقت
Heat Stress Tracker	Kestrel 4600/4500	دمای هوا سرعت باد	۱۰/۰- تا ۵۵/۰+ درجه سانتی‌گراد ۰ تا ۴۰/۰ متر بر ثانیه	± ۰/۵ درجه سانتی‌گراد ± ۳ درصد در اعداد قرائت شده
THERMO-HYGROMETER	Kimo KH50	رطوبت نسبی	از ۰ تا ۱۰۰ درصد	± ۲ درصد
WBGT	Heat Index CHECKER 8778	دمای کروی	۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد	± ۱/۵ درجه سانتی‌گراد

برای مقاله حاضر از داده‌های ثبت شده توسط تجهیزات کار گذاشته شده در سه نقطه از بنا استفاده شده است (تصویر ۸). نقطه شماره ۱ بر روی بام جانمایی شده است؛ این نقطه نماینده محیط خارج (اقلیم محلی) می باشد. نقطه شماره ۲ اتاقی است که صرفاً از شگردهای ثابت برای تعدیل شرایط حرارتی فضای داخل برخوردار است. این اتاق، اتاق معیار یا اتاق شاهد نام گرفته است. نقطه شماره ۳ اتاقی است با ویژگی‌های شبیه به نقطه شماره ۲ که به جز برخورداری از شگردهای ثابت از شگردهای غیرثابتی همچون کلک، درچه و خارخنه بهره‌مند است. در همه نقاط از هر سه نوع دستگاه استفاده شده است.

برداشت پارامترهای مذکور در ۳ شبانه‌روز بسیار گرم سال که بر اساس آمار بلندمدت (سازمان هواشناسی، دوره ۱۹۶۲-۲۰۱۵)، ماه جولای (۱۰ تیر تا ۱۰ مرداد) می باشد، طی روزهای ۱۸ تا ۲۱ تیرماه ۱۳۹۸ صورت گرفته است. همه پارامترها با فاصله زمانی ۱۰ دقیقه توسط دیتالاگرها ثبت شده‌اند. به منظور جلوگیری از تأثیر عوارض اطراف (زمین و پوشش گیاهی و...) تجهیزات محیط خارج از جمله دستگاه‌های روی بام در ارتفاع ۱/۵۰ متری (پوردیپیمی ۱۳۹۰، ج. ۱: ۲۰) قرار گرفته و به استناد اشری (ASHRAE 2004, 10)، تجهیزات داخل فضاها در ارتفاع حدود ۱/۱۰ متر در ارتفاع تقریبی سر فرد نشسته نصب شده است (تصویر ۸).

۶.۱. روش‌های تبادل حرارت در محیط داخلی

چهار روش برای تبادل شار حرارتی در یک اتاق وجود دارد: ۱. افزایش دما از طریق گرمای داخلی^۲: گرمای حاصل از نور مصنوعی، تجهیزات کار و دفتر و بدن انسان باعث بالارفتن دمای اتاق می گردد؛ ۲. تابش خورشیدی^۳: دریافت گرمای مستقیم از طریق قسمت‌های شفاف پوسته ساختمان مانند پنجره‌ها و نورگیرها؛ ۳. تبادل حرارتی از طریق جداره‌ها^۴ (رسانا): که به گرمای منتقل شده از طریق دیوارهای غیرشفاف اتاق اطلاق می شود. در این حالت گرمای طرف گرم دیوار پس از عبور از مولکول‌های آن به سمت سرد منتقل می شود. جرم حرارتی^۵ که یکی از ویژگی‌های



تصویر ۸: نحوه نصب تجهیزات بر روی بام (سمت چپ پایین)، اتاق شاهد (سمت چپ بالا) و فضای داخلی با عملکرد شگردهای غیر ثابت (سمت راست بالا)

طراحی غیرفعال است نقش مهمی در این بخش ایفا می‌کند؛ ۴. همرفت^۷: تبادل حرارت از طریق حرکت هوا بین داخل و خارج فضا، روشی دیگر برای انتقال حرارت به درون فضا و برعکس است (Verbeke and Audenaert 2018, 2301). علاوه بر آن، اگر بین هوای بیرون و داخل اتاق یا قسمت‌های مختلف اتاق تفاوت دمایی وجود داشته باشد، هوا از طرف گرم به سمت سرد منتقل می‌شود (Yang, Wang, and Xue 2019, 909). از این نظر، کوران طبیعی یکی از عوامل اصلی در تغییر پارامترهای محیطی یک اتاق و در نتیجه آسایش حرارتی است.

۲. پارامترهای اقلیمی محیط خارج، اتاق شاهد و فضای داخلی

سه پارامتر دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد در نقاط مورد نظر در سه شبانه‌روز از دوره گرم سال برداشت و نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. دمای تابشی فضاهای داخلی هم ثبت شده است ولی همان گونه که همفری و همکارانش (Humphreys, Nicol, and Raja 2007, 61) به نزدیک بودن دمای هوا و دمای تابشی در محیط‌های داخلی در شرایط معمول اشاره کرده‌اند، اختلاف این دو پارامتر در ۱۷۸ برداشت انجام شده در تابستان، ۰/۳ درجه سانتی‌گراد بوده است. بر این اساس ضرورتی برای ارائه و تحلیل این پارامتر وجود نداشت.

جدول ۴: مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین پارامترهای دما، رطوبت نسبی و سرعت باد در روزهای مورد مطالعه در دوره گرم سال (۱۸ تا ۲۱ تیر ۱۳۹۸)

	درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)		رطوبت نسبی (درصد)		سرعت باد (متر بر ثانیه)				
	فضای داخلی	اتاق شاهد	محیط خارج	فضای داخلی	اتاق شاهد	محیط خارج			
روز اول	حداقل	۳۳/۹	۳۵/۵	۶/۷	۹/۸	۱۵/۲	۰/۴	۰	حداقل
	حداکثر	۴۱/۱	۳۸/۷	۲۱/۲	۱۷/۵	۱۷/۳	۶/۱	۱/۱	حداکثر
	میانگین	۳۷/۲	۳۶/۹	۱۴/۲	۱۴/۷	۱۷/۷	۱۷/۷	-۰/۴	میانگین
روز دوم	حداقل	۳۳/۴	۳۵/۱	۶	۹	۱۲/۹	۰	۰	حداقل
	حداکثر	۴۱/۴	۳۹/۲	۱۹/۳	۱۶/۱	۱۸/۵	۷	۱/۱	حداکثر
	میانگین	۳۷	۳۷/۱	۱۲/۸	۱۲/۷	۱۴/۸	۲/۳	-۰/۴	میانگین
روز سوم	حداقل	۳۰/۲	۳۱/۲	۲۶/۴	۹/۳	۱۸/۲	۰/۶	۰	حداقل
	حداکثر	۴۴/۳	۳۷	۳۸/۷	۲۶/۴	۳۵/۵	۸/۱	۲/۳	حداکثر
	میانگین	۳۷	۳۴/۲	۳۷/۴	۱۷/۹	۱۷/۵	۲/۹	۱/۱	میانگین
کل مدت پژوهش (۳ شبانه‌روز)	حداقل	۳۰/۹	۳۱/۲	۲۵/۱	۶	۹	۱۲/۹	۰	حداقل
	حداکثر	۴۶/۷	۴۱/۴	۳۹/۲	۲۶/۴	۳۵/۵	۲۰/۶	۲/۳	حداکثر
	میانگین	۳۷/۶	۳۶/۶	۳۷/۱	۱۵	۱۵/۸	۱۶/۷	-۰/۶	میانگین

بررسی مقادیر مربوط به دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد در ۲۴ ساعت اول و دوم که شگردهای درچه و کلک فعال بوده است، نشان می‌دهد متأثر از مشابه بودن پارامترهای محیط خارج، مقادیر پارامترهای محیطی حاصل از عملکرد این دو شگرد در فضای داخلی بسیار نزدیک به هم بوده؛ از این رو ارائه نتایج و تحلیل‌ها به تفکیک دو بازه ۴۸ ساعت اول (شگردهای درچه و کلک) و ۲۴ ساعت آخر (شگرد خارخنه) صورت گرفته است.

در بازه زمانی اول (۴۸ ساعت اول) دمای خارج بین $31/2$ تا $46/7$ درجه سانتی‌گراد بوده است. در همین زمان، دمای هوا در فضای داخلی با شگردهای درچه و کلک بین $33/4$ تا $41/4$ درجه سانتی‌گراد و دمای اتاق شاهد بین $35/1$ تا $39/2$ درجه سانتی‌گراد است. بر این اساس اختلاف دمای حداکثر و حداقل برای محیط خارج بنا، فضای داخلی با عملکرد شگردهای کلک و درچه و فضای شاهد به ترتیب $15/5$ ، 8 ، $7/2$ و $4/1$ سانتی‌گراد است.

بررسی عملکرد درچه و کلک نشان می‌دهد این شگردها باد را از محیط خارج، بدون ایجاد تغییر در دمای آن، به سمت داخل اتاق هدایت می‌کنند. در نتیجه دمای اتاق به میزان قابل توجهی به دمای خارج نزدیک می‌شود. این ویژگی باعث شده است دمای حداقل اتاق در زمان شگردهای کلک و درچه $1/7$ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر از اتاق شاهد و دمای حداکثر این اتاق نسبت به اتاق شاهد بیش از 2 درجه سانتی‌گراد گرم‌تر باشد.

در بازه زمانی دوم (۲۴ ساعت آخر)، از شگردی به نام خارخنه در فضای داخلی (نقطه شماره ۳) استفاده شده است. این شگرد که معمولاً در طول روز مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، عملکردی ساده ولی کارآمد دارد. در این شگرد، خارهای تجمیم شده پشت درچه (تصویر ۶: راست) به صورت پیوسته مرطوب نگه داشته می‌شوند. جریان هوا از داخل این خارها و از طریق حفره‌های واقع در درچه‌ها وارد فضای داخلی می‌شود. هوای وارد شده به فضا به دلیل داشتن رطوبت کافی و همراه بودن با کوران طبیعی باعث تلطیف هوای داخل می‌شود. نتایج حاصل از اطلاعات ثبت شده نشان می‌دهد در بازه زمانی فعال بودن شگرد خارخنه، دمای حداقل و حداکثر محیط خارج بین $30/9$ و $44/3$ درجه سانتی‌گراد بوده است، در حالی که دمای محیط داخلی با عملکرد خارخنه بین $31/2$ و 37 درجه سانتی‌گراد بوده است. در همین مدت دمای اتاق شاهد بین $36/4$ و $38/7$ درجه سانتی‌گراد بوده است. می‌توان نتیجه گرفت اختلاف دمای حداکثر و حداقل برای خارج بنا، فضای داخلی با عملکرد خارخنه و فضای شاهد به ترتیب $13/4$ ، $5/8$ و $2/3$ درجه سانتی‌گراد است.

دومین پارامتر مورد بررسی، رطوبت نسبی محیط خارج و فضای داخلی در زمان استفاده از هر کدام از شگردها بوده است. نتایج نشان می‌دهد رطوبت نسبی محیط خارج (بام) طی 72 ساعت مورد مطالعه بین 6 و $26/4$ درصد بوده است. در 48 ساعت اول که رطوبت نسبی محیط خارج بین 6 و $21/2$ درصد بوده است رطوبت نسبی اتاق دارای شگردهای درچه و کلک بین 9 تا $17/5$ درصد و اتاق شاهد بین $12/9$ تا $19/3$ درصد ثبت شده است. عملکرد شگرد خارخنه در 24 ساعت آخر باعث شده است رطوبت نسبی فضای داخلی بین $18/2$ و $35/5$ درصد قرار گیرد. در این مدت، رطوبت نسبی محیط خارج بین $9/3$ و $26/4$ درصد و اتاق شاهد بین $15/1$ و $20/6$ درصد بوده است.

در بازه مورد مطالعه، سرعت باد به‌عنوان سومین پارامتر مورد بررسی، در بام بین صفر تا $1/1$ متر بر ثانیه با میانگین $3/1$ متر بر ثانیه ثبت شده است. این پارامتر در فضای داخلی طی 24 ساعت اول و دوم (۴۸ ساعت اول) بین صفر تا حداکثر $1/1$ متر بر ثانیه و در 24 ساعت آخر بین صفر و $2/3$ متر بر ثانیه بوده است (جدول ۴). سرعت باد در اتاق شاهد به دلیل نداشتن بازشو (شگردهای غیر ثابت) طی دوره گرم صفر بوده است.

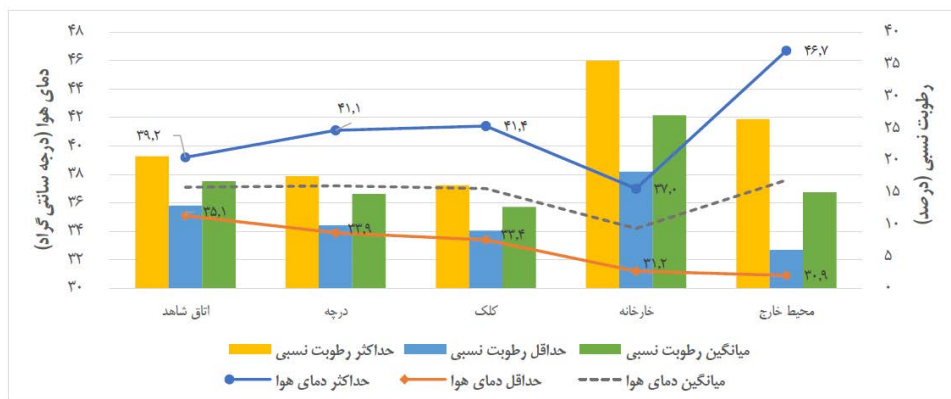
بررسی مسیر حرکت باد در شگردهای کلک و درچه (و خارخنه) در هنگام ورود جریان هوا به فضای داخلی نشان می‌دهد در شگرد کلک، باد پس از برخورد به دهانه کلک با چرخشی 90 درجه وارد فضای داخلی اتاق می‌شود (تصویر ۴)، در حالی که در شگرد درچه (و خارخنه) باد در مسیر موازی با جریان خود وارد فضای اتاق می‌گردد (تصویرهای ۵ و ۶). از این رو به‌رغم بیشتر بودن حداکثر و میانگین سرعت باد در محیط خارج در روز دوم نسبت به روز اول، مقادیر سرعت باد در فضای داخلی برای هر دو شگرد نزدیک به هم است. این نتایج همسو با تحلیل معماران و دیگران (۱۳۹۶) بر روی رفتار باد در شگردهای درچه و کلک است که با استفاده از نرم‌افزار CFD انجام شده است.

۳. تحلیل نتایج و بحث

کشف تأثیر شگردهای درجه، کلک و خارخنه بر پارامترهای اقلیمی و آسایش حرارتی محیط داخل، هدف اصلی این پژوهش است؛ از این رو وضعیت دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد در فضای داخلی متأثر از شگردهای سه گانه با اتاق شاهد و محیط خارجی مقایسه شده و ضمن کشف عملکرد حرارتی هر کدام از شگردها، تأثیر آن‌ها بر آسایش حرارتی بررسی می‌شود.

۳.۱. دمای هوا

تجزیه و تحلیل دمای هوا در اتاق شاهد نشان می‌دهد اگرچه ظرفیت حرارتی بالای مصالح ساختمانی از ویژگی‌های مناسب برای آب و هوای گرم و خشک در نظر گرفته می‌شود و تبادل حرارت بین محیط داخل و خارج را از طریق هدایت حرارتی به تأخیر می‌اندازد (Verbeke and Audenaert 2018, 2302)، نبود باز شو و نداشتن کوران طبیعی باعث شده است که اتاق شاهد از تبادل حرارت بین محیط داخل و خارج در اوقات شب و همچنین مواقع سرد روز به‌ویژه صبح‌ها که دمای نسبتاً پایینی وجود دارد، از طریق همرفت برخوردار نباشد. در نتیجه، دمای اتاق شاهد بین ۳۵/۱ و ۳۹/۲ درجه سانتی‌گراد بوده است (تصویر ۹).



تصویر ۹: مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین دمای هوا و رطوبت نسبی در بخش‌های مختلف بنا طی روزهای مورد مطالعه در دوره گرم سال

در اتاق دیگر، شگردهای درجه، کلک و خارخنه به‌عنوان شگردهای غیر ثابت، کوران هوا را در فضای داخلی فراهم کرده و در نتیجه تبادل گرما بین محیط داخل و خارج، علاوه بر هدایت حرارتی جدارها از طریق همرفت نیز انجام می‌شود. در عین حال بررسی نتایج در تصویر ۹ نشان می‌دهد این سه شگرد تأثیرهای متفاوتی بر دمای محیط داخل داشته‌اند. شگردهای درجه و کلک باعث می‌شوند متأثر از پدیده همرفت بین هوای داخل و محیط بیرون، دمای داخلی به دمای خارج نزدیک‌تر شود. در نتیجه، نوسان روزانه دمای داخل در اتاق دارای شگردهای درجه و کلک (بین ۷/۲ تا ۸ درجه سانتی‌گراد) بیشتر از اتاق شاهد (۴/۱ درجه سانتی‌گراد) است. علاوه بر آن، اگرچه در اثر عملکرد حرارتی این دو شگرد حداقل دمای هوای محیط داخل در شگرد درجه ۱/۲ درجه سانتی‌گراد و در شگرد کلک ۱/۷ درجه سانتی‌گراد سردتر از اتاق شاهد بوده، در مقادیر حداکثر دمای محیط داخل که عمدتاً در طول روز اتفاق می‌افتد، عملکرد این دو شگرد نسبت به اتاق شاهد ضعیف‌تر بوده است. در این حالت، دمای حداکثر شگردهای درجه و کلک به ترتیب ۱/۹ درجه سانتی‌گراد و ۲/۲ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از اتاق شاهد بوده است.

در شگرد خارخنه، اگرچه نوسان روزانه دمای هوا در فضای داخلی (۵/۸ سانتی‌گراد) بیشتر از اتاق شاهد (۲/۳ سانتی‌گراد) است، دمای هوا در این شگرد ارقام پایین‌تری را نسبت به اتاق شاهد و دو شگرد دیگر نشان می‌دهد؛ به عبارت دیگر، اتاق با شگرد خارخنه نسبت به اتاق شاهد و دو شگرد دیگر، هم از نظر حداکثر دمای هوای داخل (۳۷)

درجه سانتی گراد) و هم در حداقل دمای هوای داخل (۳۱/۲ درجه سانتی گراد) سردتر بوده است. نتایج این بررسی در دو قالب روزانه (۸ صبح تا ۸ شب) و شبانه (۸ شب تا ۸ صبح) در تصویر ۱۰ دیده می شود.



تصویر ۱۰: میانگین دمای هوا به تفکیک الف. روزانه (راست)، ب. شبانه (چپ) در شگردهای مختلف طی روزهای مورد مطالعه در دوره گرم سال

در دوره روزانه، اگرچه تمام شگردها و همچنین اتاق شاهد سردتر از محیط خارج بوده اند، اتاق خارخه دارای میانگین درجه حرارت بهتری نسبت به بقیه بوده است. در این بازه، اتاق خارخه به طور متوسط ۱/۷ سانتی گراد از اتاق شاهد سردتر بوده است. دلیل اصلی آن تأثیر هم زمان افزایش رطوبت نسبی فضای داخلی توسط خارها و برقراری کوران طبیعی هوا در شگرد خارخه است. برعکس، فضای داخلی با شگردهای درجه و کلک به ترتیب ۱/۷ و ۱/۲ سانتی گراد گرم تر از اتاق شاهد بوده است. دلیل اصلی این امر انتقال گرمای روزانه محیط بیرون به فضای داخلی از طریق همرفت توسط این دو شگرد است (تصویر ۱۰: الف).

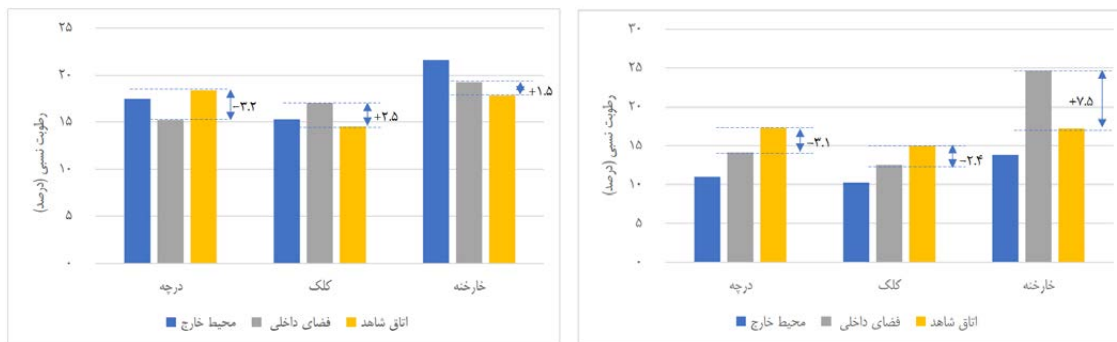
در بازه شبانه، اگرچه محیط بیرون میانگین دمای بهتری نسبت به اتاق شاهد و سه شگرد غیر ثابت داشته است، تصویر ۱۰-ب نشان می دهد دمای هوای فضای داخلی در شگردهای خارخه، درجه و کلک به ترتیب ۲/۹، ۱/۲ و ۱/۳ درجه سانتی گراد سردتر از اتاق شاهد بوده است. دلیل اصلی این موضوع می تواند ناشی از کوران هوای ایجاد شده توسط شگردهای سه گانه و ورود هوای سرد شبانه باشد. اگرچه خارخه در شب غیر فعال است، سرمای ایجاد شده در فضای با شگرد خارخه در طول روز باعث شده است این شگرد علاوه بر بازه روزانه در بازه شبانه نیز عملکرد بهتری نسبت به دو شگرد غیر ثابت دیگر داشته باشد.

۲.۳. رطوبت نسبی

آمار رطوبت نسبی در فضاهای داخلی نشان می دهد متوسط رطوبت نسبی اتاق شاهد در محدوده ۱۳ تا ۱۹ درصد و در فضای داخلی با شگردهای درجه و کلک بین ۹ تا ۱۷/۵ درصد در نوسان است. اگرچه در این پارامتر، اتاق شاهد مقادیر بالاتری نسبت به شگردهای درجه و کلک دارد، در همه این موارد، رطوبت نسبی فضاهای داخلی کمتر از حداقل مقدار پیشنهاد شده توسط استاندارد اشری برای آسایش حرارتی (۲۰ درصد) (ASHRAE Handbook 2001, 30.61) است. از طرف دیگر، تحلیل مقادیر رطوبت نسبی نشان می دهد که در مواقع فعال بودن شگرد خارخه، مقادیر رطوبت نسبی فضای داخلی بین ۱۸/۲ و ۳۵/۵ درصد و در محدوده قابل قبول برای آسایش حرارتی (۲۰ تا ۷۰ درصد) (Ibid) بوده است (تصویر ۹).

در دوره پژوهش، درحالی که متوسط رطوبت نسبی محیط بیرون در اکثر مواقع زیر ۲۰ درصد است، رطوبت نسبی اتاق شاهد و فضای داخلی با شگردهای درجه و کلک نیز کمتر از ۲۰ درصد و به عبارت دیگر کمتر از حداقل مقادیر مورد نیاز برای آسایش حرارتی است. مقایسه اتاق دارای شگردهای درجه و کلک با اتاق شاهد نشان می دهد اتاق شاهد، هم در مقادیر حداقل و هم در مقادیر حداکثر رطوبت نسبی شرایط بهتری نسبت به اتاق دارای شگردهای درجه و کلک دارد. دلیل این موضوع هم ارتباط زیاد محیط داخل با محیط خارج و تأثیر پذیری آن از محیط خارج در اتاق با شگردهای درجه

و کلک است. همچنین این مقادیر نشان می‌دهند دو شگرد درجه و کلک توانایی افزایش و بهبود رطوبت نسبی در آب و هوای گرم و خشک این منطقه را ندارند. از طرف دیگر، متوسط رطوبت نسبی فضای خارخنه در بازه روزانه (تصویر ۱۱: الف) حدود ۲۵ درصد و در محدوده قابل قبول برای آسایش حرارتی است. این تصویر نشان می‌دهد درحالی که رطوبت نسبی اتاق با شگردهای درجه و کلک به ترتیب ۱/۳ و ۴/۲ درصد کمتر از اتاق شاهد بوده است، رطوبت نسبی فضای داخلی با شگرد خارخنه ۷/۵ درصد بیشتر از اتاق شاهد بود. بر این اساس، این شگرد توانایی بهبود پارامتر رطوبت نسبی را در روزهای گرم منطقه دارد.



تصویر ۱۱: میانگین رطوبت نسبی به تفکیک الف. روزانه (راست)، ب. شبانه (چپ) در شگردهای مختلف طی روزهای مورد مطالعه در دوره گرم سال

در طول شب (تصویر ۱۱: ب)، به دلیل عدم فعالیت مکانیسم خارخنه، رطوبت نسبی در شگردهای مختلف با محیط بیرون و اتاق شاهد تفاوت چندانی ندارد (حداکثر ۳/۲ درصد) با وجود این، رطوبت نسبی بازه شبانه بالاتر از بازه روزانه و تا حد قابل قبولی نزدیک به حداقل مقادیر مورد نیاز برای آسایش حرارتی است. با توجه به سردتر بودن دمای هوای شبانه نسبت به اوقات روز، افزایش رطوبت نسبی شبانه نسبت به روزانه (طاهاز ۱۳۹۲، ۲۲) قابل پیش‌بینی است.

۳.۳. سرعت باد

تحلیل شکل درجه و کلک و نحوه عبور هوا از آن‌ها نشان می‌دهد اگرچه بخشی از گرمای فضای داخلی از طریق هدایت حرارتی توسط جداره‌های خارجی اتاق با محیط بیرون مبادله می‌شود، به دلیل سرعت نسبتاً زیاد باد محلی و عبور جریان هوا از طریق این شگردها، تأثیر تبادل گرما از طریق همرفت افزایش می‌یابد.

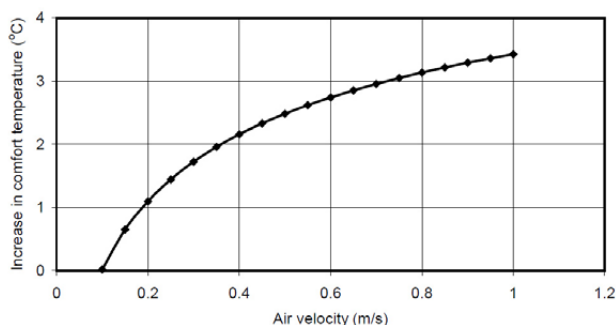
علاوه بر آن در دوره گرم سال، سرعت باد در منطقه سیستم در محیط خارج نسبتاً زیاد است و اغلب در طول شبانه‌روز ادامه دارد. بنابراین، نکته مهم سرعت مجاز باد در فضاهای داخلی است. اشری (ANSI/ASHRAE 2017, 12) حداکثر سرعت هوای ۰/۸ متر بر ثانیه را برای محیط داخل در دماهای بالاتر از ۲۵/۵ درجه سانتی‌گراد قابل قبول دانسته است، اما نیگل (Nicol 1974, 417) در مطالعه بغداد و هند نشان داد سرعت باد تا ۱/۵ متر بر ثانیه می‌تواند در دماهای بالاتر از ۳۱ درجه سانتی‌گراد در مناطق گرم قابل قبول باشد. علاوه بر آن وجود باد با سرعت حداکثر ۱/۶ متر بر ثانیه نیز در ۳۰ درجه سانتی‌گراد قابل قبول شناخته شده است (Candido et al. 2010, 228).

یکی از ویژگی‌های شگردهای درجه و کلک کاهش سرعت باد و ایجاد کوران هوا با سرعت قابل قبول در فضای داخلی است. درحالی که در دوره مورد مطالعه، متوسط سرعت باد در محیط خارج ۳ متر بر ثانیه بوده، متوسط سرعت هوا در فضای داخلی بین ۰/۴ تا ۱/۱ ثبت شده است (جدول ۴). در عین حال کوران هوا در فضای داخلی بر افزایش دمای خنثی تأثیر دارد و از معادله (۱) به دست می‌آید (Humphreys 1970).

$$\Delta T_n = 7 - 50 / (4 + 10 * V_a^{0.5}) \quad (1)$$

ΔT_n افزایش دمای آسایش حرارتی در فضای داخلی برای سرعت‌های مختلف کوران هواست و V_a سرعت باد در فضای داخلی برحسب متر بر ثانیه است. بر این اساس، اگر سرعت باد در فضای داخلی به ۱/۴ متر بر ثانیه افزایش

یابد، دمای خنثی تا $3/8$ درجه سانتی گراد افزایش می‌یابد. در پژوهشی دیگر، استفاده از فن (به‌عنوان تهویه مکانیکی) دامنه آسایش حرارتی را تا 2 درجه سانتی گراد افزایش می‌دهد (Nicol and Roaf 2005). در پژوهشی مشابه، استفاده از فن باعث می‌شود دامنه دمایی 28 تا 32 درجه سانتی گراد به محدوده آسایش حرارتی تبدیل شود (Huang et al. 2013, 31-32). نیکل این مسئله را برای سرعت باد بین $0/1$ تا 1 متر بر ثانیه، در قالب تصویر ۱۲ ارائه می‌دهد (Nicol 2004, 633).



تصویر ۱۲: افزایش دمای آسایش حرارتی برای سرعت‌های مختلف هوا (محوری افقی: سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه و محور عمودی: میزان افزایش در دمای آسایش) (Nicol 2004, 633)

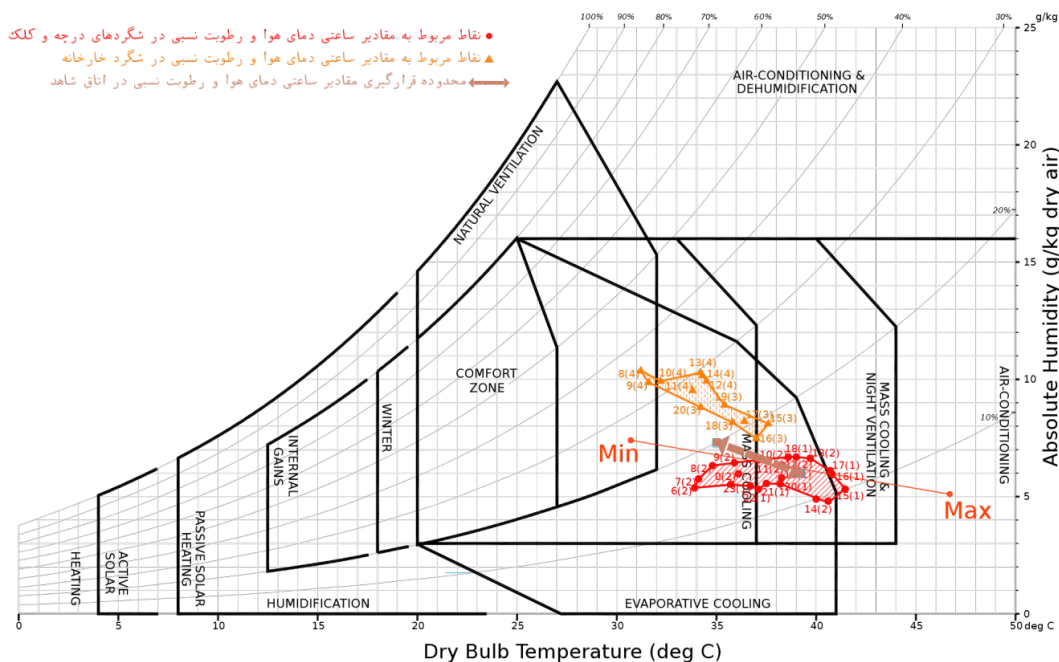
بر اساس این تصویر، در صورت وجود کوران هوا در فضای داخلی تا 1 متر بر ثانیه، دمای خنثی تا $3/4$ درجه سانتی گراد افزایش می‌یابد. تجزیه و تحلیل میانگین سرعت باد داخلی در شگردهای سه‌گانه ($0/4$ تا $1/1$ متر بر ثانیه) بر اساس معادله (۱) و تصویر ۱۲ نشان می‌دهد که این مقادیر می‌تواند دمای خنثی را بین $2/2$ تا $3/5$ درجه سانتی گراد افزایش دهد. با این حال، باید در نظر گرفته شود که اگر دمای هوا در مقایسه با بدن انسان از چند درجه فراتر رود، کوران طبیعی می‌تواند باعث ایجاد گرما و احساس عدم آسایش گردد (رازجویان ۱۳۸۸، ۴۰؛ Kumar et al. 2016, 119). مطالعه دیگری نشان می‌دهد سرعت باد در روزهای گرم سال، در دماهای بیش از 37 درجه سانتی گراد برای محیط داخل باعث افزایش احساس گرمایی می‌شود (پوردیهیمی ۱۳۹۰، ج. ۱: ۲۳۴). در نتیجه کوران طبیعی ایجاد شده توسط شگردهای درچه و کلک که میانگین دمای فضای داخلی در آن‌ها $37/2$ و 37 درجه سانتی گراد است، باعث افزایش احساس عدم آسایش حرارتی می‌شود.

تحلیل سرعت باد در فضای داخلی در دوره پژوهش نشان می‌دهد شگرد خارخنه باعث ایجاد کوران طبیعی با میانگین سرعت $1/1$ متر بر ثانیه شده است. علاوه بر آن تأثیر هم‌زمان کوران طبیعی و رطوبت ایجاد شده توسط خارهای مرطوب باعث شده در شرایطی که حداکثر دمای خارج در اوقات خیلی گرم روز $44/3$ درجه سانتی گراد است، دمای هوای داخلی به‌طور قابل توجهی کاهش یافته و به میانگین $34/2$ درجه سانتی گراد برسد. از نظر آسایش حرارتی و دمای خنثی، سرعت متوسط باد در شگرد خارخنه ($1/1$ متر بر ثانیه) بر اساس معادله (۱) و تصویر ۱۲ می‌تواند دمای خنثی را حدود $3/5$ درجه سانتی گراد افزایش دهد و آسایش حرارتی را در اوقات بیشتری از شبانه‌روز برای ساکنان فراهم کند.

۳.۴. آسایش حرارتی

انتقال مقادیر ساعتی دما و رطوبت روزهای مورد مطالعه بر روی نمودار سایکرومتریک گیوانی (تصویر ۱۳) و بررسی موقعیت شگردهای کلک، درچه، خارخنه و اتاق شاهد نسبت به محدوده آسایش حرارتی نشان می‌دهد: - نقاط مربوط به اتاق شاهد، شامل محدوده دمایی $35/1$ تا $39/2$ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی بین $12/9$ تا $20/6$ درصد است. این نقاط از نظر موقعیت نسبت به محدوده آسایش حرارتی، با فاصله نسبتاً زیاد خارج از محدوده آسایش حرارتی قرار دارند. در عین حال اگرچه موقعیت قرارگیری نقاط مربوط به این فضا نسبت به اتاق دارای شگرد خارخنه و همچنین اوقات خنک روز (اواخر شب و ابتدای روز) در شگردهای درچه و کلک وضعیت نامطلوبی دارد، در اوقات گرم

روز به‌ویژه بعد از ظهر نسبت به درجه و کلک از وضعیت بهتری برخوردار است.
 - نقاط مربوط به فضای با شگردهای درجه و کلک، دمای بین $33/4$ تا $41/4$ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۹ تا $17/5$ درصد را دارند. این نقاط از نظر موقعیت نسبت به محدوده آسایش حرارتی، با فاصله نسبتاً زیاد خارج از محدوده آسایش حرارتی قرار دارند. با وجود این، کوران طبیعی موجود در این دو شگرد با میانگین سرعت $0/4$ متر بر ثانیه در اوقات سرد شبانه‌روز از جمله اواخر شب و اوایل صبح به بهبود شرایط آسایش حرارتی کمک کرده و این دو شگرد را در وضعیت حرارتی مناسب‌تری نسبت به اتاق شاهد قرار داده است.



تصویر ۱۳: وضعیت دما و رطوبت نسبی روزهای مورد مطالعه برحسب مقادیر ساعتی به تفکیک تأثیر کلک و خارخانه بر روی نمودار سایکرومتریک گیوانی در دوره گرم سال (۱۸ تا ۲۱ تیر ۱۳۹۸)

- فضای داخلی در زمان عملکرد شگرد خارخانه دمای بین $31/2$ تا 37 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین $18/2$ تا $35/5$ درصد را دارد. اگرچه نقاط مربوط به فضای با عملکرد خارخانه در روزهای مورد مطالعه که از گرم‌ترین روزهای سال هستند در محدوده آسایش حرارتی قرار نگرفته، موقعیت این نقاط با توجه به تأمین رطوبت مورد نیاز و ایجاد کوران طبیعی با میانگین $1/1$ متر بر ثانیه، هم در اوقات گرم روز و هم در مواقع خنک شبانه‌روز، نسبت به عملکرد شگردهای درجه و کلک و اتاق شاهد به محدوده آسایش حرارتی نزدیک‌تر است.

در تحلیلی دیگر، بررسی مقادیر پیش‌بینی متوسط آراء احساس حرارتی (PMV) در هر کدام از شگردها و مقایسه آن‌ها با اتاق شاهد نشان می‌دهد درحالی‌که این متغیر برای اتاق شاهد در همه روزهای مورد مطالعه بین $3/63+$ تا $3/81+$ قرار دارد و احساس حرارتی متناظر با این مقادیر داغ (خیلی گرم) است، شگردهای درجه و کلک توانسته‌اند با تأثیر سرمایشی $2/7$ درجه سانتی‌گراد مقادیر PMV را به $2/77+$ در شگرد درجه و $2/71+$ در شگرد کلک کاهش دهند. اگرچه این اعداد احساس حرارتی داغ را نمایندگی می‌کنند، شگرد درجه $0/86$ واحد و شگرد کلک $0/96$ واحد در مقیاس اشری نسبت به اتاق شاهد به احساس خنثی (۰) نزدیک‌تر بوده‌اند. بهترین عملکرد با تأثیر سرمایشی 4 درجه سانتی‌گراد به شگرد خارخانه تعلق داشته و پیش‌بینی متوسط آراء احساس حرارتی برای این شگرد $1/55+$ به دست آمده

است. مقایسه این عدد با مقدار $+2$ که بیانگر احساس حرارتی گرم در مقیاس اشری است، حاکی از آن است که اگرچه احساس حرارتی متناظر با پیش‌بینی متوسط آراء حرارتی برای شگرد خارخنه ($+1/55$) گرم محسوب می‌شود، این عدد نسبت به $+2$ که متناظر با احساس حرارتی گرم است حدود نیم واحد در مقیاس اشری به احساس خنثی نزدیک‌تر است. مقایسه مقادیر خارخنه با اتاق شاهد هم نشان می‌دهد این شگرد توانسته است پیش‌بینی احساس حرارتی را $2/26$ واحد در مقیاس اشری به احساس خنثی (0) نزدیک‌تر کند (جدول ۵).

جدول ۵: مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین (نگارندگان به کمک سایت 2021 CBE Thermal Comfort Tool)

	متوسط دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)	متوسط دمای تابشی (درجه سانتی‌گراد)	متوسط رطوبت نسبی (درصد)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	پیش‌بینی میانگین آراء احساس حرارتی (PMV)	احساس حرارتی	تأثیر سرمایشی (درجه سانتی‌گراد)
درجه	۳۷/۲	۳۷/۵	۱۴/۷	-۰/۴	+۲/۷۷	داغ	۲/۷
روز اول	شاهد	۳۶/۹	۱۷/۸	۰	+۳/۶۳	داغ	۰
کلک	۳۷	۳۷/۳	۱۵/۳	-۰/۴	+۲/۷۱	داغ	۲/۷
روز دوم	شاهد	۳۷/۱	۱۴/۸	۰	+۲/۶۶	داغ	۰
خارخنه	۳۵	۳۵/۲	۲۲	۱/۱	+۱/۵۵	گرم	۴
روز سوم	شاهد	۳۷/۴	۱۷/۵	۰	+۳/۸۱	داغ	۰

نتیجه

یکی از چالش‌های معماری در عصر حاضر، تأمین آسایش حرارتی در بناها با رویکرد کاستن از وابستگی به انرژی‌های فسیلی است. این موضوع در اقلیم‌های با شرایط سخت از اهمیت بیشتری برخوردار است. از سوی دیگر معماری بومی که حاصل تجربه‌های عملی انسان در دوره‌های گذشته است، واجد ویژگی‌های برجسته‌ای در تأمین شرایط آسایش حرارتی ساکنان می‌باشد. یکی از این ویژگی‌ها، شگردهای پاسخده اقلیمی است که به‌منظور رسیدن به شرایط آسایش حرارتی با کمترین میزان وابستگی به انرژی‌های فسیلی در این معماری به کار گرفته شده است. ثابت شده است روش‌های طراحی اقلیمی در نهایت به صرفه‌جویی بیشتر در مصرف انرژی و جلوگیری از سخت‌تر شدن شرایط اقلیمی کره زمین کمک می‌کنند؛ از این‌رو مطالعات متعددی بر ضرورت شناسایی عملکرد این شگردها در معماری بومی تأکید کرده‌اند. از این منظر، معماری بومی منطقه سیستان یکی از نمونه‌های قابل توجه در زمینه دستیابی به آسایش حرارتی با حداقل وابستگی به سوخت‌های فسیلی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است.

این پژوهش نشان داد در ساختمان مورد مطالعه، که یکی از ساختمان‌های بومی و مبتنی بر کوران طبیعی در منطقه سیستان است، عملکرد شگردهای اقلیمی غیرثابت در دوره گرم سال مبتنی بر ایجاد کوران هوا در اوقات سرد شبانه‌روز و افزایش رطوبت نسبی به‌همراه ایجاد کوران هوا برای اوقات گرم روز در فضاهای داخلی است. بر اساس این پژوهش، درچه و کلک در اوقات سرد شبانه‌روز ضمن خارج کردن گرمای ذخیره‌شده طی دوره گرم روز باعث برقراری جریان هوای سرد در فضای داخلی شده و در مواقع گرم و داغ روز شگرد خارخنه با تکیه بر رطوبت ناشی از خارها و کوران طبیعی کارایی بهتری دارد.

همچنین نشان داده شد شگردهای درچه و کلک تأثیری بر بهبود رطوبت نسبی فضای داخلی نداشته و برعکس، خارخنه تأثیر قابل قبولی بر افزایش رطوبت نسبی فضای داخلی دارد. این شگرد علاوه بر تأمین کوران طبیعی لازم، رطوبت نسبی فضای داخلی را افزایش داده و به حداقل رطوبت نسبی مورد نیاز برای آسایش حرارتی می‌رساند. اگرچه نقاط ضعفی برای آن ذکر شد، به‌دلیل تکیه بر نیروی باد که به‌طور پیوسته در دوره گرم سال می‌وزد، هنوز هم یک روش مناسب با حداقل وابستگی به سوخت‌های فسیلی است.

این مطالعه همچنین نشان داد به‌دلیل سرعت زیاد باد در منطقه سیستان، ابعاد و شکل شگردهای غیرثابت تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر تعدیل سرعت باد در فضای داخلی دارد. علاوه بر آن، اگرچه مطالعات مشابه در برخی مناطق گرم نشان

داده است که وجود بازشو و کوران طبیعی نقش مهمی در بهبود کیفیت حرارتی محیط داخلی دارند، این ویژگی در اوقات گرم روز در منطقه سیستان تأثیر مثبتی نداشته و بر احساس عدم آسایش حرارتی می‌افزاید. برجسته‌سازی اصول و خرده‌های نهفته در این شگردها (و نه الزاماً شکل فیزیکی آن‌ها) در طراحی ساختمان‌های جدید در مناطق گرم و خشک با بادهای شاخص مشابه سیستان، که بخش‌هایی از شرق و جنوب شرق ایران و نیز بخش‌هایی از جنوب غربی افغانستان را شامل می‌شود، می‌تواند به تأمین آسایش حرارتی در بناها با کمترین وابستگی به سوخت‌های فسیلی کمک کند.

تمرکز این مطالعه بر کشف تأثیر شگردهای غیرثابت اقلیمی بر کیفیت حرارتی محیط داخل و آسایش حرارتی بوده و به‌روزرسانی و فراهم کردن زمینه‌های کاربرد آن‌ها در معماری امروز، گام بعدی چنین پژوهش‌هایی و نیازمند مطالعات میان‌رشته‌ای توسط متخصصان رشته‌های معماری، مهندسی مکانیک و مهندسی عمران برای حل محدودیت‌های این شگردها مانند عبور گردوغبار از دریچه‌های کلک و درچه، نیاز به آبیاری دستی خارها و همچنین ضعف سازه‌ای معماری است. به نظر می‌رسد با دانش فعلی این رشته‌ها، رفع این مشکلات امکان‌پذیر است. در این صورت این نوع معماری یک مدل اقتصادی و واجد ارزش بومی، به‌ویژه از نظر تأمین آسایش حرارتی با حداکثر صرفه‌جویی در مصرف انرژی‌های فسیلی است که می‌تواند در نوسازی محیط‌های مسکونی روستایی و مجتمع‌های شهری با تراکم کم به‌ویژه در مناطق اشاره‌شده مورد استفاده واقع گردد.

پی‌نوشت‌ها

1. Qualitative
2. Quantitative
3. Internal Gain
4. Solar Radiation
5. Conductive Heat Transfer
6. Thermal Mass
7. Convective Heat Transfer

منابع

- پوردیهیمی، شهرام، ۱۳۹۰. *زبان اقلیمی در طراحی محیطی پایدار: کاربرد اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی و طراحی محیط*. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.
- پوردیهیمی، شهرام، و بهرام گسیلی. ۱۳۹۴. *بررسی شناسه‌های حرارتی جداره‌های پوسته خارجی بنا؛ مطالعه موردی: مناطق روستایی اردبیل، مسکن و محیط روستا ۱۵۰: ۷۰-۵۳*.
- حیدری، ابوالفضل، و جمشید داوطلب. ۱۳۹۸. *نقش خارخنه در تعدیل دمایی فضای زیست در مسکن روستایی مؤثر در ارتقای پایداری معماری؛ مطالعه موردی: مسکن روستایی سیستان. معماری و شهرسازی پایدار ۷ (۲): ۶۷-۵۵*.
- _____ . ۱۳۹۹. *بررسی و شناخت اثر خارخنه بر میزان سرعت باد در مسکن بومی منطقه سیستان. جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای ۱۰ (۳۵): ۶۴-۴۹*.
- داوطلب، جمشید، محمدرضا حافظی، و مرتضی ادیب. ۱۳۹۵. *بررسی میزان اثر و نقش پوشش گیاهی بر متغیرهای تعیین‌کننده آسایش حرارتی فضای باز؛ مطالعه موردی: اقلیم گرم و خشک سیستان. صفا ۲۶ (۴): ۴۱-۱۹*.
- داوطلب، جمشید، و ابوالفضل حیدری. ۱۳۹۹. *بررسی تحلیلی- عددی میزان اثر رطوبتی خارخنه در مسکن بومی سیستان. مسکن و محیط روستا ۳۹ (۱۶۹): ۱۰۰-۸۹*.
- رازجویان، محمود. ۱۳۸۸. *آسایش به‌وسیله معماری همساز با اقلیم*. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.

- سازمان هواشناسی. ۱۳۹۸. آمار اقلیمی ایستگاه هواشناسی زابل (دوره ۱۹۶۲-۲۰۱۵ میلادی).
- سلیقه، محمد، فرامرز بریمانی، و مرتضی اسمعیل نژاد. ۱۳۸۷. پهنه‌بندی اقلیمی استان سیستان و بلوچستان. *جغرافیا و توسعه* ۱۱: ۱۰۱-۱۱۶.
- شاعری، جلیل، محمود یعقوبی، محمدعلی آبادی، و رزا وکیلی نژاد. ۱۳۹۶. بررسی دما، رطوبت نسبی و سرعت جریان باد در ساختمان‌های سنتی مسکونی بوشهر در فصل گرما؛ نمونه موردی: عمارت گلشن و عمارت دهدشتی. *نشریه هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی* ۲۲ (۴): ۹۳-۱۰۵.
- طاهباز، منصوره. ۱۳۹۲. *دانش اقلیمی طراحی معماری*. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.
- طاهباز، منصوره، و شهربانو جلیلیان. ۱۳۹۰. شاخصه‌های همسازی با اقلیم در مسکن روستایی استان گیلان. *مسکن و محیط روستا* ۱۳۵: ۲۳-۴۲.
- _____ . ۱۳۹۵. صرفه‌جویی در مسکن بوم‌آورد روستاهای استان سمنان. *مسکن و محیط روستا* ۱۵۳: ۳-۲۲.
- مرکز آمار ایران. ۱۴۰۰. آخرین نقشه‌های تقسیمات سیاسی ایران.
- معاریان، غلامحسین، اصغر محمدمرادی، سید مصطفی حسینعلی‌پور، ابوالفضل حیدری، و سعیده دودی. ۱۳۹۶. تحلیل رفتار باد در تهویه طبیعی مسکن بومی روستای قلعه نوی سیستان به کمک CFD. *مسکن و محیط روستا* ۱۵۷: ۲۱-۳۶.
- مولانایی، صلاح‌الدین، و سارا سلیمانی. ۱۳۹۵. عناصر بارزش معماری بومی منطقه سیستان بر مبنای مؤلفه‌های اقلیمی معماری پایدار. *باغ نظر* ۱۳ (۴۱): ۵۷-۶۶.
- Alev, Ü., L. Eskola, E. Arumägi, J. Jokisalo, A. Donarelli, K. Siren, T. Broström, and T. Kalamees. 2014. 'Renovation alternatives to improve energy performance of historic rural houses in the Baltic sea region'. *Energy and Buildings* 77: 58-66.
- ANSI/ASHRAE. 2017. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ASHRAE Standard.
- ASHRAE. 2004. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ASHRAE Standard.
- ASHRAE Handbook. 2001. *Fundamentals*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Baran, M., M. Yıldırım, and A. Yılmaz. 2011. Evaluation of ecological design strategies in traditional houses in Diyarbakir, Turkey. *Journal of Cleaner Production* 19: 609-19.
- Bassaran, T. 2011. Thermal analysis of the domed vernacular houses of Harran, Turkey. *Indoor Built Environ* 20 (5): 543-554.
- Bodach, S., W. Lang, and J. Hamhaber. 2014. Climate responsive building design strategies of vernacular architecture in Nepal. *Energy and Buildings* 81: 227-242.
- Cañas, I., and S. Martin. 2004. Recovery of spanish vernacular construction as a model of bioclimatic architecture. *Building and Environment* 39: 1477-1495.
- Cândido, C., R. J. de Dear, R. Lamberts, and L. Bittencourt. 2010. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. *Building and Environment* 45: 222-229.
- Davtalab, J., and A. Heidari. 2021. The effect of Kharkhona on outdoor thermal comfort in hot and dry climate: A case study of Sistan region in Iran. *Sustainable Cities and Society* 65. 1-11. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102607
- Dili, A. S., M. A. Naseer, and T. Z. Varghese. 2010. Passive environment control system of Kerala vernacular residential architecture for a comfortable indoor environment: A qualitative and quantitative

analyses. *Energy and Buildings* 42 (6): 917-27.

- Dincyurek, O., F. H. Mallick, and I. Numan. 2003. Cultural and environmental values in the arcaded Mesaorian houses of Cyprus. *Building and Environment* 38 (12): 1463-1473.

- Du, X., R. Bokel, and A. v. den Dobbelsteen. 2014. Building microclimate and summer thermal comfort in free-running buildings with diverse spaces: A Chinese vernacular house case. *Building and Environment* 82: 215-27.

- Fernandes, J., R. Mateus, L. Bragança, and J. J. C. da Silva. 2015. Portuguese vernacular architecture: The contribution of vernacular materials and design approaches for sustainable construction. *Architectural Science Review* 58 (4): 324-336.

- Fezzioui, N., M. Khoukhi, Z. Dahou, K. A. Mokhtar, and S. Larbi. 2009. Bioclimatic architectural design of Ksar de Kenadza: south-west area of Algeria hot and dry climate. *Architectural Science Review* 52 (3): 221-228.

- Foruzanmehr, A. R., and M. Vellinga. 2011. Vernacular architecture: Questions of comfort and practicability. *Building Research & Information* 39 (3): 274-285.

- Hatampour, M. S., H. Mahiyar, and M. Taheri. 2007. Evaluation of existing cooling systems for reducing cooling power consumption. *Energy and Buildings* 39: 105-112.

- Heidari, A., S. Sahebzadeh, and Z. Dalvand. 2017. Natural ventilation in vernacular architecture of Sistan, Iran; classification and CFD study of compound rooms. *Sustainability* 9: 1-19. DOI:10.3390/su9061048

- Holmes, M. J., and J. N. Hacker. 2007. Climate change, thermal comfort and energy: Meeting the design challenges of the 21st century. *Energy and Buildings* 39: 802-814.

- Huang, L., Q. Ouyang, Y. Zhu, and L. Jiang. 2013. A study about the demand for air movement in warm environment. *Building and Environment* 61: 27-33.

- Huang, L., N. Hamza, B. Lan, and D. Zahi. 2016. Climate-responsive design of traditional dwellings in the cold-arid regions of Tibet and a field investigation of indoor environments in winter. *Energy and Buildings* 128: 697-712.

- Huang, Z., J. Liu, H. Hao, and Y. Dong. 2017. Indoor humidity environment in Huizhou traditional vernacular dwellings of China in summer. *Procedia Engineering* 205: 1350-1356.

- Huang, Z., M. Yu, L. Zheng, C. Gong, and Z. Wu. 2017. One-year field study on indoor environment of Huizhou traditional vernacular dwellings in China. *Procedia Engineering* 205: 1316-1322.

- Humphreys, M. A. 1970. A simple theoretical derivation of thermal comfort conditions. *Journal of the Institute of Heating and Ventilating Engineers* 33: 95-98. Quoted in Nicol, F., and M. Humphreys. 2010. Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251. *Building and Environment* 45 (1): 16.

- Humphreys, M. A., J. F. Nicol, and I. A. Raja. 2007. Field studies of indoor thermal comfort and the progress of the adaptive approach. *Advances in Building Energy Research* 1: 55-88.

- Hyde, R., A. K. Upadhyay, and A. Treviño. 2016. Bioclimatic responsiveness of La Casa de Luis Barragán, Mexico city, Mexico. *Architectural Science Review* 59 (2): 91-101.

- Kim, D. K. 2006. The natural environment control system of Korean traditional architecture: Comparison with Korean contemporary architecture. *Building and Environment* 41: 1905-1912.
- Kubota, T., and D. H. C. Toe. 2015. Application of passive cooling techniques in vernacular houses to modern urban houses: A case study of Malaysia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 179: 29-39.
- Kumar, S., M. K. Singh, V. Loftness, J. Mathur, and S. Mathur. 2016. Thermal comfort assessment and characteristics of occupant's behaviour in naturally ventilated buildings in composite climate of India. *Energy for Sustainable Development* 33: 108-121.
- Larsen, S. F., C. Filippin, and S. González. 2012. Study of the energy consumption of a massive free-running building in the Argentinean northwest through monitoring and thermal simulation. *Energy and Buildings* 47: 341-352.
- Lee, K. H., D. W. Han, and H. J. Lim. 1996. Passive design principles and techniques for folk houses in Cheju island and Ullung island of Korea. *Energy and Buildings* 23: 207-216. Quoted in Oikonomou, A., and F. Bougiatioti. 2011. Architectural structure and environmental performance of the traditional buildings in Florina, NW Greece. *Building and Environment* 46, 669.
- Manu, S., G. S. Brager, R. Rawal, A. Geronazzo, and D. Kumar. 2018. Performance evaluation of climate responsive buildings in India: Case studies from cooling dominated climate zones. *Building and Environment* 0(0): 1-25. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.10.063
- Nguyen, A. T., Q. B. Tran, D. Q. Tran, and S. Reiter. 2011. An investigation on climate responsive design strategies of vernacular housing in Vietnam. *Building and Environment* 46: 2088-2106.
- Nicol, F. 2004. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. *Energy and Buildings* 36 (7): 628-37.
- Nicol, F., and S. Roaf. 2005. Post-occupancy evaluation and field studies of thermal comfort. *Building Research & Information* 33 (4): 338-46. Quoted in Indraganti, Madhavi. 2010. Thermal comfort in naturally ventilated apartments in summer: Findings from a field study in Hyderabad, India. *Applied Energy* 87: 877.
- Nicol, J.F. 1974. An analysis of some observations of thermal comfort in Roorkee, India and Baghdad, Iraq. *Annals of Human Biology* 1 (4): 411-26.
- Oikonomou, A., and F. Bougiatioti. 2011. Architectural structure and environmental performance of the traditional buildings in Florina, NW Greece. *Building and Environment* 46 (3): 669-89.
- Ooka, R. 2002. Field study on sustainable indoor climate design of a Japanese traditional folk house in cold climate area. *Building and Environment* 37: 319-329. Quoted in Oikonomou, A., and F. Bougiatioti. 2011. Architectural structure and environmental performance of the traditional buildings in Florina, NW Greece. *Building and Environment* 46 (3), 669.
- Philokyprou, M., A. Michael, E. Malaktou, and A. Savvides. 2017. Environmentally responsive design in eastern mediterranean. The case of vernacular architecture in the Coastal, lowland and mountainous regions of Cyprus. *Building and Environment* 111: 91-109.
- Prasetyo, Y. H., M. N. F. Alfata, and A. R. Pasaribu. 2014. Typology of Malay traditional house Rumah Lontioik and its response to the thermal environment. *Procedia Environmental Sciences* 20: 162-171.

- Priya, R. S., M. C. Sundarraja, S. Radhakrishnan, and L. Vijayalakshmi. 2012. Solar passive techniques in the vernacular buildings of Coastal regions in Nagapattinam, TamilNadu, India: A qualitative and quantitative analysis. *Energy and Buildings* 49: 50-61.
- Radhakrishnan, S., R. S. Priya, S. Nagan, and M. C. Sundarraja. 2011. Climate responsive traditional architecture of Chettinadu housing in Tamilnadu, India: A qualitative and quantitative analysis during summer. *International Journal of Ventilation* 10 (1): 89-97.
- Rubio-Bellido, C., J. P. Arcas, and J. M. C. Lainez. 2016. Understanding climatic traditions: A quantitative and qualitative analysis of historic dwellings of Cadiz. *Indoor and Built Environment* 0(0): 1-17. DOI: 10.1177/1420326X16682580
- Shastry, V., M. Mani, and R. Tenorio. 2016. Evaluating thermal comfort and building climatic response in warm-humid climates for vernacular dwellings in Suggenhalli (India). *Architectural Science Review* 59 (1): 12-26.
- Verbeke, S., and A. Audenaert. 2018. Thermal inertia in buildings: A review of impacts across climate and building use. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82: 2300-2318.
- Victoria, J., S. A. Mahayuddin, W. A. Z. W. Zaharuddin, S. N. Harun, and B. Ismail. 2017. Bioclimatic design approach in Dayak traditional longhouse. *Procedia Engineering* 180: 562-570.
- Xu, H., Q. Huang, G. Liu, and Q. Zhang. 2016. A quantitative study of the climate-responsive design strategies of ancient timber-frame halls in northern China based on field measurements. *Energy and Buildings* 133: 306-320.
- Yang, X., H. Wang, and Y. Xue. 2019. *Research on the inter-zonal heat transfer coefficient in thermally stratified environment of floor-level air-supply system*. In 11th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC 2019), edited by Zhaojun Wang, Yingxin Zhu, Fang Wang, Peng Wang, Chao Shen, and Jing Liu, 905-914. China, harbin: Springer.
- https://comfort.cbe.berkeley.edu/?_ga=2.82037462.1701562533.1646508744-1480926566.1487866447
- <https://kestrelmeters.com/products/kestrel-4500-weather-meter>
- <http://www.kimocanada.com/anglais/Images/bandeaux/pdf/FT%20kistock%20class50-an.pdf>
- <https://www.reed-instruments.com/product/reed-instruments-8778-heat-stress-meter>

■ Thermal Performance of *dorchah*, *kolak*, and *kharkhona* during the Warm Period of the Year in the Vernacular Houses of the Sistan Region

Mohammad ‘Ali Sargazi

Ph.D. candidate, Faculty of Architecture and Urbanism, Shahid Beheshti University

Mansoureh Tahbaz

Associate Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Shahid Beheshti University

Akbar Haj Ebrahim Zargar

Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Shahid Beheshti University

Thermal comfort is one of the most important issues in architecture. Although studies in this field began in the early twentieth century yielding significant achievements, one of today’s architectural challenges is to provide thermal comfort with the least dependence on fossil fuels for the inhabitants of buildings. At the same time, it seems that vernacular architecture, which is tested through centuries of experience, has had significant success in creating climate-responsive strategies that can still be utilized to design passive and sustainable architecture in different climates. Vernacular architecture of the region of Sistan is an example that has been able to make indoor climatic conditions often acceptable for residents. Therefore, through a case study, this paper investigates the performance of these strategies and their roles in providing thermal comfort in indoor spaces in Sistan during the warm period of the year. For this purpose, a vernacular building was selected, and through qualitative and quantitative analysis, the performance of *dorchah*, *kolak*, and *kharkhona* strategies that help provide thermal comfort in the warm period of the year was investigated. Their impact on indoor air temperature, relative humidity, wind speed, and thermal comfort have been analyzed. The results show that although in the warm period of the year, the indoor environmental parameters of spaces are not in the range of classic thermal comfort temperatures (23-27 °C), the use of climatic strategies has a significant effect on improving these parameters at different times of the day. In addition, indoor environmental parameters with the application of *kharkhona* were in a good range during hot times of the day, while *dorchah* and *kolak* can make indoors tolerable when the outdoor environment is cooler.

Keywords: climate responsive strategies, thermal comfort, vernacular architecture, indoor spaces, Sistan

JIAS

Journal of Iranian Architecture Studies

University of Kashan

School of Architecture and Art

Vol. 20, Autumn 2021 and Winter 2022

ISSN: 2252-0635

E-ISSN: 2676-5020

20

-
- **Cuerda Seca Tomb Tiles in the Shrines of Sultan ‘Ata-bakhsh and Sultan Amir Ahmad in Kashan (16th-18th Centuries AH)**
Mohamad-Reza Ghiasian, Mohammad Mashhadi Noosh-abadi
 - **Investigating Brick Ornamentation of Historical Houses in the City of Behbahan during the Pahlavi Period**
Zeinab Mashhoor
 - **Kerman Jame‘ Mosques: Urban and Historical Status**
Zatollah Nikzad
 - **Thermal Performance of dorchah, kolak, and kharkhona during the Warm Period of the Year in the Vernacular Houses of the Sistan Region**
Mohammad ‘Ali Sargazi, Mansoureh Tahbaz, Akbar Haj Ebrahim Zargar
 - **Climatic Performance of Traditional Houses in the Old Texture of Shiraz using the Thermal Comfort Approach, Case Study: the Iwan (Veranda)**
Jamshid Karim-zadeh, Jamal ad-Din Mahdi-nejad Darzi, Baqer Karimi
 - **Evaluating Creativity and Success among Architecture Students at the University of Tehran Based on the Four-Quadrant Brain Dominance Model of Ned Herrmann**
Fo‘ad Khorramy, Amir Sa‘eid Mahmoodi, Mostafa Mokhtabad
 - **Historical Kurit Dam in Tabas: Analysis of the Construction Technology**
Amir-Hossein Sadegh-pour
 - **Comparative Study of the Urban Texture Morphology of Birjand for Energy Efficiency**
Mostafa Hosseini, Mahmoud Shokoohi, Farshad Nasrollahi
 - **Comparative Study of Termite Nests and Nooshabad Underground Complex**
Babak ‘Alemi
 - **Cultural Heritage Potentials in Sustainable Local Economic Development**
Sara Taymourtash, Pirooz Hanachi, Mohammad-Hasan Talebian
 - **Key Criteria in the Classification of Architectural Heritage based on Approaches and Conservation Policies in European Countries**
Sasha Riahi Moghadam, Mohammad-Hasan Talebian, Asghar Mohammad-Moradi
 - **A Theoretical Model for Neighborhood Studies in Residential Environments**
Reza Serr-e ‘Ali, Shahram Pour-Deihimi