نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی
سال پانزدهم | شماره پنجاه و هفتم | بهار ۱۴۰۳
وصول: ۱۴۰۲/۰۸/۲۴ پذیرش: ۰۱/۲۰ /۱۴۰۳
صص ۹۹-۷۹

تجزیه و تحلیل رفتار حرارتی خانه های حیاط مرکزی دار یزد توسط دیزاین بیلدر

وحید حسین زاده [۱]، سید مجیدمفیدی‌شمیرانی [*۲]، غلامحسین‌ناصری [۳]
۱-دانشجوی دکتری گروه معماری واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران
۲- دانشیار طراحی شهری و معماری پایدار، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
۳- استادیارگروه معماری واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران.

چکیده

رفتار حرارتی بناها، عاملی تاثیرگذار در ایجاد آسایش حرارتی برای انسان است. رفتار حرارتی بناهای معاصر تابع عوامل متنوعی نظیر تأسیسات مکانیکی و الکتریکی ساختمان است، این امر موجب می شود تا رفتار حرارتی بناها تأمین گردد. اگرچه ساختمان ها معمولاً از سوخت های فسیلی بهره می گیرند و تبعات سنگینی همچون تغییر اقلیم را بوجود می آورند ولی در بناهای حیاط مرکزی دار یزد هیچگونه تأسیسات مکانیکی و الکتریکی جهت ایجاد رفتار حرارتی مناسب تجهیز نشده است. لذا هدف اصلی مقاله حاضر واکاوی رفتار حرارتی بناهای حیاط مرکزی دار در اقلیم خشک یزد می باشد که بتوان بررسی نمود تا چه میزان این بناها تأمین کننده رفتار حرارتی مناسب هستند. در این پژوهش از روش مدل سازی و شبیه سازی بهره گرفته شده است. در ابتدا ۲۰ بنای حیاط مرکزی دار در اقلیم یزد انتخاب گردید و سپس در نرم فزار دیزاین بیلدر مدل سازی شد. بررسی نیاز حرارتی و برودتی بناها با توجه به عوامل متعدد معماری نظیر هندسه، جهت گیری و غیره بدست آمد. همچنین لازم به ذکر است که فایل آب و هوایی اقلیم یزد به صورت سالانه وارد نرم افزار گردید تا شبیه سازی سالانه صورت پذیرد. به علت عدم استفاده از تجهیزات مکانیکی در این خانه ها، دمای تنظیم(ست پوینت) برای آن ها در نظر گرفته شد تا بر طبق خروجی ها، نیاز سرمایشی و گرمایشی بناها، مشخص گردد. برای رسیدن به آسایش حرارتی بهینه با توجه به زیر بنای متفاوت این بناها، می بایست بار حرارتی و برودتی کل را بر متر مربع ساختمان تقسیم نمود تا مقادیری برحسب کیلو وات ساعت بر مترمربع به دست آید تا زمینه مقایسه این بناها با یکدیگر فراهم گردد. در راستای هدف تحقیق، هرچه میزان نیاز به سرمایش و گرمایش و به تبع آن، بار کل یک ساختمان کمتر باشد، عملکرد بهتری به لحاظ اقلیمی دارد و می تواند حداقل نیاز خود را با تأسیسات گرمایشی و سرمایشی تأمین نماید. نتایج این تحقیق نشان داد که کمترین مقادیر مجموع بار گرمایش و سرمایش متعلق به خانه سمسار $۱۴۲ kwh/m^2$ و خانه تهرانی ها $۱۶۲ kwh/m^2$ و خانه رسولیان $۱۸۱ kwh/m^2$ می باشد و جایگاه اول تا سوم را به خود اختصاص داده اند، بنابراین برای رسیدن به آسایش حرارتی، میزان انرژی کمتری می بایست در این خانه ها مصرف گردد و این به معنای رفتار حرارتی مناسب این بناهاست.

کلید واژه‌ها: رفتار حرارتی ، بار ساختمان، بناهای مسکونی، دیزاین بیلدر، حیاط مرکزی، یزد.

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۵۱۱۶۴۸۸
Email: s_m_mofidi@iust.ac.ir

۱-مقدمه

مطالعات اقلیم و معماری یکی از موضوع های مهم در مطالعات مربوط به نقش عوامل آب و هوایی بر مسکن و فضای زندگی انسان است. معماران در گذشته بر اثر تجربه، اثرات عوامل اقلیمی مختلف را می شناختند و سعی می کردند، علاوه بر استفاده بهینه از عوامل اقلیمی به منظور ایجاد شرایط آسایش حراتی، با در نظر گرفتن راه کارهایی اثرات نامطلوب آن ها را کاهش دهند(زارعی و میردهقان، ۱۳۹۵؛ ضابطیان و خیر الدین، ۱۳۹٦؛ جدیری عباسی و همکاران، ۱٤۰۰؛ منجزی و اسلامی مقدم، ۱٤۰۲). ارزیابی شرایط اقلیمی در ارتباط با آسایش و احساس راحتی انسان، پایه و اساس فعالیت های معماری، شهرسازی، جهانگردی و غیره می باشد. از این رو مقایسه محدوده های آسایش در فضاهای مختلف زندگی ضروری به نظر می رسد، تعیین شرایط آسایش و راحتی در محدوده های اقلیمی مختلف بر محاسبات حرارتی ساختمان، اندازه و قدرت دستگاه های حرارتی و ارتباطات فضایی، میزان بازشوها و همچنین در نهایت بر میزان بار حرارتی کل ساختمان و به طور کل بر میزان مصرف و اتلاف انرژی تاثیر مستقیم دارد(گرجی مهلبانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ میرموسوی و همکاران، ۱۳۹۳؛ هدایتی راد و همکاران، ۱۳۹۵؛ کاشکی و همکاران، ۱۳۹۸؛ سفلائی و همکاران،۱۳۹۸).

در ارتباط با به حداقل رساندن اتلاف انرژی در معماری سنتی(قبادیان، ۱۳۹۷)، ترفندهای بسیاری اندیشیده شده که گواه توجه بسیار طراحان به این مقوله بوده است که عبارتند از: جهت گیری و بافت فشرده فضاها(زینلیان و اخوت،۱۳۹٦)، به وجود آمدن خرد اقلیم ها، جرز دیوارها ، فضای میانی و پیش فضاها، تنوع فضایی مناسب با فصل، استفاده از حیاط مرکزی و نحوه چیدمان فضاها(مرادی و همکاران، ۱۳۹۸).

مطالعات حیاط مرکزی، در کنار سازمان دهی فضاهای مختلف در پیرامون خود، با توجه به جریان گردش خورشید، سبب می شد تا بخش های مختلف خانه هرکدام به فصلی از سال اختصاص یابند و نوعی گردش فصلی در خانه ایجاد شود(معماریان، ۱۳۹۵؛ مظاهری و همکاران،۱۳۹۷؛ پیریایی و همکارن، ۱٤۰۱). در مناطق گرم، تدابیر مختلفی در زمینه کنترل انرژی تابشی در فضای بیرونی اندیشیده شده است که استفاده از رنگ های روشن برای بدنه های خارجی، بهره گیری از سایه بان های مختلف و بهبود خصوصیات حرارتی مصالح به کار رفته در جداره ها از جمله آن ها هستند، اما قبل از به کارگیری این تدابیر، آن چه بسیار حائز اهمیت است، داشتن تناسبات مناسب فضاهای بیرونی نظیر حیاط هاست، به گونه ای که بهترین عملکرد در برابر شرایط تابش خورشید از نظر مواقع نیاز به سایه و بالعکس را دارا باشد(تابان و همکاران، ۱۳۹۲). پرفسور هلموت شرام در بخشی از کتاب؛ «خانه های افقی متراکم » به گونه بندی خانه های حیاط دار می پردازد. وی انواع گونه های؛ خانه حیاط مرکزی مستطیل شکل،L شکل، Uشکل، کاملا محصور از چهار سو، خانه های چند حیاطه، خانه های حیاط دار نواری و خانه های حیاط دار چند طبقه را در شهرهای مختلف دسته بندی و معرفی می کند(شرام،۱۳۹۱).

در مطالعات رفتار و آسایش حرارتی بر طبق نظر پژوهشگران، برای درک بهتر مفهوم آسایش حرارتی، عوامل محیطی و اختصاصی فراوانی که در به وجود آمدن آن نقش دارند، باید شناخته شوند. بنابراین می توان تعاریف متعددی از آسایش حرارتی ارائه نمود. اشری آسایش حرارتی را شرایط ذهنی میداند که بیان کننده میزان رضایت افراد از شرایط محیط است. کلمه شرایط ذهنی در تعریف اشری دلالت بر آمیختگی شرایط روحی و شرایط فیزیولوژی در احساسی با عنوان آسایش حرارتی دارد(اشری،۲۰۱۷). محیط حرارتی و تاثیر آن بر بدن انسان نمیتواند به عنوان تابعی از یک عامل، به عنوان مثال، دما باشد. به این دلیل که بدن سنسور منحصر به فردی برای هر عامل در اختیار ندارد و در نتیجه احساسی که از محیط حرارتی دارد به عنوان یک کل است. از این رو رفتار حرارتی نیز بر اساس همین کل شکل میگیرند و چند فاکتور را به طور همزمان مورد بررسی قرار میدهند. شش پارامتر تاثیرگذار بر آسایش حرارتی انسان شامل: درجه حرارت، رطوبت نسبی، متوسط دمای تابشی،جریان هوا،نرخ متابولیسم و نرخ لباس می شود ولی در این مقاله به جهت اینکه تمرکز مقاله بر رفتار حرارتی محیطی است، ضرورتی در پرداختن به آن ذکر نگردیده است (الجاوابرا،۲۰۱٤). برای ارزیابی تأثیر آب‌وهوا بر انسان و مطالعات اقلیم آسایشی، مدل‌ها و شاخص‌های زیادی در سده بیستم معرفی شدند(گریگوریوا و ماتزاراکیس،۲۰۱۰). در میان این مدل‌ها، مدلی که برآمده از معادله بیلان انرژی بدن آدمی باشد، بیشتر موردتوجه قرارگرفته

است. مدل موازنه حرارتی توسط فانگر معرفی شد که مبتنی بر متوسط آرای پیش‌بینی‌شده (PMV) و پیش‌بینی درصد افراد ناراضی(PPD) بود.فانگر (۱۹۷۰) سه پارامتر بدن انسان را برای رضایت از آسایش معرفی می‌کند: الف) بدن در تعادل حرارتی است که در آن ورود و خروج گرما از بدن در حالت تعادل قرار گیرد، ب) درجه حرارت پوست نرمال باشد، ج) میزان عرق ریزی بدن انسان در محدوده آسایش باشد. در این حالت دمای درونی عددی بین ۳۶/۵ تا ۳۷/۵ درجه سانتی‌گراد، دمای پوست ۳۰ درجه سانتی‌گراد، در سر و بدن بین ۳۵- ۳٤ درجه سانتی‌گراد و بدون عرق ریزی است (هنسل،۱۹۸۰).

در این شرایط است که سیستم کنترل حرارت بدن تلاش می‌کند تا هنگامی‌که اختلالات حرارتی رخ می‌دهد، این دما را حفظ کند (زمردیان و همکاران ،۲۰۱٦)

هدف این مقاله، مقایسه تطبیقی رفتار حرارتی خانه های حیاط مرکزی دار یزد در تمامی دوره های زمانی سال می باشد که اطلاعات آب و هوائی سالانه آن از طریق سایت هواشناسی یزد استخراج شده و با ورود این اطلاعات به مدل شبیه سازی شده خانه های حیاط مرکزی دار یزد در نرم افزار دیزاین بیلدر، میتوان بار کل مورد نیاز سرمایش و گرمایش این خانه هارا که از تجهیزات مکانیکی در آن استفاده نشده است، به دست آورد. به واسطه متغیر بودن متراژ خانه های مورد بررسی، میزان بار کل به دست آمده باید تقسیم بر متراژ خانه گردد تا مقدار نهائی برحسب کیلو وات ساعت بر مترمربع به دست آید و خانه ها را قابل مقایسه با یکدیگر نماید. لذا بدین طریق می توان خانه هایی که دارای بهترین و بدترین عملکرد حرارتی می باشند و همچنین آسایش حرارتی بهینه برای ساکنین آن را فراهم می کنند شناسائی و مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

مطالعات انجام شده در خصوص رفتار حرارتی در شهرهای مختلف و همچنین پرداختن به مقوله آسایش حرارتی و تأثیر فرم بنا، مصالح ، پنجره ها، نوع سایبان و مواردی که بر نوع رفتار حرارتی بنای مسکونی تأثیر می گذارند، بی شمار می باشند که از آن جمله می توان به مواردی که بیشتر در راستای خانه های حیاط مرکزی دار صورت گرفته است اشاره نمود؛ سفلائی (۱۳۸۳)، با هدف شناخت طراحی محیطی خانه های حیاط مرکزی در شهرهای مختلف منطقه گرم و خشک ایران، توانست با روش توصیفی و تطبیقی، تناسبات صحیح حیاط مرکزی را بررسی کند و تناسبات صحیح تالار تابستان نشین را نشان دهد و رابطه حیاط مرکزی با تالار را بررسی نماید. سهرابی(۱۳۹٤)، به بررسی کارایی اقلیمی ایوان و چگونگی تأثیر آن بر فضاهای مسکونی مجاور و ارائه گونه بندی ایوان در اقلیم گرم و خشک پرداخت و در مطالعات خود، چگونگی تأثیر این عوامل در دو ایوان غالب در یکی از خانه های سنتی شهر کرمان را به کمک اندازه گیری و شبیه سازی، نشان می دهد. نیکقدم (۱۳۹۲)، به تعیین الگوها و تمهیدات اقلیمی در مسکن بومی مناطق گوناگون اقلیم گرم و مرطوب ایران پرداخته است و در مطالعات خود، نقش اقلیمی حیاط مرکزی را در اقلیم گرم ومرطوب نشان می دهد. احمدی(۱۳۹۱)، خانه های حیاط مرکزی را مورد مقایسه قرار داده و نقش محوری و اساسی حیاط مرکزی را در خلق معماری پایدار نشان میدهد. در این مطالعه با روشی متفاوت و با استفاده از جداول و تحلیل اعداد حاصله، همسویی معماری بومی با اصول پایداری اثبات شده است. زارعی و میردهقان (۱۳۹۵)، تأثیر الگوی حیاط مرکزی در خانه های منطقهٔ یزد و تعیین نقش تناسبات موجود میان حیاط مرکزی و جداره ها در تعدیل شرایط سخت اقلیم گرم و خشک را بررسی کرده اند. نتایج این مطالعه نشان می دهد که ارتباط مستقیمی بین تناسبات موجود حیاط و جداره ها وجود دارد؛ زیرا جداره ها با سایه اندازی مناسب خود در ماه های گرم و دریافت بهتر در ماه های سرد تعامل بهتری را با انرژی خورشیدی داشته اند. از طرفی دیگر وسعت حیاط فضای مناسبی برای ایجاد خرده اقلیم را فراهم می کند که هم باعث تعدیل تابش در ماه های گرم شده و هم در مواقع طوفانی فضای آرام تری در حیاط ایجاد می کند. زینلیان و اخوت (۱۳۹٦)، تحلیل فرمی، تناسبات حیاط، عمق حیاط، زاویهٔ دید انسانی، الگوی ارتفاعی، نسبت فضای بسته به باز، مساحت سبزینگی و آب، مصالح و رنگ جدارهٔ حیاط را مورد بررسی تطبیقی و تحلیلی قرار داده اند. نتایج این مطالعه نشان می دهند که درخانه های یزد و دزفول حیاط، عنصر مهم و نقش نظام دهندهٔ خانه را دارد، ولی تفاوت های ساختاری نیز وجود دارند؛ به عبارتی، با اینکه میتوان نوعی یکسان از جانمایی حیاط در خانه برای هر دو اقلیم گرم و خشک، و گرم و مرطوب یافت، ولی تفاوت های ساختاری حیاط در این دو اقلیم شامل تفاوت در الگوی ارتفاعی، عمق، زاویهٔ دید به حیاط، تناسبات و درصد فضای باز در حیاط و در نهایت مصالح جدارهٔ حیاط، امری اجتناب ناپذیر و کاملاً ضروری

است. مرادی، متین و دهباشی شریف(۱۳۹۷)، به بررسی ساختار کالبدی، الگوها و گونه های متنوع حیاط مرکزی در خانه های سنتی تبریز از دیدگاه اقلیمی و مؤلفه های مؤثر بر رفتار حرارتی در این حیاطها پرداختند. در این مطالعه از دیدگاه اقلیمی افزایش ارتفاع جداره ها به ویژه در وجوه جنوبی منجر به ایجاد سایه های وسیع در سطوح مجاور حیاط و به تبع آن کاهش کیفیت آسایش حرارتی در فصول سرد گردیده است که مناسب مناطق سردی نظیر تبریز نمی باشد. لذا شرایط بهینه آن است که جداره های واقع در بخش جنوبی حیاط از جداره های شمالی کوتاه تر باشد تا زمینه جذب تابش حداکثری را برای سطوح مجاور حیاط در فصول سرد فراهم آورد. یزدی، مفیدی شمیرانی و اعتصام (۱۳۹۸)، مطالعه ای جهت تحلیل کالبدی حیاط مرکزی و تالار تابستان نشین خانه های یزد، انجام داده اند. در این مطالعه که با روش پیمایشی و با داده های کیفی و کمی انجام شده است با وجود تفاوت های جزئی شرایط محیطی، حیاط مرکزی و تالار تابستان نشین دارای تناسبات نزدیک و الگوهای کالبدی مشابه می باشند؛ همچنین نقش حیاط مرکزی و تالار تابستان نشین به عنوان عامل ایجاد میکرواقلیم در ایجاد سرمایش و تهویه فضاهای زیستی، در شکل گیری و انتظام بناها و به ویژه خانه های مسکونی بسیار مؤثر است که می تواند در طراحی معماری مسکونی معاصر مورد توجه قرار گیرد. خاکسار، مفیدی شمیرانی و نیکخواه شهمیرزادی (۱۳۹۹)، با شناسایی تاثیرگذارترین متغیرهای اقلیمی بر شکل گیری بناهای روستای میمند از لحاظ آسایش حرارتی این بناها پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که بناهای خاکپناه روستای میمند از جنبه های متعددی با اقلیم خود مطابقت دارد که نتیجه آن آسایش حرارتی در دوره های زمانی سال می باشد و در نهایت راهکارهای معماری همساز با اقلیم آن می تواند الگویی برای معماری معاصر دیگر مناطق مشابه اقلیم میمند باشد. کرمی راد، بنازاده، زارعی و قزلباش (۱۳۹۷)، به بررسی تأثیرگذاری ویژگیهای فیزیکی و محیطی همچون درصد فضای باز، جهت گیری، زاویه دید آسمان، پوشش گیاهی، آب و مصالح مشخص، چگونگی آسایش حرارتی و میزان استفاده افراد از فضا مورد مطالعه پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد در حیاط خانه هایی که دارای کمترین ضریب دید آسمان و مساحت هستند، سایه اندازی بیشتری دیده می شود، که در نتیجه شرایط آسایش حرارتی بیرونی بهتری را برای ساکنین ایجاد می کنند. هرچند نباید از فاکتورهایی از قبیل سایه اندازی درختان و تأثیر رطوبتی حوض های آب در تلطیف هوای خُرداقلیم حیاط های مرکزی چشم پوشی کرد. ملکی، احمدی و ماودات (۱۳۹۲)، با تقسیم بندی فضاهای تشکیل دهندهٔ خانه رسولیان یزد به سه دستهٔ: فضاهای باز، فضاهای نیمه باز و فضاهای بسته، و سپس جزئیات اجزائی هر فضا را به صورت مجزا بررسی کرده اند. نتایج مطالعه نشان داد که خانه های مسکونی در شهر یزد نیز مانند سایر نقاط ایران، هماهنگ با شرایط محیطی، فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی شکل گرفته اند. هر خانه دارای یک حیاط مرکزی در مرکز و قلب خانه و جلوه ای از درون گرائی است. همچنین عناصری مانند بادگیر برای آسایش حرارتی تعبیه شده است. به طور کلی شهر یزد دارای عناصرمعماری سنتی قدیم و مصالح مرتبط با اقلیم می باشد و توانایی دریافت پاسخ صحیح به سلسله مراتب نیازهای انسان که میتواند در مسکن جدید برای رفع نیازها و دستیابی به زندگی بهتر عمل کند را داراست. کاظمی و محمودآبادی (۱۳۹۲)، با بررسی رفتار حرارتی قسمت زمستانه خانه‌های سنتی یزد که در منطقه گرم و خشک قرار دارند، توانستند با این روش که اولاً تغییرات دمایی این مقاطع با دیتالاگر الکترونیک لاسکار اندازه گیری شده بود و دوماً مقاطع با نسبت‌های مختلف مانند اتاق سه دری، پنج دری و هفت دری، در جهت‌های مختلف و رفتار حرارتی آن‌ها در «خانه رسولی» مورد تجزیه و تحلیل و مقایسه گرفت، نشان دادند که در مقایسه مقاطع با ابعاد مختلف مانند سه دری، پنج دری و هفت دری در جهت شمال غربی و شمال شرقی، این نتیجه حاصل می‌شود که بخش پنج دری در جهت شمال غربی، بهترین رفتار حرارتی را در زمستان دارد. سمیر گدوح و زموری (۱۳۹۵)، به بررسی محیط های حرارتی و روشنایی داخلی حیاط ساختمان های موجود در یک منطقهٔ گرم وخشک پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که ساختمان حیاط دار بیشترین پتانسیل بالای نور طبیعی و کنترل حرارتی را دارد و بعد ارتباطی بین مولفه های ریخت شناسی و کیفیت های محیط حرارتی و نورانی فضاهای مجاور است، همچنین حیاط در کنترل، تنظیم و همگن کردن محیط نورانی نقش دارد. مناطق سه گانه اطراف یک ساختمان حیاط دار(فضاهای داخلی/ خارجی/ حیاط) به روش های سیستمی برای افزایش عملکرد حرارتی و نورانی ساختمان و حل معضل بین نور روز

و محافظت از ساختمان در برابر نور گرم خورشید در مناطق گرم و خشک با هم تعامل دارند. سفلائی، شکوئیان و مفیدی شمیرانی (۱۳۹٤)، با بررسی تأثیر حیاط‌ها به‌عنوان تعدیل کننده‌های خرداقلیم با هدف پایداری خانه‌های سنتی در ایران پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که بیشتر حیاط‌های ایرانی به گونه‌ای طراحی شده‌اند که با جهت‌گیری، ابعاد و تناسب درست می توانند به‌عنوان تعدیل‌کننده خرداقلیم عمل کنند. باقری‌سبزوار، معصومی و ترزفان (۱۳۹۵)، به مطالعه بر روی یک حیاط اقامتی در یزد با کمک تناسبات و جهت‌گیری‌های مختلف حیاط برای کاهش مصرف انرژی پرداختند. برای انجام این بررسی بر اساس مدل پایه که از خوابگاه‌های دانشجویی موجود در یزد در اقلیم گرم خشک ایران به دست آمده است، از نرم افزار رایانه ای انرژی پلاس استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که تناسبات و جهت‌گیری حیاط بر بار سرمایشی و گرمایشی تأثیر می‌گذارد. الحرونی (۱۳۹۳)، در ابتدا ویژگی‌های پایدار مسکن سنتی مراکش و سازگاری اقلیمی آن را مورد بررسی قرار داد و سپس، یک مدل حیاط سنتی در مدینه به عنوان مطالعه موردی برای تجزیه و تحلیل آسایش حرارتی داخلی، بدون استفاده از سیستم‌های گرمایش و سرمایش مکانیکی را مورد پژوهش قرار داد. در این تحقیق ابتدا رفتار حرارتی اتاق‌های اطراف حیاط تحت شرایط آب و هوایی معتدل و مرطوب با استفاده از طراحی غیرفعال ساختمان تحلیل شد و سپس عایق‌ها و دستگاه‌های سایه‌انداز ابزار طراحی اقلیمی، جداول ماهونی و نمودار اقلیمی زیستی جیوونی نیز برای بهبود فنون طراحی از نظر آسایش حرارتی استفاده شده است. پژوهشگر در این مقاله نتیجه می‌گیرد که حیاط در ساختمان از شکل ساختمانی، سازگار با محیط زیست است و می‌تواند به عنوان یک سیستم غیرفعال در نظر گرفته شود که ممکن است در به حداقل رساندن مصرف انرژی تجدید ناپذیر برای حفظ محیط طبیعی جهانی سالم، پاک و زیست محیطی برای نسل‌های آینده کمک کند. مرادی و اسکندری(۲۰۱۲)، به صورت آزمایشگاهی و عددی به بررسی عملکرد سرمایشی و گرمایشی شوادان پرداختند. گلانی و اوجیما(۱۹۹٦)، فضاهای زیرزمینی را به پنج دسته عمده که به ده شیوه مختلف مورد استفاده بوده است، تقسیم بندی کرده اند. در این پژوهش، تأثیرات استفاده از فضاهای زیرزمینی بر محیط طبیعی و آسایش حرارتی افراد مورد بررسی قرار گرفته است؛ نتایج بیانگر تأثیر مثبت استفاده از فضاهای زیرزمینی بر دو عامل مذکور است. مرتضی حزبئی و همکاران(۲۰۱۵)، پس از دسته بندی چندین شوادان در خانه های دزفول، به تحلیل جریان هوا در شوادان خانه قمصری به عنوان نماینده این شوادانها پرداخته اند. طاهباز، جلیلیان و موسوی (۱۳۹۳)، در مقاله ای دیگر، تأثیر جرم حرارتی خاک در کنترل وضعیت محیطی ساختمان از طریق اندازه گیری میدانی شرایط حرارتی زیرزمینها با عمق های متفاوت در شهر کاشان مورد تحلیل و ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق بیانگر تأثیر فراوان ظرفیت حرارتی جداره های زیرزمین در کاهش نوسان دمایی زیرزمینهای مورد مطالعه و قرارگیری در محدوده آسایش حرارتی در فصول تابستان و زمستان است.

در بررسی های انجام شده به موضوعات مصرف انرژی، بهینه سازی مصرف انرژی؛ مسائل هندسی حیاط و فضاهای احاطه کننده آن تأکید شده است و موضوع رفتار حرارتی و تحلیل مدل های آسایش حرارتی در خانه های حیاط مرکزی دار مورد بی توجهی واقع شده است. یکی از خلاهای مطالعاتی این است که رفتار حرارتی در همه دوره های زمانی سال به طور دقیق در یک منطقه خاص بررسی نشده است. سوالاتی که در این مقاله به دنبال پاسخ آن هستیم عبارتند از:

۱- حیاط مرکزی در شهر یزد چه ارتباطی با آسایش حرارتی ساکنان آن دارد؟

۲- مقایسه رفتار حرارتی خانه های حیاط مرکزی دار به کمک نرم افزار دیزاین بیلدر، چه نتایجی را در بر دارد؟

۳ - بهترین الگوی رفتار حرارتی حیاط مرکزی خانه های بومی شهر یزد کدام است ؟

۲- داده‌ها و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

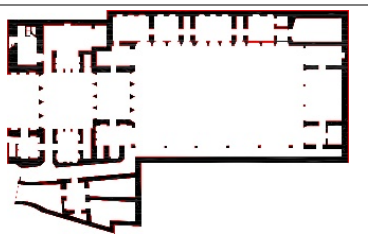
شهر یزد در گذشته در مرکز فرمانداری کل یزد از توابع استان اصفهان بوده و قبل از آن نیز جزء استان فارس به شمار می رفته است . این شهر با مختصات جغرافیایی ً۱۵ َ٥٤ ۳۱عرض شمالی و ً٤٥ َ۲٤ ٥٤ طول شرقی و با ارتفاع متوسط ۱۲۳۰ متر از سطح دریا در میانه فلات مرکزی ایران واقع شده است. یزد به لحاظ قرار گرفتن در آب و هوای گرم و خشک، پهنه های کویری با نارسایی های جدی طبیعی و محدودیت استعدادهای زیست محیطی روبه روست. عامل دیگر که در برقراری تعادل

از اهمیت ویژه ای برخوردار است نحوه برخورد با طبیعت و میزان بهره گیری انسان از منابع طبیعی زیستی است. در شرایط آب و هوایی به ویژه خشک که میزان نزولات جوی سالانه به کمتر از ۲۵۰ میلیمتر می رسد، منابع طبیعی به شدت حساس، آسیب پذیر و با تهدید مداوم ظهور و پیشروی کویر رو به رو هستند.با این حال با توجه به اهمیت ساختار طبیعی و ساختار زمین شناسی در برنامه ریزی شهری و نیز طراحی اقلیمی شهرها در رابطه با بهره گیری از حداکثر شرایط آسایش، وضعیت زمین شناسی و نیز اقلیم و معماری گستره شهر مورد مطالعه قرار می گیرد. هر محدوده ای دارای شرایط طبیعی و سیستم اکولوژیکی خاص خود و قابلیتهای زیست محیطی ویژه ای است(سایت هواشناسی استان یزد، ۱٤۰۲).

شکل ۱- نقشه کاربری اراضی شهر یزد (نگارنده،۱٤۰۲)

در ادامه پلان خانه های منتخب از بناهای مسکونی و بومی شهر یزد بر اساس نقشه های موجود در سازمان میراث فرهنگی و کتابهای مرجع نظیر گنج نامه های ایران انتخاب شده که به صورت کامل در جدول پیوست (۱) و به عنوان نمونه در جدول (۱) به نمایش گذاشته شده است.

جدول۱- نمونه ای از خانه های حیاط دار منتخب بومی شهر یزد(نگارنده،۱٤۰۲)

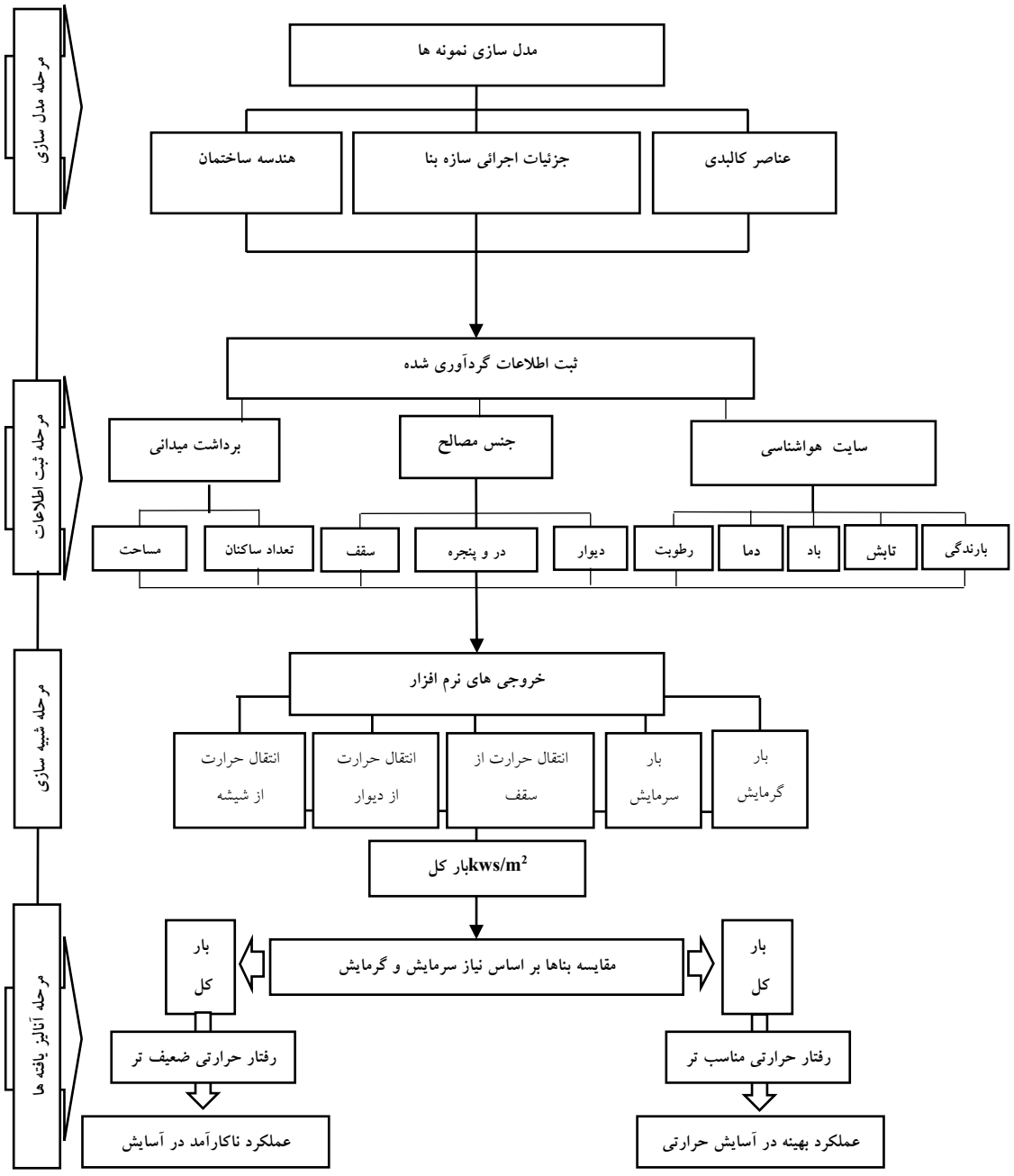
خانه عرب ها	خانه کرمانی	خانه شفیع پور
		

۲-۲- روش تحقیق

روش تحقیق در این مقاله مبتنی برشبیه سازی توسط نرم افزار رایانه ای است که رفتار حرارتی خانه های حیاط مرکزی دار یزد را جهت تعیین آسایش حرارتی بهینه برای ساکنان آن با توجه به ویژگیهای آب و هوایی منطقه مورد مطالعه که تواناییها و محدودیتهای خاص خود را دارد، ارزیابی می نماید. داده های اقلیمی مورد بررسی در این مقاله شامل تمامی اندازه گیریهای ماهانه عناصر اقلیمی ایستگاههای سینوپتیک استان یزد در دوره آماری ۱۰ ساله(۲۰۱۳-۲۰۲۳) می باشد که به عنوان پایگاه اطلاعاتی مورد پردازش قرارگرفته است و از کلیه مشخصه های اقلیمی، یعنی دما، رطوبت، بارندگی، جهت و سرعت و میزان باد، جهت تابش خورشید و ساعات آفتابی که مجموعه شرایط دمایی بدن انسان را کنترل می کنند، به صورت

سالانه به نرم افزار داده می شود تا شبیه سازی داینامیک یک ساله انجام گردد و بتوان در هر لحظه میزان بار سرمایش و گرمایش خانه ها را مورد سنجش قرار داد. در ادامه فرآیند به‌کارگرفته شده در این مقاله که شامل مراحل چهارگانه شکل (۲) است، بیان می‌گردد:

مرحله اول: مدل سازی؛ پس از برداشت و ترسیم خانه های حیاط مرکزی دار شهر یزد، تعداد ۲۰ خانه را با توجه به هندسه ساختمان، عناصرکالبدی شامل جهت گیری ساختمان، نوع سقف ، ضخامت دیوارها و جزئیات اجرائی سازه بنا همچون ابعاد بازشوها و نوع فریم آن ها، تعداد پنجره ها و اوکابه آن ها، میزان ارتفاع طبقه همکف از زمین با توجه به دارا بودن زیرزمین در اکثر خانه ها و دیگر مواردی که برای مدل سازی لازم است، به کار گرفته شد تا یک مدل خام سه بعدی از خانه شکل بگیرد.



شکل ۲- مدل مفهومی تحقیق (فرآیند انجام کار) (نگارنده،۱۴۰۲)

مرحله دوم: ثبت اطلاعات گردآوری شده ؛ در این مرحله با تعیین نوع مصالح دیوار و سقف، نوع شیشه، فریم و اوکابه پنجره ها، فضاهای که نیاز به گرمایش و سرمایش دارند، نوع و جهت سایبان ها در نمای ساختمان، حد استاندارد افراد ساکن در خانه که به صورت میانگین در نظر گرفته می شود و همچنین فایل آب و هوایی شهر یزد که شامل آیتم هایی نظیر دما، تابش، رطوبت، بارندگی، جهت و سرعت و میزان باد و غیره می باشد به نرم افزار داده می شود. به علت عدم استفاده از تجهیزات مکانیکی در این خانه ها، یک ست پوینت برای آن ها در نظر گرفته شده است تا بر طبق خروجی ها، نیاز سرمایشی و گرمایشی خانه ها، مشخص شود.

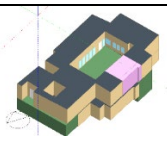
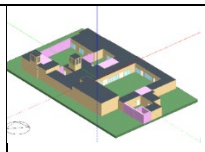
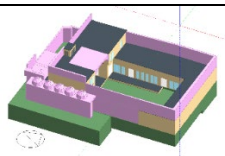
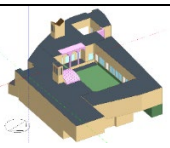
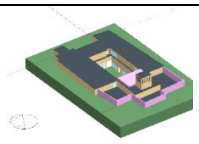
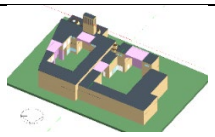
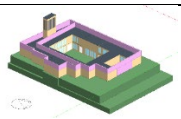
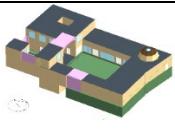
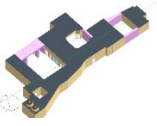
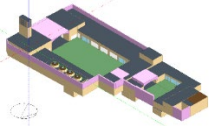
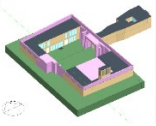
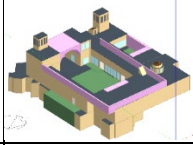
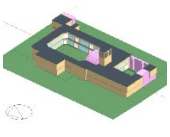
مرحله سوم: شبیه سازی؛ از نرم افزار دیزاین بیلدر انواع خروجی های اقلیمی را می توان گرفت ولی با توجه به اهداف مقاله جهت دستیابی به بارکل مورد نیاز سرمایش و گرمایش ساختمان ها، خروجی هایی نظیر میزان انتقال حرارت از شیشه، دیوار و سقف، و همچنین میزان بار سرمایش و گرمایش ساختمان ها به صورت جداول آماری و نموداری گرفته می شود.

مرحله چهارم: آنالیز یافته ها؛ برای رسیدن به آسایش حرارتی بهینه با توجه به زیر بنای متفاوت این خانه ها، می بایست بار حرارتی یا برودتی کل را بر متر مربع ساختمان تقسیم نمود تا مقادیری برحسب کیلو وات ساعت بر مترمربع به دست آید تا زمینه مقایسه این خانه ها با یکدیگر فراهم گردد. بنابراین هر ساختمان که بار کل کمتری نسبت به بقیه داشته باشد دارای رفتار حرارتی مناسبتری می باشد و این بدان معنی است که می توان برای آسایش حرارتی بهینه با کمترین امکانات نظیر بخاری گازی یا سرمایش تبخیری این محدوده آسایش را برای ساکنین خانه فراهم نمود و بالعکس آن اگر بار کل بیشتری نسبت به بقیه خانه ها داشته باشد تعیین محدوده آسایش حرارتی برای ساکنین، پرهزینه تر و با استفاده از تجهیزات و امکانات مکانیکی بیشتر امکان پذیر می باشد.

۳- بحث

نخستین گام برای انجام این مطالعه، مدل سازی خانه های منتخب در نرم افزار دیزاین بیلدر می باشد که مدل های این خانه های پس از مطابقت با وضع موجود به شکل جدول (۲) به نمایش در میآیند.

جدول۲- مدل سازی خانه های حیاط دار منتخب بومی شهر یزد،(نگارنده،۱۴۰۲)

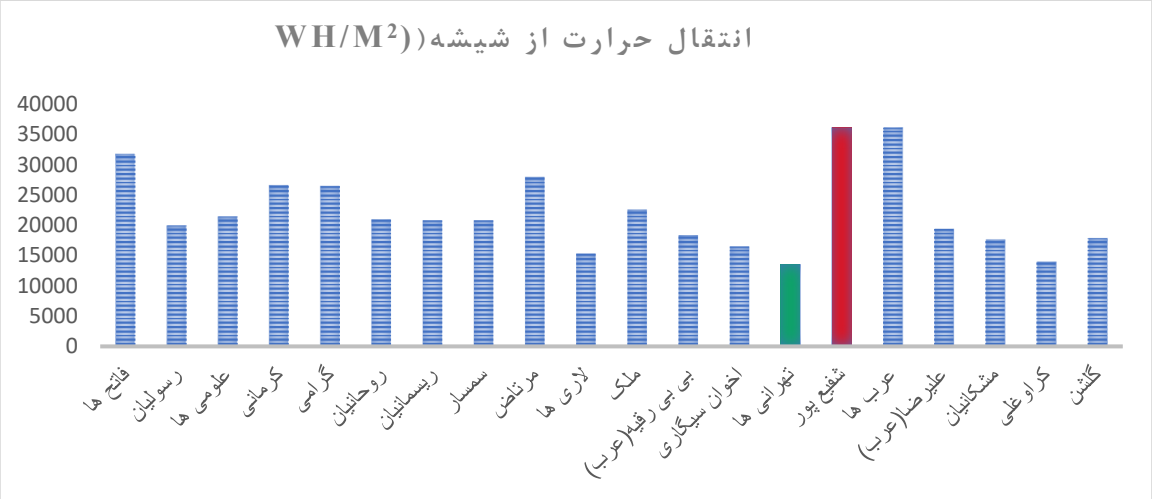
				
خانه بی بی رقیه(عرب)	خانه عرب ها	خانه علیرضا(عرب)	خانه اخوان سیگاری	خانه تهرانی ها
				
خانه کراوغلی	خانه گلشن	خانه گرامی	خانه فاتح ها	خانه شفیع پور
				
خانه مشکانیان	خانه ملک	خانه لاری ها	خانه کرمانی	خانه سمسار
				
خانه ریسمانیان	خانه رسولیان	خانه علومی ها	خانه مرتاض	خانه روحانیان

بعد از مدل سازی خانه های منتخب حیاط دار از خانه های بومی شهر یزد، آنها را به داخل نرم افزار دیزاین بیلدر برده و تنظیمات اقلیمی نظیر دما، بارندگی، رطوبت، جهت تابش و ... را از طریق آیکون های مربوطه برای شهر یزد تنظیم کرده تا مستقیماً از سایت هواشناسی آنها را دریافت کند. مصالح دیوار و سقف را خشت و گل در نظر گرفته و نوع شیشه ها را شیشه ساده که در سمت حیاط مرکزی قرار داد، انتخاب می کنیم. سایبانها نیز مطابق با نقشه های برداشت شده از شهر یزد تعبیه گردیده اند. با این تنظیمات خروجی های نرم افزار دیزاین بیلدر بر اساس آیتم های میزان انتقال حرارت از شیشه ، دیوار و سقف، همچنین میزان بار سرمایش و گرمایش و تابش ورودی از حیاط مرکزی و در نهایت بار کل برای هریک از خانه های مورد مطالعه به صورت ماهانه تعیین گردید و میانگین سالانه آیتم های مورد بررسی به شکل جدول (۳) ارائه می گردد.

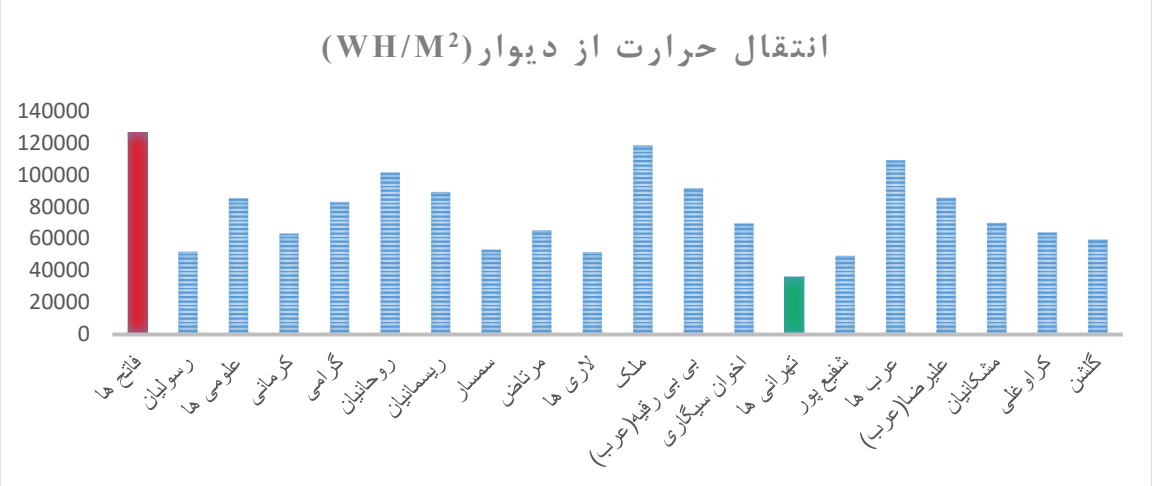
جدول ۳- جدول مقایسه خروجی نرم افزار دیزاین بیلدر از تحلیل اقلیمی خانه های بومی شهر یزد(نگارنده ؛ ۱۴۰۲)

خانه های یزد	انتقال حرارت ازشیشه(Wh/m2)	انتقال حرارت ازدیوار(Wh/m2)	انتقال حرارت ازدیوار(Wh/m2)	بار سرمایش (Wh/m۲)	بار گرمایش (Wh/m۲)	تابش ورودی (Wh/m۲)	بار کل (kWh/m^2)
فاتح ها	31721	126509	57846	182750	144537	105849	327
رسولیان	19945	51761	37552	80900	99907	50822	181
علومی ها	21413	85116	44077	112367	105024	74029	217
کرمانی	26586	63122	52681	109374	104771	61126	214
گرامی	26455	82889	47133	120464	110014	84311	230
روحانیان	20949	101265	55929	133942	120591	73232	255
ریسمانیان	20783	89166	54295	122594	107486	65824	230
سمسار	20787	53121	32698	71572	70883	45825	142
مرتاض	27923	65086	36810	55093	126568	83635	182
لاری ها	15314	51552	56545	49535	166783	57425	216
ملک	22552	118113	81738	178821	142534	105977	321
بی بی رقیه	18354	91463	49701	105982	114503	52724	220
اخوان سیگاری	16495	69368	50439	103434	111638	45535	215
تهرانی	13508	36191	44189	69308	92972	28983	162
شفیع پور	36134	49322	50379	52985	135147	74467	188
عرب ها	36066	108875	82685	183947	136053	122613	320
علیرضا(عرب)	19389	85557	47151	105678	113451	63067	219
مشکیان	17636	69736	45473	104625	92720	63070	197
کراوغلی	14001	63829	42494	88155	110834	37549	199
گلشن	17848	59398	46138	94276	105185	55809	199

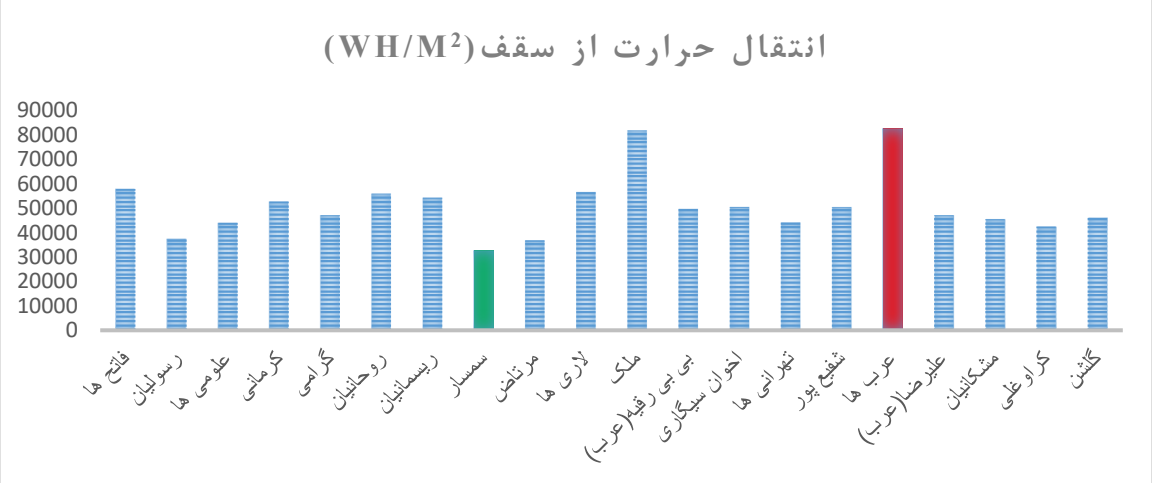
بر اساس جدول خروجی نرم افزار دیزاین بیلدر از تحلیل اقلیمی خانه های بومی شهر یزد، می توان نمودارهای تحلیلی زیر را استخراج نمود که در هر کدام از آیتم های مورد بررسی خانه هایی که بهترین مقدار را در آیتم مورد بررسی دارند با رنگ سیز و خانه هایی که بدترین مقدار را در آیتم مورد بررسی دارند با رنگ قرمز مشخص شده است . بدین ترتیب می توان بهترین و بدترین حالت رفتار حرارتی و آسایش حرارتی را در مجموع خانه های مورد بررسی مقایسه نمود. همانطور که در شکلهای ذیل قابل مشاهده است، در شکل (۳)انتقال حرارت از شیشه، خانه تهرانی ها کمترین مقدار و خانه شفیع پور بیشترین مقدار را دارا است. در شکل (٤) انتقال حرارت از دیوار، خانه تهرانی ها کمترین مقدار و خانه فاتح ها بیشترین مقدار را دارا است. در شکل (٥)انتقال حرارت از سقف، خانه سمسار کمترین مقدار و خانه عرب ها بیشترین مقدار را دارا است. در شکل (٦) بیشترین بار سرمایش متعلق به خانه عرب ها و کمترین مقدار آن متعلق به خانه لاری ها می باشد. درشکل (۷) بار گرمایش، بیشترین مقدار متعلق به خانه لاری ها و کمترین آن متعلق به خانه سمسار می باشد. در شکل (۸) برای تابش ورودی نیز بیشترین مقدار متعلق به خانه عرب ها و کمترین مقدار آن متعلق به خانه تهرانی ها می باشد و بالاخره در شکل(۹) مقایسه میزان بار کل در خانه های بومی مورد مطالعه یزد بیشترین بار کل مصرفی متعلق به خانه فاتح ها تعلق گرفت و کمترین بار کل مصرفی متعلق به خانه سمسار تعیین گردید



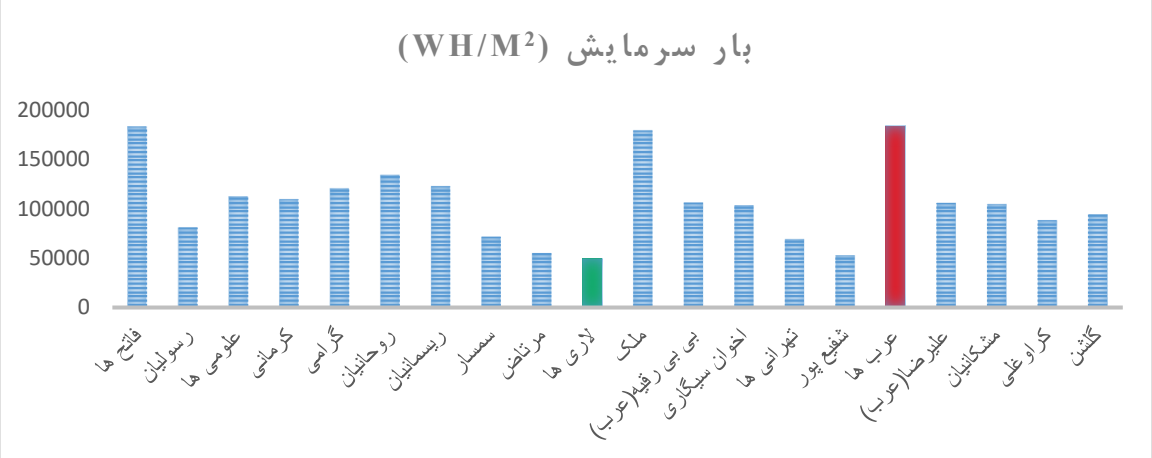
شکل۳. مقایسه میزان انتقال حرارت از شیشه در خانه های بومی مورد مطالعه یزد(نگارنده،۱٤۰۲)



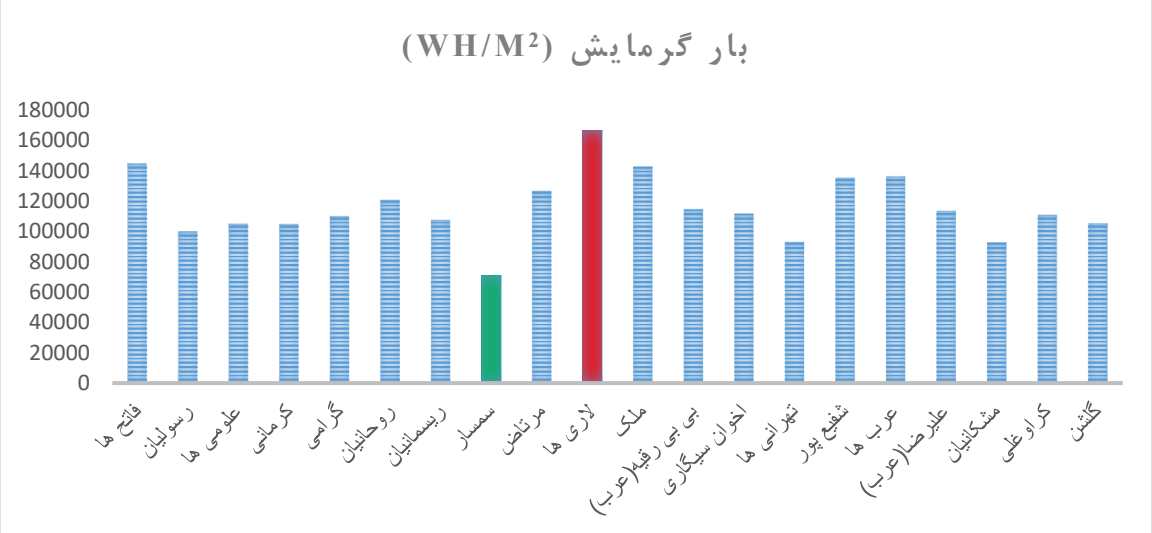
شکل٤- مقایسه میزان انتقال حرارت از دیوار در خانه های بومی مورد مطالعه یزد(نگارنده،۱٤۰۲)



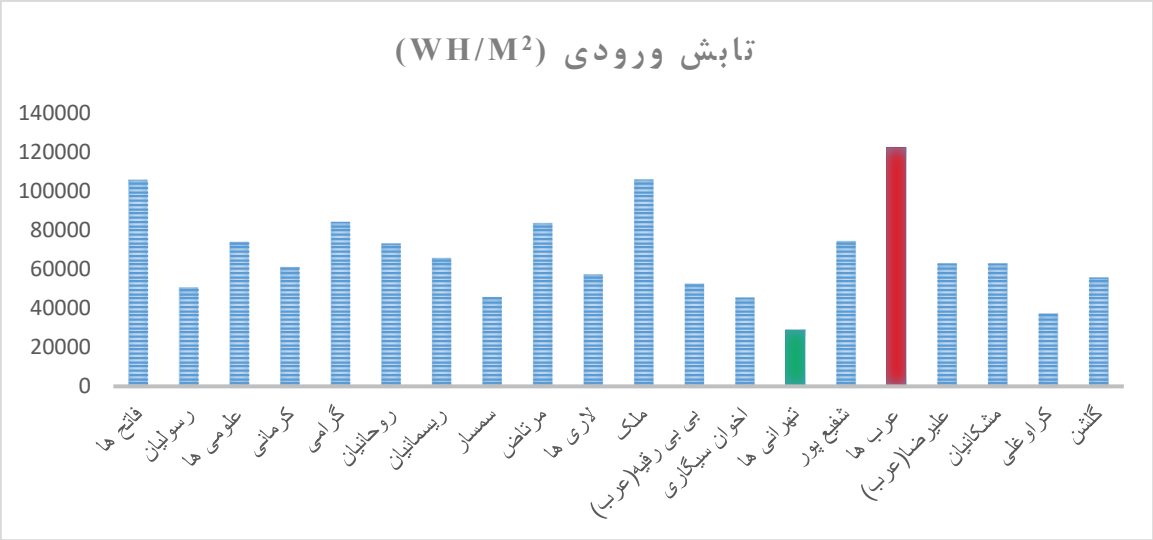
شکل۵- مقایسه میزان انتقال حرارت از سقف در خانه های بومی مورد مطالعه یزد(نگارنده،۱۴۰۲)



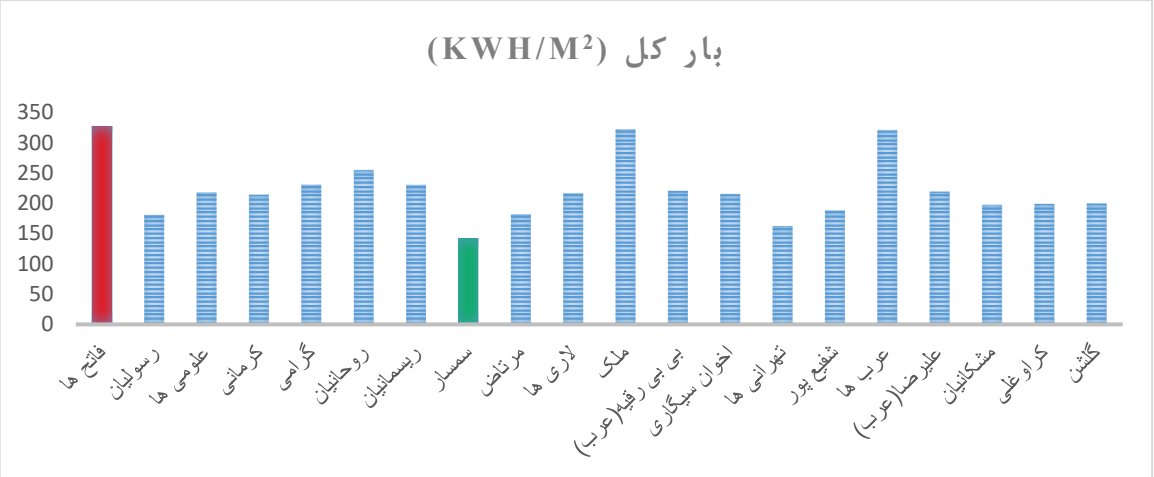
شکل٦- مقایسه میزان بار سرمایش در خانه های بومی مورد مطالعه یزد،(نگارنده،۱۴۰۲)



شکل۷- مقایسه میزان بار گرمایش در خانه های بومی مورد مطالعه یزد(نگارنده،۱۴۰۲)



شکل۸- مقایسه میزان تابش ورودی در خانه های بومی مورد مطالعه یزد(نگارنده،۱٤۰۲)



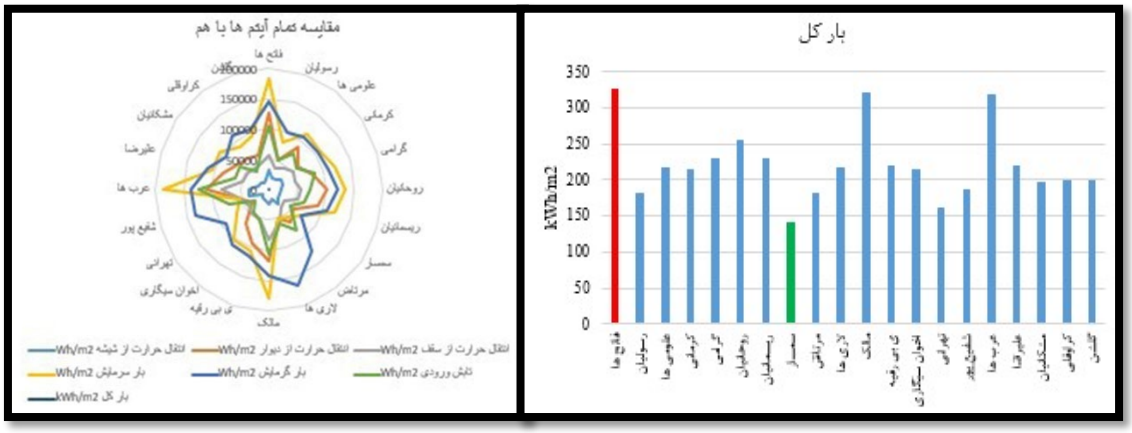
شکل۹- مقایسه میزان بار کل در خانه های بومی مورد مطالعه یزد، (نگارنده،۱٤۰۲)

٤- نتیجه گیری

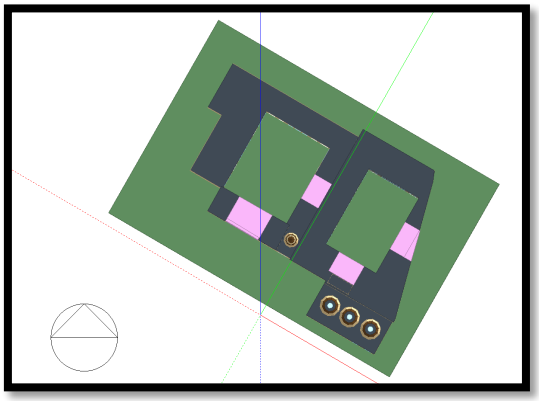
نتایج این مطالعه نشان می دهد که براساس نمودارها و جداول مستخرج شده، می توان به میزان بار کل برای هر یک از خانه های منتخب مورد ارزیابی اقلیمی در شکل (۱۰) اشاره نمود که به طور میانگین نشان دهنده بیشترین و کمترین بار برای خانه ها می باشد که برای بیشترین بار حرارتی کل خانه فاتح ها و برای کمترین بار حرارتی خانه سمسار انتخاب شده اند. با توجه به خوانش اقلیمی انجام شده در مورد خانه های بومی شهر یزد و پس از مشخص شدن بیشترین و کمترین مقدار بارحرارتی ساختمان در این خانه ها، برای یافتن مولفه های کالبدی موثر در بوجود آمدن چنین نتایجی باید با استفاده از مطالعات پیمایش میدانی و تحلیل پیکره بندی فضائی حیاط در این خانه ها، نقش حیاط مرکزی را در تعیین نگرش اقلیمی حاصل مشخص نمود، بنابراین می توان نتایج ذیل را در راستای این خوانش اقلیمی عنوان کرد:

۱-در خانه سمسار جهت گیری حیاط شمالی- جنوبی بوده و بیشترین عمق توده در قسمت جنوبی واقع شده است، بنابراین کمترین تبادل حرارتی توده با فضا در معرض تابش قرار میگیرد و بدین ترتیب دارای کمترین بار حرارتی می باشد. از طرف دیگر در خانه فاتح ها جهت گیری خانه جنوب شرقی- شمال غربی بوده و جهت گیری حیاط ها شمال شرقی- جنوب غربی می شود. از بیشترین عمق توده در قسمت جنوب غربی و شمال غربی می باشد، بیشترین سطح تابش از حیاط از سمت

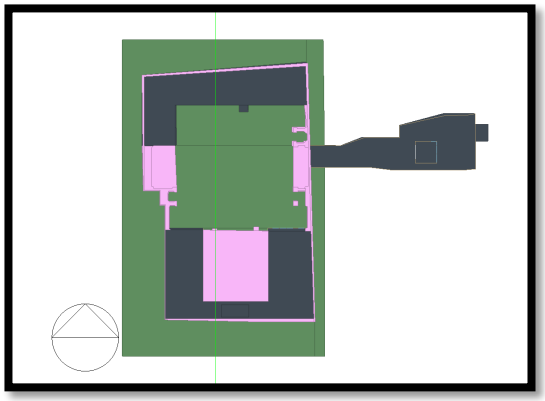
شرق تا غرب را دارا است که باعث دارا بودن بیشترین بار حرارتی می شود.شکل(۱۱)و(۱۲).



شکل۱۰- نمودار تعیین بیشترین و کمترین میزان بار حرارتی کل ساختمان(نگارنده،۱۴۰۲)



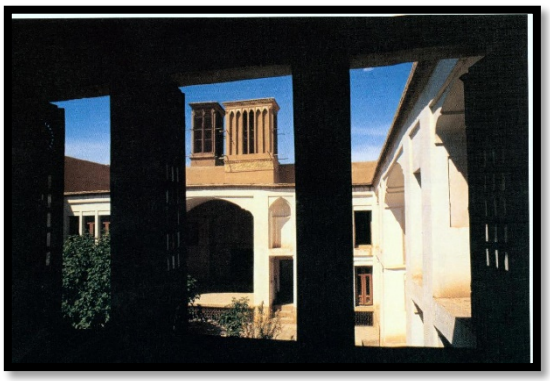
شکل۱۱- پلان جانمائی حیاط در خانه فاتح ها



شکل۱۲-پلان جانمائی حیاط در خانه سمسار

۲-عمق نفوذ تابش در خانه سمسار به واسطه نوع سازمان فضائی و چیدمان فضاهای تابستان نشین و زمستان نشین کم می باشد در حالی که این مولفه در خانه فاتح ها به واسطه تعداد فضاها و چند حیاطه بودن به مراتب بیشتر از خانه سمسارها می باشد. این مسأله را می توان در همق تابش آفتاب در فضای پنج دری خانه فاتح ها مشاهده نمود. ولی در خانه سمسارها برعکس این تصور دیده می شود. شکل (۱۳) و (۱۴).

شکل۱۳-عمق تابش در جهت آفتاب در خانه فاتح ها



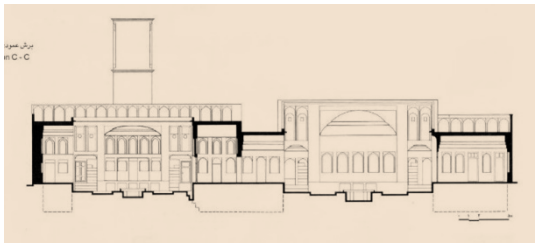
شکل۱۴- عمق تابش پشت به آفتاب در خانه سمسار

۳-خانه های یک حیاطه به واسطه متمرکز بودن و چیدمان فضاها به دور حیاط و قرار گرفتن فضاهای تابستان نشین و زمستان نشین در شمال و جنوب ساختمان، نسبت به خانه های چندحیاطه که به واسطه مفصل قرار گرفتن توده ای در بین حیاط ها، توازن تقسیم فضائی را بهم می زند و نسبت توده به فضا کمتر می شود، دارای بار حرارتی و برودتی کمتری می باشند. شکل(۱۵) و (۱۶).

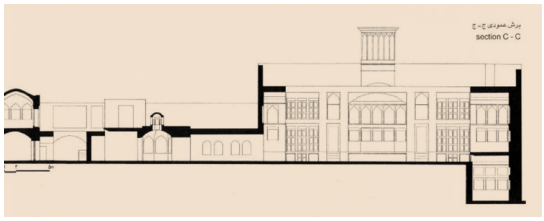
شکل۱۵-نسبت توده به فضای کمتر در خانه فاتح ها

شکل۱۶- نسبت توده به فضای بیشتر در خانه سمسار

۴-جهت قرار گیری طبقه اول بر روی طبقه همکف و نوع تابش و جریان باد نیز در میزان بار برودتی و حرارتی ساختمان موثر است. در خانه سمسار که یک خانه یک حیاطه است ارتفاع طبقات تقریباً یکسان، دوطبقه (همکف و اول) می باشد و در جهت تابش آفتاب معمولاً ارتفاع کمتر است تا میزان تابش موثر بیشتر باشد ولی در خانه فاتح ها که چندحیاطه است یک بخش دوطبقه و یک بخش یک طبقه است و به واسطه ساخت فضاهای متنوع تر و در جهات غیر معمول واقع شدن، اصول معماری آنها متفاوت عمل می کند و قاعدتاً این اختلاف ارتفاع ها در میزان تابش آفتاب و جریان باد در حیاط مرکزی نقش دارند.شکل(۱۷)و (۱۸).



شکل۱۷- برش طولی در خانه سمسار



شکل۱۸-برش طولی در خانه فاتح ها

۵-اختلاف ارتفاع حیاط مرکزی که معمولاً به علت داشتن زیر زمین در جوار حیاط مرکزی اتفاق می افتد در تبادل حرارتی محیط توده با فضا نقش دارد و باعث می شود که جریان های هوا در محیط مطبوع تر باشند و یک سری از فضاهای خانه در بیشتر اوقات در سایه قرار بگیرند که این عمل باعث بالاتر رفتن بار گرمایش و سرمایش ساختمان می شود و این مولفه در خانه فاتح ها قابل رویت است، در حالی که در خانه سمسار به واسطه همسطح بودن حیاط و نداشتن زیر زمین در جوار حیاط مرکزی، این تبادل حرارتی با زمین را به صفر می رساند شکل(۱۷)و (۱۸).

در پایان می توان چنین استنباط نمود که معماری خانه های بومی مملو از ایده های اقلیمی است که می تواند راهگشای صرفه جوئی در انرژی واقع شود. پیشنهادی که جویندگان راه علم را نسبت به خوانش اقلیمی این خانه بیشتر جذب می نماید تا از ورای آن بتوان به ابعاد پنهان اقلیمی این خانه ها پی برد و راهگشای طراحی مسکن امروزی واقع گردد .

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری وحید حسین زاده تحت عنوان" تبیین گونه شناسی بناهای مسکونی حیاط مرکزی در یزد با رویکرد رفتار حرارتی" می باشد که از راهنمایی و مشاوره ارزنده آن اساتید محترم دکترمجید مفیدی شمیرانی و دکترغلامحسین‌ناصری در اینجا تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

1. Abdulkareem, H.A., (2016), “Thermal Comfort through the Microclimates of the Courtyard. A Critical Review of the Middle-eastern Courtyard House as a Climatic Response”. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 216, 662-667.
2. Ahmad bin, H. (1966). New history of Yazd. Through the efforts of Iraj Afshar. Iran Zamin Culture, Tehran. (inPersian)
3. Ahmadi, F., (2005). The central courtyard in Iran's architecture, Sefa Quarterly, No. 41, Autumn and Winter, p. 90. (inPersian)
4. Ahmadi, Z. (2012). Recognize the missing role of central courtyard to achieve sustainable architecture. Journal of Architecture in Hot and Dry Climate (AHDC). Volume 2, Issue 2, P25-40. (inPersian)
5. Al-Kurdi N. & Awadallah T. (2015). Role of Street- level Outdoor Thermal Comfort in Minimizing Urban Heat Island Effect by Us ing Simulation Program, Envi-Met: Case of Amman, Jordan Research Journal of Environmental and Earth Sciences, Vol. 7, No. 3 pp. 42-49.
6. Anselm, A. J. (2008). Passive annual heat storage principles in earth sheltered housing, a supplementary energy saving system in residential housing. Energy Build.
7. Antarikananda, P; Douvlou, E & McCartney, K (2006), “Lessons from traditional archi-tecture: Design for a climatic responsive Contempo- rary house in Thailand”, In Proceedings of the ۲۳rd Conference on Passive and Low Energy Architec-ture-PLEA 2006, Geneva, Switzerland ,43-112.
8. Asfour, O. S. & Alshawaf, E. S. (2015), “Effect of housing density on energy efficiency of buildings located in hot climates”, Energy and Buildings, 9
9. Ayali, H.and Mohed, Kh. (2015). Determining the optimal direction of the central courtyard of the houses of the Qajar period of Shiraz based on the amount of solar energy received, Geography and Development, No. 42, Spring, pp: 182-61. (inPersian)
10. Bajiyan, E. and Khairuddin, R., (2016), Hierarchical model of evaluation of psychological cart in the direction of achieving thermal comfort and sense of place in urban spaces, Scientific-Research Quarterly of Urban Studies, No. 28, pages 79-90. (inPersian)
11. Balaras, C. A. (1996), The role of thermal mass on the cooling load of buildings, An overview of computational methods, Energy and buildings, 24.
12. Benardos, A., Athanasiadis, I. and Katsoulakos, N. (2014). Modern earth sheltered constructions: a
13. Benrazavi, R.S., Dola, K.B., Ujang, N., & Benrazavi, N.S. (2016). Effect of pavement materials on surface temperatures in tropical environment. Sustainable Cities and Society,22, 94-103.
14. Bokaie, M., Zarkesh, M.K., Arasteh, P.D., & Hosseini, A. (2016). Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and land use/land cover in Tehran .Sustainable Cities and Society,94-104
15. Bridson, D. (2012), courtyard Housing Study, Djingis Khan and The Kingo Houses, ASBN26, Sustainable Urban Design Lund University.
16. Department of climate change and energy efficiency (DCCEE), (2010). Your home; technical manual (fourth edition), Commonwealth of Australia.
17. Edwards, B., (2006), Courtyard Housing Past, Present and Future, Edited by: Brian Edwards; Magda Sibley; Mohammad Hakmi
18. Elahi Bakhsh, A. H. and Shah Mohammadi, F (2006). "Choosing software for simulating energy consumption in buildings for development in the country", Proceedings of the 22nd International Electricity Conference,

Tehran, November 28-30. (inPersian)
19. Fahmy M., Sharples, S. & Yahiya M. (2010). LAI Based Trees Selection for Mid Latitude Urban Developments: A Microclimatic Study in Cairo, Egypt, Building and Environment, Vol. 45, No. 2, pp. 345-357.
20. Ferrer-Forés, J. (2010), Courtyard housing: Environmental Approach in Architectural
21. Ghiai, M.M., Mahdavi Nia, M., Tahbaz, M., and Mofidi, S.M. (2012). "Methodology of selecting energy efficient software applications in the field of architecture", Hoyt Shahr, year 7, number 13. (inPersian)
22. Grote, L. and David, W. (2008). Research method in architecture. Translation: Alireza Einifar, Tehran University Press, pp. 362-361. (inPersian)
23. Gurji Mahleban, Y., Yaran, A., Parwardinejad, S.and Eskandari, M. (2010). Evaluation of climate-compatible architecture in the houses of Kashan, Armanshahr. Number 7, Autumn and Winter, pp: 31-41. (inPersian)
24. Haeri, M. R. (2009). House, culture, nature (examination of the architecture of historical and contemporary houses in order to compile the process and criteria of house design), Urban Planning and Architecture Study and Research Center, Tehran. (inPersian)
25. Haji Qasemi, C. (2013). Cultural encyclopedia of Iran's Islamic architectural works - 14th book - Yazd houses, Shahid Beheshti University Press, Tehran. (inPersian)
26. Hashemi, F. Heydari, Sh. (2011). Investigating the climatic function of the winter yard in cold regions, a case study: Ardabil city, Architecture and Urban Development, (6), pp. 154-139. (inPersian)
27. Hazbei, M. Nematollahi, O. Behnia, M. and Adib, Z. (2015). Reduction of energy consumption using
28. Hazbei, M., Nematollahi, O., Behnia, M., and Adib, Z., (2015), Reduction of energy consumption using passive architecture in hot and humid climates, Tunn. Undergr. Space, Technol, Vol 47, pp 16-27.
29. Hedayati Rad, F., Shabankari, M., Zarghamian, M. R.and Abargoi, S. (2016), Evaluation of bio-climatic indicators affecting human well-being (case study: Arvand Free Zone), Journal of Environmental Science and Technology, 18th volume, special issue number 3, pages 24-41. (inPersian)
30. Heidary, Sh. and Imani, F., (2018), Evaluation of underground building energy consumption compared to similar models on the Earth's surface climates in Tehran, Yazd and Tabriz, Iranian Journal of Architectural Studies.pp 89-105.
31. Hosseinabadi, S. Hassan Lashkri, M. Salmani Moghadam, A. (2013), climatic design of residential buildings in Sabzvar city with emphasis on building orientation and canopy depth, Development and Geography Quarterly. Volume 10, Number 27, Zahedan, Pages 103-116. (inPersian)
32. Jadiri Abbasi, M., Shaghaghi, SH., Salek Zamankhani, J. and Hamidzadeh Khayavi, S., (2021), evaluation of the impact of climate on the planning and design of contemporary housing in the city of Tabriz (case study of Zafaranieh, Waliasr and Rushdieh neighborhoods), Sarzemen Geographical Quarterly, year 18, number 71, pages 66- 45. (inPersian)
33. Jahanbakhsh, S. and Ismailpour, N. (2004). "Basics of climatic design of residential units in Yazd city (thermal and lighting basics)", Geographical Quarterly of Sarzameen, Volume 1, Number 2 (series 2) (inPersian)
34. Jamei E., Rajagopalan P., Seyedmahmoudian M. & Jamei Y. (2016). Review on the Impact of Urban Geometry and Pedestrian Level Greening on Outdoor Thermal Comfort, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 54, pp.1002-1007.
35. Kamyabi, S. (2015) Implementationof Climate Classification System on the Architecture of Khorasan Razavi Cities, Quarterly Geography of the Land, pp. 91-105.
36. Kashki, A. R, Hosseini, S. M., Hardani, A., (2018), investigation of climatic comfort and its relationship with human physiological indicators. (Case: Sistan and Baluchistan province), Journal of Environmental Science Studies, 4th volume, 1st issue, pages 929-944. (inPersian)
37. Kermi-Rad, S., Aliabadi, M. and Habibi, A. (2017). Measuring the impact of urban geometry on external thermal comfort conditions at the micro-climatic scale (case study: open space of Golesht residential complex, Shiraz)" Regional Planning Quarterly. Volume 8, Number 29, pp: 161-172. (inPersian)

38. Khalili, M. & Amindeldar, S. (2014), "Traditional solutions in low energy buildings of hot-arid regions of Iran", Sustainable Cities and Society, 13.
39. Khodabakhshian, M., (2012), The typology of Earth- sheltered Buildings in arid climates of Iran, Doctoral dissertation on architecture, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran.
40. Mahdovinejad, M. J., Mansoorpour, M. and Hadianpour, M., (2014). The role of the yard in contemporary Iranian architecture, case study: Qajar and Pahlavi periods, Iranian-Islamic City Studies, Tehran, number 15. (inPersian)
41. Mantezari, M. and Dehghani, M. (2012). "Detailed identification of climatic areas of Yazd province using multivariate statistical methods" Natural Geography Quarterly, Year 6, Number 19. (inPersian)
42. Masoudinezhad, M., Tahbaz, S.M., and Mofidi shemirani, S.M., (2018), Investigation of thermal Shavadan, Case Study: Dezful Souzangar House, Iranian Journal of Architectural Studies, pp 49-70.
43. Mazaheri, M., Dezhdar, O., Mousavi, S., (2017), Analyzing the role of the yard in the spatial structure of Iranian houses using the space syntax method, Hoyt Shahr Magazine, No. 34, Year 12, Pages 108-97. (inPersian)
44. Memarian, G.H., Brown, F. E, (2000), "The Shared Char-acteristics of Iranian and Arab Courtyard Houses", First International Arab Courtyard Houses, Homs University (Syria) and Huddersfield University of U.K, (2),33-51
45. Memarian, Gh. (2015). Introduction to Iranian residential architecture, (introverted typology), Tehran, Iran University of Science and Technology. (inPersian)
46. Memarian, Gh., Tabarsa, M. A. (2013). Type and Typology of Architecture, Scientific-Research Journal of the Scientific Association of Architecture and Urban Planning of Iran, 2013, Number 6, Autumn and Winter, p. 104. (inPersian)
47. Mirmousavi, S. H., Shafiei, Sh. and Taghizadeh, Z., (2013), evaluation and estimation of day degree and temperature compatibility index for climate-compatible housing design (case study: Mehrabad Synoptic Station, Tehran), Sepehr Magazine, Volume 23, Number 89, Pages 81-87. (inPersian)
48. Monestiroli, A., (1979), L Architettura della Realta, Milano politecnico, di Milano, P.58.Pfeifer, Gunter, & Brauneck, Per, (2008) Cortyard Houses, A Housing Typology, Berlin, Springer.
49. Nguyen, A. T.; Tran, Q. B.; Tran, D. Q. & Reiter, S. (2011), "An investigation on climate responsive de-sign strategies of vernacular housing in Vietnam", Building and Environment.
50. Nielsen, H. (2015). Natural ventilation, climate design guide for hot regions, translated by: Mohammad Ahmadinejad. soil distribution Isfahan. (inPersian)
51. North Umbria University. (2011). An Inter-program Analysis of Computational Fluid Dynamics Based on PHOENICS and DesignBuilder Software. UK, Sheffield: School of Built and Natural Environment
52. Philokyprou, M. & Michael, A. (2012), "Evaluation of the Envrionmental Features of Vernacular Architec- ture, A Case Study in Cyprus", International Journal of Heritage in the Digital Era.
53. Pirnia, Mohammad Karim (1995) Introduction to Iranian Islamic Architecture, Tehran, Iran University of Science and Technology Publications, third edition. (inPersian)
54. Qabadian, V. (2017). Climatic study of Iran's traditional buildings. Fifth edition, Tehran University Press. Tehran. (inPersian)
55. Qazalbash, M. and Abulazia, F. (1985). The alphabet of the body of the traditional house of Yazd, published by the Ministry of Planning and Budget, Technical Vice-Chancellor, Bureau of Research and Technical Standards, Tehran. (inPersian)
56. Radhi, H., Assem, E., & sharples, S. (2014). On the colours and properties of building surface materials to mitingate urban heat islands in highly productive solar regions. Building and Environment ,
57. Radhi, H., Fikry, F., & Shrples, S. (2013). Impacts of urbanization on the thermal behaviour of new builtup environments, A scoping study of the urban heat island in Bahrain. Landscape and Urban Planning, 113,47-61.
58. Rain. Qin, Y. (2016). Pavement surface maximum temperature increases linearly with solar absorption and reciprocal thermal inertial. International Jour-۹nal of Heat and Mass

Transfer, 97, 91-93.
59. Roaf, S. (1988), The Wind Catcher of Yazd, (Doctoral dissertation, Ph. D Thesis, Department of Architecture, Oxford Polytechnics.
60. Salehi, B., Ghanbaran, A., and Ferdowsian, S. (2017), are examining the status and formulation of climate - friendly design criteria in Ilam Residential Buildings (Using the Mahani Method), Ilam Extension Science Quarterly, Eighteenth period, No 29 and 57, pp 105-117.
61. Sefalai, F. (2013). The environmental impact of the central courtyard in sustainable residential architecture in hot and dry regions of Iran, doctoral dissertation in architecture, supervision: Seyed Majid Mofidi, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Department. (inPersian)
62. Soheili Fard, M., Akhtarkavan, H., Fallahi, S., Akhtarkavan, M. and Mohammad Moradi, A. (2012). Investigating the interaction of Iranian architectural principles and solar energy from the perspective of form, symmetry and orientation, case example: Abbasian Kashan House, Arman Shahr Architecture and Urbanism Journal, Autumn and Winter 2013, Volume 5, Number 11. (inPersian)
63. Sultanzadeh, (2011). The role of geography in the formation of types of courtyards in traditional Iranian houses, human geography research (geographic studies), volume 43, number 75. (inPersian)
64. Taban, M., Pourjafar, M., Bamanian, M.R. and Heydari, Sh. (2013) Determining the optimal pattern of the central courtyard in Dezful traditional housing based on the analysis of the received shade of different levels of the courtyard, Bagh Nazar Quarterly, Tehran, Volume, 10. (inPersian)
65. Tahbaz, M. (1976). Principles of a desert architecture, quarterly, pages 91 and 20, autumn and winter, p. 79. (inPersian)
66. Taleghani M., Sailor DJ., Tenpierik M. & van den Dobbelsteen A. (2014). Thermal Assessment of Heat Mitigation Strategies: T he Case of Portlan d State University, Oregon, USA. Building and Environment, Vol. 73, pp. 138-151.
67. Taleghani M., Sailor DJ., Tenpierik M. & van den Dobbelsteen A. (2014). Thermal Assessment of Heat Mitigation Strategies: T he Case of Portlan d State University, Oregon, USA.Building and Environment, Vol.73, pp130-158.
68. Targhi M.Z. & Van Dessel S. (2015). Potential Contributio n of Urban Developments to Outdoor Thermal Comfort Conditions: The Influence of Urban Geometry and Form in Worcester, Massachusetts, USA, Procedia Engineering, Vol. 118, pp. 1153-1161.
69. Targhi, M.Z. & Van Dessel, S. (2015). Potential Contributio n of Urban Developments to Outdoor ThermalComfort Conditions: The Influence of Urban Geometry and Form in Worcester, Massachusetts, USA, Procedia Engineering, Vol. 118, pp. 1153-1161.
70. Tavassoli, M., (1974), Architecture in hot arid zone, The university of Tehran, Tehran.
71. Tavossi, T. and Abdolahi, A. (2009) Evaluation of temperature comfort indicators and architecture compatible with Ravansar climate, Quarterly Journal of Geography and Planning, Volume 15, Number 32, Tabriz, Pages 125-150. (inPersian)
72. Trewartha, G. T., (1968), An introduction to climate, MeGraw Hill Book, Co. New York
73. Watson, D., Kenneth, L. (2005). Climate design: theoretical and practical principles of energy use in buildings, translated by Vahid Qabadian and Mohammad Faiz Mahdavi. Eighth edition. Tehran. Tehran University Publications. (inPersian)
74. Wong NH. & Yu C. (2005). Study of Green Area s and Urban Heat Island in a Tropical City, Habitat International, Vol. 29, No. 3, pp.547-558.
75. Xiong, Y., Liu, J., Kim, J., (2019), Understanding differences in thermal comfort between urban and rural residents in hot summer and cold winter climate, Building and Environment, Volume 165.
76. Yaran, A., and Mehranfar, A., (2013), Appropriate climatic patterns in low-lying residential textures (comparative study of cities with temperate climates: Washington DC, Richmond, Virginia Beach, Antalya, Rasht, Seoul, Ni Gata), Journal of Garden view, pp3-14.
77. Zare, L., Naghizadeh, M. and Hariri, Sh. (2011). The relationship between nature and the central courtyard with a look at the architecture of the Iranian house in Kashan.

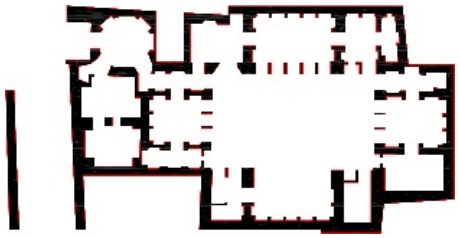
79. Zhai, Z., et al (2009). Ancient vernacular architecture: ch aracteristics categorization and energy performance evaluation. previtali, Energy and Building.

Hoyt Shahr, No. 12, pp. 49-60. (inPersian)

78. Zarei, M. I.and Mirdehghan, S. F., (2015), The role of the central courtyard pattern in adjusting the harsh conditions of the hot and dry climate of Yazd region, Shahr Irani-Islami Quarterly, No. 23, pages 5-18. (inPersian)

جدول پیوست ۱- پلان خانه های حیاط دار منتخب بومی شهر یزد(نگارنده،۱۴۰۲)

خانه عرب ها	خانه اخوان سیگاری
خانه گلشن	خانه فاتح ها
خانه ملک	خانه کرمانی

خانه رسولیان	خانه مرتاض
خانه شفیع پور	خانه روحانیان
	
خانه بی بی رقیه(عرب)	خانه علیرضا (عرب)
خانه کراوغلی	خانه گرامی
خانه مشکانیان	خانه لاری ها

خانه ریسمانیان

خانه علومی ها

خانه تهرانی ها

خانه سمسار