

## بررسی تعامل اصول معماری مسکونی دوره‌های آل مظفر و قاجار شهر یزد از منظر جهت‌گیری با انرژی خورشیدی\*

محمد ابراهیم زارعی<sup>۱</sup> - سید فضل‌اله میردهقان اشکذری<sup>۲\*</sup>

۱. استاد گروه باستان‌شناسی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.  
۲. استادیار گروه 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 آل مظفر و قاجار با انرژی خورشیدی از منظر جهت‌گیری پرداخته است. سؤالات مطرح‌شده عبارت‌اند از: ۱. آیا خانه‌های دوره‌های آل مظفر 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 تناسب میان حیاط مرکزی و جدارها ارتباط دارد و چگونه تناسب مذکور باعث این تعامل می‌شوند؟ بدین منظور، مدل سه‌بعدی خانه‌های کریمی (آل مظفر) 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 تناسب موجود در بنا دارد.

**واژگان کلیدی:** معماری مسکونی، انرژی خورشیدی، منطقه یزد، دوره آل مظفر، دوره قاجار.

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

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

## ۱. مقدمه

یزد دارای اقلیم گرم و خشک 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 به‌عنوان 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 شمال شرقی - جنوب غربی) و درصد کمی با رون اصفهانی (جهت‌گیری شمال غربی - جنوب شرقی) 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 آل مظفر 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 صغه کوچکی قرار داشت که جبهه زمستان‌نشین خانه را تشکیل می‌داد که از ارتفاع نسبتاً کمتری نسبت به صغه اصلی برخوردار بود. حیاط این نوع خانه‌ها مساحت کمی دارد. به‌طور مثال حیاط خانه محمد جوکار در روستای خویدک دارای ابعادی در حدود  $۳/۹۲ \times ۴/۶۰$  متر و خانه باقردستی  $۴/۱۰ \times ۴/۳۳$  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 مختل شدن 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 آل مظفر

دارند. همین امر موجب می‌شود تا تعاملات متفاوتی بین اصول معماری مسکونی رایج در دوره‌های آل مظفر 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 اخلاص 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. سهیلی فرد 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

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 & Esmailpoor, 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 تناسب میان حیاط مرکزی و جداره‌ها ارتباط دارد و چگونه تناسب 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

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 صورت گرفته 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 خرد اقلیم را بررسی کرده‌اند. پارامیتا و کورنیواوا (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.

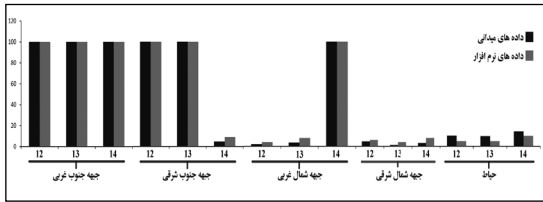
زمردیان و تحصیل‌دوست (۲۰۱۵) به ارزیابی دو نرم‌افزار اکوتکت و دیزاین بیلدر در پیش‌بینی میزان مصرف انرژی و دمای داخلی فضاها پرداخته‌اند. غیائی و همکاران (۲۰۱۳) به مقایسه برخی از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز انرژی پرداخته و اکوتکت و ای‌کوست را به عنوان نرم‌افزارهای مطلوب برای معماران انتخاب کرده‌اند. همچنین نتایج پژوهشی که توسط هسن 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)، التیمی 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 & Esmailpoor, 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

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



مقایسه نتایج به‌دست آمده با یکدیگر نشان می‌دهد که نرم‌افزار اکوتکت از اعتبار لازم در خصوص تابش انرژی خورشیدی برخوردار است؛ چرا که نتایج به‌دست آمده 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 آل مظفر 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 محدود نمونه‌های دوره آل مظفر 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 انجام شده، امکان دستیابی به تناسبات اولیه بنا امکان پذیر 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.

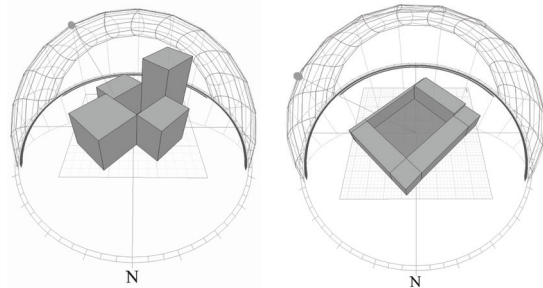
شکل ۳: خانه کریمی



(Khademzadeh, 2008, p. 277)

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) 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 مشخص شده 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 امکان پذیر 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 به‌دست آمده از نرم‌افزار نیز انجام و در نمودار مذکور اعمال شد.

## 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 بنا شده 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، به دلیل این که 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.

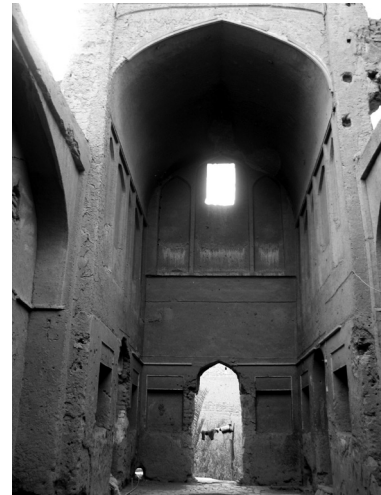
## ۸. معرفی نمونه‌های مورد مطالعه

### ۸-۱- خانه کریمی

خانه کریمی یکی از خانه‌های دوره آل مظفر 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)



### ۹-۳- جداره رو به شمال غربی (جبهه جنوب شرقی)

نمای رو به شمال غربی 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 به دلیل دریافت نور شمال غرب 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 شرقی خانه شکوهی باشد (جداول ۱ و ۲).

### ۹-۴- جداره رو به جنوب شرقی (جبهه شمال غربی)

نمای رو به جنوب شرقی، 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 ناشی از دریافت نور جنوب شرقی می‌باشد که در منطقه یزد به عنوان مطلوب‌ترین نور شناخته می‌شود (Jahanbakhsh & Esmaeilpoor, 2004, p. 31). عملکرد بهتری را نسبت به خانه کریمی دارد چرا که در ماه فوریه/ بهمن در حدود  $1600 \text{ w/m}^2$  انرژی دریافت می‌کند در حالی که این مقدار برای خانه کریمی در حدود  $730 \text{ w/m}^2$  می‌باشد. همین امر همراه با تابش مستمر در ماه‌های سرد سبب ایجاد آسایش حرارتی بهتری نسبت به نمونه آل مظفر 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 جنوب شرقی بهترین استفاده بشود اما در خانه کریمی ایوانچه‌هایی در جبهه شمال غربی وجود دارد که با توجه به وضع موجود نمی‌توان به وجود فضاهای دیگری پشت ایوانچه‌ها ایجاد می‌کردند که کارکردهای مختلفی داشتند؛ به‌طور مثال در خانه شیخ اسماعیل شهر میبد

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 صفا کوچک است. اگرچه به‌دلیل نبود داده‌های باستان‌شناسی نمی‌توان درباره کیفیت درب ورودی این اتاق اظهار نظر 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 تزئین 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

INCIDENT SOLAR RADIATION - Average Daily												Yearly IRN (Direct Only)	Winm <sup>2</sup>	
Hour	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec		
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	4.9097	27.5115	33.3884	38.5056	118.310	169.719	169.89	130.827	87.0477	19.1644	0	0	0	90
8	15.2497	56.9365	82.4042	126.442	176.442	186.988	150.786	120.166	42.4758	14.6281	0	0	0	120
6	49.2515	99.0996	86.8782	119.825	117.752	184.329	174.647	147.538	124.880	49.3013	20.2729	20.3569	0	60
4	0	0	0	106.36	95.2815	144.439	140.899	116.495	100.489	17.0019	0	0	0	30
2	0	0	0	0	11.4962	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yearly	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

INCIDENT SOLAR RADIATION - Average Daily												Yearly IRN (Direct Only)	Winm <sup>2</sup>	
Hour	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec		
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	11.9909	15.9943	30.0982	48.896	54.8944	42.9519	39.8413	56.3378	40.3477	12.4949	0	0	0	120
8	7.9209	24.4044	78.3885	53.7445	85.3054	55.2116	87.8741	122.011	119.114	37.3301	0	0	0	180
6	23.5377	123.278	116.429	68.6028	84.6086	68.0026	102.195	180.301	243.139	113.034	66.1192	35.7224	0	60
4	68.5448	182.096	54.092	39.6063	69.9912	48.9949	77.0349	67.1984	169.656	139.562	138.317	117.865	0	150
2	45.2658	71.9481	27.8151	12.0995	5.08838	0	0	4.52423	81.9917	101.28	78.9599	73.6887	0	120
0	13.4293	23.9981	0	0	0	0	0	0	0	33.7781	33.577	30.021	0	90
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.22487	0	4.32484	0	60
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yearly	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

INCIDENT SOLAR RADIATION - Average Daily												Yearly IRN (Direct Only)	Winm <sup>2</sup>	
Hour	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec		
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yearly	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

INCIDENT SOLAR RADIATION - Average Daily												Yearly IRN (Direct Only)	Winm <sup>2</sup>	
Hour	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec		
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yearly	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

این فضا، در کنار سازماندهی فضاهای مختلف در پیرامون خود، با توجه به جریان گردش خورشید، سبب می‌شود 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 به کار رفته در جداره‌ها، از جمله آن‌ها هستند. اما قبل از به کارگیری این تدابیر، آنچه بسیار حائز اهمیت است داشتن تناسب 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 تناسب جداره‌ها داشته باشد که از تابش خورشید جلوگیری می‌کند (نمودار ۲).

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

PERCENTAGE SHADING - Average Daily													Year: IRN (Direct Only)											
Hr	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
22	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
18	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
16	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
14	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
08	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
06	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
04	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
02	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec												

PERCENTAGE SHADING - Average Daily													Year: IRN (Direct Only)												
Hr	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
22	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
18	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
16	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
14	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
08	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
06	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
04	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
02	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec													

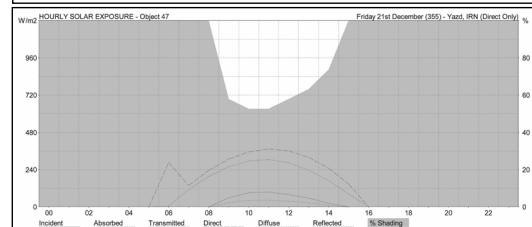
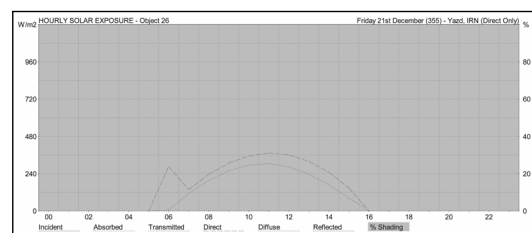
با توجه به نمودار ۸، این روند سایه‌اندازی برای ماه‌های سرد سال تکرار می‌شود. اگرچه در منطقه یزد طول دوره گرما بیشتر از سرما می‌باشد، اما بر مبنای نمودار اقلیم‌نمای آمبرژه، یزد در دسته نواحی با اقلیم خشک و سرد دسته‌بندی می‌شود (Sadeghi Ravesh, 2010, p. 90) که دارای زمستان‌های سرد و خشک بوده و استفاده 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

وجود دوده سیاه بر دیوار و سقف و آثار و شواهد تنور بیانگر مطبخ بودن 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).

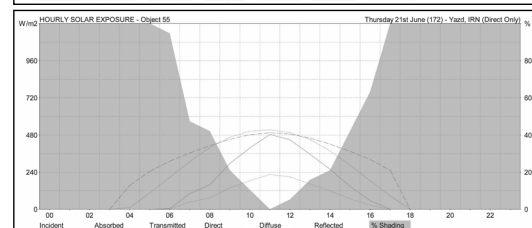
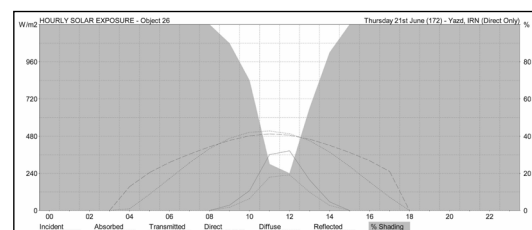
## ۹-۵- حیاط

حیاط مرکزی در مناطق اقلیمی گرم و خشک برای مدتی طولانی در معماری سنتی ایران مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر 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 دی‌ماه، خانه کریمی (بالا) و خانه شکوهی (پایین)

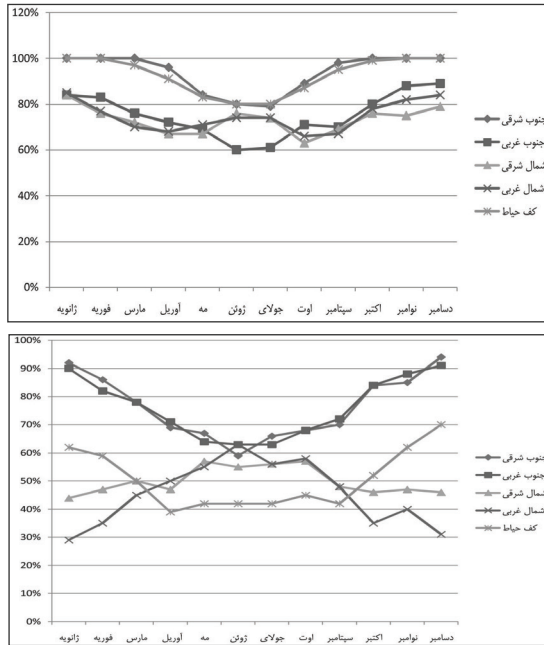


نمودارهای ۴ و ۵: میزان مواجهه با ساعت خورشیدی، حیاط مرکزی، اول تیرماه، خانه کریمی (بالا) و خانه شکوهی (پایین)





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



**۱۰. نتیجه‌گیری**

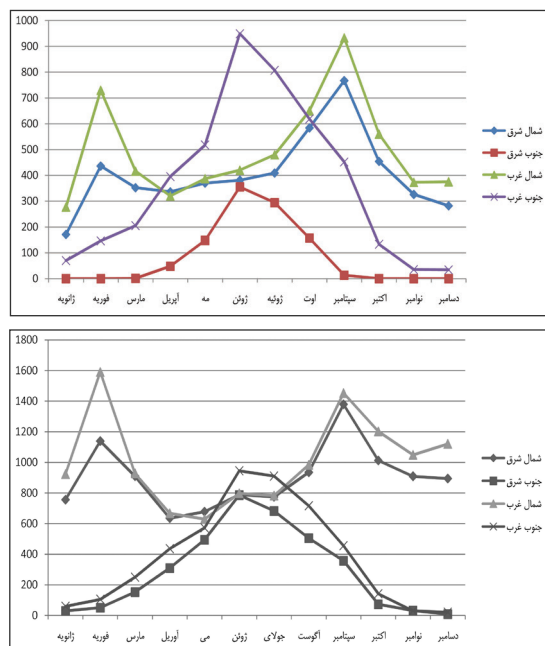
اقلیم یکی از عوامل مهم در شکل‌گیری اصول حاکم بر معماری مسکونی منطقه یزد می‌باشد که در این بین انرژی خورشیدی نقشی تأثیرگذار را ایفا می‌کند؛ چرا که به دلیل وجود دوره طولانی گرما، طراحی معماری باید به صورتی باشد که در دوره گرما از دریافت تابش جلوگیری کرده و در دوره سرما از آن استفاده شود. با توجه به تحلیل‌های به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که معماری مسکونی در هر دو دوره در تعامل با انرژی خورشیدی ایجاد شده‌اند؛ چرا که با لحاظ کردن 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

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 به دلیل تناسب 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)**



باشد.

از طرفی دیگر، افزایش وسعت حیاط امکان ایجاد خرداقلیم را در فضای داخلی خانه فراهم می‌کند 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 نمناک کردن فضای داخلی حیاط، نقش مهمی در ایجاد شرایط آسایش ساکنین ایفا می‌کردند. همین امر سبب می‌شود که، با در نظر گرفتن 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 به دلیل افزایش مساحت حیاط و جداره‌ها و در نتیجه دریافت بهتر در ماه‌های سرد سال می‌باشد. این طرح می‌تواند به عنوان 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 آل‌مفطر 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 به عنوان یک الگو برای طراحان در نظر گرفته شود تا در صورت امکان در طراحی‌های خود در اقلیم گرم‌وخشک لحاظ کنند. علاوه بر این 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 به دست 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.

## 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). Comparative Study of Ecotect, EnergyPlus & DAllux (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., Parvande 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., & Mahdavejad, 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.

- 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 ECOTECH 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.

# Investigating the Interaction between the Residential Architecture Principles in Muzaffarids and Qajar Eras in Yazd from the Perspective of the Solar Energy Orientations\*

Mohammad Ibrahim Zare'ei<sup>a</sup>– Sayed Fazlollah Mirdehghan Ashkezari<sup>b\*\*</sup>

<sup>a</sup> Professor of Archaeology, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

<sup>b</sup> Assistant Professor of Iranian Studies, Faculty of Humanities, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran (Corresponding Author).

Received 04 April 2016; Revised 01 August 2016; Accepted 20 August 2016; Available Online 22 September 2019

## ABSTRACT

Yazd is one of the country's regions with the arid and hot climate in which the solar irradiation plays an important role in the formation of its residential architecture. The present article uses a historical-comparative method to investigate the interaction between the principles of residential architecture's principles governing the houses during Muzaffarids and Qajar Eras with the solar energy from the perspective of orientation. The questions raised herein are: 1. have the houses been formed based on the interaction with solar energy during Muzaffarids and Qajar Eras? 2. In which period of time and for what reasons the residential architecture shows a better interaction with the solar energy? 3. Is the better interaction with climate associated with the proportions between the central yard and the walls and how the aforementioned proportions cause such an interaction? To do this research, 3D models were constructed for Karimi House (Muzaffarids) and Shokuhi House (Qajar) in the environment of ECOTECH Software and the climatic data of Yazd were utilized in simulation operation. Then, the models were analyzed based on a corresponding solar protractor and the behavioral trends of the houses; they were subsequently expanded to the longest and shortest days of the year. The results indicate that the proper orientation has caused the apportionment of solar energy during the entire year between all the four fronts. The summerside parts have favorable shades during the hot months of the year and the winterside parts provide part of the thermal energy through receiving a good deal of light during the cold months of the year; but, this front was found having a better performance in Shokuhi house because the development in the dimensions of the yard causes an increase in the area of this wall enabling it to receive more energy. Moreover, the yard in Shokuhi House has a better performance during the cold months. The increase in the yard's vastness gives the possibility of creating microclimate in the interior spaces of the house and this is accompanied by pleasant comfort. Thus, it can be stated that the residential architecture of both periods has been created subject to the interaction with the solar energy but Shokuhi House has better interaction with the climate in Yazd and this is closely associated with the present proportions in the building.

**Keywords:** Residential Architecture, Solar Energy, Yazd Region, Muzaffarids Era, Qajar Era.

\* The present article is an excerpt from Ph.D. dissertation by the second author under the title of "residential architecture in Yazd during Muzaffarids (Ilkhanate) Era; case study: rural Khavidak houses" under the supervision of the first author in archaeology department of art and architecture faculty, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

\*\* E-mail: s.mirdehghan@basu.ac.ir

## 1. INTRODUCTION

The weather is arid and hot in Yazd and it exerts a large deal of effect on the principles governing the region's residential architecture. In this region, there are two critical cold and hot seasons with the latter being longer than the former. Amongst the various climatic factors, sun always plays an important role in the creation of thermal comfort for the residents and, due to the same reason, the architects try to use different methods for creating the best interaction with this source of energy in various periods because the buildings should be architecturally designed so that the intensity of the solar irradiation can be reduced in line with providing the residents with thermal comfort during the days of the hot seasons of the year, i.e. May, June, July, August and September, and the sunlight can be put into practical use during the days of the cold months, i.e. November, December, January and February (Kasmaei, 1984, p. 206).

Houses' orientation was one of the principles selected for the correct use of the sunlight. In line with this, a great percentage of the houses have been constructed with perpendicular postures (northeast-southwest orientation) and a few percentages of them were built with Isfahani sides (northwest-southeast orientation) and this has had a large effect on the creation of thermal comfort because buildings' orientation is one of the important factors in determining the amount of sun irradiation received. In the hot climates, the minimum solar energy is needed hence the building has to be oriented towards a direction that the least irradiation could be received. In the cold seasons, as well, the building's orientation has to be in such a way that the intensity of irradiation on the walls could be maximized and it could be possible for the sun rays to enter into the interior spaces (Lashkari, Moozermi, Solki, & Lotfi, 2011, p. 49).

The MuzaffaridsEra's houses in the Yazd region had courtyards with elevated porches towards the summerside front and the heights reached eight meters in some samples. On the opposite side of them, there was a small platform that formed the winterside front of the house and it was less elevated in contrast to the primary platform. The yards of these houses had a small area. For example, the yard of Muhammad Jawkar's house in Khavidak Village features a dimension of about  $4.60 \times 3.92$  meters and Bagherdashthi House's yard is about  $4.33 \times 4.10$  meters. This same issue caused the impossibility of creating microclimates inside the houses through planting of trees and construction of water ponds because it would otherwise disrupt the daily activities of the residents.

In spite of enjoying an identical orientation, Qajar Era's houses are largely different from the MuzaffaridsEra's specimens in some of the cases like the relatively equal heights of the summerside front to the other fronts, vaster dimensions of the courtyards and creation of microclimates through planting of trees and

construction of water ponds. These same issues caused the different interactions between the architectural principles commonly used in the residential buildings of Muzaffaridsand Qajar Eras. In the present study, through simulating the case studies of each era, it was tried to analyze their interactions with solar energy in an objective way and close-to-reality manner.

## 2. STUDY BACKGROUND

The interaction between architecture and climate is one of the highly important issues dealt with in various studies. The book "climatic investigation of Iran's traditional buildings" is one of the works that introduces the various climates in Iran and investigates their effects on the traditional architecture (Ghobadian, 2014). The book "comfort by the support of a climate-compliant architecture" expresses the scientific principles and foundations in various chapters and the awareness of them is necessary as a basic knowledge for those who work with climate-compliant designing (Razjouyan, 2009). The book "comfort by protection from the wind", as well, deals with the role of these factors in providing comfort to the human beings or disordering of it in the external and internal environments of the buildings and it is of a great importance in climatic terms (Razjouyan, 2000). The book "climate and architecture" deals with the investigation of the conditions in each of the Iranian cities based on the statistical data and offers a psychrometric table based thereon. The book is a source of information that can be used as scales in the preliminary calculations (Kasmaei, 1984). Taban et al. (2013) used simulation software packages to determine the optimum pattern of the central yard in the traditional houses in Dezful.

Nowadays, the use of simulator has gained a lot of importance in designing buildings and the method of their interactions with climate. The most important advantage of such software packages is their savings in time and costs of designing and proper use of them can lead to the creation of a design that interacts with the climate in the best possible way and enables the provisioning of the comfortable conditions with the lowest cost due to the proper use of the capacities of each climate (Qiae, Mahdavinia, Tahbaz, & Mofidi, 2013, p. 46). Some of the researchers have used ECOTECH Software in their studies. Sohailifard et al. (2013) studied the interaction of Abbasian House in Kashan with solar energy. Yang et al. (2014) attained important findings in the designing stage and suggested a model having the best interaction with the studied' region's climate through paying attention to the environmental factors and analyzing some of the factors like building orientation, natural ventilation and night and day lighting and this enabled the availability of the best thermal comfort with the lowest amount of energy consumption. Asfour and Al-Ashouf (2015) studied the effect of the density of the residential units in energy

productivity in the buildings in consideration of the hot climatic conditions. The numerical analysis performed in the environment of the ECOTECT's simulator software demonstrates that energy productivity in the residential buildings is directly associated with their density. Fayyazi et al. (2011) investigated the effect of building orientation on the thermal comfort in various Mehr Housing Complexes in Tehran. Monshizadeh et al. (2013) examined the effect of microclimatic factors on the thermal and environmental comfort in the urban spaces and their relationship with the buildings' heights as walls influencing the microclimate. Paramita and Kourniavan (2012) dealt with the exploration of the relationship between the sun's irradiation and the building's orientation and latitudes in Bandung, Indonesia. Canters and Herawat (2012) investigated the relationship between the optimum use of solar energy and the building's geometrical form in Lund in the southern part of Sweden.

Zomorrodian and Tahsildoust (2015) dealt with the evaluation of two Software Packages, named ECOTECT and Design Builder, for the prediction of the amount of energy consumption and the internal temperature of the spaces. Ghia'ei et al (2013) compared some of the energy simulation software packages and chose ECOTECT and ICOST as the optimum software packages for the architects. Furthermore, the results of the research by Hensen (2002) indicate that ECOTECT is one of the widely used simulation software applied by architects in the US.

In some of the studies, as well, the software's validation has been conducted amongst which the researches by Ali et al. (2016), Ali et al. (2015), Al-Tamini and Fazil (2011) and Marsh (2003) can be pointed out.

### 3. RESEARCH THEORETICAL FOUNDATION

The sun irradiation status in the Yazd region has transformed it into an important issue in regard of the climate-based designing of the buildings (Jahanbakhsh & Esmaeilpoor, 2004, p. 38) and this has had a large deal of effect on the formation of the residential architecture from various perspectives. Buildings' orientation is one of the principles selected by the architects according to the required thermal, sanitary and psychological conditions for achieving the highest practical use of the sunlight because this principle can determine the amount of sun irradiation absorption. Due to the same reason, the building designers calculate the sun's irradiation flux for various hours of the day and different days of the year considering the changes in the sun irradiation's place and angle to choose an orientation for the building so that the amount of the absorbed irradiation does not give rise to the extreme heat in the building (Shams Tabrizi & Khodakarami, 2010, p. 100) because the extreme irradiation of the sun into the internal rooms should be prevented during the hot occasions and, conversely, it has to

be usable during the cold occasions (Jahanbakhsh & Esmaeilpoor, 2004, p. 30).

Simulation software packages are amongst the instruments by means of which the interaction between architecture and the region's climate can be investigated. These software packages create virtual environments so as to make it possible for the building's functional predictions to be close to the reality as much as possible (Qiaei et al., 2013, p. 46). "ECOTECT is one of the simulator software packages and a comprehensive energy, light and sound analysis instrument that can perform the corresponding analyses in a completely graphical environment by means of 3D models that are either made in the environment of the program or constructed in the other software packages and inserted into the program which is capable of offering the related numerical and visual analyses in the form of table, diagram, image and/or animation. Amongst the notable attributes of this software, the ability of performing all of the drawing stages, calculations and results' analyses in the program's environment and carrying out the modifications and re-running the calculations without any wastage of time and in a simple way can be pointed out (Ghiabaklou, 2009, p. 9).

In this article, the architectural principles of the residential buildings in Yazd region during Muzaffarids and Qajar Eras were investigated in terms of interaction with solar energy by means of ECOTECT simulator software and, as it was mentioned in the previous section, the software is widely applied by the architects (Hensen, 2002, p. 6).

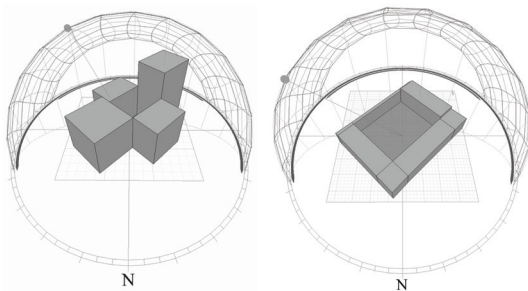
### 4. STUDY QUESTIONS

1. Are the houses from Muzaffarids and Qajar Eras formed based on the interaction with solar energy?
2. In which period and for what reason the residential architecture shows a better interaction with solar energy?
3. Is the better interaction with the climate associated with the proportions of the courtyard and walls and how do the aforementioned proportions cause such an interaction?

### 5. STUDY METHOD

The present study has been conducted through a historical-comparative method based on the field investigations and notes to investigate the residential architecture principles governing the houses in the Muzaffarids and Qajar Eras in Yazd. To do so, a house was selected from each of the Muzaffarids and Qajar Eras and the 3D model of each of them was prepared in the ECOTECT Software Environment (Figs. 1 & 2). The climatic data of Yazd, as well, were inserted into the simulation operation and all of the calculations for the solar energy adsorption and reception were carried out based on the climatic information of Yazd Region

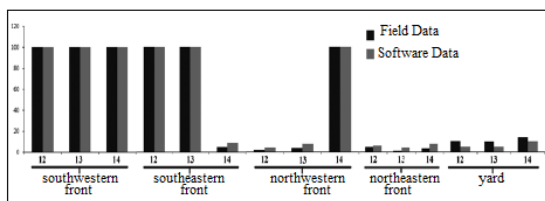
during the recent 30 years in consideration of the longitudes and latitudes (31.9° of the northern latitude and 54.3° of the eastern longitude) and elevation from sea level (1230m). In addition, the climatic data were inserted into the model in the form of 2TMY. "These data were calculated based on the Sandia Method by Abd Al-Salam Ibrahim Pour and introduced to the energy department of the US" (Soheilifard, Akhtarkavan, Fallahi, & Mohammad Moradi, 2013, p. 77). Then, the prepared model was matched with solar protractor and the behavioral trends of the houses were analyzed in the course of year on an hourly basis. These investigations were generalized to the longest and the shortest days of the year (summer revolution and winter revolution). The constructional materials used in the walls were considered to be sun-dried bricks with conductance coefficient of 0.711w/m.k and specific heat of 838.80J/kg.k. The wall's thicknesses were set at 900mm and 500mm respectively for Karimi House and Shokuhi House. It is worth mentioning that the reflectance from the other fronts does not have any effect on the results.



**Figs. 1 & 2. 3D Models of Shokuhi (Right) and Karimi (Left) Houses**

## 6. SOFTWARE VALIDATION

In order to validate ECOTECT software, the field calculations were carried out in Shokuhi House. The reason for selecting this house was the access to the investigated sample which was not possible for Karimi House. In line with the validation of the software, the amount of shading by the walls in the central yard was investigated for three days, 26th to 28th of July, at 12:00 A.M., 01:00 P.M. and 02:00 P.M. Then, the mean rates of the various walls' shading were calculated at each hour and presented in chart 1. This process was also performed for the information obtained from the software and displayed in the foresaid diagram.



**Chart 1. Comparison of the Data Obtained from Field Note-taking and ECOTECT Software**

Comparison of the obtained results with one another shows that ECOTECT Software has the required validity for the calculation of the solar energy irradiations because the results obtained from the software trivially differ from the results obtained from the field investigations with the difference being less than 5% in the majority of the cases and this is reflective of the ECOTECT Software's high accuracy.

## 7. THE REASONS FOR SELECTING THE STUDY SAMPLES

One of the important goals of the present article is the comparison of the various kinds of courtyard's behaviors with respect to the dimensions and proportions in the two studied eras' houses that have been constructed in such an arid and hot climate as Yazd. Due to the same reason, Karimi House was selected from Muzaffarids Era. Based on the Pirniya's definition (Memarian, 2013, p. 226), Karimi House is a building with a micro-module system and a courtyard reaching to the area to about 16.8 square meters. The house enjoys a relatively suitable situation and it is amongst the few Muzaffarids Era houses that many parts of which have been left intact and presenting unchanged preliminary proportions and it is not possible to access the preliminary proportions of the building in the other samples due to the destructions or the changes and repairs.

Shokuhi House was also selected from Qajar Era and the house features a macro-level module considering the aforementioned definition (Memarian, 2013, p. 224). The yard reaches to 378 square meters in area and the expansion of the dimensions of the courtyard has caused changes in the present proportions between the yard and the walls. So, the abovementioned houses were selected for finding answers to the study questions and investigate the role of proportions in the interaction with the climate.



**Fig. 3. Karimi House**  
(Khademzadeh, 2008, p. 277)

## 8. INTRODUCING THE STUDIED SAMPLES

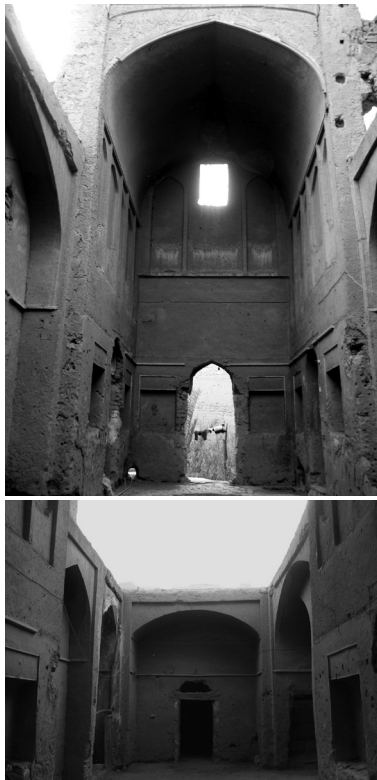
### 8.1. Karimi House

Karimi House is a building from Muzaffarids Era and it is situated in Sheikhdad Neighborhood in Yazd (Figs. 1 & 2, Left Side). The house's entry is located on the



northwestern side of the building which is connected to the courtyard in a 90-degree turn through one of the small porches. The yard is small and rectangular and it has been built with a perpendicular posture; the summerside porch is positioned on the southwestern side and the winterside, as well, is on the northeastern side. On the other two sides of the yard, small porches have been placed that enable access to some other spaces and roof.

The main porch has eight meters height that shows a large elevation difference with respect to the other parts of the house. Behind the porch, there has been a garden part of which is still remaining and a platform, approximately 1.5 m in height, has caused the elevation of the porch and the peripheral residential rooms' floors from the garden level (Figs. 4 & 5). The small porch that is situated in the northeastern side of the courtyard enjoys a lower elevation as compared to the main porch and there is another room behind it with its entry door being located in the shield frame of the small porch (Khademzadeh, 2008, pp. 276-282).



**Figs. 4 & 5. Main Porch of Karimi's House**  
(Archive of Cultural Heritage, Handicrafts & Tourism  
Organization of Yazd Province, 2005)

## 8.2. Shokuhi House

This house is one of the monuments dating back to the Qajar Era and it is positioned in Chaharsough Neighborhood in Yazd (Fig. 6). The house has four yards the largest of which is in the innermost part of the house. The summerside hall is situated in the southwestern front of the house and there is a five-door

room for winterside on the opposite front (Fig. 7).

The exterior part of the house contains a small yard enjoying summerside and winterside spaces. There is another small yard in the external part that made it possible to have access to some of the lateral spaces like stable. Shokuhi House has an octagonal wind-catching room behind which there is an orangery with rooms on its both fronts.



**Figs. 6 & 7. Shokuhi House**  
(Archive of Cultural Heritage, Handicrafts & Tourism  
Organization of Yazd Province, 2005)

## 9. INVESTIGATING THE INTERACTION BETWEEN THE RESIDENTIAL ARCHITECTURE AND SOLAR ENERGY

Enjoying the rectangular forms of construction, the Iranian house showcases the emphases on its geometrical capabilities. Based thereon, it uses a semi-open filter, named central yard, to divide the house's space into two parts of summerside (southview rooms) and winter-stay (northview rooms). To investigate the interaction between residential architecture in Yazd region with solar energy, models were prepared with consideration of the proportions in both of these two houses so that the various walls can be investigated. Both of the models were in a 135-degree angle with respect to the geographical north due to the fact that they have been built with a perpendicular posture. Also, the irradiation on each of the walls and yard's floor was investigated.

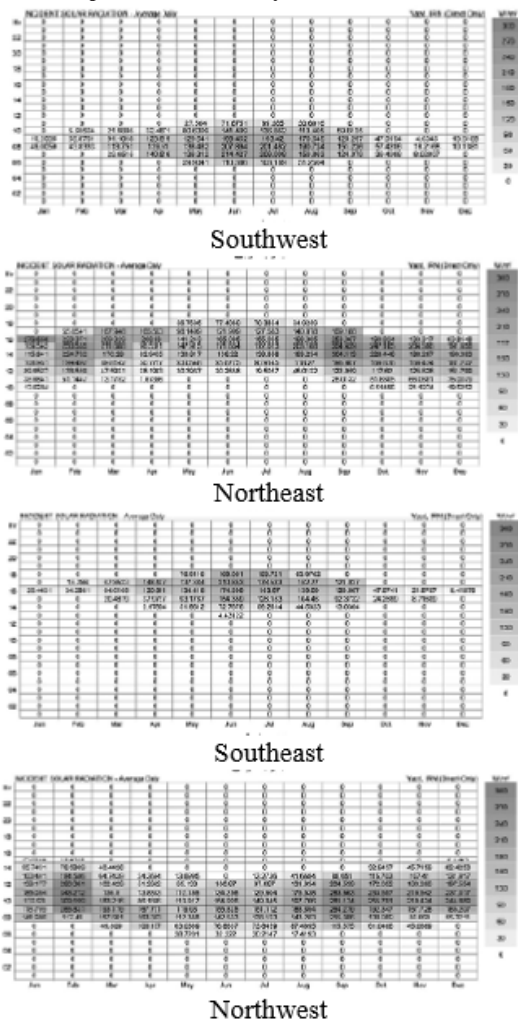
### 9.1. The Wall Facing the Northeastern Side (Summer-Stay Front)

The wall facing the northeast in both of the houses is subjected to sun irradiation during the hot months (May, June, July, August, & September) from the early morning hours till noon and it goes under shadow till the end of the day (Tables 1 & 2). Although the energy received by this wall is relatively high, it takes place during the early morning hours and it stops receiving any irradiation in the peak hours, i.e. from 11:00 A.M.

till 02:00 P.M. The amounts of energy received during the aforesaid months in Karimi and Shokuhi Houses are 349 w/m<sup>2</sup> and 757 w/m<sup>2</sup> on average, respectively. The highest amount of energy, as well, is received during June for 1020 w/m<sup>2</sup> for Shokuhi House and 949 w/m<sup>2</sup> for Karimi House.

The energy adsorbed by sun-dried bricks during the day would be kept therein for about 8 to 10 hours (Behyar, Parvaneh Khoozani, & Baqeri, 2002, p. 1). The energy is transmitted gradually from one side of the wall to the other side during the night as a result of which the residents are provided with part of the heat required for the night. Such a type of heat transfer is appropriate for the arid and hot regions wherein the temperatures largely differ between day and night (Balaras, 1996, p. 2).

**Table 1. Analyses of the Four Fronts from Internal Viewpoints of the Courtyard in Shokuhi House**



The wall facing the northeast is in shade during the cold months (November, December, January and February) for most of the hours and it does not receive any irradiation except during the early morning hours. Although the reception is comparable in both of the

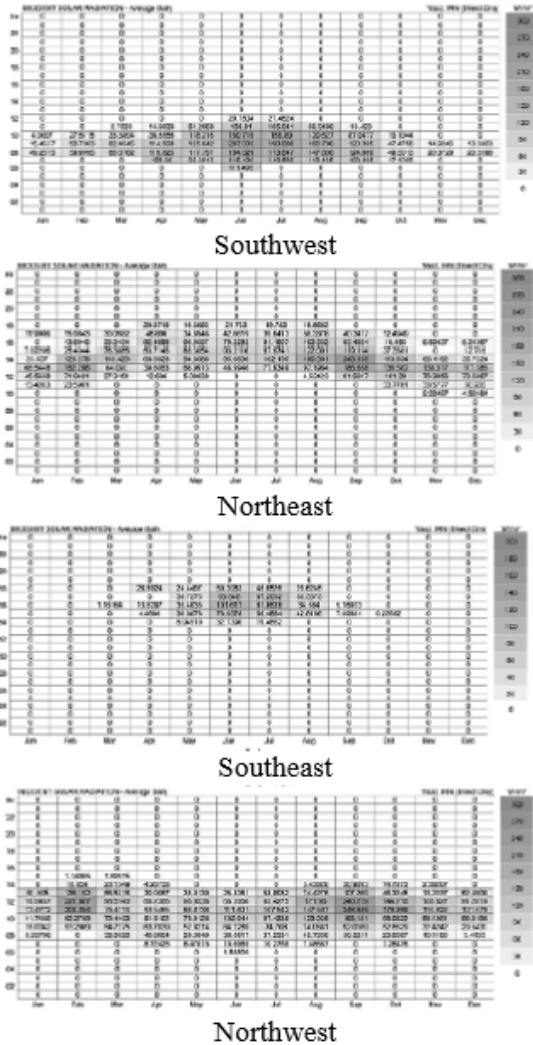
houses, Karimi House receives more irradiation due to the proportion of the southern porch in contrast to the other walls. According to charts 8 and 9, this trend holds during the early morning hours and the proper shading by the wall prevents the energy adsorption during the critical hours of the hot months of the year. This way, it can be discerned that the favorable form is created by an element named courtyard in the traditional architecture of Iran that gives a special definition for shading. The amount of shade depends on the proportions of the three dimensions of the yard and the building's rotation angle. In fact, Iran's traditional architecture creates a proportionate form that is indicative of a special behavior for every front of the building (Soheilifard et al., 2013, p. 77).

**9.2. Wall Facing the Southwest (Winterside Front)**

The wall facing the southwest (Winterside) receives a relatively good deal of sunlight during the cold months for a long period during the day (Tables 1 & 2). But, the front was found having a better performance in Shokuhi House because a greater area of the front receives irradiation due to the better proportion between the yard and the walls and this same issue causes the absorption of more energy hence more thermal comfort of the residents. The highest amount of energy received during the cold belongs to February in Shokuhi House for an amount of 1139 w/m<sup>2</sup> whereas it was calculated 436 w/m<sup>2</sup> for Karimi House and this is reflective of the better reception of the sunlight by the wall in Shokuhi house.

On winter days, the walls store the thermal energy received from the sun irradiation and entered and captured through the openings and subsequently give it slowly back to the interior spaces with the sunset and upon the elimination of the heat source when the need for heat is increased in the interior spaces of the house. This causes a reduction in the heating load of the building (Mohammad, 2013, p. 71). The process was found showing off better in Shokuhi House because the existence of a five-door room causes the infiltration of the sun into the interior spaces of the room that would be accompanied by better comfort at night. But, in Karimi House, only the extant opening is the room entry door in the backside of the small platform; however, no exact idea can be expressed about this room due to the absence of archaeological data but it is deemed quite likely that the sunlight could enter the room through the glasses because the use of the colorful glass for buildings' decoration had been completely customary (Katib, 1965, p. 203). During the hot months of the year, the aforementioned wall has been under thermally uncomfortable conditions and, though it is in the shade almost till 11:00 AM, it receives sun irradiation during peak hours in Yazd Region.

**Table 2. Analyses of the Four Fronts from Internal Viewpoints of the Central Yard in Shokuhi House**



**9.3. The Wall Facing the Northwest (Southeast Front)**

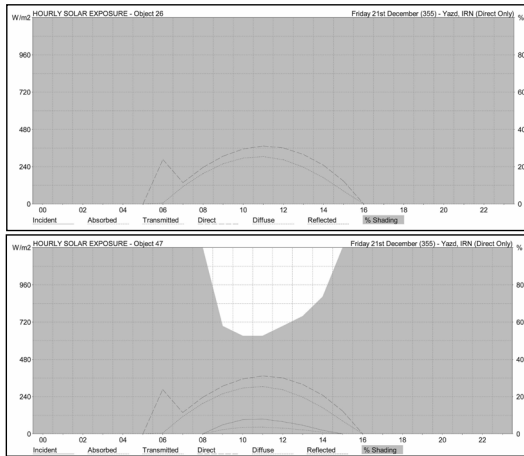
The wall facing the northwest is in thermally uncomfortable conditions during the entire year. Although it receives little irradiation in Shokuhi House, it is in the shade during the cold months for a long time of the day and receives no irradiation. In Karimi House, as well, the wall does not receive any irradiation during the cold months of the year. During the hot months, as well, although it is in the shade during the early morning hours, it is subjected to the irradiation afterwards and this same issue causes the absorption of a relatively high amount of energy for such a reason as the reception of light from the northwest that is recognized as unfavorable light in Yazd Region (Jahanbakhsh & Esmaeilpoor, 2004, p. 38). This same issue is more likely to have been the cause of the absence of any residential spaces in the southeastern front in Shokuhi House (Tables 1 & 2).

**9.4. The Wall Facing the Southeast (Northwest Front)**

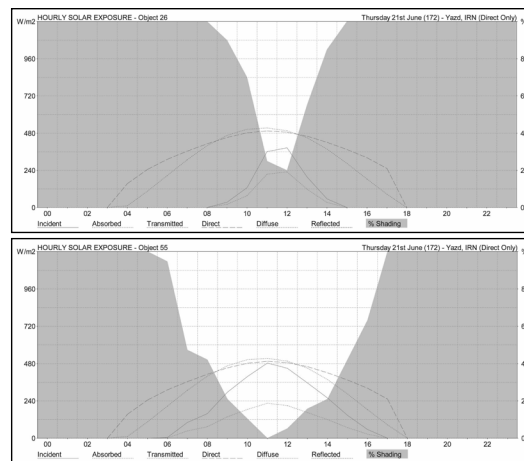
The wall facing the southeast, unlike the formerly described one, is in thermally favorable conditions during the entire length of the year (Tables 1 & 2). This wall receives irradiation during the cold months from the early hours of the day and it remains the whole day. In hot months, as well, the wall receives the early morning hours' irradiation that is continued till noon and it subsequently goes under the shade during the peak hours. This issue comes about due to the reception of the light from the southeast side which is recognized as the most favorable light in the Yazd Region (Jahanbakhsh & Esmaeilpoor, 2004, p. 31). This wall has a better performance in Shokuhi House than in Karimi House because it receives about 1600w/m2 energy during February whereas the energy absorption rate is about 730w/m2 in Karimi House. This same issue along with the constant irradiation during the cold months causes the creation of a better thermal comfort in comparison to the Muzaffarids sample. Although Shokuhi House receives more energy during the hot months, it mostly occurs during the early morning hours and the wall is in the shade during the peak irradiation hours (Charts 6 & 7). In Shokuhi House, the creation of spaces in this front serves the utmost utilization of light from the southeast but there are small porches in the northwest front in Karimi House and, considering the current status, the existence of the other spaces seems to be not so much worth of mentioning. However, in some of the houses, a room was created in the backside of the small porches that served different functions; for instance, in Sheikh Ismail House in Maibod, the existence of black soot on the wall and ceiling and the existence of an earthen oven are suggestive of the fact that it has been a kitchen; or, the existence of the numerous shelves in Boruni and Rafi'ei's Houses are indicative of the vitality during certain hours of the year (Zakerameli & Esfanjari Kenari, 2006, p. 202).

**9.5. Yard**

The courtyard was used in the arid and hot climate for a long time in Iran's traditional architecture. Additionally, this courtyard was of great importance in social terms for it created a microclimate inside the building that provided cold and humid air and reduced the amount of energy required for chilling the building. This element organized the various architectural spaces like doors and windows all of which were opened thereto (Khalili & Amineldar, 2014, pp. 172-173).



**Charts 2 & 3. The Hours of the Courtyard's Exposure to the Sunlight on the 1st of January in Karimi House (Top) and Shokuhi House (Bottom)**



**Charts 4 & 5. The Hours of the Courtyard's Exposure to the Sunlight on the 1st of July in Karimi House (Top) and Shokuhi House (Bottom)**

Alongside with the organization of the various spaces around it, this space caused the various parts of the house to be dedicated to a season of the year considering the sun's movement in the sky and a sort of seasonal movement had been created in the houses (Memarian, 2013, p. 16).

In hot regions, various strategies were employed for controlling the irradiative energy in the exterior spaces amongst which the use of the bright colors for the external bodies, application of shades of various kinds and improvement of the thermal properties of the masonry utilized in the walls can be pointed out. But, before putting these strategies into the practical use, the important thing has been the proper proportion of the exterior spaces like yards in such a way that they could have the best performance in regard of the sun's irradiation in terms of the occasions that shade was needed and vice versa (Taban, Pourjafar, Bemanian, & Heidary, 2013, p. 40).

The yard in Karimi House does not receive any irradiation on the first of January (winter revolution). This can have a direct relationship with its dimensions and proportions of the walls that prevented the irradiation of the sun (Chart 2).

**Tables. 3 & 4. The Amount of Shading in Yard During the Year in Karimi House (Top) and Shokuhi House (Bottom)**

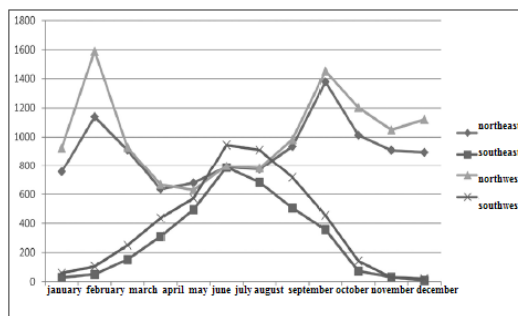
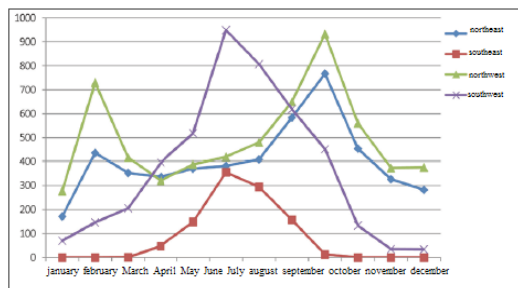
PERCENTAGE SHADING - Average Daily													Yazd IRN (Direct Only)												%
Hour	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
22	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
18	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
16	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
14	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
08	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
06	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
04	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
02	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
Jan	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
Feb	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
Mar	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
Apr	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
May	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
Jun	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
Jul	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
Aug	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
Sep	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
Oct	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
Nov	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
Dec	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		

According to chart 7, this shading trend is repeated for the cold months of the year. Although the length of the hot period is larger than the cold period in the Yazd Region, Yazd should be categorized based on the climatological chart of Amberg as a region with arid and cold climate (Sadeghi Ravesh, 2010, p. 90) for it has cold and dry winters and the use of sun can somewhat reduce the coldness of the air. Shokuhi House receives irradiation on the 1st of January from 09:00 A.M. and it is continued till 02:00 P.M. (Chart 3). According to charts 2 and 3, the yard receives irradiation during the cold months of the year (December, January and February) and this same issue causes the gradual heating of part of the yard's space during the day. These results are reflective of the better performance of the central yard in Shokuhi House because it is followed by better thermal comfort with the better reception of irradiation during the cold months.

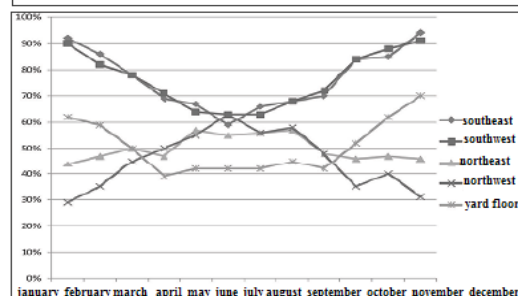
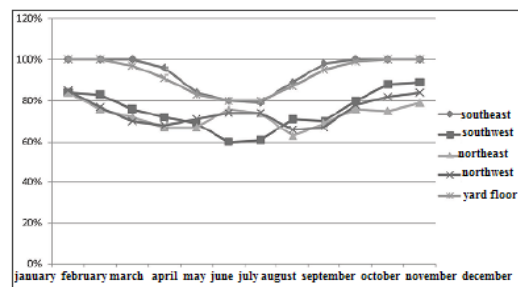
On the first day of July (summer revolution), the irradiation on the yard in Karimi House begins from 09:00 A.M. and continues till 03:00 P.M. (Chart. 4). The highest amount of irradiation occurs at 12:00 at noon that only 20% of the yard's area is shaded. This trend is repeated with a little difference for the entire length of the hot period (Chart 8). It is worth mentioning that the change in the orientations of Muzaffarids Houses, as well, has not had much of an effect on the amount of the irradiation received by the yard during the year because the authors' calculations on Abd Al-Hussein Reza's House in Khavidak Village that has been built based on Isfahani Posture also

show a similar performance for it.

Irradiation lasts in Shokuhi House on the first of July for the entire length of the day. The highest amount of irradiation occurs at 11:00 A.M. and it encompasses almost the entire level of the yard (Chart 5). The trend is continued for the hot months of the year and, due to the proportions present between the yard and the walls in Shokuhi House, the irradiation is stretched over a larger area (Chart 9). But, the planting of trees in the yard's space has probably been for the purpose of preventing the direct sun irradiations and the water pond in the middle has surely been serving the moderation of the temperature. Moreover, the existence of the wind-catchers and the spaces connected to them could largely provide the residents with appropriate thermal comfort conditions.



**Charts 6 & 7. The Amount of the Energy Received By All of the Four Internal Fronts; Shokuhi House (Top) and Karimi House (Bottom)**



**Charts 8 & 9. The Amount of Shading in All of the Four Internal Fronts; Karimi House (Top) and Shokuhi House (Bottom)**

## 10. CONCLUSION

Climate is one of the important factors in the formation of the principles governing the residential architecture in Yazd region; in between, the solar energy plays an influential role since, due to the existence of long hot periods, the architectural designing should be in such a way that the irradiation be blocked during the hot seasons and it can be practically applied in cold periods.

According to the analyses, it can be concluded that the residential architecture of both periods has been developed in the interaction with the solar energy because considering the appropriate orientation in building the houses, they have caused that in proportion to their spatial landuse, four internal fronts divide the solar energy received during the year. The summerside space prevents the irradiation reception during the peak hours with its proper application of walls' shading and the winterside space provides the building with part of its required thermal energy during the cold months of the year through its appropriate reception of sufficient amount of irradiation but this front exhibits better performance in Shokuhi House because the yard's aspect have been increased and cause an increase in the area of the front as a result of which more solar energy is received during the cold months of the year. Moreover, yard, unlike the Karimi House, performs better in this house because it receives part of the sun's irradiation that could have had a direct effect on the creation of thermal comfort conditions.

On the other hand, the increase in the yard's area provided the creation of a microclimate in the internal spaces of the house for it prevented the sun's irradiation during summer and the existence of a water pond, as well, caused the humidification of the interior spaces of the yard. This can be reflective of the importance of microclimate in the houses in Yazd and generally desert regions. That is because it played an important role in the creation of the comfortable conditions for the residents during the hot periods through providing proper shading and humidifying the interior spaces of the yard and this same issue has caused Karimi House to have a better interaction with the arid and hot climate in Yazd considering the entire conditions; it is additionally closely associated with the building's form and the proportions present therein. This is due to the increase in the yard's and the walls' areas and as a resultant, a better reception during the cold months of the year. The above-described plan can be utilized by the today's designers as a pattern because they can consider the proper proportions of the building so as to create a good interaction with the climate that plays a considerable role in reducing the costs stemming from energy consumption in the building.

The results of the present study indicate that the proportions of the micro-module system that was commonly practiced in Muzaffarids period do not fit Yazd region's climate. On the other hand, although the houses built with large modules can provide better interaction with solar energy but this could contrarily cause thermally uncomfortable conditions

during the storm occasions because the wind speed in the internal space of the central yard is increased as compared to the micro-module system and this results in thermally uncomfortable conditions. The houses built with small modules can be possibly considered as providing the best proportions for Yazd's climate; however, the aforesaid assumption needs separate study and research.

Microclimate in Yazd region plays an important role in the creation of thermal comfort. This plan can be taken into account as a pattern by the designers who can apply it in their architectural designing of the buildings in similar climates. Furthermore, the high

potentials of the energy simulation software packages can be also taken into consideration for the study of the historical buildings from various perspectives because the results of the analyses feature high accuracies and are obtained through spending relatively large deal of time but small costs. This principle becomes very much important for the buildings, parts of which have been destroyed but having their previously extant proportions still remaining. The study of them can be greatly helpful in the better recognition of the architectural styles of the various periods and the past experiences can be employed for today's designs and plans.

## 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., Mahjdoubi, L., Khan, A., & Sohail, F. A. (2016). Comparative Study of Ecotect, EnergyPlus & DIALux (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., Parvande 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.

- 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.