پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، دورهٔ ۹، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۰
ص ۷۰۷- ۶۸۳
DOI: 10.22059/JURBANGEO.2021.311621.1380

تحلیل اثر میکروکلیمایی بوستان‌های بزرگ بر تعدیل دمای سطحی فضاهای شهری (مورد مطالعه: شهر تهران)

فرناز مشایخ–دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
حسن لشکری*– استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۱۹ تأیید مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۲۶

چکیده

رشد لجام‌گسیختهٔ کلان‌شهر تهران در چند دههٔ اخیر بیش از همهٔ فضاهای سبز شهری و باغات و مزارع حاشیه‌ای تهران را تخریب کرد. این در حالی است که بوستان‌ها و فضاهای سبز شهر علاوه بر اینکه مانند ریه‌های شهری تنفس شهر را کنترل می‌کنند، در تعدیل و کنترل دمای شهری و هیدرولوژی نقش غیرقابل‌انکاری دارند. آلودگی شهری سال‌های اخیر اگرچه کاملاً زاییدهٔ تخریب فضاهای سبز شهری نیست، به‌طور قطع می‌توانست در کاهش آلودگی نقش کنترل‌کننده‌ای داشته باشد. ترغیب و توجه‌دادن برنامه‌ریزان و مدیران شهری به نقش و اهمیت بوستان‌ها و فضاهای سبز شهری در کنترل دما، آلودگی و هیدرولوژی شهری، نقش مؤثری دارد. هدف تحقیق تحلیل اثر میکروکلیمایی شهری بوستان‌های بزرگ شهر تهران در فصل تابستان است. به همین منظور هفت بوستان بزرگ شهر تهران به‌عنوان نمونه انتخاب شده است تا اثر پوشش سبز را در تعدیل دمایی سطحی زیر درخت و پهنه‌های اطراف نشان داده شود. در این پژوهش با استفاده از داده‌های لندست ۸ دمای سطحی هفت بوستان بزرگ شهر تهران برای یک روز گرم تابستانی استخراج و تغییرات دمایی درون بوستان براساس انبوهی و تراکم کمتر و عرصه‌های لخت بررسی شده است. در ادامه با انتخاب یک برش عرضی بین بخش پرپوشش داخل بوستان تا منطقهٔ مسکونی حاشیهٔ بوستان تغییرات دمایی ایجادشده ارزیابی شده است. نتیجهٔ این تحقیق نشان داد تفاوت دمایی حاصل از تابش از سطوح سبز و برگ‌های درختان و سایه‌ای که در زیر درخت ایجاد می‌شود نسبت به سطوح خاکی و بدون آسفالت بسته به ارتفاع بوستان بین ۱۵ تا ۹ درجهٔ سانتی‌گراد ایجاد می‌کند؛ برای مثال، در بوستان سرخه‌حصار و لویزان این تفاوت در محدودهٔ ۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در بوستان ولایت حدود ۹ درجهٔ سانتی‌گراد بوده است. این تحقیق همچنین بیانگر آن است که گونه‌های پهن‌برگ نقش بسیار بالاتری در کاهش دمای سطحی نسبت به گونه‌های سوزنی‌برگ دارند. در ارتباط با نقش بوستان در تعدیل دمای محیط اطراف، بوستان‌های لویزان و سرخه‌حصار بیشترین تعدیل دمایی و بوستان چیتگر کمترین اثر تعدیلی بر فضاهای مسکونی اطراف داشته است. از لحاظ شیو حرارتی ایجادشده بین منطقهٔ پرتراکم تا منطقهٔ مسکونی، اطراف بوستان‌های کوهسار و لویزان بالاترین شیو حرارتی را داشته‌اند. این پدیده، به‌دلیل تغییرات شدیدتر پوشش درختی بین منطقه پرتراکم و منطقه مسکونی و عامل ارتفاع یا شیب ارتفاعی به‌وجود آمده است. برعکس در سایر بوستان‌ها شیو دمایی بین منطقهٔ پرتراکم تا منطق مسکونی حاشیهٔ بسیار ملایم و بطئی بوده است.

واژه‌های کلیدی: بوستان‌های بزرگ، دمای سطحی، شهر تهران، فضای شهری، میکروکلیما.

* نویسندهٔ مسئول
Email: h-lashkari@sbu.ac.ir

مقدمه

شهرها و به‌ویژه کلان‌شهرها امروزه با پدیدهٔ آلودگی‌های جوی، گرمایش شهری و آلودگی‌های صوتی دست‌به‌گریبان هستند. اگرچه بخشی از این معضلات به‌دلیل گسترش لجام‌گسیخته شهرها است، امروزه شهرها بیش از همه با کاهش و تقلیل فضاهای سبز شهری و برعکس افزایش نامتقارن برج‌ها و ساختمان‌های بلندمرتبه روبه‌رو هستند. افزایش سطوح سنگی و بتنی علاوه بر اینکه بیلان انرژی را در شهرها دچار دستخوش و تغییر کرده است، شهرها با پدیدهٔ جزیرهٔ گرمایی مواجه کرده است. زیبایی شهری با از بین رفتن فضاهای سبز شهری و جایگزینی آن با سطوح نامتقارن سنگی و بتنی از بین رفته است. درنتیجه ساکنان شهری از محیط‌های شهری گریزان شده‌اند. رفع این معضل با گسترش فضاهای سبز و بوستان‌ها تا حدود زیادی حل‌شدنی است. فضای سبز شهری علاوه بر اینکه برای ساکنان شهری فضاهای چشم‌نواز و لذت‌بخش ایجاد می‌کند، سبب جذب شهرنشینان برای تفرج و گردش و گذران اوقات فراقت می‌شود و با افزایش انعکاس و جذب تابش خورشیدی و افزایش تبخیر و تعرق و ایجاد سایهٔ، تراز انرژی شهری را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد و جزیرهٔ گرمایی را تعدیل می‌کند. بوستان‌های بزرگ به‌دلیل وسعت و حجم پوشش گیاهی نقش مهمی در تعدیل دمای مناطق مسکونی اطراف و خرده‌اقلیم‌های محلی دارند. با توجه به متراکم‌شدن مناطق شهری، نقش و اهمیت فضاهای سبز کوچک در آب‌وهوا در محیط‌های به‌ویژه داخلی بسیار مهم‌تر شده است؛ زیرا شهرنشینی می‌تواند به جایگزینی گستردهٔ مناطق گیاهی طبیعی با سطوح غیرقابل نفوذ منجر شود و مراکز شهر را در معرض خطر بیشتر از شرایط شدید آب‌وهوایی قرار دهد. پارک‌های شهری به‌ویژه در شرایط گرم تابستان برای کاهش دمای هوای بالا و بهبود آسایش حرارتی انسان در داخل شهرها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. استفاده از مصالح شهری نفوذناپذیر سبب می‌شود مقدار زیادی از رواناب به سبب کاهش تبخیر و تعرق کاهش یابد و به افزایش دمای هوا در داخل شهرها منجر شود (Oke, 1982: 1; Coutts et al., 2007: 477). به‌طورکلی در محیط‌های شهری پوشش به‌صورت پراکنده است، ساختمان‌ها و سطوح نفوذناپذیر شهری انرژی خورشیدی را جذب و انرژی جذب‌شده را در طول‌موج بالاتری گسیل می‌کنند. در مناطق غیرشهری، انرژی ورودی خورشید موجب تبخیر آب از گیاهان می‌شود؛ بنابراین دمای مناطق غیرشهری را افزایش نمی‌دهد. در شهرها کاملاً عکس این موضوع اتفاق می‌افتد (Xian and Crane, 2006: 147). گرمای بیش‌ازحد ناشی از شهرنشینی، همراه با تغییر آب‌وهوای جهانی (که ممکن است تعداد، شدت، فرکانس و مدت‌زمان امواج گرمایی را تشدید کند)، احتمالاً موجب افزایش گرمای شهری و درنتیجه اثرات منفی بر سلامتی خواهد شد. با وجود شهرنشینی گسترده، مناطقی از پوشش گیاهی باقیمانده و پارک‌های ساخته‌شده اغلب در سراسر منظر شهری پراکنده می‌شوند و سبب خنک‌شدن و عملاً پناهگاه‌هایی خنک در دوره‌های گرمای شدید به‌شمار می‌آیند (Alexander and Arblaster, 2009: 417; Rogers et al., 2019: 441).

بسیاری از مطالعات، از جمله مطالعات مشاهده‌ای، سنجش‌ازدور و مدل‌سازی تأیید کرده‌اند که وجود پارک‌های گسترده و فضای سبز به کاهش دمای هوا کمک می‌کند و یک اثر خنک‌کننده را ایجاد می‌کند که به نفع مناطق اطراف شهری است (Spronken and Oke, 1988; 2085; Shashua-Bar and Hoffman, 2000: 221; Andrade and Vieira, 2007: 1; Zoulia et al., 2009: 275; Oliveira et al., 2011: 2186; Bernard et al., 2018: 1; Santamouris et al., 2018: 638). تازه‌ترین مطالعات در زمینهٔ تأثیر میکروکلیمای پارک‌ها بر کاهش گرمای شدید می‌توان به تحقیق

معتضدیان و همکاران (۲۰۲۰) اشاره کرد. این محققان به تعامل میکروکلیمایی یک بوستان شهری کوچک در مرکز ملبورن با محیط شهری اطراف آن در هنگام موج گرما پرداختند و نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد سایهٔ درخت و تبخیر و تعرق در بوستان می‌تواند سطح تنش گرما را در خیابان‌های اطراف کاهش دهد. جزیرهٔ گرمایش شهری پدیده‌ای است که معمولاً در شهرهای بزرگ رخ می‌دهد که دمای هوا در شب گرم‌تر از درجهٔ حرارت صبح است. این شرایط به‌دلیل بازتاب گرما به‌وسیلهٔ مصالح ساختمانی است (Paramita and Wayan, 2019: 275).

از جمله مطالعات انجام‌شده در ایران می‌توان به کار رنجبر سعادت‌آبادی و همکاران (۱۳۸۵) که به مطالعهٔ آثار جزیرهٔ حرارتی و شهرنشینی بر وضع هوا و اقلیم محلی کلان‌شهر تهران با مقایسهٔ داده‌های ایستگاه‌های مهرآباد و ورامین پرداختند. براساس نتایج، اختلاف میانگین ۴۰سالهٔ دماهای کمینهٔ تهران با ورامین در ماه سپتامبر حداکثر و در ماه فوریه دارای حداقل مقدار بوده است. اشرف و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی به بررسی جزیرهٔ حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریهٔ فرکتال پرداختند و نتایج آن‌ها بیانگر آن است که دمای تابشی سطح مشهد به‌طورکلی در دههٔ ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ افزایش داشته است و این افزایش در مناطق مسکونی چشمگیرتر بوده است. نقشه‌های کاربری اراضی نشان می‌دهند مناطق مسکونی در سال ۲۰۰۲ نسبت به سال ۱۹۹۲ توسعه یافته و بسیاری از پوشش‌های گیاهی از بین رفته و این مطلب به‌وسیلهٔ بعد فرکتالی محاسبه‌شده نیز تأیید شده است. همچنین نیمرخ شمال غربی–جنوب شرقی به علت گسترش بیشتر شهر و عدم یکنواختی سطوح، نسبت به سایر نیمرخ‌ها بعد فرکتالی بیشتری دارد. کیخسروی و لشکری در تحقیقی با عنوان تحلیل رابطهٔ بین ضخامت و ارتفاع وارونگی و شدت آلودگی هوا در شهر تهران به بررسی عوامل آلودگی شهر تهران پرداختند. طبق نتایج کار آن‌ها، علاوه بر عوامل جغرافیایی، عوامل اقلیمی مانند پایداری هوا و بادهای آرام و وارونگی هوا در تشدید آلودگی هوای شهر تهران مؤثر است و زمانی که ارتفاع اینورژن به سطح زمین نزدیک شده است، آلودگی هوا افزایش یافته است (کیخسروی و لشکری، ۱۳۹۳: ۲۳۱). قدامی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای به بررسی نقش پارک‌ها و فضای سبز در آب‌وهوای شهر تهران پرداختند. نوع این مطالعه آماری و میدانی بوده است. مطالعهٔ همبستگی بین دما و رطوبت در پارک‌ها و خیابان‌ها نشان داد همبستگی بین دما و رطوبت در خیابان‌ها، چندان به مقیاس زمانی وابسته نیست و در همهٔ خیابان‌های منتخب، یک همبستگی از نوع منفی مشاهده می‌شود؛ درحالی‌که همبستگی بین دما و رطوبت در پارک‌ها، به مقیاس زمانی وابسته است؛ به‌طوری‌که کمترین میزان همبستگی در اوایل صبح و بیشترین میزان همبستگی در اواخر ظهر مشاهده شد. یوسفی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی پدیدهٔ جزیرهٔ حرارتی و اثر آن بر تغییرپذیری روزبه‌روز دمای تابستان شهر بابل پرداختند و نتایج بیانگر آن است که جزیرهٔ حرارتی بابل در تغییرپذیری روزبه‌روز دمای آن مؤثر است. در شهرهای متوسط می‌توان اثر جزیرهٔ حرارتی بر دما و رطوبت را دید. فضای سبز در کاهش دمای بابل نقش مهمی دارد. نجفیان گرجی و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی به ارزیابی روند تغییرات دما، الگوی جزیره حرارتی و پوشش گیاهی ایام گرم شهر تهران پرداختند و نتایج کار ایشان نشان داد که کانون عمده جزایر حرارتی شهر تهران در ماه‌های گرم سال، مناطق غرب، جنوب غرب، مرکز و نیمه جنوبی است و از شمال به جنوب شهر تهران با کاهش کاربری فضاهای سبز شهری و افزایش کاربری‌های فرسوده و کارگاهی و حمل‌ونقل، میزان گرما افزایش یافته و اقلیم شهری آن منطقه متأثر از کاربری‌های شهری قرار می‌گیرد. لشکری و همکاران (۱۳۹۹) به تحلیل همدیدی ضخامت لایه وارونگی دمایی در

آلودگی‌های شدید تهران پرداخته‌اند که به بررسی میزان غلظت آلاینده‌ها براساس شاخص AQI[1] و تعیین نقشهٔ پهنه‌بندی روزهای خطرناک انجامید و موجب شد مناطق آلودهٔ شهر تهران براساس شاخص AQI مشخص شود.

کلان‌شهر تهران به‌عنوان پایتخت یک کشور اسلامی می‌بایست الگویی برای سایر کلان‌شهرهای کشور و حتی منطقه باشد. در این میان آسایش ساکنین آنچه به لحاظ چشم‌نوازی شهر و چه به لحاظ آسایش اقلیمی، هوای پاک و سالم و فضاهای گردشگری بسیار مهم است. درحالی‌که شهر تهران در چند دهه اخیر با رشد لجام‌گسیخته و نامتوازن که حاصل برنامه‌ریزی‌های سوداگرانهٔ مدیران شهری بوده است، به‌تدریج فضاهای سبز درون و برون‌شهری را از دست داده است. اضمحلال تدریجی بوستان‌ها و فضاهای سبز شهری به نفع بلندمرتبه‌سازی‌های سوداگرانه سبب شده است دمای شهری به‌تدریج افزایش یافته و آسایش اقلیمی ساکنان کاهش یابد. نوع بارش‌ها از حالت جامد به مایع تغییر یافته و اثربخشی بارش‌ها به‌دلیل افزایش تبخیر و تعرق کاهش یابد. جریان هوا در درون شهر رو به کاستی می‌رود و آلودگی شهری ناشی از پایداری‌های جوی افزایش می‌یابد. درحالی‌که فضاهای سبز شهری علاوه بر تعدیل دمای شهری به‌دلیل تابش سطحی، انعکاس، جذب تابش و تعریق، سبب جذب آلاینده‌های شهری، تولید اکسیژن و پالایش هوای شهری می‌شوند. هدف این تحقیق بیان نقش تعدیل‌کنندگی بوستان‌های بزرگ شهر تهران برای مناطق درونی و حاشیه‌های بوستان‌ها و همچنین نقش تفاوت گونه‌های درختی بوستان‌ها در پایش دمای اطراف خود است تا مدیران و برنامه‌ریزان شهری برای توسعهٔ بوستان‌ها و همچنین انتخاب صحیح گونه‌های سازگارتر و مؤثرتر در اقلیم شهری تهران ترغیب شوند. پایتختی که روزبه‌روز برای ساکنان آن غیرقابل‌تحمل‌تر می‌شود و آسایش اقلیمی آن رو به زوال می‌رود.

مبانی نظری

فضاهای سبز شهری مانند پارک‌ها، مناطق جنگلی و درختان کنار خیابان یا در املاک شخصی (Thaiutsa et al., 2008: 219) و مناطق باقی‌مانده از پوشش گیاهی و زیستی در شهرها (Mortberg and Wallentinus, 2000: 215) و درمجموع بخشی از کاربری زمین شهری با پوشش گیاهی انسان‌ساخت است. فضای سبز شهری، بخشی از فضای باز شهری است که عرصه‌های طبیعی یا اغلب مصنوعی آن، زیر پوشش درختان، درختچه‌ها، بوته‌ها، گل‌ها، چمن‌ها و سایر گیاهانی است که براساس نظارت و مدیریت انسان، با در نظر گرفتن ضوابط، قوانین و تخصص‌های مرتبط با آن، برای بهبود شرایط زیستی زیستگاهی و رفاهی شهروندان و مراکز جمعیتی غیرروستایی، حفظ و نگهداری یا احداث می‌شوند (لطفی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۰). از منظر میزان دسترسی و جذابیت آن‌ها ارتباط با طبیعت و فراهم کردن تسهیلات محیطی برای شهروندان (Comber et al., 2008: 104) و اثرگذاری آن‌ها در کاهش معضلات زیست‌محیطی شهری حائز اهمیت بوده است. بی‌تردید فضای سبز و بوستان‌های شهری را باید در زمرهٔ اساسی‌ترین عوامل پایداری حیات طبیعی و انسانی در شهرنشینی امروز به‌شمار آورد که اگر به‌صورت صحیح برنامه‌ریزی شوند، در سالم‌سازی جسم و روح انسان تأثیرات مطلوبی خواهند داشت (Sarvar et al., 2011: 226).

فضاهای سبز و باز شهری، بازماندگان طبیعت در شهر محسوب می‌شوند که درنتیجه توسعه بی‌رویه شهری، دچار

1. Air quality index

تغییرات کمی و کیفی شده‌اند و ایـن تحولات، اثرات اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی زیادی را بـه همراه داشته است (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۸: ۷۳). از دیدگاه نظریه اکولوژیکی، بشر جزئی از محیط یا اکوسیستم خود است. این اکوسیستم شامل اجزایی مانند پوشش گیاهی، انسان، خاک، محیط فیزیکی، انسان و جامعه است (طیاری و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۱۴). مبنای جنبش باغ شهرها که توسط هاروارد آغاز شد درواقع ترکیبی از شهر و روستا بود که دو مسئله مهم را مطرح می‌نمود. اول، از لحاظ رفع احتیاجات مردم، که در خود همه چیز داشتند و مسائل اجتماعی به طریق موروثی به آن‌ها منضم شده بود و مبنای دوم این جنبش، ایده خانه‌های فامیلی در فضای سبز با این تفاوت که در آن به‌جای تکیه بر روابط اجتماعی بیشتر، بر روی استقلال در زندگی شخصی تکیه شده است. درواقع در این جنبش، سعی بر آن است که زندگی خانوادگی را تا سرحد امکان از بی‌نظمی شهرهای بزرگ جدا و زندگی شهری را تا حد بالایی با حالات روستایی آمیخته سازد (پوراحمد و کچوئی، ۱۳۹۹: ۳).

برنامه‌ریزان شهری از جمله کدس، لوییزمافورد و رایت که بنیان‌گذاران مکتب طبیعت‌گرایی بودند، چارچوب نظری خود را برپایِ آزادی انسان و رهایی از محیط مصنوع و استقرار در طبیعت مطرح کردند و حفظ طبیعت و استفاده از فناوری را شعار خود ساختند. به عقیدهٔ آنان هر شهر رشد طبیعی دارد و از محیط طبیعی جدایی‌ناپذیر است (زیاری و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۸).

طراحی اکولوژیک

طراحی اکولوژیک، درواقع طراحی مسالمت‌آمیز با طبیعت است. هدف از طراحی براساس اکولوژی، طراحی برای یکپارچه‌سازی محیطی بدون آسیب‌رساندن به طبیعت تعریف می‌شود و اساس این نحوهٔ طراحی بر ویژگی‌های بومی و محیطی تأکید دارد (پوراحمد و کچویی، ۱۳۹۹: ۴). استینز از اولین کسانی است که تعریف روشنی در خصوص طراحی اکولوژیک ارائه کرده است (خدایی و دهنو، ۱۳۹۹: ۷۴). به اعتقاد استینز طراحی اکولوژیک شامل روش‌های استفاده از دانش درمورد چگونگی تأثیرات متقابل ما و محیط‌زیستمان برای فرم‌دادن به اشیا و فضاها با مهارت و هنرمندی است (Steiner, 2002). حفظ مناظر و چشم‌اندازهای طبیعی و نیز ارتقای فرهنگ انسانی در ارتباط با حفظ منابع طبیعی، به‌نوبهٔ خود تأثیر مثبتی بر کیفیت محیط زندگی خواهد داشت.

طراحی بیوفیلیک

امروزه، توجه به نیازها و چالش‌های زیست‌محیطی تبدیل به جزئی لاینفک از طراحی شهری شده‌اند. تا حدی که بسیاری از نظریه‌های طراحی شهری، به‌واسطهٔ بی‌توجهی به مسائل زیست‌محیطی، مورد نقد قرار گرفتند (میرغلامی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۱). واژهٔ بیوفیلیا از دو جزء بیو[1] به معنای زنده و واژهٔ فیلیا[2] جذابیت و احساس مثبتی است که مردم نسبت به عادت‌ها و فعالیت‌ها و تمام چیزهایی که در طبیعت اطراف ماست دارند (جلالیان و همکاران، ۱۳۹۹: ۹۹۷). ویلسون بیوفیلیا

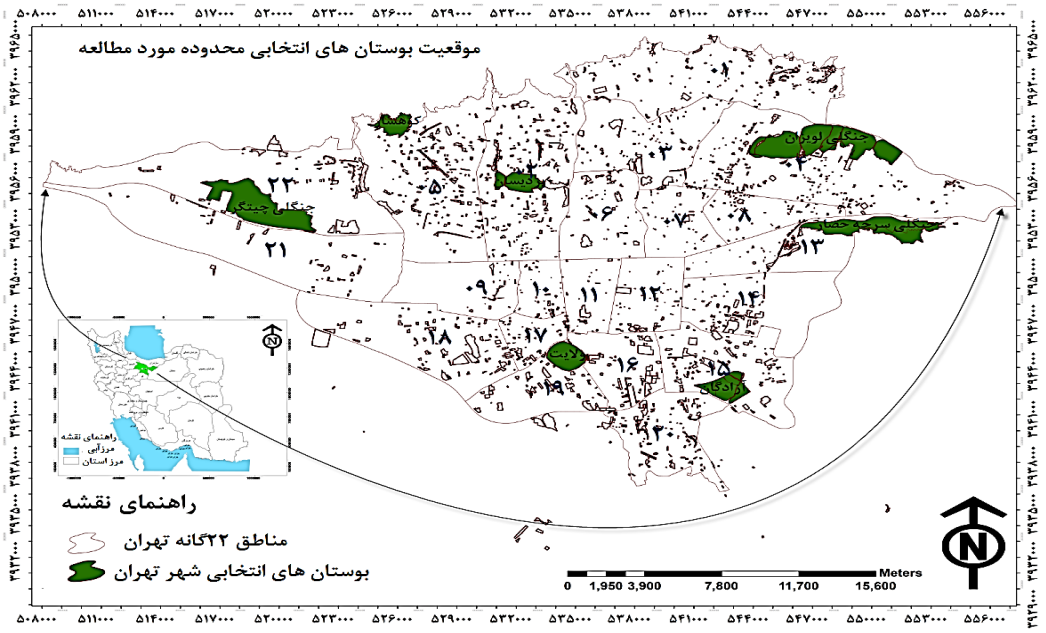
1. Bio
2. Philia

را وابستگی ذاتی و ژنتیکی انسان با جهان طبیعی و دیگر موجودات زنده معنی کرده است (Wilson, 1984; Bwatly, 2009: 209) طراحی بیوفیلیک یکی از رویکردهای جدید در معماری و شهرسازی امروز است که در پی طراحی، با استفاده از عناصر طبیعت صورت می‌گیرد و موجب افزایش بهره‌وری، بهبود عملکردهای ذهنی و جسمی سلامت می‌شود (Mollazadeh and Zhu, 2021: 148; Hung and Chang, 2021: 1) درواقع شهر بیوفیلیک رویکردی مکمل در کنار راهکارهایی برای پایداری زیست‌محیطی شهرها است که در دهه‌های اخیر مورد توجه برنامه‌ریزان و طراحان شهری واقع شده است (Tardast et al., 2020). چنین شهری پر از فضای سبز است که شهروندان آن را می‌بینند و شهری مملو از عناصر طبیعی فراوان و در دسترس احساس می‌کنند. چشم‌انداز شهرهای بیوفیلیک با رویکرد طبیعت، سرمایه‌گذاری از تولید انرژی تجدیدپذیر، سیستم‌های ساخت‌وساز با انرژی کارآمد، سلامتی جسمی و روحی ساکنان و درواقع ایجاد پایداری شهری است. برنامه‌ریزی و طراحی بیوفیلی سبب افزایش نگرش و دانش زیست‌محیطی شهروندان می‌شود و نگرش و دانش زیست‌محیطی افزایش‌یافته به اصلاح رفتار زیست‌محیطی و سبک زندگی سبز شهروندان و درنتیجه پایداری محیطزیست منجر می‌شود (Ziari et al., 2018).

محدودهٔ موردمطالعه

شهر تهران در مرکز استان تهران با مساحتی بالغ بر ۵۹۴ کیلومترمربع واقع شده است و ارتفاع آن از ۱۷۰۰ متر در شمال به ۱۲۰۰ متر در مرکز و بالاخره ۱۱۰۰ متر در جنوب می‌رسد. از سمت جنوب به کوه‌های ری و بی‌بی شهربانو و دشت‌های هموار شهریار و ورامین و از شمال به‌واسطهٔ کوهستان محصور شده است. شهر تهران، از نظر تقسیمات اداری به ۲۲ منطقه و ۱۲۳ ناحیه و ۳۵۴ محله تقسیم می‌شود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی تهران، سالنامهٔ آماری استان تهران، ۱۳۹۷). با توجه به موقعیت توپوگرافی، این شهر در گذشته دارای منابع آبی سطحی و زیرزمینی غنی بوده است. به همین دلیل در گذشته‌های نه‌چندان دور، این شهر با باغ‌ها و فضاهای سبز جنگلی انبوه و گسترده و درعین‌حال مراتع غنی در درون و اطراف شهر مشهور بوده است. شکل ۱ پراکنش بوستان‌های بزرگ شهر تهران را نشان می‌دهد. از هفت بوستان بزرگ شهر تهران سه بوستان، لویزان، چیتگر و سرخه‌حصار نمونهٔ باقیمانده از بوستان‌های جنگلی و فضاهای سبز گسترده شهر تهران هستند. البته بخش چشمگیری از وسعت این بوستان‌ها نیز در گذر زمان دستخوش تخریب و هجوم ساکنان شهری در ادوار مختلف شده است. همان‌طور که دیده می‌شود نخست آنکه عموم بوستان‌های وسیع و بزرگ شهر در حواشی آن استقرار دارند. درحالی‌که بیشترین گرمایش تولیدی حاصل از فعالیت‌های انسانی و تابش جذبی حاصل از سطوح ساخته‌شده در بخش مرکزی و جنوبی شهر تولید می‌شود. دوم اینکه وسعت فضاهای سبز شهری که بتواند اثر میکروکلیمایی مؤثر بر فضای شهری ایجاد کند، بسیار اندک است. دوم اینکه بیشترین تمرکز بوستان‌های بزرگ در بخش شرقی تهران است، درحالی‌که باد غالب شهر تهران در بیشتر فصول سال غربی است. درنتیجه بخش غربی و جنوبی شهر فضای سبز کافی برای فرونشینی یا کاهش گردوخاک‌های انتقالی از اطراف شهر را ندارند. درصورتی‌که کنترل و تقلیل گردوخاک‌های انتقالی از اطراف شهر به درون آن، که فراوانی آن نیز رو به افزایش است، نیازمند یک کمربند پیوسته سبز است. براساس آمارهای به‌دست‌آمده از سالنامهٔ آماری شهر تهران و سرشماری نفوس و مسکن در

سال ۱۳۹۸ دارای وسعتی بیش از ۶۱۵ کیلومترمربع است که از این مقدار ۵۷۰،۵۰۵،۷۴۳ مترمربع به بوستان‌ها و فضاهای سبز عمومی درون و برون شهر تهران اختصاص دارد (سالنامهٔ آماری، ۱۳۹۸).



شکل ۱. موقعیت منطقه موردمطالعه و بوستان‌های شهر تهران

منبع: نگارندگان

روش پژوهش

مطالعهٔ حاضر از نظر هدف، از نوع کاربردی و از لحاظ روش انجام، توصیفی-تحلیلی است. برای نشان‌دادن تأثیر خرده‌اقلیم بوستان‌های بزرگ تهران در فصل تابستان بر مناطق مسکونی اطراف ابتدا تمام پارک‌ها بزرگ تهران شناسایی شد (شکل ۱). درنهایت هفت بوستان انتخاب شد که وسعت بیشتری از سایر بوستان‌ها داشتند. در انتخاب بوستان‌های بزرگ علاوه بر وسعت پراکنش مکانی آن‌ها نیز مورد توجه بوده است؛ بنابراین گزینش نهایی به‌گونه‌ای بود که بوستان‌ها، جهات ۴گانه و مرکز استان تهران را هم پوشش دهد. این پارک‌ها شامل (بوستان پردیسان، بوستان جنگلی کوهسار، بوستان جنگلی چیتگر، بوستان جنگلی لویزان، بوستان جنگلی سرخه‌حصار، بوستان آزادگان و بوستان ولایت) هستند. شکل ۱ موقعیت پارک‌های انتخابی و جدول ۱ مساحت بوستان‌ها و فضاهای سبز عمومی درون و برون‌شهری تهران در سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد. در جدول ۲ بوستان‌های انتخابی و مساحت آن‌ها آمده است. برای بررسی تغییرات دمایی بخش‌های مختلف بوستان‌ها برای هر بوستان سه‌نقطه انتخاب شد. این نقاط به‌صورت هدفمند، در مرکز بوستان (با پوشش انبوه)، میانه یا حاشیهٔ بوستان (با پوشش متوسط) و خارج از بوستان (مناطق مسکونی) انتخاب شد.

جدول ۱. مساحت بوستان‌ها و فضاهای سبز عمومی درون و برون‌شهری تهران در سال ۱۳۹۷ (واحد مترمربع)

منطقه	بوستان‌های عمومی	معابر (درختکاری، رفیوژ، لچکی، جنگل‌کاری‌شدهٔ داخل محدوده)	جنگل‌کاری کمربند سبز	جمع کل
۲	۳,۲۹۷,۲۲۳	۱۱,۳۸۶,۶۷۳	۴,۲۲۶,۳۲۰	۱۸,۹۱۰,۲۱۶
۴	۱۴,۲۳۵,۵۳۱	۵,۷۷۸,۱۶۲	۷۴,۱۹۷,۰۴۳	۹۴,۲۱۰,۷۳۶
۵	۳,۰۳۰,۶۲۸	۹,۳۹۵,۷۸۱	۴۷,۵۵۸,۷۷۴	۶۰,۰۱۵,۱۸۳
۱۳	۵۰۵,۷۴۱	۱,۶۹۷,۹۸۱	۴۹,۸۷۲,۰۱۳	۵۲,۰۷۵,۷۳۵
۱۵	۵,۱۲۵,۱۶۴	۴,۷۱۰,۳۱۸	۹,۷۰۲,۹۵۶	۱۹,۵۳۸,۴۳۸
۱۹	۳,۴۳۶,۹۲۳	۳,۴۱۹,۴۷۴	۳۸,۰۶۹,۰۷۶	۴۴,۹۲۵,۴۷۳
۲۲	۵,۳۹۱,۶۶۸	۴,۹۵۴,۳۶۵	۵۸,۵۴۶,۵۵۸	۶۸,۸۹۲,۶۱۱

منبع: سازمان بوستان‌ها و فضای سبز شهرداری تهران

جدول ۲. موقعیت و مساحت بوستان‌های انتخابی در سطح شهر تهران

ردیف	نام پارک	منطقه	ناحیه	مساحت (هکتار)
۱	پردیسان	۲	۴	۲۷۵،۰۰۰
۲	جنگلی لویزان	۴	۷ و ۹	۱۴۰،۰۰۰
۳	جنگلی کوهسار	۵	۱	۶۰۰،۰۰۰
۴	جنگلی سرخه‌حصار	۱۳	۴	۲۸۹۴
۵	آزادگان	۱۵	۴	۱۲۰،۰۰۰
۶	بوستان ولایت	۱۹	۱	۷۰۰،۰۰۰
۷	جنگلی چیتگر	۲۲	۳	۹۲۴،۵۰۰

منبع: نگارندگان

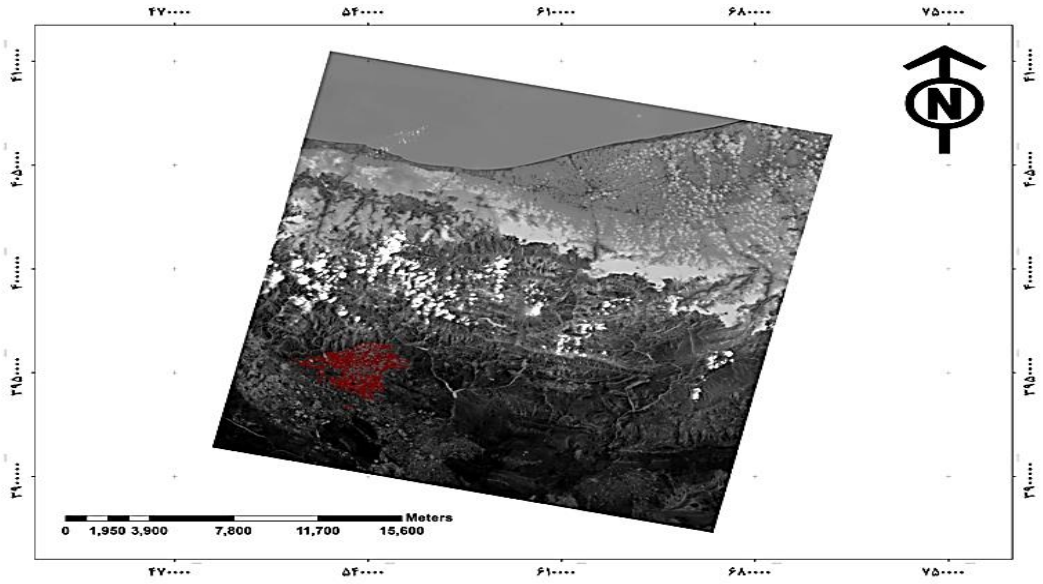
در مرحلهٔ بعد برای محاسبهٔ دمای سطح زمین (LST[1])، از تصویر ماهواره‌ای ۱ جولای ۲۰۲۰ سنجندهٔ ETM ماهوارهٔ لندست ۸ استفاده شده است این تصاویر از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحدهٔ آمریکا[2] اخذ شده است. جدول ۳ مشخصات باندهای چندطیفی سنجندهٔ OLI و باندهای حرارتی سنجندهٔ TIRS ماهوارهٔ لندست و شکل ۲ تصویر دریافتی از ماهواره را برای تاریخ ۱ جولای ۲۰۲۰ مصادف با ۳۰ تیرماه ۱۳۹۹ شمسی را نشان می‌دهد.

جدول ۳. خصوصیات باندهای چندطیفی سنجندهٔ OLI و باندهای حرارتی سنجندهٔ TIRS ماهوارهٔ لندست ۸

نام سنجنده	باند طیفی	طول‌موج (میکرومتر)	ابعاد پیکسل	عرض تصویربرداری (کیلومتر)
OLI	باند ۱. Coastal/Aerosol	۰/۴۳۳ –۰/۴۵۳	۳۰	۱۸۵
	باند ۲. آبی	۰/۴۵۰ –۰/۵۱۵	۳۰	۱۸۵
	باند ۳. سبز	۰/۵۲۵ –۰/۶۰۰	۳۰	۱۸۵
	باند ۴. قرمز	۰/۶۳۰ –۰/۶۸۰	۳۰	۱۸۵
	باند ۵. مادون‌قرمز نزدیک	۰/۸۴۵ –۰/۸۸۵	۳۰	۱۸۵
	باند ۶. مادون‌قرمز طول‌موج کوتاه	۱/۵۶۰ –۱/۶۶۰	۳۰	۱۸۵
	باند ۷. مادون‌قرمز طول‌موج کوتاه	۲/۱۰۰ –۲/۳۰۰	۳۰	۱۸۵
	باند ۸. پانکروماتیک	۰/۵۰۰ –۰/۶۸۰	۱۵	۱۸۵
	باند ۹. سیروس	۱/۳۶۰ –۱/۳۹۰	۳۰	۱۸۵
TIRS	باند ۱۰. مادون‌قرمز حرارتی	۱۰/۳۰ –۱۱/۳۰	۱۰۰	۱۸۵
	باند ۱۱. مادون‌قرمز حرارتی	۱۱/۵۰ –۱۲/۵۰	۱۰۰	۱۸۵

منبع: کریمی و آرش (۱۳۹۴)

1. Land Surface Temperature
2. http: //glovis.usgs.gov/



شکل ۲. تصویر ماهوارهٔ لندست ۸ به‌کاررفته در تحقیق، ۱ جولای ۲۰۲۰ مصادف با ۳۰ تیرماه ۱۳۹۹ شمسی

جدول ۴. مشخصات تصویر استفاده‌شده در تحقیق

ماهواره	سنجنده	ردیف	گذر	مبنا	سطح تصحیحات
لندست ۸	OLI	۰۳۵	۱۶۴	۲۰۲۰۰۷۰۱	L1TP

به‌منظور دستیابی به اهداف پژوهش تصویر پایهٔ ماهواره به کمک نرم‌افزار Envi ۵/۳ از طریق الگوریتم‌های مختلف پردازش‌های رادیو متریکی و اتمسفری انجام شد. در تمامی روش‌های استخراج LST نیاز است تابش طیفی و دمای درخشندگی باندهای حرارتی تصاویر محاسبه شود. همهٔ اجسامی که دمای آن‌ها بالای صفر مطلق باشد از خود حرارت گسیل می‌کنند (سلطانیان و حلیبان، ۱۳۹۷). بر این اساس، علائم رسیده به سنجنده می‌توانند با استفاده از رابطهٔ زیر به تابش در سطح سنجنده (یا تابش طیفی) تبدیل شوند (ابراهیمی هروی و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۳).

$$L\lambda = ML \times Qcal + AL$$ رابطهٔ (۱)

که در آن Lλ تابش طیفی در بالای اتمسفر، ML عامل مقیاس‌سازی ضربی باند خاص[1]، AL عامل مقیاس‌سازی افزایشی باند خاص[2]، و Qcal عدد رقومی (DN) باند موردنظر است. همین‌طور مقادیر ML و AL در فایل مرجع تصاویر دریافت‌شده وجود دارد. مرحلهٔ بعد تبدیل تابش طیفی به دمای درخشندگی در سطح سنجنده است (علیپور و همکاران، ۱۳۸۹):

$$Tsensor = \frac{K_2}{Ln\left(\frac{K_2}{L_\lambda}+1\right)}$$ رابطهٔ (۱)

که در آن Tsensor دمای درخشندگی (درجهٔ کلوین)، Lλ تابش طیفی، Ln لگاریتم نپرین، K1 و K2 ثابت‌های

1. Band-specific multiplicative rescaling factor
2. Band-specific additive rescaling factor

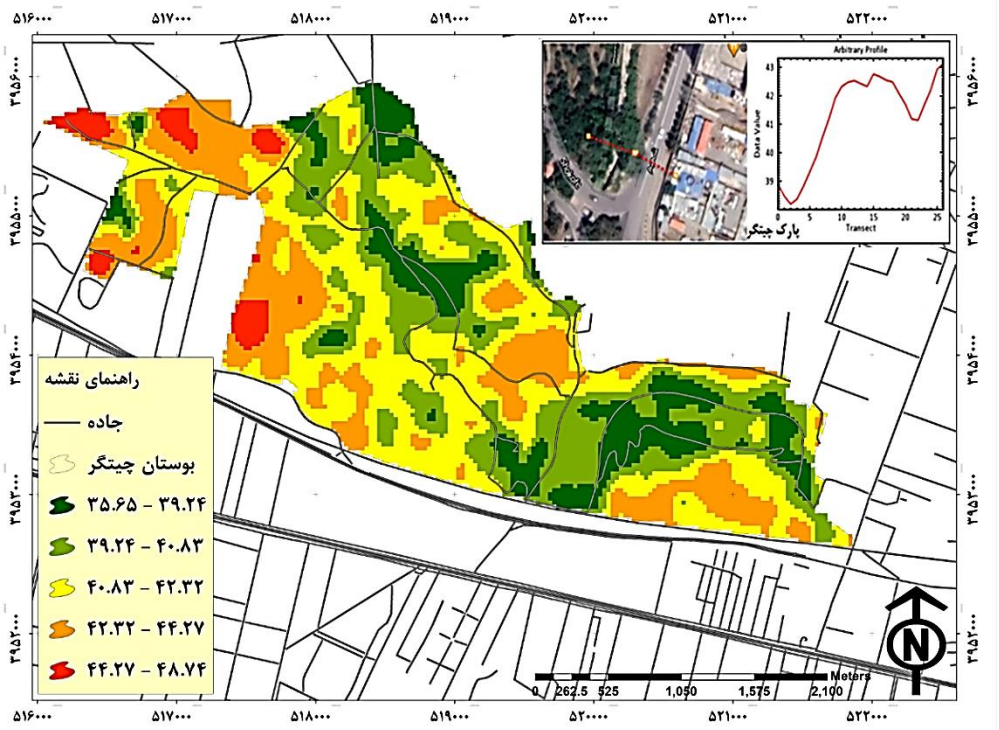
کالیبراسیون سنجنده‌اند که از فایل مرجع برداشت شدند. در تصحیح هندسی تصاویر سعی شد خطای RMS کمتر از ۰/۵ پیکسل شود. همچنین سعی شد تصاویر انتخابی ابرناکی نداشته باشند. شیب فایل بوستان‌های انتخابی در محیط ArcGis10.5 فراخوانی و تصاویر خروجی از Envi در این بخش به‌صورت نقشهٔ نهایی استخراج و برای نقاط موردنظر در هر بوستان وضعیت دما بررسی شد.

بحث و یافته‌ها

همان‌طور که بیان شد، هدف از این تحقیق مطالعهٔ اثر بوستان‌های بزرگ شهر تهران بر میکروکلیمای داخلی و همین‌طور مناطق اطراف بوستان است. تغییرات دمایی بین مناطق با پوشش درختی با تراکم متفاوت و عاری از پوشش به‌خوبی نقش فضای سبز را در تعدیل دمای هوای ساختمان و شهر را به‌خوبی نمایان می‌سازد. به همین منظور در این بخش ابتدا داده‌های دمای سطحی زمین (LST) با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۸ برای هریک از بخش‌های پارک‌های انتخابی تحلیل شده است. سپس دمای سطحی سه‌نقطه از مناطق (پرپوشش پارک، پوشش متوسط و فضای مسکونی) اطراف برای هریک از پارک‌ها تحلیل خواهد شد.

بوستان جنگلی چیتگر

شکل ۳ بوستان جنگلی چیتگر از بوستان‌های جنگلی شهر تهران است که از شمال به زمین‌های چیتگر، از جنوب به آزادراه تهران–کرج از غرب به شهرک سروآزاد و پیکان‌شهر و از شرق به منطقهٔ خرگوش‌دره محدود می‌شود. این بوستان با ۹۵۰ هکتار زمین پردرخت از بزرگ‌ترین بوستان‌های جنگلی استان تهران است. پوشش درختی بوستان درمجموع مساحتی حدود ۷۳۴ هکتار را دربرمی‌گیرد. حدود ۵۳ درصد از آن‌ها را گونه‌های سوزنی‌برگ مانند کاج الداریکا، سرو نقره‌ای و سرو خمره‌ای و حدود ۴۷ درصد از درختان را ۹ گونهٔ درختی پهن‌برگ (از جمله اقاقیا، زبان‌گنجشک، نارون چتری، ارغوان، داغداغان، افرای زینتی، پلت، بلوط و ایلان) تشکیل می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، بخش‌های غربی آن به‌دلیل غلبهٔ درختان کاج و تنک‌بودن پوشش و نبود سایهٔ پیوستهٔ دمای سطحی در فصل تابستان به ۴۸ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد، ولی در بخش شرقی و شمالی آن که نوع پوشش بوستان انبوه‌تر و غلبهٔ اصلی با گونه‌های پهن‌برگ بوده و سایهٔ انبوه ایجاد کرده است. دمای هوا تا ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش یافته است (شکل ۳)؛ بنابراین ملاحظه می‌شود پوشش انبوه و به‌ویژه درختان پهن‌برگ سبب شده است به‌دلیل جذب تابش خورشیدی و تعریق سطحی دمای سطحی را حدود ۱۳ درجهٔ سانتی‌گراد خنک‌تر کند. این پدیده تأثیر شگرف پوشش سبز را در تعدیل دمایی سطح و لایهٔ زیرین جو نشان می‌دهد.



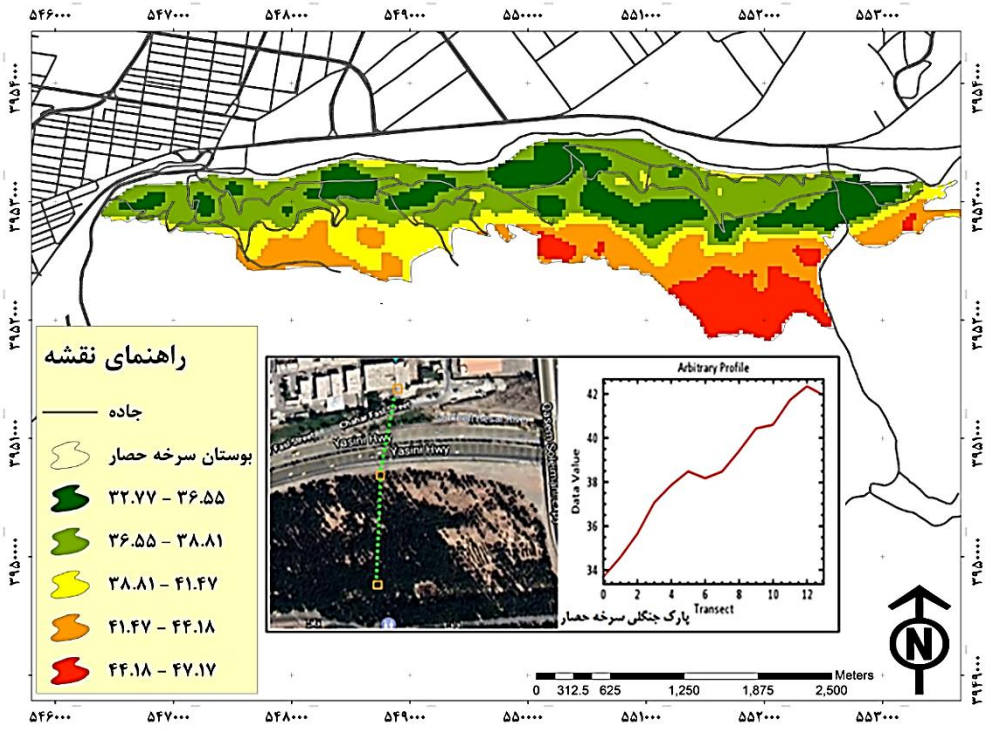
شکل ۳. دمای سطح زمین بوستان جنگلی چیتگر خروجی لندست ۸ در ۳۰ تیرماه ۱۳۹۹
منبع: نگارندگان

شکل۳ سه نقطهٔ انتخابی را داخل و خارج از بوستان جنگلی نشان می‌دهد. همان‌طور که بیان شد در اینجا سه نقطهٔ پرپوشش با پوشش متوسط و منطقهٔ مسکونی انتخاب و نیمرخ دمایی بین این سه نقطه نیز ترسیم شد. در منطقهٔ پرپوشش دمای سطحی حدود ۳۹ تا ۳۸ درجهٔ سانتی‌گراد، در منطقه با پوشش متوسط و حاشیهٔ بوستان دما به ۴۲/۷ درجهٔ سانتی‌گراد رسیده و در منطقهٔ مسکونی این دما در همان زمان تا ۴۳/۲ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش‌یافته است. به عبارت دیگر، بین منطقهٔ پرپوشش تا منطقهٔ مسکونی که بیش از ۵۰۰ متر از هم فاصله ندارند. تغییرات دمایی تا حدود ۵ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد. جالب توجه اینکه در نوار حاشیه‌ای بوستان با وجود برخورداری از پوشش گیاهی، به‌دلیل همجواری با فضای فیزیکی پوشیده از آسفالت و بتن تفاوت دمایی بخش داخل بوستان نزدیک به ۳ درجهٔ سانتی‌گراد، ولی با منطقهٔ مسکونی حدود ۰/۵ درجهٔ سانتی‌گراد تفاوت دمایی دارد (شکل ۳).

بوستان جنگلی سرخه‌حصار

مساحت این بوستان حدود ۹۱۶۸ هکتار است که به‌جز بخش شمال شرقی آن تمام این ناحیه تحت کنترل و حفاظت سازمان محیط‌زیست قرار دارد. در منتهی‌الیه شرق تهران و در منطقهٔ ۱۳ و ناحیهٔ ۴ شهرداری قرار دارد. این بوستان در امتداد بزرگراه شهید یاسینی به طول تقریبی ۶۹۳۱/۲۲ متر کاملاً کشیدگی طولی دارد. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، به تبعیت از نوع گونه‌ها و انبوهی پوشش سایه‌ای که درختان در بخش‌های مختلف بوستان ایجاد کرده‌اند، دمای سطحی بین ۳۲ تا ۴۷ درجهٔ سانتی‌گراد متغیر است. در تمام محدودهٔ حاشیهٔ بزرگراه شهید یاسینی به‌دلیل یکنواختی و

انبوهی پوشش درختی و تأمین سایهٔ مناسب، دمای سطحی بین ۳۲ تا ۳۶ درجهٔ سانتی‌گراد متغیر است. درصورتی‌که در سمت جنوب بوستان به‌دلیل تنک‌شدن پوشش و تغییر گونه‌های درختی به کاج و عدم تأمین سایهٔ انبوه دما به‌طور چشمگیری افزایش یافته و بین ۴۴ تا ۴۷ درجهٔ سانتی‌گراد در نوسان است. برای ارزیابی اثر پوشش گیاهی بر دمای سطحی سه نقطه از بخش پرپوشش، متوسط و منطقهٔ مسکونی حاشیهٔ بوستان انتخاب شد. دمای سطحی در نقطهٔ پرپوشش ۳۷/۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در نقطهٔ با پوشش گیاهی متوسط به ۳۸/۵ و در نقطهٔ مسکونی انتخابی این بوستان چون تراکم سکونتی چندان زیاد نیست، تفاوت دمایی بین منطقهٔ پرپوشش و مسکونی بیش از ۲ درجهٔ سانتی‌گراد نیست (شکل ۴). ملاحظه می‌شود عدم تراکم سکونتگاه‌ها و وجود بزرگراه در حاشیهٔ منطقهٔ مسکونی و امکان تهویهٔ دما بین منطقهٔ پر پوشش بوستان تا منطقهٔ سکونتگاهی بیش از دو درجهٔ سانتی‌گراد نیست.



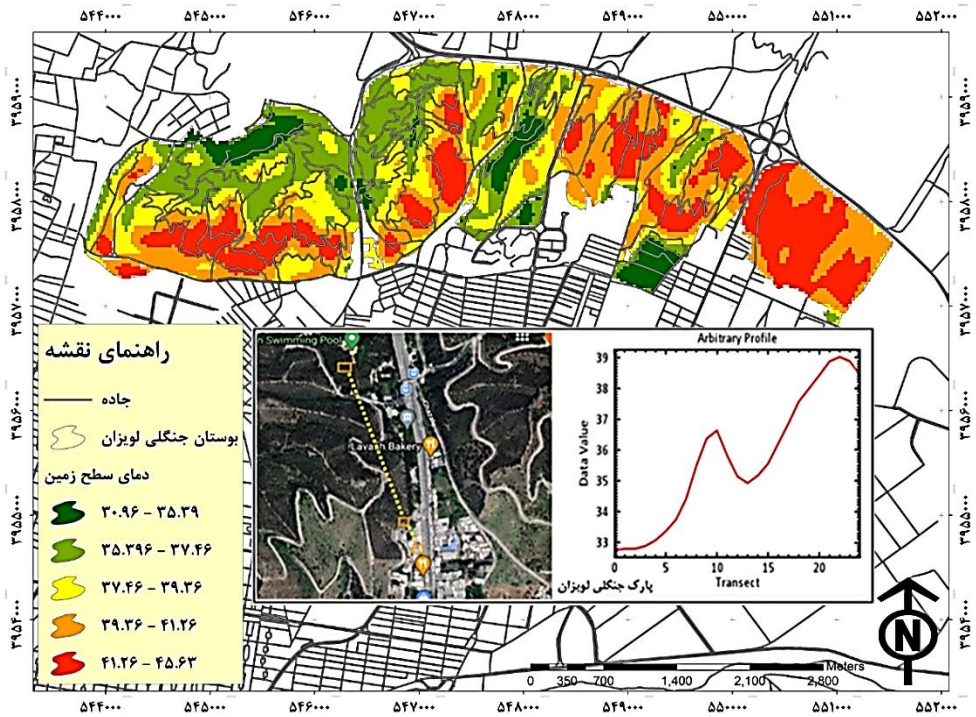
شکل ۴. دمای سطح زمین بوستان جنگلی سرخه‌حصار خروجی لندست ۸ در ۳۰ تیرماه ۱۳۹۹

منبع: نگارندگان

بوستان جنگلی لویزان

این بوستان به مساحت حدود ۱۴۰۰ هکتار از شمال به بزرگراه شهید بابایی، از شرق به بزرگراه شهید باقری، از جنوب به شمس‌آباد و از غرب به ده لویزان منتهی می‌شود. این بوستان در منطقهٔ ۴ شهرداری تهران قرار دارد. گونه‌های مختلفی از گیاهان و درختان در این بوستان وجود دارد که گونهٔ غالب آن سرو، چنار و اقاقیا است. گونه‌هایی از بلوط، افرا، داغداران، گز، سرو نقره‌ای و توت نیز در آن به چشم می‌خورد. شکل ۵ تغییرات دمایی این بوستان را نشان می‌دهد. در خنک‌ترین بخش آن‌که شمال شرق و شمال مرکز آموزشی شهید فیض‌الله امانی ارتش قرار دارد، دمای سطحی ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. براساس شکل ۵، در این بخش بوستان از انبوهی خوبی برخوردار است. برعکس در بخش اعظم قطعهٔ غربی در

غرب خیابان سید علی و بخش زیادی از قطعه بین خیابان سید علی رو به بزرگراه شهید باکری و بخش شمالی قطعهٔ شرقی در شرق خیابان هنگام دما تا ۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش یافته است؛ بنابراین ملاحظه می‌شود دمای سطحی در این بوستان بین ۳۰ تا ۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد متغیر است. اختلاف ۱۵ درجه‌ای دما در اثر سایه‌اندازی پوشش درختی و تأثیر جذب و انعکاسی حاصل از سبزینگی و پوشش برگ درختان را نشان می‌دهد. این تفاوت فاحش در دو بخش بوستان بخشی به‌دلیل نوع گونه گیاهی و تفاوت در سایه‌اندازی درختان و بخشی به‌دلیل تراکم درختی است. بیشترین پراکنش با دمای بالای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد در بخش‌هایی از بوستان قرار دارد که گونهٔ غالب کاج است و این درخت با توجه به اندام خود سایهٔ زیادی به‌ویژه در ایامی که خورشید ارتفاع بیشتری می‌گیرد، ایجاد نمی‌کند. درعین‌حال بخش‌های با دمای سطحی بالا در قسمت‌هایی از بوستان ثبت شده که در آن، جاده‌های خاکی وسط بوستان یا مسیل‌ها بدون پوشش انبوه دیده می‌شود. این پدیده در قطعهٔ بین خیابان سید علی تا بزرگراه شهید باقری و قطعهٔ شرقی در شرق بلوار هنگام به‌خوبی دیده می‌شود. به عبارتی وجود جاده‌های خاکی یا آسفالته حتی با پهنای باریک به‌دلیل جذب تابشی بالا اثر میکروکلیمایی فضای سبز حاشیه را نیز تحت تأثیر قرار داده است. نیمرخ دمایی و تغییرات افقی دما را در سه نقطهٔ انتخابی بوستان لویزان نشان می‌دهد؛ درحالی‌که دما در بخش پرپوشش بیش از ۳۱/۵ درجهٔ سانتی‌گراد نیست، در منطقهٔ حاشیه و کم‌پوشش به ۳۶/۵ درجه و در منطقهٔ مسکونی حاشیهٔ بوستان به ۳۹ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد. اثر پوشش سبز بر کنترل و تعدیل دما به اندازه‌ای است که دما از منطقهٔ پرپوشش تا حاشیهٔ بوستان ۷/۵ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش دارد. این مقدار در یک فاصلهٔ کوتاه مقدار چشمگیری است. برش افقی دما روی بوستان به‌خوبی این تأثیر را نمایش می‌دهد (شکل ۵).

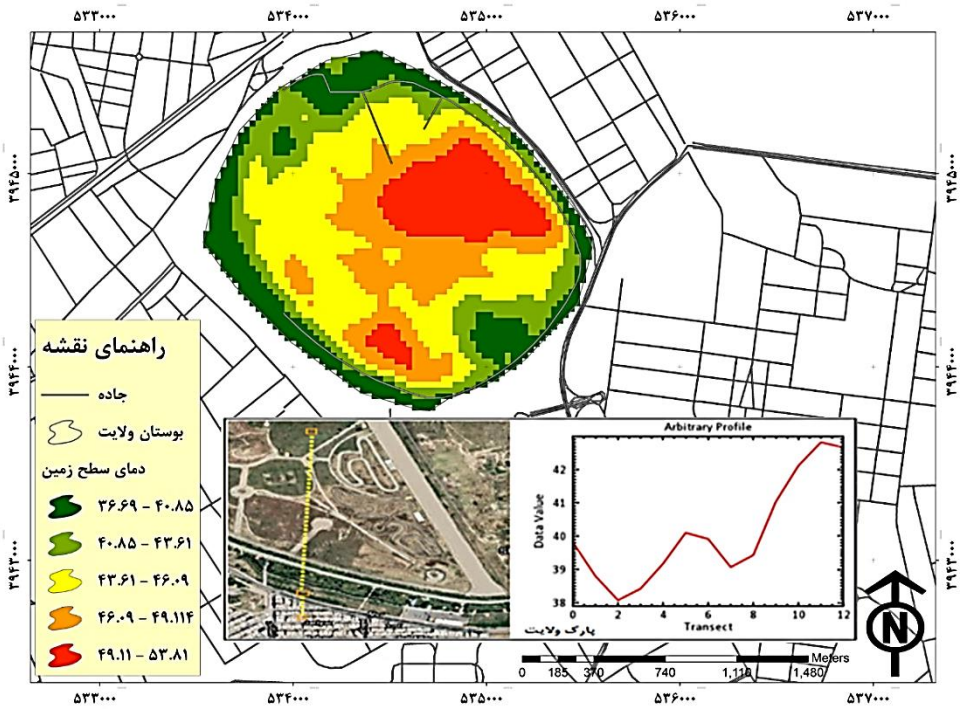


شکل ۵. دمای سطح زمین بوستان جنگلی لویزان خروجی لندست ۸ در ۳۰ تیرماه ۱۳۹۹

منبع: نگارندگان

بوستان ولایت

شکل ۶ این بوستان با وسعت ۳۰۰ هکتار در منطقهٔ ۱۹ شهرداری تهران قرار دارد. این بوستان برعکس بوستان‌های قبل تقریباً به‌صورت دایره‌ای است. به این مفهوم که در صورت تکمیل پروژهٔ درختکاری می‌تواند شرایط میکروکلیمایی متفاوتی را درون بوستان ایجاد کند. درصورتی‌که سه بوستان بزرگ سرخه‌حصار، چیتگر و لویزان کاملاً حالت کشیده دارد و جریانات هوایی اطراف بوستان به‌سرعت به داخل بوستان و شرایط دمایی بیرون را به درون بوستان منتقل می‌کند. همان‌طور که دیده می‌شود حاشیهٔ این بوستان به‌طور نسبی از پوشش درختی انبوه برخوردار است. به عبارتی پروژهٔ درختکاری آن تکمیل شده است. با این همه در قیاس با ۳ بوستان قبل ضمن اینکه درختان از سترگی خوب برخوردار نیستند. به‌دلیل باریک‌بودن نوار درختکاری و همجواری با بزرگراه‌های و فضای سکونتگاهی اطراف و درعین‌حال ارتفاع پست‌تر نتوانسته است دمای محیط را مانند سایر بوستان‌ها کاهش دهد. درنتیجه دمای سطحی این بخش از بوستان بین ۳۶ تا ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد ثبت شده است. درصورتی‌که در بوستان‌های قبل دما در بخش پرپوشش گاه تا ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد نیز می‌رسید. بخش مرکزی این بوستان به‌دلیل نبود پوشش درختی و گیاهی کامل و بعضاً پوشش آسفالت و سنگ، دما تا ۵۳ درجهٔ سانتی‌گراد نیز می‌رسد. این پدیده نیز در بالابردن دمای سطحی بخش پرپوشش بی‌تأثیر نیست. باید توجه داشت که این بوستان در منطقهٔ پست‌تری نسبت به سه بوستان قبلی قرار دارد. درنتیجه سرعت جریان هوا به دلیل اصطکاک سطحی و عوارض اطراف بوستان کمتر از بوستان‌های شمالی و حاشیه‌ای تهران است. همان‌طور که روی عکس نیز دیده می‌شود تمام محیط اطراف بوستان با سازه‌های ساختمانی انبوه احاطه شده است.



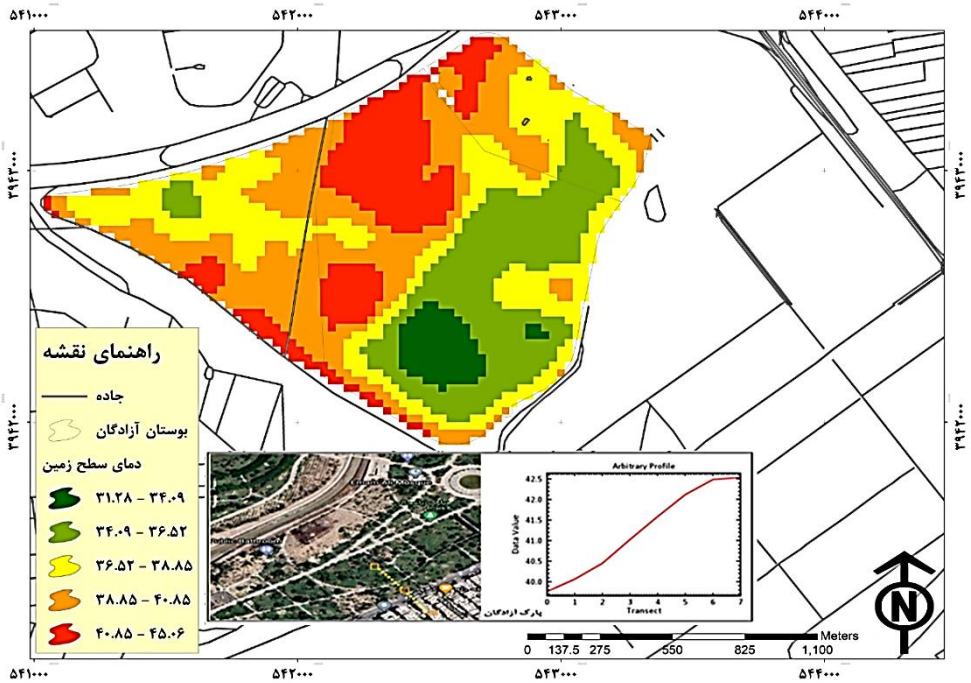
شکل ۶. دمای سطح زمین بوستان ولایت خروجی لندست ۸ در ۳۰ تیرماه ۱۳۹۹

منبع: نگارندگان

نیمرخ تهیه‌شده برای تأثیر میکروکلیمایی بوستان بر وی مناطق مسکونی اطراف نشان می‌دهد، درحالی‌که دما در منطقهٔ پرپوشش آن به حدود ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد در منطقهٔ حاشیه این دما به ۴۲ و در منطقهٔ مسکونی ۴۲/۸ درجهٔ سانتی‌گراد است؛ یعنی تفاوت دمای سطحی در منطقهٔ پرپوشش با مناطق مسکونی ۲/۸ و بین منطقهٔ حاشیه و مسکونی فقط ۰/۸ درجهٔ سانتی‌گراد است. نبود درخت در بخش مرکزی یا تنک‌بودن آن و جوان‌بودن درختان که هنوز نتوانسته‌اند سایهٔ پیوسته و انبوهی را ایجاد کنند. سبب شده است اثربخشی بوستان درون و حاشیهٔ بوستان نظیر بوستان‌های قبل چشمگیر نباشد. بوستان ولایت از بوستان‌های تازه‌تأسیس تهران است که عموماً نوار حاشیهٔ بوستان مشجر است، ولی بخش‌های مرکزی آن هنوز تکمیل نشده است یا درختان عمر زیاد و سایه‌اندازی مناسبی ندارند. درنتیجه این بوستان هنوز نتوانسته است نقش میکروکلیمایی خود را در مناطق حاشیه‌ای خود ایجاد کند (شکل ۶).

بوستان آزادگان

بوستان آزادگان که در جنوب شرقی تهران قرارگرفته، از شمال به اتوبان بعثت و سه‌راه افسریه، از شرق به کانال سرخه‌حصار و بوستان پامچال (مشیریه)، از جنوب به اتوبان دولت‌آباد و از غرب به بزرگراه آزادگان و بوستان توسکا و شهرک سعیدیه و حمیدیه محدود می‌شود. اطراف این بوستان را فضاهای سبز، جنگلی و تفریحی احاطه کرده است؛ به‌طوری‌که محوطهٔ جنگلی توسکا، بوستان آبی و بوستان مادر (بانوان) در اطراف آن قرارگرفته‌اند. بوستان آزادگان با ۱۱۲ هکتار وسعت در منطقهٔ ۱۵ شهرداری تهران قرار دارد. این بوستان نیز مانند بوستان ولایت از لحاظ هندسی حالت گرد دارد، ولی در این بوستان نیمهٔ شرقی دارای پوشش درختی نسبتاً خوب تشکیل شده است.



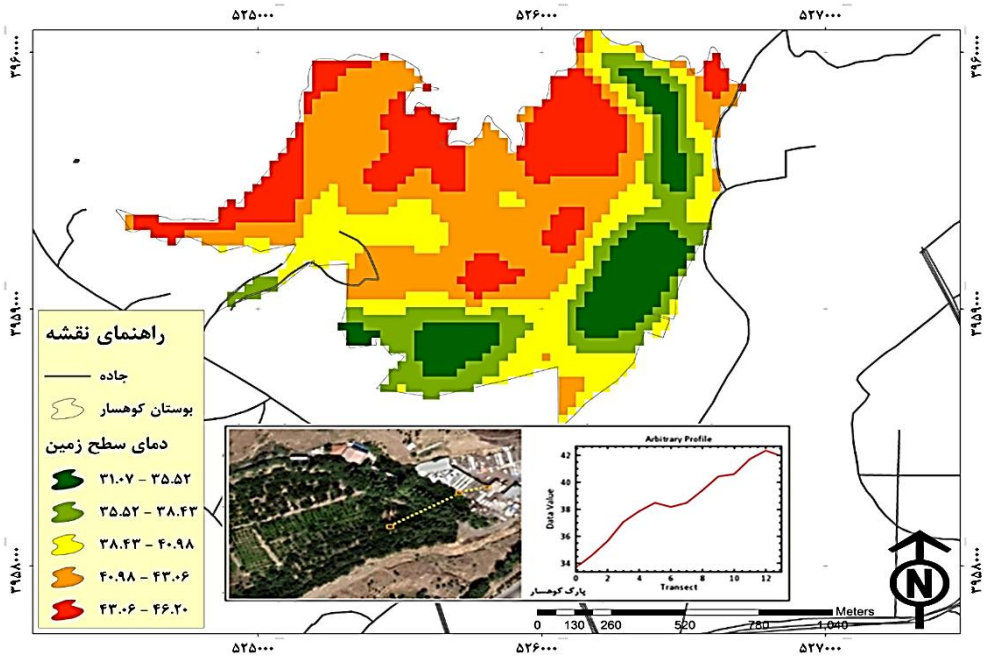
شکل ۷. دمای سطح زمین بوستان آزادگان خروجی لندست ۸ در ۳۰ تیرماه ۱۳۹۹

منبع: نگارندگان

این بوستان، ۹۰ گونه درخت و درختچه اعم از پهن‌برگ و سوزنی‌برگ و ۴۰۰ گونه بوته‌ای دارد که از گونه‌های غالب آن می‌توان به اکالیپتوس، کاج، توت، صنوبر، زبان‌گنجشک، بید، زیتون، تبریزی، گردو، واگلیا، شمشاد، سیدالاشجار، نخل، توسکا، بلوط و کاتالپا اشاره کرد. این پوشش سبب شده است دمای سطحی عددی بین ۳۱ تا ۳۳ درجهٔ سانتی‌گراد را ثبت کند. ولی در بخش غربی که پوشش درختی از انبوهی کمتری برخوردار است دما بین ۴۱ تا ۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد متغیر بوده است. نیمرخ افقی بین سه‌نقطه انتخابی درون و حاشیهٔ بوستان تغییرات دمایی بین هستهٔ خنک و پرپوشش بوستان و منطقه مسکونی اطراف را نشان می‌دهد الگوی دمایی شبیه بوستان ولایت حاکم است. درحالی‌که دمای سطحی در منطقهٔ پرپوشش حدود ۳۸/۸ درجهٔ سانتی‌گراد است این دما در حاشیهٔ بوستان به ۴۲ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد؛ یعنی حدود ۲ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. این دما در بخش مسکونی به ۴۲/۵ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش یافته است. نیمرخ افقی این بوستان برعکس سایر پارک‌ها اعوجاج ندارد و از بخش پرپوشش تا بخش مسکونی با شیب یکنواخت و ملایمی رو به افزایش است. این به‌دلیل عدم تغییرات شدید در گونه‌های درختی و تغییرات شدید در تراکم پوشش درختی بین بخش پرتراکم تا بخش با تراکم متوسط است (شکل ۷).

بوستان کوهسار

این بوستان از جنوب به بلوار حصارک، از غرب به رودخانهٔ کن، از شمال به ارتفاعات توچال و از شرق به رودخانهٔ فرحزاد می‌رسد و رودخانهٔ حصارک نیز از میان این بوستان می‌گذرد. وسعت این بوستان جنگلی به حدود ۵۷۰۰ هکتار می‌رسد که ۷۰۰ هکتار آن درختکاری شده و زیادبودن وسعت بوستان، به‌دلیل قرارگیری آن در ارتفاعات و کوهستانی‌بودن منطقه است. این بوستان در محدودهٔ منطقهٔ ۵ شهرداری تهران قرار دارد. در بین پارک‌های نمونهٔ انتخابی، این بوستان مرتفع‌ترین بوستان جنگلی است. گونه‌های گیاهی موجود در این بوستان تنوع بالایی ندارد و به‌دلیل کوهستانی‌بودن و جنگلی‌بودن آن فقط از درخت‌های کاج و سرو استفاده شده است همان‌طور که دیده می‌شود به‌جز بخش‌هایی از جنوب شرق و شرق این بوستان، در سایر بخش‌ها پوشش درختی چندان انبوه نیست. از طرفی در بخش‌های غربی و شمالی درختان جوان هستند و هنوز سایهٔ انبوهی ایجاد نمی‌کنند. با وجود اینکه این بوستان در ارتفاعات پای کوهی قرار دارد، ولی در بیشتر بخش‌های آن، شیب‌ها یا رو به جنوب و به عبارتی رو به آفتاب است یا در صبحگاه یا عصر در معرض تابش شدید خورشید قرار می‌گیرد. دما در بخش شرقی و جنوبی در محدودهٔ ۳۱ تا ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد متغیر است. درصورتی‌که در بخش‌های شمالی‌تر، دما به محدودهٔ ۴۳ تا ۴۶ می‌رسد با وجود ارتفاع زیاد به‌دلیل پوشش تنک‌تر و شیب زیاد رو به آفتاب دما بالاتر است. در اینجا نیز بخش‌هایی که پوشش از پهن‌برگ به سوزنی‌برگ تبدیل می‌شود، به‌دلیل سایهٔ کمتر دما بالاتر از سایر بخش‌ها است. نیمرخ عرضی بین سه نقطهٔ انتخابی در این بوستان نیز به‌خوبی اثر تراکم و نوع گونه را در کاهش و کنترل دمای سطحی نشان می‌دهد. در این بوستان دما در نقطهٔ پرپوشش یا متراکم حدود ۳۳ درجهٔ سانتی‌گراد ثبت شده است. به‌طرف حاشیهٔ بوستان دما روند افزایشی طی کرده و به حدود ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد رسیده است. با وجود اینکه تراکم پوشش در حاشیهٔ بوستان با منطقهٔ پرپوشش تفاوت زیادی ندارد، ولی تأثیر فضای سکونتگاهی بر تشدید دما در حاشیه به‌خوبی مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که دما را تا حدود ۷ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش داده است. تفاوت دمایی از این نقطه تا داخل فضای سکونتگاهی فقط ۲/۸ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش یافته است (شکل ۸).

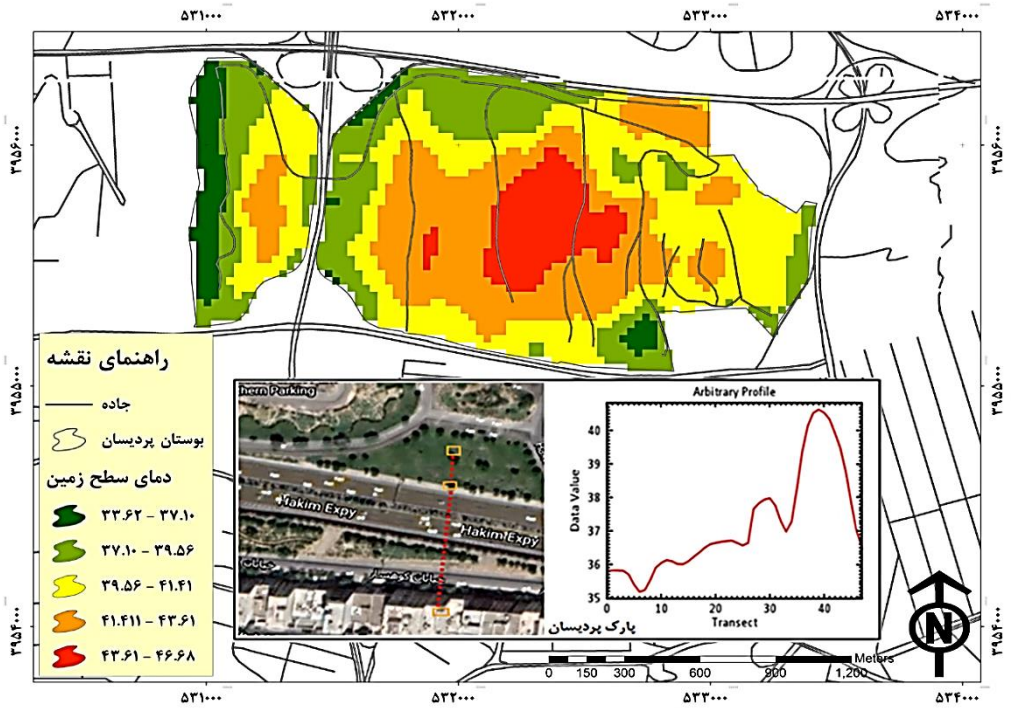


شکل ۸. دمای سطح زمین بوستان کوهسار خروجی لندست ۸ در ۳۰ تیرماه ۱۳۹۹

منبع: نگارندگان

بوستان پردیسان

این بوستان به مساحت تقریبی ۲۵۷ هکتار در منطقهٔ ۲ شهرداری تهران قرار دارد و تحت نظارت سازمان حفاظت محیطزیست اداره می‌شود. گونه‌های غالب این بوستان بیشترین پراکندگی مربوط به درخت اقاقیا است. همان‌طور که دیده می‌شود حواشی این بوستان دارای پوشش انبوه تا نسبتاً انبوه بوده است، ولی در قسمت‌های مرکزی عموماً فاقد درخت بوده یا از پوشش تنک‌تری برخوردار است. به پیروی از همین پوشش دمای سطحی نیز بین قسمت‌های آن متغیر است. در بخش‌های پرپوشش منتهی‌الیه غربی، دمای سطحی تا حدود ۳۳ درجهٔ سانتی‌گراد نیز پایین آمده است. درحالی‌که در بخش مرکزی، دما تا ۴۶ درجهٔ سانتی‌گراد نیز افزایش یافته است. به عبارتی تفاوت دمایی حاصل از پوشش و سایه‌اندازی حاصل از آن بیش از ۱۳ درجهٔ سانتی‌گراد دما را کاهش داده است. نیمرخ افقی تهیه‌شده برای سه نقطه از بوستان که در شکل ۹ آمده بیانگر آن است که دمای سطحی در بخش درونی و بر فضای سبز دمای سطحی حدود ۳۶ درجهٔ سانتی‌گراد ثبت شده است. این دما در حاشیهٔ بوستان که از لحاظ پوشش مانند نقطهٔ اول ولی در حاشیهٔ بوستان قرار دارد، فقط ۰/۸ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش داشته و به ۳۶/۸ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش یافته است. دقت در پوشش درختی نقطهٔ اول با نقطهٔ دوم که در حاشیهٔ بوستان که تفاوت آنچنانی ندارد، به‌خوبی نقش پوشش درختی را با پوشش سبز نشان می‌دهد. در منطقهٔ مسکونی که کاملاً از فضای سبز بوستان فاصله گرفته است، با افزایش حدود ۴/۵ درجهٔ سانتی‌گراد تا ۴۱ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش یافته است. انتخاب این دو نقطه روی چمن به‌جای پوشش درختی در مقایسه با بوستان‌های قبلی از این جهت بود که نشان داده شود. چمن و پوشش علفی علی‌رغم زیبایی، در کاهش و تعدیل دمای شهری تأثیر چندانی ندارد. به عبارت دیگر، تعدیل دمایی و میکروکلیمای حاصل از پوشش چمن و پوشش علفی در قیاس با بوستان‌ها با پوشش درختی بسیار کمتر است (شکل ۹).



شکل ۹. دمای سطح زمین بوستان پردیسان خروجی لندست ۸ در ۳۰ تیرماه ۱۳۹۹

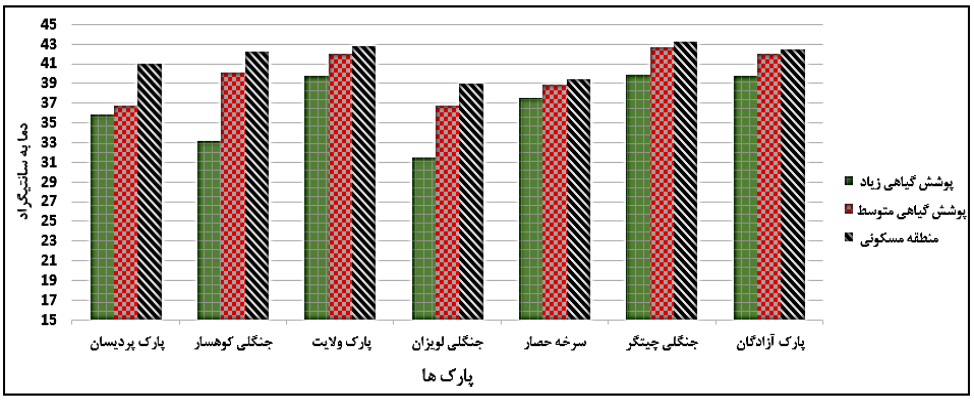
منبع: نگارندگان

جدول ۵ و شکل ۱۰ نیمرخ دمایی بین نقطه‌ای با پوشش درختی انبوه تا منطقهٔ مسکونی حاشیهٔ بوستان را در هفت بوستان انتخابی نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، در بخش پرتراکم انتخابی در میان پارک‌ها منطقهٔ پرپوشش لویزان و سپس کوهسار پایین‌ترین دما را ثبت کرده‌اند. این دو بوستان به‌ترتیب با دمای ۳۱/۵ و ۳۳/۲ درجهٔ سانتی‌گراد خنک‌ترین دمای سطحی را ثبت کرده‌اند. بررسی میدانی انجام‌شده نشان داد در هر دو بوستان نقش گونهٔ درختی، زاویهٔ جهت تابش و ارتفاع از سطح دریا و همین‌طور پهنهٔ پرتراکم اطراف نقطهٔ انتخابی بیشترین نقش را در کاهش دمای سطحی داشته‌اند. برعکس در پارک‌های چیتگر آزادگان و ولایت منطقهٔ پرپوشش دماهای بالاتری را نسبت به سایر پارک‌ها داشته‌اند. دمای بالاتر در دو بوستان ولایت و آزادگان ارتفاع پایین‌تر، آرامش نسبی هوا و پهنه کمتر سطح پرتراکم نقطهٔ انتخابی عامل اصلی ثبت دماهای بالا بوده است، ولی در بوستان چیتگر عدم یکنواختی در گونه‌های درختی اطراف نقطهٔ انتخابی (تنوعی از درختان پهن‌برگ و سوزنی‌برگ) عامل اصلی بالابودن دمای هوا در این بوستان بوده است. در ارتباط با نقش بوستان در تعدیل دمای محیط اطراف همان‌طور که دیده می‌شود، پارک‌های لویزان و سرخه‌حصار بیشترین تعدیل دمایی و بوستان چیتگر کمترین اثر تعدیلی را روی فضاهای مسکونی اطراف داشته است. از لحاظ گرادیان حرارتی ایجادشده بین منطقهٔ پرتراکم تا منطقهٔ مسکونی اطراف پارهای کوهسار و لویزان بالاترین شیو حرارتی را داشته‌اند. این پدیده به‌دلیل تغییرات شدیدتر پوشش درختی بین منطقهٔ پرتراکم و منطقهٔ مسکونی و عامل ارتفاع یا شیب ارتفاعی بوده است. برعکس در سایر پارک‌ها شیو دمایی بین منطقهٔ پرتراکم تا منطق مسکونی حاشیهٔ بسیار ملایم و بطئی بوده است.

جدول ۵. وضعیت دمایی بوستان‌های بزرگ تهران در نقاط منتخب

نام پارک	بخش با پوشش انبوه	بخش با پوشش متوسط یا حاشیه	منطقهٔ مسکونی حاشیهٔ پارک
بوستان پردیسان	۳۵/۹	۳۶/۸	۴۱
بوستان جنگلی کوهسار	۳۳/۲	۴۰/۱	۴۲/۳
بوستان ولایت	۳۹/۸	۴۲	۴۲/۸
بوستان جنگلی لویزان	۳۱/۵	۳۶/۸	۳۹
بوستان سرخه‌حصار	۳۷/۵	۳۸/۹	۳۹/۵
بوستان جنگلی چیتگر	۳۹/۹	۴۲/۷	۴۳/۲
بوستان آزادگان	۳۹/۸	۴۲	۴۲/۵

منبع: نگارندگان



شکل ۱۰. وضعیت دمایی در بوستان‌های منتخب

منبع: نگارندگان

نتیجه‌گیری

پارک‌ها و فضاهای سبز شهری علاوه بر این‌که محلی برای تفرج ساکنان شهری است، از نظر مدیران شهری و محیط‌زیست به‌عنوان پدیده‌ای برای تولید اکسیژن و پالایش هوای شهرها و همچنین عاملی برای کنترل افزایش دما و شکل‌گیری پدیدهٔ جزیرهٔ گرمایی یا تضعیف آن هستند. به همین دلیل در طراحی شهری توجه خاصی به ایجاد فضاهای سبز و پارک‌ها معطوف می‌شود. وقتی سطوح جذب‌کننده نظیر آسفالت، بتن و سطوح سنگی در محیط‌های شهری افزایش می‌یابد، به‌دلیل تجمع زیاد انرژی جذب‌شده روی سطوح بتنی و سنگی، دما در طول روز به‌طور فزاینده‌ای افزایش می‌یابد. تابش شدید خورشید روی این سطوح به‌خصوص در ظهر و اوایل بعدازظهر دما در محدودهٔ لایهٔ ۱۰متری زیرین به‌شدت افزایش می‌یابد. درنتیجه شرایط را برای ساکنان شهری که مجبور به تردد در فضاهای باز شهری دارند، غیرقابل‌تحمل یا رقت‌انگیز می‌کند. پارک‌ها و فضاهای سبز شهری علاوه برجذب مقادیر زیادی از انرژی تابشی خورشید به‌وسیلهٔ سطوح برگی و اندام‌های خود، تعریق و تعرق با ایجاد سایه به‌شدت در تعدیل دمای شهری مؤثر است. با وجود اینکه فضاهای سبز کوچک و حتی یک درخت می‌تواند میکروکلیمای اطراف خود را تحت تأثیر قرار دهد، پارک‌ها و بوستان‌های بزرگ به‌طور قطع میکروکلیمای مؤثرتری را برای فضاهای مسکونی اطراف خود ایجاد می‌کنند. در شرایطی که شهر تهران به‌دلیل گسترش نامتوازن و افسارگسیخته در چند دههٔ اخیر که عموماً عوامل اقلیمی و هواشناختی مورد غفلت قرار گرفته است، به یک شهر آلوده، گرم و نامطبوع تبدیل شده است. فضای سبز اندک شهر نیز در طول سال‌های

اخیر به‌شدت تخریب و گونه‌های درختی به چمن و گونه‌های علفی تبدیل شده است. درنتیجه سایه‌اندازی که نقش بسیار مهمی در کنترل دمای هوای زیرسطحی و درنهایت محیط اطراف دارد، به‌شدت کاهش یافته است. نیاز آبی درخت در قیاس با چمن و پوشش علفی بسیار کمتر است. درنتیجه رطوبت کمتری وارد جو شهری می‌کند و هوا را برای ساکنان نامطبوع نمی‌کند. به همین دلیل در این تحقیق بوستان‌های بزرگ شهر تهران که غلبهٔ اصلی با پوشش درختی است و از لحاظ وسعت قابلیت ایجاد تأثیر میکروکلیمایی هستند، انتخاب شده است. به همین منظور هفت بوستان جنگلی و شهری بزرگ شهر تهران به‌عنوان نمونه انتخاب و اثرات این فضاهای سبز و پوشش درختی بر دمای سطحی درون بوستان و مناطق مسکونی اطراف بررسی شد. همان‌طور که بیان شد، در این تحقیق نقاط انتخابی و مسیر نیمرخ به‌صورت میدانی و پیمایشی مورد بازدید قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد نقش گونه‌های درختی در جذب انرژی تابشی و ایجاد سایه برای تعدیل دمای محیط و سطح بسیار مهم است. گونه‌های پهن‌برگ به‌دلیل ایجاد سطوح جذبی بیشتر و همین‌طور تعریق بالاتر نقش بسیار بیشتری در تعدیل دمای محیط دارند. درصورتی‌که گونه‌های سوزنی‌برگ به‌دلیل سطوح جذبی کمتر و تبخیر و تعریق کمتر نقش ضعیف‌تری در تعدیل و کاهش دما دارند. بررسی پراکنش گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ درون پارک‌ها و انطباق آن با دماهای بالاتر به‌خوبی این مسئله را تأیید کرد. نتایج این مطالعه با تحقیقات (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۶؛ لشکری و هدایت، ۱۳۸۵؛ لطفی و همکاران، ۱۳۹۲؛ قدمی و همکاران، ۱۳۹۴) همخوانی دارد. یافته‌های تحقیق همچنین با کارهای (Bokaie et al., 2016) در رابطه با ارتباط نزدیک بین پوشش زمین و دمای سطح زمین همخوانی دارد.

براساس نتایج، در مسیر نیمرخ مکان‌هایی که از پهنهٔ درختی پهن‌برگ به سوزنی‌برگ تغییر پیدا می‌کرد، افزایش دما کاملاً محسوس و چشمگیر بوده است؛ بنابراین به مدیران توصیه می‌شود با وجود اینکه کاشت و سبز شده و سبزینگی دائمی گونه‌های سوزنی‌برگ آسان‌تر و بهتر از گونه‌های پهن‌برگ است، در مناطق درون‌شهری، به‌دلیل زیبایی، سایه‌اندازی، جذب بالای انرژی تابشی و تأثیر میکروکلیمایی بیشتر، کاشت گونه‌های پهن‌برگ توصیه می‌شود؛ بنابراین لازم است با مطالعهٔ ویژگی‌های فیزیولوژیکی درختان پهن‌برگ، که سازگاری بالایی با شرایط اقلیمی تهران دارند. در گسترش فضای سبز بوستان‌های فعلی و تازه‌تأسیس استفاده شود. این اقدام نه‌فقط تأثیر میکروکلیمایی بسیار خوبی برای مناطق مسکونی حاشیهٔ بوستان‌ها خواهد داشت. در طولانی‌مدت با جایگزینی گونه‌های پهن‌برگ با گونه‌های سوزنی‌برگ و توان جذب تابشی بالای این گونه‌ها تأثیر میکروکلیمایی بسیار خوبی در تعدیل جزیرهٔ گرمایی و تعدیل آلودگی کل شهر خواهد داشت. در عین اینکه با توجه به مشکلات آب شهر تهران، این گونه‌ها از نیاز آبی بسیار کمتری از گونه‌های علفی مانند چمن و غیره دارند.

منابع

ابراهیمی هروی، بهروز، رنگ‌زن، کاظم، ریاحی بختیاری، حمیدرضا و تقی‌زاده، ایو (۱۳۹۵). تعیین مناسب‌ترین روش استخراج دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ در کلان‌شهر کرج. *سنجش‌ازدور و GIS ایران*، ۸(۳)، ۵۹-۷۶.

اشرف، بتول، فریدحسینی، علیرضا و میان‌آبادی، آمنه (۱۳۹۱). بررسی جزیرهٔ حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریهٔ فرکتال. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱ (۱)، ۳۵-۴۸.

پوراحمد، احمد و کچویی، نیکزاد (۱۳۹۹). جایگاه طبیعت در پایداری شهر، مبتنی بر رویکرد برنامه‌ریزی و طراحی شهرهای بیوفیلیک با نگاهی به شهر طرقبه. *فصلنامهٔ علمی تخصصی معماری سبز*. ۶(۱)، ۱-۱۸.

جلالیان، سید اسحاق و تردست، ویسیان (۱۳۹۹). تبیین الگوی شهروند بیوفیلیک (مطالعهٔ موردی: مناطق ۹ و ۱۰ کلان‌شهر تهران). *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، ۵۲(۳)، ۹۹۳-۱۰۰۸.

خدائی، زهرا و دهنو، فریبا (۱۳۹۹). طراحی اکولوژیک فضاهای عمومی با تأکید بر پیوند شهر و طبیعت (نمونهٔ موردی: محلهٔ یوسف‌آباد تهران). *مطالعات مدیریت شهری*، ۱۲ (۴۳)، ۷۱-۸۶.

رنجبر سعادت‌آبادی، عباس، بیدختی، عباسعلی علی‌اکبری و حسینی، سید علیرضا صادقی. (۱۳۸۵). آثار جزیرهٔ گرمایی و شهرنشینی روی وضع هوا و اقلیم محلی در کلان‌شهر تهران. *محیط‌شناسی*، ۳۲(۳۹)، ۵۹-۶۸.

زند کریمی، آرش و پیرنظر، مجتبی (۱۳۹۴). *راهنمای کاربردی نرم‌افزار ENVI و پردازش تصاویر ماهواره‌ای*. تهران: ناقوس.

زیاری، کرامت‌الله، ضرغام، مسلم و خادمی، امیرحسین (۱۳۹۴). *برنامه‌ریزی شهری با رویکرد بیوفیلیک (شهر طبیعت‌محور)*. تهران: آراد.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی تهران (۱۳۹۷). *سالنامهٔ آماری استان تهران*.

علوی‌پناه، سید کاظم (۱۳۸۵). *سنجش‌ازدور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین*. تهران: دانشگاه تهران.

فاطمی، سید باقر و صدقی، فاطمه (۱۳۹۵). بررسی مقایسه‌ای اثر استفاده از مقادیر پیکسل، بازتابش و بازتابندگی در محاسبهٔ شاخص‌های گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT 8، *سنجش‌ازدور و GIS ایران*، ۸(۳)، ۹۱-۱۰۴.

قدمی، فردین، علیجانی، بهلول و دهانی، رضا (۱۳۹۴). بررسی نقش پارک‌ها و فضای سبز در آب‌وهوای شهر تهران. *آب‌وهواشناسی کاربردی*، ۲(۲)، ۱-۱۶.

کیخسروی، قاسم و لشکری، حسن (۱۳۹۳). تحلیل رابطهٔ بین ضخامت و ارتفاع وارونگی و شدت آلودگی هوا در شهر تهران. *نشریهٔ علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۸ (۴۹)، ۲۳۱-۲۵۷.

لشکری، حسن، کیخسروی، قاسم و کریمیان، ندا (۱۳۹۹). بررسی الگوهای همدیدی آلودگی‌های شدید هوا، در لایهٔ وردسپهر زیرین کلان‌شهر تهران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۹(۳)، ۱-۲۰.

لشکری، حسن و هدایت، پریسا (۱۳۸۶). تحلیل الگوی سینوپتیکی اینورژن‌های شدید شهر تهران. *پژوهش‌های جغرافیایی*. ۳۸(۱)، ۶۵-۸۲.

لطفی، صدیقه، جوکارسرهنگی، عیسی، عثمانپور، هیرش و عظیمی، سیوان (۱۳۹۲). تحلیل توزیع فضایی پارک‌های محله‌ای منطقهٔ ۳ تهران. *جغرافیا و توسعهٔ فضای شهری*. ۰(۱)، ۱۱۷-۱۰۰.

نجفیان گرجی، محمدرضا، مقیمی، ابراهیم و محمدی، حسین (۱۳۹۶). ارزیابی روند تغییرات دما، الگوی جزیرهٔ حرارتی و پوشش گیاهی ایام گرم شهر تهران. *جغرافیای طبیعی*، ۱۰(۳۸)، ۱-۱۸.

میرغلامی، مرتضی، مدقالچی، لیلا، شکیبامنش، امیر و قبادی، پریسا (۲۰۱۶). احیای رودخانه‌های شهری، براساس دو رویکرد طراحی شهری بیوفیلیک و حساس به آب. *مجلهٔ علمی منظر*، ۸(۳۶)، ۲۰-۲۷.

هاشمی، سید ابراهیم، کافی، محسن، هاشمی، سید محمود و خان‌سفید، مهدی (۱۳۸۸). تجزیه و تحلیل روند تغییرات فضای سبز شهری: مطالعهٔ موردی منطقهٔ ۲ تهران. *فصلنامهٔ علوم محیطی*، ۶(۳)، ۷۳-۸۶.

یوسفی، یدالله، کاردل، فاطمه، رورده، همت‌اله و محتسبی خلعتبری، مولود (۱۳۹۶). بررسی پدیدهٔ جزیرهٔ حرارتی و اثر آن بر تغییرپذیری روزبه‌روز دمای تابستان شهر بابل. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۹(۳)، ۴۹۱-۵۰۱.

Alexander, L. V., & Arblaster, J. M. (2009). Assessing trends in observed and modelled climate extremes over Australia in relation to future projections. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, *29*(3), 417-435.

Alavi Panah., S. K. (2006). *Thermal Remote Sensing and Its Application in Earth Sciences*. Tehran: University of Tehran Press. *(In Persian)*

Andrade, H., & Vieira, R. (2007). A Climatic Study of an Urban Green Space: The Gulbenkian Park in Lisbon (Portugal). *Finisterra*, *42*(84), 27-46.

Ashraf, B., Faridbhosseini, A., & Mianabadi, A. (2012). The Investigation of Mashhad's Heat Island Using Satellite Images and Applying Fractal Theory. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *1*(1), 35-48. *(In Persian)*

Atzberger, C. (2013). Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs. *Remote Sensing*, *5*(2), 949–981.

Beatley, T. (2009). Biophilic Urbanism: Inviting Nature Back to Our Communities and into Our Lives. *Wm. & Mary Envtl. L. & Pol'y Rev.*, *34*, 209.

Bernard, J., Rodler, A., Morille, B., & Zhang, X. (2018). How to Design a Park and Its Surrounding Urban Morphology to Optimize the Spreading of Cool Air? *Climate*, *6*(1), 10.

Bokaie, M., Zarkesh, M. K., Arasteh, P. D., & Hosseini, A. (2016). Assessment of Urban Heat Island Based on the Relationship between Land Surface Temperature and Land Use/Land Cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*, *23*, 94-104.

Comber, A., Brunsdon, C., & Green, E. (2008). Using a GIS-Based Network Analysis to Determine Urban Greenspace Accessibility for Different Ethnic and Religious Groups. *Landscape and Urban Planning*, *86*(1), 103-114.

Coutts, A. M., Beringer, J., & Tapper, N. J. (2007). Impact of Increasing Urban Density on Local Climate: Spatial and Temporal Variations in the Surface Energy Balance in Melbourne, Australia. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, *46*(4), 477-493.

Ebrahimi Heravi, B., Rangzan, K., Riahi Bakhtiari, H., Taghizadeh, A. (2016). Determining the Most Suitable Method for Extraction of Earth's Surface Temperature Using Landsat 8 Satellite Images in Karaj Metropolis. *Remote Sensing and GIS of Iran*, *8*(3), 59-76. *(In Persian)*

Fatemi, S. B, & Sedghi, F. (2016). Comparative Study of the Effect of Using Pixel Values, Reflection and Reflectance in the Calculation of Plant Indices from LANDSAT Satellite Images 8. *Remote Sensing and GIS Iran*, *8*(3), 91-104. *(In Persian)*

Ghadami, F., Alijani, B., & Dehani, R. (2015). An Examine on the Role of Parks and Green Spaces in the Quality of Whether in Tehran. *Journal of Applied Climatology*, *2*(2), 1-16. *(In Persian)*

Hashemi, S. E., KAFI, M., Hashemi, S. M., & Khansefid, M. (2009). Urban Green Space Change Process Analysis Case Study: Region Two of Tehran Municipality. *Environmental Sciences*, *6*(3), 73-86. *(In Persian)*
http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php.

Hung, S. H., & Chang, C. Y. (2021). Health Benefits of Evidence-Based Biophilic-Designed Environments: A Review. *Journal of People, Plants, and Environment*, *24*(1), 1-16.

Jalaliyan, E., Tardast, Z., & Waysian, M. (2020). Explaining the Biosafety Citizen Pattern (Case Study: 9th and 10th District of Tehran Metropolis). *Human Geography Research*, *52*(3), 993-1008. *(In Persian)*

Keykhosrowi, G., & Lashkari, H. (2014). Analysis of the Relationship between the Thickness and Height of the Inversion and the Severity of Air Pollution in Tehran. *Geography and Planning*, *18*(49), 231-257. *(In Persian)*

Khodaee, Z., & DEHNO, F. (2020). Ecological Assessment of Public Spaces with Emphasis on the Connection between the City and Nature (Case Study: Yousefabad Neighborhood of Tehran). *Urban Management Studies*, *12*(43), 71-86. *(In Persian)*

Lashkari, H., & Hedayat, P. (2006). Analysis of Synoptic Pattern of Severe Inversions in Tehran. *Geographical Research*, *56*, 65-82. *(In Persian)*

Lashkari, H., Keikhosravi, G., & Karimian, N. (2020). Investigating Patterns of Severe Air Pollution in the Lower Tropospheric Layer of Tehran Metropolish. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *9*(3), 1-20. *(In Persian)*

Lotfi, S., Jokar Sarhangi, I., Osmanpoor, H., & Azimi, S. (2013). Analyzing Spatial Distribution of Neighborhood Parks in Zone 3 of Tehran Mega-Police. *Geography and Urban Space Development*, *0*(1), 100-117. *(In Persian)*

Mirgholami, M., Medghalichi, L., Shakibamanesh, A., & Ghobadi, P. (2016). Developing Criteria for Urban River Restoration Based on Biophilic and Water Sensitive Approaches. *Manzar, the Scientific Journal of Landscape*, *8*(36), 20-27. *(In Persian)*

Mollazadeh, M., & Zhu, Y. (2021). Application of Virtual Environments for Biophilic Design: A Critical Review. *Buildings*, *11*(4), 148.

Mortberg, U., & Wallentinus, H. G. (2000). Red-Listed Forest Bird Species in an Urban Environment—Assessment of Green Space Corridors. *Landscape and Urban Planning*, *50*(4), 215-226.

Motazedian, A., Coutts, A. M., & Tapper, N. J. (2020). The Microclimatic Interaction of a Small Urban Park in Central Melbourne with Its Surrounding Urban Environment during Heat Events. *Urban Forestry & Urban Greening*, *52*, 126688.

Najafian Gorji, M. R., Moghimi, E., & Mohammadi, H. (2018). Evaluation of Temperature Change Trend, Thermal Island Pattern and Vegetation in Hot Days of Tehran. *Natural Geography*, *10*(38), 1-18. *(In Persian)*

Oke, T. R. (1982). The Energetic Basis of the Urban Heat Island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *108*(455), 1-24.

Oliveira, S., Andrade, H., & Vaz, T. (2011). The Cooling Effect of Green Spaces as a Contribution to the Mitigation of Urban Heat: A Case Study in Lisbon. *Building and Environment*, *46*(11), 2186-2194.

Paramita, B., & Suparta, W. (2019). Alteration of Urban Microclimate in Bandung, Indonesia Based on Urban Morphology. *Geographia Technica*, *14*, 213-220.

Ranjbar Saadatabadi, A., Beidakhti, A. A., Ali Akbari, H., & Sadeghi, S. A. (2006). The Effects of Heat Island and Urbanization on the Weather and Local Climate in the Metropolis of Tehran. *Journal of Environmental Studies*, *32*(39), 68-59. *(In Persian)*

Rogers, C. D., Gallant, A. J., & Tapper, N. J. (2019). Is the Urban Heat Island Exacerbated during Heatwaves in Southern Australian Cities. *Theoretical and Applied Climatology*, *137*(1), 441-457.

Santamouris, M., Ban-Weiss, G., Osmond, P., Paolini, R., Synnefa, A., Cartalis, C., ... & Kolokotsa, D. (2018). Progress in Urban Greenery Mitigation Science–Assessment Methodologies Advanced Technologies and Impact on Cities. *Journal of Civil Engineering and Management*, *24*(8), 638-671.

Sarvar, R., Hesari, A. E. R., Mousavi, M. N., & Orooji, H. (2011). Optimum Location of Neighbourhood Parks in Bonab City Using Analytic Network Process (ANP). *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, *2*(6), 226-234.

Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E. (2000). Vegetation as a Climatic Component in the Design of an Urban Street: An Empirical Model for Predicting the Cooling Effect of Urban Green Areas with Trees. *Energy and Buildings*, *31*(3), 221-235.

Spronken-Smith, R. A., & Oke, T. R. (1998). The Thermal Regime of Urban Parks in Two Cities with Different Summer Climates. International Journal of Remote Sensing, *19*(11), 2085-2104.

Steiner, F. R., & Steiner, F. (2002). *Human Ecology: Following Nature's Lead*. Island Press.

Tardast, Z., Rajabi, A., & Meshkini, A. (2020). Feasibility Pattern of Indigenous Indicators of the Biophilic City Case Study: 9th and 10th District of Tehran Metropolitan. *Sustainable City*, *3*(1), 123-146.

Thaiutsa, B., Puangchit, L., Kjelgren, R., & Arunpraparut, W. (2008). Urban Green Space, Street Tree and Heritage Large Tree Assessment in Bangkok, Thailand. *Urban Forestry & Urban Greening*, *7*(3), 219-229.

Tehran Management and Planning Organization, Statistical Yearbook of Tehran Province (2018). *(In Persian)*

Wilson, E. O. (1984). *Biophilia*. Cambridge, MA, US: Harvard University Press.

Xian, G., & Crane, M. (2006). An Analysis of Urban Thermal Characteristics and Associated Land Cover in Tampa Bay and Las Vegas Using Landsat Satellite Data. *Remote Sensing of Environment*, *104*(2), 147-156.

Yousefi, Y., Kardel, F., Roradeh, H., & Mohtasebi Khalatbari, M. (2017). The Effects of Urbanization and Heat Island over Summer Temperature Variations in Babol. *Physical Geography Research Quarterly*, *49*(3), 491-501. *(In Persian)*

Zand Karimi, P. N., Arash, M. (2015). Guide to ENVI Software and Satellite Image Processing, Tehran: Naghous. *(In Persian)*

Ziari, K., Pourahmad, A., Fotouhi Mehrabani, B., & Hosseini, A. (2018). Environmental Sustainability in Cities by Biophilic City Approach: A Case Study of Tehran. *International Journal of Urban Sciences*, *22*(4), 486-516.

Ziari, K., Zargham, M., Khademi, A. H. (2015). *Urban Planning with Biophilic Approach (Nature-Oriented City)*. Tehran: Arad Publications. *(In Persian)*