محیط‌شناسی، دورهٔ ۴۲، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۵، صفحهٔ ۴۵۳-۴۴۱

اثر خنک‌کنندگی فضاهای سبز شهری (مطالعهٔ موردی: شهر مونیخ)

سیدصدرالدین علوی‌پناه[۱]، سلمان قریشی[۲]، علی‌اکبر شمسی‌پور[۳]*

۱ دانشجوی دکتری رشتهٔ تغییرات جهانی اقلیم و محیط‌زیست، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه هومبولت، برلین، آلمان

۲. فوق دکتری محیط‌زیست شهری، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه هومبولت، برلین، آلمان و فوق دکتری، دانشکدهٔ معماری، دانشگاه برمینگهام سیتی، برمینگهام، انگلستان

۳. دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹٤/۹/۱۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۲/۲۷

چکیده

انسان قرن‌هاست که منابع طبیعی را در راستای منافع خود مدیریت می‌کنند. شهرسازی شدیدترین حالت مدیریت فعالانهٔ تغییر پوشش و کاربری زمین محسوب می‌شود. جایگزینی پوشش‌های طبیعی با ساختارهای انسان‌ساخت پدیدهٔ جزایر گرمایی شهری (UHI) را ایجاد می‌کند که سبب شکل‌گیری اقلیم خرد شهری و افزایش دما در مناطق شهری نسبت به حومهٔ طبیعی و روستاها می‌شود. جزایر گرمایی شهری در صورتی که در اثر گرمایش جهانی تشدید شوند، نه تنها در سلامت انسان‌ها اثر مخرب می‌گذارند، بلکه در میزان درخواست مصرف انرژی -برای تعدیل دما- نیز اثرگذارند. پوشش‌های گیاهی اضافه بر نقش تنظیم‌کنندگی دمای اقلیم محلی، شرایط زندگی شهروندی و اجتماعی را نیز مساعدتر می‌کنند. هدف پژوهش بررسی اثر خنک‌کنندگی پوشش گیاهی در پهنهٔ شهری از نقشهٔ دمای سطحی (LST) و پوشش و کاربری زمین (LULC)[۱] است. برای تحلیل ارتباط میان پراکنش تمامی متغیرها از رگرسیون چندکی (KQR) استفاده شد. یافته‌های پژوهش نشان داد: ۱) دمای سطحی در مراکز متراکم‌تر شهری بیشتر از حاشیهٔ شهرهاست؛ ۲) دمای سطحی همبستگی مثبتی با کاربری‌های فیزیکی و ارتباطی منفی با پوشش‌های سبز شهری دارد؛ ۳) ارتباطی غیرخطی میان دمای سطحی و میزان گستردگی کاربری زمین وجود دارد.

کلیدواژه

اکولوژیکی شهری، پوشش سبز شهری، تغییرات جهانی اقلیم، جزایر حرارتی شهری، دمای سطحی.

۱. سرآغاز

انسان قرن‌هاست که طبیعت و منابع را در راستای منافع خود فعالانه مدیریت کرده و تغییر داده است. این روند پس از انقلاب صنعتی -بین سال‌های ۱۸۲۰ و ۱۸۴۰ میلادی- به طور فزاینده‌ای شتاب یافته است (Gartland, 2008). پس از انقلاب صنعتی افزایش بهداشت و ارتقای کیفیت سطح زندگی، جمعیت گونهٔ بشر به طور چشمگیری افزایش یافت. همچنین، افزایش نیاز نیروی کار که به دنبال تغییر جهت اقتصاد از محوریت کشاورزی به صنعت، فن‌آوری و خدمات شد، به سرازیرشدن سیل جمعیت انسان‌ها به سمت شهرها منجر شد. روند افزایش جمعیت به گونه‌ای است که در یکصد سال پیش که از هر ده نفر در حدود دو نفر شهرنشین بودند، امروز به نیمی از جمعیت رسیده است و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۵۰ میلادی از هر ده نفر هفت نفر در محدوده‌های شهری زندگی کنند (گزارش سازمان ملل، ۲۰۱۵). با افزایش جمعیت شهری، شهرها گسترش یافتند (به طور افقی و

* نویسنده مسئول: Email: Shamsipr@ut.ac.ir

عمودی) و شهرسازی مفهوم پیدا کرد، اما از طرفی با گسترش شهرها و نیازهای شهروندانش، کاربری زمین‌ها و پوشش‌های طبیعی، به خصوص روستاها و حومهٔ شهرها، جای خود را به فضاهای انسان‌ساخت (مانند ساختمان‌ها و جاده‌ها) دادند. این گونه جایگزینی‌ها به افزایش دما در مناطق شهری نسبت به حومهٔ شهرها منجر شد که به پدیدهٔ جزیرهٔ گرمایی شهری (UHI) معروف است (Oke, 1982). به طور عمده ناتراوابودن ساختارهای انسان‌ساخت به آب (نبود پدیدهٔ تبخیر و تعرق) و افزایش سطوح تیره نسبت به پوشش‌های طبیعی به‌ویژه گیاهان، سبب جذب دما در این گونه ساختارها می‌شود (Gartland, 2008). به همین دلیل اغلب دمای مراکز شهرها، به استثنای شهرهای واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیشتر از حومهٔ آن‌هاست (Schwartz, et al., 2012). همچنین، طبق پژوهش‌ها اختلاف دمای شهر و حومه یا به عبارتی شدت جزیرهٔ گرمایی در دماهای کمینه نمود بارزتری دارد (عزیزی، ۱۳۸۴)، بنابراین بیشینهٔ شدت جزیرهٔ گرمایی معمولاً در ساعات شبانه و کمینهٔ آن در ساعات روزانه رخ می‌دهد.

وجود جزیرهٔ گرمایی، اضافه بر تغییرات دمایی سبب تغییراتی در بارش محدودهٔ شهری (غضنفری‌مقدم و همکاران، ۱۳۸۹)، گل‌دهی زودتر گیاهان شهری و طولانی‌ترشدن فصل شد (کاویانی، ۱۳۸۷). تغییر در الگوهای دمایی شهرها و پیرامون آن‌ها (علوی‌پناه، ۱۳۸۶) سبب انتقال آلودگی هوا و ذرات معلق سمی از شهرها به حومه‌ها و برهم‌زدن آسایش افراد درون شهر (Frumkin, 2002) می‌شود. به همین دلیل جزایر گرمایی در حال حاضر به طور مستقیم (Harlan, et al., 2006; Lafortezza, et al., 2009) و غیرمستقیم (Stafoggia, et al., 2008) از عوامل ایجاد نگرانی در خصوص سلامت افراد به شمار می‌روند (Yamamato, 2006). پدیدهٔ جزایر گرمای شهری همچنین سبب افزایش مصرف انرژی و آب می‌شود، به دنبال افزایش مصرف انرژی (تولید الکتریسیته) برای سرمایش، تأسیسات و اماکن در محدوده‌های جزایر حرارتی (Kikegawa, et al., 2003)، میزان تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای چون دی اکسید کربن نیز افزایش می‌یابد. شایان یادآوری است افزایش میزان جوی گازهای گلخانه‌ای همراه تغییر کاربری و پوشش زمین دو عامل و محرک اصلی تغییرات اقلیمی برآورد می‌شوند (IPCC)[۲]. تغییرات اقلیم جهانی احتمال رخداد دوره‌های آب و هوایی سخت طولانی را در سال‌ها و دهه‌های آینده در نقاط مختلف جهان محتمل‌تر کرده است (IPCC) و روی زندگی اجتماعی، کیفیت زندگی و سلامت شهروندان اثر مخرب خواهد گذاشت.

پژوهشگران با روش‌های مختلفی همانند داده‌های ایستگاهی این پدیده را مطالعه کرده‌اند (رنجبر سعادت‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۵؛ رمضانی و دخت‌محمد، ۱۳۸۹؛ موسوی‌بیگی و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین، برخی با به کارگیری مدل‌های میان‌مقیاس جوی نظیر MM5 (رنجبر سعادت‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۴) یا TAPM (شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱ الف؛ شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱ ب) این پدیده را مطالعه کرده‌اند. همچنین، پژوهشگران متعددی با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای مانند TM، +ETM (معروف‌نژاد، ۱۳۹۰؛ رنگزن و همکاران، ۱۳۹۰؛ امیری و همکاران، ۱۳۸۶؛ ملک‌پور و طالعی، ۱۳۸۹؛ شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸؛ عبداللهی و همکاران، ۱۳۸۷) و ASTER (ملک‌پور و طالعی،۱۳۹۰؛ آخوندزاده و سراجیان، ۱۳۸۶) این پدیده را آشکارسازی کرده‌اند.

بنابراین، استفاده از پوشش‌های سبز شهری می‌تواند نقش شایانی در تعدیل اثر جزایر گرمایی شهری ایفا کند. پوشش‌های گیاهی با ایجاد سایه و محدودکردن میزان نفوذ تشعشعات خورشیدی و پدیدهٔ تبخیر و تعرق به ترتیب موجب کاهش دمای سطح و هوا می‌شوند. مطالعات و مشاهدات پیشین نیز حکایت از دمای پایین‌تر مناطق دارای پوشش‌های گیاهی دارند. از این‌رو با پذیرش یافته‌های پیشین می‌توان از پوشش‌های سبز برای سازگاری شهرها

با پدیدهٔ تغییر اقلیم محلی و جهانی بهره گرفت. پوشش‌های سبز شهری اضافه بر نقش تنظیم‌کنندگی دمای اقلیم محلی، شرایط زندگی شهری، شهروندی و اجتماعی را نیز مساعدتر می‌کنند. در راستای مطالعات اکولوژی شهری با توجه به آثار گستردهٔ افزایش دما و تأثیرات مختلف محیطی ضرورت استفاده از داده‌های سنجش از دوری به‌منزلهٔ ابزاری بسیار مفید و کاربردی تلقی می‌شود که در شرایط گوناگون مکانی، زمانی و طیفی مفید است. در بسیاری موارد داده‌های سنجش از دور افزون بر ارائهٔ جزئیات پوشش و کاربری زمین (LULC)، قابلیت محاسبهٔ دمای سطحی را نیز دارند. با توجه به ارتباط نزدیک بین دمای سطحی و دمای هوا (Cristóbal, et al., 2008) از سنجنده‌های متفاوت برای مدل‌سازی جزایر گرمایی شهری استفاده می‌شود. داده‌های سنجش از دوری همچنین پتانسیل بالایی در ارائهٔ الگوهای مکانی و تغییرات الگوی دمایی شهری دارند که می‌توان با کمک سنجنده‌های متفاوت برای مدل‌سازی جزایر گرمای شهری استفاده کرد (Weng, 2009). برای مثال، زانگ و همکاران (۲۰۱۰) با به کارگیری داده‌های سنجندهٔ لندست، ارتباط میان پوشش‌های سبز شهری و جزایر گرمای شهری در پکن چین را بررسی کردند. در پژوهش ارتباطی قوی میان وسعت پوشش‌های سبز شهری و میزان دمای محیط گزارش شده است (Zhang, et al., 2010). زانگ و همکاران (۲۰۱۰) نیز با استفاده از داده‌های سنجندهٔ مودیس، اختلاف دمای سطحی بین مرکز و حومهٔ ۴۱۹ شهر بزرگ را گزارش دادند. این مطالعه همچنین دمای سطح شهر را طی روز و شب بررسی کرده است (Zhang, et al., 2010).

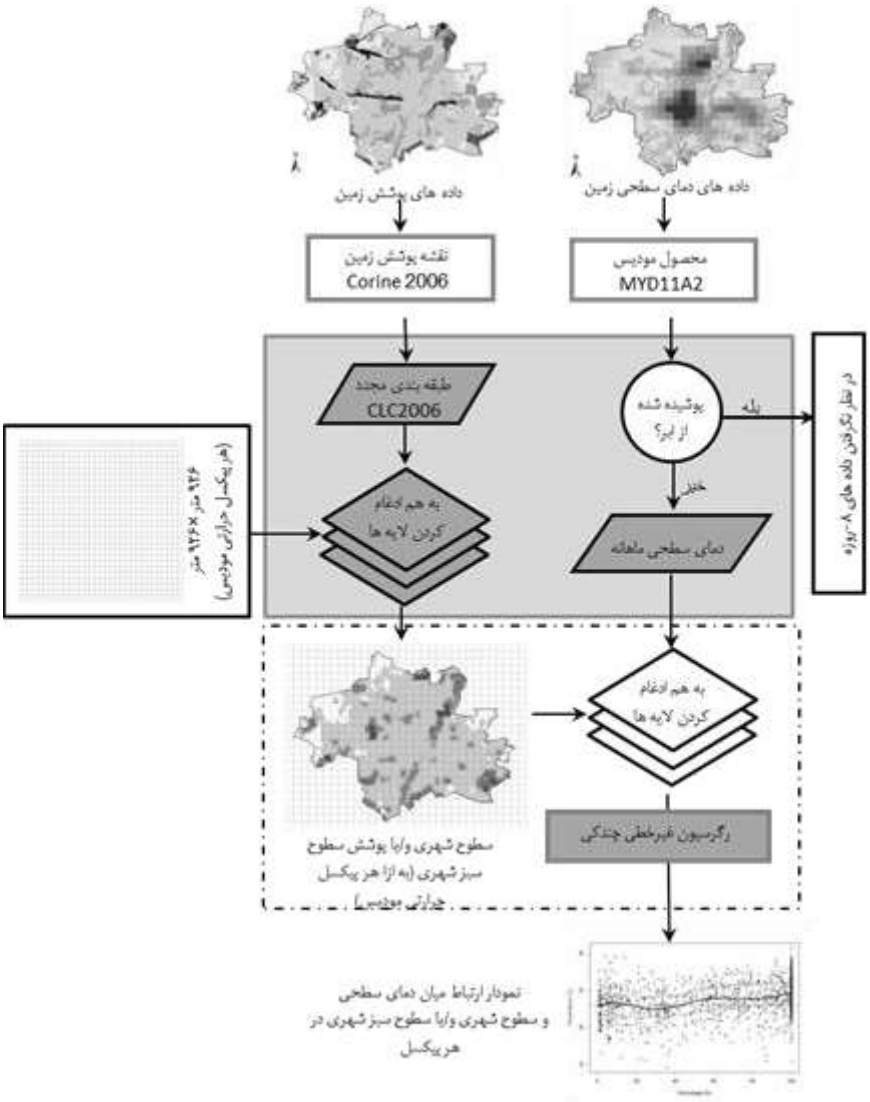
مطالعات حاضر ضرورت پژوهش بر نقش خنک‌کنندگی بیشینهٔ پوشش‌های گیاهی در یک محدوده را نشان می‌دهد. این گونه مطالعات می‌تواند افقی جدید و بهتر برای طراحان شهری، مباحث مدیریت بحران و سازش‌پذیری شهرها با پدیدهٔ تغییر اقلیم باشد. هدف از این پژوهش، بررسی میزان اثر خنک‌کنندگی پوشش‌های سبز شهری در فصول گرم بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ در شهر مونیخ (آلمان) بوده است. مطالعهٔ مذکور دو پرسش را مطرح می‌کند که آیا با افزایش میزان پوشش‌های گیاهی در یک محدودهٔ شهری میزان اثر خنک‌کنندگی به همان میزان افزایش می‌یابد؟ آیا با افزایش دمای محیط شهری در سال‌های متوالی، پوشش‌های گیاهی قادر به حفظ اثر خنک‌کنندگی خود هستند؟

۲. مواد و روش‌ها

برای مطالعهٔ بیشینهٔ اثر خنک‌کنندگی پوشش‌های سبز شهری در یک محدوده، داده‌های سنجندهٔ مودیس با داده‌های پوشش زمینی منطقهٔ مورد مطالعه ادغام و از نوعی رگرسیون غیرخطی بهره گرفته شد. شکل ۱ روند کلی مسیر پژوهش را نمایش می‌دهد.

۱.۲. منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعهٔ مونیخ، در جنوب‌شرقی آلمان واقع است (شکل ۲ الف). مونیخ با مساحتی حدود ۳۱۰/۴۳ کیلومتر مربع و جمعیت ۱/۳۷ میلیونی در سال ۲۰۱۱ (سازمان آمار اِیالت بایرن) مرکز و بزرگ‌ترین شهر ایالت بایرن (باواریا)[3] محسوب می‌شود. آب و هوای این شهر به دلیل همجواری با رشته‌کوه‌های آلپ دارای تابستان‌های گرم، اما بدون فصل خشک است و بارش سالیانهٔ آن حدود ۹۶۷ میلی‌متر است. دامنهٔ دمایی شهر از میانگین کمینهٔ دمای سالانهٔ ۴- (در ژانویه) تا ۲۴ درجهٔ سانتی‌گراد (در جولای) متغیر است. توزیع یکنواخت فضای سبز شهری در سطح منطقهٔ مورد مطالعه (با میزان سرانهٔ ۳۳/۸ متر مربع) و بکربودن و تغییرات در فضای سبز شهری و کاربری زمین از جمله عوامل مهم و مناسب این شهر با هدف پژوهش و بررسی اثر خنک‌کنندگی پوشش‌های گیاهی شهری است.

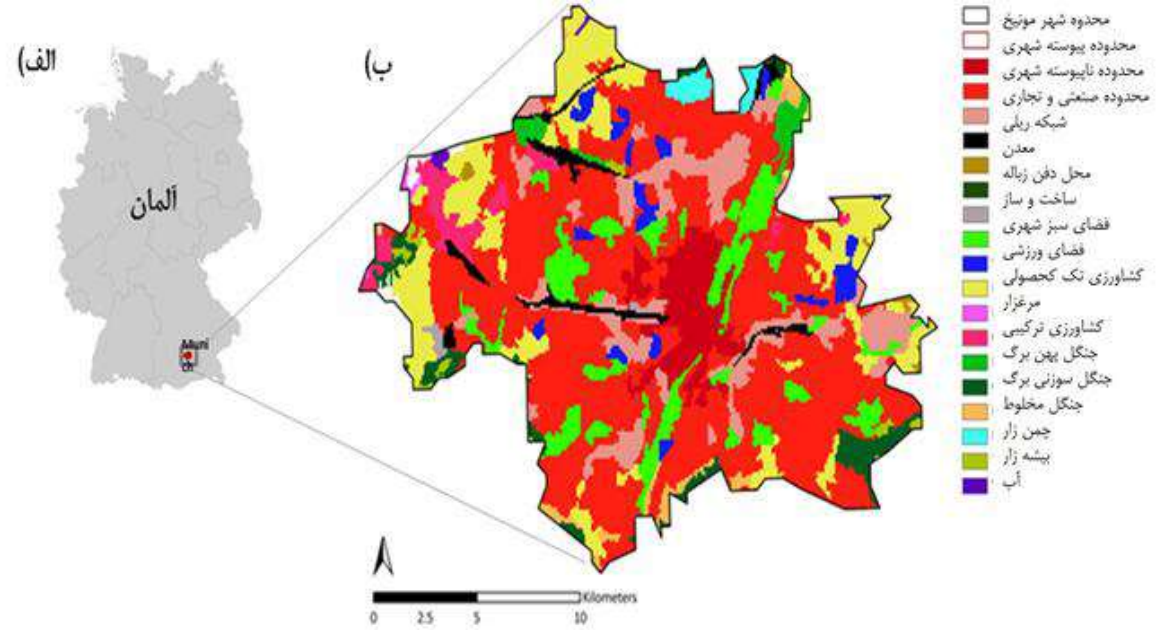


شکل ۱. نمودار روند کلی این مطالعه

۲،۲. داده‌های دمای سطحی زمین

داده‌های سنجش از دوری این پژوهش از نسخهٔ پنجم سنجندهٔ مودیس[۴] تهیه شده‌اند. سنجندهٔ مودیس دارای ۳۶ باند دریافتی از طول موج‌های ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر است. توان تفکیک طیفی این سنجنده، امکان ترکیب باندهای مختلف و ایجاد تصاویر مرکب رنگی مناسب برای تشخیص عوارض را می‌دهد. همچنین، دارابودن باندهای حرارتی متعدد آن را نسبت به سایر سنجنده‌ها در موقعیت ممتازی قرار می‌دهد (علوی‌پناه، ۱۳۸۷). برای انجام این مطالعه از داده‌های ماهوارهٔ آکوا و محصول MYD11A2 استفاده شده است که تصویربرداری خود را از ۱:۳۰ تا ۱۳:۳۰ انجام می‌دهد. این محصول دارای قدرت تفکیک مکانی تقریباً یک کیلومتر (۹۲۶/۶ متر) و دورهٔ تناوب زمانی هشت روزه است. برای مطالعهٔ اثر خنک‌کنندگی پوشش‌های گیاهی روی جزایر گرمایی مونیخ، داده‌های دمای سطحی ماه‌های گرم سال که شامل ماه‌های ژوئن، ژوئیه و آگوست می‌شوند، جمع‌آوری شده است. این جمع‌آوری برای تصاویر روزانه طی سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ انجام شده است. با توجه به اینکه برخی روزهای متوالی در محدودهٔ مورد مطالعه به طور کامل از ابر پوشیده بود به

ناچار تصاویر هشت-روزه‌ای که محتوی هیچ‌گونه ارزش عددی نبودند از مجموعهٔ داده‌ها حذف شدند. سپس، این تصاویر با نقشهٔ همگن کاربری زمین ادغام شدند تا میزان حضور پوشش‌های گیاهی در هر پیکسل با اثر خنک‌کنندگی آن‌ها بررسی شود. برای دست‌یابی به این مهم از رگرسیون چندکی استفاده شده است.



شکل ۲. نقشهٔ پوشش زمینی و پراکنش آن‌ها در محدودهٔ مورد مطالعه: الف) محدودهٔ مورد مطالعه به رنگ قرمز مشخص شده است؛ ب) نقشهٔ کاربری زمینی با ۲۱ گروه

۳.۲. روش‌های آماری

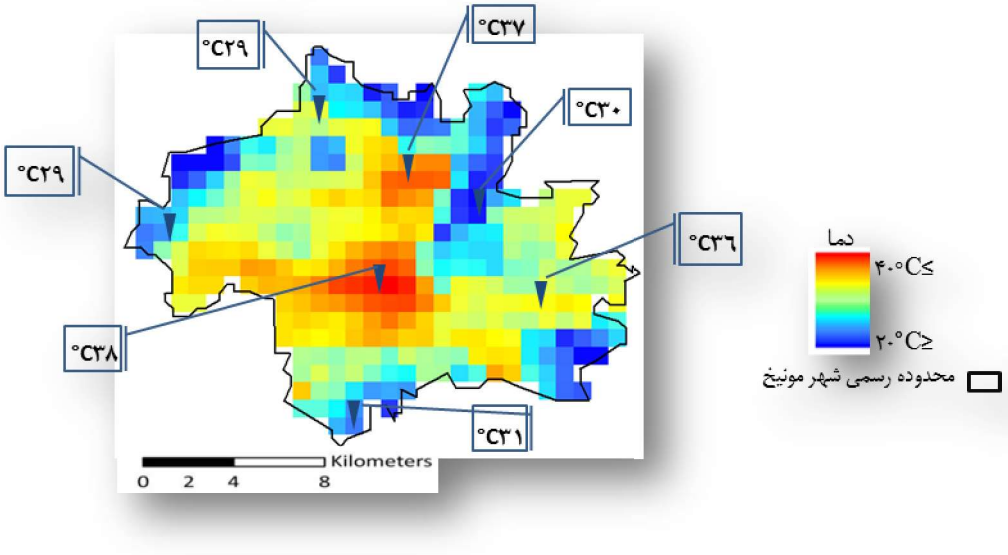
برای ارزیابی ارتباط میان دمای سطحی با میزان گستردگی کاربری زمین در هر پیکسل (پیکسل) از نوعی الگوریتم رگرسیونی غیرخطی به نام رگرسیون چندکی (KQR)[5] استفاده شده است. KQR نوعی از رگرسیون غیرپارامتری است که برای تخمین ارتباط اساسی میان پراکنش تمامی متغیرها از آن استفاده می‌شود. KQR از میانه و دیگر چندک‌ها برای تخمین متغیرها استفاده می‌کند. با بهره‌گیری از KQR ماتریس حاصل از ادغام داده‌های دمای سطحی و نقشهٔ همگن کاربری زمین محاسبه و ارتباط آن‌ها به تصویر کشیده شد. با توجه به تعداد زیاد داده‌های هشت روزه که طی ۱۱ سال متوالی (۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲) جمع‌آوری شدند، روش یادشده برای پیچیدگی و حجم زیاد داده‌ها به ساده‌ترین روش مناسب است. KQR برای چندک‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصدی تصاویر مودیس محاسبه شد. محاسبات آماری این مطالعه با نرم‌افزار R نسخهٔ ۲,۱۴,۰ و Rstudio نسخه ۰,۹۷,۳۰۹ همراه با بسته Quantreg نسخهٔ ۴,۹۸ و Kernlab نسخهٔ ۰,۹-۱۸ استفاده شده است. برای تولید و ایجاد نقشه‌های GIS از نرم‌افزار ESRI ArcGIS استفاده شد.

۳. نتایج

۱.۳. دمای سطحی منطقهٔ مورد مطالعه

نتایج از واکاوی توالی زمانی داده‌ها در محدودهٔ شهر مونیخ اختلاف دمای سطحی چشمگیر میان سطوح شهری (انسان ساخت) نسبت به فضای سبز شهری (پوشش‌های گیاهی) را نشان می‌دهد. این اختلاف دمایی را می‌توان به دلیل نوع و جنس مصالح به‌کاررفته در ساختارهای شهری، ظرفیت گرمایی بالا و ناترواییی نسبت به آب در این گونه ساختارها

نسبت داد. شکل ۳ میانگین دمای سطحی ماه‌های گرم بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ را در مونیخ نشان می‌دهد. در این شکل دمای مناطق گرم‌تر به رنگ قرمز و دمای خنک‌تر سبز رنگ به نمایش درآمده است.



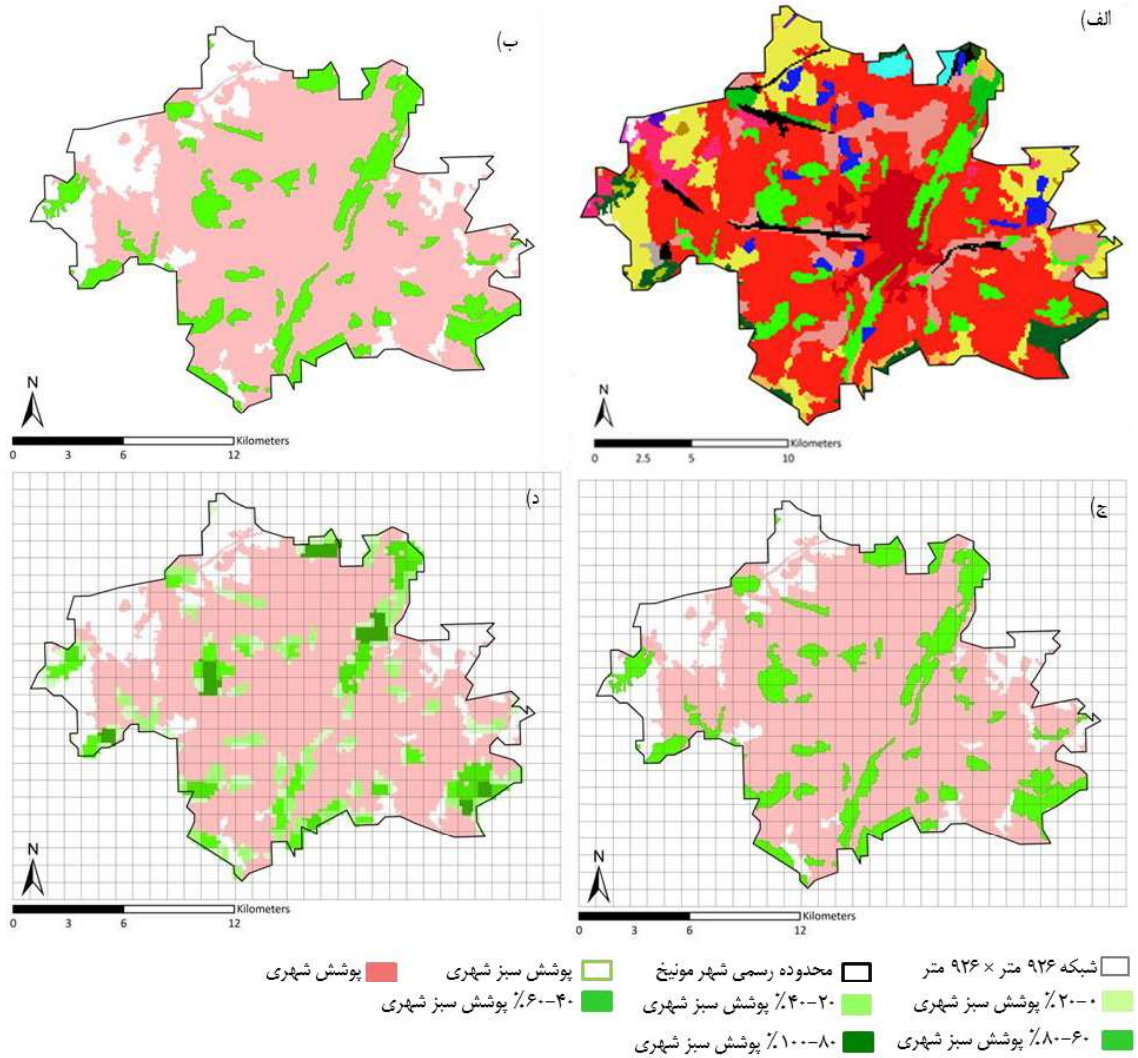
شکل ۳. نقشهٔ میانگین دمای سطحی روزانهٔ (LST) ماه‌های گرم در مونیخ. این نقشه میانگین دما را بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ برای ماه‌های گرم (ژوئن، ژوئیه و آگوست) نشان می‌دهد. این نقشه ترکیب رنگی کاذب را نشان می‌دهد.

۲.۳. پراکنش و تراکم پوشش سبز شهری در هر پیکسل

برای بررسی ارتباط دمای سطحی با کاربری زمین از داده‌های کاربری زمین منطقهٔ مورد مطالعه به نام کورین (CLC)[۶] استفاده شد. به دلیل جزئی‌بودن طبقه‌بندی داده‌های کورین، آن‌ها دوباره در دو گروه همگن طبقه‌بندی شدند (جدول ۱) (شکل ۴ الف و ب). پوشش‌های شهری شامل سطوح فیزیکی انسان‌ساخت و مصنوعی چون بافت شهری، صنعتی، تجاری و غیره و پوشش‌های سبز شهری پوشش‌های شهری شامل فضاهای سبز شهری چون پارک‌ها می‌شوند. نقشهٔ به‌دست‌آمده با شبکهٔ پیکسلی تقریباً یک کیلومتر مربعی (۹۲۶/۶ در ۹۲۶/۶ متر) ادغام شد (شکل ۴ ب) تا ماتریس به‌دست‌آمده میزان گستردگی کاربری زمین (سطوح شهری یا پوشش سبز شهری) را در هر پیکسل نشان دهد.

جدول ۱. همگن‌سازی کاربری زمین در مونیخ (آلمان)، براساس پوشش زمین (CLC2006)

طبقه‌بندی مجدد	طبقه‌بندی پوشش‌های زمین	
	مرحلهٔ ۱	مرحلهٔ ۲
پوشش‌های شهری	سطوح انسان‌ساخت و مصنوعی	۱۱. بافت شهری ۱۲. بافت صنعتی، تجاری و حمل و نقل ۱۳. معدن، محل دفن زباله و محوطه‌های در حال و ساخت
پوشش سبز شهری	۱. سطوح انسان‌ساخت	۱۴. انسان‌ساخت، غیرکشاورزی، پوشش گیاهی
	۳. جنگل و پوشش‌های نیمه‌طبیعی	۳۱. جنگل ۳۲. درختچه‌ها و گیاهان یک‌ساله



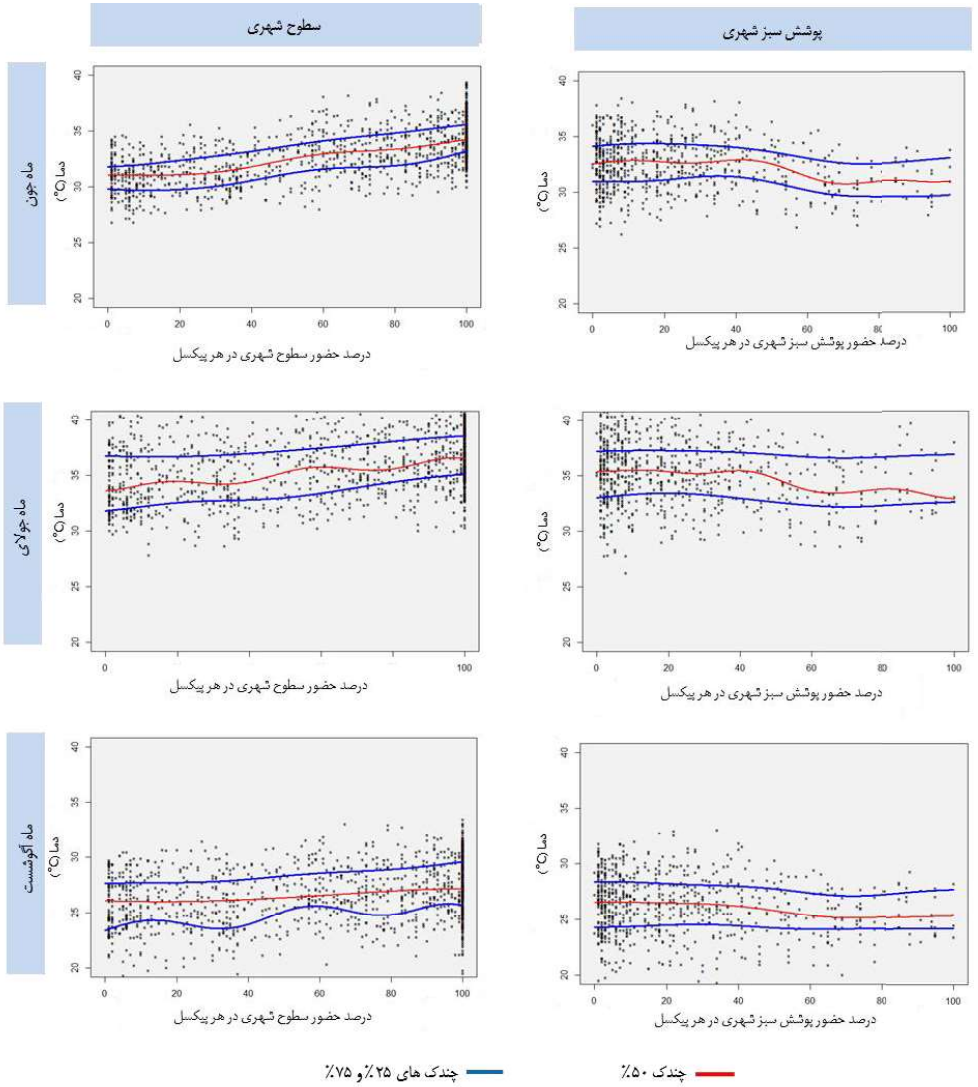
شکل ۴. الف) نقشهٔ کاربری کورین منطقهٔ مورد مطالعه؛ ب) نقشهٔ طبقه‌بندی مجددشده و همگن از محدودهٔ مورد مطالعه؛ ج) ماتریسی از میزان حضور کاربری زمین (پوشش شهری و پوشش سبز شهری) در هر پیکسل از سنجندهٔ مودیس؛ د) نقشهٔ درصد حضور پوشش سبز شهری در هر پیکسل.

پس از اندازه‌گیری سطح اشغال‌شده از پوشش زمین در هر پیکسل از طریق نرم‌افزار ArcGIS، این میزان بر مساحت هر پیکسل (۰/۸۵ کیلومتر مربع) تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب شد تا آنچه در نهایت به دست می‌آید درصد حضور هر گروه (کاربری زمین) در هر پیکسل باشد (شکل ۴ د). شکل ۴ به‌خوبی روند این نتیجه را نمایش می‌دهد. در انتها ماتریس پوشش زمین به داده‌های دمای سطحی افزوده شد تا از این طریق بتوان ارتباط میان دمای سطحی با میزان حضور پوشش گیاهی یا سطوح شهری در هر پیکسل را بررسی کرد.

۳.۳. ارتباط دمای سطحی با میزان گستردگی کاربری زمین در هر پیکسل

در این پژوهش برای درک بهتر تغییرات دمایی از QR استفاده شد. این روش امکان بررسی پراکنش تغییرات دمایی هر یک از پوشش‌ها را با استفاده از چندک‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد فراهم کرد. شکل ۵، نتیجه را به صورت نمودارهایی جداگانه برای هر یک از پوشش‌های سطوح شهری و پوشش سبز شهری به تصویر کشیده است. به ازای هر ماه گرم از سال (ژوئن، ژوئیه و آگوست) طی ۱۱ سال (۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲) دو نمودار ترسیم شده که یکی دمای

پوشش سطوح شهری و دیگری دمای پوشش سبز شهری است. بنابراین، با توجه به تعداد زیاد نمودارها (۶۴ نمونه) برای سهولت در نمایش تنها یکی از سال‌ها ارائه شده است. نمودارها روندی صعودی و مثبت را برای تمامی چندک‌های دمای سطوح شهری و روندی نزولی و منفی را برای تمامی چندک‌های دمای پوشش‌های سبز شهری تصویر کرده‌اند. به عبارت دیگر، با افزایش میزان گستردگی سطوح شهری در هر پیکسل دما نیز افزایش می‌یابد، این در حالی است که با افزایش میزان گستردگی پوشش سبز شهری در هر پیکسل دما کاهش می‌یابد. این روند در ۵۹ نمودار از ۶۴ نمودار مشاهده می‌شود.



شکل ۵. رابطهٔ بین دمای سطحی با میزان گستردگی کاربری زمین (سطوح شهری یا پوشش گیاهی) در هر پیکسل را نشان می‌دهد. نمودار مربوط به دمای سطحی ماه‌های گرم سال ۲۰۰۶ است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به شرح زیر است:

۱) انجام تحلیل‌های زمانی روی محدودهٔ مورد مطالعه در یک دورهٔ ۱۱ ساله (۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲) برای فصل‌های گرم، گویای دمای سطحی بالاتر در مراکز فشرده‌تر شهری نسبت به حاشیهٔ شهرها و محدوده‌هایی است که با گیاهان

پوشیده شده‌اند. از جمله عوامل شکل‌دهندهٔ الگوی حرارتی شهر می‌توان موارد زیر را برشمرد: تیرگی سطوح انسان‌ساخت که به جذب بیشتر انرژی خورشیدی منجر می‌شود، مصرف بیشتر انرژی در محدودهٔ شهری که هم آزادسازی انرژی گرمایی را به دنبال دارد و هم گازهای آلاینده ایجاد می‌کند که اثر گلخانه‌ایی به دنبال دارد. در همین ارتباط شوارتز و همکاران (۲۰۱۲) گزارش می‌دهند که ظرفیت گرمایی پایین ساختارهای شهری و عدم تراوایی آن‌ها به آب از عوامل شکل‌دهندهٔ الگوی حرارتی شهر به شمار می‌آیند.

۲) نتایج شکل ۵ به‌خوبی ارتباط مثبت و افزایشی میان دمای سطحی و میزان حضور سطوح شهری در هر پیکسل را نشان می‌دهد؛ این در حالی است که با افزایش میزان پوشش‌های گیاهی در یک پیکسل دمای سطحی کاهش می‌یابد و روندی کاهشی را طی می‌کند. تخمین اسمیت و همکاران (۲۰۰۸) از داده‌های ماهواره‌ای نیز بیانگر رابطهٔ منفی قوی میان دمای سطحی با پوشش گیاهی و NDVI است (Smith, et al., 2008). ونگ و همکاران (۲۰۰۷) نیز با اشاره به این مطلب که میزان گستردگی پوشش گیاهی مؤثرترین عامل کنترل دمای سطحی است، این امر را به دلیل تبدیل تشعشعات خورشیدی از طریق گیاهان به دمای محسوس و دمای نهفته می‌دانند (Weng, et al., 2007).

۳) روش آماری به‌کاررفته در این مطالعه (QR) ارتباطی غیرخطی میان دمای سطحی و میزان گستردگی کاربری زمین، به‌ویژه برای پوشش‌های گیاهی را تصویر می‌کند. پوشش‌های گیاهی با چندین مکانیسم موجب خنکی محیط پیرامونی خود می‌شوند و اثر منفی دمایی جزایر حرارتی را کاهش می‌دهند؛ یکی با ایجاد سایه و دیگری با تبخیر و تعرق است. سایه موجب کاهش نفوذ تشعشعات خورشیدی به محیط پیرامونی و کاهش میزان جذب و ذخیره‌سازی انرژی از طریق سطح می‌شود. پوشش‌های گیاهی در کنار ساختمان‌ها موجب کاهش دریافت انرژی از طریق پنجره‌ها و دیوارها و سبب کاهش اثر گلخانه‌ای داخل منازل می‌شوند. طبق پژوهش‌های دویک و هاچینگز (۲۰۱۳) با کاهش اثر گلخانه‌ای داخل منازل میزان درخواست انرژی مصرفی سیستم‌های خنک‌کننده نیز کمتر می‌شود (Doick & Hutchings, 2013). طی پدیدهٔ تبخیر و تعرق انرژی حرارتی محیطی با صرف انرژی گرمایی محیط ملکول‌های آب داخل برگ به بخار آب تبدیل و در نتیجه موجب کاهش دمای هوای پیرامونی گیاه می‌شوند (Oke, 1987). مطالعات هوانگ و همکارانش (۱۹۹۰) نیز نشان می‌دهند که محیط‌هایی که از پوشش‌های گیاهی شاداب‌تری برخوردارند اثر خنک‌کنندگی بیشتری دارند (Huang, et al., 1990).

۴) نتایج پژوهش، خلاف آنچه را که تا به حال در مطالعات قبلی انجام شده بود نشان می‌دهد. مطالعات پیشین اشاره به ارتباطی مثبت و مستقیم میان میزان پوشش گیاهی و اثر خنک‌کنندگی دارند. اما جالب آنجاست که نتایج این پژوهش حکایت از ارتباطی غیرخطی میان پوشش گیاهی و دمای سطحی در شهرها دارد. به عبارت دیگر، با افزایش میزان پوشش گیاهی در یک محدوده لزوماً اثر خنک‌کنندگی در آنجا بیشتر نمی‌شود.

تطبیق پیکسل‌ها با داده‌های مکانی و داده‌های پوشش زمین کورین دو نکته را به خوبی نشان می‌دهد. اول آنکه، پیکسل‌هایی که به طور کامل از فضای سبز شهری پوشیده شده‌اند (۱۰۰ درصد) محدوده‌هایی از جنگل‌های مصنوعی‌اند که درختان به طور فشرده در کنار هم کاشته شده‌اند. فشردگی درختان می‌تواند خود به مسدودشدن باد به داخل جنگل‌ها منجر و مانع از هرگونه جریان هوا داخل جنگل شود. این در حالی است که پیکسل‌هایی که اثر خنک‌کنندگی غیرخطی را از خود نشان می‌دهند، پوشش‌های سبز تُنُک‌تری دارند. نامتراکم‌تربودن این پیکسل‌ها اغلب همراه پوشش‌های گیاهی یک‌ساله است. مطلب دوم که می‌توان از اثر غیرخطی‌بودن پوشش‌های سبز شهری برداشت کرد، مؤثرتربودن اثر خنک‌کنندگی چندین پوشش سبز شهری کوچک از یک فضای سبز شهری بزرگ‌تر است.

نتایج این پژوهش شاید از نظر سازش‌پذیری شهرها با پدیدهٔ تغییر جهانی اقلیم، به خصوص گرمایش زمین، مفید واقع شود. با شناسایی محدوده‌های گرم شهرها، از جمله جزایر گرمایی، می‌توان به افزایش فضاهای سبز شهری نامتراکم و نه چندان بزرگ مبادرت ورزید. پوشش‌های گیاهی به خصوص درختان می‌توانند نقش مهم و مؤثری در تنظیم دمای شهری ایفا کنند. میزان اثر خنک‌کنندگی می‌تواند بسته به ترکیب گونه‌ها، تنوع زیستی و مکان قرارگیری آن‌ها متغیر باشد. گیاهان نه تنها به چندین روش موجب خنکی محیط اطراف خود می‌شوند (ایجاد سایه، افزایش سپیدایی و افزایش تعریق و تعرق)، بلکه می‌توانند موجب کاهش مصرف تابستانهٔ انرژی که صرف خنک‌کردن ساختمان‌ها و تأسیسات می‌شود نیز شوند. براساس پژوهش‌های دویک و هاچینگز (۲۰۱۳) «ساختارهای سبز» که شامل پارک‌های شهری، درختان، سقف‌های گیاه‌کاری‌شده و دریاچه‌هاست، شاید دمای جزایر گرمایی را بین ۲ تا ۸ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش دهند (Doick & Hutchings, 2013).

بنابراین با کاربرد صحیح پوشش‌های سبز شهری و اثر خنک‌کنندگی آن‌ها می‌توان میزان درخواست مصرف انرژی را به طور کلی و به‌ویژه در دوره‌های گرم کاهش داد، زیرا بیشترین میزان انرژی الکتریسیتهٔ تولیدی از سوخت‌های فسیلی حاصل می‌شود. ساختارهای سبز شهری نه تنها می‌توانند موجبات کاهش تنش‌های حرارتی ناشی از جزایر گرمایی شهری را فراهم کنند، بلکه می‌توانند موجب کاهش نرخ مرگ و میر ناشی از افزایش دما در افراد مسن و نوزادان و ارتقای روابط اجتماعی شهروندان در فضاهای سبز و پارک‌ها و به طور کلی افزایش کیفیت زندگی شهری شوند.

مطالعهٔ انجام‌شده تنها بخشی از چالش‌های کنونی و پیش‌روی شهرها و چگونگی سازش‌پذیری‌شان با تغییرات اقلیم جهانی به خصوص پدیدهٔ موج گرمایی و جزایر حرارتی را مطرح کرده است. به همین منظور روش پژوهش به‌کاررفته در این مطالعه و نتایج آن می‌تواند برای طراحان شهری، برنامه‌ریزان محیط‌زیست شهری و سازمان‌های مدیریت بحران شهری در راستای کاهش آثار جزایر حرارتی و سازش‌پذیری شهرها با اقلیم‌های جدید مفید باشد.

از جمله محدودیت‌های این مطالعه عبارت‌اند از: ۱) قدرت تفکیک پایین داده‌های سنجندهٔ مودیس (یک کیلومتری)؛ از این رو به کار بردن قدرت تفکیک بهتر می‌تواند به نقشه‌ای با جزئیات مکانی بیشتر منجر شود، به‌ویژه برای پوشش‌های گیاهی کوچک و پراکنده در سطح شهر. ۲) تاریخ پرتاب ماهواره که امکان دسترسی به داده‌های حرارتی قبل از سال ۲۰۰۲ را فراهم نمی‌کند. ۳) بی‌ثباتی اقلیم در منطقهٔ مورد مطالعه (مونیخ) موجب آن شد که در دوران گرم تابستان برخی تصاویر هشت‌روزه پوشیده باشند و بی‌استفاده بمانند و در آخر، محدودیت زمان در انجام مطالعه امکان مطالعه بر دیگر شهرها را فراهم نکرد.

پیشنهادها

انجام تحلیل متوالی زمانی به مدت ۱۱ سال با استفاده از داده‌های دمای سطحی سنجندهٔ مودیس برای بررسی اثر خنک‌کنندگی پوشش‌های گیاهی حکایت از مناسب‌بودن سنجندهٔ مودیس برای مطالعهٔ جزایر حرارتی شهری است. سبک جدید در روش پژوهش به‌کاررفته در این مطالعه، به خصوص بخش آماری، درک بهتر و واضح‌تری از اثر خنک‌کنندگی پوشش‌های گیاهی در یک محدوده را ارائه داده است. نتایج این مطالعه نشان‌دهندهٔ رابطه‌ای منفی میان پوشش گیاهی و دمای سطحی است. مطالعات روی جزئیات حرارتی جزایر حرارتی و پوشش گیاهی در دوران گرم تابستان نه تنها موجب درک بهتر ما از اکولوژی شهری و دمای بهینهٔ شهری (آسایش حرارتی) می‌شود، بلکه می‌تواند موجب کاهش مصرف انرژی و تولید کمتر دی اکسید کربن و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی شود. همچنین، درک بهتر از اکولوژی

شهری به سازش‌پذیری شهرها با تغییرات اقلیم جهانی با استفاده از ساختارهای سبز کمک شایانی می‌کند. به همین سبب استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در این‌گونه مطالعات توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

از آقایان دکتر سیدکاظم علوی‌پناه، استاد رشتهٔ سنجش از دور دانشگاه تهران، به خاطر راهنمایی‌ها و از آقای دکتر روبرت هابله (دانشگاه بایرویت، آلمان) برای بازنگری در روش آماری پژوهش و از مرکز ماهواره‌ای آلمان (DLR)[7] در مساعدت برای ارائهٔ داده‌های موردنیاز تشکر می‌کنیم.

یادداشت‌ها

1. Land Use & Land Cover
2. International Panel of Climate Change
3. Bayerische Landesamt für Statistik
4. MODIS (Moderate-Resolution Image Spectroradiometer)
5. Kernel Quantile Regression
6. CooRdination of InformatioN on the Environment Land Cover
7. Deutsches zentrum für Luft- und Raumfahrt

منابع

آخوندزاده، م؛ سراجیان، م. ۱۳۸۶. «کاربرد تصاویر ماهواره‌ای ASTER-TERRA در نمایش جزایر گرمایی در مناطق شهری»، دومین همایش سالانهٔ مقابله با سوانح طبیعی، دانشکدهٔ فنی دانشگاه تهران.

امیری، ر؛ علیمحمدی، ع؛ علوی‌پناه، س.ک. ۱۳۸۶. «مطالعهٔ تغییرپذیری فضایی-زمانی حرارت در ارتباط با کاربری/ پوشش زمین در منطقهٔ شهری تبریز با استفاده از داده‌های لندست +ETM و TM حرارتی و انعکاسی»، *محیط‌شناسی*، سال سی و سوم، شمارهٔ ۴۳، پاییز ۱۳۸۶، صص ۱۰۷ تا ۱۲۰.

رمضانی، ب؛ دخت‌محمد، س.، م. ۱۳۸۹. «شناخت محدودهٔ مکانی تشکیل جزیرهٔ گرمایی در شهر رشت»، مجلهٔ *پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*، سال اول، شمارهٔ اول، صص ۴۹-۶۴.

رنجبر سعادت‌آبادی، ع؛ علی‌اکبری بیدختی، ع؛ صادقی‌حسینی، س. ع. ۱۳۸۵. «آثار جزیرهٔ گرمایی و شهرنشینی روی وضع هوا و اقلیم محلی در کلان‌شهر تهران براساس داده‌های مهرآباد و ورامین»، مجلهٔ *محیط‌شناسی*، شمارهٔ ۳۹، صص ۵۹ تا ۸۴.

رنجبر سعادت‌آبادی، ع؛ آزادی، م؛ علی‌اکبری بیدختی، ع؛ صادقی‌حسینی، س. ع. ۱۳۸۴. «مطالعهٔ موردی جزیرهٔ گرمایی تهران و شبیه‌سازی عددی آن»، مجلهٔ *فیزیک زمین و فضا*، جلد ۳۱، شمارهٔ ۱، صص ۶۳ تا ۷۸.

رنگزن،ک؛ فیروزی، م؛ تقی‌زاده، ا؛ مهدی‌زاده، ر. ۱۳۹۰. «بررسی و تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر گرمایی با استفاده از R.S و GIS»، نمونهٔ موردی شهر اهواز، اولین سمینار ملی کاربرد GIS در برنامه‌ریزی اقتصادی، اجتماعی و شهری، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

شکیبا، ع؛ ضیائیان فیروزآبادی، پ؛ عاشورلو، د؛ نامداری، س. ۱۳۸۸. «تحلیل رابطهٔ کاربری و پوشش اراضی و جزایر گرمایی شهر تهران با استفاده از داده‌های +ETM»، سنجش از دور و GIS ایران، سال اول، بهار ۱۳۸۸، شمارهٔ ۱، صص ۳۹-۵۶.

شمسی‌پور، ع. ا؛ مهدیان ماهفروزی، م؛ حسین‌پور، ز.، ۱۳۹۱، الف. «واکاوی تغییرات مکانی هستهٔ جزیرهٔ گرمایی شهر تهران»، پژوهش‌های جغرافیایی، سال ۴۴، شمارهٔ ۳، پیاپی ۸۱، صص ۱۲۷-۱۴۶.

شمسی‌پور، ع. ا؛ مهدیان ماهفروزی، م؛ اخوان، ه؛ حسین‌پور، ز. ۱۳۹۱، ب. «واکاوی رفتار روزانهٔ جزیرهٔ گرمایی شهر تهران»، *محیط‌شناسی*، سال ۳۸، شمارهٔ ۴، پیاپی ۸۱، صص ۴۵-۵۶.

عبداللهی، ج؛ چراغی، س؛ ع.، م؛ رحیمیان، م. ۱۳۸۶. «مقایسهٔ آثار زیست‌محیطی تغییر کاربری اراضی بر تغییر پوشش گیاهی و دمای سطحی در مناطق شهری و غیرشهری با به کارگیری سنجش از دور»، *محیط‌شناسی*، سال سی و چهارم، شمارهٔ ۴۵، بهار ۸۷، صص ۸۵–۹۶.

عزیزی، ق. ۱۳۸۴. *تغییر اقلیم*، تهران: انتشارات قومس.

علوی‌پناه، س. ک. ۱۳۸۷. *سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین*، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

غضنفری‌مقدم، م؛ ص.، علیزاده، ا؛ ناصری‌مقدم، م؛ فریدحسینی، ع. ۱۳۸۹. «بررسی اثر جزیرهٔ گرمایی شهری بر روند تغییرات ریزش‌های جوی مشهد»، نشریهٔ آب و خاک، جلد ۲۴، شمارهٔ ۲، خرداد–تیر، صص ۳۵۹–۳۶۶.

قنبری، ح. ع؛ عزیزی، ق. ۱۳۸۸. «شبیه‌سازی عددی رفتار آلودگی هوای تهران براساس الگوی باد»، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شمارهٔ ۶۸، صص ۱۵–۳۲.

کاویانی، م. ر. ۱۳۸۷. *میکروکلیماتولوژی*، انتشارات سمت.

معروف‌نژاد، ع. ۱۳۹۰. «تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر گرمایی و تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر گرمایی (مطالعهٔ موردی: شهر اهواز)، فصلنامهٔ جغرافیایی آمایش محیط، شمارهٔ ۱۴، صص ۶۵–۹۰.

ملک‌پور، پ؛ طالعی، م. ۱۳۸۹. «بررسی تغییرات درجهٔ حرارت سطح و پوشش– کاربری زمین شهری با استفاده از داده‌های سنجندهٔ +ETM»، سنجش از دور و GIS ایران، سال دوم، شمارهٔ سوم، صص ۸۹–۱۰۲.

ملک‌پور، پ؛ طالعی، م. ۱۳۹۰. «مدل‌سازی و ارتباط کاربری– پوشش اراضی و حرارت سطح زمین با استفاده از داده‌های سنجندهٔ ASTER»، *محیط‌شناسی*، سال سی و هفت، شمارهٔ ۵۸، تابستان ۹۰، صص ۲۹–۴۲.

Cristóbal, J., Ninyerola, M., and Pons, X., 2008. Modeling air temperature through a combination of remote sensing and GIS data. Journal of Geographical Research, 113:13. DOI:10.1029/2007JD009318.

Doick, K.J. and Hutchings, T.R., 2013. Air temperature regulation by trees and wider green infrastructure in urban areas: the current state of knowledge. Research note 12 (FCRN012). Forestry Commission, Edinburgh. 10pp. ISBN: 978-0-85538-878-2.

European Environment Agency (EEA), 2006. The Thematic Accuracy of Corine Land Cover 2000. Assessment using LUCAS (land-use/cover area frame statistical survey). Technical Report No. 7/2006. ISBN: 92-9167-844-9.

Frumkin, H. 2002. Urban Sprawl and Public Health, Public Health Report. Department of Environmental and Occupational Health, Rollins School of Public Health of Emory University, Atlanta, GA. Vol. 117.

Gartland, L., 2008. Heat islands, understanding and mitigating heat in urban areas. Earthscan, Print. ISBN-13:978-1-84407-250-7.

Harlan, S.L., Brazel, A.J., Prashad, L., Stefanov, W.L., Larsen, L., 2006. Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. Social Science Medicine, 63, 2847–2863.

Huang, J., H. Akbari, and H. Taha. 1990. The Wind-Shielding and Shading Effects of Trees on Residential Heating and Cooling Requirements. ASHRAE Winter Meeting, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, Georgia.

Kikegawa, Y., Genchi, Y., Yoshikado, H., and Kondo, H., 2003. Development of a numerical simulation system toward comprehensive assessments of urban warming counter measures including their impacts upon the urban buildings energy-demands. Applied Energy, 76, 449-466.

Lafortezza, R., Carrus, G., Sanesi, G., and Davies, C., 2009. Benefits and wellbeing perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. Urban Forestry & Urban Greening, 8(2), 97–108.

Lu, D. and Weng Q., 2006. Use of impervious surface in urban land-use classification. Remote Sensing of Environment, 102:146–160. DOI:10.1016/j.rse.2006.02.010.

Mousavi-Baygi, M., et al. 2010. The Investigation of Tehran's Heat Island by using the Surface Ozone and Temperature Data. International Journal of Applied Environmental Sciences, Vol. 5, No. 2, pp. 189–200.

Oke, T. R.,1982. The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 108, 1–24.

Oke, T.R., 1987. Boundary layer climates. 2nd edition. Co-published by Routledge, London and John Wiley & Sons, New York. ISBN 0 416 04432 8.

Schwartz, N., Schlink, U., Franck, U., and Grossmann, K., 2012. Relationship of land surface and sir temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicators-An application for the city of Leipzig (Germany). Ecological Indicators, 18:693-704. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.01.001.

Smith, C. and Levermore, G., 2008. Designing urban spaces and buildings to improve sustainability and quality of life in a warmer world. Energy Policy, 36:4558–62.

Stafoggia, M., Schwartz, J., Forastiere, F., and Perucci, C.A., 2008. Does temperature modify the association between air pollution and mortality? A multicity case-cross over analysis in Italy. American Journal of Epidemiology, 167, 1476–1485. DOI: 10.1093/aje/kwn074.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP.241.

Weng, Q., Liu, H., and Lu, D., 2007. Assessing the effects of land use and land cover patterns on thermal conditions using landscape metrics in city of Indianapolis, United States. Urban Ecosystem, 10, 203–219. DOI: 10.1007/s11252-007-0020-0.

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, 335-344. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.03.007.

Yamamato, Y. 2006. Measures to Mitigate Urban Heat Islands. Quarterly Review, vol.18.

Zhang, X. X., Chen, P. F. Wu. B., 2010. Relationship between vegetation greenness and urban heat island effect in Beijing City of China. International Society for Environmental Information Sciences 2010 Annual Conference(ISEIS). Procedia Environmental Sciences 2:1438–1450. DOI:10.1016/j.proenv.2010.10.157.