

## تأثیر 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 مدعو گروه 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

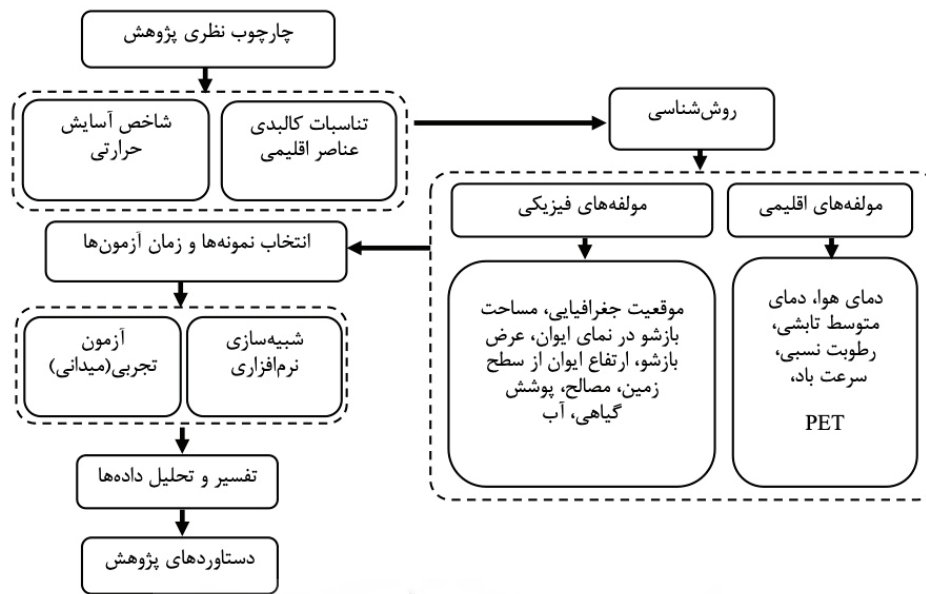
تغییرات اقلیمی یکی از شاخص‌ترین واکنش‌های محیطی است که با افزایش جمعیت و رشد شهرنشینی بر محیط زیست پیرامونی خود تأثیر گذاشته است. لذا آسایش حرارتی در چنین محیط انسان‌سازی تحت تأثیر شرایط اقلیمی پیرامونی خود قرار گرفته است. بازجست راهبردهای بوم‌گرایانه از مهمترین اهداف این تحقیق در کاهش دمای محیطی بوده است. تناسبات عناصر اقلیمی در بدنه نما همچون ایوان‌ها، تأثیرات 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 برده است. نتایج مستخرج از آزمایش‌های تجربی که توسط دستگاه‌هایی هم‌چون ترموهیگرومتر و ترموپرومتر بر روی نقاط مدنظر انجام شده، توسط نرم‌افزار Envi-met صحت‌سنجی شده است. در انتها با نرم‌افزار Bio-met شاخص آسایش حرارتی PET تعیین شد. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که با توجه به تفاوت میانگین شاخص PET ایوان و حیاط خانه‌ها، تعدیل‌گر ایوان بر این شاخص تأثیر بیشتری نسبت به حیاط داشته است، 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 شده است.

**کلیدواژه‌ها:** عملکرد حرارتی، آسایش حرارتی، شاخص PET، 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 هر چه 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 خواهد داشت. طی سال‌ها این شرایط اقلیمی بوده است که با قدرت، سایه بر دیگری انداخته است و انسان‌ها را وادار به واکنش‌هایی در ارتباط با محیط سکونتشان کرده است. لذا معماری هزاره سوم معماری خواهد بود 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 خواهد شد، در آن مرز بیرون و درون کمرنگ شده و طبیعت، از لحاظ واقعی کاملاً به داخل نفوذ خواهد کرد (حیدری، ۱۳۹۵). سازگاری روانی تاثیر شگرفی بر ادراک و آسایش حرارتی انسان‌ها از محیط پیرامونی دارد (ضابطیان طرقي 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 بوده است 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 خواهند داشت. از این رو در پژوهش صورت‌پذیرفته، یک بافت مسکونی در شهر شیراز در نظر گرفته شده است که با دارا بودن بناهای تاریخی موثر به همراه عناصر اقلیمی همانند ایوان، سنجش عملکردهای حرارتی این عنصر ملاک قرار داده شده است. 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) بوده است. با قرارگیری فضاهای نیمه‌باز در کنار فضاهای بسته و نفوذپذیری بیشتر نمای ساختمان‌ها از راکد ماندن دما جلوگیری خواهد شد. بنابراین تردد هوا، ایجاد سایه و جذب حداقلی دما حاصل چنین راهبردی خواهد بود. تناسبات کالبدی عناصر اقلیمی پاسخ‌گو همچون ایوان‌ها و واکنش آن‌ها به شرایط آب و هوایی محیط پیرامون مهمترین ساختار تشکیل‌دهنده این پژوهش بوده است. بر این اساس شناخت عملکرد حرارتی عناصر اقلیمی بوم‌گرا و تاثیرگذاری آن‌ها در بهبود شاخص آسایش حرارتی از اهمیت و ضرورت پژوهش بوده است. 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 بوده است. 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<sup>۱</sup> و ترموهیگرومتر<sup>۲</sup> مورد آزمایش قرار گرفته است. اعتبارسنجی داده‌های میدانی در نرم‌افزار شبیه‌سازی Envi-met صورت گرفته است و سپس در نرم‌افزار Bio-met شاخص آسایش حرارتی PET<sup>۳</sup> ارزیابی شد که در نهایت نتایج مستخرج از تحقیق در جداول و نمودارها ارائه شده‌اند. در شکل ۱ روند کلی پژوهش نمایش داده شده است.



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 محدود پژوهش‌های داخلی و خارجی بوده است که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش به تلفیقی صحیح از تمامی متغیرهای مورد نظر پرداخته شده است. بهره‌گرفتن از ویژگی‌های فضاهای باز و بسته به یک میزان از مهمترین مختصات کالبدی و مفهومی فضاهای نیمه‌باز بوده است. 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، دیده شد که سیستم‌های فعال، کارآمدترین و پاکیزه‌ترین راه‌ها برای رفع نیاز حرارتی ساختمان بوده است. سایه‌بان یکی از موثرترین راهکارهایی بوده است که در معماری سنتی ایران بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. 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 نظر گرفته شده است. 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 چندخانوار بود. تمرکز پژوهش بر روی میزان افزایش دما بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بوده است. در این پژوهش از نرم‌افزار شبیه‌سازی انومی‌مت و به‌کارگیری شاخص آسایش حرارتی  $PT^4$  از طریق مدل محاسباتی Rayman استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مقادیر شاخص  $PT$  از سال ۲۰۲۰ شروع شده و به تدریج تا سال ۲۰۸۰ حدود  $7/7+$  افزایش دما را شاهد خواهیم بود (Matallah et al., 2021).

در پژوهشی دیگری که توسط ناکانو و تانابه صورت گرفت ارزیابی آسایش حرارتی در محیط‌های باز و نیمه‌باز بوده است، نتایج به دست آمده از این پژوهش در راستای رفتار ساکنان، تنظیم نوع پوشش گیاهی و زمان اشغال در فضاهای باز و نیمه‌باز مدنظر قرار گرفته شده است. لازم به ذکر است که در این تحقیق از شاخص‌های متنوع آسایش حرارتی بهره گرفته شده است (Nakano & Tanabe, 2020). در تحقیقی که در سال ۲۰۱۹ انجام شده است، 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 بوده است، 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 بوده است، 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 حرارتی PET مناسب‌ترین شاخص برای ارزیابی آسایش حرارتی فضاهای باز به شمار می‌رود. نتایج نشان می‌دهد که بین شاخص PET 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 صورت گرفته توسط حقیقت نائینی و همکاران، شاخص دمای معادل فیزیولوژیک از پرکاربردترین شاخص‌های فضاهای بیرونی ارزیابی شده است، همچنین براساس بررسی‌های صورت گرفته از طریق این پژوهشگران بر تحقیقات سایر محققین دیده شده است که اعتبار و ارزیابی شاخص PET در پیش‌بینی آسایش حرارتی فضاهای بیرونی در قیاس با دو شاخص دمای موثر استاندارد نوین (SET)<sup>۵</sup> و تخمین میانگین آرا (PMV)<sup>۶</sup> بسیار بیشتر بوده است (حقیقت نائینی و همکاران، ۱۳۹۷). استفاده مناسب از بالکن، در آسایش حرارتی و تهویه طبیعی تاثیر بسیار بسزایی دارند. استفاده از سیستم‌های غیرفعال در سرمایه‌گذاری 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 عمل کرده و باعث جلوگیری از تابش آزاردهنده خورشید برای طبقات زیرین می‌شود (مقدم ضیابری و مظفری، ۱۳۹۷). در تحقیقی صورت گرفته 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 متأثر 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 بزرگ و حیدری در سال ۱۳۹۶ انجام گرفته است، 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 محاسبه گردید، 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 نزدیک تری 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 خلاق دوست، ۱۳۹۷، ۵۴). پیتر 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 متأثر 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 تعیین‌کننده‌است (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 صرفاً صحبت در مورد بناها و مکان‌ها نیست بلکه معماری بومی در برگزیده 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 حلول کرده 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، به گونه‌ای 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 ترسیم کرده‌اند، فضایی با پوشش طاقدار است که از سه طرف بسته و از جلو به حیاطی گشوده شده است. محل و جهت قرارگرفتن و کیفیت ساخت ایوان در بنا با فصول مختلف سال، زاویه تابش نور آفتاب، وزش باد و دمای هوا ارتباط داشته است. عامل اقلیم در جانمایی ایوان در ساختمان نقش اساسی دارد و عامل فرهنگی در نمایش و نحوه 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 کرده است (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 صرفاً برای کسب محیطی قابل سکونت در محدوده آسایش دمایی بوده است. 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 اشرفی 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, YET, HIS, ITS) هستند. از بین شاخص‌های مدنظر PMV و PET را می‌توان پرکاربردترین آن‌ها نام برد. شاخص PMV در اصل برای اندازه‌گیری شرایط آسایش حرارتی در فضای داخلی به کار 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 بیان 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 شده است 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 به کارگیری شاخص PET شامل موارد زیر هستند:

- این شاخص شامل میزان فعالیت و پوشش لباس می‌شود 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 به وسیله نتایج آن قابل مقایسه و ارزیابی است. همچنین محاسبه آسان آن توسط نرم‌افزارهایی همچون ریمن<sup>۱۰</sup> 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 شده است.

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

درجه استرس فیزیولوژیکی	میزان احساس حرارتی	درجه دمای معادل فیزیولوژیکی	میزان احساس حرارتی	درجه استرس فیزیولوژیکی	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	۱۸-۲۲			

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 شده است. به منظور 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 ترموپرومتر (دماسنج تعیین دمای سطوح) و ترموهیگرومتر (دماسنج و رطوبت‌سنج) انجام پذیرفت و سپس داده‌های مستخرج طی جدولی ارائه گردیدند.
- اعتبارسنجی داده‌های میدانی توسط نرم‌افزار انوی مت نسخه ۴/۴/۴ ساینس<sup>۱۱</sup> صورت گرفت.
- لازم به ذکر است که به دلیل محدودیت زمانی در برداشت‌های میدانی بابت همزمانی بیماری کوید ۱۹ 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 انوی مت به صورت یک شبانه روز کامل انجام شود.
- مدل‌ها براساس برداشت‌های دقیق میدانی صورت‌گرفته، توسط نرم‌افزار انوی مت 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 انوی مت 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 جزئیات تشکیل‌دهنده آن‌ها و همچنین در جداول ۴ و ۵ تمامی اجزا خانه‌ها در بافت تاریخی شیراز گردآوری شده‌است. در شکل ۲ دستگاه ترموپرومتر، جهت تعیین دمای سطح و در کنار آن ترموهیگرومتر که با آن دمای محیطی و رطوبت را بتوان اندازه‌گیری کرد، نمایش داده شده‌است.



شکل ۲. الف: ترموپرومتر ب: ترموهیگرومتر

براساس اطلاعات تدوین‌شده در جدول ۳، اندازه‌گیری‌ها طی ۳ روز در خانه‌های مدنظر انجام شده‌است که در خانه صدرچهرمی در تاریخ ۱۳۹۹/۰۲/۱۸ از ساعت ۱۴:۰۰ تا ۱۹:۰۰ بعداز 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 جریات برداشت شده در شبیه‌سازی نرم‌افزاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اندازه‌گیری در خانه مهندسی در تاریخ ۱۳۹۹/۰۲/۱۷ و از ساعت ۸:۰۰ تا ۱۳:۰۰ هر 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.



جدول ۲. 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 فروغ الملک	قاجار	۱۳۷۷/۰۲/۳۰	۲۰۴۰	محله سنگ سیاه، نزدیک بقعه بی بی دختران	شمال-شرق	۱ طبقه- ۱/۵ طبقه	دارد	۱ باغچه، ۲ درخت نارنج
خانه صدر جهرمی	قاجار	۱۳۷۷/۱۲/۰۸	۲۲۷۷	شیراز، خیابان لطفعلی خان زند، گود عربان، مجاور بازار حاجی (پشت شاه چراغ)	جنوب	۱/۵ طبقه	دارد	۲ باغچه، ۴ درخت نارنج

جدول ۳. برداشت میدانی داده‌های آب و هوایی

نام بنا	پیشینه دمای حیاط	کمینه دمای حیاط	پیشینه رطوبت حیاط	کمینه رطوبت حیاط	پیشینه دمای ایوان	کمینه دمای ایوان	پیشینه 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٪	۱۴:۰۰ الی ۱۹:۰۰	۱۳۹۹/۰۲/۱۸

(دما بر اساس درجه سانتیگراد است)

جدول ۴. 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 فروغ الملک (ایوان شمالی-شرقی)	۴۷/۷۰	شمالی: ۱۸/۴۰ شرقی: ۱۲/۴۰	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

جدول ۵. 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 فروغ الملک (ایوان شمالی-شرقی)	سنگ، آجر، سیمان، چوب، موزاییک	۴/۵۰	۶/۶۵	٪ ۹/۴	۴/۶۰	٪ ۱۳/۹
خانه صدر جهرمی (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 (جزئیات حیاط‌ها و ایوان‌ها) به نرم‌افزار Envi-met
۲. جمع‌آوری اطلاعات اقلیمی و هواشناسی شیراز
۳. مکان قرارگیری و تعداد گیرنده‌های محیطی (رِسپتورها)<sup>۱۲</sup> در بناهای انتخابی به همراه زمان مناسب آزمون برای استخراج داده‌های ۲۴ ساعته
۴. سنجش و ارزیابی داده‌های کمی مستخرج‌شده از پژوهش و ارائه گراف‌ها از طریق نرم‌افزار لئوناردو<sup>۱۳</sup> (زیر مجموعه انوی‌مت بوده است)
۵. تدوین داده‌های شاخص آسایش حرارتی PET توسط نرم‌افزار Bio-met (زیر مجموعه انوی‌مت بوده است که میزان شاخص PET با استفاده از این بخش از نرم‌افزار تعیین شده است)
۶. لازم به ذکر است که ورودی داده‌ها جهت تعیین شاخص آسایش حرارتی PET توسط نرم‌افزار بیومت در شکل ۳ نمایش داده شده است.

The screenshot shows the 'Assign data fields to BioMet input' window. It is divided into two main sections: environmental parameters and personal human parameters.

**Assign data fields to BioMet input**

- Objects (Buildings/ Terrain): Objects
- Air Temperature Ta: Potential Air Temperature
- Mean Radiant Temperature TMRT: Mean Radiant Temp.
- Horizontal Wind speed uv: Wind Speed
- Specific Humidity q: Spec. Humidity

**Personal human parameters**

**Body parameters**

- Age of person (y): 35
- Gender: Male
- Weight (kg): 75.00
- Height (m): 1.75
- Surface Area (DuBois-Area): 1.91 m<sup>2</sup>

**Clothing parameters**

- Static Clothing Insulation (clo): 0.90

**Persons metabolism**

- Total Metabolic rate (W): 164.49 (=86.21 W/m<sup>2</sup>)
- (met): 1.48

There is an 'Edit personal parameters...' button with a person icon.

شکل ۳. داده‌های ورودی به نرم‌افزار

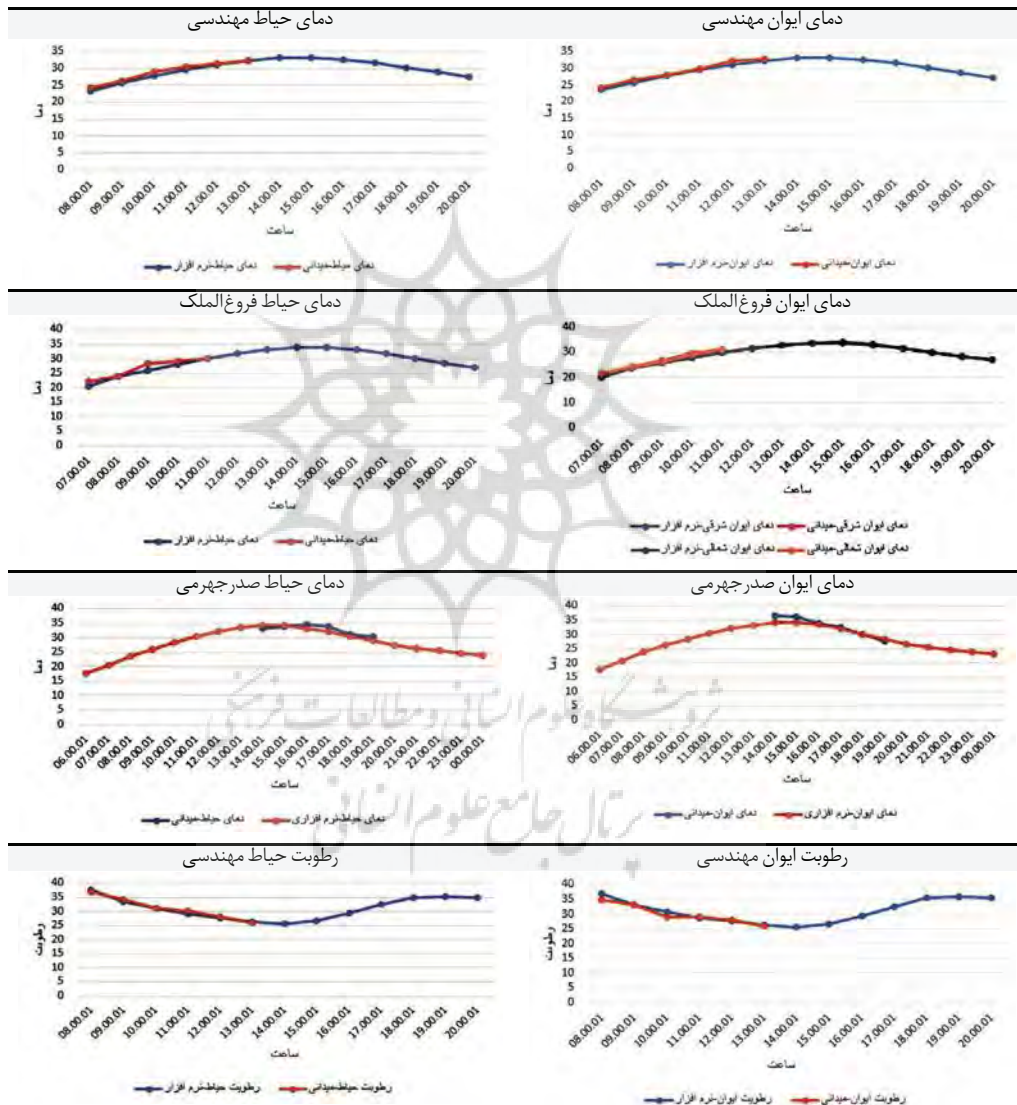
داده‌های آب و هوایی مستخرج از نرم‌افزار انوی‌مت شامل دمای هوا، دمای متوسط تابشی، سرعت باد و رطوبت نسبی در محدوده بیومت نرم‌افزار انوی‌مت بارگذاری شده است. در راستای داده‌های مدنظر آب و هوایی خصوصیات فیزیکی مورد نیاز شاخص PET نظیر سن، جنس، ارتفاع یک انسان پیش فرض به همراه فاکتور عایق لباس و نرخ متابولیسم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

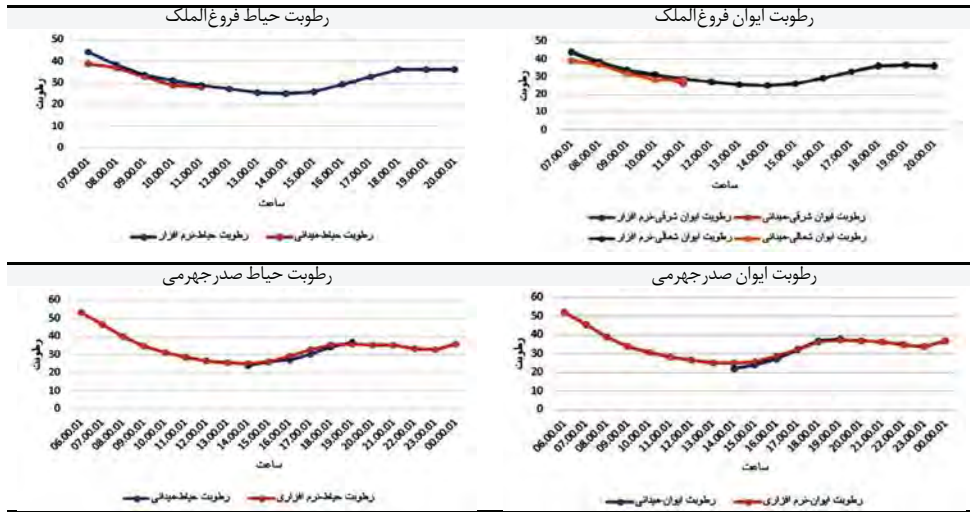
جدول ۶. پارامترهای ورودی جهت تعیین PET

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

## تفسیر داده‌ها و بحث

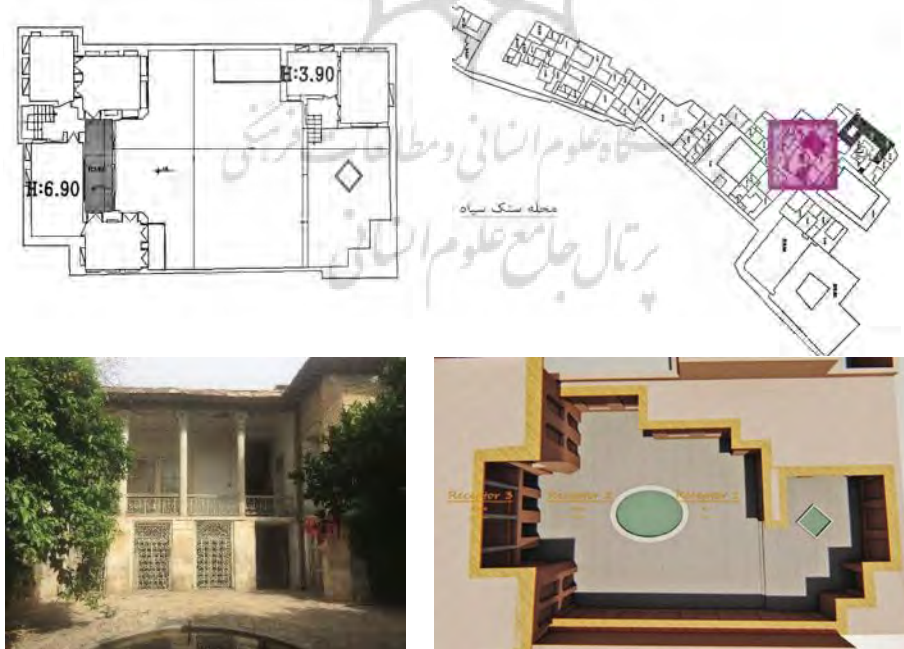
بر اساس داده‌های به دست‌آمده در زمان ۲۴ ساعت در تاریخ مدنظر توسط نرم‌افزار Envi-met و نتایج حاصل‌شده از آزمایش‌های میدانی در زمان‌هایی که اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شده‌است، بین داده‌های به‌دست‌آمده از دو روش، اعتبارسنجی صورت گرفته و ضریب خطای داده‌ها نمایش داده شده‌است. لازم به‌ذکر است که داده‌های اقلیمی مدنظر، شامل دما، رطوبت، دمای متوسط تابشی و سرعت باد بوده‌است و مولفه‌های فیزیکی طبق جدول ۲ و ۴ و ۵ به‌طور کامل در نرم‌افزار شبیه‌سازی انوی‌مت به‌کار گرفته شده‌است. 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.



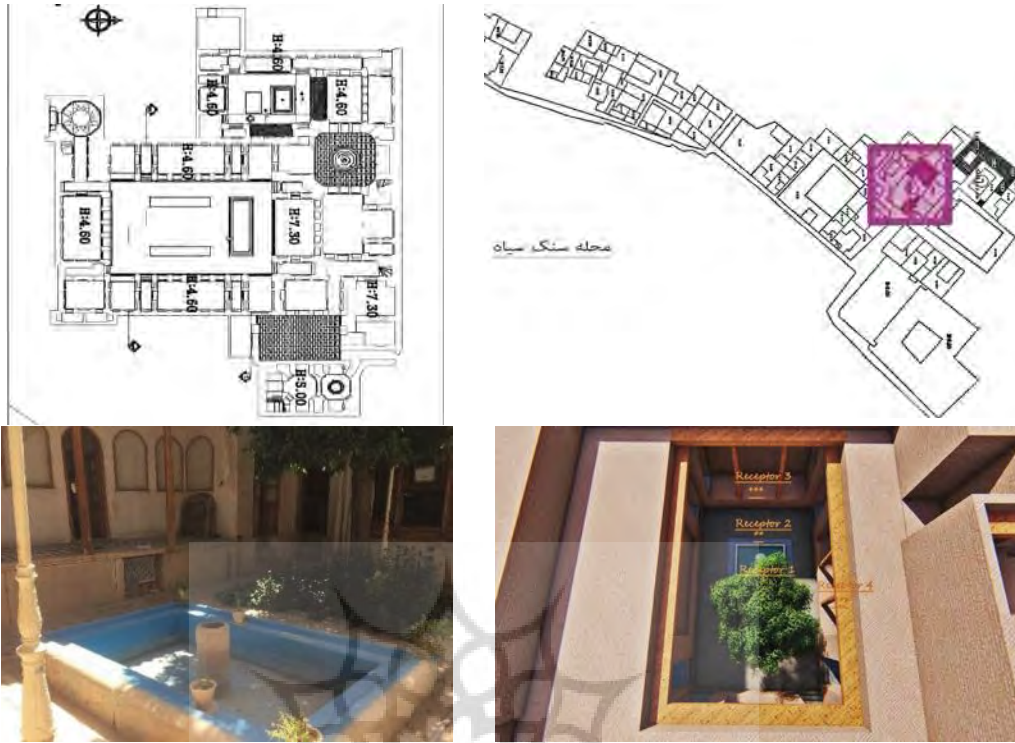


شکل ۴. هم‌پوشانی آزمون میدانی و شبیه‌سازی

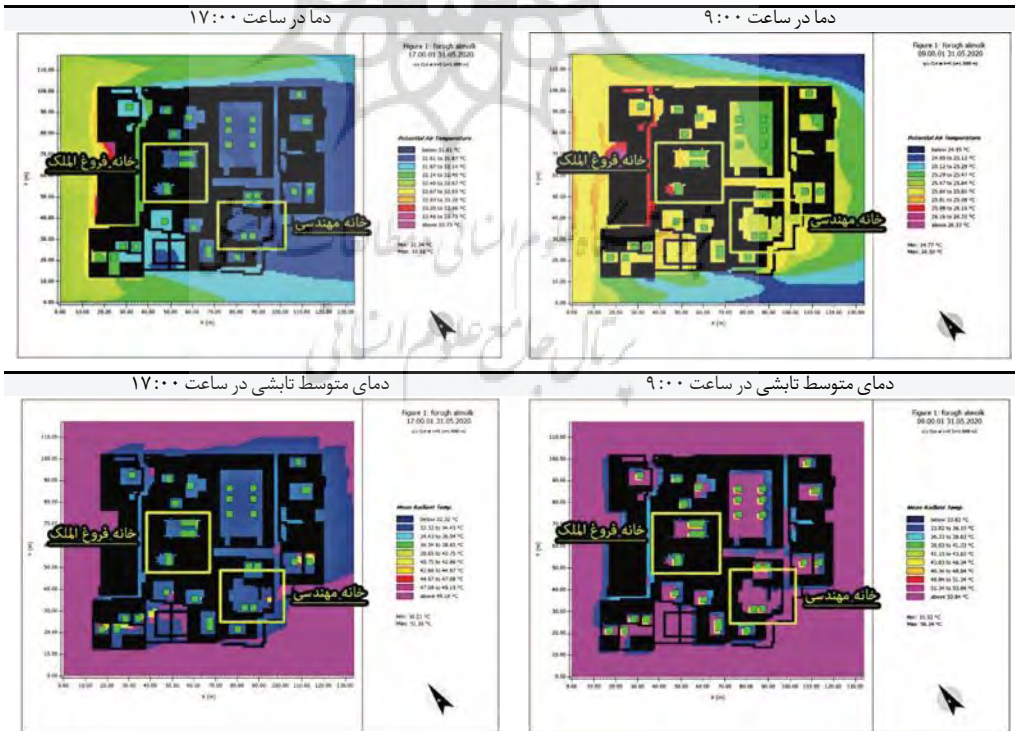
طبق شبیه‌سازی صورت گرفته در طول یک شبانه‌روز و نتایج حاصل شده در ۲۴ ساعت از طریق نرم‌افزار Envi-met در خانه مهندسی (ایوان غربی متمایل به شمال، شکل ۵) در ۳ گیرنده (یکی در مرکز حیاط، دومی در حیاط و در نزدیکی ایوان و سومی در مرکز ایوان قرار دارند) و خانه فروغ الملک (ایوان شمالی و شرقی متمایل به جنوب‌غرب، شکل ۶) در ۴ گیرنده محیطی (رسپتور در مرکز حیاط، در حیاط و در نزدیکی ایوان، در مرکز ایوان شمالی، در مرکز ایوان شرقی) در ساعت ۹:۰۰ 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 فروغ الملک در ۲ ساعت به نمایندگی از اطلاعات برداشت شده از ۲۴ ساعت نمایش داده شده‌است.



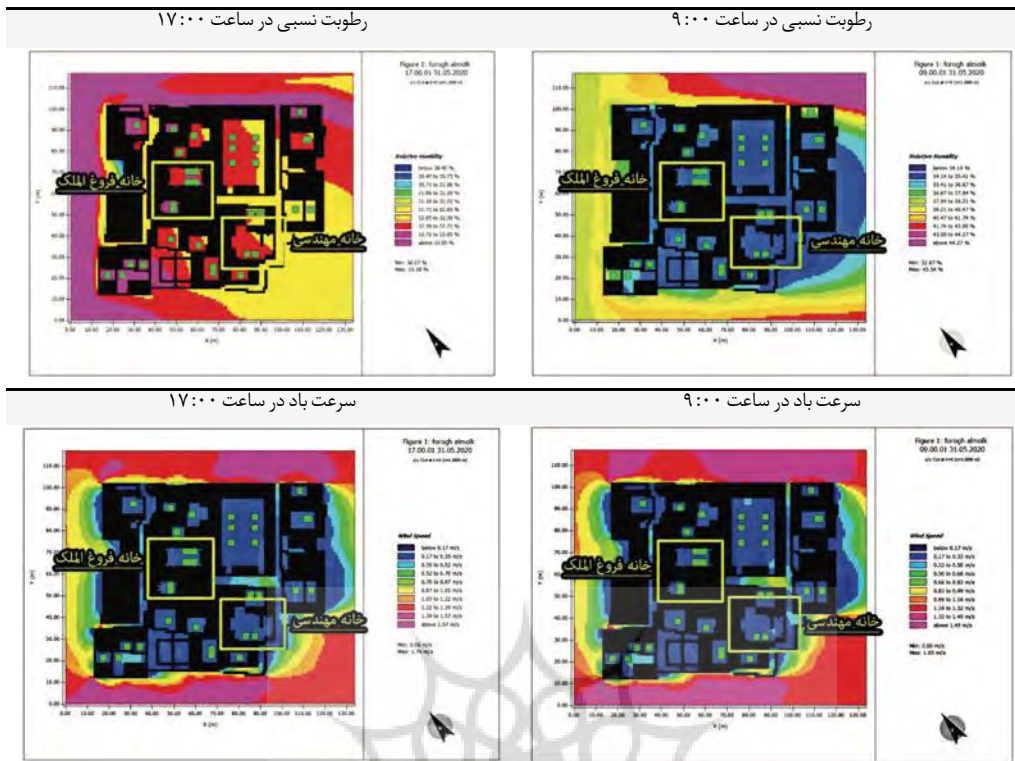
شکل ۵. موقعیت بافت و تصاویر به همراه مکان قرارگیری رسپتورها در خانه مهندسی



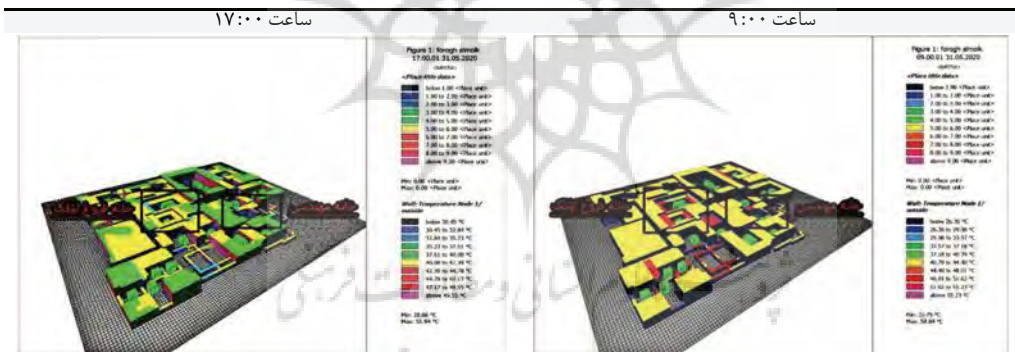
شکل ۶. موقعیت بافت و تصاویر به همراه مکان قرارگیری رسیپتورها در خانه فروغ الملک



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



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

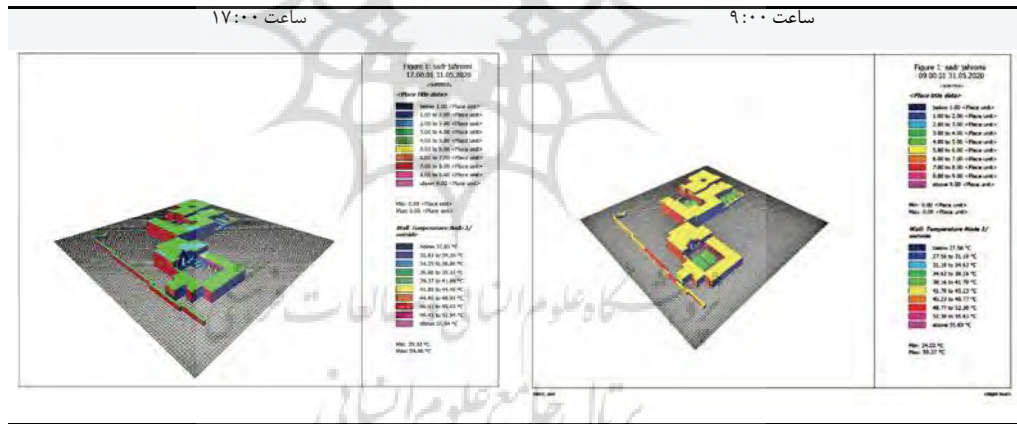


شکل ۸. دمای سطح در خانه مهندسی و فروغ‌الملک

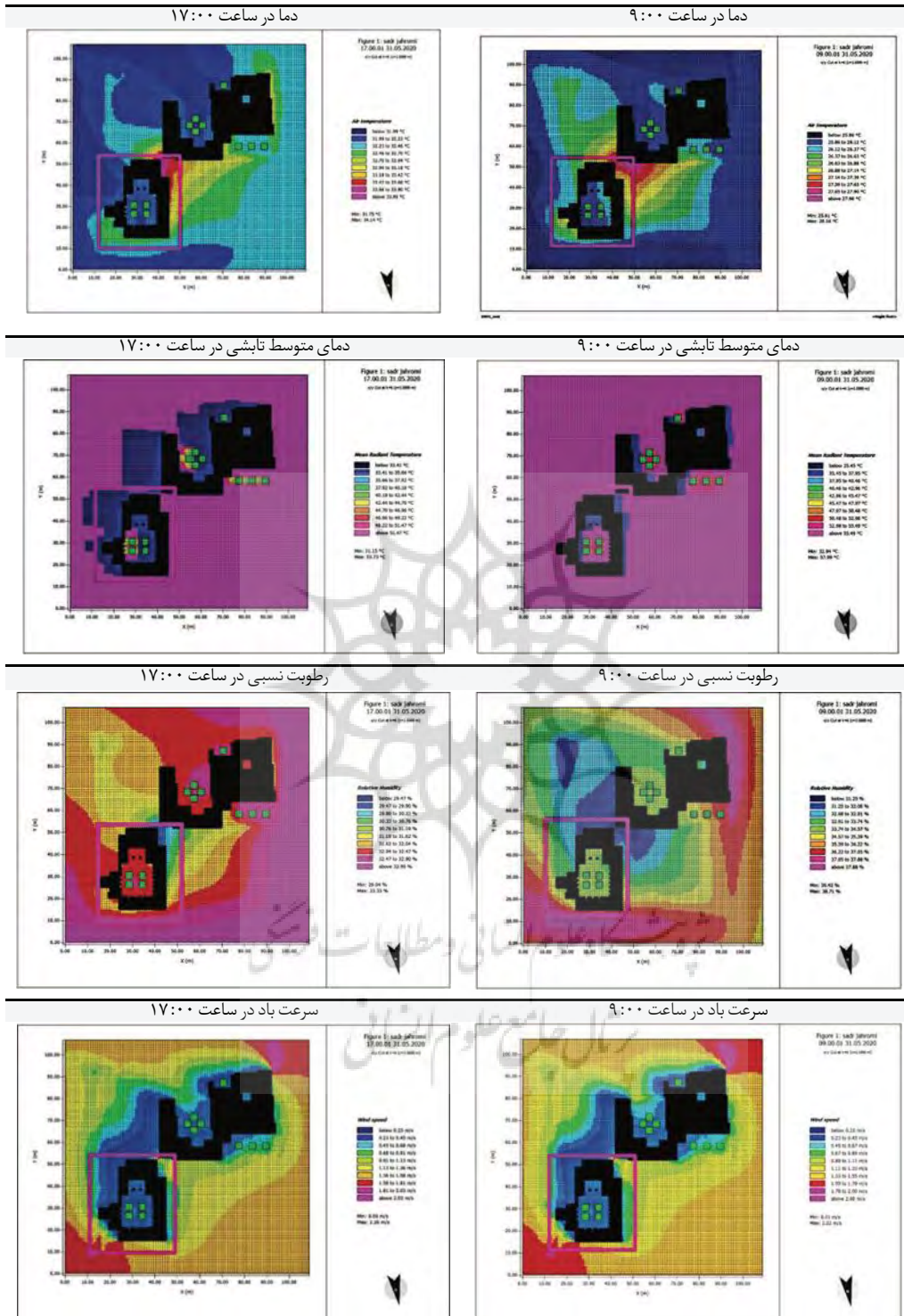
در خانه صدر جهرمی با داشتن ایوان جنوبی متمایل به شرق (شکل ۹) با داشتن ۳ گیرنده محیطی، نتایج در قالب اشکال ۱۰ و ۱۱ به صورت گراف‌هایی تدوین شده است.



شکل ۹. موقعیت بافت و تصاویر به همراه مکان قرارگیری رسیپتورها در خانه صدر جهرمی



شکل ۱۰. دمای سطح در خانه صدر جهرمی



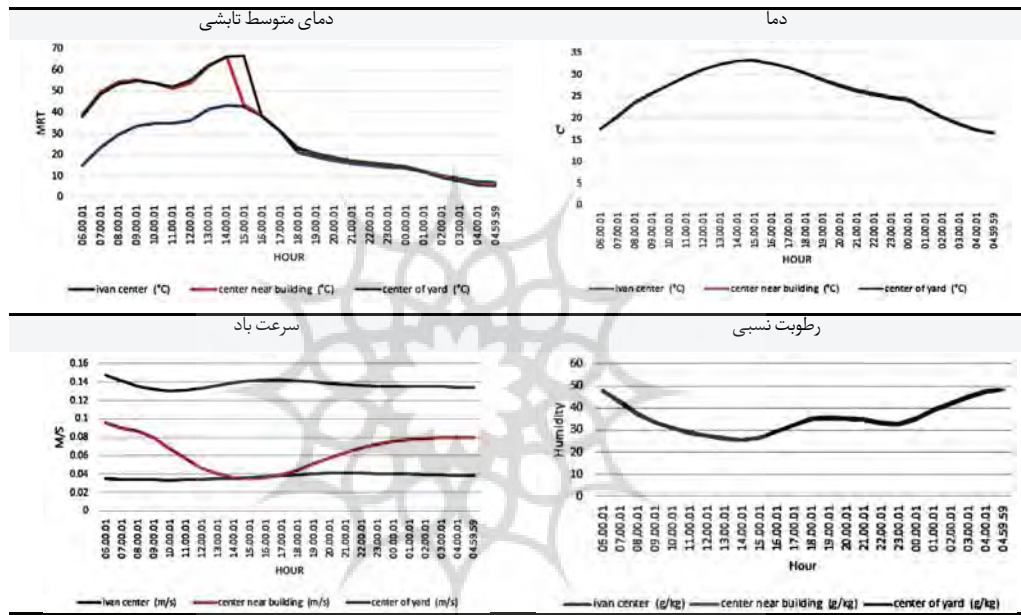
شکل ۱۱. گراف داده‌های آب و هوایی خانه صدر جهرمی



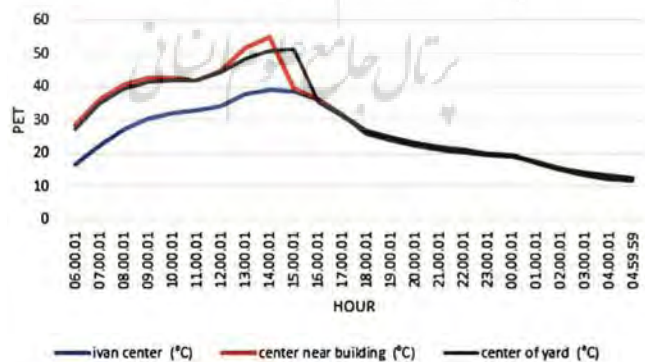
اطلاعات برداشت شده داده‌های آب و هوایی از نرم‌افزار انوی مت در طی یک شبانه‌روز کامل انجام شده است. بر این اساس دیدگاه جامع‌تری از تغییرات شاخص‌های اقلیمی به دست آمده است.

### تحلیل یافته‌های پژوهش

براساس نتایج به دست 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 برداشت شده از رسپتورها به صورت نمودارهایی در هر ۳ خانه نمایش داده شده و به دنبال آن‌ها در شکل ۱۳، ۱۵ و ۱۷ دمای شاخص آسایش حرارتی PET که توسط نرم‌افزار به دست آمده، تدوین شده است. نمودارهای مستخرج از داده‌های خانه مهندسی در زیر معرفی شده است.

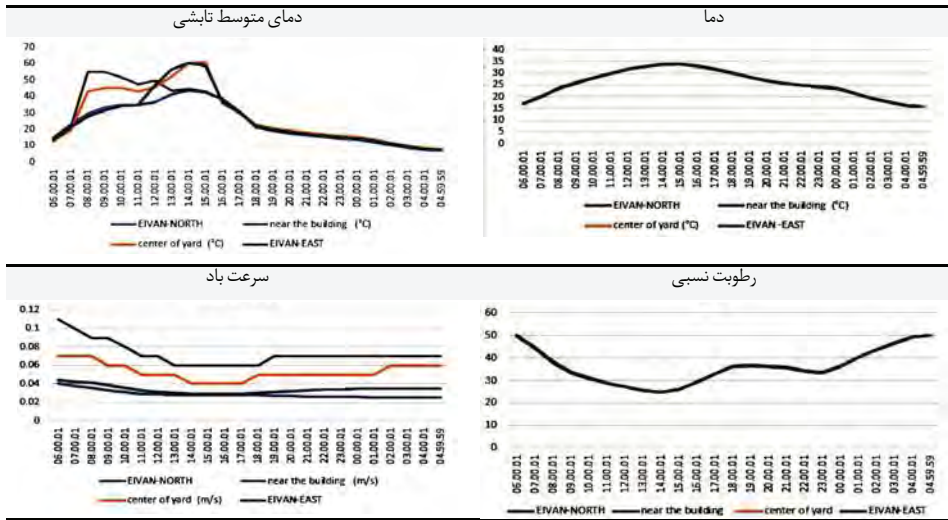


شکل ۱۲. تحلیل مولفه‌های اقلیمی خانه مهندسی

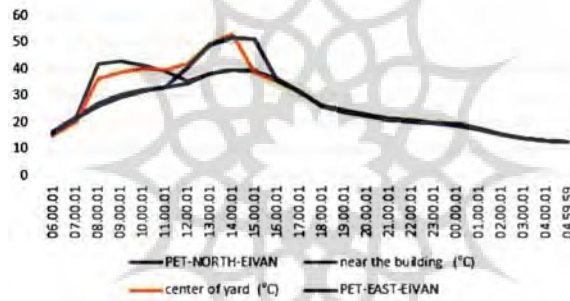


شکل ۱۳. تحلیل شاخص آسایش حرارتی PET در خانه مهندسی

نتایج حاصل شده از نرم افزار انوی مت و بیومت در خانه فروغ الملک در نمودارهای زیر تدوین شده است.

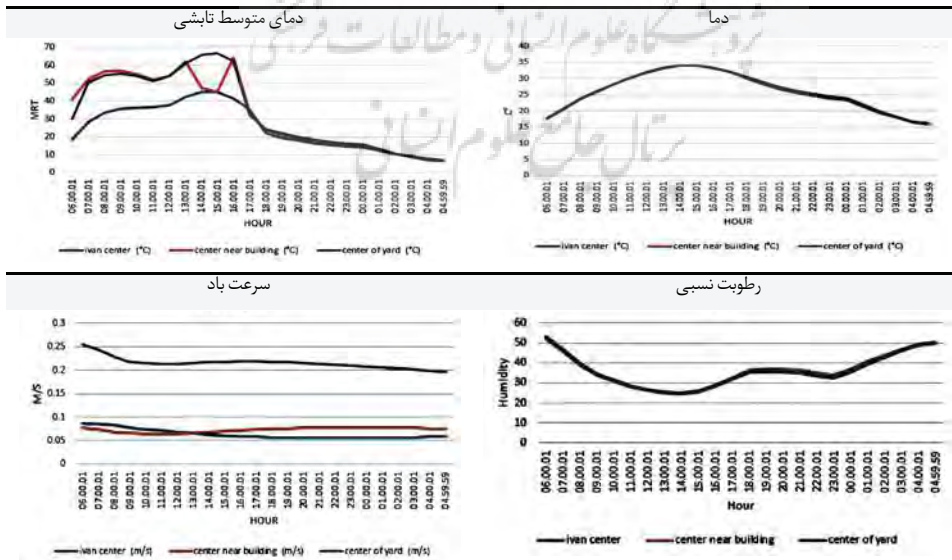


شکل ۱۴. تحلیل مولفه‌های اقلیمی خانه فروغ الملک

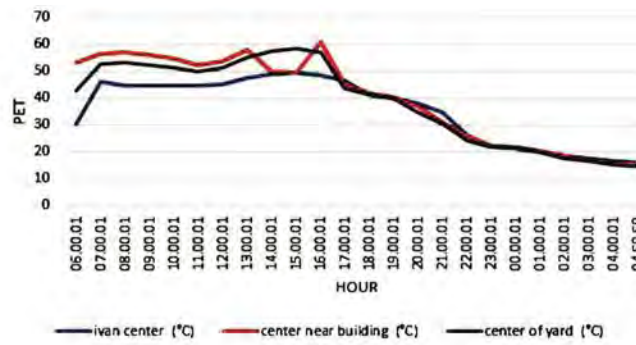


شکل ۱۵. تحلیل شاخص PET در خانه فروغ الملک

نتایج حاصل شده از داده‌های خانه صدر چهارمی در نمودارهای زیر تدوین شده است.

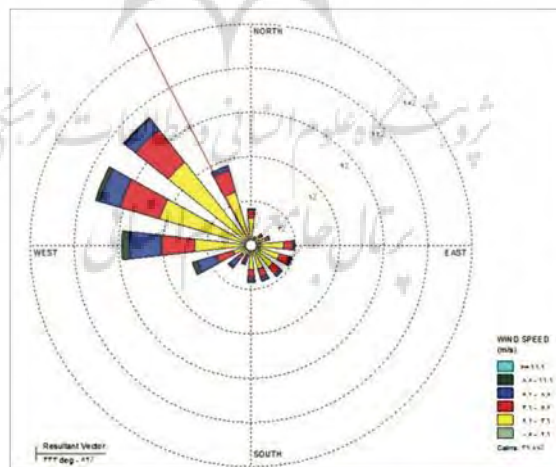


شکل ۱۶. تحلیل مولفه‌های اقلیمی خانه صدر چهارمی



شکل ۱۷. تحلیل شاخص PET در خانه صدر جهرمی

با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته، دیده شد که دمای متوسط تابشی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار بوده است و همچنین شاهد تفاوت بسیار ناچیز دما و رطوبت در هر ۳ خانه هستیم. سرعت باد در ایوان خانه صدر جهرمی از شدت بالاتری برخوردار است که این امر به سیرکولاسیون هوا کمک شایانی دارد (میانگین سرعت باد در ایوان خانه صدر جهرمی ۰/۰۵، ایوان خانه مهندسی ۰/۰۳ و ایوان شرقی فروغ الملک ۰/۰۳ و ایوان شمالی فروغ الملک برابر با ۰/۰۲۵ متر بر ثانیه بوده است). 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 امید، ۱۳۹۲). با توجه به موقعیت قرارگیری ایوان‌ها در جهات مختلف جغرافیایی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی و نمایش گلباد سالیانه شهر شیراز (شکل ۱۸) دیده شد، ایوان خانه صدر جهرمی که در سمت جنوب و کمی متمایل به شرق واقع شده است و با ارتفاع گرفتن از سطح حیاط در مسیر مناسب‌تر باد غالب نسبت به ایوان‌های دیگر قرار گرفته است. 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.

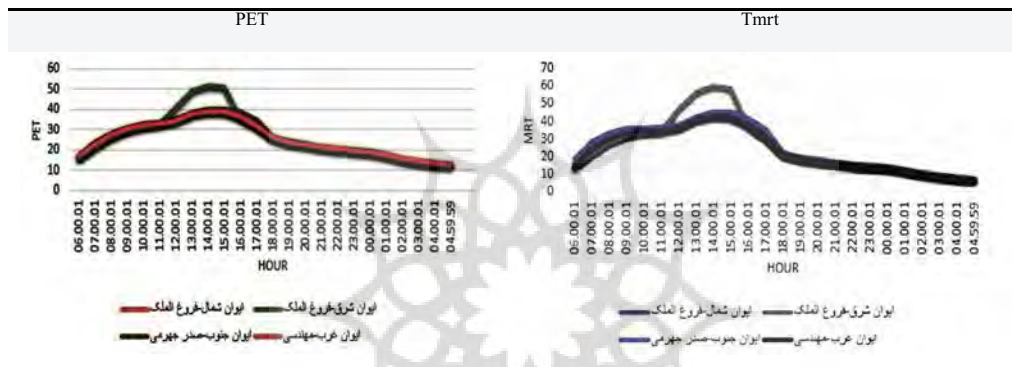


شکل ۱۸. نمایش گلباد سالیانه شهر شیراز

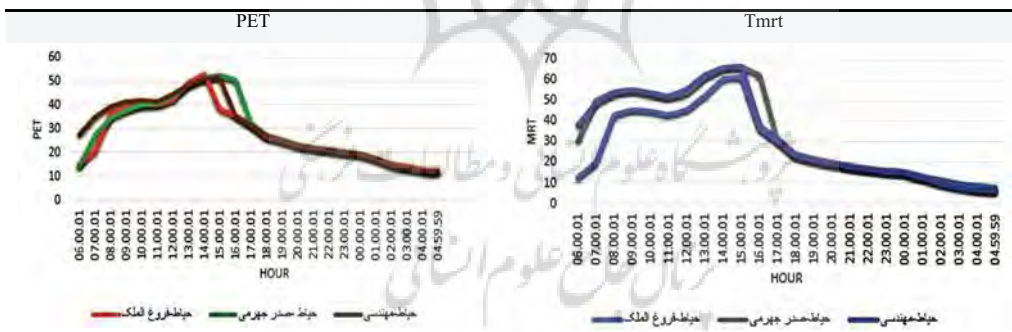
منبع: امیدوار و امید، ۱۳۹۲

بر اساس تحلیل‌های صورت‌گرفته از تحقیق، روابط زیر حاصل شده‌است 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 صدر جهرمی (۲۵/۱۳) > ایوان شرقی خانه فروغ‌الملک (۲۶/۰۵)  
 دمای متوسط تابشی (Tmrt): حیاط خانه فروغ‌الملک (۲۸/۱۳) > حیاط خانه مهندسی (۳۲/۷۵) > حیاط خانه صدر جهرمی (۳۴/۰۴)  
 شاخص آسایش حرارتی PET: ایوان خانه مهندسی (۲۵/۲۲) > ایوان شمالی خانه فروغ‌الملک (۲۵/۲۸) > ایوان خانه صدر جهرمی (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 صدر جهرمی (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.

ایوان-PET	مهندسی	فروغ الملک	صدر جهیمی	فروغ الملک	حیاط-PET	مهندسی	صدر جهیمی	فروغ الملک	حیاط-PET			
06.00.01	16.833	16.441	17.307	15.963	06.00.01	15.078	13.822	27.304	06.00.01	15.078	13.822	27.304
07.00.01	22.466	22.207	23.613	21.325	07.00.01	20.223	27.404	34.943	07.00.01	20.223	27.404	34.943
08.00.01	27.384	27.316	28.241	26.287	08.00.01	36.468	34.434	39.551	08.00.01	36.468	34.434	39.551
09.00.01	31.111	30.885	31.710	30.676	09.00.01	38.702	37.607	41.519	09.00.01	38.702	37.607	41.519
10.00.01	34.994	34.718	35.543	34.508	10.00.01	40.226	39.999	41.96	10.00.01	40.226	39.999	41.96
11.00.01	38.742	38.455	39.280	38.245	11.00.01	39.878	40.589	41.676	11.00.01	39.878	40.589	41.676
12.00.01	42.489	42.192	43.017	41.982	12.00.01	42.194	43.309	44.354	12.00.01	42.194	43.309	44.354
13.00.01	37.652	38.131	38.234	37.797	13.00.01	49.4	48.477	48.553	13.00.01	49.4	48.477	48.553
14.00.01	39.137	39.566	40.066	39.513	14.00.01	53	51.718	51.001	14.00.01	53	51.718	51.001
15.00.01	38.8	39.141	40.298	39.12	15.00.01	38.554	52.569	51.376	15.00.01	38.554	52.569	51.376
16.00.01	36.194	36.4	38.669	35.761	16.00.01	35.485	50.4	35.387	16.00.01	35.485	50.4	35.387
17.00.01	31.248	31.905	32.4	31.539	17.00.01	31.4	31.195	31.264	17.00.01	31.4	31.195	31.264
18.00.01	25.877	25.981	26.382	26.337	18.00.01	26.663	27.411	26.691	18.00.01	26.663	27.411	26.691
19.00.01	23.91	23.923	24.102	24.352	19.00.01	24.665	25.317	24.711	19.00.01	24.665	25.317	24.711
20.00.01	22.481	22.447	22.561	22.85	20.00.01	23.108	23.565	23.074	20.00.01	23.108	23.565	23.074
21.00.01	21.248	21.2	21.248	21.56	21.00.01	21.758	22.084	21.675	21.00.01	21.758	22.084	21.675
22.00.01	20.412	20.337	20.363	20.692	22.00.01	20.876	21.2	20.803	22.00.01	20.876	21.2	20.803
23.00.01	19.6	19.495	19.492	19.832	23.00.01	20	20.2	19.873	23.00.01	20	20.2	19.873
00.00.01	19.05	18.96	18.936	19.291	00.00.01	19.438	19.605	19.318	00.00.01	19.438	19.605	19.318
01.00.01	17.444	17.328	17.227	17.567	01.00.01	17.566	17.372	17.168	01.00.01	17.566	17.372	17.168
02.00.01	15.625	15.49	15.319	15.642	02.00.01	15.531	15.076	14.978	02.00.01	15.531	15.076	14.978
03.00.01	14.332	14.205	13.993	14.295	03.00.01	14.124	13.538	13.514	03.00.01	14.124	13.538	13.514
04.00.01	13.229	13.109	12.874	13.155	04.00.01	12.94	12.269	12.294	04.00.01	12.94	12.269	12.294
04.59.59	12.743	12.628	12.388	12.669	04.59.59	12.458	11.84	11.89	04.59.59	12.458	11.84	11.89
	میانگین	25/22	25/28	25/75	26/92	میانگین	27/90	29/78	29/78	میانگین	27/90	29/78
استرس گرمایی متوسط	استرس گرمایی کم	بندون استرس گرمایی	استرس گرمایی کم	استرس گرمایی کم	استرس گرمایی کم	استرس گرمایی کم	بندون استرس گرمایی	استرس گرمایی کم	استرس گرمایی کم	استرس گرمایی کم	بندون استرس گرمایی	استرس گرمایی کم
خفک	کم خفک	مناسب	کم خفک	کم خفک	کم خفک	مناسب	کم خفک	مناسب	کم خفک	مناسب	کم خفک	مناسب

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

بر اساس نتایج به دست آمده از نمودارها، دمای متوسط تابشی و به دنبال آن شاخص آسایش حرارتی در ایوان خانه مهندسی از ۳ ایوان دیگر در شرایط ایده آل تری قرار دارد. با توجه به وسعت حیاط پیرامونی دیده شد که حیاط خانه فروغ الملک با کمترین مساحت و بیشترین سایه اندازی 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 دست آمده از حیاطها، خانه فروغ الملک دمای متوسط تابشی حدود ۴/۶۲

درجه کمتر از حیاط خانه مهندسی و ۵/۹۱ درجه سانتیگراد کمتر از خانه صدرجهرمی را شاهد بوده است که وسعت کم و سایه اندازی در حیاط کمک شایانی به کنترل دمای تابشی داشته و در پی آن بهبود شاخص آسایش حرارتی را به دنبال خواهد داشت (شاخص آسایش حرارتی حیاط خانه فروغ الملک ۱/۸۸ کمتر از خانه مهندسی و ۱/۳۳ درجه سانتیگراد کمتر از خانه صدرجهرمی بوده است).

با توجه به نتایج حاصل شده، دمای متوسط تابشی ایوان خانه مهندسی ۰/۱۱ درجه نسبت به ایوان شمالی خانه فروغ الملک و ۱/۵۶ درجه نسبت به ایوان خانه صدرجهرمی و ۲/۴۸ درجه سانتیگراد نسبت به ایوان شرقی خانه فروغ الملک دمای کمتری را تجربه کرده است، 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 فروغ الملک و ۱/۷ درجه سانتیگراد کمتر از ایوان شرقی خانه فروغ الملک 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 فروغ الملک ۰/۹۸ درجه و ایوان شمالی و حیاط خانه فروغ الملک ۲/۶۲ درجه و در نهایت تفاوت دمای ایوان و حیاط خانه صدرجهرمی برابر با ۳/۴۸ درجه سانتیگراد بوده است.

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 جهت گیری جغرافیایی ایوان ها و میزان و مدت زمان دریافت تابش و همچنین میزان باد دریافتی در ایوان ها، در راستای این شاخص ها، افزایش ارتفاع ایوان از سطح حیاط به منظور کاهش دریافت بازتاب های حرارتی و همچنین افزایش عرض ایوان در نما در راستای تهویه بهتر دما، کمک شایانی بر بهبود شاخص آسایش حرارتی PET در ایوان ها کرده اند.

## نتیجه گیری

از اهداف کلی پژوهش شناخت کارکرد اقلیمی با توجه به تاثیر تناسبات فیزیکی فضاهای نیمه باز بناهای تاریخی شهر شیراز بوده است، لذا با ورود عناصر پاسخده اقلیمی نظیر ایوان ها در بدنه نماها و به کارگیری فضاهای مابین به عنوان عایق حرارتی می توان انتظار کاهش دمای اضافی انسان ساز و رسیدن به عملکرد بهتر بناها را داشت.

نتایج حاصل شده از تحقیق صورت گرفته حاوی نکات تدوین شده ذیل است:

- با بررسی نقش تعدیل گر ایوان و حیاط دیده شد که متغیر ایوان - حیاط سبب افزایش تاثیر بر شاخص PET شده است.
- طبق میانگین شاخص آسایش حرارتی خانه ها دیده شد که مقدار PET حیاط ها بیشتر از ایوان ها بوده است و همچنین اثر متغیر ایوان بر شاخص PET نسبت به حیاط تاثیرگذاری بیشتری داشته است و دمای PET از لحاظ ادراک حرارتی در محدوده مناسب تری قرار گرفته است.
- ایوان های 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 تا ۸:۰۰ بامداد تا ۱۸:۰۰ تا ۲۰:۰۰ استرس حرارتی کمتری تجربه کرده اند (ایوان خانه مهندسی میانگین دمایی بهتری را در بین ۴ ایوان داشته است).
- با افزایش ارتفاع ایوان از سطح حیاط، دریافت باد بیشتر و به دنبال آن کاهش بازتاب حرارتی و دمای متوسط تابشی را داشته ایم، لذا با کاهش دریافت اشعه های تابشی توسط مصالح و عوامل انسانی

و بازتاب حرارت به محیط اطراف، کمکی بر کاهش دمای شاخص PET بوده است که تفاوت دمایی بیشتری را بین ایوان و حیاط در پی خواهد داشت (در میان ۳ خانه، ایوان خانه مهندسی به دلیل ارتفاع بیشتر از سطح حیاط دارای کمترین میانگین PET و بیشترین تفاوت دمای ایوان- حیاط بوده است).  
- در بین ۴ جهت جغرافیایی ایوان‌ها دیده شد 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 بوده است (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 داشته است. 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 بوده است. 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 تعداد ایوان‌های هم‌جهت و برای رصد کردن نتایج به‌طور کامل، به‌نظر می‌رسد که در پژوهش‌های آتی با ارائه تعداد کافی از هر جهت جغرافیایی، تاثیر تناسب کالبدی بر داده‌های اقلیمی، در راستای تناسب بهینه به محدوده ابعادی مناسبی دست‌یافت. جهت قرارگیری ایوان‌ها در کنار فاکتورهایی که بتوانند شرایط دمایی آن‌ها را در آن جهت 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 خرد اقلیم‌ها کمک بارزی خواهند داشت.

### پی‌نوشت‌ها

۱. دماسنج تشعشی 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 امید، 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، ۱۱(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: نشر کتاب 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، میحث 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، حسام‌الدین، و کریمی، 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 طرقي، 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 طرقي، 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 قاسمی‌سیجانی، 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). شناسیل؛ جلوه ای مدرن از عنصر سنتی؛ بهره‌گیری از تکنولوژی‌های بومی در معماری مدرن. *نشریه معماری سبز*، ۴(۱۱)، ۴۹-۵۷.
- منتظری، مرجان، جهانشاه‌لو، لعل، و ماجدی، حمید (۱۳۹۷). تاثیر مولفه‌های فرم کالبدی شهری بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری. *نشریه مطالعات محیطی هفت حصار*، ۶(۲۳)، ۴۹-۶۶.
- مهربان، ساهره، مجد، شیدا، و فرازجو، فروغ (۱۳۹۵). مقایسه تطبیقی تناسب 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 خانه‌های 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 اوچاقلو، مرتضی (۱۳۹۷). ویژگی‌های حرارتی فضاهای باز و نیمه‌باز در شرایط اقلیم شهر تهران. *نشریه پژوهش‌های معماری و محیط*، ۱(۲)، ۳۱-۴۸.
- یادگاری، پگاه و سجاذزاده، 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 February 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.



## 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 Rajaei 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