

ظرفیت بازتابش خورشیدی سطوح بام در کاهش مصرف انرژی سرمایشی مسکن شهری، مطالعه موردی: مسکن مهر شهری

*امیراصلان درویش^۱، یوسف گرجی مهلبانی^۲، حسین مدی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری و انرژی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۲. استاد معماری دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۳. استادیار معماری دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۴

Solar Reflection Capacity of Roof Surfaces in Reducing Cooling Energy Consumption of Urban Housing, Case Study: Shahr-e-Rey Mehr Building

*Amiraslan Darvish¹, Yousef Gorji Mahlabani², Hossein Medi³

1. M.Sc student in Energy and Architecture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
2. Professor of Architecture and Urban Development, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
3. Assistant Professor of Architecture and Urban Development, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Received: 15/03/2018

Accepted: 10/10/2018

Abstract

The purpose of this paper is analyzing the reflective surfaces with high Albedo effect which can be considered as one of the passive design approaches for controlling the absorption of suns radiative energy and reducing temperature and building energy consumption, especially in hot and dry climates. The methodology of this research was based on an analytical approach with a simulation which contained experimental study and computational simulation of reflective roofs with different levels of albedo using Energy Plus software. This study has been done for two types of common roofs existing in Tehran residential buildings as well as containing accurate temperature fluctuations and cooling energy consumption in one year. The results of the research showed that increasing Albedo of roof surfaces with reflective materials had a noticeable effect on decreasing the surface temperature and the roof surrounding air temperature. Furthermore, as a result of the reduction of suns heating absorption by external surfaces, the consumption of cooling energy was reduced.

Keywords

Albedo, Surface Temperature, Energy Consumption, Urban Residential Buildings, Shahrerey.

چکیده

هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی و تحلیل سطوح انعکاسی با ضریب بازتابش زیاد است که به‌عنوان یکی از راهکارهای طراحی غیرفعال به‌منظور کنترل جذب انرژی تابشی خورشید و کاهش دما و مصرف انرژی مسکن شهری، به‌خصوص در اقلیم گرم و خشک، به‌شمار می‌رود. روش تحقیق در این پژوهش، تحلیلی-مدل‌سازی است که شامل مطالعه میدانی و شبیه‌سازی رایانه‌ای بام‌های انعکاسی، با ضریب بازتابش متفاوت به کمک نرم‌افزار Energy plus است. این مطالعه، برای دو نوع بام رایج در ساختمان‌های مسکونی شهر تهران صورت گرفته است و حاوی تغییرات دقیق دما و مصرف انرژی سرمایشی در طی ماه‌های مختلف سال می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد که افزایش مقادیر ضریب بازتابش سطوح بام به کمک متریبال‌های انعکاسی، تأثیر زیادی در کاهش دمای سطح و دمای هوای پیرامونی بام ساختمان دارد. علاوه بر این، مصرف انرژی سرمایشی به‌علت کاهش جذب حرارت خورشید توسط سطوح خارجی، کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی

ضریب بازتابش، دمای سطح، مصرف انرژی، مسکن شهری، شهری.

مقدمه

امروزه با افزایش رفاه و کیفیت زندگی جوامع، تقاضا برای مصرف روزافزون انرژی رو به گسترش می‌باشد. این درحالی است که استفاده از منابع انرژی تجدیدناپذیر محدود می‌باشد (Pugh et al., 2011: 634). به‌طور کلی، ۴۵ درصد انرژی مصرفی دنیا به مصرف ساختمان‌ها اختصاص دارد (Zhai & Previtali, 2010: 357).

می‌توان از جمله دلایل مصرف روزافزون انرژی ساختمان‌ها را، تغییرات اقلیمی، افزایش نیاز به مصرف برق خانگی، افزایش تعداد ساختمان‌ها، رشد استفاده از وسایل برقی خانگی، تغییر در صنعت، مصرف زیاد ساختمان‌های موجود و فقدان نظارت دولتی نام برد (Yao & Zhu, 2011: 2197). در ایران نیز مانند بسیاری دیگر از کشورها، بخش مسکونی سهم به‌سزایی در مصرف انرژی داشته است و تحقیق در این زمینه، یکی از نیازهای روز جامعه است (فاضلی و حیدری، ۱۳۹۲: ۸۳).

در فصول گرم، با افزایش دما، تقاضا برای مصرف برق افزایش می‌یابد. لذا، با توجه به این موضوع صرفه‌جویی در مصرف انرژی بیش از پیش اهمیت دارد. اقدام جهت شناخت علل اتلاف و برنامه‌ریزی برای حذف آن‌ها، باید جزو اولویت‌های بخش طراحی انرژی قرار گیرد.

با بررسی عملکرد حرارتی اجزاء ساختمان و پیگیری تغییرات آن‌ها در ساعات و فصول مختلف، می‌توان به راهکارهای مؤثری در جهت پیش‌گیری از اتلاف و کاهش مصرف انرژی دست‌یافت (حیدری و مسندی، ۱۳۸۹: ۶). سقف‌ها به شدت در معرض تابش خورشید قرار دارند. بنابراین، می‌توانند به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد انرژی ساختمان تأثیرگذار باشند و در همین راستا می‌توانند مورد توجه طراحان برای کاهش مصرف انرژی قرار گیرند (Sadineni et al., 2011: 3617).

با توجه به نمودار دمای خروجی ساعتی و دمای سطوح افقی خارجی (بام) با ضریب جذب خورشیدی (۰/۳ پایین) و (۰/۸ بالا) در یک روز تابستانی و مقایسه این دو مورد از سقف، مشاهده می‌شود که افزایش دمای سطح تا حد بالاتر از دمای هوای محیط، تابع ضریب جذب خورشیدی سطح است. بنابراین، طراحی بام باید در جهت کنترل جذب پرتوهای خورشیدی و تأثیر آن‌ها بر دمای فضاهای داخلی باشد. از این‌رو، از جمله راهکارهای پیشنهادی می‌توان به پوشش نهایی خارجی روشن برای کاهش جذب پرتوهای خورشیدی اشاره کرد (حیدری و مسندی، ۱۳۸۹: ۶). جذب انرژی تابشی خورشید در سطوح شهری نیز مشکلاتی را

به همراه دارد، جزایر حرارتی از عمده‌ترین و مهم‌ترین این معضلات است (رحمتی و همکاران، ۱۳۹۵: ۹۱).

جزیره حرارتی پدیده‌ای است که موجب افزایش دمای شهرها (نسبت به مناطق مجاورشان) می‌شود (افشار، ۱۳۸۸: ۵۶). این افزایش دما، ناشی از رشد و توسعه روزافزون شهرها، شهرنشینی، تغییرات کاربری زمین، از بین رفتن پوشش‌های طبیعی و جایگزینی آن‌ها با ساختمان‌ها، جاده‌ها، کارخانه‌ها و تأسیسات شهری (مواد و مصالحی که ضریب جذب و جرم حرارتی بالایی دارند) است (حیدری و مسندی، ۱۳۸۹: ۷).

هم‌چنین، با گرم شدن هوای شهرها، تقاضا برای مصرف انرژی در سیستم‌های سرمایشی بالا می‌رود. این تقاضا، علاوه بر مصرف انرژی، باعث تولید مضاعف گرما و تولید گازهای گلخانه‌ای شده و کیفیت هوا را بیش از پیش کاهش می‌دهد که این روند می‌تواند بر شرایط آسایش و سلامت انسان تأثیر منفی گذارد (Liu & Zhang, 2011: 1536).

از جمله راهکارهای پیشنهادی برای مقابله با تأثیر جزایر حرارتی، ایجاد سطوح سرد شهری با افزایش پوشش گیاهی، استفاده از بام‌های سبز، سطوح انعکاسی در بام‌ها، سطح بیرونی ساختمان‌ها، استفاده از کف‌سازی سرد، رسیدن به حمل و نقل پایدار شهری برای کاهش آلودگی هوا و قراردادن پوشش گیاهی در ساختمان‌ها است (Zinzi & Agnoli, 2012: 67). هم‌چنین، استفاده از مصالح با قابلیت ضریب بازتابش^۱ (ضریب بازتابش)^۱ زیاد در سقف و دیوارهای ساختمان، از جمله اقدامات مهم برای کاهش اثر جزایر حرارتی است (Yuan et al., 2013: 171).

سطوح انعکاسی^۲، نیز سطوحی هستند که به وسیله انسان طراحی می‌شوند تا دو خاصیت بازتاب انرژی تابشی و انتشار گرمایی در آن‌ها تقویت شود. خاصیت بازتاب خورشیدی سطوح، توانایی بازتاب طول موج‌های مختلف خورشید شامل طیف نورانی قابل مشاهده، مادون قرمز و ماوراء بنفش است و از این طریق، گرمای کم‌تری به سطح نفوذ می‌کند.

خاصیت انتشار بخشی گرمایی را می‌توان چنین تعریف نمود: توانایی سطوح در تابش بخش جذب‌شده و یا بازتاب نشده انرژی خورشیدی (California Energy Commission, 2008).

مهم‌ترین خصوصیت سطوح انعکاسی، بازتابش خورشیدی است، چون نمایانگر میزان جذب انرژی خورشید و در نتیجه کاهش دمای ساختمان و سقف می‌شود (عظیمی و تراب‌پور، ۱۳۸۸: ۲۱).

مورد اشاره، مصرف انرژی الکتریکی در ساعات اوج مصرف ۱/۷ گیگاوات کاهش پیدا می‌کند.

سوسکا^۳ و همکاران (۲۰۱۱)، با بام‌های سفید و تیره را در شهر نیویورک مورد مطالعه قرار دادند. شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای و مطالعه میدانی در این پژوهش نشان داد که با تغییر سقف‌های تیره با ضریب بازتابش ۰/۰۵، به سقف‌های روشن با ضریب بازتابش ۰/۰۶، درجه هوا در زمستان در حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد و در تابستان حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد کاهش داشته است.

سانتاموریس^۴ و همکاران (۲۰۱۲)، با استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای، افزایش ضریب بازتابش سطوح کف پارکی در شهر آتن را مورد مطالعه قرار دادند و مشاهده کردند که با افزایش ۰/۱۲ ضریب بازتابش سطح کف، میزان کاهش دما تا ۱/۹ درجه سانتی‌گراد امکان‌پذیر می‌گردد.

سینفا^۵ و همکاران (۲۰۱۲)، طی پژوهشی در شهر آتن دریافتند که با افزایش ضریب بازتابش مربوط به سقف یک مدرسه با مساحت ۴۱۰ مترمربع به میزان ۰/۶۹، دمای هوای داخل در ماه‌های تابستان، به میزان ۱/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت.

کلوکوتسا^۶ و همکاران (۲۰۱۲)، مطالعه‌ای در شهر ایراکلیون در استان کرت یونان، به کمک اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی رایانه‌ای انجام داد و دریافت که صرفه‌جویی در میزان مصرف انرژی به میزان ۱۹/۸ درصد برای یک سال و به میزان ۲۷ درصد برای دوره تابستان به دست آمده است.

رومئو و زینزی^۷ (۲۰۱۳)، نیز در شهر سیسیل با نصب یک بام سرد و افزایش ضریب بازتابش تا ۰/۸۶، کاهش دما تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد از ماه آوریل تا سپتامبر را در دمای محیط ثبت کردند. رادهی^۸ و همکاران (۲۰۱۴)، عملکرد حرارتی تعدادی از مصالح رایج در سطوح و سقف ساختمان‌ها را مورد بررسی قرار دادند. تجزیه و تحلیل عملکرد مواد نشان داد که درجه حرارت سطح (T_s) و دمای هوای سطح (T_a) در طول تابستان بستگی به شدت رنگ، خواص ترموفیزیکی و خواص تابشی مواد دارد. کم‌ترین دمای سطح و دمای هوای سطح در تمام ساعات روز را مواد مصالح با رنگ روشن‌تر دارند.

به‌طور کلی، مجموعه‌ای از شبیه‌سازی‌ها و مطالعات تجربی نشان می‌دهند که بازتابش ساختمان‌ها (با سطوح انعکاسی)، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش دمای سطح و بار سرمایشی در تابستان داشته باشد (Bansal et al., 1992: 37).

با توجه به آنچه ذکر گردید، این سؤال مطرح می‌شود که آیا میزان تأثیر افزایش ضریب بازتابش سطح بام ساختمان‌های مسکونی بر دمای سطح بام، دمای هوای پیرامونی و مصرف انرژی سرمایشی تأثیر دارد؟ نتایج این مطالعه می‌تواند اطلاعاتی تعیین‌کننده‌ای در جهت طراحی مناسب ساختمان در تهران و اقلیم‌های مشابه ارائه نماید.

مبانی نظری

پیشینه تحقیق

سیمپسون و مک فرسون (۱۹۹۷)، در شهر توسان ایالت آریزونا آمریکا (اقلیم گرم و خشک) و در یک روز بسیار گرم، سقف‌های مشابه با چهار رنگ مختلف سفید، خاکستری، نقره‌ای و قهوه‌ای را مورد مطالعه قرار دادند. با توجه به این که ضریب بازتابش برای سقف سفید ۰/۷۵، سقف خاکستری ۰/۳، سقف نقره‌ای ۰/۵ و برای سقف قهوه‌ای ۰/۱ بوده است به این نتیجه دست یافتند که دما در سقف سفید ۲۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به سقف خاکستری و نقره‌ای و هم‌چنین، ۳۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به سقف قهوه‌ای، خنک‌تر می‌باشد.

اکبری و همکاران (۱۹۹۸)، در رابطه با پتانسیل صرفه‌جویی در انرژی خنک‌کننده سقف انعکاسی ساختمان‌های مسکونی و تجاری در ایالات متحده مشاهده کردند که بیش از ۶۰ درصد سطوح شهری را بام‌ها، خیابان‌ها و پیاده‌روها تشکیل داده‌اند. توجه به ویژگی‌های این سطوح، می‌تواند در کاهش مصرف انرژی سرمایشی ساختمان‌ها مؤثر باشد. نوع، اندازه و رنگ مصالح به‌کار برده شده در ساختمان‌ها نیز در میزان انعکاس و جذب انرژی خورشید، نقش به‌سزایی دارد. رنگ‌های تیره، اندازه درشت ذرات و توان تشعشعی بالای مواد، باعث جذب بیشتر انرژی خورشید شده است و اجسام ریزدانه، با رنگ روشن و براق نیز باعث افزایش بازتاب می‌شوند. سقف‌های تیره در تابستان توسط نور خورشید گرم شده و در نتیجه، تقاضا برای خنک‌سازی در این ایام، بالا می‌رود.

اکبری و همکاران (۱۹۹۹)، طی پژوهشی در ایالات متحده آمریکا مشاهده کردند که با افزایش ضریب بازتابش در سقف ساختمان‌های تجاری تا ۰/۴۵ میزان صرفه‌جویی کلی سالانه انرژی الکتریکی، برای ۱۱ منطقه مرکز شهر حدود ۲/۶ تراوات ساعت بوده است. مطابق همین مطالعه، با فراهم نمودن شرایط

3. Susca

4. Santamouris

5. Synnefa

6. Kolokotsa

7. Romeo, Zinzi

8. Radhi

مربوط به تجزیه و تحلیل این دو خواص انرژی نوری در تطابق با استاندارد ASTM و ارزیابی نهایی شاخص انعکاس خورشیدی است که پتانسیل خنک‌کنندگی یک پوشش را در سراسر جهان برای پوشش سقف‌ها یا سنگ فرش‌های شهری توصیف می‌کند.

بازتابش خورشیدی^{۱۲}

بازتابش خورشیدی، توانایی سطح برای بازتاب تابش خورشید به نیم‌کره‌ای است که منبع خورشیدی در آن قرار گرفته است و در سراسر طیف خورشیدی، از جمله مؤلفه‌های انعکاس پراکنده شده است. در حقیقت، بیشتر انرژی خورشیدی که به سطح زمین می‌رسد، بین ۳۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر است و شدت آن در طول موج‌های مختلف موجود در طیف خورشید، متفاوت می‌باشد و مقدار آن در حدود ۶۰۰ نانومتر است. طیف ماوراء بنفش در حدود ۵ درصد انرژی دارد. طیف مرئی شامل حدود ۴۴ درصد انرژی خورشیدی می‌باشد و منبع بیش از ۵۰ درصد انرژی خورشیدی طیف فرورسرخ است. تابش به نواحی مختلف در کره زمین بستگی به شرایط اختلالات جوی، رطوبت هوا و جذب آب، اوزون و دی‌اکسیدکربن با ضرایب مختلف دارد. تغییرات مهم وابسته به نوع توده هوا اتفاق می‌افتد که به نوبه خود بستگی به فصول متفاوت سال و موقعیت زمین دارد (Ferrari et al., 2013: 246).

بنابراین، مطابق با تحلیل‌های فراری و همکاران (۲۰۳۱)، بازتابش خورشیدی تا حد زیادی وابسته به طیف مرجع خورشیدی مورد استفاده برای محاسبات است که طبق بررسی‌ها، ارقام آن از ۰ تا ۱ متغیر است. از آنجایی که بخش بزرگی از تابش خورشیدی در ناحیه‌های غیر قابل مشاهده از طیف قرار دارد، ویژگی پوشش دارای ضریب بازتابشی زیاد، نه تنها یک سطح با رنگ روشن است، بلکه باید بتواند تابش خورشیدی در تمامی طیف‌ها را منعکس کند. یک سطح معمولی سرد سفید رنگ که دارای پوشش الاستومر (نوعی پلیمر) است، رقم بازتابش خورشیدی آن در حدود ۸۵ درصد است.

انتشار حرارت^{۱۳}

انتشار حرارتی (E)، ظرفیت سطح را برای انتشار دوباره گرمای جذب شده مشخص می‌کند. این شاخص بین ۰ تا ۱ متغیر است و نشان‌دهنده میزان انتشار تطبیقی و نسبی نسبت به یک جرم سیاه است که در شرایط مشابه عمل می‌کند. در برنامه‌های کاربردی ساخت و ساز رایج، انتشار حرارت از یک سطح معمولاً بالاتر از ۰/۸-۰/۸۵ است. به جز لایه‌هایی که با اجزای فلزی، به‌عنوان مثال، ورقه‌های آلومینیوم ساخته شده‌اند. انتشار حرارت یک جزء

بالدینلی و بونافونی^۹ (۲۰۱۵)، تجزیه و تحلیل اثر ضریب بازتابش در میزان جزایر حرارتی سطح زمین توسط دوربین‌های ترموگراف ماهواره‌ای را بررسی نمودند. این مطالعه نشان داد در مناطقی از شهر که مصالحی با ضریب بازتابش کم‌تر استفاده شده (مانند آسفالت خیابان‌ها)، دمای محیط افزایش داشته است.

محمد و همکاران (۲۰۱۵)، در مطالعه‌ای در کشور عراق، اثر بخشی بام‌های بازتابنده در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های تجاری را مورد بررسی قرار دادند. نتیجه بدست آمده از تجزیه و تحلیل شبیه‌سازی‌ها نشان داد که با استفاده از سقف انعکاسی که دارای ضریب بازتاب خورشید ۰/۸ و ضریب انتشار گرمایی ۰/۹ است، صرفه جویی در مصرف انرژی در طول سال به حدود ۲۲ درصد می‌رسد.

توچایی^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۶)، نیز افزایش ضریب انعکاس سطوح بام، دیوارها و جاده‌ها را در شهر مونترال کانادا در طول دوره موج گرمایی، مورد مطالعه قرار دادند، شبیه‌سازی‌ها در این پژوهش نشان داد که به ازای ۰/۴ افزایش ضریب انعکاس در سطوح گفته شده، دمای هوا در ارتفاع ۲ متری در تمام ساعات ۱ درجه سانتی‌گراد کاهش داشته است. علاوه بر این، تأثیرات مثبتی از مصالح انعکاسی در بهبود کیفیت هوای خارج را ثبت کردند.

منصوری و همکاران (۲۰۱۷)، کارایی پوشش انعکاسی در ساختمان‌های الجزایر را مورد مطالعه قرار دادند و با استفاده از شبیه‌سازی با نرم‌افزار TRNSYS و مطالعه میدانی دریافتند که عایق‌های حرارتی با ضریب انعکاس بالا، راه مناسبی جهت بهبود هوای داخل، آسایش حرارتی و افزایش کارایی انرژی بنا، است.

طالقانی^{۱۱} (۲۰۱۸)، افزایش ضریب انعکاس سطوح شهری بر آسایش حرارتی محیط خارج در تابستان را بررسی کرد و نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیالاتی نشان داد که هنگام ظهر سطح پارک پوشیده شده با چمن، ۱۱ درجه سانتی‌گراد خنک‌تر از سطح پارکینگ با پوشش بتنی است. هم‌چنین، براساس این مطالعه موقعیت و جهت‌گیری سطوح انعکاسی، در آسایش حرارتی عابرین پیاده، به‌خصوص در فضاهای باز شهری، بسیار اثرگذار است.

تعاریف مبانی نظری

پوشش‌های دارای ضریب بازتابشی زیاد، قادر به محدود کردن افزایش دمای سطح یک سقف، در مقایسه با پوشش‌های با خاصیت جذب بیشتر هستند. در این دیدگاه، این پوشش‌ها به‌طور کلی بر روی سقف‌های مسطح و یا با شیب کم به‌کار می‌روند تا از گرمای بیش از حد (برافروختگی) در فصل تابستان جلوگیری کنند. دو ویژگی اصلی که بر رفتار آن‌ها تأثیر می‌گذارد، بازتابش خورشیدی یا ضریب بازتابش و انتشار گرمایی هستند. این بخش،

12. Solar Reflection = SR

13. Thermal emittance

9. Baldinelli, Bonafoni

10. Touchaei

11. Taleghani

متوسط، استاندارد سیاه با $SRI=0$ برای قابلیت بازتابش خورشیدی و انتشار گرمایی به ترتیب $0.5/0$ و $0.9/0$ محاسبه شده‌است. استاندارد سفید بازتابش خورشیدی برابر با $0.8/0$ و انتشار گرمایی برابر با $0.9/0$ است (Cool roof material databas, 2000).

ارزیابی انرژی حرارتی برای سقف‌های با ضریب بازتابشی زیاد

مکانیسمی که رفتار سقف خنک را توضیح می‌دهد، باید به وسیله تراز انرژی حرارتی یک سازه یا سطح عمومی در معرض تابش خورشیدی، زمانی که دمای آن توسط فرایندهای فیزیکی تعیین می‌شود، توصیف گردد (Dominguez, 2011: 443).

بخش اصلی حرارت موجود در سقف (یا هر سطح دیگری که در معرض نور خورشید است)، از طریق تابش خورشید تولید می‌شود که بخشی از این حرارت توسط سطح به وسیله ویژگی‌های فیزیکی شرح داده شده است که در بخش پیشین، بازتاب می‌شود. به‌طور خاص، بخشی از تابش که در ناحیه مرئی طیف منعکس می‌شود، رنگ مرئی سطح و میزان براق بودن آن را تعیین می‌کند. بخش مهمی از این تابش در ناحیه نزدیک طیف فروسرخ منعکس می‌شود.

بخش باقی‌مانده از تابش بار خورشیدی، برای سطح و برای ساختمان در سطح سقف اتفاق می‌افتد زیرا جذب حرارت از این ناحیه صورت می‌گیرد. سپس، بخشی از این تابش با توجه به فاکتورهای مرتبط با سطح (یا سقف) و آسمان توسط سطح سقف به خارج منعکس می‌شود (Pisello, 2015: 246). این بخش از تابش که توسط سقف انجام می‌شود، دارای طول موج طولانی (حدود ۱۰,۰۰۰ نانومتر) است.

بنابراین، در ناحیه طیف فروسرخ، منتشر می‌شود. علاوه بر این، بخشی از گرمای جذب شده توسط ساختار سقف از طریق یک فرایند هدایت، وارد فضای داخل می‌شود و از محیط گرم‌تر به محیط سردتر می‌رود. این فرایند در فصل تابستان، سبب ایجاد گرمای بیش از حد (برافروختگی) در فضای داخلی ساختمان شده و باعث افزایش تقاضای انرژی خنک کننده می‌گردد (Pomerantz et al., 2000).

در نهایت، سقف در معرض تابش خورشید نیز انرژی را از طریق یک فرایند حرارتی که بر روی سطح آن اتفاق می‌افتد، مبادله می‌کند. در واقع، ضریب بازتابشی سقف قادر به ایجاد تأثیر بر شرایط حرارتی در روی سقف و ایجاد اثرات موضعی ناچیز در تغییر شکل بازتابش خورشیدی است. به‌عنوان مثال، واحدهای خنک‌کننده خارجی پمپ‌های حرارتی در حالت خنک‌کننده که روی سقف قرار گرفته‌اند، می‌توانند تحت تأثیر ضریب بازتابشی مشابه سقف قرار

سقف یا دیوار به‌طور عمده تحت تأثیر ویژگی‌های لایه‌ای است که در معرض تابش خورشید قرار دارد. بنابراین، بر خلاف سایر خصوصیات پوششی، برای مثال، انتقال حرارت و ظرفیت حرارتی، برای هر دو شاخص بازتابش خورشیدی و انتشار حرارت، خارجی‌ترین لایه میزان پتانسیل خنک‌کنندگی یک سقف را تعیین می‌کند (Pisello, 2015: 245).

شاخص بازتاب خورشیدی^{۱۴}

شاخص بازتابش خورشیدی (SRI)، نشان‌دهنده خنک بودن یک پوشش یا به‌طور کلی یک سطح است، زیرا آن را برای دو ویژگی کلیدی که شرح داده شد، یعنی بازتابش خورشیدی و انتشار حرارتی، به حساب می‌آورند. استاندارد بین‌المللی ASTM روش محاسبه این شاخص با ارزیابی دمای سطح پایدار در زیر نور خورشید (T_s)، دمای ظاهری آسمان (T_{sky})، جذب خورشیدی (α)، تابش نور خورشید (I) و انتشار حرارتی (ϵ)، به شرح زیر است (رابطه ۱).

$$\alpha I = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_{sky}^4) + h_c (T_s - T_a)$$

رابطه ۱. ارزیابی دمای سطح پایدار

مقادیر بالای بازتابش خورشیدی و انتشار حرارتی، موجب کاهش دمای سطح و افزایش مقادیر شاخص بازتابش خورشیدی می‌شود. شاخص بازتابش خورشیدی، مقیاسی از خنک بودن است که در آن سطح استاندارد جذب جسم سیاه برابر با ۰ است و استاندارد مواد سفید که به‌طور کامل بازتابنده هستند، برابر با ۱۰۰ می‌باشد. با این حال، مقادیر شاخص بازتابش خورشیدی مواد جدید و با کیفیت بالا که به‌تازگی در بازار موجود هستند، می‌تواند کمتر از ۰ و یا بالاتر از ۱۰۰ باشد. برای یک سطح با ضریب بازتابش خورشیدی و میزان انتشار حرارتی مشخص و هنگامی که یک شرایط حرارتی برای آن شناخته شده، تعریف شده‌است، SRI را می‌توان با تکرار محاسبه کرد، رابطه ۲، معادله‌ای برای یافتن دمای سطح را نشان می‌دهد (ASTM, 2011).

$$SRI = 100 \frac{T_b - T_s}{T_b - T_w}$$

رابطه ۲. شاخص بازتاب خورشیدی

در این رابطه، T_b و T_w به ترتیب حالت پایدار برای دمای سطح مرجع سیاه و سفید را نشان می‌دهند. با توجه به شرایط بادی

$$(1-R)I = \varepsilon\sigma(T_s^4 - T_{sky}^4) + h_c(T_s - T_a) - k \frac{dT}{dx}$$

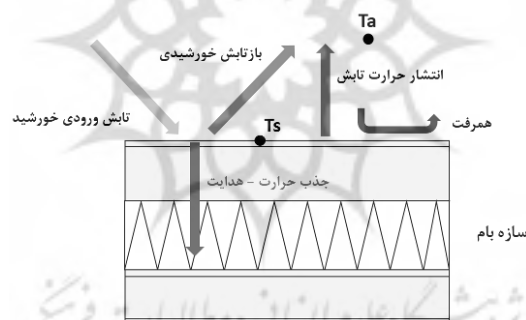
رابطه ۳. تراز حرارتی سقف

در رابطه ۳، (I) عایق سطحی است که با واحد W / m^2 اندازه‌گیری می‌شود؛ (R) انعکاس تابش خورشید از سطوح درخشان است که بین ۰ و ۱ متغیر است؛ (ε) انتشار حرارتی از سطوح درخشان است که بین ۰ و ۱ تغییر می‌کند؛ (σ) ثابت Stefan-Boltzmann است که واحد آن $W / m^2 K^4$ است؛ (T_s) درجه حرارت سطحی سقف است که با درجه کلونین اندازه‌گیری می‌شود؛ (T_{sky}) دمای قراردادی آسمان است که با درجه کلونین اندازه‌گیری می‌شود؛ (h_c) ضریب همرفتی است که با $W / m^2 K$ اندازه‌گیری می‌شود؛ (T_a) دمای هوا است که واحد آن درجه کلونین است؛ (k) رسانایی حرارتی سطوح در معرض تابش خورشید (یا سقف) است که واحد آن W / mK است و (d_T / d_x) گرادیان درجه حرارت در لایه سقف است.

بگیرند. سطوح دارای ضریب بازتابشی زیاد از طریق بهبود بهره‌وری انرژی پمپ‌های گرمایی و کاهش درزحرارتی، سطوح سقف را خنک‌تر از سطوح با ضریب بازتابشی پایین حفظ می‌کنند که این به معنای اثرات سقف خنک کننده فعال است (Pisello et al., 2013: 221).

تراز حرارتی یک سقف در معرض تابش خورشید

یک پوشش سقف خنک، می‌تواند به دلیل بازتابش خورشیدی و انتشار حرارتی بالا، دمای سطح آن را نسبت به یک پوشش غیر سرد، کاهش دهد. این دو ویژگی، در تعریف انرژی حرارتی سقف و محوطه مجاور محیط داخلی، نقش مهمی ایفا می‌کنند. انعکاس بالای خورشید، باعث کاهش گرمای انتقال یافته از طریق سقف به داخل ساختمان می‌شود. این پدیده، به سادگی با تراز حرارتی سقف (شکل ۱) یا هر سطح دیگری که در معرض تابش خورشید قرار دارد، توسط رابطه ۳، قابل محاسبه است (ASTM, 2011). رابطه (۳) نشان می‌دهد که بازتابش خورشیدی، انتشار حرارتی و سطح عایق آن، عوامل اصلی تأثیرگذار بر عملکرد حرارتی سقف است.



شکل ۱. طرح تراز انرژی یک سقف در معرض تابش خورشید

روش انجام پژوهش

که امکان اندازه‌گیری دماهای حقیقی در نمونه‌های واقعی برای دوره‌های طولانی فراهم نیست، این روش به‌عنوان روش جایگزین، انتخاب می‌شود.

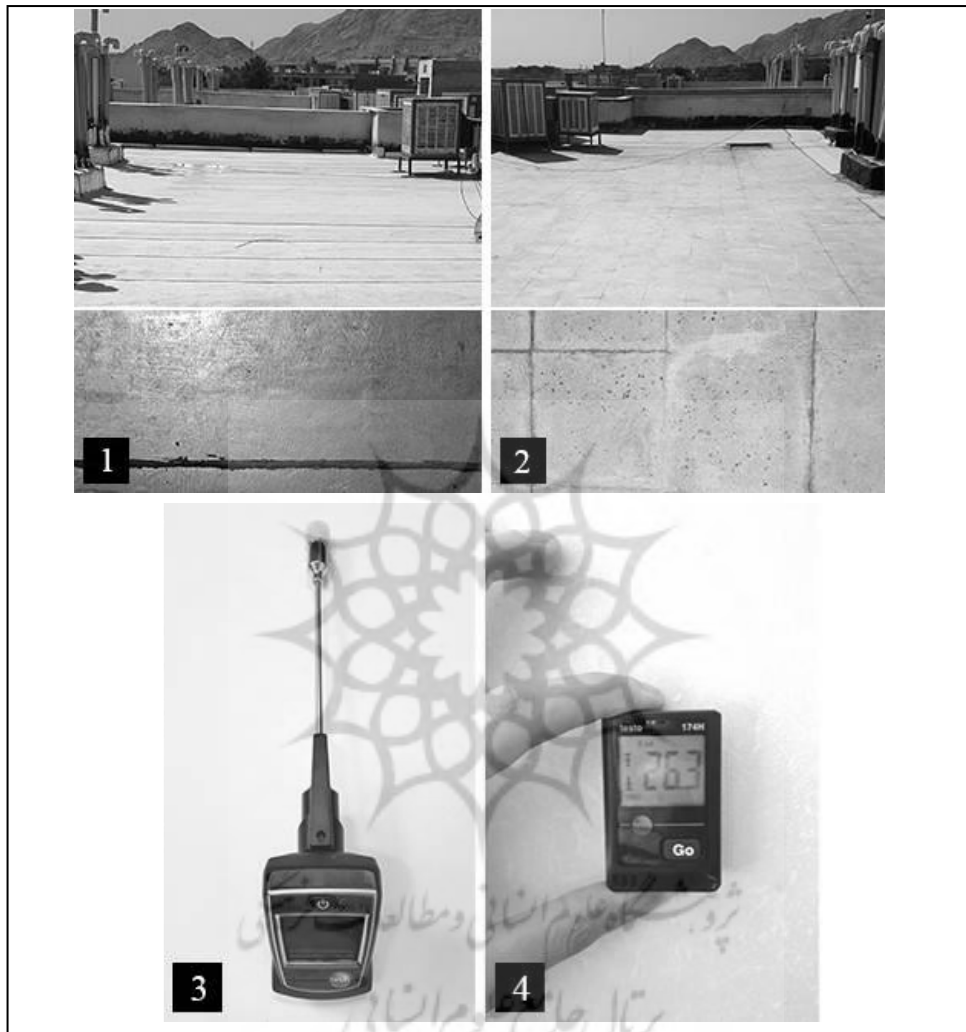
نرم افزار مورد استفاده در پژوهش پیش‌رو، انرژی پلاس برای اندازه‌گیری دمای سطح داخل و خارج برای ماه گرم و میزان مصرف انرژی سرمایشی ساختمان‌ها بوده است. به‌منظور صحت آزمایشی اطلاعات استخراج شده، از شبیه‌سازی کامپیوتری، مطالعات میدانی با استفاده از دیتالاگر سنسجش دمای سطح - testo 905 و T2 و دمای هوا testo 174H به صورت ساعتی طی سه روز گرم (۲۸ تا ۳۰ ماه جون سال ۲۰۱۷) برداشت شده و با داده‌های نرم

روش تحقیق در این پژوهش، تحلیلی یا مدل‌سازی رایانه‌ای است. با مطالعه میدانی در محل، داده‌هایی جهت شبیه‌سازی رایانه‌ای دو ساختمان مشابه (از نظر پلان، فرم، جهت‌گیری و متریکال) با پوشش متفاوت بام (ضریب بازتابش متفاوت) به دست آمده است. بام A با ایزوگام مجهز به یک لایه فویل آلومینیوم در سطح خارجی خود (ضریب بازتابش زیاد) و بام B با موزائیک (ضریب بازتابش پایین) پوشش داده شده است که دو پوشش رایج بام در سطح شهر است.

روش شبیه‌سازی رایانه‌ای محیطی مجازی را برای بررسی جزء به‌جزء رفتار حرارتی اجزای ساختمان فراهم می‌آورد. در شرایطی

سایه‌دار بام نصب شد. دیتالاگرهای سنجش دمای هوا قابلیت ثبت دما و رطوبت هوا را همزمان را دارد و دیتالاگر سطح نیز دمای سطح مورد نظر را به صورت مستقیم ارائه می‌کند (شکل ۲).

افزار مقایسه شده است. به منظور اندازه‌گیری و مقایسه افزایش دمای هوا در مجاورت هر دو بام، دیتالاگرهای سنجش دمای هوا در ارتفاع ۱/۵ متری نسبت به سطح بام قرار داده شد و به دلیل قرار گرفتن در فضای آزاد با فویل آلومینیوم پیچیده و در قسمت



شکل ۲. ۱. بام A با پوشش ایزوگام؛ ۲. بام B با پوشش موزاییک؛ ۳. دیتالاگر سنجش دمای سطح؛ ۴. دیتالاگر سنجش دمای هوا

حرارت از عناصر ساختمان، کنترل نور روز، محاسبه آلودگی اتمسفر و... را دارد. با توجه به محدودیت نرم‌افزار انرژی پلاس برای شبیه‌سازی بصری ساختمان، از نرم‌افزار اپن‌استودیو^{۱۶} برای طراحی هندسی ساختمان‌های مورد مطالعه استفاده و سپس شبیه‌سازی‌های مورد نظر در انرژی پلاس صورت گرفته شده است. با توجه به حساسیت بالایی که نتایج شبیه‌سازی به داده‌های آب‌وهوایی دارند، از نرم‌افزار متئونورم^{۱۷} که برای تولید داده‌های

مدل‌سازی انرژی ساختمان

از مهم‌ترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی ساختمان‌ها، نرم‌افزار انرژی پلاس^{۱۵} است، که قابلیت شبیه‌سازی بام‌های خنک و امکان استفاده از داده‌های هواشناسی شهرها با اتصال به سایت اصلی را دارد. اولین نسخه این نرم‌افزار در سال ۱۹۹۸ ارائه شده است (Sailor, 2008: 1467).

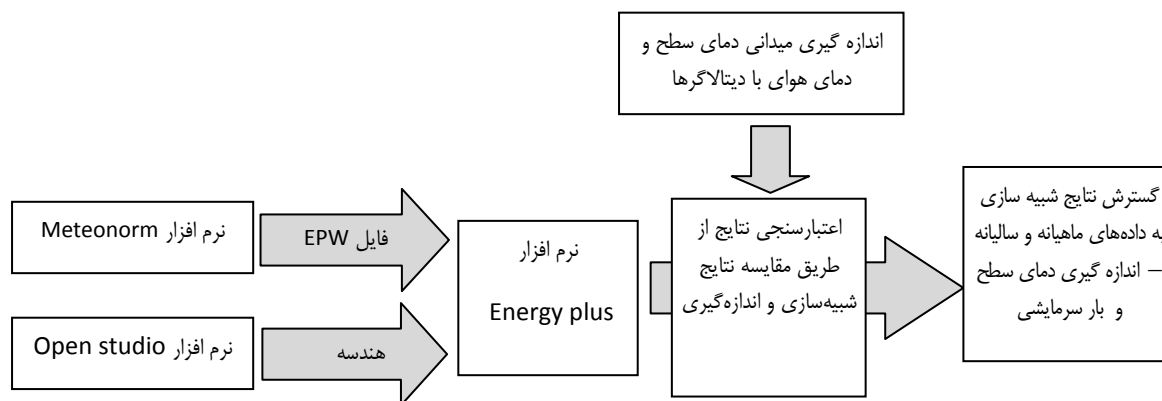
قابلیت شبیه‌سازی تعادل گرمایی و بارهای داخلی و خارجی، وارد کردن فایل‌های آب‌وهوایی شهرهای مورد نظر، میزان انتقال

16. Open Studio
17. Meteonorm

15. Energy plus

به منطقه مورد مطالعه است، از نرم افزار متئونورم استخراج و در انرژی پلاس وارد شده است. مراحل تحقیق و مدل سازی انرژی در شکل ۳، به صورت خلاصه نشان داده شده است.

هواشناسی برای اقلیمها و نقاط مختلف دنیا به کار برده می شود، استفاده گردید. با در نظر گرفتن تنوع دمایی در نقاط مختلف تهران، داده های هواشناسی ایستگاه مهرآباد که نزدیک ترین مرکز



شکل ۳. مدل تحلیلی پژوهش

محدوده مورد مطالعه

می کند. قبل از اواخر نوامبر، حدوداً به مدت یک ماه و نیم، شرایط (کمی سرد) بر تهران نیز حاکم است. مردم در نیمه دوم آپریل تا اواخر می، از دمای هوا لذت برده و حاضر به تغییر آن به شرایطی گرم تر یا سردتر نیستند. این مورد در نیمه دوم سپتامبر تا اواخر اکتبر هم مصداق دارد. از نیمه دوم ماه جون به مدت دو هفته، شرایط کمی گرم و پس از آن گرم است. اما از نیمه دوم ماه جولای شرایط خیلی گرمی حاکم می شود. دمای آسایش مردم تهران در ماه های مختلف که براساس میانگین دمای ماهانه و با استفاده از معدل پنج ساله دمای هوا در ایستگاه سینوپتیک ژئوفیزیک محاسبه شده، نشان می دهد که حداکثر آن ۳۰/۴۴ درجه سانتی گراد در ماه جولای و کمترین مقدار آن ۱۴/۱۵ درجه سانتی گراد در ماه ژانویه است (حیدری، ۱۳۸۸: ۹).

ساختمان های مورد مطالعه در این تحقیق، دو آپارتمان مسکونی سه طبقه چهار واحدی با متراژ هر واحد ۷۵ مترمربع است. مجری این مجموعه مسکونی بنیاد مسکن و شهرسازی شهری بوده که ساخت آن در سال ۱۳۹۴ به پایان رسیده است (شکل ۴).

محدوده مورد مطالعه در شهری واقع در جنوب شرقی استان تهران (۳۵°۳۶' شمالی، ۵۱°۲۶' شرقی) قرار دارد. استقرار شهری در مناطق جنوبی تهران باعث شده است که این منطقه دارای آب و هوای گرم و خشک باشد. اقلیم گرم و خشک با دو مشخصه مهم گرمای زیاد و خشکی هوا تعریف می شود. در این مناطق، تابش مستقیم خورشیدی بر سطح ۷۰۰ تا ۸۰۰ kcal/h/m² است (Moradi et al., 2011: 46).

طبری با بررسی روند حداکثر و حداقل دمای هوا در مناطق گرم و خشک ایران، نشان داد که دمای حداقل و حداکثر به مرور زمان افزایش یافته است (Tabari and Talaei, 2011: 10). با توجه به نقشه ارزشیابی اکولوژیکی جزایر حرارتی در تهران، شهری در بدترین طبقه واقع شده است (ساسانپور و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۵۹).

با توجه به دمای بیست ساله تهران، می توان نتیجه گرفت که از اوایل ژانویه تا اواخر فوریه، شرایط خیلی سرد بر شهر حاکم است. ولیکن، شرایط از اواخر ماه فوریه تا اواخر مارچ، همچنین از نیمه اول دسامبر تا اوایل ماه ژانویه را شرایط سرد تهران می نامیم. از اوایل ماه آپریل به مدت دو هفته، هوا رو به کمی سرد تمایل پیدا

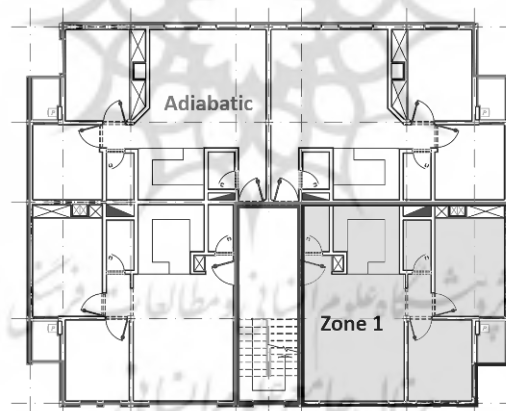


شکل ۴. ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان تهران؛ ۲. موقعیت ساختمان‌های مورد مطالعه در مجموعه

یافته‌ها

به جنوب مدنظر است. با این روش، ضمن محدود کردن مساحت، امکان انتقال حرارت از سایر اجزا تا حد ممکن کنترل و محدود به بام شده‌است تا امکان بررسی دقیق تغییرات فراهم شود (شکل ۵).

چنانچه ذکر شده‌است، ساختمان‌های مورد بررسی کاملاً یکسان (از نظر کالبد و مصالح) و ۴ واحدی هستند که در شبیه‌سازی، یکی از واحدهای طبقه آخر هر ساختمان به مساحت ۷۵ متر مربع و رو



شکل ۵. پلان ساختمان‌های مورد مطالعه و واحد انتخابی جهت بررسی

دو جداره با ضریب انتقال حرارت $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ در نظر گرفته شده‌است. بام‌ها نیز ترکیبی از لایه‌های متداول سقف تیرچه یونولیت است که در پوشش خارجی بام A از ایزوگام با لایه فویل آلومینیوم بیرونی با ضریب بازتابش 0.7 و در بام B از پوشش خارجی موزاییک با ضریب بازتابش 0.3 استفاده شده‌است (جدول ۱).

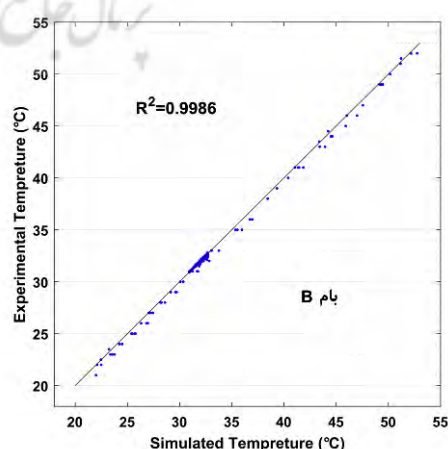
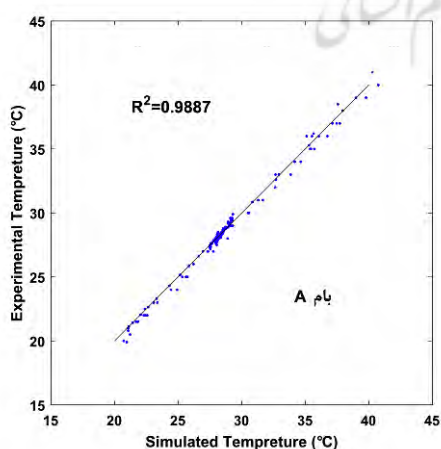
دیوارهای خارجی به ضخامت ۲۸ سانتی‌متر با ضریب انتقال حرارت $1.34 \text{ W/m}^2\text{K}$ هستند و دیوارهای داخلی به ضخامت ۱۲ سانتی‌متر با بلوک لیکا ساخته شده‌اند. تعداد افراد، درصد حضور آنها در واحد و نوع فعالیت آنها نیز بر مبنای کاربری مشخص شده‌است. پنجره با قاب پی‌وی‌سی و شیشه

جدول ۱. مشخصات و اجزای ساختمان‌های مورد مطالعه

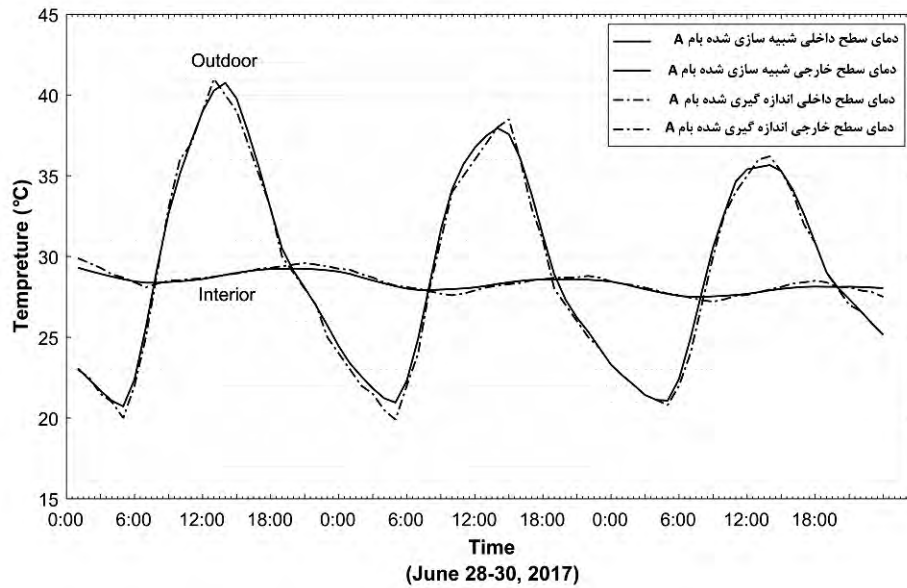
نام	لایه‌های تشکیل دهنده	ضخامت (m)	ضریب هدایت (W/m.k)	چگالی (Kg/m ³)	گرمای ویژه (Kj/Kg.k)	میزان ضریب بازتابش
بام A	ایزوکام	۰/۰۱	-	-	-	۰/۷
	موزاییک	۰/۰۲۵	۱/۷۵	۲۰۰۰	۸۴۰	
	ملات ماسه سیمان	۰/۰۳	۱/۷۵	۹۰۰	۹۰۰	
	عایق رطوبتی	۰/۰۱۵	۰/۱۸۶	۱۱۰۰	۸۵۰	
	بتن	۰/۰۵	۱/۷۵	۲۴۰۰	۹۰۰	
	پلاستوفوم	۰/۰۳	۰/۰۲۹	۵۰	۱۲۱۰	
	گچ و خاک	۰/۱۲۷	۰/۴۳	۱۲۰۰	۱۰۸۰	
بام B	موزاییک	۰/۰۲۵	۱/۷۵	۲۰۰۰	۸۴۰	۰/۳
	ملات ماسه سیمان	۰/۰۳	۱/۷۵	۹۰۰	۹۰۰	
	عایق رطوبتی	۰/۰۱۵	۰/۱۸۶	۱۱۰۰	۸۵۰	
	بتن	۰/۰۵	۱/۷۵	۲۴۰۰	۹۰۰	
	پلاستوفوم	۰/۰۳	۰/۰۲۹	۵۰	۱۲۱۰	
	گچ و خاک	۰/۱۲۷	۰/۴۳	۱۲۰۰	۱۰۸۰	
	دیوار خارجی	سنگ تراورتن	۰/۰۱۸	۲/۳	۲۵۰۰	۱۰۰۰
ملات ماسه سیمان		۰/۰۳	۱/۷۵	۲۰۵۰	۹۰۰	
بلوک لیکا		۰/۰۲	۱/۰۱	۷۰۰	۱۰۰۰	
گچ و خاک		۰/۱۲۷	۰/۴۳	۱۲۰۰	۱۰۸۰	
دیوار داخلی	گچ و خاک	۰/۱۲۷	۰/۴۳	۱۲۰۰	۱۰۸۰	-
	بلوک لیکا	۰/۰۱	۱/۰۱	۷۰۰	۱۰۰۰	
	گچ و خاک	۰/۱۲۷	۰/۴۳	۱۲۰۰	۱۰۸۰	

مرحله اول، شبیه‌سازی شامل اطلاعات دقیق دمای ساعتی داخلی و خارجی سطوح بام است. به دلیل این که روشن بودن دستگاه‌های سرمایشی و گرمایشی بر روی نتایج تأثیرگذار است، هم در حالت شبیه‌سازی و هم در حالت برداشت میدانی، تاسیسات مکانیکی خاموش در نظر گرفته شده‌است تا تأثیر مستقیم پوشش بام مشخص شود. دمای سطوح داخلی و خارجی بام‌های A و B با دیتالاگر دمای سطح به‌طور ساعتی و طی سه روز از ۲۸ تا ۳۰ ماه جون اندازه‌گیری گردیده و به‌منظور راستی‌آزمایی، با داده‌های دمایی شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار، مقایسه شده‌است. شکل ۶ نتایج این مقایسه و دقت شبیه‌سازی را به خوبی نشان می‌دهد که در سطح قابل قبولی قرار دارد. نمودار شکل ۷، مقایسه دمای سطوح داخلی و خارجی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده با دیتالاگر برای بام A را نشان می‌دهد و مشخص است که داده‌ها تقریباً بر هم منطبق هستند.

مرحله اول، شبیه‌سازی شامل اطلاعات دقیق دمای ساعتی داخلی و خارجی سطوح بام است. به دلیل این که روشن بودن دستگاه‌های سرمایشی و گرمایشی بر روی نتایج تأثیرگذار است، هم در حالت شبیه‌سازی و هم در حالت برداشت میدانی، تاسیسات مکانیکی خاموش در نظر گرفته شده‌است تا تأثیر مستقیم پوشش بام مشخص شود. دمای سطوح داخلی و خارجی بام‌های A و B با دیتالاگر دمای سطح به‌طور ساعتی و طی سه روز از ۲۸ تا ۳۰ ماه جون اندازه‌گیری گردیده و به‌منظور راستی‌آزمایی، با داده‌های دمایی شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار، مقایسه شده‌است. شکل ۶ نتایج این مقایسه و دقت شبیه‌سازی را به خوبی نشان می‌دهد که در سطح قابل قبولی قرار دارد. نمودار شکل ۷، مقایسه دمای سطوح داخلی و خارجی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده با دیتالاگر برای بام A را نشان می‌دهد و مشخص است که داده‌ها تقریباً بر هم منطبق هستند.



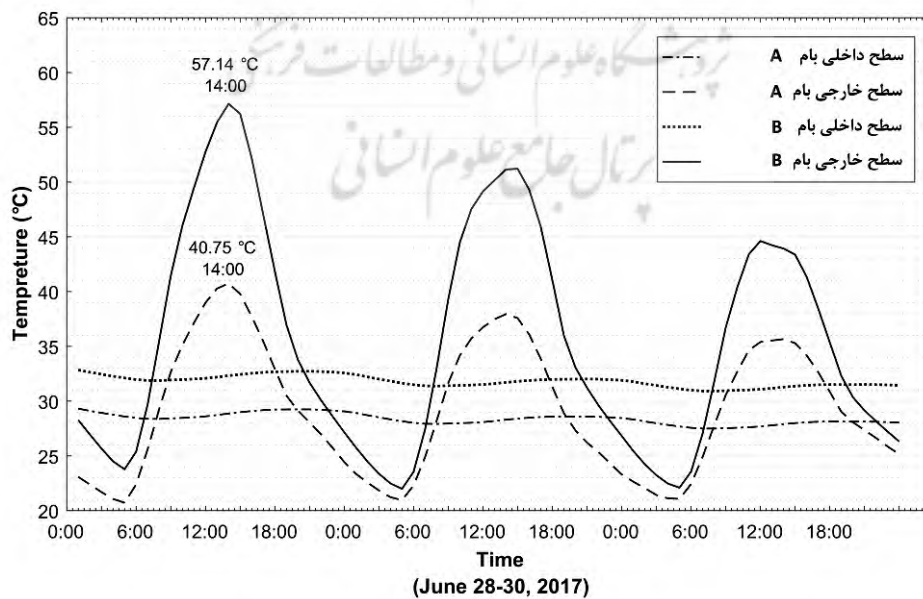
شکل ۶. نمودار مقایسه دمای سطوح داخلی و خارجی شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای بام A و B



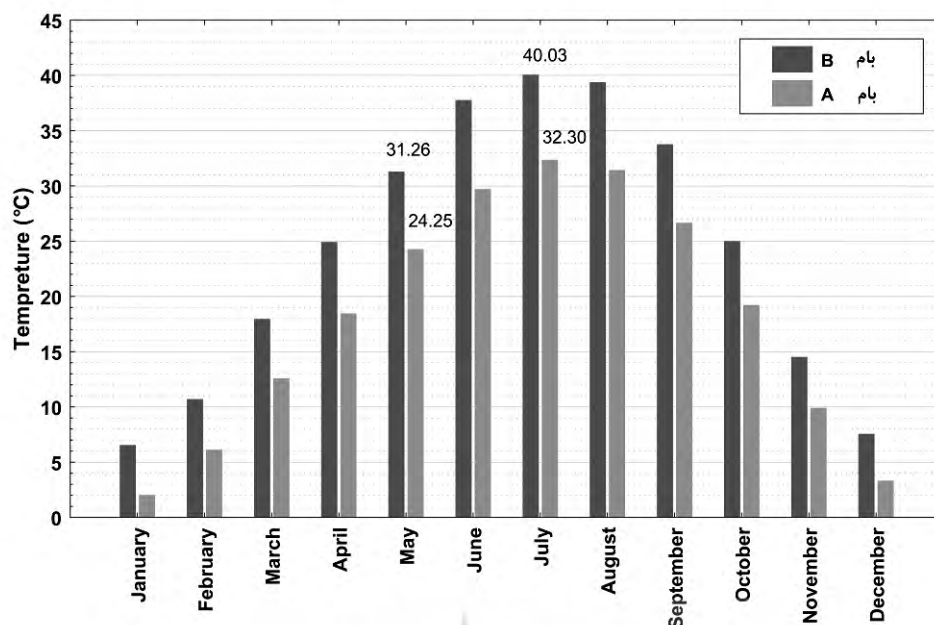
شکل ۷. نمودار مقایسه دمای سطوح داخلی و خارجی شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیره شده برای بام A

داخلی بام‌ها نیز ۲-۳/۵ درجه سانتی‌گراد در طول شبانه‌روز است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی ماهانه دمای سطح بام‌ها در شکل ۹ آمده‌است. میانگین دمای سطح خارجی بام‌ها به‌طور ماهانه نشان می‌دهد که با افزایش دما، اختلاف دمای بین سطوح بام A و B افزایش می‌یابد. به‌طوری که در ماه جولای این اختلاف میانگین دمای ماهانه به ۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، در حالی که در ماه می، این اختلاف ۶ درجه سانتی‌گراد بوده است.

شکل ۸، نمودار دمای سطح داخلی و خارجی بام با پوشش ایزوگام (A) و بام با پوشش موزاییک (B)، طی سه روز از ۲۸ تا ۳۰ ماه جون سال ۲۰۱۷ را نشان می‌دهد. اگرچه دمای سطوح داخلی و خارجی بام‌ها در طول دوره نوسان دارد، اما تفاوت دمایی سطوح بام‌ها ثابت است. تفاوت دمای سطح خارجی بام A (با پوشش ایزوگام) و B (با پوشش سرامیک) در هنگام شب حداکثر تا ۵ درجه سانتی‌گراد و در هنگام روز حداکثر تا ۱۶/۳ درجه سانتی‌گراد در ۲ ساعت بعد از ظهر می‌رسد. تفاوت دمای سطح



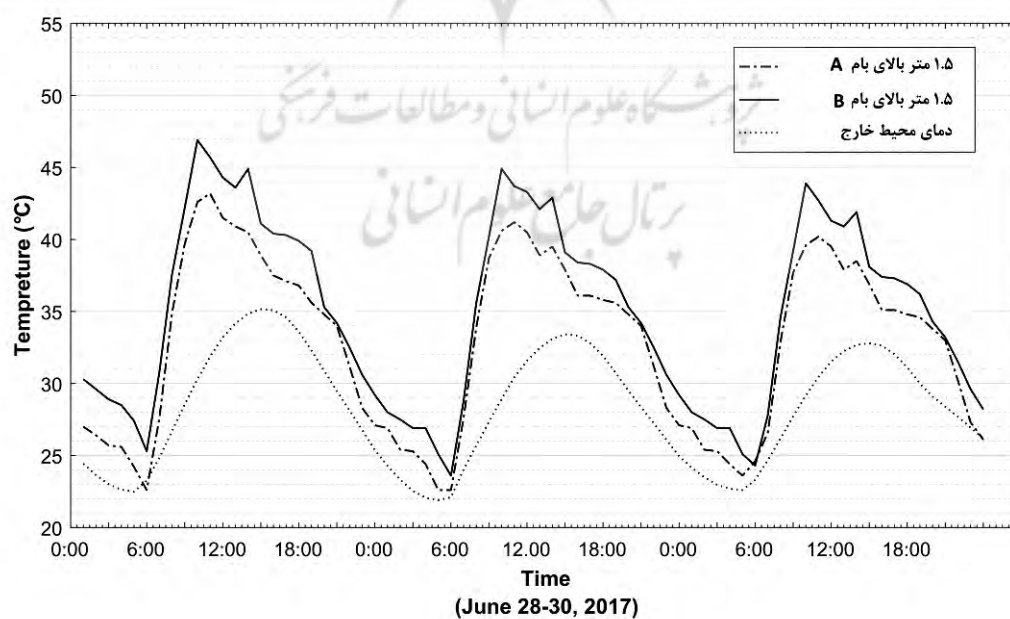
شکل ۸. نمودار مقایسه دمای سطوح داخلی و خارجی بام‌های A و B (۲۸ تا ۳۰ ماه جون)



شکل ۹. نمودار مقایسه میانگین دمای ماهانه سطوح خارجی بام‌های A و B حاصل از شبیه‌سازی

سانتی‌گراد و در طول روز حداکثر به $4/2$ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. تفاوت دمای محیط و دما در اطراف بام ساختمان‌ها به خوبی نقش بام‌ها را در تغییرات دمایی محیط و تشدید پدیده جزایر حرارتی در شهرها روشن می‌سازد.

شکل ۱۰، دمای خارجی در ارتفاع $1/5$ متری از سطح بام‌های A و B را نشان می‌دهد که با دیتالاگر ثبت شده‌است. داده‌ها، به‌طور ساعتی و طی سه روز برداشت شده‌است (۲۸ تا ۳۰ ماه جون) که به خوبی نمایانگر خرداقلیم در اطراف بام ساختمان‌ها است. تفاوت دما در ارتفاع $1/5$ متری دو بام در هنگام شب حداکثر به ۳ درجه



شکل ۱۰. مقایسه دمای هوا در ارتفاع $1,5$ متری از سطح بام‌های A و B (۲۸ تا ۳۰ ماه جون)

مصرف انرژی سرمایشی ماهانه برای واحدهای مسکونی با پوشش بام A و B در جدول ۲، نشان داده شده‌است. براساس جدول ۲، مشخص است که در فصول سرد سال مانند ژانویه، فوریه و مارچ و همچنین نوامبر و دسامبر میزان تقاضای انرژی سرمایشی صفر است. بررسی میزان صرفه‌جویی و کاهش در تقاضای انرژی سرمایشی نشان می‌دهد که به ازای ۰/۴ افزایش ضریب بازتابش سطح بام، در ماه‌های آپریل و اکتبر، درصد صرفه‌جویی به بیشترین میزان خود می‌رسد. با حرکت به سمت ماه‌هایی که حداکثر دما در آن‌ها اتفاق می‌افتد، میزان صرفه‌جویی کاهش می‌یابد. به طوری که در ماه جولای به پایین‌ترین حد خود می‌رسد. به طور کلی، در طول سال، میزان تقاضای انرژی سرمایشی در واحد ساختمانی با پوشش بام A (ایزوگام) نسبت به واحد ساختمانی با پوشش بام B (سرامیک)، ۱۰ درصد صرفه‌جویی داشته‌است.

گام دوم شبیه‌سازی شامل اندازه‌گیری میزان مصرف انرژی سرمایشی در دو ساختمان بود تا میزان تأثیر پوشش بام در مصرف انرژی سرمایشی واحدها مشخص شود. به منظور اندازه‌گیری میزان مصرف انرژی سرمایشی در طول سال، پنجره‌ها بسته در نظر گرفته شده‌است. به بیان دیگر، هیچ‌گونه جریان هوایی از پنجره‌ها وارد نمی‌شود تا نتایج محدود به دمای بام گردد. نرخ تعویض هوا در ساعت (ACH) مطابق کاربری در نظر گرفته شد. ترموستات سیستم‌های سرمایشی هم مطابق دمای آسایش شهر تهران تنظیم شد، ولی از آن‌جا که دمای آسایش به عوامل مختلفی از جمله عادات افراد بستگی دارد، طبق مطالعه و پرسش از ساکنین، ۲۷ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده‌است. از انتقال حرارت بین واحد انتخابی با سایر واحدها و راهرو نیز صرف نظر شده‌است تا میزان تأثیر پوشش خارجی در دما و مصرف انرژی لحاظ شود. نتایج

جدول ۲. بررسی نتایج تقاضای انرژی سرمایشی حاصل از شبیه‌سازی در واحدهای ساختمانی با پوشش بام A و B و میزان صرفه‌جویی

زمان	تقاضای انرژی سرمایشی در واحد ساختمانی با پوشش A، (Kwh)	تقاضای انرژی سرمایشی در واحد ساختمانی با پوشش B، (Kwh)	درصد صرفه جویی (%)
ژانویه	۰	۰	۰
فوریه	۰	۰	۰
مارچ	۰	۰	۰
آپریل	۰/۴۷	۱/۳۴	۶۴/۹۲
می	۸۷/۵	۱۰۳/۵	۱۵/۴۵
جون	۴۴۷/۱	۵۰۱/۲	۱۰/۰۹
جولای	۸/۸	۸۶۹/۲	۷/۰۴
آگوست	۷۶۹/۳	۸۳۲	۷/۵۳
سپتامبر	۲۹۲/۸	۳۳۴/۲	۱۲/۳۸
اکتبر	۸/۱	۱۲/۸	۳۶/۷۱
نوامبر	۰	۰	۰
دسامبر	۰	۰	۰

راهکارهای مناسب کاهش اتلاف انرژی بنا محسوب می‌شود. استفاده از سطوح با ضریب بازتابش زیاد که به‌عنوان یکی از روش‌های سرمایش غیرفعال در طراحی مطرح است، از ارزان‌ترین روش‌ها برای خنک کردن بناها در نظر گرفته می‌شود. این روش، کم‌ترین اثرات تخریبی بر محیط زیست را دارد و بهره‌وری ساختمان را از طریق کاهش جذب گرما، افزایش می‌دهد. این پژوهش، به منظور بررسی تأثیر ضریب بازتابش سطوح بام در دمای سطح، دمای هوای پیرامونی و میزان مصرف انرژی سرمایشی ساختمان‌های مسکونی در اقلیم گرم و خشک ایران صورت گرفته‌است. در این راستا، دو بام رایج در شهر تهران با ضریب بازتابش سطح متفاوت (بام A با پوشش نهایی ایزوگام با

بحث و نتیجه‌گیری

بحران انرژی و محیط زیست، با توجه به آهنگ رشد جمعیت، استفاده روزافزون از منابع تجدیدناپذیر و گسترش بی‌رویه آلاینده‌های زیست محیطی قطعی است. مگر آن‌که تمهیداتی این زمینه، صورت گیرد. یکی از این تمهیدات، اصلاح ساخت و ساز ساختمان‌هاست. طراحی و اجرای صحیح اجزای ساختمان، از جمله پوسته خارجی بنا از سوی معماران و سازندگان، یکی از روش‌های مؤثر در بهسازی مصرف انرژی و افزایش دما در ساختمان‌ها به‌شمار می‌رود.

با توجه به گستردگی بام نسبت به سایر اجزای پوسته خارجی، مطالعه عملکرد حرارتی آن گامی مهم در جهت دسترسی به

وظیفه طراح است که با توجه به تمام نقاط بحرانی نتایج، امکانات وضع موجود و هزینه‌های ساخت مناسب‌ترین حالت را انتخاب کند.

با توجه به این که کاربست سطوح انعکاسی با ضریب بازتابش زیاد، علاوه بر صرف هزینه کم، در کاربری فضاها تداخلی ایجاد نمی‌کند، امکان استفاده از این سطوح در ساختمان‌های موجود نیز وجود دارد تا علاوه بر تامین آسایش و سلامت ساکنین، نیاز به سامانه‌های فعال را کاهش دهد. علاوه بر این، با توجه به کیفیت مصالح و سطوح خارجی و عمر کوتاه آن‌ها، معماران و طراحان می‌توانند با استفاده از سطوح انعکاسی مدرن در بام و دیواره‌های ساختمان‌ها با حداکثر ضریب بازتابش، زمینه‌ای را فراهم آورند تا کارایی انرژی ساختمان‌های موجود و نوساز، با کم‌ترین صرف هزینه افزایش یابد.

راهکارها

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، راهکاری زیر پیشنهاد می‌شوند:

- ✓ بررسی وضع موجود و طراحی با توجه به تمام نقاط بحرانی نتایج؛
- ✓ شناخت امکانات وضع موجود و هزینه‌های ساخت مناسب‌ترین حالت؛
- ✓ استفاده از سطوح انعکاسی با ضریب بازتابش زیاد؛
- ✓ استفاده از سطوح انعکاسی مدرن در بام و دیواره‌های ساختمان‌ها.

ضریب بازتابش سطح ۰/۷ و بام B با پوشش نهایی موزاییک با ضریب بازتابش سطح ۰/۳) شبیه‌سازی شد.

نتایج بدست‌آمده نشان می‌دهد که به ازای ۰/۴ افزایش ضریب بازتابش سطح بام ساختمان مسکونی در تهران، میانگین دمای ماهانه سطح بام حداکثر در گرم‌ترین ماه، ۸ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. علاوه بر این، افزایش ضریب بازتابش سطوح بام، دمای هوای پیرامون بام را نیز کاهش می‌دهد. این امر در شهرها که تراکم ساختمان‌ها زیاد است، باعث کاهش دمای محیط و جلوگیری از تشدید پدیده جزایر حرارتی و اثرات مخرب آن خواهد شد. سطوح انعکاسی، ضمن کاهش دمای سطح و دمای هوای پیرامونی، مصرف انرژی را نیز کاهش می‌دهند. به ازای ۰/۴ افزایش ضریب بازتابش سطح بام در ماه‌های آپریل و اکتبر صرفه‌جویی در مصرف انرژی سرمایشی به حداکثر می‌رسد؛ اما با حرکت به سمت ماه‌های گرم‌تر، از میزان صرفه‌جویی کاسته شده، به طوری که در ماه جولای به ۷ درصد می‌رسد. به طور کلی، میزان صرفه‌جویی سالیانه در میزان بار سرمایشی به ازای ۰/۴ افزایش ضریب بازتابش سطح بام ۱۰ درصد برآورد شده است.

بدیهی است که با این استراتژی، میزان صرفه‌جویی انرژی سرمایشی در ساختمان‌هایی که سطوح خارجی بیشتری در معرض تابش مستقیم آفتاب دارند، به مراتب بیشتر خواهد بود. در این پژوهش، دو نوع مصالح رایج در سطح خارجی بام‌ها (موزاییک و ایزوگام) شبیه‌سازی شده است. نکته کلیدی استفاده از شبیه‌سازی این است که تنها وضع مورد نظر را بررسی می‌نماید و پس از این

منابع

۱. افشار، مژگان، (۱۳۸۸)، بررسی و شناخت جزیره حرارتی شهر تهران، فصلنامه سپهر، ۱۸(۷۱): ۶۲-۵۶.
۲. رحمتی، مهدی، حیدری، شاهین، بمانیان، محمدرضا (۱۳۹۵)، بررسی راهکارهای طراحی معماری بر کاهش اثر جزایر حرارتی، نشریه انرژی ایران، ۱۹(۱): ۱۰۴-۹۱.
۳. حیدری، شاهین، (۱۳۸۸)، دمای آسایش حرارتی مردم شهر تهران، نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، ۳۸: ۱۴-۵.
۴. عظیمی، فریده، تراب‌پور، علی (۱۳۸۸)، جزایر حرارتی شهر اهواز و راهکارهای پیش‌گیری، فصلنامه سپهر، ۱۸(۷۰): ۲۲-۲۰.
۵. حیدری، شاهین، مسندی، مریم (۱۳۸۹)، شبیه‌سازی بام‌ها و راهکار بررسی دقیق تاثیرات دمایی در محیطی مجازی، نشریه
- هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، ۴۲: ۱۲-۵.
۶. ساسان‌پور، فرزانه، ضیائیان، پرویز، بهادری، مریم، (۱۳۹۲)، بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران، فصلنامه بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران، ۳۹: ۲۷۰-۲۵۶.
۷. فاضلی، عبدالرضا، حیدری، شاهین، (۱۳۹۲)، بهینه‌سازی مصرف انرژی در مناطق مسکونی شهر تهران با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی انرژی روتردام (REAP)، پژوهش‌های برنامه ریزی و سیاست‌گذاری، انرژی، ۳: ۹۶-۸۳.
۸. کسمائی، مرتضی (۱۳۸۵)، اقلیم و معماری، چاپ دوم، تهران، نشر خاک.

9. Akbari, H. Konopacki, S. Pomerantz, M. (1998), *The impact of reflectivity and emissivity of roofs on building cooling and heating energy use*, Proceedings of the thermal performance of the exterior envelopes of building, 7: 6-10.
10. Akbari, H. Konopacki, S. Pomerantz, M. (1999), *Cooling energy saving potential of reflective roofs for residential and commercial buildings in the United States*, Energy, 24: 391-407.
11. ASTM. (2011), *E1980: Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
12. Baldinelli, G. Bonafoni, S. (2015), *Analysis of Albedo Influence on Surface Urban Heat Island by Spaceborne Detection and Airborne Thermograph*. International Conference on Image Analysis and processing.
13. Bansal, N.K. Garg, S.N. Kothari, S. (1992), *Effect of exterior surface colour on the thermal performance of buildings*, Building and Environment, 27(1): 31-37.
14. California Energy Commission. (2008), *Title 24, Part 6, of the California Code of Regulations: California's Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings*, Sacramento, CA: California Energy Commission.
15. Cool roof material database. <http://energy.lbl.gov/coolroof/> (accessed 14/03/2017)
16. Domínguez, A. (2011), *An empirical approach to the extragalactic background light from AEGIS galaxy SED-type fractions*, The Spectral Energy Distribution of Galaxies, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, 284: 442-445.
17. Ferrari, C. Libbra, A. Muscio, A. Siligardi, C. (2013), *Influence of the irradiance spectrum on solar reflectance measurements*, Adv. Build. Energy Res. 7 (2): 244-253.
18. Givoni, B. (1976), *Man, climate and architecture*, London: Applied science publishers Ltd.
19. Mohamed, H. Chang, J. D. Alshayeb, M. (2015), *Effectiveness of High Reflective Roofs in Minimizing Energy Consumption in Residential Buildings in Iraq*, Procedia Engineering, 118: 879-885.
20. Kolokotsa, D. Diakaki, C. Papantoniou, S. Vlissidis, A. (2012), *Numerical and experimental analysis of cool roofs application on a laboratory building in Iraklion, Crete, Greece*, Energy and Buildings, 55: 85-93.
21. Liu, L. Zhang, Y. (2011), *urban heat island analysis using the landsat TM data and ASTER data*. Remote sens, 3: 1535-1552.
22. Mansouri, O. Belarbi, R. Bourbia, F. (2017), *Albedo effect of external surfaces on the energy loads and thermal comfort in buildings*, Energy procedia, 139: 571-577.
23. Moradi, H. R. Rajabi, M. Faragzadeh, M. (2011), *Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province, Iran*, CATENA, 84(1-2): 35-46.
24. Pisello, A.L. Santamouris, M. Cotana, F. (2013), *Active cool roof effect: impact of cool roofs on cooling system efficiency*. Adv. Build. Energy Res. 7 (2): 209-221.
25. Pisello, A. L. (2015), *High-albedo roof coatings for reducing building cooling needs*, Eco-Efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs, Design, Properties and Applications: 243-268.
26. Pomerantz, M. Pon, B. Akbari, H. Chang, S. C. (2000), *The effect of pavements' temperatures on air temperatures in large cities* U.S. Department of Energy, LBNL Report: 43442.
27. Pugh, G. Clarke, L. Marlay, R., Kyle, P. Wise, M. McJeon, H. Chan, G. (2011), *Energy R., D portfolio analysis based on climate change mitigation*, Energy Economics, 33 (4): 634-643.
28. Radhi, H. Essam, A. Sharples, S. (2014), *On the colours and properties of building surface materials to mitigate urban heat islands in highly productive solar regions*, Building and Environment, 72: 162-172.
29. Romeo, C. Zinzi, M. (2013), *Impact of a cool roof application on the energy and comfort performance in an existing non-residential building, A sicilian case study*, Energy Build; 67: 647-57.
30. Sadineni, S. B. Madala, S. Boehm, R. F. (2011), *Passive building energy savings: A review of building envelope components*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(8): 3617-3631.
31. Sailor, D. J. (2008), *A green roof model for building energy simulation programs*, Energy and Buildings, 40: 1466-1478.
32. Santamouris, M., Gaitani N., Spanou, A., Saliari, M., Giannopoulou, K., Vasilakopoulou, K. (2012), *Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas— design realization and results of the flisvos project*, Building and Environment, 53: 128-136.

33. Simpson, J.R. McPherson, E.G. (1997), *The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona*, Energy Build, 25: 127-137.
34. Susca, T. Gaffin, S.R. Dell'Osso, G.R. (2011), *Positive effects of vegetation: Urban heat island and greenroofs*, Environ Pollut; 159: 2119-2126.
35. Synnefa, A. Saliari, M. Santamouris, M. (2012), *Experimental and numerical assessment of the impact of increased roof reflectance on a school building in Athens*, Energy and Buildings, 55: 7-15.
36. Tabari, H. Talaei, P.H. (2011), *Analysis of trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran*, Global and Planetary Change, 79(1-2): 1-10.
37. Taleghani, M. (2018), *The impact of increasing urban surface albedo on outdoor summer thermal comfort within a university campus*, Urban Climate, 24: 175-184.
38. Touchaei, A. Akbari, H. Tessum, C. (2016), *Effect of increasing urban albedo on meteorology and air quality of Montreal (Canada) e Episodic simulation of heat wave in 2005*, Atmospheric Environment, 132: 188-206.
39. Yao, J. Zhu, N. (2011), *Enhanced supervision strategies for effective reduction of building energy consumption—A case study of Ningbo*, Energy and Buildings, 43(9): 2197-2202.
40. Yuan, J. Emura, K. Sakai, H. (2013), *Evaluation of the solar reflectance of highly reflective roofing sheets installed on roofs*, Journal of building physics, 37(2): 170-184.
41. Zhai, Z.J. Previtali, J. (2010), *Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation*, Energy and Buildings, 42(3): 357-365.
42. Zinzi, M. Agnoli, S. (2012), *Cool and green roofs: An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region*, Energy and Buildings, 55: 66-76.

