تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۶ | تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۱/۲۶
نوع مقاله: پژوهشی
شماره صفحه ۲۷-۵۲

تاثیر تناسبات کالبدی بر عملکرد حرارتی ایوان‌ها در بافت تاریخی شیراز مبتنی بر بهبود شاخص آسایش حرارتی*

جمشید کریم‌زاده
دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، بوشهر، ایران
E-mail : jamboy_27884@yahoo.com

جمال‌الدین مهدی‌نژاد درزی
استاد گروه معماری، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
(نویسنده مسئول مکاتبات)
استاد مدعوگروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، بوشهر، ایران
E-mail : mahdinejad@sru.ac.ir

باقر کریمی
استادیار گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، بوشهر، ایران
E-mail : b.karimi@iaubushehr.ac.ir

چکیده

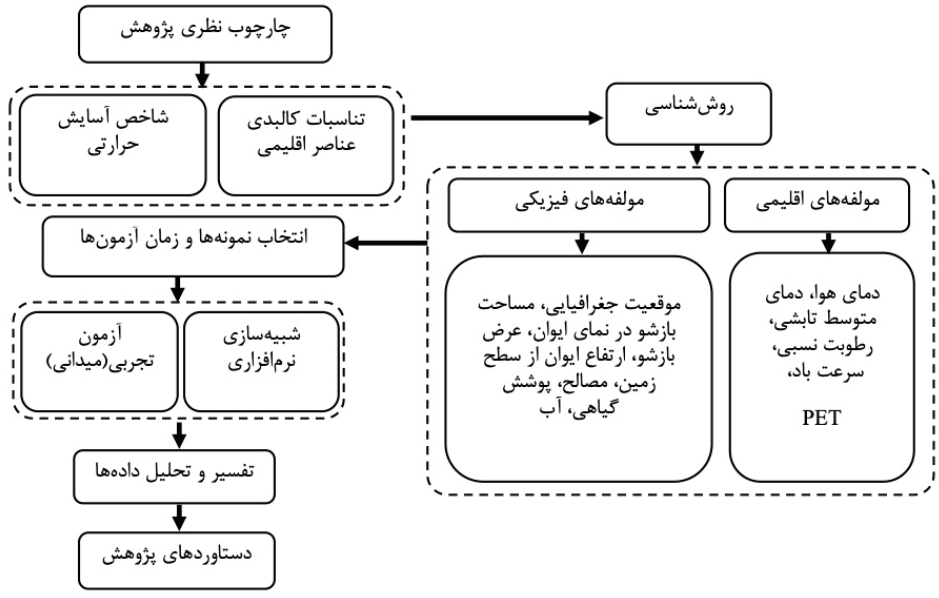
تغییرات اقلیمی یکی از شاخص‌ترین واکنش‌های محیطی است که با افزایش جمعیت و رشد شهرنشینی بر محیط زیست پیرامونی خود تاثیر گذاشته‌است. لذا آسایش حرارتی در چنین محیط انسان‌سازی تحت تاثیر شرایط اقلیمی پیرامونی خودقرار گرفته‌است. بازجست راهبردهای بوم‌گرایانه از مهمترین اهداف این تحقیق در کاهش دمای محیطی بوده‌است. تناسبات عناصر اقلیمی در بدنه نما همچون ایوان‌ها، تاثیرات بارزی بر کاهش دما بر محیط اطرافشان داشته‌اند. در این راستا ۴ ایوان با ۴ جهت جغرافیایی در ۳ خانه بافت تاریخی شیراز انتخاب شدند. این پژوهش با رویکردی کمی از روش میدانی جهت برداشت داده‌های آب و هوایی، مولفه‌های فیزیکی و شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار بهره برده‌است. نتایج مستخرج از آزمایش‌های تجربی که توسط دستگاه‌هایی هم‌چون ترموهیگرومتر و ترموپیرومتر بر روی نقاط مدنظر انجام شده، توسط نرم‌افزار Envi-met صحت‌سنجی شده‌است. در انتها با نرم‌افزار Bio-met شاخص آسایش حرارتیPET تعیین شد. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که با توجه به تفاوت میانگین شاخصPET ایوان و حیاط خانه‌ها، تعدیل‌گر ایوان بر این شاخص تاثیر بیشتری نسبت به حیاط داشته‌است، لذا متغیرهایی نظیر عرض ایوان، مساحت گشایش فضایی در نما و ارتفاع از سطح حیاط با توجه به جهت جغرافیایی حائز اهمیت بوده‌اند. با افزایش عرض بازشوها و افزایش ارتفاع از سطح حیاط و به دنبال آن دوری جستن از بازتاب‌های دمایی، در ایوان‌ها شرایط دمایی بهینه‌تری تجربه شده‌است.

کلیدواژه‌ها: عملکرد حرارتی، آسایش حرارتی، شاخصPET، معماری بوم‌گرا، ایوان

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری جمشید کریم‌زاده با عنوان «اصول کنترل دما در شکل‌گیری جزایر گرمایی مبتنی بر بازجست راهبردهای معماری بوم‌گرا» است که با راهنمایی دکتر جمال‌الدین مهدی‌نژاد درزی و مشاوره دکتر باقر کریمی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر در حال انجام است.

مقدمه

با وقوع انقلاب صنعتی، تحولات بنیادینی در ساختار شهری و نحوه زندگی انسان‌ها صورت گرفت که نتیجه آن حاکمیت هرچه بیشتر انسان بر طبیعت و بروز پدیده‌های انسان‌ساز و تحمیل آن‌ها بر طبیعت بود. توجه به رفتار ساکنان بومی، ریشه در دو عامل اصلی فرهنگ و اقلیم آن منطقه خواهدداشت. طی سال‌ها این شرایط اقلیمی بوده‌است که با قدرت، سایه بر دیگری انداخته‌است و انسان‌ها را وادار به واکنش‌هایی در ارتباط با محیط سکونتشان کرده‌است. لذا معماری هزاره سوم معماری خواهدبود کثرت‌گرا، متغیر همراه با هم‌زیستی کلیه عناصر مفهومی تمدن بشری و عناصر ترکیبی شکل‌دهنده معماری که از مصالح و از پوسته‌های سبک و شفاف تشکیل خواهدشد، در آن مرز بیرون و درون کم‌رنگ شده و طبیعت، از لحاظ واقعی کاملا به داخل نفوذ خواهدکرد (حیدری، ۱۳۹۵). سازگاری روانی تاثیر شگرفی بر ادراک و آسایش حرارتی انسان‌ها از محیط پیرامونی دارد (ضابطیان طرقی و خیرالدین، ۱۳۹۷). طراحی و اجرای پوسته‌های شهری دارای رفتار حرارتی مناسب، سبب تامین بالاترین میزان آسایش حرارتی در فضای داخل و بدون کمک تجهیزات مکانیکی است (مرئی و همکاران، ۱۴۰۰). تامین آسایش در خصوص نیازهای اولیه انسان بوده‌است و نحوه پاسخ‌گویی به آن در کیفیت فضا موثر است (مجیدی و همکاران، ۱۳۹۸). بی‌توجهی به پتانسیل‌های اقلیمی و یا تحت‌تاثیر قرار گرفتن آن‌ها در زیر سایه نیاز جامعه شهری از مهمترین عوامل افزایش دما و عدم تعادل محیطی است. به این منظور برای تامین آسایش حرارتی در پوسته نما و محیط پیرامونی آن‌ها، ایجاد فضاهای نیمه‌باز قابلیت سایه‌اندازی و کنترل عملکرد حرارتی مناسب‌تر را خواهندداشت. از این رو در پژوهش صورت‌پذیرفته، یک بافت مسکونی درشهر شیراز در نظر گرفته شده‌است که با دارا بودن بناهای تاریخی موثر به همراه عناصر اقلیمی همانند ایوان، سنجش عملکردهای حرارتی این عنصر ملاک قرار داده شده‌است. با توجه به افزایش دما در شهرها به نظر می‌رسد که سیاست‌های اقلیمی به‌کار رفته در گذشته در راستای تناسبات کالبدی ایوان‌ها، مسیری مناسب در روند بهبود آسایش حرارتی ایجاد کنند. از این رو در پژوهش حاضر، هدف اصلی، بهبود دمای آسایش محیط با توجه به تناسبات فضاهای نیمه‌باز (ایوان) بوده‌است. با قرارگیری فضاهای نیمه‌باز در کنار فضاهای بسته و نفوذپذیری بیشتر نمای ساختمان‌ها از راکد ماندن دما جلوگیری خواهدشد. بنابراین تردد هوا، ایجاد سایه و جذب حداقلی دما حاصل چنین راهبردی خواهدبود. تناسبات کالبدی عناصر اقلیمی پاسخ‌گو همچون ایوان‌ها و واکنش آن‌ها به شرایط آب و هوایی محیط پیرامون مهمترین ساختار تشکیل‌دهنده این پژوهش بوده‌است. بر این اساس شناخت عملکرد حرارتی عناصر اقلیمی بوم‌گرا و تاثیرگذاری آن‌ها در بهبود شاخص آسایش حرارتی از اهمیت و ضرورت پژوهش بوده‌است. با توجه به جهت قرارگیری بنا و میزان دریافت تابش و باد ، عوامل دیگری بر میزان کاهش یا افزایش دما موثر هستند که شناخت و کنترل آن کمک شایانی بر تعدیل دمای آسایش خواهند داشت. لذا چنین پژوهش‌هایی پیش زمینه تدوین الگوهایی جهت ارائه تناسبات ابعادی بازشوها در بدنه ساختمان‌ها خواهد بود. شناخت مولفه‌های کالبدی فضاهای نیمه‌باز (ایوان) و موثر بر کنترل شاخص آسایش حرارتی از نتایج بدیع این تحقیق بوده‌است. در این پژوهش داده‌های آب و هوایی ایوان‌ها و حیاط‌های مدنظر در خانه‌های انتخابی از طریق روش تحقیق کمی مبتنی بر آزمون میدانی به همراه دستگاه‌هایی همچون ترموپیرومتر[1] و ترموهیگرومتر[2] مورد آزمایش قرار گرفته‌است. اعتبارسنجی داده‌های میدانی درنرم‌افزار شبیه‌سازی Envi-met صورت گرفته است و سپس در نرم‌افزار Bio-met شاخص آسایش حرارتی PET [3] ارزیابی شد که در نهایت نتایج مستخرج از تحقیق در جداول و نمودارها ارائه شده‌اند. در شکل ۱ روند کلی پژوهش نمایش داده شده‌است.



شکل ۱. روند پژوهش

پیشینه پژوهش

پژوهش‌های زیادی در خصوص ایوان‌ها، میزان و جهت دریافت تابش به آن‌ها صورت پذیرفته است، در صورتیکه سنجش عملکرد حرارتی ایوان‌ها و تناسبات کالبدی از معدود پژوهش‌های داخلی و خارجی بوده‌است که کمتر مورد توجه قرار گرفته‌است. در این پژوهش به تلفیقی صحیح از تمامی متغیرهای مورد نظر پرداخته شده‌است. بهره‌گرفتن از ویژگی‌های فضاهای باز و بسته به یک میزان از مهمترین مختصات کالبدی و مفهومی فضاهای نیمه‌باز بوده‌است. لذا چنین فضاهایی توان پاسخگویی به نیازهای عملکردی و اقلیمی را با توجه به شرایط محیطی برای ساکنان فراهم می‌کنند (بنیانی و همکاران، ۱۳۹۷).

طی پژوهشی صورت گرفته بر روی نما به عنوان یکی از مهمترین اجزا ساختمان که بر خصوصیت فیزیکی، رفتار و واکنش‌های محیطی و مصرف انرژی تاثیرگذار است، دیده‌شد که سیستم‌های فعال، کارآمدترین و پاکیزه‌ترین راه‌ها برای رفع نیاز حرارتی ساختمان بوده‌است. سایه‌بان یکی از موثرترین راهکارهایی بوده‌است که در معماری سنتی ایران بسیار مورد استفاده قرارگرفته‌است. اندازه‌گیری‌ها و فرآیندهای شبیه‌سازی نشان می‌دهد که فرم بالکن و حفاظت خورشیدی به طور قابل توجهی بر آسایش حرارتی ساکنان در بالکن و همچنین اتاق‌های مجاور تاثیرگذار است. متغیرهایی نظیر عمق فضاهای نیمه‌باز، مساحت پنجره دیوار مجاور و ضریب هدایت حرارتی در بالکن‌ها و ایوان در این پژوهش در نظرگرفته شده‌است. یافته‌های این پژوهش برای تعیین دستورالعمل طراحی با استفاده از سایه‌بان‌های متحرک در فضای نیمه‌باز در ساختمان‌های مسکونی در کلانشهر تهران بوده است (مهدوی‌نیا و وهابی، ۱۴۰۰).

پژوهشی دیگر، بر روی شرایط آسایش حرارتی در فضاهای باز صورت گرفت که تاکید بر یک خرداقلیم مسکونی چندخانواری بود. تمرکز پژوهش بر روی میزان افزایش دما بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بوده‌است. در این پژوهش از نرم‌افزار شبیه‌سازی انوی‌مت و به‌کارگیری شاخص آسایش حرارتی PT [۴] از طریق مدل محاسباتی Rayman استفاده شده‌است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مقادیر شاخص PT از سال ۲۰۲۰ شروع شده و به تدریج تا سال ۲۰۸۰ حدود ۷/۷+ افزایش دما را شاهد خواهیم‌بود (Matallah *et al*., 2021).

در پژوهشی دیگری که توسط ناکانو و تانابه صورت گرفت ارزیابی آسایش حرارتی در محیط‌های باز و نیمه‌باز بوده‌است، نتایج به دست‌آمده از این پژوهش در راستای رفتار ساکنان، تنظیم نوع پوشش گیاهی و زمان اشغال در فضاهای باز و نیمه‌باز مدنظر قرار گرفته شده‌است. لازم به ذکر است که در این تحقیق از شاخص‌های متنوع آسایش حرارتی بهره گرفته شده‌است (Nakano & Tanabe, 2020). در تحقیقی که در سال ۲۰۱۹ انجام شده‌است، می‌توان به تطابق عملکرد حرارتی نماها با مرکزیت ایوان‌ها اشاره داشت. نتایج تحقیق حاکی از آن است که انطباق بدنه نماهای پاسخگوی اقلیمی با نوع کاربری فضا در کاهش دمای نامطلوب محیطی موثر بوده‌است، به عبارتی بنای معماری به عنوان یک رابط حرارتی مابین انسان و محیط پیرامونی آن‌ها ایفای نقش می‌کند. از آنجاییکه فعالیت انسان‌ها باعث افزایش حرارت محیطی می‌شود، بایستی توازنی بین نوسانات حرارتی و آسایش حرارتی ایجاد شود، لذا چنین نماهای پاسخگوی اقلیمی در ایجاد تعادل دمای محیطی و در حد آستانه نگه‌داشتن آسایش حرارتی نقش مرکزی را ایفا می‌کنند (Worre Foged, 2019). در تحقیق که در سال ۱۳۹۸ صورت گرفته است تاکید اصلی بر آسایش حرارتی در فضاهای باز بوده‌است، با توجه به تفاوت‌هایی که با آسایش حرارتی با فضاهای بسته دارد، باید بر اساس شاخص‌های مناسب خود سنجیده شوند. همچنین ضرورت دارد که آسایش حرارتی فضای باز در هر منطقه جغرافیایی به صورت مستقل ارزیابی شود. بنابراین هدف اصلی پژوهش مدنظر، مطالعه شاخص‌های اندازه‌گیری آسایش حرارتی در فضای باز و تعیین مناسب‌ترین شاخص و بررسی وضعیت احساس گرمایی در فضای باز در اقلیم گرم و خشک سیستان با توجه به شاخص مناسب و شناخت عوامل ساختاری موثر بر تعدیل شرایط آسایش حرارتی فضای باز است، لذا شاخص آسایش حرارتیPET مناسب‌ترین شاخص برای ارزیابی آسایش حرارتی فضاهای باز به شمار می‌رود. نتایج نشان می‌دهد که بین شاخصPET و متغیرهای اقلیمی دمای هوا، رطوبت نسبی، دمای تابشی و عوامل ساختاری نوع گونه گیاهی رابطه معناداری وجود دارد (داوطلب و همکاران، ۱۳۹۸).

در پژوهش صورت‌گرفته توسط حقیقت نائینی و همکاران، شاخص دمای معادل فیزیولوژیک از پرکاربردترین شاخص‌های فضاهای بیرونی ارزیابی شده‌است، همچنین براساس بررسی‌های صورت‌گرفته از طریق این پژوهشگران بر تحقیقات سایر محققین دیده شده‌است که اعتبار و ارزیابی شاخصPET در پیش‌بینی آسایش حرارتی فضاهای بیرونی در قیاس با دو شاخص دمای موثر استاندارد نوین (SET)[۵] و تخمین میانگین آرا (PMV)[۶] بسیار بیشتر بوده‌است (حقیقت نائینی و همکاران، ۱۳۹۷). استفاده مناسب از بالکن، در آسایش حرارتی و تهویه طبیعی تاثیر بسیار بسزایی دارند. استفاده از سیستم‌های غیرفعال در سرمایش ساختمان و تهویه طبیعی توسط بالکن‌ها در بهبود تهویه طبیعی داخل و کاهش مصرف انرژی نقش موثری دارد. جریان هوا در داخل و اطراف ساختمان‌ها و توزیع فشار باد در نمای ساختمان توسط بالکن‌ها تغییر داده می‌شود. شکل و موقعیت بالکن در بهبود تهویه داخلی موثر است، همچنین توزیع هوای داخل و آسایش حرارتی را بهبود می‌بخشند و همانند یک سایه‌بان عمل‌کرده و باعث جلوگیری از تابش آزاردهنده خورشید برای طبقات زیرین می‌شود (مقدم‌ضیابری و مظفری، ۱۳۹۷). در تحقیقی صورت‌گرفته در سال ۱۳۹۷ دیده شد که کمترین میزان دمای هوا مربوط به فضاهای نیمه‌باز است، رفتار حرارتی فضاهای نیمه‌بسته بسیار شبیه فضای نیمه‌باز است ولی به علت جریان هوای راکدتر دمای هوای بیشتری نسبت به فضای نیمه‌باز تجربه می‌کند. رطوبت نسبی در فضاهای باز و نیمه‌باز بیشتر از دمای هوا متاثر از رطوبت مطلق آن است و سرعت باد در محیط‌های باز محصور از میزان کمتری نسبت به سایر نقاط برخوردار است (ورد و همکاران، ۱۳۹۷). پژوهشی که توسط برزگر و حیدری در سال ۱۳۹۶ انجام گرفته‌است، به تحقیق بر ورودی ساختمان‌های سنتی و آسایش حرارتی بیرونی کاربران توسط ورودی ساختمان‌ها پرداخته‌اند. تحقیق با هدف تامین آسایش حرارتی بیشتر ورودی بناها، به بررسی رابطه این پارامتر در ورودی خانه‌های سنتی شیراز با کمک تکنیک‌های سایه‌اندازی و عمق

ورودی پرداخته‌است. سر در این خانه‌ها با کمک عمق ورودی، نقش سایه‌بان افقی را اجرا نموده‌اند. عمق ورودی بهینه شیراز در جهت جنوب برابر با ۲۲ سانتی‌متر محاسبه‌گردید، بنابراین عمق و ارتفاع و جهت و میزان سایه مطلوب تابستان و زمستان و ورودی قابل تعیین است (برزگر و حیدری، ۱۳۹۶).

میزان تابش دریافتی از سقف با تعدادی از عوامل نامطلوب رابطه مستقیم و نزدیک‌تری دارد. مانند مساحت زیربنا که هر چقدر بیشتر باشد تابش دریافتی نیز بیشتر می‌گردد؛ و یا تعداد طبقات که با افزایش تعداد طبقات و کاهش سطح سقف در معرض تابش میزان انرژی دریافتی کاهش می‌یابد و یا نسبت طول به عرض که با کاهش این نسبت میزان انرژی دریافتی بر تاثیر تابش دریافتی بر بدنه‌های عمودی ساختمان افزایش می‌یابد (برزگر و حیدری، ۱۳۹۲،۵۳). در نهایت پژوهش دیگری مبنی بر بررسی میزان تاثیرگذاری عناصر الحاقی نما، سایبان، پوشش و سطوح آب به عنوان پرکاربردترین ابزار طراحی موثر بر کیفیت آسایش حرارتی عابرین پیاده در نواحی گرم و خشک تهیه شده‌است که از شبیه‌سازی نرم‌افزاری انوی‌مت به عنوان ابزاری کارآمد بهره‌گیری شده‌است و در نهایت مجموع نتایج پژوهش تاثیرگذاری قابل توجه ایجاد سایه را نسبت به سایر روش‌ها در مقیاس اقلیم خرد شهری نشان داده شده‌است (احمدپور کلهرودی و همکاران، ۱۳۹۶).

چارچوب نظری تحقیق

اقلیم شاخصه معماری بوم‌گرا

بوم را می‌توان مجموعه‌ای از شرایط طبیعی، فرهنگی، سنتی و اجتماعی حاکم بر یک منطقه دانست. بنابراین بوم حوزه وسیعی از خصوصیات فرهنگی، اقلیمی، هنری، ادبی، فنی، یک جامعه انسانی را در برمی‌گیرد (معروفی و خلاق‌دوست، ۱۳۹۷، ۵۴). پیترو بلوچی معمار ایتالیایی، هنری را بومی می‌داند که توسط افراد متخصص و یا با برنامه‌ریزی قبلی تدوین نشده باشد، بلکه به‌وسیله انسان‌هایی با باورها و اطلاعات محدود شکل گرفته باشد. راپاپورت اعتقاد داشت که برتری معماری بومی نسبت به سایر معماری‌ها، ایجاد تعادل با طبیعت است به جای تسلط بر آن (ستوده و کریمی، ۱۳۹۴). معماری بر پایه بوم‌گرایی در بیشتر مناطق جهان متاثر از اقلیم بوده‌است و انسان همواره تلاش در ایجاد فضای مناسب زندگی با امکانات و محدودیت‌های اقلیمی داشته‌است. کوشش او الگوهای گوناگون سکونتی را به وجود آورده و سبب ایجاد گونه‌های متنوعی شده که هر یک در بوم خود به بهترین شکل عمل می‌کنند (نیکقدم، ۱۳۹۲). معماری بومی به‌واسطه آنکه واجد پیوند مفهومی با طبیعت دانسته می‌شود، سازگاری میان مردم و کالبد معماری عمیق بوده و «مقیاس» در این معماری عامل تعیین کننده‌است (اکرمی و دامیار، ۱۳۹۶). ویژگی‌های بومی، از دو جهت قابل توجه‌است: یکی، ایجاد بستر مناسب برای شکل‌گیری معماری پایدار و دیگری، استفاده از ارزش‌های تکرارپذیر معماری بومی، در فرآیند معماری پایدار (ضرغامی و همکاران، ۱۳۹۵، ۲۵). رویکرد معماری بومی هماهنگی بین انسان، ساختمان و محیط فیزیکی طبیعی برای به دست آوردن آسایش حرارتی و بهبود انرژی در ساختمان است (Soleymanpour *et al*., 2015, 61). معماری بومی صرفا صحبت در مورد بناها و مکان‌ها نیست بلکه معماری بومی در برگیرنده تمامی ساختمان‌های خاص و عام بوده و مناظر شهری را نیز در بستر خود جای می‌دهد (Falk, 2020). از راهبردهای معماری بومی می‌توان به نسبت آگاهانه و هدفمند فضای بسته به فضای باز اشاره کرد و این از مهمترین عوامل موثر در حفظ انرژی است (احمدی، ۱۳۹۱). معماری بومی نمادی از روح حلول‌کرده در کالبد و جسم همساز با محیط‌زیست خود بوده‌است. کنترل باد، به دست آوردن نور طبیعی و کاهش تابش خورشید سه عامل اصلی معماری بومی بوده‌است (Saljoughinejad & Rashidi Sharifabad, 2015).

ایوان

فضای نیمه‌باز به فضایی اطلاق می‌شود که امکان دسترسی از داخل ساختمان را داشته و در ارتباط با هوای آزاد قرار دارند، به‌گونه‌ای که حداقل یک وجه آن باز است. یکی از شاخص‌ترین این فضاها ایوان‌ها می‌باشند که فضاهایی مسقف هستند و از یک طرف با هوای آزاد در ارتباط هستند (دفتر مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲). تصویری که محققان از صورت ایوان ترسیم‌کرده‌اند، فضایی با پوشش طاقدار است که از سه طرف بسته و از جلو به حیاطی گشوده شده‌است. محل و جهت قرارگرفتن و کیفیت ساخت ایوان در بنا با فصول مختلف سال، زاویهٔ تابش نور آفتاب، وزش باد و دمای هوا ارتباط داشته‌است. عامل اقلیم در جانمایی ایوان در ساختمان نقش اساسی دارد و عامل فرهنگی در نمایش و نحوهٔ تظاهر ایوان دخیل است (رضائی‌نیا، ۱۳۹۶). ایوان این عنصر بومی اعجازآور یکی از فضاهای مهم و شاخص معماری ایرانی است. استفاده از ایوان، طی سده‌ها و هزاره‌ها در معماری ایران نشان می‌دهد که صورت پایدار و الگویی کهن در معماری ایرانی است که تداوم خود را از کهن‌ترین شواهد تا نمونه‌های متأخر همچنان حفظ کرده‌است (لاله و رضائی‌نیا ،۱۳۹۳). ایوان‌ها با سازماندهی فضای مصنوع و بسته پیرامون خود، نقش مهمی را در ایجاد سلسله مراتب فضایی ایفا می‌نمایند، به نوعی مقیاس کوچک از حیاط به حساب می‌آیند و اکثر عملکردهای آن را دارا هستند (مهدوی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵، ۶۸). با توجه به تبادل سریع حرارت از فضای داخل به خارج در فصول سرد و بالعکس در فصول گرم، فضاهای نیمه‌باز (ایوان‌ها) جوابگوی مناسبی به شرایط اقلیمی بوده‌اند (امین‌آرا و همکاران، ۱۳۹۳). بنا بر باور بسیاری از اندیشمندان جایگاه هندسه و تناسبات در ادراک فضاهای معماری انکارناپذیر است. کنکاش در حوزه معماری بومی و کشف تناسبات و قواعد هندسی و کارکردی بین فضاها در یک منطقه می‌تواند در درک بهتر فضا، حفاظت از آن و نیز در دستیابی به شیوه‌های جدید طراحی مفید واقع گردد (مهرابیان و همکاران، ۱۳۹۵).

آسایش حرارتی

تمامی تلاش انسان‌ها از گذشته دور تا کنون صرفا برای کسب محیطی قابل سکونت در محدوده آسایش دمایی بوده‌است. آسایش حرارتی، شرایط ذهنی است که رضایت‌مندی شخص را از محیط گرمایی خویش بیان می‌کند و به عنوان یکی از موثرترین معیارهای آسایش و منبع اصلی مصرف انرژی در ساختمان مطرح است (زمردیان، ۱۳۹۵). سازگاری حرارتی روند تدریجی تطابق با شرایط و پاسخ به محرک‌های حرارتی است که در ۳ دسته سازگاری فیزیکی، فیزیولوژیکی و روانی طبقه‌بندی می‌گردد (بنازاده و همکاران، ۱۳۹۹). ارزیابی کیفیت محیطی را تنها به پارامتر فیزیکی نمی‌توان نسبت داد بلکه پارامترهای فیزیولوژیکی و روانی بدن انسان نیز به طور پویا در آن تاثیر دارد. کلمه شرایط ذهنی در تالیف اشری دلالت بر آمیختگی شرایط روحی و شرایط جسمی در احساسی تحت عنوان آسایش حرارتی است (منتظری و همکاری، ۱۳۹۷). عقیده بسیاری از محققان فن بر این است که خنثی بودن حرارتی تعبیر دقیق‌تری از آسایش حرارتی است، چراکه در چنین محیطی بدن انسان نه احساس سرما و نه احساس گرما می‌کند (ضابطیان و خیرالدین، ۱۳۹۸).

دمای معادل فیزیولوژیک (PET)

مجموعه شاخص‌های حرارتی تحلیلی شامل (PET، PT، PMV، ET[۷]، HIS[۸]، ITS[۹]) هستند. از بین شاخص‌های مدنظرPMV و PET را می‌توان پرکاربردترین آن‌ها نام برد. شاخص PMV در اصل برای اندازه‌گیری شرایط آسایش حرارتی در فضای داخلی به‌کار می‌رود و با توجه به کمبود شاخص‌های مناسب

برای فضای خارجی، شاخص PET به عنوان یکی از شاخصه‌های اندازه‌گیری دماهای خارجی به کار برده می‌شود (احمدپور کلهرودی و همکاران، ۱۳۹۶). شاخص PET را می‌توان چنین در نظر گرفت که طی آن بیلان حرارتی انسان در محیط بسته و در حالت نشسته (بدون باد و تابش خورشیدی) با نرخ سوخت و ساز کاری سبک (۸۰ وات) و مقاومت حرارتی لباس حدود ۰/۹ کلو با دمای پوست و دمای مرکز بدن در تعادل باشد (حقیقت‌نائینی و همکاران، ۱۳۹۷).

دمای معادل فیزیولوژیکی برای تجزیه و تحلیل فضاهای باز تولید شده‌است و انعکاس‌دهنده شرایطی است که در آن دمای پوست و دمای داخلی بدن انسان با دمای هوای محیط مدنظر در تعادل است (Zhang & Liu, 2021). از نظر فیزیولوژیکی دمای PET، یک شاخص آسایش دمای انسانی بر اساس تعادل انرژی است (Berardi & Wang, 2016).

مهمترین عوامل به‌کارگیری شاخص PET شامل موارد زیر هستند:

- این شاخص شامل میزان فعالیت و پوشش لباس می شود و با توجه به سن و جنس نیز قابل محاسبه است و بازتاب صحیحی از احساس حرارتی انسان‌ها را نشان می‌دهد (داوطلب و همکاران، ۱۳۹۸).
- مزیت اصلی آن نسبت به سایر شاخص‌ها به دلیل ارائه آن بر حسب سلسیوس است و می‌توان به صورت روزانه و حتی ساعتی مورد ارزیابی قرار داد (یادگاری و سجادزاده، ۱۴۰۰).
- تاثیرات تمامی عوامل اقلیمی به‌وسیله نتایج آن قابل مقایسه و ارزیابی است. همچنین محاسبه آسان آن توسط نرم‌افزارهایی همچون ریمن [۱۰] امکان‌پذیر است (ورد و همکاران، ۱۳۹۷؛ Goshayeshi *et al.*, 2013).

در جدول ۱ محدوده‌های درجه فشار فیزیولوژیکی و ادراک حرارتی شاخص آسایش حرارتی PET نمایش داده شده‌است.

جدول ۱. دمای معادل فیزیولوژیکی، ادراک حرارتی، درجه فشار فیزیولوژیکی

درجه استرس فیزیولوژیکی	میزان احساس حرارتی	درجه دمای معادل فیزیولوژیکی	درجه استرس فیزیولوژیکی	میزان احساس حرارتی	درجه دمای معادل فیزیولوژیکی
استرس سرمایی زیاد	خیلی سرد	کمتر از ۴	استرس گرمایی ملایم	کمی گرم	۲۳-۲۹
استرس سرمایی قوی	سرد	۴-۸	استرس گرمایی متوسط	گرم	۲۹-۳۵
استرس سرمایی معتدل	خنک	۸-۱۳	استرس گرمایی قوی	داغ	۳۵-۴۱
استرس سرمایی کم	کمی خنک	۱۳-۱۸	استرس گرمایی شدید	بسیار داغ	بیشتر از ۴۱
عدم وجود استرس حرارتی	مناسب	۱۸-۲۳			

منبع: یادگاری و سجادزاده، ۱۴۰۰؛ Matzarakis & Amelung, 2008

روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش با توجه به ماهیت موضوع از روش تحقیق کمی و به منظور بهبود عملکرد حرارتی و در راستای تناسبات کالبدی فضاهای نیمه‌باز در بناهای تاریخی استفاده شده‌است. به منطور بررسی وضعیت حرارتی عناصر اقلیمی موجود در بناها و تعیین اهمیت تاثیر هر یک از متغیرهای موجود در فضاهای باز و نیمه‌باز، ابتدا از طریق برداشت‌های میدانی اطلاعات فیزیکی و داده‌های آب و هوایی مدنظر انجام پذیرفت.

- اطلاعات میدانی در بافت تاریخی با استفاده از وسایلی همچون ترموپیرومتر (دماسنج تعیین دمای سطوح) و ترموهیگرومتر (دماسنج و رطوبت‌سنج) انجام پذیرفت و سپس داده‌های مستخرج طی جداولی ارائه گردیدند.
- اعتبارسنجی داده‌های میدانی توسط نرم‌افزار انوی‌مت نسخه ۴/۴/۴ ساینس[11] صورت گرفت.
- لازم به ذکر است که به دلیل محدودیت زمانی در برداشت‌های میدانی بابت همزمانی بیماری کوید۱۹ و عدم همکاری طولانی مدت ساکنان بناها که بعضی از آن‌ها مسکونی و بعضی دیگر در تصرف ارگان‌های مختلف اداری بودند، لازم دیده‌شد که تحلیل داده‌های آب و هوایی در نرم‌افزار انوی‌مت به صورت یک شبانه روز کامل انجام شود.
- مدل‌ها براساس برداشت‌های دقیق میدانی صورت‌گرفته، توسط نرم‌افزار انوی‌مت شبیه‌سازی شدند، داده‌های آب و هوایی (دما، دمای متوسط تابشی، رطوبت نسبی، سرعت باد) حاصل شبیه‌سازی به‌صورت عدد و نمودار و گراف تدوین شدند و سپس با کمک نرم‌افزار بیومت که از زیر مجموعه‌های انوی‌مت است شاخص آسایش حرارتی PET تعیین گردید.

روش جمع‌آوری داده‌های میدانی

شهر شیراز در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی، در ارتفاع ۱۴۸۸ متری از سطح دریاهای آزاد واقع شده‌است (سالنامه آماری کشور، ۱۳۹۹). در جدول ۲ اطلاعات بناهای انتخابی به‌همراه موقعیت مکانی و تاریخی با جزییات تشکیل‌دهنده آن‌ها و همچنین در جداول ۴ و ۵ تمامی اجزا خانه‌ها در بافت تاریخی شیراز گردآوری شده‌است. در شکل۲ دستگاه ترموپیرومتر، جهت تعیین دمای سطح و در کنار آن ترموهیگرومترکه با آن دمای محیطی و رطوبت را بتوان اندازه‌گیری کرد، نمایش داده شده‌است.

شکل۲. الف: ترموپیرومتر ب: ترموهیگرومتر

براساس اطلاعات تدوین‌شده در جدول۳، اندازه‌گیری‌ها طی۳ روز در خانه‌های مدنظر انجام شده‌است که در خانه صدرجهرمی در تاریخ ۱۳۹۹/۰۲/۱۸ از ساعت ۱۴:۰۰ تا ۱۹:۰۰بعداز ظهر هر ساعت یک‌بار اندازه‌گیری‌ها صورت گرفته‌است. متغیرهای اقلیمی شامل دما و رطوبت و دمای سطوح با استفاده از وسایل سنجش که در فاصله ۲/۵ متری از سطح حیاط تعبیه شده‌است، صورت پذیرفت. لازم به ذکر است که جزئیات برداشت شده در شبیه‌سازی نرم‌افزاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اندازه‌گیری در خانه مهندسی در تاریخ ۱۳۹۹/۰۲/۱۷ و از ساعت ۸:۰۰ تا ۱۳:۰۰هر یک ساعت یک بار صورت گرفته‌شد و ابزار اندازه‌گیری در ارتفاع ۲/۵ متری از سطح حیاط قرار گرفت و در نهایت خانه فروغ‌الملک که اندازه‌گیری میدانی آن در تاریخ ۱۳۹۹/۰۳/۱۱ از ساعت ۷:۰۰ صبح تا ۱۱:۰۰ صورت پذیرفته و محل قرارگیری ابزار همانند شرایط ۲ خانه پیشین بوده‌است. در جدول ۳ نتایج داده‌های آب و هوایی تدوین شده‌است.

جدول۲. موقعیت خانه‌ها در بافت تاریخی شیراز

نام بنا	قدمت	تاریخ ثبت	شماره ثبت	آدرس	جهت ایوان	تعداد طبقات	حوض آب	تعداد باغچه
خانه مهندسی	پهلوی اول	۱۳۸۱/۰۵/۰۸	۶۰۶۱	محله سنگ سیاه، نزدیک بقعه بی بی دختران	غرب	۲ طبقه	دارد	۲ باغچه، ۴ درخت نارنج
خانه فروغ‌الملک	قاجار	۱۳۷۷/۰۲/۳۰	۲۰۴۰	محله سنگ سیاه، نزدیک بقعه بی بی دختران	شمال-شرق	۱طبقه-۱/۵ طبقه	دارد	۱ باغچه، ۲ درخت نارنج
خانه صدر جهرمی	قاجار	۱۳۷۷/۱۲/۰۸	۲۲۷۷	شیراز، خیابان لطفعلی‌خان زند، گود عربان، مجاور بازار حاجی (پشت شاه‌چراغ)	جنوب	۱/۵ طبقه	دارد	۲ باغچه، ۴ درخت نارنج

جدول۳. برداشت میدانی داده‌های آب و هوایی

نام بنا	بیشینه دمای حیاط	کمینه دمای حیاط	بیشینه رطوبت حیاط	کمینه رطوبت حیاط	بیشینه دمای ایوان	کمینه دمای ایوان	بیشینه رطوبت ایوان	کمینه رطوبت ایوان	ساعت	روز
خانه مهندسی	۳۲/۴	۲۴/۳	۳۷٪	۲۶٪	۳۲/۹	۲۴/۲	۳۵٪	۲۶٪	۸:۰۰ الی ۱۳:۰۰	۱۳۹۹/۰۲/۱۷
خانه فروغ الملک	۲۹/۹	۲۲/۲	۳۹٪	۲۹٪	شرق: ۳۱/۳ شمال: ۳۱/۳	شرق: ۲۰/۸ شمال: ۲۱/۵	شرق: ۳۹٪ شمال: ۳۹٪	شرق: ۲۶٪ شمال: ۲۸٪	۷:۰۰ الی ۱۱:۰۰	۱۳۹۹/۰۳/۱۱
خانه صدر جهرمی	۳۴/۴	۳۰/۳	۳۷٪	۲۴٪	۳۶/۵	۲۷/۷	۳۸٪	۲۲٪	۱۴:۰۰الی ۱۹:۰۰	۱۳۹۹/۰۲/۱۸

(دما بر اساس درجه سانتیگراد است)

جدول۴. ابعاد فیزیکی حیاط و ایوان

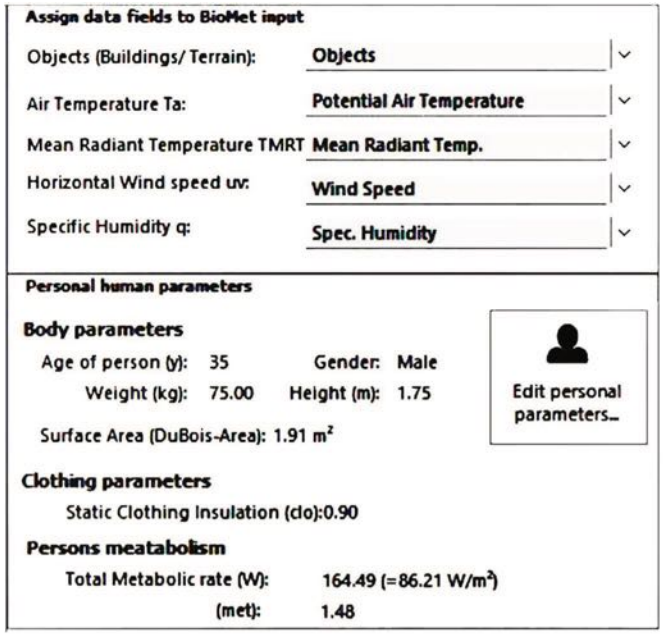
نام بنا	مساحت حیاط	مساحت ایوان در نما	طول و عرض حیاط	عرض (L) عمق (W) ارتفاع (H) ایوان در نما	مساحت ایوان در پلان
خانه مهندسی (ایوان غربی)	۳۱۰	۲۵/۴۰	L:23/70 W:16/60	H:3/60 & W:2/42 & L:7/05 ارتفاع از سطح حیاط: ۲/۲۵+	۱۷/۰۶
خانه فروغ‌الملک (ایوان شمالی-شرقی)	۴۷/۷۰	شمالی: ۱۸/۴۰ شرقی: ۱۳/۴۰	L:9/20 W:6/25	شمالی: H:3/42 & W:1/50 & L:5/37 ارتفاع از سطح حیاط: ۰/۸۳+ شرقی: H:2/88 &W:1/50 & L:4/64 ارتفاع از سطح حیاط: ۰/۸۳+	شمالی: ۸/۰۵ شرقی: ۶/۹۶
خانه صدر جهرمی(ایوان جنوبی)	۲۶۶/۶۰	۳۰/۳۰	L:15/09 W:19/99	H:4/70 & W:3/08 & L:6/45 ارتفاع از سطح حیاط: ۲/۰۷+	۱۹/۸۶

جدول۵. مشخصات اجزا تشکیل دهنده خانه‌ها

نام بنا	مصالح	مساحت باغچه‌ها	مساحت حوض آب	نسبت فضای سبز به حیاط	ارتفاع دیوارها	نسبت مساحت حوض به حیاط
خانه مهندسی (ایوان غربی)	سنگ، آجر، گچ، چوب، موزاییک	۶۰	۱۵	٪ ۱۹/۳	۳/۶-۹۰/۹۰	٪ ۴/۸
خانه فروغ‌الملک (ایوان شمالی- شرقی)	سنگ، آجر، سیمان، چوب، موزاییک	۴/۵۰	۶/۶۵	٪ ۹/۴	۴/۶۰	٪ ۱۳/۹
خانه صدرجهرمی (ایوان جنوبی)	سنگ، آجر، سیمان، چوب، گچ، موزاییک	۴۹/۶	۴۳/۱	٪ ۱۸/۶	۷/۵-۵۰/۳۰	٪ ۱۳/۴

روند انجام شبیه‌سازی پژوهش

۱. ورود اطلاعات برداشت‌شده میدانی (جزییات حیاط‌ها و ایوان‌ها) به نرم‌افزار Envi-met
۲. جمع‌آوری اطلاعات اقلیمی و هواشناسی شیراز
۳. مکان قرارگیری و تعداد گیرنده‌های محیطی (رسپتورها)[۱۲]در بناهای انتخابی به همراه زمان مناسب آزمون برای استخراج داده‌های۲۴ساعته
۴. سنجش و ارزیابی داده‌های کمی مستخرج‌شده از پژوهش و ارائه گراف‌ها از طریق نرم‌افزار لئوناردو[۱۳] (زیر مجموعه انوی‌مت بوده‌است)
۵. تدوین داده‌های شاخص آسایش حرارتیPET توسط نرم‌افزار Bio- met (زیر مجموعه انوی‌مت بوده‌است که میزان شاخص PET با استفاده از این بخش از نرم‌افزار تعیین شده‌است)
۶. لازم به ذکر است که ورودی داده‌ها جهت تعیین شاخص آسایش حرارتی PET توسط نرم‌افزار بیومت در شکل ۳ نمایش داده شده‌است.



شکل۳. داده‌های ورودی به نرم‌افزار

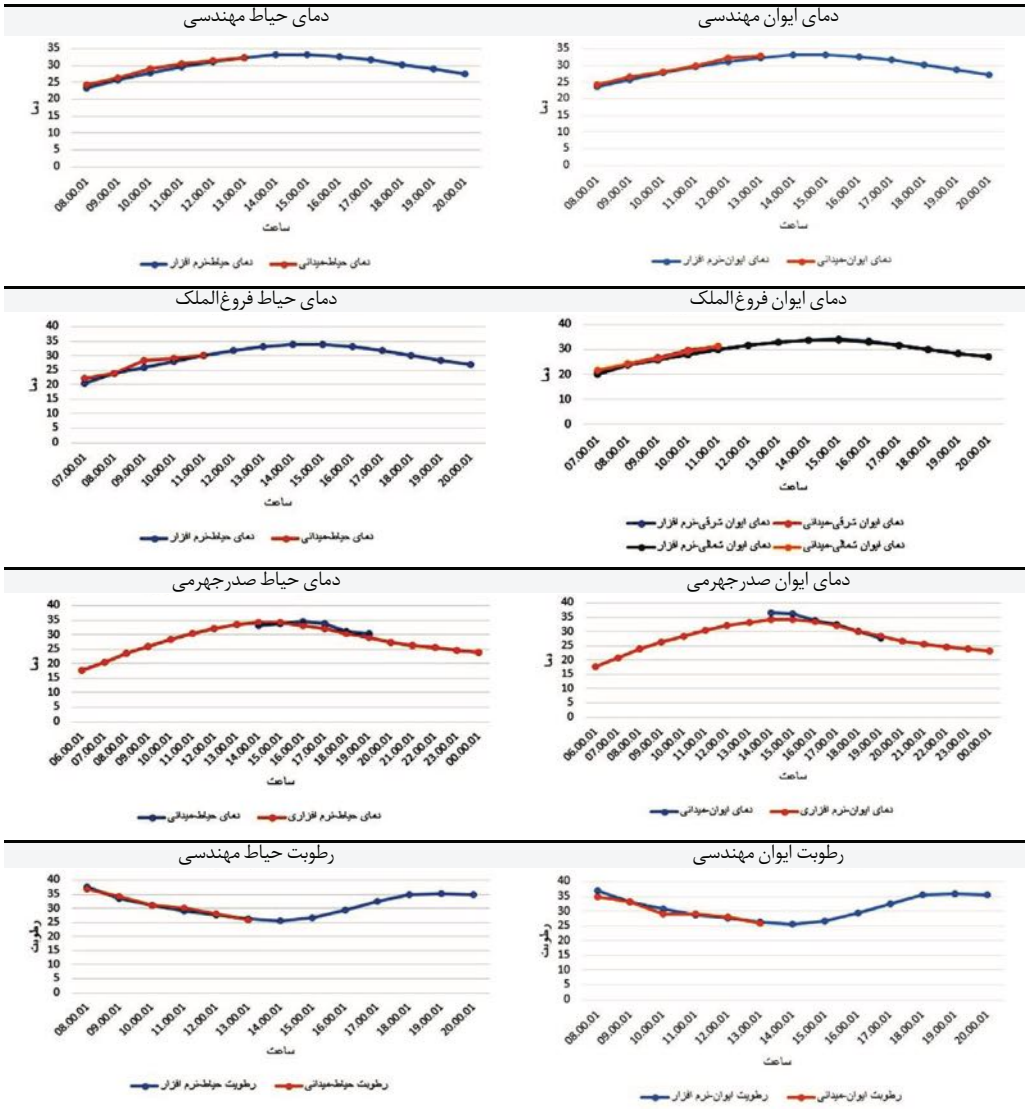
داده‌های آب و هوایی مستخرج از نرم‌افزار انوی‌مت شامل دمای هوا، دمای متوسط تابشی، سرعت باد و رطوبت نسبی در محدوده بیومت نرم‌افزار انوی‌مت بارگذاری شده‌است. در راستای داده‌های مدنظر آب و هوایی خصوصیات فیزیکی مورد نیاز شاخص PET نظیر سن، جنس، ارتفاع یک انسان پیش فرض به همراه فاکتور عایق لباس و نرخ متابولیسم در محاسبات شاخص دمای معادل فیزیولوژیک لحاظ شده‌است. در جدول ۶ سایر مولفه‌های ورودی جهت تعیین دمای معادل فیزیولوژیک نمایش داده شده‌است.

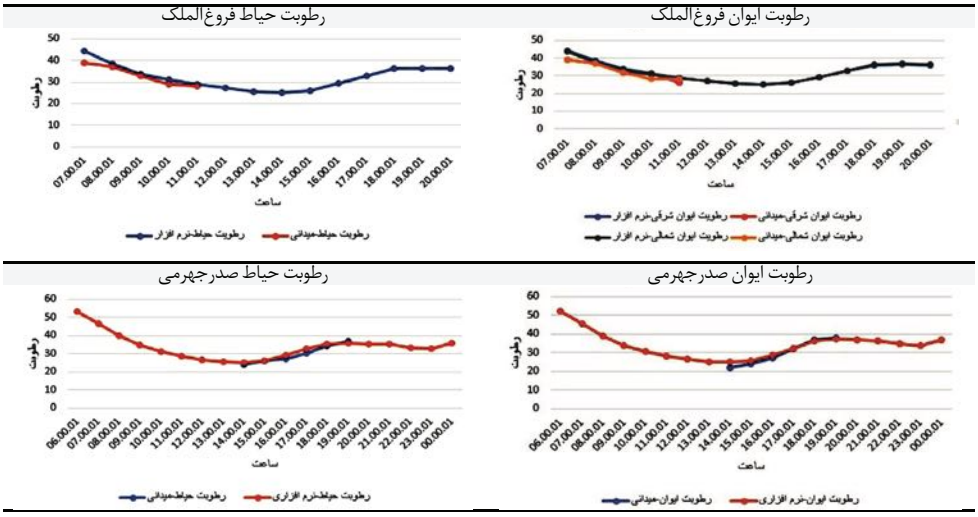
جدول۶. پارامترهای ورودی جهت تعیین PET

سن	جنس	ارتفاع	وزن	مساحت سطح بدن	فاکتور لباس	متابولیسم	سرعت پیاده‌روی
۳۵ سال	مرد	۱۷۵سانتیمتر	۷۵کیلوگرم	۱/۹۱متر مربع	۰/۹ کلو	۱۶۴/۴۹ وات	۱/۲۱ متر بر ثانیه

تفسیر داده‌ها و بحث

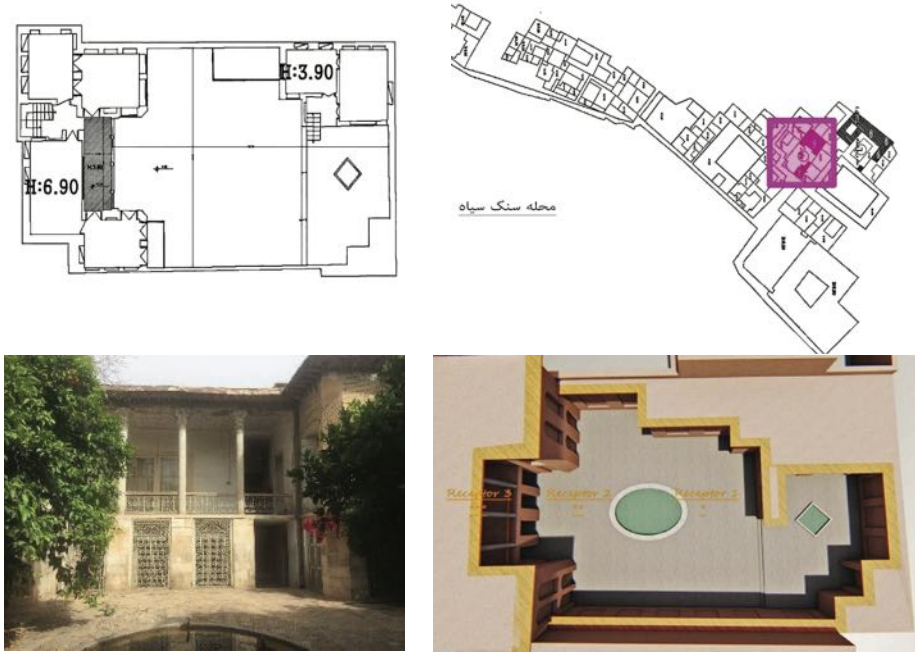
بر اساس داده‌های به دست‌آمده در زمان۲۴ساعت در تاریخ مدنظر توسط نرم‌افزار Envi-met و نتایج حاصل‌شده از آزمایش‌های میدانی در زمان‌هایی که اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شده‌است، بین داده‌های به‌دست‌آمده از دو روش، اعتبارسنجی صورت گرفته و ضریب خطای داده‌ها نمایش داده شده‌است. لازم به‌ذکر است که داده‌های اقلیمی مدنظر، شامل دما، رطوبت، دمای متوسط تابشی و سرعت باد بوده‌است و مولفه‌های فیزیکی طبق جدول۲ و ۴ و ۵ به‌طور کامل در نرم‌افزار شبیه‌سازی انوی‌مت به‌کار گرفته‌شده‌است. با مشاهده نمودارها و حداقل ضریب خطا مابین نتایج میدانی و نرم‌افزاری ارائه شده در شکل ۴، می‌توان به اعتبار داده‌های شبیه‌سازی اعتماد کرده و ملاک ارزیابی قرار داد.



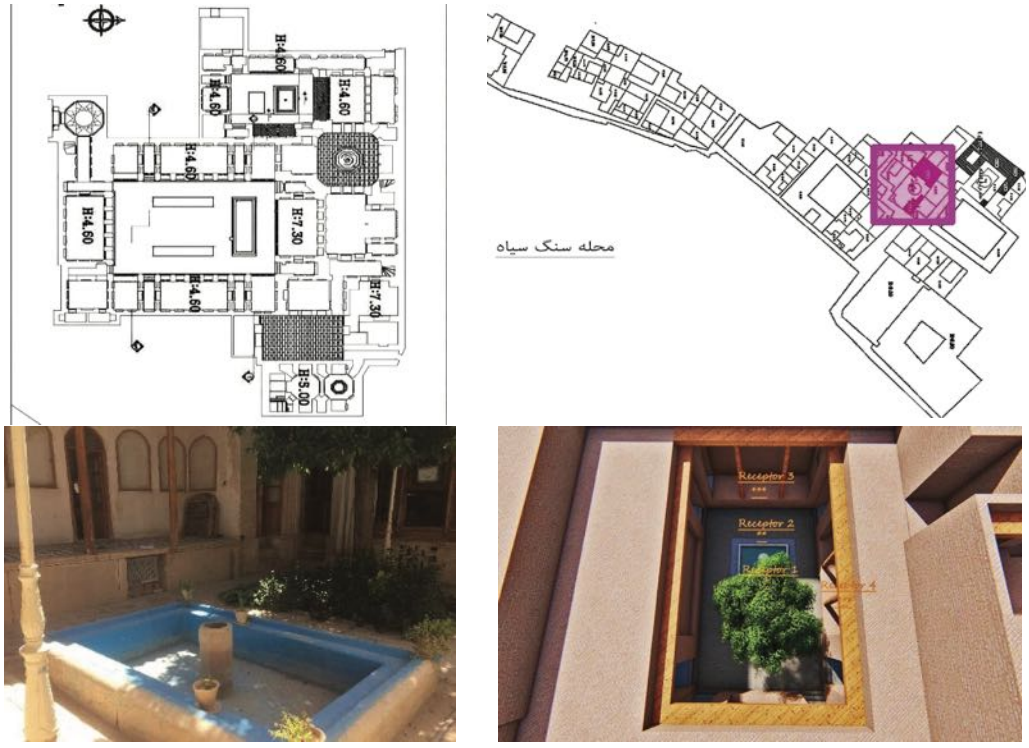


شکل ۴. هم‌پوشانی آزمون میدانی و شبیه‌سازی

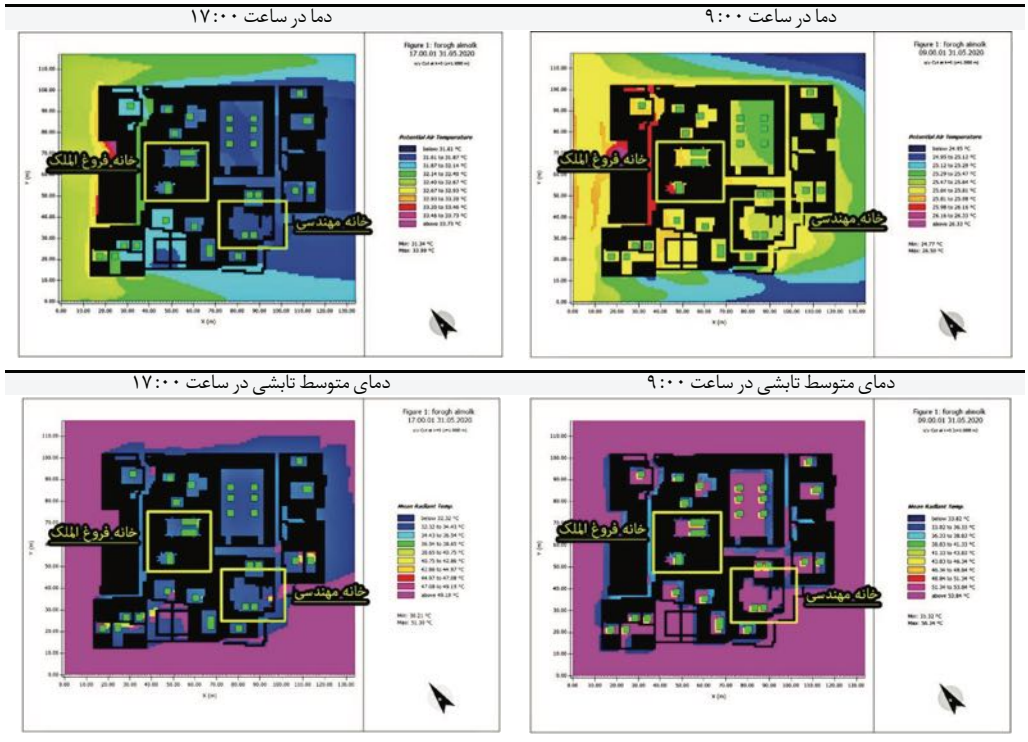
طبق شبیه‌سازی صورت‌گرفته در طول یک شبانه‌روز و نتایج حاصل‌شده در ۲۴ ساعت از طریق نرم‌افزار Envi-met در خانه مهندسی (ایوان غربی متمایل به شمال، شکل ۵) در ۳ گیرنده (یکی در مرکز حیاط، دومی در حیاط و در نزدیکی ایوان و سومی در مرکز ایوان قرار دارند) و خانه فروغ‌الملک (ایوان شمالی و شرقی متمایل به جنوب‌غرب، شکل ۶) در۴ گیرنده محیطی(رسپتور در مرکز حیاط، در حیاط و در نزدیکی ایوان، در مرکز ایوان شمالی، در مرکز ایوان شرقی) در ساعت۹:۰۰ و ۱۷:۰۰ متغیرهای آب و هوایی مورد تحلیل، به صورت گراف‌هایی نمایش داده شده‌است. رسپتورها در ارتفاع ۲/۵ متری سطح حیاط قرار گرفته‌اند که تمامی نقاط ایوان‌ها و حیاط مجاور را پوشش بدهد. در اشکال ۷ و ۸ گراف‌های خروجی داده‌های آب و هوایی خانه مهندسی و فروغ‌الملک در ۲ ساعت به نمایندگی از اطلاعات برداشت‌شده از ۲۴ ساعت نمایش داده شده‌است.

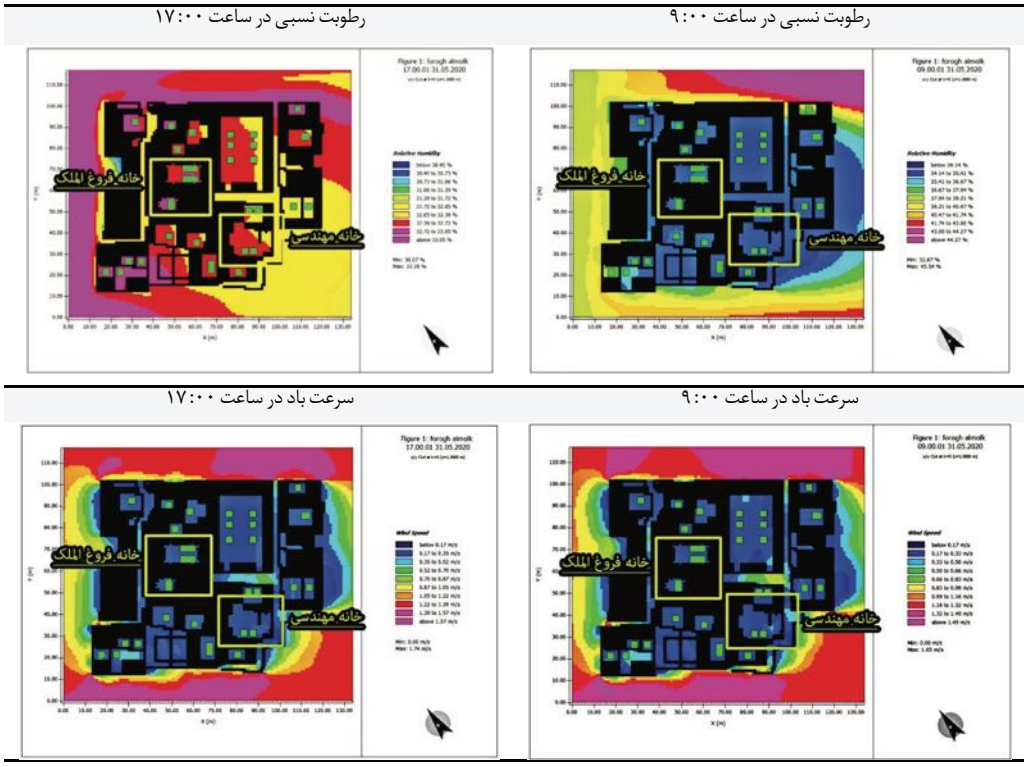


شکل ۵. موقعیت بافت و تصاویر به همراه مکان قرارگیری رسپتورها در خانه مهندسی

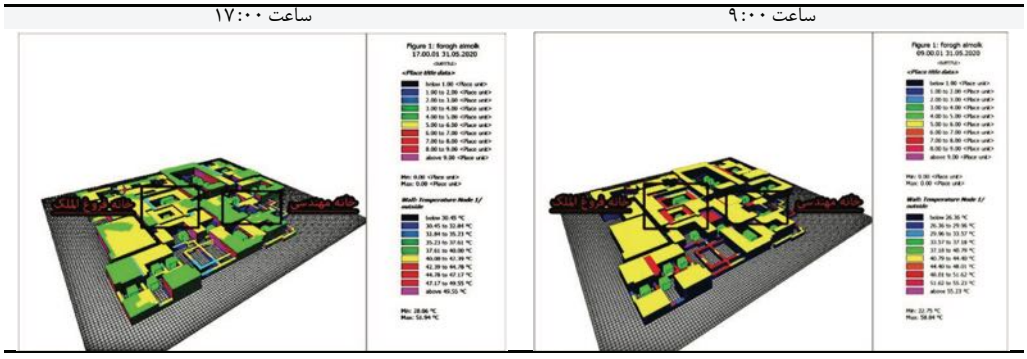


شکل ۶. موقعیت بافت و تصاویر به همراه مکان قرارگیری رسپتورها در خانه فروغ‌الملک





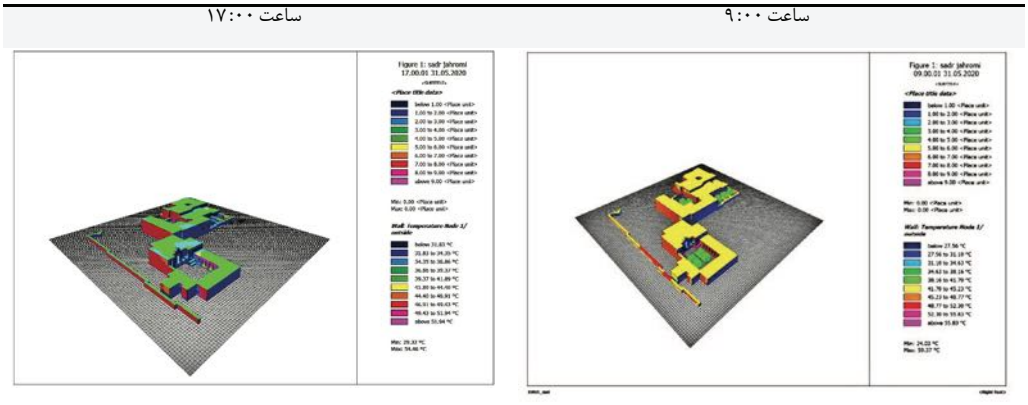
شکل ۷. گراف داده‌های آب و هوایی خانه مهندسی و فروغ‌الملک



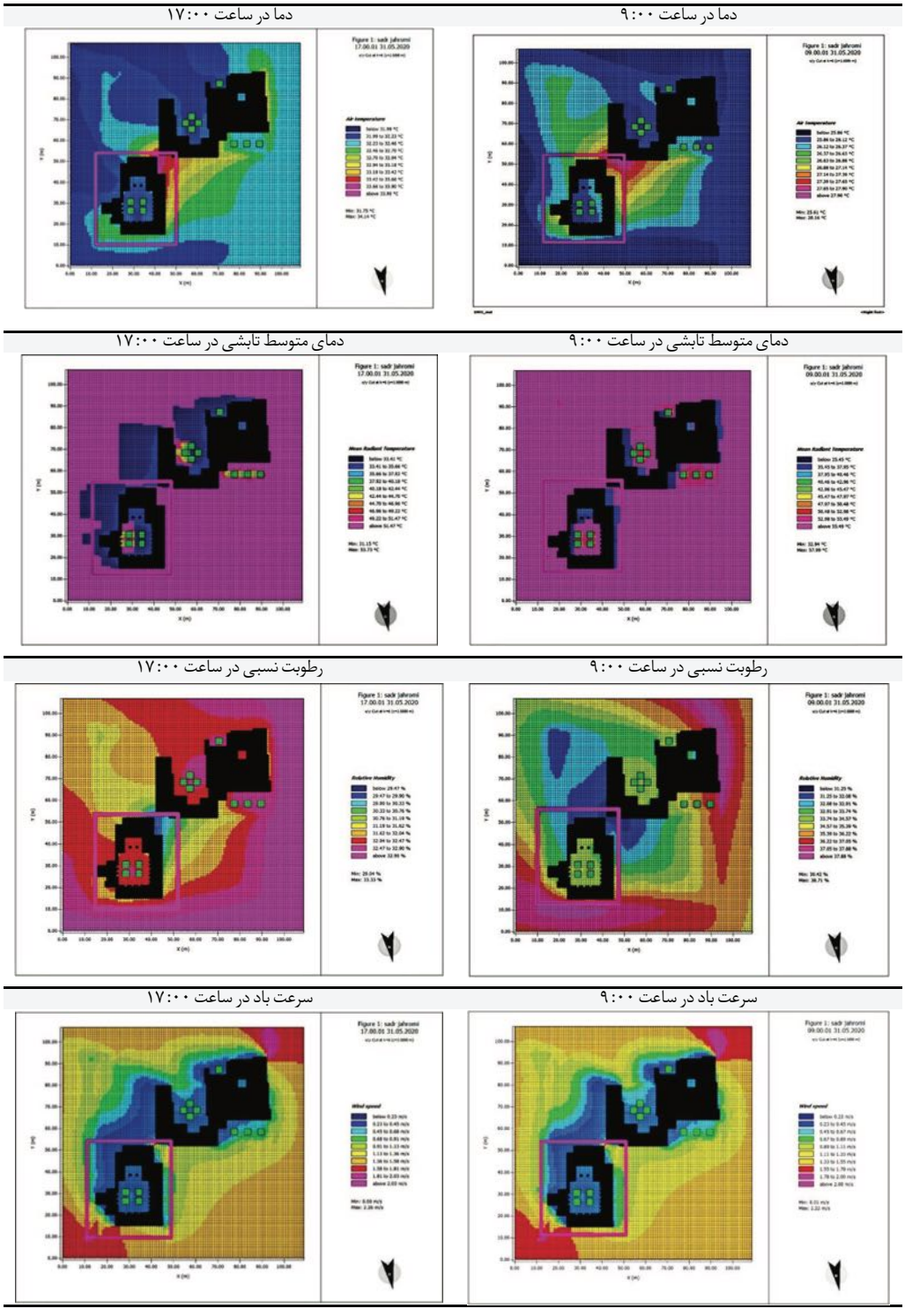
شکل ۸. دمای سطح در خانه مهندسی و فروغ‌الملک

در خانه صدرجهرمی با داشتن ایوان جنوبی متمایل به شرق (شکل ۹) با داشتن ۳ گیرنده محیطی، نتایج در قالب اشکال ۱۰ و ۱۱ به صورت گراف‌هایی تدوین شده‌است.

شکل ۹. موقعیت بافت و تصاویر به همراه مکان قرارگیری رسپتورها در خانه صدرجهرمی



شکل ۱۰. دمای سطح در خانه صدرجهرمی

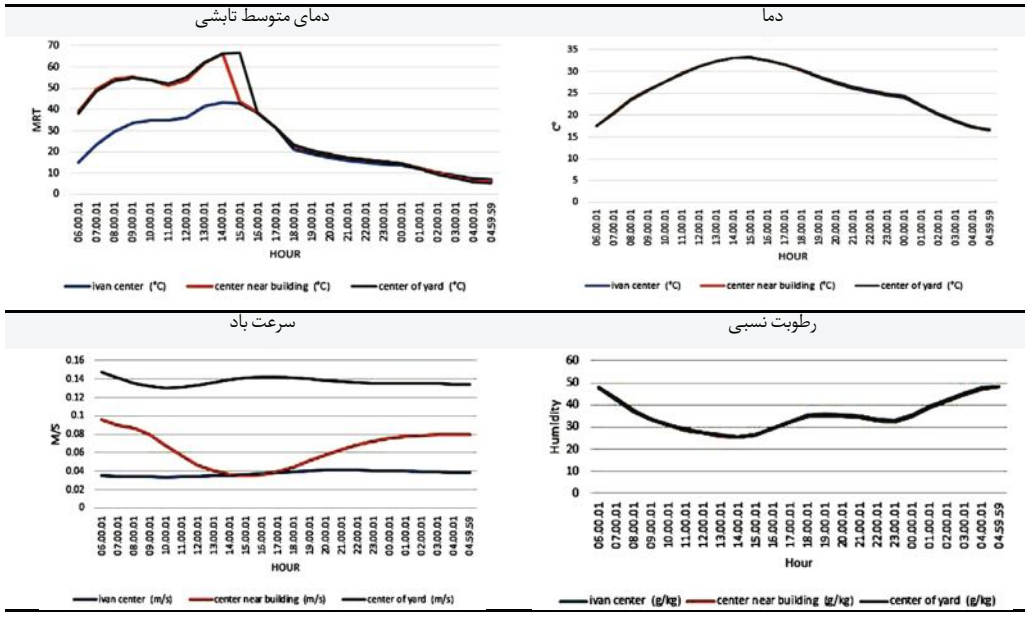


شکل ۱۱. گراف داده‌های آب و هوایی خانه صدرجهرمی

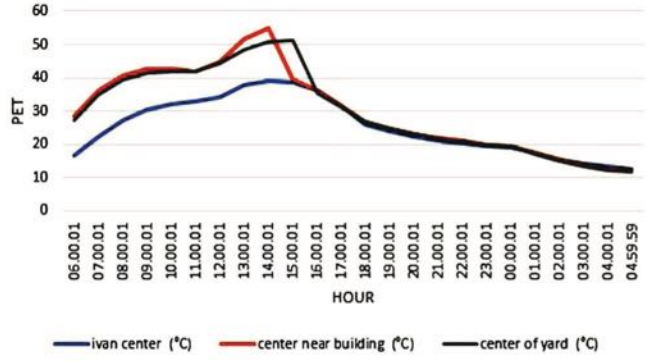
اطلاعات برداشت‌شده داده‌های آب و هوایی از نرم‌افزار انوی‌مت در طی یک شبانه‌روز کامل انجام شده‌است. بر این اساس دیدگاه جامع‌تری از تغییرات شاخص‌های اقلیمی به دست آمده‌است.

تحلیل یافته‌های پژوهش

براساس نتایج به‌دست آمده از داده‌های اقلیمی و متغیرهای فیزیکی در خانه‌های مورد آزمون، اطلاعات دریافتی از گیرنده‌های محیطی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در اشکال ۱۲، ۱۴، ۱۶ نتایج داده‌های آب و هوایی برداشت‌شده از رسپتورها به صورت نمودارهایی در هر ۳ خانه نمایش داده شده و به دنبال آن‌ها در شکل ۱۳، ۱۵و ۱۷ دمای شاخص آسایش حرارتی PET که توسط نرم‌افزار به‌دست آمده، تدوین شده‌است. نمودارهای مستخرج از داده‌های خانه مهندسی در زیر معرفی شده‌است.

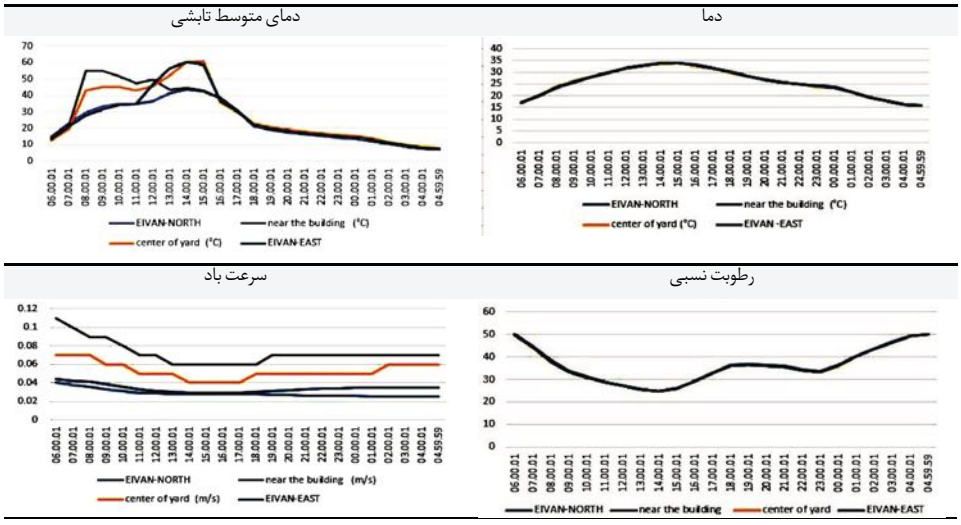


شکل ۱۲. تحلیل مولفه‌های اقلیمی خانه مهندسی

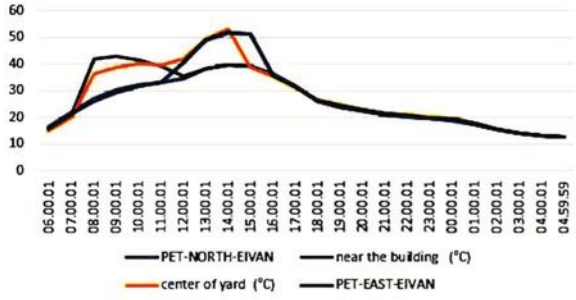


شکل ۱۳. تحلیل شاخص PET در خانه مهندسی

نتایج حاصل‌شده از نرم‌افزار انوی‌مت و بیومت در خانه فروغ‌الملک در نمودارهای زیر تدوین شده‌است.

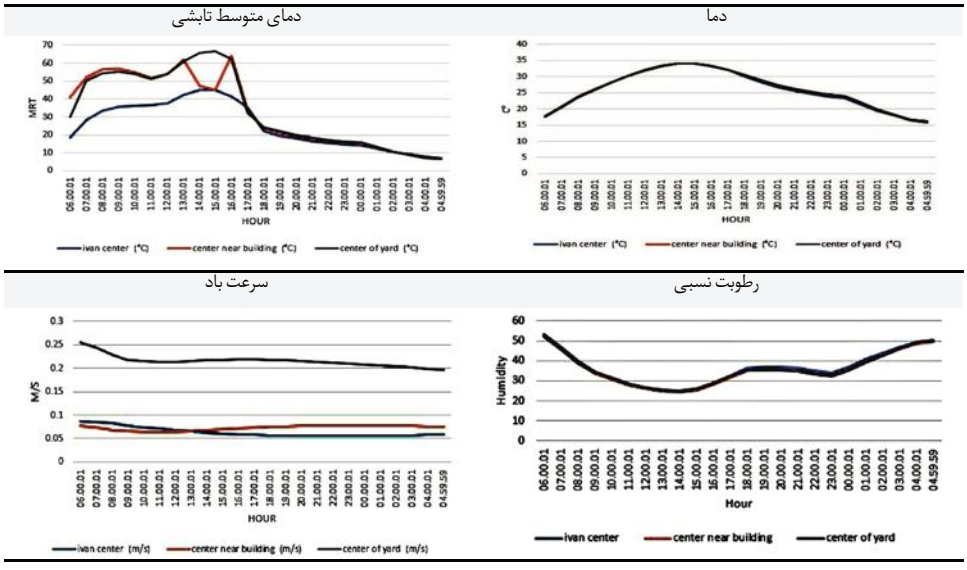


شکل ۱۴. تحلیل مولفه‌های اقلیمی خانه فروغ‌الملک

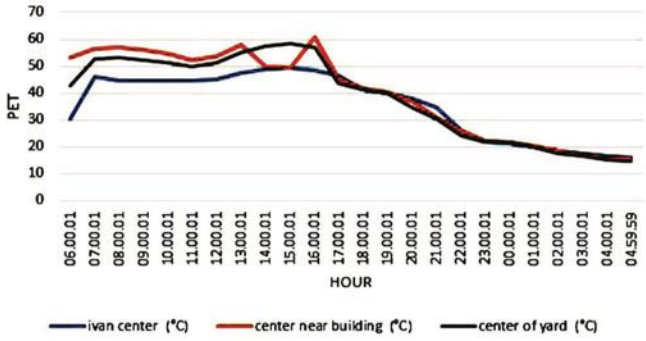


شکل ۱۵. تحلیل شاخص PET در خانه فروغ‌الملک

نتایج حاصل شده از داده‌های خانه صدرجهرمی در نمودارهای زیر تدوین شده‌است.

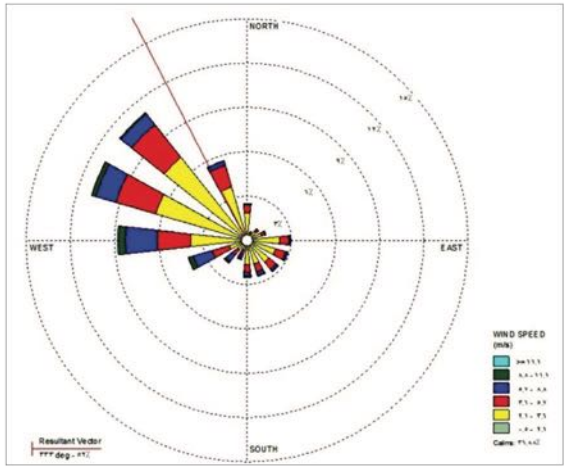


شکل ۱۶. تحلیل مولفه‌های اقلیمی خانه صدرجهرمی



شکل ۱۷. تحلیل شاخص PET در خانه صدرجهرمی

با توجه به تحلیل‌های صورت‌گرفته، دیده‌شد که دمای متوسط تابشی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار بوده‌است و همچنین شاهد تفاوت بسیار ناچیز دما و رطوبت در هر ۳ خانه هستیم. سرعت باد در ایوان خانه صدرجهرمی از شدت بالاتری برخوردار است که این امر به سیرکولاسیون هوا کمک شایانی دارد (میانگین سرعت باد در ایوان خانه صدرجهرمی ۰/۰۵، ایوان خانه مهندسی ۰/۰۳ و ایوان شرقی فروغ‌الملک ۰/۰۳ و ایوان شمالی فروغ‌الملک برابر با ۰/۰۲۵ متر بر ثانیه بوده‌است). جهت باد غالب در تمام ماه‌های سال در شیراز، غربی و شمال غرب-غرب است، بیشترین درصد وزش باد از سمت غرب و شمال غرب-غرب مربوط به ماه‌های اردیبهشت و خردادماه است و کمترین آن‌ها مربوط به ماه‌های دی و آذرماه است (امیدوار و امیدی، ۱۳۹۲). با توجه به موقعیت قرارگیری ایوان‌ها در جهات مختلف جغرافیایی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی و نمایش گلباد سالیانه شهر شیراز (شکل ۱۸) دیده‌شد، ایوان خانه صدرجهرمی که در سمت جنوب و کمی متمایل به شرق واقع شده‌است و با ارتفاع گرفتن از سطح حیاط در مسیر مناسب‌تر باد غالب نسبت به ایوان‌های دیگر قرار گرفته‌است. لازم به ذکر است که باد تاثیر منفی و معنی‌داری بر شاخص PET دارد و هرچه سرعت باد بیشتر باشد میزان شاخص آسایش حرارتی کمتر و دما کاهش می‌یابد.



شکل ۱۸. نمایش گلباد سالیانه شهر شیراز

منبع: امیدوار و امیدی، ۱۳۹۲

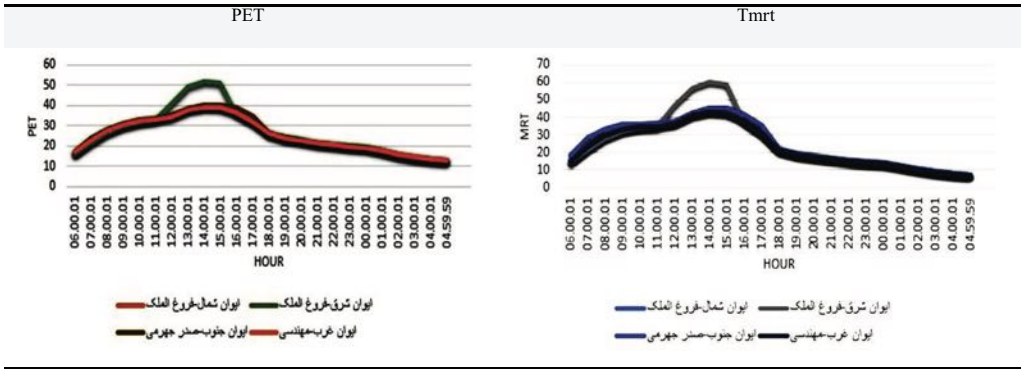
بر اساس تحلیل‌های صورت‌گرفته از تحقیق، روابط زیر حاصل‌شده‌است که در اشکال ۱۹ و ۲۰ نمودارهای دمای متوسط تابشی به همراه شاخص آسایش حرارتی PET در ایوان و حیاط خانه‌ها نیز نمایش داده شده‌است.

دمای متوسط تابشی (Tmrt): ایوان خانه مهندسی (۲۳/۵۷) < ایوان شمالی خانه فروغ‌الملک (۲۳/۶۸) < ایوان خانه صدرجهرمی (۲۵/۱۳) < ایوان شرقی خانه فروغ‌الملک (۲۶/۰۵)

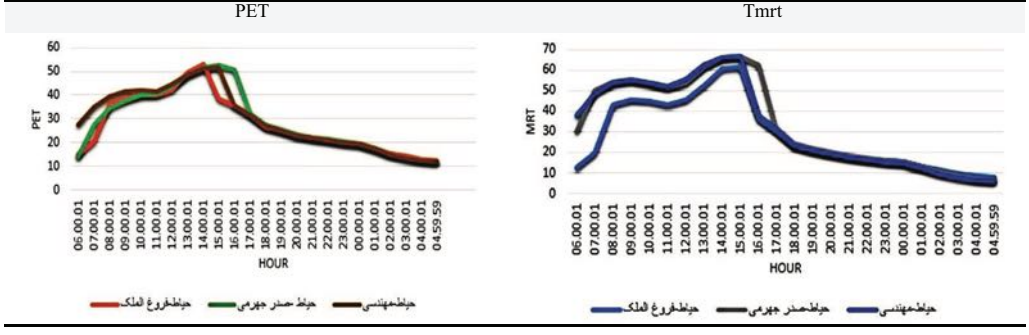
دمای متوسط تابشی (Tmrt): حیاط خانه فروغ‌الملک (۲۸/۱۳) < حیاط خانه مهندسی (۳۲/۷۵) < حیاط خانه صدرجهرمی (۳۴/۰۴)

شاخص آسایش حرارتی PET: ایوان خانه مهندسی (۲۵/۲۲) < ایوان شمالی خانه فروغ‌الملک (۲۵/۲۸) < ایوان خانه صدرجهرمی (۲۵/۷۵) < ایوان شرقی خانه فروغ‌الملک (۲۶/۹۲)

شاخص آسایش حرارتی PET: حیاط خانه فروغ‌الملک (۲۷/۹۰) < حیاط خانه صدر جهرمی (۲۹/۲۳) < حیاط خانه مهندسی (۲۹/۷۸).

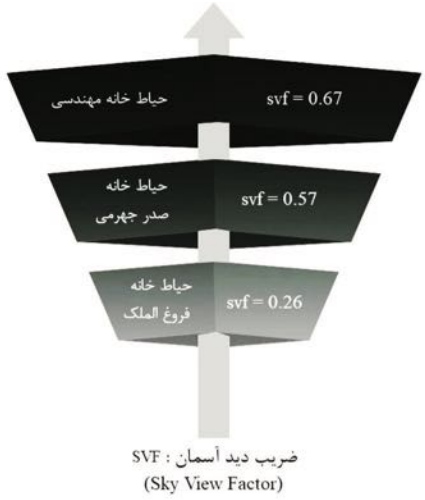


شکل ۱۹. دمای متوسط تابشی و شاخص آسایش حرارتی ۳ خانه و ۴ ایوان



شکل ۲۰. دمای متوسط تابشی و شاخص آسایش حرارتی ۳ خانه و ۳ حیاط

ضریب دید آسمان: حیاط خانه فروغ‌الملک (۰/۲۶)< حیاط خانه صدرجهرمی (۰/۵۷) < حیاط خانه مهندسی (۰/۶۷) در شکل ۲۱ ضریب دید آسمان در حیاط ۳ خانه به نمایش درآمده‌است.



شکل ۲۱. ضریب دید آسمان در حیاط ۳ خانه

در شکل ۲۲ شاخص آسایش حرارتی ایوان و حیاط هر ۳ خانه و محدوده ادراک حرارتی آن‌ها به نمایش در آمده است.

حیاط-PET	مهندسی	صدر جهرمی	فروغ الملک
06.00.01	27.304	13.822	15.078
07.00.01	34.948	27.404	20.223
08.00.01	39.551	34.434	36.468
09.00.01	41.519	37.607	38.702
10.00.01	41.96	39.999	40.226
11.00.01	41.676	40.589	39.878
12.00.01	44.354	43.309	42.194
13.00.01	48.553	48.477	49.4
14.00.01	51.001	51.718	53
15.00.01	51.376	52.569	38.554
16.00.01	35.387	50.4	35.485
17.00.01	31.264	32.155	31.4
18.00.01	26.691	27.411	26.663
19.00.01	24.711	25.317	24.665
20.00.01	23.074	23.565	23.108
21.00.01	21.675	22.084	21.758
22.00.01	20.803	21.2	20.876
23.00.01	19.873	20.2	20
00.00.01	19.318	19.605	19.438
01.00.01	17.168	17.372	17.566
02.00.01	14.978	15.076	15.531
03.00.01	13.514	13.538	14.124
04.00.01	12.294	12.269	12.94
04.59.59	11.89	11.84	12.458
میانگین	29/78	29/23	27/90
استرس گرمایی شدید خیلی داغ	استرس گرمایی قوی داغ	استرس گرمایی متوسط گرم	استرس گرمایی کم کمی گرم	بدون استرس حرارتی مناسب	استرس گرمایی کم کمی خنک	استرس سرمایی متوسط خنک

ایوان-PET	مهندسی	فروغ الملک	صدر جهرمی	فروغ الملک
06.00.01	16.833	16.441	17.307	15.963
07.00.01	22.466	22.207	23.613	21.325
08.00.01	27.384	27.316	28.241	26.287
09.00.01	30.313	30.409	31.036	29.498
10.00.01	32.093	32.336	32.795	31.716
11.00.01	32.741	33.158	33.524	32.966
12.00.01	34.2	34.727	34.989	40.729
13.00.01	37.652	38.131	38.234	49.2
14.00.01	39.137	39.566	40.066	51.8
15.00.01	38.8	39.141	40.298	51.2
16.00.01	36.194	36.4	38.669	35.761
17.00.01	31.746	31.905	34.4	31.586
18.00.01	25.877	25.981	26.382	26.337
19.00.01	23.91	23.923	24.102	24.352
20.00.01	22.481	22.447	22.561	22.85
21.00.01	21.248	21.2	21.248	21.56
22.00.01	20.412	20.337	20.363	20.692
23.00.01	19.6	19.495	19.492	19.832
00.00.01	19.05	18.96	18.936	19.291
01.00.01	17.444	17.328	17.227	17.567
02.00.01	15.625	15.49	15.319	15.642
03.00.01	14.332	14.205	13.993	14.295
04.00.01	13.229	13.109	12.874	13.155
04.59.59	12.743	12.628	12.388	12.669
میانگین	25/22	25/28	25/75	26/92
بدون استرس حرارتی مناسب	استرس گرمایی کم کمی گرم	استرس گرمایی متوسط گرم	استرس گرمایی قوی داغ	استرس گرمایی شدید خیلی داغ	استرس سرمایی کم کمی خنک	استرس سرمایی متوسط خنک

شکل ۲۲. شاخص PET و محدوده ادراک حرارتی حیاط و ایوان خانه‌ها

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از نمودارها، دمای متوسط تابشی و به دنبال آن شاخص آسایش حرارتی در ایوان خانه مهندسی از ۳ ایوان دیگر در شرایط ایده‌آل‌تری قرار دارد. با توجه به‌وسعت حیاط پیرامونی دیده‌شد که حیاط خانه فروغ‌الملک با کمترین مساحت و بیشترین سایه‌اندازی و با داشتن دمای متوسط تابشی کمتر نسبت به ۲ حیاط دیگر، شرایط آسایش حرارتی بهتر و استرس حرارتی کمتری را تجربه می‌کند.
با توجه به خروجی اعداد به دست‌آمده از حیاط‌ها، خانه فروغ‌الملک دمای متوسط تابشی حدود ۴/۶۲

درجه کمتر از حیاط خانه مهندسی و ۵/۹۱ درجه سانتیگراد کمتر از خانه صدرجهرمی را شاهد بوده‌است که وسعت کم و سایه‌اندازی در حیاط کمک شایانی به کنترل دمای تابشی داشته و در پی آن بهبود شاخص آسایش حرارتی را به دنبال خواهدداشت (شاخص آسایش حرارتی حیاط خانه فروغ‌الملک ۱/۸۸کمتر ازخانه مهندسی و ۱/۳۳درجه سانتیگراد کمتر از خانه صدرجهرمی بوده‌است).

با توجه به نتایج حاصل‌شده، دمای متوسط تابشی ایوان خانه مهندسی ۰/۱۱ درجه نسبت به ایوان شمالی خانه فروغ‌الملک و ۱/۵۶ درجه نسبت به ایوان خانه صدرجهرمی و ۲/۴۸ درجه سانتیگراد نسبت به ایوان شرقی خانه فروغ‌الملک دمای کمتری را تجربه‌کرده‌است، در نهایت شاخص آسایش حرارتی بهتری را نسبت به ۳ ایوان شاهد هستیم (شاخص آسایش حرارتی ایوان خانه مهندسی ۰/۵۳ درجه کمتر از خانه صدرجهرمی و ۰/۰۶ درجه کمتر از ایوان شمالی خانه فروغ‌الملک و ۱/۷ درجه سانتیگراد کمتر از ایوان شرقی خانه فروغ‌الملک را شاهد هستیم). لازم به ذکر است که تفاوت دمای شاخص آسایش حرارتی ایوان با حیاط خانه مهندسی برابر با ۴/۵۶ درجه و ایوان شرقی و حیاط خانه فروغ‌الملک ۰/۹۸ درجه و ایوان شمالی و حیاط خانه فروغ‌الملک ۲/۶۲ درجه و در نهایت تفاوت دمای ایوان و حیاط خانه صدرجهرمی برابر با ۳/۴۸ درجه سانتیگراد بوده‌است.

لذا با توجه به مساحت بیشتر حیاط خانه مهندسی و گرفتن تابش بیشتر و در پی آن بالا رفتن شاخص آسایش حرارتی، ولی شاهد کاهش دمای متوسط تابشی در ایوان و بهبود دمای آسایش حرارتی در این مکان هستیم. با استناد به اهمیت جهت‌گیری جغرافیایی ایوان‌ها و میزان و مدت زمان دریافت تابش و همچنین میزان باد دریافتی در ایوان‌ها، در راستای این شاخص‌ها، افزایش ارتفاع ایوان از سطح حیاط به منظور کاهش دریافت بازتاب‌های حرارتی و همچنین افزایش عرض ایوان در نما در راستای تهویه بهتر دما، کمک شایانی بر بهبود شاخص آسایش حرارتیPET در ایوان‌ها کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

از اهداف کلی پژوهش شناخت کارکرد اقلیمی با توجه به تاثیر تناسبات فیزیکی فضاهای نیمه‌باز بناهای تاریخی شهر شیراز بوده‌است، لذا با ورود عناصر پاسخده اقلیمی نظیر ایوان‌ها در بدنه نماها و به‌کارگیری فضاهای مابین به عنوان عایق حرارتی می‌توان انتظار کاهش دمای اضافی انسان‌ساز و رسیدن به عملکرد بهتر بناها را داشت.

نتایج حاصل‌شده از تحقیق صورت‌گرفته حاوی نکات تدوین‌شده ذیل است:

- با بررسی نقش تعدیل‌گر ایوان و حیاط دیده‌شد که متغیر ایوان - حیاط سبب افزایش تاثیر بر شاخص PET شده‌است.
- طبق میانگین شاخص آسایش حرارتی خانه‌ها دیده شد که مقدارPET حیاط‌ها بیشتر از ایوان‌ها بوده‌است و همچنین اثر متغیر ایوان بر شاخص PET نسبت به حیاط تاثیرگذاری بیشتری داشته‌است و دمای PET از لحاظ ادراک حرارتی در محدوده مناسب‌تری قرارگرفته‌است.
- ایوان‌های مورد آزمون از ساعت ۲۰:۰۰ تا ۲۴:۰۰ در محدوده ادراک حرارتی مناسب و عدم وجود استرس حرارتی قرار دارند و از ساعت ۱:۰۰ بامداد تا ۸:۰۰ صبح و ۱۸:۰۰ تا ۲۰:۰۰ استرس حرارتی کمتری تجربه کرده‌اند (ایوان خانه مهندسی میانگین دمایی بهتری را در بین ۴ ایوان داشته‌است).
- با افزایش ارتفاع ایوان از سطح حیاط، دریافت باد بیشتر و به دنبال آن کاهش بازتاب حرارتی و دمای متوسط تابشی را داشته‌ایم، لذا با کاهش دریافت اشعه‌های تابشی توسط مصالح و عوامل انسانی

و بازتاب حرارت به محیط اطراف، کمکی بر کاهش دمای شاخص PET بوده‌است که تفاوت دمایی بیشتری را بین ایوان و حیاط در پی خواهدداشت (در میان ۳ خانه، ایوان خانه مهندسی به دلیل ارتفاع بیشتر از سطح حیاط دارای کمترین میانگینPET و بیشترین تفاوت دمای ایوان- حیاط بوده‌است).

- در بین ۴ جهت جغرافیایی ایوان‌ها دیده‌شد که ایوان خانه مهندسی با داشتن جهت غربی و متمایل به شمال در اکثر ساعات روز و همچنین به صورت میانگین از دمای PET کمتری برخوردار بوده‌است (کمترین بیشینه دمای PET مربوط به ایوان غربی خانه مهندسی است).

در این تحقیق ۲ عامل افزایش عرض بازشوها و افزایش ارتفاع از سطح حیاط بر مساحت ایوان در پلان، عمق ایوان، ارتفاع ایوان برتری داشته‌است. با افزایش عرض ایوان و کاهش ارتفاع و تاثیر آن‌ها بر مساحت گشایش فضایی ایوان در نما، دیده شد که ایوان غربی خانه مهندسی با تاکید جهت جغرافیایی آن از استرس حرارتی کمتری نسبت به بقیه ایوان‌ها برخوردار بوده‌است. لازم به ذکر است که افزایش ارتفاع از سطح حیاط نیز توانسته کمکی بر بهبود شاخص آسایش حرارتی در ایوان‌ها باشد. ایوان‌ها به عنوان فضاهای مابین (نیمه‌باز-نیمه‌بسته) در تهویه و تصفیه دما نقش بسزایی را بازی می‌کنند و مانند حیاط‌ها با مقیاس کوچکتر به عنوان ریه تنفسی ساختمان‌ها عمل می‌کنند.

پیشنهاد برای تحقیقات آتی

بابت کمبود فضای کافی جهت ارائه در تعدد ایوان‌های هم‌جهت و برای رصدکردن نتایج به‌طور کامل، به‌نظر می‌رسد که در پژوهش‌های آتی با ارائه تعداد کافی از هر جهت جغرافیایی، تاثیر تناسبات کالبدی بر داده‌های اقلیمی، در راستای تناسبات بهینه به محدوده ابعادی مناسبی دست‌یافت. جهت قرارگیری ایوان‌ها در کنار فاکتورهایی که بتوانند شرایط دمایی آن‌ها را در آن جهات بهبود بخشند نظیر ارتفاع، عرض، و عمق ایوان‌ها و یا ارتفاع از سطح حیاط، مساحت ایوان در نما و پلان و ... همگی در ادامه راه این تحقیق به بهبود شرایط معماری در خرداقلیم‌ها کمک بارزی خواهندداشت.

پی‌نوشت‌ها

۱. دماسنج تشعشعی با قابلیت اندازه‌گیری دمای سطح (Thermo-Pyrometer)
۲. دستگاهی جهت ثبت بیشینه و کمینه دما و رطوبت محیط (Thermo-Hygrometer)

3. Physiological Equivalent Temp
4. Perceived Temp
5. Standard Effective Temp
6. Predicted Mean Vote
7. New Effective Temp
8. Heat Stress Index
9. Index of Thermal Stress
10. Rayman
11. Science
12. Receptors
13. Leonardo

فهرست منابع

- احمدی، زهرا (۱۳۹۱). بازخوانی نقش گمشده حیاط مرکزی در دستیابی به معماری پایدار. *نشریه شهر و معماری بومی*، ۲، ۲۵-۴۰.
- احمدپور کلهرودی، نرگس، پورجعفر، محمدرضا، مهدوی‌نژاد، محمدجواد، و یوسفیان، سمیرا (۱۳۹۶). نقش و تاثیر عناصر طراحی در کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز شهری بررسی موردی: طراحی پیاده‌راه طمقاچی‌ها در کاشان. *نشریه نامه معماری و شهرسازی*، ۹(۱۸)، ۵۹-۷۹.
- اکرمی، غلامرضا، و دامیار، سجاد (۱۳۹۶). رویکردی نو به معماری بومی در رابطه ساختار آن با معماری پایدار. *نشریه هنرهای زیبا؛ معماری و شهرسازی*، ۲۲(۱)، ۲۹-۴۰.
- امین‌آرا، زینب، سجادزاده، حسن، و پاکروان، اکبر(۱۳۹۳). عوامل موثر آسایش حرارتی در فضای نیمه‌باز مسکونی. *اولین همایش ملی افق‌های نوین در توانمندسازی و توسعه پایدار معماری، عمران، گردشگری، انرژی و محیط زیست شهری و روستایی*، همدان.
- امیدوار، کمال، و امیدی، زهرا (۱۳۹۲). تحلیل پدیده گرد و غبار در جنوب و مرکز استان فارس. *نشریه کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*، ۱(۱)، ۸۵-۱۱۳.
- برزگر، زهرا، و حیدری، شاهین (۱۳۹۲). بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی نمونه موردی جهت‌گیری جنوب غربی و جنوب شرقی در شیراز. *نشریه هنرهای زیبا؛ معماری و شهرسازی*، ۱۸(۱)، ۴۵-۵۶.
- برزگر، زهرا، و حیدری، شاهین (۱۳۹۶). بررسی نقش عمق و سایه ورودی خانه‌های سنتی در تامین آسایش حرارتی بیرونی. *نشریه معماری اقلیم گرم و خشک*، ۵(۵)، ۲۱-۳۲.
- بنازاده، بهاره، حیدری، شاهین، و هادیان‌فرد، حبیب (۱۳۹۹)، ارتباط مقیاس‌های حرارتی با مولفه‌های فیزیکی-محیطی؛ سنجش موردی: ساختمان مدیریت دانشگاه شیراز. *نشریه اقلیم گرم و خشک*، ۷(۱۰)، ۲۵۳-۲۸۱.
- بنیانی، فاطمه، معمارضیا، کاظم، حبیبی، امین، و فتاحی، کاوه (۱۳۹۷). پیوستگی فضایی در گذار از فضای باز به بسته. *نشریه اندیشه معماری*، ۲(۴)، ۶۳-۷۶.
- حقیقت‌نائینی، غلامرضا، فیاض، ریما، و بیغرض، بهروز (۱۳۹۷). دستیابی به آسایش حرارتی در فضاهای همگانی با بهره‌گیری از روش شبیه‌سازی گام به گام، بررسی موردی: یک واحد همسایگی در شهرک امام خمینی لار. *نشریه نامه معماری و شهرسازی*، ۱۱(۲۱)، ۷۷-۱۰۰.
- حیدری، شاهین (۱۳۹۵). *درآمدی بر روش تحقیق در معماری*. تهران: نشرکتاب فکر نو.
- داوطلب، جمشید، پوردیهیمی، شهرام، حافظی، محمدرضا، و ادیب، مرتضی (۱۳۹۸). اثر پوشش گیاهی بر تعدیل احساس گرمایی فضای باز منطقه سیستان. *نشریه مطالعات معماری ایران*، ۸(۱۵)، ۱۵۵-۱۷۱.
- دفتر مقررات ملی ساختمان ایران (۱۳۹۲). *مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث چهارم «الزامات عمومی ساختمان»*. تهران: نشر توسعه ایران.
- رضائی‌نیا، عباسعلی (۱۳۹۶). صورت ایوان در معماری ایرانی، از آغاز تا سده نخستین اسلامی. *نشریه مطالعات معماری ایران*، ۶(۱۱)، ۱۲۵-۱۴۴.
- زمردیان، زهراسادات (۱۳۹۵). *آسایش حرارتی در فضاهای آموزشی در شهر تهران*. رساله برای دریافت درجه دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی،دانشگاه شهید بهشتی.
- ستوده، حسام الدین، وکریمی، غلامعلی (۱۳۹۴). بررسی ارتباط بین فرهنگ و معماری بومی و تاثیر آن در ارتقا کیفیت طراحی. *اولین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری*، تهران.
- ضابطیان طرقی، الهام، و خیرالدین، رضا (۱۳۹۷). مدل سلسله مراتبی ارزیابی سازگاری روانی در جهت نیل به آسایش حرارتی و حس مکان در فضاهای شهری. *نشریه مطالعات شهری*، ۲۸(۷)، ۷۹-۹۰.
- ضابطیان طرقی، الهام، و خیرالدین، رضا (۱۳۹۸). سنجش ارتباط بین سازگاری روانی با حس مکان جهت نیل به آسایش حرارتی در فضاهای شهری (مطالعه موردی: میدان امام خمینی و امام حسین شهر تهران). *نشریه هویت شهر*، ۱۳(۳۹)، ۴۷ -۶۲.
- ضرغامی، اسماعیل، خاکی، علی، و سادات، سیداشرف (۱۳۹۵). بررسی تطبیقی معماری پایدار و مطابقت آن با معماری بومی خانه‌های سنتی در شهر ایرانی- اسلامی. *نشریه معماری و شهرسازی پایدار*، ۳(۱)، ۱۵-۳۰.
- لاله، هایده، و رضائی‌نیا، عباس (۱۳۹۳). بررسی و تحلیل انتقادی فرضیه‌های خاستگاه ایوان. *نشریه مطالعات باستان‌شناسی*، ۶ (۲)،۵۹ -۷۱.

- مرکز آمار ایران (۱۳۹۹). *سالنامه آماری کشور ۱۳۹۷*. تهران: دفتر ریاست، روابط عمومی و همکاری‌های بین‌الملل.
- مرئی، الهه، فیاض، ریما، معماریان، سینا، و محمدکاری، بهروز (۱۴۰۰). تاثیر ویژگی مصالح مختلف مورد استفاده در سطوح شهری بر ایجاد جزیره حرارتی در اقلیم گرم و خشک. *نشریه نامه معماری و شهرسازی*، ۱۴(۳۲)، ۳۱-۴۸.
- مجیدی، فاطمه‌السادات، حیدری، شاهین، قلعه‌نویی، محمود، و قاسمی‌سیچانی، مریم (۱۳۹۸). ارزیابی و مقایسه آسایش حرارتی در محلات مسکونی شهر اصفهان(مطالعه موردی: محلات علی آقا و دشتستان). *نشریه مطالعات معماری ایران*، ۸(۱۵)، ۴۷-۶۴.
- مقدم‌ضیابری، سیدعلی، و مظفری، فاطمه (۱۳۹۷). تاثیر بالکن بر تهویه طبیعی، آسایش حرارتی و کاهش سر و صدای بیرونی در ساختمان‌های مسکونی. *نشریه معماری شناسی*، ۱(۶)، ۱-۸.
- معروفی، حسام، و خلاق‌دوست، متین (۱۳۹۷). شناشیل؛ جلوه ای مدرن از عنصر سنتی؛ بهره گیری از تکنولوژی‌های بومی در معماری مدرن. *نشریه معماری سبز*، ۴(۱۱)، ۴۹-۵۷.
- منتظری، مرجان، جهانشاه‌لو، لعلا، وماجدی، حمید (۱۳۹۷). تاثیر مولفه‌های فرم کالبدی شهری بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری. *نشریه مطالعات محیطی هفت حصار*، ۶(۲۳)، ۴۹-۶۶.
- مهرابیان، ساهره، مجدی، شیما، و فرازجو، فروغ (۱۳۹۵). مقایسه تطبیقی تناسبات فضای پر و خالی در معماری خانه‌های بومی مناطق جلگه‌ای و کوهستانی در شرق گیلان. *کنفرانس بین‌المللی معماری، شهرسازی، عمران، هنر، محیط زیست افق آینده و نگاه به گذشته*، تهران.
- مهدوی‌نیا، مجتبی، و وهابی، ویدا (۱۴۰۰). بررسی تاثیر سایه‌بان‌های متحرک الحاقی به فضاهای نیمه‌باز بر مصرف انرژی سالانه ساختمان‌های مسکونی تهران. *نشریه نامه معماری و شهرسازی*، ۱۳(۳۰)، ۲۳-۴۱.
- مهدوی‌نژاد، محمدجواد، منصورپور، مجید، و مسعودی‌نژاد، مصطفی (۱۳۹۵). جایگاه اقلیم در ترکیب‌بندی بناهای معاصر (مطالعه موردی: خانه‌های دوران قاجار در شهر دزفول). *نشریه هویت شهر*، ۱۰(۲۶)، ۶۱-۷۴.
- نیکقدم، نیلوفر (۱۳۹۲). الگوی فضاهای نیمه‌باز خانه های بومی دزفول، بوشهر، بندر لنگه در ارتباط با مولفه‌های اقلیم محلی. *نشریه هنرهای زیبا؛ معماری و شهرسازی*، ۱۸(۳)، ۶۹-۸۰.
- ورد، مینا، فیضی، محسن، خاک‌زند، مهدی، و اوجاقلو، مرتضی (۱۳۹۷). ویژگی‌های حرارتی فضاهای باز و نیمه‌باز در شرایط اقلیم شهر تهران. *نشریه پژوهش‌های معماری و محیط*، ۲(۱)، ۳۱-۴۸.
- یادگاری، پگاه و سجادزاده، حسن (۱۴۰۰). نقش الگوی فضایی و پوشش گیاهی فضاهای باز محلی بر میزان آسایش حرارتی در اقلیم سرد. *نشریه مطالعات شهری*، ۱۰(۴۰)، ۱۵-۲۶.

- Berardi, U., & Yupeng, W. (2016). The Effect of a Denser City over the Urban Microclimate: The Case of Toronto. *Sustainability,* 8(8), 1-11.
- Falk, C. (2020). Vernacular Architecture.Vernacular Architecture-Architecture Planning and Preservation - *Oxford Bibliographies,* 1-21, Last Modified: 26 Februray 2020 from https://www.oxfordbibliographies.com/view/document/obo9780190922467/obo- 9780190922467-0017.xml?Print
- Goshayeshi, D., Mohd Fairuz S., Farzaneh K., & Ezzat, E. (2013). A Review of Researches about Human Thermal Comfort in Semi-Outdoor Spaces. *European Online Journal of Natural and Social Sciences,* 2(4), 516-523.
- Matallah, M. E., Mahar, W.A., Bughio, M., Alkama, D., Ahriz, A., & Bouzaher, S. (2021). Prediction of Climate Change Effect on Outdoor Thermal Comfort in Arid Region. *Energies,* 14, 4730, 1-26.
- Matzarakis, A., & Amelung, B. (2008). Physiological Equivalent Temperature As Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans, Climatic Change and Human Health, *springer science,* 161-172, from https://www.researchgate.net/publication/226518690
- Nakano, J., & Tanabe, S. (2020). Thermal Adaptation and Comfort Zones in Urban Semi- Outdoor Environments. *Frontiers in Built Environment,* 6 (34), 1-13.
- Saljoughinejad, S, & Rashidi Sharifabad, S. (2015). Classification of climatic Strategies, Used in Iranian vernacular residences based on spatial constituent Elements. *Building and Environment,* 92, 475-493.

- Soleymanpour, R., Parsaee, N., & Banaei, M. (2015). Climate Comfort Comparison of Vernacular and Contemporary Houses of Iran, *Asian Conference on Environment Behaviour Studies,* Tehran, Iran.
- Worre Foged, I. (2019). Thermal Responsive Performances of a Spanish Balcony Based Vernacular Envelope, *Buildings,* 9(4), 1-12.
- Zhang, Y., & Liu, C. (2021). Digital Simulation for Buildings' Outdoor Thermal Comfort in Urban Neighborhoods, *Buildings,* 11(541), 1-10.

Vol. 15 • No. 36 • Autumn 2022

Received: 08 October, 2021 | Accepted: 15 April, 2022

Document Type: Research Paper

The Effect of Physical Proportions on the Thermal Performance of Porches in the Historical Fabric of Shiraz Based on the Improvement of Thermal Comfort Index

Jamshid Karimzadeh

Ph.D. Candidate, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Bushehr Islamic Azad University, Bushehr, Iran

Jamal-e-din Mahdinejad Darzi

Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Engineering, Tarbiat Dabir Shahid Rajaee University, Tehran, Iran (Corresponding Author)

Visiting Professor, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Bushehr Islamic Azad University, Bushehr, Iran

Bagher Karimi

Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Bushehr Islamic Azad University, Bushehr, Iran

Abstract

Climate change is one of the most significant environmental reactions that has affected the environment and along with increasing population, industrial expansion, and urbanization, has led to an increase in urban metabolism and changes in weather patterns. Therefore, thermal comfort, which is a satisfying thermal condition from the surrounding man-made environment, is affected by the surrounding climatic conditions. Historically, the temperature and providing thermal comfort has been one of the most important priority needs of users. In this regard, environmental compatibility, rereading and reproducing concepts in accordance with the environment have been essential. The main objectives of this research in reducing the ambient temperature are to retrieve vernacular strategies and identify the techniques that encompass the natural, cultural, traditional, and social conditions prevailing in an area. The proportions of climatic elements in the façade -the exchange of internal and external boundaries has been one of the main elements in temperature response and balance- including all physical points and vector constituents that form a space with an arch that is closed on three sides, and opened to the courtyard from the front, have shown significant effects on lowering the temperature of their surroundings. In this regard, four porches with four geographical directions (north, south, east and west) in the three houses (with historical antiquity and influential climatic elements like: Sadr Jahromi , Forough–al-Molk and Mohandesi) of Shiraz's historical fabric were selected. In this research, quantitative approaches such as field study and collection of climate data and physical components were used along with computational simulation. The field data and experimental results obtained by devices (portable instruments in the selected buildings) such as thermo-hygrometer to record maximum and minimum ambient temperature and humidity and thermo-pyrometer to measure surface temperature on the targeted points, such as yards and porches were analyzed and validated by Envi-met (climate analysis simulator) software. Lastly, PET thermal comfort index, physiological equivalent temperature and index for determining the comfort temperature in open and semi-open spaces, were calculated using Bio-met software (the impact of all climatic factors can be evaluated by the results of this index). The research results showed that according to the difference between the average PET index of porches and yards, the porch modifier had a greater effect on this index than the yard. Therefore, variables such as the width of the porch, the area of the spatial opening in the facade, and the height of the courtyard have significant impacts according to the geographical direction. By increasing the width of the openings and the height from the surface of the yard, followed by preventing temperature reflections, including long wave infrared radiation emitted based on heat received from surrounding materials and reducing the reception of these rays and their re-emission, the temperature of the PET index decreased, and the PET temperature was in a more appropriate range in terms of thermal perception and degree of physiological pressure. Also, better temperature condition and reduced thermal stress condition were experienced in the porches.

Keywords: Thermal performance, thermal comfort, PET index, ecological architecture, porch