

جزایر سرمای شهری

خدیجه نصیری

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد
مخاطرات آب و هوایی
دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

در عصر حاضر، شهرنشینی رونق زیادی پیدا کرده و افزایش جمعیت شهرها به معنای جایگزین کردن طبیعت با زمین‌های مسکونی، تغییر شکل و رشد شهرها سبب تغییرات مهمی در تعادل تابشی و افزایش تقاضا و نیاز به مصرف انرژی شده است. به دنبال وقوع چنین پدیده‌هایی، شاهد تغییرات اقلیمی در سطح شهرها و پدیده‌هایی همچون آلودگی هوا و پیدایش جزیره‌های گرمایی در سطح شهرها هستیم. شناخت هرچه بیشتر جزایر سرمای و اهمیت دادن به آن‌ها سبب موفقیت در سیاست کاهش تهدیدها برای سلامتی عموم مردم است؛ تهدیدهایی که در اثر افزایش مستقیم دما و رشد غیرمستقیم تمرکز سطوح اطراف لایهٔ ازون، یعنی همان جزایر گرمایی شهری به وجود آمده‌اند.

کلیدواژه‌ها: جزایر سرمای،
آب و هوا، جزیرهٔ گرمایی،
خرده‌اقلیم

بوده است (مقیم، ۱۳۹۶: ۲). این پژوهش سعی در بیان شناخت محیط حرارتی شهری به‌ویژه جزایر سرمای شهری (UCI) با شیوه توصیفی-تحلیلی دارد.

خرداقلیم^۲

این قلمرو اقلیمی کوچک‌ترین واحد اقلیمی به‌شمار می‌آید و به‌شدت از شرایط فیزیکی سطح زمین تأثیر می‌پذیرد و تمام ویژگی‌های خود را از این شرایط کسب می‌کند. به‌طور معمول سرعت باد با نزدیک‌تر شدن به سطح زمین به دلیل افزایش اثر اصطکاک کاهش می‌یابد و این امر به‌نوبه خود، درجه تلاطم هوا را کم می‌کند و به تشدید اختلافات بین عناصر جوی مثل دما، رطوبت و فشار در فواصل محدود می‌انجامد. حاصل این اختلافات، ایجاد اقلیم‌های مستقل و مشخص در ابعاد کوچک بین چند سانتی‌متر تا چند کیلومتر و در حوالی سطح زمین است. این نوع مطالعه اقلیمی، سطوح کوچکی مثل یک مزرعه گندم، بخش مرکزی یک شهر، یک فضای سبز درون‌شهری، یکی از دامنه‌های یک تپه و غیره را شامل می‌شود (ذوالفقاری، ۱۳۹۵: ۱۹).

جزیره گرمایی^۳ در شهرها

جزیره گرمایی شهری برای اولین بار در سال ۱۸۱۹ م به‌وسیله لاک‌هاوارد^۴ در شهر لندن مطرح شد. پس از آن، پزشکان این پدیده را در شهرهای کوچک و بزرگ سراسر جهان تشخیص دادند. در دهه ۱۹۷۰ مطالعات بسیاری در این مورد انجام گرفت که از آن میان می‌توان به تحقیقات این افراد اشاره کرد: بورنستین در نیویورک، لارنس در منچستر، اوک در مونترال، تومیا در توکیو، کلارک در سینسیناتی، دیمتریو در مسکو و هام در اشتوتگارت. جزیره گرمایی شهری به پدیده‌ای اشاره دارد که در آن، درجه حرارت هوای شهری و سطح شهر بالاتر از دمای هوا/سطح غیرشهری می‌شود. این پدیده یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی قرن بیست‌ویکم است (Ren, 2013:869). نام «جزیره گرمایی» برای این پدیده از آن روست که خطوط همدمای شهری همانند یک جزیره هستند. در جزایر دریایی، توزیع دما به‌گونه‌ای است که حداکثر درجه حرارت در مرکز دیده می‌شود و با نزدیک شدن به حاشیه جزیره، دما کاهش می‌یابد و این کاهش درجه حرارت ناشی از تأثیرات آب است.



شکل ۱. خطوط همدمای شهری در جزیره گرمایی شهری

مقدمه

شهرها و عناصر شهری در کنار عملکردشان همیشه از عوامل آب‌وهوایی متأثرند. این تأثیرپذیری تا قبل از پیدایش ابرشهرها تقریباً یک‌طرفه بوده، اما از آن به بعد شهرها نیز در اوضاع اقلیمی فضای پیرامون خود اثر گذاشته و تغییرات خرداقلیمی را پدید آورده‌اند، به‌گونه‌ای که امروزه یک قلمرو اقلیمی خاص به نام خرداقلیم شهری ظهور یافته است. خرداقلیم‌های شهری تحت تأثیر افزایش تراکم ساختمان‌ها، هندسه دره‌وار خیابان‌ها، جنس مصالح نامناسب از لحاظ حرارتی، فقدان فضای سبز شهری و همچنین گرمای ناشی از فعالیت‌های انسانی و آلودگی‌های شهری به سمت گرم شدن و پایین آمدن کیفیت هوا و محیط حرکت کرده‌اند و اینکه عوامل انسان‌ساز در پیدایش پدیده خرداقلیم‌ها و به دام افتادن آلودگی هوای شهر تأثیر بسزا دارند، دیگر امری پذیرفته شده است. مهم‌ترین عامل در تفاوت آسایش انسانی در خرداقلیم‌های شهری و اقلیم‌های باز خارج شهری، تفاوت در دمای هوا و دریافت تابش و سرعت باد است. گرم شدن خرداقلیم‌های شهری سبب تغییرات اقلیمی و افزایش متوسط دمای منطقه‌ای و درنهایت جهانی و دمای اقیانوس‌ها و گسترش ذوب شدن برف و یخ‌ها و بالا آمدن متوسط سطح دریاها خواهد شد (خداکرمی و سیدالعسگری، ۱۳۹۲). هر نوع تغییر در دمای هوا سلسله‌پایمدهایی بر بوم‌نظام‌ها و زیست‌کره به همراه داشته است. تا چند دهه پیش، نواحی شهری فقط دو درصد از مساحت سطح زمین را اشغال کرده بودند، اما امروزه مناطق شهری غالب‌ترین چشم‌اندازهای انسانی را تشکیل داده و تأثیرات قابل توجهی بر اکوسیستم‌های محلی و جهانی گذاشته‌اند. در میان پدیده‌های محیطی مهم که با فعالیت‌های انسانی ارتباط دارند، اثر جزایر حرارتی شهری یکی از مهم‌ترین مشکلات جوامع



شکل ۲. جزیره گرمایی شهری (UHI)

فرایندهای شهری روی اقلیم آن است. این فرایندها موجب می‌شوند شهرها به وسیله یک توده هوای گرم محصور شوند که در طول روز ارتفاع آن حدود ۱۲۰ متر است و در شب به بیش از دو متر می‌رسد. در این پدیده، مرکز شهر نسبت به مناطق حومه آن بالاترین درجه حرارت را دارد و با دور شدن از مرکز شهر، این درجه حرارت و ارتفاع توده هوای گرم کاهش می‌یابد، به طوری که در حومه، اثر آن کاملاً محو می‌شود.

عوامل ایجادکننده جزیره گرمایی در شهرها

پارامترهای مهم در ایجاد جزیره گرمایی شامل پارامترهای اقلیمی مثل سرعت و جهت باد، رطوبت و پوشش ابر و پارامترهای انسانی تأثیرگذار در شکل شهر مانند نسبت منظر، ضریب دید آسمان، مصالح ساختمانی، شکل و هندسه شهر هستند. تعدادی از عواملی که موجب ایجاد جزیره گرمایی می‌شوند، عبارتند از:

- به دام افتادن امواج بلند و کوتاه بین ساختمان‌ها؛
- کاهش بازتاب امواج بلند بازتابی به آسمان به دلیل کاهش ضریب دید آسمان؛
- افزایش گرمایی محسوس و نهان در محیط؛
- افزایش گرمای حاصل از مصرف سوخت انسانی؛
- فقدان سبزیگی؛
- افزایش جذب در سطوح بالای ساختمان‌ها نسبت به کف؛
- افزایش آلودگی هوا؛
- افزایش پدیده‌های ایستایی و وارونگی لایه‌های هوا.



شکل ۳. عوامل مؤثر در شکل‌گیری جزیره گرمایی شهری

جزیره گرمایی می‌تواند اثر جدی در بالا بردن مصرف انرژی در شهرها و تأثیر منفی در آسایش و سلامت در سکونتگاه‌های شهری داشته باشد، زیرا افزایش

تقاضای انرژی برای برطرف کردن

تأثیرات گرم شدن شهرها با توجه

به مصرف منابع فسیلی بیشتر در

این مورد، سبب افزایش نهایی

دمای هوای شهر و ایجاد

تنش‌های گرمایی در

محیط می‌شود

یکی از

نتایج جزایر

گرمایی شهری این

است که باعث افزایش

مصرف انرژی خنک‌کننده

می‌شود، سطح آلودگی را افزایش

می‌دهد و حتی ممکن است بر

مساحت شهرها تأثیر بگذارد و منجر به

مرگ‌ومیر شود. به دنبال افزایش شهرنشینی،

مرز شهرها گسترش می‌یابد، بافت متراکم شهری

ایجاد می‌شود و بر فعالیت انسانی، از جمله ترافیک وسایل

نقلیه و انرژی صرف‌شده برای سرمایه‌گذاری و گرمایش افزوده

خواهد شد که همه این‌ها سبب می‌شود، دمای هوای مناطق

شهری متراکم بالاتر از حومه شهر شود. این تغییر دما از ۰ تا ۱ درجه

سانتی‌گراد امری عادی به نظر می‌رسد، هر چند گاهی بیشتر نیز مشاهده

شده است. این تغییرات به نام پدیده «جزیره گرمایی» شناخته می‌شود.

جزیره گرمایی می‌تواند اثر جدی در بالا بردن مصرف انرژی در شهرها و

تأثیر منفی در آسایش و سلامت در سکونتگاه‌های شهری داشته باشد،

زیرا افزایش تقاضای انرژی برای برطرف کردن تأثیرات گرم شدن شهرها

با توجه به مصرف منابع فسیلی بیشتر در این مورد، سبب افزایش نهایی

دمای هوای شهر و ایجاد تنش‌های گرمایی در محیط می‌شود. این عدم

آسایش باعث کاهش کارایی ذهنی و جسمی و فیزیولوژیک و تغییرات

رفتاری خواهد شد. برای توجیه پدیده جزیره گرمایی باید اختلاف‌های

موجود بین شهر و نواحی اطراف آن را مشخص کرد. ویژگی‌های هر

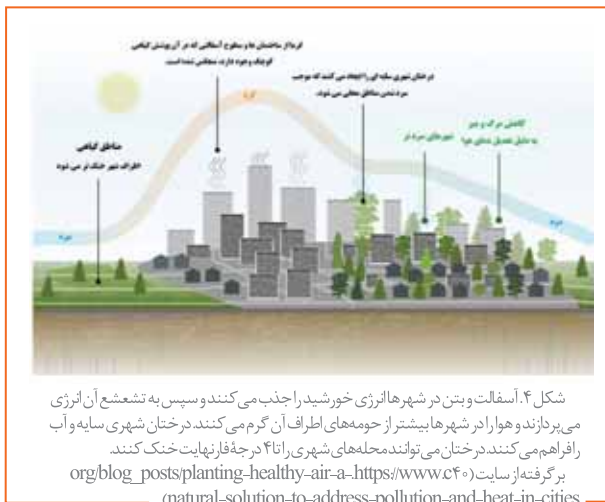
یک از این محیط‌ها باعث شکل‌گیری خرداقلیم‌های خاصی می‌شود.

شهرها خرداقلیم‌های موجود محیط خود را منهدم و خرداقلیم جدیدی

خلق می‌کنند. به‌طور کلی، جزیره گرمایی شهری نتیجه تأثیرات پیچیده

به ویژگی‌های دیگر پارک‌ها مانند سازه‌های جنگل شهری در پارک‌ها باشد. ساختار جنگل شهری که به‌عنوان فضای جنگلی سه‌بعدی در مناطق شهری (چگالی کانوپی^۷، تراکم ساقه، اندازه درخت و سلامتی، ترکیب گونه‌ها و غیره) در نظر گرفته می‌شود، یک متغیر مهم است که بر عملکرد توابع اکوسیستم جنگل شهری بر ساکنان شهری در سراسر شهر تأثیر می‌گذارد (Bristow and et al, 2010:224, Yang and et al, 2017:890).

جزیره گرمایی شهری (UHI) به گرمای نسبی مناطق شهری نسبت به مناطق روستایی نزدیک به آن اشاره دارد. جزایر گرمایی به‌خصوص در شب‌ها و شب‌های روشن و آرام رخ می‌دهند. آن‌ها می‌توانند در هر زمانی از روز و در هر فصلی غلبه داشته باشند. با این حال، گاهی اختلاف دما بین مناطق شهری و روستایی می‌تواند معکوس شود و جزیره سرد شهری (UCI) رخ دهد. UCI شایع‌ترین پدیده در روزهای تابستان و UHI در طول زمستان و در طول روز غالب است و شدت UCI اغلب به میزان قابل توجهی کمتر از شدت UHI است که می‌تواند حتی ۱۰ درجه سانتی‌گراد باشد. اندازه شهر، تراکم ساختمان و مکان جغرافیایی بر شدت جزیره گرمایی شهری (UHI) تأثیر می‌گذارد. به‌طور کلی، بزرگ‌ترین شهرها همواره دارای شدیدترین شدت UHI هستند (<http://ilmastotyokalut.fi/kaupungin-lampotilaerot/mika-on-lamposaareke/urban-climate-research-in-the-city-of-turku>).



شکل ۴. آسفالت و بتن در شهرها انرژی خورشید را جذب می‌کنند و سپس به تشعشع آن انرژی می‌پردازند و هوای در شهرها بیشتر از حومه‌های اطراف آن گرم می‌کنند. درختان شهری سایه و آب رافراهم می‌کنند. درختان می‌توانند محله‌های شهری را تا ۴ درجه فارنهایت خنک کنند. برگرفته از سایت (۲۰۱۷) https://www.c4o.org/blog_posts/planting-healthy-air-a-natural-solution-to-address-pollution-and-heat-in-cities

جوامع می‌توانند از روش‌های گوناگون برای کاهش آثار جزایر گرمایی در مقابله با شرایط سخت استفاده کنند. شیوه‌های مختلف ایجاد جزایر گرمایی شهری عبارت‌اند از:

۱. نصب بام‌های سرد و پوشش تیره روی آن؛ در واقع روکش پشت‌بام‌ها، می‌تواند پشت‌بام‌ها را سرد نگه دارد و نیاز به تهویه را برای استفاده از انرژی مورد نیاز کاهش دهد.
۲. ایجاد بام‌های سبز مشروط به استحکام بنا و سقف.
۳. کاشتن درختان و ایجاد فضای سبز بیشتر؛ کاشتن درخت نزدیک خانه‌ها و ساختمان‌ها و ایجاد سایه باعث کاهش گرما از طریق تأثیر انعکاسی آن می‌شود. اگر این درختان و گیاهان در امتداد میدان‌ها و پیاده‌روها نیز کاشته شوند، می‌توانند آلودگی ناشی از بخار یا دود خارج‌شده از ماشین‌ها و (فیلترها) را کاهش دهند.

در افزایش درجه حرارت نواحی شهری نسبت به حومه آن، عوامل متعددی دخالت دارند. بنابراین جزیره حرارتی دارای بیلان نسبتاً پیچیده‌ای است. از آنجا که اساس تفاوت اقلیم شهر و روستا را باید در تبادل انرژی جست‌وجو کرد، جزیره گرمایی به دلیل تخریب موازنه گرما در فضای شهری به وجود آمده است و بیلان انرژی یک منطقه شهری می‌تواند به‌وسیله رابطه زیر مشخص شود:

$$Q_F = Q_H + Q_K + Q_G + Q^*$$

در این رابطه، Q^* مقدار خالص تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین، Q_F گرمای مصنوعی و ایجاد شده به وسیله انسان از طریق احتراق و متابولیسم، Q_H جریان گرمای محسوس، Q_K جریان گرمایی نهان و Q_G گرمای ذخیره‌شده در زمین و ساختمان‌هاست (دهقان، ۱۳۸۲: ۲۹-۲۸).

بنابراین می‌توان گفت مهم‌ترین پدیده شهری، جزیره گرمایی است که از افزایش دما حاصل می‌شود و می‌تواند ناراحتی قابل توجهی برای جامعه و محیط‌زیست ایجاد کند. شهرهای بزرگ در زمره آسیب‌پذیرترین نواحی به لحاظ خطرات دمای بالا هستند. این در حالی است که با شناخت بیشتر و اهمیت جزیره گرمایی در شهرها تا حدود زیادی می‌توان از افزایش دمای شهرها کاست و دمای آن را تعدیل و به محیطی مطلوب‌تر تبدیل کرد.

جزایر گرمایی شهری

محیط حرارتی یک جنبه مهم از محیط شهری است و کیفیت زندگی شهروندان و استفاده از انرژی در ساختمان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. جزیره گرمایی شهری (UCI) با ایجاد اثر خنک‌کننده توسط سایه‌های درختان در طول فصل گرم، در مقابل جزیره گرمایی شهری (UHI) که نتیجه ساختارهای شهرها و تداخل آن با آب‌وهوای محلی است، یکی از مهم‌ترین راهکارهای ایجاد تعادل آسایش حرارتی در شهرها به‌شمار می‌رود (Artur Gonçalves et al, 2018:2).

محققانی همچون کپ لیتر^۵ با انجام تحقیقات مختلف به این نتیجه رسیده‌اند که با ایجاد پارک‌های سرد و سبز در مناطق شهری می‌توان محیط شهری را تغییر داد. مطالعات آن‌ها نشان داده است که دما در پارک‌های سبز به مراتب خنک‌تر است. درختان بزرگ اشعه خورشید منعکس شده را جذب می‌کنند و باعث دمای خنک‌کننده می‌شوند. هارلن می‌گوید: این جزایر خنک می‌توانند آثار منفی گرمای شهر گرم را کاهش دهند (<http://ilmastotyokalut.fi/kaupungin-lampotilaerot/mika-on-lamposaareke/urban-climate-research-in-the-city-of-turku>).

پارک‌ها اغلب فضای باز آسفالت‌نشده و شناخته‌شده‌ای هستند که برای کاهش پیامدهای تغییرات اقلیمی با ارائه اثر خنک‌سازی و تسهیل کربن قرار داده شده‌اند. در دو دهه گذشته مطالعات بسیاری روی تأثیر پارک‌های پارک شهری در شدت PCI^۶ انجام شده است. این مطالعات نشان می‌دهند که هم‌بستگی مثبتی بین شدت PCI و اندازه پارک شهری وجود دارد. پارک‌های بزرگ‌تر اثر PCI قوی‌تری نسبت به پارک‌های کوچک دارند. این مطالعات عمدتاً بر ارتباط میان شدت PCI و خصوصیات پارک‌های شهری مانند اندازه آن‌ها تمرکز دارد. با این حال، تأثیر خنک‌سازی پارک‌های شهری نیز ممکن است مربوط



۴. استفاده از مواد سرد برای سنگ‌فرش کردن خیابان‌ها و معابر.
۵. استفاده از مصالح و رنگ روشن برای سنگ‌فرش کردن خیابان‌ها که نسبت زیادی از هزینه انرژی برای تقاضای تهویه هوا را کاهش می‌دهد.
۶. افزایش تعلیمات همگانی و رسیدگی‌های عمومی در رعایت و نظارت زیست‌محیطی و حفاظت از طبیعت در شهر.
۷. بررسی نقشه‌های جزیره گرمایی توسط ارگان‌های محلی و گروه‌های مختلف شهری.

اینکه نواحی شهری تا چه حد می‌توانند از استراتژی‌های کاهش جزایر گرمایی استفاده کنند به عوامل متعددی بستگی دارد. برخی از این عوامل نظیر الگوهای آب و هوایی غالب، موقعیت جغرافیایی و آلودگی‌های منتقل شده از نواحی بادخیز، عمدتاً فراتر از تأثیر سیاست محلی است، هر چند عواملی نظیر الگوهای استفاده شده از زمین، مواد استفاده شده در جاده‌ها، مصالح و معماری ساختمان‌ها و نوع پوشش آن‌ها، درختان شهری و فضاهای سبز، مستقیماً تحت تأثیر فعالیت‌های مسئولان امر قرار می‌گیرد. اینجاست که مشخص می‌شود سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های شهری برای کاهش تأثیر جزایر گرمایی و دسترسی به اهداف صحیح محیطی و ذخیره انرژی و غیره چقدر لازم و سودمند است (حسین صرامی و همکار، ۱۳۸۴: ۱).

پی‌نوشت‌ها

1. Urban Cold Islands (UCI)
 2. Micro Climate
 3. Urban Heat Island (UHI)
 4. Luke Howard
 5. Cap Lter
 6. Park Cool Island
 7. canopy density
- تراکم قاعده جنگل یکی از عوامل مهم در ارزیابی وضعیت جنگل و یکی از شاخص‌های مهم مداخلات مدیریتی است.

نتیجه‌گیری

به دلیل تفاوت خرداقلیم‌ها در اثر ساخت‌وسازهای انسانی و دستکاری و دخالت در محیط شهری، شهر دارای مناطق مختلفی از لحاظ پدیده گرما می‌شود و جزیره‌های گرمایی در سطح شهر به وجود می‌آیند. شهرها از مناطق روستایی خود گرم‌ترند، زیرا در استفاده از انرژی اسراف می‌کنند و ظرفیت حرارتی خیابان‌ها و ساختمان‌ها نیز برای دریافت اشعه خورشید بیشتر است. در جریان روز گرم شدن سطوح ساختمان‌های شهری سریع‌تر از روستاهای اطراف شهر است. به طور کلی اقلیم شهری به شدت تحت تأثیر فرایندهای ناشی از مکانیسم کار و زندگی شهری قرار دارد و فعالیت انسانی در شهرها بدون استفاده از ابزار صنعتی ممکن نیست. با توجه به موارد اشاره شده، اتخاذ راهکارهای مناسب از طریق سیاست‌های تشویقی و مدیریت کلان‌شهری به منظور تعدیل پدیده جزیره حرارتی ضروری به نظر می‌رسد. مقدار فضای سبز شهری به دلیل ارزش افزوده بالای زمین در نقاط شهری، فرهنگ آپارتمان‌نشینی و رشد عمودی شهرها به طور چشمگیر کاهش پیدا کرده است. با ایجاد پارک‌ها و گسترش آن‌ها و همچنین ایجاد بام سبز که یکی از رویکردهای نوین در نظام شهرسازی و برخاسته از مفاهیم توسعه پایدار است می‌توان سرانه فضای سبز، ارتقای کیفیت محیط‌زیست و توسعه پایدار شهری را افزایش داد. موارد ذکر شده نه تنها با کاهش نسبی آثار جزیره حرارتی شهری، ایجاد میکرواقلیم، بهبود کیفیت هوا و برقراری تعادل حرارتی در محیط داخلی و خارجی ساختمان‌های شهری همراه خواهد بود، بلکه در جهت بهبود کیفیت محیط شهری نیز آثار مثبت اقتصادی قابل توجهی را به جا می‌گذارد (خسروی و همکار، ۱۳۹۳: ۶۸).

منابع

۱. خداکرمی، جمال و سیدالعسگری، ملیحه (۱۳۹۲). «خصوصیات فیزیکی شهر و تأثیر آن بر خصوصیات اقلیم شهری». همایش ملی معماری، فرهنگ و مدیریت شهری، کرج.
۲. خسروی، محمود و قبادی، اسدالله (۱۳۹۳). «تبیین جایگاه سامانه بام سبز در تعدیل جزیره حرارتی شهر، نمونه موردی: کرج». دو فصلنامه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، سال دوم، شماره چهارم.
۳. دهقان، مهدی (۱۳۸۲). «جزایر گرمایی شهری، نمونه‌ای از تغییر اقلیم». مجله آموزش جغرافیا، سال هجدهم، شماره ۶۵.
۴. ذوالفقاری، حسن (۱۳۹۵). آب و هواشناسی توریسم. انتشارات سمت، چاپ چهارم.
۵. صرامی، حسین و سلکی، لیلیا (۱۳۸۴). «جزیره گرمایی». سپهر، دوره چهاردهم، شماره پنجم و ششم.
۶. مقیمی، ابراهیم، محمدی، حسین و نجفیان گرجی، محمدرضا (۱۳۹۶). «ارزیابی روند تغییرات دما، الگوی جزیره حرارتی و پوشش گیاهی ایام گرم شهر تهران». فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال دهم، شماره ۳۸.
7. Bristow, Robert S., Blackie, Robert & Brown, Nicole. (2010). "Parks And The Urban Heat Island: A Longitudinal Study In Westfield, Massachusetts". Proceedings of the 2010 Northeastern Recreation Research Symposium, 224-230
8. Gonçalves, Artur et al. (2018). "Urban Cold and Heat Island in the City of Bragança (Portugal)". Climate, p 2.
9. Ren, Zhibin (2013). "Estimation of the Relationship between Urban Park Characteristics and Park Cool Island Intensity by Remote Sensing Data and Field Measurement". Forests 4: 868-886.
10. Yang, Xinyan, Li, Yuguo, Luo, Zhiwen, & Wai Chan, Pak (2017). "The urban cool island phenomenon in a high-rise high-density city and its mechanisms". International Journal Of Climatology 37: 890-904.
11. <http://ilmastotyokalut.fi/kaupungin-lampotilaerot/mika-on-lamposareke/urban-climate-research-in-the-city-of-turku>.
12. https://www.c40.org/blog_posts/planting-healthy-air-a-natural-solution-to-address-pollution-and-heat-in-cities.