

ارزیابی آسایش حرارتی تطبیقی در خانه های مسکونی اقلیم گرم و خشک مطالعه موردی: استان کرمان*

لیلی السادات هاشمی رفسنجانی^۱، شاهین حیدری^{۲*}

۱- دانشجوی دوره دکترای معماری، پردیس کیش دانشگاه تهران، کیش، ایران

۲- استاد دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۲۳، تاریخ پذیرش نهائی: ۱۳۹۷/۰۴/۰۶)

چکیده

ساختمان‌ها باید به گونه‌ای ساخته شوند که در شرایط مختلف آب‌وهوایی در عین اینکه شرایط آسایش حرارتی قابل قبول و حتی لذت‌بخش را برای ساکنان به ارمغان می‌آورند، سطح بالایی از کارایی انرژی را داشته باشند. اگرچه که امروزه نیاز به آسایش حرارتی کاربران با بهره‌گیری از تجهیزات مکانیکی تامین می‌گردد. اما واقعیت این است که در هر شرایط اقلیمی، با طراحی مناسب بنا می‌توان تا اندازه‌ای، شرایط مطلوب آسایش را فراهم کرد. و تنها زمانی که شرایط آب‌وهوایی غیرقابل تحمل است از تجهیزات مکانیکی بهره گرفت. اما چگونه می‌توان دانست چه شرایطی سخت و غیر قابل تحمل است؟ بی‌تردید وجود معیاری مناسب کمک خواهد کرد. یگانه معیار قابل قبول، انسان است. از اینرو در نقاط مختلف دنیا، پژوهش‌های میدانی متعددی در این زمینه انجام شده است. مقایسه‌ی بین نتایج نشان می‌دهد، اولاً در سراسر جهان مردم می‌توانند در طیف وسیعی از محیط‌های حرارتی، به آسایش دست یابند. دوم اینکه در محیط‌های مورد بررسی، بین پیش‌بینی‌های جدیدترین و بهترین شاخص‌های حرارتی و چگونگی احساس گرمایی افراد، اختلاف واضحی وجود دارد. پژوهش حاضر در پی پاسخ به این مسئله، به کمک انجام مطالعات میدانی در اقلیم گرم و خشک ایران است و اهداف آن، ارائه‌ی دمای خنثی و دامنه‌ی شرایط محیطی قابل قبول برای ساکنان خانه‌های مسکونی در کرمان و اقلیم‌های مشابه، مقایسه‌ی دمای خنثی در خانه‌های فاقد و دارای سیستم سرمایش مکانیکی و کشف رابطه‌ی بین دمای خنثی و دمای داخلی، و مهم‌تر از آن رابطه‌ی دمای خنثی و دمای بیرون از ساختمان، خواهد بود. نتایج نشان می‌دهد که همبستگی قابل قبولی بین دمای خنثی و میانگین دمای داخلی ساختمان و از آن مهم‌تر بین دمای خنثی و دمای خارجی ساختمان برقرار است. همچنین با توجه به نتایج ارائه شده مشاهده می‌شود که ساکنان خانه‌های مورد بررسی، در دمای بالاتری نسبت به آنچه در استانداردهای بین‌المللی مثل ایزو ۷۷۳۰ منتج شده از نظریه متوسط آرای پیش‌بینی شده (PMV) فانگر، بیان شده است، احساس راحتی می‌کنند.

کلیدواژه‌ها: خانه مسکونی، آسایش حرارتی، سازگاری حرارتی، اقلیم گرم و خشک، استان کرمان

* این مقاله برگرفته از رساله‌ی دکتری معماری با عنوان: بهبود شرایط آسایش داخل ساختمان به کمک تغییر در شرایط بیرون از ساختمان، نگارنده‌ی اول است که با راهنمایی نگارنده‌ی دوم در پردیس کیش دانشگاه تهران در دست تهیه است.

** Email: shheidari@ut.ac.ir

پرسش‌های پژوهش

در این راستا پرسش‌های اصلی مطرح شده در این پژوهش عبارت است از: آیا تئوری تطبیق حرارتی معتبر است؟ دامنه‌ی شرایط حرارتی قابل قبول برای ساکنان خانه‌های مسکونی در کرمان چه اندازه است؟ چه رابطه‌ای بین دمای خنثی و میانگین دمای خارجی ساختمان برقرار است؟ چه رابطه‌ای بین دمای خنثی و میانگین دمای داخلی ساختمان برقرار است؟؟

۱- مقدمه

اگرچه آمارهای متفاوتی از مقدار مصرف انرژی در بخش ساختمان ارائه می‌شود، همگان بر این باورند که بیش از یک سوم منابع انرژی هر کشوری در ساختمان‌های مختلف مصرف می‌شود (حیدری، ۱۳۹۲). ساختمان‌های بخش مسکونی از اصلی‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی هستند. در ایران نیز بخش مسکونی، سهم عمده‌ای در مصرف انرژی دارد. اگرچه که کشورهای توسعه یافته سعی در کاهش مصرف انرژی به خصوص در بخش ساختمان دارند. در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، مصرف انرژی در بخش ساختمان روبه افزایش است، متأسفانه در این کشورها هیچ گونه راهبرد مشخصی برای کاهش مصرف وجود ندارد. این درحالی است که منابع انرژی محدود است (حیدری و برزگر، ۱۳۹۲). همچنین انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۰ به دنبال افزایش ۱۰ درصدی مصرف انرژی در نتیجه بهره‌گیری از سیستم‌های مکانیکی گرمایش و سرمایش، دمای هوا تا ۱ درجه سانتیگراد افزایش یابد (Chua et al., 2013). بنابراین با توجه به بحران‌های ناشی از تغییر اقلیم و تقلیل منابع در عصر حاضر که بشر با آن مواجه است، می‌خواهیم به ساختمان‌هایی دست یابیم که بتوانند سطح بالایی

از کارایی انرژی را در عین حفظ سلامت و آسایش برای کاربران خود به ارمغان آورند (Nicol et al., 2012).

اینکه چه مواردی باید در بخش ساختمان در زمینه‌ی کاهش مصرف انرژی مورد توجه قرار گیرد، مسئله حائز اهمیت است. به نظر می‌آید طراحی منطبق با اقلیم در زمره بهترین راهکارها باشد. در کنار چنین مسئله در خور توجهی، باید راهکار تعیین دقیق شرایط آسایش را پیدا کرد تا به درستی متوجه شویم که گروه‌های مصرف‌کننده فضای ساخته‌شده در چه شرایطی راحت‌تر هستند. همچنین امروزه کاربرد سیستم‌های گرمایش و سرمایش مکانیکی به یکی از اصلی‌ترین ویژگی‌های ساختمان، در جهت ایجاد و حفظ شرایط آسایش کاربران تبدیل شده است (Sabri Moustapa et al., 2016: 333). این در حالی است که در شرایط یکسان، افراد مختلف ممکن است احساس‌های حرارتی متفاوتی تجربه کنند؛ زیرا که افراد، گیرنده‌های منفعل از محیط حرارتی خود نیستند. آن‌ها محیط را تغییر داده یا خود را با آن سازگار می‌کنند (Heidari & Sharples, 2002). به این دلیل اغلب به شیوه‌های مختلفی برای کاهش ناراحتی حرارتی رفتار می‌کنند، این رفتارها ممکن است شامل جابه‌جایی از فضایی به فضای دیگر، باز و بسته کردن پنجره، روشن کردن فن، تغییر لباس، روشن یا خاموش کردن سیستم گرمایش یا سرمایش، نوشیدن مایعات گرم یا سرد و... باشد، چنین رفتارهایی می‌تواند بر مصرف کلی انرژی ساختمان تاثیر بگذارد (Hoof et al., 2010: 766)، به طوری که می‌توان با تنظیم درست درجه ترموستات در میزان مصرف انرژی صرفه جویی قابل توجه‌ای کرد.

مطرح است که اولاً آیا تئوری تطبیق معتبر است؟ و ثانياً اینکه آیا می توان گفت که دمای هوای ماهانه، معیار مناسبی برای پیش بینی درجه حرارت آسایش در فضای داخل ساختمان است؟ و در نهایت چه رابطه ای بین دمای خنثی و میانگین دمای داخلی ساختمان و بین دمای خنثی و دمای خارجی ساختمان برقرار است؟ در راستای پاسخگویی به این سوالات، ابتدا با مرور تحقیقات پیشین پارامترهای مهم در بحث آسایش حرارتی شناسایی و در مرحله ی بعد با مطالعات میدانی شرایط آسایش خانه های موجود با اندازه گیری معیارهای محیطی شامل دمای هوا، رطوبت و جریان هوا، همچنین انجام نظرسنجی از کاربران ارزیابی شده است.

لازم به ذکر است این مطالعه صرفاً جهت ارزیابی وضعیت موجود خانه های مسکونی صورت گرفته است و هدف آن، بیان ضرورت و روش ارزیابی آسایش حرارتی تطبیقی در حوزه مسکن است. برای نتیجه گیری در رابطه با محدوده آسایش قابل قبول، نیاز به بررسی دقیق نمونه های متعددی در بازه زمانی چند ساله دارد، اما با توجه به این موضوع که پژوهش حاضر در محیط داخلی خانه های مسکونی انجام گرفته است، به دلیل ورود به حریم خصوصی کاربران بنا، امکان تکرار آن در دفعات بیشتر ممکن نبود. به علاوه اغلب خانه های موجود در بافت سنتی تغییر کاربری داده یا در گذر زمان خالی از سکنه شده و حتی در صورت دارا بودن کاربر، اغلب از سیستم های مکانیکی جهت گرمایش و سرمایش بهره می برند، بنابراین یافتن نمونه های بیشتر خانه های سنتی دارای ساکن و بهره مند از سیستم سرمایش طبیعی که تمایل به شرکت در پژوهش داشته باشند، در کرمان ممکن نبود. همچنین به دلیل وجود مسائل دینی و فرهنگی، رفتار و لباس کاربران به محض ورود پژوهشگر به

بنابراین به این دلیل که بر طبق نظرسنجی ها، آسایش حرارتی یکی از مهمترین فاکتورهای تاثیرگذار بر استفاده کاربران از سیستم های گرمایش و سرمایش طبیعی یا مکانیکی است. از این رو پروژه های تحقیقاتی متعددی در نقاط مختلف جهان در جهت تعیین دمای آسایش تا به امروز انجام گرفته است (Dear et al., 2012). و استانداردهای مختلفی از جمله استاندارد ایزو ۷۷۳۰ و اشری ۵۵ بر این اساس تعریف شده اند (Heidari & Sharples, 2002: 607)، با این حال بسیاری از مطالعات میدانی آسایش حرارتی از جمله مطالعات در ژاپن (Honjo et al., 2013)، چین (Han et al., 2007)، سنگاپور (De Dear et al., 1991)، مالزی (Dajmalia et al., 2013)، اندونزی (Wong et al., 2004)، نپال (Rijal et al., 2010)، هند (Indraganti, 2010)، پاکستان (Nicol et al., 1994)، ایران (Heidari & Sharples, 2002)، انگلیس (Rijal et al., 2010). و... انجام گرفته براساس تئوری سازگاری ارائه شده توسط نیکول^۱ و همفریز^۲ نشان دهنده این موضوع است که محدوده ی شرایط قابل قبول از نظر آسایش حرارتی بیشتر از بازه پیش بینی شده توسط استانداردها است. از این رو سبب افزایش میزان مصرف انرژی در ساختمان ها جهت گرمایش و سرمایش نسبت به آنچه در مطالعات میدانی به دست آمده، می شوند (Yang et al., 2014, 172-173). بنابراین هدف از انجام پژوهش، ارائه ی دمای خنثی و دامنه شرایط محیطی قابل قبول برای ساکنان خانه های مسکونی در کرمان و اقلیم های مشابه است. تحقیق حاضر با استفاده از مطالعات میدانی که شامل اندازه گیری متغیرهای اقلیمی و بررسی پرسشنامه های آسایش حرارتی کاربران است، شرایط حرارتی را در خانه های مسکونی کرمان بررسی می کند. در این میان سه پرسش اساسی

داخل خانه تغییر می‌کرد، از این رو به منظور بررسی دقیق‌تر رفتار کاربران علاوه بر پرسشنامه، مصاحبه نیز انجام گرفته است.

متوسط ارا پیش بینی شده بر اساس استاندارد ایزو ۷۷۳۰ در شرایط ناراضی قرار دارد اما ساکنان از شرایط خود راضی هستند.

۲- پیشینه تحقیق

پژوهش‌های انجام گرفته در زمینه آسایش حرارتی تطبیقی را می‌توان به چند دسته تقسیم کرد:

۱-۲- مدل‌ها و تکنیک‌های آسایش حرارتی

اوگبونا^۱ و هاریس^۲ (۲۰۰۸) با استفاده از رویکرد آسایش حرارتی تطبیقی (بر پایه نظریه‌ای که عوامل فیزیولوژیکی و انطباقی به طور برابر در ادراک و تفسیر آسایش حرارتی نقش دارند) برای ارائه اطلاعات تجربی در مورد طیف وسیعی از شرایطی که ساکنان در ساختمان‌های دارای تهویه طبیعی در آن احساس آسایش می‌کنند، شرایط داخلی را از نظر شرایط آسایش در شهر جوز، شهری در منطقه‌ی استوایی گرمسیری نیجریه بررسی کرده است. نتایج نشان دهنده‌ی این موضوع است که با کمک خنک‌کننده تبخیری مستقیم و برخی روش‌های خنک‌کننده غیرفعال در تمام طول سال می‌توان به شرایط آسایش در این منطقه دست یافت.

۲-۳- سیستم‌های کاهش مصرف انرژی

موی^۴ و چان^۵ (۲۰۰۳) مفاهیم جدیدی در رابطه با آسایش حرارتی تطبیقی در ساختمان‌های مناطق گرم و مرطوب مطرح کردند. رابطه‌ی تعاملی سازگاری بین درجه حرارت آسایش در فضای داخلی ساختمان و دمای هوای خارجی به منظور بهینه‌سازی انرژی مورد استفاده در سیستم‌های خنک‌کننده‌ی هوا و دستیابی به آسایش حرارتی به وسیله‌ی اندازه‌گیری فیزیکی و مطالعات میدانی تعیین شده است. آن‌ها نشان دادند بهره‌گیری از مدل، ۷٪ صرفه جویی در مصرف انرژی را به دنبال دارد.

ون هوف^۶ و هسنن^۷ (۲۰۰۳) در زمینه‌ی کاربرد مدل آسایش حرارتی تطبیقی در قابلیت استفاده و صرفه جویی در مصرف انرژی برای مناطق آب و هوایی معتدل هلند بحث کردند. آن‌ها دریافتند مدل‌های آسایش حرارتی تطبیقی تنها در ماه‌های گرم سال مورد استفاده قرار می‌گیرند. و می‌توانند مصرف انرژی را در ساختمان‌های دارای تهویه‌ی طبیعی کاهش دهند. این درحالی است که این مدل کاربرد بسیار فراتری برای این اقلیم دارد. علاوه بر این، آن‌ها پارامترهای دما را برای یک دوره تدریجی پیشنهاد دادند تا جایگزین میانگین دمای هوای فصلی شود.

کیوک^۷ و رچکوویچ^۸ (۲۰۱۰) سازگاری را در ۲ مقیاس مورد بررسی قرار دادند: نخست تاثیر آن بر آسایش حرارتی در محیط‌های زندگی موجود، سپس به عنوان پاسخ بلند مدت طراحی ساختمان به تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی، و در نهایت به

۲-۲- مطالعه‌ی تطبیقی بین فضاهای زندگی سنتی و مدرن

ایلیوا^۳ و همکاران (۲۰۰۱) دو نوع ساختمان سنتی و مدرن را شهری در لیبی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که متوسط ارا پیش بینی شده در ساختمان‌های مدرن دارای تهویه مکانیکی بر طبق استاندارد ایزو ۷۷۳۰ در شرایط رضایت بخش قرار دارد. در حالی که در ساختمان‌های سنتی

سنسور منحصر به فردی برای هر عامل در اختیار ندارد و در نتیجه احساسی که از محیط حرارتی دارد به عنوان یک کل است. از اینرو شاخص‌های حرارتی نیز بر اساس همین کل شکل می‌گیرند. و چند فاکتور (از جمله دما، رطوبت و...) را به طور همزمان مورد بررسی قرار می‌دهند (Aljawabra, 2014). بنابراین تعداد زیادی از شاخص‌های آسایش حرارتی وجود دارد که ممکن است در ابتدا گیج کننده باشد اما در واقع، بسیاری از آنها ویژگی‌های مشترکی به اشتراک می‌گذارند. گروهی از محققان شاخصه‌ها را به ۲ گروه پایدار و ناپایدار تقسیم می‌کنند. روش‌های ارزیابی مدل پایدار، به جنبه‌های فیزیکی آسایش حرارتی مانند تعادل گرمایی می‌پردازد و برخی دیگر شاخص‌های ناپایدار به جنبه‌های روان شناختی مانند رویکرد تطبیقی می‌پردازد.

علیرغم، تمرکز به شرایط ذهنی در تعریف آسایش حرارتی ذکر شده در بالا، شایع ترین مدل آسایش حرارتی بر روی شرایط فیزیکی و فیزیولوژیکی تمرکز دارد. که مدل منطقی یا تعادل گرمایی نامیده می‌شود. مدل‌های تعادل حرارتی فرض می‌کنند که سیستم حرارتی بدن انسان بر اساس حفظ دمای داخلی عمل می‌کند. به همین دلیل، اثرات فوری محیط حرارتی، به وسیله فیزیک انتقال و ذخیره سازی گرما بین محیط و بدن انسان در تعامل است (Young et al., 2014). و بهترین و شناخته شده ترین در میان آنها عبارتند از "پیش بینی متوسط آرا (PMV) و "دمای موثر استاندارد" (SET).

اولین و متداول ترین الگو جهت اندازه گیری آسایش حرارتی، تحت عنوان "پیش بینی متوسط آرا" توسط فانگر در سال ۱۹۷۲ ارائه شده است. این شاخصه از اهمیت ویژه‌ای در مطالعات آسایش

این نتیجه رسیدند که هر ۲ بخش کاهش اثرات گازهای گلخانه‌ای و سازگاری با تغییرات آب و هوایی باید به استانداردهای ساختمانی موجود اضافه شود.

۲-۴- اثرات هوای محیط بر ادراک محیطی

سینا^۹ و دی دیر^{۱۰} (۲۰۰۱) درباره تاثیرات هوای محیط بر ادراک حرارتی و سازگاری رفتاری کارکنان ادارات در یک مطالعه‌ی بزرگ در منطقه-ی گرمسیری در استرالیا غربی بحث کردند. آنها دریافتند برای آنها سطح لباس ۰٫۵ کلو در تابستان و ۰٫۷ کلو در زمستان مناسب است. همچنین دمای مناسب بر طبق مقیاس اشری در تابستان ۲۳٫۸ و در زمستان ۸٫۳ درجه سانتیگراد است.

۳- مبانی نظری آسایش حرارتی

بر طبق نظر پژوهشگران آسایش حرارتی را به سادگی نمی‌توان تعریف کرد. چرا که عوامل محیطی و اختصاصی فراوانی در به وجود آمدن آن نقش دارند. تعاریف متعددی از آسایش حرارتی وجود دارد. اشری (ASHRAE, 2017) آسایش حرارتی را شرایط ذهنی می‌داند که بیان کننده‌ی میزان رضایت افراد از شرایط محیط است. کلمه شرایط ذهنی در تعریف اشری دلالت بر آمیختگی شرایط روحی و شرایط فیزیولوژی در احساسی با عنوان آسایش حرارتی دارد.

آنچه که مشخص است، بحث اندازه گیری آسایش حرارتی موضوع جدیدی نیست و مردم همیشه به دنبال روشی برای تعیین کمیت احساس سرما یا گرمای خود بوده‌اند. محیط حرارتی و تاثیر آن بر بدن انسان نمی‌تواند به عنوان تابعی از یک عامل، به عنوان مثال، دما باشد. به این دلیل که بدن

هم‌زمان شرایط حرارتی و پاسخ حرارتی کاربران در مورد زندگی روزمره را، جمع آوری می‌کند. پاسخ حرارتی افراد معمولاً با پرسیدن، (احساس حرارتی) براساس مقیاس اشری یا بدفورد است. در این حالت دخالت محقق به کمترین حالت خود می‌رسد (Nicol et al., 2003). در روش میدانی مشکلاتی نیز وجود دارد. اولاً شرایط محیطی به لحاظ ذاتی متغیر است و سنجش دقیق داده‌ها بسیار مشکل است و اشتباه در اندازه‌گیری موجب خطا در روابط پیش‌بینی شده توسط تجزیه و تحلیل آماری می‌شود. دوم اینکه، به طور کلی، تجزیه و تحلیل آماری نتایج حاصل از یک نظرسنجی بسیار مشکل است و عموماً نتایج یک بررسی به داده‌های موارد دیگر در شرایط مشابه اعمال نمی‌شود (Humphreys et al., 2000).

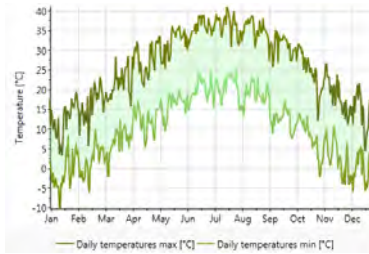
۴- مطالعات میدانی

۴-۱- توصیف اقلیم

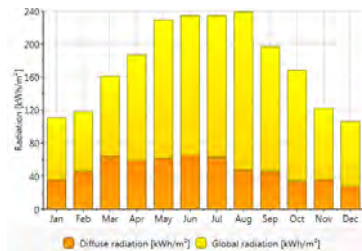
در اقلیم گرم، شهر کرمان انتخاب شد. کرمان با طول جغرافیایی ۵۹ درجه ۳ دقیقه ۳۶ ثانیه شرقی و در عرض جغرافیایی ۲۶ درجه ۳۲ دقیقه ۸ ثانیه شمالی در قسمت جنوب شرقی کشور واقع شده است و دارای اقلیمی گرم و خشک است. با توجه به آمار ارائه شده از اداره کل هواشناسی استان کرمان، دمای هوا و بارش شباهت زیادی به سایر شهرهای اقلیم گرم و خشک دارد. در تصویر ۱ تا ۳ با استفاده از اطلاعات اولیه و نرم افزار، نمودار متوسط دمایی، تابشی و بارش را مشاهده می‌کنید.

حرارتی برخوردار است. شاخصه براساس شرایط پایدار استوار است. این شاخصه در شرایط آزمایشگاهی و در اتاق کوچک آب و هوایی اخذ شده و شرایط آسایش را از کمی ناراحتی ناشی از سرما تا کمی ناراحتی ناشی از گرما لحاظ کرده است. که براساس پیش‌بینی پاسخ حرارتی متوسط جمعیت زیادی از مردم بدست آمده است. سپس در سال ۱۹۷۵، همفریز با بررسی ۳۰ پژوهش میدانی انجام شده در دوره ۴۰ ساله (۱۹۳۰-۱۹۷۰)، نشان داد که افراد در شرایط محیطی غیرفعال نیستند. با وجود این که در فضاهای مختلف شرایط متفاوت حرارتی حاکم است و سیستم فیزیولوژیکی انسان‌ها به همانند هم کار می‌کند، ولی پاسخ به شرایط محیطی یکسان نیست. اگر در محیطی تغییر در جهت عدم آسایش حرارتی اتفاق بیفتد، افراد به کمک راه‌حل‌هایی، در رسیدن به آسایش، تلاش حرارتی خواهند کرد (حیدری، ۱۳۹۲). بنابراین مدل آسایش حرارتی پایدار کم کم به مدل آسایش حرارتی تطبیقی توسعه یافت، زیرا مدل‌های ایستا نمی‌توانند به طور موثر در جنبه‌های پویا، مانند سازگاری انسان ایفای نقش کنند. در مدل تطبیقی فرض بر این است که کاربران، خود نقش فعالی در حفظ آسایش حرارتی ایفا کنند (de Dear & Schiller Brager, 2001, p. 101).

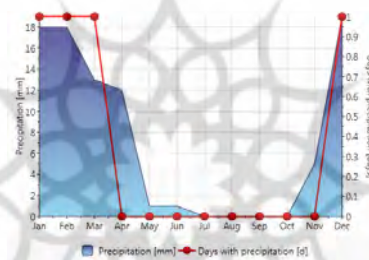
بر طبق نظر همفریز برای مطلع شدن از احساس افراد در وضعیت خاص، بهترین راه پرسیدن از خود آن افراد است. (Humphreys, 1995) این روش را تحقیق میدانی می‌دانند. و ابزار اصلی رویکرد انطباقی است. در روش میدانی محقق به صورت



تصویر ۱- دمای متوسط (ماخذ: نرم افزار متونورم)



تصویر ۲- نمودار تابش خورشیدی (ماخذ: نرم افزار متونورم)



تصویر ۳- نمودار بارش روزانه (ماخذ: نرم افزار متونورم)

جدول ۱- داده های نرم افزار متونورم (ماخذ: نرم افزار متونورم)

کرمان				سایت شهری
۱۷۶۱	ارتفاع از سطح دریا	۳۰/۳	عرض جغرافیایی	۵۷/۱
۲۰۰۰-۲۰۰۹				دما
۱۲ کیلومتری کرمان				ایستگاه

۴-۲- روش تحقیق

در پژوهش مورد بررسی، جمع آوری داده های حال نگر به روش پیمایشی و میدانی به منظور کشف ادراک حرارتی افراد در وضعیت واقعی انجام شده است. به علاوه روش تحقیق کمی با استفاده از نظرسنجی های آسایش حرارتی مورد استفاده قرار گرفته است. و پس از آن به تحلیل همبستگی بین متغیرهای اندازه گیری شده می پردازد.

با نگاهی به تصاویر ۱ تا ۳ و مطالعات اقلیمی نگارنده، نمایان است که شدت گرمای هوا در تابستان این شهر، گاه به بیش از ۴۱ درجه سانتیگراد می رسد و شدت سرمای زمستان در بعضی سال ها به ۱۰- نیز می رسد. نوسان سالیانه ی دما غالباً بیش از ۱۷ درجه بوده و در شبانه روز همواره بیش از ۱۰ درجه است.

۴-۳- میدان مطالعه

به منظور بدست آوردن فهم جامعی نسبت به شرایط موجود از نظر آسایش حرارتی در خانه‌های اقلیم گرم و خشک، مطالعات میدانی در ۲۹ نمونه (خانه) در تیر و مرداد ماه ۱۳۹۶ در کرمان انجام گرفته است. بدین منظور در هر خانه ۲ تا ۴ کاربر در ۲ روز متوالی مورد پرسش قرار گرفته‌اند.

۴-۳-۱- معرفی نمونه‌های مورد بررسی

مطالعات میدانی در ۲۹ خانه، در کرمان انجام شده است. از مجموعه ۲۹ خانه، ۱۴ مورد در بافت سنتی و ۱۵ مورد در بافت جدید شهری قرار گرفته

است. در جدول ۲، مشخصات ساختمان‌های واقع شده در بافت سنتی نمایش داده شده است. از ۱۴ خانه بافت سنتی، ۹ مورد فاقد سیستم مکانیکی جهت سرمایش است. بنابراین فرم، متریا، جهت ساختمان، بازشوها، رفتار ساکنان، سیستم‌های پسیو سرمایش مانند بادگیر، حیاط مرکزی و ... در سرمایش ساختمان موثر است. در این خانه‌ها تنها از سیستم کمکی پنکه، به جهت سرمایش بهره گرفته شده است و ۵ نمونه از خانه‌های سنتی همچنین خانه‌های معاصر از سیستم مکانیکی، مانند کولر آبی و اسپلیت جهت سرمایش استفاده می‌کنند.

جدول ۲- مشخصات ساختمان‌های سنتی (ماخذ: نگارندگان)

عنوان	سیستم مکانیکی		حیاط مرکزی	پنکه	بادگیر	حوض	حیاط	زیرزمین
	کولر آبی	اسپلیت						
خانه امینیان	-	-	-	-	-	-	-	-
خانه امینیان	-	-	-	-	-	-	-	-
خانه قاسم آباد	-	-	-	-	-	-	-	-
خانه حاج آقا علی (سرایداری)	-	-	-	-	-	-	-	-
خانه مرتضوی	-	-	-	-	-	-	-	-
خانه صالحی	-	-	-	-	-	-	-	-
خانه حاج آقا بزرگ	-	-	-	-	-	-	-	-
خانه خالوئی	-	-	-	-	-	-	-	-
خانه حبیب زاده	-	-	-	-	-	-	-	-
خانه امرالهی	-	-	-	-	-	-	-	-
خانه اعظمی	-	-	-	-	-	-	-	-
خانه کاظمی	-	-	-	-	-	-	-	-
خانه جهانگیری	-	-	-	-	-	-	-	-
خانه ایرانمنش	-	-	-	-	-	-	-	-
خانه خیراندیش	-	-	-	-	-	-	-	-

همچنین از ویژگی‌های ساختاری خانه‌های بافت سنتی می‌توان به دیوارهای خشتی، سقف‌های گنبدی و پنجره‌های چوبی، و از ویژگی‌های

خانه‌های بافت جدید شهری، به دیوارهای عموماً آجری، سقف‌های تیرچه بلوک و در موارد محدودی عایق کاری اشاره نمود.



(ب)



(ألف)

تصویر ۴- تصاویری از خانه‌ها در بافت سنتی (الف) خانه ایرانمنش (ب) خانه امینان (ماخذ، نگارندگان)

۴-۴- پرسشنامه

مطالعه شرایط محیطی و پرسشنامه به طور همزمان در هر بازدید از میدان مطالعه به دست آمد. در طراحی پرسشنامه‌ها تلاش شده است به صورتی فراهم گردد که به آسانی برای کاربران قابل فهم باشد. سوالات پرسشنامه مرتبط با احساس و ترجیح حرارتی، رطوبتی و میزان جریان هوای کاربران است. تعداد ۲۶۰ پرسشنامه در مجموع جمع آوری شده است. هر شرکت کننده ۲ مرتبه در ساعت‌های ۱۰-۱۲ صبح و ۱۴-۱۶ عصر، در فرآیند پژوهش شرکت کرده است. پرسشنامه همچنین شامل اطلاعات کلی عمومی مانند سن، جنسیت، وزن و قد کاربران همچنین نوع لباس و سطح فعالیت، نوع سیستم خنک کننده و اقدامات کنترلی کاربران است. پوشش کاربران براساس چک لیست پوشش اشری استاندارد ۵۵ محاسبه شده است.

در پژوهش حاضر از مقیاس ۷ گانه‌ی اشری (۳- خیلی سرد تا +۳ خیلی گرم) برای احساس حرارتی و از مقیاس سه تایی مکینتایر^۳ (۱۹۷۶) (۱- سرد، ۰ مناسب و +۱ گرم) برای ارزیابی ترجیح حرارتی در پرسشنامه استفاده شده است. با وجود این موضوع که نظر دادن درباره‌ی میزان رطوبت و حرکت هوا دشوار است. توجه به آن در آب و هوای گرم و

خشک که رطوبت هوا کم و جریان هوا بسیار متغیر است، قابل اهمیت است. از این رو در این پژوهش احساس و ترجیح افراد نسبت به این ۲ فاکتور مورد پرسش قرار گرفته است.

۴-۵- اندازه‌گیری پارامترهای محیطی

با توجه به مباحث مطرح شده، هم پارامترهای فیزیکی شامل دما، رطوبت، جریان هوا و متوسط دمای تابشی، هم پارامترهای شخصی مانند نوع لباس و سطح فعالیت و هم پارامترهای تطبیقی شامل رفتار کاربران در تبیین شرایط آسایش حرارتی انسان نقش ایفا می‌کنند (Nicol et al., 2012). بنابراین در پژوهش حاضر پارامترهای فیزیکی شامل دما، رطوبت و جریان هوا در دوره‌های زمانی نیم‌ساعته با استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری ثبت شده است. دقت دستگاه‌ها براساس استانداردهای ایزو ۷۷۳۰ کنترل شده است. ابزار و بازه زمانی اندازه‌گیری در جدول ۳ نشان داده شده است. به علاوه متوسط دمای تابشی به عنوان یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی آسایش حرارتی به صورت غیرمستقیم توسط محاسبات ابزار آنلاین آسایش سی‌بی‌ای^۴ که دمای کروی اندازه‌گیری شده را به دمای تابشی تبدیل می‌کند، به دست آمده است. دستگاه‌های به کار رفته برای اندازه‌گیری جریان هوا، توانایی

اندازه‌گیری جریان‌های بسیار کم (کمتر از ۰/۱ متر بر ثانیه) را نداشته است. و در زمان بسته بودن پنجره‌ها و خاموش بودن کولر جریان هوای داخلی بسیار ناچیز بوده، بنابراین در این شرایط جریان هوا ۰/۱ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است.

جدول ۳- پارامترها و ابزار اندازه‌گیری (ماخذ: نگارندگان)

بازه زمانی	ابزار اندازه‌گیری	پارامتر	حوزه
۳۰ دقیقه	MASTECH MS6252B	دما خشک (سانتیگراد)	آسایش حرارتی
۳۰ دقیقه	MASTECH MS6252B	رطوبت نسبی %	
۳۰ دقیقه	MASTECH MS6252B	جریان هوا (متر بر ثانیه)	

۵-۱- فاکتورهای محیطی در هنگام رای‌گیری

خلاصه‌ای از داده‌های آب و هوایی، شامل میانگین، حداکثر و حداقل دما، رطوبت و جریان هوا در طول دوره اندازه‌گیری میدانی در جدول ۴ نشان داده شده است.

دمای داخلی از ۲۶ درجه سانتیگراد در خانه‌های سنتی دارای سیستم مکانیکی سرمایش، تا ۳۶٫۷ درجه سانتیگراد در خانه‌های سنتی فاقد سیستم مکانیکی سرمایش، متغیر است و به صورت میانگین دمای داخلی در حدود ۳۰ درجه سانتیگراد قرار دارد. البته این نکته قابل ذکر است که در خانه‌های سنتی، شرایط حرارتی در نقاط مختلف خانه متفاوت است. در تصویر ۵، میانگین دمای اندازه‌گیری شده در نقاط مختلف خانه‌ی امینان نشان داده شده است.

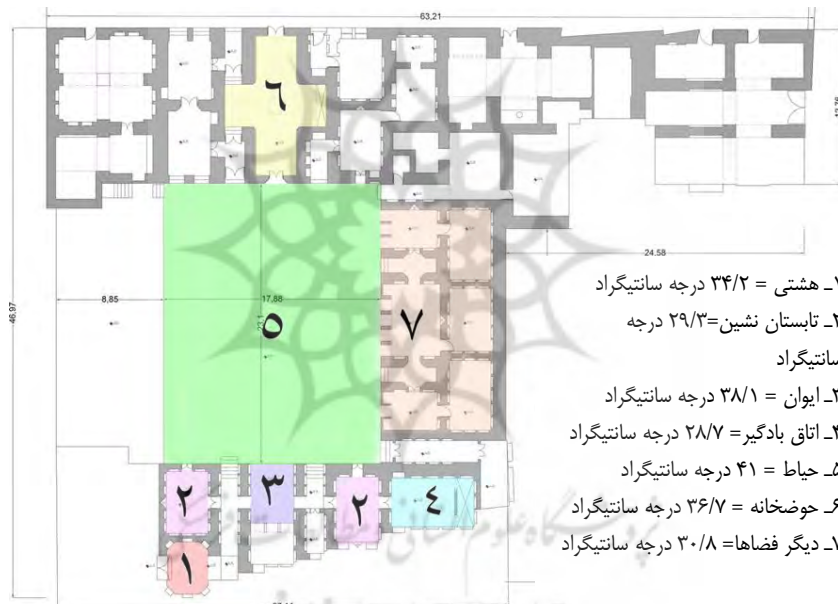
به منظور اندازه‌گیری داده‌ها دیتالاگر دما، رطوبت و جریان هوا از فضایی به فضای دیگر منتقل شده است. و زمان دقیق اندازه‌گیری در پرسشنامه‌ها ثبت شد. به این منظور، دیتالاگر در نزدیک‌ترین محل به پاسخ دهنده، در ارتفاع عمودی ۱۶۰ تا ۱۲۰ سانتیمتر از زمین، و در فاصله‌ی بیشتر از ۱ متر از هر دیوار قرار گرفت. به علاوه در فضای بیرون دیتالاگر در سایه، و در صورت عدم وجود سایه در محفظه حفاظت شده از نور خورشید به منظور جلوگیری از تابش مستقیم آفتاب قرار گرفت. همچنین اطلاعات آب‌وهوایی بیرون، در روز مورد نظر شامل دما، رطوبت، سرعت و جهت باد نیز از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محل بررسی دریافت شده است.

۵- نتایج و اطلاعات

داده‌های جمع‌آوری شده در ۲ بخش داده‌های حاصل از پرسشنامه و مشاهدات و داده‌های حاصل از اندازه‌گیری، ارائه و تحلیل شده است.

جدول ۴- فاکتورهای محیطی (دما، رطوبت و جریان هوا) در فصل تابستان (ماخذ: نگارندگان)

مجموع	خانه امروزی +سیستم مکانیکی	خانه ی سنتی فاقد سیستم مکانیکی	خانه ی سنتی +سیستم مکانیکی		
۲۶	۲۹/۳۶	۲۸/۷	۲۶	حداقل	دما (سانتیگراد)
۳۶/۷	۳۰/۳	۳۶/۷	۲۹/۵	حداکثر	
۳۰/۹۸	۲۹/۳۴	۳۱/۹	۲۸/۴۷	میانگین	
۱۵/۶	۳۷	۱۵/۶	۱۸/۲	حداقل	رطوبت نسبی %
۴۵/۲	۴۵/۲	۴۲	۳۴/۲	حداکثر	
۲۸/۳۲	۴۲/۳۱	۲۵/۵	۲۵/۵۱	میانگین	
۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱۴	حداقل	جریان هوا (متر بر ثانیه)
۱/۴۳	۰/۳۸	۱/۴۳	۰/۳۳	حداکثر	
۰/۶۵	۰/۲۲	۰/۷۸	۰/۲۲	مجدور میانگین	



- ۱- هشتی = ۳۴/۲ درجه سانتیگراد
- ۲- تابستان نشین = ۲۹/۳ درجه سانتیگراد
- ۳- ایوان = ۳۸/۱ درجه سانتیگراد
- ۴- اتاق بادگیر = ۲۸/۷ درجه سانتیگراد
- ۵- حیاط = ۴۱ درجه سانتیگراد
- ۶- حوضخانه = ۳۶/۷ درجه سانتیگراد
- ۷- دیگر فضاها = ۳۰/۸ درجه سانتیگراد

تصویر ۵- میانگین دمای اندازه گیری شده در نقاط مختلف خانه ی امینان (ماخذ: نگارندگان)

$0.5 \times 1/43 \text{ (m/s)}$ متعلق به خانه های سنتی فاقد سیستم سرمایش مکانیکی است.

میانگین رطوبت نسبی در فضای داخلی $28/93$ درصد است. کمترین مقدار رطوبت نسبی $15/6$ درصد مربوط به خانه های سنتی فاقد سیستم های مکانیکی سرمایش است و بیشترین مقدار رطوبت نسبی $45/2$ درصد مربوط به خانه های امروزی دارای سیستم مکانیکی سرمایش است. کمترین و بیشترین مقدار مجدور جریان هوا به ترتیب $0/1$ و

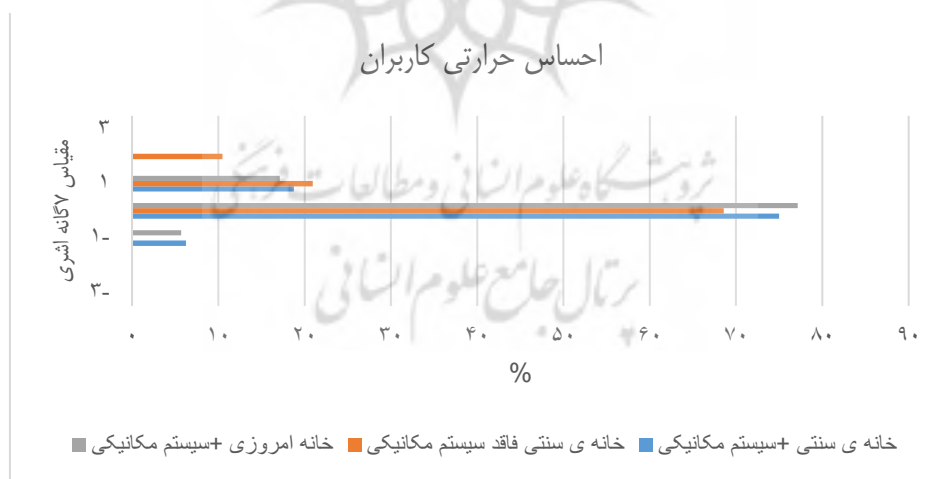
۵-۲ - تحلیل پرسشنامه
۵-۲-۱ - نتایج حاصل از ارزیابی احساس حرارتی و ترجیح حرارتی افراد
 توزیع احساس حرارتی و ترجیح حرارتی در جدول ۵ و تصویر ۷ و ۶ نشان داده شده است. قابل

مکانیکی این مقدار به ۷۵ درصد رسیده است. و در نهایت در خانه‌های امروزی با بهره‌گیری از سیستم‌های سرمایش مکانیکی به ۷۷ درصد رسیده است. در خانه‌های سنتی و امروزی دارای سیستم سرمایش مکانیکی در حدود ۶ درصد از کاربران در فصل تابستان، احساس سرما می‌کنند. یکی از دلایل آن را می‌توان تنظیم نادرست درجه‌ی هوای ترموستات سیستم مکانیکی سرمایش دانست. به علاوه میانگین احساس حرارتی براساس مقیاس اشری در خانه‌های دارای سیستم گرمایش و سرمایش مکانیکی در حدود ۰/۱۲ و در خانه‌های فاقد سیستم سرمایش مکانیکی ۰/۴۵ (کمی گرم) است.

توجه است که آرای بالغ بر ۹۳ درصد افراد در محدوده‌ی کمی گرم تا کمی سرد قرار گرفته است. و در حدود ۷۰ درصد از کاربران از شرایط راضی بوده و تمایلی به تغییر آن ندارند، این در حالی است که از مجموع افراد مورد پرسش قرار گرفته در خانه‌های سنتی و بدون استفاده از هیچ سیستم مکانیکی سرمایش در حدود ۶۸ درصد از پاسخ‌دهندگان در گرمای تابستان در شرایط خنثی قرار گرفته‌اند. و البته این نکته قابل اهمیت است که هنگام انجام پژوهش، پاسخ‌دهندگان در نقاط مختلف خانه قرار گرفته‌اند در حالی که در خانه‌های سنتی رفتار حرارتی بخش‌های مختلف خانه متفاوت است. در خانه‌های سنتی دارای سیستم سرمایش

جدول ۵- حداقل، حداکثر، میانگین احساس حرارتی کاربران (PMV=متوسط آرای پیش‌بینی شده (ماخذ: نگارندگان)

	مجموع	خانه امروزی + سیستم مکانیکی	خانه ی سنتی فاقد سیستم مکانیکی	خانه ی سنتی + سیستم مکانیکی
حداقل	-۱	-۱	۰	-۱
حداکثر	۲	+۱	۲	+۱
میانگین	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۳۶	۰/۱۲

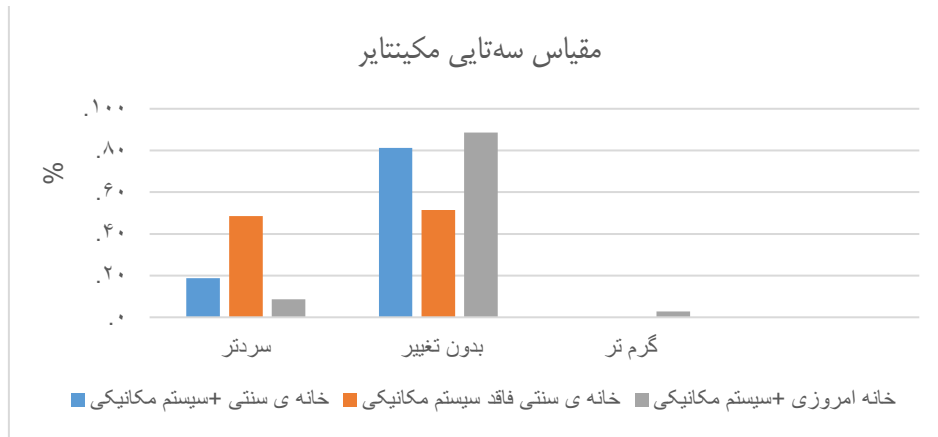


تصویر ۶- آمار فراوانی بیان احساس حرارتی ساکنان خانه‌های سنتی و امروزی (ماخذ: نگارندگان)

مربوط به خانه‌های سنتی فاقد سیستم سرمایش مکانیکی، ۸۱/۲۵ درصد مربوط به خانه‌های سنتی دارای سیستم سرمایش مکانیکی و ۸۸/۵۷ درصد

براساس مقیاس سه‌تایی مکینتایر^۳ از مجموع کل کاربران ۶۲/۸۲ درصد تمایلی به تغییر شرایط ندارند، در حالی که از این تعداد ۵۱/۴۳ درصد

مربوط به خانه‌های امروزی دارای سیستم سرمایش مکانیکی هستند. ۳۶/۵۳ درصد، خواهان سردتر شدن مکانیکی هستند. تنها ۰/۶۵ درصد تمایل به گرم‌تر شدن شرایط دارند.



تصویر ۷- آمار فراوانی ترجیح حرارتی ساکنان خانه‌های سنتی و امروزی (ماخذ: نگارندگان)

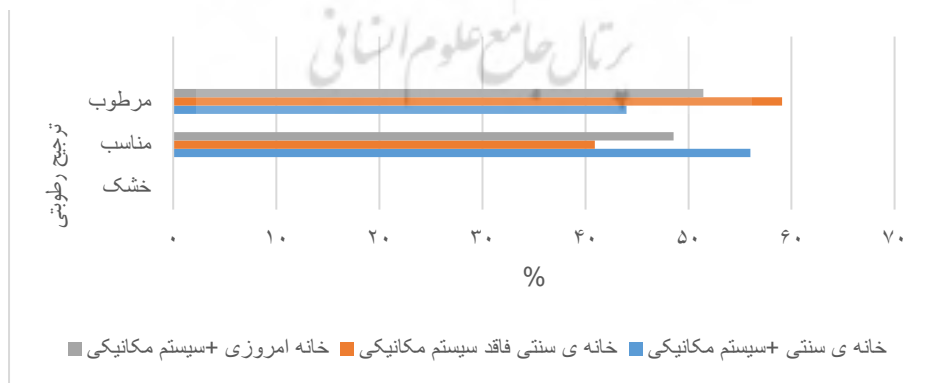
افزایش رطوبت دارند و در حدود ۴۴ درصد از کاربران از شرایط رطوبتی موجود راضی هستند و هیچ یک از کاربران تمایلی به خشک‌تر شدن هوا ندارند. با توجه به خشکی هوای منطقه‌ی مورد بررسی نتایج به دست آمده، قابل پیش بینی بوده است.

۲-۲-۵- نتایج حاصل از ارزیابی ترجیح

رطوبتی و جریان هوای کاربران

از مقیاس ۳ گانه جهت بررسی تمایل رطوبتی و جریان هوای افراد استفاده شده است، زیرا که امکان شناخت مقیاس بیش از ۳ شاخه توسط کاربران سخت می‌شود.

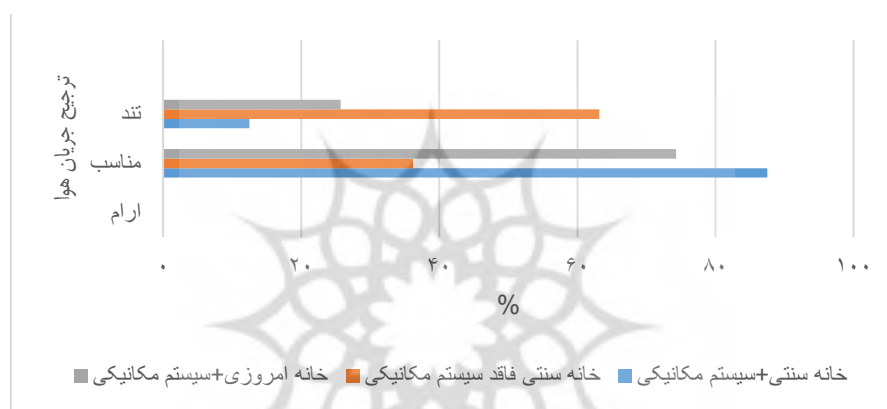
تمایل رطوبتی کاربران در تصویر ۸ نشان داده شده است، بیش از ۵۵ درصد کاربران تمایل به



تصویر ۸- آمار فراوانی تمایل رطوبتی ساکنان خانه های سنتی و امروزی (ماخذ: نگارندگان)

هوای یکی از فاکتورهای تاثیرگذار بر احساس آسایش در افراد است. پس، تمایل به افزایش جریان هوا در افراد وجود دارد. این در حالی است که در خانه‌های دارای سیستم سرمایش مکانیکی، سیستم مکانیکی سرمایش با کمک کاهش دما و افزایش رطوبت به تامین آسایش حرارتی افراد کمک می‌کند در نتیجه تمایل کاربران به افزایش جریان هوا کمتر است.

ترجیح کاربران نسبت به جریان هوا در تصویر ۹ نشان داده شده است. مشخص است که تمایل افراد به افزایش جریان هوا در خانه‌های سنتی فاقد سیستم سرمایش مکانیکی با مقدار ۶۳/۱۷ درصد، کاملاً با خانه‌های سنتی دارای سیستم سرمایش مکانیکی با مقدار ۱۲/۵ درصد و خانه‌های امروزی دارای سیستم سرمایش مکانیکی با مقدار ۲۵/۷۲ درصد در تضاد است. به عبارت دیگر می‌توان اینطور بیان کرد که در خانه‌های فاقد سیستم مکانیکی سرمایش، جریان



تصویر ۹ - آمار فراوانی ترجیح جریان هوای ساکنان خانه‌های سنتی و امروزی (ماخذ: نگارندگان)

خانه‌های سنتی با افزایش جریان هوا، رطوبت کاهش می‌یابد اما در خانه‌های امروزی با افزایش جریان هوا، رطوبت نیز افزایش می‌یابد. و در نهایت رابطه‌ی بین دما و جریان هوا، آنچه که مشخص است همبستگی ناچیزی بین دما و جریان هوا وجود دارد.

۳-۵- همبستگی بین متغیرهای محیطی

در جدول ۶ همبستگی بین متغیرهای محیطی شامل دما، رطوبت و جریان هوا نشان داده شده است، بر اساس جدول ۶ مشخص است که در تمام حالت‌ها با افزایش رطوبت، دما کاهش می‌یابد. همبستگی بین جریان هوا و رطوبت نشان می‌دهد در

جدول ۶- همبستگی پرسون بین متغیرهای محیطی (ماخذ: نگارندگان)

متغیرها	خانه‌ی سنتی +سیستم مکانیکی	خانه‌ی سنتی فاقد سیستم مکانیکی	خانه امروزی +سیستم مکانیکی	مجموع
دما: رطوبت	-۰/۰۱	-۰/۳۵	-۰/۲۹	-۰/۴۵
رطوبت: جریان هوا	-۰/۳۴	-۰/۲۹	۰/۱۳	-۰/۴
جریان هوا: دما	-۰/۱۷	۰/۰۳	-۰/۱۷	-۰/۰۹

رطوبت، افراد احساس رضایت بیشتری نسبت به محیط دارند و بین احساس حرارتی و جریان هوا نیز همبستگی گاهی مثبت در خانه های دارای سیستم سرمایش مکانیکی و گاهی منفی (خانه های فاقد سیستم سرمایش مکانیکی) وجود دارد، اما در کل مقدار آن بسیار ناچیز است.

جدول ۷ رابطه ی همبستگی را بین احساس حرارتی و متغیرهای محیطی نشان می دهد، همانگونه که در جدول ۷ آمده است بین دما و احساس حرارتی ارتباط مثبت و قوی وجود دارد. یعنی با بالا رفتن دما، کاربران احساس گرمای بیشتری می کنند، اما بین احساس حرارتی و رطوبت ارتباط منفی وجود دارد، به طوری که با بالا رفتن

جدول ۷- همبستگی بین متغیرهای محیطی و احساس حرارتی (ماخذ: نگارندگان)

مجموع	خانه امروزی سیستم مکانیکی	خانه ی سنتی فاقد سیستم مکانیکی	خانه ی سنتی سیستم مکانیکی	
۰/۶۳	۰/۲۴	۰/۶۹	۰/۵۴	احساس حرارتی: دما
-۰/۳	-۰/۳	-۰/۲۹	-۰/۴۷	احساس حرارتی: رطوبت
۰/۰۲	۰/۰۴	-۰/۰۶	۰/۰۲	احساس حرارتی: جریان هوا

مشخص است، شیب نمودار احساس حرارتی کاربران در ۳ گروه از $0/18^{\circ}\text{C}$ تا $0/24^{\circ}\text{C}$ متغیر است. نیکول (۱۹۹۳) شیب $0/25^{\circ}\text{C}$ را شایع ترین شیب منحنی رگرسیون ساده ی خطی در مطالعات میدانی بیان می کند و همفریز (۱۹۷۶) در یک بررسی میدانی در سطح جهانی شیب $0/22^{\circ}\text{C}$ را قابل قبول اعلام می نماید. پس شیب نمودار در مطالعات مورد بررسی در تطابق با مطالعات جهانی در شرایط قابل قبولی قرار گرفته است. بر طبق نظر همفریز شیب کم نمودار رگرسیون در مطالعات میدانی نشان از سازگاری افراد با محیط حرارتی آن ها دارد. جدول ۸ معادلات رگرسیون ساده ی خطی را در ۳ حالت ارائه می دهد، بر طبق جدول ۸ دمای خنثی در خانه های سنتی فاقد سیستم سرمایش مکانیکی $29/93$ درجه سانتیگراد، خانه های سنتی دارای سیستم سرمایش مکانیکی $27/97$ درجه سانتیگراد و در خانه های امروزی دارای سیستم سرمایش مکانیکی $28/82$ درجه سانتیگراد است.

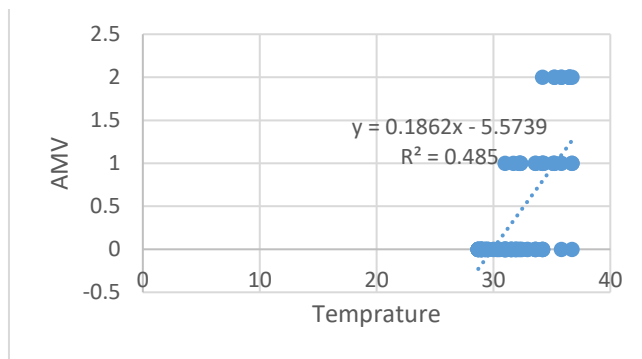
۶- تجزیه و تحلیل داده ها

۶-۱- دمای خنثی و محدوده ی آسایش حرارتی

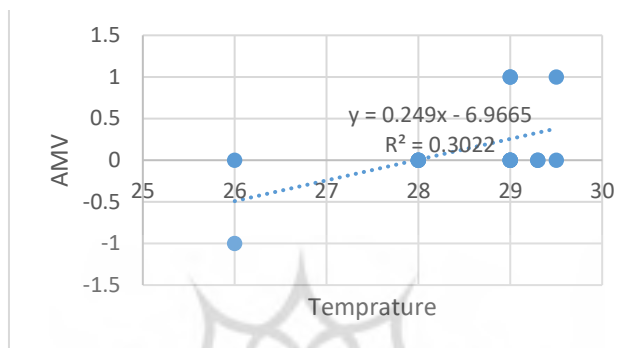
۶-۱-۱- مدل رگرسیون

تحلیل رگرسیون یکی از روش های شناخته شده برای پیش بینی آسایش حرارتی به کمک دما یا ترکیبی از متغیرهای محیطی است (حیدری، ۱۳۹۳: ۹۶-۹۴)، در این پژوهش از رگرسیون ساده ی خطی برای محاسبه ی دمای خنثی و شرایط قابل قبول استفاده شده است. دمای خنثی، دمایی است که در آن افراد احساس حرارتی خنثی (نه احساس گرما و نه سرما) نسبت به محیط دارند.

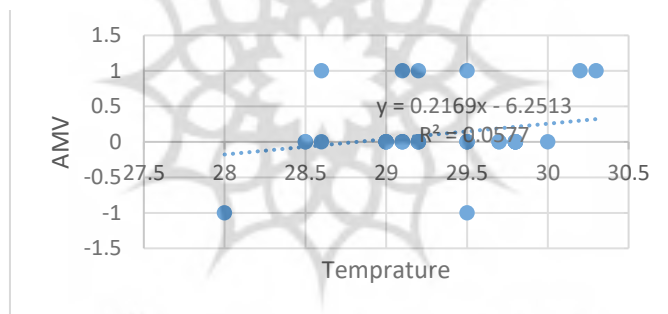
تصویر ۱۱ رابطه ی بین دما و احساس حرارتی کاربران و منحنی رگرسیون ساده ی خطی را در خانه های سنتی دارای سیستم سرمایش مکانیکی، خانه های سنتی فاقد سیستم سرمایش مکانیکی و خانه های امروزی دارای سیستم سرمایش مکانیکی نشان می دهد. همانطور که بر طبق تصویر ۱۰



(a)



(b)



(c)

تصویر ۱۰- رابطه ی دما و احساس حرارتی (a) خانه های سنتی فاقد سیستم گرمایش و سرمایش مکانیکی (b) خانه های سنتی دارای سیستم گرمایش و سرمایش مکانیکی (c) خانه های امروزی دارای سیستم گرمایش و سرمایش مکانیکی (ماخذ: نگارندگان)

جدول ۸- مقایسه ی داده های بدست آمده از معادله ی رگرسیون خطی ساده (ماخذ: نگارندگان)

گروه	معادله	شیب	دمای خنثی (°C)	R ²
خانه ی سنتی فاقد سیستم مکانیکی	$S = 0.18x - 5.57$	۰/۱۸	۲۹/۹۳	۰/۴۸
خانه ی سنتی + سیستم مکانیکی	$S = 0.24x - 6.96$	۰/۲۴	۲۷/۹۷	۰/۳
خانه ی امروزی + سیستم مکانیکی	$S = 0.21x - 6.25$	۰/۲۱	۲۸/۸۲	۰/۰۵
مجموع	$S = 0.15x - 4.58$	۰/۱۵	۳۰/۵	۰/۳۹

مقیاس هفت گانه‌ی اشری به عنوان روشی پذیرفته شده برای پیش‌بینی مرزهای آسایش حرارتی شناخته می‌شود. براساس مقیاس هفت گانه‌ی اشری هنگامی که محدوده‌ی "متوسط آرای پیش‌بینی شده" PMV بین (+۱ تا -۱) قرار گیرد. نشان‌دهنده حالتی است که در آن ۷۵ درصد کاربران از شرایط حرارتی محیط خود احساس رضایت دارند. در جدول ۹، دمای خنثی و مرزهای شرایط حرارتی قابل قبول در ۳ حالت مختلف نشان داده شده است.

جدول ۹- بازه ی دمایی قابل قبول براساس معادله ی رگرسیون خطی ساده (ماخذ: نگارندگان)

بازه ی دما	معادله	گروه
۲۵/۳ < دما < ۳۶/۵	$-1 < 0.18X - 5.57 < +1$	خانه ی سنتی فاقد سیستم مکانیکی
۱۹/۸۳ < دما < ۴۲	$-2 < 0.18X - 5.57 < +2$	
۱۴/۲۷ < دما < ۴۷/۶	$-3 < 0.18X - 5.57 < +3$	
۲۴/۸ < دما < ۳۳/۱	$-1 < 0.24X - 6.96 < +1$	خانه ی سنتی + سیستم مکانیکی
۱۹/۵ < دما < ۳۷/۳	$-2 < 0.24X - 6.96 < +2$	
۱۵/۴۷ < دما < ۴۱/۵	$-3 < 0.24X - 6.96 < +3$	
۲۵ < دما < ۳۴/۵	$-1 < 0.21X - 6.25 < +1$	خانه ی امروزی + سیستم مکانیکی
۲۰/۲ < دما < ۳۹/۲	$-2 < 0.21X - 6.25 < +2$	
۱۵/۴۷ < دما < ۴۴/۰۴	$-3 < 0.21X - 6.25 < +3$	
۲۳/۸ < دما < ۳۷/۲	$-1 < 0.15X - 4.58 < +1$	مجموع
۱۷/۲ < دما < ۴۳/۸	$-2 < 0.15X - 4.58 < +2$	
۱۰/۵ < دما < ۵۰/۵	$-3 < 0.15X - 4.58 < +3$	

درجه سانتیگراد به (احساس حرارتی=۰) رای داده‌اند. در مجموع اینطور می‌توان نتیجه گرفت که افراد در خانه‌های فاقد سیستم سرمایش مکانیکی در دمای بالاتری نسبت به افراد ساکن در خانه های دارای سیستم سرمایش مکانیکی احساس آسایش می‌کنند. که یکی از دلایل آن را می‌توان خو گرفتن افراد به محیط دانست.

۶-۲- رابطه‌ی دمای خنثی و دمای داخل

یکی از موارد نظریه سازگاری ارتباط معنادار دمای خنثی با شرایط دمای داخلی است، این نکته ارزنده نشان‌دهنده تطابق افراد با شرایط داخلی است

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در مجموع بازه دمایی بین ۲۳/۸ تا ۳۷/۲ درجه سانتیگراد براساس مقیاس هفت گانه اشری در حدود ۷۵ درصد از پاسخ دهندگان از شرایط خود راضی هستند. از میان این افراد، کاربران خانه‌های سنتی فاقد سیستم سرمایش مکانیکی در بازه‌ی دمایی بین ۲۵/۳ تا ۳۶/۵ درجه سانتیگراد و کاربران خانه‌های سنتی دارای سیستم سرمایش مکانیکی در بازه‌ی دمایی بین ۲۴/۸ تا ۳۳/۱ درجه سانتیگراد و کاربران خانه‌های امروزی دارای سیستم سرمایش مکانیکی در بازه‌ی دمایی بین ۲۵ تا ۳۴/۵ درجه سانتیگراد قرار دارند. همچنین پاسخ‌دهندگان در بازه دمای از حدود ۲۶ تا ۳۷

براساس مطالعات همفریز معادله رگرسیون خطی زیر را متناسب با شرایط ایران ارائه داد:

$$T_n = 0.748T_i + 5/83$$

با این حال، دمای خنثی محاسبه شده از این معادلات در پژوهش مورد بررسی در جدول ۱۰ نشان داده شده است. در ستون انتهایی دمای خنثی به دست آمده از تحلیل رگرسیون ساده در پژوهش حاضر را به نمایش می‌گذارد.

(حیدری، ۱۳۹۳: ۱۰۶). همفریز (۵-۲۷، ۱۹۷۶) در رابطه‌ی بین دمای خنثی و میانگین دمای داخلی معادله ساده رگرسیون زیر را پیشنهاد داده است:

$$T_n = 0.831T_i + 2/6$$

در این رابطه T_n دمای خنثی و T_i دمای داخلی است. در واقع همفریز نشان داد که دمای خنثی را می‌توان به سادگی به کمک میانگین دمای داخلی احساس شده توسط کاربران در طی فرآیند مطالعات میدانی پیش‌بینی کرد. در ادامه حیدری (۱۳۹۳)

جدول ۱۰- مقایسه‌ی دمای خنثی براساس معادلات مختلف (ماخذ: نگارندگان)

Simple reg.	Heidari eq.	Humphrey eq.	گروه
۲۷/۹۳	۲۷/۱	۲۶/۲	خانه‌ی سنتی + سیستم مکانیکی
۲۹/۹۳	۲۹/۶	۲۹/۱	خانه‌ی سنتی فاقد سیستم مکانیکی
۲۸/۸۲	۲۷/۷۷	۲۷/۶	خانه‌ی امروزی + سیستم مکانیکی

(۱۹۷۸) معادله‌ی رگرسیون زیر را برای خانه‌های فاقد سیستم تهویه مطبوع ارائه داد:

$$T_n = 11/9 + 0.534T_o$$

$$T_o = \text{دمای خارجی به درجه سانتیگراد}$$

$$T_n = \text{دمای راحتی به درجه سانتیگراد}$$

و معادله‌ی دیگری برای ساختمان‌های بدون سیستم تهویه مطبوع ارائه داد:

$$T_n = 23/9 + 0.295(T_o - 22) \exp\{-[(T_o - 22)/(247^{1/2})]^2\}$$

ریچارد دی‌یر^۵ و اولی سیمز^۶ (۱۹۸۶) نیز معادله‌ی مشابه‌ای اما با اختلافی ناشی از اطلاعات آب و هوایی گرم‌تر نسبت به معادله‌ی همفریز ارائه دادند:

$$T_n = 17/6 + 0.31T_o$$

حیدری (۱۳۹۳: ۱۰۸) براساس مطالعات انجام گرفته در ایران برای اقلیم گرم و خشک معادله‌ی زیر را به دست آورد:

$$T_n = 17/6 + 0.36T_o$$

مقایسه‌ی بین دمای خنثی از تحلیل ساده رگرسیون با مدل همفریز و حیدری نشان داد که تفاوت کوچکی بین آن‌ها وجود دارد. دلیل اختلاف با معادلات ذکر شده آن است که معادلات برای شهرهای مختلف در فصول گرم و سرد است. در حالی که در پژوهش حاضر، محدود به یک شهر در فصل گرم می‌باشد. اگرچه که این ۲ مدل به درستی می‌توانند به عنوان ابزار پیش‌بینی دمای خنثی برای مردم کرمان مورد استفاده قرار گیرند. با این حال، طبیعت این معادلات به دلیل نیاز به دانستن میانگین دمای داخلی کاربرد آن را مشکل می‌کند.

۳-۶ - رابطه‌ی دما خنثی و دمای خارج

همفریز در سال ۱۹۷۸ در پژوهشی به بیان رابطه بین دمای راحتی و دمای خارج پرداخت، او ساختمان‌ها را در ۲ گروه مورد مطالعه قرار داد، بناهای با سامانه‌های تهویه مطبوع و بناهایی که هیچ گونه سامانه خاصی در آن‌ها وجود ندارد. همفریز

محیط، سطح فعالیت و نوع لباس افراد به نرم افزار داده شده است. تمام فاکتورهای دمایی، جسمی، لباس و فعالیت، اندازه گیری شده یا به طور مستقیم توسط مشاهدات، ضبط و محاسبه شده است. بعد از آن به کمک مقادیر متوسط آرای پیش بینی شده (PMV) به دست آمده از نرم افزار محاسبه ی آسایش حرارتی، منحنی رگرسیون خطی ساده ی ترسیم شده است. در تصویر ۱۱ منحنی رگرسیون خطی متوسط آرای پیش بینی شده (PMV) و متوسط آرای واقعی (AMV) مقایسه شده است، شیب رگرسیون متوسط آرای پیش بینی شده (PMV) برابر $C / 0.23$ است. و بسیار بالاتر از شیب رگرسیون متوسط آرای واقعی (AMV) برابر $C / 0.15$ است. همچنین دمای خنثی براساس معادله ی رگرسیون متوسط آرای پیش بینی شده (PMV) برابر با $24/2$ درجه سانتیگراد است که با دمای خنثی براساس معادله ی رگرسیون متوسط آرای واقعی (AMV) برابر با $30/5$ درجه سانتیگراد در حدود ۶ درجه سانتیگراد اختلاف دارد.

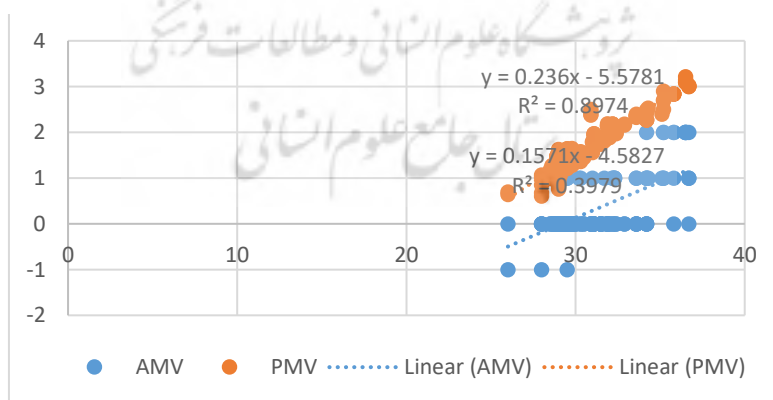
و مطالعات انجام گرفته در این پژوهش با توجه به میانگین دمای خارجی و دمای خنثی به دست آمده از داده های اندازه گیری شده، معادله ی زیر را برای کرمان و اقلیم های مشابه پیشنهاد می کند:

$$T_n = 17/8 + 0.36T_o$$

همان گونه که پیداست شیب معادله ی خط این پژوهش با مطالعات انجام گرفته در اقلیم گرم و خشک ایران کاملاً برابر است و عرض از مبدا آن اندکی متفاوت است. یکی از دلایل آن را می توان ناشی از تفاوت های اندک اقلیمی در شهرهایی مختلف اقلیم گرم و خشک ایران که مطالعات در آن انجام گرفته است، دانست.

۶-۴- مقایسه ی متوسط آرای پیش بینی شده و متوسط آرای واقعی

به منظور مقایسه ی بین متوسط آرای پیش بینی شده (PMV) و متوسط آرای واقعی (AMV)، ابتدا مقادیر PMV براساس اطلاعات به دست آمده از نظرسنجی ها و با کمک ابزار پیش بینی قابل اطمینان CBE (Hoyet Tyler, 2017) تعیین شد. از این رو در مرحله اول، دمای هوا داخلی و سپس دمای تابشی



تصویر ۱۱- پراکندگی میانگین آرا پیش بینی شده و میانگین آرا واقعی با درجه حرارت هوا (ماخذ: نگارندگان)

میزان رضایت پیش بینی شده بسیار کمتر از رضایت واقعی کاربران بوده است. این تفاوت ناشی از

مقایسه بین متوسط آرای پیش بینی شده و متوسط آرای واقعی تایید کننده این گفتار است که

توانایی تطبیق‌پذیری نسبی کاربران با شرایط حرارتی ساختمان است، که با توجه به ساختار فیزیولوژیکی و اقلیم منطقه نسبتاً زیاد است.

۷- بحث در نتایج و یافته‌ها

۷-۱- مقایسه‌ی احساس حرارتی در

خانه‌های سنتی با خانه‌های امروزی

میانگین دمای هوا داخل ساختمان در مسکن معاصر ۲۹/۳۴ درجه سانتیگراد است در حالی که در خانه‌های سنتی میانگین دمای هوا به ۳۱/۹ درجه سانتیگراد می‌رسد. بازه‌ی دمایی در مسکن معاصر در محدوده‌ی ۲۵ تا ۳۴/۵ درجه سانتیگراد و در مسکن سنتی در محدوده‌ی ۲۵/۳ تا ۳۶/۵ درجه سانتیگراد واقع گردیده‌است. از سوی دیگر براساس مقیاس هفت‌گانه اشرفی افراد با احساس حرارتی در بازه‌ی (- تا +۱) در مسکن سنتی در محدوده‌ی دمایی بین ۲۶ تا ۳۶/۷ درجه سانتیگراد و در مسکن معاصر در محدوده‌ی دمایی بین ۲۸ تا ۳۰/۳ درجه سانتیگراد قرار دارند، که تفاوتی در حدود ۶/۴ درجه سانتیگراد دارد. با توجه به منحنی رگرسیون خطی، دمای خنثی در مسکن سنتی برابر ۳۰/۹ درجه سانتیگراد و در مسکن معاصر برابر ۲۹/۷ درجه سانتیگراد است، همچنین شیب خط رگرسیون در مسکن سنتی برابر $0.18/^\circ\text{C}$ و کمتر از مسکن امروزی برابر $0.21/^\circ\text{C}$ است. به این معنا که دامنه‌ی شرایط حرارتی قابل قبول در مسکن سنتی گسترده‌تر از مسکن معاصر است. براین اساس سازگاری رفتاری کاربران در مسکن سنتی وسیع‌تر از مسکن معاصر است. با این حال به نظر می‌رسد دلیل این سازگاری، امکان حرکت در فضا است که مسکن سنتی در اختیار کاربران خود می‌گذارد، زیرا که دمای خنثی در ۲ نوع مسکن تفاوت چندانی ندارد، به دلیل اینکه افراد از یک

فرهنگ مشترک، سبک زندگی مشابه و محیط مشابه آمده‌اند. زیرا که دمای خنثی در آب‌وهوای یکسان تغییر زیادی نخواهد کرد، بنابراین تفاوت‌ها ناشی از رفتارهای انطباقی افراد با محیط است که مسکن سنتی امکان این رفتارها را به کاربر می‌دهد.

۷-۲- مقایسه‌ی احساس حرارتی در

خانه‌های دارای سیستم گرمایش و

سرمایش مکانیکی با خانه‌های فاقد سیستم

گرمایش و سرمایش مکانیکی

میانگین دمای هوا در خانه‌های سنتی دارای سیستم سرمایش مکانیکی برابر با ۲۸/۴۷ درجه سانتیگراد و در خانه‌ی سنتی فاقد سیستم سرمایش مکانیکی برابر با ۳۱/۹ درجه سانتیگراد است. این در حالی است که دمای خنثی در خانه‌های سنتی دارای سیستم سرمایش مکانیکی برابر با ۲۹/۱۲ درجه سانتیگراد و در خانه‌های سنتی فاقد سیستم سرمایش مکانیکی برابر با ۳۰/۹ درجه سانتیگراد است. همچنین نمودار رگرسیون ساده خطی در خانه‌های سنتی دارای سیستم سرمایش مکانیکی و در خانه سنتی فاقد سیستم سرمایش مکانیکی به ترتیب برابر $S = 0.24x - 6.96$ و $S = 0.18x - 5.57$ است. اختلاف در شیب نمودار ساده خطی رگرسیون نشان از تفاوت در میزان تطابق افراد با محیط دارد. از اینرو بر طبق نمودار آنچه که مشخص است ساکنان خانه‌های فاقد سیستم گرمایش و سرمایش مکانیکی نسبت به خانه‌های دارای سیستم گرمایش و سرمایش مکانیکی به دلیل شیب کمتر نمودار سازگاری بیشتری با محیط دارند. همچنین در ساختمان‌های فاقد سیستم گرمایش و سرمایش مکانیکی با وجود تفاوت بیش از ۳ درجه سانتیگراد در میانگین دمای هوا نسبت به ساختمان‌های دارای سیستم گرمایش و سرمایش

خانه‌های امروزی دارای سیستم سرمایش مکانیکی بین ۲۵/۳ تا ۳۶/۵ درجه سانتیگراد واقع گردیده است. در مجموع واضح است که درجه حرارت خنثی در خانه‌های سنتی فاقد سیستم سرمایش مکانیکی بالاتر از خانه امروزی دارای سیستم سرمایش مکانیکی و خانه سنتی دارای سیستم سرمایش مکانیکی است. که نشان از تایید تئوری تطبیق دارد.

جریان هوا یکی از فاکتورهای تاثیرگذار بر احساس حرارتی کاربران به خصوص در خانه‌های فاقد سیستم سرمایش مکانیکی است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش جریان هوا، بازه دمای آسایش حرارتی کاربران افزایش می‌یابد، همچنین افزایش رطوبت، تاثیر مثبت بر احساس حرارتی افراد نسبت به محیط دارد. با این وجود براساس یافته‌ها مشخص است که در خانه‌های سنتی فاقد سیستم سرمایش مکانیکی، بیشتر از راهکار افزایش جریان هوا و در خانه‌های دارای سیستم سرمایش مکانیکی به دلیل بهره‌گیری از کولر آبی جهت سرمایش، افزایش رطوبت محیط به بهبود شرایط آسایش کمک کرده است.

همچنین نتایج مطالعات نشان می‌دهد، کاربران خانه‌های سنتی، بدون نیاز به سیستم سرمایش مکانیکی، به سازگاری خوبی با محیط حرارتی اطراف خود رسیده‌اند. به علاوه شرکت کنندگان در پژوهش، در دمایی بالاتر نسبت به آنچه در استانداردهای نظیر ایزو ۷۷۳۰ پیش‌بینی شده است، احساس آسایش می‌کنند، همچنین از یافته‌های پژوهش، معرفی بازه‌ی دمایی قابل قبول برای کاربران خانه‌های مسکونی در کرمان است، و در نهایت ارائه رابطه‌ی بین دما خنثی و دمای داخلی به علاوه دمای خنثی و میانگین دمای خارجی است.

مکانیکی، و بدون مصرف هرگونه انرژی در حدود ۹۰ درصد از کاربران احساس حرارتی بین ۱- تا ۱+ دارند و تنها در حدود ۱۰ درصد از کاربران احساس گرما می‌کنند. بنابراین یکی از دلایل آن را می‌توان سازگاری کاربران نسبت به محیط دانست.

۸- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر نتایج مطالعات میدانی آسایش حرارتی در خانه‌های (سنتی فاقد سیستم سرمایش مکانیکی، سنتی دارای سیستم سرمایش مکانیکی و امروزی دارای سیستم سرمایش مکانیکی) در کرمان در تابستان ۱۳۹۶ بیان شده و براساس آن یافته‌های زیر نتیجه‌گیری شده است:

از مجموع کاربران تحت بررسی، ۷۱/۳ درصد احساس حرارتی خنثی دارند که از این تعداد ۶۸ درصد در خانه‌های سنتی فاقد سیستم سرمایش مکانیکی، ۷۵ درصد در خانه‌های سنتی دارای سیستم سرمایش مکانیکی و ۷۷ درصد در خانه‌های امروزی دارای سیستم سرمایش مکانیکی سکونت دارند. و در حدود ۹۳ درصد از کاربران احساس حرارتی در بازه (کمی گرم تا کمی سرد) براساس مقیاس هفت گانه‌ی اشری دارند. در حالی که درجه حرارت خنثی در خانه‌های سنتی فاقد سیستم سرمایش مکانیکی، خانه‌های سنتی دارای سیستم سرمایش مکانیکی و خانه‌های امروزی دارای سیستم سرمایش مکانیکی به ترتیب برابر ۳۰/۹، ۲۹/۲ و ۲۹/۷ درجه سانتیگراد است و بازه دمایی قابل قبول در خانه‌های سنتی فاقد سیستم سرمایش مکانیکی در محدوده‌ی بین ۲۵/۳ تا ۳۶/۵ درجه سانتیگراد، خانه‌های سنتی دارای سیستم سرمایش مکانیکی بین ۲۴/۸ تا ۳۳/۱ درجه سانتیگراد و

پی‌نوشت‌ها

- 1- Ogbonna
- 2- Harris
- 3- Ealiwa
- 4- Mui
- 5- Chan
- 6- Van Hoof
- 7- Kwok
- 8- Rajkovich
- 9- Cena
- 10- De Dear

منابع

- برزگر، زهرا و شاهین حیدری. (۱۳۹۲). بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی. هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی ۱۸، ۱-۴۵.
- حیدری، شاهین، غفاری جباری، شهلا. (۱۳۸۹). منطقه راحتی در اقلیم سرد و خشک ایران، هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی. ۴۴.
- حیدری، شاهین. (۱۳۹۲). تعیین الگوی بهینه حیاط مرکزی در مسکن سنتی دزفول. باغ نظر ۵، ۲۷-۳۹.
- حیدری، شاهین. (۱۳۹۳). سازگاری حرارتی در معماری. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- گزارشات سازمان هواشناسی کرمان (۱۳۹۶)
- Aljawabra, F. (2014). Thermal comfort in outdoor urban spaces: The hot arid climate', Ph.D., University of Bath.
- ASHRAE Handbook. (2017). Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers, Atlanta
- Auliciems, R. de Dear (1986). Air-conditioning in Australia I—human thermal factors, Architectural Science Review 29 (3), 67-75.
- CENA, K. and DE DEAR, R. (2001), Thermal comfort and behavioural strategies in office buildings located in a hot-arid climate, Journal of Thermal Biology, 26, 409-414.
- Deuble, M.P. de Dear, R.J. (2012), Mixed-mode buildings: a double standard in occupants' comfort expectations, Build. Environ. 54, 53-60.
- de Dear, R. & Schiller Brager, G. (2001), The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment, Int J Biometeorol. Volume 45, Issue 2, pp 100-108
- De Dear, R.J.; Leow, K.G.; Foo, S.C. (1991), Thermal comfort in the humid tropics: Field experiments in air-conditioned and naturally ventilated buildings in Singapore. Int. J. Biometeorol. 34, 259-265.
- Djamila, H.; Chu, C.M.; Kumaresan, S. 2013, Field study of thermal comfort in residential buildings in the equatorial hot-humid climate of Malaysia. Build. Environ. 62, 133-142.
- Ealiwa, M.; Taki, A.; Howarth, A.; Seden, M. (2001), An investigation into thermal comfort in the summer season of Ghadames, Libya. Build. Environ. 36, 231-237.
- Feriadi, H.; Wong, N.H. (2004), Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia. Energy Build. 36, 614-626.
- Heidari, S.; Sharples, S. (2002), A comparative analysis of short-term and long-term thermal comfort surveys in Iran. Energy and Buildings, 34, 607-614.
- Humphreys, M. A. (1976) Field studies of thermal comfort: compared and applied, Building Services Engineer, 44, 5-22.
- Humphreys, M. A. (1978), Outdoor temperatures and comfort indoors" Building Research and Practice. 6 no. 2, 92-107.
- Humphreys, M. A. and Nicol, J. F., (1995), Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings, Oxford Centre for Sustainable Development, School of Architecture, Oxford Brookes University
- Humphreys, M.A. and Nicol, J.F. (2000) Outdoor temperature and indoor thermal comfort: raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database of field studies ASHRAE Transactions 206(2) pp 485-492
- Han, J.; Zhang, G.; Zhang, Q.; Zhang, J.; Liu, J.; Tian, L.; Zheng, C.; Hao, J.; Lin, J.; Liu, Y.; et al. (2007), Field study on occupants' thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China. Build. Environ. 42, 4043-4050.
- Hensen, J. L. M. (1990) Literature review on thermal comfort in transient conditions, Building and Environment. 25 no. 4, pp, 309 - 316.
- Indraganti, M. (2010). Using the adaptive model of thermal comfort for obtaining the indoor neutral temperature: Findings from a field study in Hyderabad. Build. Environ. 45, 519-536.
- J. van Hoof, M. Mazej, J.L.M. Hensen, (2010) Thermal comfort: research and practice, Front. Biosci. 15 (2), 765-788.

- Kwok, A. Rajkovich, N. B. (2010). Addressing climate change in comfort standards. *Building and Environment* V.45, pp. 18-22
- Mustapa, M. S., Zaki, S. A., Rijal, H. B., Hagishima, A., & Ali, M. S. M. (2016). Thermal comfort and occupant adaptive behaviour in Japanese university buildings with free running and cooling mode offices during summer. *Building and Environment*, 105, 332-342.
- McIntyre, D. A. and R. R. Gonzalez, (1976), Man's thermal sensitivity during temperature changes at two levels of clothing insulation and activity, *ASHRAE Transactions*. 82 pt. 2, pp. 219-233.
- Mui KWH and Chan WTD. (2003), Adaptive comfort temperature model of air-conditioned building in Hong Kong. *Build Environment*; 38(6): 837-852.
- Nakaya, T.; Matsubara, N.; Kurazumi, Y. (2005), A field study of thermal environment and thermal comfort in Kansai region, Japan: Neutral temperature and acceptable range in summer. *J. Environ. Eng. AIJ*, 597, 51-56.
- Nicol, J. F. (2003), Thermal comfort state of the art and future directions. In: Santamouris, M., (Ed.) *Solar Thermal Technologies*, James and James Science Publisher, London, UK.
- Nicol, F.; Roaf, S. (1996). Pioneering new indoor temperature standards: The Pakistan project. *Energy Build.*, 23, 169-174.
- Nicol, F.; Jamy, G.N.; Sykes, O.; Humphreys, M.; Roaf, S.; (1994), Hancock, M. A Survey of Thermal Comfort in Pakistan toward New Indoor Temperature Standards; Oxford Brookes University: Oxford, UK,.
- Nicol, J. F. (1993) *Thermal Comfort- A Handbook for Field Studies toward An Adaptive Model*. School of Architecture, University of East London. London.
- Nicol, F.; Humphreys, M.; Roaf, S.; (2012), Hancock, M. *Adaptive Thermal Comfort (Principle and Practice)*; Routledge: New York, USA.
- Ogbonna, A. C., & Harris, D. J. (2008). Thermal comfort in sub-Saharan Africa: Field study report in Jos-Nigeria. *Applied Energy*, 85(1), 1-11.
- Rijal, H.B.; Honjo, M.; Kobayashi, R.; Nakaya, T. (2013), Investigation of comfort temperature, adaptive model and the window opening behaviour in Japanese houses. *Archit. Sci. Rev.* 56, 54-69.
- Rijal, H.B.; Yoshida, H.; Umemiya, N. (2010). Seasonal and regional differences in neutral temperatures in Nepalese traditional vernacular houses. *Build. Environ.*, 45, 2743-2753.
- Rijal, H.B.; Stevenson, F. (2010). Thermal Comfort in UK Housing to Avoid Overheating: Lessons from a "Zero Carbon" Case Study. In *Proceedings of the Conference Adapting to Change: New Thinking on Comfort*, Windsor, UK, 9-11 .
- van Hoof J and Hensen JLM. (2007), Quantifying the relevance of adaptive thermal comfort models in moderate thermal climate zones. *Build Environ*; 42(1): 156-170.
- Yang, L. Yan, H. Lam, J.C. (2014). Thermal comfort and building energy consumption implications—a review, *Appl. Energy* 115, 164-173 .
- Zhao, R. Sun, S. Ding, R. (2004), Conditioning strategies of indoor thermal environment in warm climates, *Energy and Building*. 36 (12), 1282-1288