نشریه علمی(فصلنامه) پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال پنجم/ شماره ۱۶/ پاییز ۱۳۹۸/ صفحات ۹۷ - ۱۲۲

تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش شدت جزایر حرارتی شهری: نمونه موردی کلان‌شهر تهران

شهرام پوردیهیمی
استاد، گروه معماری، دانشگاه شهید بهشتی
s-deihimi@sbu.ac.ir
محمد تحصیل دوست
استادیار، گروه فن ساختمان، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول)
m_tahsildoost@sbu.ac.ir
پوریا عامری
دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه شهید بهشتی
P_ameri@sbu.ac.ir

شهرنشینی از طریق سرعت بخشیدن به عملیات ساخت و ساز در شهرها، علت اصلی افزایش جذب انرژی حرارتی در نقاط شهری می‌باشد. به علاوه انباشت این انرژی به واسطه از بین رفتن پوشش گیاهی سبب ایجاد پدیده جزایر حرارتی شهری شده است. در این پژوهش تأثیرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی بر شیوه پراکندگی فضایی شدت انرژی بازتابشی در کلانشهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. اطلاعات لازم از طرق مختلف جهت سنجش میزان تأثیر فضاهای سبز بر الگوهای فضایی طبقات دمای سطح زمین در شهر جمع آوری شد. دمای سطح زمین با روش سنجش از راه دور ماهواره‌ای و از اطلاعات برداشت شده توسط سنجنده‌های مربوطه ماهواره لندست ۸ استخراج، و پوشش گیاهی از طریق به کارگیری روش شاخص اختلاف پوشش گیاهی بهنجار شده به دست آمده است. در انتها به کارگیری این دو شاخص و دسته‌های کاربری اراضی امکان انجام تحلیل‌های بیشتر را موجب شده است. نتایج این پژوهش علاوه بر مشخص کردن شیوه گسترش فضایی طبقات دمایی سرد و گرم در محدوده شهر تهران، اختلاف دمای سطح زمین بین دسته های مختلف کاربری زمین را به میزان ۵/۵ تا ۶ درجه سانتیگراد نشان می‌دهد. کاربری اراضی و پوشش سبز شهری نقش حیاتی بر شرایط اقلیمی شهر تهران ایفا کرده و پوشش گیاهی دارای میزان همبستگی منفی قابل توجهی با دمای استخراج شده می‌باشد. در آخر قابلیت‌های بام سبز و پوشش گیاهی در جهت کاهش تأثیر پدیده جزیره حرارتی در مقیاس شهری مرور شده و بر نقش مؤثر راهکارهای توسعه پوشش‌های سبز بر کاهش دمای هوای نزدیک به سطح زمین و دمای سطوح مختلف شهری تاکید شده است. بر اساس نتایج، اقدامات مؤثری می‌تواند از طریق برنامه‌ریزی و در جهت بهبود شرایط اقلیمی شهر صورت پذیرد. بنابراین این پژوهش، مدیران شهری، سیاست گذاران و همچنین معماران را جهت به کارگیری راهکارهایی جهت کاهش شدت اثر و تطبیق مؤثر با پدیده جزیره حرارتی شهری تشویق می کند.

واژگان کلیدی: پوشش گیاهی، کاربری زمین، سنجش از راه دور، پدیده جزیره حرارتی شهری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۱۶

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

۱. مقدمه

گسترش روزافزون محیط‌های شهری و روند صنعتی شدن و مهاجرت جمعیت روستایی به نواحی شهری باعث افزایش جمعیت و نیز توسعه پراکنده در شهرها شده است. اسکان این جمعیت مستلزم توسعه زیرساخت‌های شهری اعم از راه‌ها، پل‌ها، ساختمان‌های مسکونی و ... است که منجر به تغییر الگوی کاربری و پوشش زمین در شهر خواهد شد (Senanayake, Welivitiya and Nadeeka 2013). از دیگر سو و به‌واسطه تفاوت نوع تبادل انرژی در شهر و محیط طبیعی، اقلیم شهری نسبت به نواحی پیرامون خود و حاشیه شهرها دارای اختلاف در متغیرهای اقلیمی (دمای هوا، دمای سطح، رطوبت، سرعت و جهت باد، مقدار بارش) است. این تفاوت‌ها سبب شده متوسط درجه حرارت در شهرها چند درجه بیش از حومه آن باشد و این پدیده با نام جزیره حرارتی شهر[1] شناخته می‌شود (پوردیهیمی ۱۳۹۰).

سیاست‌ها و عوامل متعددی در ایجاد و شدت پدیده جزایر حرارتی شهری مؤثر هستند. ازجمله این موارد، جایگزینی پوشش گیاهی، با ساختارهای مصنوع متنوعی است که علاوه بر ایجاد آلودگی‌های محیطی، تغییرات اقلیمی و برهم خوردن چرخه‌های اکولوژیکی را موجب می‌گردد. سطوح تیره بام و جداره ساختمان‌های بلند، به انضمام خیابان‌ها، پارکینگ‌ها، و پیاده‌روهای پوشیده از آسفالت یا بتن، دارای ضریب بازتاب (آلبدوی[2]) کمتری نسبت به سطوح دیگر هستند. این سطوح مقادیر بیشتری از تابش آفتاب را جذب و به انرژی حرارتی تبدیل می‌کنند و باعث افزایش گرمای محسوس در محیط مجاور خود می‌شوند. بدین گونه انواع جزایر حرارتی (متأثر از دمای هوا یا دمای سطوح) ایجاد می‌گردد (Comarazamy, et al. 2010).

1. Urban Heat Island
2. Albedo

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

محدوده‌های تحت تأثیر جزایر حرارتی دارای میانگین دمایی بالاتر در تمامی طول سال نسبت به محدوده‌های اطراف بوده و در مواقعی که جریان حرکت باد ضعیف است و همچنین در شب‌هنگام این اختلاف تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد (T. Oke, Boundary Layer Climates 1987).

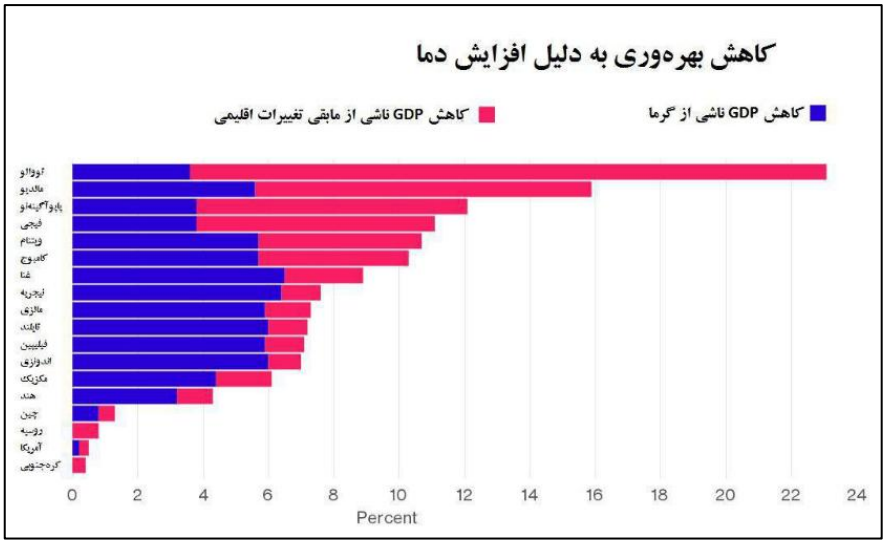
اوک و همکاران معتقدند، هندسه بازتابشی در دره‌های شهری[1]، ویژگی‌های حرارتی مصالح، و اثر گلخانه‌ای شهری از مهم‌ترین عوامل مرتبط با ایجاد پدیده جزیره حرارتی شهری می‌باشند (Oke, Johnson, et al. 1991). کاربری زمین[2] و پوشش گیاهی نیز نقش حیاتی در شیوه توزیع فضایی خرد اقلیم‌ها و جزایر حرارتی در محدوده‌های شهری دارند. همچنین در پژوهش‌ها نشان داده‌شده است که اقلیم شهری تحت تأثیر عوامل متفاوتی نظیر اندازه شهرها، تراکم ساختمان‌ها، شیوه توزیع کاربری‌ها، و شیوه زندگی انسان‌ها در شهرها قرار دارد (J. Voogt 2004)، (T. Oke 1982) ، (حقیقت خرازی و فرخزاد، ۱۳۹۷).

در کشورهای درحال‌توسعه، توسعه شهری اغلب بدون توجه به لزوم نگهداری و یا افزایش پوشش گیاهی موجود در شهر اتفاق می‌افتد. پوشش گیاهی می‌تواند از طریق امکان ایجاد سایه، و جذب انرژی تابشی دمای سطوح را پایین‌تر نگه دارد، به‌علاوه درختان و گیاهان با افزایش رطوبت محیط اطراف خود، شرایط کاهش دمای محسوس هوا از طریق سرمایش تبخیری را نیز فراهم می‌آورند (Cheng, Hung and Chen 2010).

اگرچه اختلاف دما در نواحی مختلف شهری ممکن است چندان زیاد نباشد، اما همین مقدار نیز می‌تواند باعث بروز برخی مسائل قابل‌توجه اجتماعی-محیطی در نواحی شهری شود.

1. Urban Canyons
2. Land Use

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]



شکل ۱. تأثیر تغییرات اقلیمی بر کاهش بهره‌وری اقتصادی. مأخذ: (Kjellstorm and Meng 2015)

در پژوهشی نشان داده‌شده است که میزان ساعات کاری نیروهای کار در سال به علت شرایط گرم اقلیمی در نواحی جنوب شرقی آسیا در حال حاضر حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش‌یافته است و پیش‌بینی می‌شود این رقم تا سال ۲۰۵۰ به ۲ برابر افزایش پیدا کند (Kjellstorm and Meng 2015). جزایر حرارتی به دلیل واکنش شیمیایی ترکیب‌های آلی فرّار و گونه‌های مختلف اکسید نیتروژن در هوای گرم و تابش خورشید، با تولید گازهایی نظیر ازن بر کیفیت هوای شهر تأثیر جدی می گذارد. به همین جهت بالا رفتن دما و آلودگی هوا تأثیر معکوس بر سلامت انسان گذاشته و باعث عدم آسایش، احتمال بروز آسم و انواع بیماری‌های تنفسی، گرمازدگی، خستگی و حتی مرگ‌ومیر می‌شود (US Environmental Protection Agency 2008).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

درگذشته جزایر حرارتی شهری از طریق دمای هوای اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه‌های ثابت یا سیار هواشناسی و در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، مشخص می‌شده‌اند (Nassar, Blackburn and Whyatt 2016). هرچند با اختراع فناوری‌های سنجش از راه دور[1] مادون‌قرمز حرارتی[2]، پژوهش‌های متعددی در خصوص تأثیرات جزایر حرارتی سطوح[3] –که به‌واسطه اختلاف دمای سطح زمین[4] در محیط شهری و روستایی ایجاد می‌شود– انجام‌شده است. داده‌های حاصل از حس‌گرهای ماهواره‌ای مادون‌قرمز حرارتی، می‌توانند پهنه‌های فضایی وسیعی را تحت پوشش قرار داده و محاسبه دمای هر پیکسل را به‌صورت سریع‌تر، ارزان‌تر و کاربردی‌تری نسبت به اندازه‌گیری‌های در سطح زمین در اختیار پژوهشگران قرار دهند. علاوه‌براین، از داده‌های سنجش از راه دور حرارتی می‌توان در مکان‌هایی که ایستگاه‌های هواشناسی پراکنده بوده و یا ناکافی هستند نیز بهره برد (Knight, Claire and Michael 2010).

اگرچه دمای سطح زمین و دمای هوا دو شاخص متفاوت اقلیمی‌اند و معمولاً در یک موضع مقادیر مطلق متفاوتی را نشان می‌دهند؛ اما پژوهشی توسط کوتز و هریس نشان می‌دهد که الگوی تغییرات دمای سطح زمین برگرفته از تصاویر سنجش از راه دور و الگوی تغییرات دمای هوا، باوجود تفاوت در مقادیر مطلق، مشابه یکدیگرند (Coutts and Harris 2012) . به‌منظور اجرای اقداماتی به جهت کاهش پدید آمدن جزایر حرارتی شهری، لازم است تا نحوه توزیع دمای سطوح در نواحی مختلف شهر موردبررسی قرارگرفته و نقاط با تغییرات حرارتی محسوس مشخص گردند. سنجش از راه دور ماهواره‌ای روش لازم را برای سنجش دمای سطوح در اختیار پژوهشگران قرار داده است که در تحقیقات مختلف اعتبار این روش موردبررسی قرارگرفته است.

1. Remote Sensing (RS)
2. Thermal Infrared (TIR)
3. Surface Urban Heat Islands (SUHI)
4. Land Surface Temperature (LST)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

در نخستین مطالعاتی که پژوهشگران کوشیدند تا با استفاده از داده‌های مادون‌قرمز حرارتی چشم‌انداز حرارتی شهری را مطالعه کنند از داده‌های سنجنده NOAA AVHRR استفاده‌شده است (Balling and Brazell 1988) . بعدها داده‌های مادون‌قرمز حرارتی سنجنده ماهواره لندست[1] TM، +ETM و ASTER به ترتیب با قدرت تفکیک مکانی ۱۲۰، ۶۰، ۹۰ متر امکان استخراج درجه حرارت زمین و مطالعه دقیق‌تر جزایر حرارتی شهری را فراهم نمود (Li, et al. 2013).

در پژوهشی ژائو و مودی، رابطه بین تغییرات کاربری اراضی، پوشش سطح زمین و الگوی دمای سطح زمین در جنوب چین را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست سنجنده‌های TM و +ETM بررسی کردند، تصاویر در سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۰، برای استخراج دمای روشنایی و کاربری اراضی استفاده‌شده است (Xiao and Moody 2005). فیضی زاده و بلاسچک، در مقاله خود به محاسبه دمای سطح زمین برای شهر مراغه به روش سبال پرداختند؛ که نتایج نشان داد بین دمای سطح محاسبه‌شده و اندازه‌گیری شده زمینی ۱/۶ درصد اختلاف وجود دارد. همچنین رابطه بسیار قوی بین دمای سطح زمین و کاربری اراضی و پوشش گیاهی وجود دارد و مناطق با پوشش گیاهی انبوه دمای سطحی کمتری را نشان می‌دهند (Feizizadeh and Blaschke 2013). راجشواری و مانی، از الگوریتم پنجره مجزا برای محاسبه دمای سطح زمین در منطقه‌ای واقع در کشور هند با استفاده از تصاویر اپتیکال و حرارتی ماهواره لندست ۸ استفاده کردند. آن‌ها در این روش برای محاسبه گسیلمندی از روش حد آستانه شاخص اختلاف پوشش گیاهی بهنجارشده، که از باندهای ۲، ۳، ۴ و ۵ استخراج شد استفاده کرده و برای به دست آوردن دمای سطح زمین از باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ سنجنده موردنظر استفاده کردند. نتایج اختلاف زیادی بین دمای سطح زمین در مناطق بایر و در مناطق کوهستانی فاقد پوشش گیاهی را نشان داد (Rajeshwari and Mani 2014) .

1. Landsat

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

نتایج پژوهشی که دریکی از کلان‌شهرهای کشور هند از طریق اندازه‌گیری میدانی دمای هوا و تلفیق آن با داده‌های سنجش از راه دور شامل لایه‌های کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی انجام‌شده، نشان می‌دهد که تفاوت دما در نقاط با کاربری‌ها و تراکم‌های مختلف ساختمانی بازه بین ۴/۵-۳ درجه سانتی‌گراد وجود دارد. همچنین همبستگی معکوس میان متغیرهای خرد اقلیمی و پوشش گیاهی گزارش‌شده است. پژوهشگران به‌منظور کاهش شدت جزایر حرارتی تدوین سیاست‌های مقابله با این پدیده را توسط مدیران و برنامه‌ریزان شهری و همچنین طراحان را پیشنهاد داده‌اند (Jeganathan, Andimuthu and Kumar 2016).

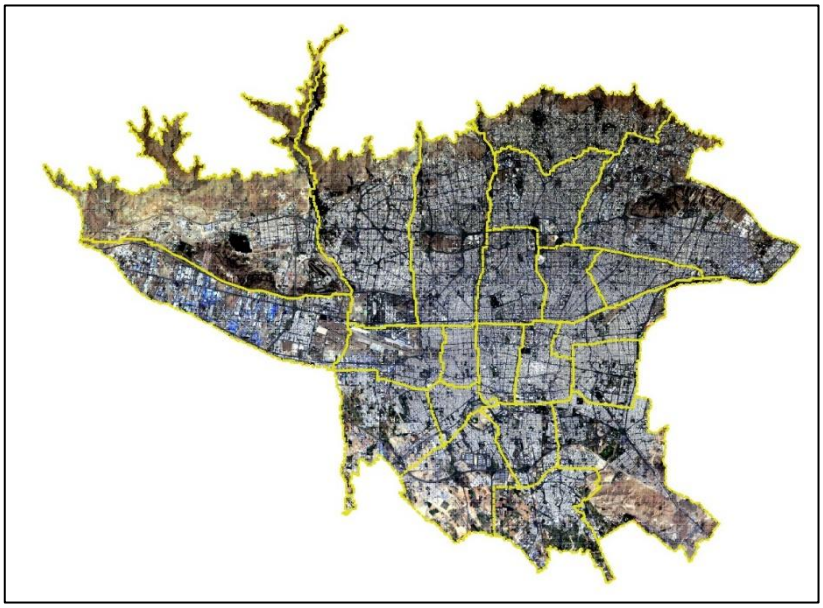
اهمیت استفاده از روش‌های طراحی در مقایسه با دیگر روش‌ها در صرفه‌جویی مصرف سوخت و انرژی در این موضوع است که در استفاده از سایر روش‌ها مانند عایق‌بندی، می‌باید انرژی به مصرف رسانده شود. ازاین‌رو روش‌های طراحی را می‌توان در زمره روش‌های پاک قلمداد نمود. اولین حوزه‌ای که ضوابط مربوط به آن می‌تواند در بهینه‌سازی مصرف انرژی تأثیر بگذارد، حوزه شهرسازی است. این تأثیر از مراحل ابتدایی یعنی برنامه‌ریزی و انتخاب محل احداث شهر و یا توسعه‌های شهری آغاز می‌شود و تا ساخت و جهت‌گیری ساختمان‌ها و معابر که عناصر اصلی تشکیل‌دهنده شهر هستند، ادامه می‌یابد (فاضلی و حیدری، ۱۳۹۲).

تاکنون ضوابط شهرسازی متنوعی در خصوص بهینه سازی مصرف انرژی در مناطق شهری پیشنهادشده است که اکثر این ضوابط مربوط به انتخاب فرم شهرها، تأکید بر جهات قرارگیری بلوک‌های شهری و معابر در هر اقلیم، نحوه استقرار ساختمان‌ها نسبت به جهت وزش باد، مکان‌یابی ساختمان‌های بلندمرتبه، ضوابط مربوط به سایبان و میزان بازشوها و ازاین‌دست بوده و کمتر به اهمیت استفاده از عناصر سبز و پوشش گیاهی، چه ازلحاظ مکان‌یابی در مقیاس کلان در شهرها و چه در مقیاس خرد اقلیم محلی، پرداخته‌شده است. ازاین‌رو هدف این پژوهش بررسی ارتباط میان پراکندگی و تراکم پوشش گیاهی و تأثیر آن بر دمای سطح زمین و درنتیجه پدیده جزیره حرارتی سطوح شهری در کلان‌شهر تهران از طریق محاسبه دمای سطح زمین و پیدا کردن ارتباط آن با کاربری های متفاوت اراضی شهر و شاخص اختلاف پوشش گیاهی بهنجار شده

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

می‌باشد. در این پژوهش به منظور بررسی عوامل تأثیرگذار بر مقیاس میانه و محلی جزایر حرارتی شهری، از تصاویر ماهواره‌ای با رزولوشن بالا استفاده شده و به طور همزمان تأثیر عوامل مربوط به کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر عرصه‌های طبقات دمایی در کلان‌شهر تهران بررسی گردیده است.

۲. منطقه موردمطالعه



شکل ۲. تصویر کلان‌شهر تهران در خرداد ۱۳۹۵ برداشت‌شده توسط ماهواره لندست ۸

برای شناخت بهتر مشکل و بررسی ابعاد آن و راه‌حل های پیشگیرانه روش تحلیلی بررسی این جزایر حرارتی در کلان‌شهر تهران به‌عنوان یک نمونه عینی ارائه می گردد. کلان‌شهر تهران (مختصات:'33 °51 - '17 °51 شرقی و '46 °35 - '36 °35 شمالی) با مساحتی بالغبر ۷۳۰ کیلومترمربع دارای ۲۲ منطقه شهری است و جمعیت حدود ۸/۵ میلیون نفری در این کلان‌شهر به دلیل مهاجرپذیری بالای آن روندی روبه رشد دارد. شهر تهران در دامنه جنوبی رشته‌کوه البرز و حاشیه

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

شمالی کویر مرکزی ایران در دشتی نسبتاً هموار واقع‌شده است. پهنه استقرار آن از جنوب و جنوب غربی منتهی به دشت‌های شهریار و ورامین، در سمت شمال به رشته‌کوه البرز و در شرق و غرب به‌وسیله دو رود جاجرود و کرج مشخص می‌شود. تهران یک مرکز کلیدی برای تولید، سکونت، تجارت، توزیع و حمل‌ونقل در کشور ایران است (صادقی نیا, علیجانی و ضیائیان ۱۳۹۱).

۳. روش انجام پژوهش

در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ ، تهیه‌شده از پایگاه داده مشترک ناسا و سازمان زمین‌شناسی ایالات‌متحده[1]، برای محاسبه و استخراج داده‌های پایه استفاده‌شده است. داده‌های ماهواره لندست ۸ در سه سطح تفکیک ۳۰ متری برای باندهای طیفی ۱ تا ۷ و ۹ (شامل طیف‌های رنگی آبی، سبز، قرمز، نزدیک مادون‌قرمز، دو باند مادون‌قرمز طول‌موج کوتاه، و باند ابر سیروس)، ۱۵ متری برای باند طیفی ۸، و ۱۰۰ متری برای باند ۱۰ و ۱۱ (مخصوص سنجنده مادون‌قرمز حرارتی[2]) تهیه، و با نمونه‌برداری مجدد در سطح تفکیکی ۳۰ متری در دسترس قرار می‌گیرد. تصویر استفاده‌شده در این پژوهش در تاریخ ۳۱ خردادماه سال ۱۳۹۵ خورشیدی از سطح زمین برداشت‌شده و تصحیحات مربوط به پستی‌وبلندی سطح زمین، و زاویه تابش خورشید بر روی تصاویر اعمال گردیده است. و درنهایت بر مبنای سامانه مختصات تصویری WGS84، یوتی‌ام[3] محدوده ۳۹ درجه شمالی، زمین‌مرجع[4] شده است.

پس از انجام تصحیحات هندسی و اتمسفری، به‌منظور تهیه تصویر دمای سطح زمین[5] به ترتیب نیاز به محاسبه رادیانس و بازتاب طیفی[6]، بازیابی دمای روشنایی[7]، محاسبه گسیلمندی

1. http://earthexplorer.usgs.gov/
2. TIR- Thermal Infrared
3. UTM-Universal Transverse Mercator
4. Geo-referenced
5. LST-Land Surface Temperature
6. Spectral Radiance and Spectral Reflectance
7. Brightness Temperature

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

سطح[1]، و شاخص اختلاف پوشش گیاهی بهنجار شده[2] می‌باشد. تبدیل ارزش‌های رقومی[3] باندهای ۱۰ و ۱۱ به رادیانس طیفی و نیز تبدیل ارزش‌های رقومی باندهای ۴ و ۵ به بازتاب طیفی بر اساس مرجع تابش طیفی، با استفاده از ارزش‌های ضریب افزایش[4] و مقادیر انحراف[5] تصویر مطابق معادله (۱) صورت می‌پذیرد (بابایی فینی ۱۳۹۴):

$$L_\lambda = (Gain * Q_{DN}) + Bias \quad (۱)$$

در این معادله $\mathbf{Q_{DN}}$ مقدار کالیبره شده ارزش پیکسلی برای عدد رقومی، $\mathbf{L_\lambda}$ رادیانس طیفی یا بازتاب طیفی سنجنده برحسب واحد $Wm^{-2}Sr^{-1}\mu m^{-1}$ می‌باشد (رنگزن, و غیره ۱۳۹۰). مقادیر ضریب افزایش و انحراف از فراداده[6] تصویر استخراج شده است. سپس برای تبدیل رادیانس طیفی به دمای جسم سیاه از معکوس رابطه پلانک، معادله (۲)، استفاده خواهد شد:

$$T_B = \frac{k2}{Ln\left(\frac{K1}{L\lambda}\right)+1} \quad (۲)$$

در این رابطه $\mathbf{T_B}$ دمای روشنایی سنجنده برحسب کلوین، $\mathbf{K_1}$ ثابت کالیبراسیون اول برحسب $Wm^{-2}Sr^{-1}\mu m^{-1}$، $\mathbf{K_2}$ ثابت کالیبراسیون دوم برحسب کلوین، و $\mathbf{L_\lambda}$ رادیانس طیفی برحسب $Wm^{-2}Sr^{-1}\mu m^{-1}$ است. لازم به ذکر است ثابت کالیبراسیون اول و دوم، برای هرکدام از باندهای ۱۰و۱۱ به تفکیک در فایل فراداده تصویر لندست ۸ قرار داده‌شده است.

نسبت بین گسیلش از یک شی به گسیلش از جسمی سیاه در دمای ثابت را گسیلمندی (تابندگی) می گویند. مقدار گسیلمندی برای تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی سطح موردنیاز است، چراکه دمای روشنایی به‌دست‌آمده از معادله (۲)، دمایی است که جسم سیاه

1. Surface Emissivity
2. NDVI- Normalized Difference Vegetation Index
3. Digital Number (DN)
4. Gain
5. Bias
6. Metadata – Header file

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

به‌منظور تولید رادیانس معلوم در طول‌موج معلوم (۱۱/۵ μm) دارد. برای محاسبه میزان گسیلمندی از معادله (۳) استفاده می‌شود (Sobrino, Jimenez-Munoz and Paolini 2004):

$$\varepsilon = \varepsilon_V P_V + \varepsilon_S(1-P_V) + d_\varepsilon \quad (۳)$$

در این رابطه ε_V گسیلمندی پوشش گیاهی، ε_S گسیلمندی خاک، P_V نسبت پوشش گیاهی به‌دست‌آمده از معادله (۴) است.

$$P_V = \left(\frac{NDVI-NDVImin}{NDVImax-NDVImin}\right)^2 \quad (۴)$$

و d_ε شامل اثر پراکنش سطوح و همچنین بازتاب داخلی است، که برای سطوح هموار این مقدار ناچیز بوده و برای سطوح ناهمگون و خشن، به‌عنوان‌مثال جنگل‌ها این مقدار می‌تواند تا ۲ درصد نیز برسد. البته به‌صورت تقریبی با توجه به معادله زیر می‌توان این مقدار را محاسبه کرد (عقیلی نسب, و غیره ۱۳۹۲):

$$d_\varepsilon = (1-\varepsilon_S)(1-P_V)F\,\varepsilon_V \quad (۵)$$

که در این رابطه **F** ضریب شکل، که ارزش میانگین آن، با فرض توزیع هندسی متفاوت ۰/۵۵ است. با توجه به معادلات (۳) و (۴) گسیلمندی سطح زمین[1] به‌وسیله معادلات (۶) و (۷) محاسبه می‌گردد:

$$\varepsilon = mP_V + n \quad (۶)$$

$$m = \varepsilon_V - \varepsilon_S - (1-\varepsilon_S)F\,\varepsilon_V \;\&\; n = \varepsilon_S + (1-\varepsilon_S)F\,\varepsilon_V \quad (۷)$$

به‌منظور اعمال این روش، مقدار گسیلمندی خاک و پوشش گیاهی به ترتیب ۰/۹۷۳ و ۰/۹۹در نظر گرفته شد (Sobrino, Jimenez-Munoz and Paolini 2004).

1. Land Surface Emissivity (LSE)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

تغییرات زمانی و مکانی در ساختار پوشش گیاهی یک محیط توسط شاخص‌های متعددی تحلیل می‌گردد. بر اساس نتایج پژوهش‌های مختلف، انجام تحلیل توسط شاخص اختلاف پوشش گیاهی بهنجار شده، بهترین نتایج را در محیط‌های شهری به همراه داشته است (Shetty and Somashekar 2014). تحقیقات بسیاری نشان داده‌اند که این شاخص دارای همبستگی مناسبی با متغیرهای اقلیمی نظیر دما، بارش، تعرق و تبخیر در گستره وسیعی از شرایط محیطی بوده، و همچنین ارتباط مستقیم بین دمای سطح زمین و پوشش گیاهی موجود در یک محیط شهری وجود دارد (Jeganathan, Andimuthu and Kumar 2016). به سبب فرایند فتوسنتز نور مرئی در دامنه طول‌موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر به‌شدت توسط کلروفیل موجود در سلول‌های گیاهان، جذب می‌شود و درعین‌حال نور نزدیک مادون‌قرمز[1] در دامنه طول‌موج ۷۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر، به دلیل آسیب رسیدن به بافت گیاهان در صورت گرمایش بیش‌ازحد، توسط ساختار سلولی گیاهان به‌شدت بازتاب می‌گردد. بنابراین اختلاف در جذب و بازتاب تابش خورشید، گیاهان در دامنه مرئی طیف نوری تاریک‌تر دیده‌شده و در دامنه طول‌موج نزدیک به مادون‌قرمز روشن‌تر دیده می‌شوند. اجسام آبی میل به جذب شدیدتر طول‌موج نزدیک مادون‌قرمز نسبت به طول‌موج مرئی داشته و درنتیجه در تصاویر حاصل از طول‌موج مرئی روشن‌ترند. زمین بدون پوشش، و اجزای دیگر نظیر ساختمان‌ها تابش طول‌موج مرئی و نزدیک مادون‌قرمز را به یک‌میزان جذب و بازتاب می‌کنند و درنتیجه در تصاویر دامنه مرئی و نزدیک قرمز مشابه یکدیگر دیده می‌شوند. این اختلاف تونالیته رنگی در تصاویر مختلف کمک می‌کند تا بتوان تفاوت سطوح آبی، گیاهی، خاک و ساختمان‌ها را در تصاویر رادیانس طیفی تشخیص داد(Gates 1980) . برای محاسبه شاخص اختلاف پوشش گیاهی بهنجار شده از دو باند قرمز (باند ۴) و نزدیک مادون‌قرمز (باند ۵) ماهواره لندست ۸، مطابق معادله (۸) استفاده گردید.

1. Near Infrared (NIR)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (۸)$$

در رابطه فوق NIR و RED به ترتیب رادیانس طیف بازتابی نزدیک به مادون‌قرمز و قرمز بوده و ارزش شاخص پوشش گیاهی در بازه ۱- تا ۱+ قرار خواهد داشت. سطوح آبی دارای ارزش منفی، سطوح ساخته‌شده دارای ارزش نزدیک به صفر و گیاهان سبز ارزشی نزدیک به یک دارند. درنهایت برای محاسبه دمای سطح زمین از معادله (۹) بهره گرفته‌شده است (Artis and Carnahan 1982).

$$T_s = \frac{TB}{1 + \left(\lambda * \frac{TB}{\rho}\right) Ln\varepsilon} \quad (۹)$$

در این معادله $\mathbf{T_s}$ دمای تصحیح‌شده سطح زمین‌بر حسب کلوین، $\mathbf{T_B}$ دمای جسم سیاه برحسب کلوین، $\boldsymbol{\lambda}$ طول‌موج رادیانس گسیل‌شده (۱۱/۵ μm)، $\boldsymbol{\rho} = hcK^{-1}$ (1.438 * 10^{-2} mK)، **h** ثابت پلانک (6.626 * $10^{-34} js^{-1}$)، **c** سرعت نور (2.998 * 10^{8} ms^{-1})، **K** ثابت استفان بولتزمن (1.38 * $10^{-23} JK^{-1}$)، و $\boldsymbol{\varepsilon}$ گسیلمندی سطح زمین هست. در انتها و به‌منظور محاسبه دمای سطح زمین برحسب درجه سانتی‌گراد لازم است از معادله (۱۰) استفاده گردد:

$$T(c) = T(K) - 273.15 \quad (۱۰)$$

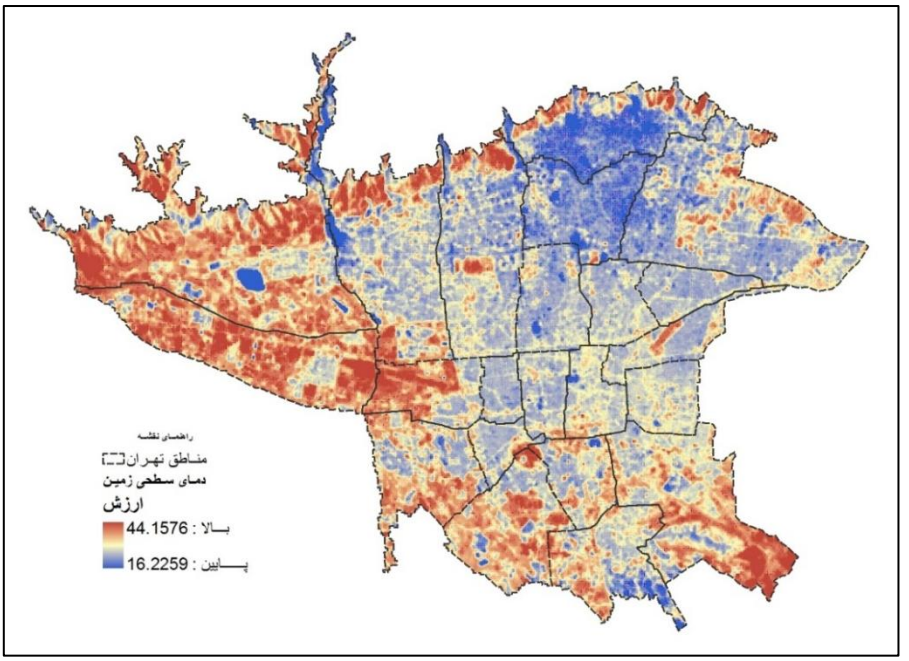
۴. یافته‌های پژوهش

در ابتدا باید دقت مدل در استخراج دما ارزیابی شود. به علت آنکه هیچ‌گونه داده قابل‌اعتمادی از دمای سطحی تهران هم‌زمان با عبور ماهواره (حدود ۱۰:۳۰ صبح) در دسترس پژوهشگران قرار نداشته تا دقت مدل را برای ناحیه مطالعه ارزیابی کنند؛ با توجه به رابطه دمای سطح زمین و دمای هوا، می‌توان دقت مدل را به‌طور تقریبی ارزیابی کرد. به این منظور یکی از ساده‌ترین و مناسب‌ترین مدل‌های خطی به‌صورت زیر پیشنهادشده است (عقیلی نسب, و غیره ۱۳۹۲):

$$T_a = 14.6 + 0.44 * LST \quad (۱۱)$$

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

در این رابطه T_a دمای هوا و **LST** دمای سطح زمین است. با توجه به در دسترس بودن داده‌های دمای هوای ساعتی ایستگاه‌های هواشناسی تهران در حوالی عبور ماهواره (۹:۳۰ صبح) (سازمان هواشناسی کشور ۱۳۹۵)، ابتدا داده‌های دمای سطحی به‌دست‌آمده از سنجنده با کمک رابطه بالا به دمای هوا تبدیل، و سپس با داده‌های برخی از ایستگاه‌های هواشناسی شهر تهران مقایسه شدند. جدول (۱) تفاوت دمای هوای تخمینی، دمای ایستگاه هواشناسی تهران و دمای سطح زمین را برای تصویر پردازش‌شده نشان می‌دهد.



شکل ۳. نقشه توزیع دمای سطح زمین شهر تهران

جدول ۱. مقایسه دماهای اندازه‌گیری شده از تصویر و ایستگاه‌های هواشناسی

نام ایستگاه	مهرآباد	ژئوفیزیک	شمیران	چیتگر
دمای هوای محاسبه‌شده از تصویر (c)°	۳۰	۲۸	۲۹	۲۹
دمای هوای اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی(c)°	۳۱,۲	۲۸,۸	۲۹,۶	۲۸
تفاوت دماهای اندازه‌گیری شده (c)°	-۱,۲	-۰,۸	-۰,۶	+۱

مأخذ: نتایج تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

به‌منظور شناسایی جزایر حرارتی شهر تهران از طریق دمای سطح زمین حاصل از رابط (۹) (تصویر ۳)، اقدام به طبقه‌بندی داده‌ها به ۵ طبقه دمایی مطابق جدول (۲) گردید.

جدول ۲. نحوه طبقه‌بندی داده‌های دمای سطحی مطالعه شده به ۵ طبقه دمایی

طبقه‌بندی دما	تعریف دامنه مربوط به هر طبقه‌بندی	دامنه طبقه‌بندی
دمای بسیار پایین (۱)	$T \leq Tmean - 1.5\ STD$	$T \leq 30.15$
دمای پایین (۲)	$Tmean - 1.5\ STD < T \leq Tmean - STD$	$30.15 < T \leq 31.43$
دمای متوسط (۳)	$Tmean - STD < T \leq Tmean + STD$	$31.43 < T \leq 36.55$
دمای بالا (۴)	$Tmean + STD < T \leq Tmean + 1.5\ STD$	$36.55 < T \leq 37.83$
دمای بسیار بالا (۵)	$T > Tmean + 1.5\ STD$	$T > 37.83$

مأخذ: نتایج تحقیق

پس از طبقه‌بندی داده‌های دمای سطح زمین در تصویر، مقدار مساحت هر طبقه دمایی در محیط ArcGIS 10.4 محاسبه شد. تا از این طریق ارتباط هر طبقه دمایی با شاخص پوشش گیاهی موردبررسی و تحلیل آماری قرار گیرد (تصویر ۴). در جدول (۳) مقدار مساحت هر یک از طبقات دمای سطحی شهر تهران به کیلومترمربع نشان داده‌شده است. گروه ۱ شامل دماهای بسیار پایین می‌شود. این دسته از داده‌ها مقادیری هستند که بیش از ۱/۵- انحراف معیار از میانگین فاصله دارند و نواحی بسیار خنک شهر تهران را شامل می‌شوند. گروه ۲ شامل دماهای پایین هستند، دماهای این طبقه بین ۱- و ۱/۵- انحراف معیار از میانگین فاصله داشته و نواحی خنک را نشان می‌دهد. گروه ۳ داده‌هایی هستند که بین ۱- و ۱+ انحراف معیار از میانگین فاصله دارند و دماهای متوسط شهر تهران را تشکیل می‌دهند. گروه ۴ بین ۱ تا ۱/۵+ انحراف معیار از میانگین فاصله داشته و دماهای بالای شهر تهران را شامل می‌شوند. درنهایت داده‌هایی که بیش از ۱/۵+ انحراف معیار از میانگین فاصله دارند، مناطق بسیار گرم تهران را به خود اختصاص داده‌اند که

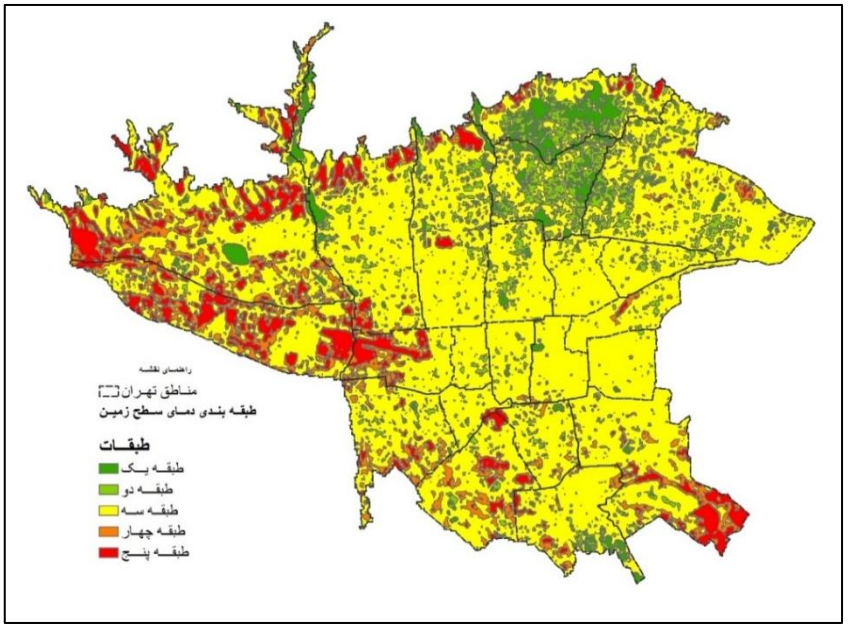
[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

طبقه ۵ را تشکیل می‌دهند. با توجه به طبقات دمایی، مناطقی که تحت تسلط گروه ۴ و ۵ هستند جزو محدوده جزیره حرارتی شهر تهران محسوب می‌شوند؛ زیرا این داده‌ها شامل نواحی گرم و بسیار گرم تهران بوده و نقاط کانونی[1] شهر منطبق بر آن‌هاست.

جدول ۳. طبقات دمایی شهر تهران بر اساس محدوده‌های دمایی

طبقه‌بندی دما	درصد مساحت (٪)	مساحت (کیلومترمربع)
دمای بسیار پایین (۱)	۳,۹۰	۲۹,۲۰
دمای پایین (۲)	۹,۰۰	۶۷,۶۰
دمای متوسط (۳)	۶۷,۶۷	۵۱۳,۶۹
دمای بالا (۴)	۱۰,۸۸	۸۲,۲۵
دمای بسیار بالا (۵)	۸,۵۵	۶۴,۴۹

مأخذ: نتایج تحقیق



شکل ۴. طبقه‌بندی داده‌های دمای سطح زمین در محدوده موردمطالعه

1. Hot-spot

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

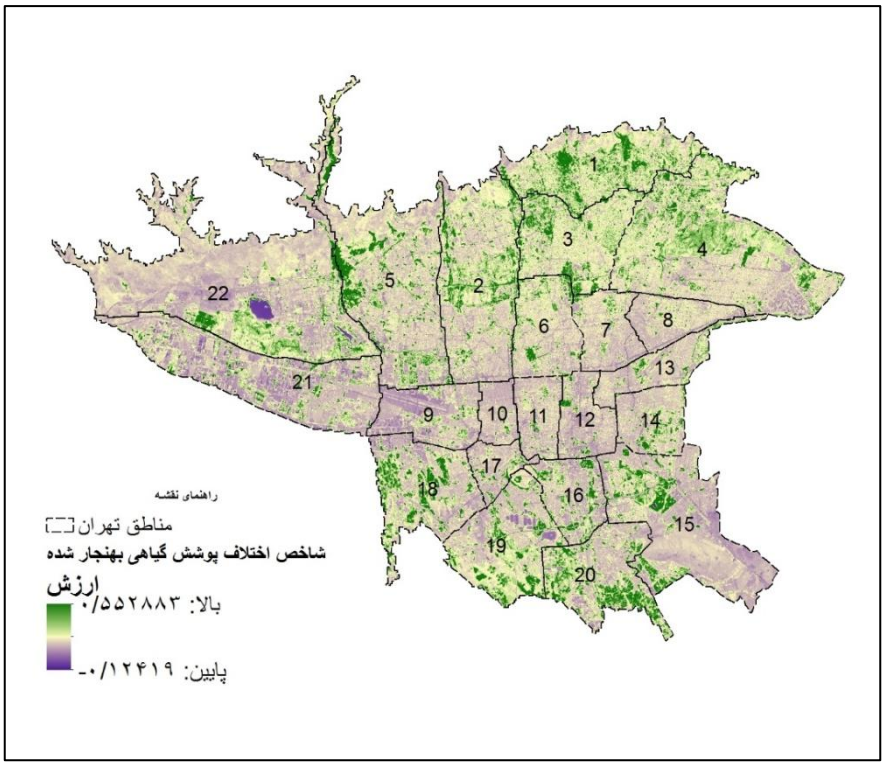
مقایسه پراکندگی دمای سطحی در تصویر (۴) نشان می‌دهد که جزیره حرارتی تهران کماکان کانون اصلی خود را بر روی فرودگاه مهرآباد حفظ کرده است. خوشه‌هایی نیز در سمت شمال و جنوب شرقی فرودگاه مهرآباد مشاهده می‌شوند و در حال ترکیب کامل با این کانون می‌باشند. علاوه بر این کانون، در محدوده کاربری‌های صنعتی در غرب منطقه ۲۱ خوشه‌های متعددی شکل گرفته است. از دیگر کانون‌های فرعی جزیره حرارتی شهر تهران می‌توان به محدوده سابق فرودگاه قلعه مرغی و فرودگاه دوشان تپه به ترتیب در شمال منطقه ۱۹ و مرکز منطقه ۱۳ شهرداری اشاره کرد. با توجه به اینکه بازتاب در کوهپایه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز، به علت جنس خاک و فقدان پوشش گیاهی و همچنین نوع شیب غیریکنواخت، مقدار قابل‌توجهی دارد در این محدوده خوشه‌های متعددی شکل گرفته که نمی‌توان از آن‌ها به‌عنوان کانون‌های جزیره حرارتی یادکرد.

مقایسه درصد مساحت‌های طبقات دمایی پنج‌گانه با پژوهش صادقی نیا و همکاران (صادقی نیا, علیجانی و ضیائیان ۱۳۹۱) نشان می‌دهد که در فاصله زمانی ۶ سال از این پژوهش از درصد مجموع مساحت‌های طبقات دمایی پایین و بسیار پایین کاسته شده و به مجموع مساحت‌های طبقات دمایی بالا و بسیار بالا افزوده‌شده است. (جدول ۴)

جدول ۴. مقایسه درصد مساحت طبقات پنج‌گانه دمایی شهر تهران در بازه ۶ سال

	طبقه ۱	طبقه ۲	طبقه ۳	طبقه ۴	طبقه ۵
سال ۲۰۱۰	۵,۷۰	۷,۸۲	۷۰,۳۶	۷,۱۷	۸,۹۵
سال ۲۰۱۶	۳,۹۰	۹,۰۰	۶۷,۶۷	۱۰,۸۸	۸,۵۵

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]



شکل ۵. نقشه اختلاف پوشش گیاهی بهنجار شده شهر تهران

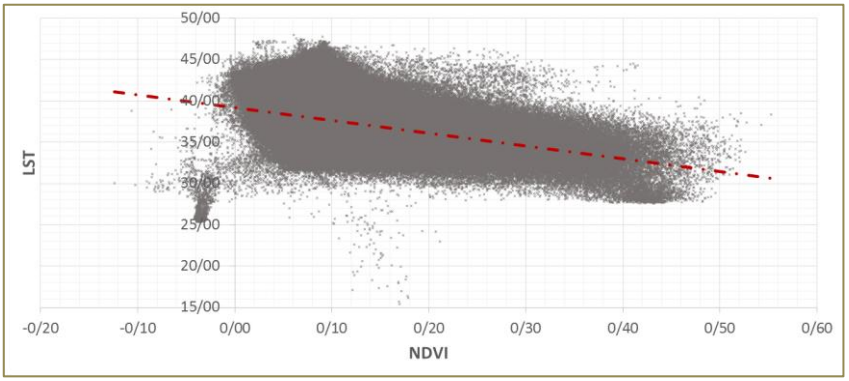
با مقایسه نقشه طبقات دمای سطحی شهر تهران با نقشه اختلاف شاخص پوشش گیاهی بهنجار شده (تصویر ۵)، می‌توان ارتباط میان دمای سطح و پوشش گیاهی را در شهر تهران تحلیل کرد. دمای سطح زمین همواره در نواحی با پوشش گیاهی غنی کمتر از نواحی فاقد پوشش گیاهی است. در محدوده‌هایی نظیر جنوب شرقی منطقه ۲۰، مرکز مناطق ۱ و ۳، و مرز مناطق ۵ و ۲۲، حدود تغییر طبقات دمایی کاملاً بر نقشه پوشش گیاهی منطبق است.

همان‌گونه که مشاهده شد افزایش میزان پوشش گیاهی ارتباط قابل‌توجهی با کاهش دمای تشعشعی سطوح شهری و درنتیجه آن کاهش تأثیر پدیده جزیره حرارتی شهری دارد. پوشش گیاهی در قالب چندین مکانیسم می‌تواند موجب کاهش دمای محیط اطراف گردد. گیاهان سبز به‌منظور تولید مواد غذایی و طی فرآیند فتوسنتز، مقداری از تابش خورشید را جذب می‌کنند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

همچنین طی همین فرآیند گیاهان گازهای گلخانه‌ای نظیر دی‌اکسید کربن را بـه محـیط اطـراف منتشر کرده که موجب کاهش دما در محدوده مجاور خود می‌شوند. از طرف دیگـر گیاهـان بـر کاهش دمای محدوده اطراف خود از طریق سرمایش تبخیری حاصل از تبخیر رطوبت موجود در برگ‌ها، می توانند کمک مؤثر کننـد. و سـایه ایجادشـده توسـط گیاهـان موجـب کـاهش تـابش دریافت شده زمین اطراف می گردد.

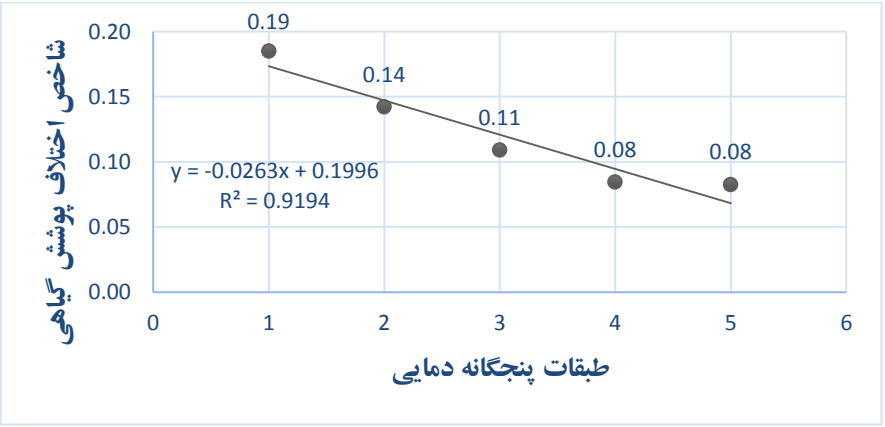
به‌منظور تعیین نقش پوشش گیاهی در انرژی بازتابشی سطوح و درنتیجه دمای سـطح زمـین، می‌توان با روش‌های آماری، میزان همبستگی ایـن دو عامـل را موردمطالعـه قـرارداد. ایـن امـر از طریق مقایسه یک‌بـه‌یـک ارزش‌هـای عـددی پیکسـل‌هـای تصـاویر هریـک از ایـن دو متغیـر در محدوده موردمطالعه صورت گرفت (نمودار تصویر ۶). در این تصـویر مقـادیر مربـوط بـه دمـای سطح زمین و همچنین شاخص اختلاف پوشش گیاهی برای تمـام پیکسـل‌هـای نقشـه تهیـه شـده (حدود ۸۵۰ هزار پیکسل) ارائه و نمودار روند تغییرات ترسیم شده است. شیب منفی این نمـودار گویای ارتبـاط منفـی قـوی دمـای سـطح زمـین بـا شـاخص اخـتلاف پوشـش گیـاهی بـوده و بـا به‌کارگیری این نمودار می‌توان تغییرات دمای سطح زمین را در کلان‌شهر تهران در صورت تغییر شاخص اختلاف پوشش گیاهی بهنجار شده پیش‌بینی نمود.



شکل ۶. تحلیل همبستگی دو متغیر دمای سطح زمین (محور عمودی)،
و شاخص اختلاف پوشش گیاهی بهنجار شده (محور افقی)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

ارتباط میان پوشش گیاهی و طبقات دمایی سطوح در شهر تهران -که معرف کانون پدیده جزیره حرارتی نیز می‌باشند- از طریق محاسبه میانگین تجمعی ارزش‌های عددی پیکسل‌های مربوط به شاخص پوشش گیاهی در محدوده‌های طبقات پنج‌گانه دمای سطح زمین از طریق تحلیل فضایی صورت گرفت. نمودار تصویر شماره ۷ نتایج رابطه همبستگی میان این دو متغیر را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشهود است ارتباط بسیار قوی (R=0.9194) میان فقدان پوشش گیاهی و محدوده‌های با اختلاف دمای بالا نسبت به‌کل محیط وجود داشته و پوشش گیاهی نقش مهمی در جلوگیری از تشکیل و یا کاهش شدت پدیده جزیره حرارتی شهری ایفا می‌کند.



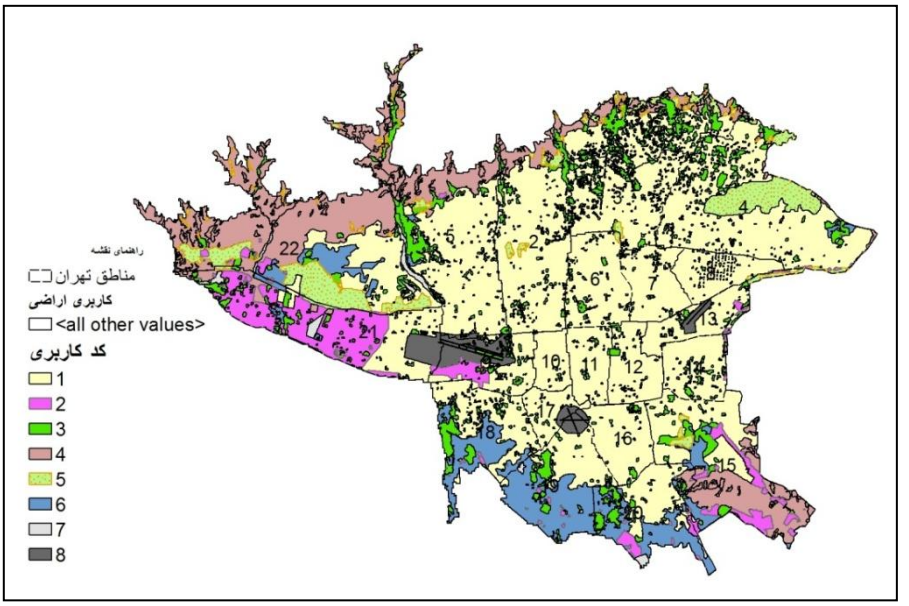
شکل ۷. تحلیل همبستگی دو متغیر شاخص اختلاف پوشش گیاهی بهنجار شده (محور عمودی)، و طبقات پنج‌گانه دمایی شهر تهران (محور افقی)

در آخر لایه کاربری اراضی شهر تهران در ۸ دسته مطابق جدول شماره ۵ و تصویر شماره ۸ به تحلیل‌ها اضافه شد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

جدول ۵. دسته‌بندی کاربری اراضی شهر تهران

کد دسته	عنوان کاربری	کد دسته	عنوان کاربری
۱	مراکز جمعیتی شهری	۵	جنگل‌های دست کاشت و مراتع پرتراکم
۲	تأسیسات شهری	۶	زراعت آبی
۳	باغات و مجتمع‌های درختی	۷	سایر
۴	مراتع با تراکم کم و متوسط	۸	فرودگاه‌ها



شکل ۸. پراکندگی کاربری اراضی در کلان‌شهر تهران

میانگین تجمعی دمای سطح در محدوده‌های هریک از دسته‌بندی‌های ذکرشده از طریق انجام تحلیل‌های فضایی محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد که کمترین میانگین دما مختص به باغات و مجتمع‌های درختی پراکنده در سطح شهر بوده و بیشترین میانگین دما به ترتیب مربوط به کاربری فرودگاه‌ها، تأسیسات شهری و مراتع با تراکم کم و متوسط بوده است. جالب آنکه دمای به‌دست آمده برای محدوده مراکز جمعیتی شهری به دلیل وجود پوشش گیاهی در خیابان‌های اصلی، کوچه‌ها و حیاط‌ها، در رتبه خوبی واقع‌شده است و جنگل‌های دست کاشت و

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

مراتع پرتراکم برخلاف انتظار نتوانسته‌اند نقش مؤثری در کاهش شدت جزیره حرارتی شهری ایفا کنند (نمودار تصویر ۹). درنتیجه می‌توان اذعان کرد که حفظ و احیای باغات به‌صورت پراکنده در بافت شهر و پس‌ازآن ایجاد پوشش گیاهی در فضاها باز عمومی و خصوصی و حاشیه خیابان‌ها به ترتیب می‌توانند تأثیر عمده‌ای بر کاهش شدت جزیره حرارت شهری و درنتیجه آن کاهش سرانه مصرف انرژی در بخش ساختمان داشته باشند.

شکل ۹. نمودار مقایسه‌ای میانگین دمای سطح زمین با دسته‌بندی کاربری اراضی

۵. جمع‌بندی

پوشش گیاهی نقش مهمی را در کاهش مشکلات زیست‌محیطی مراکز شهری ایفا می‌کند. و از بین رفتن این پوشش به بحران‌های زیست‌محیطی نظیر کاهش کیفیت هوا و شدت یافتن پدیده جزیره حرارتی می‌انجامد. این پدیده عامل مهمی در افزایش مصرف انرژی در بخش ساختمان در شهرهای بزرگ می‌باشد به‌طوری‌که افزایش متوسط دمای شهر به ازای هر یک درجه باعث دو درصد مصرف بیشتر در بخش‌های مختلف شده است. درنتیجه پوشش گیاهی را می‌توان به‌عنوان یکی از شاخص‌های پایداری محیط‌زیست و کاهش مصرف انرژی در جوامع شهری در

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

نظر گرفته و مدیریت مناسب پراکندگی، تراکم و گوناگونی بافت گیاهی را جزء جدایی‌ناپذیر اقدامات توسعه شهری قلمداد کرد.

در این پژوهش میزان تأثیر پوشش گیاهی بر دمای سطح زمین و درنتیجه آن کانون‌های پدیده جزیره حرارتی در مقیاس کلان در شهر تهران بررسی شد و سپس با تحلیل ارتباط میان کاربری اراضی با این متغیر و همچنین دمای سطح زمین نشان داده شد که کدام کاربری‌ها نیازمند سیاست‌گذاری جهت توسعه پوشش گیاهی و یا در اولویت برای کاهش تأثیرات پدیده جزیره حرارتی هستند. با توجه به اهمیت موضوع بالا رفتن حرارت شهری به نسبت شرایط معمول که ناشی از سیاست‌گذاری‌های اشتباه مخصوصاً در کشورهای درحال‌توسعه در برنامه‌ریزی و طراحی شهرها و ساختمان‌ها بوده و موجب افزایش انرژی مصرفی و عدم آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری و فضاهای داخلی است، باید راه‌کارهایی از جهت مکان‌یابی و افزایش سطوح مربوط به پوشش گیاهی در سطح شهر برای مقابله با مشکل جزیره حرارتی ارائه نمود.

در انتها باید به این نکته نیز اشاره گردد که وجود صنایع و کارگاه‌ها و پایانه‌ها و فرودگاه‌ها در داخل شهرها ازجمله عوامل تهدیدکننده شده و پیشنهاد می‌گردد که این نوع از کاربری‌ها به خارج از شهر منتقل گردند. به‌علاوه با توجه به تأثیر فاصله ساختمان‌ها و تراکم آن‌ها و مصالح ساختمانی، لازم است مبانی شهرسازی و روش‌های تعیین تراکم ساختمانی و قوانین ساخت‌وساز مرتبط به صورتی هوشمندانه بامطالعه‌ای دقیق‌تر بازبینی گردد و در این امر تلفیق معیارهای معماری و شهرسازی برای توسعه‌ای پایدار به‌صورت علمی و عملی جایگزین راه‌حل‌های ناکارآمد قبلی شود. در پژوهش‌های آتی می‌توان عملکرد حرارتی، درصد تأثیر و ویژگی‌های ریخت‌شناسی نظیر هندسه، تراکم و ارتفاع لکه‌های سبز شهری که عامل اصلی کاهش تأثیر پدیده جزیره حرارتی شناسایی شدند را موردبررسی قرارداد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

منابع

بابایی فینی، ام السلمه (۱۳۹۴). "بررسی رابطه دمای سطح زمین و شاخص بهنجار شده پوشش گیاهی در محیط شهری (مطالعه موردی: کلانشهر اصفهان)"، *فصل نامه جغرافیای طبیعی*، سال‌هشتم، شماره ۲۹، صص ۷۵-۹۰.

پوردیهیمی، شهرام (۱۳۹۰). *زبان اقلیمی در طراحی محیطی پایدار: کاربرد اقلیم شناسی در برنامه ریزی و طراحی محیط*. جلد یک، مقیاس کلان و میانه. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.

حسنلو، مهدی و حمید مشروطه (۱۳۹۴). "بررسی رابطه کاربری/ پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر کرمان با استفاده از تصاویر لندست-۸"، *اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*. تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه برداری.

حقیقت خرازی، احمد و محمد فرخزاد (۱۳۹۷). "انرژی‌های حرارتی ناشی از حضور انسان در محیط شهری: مطالعه موردی شهر تهران"، *مجله پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست گذاری انرژی، شماره ۱۰، صص* ۱۳۵-۱۶۹.

رنگزن، کاظم؛ فیروزی، محمد علی؛ تقی‌زاده، ایوب و رامین مهدی‌زاده (۱۳۹۰). بررسی و تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از R.S و GIS: نمونه موردی شهر اهواز"، *اولین سمینار ملی کاربرد GIS در برنامه ریزی اقتصادی، اجتماعی و شهری*.

سازمان هواشناسی کشور (۱۳۹۵). دستیابی در تیر ۱۳۹۵. www.irimo.ir.

صادقی نیا، علیرضا؛ علیجانی، بهلول و پرویز ضیائیان (۱۳۹۱). "تحلیل فضایی-زمانی جزیره حرارتی کلانشهر تهران با استفاده از سنجش از راه دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی"، *جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره چهارم*، صص۱۷-۱.

عقیلی‌نسب، سید زهرا؛ محمدزاده، مرجان؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول و حسین زارعی (۱۳۹۲). "تحلیل جزایر حرارتی شهری با استفاده از سنجش از دور و رابطه آن با توسعه دوستدار محیط زیست"، *محیط زیست و توسعه، سال ۴، شماره ۸، پاییز و زمستان، صص* ۸۸-۷۹.

فاضلی، عبدالرضا و شاهین حیدری (۱۳۹۲). "بهینه‌سازی مصرف انرژی در مناطق مسکونی شهر تهران با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی انرژی روتردام (REAP)"، *پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست گذاری انرژی، شماره ۳، صص* ۹۶-۸۳.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

متکان، علی اکبر؛ نوحه‌گر، احمد؛ میر باقری، بابک؛ ناهید ترک‌چین (۱۳۹۳). تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از داده‌های چند زمانه سنجنده ASTER مطالعه موردی: شهر بندرعباس"، *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال پنجم، شماره چهارم.*

Artis David A. and Walter H. Carnahan (1982), "Survey of Emissivity Variability in Thermography of Urban Areas", *Remote Sensing of Environment*, No. 12, pp.313-329.

Balling R.C. and S.W. Brazell (1988). "High Resolution Surface Temperature Patterns in a Complex Urban Terrain." *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*, 54(9), pp.1289-1293.

Cheng K.S., W.C. Hung and Y.C. Chen (2010). "Comparing landcover patterns in Tokyo,Kyoto and Taipei using ALOS multispectral images", *Remote Sensing of Environment* , 104(2), pp. 133-146.

Comarazamy D.E., Gonzalez J.E., Luvall J.C., Rickman D.L. and P.J. Mulero (2010). "A Land-atmospheric Interaction Study in the Coastal Tropical City of San Juan, Puerto Rico", *Earth Interact*, No. 14, pp. 1-24.

Coutts A. and R. Harris (2012). *Urban Heat Island Report: a Multi-scale Assessment of Urban Heating in Melbourne During an Extreme Heat Event: Policy Aproaches for Adaptation.* Melbourne: Victorian Centre for Climate Change Adaptation Research.

Feizizadeh B. and T. Blaschke (2013). "Examining Urban Heat Island Relations to Land Use and Air Pollution: Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis for Thermal Remote Sensing", *IEEE Journal of selected topics in Applied Earth Observations and Remote Sensisng*, 9(3).

Gates D.M. (1980). *Biophysical Ecology.* New York: Springer-Verlag.

Jeganathan A.R. Andimuthu and S.D. Kumar (2016). "Spatial Variation of Temperature and Indicative of the Urban Heat Island in Chennai Metropolitan Area, India", *Theoretical and Applied Climatology*, No.123, pp. 83-95.

Kjellstorm T. and M. Meng (2015). "Impact of Climate Conditions on Occupational Health and Related Economic Losses: A New Feature of Global and Urban Health in the Context of Climate Change", *Asia-Pacific Journal of Public Health*, pp.1-10.

Knight S.S. Claire and R. Michael (2010)."Mapping Manchester's Urban Heat Island", *Weather*, 65(7), pp.188-193.

Li Zhao-Liang, Bo-Hui Tang, Hua Wu, Huazhong Ren, Guangjian Yan and Zhengming Wan (2013). "Satellite-derived Land Surface Temperature: Current Status and Perspectives", *Remote Sensign of Environment* , pp. 14-37.

Mariani L.S.G., Parisi G. Cola, Lafortezza R., Colangelo G. and G. Sanesi (2016). "Climatological Analysis of the Mitigating Effect of Vegetation on the Urban Heat Island of Milan, Italy", *Science of the Total Environment*, pp. 762-773.

Nassar Ahmad K., Alan Blackburn G. and J. Duncan Whyatt (2016). "Dynamics and Controls of Urban Heat Sink and Island Phenomena in a Desert City: Development

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]

of a local Climate Zone Scheme using Remotely-sensed Inputs", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* , No. 51, pp.76-90.

Oke T.R. (1987). ***Boundary Layer Climates***. London, England: Routledge.

Oke T.R., Johnson G., Steyn D. and I. Watson (1991). "Simulation of Surface Urban Heat Island under 'Ideal' Conditions. Part 2: Diagnosis of Causation", ***Bound-Layer Meteorol,*** No. 56, pp. 339-358.

Oke TR. (1982). "The Energetic Basis of the Urban Heat Island", Q. J. R. Met Soc pp.108 1-24.

Rajeshwari A. and N.D. Mani (2014). "Estimation of Land Surface Temperature of Dindigual District using Landsat 8 data", *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology.*

Senanayake I.P., W.D.D.P. Welivitiya and P.M. Nadeeka (2013). "Remote Sensing based Analysis of Urban Heat Islands with Vegetation cover in Colombo city, SriLanka using Landsat-7 ETM+ data", *Urban Climate,* No. 5, pp. 19-35.

Shetty MA. and RK. Somashekar (2014). "Assessment of Vegetation cover through NDVI, Bangalore India", *J Appl Res*, 4(3), pp. 176-197.

Sobrino Jose A., Juan C. Jimenez-Munoz and Leonardo Paolini (2004). "Land Surface Temperature Retrieval from LANDSAT TM 5", *Remote Sensing of Environment*, No. 90, pp. 434-440.

US Environmental Protection Agency. (2008). *Reducing Urban Heat Islands Compendium of Strategies: Urban Heat Island Basics.* Washington, DC.: Climate Protection Partnership Division, US Environmental Protection Agency.

Voogt, J. (2004). *Urban Heat Island: Hotter Cities.* Washington D.C.: American Institute of Biological Sciences.

Xiao J. and A. Moody (2005). "A Comparison of Methods for Estimationg Fractional Green Vegetation Cover within a Desert-to-Upland Transition Zone in Central New Mexico, USA", *Remote Sensing of Environment*, 98(2-3), pp. 237-250.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-17]