

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۲۰ | تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۳/۱۲

نوع مقاله: پژوهشی

شماره صفحه ۳۱-۴۸

تأثیر ویژگی مصالح مختلف مورداستفاده در سطوح شهری بر ایجاد جزیره حرارتی در اقلیم گرم و خشک*

الهه مرئی

کارشناس ارشد معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران (نویسنده مسئول مکاتبات)

E-mail: elahemarei@gmail.com

ریما فیاض

دانشیار گروه معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران

E-mail: fayaz@art.ac.ir

سینا معماریان

کارشناس ارشد معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران

E-mail: sina.memarian@yahoo.com

بهروز محمد کاری

دانشیار عمران-فیزیک ساختمان، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

E-mail: kari@bhrc.ac.ir

چکیده

مصالح قابلیت جذب، انباشت و انتقال پرتوهای خورشید به جو را دارند. بدین معنا که مصالح مورداستفاده در پوسته شهر، نقشی کلیدی در تغییر خرداقلیم شهرها و ایجاد اثر جزیره حرارتی دارد. برای شناسایی تأثیر مصالح مختلف پوسته شهری بر افزایش دمای هوای مجاور سطوح، یک مطالعه تجربی بر روی ۳۰ نمونه از مصالح رایج مورداستفاده در پیاده‌راه، خیابان و بام در شهر تهران انجام شده است. در این پژوهش با هدف بررسی تأثیر خواص ترموفیزیکی و تابشی مصالح و با بهره‌گیری از ابزارهایی چون ترمومتر تماسی، دوربین مادون قرمز و طیف‌سنج، عملکرد حرارتی و نوری نمونه‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. با استفاده از روش‌های آماری، خصوصیات فیزیکی نمونه‌ها چون رنگ، جنس و بافت سطح و اثر هر یک بر تغییرات دمای سطوح به کمک داده‌های جمع‌آوری شده مشخص گردید. نتایج نشان می‌دهد که در اکثر نمونه‌ها، بیشینه دمای سطح بالاتر از 54°C و شاخص بازتاب خورشیدی (SRI) و آلبدوی کمتر از ۰.۵٪ است که در افزایش دمای هوای مجاور نقش به‌سزایی دارند. لذا استفاده از مصالح با رنگ روشن و صیقلی و همچنین آلبدو بالا، به شرط کنترل خیرگی، از مؤثرترین راهکارهای کنترل افزایش دمای هوای مجاور است. این مطالعه می‌تواند در انتخاب هر چه بهتر مصالح مناسب، کاهش اثر جزیره حرارتی و در نتیجه بهبود شرایط آسایش حرارتی در محیط‌های خارجی در ایران مؤثر باشد.

کلیدواژه‌ها: مصالح پوسته شهر، مصالح پیاده‌راه‌ها، مصالح خیابان‌ها، مصالح بام‌ها، آلبدو، جزیره حرارتی، دمای سطح

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد الهه مرئی با عنوان «نقش مصالح پوسته شهری در طراحی ساختمان بر اساس تغییرات دمایی-مطالعه موردی تهران» است که با راهنمایی دکتر بهشید حسینی و دکتر مهرداد مظلومی و مشاوره دکتر ریما فیاض در دانشگاه هنر انجام شده است.

مقدمه

گسترش مداوم محیط‌های شهری و به‌دنبال آن توسعه روند ساخت‌وساز از مهم‌ترین دلایل تغییرات خرداقلیم شهری و افزایش قابل ملاحظه دمای هوا به‌خصوص در فصل تابستان، ایجاد جزیره حرارتی و به‌دنبال آن افزایش مصرف انرژی الکتریکی به‌خصوص در سیستم‌های سرمایشی است (Yang *et al.*, 2015; Salamanca *et al.*, 2013; Hirano & Fujita, 2012; Synefa *et al.*, 2007; Romeo & Zinzi, 2013). پدیده جزیره حرارتی (UHI) نیز ارتباط مستقیمی با افزایش دمای هوا در محیط‌های شهری در مقایسه با فضاهای خارج شهر دارد. این پدیده عمدتاً ناشی از جذب پرتوهای خورشیدی، استفاده از مصالح با جذب بالا، کمبود فضاهای سبز و خیابان‌های تنگ و باریک بوده و تأثیرات منفی زیادی در محیط‌های شهری دارد (Oke *et al.*, 1991; Radhi *et al.*, 2013; Kantziora *et al.*, 2012; Santamouris *et al.*, 2011; Lin & Ichinose, 2014; Kolokotroni & Shahidan *et al.*, 2012). مطالعات متعدد در این زمینه، گسترش این پدیده را در اکثر کلان‌شهرها و عموماً در سطح پیاده‌راه‌ها و محل‌های نشستن مردم در فضاهای باز شهری، در نقاط مختلف جهان خصوصاً در فصل تابستان نشان می‌دهد.

مصالح پوسته شهر به عنوان عنصری اصلی بین فضای داخل و خارج، نقش قابل توجهی در تعدیل شرایط آب و هوایی و تأمین آسایش ساکنین و در نتیجه کاهش بارهای سرمایشی و گرمایشی دارند. جزایر حرارتی و به‌دنبال آن افزایش دمای محیطی، تأثیر بسزایی بر افزایش بار سرمایش، افزایش مصرف انرژی الکتریسیته، کاهش کیفیت هوا و ایجاد شرایط استرس‌زا برای ساکنین در ساختمان‌ها و کاهش دمای آسایش در فضاهای باز شهری به‌ویژه در فصول گرم سال دارد (Alchapar *et al.*, 2014; Karlessi *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2013; Santamouris *et al.*, 2007; Santamouris *et al.*, 2012). طراحی و اجرای پوسته‌های شهری دارای رفتار حرارتی مناسب، سبب تأمین بالاترین میزان آسایش حرارتی در فضای داخل بدون کمک تجهیزات مکانیکی خواهند شد، و تا حدود زیادی منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌گردند. در بیشتر فضاهای شهری درصد بالایی از پوشش سطح زمین را خیابان‌ها، پارکینگ‌ها، پیاده‌روها و زمین‌های بازی و میدان‌ها و حدود ۲۵٪ از سطح افقی را بام‌ها تشکیل می‌دهند (Susca *et al.*, 2011; Zinzi & Agnoli, 2012). خصوصیات دمایی سطوح بام‌ها، پیاده‌راه و خیابان‌ها مانند انعکاس، ذخیره گرمایی و هدایت حرارتی از عوامل مؤثر در ایجاد پدیده جزیره حرارتی هستند.

مطالعات چندی در زمینه عملکرد دمایی و نوری انواع مختلف پوشش سطوح مصالح مانند پوشش‌های رایج، انعکاسی و ترموکرومیک صورت گرفته و میزان اثرگذاری فاکتورهایی چون آلبیدو، گسیلندگی، شاخص بازتاب خورشیدی (SRI) و دمای سطحی مصالح، به‌طور گسترده در پژوهش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیقات حاکی از این است که مصالح با رنگ روشن، آلبیدو و گسیلندگی بالاتر، رفتار حرارتی بهتر و نوسانات دمایی کمتری از نظر دمای سطح و در مقایسه با دمای هوا از خود نشان می‌دهند (Santamouris *et al.*, 2011; Akbari & Matthews, 2012). افزایش میزان آلبیدو و گسیلندگی در مصالح مورد استفاده در پوسته‌های شهری منجر به کاهش دمای سطوح و میزان جذب پرتوهای تابشی خواهد شد (Karlessi *et al.*, 2009)، به همین علت استفاده از مصالح رنگ روشن برای کاهش شدت جزایر حرارتی به‌خصوص در مناطق گرم و حاره‌ای توصیه می‌شود (Radhi *et al.*, 2014). البته باید توجه نمود که فرسایش سطح مصالح به عنوان یک فاکتور مهم در عملکرد حرارتی آنها، تأثیر به‌سزایی در کاهش میزان آلبیدو در طولانی مدت خواهد داشت. از طرفی، مصالح با سطوح صیقلی مانند سنگ مرمر، در مقایسه با مصالح با بافت خشن، به‌دلیل میزان جذب پرتوهای تابشی، دمای سطحی پایین‌تری دارند (Santamouris *et al.*, 2011; Synnefa *et al.*, 2006).

تأثیر مصالح مختلف بر شدت جزایر حرارتی توسط پژوهشگران در اقلیم‌های متعددی چون گرم و خشک، نیمه مرطوب، مرطوب و معتدل بر پوسته شهر - پیاده‌راه خیابان، زمین‌های بازی و پارکینگ‌ها، بام و نما - صورت گرفته است. ردهی و همکاران با مطالعه دمای سطحی ۳۲ نمونه مصالح، به این نتیجه رسیدند که مصالح با رنگ روشن و آلبیدوی بالا، در کاهش دمای هوای مجاور مصالح و نیز کاهش شدت اثر جزیره حرارتی در مناطق استوایی بسیار مؤثر هستند (Radhi *et al.*, 2014). دالاس و همکاران، ۹۳ نمونه از مصالح رایج مورد استفاده در پیاده‌راه‌ها، خیابان‌ها، زمین‌های بازی و غیره را بر اساس عملکرد دمایی و نوری مقایسه و مصالح را به دو دسته مصالح سرد و گرم تقسیم‌بندی کردند (Doulos *et al.*, 2004). سینفا و همکاران نیز در مطالعه‌ای در این زمینه با کمک شبیه‌سازی‌های عددی و افزایش میزان آلبیدو مصالح در مقیاس کلان، به کاهش دمای هوای مجاور تا 2°C رسیدند (Synnefa *et al.*, 2008). مطالعات نشان می‌دهند که رابطه‌ای خطی بین افزایش دامنه، حداکثر و حداقل دمای سطح مصالح و حداکثر قابلیت جذب پرتوهای تابشی و اینرسی حرارتی مصالح وجود دارد. به‌طوریکه که افزایش آلبیدو مصالح پیاده‌راه در کاهش دمای سطحی بسیار مؤثرتر از افزایش اینرسی حرارتی می‌باشد (Qin, 2016). سانتاموریس و همکاران نیز عملکرد مصالح انعکاسی سرد را در زمینی به مساحت 4500 مترمربع در یک پارک شهری در شهر آتن در جهت بهبود وضعیت آسایش حرارتی آن منطقه مورد بررسی قرار دادند. نتایج این آزمایش حاکی از تغییری واضح در کاهش دمای هوای مجاور و دمای سطح مصالح به ترتیب 1.9°C و 12°C در زمان اوج گرما در یک روز تابستانی است (Santamouris *et al.*, 2012). نتایج یک آزمایش دیگر در پوتراجایا مالزی نشان می‌دهد که گرانیته جلا داده شده آبی رنگ حدود 12.5°C از آسفالت در طول ساعات $15:00-12:00$ در فضای باز شهری خنک‌تر است (Benrazavi *et al.*, 2016). بکایی و همکاران با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM، رابطه بین دمای سطح زمین و نوع پوشش مورد استفاده در شهر تهران را بررسی نمودند. نتایج مطالعات آنها نشان می‌دهد که شدت جزیره حرارتی شکل گرفته در شهر تهران، در همه جا یکسان نیست و این تغییرات دمای سطحی رابطه مستقیمی با نوع پوشش سطوح در مناطق مختلف دارد (Bokaee *et al.*, 2016).

در سال‌های اخیر، راهکارهای متعددی برای پوشش سقف ارائه شده است، از جمله این راهکارها می‌توان به بام سبز، بام سرد (Zinzi & Agnoli, 2012; Akbari & Matthews, 2012; Takebayashi & Moriyama, 2010; Dvorak & Volder, 2010; Yang *et al.*, 2015; Santamouris *et al.*, 2012; Synnefa *et al.*, 2006; Doulos *et al.*, 2007; Levinson *et al.*, 2007) و مصالح با عملکرد نوری و دمایی بالا اشاره نمود. بام‌های سرد قادرند دمای سطح بام را با توجه به میزان بالای بازتاب و گسیلندگی، خنک‌تر نگه دارند و بالتبع باعث کاهش چشمگیر میزان حرارت آزاد شده و نیاز سرمایشی و نیز کاهش شدت اثر جزیره حرارتی گردند (Romeo & Zinzi, 2013; Enríquez *et al.*, 2017). یک راهکار مؤثر برای کاهش اثر جزیره حرارتی، استفاده از بام سرد با پوشش دارای انعکاس و گسیلندگی بالا است. یک نوع پوشش سرامیک شیشه‌ای برای تایل‌های بام پیشنهاد شده است، که عملکرد تایل‌ها را از لحاظ انعکاس پرتوهای خورشید، هدایت حرارت و گرمای ویژه بهبود می‌دهد. با افزایش میزان انعکاس، میزان بازتاب پرتوهای طیف نزدیک مادون قرمز (NIR) مصالح رنگی نیز افزایش یافته و در نتیجه آسایش حرارتی در فضاهای داخلی نیز افزایش می‌یابد. بهبود این نوع مصالح قادرند تا 20% مصرف انرژی را در مقایسه با مصالح رایج مورد استفاده در بام‌ها کاهش دهند (Enríquez *et al.*, 2017). در یک مطالعه دیگر، عملکرد بام‌های سرد و سبز با هم مقایسه شد و نتیجه نشان داد که بام سرد با عایق در قیاس با بام سبز، رفتار حرارتی بهتری داشته و تأثیر بیشتری در کاهش شدت اثر جزیره حرارتی دارد (ASTME903-).

1996, 96). به‌طور معمول در محیط‌های شهری تلاش می‌شود تا با افزایش پوشش گیاهی و تبخیر آب موجود در استخرها و فواره‌ها، دمای هوای محیط را خنک نگه دارند. در مناطق خشک، از آنجایی که شدت تابش پرتوهای خورشید زیاد است و منابع آبی محدودی وجود دارد، به‌نظر می‌رسد که استفاده از پوشش سبز و مصالح سرد، راهکار مناسبی در جهت بهبود شرایط آسایش و کاهش اثر جزیره حرارتی باشد (Alchapar *et al.*, 2014). در شهرهای اقلیم گرم و خشک ایران نیز لازم است نسبت به کاهش اثر جزیره گرمایی توجه ویژه نمود. برای این امر باید خصوصیات مصالح مورد استفاده در پوشش‌های کف و بام در شهرها را دانست. به این منظور در این تحقیق برای اولین بار ۳۰ نمونه از مصالح رایج مورد استفاده در پیاده‌راه‌ها، خیابان‌ها، پارکینگ‌ها و بام‌های شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفتند. خصوصیات دمایی و شاخص‌های بازتاب خورشیدی این مصالح بر اساس عملکرد دمایی و نوری آنها بر دمای سطح و هوای مجاور مصالح، اندازه‌گیری شد. همچنین با استفاده از مطالعه آماری، تأثیر خصوصیات فیزیکی مصالح مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مطالعه به دسته‌بندی و ارزیابی خصوصیات نوری و دمایی و شاخص بازتاب خورشیدی (SRI) مصالح رایج بام و پیاده‌راه و مسیرها و همچنین اثر آنها بر افزایش دمای شهر تهران، منجر گردید.

روش پژوهش

در این پژوهش، برای بررسی رفتار حرارتی و نوری مصالح مختلف بام و پیاده‌راه و خیابان‌ها و تأثیر آنها در شکل‌گیری جزیره حرارتی در اقلیم گرم و خشک تهران، ۳۰ نمونه مصالح از میان تعداد زیادی از مصالح ساختمانی رایج مورد استفاده در پوسته خارجی محیط‌های شهری (مانند بام‌ها، پیاده‌روها، خیابان‌ها، زمین‌های بازی، حیاط مدارس، پارکینگ‌ها، مسیرهای سبز، پارک‌ها و غیره) انتخاب شده‌اند و به‌صورت تجربی و میدانی اندازه‌گیری و مورد مطالعه قرار گرفتند. مصالح استفاده شده در بام، پیاده‌رو، زمین‌های بازی و غیره عمدتاً یکسان هستند. مصالح شامل بتن، آسفالت، سنگ‌فرش، سنگ، موزاییک و چمن با رنگ سطح متفاوت، خاکستری، قرمز-زرد و سیاه و با بافت سطح متفاوت، با سطوح صاف، ناهموار و برجسته دارای طرح می‌باشند. برای اندازه‌گیری دمای سطح چمن و آسفالت، از نمونه‌های موجود در سایت مورد مطالعه استفاده گردید.

بازتاب سطح مصالح با استفاده از طیف‌سنج $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$ اندازه‌گیری شد (شکل ۱). این مدل با حساسیت بالایی که در طیف نزدیک به مادون قرمز دارد، قادر به ارائه طیف وسیع‌تری از خواسته‌ها و اندازه‌گیری‌ها با دقت بالا در محدوده 3300 nm - 175 nm و دقت اندازه‌گیری $0.80 \mu\text{m} \pm$ در طول موج مرئی و فرابنفش و $300 \mu\text{m} \pm$ در طیف مادون قرمز است. اندازه‌گیری‌های صورت گرفته بر اساس الزامات و دستورالعمل‌های استاندارد ASTM E903-12، روش آزمایش میزان جذب، انتقال و انعکاس پرتوهای خورشیدی مصالح (ASTM E903-96, 1996) انجام گردیده است. این روش آمون برای مصالح صیقلی با خصوصیات انعکاس نوری پراکنده و مستقیم و مصالح با بافت ناهمگن، طرح‌دار، یا راه‌راه، و زبری سطوح ناشی از فرایند شیمیایی یا فیزیکی کاربرد دارد. ابعاد نمونه‌های مورد اندازه‌گیری بستگی به ابعاد گوی‌های جمع‌کننده دستگاه دارد. در حالی که از دیدگاه استاندارد هیچ محدودیتی در حداکثر بعد وجود ندارد. در این آزمایش برای اندازه‌گیری میزان انعکاس سطح مصالح، تعدادی از مصالح مورد آزمایش را در ابعاد $100 \times 100 \times 15\text{ mm}$ برش زده و درون محفظه دستگاه قرار داده شده است.

میزان گسیلندگی و انعکاس پرتو مادون قرمز با دوربین FLIR E30 اندازه‌گیری شد (شکل ۱). تایل‌های نمونه روی یک سطح عایق قرار داده شدند تا اثر انتقال حرارت بین سطح و مصالح نمونه، حذف گردد (Levinson *et al.*, 2007 Lynn *et al.*, 2009). عایق مورد استفاده در این آزمایش پلی‌استایرن فشرده به

ضخامت $0.3/m$ و با ضریب هدایت حرارتی $0.58 W/m.K$ است. اندازه‌گیری دمای سطح مصالح طی ۲۴ روز از ۱۱ شهریور تا ۷ مهر ۱۳۹۳ به صورت شبانه‌روزی و با کمک ترموکوپل تماسی نوع T انجام شد. الگوی رفتاری نوسانات دمای مصالح و ارتباط آن با دمای هوای مجاور در طول روز، برای ۸ ساعت روز از ۹:۰۰ تا ۱۷:۰۰ به وقت محلی، مورد ارزیابی قرار گرفت. اندازه‌گیری دمای سطح مصالح هر ۶ دقیقه یک‌بار در هر ساعت، به منظور افزایش دقت اندازه‌گیری و کاهش خطاهای احتمالی، ثبت گردید. در این پژوهش، تحلیل‌های آماری بر اساس آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه^۲ و تی‌تست^۳ برای ارزیابی عملکرد حرارتی نمونه‌ها انجام شد. در روش‌های اندازه‌گیری فیزیکی عموماً امکان بروز خطا وجود دارد. بنابراین در این آزمون صحت تحلیل‌های صورت گرفته با استفاده از این آزمون و همچنین لحاظ نمودن خطای قابل قبول $0.5/0$ - سطح اطمینان واریانس یک‌طرفه و تی‌تست - بررسی می‌گردد. مصالح مورد مطالعه به گروه‌های مختلف بر اساس رنگ، جنس و بافت تقسیم شده و در بازه زمانی ۲۴ ساعته بررسی شده‌اند و همانطور که پیش از این اشاره شد داده‌های ۸ ساعت از روز مورد ارزیابی قرار گرفت. بنابراین نتایج این پژوهش بر اساس متغیرهایی چون دمای سطح، آلبیدو، SRI و دمای گسیلندگی سطح مصالح منتخب و دمای هوای مجاور مصالح، بررسی گردید. همچنین رنگ، جنس و بافت مصالح به عنوان مشخصات فیزیکی به کمک داده‌های جمع‌آوری شده و تحلیل‌های آماری ذکر شده، از دیگر متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش به شمار می‌روند.



طیف‌سنج - Lambda 1050

دوربین مادون قرمز - FLIR E30

پیرانومتر - Kipp & Zonen CMP3

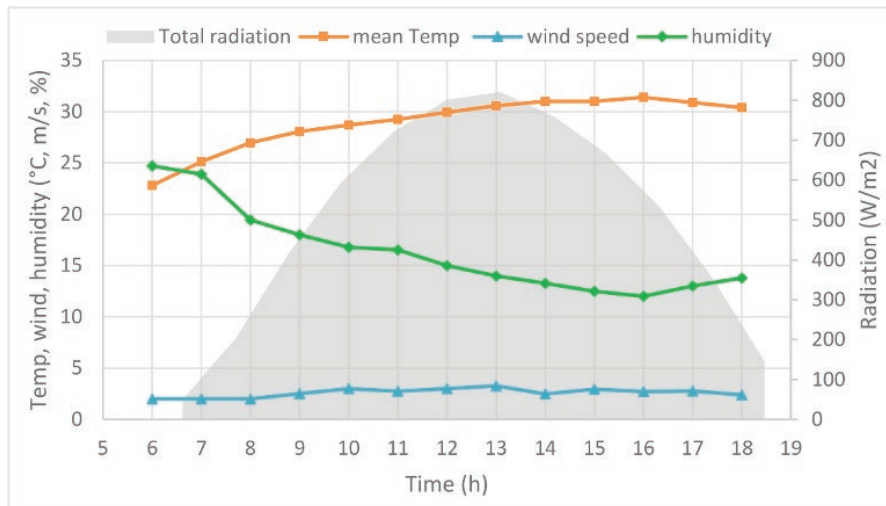
ترموکوپل مدل T

شکل ۱. ابزارهای اندازه‌گیری

مطالعه تجربی

مکان اندازه‌گیری و شرایط آب‌وهوایی

این مطالعه در شهر تهران، ایران (با طول و عرض جغرافیایی $25/51$ و $35/42$) اقلیم گرم‌وخشک انجام گرفته است. سایت اندازه‌گیری در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی (BHRC) برای دسترسی به امکانات و ابزارهای اندازه‌گیری، انتخاب گردید. شکل ۳ نمایی از تراکم ساخت و ساز در شهر تهران، برخی از مصالح رایج مورد استفاده در کف‌سازی در این شهر و سایت محل اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. این آزمایش در ماه‌های شهریور و مهر ۱۳۹۳ انجام شده است. داده‌های آب‌وهوایی از نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به محل، ایستگاه ژئوفیزیک دریافت گردید. میزان تابش خورشیدی نیز هم‌زمان در محل آزمایش به وسیله پیرانومتر^۴ (Pyranometer) مدل Kipp and Zonen CMP3 اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل بیانگر افزایش میزان تابش در ماه‌های شهریور و مهر ۱۳۹۳ نسبت به سال‌های پیشین می‌باشد. شکل ۲ میانگین دمای هوا، سرعت باد و رطوبت نسبی و میزان تابش در شهریور و مهر ۱۳۹۳ را نشان می‌دهد.



شکل ۲. میانگین داده‌های اقلیمی اندازه‌گیری شده در تهران، از روز ۱۱ شهریور تا ۷ مهر ۱۳۹۳

حداکثر دمای هوا، رطوبت و بادی که در این ماه به‌وسیله این ایستگاه ثبت شده، به‌ترتیب ۳۴ درجه سانتیگراد، ۴۴٪ و ۷ m/s اعلام شده است. لازم به ذکر است که در بیشتر اوقات سرعت باد از ۳-۲ m/s افزایش پیدا نکرده و فقط در یک روز ماه سپتامبر سرعت باد در برخی ساعات به ۷ m/s رسیده است. با این وجود، با توجه به اینکه هدف از این پژوهش بررسی عوامل تأثیرگذار بر میزان افزایش دمای سطوح است، بنابراین ۶ روز نمونه آفتابی با میانگین ساعتی سرعت باد ۲ m/s و میزان تابش خورشیدی حداقل ۷۵۰ W/m² انتخاب گردید.

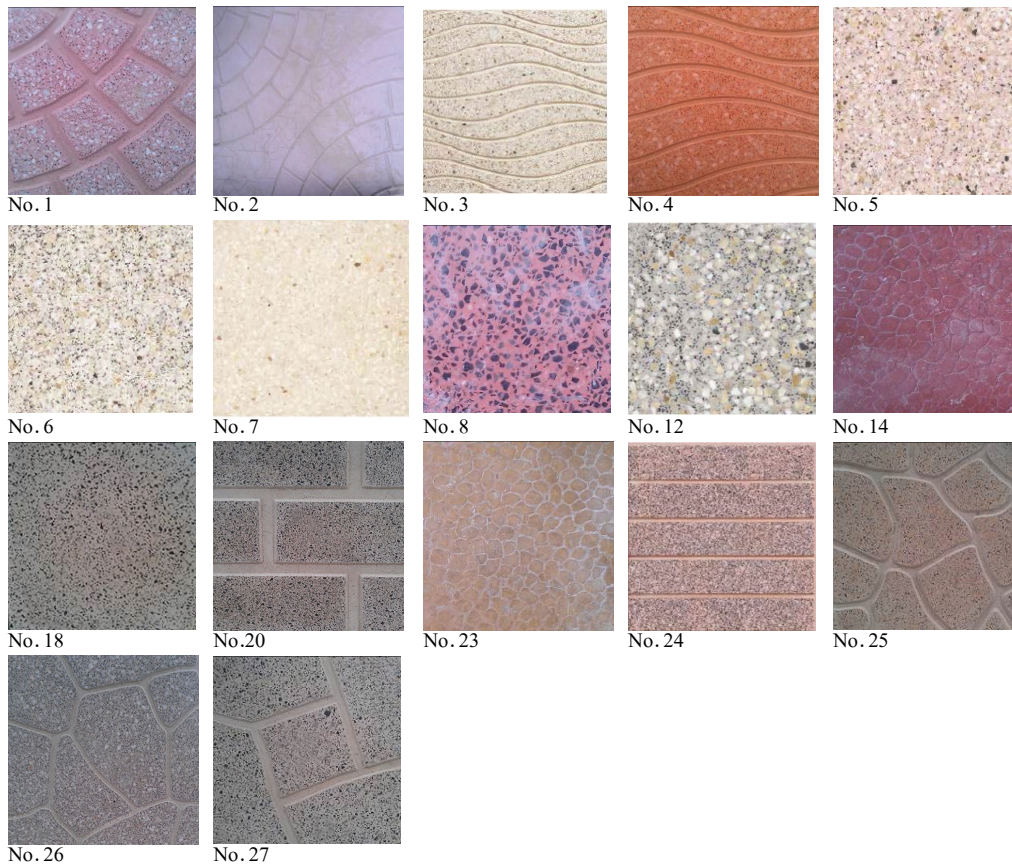


شکل ۳. تهران، ویژگی ساختمان‌ها و سایت اندازه‌گیری در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

منبع: Google Maps, 2014

معرفی مصالح

مصالح مورد مطالعه از میان تعداد زیادی از مصالح ساختمانی رایج مورد استفاده در پوسته خارجی محیط‌های شهری (مانند بام‌ها، پیاده‌روها، خیابان‌ها، زمین‌های بازی، حیاط مدارس، پارکینگ‌ها، مسیرهای سبز، پارک‌ها و غیره) انتخاب شده‌اند (شکل ۴). ۳۰ نمونه مصالح شامل بتن، آسفالت، سنگ‌فرش، سنگ، موزاییک و چمن با رنگ سطح متفاوت، خاکستری، قرمز-زرد و سیاه و با بافت سطح متفاوت، با سطوح صاف، ناهموار و برجسته دارای طرح می‌باشند. برای اندازه‌گیری دمای سطح چمن و آسفالت، از نمونه‌های موجود در سایت مورد مطالعه استفاده گردید. ابعاد تمام تایل‌ها در اندازه 40×40 cm و ضخامت تایل‌ها با توجه به جنس آن‌ها بین $40-16$ mm متغیر است (جدول ۱). نمونه برخی از مصالح و نحوه چیدمان مصالح در شکل‌های ۴ و ۵ دیده می‌شود. از میان مصالح مورد آزمایش، حدود ۷۸٪ از آنها را موزاییک‌هایی با طرح و رنگ‌های مختلف که بیشترین استفاده را در مکان‌های ذکر شده دارد، تشکیل می‌دهند. مصالح بر اساس رنگ، طرح، جنس، بافت دسته‌بندی شدند. شکل ۶ میزان فراوانی رنگ‌های مصالح مورد اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. طیف رنگ‌های خاکستری و قرمز بیشترین میزان استفاده را در سطح شهر دارد.



شکل ۴. نمونه برخی از مصالح رایج مورد استفاده در بام‌ها و پیاده‌راه‌های شهر تهران

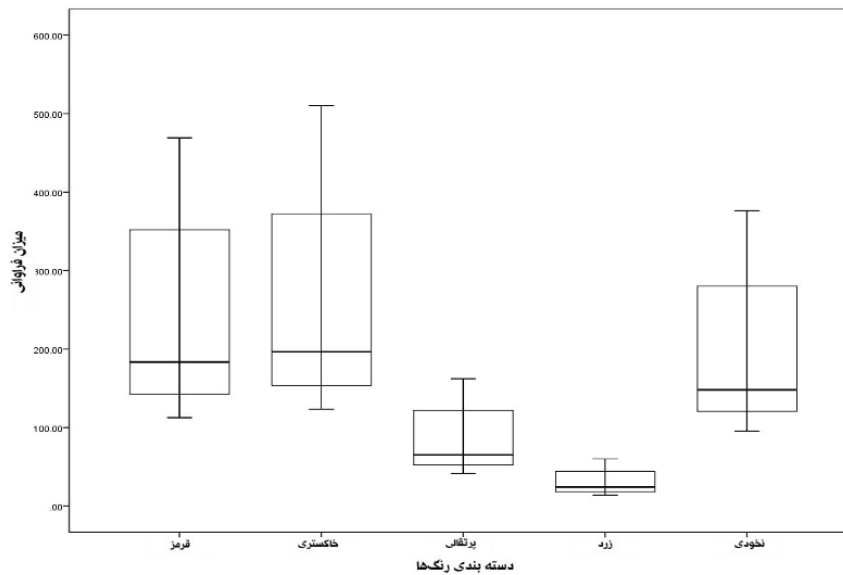
جدول ۱. خصوصیات فیزیکی مصالح

No.	Material	Texture	color	Dimension (cm)	Density (kg/m ³)	No.	Material	Texture	color	Dimension (cm)	Density (kg/m ³)
1	Mo. Fan	rough	light red	3×40×40	2500	16	co. kh	rough	dark gray	4×40×40	2125
2	Mo. Fan	rough	light gray	2×40×40	3750	17	Mo. cu1	rough	black red	3×40×40	2500
3	Mo. Wav T54	rough	ochre gray	3×40×40	2500	18	Mo. A44	smooth	gray	3×40×40	2500
4	Mo. WavG5	rough	dark red	3×40×40	2500	19	Mo. Re1	rough	light ochre	3×40×40	2500
5	Mo. TG17	smooth	orange	3×40×40	2500	20	Mo. Re2	rough	white black	3×40×40	2500
6	Mo. TA54	smooth	white gray	3×40×40	2500	21	Co. w2	rough	white red	4×40×40	2125
7	Mo. A50	smooth	white orange	3×40×40	2500	22	Co. p2	rough	gray	4×40×40	2125
8	Mo. G4	smooth	dark red	3×40×40	2500	23	Co. p3	rough	yellow	4×40×40	2125
9	Mo. TA55	smooth	white black	3×40×40	2500	24	Mo. SG4	rough	black red	3×40×40	2500
10	Mo. Fan	rough	dark red	2.2×40×40	3409	25	Mo. NTA54	rough	white ochre	3×40×40	2500
11	Mo. TG16	Wav rough	orange	3×40×40	2500	26	Mo. NA53	rough	gray	3×40×40	2500
12	Mo. TB58	smooth	white gray	3×40×40	2500	27	Mo. Cu2	rough	black white	3×40×40	2500
13	Co. w1	rough	white red	4×40×40	2125	28	Mo. fan	rough	white gray	3×40×40	2500
14	Co. p1	rough	dark red	4×40×40	2125	29	Grass	rough	green	-	-
15	Mo. TA55	Wav rough	white gray	3×40×40	2500	30	Asph	rough	black	-	-

Mo (mosaic), Co (concrete), Asph (asphalt), Co. w (washed concrete), Co. p (concrete floor Percy)



شکل ۵. نمونه‌های مورد مطالعه



شکل ۶. میزان فراوانی و تنوع رنگ مصالح مورد مطالعه

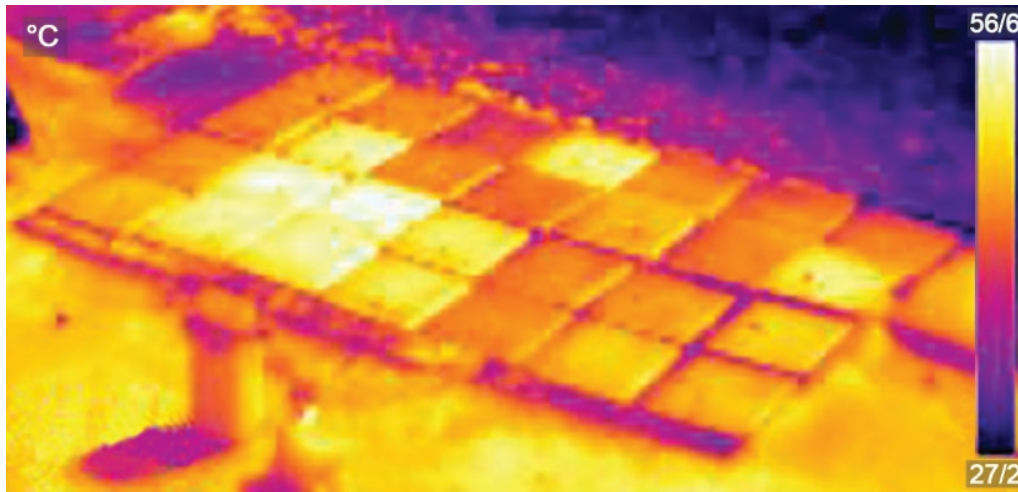
شاخص بازتاب خورشیدی (SRI) و آلبیدوی مصالح

ضریب انعکاس و انتشار حرارتی پرتوهای خورشیدی، از عوامل مهم و تأثیرگذار بر دمای سطح و محیط نزدیک و مجاور سطح است. سطوح با بازتاب خورشیدی کم، کسر بالایی از پرتوهای تابیده شده را جذب می‌نماید. مقداری از این انرژی جذب شده به زمین و ساختمان‌ها، بخشی به هوا (که منجر به بالا رفتن دمای هوا می‌گردد) و کسری از آن نیز به آسمان هدایت می‌شود. در این مطالعه، شاخص بازتاب خورشیدی بر اساس معادلات ذکر شده در استاندارد ASTM 1980-11 محاسبه شده است (Alchapar *et al.*, 2014; ASTM E1980-11, 2011). اصطلاح آلبیدو به تمام پرتوهای بازتابیده از یک سطح اطلاق می‌گردد که ترکیبی از پرتوهای انعکاسی مستقیم و پراکنده است. آلبیدو را می‌توان در محیط آزمایشگاهی و یا مستقیم در محل آزمایش اندازه‌گیری کرد. لوینسون در مطالعات خود به این نتیجه رسید که با افزایش آلبیدوی زمین، اجسام نزدیک به زمین نیز می‌توانند گرم یا سرد شوند که این به آلبیدوی جسم نیز وابسته است. به عنوان مثال پیاده‌روهای از جنس بتن در مقایسه با آسفالت، از آلبیدوی بالاتری برخوردار هستند و در نتیجه دمای دیوارهای ساختمان‌های مجاور آنها نیز بالاتر می‌رود (ASTM E903-96, 1996). در این آزمایش، آلبیدوی مصالح با استفاده از طیف‌سنج Lambda 1050 اندازه‌گیری شد (شکل ۱). اندازه‌گیری‌های صورت گرفته بر اساس الزامات و دستورالعمل‌های استاندارد ASTM E903-12 - روش آزمایش میزان جذب، انتقال و انعکاس پرتوهای خورشیدی مصالح - انجام گردیده است. این روش آزمون برای مصالح صیقلی با خصوصیات انعکاس نوری پراکنده و مستقیم و مصالح با بافت ناهمگن، طرح‌دار، یا راه‌راه، زبری سطوح ناشی از فرایند شیمیایی یا فیزیکی کاربرد دارد (Levinson *et al.*, 2007).

دمای سطح و گسیلندگی سطح مصالح

دوروش برای اندازه‌گیری میزان انتشار از یک سطح نمونه وجود دارد؛ روش دماسنج تماسی و غیر تماسی. در این آزمایش دمای سطح و گسیلندگی با استفاده از ترموکوپل تماسی نوع T در بازه دمایی 200°C تا 300°C

و میزان خطای مجاز $\pm 0.5^\circ\text{C}$ مورد استفاده قرار می‌گیرد. دوربین مادون قرمز FLIR E30، قادر به اندازه‌گیری طول موج بلند پرتو مادون قرمز در محدوده $7/5 - 13 \mu\text{m}$ در طیف الکترومغناطیس و همچنین دماهای بین $120 - 20^\circ\text{C}$ با دقت $\pm 2^\circ\text{C}$ استفاده شده است (شکل ۱). از روش دماسنج تماسی برای جبران خطای داده‌های به‌دست آمده از تابش سنج مادون قرمز استفاده می‌گردد. شکل ۷، تصویر حرارتی از مصالح مورد مطالعه را در ساعت ۱۵:۰۰ که دمای سطح مصالح به حداکثر میزان خود رسیده است نشان می‌دهد. چنانچه دیده می‌شود در شکل ۷ بازه دمایی $26 - 65^\circ\text{C}$ برای مصالح مورد نظر و محیط اطراف سایت نمایش داده است.



شکل ۷. عکس مادون قرمز از نمونه‌ها

بحث و نتایج مطالعات

سه عامل اساسی بر عملکرد حرارتی مصالح تأثیر می‌گذارد: شرایط جوی، خصوصیات تابشی و حرارتی مصالح. چنانچه گفته شد، داده‌های آب‌وهوایی همچون دما، رطوبت، سرعت باد و میزان ابر آسمان از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به سایت گرفته شده است. خصوصیات تابشی و حرارتی مصالح نیز با استفاده از ابزارهای متعددی چون دوربین مادون قرمز، ترموکوپل و طیف‌سنج بررسی گردید که در جدول ۲ نشان داده شده است. برای مقایسه رفتارهای حرارتی مصالح در طول شبانه‌روز، دماهای سطح مصالح در روز ۱۸ شهریور ۱۳۹۳ مورد مطالعه قرار گرفت. جدول ۲ حداقل و حداکثر مطلق دمای سطح مصالح را در طول ۲۴ ساعت و همچنین مقدار آلبیدو، گسیلندگی و شاخص بازتاب خورشیدی مصالح اندازه‌گیری شده را نمایش می‌دهد. موزاییک شماره ۱۰ (Mo.10) با رنگ سطح قرمز تیره و چمن به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین میزان دمای سطح را بین مصالح دارند. میزان حداکثر و حداقل دمای سطح مصالح تابعی از مشخصات فیزیکی -رنگ، جنس و تابشی -آلبیدو، گسیل و شاخص بازتاب خورشیدی- مصالح می‌باشد. از داده‌های جمع‌آوری شده اینطور استنباط می‌شود که مصالحی که بیشترین دمای سطح را دارند میزان آلبیدو و شاخص بازتاب خورشیدی کمتری نسبت به دیگر مصالح دارند، مانند موزاییک شماره ۱۰ و بتن شماره ۱۶، که بیشترین دمای سطح و کمترین میزان آلبیدو، شاخص بازتاب خورشیدی را در میان مصالح مختلف دارند. به‌نظر می‌رسد دمای سطح و آلبیدو و شاخص بازتاب خورشیدی رابطه عکس با هم دارند. از طرفی مصالحی که گسیلندگی بیشتری دارند، حداکثر دمای سطح آنها عمدتاً کمتر از دیگر مصالح مورد مطالعه است. به‌طور کلی مصالحی که آلبیدو و گسیلندگی بیشتری دارند عملکرد حرارتی بهتری از خود نمایش می‌دهند و حتی می‌توانند در دسته مصالح سرد نیز قرار

گیرند. از میان نمونه‌هایی که آلبیدو و SRI آنها نیز بررسی شده، موزاییک شماره ۳ بهترین عملکرد را از خود نشان داده است و دمای سطح پایین‌تری دارد. تمام نمونه‌های مورد بررسی گسیلندگی بالایی دارند و در اکثر مصالح رایج، مقدار آلبیدو کم است.

تحلیل‌های آماری رفتارهای حرارتی مصالح در طول شبانه‌روز

تحلیل‌های آماری بر اساس آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه و تی‌تست انجام می‌گردد، تا به‌طور دقیق‌تر میزان تأثیرگذاری هریک از عوامل ذکر شده در بالا مورد مطالعه قرار گیرد. در روش‌های اندازه‌گیری میدانی عموماً امکان رخ دادن خطا وجود دارد. بنابراین در این آزمون صحت تحلیل‌های صورت گرفته را با استفاده از این آزمون و همچنین لحاظ نمودن خطای قابل قبول ۰/۰۵ - سطح اطمینان واریانس یک‌طرفه و تی‌تست - بررسی گردید. مصالح مورد مطالعه به گروه‌های مختلف بر اساس رنگ و جنس و بافت تقسیم شده و در بازه زمانی ۲۴ ساعته بررسی شدند. تحلیل‌های صورت گرفته بیانگر ارتباط مستقیم بین افزایش دما، رنگ و جنس مصالح است اما رابطه معناداری بین دما و بافت سطح وجود ندارد. سطح معناداری بین رنگ و جنس مصالح ۰/۰۰ است که نشانگر بالاترین میزان معنا و ارتباط است، درحالی‌که این میزان برای بافت سطح ۰/۹۵ بوده که بسیار بالاتر از سطح بحرانی است. در تحلیل رابطه میان بافت سطح و دما، به این دلیل که مقایسه بین دو گروه مصالح صیقلی و مصالح طرح‌دار صورت می‌گیرد، از آزمون تی‌تست استفاده شد. نتیجه این تحلیل چنانچه ذکر شد عدم معناداری بین بافت و دمای سطح را نشان می‌دهد. در نتیجه، تأثیر رنگ سطح و بافت مصالح در تغییرات دمای سطح مصالح در این پژوهش مورد تأیید قرار گرفت.

جدول ۲. دمای سطح، خصوصیات حرارتی و نوری نمونه‌ها

Material	T _{min} (C)	T _{max} (C)	ε	Albedo (%)	SRI (%)	Material	T _{min} (C)	T _{max} (C)	ε	Albedo (%)	SRI (%)
Mo.1	15	53.36	0.91	-	-	Co.16	15.7	62.8	0.90	28	29
Mo.2	15.07	54.3	0.82	42	45	Mo.17	15.65	56.15	0.85	45	50
Mo.3	15.09	50.5	0.80	49	54	Mo.18	15.62	58.8	0.80	-	-
Mo.4	15.51	62	0.88	38	42	Mo.19	15.63	53.55	0.90	-	-
Mo.5	15.82	54.5	0.7	41	45	Mo.20	15.35	56.4	0.80	31	29
Mo.6	15.32	53.7	0.85	-	-	Co.w.21	15.8	54.4	0.80	-	-
Mo.7	15.3	53	0.90	-	-	Co.22	15.6	59.25	0.85	-	-
Mo.8	15.7	64	0.85	32	32	Co.23	15.8	59.7	0.85	38	40
Mo.9	16.14	53.3	0.90	-	-	Mo.24	15.75	59	0.85	-	-
Mo.10	16.07	64.75	0.85	30	30	Mo.25	15.7	52.6	0.80	-	-
Mo.11	16.05	55	0.87	-	-	Mo.26	15.9	56.7	0.85	-	-
Mo.12	15.7	54.7	0.95	-	-	Mo.27	15.8	56.6	0.80	-	-
Mo.13	16.9	53	0.80	-	-	Mo.28	16.1	55	0.90	40	45
Mo.14	16.53	62	0.90	41	46	Grass	14	38.5	0.50	-	-
Mo.15	16	53.6	0.95	-	-	Asphalt	20.6	52.1	0.90	-	-

تغییرات دمایی متوسط مصالح بر اساس رنگ‌ها و جنس‌های مختلف

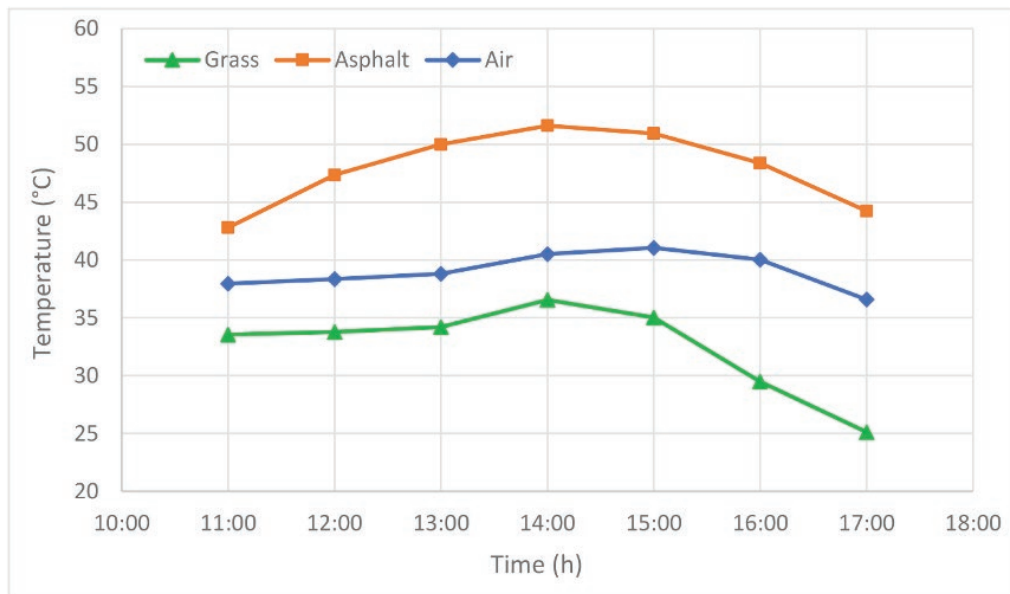
بیشترین تغییرات دمایی مصالح در اواسط روز که دمایی هوا و میزان تابش خورشیدی به حداکثر میزان خود می‌رسد، اتفاق می‌افتد. در این مطالعه به‌طور دقیق‌تر، تغییرات بین ساعات ۱۱:۰۰ تا ۱۷:۰۰ که مصالح بیشترین میزان جذب تابش و دمایی سطح را دارند، بررسی می‌گردد. نتایج آزمایش‌های صورت گرفته حاکی از بالاتر بودن دمایی سطح مصالح با رنگ سطح قرمز-مشکی است. بالاترین دمایی سطح مربوط به موزاییک Mo.10 با دمایی سطح $64/75^{\circ}\text{C}$ است. برای مصالح با رنگ خاکستری، بالاترین دمایی سطح مربوط به بتن Co.16 با دمایی $62/8^{\circ}\text{C}$ می‌باشد. در بین نمونه‌های سفید-نخودی نیز موزاییک Mo.27 با دمایی سطح $56/63^{\circ}\text{C}$ بالاترین دما را دارد. در بین مصالح سفید-پرتقالی روشن نیز موزاییک Mo.11، دمایی سطحی معادل 55°C و حداکثر دمایی سطح نمونه بتن زرد رنگ، $59/7^{\circ}\text{C}$ است. میانگین دمایی سطحی تایل‌های موزاییکی از بتنی و واش‌بتن کمتر است ولی حداکثر دمایی سطحی، متعلق به تایل موزاییکی است، اگرچه با توجه به مطالعات صورت پذیرفته در این زمینه، عوامل دیگری به جز جنس مصالح نیز در میزان دمایی سطحی تأثیرگذار هستند. تصاویر ۸ و ۹ عملکرد دمایی برخی از مصالح را در بازه زمانی ۱۱:۰۰ تا ۱۷:۰۰ در روز ۱۹ شهریور ۱۳۹۳ نشان می‌دهد. قابل ذکر است که تایل‌های موزاییکی بیشترین کاربرد را در سطح شهر چه در پیاده‌روها، حیاط‌ها، زمین‌های بازی و غیره و چه در بام‌های ساختمان‌ها دارند. از میان تایل‌های موزاییکی تایل‌های شماره ۸ و ۱۰ با رنگ سطح قرمز دمایی سطح بالاتری نسبت به دیگر تایل‌ها دارند. درحالی‌که تایل شماره ۳ با اختلافی در حدود 15°C با رنگ سطح نخودی روشن سردترین موزاییک بین مصالح مورد مطالعه است. تایل بتنی شماره ۱۶ با رنگ سطح خاکستری تیره و بافت زبر طبیعی، حداکثر تغییرات دمایی را در میان تایل‌های بتنی دارد. در مقایسه با آن، تایل بتنی شماره ۲۲ که رنگ سطح روشن‌تر و همچنین سطح صیقل‌تری نسبت به بتن شماره ۱۶ دارد، دمایی حداکثر مطلق آن در حدود ۳-۵ درجه سانتیگراد پایین‌تر است. به‌طور کلی، عمدتاً میانگین دمایی تایل‌های بتنی از دیگر تایل‌های موزاییکی و واش‌بتن بالاتر است.

در سال ۲۰۰۴، دالاس و همکاران (Doulos *et al.*, 2004) با استفاده از آزمون تی‌تست در مطالعات خود به این نتیجه رسید که بافت سطح مصالح در تغییرات دمایی مصالح مؤثر نیست. بر همین اساس، این آزمون برای تمام مصالح این تحقیق انجام شد و متغیر حاصل، از مقدار $0/05$ سطح اطمینان پایین‌تر بود و لذا نتیجه مشابه با تحقیق دالاس به‌دست آمد. این مطالعه نشان داد که علی‌رغم تفاوت‌های موجود از لحاظ اقلیم و میزان تابش دو منطقه تهران و آتن، خصوصیات فیزیکی مصالح مانند رنگ و جنس در ایجاد تغییرات دمایی در سطح مصالح بسیار مؤثر هستند.

مطالعه عملکرد حرارتی نمونه آسفالت و چمن

در این اندازه‌گیری، دو نمونه چمن و آسفالت روی سطح طبیعی زمین قرار گرفتند، بنابراین امکان مقایسه این نمونه‌ها خصوصاً نمونه آسفالت با سایر مصالح امکان‌پذیر نبوده است. در اکثر پژوهش‌های پیشین به تأثیر آسفالت در ایجاد جزایر حرارتی و همچنین چمن در کاهش این پدیده اشاره شده است، لذا با توجه به اهمیت این نمونه‌ها، تغییرات دمایی آسفالت و چمن به‌طور جداگانه بررسی گردید. شکل ۸، تغییرات دمایی چمن و آسفالت را در ساعت ۱۱:۰۰ تا ۱۷:۰۰ نشان می‌دهد. در نگاه اول اختلاف دمایی زیاد این دو نمونه به خوبی مشاهده می‌شود. حداکثر دمایی آسفالت $52/1^{\circ}\text{C}$ است، درحالی‌که این مقدار در چمن به $38/5^{\circ}\text{C}$ می‌رسد. اختلاف دمایی $13/6^{\circ}\text{C}$ بین این دو نمونه حاکی از عملکرد حرارتی مناسب چمن در مقابل آسفالت و حتی سایر مصالح مورد مطالعه است. اگرچه این تفاوت متأثر از افزایش میزان رطوبت سطح خاک از طریق پدیده تعرق و تبخیر چمن است که منجر به بازتاب بیشتر پرتوهای تابشی می‌گردد (Salata *et al.*, 2015; Ng *et al.*, 2012).

در اکثر پژوهش‌های پیشین (Alchapar *et al.*, 2014; Radhi *et al.*, 2014; Doulos *et al.*, 2004) که اندازه‌گیری‌های آنها در ماه‌های جولای، اگوست و سپتامبر انجام شده بود، نمونه آسفالت نیز مانند سایر مصالح روی لایه عایق حرارتی قرار گرفته است. بنابراین به‌نظر می‌رسد چنانچه آسفالت روی سطح عایق قرار می‌گرفت، دمای سطح آن بین 60°C - 65°C می‌رسید، چراکه هم‌رنگ سطح تیره‌تر و هم ذخیره حرارتی بالاتری نسبت به سایر مصالح مورد مطالعه دارد. از طرفی آسفالت مورد مطالعه در محیط، آسفالت قدیمی بوده و به‌مرور زمان دچار هوازدگی و فرسایش شده است و این فاکتور در کاهش دمای سطحی در نمونه آسفالت بسیار مؤثر است. طبق مطالعات صورت گرفته، آلبیدو آسفالت طی یک سال اول بر اثر فرسایش افزایش یافته، که در کاهش دمای سطح آسفالت مؤثر می‌باشد (Sen & Roesler, 2019). بنابراین آسفالت نو قابلیت افزایش دما تا 65°C را دارد.



شکل ۸. تغییرات دمای چمن، آسفالت و هوای مجاور آنها در طول ساعات میانی روز ۱۹ شهریور ۱۳۹۳

مقایسه بین دمای هوا مجاور و دمای سطح مصالح

اکثر محققان در آزمایشات و شبیه‌سازی‌های خود در زمینه تأثیر دمای سطح بر دمای هوا، به این نتیجه رسیده‌اند که رابطه مستقیمی بین افزایش دمای سطح و هوا وجود دارد (Radhi *et al.*, 2013; Carnielo & Zinzi, 2013). پیاده‌راه‌ها گرما را از طریق جریان هوای عبوری از سطح مصالح به هوای اطراف منتقل می‌کند، که این مقدار به سرعت و دمای هوای عبوری از سطح مصالح و مساحت سطح پیاده‌رو در معرض هوا بستگی دارد. در مقایسه کلی بین متوسط دمای سطح نمونه‌ها و دمای هوای اطراف آنها - میانگین دمای هوا در گرم‌ترین ساعات روز، 31°C می‌باشد - در طول دوره آزمایش اینگونه به نظر می‌رسد که در اکثر مصالح مورد مطالعه دماهای سطحی بالاتر از دمای هوا بوده است و فقط پوشش چمن نسبت به هوای اطرافش تقریباً در تمام طول روز، خنک‌تر می‌باشد. در مورد مصالح تیره رنگ تفاوت حدود 10°C - 23°C بسته به رنگ، جنس و ظرفیت حرارتی، بین دمای هوا و سطح مصالح دیده می‌شود (شکل ۹). نتایج مقایسه دمای هوا و سطح مصالح به شرح ذیل است:

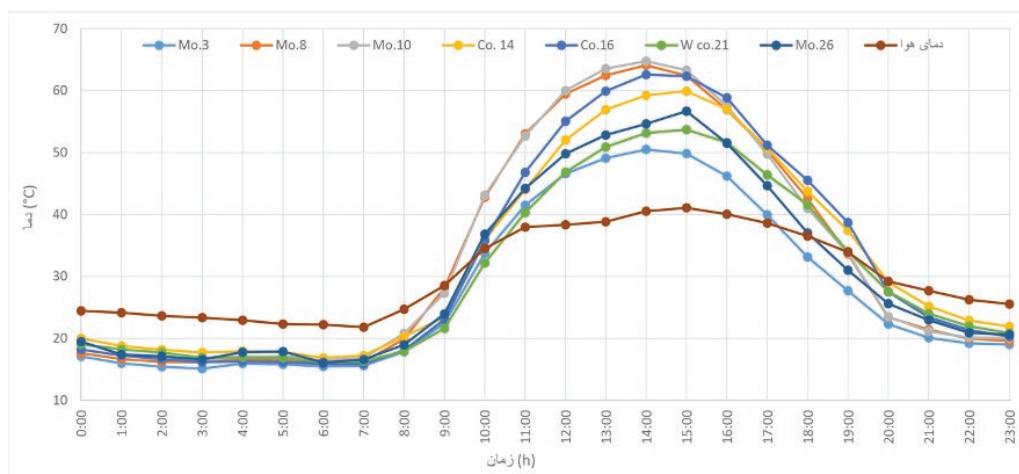
- چنانچه گفته شد در اکثر مصالح، متوسط دمای سطح از دمای هوا بالاتر است. تنها پوشش چمن از دمای هوای اطراف خنک‌تر است. متوسط دمای سطح چمن در گرم‌ترین ساعات روز (ساعت ۱۱:۰۰ تا ۱۷:۰۰)

- $33/25^{\circ}\text{C}$ است درحالی که متوسط دمای هوای اطراف به $39/5^{\circ}\text{C}$ هم می‌رسد.
- پایین‌ترین دمای سطحی در میان مصالح رنگ روشن -نخودی روشن- متعلق به موزاییک شماره ۳ با حداکثر دمای سطحی 50°C است. بیشترین میزان اختلاف بین مصالح رنگ روشن و دمای هوای محیط، 8°C می‌باشد.
- در میان مصالح رنگ تیره حداکثر میزان اختلاف دمایی بین موزاییک شماره ۱۰ با $64/75^{\circ}\text{C}$ و دمای هوای اطراف با $41/7^{\circ}\text{C}$ با حدود 23°C است. پس از آن موزاییک شماره ۸ و بتن شماره ۱۶ بیشترین میزان اختلاف را با دمای هوای اطراف به ترتیب به میزان 22°C و 21°C دارند.

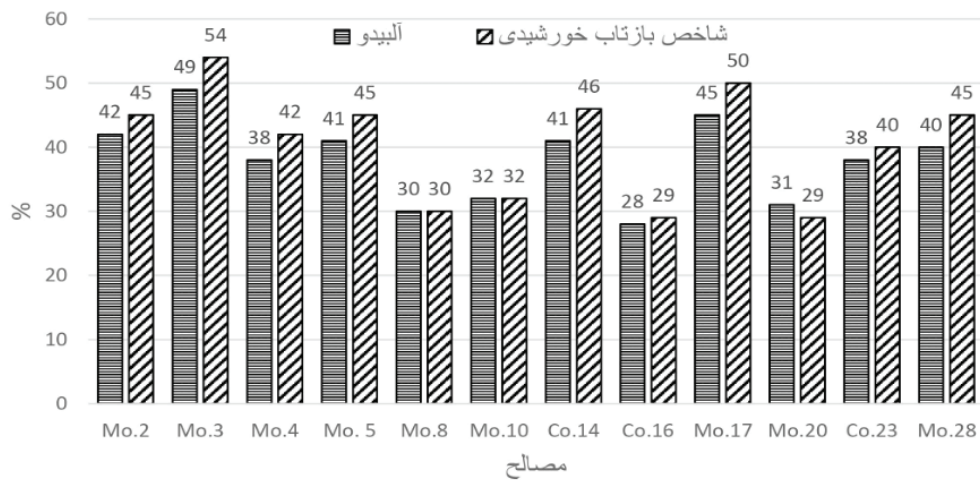
تحلیل شاخص بازتاب خورشیدی مصالح (SRI)

پژوهش‌های اخیر که در زمینه انتخاب مصالح پوسته شهری مناسب در جهت کاهش شدت جزایر حرارتی در شهرها صورت پذیرفته، نشان می‌دهد که میزان انتشار پرتوی مادون قرمز و انعکاس مصالح و یا به عبارتی شاخص انعکاس سطح مصالح (SRI) نقشی تأثیرگذار در تغییرات دمای هوای محیط و دمای سطح مصالح دارد. هرچه میزان شاخص بازتاب مصالح بالاتر باشد، دمای سطح مصالح پایین‌تر آمده و در نتیجه دمای هوای محیط اطراف نیز کاهش می‌یابد. مصالح با شاخص بازتاب خورشیدی بهتر، قابلیت بیشتری در کاهش جزایر حرارتی و به دنبال آن بار حرارتی شهر دارند. در میان مصالحی که میزان انعکاس آنها اندازه‌گیری شده است، کمترین میزان شاخص بازتابش سطح متعلق به بتن شماره ۱۶ با رنگ سطح خاکستری تیره و سطح زبر و زمخت است. بالاترین میزان شاخص بازتابش خورشیدی نیز مربوط به موزاییک شماره ۳ با رنگ سطح کرم خاکستری بسیار روشن می‌باشد (شکل ۱۰).

در مقایسه‌ای دیگر، مصالح از لحاظ پوشش نهایی سطح آنها مورد بررسی قرار گرفتند. از میان تایل‌های موزاییکی به ترتیب تایل شماره ۳، ۱۷ و ۱۴ با ۵۰، ۵۴ و ۴۶ درصد، بالاترین میزان شاخص بازتابش را دارند. در مقابل آن تایل بتنی شماره ۱۶ و تایل موزاییکی شماره ۸ و ۱۰ به ترتیب با ۲۹، ۳۰ و ۳۲ درصد، پایین‌ترین میزان شاخص بازتاب را از میان مصالح مورد اندازه‌گیری دارند. چنانچه از تحلیل‌های صورت گرفته تاکنون بر می‌آید، اکثر مصالحی که شاخص بازتاب خورشیدی بالایی دارند، عملکرد دمایی بهتری نسبت به سایر مصالح از خود نشان می‌دهند. این درحالی است که مصالح با کمترین میزان شاخص بازتاب، بدترین رفتار دمایی و بالاترین میزان حداکثر دما را در میان مصالح دارند.



شکل ۹. مقایسه دمای هوای مجاور و مصالح انتخاب شده برای ۲۴ ساعت از روز ۱۹ شهریور ۱۳۹۳



شکل ۱۰. مقایسه آلبیدو و شاخص بازتاب پرتوهای خورشیدی نمونه‌های مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

پدیده جزیره حرارتی شهر (UHI)، عمدتاً ناشی از گسترش شهرنشینی و به دنبال آن تغییر خرداقلیم است. این پدیده ارتباط مستقیمی با افزایش دمای هوا در محیط‌های شهری در مقایسه با فضاهای اطراف شهر دارد. استفاده گسترده و جایگزینی مصالحی چون آجر، بتن، آسفالت و غیره با پوشش‌های طبیعی و گیاهی در محیط‌های باز شهری، از دلایل اصلی شکل‌گیری جزیره حرارتی می‌باشد. در این میان مصالح پوسته شهر به عنوان عنصری اصلی بین فضای داخل و خارج، نقش قابل توجهی در تعدیل شرایط آب‌وهوایی و تأمین آسایش ساکنین و در نتیجه کاهش بارهای سرمایشی و گرمایشی دارند. با توجه به نقش اساسی مصالح پوسته شهر، استفاده از مصالح با پوشش‌های سرد و عملکرد حرارتی مناسب برای مصالح، از جمله راهکارهایی است که در چند دهه اخیر در اکثر نقاط دنیا از آن بهره می‌گیرند. این مطالعه با هدف ارزیابی خصوصیات دمایی و نوری ۳۰ نمونه از مصالح رایج مورد استفاده در اقلیم نیمه‌خشک شهر تهران و با کمک ابزارهای اندازه‌گیری دمایی سطحی و بازتاب پرتوهای خورشیدی، انجام شده است. نتایج اندازه‌گیری‌ها به صورت ساعتی در ماه شهریور و مهر از ساعت ۹:۰۰ الی ۱۷:۰۰ به وقت محلی تحلیل شد. از طرفی برای بررسی عملکرد حرارتی مصالح و نیز صحت نتایج به دست آمده، تحلیل‌های آماری بر اساس آزمون تحلیل واریانس یک طرفه و تی تست انجام گردید.

مصالح بر اساس رفتارهای حرارتی و مشخصات فیزیکی، عملکردهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند. از خصوصیات فیزیکی عمده‌ای که در رفتار مصالح تأثیرگذار است، می‌توان به رنگ، جنس و بافت -منظور از بافت زبری و صیقل بودن سطح است- اشاره نمود. در این مطالعه نیز دسته‌بندی مصالح بر اساس رنگ، جنس و بافت و تأثیر هریک بر دمای هوای مجاور، به طور جداگانه بررسی گردید، هرچند این عوامل همگی تأثیرگذار بوده و تفکیک کامل این عوامل از هم امکان‌پذیر نیست. سطوح با رنگ تیره و سطح زمخت و طبیعی، تمایل به جذب پرتوهای خورشیدی بیشتری نسبت به سطوح با رنگ روشن و سطح صاف و صیقلی دارند، بنابراین سطوح با رنگ تیره گرم‌تر از سطوح با رنگ روشن هستند. برخی از مصالح مانند Mo.8، Mo.10 و Co.16، با دمای بین ۲۵-۲۲°C از دمای هوای مجاور خود گرم‌تر بودند که این میزان افزایش دمایی سطحی، به خصوصیات فیزیکی، دمایی و نوری نمونه‌ها برمی‌گردد. مطالعات حاضر در مورد مصالح رایج مورد استفاده در بام‌ها و خیابان‌های شهر تهران نشان می‌دهد که آلبیدو و شاخص بازتاب پرتوهای خورشیدی این مصالح کمتر از ۵۰٪ است که منجر به افزایش دمای سطوح مصالح شهر خواهد شد. بر اساس نتایج اندازه‌گیری‌های

صورت گرفته و نیز افزایش شدت اثر جزیره حرارتی در شهر تهران به دلیل تراکم بالای ساخت‌وساز، بر اساس این پژوهش توصیه می‌شود که از مصالح با رنگ روشن و سطح صیقلی و با آلبيدو و شاخص بازتاب خورشیدی بالاتری استفاده شود. $Mo.0.7$ ، $Mo.0.13$ و $Mo.0.25$ ، بدون در نظر گرفتن طرح آنها و استفاده بیشتر از سطوح سبز، با توجه به نتایج این مطالعه برای شهر تهران مناسب‌تر است.

نتایج این پژوهش می‌تواند به بهبود عملکرد حرارتی ساختمان‌ها و شهرها در آینده کمک نماید. از آنجایی که پوسته شهر نقش به‌سزایی در ایجاد جزایر حرارتی دارد، لذا طراحی صحیح منجر به کاهش جزایر حرارتی می‌گردد. استفاده از مصالح سرد با شاخص بازتاب خورشیدی بالا و قابلیت ذخیره حرارتی پایین مانند موزاییک‌های صیقلی با رنگ روشن در محیط‌های شهری، می‌تواند باعث کاهش پدیده جزایر حرارتی گردد. کاهش دمای سطح و به‌دنبال آن کاهش دمای هوا منجر به بهبود شرایط آسایش در محیط‌های شهری و کاهش نیاز سرمایشی در ساختمان‌ها می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1. Urban Heat Island (UHI)
2. Solar Reflectance Index (SRI)
3. F-ANOVA
4. t-test
5. Pyranometer

فهرست منابع

- Akbari, H., Bell, R., Brazel, T., Cole, D., Estes, M., Heisler, G., ... & Zalph, B. (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies-Urban Heat Island Basics. *US Environmental Protection Agency*, 1-22.
- Akbari, H., & Matthews, H. D. (2012). Global cooling updates: Reflective roofs and pavements. *Energy and Buildings*, 55, 2-6.
- Alchapar, N. L., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2014). Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones. *Energy and Buildings*, 69, 22-32.
- ASTM International (1996). ASTM E903-96: Standard test method for solar absorptance, reflectance, and transmittance of materials using integrating spheres. In *Annual Book of ASTM Standards*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM International (2011). ASTM STANDARD E1980-11: Standard practice for calculating solar reflectance index of horizontal and low-sloped opaque surfaces. In *Annual Book of ASTM Standards*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- Benrazavi, R. S., Dola, K. B., Ujang, N., & Benrazavi, N. S. (2016). Effect of pavement materials on surface temperatures in tropical environment. *Sustainable Cities and Society*, 22, 94-103.
- Bokaie, M., Zarkesh, M. K., Arasteh, P. D., & Hosseini, A. (2016). Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and land use/land cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*, 23, 94-104.

- Carnielo, E., & Zinzi, M. (2013). Optical and thermal characterisation of cool asphalts to mitigate urban temperatures and building cooling demand. *Building and Environment*, 60, 56-65.
- Doulos, L., Santamouris, M., & Livada, I. (2004). Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar Energy*, 77(2), 231-49.
- Dvorak, B., & Volder, A. (2010). Green roof vegetation for North American ecoregions: a literature review. *Landscape and Urban Planning*, 96(4), 197-213.
- Enríquez, E., Fuertes, V., Cabrera, M. J., Soares, J., Muñoz, D., & Fernández, J. F. (2017). New strategy to mitigate urban heat island effect: Energy saving by combining high albedo and low thermal diffusivity in glass ceramic materials. *Solar Energy*, 149, 114-24.
- Google Maps (2014). BHRC in Tehran, Iran. Retrieved from <https://www.google.com/maps/place/Road,+Housing+and+Development+Research+Center>.
- Hirano, Y., & Fujita, T. (2012). Evaluation of the impact of the urban heat island on residential and commercial energy consumption in Tokyo. *Energy*, 37(1), 371-83.
- Kantzioura, A., Kosmopoulos, P., & Zoras, S. (2012). Urban surface temperature and microclimate measurements in Thessaloniki. *Energy and Buildings*, 44, 63-72.
- Karlessi, T., Santamouris, M., Apostolakis, K., Synnefa, A., & Livada, I. (2009). Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures. *Solar Energy*, 83(4), 538-51.
- Kolokotroni, M., & Giridharan, R. (2008). Urban heat island intensity in London: An investigation of the impact of physical characteristics on changes in outdoor air temperature during summer. *Solar Energy*, 82(11), 986-98.
- Levinson, R., Berdahl, P., Akbari, H., Miller, W., Joedicke, I., & Reilly, J. (2007) Methods of creating solar-reflective nonwhite surfaces and their application to residential roofing materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91(4), 304-14.
- Li, H., Harvey, J., & Kendall, A. (2013). Field measurement of albedo for different land cover materials and effects on thermal performance. *Building and Environment*, 59, 536-546.
- Lin, Y., & Ichinose, T. (2014). Experimental evaluation of mitigation of thermal effects by "Katsuren travertine" paving material. *Energy and Buildings*, 81, 253-61.
- Lynn, B. H., Carlson, T. N., Rosenzweig, C., Goldberg, R., Druyan, L., & Cox, J. (2009). A modification to the NOAA LSM to simulate heat mitigation strategies in the New York City metropolitan area. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(2), 199-216.
- Ng, E., Chen, L., Wang, Y., & Yuan, C. (2012). A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment*, 47, 256-271.
- Oke, T. R., Johnson, G. T., Steyn, D. G., & Watson, I. D. (1991). Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night part 2: diagnosis of causation. *Boundary-layer meteorology*, 56(4), 339-58.
- Qin, Y. (2016). Pavement surface maximum temperature increases linearly with solar absorption and reciprocal thermal inertial. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 97, 391-9.
- Radhi, H., Fikry, F., & Sharples, S. (2013). Impacts of urbanisation on the thermal behaviour of new built up environments: A scoping study of the urban heat island in Bahrain. *Landscape and Urban Planning*, 113, 47-61.
- Radhi, H., Assem, E., & 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, 162-72.

- 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 and Buildings*, 67, 647-57.
- Salamanca, F., Georgescu, M., Mahalov, A., Moustou, M., Wang, M., & Svoma, B. M. (2013). Assessing summertime urban air conditioning consumption in a semiarid environment. *Environmental Research Letters*, 8(3), 034022. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034022>.
- Salata, F., Golasi, I., de Lieto Vollaro, A., & de Lieto Vollaro, R. (2015). How high albedo and traditional buildings' materials and vegetation affect the quality of urban microclimate. A case study. *Energy and Buildings*, 99, 32-49.
- Santamouris, M., Pavlou, K., Synnefa, A., Niachou, K., & Kolokotsa, D. (2007). Recent progress on passive cooling techniques : Advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households. *Energy and Buildings*, 39, 859-866.
- Santamouris, M., Synnefa, A., & Karlessi, T. (2011). Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy*, 85(12), 3085-102.
- 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, 128-36.
- Sen, S., & Roesler, J. (2019). Thermal and optical characterization of asphalt field cores for microscale urban heat island analysis. *Construction and Building Materials*, 217, 600-611.
- Shahidan, M. F., Jones, P. J., Gwilliam, J., & Salleh, E. (2012). An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials. *Building and Environment*, 58, 245-57.
- Susca, T., Gaffin, S. R., & Dell'Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation : Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 159(8), 2119-26.
- Synnefa, A., Santamouris, M., & Livada, I. (2006). A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. *Solar Energy*, 80(8), 968-81.
- Synnefa, A., Santamouris, M., & Akbari, H. (2007). Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings*, 39(11), 1167-74.
- Synnefa, A., Dandou, A., Santamouris, M., Tombrou, M., & Soulakellis, N. (2008). On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(11), 2846-56.
- Synnefa, A., Karlessi, T., Gaitani, N., Santamouris, M., Assimakopoulos, DN., & Papakatsikas, C. (2011). Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate. *Building and Environment*, 46(1), 38-44.
- Takebayashi, H., & Moriyama, M. (2007). Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*, 42(8), 2971-9.
- Yaghoobian, N., & Kleissl, J. (2012). Effect of reflective pavements on building energy use. *Urban Climate*, 2, 25-42.
- Yang, J., Wang, Z.-H., & Kaloush, KE. (2015). Environmental impacts of reflective materials : Is high albedo a 'silver bullet' for mitigating urban heat island? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 830-43.
- 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.

The effect of Various Surface Materials on Rising Ambient Air Temperature in Hot–Arid Climate

Elaheh Marei

MA in Architecture and Energy, Department of Architecture and Energy, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran (Corresponding Author)

Rima Fayaz

Associate Professor, Department of Architecture and Energy, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran

Sina Memarian

MA in Architecture and Energy, Department of Architecture and Energy, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran

Behrouz Mohammad Kari

Associate Professor, Road, Housing and Urban Development Research Center (BHRC), Tehran, Iran

Abstract

Urban geometry and the materials used in urban fabric play an important role in the microclimate of cities and the mitigation of heat islands. Materials can absorb solar and infrared radiation and scatter the accumulated heat into the atmosphere. The use of large quantities of construction materials such as bricks, concrete, asphalt mixtures, stones, etc. in urban areas, instead of using natural terrain and green areas, is one of the main causes of the Urban Heat Island (UHI). Urban surface materials, as a major interface element, have a significant role in improving microclimate and comfort conditions and reduction of heat gains. An experimental study was carried out to evaluate the effect of various urban surface materials on the potentiality of increasing ambient air temperature in Tehran. 30 conventional paving and roofing materials, which are being used in Iran, were examined during the summer of 2014. The thermophysical properties and solar reflectance values of these materials were measured, in order to determine the impact of the thermal and optical performance of the samples under study on ambient and surface temperatures and their effect on UHI in the hot–arid climate of Tehran. A statistical analysis using F–ANOVA and t–test was performed to identify the effect of physical properties including surface color, surface roughness, and construction of these materials. A spectrometer and an infrared camera were used to quantify the surface reflection and emissivity of the materials. Samples were placed on an extruded polystyrene (XPS) layer –except grass and asphalt that existed in the site– to eliminate the heat transfer between the ground and the samples. The surface temperature of the materials was hourly measured using T type contact thermocouples for 24 days. Also, temperature fluctuations were studied in relation to outdoor temperature. The highest thermal changes in the materials mostly occur in the mid–day, when outdoor temperature and solar radiation are at their maximum. Most of the analysis was carried out between 11:00 am. and 05:00 pm. The results show that dark–colored surface materials have more tendency to absorb solar radiation compared to the smooth and light–colored ones and were warmer. Some materials were warmer than ambient air temperature which is related to the physical, optical, and thermal properties of the samples. Comparative analysis of current pavement and roofing materials used in Tehran showed that most surface temperatures of materials surface are more than 54 °C and the Solar Reflectance Index (SRI) and albedo are lower than 50% that will lead to higher surface temperatures. According to the measurement results and the increase of UHI in Tehran metropolitan area due to the density of the city, the use of light color and smooth materials with high solar reflectance, regardless of their shape, and more greenery covers are more appropriate for Tehran. It is also an effective strategy in mitigating urban heat islands, decreasing cooling load during summer, and improvement of thermal comfort in urban spaces, provided that nuisance glare is prohibited.

Keywords: Urban envelope, pavements material, streets material, roofing materials, Albedo, urban heat island (UHI), surface temperature