

## مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره یازدهم، شماره چهل و دوم، زمستان ۱۳۹۹

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۳/۰۸

صص ۷۴-۵۸

### ارزیابی عملکرد سایه و تابش حیاط‌های مرکزی خانه‌های سنتی در اقلیم گرم و خشک شهر یزد

حسن اکبری\*، استادیار معماری-دانشگاه محقق اردبیلی

سپیده مرادی چراتی، کارشناس ارشد معماری-دانشگاه محقق اردبیلی

#### چکیده

حیاط مرکزی به‌عنوان یک الگوی بومی و سامانه‌ی سرمایشی غیرفعال بر آسایش حرارتی خانه‌های سنتی مناطق گرم و خشک و گرم و مرطوب تأثیرگذار است. هدف این تحقیق، بررسی سازگاری اقلیمی حیاط‌های مرکزی خانه‌های سنتی بر اساس بهره‌مندی از سایه و تابش خورشید در اقلیم گرم و خشک شهر یزد است. بدین منظور، ده نمونه از حیاط‌های مرکزی خانه‌های سنتی انتخاب و توسط نرم‌افزار اکوتکت آنالیزور مدل‌سازی گردید. سپس میانگین میزان سایه‌اندازی و دریافت تابش سطوح هم‌جوار حیاط‌های مرکزی برای تمام ماه‌های سال محاسبه و شاخص سایه-تابش سطوح در دوره‌های گرم، سرد و سالیانه استخراج گردید. به‌این ترتیب، میزان سازگاری اقلیمی حیاط‌های مرکزی و رابطه‌ی بین تناسب هندسی سطوح هم‌جوار حیاط‌های مرکزی و شاخص‌های سایه-تابش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که میانگین سالیانه‌ی شاخص سایه-تابش جداره‌ها، کف و کل سطوح حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه به ترتیب برابر ۵۶، ۴۴ و ۵۱ درصد است. بر همین اساس جداره‌ها، کف و کل سطوح حیاط‌های مرکزی دارای سازگاری متوسط با اقلیم شهر یزد می‌باشند. رابطه‌ی همبستگی بین تناسب ابعادی و زاویه‌ی انحراف حیاط مرکزی با شاخص سایه-تابش نشان می‌دهد که با افزایش نسبت  $L/W$  و  $H/W$  و کاهش زاویه‌ی انحراف، میزان شاخص سایه-تابش جداره‌ها کاهش و برخلاف آن، شاخص کف و کل سطوح افزایش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش نسبت  $H/L$  و کاهش زاویه‌ی انحراف، میزان شاخص سایه-تابش جداره‌ها و کل سطوح کاهش و شاخص سایه-تابش کف حیاط مرکزی افزایش می‌یابد.

**واژگان کلیدی:** سازگاری اقلیمی، شاخص سایه-تابش، حیاط مرکزی خانه‌های سنتی، شهر یزد.

\* Email: h.akbari@uma.ac.ir

## ۱- مقدمه

الگوی حیاط مرکزی در ابعاد و فرم‌های مختلف در تمامی مناطق مختلف اقلیمی کشور ایران وجود داشته و عملکرد زیستی و معیشتی فضاهای اطراف حیاط با توجه به شرایط اقلیمی فصول مختلف سال، متفاوت است. با توجه به تنوع عملکردی و نیازهای آسایش حرارتی، کنترل سایه و تابش جداره‌ها در خانه‌های حیاط مرکزی دارای اهمیت فراوانی است. یکی از مهم‌ترین ملاحظات طراحی اقلیمی در مناطق گرمسیر، ممانعت از تابش خورشید و ایجاد سایه بر روی سطوح و جداره‌های بنا است، درحالی‌که در مناطق سردسیر پرهیز از ایجاد سایه بر روی سطوح بسیار ضروری است. حیاط‌های مرکزی به‌عنوان فضای باز و سامانه‌ی سرمایشی غیرفعال، از طریق افزایش سایه‌اندازی و کاهش تابش خورشید بر سطوح دیوارها و کف حیاط و همچنین افزایش رطوبت نسبی از طریق پوشش گیاهی و آب، سبب تعدیل خرد اقلیم و کاهش مصرف انرژی بناها می‌گردد. ادبیات تحقیقی موجود در حوزه‌ی حیاط‌های مرکزی را می‌توان به دو دسته اصلی تقسیم‌بندی کرد. دسته‌ی اول تحقیقات به‌ویژه در کشور ایران در حوزه‌ی ویژگی‌های کالبدی-فضایی، تحلیل روابط فضایی-عملکردی، سبک‌شناسی معماری، دوره‌بندی تاریخی و تغییرات کالبدی-تاریخی انجام شده است (معماریان، ۱۳۷۳؛ قاسمی سیچانی و معماریان، ۱۳۸۹؛ خاکپور و همکاران، ۱۳۸۹؛ سلطان‌زاده، ۱۳۹۰؛ احمدی، ۱۳۹۱؛ اعظم و طبائیان، ۱۳۹۴؛ پدram و حریری، ۱۳۹۵؛ فرح‌بخش، ۱۳۹۶؛ زینلیان و اخوت، ۱۳۹۶). دسته دوم تحقیقات نیز در حوزه‌ی تهویه‌ی طبیعی (Sharpley and Bensalem, 2001; Rajapaksha et al., 2003; Martinelli and Matzarakis, 2017; Berkovic et al., 2012; Micallef et al. 2016)؛ آسایش حرارتی (Nasrollahi et al., 2017; Al-Hemiddi, 2001; Aldawoud, 2008; Sadafi et al., 2011)؛ بهره‌وری انرژی (Yasa and Ok, 2014; Manioglu and Oral, 2015; Vaisman and Horvat, 2015; Xu et al., 2018) و عملکرد سرمایش غیرفعال (Soflaei et al, 2016a; Rajapaksha et al., 2003; Safarzadeh and Bahadori, 2017; Fardeheb, 2017) انجام شده است.

در مقاله‌ی "ارزیابی اثرات اشکال حیاط بر میزان دریافت گرمای خورشیدی و بهره‌وری انرژی با توجه به مناطق با اقلیم متفاوت"، میزان دریافت تابش خورشیدی توسط سطوح افقی و عمودی ساختمان در سه شهر آنتالیا، دیاربکر و ارزوم ترکیه محاسبه گردید. حداکثر میزان تابش دریافتی حیاط مرکزی در آنتالیا و دیاربکر برای نسبت ابعادی  $W=5H$  و در ارزوم برای نسبت ابعادی  $W=3H$  مشاهده شده است. به‌طور کلی، تأثیر سایه‌اندازی بر میزان نیاز بار گرمایشی در زمستان بیش‌تر از تأثیر آن بر کاهش بار سرمایشی در تابستان است و بهره‌وری سالیانه‌ی انرژی با افزایش طول حیاط، افزایش می‌یابد (Yasa and Ok, 2014: 198). در بررسی عملکرد انرژی حیاط مرکزی و آتریوم در شهرهای مینیاپولیس، شیکاگو، میامی و فونیکس به ترتیب با اقلیم سرد، معتدل، گرم و مرطوب و گرم و خشک، مشخص گردید که در ساختمان‌های کم ارتفاع، حیاط مرکزی نسبت به آتریوم و در ساختمان‌های با ارتفاع بیش‌تر، آتریوم نسبت به حیاط مرکزی عملکرد بهتری در بهره‌وری انرژی دارد (Aldawoud and Clark, 2008: 214). بررسی تأثیر تناسب حیاط مرکزی بر دریافت گرمای خورشید و نیاز به انرژی در شهر رم نشان داد که حیاط‌های با عمق بیشتر، موجب کاهش بیش‌تر بار سرمایشی در تابستان و بار گرمایشی در زمستان می‌گردد. سایه‌اندازی حیاط مرکزی موجب کاهش ۴ درصدی بار سرمایشی در تابستان و افزایش ۱۲ درصدی بار گرمایشی در زمستان می‌گردد، لذا دریافت تابش خورشیدی در زمستان بسیار مهم‌تر از عدم دریافت آن در تابستان است (Muhaisen and Gadi, 2006a: 253). همچنین بررسی عملکرد سایه‌اندازی حیاط‌های با فرم چندضلعی نشان داد که هندسه و تناسب حیاط تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد سایه‌اندازی حیاط دارد. جهت دریافت حداکثر سایه‌اندازی در تابستان و تابش‌گیری در زمستان، حیاط‌های با نسبت محیط به ارتفاع برابر یا بزرگ‌تر از ۵ پیشنهاد می‌شود (Muhaisen and Gadi, 2006b: 1059). شبیه‌سازی سایه‌اندازی فرم حیاط مرکزی در مناطق اقلیمی مختلف، نشان داد که راستا و ارتفاع بهینه‌ی حیاط‌های مرکزی در اقلیم گرم و مرطوب، راستای شمال شرقی-جنوب غربی و ارتفاع سه طبقه، در اقلیم معتدل راستای شمال-

جنوب و ارتفاع دو طبقه، در اقلیم سرد راستای شمال-جنوب و ارتفاع یک طبقه و در اقلیم گرم و خشک جهت‌گیری شمال شرقی-جنوب غربی و شمال-جنوب و ارتفاع دو طبقه است (Muhaisen, 2006: 1740). مطالعه‌ی تأثیر متغیرهای طراحی حیاط مرکزی بر عملکرد سایه‌اندازی ده خانه در شهر کرمان نشان داد که در اقلیم گرم و خشک حیاط با فرم مربع، سایه‌اندازی مناسبی نسبت به حیاط با فرم مستطیلی دارد و افزایش ارتفاع حیاط می‌تواند عملکرد سایه و در نتیجه دمای آسایش را بهبود بخشد، اما در مورد جهت‌گیری، افزایش زاویه‌ی چرخش حیاط نسبت به جهت شمال، تأثیر منفی بر دمای آسایش گذاشته و شاخص سایه را کاهش می‌دهد (Soflaei et al., 2017: 83). در مقاله‌ی "حیاط‌های سنتی ایرانی به‌عنوان تعدیل‌کننده‌ی خرد اقلیم با توجه به جهت‌گیری، ابعاد و تناسب" نتایج نشان داد که بیشترین میزان آسایش حرارتی در حیاط‌هایی با نسبت طول به عرض  $1/33$  تا  $1/38$  حاصل می‌شود (Soflaei et al., 2016b: 236). بررسی "تأثیر نسبت ابعادی و جهت‌گیری بر شرایط حرارتی حیاط بزرگ در مرکز تاریخی کاماگوئه-کوبا" نشان داد که در حیاط‌هایی با نسبت ابعادی کوچک ( $H/W < 1.5$ ) و جهت‌گیری نزدیک به شرق-غرب، مدت‌زمان تابش مستقیم خورشید افزایش می‌یابد. برای بهبود عملکرد حرارتی حیاط در فصل تابستان و زمستان جهت‌گیری شمال-جنوب و شمال شرقی-جنوب غربی پیشنهاد می‌گردد (Rodriguez-Algeciras et al., 2018: 14). همچنین مطالعه‌ی تأثیر تناسب ارتفاع به عرض بر آسایش حرارتی حیاط مرکزی در ایتالیا نشان داد که نسبت ارتفاع به عرض بالا، تأثیر معین بر آسایش حرارتی در فصول تابستان و زمستان دارد و نسبت ارتفاع به عرض بالا (۵:۵-۴:۵) برای اقلیم‌های گرم‌تر و نسبت ارتفاع به عرض پایین (۵:۳-۴:۵) برای اقلیم‌های سردتر می‌تواند مناسب باشد (Martinelli and Matzarakis, 2017: 105). نتایج مقاله‌ی "تأثیر پارامترهای حیاط مرکزی بر میزان سایه‌اندازی در بغداد" نشان داد که جهت افزایش سایه‌اندازی، حیاط‌ها باید عمیق و باریک باشند و مهم‌ترین پارامتر مؤثر بر افزایش سایه‌اندازی در حیاط مرکزی، نسبت ارتفاع به عرض است (Al-Hafith et al., 2017: 108). ارزیابی سازگاری اقلیمی خانه‌های حیاط مرکزی بر اساس شاخص سایه و تابش در شهرهای اردبیل و کاشان نشان داد که میانگین شاخص سایه و تابش برای خانه‌های کاشان ۴۳ درصد و برای خانه‌های اردبیل ۴۰ درصد است. خانه‌های مورد مطالعه در شهر کاشان و اردبیل از نظر پوشش سایه، همسازی مناسبی با اقلیم منطقه در ماه‌های سرد سال را ندارند (Akbari and Teshnehdel, 2018: 12). عیالی و موحد (۱۳۹۵) با بررسی و تحلیل خانه‌های دوره‌ی قاجاریه‌ی شهر شیراز نشان دادند که زاویه‌ی بهینه جهت دریافت مناسب تابش خورشید در جبهه‌ی اصلی (شمالی) حیاط مرکزی (جبهه زمستان‌نشین)، زاویه‌ی انحراف حدود ۲۵ درجه نسبت به جهت شمال است. تابان و همکاران (۱۳۹۲)، با تحلیل سایه‌ی دریافتی سطوح حیاط مرکزی خانه‌های سنتی دزفول مشخص کردند که در حیاط‌هایی با نسبت طول به عرض ۱ تا  $1/4$  و نیز نسبت طول به ارتفاع  $1/1$  تا  $1/2$  (عمق متوسط)، مناسب‌ترین میزان سایه در فصول گرم بر روی کف و جداره‌ها ایجاد خواهد شد. همچنین مشخص گردید که استفاده از این الگوی بهینه، سبب افزایش سایه بر سطوح حیاط، کاهش دمای جداره‌ها، کاهش بار سرمایشی ساختمان و افزایش آسایش ساکنان خواهد شد.

بررسی ادبیات تحقیقی موجود، بر پتانسل حیاط مرکزی به‌عنوان یک تعدیل‌کننده‌ی خرد اقلیم در اقلیم‌های گرم و خشک و گرم و مرطوب تأکید دارد. اغلب این تحقیقات با استفاده از مدل‌های فرضی، عملکرد سرمایش غیرفعال و آسایش حرارتی حیاط‌های مرکزی را در اقلیم‌های گرم و خشک و مرطوب مورد مطالعه قرار داده‌اند و در کم‌تر تحقیقی عملکرد اقلیمی حیاط‌های مرکزی بر اساس ساختار کالبدی-هندسی موجود و واقعی مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به خلأ مطالعاتی موجود در این حوزه به‌ویژه در کشور ایران، گسترش دانش موجود در زمینه‌ی ارزیابی میزان سازگاری اقلیمی حیاط‌های مرکزی خانه‌های سنتی و تأثیر ویژگی‌های هندسی آن بر بهره‌مندی از سایه و تابش خورشید ضروری است.

## ۲- محدوده‌ی مورد مطالعه

شهر یزد در عرض جغرافیایی ۵۴° ۳۱' شمالی، طول ۱۷' ۵۴° شرقی و ارتفاع ۱۲۳۷ متر از سطح دریا در فلات مرکزی ایران و کمربند خشک نیم‌کره‌ی شمالی قرار دارد. مطابق جدول (۱)، میانگین دمای حداقل، حداکثر و متوسط سالیانه‌ی (۲۰۰۸-۲۰۱۸) شهر یزد به ترتیب ۱۳/۷، ۲۷/۷ و ۲۰/۸ درجه و متوسط رطوبت نسبی سالیانه ۲۷/۳ درصد است (IRIMO, 2019). بر اساس تقسیمات اقلیمی کوپن-گایگر، شهر یزد در منطقه‌ی اقلیمی گرم و خشک بیابانی (BWh) قرار دارد (Peel et al., 2007). همچنین شهر یزد بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن و با ضریب خشکی ۱/۹۷ در منطقه‌ی اقلیمی خشک، بر اساس طبقه‌بندی ایوانف و با ضریب رطوبتی ۰/۰۶۳ در منطقه‌ی اقلیمی صحرائی و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه و با ضریب Q2 برابر ۵/۲۵ در منطقه‌ی اقلیمی بیابانی قرار دارد. بر اساس حداقل دمای پایه‌ی آسایش حرارتی و میانگین دمای ماهیانه، ماه‌های آوریل، می، ژوئن، جولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر در دوره‌ی گرم و ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر در دوره‌ی سرد قرار دارند.

جدول ۱: میانگین دمای ماهیانه شهر یزد (۲۰۰۸-۲۰۱۸)

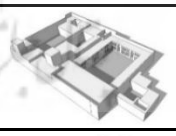

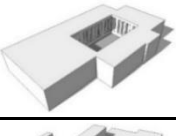

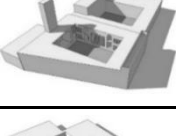

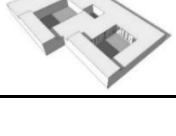

Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	
۲/۲	۶/۶	۱۴/۳	۱۹/۹	۲۳/۴	۲۶	۲۴/۴	۱۹/۸	۱۳/۹	۹	۳/۵	۰/۹	دمای حداقل
۱۵/۹	۱۹/۸	۲۸/۸	۳۵/۲	۳۸/۳	۴۰/۳	۳۸/۷	۳۳/۵	۲۷/۸	۲۳/۲	۱۷/۱	۱۴/۲	دمای حداکثر
۸/۵	۱۲/۸	۲۱/۵	۲۷/۸	۳۱/۴	۳۳/۸	۳۲/۱	۲۷	۲۱/۲	۱۶/۴	۱۰/۳	۷/۳	دمای متوسط











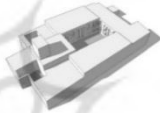

(منبع: IRIMO, 2019)

## ۲-۱- نمونه‌های مورد مطالعه

ویژگی‌های هندسی حیاط‌های مرکزی خانه‌های مورد مطالعه شامل ابعاد، تناسبات، زاویه‌ی انحراف محور اصلی از شمال و فرم سه‌بعدی در جدول (۲) ارائه شده است. در این جدول، طول حیاط (L)، عرض حیاط (W)، میانگین ارتفاع جداره‌ی حیاط (H)، نسبت طول به عرض (L/W)، نسبت ارتفاع به طول (H/L)، نسبت ارتفاع به عرض حیاط (H/W) و زاویه‌ی انحراف محور اصلی از شمال (D<sub>aN</sub>) نشان داده شده است.

جدول ۲: ویژگی‌های هندسی حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه در شهر یزد

ابعاد و تناسبات							فرم سه‌بعدی	تصویر	خانه
L	W	H	L/W	H/L	H/W	D <sub>aN</sub>			
۲۴/۱	۱۶/۹۶	۵/۵	۱/۴۲	۰/۲۳	۰/۳۲	۳۳/۸° SW			عرب
۱۱/۸۳	۶/۸	۴/۶۴	۱/۷۴	۰/۳۹	۰/۶۸	۳۸/۷° SW			بی‌بی عرب
۱۷/۹۲	۱۲/۱۷	۷/۱۲	۱/۴۷	۰/۴	۰/۵۹	۷۲/۳° SW			فاتح
۱۵/۸۷	۱۲/۲۴	۵/۳۶	۱/۳	۰/۳۴	۰/۴۴	۴۱/۸° SW			گلشن

ابعاد و تناسبات							فرم سه‌بعدی	تصویر	خانه
L	W	H	L/W	H/L	H/W	D <sub>aN</sub>			
۱۸/۴۸	۱۴/۵۲	۵/۱۷	۱/۲۷	۰/۲۸	۰/۳۶	۴۳/۳° SW			مشکیان
۲۰/۱۱	۱۵/۳۸	۵/۹۴	۱/۳۱	۰/۳	۰/۳۹	۴۵/۹° SE			رسولیان
۱۶/۱۲	۱۲/۲۵	۵/۶۲	۱/۳۲	۰/۳۵	۰/۴۶	۴۱/۶° SE			روحانیان
۱۷/۲۸	۱۱/۹۳	۶/۲۱	۱/۴۵	۰/۳۶	۰/۵۲	۴۵/۹° SW			شفیع‌پور
۲۲/۷۸	۱۴/۶۲	۶/۸۶	۱/۵۶	۰/۳	۰/۴۷	۱۶/۳° SW			اخوان سیگاری
۱۶/۵۸	۹/۴۴	۶/۳۸	۱/۷۶	۰/۳۸	۰/۶۸	۳۲/۱° SW			تهرانی‌ها

### ۳- مواد و روش‌ها

روش تحقیق در این پژوهش توصیفی و تحلیلی بوده و تحلیل اطلاعات به صورت کمی و شبیه‌سازی صورت گرفته است. ده نمونه حیاط مرکزی خانه‌های سنتی از مجموعه آثار ثبت‌شده ملی مندرج در گنج‌نامه‌ی فرهنگ آثار معماری اسلامی ایران (دفتر چهاردهم: خانه‌های یزد) انتخاب گردید (حاجی قاسمی، ۱۳۸۳). موقعیت مکانی و زاویه‌ی انحراف محور اصلی حیاط‌ها از شمال با استفاده از نرم‌افزار گوگل مپ (Google Map) مشخص گردید. پس از بازدید خانه‌ها و اندازه‌گیری میدانی ابعاد سطوح هم‌جوار حیاط‌های مرکزی، فرم سه‌بعدی خانه‌های مورد مطالعه با در نظر گرفتن تمام جزئیات جداره‌ها از جمله (تورفتگی‌ها، طاق‌ها و ایوان‌ها) در محیط نرم‌افزار اکوتکت مدل‌سازی گردید. میانگین سایه‌اندازی و دریافت تابش تمامی جداره‌ها و کف حیاط‌های مرکزی، در تمام ماه‌های سال محاسبه و شاخص سایه-تابش سطوح در دوره‌های گرم، سرد و سالیانه استخراج گردید.

#### ۳-۱- روش محاسبه‌ی شاخص سایه و تابش

شاخص سایه و تابش برابر با میانگین مجموع نسبت سایه‌اندازی سطوح در ماه‌های گرم و دریافت تابش در ماه‌های سرد است. میزان این شاخص در محدوده‌ی بین ۰ تا ۱ قرار دارد و نشان‌دهنده‌ی عملکرد حیاط‌های مرکزی در بهره‌مندی از سایه و تابش در جهت بهبود آسایش حرارتی است. شاخص سایه و تابش سالیانه‌ی بر اساس رابطه‌ی (۱)، محاسبه می‌گردد (نویسندگان بر اساس: Soflaei et al., 2017).

$$I_{sh-sl} = \text{رابطه‌ی ۱}$$

$$1/12 (\sum_i P_{shading} + \sum_j P_{sunlit})$$

$$P_{shading} = \text{رابطه‌ی ۲}$$

$$A_{shading}(walls/floor)/A_{total}$$

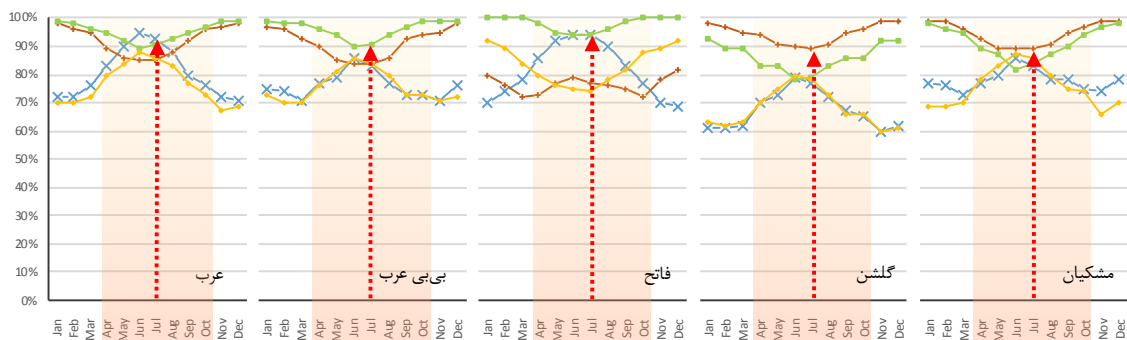
$$P_{sunlit} = A_{sunlit}(walls/floor)/A_{total} \text{ رابطه‌ی ۳}$$

در رابطه‌ی (۱)،  $i$  معرف ماه‌های با دمای میانگین بیش‌تر از حداقل دمای پایه‌ی آسایش حرارتی،  $j$  معرف ماه‌های با دمای میانگین کم‌تر از حداقل دمای پایه‌ی آسایش حرارتی، در رابطه ۲ و ۳،  $P_{shading}$  برابر نسبت مساحت پوشش سایه سطوح بر مساحت کل سطح موردنظر در دوره‌ی گرم و  $P_{sunlit}$ ، برابر نسبت مساحت در معرض تابش سطوح بر مساحت کل سطح موردنظر در دوره‌ی سرد است.

درجه‌سازگاری با اقلیم حیاط‌های مرکزی برای شاخص سایه-تابش بین مقادیر  $0.2-0.4$  (خیلی کم)،  $0.4-0.6$  (کم)،  $0.6-0.8$  (متوسط)،  $0.8-1.0$  (زیاد) و  $1.0-1.8$  (خیلی زیاد) در نظر گرفته شده است.

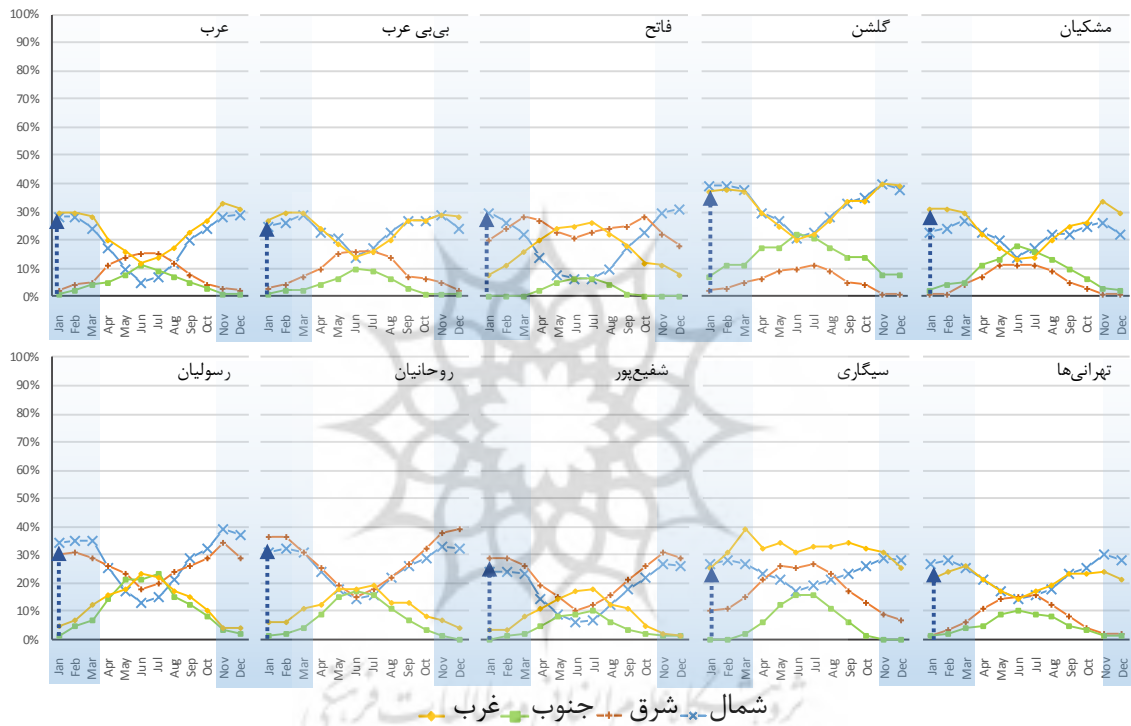
#### ۴- بحث و نتایج

تأمین آسایش حرارتی و بهره‌وری انرژی حیاط‌های مرکزی در اقلیم گرم و خشک شهر یزد، از طریق محافظت بنا از تابش خورشید در ماه‌های گرم و بهره‌مندی از دریافت تابش در ماه‌های سرد سال امکان‌پذیر است. بر همین اساس، لازم است حداکثر سایه‌اندازی در ماه‌های گرم و حداقل تابش دریافتی در ماه‌های گرم بر روی سطوح جداره‌ها و کف حیاط صورت پذیرد. شکل (۱)، درصد سایه‌اندازی جداره‌های حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه را در تمام ماه‌های سال نشان می‌دهد. در این نمودارها محدوده‌ی ماه‌های گرم (دوره‌ی نیاز به سایه) با رنگ نارنجی و گرم‌ترین ماه سال (جولای) با بردار قرمز مشخص شده است. بر اساس شکل (۱)، در ماه‌های گرم سال در اکثر حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه، میزان درصد سایه‌اندازی جداره‌ی جنوبی بیش‌تر از سایر جداره‌هاست و فقط در خانه‌های گلشن و مشکیان، میزان سایه‌اندازی جداره‌ی شرقی بیش‌تر از سایر جداره‌هاست؛ بنابراین در طی ماه‌های گرم سال در خانه‌های مورد مطالعه، میزان سایه‌اندازی جداره‌ی جنوبی مناسب‌تر از سایر جداره‌های حیاط مرکزی است. هم‌چنین در گرم‌ترین ماه سال (جولای)، حداکثر سایه‌اندازی در خانه‌های عرب، رسولیان و شفیع‌پور بر روی جداره‌ی شمالی، در خانه‌های بی‌بی عرب، اخوان سیگاری و تهرانی‌ها بر روی جداره‌ی جنوبی، در خانه‌های فاتح و روحانیان بر روی جداره‌های شمالی و جنوبی و در خانه‌های گلشن و مشکیان بر روی جداره‌ی شرقی ایجاد شده است. شکل (۲)، درصد دریافت تابش جداره‌های حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه را در تمام ماه‌های سال نشان می‌دهد. محدوده‌ی ماه‌های سرد (دوره‌ی نیاز به دریافت تابش) با رنگ آبی و سردترین ماه سال (ژانویه) با بردار آبی مشخص گردید. با توجه به شکل (۲)، طی ماه‌های سرد سال بیش‌ترین میزان تابش خورشید در خانه‌های عرب، بی‌بی عرب، مشکیان و اخوان سیگاری توسط جداره‌ی غربی در خانه‌های فاتح، گلشن، رسولیان و تهرانی‌ها توسط جداره‌ی شمالی و در خانه‌های روحانیان و شفیع‌پور توسط جداره‌ی شرقی دریافت شده است؛ بنابراین به‌طور کلی، جداره‌های شمالی و غربی حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه از نظر دریافت تابش در ماه‌های سرد مناسب‌تر هستند. هم‌چنین در سردترین ماه سال (ژانویه)، مناسب‌ترین جداره از لحاظ دریافت بیش‌ترین میزان تابش آفتاب در خانه‌های عرب، بی‌بی عرب و مشکیان جداره‌ی غربی، در خانه‌های فاتح، گلشن، رسولیان، اخوان سیگاری و تهرانی‌ها جداره‌ی شمالی و در خانه‌های روحانیان و شفیع‌پور جداره‌ی شرقی است.





شکل ۱: میانگین سایه‌اندازی جداره‌های حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه (برحسب درصد)



شکل ۲: میانگین تابش دریافتی جداره‌های حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه (برحسب درصد)

جدول (۳)، فرم و میانگین سایه‌اندازی جداره‌ها و کف حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه را در ساعت ۱۲ ظهر اولین روز ماه‌های شمسی (۲۲مین روز ماه‌های میلادی) نمایش می‌دهد. به جهت فهم بهتر تصاویر و با توجه نیاز به دریافت تابش در ماه‌های سرد و سایه‌اندازی در ماه‌های گرم، کف حیاط‌های مرکزی در ماه‌های سرد سال با رنگ زرد و در ماه‌های گرم سال با رنگ سفید نمایش داده شده است.

جدول ۳: فرم و میانگین سایه‌اندازی جداره‌ها و کف حیاط‌های مرکزی در ساعت ۱۲ ظهر (برحسب درصد)

تهرانی‌ها	سیگاری	شفیع‌پور	روحانیان	رسولیان	مشکیان	گلشن	فاتح	بی‌بی عرب	عرب
۷۵/۹۸	۷۳/۳۳	۹۹/۱۷	۷۶/۶۱	۹۴/۹۶	۷۲/۴۵	۶۲/۶۶	۸۸/۱۲	۶۴/۴۱	۷۴/۰۲

جداره  
ها

Jan



تهرانی‌ها	سیگاری	شفیع‌پور	روحانیان	رسولیان	مشکیان	گلشن	فاتح	بی‌بی عرب	عرب	
۹۰/۵۹	۶۵/۳۸	۷۷/۹۵	۷۰/۷۱	۶۴/۲۸	۶۷/۳۶	۷۴/۳	۸۵/۰۳	۹۶/۵۸	۶۳/۳۵	کف
۷۴/۱۱	۷۰/۱۱	۱۰۰	۷۳/۹۳	۹۲/۸۷	۶۷/۶۴	۵۷/۳	۸۸/۲۰	۶۴/۰۳	۷۳/۰۶	جداره ها
۷۴/۳۵	۵۷/۶۹	۵۵/۹	۵۵	۵۰	۴۹/۳	۵۹/۷۲	۶۶/۱۴	۷۳/۵	۴۶/۵۶	کف
۷۲/۱۶	۶۷/۳۳	۱۰۰	۷۳/۹۶	۹۱/۵۸	۶۷/۹۶	۵۶/۹	۸۹/۸	۶۵/۶۴	۷۷/۰۶	جداره ها
۶۱/۵۳	۴۴/۶۱	۳۹/۳۷	۳۷/۸۵	۳۵/۷۱	۴۳/۷۵	۴۹/۳	۴۸/۸۱	۶۲/۳۹	۳۸/۱۶	کف
۷۴/۰۸	۶۸/۱۹	۱۰۰	۷۳/۱۲	۹۲/۹۶	۶۸	۵۵/۵۶	۹۱/۴۸	۶۸/۱۹	۸۲/۸۷	جداره ها
۴۸/۷۱	۳۷/۶۹	۲۹/۱۳	۲۷/۸۵	۲۳/۵۷	۳۱/۹۴	۳۸/۸۸	۳۹/۳۷	۵۰/۴۲	۳۲/۰۶	کف
۸۱/۵۷	۶۸/۴۱	۱۰۰	۸۰/۰۹	۹۶/۲۵	۷۱/۱۳	۵۹/۸۳	۹۴/۳۵	۷۵/۰۳	۹۱/۴۴	جداره ها
۴۱/۸۸	۳۲/۳	۱۴/۱۷	۲۱/۴۲	۱۲/۸۵	۲۱/۵۲	۲۷/۰۸	۳۰/۷	۴۰/۱۷	۲۲/۹	کف
۸۹/۵۶	۶۹/۶۹	۹۶/۲۸	۸۲/۴۵	۸۲/۴۵	۷۷/۴۳	۵۹/۳	۹۵/۵۴	۸۲/۹۳	۹۶/۵۸	جداره ها
۳۲/۴۷	۳۰	۲۰/۴۷	۲۱/۴۲	۱۷/۱۴	۲۲/۲۲	۲۵	۲۳/۶۲	۳۵/۸۹	۲۲/۹	کف
۷۹/۰۱	۶۶/۸۶	۹۶/۴۷	۸۱	۸۱/۲۹	۷۳/۵۴	۵۴/۴	۹۵/۳۵	۷۴/۶۷	۹۰/۳۱	جداره ها
۴۰/۱۷	۳۰/۷۶	۲۵/۹۸	۲۴/۲۸	۲۱/۴۲	۲۳/۶۱	۲۹/۱۶	۳۰/۷	۴۱/۸۸	۲۲/۱۳	کف
۷۳/۸۳	۶۶/۳۳	۱۰۰	۷۳/۵۱	۹۴/۷۴	۶۸/۲۷	۵۷/۱۶	۹۳/۱۴	۶۸/۵۱	۸۵/۱۳	جداره ها
۴۳/۵۸	۳۳/۸۴	۲۰/۴۷	۱۸/۵۷	۱۴/۲۳	۲۷/۷۷	۳۰/۵۵	۳۴/۶۴	۴۴/۴۴	۲۴/۴۲	کف
۷۴/۲۷	۶۷/۲۷	۱۰۰	۷۳/۷	۹۲/۲۲	۶۸/۵۴	۵۶/۴۳	۹۰/۱	۶۷/۳۸	۸۰/۵۵	جداره ها
۵۶/۵۵	۴۱/۵۳	۳۳/۸۵	۳۲/۸۵	۳۱/۴۲	۳۷/۵	۴۲/۳۶	۴۱/۷۳	۵۷/۲۶	۳۵/۱	کف
۷۶/۵۴	۷۱/۸۸	۹۹/۵۴	۷۴/۷	۹۴/۰۳	۷۲/۵۲	۶۰/۵	۹۰/۰۹	۷۳/۳۸	۷۹/۶۲	جداره ها
۶۴/۹۵	۴۸/۴۶	۵۱/۱۸	۴۳/۵۷	۴۰/۷۱	۴۷/۲۲	۵۳/۴۷	۵۱/۹۶	۶۶/۶۶	۴۱/۲۲	کف



تهرانی‌ها	سیگاری	شفیع‌پور	روحانیان	رسولیان	مشکیان	گلشن	فاتح	بی‌بی عرب	عرب		
										جداره ها	Nov
۷۸/۰۳	۷۴/۶۹	۹۸/۰۶	۷۶/۶۴	۹۵/۴۸	۷۵/۸	۶۴/۶۶	۸۹/۵۱	۷۱/۸۷	۷۷/۳۴	کف	
۷۸/۶۳	۵۸/۴۶	۶۲/۲	۵۷/۸۵	۵۰	۵۹/۷۲	۶۵/۹۷	۶۹/۲۹	۸۲/۹	۵۶/۴۸		
										جداره ها	Dec
۷۵/۹۸	۷۵/۱۱	۹۸/۰۵	۷۷/۲۲	۹۵/۹۶	۷۵/۲۹	۶۵/۴۶	۸۸/۱۲	۶۹/۸۳	۷۶/۷۵	کف	
۹۰/۵۹	۶۴/۶۱	۷۹/۵۲	۷۱/۴۲	۶۲/۱۴	۶۵/۲۷	۷۳/۶۱	۸۵/۰۳	۹۵/۷۲	۶۵/۶۴		

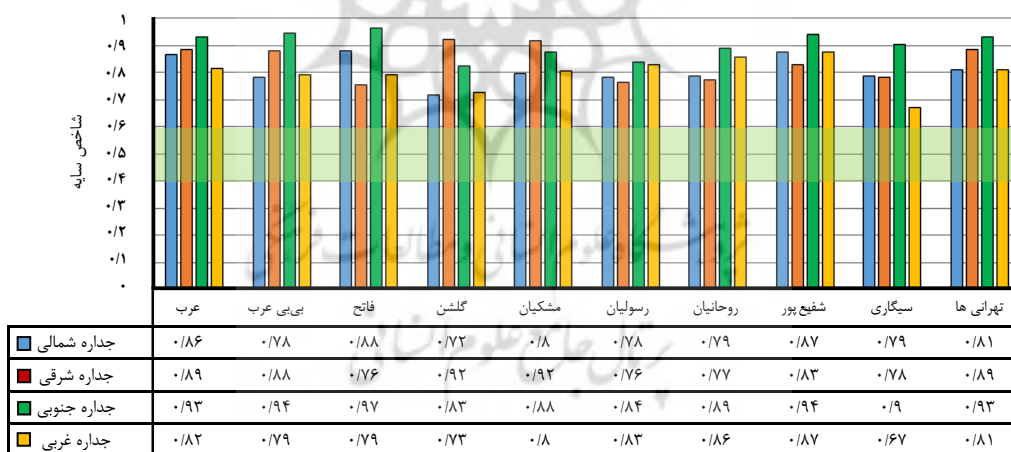
کم‌ترین درصد سایه‌اندازی کف حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه در ماه‌های ژوئن و می و بیش‌ترین درصد سایه‌اندازی کف در ماه‌های دسامبر و ژانویه است. هم‌چنین بیش‌ترین میزان سایه‌اندازی جداره‌های حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه در ماه‌های ژوئن و می مشاهده شده است، اما بیش‌ترین میزان سایه‌اندازی حیاط خانه‌های گلشن و اخوان سیگاری در ماه دسامبر است که تأثیر نامطلوبی بر آسایش حرارتی فضاهای مجاور حیاط مرکزی این دو خانه خواهد داشت. جدول (۴)، میانگین درصد سایه‌اندازی جداره‌ها، کف و کل سطوح (مجموع جداره‌ها و کف) حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۴: میانگین درصد سایه‌اندازی سطوح هم‌جوار حیاط‌های مرکزی

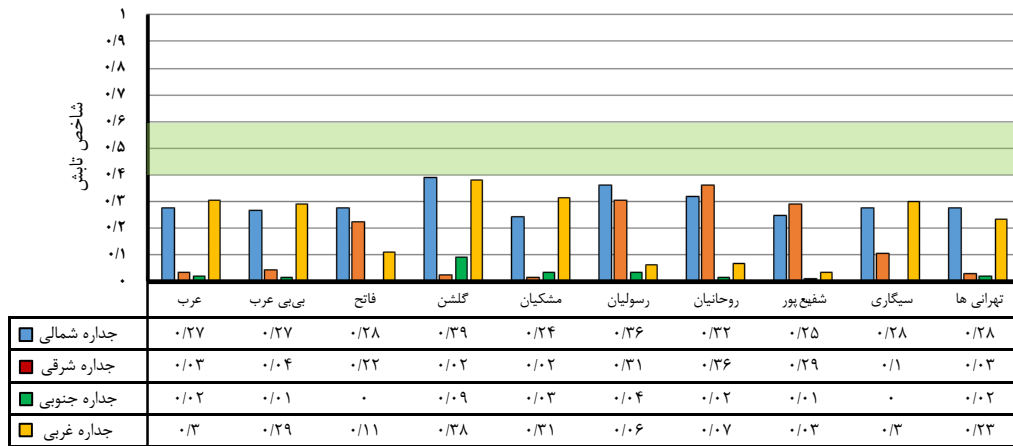
Ave.	Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	سطح	خانه
۸۴	۸۱	۸۰	۸۳	۸۴	۸۷	۸۸	۸۹	۸۷	۸۵	۸۲	۸۱	۸۱	جداره‌ها	عرب
۵۸/۱	۷۶	۶۸	۶۳	۵۴	۴۹	۴۵	۴۸	۴۷	۵۳	۵۴	۶۴	۷۶	کف	
۷۲/۱	۷۹	۷۴	۷۴	۷۰	۷۰	۶۸	۷۰	۶۹	۷۰	۶۹	۷۳	۷۹	کل	
۸۴	۸۵	۸۳	۸۳	۸۳	۸۴	۸۵	۸۷	۸۴	۸۴	۸۲	۸۳	۸۵	جداره‌ها	بی‌بی عرب
۷۵/۸	۹۳	۸۸	۸۰	۷۲	۶۶	۶۲	۶۳	۶۳	۷۱	۷۴	۸۵	۹۳	کف	
۸۱/۴	۸۸	۸۵	۸۲	۷۹	۷۸	۷۸	۷۹	۷۷	۸۰	۷۹	۸۴	۸۸	کل	
۸۴/۴	۸۳	۸۲	۸۳	۸۴	۸۶	۸۷	۸۸	۸۷	۸۵	۸۲	۸۳	۸۳	جداره‌ها	فاتح
۶۹/۶	۹۲	۸۶	۷۶	۶۲	۵۷	۵۳	۵۴	۵۶	۶۱	۶۶	۸۰	۹۲	کف	
۷۹/۶	۸۶	۸۳	۸۱	۷۷	۷۶	۷۷	۷۷	۷۷	۷۷	۷۷	۸۲	۸۶	کل	
۷۷/۲	۷۵	۷۵	۷۶	۷۷	۷۹	۸۰	۸۱	۷۹	۷۸	۷۴	۷۵	۷۷	جداره‌ها	گلشن
۶۹	۸۸	۸۴	۷۵	۶۴	۵۷	۵۳	۵۵	۵۶	۶۲	۶۷	۷۸	۸۹	کف	
۷۴/۴	۸۰	۷۹	۷۶	۷۲	۷۱	۷۰	۷۱	۷۱	۷۲	۷۲	۷۷	۸۲	کل	
۸۳/۸	۸۴	۸۳	۸۴	۸۳	۸۴	۸۵	۸۶	۸۴	۸۴	۸۲	۸۳	۸۴	جداره‌ها	مشکیان
۶۳/۶	۸۳	۷۸	۶۹	۵۹	۵۳	۴۸	۵۰	۵۰	۵۷	۶۱	۷۲	۸۳	کف	
۷۵/۸	۸۴	۸۱	۷۸	۷۳	۷۲	۷۰	۷۲	۷۰	۷۳	۷۴	۷۹	۸۴	کل	
۷۱/۴	۷۱	۶۸	۷۱	۷۰	۷۳	۷۴	۷۶	۷۳	۷۱	۶۸	۷۰	۷۲	جداره‌ها	رسولیان
۶۲/۳	۸۱	۷۵	۶۶	۵۷	۵۱	۴۹	۵۲	۵۱	۵۷	۵۸	۷۰	۸۰	کف	
۶۷/۷	۷۵	۷۱	۶۹	۶۵	۶۴	۶۴	۶۶	۶۴	۶۵	۶۴	۷۰	۷۵	کل	
۸۲/۲	۸۱	۸۱	۸۲	۸۲	۸۳	۸۳	۸۴	۸۳	۸۳	۸۱	۸۱	۸۲	جداره‌ها	روحانیان

Ave.	Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	سطح	خانه
۶۴/۳	۸۵	۷۴	۶۸	۵۹	۵۳	۵۲	۵۴	۵۳	۵۸	۶۰	۷۲	۸۳	کف	کف
۷۵/۲	۸۳	۷۸	۷۷	۷۳	۷۱	۷۱	۷۲	۷۱	۷۳	۷۳	۷۸	۸۲	کل	کل
۸۶/۸	۸۴	۸۳	۸۶	۸۷	۸۹	۹۰	۹۱	۹۰	۸۸	۸۵	۸۴	۸۵	جداره‌ها	جداره‌ها
۶۶	۸۶	۷۹	۷۰	۶۰	۵۶	۵۳	۵۶	۵۴	۵۹	۶۲	۷۳	۸۴	کف	شفیع پور
۷۹/۳	۸۵	۸۲	۸۰	۷۷	۷۷	۷۷	۷۸	۷۷	۷۷	۷۷	۸۰	۸۵	کل	کل
۷۶/۹	۸۲	۷۹	۷۸	۷۶	۷۵	۷۴	۷۵	۷۴	۷۵	۷۴	۷۹	۸۲	جداره‌ها	جداره‌ها
۶۱/۸	۷۶	۷۱	۶۷	۵۸	۵۴	۴۹	۵۲	۵۳	۵۷	۵۸	۶۸	۷۸	کف	سیگاری
۷۰/۲	۷۹	۷۵	۷۳	۶۸	۶۶	۶۳	۶۵	۶۵	۶۷	۶۷	۷۴	۸۰	کل	کل
۸۵/۸	۸۸	۸۶	۸۶	۸۵	۸۵	۸۵	۸۶	۸۵	۸۵	۸۴	۸۶	۸۸	جداره‌ها	جداره‌ها
۷۶/۱	۹۳	۸۸	۸۱	۷۲	۶۶	۶۳	۶۴	۶۴	۷۰	۷۵	۸۴	۹۳	کف	تهرانی‌ها
۸۲/۷	۹۰	۸۷	۸۴	۸۱	۷۹	۷۸	۷۹	۷۸	۸۰	۸۱	۸۵	۹۰	کل	کل

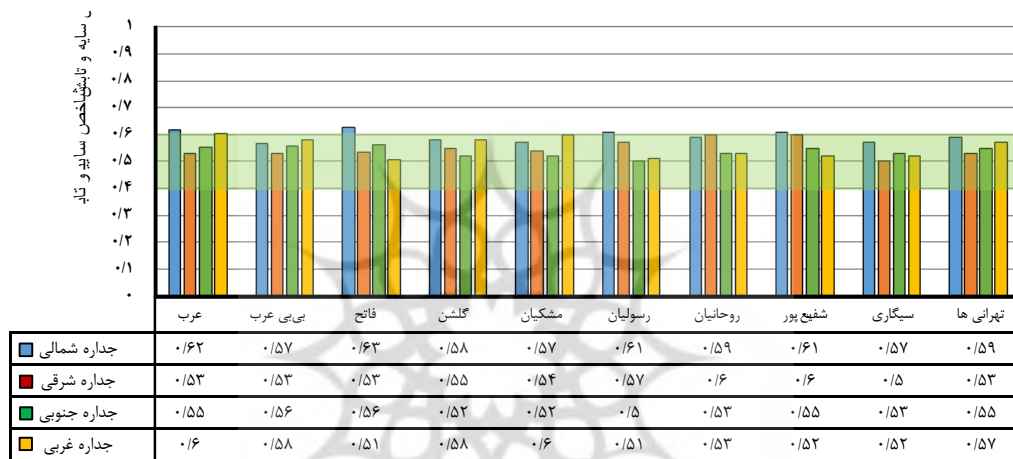
بر اساس نتایج حاصل از جدول (۴)، بیش‌ترین میزان سایه‌اندازی جداره‌ها در خانه‌های مورد مطالعه در ماه ژوئن و بیش‌ترین میزان سایه‌اندازی کف حیاط، در ماه دسامبر است. بیش‌ترین میانگین سالیانه سایه‌اندازی جداره‌ها در خانه‌ی شفیع‌پور با ۸۶/۸ درصد و کم‌ترین مقدار در خانه‌ی رسولیان با ۷۱/۴ درصد است. هم‌چنین بیش‌ترین میزان سایه‌اندازی کف حیاط، در خانه‌ی تهرانی با ۷۶/۱ درصد و کم‌ترین مقدار در خانه‌ی عرب با ۵۸/۱ درصد است. شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) به ترتیب شاخص سایه-تابش دوره‌ی گرم، دوره‌ی سرد و سالیانه‌ی جداره‌های حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۳: شاخص سایه جداره‌های حیاط‌های مرکزی در دوره‌ی گرم



شکل ۴: شاخص تابش دریافتی جداره‌های حیاط‌های مرکزی در دوره سرد



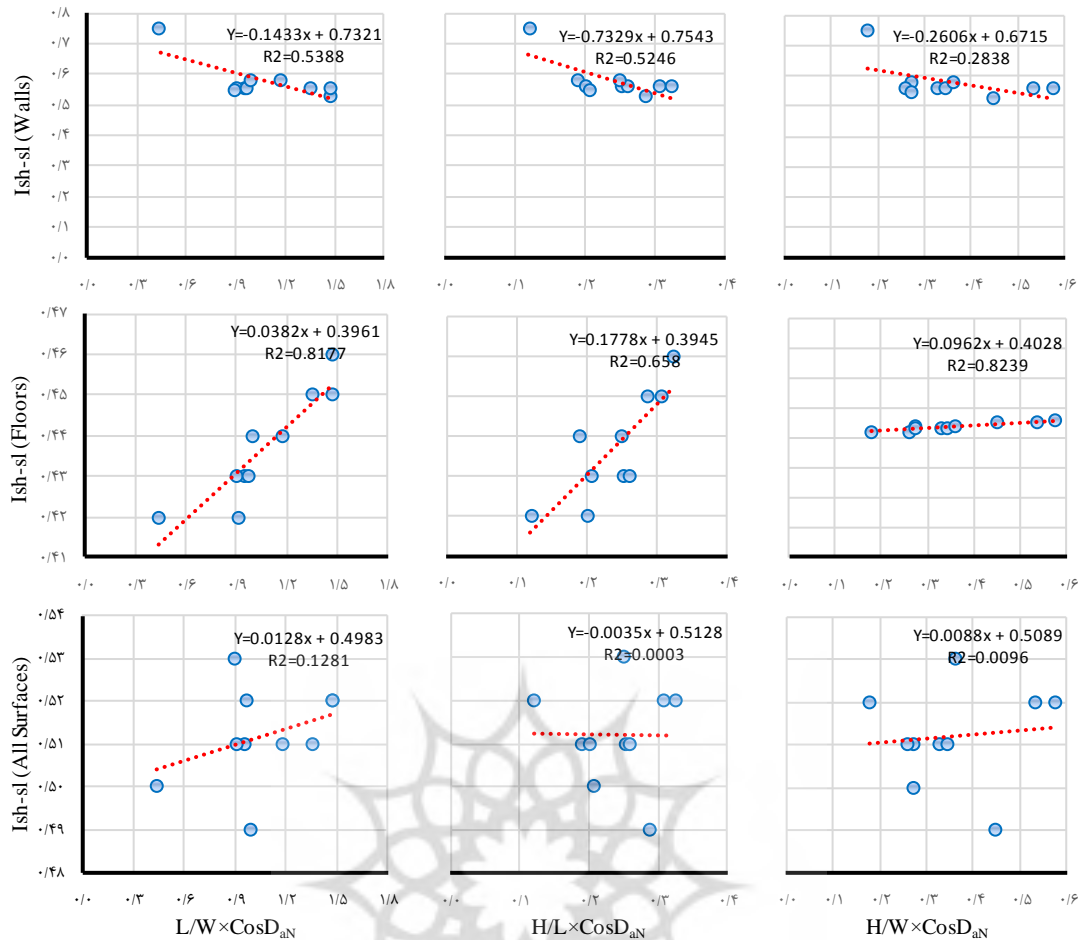
شکل ۵: شاخص سایه-تابش سالانه‌ی جداره‌های حیاط‌های مرکزی

شکل (۳) نشان می‌دهد که شاخص سایه‌ی جداره‌ی شمالی حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه بین ۰/۷۲-۰/۸۸، جداره‌ی شرقی بین ۰/۷۶-۰/۹۲، جداره‌ی جنوبی بین ۰/۹۷-۰/۸۳ و جداره‌ی غربی بین ۰/۸۶-۰/۶۷ است؛ بنابراین جداره‌های حیاط مرکزی خانه‌های مورد مطالعه در ماه‌های گرم سال سازگاری زیادی با اقلیم شهر یزد دارند. بیشترین میزان سایه‌اندازی در تمام حیاط‌های مرکزی به‌جز خانه‌های گلشن و مشکیان مربوط به جداره‌ی جنوبی (تابستان‌نشین) است. شکل (۴) نشان می‌دهد که شاخص تابش جداره‌ی شمالی حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه بین ۰/۰۲-۰/۳۹، جداره‌ی شرقی بین ۰/۰۲-۰/۳۶، جداره‌ی جنوبی بین ۰/۰۱-۰/۰۳ و جداره‌ی غربی بین ۰/۰۳-۰/۳۸ است. کمترین میزان تابش دریافتی در دوره‌ی سرد مربوط به جداره‌ی جنوبی است؛ بنابراین جداره‌های حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه در ماه‌های سرد سال سازگاری خیلی کم تا کم از نظر دریافت تابش با اقلیم شهر یزد دارند. با توجه به شکل (۵)، بیشترین میزان شاخص سایه-تابش سالانه‌ی در خانه‌های عرب، فاتح، گلشن، رسولیان، شفیع پور، سیگاری و تهرانی‌ها به ترتیب با ۰/۶۲، ۰/۶۳، ۰/۵۸، ۰/۶۱، ۰/۶۱، ۰/۵۷ و ۰/۵۹ مربوط به جداره‌ی شمالی، در خانه‌های بی‌بی عرب و مشکیان به ترتیب با ۰/۵۸ و ۰/۶ مربوط به جداره‌ی غربی و در خانه‌ی روحانیان با ۰/۶ مربوط به جداره‌ی شرقی است. بررسی میزان شاخص سایه-تابش سالانه‌ی جداره‌ها نشان می‌دهد که تمامی جداره‌ها دارای شاخص بالای ۰/۵ بوده و مناسب‌ترین جداره در اکثر خانه‌های مورد مطالعه، جداره‌ی شمالی است. شاخص سایه و تابش جداره‌ها، کف و کل سطوح حیاط‌های مرکزی به تفکیک دوره‌های گرم، سرد و سالانه در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵: شاخص سایه-تابش جداره‌ها، کف و کل سطوح حیاط‌های مرکزی

خانه‌ها	جداره‌ها		کف حیاط		کل سطوح (جداره‌ها+کف)	
	دوره‌ی گرم	دوره‌ی سرد	دوره‌ی گرم	دوره‌ی سرد	دوره‌ی گرم	دوره‌ی سرد
عرب	۰/۸۶	۰/۱۹	۰/۳۴	۰/۴۴	۰/۷	۰/۲۵
بی‌بی عرب	۰/۸۴	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۴۵	۰/۷۹	۰/۱۵
فاتح	۰/۸۶	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۴۲	۰/۷۷	۰/۱۷
گلشن	۰/۷۹	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۴۳	۰/۷۲	۰/۲۲
مشکیان	۰/۸۴	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۴۲	۰/۷۳	۰/۲
رسولیان	۰/۷۳	۰/۳	۰/۵۵	۰/۲۷	۰/۶۵	۰/۲۹
روحانیان	۰/۸۳	۰/۱۹	۰/۵۷	۰/۲۴	۰/۷۳	۰/۲۱
شفیع‌پور	۰/۸۹	۰/۱۶	۰/۵۸	۰/۲۳	۰/۷۸	۰/۱۸
اخوان	۰/۷۵	۰/۲۱	۰/۵۶	۰/۳	۰/۶۷	۰/۲۵
سیگاری	۰/۷۵	۰/۲۱	۰/۵۶	۰/۳	۰/۶۷	۰/۲۵
تهرانی‌ها	۰/۸۵	۰/۱۴	۰/۶۹	۰/۱۳	۰/۸	۰/۱۳

با توجه به جدول (۵) مشاهده می‌گردد که شاخص سایه-تابش جداره‌های حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه در دوره‌ی گرم بین ۰/۷۳-۰/۸۶، در دوره‌ی سرد بین ۰/۳-۰/۱۴ و در کل سال بین ۰/۵۳-۰/۵۸ است. بر همین اساس، سازگاری اقلیمی جداره‌های حیاط مرکزی در دوره‌ی گرم (خیلی زیاد)، دوره‌ی سرد (خیلی کم) و در کل سال (متوسط) است. بیش‌ترین میزان شاخص سایه-تابش جداره‌ها در دوره‌ی گرم و سرد به ترتیب با ۰/۸۹ و ۰/۳ متعلق به خانه‌های شفیع‌پور و رسولیان و کم‌ترین مقدار با ۰/۷۳ و ۰/۱۴ متعلق به خانه‌های رسولیان و تهرانی‌ها است. هم‌چنین بیش‌ترین میزان شاخص سایه-تابش سالیانه‌ی جداره‌ها با ۰/۵۸ متعلق به خانه‌های عرب و شفیع‌پور و کم‌ترین مقدار نیز با ۰/۵۳ متعلق به خانه‌ی سیگاری است. شاخص سایه‌ی کف حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه در دوره‌ی گرم بین ۰/۰-۰/۶۹ و در دوره‌ی سرد بین ۰/۱۳-۰/۳۴ است. بر همین اساس، کف حیاط‌های مرکزی در دوره‌ی گرم سازگاری متوسط تا زیاد و در دوره‌ی سرد سازگاری خیلی کم تا کم با اقلیم شهر یزد دارد. بیش‌ترین میزان شاخص سایه-تابش کف حیاط در دوره‌ی گرم و سرد به ترتیب با ۰/۶۹ و ۰/۳۴ متعلق به خانه‌های تهرانی‌ها و عرب و کم‌ترین مقدار نیز به ترتیب با ۰/۵۱ و ۰/۱۳ متعلق به خانه‌های عرب و تهرانی‌ها است. شاخص سایه-تابش سالیانه‌ی کف حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه بین ۰/۴۲-۰/۴۶ است و کف تمام حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه سازگاری متوسط با اقلیم شهر یزد دارند. بیش‌ترین میزان شاخص سایه-تابش سالیانه‌ی کف حیاط با ۰/۴۶ متعلق به خانه تهرانی‌ها و کم‌ترین مقدار نیز با ۰/۴۲ متعلق به خانه‌های فاتح و مشکیان است. شاخص سایه-تابش تمام سطوح (مجموع جداره‌ها و کف) حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه در دوره‌ی گرم بین ۰/۸-۰/۶۵، در دوره‌ی سرد بین ۰/۱۳-۰/۲۹ و در کل سال بین ۰/۴۹-۰/۵۳ است. به‌طور کلی میزان سازگاری حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه با اقلیم شهر یزد در دوره‌ی گرم (زیاد)، دوره‌ی سرد (خیلی کم تا کم) و در کل سال (متوسط) است. شکل ۶، معادله خطی و ضریب تعیین ( $R^2$ ) بین تناسب هندسی، زاویه‌ی انحراف از شمال و شاخص سایه-تابش جداره‌ها، کف و کل سطوح حیاط‌های مرکزی را نشان می‌دهد.



شکل ۶: معادله‌ی خطی بین تناسب‌های هندسی و شاخص سایه-تابش حیاط‌های مرکزی

بر اساس شکل (۶)، متغیرهای پیش‌بین  $L/W \times \text{CosD}_{aN}$ ،  $H/L \times \text{CosD}_{aN}$  و  $H/W \times \text{CosD}_{aN}$  تغییرات شاخص سایه-تابش جداره‌ها را به ترتیب  $53/88$ ،  $52/46$  و  $28/38$  درصد، تغییرات شاخص سایه-تابش کف حیاط را به ترتیب  $81/77$ ،  $65/8$  و  $82/39$  درصد و تغییرات شاخص سایه-تابش کل سطوح حیاط مرکزی را به ترتیب  $12/81$ ،  $0/3$  و  $0/96$  درصد تبیین می‌کنند. رابطه‌ی همبستگی بین  $L/W \times \text{CosD}_{aN}$ ،  $H/L \times \text{CosD}_{aN}$  و  $H/W \times \text{CosD}_{aN}$  با شاخص سایه-تابش جداره‌ها به ترتیب  $-0/734$ ،  $-0/724$  و  $-0/533$ ، با شاخص سایه-تابش کف حیاط به ترتیب  $0/904$ ،  $0/811$  و  $0/908$  و با شاخص سایه-تابش کل سطوح حیاط مرکزی، به ترتیب  $0/358$ ،  $-0/19$  و  $0/98$  است. بیش‌ترین مقدار همبستگی بین  $L/W \times \text{CosD}_{aN}$ ،  $H/L \times \text{CosD}_{aN}$  و  $H/W \times \text{CosD}_{aN}$  با شاخص سایه-تابش کف حیاط و کم‌ترین مقدار با شاخص سایه-تابش جداره‌ها وجود دارد. با توجه به اینکه در حیاط‌های مورد مطالعه، جداره‌های رو به حیاط با تمام جزئیات از جمله تورفتگی‌ها و ایوان‌ها مدل‌سازی شده است و همچنین الگوی سایه‌اندازی جداره‌ها نشان می‌دهد که سایه‌ی ایجادشده بر روی جداره‌ها اغلب مربوط به سایه‌اندازی سطوح تورفته و ایوان‌ها است، نه سایه‌ی حاصل از جداره‌های مجاور و مقابل؛ بنابراین میزان بالای سایه‌اندازی جداره‌ها در دوره‌ی گرم و مقدار پایین تابش‌گیری آن‌ها در دوره‌ی سرد بیانگر این است که سطوح تورفته و ایوان‌ها عامل اصلی افزایش سطح سایه‌اندازی جداره‌ها هستند. بررسی شیب معادله‌ی خطی بین  $L/W \times \text{CosD}_{aN}$ ،  $H/L \times \text{CosD}_{aN}$  و  $H/W \times \text{CosD}_{aN}$  با شاخص سایه-تابش جداره‌ها، کف و کل سطوح حیاط‌های مرکزی نشان می‌دهد که با افزایش نسبت  $L/W$  و  $H/W$  و کاهش زاویه‌ی انحراف، میزان شاخص سایه-تابش جداره‌ها کاهش و شاخص کف حیاط و کل سطوح افزایش می‌یابد. همچنین

با افزایش نسبت H/L و کاهش زاویه‌ی انحراف حیاط، میزان شاخص سایه-تابش جداره‌ها و کل سطوح کاهش و شاخص سایه-تابش کف حیاط افزایش می‌یابد.

نتایج این تحقیق در مقایسه با سایر تحقیقات مشابه نشان می‌دهد که میانگین سالیانه‌ی شاخص سایه-تابش تمام سطوح خانه‌های مورد مطالعه ۵۱ درصد و دارای سازگاری متوسط با اقلیم شهر یزد می‌باشند. این شاخص‌ها در یافته‌های اکبری و تشنه‌دل<sup>۱</sup> (۲۰۱۸)، برای خانه‌های شهر کاشان و اردبیل به ترتیب ۴۳ و ۴۰ درصد (سازگاری متوسط) و در یافته‌های سفلائی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۷)، برای خانه‌های شهر کرمان ۴۰ درصد (سازگاری متوسط) گزارش شده است، اما میانگین شاخص سایه-تابش تمام سطوح خانه‌های مورد مطالعه در دوره‌ی گرم (فصل تابستان) ۷۳ درصد و در فصل زمستان ۲۱ درصد بوده و این نشانگر سازگاری اقلیمی زیاد در فصل تابستان و سازگاری اقلیمی کم در فصل زمستان است. این یافته‌ها هم‌راستا است با یافته‌های صفرزاده و بهادری<sup>۳</sup> (۲۰۰۵) که نشان دادند حیاط‌های مرکزی نمی‌توانند سازگاری اقلیمی بالایی در هر دو فصل زمستان و تابستان داشته باشند. هم‌چنین در توافق است با یافته‌های ال‌داوود<sup>۴</sup> (۲۰۰۸) که بیان داشته حیاط‌های مرکزی در اقلیم گرم نسبت به اقلیم سرد کارتر هستند.

یافته‌های تحقیق نشان داد که با افزایش نسبت طول به عرض، ارتفاع به طول و ارتفاع به عرض، میزان شاخص سایه-تابش سالیانه‌ی کف حیاط‌های مرکزی افزایش و جداره‌ها کاهش می‌یابد. این بدان معنی است که با باریک‌تر و عمیق‌تر شدن حیاط مرکزی، سطح سایه‌اندازی در تابستان بیشتر و سطح دریافت تابش در زمستان کاهش می‌یابد. این یافته‌ها هم‌راستا است با یافته‌های رودریگز و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۸) که نشان دادند در حیاط‌هایی با نسبت ارتفاع به عرض بالا، میزان سایه‌اندازی افزایش می‌یابد. هم‌چنین در توافق است با نتایج محاسین و گدی<sup>۶</sup> (۲۰۰۶b) که بیان داشتند بیش‌ترین سایه‌اندازی در حیاط‌های باریک و عمیق ایجاد می‌شود. در همین راستا مارتین‌لی و ماتزاراکیس<sup>۷</sup> (۲۰۱۷)، نشان دادند که نسبت ارتفاع به عرض بالا، تأثیر معین بر آسایش حرارتی در فصول تابستان و زمستان برای اقلیم‌های گرم‌تر دارد. هم‌چنین نتایج ال‌هفیتا و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۱۷)، نشان داد که جهت افزایش سایه‌اندازی، حیاط‌ها باید عمیق و باریک باشند و مهم‌ترین پارامتر مؤثر بر افزایش سایه‌اندازی در حیاط مرکزی، نسبت ارتفاع به عرض است. هم‌چنین یافته‌های تحقیق نشان داد که با کاهش زاویه‌ی انحراف محور اصلی حیاط مرکزی از شمال، میزان شاخص سایه-تابش کف حیاط افزایش و جداره‌ها کاهش می‌یابد. این یافته‌ها در توافق است با نتایج سفلائی و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۱۷) که نشان دادند افزایش زاویه‌ی چرخش حیاط نسبت به جهت شمال تأثیر منفی بر دمای آسایش گذاشته و شاخص سایه را کاهش می‌دهد.

## ۵- نتیجه‌گیری

حیاط‌های مرکزی به‌عنوان فضای باز و سامانه‌ی سرمایه‌ی غیرفعال، از طریق افزایش سایه‌اندازی و کاهش تابش خورشیدی بر سطوح دیوارها و کف حیاط و هم‌چنین افزایش رطوبت نسبی از طریق پوشش گیاهی و آب، سبب تعدیل خرد اقلیم و کاهش مصرف انرژی بناها می‌گردد. در این پژوهش میزان سازگاری اقلیمی حیاط‌های مرکزی خانه‌های

۱- Akbari and Teshnehdi

۲- Soflaei, Shokouhian, Abraveshdar and Alipour

۳- Safarzadeh and Bahadori

۴- Aldawoud

۵- Rodriguez-Algecirasa, Tabladac, Chaos-Yerasa, De la Paza and Matzarakis

۶- Muhaisen and Gadi

۷- Martinelli and Matzarakis

۸- Al-Hafitha, Satish, Bradburyc and Wilde

۹- Soflaei, Shokouhian, Abraveshdar and Alipour



سنتی بر اساس میزان شاخص سایه-تابش تعیین و در نهایت رابطه بین تناسب هندسی حیاط‌های مرکزی از جمله (طول به عرض، ارتفاع به عرض و ارتفاع به طول) و شاخص سایه-تابش جداره‌ها، کف و کل سطوح حیاط مرکزی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که میانگین سالیانه‌ی شاخص سایه-تابش جداره‌ها، کف و تمام سطوح حیاط‌های مرکزی دارای سازگاری متوسط با اقلیم شهر یزد می‌باشند. رابطه‌ی همبستگی بین نسبت‌های  $H/L$ ،  $L/W$  و  $H/W$  با شاخص سایه-تابش کف حیاط مرکزی، مثبت و با شاخص سایه-تابش جداره‌ها منفی است. با افزایش نسبت  $H/W$  و  $L/W$  و کاهش زاویه‌ی انحراف، میزان شاخص سایه-تابش جداره‌ها کاهش و شاخص کف حیاط و کل سطوح افزایش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش نسبت  $H/L$  و کاهش زاویه‌ی انحراف حیاط، میزان شاخص سایه-تابش جداره‌ها و کل سطوح کاهش و شاخص سایه-تابش کف حیاط افزایش می‌یابد.

## ۶- منابع

- ۱- احمدی، زهرا (۱۳۹۱). بازخوانی نقش گمشده‌ی حیاط مرکزی در دستیابی به معماری پایدار، شهر و معماری بومی، دوره‌ی ۲، شماره‌ی ۲، صص ۴۰-۲۵.
- ۲- پدram، بهنام و حریری، آزاده (۱۳۹۵). خانه‌های تاریخی با نقشی فراتر از مسکن در بافت تاریخی اصفهان، فصلنامه‌ی پژوهش‌های معماری اسلامی. دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۱۱، صص ۹۰-۷۴.
- ۳- تابان، محسن، پورجعفر، محمدرضا، بمانیان، محمدرضا و حیدری، شاهین (۱۳۹۲). تعیین الگوی بهینه‌ی حیاط مرکزی در مسکن سنتی دزفول با تکیه بر تحلیل سایه‌ی دریافتی سطوح مختلف حیاط، باغ نظر، دوره‌ی ۱۰، شماره‌ی ۲۷، صص ۴۸-۳۹.
- ۴- حاجی‌قاسمی، کامبیز (۱۳۸۳). گنج‌نامه‌ی فرهنگ آثار معماری اسلامی ایران، دفتر چهاردهم: خانه‌های یزد، انتشارات روزنه، تهران.
- ۵- خاکپور، مژگان، انصاری، مجتبی و طاهرینان، علی (۱۳۸۹). گونه‌شناسی خانه‌های بافت قدیم شهر رشت، نشریه‌ی هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی، دوره‌ی ۲، شماره‌ی ۴۱، صص ۴۲-۲۹.
- ۶- زینلیان، نفیسه و اخوت، هانیه (۱۳۹۶). ساختارشناسی حیاط در خانه‌های قجره‌ی اقلیم گرم و خشک و گرم و مرطوب با تمرکز بر گونه «حیاط مرکزی» (مطالعه‌ی موردی: خانه‌های یزد و دزفول)، فصلنامه‌ی مطالعات شهر ایرانی اسلامی، دوره‌ی ۸، شماره‌ی ۳۰، صص ۲۹-۱۵.
- ۷- سلطان‌زاده، حسین (۱۳۹۰). نقش جغرافیا در شکل‌گیری انواع حیاط در خانه‌های سنتی ایران. پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره‌ی ۴۳، شماره‌ی ۷۵، صص ۸۶-۶۹.
- ۸- عیالی، حامد و موحد، خسرو (۱۳۹۵). تعیین جهت بهینه‌ی حیاط مرکزی خانه‌های دوره‌ی قاجار شیراز بر اساس میزان دریافت تابش انرژی خورشیدی، جغرافیا و توسعه، دوره‌ی ۱۴، شماره‌ی ۴۲، صص ۱۸۲-۱۶۱.
- ۹- فرح‌بخش، مرتضی، حناچی، پیروز و غنائی، معصومه (۱۳۹۶). گونه‌شناسی خانه‌های تاریخی بافت قدیم شهر مشهد، از اوایل قاجار تا اواخر پهلوی، دو فصلنامه‌ی مطالعات معماری ایرانی، دوره‌ی ۶، شماره‌ی ۱۲، صص ۱۱۶-۹۷.
- ۱۰- قاسمی سیچانی، مریم و معاریان، غلامحسین (۱۳۸۹). گونه‌شناسی خانه دوره‌ی قاجار در اصفهان. هویت شهر، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۷، صص ۹۴-۸۷.
- ۱۱- معاریان، غلامحسین (۱۳۷۳). آشنایی با معماری مسکونی ایرانی (گونه‌شناسی درون‌گرا)، تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- ۱۲- هدایت، اعظم و طبائیان، سیده مرضیه (۱۳۹۴). بررسی عناصر شکل‌دهنده و دلایل وجودی آن‌ها در خانه‌های بافت تاریخی بوشهر، نشریه‌ی شهر و معماری بومی. دوره‌ی ۳، شماره‌ی ۳، صص ۵۴-۳۵.
- 13- Akbari, H., Teshnehdel, S. (2018). Climatic compatibility of courtyard houses, based on shading-sunlit index; Case studies: Traditional houses in Kashan and Ardabil cities. Armanshahr Architecture and Urban Development, 1(24), 1-13.

- 14- Aldawoud, A. (2008). Thermal performance of courtyard buildings. *Energy and Buildings*, 40(5), 906-910.
- 15- Aldawoud, A., Clark, R. (2008). Comparative analysis of energy performance between courtyard and atrium in buildings. *Energy and Buildings*, 40, 209-214.
- 16- Al-Hafitha, O., Satish, B., Bradburyc, S., Wilde, P. (2017). The impact of courtyard parameters on its shading level, An experimental study in Baghdad, Iraq. *Energy Procedia*, 134, 99-109.
- 17- Al-Hemiddi, N.A., Al-Saud, K.A.M. (2001). The effect of a ventilated interior courtyard on the thermal performance of a house in a hot–arid region. *Renewable Energy*, 24(3-4), 581-595.
- 18- Berkovic, S., Yezioro, A., Bitan, A. (2012). Study of thermal comfort in courtyards in a hot arid climate. *Solar Energy*, 86(5), 1173-1186.
- 19- Fardeheb, F. (2007). Passive cooling ability of a courtyard house in a hot and arid climate: A real case study. *Proceedings of ISES World Congress*, 2516-2520.
- 20- IRIMO, (2019). Retrieved from: <http://www.irimo.ir/far/wd/2703>, at May, 2019; 23:30:28PM.
- 21- Kubota, T., Toe, D.H.C. (2015). Application of passive cooling techniques in vernacular houses to modern urban houses: A case study of Malaysia. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 179, 29-39.
- 22- Manioglu, G., Oral, G.K. (2015). Effect of courtyard shape factor on heating and cooling energy loads in hot-dry climatic zone. *Energy Procedia*, 78, 2100-2105.
- 23- Martinelli, L., Matzarakis, A. (2017). Influence of height/width proportions on the thermal comfort of courtyard typology for Italian climate zones. *Sustainable Cities and Society*, 29, 97-106.
- 24- Micallef, D., Buhagiar, V., Borg, S.P. (2016). Cross-ventilation of a room in a courtyard building. *Energy and Buildings*, 133, 658-669.
- 25- Moosavi, L., Mahyuddin, N., Ab Ghafar, N., Ismail, M.A. (2014). Thermal performance of atria: An overview of natural ventilation effective designs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 654-670.
- 26- Muhaisen, A.S. (2006). Shading simulation of the courtyard form in different climatic regions. *Building and Environment*, 41, 1731-1741.
- 27- Muhaisen, A.S., Gadi, M.B. (2006a). Effect of courtyard proportions on solar heat gain and energy requirement in the temperate climate of Rome. *Building and Environment*, 41, 245-253.
- 28- Muhaisen, A.S., Gadi, M.B. (2006b). Shading performance of polygonal courtyard forms. *Building and Environment*, 41(8), 1050-1059.
- 29- Nasrollahi, N., Hatami, M., Khastar, S.R., Taleghani, M. (2017). Numerical evaluation of thermal comfort in traditional courtyards to develop new microclimate design in a hot and dry climate. *Sustainable Cities and Society*, 35, 449-467.
- 30- Peel, M.C., Finlayson, B.L., McMahon, T.A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1633–1644.
- 31- Rajapaksha, I., Nagai, H., Okumiya, M. (2003). A ventilated courtyard as a passive cooling strategy in the warm humid tropics. *Renewable Energy*, 28(11), 1755-1778.
- 32- Rodriguez-Algeciras, J., Tabladac, A., Chaos-Yerasa, M., De la Paza, G., Matzarakis, A. (2018). Influence of aspect ratio and orientation on large courtyard thermal conditions in the historical centre of Camaguey-Cuba. *Renewable Energy*, 125, 840-856.
- 33- Sadafi, N., Salleh, E., Haw, L.C., Jaafar, Z. (2011). Evaluating thermal effects of internal courtyard in a tropical terrace house by computational simulation. *Energy and Buildings*, 43, 887-893.
- 34- Safarzadeh, H., Bahadori, M.N. (2005). Passive cooling effects of courtyards. *Building and Environment*, 40, 89-104.
- 35- Sharples, S., Bensalem, R. (2001). Airflow in courtyard and atrium buildings in the urban environment: A wind tunnel study. *Solar Energy*, 70(3), 237-244.

- 36- 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 and Buildings*, 143, 71-83.
- 37- Soflaei, F., Shokouhian, M., Mofidi Shemirani, S.M. (2016a). Investigation of Iranian traditional courtyard as passive cooling strategy (A field study on BS climate). *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 99-113.
- 38- Soflaei, F., Shokouhian, M., Mofidi Shemirani, S.M. (2016b). Traditional Iranian courtyards as microclimate modifiers by considering orientation, dimensions, and proportions. *Frontiers of Architectural Research*, 5(2), 225-238.
- 39- Vaisman, G., Horvat, M. (2015). Influence of internal courtyards on the energy load and hours of illuminance in row houses in Toronto. *Energy Procedia*, 78, 1799-1804.
- 40- Xu, X., Luo, F., Wang, W., Hong, T., Fu, X.Z. (2018). Performance-based evaluation of courtyard design in China's cold-winter hot-summer climate regions. *Sustainability*, 10(3950), 1-19.
- 41- Yasa, E., OK, V. (2014). Evaluation of the effects of courtyard building shapes on solar heat gains and energy efficiency according to different climatic regions. *Energy and Buildings*, 73, 192-199.

