



The Investigation of the Relationship between Urban Morphology Changes and Land Surface Temperature for Urban Heat Island Management (A Case Study: Tehran)

Saeedeh Nasehi¹ | Ahmadreza Yavari² | Esmail Salehi³

1. Department of Environmental Planning, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: nasehi_sa@ut.ac.ir
2. Department of Environmental Planning, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: ayavari@ut.ac.ir
3. Department of Environmental Planning, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: tehransaleh@ut.ac.ir

Article Info

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 12 Apr 2022

Received in revised form: 01 Jun 2022

Accepted: 08 Jun 2022

Available online: 30 July 2022

Keywords:

Urban Morphology,
Land Surface
Temperature,
Local Climate Zone,
Urban Heat Island,
Tehran.

Alteration of urban forms and geometries due to rapid unplanned urban development can result in localized elevation of land surface temperature - a phenomenon known as urban heat island. This study examines the impact of land development patterns on land surface temperatures in a heterogeneous urban environment. As many as 18 Landsat satellite images for 1995, 2008 and 2021 (average cloudless images per year) were used in this study. First, land development patterns were generated from the processing of Landsat satellite images in SAGA GIS using the method of Stewart and Oke. At the second stage, land surface temperatures for 1995, 2008, and 2021 were extracted using the single-channel algorithm. At the third stage, the relationship between mean value of land surface temperatures and the heterogeneous form of Tehran was analyzed. The results showed that among all LCZs, the highest mean value of land surface temperatures belonged to the Heavy Industry LCZ with the average temperatures of 5.32, 48.18, and 51.87°C for 1995, 2008, and 2021, followed by the Bare Soil/Sand LCZ with the average temperatures of 47.25, 49.25 and 52.36°C for the same years. The lowest mean value of land surface temperatures belonged to the Water LCZ with the average temperatures of 20.5, 22.63, and 23.15°C for 1995, 2008, and 2021, respectively. It was also found that the Compact Low-Rise LCZ had higher mean value of land surface temperatures than both Compact High-Rise and Compact Mid-Rise LCZs. The differences observed between the highest and lowest land surface temperatures in the study area are indicative of the significant impacts of urban form on land surface temperatures. The findings can contribute to our understanding of urban environments and help to devise better plans for minimizing the adverse effects of land use and development on these environments.

Cite this article: Nasehi, S., Yavari, A., Salehi, E. (2022). The Investigation of the Relationship between Urban Morphology Changes and Land Surface Temperature for Urban Heat Island Management (A Case Study: Tehran). *Geography and Environmental Sustainability*, 12 (3), 107-130. DOI: 10.22126/GES.2022.7625.2517



© The Author(s).

DOI: 10.22126/GES.2022.7625.2517

Publisher: Razi University

بررسی ارتباط بین تغییرات مورفولوژی شهری با دمای سطح زمین به منظور مدیریت جزیره حرارتی شهری (مطالعه موردی: شهر تهران)

سعیده ناصحی^۱ | احمدرضا یآوری^۲ | اسماعیل صالحی^۳

۱. گروه برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: nasehi_sa@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: ayavari@ut.ac.ir
۳. گروه برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: tehranssaleh@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخچه مقاله:</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۳</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۸</p> <p>دسترسی آنلاین: ۱۴۰۱/۰۵/۰۸</p> <p>کلیدواژه‌ها: مورفولوژی شهری، دمای سطح زمین، منطقه اقلیم محلی، جزیره حرارتی، تهران</p>	<p>رشد سریع و بدون برنامه‌ریزی مناطق شهری و به تبع آن تغییر فرم و هندسه شهری یکی از عوامل مؤثر بر افزایش دمای سطح زمین در شهرها است که باعث ایجاد جزیره حرارتی می‌شود. این مقاله تأثیر الگوهای مختلف توسعه زمین را بر تغییرات حرارتی، درون محیط ناهمگن شهری ارزیابی می‌کند. از هجده تصویر ماهواره‌ای لندست برای سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ (میانگین تصاویر بدون ابر برای هر سال) استفاده شده است. در ابتدا الگوهای مختلف توسعه زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در نرم‌افزار ساگا جی آی اس بر اساس روش استوارت و اوک تولید شد. در مرحله دوم دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم تک کانال برای سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ استخراج شد. در مرحله سوم ارتباط بین میانگین دمای سطح زمین و فرم ناهمگن شهر تهران مورد بحث قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین میزان دمای ثبت شده برای میانگین دما برای سال ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ در رده‌ها مربوط به رده صنایع سنگین به ترتیب دمای ۴۵/۳۲، ۴۸/۱۸ و ۵۱/۸۷ درجه سانتی‌گراد است. در رتبه دوم بالاترین دمای ثبت شده، رده خاک برهنه یا ماسه و شن قرار دارد که به ترتیب دارای دمای ۴۷/۲۵، ۴۹/۲۵ و ۵۲/۳۶ درجه سانتی‌گراد را داشت. در مورد عامل پایین‌ترین حداقل‌های دمایی؛ پایین‌ترین دمای رده‌ها در میانگین‌ها مربوط به رده آب بود. میانگین دمایی آب به ترتیب برابر ۲۰/۵، ۲۲/۶۳ و ۲۳/۱۵ درجه سانتی‌گراد بود. همچنین نتایج بیانگر این بود که ساختمان‌های کوتاه مرتبه متراکم نسبت به ساختمان‌های بلندمرتبه و ساختمان‌های میان مرتبه متراکم دمای بالاتری دارند. به‌طور کلی اختلاف حداقل و حداکثر دما در منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه فرم شهری بر دما است. این یافته‌ها برای درک بهتر محیط‌زیست شهری و همچنین برنامه‌ریزی برای نحوه استفاده از زمین به‌منظور به حداقل رساندن اثرهای محیط‌زیست شهری مفید است.</p>

استناد: ناصحی، سعیده؛ یآوری، احمدرضا؛ صالحی، اسماعیل (۱۴۰۱). بررسی ارتباط بین تغییرات مورفولوژی شهری با دمای سطح زمین به‌منظور

مدیریت جزیره حرارتی شهری (مطالعه موردی: شهر تهران). *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۲ (۳)، ۱۰۷-۱۳۰. DOI: 10.22126/GES.2022.7625.2517



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

بر اساس گزارش سازمان ملل متحد (سال ۲۰۱۸) جمعیت جهان ۷٫۶ میلیارد نفر و جمعیت شهری ۴٫۲ میلیارد نفر است. همچنین پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰، جمعیت جهان به ۹٫۷ میلیارد نفر و جمعیت شهرها به ۶٫۶ میلیارد نفر برسد (Caprotti, 2018; United Nations, 2018; Sun et al., 2020). رشد سریع و بدون برنامه‌ریزی مناطق شهری سبب کاهش آلودگی سطوح شهری، افزایش جرم پوشش‌های سطحی در واحد مساحت، افزایش گرمای انسان‌ساخت ناشی از فعالیت‌های کارخانه‌ها، موتورهای تهویه هوا و حمل‌ونقل (Rose & Devadas, 2009) و کاهش سطوح تبخیرکننده و تغییر در معادلات ترازنامه انرژی و رطوبت شهری و دمای سطح زمین می‌شود. هندسه شهری نیز سبب کاهش سرعت باد در شهرها می‌شود و بدین ترتیب نقش مهمی در جزیره حرارتی ایفا می‌کند (Unger, 2004). این افزایش ناخوشایند گرما باعث افزایش دمای پیکره‌های آبی نیز می‌شود و باعث استرس زیست‌بوم‌های آبی می‌شود. افزون بر این امواج گرمایی تولیدشده با جزایر حرارتی، باعث تغییر الگوهای اقلیمی نظیر بارش و وزش باد در مناطق شهری می‌شود. از طرف دیگر اثرات نامطلوب جزیره حرارتی شهری شامل افزایش مصرف انرژی، افزایش مصرف آب در ایام گرم سال (Guhathakurta & Gober, 2007)، افزایش ناراحتی‌های حرارتی (Almusaed, 2011) و افزایش آلودگی هوا (Rosenfeld et al., 1998) است.

این عوامل موجب شده است تا مفهوم جزیره حرارتی در حوزه مطالعات شهری شکل گیرد و به یکی از موضوعات مهم علمی تبدیل شود. عدم کنترل این تغییرات و نادیده گرفتن تسریع آنها تهدیدی بزرگ برای محیط‌زیست شهری است. از این‌رو محققان همواره به دنبال شناخت و درک این پدیده‌ها و در نهایت شبیه‌سازی رفتار آنها بوده‌اند؛ بنابراین شناخت درست و درک صحیح از عوامل و علل شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری نقش بسزایی در برنامه‌ریزی، مدیریت و بهبود شرایط زیستی و اجتماعی شهرها خواهد داشت. خرد اقلیم شهری با عامل‌های مختلفی از جمله هندسه شهری، پوشش گیاهی و مواد سطوح شهری تعیین می‌شود. تغییرات نامناسب در طراحی شهری و ساخت و ساز ساختمان‌ها می‌تواند شرایط حرارتی شهر را دگرگون کرده و پدیده‌ای که جزیره حرارتی شهری نام دارد را ایجاد نماید (Oke, 1973; Oke 1982). شکل‌ها و ساختارشناسی شهری، خرد اقلیم‌هایی را ایجاد می‌کند که بر فضای بیرونی و داخلی و پیکربندی آن بر رفتار باد و تابش خورشیدی تأثیر می‌گذارد (Oke, 1982). مقایسه دمای سطح زمین با خصوصیات مکانی مانند تراکم و پوشش سطح زمین، همبستگی بین فرم شهری و جزیره شهری را تأیید می‌کند. به‌طور کلی مطالعات فرم شهری به جنبه‌های مختلف محیط شهری مانند میکرو اقلیم، پتانسیل انرژی خورشیدی، ارتفاع ساختمان، الگوی خیابان، کاربری زمین و پوشش سطح که نقش کلیدی را در کنترل اقلیم شهری و جزیره حرارتی دارند مربوط می‌شوند (Oke, 1973; Taheri et al., 2016).

چهار عامل مهم را در مورد اقلیم و آب‌وهوای شهری می‌توان مطرح کرد: ساختار شهری (ابعاد ساختمان‌ها و فضاهای بین آنها، عرض خیابان و فاصله)، پوشش شهری (کسری از سطوح ساخته شده، آسفالت، پوشش گیاهی، خاک و آب) بافت شهری (ساخت‌وساز و مواد طبیعی) و متابولیسم شهری (گرما، آب و آلاینده‌ها به دلیل فعالیت انسانی). این چهار عامل کنترل، همه مربوط به مورفولوژی شهری است و نقش مهمی در ایجاد محیط‌های اقلیمی شهری خاص دارند (Oke, 1988). مواد و مصالح ساختمان‌ها مانند بتن، آسفالت جاده‌ها، پیاده‌راه‌ها، خیابان‌های باریک، نفوذپذیری کم شهری و ساختمان‌های بلند و موارد دیگر فرم شهری را شکل می‌دهند که جزیره حرارتی شهری بالایی دارند (Elmarakby et al., 2020). رویکرد سنتی ارزیابی جزیره حرارتی شهری تفاوت دمای شهر و روستا را در نظر می‌گیرند و به طور کلان ارزیابی جزیره حرارتی شهری انجام می‌گیرد (Alexander & Mills, 2014). این تعریف، پدیده تغییر دمای مناطق شهری در مقایسه با مناطق پیرامون آن را توصیف می‌کند (Camilloni & Barros, 1997).

استوارت (۲۰۱۱) تحقیقات مربوطه را مرور کرد و نتیجه‌گیری کرد که نقص عمده‌ای در ادبیات موجود جزیره حرارتی شهری و مشکلی در تعریف اصطلاحات «شهری» و «روستایی»^۱ وجود دارد. زیرا از یک سو استفاده از ویژگی «شهری» و

«روستایی» ممکن است گمراه کننده باشد و از سوی دیگر این ویژگی‌ها ممکن است برای توصیف ساختار پیچیده شهرها خیلی ساده باشد (Leconte et al., 2015). بدین منظور استوارت و اوک (۲۰۱۲) باتوجه به پیچیدگی شهرها بر لزوم بهره‌گیری از مدل‌های نوین تاکید کردند و باتوجه به فرم ناهمگن شهری، مدل «منطقه اقلیم محلی» را ارائه دادند. به دلیل دشوار بودن جداسازی مناطق شهری و روستایی و عدم وجود ویژگی‌های استاندارد در تعریف مناطق شهری و روستایی برخی از شاخص‌ها در مدل منطقه اقلیم محلی استفاده کردند. یک منطقه اقلیم محلی به عنوان یک منطقه با قطر حداقل ۴۰۰ متر تا چند کیلومتر تعریف شده است که ویژگی‌های یکنواخت از نظر مورفولوژی شهری، استفاده از زمین، مواد شهری و متابولیسم شهری و یک رژیم دمای هوای مشخص در آسمان آرام و صاف را نشان می‌دهد (Stewart & Oke, 2012).

استوارت و اوک در سال ۲۰۱۲ مورفولوژی شهر را بر اساس ۱۷ رده ارائه دادند (Stewart & Oke, 2012). این ۱۷ نوع رده شامل ۱۰ رده ساخته شده و ۷ رده پوشش طبیعی است (Kotharkar & Bagade, 2018).

ویژگی این مدل باعث شده است تا ارزیابی جزیره حرارتی شهری باتوجه به فرم ناهمگن شهر امکان‌پذیر باشد، باین حال ارتباط بین ساختارهای ناهمگن شهر با دما هنوز به طور کامل شناخته نشده است. داده‌های سنجش‌ازدور حرارتی یک منبع منحصربه‌فرد از اطلاعات برای تعریف جزایر حرارتی سطوح می‌باشد که با لایه جزایر حرارتی تاج‌پوشش شهری ارتباط دارد (Quattrochi & Luvall, 1999).

برای اولین بار روآ به ارزیابی احتمال تشخیص رد پای حرارتی در مناطق شهری با داده‌های سنجش‌ازدور حرارتی پرداخت (Rao, 1972). دمای سطح زمین یک عامل مهم در مطالعات محیط‌زیست و دینامیک حرارتی شهری است که درجه حرارت هوا در لایه‌های پایین‌تر از فضای شهری را تنظیم می‌کند و یک عامل اساسی در تعیین تابش سطح و تبادل انرژی، اقلیم داخلی ساختمان‌ها و آسایش انسان در شهرها می‌باشد (Voogt & Oke, 1998). خواص فیزیکی انواع مختلفی از سطوح شهری، رنگ آن‌ها، عامل دید آسمان، هندسه خیابان، بارهای ترافیکی و فعالیت‌های انسانی از عوامل مهم تعیین‌کننده دمای سطح زمین در محیط‌های شهری می‌باشد (Chudnovsky et al, 2004).

به‌طور کلی تجزیه و تحلیل جزیره حرارتی شهری با استفاده از تصاویر حرارتی، با ارتباط دادن جزیره حرارتی سطح شهر با انواع پوشش / کاربری زمین، شاخص‌های پوشش گیاهی، چشم‌اندازهای مختلف شهری، سطوح نفوذناپذیر شهری و تغییرات کاربری اراضی شهری انجام شده است. همچنین تغییرات فضایی - زمانی: روزانه، فصلی و سالانه جزیره حرارتی نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. اطلاعات سنجش‌ازدور غالباً برای ارزیابی UHIs سطح استفاده می‌شود (Voogt & Oke, 2003; Weng, 2009). رویکرد کلاسیک تجزیه و تحلیل UHI، تفاوت درجه حرارت شهری و روستایی است (Dousset & Gourmelon, 2003; Gallo et al., 1993; Kottmeier et al., 2007; Roth et al., 1989; Runnalls & Oke, 2000).

توزیع فضایی جزیره حرارتی شهری به عوامل مختلفی از قبیل تراکم جمعیت، اندازه مساحت شهر، ساختار چشم‌انداز، مساحت سطوح نفوذناپذیر، پس‌زمینه اقلیمی، گرمای آزاد شده، فضاهای سبز و آبی و آلودگی سطح، نسبت داده شده است. پس‌زمینه گیاهی، علت اصلی تغییرات فضایی - زمانی جزیره حرارتی شهری در مناطق وسیع در نظر گرفته شده است (Zhou et al., 2016). گیاهانی که سطوح غیرشهری را با تبخیر تعرق خنک می‌کنند، به طور گسترده‌ای به عنوان یک عامل غالب در تنظیم الگوهای جزیره حرارتی شهری در طول تابستان ثبت شده‌اند (Lazzarini et al., 2015; Zhang & Liang, 2018). عوامل انسانی نیز به طور قابل توجهی به توزیع جزیره حرارتی شهری تأثیر می‌گذارند (Shirani-Bidabadi et al., 2019).

سطوح نفوذناپذیر با به دام انداختن، ذخیره‌سازی و انتشار گرمای بیشتر موجب گرم‌شدن سطوح شهری می‌شود و با جزیره حرارتی شهری در تابستان و یا شب رابطه مستقیم دارد و نشان داده شده است که محرک اصلی اثرات گرمایش شهری در عرض‌های متوسط به عرض جغرافیایی بالا می‌باشد (Zhang et al., 2010). اثر اندازه و مساحت شهری بر جزیره حرارتی

شهری نیز مثبت و قابل توجه و حتی به‌عنوان عامل اصلی جزیره حرارتی شهری در نظر گرفته می‌شود (Du et al., 2016). به‌عنوان مثال، تقریباً ۸۷٪ از تغییرات جزیره حرارتی شهری در میان شهرهای ایالات متحده می‌تواند توسط اندازه منطقه شهری، به‌ویژه در مناطقی با زمین‌های نسبتاً همگن در مناطق اطراف شهر توضیح داده شود (Li et al., 2017). هر دو رابطه مثبت و منفی تراکم جمعیت با جزیره حرارتی شهری مشاهده شده است (Benas et al., 2017; Cui et al., 2016). عوامل دیگری همچون آلودگی سطح (Zhang et al., 2018)، مصرف انرژی و یا انتشار حرارت گرمایشی انسان‌ساز (Zhang & Liang, 2018) و آبروسل‌های اتمسفری (Cao et al., 2016) به‌عنوان محرک اصلی جزیره حرارتی شهری مطرح شده است. همچنین (Cai et al., 2018) تحقیقی باهدف بررسی رابطه جزیره حرارتی شهری دمای سطح زمین با استفاده از روش درگاه پایگاه اطلاعات شهری جهان و ابزارهای دسترسی^۱ نقشه LCZ در منطقه دلتا رودخانه یانگ تسه (YRD) استفاده کردند. در این تحقیق به‌منظور محاسبه دمای سطح از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. نتایج دمای سطح زمین در شهرهای مختلف نشان داد که رده‌های با تراکم ساختمانی بالاتر دارای دمای بالاتر سطح زمین هستند. (Wang, 2019) رابطه بین مورفولوژی ۲ بعدی/۳ بعدی شهری و دمای سطح زمین در طول تابستان را بررسی کردند. نتایج نشان داد توزیع پراکنده ساختمان‌های با ارتفاع بالا می‌تواند باعث کاهش دمای سطح زمین شود. همچنین نتایج مشخص ساخت درختان مؤثرترین عامل در کاهش دمای سطح زمین هستند و راندمان خنک‌کنندگی عمدتاً به آنها بستگی دارد. همچنین نتایج مشخص ساخت بالاترین دمای سطح زمین در مناطق صنعتی و تجاری مشاهده می‌شود.

شیرانی بیدآبادی و همکاران با استفاده از باند ۶ حرارتی تصویر ماهواره لندست ۷ برای سال ۲۰۰۴ میلادی و باند ۱۰ حرارتی تصویر لندست ۸ برای سال ۲۰۱۳ دمای سطح زمین شهر اصفهان با استفاده از الگوریتم تک بانندی استخراج کردند. نتایج این مطالعه نشان داد بر خلاف انتظار، جزایر حرارتی در بخش‌های مرکزی شهر حضور گسترده‌ای ندارند بلکه اغلب در بخش‌های شمالی و جنوبی شهر که با کاهش شدید پوشش گیاهی و گسترش کاربری‌های صنعتی، زمین‌های بایر و نیز شهرک‌سازی‌ها مواجه هستند، ایجاد و گسترش یافته‌اند (Shirani-Bidabadi et al., 2019).

الماراکابی و همکاران در مقاله‌ای با عنوان مورفولوژی فضایی و جزیره حرارتی شهری در دو مقیاس میانی (مقیاس شهر) با استفاده از روش سنجش‌ازدور و مقیاس محلی (مقیاس همسایگی) با استفاده از اندازه‌گیری میدانی به ثبت دما پرداختند (Elmarakby et al., 2020). نتایج نشان داد باتوجه به LCZ های موجود در منطقه که شامل LCZ 1-6 می‌باشد، فرم‌های فشرده و بلندمرتبه (LCZ1) با پوشش نفوذناپذیر دارای بالاترین دما و شکل‌های پراکنده با پوشش سبز و کم‌ارتفاع (LCZ6) کمترین دما را داشتند. اسدی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به بررسی تأثیرات کاربری زمین و پوشش گیاهی بر جزایر گرمایی شهری با استفاده از سنجش‌های سیمای سرزمین در منطقه ۶ تهران پرداختند. نتایج آنها نشان داد که سیمای سرزمین نیز در ایجاد جزایر گرمایی شهری مؤثر است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده بعد از زمین‌های صنعتی، زمین‌های سازمانی بزرگ‌ترین عامل در ایجاد جزایر گرمایی شهری است.

کریمی فیروزجایی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی فضایی - زمانی تغییرات شدت جزیره حرارتی و پیش‌بینی آن در شهر بابل پرداختند. نتایج نشان داد تغییرات کاربری اراضی با رشد ۹۲ درصدی اراضی ساخته شده روبه‌رو شده است. روند تغییرات دمای سطح با تغییرات کاربری اراضی ارتباط مستقیم دارد. همچنین، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و فرایند تغییر شدت جزیره حرارتی برای منطقه مورد مطالعه نتایج نگران‌کننده‌ای را نشان می‌دهد. ثناگر دربانی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای که در شهر مشهد انجام دادند به بررسی کاهش تأثیرات جزایر حرارتی شهری بر سلامت انسان‌ها از طریق تغییرات فرم شهری پرداختند. نتایج آنها نشان داد که ایجاد سایه‌اندازی از طریق ترکیب پوشش گیاهی و همچنین ایجاد تغییرات متنوع در ساختارهای ارتفاع به عرض که هم سایه‌اندازی را افزایش دهد و هم در بخش‌هایی راه را برای انتشار گرمای محیط باز نماید، می‌تواند در کاهش دمای محیط و سطوح، تأثیرگذار باشد. نادری‌زاده شورابه و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی تغییرات مکانی - زمانی کاربری اراضی، گسترش شهری و تأثیر آن بر افزایش دمای سطح زمین در شهر گرگان

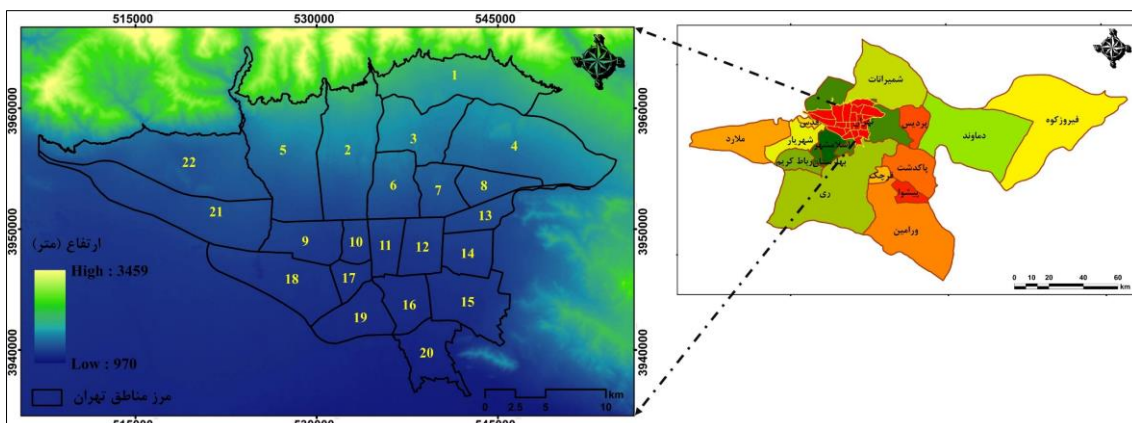
پرداختند. نتایج آنها نشان داد که کاهش طبقات دمایی خیلی سرد و سرد و افزایش طبقات دمایی نرمال و گرم است که مهم‌ترین دلیل آن افزایش مساحت کاربری‌های ساخته‌شده و آیش است.

تحقیقات مربوط به جزیره حرارتی شهری در تمام دنیا در حال رشد فزاینده است. پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که تا کنون مدل‌ها و شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی جزیره حرارتی شهری استفاده شده است. اما هنوز نیاز به اطلاعات بیشتری در ارزیابی جزیره حرارتی شهری نیاز است. در بیشتر پژوهش‌های موجود تنها با در نظر گرفتن شاخص‌هایی مانند شاخص SUHI شهری - روستایی، شاخص تفاوت دمای مناطق شهری - کشاورزی (Jin et al., 2005) شاخص مرکز شهر - پیرامون (Zhang et al., 2010) شاخص شهری - غیرشهری (Tomlinson et al., 2012) و شاخص شهری - آب (Chen et al., 2006) ارزیابی جزیره حرارتی شهری به صورت کلان صورت گرفته است. در صورتی که توزیع دما در سطح شهر به عوامل و جنبه‌های مختلفی بستگی دارد که بدون در نظر گرفتن بسیاری از شاخص‌ها ممکن است نتیجه واقعی دمای سطح زمین با نتیجه مدل‌سازی متفاوت باشد؛ بنابراین نیاز است که چنین ارزیابی‌هایی در مقیاس محلی و با جزئیات بیشتر صورت گیرد. مدل‌های بسیاری برای ارزیابی جزیره حرارتی شهری پیشنهاد شده است در این بین مدل منطقه‌بندی اقلیم محلی (LCZ) بسیاری از مشکلات مطرح شده در مدل‌های پیشین را اصلاح نموده است. این مدل به دلیل قابلیت و دقت بالا در طبقه‌بندی در بین روش‌های مورد استفاده از جایگاه بالاتری برخوردار است. این مدل رویکرد نسبتاً جدیدی در طبقه‌بندی اقلیمی رده‌های شهری و غیرشهری می‌باشد.

بخش زیادی از پژوهش‌های صورت گرفته در مورد ارزیابی جزیره حرارتی شهر به شرایط دمای شهر توجه کرده و به مورفولوژی شهر کمتر توجه شده است. در صورتی که فرم شهر و فضاهای باز شهری و ابعاد و اندازه ساختمان‌ها در میزان جذب و دفع انرژی و نتیجه آن میزان مصرف انرژی فسیلی و دمای سطح زمین نقش اساسی دارند ولی تاکنون پژوهش‌های کمی در جهان و بخصوص ایران، در مورد شرایط مورفولوژی شهری، اثر ابعاد و اندازه ساختمان‌ها و عرض بناها و ... بر روی شدت جزیره حرارتی شهر صورت گرفته است؛ لذا تحقیق حاضر به دنبال بررسی تأثیر فرم شهری بر دمای سطح زمین و جزیره حرارتی به منظور ارائه جزئیات بیشتر در دمای شهر می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

تهران به‌عنوان پایتخت ایران، در قسمت شمالی کشور، دامنه جنوبی کوه‌های البرز واقع شده است. طول جغرافیایی ۵۱ درجه تا ۵۱ درجه ۴۰ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه ۳۰ تا ۳۵ درجه ۵۱ درجه شمالی است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. شهر تهران در سال ۱۹۲۱ تنها ۲۱۰ هزار نفر جمعیت داشته است (Roshan et al., 2009) که در آخرین سرشماری رسمی سال ۲۰۱۶ این میزان به بیش از ۸٫۵ میلیون نفر رسیده است و اکنون پرجمعیت‌ترین شهر ایران است (Hasanlou & Mostofi, 2015). شهر تهران به‌عنوان پایتخت ایران دارای پیچیدگی فراوان در کاربری ارضی، فرم شهری و به تبع این مسائل پیچیدگی در دمای سطح زمین است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این مقاله ابتدا منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت، سپس معیارهای مرتبط با فرم شهری و پوشش سطح زمین بررسی و طبقه‌بندی مناطق اقلیم محلی در نرم‌افزار ساگا جی آی اس بر اساس ۱۷ رده استاندارد انجام شد. سپس بر اساس داده‌های مکانی - زمانی ماهواره‌ای محاسبه دمای سطح زمین بر اساس الگوریتم تک کانال صورت گرفت. در مرحله بعد در رده‌های اقلیم محلی میزان دمای سطوح و جزیره حرارتی در هر طبقه ارزیابی شد و در نهایت ارتباط رده‌های اقلیم محلی و تغییرات فضایی - زمانی جزیره حرارتی و NDVI برای سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ مورد بررسی قرار گرفت. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده برای هر سال در جدول ۱ نشان داده شده است. به دلیل تأثیر شرایط اقلیمی و فصلی بر شرایط دمای سطح، برای انتخاب تصاویر مورد استفاده در مدل‌سازی دمای سطح زمین شرایط عدم وجود پوشش ابر لحاظ گردیده است. در نهایت از میانگین تصاویر بدون ابر برای هر سال استفاده شده است.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

نوع سنجنده	تاریخ اخذ تصویر	قدرت تفکیک مکانی باندهای حرارتی (متر)	قدرت تفکیک مکانی باندهای انعکاسی (متر)
TM	۱۹۹۵/۰۳/۰۷	۱۲۰	۳۰
TM	۱۹۵۵/۰۴/۰۸	۱۲۰	۳۰
TM	۱۹۹۵/۰۸/۳۰	۱۲۰	۳۰
TM	۱۹۹۵/۱۱/۰۲	۱۲۰	۳۰
TM	۲۰۰۸/۰۴/۲۷	۱۲۰	۳۰
TM	۲۰۰۸/۰۶/۳۰	۱۲۰	۳۰
TM	۲۰۰۸/۰۸/۰۱	۱۲۰	۳۰
TM	۲۰۰۸/۱۰/۰۴	۱۲۰	۳۰
OLI/TRIS	۲۰۲۱/۰۴/۱۵	۱۰۰	۳۰
OLI/TRIS	۲۰۲۱/۰۶/۰۲	۱۰۰	۳۰
OLI/TRIS	۲۰۲۱/۰۶/۱۸	۱۰۰	۳۰
OLI/TRIS	۲۰۲۱/۰۷/۰۴	۱۰۰	۳۰
OLI/TRIS	۲۰۲۱/۰۷/۲۰	۱۰۰	۳۰
OLI/TRIS	۲۰۲۱/۰۸/۰۵	۱۰۰	۳۰
OLI/TRIS	۲۰۲۱/۰۹/۲۲	۱۰۰	۳۰
OLI/TRIS	۲۰۲۱/۱۱/۰۹	۱۰۰	۳۰
OLI/TRIS	۲۰۲۱/۱۲/۱۱	۱۰۰	۳۰
OLI/TRIS	۲۰۲۱/۱۲/۲۷	۱۰۰	۳۰

به‌منظور طبقه‌بندی دقیق نقشه مناطق اقلیم محلی بایست تعداد نمونه‌های تعلیمی^۱ زیاد و با پراکنش مناسب باشد. بدین منظور ۳۲۰ نمونه در این مقاله روی تصویر گوگل ارث انتخاب شد و طبقه‌بندی رده‌ها بر اساس نمونه‌های تعلیمی بر اساس الگوریتم جنگل تصادفی^۲ در نرم‌افزار SAGA GIS صورت گرفت. پس از تهیه نقشه، به‌منظور صحت سنجی طبقه‌بندی، از نقاط تصادفی در گوگل ارث استفاده شد و صحت کلی و ضریب کاپا به دست آمد.

مناطق اقلیم محلی

باتوجه به هدف تحقیق و بر اساس شناخت از منطقه، طبقات پوشش قابل تشخیص و تفکیک روی تصویر لندست ۸ و سنجنده OLI بر اساس ۱۷ رده استاندارد در نظر گرفته شد که شامل ۱۷ نوع رده (۱۰ رده ساخته شده و ۷ رده پوشش

1- Training area

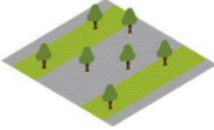


2- Random Forest algorithm

طبیعی) است و شرح آنها و نمونه‌هایی از رده در شهر مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. تعریف طبقات ساخته شده و پوشش طبیعی مذکور در جدول ۲ ذکر شده است. در این مقاله بر اساس روش ارائه شده در پایگاه اطلاعات شهری جهان طبقه‌بندی مناطق اقلیم محلی اجرا گردیده است. این روش مبتنی بر تصاویر رایگان چندزمانه لندست، نمونه‌های تعلیمی در گوگل ارث و یک رده‌بندی الگوریتم جنگل تصادفی می‌باشد. برای داده‌های آزمون از تفسیر بصری تصاویر گوگل ارث استفاده شد. مراحل کار طبقه‌بندی تصاویر بر اساس فرم شهر و پوشش طبیعی شامل مراحل زیر است:
الف: پیش‌پردازش تصاویر لندست ب) استخراج نمونه‌های تعلیمی در گوگل ارث ج) طبقه‌بندی در نرم‌افزار ساگا جی آی اس.

جدول ۲. توصیف مناطق اقلیم محلی (Stewart & Oke, 2012)

LCZ	Description	Aerial View
 بلندمرتبه متراکم: ۱ LCZ	<ul style="list-style-type: none"> • ترکیبی متراکم از ساختمان‌های بلند ده‌ها طبقه • درختان اندک یا بدون درخت • پوشش زمین عمدتاً آسفالت شده است. • مصالح ساختمانی بتن، فولاد، سنگ و شیشه 	
 میان مرتبه متراکم: ۲ LCZ	<ul style="list-style-type: none"> • ترکیبی متراکم از ساختمان‌های ارتفاع متوسط (تعداد طبقات ۳-۹) • درختان اندک یا بدون درخت • پوشش زمین عمدتاً آسفالت شده است. • مصالح ساختمانی آجر، کاشی و بتن 	
 متراکم کم‌ارتفاع: ۳ LCZ	<ul style="list-style-type: none"> • ترکیبی متراکم از ساختمان‌های کم‌ارتفاع (تعداد طبقات ۱-۳) • درختان اندک یا بدون درخت • پوشش زمین عمدتاً آسفالت شده است. • مصالح ساختمانی آجر، کاشی و بتنی 	
 بلندمرتبه پراکنده: ۴ LCZ	<ul style="list-style-type: none"> • ساختمان‌های بلندمرتبه ده‌ها طبقه • فراوانی پوشش زمین نفوذپذیر (گیاهان کم، درختان پراکنده) • مصالح ساختمانی بتن، فولاد، سنگ، شیشه 	
 میان مرتبه پراکنده: ۵ LCZ	<ul style="list-style-type: none"> • ساختمان‌های با ارتفاع متوسط • فراوانی پوشش زمین نفوذپذیر (گیاهان کم، درختان پراکنده) • مصالح ساختمانی بتن، فولاد، سنگ و شیشه 	
 کوتاه مرتبه پراکنده: ۶ LCZ	<ul style="list-style-type: none"> • ساختمان‌های کم‌ارتفاع باز (تعداد طبقات ۱-۳) • فراوانی پوشش زمین نفوذپذیر (گیاهان کم، درختان پراکنده) • مصالح ساختمانی از چوب، آجر، سنگ، کاشی و بتون 	
 کوتاه مرتبه سازه سبک: ۷ LCZ	<ul style="list-style-type: none"> • ترکیبی متراکم از ساختمان‌های تک طبقه، • درختان اندک یا بدون درخت، پوشش زمین عمدتاً سخت شده است. • مصالح ساختمانی سبک (به‌عنوان مثال چوب، کاهگل، فلز سبک) 	
 کوتاه مرتبه، درشت‌دانه: ۸ LCZ	<ul style="list-style-type: none"> • ترتیب باز ساختمان‌های بزرگ کم‌ارتفاع (تعداد طبقات ۱-۳) • درختان کم یا بدون درخت، پوشش زمین عمدتاً آسفالت شده است. • مصالح ساختمانی فولادی، بتونی، فلزی و سنگی. 	

ادامه جدول ۲.

LCZ	Description	Aerial View
 ساختمان‌های پراکنده: LCZ 9	<ul style="list-style-type: none"> چیدمان پراکنده ساختمان‌های کوچک یا متوسط در یک محیط طبیعی فراوانی پوشش زمین نفوذپذیر (گیاهان کم، درختان پراکنده) 	
 صنایع سنگین: LCZ 10	<ul style="list-style-type: none"> سازه‌های صنعتی کم‌ارتفاع و متوسط (برج‌ها، مخازن، دودکش‌ها) درختان اندک یا بدون درخت، پوشش زمین عمدتاً آسفالت، مصالح ساختمانی فلزی، فولادی و بتونی 	
 درختان متراکم: LCZ A	<ul style="list-style-type: none"> منظره‌ای از درختان برگ‌ریز و یا همیشه سبز متراکم پوشش اراضی عمدتاً نفوذپذیر (گیاهان کم). کارکرد منطقه جنگل طبیعی. درختکاری شده و یا یک پارک شهری است. 	
 درختان پراکنده: LCZ B	<ul style="list-style-type: none"> منظره‌ای از درختان برگ‌ریز و یا همیشه سبز متراکم پوشش اراضی عمدتاً نفوذپذیر (گیاهان کم). کارکرد منطقه جنگل طبیعی. درختکاری شده و یا یک پارک شهری است. 	
 بوته‌زار، خارستان: LCZ C	<ul style="list-style-type: none"> چیدمان باز بوته‌ها، درختچه‌ها و درختان کوتاه. پوشش زمین عمدتاً نفوذپذیر (خاک لخت یا ماسه). کارکرد منطقه بوته‌زار طبیعی یا کشاورزی است. 	
 گیاهان کوتاه: LCZ D	<ul style="list-style-type: none"> چشم‌انداز بی‌نظیر چمن یا گیاهان/ محصولات گیاهی علفی. درختان اندک یا بدون درخت. کارکرد مرتع طبیعی و کشاورزی یا پارک شهری است. 	
 سنگ برهنه یا سنگ‌فرش شده: LCZ E	<ul style="list-style-type: none"> چشم‌انداز پوشش سنگی یا سنگ‌فرش شده پوشش درختان و گیاهان اندک یا وجود ندارد. کارکرد منطقه بیابان طبیعی (صخره) یا حمل‌ونقل شهری است. 	
 خاک برهنه یا ماسه و شن: LCZ F	<ul style="list-style-type: none"> چشم‌انداز پوشش خاک یا ماسه پوشش گیاهان اندک یا وجود ندارد. کارکرد منطقه بیابان طبیعی یا کشاورزی است. 	
 آب: LCZ G	<ul style="list-style-type: none"> پهنه آب بزرگ و باز مانند دریاها و دریاچه‌ها یا پهنه کوچک مانند رودخانه‌ها، مخازن و تالاب‌ها. 	

عوامل مسبب جزیره حرارتی شهری را می‌توان به دودسته کلی تقسیم کرد، دسته اول: عوامل هواشناسی، مانند پوشش ابر، سرعت باد و رطوبت. دسته دوم: عوامل کالبدی، مانند فرم و ارتفاع ساختمان‌ها، مصالح ساختمانی و نوع فعالیت‌های انجام شده در اماکن و فضای شهری و به‌طور کلی مورفولوژی شهری می‌باشد (Shahmohamadi et al., 2011).

به منظور طبقه‌بندی مناطق اقلیم محلی بر اساس ویژگی‌های سطوح، از شاخص‌هایی مانند خصوصیات فرم و مورفولوژی شهری از جمله تعداد طبقات ساختمانی، تراکم ساختمانی، ضریب انتشار سطوح، شاخص آسمان قابل رؤیت، مصالح ساختمانی و ... استفاده می‌شود. این اطلاعات به منظور رسیدن به یک رویکرد مشترک در دنیا و نیز به منظور ایجاد پایگاه اطلاعات جامع برای شهرهای مختلف در سراسر جهان ایجاد شده است. ویژگی‌های فیزیکی همه مناطق که با توجه به مکان و زمان قابل اندازه‌گیری است که در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. مقادیر خصوصیات هندسی و پوشش سطحی و مقادیر خاصیت حرارتی، تابشی و متابولیکی برای مناطق اقلیم محلی (Stewart & Oke, 2012)

LCZ رده	عامل دید آسمان (۱)	نسبت جهت شیب (۲)	نرخ تراکم ساختمان (۳)	نرخ سطوح نفوذناپذیر (۴)	نرخ سطوح نفوذپذیر (۵)	میانگین ارتفاع (۶)	رده زمینی (۷)	هدایت ظاهری سطح (۸)	آلبدوی سطح (۹)	تولید گرمای انسان‌ساز (۱۰)
LCZ1	0.2-0.4	> 2	40-60	40-60	< 10	> 25	8	1,500-1,800	0.10-0.20	50-300
LCZ 2	0.3-0.6	0.75-2	40-70	30-50	< 20	10-25	6-7	1,500-2,200	0.10-0.20	<75
LCZ 3	0.2-0.6	0.75-1.5	40-70	20-50	< 30	3-10	6	1,200-1,800	0.10-0.20	<75
LCZ 4	0.5-0.7	0.75-1.25	20-40	30-40	30-40	>25	7-8	1,400-1,800	0.12-0.25	<50
LCZ 5	0.5-0.8	0.3-0.75	20-40	30-50	20-40	10-25	5-6	1,400-2,000	0.12-0.25	<25
LCZ 6	0.6-0.9	0.3-0.75	20-40	20-50	30-60	3-10	5-6	1,200-1,800	0.12-0.25	<25
LCZ 7	0.2-0.5	1-2	60-90	< 20	< 30	2-4	4-5	800-1,500	0.15-0.35	<35
LCZ 8	>0.7	0.1-0.3	30-50	40-50	< 20	3-10	5	1,200-1,800	0.15-0.25	<50
LCZ 9	0.8	0.1-0.25	10-20	< 20	60-80	3-10	5-6	1,000-1,800	0.12-0.25	<10
LCZ10	0.6-0.9	0.2-0.5	20-30	20-40	40-50	5-15	5-6	1,000-2,500	0.12-0.20	>300
LCZ A	<0.4	>1	<10	<10	>90	3-30	8	unknown	0.10-0.20	0
LCZ B	0.5-0.8	0.25-0.75	<10	<10	>90	3-15	5-6	1,000-1,800	0.15-0.25	0
LCZ C	0.7-0.9	0.25-1.0	<10	<10	>90	<2	4-5	700-1,500	0.15-0.30	0
LCZ D	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<1	3-4	1,200-1,600	0.15-0.25	0
LCZ E	>0.9	<0.1	<10	>90	<10	<0.25	1-2	1,200-2,500	0.15-0.30	0
LCZ F	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<0.25	1-2	600-1,400	0.20-0.35	0
LCZ G	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	-	1	1,500	0.02-0.10	0

منظور از (۱) نسبت مقدار نیمکره آسمان که از سطح زمین قابل مشاهده است به یک نیمکره بدون مانع و (۲) میانگین نسبت ارتفاع به عرض کانال‌های خیابانی، مربوط به (LCZs 1-7)، فاصله ساختمان، مربوط به (LCZs 8-10) و فاصله درختان، مربوط به (LCZs A-G) و (۳) نسبت مساحت سطح ساختمان به مساحت کل سطح (%) (۴) نسبت مساحت سطح سطوح نفوذناپذیر (سنگ‌فرش شده، سنگی) به مساحت کل سطح (%) و (۵) نسبت و (۶) مساحت سطح نفوذپذیر (خاک لخت، پوشش گیاهی، آب) به مساحت کل سطح (%) و (۷) میانگین هندسی ارتفاع ساختمان‌ها (LCZs 1-10) و ارتفاع درختان / گیاه (LCZs A-F) (متر) و (۸) توانایی سطح برای پذیرش یا رهاسازی گرما ($J m^{-2} s^{-1/2} K^{-1}$) که با رطوبت خاک و تراکم مواد تغییر می‌کند و (۹) نسبت مقدار تابش خورشیدی منعکس شده توسط یک سطح به مقدار دریافت شده که آن سطح با رنگ سطح، رطوبت و زبری تغییر می‌کند و (۱۰) متوسط چگالی شار حرارتی سالانه (Wm^{-2}) از احتراق سوخت و فعالیت‌های انسانی (حمل‌ونقل، خنک‌کننده/گرم‌کردن فضا، فرایند صنعتی، سوخت‌وساز بدن انسان) که این مقادیر با عرض جغرافیایی، فصل و تراکم جمعیت به میزان قابل توجهی متفاوت است.

دمای سطح زمین

در این تحقیق برای بازیابی دمای سطح زمین در شهر تهران از تصاویر لندست چهار تاریخ ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ استفاده شد. برای تبدیل تصاویر خام به اطلاعات قابل تفسیر دمای سطح زمین ابتدا بایستی برخی پیش‌پردازش‌ها و پردازش‌ها اعمال گردید که شامل به‌دست آوردن رادینانس طیفی، به‌دست آوردن ضریب انعکاس، به‌دست آوردن دمای درخشندگی، محاسبه توان تشعشعی سطح زمین^۱، محاسبه شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی^۲، محاسبه کسر پوشش گیاهی^۳، محاسبه توان تشعشعی سطح زمین می‌باشد (Nadizadeh Shorabeh et al., 2020).

1- Land Surface Emissivity (LSE)

2- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

3- Fractional vegetation cover (FVC)

برای به‌دست‌آوردن دمای سطح زمین از روش تک کانال^۱ استفاده شد (Shorabeh et al., 2022). این روش مناسب‌ترین روش برای بازیابی دمای سطح زمین از یک کانال منفرد واقع در منطقه حرارتی طیف الکترومغناطیس از سری ماهواره‌های لندست است. الگوریتم‌های تک کانال را می‌توان به هر یک از دو باند حرارتی لندست هشت^۲ اعمال کرد. با این حال، از آنجاکه باند یک حرارتی لندست^۳ در منطقه جذب جو پایین‌تر قرار گرفته است، بهتر است از این باند استفاده شود. الگوریتم تک کانال مورد استفاده برای بازیابی دمای سطح زمین از تصاویر حرارتی ماهواره لندست در این تحقیق توسط جیمز - موز و همکاران (Jimenez-Munoz et al., 2009) توسعه یافته و بروی تصاویر لندست ۵ و ۷ اعمال شده است. همچنین این الگوریتم توسط جیمز-موز و همکاران (Jimenez-Munoz et al., 2014) بر روی لندست ۸ اعمال شده است. این الگوریتم برای همه سنجنده‌های لندست به یک شکل و با رابطه ۱ اعمال می‌شود.

$$T_s = \gamma \left[\frac{1}{\varepsilon} (\psi_1 L_{sen} + \psi_2) + \psi_3 \right] + \delta \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این، T_s دمای سطح زمین، ε توان تشعشعی سطح زمین و L_{sen} رادیانس در سطح سنجنده، است. عامل‌های γ و δ از رابطه ۲ به دست می‌آیند.

$$\gamma \approx \frac{T_{sen}^2}{b_\gamma L_{sen}}; \quad \delta \approx T_{sen} - \frac{T_{sen}^2}{b_\gamma} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در این، T_{sen} دمای درخشندگی سطح سنجنده، b_γ (۱۳۲۴) برای لندست ۸، ۱۲۷۷ برای لندست ۷ و ۱۲۵۶ برای لندست ۵) و Ψ_1 ، Ψ_2 و Ψ_3 توابع اتمسفری هستند که با توجه به رابطه ۳ برای لندست ۸ به دست می‌آیند.

$$\begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.04019 & 0.02916 & 1.01523 \\ -0.38333 & -1.50294 & 0.20324 \\ 0.00918 & 1.36072 & -0.27514 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W^2 \\ W \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۳}$$

ضرایب Cij توسط شبیه‌سازی به‌دست‌آمده است. W مقدار بخار آب اتمسفر است که از داده‌های رادیوسوند و محصولات مادیس به دست می‌آید.

طبقه‌بندی دمای سطح زمین

به منظور بررسی تغییرات مکانی - زمانی دمای سطح، نقشه‌های دمای سطح منطقه با روش‌های آماری تجزیه و تحلیل شدند. در این پژوهش جهت حذف اثر تغییرات دمای هوای ناشی از تغییرات فصل بر دمای سطح محاسبه شده، تمام تصاویر دمای سطح با استفاده از دو عامل حداقل و حداکثر دما نرمال شدند. برای نرمال‌سازی تصاویر از رابطه (۴) استفاده شده است (Shorabeh et al., 2022).

$$N_i = \frac{T_i - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه، N_i مقدار نرمال شده پیکسل i ، T_i مقدار مطلق پیکسل i ، T_{\min} حداقل دمای هر تصویر، T_{\max} حداکثر دمای هر تصویر می‌باشد.

سپس تصاویر نرمال شده مطابق با جدول ۴ با استفاده از مقادیر میانگین و انحراف معیار خود به پنج رده مختلف دمایی طبقه‌بندی می‌شوند.

1- single-channel (SC)

2- Thermal Infrared Sensor (TIRS)

3- TIRS-1

جدول ۴. نحوه طبقه‌بندی دمای سطحی به ۵ طبقه دمایی

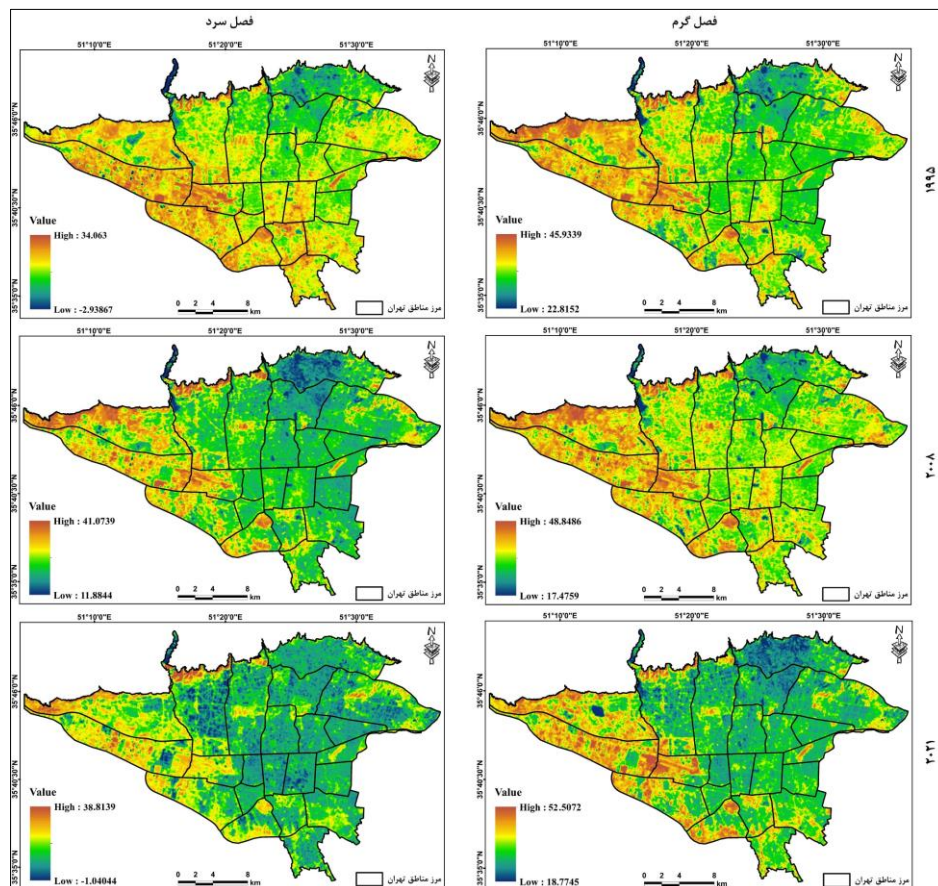
طبقه	دامنه مربوط به هر طبقه
بسیار سرد	$T \leq T_{\text{mean}} - 1.5\text{std}$
سرد	$T_{\text{mean}} - 1.5\text{std} < T \leq T_{\text{mean}} - \text{std}$
متوسط	$T_{\text{mean}} - \text{std} < T \leq T_{\text{mean}} + \text{std}$
گرم	$T_{\text{mean}} + \text{std} < T \leq T_{\text{mean}} + 1.5\text{std}$
خیلی گرم	$T > T_{\text{mean}} + 1.5\text{std}$

در جدول ۴، T_{mean} میانگین دمای هر یک از تصاویر نرمال شده و std نشان‌دهنده مقدار انحراف معیار هریک از تصاویر نرمال شده می‌باشد (Qureshi et al., 2021).

نتایج

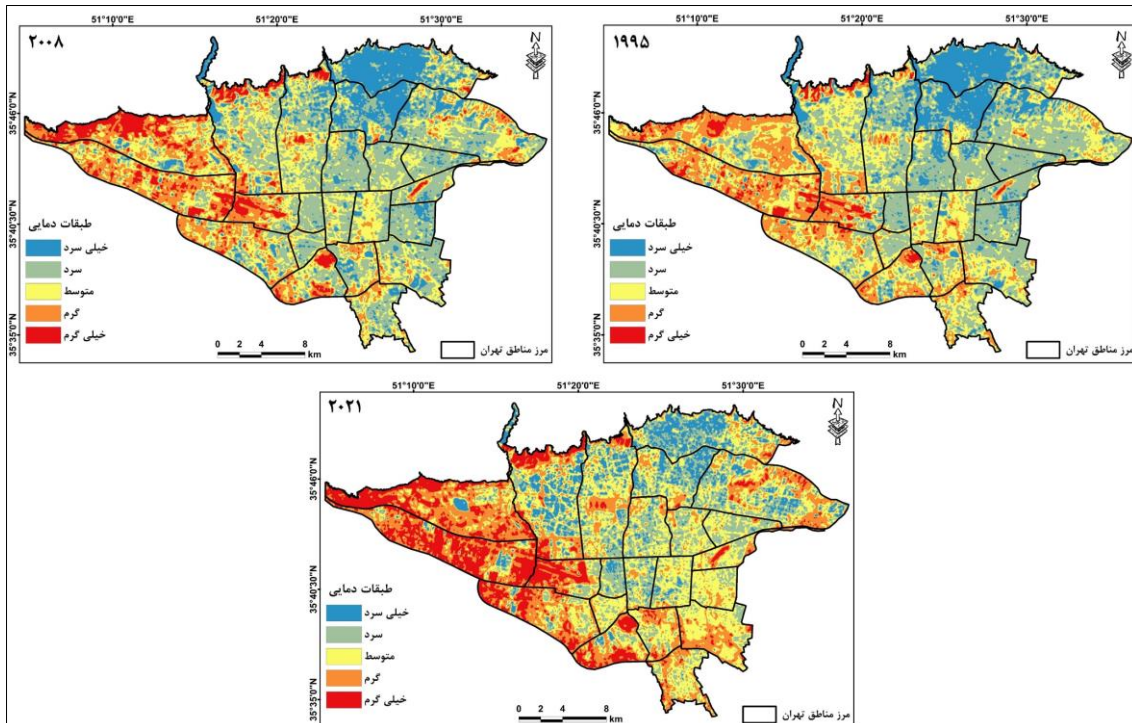
محاسبه دمای سطح زمین

در شکل ۲ دمای سطح زمین در فصل گرم و سرد برای سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ نشان داده شده است. همان‌طور که نشان داده شده است در مناطق شمالی منطقه مورد مطالعه ساختار غیرمتراکم شهری به همراه فضای سبز موجب شده است که این مناطق دمای سطح پایینی را داشته باشند. همچنین ساختارهای طبیعی مانند باغات متراکم و پهنه‌های آبی نیز دمای سطح بسیار پایینی دارند که ناشی از تبخیر و تعرق در این سطوح است که دمای سطح آنها را پایین نگه می‌دارد. در مناطق بخش مرکزی شهری که داری تراکم ساختمانی بالا و فضای سبز ضعیف می‌باشد نیز دمای سطح بالا مشاهده می‌شود. مساحت بالای سطوح نفوذناپذیر، وجود خیابان دره‌ای (خیابان‌های دره‌ای با پراکنده کردن چندباره نور خورشید جذب و ذخیره‌سازی نور خورشید را افزایش می‌دهند)، حجم بالای ترافیک در این مناطق و کاهش جریان هوا موجب شده است که این مناطق دمای سطح بالایی داشته باشند.



شکل ۲. نقشه دمای سطح زمین برای فصل گرم و سرد

با استفاده از تصاویر حرارتی به دست آمده از منطقه طی سال‌های مختلف و تحلیل‌های آماری نقشه طبقه‌بندی دمای سطح منطقه به دست آمده است. برای این منظور دمای سطح منطقه بر اساس مقادیر میانگین و انحراف معیار به ۵ طبقه دمایی خیلی سرد، سرد، متوسط، گرم و خیلی گرم تقسیم شده‌اند (شکل ۳). همان‌طور که شکل زیر نشان می‌دهد طی سال‌های گذشته آنومالی‌های حرارتی در منطقه به سمت بیرون و داخل شهر در حال افزایش و گسترش می‌باشد. به‌طور کلی، ۴ مکان در منطقه مورد مطالعه به علت کاربری‌های متفاوت تا حد زیادی تحت تأثیر جزیره حرارتی شهری قرار گرفته‌اند. یکی از مهم‌ترین مناطق آسیب‌دیده در منطقه ۲۱ شهر تهران قرار دارد. در این منطقه ساختار شهری در مناطق صنعتی شامل سطوح وسیعی از مواد نفوذناپذیر به همراه خاک بایر و عدم پوشش گیاهی است که این ساختار موجب شده است دمای سطح در این مناطق در طول روز بسیار بالا باشد. همچنین فعالیت‌های گرماساز در این مناطق بسیار بالاست که یکی دیگر از دلایل گرم بودن دمای سطح در این مناطق می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر، این منطقه با کاربری‌های صنعتی و پوشش‌های انسان‌ساخت اشغال شده است. منطقه دوم که تا حد زیادی تحت تأثیر جزیره حرارتی شهری است منطقه ۹ می‌باشد. این امر عمدتاً ناشی از فرودگاه بین‌المللی مهرآباد، پایانه‌های حمل‌ونقل مسافر، ترافیک‌های سنگین جاده‌ای و حجم زیادی از وسایل نقلیه عمومی و خصوصی می‌باشد. سومین منطقه تحت تأثیر جزیره حرارتی شهری در شمال و شمال غربی منطقه ۲۲ و شمال منطقه ۱۹ با توجه به مساحت زیاد زمین‌های بایر که در منطقه وجود دارد، می‌باشد. عامل ایجاد جزیره حرارتی در این مناطق متفاوت از سایر مناطق می‌باشد. علاوه بر این مناطق می‌توان منطقه ۱۲ (بازار مرکزی و هسته قدیمی شهر تهران)، منطقه ۱۳ (زمین بایر در اطراف فرودگاه سابق دوشان تپه و مناطق سنگ‌فرش شده و آسفالت) و مناطق جنوبی که در آن کارگاه‌های آموزشی و فعالیت‌های صنعتی وجود دارد، اشاره کرد. باین حال توسعه مکانی جزیره حرارتی در این مناطق از شدت کمتری برخوردار است.

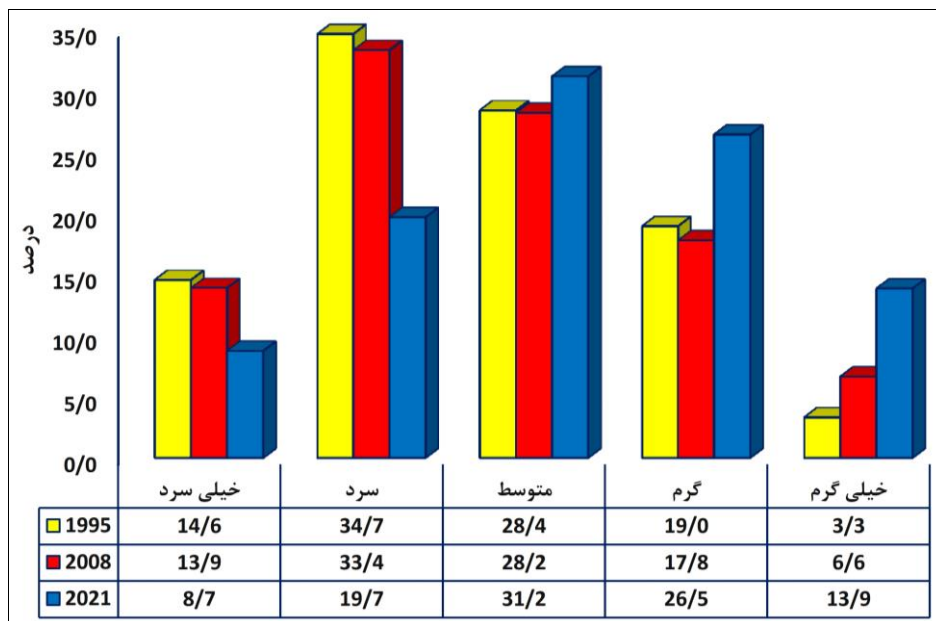


شکل ۳. نقشه طبقه‌بندی شده میانگین دمای سطح زمین

مساحت مربوط به هر طبقه دمایی با توجه به شکل ۳ استخراج و به صورت شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است روند تغییرات طبقات دمایی متفاوت می‌باشد. طبقه دمایی خیلی سرد و سرد طی ۱۶ سال گذشته روند کاهشی داشته است، طبقه دمایی سرد و خیلی سرد از سرعت بیشتری در کاهش مساحت برخوردار است

به طوری که به ترتیب از ۱۴/۶٪ و ۳۴/۷٪ در سال ۱۹۹۵ به ۸/۷٪ و ۱۹/۷٪ در سال ۲۰۲۱ کاهش یافته است. همچنین طبقه دمای خیلی گرم طی این سالها روند روبه رشدی شاهد هستند. به طوری که مساحت طبقه دمای خیلی گرم در سال ۱۹۹۵ برابر با ۳/۳ بوده است و در سالهای ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ به ترتیب برابر ۶/۶٪ و ۱۳/۹٪ افزایش یافته است. از دلایل اصلی کاهش مساحت طبقه دمایی سرد و افزایش مساحت طبقه دمایی گرم می توان به افزایش مساحت کاربری ساخته شده طی سالهای گذشته اشاره کرد.

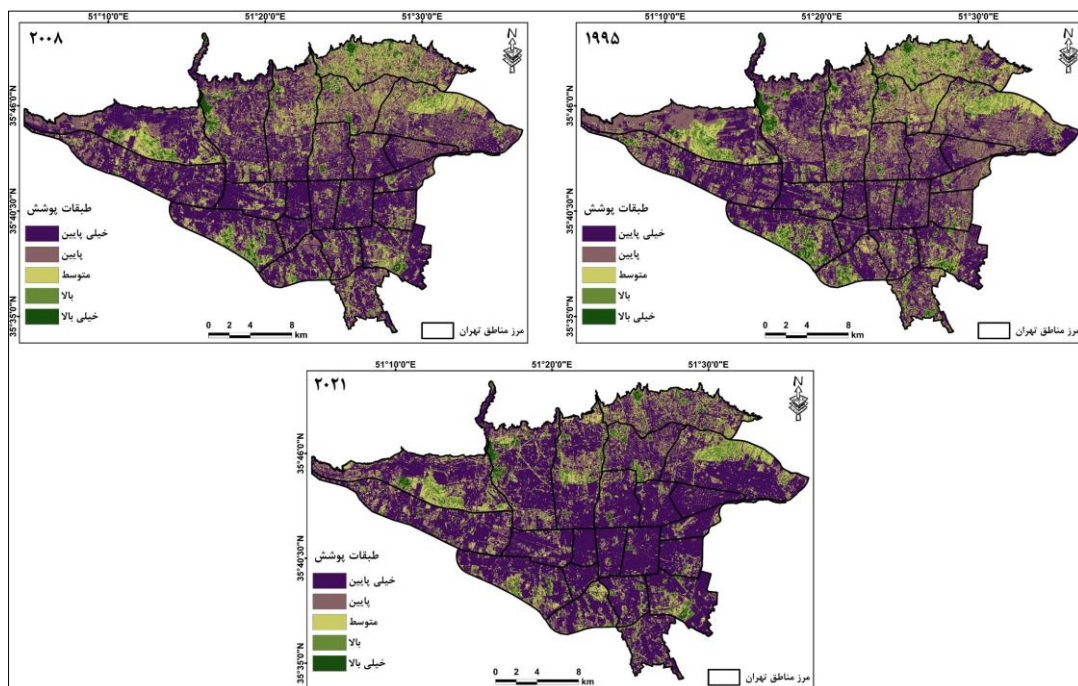
ایجاد جزیره حرارتی در نزدیکی مناطق مسکونی و تجاری با تراکم بالا، همراه با آلودگی هوا ناشی از ترافیک و در نتیجه آزاد شدن آلاینده های خطرناک زیست محیطی از مهم ترین عوامل تهدید سلامت ساکنان شهری و افزایش خطر ابتلا به بیماری به ویژه بیماری های تنفسی و قلبی و عروقی می باشد. با گسترش سطوح غیرقابل نفوذ و انسان ساخت به دلیل از بین رفتن پوشش طبیعی زمین به ویژه پوشش گیاهی مشکلات اساسی در روند تصفیه هوا از آلاینده ها در مناطق شهری پدید می یابد. ظرفیت گرمایی در مناطق شهری با توجه به ساختارهای مختلف ایجاد شده و افزایش استفاده از مواد غیر طبیعی مانند آسفالت، سیمان، بتن و غیره افزایش یافته است. این افزایش منجر به جذب بیشتر انرژی خورشید شده است و در نتیجه باعث افزایش دمای ساختار مناطق شهری گردیده است. تراکم بالای جمعیت در یک منطقه و به تبع آن گسترش شهرک ها و ساختمان های مسکونی بلند باعث می شود که انرژی در دیوارها با توجه به ظرفیت بالا به دام بیفتد. از سوی دیگر، منجر به استفاده بیش از حد از سامانه های خنک کننده مصنوعی توسط ساکنان می شود.



شکل ۴. تغییرات مساحت طبقات دمایی برای سال های مختلف به هکتار

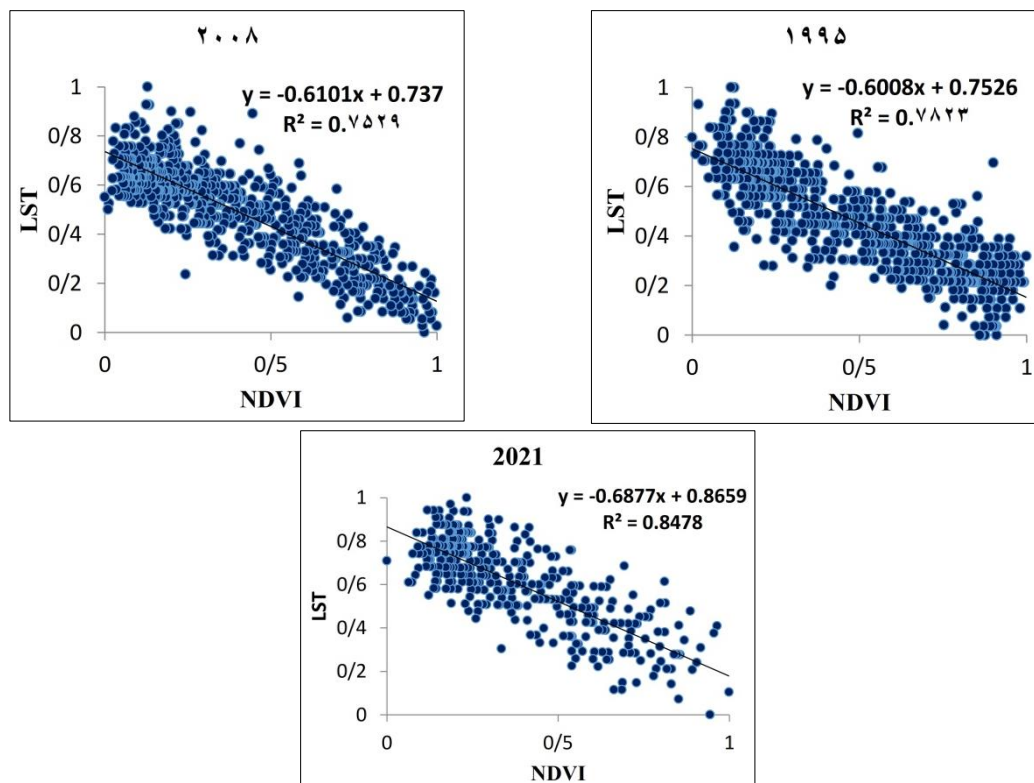
ارتباط بین دمای سطح زمین و پوشش گیاهی

پوشش گیاهی به عنوان یکی از مهم ترین مشخصه های مؤثر در تغییرات درجه حرارت سطح زمین می تواند در تحلیل های مربوط به رشد و گسترش شهری ایفای نقش نماید. به همین دلیل در بسیاری از مطالعات انجام شده در جهت پیدا کردن راه حل برای مقابله با جزیره حرارتی شهری و کاهش اثر آن، نقش پوشش گیاهی به عنوان یکی از مهم ترین راه حل ها برای کاهش اثرات جزیره حرارتی شهری بیان شده است. اگرچه ایجاد پوشش گیاهی، به ویژه درختان یک راه حل مناسب برای کاهش پخش و اثرات پدیده جزیره حرارتی است؛ اما کاشت درختان و توسعه فضای سبز در مناطق شهری متراکم مشکل ساز می باشد. شکل ۵ نقشه شاخص پوشش گیاهی نرمال شده منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. در این مطالعه برای ارتباط بین شاخص پوشش گیاهی نرمال شده و دمای سطح نرمال شده از ۷۰۰ نقطه با فاصله برابر ۴۰۰ متر از یکدیگر استفاده شده است.



شکل ۵. نقشه طبقه‌بندی شده میانگین پوشش گیاهی

همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده می‌شود همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی نرمال شده و دمای سطح نرمال شده معکوس می‌باشد، به طوری که با افزایش دمای سطح مقدار پوشش گیاهی کاهش می‌یابد. کمترین دمای سطح ثبت شده در مناطق با بالاترین سطح از پوشش گیاهی مشاهده شده است. هر چه نمودار به سمت مناطق با پوشش گیاهی زیاد می‌رود درجه حرارت سطح کاهش می‌یابد.



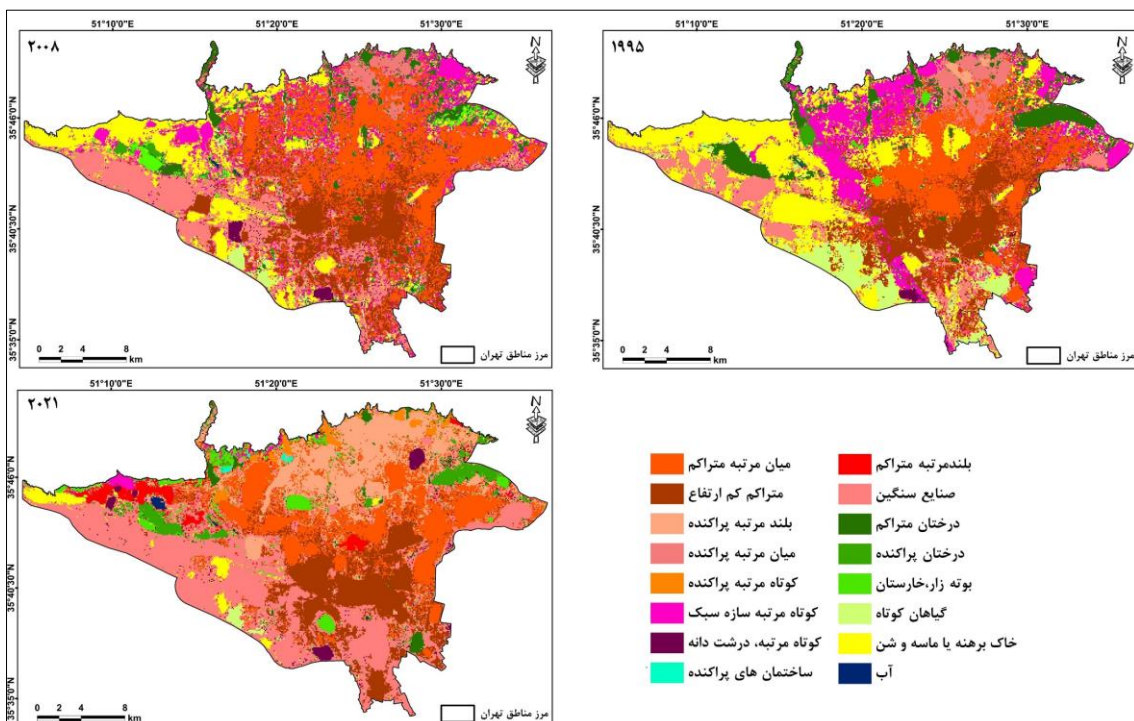
شکل ۶. رابطه بین دمای سطح نرمال شده با NDVI نرمال شده برای سال‌های مورد مطالعه

ارتباط مناطق اقلیم محلی با دمای سطح زمین

شکل ۷ نقشه مناطق اقلیم محلی شهر تهران برای سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ می‌باشد. مطابق شکل ۷ غالب شمال شهر را کاربری بلندمرتبه پراکنده که شامل ساختمان‌های بلندمرتبه ده‌ها طبقه، فراوانی پوشش زمین نفوذپذیر (گیاهان کم، درختان پراکنده) و مصالح ساختمانی بتن، فولاد، سنگ، شیشه پوشش می‌دهد؛ این کاربری دارای بیشترین درصد در مناطق ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ شهر است. با این حال، بالاترین درصد فرم شهری در شهر ساختمان‌های میان مرتبه متراکم است که حدود ۲۰/۶۵٪ شهر را پوشش می‌دهد. از نظر فضایی، این پهنه بیشتر در بخش‌های مرکزی شهر به سمت شرق متمرکز شده است. دومین LCZ از نظر درصد مساحت LCZ10 (صنایع سنگین) است که ۱۸/۲۶٪ از شهر تهران را پوشش می‌دهد.

از نظر فضایی، بیشتر در بخش‌های غربی، جنوب غربی و جنوبی شهر متمرکز است و بیش از نیمی از ناحیه ۲۱ را پوشش می‌دهد. در مقابل، کمترین پوشش سطح شهر توسط کاربری آب تشکیل شده است که میزان آن فقط ۰/۲۲٪ است که عمدتاً در منطقه ۲۲ قرار دارد و تحت عنوان دریاچه چیتگر شناخته می‌شود. تقریباً ۱۴/۵٪ از مساحت شهر ساختمان‌های کوتاه مرتبه متراکم است که بیشتر در مناطق ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۴ و بخش‌های جنوبی شهر متمرکز شده است. ساختمان‌های میان مرتبه پراکنده که حدود ۲/۵۹٪ از شهر را پوشش می‌دهد و قسمت‌های شمالی شهر عمدتاً پوشیده از این فرم شهر هستند.

مناظر پوشش گیاهی و سبز (LCZA تا LCZD) حدود ۲۲/۹۱٪ از مساحت شهر را پوشش می‌دهند. از این مقدار، ۵/۶۶٪ بوته‌زار و ۴/۲۱٪ درختان متراکم و ۱/۳۵٪ درختان پراکنده و ۱/۳۹٪ گیاهان کم‌ارتفاع را تشکیل می‌دهد همچنین خاک و ماسه برهنه ۱۰/۳۱٪ از شهر تهران را تشکیل می‌دهد که بیشتر در بخش‌های غربی، جنوب غربی شهر متمرکز شده و در مناطق ۱۸، ۱۹، ۲۱ و ۲۲ شهر قرار دارد.

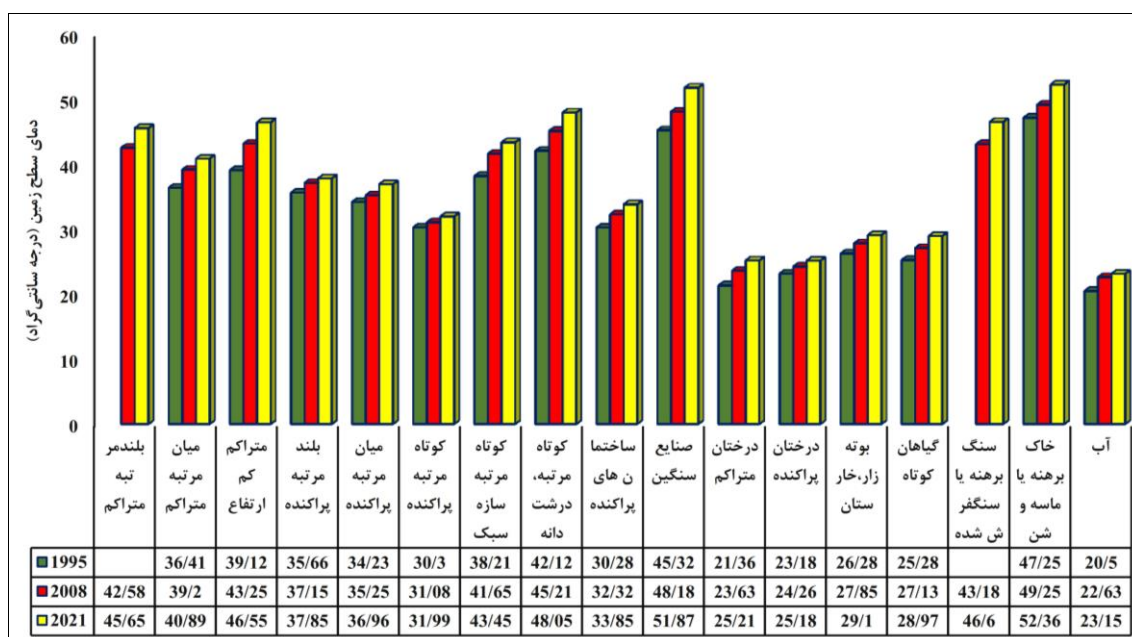


شکل ۷. نقشه منطقه اقلیم محلی برای سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱

در شکل ۸ میانگین دمای سطح زمین برای مناطق اقلیم محلی برای سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ نشان داده شده است. باتوجه به نتایج، میانگین دما برای تمام مناطق اقلیمی محلی دارای روند افزایش هستند. انواع کاربری‌های ساخته شده شامل صنایع سنگین، کوتاه مرتبه درشت‌دانه، ساختمان‌های پراکنده، کوتاه مرتبه پراکنده، متراکم کم‌ارتفاع و میان مرتبه

متراکم برای سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ به ترتیب دارای دامنه دمای ۳۰ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد، ۳۱ تا ۴۷ درجه سانتی‌گراد و ۳۳ تا ۵۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. به عبارتی، دمای سطح زمین از سال ۱۹۹۵ به سال ۲۰۲۱ دارای روند افزایشی با شیب نسبتاً تندی بوده است.

در بین مناطق اقلیمی محلی صنایع سنگین با دمای ۴۵/۳۲، ۴۸/۱۸ و ۵۱/۸۷ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برای سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ دارای بالاترین دما و آب با دمای ۲۰/۵، ۲۲/۶۳ و ۲۳/۱۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برای سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ دارای کمترین دما می‌باشد. همچنین مناطق اقلیمی محلی با کاربری پوشش گیاهی در طول دوره مورد بررسی دارای روند افزایشی دمایی هستند.



شکل ۸. میانگین دمای سطح برای مناطق اقلیم محلی سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱

ارزیابی نتایج طبقه‌بندی

پس از اجرای طبقه‌بندی، صحت تصاویر طبقه‌بندی‌شده با استفاده از نقاط آموزشی و روش دقت کلی و ضریب کاپا ارزیابی شد. جدول ۵ نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر در رده‌های مختلف را نشان می‌دهد. هدف اصلی ارزیابی دقت تصویر طبقه‌بندی‌شده این است که کاربر بداند تا چه اندازه‌ای می‌تواند به نقشه‌های به‌دست‌آمده اعتماد کند و همچنین نشان‌دهنده این است که برنامه‌ریزان و مدیران تا چه اندازه می‌توانند در تصمیم‌گیری‌های آتی از این نقشه‌ها استفاده کنند. با توجه به نتایج صحت به‌دست‌آمده، رده‌های کاربری/پوشش زمین هم از لحاظ تحقیقاتی و هم کاربردی قابل استناد هستند.

جدول ۵. ارزیابی دقت رده‌های نقشه مناطق اقلیم محلی

سال	۱۹۹۵	۲۰۰۸	۲۰۲۱
دقت کلی	۸۹/۵۶	۹۱/۳۵	۹۳/۵۸
ضریب کاپا	۰/۸۷	۰/۸۸	۰/۹۱

بحث

در دهه‌های اخیر هم‌زمان با افزایش جمعیت جهان و گسترش شهرنشینی در دنیا، بخش زیادی از زمین‌های شهری دستخوش تغییرات کاربری شده و موجب جایگزینی سطوح طبیعی نسبتاً نفوذپذیر با سطوح سخت غیر قابل نفوذپذیر شامل فضاهای سنگ‌فرش، آسفالت و نواحی متراکم و پر از ساختمان گردیده است. این گونه تغییرات همراه با فعالیت‌های گوناگون انسان در چشم‌اندازهای شهری زمینه تغییر در فرایندهای تبادل گرما و رطوبت در لایه مرزی شهر را هر چه بیشتر فراهم

می‌آورد. این مطالعه یک رویکرد بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای ارائه می‌کند که می‌تواند داده‌های دقیقی را در مورد مورفولوژی شهری برای مطالعات نقشه اقلیم شهری تولید کند (Khoshnoodmotlagh et al., 2021). نقشه‌های LCZ با استفاده از نرم‌افزار SAGA-GIS و تصاویر لندست ۵، ۸ و Google Earth استخراج شد. کلان‌شهر تهران به‌عنوان پایتخت ایران بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین شهر کشور است. کلان‌شهر تهران در سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ به ۱۷ رده LCZ اصلی شامل ۱۰ نوع ساخته‌شده و ۷ نوع پوشش زمینی تقسیم‌بندی شدند. در سال ۱۹۹۵، ۱۵ رده اصلی وجود داشت (بدون بلندمرتبه متراکم و سنگ برهنه یا سنگ‌فرش شده).

در مناطق شمالی منطقه مورد مطالعه ساختار غیرمتراکم شهری به همراه فضای سبز موجب شده است که این مناطق دمای سطح پایینی را داشته باشند. همچنین ساختارهای طبیعی مانند باغات متراکم و پهنه‌های آبی نیز دمای سطح بسیار پایینی دارند که ناشی از تبخیر و تعرق در این سطوح است که دمای سطح آنها را پایین نگه می‌دارد (نادی زاده شورابه و همکاران، ۱۳۹۸). در مناطق بخش مرکزی شهری که دارای تراکم ساختمانی بالا و فضای سبز ضعیف می‌باشد نیز دمای سطح بالا مشاهده می‌شود. مساحت بالای سطوح نفوذناپذیر، وجود خیابان دره‌ای (خیابان‌های دره‌ای با پراکنده کردن چندباره نور خورشید جذب و ذخیره‌سازی نور خورشید را افزایش می‌دهند)، حجم بالای ترافیک در این مناطق و کاهش جریان هوا موجب شده است که این مناطق دمای سطح بالای داشته باشند (Zhou et al., 2016; Tayyebi et al., 2018).

علاوه بر این، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که اطلاعات خاص در مورد ترکیب و الگوی LCZ ها برای آگاهی اثرات محلی آن‌ها بر LST مهم است (Wicki & Parlow, 2017) که برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری محیط شهری اساسی است. در این مطالعه، ما یک رابطه معنادار بین LCZ و LST پیدا کردیم که با مطالعات گذشته مطابقت دارد (Cilek & Cilek, 2021; Gholami & Beck, 2019; Badaro-Saliba et al., 2021; Li et al., 2022). به‌عنوان مثال، ساختار و مواد صنایع سنگین، کوتاه درشت‌دانه و کوتاه مرتبه سازه سبک به‌عنوان رده‌هایی از انواع ساخته شده تمایل به افزایش میانگین LST دارند. همچنین ایجاد جزایر گرمایی به‌ویژه در فصول گرما به دلیل بازتاب‌های متعدد تشعشعات موج کوتاه (Weng et al., 2019)، کاهش اتلاف امواج بلند به دلیل کاهش ضریب دید آسمان و سطح کمتر پوشش گیاهی (Firozjaei et al., 2019).

انواع پوشش زمین، به‌استثنای خاک برهنه یا ماسه و شن، به دلیل در دسترس بودن آب و فرایندهای تبخیر و تعرق، نسبت به رده ساخته شده دارای اختلاف افزایش دمای پایینی از سال ۱۹۹۵ به ۲۰۲۱ هستند (مطابق نتایج Simanjuntak et al., 2019). علاوه بر این، بررسی عمیق‌تر رابطه بین LCZ و LST نشان داد که برخی از مکان‌هایی که در معرض LST بالا قرار دارند، مانند مناطق توسعه‌یافته غیررسمی، از محله‌های فقیرنشین بسیار محروم هستند (مطابق نتایج Wang et al., 2017). مقایسه انواع مختلف رده‌های ساخته شده نشان داد که الگوهای پیکربندی نقش قابل‌توجهی در تغییر LST دارند. به‌عنوان مثال، بسیاری از رده‌های ساخته‌شده انباشته، مانند بلندمرتبه‌های فشرده به دلیل فضای سبز کم، LST را افزایش می‌دهند. برعکس، مناطق ساخته شده با متراکم کمتر مانند ساختمان‌های متوسط روباز یا کوتاه با فضای سبز بیشتر، LST را کاهش می‌دهند.

بررسی رابطه بین کاربری پوشش سطح و دمای سطح نشان می‌دهد که پایین‌ترین میانگین دما مربوط به تشکیلات آبی و مناطق تحت پوشش طبیعی مانند فضای سبز، پارک‌های جنگلی و شهری می‌باشد در حالی که حداکثر درجه حرارت در زمین‌های بایر و سطوح غیرقابل نفوذ اراضی ساخته شده مانند آسفالت، سنگ‌فرش‌های خیابان و دیگر پوشش‌های ساخته دست بشر و همچنین کاربری‌های اراضی صنعتی و تجاری، مسکونی و حمل‌ونقل می‌باشد که نشان‌دهنده تأثیر پوشش طبیعی فضای سبز و تشکیلات آبی در کاهش شدت و گسترش جزایر حرارتی شهری است (Tayyebi et al., 2018). انجام عمل تعرق از سطح پوشش گیاهی سبب کاهش دمای پدیده جزیره حرارتی می‌گردد (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۹۴).

بیشترین و کمترین دقت کلی و ضریب کاپا طبقه‌بندی LCZ در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۸ به ترتیب با ۸۹/۵۶٪، ۸۷/۰٪ و

۰/۹۱/۹۳/۵۸، محاسبه شده است. دلایل مقادیر پایین‌تر در سال ۱۹۹۵، می‌تواند به دلیل وضوح متفاوت و تصاویر Google Earth و همچنین تعداد باندهایی باشد که برای هر سنجنده اعمال می‌شود. به‌عنوان مثال، هفت باند چند طیفی و یک باند حرارتی برای سنجنده OLI استفاده شد، در حالی که در سنجنده TM، از پنج باند چند طیفی و یک باند حرارتی استفاده شد. در مجموع، باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده در هر سه سال، می‌توان نتیجه گرفت که دقت سطح برای استخراج و طبقه‌بندی نقشه‌های LCZ در این منطقه مورد مطالعه قابل قبول است (Chen et al., 2020).

نتیجه‌گیری

در این مقاله طبقه‌بندی مناطق اقلیم محلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش دورسنجی انجام شد و مورد بررسی قرار گرفت. در سطح کل شهر در مجموع ۱۷ رده، شامل ۱۰ رده ساخته شده و ۷ رده پوشش طبیعی شناسایی و ارزیابی شد. دمای سطح زمین از تصاویر تصویربردار عملیاتی زمین و الگوریتم تک کانال در سه دوره استخراج شد. نتایج بیانگر ارتباط بین فرم شهری و دمای سطح زمین و جزیره حرارتی می‌باشد.

نتایج مقاله بیانگر ارتباط عمیق بین فرم ناهمگن شهر و دمای سطح زمین می‌باشد. باتوجه به نتایج مقاله گرم‌ترین مناطق عمدتاً مربوط به کارخانه‌ها و مناطق صنعتی می‌باشد. پایین‌ترین دمای رده‌ها در میانگین‌ها مربوط به رده آب و سپس درختان متراکم است و سومین رده که پایین‌ترین دما را دارد، رده درختان پراکنده بود می‌باشد. به‌طور کلی نتایج نشان داد زمین‌های دارای پوشش گیاهی خنک‌تر از مناطق سنگ‌فرش شده می‌باشد. شدت خنک‌کنندگی در درختان قوی‌تر و با گیاهان کوتاه نظیر چمن‌ها و زمین‌های زراعی ضعیف‌تر است. حتی در برخی از تاریخ‌ها مناطق دارای گیاهان کوتاه گرم‌تر از بعضی از مناطق ساختمانی بودند؛ بنابراین افزایش فضای سبز بدون در نظر گرفتن این ویژگی ممکن است راهبردهای کاهش گرما را تضعیف کند. همچنین نتایج نشان داد که ساختمان‌های بلندمرتبه پراکنده و میان مرتبه پراکنده با پوشش سبز نسبت به ساختمان‌های فشرده بلندمرتبه و ساختمان‌های فشرده میان مرتبه با پوشش نفوذناپذیر دمای پایین‌تری دارند. همچنین نتایج بیانگر این بود که ساختمان‌های کوتاه مرتبه متراکم نسبت به ساختمان‌های بلندمرتبه و ساختمان‌های میان مرتبه متراکم دمای بالاتری دارند.

نکته‌ای که باید به آن توجه شود و از نتایج این مقاله به دست آمد، این است که آمارهای دمایی کاربری‌ها در تاریخ‌های مختلف متفاوت است و گاهی ممکن است رتبه کاربری‌ها از لحاظ میانگین دما در تاریخ‌های بخصوص تغییر پیدا کند؛ با این پیش‌زمینه، یکی از پیشنهادها تحقیق این است که این الگوریتم به‌صورت فصلی بررسی و مقایسه نتایج برای یافتن بهترین نتایج است. از عوامل مهم در تعیین نوع رده پوشش سطح زمین تغییرات دمای آن کاربری که موجب شکل‌گیری عاملی به نام انحراف معیار می‌شود که بالا بودن میزان آن نشان‌دهنده ناهمگون بودن درجه حرارتی در کاربری مورد نظر و یا صحت پایین کاربری (مخلوط شدن کاربری با کاربری‌های دیگر) است و یا هر دو دلیل است. میانگین انحراف معیار دمای کاربری‌های استخراج شده در حدود ۲/۳ درجه است؛ باتوجه به مقایسه صحت کاربری‌ها و انحراف معیار کاربری‌ها نتیجه گرفته می‌شود که هر دو عامل (انحراف معیار ذاتی دمای کاربری‌ها (۲/۳) و همچنین صحت کاربری‌ها (۷۴/۶۶)) می‌تواند قابل قبول باشد.

راه‌هایی که برای کاهش جزیره حرارتی گرمایی در کلان‌شهرها وجود دارد بدون تغییر دادن برنامه‌ریزی شهری، امکان‌پذیر می‌باشد. تنها تغییر لازم پوشش سطوح ساختمان‌ها با مصالحی است که با ضریب انعکاس بالاتری دارند و یا سطوحی که قابلیت تعریق و تنفس را داشته باشند که هر کدام به‌نوعی تأثیرات جریزه گرمایی را کاهش داده و سبب کاهش درجه حرارت شهری می‌شوند. باید توجه داشت که استفاده از پوشش گیاهی به‌عنوان یک خاصیت خنک‌کنندگی مؤثر در تابستان‌های گرم و خشک می‌تواند به کاهش بیشتر درجه حرارت منجر گردد؛ بنابراین برای رسیدن به این اهداف موارد ذیل پیشنهاد می‌گردد:

- توجه به جهت وزش بادهای محلی در جانمایی عناصر مختلف مجموعه شهری.
- مشخص نمودن نقاطی که بلندمرتبه‌سازی مانع عبور جریان هوا و افزایش آلودگی هوا و درجه حرارت شهر می‌شود و

همچنین تعدیل تراکم ساختمانی در نقاطی که نیاز به تقویت کانال‌های باد وجود دارد.
 - احداث ساختمان‌ها به صورت غیرمتمرکز و پراکنده به منظور استفاده بیشتر از جریان هوا
 - استفاده از سقف‌های سبک با عایق حرارتی (ظرفیت گرمایی کم)
 - سقف و نماهای ساختمان به رنگ روشن باشند، به همراه عایق‌بندی گرمایشی ساختمان و استفاده از شیشه‌های دوجداره
 - استفاده از درختان و درختچه‌ها که موجبات افزایش رطوبت نسبی هوا، خنک شدن هوای اطراف فضای سبز، کاهش گردوغبار، و تصفیه هوا را فراهم می‌کند (به‌عنوان نمونه استفاده از درختان خزان‌کننده برای ایجاد تابستان خنک‌کننده و کاج برای گرم‌کنندگی در زمستان).

سیاسگذاری

پژوهش حاضر با شماره طرح ۹۹۰۰۸۹۸۲ تحت حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوریان کشور انجام گرفته است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از صندوق مذکور تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

- اسدی، یاسمن؛ حمزه، سعید؛ کیاورز مقدم، مجید (۱۳۹۹). بررسی تأثیرات کاربری زمین و پوشش گیاهی بر جزایر گرمایی شهری با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین (مطالعه موردی: منطقه ۶ تهران). *پژوهش‌های جغرافیایی انسانی*، ۵۲ (۲)، ۷۵۹-۷۷۳.
- ثناگر دربانی، الهام؛ رفیعیان، مجتبی؛ حنایی، تکتم؛ منصفی پراپری، دانیال (۱۳۹۹). کاهش تأثیرات جزایر حرارتی شهری بر سلامت انسان‌ها از طریق تغییرات فرم شهری در اقلیم گرم و خشک شهر مشهد (نمونه موردی الگوی بافت شطرنجی محله شاهد و بافت ارگانیک محله پاچنار). *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲ (۴)، ۳۷۵-۳۸۷.
- صادقی نیا، علیرضا؛ علیجانی، بهلول؛ ضیاییان فیروزآبادی، پرویز (۱۳۹۲). تحلیل فضایی - زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱ (۴)، ۱-۱۷.
- علوی پناه، سید کاظم؛ هاشمی دره بادامی، سیروس؛ کاظم‌زاده، علی (۱۳۹۴). تحلیل زمانی - مکانی جزیره حرارتی شهر مشهد باتوجه‌به گسترش شهر و تغییرات کاربری - پوشش زمین. *پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری*، ۳ (۱)، ۱-۱۷.
- علیجانی، بهلول؛ طولایی نژاد، میثم؛ صیادی، فریبا (۱۳۹۶). محاسبه شدت جزیره حرارتی بر اساس هندسه شهری مورد مطالعه: محله کوچه‌باغ شهر تبریز. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۴ (۳)، ۹۹-۱۱۲.
- کریمی فیروزجایی، محمد؛ کیاورز، مجید؛ علوی پناه، سیدکاظم (۱۳۹۶). پایش و پیش‌بینی شدت جزیره حرارتی شهر بابل باتوجه‌به گسترش شهری و تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۶۴. *مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*، ۵ (۳)، ۱۵۱-۱۲۳.
- نادی زاده شورابه، سامان؛ حمزه، سعید (۱۳۹۸). بررسی تأثیر پارامترهای محیطی و جمعیتی بر توزیع مکانی دمای سطح کلان‌شهر تهران با تلفیق مدل‌های آماری و مدل تک پنجره. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، ۵۱ (۲)، ۲۶۳-۲۸۲.
- نادی‌زاده شورابه، سامان؛ حمزه، سعید؛ کیاورز، مجید، افشاری‌پور، سید کریم (۱۳۹۷). بررسی تغییرات مکانی - زمانی کاربری اراضی، گسترش شهری و تأثیر آن بر افزایش دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست (مطالعه موردی: شهر گرگان). *پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری*، ۶ (۳)، ۵۴۵-۵۶۸.

References

- Alavipanah, S. K., Hashemi Darrehbadami, S., & Kazemzadeh, A. (2015). Spatial-Temporal Analysis of Urban Heat-Island of Mashhad City due to Land Use/Cover Change and Expansion. *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 3 (1), 1-17 (In Persian).
- Alexander, P., & Mills, G. (2014). Local climate classification and Dublin's urban heat island. *Atmosphere*, 5 (4), 755-774.
- Alijani, B., Toulabinjad, M., & Sayadi, F. (2017). Calculating Of Heat Island Intensity Based On Urban Geometry (Case Study: District Of Kucheh Bagh In Tabriz). *Journal of spatial analysis environmental hazards*, 4 (3), 99-112
- Alijani, B., Toulabinjad, M., Sayadi, F. (2017). Calculating Of Heat Island Intensity Based On Urban Geometry (Case Study: District Of Kucheh Bagh In Tabriz). *Journal of Spatial Analysis Environmental hazards*, 4 (95), 375-387 (In Persian).

- Almusaed, A. (2011). *The Urban Heat Island Phenomenon upon Urban Components. In Biophilic and Bioclimatic Architecture*. London: Springer
- Asadi, Y., Hamzeh, S., & Kiavarz, M. (2020). Investigate the effects of land Use and vegetation on urban heat islands using landscape measurements (Case Study: region 6 of Tehran). *Human Geography Research*, 52 (2), 759-773 (In Persian).
- Badaro-Saliba, N., Adjizian-Gerard, J., Zaarour, R., & Najjar, G. (2021). LCZ scheme for assessing Urban Heat Island intensity in a complex urban area (Beirut, Lebanon). *Urban Climate*, 37, 100846.
- Bechtel, B., See, L., Mills, G., & Foley, M. (2016). Classification of local climate zones using SAR and multispectral data in an arid environment. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9 (7), 3097-3105.
- Benas, N., Chrysoulakis, N., & Cartalis, C. (2017). Trends of urban surface temperature and heat island characteristics in the Mediterranean. *Theoretical and applied climatology*, 130 (3-4), 807-816.
- Cai, M., Ren, C., Xu, Y., Lau, K. K. L., & Wang, R. (2018). Investigating the relationship between local climate zone and land surface temperature using an improved WUDAPT methodology—A case study of Yangtze River Delta, China. *Urban climate*, 24, 485-502.
- Camilloni, I., & Barros, V. (1997). On the urban heat island effect dependence on temperature trends. *Climatic Change*, 37 (4), 665-681.
- Cao, C., Lee, X., Liu, S., Schultz, N., Xiao, W., Zhang, M., & Zhao, L. (2016). Urban heat islands in China enhanced by haze pollution. *Nature Communications*, 7, 12509
- Caprotti, F. (2018). Future cities: moving from technical to human needs. *Palgrave Communications*, 4 (1), 1-4.
- Chen, X. L., Zhao, H. M., Li, P. X., & Yin, Z. Y. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote sensing of environment*, 104 (2), 133-146.
- Chen, X., Xu, Y., Yang, J., Wu, Z., & Zhu, H. (2020). Remote sensing of urban thermal environments within local climate zones: A case study of two high-density subtropical Chinese cities. *Urban Climate*, 31, 100568.
- Chow, W. T., & Roth, M. (2006). Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26 (15), 2243-2260.
- Chudnovsky, A., Ben-Dor, E., & Saaroni, H. (2004). Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements. *Energy and Buildings*, 36 (11), 1063-1074.
- Cilek, M. U., & Cilek, A. (2021). Analyses of land surface temperature (LST) variability among local climate zones (LCZs) comparing Landsat-8 and ENVI-met model data. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102877.
- Cui, Y., Xu, X., Dong, J., & Qin, Y. (2016). Influence of urbanization factors on surface urban heat island intensity: A comparison of countries at different developmental phases. *Sustainability*, 8 (8), 706.
- Dousset, B., & Gourmelon, F. (2003). Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 58 (1), 43-54.
- Du, H., Wang, D., Wang, Y., Zhao, X., Qin, F., Jiang, H., & Cai, Y. (2016). Influences of land cover types, meteorological conditions, anthropogenic heat and urban area on surface urban heat island in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration. *Science of the Total Environment*, 571, 461-470.
- Elmarakby, E., Khalifa, M., Elshater, A., & Afifi, S. (2020). Spatial Morphology and Urban Heat Island: Comparative Case Studies. *In Architecture and Urbanism: A Smart Outlook*. Cham. Springer.
- Firozjaei, M. K., Kiavarz, M., Alavipanah, S. K., Lakes, T., & Qureshi, S. (2018). Monitoring and forecasting heat island intensity through multi-temporal image analysis and cellular automata-Markov chain modelling: A case of Babol city, Iran. *Ecological indicators*, 91, 155-170.

- Firozjaei, M. K., Kiavarz, M., Alavipanah, S. K., Lakes, T., & Qureshi, S. (2018). Monitoring and forecasting heat island intensity through multi-temporal image analysis and cellular automata-Markov chain modelling: A case of Babol city, Iran. *Ecological indicators*, 91, 155-170 (In Persian).
- Firozjaei, M. K., Kiavarz, M., Alavipanah, S. K., Lakes, T., & Qureshi, S. (2018). Monitoring and forecasting heat island intensity through multi-temporal image analysis and cellular automata-Markov chain modelling: A case of Babol city, Iran. *Ecological indicators*, 91, 155-170 (In Persian).
- Firozjaei, M. K., Kiavarz, M., Nematollahi, O., Karimpour Reihan, M., & Alavipanah, S. K. (2019). An evaluation of energy balance parameters, and the relations between topographical and biophysical characteristics using the mountainous surface energy balance algorithm for land (SEBAL). *International Journal of Remote Sensing*, 40 (13), 5230-5260.
- Gallo, K. P., McNab, A. L., Karl, T. R., Brown, J. F., Hood, J. J., & Tarpley, J. D. (1993). The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect. *Journal of Applied Meteorology*, 32 (5), 899-908
- Gholami, R. M., & Beck, C. (2019). Towards the determination of driving factors of varying LST-LCZ relationships: A case study over 25 cities. *Geographica Pannonica*, 23 (4), 289-307.
- Guhathakurta, S. & Gober, P. (2007). The Impact of the Phoenix Urban Heat Island on Residential Water Use. *Journal of the American Planning Association*, 73, 317-329
- Hasanlou, M., & Mostofi, N. (2015). Investigating urban heat island estimation and relation between various land cover indices in Tehran city using Landsat 8 imagery. *In Proceedings of the 1st International Electronic Conference on Remote Sensing*, Basel, Switzerland.
- Huang, X., & Wang, Y. (2019). Investigating the effects of 3D urban morphology on the surface urban heat island effect in urban functional zones by using high-resolution remote sensing data: A case study of Wuhan, Central China. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152, 119-131.
- Jimenez-Munoz J. C., J. Cristobal, J. A. Sobrino, G. Soria, M. Ninyerola and X. Pons. (2009). Revision of the Single-Channel Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval From Landsat Thermal-Infrared Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47 (1) 339-349.
- Jiménez-Muñoz Juan C., José A. Sobrino, Cristian Mattar, and Yadvinder Malhi, (2014) Spatial and temporal patterns of the recent warming of the Amazon forest, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 5204-5215.
- Jin, M., Dickinson, R. E., & Zhang, D. A. (2005). The footprint of urban areas on global climate as characterized by MODIS. *Journal of Climate*, 18 (10), 1551-1565.
- Jusuf, S. K., Wong, N. H., Hagen, E., Anggoro, R., & Hong, Y. (2007). The influence of land use on the urban heat island in Singapore. *Habitat international*, 31 (2), 232-242.
- Khoshnoodmotlagh, S., Daneshi, A., Gharari, S., Verrelst, J., Mirzaei, M., & Omrani, H. (2021). Urban morphology detection and its linking with land surface temperature: A case study for Tehran Metropolis, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103228.
- Kong, F., Yin, H., James, P., Hutyra, L. R., & He, H. S. (2014). Effects of spatial pattern of greenspace on urban cooling in a large metropolitan area of eastern China. *Landscape and Urban Planning*, 128, 35-47.
- Kotharkar, R., & Bagade, A. (2018). Evaluating urban heat island in the critical local climate zones of an Indian city. *Landscape and Urban Planning*, 169, 92-104.
- Kottmeier, C., Biegert, C., & Corsmeier, U. (2007). Effects of urban land use on surface temperature in Berlin: Case study. *Journal of urban planning and development*, 133 (2), 128-137.
- Lazzarini, M., Molini, A., Marpu, P. R., Ouarda, T. B., & Ghedira, H. (2015). Urban climate modifications in hot desert cities: The role of land cover, local climate, and seasonality. *Geophysical Research Letters*, 42 (22), 9980-9989.
- Lazzarini, M., Molini, A., Marpu, P. R., Ouarda, T. B., & Ghedira, H. (2015). Urban climate modifications in hot desert cities: The role of land cover, local climate, and seasonality. *Geophysical Research Letters*, 42 (22), 9980-9989.

- Leconte, F., Bouyer, J., Claverie, R., & Pétrissans, M. (2015). Estimation of spatial air temperature distribution at sub-mesoclimatic scale using the LCZ scheme and mobile measurements. *In Proceedings of the 9th International Conference on Urban Climate (ICUC9)*.
- Li, X., Zhou, Y., Asrar, G. R., Imhoff, M., & Li, X. (2017). The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States. *Science of the Total Environment*, 605, 426-435.
- Liao, W., Liu, X., Wang, D., & Sheng, Y. (2017). The impact of energy consumption on the surface urban heat island in China's 32 major cities. *Remote Sensing*, 9 (3), 250.
- Myint, S. W., Zheng, B., Talen, E., Fan, C., Kaplan, S., Middel, A., & Brazel, A. (2015). Does the spatial arrangement of urban landscape matter? Examples of urban warming and cooling in Phoenix and Las Vegas. *Ecosystem Health and Sustainability*, 1 (4), 1-15.
- Nadizadeh Shorabeh, S., Hamzeh, S., Kiavarz, M., & Afsharipoor, S. K. (2018). Effects of Spatial and Temporal Land Use Changes and Urban Development on the Increase of Land Surface Temperature Using Landsat Multi-Temporal Images (Case study: Gorgan City). *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 6 (3), 545-568 (In Persian).
- Nadizadeh Shorabeh, S., Hamzeh, S., Zanganeh Shahraki, S., Firozjaei, M. K., & Jokar Arsanjani, J. (2020). Modelling the intensity of surface urban heat island and predicting the emerging patterns: Landsat multi-temporal images and Tehran as case study. *International Journal of Remote Sensing*, 41 (19), 7400-7426.
- Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* (1967), 7 (8), 769-779.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108 (455), 1-24.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108 (455), 1-24.
- Oke, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and buildings*, 11 (1-3), 103-113.
- Quattrochi, D. A., & Luvall, J. C. (1999). Thermal infrared remote sensing for analysis of landscape ecological processes: methods and applications. *Landscape ecology*, 14 (6), 577-598.
- Qureshi, S., Shorabeh, S. N., Samany, N. N., Minaei, F., Homaei, M., Nickraves, F., ... & Arsanjani, J. J. (2021). A new integrated approach for municipal landfill siting based on urban physical growth prediction: a case study Mashhad metropolis in Iran. *Remote Sensing*, 13 (5), 949.
- Rao, P. K. (1972). Remote sensing of urban "heat islands" from an environmental satellite. *Bulletin of the American meteorological society*, 53 (7), 647-648.
- Rose, A., & Devadas, M. D. (2009). Analysis of land surface temperature and land use/land cover types using remote sensing imagery-a case in Chennai city, India. *In The seventh international conference on urban climate*.
- Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Romm, J. J., & Pomerantz, M. (1998). Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*, 28 (1), 51-62.
- Roshan, G., Roustai, I., & Ramesh, M. (2009). Studying the effects of urban sprawl of metropolis on tourism-climate index oscillation: A case study of Tehran city. *Journal of Geography and Regional Planning*, 2 (12), 310-321.
- Roth, M., Oke, T. R., & Emery, W. J. (1989). Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, 10 (11), 1699-1720.
- Runnalls, K. E., & Oke, T. R. (2000). Dynamics and controls of the near-surface heat island of Vancouver, British Columbia. *Physical Geography*, 21 (4), 283-304.
- Sadeghinia, A., Alijani, B., & Zeaieanfirouzabadi, P. (2013). Analysis of spatial-temporal structure of the urban heat island in Tehran through remote sensing and geographical information system. *Journal of Geography and Environmental hazards*, 1 (4), 1-17.
- Sadeghinia, A., Alijani, B., & Zeaieanfirouzabadi, P. (2013). Analysis of spatial-temporal structure of the urban heat island in Tehran through remote sensing and geographical information

- system. *Journal of Geography and Environmental hazards*, 1 (4), 1-17 (In Persian).
- Sanagar Darbani, E., Rafieian, M., Hanaee, T., & Monsefi Parapari, D. (2020). The Effects of Urban Heat Islands Mitigation on Human Health through Change in Urban form Hot and Arid Climate of Mashhad (Case Study: Graticular Texture of Shahed and Organic Texture of Pachenar Neighborhoods). *Journal of Environmental Science and Technology*, 22 (4), 375-387 (In Persian).
- Shahmohamadi, P., Che-Ani, A. I., Maulud, K. N. A., Tawil, N. M., & Abdullah, N. A. G. (2011). The impact of anthropogenic heat on formation of urban heat island and energy consumption balance. *Urban Studies Research*, 2011.
- Shirani-Bidabadi, N., Nasrabadi, T., Faryadi, S., Larijani, A., & Roodposhti, M. S. (2019). Evaluating the spatial distribution and the intensity of urban heat island using remote sensing, case study of Isfahan city in Iran. *Sustainable cities and society*, 45, 686-692.
- Shorabeh, S. N., Kakroodi, A. A., Firozjaei, M. K., Minaei, F., & Homaei, M. (2022). Impact assessment modeling of climatic conditions on spatial-temporal changes in surface biophysical properties driven by urban physical expansion using satellite images. *Sustainable Cities and Society*, 80, 103757.
- Shorabeh, S. N., Varnaseri, A., Firozjaei, M. K., Nickravesh, F., & Samany, N. N. (2020). Spatial modeling of areas suitable for public libraries construction by integration of GIS and multi-attribute decision making: Case study Tehran, Iran. *Library & Information Science Research*, 42 (2), 101017.
- Simanjuntak, R. M., Kuffer, M., & Reckien, D. (2019). Object-based image analysis to map local climate zones: The case of Bandung, Indonesia. *Applied geography*, 106, 108-121.
- Stewart, I. (2011). *Redefining the urban heat island*. Ph. D. thesis, The University of British Columbia, Vancouver
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2010, August). Thermal differentiation of local climate zones using temperature observations from urban and rural field sites. In Preprints, *9th Symposium, on Urban Environment*, Keystone 2-6.
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93 (12), 1879-1900.
- Sun, L., Chen, J., Li, Q., & Huang, D. (2020). Dramatic uneven urbanization of large cities throughout the world in recent decades. *Nature communications*, 11 (1), 1-9.
- Taheri Shahraiyini, H., Sodoudi, S., El-Zafarany, A., Abou El Seoud, T., Ashraf, H., & Krone, K. (2016). A comprehensive statistical study on daytime surface urban heat island during summer in urban areas, case study: *Cairo and its new towns*. *Remote Sensing*, 8 (8), 643.
- Tayyebi, A., Shafizadeh-Moghadam, H., & Tayyebi, A. H. (2018). Analyzing long-term spatio-temporal patterns of land surface temperature in response to rapid urbanization in the mega-city of Tehran. *Land Use Policy*, 71, 459-469.
- Tomlinson, C. J., Chapman, L., Thornes, J. E., & Baker, C. J. (2012). Derivation of Birmingham's summer surface urban heat island from MODIS satellite images. *International Journal of Climatology*, 32 (2), 214-224.
- Unger, J. (2004). Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach. *Climate research*, 27 (3), 253-264.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2018). *World urbanization prospects: The 2018 revision*, online edition.
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86 (3), 370-384.
- Wang, Y., Zhan, Q., & Ouyang, W. (2017). Impact of urban climate landscape patterns on land surface temperature in Wuhan, China. *Sustainability*, 9(10), 1700.
- Weng, Q., Firozjaei, M. K., Sedighi, A., Kiavarz, M., & Alavipanah, S. K. (2019). Statistical analysis of surface urban heat island intensity variations: A case study of Babol city, Iran. *GIScience & remote sensing*, 56 (4), 576-604.
- Weng, Q.; Lu, D.; Schubring, J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*. 2004, 89, 467-

483.

- Wicki, A., & Parlow, E. (2017). Attribution of local climate zones using a multitemporal land use/land cover classification scheme. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(2), 026001.
- Zhang, P., Imhoff, M. L., Wolfe, R. E., & Bounoua, L. (2010). Characterizing urban heat islands of global settlements using MODIS and nighttime lights products. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 36 (3), 185-196.
- Zhang, Y., & Liang, S. (2018). Impacts of land cover transitions on surface temperature in China based on satellite observations. *Environmental Research Letters*, 13 (2), 024010.
- Zhou, D., Zhang, L., Hao, L., Sun, G., Liu, Y., & Zhu, C. (2016). Spatiotemporal trends of urban heat island effect along the urban development intensity gradient in China. *Science of the Total Environment*, 544, 617-626.