بررسی تعامل اصول معماری ایرانی و انرژی خورشیدی از منظر فرم، تقارن و جهت‌گیری، نمونه موردی: خانه‌ی عباسیان کاشان

تاریخ دریافت: ۹۱/۱/۲۲
تاریخ پذیرش نهایی: ۹۱/۴/۲۵

مهدی سهیلی فرد* - حمید اخترکاوان - سلوا فلاحی*** مهدی اخترکاوان**** - اصغر محمد مرادی*****

چکیده

در این نوشتار سعی بر آن است تا ورای آنچه که به عنوان اصول پایداری در معماری سنتی ایران مطرح می‌شود، نظام قانونمند مسلط بر معماری ایرانی که نمودی فاخر از توجه به انطباق با مسائل اقلیمی و استفاده‌ی بهینه از انرژی خورشیدی است را با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز انرژی نظیر اکوتکت[۱]، سولار تولز[۲] و وِدِر تولز[۳] تحلیل کرده و به بیان نتایج به زبان گرافیک بپردازد. در پژوهش حاضر بر اساس داده‌های اقلیمی تهیه شده به روش ساندیا، ابتدا میزان دریافت انرژی خورشیدی عناصر مختلف خانه‌ی عباسیان کاشان مورد تحلیل واقع شده و سپس عملکرد معماری ایرانی در نحوه‌ی ایجاد برهم‌کنش میان جهت‌گیری، فرم و تقارن با خورشید بررسی گردیده است. ابزارهای اصلی تحلیل در این پژوهش شامل نرم‌افزارهایی نظیر اِکوتکت آنالیز[۴]، رویت[۵] و اِسکتچ‌آپ[۶] می‌باشند. به گونه‌ای که عملیات تعیین زون‌های حرارتی نمونه در نرم‌افزار رویت و مدل‌سازی در نرم‌افزار اِسکِتچ‌آپ انجام می‌گیرد. محاسبات تابش خورشیدی در انواع مستقیم و پراکنده نیز در اِکوتکت انجام گرفته است. همچنین، مطالعات خورشیدی با استفاده از ریزنرم‌افزارهای هماهنگ با اِکوتکت، نظیر سولار تولز و وِدِر تولز صورت گرفته است. نتایج این تحقیق، نشان خواهد داد که عناصر خانه‌ی ایرانی، متناسب با زندگی انسان در طول سال، میزان دریافت حرارت را بر مبنای عملکرد فضاها در شمال و جنوب، شرق و غرب، به صورتی متعادل توزیع کرده و خانه‌ی ایرانی را به عنوان سامانه‌ای هماهنگ با حرکت خورشید، معرفی می‌نماید. بنابراین، می‌توان این گونه نتیجه گرفت که سامانه‌ی حرارتی خانه‌ی ایرانی برگرفته از اصولی است که نه تنها موجب ایجاد نظامی هماهنگ در ساختار معماری سنتی ایران شده است، بلکه تعریف کننده‌ی مسیری است که بنای ایرانی هماهنگی خود را با محیط (در جهت آسایش انسانی) اثبات می‌نماید.

واژگان کلیدی: معماری ایرانی، خانه‌ی عباسیان کاشان، انرژی خورشیدی، شبیه‌سازی انرژی، توزیع حرارت.

* دانشجوی کارشناسی معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران.
** دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران، ایران.
*** دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
**** استادیار معماری، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران (نویسنده مسئول).
Email: m_kavan@kashanu.ac.ir
***** استاد مرمت، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران.

مقدمه

از زمان تاریخ زیست بشر خورشید همواره نقش خود را در زندگی و آسایش انسانی به اثبات رسانیده است. حضور انرژی این منبع عظیم در سکونت‌گاه‌های انسانی به عنوان نعمتی بی‌پایان مطرح بوده و برخلاف آن چه که در اغلب معماری معاصر یافت می‌شود، به وضوح می‌توان تأثیر خورشید را در معماری بومی سبک‌های مختلف و در زمان‌های متفاوت، مشاهده نمود. به‌طوری‌که هر یک با استفاده از اصولی منحصر به دوره‌ی خود زمینه‌ساز محیطی پایدار در تعامل با خورشید بوده‌اند. ایرانیان نیز با تکیه بر تمدن شگرف خویش و تجربه زندگی در سرزمینی متشکل از فصول متفاوت، با تعریف اصولی خاص، زمینه‌ی افزایش کیفیت زندگی را فراهم آوردند و معماری ایرانی را به عنوان شکلی متکامل از مجموعه پاسخ‌های مبتنی بر استفاده از منابع طبیعی ارائه کرده‌اند؛ بنابراین، کشف این نظام قانونمند مسلط بر معماری ایرانی که نمودی فاخر از توجه به مسائل اقلیمی و استفاده‌ی بهینه از انرژی خورشیدی است، از اهداف اصلی این پژوهش تلقی می‌گردد که متأسفانه در معماری امروزی کشور مغفول مانده و نیازمند بازخوانی و بازآموزی است. از این رو، انگاره اصلی این تحقیق آن است که با بازخوانی و بازآموزی تعامل اصول معماری ایرانی و انرژی خورشیدی می‌توان حلقه گمشده معماری اقلیمی گذشته و معماری امروز را یافت؛ بنابراین، اصلی‌ترین سؤالات پژوهش حاضر به صورت زیر در نظر گرفته شد:

۱. چگونه می‌توان تعامل معماری ایرانی و خورشید را به صورت عینی بررسی نمود؟
۲. چگونه می‌توان عملکرد معماری ایرانی را در ساعات مختلف سال و موقعیت‌های متفاوت در برابر خورشید تحلیل نمود؟

پاسخ به این سؤالات، هدف اصلی این پژوهش در نظر گرفته شد. در تحقیق حاضر سعی بر آن خواهد بود تا با بهره‌گیری از علم شبیه‌سازی، تعامل میان معماری ایرانی و انرژی خورشیدی با دقت ساعت در طول سال مورد تحلیل واقع شود و نتایج به صورت داده‌های گرافیکی، در مسیر عینیت یافتن رفتار خانه‌ی ایرانی، ارائه گردد.

۱. مروری بر ادبیات موضوع

مروری بر ادبیات موضوع نشان می‌دهد تحقیقات گسترده‌ای در زمینه‌ی تعامل معماری سنتی تمدن‌های مختلف با خورشید و عملکرد مثبت معماران گذشته انجام پذیرفته است. به عنوان مثال می‌توان به تحقیق «نحوه‌ی تأثیر تناسبات بر میزان دریافت خورشیدی و انرژی مورد نیاز اقلیم معتدل در حیاط مرکزی‌های شهر رم» (Muhaisen & Gadi, 2006) اشاره کرد. نمونه‌ی دیگری از مطالعات انجام‌شده «بررسی بومی راهبُردهای معماری بناهای سنتی دیاربِکر» (Baran, 2011) در ترکیه است که راه‌حل‌های اقلیمی معماری منطقه را مورد بررسی قرار داده و قابلیت بناهای سنتی را از جهت مدرنیزه شدن مورد تحلیل قرار داده است. تحقیق «انتخاب رفتار آسایشی در حیاط مرکزی خانه‌های ایرانی» (Heidari, 2000) نیز تحقیق دیگری است که به بررسی روند تجربی زندگی در خانه ایرانی و جابه‌جایی انسان میان فضاهای مختلف به جهت دستیابی به آسایش پرداخته است. در هند و در شهر کرالا نیز پژوهشی با عنوان «بررسی شرایط آسایش حرارتی بخش مسکونی سنتی شهر کرالا بر پایه‌ی برآورد ساکنین سنتی و بناهای مدرن» (Dili, 2010) انجام یافته است و در آن تأثیرات عواملی چون رطوبت نسبی، جریان باد و دما بر آسایش حرارتی بحث شده است. نتایج مستخرج از این پژوهش، حاکی از آن است که در این شهر نوع طراحی سنتی جهت فراهم کردن آسایش حرارتی کاملاً پاسخ‌گو بوده و رضایت ساکنین بناهای سنتی بیش از ساکنین ساختمان‌های مدرن در همان منطقه است. پژوهش «بررسی تغییرات فصلی منطقه‌ای دماهای خنثی در خانه‌های بومی سنتی نپال» (Rijal, 2010) تحقیق دیگری است در این زمینه. در این مقاله، پژوهشگران برای هر منطقه میزان تغییراتی را مد نظر قراردادند که در اقلیم مورد بحث موجب عدم آسایش گشته بود، حال آنکه خانه‌های سنتی در مناطق مورد بررسی، با ایجاد رفتاری خنثی نسبت به همان تغییرات، موجبات ایجاد آسایش و رضایت ساکنین را فراهم آورده است.

از بررسی پژوهش‌های انجام‌شده به طور کلی، نتایجی این‌چنین به دست می‌آید:

* معماری بومی هر بخش از کره‌ی زمین بنا بر اقلیم حاکم در آن منطقه، دارای ویژگی‌هایی است که در ایجاد آسایش حرارتی نقش اساسی دارند؛
* قابل‌انعطاف بودن بنا، در برابر تغییرات خورشید، بر اساس اعمال خصوصیاتی چون تناسبات، فرم، مصالح و جهت‌گیری میسر می‌شود؛
* این خصوصیات نمایانگر اصالت و دقت معماری سنتی هر بخش است که به تناسب با قدمت معماری آن منطقه کیفیت و عملگرایی خود را اثبات می‌کند.

تمامی پژوهش‌های فوق‌الذکر نمایه‌ای از اثبات عملگرایی معماری بومی در فراهم کردن آسایش حرارتی بودند که به صورت تئوری بر همگان روشن است. بررسی‌های حاضر همگی تأکیدی تئوری بر عملکرد مناسب معماری گذشته دارند. با این وجود، هر چند در بخش معماری ایرانی نیز تحقیقات جامعی نظیر «اقلیم و معماری» (Kasmai, 2003) و«اقلیم و معماری ایران» (Shaterian, 2011) انجام یافته است. کتاب «اقلیم و معماری» به بررسی شرایط هر یک از شهرهای

ایران بر اساس داده‌های آماری می‌پردازد و جداول سایکرومتریک را بر همین مبنا ارائه می‌دهد. عملاً این کتاب مرجعی از اطلاعات عددی است که می‌تواند معیار محاسبات اولیه‌ای نیز قرار گیرد. کتاب «اقلیم و معماری» نیز بر همین منوال اطلاعات جغرافیایی را در مورد شهرها ارائه می‌دهد و رویکردهای اقلیمی در اقالیم چهارگانه‌ی ایران را به بحث می‌گذارد. با این وجود، بررسی رفتار معماری ایرانی به صورت عینی و نزدیک به واقعیت، خلاء موجود در میان پژوهش‌های این گونه است. همواره رویکردهای معماری بناهای سنتی به صورت شفاهی بر تمام اهل فن آشکارا روشن گشته است، اما بررسی عینی تأثیر این اصول بر کیفیت زندگی پوشیده و مبهم مانده است. لذا، تحقیق حاضر بر آن خواهد بود تا نمایشی علمی - بر مبنای شبیه‌سازی انرژی- و عینی از تأثیرات اصول یک معماری خاص، بر آسایش انسانی را ارائه دهد و در این راستا، با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز انرژی، رفتار بناهای سنتی معماری ایرانی را به چالش می‌کشد.

۲. روش انجام تحقیق

شبیه‌سازی نمودی از واقعیت است که توسط آن تأثیر پارامترهای مختلف را بدون نیاز به عمل می‌توان بررسی نمود. جهت انجام فرایند تحلیل انرژی، ابزارهای گوناگونی توسعه‌یافته‌اند که به اقتضای نمونه و بررسی مورد نظر، مورد استفاده واقع می‌شوند. ابزارهای اصلی تحلیل در این پژوهش نرم‌افزار اُتودسک اِکوتِکت آنالیز[۷]، رویت[۸] و اِسکتچ‌آپ[۹] می‌باشند. به گونه‌ای که عملیات تعیین زون‌های حرارتی نمونه در نرم‌افزار رویت و مدل‌سازی در نرم‌افزار اِسکِتچ‌آپ انجام می‌گیرد. محاسبات تابش خورشیدی در انواع مستقیم و پراکنده نیز در اکوتکت انجام گرفت. همچنین، مطالعات خورشیدی با استفاده از ریزنرم‌افزارهای هماهنگ با اِکوتِکت، نظیر سولار تولز[۱۰] و وِدِر تولز[۱۱] صورت گرفته است.

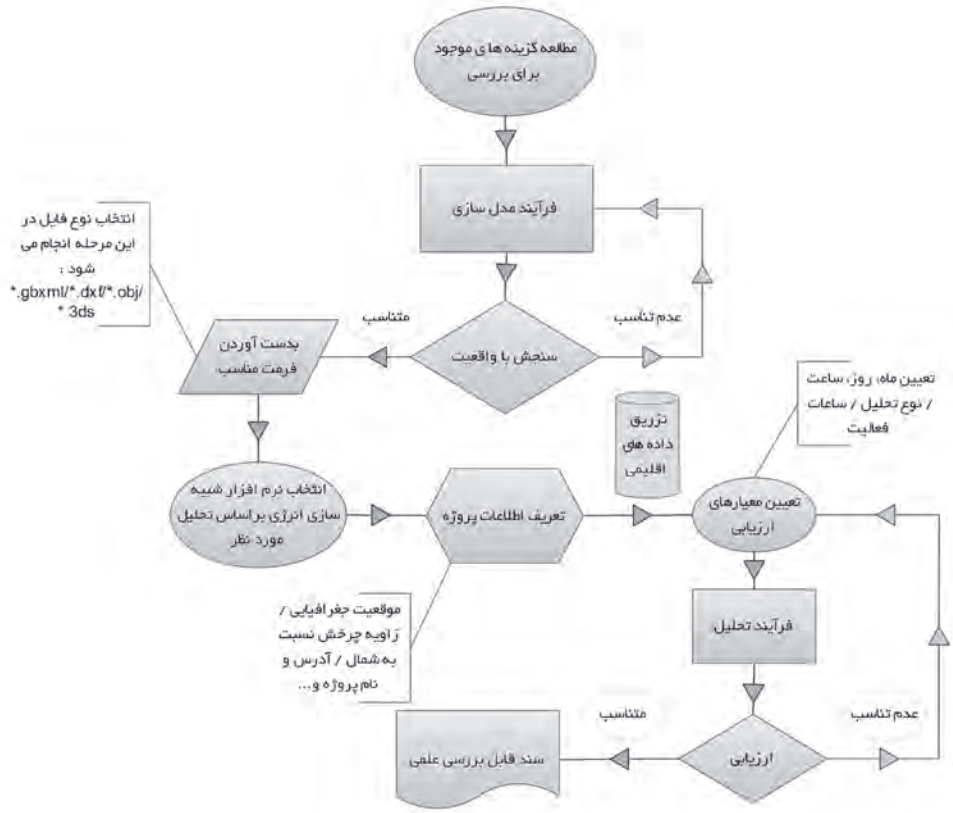
۳. داده‌های پایه و روند تحلیل انرژی

روند برقراری ارتباط میان آنچه به عنوان مدل مطرح می‌گردد و ابزاری که به تناسب خروجی مورد نظر انتخاب می‌شود، بررسی جامعی حول ابزارهای موجود را طلب می‌کند. چرا که هماهنگی میان مدل و نوع تحلیل مورد نظر، ارتباطی مستقیم با حقیقی بودن بررسی خواهد داشت. از این رو، پس از انجام بررسی جامع بر فرمت‌های مدل‌سازی، در انتخاب صحیح نوع فایل به منظور آماده‌سازی مدل، مناسبت‌ترین نوع، فرمت obj تشخیص داده شد. انواع فرمت‌های مدل‌سازی عبارت‌اند از:

- gbxml : مستخرج از نرم‌افزارهایی که فضاهای موجود در مدل را به عنوان زون‌های حرارتی ثبت می‌کنند؛
- dxf : فرمتی که مدل را بر اساس نوع خطوط تعریف‌شده تقسیم‌بندی کرده و خطوط مختلف قابلیت گزینش همزمان را دارند؛
- obj : در این نوع از فرمت، مدل به صورت یک واحد یکسان معرفی می‌گردد؛
- 3ds : این نوع فرمت برگرفته از نرم‌افزار مدل‌سازی پیشرفته با جزئیات است که برای شبیه‌سازی نزدیک به واقعیت استفاده می‌شود.

بنابراین، در پژوهش حاضر مدل در فرمت obj به صورت یکپارچه تحت عملیات شبیه‌سازی قرار گرفت و مدل آماده‌شده توسط نرم‌افزار مدل‌سازی رِویت، تحت فرمت obj وارد نرم‌افزار اِکوتِکت شد. در این مرحله، داده‌های آب و هوایی شهر کاشان بر عملیات شبیه‌سازی اعمال گردید و تمامی محاسبات جذب و دریافت انرژی خورشیدی، بر اساس اطلاعات آب و هوایی ۳۰ سال اخیر استان اصفهان و با اعمال طول و عرض جغرافیایی (Latitude: 34.0° N، Longitude: 51.5° E) و ارتفاع از سطح دریای شهر کاشان (۹۸۲ متر) که عمده عوامل مؤثر بر میزان دریافت خورشیدی هستند، انجام پذیرفت. همچنین، داده‌های آب و هوایی به صورت TMY2 - رابط بین اِکوتِکت و وِدِرتولز - به مدل اعمال شد. این داده‌ها بر اساس روش ساندیا[۱۲] توسط دکتر عبدالسلام ابراهیم‌پور محاسبه و به دپارتمان اَنرژی آمریکا[۱۳] معرفی گشته‌اند (Ebrahimpour & Marefat, 2011). با بهره‌گیری از داده‌های ذکرشده و تعریف مسیری برای تحلیل، نمونه‌ی موردی بر اساس روند نمودار حاضر (شکل ۱) آماده‌ی بررسی شد.

شکل ۱: نمودار فرایند شبیه‌سازی، از مدل تا تحلیل



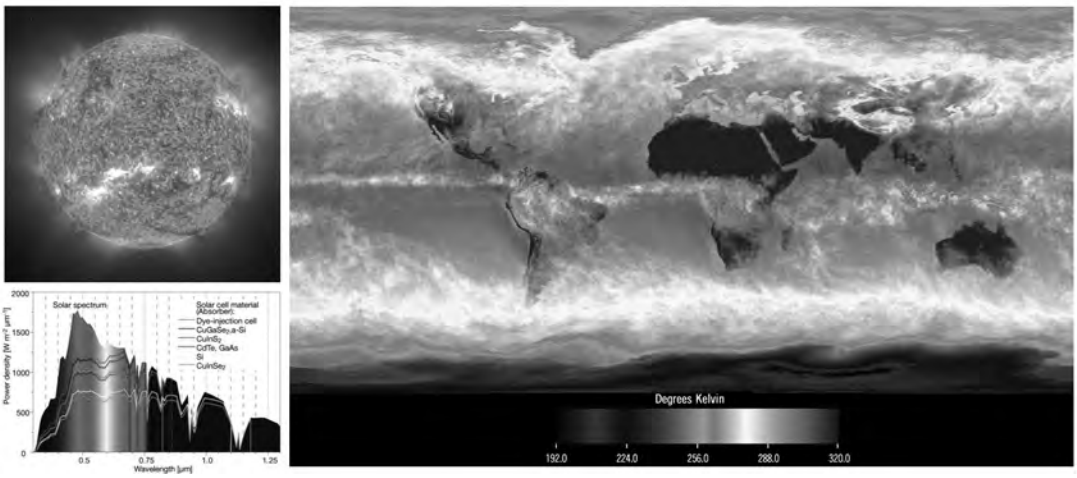
مسیر مدل تا تحلیل/ ارزیابی گزینه‌ای که پتانسیل تحلیل را از نظر عناصر و اصول معماری ایرانی دارا باشد – مدل‌سازی سه بعدی – ایجاد یکپارچگی مدل به تناسب تحلیل مد نظر – انتخاب نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی بنابر خواسته‌ی تحقیق – اعمال اطلاعات پایه – اعمال معیارهای موثر بر تحلیل- انجام فرایند تحلیل- ارزیابی نهایی.

۴. تابش خورشیدی و تأثیر آن بر تحلیل

بررسی رفتار اقلیمی یک بنا مستلزم جامع‌نگری عناصر مختلف آن و توجه به تأثیرپذیری آن‌ها بر یکدیگر می‌باشد. خانه‌ی ایرانی را می‌بایستی به عنوان یک سامانه‌ی عملکردی و مجموعه‌ای کامل از عناصر مرتبط باهم در نظر گرفت، چرا که تمامی جزئیات موجود در بخش‌های مختلف آن اعم از: حیاط مرکزی؛ مهتابی؛ جداره‌ها؛ ایوان؛ بازشوها؛ و غیره همه و همه در ساماندهی رفتاری خانه در برابر اقلیم و منابع انرژی نقش مؤثری داشته و خانه را به عنوان یک واحد خودپایدار[۱۴] معرفی می‌کنند (Fuller, 2003). از جمله عوامل تأثیرگذار بر رفتار خانه، حرکت خورشید است. تفاوت فصول در فلات ایران و تغییرات چهار فصل، معمار را بر آن می‌دارد تا از این منبع انرژی در جهت فراهم آوردن آسایش انسانی بهره گیرد. خورشید به عنوان یک راکتور غول‌پیکر گداخت همواره هویت خویش را معرفی کرده و سهم زمین از این منبع عظیم انرژی تابش خورشیدی است (شکل۲). به گونه‌ای که تمدن‌های بشری در تلاش بوده‌اند تا از این تابش حداکثر استفاده را داشته و شرایط آسایش زندگی را فراهم نمایند.

تابش می‌بایستی به دو صورت مستقیم و پراکنده مد نظر قرار گیرد و بر همین اساس، تحلیل‌های انجام‌شده در این پژوهش نیز در هر دو حالت تابش خورشیدی انجام یافته است. اعمال تدابیر حفظ انرژی و استفاده‌ی معماری از تابش خورشیدی مستلزم تعریف رفتاری است منطبق بر حرکت خورشید که بررسی این مسئله توسط ابزارهای تحلیل و شبیه‌سازی انرژی میسر خواهد شد (Marsh, 1997). در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار اکوتکت مدل آماده‌شده با فرمت obj بر نقاله خورشیدی منطبق شد و روند رفتاری ساختمان در گذر سال به صورت ساعتی مورد تحلیل قرار گرفت و در هر بخش، تأثیر اصول معماری ایرانی بر دریافت تابش پراکنده و مستقیم بررسی شد. این بررسی‌ها در طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین روز سال[۱۵] (انقلاب تابستانی و انقلاب زمستانی) بسط داده شد و اصول معماری ایرانی، به عنوان قوانینی مؤثر بر رفتار خانه در برابر خورشید، مورد تحلیل واقع گشت.

شکل ۲: میزان تابش خورشید بر روی مدل گسترده‌ی زمین
نمایش آزاد شدن انرژی تحت واکنش‌های هسته‌ای در سطح خورشید و ایجاد تابشی فراگیر روی زمین حاصل از این واکاوی هسته‌ای- برگرفته از تحقیقات ناسا



۵. خانه‌ی عباسیان کاشان (نمونه‌ی مورد مطالعه)

بنای عباسیان در شهر کاشان واقع در استان اصفهان و در مرکز ایران می‌باشد. از نظر پهنه‌بندی اقلیمی، شهر کاشان در پهنه اقلیمی با زمستان‌های نسبتاً سرد و تابستان‌های گرم و خشک قرار گرفته است. کاشان در محدوده‌ی جنوب و غرب، در محاصره سلسله جبال مرکزی ایران جای گرفته است و در طول جغرافیایی ۵۱ تا ۵۲ در شرق و عرض جغرافیایی ۳۴ در شمال گسترده شده و با وسعت ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع، در شمال استان اصفهان واقع شده است (شکل ۳). در این شهرستان با توجه به عرض جغرافیایی کم، میزان تابش خورشیدی قابل توجه است.

شکل ۳: موقعیت جغرافیایی شهرستان کاشان
شهرستان کاشان در شمال استان اصفهان و مرکز کشور ایران

شکل ۴: نمای حیاط مرکزی خانه‌ی عباسیان، کاشان، ایران

انتخاب این حیاط به عنوان منطقه‌ی اصلی مورد تحلیل بر پایه‌ی پتانسیل‌های آن و تنوع عناصر معماری صورت گرفته است.

۵-۱- دلایل انتخاب نمونه

انتخاب این مجموعه بر اساس پتانسیل‌های معماری آن صورت پذیرفت. تنوع فضایی در سلسله مراتبی حساب‌شده برای بهره‌گیری در تمام فصول و موقعیت‌های دمایی، الگوی معماری خاص در حیاط مرکزی با نیم‌طبقه، جهت‌گیری بر اساس رون راسته منطبق بر کشیدگی شمال غربی- جنوب شرقی، تناسبات هماهنگ و ایجاد فضاهای عملکردی نظیر مهتابی و ایوان و اعمال تقارن به عنوان یک اصل جاری در تمام اجزای بنا، خصوصیاتی به خانه‌ی عباسیان داده است که نمونه‌ی کمتری را می‌توان یافت تا برگرفته از چنین هماهنگی شگرفی میان اجزا باشد. کشف چنین ارتباط پیچیده و کارآمدی از اهداف دیگر این تحقیق بوده است. از این رو، حیاطی از این خانه انتخاب شد که بیشترین تنوع عناصر معماری را در خود دارا است و بررسی تأثیر این عناصر بر یکدیگر در کنار عوامل اقلیمی به عنوان رویکرد اصلی پژوهش حاضر در نظر

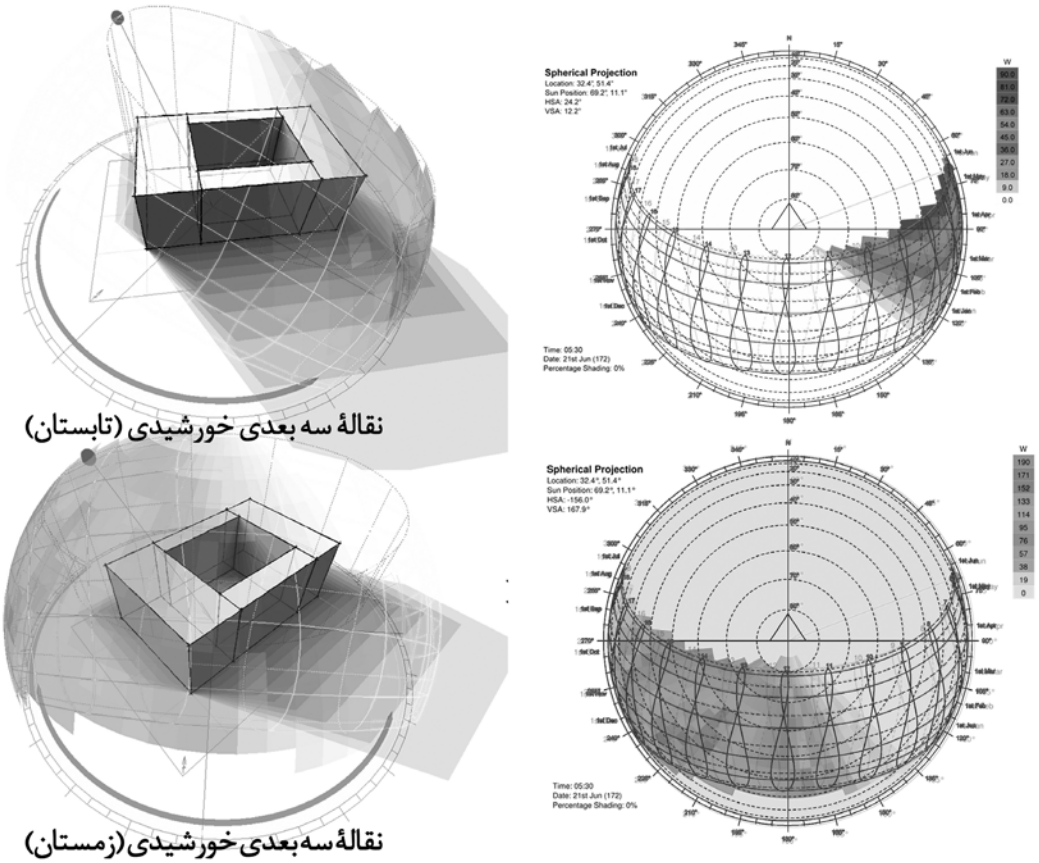
گرفته شد. بر پایه‌ی نمودار عملکردی (شکل ۱)، خانه‌ی عباسیان کاشان (شکل ۴)، برای پژوهش آماده‌ی بررسی علمی شد و در مطالعه‌ی نمونه‌ی مورد نظر سه اصل فرم، تقارن و جهت‌گیری بنا مورد تحلیل قرار گرفت.

۶. بررسی تعامل اصول معماری ایرانی و انرژی

۱-۶- فرم و تأثیر آن در سامانه‌ی اقلیمی خانه

خانه ایرانی 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. بر این اساس، به منظور درک رفتار حیاط مرکزی مدلی با تناسبات خانه‌ی عباسیان آماده شد تا تحلیل این دو بخش از ساختمان به صورت شماتیک بررسی شود. مدل با زاویه‌ی ۱۳۵° نسبت به جهت شمال قرار گرفت و نقاله‌ی خورشیدی سه بعدی جهت تحلیل بکار گرفته شد. بررسی‌ها نشان داد که متوسط تابش ماهانه در فرم حیاط مرکزی خانه‌ی عباسیان، با جهت‌گیری مذکور برای بخش تابستان‌نشین معادل ۱۰۰ w/m2 (در ساعات ۷ تا ۱۱ صبح تابستان) خواهد بود و در باقی ماه‌های سال میانگین ماهانه‌ی تابش برای این بخش بسیار اندک است. همچنین، نتایج نشان داد که متوسط تابش ماهانه در بخش زمستان‌نشین عمدتاً در زمستان و ماه‌های سرد معادل ۲۰۰ w/m2 از حرارت خورشید می‌باشد که از ساعات ۱۰ صبح شروع و تا غروب خورشید (ساعت ۱۸) ادامه می‌یابد (شکل ۵- الف و ۵- ب). تحلیل‌های این بخش نشان از تعادل میزان دریافت حرارت جداره‌ی رو به شمال و جداره‌ی رو به جنوب (تابستان‌نشین و زمستان‌نشین)، در تابستان می‌باشد. بدین معنی که در حقیقت سامانه‌ی خانه‌ی ایرانی بر اساس اصل فرم، در تابستان تضمینی بر تعادل حرارتی در هر دو جبهه‌ی شمالی و جنوبی بنا است و در زمستان نیز ضامن ایجاد آسایش حرارتی در جبهه‌ی رو به جنوب است.

شکل ۵ - الف: بررسی دریافت جداره‌ای و تطبیق روی نقاله خورشید



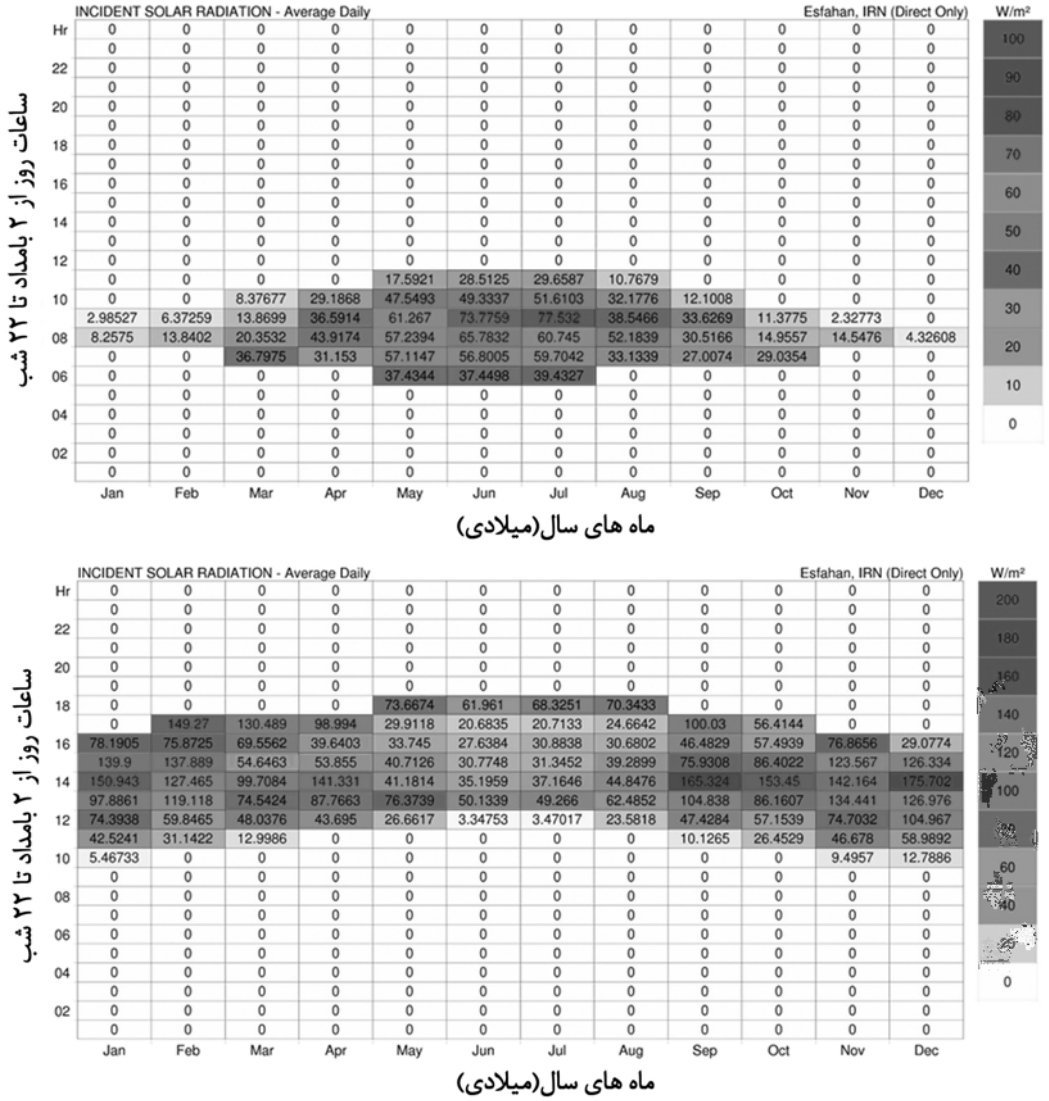
واکنش جداره‌ی رو به جنوب (نقاله‌ی پایین) و جداره‌ی رو به شمال (نقاله‌ی بالا) در داخل حیاط مرکزی.

بر اساس تعریف فرم مناسب توسط اولگی[۱۶]، بنایی آسایش را فراهم می‌آورد که در زمستان از اتلاف حرارت و در تابستان

از دریافت بیش از حد جلوگیری کند. بر این اساس، در یک فرم مطلوب اضلاعی که بیشتر در معرض تابش آفتاب و دمای هوا قرار دارند، کوچک‌ترند (Kasmai, 2003). به این منظور، جداره‌ی رو به شمال و بخش رو به جنوب خانه‌ی عباسیان در مدلی شماتیک بررسی شد. نتایج نشان داد که در تابستان سایه‌اندازی در بخش رو به شمال به شکل مناسبی ایجاد شده است، به‌طوری‌که در بیشتر ساعات بیش از ۶۰% سایه‌اندازی منجر به کاهش دریافت حرارتی این قسمت می‌گردد. با توجه به نمودار تحلیلی، بخش رو به جنوب (زمستان‌نشین) نیز عمده انرژی دریافتی خود را در ماه‌های سرد سال (دی، بهمن و اسفند) دریافت کرده که این روند در زمستان معادل ۶۰۰-۷۰۰Wh/m۲ محاسبه گردید. درحالی‌که در بخش رو به شمال (تابستان‌نشین) حداکثر انرژی دریافتی در شهریورماه و معادل ۳۱۹ Wh/m۲ به دست آمد (شکل ۶).

به منظور انجام مدل‌سازی، مصالح مشخص‌شده برای جداره‌ها در پژوهش حاضر خشت (به رنگ خاک) با ضریب هدایت ۰,۷۱۱ w/m.k، گرمای ویژه‌ی ۸۳۸,۸۰J/kg.k و ضخامت ۳۰۰mm تعریف شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی (شکل ۶) نشان داد که در هر ماه نیمی از انرژی دریافتی جداره‌ها، جذب شده است. در جبهه‌ی رو به جنوب حداکثر انرژی دریافتی در ماه اسفند به دست آمد و معادل ۷۰۱Wh/m۲ برآورد گردید که از این مقدار ۳۲۶ Wh/m۲ توسط جداره‌ی این بخش جذب شده است. نتایج نشان داد که این میزان جذب پنجاه درصدی در بقیه‌ی ماه‌های سال نیز انجام گرفته است. بدین ترتیب، می‌توان دریافت که در معماری سنتی ایران فرم مطلوب به وسیله‌ی عنصری به نام حیاط مرکزی ایجادشده که باعث تعریف خاصیت سایه‌اندازی می‌شود. میزان سایه‌اندازی به تناسبات سه بعد حیاط و زاویه‌ی چرخش بنا بستگی دارد. در حقیقت معماری سنتی ایران با ایجاد فرمی متناسب، معرف رفتاری خاص برای هر جبهه از ساختمان بوده است.

شکل ۵ - ب: تحلیل عملکرد مثبت خورشید در تابستان و زمستان و تقابل با فرمی نظیر حیاط مرکزی

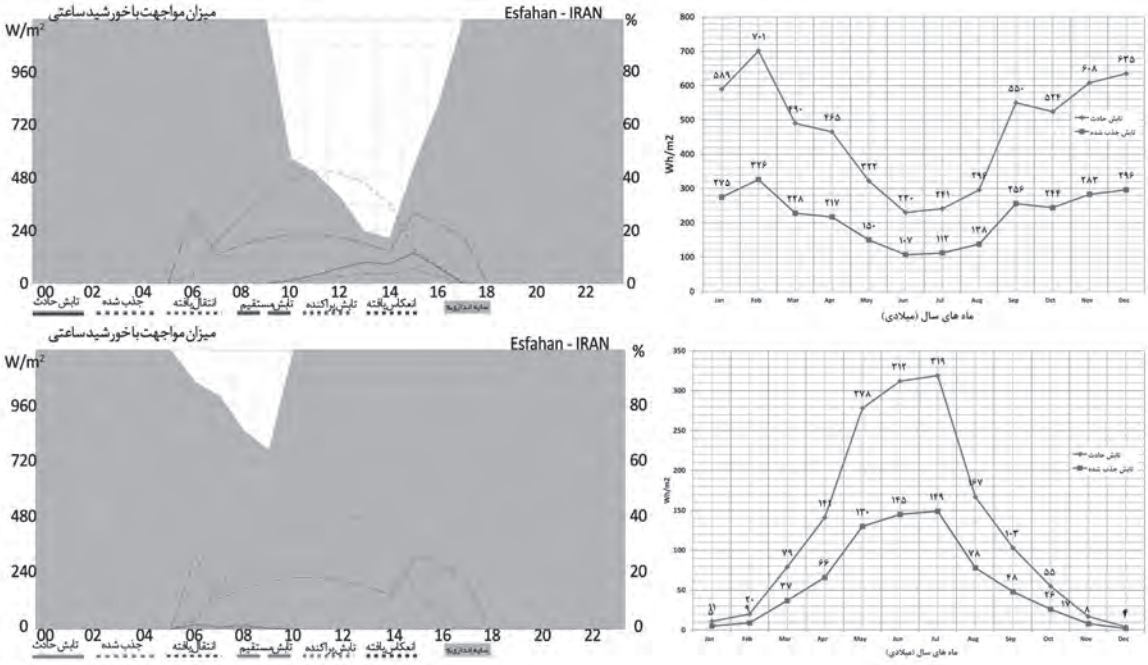


جدول ماه‌های سال و داده‌های آماری برگرفته از شکل ۵- الف با دقت ساعت در سال.

بررسی‌ها نتایج نشان می‌دهد که علاوه بر بررسی کلی فرم ساختمان و نحوه‌ی عملگرایی تقسیم به دو جبهه‌ی شمالی و جنوبی، معماری عناصر با فرم‌های تعریف‌شده از قبیل ایوان، مهتابی، قوس‌ها و بازشوها نیز تأکیدی است بر آن که در سامانه‌ای به نام خانه، هر جزء نیز به عنوان یک زیرمجموعه به خودی خود عملکردی مشابه مجموعه‌ی اصلی دارد و به نحوی تمامی این اجزا در کنار هم با یک هدف مشخص در قالب فرم، پاسخی مناسب را برای شکل‌گیری فضای آسایش انسان فراهم می‌آورند. این مسئله سبب می‌گردد انسان با جابه‌جایی در طول فصول در میان انواعی از فرم‌های با عملکردهای هماهنگ، آسایش حرارتی را تجربه کند (Herdari, 2000).

در ادامه تحقیق، عناصر دیگری نیز شبیه‌سازی شدند. برای این منظور ایوان رو به جنوب غربی انتخاب شد و مدل تحت زاویه‌ی ۹۰ درجه رو به جنوب غربی قرار گرفت و با تعریف صفحه‌ای در فاصله ۵۰ سانتی‌متری از ورودی این بخش، ایوان نیز تحلیل حرارتی شد. آنالیز انجام‌گرفته (شکل ۷- الف) مشخص کرد که ایوان در انقلاب تابستانی با توجه به زاویه قرارگیری نسبت به جنوب (۴۵ درجه چرخش به سمت غرب)، انرژی خورشید را در دو حالت مستقیم معادل ۶۰ kWh (شکل ۷-الف-۱) و غیرمستقیم ۱۳۶kWh (شکل ۷- الف-۲) دریافت می‌کند. این در حالی است که در انقلاب زمستانی (شکل ۷-ب) به دلیل تغییر زاویه تابش خورشید، انرژی دریافتی ایوان به میزان ۸۰kWh (شکل ۷- ب-۱) برای حالت مستقیم و ۷۶ kWh (شکل ۷- ب-۲) در نوع پراکنده محاسبه گردید.

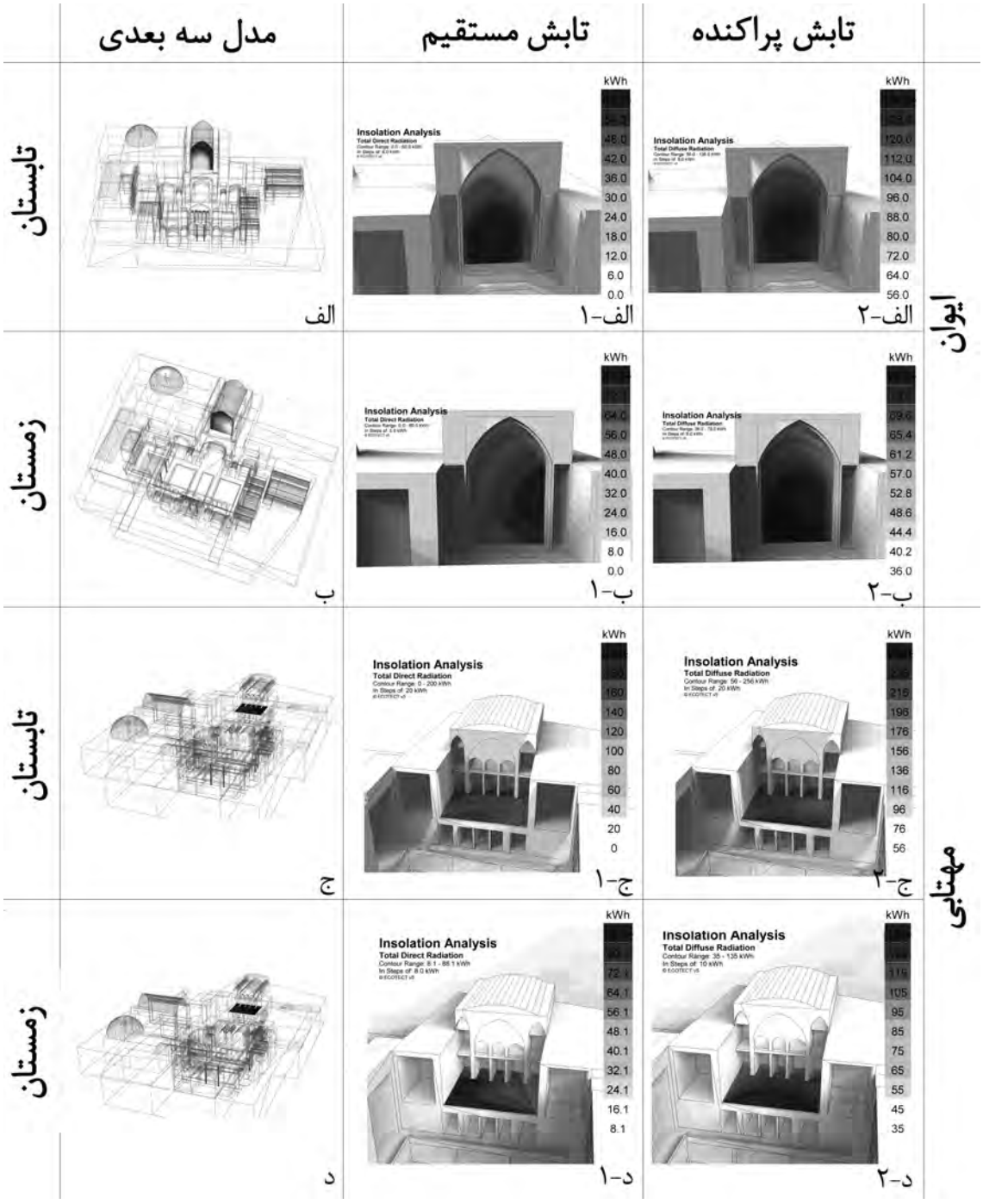
شکل ۶: دریافت جداره‌های روبه جنوب و رو به شمال، داخل حیاط مرکزی خانه‌ی عباسیان



دیاگرام چپ: سایه‌اندازی جداره‌ی رو به جنوب (دیاگرام بالا) و جداره‌ی رو به شمال (دیاگرام پایین) در داخل حیاط مرکزی/ نمودارهای راست: میزان عددی دریافت انرژی جداره‌ی رو به جنوب (نمودار بالا) و جداره‌ی رو به شمال (نمودار پایین) در داخل حیاط مرکزی.

بررسی‌های انجام‌شده نشان داد که تفاوت دریافت انرژی در تابستان و زمستان به شکل ظریفی متناسب با نیاز هر فصل می‌باشد، به‌طوری‌که در تابستان از دریافت انرژی مازاد جلوگیری کرده و در زمستان علی‌رغم دسترسی کمتر به نور خورشید میزان دریافت انرژی افزایش یافته است. علت چنین رفتار کارآمدی، فرم مناسب ایوان و جهت‌گیری خاص بنای خانه‌ی عباسیان نسبت به زاویه‌ی تابش خورشید در طول سال تشخیص داده شد. به تعبیری دیگر: ایوان با توجه به فرم تعریف‌شده‌اش به عنوان یک عنصر پخته در معماری، حرارت را به گونه‌ای توزیع می‌کند که در تابستان و زمستان با هر مقدار از تابش مستقیم، حرارت ناشی از تابش به صورت مناسبی در فضای تحت پوشش پخش گردد. به عبارتی دیگر، ایوان خود را به عنوان عنصری کامل در دریافت، انتقال و به وجود آوردن محیط آسایش معرفی می‌کند.

شکل ۷: به ترتیب از بالا، تحلیل ایوان جنوب غربی و تحلیل مهتابی شمال غربی



بررسی تمامی عناصر ذکرشده پس از مدل‌سازی کامپیوتری به صورت سه بعدی، در حالت‌های تابش مستقیم و تابش پراکنده در تابستان و زمستان. در این تحلیل از نرم‌افزار اسکتچ آپ جهت مدل‌سازی و از نرم‌افزار اکوتکت جهت تحلیل انرژی استفاده گردیده است.

بررسی نتایج مدل‌سازی خانه عباسیان نشان داد که عملکرد مناسب انرژی خانه تنها به ایوان خلاصه نشده و رفتار توزیع یکسان حرارت به مهتابی و دیگر عناصر خانه نیز بسط پیدا می‌کند. برای اثبات این ادعا مهتابی جبهه‌ی شمال غربی خانه‌ی عباسیان نیز به صورت obj مدل شد (شکل ۷- ج و ۷- د) و تحت بررسی سایه‌اندازی و میزان دریافت انرژی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که این قسمت در تابستان معادل ۲۰۰kWh (شکل ۷- ج-۱) به طور مستقیم و به میزان ۲۵۶kWh (شکل ۷- ج-۲) به طور پراکنده انرژی دریافت می‌کند. رفتار مهتابی در این جبهه در انقلاب زمستانی نیز

برای تابش مستقیم معادل ۸۸kWh (شکل ۷- د-۱) و به میزان ۱۳۵kWh (شکل ۷- د-۲) برای تابش پراکنده محاسبه شد. تحلیل این بخش نیز نشان از واکنشی یکسان به توزیع حرارت دارد، به‌طوری‌که حتی با تغییر فصل، به تعبیری می‌توان این بخش از ساختمان را به عنوان یک ذخیره ساز حرارتی در نظر گرفت که در زمستان موجب جذب بالقوه‌ی حرارت و در فصل تابستان باعث بازتابش گرما و ایجاد تعادل حرارتی در شب می‌شود. تحلیل‌های حرارتی انجام‌شده حاکی از آن است که معمار ایرانی بر اساس تطبیق رفتار خانه با حرکت خورشید در طول سال، نهایت استفاده از منبع انرژی خورشید را پدید آورده است. از این رو، می‌توان خانه‌ی ایرانی را به عنوان الگویی متکامل در طراحی ایستا معرفی نمود.

۲-۶- اصل تقارن و تحلیل رفتار انرژی

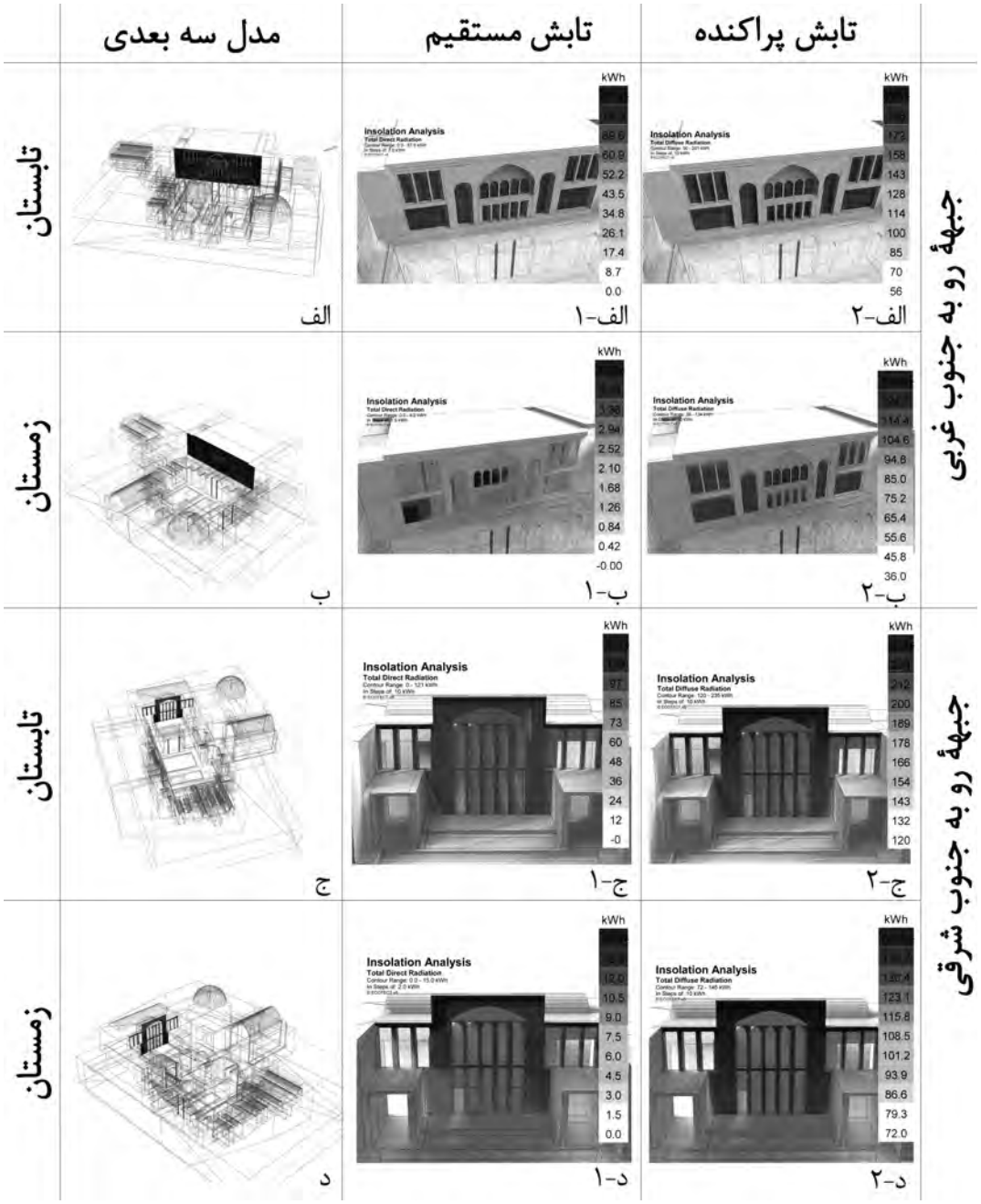
در ادامه‌ی بررسی‌های رفتار معماری ایرانی و تعامل آن با انرژی خورشیدی، به بررسی اصل تقارن پرداخته می‌شود. این اصل برگرفته از تأکیدی بر وحدانیت و مرکزیت است، همچون صُوَر فلکی که در مرکزیت خود خورشید تابنده‌ای دارند و نوعی توازن را دارا می‌باشند. نمونه بارز این اصل را در گنبد خانه می‌توان یافت که دارای تقارن مرکزی است. نماهای سنتی نیز دارای تقارن محوری هستند. تقارن در فضا و احجام و حتی توزیع ثقلی نیز عامل مؤثری در تقویت بنا محسوب می‌شود و کارایی آن در تجارب متعدد به اثبات رسیده است. خانه‌ی ایرانی، تقارن را به دو صورت محوری و مرکزی در نماها، حیاط مرکزی و عناصر دیگر دارا می‌باشد. از این رو، به منظور تأکید بر معرفی خانه‌ی ایرانی به عنوان سامانه‌ای پایدار، عناصر خانه‌ی عباسیان تحلیل گردیدند و برای این منظور نماهای داخلی خانه نیز با فرمت obj مدل‌سازی شدند (شکل‌های ۸- الف، ۸- ب، ۸- ج و ۸- د).

برای این منظور، در مرحله‌ی نخست جداره‌های جنوب شرقی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۸-۱ و ۸-۲) و نتایج نشان داد که بر اساس زاویه‌ی چرخش بنا (۴۵ درجه‌ی غربی) و قرارگیری بر رون راسته، این جبهه تحت تأثیر تابش پراکنده، بنابر تأثیر اصل تقارن، در انقلاب تابستانی معادل ۲۰۱kWh (شکل ۸- الف-۱) و تحت انرژی تابش مستقیم معادل ۸۷kWh (شکل ۸- الف-۲) قرار می‌گیرد. در روند بررسی میزان انرژی دریافتی، نکته‌ی اصلی در کاهش دریافت مستقیم از ۸۷kWh در تابستان به میزان ۴,۲۰kW در انقلاب زمستانی (شکل ۸- ب-۱) و دریافت پراکنده با میزانی برابر با ۱۳۴kWh (شکل ۸- ب-۲) به دست آمد.

این نوع بازخورد نشان از وجود رفتاری منجر به حفظ تابش پراکنده داشت که به روشنی عملکرد اصل تقارن را تصویر کرد. در حقیقت وجود این اصل، نمای مزبور را قادر می‌سازد تا علی‌رغم عدم برخورد با میزان قابل‌ملاحظه‌ی انرژی خورشیدی در زمستان، توزیع حرارت به صورت متعادل انجام گیرد و تمامی نما سهمی یکسان از انرژی دریافتی داشته باشند. تحلیل نماهای داخلی خانه‌ی عباسیان (شکل ۸-الف و ۸-ب) آشکارا نشان از تأثیر تقسیمات فرد در نماهای بناهای سنتی دارد. بدین گونه که با تقسیم نما به بخش‌های فرد (پنج دری و تقسیم نما به سه بخش)، انرژی دریافتی در هر نقطه از نما در مسیری متعادل به اطراف توزیع شده است. نمایشی حقیقی از این ادعا در تحلیل دریافت انرژی به صورت پراکنده در نمای جنوب شرقی (شکل ۸- الف-۲ و ۸- ب-۲) کاملاً نمایان است.

بنابراین، در بررسی معماری ایرانی آشکارا می‌توان تأثیر اصل متقارن‌سازی را مشاهده نمود. تأثیر بصری تقارن به حکم ایستایی و پایداری در بناهای سنتی معرف توجه معماران گذشته، به هویت بنا است؛ اما وجود این اصل فراتر از آنچه که تا به امروز تعریف شده بود در توزیع حرارت معنا می‌یابد. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که عدم وجود لبه‌های نامأنوس و استفاده از ته‌رنگ مستطیل در نما باعث بازپخش انرژی دریافتی به صورت متعادل می‌گردد (شکل ۸- ج-۲ و ۸- د-۲). لذا، توجه به مسائل اقلیمی در کنار ارزش‌های بصری، فرهنگی و انسانی به عنوان سامانه‌ای یکپارچه، معماری ایرانی را پیشگام در معماری پایدار معرفی می‌کند. جهت اثبات این ادعا، زاویه‌ی جهت‌گیری و تأثیر بر انرژی دریافتی در ادامه پژوهش مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بررسی شد.

شکل ۸: به ترتیب از بالا، تحلیل نمای جنوب شرقی و تحلیل نمای جنوب غربی

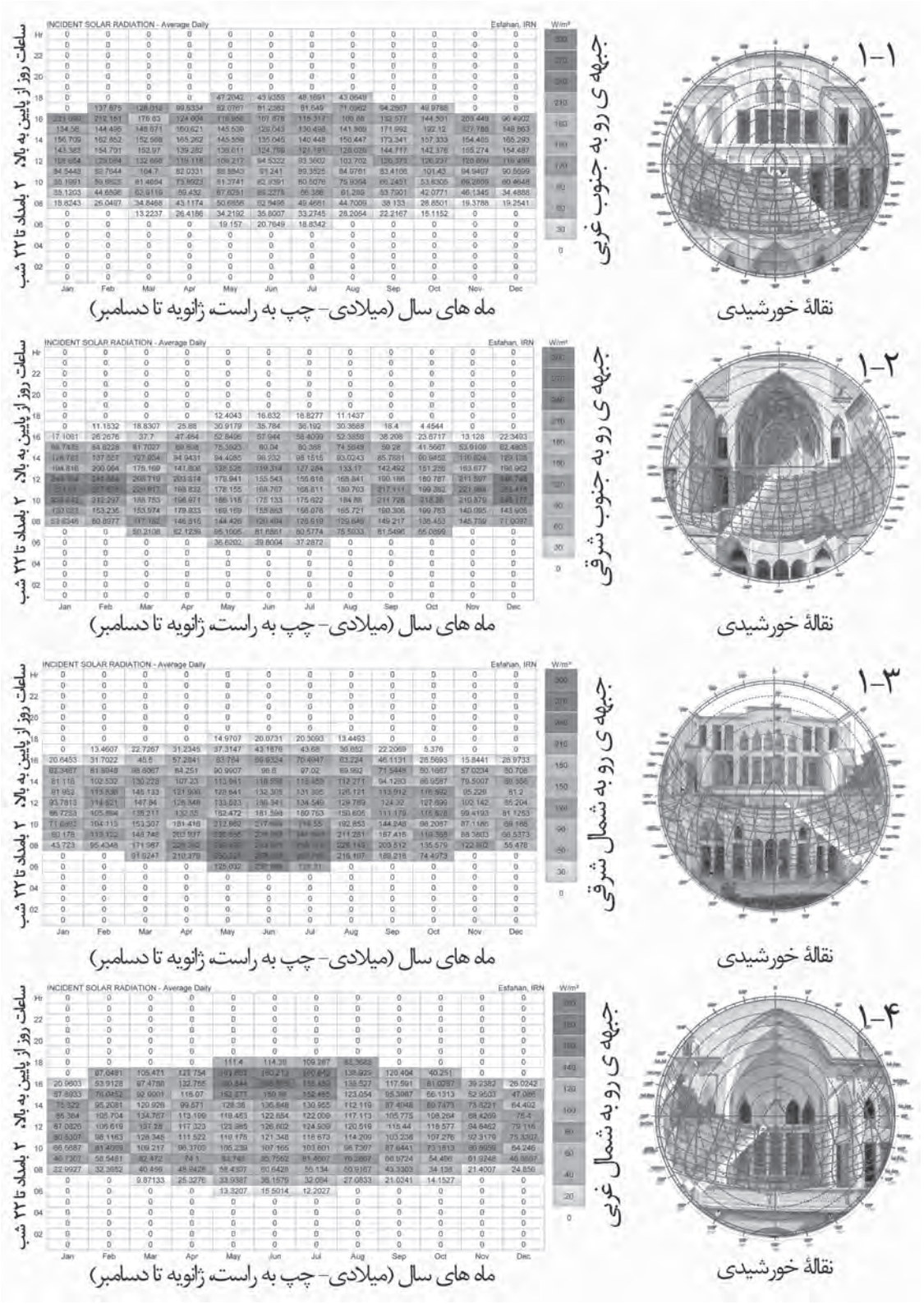


بررسی تمامی عناصر ذکرشده پس از مدل‌سازی کامپیوتری به صورت سه بعدی، در حالت‌های تابش مستقیم و تابش پراکنده در تابستان و زمستان. در این تحلیل از نرم‌افزار اسکتچ آپ جهت مدل‌سازی و از نرم‌افزار اکوتکت جهت تحلیل انرژی استفاده گردیده است.

۳-۶- جهت‌گیری و تأثیر بر دریافت انرژی خورشیدی

بررسی‌های انجام‌شده تاکنون نشان می‌دهد که انتخاب جهت ساختمان به عواملی چون وضع طبیعی زمین، میزان نیاز به فضاهای خصوصی، کنترل و کاهش صدا و دو عامل باد و تابش بستگی دارد (Marsh, 1997). از این رو، مهمترین وظیفه‌ی معمار آن خواهد بود که با توجه به شرایط حرارتی، بهداشتی و روانی مورد نیاز، ساختمان را در جهتی قرار دهد که بیشترین استفاده از نور خورشید حاصل شود.

شکل ۹: تحلیل هر چهار جبهه از نماهای داخلی حیاط مرکزی خانه‌ی عباسیان و تطبیق با نقاله‌ی خورشیدی



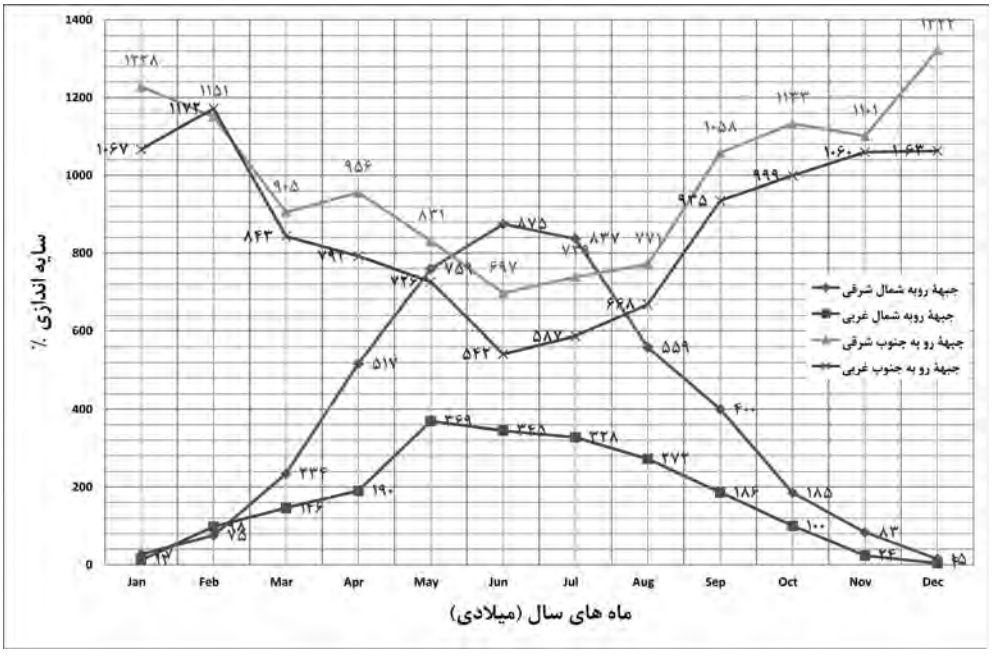
بررسی عملکرد جبهه‌های داخلی حیاط مرکزی با دقت ساعت در ماه‌های سال (نمودارهای سمت چپ) و تطبیق گرافیکی رفتار تابشی خورشید و نقاله‌ی خورشیدی با هر یک از نماهای داخلی حیاط مرکزی (نقاله‌های سمت راست).

همان طور که فصول مختلف سال به دلیل تغییر محور زمین نسبت به خورشید از یکدیگر متمایزند، جهت یک ساختمان نیز تحت تأثیر مقدار انرژی خورشیدی تابیده‌شده به دیواره‌های آن (در ساعات مختلف) قرار دارد. به طور مثال؛ در فصل زمستان در عرض جغرافیایی ۴۰ درجه‌ی شمالی، دیوارهای جنوبی حدود سه برابر دیوارهای شرقی و غربی انرژی خورشیدی دریافت می‌کنند. درحالی‌که در تابستان، مقدار کل انرژی تابیده به دیوارهای جنوبی و شمالی تقریباً یک دوم انرژی تابیده‌شده به دیوارهای شرقی و غربی است. در عرض‌های جغرافیایی کمتر، این اختلاف بیشتر است و به همین دلیل، جهت ساختمان در تأمین شرایط ناراحت‌کننده یا شرایط آسایش در فضاهای هوای داخلی، نقش تعیین‌کننده‌ای دارد (Kasmai, 2003, p. 117). بدین منظور همواره مسئله جهت‌گیری مورد توجه معماران ایرانی بوده است که به عنوان رون مطرح می‌شود.

در ادامه بررسی، مدل یکپارچه شده‌ی بنا با فرمت obj در محیط شبیه‌سازی تحت تابش خورشیدی قرار گرفت و نتایج به دست آمده نشان داد که نمای رو به شمال شرقی (بخش تابستان‌نشین) در ساعات اولیه روز (از زمان طلوع خورشید تا ساعت ۱۱) در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور تحت تابشی با انرژی میانگین ۲۵۰W/m۲ قرار می‌گیرد. با توجه به اختلاف دمای شب و روز در اقلیم کویری، این نوع دریافت، کاهش دمای شب را جبران کرده و درعین‌حال از دریافت انرژی در ساعات گرم روزهای تابستان به وسیله‌ی سایه‌اندازی (۶۰% تا ۱۰۰% سایه‌اندازی) جلوگیری می‌کند (شکل ۹-۱-۳).

همچنین، بررسی‌ها نشان داد که در جبهه‌ی مجاور، نمای رو به شمال غربی ادامه‌ی تابش روز را دریافت می‌کند. این بخش نیز در ماه‌های گرم سال، تحت تابش عصر در ساعات ۱۰ صبح تا زمان غروب خورشید (ساعت ۱۸) قرارگرفته و انرژی معادل ۱۶۵W/m۲ را در ساعات ۱۵-۱۷ بعدازظهر بر خود می‌بینند (شکل ۹-۱-۴). بخش زمستان‌نشین (نمای رو به جنوب غربی) نیز دریافت انرژی را از اواخر پاییز آغاز کرده و در ماه‌های سرد سال (دی، بهمن و اسفند) تحت تابش مستقیم و پراکنده قرار گرفته است. میزان انرژی دریافتی این قسمت از ۱۳۵W/m۲ در تابستان، تا ۲۷۸W/m۲ در زمستان، متغیر برآورد شد. در این جبهه، از زمان طلوع تا غروب خورشید، تابشی متفاوت را در ماه‌های سال مشاهده می‌کنیم. این میزان در تابستان با سایه‌اندازی، کاهش و در زمان مورد نیاز، در زمستان به اوج خود می‌رسد (شکل ۹-۱-۱).

نمودار ۱: میزان دریافت انرژی در چهار نمای داخلی بنای عباسیان در طول سال

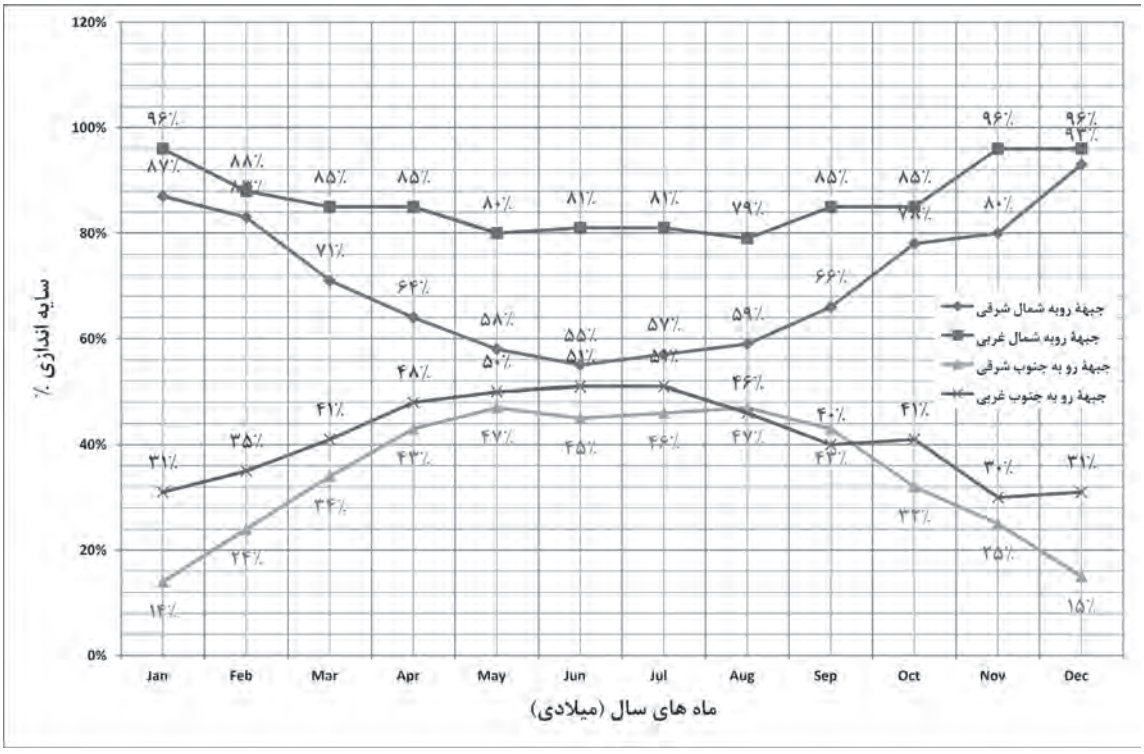


تحلیل آماری توسط نرم‌افزار اکوتکت با دقت در ماه‌های سال و منطبق با تأثیر داده‌های اقلیمی شامل: دمای خشک، دمای تر، نقطه‌ی شبنم، جهت و شدت وزش باد، رطوبت نسبی، زاویه و جهت تابش مستقیم و پراکنده‌ی خورشید، میزان تراکم ابر در آسمان در روزهای مختلف سال.

بررسی تحلیلی این بخش نشان می‌دهد که همواره تعادلی میان جبهه تابستان‌نشین و بخش زمستان‌نشین در طول سال وجود دارد و میزان حداقل انرژی دریافتی بخش زمستان‌نشین، معادل حداکثر انرژی دریافتی در بخش تابستان‌نشین

می‌باشد. از طرفی دیگر، جبهه‌ی رو به جنوب شرقی با وجود ایوان، عملکرد خود را در ماه‌های سرد سال با حفظ انرژی دریافتی و توزیع متناسب آن نشان می‌دهد. بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده، میانگین دریافت انرژی در این قسمت، برای تابستان معادل ۱۷۰W/m۲ و برای زمستان معادل ۲۸۰W/m۲ محاسبه شد (شکل ۹-۱-۲). با توجه به نتایج به دست آمده (شکل ۹)، هر چهار جبهه‌ی نمای داخلی، به تناسب کاربری فضایی، انرژی دریافتی خورشید را در طول سال تقسیم می‌کنند. بخش زمستان‌نشین تحت بازخورد به دریافت انرژی، آسایش حرارتی را تضمین می‌کند، این رویه برای بخش تابستان‌نشین نیز با سایه‌اندازی همراه می‌گردد. در حقیقت سامانه‌ی خانه‌ی ایرانی بر اساس فضاهای عملکردی، به گونه‌ای معرف نوعی جابه‌جایی برای انسان است که در گذر سال، با تبعیت از این جابه‌جایی فضایی، همواره در حال استفاده مفید از انرژی خورشید باشد.

نمودار ۲: میزان سایه‌اندازی در چهار نمای داخلی بنای عباسیان در طول سال



تحلیل آماری توسط نرم‌افزار اکوتکت با دقت در ماه‌های سال و منطبق با تأثیر داده‌های اقلیمی شامل: دمای خشک، دمای تر، نقطه‌ی شبنم، جهت و شدت وزش باد، رطوبت نسبی، زاویه و جهت تابش مستقیم و پراکنده‌ی خورشید، میزان تراکم ابر در آسمان در روزهای مختلف سال.

۷. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله کوشش بر آن بود تا با تجزیه و تحلیل بنای تاریخی عباسیان در کاشان اثبات شود، اصول معماری ایرانی برگرفته از حقایقی است که بنیان آن آسایش انسان است. بررسی‌ها نشان داد آسایش حرارتی قابل‌لمس در بنای خانه‌ی ایرانی به سبب ظرافت‌های خاص طراحی توأم با نگرش اقلیمی است. این نگرش به صورت عینی در این پژوهش به چالش کشیده شد. از این رو، فرم و جهت‌گیری در معماری ایرانی ابزاری برای تسلط انسان بر خورشید شناخته می‌شود تا همواره این منبع عظیم انرژی را کنترل کند. به گونه‌ای که، این رویه در تمامی اجزای خانه به مثابه تشکیل یک کل، جاری است و این اجزا اعم از ایوان، مهتابی، حیاط مرکزی و دیگر عناصر معماری ایرانی، سامانه‌ای را به عنوان خانه شکل می‌دهند و بازخوردی مناسب را با طبیعت و اقلیم برقرار می‌سازند. توزیع متناسب انرژی در تابستان‌نشین؛ میانگین روزانه‌ی انرژی ۸۷W/m۲ و میانگین سایه‌اندازی ۸۶% در تابستان؛ میانگین روزانه‌ی انرژی ۱۱W/m۲ و میانگین سایه‌اندازی ۹۰% در زمستان - (نمودار ۱) و زمستان‌نشین؛ میانگین روزانه‌ی انرژی ۱۹۹W/m۲ و میانگین سایه‌اندازی ۵۰% در تابستان؛ میانگین روزانه انرژی ۳۰۳W/m۲ و میانگین سایه‌اندازی ۳۱% در زمستان (نمودار ۲)، این نکته را بر ما روشن می‌سازد که اصول معماری ایرانی را ورای ارزشی بصری بپنداریم و این اصول را به عنوان روندی مؤثر در نظام کنترل

حرارت دریافتی از خورشید نیز معرفی نماییم. نتایج تحلیل جداره‌های مختلف خانه‌ی عباسیان نشان داد که نماهای تابستان‌نشین و زمستان‌نشین در طول سال، تعادلی همسان را به خود می‌بینند و با اختلافی نه چندان، بازخوردی مناسب را برای خانه (نسبت به تابش خورشید) تعریف می‌کنند. از این رو، با انطباق نقاله‌های خورشیدی موجود در نماهای مختلف (شکل ۹) بر یکدیگر، می‌توان دریافت:

معماری ایرانی به تناسب عملکرد فضاهای مختلف در گذر سال، میزان انرژی ورودی به بنا را مدیریت می‌کند.

بنابراین، می‌توان این‌گونه بیان نمود که سامانه‌ی حرارتی خانه‌ی ایرانی برگرفته از اصولی است که نه تنها موجب ایجاد نظامی هماهنگ در ساختار معماری سنتی ایران شده است، بلکه تعریف‌کننده‌ی مسیری است که بنای ایرانی هماهنگی خود را با محیط (در جهت آسایش انسانی) اثبات می‌سازد و با تغییرات زاویه‌ی تابش خورشید در طول سال، ماه و روز، عملکرد فضاها به گونه‌ای در گذر سال تعریف می‌گردد که همواره انسان به محیطی متعادل دسترسی می‌یابد.

پی‌نوشت

1. Autodesk Ecotect Analysis
2. Solar tools
3. Weather tools
4. Autodesk Ecotect Analysis
5. Autodesk Revit Architecture
6. Sketch up
7. Autodesk Ecotect Analysis
8. Autodesk Revit Architecture
9. Sketch up
10. Solar tools
11. Weather tools
12. Sandia: A procedure to match 3Hoursly data to Hourly data among 30 years cheked library to have the realest weather source file in a one year paradigm
13. DOE, Department of Energy
14. Homeostasis
15. Summer solstice (21th June) & Winter solstice (21th December)
16. Victor olguye

References

- Baran, M., Yıldırım, M., Yılmaz, A. (2011). Evaluation of Ecological Design Strategies in Traditional Houses in Diyarbakir. *Journal of Cleaner Production*, 19 (6-7), 609-619.
- Dili, A.S., Naseer, M. A., Zacharia, T. (2010). Thermal Comfort Study of Kerala Traditional Residential Buildings Based On Questionnaire Survey among Occupants of Traditional and Modern Buildings. *Energy and Buildings*, 42 (11), 2139-2150.
- Ebrahimpour. A., Marefat, M. TMY2 Data for Review and Software for Production and Conversion, Third International Conference on cooling, Heating and Air Conditioning, Tehran, Iran.
- Heidari S., Pitts A.C., Sharples S. (2000). Adaptive Comfort Behavior in Iranian Courtyard Houses. World Renewable Energy Congress VI. Pergamon, Oxford, 710-713.
- Kasmai, M. (2003). *Climate and Architecture*, (2th Ed.), Esfahan: khak.
- Khorshidifard, E. S. (1999). *Abbasian Historic House: Architectural Masterpieces of the World*, Consistent With the Existence, Kashan.
- Lechner, N. (2006). Cooling Heating Lighting (M. Keynejad, R. Azari, Trans.), Tabriz: Tabriz Islamic Art University.
- Marsh, A. J. (1997). *Performance Analysis and Conceptual Design*. Thesis, The University of western Australia: Australia.
- Moore, F. (2003). *Environmental Control System*, (M. Keynejad, R. Azari, Trans.). Tabriz: Tabriz Islamic Art University.
- Muhaisen, A. S., Gadi, M. B. (2006). The Way of Proportional Efficiency Influence on Amount of Solar Intake and Required Energy of Temperate Climate in Roma's Courtyard. *Building and Environment*, 41(3), 245-253.
- Rijal, H. B., Yoshidam H., Umemiya, N. (2010). Seasonal and Regional Differences in Neutral Temperatures in Nepalese Traditional Vernacular Houses. Building and Environment. 45(12), 2743-2753
- Shaterian, R. (2011). *Climate and Architecture of Iran*, (2th Ed.), Tehran: Simaye Danesh.