Archive of SID

ISSN: 2008-5079 / EISSN: 2538-2365
DOI: 10.22034/AAUD.2019.92451

بررسی تعامل اصول معماری مسکونی دوره‌های آل‌مظفر و قاجار شهر یزد از منظر جهت‌گیری با انرژی خورشیدی*

محمد ابراهیم زارعی[۱]- سید فضل‌اله میردهقان اشکذری[۲]**

۱. استاد گروه باستان‌شناسی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۲. استادیارگروه ایران‌شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران (نویسنده مسئول).

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۱۶ تاریخ اصلاحات: ۹۵/۰۵/۱۱ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۰۵/۳۰ تاریخ انتشار: ۹۸/۰۶/۳۰

چکیده

یزد یکی از مناطق کشور با اقلیم گرم‌وخشک می‌باشد که تابش خورشید نقش مهمی در شکل‌گیری معماری مسکونی آن داشته است. این مقاله به شیوه تاریخی- تطبیقی به بررسی تعامل اصول معماری مسکونی حاکم بر خانه‌های دو دوره آل‌مظفر و قاجار با انرژی خورشیدی از منظر جهت‌گیری پرداخته است. سؤالات مطرح‌شده عبارت‌اند از: ۱. آیا خانه‌های دوره‌های آل‌مظفر و قاجار براساس تعامل با انرژی خورشیدی شکل گرفته‌اند؟ ۲. در کدام دوره و به چه دلیل معماری مسکونی تعامل بهتری را با انرژی خورشیدی نشان می‌دهد؟ ۳. آیا تعامل بهتر با اقلیم به تناسبات میان حیاط مرکزی و جداره‌ها ارتباط دارد و چگونه تناسبات مذکور باعث این تعامل می‌شوند؟ بدین منظور، مدل سه‌بعدی خانه‌های کریمی (آل‌مظفر) و شکوهی (قاجار)، در محیط نرم‌افزار اکوتکت ساخته شد و داده‌های آب‌وهوایی شهر یزد بر عملیات شبیه‌سازی اعمال شد. سپس مدل‌ها بر نقاله خورشیدی منطبق و روند رفتاری خانه‌ها مورد تحلیل قرار گرفت و در طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین روز سال بسط داده شد. نتایج نشان می‌دهد جهت‌گیری مناسب سبب شده هر چهار جبهه، انرژی دریافتی خورشید را در طول سال تقسیم کنند. بخش تابستان‌نشین در ماه‌های گرم دارای سایه‌اندازی مناسب بوده و بخش زمستان‌نشین با دریافت مناسب در ماه‌های سرد، بخشی از انرژی گرمایی را فراهم می‌کند؛ اما این جبهه در خانه شکوهی عملکرد بهتری دارد؛ چرا که با توسعه ابعاد حیاط، مساحت این جداره افزایش یافته و انرژی بیشتری را دریافت می‌کند. همچنین حیاط خانه شکوهی در ماه‌های سرد عملکرد بهتری دارد. افزایش وسعت حیاط امکان ایجاد خرداقلیم را در فضای داخلی خانه فراهم می‌کند که آسایش مناسبی به همراه دارد. لذا می‌توان گفت معماری مسکونی در هر دو دوره در تعامل با انرژی خورشیدی ایجاد شده‌اند؛ اما خانه شکوهی تعامل بهتری را با اقلیم شهر یزد دارد که این امر ارتباط نزدیکی با تناسبات موجود در بنا دارد.

واژگان کلیدی: معماری مسکونی، انرژی خورشیدی، منطقه یزد، دوره آل‌مظفر، دوره قاجار.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده دوم با عنوان«معماری مسکونی یزد در دوره آل مظفر (ایلخانی)، نمونه موردی: خانه‌های روستای خَویدَک» به راهنمایی نویسنده اول در گروه باستان‌شناسی دانشکده هنر و معماری دانشگاه بوعلی‌سینای همدان است.

** E-mail: s.mirdehqan@basu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

یزد دارای اقلیم گرم‌وخشک بوده که تأثیر بسیار زیادی بر اصول حاکم بر معماری مسکونی منطقه داشته است. در این منطقه دو فصل بحرانی سرد و گرم وجود دارد که طول دوره فصل گرم بیشتر از دوره دیگر می‌باشد. از بین عوامل اقلیمی مختلف، خورشید همواره نقش مهمی در ایجاد آسایش حرارتی ساکنین داشته و به همین دلیل معماران در دوره‌های مختلف سعی می‌کنند با استفاده از شیوه‌های گوناگون بهترین تعامل را با این منبع انرژی داشته باشند؛ چرا که معماری ساختمان‌ها باید طوری طراحی شود تا جهت ایجاد آسایش حرارتی در طول روز، در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور به‌عنوان ماه‌های گرم از شدت تابش خورشید کاسته شده و در ماه‌های آبان، آذر، دی و بهمن به عنوان ماه‌های سرد از نور خورشید استفاده کرد (Kasmaei, 1984, p. 206).
جهت‌گیری خانه‌ها یکی از اصولی است که برای استفاده درست از نور خورشید انتخاب می‌شد. در این راستا، درصد زیادی از خانه‌ها با رون راسته (جهت‌گیری شمال‌شرقی ـ جنوب‌غربی) و درصد کمی با رون اصفهانی (جهت‌گیری شمال‌غربی ـ جنوب‌شرقی) ساخته شده‌اند که این امر تأثیر زیادی در ایجاد آسایش حرارتی داشته است. چرا که جهت‌گیری ساختمان، یکی از عوامل مهم در تعیین میزان دریافت تابش خورشید است. در اقلیم گرم حداقل انرژی خورشیدی مورد نیاز بوده و ساختمان باید در جهتی قرار بگیرد که کمترین تابش را دریافت کند. در اقلیم سرد نیز جهت ساختمان باید به نحوی باشد که شدت تابش بر دیواره‌های آن به حداکثر برسد و امکان نفوذ مستقیم اشعه خورشید به فضاهای داخلی وجود داشته باشد (Lashkari, Moozermi, Solki, & Lotfi, 2011, p. 49).
خانه‌های دوره آل‌مظفر منطقه یزد دارای حیاط مرکزی بوده که ایوانی رفیع در جبهه تابستانی قرار داشته و ارتفاع آن در برخی از نمونه‌ها به هشت متر می‌رسید. در مقابل آن صفه کوچکی قرار داشت که جبهه زمستان‌نشین خانه را تشکیل می‌داد که از ارتفاع نسبتاً کمتری نسبت به صفه اصلی برخوردار بود. حیاط این نوع خانه‌ها مساحت کمی دارد. به‌طور مثال حیاط خانه محمد جوکار در روستای خویدک دارای ابعادی در حدود ۳/۹۲ × ۴/۶۰ متر و خانه باقردشتی ۴/۱۰ × ۴/۳۳ متر برخوردار بودند. همین امر سبب می‌شد امکان ایجاد خرداقلیم در داخل خانه با کاشت درخت و ساخت حوض آب وجود نداشته باشد؛ چرا که سبب مختل‌شدن فعالیت‌های روزمره ساکنین می‌شد. خانه‌های دوره قاجار، اگرچه از جهت‌گیری یکسانی برخوردار بودند، اما در برخی از موارد، مانند ارتفاع نسبتاً یکسان جبهه تابستان‌نشین با جبهه‌های دیگر، ابعاد گسترده‌تر حیاط مرکزی و ایجاد خرداقلیم با کاشت درخت و حوض آب تفاوت‌های زیادی با نمونه‌های دوره آل‌مظفر دارند. همین امر موجب می‌شود تا تعاملات متفاوتی بین اصول معماری مسکونی رایج در دوره‌های آل‌مظفر و قاجار وجود داشته باشد. در این مقاله سعی شده است به‌وسیله شبیه‌سازی نمونه‌های موردی از هر دو دوره، تعامل هر کدام از آن‌ها با انرژی خورشید به‌صورت عینی و نزدیک به واقعیت مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد.

۲. پیشینه پژوهش

تعامل معماری با اقلیم یکی از موضوعاتی است که از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد و در مطالعات گوناگون به آن پرداخته شده است. کتاب «بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران» یکی از آثاری است که به معرفی اقلیم‌های مختلف ایران پرداخته و تأثیر آن‌ها را بر روی معماری سنتی بررسی کرده است (Ghobadian, 2014). کتاب «آسایش در پناه معماری همساز با اقلیم» در فصول مختلف، اصول و مبانی علمی را بیان می‌کند که آگاهی از آن‌ها برای افرادی که با طراحی همساز با اقلیم سروکار دارند، به‌عنوان دانش پایه، ضروری است (Razjouyan, 2009). کتاب «آسایش در پناه باد» نیز به نقش این عامل در فراهم آوردن آسایش انسان یا اخلال در آن، در محیط بیرون و درون ساختمان، پرداخته است که از لحاظ اقلیمی حائز اهمیت است (Razjouyan, 2000). کتاب «اقلیم و معماری» به بررسی شرایط هر یک از شهرهای ایران براساس داده‌های آماری پرداخته و جداول سایکرومتریک را بر همین مبنا ارائه می‌دهد. این کتاب منبعی از اطلاعات است که می‌تواند معیار محاسبات اولیه نیز قرار گیرد (Kasmaei, 1984). تابان و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز، به تعیین الگوی بهینه حیاط مرکزی در خانه‌های سنتی دزفول پرداخته‌اند.
امروزه استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز در طراحی ساختمان‌ها و نحوه تعامل آن‌ها با اقلیم اهمیت زیادی دارد. مهم‌ترین مزیت این نرم‌افزارها صرفه‌جویی در وقت و کم‌کردن هزینه‌های طراحی بوده و استفاده مناسب از آن‌ها می‌تواند منجر به ایجاد طرحی شود که بهترین تعامل را با اقلیم منطقه داشته و به‌دلیل استفاده مناسب از ظرفیت‌های هر اقلیم، با کمترین هزینه بهترین شرایط آسایش فراهم شود (Qiaei, Mahdavinia, Tahbaz, & Mofidi, 2013, p. 46). برخی از پژوهش‌گران از نرم‌افزار اکوتکت در مطالعات خود بهره گرفته‌اند. سهیلی‌فرد و همکاران (۲۰۱۳) تعامل خانه عباسیان شهر کاشان را با انرژی خورشیدی مطالعه کرده‌اند. یانگ و همکاران (۲۰۱۴) به یافته‌های مهمی در مرحله طراحی دست یافتند و با توجه به فاکتورهای محیطی و تجزیه و تحلیل برخی از عوامل مانند جهت‌گیری ساختمان، تهویه طبیعی و روشنایی شب و روز مدلی را پیشنهاد دادند که بهترین تعامل را با اقلیم منطقه مورد مطالعه داشته است تا بدین طریق بهترین آسایش حرارتی را با کمترین میزان مصرف

www.SID.ir

Archive of SID

انرژی فراهم کند. عصفور و الأشواف (۲۰۱۵) تأثیر تراکم واحدهای مسکونی در بهره‌وری انرژی در ساختمان با توجه به شرایط آب‌وهوایی گرم را مطالعه کرده‌اند. آنالیزهای عددی صورت‌گرفته در محیط نرم‌افزار شبیه‌ساز اکوتکت نشان می‌دهند که بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های مسکونی ارتباط مستقیمی با تراکم آن‌ها دارد. فیاضی و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تأثیر جهت‌گیری ساختمان بر آسایش حرارتی گونه‌های مختلف مجموعه مسکن مهر تهران پرداخته‌اند. منشی‌زاده و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر عوامل خرد اقلیم بر آسایش محیطی و حرارتی در فضاهای شهری و ارتباط آن با ارتفاع ساختمان‌ها به‌عنوان جداره‌های موثر بر خرداقلیم را بررسی کرده‌اند. پارامیتا و کورنیاوان (۲۰۱۲) به بررسی ارتباط بین تابش خورشید با جهت‌گیری ساختمان و عرض جغرافیایی در شهر باندونگ کشور اندونزی پرداخته‌اند. کانترز و هروات (۲۰۱۲) به بررسی رابطه استفاده بهینه از انرژی خورشیدی و فرم هندسی ساختمان در شهر لوند در جنوبی‌ترین قسمت کشور سوئد پرداخته‌اند.

زمردیان و تحصیل‌دوست (۲۰۱۵) به ارزیابی دو نرم‌افزار اکوتکت و دیزاین بیلدر در پیش‌بینی میزان مصرف انرژی و دمای داخلی فضاها پرداخته‌اند. غیائی و همکاران (۲۰۱۳) به مقایسه برخی از نرم‌افزاهای شبیه‌ساز انرژی پرداخته و اکوتکت و ای‌کوست را به عنوان نرم‌افزارهای مطلوب برای معماران انتخاب کرده‌اند. همچنین نتایج پژوهشی که توسط هنسن صورت گرفته (۲۰۰۲) نشان می‌دهد اکوتکت یکی از پرکاربردترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی است که توسط معماران در آمریکا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در برخی از پژوهش‌ها نیز به اعتبارسنجی این نرم‌افزار پرداخته شده که از جمله آن‌ها می‌توان به علی و همکاران (۲۰۱۶)، علی و همکاران (۲۰۱۵)، التمیمی و فزیل (۲۰۱۱) و مارش (۲۰۰۳) اشاره کرد.

۳. مبانی نظری تحقیق

وضعیت تشعشع خورشید در منطقه یزد آن را به یک مسئله مهم در طراحی اقلیمی ساختمان تبدیل کرده (Jahanbakhsh & Esmaeilpoor, 2004, p. 38) که این امر تأثیر زیادی بر شکل‌گیری معماری مسکونی از جنبه‌های مختلف داشته است. جهت‌گیری ساختمان‌ها یکی از اصولی است که معمار با توجه به شرایط حرارتی، بهداشتی و روانی مورد نیاز، انتخاب می‌کند که بیشترین استفاده از نور خورشید حاصل شود چرا که این اصل، می‌تواند مقدار جذب تابش خورشید را تعیین کند. به همین دلیل طراحان ساختمان، با محاسبه شار تابشی خورشید برای ساعات مختلف روز و روزهای مختلف سال، که مکان و زاویه تابش خورشید تغییر می‌کند، باید جهت ساختمان را طوری انتخاب کنند که میزان تابش جذب شده، سبب گرمای بیش از حد ساختمان نشود (Shams Tabrizi & Khodakarami, 2010, p. 100)؛ چرا که در مواقع گرم باید از تابش شدید خورشید به داخل اتاق جلوگیری کرد و در مواقع سرد از آن بهره گرفته شود (Jahanbakhsh & Esmaeilpoor, 2004, p. 30).

نرم‌افزارهای شبیه‌ساز از جمله ابزارهایی هستند که به‌وسیله آن‌ها می‌توان به بررسی تعامل معماری با اقلیم منطقه مورد بررسی پرداخت. این نرم‌افزارها با ایجاد محیط مجازی، این امکان را فراهم می‌کنند تا پیش‌بینی عملکردی ساختمان تا حد ممکن نزدیک به واقعیت باشد (Qiaei et al., 2013, p. 46). «نرم‌افزار اکوتکت یکی از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز و ابزار جامع تحلیل انرژی، نور و صدا می‌باشد که قادر است توسط مدل‌های سه‌بعدی که در محیط خود برنامه ساخته شده و یا از طریق نرم‌افزارهای دیگر ساخته و به برنامه وارد می‌شوند، تحلیل‌های مربوطه را در محیطی کاملاً گرافیکی انجام دهد. این برنامه قادر است که تحلیل‌های عددی و بصری مربوطه را به صورت جدول، نمودار، تصویر و یا پویانمایی ارائه نماید. از جمله ویژگی‌های قابل توجه نرم‌افزار این است که کلیه مراحل ترسیمات، محاسبات و تجزیه نتایج همگی در محیط برنامه صورت گرفته و انجام اصلاحات و Run کردن مجدد محاسبات بدون اتلاف وقت و به سادگی قابل انجام است» (Ghiabakloo, 2009, p. 9).

در این مقاله، اصول معماری مسکونی منطقه یزد در دوره‌های آل‌مظفر و قاجار از منظر تعامل با انرژی خورشیدی به‌وسیله نرم‌افزار شبیه‌ساز اکوتکت مورد بررسی قرار گرفته و همانطور که در بخش قبل نیز ذکر شد، این نرم‌افزار به‌صورت گسترده توسط معماران مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hensen, 2002, p. 6).

۴. سؤالات تحقیق

۱. آیا خانه‌های دو دوره آل‌مظفر و قاجار براساس تعامل با انرژی خورشیدی شکل گرفته‌اند؟

۲. در کدام دوره و به چه دلیل معماری مسکونی تعامل بهتری را با انرژی خورشیدی نشان می‌دهد؟

۳. آیا تعامل بهتر با اقلیم با تناسبات میان حیاط مرکزی و جداره‌ها ارتباط دارد و چگونه تناسبات مذکور باعث این تعامل می‌شوند؟

۵. روش تحقیق

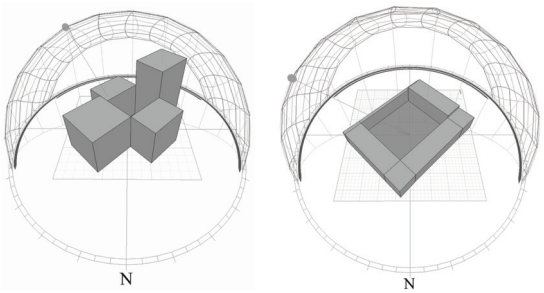
این مقاله به شیوه تاریخی-تطبیقی که براساس برداشت‌ها و بررسی‌های میدانی صورت گرفته، به بررسی تعامل اصول معماری مسکونی حاکم بر خانه‌های دو دوره آل‌مظفر و قاجار در شهر یزد پرداخته است. بدین منظور از دوره‌های آل‌مظفر و قاجار یک خانه انتخاب و مدل

www.SID.ir

Archive of SID

سه‌بعدی هر کدام در محیط نرم‌افزار اکوتکت تهیه شد (شکل‌های ۱ و ۲). داده‌های آب‌وهوایی شهر یزد نیز بر عملیات شبیه‌سازی اعمال شد و تمامی محاسبات جذب و دریافت انرژی خورشیدی، براساس اطلاعات آب‌وهوایی ۳۰ سال اخیر منطقه یزد و با اعمال طول و عرض جغرافیایی (Latitude: 31.9 N, Longitude: 54.3 E) و ارتفاع از سطح دریا (۱۲۳۰ متر) انجام پذیرفت. همچنین، داده‌های آب‌وهوایی به صورت TMY ۲ به مدل اعمال شد. «این داده‌ها بر اساس روش ساندیا توسط عبدالسلام ابراهیم‌پور محاسبه و به دپارتمان انرژی آمریکا معرفی گشته‌اند» (Soheilifard, Akhtarkavan, Falahi, Akhtarkavan, & Mohammad Moradi, 2013, p. 77). سپس مدل آماده شده بر نقاله خورشیدی منطبق شد و روند رفتاری خانه‌ها در گذر سال به‌صورت ساعتی مورد تحلیل قرار گرفت. این بررسی‌ها در طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین روز سال (انقلاب تابستانی و انقلاب زمستانی) بسط داده شد. مصالح مشخص‌شده برای جداره‌ها خشت با ضریب هدایت ۰,۷۱۱ w/m.k و گرمای ویژه J/kg.k ۸۳۸,۸۰ در نظر گرفته شد. ضخامت دیوارها نیز برای خانه کریمی ۹۰۰ mm و خانه شکوهی ۵۰۰ mm تعریف شد. لازم به ذکر است که اثر بازتابش از جبهه‌های دیگر تأثیری در نتایج ندارد.

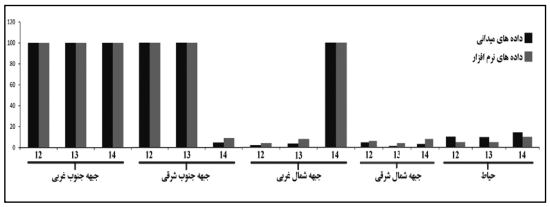
شکل‌های ۱ و ۲: مدل‌های سه‌بعدی از خانه‌های شکوهی (راست) و کریمی (چپ)



۶. اعتبارسنجی نرم‌افزار

به‌منظور اعتبارسنجی نرم‌افزار اکوتکت، محاسبات میدانی در خانه شکوهی انجام شد. دلیل انتخاب این خانه، دسترسی به نمونه مورد بررسی بوده که این امر درباره خانه کریمی امکان‌پذیر نبود. در راستای اعتبارسنجی نرم‌افزار، در طی سه روز، ۷ - ۵ مردادماه (۲۸ - ۲۶ جولای)، در ساعات ۱۲، ۱۳ و ۱۴ میزان سایه‌اندازی جداره‌ها در حیاط مرکزی اندازه‌گیری شد. سپس میانگین میزان سایه‌اندازی جداره‌های مختلف در هر ساعت محاسبه و در نمودار ۱ اعمال شد. این روند برای اطلاعات به‌دست‌آمده از نرم‌افزار نیز انجام و در نمودار مذکور اعمال شد.

نمودار ۱: مقایسه داده‌های به‌دست آمده از برداشت‌های میدانی و نرم‌افزار اکوتکت



مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با یکدیگر نشان می‌دهد که نرم‌افزار اکوتکت از اعتبار لازم در خصوص تابش انرژی خورشیدی برخوردار است؛ چرا که نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار اختلاف بسیار اندکی با نتایج به‌دست آمده از بررسی‌های میدانی دارند که در اکثر موارد کمتر از ۵ درصد می‌باشد و می‌تواند نشان‌دهنده دقت بالای نرم‌افزار اکوتکت باشد.

۷. دلایل انتخاب نمونه‌های مطالعاتی

یکی از اهداف مهم در این مقاله، مقایسه رفتاری گونه‌های مختلف حیاط مرکزی از لحاظ ابعاد و تناسبات در دو دوره مختلف می‌باشد که در اقلیم گرم‌وخشک شهر یزد ایجاد شده‌اند. به همین منظور، از دوره آل‌مظفر خانه کریمی انتخاب شد. براساس تعریف پیرنیا (Memarian, 2013, p. 226) خانه کریمی خانه‌ای با نظام خرده‌پیمون است که حیاط آن دارای مساحتی در حدود ۱۶,۸ مترمربع می‌باشد. این خانه از وضعیت نسبتاً مناسبی برخوردار بوده و از معدود نمونه‌های دوره آل‌مظفر می‌باشد که بخش‌های زیادی از آن باقی مانده و تناسبات اولیه خود را حفظ کرده است؛ چرا که در نمونه‌های دیگر، به‌دلیل تخریبات صورت گرفته یا دخل و تصرفات انجام‌شده، امکان دستیابی به تناسبات اولیه بنا امکان‌پذیر نمی‌باشد. از دوره قاجار نیز خانه شکوهی انتخاب شد که براساس تعریف مذکور (Memarian, 2013, p. 224)، خانه با پیمون بزرگ می‌باشد. مساحت حیاط این خانه ۳۷۸ مترمربع است که سبب شده به‌دلیل گسترش ابعاد حیاط مرکزی، تناسبات موجود میان حیاط و جداره‌ها نیز تغییر کند. لذا جهت پاسخگویی به سؤالات تحقیق و بررسی نقش تناسبات بر تعامل با اقلیم، خانه‌های یادشده انتخاب شدند.

شکل ۳: خانه کریمی

(Khademzadeh, 2008, p. 277)

www.SID.ir

Archive of SID

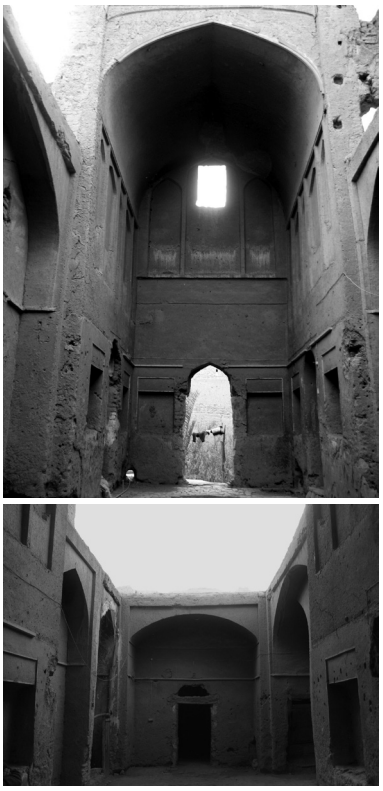
۸. معرفی نمونه‌های مورد مطالعه

۸- ۱- خانه کریمی

خانه کریمی یکی از خانه‌های دوره آل‌مظفر است که در محله شیخداد شهر یزد قرار دارد (شکل‌های ۱ و ۲، چپ). ورودی این خانه در ضلع شمال‌شرقی قرار دارد که با چرخش نود درجه به‌وسیله یکی از ایوانچه‌ها به حیاط مرکزی پیوسته است. حیاط، کوچک و مستطیل‌شکل بوده که با رون راسته ساخته شده و ایوان تابستان‌نشین در جبهه جنوب‌غربی و بخش زمستان‌نشین نیز در جبهه شمال‌شرقی قرار دارد. در دو ضلع دیگر حیاط ایوانچه‌هایی واقع شده‌اند که دسترسی را به برخی از فضاهای دیگر و پشت بام فراهم می‌کنند.

ایوان اصلی دارای هشت متر ارتفاع است که اختلاف ارتفاع زیادی را نسبت به بخش‌های دیگر خانه نشان می‌دهد. در پشت ایوان، باغی قرار داشته که بخشی از آن به‌صورت باغچه برجای مانده و صفه‌ای به ارتفاع تقریبی ۱/۵ متر، سطح ایوان و اتاق‌های مسکونی پیرامون را از سطح باغ بالاتر آورده است (شکل‌های ۴ و ۵). ایوان کوچک، که در جبهه شمال‌شرقی حیاط مرکزی واقع شده، دارای ارتفاع کمتری نسبت به ایوان اصلی است و در پشت آن اتاق دیگری قرار دارد که ورودی آن در اسپر ایوان کوچک قرار دارد (Khademzadeh, 2008, pp. 276 - 282).

شکل‌های ۴ و ۵: ایوان اصلی خانه کریمی



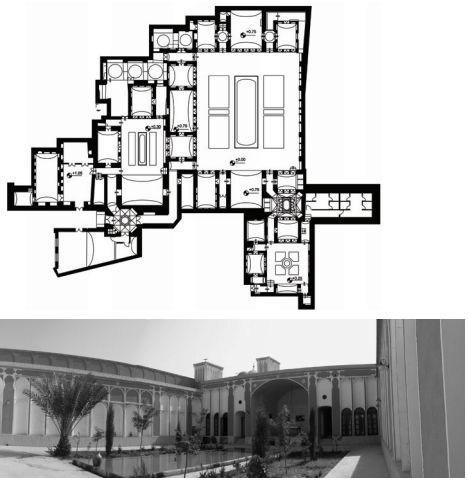
(Archive of Cultural Heritage, Handicrafts & Tourism Organization of Yazd province, 2005)

۸-۲- خانه شکوهی

این خانه یکی از آثار دوره قاجار است که در محله چهارسوق شهر یزد قرار دارد (شکل ۶). این خانه دارای چهار حیاط است که بزرگترین حیاط، در قسمت اندرونی است. در جبهه جنوب‌غربی آن تالار (تابستان‌نشین) و در جبهه مقابل اتاق پنج‌دری (زمستان‌نشین) قرار دارد (شکل ۷).

قسمت بیرونی دارای حیاط کوچکی است که دارای فضاهای تابستان‌نشین و زمستان‌نشین است. حیاط کوچک دیگری در قسمت بیرونی وجود دارد که در گذشته دسترسی به برخی از فضاهای جانبی مانند اصطبل از طریق آن امکان‌پذیر بود. خانه شکوهی دارای اتاق بادگیر به شکل هشت‌ضلعی است. در پشت این فضا حیاط نارنجستان قرار دارد که اتاق‌هایی در دو جبهه آن ایجاد شده‌اند.

شکل‌های ۶ و ۷: خانه شکوهی



(Archive of Cultural Heritage, Handicrafts & Tourism Organization of Yazd province, 2005)

۹. بررسی تعامل معماری مسکونی با انرژی خورشیدی

خانه ایرانی نیز با بهره‌گیری از فرم بناشده بر مستطیل، اولین تأکید را بر قابلیت‌های هندسی خود متذکر می‌شود و بر همین اساس با فیلتری نیمه‌باز به نام حیاط مرکزی فضای خانه را به دو بخش تابستان‌نشین (جنوبی) و زمستان‌نشین (شمالی) تقسیم می‌کند. به‌منظور بررسی تعامل معماری مسکونی منطقه یزد با انرژی خورشیدی مدل‌هایی متناسب با هر دو خانه آماده شد تا جداره‌های مختلف بررسی شدند. هر دو مدل، به‌دلیل این‌که با رون راسته ساخته شده‌اند، در زاویه ۱۳۵ درجه نسبت به شمال قرار گرفتند و نحوه تابش بر روی هر یک از جداره‌ها و کف حیاط بررسی شد.

www.SID.ir

Archive of SID

۹-۱- جداره رو به شمال‌شرقی (جبهه تابستان‌نشین)

جداره رو به شمال‌شرقی در هر دو خانه در ماه‌های گرم (اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور) در ساعات اولیه روز تا ظهر تحت تابش خورشید قرار می‌گیرد و پس از آن در سایه قرار گرفته که این روند تا پایان روز ادامه می‌یابد (جداول ۱ و ۲). اگرچه انرژی دریافتی این جداره نسبتاً زیاد است؛ اما در ساعات ابتدایی روز صورت می‌گیرد و در مواقع اوج تابش، که از ساعت ۱۱ تا ۱۴ می‌باشد، هیچ‌گونه تابشی را دریافت نمی‌کند. میزان انرژی دریافتی در این ماه‌ها، به‌طور میانگین، برای خانه کریمی ۳۴۹ w/m2 و خانه شکوهی ۷۵۷ w/m2 محاسبه می‌شود. بیشترین میزان دریافت انرژی نیز در ماه ژوئن صورت می‌گیرد که برای خانه شکوهی ۱۰۲۰ w/m2 و خانه کریمی ۹۴۹ w/m2 محاسبه می‌شود.

انرژی که خشت در طول روز جذب کرده است به مدت ۸ الی ۱۰ ساعت در آن باقی می‌ماند (Behyar, Parvandeh Khoozani, & Baqeri, 2002, p. 1). این انرژی در شب به تدریج از یک طرف دیوار به طرف دیگر آن و در نهایت به فضای داخلی انتقال می‌یابد. در نتیجه این انتقال، بخشی از گرمای مورد نیاز شب را برای ساکنان خانه فراهم می‌کند. این‌گونه انتقال حرارت برای مناطق گرم و خشک که اختلاف دمای بین شب و روز زیاد است مناسب می‌باشد (Balaras, 1996, p. 2). جداره رو به شمال‌شرقی در ماه‌های سرد سال (آبان، آذر، دی و بهمن) بیشتر ساعات در سایه قرار دارد و به‌جزء ساعات ابتدایی روز هیچگونه تابشی را دریافت نمی‌کند. اگرچه این دریافت در هر دو خانه با هم قابل مقایسه است، اما خانه کریمی به‌دلیل تناسب ایوان جنوب نسبت به جداره‌های دیگر، تابش بیشتری را دریافت می‌کند. با توجه به نمودارهای ۸ و ۹ این روند در ساعات ابتدایی روز صورت گرفته و با سایه‌اندازی مناسب خود از جذب انرژی در ساعات بحرانی ماه‌های گرم سال جلوگیری می‌کند. بدین ترتیب، می‌توان دریافت که در معماری سنتی ایران فرم مطلوب به وسیله عنصری به نام حیاط مرکزی ایجادشده که باعث تعریف خاصیت سایه‌اندازی می‌شود. میزان سایه‌اندازی به تناسبات سه بعد حیاط و زاویه چرخش بنا بستگی دارد. در حقیقت معماری سنتی ایران با ایجاد فرمی متناسب، معرف رفتاری خاص برای هر جبهه از ساختمان بوده است (Soheilifard et al., 2013, p. 77).

جدول ۱: تحلیل چهار جبهه از نماهای داخلی حیاط مرکزی خانه شکوهی

۹-۲- جداره رو به جنوب‌غربی (جبهه زمستان‌نشین)

نمای رو به جنوب‌غربی (زمستان‌نشین) در ماه‌های سرد دریافت نسبتاً خوبی دارد و مدت زیادی از طول روز تابش خورشید را دریافت می‌کند (جداول ۱ و ۲). اما این جبهه در خانه شکوهی عملکرد بهتری دارد؛ چراکه به‌دلیل تناسبات بهتر بین حیاط و جداره‌ها، مساحت بیشتری از این جبهه تابش را دریافت می‌کند که همین امر سبب جذب انرژی بیشتر و در نتیجه آسایش حرارتی بهتری شده است. بیشترین میزان انرژی دریافتی در مواقع سرد سال در ماه بهمن صورت می‌گیرد که برای خانه شکوهی ۱۱۳۹ w/m2 محاسبه می‌شود در حالی‌که برای خانه کریمی ۴۳۶ w/m2 محاسبه می‌شود که نشان‌دهنده دریافت بهتر این جداره در خانه شکوهی است.

www.SID.ir

Archive of SID

در روزهای زمستان، دیوارها انرژی حرارتی حاصل از تابش خورشید را که از طریق بازشوها وارد فضای داخل گردیده و محبوس شده است، در خود ذخیره کرده و سپس عصر هنگامی که خورشید غروب کرده و منبع حرارت حذف شده و نیاز به گرما در فضای داخلی بیشتر است، دوباره به آهستگی این حرارت را به فضای داخل بازپس می‌دهند. این امر موجب کاهش بار گرمایشی ساختمان می‌شود (Mohammad, 2013, p. 71). این فرآیند در خانه شکوهی بهتر خود را نشان می‌دهد، چرا که وجود اتاق پنج‌دری سبب نفوذ آفتاب به داخل اتاق شده که در شب آسایش بهتری را به‌همراه خواهد داشت. اما در خانه کریمی تنها بازشوی موجود، ورودی اتاق پشت صفه کوچک است. اگرچه به‌دلیل نبود داده‌های باستان‌شناسی نمی‌توان درباره کیفیت درب ورودی این اتاق اظهارنظر کرد، اما این احتمال وجود دارد که به‌وسیله شیشه امکان نفوذ آفتاب به داخل اتاق فراهم شده بود؛ چرا که استفاده از شیشه‌های رنگی امری رایج برای تزیین ساختمان بوده است (Katib, 1965, p. 203). در ماه‌های گرم سال جداره مذکور در شرایط عدم آسایش حرارتی قرار دارد زیرا، اگرچه تقریباً تا ساعت یازده در سایه قرار دارد، اما پس از آن در ساعات اوج تابش در منطقه یزد انرژی خورشیدی را دریافت می‌کند.

جدول ۲: تحلیل چهار جبهه از نماهای داخلی حیاط مرکزی خانه کریمی

۹-۳- جداره رو به شمال‌غربی (جبهه جنوب‌شرقی)

نمای رو به شمال‌غربی در تمام طول سال در شرایط عدم آسایش حرارتی قرار دارد. اگرچه تابش اندکی در خانه شکوهی بر روی این جداره صورت می‌گیرد، اما در ماه‌های سرد مدت زیادی از طول روز در سایه قرار داشته و هیچ‌گونه تابشی بر روی آن صورت نمی‌گیرد. در خانه کریمی نیز این جداره در ماه‌های سرد سال هیچ‌گونه تابشی را دریافت نمی‌کند.

در ماه‌های گرم نیز اگرچه در ساعات ابتدایی روز در سایه قرار می‌گیرد، اما پس از آن تحت تابش قرار گرفته و همین امر سبب جذب انرژی نسبتاً زیادی می‌شود. دلیل این امر را نیز می‌توان به‌دلیل دریافت نور شمال‌غرب دانست که در منطقه یزد به‌عنوان نور نامطلوب شناخته می‌شود (Jahanbakhsh & Esmaeilpoor, 2004, p. 38). به احتمال زیاد همین امر می‌تواند توجیه‌کننده نبود فضای مسکونی در جبهه جنوب شرقیِ خانه شکوهی باشد (جداول ۱ و ۲).

۹-۴- جداره رو به جنوب‌شرقی (جبهه شمال‌غربی)

نمای رو به جنوب‌شرقی، برخلاف نمای قبل، در تمام طول سال در شرایط مناسب آسایش حرارتی قرار دارد (جداول ۱ و ۲). این نما در ماه‌های سرد از ساعات ابتدایی روز تابش را دریافت می‌کند و تقریباً در طول روز ادامه می‌یابد. در ماه‌های گرم نیز تابش ساعات ابتدایی روز دریافت می‌کند که تا ظهر ادامه می‌یابد و پس از آن در ساعات اوج تابش در سایه قرار می‌گیرد. این امر نیز ناشی از دریافت نور جنوب‌شرق می‌باشد که در منطقه یزد به عنوان مطلوب‌ترین نور شناخته می‌شود (Jahanbakhsh & Esmaeilpoor, 2004, p. 31). این جداره در خانه شکوهی عملکرد بهتری را نسبت به خانه کریمی دارد چرا که در ماه فوریه/ بهمن در حدود ۱۶۰۰ w/m2 انرژی دریافت می‌کند درحالی‌که این مقدار برای خانه کریمی در حدود ۷۳۰ w/m2 می‌باشد. همین امر همراه با تابش مستمر در ماه‌های سرد سبب ایجاد آسایش حرارتی بهتری نسبت به نمونه آل‌مظفر می‌شود. اگرچه در طول ماه‌های گرم میزان انرژی دریافتی در خانه شکوهی بیشتر است اما این در ساعات ابتدایی روز صورت می‌گیرد و در ساعات اوج تابش در سایه قرار می‌گیرد (نمودارهای ۶ و ۷). در خانه شکوهی با ایجاد فضاهایی در این جبهه سعی شده است از نور جنوب‌شرق بهترین استفاده بشود اما در خانه کریمی ایوانچه‌هایی در جبهه شمال‌غربی وجود دارد که با توجه به وضع موجود نمی‌توان به وجود فضاهای دیگری مانند اتاق اشاره کرد. اما در برخی از خانه‌ها اتاقی را در پشت ایوانچه‌ها ایجاد می‌کردند که کارکردهای مختلفی داشتند؛ به‌طور مثال در خانه شیخ اسماعیل شهر میبد

www.SID.ir

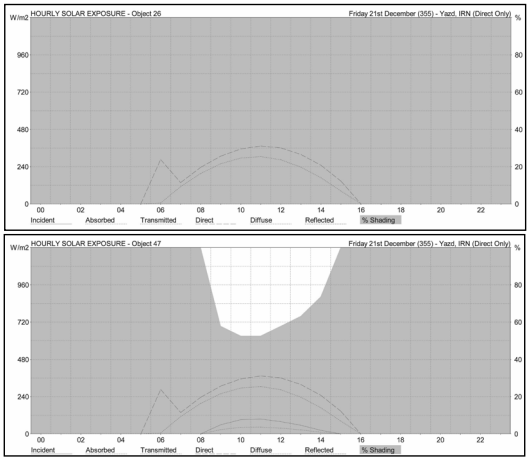
Archive of SID

وجود دوده سیاه بر دیوار و سقف و آثار و شواهد تنور بیانگر مطبخ‌بودن آن بوده و یا در خانه برونی و رفیعی‌ها وجود طاقچه‌های متعدد نشان‌گر جاری بودن زندگی در اوقات خاصی از سال بوده است (Zakerameli & Esfanjari Kenari, 2006, p. 202).

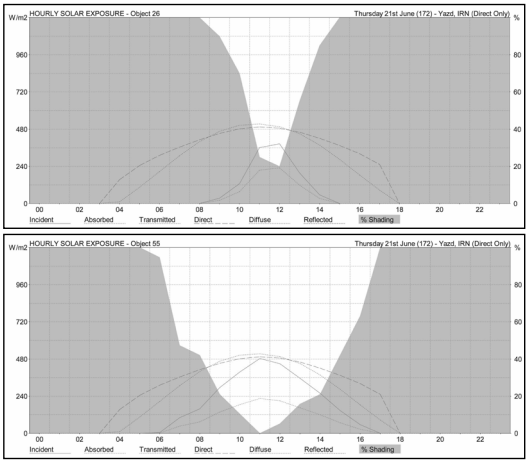
۹-۵- حیاط

حیاط مرکزی در مناطق اقلیمی گرم و خشک برای مدتی طولانی در معماری سنتی ایران مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه‌بر این‌که حیاط مرکزی، از لحاظ اجتماعی دارای اهمیت بود، خرداقلیمی را در داخل ساختمان ایجاد می‌کرد که کوچک، خنک و نمناک بوده و میزان انرژی درخواستی جهت خنک کردن ساختمان را کاهش می‌داد. این عنصر فضاهای معماری مختلف مانند درب‌ها و پنجره‌ها را سازماندهی می‌کرد که همه به‌سوی آن باز می‌شدند (Khalili & Amindeldar, 2014, pp. 172 - 173).

نمودارهای ۲ و ۳: میزان مواجهه با ساعت خورشیدی، حیاط مرکزی، اول دی ماه، خانه کریمی (بالا) و خانه شکوهی (پایین)



نمودارهای ۴ و ۵: میزان مواجهه با ساعت خورشیدی، حیاط مرکزی، اول تیرماه، خانه کریمی (بالا) و خانه شکوهی (پایین)

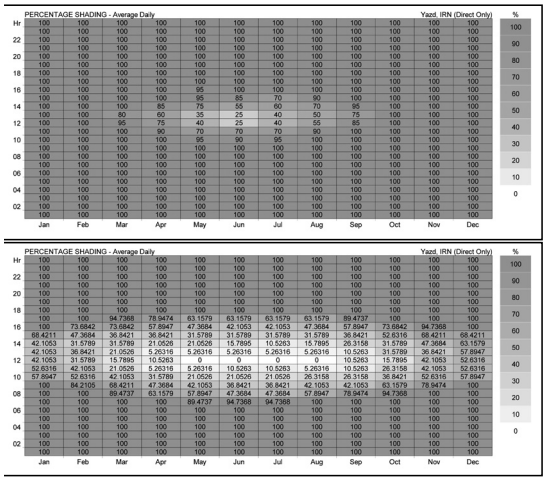


این فضا، در کنار سازماندهی فضاهای مختلف در پیرامون خود، با توجه به جریان گردش خورشید، سبب می‌شد تا بخش‌های مختلف خانه هر کدام به فصلی از سال اختصاص یابند و نوعی گردش فصلی در خانه ایجاد شود (Memarian, 2013, p. 16).

در مناطق گرم تدابیر مختلفی در زمینه کنترل انرژی تابشی در فضای بیرونی اندیشیده می‌شوند که استفاده از رنگ‌های روشن برای بدنه‌های خارجی، بهره‌گیری از سایه‌بان‌های مختلف و بهبود خصوصیات حرارتی مصالح به‌کار رفته در جداره‌ها، از جمله آن‌ها هستند. اما قبل از به کارگیری این تدابیر، آنچه بسیار حائز اهمیت است داشتن تناسبات مناسب فضاهای بیرونی نظیر حیاط‌ها است به گونه‌ای که بهترین عملکرد را در برابر شرایط تابش خورشید از نظر مواقع نیاز به سایه و بالعکس را دارا باشد (Taban, Pourjafar, Bemanian, & Heidary, 2013, p. 40).

حیاط در خانه کریمی در روز اول دی‌ماه (انقلاب زمستانی) هیچ‌گونه تابشی را دریافت نمی‌کند. این امر می‌تواند ارتباط مستقیمی با ابعاد آن و تناسبات جداره‌ها داشته باشد که از تابش خورشید جلوگیری می‌کنند (نمودار ۲).

جدول‌های ۳ و ۴: میزان سایه‌اندازی حیاط در طول سال خانه کریمی (بالا) و خانه شکوهی (پایین)



با توجه به نمودار ۸، این روند سایه‌اندازی برای ماه‌های سرد سال تکرار می‌شود. اگرچه در منطقه یزد طول دوره گرما بیشتر از سرما می‌باشد، اما بر مبنای نمودار اقلیم‌نمای آمبرژه، یزد در دسته نواحی با اقلیم خشک و سرد دسته‌بندی می‌شود (Sadeghi Ravesh, 2010, p. 90) که دارای زمستان‌های سرد و خشک بوده و استفاده از نور خورشید می‌تواند تا حدی از سرمای هوا بکاهد. خانه شکوهی، در روز اول دی‌ماه از ساعت ۹ صبح تابش را دریافت کرده که تا ساعت ۱۴ ادامه می‌یابد (نمودار ۳). با توجه به نمودارهای ۲ و ۳، حیاط در ماه‌های سرد سال (آذر، دی و بهمن) تابش را دریافت می‌کند که همین امر سبب گرم شدن تدریجی بخشی از فضای حیاط در طول

www.SID.ir

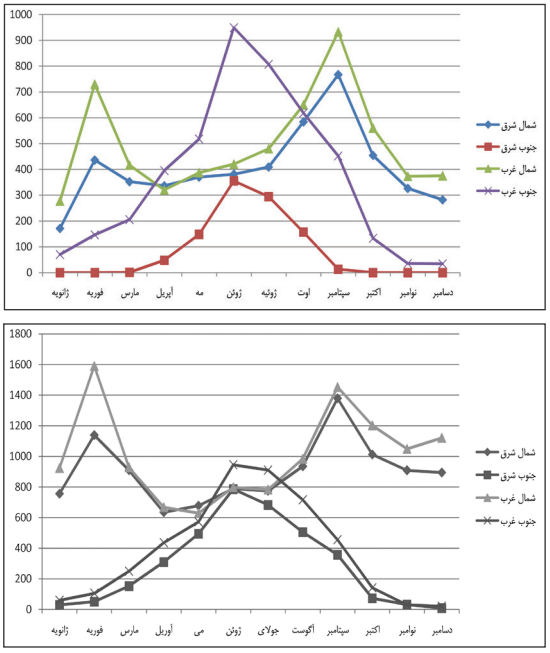
Archive of SID

روز می‌شد. این نتایج نشان‌دهنده عملکرد بهتر حیاط مرکزی در خانه شکوهی است؛ چرا که با دریافت بهتر تابش در ماه‌های سرد، آسایش حرارتی بهتری را به همراه دارد.

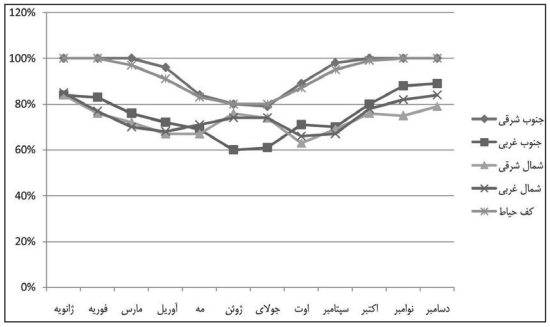
در روز اول تیرماه (انقلاب تابستانی) تابش بر حیاط خانه کریمی از ساعت ۹ صبح شروع و تا ساعت ۱۵ بعدازظهر ادامه می‌یابد (نمودار ۴). بیشترین میزان تابش در ساعت ۱۲ صورت می‌گیرد که فقط ۲۰ درصد از مساحت آن در سایه قرار دارد. این روند، با کمی اختلاف، برای تمام طول دوره گرما تکرار می‌شود (نمودار ۸). لازم به ذکر است که تغییر در جهت‌گیری خانه‌های دوره آل‌مظفر نیز تأثیر چندانی در میزان دریافت تابش حیاط در طول سال ندارد چرا که محاسبات نگارندگان بر روی خانه عبدالحسین رضا در روستای خویدک، که با رون اصفهانی ساخته شده، عملکرد مشابهی را برای آن نشان می‌دهد.

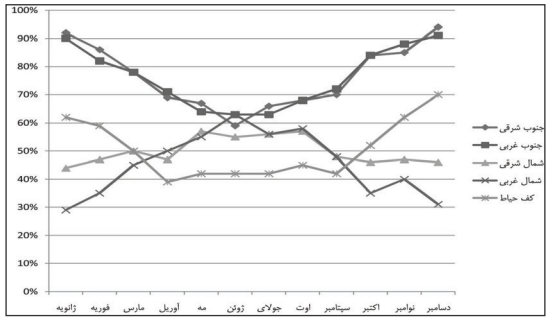
تابش در خانه شکوهی در روز اول تیرماه در تمام طول روز وجود دارد. بیشترین میزان تابش در ساعت ۱۱ اتفاق می‌افتد که تقریباً تمام سطح حیاط را در بر می‌گیرد (نمودار ۵). در ماه‌های گرم سال این روند ادامه می‌یابد و به‌دلیل تناسبات موجود بین حیاط و جداره‌ها در خانه شکوهی، تابش مساحت بیشتری را در بر می‌گیرد (نمودار ۹). اما سعی شده با کاشت درخت در فضای حیاط از میزان تابش مستقیم خورشید جلوگیری شود و با ساخت حوض آب، درجه حرارت هوا تعدیل شود. همچنین وجود بادگیر و فضاهای مرتبط با آن تا حد زیادی می‌توانستند شرایط آسایش حرارتی مناسبی را برای ساکنین فراهم آورند.

نمودارهای ۶ و ۷: میزان دریافت انرژی در چهار نمای داخلی، خانه شکوهی (بالا) و خانه کریمی (پایین)



نمودارهای ۸ و ۹: میزان سایه‌اندازی در چهار جبهه داخلی و کف حیاط، خانه کریمی (بالا) و خانه شکوهی (پایین)





۱۰. نتیجه‌گیری

اقلیم یکی از عوامل مهم در شکل‌گیری اصول حاکم بر معماری مسکونی منطقه یزد می‌باشد که در این بین انرژی خورشیدی نقشی تأثیرگذار را ایفا می‌کند؛ چرا که به‌دلیل وجود دوره طولانی گرما، طراحی معماری باید به‌صورتی باشد که در دوره گرما از دریافت تابش جلوگیری کرده و در دوره سرما از آن استفاده شود.

با توجه به تحلیل‌های به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که معماری مسکونی در هر دو دوره در تعامل با انرژی خورشیدی ایجاد شده‌اند؛ چرا که با لحاظ‌کردن جهت‌گیری مناسب در ساخت خانه‌ها باعث شده‌اند چهار جبهه نمای داخلی، به تناسب کاربری فضایی خود، انرژی دریافتی خورشید را در طول سال تقسیم کنند. بخش تابستان‌نشین با سایه‌اندازی مناسب خود از دریافت تابش در ساعات اوج جلوگیری و بخش زمستان‌نشین با دریافت مناسب خود در ماه‌های سرد بخشی از انرژی گرمایی مورد نیاز را فراهم می‌کند؛ اما این جبهه در خانه شکوهی عملکرد بهتری را نشان می‌دهد؛ چرا که ابعاد حیاط افزایش یافته و سبب افزایش مساحت این جداره و در نتیجه دریافت بیشتر انرژی خورشیدی در ماه‌های سرد شده است. همچنین حیاط نیز در ماه‌های سرد عملکرد بهتری را نشان می‌دهد چرا که، برخلاف خانه کریمی، بخشی از تابش خورشید را دریافت می‌کند که می‌توانست تأثیر مستقیمی بر ایجاد شرایط آسایش حرارتی داشته

www.SID.ir

Archive of SID

باشد.
از طرفی دیگر، افزایش وسعت حیاط امکان ایجاد خرداقلیم را در فضای داخلی خانه فراهم می‌کرد چرا که در فصل تابستان از تابش خورشید جلوگیری کرده و وجود حوض آب نیز باعث نمناک شدن فضای داخلی حیاط می‌شود. این امر می‌تواند نشان‌دهنده اهمیت خرداقلیم در خانه‌های شهر یزد و به طریق اولی مناطق کویری باشد چرا که در دوره‌های گرما، با سایه‌اندازی مناسب خود و نمناک‌کردن فضای داخلی حیاط، نقش مهمی در ایجاد شرایط آسایش ساکنین ایفا می‌کردند. همین امر سبب می‌شود که، با در نظرگرفتن مجموع شرایط، خانه شکوهی تعامل بهتری را با اقلیم گرم‌وخشک شهر یزد داشته باشد که ارتباط نزدیکی با فرم بنا و تناسبات موجود در آن دارد. این مسئله به‌دلیل افزایش مساحت حیاط و جداره‌ها و در نتیجه دریافت بهتر در ماه‌های سرد سال می‌باشد. این طرح می‌تواند به‌عنوان الگویی برای طراحان امروزی در نظر گرفته شود، چرا که آن‌ها می‌توانند با در نظر گرفتن تناسبات مناسب در بنا تعامل خوبی را با اقلیم ایجاد کنند که نقش زیادی در کاهش هزینه‌های ناشی از مصرف انرژی در ساختمان دارد.
نتایج این پژوهش نشان می‌دهد تناسبات نظام خرده‌پیمون، که در دوره آل‌مفظر رایج بوده، برای اقلیم منطقه یزد مناسب نمی‌باشد. از طرفی دیگر، اگرچه خانه با پیمون بزرگ می‌تواند سبب تعامل بهتر با انرژی خورشیدی شود، اما در مواقع طوفانی می‌توانست سبب ایجاد شرایط عدم آسایش حرارتی شود؛ چرا که سرعت باد در فضای داخلی حیاط مرکزی، در مقایسه با نظام خرده‌پیمون، افزایش می‌یابد و شرایط عدم آسایش حرارتی را سبب می‌شود. شاید بتوان خانه در پیمون کوچک را بهترین تناسب برای اقلیم یزد دانست با این وجود فرضیه مذکور نیاز به مطالعه و پژوهشی جداگانه دارد.
خرداقلیم در منطقه یزد نقش مهمی در ایجاد شرایط آسایش حرارتی دارد. این طرح می‌تواند به‌عنوان یک الگو برای طراحان در نظر گرفته شود تا در صورت امکان در طراحی‌های خود در اقلیم گرم‌وخشک لحاظ کنند. علاوه‌براین می‌توان به پتانسیل بالای نرم‌افزارهای شبیه‌ساز انرژی در زمینه مطالعه بناهای تاریخی از جنبه‌های گوناگون اشاره کرد؛ چرا که نتایج تحلیل‌ها دارای دقت زیادی بوده که با صرف زمان و هزینه کم به‌دست آمده است. این اصل در مورد بناهایی که بخشی از آن‌ها تخریب شده اما تناسبات موجود در آن‌ها باقی مانده اهمیت زیادی می‌یابد و می‌تواند در شناخت بهتر معماری دوره‌های مختلف کاربرد زیادی داشته باشد و از تجربه‌های گذشته برای طرح‌های امروز استفاده کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

References

- Ali, E.S.R., Mahjdoubi, L., & Khan, A. (2015). A Proposed Model for Building Energy Lighting Simulation. *Advances in Energy and Power*, 3(4), 96-98.
- Ali, S. R., Mahdjoubi, L., Khan, A., & Sohail, F. A. (2016). Comperative Study of Ecotect, EngeryPlus & DAIlux (Building Energy Lighting Simulation) Tools. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, 3(2), 3869-3873.
- Al-Tamimi, N.A.M., & Fadzil, S. F. S. (2011). Thermal Performance Analysis for Ventilated and Unventilated Glazed Rooms in Malaysia (Comparing Simulated and Field Data). *Indoor and Built Environment*, 20(5), 534-542.
- Archive of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism Organization of Yazd Province.
- Asfour, O.S., & Alshawaf, E.S. (2015). Effect of Housing Density on Energy Efficiency of Buildings Located in Hot Climates. *Energy and Buildings*, 91, 131-138.
- Balaras, C. A. (1996). The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods. Energy and Buildings, 24(1), 1-10.
- Behyar, M.B., Parvandeh Khoozani, A., & Baqeri, A. (2002). *Investigating the Factors Influencing the Choice of Building Materials for Optimal Energy Use*. In Proceedings of the 2nd Conference on Energy Conservation in Building, Tehran, Iran.
- Faizi, F., Noorani, M., Ghaedi, A., & Mahdavinejad, M. (2011). Design an Optimum Pattern of Orientation in Residential Complexes by Analyzing the Level of Energy Consumption; Case Study: Maskan Mehr Complexes, Tehran, Iran. *Procedia Engineering*, 21, 1179-1187.
- Ghiabakloo, Z. (2009). *Autodesk Ecotect Analysis*. Tehran: Jahad Daneshgahi Press.
- Ghobadian, V. (2014). *Climate Study of Traditional Iranian Buildings*. Tehran: Tehran University Press.
- Heidari, S., Pitts, A., & Sharples, S. (2000). Adaptive Comfort Behaviour in Iranian Courtyard Houses. *In World Renewable Energy Congress*, 710-713.
- Hensen, J.L. (2002). *Simulation for Performance based Building and Systems Design: Some Issues and Solution Directions*. In Proc. of 6th Int. Conf. on Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, TUE, NL.
- Jahanbakhs, S., & Esmaeilpoor, N. (2004). The Principles of Climatic Design in Residential Units of Yazd (Thermal and Light-permitting Regulation). *Journal of Territory*, 1(2), 5–18.
- Kanters, J., & Horvat, M. (2012). Solar Energy as a Design Parameter in Urban Planning. *Energy Procedia*, 30, 1143-1152.
- Kasmaei, M. (1984). *Climate and Architecture*. Building and Housing Research Center Press.
- Katib, A.B. (1965). *Tarikh-i Jadid-i Yazd, in Iraj Afshar (ed)*, Tehran: Farhang Iran Zamin Press.
- Khademzadeh, M.H. (2008). *Architecture of Yazd in the Muzaffarid Period*. Tehran: Hampa with Administration of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism.
- Khalili, M., & Amindeldar, S. (2014). Traditional Solutions in Low Energy Buildings of Hot-arid Regions of Iran. *Sustainable Cities and Society*, 13, 171-181.
- Lashkari, H., Moozermi, S., Solki, H., & Lotfi, K. (2011). Optimization of Orientation of Buildings in Ahwaz Based on Climatic Conditions. *Journal of Physical Geography*, 12, 45 – 62.
- Marsh, A. (2003). ECOTECT and EnergyPlus. *Building Energy Simulation User News*, 24(6), 2-3.
- Memarian, GH. (2008). *Iranian Residential Architecture: Intrinsic Typology*. Tehran: Soroush Press, Tehran, Iran.
- Memarian, GH. (2013). *Islamic Architecture of Iran*. Tehran: Naghmah Noandish Press.
- Mohammad, S. (2013). Evaluating the Thermal Performance of Wall Construction Materials; Case Study: Residential Buildings of Tehran. *HONAR-HA-YE-ZIBA*, 18(1), 69 – 78.
- Monshizadeh, R., Hoseini, S.E., Ojaghi, A., & Shabani, S.H. (2013). Thermal Comfort and the Effect of Building Height on the Urban Microclimate. Case Study of Tehran Municipality Street (between the Tajrish Square and Qods Field). *Management System*, 6(20), 109 – 126.
- Paramita, B., & Koerniawan, M.D. (2013). Solar Envelope Assessment in Tropical Region Building; Case Study: Vertical Settlement in Bandung, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 757-766.
- Qiaei, M., Mahdavinia, M., Tahbaz, M., & Mofidi, S.M. (2013). A Methodology for Selecting Applied Energy Simulation Tools in the Field of Architecture. *Hoviatshahr*, 7(13), 45-55.
- Razjouyan, M. (2009). *Comfort in the Shelter of Architecture Compatible with the Climate*. Tehran: Shahid Beheshti University Press.
- Razjouyan, M.N. (2000). *Comfort in the Wind Shelter*. Tehran: Shahid Beheshti University Press.

www.SID.ir

Archive of SID

- Sadeqi Ravesh, M.H. (2010). Evaluation of Effective Biological Climate Effects in Human Comfort, Case Study: Yazd City. *Physical Geography Research Quarterly*, 3(10), 77- 92.
- Saliqeh, M. (2004). Modeling of Climate-friendly Housing for Chabahar City. *Geography and Development Iranian Journal*, 4, 147 – 170.
- Shams Tabrizi, M., & Khoda Karami, M. (2010). A Study of Traditional Architecture Compatible with Cold Climate; Case Study: Sanandaj City. *Management System*, 10, 91- 114.
- Soheilifard, M., Akhtarkavan, H., Falahi, S., Akhtarkavan, M., & Mohammad Moradi, A. (2013). Examine the Interaction of Traditional Iranian Architecture Principles in Terms of Form, Orientation and Symmetry to the Solar Energy; Case Study: Abbasiyan House in Kashan. *Armanshahr Architecture & Urban Development Journal,* 6(11), 75 – 90.
- Taban, M., Pourjafar, M.R., Bemanian, M.R., & Heidary, S. (2014). Determining Optimal Courtyard Pattern in Dezful Traditional Houses by Relying on Shadow Analysis. *BAGH-e NAZAR Journal*, 10(27), 39-48.
- Yang, L., He, B.J., & Ye, M. (2014). Application Research of ECOTECT in Residential Estate Planning. *Energy and Buildings*, 72, 195-202.
- Zakerameli, L., & Esfanjari Kenari, E. (2006). *Muzaffarid Houses in Esfanjari Kenari*. E. (Ed.). Meybod a City that is. Tehran: Administration of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism.
- Zomorodian, Z.S., & Tahsildost, M. (2015). Validation of Energy Simulation Programs: An Empirical and Comparative Approach. *Iranian Journal of Energy*, 18(4), 115 – 132.

www.SID.ir