

ارزیابی تأثیر ویژگی‌های سطحی و عملکردی روسازی راه‌ها در کاهش پدیده مخرب جزایر گرمایش شهری (مطالعه مروری)

مقاله علمی-مروری

محمدجواد امانی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه راه و ترابری، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
رشید تن زاده*، دانش آموخته فوق دکتری، گروه راه و ترابری، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
فریدون مقدس‌نژاد، استاد، گروه راه و ترابری زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: rashidtanazadeh@aut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

صفحه ۴۶۸-۴۶۱

چکیده

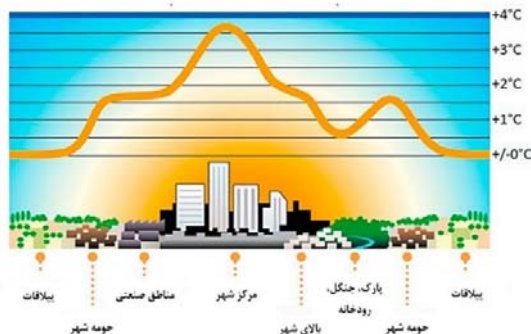
دو پارامتر تأثیرگذار در توسعه شهرها، نرخ رشد جمعیت و توسعه فناوری‌های روز دنیا است. گرمایش شهری، به عنوان یک پدیده ای مخرب، در نتیجه افزایش دما در مناطق متمرکز شهری ایجاد شده است. افزایش گازهای گلخانه‌ای، آسیب‌های زیست‌محیطی و همچنین به خطر افتادن سلامتی انسان از جمله پیامدهای این پدیده مخرب است. گسترش پوشش گیاهی، استفاده از نماهای مناسب و بام‌های سبز در ساختمان‌ها، تغییر معماری شهری و کاربرد روسازی‌های مناسب از جمله راهکارهای کنترل و کاهش این پدیده مخرب است. از آنجایی که راه‌ها، حجم وسیعی از بیکربندی شهرها را به خود اختصاص داده‌اند، کاربرد روسازی‌های خنک شامل روسازی‌های بازتاباننده، روسازی‌های تبخیری و روسازی‌های ذخیره‌کننده و تولیدکننده انرژی در راستای کاهش پدیده جزایر گرمایش شهری پیشنهاد شده است. مطالعات نشان داده است که کاربرد انواع روسازی‌های بازتاباننده با توجه به نحوه تغییر بازتابانندگی، باعث کاهش ۵ تا ۲۰ درجه‌ای دمای سطح راه شده است. این مقدار در روسازی‌های تبخیری بسته به انواع روسازی‌های تبخیری از ۵ تا ۳۵ درجه گزارش شده است.

واژه‌های کلیدی: جزایر گرمایش شهری، روسازی خنک، روسازی نفوذپذیر، روسازی بازتاباننده، روسازی تبخیری

۱-مقدمه

این پدیده، دمای مرکز شهرها را نسبت به دمای پیرامون آن‌ها از ۲ تا ۸ درجه سانتی‌گراد افزایش داده است. با تحقیقات جدید این مقدار به ۵ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (Asimakopoulos, 2001). با توسعه شهرنشینی، سازه‌های ساختمانی دست بشر به صورت تدریجی افزایش یافته و در نتیجه بخش زیادی از مناطق دارای پوشش گیاهی تخریب شده است (Kim & Brown, 2021b; Mizwar, bin Napiiah, & Sutanto, 2021). پیش بینی شده است که تا سال ۲۰۵۰ میلادی، در حدود ۶۷ درصد از کل جمعیت جهان به شهرنشینی تمایل یابند (Senevirathne, Jayasooriya, & Jeffrey-Bailey, 2019).

پدیده مخرب جزایر گرمایش شهری عبارت است از افزایش قابل توجه دمای مناطق متمرکز شهری نسبت به مناطق حومه شهری. مفهوم گرمایش شهری در شکل شماره ۱ بیان شده است. این نمودار بیانگر متوسط دمای ساعتی در سطح یک شهر است. در مناطق مرکزی شهر، نمودار دارای نقاط حداکثری است که به معنای دمای زیاد این نواحی است. با دور شدن از مرکز شهر و نزدیک شدن به مناطق پیرامون شهرها، نمودار حالت نزولی گرفته و دما کاهش یافته است. واژه "جزایر" در عبارت جزایر گرمایش شهری نیز به این اختلاف دما در مناطق مختلف شهری اشاره داشته است (Mohajerani, Bakaric, & Jeffrey-Bailey, 2019).



شکل ۱. نمودار فرضی در راستای مفهوم جزایر گرمایش شهری
Mohajerani, Bakaric, & Jeffrey-Bailey, 2017;
Nwakaire, Onn, Yap, Yuen, & Onodagu, 2020; Qin,
2015

تأثیرات منفی این پدیده مخرب به صورت تدریجی ظاهر و به دو دسته مجزا تقسیم شده است: تأثیرات مخرب بر محیط‌زیست و تأثیرات نامطلوب بر سلامتی انسان. پیامدهای منفی این پدیده مخرب، گرمایش جهانی و شیوع بیماری‌های مختلف از جمله بیماری‌های قلبی و پوستی است. در محدوده سال‌های ۱۹۷۹ تا ۱۹۹۸ در حدود ۷۴۲۱ مرگ ناشی از گرمای بیش از حد در ایالات متحده آمریکا توسط مرکز کنترل و پیشگیری از بیماری‌های این کشور گزارش شده است (Ashley & Lemay, 2008; Ferrari, Kubilay, Derome, & Carmeliet, 2020). مطابق شکل شماره ۲، پیامدهای منفی این پدیده مخرب عبارت است از: افزایش تقاضای انسان برای خنک کردن محیط پیرامون خود و به سبب آن افزایش مصرف انرژی، آلودگی و کاهش کیفیت هوا، افزایش تنش گرمایی روی ساکنین مناطق شهری، افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های مرتبط با گرما و افزایش گرمایش جهانی و تغییر نامتعارف اکوسیستم (Faragallah & Ragheb, 2022; Ichinose, Matsumoto, & Kataoka, 2008; Synnefa et al., 2011; J. Yang, Wang, Kaloush, & Dylla, 2016). در راستای کاهش پیامدهای نامطلوب این پدیده مخرب، روش‌های متعددی در دو دسته اصلی، مورد بررسی قرار گرفته است. دسته اول عبارت است از اقدامات انسانی که با مداخله انسان انجام گرفته و دسته دوم عبارت است از روش‌هایی که خارج از اختیار انسان است. در دسته دوم عوامل مختلفی مانند شرایط آب‌وهوایی، میزان بارش‌ها، جریان‌های هوایی و باد می‌توانند گرمای شهری را کنترل نمایند.

(Dassanayake, & Muthukumaran, 2021). این روند صعودی شهرنشینی، نیاز بشر به زیرساخت‌هایی از جمله راه‌ها و ابنیه‌های مختلف را افزایش داده است که خود عامل مهمی در راستای افزایش پدیده جزایر گرمایش شهری است (DESA). دو عامل اصلی در ایجاد پدیده جزایر گرمایش شهری عبارت است از جذب گرما توسط سطح سازه‌هایی که قدرت جذب بالایی داشته که اصطلاحاً گرما-دوست نامیده می‌شوند و تولید گرما ناشی از مصرف انرژی توسط انسان (Rossi, Pisello, Nicolini, Filipponi, & Palombo, 2014). از دیدگاه دیگر، سه عامل اصلی در راستای تشکیل پدیده جزایر گرمایش شهری عبارت‌اند از: (۱) گرمای ناشی از منابع انسانی مانند وسایل تهویه‌ی هوا، سرمایش و گرمایش، (۲) گرمای ناشی از بناها و مصنوعات انسانی مانند سطح روسازی‌ها و ساختمان‌ها (۳) شرایط آب و هوایی منطقه مانند میزان نزولات آسمانی و وزش باد (Nwakaire et al., 2020). باید توجه داشت که همه‌ی عوامل ذکر شده را می‌توان ناشی از گسترش شهرسازی و تمایل انسان‌ها به شهرنشینی دانست (Fei & Zhao, 2019).
2017; Nwakaire, Onn, Yap, Yuen, & Onodagu, 2020; Qin, 2015

سازه‌های دارای بافت جذب گرما با قابلیت جذب و بازتاب گرما، تأثیر زیادی در تشکیل پدیده جزایر گرمایش شهری داشته است. مطالعات انجام شده در ایالات متحده آمریکا نشان داد که روسازی راه‌ها در حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد و ساختمان‌ها در حدود ۹ تا ۲۵ درصد پیکربندی شهرها را به خود اختصاص داده است. در نتیجه در حدود ۷۵ درصد از سطح شهرها با مصالحی همچون مخلوط‌های آسفالتی، بتنی و پوشش‌های قیری در سطوح سقف‌ها، پوشانده شده است (Mohajerani et al., 2017; Qin, 2015; Zhu & Mai, 2019). با تابش گرما به این سطوح، به علت بافت ویژه و رنگ تیره تر آنها نسبت به پوشش‌های گیاهی و خاک طبیعی، گرما در آنها ذخیره شده است (Debbage & Shepherd, 2015; Qin & Hiller, 2014). همچنین، شرایط آب و هوایی، ویژگی‌های جغرافیایی و تغییرات فصلی در یک شهر خاص در تشدید این پدیده مخرب تأثیرگذار است (Mohajerani et al., 2017; Ramakreshnan et al., 2018). شرایط جوی آرام و پایدار باعث تشدید تأثیرات جزایر گرمایش شهری شده است (Mohajerani et al., 2017). ساختار شهری پراکنده نیز باعث تشدید تأثیرات جزایر گرمایش شهری شده است (Stone, Hess, & Frumkin, 2010).

بخش عمده فرابنفش، قسمت قابل رویت نور و بخش مادون قرمز تشکیل شده است. سطوح مختلف، پرتوهای فرسوخ را به صورت گرما جذب و در هنگام شب، این گرمای جذب شده به محیط اطراف بازگردانده می‌شود. در نتیجه، متوسط دمای هوا افزایش یافته و این امر باعث گرم‌تر شدن نواحی شهری و تشدید پدیده جزایر گرمایش شهری شده است (Akbari & Kolokotsa, 2016). استفاده از نما و پوشش‌های مناسب با قابلیت بازتاب اشعه‌ی مادون قرمز نور خورشید، راهکاری مناسب در راستای کاهش این پدیده مخرب است. با عدم ورود این گرما به داخل خانه، مصرف انرژی در راستای تهویه و خنک سازی فضای خانه، کاهش یافته است.

تنظیم هندسه خیابان‌های شهرها و تغییر معماری آن‌ها، ایجاد استخرها، رودخانه‌ها و تغییر کاربری‌های زمین به شکل‌های متفاوتی، از تشکیل این پدیده مخرب جلوگیری نموده است (Aleksandrowicz et al., 2017). بخش زیادی از پیکربندی شهرها به راه‌های شهری اختصاص یافته است. مطالعات نشان داده است که روسازی راه‌ها تاثیر مشخص و ویژه‌ای در تعادل گرمایی و توزیع دما در سطح شهر داشته است. در نتیجه یکی از روش‌های کاهش پدیده مخرب جزایر گرمایش شهری، تغییر مشخصات سطح روسازی راه‌ها است (Niki Gaitani, Mihalakakou, & Santamouris, 2007; Menon, Akbari, Mahanama, Sednev, & Levinson, 2010; Rosenzweig, Solecki, & Slosberg, 2006). با افزایش دمای سطح روسازی، تعادل گرمایی منطقه از بین رفته و پدیده جزایر گرمایش شهری ایجاد می‌شود. همواره یکی از روش‌های مؤثری که در راستای کاهش این پدیده مخرب پیشنهاد شده است، استفاده از روسازی‌هایی با ویژگی‌های خاص است. این روسازی‌ها به روسازی‌های خنک شناخته شده است. روسازی‌های خنک به طور کلی در دو یا گاه در سه دسته، (۱) روسازی‌های بازتاباننده، (۲) روسازی‌های تبخیری (N Gaitani et al., 2011; Santamouris, 2013) و روسازی‌های ذخیره‌کننده دما (که در آن از گرمای تاییده شده بر سطح روسازی در راستای تولید انرژی استفاده شده است) تعریف شده‌اند. مکانیزم هر یک از این دسته‌ها در راستای کاهش دمای روسازی و جلوگیری از تشکیل پدیده جزایر گرمایش شهری، متفاوت است. روسازی‌های بازتاباننده با بازتاب اشعه‌های نور خورشید، مانع جذب گرما شده و باعث کاهش دمای سطح روسازی می‌شود. در نوع دیگر روسازی‌های خنک،



شکل ۲. پیامدهای مخرب جزایر گرمایش شهری

انسان می‌تواند با تغییر عوامل تشدیدکننده این پدیده مخرب، در راستای کاهش تأثیرات منفی آن حرکت نماید. ایجاد پوشش‌های گیاهی متعدد، استفاده از مصالح مناسب در صنعت ساختمان‌سازی، تغییر معماری شهر و نهایتاً استفاده از مصالح مناسب در روسازی راه‌ها از اقدامات مؤثر قابل انجام توسط انسان است. توسعه فضاهای سبز در سطح شهر (کاشت درختان و استفاده از پوشش‌های چمنی) از روش‌های مؤثر در راستای کاهش پدیده جزایر گرمایش شهری است. جلوگیری از فرسایش خاک، ایجاد مکان‌های تفریحی، تشکیل زیستگاه مناسب برای جانوران و کاهش دمای شهرها از مزایای توسعه فضاهای سبز شهری است (Aleksandrowicz, Vuckovic, Kiesel, & Mahdavi, 2017; Tan, Belcher, Tan, Menz, & Schroeffer, 2021).

مطابق تحقیق انجام شده در مناطق گرمسیری سنگاپور، دمای هوا در مناطقی با پوشش گیاهی گسترده در مقایسه با سایر نقاط در حدود ۱٫۷ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر بوده است (Richards, Fung, Belcher, & Edwards, 2020). تحقیقات مشابه انجام شده در شهر ملبورن استرالیا نشان داد که سایبان شهری ایجاد شده با سایه درختان و سایر اشیاء در سطح شهر، باعث کاهش ۹ درجه سانتی‌گرادی دمای هوا شده است (Berry, Livesley, & Aye, 2013). همچنین اختلاف دمای مناطق پوشیده با چمن و مناطق پوشیده با روسازی‌های آسفالتی و بتنی بدون سایبان در حدود ۱۴ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Armson, Stringer, & Ennos, 2012). ساختمان‌ها با بخش‌هایی همچون سقف و نما می‌توانند گرما را جذب و باعث تشدید پدیده جزایر گرمایش شهری شوند. نور رسیده از خورشید به سطح زمین و ساختمان‌ها، از سه

۱-۲- شدت جزایر گرمایش شهری

یکی از مهم‌ترین معیارها در راستای اندازه‌گیری جزایر گرمایش شهری، تعیین شدت آن است. مقدار عددی شدت جزایر گرمایش شهری مطابق رابطه ۱، از تفاضل دمای مناطق مرکزی شهر از دمای مناطق حومه شهر مورد مطالعه حاصل شده است (Oke, 1973).

$$UHII = \Delta T_{u-r} = T_u - T_r \quad (1)$$

T_u و T_r به ترتیب دمای مناطق حومه شهر و دمای شهری و $UHII$ شدت جزایر گرمایش شهری می‌باشد.

در راستای تعیین شدت جزایر گرمایش شهری و برداشت دما، از ایستگاه‌های هواشناسی در محدوده نزدیک به منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. وجود ایستگاه‌های هواشناسی در محاسبه این پارامتر لازم بوده و در صورت عدم وجود این ایستگاه‌ها، به‌جای تعیین شدت جزایر گرمایش شهری، از مفهومی تحت عنوان شدت جزایر گرمایش شهری سطحی استفاده شده است. این دو مفهوم در راستای سنجش پدیده جزایر گرمایش شهری، مشابه بوده با این تفاوت که محققان در تعیین شدت جزایر گرمایش شهری سطحی از دمای سطح زمین (LST) به‌جای دمای هوا استفاده می‌کنند. با استفاده از دمای سطح زمین به‌جای دمای هوا، می‌توان در هر نقطه دلخواه و بدون توجه به وجود یا عدم وجود ایستگاه هواشناسی ثبت‌کننده دما، اطلاعات دمایی موردنظر را برداشت نمود (Kim & Brown, 2021b; Tomlinson, 2012; Chapman, Thornes, Baker, & Prieto-Lopez, 2012).

در راستای تعیین دمای سطح زمین (LST) از روش‌های سنجش از راه دور استفاده می‌شود. عکس‌های ماهواره‌ای یکی از روش‌های سنجش از راه دور است. می‌توان به کمک عکس‌های ماهواره‌ای، دمای سطوح مختلف را تعیین و پدیده جزایر گرمایش شهری را ارزیابی نمود. مطالعات نشان داده است که بین دمای سطح زمین و دمای هوا رابطه مناسبی برقرار است. در نتیجه تعیین شدت جزایر گرمایش شهری سطحی، روش غیرمستقیمی در راستای تخمین شدت جزایر گرمایش شهری است (Tomlinson et al., 2012).

در راستای ارزیابی و شناسایی پدیده جزایر گرمایش شهری، علاوه بر تعیین دمای سطح زمین با روش‌های سنجش از راه دور بر مبنای سنجش عکس‌های ماهواره‌ای، روش‌های دیگری نیز پیشنهاد شده است. برداشت دما از ایستگاه‌های هواشناسی با تکنیک‌های پایا (استاتیکی) و تکنیک‌های پویا (دینامیکی) قابل انجام است. در برداشت اطلاعات به روش پویا، برداشت اطلاعات به‌صورت متحرک انجام شده است (REPRESENTATIVE SITES & SITES). در روش پویا، با حرکت یک وسیله نقلیه که معمولاً دوچرخه یا خودرو است و به سنسورهای دمایی و تلفن‌های همراه

یعنی روسازی‌های تبخیری، کاهش دما به کمک گرمای پنهان تبخیر آب انجام می‌شود (Ferrari et al., 2020). روسازی‌های تبخیری با تغییر ساختار، به شکل‌های مختلفی به کار گرفته شده است. در روسازی‌های ذخیره‌کننده دما، گرمای جذب شده توسط روسازی استخراج شده و از این گرما به عنوان یک منبع تجدیدپذیر در تولید انرژی استفاده می‌شود. همچنین این قابلیت باعث کاهش دمای سطح روسازی شده است (Mallick, Carelli, Albano, Bhowmick, & Veeraragavan, 2011).

۲- روش‌های اندازه‌گیری پدیده جزایر گرمایش

شهری

قبل از معرفی روش‌های اندازه‌گیری پدیده جزایر گرمایش شهری، تعیین شاخص‌ها و معیارهای آن، ابتدا باید محدوده مکانی مورد مطالعه، تعیین گردد. این محدوده به دو بخش افقی و عمودی دسته بندی شده است. محدوده عمودی مطالعه به سه زیرگروه تقسیم شده است. این گروه‌ها بصورت لایه‌هایی از سطح زمین تعریف شده است: لایه سطحی جزایر گرمایش، لایه سایبانی جزایر گرمایش و لایه مرزی جزایر گرمایش (Oke, Mills, Christen, & Voogt, 2017; Roth, 2012). همچنین محدوده عمودی مطالعه را می‌توان در چهار بخش لایه مرزی شهری، لایه سایبانی شهری، لایه سایبانی ساختمانی و لایه سطحی مورد مطالعه قرار داد (Kim & Brown, 2021a). محدوده افقی مطالعه در چهار سطح میکرو، محلی، مزو و ماکرو بررسی می‌شود. در مطالعات انجام شده، ارتفاع این لایه‌های فرضی، متفاوت است. برخی از این لایه‌ها از فضای زندگی انسان‌ها و هوایی که انسان استنشاق می‌کند آغاز و تا ارتفاعات بالای ساختمان‌ها امتداد یافته است.

مطالعات پیشین نشان داده است که اکثر مطالعات انجام شده در زمینه پدیده جزایر گرمایش شهری، در محدوده‌های عمودی لایه سایبانی شهری و لایه مرزی شهری و در محدوده افقی در سطح مزوسکوپی انجام شده است. محدودیت بودجه و کمبود ابزارهای در دسترس، مانع بررسی این پدیده در مقیاس‌های بزرگ‌تر بوده است (Kim & Brown, 2021b; Suter, 2017; X. Yang & Li, 2013). در راستای درک بهتر تاثیر این پدیده بر دمای یک شهر مورد مطالعه، شدت جزایر گرمایش شهری، تعادل انرژی و مدل‌های تخمین بزرگی جزایر گرمایش شهری بررسی شده است.

اصلاح شده تعادل انرژی سطحی (SEB) که به منبع انرژی شهری (TEB) معروف است، استفاده شده است. در این مدل، شار حرارتی تولیدشده در لایه سایبانی که در محدوده اطراف بام ساختمان‌ها است، محاسبه شده است (Nazarian & Kleissl, 2015; Salvati, Monti, Roura, & Cecere, 2019; Suter et al., 2017).

۲-۳- تعادل انرژی

روش‌های مختلفی در راستای مدل‌سازی بزرگی و شدت پدیده جزایر گرمایش شهری وجود داشته است و طبق مطالعات انجام شده، این روش‌ها به دودسته مدل‌های تجربی و مدل‌های آزمایشگاهی تقسیم شده است (Kim & Brown, 2021b). در مدل تجربی، ویژگی‌های جزایر گرمایش شهری بر اساس مشاهدات تجربی تعیین می‌شود. هدف اصلی در این روش، شبیه سازی انرژی گرمایی لایه سایبانی با استفاده از روابط استاتیکی به دست آمده از مشاهده و تجربه است. سادگی، کاربرد آسان و عملکرد مناسب در شهرهایی با شرایط آب‌وهوایی محدود، از ویژگی‌های این روش است (Masson, 2006). در مدل‌های تجربی، بر اساس اطلاعات تجربی و روابط احتمالاتی موجود بین متغیرهای جوی، متغیرهای هندسی شهر و سایر متغیرهای تأثیرگذار، پدیده‌هایی همچون جزایر گرمایش شهری قابل توصیف است (Roth, 2012). محققان در ساخت این روابط آماری قابل تعمیم از داده‌های برداشت شده از مکان‌هایی با شرایط متفاوت، استفاده می‌کنند (Oke, 1988). مدل‌های تجربی به صورت توصیفی قابل بیان بوده و نتایج آن به سرعت قابل انتقال است. از محدودیت‌های اصلی این روش آن است که بر مبنای اطلاعات دریافتی از طریق مشاهدات تجربی، محاسبه شده است. یکی از مرسوم‌ترین مدل‌های تجربی، مدل‌های رگرسیون است. در تحقیقات گسترده‌ای از تحلیل همبستگی برای بررسی رابطه بین شدت جزایر گرمایش شهری یا تابش خورشید با سایر عوامل تأثیرگذار بر پدیده جزایر گرمایش شهری مانند دمای هوا، معماری شهر و کاربری زمین در محدوده مورد مطالعه استفاده شده است. همچنین از رگرسیون چندگانه برای بررسی شدت و بزرگی جزایر گرمایش شهری استفاده شده است. رگرسیون چندگانه در راستای فهم میزان حساسیت عوامل تأثیرگذار بر پدیده جزایر گرمایش شهری مورد استفاده قرار گرفته است (Kim & Brown, 2021a). همچنین می‌توان از طریق روش‌های آزمایشگاهی، پدیده جزایر گرمایش شهری را شبیه‌سازی و شرایط پیچیده‌تر و متنوع‌تری را ارزیابی نمود. این مدل‌ها، نشان‌دهنده تأثیر تغییرات معماری سازه‌ها در پیکربندی شهرهاست. مدل‌های آزمایشگاهی نسبت به مدل‌های تجربی در محدوده‌های بزرگتری به بررسی این پدیده پرداخته و در نتیجه بسیاری از محدودیت‌های مدل‌های تجربی را نداشته است. مطالعات نشان داده است که روش‌های

دارای سیستم موقعیت‌یاب جهانی مجهز است. اطلاعات دمایی قابل برداشت است (Tsin et al., 2016). پدیده جزایر گرمایش شهری با روش‌های ردیابی که در آن محدوده مورد مطالعه به صورت یک سطح دوبعدی گاوسی در نظر گرفته می‌شود، قابل ارزیابی است. در این روش، دما به صورت یک کانتور در آن سطح نمایش داده شده است. همچنین با بررسی ردیابی دما، نواحی با دماهای پیشینه و کمینه مشخص شده است (Peng, Hu, & Dong, Liu, & Liu, 2020).

۲-۲- تعادل انرژی

در راستای توصیف شدت و بزرگی جزایر گرمایش شهری از مفهومی تحت عنوان تعادل انرژی استفاده شده است (Oke et al., 2017). در این مفهوم به جای مرتبط ساختن جزایر گرمایش شهری با پارامترهایی چون دمای هوا، اندازه و نوع جریان‌های حرارتی تولید شده در منطقه مورد نظر، محاسبه شده است. مطابق مفهوم تعادل انرژی، جزیره گرمایش شهری عبارت است از اختلاف بین تعادل انرژی در مناطق شهری و مناطق حومه‌ی شهر. این مفهوم نشان‌دهنده وضعیت آب و هوایی منطقه مورد نظر است (Nwakaire et al., 2020). با این رویکرد، پدیده جزایر گرمایش شهری در مقیاس‌های کوچک‌تر و با جزئیات بیشتری ارزیابی شده و امکان بررسی دقیق‌تری فراهم شده است. معمولاً بررسی جزایر گرمایش شهری بر اساس مفهوم تعادل انرژی در مقیاس‌های میکرو یا محلی انجام می‌گیرد. این در حالی است که معمولاً در راستای تحلیل جزایر گرمایش شهری به کمک مفاهیم شدت جزایر گرمایش شهری و شدت جزایر گرمایش شهری سطحی از مقیاس مزو که محدوده بزرگ‌تری را نسبت به محدوده میکرو شامل شده است، استفاده می‌شود. در محدوده عمودی از لایه سطحی برای اندازه‌گیری تعادل انرژی استفاده شده است. رابطه ۲ برای اندازه‌گیری تعادل گرمایی سطحی پیشنهاد شده است (Chow et al., 2014; Kumar & Sarkar):

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (2)$$

در این رابطه Q^* شار خالص امواج تابیده شده از خورشید، Q_F شار حرارتی ناشی از فعالیت‌های انسان، Q_H شار حرارتی آشفته محسوس، Q_E شار حرارتی پنهان، ΔQ_S انرژی خالص جذب یا دفع شده به وسیله تغییر محسوس گرما در هوای سطح زمین یا هوای لایه‌ی سایبانی و ΔQ_A شار حرارتی جابجا شده به صورت افقی است. نکته‌ی حائز اهمیت در این رابطه وجود Q_F و ΔQ_S است که وابسته به هندسه و بافت شهر می‌باشد که به عنوان عاملی موثر بر جزایر گرمایش شهری شناخته شده است (Cantelli, Monti, & Leuzzi, 2015). همچنین در راستای محاسبه شدت و تغییرات جزایر گرمایش شهری، از مدل

ویژگی‌های دمایی و در نتیجه تاثیر این سازه بر کاهش پدیده مخرب جزایر گرمایش شهری را مشاهده نمود. روسازی‌های مختلفی نیز که در طی سال‌های گذشته در این راستا طراحی شده‌اند، بر تغییر همین ویژگی‌ها پرداخته و تا حدی موفق بوده‌اند.

شبیه‌سازی مورد استفاده در مطالعات آزمایشگاهی در سه دسته شبیه‌سازی با مدل‌های عددی، شبیه‌سازی با زبان‌های برنامه‌نویسی رایانه‌ای و شبیه‌سازی با مدل‌های فیزیکی در مقیاس‌های مناسب، قابل طبقه‌بندی است (Kim & Brown, 2021b).

۳- روسازی و تاثیر آن بر جزایر گرمایش شهری

حمل و نقل جاده‌ای سهم عمده‌ای از سیستم‌های حمل و نقل را به خود اختصاص داده است. به دلیل ضعف خاک بستر در تحمل بار چرخ وسایل نقلیه‌ی مختلف و همچنین ناهمواری‌های بیش از حد آن، ایجاد یک ساختار مقاوم بر روی بستر لازم است. این لایه مقاوم با تامین یک سطح هموار، نیروهای ناشی از چرخ وسایل نقلیه را تا حد قابل قبولی کاهش داده است. روسازی‌ها به دلیل ویژگی‌های دمایی مشخص، تاثیر بالایی در تغییرات آب و هوایی داشته است (Santamouris, 2013). در نتیجه، بررسی ویژگی‌های دمایی و عوامل موثر بر عملکرد دمایی روسازی‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مطابق مطالعات انجام شده در ایالات متحده آمریکا، دمای روسازی‌های آسفالتی در تابستان به بیش از ۶۰ درجه سانتی‌گراد رسیده است (Doulos, Santamouris, & Livada, 2004; Higashiyama, Sano, Nakanishi, Takahashi, & Tsukuma, 2016; Santamouris, 2013). با بازگشت درصد پائینی از این دما به محیط اطراف، اثرات بسیار مخربی پدیدار شده است. در این مطالعه سعی شده است تا با ارائه‌ی یک دسته‌بندی جامع از عوامل موثر بر دمای روسازی و ویژگی‌های دمایی آن، به شناخت بهتری از این سازه دست پیدا کرده تا بتوان گام‌های موثرتری در جهت رفع پدیده‌ی مخرب جزایر گرمایش شهری برداشت. در جدول ۱، ویژگی‌ها و پارامترهای دمایی روسازی در راستای شناخت بهتر روسازی در راستای کاهش پدیده جزایر گرمایش شهری ارائه شده است. ویژگی‌های ذکر شده در جدول ۱ به دو دسته کلی ویژگی‌های ترمودینامیک و ویژگی‌های مربوط به انتقال انرژی قابل تقسیم است. ویژگی‌های ترمودینامیک همان انتقال انرژی در داخل ساختار روسازی است و ویژگی‌های مربوط به انتقال انرژی همان ویژگی‌های مرتبط به هدایت انرژی گرمایی بین روسازی و محیط اطراف آن است (Mohajerani et al., 2017; Stempihar, Pourshams-Manzouri, Kaloush, & Rodezno, 2012). در نتیجه می‌توان با تغییر ساختار روسازی،

۴- روسازی‌های خنک

از مؤثرترین راهکارهای کاهش تأثیرات پدیده مخرب جزایر گرمایش شهری، کاربرد روسازی‌های خنک است (Chen, Chiu, Su, Wu, & Cheng, 2017; Doan, Kusaka, & Nguyen, 2019; Rosso, Pisello, Cotana, & Ferrero, 2016). با تغییر برخی خصوصیات روسازی و افزودن پوشش‌هایی در این سیستم چندلایه، می‌توان دمای سطح آن را کاهش داد. با کاهش دمای سطح روسازی، دمای محیط اطراف نیز کاهش یافته است. تمایل به ساخت چنین روسازی‌های، مفهوم روسازی خنک را پدید آورد. در واقع به روسازی‌هایی که با روش‌هایی مانند ایجاد بازتابانندگی بیشتر در سطح روسازی، تغییر در نفوذپذیری سطح و یا استفاده از رطوبت موجود در سازه روسازی، به کاهش دمای سطح روسازی منجر شود، روسازی‌های خنک می‌گویند (Faragallah & Ragheb, 2022; Qin, 2015; C. Wang, Wang, Kaloush, & Shacat, 2021; Yinfei, Qin, & Shengyue, 2015). روسازی‌های خنک به دو دسته روسازی‌های بازتاباننده و روسازی‌های نفوذپذیر تقسیم شده است. بهتر است که روسازی‌های نفوذپذیر، خود به عنوان زیرمجموعه‌ای از روسازی‌هایی تحت عنوان روسازی‌های تبخیری به حساب آورده شوند. با وجود مزایای زیاد، روسازی‌های خنک کاربرد گسترده‌ای در طرح‌های صنعتی نداشته است (Phelan et al., 2015; Wong & Lau, 2013). عدم آگاهی کامل در رابطه با این روسازی‌ها، نداشتن اطلاعات کافی و حتی عدم علاقه پیمانکاران به دلیل عدم سابقه اجرایی از مهم‌ترین دلایل احتمالی صنعتی نشدن روسازی‌های خنک است (Ramakreshnan et al., 2019).

جدول ۱. پارامترهای دمایی روسازی و عوامل مؤثر بر عملکرد دمایی آن

نام	تعریف	عامل مؤثر بر آن و نحوه اثرگذاری	واحد	مراجع
اینرسی حرارت	یکی از ویژگی‌های مصالح است که به میزان تغییرات آهسته دما در واکنش آن ماده به تغییرات دما پرداخته است	به اجزای سازنده روسازی وابستگی بالایی دارد و بر سایر ویژگی‌های دمایی روسازی مانند هدایت حرارتی تأثیرگذار است	$J/m^2Ks^{-\frac{1}{2}}$	(Oke, 1982;) Sreedhar & Biligiri, 2016
بازتابانندگی	درصدی از پرتوها و انرژی خورشیدی که پس از برخورد به سطح روسازی، بازتاب می‌شود	بر بیشینه دمای لایه‌های سطحی و زیرین روسازی تأثیرگذار است و تحت تأثیر میزان زبری و رنگ سطح روسازی است	dimensionless	(Santamouris,) 2013; Sreedhar & Biligiri, 2016
قابلیت انتشار	توانایی مصالح روسازی در نشر انرژی گرمایی موجود در آن ماده به محیط اطراف آن است	مشابه ویژگی بازتابانندگی است. امکان کاهش جزایر گرمایش شهری با افزایش قابلیت انتشار وجود دارد	dimensionless	(Sreedhar &) Biligiri, 2016
هدایت حرارتی	توانایی مصالح روسازی در انتقال و هدایت حرارت در جسم آن می‌باشد. به عبارت دیگر هدایت حرارتی سهولت و میزان سرعت جابه‌جایی حرارت از یک نقطه روسازی با حرارت بیشتر به نقطه‌های دیگر با حرارت کمتر است	با کاهش هدایت حرارتی روسازی، دمای سطح روسازی افزایش ولی دمای میانگین روسازی نیز کاهش یافته و دمای محیط اطراف روسازی نیز می‌تواند کاهش یابد.	$\frac{W}{m.K}$	(Gui, Phelan,) Kaloush, & Golden, 2007
ظرفیت حررتی حجمی	این ویژگی بیانگر میزان جذب و ذخیره‌سازی انرژی گرمایی در هر مترمکعب از مصالح است	با افزایش ظرفیت حرارتی روسازی، حداکثر دمای روسازی و به دنبال آن دمای محیط نیز کاهش می‌یابد.	$\frac{J}{Km^3}$	(Mohajerani) et al., 2017; Santamouris, 2013
همرفت حرارتی	انتقال گرما بین سطح روسازی و محیط اطراف است که در اثر اختلاف دمای بین این دو محیط به وجود می‌آید.	تحت تأثیر عوامل خارجی مثل باد است	J	(Santamouris,) 2013

۴-۱- روسازی‌های بازتاباننده

روسازی شده است (J. Hu & Yu, 2013; Ma & Zhu, 2009). از دیگر معایب روسازی‌های بازتاباننده، کاربرد آن در مناطق متراکم شهری است. گرمای بازتاب شده از سطح روسازی می‌تواند جذب ساختمان‌های بلند شده و با افزایش دمای آن‌ها، خود باعث افزایش مصرف انرژی در این ساختمان‌ها شود (Ferrari et al., 2020). همچنین نور بازتاب شده از سطح روسازی که دارای اشعه فرابنفش است، در تماس با انسان‌ها باعث بروز مشکلاتی از جمله بیماری‌های پوستی شده است (Anupam, Sahoo, Chandrappa, & Rath, 2021; Santamouris, Synnefa, & Karlessi, 2011).

یکی از مهم‌ترین انواع روسازی‌های خنک، روسازی‌های بازتاباننده است. مطالعات نشان داده است که روسازی‌های بازتاباننده، موثرترین و در عین حال پرکاربردترین روش در راستای کاهش دمای روسازی و به تبع آن کاهش پدیده جزایر گرمایش شهری، است (Song & Park, 2015; Xie, Akin, & Shi, 2019). این روسازی‌ها با بهبود ویژگی بازتابندگی گرما از سطح، گرمای کمتری جذب و در نتیجه دمای سطح روسازی و اطراف آن به طور قابل توجهی کاهش یافته است (Ferrari et al., 2020). این نوع روسازی‌ها علاوه بر کاهش دما، دوام روسازی‌ها را در شرایط مختلف افزایش داده است. در راستای یافتن بهترین روش تولید روسازی‌های بازتاباننده، تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است. مختلف، بازتابانندگی‌های متفاوتی از خود نشان داده است. این ساختار در تابستان باعث کاهش ۶ درجه سانتی‌گرادی و در زمستان به دلیل کاهش دما و با تغییر خاصیت بازتابانندگی، تنها باعث کاهش ۳ درجه سانتی‌گرادی دمای سطح

جدول ۲. خلاصه تحقیق‌های انجام شده در زمینه روسازی‌های تبخیری

میزان تغییر ویژگی بازتابندگی	محدوده اثر	میزان کاهش دما در محدوده	مرجع
افزایش به میزان ۰/۲۵	حداکثر دمای محیط	کاهش ۱/۵ درجه سانتی‌گرادی	Rosenfeld,) Akbari, Romm, & Pomerantz, (1998)
افزایش ۰/۱۲۴ (از ۰/۰۳۵ به ۰/۱۶)	حداکثر دمای سطح روسازی	کاهش ۹ درجه سانتی‌گرادی	(Pomerantz & Akbari, 1998)
افزایش ۰/۲	حداکثر دمای روسازی	کاهش ۵ درجه سانتی‌گرادی	(Pomerantz, Akbari, & Harvey, 2000)
افزایش ۰/۲ در روسازی و ۰/۱ در سقف ساختمان‌ها	متوسط دمای محیط	کاهش ۱/۵ درجه سانتی‌گرادی	Van Bijsterveld) & De Bondt, (2002)
-	حداکثر دمای سطح روسازی	کاهش ۱۵ درجه سانتی‌گرادی	Kinouchi,) Yoshinaka, Fukae, & Kanda, (2003)
افزایش ۰/۲	متوسط دمای محیط	کاهش ۰/۲ درجه سانتی‌گرادی	(Fang, Cook, Smith, & Williams, 2011)
-	متوسط دمای محیط	کاهش ۵ درجه سانتی‌گرادی	(Synnefa et al., 2011)
افزایش ۰/۱	حداکثر دمای سطح روسازی	کاهش ۶ و ۳ درجه سانتی‌گرادی در تابستان و زمستان	(Li, Harvey, & Kendall, 2013)
افزایش ۰/۶ (از ۰/۱ به ۰/۷)	دمای سطح روسازی	کاهش ۲۰ درجه سانتی‌گرادی	(J. Yang et al., 2016)
افزایش ۰/۱	حداکثر دمای سطح روسازی	کاهش ۰/۹۵ درجه سانتی‌گرادی	(Santamouris et al., 2017)
افزایش ۰,۱ (از ۰/۲ به ۰/۳ و از ۰/۳ به ۰/۴)	حداکثر دمای سطح روسازی	کاهش ۴ درجه‌ای (از ۰/۲ به ۰/۳ با دماهای ۵۱ به ۴۷) و کاهش ۳/۵ درجه سانتی‌گرادی دما (بازتابندگی از ۰/۳ به ۰/۴ و دماهای ۴۷ به ۴۳/۵)	Ferrari et) [۲۶] al., 2020
-	متوسط دمای محیط و دمای سطح روسازی	کاهش ۱/۵ درجه دمای محیط و ۱۰ درجه سانتی‌گرادی سطح روسازی	(Freire, Grau, & Ayerra, 2021)
افزایش ۰/۳	حداکثر دمای محیط	کاهش ۲/۵ درجه سانتی‌گرادی	(Santamouris, 2013)
افزایش ۰/۱۳	حداکثر دمای محیط	کاهش ۳ درجه سانتی‌گرادی	(Hein & Schaus, 2013)

۴-۲- روسازی‌های تبخیری

تحقیقات نشان داده‌است که در صورت مرطوب بودن سطح روسازی، دمای سطحی آن کاهش یافته است (Yamagata, Nasu, Yoshizawa, Miyamoto, & Minamiyama, 2008). این موضوع ایده اولیه تشکیل روسازی‌های تبخیری بوده است. این روسازی‌ها با استراتژی‌های مختلفی، آب را به لایه‌های پایین‌تر روسازی هدایت کرده و در مصالح و خلل و فرج آن‌ها ذخیره می‌نمایند. با گرم شدن هوا، این آب به تدریج تبخیر می‌شود. در نتیجه با کمک گرمای نهان تبخیر آب موجود در این لایه‌ها (که اغلب ناشی از بارندگی ایجاد شده است) دمای سطح روسازی کاهش می‌یابد (J. T. Kevern, Schaefer, & Wang, 2009; J. Wang, Meng, Tan, Zhang, & Zhang, 2018). با تبخیر مقداری از آب و کاهش دما در سطح روسازی، مقدار اضافه این آب به خاک بستر نفوذ و به سفره آب زیر زمینی افزوده می‌شود (Martin & Kaye, 2014). درصد فضای خالی انواع روسازی تبخیری، متفاوت است. درصد فضای خالی موجود در این روسازی‌ها با توجه به نوع روسازی‌ها از ۸ الی ۲۰ درصد گزارش شده‌است (Kappou et al., 2022). میزان فضای خالی در روسازی‌های آسفالتی متخلخل حدود ۱۸ درصد تخمین زده شده‌است (Scholz & Grabowiecki, 2007). با افزایش درصد فضای خالی در روسازی، حجم زیادی آب در آن‌ها نفوذ و ذخیره شده است. با توجه به تحقیق‌های انجام شده، روسازی‌های تبخیری به دو دسته روسازی‌های قابل رویش و غیرقابل رویش تقسیم شده است (Karlessi et al., 2013; Mohajerani et al., 2017). در روسازی‌های قابل رویش برخلاف روسازی‌های غیرقابل رویش، آب از طریق درزهایی به داخل روسازی نفوذ و در این بخش‌ها؛ امکان رویش گیاهان فراهم شده است (Herb, Janke, Mohseni, & Stefan, 2008; Takebayashi & Moriyama, 2012). این روسازی‌ها اغلب در پیاده‌روها و مکان‌هایی غیر از جاده‌ها مورد استفاده قرار گرفته شده است. روسازی‌های خنک به روسازی‌های متخلخل، نفوذپذیر، متخلخل با درصد فضای خالی بیش از حد متعارف و نگهدارنده آب تقسیم شده است (Anupam et al., 2021; Ferguson, 2005; Mullaney & Lucke, 2014). روسازی‌های تبخیری از نظر ساختاری و عملکردی تفاوت‌هایی دارند. کارکرد آنها بر مبنای گرمای نهان تبخیر آب در راستای کاهش دمای سطح روسازی است. ممکن است درک انواع روسازی‌های تبخیری دشوار باشد؛

اما نحوه عبور آب در این روسازی‌ها متفاوت است (Diefenderfer, Al-Qadi, & Diefenderfer, 2006). انواع روسازی‌های تبخیری عبارت است از رویه‌های متخلخل، رویه‌های نفوذپذیر، رویه‌های متخلخل با درصد فضای زیاد و روسازی‌های نگهدارنده آب.

۴-۲-۱- رویه‌های متخلخل

این نوع روسازی‌های بلوکی، توسط اتصالاتی در کنار هم قرار گرفته و این اتصالات و درزها، با ایجاد نفوذپذیری، باعث عبور آب شده است. برای افزایش نفوذ آب در جسم و ساختار این روسازی‌ها، از شبکه‌ای از حفره‌ها و روزنه‌ها در بلوک‌ها استفاده شده است. این سیستم منجر به پدید آمدن روسازی‌های متخلخل شده است (Anupam et al., 2021). با بررسی ریشه لاتین عبارت روسازی‌های متخلخل، این برداشت می‌شود که منظور از کلمه متخلخل، عبور سیال از طریق منافذ خود جسم و ساختار رویه روسازی بوده است (Sprouse III, Hoover, 2020). منافذ و حفرات این رویه‌ها با مصالحی همچون ماسه و گیاهان طبیعی پر شده است تا در هنگام بارندگی، آب را برای مدتی در داخل ساختار خود نگهداری نماید (Qin, 2015). تحقیقات نشان داده است که در حدود ۲۰ الی ۵۰ درصد از سطح رویه در این نوع از روسازی‌های تبخیری، توسط شبکه روزنه‌ای پوشیده شده است (Anupam et al., 2021; Takebayashi & Moriyama, 2012).

۴-۲-۲- رویه‌های نفوذپذیر

این دسته از روسازی‌ها اندکی با روسازی‌ها متخلخل متفاوت است. در صورت عمیق شدن در ریشه واژگان، معنی این کلمه به صورت عبور سیال از روی جسم دیگر و اطراف آن، بجای نفوذ در خود جسم، بیان شده است (Sprouse III et al., 2020). در این رویه‌ها برخلاف رویه‌های متخلخل که آب از درون جسم روسازی به لایه‌های زیرین تخلیه می‌شود، آب از کناره‌های قطعات روسازی تبخیر و خارج می‌شود (Anupam et al., 2021; Qin, 2015). در این رویه‌ها برخلاف رویه‌های متخلخل، روزنه‌ها و حفره‌های موجود در ساختار روسازی، همچون کانال‌هایی به یکدیگر متصل بوده و آب می‌تواند در آن‌ها حرکت کند و در رویه‌های متخلخل، این حفرات و روزنه‌ها به یکدیگر اتصالاتی نداشته‌اند (Hunt & Collins, 2008).

۴-۲-۳- رویه‌های متخلخل با درصد فضای خالی زیاد

این روسازی‌ها را می‌توان زیرمجموعه‌ای از روسازی‌های متخلخل به حساب آورد. همانطور که از نام این روسازی‌ها مشخص است، دارای تخلخل و درصد فضای خالی بسیار زیادی هستند. در این روسازی‌ها، مشابه روسازی‌های متخلخل و برخلاف روسازی‌های نفوذپذیر، آب از درون جسم روسازی به لایه‌های پایین‌تر نفوذ می‌کند. در ساختار این روسازی‌ها معمولاً یک دانه‌بندی مشخص از سنگدانه همراه با قیر و یا ملات سیمان به عنوان چسباننده در مخلوط استفاده شده است (J. Kevern, Wang, Suleiman, & Schaefer, 2006; Qin, Yang, Deng, & He, 2015; Schaefer & Wang, 2006). به علت وجود منافذ بسیار زیاد این روسازی‌ها، مقدار آب قابل توجهی در جسم روسازی نفوذ می‌کند. به دلیل قابلیت زهکشی بسیار زیاد این روسازی‌ها، آب موجود در روسازی به مدت زیادی در جسم آن باقی نمانده و سریعاً زهکشی می‌شود. با وجود چنین ساختاری، میزان نفوذپذیری آب در این روسازی‌ها حدود ۰,۰۹۷ تا ۹,۷ سانتی متر بر ثانیه تخمین زده شده است (Roseen et al., 2009). اگرچه این روسازی‌ها نسبت به روسازی‌های معمول، در روزهای گرم و آفتابی دمای بالایی دارند. اما در شب می‌توانند دما را به صورت قابل توجهی نسبت به روسازی‌های دیگر از جمله روسازی بازتاباننده، کاهش دهند (J. T. Kevern, Haselbach, & Schaefer, 2012; J. T. Kevern et al., 2009). علت دمای زیاد این روسازی‌ها در طول روز، بازتابانندگی کم آنها به واسطه تخلخل و زبری سطح این روسازی‌ها است که دمای آن را نسبت به روسازی‌های مرسوم، افزایش داده است (Lynn et al., 2009).

۴-۲-۴- روسازی‌های نگهدارنده آب

انواع مختلف روسازی‌های نفوذپذیر شامل هر سه نوع متخلخل، نفوذپذیر و متخلخل با درصد تخلخل زیاد، آب را به سرعت از خود عبور داده و آب برای مدت زیادی در آنها باقی نمانده است. در نتیجه، مدت زمانی که این رویه‌ها توانسته‌اند منجر به کاهش دما شوند، در حد یک الی دو روز بعد از بارندگی و مرطوب شدن سطح روسازی تخمین زده شده است (Liu, Li, & Yu, 2020). برای رفع این مشکل، روسازی‌های نگهدارنده آب ایجاد شده است. هدف از ساخت این روسازی‌ها ننگه داشتن آب در نزدیکی سطح روسازی برای کاهش دمای سطح بوده است. این روسازی‌ها می‌توانند به صورت بتنی، آسفالتی و یا در راستای عملکرد بهتر، به صورت ترکیبی از آنها اجرا شوند (Qin, 2015). در این روسازی‌ها، علاوه بر وجود لایه عایقی که در زیر قرار گرفته و به نگهداری آب در نزدیک سطح روسازی کمک می‌کند، به علت وجود حفرات بسیار ریز در بافت روسازی، آب در اثر موینگی به سمت سطح روسازی حرکت کرده و منجر به کاهش دمای سطح روسازی شده است (Akira, Motofumi, 2011).

(Akiriho, & Takashi, 2011). مطالعات نشان داده است که به دلیل ماندگاری بیشتر آب در نزدیکی سطح روسازی، دمای روسازی تا یک هفته در سطح قابل قبولی باقی مانده است (Qin, 2015). انواع روسازی‌های نفوذپذیر و روسازی‌های ننگه‌دارنده آب، علاوه بر کاهش دمای روسازی و محیط اطراف مزایای متفاوتی داشته است. اخیراً کاربرد روسازی‌های نفوذپذیر به منظور کنترل آب‌های سطحی و جلوگیری از سیل، رواج یافته است (M. Hu, Zhang, Li, Yang, & Tanaka, 2013; Imran, Akib, & Karim, 2013). در صورت ساخت مناسب این روسازی‌ها با درصد فضای خالی کافی، در حدود ۹۰ درصد از کل آب سطحی ناشی از باران از سطح روسازی جمع‌آوری شده است (Brattebo & Booth, 2003; Gilbert & Clausen, 2006; Zachary Bean, Frederick Hunt, & Alan Bidelspach, 2007). همچنین این روسازی‌های نفوذپذیر و نگهدارنده آب منجر به کاهش فاضلاب سطحی، افزایش سطح سفره‌های آب زیرزمینی و کاهش یا از بین بردن آلودگی خاک و هوا شده است (Takahashi & Yabuta, 2009).

از معایب این رویه‌ها آنست که تنها در مناطق مرطوب و دارای بارندگی زیاد منجر به کاهش دمای سطح روسازی شده اند و در مناطق گرم و خشک نه تنها نمی‌توانند دما را کاهش دهند، بلکه باعث افزایش دما نیز شده‌اند. گاهی کاربرد آنها در مناطق گرم و خشک، باعث افزایش دمای سطح روسازی در حدود ۵ تا ۱۰ درجه سانتی گراد شده است (Li, Harvey, Holland, et al., 2013; Wu, Sun, Li, & Yu, 2018). در مناطق گرم و خشک، جذب بیشتر گرمای خورشید توسط این رویه‌ها، بازتابانندگی کم بافت روسازی و نبود آب در این نوع از روسازی‌ها از دلایل اصلی افزایش دمای سطح روسازی بوده است (Asaeda & Ca, 2000; J. T. Kevern et al., 2012; Zhang, Jiang, & Liang, 2015). در نتیجه توصیه شده است که این روسازی‌ها در مناطقی با آب و هوای مرطوب مورد استفاده قرار گرفته شوند. دوام پایین آنها به دلیل وجود فضای خالی زیاد و اجازه نفوذ آب و مواد اضافی به آنها از دیگر معایب کاربرد این روسازی‌هاست. این روسازی‌ها به شدت قابلیت اعوجاج داشته (Alvarez, Martin, & Estakhri, 2011) و ممکن است با انتقال آب‌های سطحی منجر به آلودگی سفره‌های آب‌های زیرزمینی شوند (Vairagade, 2016) توصیه شده است که از این روسازی‌ها در محل پارک خودروها، راه‌های جمع‌کننده، نواحی مسکونی و یا در محل غابرین پیاده استفاده شود (Fei & Zhao, 2019; Goede & Haselbach, 2013; Li, Harvey, & Jones, 2012). در جدول شماره ۳، نتایج تحقیقات انجام شده در سال‌های گذشته پیرامون روسازی‌های تبخیری مقایسه شده است.

مرجع	نوع روسازی	محدوده تأثیر	میزان تأثیر
(Asaeda & Ca, 2000)	روسازی متخلخل	دمای سطح روسازی	کاهش ۵ درجه سانتی‌گرادی (از ۵۴ به ۴۹ درجه سانتی‌گراد)
(Karasawa, Toriiminami, Ezumi, & Kamaya, 2006)	روسازی نگهدارنده آب	دمای سطح روسازی	کاهش ۷/۲ الی ۱۶/۶ درجه سانتی‌گرادی
(Nishiyama, Ohnishi, & Yano, 2007)	روسازی متخلخل با درصد فضای خالی زیاد	دمای سطح روسازی	کاهش ۴/۱ درجه سانتی‌گرادی
(Nakayama & Fujita, 2010)	روسازی نگهدارنده آب	دمای بالای سطح روسازی	کاهش ۵ الی ۲۰ درجه سانتی‌گرادی نسبت به مابقی روسازی‌ها مرسوم در حالت بعد از بارندگی
(Li, Harvey, Holland, et al., 2013)	روسازی نفوذپذیر	دمای سطح روسازی	کاهش ۱۵ الی ۳۵ درجه سانتی‌گرادی در بعدازظهر تابستان
(Jiang, Sha, Xiao, Wang, & Apeagyei, 2016)	روسازی نگهدارنده آب (روسازی آسفالتی متخلخل + یک لایه عایق)	-	کاهش ۱۰ درجه سانتی‌گرادی دما نسبت به روسازی متخلخل ساده
(Cheng, Lo, Ho, Lin, & Yu, 2019)	روسازی متخلخل	دمای سطح روسازی	در روسازی بتنی کاهش ۶/۶ درجه سانتی‌گرادی و در رویه آسفالتی کاهش ۳/۹ درجه سانتی‌گرادی نسبت به نوع مرسوم روسازی‌های بتنی و آسفالتی

۵- نتیجه‌گیری

اثرات مخرب این پدیده است. به دلیل پوشش سطح وسیعی از راه‌ها با روسازی‌ها و نقش رویه‌ها در جذب گرما، بررسی آنها در راستای کاهش این پدیده مخرب، از اهمیت بالایی برخوردار است. روسازی‌های مرسوم به علت تیرگی و جنس گرمادوست، تأثیر زیادی در تشکیل پدیده مخرب جزایر گرمایش شهری داشته است. در این راستا از روسازی‌های خنک استفاده شد. روسازی‌های خنک با اصلاح ویژگی‌های گرمایی روسازی از جمله بازتابانندگی و ظرفیت گرمایی آن، باعث کاهش دمای سطح و محیط اطراف روسازی شده است. این روسازی‌ها به دو دسته روسازی‌های بازتاباننده و روسازی‌های تبخیری تقسیم شده است. روسازی‌های بازتاباننده از مؤثرترین راهکارهای موجود در راستای کاهش دمای

پدیده جزایر گرمایش شهری، خطری بالقوه در سلامت انسان و محیط‌زیست شناخته شده است. در راستای شناسایی این پدیده و جلوگیری از تشکیل آن، اندازه‌گیری معیارهایی چون شدت جزایر گرمایش شهری در راستای برنامه‌ریزی و اقدامات لازم در جهت رفع یا پیشگیری از آن ضروری است. از روش‌های سنجش از راه دور، مدل‌های عددی و مدل‌های آزمایشگاهی در راستای اندازه‌گیری، شبیه‌سازی و ارزیابی این پدیده مخرب، استفاده شده است. گسترش پوشش گیاهی در سطح شهرها، استفاده از مصالح مناسب در ساختمان‌سازی و نمای ساختمان‌ها، تغییر معماری شهرها، و استفاده از روسازی‌های خنک در سطح راه‌ها از جمله راهکارهای ارائه شده در راستای کاهش دما و جلوگیری از

-Aleksandrowicz, O., Vuckovic, M., Kiesel, K., & Mahdavi, A. (2017). Current trends in urban heat island mitigation research: Observations based on a comprehensive research repository. *Urban Climate*, 21, 1-26.

-Alvarez, A. E., Martin, A. E., & Estakhri, C. (2011). A review of mix design and evaluation research for permeable friction course mixtures. *Construction and Building Materials*, 25(3), 1159-1166.

-Anting, N., Din, M. F. M., Iwao, K., Ponraj, M., Jungan, K., Yong, L. Y., & Siang, A. J. L. M. (2017). Experimental evaluation of thermal performance of cool pavement material using waste tiles in tropical climate. *Energy and Buildings*, 142, 211-219.

-Anupam, B., Sahoo, U. C., Chandrappa, A. K., & Rath, P. (2021). Emerging technologies in cool pavements: A review. *Construction and Building Materials*, 299, 123892.

-Armson, D., Stringer, P., & Ennos, A. (2012). The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(3), 245-255.

-Asaeda, T., & Ca, V. T. (2000). Characteristics of permeable pavement during hot summer weather and impact on the thermal environment. *Building and Environment*, 35(4), 363-375.

-Ashley, E., & Lemay, L. (2008). Concrete's contribution to sustainable development. *Journal of Green Building*, 3(4), 37-49.

-Asimakopoulou, D. N. (2001). Energy and climate in the urban built environment: *Earthscan*.

-Berry, R., Livesley, S. J., & Aye, L. (2013). Tree canopy shade impacts on solar irradiance received by building walls and their surface temperature. *Building and Environment*, 69, 91-100.

-Boriboonsomsin, K., & Reza, F. (2007). Mix design and benefit evaluation of high solar reflectance concrete for pavements. *Transportation Research Record*, 2011(1), 11-20.

-Brattebo, B. O., & Booth, D. B. (2003). Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. *Water Research*, 37(18), 4369-4376.

-Cantelli, A., Monti, P., & Leuzzi, G. (2015). Numerical study of the urban geometrical representation impact in a surface energy budget model. *Environmental Fluid Mechanics*, 15, 251-273.

-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.

-Cheela, V. S., John, M., Biswas, W., & Sarker, P. (2021). Combating urban heat island effect—A review of reflective pavements and tree shading strategies. *Buildings*, 11(3), 93.

-Chen, Y.-C., Chiu, H.-W., Su, Y.-F., Wu, Y.-C., & Cheng, K.-S. (2017). Does urbanization increase diurnal land surface temperature variation? Evidence and implications. *Landscape and Urban Planning*, 157, 247-258.

سطح روسازی و محیط اطراف آن است. نتایج نشان داده است که با تغییر ساختار و ویژگی‌های روسازی از جمله استفاده از رنگ‌های روشن، دانه‌بندی‌های متفاوت و کاربرد مواد افزودنی مناسب، میتوان دمای سطح روسازی را از ۱ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش داد. روسازی‌های تبخیری با ذخیره آب ناشی از بارندگی در ساختار روسازی و استفاده از ظرفیت گرمایی آب، منجر به کاهش دمای سطح روسازی و محیط اطراف آن شده است. این روسازی‌ها با تغییرات جزئی در ساختار خود به چهار گروه روسازی‌های متخلخل، روسازی‌های نفوذپذیر، روسازی‌های متخلخل با درصد فضای خالی زیاد و روسازی‌های نگهدارنده آب تقسیم شده است. روسازی‌های نفوذپذیر به طور گسترده‌ای می‌توانند دمای روسازی را در روزهای گرم تابستان از ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد کاهش دهند. در شرایط مشابه، با کاربرد روسازی‌های تبخیری به ترتیب از انواع رویه‌های متخلخل با درصد فضای زیاد، رویه‌های متخلخل و رویه‌های نگهدارنده آب، دمای روسازی حداکثر ۵، ۷ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است. اخیراً دسته دیگری از روسازی‌های خنک، تحت عنوان روسازی‌های ذخیره‌کننده گرما معرفی شده است. این روسازی با کاهش دما، گرما را ذخیره کرده در روسازی را به انرژی تجدیدپذیر تبدیل نموده است. روسازی‌های فتوولتائیک از مهم‌ترین روسازی‌های ذخیره‌کننده گرما است. دمای محیط روسازی با این رویه‌ها تا ۵ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است. حجم تحقیقات انجام شده در زمینه روسازی‌های خنک، نشان‌دهنده تأثیر مثبت این روش‌ها در راستای کاهش دمای محیط و عدم تشکیل پدیده مخرب جزایر گرمایش شهری است.

۶- مراجع

-Akbari, H., & Kolokotsa, D. (2016). Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and Buildings*, 133, 834-842.

-Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70(3), 295-310.

-Akira, H., Motofumi, M., Akirihito, M., & Takashi, A. (2011). A study of pavement body configurations of the evaporative cooling pavement system with a focus on rainwater retention and capillary absorption through a summer outdoor experiment. *J Heat Island Inst Int*, 6, 30-38.

-Albedo, A. (2002). A measure of pavement surface reflectance. In: USA.

- urban areas: a case study in the centre of Athens. *Building Services Engineering Research and Technology*, 32(1), 53-71.
- Gilbert, J. K., & Clausen, J. C. (2006). Stormwater runoff quality and quantity from asphalt, paver, and crushed stone driveways in Connecticut. *Water Research*, 40(4), 826-832.
- Goede, W., & Haselbach, L. (2012). Investigation into the structural performance of pervious concrete. *Journal of Transportation Engineering*, 138(1), 98-104.
- Gui, J., Phelan, P. E., Kaloush, K. E., & Golden, J. S. (2007). Impact of pavement thermophysical properties on surface temperatures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(8), 683-690.
- Hein, D. K., & Schaus, L. (2013). Permeable Pavement Design and Construction: What Have We Learned Recently? In *Green Streets, Highways, and Development 2013: Advancing the Practice*, 31-44.
- Herb, W. R., Janke, B., Mohseni, O., & Stefan, H. G. (2008). Ground surface temperature simulation for different land covers. *Journal of Hydrology*, 356(3-4), 327-343.
- Higashiyama, H., Sano, M., Nakanishi, F., Takahashi, O., & Tsukuma, S. (2016). Field measurements of road surface temperature of several asphalt pavements with temperature rise reducing function. *Case Studies in Construction Materials*, 4, 73-80.
- Hu, J., & Yu, X. (2013). Experimental study of sustainable asphalt binder: Influence of thermochromic materials. *Transportation Research Record*, 2372(1), 108-115.
- Hu, M., Zhang, X., Li, Y., Yang, H., & Tanaka, K. (2019). Flood mitigation performance of low impact development technologies under different storms for retrofitting an urbanized area. *Journal of Cleaner Production*, 222, 373-380.
- Hunt, W. F., & Collins, K. A. (2008). Permeable pavement: Research update and design implications: *North Carolina Cooperative Extension*.
- Hunter, R. N. (1994). Bituminous mixtures in road construction. *Thomas Telford*.
- Ichinose, T., Matsumoto, F., & Kataoka, K. (2008). Counteracting urban heat islands in Japan. In *Urban Energy Transition, Elsevier*. 365-380.
- Imran, H., Akib, S., & Karim, M. R. (2013). Permeable pavement and stormwater management systems: a review. *Environmental Technology*, 34(18), 2649-2656.
- Jiang, W., Sha, A., Xiao, J., Wang, Z., & Apeagyei, A. (2016). Experimental study on materials composition design and mixture performance of water-retentive asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 111, 128-138.
- Kappou, S., Souliotis, M., Papaefthimiou, S., Panaras, G., Paravantis, J. A., Michalena, E., . . . Mihalakakou, G. (2022). Cool pavements: State of the art and new technologies. *Sustainability*, 14(9), 5159.
- Cheng, Y.-Y., Lo, S.-L., Ho, C.-C., Lin, J.-Y., & Yu, S. L. (2019). Field testing of porous pavement performance on runoff and temperature control in Taipei City. *Water*, 11(12), 2635.
- Chow, W. T., Salamanca, F., Georgescu, M., Mahalov, A., Milne, J. M., & Ruddell, B. L. (2014). A multi-method and multi-scale approach for estimating city-wide anthropogenic heat fluxes. *Atmospheric Environment*, 99, 64-76.
- Debbage, N., & Shepherd, J. M. (2015). The urban heat island effect and city contiguity. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, 181-194.
- DESA, U. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. 2019. *United Nations Department of Economic and Social Affairs*: New York, NY, USA. Available online: <https://www.un.org/en/development/desa/publications/2014-revision-worldurbanization-prospects.html>.
- Diefenderfer, B. K., Al-Qadi, I. L., & Diefenderfer, S. D. (2006). Model to predict pavement temperature profile: development and validation. *Journal of Transportation Engineering*, 132(2), 162-167.
- Doan, V. Q., Kusaka, H., & Nguyen, T. M. (2019). Roles of past, present, and future land use and anthropogenic heat release changes on urban heat island effects in Hanoi, Vietnam: Numerical experiments with a regional climate model. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101479.
- Doulos, L., Santamouris, M., & Livada, I. (2004). Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar Energy*, 77(2), 231-249.
- Fang, K., Cook, J., Smith, J., & Williams, K. (2011). Reductions in Ground-Level Ozone Pollution Through Urban Heat Island Mitigation Strategies Including Rehabbing Land Occupied for Transportation Related Uses: A Case Study of Fresno, CA. Retrieved from.
- Faragallah, R. N., & Ragheb, R. A. (2022). Evaluation of thermal comfort and urban heat island through cool paving materials using ENVI-Met. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(3), 101609.
- Fei, W., & Zhao, S. (2019). Urban land expansion in China's six megacities from 1978 to 2015. *Science of The Total Environment*, 664, 60-71.
- Ferguson, B. (2005). Porous pavements: CRC Press.
- Ferrari, A., Kubilay, A., Derome, D., & Carmeliet, J. (2020). The use of permeable and reflective pavements as a potential strategy for urban heat island mitigation. *Urban Climate*, 31, 100534.
- Freire, C. Á., Grau, J. S., & Ayerra, J. L. (2021). Cool pavements for climate change adaptation. *Transportation Research Procedia*, 58, 551-558.
- Gaitani, N., Mihalakakou, G., & Santamouris, M. (2007). On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces. *Building and Environment*, 42(1), 317-324.
- Gaitani, N., Spanou, A., Saliari, M., Synnefa, A., Vassilakopoulou, K., Papadopoulou, K., . . . Lagoudaki, A. (2011). Improving the microclimate in

- pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management. *Environmental Research Letters*, 8(1), 015023.
- Liu, Y., Li, T., & Yu, L. (2020). Urban heat island mitigation and hydrology performance of innovative permeable pavement: A pilot-scale study. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118938.
- Lynn, B. H., Carlson, T. N., Rosenzweig, C., Goldberg, R., Druyan, L., Cox, J., . . . Civerolo, K. (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.
- Ma, Y., & Zhu, B. (2009). Research on the preparation of reversibly thermochromic cement based materials at normal temperature. *Cement and Concrete Research*, 39(2), 90-94.
- Mallick, R., Carelli, J., Albano, L., Bhowmick, S., & Veeraragavan, A. (2011). Evaluation of the potential of harvesting heat energy from asphalt pavements. *International Journal of Sustainable Engineering*, 4(02), 164-171.
- Marceau, M. L., & VanGeem, M. G. (2008). Solar reflectance values for concrete. *Concrete international*, 30(8), 52-58.
- Martin, W. D., & Kaye, N. B. (2014). Hydrologic characterization of undrained porous pavements. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(6), 1069-1079.
- Masson, V. (2006). Urban surface modeling and the meso-scale impact of cities. *Theoretical and applied climatology*, 84, 35-45.
- Menon, S., Akbari, H., Mahanama, S., Sednev, I., & Levinson, R. (2010). Radiative forcing and temperature response to changes in urban albedos and associated CO₂ offsets. *Environmental Research Letters*, 5(1), 014005.
- Mizwar, I., bin Napiyah, M., & Sutanto, M. H. (2021). Pavements for mitigating urban heat island effects. In *Eco-efficient Materials for Reducing Cooling Needs in Buildings and Construction*, Elsevier. 61-76.
- Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522-538.
- Mullaney, J., & Lucke, T. (2014). Practical review of pervious pavement designs. *CLEAN-Soil, Air, Water*, 42(2), 111-124.
- Nakayama, T., & Fujita, T. (2010). Cooling effect of water-holding pavements made of new materials on water and heat budgets in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 96(2), 57-67.
- Nazarian, N., & Kleissl, J. (2015). CFD simulation of an idealized urban environment: Thermal effects of geometrical characteristics and surface materials. *Urban Climate*, 12, 141-159.
- Nishiyama, S., Ohnishi, Y., & Yano, T. (2007). Study on the effect of permeable pavement on -Karasawa, A., Toriiminami, K., Ezumi, N., & Kamaya, K. (2006). Evaluation of performance of water-retentive concrete block pavements. *Paper presented at the Proceedings of the 8th International Conference on Concrete Block Paving*, San Francisco, CA, USA.
- Karlessi, T., Gaitani, N., Synnefa, A., & Santamouris, M. (2013). Cool pavements. *Advances in the development of cool materials for the built environment*, 104-119.
- Kevern, J., Wang, K., Suleiman, M., & Schaefer, V. (2006). Pervious concrete construction: Methods and quality control. Paper presented at the Submitted to Concrete Technology Forum-Focus on Pervious Concrete, National Ready Mix Concrete Association, Nashville, TN, May.
- Kevern, J. T., Haselbach, L., & Schaefer, V. R. (2012). Hot weather comparative heat balances in pervious concrete and impervious concrete pavement systems. *Journal of Heat Island Institute International*, Vol. 7(2), 2012.
- Kevern, J. T., Schaefer, V. R., & Wang, K. (2009). Temperature behavior of pervious concrete systems. *Transportation Research Record*, 2098(1), 94-101.
- Kim, S. W., & Brown, R. D. (2021a). Urban heat island (UHI) intensity and magnitude estimations: A systematic literature review. *Science of The Total Environment*, 779, 146389.
- Kim, S. W., & Brown, R. D. (2021b). Urban heat island (UHI) variations within a city boundary: A systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148, 111256.
- Kinouchi, T., Yoshinaka, T., Fukae, N., & Kanda, M. (2003). 4.7 Development of cool pavement with dark colored high albedo coating. *Target*, 50(40), 40.
- Kumar, B., & Sarkar, B. Impact of Selection of the Rotation Angle on the Calculation of Sv_f Using Vector Method. *Available at SSRN 4363476*.
- Levinson, R., & Akbari, H. (2002). Effects of composition and exposure on the solar reflectance of portland cement concrete. *Cement and Concrete Research*, 32(11), 1679-1698.
- Levinson, R., Akbari, H., Berdahl, P., Wood, K., Skilton, W., & Petersheim, J. (2010). A novel technique for the production of cool colored concrete tile and asphalt shingle roofing products. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94(6), 946-954.
- Li, H. (2012). Evaluation of cool pavement strategies for heat island mitigation: University of California, Davis.
- Li, H., Harvey, J., & Jones, D. (2013). Cooling effect of permeable asphalt pavement under dry and wet conditions. *Transportation Research Record*, 2372(1), 97-107.
- 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.
- Li, H., Harvey, J. T., Holland, T., & Kayhanian, M. (2013). The use of reflective and permeable

- Lumpur: Critical insights for urban policy implications. *Habitat International*, 86, 28-37.
- Representative, I. G. T. O., & Sites, M. O. A. U. Instruments and Observing Methods Report No. 81.
- Richards, D. R., Fung, T. K., Belcher, R., & Edwards, P. J. (2020). Differential air temperature cooling performance of urban vegetation types in the tropics. *Urban Forestry & Urban Greening*, 50, 126651.
- Roseen, R. M., Ballester, T. P., Houle, J. J., Avellaneda, P., Briggs, J., Fowler, G., & Wildey, R. (2009). Seasonal performance variations for storm-water management systems in cold climate conditions. *Journal of Environmental Engineering*, 135(3), 128-137.
- Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Romm, J. J., & Pomerantz, M. (1998). Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*, 28(1), 51-62.
- Rosenzweig, C., Solecki, W., & Slosberg, R. (2006). Mitigating New York City's heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces. *A report to the New York State Energy Research and Development Authority*, 1-5.
- Rossi, F., Castellani, B., Presciutti, A., Morini, E., Anderini, E., Filipponi, M., & Nicolini, A. (2016). Experimental evaluation of urban heat island mitigation potential of retro-reflective pavement in urban canyons. *Energy and Buildings*, 126, 340-352.
- Rossi, F., Pisello, A. L., Nicolini, A., Filipponi, M., & Palombo, M. (2014). Analysis of retro-reflective surfaces for urban heat island mitigation: A new analytical model. *Applied Energy*, 114, 621-631.
- Rosso, F., Pisello, A. L., Cotana, F., & Ferrero, M. (2016). On the thermal and visual pedestrians' perception about cool natural stones for urban paving: A field survey in summer conditions. *Building and Environment*, 107, 198-214.
- Roth, M. (2012). -Urban Heat Islands. In *Handbook of environmental fluid dynamics*, CRC Press. Volume two, 162-181.
- Salvati, A., Monti, P., Roura, H. C., & Cecere, C. (2019). Climatic performance of urban textures: Analysis tools for a Mediterranean urban context. *Energy and Buildings*, 185, 162-179.
- Santamouris, M. (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 224-240.
- Santamouris, M., Ding, L., Fiorito, F., Oldfield, P., Osmond, P., Paolini, R., Synnefa, A. (2017). Passive and active cooling for the outdoor built environment—Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects. *Solar Energy*, 154, 14-33.
- 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), 3085-3102.
- improvement of heat environment in urban area. *Journal of Heat Island Institute International*, 2.
- Nwakaire, C. M., Onn, C. C., Yap, S. P., Yuen, C. W., & Onodagu, P. D. (2020). Urban Heat Island Studies with emphasis on urban pavements: A review. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102476.
- Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* (1967), 7(8), 769-779.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24.
- Oke, T. R. (1988). The urban energy balance. *Progress in Physical Geography*, 12(4), 471-508.
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban climates: Cambridge University Press*.
- Peng, J., Hu, Y., Dong, J., Liu, Q., & Liu, Y. (2020). Quantifying spatial morphology and connectivity of urban heat islands in a megacity: A radius approach. *Science of The Total Environment*, 714, 136792.
- Phelan, P. E., Kaloush, K., Miner, M., Golden, J., Phelan, B., Silva III, H., & Taylor, R. A. (2015). Urban heat island: mechanisms, implications, and possible remedies. *Annual Review of Environment and Resources*, 40, 285-307.
- Pomerantz, M. (2000). The effect of pavements' temperatures on air temperatures in large cities.
- Pomerantz, M. (2018). Are cooler surfaces a cost-effect mitigation of urban heat islands? *Urban Climate*, 24, 393-397.
- Pomerantz, M., & Akbari, H. (1998). Cooler paving materials for heat island mitigation. *Paper presented at the Proceedings of the 1998 ACEEE summer study on energy efficiency in buildings*.
- Pomerantz, M., Akbari, H., & Harvey, J. T. (2000). Cooler reflective pavements give benefits beyond energy savings, *Durability and illumination*.
- Qin, Y. (2015). A review on the development of cool pavements to mitigate urban heat island effect. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 445-459.
- Qin, Y., & Hiller, J. E. (2014). Understanding pavement-surface energy balance and its implications on cool pavement development. *Energy and Buildings*, 85, 389-399.
- Qin, Y., Yang, H., Deng, Z., & He, J. (2015). Water permeability of pervious concrete is dependent on the applied pressure and testing methods. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015.
- Ramakrishnan, L., Aghamohammadi, N., Fong, C. S., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Wong, L. P., Sulaiman, N. M. (2018). A critical review of Urban Heat Island phenomenon in the context of Greater Kuala Lumpur, Malaysia. *Sustainable Cities and Society*, 39, 99-113.
- Ramakrishnan, L., Aghamohammadi, N., Fong, C. S., Ghaffarianhoseini, A., Wong, L. P., Noor, R. M., Hassan, N. (2019). A qualitative exploration on the awareness and knowledge of stakeholders towards Urban Heat Island phenomenon in Greater Kuala Lumpur.

- Tofighi, A., Tanzadeh, R., & Moghadas Nejad, F. (2023). Urban Heat Island Destructive Phenomenon and Its Reduction with the Approach of Road Pavement Evaluation. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 55(9), 1-1.
- Tomlinson, C. J., Chapman, L., Thornes, J. E., Baker, C. J., & Prieto-Lopez, T. (2012). Comparing night-time satellite land surface temperature from MODIS and ground measured air temperature across a conurbation. *Remote Sensing Letters*, 3(8), 657-666.
- Tsin, P. K., Knudby, A., Krayenhoff, E. S., Ho, H. C., Brauer, M., & Henderson, S. B. (2016). Microscale mobile monitoring of urban air temperature. *Urban Climate*, 18, 58-72.
- Vairagade, V. (2016). Quality, testing and engineering applications of pervious concrete-a state of art. *IOSR J Mech Civil Eng (IOSR—JMCE)*, 13, 84-90.
- Van Bijsterveld, W. T., & De Bondt, A. H. (2002). Structural aspects of asphalt pavement heating and cooling systems. Paper presented at the Proc., 3rd Int. Symp. on 3D Finite Element Modelling, *Design and Research*.
- Wang, C., Wang, Z.-H., Kaloush, K. E., & Shacat, J. (2021). Cool pavements for urban heat island mitigation: A synthetic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 146, 111171.
- Wang, J., Meng, Q., Tan, K., Zhang, L., & Zhang, Y. (2018). Experimental investigation on the influence of evaporative cooling of permeable pavements on outdoor thermal environment. *Building and Environment*, 140, 184-193.
- Wong, J. K. W., & Lau, L. S.-K. (2013). From the 'urban heat island' to the 'green island'? A preliminary investigation into the potential of retrofitting green roofs in Mongkok district of Hong Kong. *Habitat International*, 39, 25-35.
- Wu, H., Sun, B., Li, Z., & Yu, J. (2018). Characterizing thermal behaviors of various pavement materials and their thermal impacts on ambient environment. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1358-1367.
- Xie, N., Akin, M., & Shi, X. (2019). Permeable concrete pavements: A review of environmental benefits and durability. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1605-1621.
- Yamagata, H., Nasu, M., Yoshizawa, M., Miyamoto, A., & Minamiyama, M. (2008). Heat island mitigation using water retentive pavement sprinkled with reclaimed wastewater. *Water Science And Technology*, 57(5), 763-771.
- Yang, J., Wang, Z.-H., Kaloush, K. E., & Dylla, H. (2016). Effect of pavement thermal properties on mitigating urban heat islands: A multi-scale modeling case study in Phoenix. *Building and Environment*, 108, 110-121.
- Yang, X., & Li, Y. (2013). Development of a three-dimensional urban energy model for predicting and understanding surface temperature distribution. *Boundary-Layer Meteorology*, 149, 303-321.
- Schaefer, V. R., & Wang, K. (2006). Mix design development for pervious concrete in cold weather climates. Retrieved from.
- Scholz, M., & Grabowiecki, P. (2007). Review of permeable pavement systems. *Building and Environment*, 42(11), 3830-3836.
- Senevirathne, D., Jayasooriya, V., Dassanayake, S. M., & Muthukumaran, S. (2021). Effects of pavement texture and colour on Urban Heat Islands: An experimental study in tropical climate. *Urban Climate*, 40, 101024.
- Song, B., & Park, K. (2015). Contribution of greening and high-albedo coatings to improvements in the thermal environment in complex urban areas. *Advances in Meteorology*.
- Sprouse III, C. E., Hoover, C., Obritsch, O., & Thomazin, H. (2020). Advancing pervious pavements through nomenclature, standards, and holistic green design. *Sustainability*, 12(18), 7422.
- Sreedhar, S., & Biligiri, K. P. (2016). Comprehensive laboratory evaluation of thermophysical properties of pavement materials: Effects on urban heat island. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(7), 04016026.
- Stempihar, J. J., Pourshams-Manzouri, T., Kaloush, K. E., & Rodezno, M. C. (2012). Porous asphalt pavement temperature effects for urban heat island analysis. *Transportation Research Record*, 2293(1), 123-130.
- Stone, B., Hess, J. J., & Frumkin, H. (2010). Urban form and extreme heat events: are sprawling cities more vulnerable to climate change than compact cities? *Environmental Health Perspectives*, 118(10), 1425-1428.
- Suter, I., Maksimović, Č., & van Reeuwijk, M. (2017). A neighbourhood-scale estimate for the cooling potential of green roofs. *Urban Climate*, 20, 33-45.
- Synnefa, A., Karlessi, T., Gaitani, N., Santamouris, M., Assimakopoulos, D., & 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.
- Takahashi, K., & Yabuta, K. (2009). Road Temperature Mitigation Effect of "Road Cool" a Water-Retentive Material Using Blast Furnace Slag. *JFE Technical Rep*, 19, 58-62.
- Takebayashi, H., & Moriyama, M. (2012). Relationships between the properties of an urban street canyon and its radiant environment: Introduction of appropriate urban heat island mitigation technologies. *Solar Energy*, 86(9), 2255-2262.
- Tan, J. K., Belcher, R. N., Tan, H. T., Menz, S., & Schroepfer, T. (2021). The urban heat island mitigation potential of vegetation depends on local surface type and shade. *Urban Forestry & Urban Greening*, 62, 127128.

- Zhang, R., Jiang, G., & Liang, J. (2015). The albedo of pervious cement concrete linearly decreases with porosity. *Advances in Materials Science and Engineering*.
- Zhu, S., & Mai, X. (2019). A review of using reflective pavement materials as mitigation tactics to counter the effects of urban heat island. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 2, 381-388.
- Yinfei, D., Qin, S., & Shengyue, W. (2015). Bidirectional heat induced structure of asphalt pavement for reducing pavement temperature. *Applied Thermal Engineering*, 75, 298-306.
- Zachary Bean, E., Frederick Hunt, W., & Alan Bidelsbach, D. (2007). Evaluation of four permeable pavement sites in eastern North Carolina for runoff reduction and water quality impacts. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(6), 583-592.

Evaluating the Effect of Surface and Functional Characteristics of Road Pavements in Reducing the Destructive Phenomenon of Urban Heating Islands (Literature Review)

Mohammad Javad Amani, M.Sc., Faculty of Civil Engineering of Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

Rashid Tanzadeh, Post Doc., Grad., Faculty of Civil Engineering of Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

Ferydon Moghaddas Nejad, Professor, Faculty of Civil Engineering of Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

E-mail: rashid_tanzadeh@aut.ac.ir

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

The population growth rate and development of modern technologies are two influential factors in the development of cities. An urban heat island, which is a destructive phenomenon, was created as a result of an increase in temperature in urban areas. Increases in greenhouse gases, environmental damage, and endangering human health are among the messages of this destructive phenomenon. The expansion of vegetation, use of suitable facades and green roofs in buildings, urban change, and use of suitable pavements are among the strategies to control and reduce this destructive architecture. Considering that the roads have a large share of the configuration of the cities, the use of cool pavements, including reflective pavements, evaporative pavements, permeable pavements, porous pavements, water-retentive pavements, and energy-storing and producing (heat or energy harvesting) pavements, has been suggested in order to reduce the phenomenon of urban heating islands. In this research, by reviewing more than 400 good scientific articles, the reasons for formation, measurement methods, including remote sensing methods, laboratory methods, and the effect of cool pavements in reducing the destructive phenomenon of urban heat islands have been investigated. Studies have shown that the use of reflective pavements has reduced the temperature of the road surface by 5 to 20 degrees, depending on how the reflectivity changes. This value in evaporative pavements including permeable pavements, porous pavements, and water-retentive pavements has been reported from 5 to 35 degrees depending on the types of evaporative pavements. Also, the use of new technologies such as energy storage pavements known as energy (heat) harvesting pavements can produce energy in addition to reducing the temperature of the pavement by 3 to 5 degrees. A photovoltaic pavement is one of the most important heat-storage pavements. In addition to reducing pavement temperatures by 5 degrees Celsius, these procedures have helped reduce air pollution.

Keywords: Urban Heat Islands, Cool Pavements, Permeable Pavements, Reflective Pavements, Evaporative Pavements