صفحات ۲۱ - ۳۲
نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی ● دوره ۲۰ ● شماره ۴ ● زمستان ۱۳۹۴

نقش مصالح پیاده راه بر خرداقلیم فضاهای باز - تحقیق میدانی در محوطه دانشگاهی

منصوره طاهباز[۱*]، شهربانو جلیلیان[۲]
[۱] دانشیار دانشکده معماری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، تهران، ایران.
[۲] کارشناس ارشد معماری، محقق آزاد، تهران، ایران.
(تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۷/۱۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۹۴/۱۰/۱۵)

چکیده

کف‌سازی معابر نقش مهمی در کنترل جزیره گرمایی در زیر لایه تاج شهر دارد. آگاهی از ویژگی‌های مختلف کفپوش که موجب کاهش اثر جزیره گرمایی می‌شود، یکی از راهکارهای مفید و کارآمد در کنترل شرایط گرمایی فضاهای باز است. این مقاله به منظور روشن شدن اهمیت نقش کفپوش‌ها در کنترل دمای محیط فضاهای باز، ضمن معرفی ویژگی‌های اصلی سطوح روکار، اثر مصالح مختلف به کاررفته در کفپوش معابر پردیس دانشگاه کاشان را بررسی می‌کند. به کمک دستگاه هواشناسی همراه، دستگاه دمای تر کروی (WBGT) و دوربین مادون قرمز، دمای محیط و دمای سطح در دو لایه اقلیم خرد و اقلیم محلی برداشت شده و با انتخاب نمونه‌هایی از روکارهای مختلف در مکان‌های با سایبان و بدون سایبان در دو فصل گرم و سرد سال، شرایط موجود مطالعه شده است. در خاتمه، اثر سایبان بر کاهش تابش معکوس شبانه و تعدیل شرایط گرمایی، اثر سطوح سبز به عنوان سطوح کاهنده گرما، اثر سطوح تیره اسفالت و سطوح خاکی واقع در مکان‌های وسیع بدون سایبان، همچنین اثر سطوح خیس و نشت‌پذیر بر دمای محیط و تعدیل شرایط گرمایی در دو فصل گرم و سرد کاشان معرفی شده است.

واژه‌های کلیدی
جزیره گرمایی، لایه چتر شهر، کفپوش، دمای آفتاب و هوا، کاهنده گرما، دمای تعادل.

*نویسنده مسئول: تلفن: ۲۲۴۳۱۶۳۱-۰۲۱، نمابر: ۲۲۴۳۱۶۳۰-۰۲۱، E-mail: m-tahbaz@sbu.ac.ir.

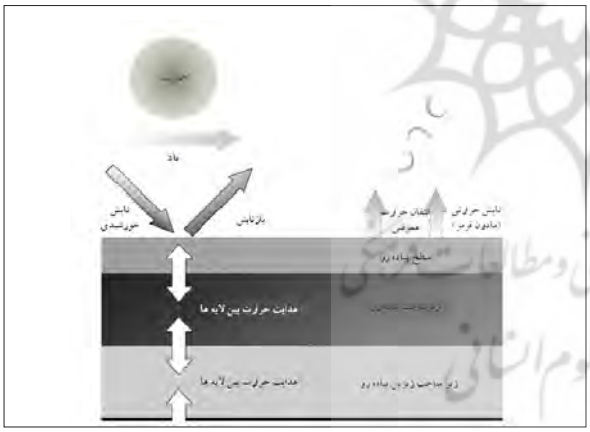
مقدمه

افزایش دمای سطوح زیر تابش آفتاب، چنانچه بسیار گرم‌تر از هوای محیط اطراف آن باشد، موجب گرم‌شدن هوای محیط و بروز پدیده جزیره گرمایی می‌شود. مصالح ساختمانی متداول که دارای خاصیت جذب تابش و ظرفیت گرمایی بالایی هستند، از مهم‌ترین عوامل بروز پدیده جزیره گرمایی در شهرها هستند که موجب افزایش دمای محلی تا چندین درجه نسبت به دمای مناطق حومه‌ای اطراف شهر می‌شود. انواع مختلفی از جزایر گرمایی بر اساس نحوه تشکیل، ویژگی‌ها و تبعات آن قابل تشخیص‌اند. مطالعات متعدد مربوط به جزایر گرمایی شهری، به دلایل افزایش دمای هوا در زیر لایه تاج شهری[1] یعنی فضای پایین‌تر از سطح بام بناها که محل زندگی شهروندان است، تمرکز دارد. این افزایش دما ناشی از افزایش دمای سطوح آفتاب‌گیر معابر و جداره‌های ساختمانی است (تصویر ۱).

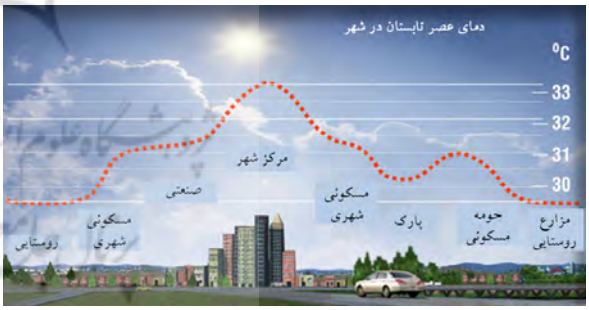
جنس سطح کفپوش معابر و جداره‌های ساختمانی پیرامون آن، با توجه به جذب اشعه آفتاب و ذخیره گرمایی بالا، نقش عمده‌ای در افزایش دمای آفتاب و هوا[2] در این لایه دارند. در تحقیقی که در سال ۲۰۰۳ در چهار شهر امریکایی انجام شد، ملاحظه شد که ۴۵-۲۹ درصد سطوح شهری را جاده‌ها، پارکینگ‌ها، پیاده‌روها و امثال آن تشکیل می‌دهند که نیمی از سهم تأثیر بر جزیره گرمایی را برعهده دارند (Rose et al., 2003).

افزایش آلودگی هوا یا ذرات غبار و رطوبت موجود در هوا، از عواملی است که بر میزان جذب اشعه خورشید و وضعیت جزایر گرمایی اثر می‌گذارد. وجود ذرات معلق در هوا، شفافیت جوی را کاهش داده و مقداری از اشعه خورشید را جذب می‌کند. درنتیجه، گرمای کمتری به سطح زمین می‌رسد و در طی روز دمای خورشید و هوا کاهش یافته و اثر جزیره گرمایی کم می‌شود. همین شرایط در طی شب، بازتابش اشعه مادون قرمز از زمین به سمت آسمان سرد شب را کاهش داده و موجب افزایش تأثیر جزیره گرمایی شبانه می‌شود. به عبارت دیگر با کاهش دمای روز و افزایش دمای شب، نوسانات شبانه‌روزی دما را کاهش می‌دهد. "این خاصیت که در اثر دی اکسید کربن و بخار آب موجود در هوا به وجود می‌آید، شبیه نقش شیشه گلخانه است، به همین جهت این پدیده را به نام " اثر گلخانه[3]" می‌شناسند. از آنجا که جذب موج بلند در جو به بخار آب موجود در آن بستگی دارد (مقدار دی اکسید کربن را ثابت فرض می‌کنیم)، دمای موثر آسمان و یا به عبارت ساده‌تر همان دمای آسمان را می‌توان به صورت تابعی از رطوبت مطلق (دمای شبنم) و دمای خشک هوای نزدیک زمین بیان کرد" (واتسون و لب، ۱۳۷۲، ۷۶ و ۷۷).

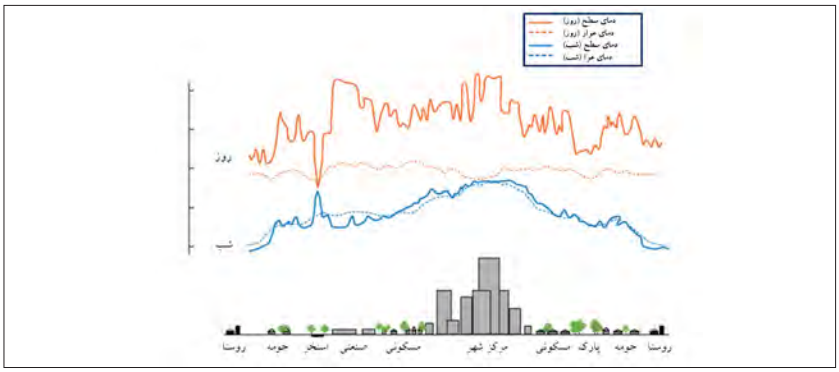
تصویر ۲، مقطع شماتیک تبادل حرارت بین سطح معابر و هوای

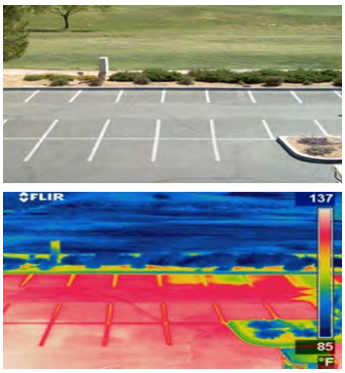


تصویر ۲- مقطع شماتیک تبادل حرارت بین سطح معابر و لایه‌های زیر آن.
ماخذ: (EPA Task 5, 2005, 12)



تصویر ۱- تغییرات شماتیک دمای هوا زیر لایه تاج شهری.
ماخذ: (LBNL - Heat Island Group)





تصویر ۳- چپ: مقطع شماتیک تبادل حرارت بین سطح معابر و هوای زیر لایه تاج شهری در روز و شب. ماخذ: (EPA, 2009)
راست: تصویر حقیقی و مادون قرمز بخشی از یک فضای پارکینگ. ماخذ: (HIG. 2013, Larry Scofield - APCA)

زیر لایه تاج شهری را نشان می‌دهد.

در مقایسه با مصالح ساختمانی، سطوح پوشیده از فضاهای سبز و آب به عنوان کاهندگان گرما[۴] عمل می‌کنند. فضاهای سبز با صرف انرژی گرمایی خورشید برای عمل فتوسنتز و سطوح آب با صرف آن برای ذخیره گرما در لایه‌های درونی اعماق آب، مانع افزایش دمای هوا در اثر بازتابش گرمای موج بلند به محیط می‌شوند. مصالح کفپوش معابر و جداره‌های ساختمانی، به دلیل جذب مقادیر زیادی از اشعه گرمایی خورشید و ذخیره آن، به طرز چشمگیری گرم‌تر از هوای زیر لایه تاج شهری شده و این گرمای اضافه را در طول روز و شب به محیط بازتابش[۵] می‌کنند. برعکس، در طول شب سطوح افقی گرم، گرمای خود را به آسمان سرد شب بازتابش کرده و موجب بروز پدیده جزیره سرمایی شهری[۶] در حوالی سحر می‌شوند (تصویر ۳).

به منظور روشن‌شدن تأثیر ساخت و ساز در یک مجموعه ساختمانی جدید بر شرایط گرمایی محیط، مقاله حاضر به بررسی پردیس دانشگاه کاشان در دو فصل گرم و سرد سال پرداخته است. هدف این مشاهدات با توجه به پرسش‌های زیر، ارائه دریافتی روشن و عینی از نقش مصالح روکار با توجه به ویژگی‌های جذب، انعکاس، ذخیره‌سازی و بازتابش گرمای دریافتی از خورشید و اثر آن بر شرایط گرمایی محیط پیرامون آن است.

۱. چگونه می‌توان با انتخاب مصالح مناسب، جزیره گرمایی زیر لایه تاج شهری را کاهش داد؟

۲. نحوه عمل مصالح ساختمانی در مقابل اشعه‌های تابشی خورشید و بازتابش سطوح چگونه است؟

۳. در یک محوطه ساخته شده جدید، عملکرد مصالح در خرد اقلیم فضای باز چه نقشی دارد؟

۱- معرفی روش کار و اهداف تحقیق

به منظور روشن شدن نقش تابش خورشید و خواص مصالح روکار در یک محوطه ساخته‌شده جدید، پردیس دانشگاه کاشان واقع در راوند کاشان به عنوان نمونه انتخاب شد. در دو زمان گرم و سرد سال یعنی روزهای ۲۱ و ۲۲ آذر ۱۳۹۱ (۱۲ و ۱۳ دسامبر ۲۰۱۲) و اول و دوم تیر ۱۳۹۲ (۲۲ و ۲۳ جون ۲۰۱۳)، یعنی دو روز از سردترین و گرم‌ترین ایام سال، با استفاده از دستگاه هواشناسی کسترل[۷] دما و رطوبت هوا، به کمک دستگاه دماسنج دمای تر کروی[۸]، شرایط دمای تابشی متوسط محیط و همچنین به کمک دوربین مادون قرمز[۹]، شرایط دمای سطح سطوح مختلف واقع در معابر پردیس دانشگاه مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور مقایسه شرایط خرد اقلیم داخل سایت دانشگاه با شرایط اقلیم محلی، یک دستگاه هواشناسی کسترل بر بام دانشکده معماری نصب شد و به مدت سه هفته در هر دوره برداشت، آمار هواشناسی را اندازه‌گیری کرد (تصویر ۴). بعد از کسب داده‌های میدانی، با استفاده از مبانی تئوری مربوط به شرایط انعکاس، جذب، انتقال و بازتابش مصالح به کار رفته در کف‌سازی معابر دانشگاه، وضعیت مصالح مختلف به کار رفته مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

۲- مبانی تئوری

سطح زمین و جداره‌های ساختمان در مقابل تابش‌های رسیده از خورشید، سه واکنش متفاوت انعکاس، جذب و عبور از خود نشان می‌دهند. در قوانین جابجایی انرژی، عدد یک به عنوان جمع این سه بخش در نظر گرفته می‌شود. چنانچه سطح مورد مطالعه شفاف نباشد، بخشی از انرژی توسط سطح مذکور منعکس و بخش دیگر جذب می شود. "نسبت این دو جزء به صورت ضریب جذب (a) و ضریب انعکاس (r) بیان شده و مجموع‌شان برابر یک است" (کنسبرگر، ۱۳۶۸، ۱۱۴).

$$a + r = 1 \qquad (۱)$$

بخش منعکس شده، از دسترس سطح مذکور خارج و فقط

Kesteral WS-4500 Kit
portable weather station
www.kesterlweather.com

WBGT: Wet Bulb Globe Temperature
www.wetgloble.com

(FLIR i7 – thermal image (120×120 dpi
www.flir.com

تصویر ۴- راست: دستگاه هواشناسی کسترل بر بام دانشگاه، وسط: دماسنج دمای تر کروی، چپ: دوربین مادون قرمز.

بخش جذب شده، می تواند موجب گرم شدن آن سطح شود. بنابراین هر قدر ضریب انعکاس کمتر باشد، احتمال افزایش گرما در سطح مورد نظر بیشتر می‌شود. جذب انرژی خورشید توسط سطوح خارجی در معرض تابش، موجب افزایش دمای آن به بیش از دمای محیط شده و گرمای خود را به صورت امواج موج بلند[۱۰] به محیط بازتابش می‌کند (تصویر ۵). این پدیده موجب افزایش دمای مجاور سطح و به تبع آن موجب افزایش دمای محیط اطرافش می‌شود. دمای محیط و آفتاب مجموعاً دمای آفتاب و هوا[۱۱] نامیده شده و توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود:

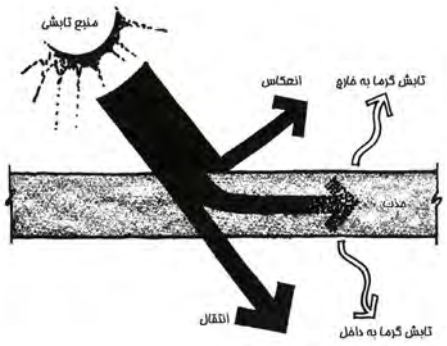
$$T_{SA} = T_A + \frac{I*\propto}{f_o} \qquad (۲)$$

در این رابطه، دمای آفتاب و هوا، مجموعه‌ای است از دمای هوا و میزان افزایش دمای سطح اجسام اطراف به دلیل تابش خورشید. این عوامل عبارتند از:

شدت تابش خورشید به سطح جسم بر حسب وات بر مترمربع، ضریب جذب اشعه خورشید توسط سطح جسم برحسب درصد، مقاومت لایه فیلم هوای مجاور سطح جسم برحسب وات بر مترمربع درجه سلسیوس (کنسبرگر، ۱۳۶۸، ۱۱۵).

مصالح زیر تابش آفتاب، با توجه به خواص خود از نظر انعکاس، جذب، ذخیره و بازتابش گرما به محیط می‌توانند موجب افزایش یا کاهش دمای محیط اطراف خود شوند. این خواص عبارتند از:

۱- آلبیدو[۲۱]: آلبیدو یا انعکاس آفتاب، نشان‌دهنده قابلیت یک سطح در انعکاس اشعه موج کوتاه[۳۱] (اشعه ماورای بنفش، اشعه مرئی و اشعه مادون قرمز نزدیک) خورشید است. هر چه ضریب آلبیدوی سطح بیشتر باشد، بخش بیشتری از اشعه گرمایی خورشید را از خود دور می‌کند. بنابراین کفپوش معابر با ضریب آلبیدوی بالا، موجب کاهش گرمای جذب شده توسط مصالح کف‌سازی شده و مانع افزایش دمای آفتاب و هوا میشوند. ضریب آلبیدو بستگی به رنگ روکار مصالح کف دارد به این معنی که رنگ‌های روشن، دارای آلبیدوی بیشتری هستند. مصالح متعارف برای کف‌سازی معابر هنگام نو بودن دارای آلبیدوی ۰,۴ تا ۰,۵ هستند. به مرور زمان و با کثیف شدن سطح و نفوذ غبار و جرم به درون آن، آلبیدو تغییر می‌کند. به عنوان مثال اگرچه



تصویر ۵- اثر تابش آفتاب بر مصالح ساختمانی نیمه شفاف.
ماخذ: (مور، ۱۳۸۲، ۲۵)

بتن روشن و آسفالت تیره دارای آلبیدوی متفاوتی هستند، ولی به مرور زمان و با انجام تعمیرات، مقدار آلبیدوی آنها به یکدیگر نزدیک می‌شود (Cambridge Systematics, Inc., 2005, 11-17). ضریب جذب خورشیدی[۱۴] برخلاف آلبیدو، اشعه خورشید را جذب می‌کند. سطوح با جذب حرارت بالا در برابر آفتاب داغ میشوند. در سطوح کدر، ضریب جذب برابر با یک منهای ضریب انعکاس یا آلبیدو است (Coolrooftoolkit, 2012, 12).

۲- نشت پذیری[۱۵]: مصالح با قابلیت نفوذ آب و یا تأمین حفره‌هایی در کف‌سازی معابر که امکان نفوذ آب را میسر می‌کند، می‌تواند موجب کاهش دما در اثر برودت تبخیری ناشی از تبخیر آب و در نتیجه کاهش جزایر گرمایی شود. چنین مصالحی برای کنترل رواناب سطحی نیز خوب عمل کرده و مانع بروز سیلاب‌های موضعی در اثر بارندگی‌های سیلابی می‌شوند. ترکیب آسفالت یا بتن با شیارها یا شبکه‌های باریکی از مواد نشت‌پذیر مثل چمن یا خاک، به ایجاد چنین خاصیتی کمک می‌کند.

۳- هدایت حرارتی[۱۶]: ضریب هدایت حرارتی، نشانگر میزان گرمای انتقال‌یافته به درون مصالح است. سطح مصالح با ضریب هدایت حرارتی کم و ضریب جذب زیاد، به سرعت گرم شده ولی در مقایسه با مصالح با ضریب هدایت حرارت زیاد، گرمای کمتری را در خود ذخیره می‌کند. هر چه گرمای ذخیره شده در مصالح بیشتر باشد، نوسانات دمایی محیط در طول شبانه‌روز کمترشده و خصوصاً در مناطق خشک که اختلاف دمای شب و روز و آفتاب و سایه زیاد است، موجب ثبات نسبی دمایی هوا می‌شود.

۴- ضخامت[۱۷]: ضخامت مصالح در تعیین میزان گرمای ذخیره شده مؤثر است. مصالح با ضخامت کمتر در طول روز به سرعت گرم می‌شوند ولی در مقابل شب نیز به سرعت سرد خواهند شد. میزان گرمای انتقال‌یافته از سطح جداره‌های نما به فضاهای داخلی یا از کفپوش معابر به لایه‌های زیرین معبر، بستگی به ضخامت مصالح و میزان ضریب هدایت حرارت آن دارد. مقاومت حرارتی[۱۸] مصالح مانع هدایت حرارت از درون ماده به لایه‌های پشت آن می‌شود.

۵- انتشار[۱۹]: ضریب انتشار نشانگر قابلیت بازتابش و دور کردن گرما از سطح جسم است. "دامنه تغییر مقادیر این ضریب، بین صفر (زمانی که هیچ انتشاری ممکن نیست) تا ۱ (بیشینه مطلوب یعنی جسم سیاه) می‌باشد. در هر دمای معین (یعنی در هر منطقه طیف تابشی)، ضریب انتشار یک سطح دقیقاً برابر با ضریب جذب انرژی در آن سطح می‌باشد (قانون کیرشهف) (مور، ۱۳۸۲، ۲۵ و ۲۶)". "میزان انتشار یا قدرت انتشار تشعشعی یک جسم به فضای پیرامونش، بر طبق قانون استفان - بولتس مان به دمای مطلق آن جسم بستگی دارد:

$$q = \varepsilon\, \sigma\, (T_h^4 - T_c^4)\, A_c \qquad (۳)$$

که در آن q: قدرت انتشار به فضا (W)، ε: میزان انتشار سطح به فضا (بدون مقیاس)، T_h: دمای جسم تابش‌کننده (K)، T_c: دمای محیط خنک پیرامون (K)، A_c: سطح جسم تابش‌کننده (m^2)، σ: ثابت استفان –بولتس مان برابر (W/m^2K^4) $5.6703\ 10^{-8}$ است. برای یک جسم و سطح ایده‌آل (با بدنه سیاه) انتشار به فضا (ε) برابر

عـدد یک اسـت. چنین جسـمی در زمین وجـود نـدارد، بنابراین (ε) همیشه کوچک‌تر از یک و بزرگ‌تر از صفر است" (واتسون و لب، ۱۳۷۲، ۷۶ و engineeringtoolbox.com).

مصالحـی بـا ضریب انتشـار بالاتـر قادرنـد گرمای بیشـتری را از سـطح خـود بازتابـش کننـد (Coolrooftoolkit, 2012, 12). ایـن خاصیـت در روز و شـب اثـر متفاوتی بـر جزیره گرمایـی دارد. روزها در اثـر تابـش آفتاب، کفپوش معابر گرم شـده و با بـالا رفتن دمای سـطح، مطابـق رابطـه (۲) گرمـای اضافـی را بـه محیـط بازتابـش می‌کنند. شـب‌ها به دلیل خاصیت انتشار سطح کفپوش، گرمای سطح به سوی آسمان سرد شب تابش‌کرده و موجب خنک‌شدن هوای اطراف و سرد شدن جزیره گرمایی زیر لایه تاج شهر می‌شود. "مقدار خنک شـدن از طریق تابش معکوس شبانه به زاویه دیدن آسـمان[۲۰] (هندسـه فضـای شـهری) از یـک طـرف و شـفافیت لایه جـو[۲۱] (میـزان ذرات معلـق در هـوا) از طـرف دیگـر بسـتگی دارد" (Cambridge Systematics, Inc., 2005, 11-17).

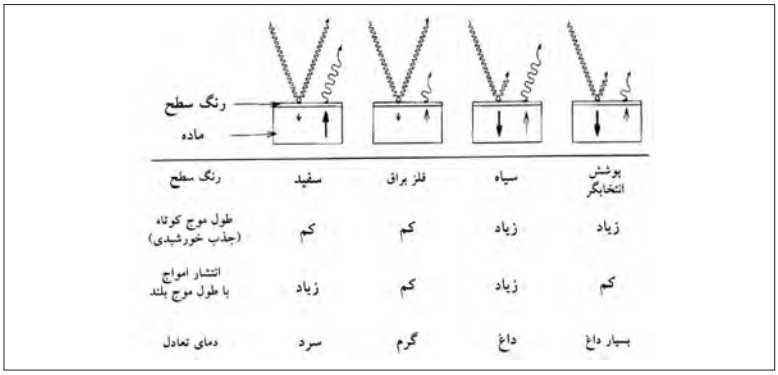
۶- جریان همرفتی[۲۲]: هوای مجاور سـطح در اثر حرکت جریان هوا جا به جا شده و انتقال حرارت همرفتی را موجب می‌شود. در همرفـت، انتقال حرارت به دو عامل اختلاف دمای هوای رابط در دو قسـمت گرم‌تر و سـردتر یا به عبارت دیگر اختلاف دمای سـطح و هـوای مجـاور آن از یـک سـو و سـرعت حرکـت هوا از سـوی دیگر بسـتگی دارد. در شـرایطی که جریان هوا راکد باشـد، سـطوح گرم لایـه هـوای مجاور خـود را گـرم می‌کنند. ضخامت ایـن لایه هوای گرم و راکد، مانع تبادل حرارت بیشتر سطح با محیط اطراف شده و در نتیجه رویه سـطح گرم‌تر می‌شـود. با شروع وزش باد و حرکت لایه هوا، هوای گرم مجاور سـطح با هوای خنک‌تر اطراف مخلوط شده و موجب گرم شدن آن می‌شود.

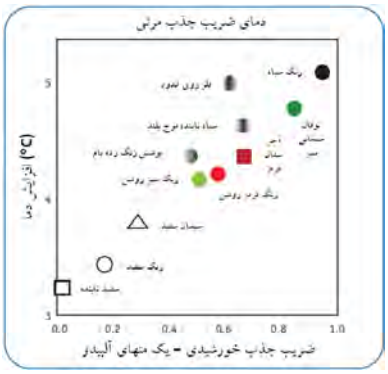
نرمی یا زبری و تخلخل سطح آفتاب‌گیر، در سرعت خنک‌شدن آن در اثر جریان همرفتی دخیل اسـت. مصالح متخلخل در مقابل آب و رطوبـت نشـت‌پذیر بـوده و از خاصیـت بـرودت تبخیـری نیـز بهره‌مند خواهند بود (Cambridge Systematics, Inc., 2005,11-17). ولـی در شـرایط بـروز پدیـده ذوب و انجمـاد که معمـولاً در اثر اختلاف دمای شبانه‌روزی و تابش آفتاب گرم روزهای زمستان رخ می‌دهـد[۲۳] مصالح نشـت‌پذیر[۲۴]، در اثـر ذوب و انجمادهای متوالی دچار فرسودگی و تخریب می‌شوند.

۳- دمای تعادل در روکارهای مختلف

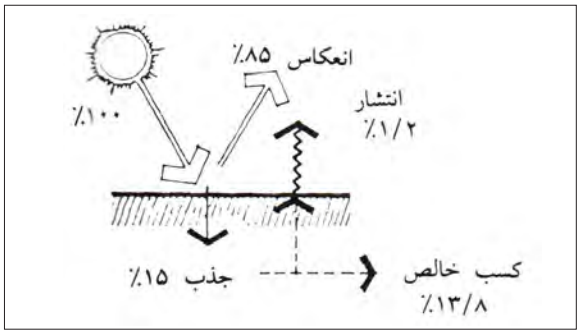
مواد سـاختمانی از لحاظ جذب انرژی تابشـی و شـیوه انتشـار آن، متفـاوت می‌باشـند. وقتـی جسـمی در برابـر تابـش آفتـاب قـرار می‌گیـرد، متناسـب با ضریب جـذب آن گرم شـده و زمانی که دمای سـطح آن از دمای محیط بیشـتر شد، شروع به انتشار گرما بـه محیـط می‌کنـد. این عمل تـا زمانی که دمای محیط و سـطح جسـم یکی شـود، ادامـه می‌یابد. دمـای حاصله، دمـای تعادل[۲۵] نامیده می‌شـود. تفاوت بین ضریب جذب و انتشار معلوم می‌کند که روکار یک سـطح اعم از جداره‌های سـاختمانی یا کفپوش معابر تا چه حد گرم خواهد شد. دو ویژگی رنگ سطح (تاریک یا روشن) و میـزان تخلخـل (خلل و فرج یـا صیقلی بـودن) آن، تعییـن‌کننده ضریـب جـذب و انتشـار و در نتیجـه دمـای تعـادل بیـن جسـم و محیـط اطـراف آن اسـت. از نظـر دمای تعـادل، سـطوح غیرفلزی تفاوت چشمگیری با سطوح فلزی و صیقلی دارند (تصویر ۶).

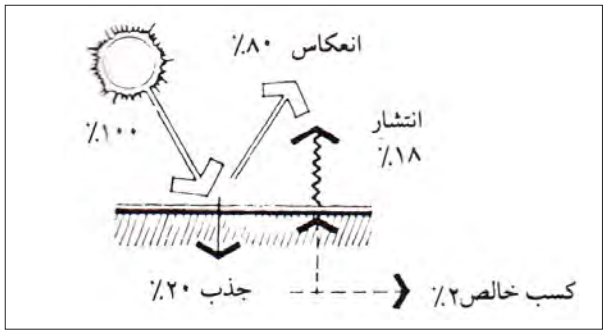
رنگ سـیاه، دمای تعادل بسـیار بالاتری نسبت به رنگ سفید دارد چـرا کـه ضریـب جذب آن بسـیار بیشـتر اسـت. با ایـن حال، رنـگ سـیاه به دلیل قدرت انتشـار بسـیار بـالای خـود و از آنجا که ایـن رنـگ، بخش بزرگی از انرژی جذب شـده را بازتابـش می‌کند، دمـای تعـادل آن کاهش می‌یابد. رنگ سـفید بهتریـن رنگ برای به حداقل رسـاندن جذب گرما در تابسـتان اسـت چرا که نه تنها یـک جذب‌کننده ضعیـف، بلکه یک انتشـاردهنده خوب برای هر نوع انرژی جذب شـده می‌باشـد. بنابراین، رنگ سفید تمایلی به جمـع‌آوری گرما ندارد و در نتیجه، یک دمای تعادل بسـیار پایین ایجاد می‌شود. این دمای سطح پایین، جذب گرما در داخل ماده را به حداقل می‌رساند. سطوح صیقلی فلزی نظیر آلومینیوم براق را تنهـا می‌توان به عنوان عایق تابشـی مورد اسـتفاده قرار داد چرا که امواج تابشـی را نه جذب کرده و نه به آسـانی انتشـار می‌دهند. دمای تعادل یک سـطح فلزی صیقلی بسـیار بیشتر از رنگ سفید اسـت زیـرا فلـز تمایلی نـدارد که هر آنچـه را که جذب کرده اسـت، منتشـر کنـد. هر چنـد هم رنگ سـفید و هم فلزات صیقلـی تقریباً به یک اندازه نور خورشـید را منعکس می‌سـازند، با این حال رنگ سفید انتشاردهنده بسیار بهتری برای امواج تابشی گرما می‌باشد و بنابراین در زیر نور خورشـید، خنک‌تر از یک سطح فلزی صیقلی





تصویر ۶- دمای تعادل در سطوح مختلف آفتاب‌گیر.
ماخذ: (لکنر، ۱۳۸۵، ۶۰ و Kaarsberg & Akbari, 2006, 40)





تصویر۷- کسب خالص گرما در سطح آلومینیوم صیقلی (راست) و با رنگ سفید (چپ). ماخذ: (واتسون و لب، ۱۳۷۲، ۱۸۲)

می‌باشد (لکنر، ۱۳۸۵، ۶۰). سطوح غیرفلزی و بسیاری از مصالح ساختمانی برخلاف سطوح فلزی، انتشاردهنده‌های خوبی هستند. سطوح تیره، جذب‌کننده‌های خورشیدی خوبی بوده و گرما در آنها به سرعت افزایش پیدا می‌کند. سطوح دارای رنگ روشن، گرمای خورشید را منعکس می‌کنند و خنک می‌مانند. مواد رنگ شده، گرما را جذب‌کرده و در درون خود نگه می‌دارند (مور، ۱۳۸۲، ۲۷ و ۲۸). سطوح صیقلی فلزی، جذب‌کننده‌های ضعیفی برای امواج مادون قرمز دور[۲۶] ولی انعکاس‌دهنده‌های خوبی هستند. به عبارت دیگر، این سطوح امواج مادون قرمز را منعکس می‌کنند و گرم کردن آنها از طریق احاطه با سطوح گرم‌تر، کاری دشوار است. سطوح صیقلی فلزی در مقابل تابش مستقیم آفتاب (طول موج مادون قرمز نزدیک[۲۷]) به خوبی گرم می‌شوند و نسبت به از دست دادن گرما از طریق تابش بی‌میل هستند (مور، ۱۳۸۲، ۲۶). تصویر ۶۴، تفاوت روکارهای مختلف از نظر انعکاس، جذب و انتشار گرمای تابشی را نشان می‌دهد.

ضریب کسب خالص (مقیاس گرم شدگی) و شاخص انعکاس خورشیدی (مقیاس خنکی)

برای مصالح مختلف، میزان جذب و انتشار حرارت متفاوت میباشد. به کمک رابطه‌های ۴ و ۵ می‌توان میزان درصد انرژی بازتابش شده و ضریب کسب خالص[۲۸] (مقیاس گرم شدگی) را محاسبه نمود (واتسون و لب، ۱۳۷۲، ۱۸۲). ضریب کسب خالص، مقیاس گرم‌شدن سطح را تعیین می‌کند و شاخص انعکاس خورشیدی[۲۹]، مقیاس خنک‌شدگی است که دمای یک بام در یک عصر آفتابی تابستان را نسبت به یک سطح مشکی تمیز (SRI=0) و یک بام سفید (SRI=100) تعیین می‌کند (Coolrooftoolkit, 2012, 12). به عبارت دیگر شاخص انعکاس خورشیدی برابر است با یک منهای ضریب کسب خالص ضربدر ۱۰۰ (رابطه ۶).

(۴) ضریب بازتابش= ضریب انتشار × ضریب جذب

(۵) ضریب کسب خالص = ضریب بازتابش – ضریب جذب

(۶) شاخص انعکاس خورشیدی = ۱۰۰ × (ضریب کسب خالص – ۱)

مثال۱: در سطح آلومینیوم صیقلی براق با ضریب انعکاس = ۸۵٪ و ضریب انتشار=۸٪ میزان کسب خالص چقدر است؟ (تصویر۷ - راست)

۱۵٪ = ۸۵٪ - ۱ = ضریب انعکاس - ۱ = ضریب جذب

۱,۲٪ = ۸٪ × ۱۵٪ = ضریب انتشار × ضریب جذب = ضریب بازتابش

= ضریب کسب خالص

۱۳,۸٪ = ۱,۲٪ - ۱۵٪ = ضریب بازتابش – ضریب جذب

= شاخص انعکاس خورشیدی

۸۶,۲ = ۱۳,۸ - ۱۰۰ = ۱۰۰ × (ضریب کسب خالص- ۱)

در سطح آلومینیوم با روکار رنگ سفید، ضریب انعکاس = ۸۰٪ و ضریب انتشار = ۹۱٪ ضریب کسب خالص ۲٪ است (تصویر ۷ - چپ). به این ترتیب ملاحظه می‌شود که صرفاً با رنگ کردن یک سطح آلومینیومی صیقلی با رنگ سفید، می‌توان ضریب کسب خالص گرما در آن را از ۱۳,۸٪ به ۲٪ کاهش داد. به این ترتیب یک سطح خنک به دست می‌آید که شاخص انعکاس خورشیدی آن ۹۸ می‌باشد (تصویر ۷ – راست).

در سطح آجری روشن با ضریب انعکاس = ۴۸٪ و ضریب انتشار = ۹۵٪، میزان کسب خالص ۲/۶٪ و شاخص انعکاس خورشیدی آن ۹۷/۴٪ است. در سطح آجری تیره رنگ با ضریب انعکاس = ۲۳٪ و ضریب انتشار = ۹۵٪، میزان کسب خالص ۴٪ و ضریب انعکاس خورشیدی ۹۶٪ است. ملاحظه می‌شود که در یک سطح آجری با رنگ روشن، میزان کسب خالص تقریباً دو سوم همان سطح با رنگ تیره است. جدول ۱ براساس رابطه‌های بالا برای مصالح ساختمانی رایج تهیه شده است. تصویر ۸، ضریب آلبیدو و دمای سطح در برخی پوشش‌های رایج معابر را نشان می‌دهد.

۴- بررسی مصالح کفپوش محوطه پردیس دانشگاه کاشان

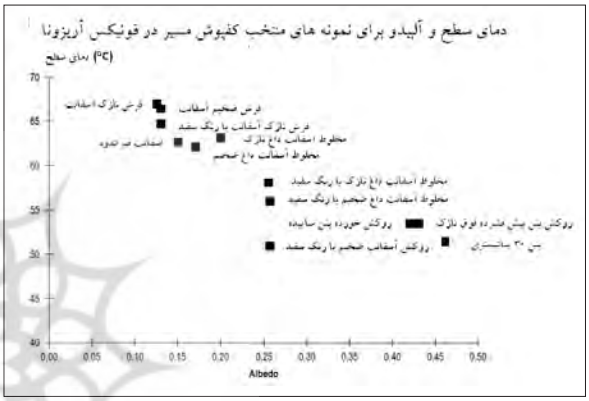
جهت مطالعه شرایط واقعی کاربرد مصالح کفپوش معابر فضاهای باز در پردیس دانشگاه کاشان واقع در راوند، دمای سطوح مختلف مصالح در صبح و عصر زمستان و تابستان و در روزهای آفتابی اندازه‌گیری شد. در این رابطه، دمای خشک هوا، دمای کروی و دمای تر کروی به عنوان شرایط گرمایی اقلیم خرد و دمای خشک بام به عنوان شرایط گرمایی اقلیم محلی اندازه‌گیری شد. تصویر ۹، شرایط دمای خشک اقلیم محلی دانشگاه در روزهای برداشت را نشان می‌دهد.

مصالح مورد نظر شامل سطح آسفالت تیره کف خیابان‌های دانشگاه، بلوک‌های سیمانی روشن به کار رفته در کفپوش پیاده‌راه‌ها، سنگ تیشه‌ای رنگی سنگ‌فرش پیاده‌راه‌ها، سطوح

جدول ۱- ویژگی‌های مصالح آفتاب‌گیر از نظر ضریب کسب خالص (گرم‌شدگی) و شاخص انعکاس خورشیدی (خنکی).

ویژگی مصالح ساختمانی روکار در آفتاب	ضریب انعکاس خورشیدی	ضریب جذب	ضریب انعکاس حرارتی	ضریب انتشار حرارتی	ضریب بازتابش	ضریب کسب خالص	شاخص انعکاس خورشیدی ۱۰۰-۱
ورق آلومینیوم براق	٪۸۵	٪۱۵		٪۸	٪۱/۲	٪۱۳/۸	۸۶/۲
آلومینیوم با رنگ سفید	٪۸۰	٪۲۰		٪۹۱	٪۱۸	٪۲	۹۸
آلومینیوم رنگ شده	٪۵۰-٪۴۵	٪۵۵-٪۵۰	٪۴۵	٪۷۲-٪۳۳	٪۳۹/۶-٪۱۶/۵	٪۳۸/۵-٪۱۰/۴	۶۱/۵-۸۹/۶
سنگ مرمر براق	٪۵۰-٪۴۰	٪۶۰-٪۵۰		٪۹۰	٪۵۴-٪۴۵	٪۶-٪۵	۹۴-۹۵
بتن	٪۴۰	٪۶۰		٪۸۸	٪۵۲/۸	٪۷/۲	۹۲/۸
آجر روشن- تیره	٪۴۸-٪۲۳	٪۷۷-٪۵۲	٪۵	٪۹۵	٪۴۹/۴ تا ٪۷۳	٪۲/۶ تا ٪۴	۹۶-۹۷/۴
ورق آزبست	٪۱۹	٪۸۱		٪۹۶	٪۷۷/۷۶	٪۳/۲	۹۶/۸
چوب کاج	٪۴۰	٪۶۰	٪۵	٪۹۵	٪۵۷	٪۳	۹۷
سنگ خارا	٪۴۵	٪۵۵		٪۴۴	٪۲۴/۲	٪۳۰/۸	۶۲/۲
آهن گالوانیزه قدیمی	٪۱۰ تا ٪۲۰	٪۹۰ تا ٪۸۰	٪۷۲	٪۲۸	٪۲۵/۲ تا ٪۲۲/۴	٪۶۴/۸ تا ٪۵۷/۶	۳۵/۲ - ۴۲/۴

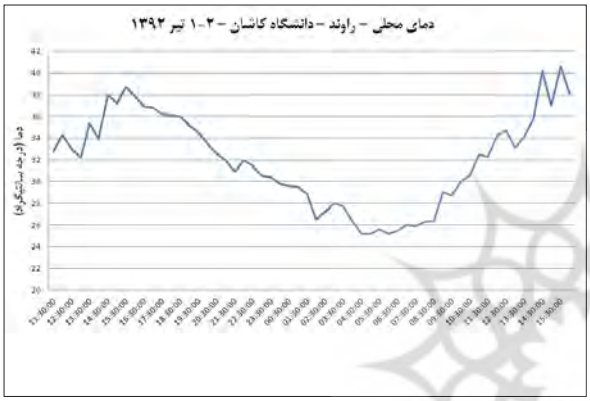
ماخذ: (اقتباس از واتسون و لب، ۱۳۷۲، ۱۸۲ و Coolrooftoolkit, 2012, 12)



تصویر ۸ - ضریب آلبیدو و دمای سطح در برخی از کفپوش‌های معبر.
ماخذ: (EPA Task 5, 2005,14)

خاکی، سطوح سبز و چمن باغچه‌ها، دمای سطح نیمکت‌های فلزی بوده است. به منظور تعیین تأثیر سایبان در میزان بازتابش و دمای سطح، سطوح واقع زیر سایبان‌ها نیز همزمان اندازه‌گیری شد. جداول ۲ و ۳ و تصاویر ۱۰ تا ۱۱، زمان اندازه‌گیری و دمای سطح مصالح روکار و کفپوش‌ها را نشان می‌دهد.

در جدول ۲ و تصویر ۱۰ مشاهده می‌شود که وجود سایبان چه در تابستان و چه در زمستان، موجب تعدیل دمای سطح و شرایط محیطی ناشی از آن شده و به بهبود شرایط گرمایی کمک کرده است. سطوح سیمانی یا آسفالت که در معرض آسمان شب قرار می‌گیرند، به سرعت گرمای جذب شده را به آسمان بازتابش کرده و خنک می‌شوند. این وضعیت موجب افزایش نوسانات دمایی روزانه در زمستان و تابستان می شود. از میان مصالح مختلف کفپوش، آسفالت واقع در زیر سایبان فلزی سفیدرنگ در تابستان وضعیت مناسبی نداشته و نسبت به سایر مصالح، افزایش دمای بیشتری داشته است. سایبان سیمانی (آزبست) به دلیل قابلیت ذخیره حرارتی و بازتابش زیاد، نسبت به سایبان فلزی وضعیت بهتری دارد و در زمستان و تابستان شرایط متعادل‌تری را به وجود آورده است. وسعت سطح سایبان نیز مهم است. در نمونه سوم، علیرغم این که سایبان سفالی از نظر ضریب جذب و بازتابش شرایط خوبی دارد ولی به دلیل کوچک بودن سطح سایبان، شرایط گرمایی مناسبی را ایجاد

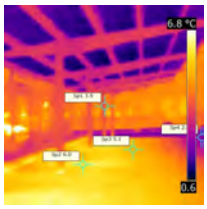
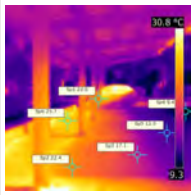
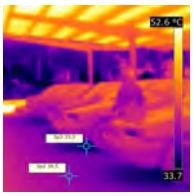
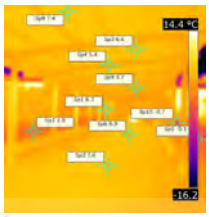
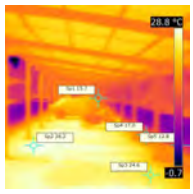
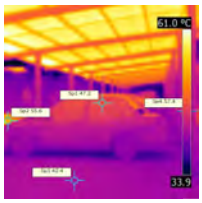
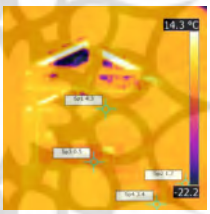
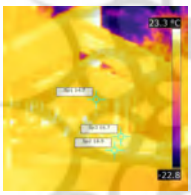
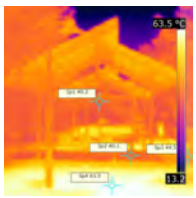
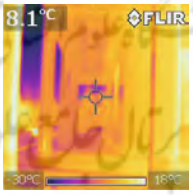
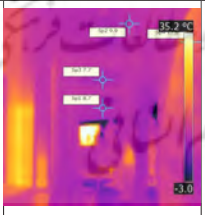
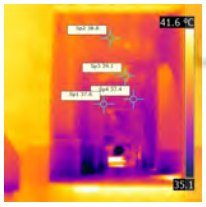
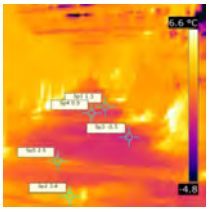
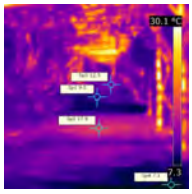
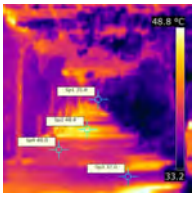


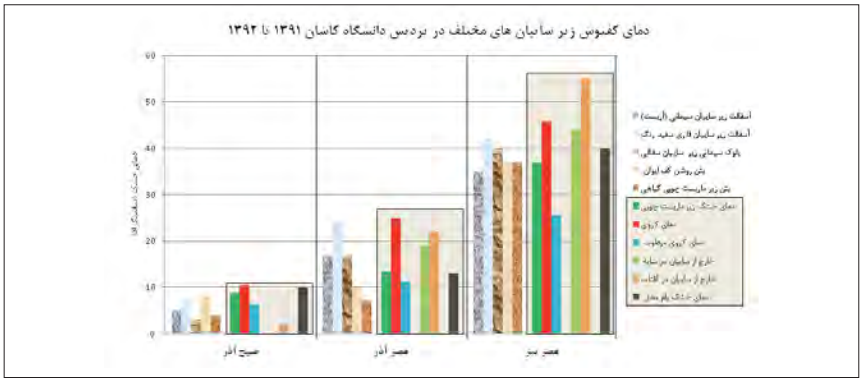
تصویر ۹- تغییرات دمای محلی (بام دانشکده معماری) در روزهای برداشت در زمستان و تابستان.

نکرده است. ارتفاع سطح سایبان، عامل مهم دیگری است. در شرایطی که سایبان کوتاه است، گرمای ناشی از بازتابش در زیر آن حبس‌شده و خصوصاً در تابستان، مانع چرخش جریان هوا و خنک شدن محیط زیر آن می‌شود. از میان نمونه‌های برداشت‌شده، سایبان چوبی پرچین و ایوان رواق مانند جلوی ساختمان، شرایط بهتری را ایجاد کرده و در زمستان و تابستان موجب تعدیل شرایط گرمایی شده است.

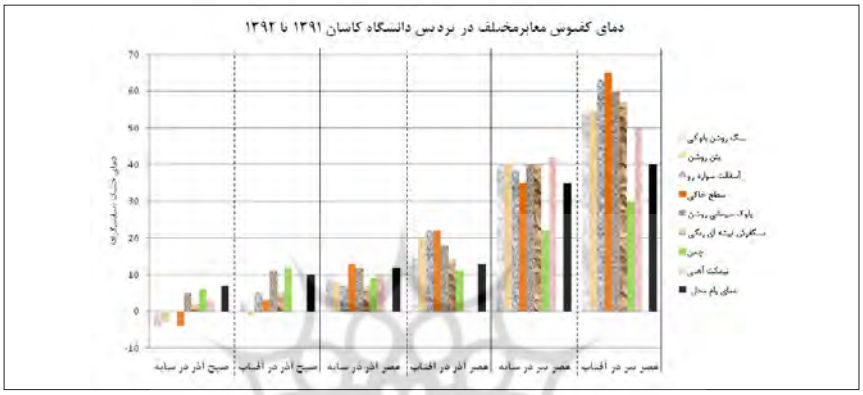
در جدول ۳ و تصویر ۱۱ مشاهده می‌شود که در معابر بدون سایبان، وضعیت کفپوش معبر، نقش تعیین‌کننده‌ای در شرایط گرمایی محیط دارد. از میان مصالح مختلف به کار رفته در کفپوش معبر، سطح وسیع آسفالت، نامناسب‌ترین وضعیت را در تابستان و زمستان ایجاد کرده به طوری که نوسانات دمایی را تشدید کرده و خرد اقلیم نامناسبی را در مقایسه با اقلیم محلی (آمار بام) ایجاد

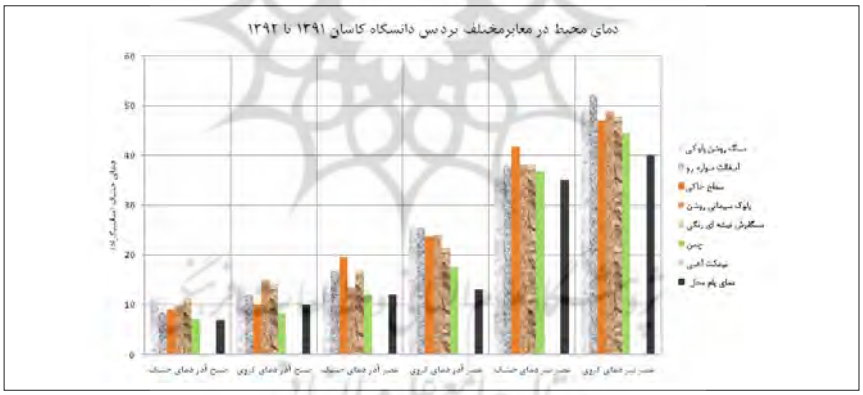
جدول ۲- دمای سطح و شرایط اقلیمی سطوح زیر سایبان در سایت دانشگاه کاشان در دو روز نمونه از زمستان و تابستان.

زمان برداشت	صبح آذر ساعت ۹-۸	عصر آذر ساعت ۱۴-۱۳	عصر تیر ساعت ۱۶-۱۵
دمای بام (اقلیم محلی)	۷ تا ۱۰ درجه	۱۲تا ۱۳ درجه	۳۵ تا ۴۰
			
دمای سطح اسفالت زیر سایبان سیمانی (آزبست) کم ارتفاع	در سایه ۵ تا ٦ خارج از سایبان ۲ درجه	در سایه ۲۲-۱۷ خارج از سایبان در آفتاب ۲۷-۲۲	در سایه ۳۵ خارج از سایبان در آفتاب ۵۵ درجه
دمای سطح زیر سایبان آزبست سیمانی زآ	در سمت آفتاب‌گیر ۸-۷ در سایه ۳ درجه	۱۷ درجه	۵۲ تا ۵۷ درجه
			
دمای سطح آسفالت زیر سایبان فلزی سفید	در آفتاب ۷ - خارج از سایبان صفر درجه	در آفتاب زیر سایبان ۲۸-۲۴	در سایه ۴۲ درجه
دمای سطح زیرین سایبان فلزی سفید	۵/۵ تا ۷/۵ درجه	۲۴ درجه	۶۲ درجه
			
دمای سطح بلوک سیمانی زیر سایبان سفالی	زیر سایبان ٤-۳ خارج از آن ۲ درجه	زیر سایبان ۱۷ خارج از آن ۱۹	زیر سایبان ۴۰ خارج آن در سایه ۴۴ در آفتاب ۶۳
دمای سطح زیر سایبان سفالی	در سمت آفتابگیر ۵ تا ۹ درجه در سمت سایه دار ۲/۵ درجه	در سمت رو به آفتاب ۲۱ تا ۲۵ درجه - در سمت سایه دار ۱۵	در قسمت سایه ۵۰ درجه - در قسمت آفتاب ۶۰ درجه
			
دمای سطح کف بتنی روشن ایوان	کف ایوان ۸ درجه	کف ایوان ۱۰-۸	کف ایوان ۳۹-۳۷
دمای زیر سقف ایوان	۸ درجه	۸ تا ۱۰ درجه	۳۷ تا ۳۹ درجه
			
دمای سطح بتن زیر سایبان داربست چوبی گیاهی	کف در سایه آفتاب حدود ۰/۵ تا ٤ درجه	کف از ۷ تا ۱۸درجه متغیر	کف حدود ۳۷ درجه
دمای سطح زیر داربست چوبی	کمتر از ۳ درجه	از ۸ تا ۳۰ درجه	۳۰ تا ۴۰ درجه
دمای محیط زیر سایبان داربست چوبی	دمای خشک: ۸/۹ - دمای کروی: ۱۰/٤ دمای تر کروی: ٦/۲ درجه	دمای خشک: ۱۳/۴ دمای کروی: ۲۴/۹ دمای تر کروی: ۱۱/۲	دمای خشک: ۳۶/۹ دمای کروی: ۴۵/۸ دمای تر کروی: ۲۵/۶ درجه



تصویر ۱۰- وضعیت دمای سطح کف‌سازی‌های مختلف فضاهای زیر سایبان در مقایسه با شرایط اقلیم محلی و خرد.

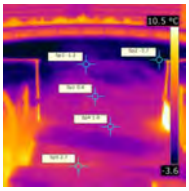
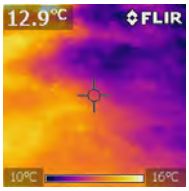
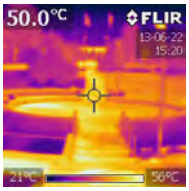
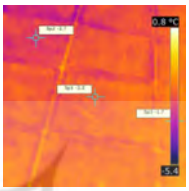
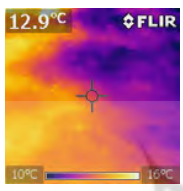
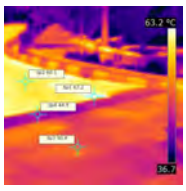
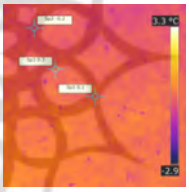
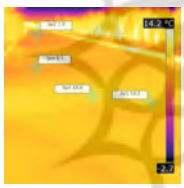
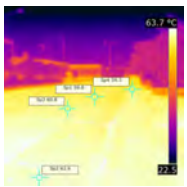
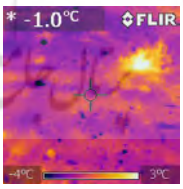
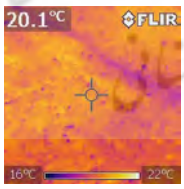
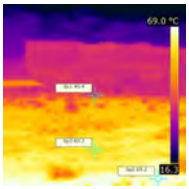
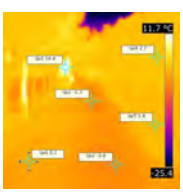
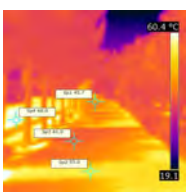


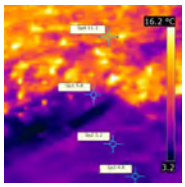
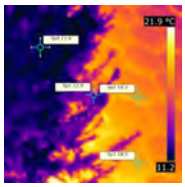
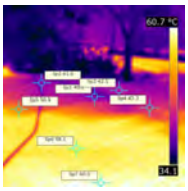
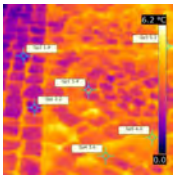
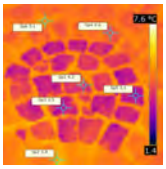
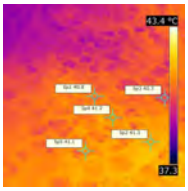
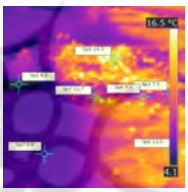
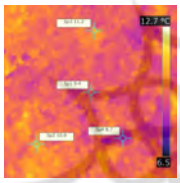
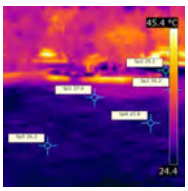
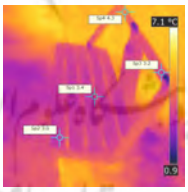
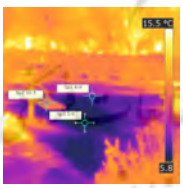
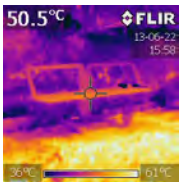
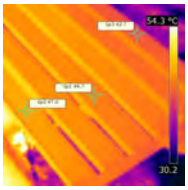


تصویر ۱۱- دمای سطح کفپوش معابر مختلف و دمای محیطی (خشک و کروی) در پردیس دانشگاه کاشان.

کرده است. سطوح خاکی اگرچه در آفتاب دمای بالایی دارند، ولی در سایه خنک تر از سطوح بتنی یا سیمانی هستند و به دلیل سطح ناصاف و خلل و فرج موجود در سطح خود قادرند نوسانات دمایی را کاهش داده و شرایط گرمایی را تعدیل کنند. سطوح روشن اعم از بلوک سیمانی، بتنی و سنگی، با افزایش دمای محیط در روز زمستان و کاهش آن در تابستان، شرایط نسبتاً مناسبی را ایجاد کرده‌اند. این سطوح که دارای ضریب بازتابش بالایی هستند، در شب‌های تابستان به خوبی خنک شده و گرمای روز را به آسمان سرد شب تخلیه می‌کنند. ولی به همان نسبت در شب‌های زمستان نیز موجب کاهش دمای محیط می‌شوند. سنگ‌فرش تیشه‌ای رنگی نیز شرایط نسبتاً مناسبی دارد. خصوصاً که وجود سطح ناصاف و خلل و فرج موجود بین قطعات آن، امکان جذب آب و برودت تبخیری را فراهم کرده است. وجود رطوبت روی این سطوح، موجب کاهش دمای سطح و تعدیل شرایط محیطی می‌شود. سطوح سبز و چمن که کاهنده گرما هستند، تابش خورشیدی را جذب‌کرده و مانع بالا رفتن دمای کروی می‌شوند. برودت تبخیری ناشی از این سطوح، عامل دیگری برای تعدیل شرایط گرمایی در زمستان و تابستان شده است. نیمکت‌های فلزی موجود در سطح محوطه دانشگاه، عملکرد خوبی از نظر حرارتی نداشته و دمای سطح آن که به صورت هدایت در تماس با بدن انسان قرار می‌گیرد، در زمستان بسیار کم (۳ تا ۱۰ درجه) و در تابستان بسیار زیاد است (۴۲ تا ۵۰ درجه). پوشش سطح این نیمکت‌ها با مصالحی با ضریب جذب و بازتابش کمتر مثل چوب مناسب است چنانچه دمای سطح نیمکت چوبی در عصر تیر ماه در آفتاب ۴۳ درجه بوده ولی به دلیل ضریب هدایت حرارتی کم، گرما را بازتابش کرده و جذب نمی‌کند.

جدول ۳- دمای سطح و شرایط اقلیمی سطوح کف در سایت دانشگاه کاشان در دو روز نمونه از زمستان و تابستان.

زمان برداشت	صبح آذر ساعت ۹-۸	عصر آذر ساعت ۱۶-۱۳	عصر تیر ساعت ۱۵-۱۳
دمای بام (اقلیم محلی)	۷ تا ۱۰ درجه	۱۲تا ۱۳ درجه	۳۵ تا ۴۰
			
دمای سطح سنگ روشن بلوکی	در سایه ۴- درجه و در آفتاب ۳ درجه	در آفتاب ۱۳ تا ۱۶ درجه و دمای قسمت تر ۱۰ درجه	در سایه حدود ۴۰ درجه و در آفتاب ۵۰ تا ۵۵ درجه
شرایط محیطی	دمای خشک: ۱۱/۷ دمای کروی: ۱۴/۲ دمای تر کروی: ۸/۳	دمای خشک: ۱۳/۶ دمای کروی: ۲۵/۸ دمای تر کروی: ۱۱/۳	دمای خشک: ۳۵/۸ دمای کروی: ۴۹/۵ دمای تر کروی: ۲۵/۹
			
دمای سطح سنگ روشن با سطح ناصاف ورودی دانشکده علوم	در زیر سایبان ۷ درجه و خارج از سایبان در سایه ۲- تا ۳- درجه	در آفتاب ۱۳ تا ۱۶ درجه و در قسمت تر ۱۰ درجه	در آفتاب ۵۰ درجه
			
دمای سطح آسفالت کف سواره رو	در سایه صفر درجه و در آفتاب حدود ۵ درجه	در سایه ۷ تا ۱۰ درجه و در آفتاب ۲۰ تا ۲۲ درجه.	در آفتاب ۶۰ تا ۶۳ درجه و در سایه ۳۷ تا ۳۹ درجه
شرایط محیطی	دمای خشک: ۸/۴ دمای کروی: ۱۲/۱ دمای تر کروی: ۶/۱	دمای خشک: ۱۶/۹ دمای کروی: ۲۵/۵ دمای تر کروی: ۱۲/۸	دمای خشک: ۳۷/۹ دمای کروی: ۵۲/۱ دمای تر کروی: ۲۶/۸
			
دماس سطح خاکی	در سایه آفتاب ۴ در آفتاب ۳	در سایه ۱۳ در آفتاب ۲۲-۲۰	در سایه ۴۰-۳۵ در آفتاب ۷۰-۶۰
شرایط محیطی	دمای خشک: ۹ دمای کروی: ۱۰/۱ دمای تر کروی: ۶	دمای خشک: ۱۹/۶ دمای کروی: ۲۳/۷ دمای تر کروی: ۱۲/۶	دمای خشک: ۴۱/۷ دمای کروی: ۴۷ دمای تر کروی: ۲۸
			
دمای سطح بتن روشن	۱- تا ۳- درجه	در سایه ۸ و در آفتاب ۲۰ درجه	در سایه ۴۵-۴۰ در آفتاب ۵۵-۵۰ در شرایط خیس ۳۵-۳۰

			
دمای سطح بلوک سیمانی روشن	در سایه ۵ تا ۶ درجه و در آفتاب ۱۱	در سایه ۱۲ در آفتاب ۱۸ درجه	در سایه ۴۰ در آفتاب ۶۰
شرایط محیطی	دمای خشک: ۹/۸ دمای کروی: ۱۴/۹ دمای تر کروی: ۷/۳	دمای خشک: ۱۳/۵ دمای کروی: ۲۴ دمای تر کروی: ۱۱/۱	دمای خشک: ۳۸/۱ دمای کروی: ۴۸/۸ دمای تر کروی: ۲۶/۸
			
دمای سطح سنگفرش تیشه ای رنگی	در سایه ۳-۲ در آفتاب ۵-۴ درجه	در سایه ۵ تا ۷/۵ در آفتاب ۱۴در شرایط خیس ۳ تا ۴ درجه	در سایه ۴۰ و در آفتاب ۵۷ درجه
شرایط محیطی	دمای خشک: ۱۱/۳ دمای کروی: ۱۴/۱ دمای تر کروی: ۸/۳	دمای خشک: ۱۶/۸ دمای کروی: ۲۱/۵ دمای تر کروی: ۱۱/۵	دمای خشک: ۳۸/۱ دمای کروی: ۴۷/۸ دمای تر کروی: ۲۶/۶
			
دمای سطح چمن	در سایه ۶ در آفتاب ۱۲ درجه	در سایه آفتاب ۹ تا ۱۱ درجه	در سایه ۲۶ درجه و در آفتاب ۳۰ دمای چمن خیس در سایه ۲۲ درجه
شرایط محیطی	دمای خشک: ۷/۲ دمای کروی: ۸/۳ دمای تر کروی: ۱۴/۶	دمای خشک: ۱۲/۱ دمای کروی: ۱۷/۷ دمای تر کروی: ۲۵	دمای خشک: ۳۶/۸ دمای کروی: ۴۴/۴ دمای تر کروی: ۲۵/۸
			
دمای سطح نیمکت آهنی	در سایه ۳ درجه	در سایه ۱۰ درجه	در سایه ۴۲ در آفتاب ۵۰ درجه
	دمای سطح نیمکت چوبی	ماه تیر در آفتاب ۴۳ تا ۴۷ درجه	

نتیجه

مقاله حاضر با توجه به شرایط جذب، بازتابش و انعکاس مصالح در معرض آفتاب که در کفپوش معابر و فضاهای باز به کار می‌رود، به بررسی نقش گرمای بازتابشی ناشی از آنها در افزایش یا کاهش جزیره گرمایی و تغییر شرایط خرد اقلیم در منطقه زیر لایه تاج شهری پرداخت. در این رابطه، بعد از بررسی تئوری‌ها و روش‌های محاسبه گرمای انتقال یافته به محیط و دمای تعادل حاصل از آن، وضعیت پردیس دانشگاه کاشان را به عنوان نمونه‌ای از ساخت و ساز امروزی مورد مشاهده و بررسی قرار داد. در این رابطه، به کمک دستگاه‌های اندازه‌گیری دما، رطوبت و تابش محیط، شرایط اقلیمی محوطه دانشگاه در دو بازه زمانی

زمستان و تابستان برداشت شده و وضعیت دمای سطوح و دمای محیطی در مکان‌های مختلفی از این پردیس اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از این مشاهدات نشان داد که استفاده از مصالح خازن حرارت نظیر آسفالت و بتن در محوطه‌های وسیع و بدون سایه، موجب تشدید نوسانات دمایی در زمستان و تابستان شده و جزیره گرمایی و سرمایی زیر لایه تاج شهری را در دو جهت مخالف تشدید می‌کند. ایجاد سایه با استفاده از سایبان‌ها یا محدودکردن محوطه‌ها توسط جداره‌های سبز یا ساختمان، خصوصاً در اقلیم خشکی چون کاشان، موجب تعدیل شرایط گرمایی در زمستان و تابستان شده است. استفاده از مصالح روشن و دارای خلل و فرج مثل سنگ‌فرش به کار رفته در برخی از معابر پردیس دانشگاه، به کاهش نوسانات دمایی کمک کرده و با جذب رطوبت در فضای مابین آن، امکان برودت تبخیری را نیز فراهم کرده است. استفاده از فضاهای سبز به دلیل خاصیت کاهندگی گرما، بسیار مناسب بوده و در تابستان و زمستان موجب تعدیل و بهبود شرایط گرمایی شده است.

پی‌نوشت‌ها

1 Urban Canopy Layer (UCL).
2 Sol-Air Temperature.
3 Green House Effect.
4 Heat Sink.
5 Irradiation.
6 Urban Cool Island.
7 Kestrel 4500.
8 Wet Bulb Globe Temperature (WBGT).
9 FLIR i7.
۱۰ اجسامی که دمای آنها معمولی است (صفر تا ۵۰ درجه سلسیوس)، فقط اشعه مادون قرمز با طول موج بلند (۴ تا ۸۰ میکرون) از خود ساطع می‌نمایند. بنابراین ضریب جذب تابش خورشیدی و ضریب تابندگی در دمای معمولی (ضریب تابش سطوح و مصالح گرم) یکسان نیست (کنسبرگر، ۱۳۶۸، ۱۱۵).
11 Sol-Air Temperature.
12 Albedo Or Solar Reflectance (SR).
۱۳ ویژگی تابش خورشید این است که از جنس امواج الکترومغناطیس بوده و حامل اشعه ماوراء بنفش (۰٫۳ تا ۰٫۴ میکرون)، اشعه مرئی (۰٫۴ تا ۰٫۷ میکرون) و اشعه مادون قرمز نزدیک (۰٫۷ تا ۲٫۵ میکرون) است. تابش معمولاً از جسم گرم به طرف جسم سرد جریان داشته و بدون نیاز به واسطه مادی و بدون گرم کردن هوای اطراف جسم به آن می‌رسد (واتسون و لب، ۱۳۷۲، ۷۵).
14 Solar Absorptance (SA).
15 Permeability.
16 Conductivity.
17 Thickness.
18 Thermal Resistance (R-value).
19 Emissivity or Thermal Emittance (TE).
20 Sky View Angle.
21 Atmospheric Turbidity .
22 Convective Airflow.
۲۳ شب‌ها دما به زیر صفر تنزل کرده و موجب یخ‌زدن رطوبت داخل مصالح می‌شود و روزها تابش گرم آفتاب موجب ذوب یخ‌ها می‌شود.
24 Permeable.
25 Equilibrium Temperature or Thermal Equilibrium (http://www.thefreedictionary.com).
۲۶ گرمای بازتابشی ناشی از مصالح ساختمانی در طول موج مادون قرمز دور یعنی بین ۸ تا ۵۰ میکرون قرار دارد (مور، ۱۳۸۲، ۲۴).
۲۷ تابش گرمایی خورشید در طیف مادون قرمز نزدیک یعنی طول موج ۰٫۴ تا ۲٫۵ میکرون قرار دارد (مور، ۱۳۸۲، ۲۴).
28 Net Heat Gain Rate.
29 Solar Reflective Index (SRI).

فهرست منابع

کنسبرگر، ا. اچ. و همکاران (۱۳۶۸)، *راهنمای طراحی اقلیمی*، ترجمه مرتضی کسمایی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران.
لکنر، نوبرت (۱۳۸۵)، *گرمایش، سرمایش، روشنایی*، ترجمه علی کی‌نژاد و رحمان آذری، دانشگاه هنر، تبریز.
مور، فولر (۱۳۸۲)، *سیستم‌های کنترل محیط زیست (تنظیم شرایط محیطی در ساختمان)*، ترجمه علی کی‌نژاد و رحمان آذری، دانشگاه هنر اسلامی، تبریز.
واتسون .دانلد و کنت لب (۱۳۷۲)، *طراحی اقلیمی، اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان*، ترجمه وحید قبادیان، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
Coolrooftoolkit (2012), *A Practical Guide to Cool Roofs and Cool Pavements*, website: http://www.coolrooftoolkit.org/wp-content/pdfs/CoolRoofToolkit_Full.pdf Jan 2012. Accessed 19 Feb 2016.
EPA Task 5 (2005), *Cool Pavement Report – EPA Cool Pavements Study – Task 5*, Prepared for Heat Island Reduction Initiative, U.S. Environmental Protection Agency, Cambridge Systematics, Inc., June. www.camsys.com
EPA (2009), *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA), Heat Island Effect website. http://www.epa.gov/hiri. Accessed 9 June 2009.
Equilibrium Temperature or thermal equilibrium, website: (http://www.thefreedictionary.com/thermal+equilibrium), Accessed 19 Feb 2016.
FLIR Thermal Image Camera: www.flir.com
Heat Island Group (2013), Lawrence Berkeley National Laboratory, Aug 2013, http://HeatIsland.LBL.gov.
Kaarsberg, Tina and Hashem Akbari (2006), Cool Roofs Cool the Planet, *Home Energy*, September/October, 38-41, website: www.homeenergy.org.
Kestrel portable weather station, www.kesterlweather.com
Radiation Heat Transfer, website: (http://www.engineeringtoolbox.com/radiation-heat-transfer-d_431.html), Accessed 19 Feb 2016.
Rose, L.S; H, Akbari & H, Taha (2003), *Characterizing the Fabric of the Urban Environment: A Case Study of Greater Houston*, Texas. Paper LVNL-51448. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA.
Wet Bulb Globe Temperature: www.wetgloble.com