

تأثیر الگوهای فضایی ساختار سبز شهری بر کاهش دمای جزایر حرارتی مورد مطالعه: شهر تهران

بهناز امین‌زاده^{۱*}، سهیل قشلاق‌پور^۲

۱. استاد دانشکده شهرسازی، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی شهری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

soel.ghelaghpor@ut.ac.ir

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۵

چکیده

هدف از این پژوهش تدقیق رابطه بین فضای سبز و دمای سطح زمین به‌عنوان عامل مهم در ایجاد جزایر حرارتی در شهرها است. موضوعی که علیرغم توجه محققان به‌ویژه در دو دهه اخیر نتایج ضد و نقیضی را نشان داده است. شهر تهران به‌عنوان نمونه موردی، در دهه‌های اخیر با تغییرات مشخصی توسط توسعه بخش‌های ساخته شده و در نتیجه تغییر الگوی فضاهای باز و سبز طبیعی و نیز تغییرات میانگین دما روبه‌رو بوده است. روش کار با استفاده از طبقه‌بندی LCZ، سنجش متریک‌های منتخب سیمای سرزمین و تحلیل ارتباطات از طریق همبستگی پیرسون و پیرسون جزئی است. نتایج نشانگر آن است که مناطق با پوشش درختی در هر دو حالت تراکم زیاد/کم، تأثیر کاهنده‌ای بر دما دارند. میانگین اندازه لکه‌های سبز متراکم درختی همراه با گیاهان با ارتفاع کم، عامل مهمی در کاهش دماست و در مقابل آن سطح مناطق سبز و میزان تراکم حاشیه‌ای در فضاهای سبز شامل علفزارها با تراکم پایین و درختچه‌های پراکنده با کفپوش خاک تأثیر فزاینده‌ای بر دمای سطح زمین دارند. این نتایج امکان تأثیر بر میزان کاهش دمای جزایر حرارتی از طریق برنامه‌ریزی الگوهای فضایی مناسب مناطق سبز شهری را فراهم می‌کند.

کلیدواژه

الگوهای فضایی، جزایر حرارتی، ساختار فضای سبز شهری، شهر تهران

سرآغاز

و حومه‌ای را توصیف می‌کنند (Li et al., 2013)، به‌طوری که هم‌زمان با افزایش شهرنشینی، آثار جزایر حرارتی شهری نیز شدت می‌یابد (Liu et al., 2007). دمای هوای^۲ جزایر حرارتی شهر دارای کیفیت موقتی و بازه زمانی گسترده است که می‌تواند تغییرات موقتی جزایر حرارتی را توصیف کند، ولی به تصویر کشیدن تغییرات مکانی این عامل، امری دشوار است که این دشواری، با استفاده از دمای سطح زمین^۳ (LST) که به‌طور هم‌زمان

افزایش دما ناشی از جزایر حرارتی شهر^۱ (UHI) در تشدید طیف گسترده‌ای از پیامدهای منفی زیست‌محیطی و اجتماعی از جمله: مرگ و میر ناشی از گرما (Hondula et al., 2014)، تغییر زیست‌پذیری جوامع (McIntyre et al., 2001) و گرم شدن زمین (Karl et al., 1993; Santamouris et al., 2015) مؤثر است. جزایر حرارتی شهری، پدیده بالاتر بودن دما در مناطق شهری نسبت به مناطق روستایی

2010; Zhou et al., 2017; Cao et al., 2010; Li et al., 2011, 2012) استفاده شده است.

مبانی نظری

تحقیقاتی که در رابطه با موضوع ارتباط بین فضاهای سبز و دمای سطح زمین انجام شده، نتایج ضد و نقیضی را نشان می‌دهد (جدول ۱) که این خود ضرورت انجام مطالعات بیشتر در این حوزه را مشخص می‌کند. برای مثال در مطالعاتی که توسط Zhou, Li, و Guo انجام شده است سنجه‌های مساحت^{۱۰} (CA)، تراکم حاشیه‌ای^{۱۱} (ED) و متوسط اندازه^{۱۲} (MPS) فضای سبز بررسی شدند (Li et al., 2013; Zhou et al., 2017; Guo et al., 2019) این مطالعات همچون تحقیقات قبلی بر رابطه منفی مساحت فضای سبز با دمای سطح زمین تأکید داشتند درحالی‌که درباره دیگر سنجه‌های اندازه‌گیری شده نتایج متفاوتی را نشان می‌دادند.

در تحقیق Zhou و همکاران (۲۰۱۱)، تراکم حاشیه‌ای فضای سبز در آب‌وهوای گرم و مرطوب اثر منفی بر دما ولی رابطه این سنجه در آب‌وهوای گرم و خشک مشابه نتایج Li و Guo است که در شرایط و ضوح تصویر بالا و خرددانه‌ی زیاد به رابطه مثبت تراکم حاشیه‌ای با دمای سطح زمین رسیده‌اند. از طرفی نتایج همین مطالعات درباره متوسط اندازه فضای سبز عکس نتایج رابطه بین تراکم حاشیه‌ای با دما را نشان می‌داد. پژوهش‌هایی نیز در ارزیابی رابطه بین الگوی فضایی کاربری زمین شهری و دمای سطح زمین (LST) به کمک شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص نسبت پوشش گیاهی (PVC)، رگرسیون خطی و شناسایی مناطقی مستعد بر اساس پخشایش و آسیب‌پذیری جمعیتی به رابطه منفی مساحت و تراکم حاشیه‌ای فضای سبز با دمای سطح زمین اشاره داشتند (Li et al., 2011; Zhou et al., 2011; Dugord et al., 2014).

دمای کل شهر را نشان می‌دهد، قابل حل است (Weng, 2009). یکی از رویکردهای معاصر کاهش آثار جزایر حرارتی شهری، افزایش کیفیت هوا و تعدیل تغییرات آب و هوایی زیرساخت‌های سبز است (Al-Dabbous and Kumar, 2014; Monteiro et al., 2016). اصطلاح زیرساخت‌های سبز^۴ (GI) به «شبکه برنامه‌ریزی شده مناطق طبیعی و نیمه‌طبیعی با سایر ویژگی‌های طراحی و مدیریت زیست‌محیطی با طیف گسترده‌ای از خدمات اکوسیستم» در مناطق شهری و در مقیاس‌های مختلف فضایی اطلاق می‌شود که علاوه بر کاهش آثار جزایر حرارتی، رویکردی مؤثر در مدیریت آب، کنترل رواناب‌ها و سیل‌ها، بهبود زیبایی شهری و حفاظت از تنوع زیستی است (Naumann et al., 2011; Pearlmutter et al., 2017). عامل مهم در این رویکرد، فضای سبز است که به انواع زیرساخت‌های مرتبط با پوشش گیاهی و عناصر طبیعی اشاره دارد، به‌طوری‌که فضای سبز قابلیت زیادی برای کاهش جزایر حرارتی از طریق عمل تبخیر یا جذب تابش‌های با موج کوتاه را داشته و مساحت متناسب فضای سبز در یک منطقه یکی از عوامل مؤثر در خنک‌کنندگی است (Chen et al., 2014; Kong et al., 2014; Li et al., 2012; Myint et al., 2013). این پژوهش با هدف تدقیق و شفاف کردن چگونگی تأثیر الگوهای ساختار سبز و گونه‌بندی آن‌ها بر دمای جزایر حرارتی، در تلاش است تا به این سؤالات پاسخ دهد:

۱. رابطه بین الگوی فضایی^۵ ساختار سبز با کاهش یا افزایش دمای سطح زمین چیست؟
 ۲. گونه‌بندی و الگوهای مختلف فضاهای سبز شهری چه نقشی در تغییرات دمای سطحی زمین دارد؟
- برای انجام تحقیق از روش پهنه‌بندی اقلیم محلی^۶ (LCZ)، اندازه‌گیری متریک‌های سیمای سرزمین^۷ و سنجش دو متغیر ترکیب فضایی^۸ و پیکربندی فضایی^۹ که در تحلیل ساختار فضای سبز کاربرد دارد (Buyantuyev and Wu,

جدول ۱. مطالعات مربوط به بررسی رابطه الگو فضایی و دمای سطح زمین

| محققان | سال | شهر مطالعه | روش | نتایج |
|------------------------------|------|---|--|---|
| Junxiang Li et al., | 2011 | شانگهای چین | تجزیه و تحلیل دمای سطح زمین (LST) در رابطه با شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص نسبت پوشش گیاهی (PVC)، و درصد سطوح غیرقابل نفوذ (ISA) | رابطه خطی منفی بین شاخص نرمال شده و نسبت پوشش گیاهی با دمای سطح زمین و رابطه مثبت بین سطوح غیرقابل نفوذ و دمای سطح زمین و همین‌طور تأثیر کاهشی مناسب‌تر پوشش گیاهی در تابستان نسبت به اوایل بهار |
| WeiQi Zhou et al., | 2011 | بالتیمور ایالات متحده | بررسی رابطه الگوی فضایی کاربری‌های مختلف شهری با دمای سطح زمین با استفاده از رگرسیون خطی | مشاهده رابطه منفی مساحت فضای سبز با دمای سطح زمین |
| Xiaoma Li et al., | 2013 | بجین چین | بررسی الگوی فضایی فضای سبز در سه وضوح مکانی (۲/۴۴ متر، ۱۰ متر، ۳۰ متر) براساس تصاویر ماهواره‌های Landsat TM، QuickBird، SPOT و استفاده از روش همبستگی پیرسون برای بررسی رابطه بین الگوهای فضای سبز و LST | تصاویر با وضوح بالاتر می‌توانند با دقت بیشتری الگوی فضایی فضای سبز را تعیین کنند و رابطه بین مساحت فضای سبز و LST به‌طور مداوم منفی، اما رابطه بین سنجه‌های پیکربندی آن با LST در وضوح مکانی مختلف، متفاوت است. |
| Pierre-Adrien Dugord et al., | 2014 | برلین آلمان | بررسی دمای سطح زمین با توجه به الگوی کاربری زمین و شناسایی مناطق مستعد بر اساس پخشایش و آسیب‌پذیری جمعیتی | اثر خنک‌کنندگی بیشتر فضای سبز در صبح نسبت به عصر |
| Fanhua Kong et al., | 2014 | نانجینگ چین | بررسی رابطه بین الگوی فضایی فضای سبز و LST با استفاده از روش همبستگی پیرسون | مناطق که درصد بیشتری از پوشش گیاهی را تجربه می‌کنند اثر خنک‌کنندگی بیشتری دارند و افزایش ۱۰ درصد منطقه تحت پوشش فضای سبز به کاهش حدود ۰/۸۳ درجه سانتی‌گراد در دمای سطح منجر می‌شود. |
| WeiQi Zhou et al., | 2017 | بالتیمور (گرم و مرطوب) و ساکرامنتو (گرم و خشک) ایالات متحده | بررسی رابطه بین الگوی فضایی فضای سبز و LST در چند مقیاس مختلف و با استفاده از روش همبستگی پیرسون، پیرسون جزئی و رگرسیون چند متغیره | میانگین اندازه فضای سبز (MPS) آثار مثبت معناداری بر LST در بالتیمور داشته، اما تأثیرات منفی آن در ساکرامنتو مشخص شد. در مقابل، تراکم لبه (ED) آثار منفی بر LST در بالتیمور، اما آثار مثبت در ساکرامنتو دارد. علاوه بر این نتایج بر ضرورت کنترل تأثیر سنجه مساحت درختان، هنگام کمی کردن آثار پیکربندی فضایی آن‌ها بر LST تأکید می‌کند و روابط بین سنجه‌های پیکربندی و LST با افزایش مقیاس قوی‌تر می‌شود. |
| Guanhua Guo et al., | 2019 | شنزن، گوانژو، فوشان و دون‌گوان چین | سنجش داده‌های فضای سبز و LST برای تابستان و زمستان سپس مقایسه تغییرات آماری با استفاده از روشی جدید، ترکیبی از رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی | سهم ترکیب فضایی از سنجه‌های فضای سبز نقش تعیین‌کننده‌تری در تعیین LST، به‌ویژه در تابستان بازی می‌کند علاوه بر این اثر جزایر حرارتی شهر تنها با افزایش مساحت فضای سبز کاهش نمی‌یابد بلکه باید بهینه‌سازی پیکربندی فضایی فضای سبز نیز در نظر گرفته شود. |

سؤالات تحقیق از مدل مفهومی مبتنی بر ارتباط بین جزایر حرارتی و ساختار سبز با استفاده از رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین استفاده شده است (نمودار ۱).

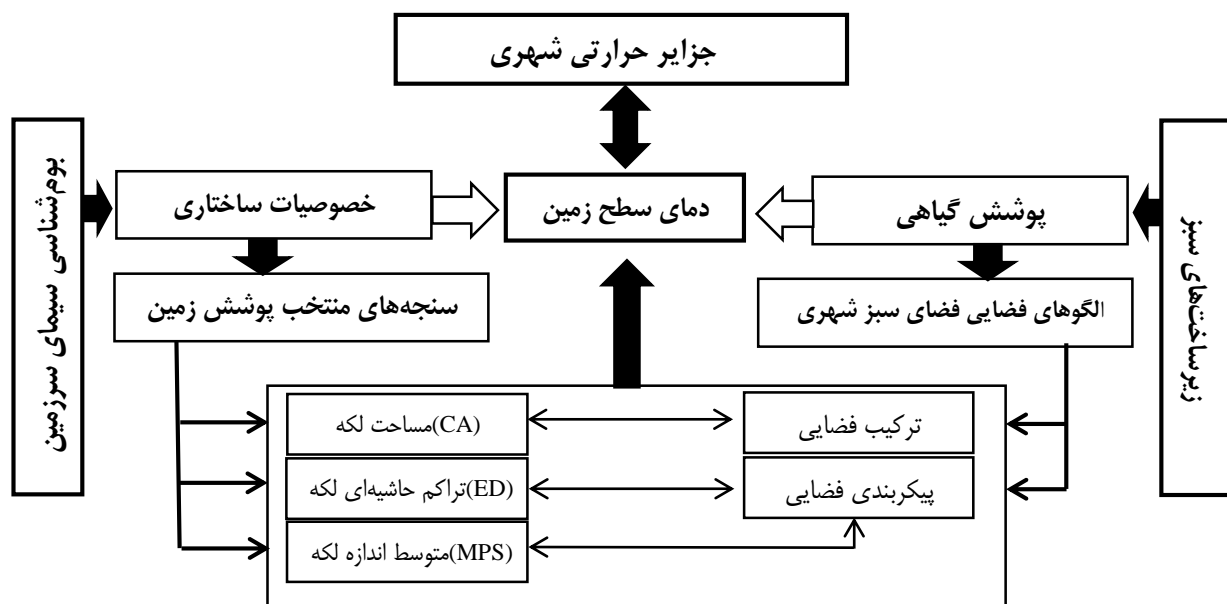
مواد و روش‌ها

پهنه‌بندی اقلیم محلی (LCZ) و سنجش متریک‌های

سیمای سرزمین

روش این تحقیق ترکیبی و بر مبنای استفاده از گونه‌بندی فضای سبز از طریق پهنه‌بندی اقلیم محلی (LCZ) و سنجش متریک‌های سیمای سرزمین است. ابزار کار تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل از طریق روش پیرسون و پیرسون جزئی است. این فرایند با گونه‌بندی فضای سبز که توسط Stewart و Oke (۲۰۱۲) پیشنهاد شده و در تحقیقات مختلف نیز به کار گرفته شده آغاز می‌شود. در این طبقه‌بندی، سرزمین به ۱۷ نوع کاربری مختلف تقسیم شده است که ۴ نوع از آن‌ها به فضاهای سبز (A-D) اختصاص می‌یابد.

اگرچه عواملی مانند شرایط آب و هوایی متفاوت شهرها، تکنیک‌های کمی گوناگون در تحلیل اطلاعات، وضوح تصویر متفاوت در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای یا بکاربردن مقیاس‌های گوناگون شهری مانند مقیاس بلوک یا منطقه شهری و استفاده از پهنه‌بندی‌های خاص دیگر بر این تناقض‌ها مؤثر بوده است (Zhou et al., 2017; Kong et al., 2014; Li et al., 2013; Zhou et al., 2011; Dugord et al., 2014). با این حال مطالعات بیشتری برای رفع ابهام از تناقضات در یافته‌های تحقیق مورد نیاز است. یکی از عواملی که می‌تواند در این زمینه کمک‌کننده باشد جستجوی رابطه دقیق‌تری بین نوع فضای سبز و دمای سطح زمین است. در تحقیقات فوق‌الاشاره، دسته‌بندی‌های یکسانی برای فضای سبز شهری مطرح شده و به الگوهای ساختاری فضای سبز و گونه‌بندی آن‌ها توجه چندانی نشده است. این امر می‌تواند یکی از عوامل وجود تناقض در رابطه با سنجه‌های تراکم حاشیه‌ای (ED) و متوسط اندازه رابطه (MPS) فضای سبز با دمای سطحی زمین باشد. با استفاده از مطالعات انجام شده در این حوزه به‌منظور پاسخ به



نمودار ۱. مدل مفهومی ارتباطات بوم‌شناسی سیمای سرزمین، فضای سبز و جزایر حرارتی شهری

جدول ۲. متغیرهای منتخب سیمای سرزمین در سنجش الگوهای فضایی فضاهای سبز

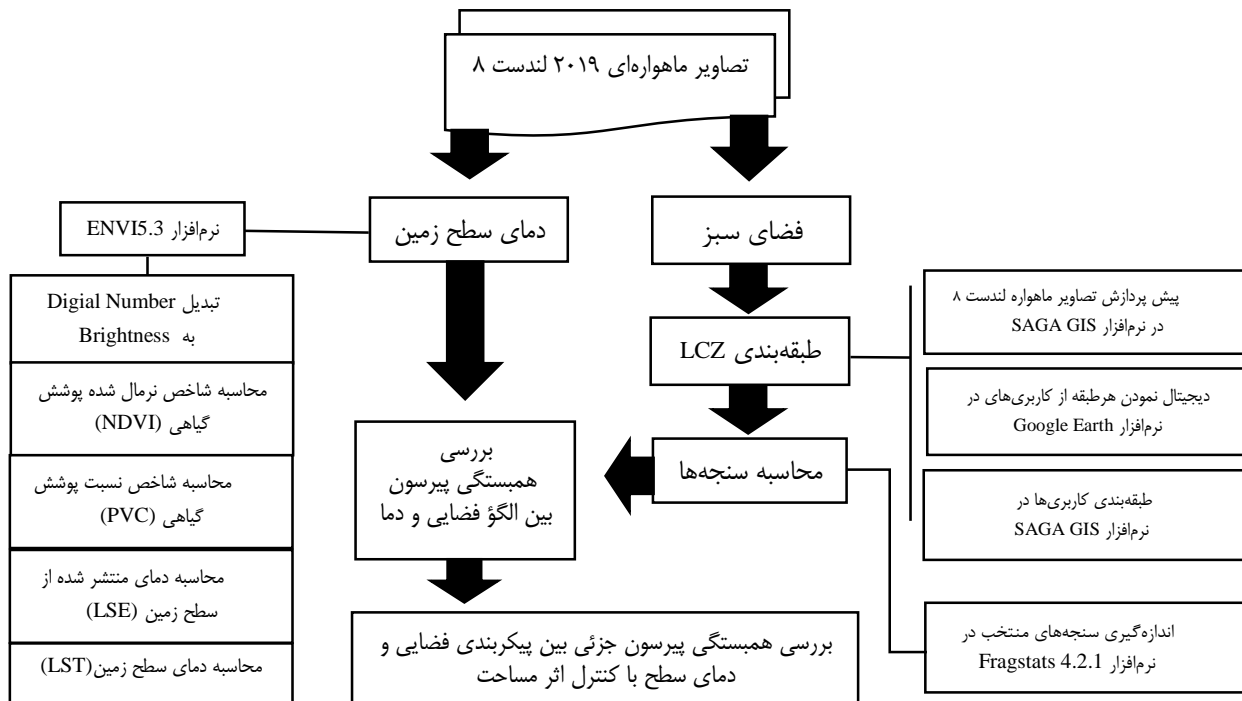
| الگوهای فضایی | سنجه‌ها | واحد | تعریف | استنادها |
|----------------|-------------------------|--------------|--|---|
| ترکیب فضایی | مساحت کلاس (CA) | هکتار | مساحت (مترمربع) تمامی لکه‌های مربوط به یک نوع کلاس تقسیم بر ۱۰,۰۰۰ (برای تبدیل به هکتار) | McGarigal et al., 2002; kong et al., 2014; Li et al., 2012 |
| پیکربندی فضایی | متوسط اندازه کلاس (MPS) | هکتار | تعداد لکه‌های موجود در کلاس و سطح کل کلاس است و میانگین سطح لکه‌ها را حساب می‌کند. | Kong et al., 2014; Zhang et al., 2009; McGarigal et al., 2002; Li et al., 2012 |
| | تراکم لبه کلاس (ED) | متر هکتار | کل محیط لکه‌های یک کلاس در هکتار | Connors et al., 2013; Maimaitiyiming et al., 2014; McGarigal et al., 2002b; Li et al., 2012 |

a: مساحت لکه‌های کلاس i، A: مساحت کل منظر مورد بررسی، n: تعداد کل لکه‌های کلاس i، e: محیط لکه‌های

سه سنجه منتخب در بحث ترکیب و پیکربندی فضایی فضاهای سبز در رابطه با دمای سطح زمین را که به تعبیر Peng و همکاران دارای ویژگی‌های ۱. اهمیت در نظریه و عمل؛ ۲. راحتی در محاسبه و قدرت تفسیر بالا و ۳. ایجاد کمترین مبالغه در مقدار داده‌ها هستند را نشان می‌دهد (Peng et al., 2010).

در نهایت پس از محاسبه سنجه‌های فضای سبز و دمای سطح زمین، تحلیل رابطه الگوهای فضای سبز شهر تهران و دمای سطح آن با استفاده از نرم‌افزار SPSS 25 ضریب همبستگی پیرسون^{۱۵} انجام شد. در خصوص سنجه‌های پیکربندی هرکلاس از فضای سبز باید توجه داشت که این سنجه‌ها با مساحت فضای سبز رابطه زیادی دارند و ممکن است تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون روابط فریبده‌ای را بین پیکربندی فضایی آن‌ها و دمای سطح زمین نشان دهد. بنابراین با استفاده از ضریب همبستگی جزئی پیرسون^{۱۶} پس از انتخاب مساحت فضای سبز به عنوان متغیر کنترل شده، می‌توان این نقص را رفع کرد. فرایند و جزئیات روش‌های به کار گرفته شده در نمودار ۲ آمده است.

کلاس‌های فضای سبز عبارت‌اند از: A؛ درختان سوزنی/پهن برگ با تراکم زیاد و پوشش سبز در کف (جنگل‌های طبیعی - جنگل‌های دست‌کاشت - پارک‌های شهری)، B؛ درختان سوزنی/پهن برگ با تراکم کم و پوشش سبز در کف (جنگل‌های طبیعی - جنگل‌های دست‌کاشت - پارک‌های شهری)، C؛ بوته‌ها و علفزارها با تراکم پایین و درختچه‌های پراکنده و پوشش خاک در کف (بیشه‌ها و بوته‌زارها طبیعی - زمین‌های کشاورزی)، D؛ گیاهان با ارتفاع کم بدون/با درختچه‌ها محدود و پراکنده و پوشش سبز در کف (چمنزارها و مراتع طبیعی - زمین‌های کشاورزی - پارک‌های شهری). در مرحله بعد و پس از تولید نقشه طبقه‌بندی شده فضاهای سبز شهر به تطابق داده‌های آشکار سازی شده با نقشه گوگل ارث مربوط به زمان مورد برداشت در نرم‌افزار ENVI 5.3 و بررسی صحت طبقه‌بندی با استفاده از ضریب کاپا^{۱۳} و صحت کلی^{۱۴} (ضریب کاپا بالای ۸۵ درصد و صحت کلی بالای ۹۰ درصد) پرداخته شد. پس از تولید نقشه گونه‌بندی فضاهای سبز شهر تهران، کمی‌سازی ویژگی‌های اراضی سبز با کمک سنجه‌های سیمای سرزمین و محاسبه آن‌ها در نرم‌افزار Fragstats 4.2.1 انجام شد به‌طوری‌که جدول ۲،

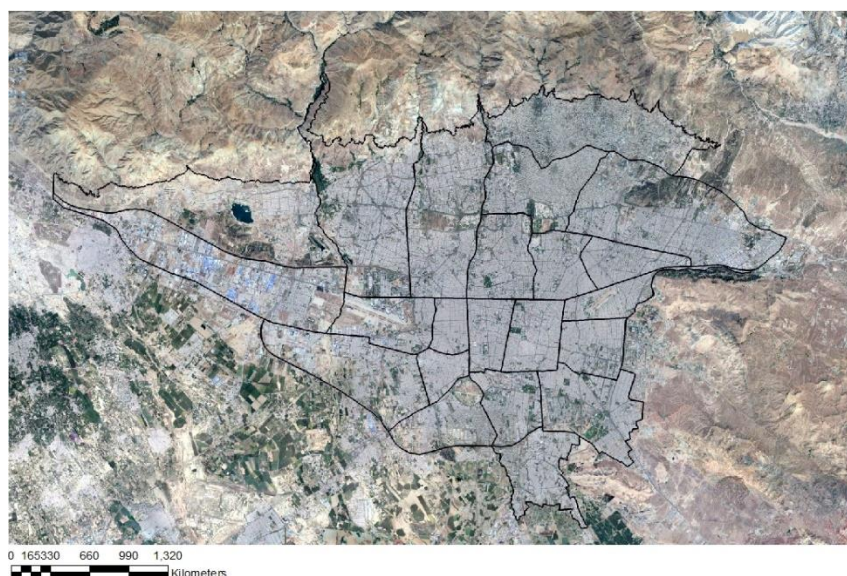


نمودار ۲. فرآیند بررسی رابطه فضای سبز با دمای سطح زمین

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شهر تهران در دامنه جنوبی کوه‌های البرز و حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران واقع شده است (شکل ۱) که مساحت آن با احتساب حریم شهری حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع است. این شهر تحت تأثیر عوامل شکل‌زایی طبیعی بلند مدت (آب و هوا و زمین‌شناسی)، میان مدت (تضاد آب‌وهوای فصلی) و کوتاه مدت و سریع (انسانی) به شهری فاقد پایداری

از نظر ساختار سرزمین تبدیل شده است (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۹۴) و در حد متوسطی از آسیب‌پذیری قرار دارد (مغرب و امیری، ۱۳۹۷). این روند توالی بر اهمیت تشدید سیاست‌های محافظه‌کارانه در حفاظت از شرایط طبیعی و جلوگیری از روند تخریب ساختار سرزمین (پوشش گیاهی، کریدورهای طبیعی و فضاها طبیعی باز و ..) تأکید دارد (مهندسین مشاور همکار، ۱۳۸۴).



شکل ۱. موقعیت و ساختار شهر تهران

جدول ۳. ویژگی‌های سنجه مورد استفاده در تحقیق (URL1)

| ماهواره | سنجه sensor | سال | تاریخ اخذ داده | ردیف Row | گذر path | UTM Zone | مینا Datum |
|---------|-------------|------|-------------------------|----------|----------|----------|------------|
| لندست ۸ | OLI | ۲۰۱۹ | ۰۶/۱۳ ۰۷/۳۱ ۰۸/۱۶ ۰۹/۱۷ | ۳۵ | ۱۶۴ | ۳۹ | WGS۸۴ |

جدول ۴. دمای سطحی شهر تهران در سال ۲۰۱۹

| کمترین دما | بیشترین دما | میانگین دما | انحراف معیار |
|------------|-------------|-------------|--------------|
| ۱۹/۳۲ | ۴۹/۵۲ | ۳۶/۱۸ | ۳/۸۶ |

گردآوری داده‌ها

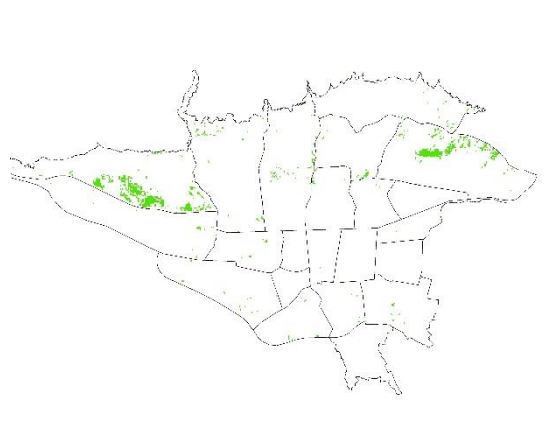
برای طبقه‌بندی کلاس‌های فضای سبز شهر تهران از تصویر ماهواره‌ای با مشخصات جدول ۳ استفاده شده است تا از طریق آن بتوان خصوصیات ساختاری و پوشش زمین که تأثیر بر دمای جو در ارتفاع ۲-۱ متری بالاتر از سطح زمین دارند (Das and Das, 2020)، استخراج شود.

در سنجش دمای سطح شهر تهران از تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار ENVI5.3 استفاده شد و با محاسبه دمای درخت‌سندگی^{۱۷} (BT)، شاخص نرمال شده پوشش

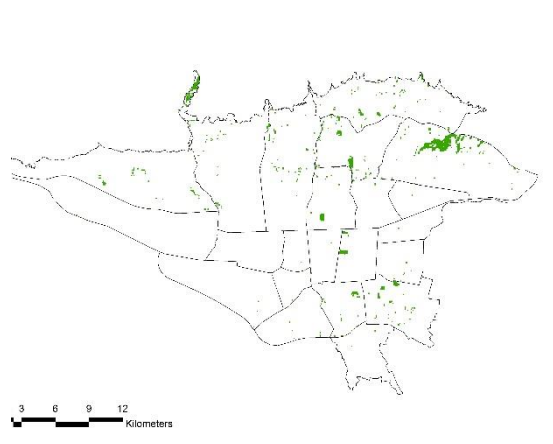
گیاهی^{۱۸} (NDVI)، نسبت پوشش گیاهی^{۱۹} (PVC) و دمای منتشر شده از سطح^{۲۰} (LSE)، دمای سطح زمین (LST) محاسبه شد (جدول ۴).

نتایج

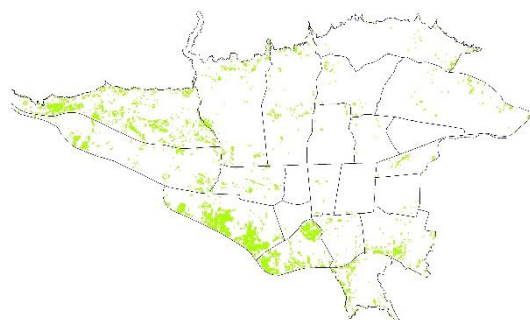
نقشه کلاس‌های فضای سبز شهر تهران در سال ۲۰۱۹ به کمک ماهواره لندست ۸ و با روش LCZ تولید شد. ضریب کاپا و صحت کلی این نقشه ۰/۸۷۰۶، ۸۸/۱۷۲ درصد بود که دقت نقشه تولیدی را تصدیق می‌کند.



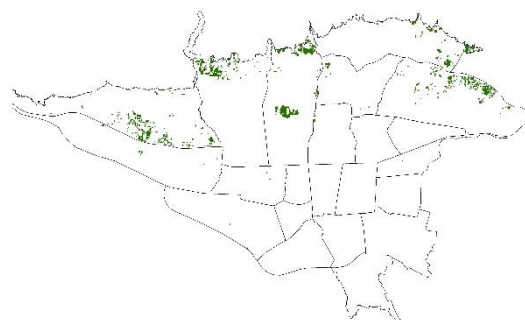
شکل ۳. پراکندگی کلاس B فضای سبز



شکل ۲. پراکندگی کلاس A فضای سبز



شکل ۵. پراکندگی کلاس D فضای سبز



شکل ۴. پراکندگی کلاس C فضای سبز

جدول ۵. همبستگی ترکیب فضایی کلاس‌های فضای سبز با دمای سطح زمین

| کلاس‌ها | A | B | C | D |
|-----------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| ترکیب | (درختان متراکم و زمین سبز) | (درختان پراکنده و زمین سبز) | (علفزارها با تراکم پایین و زمین خاک) | (گیاهان با ارتفاع کم و زمین سبز) |
| مساحت کلاس (CA) | -۰/۴۶* | -۰/۸۴** | +۰/۲۷۸* | -۰/۴۳** |

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$

جدول ۶. همبستگی پیکربندی فضایی کلاس‌های فضای سبز با دمای سطح زمین

| کلاس‌ها | A | B | C | D |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| ترکیب‌ها | (درختان متراکم و زمین سبز) | (درختان پراکنده و زمین سبز) | (علفزارها با تراکم پایین و زمین خاک) | (گیاهان با ارتفاع کم و زمین سبز) |
| متوسط اندازه کلاس (MPS) | -۰/۴۹۸** | -۰/۳۱۸* | -۰/۳۰۲* | -۰/۴۲۱* |
| پیکربندی فضایی | تراکم حاشیه‌ای کلاس (ED) | | | |
| | -۰/۵۰۱** | +۰/۶۶۷** | +۰/۷۶۶** | -۰/۳۷۱ |

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$

مقابل این همبستگی منفی، ضریب همبستگی کلاس C با دمای سطح زمین مثبت و معنادار است. در رابطه با پیکربندی فضایی، همبستگی پیرسون میانگین اندازه هر کلاس فضای سبز با دمای سطح زمین به طور مداوم رابطه معنادار منفی داشته اگر چه اندازه این همبستگی‌ها در کلاس‌های مختلف، متفاوت است. اما این همبستگی درباره تراکم حاشیه‌ای کلاس‌های فضای سبز

تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون در بررسی رابطه بین ترکیب فضایی کلاس‌های فضای سبز با دمای سطح زمین (جدول ۵) نشان داد که ترکیب فضایی یا سنججه مساحت کلاس‌های A و B و D همبستگی معنادار و منفی با دمای سطح زمین دارد به طوری که بیشترین رابطه منفی به کلاس B (درختان پراکنده و زمین سبز) و کمترین آن به کلاس A (درختان متراکم و زمین سبز) متعلق است و در

A و B و D با دمای سطح زمین رابطه منفی و معکوسی داشته‌اند که این موضوع مشابه نتایج تحقیقات گذشته است (Li et al., 2011; Li et al., 2013; Weng et al., 2009; Zhou et al., 2011; Kong et al., 2014; Li et al., 2012; Zhou et al., 2017) به طوری که کلاس B بیشترین همبستگی منفی سنجه مساحت را با دما داشته، ولی طبق شکل ۳ بیشتر در مناطق شرقی و غربی شهر تهران واقع شده و در مراکز اصلی شهر که دارای دمای بالا هستند قرار ندارد، کلاس A با وجود پخشایش در شرق و مرکز شهر دارای کمترین مساحت از کلاس‌های فضای سبز بوده (شکل ۲) و از فضاهای خرد تشکیل می‌شود به همین علت است که سنجه مساحت آن کمترین ارتباط منفی را با دمای سطح زمین و در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارد. طبق شکل ۴ کلاس D بیشتر در جنوب و غرب شهر قرار دارد و مساحت آن دارای رابطه منفی با دما در سطح اطمینان ۹۹ درصد است ولی شایان ذکر است یافته‌های قبلی نشان داده است که تأثیر فضاهای سبز با درخت کم و زمین چمن برای کاهش دمای سطح زمین کمتر از فضاهای سبز با درختان زیاد است (Myint et al., 2015).

علاوه بر اهمیت و اندازه و معناداری، به لحاظ جهت نیز متفاوت است (جدول ۶) به طوری که کلاس A همبستگی منفی معنادار با دما ولی کلاس‌های B و C همبستگی مثبت معنادار تراکم حاشیه‌ای با دما را نشان می‌دهد از طرفی سنجه تراکم حاشیه‌ای کلاس D همبستگی معناداری را با دمای سطح ندارد.

همان‌طور که بیان شد، سنجه مساحت کلاس‌های فضای سبز (ترکیب فضایی) تأثیر زیادی بر سنجه‌های پیکربندی این کلاس‌ها دارند، به طوری که این تأثیر موجب عدم نمایش مقدار همبستگی صحیح سنجه‌های پیکربندی با دما می‌شود. بنابراین با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون جزئی و کنترل تأثیر مساحت فضای سبز، روابط بین سنجه‌های پیکربندی و LST بسیار تغییر یافت (جدول ۷). بدین صورت که کلاس A و D در سنجه متوسط اندازه لکه و کلاس‌های B و C در سنجه تراکم حاشیه‌ای با دمای سطح زمین رابطه معنادار داشتند درحالی که قبل از کنترل مساحت فضای سبز تقریباً تمامی سنجه‌ها دارای همبستگی با LST بودند.

بررسی همبستگی ترکیب فضایی فضای سبز با دمای سطح زمین نشانگر این موضوع بود که مساحت کلاس‌های

جدول ۷. همبستگی پیکربندی فضایی کلاس‌های فضای سبز با دما پس از کنترل اثر مساحت

| کلاس‌ها / متریک‌ها | A (درختان) متراکم و زمینه سبز) | B (درختان) پراکنده و زمینه سبز) | C (علفزارها با تراکم پایین و زمینه خاک) | D (گیاهان با ارتفاع کم و زمینه سبز) |
|--------------------------------|---|--|--|---|
| | | | | |
| متوسط اندازه کلاس (MPS) | -۰/۴۵۸** | -۰/۰۷۱ | -۰/۱۶۷ | -۰/۳۶۸* |
| تراکم حاشیه‌ای کلاس (ED) | -۰/۱۰۶ | +۰/۵۱۹* | +۰/۳۳* | -۰/۱۳۹ |

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$

پیکربندی
فضایی

بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش دمای شهرها و عدم توجه به تأثیر الگوهای فضایی ساختار فضای سبز بر کاهش دما، به ایجاد جزایر حرارتی در مراکز شهری منجر شده است. در این پژوهش فضای سبز با استفاده از روش LCZ در ۴ کلاس (A؛ درختان سوزنی/پهن برگ با تراکم زیاد و پوشش سبز در کف (جنگل‌های طبیعی- جنگل‌های دست کاشت- پارک‌های شهری)، B؛ درختان سوزنی/پهن برگ با تراکم کم و پوشش سبز در کف (جنگل‌های طبیعی- جنگل‌های دست کاشت- پارک‌های شهری)، C؛ بوته‌ها و علفزارها با تراکم پایین و درختچه‌های پراکنده و پوشش خاک در کف (بیشه‌ها و بوته‌زارهای طبیعی- زمین‌های کشاورزی)، D؛ گیاهان با ارتفاع کم بدون/با درختچه‌ها محدود و پراکنده و پوشش سبز در کف (چمنزارها و مراتع طبیعی- زمین‌های کشاورزی- پارک‌های شهری) دسته‌بندی و همبستگی الگوی فضایی (ترکیب و پیکربندی) هر یک از آن‌ها با دمای سطح زمین بررسی شد. نتایج حاصله ترکیب فضایی این کلاس‌ها نشانگر این موضوع بود که فضای سبز درختی در هر دو حالت (تراکم زیاد/کم) و حتی گیاهان کم ارتفاع، تأثیر کاهنده‌ای بر دما دارد. این موضوع تحقیقات پیشین (Guo et al., 2019; Zhou et al., 2017; Li et al., 2013; Maimaitiyiming et al., 2014) که همواره بر رابطه منفی مساحت فضای سبز با دما تأکید داشتند را تصدیق می‌نماید. در عین حال نتایج نشان می‌دهد که ترکیب فضایی و مساحت لکه‌های سبز شامل علفزارها با تراکم پایین و درختچه‌های پراکنده با پوشش خاک رابطه مثبتی را با دما نشان می‌دهد. نتایج درباره پیکربندی فضایی نشان دهنده این موضوع است که تنها میانگین اندازه لکه‌های سبز درختان مترکم و گیاهان با ارتفاع کم همبستگی منفی معنادار با دما داشته و در مقابل، فضای سبز با تراکم کم درختان و اراضی سبز شامل علفزارها با تراکم پایین در رابطه با سنجش تراکم حاشیه‌ای رابطه مثبت معنادار با دما داشته‌اند. نتایج کلی تحقیق نشان می‌دهد که نوع گیاهان و

همبستگی ترکیب فضایی کلاس C فضای سبز که در نیمه شمالی شهر وجود دارد (شکل ۵)، همچون سه کلاس دیگر نبوده و نشانگر رابطه مثبت و معنادار با دمای سطح زمین به علت وجود بوته‌ها و علفزارها با تراکم پایین، درختچه‌های پراکنده و زمینه خاکی است. در رابطه با همبستگی پیرسون جزئی سنجش‌های پیکربندی فضایی، متوسط اندازه کلاس A در سطح اطمینان ۹۹ درصد رابطه منفی و معنادار با دما نشان می‌دهد به‌طوری‌که افزایش متوسط اندازه لکه‌های سبز دارای درختان مترکم موجب افزایش تبخیر و تعرق و در نتیجه کاهش دما می‌شود (Cao et al., 2010; Lin and Xu, 2015; Yokohari et al., 1997; Zhang et al., 2009). ولی با توجه به خردانگی و پخشایش این کلاس فضای سبز و افزایش دمای شهر تهران، کلاس A توانایی کاهش دمای این شهر را ندارد. علاوه بر این، متوسط اندازه کلاس D نیز در سطح اعتماد ۹۵ درصد با دمای سطح زمین رابطه منفی معنادار دارد، اگر چه آثار خنک‌کنندگی آن کمتر است. از طرفی تراکم حاشیه‌ای کلاس‌های B و C در سطح اعتماد ۹۵ درصد ارتباط مثبت معنادار با دمای سطح زمین داشتند و طبق مطالعات گذشته افزایش تراکم حاشیه‌ای موجب افزایش سایه‌اندازی و کاهش دما می‌شود (Zhou et al., 2017) ولی در این نوع از کلاس‌های فضای سبز درختان به‌صورت غالب وجود نداشته که این امر موجب ایجاد رابطه مثبت تراکم حاشیه‌ای این کلاس‌ها با دما می‌شود.

باتوجه به روابط متفاوت الگوی فضایی کلاس‌های فضای سبز شهر تهران، به منظور کاهش میانگین دمای شهر بهتر است مساحت کلاس B فضای سبز را در مناطق مرکزی شهر و پر تردد، افزایش داد و علاوه بر این کلاس، می‌توان از کلاس A هم استفاده کرد ولی این اراضی به علت تراکم زیاد درخت قابلیت استفاده گسترده در مراکز شهری را ندارند. از طرفی هم می‌توان اراضی فضای سبز کلاس C را که در درون شهر واقع شده‌اند را به یکی از کلاس‌های ذکر شده تغییر داد که موجب بهبود و کاهش دمای سطح زمین شود.

دقیق الگوهای فضایی می‌توان تغییر مؤثری بر کاهش دمای جزایر حرارتی و در نتیجه پدیده‌های منفی تغییرات اقلیم ایجاد کرد.

پوشش زمین، ترکیب‌بندی و پیکربندی فضاها سبز شهری بر کاهش یا افزایش دمای سطح زمین تأثیر دارد. با برنامه‌ریزی و مدیریت مناطق سبز شهری، از طریق شناخت

یادداشت

1. Urban Heat Island
2. air temperature
3. Land Surface Temperature
4. Green Infrastructures
5. spatial pattern
6. Local Climate Zone
7. landscape metrics
8. spatial composition
9. spatial configuration
10. class area
11. Edge Density
12. Mean Patch Size
13. kappa coefficient
14. overall accuracy
15. pearson correlation analysis
16. partial pearson correlation analysis
17. Brightness Temperature
18. Normalize Difference Vegetation Index
19. Proportion of Vegetation Cover
20. Land Surface Emissivity

منابع

- معرب، ی؛ امیری، م، (۱۳۹۷). بررسی، ارزیابی و تدوین تاب‌آوری کاربری اراضی شهری بر پایه رویکرد توسعه پایدار، محیط شناسی، ۴۴(۱)، صص ۱۶۹-۱۴۹.
- مهندسین مشاور همکار، (۱۳۸۴). طرح ساماندهی اراضی عباس‌آباد (بخش مطالعات محیط زیست).
- یزدان پناه، م؛ یاوری، ا؛ زبردست، ل؛ آل محمد، س، (۱۳۹۴). ارزیابی زیرساخت‌های سبز شهری به منظور اصلاح تدریجی آن‌ها در سیمای سرزمین تهران، محیط شناسی، ۴۱(۳)، صص ۶۲۵-۶۱۳.
- Al-Dabbous, A. N., & Kumar, P. (2014). The influence of roadside vegetation barriers on airborne nanoparticles and pedestrians exposure under varying wind condition. *Atmospheric Environment*, 90, 113-124.
- Buyantuyev, A., & Wu, J. (2010). Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape Ecology*, 25(1), 17-33.
- Cao, X., Onishi, A., Chen, J., & Imura, H. (2010). Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning*, 96(4), 224-23.
- Chen, A., Yao, X. A., Sun, R., & Chen, L. (2014). Effect of urban green patterns on surface urban cool islands and its seasonal variations. *Urban Forestry and Urban Greening*, 13(4), 646-654.
- Connors, J. P., Galletti, C. S., & Chow, W. T. L. (2012). Landscape configuration and urban heat island effects: Assessing the relationship between landscape characteristics and land surface temperature in Phoenix, Arizona. *Landscape Ecology*, 28, 271-283.
- Dugord, P. A., Lauf, S., Schuster, C., & Kleinschmit, B. (2014). Land use patterns, temperature distribution, and potential heat stress risk – the case study Berlin, Germany. *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, 86-98.
- Das, M., & Das, A. (2020). Assessing the relationship between local climatic zones (LCZs) and land surface temperature (LST)—A case study of Sriniketan-Santiniketan Planning Area (SSPA), West Bengal, India. *Urban Climate*, 32, 100591.
- Guo, G., Zhifeng, W., & Chen, Y. (2019). Complex mechanisms linking land surface temperature to greenspace spatial patterns: Evidence from four southeastern Chinese cities. *Science of the total Environment*, 674, 77-87.
- Hondula, D. M., Georgescu, & M., Balling, R. C. (2014). Challenges associated with projecting urbanization-induced heat-related mortality. *Science of the total Environment*, 490, 538-544.

- Kong, F. H., Yin, H. W., Wang, C. Z., Cavan, G., & James, P. (2014). A satellite image-based analysis of factors contributing to the green-space cool island intensity on a city scale. *Urban Forestry and Urban Greening*, 13, 846–853.
- Karl, T. R., Jones, P. D., Knight, R. W., Kukla, G., Plummer, N., Razuvayev, V., Gallo, K. P., Lindsey, J., Charlson, R. J., & Peterson, T. C. (1993). A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 74(6), 1007–1024.
- Liu, W., Ji, C., Zhong, J., Jiang, X., & Zheng, Z. (2007). Temporal characteristics of the Beijing urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*, 87(1), 213–221.
- Li, J., Song, C., Cao, L., Zhu, F., Meng, X., & Wu, J. (2011). Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3249–3263.
- Li, X. M., Zhou, W. Q., Ouyang, Z. Y., Xu, W. H., & Zheng, H. (2012). Spatial pattern of green space affects land surface temperature: Evidence from the heavily urbanized Beijing metropolitan area, China. *Landscape Ecology*, 27, 887–898.
- Li, X., Zhou, W., & Ouyang, Z. (2013). Relationship between land surface temperature and spatial pattern of greenspace: what are the effects of spatial resolution?. *Landscape and Urban Planning*, 114(8), 1–8.
- Lin, Z., & Xu, H. (2016). *A study of Urban heat island intensity based on local climate zones: a case study in Fuzhou, China*. Paper presented at the 2016 4th International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA), Guangzhou, doi: 10.1109/EORSA.2016.7552807.
- McGarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C., & Ene, E. (2002). *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps*. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. <https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- McIntyre, N. E., Rango, J., Fagan, W. F., & Faeth, S. H. (2001). Ground arthropod community structure in a heterogeneous urban environment. *Landscape and Urban Planning*, 52(4), 257–274.
- Myint, S. W., Wentz, E. A., Brazel, A. J., & Quattrochi, D. A. (2013). The impact of distinct anthropogenic and vegetation features on urban warming. *Landscape Ecology*, 28(5), 959–978.
- McGarigal, K., Ene, E., & Holmes, C. (2002b). *FRAGSTATS (Version 3): FRAGSTATS metrics. University of Massachusetts-Produced Program*. http://www.Umass.edu/landec/research/fragstats/documents/fragstats_documents.html
- Maimaitiyiming, M., Ghulam, A., Tiyyip, T., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Halik, U., Sawut, M., & Caetano, M. (2014). Effects of green space spatial pattern on land surface temperature: implications for sustainable urban planning and climate change adaptation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 89, 59–66.
- Monteiro, M. V., Doick, K. J., Handley, P., & Peace, A. (2016). The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London. *Urban Forestry and Urban Greening*, 16, 160–169.
- Naumann, D., McKenna, T., Kaphengst, M., & Pieterse M. (2011). *Rayment Design, implementation and cost elements of Green Infrastructure projects*. Final report to the European Commission, DG Environment, Contract no. 070307/2010/577182/ETU/F.1.
- Pearlmutter, D., Calfapietra, C., Samson, R., O'Brien, L., Krajter Ostoić, S., Sanesi, G., & Alonso del Amo, R. (2017). *The Urban Forest: Cultivating Green Infrastructure for People and the Environment*. Springer. <https://www.springer.com/gp/book/9783319502793>.
- Peng, J., Wang, Y. L., Zhang, Y., Wu, J. S., Li, W. F., & Li, Y. (2010). Evaluating the effectiveness of landscape metrics in quantifying spatial patterns. *Ecological Indicators*, 10(2), 217–223.
- Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A., & Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—a review. *Energy and Buildings*, 98, 119–124.
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletio of American Meteorological society*, 93(12), 1879–1900.
- Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335–344.
- Yokohari, M., Brown, R., Kato, Y., & Moriyama, H. (1997). Effects of paddy fields on summertime air and surface temperatures in urban fringe areas of Tokyo, Japan. *Landscape and Urban Planning*, 38(1–2), 1–11
- Zhou, W. Q., Huang, G. L., & Cadenasso, M. L. (2011). Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 102, 54–63

Zhou, W., Wang, J., & Cadenasso, M. L. (2017). Effects of the spatial configuration of trees on urban heat mitigation: a comparative study. *Remote Sensing of Environment*, 195, 1–12.

Zhang, X. Y., Zhong, T. Y., Feng, X. Z., & Wang, K. (2009). Estimation of the relationship between vegetation patches and urban land surface temperature with remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 30(8), 2105

