

## سنجش عملکرد آسایش حرارتی در تلفیق بادگیر و دودکش خورشیدی (نمونه موردی: خانه رسولیان یزد)

<sup>۱</sup> علیرضا افشون، <sup>۲</sup> زهرا برزگر\*

### چکیده

سرمایش یکی از تأثیرگذارترین فاکتورهای تأمین آسایش حرارتی است. سیستم‌های خنک کننده منفعل برای فضاهای مسکونی می‌توانند به مصرف منابع طبیعی غیر قابل تجدید کمک کند. هدف این پژوهش بررسی عملکرد تلفیق بادگیر و دودکش خورشیدی، صرفه جویی در میزان مصرف انرژی و کاهش مشکلات زیست محیطی می‌باشد. این مطالعه با بررسی انجام گرفته روی خانه رسولیان در شهر یزد به عنوان نمونه موردی و شبیه سازی، شیوه عملکرد بادگیر و تأثیر الحاق دودکش خورشیدی در بهبود عملکرد تهویه طبیعی، و تأثیر آن بر میزان آسایش حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که الحاق دودکش خورشیدی و ایجاد مکش هوا به صورت طبیعی و بهره‌گیری از آب در مسیر حرکت هوا، تأثیر به‌سزایی بر روی دما و رطوبت نسبی، به صورت طبیعی و بدون استفاده از هر گونه انرژی غیر طبیعی، به ایجاد آسایش حرارتی در آن مکان داشته است.

تاریخ دریافت:

۱۳۹۷/۷/۲۵

تاریخ پذیرش:

۱۳۹۸/۹/۹

کلمات کلیدی:

آسایش حرارتی،  
شبیه‌سازی رایانه‌ای،  
دودکش خورشیدی،  
بادگیر، خانه رسولیان یزد.

## ۱. مقدمه

در ابتدای قرن جدید، مصرف انرژی به موازات توسعه اقتصادی و تکنولوژیک افزایش یافته و انتظار می‌رود در چند دهه دیگر این نیاز همچنان بیشتر گردد (مهدی نژاد، جوانرودی، ۱۳۹۰، صفحه ۷۰-۴۸). انرژی در دستیابی به توسعه اقتصادی، اجتماعی و محیطی در راستای توسعه انسانی محوریت دارد. در این میان ایران با جمعیت یک درصدی از جمعیت جهان، حدود ۹ درصد از نفت و فرآورده‌های آن را مصرف می‌کند. بنابراین امروزه بعلت رشد روز افزون مصرف انرژی در جهان و با توجه به کمبود منابع سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از احتراق آنها، ضرورت به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر جهت کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، افزایش یافته است. یکی از راه‌های کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، ساخت واحدهای مسکونی به گونه‌ای است که دارای کمترین نیاز به مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش آنها باشد. این مهم با بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل داشتن ظرفیت بی‌پایان و قابلیت ارائه انرژی با کمترین آلودگی محیطی قابلیت تحقق خواهد داشت. استفاده از روش‌های غیر فعال و پاک در معماری سنتی در غیاب وسایل مکانیکی تأمین‌کننده آسایش حرارتی، در طول هزاران سال تجربه بومی به‌دست آمده است. بهره‌گیری از این روش‌های در ساختمان‌های امروزی، می‌تواند بهترین راه برای تأمین آسایش حرارتی این ساختمان‌های مدرن باشد (مهدی نژاد، جوانرودی، ۱۳۹۰، صفحه ۱۶، ۴۸). بنابر نظر اشرفی (۲۰۱۱: ۲۹) آسایش حرارتی؛ درجه حرارت هوا، رطوبت، سرعت و شدت باد، درجه حرارت تابشی و شرایط محیطی مانند پوشش، جنسیت، سن فرد و فعالیت‌های فیزیکی است. ترکیب عوامل یاد شده منطقه‌ای را بوجود می‌آورد که افراد در آن احساس آسایش کنند (برزگر، زهرا و مریم رسایی پور، ۱۳۹۳، ۲) آسایش حرارتی را می‌توان از جمله مهمترین معیارها در طراحی ساختمان براساس صرفه‌جویی در مصرف انرژی در نظر گرفت که در صورت عدم توجه به آن با افزایش مصرف مواجه می‌شویم؛ آنگاه ضروری جبران ناپذیر به اقتصاد مملکت زده و تداوم تخریب محیط زیست را زمینه ساز خواهیم بود (حیدری، ۱۳۸۸: ۶).

گرمای طاقت فرسای تابستان در مناطق کویری ایران و عدم دسترسی راحت به منابع انرژی ناشی از سوخت‌های فسیلی در گذشته باعث شده که انسان به فکر تهویه طبیعی و خود به‌خودی ساختمان‌ها بدون استفاده از انرژی فسیلی بیفتد، در این راستا بناهای برج مانند باریک، بلند و چهارپهلوی

و شش پهلو یا هشت پهلوئی به نام بادگیر را ساخته است (کلانتر، ۲۰۰۵). بادگیرها برج‌هایی هستند که از قرن‌ها پیش در مناطق کویری ایران برای انتقال هوای بیرون به داخل فضای مسکونی و مکش هوای درون به بیرون جهت کمک به برقراری آسایش حرارتی در تابستان از آن‌ها استفاده می‌شده است (بهادری، ۱۹۹۷). این برج‌ها ارتفاع و سطح مقطع‌های متفاوت دارند. متداول‌ترین سطح مقطع مربع-مستطیل است، درحالی که مقطع مربعی شکل و ۸ وجهی نیز استفاده شده است (نایی، ۱۳۸۱). بادگیر همان گونه که از اسمش پیداست جزئی از کالبد مناطق گرم و خشک یا گرم و مرطوب ایران به شمار می‌رود، که با هدایت جریان باد و بهره‌گیری از انرژی پاک طبیعت در تعدیل دما و رساندن دمای فضای سکونتی به دمای در حد آسایش انسان نقش مؤثری داشته است (محمودی، ۱۳۸۷، ۲۹). با قراردادن سیستم‌های تبخیری مناسب در محل ورود هوا به داخل بادگیر می‌توانیم فضای مطبوع و راحتی را در داخل از نظر دما و رطوبت بوجود آوریم (کلانتری، ۲۰۰۵).

استفاده بهینه از انرژی در ساخت بنا، توجه به جنبه‌های بومی و فرهنگی محل از مفاهیم اصلی کاربرد اکولوژی و پایداری در طراحی معماری است (پورکریم، علی و سمیرا کوهی، ۱۳۹۷). مبحث نوزده مقررات ملی ساختمان تنها مقررات موجود این حوزه است که نتوانسته پوشش کافی نیاز انرژی بخش ساختمان را بدهد. لذا اجماعی بین ارگان‌های مرتبطه جهت تدوین مقررات مورد نیاز لازم می‌باشد. آنچه بایستی مورد توجه قرار گیرد تدوین مقررات محلی برای هر بخش فرهنگی و اقلیمی متفاوت است که احیا کننده تکنیک‌های اقلیمی معماری بومی باشد. در این مسیر یکی از تکنیک‌های اقلیم گرم و خشک اجرای همزمان بادگیر و دودکش خورشیدی است. از این رو لزوم تدوین مقررات و استانداردهای ساختمانی و تدوین مقررات و استاندارد با توجه به خصوصیات مناطق چهارگانه اقلیمی ایران امکان بهره‌گیری از استانداردهای کشورهای پیشرو که با مناطق مختلف ایران تشابه اقلیمی دارند. با استفاده از معماری بومی که متأثر از اقلیم و شرایط جغرافیایی است، می‌توان به سطح بهینه‌ای از طراحی در ساختمان‌ها دست یافت. معماری سنتی کمترین تأثیر منفی را بر محیط زیست و اکوسیستم می‌گذارد و در راستای ساخت و ساز پایدار بوده است (نصراللهی، فرهاد، ۱۳۹۰). بدین منظور در این پژوهش، ابتدا نقشه‌های مورد نیاز تهیه و سپس به اجرای شبیه‌سازی با استفاده از نرم افزار Design buipder پرداخته شد. در ادامه با توجه به عدم وجود دودکش خورشیدی در خانه مورد مطالعه، الحاق مکانی صورت پذیرفت و شبیه‌سازی مجدد صورت گرفت.

## ۲. پیشینه پژوهش

فنگر<sup>۱</sup> (۱۳۷۲)، مکینتایر<sup>۲</sup> (۱۹۸۰) و گاگ<sup>۳</sup> (۱۹۸۶) از جمله پیشتازان مبحث آسایش حرارتی‌اند و آن را در ارتباط با توازن حرارتی بدن انسان در نظر گرفته‌اند. مفهوم دودکش خورشیدی در ابتدا توسط پروفیسور شلایل<sup>۴</sup> از اشتوتگارت در اواخر سال (۱۹۷۰) مطرح شد. کمتر از چهار سال بعد ایده خود را در یک کنفرانس مطرح کرد. در اواخر دهه ۱۹۳۰ علاقه فراوانی در زمینه مهندسی تهویه طبیعی به‌وجود آمد (برگرس، ۱۹۹۵). مطالعات نشان می‌دهد که در دو دهه گذشته توجه به جریان هوای داخل، در قالب دانشی نوین به طور چشمگیری افزایش یافته است (عمیدی پور، ۱۳۸۸).

دهقانی و آفانجفی (۱۳۸۳، ۱۴، ۲۵) با محاسبه سه پارامتر دما، دبی جرمی و رطوبت در بادگیر شهریار تهران از روش تجربی به این نتیجه رسیدند که استفاده از این روش سنتی با تغییراتی کوچک در عصر امروز نیز می‌تواند کاربرد داشته باشد. مزیدی (۳۹، ۴۶، ۱۳۸۷). با تحلیل عددی باغ دولت آباد یزد مزایا و معایب این روش تهویه طبیعی را با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری برشمرده است. از جمله اینکه دمای وارده به بادگیر با دمای محیط بیرون حتی با استفاده از سطوح خیس شونده برابر می‌باشد. بهادری با مدلسازی رایانه‌ای دمای هوا را در تمامی طول یک بادگیر سنجیده است و تغییرات این پارامتر را ثبت نموده است (بهادری، ۱۹۸۷، ۲۴). محمودی از طریق مدل‌سازی بادگیرهای یزد به بررسی رفتار سرمایه‌های انواع بادگیرهای این شهر پرداخته و گونه‌شناسی از بادگیرهای این شهر را بر اساس آنالیز ارائه نموده است (محمودی، ۲۰۰۹، ۵۴۵). مفهوم دودکش خورشیدی در ابتدا توسط پروفیسور شلایل<sup>۵</sup> از اشتوتگارت در اواخر سال (۱۹۷۰) مطرح شد. کمتر از چهار سال بعد ایده خود را در یک کنفرانس مطرح کرد. سپس ساخت یک نیروگاه آزمایشی در مانزانارس اسپانیا آغاز شد. دولت آلمان و اسپانیا در راستای این سرمایه‌گذاری سودمند با یکدیگر همکاری کردند. در سال (۱۹۹۳) توسط بنسپال و همکارانش<sup>۶</sup>، مطالعه بروی دودکش خورشیدی انجام دادند. آنها به کمک یک مدل ریاضی، افزایش تهویه را در

1. Fanger
2. Mcintyre
3. Gagge
4. Professor Scheppey
5. Professor Scheppey
6. Bansap et al.

صورت استفاده از دودکش خورشیدی وطراحی صحیح سیستم، اثبات کردند (بانسل و همکاران، ۱۹۹۴). آفونسو و الیویرا<sup>۱</sup>، با مقایسه بین دودکش خورشیدی و دودکش معمولی، تأثیر انرژی خورشید را بر افزایش تهویه تأکید کردند و نشان دادند که دودکش خورشیدی به طور مؤثری تهویه را بهبود می‌بخشد. همچنین ثابت کردند که افزایش جرم حرارتی، تهویه را در طول روز کاهش می‌دهد، اما باعث افزایش تهویه در طول شب می‌شود (آفونسو و الیویرا، ۲۰۰۰). بوچیر، عرض بهینه حفره هوا را در یک دودکش خورشیدی بررسی کرد و نشان داد که در الجزایر عرض بهینه H/10 است که ارتفاع دودکش است (بوچاری، ۱۹۹۴).

چارت و همکارانش<sup>۲</sup> نشان دادند که با افزودن جرم حرارتی، سرعت هوا و در نتیجه قدرت تهویه در ساعات شب افزایش می‌یابد. همچنین استفاده از دودکش خورشیدی در طول ساعات روز باعث ۲۵ درصد افزایش سرعت هوا می‌شود (چارت و همکاران، ۲۰۰۴). فونیا سومپن و همکارانش<sup>۳</sup>، عملکرد دودکش خورشیدی را در یک ساختمان چند طبقه در شهر بانکوک به صورت آزمایشی و عددی بررسی کردند. آنها دو مدل کوچک از یک ساختمان سه طبقه را ارائه دادند و دودکش خورشیدی را در حالتی که برای هر طبقه به صورت مجزا عمل کند با حالتی که بین هر سه طبقه به صورت مشترک باشند، مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در صورتی که دودکش خورشیدی به تمام طبقات متصل باشد و برای همه طبقات یک دودکش سراسری در نظر گرفته شود، عملکرد بهتری دارد (فونیا سومپن و همکاران، ۲۰۰۹). خداری و همکارانش<sup>۴</sup> نیز انواع مختلف دودکش‌های خورشیدی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که دودکش‌های خورشیدی به طور مؤثری در تولید جریان هوا مؤثرند. عملکرد دودکش خورشیدی در ساختمان‌های اداری با تهویه مطبوع نیز توسط وی آزمایش مورد بررسی قرار گرفت و این نتیجه حاصل شد که مصرف روزانه الکتریسیته دستگاه‌های تهویه با استفاده از دودکش خورشیدی کاهش می‌یابد (خداری و همکاران، ۲۰۰۰). میازاکی و همکاران<sup>۵</sup> به

- 
1. afonso&Opiveira
  2. Charvatetap
  3. Punyasompun et al.
  4. khedari et al.
  5. Miyazaki et al.

کمک شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی، عملکرد گرمایی دودکش خورشیدی، شکاف هوایی  $m$  ۰/۳ می‌تواند بیشترین تأثیر (نرخ تهویه) را با هزینه نسبتاً کم ایجاد کند. در بیشتر تحقیقات انجام شده برای دودکش‌های خورشیدی در اقلیم‌هایی با تابش ناکافی خورشید یا شار گرمایی نسبتاً پایین، نتایج مناسبی ارائه نشده است. با این حال دروری و همکاران (میزاکی و همکاران، ۲۰۰۰). نشان دادند که دودکش خورشیدی، حتی در شرایط شار گرمایی پایین (حدود  $50-60\text{W/m}^2$ ) توانایی تهویه خانه‌های کوچک را دارد. کروگر<sup>۱</sup> و بایس<sup>۲</sup> با استفاده از شبیه‌سازی عددی به مطالعه عملکرد یک نیروگاه دودکش خورشیدی در سایتی در آفریقای جنوبی پرداختند، نتایج نشان داد که مقدار توان تولید شده در طول روز متغیر می‌باشد و از طرف دیگر به دلیل ظرفیت حرارتی زمین زیر کلکتور، در شب نیز می‌توان مقداری توان تولید نمود (کروگر و بایس، ۲۰۰۱). با توجه به تحقیقات انجام شده در زمینه کاربرد بادگیر و نیز دودکش خورشیدی، فرض بر آن گذاشته شد که با تلفیق عملکرد دودکش خورشیدی با بادگیر، گامی در جهت بهبود عملکرد بادگیر در جهت افزایش راندمان و آسایش حرارتی منازل مسکونی برداشته شود. ولی کلانتر در پژوهشی با عنوان شبیه‌سازی تهویه و تأمین سرمایش خود بخودی ساختمان با استفاده از ترکیب بادگیر و دودکش خورشیدی (کلانتر، ولی، ۱۳۸۸). مطابق با نتایجی که به‌وسیله شبیه‌سازی، در حالت‌های مختلف به‌دست آورد ملاحظه گردید، که اضافه نمودن آب در مسیر حرکت هوا، تأثیر به‌سزایی روی کمیات مختلف از جمله دما، رطوبت نسبی، سرعت سیال، جرم حجمی و غیره می‌گذارد، مثلاً دما به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد و رطوبت نسبی یا جرم سیال افزایش می‌یابد، که برای شرایط آب و هوایی شهرهای گرم و خشک نظیر یزد، هردو مناسب می‌باشد. علی‌بخش کسائیان در پژوهشی تحت عنوان بهینه‌سازی دودکش خورشیدی جهت حصول به‌ماکزیمم توان خروجی به این نتیجه رسیدند که افزایش دودکش خورشیدی سبب افزایش توان خواهد شد. در مطالعات پیشین عموماً به بررسی نقش حرارتی و رطوبتی بادگیر و یا دودکش خورشیدی به صورت مجزا پرداخته شده است (کسائیان و همکاران، ۱۳۹۶). اما در این پژوهش شبیه‌سازی به‌وسیله نرم افزار و شیوه عملکرد بادگیر

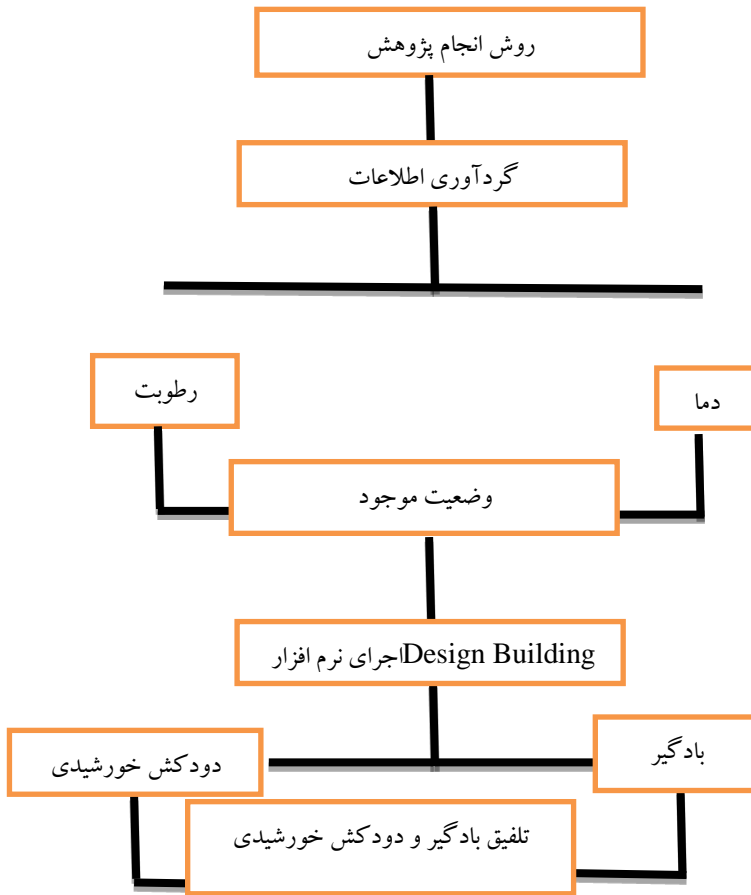
- 
1. Kroger
  2. Buys

در خانه‌های سنتی قدیمی و بررسی تأثیرالحاق دودکش خورشیدی در بهبود عملکرد تهویه طبیعی، و تأثیر آن بر میزان آسایش حرارتی به صورت تلفیقی انجام شده است.

### ۳. روش تحقیق

پژوهش حاضر از نوع تحلیلی - محاسباتی است. به منظور گردآوری اطلاعات از روش میدانی و کتابخانه‌ای استفاده شد. جهت مدل‌سازی از نرم افزار Design Buipding استفاده گردید و تحلیل داده‌ها به وسیله نرم افزار Excep2013 انجام پذیرفت. نوع تحقیق در بخش معماری کیفی و در بخش‌های تحلیلی و رفتار حرارتی، کمی است.

برای اجرای این پژوهش و محاسبه تأثیر الحاق دودکش خورشیدی در بهبود عملکرد ساختمان دارای بادگیر، یک ساختمان مسکونی مربوط به دوره قاجار در شهر یزد، که به لحاظ دسترسی و سلامت بنا وضعیت مناسبی داشته است، به نام خانه رسولیان و مشخصات فیزیکی آن برداشت شد. پس از آن حجم کلی خانه به انضمام کلیه فضاهای داخلی و بیرونی توسط نرم افزار Design Buipding نسخه ۴،۲۰،۰۵۴ با موتور انرژی پلاس ۸/۱ شبیه‌سازی شد. با توجه به اینکه این نرم افزار، مصالح سنتی استفاده شده در معماری ایران (مانند خشت و اندود کاهگل) را در پیش فرض خود ندارد، مصالح جدید، با وارد کردن مشخصات مصالح (ضخامت، چگالی، گرمای مؤثر و ضریب هدایت) برای نرم افزار تعریف شده است و متغیرهای محیطی ماه‌ها و روزهای سال در تمامی فصول نیز از سازمان هواشناسی اخذ و به نرم افزار داده شد. سپس با همین نرم افزار، رفتار حرارتی اتاق بادگیر خانه مد نظر در وضعیت موجود، در طول سال محاسبه و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. بعد از آن نتایج حاصل از عملکرد حرارتی سالانه فضای انتخابی با ویژگی‌های معماری آن مورد مقایسه قرار گرفته است. در گام بعدی طبق خواسته تحقیق با توجه به اینکه خانه فوق فاقد دودکش خورشیدی بود. این الحاق مکان‌یابی صورت پذیرفت که پس از شبیه‌سازی مجدد خروجی و تحلیل مجدد رفتار ساختمان با اضافه شدن دودکش خورشیدی به ساختمان شبیه‌سازی توسط نرم افزار انجام گرفت و مورد بررسی مجدد قرار گرفت. شکل (۱) مراحل کلی روش انجام پژوهش را نشان می‌دهد.



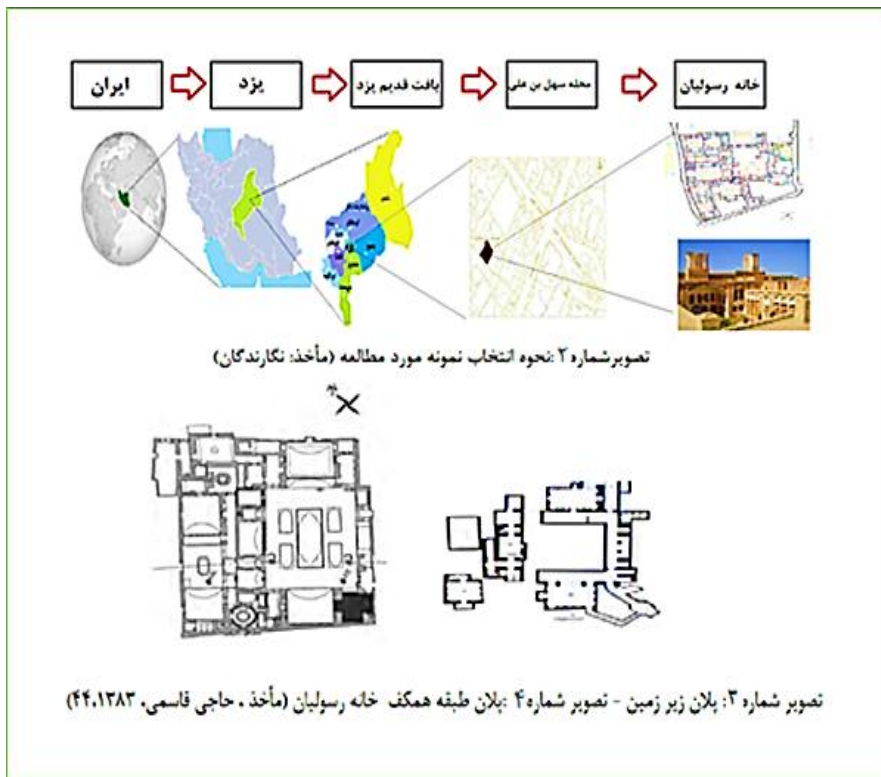
شکل ۱. نمودار روش انجام پژوهش

#### ۴. محل انجام پژوهش

استان یزد در مرکز ایران بین عرضی‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی از نصف النهار مبدأ قرار گرفته‌است. این استان از شمال و غرب به استان اصفهان، از شمال شرقی به استان خراسان، از جنوب غربی به استان فارس و از جنوب شرقی به استان کرمان محدود می‌شود. استان یزد در حدود ۷۲۱۵۶ کیلومتر مربع وسعت دارد که تقریباً ۳۷/۴ درصد از وسعت کل خاک کشور را در بر می‌گیرد.



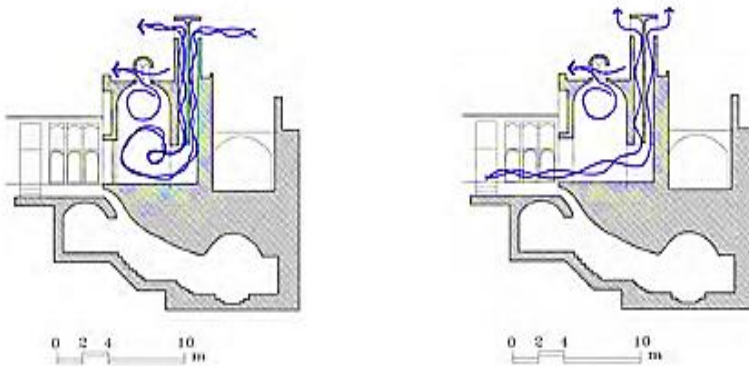
استان یزد مابین سلسله جبال مرکزی ایران و از پستی و بلندی و چاله‌ها و کفه‌های کویری متعدد واقع شده است. در بررسی مربوط به یک دوره هشت ساله (۱۹۸۴-۱۹۹۲)، متوسط دمای هوا برابر ۹/۱۸ درجه سانتی‌گراد گزارش شد. حداکثر مطلق دما در تیرماه برابر ۴۳ درجه سانتی‌گراد و حداقل آن در دی ماه برابر ۲/۷ درجه سانتی‌گراد گزارش شده و اختلاف درجه حرارت سالانه حوالی یزد ۵۰ درجه سانتی‌گراد است. به استثنای منطقه کوهستانی شیرکوه، سایر نقاط استان یزد اقلیم گرم و خشک و بیابانی دارد که از مغرب و جنوب غربی به سمت شمال شرقی و شرق خشک‌تر می‌شود. به این ترتیب، آب و هوای استان یزد به علت قرار گرفتن در کمربند خشک جهانی، دارای زمستان‌های سرد و نسبتاً مرطوب و تابستان‌های گرم و طولانی و خشک است.



شکل ۲. موقعیت خانه مورد مطالعه

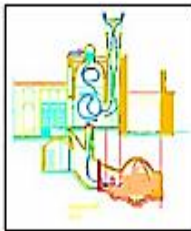
شهر یزد به عنوان یکی از شهرهای اقلیم گرم و خشک ایران که بیشترین بادگیرها را داشته و به عنوان شهر بادگیر معروف است، به عنوان شهر مورد مطالعه انتخاب گردیده است، موقعیت کنونی خانه حاج کاظم رسولیان یزد، در محله سهل بن علی یزد قرار گرفته است و متعلق به جد خاندان رسولیان است. خانه حاج کاظم رسولیان در سال ۱۲۸۳ ه.ش به همت مرحوم «حاج میرزا کاظم رسولیان» و به دست استاد «محمد حسن محمد رحیم» بنا شد. که هم اکنون دانشگاه معماری و شهرسازی یزد است. این خانه از دو بخش متمایز به صورت بیرونی و اندرونی تشکیل شده است. حیاط بیرونی محل پذیرایی از میهمانان بوده است، اتاق بزرگ ارسی با شیشه‌های رنگی، حوض خانه، تالار، زیر زمین و بادگیر فضای اصلی بخش بیرونی خانه را تشکیل می‌دهند. حیاط داخلی که قسمت خصوصی خانه است از اتاق‌های سه دری، پنج دری، ارسی، تالار، کلاه فرنگی و بادگیر تشکیل شده که یک حیاط بزرگ همراه با حوضی بزرگ در وسط آن قرار دارد (حاجی قاسمی، ۱۳۸۳: ۴۲). اتاق بادگیر خانه رسولیان در وضعیت سنتی خود دارای عناصر و ویژگی‌های خاصی جهت تأمین شرایط آسایش حرارتی بوده است. حضور عناصری همچون بادگیری و کلاه فرنگی، ارتباط درهای ارسی با فضاهای تالار و حیاط مرکزی و ارتفاع زیاد این فضا، همگی در کنار یکدیگر جریان ممتد هوا را فراهم می‌کرده و منجر به کاهش نسبی دمای اتاق می‌گشته است (کاظمی، محمد. اکبریان، مجتبی، ۱۳۹۲). در ساعت پایانی روز و در طول شب تابستان پنجره‌ها ارسی به سمت تالار و حیاط مرکزی باز و بادگیر که در طول روز بر اثر تابش خورشید گرم می‌گردد به عنوان یک دودکش خورشیدی عمل می‌کند. لازم به ذکر می‌باشد که کلاه فرنگی نیز در شب هنگام باعث مکش هوای اتاق می‌شود. بنابر این هوای داخل حیاط مرکزی که به دلیل حضور حوض آب و درختان خنک و مرطوب می‌بوده به داخل فضای اتاق منتقل می‌گردید (شکل ۳). در طول روز تابستان و بالاخص در ساعات میانی روز پنجره‌های ارسی اتاق بادگیر بسته بوده و بادگیر و کلاه فرنگی در کنار یکدیگر جریان یافتن هوا و تهویه طبیعی را باعث می‌گردند. بدین ترتیب در طول روز در هنگام وزش باد، کانال‌هایی از بادگیر که رو به وزش باد هستند، هوای خنک و مطبوع را دریافت می‌کنند و کانال‌های دیگری که به پشت به وزش باد قرار دارند، طبق اثر برنولی نقش بادکش ایفا می‌نمایند و هوای گرم فضای اتاق را به فضای بیرون منتقل می‌کنند. از سویی دیگر حضور کلاه فرنگی و عبور جریان هوا از آن بر طبق اثر برنولی عاملی دیگر برای مکیدن هوای گرم موجود در اتاق می‌باشد. با ویژگی‌های مذکور می‌توان چنین بیان داشت که در طول روز

تابستان، باد خنک و مطبوع در برخورد با بدنه‌های بادگیر و با از دست دادن بخشی از دمای خود به داخل اتاق منتقل و رفتار مکنده سایر کانال‌های بادگیر و کلاه فرنگی منجر به ایجاد تهویه طبیعی می‌شده است (شکل ۳)، (کاظمی، محمد، اکبریان، مجتبی، ۱۳۹۲). تصویر شماره ۳ پرسپکتیوی از بادگیر و اتاق بادگیر خانه رسولیان را نشان می‌دهد (عواطفی نژاد، قهرمان ایزدی، آیت‌اللهی، ۱۳۹۲).



تصویر A: تهویه طبیعی اتاق بادگیر در وضعیت سنتی آن در هنگام روز  
مأخذ: (کاظمی، محمد، اکبریان، مجتبی، ۱۳۹۲)

تصویر B: وضعیت تهویه طبیعی اتاق بادگیر در وضعیت سنتی آن در شب هنگام  
مأخذ: (کاظمی، محمد، اکبریان، مجتبی، ۱۳۹۲)



۹ - نحوه سیر کولاسیون باد در فضا



۸ - پرسپکتیوی از بادگیر و فضاهای مرتبط با آن  
مأخذ: (عواطفی نژاد، قهرمان ایزدی، آیت‌اللهی، ۱۳۹۲)



۷ - کانال ارتباطی سرداب و کلاه فرنگی

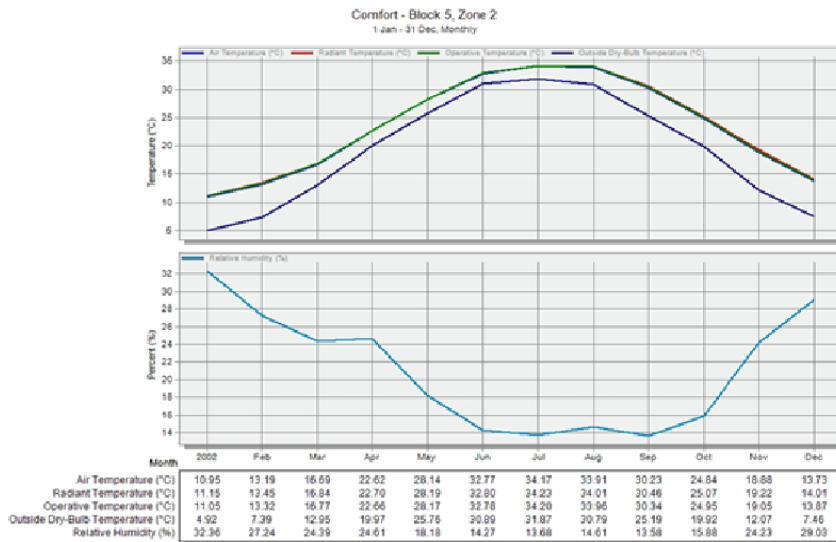
شکل ۳. بادگیر خانه مورد مطالعه

## ۵. بدنه پژوهش

در این بخش به ارائه یافته‌های پژوهش در قالب عملکرد بادگیر و عملکرد تلفیقی بادگیر با دودکش خورشیدی پرداخته می‌شود.

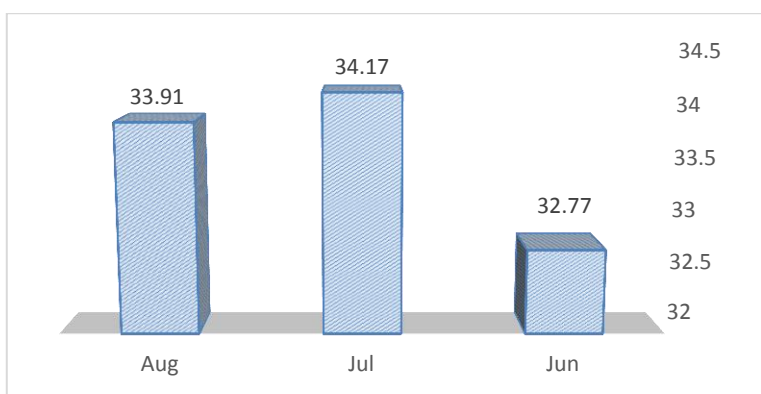
## ۶. تحلیل عملکرد بادگیر

نتایج حاصل از خروجی نرم افزار برای میزان دما و رطوبت ساختمان در کل سال در نمودار شماره (۱) ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می شود فصل تابستان در ساختمان و شهر یزد بالاترین میزان دما و کمترین میزان رطوبت نسبی را دارا می باشد. از آنجا که بادگیر و دودکش خورشیدی بیشترین کارایی را در فصل تابستان دارد در این پژوهش مورد توجه و بررسی قرار گرفت.



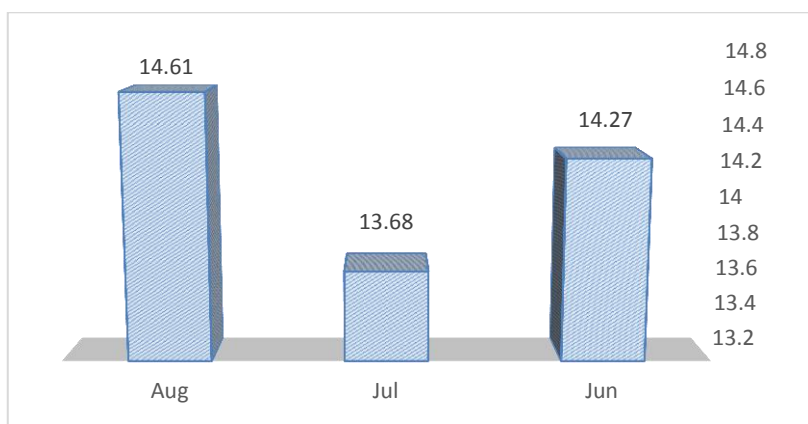
نمودار ۱. میزان درجه حرارت و رطوبت نسبی شهر یزد در طول یک سال

نمودار شماره (۲) میزان دمای ساختمان را در فصل گرم سال در شهر یزد نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود وجود بادگیر باعث شده که دمای در هر یک از ماه های تابستان به شرح زیر باشد. تیر ماه (Jun) برابر با  $32/77$  درجه سانتیگراد، مرداد ماه (Jul) برابر با  $34/17$  درجه سانتیگراد و شهریور ماه (Aug) برابر با  $33/91$  درجه سانتیگراد.



نمودار ۲. دمای ساختمان در وضعیت موجود

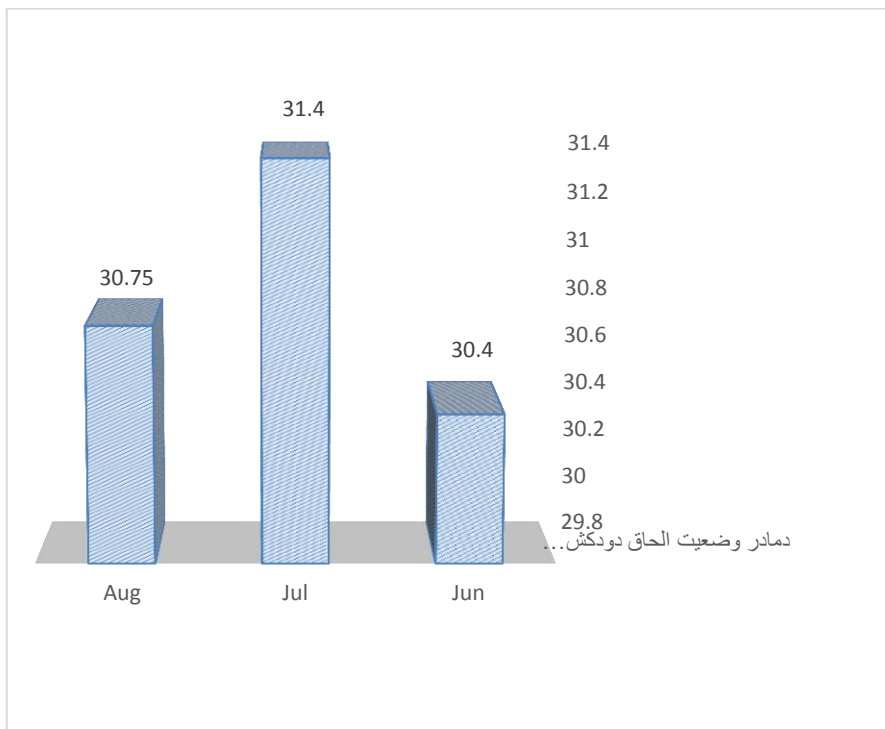
همچنین نمودار شماره ۳ میزان طرولت نسبی ساختمان را در طول فصل گرم سال نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود رطوبت نسبی به ترتیب برای ماه‌های تیر (JUN)، مرداد (Jul) و شهریور (Aug) برابر با ۱۴٫۲۷، ۱۳٫۶۱ و ۱۴٫۶۱ درصد است. تغییرات شبانه روزی رطوبت نسبی برعکس تغییرات شبانه روزی درجه حرارت است، ماکزیمم آن کمی قبل از طلوع آفتاب و مینیمم آن در حدود ساعت ۲ بعد از ظهر است، تغییرات سالانه رطوبت نسبی منظم نیست و نسبت به موقعیت منطقه تغییر می‌کند، هر چه هوا گرم‌تر باشد، بخار آب بیشتری می‌تواند در هوا ذخیره شود، میزان رطوبت در تیرماه بیشتر از مرداد و شهریور است.



نمودار ۳. رطوبت ساختمان در وضعیت موجود

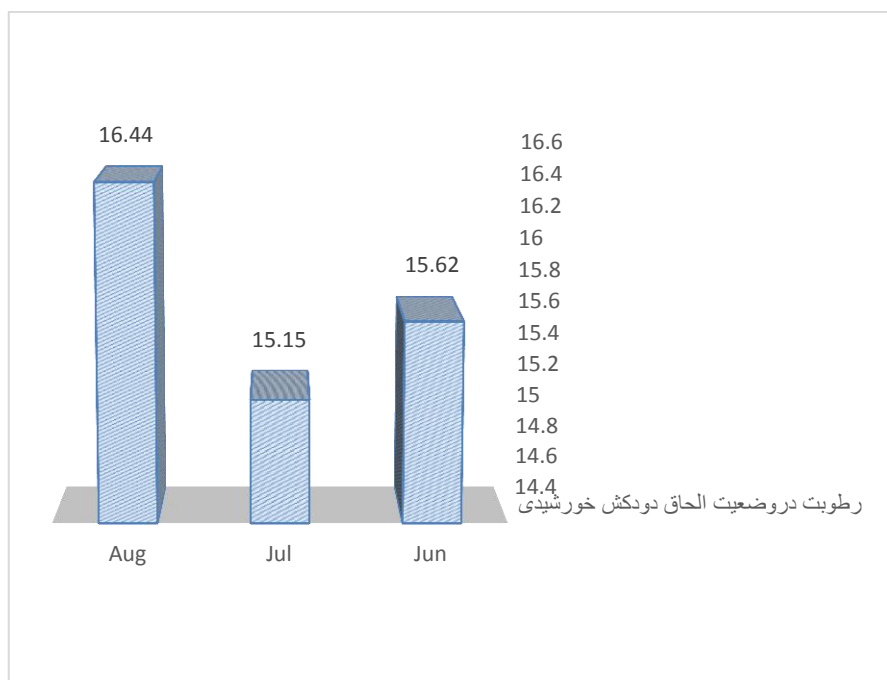
## ۷. تحلیل عملکرد تلفیق بادگیر و دودکش خورشیدی

نمودار شماره ۴ وضعیت تهویه و رفتار حرارتی اتاق بادگیر خانه رسولیان را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود دما در ماه‌های گرم نسبت به وضعیت موجود با الحاق دودکش خورشیدی تغییر محسوسی پیدا کرده است. میزان درجه حرارت حدود ۳ تا ۴ درجه کاهش داشته است. میزان دما در ماه Jul (مرداد)، بیشتر از ماه‌های Aug (شهریور) و Jun (تیر) است، در ماه Jul (مرداد)، میزان حرارت ۳۱/۴۰ درجه سانتیگراد بوده که با قیاس با وضعیت موجود تغییرات محسوس و قابل مشاهده داشته است.



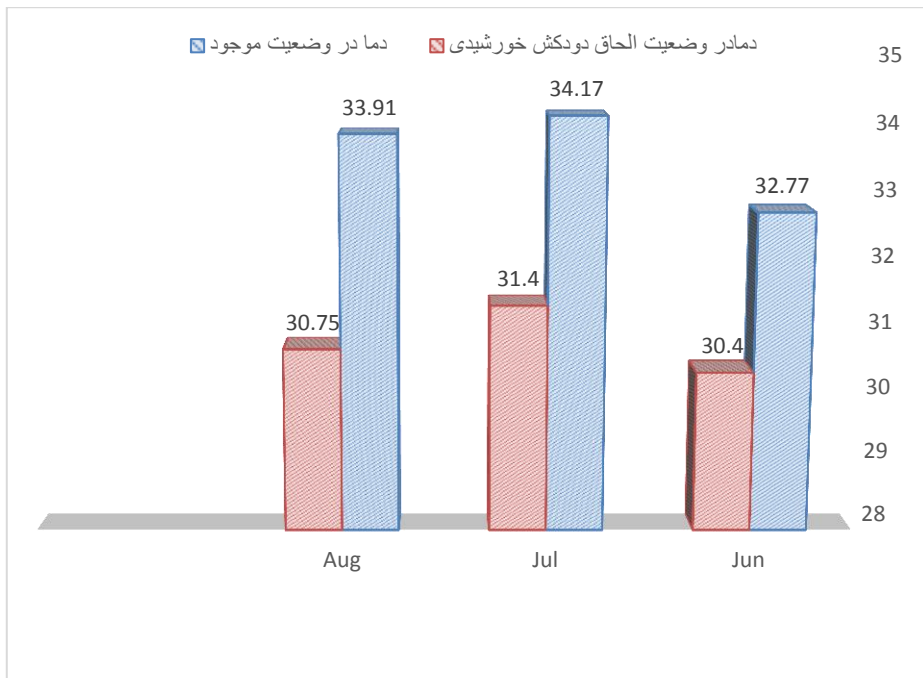
نمودار ۴. وضعیت دما با الحاق دودکش خورشیدی

با الحاق دودکش خورشیدی، علاوه بر تغییرات دمایی میزان رطوبت هوا نیز تغییرات محسوسی نسبت به وضعیت موجود داشته است. نمودار شماره ۵ وضعیت میزان رطوبت را با الحاق دودکش خورشیدی نشان می‌دهد.



نمودار ۵. وضعیت رطوبت با الحاق دودکش خورشیدی

بین خانه رسولیان یزد و اکثر خانه‌های سنتی در شهر یزد و مناطق کویری شباهت‌های بسیاری از نظر کالبد، فرم و عملکرد بادگیر وجود دارد، که در صورت تداوم تحقیق با انتخاب موارد مشابه در شهر یزد یا بقیه شهرهای کویری، نتیجه قابل تعمیم خواهد بود، که این اعتبار بیرونی تحقیق را افزایش می‌دهد. نتایج الحاق دودکش خورشیدی به ساختمان در به حرکت درآوردن جریان هوا در ساختمان، بهره‌گیری از گرمای نهان آب و تبخیر آن در مسیر عبور جریان هوا و ایجاد رطوبت در مسیر کوران هوا باعث شد که میزان دمای هوای خانه در فصل‌های گرم سال به مقدار چشمگیری تغییر کند، نمودار (۶) تغییرات را نشان می‌دهد.

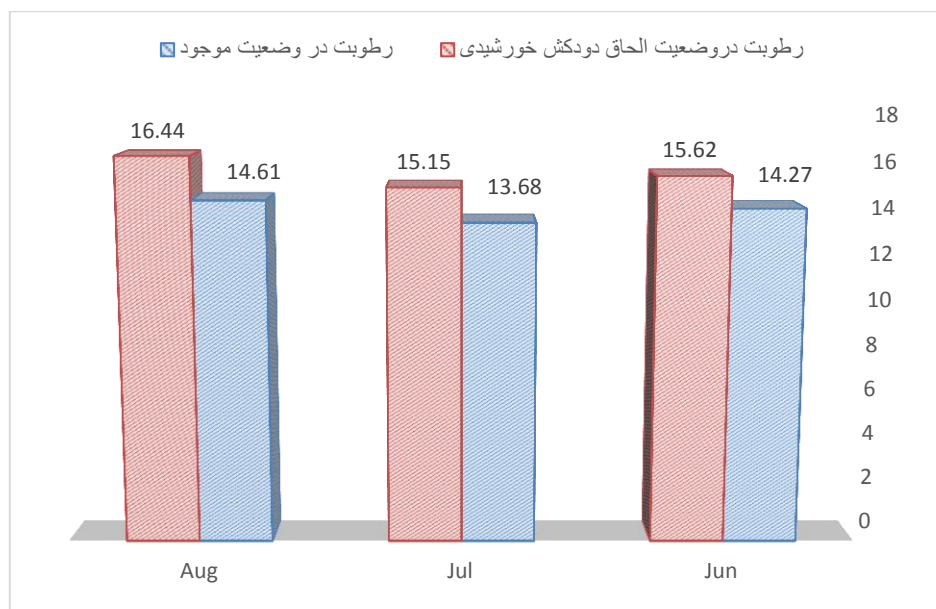


نمودار ۶. وضعیت دمای ساختمان بالحق دودکش خورشیدی

همانگونه که نمودار (۶) نشان می‌دهد، در ماه Aug دمای هوای داخل ساختمان در حالت موجود و بدون استفاده از دودکش خورشیدی حدود  $33/91$  درجه سانتیگراد است که با استفاده از دودکش خورشیدی دمای ساختمان به حدود  $30/75$  درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد (حدود ۱۰ درصد)، در ماه Jul در وضعیت موجود دمای ساختمان  $34/17$  درجه سانتیگراد است، که با الحاق دودکش خورشیدی دما به حدود  $30/40$  درجه سانتیگراد کاهش پیدا کرده است، در ماه Jun نیز دما از  $32/77$  به  $30/40$  درجه سانتیگراد کاهش پیدا کرده است.

همان‌طور که نمودار (۷) نشان می‌دهد، رطوبت نسبی ساختمان در ماه Aug در وضعیت موجود  $14/61$  درصد است که با الحاق دودکش خورشیدی این مقدار به  $16/44$  درصد افزایش یافته است، این تغییر در ماه Jul نیز مشهود است، به نحوی که رطوبت هوا در اتاق بادگیر از  $13/68$  درصد به  $15/15$  درصد افزایش می‌یابد و در ماه Jun رطوبت از  $14/27$  درصد به  $15/62$  درصد رسیده است.





نمودار ۷. وضعیت رطوبت ساختمان بالحاق دودکش خورشیدی

## ۸. نتایج اجرای مدل

سرمایش یکی از تأثیرگذارترین فاکتورهای در تأمین آسایش حرارتی است، که یکی از روش‌های آن سرمایش غیرفعال است. سیستم‌های خنک کننده منفعل برای فضاهای مسکونی می‌توانند به مصرف منابع طبیعی غیرقابل تجدید کمک کند. با توجه به معیارهای اقلیمی و پایداری که هر روز اهمیت بیشتری می‌یابند.

هدف پژوهش حاضر بررسی عملکرد تلفیق بادگیر و دودکش خورشیدی و صرفه‌جویی در میزان مصرف انرژی و کاهش مشکلات زیست محیطی می‌باشد. به منظور انجام پژوهش، خانه رسولیان شهر یزد به عنوان نمونه موردی انتخاب و شیوه عملکرد بادگیر و بررسی تأثیر الحاق دودکش خورشیدی در بهبود عملکرد تهویه طبیعی و آسایش حرارتی مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج نشان داد که در ماه Aug دمای هوای داخل ساختمان در حالت موجود و بدون استفاده از دودکش خورشیدی حدود ۳۳/۹۱ درجه سانتیگراد است که با استفاده از دودکش خورشیدی دمای ساختمان به حدود ۳۰/۷۵ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد (حدود ۱۰ درصد)، در ماه Jul در

وضعیت موجود دمای ساختمان ۳۴/۱۷ درجه سانتیگراد است، که با الحاق دودکش خورشیدی دما به حدود ۳۰/۴۰ درجه سانتیگراد کاهش پیدا کرده است، در ماه Jun نیز دما از ۳۲/۷۷ به ۳۰/۴۰ درجه سانتیگراد کاهش پیدا کرده است. همچنین نتایج نشان داد رطوبت نسبی ساختمان در ماه Aug در وضعیت موجود ۱۴/۶۱ درصد است که با الحاق دودکش خورشیدی این مقدار به ۱۶/۴۴ درصد افزایش یافته است، این تغییر در ماه Jul نیز مشهود است، به نحوی که رطوبت هوا در اتاق بادگیر از ۱۳/۶۸ درصد به ۱۵/۱۵ درصد افزایش می‌یابد و در ماه Jun رطوبت از ۱۴/۲۷ درصد به ۱۵/۶۲ درصد رسیده است.

## ۹. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به نتایج به‌دست آمده تأثیر بادگیر و دودکش خورشیدی بر ایجاد تعادل حرارتی در ماه‌های گرم کاملاً مشهود است، اما متأسفانه نه تنها در معماری متداول این تکنیک جایگاه خود را از دست داده است، بلکه متولیان امر ساختمان و انرژی نیز منافع این تکنیک‌ها را در نظر نگرفته‌اند. لذا تدوین شیوه نامه‌های اجرایی در سیاست‌های روز ساختمان سازی کشور توسط سازمان‌ها مربوطه و با کمک متخصصان امر بسیار ضروری است. از آنجا که مصرف انرژی در هر ریز اقلیم محلی و معماری بومی متفاوت است، جای توجه به تکنیک‌های محلی و بومی مورد نیاز هر اقلیم در شیوه نامه‌ها خالی است.

## منابع

- [۱] برزگر، زهرا و مریم رسائی پور (۱۳۹۳)، "بررسی آسایش حرارتی در طراحی خیابان تجاری با رویکرد پایداری شهری نمونه موردی: خیابان ملاصدرا در شیراز"، *اولین همایش ملی عمران، معماری و توسعه پایدار*، یزد: دانشگاه پیام نور یزد.
- [https://www.civilica.com/Paper-CEASD01-CEASD01\\_026.html](https://www.civilica.com/Paper-CEASD01-CEASD01_026.html)
- [۲] پورکریم، علی و سمیرا کوهی (۱۳۹۷)، "مدیریت معماری و شهرسازی کاهش دهنده مصرف انرژی در ساختمان‌ها"، *اولین همایش ملی مدیریت راهبردی و کاربردی*، سقز: دانشگاه علمی کاربردی مرکز سقز.
- [https://www.civilica.com/Paper-ASMCONF01-ASMCONF01\\_034.html](https://www.civilica.com/Paper-ASMCONF01-ASMCONF01_034.html)
- [۳] حیدری، شاهین (۱۳۸۸)، "دمای آسایش حرارتی مردم شهر تهران". *نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی*. ۱(۳۸)، صص ۱۴-۵.

- [۴] دهقانی، علیرضا و سیروس آقاجفی (۱۳۸۳)، "بررسی تجربه کارایی دو طرح جدید بادگیر و مقایسه آنها با بادگیرهای سنتی"، *نشریه انرژی ایران*، شماره ۲۱، سال نهم، صص ۲۷-۱۴.
- [۵] عمیدی پور، مجید (۱۳۸۸)، "بررسی اثرات بخاری‌های بدون دودکش بر روی کیفیت هوای داخل". پروژه تحقیقاتی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مکانیک. کارفرما: شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت ایران.
- [۶] کسائی، علیخس؛ یوسفی مقدم، فهیمه؛ محمدزاده، پرویز؛ راضی آستارایی، فاطمه و رضا علائی (۱۳۹۶)، "بهینه‌سازی دودکش خورشیدی جهت حصول به ماکزیمم توان خروجی"، *نشریه انرژی ایران*، دوره ۲۰، شماره ۱، صص ۹۹.
- [۷] کلانتر، ولی (۱۳۸۸)، "شبیه‌سازی تهویه و تأمین سرمایش خودبخودی ساختمان با استفاده از ترکیب بادگیر و دودکش خورشیدی (حالت سه بعدی با دیدگاه دیفرانسیلی)"، *اولین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش، و تهویه مطبوع، تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن*.  
[https://www.civipica.com/Paper-HVAC01-HVAC01\\_037.htm](https://www.civipica.com/Paper-HVAC01-HVAC01_037.htm)
- [۸] مزیدی، محسن و محمد مزیدی (۱۳۸۷)، "تحلیل عددی عملکرد بادگیرها به عنوان سیستم‌های سرمایش انفعالی در مناطق گرم و خشک". *نشریه انرژی ایران*، ۱۱(۲)، صص ۴۶-۳۹.
- [۹] مهدوی‌نژاد، محمدجواد و کاوان جوانرودی (۱۳۹۰)، "مقایسه تطبیقی اثر جریان هوا بر دوگونه بادگیر یزدی و کرمانی"، *نشریه هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی*، ۳(۴)، صص ۸۰-۶۹.
- [۱۰] نایی، فرشته (۱۳۸۱)، *حیات در حیاط، حیاط در خانه‌های سنتی ایران*. تهران: انتشارات نزهت.
- [۱۱] نصراللهی، فرشاد (۱۳۹۰)، "ضوابط معماری و شهرسازی کاهش دهنده مصرف انرژی ساختمان‌ها"، *نشست کمیته ملی انرژی ایران*، صص ۴۰.

- [12] Afonso C. and A. Olivera (2000), "Solar Chimneys: Simulation and Experiment", *Energy and Buildings*, Vol. 32, pp71-79.
- [13] Bahadory M.N. (1977), Passive Cooling Systems in Iranian Architecture, *Scientific American*, vol.238, No.2, pp.144-154.
- [14] Bahadory M.N. (1977), Passive Cooling Systems in Iranian Architecture, *Scientific American*, vol. 238, No.2, pp144-154.
- [15] Bahadory M.N. (1987) *Natural Cooling in hot arid regions in building*, edited by A.A.M. Saying, Academic Press Inc., New York, pp. 195-225.
- [16] Bahadory M.N. (1987), *Natural Cooling in hot arid regions in buildings*, edited by A.A.M. Sayigh, Academic Press Inc., New York, pp.195-225.
- [17] Bansap N.K., Mathur R. and M.S. Bhandari (1994) "A Study of Solar Chimney Assisted Wind tower system for Natural Ventilation in the Building", *Building and Environment*, Vol. 28, No 3. pp. 373-377.
- [18] Bouchair A. (1994), "Solar Chimney for Promoting Ventilation in Southern Algeria", *BupdServEng Res Technol*, No. 15, pp.81-93.

- [19] Burgess W.A. (1995). *Recognition of Health Hazards in Industry*. New York: Wiley.
- [20] Charvat P., Jicah M. and J. Stetina (2004), Solar Chimneys for Ventilation and Passive Cooling, Denver (U S A): World Renewable Energy Congress.
- [21] Drori U., Dubosvsky V. and G. Ziskind (2005) “Experimental Verification of Induced Ventilation”, *J Environ Eng –ASCE*, 131(5), pp. 820-826.
- [22] Kalantar V. (2005), “Natural Ventilation the Building with Wind power and Renewable Energy without using Fuel Oil”, the Third Conference on Fuel Conservation in a Building, Tehran, Iran. pp.1566-1577.
- [23] Khedari J., Boonsri B. and Jongjit (2000), “Ventilation Impact of a Solar Chimney on Indoor Temperature Fluctuations and Air Change in a School Building”, *Energy and building*, vol 32, pp 89-93.
- [24] Kroger D.G. And J.D. Buys (2001), “Performance Evaluation of a Solar Chimney Power plant”. ProcIses, *Solar World Congress*, pp. 907-918.
- [25] Mahmoud Zarandi M. (2009), “Analysis Of Iranian Wind Catcher and its Effect on Natural Ventilation as a Solution towards Sustainable Architecture (Case study: Yazd)”, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol.54, pp574-579.
- [26] Punyasompun S., Hirunpabh J., Khedari J. and B. Zeghmat (2009), Investigation on the Application of Solar Chimney for multi-story Buildings, *Renewable Energy*, vol 34, pp. 2545-2561.
- [27] Rubin E.S. and C.I. Paridson (2002), Introduction to Engineering and Environment, McGraw Hill.