ISSN: 2538-3019, EISSN: 2676-4806
DOI: 10.30479/AT.2022.13511.1550
دوفصلنامهٔ اندیشهٔ معماری، نشریهٔ علمی، سال ششم، شمارهٔ یازدهم، بهار و تابستان ۱۴۰۱، صص ۱۱۵-۱۳۵

بررسی رفتارحرارتی ایوان در خانه‌های سنتی اصفهان جهت بازخوانی آن در معماری کنونی با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی

نرگس دهقان[۱*]، فرزانه اکرمی[۲]، عباس ملکی[۳]

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۰/۰۳/۱۱
تاریخ دریافت مقاله : ۱۴۰۰/۱۲/۰۷

چکیده

بیان مساله: با توجه به مسئله بحران انرژی در قرن حاضر و جایگاه حفظ محیطزیست و ازآنجاکه بخش مهمی از مصرف انرژی سالیانه کشورها، مربوط به بخش ساختمان است، در این راستا، صرفه‌جویی و یافتن راهکارهایی که بتواند مصرف انرژی سالیانه را در بخش ساختمان کاهش دهد، از اهمیت بسیاری برخوردار است. با توجه به سهم بسیار زیاد خانه در مصرف انرژی، عناصر کالبدی خانه، می‌توانند نقش به‌سزایی در کاهش مصرف انرژی داشته باشند. در این میان، عنصر نیمه‌باز ایوان، الگویی کارآمد از جهت کاربردی و اقلیمی مانند تعدیل دما و تأمین شرایط آسایش‌حرارتی است. این عنصر از نظر معنایی فضای گذاری است که همراه با خود تجربیات بسیار متنوع و باارزشی از درک فضایی و طبیعت را به‌همراه می‌آورد، که در معماری امروزی نقش آن بسیار کمرنگ شده است.

سوال تحقیق: چگونه با بررسی رفتار حرارتی ایوان در خانه‌های سنتی اصفهان می‌توان به الگوی بهینه آن با هدف کاهش مصرف انرژی در مسکن معاصر دست‌یافت.

اهداف تحقیق: باوجود سامانه‌های غیرفعال خورشیدی در خانه‌های قدیمی نسبت به خانه‌های امروزی، مقوله بهره‌وری انرژی در این خانه‌ها بیشتر موردتوجه است، ازاین‌رو جهت استفاده معماران از عناصر و تناسبات کالبدی خانه‌های سنتی، این مقاله درصدد یافتن الگوی بهینه ایوان در خانه‌های سنتی شهر اصفهان از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بازخوانی در مسکن معاصر است.

روش تحقیق: در این مقاله الگوهای متفاوت ایوان در خانه‌های سنتی اصفهان شناسایی شد و الگوهای رایج به‌دست‌آمد، بعد از اعتبارسنجی نرم‌افزار دیزاین بیلدر با نمونه واقعی با کمک روش شبیه‌سازی، نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها با یکدیگر مقایسه شد.

مهم‌ترین یافته‌ها و نتیجه‌گیری تحقیق: نتایج حاکی از آن است که الگوی کارآمدتر در میان سایر الگوها ازلحاظ بهینه‌سازی مصرف انرژی به ترتیب الگوی ایوان خانه دهدشتی و الگوی خانه دکتر اعلم می‌باشد. ازآنجاکه خانه دهدشتی در تابستان بیشتر مقرون‌به‌صرفه است و بارسرمایشی در اصفهان نسبت به زمستان مهم‌تر است، می‌توان نتیجه گرفت الگوی خانه دهدشتی الگوی بهینه‌تر ایوان است. در این مقاله، ایوان بهینه در مقابل اتاق‌های سه‌دری در طرفین بنا قرار دارد و ازطریق راهرویی حائل (فضای‌کنترل‌نشده) به اتاق و تالار مرتبط است، این در حالیست‌که طول راهرو نیمی از طول تالار را می‌پوشاند. همچنین به علت بهینه‌تر بودن مصرف انرژی در الگوی ایوان‌دار این خانه نسبت به الگوی بدون‌ایوان، این مساله اهمیت استفاده از ایوان در نمای جنوبی خانه‌های معاصر اصفهان را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: ایوان، بهینه‌سازی مصرف انرژی، خانه‌های سنتی اصفهان، اقلیم گرم و خشک.

۱* استادیار گروه معماری، مرکز تحقیقات افق‌های نوین در معماری و شهرسازی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران. (نویسنده مسئول) dehghan@par.iaun.ac.ir
۲ کارشناسی ارشد، گروه معماری، مرکز تحقیقات افق‌های نوین در معماری و شهرسازی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.farzaneac91@gmail.com
۳ کارشناسی ارشد، گروه معماری، مرکز تحقیقات افق‌های نوین در معماری و شهرسازی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران. abbas.maleki74@gmail.com

۱- مقدمه

به دنبال پیشرفت و توسعه کشورها، محدودیت‌ها و مشکلاتی نیز پدیدار می‌گردد. افزایش مصرف انرژی مشکلات متعددی ازجمله آلودگی‌های زیست‌محیطی و هزینه‌های مصرفی را به‌همراه دارد (لکنر، ۱۳۹۶: ۱۶). این در حالیست‌که درگذشته سرمایش ایستا با توجه به الگوهای سنتی معماری ایرانی بدون مصرف انرژی مهم‌ترین نقش تأمین شرایط آسایش در اقلیم گرم و خشک را بر عهده داشته است. مطالعات نشان داده، اکثر ساختمان‌های سنتی در شرایط غیرفعال نسبت به ساختمان‌های مدرن، شرایط آسایش بیشتری برای ساکنین دارند و انرژی کمتری مصرف می‌کنند (Nematchoua, Tchinda, & Orosa, 2014).

یکی از نمونه‌های موفق معماری پاسخگو به اقلیم، خانه‌های حیاط‌دار سنتی در آب‌وهوای گرم ایران است که با توجه دقیق به شرایط اقلیمی و زمینه‌های اجتماعی و فرهنگی طراحی شده‌اند (Soflaei, Shokouhian, & Soflaei, 2017: 330). همچنین به نظر می‌رسد پیوند ویژه‌ای بین الگوهای طراحی معماری که به کمک تناسبات هندسی شکل می‌گرفته و طراحی اقلیمی وجود داشته که طراحی را سریع و با امکان غفلت کمتری از تأمین شرایط آسایش انجام می‌داده است. هرچند امروزه باوجود تکنولوژی‌های پیشرفته محاسباتی، همچنان بناهای متعددی با کمبودهای جدی در طراحی‌های اقلیمی مشاهده می‌گردد. بنابراین، اگر بتوان راهی یافت تا طراحی معماری از همان ابتدا و نه پس از شکل گرفتن طرح، قابلیت ادغام با الگوهای تأمین‌کننده شرایط آسایش حرارتی را داشته باشد نه تنها از جنبه هزینه و زمان صرفه‌جویی خواهد شد، بلکه بنا بیش‌ازپیش از جنبه زیست‌محیطی پایدار است.

ایوان به‌عنوان عنصر معماری مسکونی با رفتار حرارتی بهینه و فراهم آوردن شرایط آسایش اقلیمی فضاها در معماری سنتی ایران نقش پررنگی در الگوی بهینه مسکن دارد و کنترل مصرف انرژی توسط آن قابل‌درک است. سازمان فضایی خانه‌های ایرانی بر اساس استقرار الگوهای فضایی باز و بسته و پوشیده قابل‌تشخیص است؛ در این میان فضاهای پوشیده و به‌طور خاص ایوان از عناصر مهم خانه‌ها و برخی بناهای دیگر ایرانی هستند (باقری، کردجمشیدی، و پیراسته، ۲۰۱۶: ۲۵).

با توجه به اختصاص یافتن بیشترین حجم از ساخت‌وساز به معماری مسکونی و فراموش‌شدن نقش پایدار ایوان در خانه‌های معاصر و از طرفی بحران انرژی فراگیر، این پژوهش با هدف ارزیابی و بازشناسی جانمایی و فضابندی بهینه ایوان از نظر مصرف انرژی سالانه با الهام از معماری خانه‌های سنتی و استفاده از آن در مسکن امروزی در اقلیم گرم و خشک و در راستای بهره‌وری از انرژی انجام‌شده است. مؤلفه‌هایی نظیر میزان عمق مناسب ایوان، تناسبات و سطح بازشوی مجاور ایوان، منطبق با الگوی رایج و فراوانی آن در خانه‌های قاجاری اصفهان (الگوی خانه مارتاپیترز) در نظر گرفته‌شده است. تحقیق حاضر با استفاده از روش توصیفی- تحلیلی، مبانی نظری را بررسی و به ارائه چارچوب نظری می‌پردازد، سپس ازطریق مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی کلیه گونه‌های ایوان، تالار و فضاهای جانبی در خانه‌های اصفهان از دوران صفویه تا قاجار تیپ‌بندی و درنهایت با استفاده از مدل‌سازی واقعیت و شبیه‌سازی، به مقایسه تطبیقی گونه‌های مختلف ایوان و تحلیل آن پرداخته می‌شود.

۲- پرسش‌های تحقیق

با توجه به موارد ذکرشده پرسش‌های پژوهش بـه شـرح زیر است:

- چگونه با بررسی رفتار حرارتی ایوان در خانه‌های سنتی اصفهان می‌توان به الگوی بهینـه آن بـا هـدف کـاهش مصرف انرژی در مسکن معاصر دست‌یافت؟
- الگوی بهینه ایوان در خانه‌های قدیمی اصفهان از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی کدام است؟

۳- فرضیه تحقیق

- در صورت جانمایی ایـوان در طـرفین نمـا نسـبت بـه ایوان‌های متمرکز و یا سراسـری در طـول نمـا، مصـرف انرژی کمتر می‌شود.
- وجود راهرو (فضای‌کنترل‌نشده) به‌عنوان حائل فضایی میـان ایـوان و سـایر فضـاهای سـکونتی در کـاربری مسـکونی، نسـبت بـه عـدم وجـود ایـن حائـل از نظـر صرفه‌جویی در مصرف انرژی بهینه‌تر است.

۴- پیشینه تحقیق

پژوهش‌های انجام‌گرفته پیرامون موضوع موردمطالعه در دوره‌های زمانی مشخص از نظر حوزه عملی و نظری به بررسی نمونه‌های موردی موجود در رابطه با بهینه‌سازی مصرف انرژی به‌طور ویژه در ارتباط با عنصر ایوان پرداخته است که در شبیه‌سازی عملکرد ساختمان، بخش رفتارحرارتی و روشنایی بنا را در برمی‌گیرد. در این بخش، بالکن در برخی منابع با توجه به تعریف کالبدی ایوان در بخش مقدمه، معادل ایوان در نظر گرفته‌شده است.

پژوهشی (Yang, 2014: 12) در منطقه آب‌وهوایی سی اف ای[1] شهر شانگهای، تأثیر عملکرد حرارتی بالکن‌ها را موردبررسی قرار داد که سبب کاهش اشعه خورشیدی دریافتی روی شیشه و افزایش جریان اتلاف گرما از طریق پل‌های حرارتی می‌شد. طبق نتایج، طاق‌نما، یکی از معیارهای مؤثر سرمایش است، زیرا ارتفاع خورشید در حالت تابستانی و زمستانی تغییر می‌کند. همچنین کاهش تقاضای سرمایش، بسیار بیشتر از افزایش تقاضای گرما به دلیل پل‌های حرارتی است. در مقاله‌ای(Chan & Chow, 2010: 2400)، عملکرد انرژی و دوره برگشت انرژی توسط عنصر بالکن در آپارتمانی مسکونی در هنگ‌کنگ بررسی شد. در این مطالعه، آپارتمان مسکونی معمولی با بالکن تعبیه‌شده در پذیرایی، به‌عنوان مدل واقع شد و عملکرد انرژی موردبررسی قرار گرفت. درنهایت، مشخص شد که آپارتمان‌های مسکونی در جهات مختلف می‌توانند ذخیره انرژی قابل‌توجهی در سیستم تهویه مطبوع به دلیل اثر سایه‌اندازی بالکن داشته باشند. در حوزه بررسی عملکرد حرارتی ایوان، باقری و همکاران (۱۳۹۵) با هدف اصلاح الگوی طراحی ایوان، میزان انرژی مصرفی سالانه ساختمان را بررسی کردند. برای این منظور به بررسی انرژی مصرفی سالانه ساختمان در سه حالت با ایوان، بدون ایوان و ایوان با دیواره‌ای مشبک در نرم‌افزار انرژی‌پلاس پرداخته و انرژی مصرفی برای سرمایش و تأمین روشنایی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داده‌شده است. ایوان با ویژگی‌های در نظر گرفته‌شده در ساختمانی ۴ طبقه روی پیلوت در اقلیم شمال کشور با ابعاد ۴/۴*۴/۲ طراحی گردید. نتایج این پژوهش حاکی از تأثیر مثبت ایوان در خنک کردن فضای داخلی است. استفاده از ایوان مشبک در کاهش درجه حرارت هوا در روزهایی از سال که دارای تابش مستقیم آفتاب می‌باشد تأثیر بیشتری خواهد داشت. در فصولی همچون تابستان جلوگیری از تابش مستقیم آفتاب به‌وسیله ایوان مشبک موجب خنک ماندن فضا خواهد شد.

منتظری و همکاران به ارائه ارزیابی سیستماتیک برای تخمین توزیع متوسط فشار باد روی سطوح رو به باد و پشت به باد ساختمانی با ارتفاع متوسط با بالکن و بدون بالکن می‌پردازند. بر اساس این پژوهش، بالکن‌های ساختمان می‌توانند به تغییرات شدیدی در پخش فشار باد منجر شوند، چراکه بالکن‌ها مناطق مختلفی از گردش مجدد و مجزا جریان باد را در سراسر نما ایجاد می‌کنند(Montazeri & Blocken, 2013: 143). در مقاله‌ای، به تعیین عوامل کلیدی تأثیرگذار بر توانایی گرم شدن یک بالکن شیشه‌ای و گرم باقی ماندن آن بدون سیستم گرمایش پرداختند. کنترل دمایی نشان داد که طی یک سال، دمای هوای هر دو بالکن شیشه‌ای و غیره شیشه‌ای بدون استثنای دمای هوای بیرونی یکسان باقی می‌ماند. در این پژوهش به ترتیب عوامل کلیدی اثرگذار بر دمای بالکن شیشه‌ای؛ میزان نشت هوا در ساختارهای عمودی بالکن، قابلیت بالکن در جذب تابش خورشیدی و گرمای دریافتی از آپارتمان مجاور می‌باشند(Hilliaho, Köliö, Pakkala, Lahdensivu, & Vinha, 2016: 470). در پژوهشی دیدگاه‌های مربوط به عوامل مؤثر بر قابلیت نور روز با ارزیابی اثر نسبی اشکال مختلف بالکن بر سطح روشنایی و توزیع آن با هندسه مختلف آتریوم ارائه شده است. در این راستا مشخص شد، شاخص خورشید و عمق بالکن مهم‌ترین عوامل در عملکرد نور روز در فضای آتریوم است. از دیگر نتایج این بود که، تضعیف نور ۷۰-۹۰٪ است، به‌ویژه هنگامی‌که شاخص خورشید بالاتر از ۱ متر و عمق بالکن بیشتر از ۳ متر می‌شود (Kim & Kim, 2010).

تحلیل مقایسه‌ای از راه‌حل‌های مختلف برای ساخت ایوان‌ها در ساختمانی مسکونی در فرایبورگ بر اساس روش EN ISO 13790 ارائه شده است (Albatici, Passerini, & Pfafferott, 2016: 365). برای این

منظور، آپارتمانی معمولی از ساختمانی خطی در نظر گرفته شد که شامل اتاق نشیمن، آشپزخانه، حمام، دو اتاق‌خواب و یک ایوان مجاور اتاق نشیمن و اتاق‌خواب است. مدل کلی پیشنهادشده در این پژوهش عبارت است از: عایق مناسب برای پوسته ساختمان (شامل دیوارهای ایوان)، پنجره عریض بدون سایه‌انداز به‌منظور بهره‌برداری از تابش مستقیم خورشید و سیستم تهویه مکانیکی به‌منظور تهویه مطبوع، که باعث افزایش اثر حائل می‌شود. در این مطالعه هدف اصلی این بود که امکان استفاده از فضاهای خورشیدی را به‌منظور افزایش بهره‌وری موجود در ساختمان، با در نظر گرفتن سهولت ساخت‌وساز و حیات اقتصادی، نشان داد. این پژوهش جهت ارزیابی بازسازی مجدد در ساختمانی مسکونی در فرایبورگ (آلمان) صورت گرفته است، جایی که می‌توان از ایوان به‌عنوان عنصر غیرفعال خورشیدی برای افزایش بهره‌وری کلی انرژی استفاده کرد.

مطالعه‌ای بر نقش سیستم‌های غیرفعال خانه‌های بومی اصفهان با استفاده از نمونه‌موردی خانه کریمی تمرکز دارد (Khashei, 2010:276). در این نمونه موردی، عناصری مانند بادگیر، حوضخانه و استفاده از تهویه طبیعی، حوض و باغچه در حیاط‌مرکزی، به‌عنوان سیستم سرمایش غیرفعال برای فراهم کردن رطوبت و تهویه طبیعی در تابستان و ایوانچه، استفاده از انرژی خورشیدی ازطریق حیاط مرکزی و مصالح مناسب برای ذخیره گرما در زمستان، به‌عنوان سیستم‌های گرمایش غیرفعال در نظر گرفته می‌شوند. در مقاله دیگری، رفتار حرارتی خانه‌های سنتی یزد موردبررسی قرار گرفت. برای بررسی رفتار حرارتی از خانه رسولیان به‌عنوان نمونه موردی در نرم‌افزار انرژی‌پلاس[۲] استفاده شد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی (گرم‌ترین و سردترین روز که ۲۱ جولای (تابستان) و ۲۶ دسامبر (زمستان) است)، دمای داخلی در فصل تابستان دارای نوسان کمتری نسبت به دمای هوای بیرون است. همچنین، سازمان‌دهی مناسب فضاها، فرم ساختمان و استفاده از مصالح مناسب ازجمله راهکارهای اصلی اقلیمی است(Asadi, Fakhari, & Sendi, 2016: 339). همچنین در بررسی تأثیر فضاهای پیش ورودی بر فضاهای اصلی در خانه‌های قدیمی یزد به این نتیجه رسیدند که وجود پیش‌فضاها باعث اعتدال دمایی فضاهای اصلی در فصول مختلف سال می‌شود(مهدیزاده سراج، جاپلقی، و صنایعیان، ۲۰۱۵: ۸).

نقش اقلیمی ایوان به‌عنوان فضای حائل میان محیط داخلی و خارجی باعث کاهش قابل‌توجه بار سرمایش و گرمایش در ساختمان می‌گردد و این فضای نیمه‌باز در معماری ایرانی فضایی بلند و مسقف است که کاملاً به حیاط اشراف دارد و ساکنان خانه می‌توانند در زیر سایه سقف آن بنشینند و از فضای باز حیاط بهره‌مند شوند. ازلحاظ فضایی، ایوان باعث ایجاد تنوع فضایی، تجربه خاص زیستی، خوانایی، تشخیص، تمایل و درعین‌حال پیوستگی درون و برون می‌گردد. درواقع، هدف و کارایی بالکن پاسخگویی به نیازهایی بوده است که روزگاری در ایوان یا حیاط تعریف می‌شد، اما به دلیل در نظر نگرفتن معیارهای کمی مانند؛ ابعاد و اندازه مناسب و مسائل کیفی بالکن از قبیل؛ ارتباط با طبیعت و فضای سبز، خود به فضایی بدون استفاده تبدیل‌شده است. لذا با کمرنگ شدن نقش این عنصر در معماری کنونی و بررسی عملکرد حرارتی مصرف انرژی سالیانه ایوان با توجه به جانمایی‌های مختلف آن در خانه‌های سنتی و مخصوصاً در اقلیم گرم و خشک اصفهان که نقش ایوان بسیار پررنگ است، پژوهشی صورت نگرفته است. تنها مطالعاتی، به بررسی وجود یا عدم وجود نوع امروزی آن به نام تراس و یا بالکن پرداخته‌اند و یا این عنصر را از جهت خاستگاه آن و از بعد شناخت ویژگی‌ها و ابعادش در دوره‌های زمانی مختلف بررسی کرده‌اند، به همین جهت در خصوص بررسی پیشینه پژوهش و مطالعات نمونه موردی، به مواردی که در ارتباط نزدیک با موضوع پژوهش بود، بسنده شد.

۵- روش تحقیق

نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی به‌عنوان کاراترین ابزار مورداستفاده کارشناسان در حیطه طراحی و ارزیابی رفتار انرژی ساختمان‌ها هستند. با ایجاد محیط مجازی ساختمان در این نرم‌افزارها سبب پیش‌بینی عملکرد ساختمان تا حد نزدیک به واقعیت می‌شود و طراح با بهبود طرح خود در صورت استفاده از فن‌آوری‌های جدید صرفه‌جویی و انرژی کارآ به بهینه‌سازی آن و ارائه راه‌های بهینه اقدام می‌کند (Hensen, 2002: 12).

روش شبیه‌سازی و مدل‌سازی واقعیت درواقع تکرار شرایط یا رویدادی از زندگی واقعی (یا شرایطی است مفروض از زندگی واقعی) تعریف‌شده است که از تعامل پویای عوامل دستکاری‌شده حاصل می‌شود. این عوامل بازتاب‌دهنده روابط متقابلی‌اند که به شکل واقعی در زندگی روزمره بروز می‌کنند (گروت و وانگ، ۱۳۹۸: ۲۹۲). روش پژوهش در این مقاله از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، کمی است.

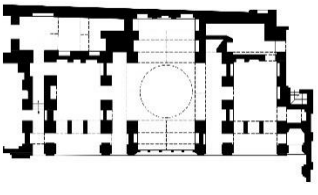
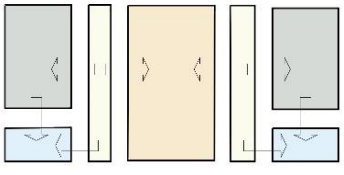
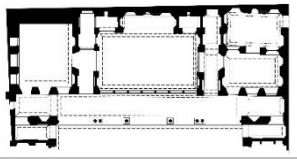
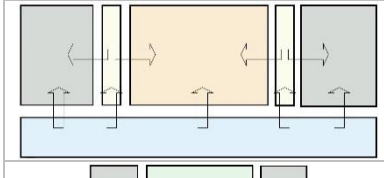
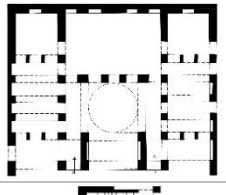
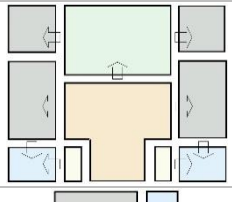
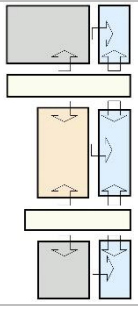
۵-۱-قلمرو زمانی و مکانی پژوهش

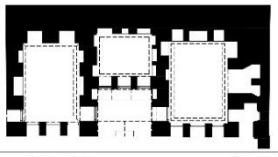
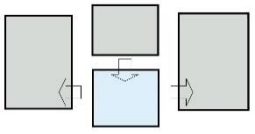
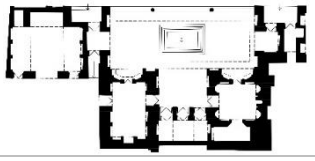
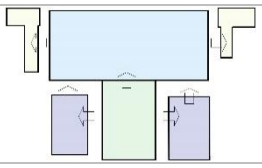
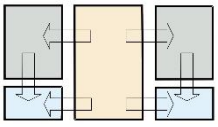
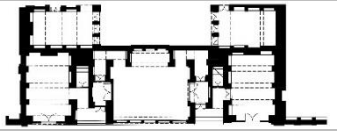
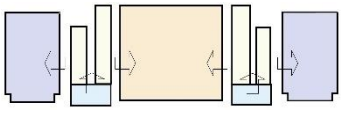
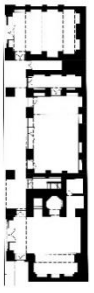
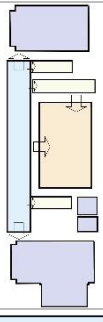
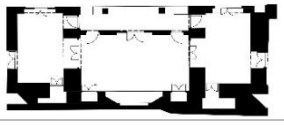
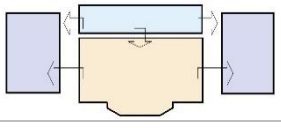
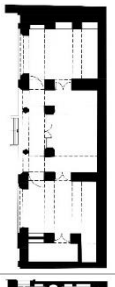
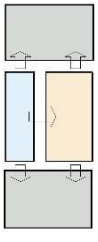
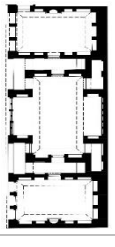
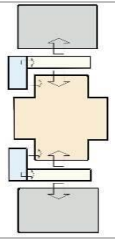
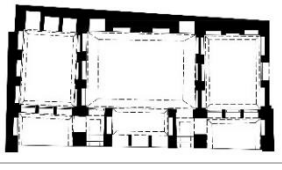
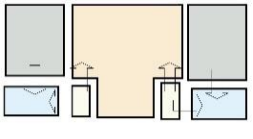
با مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده و مدارک و اسنادی که از خانه‌های باارزش گذشته موجود است و تمرکز روی عنصر ایوان، مشاهده شد که این عنصر در هر یک از اقلیم‌های مختلف، فرم‌های مخصوص به خود را دارد و از نظر عملکردی و ایجاد آسایش اقلیمی در هر اقلیم به یک شیوه نسبت به فضاهای جانبی‌اش شکل‌گرفته است. بنابراین از این میان، اقلیم گرم و خشک اصفهان، که کاربرد ایوان در فصول مختلف به شرایط آب‌وهوایی و آسایش اقلیمی ساکنان خانه‌های آن اقلیم کمک می‌کرده است، انتخاب و دوره زمانی بررسی خانه‌ها از صفویه تا قاجار در نظر گرفته شد.

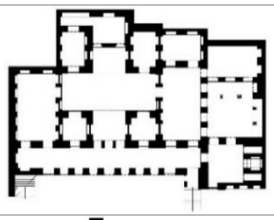
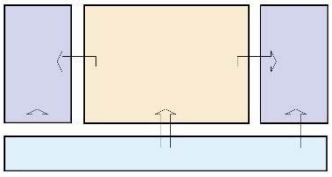
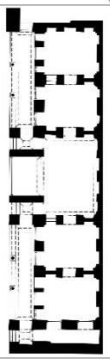
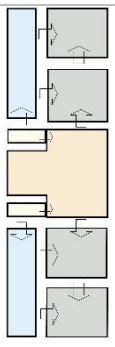
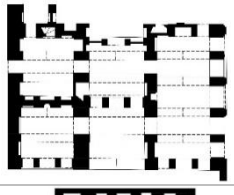
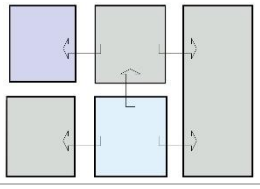
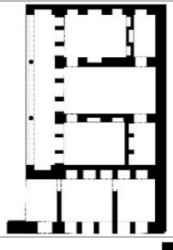
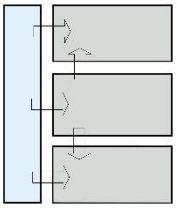
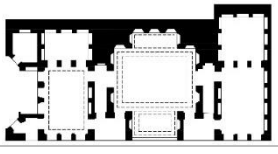
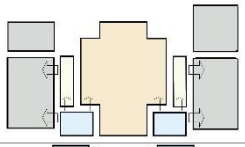
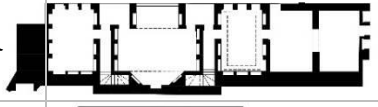
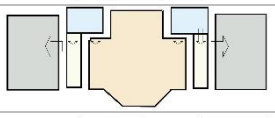
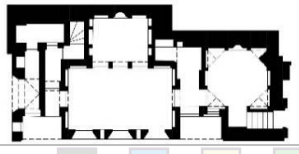
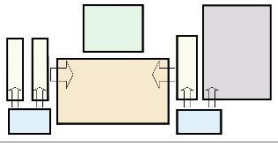
۵-۲-جامعه آماری

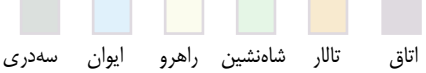
در این مقاله ابتدا ازطریق بررسی نمونه‌های موردی، تمامی خانه‌های موجود در کتاب گنجنامه خانه‌های اصفهان[۳] (حاجی‌قاسمی، ۱۳۷۵) بررسی شدند. از میان ۲۱ خانه موجود، تعداد ۱۴ خانه دارای ایوان بودند که از این تعداد خانه، ۲۰ الگوی متفاوت از ایوان در جبهه‌های مختلف به‌دست آمد. الگوهای ایوان و فضاهای جانبی آن در جدول ۱ آمده است.

جدول۱- الگوهای موجود در خانه‌های سنتی اصفهان در همه جهت‌ها نسبت به حیاط. (مأخذ: نگارنده بر مبنای کتاب گنجنامه خانه‌های اصفهان)

	نام خانه	پلان قسمت ایوان‌دار	جهت‌گیری نسبت به حیاط	الگوی قسمت ایوان‌دار
۱	خانه داوید		جبهه شمالی	
۲	دکتر اعلم		جبهه شمالی	
۳	دهدشتی		جبهه شمالی	
۴	دهدشتی		جبهه غربی	

۵	زوولیان		جبهه شمالی	
۶	شیخ الاسلام		جبهه جنوبی	
۷	شیخ هرندی		جبهه شمالی	
۸	عکاف زاده شریف		جبهه شمالی	
۹	عکاف زاده شریف		جبهه شرقی	
۱۰	عکاف زاده شریف		جبهه جنوبی	
۱۱	قزوینی‌ها		جبهه شرقی	
۱۲	کریمی		جبهه شرقی	
۱۳	کهکشان		جبهه شمالی	

۱۴	لباف		جبهه شمالی 
۱۵	لباف		جبهه شرقی 
۱۶	مارتاپیترز		جبهه شمالی 
۱۷	مارتاپیترز		جبهه شرقی 
۱۸	وثیق انصاری		جبهه شمالی 
۱۹	وثیق انصاری		جبهه جنوبی 
۲۰	مصور الملکی		جبهه شمال غربی 



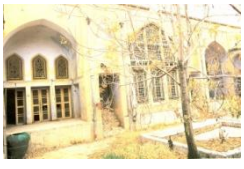
۵-۳-روش نمونه‌گیری و نمونه آماری

در جدول ۱، ۲۰ الگـوی ایـوان‌دار از خانـه‌های مختلـف مشاهده شد که رابطه فضایی ایوان با فضاهای جـانبی و جهت قرارگیری این عنصر نسبت به حیاط در آن نشـان داده‌شده است. نظر به اینکه نحوه قرارگیری ایوان در هر جبهه‌ای، رفتار و عملکرد اقلیمی در ارتباط با دیگر فضاها دارد و تحلیل همه الگوهای مختلف کاری بسیار گسترده و زمان‌بر می‌باشد؛ همچنین با توجه به جهت قرارگیـری خانـه‌های اصـفهان (شـمال غربـی- جنـوب شـرقی یـا به‌اصطلاح رون اصفهانی) از میان ۲۰ الگوی به‌دست‌آمده،

تعدادی که عنصر ایوان در ضلع شمالی، رو به حیاط مرکزی و در بخش زمستان نشین (دارای نور جنوب) مستقرشده است، از نمونه‌گیری انتخاب شدند، به‌این‌ترتیب تعداد ۱۱ خانه در بخش زمستان نشین خود دارای ایوان هستند.

با تحلیل و بررسی و مقایسه بین الگوها، ۷ مدل متفاوت از جانمایی ایوان نسبت به فضاهای جانبی، در بخش زمستان نشین مشخص شد که در جدول ۲ نشان داده‌شده است.

جدول۲- دسته‌بندی مدل‌های متفاوت ایوان نسبت به فضاهای جانبی در بخش زمستان نشین. (مأخذ: نگارنده)

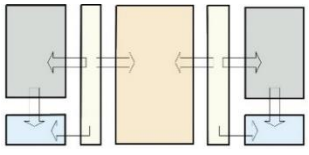
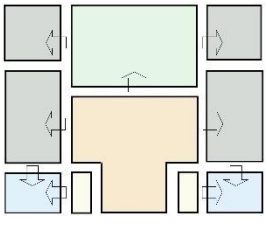
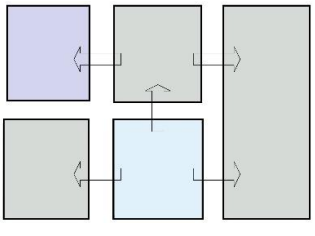
دسته‌بندی الگوهای به‌دست‌آمده		نام خانه	الگوی فضایی	تصویر
ایوان به‌صورت پراکنده در ارتباط با فضاهای جانبی	۱. جلوی اتاق‌های سه‌دری در طرفین بنا و وجود راهرو میان فضاهای داخلی	داوید	سه‌دری، راهرو، تالار، راهرو، سه‌دری، ایوان، ایوان	
	۲. جلوی اتاق‌های سه‌دری در طرفین بنا و وجود راهرو به‌صورتیکه راهرو بین تالار میانی و ایوان مشترک باشد	دهدشتی کهکشان	سه‌دری، شاه نشین، سه‌دری، سه‌دری، تالار، سه‌دری، راهرو، ایوان، راهرو، ایوان	
	۳. جلوی اتاق‌های سه‌دری در طرفین بنا بدون هیچگونه راهرو میان فضاهای داخلی	شیخ هرندی	سه‌دری، تالار، سه‌دری، ایوان، ایوان	
	۴. جلوی راهروهای ورودی و به‌عنوان پیش‌فضا	عکاف زاده شریف مصورالملکی وثیق انصاری	اتاق، راهرو، تالار، راهرو، اتاق، ایوان، ایوان	
ایوان به‌صورت متمرکز در ارتباط با فضاهای جانبی	۵. میان بنا و احاطه‌شده توسط سه فضای بسته	زوولیان مارتاپیترز	سه‌دری، سه‌دری، سه‌دری، ایوان	
ایوان به‌صورت گسترده در ارتباط با	۶. جلوی همه فضاهای بخش زمستان نشین و وجود راهرو میان فضاهای داخلی	دکتر اعلم	سه‌دری، راهرو، تالار، راهروسه‌دری، ایوان	

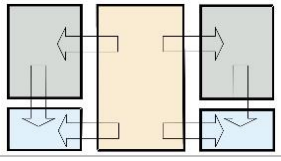
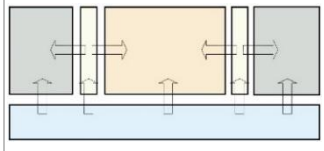
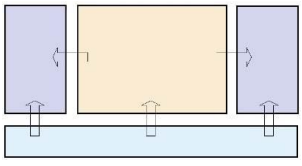
فضاهای جانبی	۷. جلوی همه فضاهای بخش زمستان نشین بدون هیچگونه راهرو میان فضاهای داخلی	لباف		

با تعریفی که از ایوان در مراحل پژوهش تا به اینجا به‌دست‌آمد و طبق انتظاری که از فضای ایوان به‌عنوان چشم خانه و فضای نیمه‌باز مرتبط با فضاهای جانبی بود، ۳ الگوی خانه مصور الملکی، وثیق انصاری، عکاف زاده و شریف که ایوان در آن‌ها عمدتاً نقش پیش‌فضا دارد، حذف شدند. درنهایت ۶ الگوی کاملاً متفاوت از جانمایی ایوان در کنار فضاهای جانبی به‌دست‌آمد.

در ادامه پژوهش در ابتدا تصمیم بر آن شد تا همه الگوهای به‌دست‌آمده از خانه‌ها مدل‌سازی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها با یکدیگر مقایسه شوند، ولی ازآنجاکه شرایط و ابعاد این خانه‌ها با یکدیگر متفاوت بودند و تأثیر عنصر ایوان بر فضاهای جانبی و فضای داخل با شرایط یکسان، بایستی موردسنجش قرار بگیرد، لذا از ۶ الگوی به‌دست‌آمده، الگویی که در خانه‌های موردبررسی رایج‌تر بود، به‌عنوان الگوی پایه در شبیه‌سازی استفاده شد. ازاین‌جهت فراوانی الگوها در خانه‌های اصفهان موردبررسی قرار گرفت. طبق تحلیل‌های انجام‌شده، فراوانی الگوها به‌قرار جدول ۳ است.

جدول۳- الگوهای نهایی به‌دست‌آمده و فراوانی هر یک در خانه‌های اصفهان. (مأخذ: نگارنده)

الگوها	نام خانه	جبهه قرارگیری نسبت به حیاط	فراوانی	الگوی مشترک	
الگوی اول	داوید (اصفهان)	شمالی	۱		– ایوان در دوسوی تالار و در ارتباط با سه‌دری و راهرو – راهرو (فضای‌کنترل‌نشده) حائل میان طول تالار و اتاق سه‌دری و ایوان و در ارتباط با هر سه
الگوی دوم	دهدشتی (اصفهان)	شمالی	۳		– ایوان در دوسوی تالار و در ارتباط با سه‌دری و راهرو – راهرو (فضای‌کنترل‌نشده) حائل میان شاه‌نشین تالار و اتاق سه‌دری و ایوان و تنها در ارتباط با ایوان و شاه‌نشین
	کهکشان (اصفهان)	شمالی			
	لباف (اصفهان)	شرقی			
الگوی سوم	زوولیان (اصفهان)	شمالی	۵		– ایوان به‌صورت متمرکز در میان سه فضای بسته و در ارتباط با هر سه
	مارتاپیترز (اصفهان)	شمالی			
	مارتاپیترز (اصفهان)	شرقی			
	عکاف زاده و شریف (اصفهان)	جنوبی			

	قزوینی‌ها (اصفهان)	شرقی			
الگوی چهارم	شیخ هرندی	شمالی	۱		– ایوان در دوسوی تالار و در ارتباط با سه‌دری – بدون وجود راهرو (فضای‌کنترل‌نشده)
الگوی پنجم	اعلم (اصفهان)	شمالی	۱		– ایوان به‌صورت سراسری در نما و در ارتباط با سه‌دری، راهرو و تالار – راهرو (فضای‌کنترل‌نشده) حائل میان طول تالار و اتاق سه‌دری و ایوان و در ارتباط با هر سه
الگوی ششم	لباف (اصفهان)	شمالی	۱		– ایوان به‌صورت سراسری در نما و در ارتباط با سه‌دری و تالار – بدون وجود راهرو (فضای‌کنترل‌نشده)
				اتاق تالار شاه‌نشین راهرو ایوان سه‌دری	

طبق جدول ۳ الگوی اول در ۱ خانه، الگوی دوم در ۳ خانه، الگوی سوم در ۵ خانه، الگوی چهارم، پنجم و ششم هرکدام در ۱ خانه تکرار شده بود. با توجه به فراوانی‌های به‌دست‌آمده، الگوی سوم یعنی ایوان به‌صورت متمرکز و احاطه‌شده توسط ۳ فضای بسته، متداول‌ترین نوع ایوان در خانه‌های اصفهان است. از طرفی به دلیل این‌که پیمون هر یک از این الگوها با یکدیگر متفاوت است و برخی خانه‌ها ابعاد بسیار بزرگی دارند و جزو پیمون بزرگ محسوب می‌شوند و برخی دیگر پیمون کوچک و همین‌طور خرده پیمون، و هر چه ابعاد خانه‌های انتخابی به سرانه مسکن معاصر نزدیک‌تر باشد، نتایج را بهتر می‌توان با یکدیگر تطبیق داد، ازاین‌رو ابعاد هر یک از الگوها محاسبه شد. نتایج بررسی‌ها در این مرحله در جدول ۴ آمده است.

جدول۴- مساحت ضلع ایوان‌دار موردبررسی و سرانه فضاها در آن بخش. (مأخذ: نگارنده)

خانه موردبررسی	مساحت کل خانه	پیمون	مساحت ضلع شمالی ایوان‌دار	سرانه فضاها				
				ایوان	تالار	شاه‌نشین	اتاق	راهرو
خانه داوید	۱۹۴۸ مترمربع	پیمون بزرگ	۲۹۴ مترمربع	٪۹	٪۱۸	٪۱۰	٪۲۷	٪۱۵
خانه دهدشتی	۱۲۹۴ مترمربع	پیمون کوچک	۲۴۳ مترمربع	٪۱۱	٪۲۲	٪۲۱	٪۴۰	٪۵
خانه زوولیان	۶۴۸ مترمربع	خرده پیمون	۱۶۰ مترمربع	٪۱۱	٪۱۶	–	٪۷۲	–
خانه مارتاپیترز	۳۱۱۴ مترمربع	پیمون بزرگ	۲۲۷ مترمربع	٪۱۶	–	–	٪۸۴	–
خانه شیخ هرندی	۵۳۳ مترمربع	خرده پیمون	۹۹ مترمربع	٪۱۷	٪۳۲	–	٪۴۹	–

خانه کهکشان	۷۰۰ مترمربع	خرده پیمون	۱۱۷ مترمربع	٪۱۵	٪۴۰	–	٪۳۹	٪۵
دکتر اعلم	۱۱۵۹ مترمربع	پیمون کوچک	۲۵۳ مترمربع	٪۲۸	٪۲۷	–	٪۳۴	٪۱۱
خانه لباف	۱۷۴۰ مترمربع	پیمون بزرگ	۴۰۰ مترمربع	٪۲۱	٪۲۲	–	٪۵۰	٪۶

طبق اطلاعات به‌دست‌آمده از جداول ۳ و ۴، الگوی خانه مارتاپیترز به‌عنوان الگوی متداول و رایج انتخاب شد. سپس ۵ الگوی متفاوت به‌دست‌آمده، برای یکسان بودن شرایط همه الگوها و حجم و سطح ایوان و مشاهده تأثیر آن بر فضاهای جانبی به الگوی مارتاپیترز تزریق و شبیه‌سازی شدند و نتایج حاصل از آن‌ها با یکدیگر مقایسه شد، تا بتوان در شرایط یکسان به الگوی بهینه ایوان از میان الگوهای موجود دست‌یافت. در همه پلان‌هایی که از معادل‌سازی الگوهای متفاوت ایوان در خانه مارتاپیترز به‌دست‌آمد، متغیرهای مربوط به ایوان نظیر حجم، ارتفاع و درصد بازشوها یکسان در نظر گرفته شدند تا بتوان نتایج حاصل از شبیه‌سازی را با یکدیگر مقایسه کرد. پلان‌های به‌دست‌آمده مطابق جدول ۵ می‌باشد.

برای رسیدن به پلان نهایی هرکدام از الگوها، الگوی مارتاپیترز به‌عنوان الگوی ثابت در نظر گرفته شد. به‌این‌ترتیب متغیرهایی ازجمله مساحت و ارتفاع ایوان‌ها، مساحت کل، درصد بازشوها و چیدمان فضاهای جانبی طبق الگوی مارتاپیترز می‌باشد و فقط جانمایی ایوان‌ها و عمق آن‌ها با یکدیگر متفاوت در نظر گرفته شد. به‌عنوان‌مثال برای رسیدن به پلان نهایی الگوی شیخ هرندی روند زیر طی می‌شود:

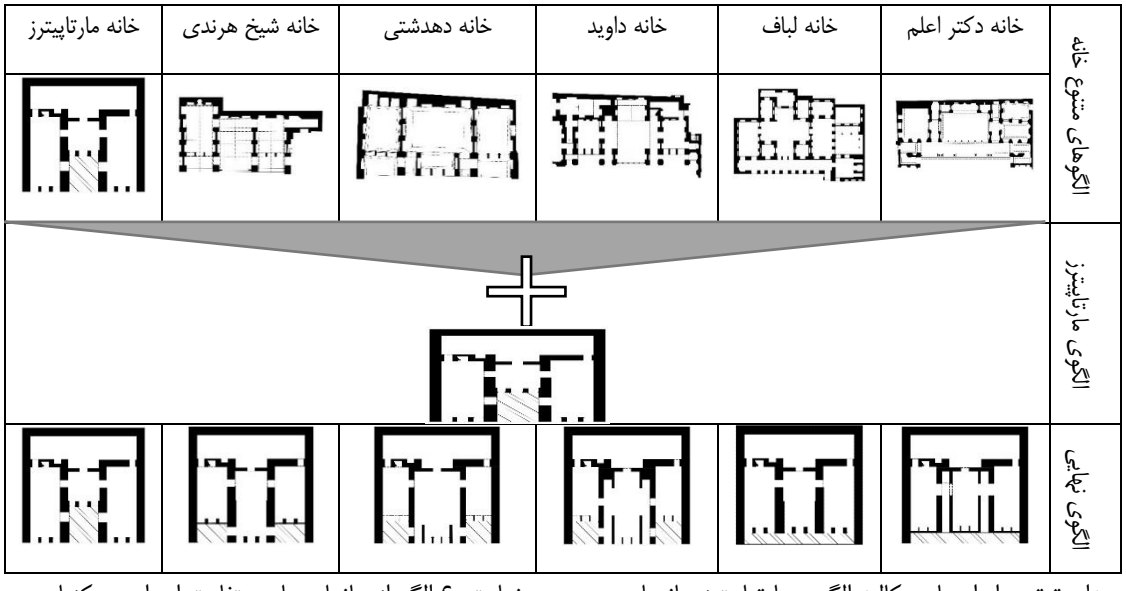
با توجه به پلان خانه شیخ هرندی و مارتاپیترز که در جدول ۵ آمده است، الگوی ایوان در خانه شیخ هرندی شامل ۲ ایوان در طرفین و در خانه مارتاپیترز شامل ۱ ایوان به‌صورت متمرکز می‌باشد. مساحت ایوان در خانه مارتاپیترز ۲۵/۶۰ مترمربع با ابعاد ۵/۵۵ *۴/۶۰ می‌باشد. برای داشتن همین مساحت ایوان در پلان با ۲ ایوان خواهیم داشت:

مساحت تقریبی هرکدام از ایوان‌ها در الگوی شیخ هرندی ۱۲/۸۰= ۲÷۲۵/۶۰

هرکدام از ایوان‌ها در دو طرف پلان در جبهه جنوبی جانمایی شد که طول هرکدام برابر با عرض اتاق پشتی می‌باشد. با توجه به عرض اتاق‌ها که ۴/۶۵ متر است، عمق هر ایوان برابر است با:

عمق هرکدام از ایوان‌ها در الگوی شیخ هرندی ۲/۷۰=۴/۶۵÷۱۲/۸۰

جدول۵- پلان‌های نهایی جهت شبیه‌سازی در نرم‌افزار. (مأخذ: نگارنده)



به‌این‌ترتیب ایوان‌ها در کالبد الگوی مارتاپیترز جانمایی شد و عمق هر یک با توجه به‌قرارگیری ایوان و فضاهای جانبی به‌دست‌آمد. درنهایت، ۶ الگو از جانمایی‌های متفاوت ایوان در کنار فضاهای جانبی به‌دست‌آمد. برای تحلیل داده‌ها و رسیدن

به نتایج، تحلیل الگوهـای ایـوان در ۶ مـدل پیشـنهادی بررسی می‌گردد.

- الگوی اول، الگوی خانه داوید که همانند دو الگوی قبلی دو ایوان در دو طرف نما جانمایی شـده اسـت و راهـرو میان همه فضاهای داخلی قرارگرفته است.
- الگوی دوم مربوط به خانـه دهدشـتی اسـت کـه در آن همان الگوی دو ایوانی در خانه دهدشتی تکرار شده بـا این تفاوت که میان ایوان و قسمت جلـویی تالـار، یـک راهرو و یا فیلتر ورودی قرارگرفته است.
- الگوی سوم، مربوط به خانه مارتاپیترز است، در آن ایوان به‌صورت متمرکز در میان نمای جنوبی (قسمت زمستان نشین) قرارگرفته و در بین ۳ فضـای بسـته احاطه‌شـده است که همه فضاها بـا یکـدیگر به‌وسـیله بازشـوهایی مرتبط هستند، در این الگو عمق ایوان از همه الگوهای دیگر بیشتر اسـت و ایـوان حجـم زیـادی از فضـا را در میان نمای جنوبی به خود اختصاص داده است.
- الگوی چهارم، خانه شیخ هرندی می‌باشـد کـه ایـوان در آن، در دو طرف نمای جنوبی قرارگرفته است. در فضای پشت این ایوان‌ها، اتاق‌های سه‌دری قرارگرفته‌انـد و در فضای میانی این ایوان‌ها، تالار جانمایی شده اسـت کـه همه این فضاها بدون هیچ‌گونه فیلتر میانی و یا راهرو با یکدیگر توسط درهای چوبی در ارتبـاط هسـتند. عمـق ایوان در این الگو از عمق ایوان در خانه مارتاپیترز کمتر است.
- الگوی پنجم مربوط به الگوی ایوان در خانه دکتـر اعلـم است. در این الگو همانند الگوی خانـه لبـاف ایـوان در نمای جنوبی سرتاسر فضاها را پوشش داده و به نسـبت دیگر الگوها عمق کمتـری را بـه خـود اختصـاص داده است.
- الگـوی ششـم، خانـه لبـاف می‌باشـد، کـه در آن ایـوان به‌صورت کشیده جلوی همه فضاها قرارگرفته اسـت. در این الگو عمق ایوان از دیگر الگوها کمتر اسـت و بـین فضاها هیچ‌گونه فیلتر و یا راهرویی قرار نگرفته است.

۶- مبانی نظری

در ابتدا لازم است تعریف کالبدی ایوان بررسی و سپس این عنصر در خانه‌های سنتی با بالکن/تراس در خانه‌های امروزی مقایسه شود. ایوان فضای نیمه‌باز مسقفی است که از سه طرف محدود و ازیک‌طرف باز است (حاجی قاسمی، ۱۱:۱۳۷۵) و معمولاً در قسمت شمالی حیاط در جلوی اتاق در شکل‌های مختلف جای دارد (معماریان، ۳۷۹:۱۳۸۶) و با ایجاد سایه و امکان ارتباط مستقیم چشم‌انداز با درخت و سبزی، امکان تجربه‌های متنوع‌تری را در مقایسه با فضاهای باز و بسته برای زندگی فراهم می‌کند (حائری، ۱۲۹:۱۳۸۸).

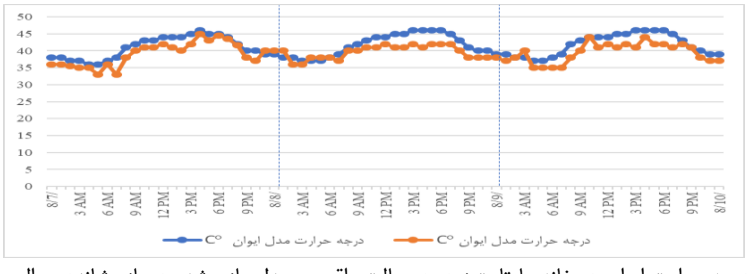
در خانه‌های جدید به دلیل عدم یکپارچگی فضایی ایوان با اتاق‌ها، جداکننده درون و بیرون به پوسته نما محدودشده و سایر فضاهای نیمه‌باز به‌جز ایوان حذف‌شده‌اند، ایوان هم به دلیل عدم یکپارچگی فضایی با اتاق‌ها و فضای پشت خود به شکل یک فضای جداکننده مستقل از درون درآمده است، درحالی‌که در خانه‌های سنتی دیده می‌شود ایوان معمولاً از تقسیمات پشت خود پیروی می‌کند، همچنین ابعاد آن متناسب با مقیاس انسانی و در طول به شکل اتاق پنج‌دری، سه‌دری و یا تالار پشت خود است و احساس محصوریتی متناسب با فضای پشت ایجاد می‌کند. اما در خانه‌های جدید ایوان هم‌اندازه طول یا عرض خود خانه است و در این فضا که اکثراً ازیک‌طرف بسته است، احساس محصور شدن کمتر حس می‌شود و درنتیجه حس فضایی آن ضعیف‌تر می‌شود (محمودی، ۶۰:۱۳۸۴). منظور از ایوان در این مقاله نیز فضایی است که از سه طرف بسته و یک‌طرف باز است.

ایوان، انتقال از فضاهای عمومی به فضای خصوصی را فراهم می‌کند و خانه را از نور خورشید و باران محافظت می‌کند، آسایش حرارتی خانه را در شرایط آب‌وهوایی متفاوت بهبود می‌بخشد و فضایی شاد و مفید برای فعالیت‌های داخلی خانه فراهم می‌کند (Kowaltowski et al., 2004: 3). فضای نیمه‌بازی چون ایوان، به‌عنوان فضای حائل بین محیط داخلی و فضای خارجی عمل می‌کند که نه تنها باعث کاهش مواجهه اشخاص با آلودگی‌ها می‌شود، بلکه باعث کاهش قابل‌توجه بار سرمایش و گرمایش در ساختمان خواهد شد. ازنقطه‌نظر تهویه طبیعی، اضافه کردن چنین فضایی باعث تغییر توزیع فشار در نمای ساختمان می‌شود و درنتیجه نیروهای تهویه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Omrani, Garcia-Hansen, Capra, & Drogemuller, 2017: 514).

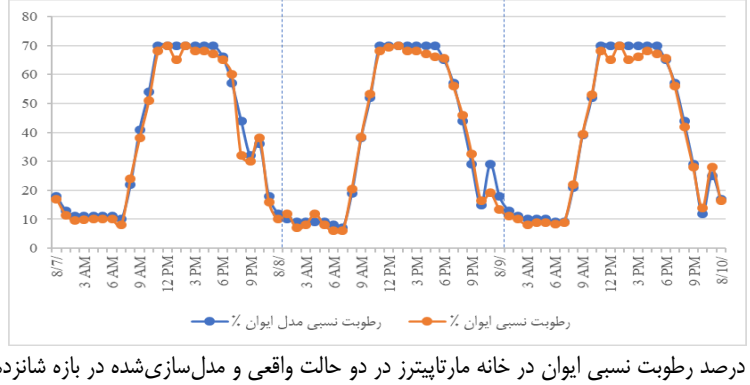
۷- مطالعات و بررسی‌ها

مهم‌ترین نکته چالش‌برانگیز در به‌کارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مصرف انرژی در ساختمان، اعتبارسنجی و دقت این نرم‌افزارها در محاسبات مصرف انرژی در مقایسه با میزان واقعی آن است. نرم‌افزار دیزاین بیلدر[۴]، در معتبرترین دانشگاه‌های دنیا ازجمله دانشگاه هاروارد تدریس می‌گردد و در پژوهش‌های متعددی مورداستفاده و اعتبار سنجی قرارگرفته است (زمردیان و تحصیل‌دوست، ۱۳۹۴: ۱۰). لازم به ذکر است که این نرم‌افزار از موتور مدل‌سازی انرژی‌پلاس که توسط دپارتمان انرژی آمریکا ساخته‌شده و از دقیق‌ترین نرم‌افزارهای موجود است، استفاده می‌کند. پژوهش‌های متعددی تاکنون در این حیطه انجام‌شده است که از آن جمله می‌توان به (Cetin, Fathollahzadeh, Kunwar, Do, & Tabares-Velasco, 2019: 479) اشاره نمود.

در این مقاله نیز برای اعتباربخشی به داده‌های شبیه‌سازی نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر در شرایط محیط واقعی، ابتدا خانه مارتاپیتر با مصالح موجود دیوار، سقف و کف در این نرم‌افزار مدل‌سازی شد و سپس با کمک داده‌بردار[۵] درجه حرارت و میزان رطوبت نسبی در مرکز ایوان در سه روز گرم تابستان سال ۱۳۹۸ (شانزدهم الی هجدهم مردادماه) استخراج شد. در تصاویر ۱ و ۲ داده‌های حاصل از نتایج شبیه‌سازی با داده‌های حاصل از ابزارها در محیط واقعی خانه نشان داده می‌شود. مقایسه نتایج هر تصویر نشان می‌دهد که این بازه اختلاف میان داده‌های واقعی و نرم‌افزار پنج‌درصد است و این اختلاف ناچیز به نتایج حاصل از شبیه‌سازی در دیزاین‌بیلدر اعتبار می‌بخشد.

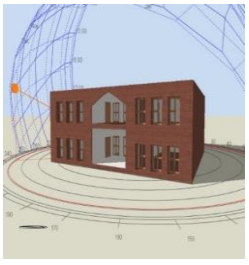


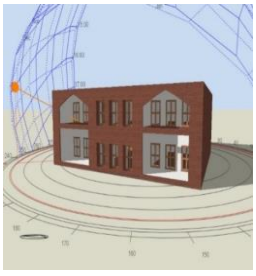
تصویر۱- نمودار درجه حرارت ایوان در خانه مارتاپیترز در دو حالت واقعی و مدل‌سازی‌شده در بازه شانزدهم الی هجدهم مردادماه. (مأخذ: نگارنده)

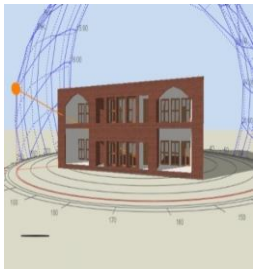


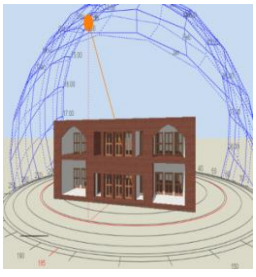
تصویر۲- نمودار درصد رطوبت نسبی ایوان در خانه مارتاپیترز در دو حالت واقعی و مدل‌سازی‌شده در بازه شانزدهم الی هجدهم مردادماه. (مأخذ: نگارنده)

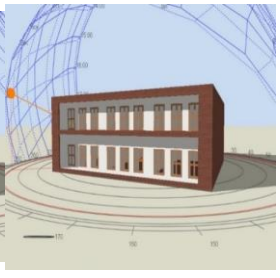
پس از انتخاب الگوهای نهایی در جانمایی ایوان در کنار فضاهای جانبی در ضلع جنوبی بنا، هریک از الگوها در نرم‌افزار دیزاین بیلدر مدل‌سازی و شبیه‌سازی شد و میزان مصرف انرژی در آن‌ها بررسی گردید. تصویر ۳ و جدول ۶ به ترتیب الگوهای شبیه‌سازی‌شده و مشخصات مصالح ساختمانی در محیط نرم‌افزار دیزاین بیلدر را نشان می‌دهند.


الگوی خانه مارتاپیترز


الگوی خانه شیخ هرندی


الگوی خانه دهدشتی


الگوی خانه داوید


الگوی خانه لباف

الگوی خانه دکتر اعلم

تصویر۳- مدل‌سازی خانه‌ها در نرم‌افزار دیزاین بیلدر. (مأخذ: نگارنده)

جدول۶- مشخصات مصالح ساختمانی به‌کاررفته برای هر ۶ الگو از خانه‌ها. (مأخذ: نگارنده)

مصالح ساختمانی	مشخصات
دیوارهای خارجی	۱۰۰ میلی‌متر آجر خشتی، ۵۰ درجه سانتی‌گراد ۷۵۰ میلی‌متر آجر ۵۰ میلی‌متر پلاستر (سخت)
طبقه همکف	۵۰ میلی‌متر آجر- آجرفرش ۵۰ میلی‌متر سفال با لایه زیرین ۳۰۰ میلی‌متر سنگ‌ریزه- مبتنی بر خاک
بام تخت	۵۰ میلی‌متر خاک- خاک رس آبرفتی، ۴۰ درصد ماسه ۲۵۰ میلی‌متر آجر- تقویت‌شده، ۵۰ درجه سانتی‌گراد ۵۰ میلی‌متر پلاستر (سخت)

همچنین در ادامه در جدول ۷ تنظیمات کلی انجام‌شده در شبیه‌سازی الگوها در قالب ویژگی‌های بارهای حرارتی داخلی، تنظیمات گشودگی‌ها، سیستم‌های سرمایش و گرمایش، تنظیمات روشنایی ارائه شد.

جدول۷- داده‌های ورودی جهت شبیه‌سازی الگوها. (مأخذ: نگارنده)

فعالیت		
ساکنان		۰/۰۱۸۸
سوخت‌وساز بدن	لباس زمستانی	۱
	لباس تابستانی	۰/۵
کنترل محیطی	نقطه دمای تنظیم گرمایش	۲۱
	نقطه دمای حداقلی محیط	۱۲
	نقطه دمای تنظیم سرمایش	۲۵
	نقطه دمای حداکثری محیط	۲۸
بازشوها		
پنجره		شیشه روشن بدون سایه
	طرح	ارتفاع پیشنهادی
	ابعاد	مختلف
چارچوب	نوع	قاب پنجره چوبی
	عرض	۰/۰۴
تقسیم‌کننده‌ها	تقسیم‌کننده‌های افقی	۱
	تقسیم‌کننده‌های عمودی	۱
	سایه‌اندازی	خیر
تهویه مطبوع		
نوع سیستم		فن‌کوئل
گرمایش	سوخت	گاز طبیعی
	سیستم برق گرمایش	۱
شرایط تهویه مطبوع	حداکثر دمای رطوبت هوا	۳۵
	حداکثر نسبت رطوبت هوا	۰/۰۱۵۶
	زمان‌بندی	روشن
سرمایش	سوخت	برق از شبکه
	سیستم برق سرمایش	۱
شرایط تهویه مطبوع	حداقل دمای رطوبت هوا	۱۲
	حداقل نسبت رطوبت هوا	۰/۰۰۷۷
	زمان‌بندی	روشن
آب گرم	نوع سیستم	فقط آب گرم لحظه‌ای
	سیستم برق آب گرم	۰/۸۵
	درجه حرارت تحویل	۶۵

درجه حرارت آب	درجه حرارت منبع تغذیه	۱۰
	زمان‌بندی	روشن
تهویه طبیعی	روش تعریف هوای خارجی	منطقه
	هوای خارجی	۵
	زمان‌بندی	تابستان
توزیع درجه حرارت هوا	حالت توزیع	مختلط
روشنایی		
روشنایی عمومی	انرژی روشنایی	۵
	زمان‌بندی	روشن
	نوع نورپردازی	آویزان
	بخش تابشی	۰/۴۲
	بخش قابل‌مشاهده	۰/۱۸

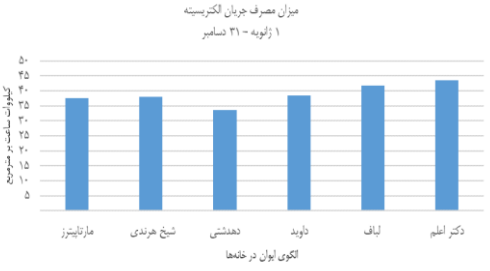
۸- یافته‌های تحقیق

برای رسیدن به نتیجه موردنظر که شاکله بهینه ایوان از میان ۶ الگوی استخراج‌شده در خانه‌های تاریخی اصفهان می‌باشد، لازم است تا نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی این الگوها در نرم‌افزار دیزاین بیلدر که در قالب تصاویر و جدول‌ها هستند، با یکدیگر مقایسه و تحلیل شوند، و از میان آن‌ها، الگویی که کمترین میزان مصرف انرژی را دارد، انتخاب شود. بااین‌وجود، الگوی منتخب در اقلیم اصفهان، برای ساختمان‌هایی با کاربری مسکونی و جانمایی عنصر ایوان در ضلع جنوبی و اصلی ساختمان، در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی برای ساکنین از طریق تهویه طبیعی و دیگر فاکتورهای موردنظر، کارآمد خواهد بود.

در ادامه ۶ الگوی پیشنهادی با یکدیگر مقایسه و برای اطمینان از صحت نتایج و معنادار بودن اختلاف میانگین‌ها به کمک نرم‌افزار آماری اس پی اس اس[۶] به تحلیل داده‌ها پرداخته می‌شود. نتایج حاصل از آزمون Levene و Anova و درنهایت آزمون تعقیبی Tukey جهت بررسی سطح معناداری برای هرکدام از فاکتورهای تحلیل‌شده در همان قسمت بیان‌شده است.

۸-۱-تحلیل میزان مصرف سوخت سالیانه

همان‌طور که در تصویر ۴ نشان داده‌شده است، خانه دهدشتی با میزان ۳۳/۶۴ کیلووات ساعت بر مترمربع، کمترین میزان مصرف الکتریسیته جهت سرمایش و روشنایی مصنوعی فضا در طول سال را به خود اختصاص داده است و خانه دکتر اعلم با میزان ۴۳/۵۸ کیلووات ساعت بر مترمربع، بیشترین میزان مصرف الکتریسیته در طول سال را دارد. ازآنجاکه بیشترین سهم از میزان مصرف الکتریسیته متعلق به بارسرمایشی در فصل تابستان و خنک‌کنندگی می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که خانه دهدشتی در تابستان عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. بر اساس نتایج عددی در تصویر ۵، در الگوی خانه دکتر اعلم، با الگوی ایوان کشیده و عمق کمتر، میزان مصرف گاز در طول سال کمتر می‌باشد و نشان دهنده این است که خانه در زمستان عملکرد بهتری دارد. بیشترین میزان در این پارامتر مربوط به الگوی ایوان در خانه مارتاپیترز است که ایوان در این الگو عمق بسیار زیادی را به خود اختصاص داده است.



تصویر۴-نمودار میزان مصرف الکتریسیته سالیانه برای ۶ الگوی پیشنهادی. (ماخذ: نگارنده)

همان‌طور که در تحلیل‌های مربوط به میزان مصرف الکتریسیته و گاز شرح داده شد، الگوی خانه دهدشتی در تابستان و الگوی خانه دکتر اعلم در زمستان عملکرد بهتری را از خود نشان دادند. در مقایسه داده‌های حاصل از شبیه‌سازی مصرف کل انرژی سالیانه که حاصل انرژی مصرفی دو فاکتور الکتریسیته و گاز است، الگوی خانه دهدشتی میزان کمتری را به خود اختصاص می‌دهد.

۸-۲-تحلیل مؤلفه‌های انرژی

در فرآیند مدل‌سازی الگوها و شبیه‌سازی، برای این‌که نتایج را بتوان در شرایط یکسان با یکدیگر مقایسه کرد و الگوی بهینه از نظر جانمایی ایوان نسبت به فضاهای جانبی‌اش را انتخاب کرد، تمامی الگوها در شرایط یکسان از نظر ابعاد کل مدول و همچنین درصد حجمی ایوان هستند. با توجه به این شرایط:

- میزان انرژی مصرفی کل سالیانه

این مؤلفه هر چه میزانش کمتر باشد، ارزش بیشتری در رتبه‌بندی دارد. الگوی خانه دهدشتی در این قسمت

کمترین میزان را به خود اختصاص داده و بیشترین میزان مصرف انرژی در این بخش مربوط به الگوی خانه مارتاپیترز می‌باشد.

▪میزان مصرف انرژی برق (سرمایش و یا خنک‌کنندگی، روشنایی مصنوعی) سالیانه

هر چه این میزان کمتر باشد، ارزش بیشتری در رتبه‌بندی دارد. این فاکتور در الگوی خانه دهدشتی کمترین میزان و در الگوی خانه دکتر اعلم بیشترین میزان را به خود اختصاص داده است.

▪میزان مصرف گاز (گرمایش) سالیانه

هر چه این مؤلفه میزان کمتری داشته باشد، ارزش بیشتری در رتبه‌بندی خواهد داشت. این میزان در الگوی خانه دکتر اعلم کمترین و الگوی خانه مارتاپیترز بیشترین عدد را به خود اختصاص داده است.

▪بارسرمایش در گرم‌ترین روز سال (روز ۴ آگوست)

این مؤلفه هر چه میزان کمتری داشته باشد، در رتبه‌بندی ارزش بیشتری دارد. الگوی دهدشتی در این مؤلفه کمترین میزان و الگوی دکتر اعلم بیشترین میزان را به خود اختصاص داده است.

▪بارگرمایش در سردترین روز سال (روز ۲۶ ژانویه)

هر چه این میزان کمتر باشد، ارزش بیشتری در رتبه‌بندی دارد. الگوی دهدشتی در این مؤلفه کمترین میزان و الگوی مارتاپیترز بیشترین میزان را در این فاکتور دارد. درنهایت، تحلیل‌ها و رتبه‌بندی‌های صورت گرفته در جدول ۸ نشان داده‌شده است.

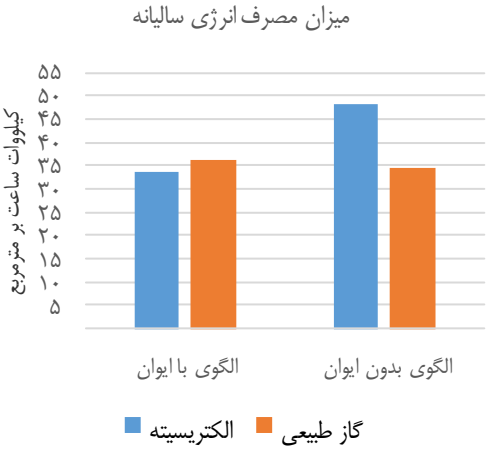
جدول۸- رتبه‌بندی مدول‌ها برحسب مؤلفه‌های انرژی. (مأخذ: نگارنده)

فاکتور	رتبه اول	رتبه دوم	رتبه سوم	رتبه چهارم	رتبه پنجم	رتبه ششم
میزان انرژی مصرفی کل سالیانه	دهدشتی	لباف	دکتر اعلم	شیخ هرندی	داوید	مارتاپیترز
میزان مصرف انرژی برق سالیانه	دهدشتی	مارتاپیترز	شیخ هرندی	داوید	لباف	دکتر اعلم
میزان مصرف گاز سالیانه	دکتر اعلم	لباف	دهدشتی	شیخ هرندی	داوید	مارتاپیترز
بارسرمایش در گرم‌ترین روز سال	دهدشتی	داوید	مارتاپیترز	شیخ هرندی	لباف	دکتر اعلم
بارگرمایش در سردترین روز سال	دهدشتی	داوید	دکتر اعلم	لباف	شیخ هرندی	مارتاپیترز

با توجه به نتایج و تحلیل‌های آماری صورت گرفته در رابطه با فاکتور انرژی، ازآنجایی‌که الگوی خانه دهدشتی در اکثر موارد و بیشتر در رابطه با مؤلفه سرمایش و یا خنک‌کنندگی بهترین رتبه را به خود اختصاص داده و در اقلیم اصفهان که روزهای بیشتری از سال، آب‌وهوایی گرم و خشک دارد و بهینه کردن مصرف الکتریسیته حاصل از سرمایش فضا از اهمیت بیشتری برخوردار است، درنتیجه الگوی خانه دهدشتی به‌عنوان الگوی بهینه برای انتخاب می‌گردد.

برای بررسی کارآمدی الگوی ارائه شده ایوان در مسکن معاصر لازم است که مصرف انرژی سالیانه، قبل و پس از کاربرد ایوان مشخص شود. همان‌گونه که در بخش قبل، الگوی خانه دهدشتی به‌عنوان الگوی بهینه شناخته شد، با شبیه‌سازی این الگو در حالت بدون ایوان، مصرف انرژی سالیانه در حالت مشابه (الگوی ایوان‌دار) نسبت به حالت بدون ایوان ۱۵/۶۰ درصد کمتر شده است. آنچه در تصویر ۶ نمایش داده می‌شود، به ترتیب در حالت الگوی ایوان‌دار و بدون ایوان، میزان مصرف جریان الکتریسیته حاصل از سیستم سرمایش و روشنایی مصنوعی از مقدار ۳۳/۶۴ به ۴۸/۲۴ کیلووات ساعت بر مترمربع افزایش و مصرف گاز طبیعی به ازای هر مترمربع از میزان ۳۶/۳۱ به ۳۴/۶۴ کیلووات ساعت کاهش داشته است. این ذخیره مصرف انرژی در صورت کاربرد ایوان نشانگر تأثیر قابل‌ملاحظه سایه‌اندازی ایوان بر فضاهای مجاور و نحوه کنترل نور روز است که انرژی سرمایشی نسبت به دیگر انرژی‌های عملکردی سهم بیشتری را به خود اختصاص داده است. بنابراین می‌توان گفت الگوی ایوان‌دار خانه دهدشتی در میان سایر الگوهای ایوان‌دار که از خانه‌های

قاجاری اصفهان برگرفته‌شده، بهینه‌تر است و این الگو از الگوی بدون ایوان نیز کارآمدتر می‌باشد.



تصویر۶- نمودار میزان مصرف انرژی سالیانه در الگوی پیشنهادی ایوان‌دار و بدون ایوان. (مأخذ: نگارنده)

۹- نتیجه تحقیق

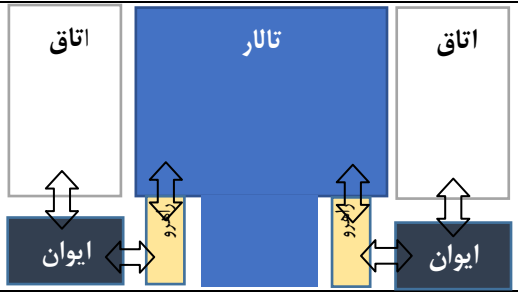
بدیهی است که فرم‌های مختلف ایوان در جانمایی در کنار دیگر فضاها می‌تواند از منظر مصرف انرژی و در راستای آن رسیدن به آسایش‌حرارتی متفاوت باشند. هرچند که در خانه‌های امروزی به تقلید و یا به‌تبع از خانه‌های گذشته از فرم‌های مختلف ایوان استفاده می‌شود، ولی تاکنون بررسی عملکرد این عنصر در فرم‌ها و جانمایی‌های مختلف و در خانه‌های سنتی در اقلیم گرم و خشک کمتر موردتوجه قرارگرفته و به آن پرداخته نشده است. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش به‌صورت خلاصه به شرح زیر است:

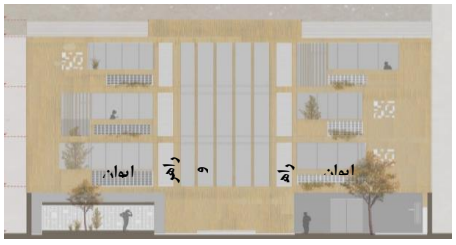
- توصیه در به‌کارگیری ایوان در نماهای جنوبی خانه‌های معاصر در اقلیم گرم و خشک اصفهان
- ایوان در کنار فضاهای جانبی‌اش، در حالت دو ایوان با عمق متوسط در طرفین و تالار (پذیرایی) در فضای میانی، از نظر مصرف انرژی بهینه می‌باشد. (الگوی خانه دهدشتی)
- ایوان باید حداقل از طریق یک بازشو با همه فضاهای جانبی‌اش در ارتباط باشد.
- وجود راهرو (فضای‌کنترل‌نشده) به‌صورت حائل بین ایوان و تالار (پذیرایی)، در حالیکه طول راهرو تنها بخشی از تالار را می‌پوشاند، از سایر حالت‌ها بهینه‌تر است(مطابق با تناسبات خانه دهدشتی).

در جدول ۹ طرح شماتیکی الگوی بهینه به‌همراه پلان و نمای یک نمونه خانه معاصر با الگوبرداری از ایوان خانه دهدشتی نمایش داده‌شده است.

در این پژوهش به جانمایی عنصر ایوان در کنار دیگر فضاها و فرم‌های مختلف آن پرداخته‌شده است و درنهایت الگوی بهینه ایوان از نظر فرم و جانمایی به‌دست‌آمده است، در پژوهش‌های آتی می‌توان این عنصر را از منظر مصالح استفاده‌شده در آن، میزان درصد بازشوهای بهینه و سایر مؤلفه‌ها بررسی کرد. ازآنجاکه در بررسی‌های صورت گرفته برای دسته‌بندی الگوهای مختلف ایوان مشخص شد که ایوان‌ها در نمای جنوبی و شمالی از نظر ارتفاع و ابعاد بسیار با یکدیگر متفاوت هستند.

جدول۹- الگوی شماتیکی خانه دهدشتی و بازخوانی آن در یک خانه معاصر. (مأخذ: نگارنده)

الگوی بهینه شماتیکی (خانه دهدشتی)	

بازخوانی نمای خانه دهدشتی در یک نمونه خانه معاصر	پلان نما 

به همین دلیل نویسندگان برای رسیدن به نتیجه مطلوب و این‌که جبهه اصلی در اقلیم گرم و خشک جبهه جنوبی می‌باشد، صرفاً ایوان‌های موجود در این جبهه را بررسی کرده‌اند، در ادامه می‌توان این عنصر را در دیگر جبهه‌ها بررسی کرد و نتایج را با یکدیگر مقایسه کرد.

۱۰- تشکر و قدردانی

از کلیه دانشجویان محترمی که در گردآوری اطلاعات و مشاهده و برداشت میدانی از خانه‌های تاریخی اصفهان، نگارندگان را یاری نمودند، سپاسگزاریم.

۱۱- پی‌نوشت‌ها

۱. مطابق دسته‌بندی اقلیمی کوپن Cfa: اقلیم نیمه گرمسیری مرطوب؛ سردترین ماه به‌طور متوسط بیش از ۰ درجه سانتی‌گراد (۳۲ درجه فارنهایت) یا ۳- درجه سانتی‌گراد (۲۷ درجه فارنهایت)، حداقل یک ماه دمای متوسط بیش از ۲۲ درجه سانتی‌گراد (۷۱/۶ درجه فارنهایت) و حداقل چهار ماه به‌طور متوسط بالای ۱۰ درجه سانتی‌گراد (۵۰ درجه فارنهایت). بارش قابل‌توجهی بین فصول مختلف وجود ندارد (هیچ‌یک از شرایط فوق‌الذکر برآورده نشده است). بدون ماه خشک در تابستان.

2. EnergyPlus

۳. دفتر چهارم گنجنامه به معرفی خانه‌های اصفهان پرداخته است. آنچه در این کتاب عرضه‌شده تعداد اندکی از خانه‌های سنتی مربوط به دوره‌های صفوی و قاجار است که با اندکی تأمل می‌توان اصول و مایه‌های مشترکی را در کیفیت فضاسازی و معماری همه آن‌ها تشخیص داد. این کتاب، یکی از چندین جلد کتاب از سری کتاب‌های گنجنامه است که شامل نقشه‌هایی کامل و خوانا، عکس‌هایی واضح و گویا و تاریخچه‌ای تنظیم‌شده در مورد بیش از ششصد اثر مهم تاریخی –از مسجد و مدرسه گرفته تا خانه و حمام– می‌باشد که باید آن را محصول سی‌وچند سال تلاش و پشتکار اساتید و دانشجویان دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی دانست. کار بازسازی، تکمیل و تنظیم این مدارک از ابتدای سال ۱۳۷۱ آغاز شده است.

4. DesignBuilder
5. Data logger
6. SPSS

۱۲- منابع فارسی و لاتین

- باقری، مهسا، کردجمشیدی، ماریا و پیراسته، شیما. ۱۳۹۵. ارزیابی تأثیر ایوان ساختمان‌های مسکونی در بهینه‌سازی مصرف انرژی سالانه. نشریه انرژی ایران(۲): ۱۴۲-۱۳۳.

http://necjournals.ir/article-1-847-fa.html

- حاجی‌قاسمی، کامبیز. ۱۳۷۵. گنجنامه فرهنگ آثار معماری اسلامی ایران (دفتر چهارم: خانه‌های اصفهان). تهران: مرکز اسناد و تحقیق- شرکت توسعه فضاهای فرهنگی. https://lib1.ut.ac.ir:8443/site/catalogue/1038757
- حائری مازندرانی، محمدرضا. ۱۳۸۸. خانه، فرهنگ، طبیعت. چاپ اول. تهران: مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری.
- زمردیان، زهراسادات. و تحصیل‌دوست، محمد. ۱۳۹۴. اعتبارسنجی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی در ساختمان: با رویکرد تجربی و مقایسه‌ای. نشریه انرژی ایران (۵۶). http://necjournals.ir/article-1-803-fa.html
- گروت، لیندا، و وانگ، دیوید. ۱۳۹۸. روش‌های تحقیق در معماری. تهران: دانشگاه تهران.
- لکنر، نربرت. ۱۳۹۶. گرمایش؛ سرمایش؛ روشنایی (رویکردهای طراحی برای معماران). تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز.
- محمودی، عبدالله. ۱۳۸۴. بازنگری اهمیت ایوان در خانه‌های سنتی؛با نگاه ویژه به بم. نشریه هنرهای زیبا (۲۲): ۶۲-۵۳. https://journals.ut.ac.ir/article_10738.html
- معماریان، غلامحسین. ۱۳۸۶. آشنایی با معماری مسکونی ایرانی گونه شناسی درونگرا. چاپ چهارم. تهران: سروش دانش.
- مهدیزاده سراج، فاطمه، جاپلقی، غلامرضا و صنایعیان، هانیه. ۲۰۱۵. تأثیر وجود پیش ورودی بر رفتار حرارتی فضای اصلی در اقلیم گرم و خشک ایران (بررسی خانه‌های قدیمی شهر یزد). معماری و شهرسازی ایران ۵(۸). https://dx.doi.org/10.30475/isau.2015.61991
- Albatici, R., Passerini, F., & Pfafferott, J. 2016. Energy Performance of Verandas in the Building Retrofit Process. Energies, 9(5): 365 . https://doi.org/10.3390/en9050365
- Asadi, S., Fakhari, M., & Sendi, M. 2016. A study on the thermal behavior of traditional residential buildings: Rasoulian house case study. Journal of Building Engineering(7): 334-342 . https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.07.012
- Cetin, K. S., Fathollahzadeh, M. H., Kunwar, N., Do, H., & Tabares-Velasco, P. C. 2019. Development and validation of an HVAC on/off controller in EnergyPlus for energy simulation of residential and small commercial buildings. Energy and Buildings(183): 467-483. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.005
- Chan, A., & Chow, T. T. 2010. Investigation on energy performance and energy payback period of application of balcony for residential apartment in Hong Kong. Energy and Buildings42(12): 2400-2405 . https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.08.009
- Hensen, J. 2002. Simulation for performance based building and systems design: some issues and solution directions. Paper presented at the In Proceedings 6th International Conference on Design

pressure coefficients on buildings with and without balconies: validation and sensitivity analysis. Building and Environment(60): 137-149. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.012

- Nematchoua, M. K., Tchinda, R., & Orosa, J. A. 2014. Thermal comfort and energy consumption in modern versus traditional buildings in Cameroon: A questionnaire-based statistical study. Applied Energy(114): 687-699. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.036
- Omrani, S., Garcia-Hansen, V., Capra, B. R., & Drogemuller, R. 2017. On the effect of provision of balconies on natural ventilation and thermal comfort in high-rise residential buildings. Building and Environment(123): 504-516 . https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.016
- Soflaei, F., Shokouhian, M., & Soflaei, A. 2017. Traditional courtyard houses as a model for sustainable design: A case study on BWhs mesoclimate of Iran. Frontiers of Architectural Research 6(3): 329-345. doi:https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.04.004
- Yang, Y. 2014. Balconies in Shanghai, thermal bridges or sun shadings. Paper presented at the ASim2014 The 2nd Asia Conference of International Building and Decision Support Systems in Architecture and Urban planning, Ellecom.
- Hilliaho, K., Köliö, A., Pakkala, T., Lahdensivu, J., & Vinha, J. 2016. Effects of added glazing on Balcony indoor temperatures: Field measurements .Energy and Buildings(128): 458-472 . https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.025
- Khashei, Z. 2010. The role of passive systems in providing comfort in traditional houses in Isfahan: a case study of the Karimi house. WIT Transactions on Ecology and the Environment(128): 271-280 . https://doi.org/10.2495/ARC100231
- Kim, G., & Kim ,J. T. 2010. Luminous impact of balcony floor at atrium spaces with different well geometries. Building and Environment 45(2): 304-310 . http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.buildenv.2009.08.014
- Kowaltowski, D. C. K., Labaki, L. C., Pina, S. A. M. G., Ruschel, R. C., da Silva, V. G., & Alves, S. A. 2004. Verandas, Ventilation and Vegetation important thermal comfort elements in self-built houses in Brazil. social housing(5): 6-8.
- Lapinskiene, V. 2013. The Framework of an Optimization Model for Building Envelope. Procedia Engineering(57): 670–677. doi:10.1016/j.proeng.2013.04.0۸۵
- Montazeri, H., & Blocken, B. 2013. CFD simulation of wind-induced

Performance Simulation Association, Japan.

۱۳- چکیده تصویری