

## راهبردهای کوتاه مدت برای کاهش اثرات مخرب جزایر گرمایی در مناطق شهری مهسا حاجی فتحعلی<sup>۱</sup>

گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

محسن فیضی

گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

عاطفه دهقان

گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۳۱ تاریخ صدور پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۳

### چکیده

در طول حیات کره زمین، تغییرات آب و هوایی زیادی صورت گرفته است و در حال حاضر شاخص‌ها نشان می‌دهند که تغییرات طبیعی با مداخله بشر در طبیعت تسریع یافته است. گسترش شهرنشینی، کاهش فضاها، سبز و مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی، پدیدآورنده میکروکلیمای جزیره حرارتی بر فراز شهر است، که چندین درجه سانتی‌گراد هوای شهر از پیرامون خود (روستاها) گرم‌تر می‌کند. این پدیده موضوع بسیار داغی در پژوهش‌های اخیر در اروپا و آمریکا می‌باشد که نخستین بار، با مقایسه دمای مرکز شهر لندن و اطراف آن مطرح گردید و تحقیقات وسیعی در زمینه راهکارهای آن انجام شد، اما متأسفانه در ایران تقریباً کوششی در زمینه معماری برای حل معضلات ناشی از این پدیده صورت نگرفته است. این پدیده هنگامی شکل می‌گیرد که درصد زیادی از پوشش‌های طبیعی سطحی از بین می‌روند و جای خود را به ساختمان‌ها، جاده‌ها و سایر تأسیسات شهری می‌دهند. این سطوح توانایی بازتابش کمتری دارند و بنابراین انرژی خورشیدی را جذب و نگه‌داری می‌کنند و باعث ایجاد پدیده جزایر گرمایی می‌شوند و اختلاف دمای زیادی میان هوای درون شهر و هوای پیرامون شهر ایجاد می‌نماید. لذا این مقاله با هدف بررسی و شناخت عوامل موثر بر جزایر حرارتی، راه‌های کاهش آن و نقش مصالح موجود در نمای ساختمان‌ها بر ایجاد جزایر حرارتی، درصدد است با شناخت علل تشدید از قبیل بازتاب، جذب، گسیل و انتشار کربن، لیستی از مصالح مناسب و جایگزین مصالح موجود برای شهرها و ساختمان‌های آینده ارائه نماید تا قدمی در جهت کاهش اثرات مخرب جزایر گرمایی در شهرها برداشته شود.

**کلمات کلیدی:** جزایر گرمایی، محیط زیست، مصالح سبز، جداره ساختمان، برنامه‌ریزی شهری کوتاه مدت

## مقدمه

ذات شهرنشینی، همزاد با مصرف‌گرایی است. در کنار تولیدات شهر برای رفع نیاز شهروندان، شهرها مصرف‌کننده‌های بالفعلی هستند که هرچه بزرگ‌تر می‌شوند، آرزو و طمع آن‌ها برای مصرف منابع اطراف بیشتر می‌شود. به مرور زمان نوع آلودگی‌های شهری به گونه‌ای تغییر شکل داده‌اند که اثرات آن‌ها در یک مسیر مخرب دو طرفه و غیر قابل برگشت ناقوس مرگ و نابودی بسیاری از گونه‌های حیات از جمله خودمان را بر روی کره زمین به صدا درآورده است. حالا ما در شهرهایمان چیزهایی تولید می‌کنیم که طبیعت با آنها آشنا نیست. در این میان مصرف منابع فسیلی در جهت پاسخ به نیازهای شهری، به حدی افزایش یافته که بسیاری از این منابع، به سمت نابودی پیش می‌روند. با سوزاندن این منابع، گازها و حرارتی آزاد شده‌است که طی میلیون‌ها سال در چنین منابعی به دام افتاده و ذخیره شده‌است. حجم، اندازه و سرعت تولید این گازها و این گرما چنان زیاد است که پروسه‌های طبیعی جذب و انعکاس آن‌ها به فضا دیگر پاسخگو نمی‌باشد. در ضمن گازهای تولیدی حالا عاملی برای جذب و به دام افتادن امواج گرمایی شده‌اند. کار به گونه‌ای است که زمین چون یک گلخانه بزرگ روز به روز به سمت گرم‌تر شدن حرکت می‌کند. (Wong et al, 2009)

بنابراین مؤثرترین تولید دوره شهرنشینی تولید گازهای گلخانه‌ای است که اگر همچنان ادامه‌یابد به زودی حداقل گونه‌های حیاط روی این کره را دچار دگرگونی‌های غیرقابل پیش‌بینی خواهد کرد. در این میان قطعاً گونه‌های فراوانی از حیات، از جمله نسل انسان‌ها نابود خواهند شد. یکی از بزرگترین تهدیدات توسعه شهرنشینی پدیده "جزیره حرارتی" است. این پدیده ناشی از گسترش نابودی پوشش‌های طبیعی سطح زمین است که جای خود را به جاده‌ها، ساختمان‌ها، کارخانه‌ها و سایر تاسیسات شهری می‌دهد. بر اساس تحقیقات انجام شده در مورد این پدیده، تابش نور خورشید رسیده به شهر، در لابلای ساختمان‌های شهری به دام می‌افتد و دمای سطوح را افزایش می‌دهد و شب هنگام که هوا سردتر می‌شود، این سطوح دیرتر دمای خود را از دست می‌دهند و باعث بیشتر شدن دمای هوا در مناطق شهری نسبت به مناطق حومه شهر می‌شود. به همین خاطر آن را بیشتر یک پدیده شبانه با نمایش حداکثر مقداری تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌دانند (Che-Ani, et al., 2009).

با توجه به اینکه اثر جزایر حرارتی شهری اختلاف درجه گرمایی زیادی تولید می‌کند، برای بهبود این وضع در قسمت‌های داخلی ساختمان نیاز به صرف هزینه‌هایی است ولی در قسمت‌های بیرونی ساختمان راهکارهای مکانیکی وجود ندارد. در نتیجه، باید یکسری اصول برای جلوگیری از به وجود آمدن چنین شرایطی در نظر گرفت که هم باعث شرایط آسایش فیزیکی در قسمت‌های بیرونی ساختمان گردد و هم هزینه‌های مربوط به خنک کردن قسمت‌های داخلی ساختمان کاهش یابد (رحمتی و همکاران، ۱۳۹۵).

با توجه به آنچه گفته شد این سوال‌ها پیش می‌آید که چه عواملی باعث ایجاد جزایر گرمایی در شهرها می‌شوند و این پدیده چه اثراتی بر محیط می‌گذارد؟ استراتژی‌های کاهش جزایر گرمایی شهری کدامند؟ و ساختمان‌های آینده از حیث مصالح چه مشخصاتی باید داشته باشند تا باعث افزایش جزایر گرمایی در شهرها نگردند؟

### پیشینه تحقیق

پدیده جزایر گرمایی نخستین بار در سال ۱۸۱۸ زمانیکه لاک هاوارد<sup>۱</sup> متوجه گرمای بیش از حد مرکز شهر لندن در مقایسه با اطراف شهر، مطرح شد (Gartland, 2008). سپس تحقیقات وسیعی توسط گروه جزایر گرمایی در آزمایشگاه لورنس واقع در برکلی انجام شده است و راهکارهایی مانند ایجاد سطوح سرد شهری و بام های سرد، توسط این گروه ارائه گشت. این پدیده موضوع بسیار داغی در پژوهش های اخیر در اروپا و امریکا می باشد، و بیش از ده ها عنوان در سطح تز دکتری در چند سال گذشته، به این مقوله پرداخته اند.

متیوس سانتاموریس طی آزمایشات متعددی که بر مصالح مختلف انجام دادند متوجه عدم تاثیر سایز تایل ها و فاکتور رنگ مصالح در شب و بافت در روز در دماهای سطحی شدند. از مطالعه تعدادی از مصالح پیاده رو براساس رنگ سطح مصالح اینطور برمی آید که تایل های رنگ روشن سردتر از بقیه هستند. همانطور که انتظار می رود تایل های سفید رنگ سردتر بوده درحالیکه تایل های سیاه رنگ گرمترند.

برگ و همکارانش نیز گزارش دادند که در نیمه تابستان، جاده های رنگ شده سفید با توان بازتاب نزدیک به ۰/۵۵، دمای مشابهی با محیط اطراف خود دارد، در حالیکه جاده های رنگ نشده با توان بازتاب نزدیک به ۰/۱۵، تقریباً ۱۱ درجه سانتیگراد از هوا گرمتر بودند.

آساندا در تحقیقی تحت عنوان ذخیره سازی حرارتی پیاده رو و اثر آن بر جو پایین تر، تاثیر جنس و ذخیره حرارتی و انتشارهای متعاقب به جو مصالح را بررسی کردند. نتایج نشان داد که دمای سطحی و انتشاربه جو در آسفالت به طرز قابل ملاحظه ایی بیشتر از بتن و خاک است.

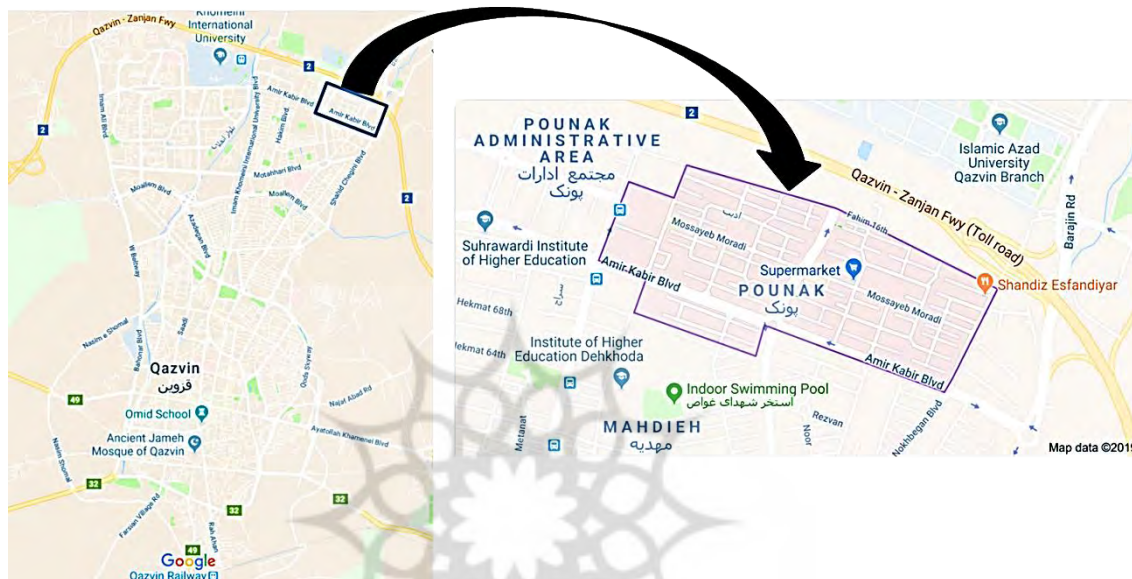
نوئلیا ال الچپر و دیگران در سال ۲۰۱۴ در آزمایشی مشابه به دسته بندی مصالح مورد استفاده در سطوح شهری و تاثیر آن در کاهش جزایر حرارتی در اقلیم نیمه خشک شهر مندوزا آرژانتین پرداخته است. آنها رفتارهای دمایی مصالح پیاده رو، تایل ها و پوشش های عمودی ساختمان ها را براساس روش توصیف شده در مقررات ASTM E ۱۹۸۰ بررسی نمودند. در این مقررات شاخص بازتابش خورشیدی مصالح (SRI) آورده شده است. بنابراین با استفاده دوربین IR و ترموکوپل و پیرانومتر، دمای سطح مصالح، دمای هوا و میزان تابش را اندازه گیری کردند.

اما سابقه این پژوهش در ایران مربوط به دهه ۸۰ توسط پژوهشکده هواشناسی و کارشناسان جغرافیا و برنامه ریزی شهری می باشد؛ و تقریباً کوششی در زمینه معماری برای حل معضلات ناشی از این پدیده صورت نگرفته است، لذا این پژوهش درصدد است تا راهکارهایی را برای ساختمان های آینده ارائه نماید تا گامی موثر در جهت کاهش اثرات مخرب این پدیده در شهرها، و در نتیجه آن کاهش تغییر اقلیم صورت گیرد. بنابراین، این پژوهش در نظر دارد، رابطه این پدیده را با معماری و مصالح آینده مورد ارزیابی و تحلیل قرار دهد و معیارهایی برای مصالح ساختمان ها و راه های آینده ارائه نماید تا از اثرات مخرب جزایر گرمایی در شهرها جلوگیری کند.

### روش شناسی تحقیق

همانگونه که در عنوان پژوهش بیان شده، هدف از این پژوهش بررسی و شناخت عوامل موثر بر جزایر حرارتی، راه های کاهش آن و نقش مصالح موجود در نمای ساختمان ها بر ایجاد جزایر حرارتی است.

تئوری پژوهش بر مبنای بررسی مبانی نظری پیرامون شناخت جزایر گرمایی و عوامل موثر بر ایجاد آن است و شناخت مصالح و نحوه تاثیر آن‌ها بر جزایر حرارتی ملاک سنجش قرار گرفت. با توجه به نقش مصالح به کار رفته در نما بر کاهش یا افزایش تاثیرات جزایر حرارتی و همچنین بعد از مطالعات انجام شده می‌توان به یک مبانی دست‌یافت که با استفاده از آن چهارچوب مفهومی تحقیق تدوین گردید. برای بررسی نقش مصالح در کاهش اثرات مخرب جزیره حرارتی شهر قزوین و محله پونک به عنوان محله نو سازی که تنوع بسیار بالایی از مصالح در آن یافت می‌شود، انتخاب گشت.



تصویر ۲: جانمایی محله پونک در نقشه شهر قزوین

منبع: <https://googlemap.com>

بنابراین در یک تقسیم بندی کلی مراحل انجام پژوهش به صورت زیر است:

الف) مطالعه اسنادی: مدارک و اسناد تحقیقات انجام گرفته در این زمینه بوده و عوامل موثر بر ایجاد جزایر حرارتی از جوانب مختلف مطرح گردید.

ب) تحلیل: از آن جایی که موضوع انتخاب شده از جمله موضوعات مورد توجه مباحث معماری و طراحی شهری می‌باشد و در گذر زمان تحقیقاتی در این زمینه صورت گرفته است، جهت جلوگیری از موازی کاری و اینکه بدانیم موضوع مورد بررسی تا چه حد مورد توجه بوده و چه فعالیت‌هایی در این زمینه صورت گرفته است به بررسی پیشینه‌ی موضوع در مدارک موجود همچون کتاب‌ها، مقالات، پایان نامه‌های پرداخته شده است. مطالب استخراجی از این بخش مواد اولیه بعد و روش تحقیق در مرحله بعد را تامین کرده است.

این تحقیق به طور کلی ماهیتی کمی-کیفی دارد و به همین منظور برای بررسی خصوصیات حرارتی مصالح در نما، انتخاب ابزار مناسب با توجه به مطالعه پژوهش‌های پیشین و شناخت دقیق از پژوهش و امکانات موجود صورت-گرفت و در نهایت ابزار و تجهیزات ترمومتر لیزری و دوربین حرارتی مادون قرمز (که در بالا به تفصیل معرفی گشت) مورد استفاده قرار گرفت.

## مبانی نظری

### توسعه شهر، شهرنشینی و تأثیرات آن بر محیط زیست

کلمه «environment» به معنای encirclement یا همان محاصره و در بر گرفتن می‌باشد و به کیفیت هوا، آب، خاک و غیره اشاره می‌کند. هوایی که تنفس می‌کنیم، آبی که می‌نوشیم و خاکی که ما بر روی آن زندگی می‌کنیم، تنها بخشی از ارتباط ما با جهان خارج را نشان می‌دهد (Thomas, 2007:7).

مشکلات زیست محیطی، یکی از اساسی‌ترین مسائل شهرهای امروزی و حاصل تعارض و تقابل آنها با محیط طبیعی است (اسماعیل زاده، ۹۶: ۸۲).

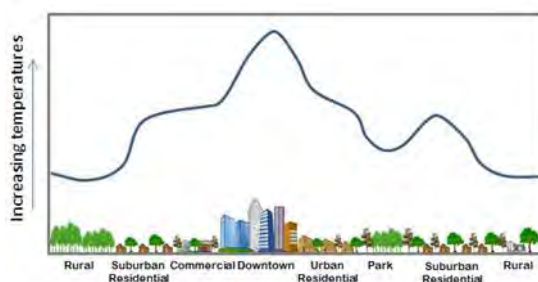
توسعه شهری ضرورتاً با تسلط ساختمان‌ها، صنایع، سیستم‌های حمل و نقل و فعالیت‌های اقتصادی بر فضاهای طبیعی همراه است و این تسلط، به مرور زمان و با افزایش مهاجرت‌های روستاشهری که منجر به افزایش جمعیت در کشورهای در حال توسعه است، به شکل چیرگی شهر بر طبیعت تغییر یافته‌است و زمینه ساز آلودگی‌های گسترده شهری می‌شود. نتیجه این روند، ناسازگاری و عدم تعادل میان انسان و طبیعت و به هم خوردن تعادل اکوسیستم خواهد بود. تمرکز جمعیت در شهرها و مناطق حاشیه‌ای آنها و عدم تناسب بین رشد خدمات و زیربنای شهری، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، مناطق شهری را به مکان‌های آلوده و دارای مشکلات بهداشتی تبدیل کرده است (زبردست، ۱۵۳: ۱۳۸۳-۱۵۶).

مسئله محیط زیست شهری، از آنجا که شهرها دارای سه چهارم انرژی جهانی و عامل سه چهارم آلودگی جهان هستند، امری حیاتی به شمار می‌رود (Satterthwatt and McGranahan, 2003).

نگاهی گذرا به وضعیت محیط زیست جهان در دو دهه گذشته، نشان می‌دهد که نه فقط آثار مخرب انسانی بر محیط زیست کاهش نیافته، بلکه مسائل حاد و بغرنج جدیدی مانند آلودگی شدید جوی، کاهش تنوع زیستی، پارگی لایه ازن، پدیده گلخانه‌ای و گرم شدن کره زمین، افزایش سطح آب اقیانوس‌ها، تغییرات شدید اقلیمی و آثار مختلف آن، افزایش یافته‌است. گسترش صنایع و رشد صعودی بخش‌های مختلف اقتصادی در کشورهای پیشرفته، بدون توجه و رعایت ملاحظات مربوط به حفاظت محیط زیست، موجب تخریب اکوسیستم‌های طبیعی و بروز آثار شدید بهداشتی در این کشورها گردیده‌است. جنگل‌ها به شدت تخریب شده و مورد استفاده بی‌رویه قرار گرفته‌اند. آلودگی‌های هوا موجب بروز انواع بیماری‌ها گردیده‌است. لایه ازن که به عنوان سپر محافظ زمین عمل می‌کند، به شدت دچار آسیب گردیده و پدیده گرمایش جهانی که بروز خشکسالی در برخی مناطق و سیل در مناطق دیگر را موجب می‌شد، پدیدار گردیده است (طرح مدیران سبز اندیش، ۱۳۸۷: ۲).

نتیجتاً، تمامی مشکلاتی که در بالا بدان اشاره شد، از مهم‌ترین پیامدهای بهره‌گیری زیاد از طبیعت، در راستای فعالیت‌های تولیدی انسان و مصرف کالاها و خدمات هستند که تخلیه مقادیر فراوان آلودگی و پسماند به طبیعت و محیط زیست نمود عینی آن است. این دگرگونی‌ها که به علت گسترش شهرنشینی است به "جزایر حرارتی شهری" منجر می‌شود. جزیره حرارتی شهری به افزایش درجه حرارت هوای شهر بیش از مناطق حومه شهری بر می‌گردد و این تفاوت به طور کلی بیشتر در شب هنگام است. دلیل اصلی این پدیده از دست دادن سریعتر گرما و سرد شدن

سطوح در مناطق حومه شهر نسبت به مناطق متراکم شهری است. در تصویر بالا این تفاوت دمایی در اواخر بعدازظهر نشان داده شده که این تفاوت دمایی شب هنگام بسیار بالاتر خواهد بود. از مدت‌ها پیش در مناطق شهری به اصطلاح پدیده‌های جزایر حرارتی رخ داده‌اند. شرایطی که در آن دمای هوای شهرها گرم‌تر از محیط اطرافشان می‌شود. در واقع در یک تعریف علمی مختصر، همین تغییر در الگوی حرارتی مناطق شهری نسبت به مناطق باز و بکر اطراف شهرها را ((جزیره حرارتی شهری)) می‌نامند (Montavez et al, 2000).



تصویر ۱: مشخصات جزایر حرارتی

منبع: فضلی و مدی، ۱۳۹۳

باید بدانیم که جزایر حرارتی فقط باعث به وجود آمدن شرایط عدم تامین آسایش حرارتی در افراد نمی‌شوند، بلکه درجه حرارت بالای آن‌ها و نقش آن‌ها در تمرکز و افزایش آلودگی هوا اثرات جدی بر سلامت عمومی و حتی مرگ و میر شهروندان دارد. در واقع جزیره حرارتی بر محیط زیست انسانی از طریق تخریب کیفیت هوای داخلی و خارجی ساختمان‌ها، افزایش مصرف انرژی در بعد تک بنا و در ابعاد گسترده‌تر شهری، کاهش کیفیت آب و تهدید سلامت عمومی تاثیرات جبران ناپذیری می‌گذارد.

جزایر گرمایی و ویژگی‌های آن

اگرچه جزایر حرارتی امروزه در نقاط مختلفی از شهرهای رو به گسترش جهان صنعتی و در حال توسعه پایدار گشته و دارای تفاوت‌هایی در بعد و شکل هستند؛ اما آن‌ها به طور کلی دارای ویژگی‌های مشترکی به شرح زیرند (Gartland, 2008).

- در مقایسه با مناطق بکر و روستایی اطراف شهر گرم‌تر بوده و الگوی رفتاری متمایز، پیچیده‌تر و گاه غیر قابل پیش بینی تری در طول شبانه روز از خود نشان می‌دهند. معمولاً در ساعات آخر روز و بعد از غروب آفتاب گرم‌ترین شرایط و کمی بعد از طلوع آفتاب خنک‌ترین شرایط را دارند.
- افزایش درجه حرارت هوا و سطوح در شرایط آسمان صاف و آب و هوای آرام (بدون باد) بیشترین حد خود را دارا می‌باشد.
- معمولاً باعث افزایش دما در سطوح شهری می‌شوند، این امر به دلیل جذب حرارت بیشتر در سطوح انسان ساخت یا به اصطلاح محیط‌های مصنوعی نسبت به پوشش‌های طبیعی است.
- در مقایسه با مناطق بکرتر مناطق توسعه یافته‌تر معمولاً گرم‌ترند.
- دمای هوای بالاتر نسبت به مناطق دست نخورده اطراف همان گونه که قبلاً ذکر شد، جزایر حرارتی به طور کلی دارای درجه حرارت بیشتری نسبت به محیط‌های طبیعی و

دست نخورده اطراف خود هستند. تفاوت درجه حرارت هوای شهر و محیط‌های بکر و روستایی اطراف به عنوان شدت جزیره حرارتی مطرح می‌شود. معمولاً ازین شاخصه برای اندازه گیری و تشخیص جزایر حرارتی استفاده می‌شود. این شدت در طول یک دوره شبانه روزی مقادیر متفاوتی دارد. در صبحگاهان، تفاوت دمایی بین شهر و محیط‌های طبیعی بکر اطراف آن در کمترین وضعیت خود است. این تفاوت دمایی در طول روز با افزایش دمای سطوح شهری به تدریج افزایش یافته و در طول شب به حداکثر مقدار خود می‌رسد. این همان زمانی که سطوح شهری در حال بازتابش حرارت ذخیره شده در طول روز می‌باشند. این بازتابش شبانهگاهی به صورت امواج گرمایی با طول موج‌های بلند صورت می‌گیرد.

اما به طور کلی این زمان به برخی از خصوصیات فیزیکی توده‌های شکل‌دهنده شهر از جمله خواص مصالح ساختمانی شهری بستگی دارد. در شهرهایی که مصالح مورد استفاده در آن‌ها حرارت را با سرعت بیشتری بازتابش می‌کنند، معمولاً اوج گرما در اولین ساعات بعد از غروب آفتاب اتفاق می‌افتد. در حالی که با وجود مصالح با سرعت بازتابش پایین‌نظیر بتن و آجر-ممکن است ساعات اوج گرما در نزدیکی‌های طلوع آفتاب باشد. در مطالعات صورت گرفته با توجه به شرایط شهرهای پیش از قرن بیستم، دمای سطوح و تاثیر آن‌ها بر تشدید اثرات منفی جزایر حرارتی چندان مورد توجه نبود. تا اینکه برای اولین بار در قرن بیستم محققان توانستند این پدیده را با کمک عکس‌های هوایی مشاهده کنند. (Gartland,2008)

سطوح شهری گرم‌تر یکی دیگر از ویژگی‌های معمول در جزایر حرارتی است. در طول روز تغییرات بیشتری در دمای سطوح نسبت به دمای هوا دیده می‌شود. بسیاری از سطوح شهری، نظیر بام‌ها و کف‌سازی‌ها در طول روز در حدود ۲۷ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از هوای اطراف خود هستند (Gartland,2008). شب هنگام، سطوح شهری این گرمای ذخیره شده را بازتابش می‌کنند و باعث افزایش دمای هوای شهر در ساعات شبانهگاهی می‌شوند. برعکس، درختان، چمن و دیگر پوشش‌های گیاهی معمولاً گرمای کمتری جذب کرده و حتی در فصول گرم سال خنک‌تر از دیگر سطوح هستند.

### عوامل ایجاد جزایر گرمایی

اکا<sup>۱</sup> و گارتلند دو پژوهشگر برجسته در این زمینه، تعادل انرژی، کاهش بروودت تبخیری و افزایش ظرفیت حرارتی را از عوامل ایجاد جزایر حرارتی می‌دانند؛ که در ذیل به آنها اشاره خواهیم کرد؛ اما قبل آن نیاز است به مفاهیمی همچون تعادل انرژی بپردازیم.

**تعادل انرژی:** معادله تعادل انرژی چگونگی انتقال انرژی در سطوح زمین را توضیح می‌دهد. تعادل انرژی بر مبنای قانون اول ترمودینامیک است که می‌گوید انرژی هرگز از بین نمی‌رود بلکه از شکلی به شکل دیگر تغییر حالت می‌دهد. برای سطوح موجود بر روی زمین این بدین معنی است که انرژی جذب شده توسط تابش‌های خورشیدی یا گرمای تولید شده انسانی، تغییر حالت می‌دهد. یا به هوای اطراف آن سطح منتقل شده، یا باعث تبخیر رطوبت اطراف سطوح می‌شود و یا در سطوح ذخیره می‌شود. معادله تعادل انرژی به صورت زیر است. (gartland,2008)

<sup>۱</sup>. ooka

"انتقال حرارت به وسیله همرفت + انتقال حرارت به وسیله تبخیر + ذخیره سازی حرارت = گرمای انسان ساز + تابش خالص دریافتی به صورتی که در آن"

• انتقال حرارت از طریق همرفت یعنی جابجایی انرژی از یک جسم صلب به یک جسم سیال نظیر هوا. میزان انتقال از طریق همرفت با سرعت باد رابطه مستقیم دارد.

• منظور از انتقال حرارت به وسیله تبخیر، انرژی انتقال یافته از سطوح به وسیله بخار آب است. در واقع آب موجود در سطوح با گرفتن انرژی خورشیدی بخار شده و وارد اتمسفر می‌شود. این پروسه سبب کاهش دمای محسوس محیط می‌شود.

• ذخیره‌سازی حرارتی به ویژگی مصالح بستگی دارد. مصالح با هدایت حرارتی<sup>۱</sup> زیاد قادرند حرارت بیشتری را از خود عبور دهند و مصالح با ظرفیت حرارتی<sup>۲</sup> بالا می‌توانند مقدار بیشتری از حرارت را در خود ذخیره کنند.

• گرمای انسان ساز نیز در واقع گرمای تولید شده توسط محصولات انسانی اعم از ساختمان‌ها، اتومبیل‌ها و غیره و البته خود مردم می‌باشد. در مناطق متراکم شهری میزان تولید گرمای انسان ساز بسیار زیاد است و می‌تواند عاملی موثر در جهت تولید و تشدید جزایر حرارتی باشد.

• تابش خالص<sup>۳</sup> دریافتی عبارت است از تفاوت تابش‌های انتشار یافته از زمین نسبت به تابش‌های جذب شده توسط آن. (Ashare, 2009)

**کاهش برودت تبخیری:** با افزایش مداوم توسعه شهری، پوشش‌های گیاهی رفته رفته کم و کمتر شده‌اند. این کاهش در میزان پوشش‌های طبیعی گیاهی، به معنی کاهش سرمایش تبخیری در محیط‌های شهری است. سایه اندازی و سرمایش تبخیری دو مکانیزم خنک‌سازی توسط پوشش‌های طبیعی است. به طور کلی، کاهش میزان پوشش‌های طبیعی در شهرها سبب کاهش میزان تبخیر در آن‌ها شده که این امر باعث افزایش درجه حرارت هوای آن مناطق می‌شود.

**افزایش ظرفیت حرارتی:** هدایت حرارتی و ظرفیت حرارتی دو ویژگی دارای اهمیت مصالح در ذخیره سازی گرما هستند. مصالح با هدایت حرارتی بالا تمایل به هدایت حرارت درون خود دارند. درحالی که مصالح با ظرفیت حرارتی بالا با کند کردن حرکت و هدایت حرارت در درون خود تمایل به ذخیره سازی گرما در توده خود دارند. ترکیبی از این دو ویژگی را ضریب نفوذ گرمایی می‌گویند. (gartland, 2008) این ضریب یک شاخص مهم برای تشخیص چگونگی نفوذ گرما در مصالح است. ضریب نفوذ گرمایی اجسام و مصالح حاصل تقسیم هدایت حرارتی به ظرفیت حرارتی آن‌ها می‌باشد (laid, 2005).

مقدار بالایی از ضریب نفوذ گرمایی نشان‌دهنده این امر است که گرما می‌تواند به لایه‌های عمیق‌تری از مصالح برسد و در نتیجه، درجه حرارت مصالح مدت زمان بیش تری ثابت می‌ماند؛ و بالعکس، مقدار کم ضریب نفوذ گرمایی بدین معنی است که فقط یک لایه نازک از مصالح گرم شده و گرما به سرعت از آن جسم خارج می‌شود. (Gartland, 2008)

<sup>1</sup>. Thermal Conductivity

<sup>2</sup>. Heat capacity

<sup>3</sup>. Net radiation



به صورت عمومی، ضریب نفوذ گرمایی مصالح هرچه از مصالحی که در طبیعت یافت می‌شوند، نظیر خاک به سمت مصالح ساخته دست بشر می‌رویم بیشتر می‌شود؛ بنابراین، مناطق شهری از مصالحی با ضریب نفوذ گرمایی بسیار بالا تشکیل شده‌اند. این امر باعث افزایش جذب حرارت در روز و همچنین سرعت بازتابش شبانه می‌شود.

با مطالعات صورت گرفته در این زمینه عوامل دیگری همچون شکل طبیعی شهرها، ساختار شهری، اندازه و جمعیت شهر، جغرافیا، هواشناسی، هندسه شهری، تراکم محیط ساخته شده، پوشش گیاهی، کاربری‌ها و فعالیت‌های شهری و مصالح نیز از عوامل تاثیرگذار برای تشکیل جزایر حرارتی در شهرها می‌باشند.

### راه‌های کاهش تأثیرات منفی جزایر حرارتی

افزایش جمعیت در شهرها، سبب افزایش مصرف انرژی و انتشار گرما در هوا گردیده‌است. در این میان عواملی نظیر تابش‌های خورشیدی و هندسه شهری سبب به دام افتادن و تشدید اثر این امر شده و دمای کلی شهر را افزایش می‌دهند.

آنچه در این میان مهم جلوه می‌کند، یافتن راهی برای کاهش اثرات منفی و مخرب این پدیده بر محیط زیست شهری و نیاز بیشتر به ایجاد سرمایش در شهرها است. پیاده‌سازی اقدامات در جهت کاهش اثر جزایر حرارتی به طیف وسیعی از پارامترها بستگی داشته و در حوزه‌های مختلفی نظیر برنامه‌ریزی شهری، طراحی شهری، معماری و معماری منظر قابل پیگیری است.

استراتژی‌های کاهش، تأثیرات مثبتی هم بر روی اقلیم محلی و هم بر آب و هوای جهانی دارند. بعلاوه، این استراتژی‌ها می‌توانند به سرمایش مناطق شهری کمک شایانی کرده و همچنین، سبب کاهش مصرف انرژی، کاهش در استفاده از منابع آبی، کاهش آلودگی و افزایش کیفیت هوا شوند. این راهکارها را می‌توان در چهار دسته کلی زیر گردهم‌آورد (خداکرمی، ۱۳۹۵: ۸۱):

- ۱- استراتژی‌های سبز شهری، ۲- سطوح سرد شهری، ۳- طراحی شهری، ۴- کاهش گرمای انسان ساز استراتژی‌های سبز شهری

با گسترش شهرنشینی و همچنین پیش‌بینی افزایش موج‌های گرمایی<sup>۲</sup> در سناریوی تغییر آب و هوای جهانی، یکی از استراتژی‌های مناسب برای ایجاد سازگاری اقلیمی در شهرها و کاهش اثرات افزایش دمای محیط‌های شهری، افزایش میزان فضای سبز در شهر است (Skelhorn et al, 2014 & Santamouris, 2001).

افزایش دمای تابستانه بر اثر افزایش شدت جزایر حرارتی شهری سبب بالا رفتن میزان مصرف انرژی برای تأمین نیازهای سرمایشی می‌شود. این امر در شهرها اغلب به علت کاهش سبزی‌نگی و به تبع آن، افزایش جذب انرژی خورشیدی توسط سطوح صورت می‌پذیرد. در این میان، استفاده از فضای سبز در مناطق شهری از جمله اقداماتی است که باعث خنک سازی سطوح شهری شده و در ادامه به کاهش مصرف انرژی کمک شایانی می‌کند (Akbari et al, 2001).

در واقع، پوشش‌های گیاهی در مناطق شهری از طریق برودت تبخیری و سایه‌اندازی می‌توانند در جهت کاهش دمای شهر مؤثر واقع گردند. در این رابطه، فرآیند «تبخیر-تعرق»<sup>۳</sup> یک پروسه است که آزاد شدن آب به صورت بخار و نشر آن در هوا، در یک گیاه می‌باشد. این پدیده، در واقع یک نوع تبدیل انرژی خورشیدی به بخار آب است و به طور

کلی، سبب ایجاد اثرات سرمایش در برگ‌های گیاهان و هوای اطراف آن‌ها می‌شود (Dimoudi and Nikolopoulo, 2003 & Kontoleon and Eumorfopoulou, 2010).

فرآیند تبخیر - تعرق در گیاهان در تضاد با تأثیر مصالح نفوذ ناپذیر نظیر آسفالت و به تناسب که آب را در خود نگاهداشته و به سرعت تابش خورشیدی را جذب و دمای آن‌ها افزایش می‌یابد. علاوه بر برودت تبخیری، گیاهان با سایه اندازی نیز باعث خنک‌تر شدن هوای اطراف می‌شوند که این امر از طریق کاهش نفوذ تابش مستقیم آفتاب بر روی سطوح انجام می‌گیرد (Ip et al, 2010 & Cheng et al, 2010).

در این میان استفاده از پوشش‌های گیاهی همچون استفاده از دیوارهای سبز<sup>۵</sup>، نماهای سبز<sup>۶</sup>، دیوارهای زنده<sup>۷</sup>، بام‌های سبز<sup>۸</sup>، درختان بالغ و غیره. در مقیاس شهری، پارک شهری، پارکینگ‌های شهری و همچنین در مقیاس ساختمانی می‌تواند تأثیرات قابل ملاحظه‌ای بر کاهش دمای شهرها داشته باشد.

### سطوح سرد شهری<sup>۸</sup>

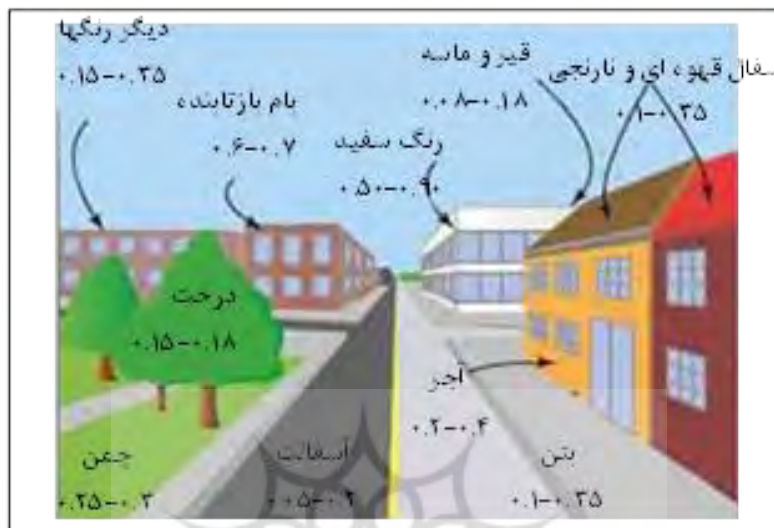
مصالح مورد استفاده در شهرها، سبب ایجاد تغییرات دمایی چشمگیری در لایه تاج‌پوش شهر می‌شوند و به همین دلیل از اهمیت بسیار بالایی برخوردارند. سطوح شهری در واقع پوست شهر به حساب می‌آیند و نقش تعیین کننده‌ای در فرآیند تبدلات حرارتی ایجاد شده بین شهر و محیط اطراف آن را بر عهده دارند. امری که بر شرایط آسایش حرارتی ساکنان شهرها بسیار اثرگذار است. توانایی سطوح در جذب، ذخیره‌سازی و انتشار گرما نقش قابل توجهی در شکل دهی به گرمای سطوح در شهر دارد. امروزه، سطوح مورد استفاده در شهرها، تیره و غیرقابل نفوذ بوده و همین امر سبب افزایش میزان جذب تابش‌های خورشیدی و کاهش میزان انتشار در آن‌ها شده است. امری که سبب افزایش دمای سطوح و به تبع آن افزایش دمای اطراف سطوح و تشدید اثر جزایر حرارتی در مناطق شهری می‌شود (Santamouris, 2013).

در جهت کاهش دمای سطوح شهری، روش‌های مختلفی به وجود آمده و توسعه یافته‌اند که یکی از این روش‌ها، استفاده از مصالح سرد<sup>۹</sup> در سطوح شهری است. این مصالح با کاهش دمای سطوح سبب کاهش قابل توجهی در شدت جزایر حرارتی شده و به عنوان یک راه حل موثر در جهت کاهش اثرات پدیده جزایر حرارتی، مورد توجه قرار می‌گیرند. این مصالح در واقع، با افزایش نرخ انعکاس<sup>۱۰</sup> در طیف‌های مختلف تابش خورشیدی، افزایش نرخ انتشار<sup>۱۱</sup> گرما و افزایش میزان نفوذ و نگه داشت رطوبت در خود سبب خنک‌تر شدن سطوح می‌شوند (Synnefa et al, 2007). برای درک بهتر رفتار هر کدام از این موارد، در ادامه به بررسی نقش هر یک از پارامترهای نام برده در خنک سازی سطوح خواهیم پرداخت.

### نقش نرخ انعکاس در کاهش دمای سطوح

نرخ انعکاس گرمای یک سطح در واقع، توانایی آن را در بازتاب تابش‌های خورشیدی بیان می‌کند. این مقدار معمولاً از صفر (کمترین میزان بازتاب) تا یک (بیشترین میزان بازتاب) قابل اندازه‌گیری است. به طور کلی، آنچه بر تعیین دمای یک سطح موثر است، میزان تابش‌های خورشیدی دریافت شده توسط آن سطح است. در سطوح با نرخ انعکاس برابر با یک تابش‌های خورشیدی تماماً بازتاب شده (۱۰۰ درصد تابش بازتاب می‌شود) و تأثیری بر دمای

سطوح ندارند، در حالی که در سطوح با نرخ انعکاس برابر با صفر با جذب ۱۰۰ درصد تابش، بیشترین تأثیر را در بالا بردن دمای سطح می‌گذارد؛ بنابراین، برای کنترل تأثیر تابش‌های خورشیدی بر دمای سطوح شهری باید میزان انعکاس سطوح نهایی (در معرض تابش) شهر را کنترل کرد. این میزان به وسیله اندازه‌گیری نرخ انرژی که مصالح در هر کدام از طول موج‌های بین ۲۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر بازتاب می‌دهند به دست می‌آید (همان، ۲۰۰۷).



تصویر ۲: نرخ انعکاس برخی از مصالح مورد استفاده در سطوح شهری منبع: خداکرمی، ۱۳۹۵

نرخ انعکاس مصالح با توجه به رنگ و درجه زبری مصالح مشخص می‌شود. در واقع همان گونه که در تصویر بالا نشان داده شده، رنگ‌های روشن میزان جذب کمتری در ناحیه مرئی طول موج‌های خورشیدی قرار دارند و این امر سبب خنک ماندن آن‌ها زیر تابش مستقیم خورشید می‌شود.

جدول شماره ۱: میانگین روزانه دمای سطوح با توجه به بافت مصالح

نوع مصالح	رنگ مصالح	بافت مصالح	میانگین روزانه (درجه سانتیگراد)
بتن	سفید	نرم	۳۳/۲
بتن	سفید	زبر	۳۴/۵
سنگ مرمر	سفید	نرم	۲۹/۷
سنگ مرمر	سفید	زبر	۳۲/۸

منبع: Doulos et al, 2004

### نقش نرخ انتشار در کاهش دمای سطوح

نحوه عملکرد نرخ انعکاس در خنک‌تر کردن مصالح در قسمت قبل مورد بحث قرار گرفت و مشخص شده که اگر مصالحی کمتر انرژی گرمایی خورشید را جذب کند، خنک‌تر می‌ماند؛ اما نرخ انتشار در مصالح به نحوی دیگر باعث خنک شدن آن‌ها می‌شود. مصالح به طور کلی انرژی دریافتی از خورشید را به صورت تابش‌هایی با طول موج بلند انتشار می‌دهند. در حقیقت، مصالح با نرخ انتشار بالا توانایی بیشتری در انتشار تابش‌های خورشیدی به بیرون از خود را داشته و با دور کردن گرما از خود خنک‌تر می‌مانند. در عوض، مصالح با نرخ انتشار کم، تابش‌های با طول موج بلند را در سطوح مولکولی خود به دام انداخته و این انرژی ذخیره شده سبب افزایش دمای مصالح می‌شود (Santamouris et al., 2013). برای بیان نرخ انتشار نیز همانند نرخ انعکاس از محدوده عددی «صفر تا یک» استفاده می‌شود که مصالح با نرخ انتشار «یک» در واقع توانایی باز نشر همگی انرژی دریافتی را داشته و برعکس این مسئله نیز صادق است.

جدول شماره ۲: نرخ انتشار برخی از مصالح رایج

مصالح	نرخ انتشار	مصالح	نرخ انتشار
آلومینیوم	۰/۰۳	آجر	۰/۹۰
آلومینیوم برای بام	۰/۲۴	خشت	۰/۹۱
برنج جلا داده شده	۰/۰۴	بتن	۰/۹۱
گرانیت	۰/۴۴	شیشه	۰/۹۲
شن	۰/۳	آسفالت	۰/۸۸
نیکل	۰/۰۳	خاک	۰/۹۴
آهن جلا داده شده	۰/۲۸	سنگ مرمر	۰/۹۲

منبع: ASHRAE, 2009

### نقش نفوذپذیری در کاهش دمای سطوح

یک ساختار صلب یا به عبارتی بدون تخلخل در مصالح، گرمای خورشید را جذب کرده و به عمق خود منتقل می‌کند و در واقع از مصالح یک باتری ذخیره سازی گرما می‌سازد. در اواخر روز، وقتی که شدت تابش‌های خورشیدی زیاد نیست، مصالح با ساختار صلب شروع به بازنشر گرمای ذخیره شده به اتمسفر می‌کنند. در این میان، مصالح نفوذپذیر<sup>۱۲</sup> به واسطه وجود تخلخل در ساختار خود، ظرفیت حرارتی و هدایت حرارتی کمتری نسبت به مصالح متراکم داشته و گرما را در شرایط یکسان سریع‌تر انتشار می‌دهند (Ferguson, 2005).

بعلاوه، در مصالح نفوذپذیر آب از میان خلل و فرج موجود در میان مصالح عبور کرده و با افزایش دما در مصالح، این آب بخار شده و سبب کاهش دمای مصالح می‌شود. در واقع هر چه میزان رطوبت در مصالح بیشتر باشد، سرمایه حاصل از بروودت تبخیری بیشتر بوده و مصالح خنک‌تر می‌شود (Yamagata et al, 2008).

### طراحی شهری با ملاحظه اثرات جزیره حرارتی

چگونگی توزیع ساختمان‌ها در شهر بر ایجاد و تشدید جزایر حرارتی شهری بسیار اثرگذار است. در واقع، این توزیع می‌تواند تعیین کننده میزان جذب انرژی خورشیدی و همچنین، میزان و چگونگی گردش هوا در شهر باشد. در نتیجه میتوان اذعان داشت که واکنش شهر در برابر جریان هوا و تابش‌های خورشیدی به وسیله تغییر در طراحی شهری قابل کنترل است (Ratti et al, 2003).

مهمترین مسئله در این رابطه، کاهش مصرف انرژی است. طراحی و مکانیابی بهینه بلوک‌های شهری سبب دستیابی مناسب به تابش‌های خورشیدی شده و به تبع آن، این امر از بار سرمایشی ساختمانها می‌کاهد. این کاهش در بار سرمایشی، کاهش در میزان مصرف انرژی را به دنبال داشته و از انتشار گرمای اضافی و CO<sub>2</sub> در محیط‌های شهری جلوگیری می‌کند. امری که در مقیاس کلان سبب کاهش اثر جزایر حرارتی شهری خواهد شد. (Futcher et al, 2013) (با توجه به یافته‌های اخیر، طراحی و مکانیابی بهینه بلوک‌های شهری و مدیریت مناسب تجهیزات مصرف کننده انرژی می‌تواند به کاهش ۶۱ درصدی در انتشار CO<sub>2</sub> در سال ۲۰۱۵ منجر شود. (Yamaguchi et al, 2007)

### گرمای انسان ساز

استراتژی نهایی برای کاهش اثرات جزایر حرارتی شهری، جلوگیری از انتشار نامطلوب گرمای زائد در شهرهاست که توسط فعالیت‌های انسانی تولید شده و از آن به عنوان گرمای انسان‌ساز یاد می‌شود. گرمای انسان‌ساز در واقع، حراراتی تولید شده در ساختمان‌ها، فرآیندهای صنعتی و مصرف سوخت‌های فسیلی توسط وسایل نقلیه موتوری است. با توجه به سطح توسعه و تراکم جمعیتی شهر، اثرات محیطی گرمای انسان‌ساز کاملاً چشم گیر است، به

طوری که برخی مطالعات از آن به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد و گسترش جزایر حرارتی نام برده‌اند (Lehmann, 2015 & Hamilton et al, 2009).

میانگین کلی گرمای انسان ساز تولید شده در شهر ممکن است مقدار کمی باشد، چیزی در حدود ۱۰ تا ۵۰ وات بر مترمربع (Pigeon et al, 2007)، اما در مناطق متراکم نظیر مراکز شهری، اوضاع کمی متفاوت است. به طوری که این میزان به حدود ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ وات بر مترمربع می‌رسد که بسیار قابل توجه است (Heiple and Sailor, 2008)؛ بنابراین، کنترل و کاهش انتشار گرمای انسان‌ساز برای جلوگیری از ایجاد و افزایش شدت جزایر حرارتی شهری بسیار ضروری و موثر است. به طوری که براساس تحقیقات انجام گرفته استراتژی‌های کاهش‌ی در بخش‌های ساختمان و حمل و نقل می‌توانند میزان انتشار گرمای انسان ساز را حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد کاهش دهند (Lehmann, 2015).

تقسیم بندی دیگری که در زمینه کاهش جزایر حرارتی ارائه گشته، توسط اوکا می‌باشد که در غالب جدول در ذیل ارائه گشته است.

جدول ۳: اقدامات در جهت کاهش جزایر حرارتی

اهداف	مقیاس بزرگ	مقیاس کوچک
	استفاده از پوشش سبز	حفظ زمین‌های سبز و باغ‌ها
		بام سبز و باغ بام
		جاده‌ها با چمن و درخت
	استفاده از مواد با ساختار مناسب	مصالح با قابلیت نفوذ آب
		مصالح غیرقابل نفوذ آب
سطوح سرد		قابلیت بازتابی بالا
		فنوکاتالیست
	استفاده از آب	آب و آبنماها
		آب پاشی
	استفاده از فضاها در سایه	دالان‌های سرپوشیده و آلاچیق‌ها
	پیکربندی بلوک‌های شهری	مسیر تهویه
توسعه در جهت تهویه شهر		چیدمان ساختمان‌ها
	پیکربندی ساختمان‌ها	به حداقل رساندن جلوگیری از مسیر باد
		پیلتی کردن
	صرفه جویی در مصرف انرژی	استفاده از وسایل کم مصرف
کاهش گرمایش ناشی از توسعه		مدیریت حمل و نقل
		سبک زندگی ذخیره انرژی (صرفه جویی)
	اصلاح طرز آزاد سازی گرما	برج‌های خنک کننده آبی
		نشست گرما(رود، دریا، سطح زمین)

منبع: Ooka, 2010

### طراحی همساز با محیط به منظور تقلیل مصرف انرژی

#### طراحی مطابق با اجزاء و مصالح

ویژگی‌های ساختمان‌ها نقش قابل توجهی بر عملکرد حرارتی در در محیط‌های شهری دارند. چنین ویژگی‌هایی، زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند که درجه حرارت سطوح در معرض آفتاب، از دمای هوای بلافاصل آن چند درجه گرم‌تر شود. مخصوصاً در محل‌هایی که تبدیل به جزایر گرمایی می‌شود، دمای هوا در جهت وزش باد به دلیل تماس با سطوح گرم‌تر، افزایش پیدا می‌کند (Environmental Protection Agency, 2013). افزایش دمای هوا، سبب افزایش

مصرف انرژی سرمایشی و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. توانایی مصالح در بازتاب و نشر مادون قرمز، و توانایی آنها در جذب حرارت بر دمای آنها مؤثر است (Marceau-VanGeem, 2007). مصالح با ویژگی بازتاب و نشر پایین، از مصالح سرد محسوب نمی‌شوند. برای اینکه مصالحی جزو مصالح سرد قرار بگیرد، SRI یا ضریب انعکاس تابشی آن را حساب می‌کنند. در عمل، مصالح سیاه، SRI برابر 0 و در مقابل سطوح سفید SRI برابر 100 دارند. به طور کلی، سطوح تیره SRI کمتری نسبت به سطوح روشن دارند (Akbari et al., 2006). تحقیقات نشان می‌دهد که پوشش‌های سرد، سبب کاهش دمای سطح و دمای هوای بلافاصله مصالح در تابستان می‌شود.

دمای مصالح، اول از همه، به جهت قرارگیری آن و بعد از آن به رنگ و ویژگی‌های حرارتی آن بستگی دارد. جهت تابش و طول زمان تابش را مشخص می‌کند، رنگ، ویژگی‌های بازتابش، جرم حرارتی، مقدار جذب، نگه‌داشتن و آزاد کردن انرژی حرارتی را مشخص می‌کند؛ ظرفیت گرمایی با ظرفیت حرارتی ویژه، چگالی و ضخامت تعیین می‌شود که در نمای شرقی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Bougiatioti et al., 2009: 83).

آلبدو به صورت نسبت تابش الکترومغناطیسی خورشیدی انعکاس یافته از سطح خاک و یا بازتابش فرودی تعریف می‌شود (Tasumi, et al., 2008). آلبدو مقدار آن وابسته به نوع عارضه زمینی، جنس و میزان تشعشع خورشیدی از سوی اجسام بر روی زمین می‌باشد. برای تعیین آلبدو اجسام روی سطح زمین، در مقیاس وسیع و با در نظر گرفتن توپوگرافی‌های مختلف سطح زمین، امکان اندازه‌گیری زمینی مقادیر آلبدوی اجسام وجود نداشته، لذا به ناچار از روش‌های سنجش از دور برای این مورد استفاده می‌گردد (Dujardin, et al., 2012). با استفاده از مقادیر آلبدوی به دست آمده از کاربری‌های مختلف، می‌توان تفاوت انرژی دریافتی خالص در هر یک از سطوح مختلف کاربری اراضی را تعیین نمود.

نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش آلبدو یا بازتاب بالاتر در ساختمان، 20% تا 40% صرفه جویی در انرژی مستقیم و بازتاب بالاتر در سطح وسیع سبب صرفه جویی در مصرف انرژی تا 2 برابر می‌شود. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که بین 10 تا 70 درصد صرفه جویی در انرژی با استفاده از پوشش با آلبدو بالا در ساختمان‌های مسکونی کالیفرنیا و فلوریدا دیده شده است (Gago et al., 2013: 5).

با توجه به آنچه در بالا اشاره شد، می‌توان نتیجه گرفت که مصالح دارای ویژگی‌های پیچیده‌ای هستند که با توجه به آنها باید انتخاب شوند. در جدول زیر به خلاصه ویژگی‌های مصالح پرداخته شده است:

جدول ۴: ویژگی مصالح

ویژگی	توضیحات
آلبدو	آلبدو با دمای سطح رابطه عکس دارد.
جهت	جهت تابش طول زمان تابش جهت باد
مصالح رنگ	SRI را مشخص می‌کند: SRI - - SRI - ۱ SRI < SRI تیره
ویژگی‌های حرارتی	جرم حرارتی چگالی ضخامت
	در نمای شرقی اهمیت بیشتری دارد.

به دلیل اهمیت SRI، ضریب بازتابش، آلودگی و گرمای ویژه همان طور که در بالا به آن اشاره شده است، در جداول زیر ذکر شده اند، این مقادیر از پارامترهای ساختمانی فراهوفر و اکه استخراج شده است:

جدول ۵: SRI رنگها

مصالح	'J/Kgc' گرمای ویژه	آلودگی %
سنگ	۸۴۰	۷۰
آجر	۸۵۰	۵۰
بتن	۹۶۰	۴۱
گل	۱۳۸۱	۱۷
شیشه	۶۴۰	۵
آلومینا	۸۷۰	۷۰
آسفالت	۹۲۰	۲۰

منبع: Makido et al. , 2012: 164-165

جدول ۶: گرمای ویژه و آلودگی مصالح مختلف

SRI	Reflective	رنگ
۵۶	۶۷.۰	آلومینیوم روی (GL)
۵۹	۵۲.۰	سپردار سفید (WH)
۷۹	۶۶.۰	قطبی سفید (PW)
۵۸	۵۰.۰	سنگ روشن (LS)
۴۲	۳۲.۰	هاوایی آبی (BL)
۳۸	۳۶.۰	قهوه ای مایل به زرد (ST)
۴۰	۳۷.۰	خاکستر خاکستری (AS)
۲۹	۲۸.۰	برنز قهوه ای (BR)
۳۶	۳۴.۰	سبز (GR)
۲۹	۲۸.۰	سبز سرخسی (FG)
۷۶	۶۳.۰	آلموند (AL)
۷۹	۶۵.۰	سفید برفی (SW)
۴۸	۴۴.۰	سنگ قهوه ای (BS)
۵۸	۴۶.۰	مسی فلزی (CM)
۴۷	۴۲.۰	قرمز نارنجی (SR)
۴۹	۲۸.۰	آبی بندری (HB)
۲۹	۲۸.۰	سبز شکاری (HG)

منبع: Makido et al. , 2012

بر اساس اصول اقلیم شناسی بر هر نقطه از سطح زمین مقداری انرژی تابشی از خورشید می رسد که میزان آن در رابطه با عرض جغرافیایی و سایر شرایطی که گفته شد تغییر می یابد. در فرآیند توسعه شهری در وهله اول پوشش گیاهی طبیعی به شدت آسیب دیده و دستخوش تغییرات می شود که مهمترین آنها به زیر ساخت و سازه های شهری در آمدن و بر روی آنها بناهای کوتاه و بلند استقرار یافتن است. ساخت و سازه های شهری با توجه به جنس مصالح به کار رفته در آنها جهت ساخت و سازه ها - نوع و جنس پوشش ساختمانها - سطوح معابر، به جذب بیشتر انرژی در بافت شهری منجر می گردد. از طرف دیگر شرایط مذکور باعث کاهش شدید آلودگی شهری می گردد و در نتیجه انرژی رسیده که از سطح زمین باید به جو بازتاب شود کاهش می یابد و در سطح شهر باقی می ماند (شعرا، ۱۳۹۳).

بطور کلی مصالح مناسب دارای نرخ انعکاس، انتشار (مانند مصالح سرد)، میزان نفوذ پذیری و قابلیت نگه‌داشتن رطوبت بالایی هستند. بنابراین هرچه نفوذ پذیری مصالح بیشتر باشد، رطوبت بالاتری را جذب کرده و دمای آن‌ها پایین تر می‌آید (مرئی، ۱۳۹۳).

**بررسی خصوصیات ظاهری مصالح رایج و سرد مصالح** را می‌توان براساس عملکرد حرارتی و مشخصات فیزیکی آنها به دو دسته مصالح سرد و گرم تقسیم‌بندی نمود. مصالح "سرد" به آن دسته از مصالحی اطلاق می‌گردد که دارای سطح صاف و رنگ روشن بوده و جنس آن‌ها از مرمر، موزاییک و سنگ باشد. به همین نحو مصالح "گرم" به مصالح دارای سطح زبر و تیره رنگ و از جنس سنگریزه (قلوه سنگ)، سنگ فرش و آسفالت، اطلاق می‌شود. بنابراین با انتخاب صحیح مصالح مناسب در فضاهای شهری منجر به کاهش اثر جزیره گرمایی و کاهش بار سرمایشی ساختمان گردد (مرئی، ۱۳۹۳).

مصالح با سایز متفاوت و رنگ و خصوصیات و چگالی و ضخامت زیاد، دمای سطحی نزدیک با مصالح با ضخامت و چگالی پایینتر دارند هرچند میزان حرارت جذب و ذخیره شده متفاوت باشد. لذا فاکتور رنگ و خصوصیات حرارتی همچون میزان بازتابندگی مصالح، اهمیت زیادی در دمای سطح دارد (Levinson R, et al, 2007).

#### مصالح با پوشش انعکاس دهنده

افزایش بازتاب مصالح شهری یک استراتژی موثر برای کاهش دمای سطح و هوا و بدنبال آن کاهش جزیره حرارتی می‌گردد. (Carnielo, et al, 2013) با افزایش بازتاب خورشیدی سطوح شهری، جریان خروجی تابش طول موج کوتاه به جو زیاد می‌شود، انرژی حرارتی کمتری جذب شده، دمای سطوح کاهش پیدا می‌کند و به تبع آن تابش حرارتی به جو کاهش می‌یابد. استفاده از بام سرد نیز در کاهش مصرف انرژی برای تهویه مطبوع و بالا بردن میزان آسایش بسیار موثر است.

#### مصالح ترموکرومیک

مصالح ترموکرومیک به دو دسته دارای تیتانیوم و فاقد تیتانیوم تقسیم بندی می‌شوند. دمای سطح نمونه‌های ترموکرومیک پایینتر از مصالح سرد و رایج است به عبارتی متوسط دمای سطح برای مصالح ترموکرومیک بین 23/8 تا 38/4 درجه سانتیگراد می‌باشد، درحالیکه این مقدار برای مصالح سرد 28/1 تا 44/6 درجه سانتیگراد و 29/8 تا 48/5 درجه سانتیگراد برای مصالح رایج است. از طرفی مصالح ترموکرومیک دارای تیتانیوم نیز دمای سطح پایینتری به نسبت پوشش‌های ترموکرومیک فاقد تیتانیوم دارند. اندازه گیری‌ها نشان می‌دهد که این مصالح انعکاس بیشتری نیز به سایر مصالح در طیف مادون قرمز نزدیک دارند و در دماهای بالاتر نیز - بالاتر از 30 درجه - نیز بی‌رنگ شده و تابش خورشید را بازتاب می‌نمایند درحالیکه در دماهای پایینتر، رنگی بوده و تابش خورشید را جذب می‌کنند. حداکثر انعکاس تابش خورشیدی از فاز رنگی به بی‌رنگ 22 درصد است. میزان انعکاس خورشیدی این مصالح بیشتر از مصالح سرد و رایج می‌باشد اما میزان نشر این مصالح تفاوت قابل ملاحظه‌ایی با دیگر پوشش‌ها ندارد (مرئی، ۱۳۹۳).

#### مصالح و تکنولوژی سبز در ساختمان‌های سبز پیشرفته



مصالح سبز به این نام خوانده شده‌اند، زیرا آنها دوستدار محیط زیست، قابل تجزیه به صورت مواد زیستی، تجدیدپذیر و قابل بازیافت می‌باشند. مصالح سبز می‌توانند به چهار بخش عمده تقسیم شوند که نخستین آن‌ها مصالح حیاتی یا مصالح زیستی می‌باشند. در طبقه بندی مصالح زیستی، مواد طبیعی، پلیمرهای زیستی و پلاستیک‌های زیستی قرار می‌گیرند. سه مقوله عمده دیگر کامپوزیت‌ها، مصالح هوشمند و نانو ساختارها می‌باشند (اتمن، ۱۳۹۰) مصالح سبز می‌توانند به ۴ دسته کلی تقسیم شوند. (۱) مصالح بیوتیک و مواد بیونیک (۲) مصالح هوشمند (۳) نانو مواد (۴) کامپوزیت‌ها. جدول زیر به تفکیک انواع مصالح دوستدار محیط زیست و سبز را نشان می‌دهد.

جدول ۷: تقسیم بندی مصالح سبز و دوستدار محیط زیست

جدول مصالح تجدیدپذیر با ساختار دوستدار طبیعت	
مصالح زیستی (بیونیک)	چوب: تخته تیری، MDF و غیره
	بامبو: سرعت رشد بالا و دارا بودن قابلیت سازه ای
	پوسته‌های برنج: قابلیت بالای تحمل بار، جاذب صوت، مقاومت در برابر آتش
	خشت خام و خاک رس
	چمن: ایجاد بام‌های سبز و دیوارهای سبز و تعدیل دما و رطوبت محیط
	بیوپلیمرها
	سلولز: تولید مواد عایق
	لینگنن: تولید چسب، تعلیق کننده (سیمان، سرامیک و غیره) و نگهدارنده
	پلی استر: پلاستیک‌های تجزیه پذیر، روکش‌ها، برخی انواع چسب‌ها
	بیوپلاستیک: کف پوش‌ها، لوله‌کشی، صنایع بسته بندی مصالح
مصالح هوشمند	مصالح واکنش ترمایی: پنجره‌های ترموکرومیک، رنگ‌های ترموکرومیک، پنجره‌های ترمال-زا-
	مصالح واکنش نوری: مصالح مرتبط با فتولنائیک-
	مصالح واکنش محرک (نیروی): الکتروکرومیک (در پنجره‌های خاص که در معماری سبز پیشرفته استفاده می‌شود).
کامپوزیت‌ها	طبیعی
	چوب، استخوان و غیره
	مصنوعی
	کامپوزیت با زمینه سرامیکی: 1 شیشه و شیشه سرامیک‌ها و... (فاز زمینه متفاوت)
بیونیک	کامپوزیت با زمینه پلیمری: ۱: ابر سازه‌ها، صنایع ن ت، تاز و لوله، تایپر تالاس
	کامپوزیت با زمینه فلزی: 8: در نماهای ساختمانی، صنایع هواتضا
	سیمان و بتن
	بتن با عملکرد بالا، نانو سیلیس آمورف، نانو ذرات رس و غیره
نانو	نانو پوشش‌ها
	نانو پوشش‌های سنگ و چوب، رنگ نانو عایق و غیره
نانو شیشه‌ها	شیشه‌های خود تمیز شونده، شیشه‌های کنترل کننده انرژی، شیشه‌های محافظ در برابر آتش و غیره

منبع: آبکار، ۱۳۹۳

### نتیجه‌گیری و دستاوردهای پژوهشی

مطالعات انجام شده نشان‌دهنده آن است که توسعه شهرها و افزایش شهرنشینی باعث افزایش آلودگی‌های زیست محیطی گردیده و از طرفی انرژی‌های تولید شده باعث افزایش دما و در نتیجه پیدایش جزایر حرارتی در مناطق شهری گردیده‌است.

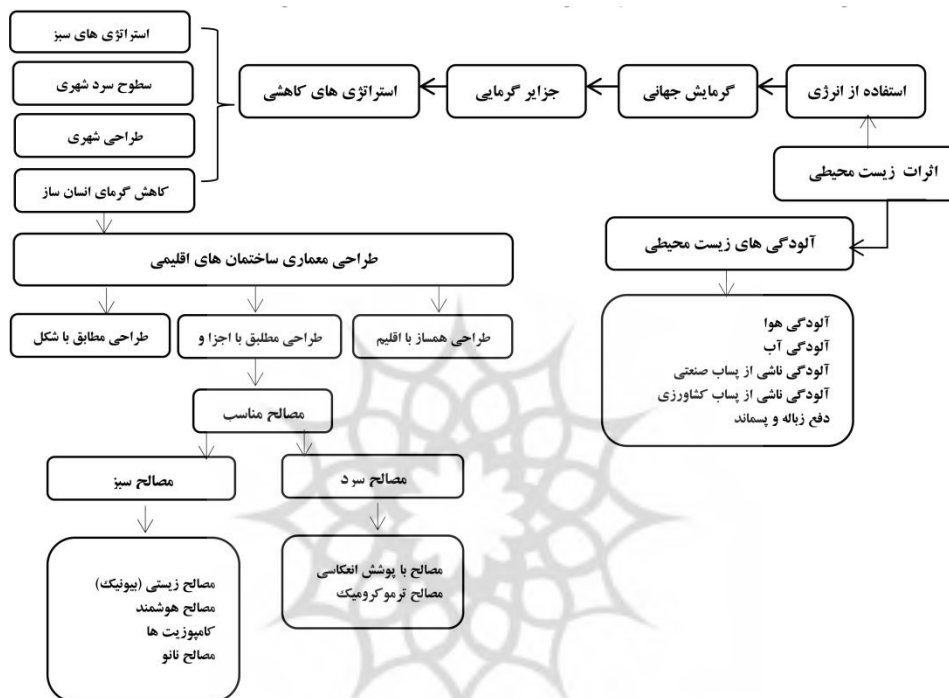
مصالحی که در محیط‌های شهری مورد استفاده قرار گرفته‌اند، پرتوهای خورشیدی و مادون قرمز را جذب و انباشته می‌کنند و به جو انتقال می‌دهند. تعادل حرارتی در محیط نیز عمدتاً ناشی از بازتاب پرتوهای خورشیدی و انتشار پرتو مادون قرمز مصالح به محیط پیرامون است. این بدین معناست که مصالح پوسته‌ی شهر نقش مهمی در کاهش دریافت و ذخیره حرارت و انتقال آن به محیط شهری دارند. نتایج حاصل از این پژوهش نیز اهمیت طبقه‌بندی عملکرد حرارتی مصالح پوسته خارجی در جهت توسعه زیستگاه و یا به عبارتی کلی‌تر توسعه پایدار شهری، را نشان می‌دهد.

محققان در پی یافتن راه حل‌هایی برای کاهش پدیده جزایر گرمایی به این نتیجه رسیده‌اند که مناسب‌ترین راه‌حل

طراحی معماری ساختمان‌های اقلیمی می‌باشد.

از مهمترین شاخص‌های این معماری توجه به مصالح بخصوص در جداره‌های بناهای شهری می‌باشد. در میان مصالح شناخته‌شده؛ مصالح سرد و مصالح سبز مناسب‌ترین مصالح شناخته‌شده می‌باشند. بنابراین با شناخت مصالح مناسب و بکارگیری آن‌ها در شهرسازی و معماری جدید می‌توان از شدت جزایر گرمایی کاست.

بطور کلی اطلاعات بیان شده در این را می‌توان در قالب چهارچوب مفهومی زیر دسته بندی نمود:



نمودار ۱: چهارچوب مفهومی

منبع: یافته‌های پژوهش

مصالح مورد مطالعه در این آزمایش، عمدتاً از مصالح پوسته خارجی ساختمان انتخاب گردید. مصالح نمونه شامل بتن، آسافالت، سانگفرش، سانگ، موزاییک و چمن با رنگ ساطح متفاوت، خاکستری، قرمز زرد و سیاه و با بافت ساطح متفاوت، با سطوح صاف، ناهموار و خشن و برجسته با طرح میباشند. برای اندازه‌گیری دمای ساطح چمن و آسافالت، از نمونه‌های موجود در نزدیکی سالیات مورد مطالعه اساتفاده گردید. در پژوهش‌های پیشااین تاثیر سالیات تايلها در تعادل دمایی مصالح مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج اندازه‌گیری‌ها حاکی از عدم تاثیر سالیات بر دمای ساطح مصالح در طول روز می‌باشد

پی نوشت

1. Luke Howard
2. Thermal waves
3. Evapotranspiration
4. Green walls
5. Green facade
6. Living walls

7. Green roofs
8. Cool urban surfaces
9. Cool materials
10. Albedo
11. Emissivity
12. Roughness
13. Permeable materials

## منابع

- رحمتی، مهدی؛ حیدری، شاهین؛ بمانیان، محمدرضا (۱۳۹۵)، " بررسی راهکارهای طراحی معماری بر کاهش اثر جزایر حرارتی شهری " نشریه انرژی ایران / دوره ۱۹ شماره ۱ بهار ۱۳۹۵.
- آبکار، علی (۱۳۹۳)، مصالح سبز و کاربرد آن در جهت کاهش مصرف انرژی و میزان آلاینده‌گی محیط زیست، کنفرانس بین المللی انسان، معماری، عمران و شهر
- فضلی، مهدی، مدی، حسین (۱۳۹۳)، ارزیابی راهبردهای کاهش جزایر حرارتی شهری و مصرف انرژی، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری.
- رحمتی، علیرضا (۱۳۹۱)، بررسی روند ارزیابی اثرات محیط زیستی در ایران، چالش‌ها و راهکارها، دفتر ارزیابی محیط زیستی سازمان حفاظت محیط زیست، محیط زیست و توسعه، سال سوم، شماره ۵.
- اتمن، عثمان (۱۳۹۱) معماری سبز با مصالح و تکنولوژی پیشرفته، (ترجمه سارا زهری) تهران: مهران (تاریخ انتشار به زبان اصلی ۲۰۱۰.
- مرئی، الهه، ۱۳۹۳، " نقش مصالح پوسته شهری در طراحی ساختمان بر اساس تغییرات دمایی، پایان نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر حسین بهشتی، دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر تهران.
- شعرا، شعله، ۱۳۹۳ " بررسی عوامل تاثیرگذار فرم شهری بر تغییرات اقلیمی با رویکرد طراحی شهری "پایان نامه کارشناسی ارشد معماری به راهنمایی دکتر پویان شهابیان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز.
- طرح مدیران سبز اندیش (۱۳۸۷)، ارزیابی اثرات زیست محیطی طرح‌های عمرانی، سازمان حفاظت محیط زیست، معاونت آموزش و پژوهش، دفتر مشارمت و آموزش همگانی، شماره ۹.
- زبردست، اسفندیار (۱۳۸۳)، اندازه شهر، چاپ اول، انتشارات مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری، تهران.
- McGranahan, G. Satterthwate. D. (2003), Environmental Health or Ecological sustainability? Reconciling the Brown and Green Agendas in Urban Development, in 18 Zetter.
- Carnielo, Emiliano; Zinzi, Michele (2013): Optical and thermal characterisation of cool asphalts to mitigate urban temperatures and building cooling demand. In *Building and Environment* 11, pp. 51–15
- Montavez J. P, Rodriguez A, Jimenez J. I (2000) A study of the urban heat island of Granada, international journal of climatology, Vol. 20:899-911
- Doulos L. Santamouris M, (2003), Vegetation in the urban environment: Microclimatic analysis and benefits, Energy and Buildings, Vol. 35: pp. 69-76
- Ferguson B. K. (2005), Porous Pavements, CRC Press, The United states.
- Yamagata H. ,Yoshizawa M. ,Miyamoto A. ,Minamiyama M. ,Nasu M. (2008), Heat island mitigation using water retentive pavement sprinkled with reclaimed wastewater, Water Science & Technology WST, Vol. 57(5):pp. 763-771
- EPA. (2013, jan 15), Heat island impacts. Retrieved April 2, 2013, from United State Environmental protection Agency (EPA).
- Levinson, Ronnen; Berdahl, Paul; Akbari, Hashem; Miller, William; Jodicke, Ingo; Reilly, Joseph et al. (4111): Methods of creating solar-reflective nonwhite surfaces and their application to residential roofing materials. In *Solar Energy Materials and Solar Cells* 20 (2), pp. 312–302.

- Makido Y. , Dhakal Sh. , Yanagata Y. ,2012. Relationship between Urban Form and CO2 Emission: Evidence Form Fifty Japanese Cities , Urban Climate.
- Gago E. J. , Roldan J. , Pacheco-Torres R. , Ordonez J. ,2013, The City and the Urban Heat Islands: A Review of Strategies to Mitigate Adverse Effect , Renewable and Sustainable Energy Review.
- Dujardin S. , Pirart F. , Brevers F. , Marique A. F. , Teller J. ,2012, Home to Work Commuting , Urban Form and Potential Energy Savings: A Local Scale Approach to Regional Statistics , Transport Research Part 1.
- Bougiatioti F. , Evangelinos E. , Poulakos G. , Zacharopoulos E. ,2009, The Summer Thermal Behaviour of " Skin " Materials for Vertical s in Athens , Greece as a Decisive Parameter For Their Selection , Solar Energy.
- Akbari, Hashem; Matthews, H. Damon (2006): Global cooling updates: Reflective roofs and pavements. In *Energy and Buildings* 55, pp. 4-1.
- Marceau M. L. , VanGeem M. G. ,2007, Solar Reflectance of Concretes for LEED Sustainable Sites Credit: Heat Island Effect , Research an Development Information , Portland Cement Association.
- ASHRAE, Thermal environmrntal conditions for human occupancy ANSI- ASHRAE, 2019, P: 55-1992.
- Che-Ani, A. I. and Shahmohamadi, P. and Sairi, A. and Mohd-Nor, M. F. I. 2009. "Mitigating the Urban Heat Island Effect: Some Points without Altering Existing City Planning", European Journal of Scientific Research No. 2, pp. 204-216.
- Wong, K. and Ng, E. and Yau, R. 2009. "Urban Ventilation as a Countermeasure for Heat Islands toward Quality and Sustainable City Planning in Hong Kong", International conference on countermeasures to urban heat islands, California, USA.
- Ooka, R. 2010. "Development of assessment tools for urban climate and heat island mitigation", CPD Lecture.

