

Research Paper

Investigation of urban heat islands of Tabriz metropolis using multi-time data of LANDSAT8 satellite based on hot spot analysis method

Mohammad Azadi Mubaraky¹, Mahmoud Ahmadi^{2*}

1. Ph.D Student of Urban Climatology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2. Associate Professor Climatology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Received:2020/1/5

Accepted:2020/4/11

PP:47-63

Use your device to scan and read the article online



Keywords:

Urban heat island, LULC index, Getis-ord G_i^* index, TIRS sensor, Tabriz.

Abstract

Rapid urbanization in Tabriz has a significant impact on the urban thermal environment and these changes have affected the climate, environment and quality of life of residents. The aim of this study was to evaluate the urban heat islands (UHI) of Tabriz using spatial autocorrelation methods and its relationship with physical parameters of the surface. NDVI and Split Window algorithms based on TIRS and OLI Sensor of Landsat 8 satellites were used to calculate the vegetation index and land surface temperature; then the relationship between LULC, NDVI and Land Surface Temperature (LST) changes evaluated. Spatial autocorrelation methods Moran's I and Hot Spot were used to identify UHI. The results showed that in the metropolis of Tabriz, there is a significant relationship between $\alpha < 0.05$ between LST and NDVI. LST minimum and maximum 11.99 to 58.49 Celsius respectively in central and north-west of the city is obtained. Also, the assessment of land surface temperature with LULC has shown that the impervious surface along with the worn-out urban textures are the most important reasons for the intensification of Tabriz urban heat islands. The Moran's I space spatial autocorrelation method showed that the LST of Tabriz has a spatial structure or in other words has a cluster pattern and its value varies between 0.92 and 0.95. The urban heat islands of Tabriz are of the peripheral and triangular type, which increase the intensity and extent of urban heat islands from the center. The largest identified heat island is located in District 6 of the city. Due to the existence of Tabriz Airport, as well as the existence of barren lands and worn-out urban textures, this area has the maximum land surface temperature (LST).

Citation: Azadi Mubaraky Mohammad , Ahmadi Mahmoud (2021) Investigation of urban heat islands of Tabriz metropolis using multi-time data of LANDSAT8 satellite based on hot spot analysis method .Journal of Regional Planning , Vol 11, No 43, PP:47-63

DOI: 10.30495/jzpm.2021.3992

*Corresponding author: Mahmoud Ahmadi

Address: Associate Professor Climatology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Tell: 09121487497

Email: ma_ahmadi@sbu.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Rapid urbanization in Tabriz has a significant impact on the urban thermal environment and these changes have affected the climate, environment and quality of life of residents. The aim of this study was to evaluate the urban heat islands (UHI) of Tabriz using spatial autocorrelation methods and its relationship with physical parameters of the surface. LULC is the interface between human activities and the environment, and it plays an important role in the urban climate because LULC changes are often required to support and implement urban planning policies and promote urban comfort. The increased temperatures in urban areas have created significant economic and health-related issues that affect more than half of the global population. Remote sensing is a powerful tool for environmental monitoring that can be used to help understand LULC and rapid urbanization and to estimate UHI properties at the urban scale. The UHI phenomenon affects many millions of people worldwide. Urban areas cover only 2 to 3 percent of the total land area, however, due to the rapid growth of urbanization around the world, have attracted much attention. The city's thermal city (UHI), which in some way can be called the identity of a metropolitan area in modern times, is a phenomenon that has a higher temperature than surrounding areas. The thermal island phenomenon changes the level of surface energy by changing the natural cover of the earth with pavements, buildings, concrete, asphalt and other buildings. City-level frolics (SUHI) exist at any time of the day, and are more intense in the summer and mid-day. The present study was conducted with the aim of evaluating the thermal heat islands of Tabriz and its correlation with physical parameters of the surface using OLI and TIRS sensor data of LANDSAT8 satellite. The results of this research can be effective for urban management models, sustainable development and urban viability in the future.

Methodology

NDVI and Split Window algorithms based on TIRS and OLI Sensor of Landsat 8 satellites were used to calculate the vegetation index and land surface temperature; then the relationship between LULC, NDVI and Land Surface Temperature (LST) changes evaluated. Spatial

autocorrelation methods Moran's I and Hot Spot were used to identify UHI. The digital values of thermal images converted to spectral radiance to calculate the surface temperature. The NDVI index was used to assess the coverage of the earth's surface and its relationship with the surface temperature of the earth. Finally, the Hot Spot Analysis Index, Getis-ord G_i^* statistic was used to calculate the urban thermal islands.

Discussion

Land surface temperature (LST) and normalized vegetation index (NDVI) in Tabriz, based on LANDSAT8 satellite data, OLI and TIRS sensors were. Accordingly, the average surface temperature in Tabriz during the study period in summer, it fluctuates between 32.12 and 46.41 °C, respectively, for September and August 2015, the average amount of earth surface temperature was not expected to be unpredictable in winter. The average surface temperature in Tabriz is 49/37 °C. Maximum deviation rate occurred in August 2015. The relationship between the two parameters studied, Land Temperature (LST) and (NDVI) showed a negative significant correlation at 0.05% level. The maximum correlation with Earth surface temperature in Tabriz is September 2015. The correlation between September and August in the three months of the summer months is stronger than in August. This may be due to rising rainfall in September, which has increased vegetation. There is a great difference in temperature between the northern and northwestern regions and the central regions of Tabriz (regions 9, 21, 22 and 19). Impermeable surfaces such as concrete and asphalt in urban space trap heat at the surface.

Conclusion

The results showed that LST is sensitive to vegetation. Therefore, it can be concluded that LST can be used to detect LULC changes over time. The population of the metropolis of Tabriz has grown dramatically over the past two decades; the coincidence of this increase in population has certainly led to changes in the LULC, which has led to an increase in impermeable urban areas and the trapping of the temperature and the rise of urban hot springs. Increasing population numbers,

especially in developing countries such as Iran, will increase the pressure on natural resources, which will result in widespread change in urban and urban conditions. One of the most important changes in pressure on natural ecosystems the city will change the city's bio-availability. The largest metropolitan thermal island is located in the 6th district. The correlation coefficient of Pearson and the coefficient of determination (R^2) calculated by the linear regression method showed that the relationship between LST and NDVI vegetation index is a significant inverse relationship at the level of α . The correlation coefficient showed that this relationship is necessarily not linear. LST minimum and maximum 11.99 to 58.49 Celsius respectively in central and north-west of the city is

obtained. Also, the assessment of land surface temperature with LULC has shown that the impervious surface along with the worn-out urban textures are the most important reasons for the intensification of Tabriz urban heat islands. The Moran's I space spatial autocorrelation method showed that the LST of Tabriz has a spatial structure or in other words has a cluster pattern and its value varies between 0.92 and 0.95. The urban heat islands of Tabriz are of the peripheral and triangular type, which increase the intensity and extent of urban heat islands from the center. The largest identified heat island is located in District 6 of the city. Due to the existence of Tabriz Airport, as well as the existence of barren lands and worn-out urban textures, this area has the maximum land surface temperature (LST).



مقاله پژوهشی

بررسی جزایر حرارتی شهری کلان شهر تبریز با استفاده از داده‌های چند زمانه ماهواره LANDSAT8 مبتنی بر روش تحلیل لکه‌های داغ

محمد آزادی مبارکی^۱، محمود احمدی^{۲*}^۱دانشجوی دکتری آب و هواشناسی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران، ایران^۲دانشیار آب‌وهوا شناسی دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران، ایران

چکیده

شهرنشینی سریع در تبریز تأثیر قابل توجهی در محیط حرارتی شهری داشته و این تغییرات بر آب‌وهوا، محیط و کیفیت زندگی ساکنان تأثیر گذاشته است. پژوهش حاضر باهدف ارزیابی جزایر حرارتی شهری (UHI) تبریز با استفاده از روش‌های خودهمبستگی فضایی و ارتباط آن با پارامترهای فیزیکی سطح انجام شد. برای محاسبه شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین از روش‌های NDVI و الگوریتم پنجره مجزا (Split Window) بر اساس تصاویر سنجنده‌های TIRS و OLI ماهواره Landsat 8 استفاده شد؛ سپس رابطه بین تغییرات NDVI، LULC و دمای سطح زمین (LST) مورد بررسی قرار گرفت؛ برای شناسایی UHI از روش‌های خودهمبستگی فضایی Hot Spot و $rnn's I$ استفاده شد. نتایج نشان داد در کلان‌شهر تبریز ارتباط معکوس معنی‌دار در سطح $0/05$ بین LST و NDVI وجود دارد. کمینه LST محاسباتی $11/99$ و بیشینه آن $58/49$ درجه سلسیوس به ترتیب در مناطق مرکزی و شمال غربی شهر به‌دست آمده است. همچنین ارزیابی دمای سطح زمین با LULC نیز نشان داده است سطوح نفوذناپذیر به همراه بافت فرسوده شهری مهم‌ترین دلایل تشدید UHI تبریز هستند. روش خودهمبستگی فضایی $rnn's I$ نشان داد LST شهر تبریز دارای ساختار فضایی بوده یا به عبارتی دارای الگوی خوشه‌ای است و مقدار آن بین $0/92$ تا $0/95$ متغیر است. UHI تبریز از نوع پیرامونی و مثلثی شکل است که از کانون به جهات بر شدت و وسعت جزایر حرارتی شهری افزوده می‌شود. بزرگ‌ترین UHI شناسایی شده در منطقه ۶ شهری به دلیل استقرار فرودگاه تبریز است، همچنین وجود زمین‌های بایر و بافت فرسوده بیشینه LST را دارا می‌باشند.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۲۳

شماره صفحات: ۶۳-۴۷

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



واژه‌های کلیدی:

جزیره حرارتی شهری، شاخص LULC، شاخص *Getis-ord Gi، سنجنده TIRS، تبریز.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

استناد: آزادی مبارکی محمد، احمدی محمود (۱۴۰۰): بررسی جزایر حرارتی شهری کلان شهر تبریز با استفاده از داده‌های چند زمانه ماهواره LANDSAT8 مبتنی بر روش تحلیل لکه‌های داغ، فصلنامه برنامه ریزی منطقه ای، سال ۱۱، شماره ۴۳، مردودشت: صص ۶۳-۴۷

DOI: 10.30495/jzpm.2021.3992

* نویسنده مسئول: محمود احمدی

نشانی: دانشیار آب‌وهوا شناسی دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران، ایران

تلفن: ۰۹۱۲۱۴۸۷۴۹۷

پست الکترونیکی: Ma_ahmadi@sbu.ac.ir

مقدمه :

افزایش دما در مناطق شهری موضوعات اقتصادی-اجتماعی قابل توجهی ایجاد کرده است که بیش از نیمی از جمعیت جهان را تحت تأثیر قرار داده است (Sismanidis et al, 2015: 142). تغییرات کاربری اراضی شهری واسط بین فعالیت‌های انسانی و محیطی است و نقش مهمی را در شرایط آب‌وهوای شهری ایفا می‌کند (Sun et al, 2017: 279). شهرنشینی سریع و برآورد خصوصیات UHI در سطح زمین (Akbari and Kolokotsa, 2016: 835) عمل کند. پدیده UHI بر بسیاری از جنبه‌های زندگی تأثیر می‌گذارد و هم‌اکنون میلیون‌ها نفر را در سراسر جهان درگیر کرده است (Feng and Myint, 2016: 182).

جزیره حرارتی شهری (UHI) که به نوعی می‌توان آن را هویت منطقه شهری در عصر مدرن یاد کرد پدیده‌ای است که درجه حرارت بالاتر از مناطق اطراف داشته باشد (UHI). Huang & Lu, 2015: 8776) بیشتر در ارتباط با تعویض پوشش طبیعی زمین با سطوح نفوذناپذیر و سایر ساختمان‌های شهری است که تعادل انرژی سطح را تغییر می‌دهد (Lilly Rose et al, 2009: 4) و طبیعتاً اثرات نامطلوبی را به دنبال خواهد داشت که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از: ۱- افزایش تنش‌های حرارتی؛ جزایر حرارتی شهری (UHIs) طول و درجه تنش حرارتی را افزایش می‌دهند (Almusaed, 2011: 87)؛ ۲- افزایش مصرف انرژی (Rosenfeld et al, 1998: 53)؛ ۳- آلودگی هوا؛ جزیره حرارتی شهری (UHI) تولید ازن را در نزدیکی زمین افزایش می‌دهد (Agarwal & Tandon, 2010: 2520)؛ ۴- کاهش کیفیت آب؛ تغییرات دما در اکوسیستم‌های آبی شهر و افزایش دما رواناب سطحی شرایط استرس‌زا و کشنده‌ای برای زندگی حیوانات و گیاهان آبی خواهد داشت (Weng & Yang, 2004: 146) و ۵- افزایش مصرف سرانه آب در تابستان (Guhathakurta & Gober, 2007: 319).

پژوهش حاضر باهدف ارزیابی جزایر حرارتی شهری تبریز با استفاده از روش‌های خودهمبستگی فضایی و ارتباط آن با پارامترهای فیزیکی سطح با استفاده از داده‌های سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره LANDSAT8 انجام شده است و نتایج آن می‌تواند برای الگوهای مدیریت و زیست پذیری شهری در آینده مؤثر باشد. در این راستا این پژوهش با این پرسش که آیا کنش متقابل معنی‌داری در جزایر حرارتی شهری کلان‌شهر تبریز دیده می‌شود؟ مورد بررسی قرار گرفت و فرضیه مهمی که تحقیق بر اساس آن نگاشته شد به این شرح است؛ که کنش متقابل معنی‌داری در جزایر حرارتی شهری تبریز وجود دارد و آماره‌های خودهمبستگی فضایی می‌توانند رفتار جزایر حرارتی شهری را آشکار کنند.

پیشینه و مبانی نظری:

علت اصلی ایجاد جزیره حرارتی سطحی شهر، تغییر سطوح طبیعی به سطوحی با جذب و نگهداشت گرمایی بالا است (Tayebi, 2018: 43). اصلی‌ترین عوامل شکل‌گیری جزیره حرارتی شهری عبارت‌اند از: از بین رفتن پوشش گیاهی، سطوح نفوذناپذیر، سپیدایی پایین مواد به کاررفته و هندسه پیچیده شهرها (Oke, 1982: 12). شدت UHI در شهر نتیجه تعامل عوامل بسیاری است. عرض جغرافیایی، نوع آب‌وهوا، توپوگرافی و در مقیاس متوسط تعیین‌کننده آب‌وهوای شهر هستند؛ درحالی‌که اندازه شهر، طراحی شهر و عوامل مربوط به ساختار و عوامل مربوط به جمعیت وجه تمایز در مقیاس محلی و خرد این پدیده هستند (Tayebi, 2018: 27). دو نوع UHI بسته به علل شکل‌گیری، فن‌های شناسایی و اندازه‌گیری، اثرات، شدت، روش و استراتژی‌های کاهش اثرات وجود دارد که عبارت‌اند از: ۱- جزیره حرارتی در سطح شهر (SUHI) و لایه تاج پوشش جزیره حرارتی (CLHI) باشد، برای بررسی اثرات UHI اختصاص یافته است (Metz et al, 2017: 14). SUHI به واسطه تفاوت دما در سطح تعیین می‌شود و دارای رابطه قوی با جهت‌گیری سطح نسبت به خورشید، کاربری و پوشش زمین است و در هر زمان از روز وجود دارد و در تابستان و اواسط روز از شدت بیشتری برخوردار است (Buyantuyev & Wu, 2010: 19). مقابل CLHI به افزایش دمای جو زمین و با تغییر دما در سطح اشاره دارد (معمولاً با مقدار ۲ متر بالاتر از سطح زمین) بین محیط شهری و روستایی تعیین می‌شود (Liu et al, 2018).

اهمیت مطالعه جزایر حرارتی شهری طی سال‌های اخیر دلیلی محکمی برای طیف بسیاری از مطالعات در این حوزه در سرتاسر جهان بوده است. Liu & Zhang (2011) در پژوهشی به تجزیه و تحلیل جزیره حرارتی شهری با استفاده از داده‌های TM Landsat و ASTER در هنگ‌کنگ پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد همبستگی منفی LST و NDVI می‌تواند اثر جزیره حرارتی شهر را تضعیف کند. بررسی رابطه پوشش زمین با جزایر حرارتی شهری در تورنتو کانادا توسط Rinner & Hussain (2011) انجام شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد میانگین دمای بالا برای مناطق تجاری و صنعتی و دمای متوسط برای پارک‌ها و زمین‌های تفریحی و در نهایت دمای پایین برای مناطق مجاور پهنه‌های به دست آمده است. Zhang et al (2015) به ارزیابی نقش رطوبت سطح زمین در کاهش جزایر حرارتی شهری با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۸ در منطقه شهری جیانگ‌سو کشور چین پرداختند؛ نتایج نشان داد رطوبت سطحی می‌تواند در

کاهش جزیره حرارتی شهری نقش مؤثری را ایفا کند. (Feng et al, 2019) الگوهای فضایی دمای سطح زمین و عوامل مؤثر بر آن را در Suzhou چین با استفاده از مدل‌های افزایشی تعمیم‌یافته (GAMs) مورد ارزیابی قرار دادند و این نتیجه رسیدند که مجاورت جزایر حرارتی شهری با پارک‌های بزرگ و منابع آبی باعث تعدیل جزایر حرارتی شهری خواهد شد. (Priyankara et al, 2019) تغییرات مکانی جزیره حرارتی شهری در منطقه سئول را با استفاده از داده‌های لندست (۱۹۹۷-۲۰۱۲) مورد مطالعه قرار دادند؛ و به این نتیجه رسیدند مرکز شهر در طول دوره مطالعه گرم‌تر از مناطق اطراف بود. (Sultana & Satyanarayana (2020) به ارزیابی میزان شهرنشینی و شدت جزایر حرارتی شهری، شهر چان‌دیگار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۸ پرداختند؛ نتایج این پژوهش داد ارتباط معکوس قوی بین پوشش گیاهی و دمای سطح زمین وجود دارد. (Guo et al, 2020) مطالعه تأثیرات فرم فضای شهری بر جزیره حرارتی شهری طی دوره ۲۰۰۳-۲۰۱۸ در چین به این نتیجه رسیدند که LST تحت تأثیر متغیرهای مکانی قرار دارد. با این حال، شکل ساختمان با LST ارتباط ضعیفی دارد.

صادقی نیا و همکاران (۲۰۱۳) در ارزیابی جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ به این نتیجه رسیدند که نقش پوشش گیاهی در کاهش اثرات جزایر حرارتی شهری و سطوح نفوذناپذیر در تشدید آن بسیار مؤثر است. (Sadeghinia et al, 2013: 1). احمدی و داداشی رودباری (۲۰۱۶) آثار ترکیبات بیوفیزیکی را در شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری مشهود را مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که سه نوع جزیره حرارتی شهری پیرامونی، کانونی و خطی را برای شهر مشهد آشکار ساخته است (Ahmadi & Dadashi- Roudbari, 2016: 39). احمدی و داداشی رودباری (۲۰۱۷) با مطالعه اثرات زیست‌محیطی جزایر حرارتی شهری اصفهان با شاخص ECI به این نتیجه رسیدند که مناطق جنوبی شهر بیشینه حساسیت زیست‌محیطی و کمینه حساسیت زیست‌محیطی نیز در مرکز شهر اصفهان قرار دارد. (Ahmadi & Dadashi-Roudbari, 2017:1). رضایی و رفیعیان (۲۰۱۷) تغییرات فضایی- زمانی شدت جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 و ASTER مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که در ۴۰٪ از سطح شهر تهران طی تقریباً یک دهه اخیر به دلایل اثرات توسعه‌ی کالبدی شهر الگوی فضایی جزیره حرارتی تغییر یافته است (Rezaeei Rad & Rafieyan, 2017: 47). احمدی و همکاران (۲۰۱۹) جزایر حرارتی شهری تهران را با رویکرد تکاملی فرکتال ویژه (FNEA) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که ۲۱، منطقه ۹، منطقه ۲۲ و شمال منطقه ۱۹ و منطقه ۱۳ و مناطق جنوبی تهران قرار گرفته‌اند. (Ahmadi et al, 2019:95). بررسی آثار تغییرات کاربری اراضی بر الگوهای زمانی - مکانی دمای سطح زمین شهرستان سقز توسط شعبانی و همکاران (۲۰۱۹) انجام شد؛ نتایج نشان داد شاخص‌های UHII و UHHI، با پوشش گیاهی کم بیشترین دما را نسبت به طبقات با پوشش گیاهی متوسط و زیاد داشته است. (Shabani et al, 2019: 37). علی‌بخشی و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه جزایر حرارتی تهران و شهرهای اقماری با داده‌های ۱۵ ساله ماهواره لندست ۷ (۲۰۰۲-۲۰۱۵) و مدل GWR به این نتیجه رسیدند که ارتباط مستقیمی بین LST و مناطق ساخته‌شده شهری وجود دارد. (Alibakhshi et al, 2020: 59). موسوی و همکاران (۲۰۲۰) تغییرات کاربری زمین و شکل‌گیری جزایر حرارتی در حریم شهر ارومیه را با داده‌های لندست ۸ مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند اراضی باغی و زراعی در نتیجه افزایش مناطق مسکونی و گسترش شهری روند کاهشی داشتند. (Mousavi et al, 2020). ارزیابی پیشینه پژوهش نشان داده است به رغم مطالعات گسترده با استفاده از داده‌ها و روش‌های روزآمد سنجش‌ازدور تاکنون مطالعه‌ای با تأکید بر روش‌های خودهمبستگی فضایی با استفاده از داده‌هایی با تفکیک مکانی بالا در کلان‌شهر تبریز انجام نشده است.

روش تحقیق و شناخت محدوده:

برای محاسبه شاخص-تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی NDVI و دمای سطح زمین LST از ۶ تصویر ماهواره Landsat8 سنجنده‌های OLI و TIRS استفاده شد (جدول ۱) همان‌طور که در جدول (۱) آمده است پوشش ابری برحسب درصد برای هر پلات از تصاویر آمده است؛ زمان گذر ماهواره نیز ساعت ۱۱ به وقت تهران است. تفکیک افقی باندهای حرارتی ۱۰۰ و سایر باندها ۳۰ متر است. این تصاویر از ردیف ۱۶۸ و مسیر ۳۴ سطح LIT تحت شرایط آسمان صاف از پایگاه <https://earthexplorer.usgs.gov> با سیستم تصویر WGS-1984 UTM zone 38N دانلود شدند.

در تحقیقات انجام‌شده برای برآورد دمای سطح زمین از روش‌های مختلفی استفاده شده است؛ از بین روش‌های موجود الگوریتم پنجره مجزا Split Window نسبت به روش‌های دیگر جهت برآورد دمای سطح زمین برتری دارد که در این پژوهش از روش برای محاسبه دمای سطح زمین LST استفاده شد. پردازش‌هایی که برای محاسبه LST در این پژوهش دنبال شد به شرح زیر می‌باشد: ۱- تبدیل ارزش‌های رقومی تصاویر حرارتی TIRS به رادیانس طیفی (Ahmadi & Dadashi-Roudbari, 2017: 2)؛ ۲- تبدیل رادیانس طیفی به دمای روشنایی (Dadashi-roudbari & aliabadi, 2017: 133) و ۳- تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی (Zhang et al, 2013: 223). جهت کاهش حجم مقاله از یک طرف و آنجایی که تمامی این محاسبات توسط نرم‌افزار ENVI انجام شد؛ معادلات مربوطه ارائه نشدند و

علاقه-مندان می‌توانند به منبع (Dadashi-roudbari & aliabadi (2017) رجوع کنند. پس از محاسبه LST شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی NDVI به منظور ارزیابی پوشش سطح زمین و ارتباط با دمای سطح استفاده شده است (جدول ۲). در این معرف باند قرمز و NIR باند باندون قرمز نزدیک، هست. (Ahmadi & Dadashi-Roudbari, 2017: 132)

جدول ۱. مشخصات تصاویر منتخب از شهر تبریز، ماهواره LANDSAT8

سنجنده	تاریخ	زمان	پوشش ابری (%)	مسیر و ردیف	تفکیک مکانی
	۱۳۹۲/۰۵/۲۰	۱۱:۰۴:۲۶	۲/۲۶		
	۱۳۹۲/۰۶/۲۱	۱۱:۰۴:۲۵	۰/۲۶		
	۱۳۹۳/۰۵/۲۳	۱۱:۰۲:۲۹	۰/۲۳		
OLI-TIRS	۱۳۹۳/۰۶/۲۴	۱۱:۰۲:۳۴	۰/۲۴	۳۴/۱۶۸	100*30 M
	۱۳۹۴/۰۵/۲۶	۱۱:۰۲:۰۹	۰۰/۰۰		
	۱۳۹۴/۰۶/۱۱	۱۱:۰۲:۱۴	۵/۵۶		

(منبع: داده‌های پژوهش، ۱۳۹۸).

استخراج جزایر حرارتی شهری (UHI)

برای محاسبه جزایر حرارتی شهری از شاخص تحلیل لکه‌های داغ، آماره گنیس - ارد جی (*Getis-Ord Gi*) استفاده شد. روش آمار فضایی پیش‌تر توسط (Ahmadi & Dadashi-Roudbari, 2016: 39) برای استخراج جزایر حرارتی شهری مورد استفاده قرار گرفت و نتایج حاصل از آن مورد تأیید قرار گرفته است. پیش از محاسبه این شاخص باید خودهمبستگی فضایی محاسبه شود؛ که در این پژوهش از روش *Mnnnn's I* استفاده شد. برای محاسبه شاخص موران، ابتدا نمره استاندارد *Z* و *P-Value* محاسبه می‌شود و در مرحله بعد به ارزیابی و معنادار بودن شاخص پرداخته می‌شود (Fischer & Getis, 2009: 29). آماره موران (I_g) می‌توان به شرح زیر تعریف کرد:

$$I_g = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_j - \bar{y})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (1)$$

در این رابطه n تعداد واحدهای مکانی است، w_{ij} وزن مکانی است و i و j مشخصه‌های واحدهای مکانی هستند. محدوده ارزش آماره موران از $+1$ تا -1 است. هنگامی که مقدار I_g بین 0 تا 1 است، نشان می‌دهد که واحد فضایی به‌طور کلی مثبت است. وقتی مقدار I_g 0 تا -1 باشد، واحد مکانی همبستگی منفی دارد (Fallah Ghalhari et al, 2016: 595).

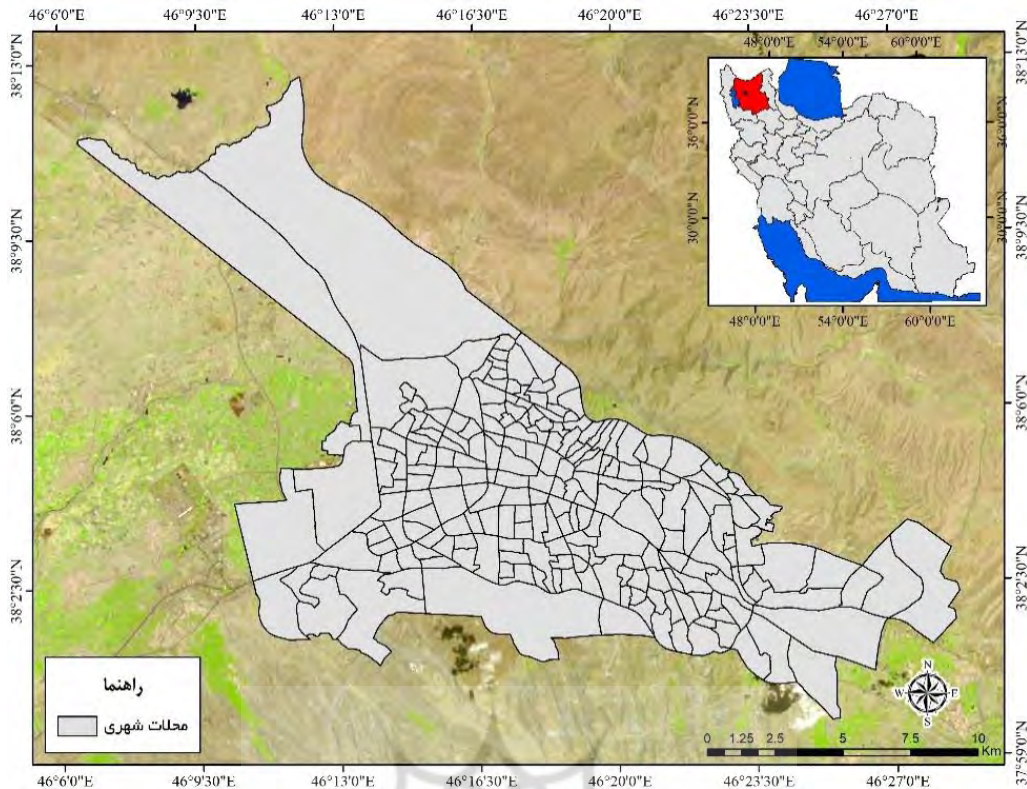
تحلیل لکه‌های داغ از آماره (G_i^*) برای کلیه عوارض موجود در داده‌ها استفاده می‌کند. نمره Z محاسبه شده نشان می‌دهد که در کدام مناطق داده‌ها با مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده‌اند (Fischer & Getis, 2009: 35). آماره (G_i^*) بر اساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$G_i^* = \frac{\sum_{i=1}^n w_{i,j} - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n-1}}} \quad (2)$$

در این رابطه Z مقدار خصیصه برای موقعیت i, j ، $w_{i,j}$ وزن فضایی برای موقعیت‌های i و j ، و n مجموع تعداد موقعیت‌ها را نشان می‌دهد. تمامی محاسبات مربوط به آماره‌های فضایی در محیط نرم‌افزار ARCGIS 10.5 انجام شد.

منطقه مورد مطالعه:

تبریز کلان‌شهری در منطقه آذربایجان و مرکز استان آذربایجان شرقی با مساحت ۲۵۰/۵۹۰ کیلومتر مربع و مختصات $38^{\circ}08'$ شمالی $39^{\circ}46'$ شرقی با جمعیت بالغ بر ۱۵۵۸۶۹۳ نفر است. ارتفاع این شهر از سطح دریا بین ۱۳۴۸ تا ۱۵۶۱ متر است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت کلان شهر تبریز در ایران (منبع: داده‌های پژوهش، ۱۳۹۸).

بحث و یافته‌ها:

مقدار دمای سطح زمین (LST) و شاخص تفاضل شده بهنجار شده پوشش گیاهی (NDVI) در شهر تبریز بر اساس داده‌های ماهواره LANDSAT8 سنجنده‌های OLI و TIRS در شکل ۲ و ۳ نشان داده شد که بر این اساس متوسط دمای سطح زمین در تبریز طی دوره مطالعاتی در فصل تابستان بین ۳۲/۱۲ تا ۴۶/۴۱ درجه سانتی گراد به ترتیب برای سپتامبر و اوت ۲۰۱۵ در نوسان است. کمینه دمای سطح زمین محاسبه شده با ۱۲ درجه سانتی گراد در ماه سپتامبر ۲۰۱۵ به دست آمده است و بیشینه آن نیز ۵۸/۳۶ درجه سانتی گراد در آگوست ۲۰۱۵ شناسایی شد. همچنین نتایج شاخص NDVI نشان داد بیشینه مقدار متوسط شاخص پوشش گیاهی با ۰/۱۵۷ در سپتامبر سال ۲۰۱۵ به دست آمده است. شاخص NDVI تنها در سپتامبر ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ بالاتر از ۰/۸۰ شده است در سایر سال‌های مورد مطالعه مقدار شاخص بین ۰/۷۶ تا ۰/۷۸ در نوسان است.

خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین (LST) در شهر تبریز (شاخص موران)

جدول (۳) مقادیر محاسبه شده را نشان می‌دهد. در این جدول مقدار موران محاسبه شده، موران مورد انتظار، واریانس و سطح معنی‌داری هر یک از تصاویر ارائه شد. مقایسه نتایج با آستانه معنی‌داری نشان داد LST به دست آمده در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. لذا می‌توان فرضیه H_0 مبنی بر عدم ارتباط فضایی LST در شهر تبریز را رد کرد؛ پس بر این اساس می‌توان ابراز داشت که LST در شهر تبریز دارای ساختار فضایی بوده یا به عبارتی LST دارای الگوی خوشه‌ای است. بیشینه شاخص خودهمبستگی فضایی در شهر تبریز در ماه سپتامبر ۲۰۱۳ با ۰/۹۵۱۶۴۳ و کمینه شاخص نیز با ۰/۹۲۷۵۸۴ محاسبه شد. کاهش شاخص موران جهانی در سال‌های پایانی این تحقیق نشانگر خوشه‌ای‌تر شدن و بر هم خوردن نظم نسبی LST در کلان شهر تبریز است. آماره موران نشان داد که کنش متقابل معنی‌داری در جزایر حرارتی شهری کلان شهر تبریز دیده می‌شود.

جدول ۳. خروجی آماره موران جهانی برای دمای سطح زمین (LST) کلان شهر تبریز

موران جهانی ("Moran's I")					
سال	شاخص موران	شاخص موران مورد انتظار	واریانس	z-score	p-value
۲۰۱۳/۰۸/۱۱	۰/۹۵۱۳۶۹	-۰/۰۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۰۲۹	۱۷۵/۹۸۸۴	۰/۰۰۰۰۰۰

۰/۰۰۰۰۰۰	۱۷۶/۰۳۹۷	-/۰۰۰۰۲۹	--/۰۰۰۰۵۷	۰/۹۵۱۶۴۳	۲۰۱۳/۰۹/۱۲
۰/۰۰۰۰۰۰	۱۷۴/۲۰۵۸	۰/۰۰۰۰۲۹	--/۰۰۰۰۵۷	۰/۹۴۱۷۲۸	۲۰۱۴/۰۸/۱۴
۰/۰۰۰۰۰۰	۱۷۵/۷۷۳۴	-/۰۰۰۰۲۹	--/۰۰۰۰۵۷	۰/۹۵۰۲۱۰	۲۰۱۴/۰۹/۱۵
۰/۰۰۰۰۰۰	۱۷۴/۴۷۶۹	-/۰۰۰۰۲۹	--/۰۰۰۰۵۷	۰/۹۴۳۲۰۱	۲۰۱۵/۰۸/۱۷
۰/۰۰۰۰۰۰	۱۷۱/۵۹۰۹	۰/۰۰۰۰۲۹	--/۰۰۰۰۵۷	۰/۹۲۷۵۸۴	۲۰۱۵/۰۹/۰۲

(منبع: داده‌های پژوهش، ۱۳۹۸).

ارتباط شاخص تفاضل بهنجار شده پوشش گیاهی (NDVI) با دمای سطح زمین (LST) در شهر تبریز

جدول (۴) همبستگی دمای سطح زمین (LST)، به همراه سطح معنی‌داری (P-value) و ضریب تعیین (R2) را با شاخص NDVI نشان داده است. برای ارزیابی این که بین داده‌ها ارتباط مستقیم و معکوس معنی‌دار وجود دارد از سطح معنی‌داری (P-Value) استفاده شد. اگر مقدار P-Value از مقدار خطا کمتر باشد فرض اینکه هیچ ارتباط معنی‌داری بین داده‌ها وجود ندارد؛ غیرمحمتمل است و در نتیجه داده‌ها دارای ارتباط معنی‌دار هستند. در مقابل اگر P-Value بزرگ باشد احتمال اینکه داده‌ها از ارتباط معنی‌داری برخوردار نباشند؛ بسیار زیاد است. ارتباط دو پارامتر مورد بررسی شده همبستگی منفی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد را ارائه داده‌اند. همبستگی منفی شاخص پوشش گیاهی با دمای سطح زمین می‌تواند یک معیار کافی برای پژوهش‌های جزایر حرارتی شهری تلقی شود (Weng & Yang, 2004: 145). مقدار ضریب تعیین محاسبه شده بر اساس روش رگرسیون خطی نیز نتایج ارائه شده روش همبستگی پیرسون را تأیید کرده است. بیشینه ضریب تعیین بین LST و NDVI در کلان‌شهر تبریز ۰/۳۵۹ در ماه سپتامبر ۲۰۱۵ میلادی به دست آمده است. به عبارت دیگر می‌توان گفت پوشش گیاهی ۳۵ درصد از تغییرات دمای سطح زمین در شهر تبریز را کنترل می‌کند. ارتباط معکوس معنی‌دار بین LST و NDVI پیش‌تر توسط Sadeghinia et al, (2013) در شهر تهران و Ahmadi & Dadashi-Roudbari (2016) در شهر مشهد مورد تأیید قرار گرفته است.

جدول ۴. مشخصه‌های آماری همبستگی (پیرسون)، P-value و ضریب تعیین (R2) دمای سطح زمین (LST) با (NDVI)

همبستگی (Pearson)			تاریخ تصویر منتخب	پارامتر
R ²	p-values	همبستگی		
۰/۲۲۴	۰/۰۰۰	-۰/۴۳۷	۲۰۱۳/۰۸/۱۱	NDVI / LST
۰/۲۸۸	<۰/۰۰۰۱	-۰/۵۳۷	۲۰۱۳/۰۹/۱۲	
۰/۲۲۵	<۰/۰۰۰۱	-۰/۴۷۴	۲۰۱۴/۰۸/۱۴	
۰/۲۲۸	<۰/۰۰۰۱	-۰/۴۷۷	۲۰۱۴/۰۹/۱۵	
۰/۲۰۷	<۰/۰۰۰۱	-۰/۴۵۵	۲۰۱۵/۰۸/۱۷	
۰/۳۵۹	<۰/۰۰۰۱	-۰/۵۹۹	۲۰۱۵/۰۹/۰۲	

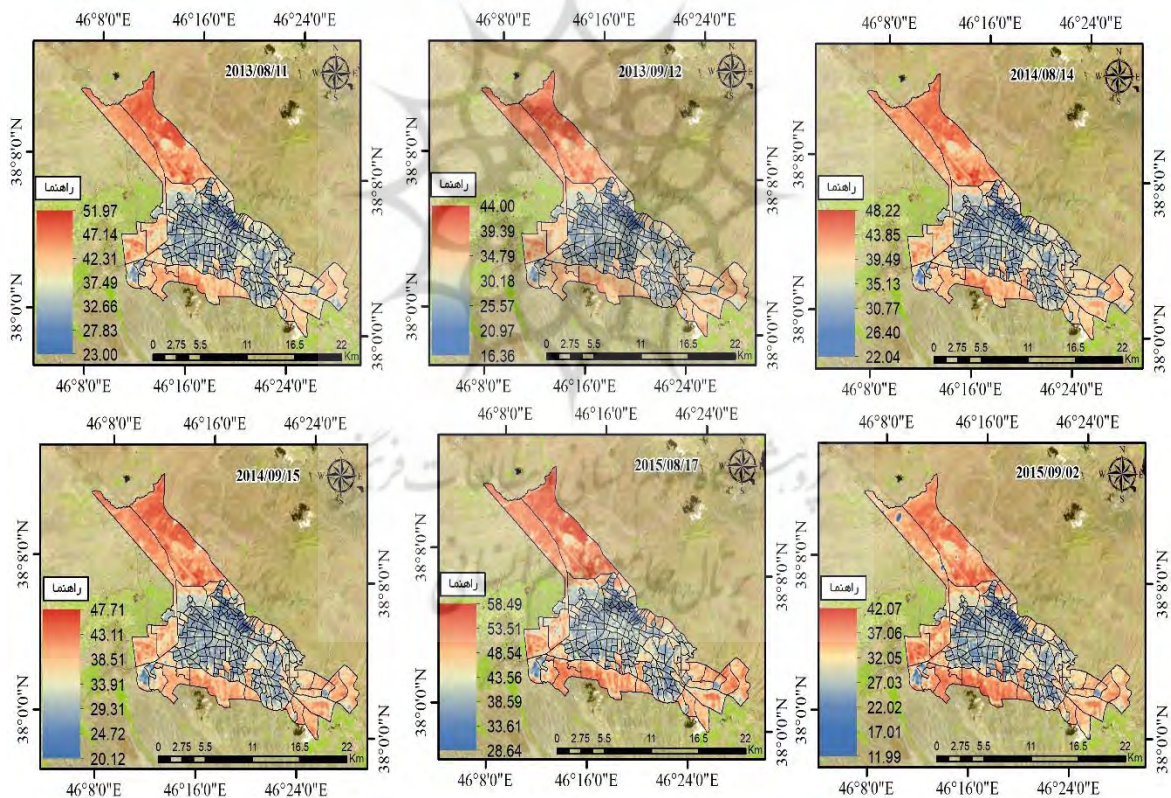
(منبع: داده‌های پژوهش، ۱۳۹۸).

شکل (۲) دمای سطح زمین (LST) را بر اساس تصاویر سنجنده TIRS ماهواره LANDSAT8 طی سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است دامنه دمایی برای ماه آگوست سه سال منتخب به ترتیب ۲۳/۰۰ تا ۵۱/۹۷، ۲۲/۰۴ تا ۴۸/۲۲ و ۲۸/۶۴ تا ۵۸/۴۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اختلاف زیاد دما بین مناطق شمال و شمال غرب با مناطق مرکزی کلان‌شهر تبریز (مناطق ۹، ۲۱، ۲۲ و ۱۹) دیده می‌شود. سطوح نفوذناپذیر همچون بتن و آسفالت در فضای شهری باعث به دام انداخته شدن گرما در سطح می‌شوند. این مواد جذب و نگه داشت بالای انرژی را در مقابل سپیدایی کمتر باعث تولید میزان انرژی بالایی می‌شوند که یکی از عوامل اساسی افزایش دما می‌باشند.

تراکم پوشش گیاهی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهنده SUHI است که نقش مهمی در تعدیل جزایر حرارتی شهری دارد که پارک‌ها و فضای سبز بهترین نمونه از عامل کاهنده در مناطق مختلف شهر هستند. همان‌طور که گفته شد بخش مرکزی شهر تبریز برخلاف کلان‌شهری همچون تهران (Sadeghinia et al, 2013: 12) سطوح دمایی پایین را به خود اختصاص داده‌اند. تبریز از این نظر با شهر اصفهان الگوی

دمایی مشابه را نشان داده است بطوریکه (Ahmadi & Dadashi-Roudbari (2017) در ارزیابی دمای سطح زمین شهر اصفهان به نتیجه مشابهی رسیدند. بیشینه دمای سطح زمین محاسبه‌شده در تمامی تصاویر در منطقه ۶ شهری تبریز به علت استقرار فرودگاه است. پس از منطقه ۶ شهری مناطق ۷، ۹ و ۵ نیز به ترتیب دمای سطح زمینی بالایی را نشان داده‌اند. وجود بافت فرسوده (محله شمس‌آباد) در منتهی علیه جنوب شرق شهر تبریز در منطقه ۹ شهری که در نقشه کاربری اراضی در که شکل (۴) نیز نشان داده شد یکی از عوامل اصلی در تشدید جزایر حرارتی شهری است. همچنین مناطق بافت فرسوده محدوده خیابان انقلاب، خیابان شمس تبریزی و چهارراه بهار از مناطق فرسوده با دمای بالای سطح زمین و جزایر حرارتی شهری می‌باشند. بیشینه دمایی در ماه سپتامبر در سال ۲۰۱۳، ۴۴/۰۰، در سال ۲۰۱۴، ۴۷/۷۱ و در ۲۰۱۵، ۴۲/۰۷ درجه سانتی‌گراد به‌دست‌آمده است که در محدوده فرودگاه بین‌المللی شهید مدنی شناسایی گردید. ارزیابی توزیع مکانی پراکنش دمای سطح زمین (LST) در سه سال متوالی نمایانگر کاهش کمینه دما در منطقه ۱ (۱۱ درصد کاربری آموزشی) و افزایش بیشینه دما در منطقه ۶ می‌باشد (شکل ۲). با مقایسه دما در مناطق ۱۰ گانه شهری تبریز، منطقه ۶ دارای بالاترین میانگین دما در هر سه سال بوده است.

تجزیه و تحلیل یاخته به یاخته LST در شهر تبریز نشان داده است شرایط محیطی خشک در منطقه یکی از دلایل اساسی افزایش دمای سطح زمین در این کلان‌شهر مهم در شمال غرب کشور است. عمده مناطق دمایی بالا در پیرامون شهر تبریز قرار گرفته است؛ لذا می‌توان ابراز داشت که تبریز دارای الگوی جزایر حرارتی پیرامونی است. نقش مثبت عاملی انسانی در شهر تبریز با ایجاد لبه خنک سبز در بخش قدیمی شهر (مناطق مرکزی) باعث کاهش قابل‌توجه دما شده است. این شرایط کاربری شهر تبریز به همراه آب‌وهوای آن باعث شکل‌گیری یک الگوی مثلی شکل از جزایر حرارتی نیز شده است بطوریکه هر چه از اطراف به مرکز پیش برویم از دمای سطح زمین و کانون‌های جزایر حرارتی شهری کاسته خواهد شد.

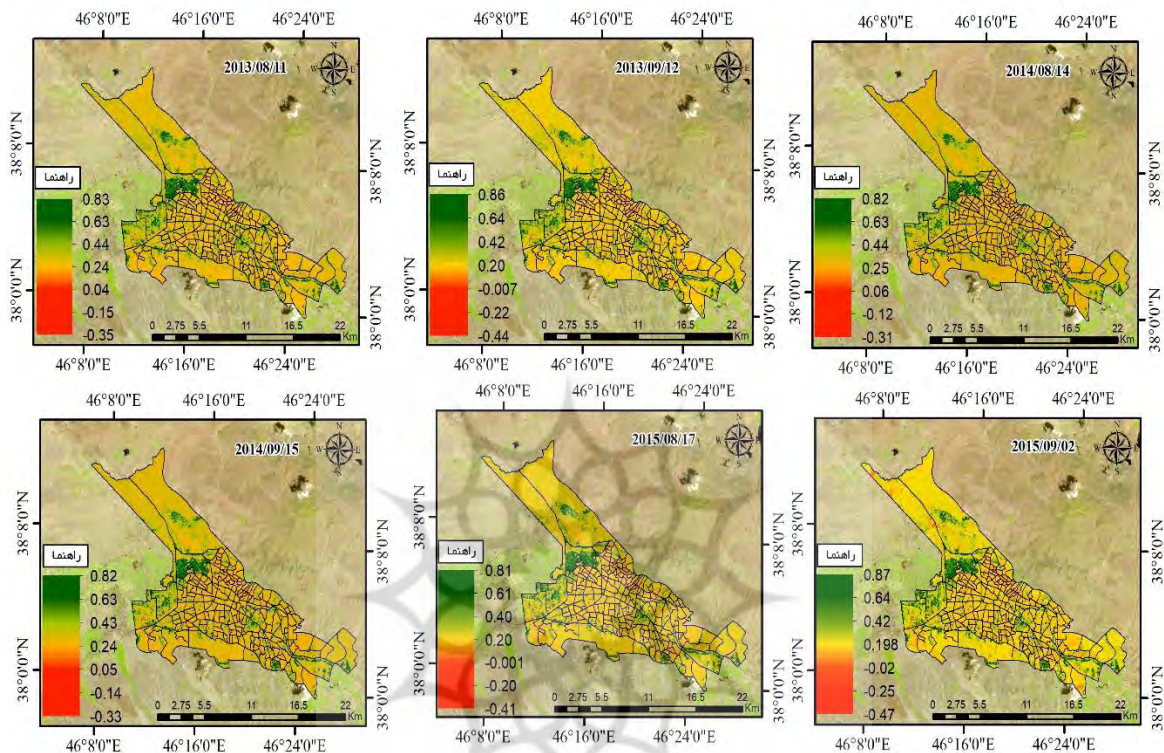


شکل ۲. دمای سطح زمین (LST) شهر تبریز در فصل تابستان

(منبع: داده‌های پژوهش، ۱۳۹۸).

شاخص NDVI در شکل (۳) نشان داده شد. بیشینه این شاخص مربوط به منطقه ۴ شهر تبریز و پایین‌ترین مقدار این شاخص مربوط به منطقه ۶ در طول سه سال پیاپی بوده است که منطقه اول از خنک‌ترین مناطق تبریز و منطقه دوم از گرم‌ترین نقاط کلان‌شهر تبریز در این سه سال و شش تصویر منتخب بوده است. به‌طور کلی بیشینه شاخص NDVI متعلق به مناطق ۱، ۲، ۳، ۴ و ۸ کلان‌شهر تبریز بوده است؛ همان‌طور که در جدول ۵ آمده است بخش مهمی از این مناطق را کاربری‌هایی با پوشش گیاهی مناسب در بر گرفته است برای مثال ۲۰/۶۲ درصد از کاربری‌های منطقه ۴ را باغات و کشاورزی در بر گرفته است. پوشش گیاهی در مناطق شمال شرقی کلان‌شهر تبریز به دلیل وجود

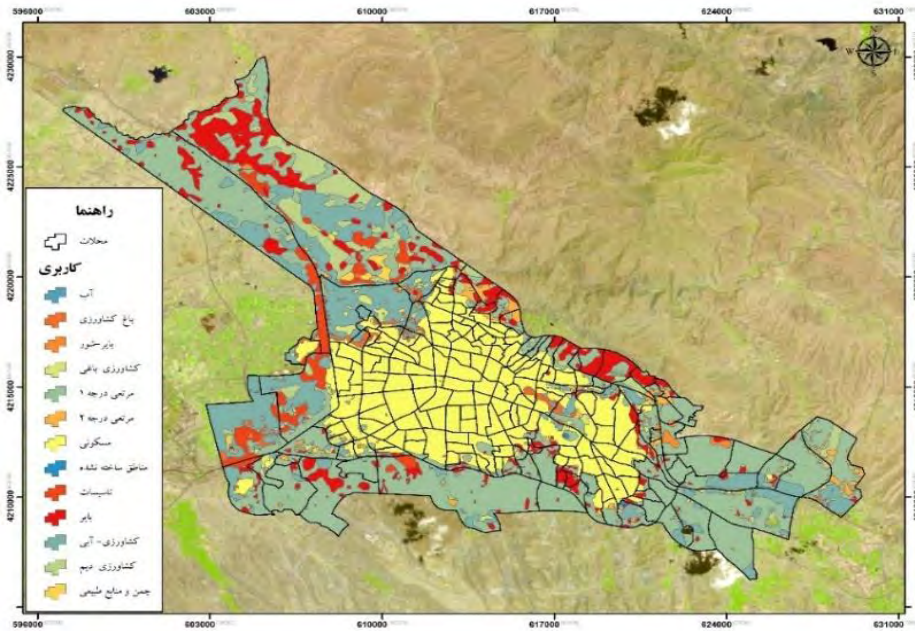
زمین‌های بایر و مناطق فرودگاهی و برخی از صنایع کاهش قابل توجهی را به همراه داشته است. از مرکز به پیرامون شهر تبریز با کاهش کاربری فضاهای سبز شهری و افزایش کاربری‌های فرسوده و کارگاهی و حمل‌ونقل؛ میزان پوشش گیاهی به شدت کاسته شده و مقدار دمایی سطح زمین افزایش یافته است. در تبریز مناطقی با کاربری پارک و فضای سبز دمایی سطح زمین پایینی را ارائه داده‌اند این مناطق در سطح شهر پراکنده هستند. دانشگاه تبریز به دلیل وجود پوشش گیاهی زیادی که در آن وجود دارد دمایی را ارائه کرده است. ائل‌گلی در جنوب شرقی تبریز به دلیل پوشش گیاهی بالا، فضای سبز قابل توجه و پهنه‌های آبی LST پایینی را نشان داد. همچنین شهرک ولیعصر در جنوب شرقی شهر، مناطق رخاب و سیلاب، اراضی کشاورزی جنوب شرقی، منطقه باغشمال و زمین‌های کشاورزی قراملک نیز از مناطقی هستند که دمایی پایینی را نشان دادند.



شکل ۳. شاخص تفاضل بهنجار شده پوشش گیاهی (NDVI) در کلان‌شهر تبریز در فصل تابستان

(منبع: داده‌های پژوهش، ۱۳۹۸).

برای مقایسه بهتر از جزایر حرارتی شهری نقشه کاربری اراضی، تهیه و در شکل (۴) نشان داده شد؛ همچنین برای ارائه بهتر نتایج؛ درصد هر یک از کاربری‌های شهری را در هر منطقه محاسبه و در جدول (۵) ارائه شد. دمایی سطح زمین در شبکه راه‌ها تحت تأثیر مناطق اطراف خود است بطوریکه اگر یک جاده یا بزرگراه از فضای سبز عبور کند دمایی چندان بالایی نخواهد داشت اما در مقابل اگر همین مسیر از یک منطقه خشک و یا کاربری بایر عبور کند دمایی بالایی خواهد داشت. همان‌طور که نقشه کاربری اراضی شهری آمده است در غرب تبریز شبکه راه‌ها با کاربری‌های مختلف نقش مهمی در شدت جزایر حرارتی شهری دارند؛ بطوریکه جاده سنتو و راه‌آهن تبریز که موازی یکدیگر پیش می‌روند؛ از بارزترین جزایر حرارتی پیرامونی تبریز هستند. نقش خرد اقلیم شهری در تعدیل SUHI تبریز را با مقایسه شکل‌های ۲ و ۴ که به ترتیب LST و کاربری اراضی شهر تبریز را نشان می‌دهند؛ در شهرک ولیعصر پیداست در این منطقه به دلیل سایه حاصل از ساختمان‌های مرتفع اطراف، فضای سبز مناسب کناره جاده و قرارگیری در ارتفاعی مناسب از سطح دریا در تعدیل LST نقش مهمی دارند. شبکه ارتباطی موجود در محلات شمال و شمال شرق تبریز مانند ملازنیال، مناطق اطراف خیابان انقلاب و پاسداران که جز مناطق پرتراکم محسوب می‌شوند و همچنین به دلیل نداشتن پوشش گیاهی مناسب، عدم وجود سایه و قرارگیری در دامنه‌ها رو به آفتاب LST شدت بالایی را دارد.



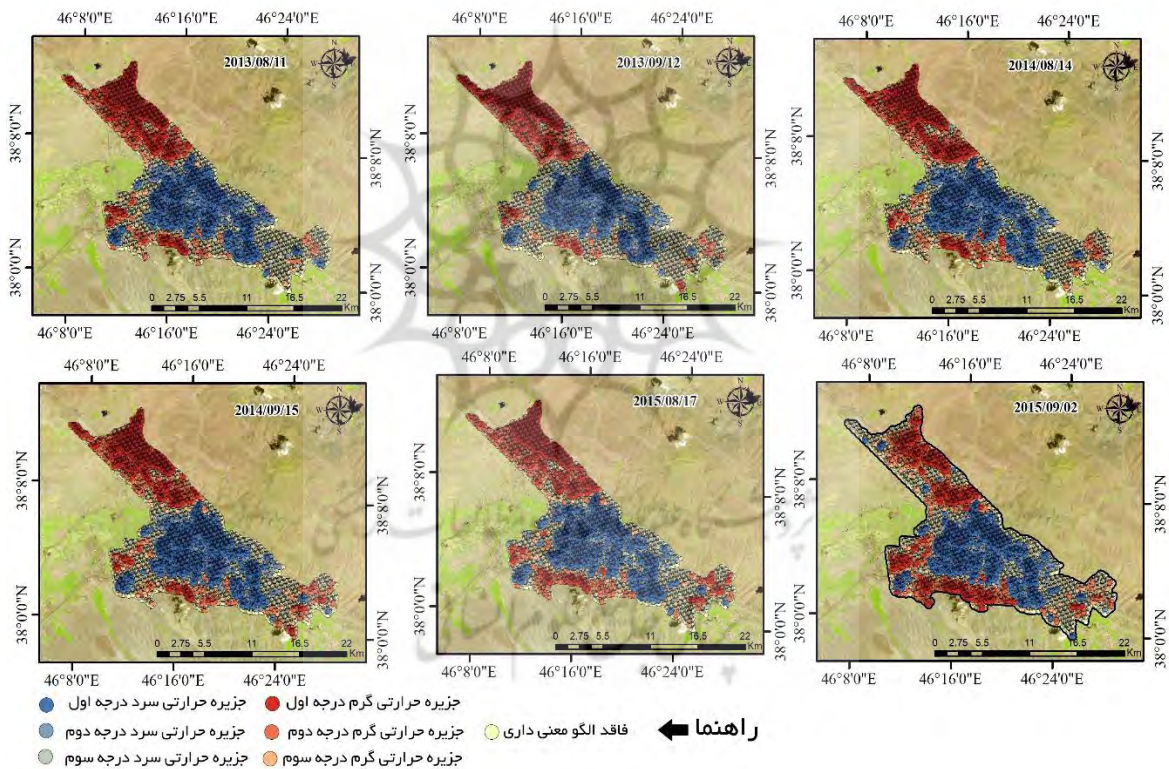
شکل ۴. کاربری اراضی شهر تبریز (منبع: داده‌های پژوهش، ۱۳۹۸).

جدول ۵. درصد کاربرها در مناطق مختلف شهر تبریز

کاربری‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
تجاری، خدماتی	۲/۶۸	۱/۶۲	۱/۶۰	۲/۳۷	۰/۸۱	۰/۴۰	۱/۸۰	۱۴/۹۵	۰/۴۵	۲/۵۰
اداری و انتظامی	۲/۸۱	۲/۵۲	۲/۶۹	۰/۶۸	۰/۱۱	۰/۲۹	۰/۳۴	۴/۴۰	۰/۱۲	۰/۷۰
آموزش و تحقیقات فناوری	۱۱/۰	۷/۷۴	۰/۸۰	۰/۱۰	۱/۵۹	۰/۰۷	۰/۲۸	۰/۷۸	۰/۰۰	۰/۰۱
آموزشی	۱/۶۸	۱/۳۰	۱/۶۹	۱/۸۷	۰/۹۴	۰/۴۴	۰/۵۴	۲/۴۸	۰/۲۴	۱/۹۴
باغات و کشاورزی	۵/۲۳	۲/۳۶	۳/۵۸	۲۰/۶۲	۹/۱۲	۱۷/۵۲	۱۶/۱۰	۰/۶۶	۱۴/۷۵	۰/۰۱
بایر	۱۳/۰۷	۲۵/۱۸	۱۵/۴۴	۶/۲۹	۴۷/۷۸	۳۵/۹۳	۳۲/۹۶	۶/۴۲	۶۸/۰۵	۷/۶۹
بهداشتی-درمانی	۰/۶۴	۱/۴۳	۰/۷۲	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۴۳	۰/۰۱	۱/۰۸
پارک	۵/۰۷	۶/۳۲	۲/۹۱	۲/۶۵	۳/۵۷	۰/۸۰	۰/۸۹	۰/۱۷	۰/۳۱	۱/۶۸
تاریخی	۰/۱۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۵	۰/۰۰	۰/۰۵
تأسیسات شهری	۰/۳۱	۰/۴۰	۰/۵۹	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۳
تجهیزات شهری	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۸۴	۰/۲۴	۰/۶۵	۰/۰۹	۱/۹۰	۰/۱۹	۱/۴۴	۰/۵۶
تفریحی-گردشگری	۰/۸۲	۰/۸۷	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۰۰	۰/۰۰
حریم	۰/۶۳	۱/۶۴	۱/۲۰	۰/۱۷	۰/۵۶	۰/۰۵	۱/۱۲	۰/۱۳	۰/۰۰	۳/۳۹
حمل‌ونقل و انبارداری	۱/۱۶	۰/۸۳	۱/۳۸	۲/۳۵	۱/۱۲	۱۷/۷۴	۱/۶۵	۱/۵۱	۸/۳۲	۰/۵۱
در حال ساخت	۲/۲۰	۰/۲۷	۰/۳۰	۰/۶۲	۰/۵۸	۰/۰۵	۰/۳۹	۱/۴۴	۰/۱۰	۰/۳۳
رودخانه و نهر	۱/۳۳	۰/۱۷	۰/۰۰	۴/۲۷	۰/۵۵	۱/۱۳	۰/۰۲	۱/۹۵	۰/۰۰	۰/۴۵
صنعتی	۰/۴۲	۰/۸۴	۱/۲۱	۲/۱۰	۶/۰۸	۷/۵۲	۱۱/۲۵	۰/۴۵	۰/۹۳	۰/۵۵
طبیعی	۰/۴۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۲۲	۱/۳۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۱/۵۲
فرهنگی-هنری	۰/۷۸	۱/۲۰	۰/۰۹	۰/۲۷	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۰۰	۰/۱۱
مذهبی	۰/۲۰	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۶	۲/۵۱	۰/۰۲	۰/۳۹
مسکونی	۳۵/۷۱	۲۶/۷۷	۲۳/۱۳	۳۳/۷۰	۸/۳۳	۵/۸۶	۱۳/۰۴	۳۸/۵۴	۱/۸۴	۴۲/۲۹
معبر	۲۳/۶۴	۲۳/۵۴	۱۵/۶۴	۲۰/۲۹	۱۷/۶۰	۶/۳۹	۱۳/۶۹	۲۲/۲۷	۱۱/۴۸	۲۳/۶۴
نظامی	۰/۰۰	۰/۲۹	۲۳/۹۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۵/۰۰	۲/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
ورزشی	۰/۷۰	۰/۲۵	۲/۳۹	۰/۶۰	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۰۳	۰/۵۸

(منبع: داده‌های پژوهش، ۱۳۹۸).

همان‌طور که بحث شد از تابع خودهمبستگی فضایی لکه‌های داغ (Getis-ord G_i^*) برای نشان دادن توزیع فضایی الگوی حاکم بر جزایر حرارتی کلان‌شهر تبریز و خوشه‌بندی آن، طی روزهای منتخب استفاده شده است. در این آماره هفت الگوی مختلف آشکار شده است. به‌غیر از نمره صفر G_i -Bin که فاقد الگوی معنی‌داری را نشان می‌دهد؛ شاخص ۶ نمره دیگر را نیز ارائه می‌دهد؛ نمره ۱ تا ۳ نمایانگر الگوی حرارتی بالا (جزیره حرارتی گرم) و نمره ۱- تا ۳- نشان‌دهنده الگوی حرارتی پایین (جزایر حرارتی سرد) هستند. بر اساس آماره‌های G_i -Sore و G_i -PValue شاخص (Getis-ord G_i^*) سه الگوی جزیره حرارتی گرم و سه الگوی جزیره حرارتی سرد شناسایی گردید. بطوریکه G_i -Sore با مقدار P-Value معنی‌دار در سطح ۹۰ درصد الگوی جزیره حرارتی درجه سوم، در سطح ۹۵ درصد الگوی جزیره حرارتی درجه دوم و در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد الگوی جزیره حرارتی درجه یک جدا شدند. جزایر حرارتی مهم شهر تبریز که بر اساس داده‌های ماهواره‌ای چند زمانه لندست ۸ سنجنده TIRS به استفاده از تحلیل لکه‌های داغ از آماره (G_i^*) ناسایی شدند عبارت‌اند از: فرودگاه تبریز (بزرگ‌ترین جزیره حرارتی شناخته در سطح شهر)؛ مناطق صنعتی جنوب غرب شهر؛ ایستگاه راه‌آهن، بازار تبریز، مناطق مسکونی پرتراکم مانند ملا زینال و مناطق تعمیرگاهی و پایانه‌های شهری تبریز. همان‌طور که در جدول (۶) و شکل (۵) آمده است خوشه‌های جزایر حرارتی گرم در گرم‌ترین ماه سال (اگوست) ۲۶/۰۲ درصد در سال ۲۰۱۳، ۲۶/۹۹، ۲۸/۱۴ (ماه اگوست) ۲۶/۹۹، ۳۶/۳۱ درصد را در بر گرفته‌اند. مناطقی که فاقد الگوی خودهمبستگی فضایی جزایر حرارتی سرد نیز به ترتیب (ماه اگوست) ۲۸/۱۴، ۲۶/۹۹ و ۳۶/۳۱ درصد را در بر گرفته‌اند. مناطقی که فاقد الگوی خودهمبستگی فضایی معنی‌دار بوده‌اند نیز در برای هر یک از روزهای منتخب در جدول (۶) ارائه شد. این مناطق به دلیل تباین بالای دمایی در مناطق شهری ایجاد می‌شوند که در شهر مشهد (Ahmadi & Dadashi-Roudbari, 2016: 39) نیز همین الگو درصد غالب الگو دمایی را در بر گرفته است.



شکل ۵. خوشه‌بندی جزایر حرارتی با تابع لکه‌های داغ (Getis-ord G_i^*) در کلان‌شهر در فصل تابستان

(منبع: داده‌های پژوهش، ۱۳۹۸).

جدول (۶) درصد هر یک از جزایر حرارتی شناسایی شده را در شکل (۵) نشان داده است؛ اطلاعات این جدول برحسب نمره G_i -Bin یاخته‌های موجود به‌دست آمده است. بیش‌ترین درصد از جزایر حرارتی شهری درجه اول با ۱۱/۵۲ درصد در سال ۲۰۱۳/۰۸/۱۱ و کمترین مقدار آن با ۷/۹۰ درصد در ۲۰۱۵/۰۹/۰۲ به‌دست آمده است. همچنین بیشینه مناطق تحت اشغال جزایر حرارتی سرد درجه اول در ۱۶/۵۲ درصد در ۲۰۱۴/۰۹/۱۵ محاسبه گردید. بزرگ‌ترین جزیره حرارتی شهری در منطقه ۶ شهری تبریز (این منطقه ۳۵/۹۳ درصد اراضی بایر دارد) شناسایی شد. پس از آن منطقه ۷ (۳۲/۹۶ اراضی بایر)، جنوب منطقه ۳ (۲۳/۱۳ درصد کاربری مسکونی و ۲۳/۹۱ کاربری نظامی است)، منتهی علیه جنوب شرق منطقه ۹ (۶۸/۰۵ درصد کاربری بایر و ۱۱/۴۸ درصد معبر) و بخش‌های شرقی منطقه ۵ (۴۷/۷۸ درصد کاربری بایر) قرار دارند.

جدول ۶. درصد جزایر حرارتی شهری شناسایی شده با تابع لکه‌های داغ ($Getis-ord\ Gi^*$) در کلان‌شهر تبریز

تاریخ تصویر	جزیره حرارتی سرد			فاقد معنی‌داری	جزیره حرارتی گرم		
	درجه اول	درجه دوم	درجه سوم		درجه اول	درجه دوم	درجه سوم
۲۰۱۳/۰۸/۱۱	۱۴/۹۲	۸/۹۴	۴/۲۸	۴۵/۸۰	۱۱/۵۲	۹/۲۶	۵/۲۴
۲۰۱۳/۰۹/۱۲	۱۵/۶۵	۷/۵۶	۳/۶۶	۴۸/۶۱	۱۱/۸۹	۸/۲۹	۴/۲۹
۲۰۱۴/۰۸/۱۴	۱۵/۰۷	۸/۱۸	۳/۷۴	۴۶/۹۰	۱۰/۵۰	۹/۷۷	۵/۸۰
۲۰۱۴/۰۹/۱۵	۱۶/۵۲	۸/۲۲	۳/۷۵	۴۵/۱۷	۱۰/۵۴	۹/۴۸	۶/۲۹
۲۰۱۵/۰۸/۱۷	۱۶/۱۹	۱۶/۳۴	۳/۷۸	۴۳/۸۱	۹/۹۴	۱۱/۷۰	۶/۲۱
۲۰۱۵/۰۹/۰۲	۱۶/۱۳	۶/۳۴	۳/۱۱	۴۸/۵۲	۷/۹۰	۱۱/۲۴	۶/۷۱

(منبع: داده‌های پژوهش، ۱۳۹۸).

نتیجه‌گیری:

پژوهش حاضر باهدف ارزیابی جزایر حرارتی شهری کلان‌شهر تبریز با استفاده از روش لکه‌های داغ ($Getis-ord\ Gi^*$) و نقش عوامل افزایشنده و کاهشنده آن انجام شد. به این منظور از داده‌های ۶ تصویر فصل تابستان تحت شرایط آسمان صاف سنجنده‌های TIRS و OLI ماهواره لندست ۸ برای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ استفاده شد. شاخص‌های NDVI و LST محاسبه و ارتباط این دو شاخص با استفاده از روش‌های همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی بررسی گردید. از روش Mornn's I خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین محاسبه گردید و در نهایت از روش لکه‌های داغ ($Getis-ord\ Gi^*$) برای شناسایی جزایر حرارتی شهری استفاده شد. نتایج نشان داد که LST نسبت به پوشش گیاهی حساس است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که LST می‌تواند برای تشخیص تغییرات LULC در طول زمان استفاده شود. بزرگ‌ترین جزیره حرارتی شهری شناسایی شده در منطقه ۶ شهری قرار دارد. پس از آن مناطق ۳، ۵، ۷ و ۹ شهری قرار دارند. نتایج این پژوهش نشان داد مقادیر UHI ارتباط قابل‌ملاحظه‌ای با LULC و تغییرات آن در فضای شهری دارند. در تأیید نتایج به‌دست آمده (Mousavi et al, 2020) نیز در حریم شهر ارومیه بین پوشش سطح و دمای سطح زمین رابطه معناداری مشاهده کردند که این امر مبین شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری است. همچنین (Rezaeei Rad & Rafieyan, 2017) روند تحولات الگوی فضایی جزیره حرارتی تهران را ناشی از تغییرات سیاست‌های کالبدی- عملکردی و فعالیت‌های انسانی دانسته‌اند. همبستگی پیرسون ارتباط LST و NDVI را یک ارتباط معکوس معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ نشان داد؛ اما باین‌حال باید توجه داشت که این ارتباط لزوماً خطی نیست. این نتیجه پیش‌تر در سه کلان‌شهر مهم تهران (Sadeghinia et al, 2013: 1)، مشهد (Ahmadi & Dadashi-Roudbari, 2016: 39) و اصفهان (Ahmadi & Dadashi-Roudbari, 2017: 1) نیز اثبات شده است. همچنین در سطح بین‌المللی (Liu & Zhang, 2011) در هنگ‌کنگ و (Feng et al, 2019) در سوژو چین نیز این ارتباط معکوس قوی را شناسایی کردند. الگوی اصلی جزایر حرارتی شهری تبریز بر اساس روش خودهمبستگی فضایی لکه‌های داغ ($Getis-ord\ Gi^*$) یک الگوی پیرامونی و از نوع مثلثی شکل است بطوریکه هر چه مرکز شهر به جهات مختلف آن پیش برویم بر مقدار دمای سطح زمین و کانون‌های جزایر حرارتی شهری افزوده می‌شود. این نوع الگوی جزایر حرارتی شهری در اصفهان توسط (Ahmadi & Dadashi-Roudbari, 2017) نیز شناسایی گردید. (Mallick et al, 2008) در شهر دهلی نیز به نقش پوشش گیاهی به‌عنوان یک عامل کاهش دهنده قوی در کاهش جزایر حرارتی شهری ابراز داشته‌اند؛ (Pauleit et al, 2005) نیز به نقش مهم پوشش گیاهی در کاهش اثرات جزایر حرارتی شهری پرداختند. پیشنهادهای کاربردی این پژوهش، گسترش و ایجاد فضای سبز کمربندی در اطراف شهر و درون شهر تبریز، جهت کاهش آفتاب‌گیری آسفالت‌های خیابان و طراحی الگوی بهینه مسکن همساز با آب‌وهوای شهر تبریز به‌منظور کاهش ضرورت استفاده از دستگاه‌های مکانیکی است. همچنین بهسازی بافت فرسوده محله شمس‌آباد، محدوده خیابان انقلاب، خیابان شمس تبریزی و چهارراه بهار باید در اولویت برنامه‌های شهری قرار گیرد. با توجه به اینکه بیش از یک‌چهارم مناطق ۲، ۵، ۶، ۷ و ۹ شهری را کاربری بایر تشکیل می‌دهد؛ پیشنهاد می‌شود شهرداری تبریز نسبت به توسعه این مناطق جهت تعدیل جزایر حرارتی شهری گامی مؤثر بردارد.

سپاس‌گزاری:

مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری دانشگاه شهید بهشتی است؛ نویسندگان بر خورد لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از دانشگاه شهید بهشتی و داوران نشریه برنامه ریزی منطقه‌ای که ما را در انجام و ارتقا کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام نمایند.

References

1. Agarwal, M., & Tandon, A (2010). Modeling of the urban heat island in the form of mesoscale wind and of its effect on air pollution dispersal. *Applied Mathematical Modelling*, 34(9), pp: 2520-2530.
2. Ahmadi, Mahmoud. And Dadashi-Rrrrrr r Aaaaali ()))))) "T biyyyyiiicll ffett of mmm ee frmtt inn of rrrnn eett islhn (Cssh Styyy: aa aaaad),, irnninn remtt eessigg & GIS. 8(3), 39-58.
3. Ahmadi, Mahmoud. And Dadashi-Rrrrrrr r Aaaaaali (7777) "Th Itttt ifiaati ff Urban Teermll Illssss bssdd nm vvvirmmttt al Approcc Cae Styyy: Iffaaan vvvveee,, Geography and Environmental Planning. 28(3), 1-20.
4. Ahmadi, Mahmoud. And Dadashi-Roudbari, Abbasali, and Esfandiari, Neda (2019). MMinitorigg t uraa eat illssss wit Fratt al Ntt vvll utio (NNAA) Apprcch (Cae yyyyyThhr ee trooli)"iiraii arrrmmtt sssss igg&G(G))))))))) -11.
5. Akbari, H., and Kolokotsa, D (2016). Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and Buildings*, 133, pp: 834-842.
6. Alibakhshi, Z., Ahmadi, M., and Asl, M. F (2020). Modeling Biophysical Variables and Land Surface Temperature Using the GWR Model: Case Study—Tehran and Its Satellite Cities. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(1), pp: 59-70.
7. Almusaed, A (2011): The urban heat island phenomenon upon urban components. In *Biophilic and Bioclimatic Architecture* (pp. 139-150). Springer, London.
8. Buyantuyev, A., & Wu, J (2010). Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape ecology*, 25(1), pp: 17-33.
9. Dadashi-roudbari, Abbasali. And aliabadi, Kazem (111)). "Tee Rll of Ggggrhhic Components on the Temperature Dispersion at Urban Area Using Remote Sensing Techniques Csstttt yyyfffMbaaaCCtygggggggiii aalll nnniggfffaaaee770)) ::::: -142.
10. Fallah Ghalhari, G. F., Dadashi-Roudbari, A. D., And Asadi, M (2016). Identifying the spatial and temporal distribution characteristics of precipitation in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(12), pp: 595.
11. Feng, X., And Myint, S. W (2016). Exploring the effect of neighboring land cover pattern on land surface temperature of central building objects. *Building and Environment*, 95, pp: 346-354.
12. Feng, Y., GAO, C., Tong, X., Chen, S., Lei, Z., and Wang, J (2019). Spatial Patterns of Land Surface Temperature and Their Influencing Factors: A Case Study in Suzhou, China. *Remote Sensing*, 11(2), pp: 182.
13. Fischer, M. M., and Getis, a (2009). *Handbook of applied spatial analysis: software tools, methods and applications*. Springer Science & Business Media.
14. Guhathakurta, S., and Gober, P (2007). The impact of the Phoenix urban heat island on residential water use. *Journal of the American Planning Association*, 73(3), pp: 317-329.
15. Guo, A., Yang, J., Xiao, X., Xia, J., Jin, C., and Li, X (2020). Influences of urban spatial form on urban heat island effects at the community level in China. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101972.
16. Huang, Q., and Lu, Y (2015). The effect of urban heat island on climate warming in the Yangtze River Delta urban agglomeration in China. *International journal of environmental research and public health*, 12(8), pp: 8773-8789.
17. Kayet, N., Pathak, K., Chakrabarty, A., and Sahoo, S (2016). Spatial impact of land use/land cover change on surface temperature distribution in Saranda Forest, Jharkhand. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(3), pp: 127.
18. Lilly Rose, A., & Devadas, M. D (2009, June). 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 Clim held on (Vol. 29).
19. Liu, H., Zhan, Q., Chen, Y., and Wang, J (2018). Characterizing the Spatio-Temporal Pattern of Land Surface Temperature through Time Series Clustering: Based on the Latent Pattern and Morphology. *Remote Sensing*, 10(4), pp: 654.
 20. Liu, L., and Zhang, Y (2011). Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3(7), pp: 1535-1552.
 21. Mallick, J., Kant, Y., and Bharath, B. D (2008). Estimation of land surface temperature over Delhi using Landsat-7 ETM+. *J. Ind. Geophys. Union*, 12(3), pp: 131-140.
 22. Metz, M., Andreo, V., And Neteler, M. (2017). A New Fully Gap-Free Time Series of Land Surface Temperature from MODIS LST Data. *Remote sensing*, 9(12), 1333.
 23. mousavi, Mirnajaf., Mohamadi Torkamani, Hojjat., Khedmatzadeh, Ali., Mohammadi, and Mir aaggg (222) Aaalyii of ee Chgggss a Thrrmll Ill mmmtti i Urmia Citycccdiii UUUUggRRnnntnnnnmigggggggnll Pnnii ggAAAll ss irrrr ss..
 24. Oke, T. R (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), pp: 1-24.
 25. Pauleit, S., Ennos, R., and Golding, Y (2005). Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change—a study in Merseyside, UK. *Landscape and urban planning*, 71(2-4), pp: 295-310.
 26. Priyankara, P., Ranagalage, M., Dissanayake, D. M. S. L. B., Morimoto, T., and Murayama, Y (2019). Spatial Process of Surface Urban Heat Island in Rapidly Growing Seoul Metropolitan Area for Sustainable Urban Planning Using Landsat Data (1996–2017). *Climate*, 7(9), pp: 110.
 27. Rzzeeii Ra Hddi Rafiyy oo jta (7777) EBt imtt igg t aaatill -temporal Changes in intensity of the heat island in Tehran Metropolitan by Using ASTER and Landsat8 Satellite Imggssgggggllll ll nning(((0))) pppp77-60.
 28. Rirrrr C & Hssaai M (1111) Tornt'' rr aaat islnd-Exploring the relationship between land use and surface temperature. *Remote Sensing*, 3(6), pp: 1251-1265.
 29. 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), pp: 51-62.
 30. gggggggi Ali rzz Alijiii Bhhlll Zaaiaanfirzzzaadi rrr viz (3333) llll l ii of Spatial - Temporal Structure of the Urban Heat Island in Tehran through Remote Sensing and Ggggriiii cll Iffrrmtti yyttmm GOOGRAHMY AND NNVIRONNNTA HAZARD,, 1(4), pp: 1-17 (In Persian).
 31. nnnnnm oo rtzz Drrvis mm aaaaimiii Krrim ()))))IIssstigtigg tee Effects of Land Use Change on Spatiotemporal Patterns of Land Surface Temperature and

- Teermlll Illssss (Css Styyy: zzzzzz zCtttt y) Ggggryyyy vvvirmmttt ll Plnnnigg, 30(1), pp: 37-54 (In Persian).
32. Sismanidis, P., Keramitsoglou, I., and Kiranoudis, C. T (2015). A satellite-based system for continuous monitoring of surface urban heat islands. *Urban Climate*, 14, pp: 141-153.
 33. Sultana, S., and Satyanarayana, A. N. V (2020). Assessment of urbanization and urban heat island intensities using landsat imageries during 2000–2018 over a sub-tropical Indian City. *Sustainable Cities and Society*, 52, pp: 101846.
 34. Sun, S., Xu, X., Lao, Z., Liu, W., Li, Z., García, E. H., and Zhu, J (2017). Evaluating the impact of urban green space and landscape design parameters on thermal comfort in hot summer by numerical simulation. *Building and Environment*, 123, pp: 277-288.
 35. Tyyii aaf (8888) aaaa lyii aatill mllll igg ff th fffct of urban expansion on the trrr mll illssss fff rrrr a,, PhD thesis, Faculty Geography, University of Tehran.
 36. Weng, Q., & Yang, S (2004). Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city. *Journal of Environmental Management*, 70(2), pp: 145-156.
 37. Zhang, H., Qi, Z. F., Ye, X. Y., Cai, Y. B., Ma, W. C., and Chen, M. N (2013). Analysis of land use/land cover change, population shift, and their effects on spatiotemporal patterns of urban heat islands in metropolitan Shanghai, China. *Applied Geography*, 44, pp: 121-133.
 38. Zhang, Y., Chen, L., Wang, Y., Chen, L., Yao, F., Wu, P., and Zhang, T (2015). Research on the contribution of urban land surface moisture to the alleviation effect of urban land surface heat based on Landsat 8 data. *Remote Sensing*, 7(8), pp: 10737-10762.
 39. Zhao, C., Jensen, J., & Zhan, B (2017). A comparison of urban growth and their influencing factors of two border cities: Laredo in the US and Nuevo Laredo in Mexico. *Applied geography*, 79, pp: 223-234.

