نشریه علمی معماری اقلیم گرم و خشک. سال هشتم، شماره دوازدهم، پاییز و زمستان ۱۳۹۹

مقاله پژوهشی

رفتارهای سازگارانه و آسایش حرارتیِ تابستانه در فضاهای داخلیِ معماری بومی منطقه سیستان

محمدعلی سرگزی[۱]، منصوره طاهباز[۲]*، اکبر زرگر[۳]

۱- دانشجوی دکترا، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

۲- دانشیار، عضو هیات علمی دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

۳- استاد، عضو هیات علمی دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

(دریافت:۱۳۹۹/۰۹/۲۴، پذیرش:۱۴۰۰/۰۲/۱۲)

چکیده

رفتارهای سازگارانه نقش ویژه‌ای در تامین آسایش حرارتی ساکنان ساختمان‌های دارای کوران طبیعی با کم‌ترین وابستگی به انرژی‌های فسیلی دارد. در عین حال ایده «سازگاری» در آسایش حرارتی که شکل‌گیری آن به دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی برمی‌گردد می‌تواند به بهبود استانداردها و مدل‌های پیش‌بینی و همچنین تدوین الگوریتم‌های دقیق‌تر برای کنترل محیط کمک نماید. مبتنی‌بودن این روش بر کار زمینه‌ای، بر اهمیت پژوهش در مناطق مختلف و اقلیم‌های کم‌تر شناخته‌شده می‌افزاید.

منطقه سیستان به دلیل دارابودن ویژگی‌های خاص اقلیمی، تفاوت‌هایی با سایر مناطق واقع در اقلیم گرم و خشک دارد و آسایش حرارتی ساکنان آن بر اساس مباحث سازگاری قابل تفسیر است. از این‌رو، در این پژوهش رفتارهای سازگارانه ساکنان این منطقه و میزان تاثیر آن‌ها بر آسایش حرارتی در ساختمان‌های دارای کوران طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور از ۱۸ تیر تا ۷ مرداد ۱۳۹۸ در یک تحقیق طولی، ۶ بنای مسکونی در ۶ روستای منطقه سیستان که رفتارهای سازگارانه در بین ساکنان بومی آن‌ها جریان داشت، انتخاب و ضمن ثبت پارامترهای اقلیمی فضاهای داخلی آن‌ها، مطالعه میدانیِ آسایش حرارتی مبتنی بر پرسش‌نامه انجام شد. در این تحقیق علاوه بر دریافت پاسخ‌های حرارتی، نوع و زمان انجام رفتارهای سازگارانه مورد تحلیل قرار گرفته‌اند.

مهم‌ترین رفتارهای سازگارانه در روزهای گرم منطقه سیستان بازکردن *کُلَک*، بازکردن *دُرچِه* و آبدهی به *خارخانه* بوده که هم از نظر شکلی و هم از نظر عملکرد حرارتی با رفتارهای سازگارانه مورد اشاره در مطالعات پیشین متفاوت‌اند. تحلیل آماری پرسش‌نامه آسایش حرارتی بر اساس معیارهای احساس حرارتی، ترجیح و پذیرش حرارتی نشان داد که ساکنان منطقه توانسته‌اند به کمک این رفتارها، آسایش حرارتی را در ۵۱ درصد از اوقاتِ روزهای مورد مطالعه که از روزهای خیلی گرم منطقه بوده است بدون هرگونه وسیله سرمایشی مکانیکی تجربه نمایند. همچنین این مطالعه نشان داد در دوره مورد مطالعه، رفتار سازگارانه آبدهی به *خارخانه*، عملکرد حرارتی بهتری نسبت به رفتارهای بازکردن *درچه* و بازکردن *کلک* داشته است.

کلمات کلیدی: رفتارهای سازگارانه، آسایش حرارتی، سکونت بومی، فضاهای داخلی، منطقه سیستان (ایران)

Email: m-tahbaz@sbu.ac.ir

پرسش‌های پژوهش

الف- آسایش حرارتی ساکنان منطقه سیستان در دوره گرم سال حاصل چه رفتارهای سازگارانه‌ای است؟

ب- تاثیر این رفتارهای سازگارانه بر آسایش حرارتی ساکنان چگونه است؟

۱- مقدمه

تامین آسایش حرارتی و جلوگیری از مصرف بی‌رویه انرژی‌های تجدیدناپذیر، هدف اصلی تحقیق در باب آسایش حرارتی از منظر رفتارهای سازگارانه است. مطالعات پیشین از جمله (Keyvanfar *et al.*, 2014; Shafaghat *et al.*, 2016; Hong *et al.*, 2017; Rijal, Humphreys and Nicol, 2018; Xu *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2020) موید تاثیر رفتارهای سازگارانه ساکنان در دستیابی به آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی است.

بنا به دلایل متعددی از جمله بالابودن مصرف انرژی در ساختمان‌ها (Pe´rez-Lombard, Ortiz and Pout, 2008)، رشد سریع‌تر مصرف انرژی در بخش ساختمان نسبت به بخش‌های صنعت و حمل و نقل (Yang, Yan and Lam, 2014; Chang, Zhu and Shang, 2017) و روند رو به افزایش تعداد ساختمان‌های طراحی شده با سیستم تهویه مطبوع (تاسیسات مکانیکی) و نگرانی‌های پیش آمده حاصل از بالارفتن مصرف انرژی برای تامین آسایش حرارتی در این‌گونه بناها (Rijal, Humphreys and Nicol, 2009)، تحقیق درباره رفتارهای سازگارانه در معماری ضرورت داشته و می‌تواند ضمن کشف روش‌های تامین آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی، به بهبود استانداردها و مدل‌های پیش‌بینی، تدوین الگوریتم‌های دقیق‌تر برای کنترل محیط، بالابردن میزان آسایش حرارتی و میزان پذیرش آن برای ساکنان منجر شود. (Brager and de Dear, 1998)

تحقق اهداف فوق در گرو مطالعات زمینه‌ایِ بیش‌تر در اقلیم‌ها و مناطق مورد نظر است. مطالعات نشان می‌دهد کشف مدل‌های واقعی‌تر از رفتارهای سازگارانه ساکنان، حدس‌های درست‌تری از محدوده آسایش و مصرف انرژی را در پی خواهد داشت. (Rijal, Humphreys and Nicol, 2009; Chang, Zhu and Shang, 2017)

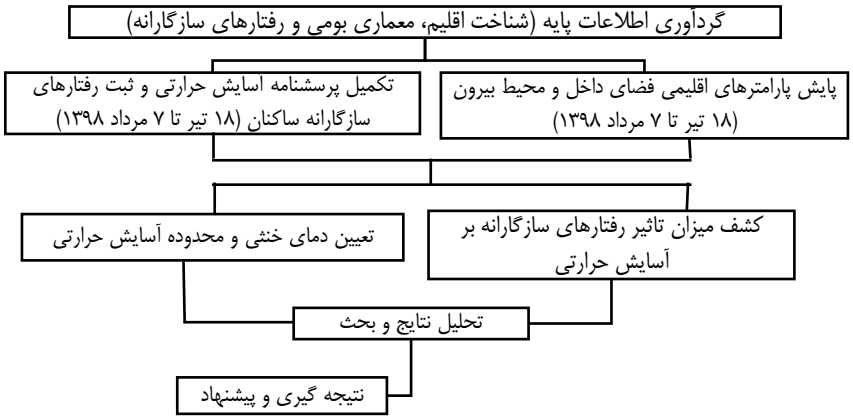
پژوهش حاضر به بررسی این موضوع در معماری بومی منطقه سیستان می‌پردازد. این منطقه دارای آب و هوایی گرم و خشک بوده و دوره گرما در آن طولانی است و از اوایل اردیبهشت تا اواخر مهر طول می‌کشد. (طاووسی و یاری، ۱۳۹۲) علاوه بر آن، از معماری و سکونتی دیرپا برخوردار است و رفتارهای سازگارانه ساکنان آن به کمک شگردهای معمارانه آمده و آسایش حرارتی آنان را در غالب اوقات به همراه داشته است.

مرور مطالعات گذشته نشان می‌دهد تاکنون مطالعه مدونی در باب ارتباط بین رفتارهای سازگارانه و آسایش حرارتی در این منطقه صورت نگرفته است. از این‌رو شناخت رفتارهای سازگارانه و بررسی نقش آن‌ها در آسایش حرارتی معماری بومی این منطقه در محدوده زمانی گرم‌ترین روزهای سال هدف مقاله حاضر بوده است.

رفتارهای سازگارانه ساکنانِ معماری بومی این منطقه در عین مشابهت با رفتارهای سازگارانه ساکنان سایر اقلیم‌های گرم و خشک، دارای ویژگی‌هایی متاثر از اقلیم خاص این منطقه است و آسایش حرارتی تابستانه آن محدوده دمایی خاصی را شامل می‌شود. این رفتارها در دو دسته دیده می‌شوند. دسته اول رفتارهای سازگارانه‌ای چون شکل پوشش، نوع تغذیه و مرطوب‌کردن سر و صورت و مواردی از این دست است که قابلیت ساکنان را برای تحمل هوای گرم و خشک منطقه افزایش می‌دهد و دسته دوم کنترل‌های سازگارانه خاصی است که امکان آن در کالبد معماری منطقه تعبیه شده است. مواردی چون بازکردن *درچه*، بازکردن *کلک* و آبدهی به *خارخانه* به همراه مرطوب کردن حیاط، روش‌های سازگارانه‌ای است که با هدف نزدیک‌کردن شرایط محیط به شرایط آسایش حرارتی در دسترس ساکنان قرار دارد.

این تحقیق از نوع پژوهش‌های کاربردی است و جمع‌آوری داده‌ها بر مبنای برداشت‌های میدانی، مشاهده، پرسش‌نامه و اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی خانه‌های بومی منطقه سیستان در گرم‌ترین روزهای تابستان سال ۱۳۹۸ انجام شده است. تحلیل

اطلاعات پایه، شامل شناخت اقلیم و معماری بومی و کشف رفتارهای سازگارانه به روش کیفی و تحلیل پرسش‌نامه آسایش حرارتی و تاثیر رفتارهای سازگارانه بر آسایش حرارتی به روش کمی صورت گرفته است.



تصویر ۱: روش تحقیق (مآخذ: نگارندگان)

در روش کیفی از مشاهده و تحلیل نتایج بر مبنای منابع در دسترس و در روش کمی از اندازه گیری میدانی پارامترهای محیطی داخل و خارج بنا توسط تجهیزات دقیق، تکمیل پرسش‌نامه و تحلیل آن‌ها توسط نرم‌افزارهای SPSS و Exell و نمودار سایکرومتریک گیوانی استفاده شده است. مراحل تحقیق در تصویر ۱ دیده می‌شود.

۲- پیشینه موضوع

بررسی رفتارهای سازگارانه ساکنان در آسایش حرارتی متاثر از مباحث روش سازگاری در آسایش حرارتی است. در این روش که شکل‌گیری ایده آن به همکاری همفری و نیکل در دهه‌های ۶۰ و ۷۰ میلادی برمی‌گردد (Nicol, Humphreys and Roaf, 2012) ساکنان، تحت شرایط واقعی و در ساختمان‌های خودشان مورد پرسش قرارگرفته و بررسی‌ها در این روش نمونه‌های بزرگ‌تر و متنوع‌تری از ساکنان واقعی را شامل می‌شوند. (Cena, 1994) بر این اساس امکان تحلیل فاکتورهای بیش‌تری از جمله عادات روزانه، داشتن پوشش معمول و رفتار کردن بدون هیچ محدودیت اضافه‌ای نسبت به شبیه سازی در اتاقک آزمایشگاهی (روش کلاسیک فانگر) برای ساکنان وجود دارد. (Cena and de Dear, 2001) در نتیجه یکی از مهم‌ترین نقاط قوتِ پژوهش در روش سازگاری مزیت‌هایی است که روش کار زمینه‌ای در باب آسایش حرارتی دارد.

بر اساس تعریف، سازگاری به دو روش صورت می‌پذیرد؛ روش اول شامل رفتارهای سازگارانه‌ای است که فرد برای تطبیق با محیط بر روی خود انجام می‌دهد و در روش دوم تاکید بر رفتارهای سازگارانه‌ای است که شخص برای نزدیک کردن محیط اطراف به شرایط آسایش حرارتی خود بر روی آن (محیط اطراف) انجام می‌دهد. (Humphreys, Rijal and Nicol, 2013) تامین آسایش حرارتی در ساختمان‌های بدون تهویه مکانیکی نیازمند داشتن فرصت‌های سازگارانه بوده و میزان تاثیر انسان در روش سازگاری به در اختیار داشتن کنترل‌ها و روش‌های سازگارانه کافی وابسته است. (Liu *et al.*, 2012) همفری و دیگران (۲۰۰۷) فرصت‌های سازگارانه حاصل از در اختیار داشتن کنترل‌های لازم را در کنار تغییراتی که شخص می‌تواند بر روی خود انجام دهد ویژگی استاندارد سازگاری می‌دانند که بایستی از طریق روش‌های موثر برای تاثیرگذاری روی محیط در دسترس ساکنان باشد. این روش‌ها می‌توانند کنترل‌های دمایی، پنجره‌های بازشو، کنترل‌های خورشیدی و فن‌های قابل کنترل باشد. (Humphreys, Nicol and Raja, 2007) پژوهش دیگری که توسط کومار و دیگران در سال ۲۰۱۶ انجام شده است مشخص می‌کند چگونه استفاده از این کنترل‌ها تحت تاثیر فصل و تنوع اقلیمی متفاوت است. (Kumar *et al.*, 2016)

بررسی پژوهش‌هایی که به ارتباط مقوله‌های رفتار سازگارانه و آسایش حرارتی در معماری بومی مناطق گرم و خشک پرداخته‌اند نشان می‌دهد در این اقلیم‌ها به مدد رفتارهای سازگارانه، آسایش حرارتی در فضاهای معماری محدوده دمایی بزرگتری را شامل می‌شود. جدول ۱ خلاصه نتایج این مطالعات را نشان می‌دهد.

جدول ۱: خلاصه پژوهش‌های انجام شده درباره رفتارهای سازگارانه و آسایش حرارتی در معماری بومی در اقلیم گرم و خشک

تحقیق	کشور/ شهر	نوع اقلیم	زمان تحقیق	دمای خنثی (°C)	رفتارهای سازگارانه ساکنان
مرقانی و دیگران(۲۰۰۶) (Merghani, 2006)	سودان/ خارطوم	گرم و خشک	ژانویه الی جولای ۲۰۰۰	تابستان: ۳۰/۹ زمستان: ۲۶/۵	تغییر محیط از طریق جابجایی در بخش‌های مختلف خانه، پوشیدن لباس‌های سنتی، تغییر سطح فعالیت بدن، تغییر نوع نشستن، نوشیدن مایعات سرد یا گرم، دوش گرفتن در تابستان، مرطوب کردن (آب پاشی) حیاط، استفاده از فن‌های برقی برای افزایش سرعت باد در فضای داخلی.
ریجال و دیگران(۲۰۱۰) (Rijal, Yoshida and Umemiya, 2010)	نپال/ بَنک ی	گرمسیر	۱۵ تا ۱۸ می ۲۰۰۰، ۷ تا ۱۰ ژانویه ۲۰۰۱	تابستان: ۳۰ زمستان: ۱۶/۲	تابستان: پوشیدن لباس‌های نازک، خواب زیر پتوهای نازک، بازکردن روزنه‌ها، رفتن به بخش‌های سایه‌دار، دوش آب سرد، فاصله گرفتن از آتش(گرمای) آشپزخانه، پوشیدن لباس کم‌تر، دوری از تابش خورشید، درآوردن کلاه(لباس)، نوشیدن آب سرد، ماندن در فضاهای دارای باد، استفاده از فضای باز در شب، اقامت در طبقه مرتبط با زمین، خواب در فضاهای نیمه باز، پابرهنه بودن، خواب در حیاط جلویی، خواب میانه روز، استفاده از فن برقی
یَن و دیگران(۲۰۱۶) (Yan *et al.*, 2016)	چین/ترف ان	گرم و خشک	آگوست ۲۰۱۱(او ج تابستان)	تابستان: ۳۰/۱	تابستان: الف) رفتارهای پوششی ب) حیاط: پخت و پز، خوردن صبحانه، ناهار و شام و ج) اتاق: خواب میانه روز و خواب شبانه

مرور پیشینه پژوهش‌های انجام شده در این باب در معماری و سکونت منطقه سیستان نشان می‌دهد محققانی چون مولانایی و سلیمانی (۱۳۹۵) نحوه عملکرد شگردهایی چون *درچه*، *کلک* و *خارخانه* را تشریح کرده اند. معماریان و دیگران (۱۳۹۶) و حیدری و دیگران(Heidari, Sahebzadeh and Dalvand, 2017) این شگردها را از منظر بررسی نقش باد در آن‌ها مورد بررسی قرار داده اند. تحقیق داوطلب و دیگران (۱۳۹۵) به بررسی نقش پوشش گیاهی بر خرد اقلیم منطقه پرداخته و همچنین حیدری و داوطلب (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹) و داوطلب و حیدری (۱۳۹۹) به بررسی رفتار حرارتی یک نمونه *خارخانه* ابداعی در اتاقی با ویژگی‌های معماری بومی منطقه پرداخته اند. در تحقیق دیگری داوطلب و حیدری (Davtalab and Heidari, 2021) نقش یک *خارخانه* ابداعی در فضای باز را بر آسایش حرارتی محیط خارج بررسی کرده‌اند. از منظر رفتارهای سازگارانه، پژوهش عیالی و دیگران (۱۳۹۸) سازگاری رفتارهای حرارتی ساکنان آپارتمان‌های شیراز را در راستای دستیابی به آسایش حرارتی در ماه‌های گرم مورد بررسی قرار داده‌اند. تعیین دمای خنثی بر اساس مفاهیم آسایش حرارتی تطبیقی (سازگارانه) در خانه‌های مسکونی کرمان موضوع پژوهش هاشمی رفسنجانی و حیدری (۱۳۹۷) بوده است.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- توپوگرافی و اقلیم:

منطقه سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان و تقریبا در شرق ایران قرار دارد. (تصویر ۲) سیستان که مساحتی حدود ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع از استان را به خود اختصاص داده است بین ۵۹ درجه و ۵۵ دقیقه الی ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه طولی شرقی و ۳۰ درجه و ۵ دقیقه الی ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۴۸۹ متر از سطح دریا واقع شده است. استان سیستان و بلوچستان از سمت شمال غرب با خراسان جنوبی، از سمت غرب با استان‌های کرمان و هرمزگان، از جنوب با دریای عمان و از سمت شمال شرق و شرق با دو کشور افغانستان و پاکستان همجوار است.

تصویر ۲: از چپ به راست؛ الف) نقشه استان سیستان و بلوچستان ، ب) نقشه منطقه سیستان و ج) پراکندگی روستاهای مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان، با استناد به نقشه های تقسیمات کشوری (الف و ب) و گوگل(ج))

منطقه سیستان از نظر اقلیمی در گروه گرم‌وخشک قرار دارد. (سلیقه و همکاران، ۱۳۸۷) بالاترین میانگین حداکثر دما با ۴۱/۷ درجه سانتی‌گراد مربوط به جولای (تیرماه) است. پایین‌ترین میانگین حداقل دما نیز با درجه حرارت ۱/۸ درجه سانتی‌گراد مربوط به ژانویه (دی ماه) 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 دارا هستند. تحلیل این آمار نشان می‌دهد ۷ ماه از سال با میانگین دمای ماهانه بیش از ۲۲ درجه سانتی‌گراد دارای شرایط گرم و بسیار گرم است. حداکثر دمای محیط خارج در ماه‌های آپریل (فروردین) تا اکتبر (مهر) بین ۳۰/۵ و ۴۱/۷ 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 ۹/۷ متر بر ثانیه و ۸/۹ متر بر ثانیه بیش‌ترین میزان سرعت باد را داشته‌اند. کم‌ترین میزان سرعت باد با ۲/۲ متر بر ثانیه مربوط به دسامبر (آذر) است. (سازمان هواشناسی، ۱۳۹۸)

۲-۳- معماری بومی منطقه سیستان

منطقه سیستان از تمدنی دیرپا و معماری بومی قابل‌اعتنایی برخوردار است. آثار به جای‌مانده در شهر سوخته که در منطقه سیستان واقع شده است سابقه‌ای بالغ بر ۵۰۰۰ سال را نشان می‌دهد. با این وجود و به دلیل ضعف ذاتی خشت و مصالح گلی (زمرشیدی، ۱۳۸۴) به ویژه در مقابل رطوبت، عمر آثار برجای‌مانده در معماری بومی منطقه سیستان که سکونت در آن‌ها جریان داشته باشد حداکثر به ۲۰۰ سال می‌رسد. این معماری که حاصل تجربه ساکنان و معماران بومی منطقه طی قرن‌های گذشته است؛ به گونه‌ای طراحی و ساخته شده که علاوه بر سادگی و تناسب با تمکن مالی و معیشتی ساکنان، شرایط زیستی آنان را به نحو مطلوبی تامین نماید.

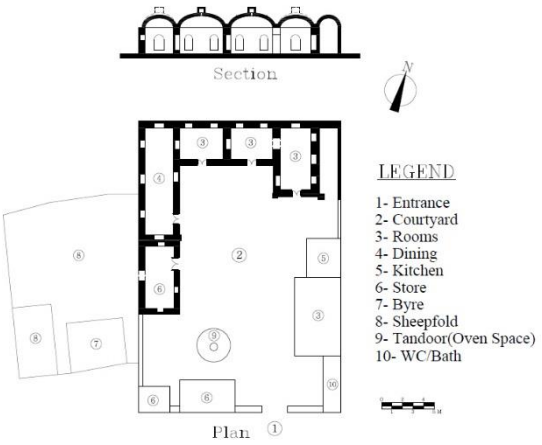
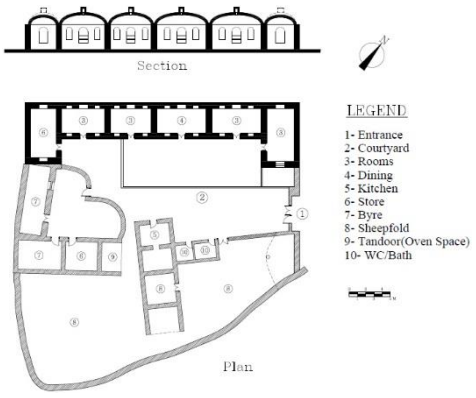
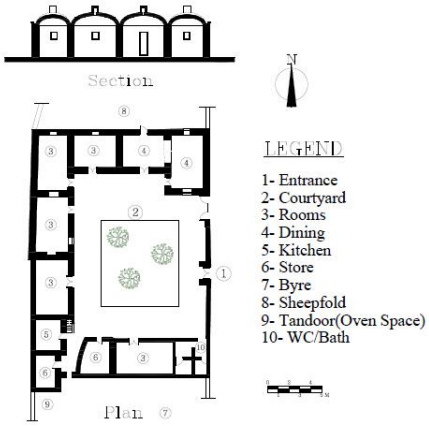
مصالح اصلی تشکیل دهنده معماری بومی این منطقه برای پی‌ها، دیوارها و سقف‌ها خشت و گل است. در عین حال در موارد بسیار محدود، فضاهای معماری این منطقه توسط چوب درختان گز مسقف شده است. در نازک‌کاری داخلی دیوارها و سقف‌ها از گچ و خاک و یا گچ و برای پوشش کف فضاهای داخلی و خارجی از ملات‌های گلی و آهکی استفاده شده است.

۱-۲-۳- گونه های معماری بومی منطقه سیستان

مسکن بومی منطقه سیستان شامل سه گونه، که دو گونه "بنا خطی" و "حیاط مرکزی" گونه های غالب آن است. هر کدام از این گونه‌ها، زیرگونه‌های متعددی را شامل می‌شود. گونه بناخطی، زیرگونه‌های (۱) فضاهای بسته در یک جبهه، (۲) فضاهای بسته در دو جبهه روبروی هم و (۳) فضاهای بسته در دو جبهه عمود بر هم را در بر می‌گیرد. زیر گونه‌های (۱) فضاهای بسته در سه طرف فضای باز و (۲) فضاهای بسته در چهار طرف فضای باز اصلی‌ترین زیرگونه‌های گونه حیاط مرکزی

هستند. (اویسی کیخا، ۱۳۹۲) نمونه‌هایی از گونه‌های خطی (تصویرهای ۳و ۴) و حیاط مرکزی (تصویر ۵) در معماری بومی منطقه سیستان در جدول ۲ دیده می‌شود.

جدول ۲: نمونه هایی از گونه های غالب معماری بومی منطقه سیستان

نام گونه	شکل گونه	تصویرهای گونه
خطی، دو جبهه عمود بر هم	 تصویر ۳- میانی: پلان بنای شماره ۱	تصویر ۳- بالا: پرسپکتیو بنای شماره ۱ تصویر ۳- پایین: پرسپکتیو بنای شماره ۱
خطی، یک طرفه	 تصویر ۴- میانی: پلان بنای شماره ۲	تصویر ۴- بالا: پرسپکتیو بنای شماره ۲ تصویر ۴- پایین: پرسپکتیو بنای شماره ۲
حیاط مرکزی، سه طرف حیاط	 تصویر ۵- میانی: پلان بنای شماره ۳	تصویر ۵- بالا: پرسپکتیو بنای شماره ۳ تصویر ۵- پایین: پرسپکتیو بنای شماره ۳

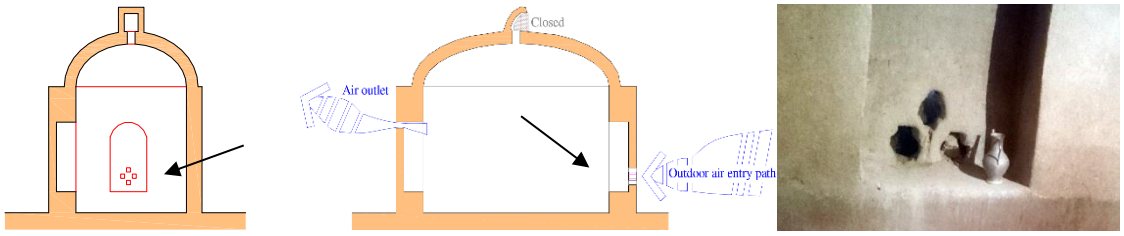
۲-۲-۳- شگردهای معماری بومی منطقه برای ایجاد کوران و تامین رطوبت نسبی

در منطقه سیستان، راهکارهای ویژه‌ای برای رسیدن به آسایش حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این راهکارها که در اغلب بناهای بومی منطقه دیده شده و به‌عنوان 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 (سازمان هواشناسی، ۱۳۹۸) هم می‌رسد باعث شده است بادگیرهای منطقه که به *کلک* معروف اند سطح نسبتا کوچکی داشته باشند. (حدود ۰/۳۵ متر در ۰/۵ متر) این بادگیرها وظیفه انتقال هوا را از بام اتاق به درون آن بر عهده دارند. (تصویر ۶)

تصویر۶: به ترتیب از راست به چپ؛ نمای روبرو، نمای داخلی و مقطع *کلک* (مأخذ: نگارندگان)

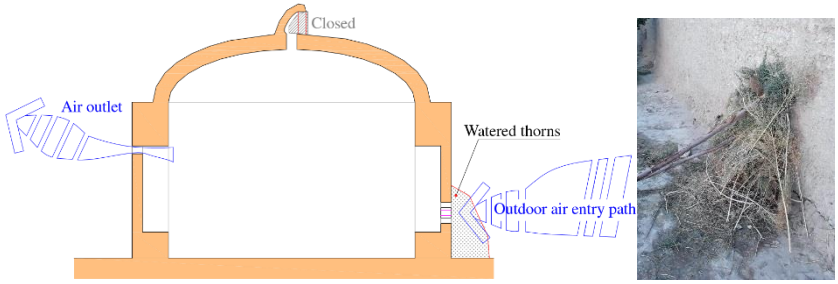
درچه، عنصر معمارانه دیگر برای ایجاد کوران در فضای داخلی است. هر دُرچه معمولا دارای ۴ حفره یا روزنه برای عبور باد است و سطحی معادل ۰/۰۵ متر مربع را شامل می‌شود. این روزنه‌ها باد را از جبهه های رو به شمال اتاق به درون آن هدایت می‌کنند. (تصویر ۷)



تصویر ۷: به ترتیب از راست به چپ؛ تصویر، مقطع و نمای درچه از داخل فضا (مأخذ: نگارندگان)

تامین 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 *خارخانه* (تصویر ۸) ایجاد می‌شود. این شگرد ضمن برقراری کوران هوا در فضای داخلی، رطوبت مورد نیاز برای رسیدن به آسایش حرارتی را تامین می‌کند.

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



تصویر ۸: نمای خارجی (سمت راست) و مقطع (سمت چپ) *خارخانه* (مأخذ: نگارندگان)

۳-۳- جمع آوری داده‌ها

آمار اقلیمی بلندمدت منطقه سیستان (سازمان هواشناسی، ۱۳۹۸) نشان می‌دهد دمای هوا در جولای (۱۰ تیر الی ۱۰مرداد) به حداکثر می‌رسد بر این اساس تحقیق حاضر در جولای ۲۰۱۹ (تیر و مرداد ۱۳۹۸) در ۶ بنای بومی منطقه سیستان با ۲۸ مشارکت کننده صورت گرفت. اطلاعات مربوط به عملکرد حرارتی هر بنا در سه روز متوالی برداشت شده است. علاوه بر آن رفتارهای سازگارانه ساکنان کشف و آراء حرارتی مربوط به هر کدام ثبت شده است. برای کشف رفتارهای سازگارانه و میزان تاثیر آن‌ها، با توجه به دامنه تغییرات روزانه‌ی دمای هوا در دوره گرم سال (۲۷ تا ۴۴ درجه سانتی‌گراد، در روزهای مورد مطالعه)، طولانی بودن روز (حدود ۱۴ ساعت) و همچنین جلوگیری از تاثیر سوگیری سوژه‌ها (Thapa, Bansal and Panda, 2018) برداشت‌ها برای هر نفر با فاصله زمانی ۲ ساعته، به طور متوسط ۳ بار در صبح و ۳ بار بعداز ظهر، صورت گرفته است. برای ازبین‌بردن تاثیر اثر کوتاه‌مدت حرارتی (short-term thermal history) افراد حداقل ۲۰ دقیقه قبل از تکمیل پرسش‌نامه در

محیط داخلیِ مورد آزمایش حضور داشته اند. (Kumar *et al.*, 2016; Wang and Hu, 2016; Jowkar, de Dear and Brusey, 2020) طی این مدت ۴۲۹ ردیف داده بر اساس کلاس ۲ استاندارد اشری (ANSI/ASHRAE Standard 55-, 2013) و به روش تحقیق طولی اخذ شده است.

مراحل انجام تحقیق میدانی در قالب یک گروه سه نفره صورت گرفته است. از آنجاکه گویش رایج در منطقه سیستان، لهجه‌ای منشعب از زبان فارسی بوده و رسم الخط مختص به این منطقه وجود ندارد پرسش‌نامه به زبان فارسی تهیه شده است. با توجه به متفاوت بودن گویش سیستانی با زبان فارسی و عدم آشنایی اغلب شرکت کنندگان با مفاهیم پرسش‌نامه، علاوه بر توضیح این مفاهیم در جلسات جمعی، دو نفر از اعضای گروه نسبت به قرائت و تبیین سوالات و انتقال پاسخ شرکت‌کنندگان به پرسش‌نامه اقدام نموده‌اند. این مرحله توسط یک مرد برای کمک به مردان و یک زن برای کمک به زنانی که به دلایل فرهنگی و مذهبی تمایل به همکاری با محقق زن را داشته‌اند صورت گرفته و نفر سومِ گروه، اندازه‌گیری پارامترهای محیطی را در زمان تکمیل پرسش‌نامه بر عهده داشته است.

برای به دست آوردن نرخ پوشش برای مردم منطقه از جداول استاندارد اشری ۵۵-۲۰۰۴ (Standard, 2004) و مطالعات حیدری برای ایران (Heidari, 2000) استفاده شده است. علاوه بر آن، به دلیل همجواری منطقه سیستان با پاکستان و تشابه پوشش مردم منطقه با مردم پاکستان، از محاسبات نرخ پوشش در تحقیق نیکل و دیگران (Nicol *et al.*, 1999) هم، استفاده شده است. ثبت آرای افراد در حالت نشسته صورت گرفته است بنابراین از اعداد مربوط به این حالت برای نرخ فعالیت در محاسبات مربوط به آسایش حرارتی استفاده شده است.

۱-۳-۳- تعداد بناها و سوژه‌ها

تحقیق بر روی تاثیر رفتارهای سازگارانه بر آسایش حرارتی در معماری بومی ملاک‌های مشخصی را برای انتخاب بناها با توجه به رفتارهای ساکنان آن‌ها طلب می‌کند. یکی از مهمترین آن‌ها وجود فرصت‌های سازگارانه است. معیار دوم استفاده از این فرصت‌ها برای رسیدن به شرایط آسایش حرارتی است. (Humphreys, Nicol and Raja, 2007) برای دستیابی به این معیارها و انتخاب بناهای واجد شرایط، کل منطقه سیستان مورد پیمایش قرار گرفت. در این بررسی مشخص شد جمعیت قابل توجهی از مردم منطقه سیستان در روستاها سکونت دارند که اغلب آن‌ها برای تامین شرایط آسایش خود به بهره‌گیری از رفتارهای سازگارانه متکی‌اند. از این‌رو بناهای مورد نظر از بین گونه‌های غالب معماری مسکن در روستاهای منطقه سیستان انتخاب شده است. از دیگر معیارهایی که با توجه به هدف تحقیق در انتخاب بناها نقش داشتند می‌توان به بومی‌بودن بنا (Dili, Naseer and Varghese, 2010; Fernandes *et al.*, 2015; Gou *et al.*, 2015; Huang *et al.*, 2016) و حفظ اصالت یا عدم تغییرات در بنا (Huang *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2016) اشاره نمود. در مورد نحوه سرمایش و گرمایش بنا، میزان اتکاء به سرمایش و گرمایش غیرفعال و امکان کنترل در صورت بهره‌گیری از سرمایش و گرمایش فعال در زمان مطالعه حائز اهمیت بوده است. (Oikonomou and Bougiatioti, 2011) رضایت ساکنان مساله مهم دیگری است که در انتخاب بناهای مورد مطالعه نقش اساسی داشته است. (Prasetyo, Alfata and Pasaribu, 2014) بر این اساس ۶ بنا در ۶ روستای منطقه سیستان از بین گونه‌های خطی و حیاط مرکزی با اصالت بومی که رفتارهای سازگارانه در آن‌ها جریان دارد انتخاب شدند. همه این بناها دارای مالکیت شخصی بوده و از مصالح خشت و گلی با ضخامت بین ۶۵-۷۵ سانتی متر برای جداره های خارجی و بین ۴۵-۵۰ سانتی‌متر برای جداره‌های داخلی ساخته شده‌اند. آسایش حرارتی ساکنان این بناها در تابستان از طریق کوران طبیعی ایجاد شده توسط *کلک* و *درچه*‌ها و رطوبت حاصل از *خارخانه*‌ها و در زمستان از طریق جذب انرژی خورشید توسط جداره‌های بنا به همراه سایر استراتژی‌های غیرفعال تامین می‌شود. از این‌رو، این بناها ساختمان‌های با کوران‌طبیعی محسوب می‌شود. برای پوشش مناسب کل منطقه سیستان، روستاهای مورد مطالعه در کل منطقه پراکنده بوده و در دایره‌ای به شعاع ۱۵ کیلومتر واقع شده‌اند.

تعداد افرادی که در تحقیق حاضر مشارکت کرده‌اند ۲۸ نفر و در دو دسته ساکنان و همسایگان هستند. به دلیل فرهنگ خاص منطقه همه ساکنان بناها به ویژه زنان، حاضر به مشارکت در تحقیق نبودند. از این‌رو در چنین مواردی از همسایگان با ویژگی‌های فردی مشابه که اغلب خویشاوند ساکنان اصلی بوده و در بناهای مشابه با رفتارهای سازگارانه مشابهی سکونت داشتند دعوت به مشارکت شده است. همه شرکت‌کنندگان متولد منطقه سیستان بوده و بیش از ۱۵ سال در روستاهای مورد مطالعه، زندگی کرده‌اند. ۶۱ درصد شرکت کنندگان مرد و ۳۹ درصد آنان زن هستند. بازه سنی بین ۱۶ تا۸۰ سال و میانگین سنی آنان ۴۰/۷ سال است. از نظر توزیع سنی ۷۵ درصد شرکت‌کنندگان بین ۲۰ تا ۶۰ سال، ۱۸ درصد بالای ۶۰ سال و ۷ درصد زیر ۲۰ سال (و بالای ۱۶ سال) قرار دارند. میانگین قد آنان ۱۶۹ سانتی متر و میانگین وزن شان ۶۱/۳ کیلوگرم است. همه مشارکت‌کنندگان در وضعیت سلامت جسمی قرار داشتند. خلاصه سوابق شرکت‌کنندگان و جزییات داده‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: خلاصه سوابق شرکت کنندگان و جزییات داده‌ها

	شرکت کنندگان(N=28)			مرد (N=17)			زن (N=11)			تعداد ردیف داده اخذ شده(N=429)		
	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین
سن	۱۶	۸۰	۴۰.۷	۱۶	۸۰	۳۸.۲	۲۱	۷۵	۴۴.۵	۱۶	۸۰	۴۰.۳
قد (سانتی‌متر)	۱۵۸	۱۷۸	۱۶۹	۱۵۸	۱۷۸	۱۷۲	۱۵۸	۱۷۵	۱۶۵	۱۵۸	۱۷۸	۱۶۹
وزن (کیلوگرم)	۴۲	۸۱	۶۱.۳	۴۲	۸۱	۶۵.۱	۴۷	۶۳	۵۵.۵	۴۲	۸۱	۶۱.۴

۲-۳-۳- تحقیق پرسش‌نامه‌ای، مشاهده و اندازه‌گیری پارامترهای میدانی

برای دریافت نظرات شرکت‌کنندگان درباره احساس، ترجیح و همچنین پذیرش حرارتی آنان پرسش‌نامه‌ای تنظیم شده است. این پرسش‌نامه شامل سه بخش است. بخش اول مربوط به مشخصات فردی از جمله سن، جنس، قد، وزن و مدت سکونت در منطقه و بنای حاضر است. بخش دوم سوالات مربوط به احساس حرارتی، ترجیح و پذیرش حرارتی و استفاده از فرصت‌های کنترل محیط در زمان ثبت رای است. اطلاعات مربوط به نرخ پوشش و فعالیت شرکت کنندگان در این بخش درج شده است. برای احساس حرارتی از مقیاس ۷ واحدی اشری، برای ترجیح حرارتی از مقیاس ۵ واحدی نیکل و برای پذیرش حرارتی از مقیاس دو واحدی (قابل‌قبول، غیرقابل‌قبول) اشری استفاده شده است. (جدول ۴) بخش سوم مربوط به جزییات مشاهده شده از رفتارهای سازگارانه توسط پرسش‌گر در زمان ثبت رای است. پرسش‌نامه پژوهش در پیوست ۱ آمده است.

جدول ۴: مقیاس‌های به کار گرفته شده در تحقیق

مقیاس	۳	۲	۱	۰	-۱	-۲	-۳
احساس حرارتی (اشری)	خیلی گرم	گرم	کمی گرم	خنثی	کمی سرد	سرد	خیلی سرد
ترجیح حرارتی (نیکل)		خیلی گرم‌تر	کمی گرم‌تر	نیاز به تغییر نیست	کمی سردتر	خیلی سردتر	
پذیرش حرارتی (اشری)			غیر قابل قبول	قابل قبول			

برای اندازه‌گیری اطلاعات محیطی ۴ پارامتر دمای هوا، دمای کروی، رطوبت نسبی و سرعت باد در سه نقطه از بنا ثبت شده‌اند. تجهیزات مربوطه برای نقطه اول و به منظور ثبت اطلاعات محیط بیرون (محلی) در ارتفاع ۱/۵ متری روی بام بنا، نقطه دوم برای ثبت وضعیت پارامترهای محیطی حیاط در طول شبانه روز، درون حیاط به ارتفاع ۱/۵ متری از کف حیاط با فاصله حداقل ۳ متری از جداره‌های اطراف و نقطه سوم درون فضای داخلی به ارتفاع ۱/۱ متری از کف زمین معادل سر فرد نشسته و با یک متر فاصله از وی نصب شده است. در مدت برداشت‌ها هیچ‌گونه وسیله سرمایش یا گرمایشی درون فضاها وجود نداشته است. پارامترهای محیطی مذکور در همه نقاط به فاصله ۱۰ دقیقه ثبت شده‌اند. در کلیه مراحل پروتکل‌های مربوط به کلاس ۲ استاندارد اشری (ANSI/ASHRAE Standard 55-, 2013) و ایزو ۷۷۳۰ (۲۰۰۵) (Standard and ISO, 2005) رعایت شده است. جزییات اطلاعات مربوط به تجهیزات به کار رفته در جدول ۵ دیده می‌شود.

جدول ۵: مشخصات تجهیزات مورد استفاده برای ثبت پارامترهای اقلیمی

عنوان دستگاه	نام تجاری	پارامتر اندازه گیری	محدوده	دقت
Heat Stress Tracker	Kestrel 4600/4500	دمای هوا	۱۰/۰- تا ۵۵/۰+ درجه سانتی‌گراد	۰/۵ ± درجه سانتی‌گراد
		سرعت باد	۰ تا ۴۰/۰ متر بر ثانیه	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

۳-۳-۳- هدف و روش‌های تحلیل داده‌ها

هدف مقاله حاضر ارزیابی تاثیر رفتارهای سازگارانه بر پارامترهای احساس، ترجیح و پذیرش حرارتی و همچنین به دست آوردن دمای خنثی و محدوده آسایش حرارتی ساکنان بومی منطقه سیستان است. بر این اساس داده‌های به دست آمده در پژوهش حاضر شامل (۱) کشف رفتارهای سازگارانه و (۲) دریافت پاسخ‌های حرارتی ساکنان و اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی محیط است. متاثر از هدف مقاله، داده‌های دسته اول به روشی کیفی توصیف و رفتارهای مورد نظر انتخاب شده‌اند. داده‌های دسته دوم به کمک روش‌های آماری (نرم افزارهای SPSS وExcel) مورد تحلیل قرار گرفته اند.

یکی از روش‌های به دست آوردن معادله آسایش حرارتی و دمای خنثی، استفاده از روش رگرسیون خطی است. برای این منظور ابتدا در نرم افزار SPSS از دستور رگرسیون و گزینه stepwise برای انتخاب بهترین پارامتر اقلیمی از بین پارامترهای دمای هوا، دمای کروی، دمای عامل، رطوبت نسبی و سرعت باد استفاده شد. بر اساس نتایج آن پارامتر دمای عامل (T_{op}) بیش‌ترین همبستگی را با آراء احساس حرارتی (TSV) در جامعه آماری تحقیق دارد و از رابطه (۱) به‌دست آمده‌است. (Standardization, 1985)

$$Top= (Ta*\sqrt{10*Va} +Tr)/(1+\sqrt{10*Va}) \quad (۱)$$

در این رابطه Ta دمای هوا بر حسب سانتی‌گراد، Va سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه و Tr میانگین دمای تابشی بر حسب درجه سانتی‌گراد است. برای به دست آوردن Tr از رابطه (۲) استفاده شده است. (Standardization, 1985)

$$Tr=[(Tg+273)^4+ 2.5*10^8*Va^{0.6}(Tg-Ta)]^{1/4}-273 \quad (۲)$$

در این رابطه Tg دمای کروی بر حسب سانتی‌گراد، Va سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه و Ta دمای هوا بر حسب سانتی‌گراد است.

٤- نتایج و بحث

٤-۱- رفتارهای سازگارانه

پژوهش حاضر نشان می‌دهد ساکنان معماری بومی منطقه سیستان برای تامین آسایش حرارتی خود رفتارهای سازگارانه متنوعی را به کار می‌گیرند. این رفتارها را می‌توان هم سو با نظریه سازگاری همفری (Humphreys, Rijal and Nicol, 2013) به دو دسته شامل رفتارهایی که منجر به تغییر در شخص می‌شود (موارد ۱-۱-۴ الی ۳-۱-۴) و رفتارهایی که باعث تغییر در محیط پیرامون می‌شود (موارد ۴-۱-۴ الی ۶-۱-۴) تقسیم نمود.

٤-۱-۱- رفتارهای پوششی

یکی از مهم‌ترین رفتارهای سازگارانه ساکنان مناطق بومی در اکثر نقاط جهان تغییر در پوشش متناسب با وضعیت اقلیمی است. (Morgan and de Dear, 2003; Rupp, Vásquez and Lamberts, 2015; Carlucci *et al.*, 2018; Craenendonck *et al.*, 2018; Zhang, Zhang and Jin, 2018; Gautam *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019) مردم منطقه سیستان از پوششی مختص این منطقه استفاده می‌کنند که از نرخ پوشش (کلو) پایینی برخوردار است. طراحی لباس زنان و مردان به گونه‌ای است که فضای خالی (هوا) بین لباس و بدن فرد وجود دارد. تفاوت اصلی پوشش زنان و مردان، پوشیدن روسری و چادر در بین زنان است. زنان علاوه بر لباس معمول، در فضای داخلی از روسری و در حیاط و خارج از خانه از روسری و چادر یا فقط چادر استفاده می‌کنند. در مجموع در منطقه سیستان نرخ پوشش زنان (۰/۸۳ کلو برای لباس معمول + ۰/۴ برای چادر) نسبت به مردان (۰/۶ کلو) بیش‌تر است. تصویرهای ۶ و ۷ لباس مردان و زنان منطقه را نمایش می‌دهد.

(به دلیل محدودیت‌های فرهنگی منطقه موردمطالعه، برای گرفتن و انتشار تصویرهای بانوان، از تصویر پوشش زنان منطقه سیستان در منابع مشابه استفاده شده است.)

تصویر ۶: پوشش مردان در سیستان (مأخذ: نگارندگان)

تصویر ۷: پوشش زنان در سیستان (مأخذ: محمودی، ۱۳۹۰)

۴-۱-۲- رفتارهای تغذیه‌ای:

ساکنان مناطق گرم از جمله سیستان بنا به تجربه‌ای که حاصل قرن‌ها آزمون و خطاست دریافته‌اند در اوقات گرم روز به‌ویژه ظهر و بعدازظهر، چه خوراکی‌هایی باعث خنک شدن دمای بدن آن‌ها می‌شود. این نوع خوراکی‌ها به میزان زیادی در فرهنگ مردم این منطقه دیده می‌شود. از نمونه‌های این رفتار سازگارانه که در مدت مطالعه میدانی مشاهده شد می‌توان به استفاده از غذاهای مبتنی بر ماست و دوغ و همچنین نوعی غذا که از کشک تهیه می‌شود به عنوان غذای اصلی در وعده ناهار و همچنین صیفی‌جاتی چون هندوانه در اوقات مختلف روزهای گرم اشاره نمود.

۴-۱-۳- مرطوب کردن سر و صورت:

کمبود آب در منطقه سیستان به‌ویژه روستاهای آن باعث شده است رفتار دوش‌گرفتن به عنوان روشی برای رهایی از تاثیر گرما و خشکی هوا روی بدن انسان مرسوم نباشد. در نتیجه ساکنان منطقه در اوقات گرم روز و در شرایطی که سایر روش‌ها پاسخگوی تامین آسایش حرارتی نبوده است از مرطوب نگه داشتن سر و صورت خود با پارچه خیس کمک گرفته‌اند. در این روش ساکنان معماری بومی علاوه بر ایجاد کوران در محیط داخل از طریق بازکردن *کلک* یا *درچه*، سر و صورت خود را خیس (مرطوب) نگه داشته و محیط گرم را قابل تحمل می‌کنند.

۴-۱-۴- باز کردن و بستن دریچه‌ی *کلک* و روزنه‌های *درچه* برای ایجاد کوران:

گرمای بسیار زیاد هوا و تابش شدید خورشید در تابستان و سرمای زیاد هوا در زمستان باعث شده است تعداد و ابعاد بازشوها در معماری منطقه سیستان در کمترین اندازه‌های ممکن باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد اغلب فضاهای داخلی تنها یک درب به ابعاد تقریبی ۱متر در ۲ متر داشته و در غالب موارد فاقد پنجره‌اند. از این‌رو علاوه بر باز کردن درب‌ها، رفتارهای باز کردن و بستن دریچه *کلک* و روزنه‌های *درچه*، روش‌های اصلی برای ایجاد کوران هوا بوده است.

۴-۱-۵- ایجاد سیستم سرمایشی *خارخانه*:

در مواقع پایین‌بودن رطوبت نسبی، رفتار سازگارانه آبدهی به *خارخانه* نقش ویژه‌ای در بالابردن کیفیت فضاهای داخلی دارد. انجام این رفتار سازگارانه در اوقات گرم سال، علاوه بر افزایش رطوبت نسبی، فضای داخلی را از طریق سرمای ناشی از تبخیر قطرات موجود در خارها خنک می‌نماید. (رازجویان،۱۳۶۷)

۴-۱-۶- بالابردن کیفیت حرارتی حیاط از طریق مرطوب نمودن آن:

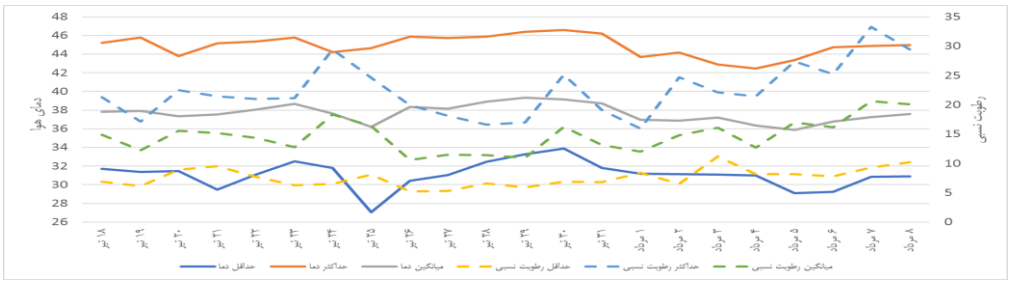
فضاهای معماری منطقه سیستان بیشترین درجه حرارت روزانه را در اوقات غروب تجربه می‌کنند. در این ساعات، ساکنان منطقه سیستان از طریق آب پاشی روی کف حیاط نسبت به مرطوب نمودن و تبدیل آن به محیطی مناسب برای گذران اوقات غروب و شب اقدام می‌کنند. این رفتارِ سازگارانه باعث بالابردن رطوبت نسبی حیاط در روزهای خشک و پایین‌آمدن دمای آن می‌شود.

۲-٤- پارامترهای اقلیمی داخل و خارج:

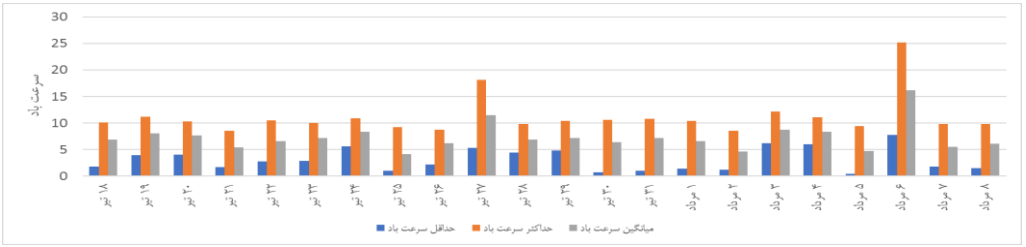
دوره گرم سال در منطقه سیستان ۷ ماه بوده و ماه‌های آپریل (فروردین) تا اکتبر (مهر) با میانگین دمای ماهانه ۲۲/۸ الی ۳۵/۳ درجه سانتی‌گراد را شامل می‌شود. در این میان ماه‌های جون (خرداد)، جولای (تیر) و آگوست (مرداد) با میانگین حداکثر دمای روزانه بالای ۴۰ درجه و میانگین رطوبت نسبی بین ۲۲ تا ۲۵ درصد از شرایط ویژه‌ای برخوردارند. گرمای هوا طی این ۳ ماه که با میانگین حداقل رطوبت ۱۵ درصد و البته بادهای شدید همراه می‌شود اقلیم گرم، خشک و بادی را سبب می‌شود.

۱-۲-٤- پارامترهای اقلیمی محیط خارج:

نتایج برداشت‌ها طی روزهای مورد مطالعه در تیر و مرداد ۱۳۹۸ نشان می‌دهد متوسط دماهای حداکثر، ۴۴/۹ درجه سانتی‌گراد و متوسط دماهای حداقل، ۳۱/۱ درجه سانتی‌گراد است. در عین‌حال متوسط اعداد ثبت شده برای حداقل و حداکثر رطوبت نسبی به ترتیب ۷/۶ و ۲۲/۴ درصد است. بررسی آمار مربوط به سرعت باد نشان می‌دهد حداقل سرعت ثبت شده برای روزهای مورد مطالعه ۰/۷ متر بر ثانیه و حداکثر سرعت برای این روزها ۲۵/۲ متر بر ثانیه ثبت شده است. (تصویرهای ۱۱ و ۱۲)
در مجموع، همانند آمار بلندمدت، پارامترهای اقلیمیِ محیط خارج در روزهای مورد مطالعه، حاکی از اقلیمی گرم و خشک است که با داشتن سرعت بالای باد (تا ۲۵ متر بر ثانیه)، شرایط ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است.



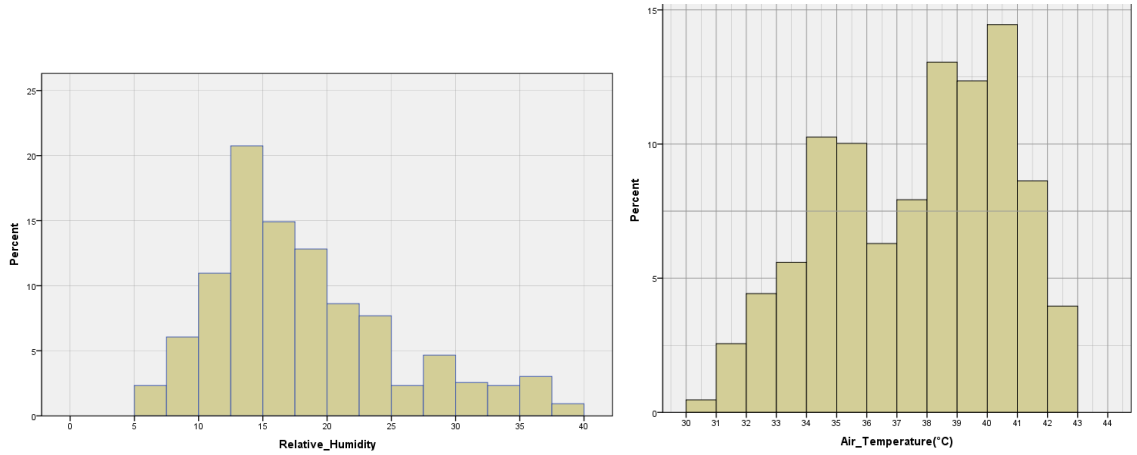
تصویر ۱۱: حداقل، حداکثر و میانگین دمای هوا و رطوبت نسبی محیط خارج در روزهای مورد مطالعه (مأخذ: ایستگاه هواشناسی زهک، سیستان)



تصویر ۱۲: حداقل، حداکثر و میانگین سرعت باد در محیط خارج در روزهای مورد مطالعه (مأخذ: ایستگاه هواشناسی زهک، سیستان)

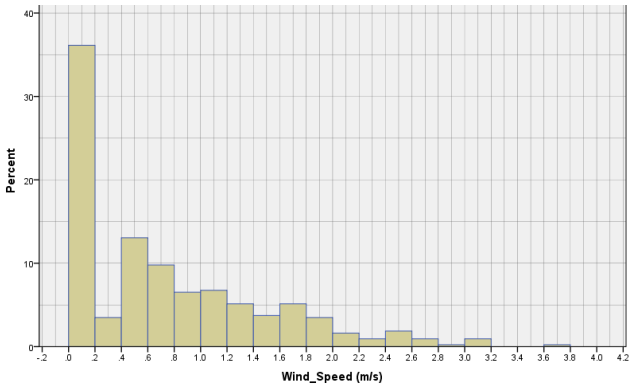
۲-۲-٤- پارامترهای اقلیمی محیط داخل:

با توجه به هدف مقاله، پارامترهای دمای هوا، دمای کروی، رطوبت نسبی و سرعت باد در فضاهای داخلی برداشت شده‌اند. نمودار مربوط به دمای هوا (تصویر ۱۳-راست) نشان می‌دهد میانگین دمای هوا ۳۷/۶ درجه، حداقل دما ۳۰/۶ درجه سانتی‌گراد و حداکثر دما ۴۲/۸ درجه سانتی‌گراد است. دمای بین ۴۰ تا ۴۱ درجه سانتی‌گراد (۱۴/۵ درصد) بیش‌ترین فراوانی را در بازه مورد مطالعه به خود اختصاص داده است. تجمع فراوانی‌ها در نمودار دمای هوا به محدوده بین ۳۴ الی ۴۲ درجه سانتی‌گراد مربوط می‌شود. به عبارت دیگر دمای هوا در غالب اوقات در محدوده ۸ درجه‌ای و بالاتر از ۳۴ درجه سانتی‌گراد نوسان داشته است.



تصویر۱۳: از راست به چپ، فراوانی توزیع دمای هوای (Ta) و رطوبت نسبی(RH) در فضای داخلی در روزهای مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان)

بررسی آمار مربوط به رطوبت نسبی در محیط داخل طی روزهای مورد مطالعه (تصویر ۱۳- چپ) نشان می‌دهد بیش‌ترین فراوانی را دامنه رطوبت نسبی بین ۱۲/۵ تا ۱۵ درصد به خود اختصاص داده است (۲۰/۷۵ درصد). در سوی دیگر دامنه رطوبت نسبی بین ۳۷/۵ تا ۴۰ درصد (کم‌تر از یک درصد) و ۵ تا ۷/۵ درصد (۲/۳ درصد) کم‌ترین فراوانی را دارند. میانگین رطوبت نسبی در فضاهای داخل در مدت مورد مطالعه ۱۸/۲ درصد بوده و محدوده رطوبت نسبی۱۰ تا ۲۵ درصد بیش از ۷۵ درصد اوقات را به خود اختصاص داده است.



تصویر۱۴: نمودار فراوانی توزیع سرعت باد (WS) فضای داخلی در روزهای مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان)

آمار ثبت شده مربوط به سرعت باد در فضای داخلی نشان می‌دهد متاثر از سرعت باد در محیط بیرون، عملکرد رفتارهای سازگارانه بازکردن درچه، بازکردن *کلک* و آبدهی به *خارخانه* باعث ایجاد کوران در محیط داخلی می‌شود به‌گونه‌ای که در حدود دو سوم اوقات، فضاهای داخلی سرعتی بالای ۰/۲ متر بر ثانیه را تجربه می‌کند. همچنین تصویر ۱۴ نشان می‌دهد میانگین سرعت باد در فضاهای داخلی در بازه مورد مطالعه ۰/۷ متر بر ثانیه بوده و در بیش از ۶۲ درصد مواقع سرعت باد در فضای داخلی بین ۰/۲ الی ۳ متر بر ثانیه است. وجه غالب این محدوده را بازه ۰/۴ الی ۲ متر بر ثانیه با ۵۳ درصد به خود اختصاص داده است.

دمای کروی فضاهای داخلی هم ثبت شده است در عین‌حال همان‌گونه که همفری و دیگران (۲۰۰۷) به نزدیک بودن دمای هوا و دمای کروی در محیط‌های داخلی در شرایط معمول اشاره نموده‌اند (Humphreys, Nicol and Raja, 2007) اختلاف این دو پارامتر در ۱۷۸ برداشت انجام شده در تابستان، ۰/۳ درجه سانتی‌گراد بوده است. بر این اساس ضرورتی برای تحلیل این پارامتر وجود نداشت.

۳-٤- پاسخ‌های حرارتی شرکت کنندگان:

ساکنان معماری بومی منطقه سیستان از روش‌های متعددی برای سازگاری با اقلیم منطقه بهره می‌گیرند. تحقیق حاضر با توجه به هدف و ابزار در دسترس، به دنبال بررسی تاثیر مهم‌ترین رفتارهای سازگارانه ساکنان بر روی آسایش حرارتی‌شان است.

برای این منظور و پس از بررسی انواع رفتارهای سازگارانه، رفتارهای مرتبط با بازکردن *کلک*، بازکردن درچه و آبدهی به *خارخانه* انتخاب گردید.

جدول ۶ خلاصه‌ای از پارامترهای محیطی و پاسخ‌های حرارتی سوژه‌ها را در بازه زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس نتایج آن در شرایطی که میانگین دمای (عامل) هوا ۳۷/۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی ۱۸/۲ درصد برای فضای داخلی ثبت شده است، میانگین احساس حرارتی ساکنان ۱/۵+ و میانگین ترجیح حرارتی آنان ۱− است.

جدول ۶ : پارامترهای اقلیمی فضاهای داخلی و پاسخ‌های حرارتی ساکنان بر مبنای رفتارهای سازگارانه

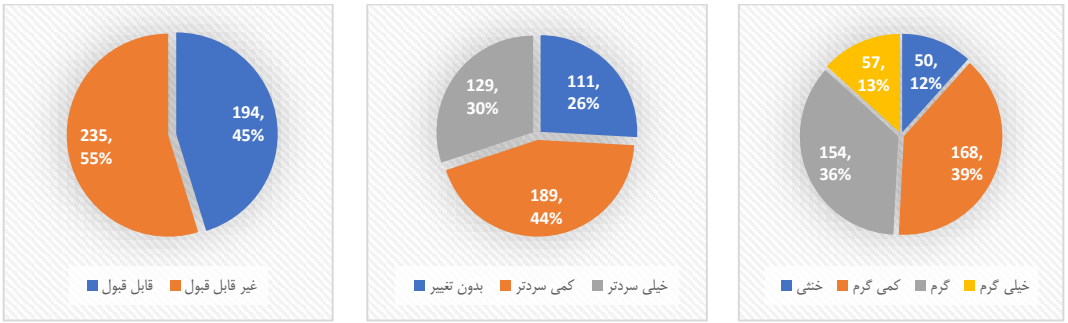
	تعداد نمونه‌ها	میانگین دمای عامل (درجه سانتی‌گراد)	میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)	میانگین رطوبت نسبی (درصد)	احساس حرارتی	ترجیح حرارتی
آبدهی به *خارخانه*	۱۳۵	۳۴/۵	۱/۱	۲۵/۴	۰/۸	−۰/۴
بازبودن *درچه*	۹۰	۳۸	۰/۳	۱۴/۸	۱/۷	−۱/۱
بازبودن *کلک*	۲۰۴	۳۹/۲	۰/۶	۱۵/۰	۱/۹	−۱/۴
جمع	۴۲۹	۳۷/۵	۰/۷	۱۸/۲	۱/۵	−۱/۰

مطالعه میدانی نشان داد رفتارهای سازگارانه بازکردن و بستن *کلک* و درچه، علاوه بر آن که هر کدام به تنهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند در مواقعی از روز و به منظور تامین حداقل رطوبت مورد نیاز برای آسایش حرارتی، این رفتارها در ترکیب با رفتار مرطوب‌کردن سروصورت به ایجاد شرایط آسایش حرارتی کمک نموده‌اند. جدول ۷ توزیع فراوانی مهم‌ترین رفتارهای سازگارانه مورد استفاده در بازه این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۷ : توزیع فراوانی مهم‌ترین رفتارهای سازگارانه در روزهای مورد مطالعه

	باز کردن *کلک*		بازکردن درچه		آبدهی به *خارخانه*
	همراه با مرطوب کردن سر و صورت	بدون مرطوب کردن سر و صورت	همراه با مرطوب کردن سر و صورت	بدون مرطوب کردن سر و صورت	
فراوانی	۱۳۳	۷۱	۳۹	۵۱	۱۳۵
درصد	۳۱	۱۷	۹	۱۲	۳۱

در دوره مورد مطالعه، احساس حرارتی ساکنان در ۱۲ درصد اوقات خنثی، در ۳۹ درصد کمی گرم، در ۳۶ درصد گرم و در ۱۳درصد خیلی گرم است. (تصویر ۱۵− راست) این آمار نشان می‌دهد در بازه زمانی مورد مطالعه بیش‌ترین آراء ثبت شده به کمی گرم و پس از آن با اختلاف خیلی کم به گرم اختصاص دارد. آراء خیلی گرم و خنثی در رتبه‌های بعدی قرار دارند. اگرچه میزان آراء خنثی (۱۲ درصد) در وضعیت قابل قبولی قرار ندارد ولی مجموع آرای احساس حرارتی خنثی و کمی گرم (قابل قبول حرارتی) ۵۰/۹ درصد را به خود اختصاص داده‌اند و ۴۹/۱ درصد به آراء گرم و خیلی گرم (غیر قابل قبول حرارتی) اختصاص دارد.



تصویر۱۵: از راست به چپ، توزیع فراوانی و درصد آراء احساس، ترجیح و پذیرش حرارتی در روزهای مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان)

دی دیر و بریگر (۱۹۹۸) سه روش؛ ۱) پرسش مستقیم از پرسش‌شوندگان مبنی بر پذیرش یا عدم پذیرش شرایط حرارتی زمان تکمیل پرسش‌نامه، ۲) آراء سه بخش میانی مقیاس اشری (۱+، ۰ و ۱−) برای احساس حرارتی و ۳) آراء مربوط به گزینه بدون‌تغییر در سوال، ترجیح حرارتی را برای دستیابی به میزان پذیرش حرارتی پرسش‌شوندگان معرفی می‌نمایند. (Brager

(and de Dear, 1998 در پژوهش حاضر از پرسش مستقیم در پرسش‌نامه برای اخذ آرای پذیرش حرارتی استفاده شده و با دو روش دیگر مقایسه شده است. بر این اساس تصویر ۱۵- میانی نشان می‌دهد حدود ۲۶ درصد پاسخ‌ها گزینه بدون تغییر ، ۴۴ درصد گزینه کمی سردتر و ۳۰ درصد هم گزینه خیلی سردتر از وضعیت زمان پاسخگویی را ترجیح داده‌اند.

تصویر ۱۵- چپ نشان می‌دهد شرایط محیط داخل برای ۴۵ درصد پرسش‌شوندگان در زمان تکمیل پرسش‌نامه قابل قبول بوده است. اگرچه این معیار کمی از ۵۰ درصد افراد پایین‌تر است ولی توجه به این نکته ضروری است که پژوهش حاضر در گرم‌ترین روزهای سال بر اساس آمار بلند مدت منطقه (تیر و مرداد) و بدون هیچ‌گونه وسیله سرمایشی مکانیکی صورت گرفته است. در عین حال مقایسه آمار روش مستقیم با دو روش دیگر ذکرشده توسط دی‌دیر و بریگر نشان می‌دهد آراء سه گزینه میانی مقیاس اشری (۵۱ درصد) نشان از پذیرش محیط داخل توسط حداقل نیمی از ساکنان در شرایط سخت اقلیمی دارد. آمار گزینه بدون تغییر در نمودار ترجیح حرارتی، به دلیل معمول بودن ترجیح شرایط سرد در مناطق دارای محیط خارجی گرم (Humphreys and Hancock, 2007) با این اعداد فاصله زیادی دارد.

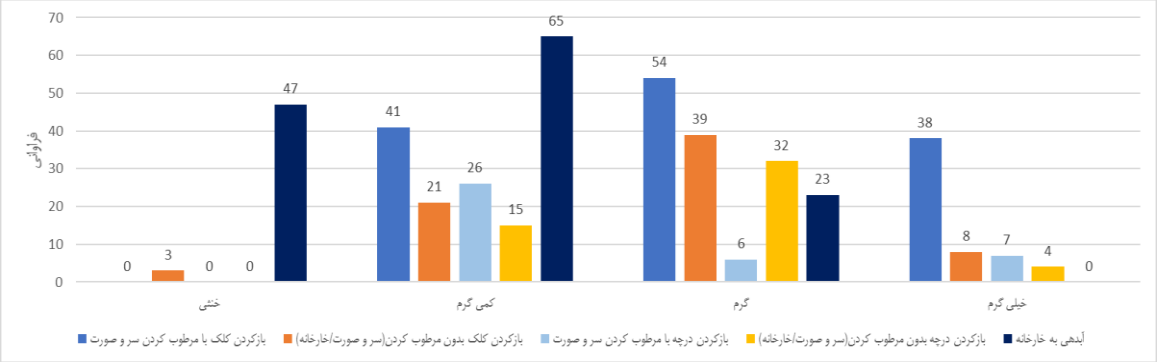
رابطه (۳) معادله به دست آمده برای احساس حرارتی ساکنان به روش رگرسیون خطی و بر اساس دمای عامل محیط داخلی است:

$$TSV=0.232\ Top - 7.184, \qquad R=0.74 \qquad (۳)$$

با قراردادن عدد صفر به ازای TSV، دمای خنثی برای معماری بومی منطقه سیستان بر اساس روش رگرسیون خطی ۳۱ درجه سانتی‌گراد به دست می‌آید. مقایسه آن با مطالعات پیشین صورت گرفته در معماری بومی اقلیم گرم و خشک (جدول ۱) نشان می‌دهد این عدد در توافق نزدیکی با دمای خنثای به دست آمده در آن‌ها (بین ۳۰ الی ۳۰/۹ درجه سانتی گراد) است. همچنین با قراردادن ۰/۸۵± به ازای TSV، محدوده آسایش مورد رضایت ۸۰ درصد ساکنان (Dear, Brager and Cooper, 1997) تعیین می‌شود که برای تحقیق حاضر، دمای ۲۷/۳ الی ۳۴/۶ درجه سانتی‌گراد است و با محدوده مورد اشاره در استاندارد اشری برای آسایش تابستان (۲۳ الی ۲۷ درجه سانتی‌گراد) فاصله قابل اعتنایی دارد. تبیین این فاصله توسط روش سازگاری و کشف ابعاد این موضوع در منطقه سیستان و ارزیابی پاسخ‌های حرارتی ساکنان در ارتباط با رفتارهای سازگارانه، هدف اصلی این بخش است.

۱-۳-٤- احساس حرارتی به تفکیک رفتارهای سازگارانه:

مقایسه رخداد این آراء به تفکیک رفتارهای سازگارانه مورد مطالعه در تصویر ۱۶ نشان می‌دهد از بین ۵۰ رای ثبت شده برای احساس حرارتی خنثی ۴۷ مورد در زمان رفتار سازگارانه آبدهی به *خارخانه* اتفاق افتاده است و تنها ۳ مورد آن مربوط به رفتار سازگارانه باز نمودن *کلک* همراه با مرطوب‌کردن سر و صورت است. در آراء ثبت شده برای احساس حرارتی کمی گرم نیز بیش‌ترین آراء (۶۵ مورد) در زمان رفتار سازگارانه آبدهی به *خارخانه* اتفاق افتاده است. همچنین نتایج این نمودار نشان می‌دهد دو رفتار باز نمودن *کلک* و *درچه* هرگاه با مرطوب کردن سر و صورت همراه شده است احساس حرارتی بهتری به دنبال داشته است. در احساس حرارتی کمی گرم رفتار سازگارانه *کلک* به همراه مرطوب کردن سر و صورت، ۴۱ مورد و رفتار سازگارانه *درچه* به همراه مرطوب کردن سر و صورت، ۲۶ مورد را به خود اختصاص داده‌اند. رفتارهای سازگارانه *کلک* بدون مرطوب کردن سر و صورت با ۲۱ مورد و رفتارهای سازگارانه *درچه* بدون مرطوب کردن سر و صورت با ۱۵ مورد در رتبه‌های بعدی قرار دارند.



تصویر۱۶: نمودار آراء احساس حرارتی در روزهای مورد مطالعه به تفکیک خنثی، کمی گرم، گرم و خیلی گرم بر اساس رفتارهای سازگارانه (مأخذ: نگارندگان)

بررسی آراء ثبت شده برای گرم و خیلی گرم در تصویر ۱۶ نشان می‌دهد رخداد این دو احساس بر اساس رفتارهای سازگارانه مورد مطالعه با دو حالت خنثی و کمی گرم تفاوت دارد. در احساس حرارتی گرم، ۵۴ مورد به *کلک* با همراهی رفتار مرطوب‌کردن سر و صورت و ۳۹ مورد نیز به *کلک* بدون همراهی رفتار مرطوب‌کردن سر و صورت تعلق دارد. در همین احساس حرارتی (گرم)، رفتار سازگارانه *درچه* عملکرد بهتری نسبت به *کلک* دارد. این رفتار در همراهی با رفتار مرطوب کردن سر و صورت ۶ مورد و بدون همراهی رفتار مرطوب کردن سر و صورت ۳۲ مورد را به خود اختصاص می‌دهد. در آرای ثبت شده برای احساس حرارتی گرم، رفتار سازگارانه *خارخانه* ۲۳ مورد را به خود اختصاص داده است.

در احساس حرارتی خیلی گرم، مشابه گرم، رفتار *کلک* بیش‌ترین آراء را دارا است. ۳۸ مورد به *کلک* در همراهی با رفتار مرطوب‌کردن سر و صورت و ۸ مورد نیز به *کلک* بدون همراهی با رفتار مرطوب‌کردن سر و صورت اختصاص دارد. رفتار سازگارانه درچه در احساس حرارتی خیلی گرم، وضعیت بسیار بهتری نسبت به *کلک* دارد. این رفتار در همراهی با رفتار مرطوب‌کردن سر و صورت، ۷ مورد و بدون همراهی با رفتار مرطوب کردن سر و صورت فقط ۴ مورد را به خود اختصاص می‌دهد. در احساس حرارتی خیلی گرم هیچ موردی برای رفتار سازگارانه *خارخانه* ثبت نشده است.

در مجموع، تحلیل آراء بر اساس رفتارهای سازگارانه مورد نظر نشان می‌دهد بیش از ۵۰ درصد آراء مربوط به احساس خنثی و کمی گرم (۱۱۲مورد) به رفتار سازگارانه آبدهی به *خارخانه* تعلق دارد. در رتبه بعدی همراهی هر یک از رفتارهای سازگارانه *کلک* و *درچه* با رفتار مرطوب‌کردن سر و صورت (۴۱ و ۲۶ مورد) قرار دارد. رفتارهای *کلک* و *درچه* بدون همراهی رفتار مرطوب‌کردن سر و صورت (۲۴ و ۱۵ مورد) کم‌ترین سهم را در احساس حرارتی خنثی و کمی گرم دارند.

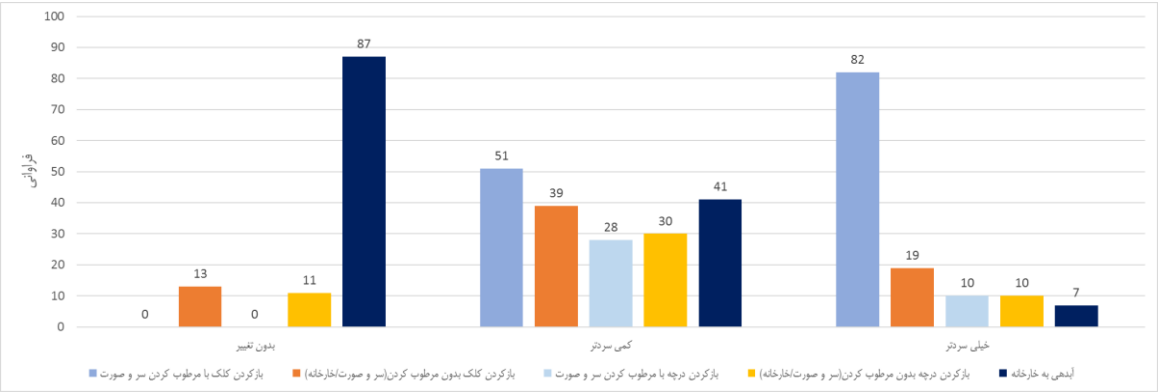
بیش‌ترین رخداد احساس حرارتی گرم و خیلی گرم در زمان رفتار سازگارانه *کلک* (۹۳ مورد برای گرم و ۴۶ مورد برای خیلی گرم) اتفاق افتاده است. بررسی عملکرد *کلک* حاکی از آن است که علی‌رغم همراهی *کلک* با رفتار سازگارانه مرطوب کردن سر و صورت، احساس حرارتی چندان بهبود نیافته است. می‌توان نتیجه گرفت رفتار سازگارانه *کلک* بازدهی مناسبی در دوره برداشت، که اوقات روز را در دوره گرم سال شامل می‌شود، نداشته است. از مجموع ۲۰۴ مورد آراء ثبت شده برای رفتار سازگارانه باز کردن *کلک*، ۶۸ درصد (۱۳۹ مورد) به احساس حرارتی گرم و خیلی گرم منتج شده است. کمی بیش از ۳۰ درصد (۶۲ مورد) به احساس حرارتی کمی گرم و حدود ۱/۵ درصد (۳ مورد) به احساس حرارتی خنثی تعلق دارد.

اگرچه در اغلب مطالعات پیشین تغییرات در سرعت باد و پوشش محور اصلی تحقیق بر روی رفتارهای سازگارانه است (Mishra and Ramgopal, 2013) و ایندراگانتی (Indraganti, 2010) رطوبت هوا را فقط در اقلیم گرم و مرطوب واجد نقش می‌داند؛ با این وجود نیاز به مطالعات بیش‌تر درباره تاثیر رطوبت نسبی در آسایش حرارتی سازگارانه در مناطق گرم و خشک وجود دارد. (Vellei *et al.*, 2017) نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد در معماری بومی منطقه سیستان پارامتر رطوبت نسبی نقش ویژه‌ای در احساس حرارتی ساکنان دارد. رطوبت نسبی خیلی پایین در فصل تابستان باعث می‌شود کوران هوا در شرایط خیلی گرم، جذب گرما توسط بدن انسان از طریق همرفت و در نتیجه نارضایتی یا عدم آسایش حرارتی را افزایش

دهد.(Indraganti, 2010) بررسی عملکرد حرارتی رفتارهای سازگارانه نشان می‌دهد رفتار سازگارانه *کلک* هوای گرم بیرون را بدون هیچ تغییری در دما یا میزان رطوبت آن وارد فضا می‌کند در نتیجه در اوقات گرم روز تاثیر منفی بر کیفیت محیط داخلی و آسایش حرارتی ساکنان داشته است. رفتار سازگارانه درچه اگرچه مشابه *کلک* عمل می‌نماید ولی به دلیل آن که هوای واقع در سایه را از ارتفاع نزدیک به سطح زمین در بخش شمالی ساختمان وارد فضای داخلی می‌کند؛ شرایط کمی بهتر را در کیفیت محیط داخل و در نتیجه آسایش حرارتی پدید می‌آورد. در سوی دیگر، اگرچه رفتار سازگارانه *خارخانه* مشابه دو رفتار قبل باعث ایجاد کوران هوا در فضای داخلی می‌شود ولی عملکرد متفاوتی دارد. این رفتار سازگارانه به گونه‌ای عمل می‌کند که علاوه بر ایجاد کوران در محیط داخلی، رطوبت نسبی محیط هم افزایش یافته و باعث ایجاد احساس خنکی و در نتیجه آسایش حرارتی می‌شود.

۲-۳-٤- ترجیح حرارتی به تفکیک رفتارهای سازگارانه:

تحلیل این آمار بر اساس رفتارهای سازگارانه (تصویر ۱۷) نشان می‌دهد بیش‌ترین فراوانی در گزینه بدون تغییر به زمان‌های بهره‌گیری از رفتار سازگارانه آبدهی به *خارخانه* (۸۷ مورد) مربوط می‌شود. بعد از آن و با فاصله زیاد رفتارهای سازگارانه بازکردن *کلک* (۱۳ مورد) و درچه (۱۱ مورد) قرار دارد. تحلیل گزینه کمی سردتر نشان می‌دهد پاسخ دهندگان در همه رفتارهای سازگارانه گزینه کمی سردتر را ترجیح داده‌اند (بین ۲۸ تا ۵۱ مورد). با این وجود بیش‌ترین فراوانی (۵۱ مورد) به رفتار سازگارانه بازنمودن *کلک* به همراه مرطوب کردن سر و صورت تعلق دارد. در گزینه خیلی سردتر بیش‌ترین فراوانی به رفتار سازگارانه بازنمودن *کلک* به همراه مرطوب نمودن سر و صورت (۸۲ مورد) تعلق دارد. بقیه رفتارها با فاصله نسبتا زیادی در جایگاه نزدیک به هم (بین ۷ تا ۱۹ مورد) قرار دارند. آمار گزینه‌های کمی سردتر و خیلی سردتر نشان می‌دهد در شرایط نبود امکان انجام رفتارهای آبدهی به *خارخانه* و باز نمودن درچه، رفتار سازگارانه باز نمودن *کلک* به همراه مرطوب‌کردن سر و صورت می‌تواند شرایط حرارتی را برای فرد قابل تحمل نماید در عین حال شرایط مطلوبی محسوب نشده و با وجود این رفتار، افراد ترجیح می‌دهند فضای داخلی پیرامون شان سردتر (کمی سردتر یا خیلی سردتر) باشد.



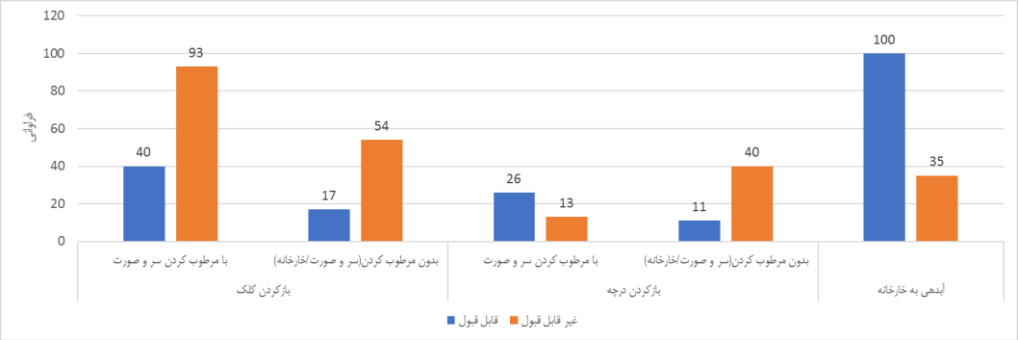
تصویر۱۷: نمودار آراء ترجیح حرارتی در روزهای مورد مطالعه بر اساس رفتارهای سازگارانه (مأخذ: نگارندگان)

آمار مربوط به ترجیح حرارتی در جدول ۶ نشان می‌دهد ترجیح حرارتی در رفتار سازگارانه *خارخانه* (۰/۴-) بوده که به عدد صفر و گزینه بدون تغییر نزدیک‌تر است. ترجیح حرارتی در رفتار سازگارانه درچه(۱/۱-) به گزینه کمی سردتر نزدیک بوده و در رفتار سازگارانه *کلک* (۱/۴-) اگرچه هنوز با گزینه خیلی سردتر فاصله دارد ولی نسبت به درچه تمایل بیش‌تری به گزینه خیلی سردتر دارد.

۳-۳-٤- پذیرش حرارتی به تفکیک رفتارهای سازگارانه:

تحلیل آمار پذیرش حرارتی به تفکیک رفتارهای سازگارانه مورد نظر (تصویر ۱۸) نشان می‌دهد بیش‌ترین تعداد پذیرش حرارتی مربوط به رفتار سازگارانه مرطوب نمودن *خارخانه* است. در سوی دیگر بیش‌ترین عدم پذیرش در رفتار سازگارانه *کلک*

اتفاق افتاده است. این تصویر نشان می‌دهد رفتار *کلک* حتی در همراهی با مرطوب نمودن سر و صورت آخرین راه حل برای رسیدن به حداقل شرایط قابل تحمل و نه قابل قبول است.



تصویر۱۸: نمودار آراء پذیرش حرارتی در روزهای مورد مطالعه به تفکیک رفتارهای سازگارانه (مأخذ: نگارندگان)

٤-٣-٤- رفتارهای سازگارانه از منظر تاثیر حرارتی و مواقع رخداد آن‌ها:

نتایج حاصل از رابطه همبستگی دما و رطوبت نسبی محیط خارج با دمای عامل و رطوبت نسبی محیط داخل در زمان به کارگیری هر یک از رفتارهای سازگارانه بازکردن *کلک*، بازکردن *درچه* و آبدهی به *خارخانه* در جدول ۸ خلاصه شده است.

جدول ۸: ضریب همبستگی و شیب رگرسیون پارامترهای دما و رطوبت نسبی بین فضای داخلی و محیط خارج

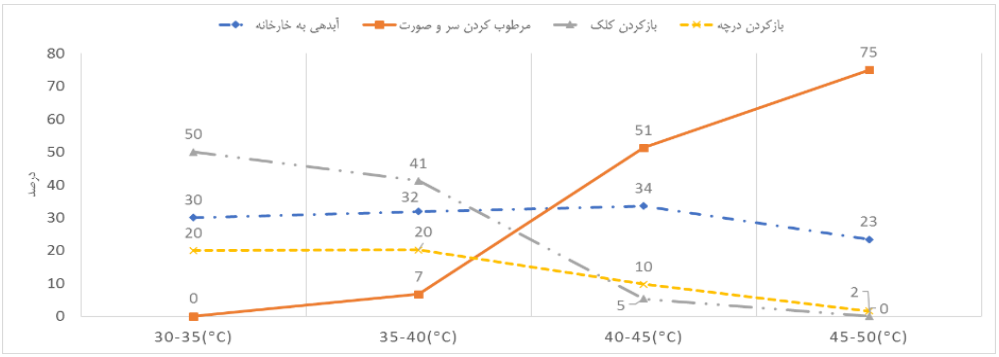
		بازکردن *کلک*	بازکردن درچه	آبدهی به *خارخانه*
دمای(عامل) داخل و دمای محیط خارج	ضریب همستگی (r)	۰/۸۹	۰/۸۴	۰/۵۵
	شیب رگرسیون (b)	۰/۵۳	۰/۳۹	۰/۲۹
	میانگین دمای عامل (Top)	۳۹/۲	۳۸	۳۴/۵
رطوبت نسبی داخل و محیط خارج	ضریب همستگی (r)	۰/۸۸	۰/۵۹	۰/۸۰
	شیب رگرسیون (b)	۱	۰/۵۶	۱/۳۴
	میانگین رطوبت نسبی (RH)	۱۵	۱۴/۸	۲۵/۴

تحلیل آمار مربوط به دما نشان می‌دهد در حالیکه در روزهای مورد مطالعه، در رفتارهای سازگارانه بازکردن *کلک* و بازکردن *درچه* رابطه‌ای قوی (مقادیر ۰/۸۹ و ۰/۸۴ برای r) بین دمای عامل داخل و دمای خارج وجود دارد و دمای عامل داخل با شیب رگرسیون ۰/۵۳ و ۰/۳۹ به میانگین دمای ۳۹/۲ و ۳۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسد در رفتار سازگارانه آبدهی به *خارخانه* شیب رگرسیون ۰/۲۹ و میانگین دمای عامل داخل ۳۴/۵ درجه سانتی‌گراد است. به عبارت دیگر، تاثیرپذیری حرارتی رفتار آبدهی به *خارخانه* از دمای محیط خارج کم‌تر بوده و دمای داخل به طور متوسط ۴ درجه از دو رفتار دیگر کم‌تر است.

همچنین بررسی آمار مربوط به پارامتر رطوبت نسبی در جدول ۸ نشان می‌دهد در حالی‌که در روزهای مورد مطالعه شیب رگرسیون بین رطوبت نسبی محیط داخل و خارج برای رفتارهای *کلک* و *درچه* ۱ و ۰/۵۶ بوده و رطوبت نسبی محیط داخل در میانگین ۱۵ و ۱۴/۸ درصد و نزدیک به رطوبت نسبی محیط خارج باقی‌مانده است در زمان فعال بودن *خارخانه*، رطوبت نسبی محیط داخل با شیب ۱/۳۴ به میانگین ۲۵/۴ درصد می‌رسد.

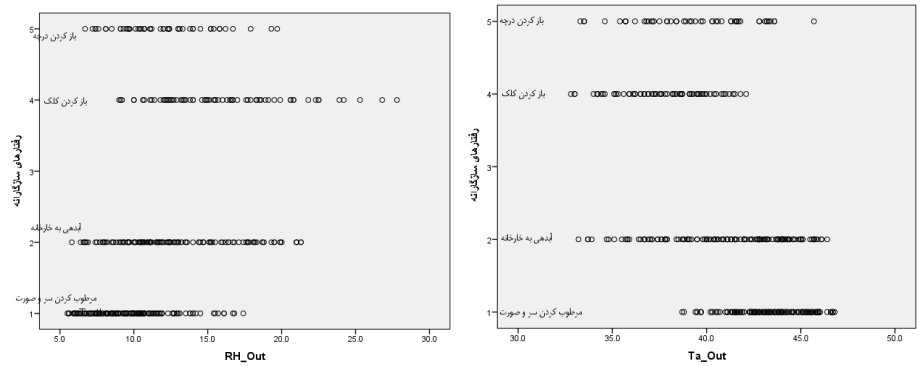
در تصویر ۱۹ نحوه توزیع هر کدام از رفتارهای بازکردن *کلک*، بازکردن درچه، آبدهی به *خارخانه* و مرطوب کردن سر و صورت در ۴ محدوده دمایی غالب برای محیط خارج در بازه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. از نظر فراوانیِ انجام رفتارها در دو محدوده دمایی پایین‌تر برای محیط خارج (۳۰-۳۵ و ۳۵ – ۴۰ درجه سانتی‌گراد) به ترتیب رفتارهای *کلک*، *خارخانه*، *درچه* و مرطوب‌کردن سر و صورت قرار دارند. بررسی این موضوع نشان می‌دهد دماهای پایین مربوط به بازه زمانی صبح زود تا قبل از ظهر است. در این اوقات به‌دلیل مناسب‌تر بودن هوای محیط خارج و داخل فضا، ساکنان ترجیح می‌دهند به فعالیت‌های روزمره مشغول بوده، در نتیجه رسیدگی به *خارخانه* و آبدهی به آن در اولویت قرار ندارد. از این‌رو در محدوده دمایی پایین، به خصوص اوقات صبح می‌توان قابل تحمل بودن محیط داخلی حاصل از رفتار بازنمودن *کلک*، مشغولیت اعضای خانواده و در

نتیجه در اولویت قرار نداشتن رفتار آبدهی به خارها را به عنوان دلایل اصلی پیشی گرفتن دفعات رفتار بازکردن *کلک* نسبت به آبدهی به *خارخانه* ذکر کرد.



تصویر ۱۹: توزیع درصد انجام هر کدام از رفتارهای بازکردن *کلک*، بازکردن *درچه*، آبدهی به *خارخانه* و مرطوب کردن سر و صورت در ۴ محدوده دمایی غالب در بازه مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان)

در محدوده دمایی ۴۰ – ۴۵ درجه سانتی‌گراد و بالای ۴۵ درجه سانتی‌گراد، تعداد دفعات وقوع رفتارهای بازکردن *کلک* و *درچه* جایگاه پایینی دارند. عملکرد حرارتی ضعیف آن‌ها در دماهای بالا، عامل اصلی ذکر شده برای این وضعیت است. در سوی دیگر رفتار مرطوب کردن سر و صورت، بیش‌ترین تعداد را به خود اختصاص داده و جایگاه رفتار *خارخانه* تقریبا ثابت باقی مانده‌است. مقایسه با محدوده دمایی قبلی نشان می‌دهد در این محدوده دمایی جایگاه رفتارهای حداقل و حداکثر تغییر نموده است. برای پیشی گرفتن رفتار مرطوب نگه داشتن سر و صورت نسبت به رفتار آبدهی *خارخانه* علی‌رغم مطلوب بودن نتیجه حرارتی رفتار آبدهی به خارخانه دلایل مختلفی وجود دارد. لزوم فراغت یکی از اعضای خانواده برای آبدهی به خارها دلیل اصلی این موضوع است. خواب میانه روز یکی دیگر از دلایل مشاهده شده در دوره برداشت میدانی است. در این حالت گزینه امکان پذیر برای زمان استراحت، مرطوب کردن سر و صورت با پارچه خیس است. در این مواقع اگرچه رفتار مرطوب کردن سر و صورت مطلوب نیست ولی کمکی به بهبود آسایش حرارتی افراد است.



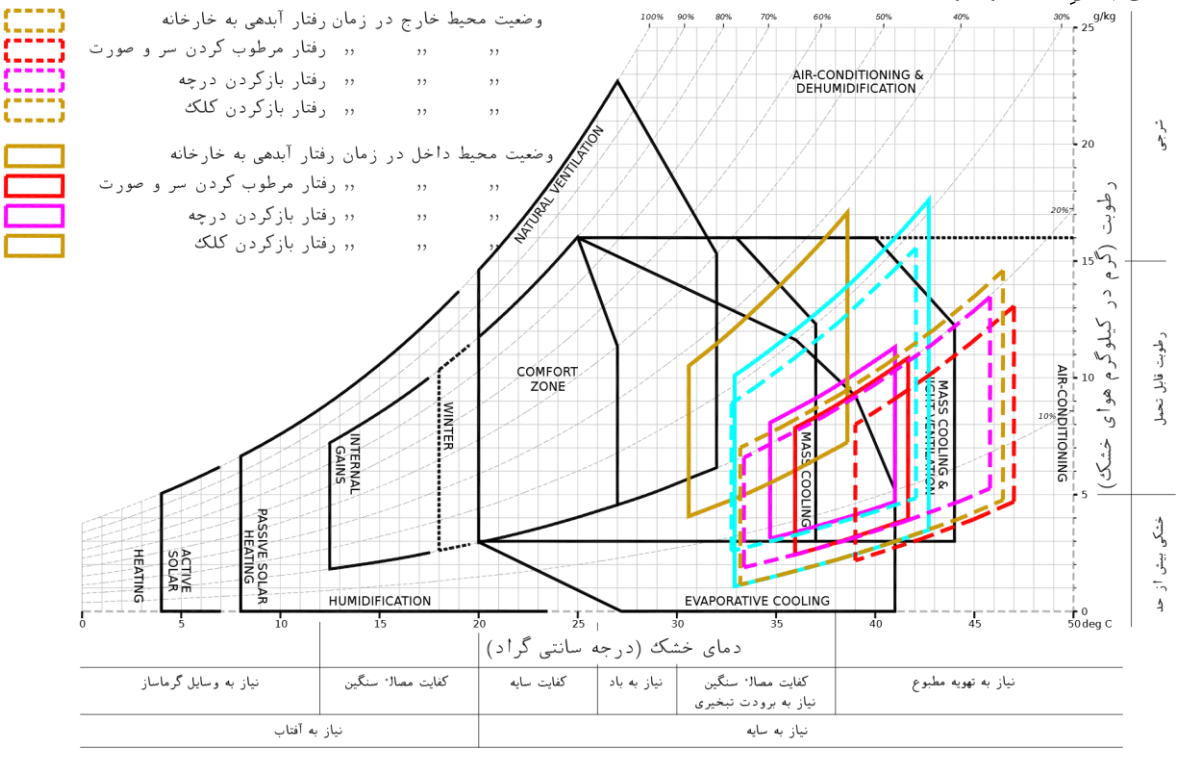
تصویر ۲۰: دامنه کاربرد رفتارهای سازگارانه بر اساس دمای هوا (راست) و رطوبت نسبی (چپ) محیط خارج (مأخذ: نگارندگان)

تحلیل تاثیر دامنه دمایی محیط خارج بر روی استفاده از رفتارها نشان می‌دهد اگرچه نقطه دمایی حداقل برای رفتارهای بازکردن *کلک*، *درچه* و آبدهی به *خارخانه* تقریبا یکسان است (حدود ۳۳ درجه سانتی‌گراد) ولی حد بالای کاربرد رفتار بازکردن *کلک* (دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد) و رفتار بازکردن *درچه* (حدود ۴۶ درجه سانتی‌گراد) پایین‌تر از حد بالای آبدهی به *خارخانه* (حدود ۴۷ درجه سانتی‌گراد) و مرطوب کردن سر و صورت ثبت شده است. (تصویر ۲۰) به عبارت دیگر در دماهای بالاتر برای محیط خارج، رفتارهای *خارخانه* و مرطوب کردن سر و صورت تاثیر حرارتی بهتری نسبت به *کلک* و *درچه* دارند. نقطه دمایی حداقل برای رفتار مرطوب کردن سر و صورت متفاوت از ۳ رفتار دیگر دمای حدود ۳۹ درجه برای محیط خارج است و تا دمای حدود ۴۷ درجه مورد استفاده قرار گرفته‌است. این موضوع نشان می‌دهد این رفتار که به عنوان یک رفتار کمکی در کنار رفتارهای *کلک* و *درچه* انتخاب می‌شود می‌تواند در دماهای بالا، فضای خیلی سخت داخلی را قابل تحمل نماید.

همچنین در پارامتر رطوبت نسبیِ محیط خارج، تصویر ۲۰ نشان می‌دهد رفتار بازکردن *کلک* در مقادیر بالاتر (تا حدود ۲۷ درصد) بیشتر انتخاب شده است. در سوی دیگر، تراکم دفعات رخداد رفتارها نشان می‌دهد در رطوبت نسبیِ پایین رفتار مرطوب کردن سر و صورت و رفتار آبدهی به *خارخانه* در اولویت قرار دارند.

نتایج حاصل از انتقال پارامترهای دما و رطوبت نسبی محیط خارج بر روی نمودار سایکرومتریک گیوانی و تحلیل آن‌ها متناسب با رفتارهای سازگارنه ساکنان (تصویر ۲۱) نشان می‌دهد در شرایطی که محدوده‌های تقریبا مشابهی باعث انتخاب رفتارهای باز کردن درچه و آبدهی به خارخانه شده‌اند دمای حداقل و رطوبت نسبی حداکثر برای محیط خارج، ویژگی خاص رفتار بازکردن *کلک* بوده است. در سوی دیگر رفتار مرطوب کردن سر و صورت گرم‌ترین و خشک‌ترین اوقات را به خود اختصاص داده است.

همچنین انتقال پارامترهای دما و رطوبت نسبی فضای داخلی بر روی نمودار سایکرومتریک گیوانی و تحلیل آن‌ها در تصویر ۲۱ نشان می‌دهد رفتار آبدهی به خارخانه هم از نظر کاهش دمای فضای داخلی و هم از نظر افزایش رطوبت نسبی محیط داخل و رساندن این پارامتر به حداقل‌های مورد نظر استاندارد اشری (۲۰ درصد) بهترین عملکرد را داشته‌است. رفتار بازکردن *کلک* علی‌رغم وقوع در دماهای حداقل و رطوبت نسبی حداکثر برای محیط خارج تاثیر مطلوبی بر وضعیت حرارتی محیط داخل نداشته است با این وجود راهکاری برای اوقات سردتر شبانه روز به‌ویژه شب هنگام که امکان آبدهی به *خارخانه* نبوده است محسوب می‌شود. اگرچه دماهای حداقل برای رخداد رفتارهای باز کردن درچه و مرطوب‌کردن سر و صورت مشابه نبوده است و رفتار باز کردن درچه عملکرد حرارتی بهتری داشته است؛ با این وجود عملکرد حرارتی این دو نزدیک به یکدیگر ثبت شده است. تحلیل زمان‌های وقوع رفتار مرطوب‌کردن سر و صورت نشان می‌دهد این رفتار، روشی برای تحمل گرمای زیاد و رطوبت نسبی پایینِ میانه روز بوده است.



تصویر ۲۱: موقعیت رخداد رفتارهای سازگارانه در دوره مورد مطالعه بر روی نمودار گیوانی (بازترسیم بر روی نمودار اشری)

مقایسه رفتارهای ساکنان بومی منطقه سیستان و استراتژی های پیشنهادی بر روی نمودار گیوانی نشان می‌دهد رفتارهای اصلی ساکنان منطقه در دماهای بالا و رطوبت نسبی پایین از جمله آبدهی به *خارخانه* و مرطوب‌کردن سر و صورت و ایجاد سرمای ناشی از تبخیر آب در توافق نزدیک با پیشنهادهای نمودار برای این محدوده دمایی قرار دارد. تاکید بر این رفتارها در

مواقعی که رطوبت نسبی محیط کمتر از ۲۰ درصد بوده است بیشتر مورد نظر ساکنان بوده است. همچنین بررسی کالبد معماری نشان می‌دهد همه این رفتارها در فضاهای داخلی با حداقل برخورداری از نور خورشید و همچنین بهره‌مند از کوران هوا صورت گرفته است که در این موارد هم با استراتژی‌های نمودار گیوانی برای این محدوده دمایی هم‌راستا است. تصویر ۲۱ نشان می‌دهد دمای هوا و رطوبت نسبی محیط خارجی منطقه سیستان در روزهای مورد مطالعه در غالب اوقات در محدوده نیاز به تهویه مطبوع قرار دارد با این‌وجود ساکنان منطقه سیستان به کمک رفتارهای سازگارانه و کالبد معماری توانسته‌اند تقریبا در نیمی از اوقات، شرایط محیط داخلی را به محدوده آسایش حرارتی نزدیک نمایند.

۵- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر که در منطقه سیستان با اقلیم گرم، خشک و بادی صورت گرفته است نشان می‌دهد اگرچه رفتارهای سازگارانه در این منطقه در مواردی همچون رفتارهای پوششی، تغذیه‌ای، استفاده از حیاط و بام و نظایر آن با اغلب مناطق گرم و خشک شباهت دارد ولی در رفتارهای سازگارانه‌ای که به بازشوها مربوط می‌شود نوع بازشوها و کارآیی رفتارهای متعلق به آن‌ها در منطقه سیستان با غالب مطالعات قبلی که بر استفاده از پنجره‌ها، درب‌ها و فن‌ها تمرکز داشته‌اند متفاوت است. در نتیجه، در تحقیق حاضر این رفتارها شناسایی و عملکرد حرارتی آن‌ها در بهبود شرایط آسایش حرارتی محیط داخلی مورد ارزیابی قرار–گرفت. علاوه بر آن این مطالعه نشان داد درحالی‌که غالب مطالعات سازگارانه قبلی، تغییرات در سرعت باد و پوشش در فضاهای داخلی را عوامل اصلی شناخته‌اند؛ در این منطقه افزایش رطوبت نسبی توسط رفتار سازگارانه *خارخانه*، نقش کلیدی در بهبود شرایط حرارتی محیط داخل دارد.

دمای خنثی و محدوده آسایش حرارتی به دست آمده برای این منطقه، ضمن نزدیکی به نتایج اغلب مطالعات پیشین در اقلیم گرم و خشک، واجد تفاوت‌هایی متاثر از ویژگی‌های خاص اقلیم منطقه سیستان است. نتایج این مطالعه نشان داد علی‌رغم اینکه دمای عامل فضاهای داخلی در طول دوره مطالعه (۳۰/۶ تا ۴۲/۷ درجه سانتی‌گراد) فاصله زیادی با محدوده آسایش حرارتی تابستانه بر اساس استاندارد اشری (۲۳ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد) دارد؛ قرار داشتن حداقل ۵۰ درصد اوقات در محدوده آسایش حرارتی می‌تواند توسط نظریه سازگاری و متاثر از فرصت‌های سازگارانه تبیین شود.

تعیین محدوده دمایی برای آسایش حرارتی در نقاط مختلف، نقش موثری در بهبود استانداردهای آسایش حرارتی به‌ویژه استانداردهای آسایش حرارتی تطبیقی(سازگارانه) دارد. سازگاری با شرایط دمایی بالاتر توسط ساکنان منطقه سیستان از طریق رفتارهای سازگارانه در دوره گرم سال به تعیین اعداد واقعی‌تر برای محدوده آسایش حرارتی در استانداردهای مربوطه و درنتیجه نیاز کمتر به وسایل سرمایش مکانیکی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی کمک می‌نماید. همچنین کشف اثرگذاری رفتارهای سازگارانه به فراهم‌نمودن زمینه‌های بروز آن‌ها در طراحی و ساخت بناهای امروزی منجر خواهد شد. از سوی دیگر، کشف دقیق‌تر رفتار ساکنان منطقه در زمینه نوع و شرایط بهره‌گیری از رفتارهای سازگارانه، به رشد الگوریتم‌های رفتاری ساکنان و پیش‌بینی‌های دقیق‌تری از محدوده آسایش و مصرف انرژی در نرم افزارهای شبیه‌سازی کمک می‌نماید.

برنامه‌ریزی برای برطرف نمودن نقاط ضعف فرصت های سازگارانه به منظور تداوم بهره‌برداری از آن‌ها در سکونت منطقه سیستان، ضمن تامین آسایش حرارتی ساکنان، بخشی از نیاز به انرژی‌های فسیلی را در معماری امروز این منطقه کاهش می‌دهد. برای مابقی اوقات می‌توان بر روی بهره‌وری حرارتی این رفتارها با توجه به پیشرفت‌های فنی معاصر مطالعه نموده و در مرحله آخر در بخش محدودی از اوقات فصل گرم از سیستم‌های مکانیکی در ترکیب با رفتارهای سازگارانه بهره گرفت.

پیوست ۱: پرسشنامه پژوهش

تاریخ:
شماره پرسشنامه:

بخش ۱: اطلاعات فردی شرکت کنندگان:

سن: ... سال جنس: زن □ مرد □، قد: ... سانتی متر ، وزن: ... کیلوگرم

وضعیت تاهل: مجرد □ ، متاهل □ ، مطلقه □ ، بیوه □

مدت اقامت در منطقه سیستان: ... سال مدت اقامت در بنای مورد تحقیق: ... سال

بخش ۲: پاسخ های حرارتی شرکت کنندگان:

الف) شرایط شرکت گنندگان و محیط

زمان اخذ نظر (پاسخ حرارتی)

زمان/ نوبت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
ساعت										
دقیقه										

مکان: اتاق=۰، حیاط =۱

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰

شرایط جوی: آفتابی(صاف)=۰، ابری=۱

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰

نرخ پوشاک:

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰

نرخ(سطح) فعالیت بدن:
نشسته= ۱، فعالیت سبک= ۲، فعالیت سنگین=۳

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰

ب) سوالات مرتبط با آسایش حرارتی

۱- در حال حاضر چه احساس حرارتی دارید؟

۳) خیلی گرم، ۲) گرم، ۱) کمی گرم، ۰) خنثی ۱-) کمی سرد، ۲-) سرد، ۳-) خیلی سرد

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰

۲- ترجیح می دادید دمای بیرون چگونه باشد؟

۲) خیلی گرم‌تر، ۱) کمی گرمتر، ۰) نیاز به تغییر نیست ۱-) کمی سردتر، ۲-) خیلی سردتر

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰

۳- آیا دمای هوا در این لحظه را می پذیرید؟

۰) قابل قبول، ۱) غیر قابل قبول

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰

ج) فرصت های سازگارانه

درب: بسته=۰ ، باز=۱	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
کلک: بسته=۰ ، باز=۱	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
درچه: بسته=۰ ، باز=۱	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
خارخانه: غیر فعال=۰ ، فعال=۱	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
مرطوب کردن سر و صورت: خیر=۰ ، بلی=۱	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
وسیله سرمایشی/ گرمایشی: خاموش=۰، روشن= ۱	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰

ج) سایر فرصت های سازگارانه و کنترل های محیطی (در صورت مشاهده):

.....

.....

.....

.....

منابع

- اویسی‌کیخا، زهره. (۱۳۹۲). برهم‌کنش عوامل اقلیمی و اجتماعی در شکل‌گیری فضاهای بسته و باز سکونتگاه‌های بومی روستایی ایران (مطالعه موردی: سیستان)، مجتبی انصاری، دانشگاه تربیت مدرس
- حیدری، ابوالفضل و داوطلب، جمشید. (۱۳۹۸). نقش خارخانه در تعدیل دمایی فضای زیست در مسکن روستایی موثر در ارتقاء پایداری معماری، مطالعه موردی: مسکن روستایی سیستان، معماری و شهرسازی پایدار، ۷ (۲)، صفحات ۵۵-۶۷
- حیدری، ابوالفضل و داوطلب، جمشید. (۱۳۹۹). بررسی و شناخت اثر خارخانه بر میزان سرعت باد در مسکن بومی منطقه سیستان، جغرافیا و آمایش شهری-منطقه ای، سال دهم، شماره ۳۵، صفحات ۴۹-۶۴
- داوطلب، جمشید؛ حافظی، محمدرضا و ادیب، مرتضی. (۱۳۹۵). بررسی میزان اثر و نقش پوشش گیاهی بر متغیرهای تعیین کننده آسایش حرارتی فضای باز، مطالعه موردی: اقلیم گرم و خشک سیستان، صفه، ۲۶ (۴)، صفحات ۱۹-۴۱
- داوطلب، جمشید و حیدری، داوطلب. (۱۳۹۹). بررسی تحلیلی-عددی میزان اثر رطوبتی خارخانه در مسکن بومی سیستان، مسکن و محیط روستا، ۳۹ (۱۶۹)، صفحات ۸۹-۱۰۰
- رازجویان، محمود. (۱۳۶۷). آسایش به وسیلهٔ معماری همساز با اقلیم، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
- زمرشیدی، حسین. (۱۳۸۴). معماری ایران- اجرای ساختمان با مصالح سنتی، تهران، انشارات مروی
- سازمان هواشناسی. (۱۳۹۸). آمار اقلیمی ایستگاه هواشناسی زابل (دوره ۱۹۶۲-۲۰۱۵ میلادی)

- سلیقه، محمد؛ بریمانی، فرامرز و اسمعیل‌نژاد، مرتضی. (۱۳۸۷). پهنه‌بندی اقلیمی استان سیستان و بلوچستان، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، صفحات ۱۰۱-۱۱۶
- طاوسی، تقی و یاری، منیر. (۱۳۹۲). تعیین گستره آسایش دمایی در برنامه‌ریزی اقلیمی گردشگری، مورد: استان سیستان‌وبلوچستان، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۱، صفحات ۲۹-۴۶
- عیالی، حامد؛ کشمیری، هادی و موحد، خسرو. (۱۳۹۸). بررسی سازگاری رفتار حرارتی ساکنان آپارتمان در راستای دست‌یابی به آسایش حرارتی در ماه‌های گرم (مطالعه موردی: شیراز)، معماری و شهرسازی پایدار، سال هفتم شماره اول، صفحات ۱-۱۲
- محمودی، سکینه خاتون. (۱۳۹۰). کنکاشی در قالیچه‌های تصویری سیستان، هنرهای تجسمی، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۰، صفحات ۳۳-۴۶
- معماریان، غلامحسین؛ محمدمرادی، اصغر، حسینعلی‌پور، سیدمصطفی، حیدری، ابولفضل و دودی، سعیده. (۱۳۹۶)، تحلیل رفتار باد در تهویه طبیعی مسکن بومی روستای قلعه نوی سیستان به کمک CFD، مسکن و محیط روستا، شماره ۱۵۷، بهار ۹۶، صفحات ۲۱-۳۶
- مولانایی، صلاح الدین و سلیمانی، سارا. (۱۳۹۵). عناصر باارزش معماری بومی منطقه سیستان بر مبنای مولفه‌های اقلیمی معماری پایدار، باغ نظر، سال سیزدهم، شماره ۴۱، صفحات ۵۷-۶۶
- هاشمی رفسنجانی، لیلی‌السادات و حیدری، شاهین. (۱۳۹۷). ارزیابی آسایش حرارتی تطبیقی در خانه‌های مسکونی اقلیم گرم و خشک (مطالعه موردی: استان کرمان)، معماری اقلیم گرم و خشک، سال ششم، شماره هفتم، صفحات ۴۳-۶۵

ANSI/ASHRAE Standard 55-, A. (2013) ‘Thermal environmental conditions for human occupancy’. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers ….

Brager, G. S. and de Dear, R. J. (1998) ‘Thermal adaptation in built environment: a literature review’, *Energy and Buildings*, 27, pp. 83–96.

Carlucci, S. *et al.* (2018) ‘Review of adaptive thermal comfort models in built environmental regulatory documents’, *Building and Environment*, 137, pp. 73–89. doi: 10.1016/j.buildenv.2018.03.053.

Cena, K. and de Dear, R. J. (2001) ‘Thermal comfort and behavioural strategies in office buildings located in a hot-arid climate’, *Journal of Thermal Biology*, 26, pp. 409–414.

Cena, K. M. (1994) ‘Thermal and non-thermal aspects of comfort surveys in homes and offices’, *Thermal comfort: past, present and future*, pp. 73–87.

Chang, C., Zhu, N. and Shang, J. (2017) ‘The study of occupant behavior analysis of Inner Mongolia in regard to heating energy consumption’, *Procedia Engineering*, 205, pp. 915–922.

Craenendonck, S. Van *et al.* (2018) ‘A review of human thermal comfort experiments in controlled and semicontrolled environments’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, pp. 3365–3378. doi: 10.1016/j.rser.2017.10.053.

Davtalab, J. and Heidari, A. (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. doi: 10.1016/j.scs.2020.102607.

Dear, R. de, Brager, G. and Cooper, D. (1997) ‘Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference’, *FINAL REPORT ASHRAE RP- 884*. Macquarie Research Ltd., Macquarie University, Sydney, NSW 2109 AUSTRALIA, Center for Environmental Design Research, University of California, Berkeley, CA 94720 USA.

Dili, A. S., Naseer, M. A. and Varghese, T. Z. (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), pp. 917–927. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.01.002.

Fernandes, J. *et al.* (2015) 'Portuguese vernacular architecture: the contribution of vernacular materials and design approaches for sustainable construction', *Architectural Science Review*, 58(4), pp. 324–336. doi: 10.1080/00038628.2014.974019.
Gautam, B. *et al.* (2019) 'A field investigation on the wintry thermal comfort and clothing adjustment of residents in traditional Nepalese houses', *Journal of Building Engineering*, 26, p. 100886. doi: 10.1016/j.jobe.2019.100886.
Gou, S. *et al.* (2015) 'Climate responsive strategies of traditional dwellings located in an ancient village in hot summer and cold winter region of China', *Building and Environment*, 86, pp. 151–165. doi: 10.1016/j.buildenv.2014.12.003.
Heidari, A., Sahebzadeh, S. and Dalvand, Z. (2017) 'Natural Ventilation in Vernacular Architecture of Sistan, Iran; Classification and CFD Study of Compound Rooms', *Sustainability*, 9. doi: 10.3390/su9061048.
Heidari, S. (2000) *Thermal Comfort in Iranian Courtyard Housing*, *School of Architecture*. The University of Sheffield.
Hong, T. *et al.* (2017) 'Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture', *Building and Environment*, 114, pp. 518–530. doi: 10.1016/j.buildenv.2016.12.006.
Huang, L. *et al.* (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, pp. 697–712. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.07.006.
Humphreys, M. A. and Hancock, M. (2007) 'Do people like to feel "neutral"? Exploring the variation of the desired thermal sensation on the ASHRAE scale', *Energy and Buildings*, 39, pp. 867–874. doi: 10.1016/j.enbuild.2007.02.014.
Humphreys, M. A., Nicol, J. F. and Raja, I. A. (2007) 'Field Studies of Indoor Thermal Comfort and the Progress of the Adaptive Approach', *ADVANCES IN BUILDING ENERGY RESEARCH*, 1, pp. 55–88. doi: 10.1080/17512549.2007.9687269.
Humphreys, M. A., Rijal, H. B. and Nicol, J. F. (2013) 'Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database', *Building and Environment*, 63, pp. 40–55. doi: 10.1016/j.buildenv.2013.01.024.
Indraganti, M. (2010) 'Thermal comfort in naturally ventilated apartments in summer: Findings from a field study in Hyderabad, India', *Applied Energy*, 87, pp. 866–883. doi: 10.1016/j.apenergy.2009.08.042.
Jowkar, M., de Dear, R. and Brusey, J. (2020) 'Influence of long-term thermal history on thermal comfort and preference', *Energy & Buildings*, 210, p. 109685. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.109685.
Keyvanfar, A. *et al.* (2014) 'User satisfaction adaptive behaviors for assessing energy efficient building indoor cooling and lighting environment', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, pp. 277–295. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.094.
Kumar, S. *et al.* (2016) 'Thermal comfort assessment and characteristics of occupant's behaviour in naturally ventilated buildings in composite climate of India', *Energy for Sustainable Development*, 33, pp. 108–121. doi: 10.1016/j.esd.2016.06.002.
Liu, W. *et al.* (2012) 'Human thermal adaptive behaviour in naturally ventilated offices for different outdoor air temperatures: A case study in Changsha China', *Building and Environment*, 50, pp. 76–89. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.10.014.
Merghani, A. (2006) 'Adaptive Behavior and Thermal Comfort in Traditional Houses in Khartoum', *"Living in Deserts: Is a sustainable urban design still possible in arid and hot regions?" 9-12 December 2006.(p 174-186)*. Ghardaïa, Algeria, pp. 174–186.
Mishra, A. K. and Ramgopal, M. (2013) 'Field studies on human thermal comfort d An overview', *Building and Environment*, 64, pp. 94–106. doi: 10.1016/j.buildenv.2013.02.015.

Morgan, C. and de Dear, R. (2003) 'Weather, clothing and thermal adaptation to indoor climate', *Clim Res (CLIMATE RESEARCH)*, 24, pp. 267–284.
Nicol, F., Humphreys, M. and Roaf, S. (2012) *Adaptive thermal comfort: principles and practice*. Edited by F. published. USA and Canada: Routledge.
Nicol, J. F. *et al.* (1999) 'Climatic variations in comfortable temperatures: the Pakistan projects', *Energy and Buildings*, 30, pp. 261–279.
Oikonomou, A. and Bougiatioti, F. (2011) 'Architectural structure and environmental performance of the traditional buildings in Florina, NW Greece', *Building and Environment*, 46(3), pp. 669–689. doi: 10.1016/j.buildenv.2010.09.012.
Pe´rez-Lombard, L., Ortiz, J. and Pout, C. (2008) 'A review on buildings energy consumption information', *Energy and Buildings*, 40, pp. 394–398. doi: 10.1016/j.enbuild.2007.03.007.
Prasetyo, Y. H., Alfata, M. N. F. and Pasaribu, A. R. (2014) 'Typology of Malay Traditional House Rumah Lontiok and its Response to the Thermal Environment', *Procedia Environmental Sciences*, 20, pp. 162–171. doi: 10.1016/j.proenv.2014.03.022.
Rijal, H. B., Humphreys, M. A. and Nicol, F. (2009) 'Understanding occupant behaviour: the use of controls in mixed-mode office buildings', *BUILDING RESEARCH & INFORMATION*, 37(4), pp. 381–396. doi: 10.1080/09613210902904221.
Rijal, H. B., Humphreys, M. A. and Nicol, J. F. (2018) 'Development of a window opening algorithm based on adaptive thermal comfort to predict occupant behavior in Japanese dwellings', *Jpn Archit Rev*, 1(3), pp. 310–321. doi: 10.1002/2475-8876.12043.
Rijal, H. B., Yoshida, H. and Umemiya, N. (2010) 'Seasonal and regional differences in neutral temperatures in Nepalese traditional vernacular houses', *Building and Environment*, 45, pp. 2743–2753. doi: 10.1016/j.buildenv.2010.06.002.
Rupp, R. F., Vásquez, N. G. and Lamberts, R. (2015) 'A review of human thermal comfort in the built environment', *Energy and Buildings*. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.07.047.
Shafaghat, A. *et al.* (2016) 'Methods for adaptive behaviors satisfaction assessment with energy efficient building design', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, pp. 250–259. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.133.
Standard, A. (2004) 'Standard 55-2004', *Thermal environmental conditions for human occupancy*, 3.
Standard, N. and ISO, N. (2005) '7730 (2006)', *Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.(ISO 7730: 2005)*.
Standardization, I. O. for (1985) *ISO 7726: Thermal Environments-Instruments and Methods for Measuring Physical Quantities*. ISO.
Thapa, S., Bansal, A. K. and Panda, G. K. (2018) 'Thermal comfort in naturally ventilated office buildings in cold and cloudy climate of Darjeeling, India An adaptive approach', *Energy and Buildings*, 160, pp. 44–60. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.12.026.
Vellei, M. *et al.* (2017) 'The influence of relative humidity on adaptive thermal comfort', *Building and Environment*, 124, pp. 171–185. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.08.005.
Wang, H. and Hu, S. (2016) 'Experimental study on thermal sensation of people in moderate activities', *Building and Environment*, 100, pp. 127–134. doi: 10.1016/j.buildenv.2016.02.016.
Wang, L. *et al.* (2019) 'Optimal clothing insulation in naturally ventilated buildings', *Building and Environment*, 154, pp. 200–210. doi: 10.1016/j.buildenv.2019.03.029.
Xu, C. *et al.* (2018) 'Thermal comfort and thermal adaptive behaviours in traditional dwellings: A case study in Nanjing, China', *Building and Environment*, 142, pp. 153–170.

doi: 10.1016/j.buildenv.2018.06.006.
Xu, H. *et al.* (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, pp. 306–320. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.09.047.
Yan, H. *et al.* (2016) 'Analysis of behaviour patterns and thermal responses to a hot–arid climate in rural China', *Journal of Thermal Biology*, 59, pp. 92–102. doi: 10.1016/j.jtherbio.2016.05.004.
Yang, L. *et al.* (2020) 'Adaptive thermal comfort and climate responsive building design strategies in dry–hot and dry–cold areas: Case study in Turpan, China', *Energy & Buildings*, 209, pp. 1–16. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.109678.
Yang, L., Yan, H. and Lam, J. C. (2014) 'Thermal comfort and building energy consumption implications – A review', *Applied Energy*, 115, pp. 164–173. doi: 10.1016/j.apenergy.2013.10.062.
Zhang, Z., Zhang, Y. and Jin, L. (2018) 'Thermal comfort in interior and semi-open spaces of rural folk houses in hot-humid areas', *Building and Environment*, 128. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.10.028.

Journal of Architecture in hot and dry climate

Architecture in Hot and Dry Climate Vol.8, No.12, Fall & Winter 2020

Original Research Article

Adaptive behaviors and summer thermal comfort in the indoor environments of the vernacular architecture of Sistan region, Iran

Mohammad Ali Sargazi[1], Mansoureh Tahbaz[2*], Akbar Haj Ebrahim Zargar[3]

1- PHD student in architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2- Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
3- Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract

The adaptive behaviors of the residents of buildings operated by natural ventilation (NV) have a special role in providing thermal comfort with minimum amount of dependence on fossil fuels. The "adaptive" idea dates back to the 1960s and 1970s. In addition to analyzing thermal comfort, it helps to improve standards and forecasting models of thermal comfort, as well as developing more accurate algorithms for controlling the indoor environment and is based on in-situ measurement. As a result, research in different regions and lesser known climates is very important. According to this research, Sistan region has special climatic characteristics that are different from other regions in hot and dry climate and thermal comfort in this region can be interpreted based on adaptive method. Therefore, this study investigates these adaptive behaviors and their effect on thermal comfort in NV buildings in Sistan region. To this end, six buildings in six villages of Sistan Region were selected for a longitudinal study that was carried out in July 2019. In addition to measurement of the climatic parameters of the indoor spaces of these buildings, a questionnaire-based field study of thermal comfort was conducted. In this study, the type and timing of adaptive behaviors were recorded and analyzed according to thermal responses. This study indicated that the most important adaptive behaviors used during the hot days of Sistan Region are *Watering Khaarkhane*, *Opening Dorche*, *Opening Kolak* and *Watering one's head and face* which are different from the common adaptive behaviors have been investigated in previous studies both in terms of form and thermal performance. With the help of these behaviors, the residents of Sistan Region have been able to achieve thermal comfort in more than half the times of the very hot days of the region without using any mechanical cooling device. This study also showed that *Watering Khaarkhane* has a better thermal performance compared to *Opening Dorche* and *Opening Kolak*. Determination of neutral temperature (31 °C) based on regression analysis and thermal comfort zone for 80% of occupants (27.3-34.6 °C) were the other results of this research. Although these values are far from the neutral temperature and the ASHRAE summer thermal comfort zone (23-27 ° C), this distance can be explained by the compatibility method.

Keywords: Adaptive behavior, Thermal comfort, Vernacular architecture, Indoor environment, Sistan region (Iran)

Email: m-tahbaz@sbu.ac.ir