پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران
شماره ۲۰، دوره نهم، بهار ۱۳۹۸

ارزیابی و تحلیل آسایش حرارتی حیاط خانه‌های تاریخی شهر شیراز در دوره‌ی قاجاریه

سینا کرمی‌راد[I]، بهاره بنازاده[II]، هانی زارعی[III]، ابراهیم قزلباش[IV]

شناسه‌ی دیجیتال (DOI): 10.22084/nbsh.2019.17023.1792
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۳
(از ص ۱۸۳ تا ۲۰۲)

چکیده

فرآیند تغییرات اقلیمی در بلندمدت می‌تواند منجر به کاهش حضور افراد در فضاهای باز و پناه بردن به فضای بسته، خصوصاً در اقلیم گرم‌وخشک، گردد. این مسئله موجب کاهش سلامتی افراد در اثر افزایش درجه‌ی حرارت شده، و میزان مصرف انرژی را در ساختمان‌ها به‌دلیل استفاده‌ی طولانی‌مدت از فضای بسته، بالا می‌برد؛ بنابراین با توجه به نیاز ارائه‌ی راهکارهای اقلیمی جهت بهبود کیفیت آب‌وهوایی فضاهای باز و مقایسه‌ی آن با معماری بومی، این پژوهش به‌دنبال سنجش سطح سازگاری حیاط مرکزی خانه‌های سنتی دوره‌ی قاجاریه با شرایط اقلیمی در شهر شیراز است. به‌بیانی این سوال مطرح است که، ویژگی‌های فیزیکی و محیطی همچون درصد فضای باز، جهت‌گیری، زاویه‌ی دید آسمان، پوشش گیاهی، آب و مصالح مشخص، چگونه می‌تواند در آسایش حرارتی و میزان استفاده‌ی افراد از فضا تأثیرگذار باشد. از این‌رو با هدف تعیین اولویت تأثیرگذاری مؤلفه‌های فوق تعداد ۷ مورد از خانه‌های دوره‌ی قاجار در سطح شیراز انتخاب شده و با استفاده از نرم‌افزار ENVI-met 4 basic که جهت شبیه‌سازی سه‌بُعدی و سنجش شرایط خُرداقلیم شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد، به سنجش سطح آسایش حرارتی برمبنای شاخص PMV پرداخته شده است. نتایج تحقیق حاکی از آن‌ست که در حیاط خانه‌هایی که دارای کمترین ضریب دید آسمان و مساحت هستند، سایه‌اندازی بیشتری دیده می‌شود، که در نتیجه‌ی شرایط آسایش حرارتی بیرونی بهتری را برای ساکنین ایجاد می‌کنند. همچنین جهت بهینه‌ی چرخش حیاط حدود ۲۷ درجه متمایل به جنوب‌غربی است؛ هرچند نباید از فاکتورهایی از قبیل سایه‌اندازی درختان و تأثیر رطوبتی حوض‌های آب در تلطیف هوای خُرداقلیم حیاط‌های مرکزی چشم‌پوشی کرد. ضرایب به‌دست آمده از تحلیل‌ها، نشان از همبستگی معناداری مابین «دمای متوسط تابشی» با «شاخص آسایش حرارتی PMV» در اقلیم گرم‌وخشک شیراز دارد.

کلیدواژگان: خانه‌های شیراز، دوره‌ی قاجار، آسایش حرارتی بیرونی، حیاط مرکزی، ENVI-met.

I. کارشناس‌ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز
II. دانشجوی دکترای، پردیس بین المللی کیش، دانشگاه تهران
III. عضو هیأت علمی گروه مرمت بناهای تاریخی، دانشکده‌ی معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول (نویسنده‌ی مسئول)
hzarei@jsu.ac.ir
IV. عضو هیأت علمی پژوهشکده باستان‌شناسی میراث‌فرهنگی و گردشگری کشور

مقدمه

با توجه به تمرکز بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطق شهری، در سال‌های اخیر مطالعات اقلیمی در حوزه‌ی معماری و شهرسازی در اولویت قرار گرفته است؛ از سوی دیگر، به‌دلیل ارتباط مستقیم شرایط آب‌وهوایی و خُرداقلیم در سطح شهرها با سلامتی نوع بشر، مسئله‌ی آسایش انسانی نیز در حوزه‌های تحقیقاتی عمیقاً مدنظر محققین بوده است. نکته‌ی حائز اهمیت آنجاست که ساختمان‌ها در ارتباط مستقیم با اقلیم کلان منطقه از یک‌سو، و اقلیم خُرد و محلی از سوی دیگر می‌باشند که دارای تأثیر دو سویه برهم هستند؛ بدین‌ترتیب که شرایط آب‌وهوایی در محیط بیرونی بر حضور افراد اثرگذار می‌باشند و در صورت نامساعد بودن، دافع و مانع فعالیت در فضای باز می‌گردند. از طرفی سیستم‌های تأسیسات مکانیکی در ساختمان‌ها نیز تحت‌تأثیر شرایط بیرونی نیاز به استفاده بیشتر دارند. این مسئله موجب افزایش مصرف انرژی و آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌گردد (Battista et al., 2016; Schaefer & Domroes, 2009). در واقع بشر با یک چرخه‌ی پیوسته مواجه است که در صورت عدم کنترل، موجبات سرعت بخشیدن به: آلودگی‌های زیست‌محیطی، افزایش گرمایش جهانی در سطح کلان، ایجاد جزیره‌ی حرارتی در سطح خُرد شهری و بیماری‌های جسمی و روانی افراد می‌گردد (Cui & Shi, 2012)؛ به‌طور خاص‌تر -فرم شهری و فضاهای باز- بر شرایط دمایی و سایر معیارهای اقلیمی اثرگذار است که در صورت عدم طراحی مناسب زمینه‌ساز پدید آمدن اثر جزیره‌ی گرمایی می‌گردد (Martins et al., 2016). جزیره‌ی گرمایی اولین بار توسط Oke در سال ۱۹۸۸ م. مطرح شد که علل شکل‌گیری و اثرات متعددی را همراه دارد؛ فعالیت‌های انسانی، آلودگی، مصرف انرژی در شهرها، تراکم ساختمانی، جهت‌گیری نامناسب خیابان‌ها نسبت به تابش خورشید و وزش باد، کمبود پوشش گیاهی، و مصالح با ضریب انعکاس پایین، از جمله مواردی هستند که موجب تشدید اثر جزیره‌ی حرارتی می‌شوند (Fazia Ali-Toudert, 2005). بنابراین، اخیراً این مسئله به نکته‌ی اساسی در طراحی شهری و معماری فضاهای باز مبدل شده است؛ به‌گونه‌ای که حداقل تأثیرات بر تغییرات اقلیمی داشته باشد و موجب تسریع این روند نگردد (Taleghani et al., 2014). خصوصاً که سرعت بالای ساخت‌وساز در مناطق شهری در حال توسعه، توجه به مسائل اقلیمی را کم‌رنگ نموده است و تنها ایجاد فضای سکونت و کار مهم تلقی می‌شود (He et al., 2014).

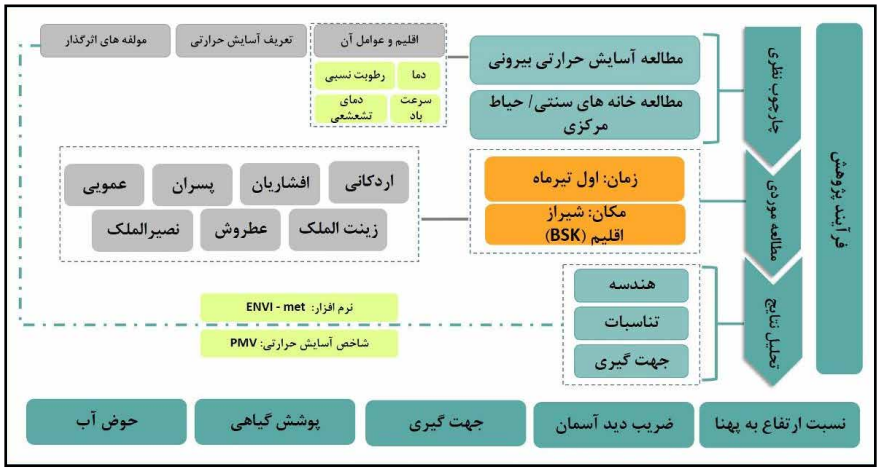
با این اوصاف، بافت تاریخی در اغلب شهرهای کشور ایران و به‌طور خاص در شهر شیراز، به‌نظر می‌رسد با خصوصیاتی متفاوت در جهت تبیین خُرداقلیم مناسب به‌صورت آگاهانه و یا ناآگاهانه شکل گرفته‌اند، که بسیاری از راهکارهای کاهش اثر جزیره‌ی گرمایی را دربر دارند؛ عناصری همچون: حیاط مرکزی با بهره‌گیری از سایه‌اندازی مناسب، پوشش گیاهی خاص، و حوض آب، عواملی هستند که در آسایش حرارتی و بصری ساکنین از یک‌سو، و فراهم نمودن شرایط اقلیمی مساعد از سوی دیگر اثرگذار است. این فضاهای باز موقعیت مناسبی در ایجاد تعاملات انسانی اعضای خانواده، تفریح و فعالیت‌های فیزیکی را فراهم می‌نمایند (Krüger et al., 2011). مسئله‌ای که در حیاط‌های محدود امروزی عملاً نادیده گرفته شده و حیاط‌های مشاع را به فضایی رها شده تبدیل نموده است.

از این‌رو مقاله‌ی حاضر، با هدف سنجش وضعیت آسایش حرارتی در حیاط خانه‌های تاریخی شهر شیراز به سنجش کمی و شبیه‌سازی ۷ خانه‌ی قاجاری منتخب می‌پردازد؛ بر این مبنا، مقاله در دو بخش کلی، شامل "بیان مبانی نظری موضوع" و "تحلیل نمونه‌های موردی" ارائه می‌گردد.

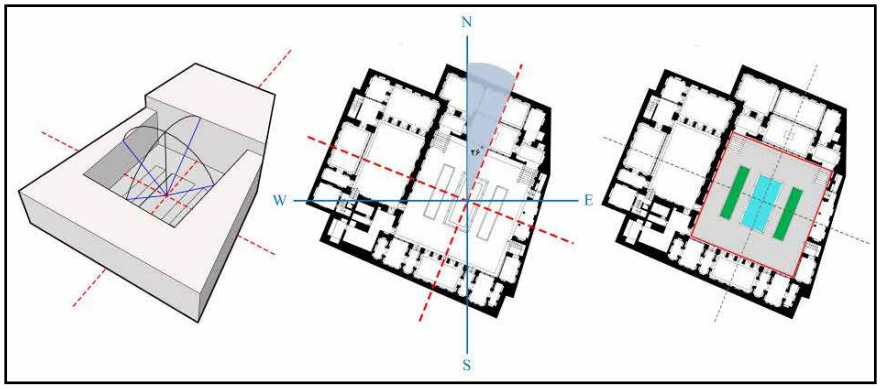
پرسش و فرضیات پژوهش: پرسش‌های تحقیق پیش‌رو دو مبحث اساسی را دربر می‌گیرند، که مقاله حاضر در پی پاسخ به آن‌هاست: ۱- تأثیر اقلیم بر نحوه‌ی ساخت حیاط خانه‌ها در دوره‌ی قاجاریه چیست؟ ۲- نقش شکل هندسی و عناصر موجود در حیاط در سطح آسایش حرارتی در خانه‌های دوره‌ی قاجار شیراز چگونه است؟ ۳- جهت بهینه‌ی چرخش حیاط به‌منظور تأمین آسایش حرارتی کدام است؟ فرضیه‌ی پژوهش عبارتنداز این‌که، حیاط مرکزی با بهره‌گیری از سایه‌اندازی و پوشش گیاهی مناسب، حوض آب، همچنین جهت‌گیری و ابعاد مناسب در آسایش حرارتی و بصری ساکنین از یک‌سو، و فراهم نمودن شرایط اقلیمی مساعد از سوی دیگر، اثرگذار است.

روش تحقیق: با استناد به مطالعات صورت گرفته جهت سنجش آسایش حرارتی، دو شیوه معرفی گردیده است: الف) شیوه‌های محاسبات عددی که از شاخص‌های اندازه‌گیری آسایش حرارتی به‌صورت معادلات ریاضیاتی در قالب نرم‌افزارهای تحلیلی استفاده می‌نماید. ب) روش‌های تجربی که با استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری و پرسش‌نامه‌های استاندارد شرایط دمایی ادراک شده توسط افراد را در شرایط واقعی مورد مطالعه قرار می‌دهد (Liu et al., 2016). با توجه به آن‌که اغلب خانه‌های سنتی مورد مطالعه در حال حاضر فاقد سکونت دائم می‌باشند، روش دوم جایگاهی نمی‌یابد؛ از این‌رو در این پژوهش روش اول مدنظر خواهد بود که شاخص PMV با استفاده از نرم‌افزار ENVI-met 4 basic در نقاط میانی در حیاط مرکزی خانه‌ی سنتی منتخب محاسبه می‌نماید. انوی‌مت، نرم‌افزاری است که جهت شبیه‌سازی سه‌بُعدی و سنجش شرایط خُرداقلیم شهری است و برای تحلیل فضاهای باز اطراف ساختمان‌های مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم‌افزار به‌دلیل قابلیت‌های متعدد و نتایج اعتبارسنجی شده متعدد، انتخاب شده است. داده‌های ورودی مورد نیاز این نرم‌افزار عبارتنداز: شرایط آب‌وهوایی، ویژگی‌های فیزیکی و ساختاری سطوح و پوشش گیاهی. علاوه‌بر محاسبه‌ی دمای هوا در نقاط مدنظر، انوی‌مت قابلیت محاسبه‌ی دمای متوسط تشعشعی که جهت محاسبه آسایش حرارتی مورد نیاز است را در اختیار قرار می‌دهد (Berardi & Wang, 2016). فرآیند شبیه‌سازی در این مطالعه، به‌ترتیب ذیل می‌باشد:

- مدل‌سازی و تعیین وضعیت هر خانه از نظر جهت‌گیری (زاویه‌ی جهت شمال جغرافیایی با محور طولی حیاط)، تناسبات ابعادی حیاط، ضریب دید آسمان، سطح پوشش گیاهی و آبی (نمودار۱ و شکل ۱).
- تعیین شرایط اقلیمی و استخراج داده‌های هواشناسی شهر شیراز (دمای خشک، رطوبت نسبی، سرعت باد، دمای متوسط تشعشعی).
- تعیین نقطه‌ی مکانی در میانه‌ی حیاط مرکزی.
- تعیین بازه‌ی زمانی جهت آنالیز در روز اول تابستان در ساعت ۹ صبح و ۱۷ بعدازظهر.



نمودار ۱. فرآیند پژوهش (نگارندگان، ۱۳۹۷). ◄



شکل ۱. نمایش نحوه‌ی تحلیل. راست: هندسه و تناسبات؛ وسط: جهت‌گیری نسبت به شمال؛ چپ: ضریب زاویه‌ی دید آسمان حیاط در خانه‌های مورد مطالعه، خانه‌ی اردکانی (نگارندگان، ۱۳۹۷). ◄

– استخراج داده‌های کمی و تبدیل نتایج به نمودارهای گرافیکی در نرم‌افزار Leonardo1.

پیشینه‌ی پژوهش

بررسی نقش و چگونگی تأثیر فرم محیط مصنوع بر شرایط آب‌وهوایی، که موجب افزایش دما و تغییر الگوی وزش باد می‌شود، انگیزه‌ی مطالعات متعددی از دهه‌ی ۷۰ م. تاکنون بوده است (Gómez et al., 2013؛ به‌نقل از: Chandler, 1976; Landsberg, 1981 Oke, 1984, 2006; L Pez, 1985; Alcoforado et al., 2009; Eliasson, 2000). این مسأله خود مؤکد آن‌ست که شرایط خُرداقلیم در فضاهای باز شهری، متأثر از شرایط اقلیمی کلان‌تر و فعالیت‌های انسانی است؛ جذب حرارت در طول روز و بازگرداندن آن در طول شب، جهت و شدت سرعت باد که تحت‌تأثیر چیدمان فضایی ساختمان‌ها قرار می‌گیرند، در این مطالعات مورد اشاره قرار گرفته‌اند. به‌گونه‌ای که نتایج بیانگر آن‌ست که متوسط درجه‌ی حرارت در سطح شهرها بیش از مناطق حومه است و سرعت باد نیز در شهرها تحت‌تأثیر ساختمان‌ها، پایین‌تر است؛ در نتیجه رطوبت نسبی در شهرها پایین‌تر خواهد بود. از سویی دیگر، جنس مصالح پوشش کف نیز با توجه به ضریب انعکاس سطوح در میزان جذب حرارت در سایه‌اندازی خیابان‌ها و مسیرهای پیاده بسیار تأثیرگذار است (Gómez et al., 2013؛ به‌نقل از: Tan & Fwa,

1992; Akbari et al., 2001; Lin et al., 2007; Akbari, et al., 2009). نکته‌ی قابل ذکر آن‌ست که مطالعه‌ی تأثیر فضاهای شهری بر شرایط اقلیمی و آسایش انسانی در اقلیم‌های مختلفی انجام شده است، اما در اغلب موارد پارامتراهای مؤثر به‌طور مجزا مورد مطالعه بوده‌اند. ویژگی‌های هندسی خیابان‌ها و حیاط مرکزی و میدان‌ها، همچون: نسبت ارتفاع به عرض، جهت‌گیری، بازشوها و سایبان‌ها بر آسایش، شار انرژی و جریان باد در محیط شهری مورد سنجش قرار گرفته‌است (Alcoforado et al., 2009; F. Ali-Toudert & Mayer, 2007; Bottillo et al., 2014; Sharmin et al., 2015; Zhao et al., 2016). از جهت دیگر، گزارش‌هایی مبنی‌بر تأثیرات مصالح ساختمان و کف‌سازی متناسب با شرایط فیزیکی یافت می‌شود (Kaplan et al., 2016; Santamouris et al., 2012)؛ همچنین قابلیت‌های پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی اغلب در: پارک‌های شهری، حاشیه خیابان‌ها، حیاط‌های مرکزی، بام و نمای سبز، مطرح شده است (Wong & Jim, 2016). نیز مواردی از مطالعات که پارامترهای بیشتری را به‌طور همزمان مدنظر داشته‌اند، بر متغییرهای هندسی تمرکز کرده‌اند که پوشش گیاهی، ضریب انعکاس مصالح را در شرایط مختلف مورد آزمایش قرار داده‌اند (Chatzidimitriou & Yannas, 2015). یکی از مفاهیم تأثیرگذار در فضاهای باز شهری «ضریب دید آسمان»[۴] است که -نسبتی از گنبد آسمان که از یک محیط باز دیده می‌شود- را نشان می‌دهد. این ضریب برای منطقه‌ای مسطح و بدون مانع برابر[۱] است و هرچه ضریب یاد شده از این رقم کوچک‌تر باشد، شدت جزیره‌ی حرارتی در آن بیشتر می‌شود (Hwang et al., 2011; Lin et al., 2010; Yan et al., 2016).

از آنجایی‌که این پژوهش، حیاط مرکزی را مورد مطالعه قرار می‌دهد، می‌توان به مقاله‌های اشاره کرد که به مقایسه‌ی تأثیرات معیارهای هندسه شهری بر آسایش حرارتی افراد در دو سطح میدان و حیاط مرکزی پرداخته و شرایط نامساعد تابستان را تحلیل نموده‌است (Abdulkareem, 2016; Chatzidimitriou & Yannas, 2015). شیخ‌بیگلو و محمدی (۱۳۸۹:۶۱-۸۲) در مقاله‌ای به بررسی تأثیر عناصر اقلیمی باد و بارش در طراحی شهری می‌پردازند. زندیه (۱۳۸۹:۲-۲۱) نیز موارد توسعه‌ی پایدار و مفاهیم آن در معماری مسکونی ایران نظیر: حیاط، آب، باد و غیره را معرفی کرده است؛ همچنین، گرجی و همکاران (۱۳۸۵:۳۱-۴۱) در مقاله‌ای به بررسی معیارهای اقلیمی و ارتباط‌شان با خانه‌های کاشان اشاره نموده است. ارزیابی با هدف یافتن حیاط با تناسبات بهینه از نظر تأمین آسایش حرارتی نیز در شهرهای کاشان، یزد و سمنان انجام شده است که معیارهایی همچون: جهت‌گیری، تناسبات حیاط در اولویت سنجش بوده‌اند (Soflaei et al., 2016; Soflaei, Shokouhian, & Soflaei, 2017; Soflaei, Shokouhian, Abraveshdar, et al., 2017). از آنجا که مطالعات اقلیمی با موضوع خانه‌ها در شهر شیراز کمتر انجام شده است؛ لذا می‌توان تنها به چند مورد اشاره نمود. عیالی (۱۳۹۵:۱۶۱-۱۸۲) به بررسی جهت بهینه حیاط خانه‌های قاجاری شیراز براساس میزان دریافت انرژی خورشید می‌پردازد که صرفاً در این مقاله به بدنه‌ی شمالی خانه‌ها پرداخته شده است و از بررسی سایر بدنه‌ها و اهمیت نقش سایر مؤلفه‌های تأثیرگذار در آسایش حرارتی حیاط‌ها چشم‌پوشی کرده است. کرمی‌راد و همکاران (۱۳۹۶: ۱۹۶-۱۸۵) در مقاله‌ای دیگر، تنها

به بررسی سنجش میزان تأثیر پوشش گیاهی بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی عابران پیاده در یکی از شهرک‌های مسکونی نوساز شیراز پرداخته است؛ و یا در جایی دیگر به بررسی هندسه‌ی شهری و تأثیر آن بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی می‌پردازد (کرمی‌راد و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۷۲-۱۶۱)؛ همچنین زارعی (۱۳۹۶: ۲۴۲-۲۲۵) در مقاله‌ی «بازشناسی الگوی طراحی خانه‌های تاریخی شیراز در دوره‌ی قاجاریه با رویکرد اقلیمی» تنها به بررسی نقش اقلیم از منظر تناسبات و ارتباط فضایی در خانه‌های تاریخی پرداخته است.

از سویی دیگر، با بررسی سایر مطالعات می‌توان این‌گونه بیان نمود که اغلب مطالعات بر یک نوع حیاط مرکزی خاص و به‌صورت نمونه‌ی موردی تمرکز داشته‌اند و راهکارهایی جهت بهبود وضعیت آن در کشورهای مختلف مطرح شده است. در این‌گونه مطالعات، اثر پوشش گیاهی، آب و جهت‌گیری مناسب حیاط بر ایجاد شرایط آسایش حرارتی مناسب سنجش شده است. تأثیر افزودن پوشش سقف به حیاط مرکزی در طول روز در جهت کاهش دما نیز مدنظر بوده است (Berkovic et al., 2012; Chatzidimitriou & Yannas, 2015؛ به‌نقل از: Meir et al., 1995; Shashua-Bar et al., 2009; He et al., 2014; Al-Hemiddi & Al-Saud, 2001).

به‌طور کلی، باید گفت در آثار پژوهشگران پیشین به برخی خصوصیات معماری خانه‌های شیراز اشاراتی شده است، اما هیچ‌یک به بررسی دقیق آسایش حرارتی و تجمیع مؤلفه‌های تأثیرگذار بر آن در خانه‌های تاریخی و یا مطالعه‌ی رابطه‌ی آسایش حرارتی با ویژگی‌های اقلیمی در جهت همسازی معماری خانه‌های سنتی با شرایط اقلیمی و کاربرد آن در طراحی مسکونی و شهری منطقه نپرداخته‌اند. از آنجایی‌که سطح آسایش حرارتی در حیاط مرکزی به‌شدت تحت‌تأثیر میزان تابش دریافتی است؛ لذا کمتر در مطالعات مورد توجه بوده است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف رفع نواقص و تمرکز بر نقاط مبهم، سعی نموده است به بررسی دقیق آسایش حرارتی در حیاط مرکزی با سنجش تأثیر مؤلفه‌هایی چون: ابعاد و تناسبات، حوض، درخت و فضای سبز، بپردازد؛ بنابراین مؤلفه‌های مختلفی در طراحی فضاهایِ باز شهری مورد بحث می‌باشند که لازم است مورد اهمیت قرار گیرند. از طرفی، به‌نظر می‌رسد وضعیت خانه‌های سنتی در بافت تاریخی شهرهای مختلف ایران چنین قابلیت‌هایی را جهت تأمین آسایش حرارتی دارا بوده و مطالعه و تحلیل آن موجب استخراج راهکارهای طراحی می‌گردد.

ادبیات تحقیق: قابلیت‌های حیاط مرکزی در خانه‌های سنتی

حیاط در فرهنگ دهخدا به معنی «محوطه و هر جای دیواربست، سرای و خانه» است. واژه‌های دیگر، مثل: «ساحت»، «صحن» و «میان‌سرای» نیز به‌همین معنی هستند (معماریان، ۱۳۸۷). اقلیم خاص کشور ایران و فرهنگ غنی آن باعث گردیده طی تاریخ با توجه به شکل‌گیری فضای سبز (حیاط) در کنار فضای مسکونی، دو نوع معماری شکل گیرد؛ معماری «درون‌گرا» و «برون‌گرا». در معماری درون‌گرا، فضاهای داخلی با فضاهای شهری بیرون هیچ ارتباط بصری خاصی نداشته و اصولاً هیچ بازشویی رو به کوچه یا گذر در این نوع معماری مشاهده نمی‌گردد و یا اگر هم بازشویی دیده شده در ارتفاع بالا شکل گرفته تا دید مستقیم را از بین

ببرد. در اکثر موارد حیاط به‌صورت مربع یا مستطیل‌شکل گرفته و در برخی موارد نیز دارای گوشه‌های پخی شده است؛ حیاط در شرایط فرهنگی موجود پاسخ‌گوی خلوت و امنیت خانواده بوده و اهمیت ویژه به حیطه‌های خصوصی خانواده را پُررنگ‌تر پوشش داده‌است؛ در واقع حیاط مرکزی محل بهره‌گیری از چهار عنصر: آب، باد، گیاه و نور بوده‌است (زارع و همکاران، ۱۳۹۱). کاربرد حیاط به شکل‌های مختلفی است، به‌عنوان: نشانه‌ی حریم تملک، وحدت‌دهنده‌ی چند عنصر خانه، ارتباط‌دهنده‌ی چند فضا، ایجاد محیطی سبز و با نشاط، هواکش مصنوعی برای گذر جریان بادهای مناسب و عنصری مهم در جهت سازماندهی فضاهای مختلف، به‌عنوان حریمی امن و آرام برای آسایش خانواده؛ علاوه‌بر این، اصلی‌ترین کارکرد حیاط را می‌توان ایجاد سازگاری با شرایط آب‌وهوای منطقه دانست. سازگاری با تغییرات آب‌وهوایی و شرایط اقلیمی عبارتست از: متعادل نمودن تأثیرات ناشی از تغییرات اقلیمی و تحمل نتایج، به‌گونه‌ای که امکان پیش‌بینی و پیشگیری را فراهم نماید (Parapari, 2015). این قابلیت در خانه‌های سنتی با تنوع فضایی از نوع: بسته، نیمه‌بسته و باز، شرایط متفاوتی را جهت سازگاری فراهم نموده است که تغییر فضای سکونت به‌یصورت فصلی و آب‌پاشی حیاط از جمله راهکارهایی در جهت دستیابی به سازگاری اقلیمی بوده است.

مبانی نظری

اقلیم و محیط مصنوع: شرایط خُرداقلیم در شهرها به‌طور کامل متأثر از موقعیت جغرافیایی و اقلیم محلی آن‌ست؛ اما از سوی دیگر، تحت‌تأثیر فعالیت‌های انسانی و محیط مصنوع آن نیز می‌باشد. براساس تحقیقات Oke در سال ۱۹۸۷ م. خُرداقلیم شهری از دو لایه در دو مقیاس شکل می‌گیرد: «لایه‌ی مرزی هوا»[1] و «لایه‌ی چتر شهری»[2]. اقلیم محلی در لایه‌ی چتر شهری در فواصل کوتاه مابین ساختمان‌ها و درختان تغییر می‌کند. لایه‌ی مرزی هوا، همگن و ثابت‌تر از آن‌ست که تحت‌تأثیر ویژگی‌های شهری قرار گیرد؛ اما به هر حال تغییرات لایه‌ی چتر شهری در کل می‌تواند لایه‌ی مرزی را نیز تحت‌تأثیر قرار دهد (Laura Kleerekoper, 2016)؛ بنابراین تغییر در یک واحد همسایگی می‌تواند واحدهای مجاور را نیز تغییر داده و کل شرایط اقلیمی شهر را به‌گونه‌ای دیگر رقم زند. با وجود آن‌که این روند تغییر اقلیمی در سال‌های اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است؛ اما موضوعی جدید نمی‌باشد و از دهه‌ی شصت قرن بیستم مطرح شد است. به‌دنبال آن تحقیقات گسترده‌ای درخصوص انتشار گازهای گلخانه‌ای و خصوصاً دی‌اکسیدکربن و روند گرمایش جهانی صورت پذیرفته است (Parapari, 2015)؛ بنابراین، به‌طور قطع می‌توان اذعان داشت که اقلیم شهری، وابسته به: کاربری زمین، هندسه‌ی ساختمان‌ها و مصالح ساختمانی است. از این‌رو توجه به مسائل اقلیمی در روند طراحی، امری معمول به‌نظر می‌رسد که اولین نمونه‌های آن‌را می‌توان در تمدن‌های باستانی همچون رُم (به روایت ویترویوس در ۱۰ کتاب معماری) و ایران یافت؛ هرچند تغییرات شدیدتر پس از انقلاب صنعتی، جریانی را در راستای انتشار کتب اقلیمی (توسط الگی، ۱۹۶۳؛ جیووانی، ۱۹۶۹) به همراه داشت.

با این‌وجود از اواخر قرن بیستم اطلاعات اقلیمی جهت تقویت دانش طراحی به‌طور پیوسته به‌روز شده است و لذا راهکارها و نرم‌افزارهای طراحی، ازجمله نقشه‌های اقلیمی پیشرفت مناسبی داشته‌اند (Eliasson, 2000؛ به‌نقل از: Bitan, 1988; Lindqvist & Mattsson, 1989; Oke, 1984; Givoni, 1991; Golany, 1996)؛ همچنین نمونه‌های عملی و کاربردی از شیوه‌ی به‌کارگیری این رویکردها را در نقاط مختلف جهان می‌توان یافت. تمامی مطالعات صورت‌گرفته به‌دنبال دستیابی به یک هدف اساسی، یعنی تأمین آسایش انسانی و کاهش اثرات منفی بر محیط زیست می‌باشند؛ بدین‌ترتیب مطالعات اقلیم‌شناسی بر تأثیر شرایط آب‌وهوایی و کیفیت هوایی بر بشر تمرکز دارد.

آسایش حرارتی بیرونی: بر طبق تعریف «اشری»[۳]، آسایش حرارتی بیانگر شرایطی است که نشان از رضایت انسان از حرارت محیط دارد؛ به‌گونه‌ای که احساس گرما و سرما وجود نداشته و بیانگر شرایط دمایی خنثی می‌باشد. مسئله‌ی آسایش بسیار شخصی است و افراد مختلف احساس و ادراک متفاوتی از شرایط دمایی دارند؛ با این‌وجود جهت فراهم شدن امکان بررسی، محققین شرایطی که ۸۰٪ افراد از نظر احساس حرارتی توافق دارند را مدنظر قرار می‌دهند (Johanssson, 2006; Nevins & McNall, 1973). با توجه به گسترش فعالیت در فضاهای باز جهت تفریح و فعالیت‌های جمعی، آسایش حرارتی بیرونی بیش‌ازپیش مورد اهمیت قرار گرفته است. بازه‌ی احساس آسایش حرارتی بیرونی نسبت به فضاهای درونی، بازه‌ی گسترده‌تری از ادراک شرایط آب‌وهوایی شامل آسایش حرارتی تا تنش گرمایی را دربر می‌گیرد (Spagnolo & de Dear, 2003). دمای هوا، رطوبت، سرعت باد و میزان تابش اشعه‌های خورشید، چهار فاکتور اساسی در تعریف آسایش در مقیاس خُرداقلیم هستند. از طرفی اغلب مطالعات بیانگر اهمیت دمای هوا در تأمین آسایش حرارتی است (Liu et al., 2016). جهت سنجش آسایش حرارتی ناشی از هر چهار پارامتر شاخص‌هایی تعریف شده‌اند که تلفیقی از اثر متغیرهای اقلیمی را بیان می‌نمایند. مواردی همچون: شاخص‌های PMV، PT، PET و UTCI که برمبنای مدل تبادل حرارتی بدن انسان با محیط تنظیم گشته‌اند (He et al., 2014)؛ به‌طورکلی مطالعات اقلیمی جهت سنجش آسایش حرارتی دو روش معمول را دنبال می‌نماید: نخست، روش تحلیلی و منطقی برمبنای مدل تعادل حرارتی بدن انسان؛ و دیگری، روش تجربی که مورد اخیر شرایط روانی، لباس و فعالیت انسان را اغلب نادیده گرفته و یا ثابت فرض می‌نمایند (Gómez et al., 2013).

به‌طور خلاصه می‌توان گفت برای افزایش سازگاری با تغییرات اقلیمی و بهبود آسایش حرارتی عناصری همچون: پوشش گیاهی، آب، هندسه، مصالح و رنگ، اهمیت می‌یابند. در مورد «پوشش گیاهی»، عواملی همچون: ابعاد، سطح و نوع پوشش گیاهی متناسب با اقلیم اهمیت دارد. «آب»، با تأثیر سرمایش تبخیری در مناطق گرم‌وخشک می‌تواند اثرگذاری بالایی داشته باشد؛ البته در شرایطی که در زمستان موجب کاهش سطح آسایش نگردد. «هندسه»، شامل: تناسبات ابعادی و جهت‌گیری بر میزان دریافت تابش، سایه‌اندازی، هدایت و یا ممانعت از وزش باد مطرح می‌شود. جنس «مصالح» مورد استفاده نیز از جهت میزان جذب و انعکاس

تابش سطحی اهمیت می‌یابند که با توجه به شرایط اقلیمی می‌تواند توجیه متفاوتی داشته باشد (Laura Kleerekoper, 2016). تمامی موارد قید شده در صورت طراحی صحیح، می‌توانند شرایط آسایش حرارتی بیرونی و افزایش حضور کاربران را فراهم نمایند.

از سویی دیگر، یکی از راه‌های بسیار مهم در استقرار ساختمان رعایت جهت آن با در نظر گرفتن گردش خورشید و تابش آن و وزش بادهای مخرب در فصول مختلف می‌باشد. از این‌رو رعایت این مسئله در معماری اقلیم‌های متنوع خصوصاً گرم و خشک، اهمیت مضاعف می‌یابد. در نحوه‌ی طراحی ساختمانی، بهترین شکل ممکن آن‌ست که در فصول گرم سال به‌ویژه تابستان کمترین مقدار ممکن از حرارت را از تابش خورشید و محیط پیرامون کسب نماید و در فصل زمستان در حداقل ممکن، حرارت را هدر نماید (هاشمی‌زرج‌آباد و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۵۱).

موردشناسی

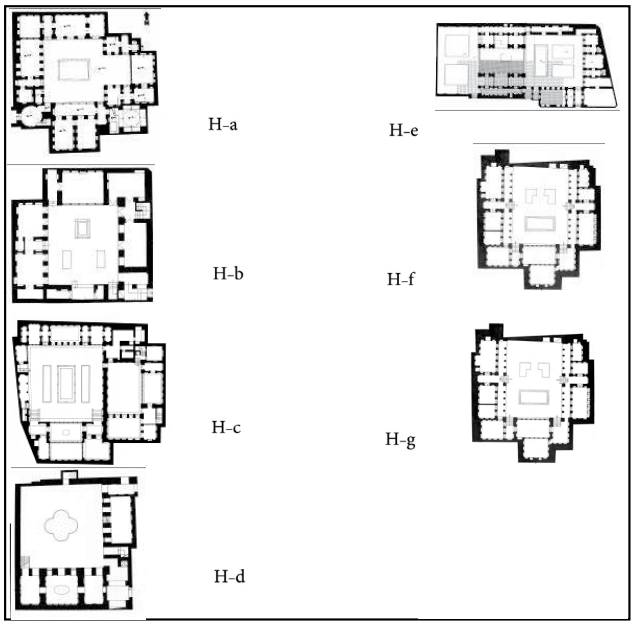
حاصلخیزی خاک شیراز از قدیم‌الایام زبان‌زد همگان بوده است و سیاحانی چون: شاردن (۱۳۹۳)، لوتی (۱۳۷۲)، دیولافوا (۱۳۶۱) و ویلیام جکسن (۱۳۵۲) همگی به این امر اذعان دارند؛ چنان‌که ویلیام جکسن از سیاحان آمریکایی در اواخر قاجار، چهره‌ی شهر را این‌گونه توصیف کرده است: عمارت‌های گلی و سنگی باعث افتخار شیراز نیست، شیراز شهرت خود را مدیون زیبایی محیطی، کشت و زرع‌ها، تاکستان‌های اطراف و باغ‌ها و گلزارهایش است (افسر، ۱۳۵۲:۱۳). شهر شیراز به سبب ویژگی اقلیمی مناسب، یعنی اعتدال دمای تابستانی و زمستانی و رطوبت نسبتاً کافی در تابستان، شیب شرقی-غربی و جنوب‌شرقی-جنوب‌غربی زمین آن، مقدار مناسب بارندگی فصلی و جهت بادهای مطلوب جنوب‌غربی، دارای ویژگی خاصی است؛ به‌طور مثال، دارای درختان سردسیری سیب و گلابی و گرمسیری مرکبات و نارنج است -دیولافوا نیز مکرراً به سرسبزی و خرمی اطراف شیراز اشاره کرده است (دیولافوا، ۱۳۶۱: ۴۴۹)- تا بافت آن به جهت هماهنگی با موارد ذکر شده و تأمین شرایط آسایش ساکنین دارای خصوصیت‌های منحصربه‌فردی گردد (همان: ۴۳۵). بنابراین با هدف حفظ و احیاء بافت تاریخی از یک‌سو، و یافتن الگوی مناسب ساخت‌وساز جدید همگام با شرایط خُرداقلیم این پژوهش بر بافت تاریخی و به‌طور خاص خانه‌های سنتی دوره‌ی قاجاری شیراز تمرکز نموده است.

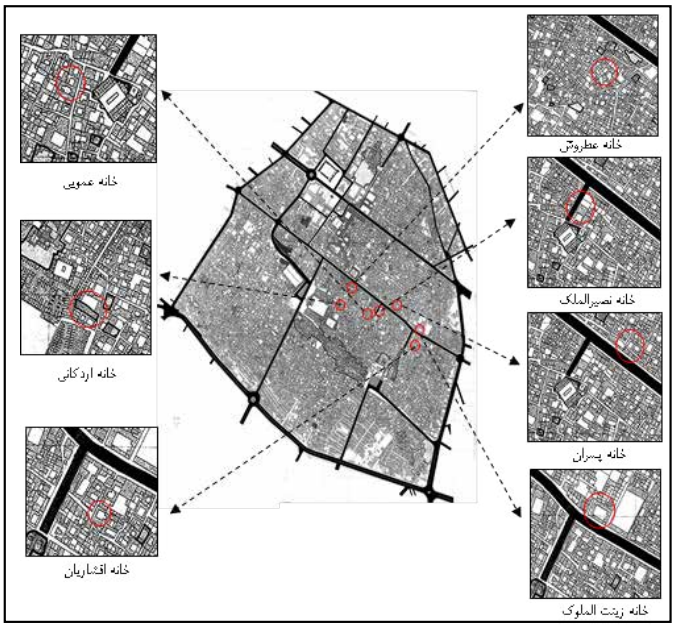
بدین‌منظور به‌جهت تحلیل وضعیت آسایش حرارتی در خانه‌های سنتی شهر شیراز تعداد ۷ خانه‌ی قاجاری در بافت تاریخی انتخاب گردیده‌اند. علت انتخاب این موارد، استناد به مقاله‌ی زارعی و همکاران (۱۳۹۶) است که اطلاعات دقیق‌تری را از خانه‌های تاریخی در اختیار نگارندگان قرار می‌داد. از طرفی، از نظر جانمایی سعی گردید خانه‌هایی با کمترین پراکندگی و قرارگیری در یک محله‌ی مسکونی و محدوده‌ی خیابان لطفعلی‌خان زند (به‌عنوان هسته‌ی مرکزی شکل‌گیری محدوده‌ی استقرار حاکمان دوره‌ی قاجار در شیراز) انتخاب گردند تا امکان مقایسه فراهم گردد؛ تا بدین‌ترتیب تأثیر عوامل مداخله‌گر دیگری همچون تفاوت در میزان آلودگی محیطی، زاویه‌ی تابش و

غیره قابل کنترل باشد (جدول ۱، شکل‌های ۲، ۳ و ۴). قابل ذکر است از میان خانه‌های مورد مطالعه، خانه‌ی نصیرالملک با دو حیاط مجزا مورد تحلیل قرار گرفته‌است.

جدول ۱. مشخصات عمومی نمونه‌های انتخاب شده (نگارندگان، ۱۳۹۷). ◄

کد	نام بنا	دوره‌ی ساخت	شماره‌ی ثبت	تاریخ ثبت	آدرس
H-a	خانه‌ی افشاریان	اواخر قاجار	۸۹۹۴	۱۳۸۲/۳/۱۰	شیراز، خ. لطفعلی‌خان زند، درب شیخ
H-b	خانه‌ی عمویی	قاجار	۶۰۶۳	۱۳۸۱/۵/۸	شیراز، خ. لطفعلی‌خان زند، کوچه‌ی آثار عجم، پ ۱.
H-c	خانه‌ی اردکانی	قاجار	۱۶۰۱	۱۳۵۷/۲/۲۶	شیراز، خ. لطفعلی‌خان زند، کوچه‌ی ۱۲ امام
H-d	خانه‌ی عطروش	قاجار	۱۰۶۷	۱۳۵۴/۲/۳۰	شیراز، بازار حاجی، کوچه‌ی زنجیرخانه
H-e	خانه‌ی نصیرالملک	قاجار	۱۰۶۸	۱۳۵۴/۲/۳۰	شیراز، انتهای خ. لطفعلی‌خان.
H-f	خانه‌ی پسران	قاجار	۴۵۱۸	۱۳۸۰/۱۰/۱۱	شیراز، خ. لطفعلی‌خان زند، محله‌ی اسحاق بیگ
H-g	خانه‌ی زینت‌الملک	قاجار	۸۷۱۰	۱۳۸۲/۰۳/۱۰	شیراز، خ. لطفعلی‌خان زند.





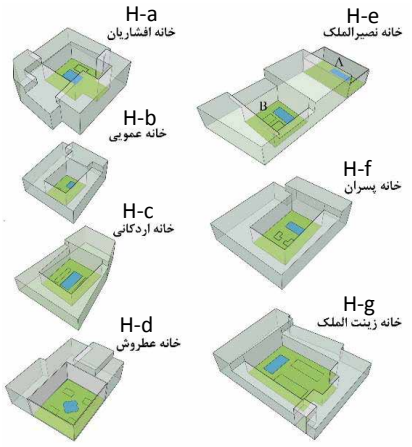
▲ شکل ۲ و ۳. راست: موقعیت و پراکندگی نمونه‌های انتخابی در بافت تاریخی و محدوده موردمطالعه؛ چپ: پلان نمونه‌های انتخابی (نگارندگان، ۱۳۹۷).

تحلیل یافته‌های تحقیق

پس از اجرای مدل‌سازی، خروجی‌های مدل اقلیمی توسط نرم‌افزار ENVI-met برای دو مقطع زمانی ۹ صبح و ۱۷ بعدازظهر در تاریخ یک تیرماه محاسبه گردید. خروجی داده‌های عددی در نرم‌افزار اکسل وارد گردید تا در قالب نمودارهایی تنظیم گردد. جهت نمایش گرافیکی نتایج نیز از نرم‌افزار Leonardo استفاده شده است. تمامی مدل‌های ایجاد شده‌ی خانه‌ها در محدوده‌ای ۱۰۰×۱۰۰ اطراف آن‌ها مدل‌سازی شده است تا نتایج آن‌ها هرچه بیشتر با واقعیت موجود همخوانی داشته باشد. خروجی‌ها در سطح عابران پیاده در ارتفاع ۱٫۵ متر درنظر گرفته شده است. نقطه‌ی مورد تحلیل نیز در مرکز حیاط قرار گرفته که بر اساس آن، «ضرایب دید آسمان» از طریق شبیه‌سازی به‌دست آمده است (شکل ۱).

با توجه به نتایج هندسی از خانه‌های مورد تحلیل جزئیاتی از مشخصات هندسی این خانه‌ها از قبیل زاویه‌ی چرخش حیاط با شمال، ضرایب دید آسمان، تناسبات طول به عرض حیاط و نسبت‌های مختلف فضای سبز و حوض آب نسبت به حیاط، مورد تحلیل قرار گرفته تا بتوان هرچه بیشتر نتایج حیاط‌های مورد تحلیل را با یکدیگر مقایسه کرد (جدول ۲).

براساس نتایج به‌دست آمده از جدول شماره‌ی ۲، خانه‌ی عمویی با کمترین زاویه‌ی چرخش نسبت شمال، و خانه‌ی افشاریان با بیشترین چرخش وجود دارد و همچنین حیاط خانه‌ی زینت‌الملک دارای بیشترین مساحت (۵۵۱ مترمربع)، و خانه‌ی عمویی (با ۶۱ مترمربع) کمترین مساحت را در بین خانه‌ها دارا می‌باشد. بر این اساس، مقدار ضریب دید آسمان از ۰/۱۹ در محصورترین حیاط (خانه‌ی عمویی)، تا ۰/۵۶ در گسترده‌ترین حیاط (خانه‌ی زینت‌الملک) را دربر می‌گیرد. تناسبات ارتفاع به عرض یکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار بر طول مدت تابش است که خانه‌ی عمویی دارای بیشترین نسبت (75/0H/W:)، و خانه‌ی زینت‌الملک با نسبت (2/0H/W:) دارای کمترین نسبت است. تمامی مباحث اشاره شده در بالا از پارامترهای تأثیرگذار بر طول مدت تابش بر نقطه‌ی مرکزی و در پی آن، آسایش حرارتی آن نقطه می‌باشد؛ از سویی دیگر، تجزیه و تحلیل زاویه‌ی قرارگیری و چرخش حیاط‌ها نشان می‌دهد که شاهد چرخش حداقلی ۲۰ درجه در خانه‌ی عمویی تا ۳۱ درجه در خانه‌ی نصیرالملک در جهت جنوب‌غربی هستیم که به‌طور میانگین حدوداً ۲۷ درجه‌ی چرخش حیاط‌های نمونه‌های انتخابی نسبت به شمال دیده می‌شود که به نتایج سایر مطالعات از این دست نیز نزدیک است. همچنین چرخش حدود ۳۰ درجه‌ی جنوب‌غربی، جهت غالب بناها در بافت فعلی شیراز است (زارعی، ۱۳۹۴: ۱۱۶).



▲ **شکل ۴. مدل‌سازی سه‌بُعدی نمونه‌های انتخابی (نگارندگان، ۱۳۹۷).**

▶ **جدول ۲. مقایسه‌ی ضریب دید آسمان، مساحت، تناسبات ارتفاع به عرض حیاط‌ها و عناصر موجود در آن (نگارندگان، ۱۳۹۷).**

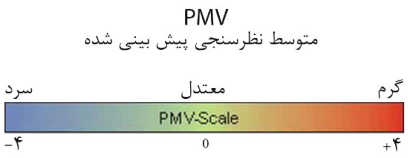
ردیف	خانه‌ها	زاویه‌ی چرخش حیاط با شمال	مساحت حیاط (m)	ضریب دید آسمان	تناسبات ارتفاع به عرض	طول به عرض	مساحت فضای سبز	مساحت حوض (m)	نسبت فضای سبز / حیاط	نسبت حوض / حیاط
H-a	افشاریان	۱۱۸* - (۲۸)**	۱۴۹	۰/۴۶	۰/۴	۱/۳۶	۸/۴	۱۶/۱	۶٪	۱۱٪
H-b	عمویی	۲۰	۶۱	۰/۱۹	۰/۷۵	۱/۱۴	۴/۶	۴/۴	۸٪	۷٪
H-c	اردکانی	۲۶	۲۲۹	۰/۵۴	۰/۴۲	۱/۰۷	۲۶/۵	۳۰/۶	۱۲٪	۱۳٪
H-d	عطروش	۲۲	۱۶۵	۰/۴۸	۰/۵	۱/۱۶	۱۹	۱۰/۵	۱۲٪	۶٪
H-e1	نصیرالملک	۳۱	۱۷۱	۰/۳۶	۰/۴۶	۱	۲۶/۲	۲۱/۶	۱۵٪	۱۳٪
H-e2		۳۱	۲۲۰	۰/۵۱	۰/۳۱	۱/۷۲	۳۲	۲۱	۱۴٪	۱۰٪
H-f	پسران	۲۹	۱۶۶	۰/۳۶	۰/۴	۱/۵	۷/۷	۱۳/۱	۵٪	۸٪
H-g	زینت‌الملک	۱۱۷* - (۲۷)**	۵۵۶	۰/۵۶	۰/۲	۱/۵۷	۱۰۹	۴۴/۴	۲۰٪	۸٪
میانگین		**۲۶/۷۵**	**۲۱۴/۶**	**۰/۴۳**	**۰/۴۳**	**۱/۳**	**۲۹/۲**	**۲۰/۲**	**۱۱/۵**	**۹/۵**

*خانه‌های دارای علامت * محور طولی حیاط‌شان در جهت شمال‌غربی-جنوب‌شرقی است و سایر خانه‌ها در جهت شمال‌شرقی-جنوب‌غربی است.
**حیاط خانه‌ی افشاریان در جهت جنوب‌شرقی دارای ۲۷ درجه‌ی چرخش و خانه‌ی زینت‌الملک دارای ۲۸ درجه چرخش است.

از دیگر متغیرهای هندسی مورد بررسی می‌توان به مساحت فضای سبز، مساحت حوض و نسبت آن‌ها به مساحت کل حیاط اشاره کرد. این متغیرها از عوامل تأثیرگذار بر خُرداقلیم جزیی حیاط‌ها به حساب می‌آیند که بعد از پارامترهای مؤثر اشاره شده در اولویت دوم تأثیرگذاری بر آسایش حرارتی هستند.

تحلیل وضعیت آسایش حرارتی بیرونی

از آنجایی‌که در شکل شماره‌ی ۵ دیده می‌شود، در نرم‌افزار انوی‌مت، محدوده‌ی آسایش حرارتی بین ۴ تا ۴- تعریف‌شده است. این محدوده شرایط آسایش حرارتی متفاوتی را نمایش می‌دهد؛ بنابراین صرف‌نظر از شرایط فرد به‌لحاظ وضعیت حرکتی (ایستاده،



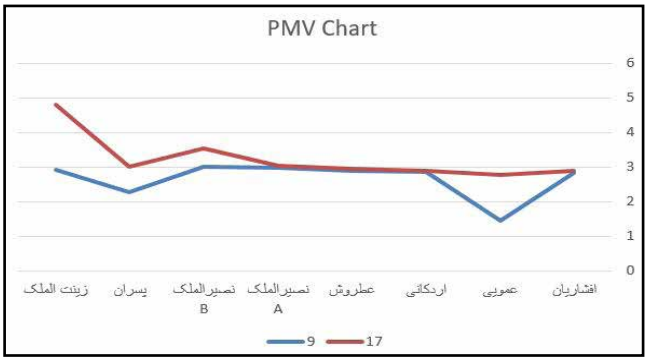
▲ **شکل ۵. محدوده‌ی آسایش حرارتی تعریف‌شده در نرم‌افزار ENVI-met (Bruse, 2015).**

قدم‌زنان یا نشسته)، نوع پوشش، سن، جنس، میزان چربی زیرپوست و جز این‌ها، آن‌چه شرایط محیط را به‌لحاظ آسایش حرارتی تبیین می‌کند، عموماً از برهم‌کنش چهار مؤلفه‌ی باد، دمای هوا، رطوبت و دمای متوسط تابشی[5] ناشی می‌شود (El-Bardisy et al., 2016؛ رضازاده، ۱۳۹۰: ۱۶۶). بهترین بازه‌ی آسایش در این شاخصه‌ی محدوده (۱-) تا ۱ می‌باشد که شرایط را برای فصول معتدل رقم می‌زند (شکل ۵).

با توجه به آنالیز انجام شده در تاریخ یکم تیرماه ۱۳۹۷ به‌عنوان گرم‌ترین روز از سال، میزان آسایش حرارتی در حیاط خانه‌ها در دو ساعت ۹ و ۱۷ در بازه‌ای بین ۱/۵ تا ۴/۹ متغیر می‌باشد؛ که این نشان از گرم‌تر بودن هوا در این تاریخ دارد، اما با توجه به مقایسه‌ی بین آسایش حرارتی حیاط‌ها نسبت به هندسه‌ی مختلف آن‌ها، می‌توان نتایج را به‌درستی مورد تحلیل و ارزیابی قرار داد.

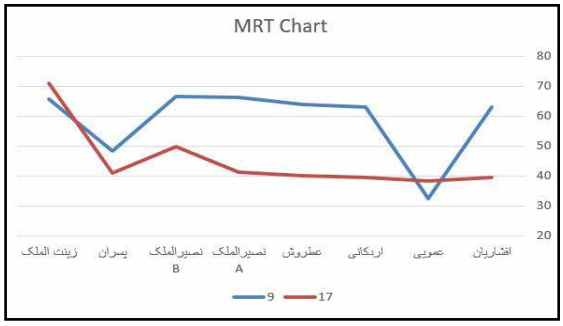
بررسی‌ها نشان می‌دهد بهترین شرایط آسایش حرارتی برای خانه‌ی عمویی در ساعت ۹ صبح (45/1PMV:) و بدترین شرایط برای خانه‌ی زینت‌الملک در ساعت ۱۷ (81/4PMV:) می‌باشد. در دیگر خانه‌ها میزان شرایط حرارتی در این دو زمان متفاوت نبوده و شرایط یکسانی را پیدا کرده که میانگین آن‌ها در ساعت ۹ و ۱۷ به‌ترتیب (8/2PMV:) و (05/3PMV:) می‌باشد که این به‌دلیل نزدیک بودن شرایط هندسی حیاط‌ها و مدت زمان تابش یکسان بر نقطه‌ی مورد تحلیل آن‌ها بوده است (شکل ۶).

از بررسی‌های به‌عمل آمده بین تمامی فاکتورهای اقلیمی با آسایش حرارتی، می‌توان نتیجه گرفت دمای متوسط تابشی، یکی از اصلی‌ترین شاخصه‌های آسایش حرارتی می‌باشد (Al-Kurdi & Awadallah, 2015؛ کرمی‌راد و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۶۹)؛ بنابراین، این پژوهش تمرکز بیشتری بر این عامل اثرگذار داشته و به این‌ترتیب می‌توان نمودار آسایش حرارتی را با نمودار دمای متوسط تابشی مورد مقایسه قرار داد. همان‌طورکه از مقایسه‌ی دو نمودار شکل‌های ۶ و ۷ می‌توان مشاهده کرد، در دو زمانی که بیشترین (خانه‌ی عمویی) و کمترین (خانه‌ی زینت‌الملوک) میزان دمای متوسط تابشی وجود دارد، حد بالا و پایین آسایش حرارتی را به‌وجود آورده است؛ هرچند نمی‌توان از دیگر پارامترهای آسایش حرارتی چشم‌پوشی کرد، زیرا همان‌طورکه در شکل ۷ دیده می‌شود در حیاط دوم خانه‌ی نصیرالملک (B) و خانه‌ی پسران، با توجه به داشتن شرایط حدوداً یکسان هندسی با دیگر خانه‌ها، اما به‌دلیل وجود درختان نزدیک به مرکز حیاط‌ها، باعث شکل‌گیری تفاوتی اندک در مقدار عددی دمای متوسط تابشی و آسایش حرارتی در این دو خانه شده است. همچنین میزان سطوح خاک و آب



شکل ۶. نمودار وضعیت آسایش حرارتی براساس شاخص PMV در خانه‌های مورد مطالعه؛ A: حیاط اول، B: حیاط دوم خانه‌ی نصیرالملک (نگارندگان، ۱۳۹۷). ◄

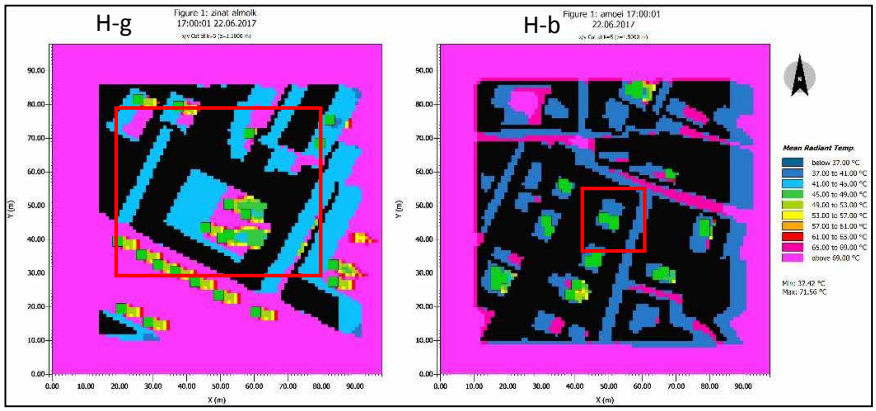
در حیاط‌ها باعث تفاوت در میزان جذب حرارت و بازتابش طول موج بلند به محیط حیاط شده و خُرداقلیم متفاوتی را برای ساکنین رقم می‌زند (شکل ۷).



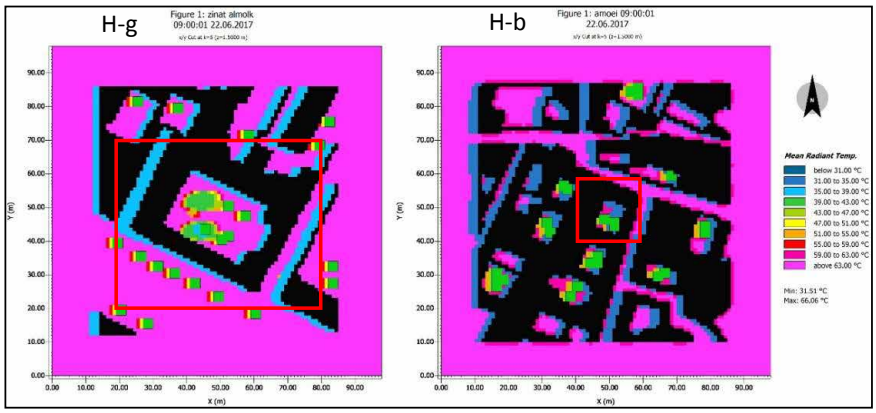
◄ شکل ۷. نمودار وضعیت دمای متوسط تشعشعی در خانه‌های موردمطالعه در بین ساعت ۹ تا ۱۷ (نگارندگان، ۱۳۹۷).

در شکل‌های ۸ و ۹، خروجی گرافیکی دمای متوسط تابشی در نقاط مختلف در دو خانه‌ی عمویی و زینت‌الملک و در ساعت ۹ و ۱۷ نشان داده شده است.

از بررسی و تحلیل گراف‌های مذکور می‌توان به این نتیجه رسید که حیاط خانه‌ی عمویی با مساحت و ضریب دید آسمان کمتر و دیگر پارامترهای هندسی متفاوت در دو حالت صبح و بعدازظهر، دارای سایه‌اندازی بر نقطه‌ی مرکزی می‌باشد؛ درحالی‌که در خانه‌ی زینت‌الملک نتیجه‌ای برعکس دربر داشته و در هر دو زمان خورشید بر نقطه‌ی مرکزی حیاط تابش دارد که این رخداد باعث تفاوت دمای متوسط تابشی و در پی آن تغییر چشم‌گیر در شرایط آسایش حرارتی بیرونی گردیده است (شکل‌های ۸ و ۹).



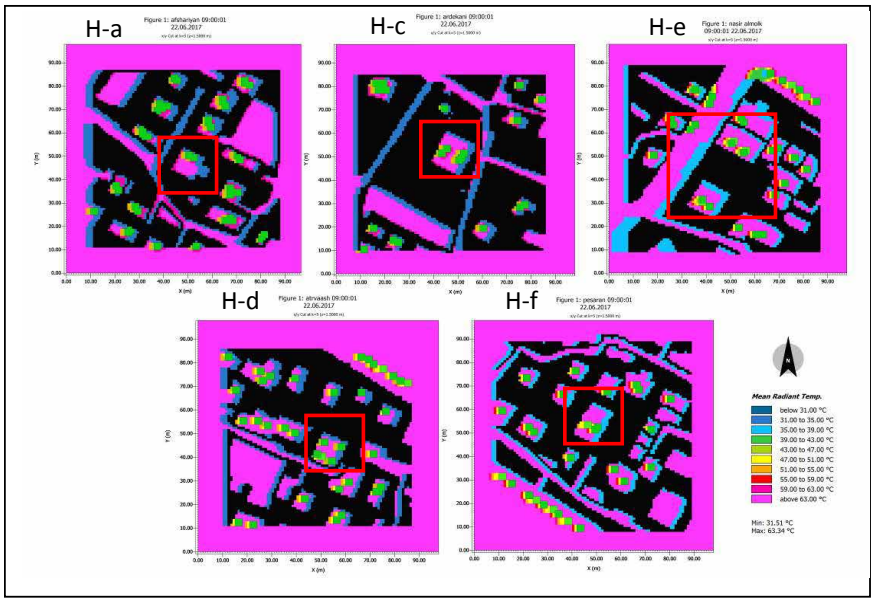
◄ شکل ۸. نمودار دمای متوسط تشعشعی ساعت ۱۷ در خانه‌های عمویی و زینت‌الملک، در تصاویر بالا موقعیت حیاط با کادر قرمز رنگ مشخص شده است (نگارندگان، ۱۳۹۷).



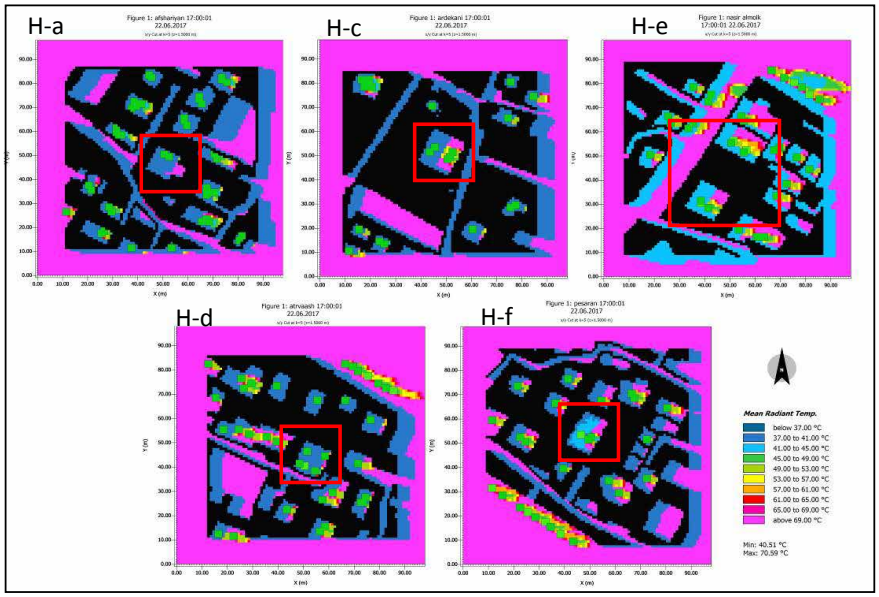
◄ شکل ۹. نمودار دمای متوسط تشعشعی ساعت ۹. راست: خانه‌ی عمویی؛ و چپ: زینت‌الملک (نگارندگان، ۱۳۹۷).

عواملی از قبیل هندسه حیاط، زاویه چرخش حیاط نسبت به شمال، گستردگی و نسبت ارتفاع دیوار به پهنا باعث ایجاد چنین تفاوت‌هایی در دمای متوسط تابشی و آسایش حرارتی بیرونی این حیاط ها شده‌است. شکل ۱۰ و ۱۱ آنالیزهای گرافیکی سایر نمونه‌ها در ساعت ۹ و ۱۷ را نشان می‌دهد.

همان‌طورکه در شکل ۱۰ دیده می‌شود در ساعت ۹ صبح تابش خورشید بر نقطه‌ی مرکزی حیاط‌ها وجود دارد که در مقایسه‌ی با شکل ۱۱ در ساعت ۱۷ بر تمامی نقاط مرکزی حیاط‌ها سایه‌اندازی وجود دارد. با توجه به توضیحات داده شده و مقایسه‌ی این تصاویر با نمودارهای ۶ و ۷ می‌توان علت افزایش دمای متوسط تابشی ۹ صبح با ۱۷ را دید و همچنین در پی آن یکسان بودن دمای متوسط تابشی و آسایش حرارتی این پنج حیاط را مشاهده کرد.



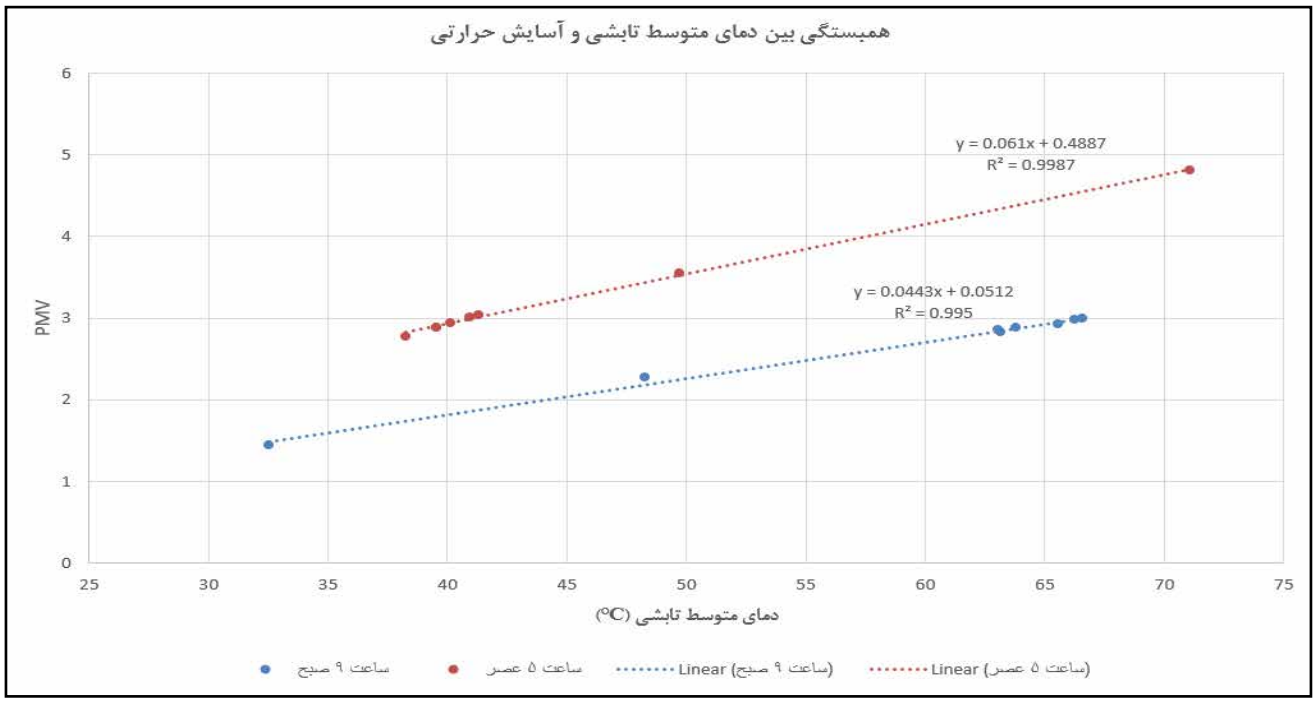
شکل ۱۰. آنالیزهای گرافیکی انجام شده در ساعت ۹، دیگر خانه‌های مورد مطالعه؛ در تصاویر بالا موقعیت حیاط با کادر قرمز رنگ مشخص شده است (نگارندگان، ۱۳۹۷). ◄



شکل ۱۱. آنالیزهای گرافیکی انجام شده در ساعت ۱۷، دیگر خانه‌های مورد مطالعه (نگارندگان، ۱۳۹۷). ◄

از سوی دیگر، در جدول شماره‌ی ۲ با مقایسه‌ی ضریب دید آسمان و دمای متوسط تابشی نقاط، می‌توان رابطه‌ی معناداری میان این دو عامل پیدا کرد، که با افزایش میزان «ضریب دید آسمان» در فضاهای باز افزایش تابش مستقیم خورشید و در نتیجه افزایش دمای متوسط تابشی را خواهیم داشت.

در بسیاری از مطالعات در زمینه‌ی آسایش حرارتی به رابطه‌ی معنادار دو عامل آسایش حرارتی و دمای متوسط تابشی تأکید شده‌است (Al-Kurdi & Awadallah, 2015; Lin et al., 2010). در این پژوهش نیز دمای متوسط تابشی بیشترین تأثیر را در آسایش حرارتی بیرونی در پی دارد که این نتیجه را می‌توان با نمودار ضریب همبستگی زیر در شکل ۱۲، مابین تمامی نقاط مرکزی حیاط‌ها در صبح و بعد از ظهر نشان‌داد که همبستگی معناداری مابین «دمای متوسط تابشی» با «شاخص آسایش حرارتی PMV» دارد؛ به‌گونه‌ای که افزایش مقدار دمای متوسط تابشی در حیاط‌ها باعث افزایش استرس حرارتی افراد شده و کاهش آسایش حرارتی را در پی خواهد داشت.



▲ شکل ۱۲. نمودار همبستگی دمای متوسط تابشی و آسایش حرارتی خانه‌ها (نگارندگان، ۱۳۹۷).

نتیجه‌گیری

از آنجایی‌که هدف این پژوهش سنجش تأثیر عوامل فیزیکی و محیطی حیاط مرکزی بر شرایط آسایش حرارتی ساکنین خانه‌های تاریخی در شهر شیراز بوده است؛ در این راستا، شناسایی وضعیت هندسی، تناسبات و جهت‌گیری وضعیت آسایش حرارتی مورد مطالعه قرار گرفت. بر این‌اساس مشخص گردید که وضعیت هندسی حیاط‌ها باعث تفاوت در زمان و زاویه‌ی تابش مستقیم خورشید بر سطح حیاط می‌شود، این تفاوت تابش، آسایش حرارتی متفاوتی را برای ساکنین رقم می‌زند. ازطرفی توجه به تأثیر جهت‌گیری در مناطق مسکونی برای جلوگیری از تابش، یکی از اصلی‌ترین عوامل می‌باشد؛ هرچند نباید از مسیر ورود باد غالب که موجب حرکت

باد در مجموعه‌ی مسکونی می‌شود و آسایش حرارتی را در پی خواهد داشت، غافل شد. قابل‌توجه است که جهت‌گیری مناسب در شهر شیراز در جهت جنوب‌غربی است که براساس نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌ها مشخص گردید که گردش حدود ۲۷ درجه نسبت به شمال در این جهت گزینه بهینه خواهد بود که در این نوشتار تأثیر تجمعی مؤلفه‌های مختلف نیز مدنظر است؛ بدین‌معنا که در صورت عدم وجود سایر عوامل همچون: تناسبات، پوشش گیاهی و غیره، جهت‌گیری به تنهایی نمی‌تواند کارایی مناسب را داشته باشد. هرچند در برخی موارد، عواملی همچون چیدمان بافت شهری و یا اولویت جهت قبله، منجر به تغییر نسبت به این زاویه می‌شود که لازم است با افزودن سایر عوامل فیزیکی و محیطی در راستای دستیابی به آسایش حرارتی که نیازمند تحلیل دقیق میدانی و شبیه‌سازی است، تلاش گردد.

نکته‌ی قابل‌توجه در این فرآیند آن است که تأکید نگارندگان این مقاله بر مقیاس خُرداقلیم در مطالعات و طراحی شهری و معماری است؛ لذا نتایج پژوهش نشان می‌دهد که کاشت یک درخت در جای مناسب، تأمین یک سایبان افقی جهت مقابله با تابش مستقیم و حتی یک فضای بدون مانع در بین ساختمان‌ها برای هدایت باد می تواند آسایش حرارتی را برای ساکنین در پی داشته باشد؛ بنابراین هر حیاط مرکزی خود به تنهایی می‌تواند با ارتفاع مناسب دیوارها، طرح کاشت مشخص، استفاده از حوض و فواره در آن، میزان سطح بازشوها و مصالح دیوارهای پیرامونی که باعث انعکاس نور خورشید بر سطح حیاط می‌شود، به‌صورت خُرداقلیم مستقل عمل نماید و آب‌وهوای داخل را از محدوده‌ی پیرامونی خود مجزا نماید.

بنابراین در طراحی فضاهای باز در مجاورت بناهای مسکونی، لازم است موارد پیش‌رو مدنظر قرار گیرد: توجه به گستردگی مساحت حیاط‌ها؛ توجه به زاویه‌ی قرارگیری ساختمان و حیاط؛ توجه به نسبت ارتفاع به عرض حیاط‌ها؛ و استفاده از اقدامات تطابقی (آب‌پاشی، جابه‌جایی در فصول، کاشت انواع گیاه خزان‌پذیر، و ...).

درنهایت باید اذعان نمود، هرچند شاید در وضعیت شهرسازی امروزی ساخت خانه‌هایی با حیاط مرکزی به‌نظر معنادار نباشد، اما راهکارهای برگرفته از آن می‌تواند چراغ راه گردد. نکته‌ی دیگر آن‌که اغلب خانه‌های سنتی پیش از این در بافتی فعال بوده‌اند که فاقد آلودگی‌های محیطی بوده و تحت‌تأثیر تغییر اقلیم نبوده‌اند؛ بنابراین چه‌بسا همین خانه‌های تاریخی، امروزه در بافت بیمار شهری از نظر اقلیمی به تنهایی و بدون تأمین وسایل آسایشی پاسخ‌گوی شرایط زندگی و تامین آسایش در بلندمدت نباشند؛ چراکه خُرداقلیم با اقلیم محلی و منطقه‌ای مرتبط بوده و بی‌تأثیر از آن‌ها نیست، اما قطعاً در طراحی مجتمع‌های همساز با اقلیم، همچنین بناهای میان‌افزا در بافت تاریخی این شهر و سایر شهرهای کشور می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. بدون تردید دستیابی به تمامی ابعاد و جزئیات معماری این خانه‌ها مطالعات و پژوهش‌های افزون‌تری را می‌طلبد، که در همین راستا پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده در رابطه با این موضوع بر مواردی از قبیل بررسی تأثیر تناسبات حیاط و ارتفاعات پیرامون ساختمان، همچنین بررسی تأثیر مصالح کف حیاط و دیوارها بر شرایط خُرداقلیم مناسب برای ساکنین و موضوعاتی از این دست متمرکز شوند.

پی‌نوشت

1. Urban Boundary Layer
2. Urban Canopy Layer
3. AHSRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)
4. Sky view factor (SVF)
5. Mean Radiant Temperature

کتابنامه

- افسر، کرامت‌اله، ۱۳۵۲، تاریخ بافت قدیم شیراز. تهران: سلسله انتشارات آثار ملی.
- پوردیهیمی، شهرام، ۱۳۹۰، زبان اقلیمی در طراحی محیطی پایدار، کاربرد اقلیم شناسی در برنامه‌ریزی و طراحی معماری، مقیاس خرد (جلد دوم). تهران: دانشگاه شهید بهشتی.
- جسکن، ویلیام؛ آراهام، جکسن، ۱۳۵۲، سفرنامه جکسن. ترجمه‌ی منوچهر امیری و فریدون بدره‌ای، تهران: خوارزمی، مؤسسه‌ی انتشارات فرانکلین.
- دیولافوا، مادام ژان، ۱۳۶۱، سفرنامه‌ی دیولافوا. شیراز: سعدی.
- رضازاده، راضیه؛ و آقاجان‌بیگلو، عماد، ۱۳۹۰، «الگوی پیشنهادی برای توده‌گذاری در قطعات مسکونی ردیفی بررسی تطبیقی دو الگوی توده‌گذاری در بلوک‌های مسکونی با معیار آسایش حرارتی»، نامه معماری و شهرسازی، شماره‌ی ۷، صص: ۱۸۴-۱۶۵.
- زارع، لیلا؛ نقی‌زاده، محمد؛ و حریری، شراره، ۱۳۹۱، «رابطه‌ی طبیعت و حیاط مرکزی با نگاه به معماری خانه ایرانی کاشان». هویت شهر، شماره‌ی ۱۲، صص: ۶۰-۴۹.
- زارعی، هانی، ۱۳۹۴، معماری خانه‌های شیراز دوره‌ی قاجاریه. تهران: میراث کتاب.
- زارعی، هانی؛ رازانی، مهدی؛ و قزلباش، ابراهیم، ۱۳۹۶، «بازشناسی الگوی طراحی خانه‌های شیراز در دوره‌ی قاجاری با رویکرد اقلیمی»، پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران. شماره‌ی ۱۳، دوره‌ی هفتم، صص: ۲۴۲-۲۲.
- زندیه، مهدی؛ و پروردی‌نژاد، سمیرا، ۱۳۸۹، «توسعه‌ی پایدار و مفاهیم آن در معماری مسکونی ایران»، مجله‌ی مسکن و محیط روستا، بهار و تابستان، صص: ۲-۲۱.
- شاردن، ژان، ۱۳۹۳، سفرنامه شاردن. ترجمه: اقبال یغمایی، تهران: توس.
- شیخ‌بیگلو، رضا؛ محمدی، جمال، ۱۳۸۹، «تحلیل عناصر اقلیمی باد و بارش با تأکید بر طراحی شهری مطالعه موردی شهر اصفهان»، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال ۲۱، شماره‌ی ۳، صص: ۶۱-۸۲.
- عیالی، حامد؛ و موحد، خسرو، ۱۳۹۵، «تعیین جهت بهینه‌ی حیاط مرکزی خانه‌های دوره‌ی قاجار شیراز براساس میزان دریافت تابش انرژی خورشیدی»، جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۴۲، بهار، صص: ۶۱-۱۸۲.
- گرجی مهلبان، یوسف؛ یاران، علی؛ پروردی‌نژاد، سمیرا؛ و اسکندری، منیژه، ۱۳۹۰، «ارزیابی معماری همساز با اقلیم در خانه‌های کاشان»، آرمان شهر. شماره‌ی ۷، پاییز و زمستان، صص: ۳۱-۴۱.
- کرمی‌راد، سینا؛ علی‌آبادی، محمد؛ حبیبی، امین؛ و وکیلی‌نژاد، رزا، ۱۳۹۶، «سنجش میزان تأثیر پوشش گیاهی بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی عابران پیاده (مورد پژوهی: مجتمع مسکونی گلدشت شیراز)»، انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران. دوره‌ی ۸، شماره‌ی ۱۴، صص: ۱۹۶-۱۸۵.
- کرمی‌راد، سینا؛ علی‌آبادی، محمد؛ و حبیبی، امین، ۱۳۹۷، «سنجش تأثیر هندسه‌ی شهری بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی در مقیاس خُرداقلیم (مورد پژوهی:

فضای باز مجتمع مسکونی گلدشت شیراز)»، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای. دوره‌ی ۸، شماره‌ی ۲۹، صص: ۱۷۲-۱۶۱.
- لوتی، پیر، ۱۳۷۲، به‌سوی اصفهان. ترجمه‌ی احمد کتابی، تهران: اقبال.
- معماریان، غلامحسین، ۱۳۷۵، آشنایی با معماری مسکونی ایرانی: گونه‌شناسی درونگرا. تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران.
- هاشمی‌زرج‌آباد، حسن؛ صادقی، سارا؛ و زارعی، علی، ۱۳۹۵، «بررسی نقش اقلیم بر نوع معماری و تزئینات حسینیه‌ی نواب بیرجند»، پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، شماره‌ی ۱۱، دوره‌ی ۶، صص: ۱۶۲-۱۵۱.

- Abdulkareem, H. A., 2016, "Thermal Comfort through the Microclimates of the Courtyard. A Critical Review of the Middle-eastern Courtyard House as a Climatic Response". *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216, 662–674. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.054
- Alcoforado, M.; Andrade, H.; Lopes, A. & Vasconcelos, J., 2009, "Landscape and Urban Planning Application of climatic guidelines to urban planning The example of Lisbon (Portugal)", 90, 56–65. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.006
- Ali-Toudert, F., 2005, "Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate". *Berichte Des Meteorologischen Institutes Der Universität Freiburg,* Nr. 15(15). https://doi.org/ISSN 1435-618X.
- Ali-Toudert, F., & Mayer, H., 2007, "Thermal comfort in an east–west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions". *Theoretical and Applied Climatology,* 87(1–4), 223–237. https://doi.org/10.1007/s00704-005-0194-4
- Al-Kurdi, N. & Awadallah, T., 2015, "Role of Street-Level Outdoor Thermal Comfort in Minimizing Urban Heat Island Effect by Using Simulation Program". *Envi-Met: Case of Amman, Jordan. Research Journal of Environmental and Earth Sciences,* 7(3), 42-49
- Battista, G.; Carnielo, E. & De Lieto Vollaro, R., 2016, "Thermal impact of a redeveloped area on localized urban microclimate: A case study in Rome'. *Energy and Buildings,* 133, 446–454. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.004
- Berardi, U., & Wang, Y., 2016, "The effect of a denser city over the urban microclimate: The case of Toronto". *Sustainability (Switzerland)*, 8(8), 1–11. https://doi.org/10.3390/su8080822
- Berkovic, S.; Yezioro, A. & Bitan, A., 2012, "Study of thermal comfort in courtyards in a hot arid climate". *Solar Energy,* 86(5), 1173–1186. https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.01.010
- Bottillo, S.; De Lieto Vollaro, A.; Galli, G. & Vallati, A., 2014, "Fluid dynamic and heat transfer parameters in an urban canyon". *Solar Energy,* 99, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.10.031
- Chatzidimitriou, A. & Yannas, S., 2015, "Microclimate development in open urban spaces: The influence of form and materials". *Energy and Buildings,* 108, 156–174. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.048
- Cui, L. & Shi, J., 2012, "Urbanization and its environmental effects in Shanghai, China". *Urban Climate,* 2, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2012.10.008

- El-Bardisy, W. M.; Fahmy, M. & El-Gohary, G. F., 2016, "Climatic Sensitive Landscape Design: Towards a Better Microclimate through Plantation in Public Schools, Cairo, Egypt". *Procedia - Social and Behavioral Sciences,* 216, 206-216. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.12.029

- Eliasson, I., 2000, "The use of climate knowledge in urban planning". *Landscape and Urban Planning,* 48(1–2), 31–44. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00034-7

- Gómez, F.; Cueva, A. P.; Valcuende, M. & Matzarakis, A., 2013, "Research on ecological design to enhance comfort in open spaces of a city (Valencia , Spain)". Utility of the physiological equivalent temperature (PET). *Ecological Engineering,* 57, 27–39. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.034

- He, X.; Miao, S.; Shen, S. & Li, J., 2014, "Influence of sky view factor on outdoor thermal environment and physiological equivalent temperature". *International journal of biometeorology*, 59(3), 285-297. (. https://doi.org/http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00484-014-0841-5

- Hwang, R.-L.; Lin, T.-P. & Matzarakis, A., 2011, "Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort". *Building and Environment,* 46(4), 863–870. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.017

- Johanssson, E., 2006, *Urban Design and Outdoor Thermal Comfort in Warm Climates, Stud ies in Fez and Colombo.* LUND university.

- Kaplan, S.; Peeters, A. & Erell, E., 2016, "Predicting air temperature simultaneously for multiple locations in an urban environment: A bottom up approach". *Applied Geography,* 76, 62–74. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.09.015

- Krüger, E. L. L.; Minella, F. O. O. & Rasia, F., 2011, "Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from fi eld measurements in Curitiba , Brazil". *Building and Environment,* 46(3), 621–634. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.006

- Kleerekoper, L., 2016, *Urban climte design: improving thermal comfort in Dutch neighbourhoods.* Delft University of Technology.

- Lin, T.-P., et al., 2010, "Shading effect on long-term outdoor thermal comfort". *Building and Environment,* 221-213,(1)45.

- Lin, T.-P.; Matzarakis, A. & Hwang, R.-L., 2010, "Shading effect on long-term outdoor thermal comfort". *Building and Environment,* 45(1), 213–221. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.002

- Liu, W.; Zhang, Y. & Deng, Q., 2016, "The effects of urban microclimate on outdoor thermal sensation and neutral temperature in hot-summer and cold-winter climate". *Energy and Buildings,* 128, 190–197. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.086

- Martins, T. A. L.; Adolphe, L.; Bonhomme, M.; Bonneaud, F.; Faraut, S.; Ginestet, S.; … Guyard, W., 2016, "Impact of Urban Cool Island measures on outdoor climate and pedestrian comfort: Simulations for a new district of Toulouse, France". *Sustainable Cities and Society,* 26, 9–26. https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.05.003

- Nevins, R. G. & McNall, P. E., 1973, "ASHRAE thermal comfort standards". *Building Research and Practice,* 1(2), 100–104. https://doi.org/10.1080/09613217308550225

- Parapari, D. M., 2015, *Adaptation to Climate Change and Thermal Comfort.* A dissertation submitted to the: Faculty of Spatial Planning Dortmund University of Technology (TU Dortmund).

- Santamouris, M.; Gaitani, N.; Spanou, A.; Saliari, M.; Giannopoulou, K.; Vasilakopoulou, K. & Kardomateas, T., 2012, "Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas – Design realization and results of the flisvos project". *Building and Environment,* 53, 128–136. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.022

- Schaefer, D. & Domroes, M., 2009, "Recent climate change in Japan" – spatial and temporal characteristics of trends of temperature", *Climate of the Past* (2007), 13–19.

- Sharmin, T.; Steemers, K. & Matzarakis, A., 2015, "Analysis of microclimatic diversity and outdoor thermal comfort perceptions in the tropical megacity Dhaka, Bangladesh". *Building and Environment,* 94, 734–750. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.10.007

- Soflaei, F.; Shokouhian, M.; Abraveshdar, H. & Alipour, A., 2017, "The Impact of Courtyard Design Variants on Shading Performance in Hot- Arid Climates of Iran". *Energy & Buildings.* https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.027

- Soflaei, F.; Shokouhian, M. & Shemirani, S. M. M., 2016, "Traditional Iranian courtyards as microclimate modifiers by considering orientation , dimensions , and proportions Traditional Iranian courtyards as microclimate modi fi ers by considering orientation , dimensions , and proportions". *Frontiers of Architectural Research,* 5(2)(April), 225–238. https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.02.002

- Soflaei, F.; Shokouhian, M. & Soflaei, A., 2017, "Traditional courtyard houses as a model for sustainable design : A case study on BWhs mesoclimate of Iran Traditional courtyard houses as a model for sustainable design : A case study on BWhs mesoclimate of Iran". *Frontiers of Architectural Research,* (June).https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.04.004

- Spagnolo, J. & de Dear, R., 2003, "A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia". *Building and Environment,* 38(5), 721–738. https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00209-3

- Taleghani, M.; Tenpierik, M.; Van Den Dobbelsteen, A. & Sailor, D. J., 2014, "Heat in courtyards: A validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands". *Solar Energy,* 103, 108–124. https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.01.033

- Wong, G. K. L. & Jim, C. Y., 2016, "Do vegetated rooftops attract more mosquitoes? Monitoring disease vector abundance on urban green roofs". *Science of The Total Environment,* 573, 222–232. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.102

- Yan, H.; Yang, L.; Zheng, W. & Li, D., 2016, "Influence of outdoor temperature on the indoor environment and thermal adaptation in Chinese residential buildings during the heating season". *Energy and Buildings,* 116, 133–140. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.053

- Zhao, L.; Zhou, X.; Li, L.; He, S. & Chen, R., 2016, "Study on outdoor thermal comfort on a campus in a subtropical urban area in summer". *Sustainable Cities and Society,* 22, 164–170. https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.02.009.