

Investigation and Evaluation of urban thermal island using night satellite images of TERRA and SENTINEL 3 (Case study: Tabriz metropolis)

Mousa Abedini ^{1✉}, Aboozar sadeghi ²

1. Corresponding Author, Professor, Mohaghegh Ardabili University Ardabil, Iran. E-mail: abedini@uma.ac.ir

2., Doctoral student, Mohaghegh Ardabili University Ardabil, Iran. E-mail: aboozarsadeghi1993@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received: 09 April 2023 Revised: 19 June 2024 Accepted: 27 June 2024 Published: 22 August 2025 Keywords: Urban Land Use, NDVI, Tabriz Metropolis, Esther, image processing	The substantial growth and development of cities have significantly impacted the urban heat island (UHI) phenomenon, particularly in cities of developing countries. Assessing the urban heat island is a key research topic as it has a significant impact on the ecological environment and life in cities. The aim of this study is to calculate the nocturnal urban heat island (UHI) and its relationship with urban land use in the metropolitan area of Tabriz. Landsat satellite data and Sentinel 3 data were used for this research. The Landsat satellite data was processed in ENVI 5.3.1, and the Sentinel 3 data was processed in SNAP software, with further statistical calculations and outputs performed using ARCGIS 10.8. In the Landsat data, the minimum temperature was 5.14°C and the maximum temperature was 23.91°C, with the highest temperatures observed in bare land, transportation, agriculture, industrial, residential areas, as well as low-lying areas and areas lacking vegetation cover. The highest percentage of area with temperatures ranging from 15.16°C to 17.88°C was approximately 45.75% of the city. Areas with temperatures above 19°C covered an area of approximately 31.45 square kilometers, which accounts for 12.58% of the city. In the Sentinel data, the minimum temperature was 12.84°C and the maximum temperature was 21.62°C, with similar land use patterns to the Landsat data. Areas with temperatures ranging from 17.29°C to 18.45°C had the highest percentage of area, and areas with temperatures above 19°C covered approximately 17.06 square kilometers, accounting for 6.82% of the total area. Based on the results, which showed similar temperatures and land use patterns in both satellite data, it can be concluded that either satellite can be used for extracting the urban heat island (nighttime temperature). If the research is conducted after 2016, both satellites can be used, but if it is conducted before 2016, Landsat is preferred. The temporal resolution of Sentinel is 4 days, and that of Landsat is 16 days. If the research requires a time series, Sentinel 3 is more suitable, whereas if spatial resolution is needed, Landsat, with its 90 meter thermal bands compared to Sentinel 3's spatial resolution of 500 meters, is more appropriate. Therefore, considering the physical changes and expansion of developing cities, studying the urban heat island phenomenon is essential.
Cite this article: Abedini, M., sadeghi, A. (2025). Investigation and Evaluation of urban thermal island using night satellite images of TERRA and SENTINEL 3 (Case study: Tabriz metropolis). <i>Journal of Geography and Planning</i>, 30 (92), 232-252. https://doi.org/10.22034/gp.2024.55836.3118	
 © The Author(s). DOI: https://doi.org/10.22034/gp.2024.55836.3118 Publisher: University of Tabriz.	

Introduction

Impermeable surfaces in cities absorb more radiant energy from the sun and cause an increase in the ambient air temperature in these areas compared to the surroundings. The phenomenon of increasing air temperature in cities is called urban heat island researchers have provided various definitions of heat island. Although the main essence of these definitions is the same and it is based on the difference between the temperature of the city and the village, but according to the technological advances and new data, the definitions of the thermal island have undergone changes from the technical aspect. The heat island phenomenon is one of the biggest threats to the development of urbanization. This phenomenon is caused by the spread of the destruction of the natural surface of the earth, which gives way to roads, buildings, factories and other urban facilities. The sunlight in the city increases the temperature of the surfaces and at night when the air gets colder; These surfaces lose their temperature later and increase the air temperature in urban areas compared to suburban areas (Rahmati et al., 2014). Studying the urban heat island phenomenon and its mechanism is very important for urban planning. During the last two decades, the great need for earth surface temperature information for environmental studies has turned thermal remote sensing into one of the most important scientific topics.

Materials & Methods

In this research, the night data of the Sentinel 3 satellite with the SLSTR sensor and the night data of the TERRA satellite with the Aster sensor have been used. The steps of conducting this research include preparing and preparing the required data (downloading images), implementing image processing techniques (radiometric and atmospheric corrections), extracting the thermal image of Tabriz metropolis and classifying it, land use map with 9 residential, educational, barren, and space use classes. green, workshop, commercial facilities, beach area, transportation and river channel, etc. Determining the relationship between different land use and ground surface temperature with the help of Kruskal-Wallis inferential statistics and Spearman's correlation coefficient, calculating the vegetation cover index for images and determining It is the relationship between vegetation and the temperature of the earth's surface. After pre-processing on the Aster image in Envi 5.3.1 environment, the night temperature of Tabriz metropolis was extracted and classified into 8 classes in ArcMap 10.8 environment, and then Google Earth output was taken for viewing on Google Earth.

Research findings

The thermal image of 2020 of the Aster gauge shows the lowest temperature of 5.1 and the highest temperature of 23.9 degrees Celsius. For the Sentinel gauge, the lowest temperature is 12.8 and the highest temperature is 21.6 degrees Celsius. At the lowest temperature, the temperature difference between the two gauges is 7 degrees, with the difference that the image of the Aster gauge was taken approximately 40 minutes after the SLSTR gauge, and at the highest temperature, the temperature difference between the two gauges is approximately 2 degrees. To prepare the land use map of Tabriz city, Tabriz city's special plan was used, and these land uses were in each of the regions separately in the special plan of Tabriz city, and 10 areas were connected, and finally, Tabriz city's land uses were classified into 28 classes, which are for The extraction of the areas and uses that had the highest temperature were overlapped, which according to the obtained results shows that in the Aster meter, uses such as barren lands, transportation, agriculture, residential, industrial, etc., in order from the highest to the lowest have temperature and area. In Sanjandeh Sentinel, barren and abandoned land uses, agriculture, transportation, residential, etc. have the highest temperature. In the regions above 1500 meters, the temperature is much cooler than other regions. The high-altitude areas in the southeast of Tabriz include areas 1, 2, 5 and 9, according to the results obtained from both sensors, it can be seen that the temperature in these areas is cooler than other areas of Tabriz, and vice versa. The northwest areas of Tabriz city, which has a lower altitude than other areas, and Tabriz International Airport is also located in this area and is one of the smoothest areas compared to other areas, had a higher temperature. The obtained area for vegetation cover in Tabriz city is equal to 18.15 square kilometers, most of the vegetation areas of Tabriz city are located in areas 2, 4, 5, 6 and 7. In both images the areas that They have vegetation and have a lower temperature than other areas, which shows that vegetation can balance the temperature of the environment and make the temperature cooler than other areas. As can be seen in Esther's image, Tabriz International Airport has the highest temperature, but the vegetation near this use has a lower temperature than the transportation use and the passenger terminal. It can be said that vegetation has a direct relationship. It has air balance.

Discussion of Results & Conclusion

To compare urban heat islands, two satellite images, Aster and Sentinel, and ENVI 5.3.1, ARC GIS 10.8, and SNAP software were used for one day in 2019. The results of this research showed that similar uses in all urban areas have similar temperatures. There are no other factors such as height, neighboring vegetation with other uses can also affect the temperature of the use. The obtained results showed that in both satellites, barren, transportation, agricultural, residential, and industrial lands have higher temperatures than other areas at night. Also, the areas with vegetation in both satellites had lower temperatures than other areas. In the comparison between altitude and temperature, it was also observed that the more we move to the high areas of Tabriz city, where the northern and eastern parts have higher altitude, the temperature decreases, and vice versa, the more we move towards the Tabriz plain, which is mainly located in the western part of this city. We move is added to the temperature, which shows the relationship between altitude and temperature. The purpose of this research was to show the nocturnal thermal island in the city of Tabriz according to the urban land use and the comparison between 2 ASTER and SENTINEL 3 satellites, both of which have night and temperature data that can be determined depending on the size of the studied area and the time of the thermal island investigation. Also, from the daily data of these two satellites in extraction The surface temperature of the earth was used, which according to the spatial resolution of 90 meters, the Aster gauge is better for small cities than Sentinel 3, which has a spatial resolution of 1 km. According to the extracted results that both satellites had extracted almost similar temperature and common usage and areas with high temperature, it can be said that both satellites can be used to extract the urban heat island (nighttime temperature).

بررسی و ارزیابی جزیره حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای شبانه Terra و Sentinel 3 (مطالعه موردی: کلان شهر تبریز)

موسی عابدینی^۱، ابوذری صادقی^۲

۱. نویسنده مسئول، استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: abedini@uma.ac.ir
 ۲. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: aboozarsadeghi1993@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۷ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۵/۳۱ کلیدواژه‌ها: کاربری اراضی شهری، شاخص پوشش گیاهی، کلان شهر تبریز، استر، پردازش تصاویر	رشد و توسعه شهری به طور قابل توجهی بر جزیره حرارتی شهری (UHI) شهری تأثیر گذاشته است. به خصوص در شهرهای کشورهای در حال توسعه، ارزیابی جزیره حرارتی شهری به عنوان یکی از موضوعات اصلی تحقیقات به شمار می‌آید، زیرا تأثیر قابل توجهی بر محیط اکولوژیک و زندگی در شهرها دارد. هدف از این پژوهش محاسبه جزیره حرارتی شبانه کلان شهر تبریز (UHI) و ارتباط آن با کاربری اراضی شهری است. برای انجام این پژوهش از داده‌های شبانه ماهواره ترا سنجنده استر (باند های ۱۰ الی ۱۴) و سنتینل ۳ از سنجنده SLSTR استفاده شد. تصویر سنجنده استر در محیط نرم افزار ENVI 5.3.1 و تصویر سنجنده SLSTR ماهواره سنتینل در محیط نرم افزار SNAP محاسبه و با استفاده از ARCGIS 10.8 سایر محاسبات آماری و خروجی انجام شد. در تصویر استر با کمینه دما ۵/۱۴ و بیشینه دما ۲۳/۹۱ درجه سانتی گراد که بیشترین دمای مناطق در این تصویر مربوط به کاربری های زمین بایر، حمل و نقل، کشاورزی، صنعتی و مسکونی و همچنین مناطق کم ارتفاع و مناطق دارای فاقد پوشش گیاهی است. بیشترین درصد مساحت مربوط به دمای بین ۱۵/۱۶ الی ۱۷/۸۸ درجه سانتی گراد حدود ۴۵/۷۵ درصد شهر است. مناطقی با دمای بیش از ۱۹ درجه سانتی گراد مساحتی برابر با ۳۱/۴۵۱ کیلومتر مربع یعنی ۱۲/۵۸ درصد را شامل می شود. در سنجنده SLSTR نیز کمینه دما ۱۲/۸۴ و بیشینه دما ۲۱/۶۲ درجه سانتی گراد است که دو سنجنده در کمینه با هم اختلاف زیادی داشتند ولی در بیشینه دما از اختلاف کمتری برخوردار بودند. در این سنجنده نیز کاربری های زمین بایر، حمل و نقل، کشاورزی، صنعتی و مسکونی بیشترین دما را دارند. در این سنجنده نیز دمای بین ۱۷/۲۹ الی ۱۸/۴۵ دارای بیشترین درصد مساحت بوده و مناطق دارای بالای ۱۹ درجه سانتی گراد مساحتی معادل ۱۷/۰۶۸ کیلومتر مربع یعنی ۶/۸۲ درصد مساحت را شامل می شود. با توجه به نتایج استخراج شده که هر دو ماهواره دمای تقریباً مشابه و کاربری و مناطقی که دارای دمای بالایی بودند مشترک استخراج کردند می توان گفت که در استخراج جزیره حرارتی شهری (دمای شبانه) از هر دو ماهواره می توان استفاده کرد؛ اگر پژوهش مورد نظر بعد از سال ۲۰۱۶ باشد می توان از هر ۲ ماهواره استفاده کرد ولی قبل از سال ۲۰۱۶ باشد می توان از استر استفاده کرد. توان تفکیک زمانی سنتینل ۴ روز و استر ۱۶ روز است. اگر سری زمانی مورد استفاده قرار بگیرد ماهواره سنتینل ۳ مناسب تر است و اگر قدرت تفکیک مکانی مورد نظر باشد ماهواره استر با توجه به ۹۰ متر بودن باندهای حرارتی که تصاویر سنتینل ۳ دارای قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ هستند مناسب تر است. بنابراین با توجه به تغییرات و گسترش فیزیکی شهرهای در حال توسعه می توان جزیره حرارتی را مورد پژوهش قرار داد.

استناد: عابدینی، موسی؛ صادقی، ابوذری؛ (۱۴۰۴). بررسی و ارزیابی جزیره حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای شبانه Terra و Sentinel 3 (مطالعه موردی: کلان شهر تبریز). *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۳۰ (۹۲)، ۲۳۳-۲۵۲.



<http://doi.org/10.22034/gp.2024.55836.3118>

© نویسنده گان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

سطوح نفوذناپذیر در شهرها انرژی تابشی بیشتری را از خورشید جذب نموده و باعث افزایش دمای هوای محیطی در این نواحی نسبت به اطراف می‌شوند. پدیده افزایش دمای هوای شهرها را جزیره حرارتی شهری می‌نامند (خسروی و همکاران، ۱۳۹۶). پژوهشگران تعاریف گوناگونی از جزیره حرارتی ارائه داده‌اند. گرچه گوهر اصلی این تعاریف یکی است و بر اساس تفاوت دمای شهر و روستا استوار است، اما با توجه به پیشرفت‌های فناوری و داده‌های نوین، تعاریف جزیره حرارتی از بعد فنی دستخوش تغییراتی شده است (مسعودیان و منتظری، ۱۳۹۹). پدیده جزیره حرارتی یکی از بزرگ‌ترین تهدیدات توسعه شهرنشینی است. این پدیده ناشی از گسترش نابودی پوشش‌های طبیعی سطح زمین است که جای خود را به جاده‌ها، ساختمان‌ها، کارخانه‌ها و سایر تأسیسات شهری می‌دهد. تابش نور خورشید در شهر باعث افزایش دمای سطوح شده و شب هنگام که هوا سردتر می‌شود؛ این سطوح دیرتر دمای خود را از دست داده و باعث افزایش دمای هوا در مناطق شهری نسبت به مناطق حومه شهر می‌شود (رحمتی و همکاران، ۱۳۹۴). افزایش دمای سطح زمین و شکل‌گیری جزایر حرارتی در مناطقی که بدون برنامه‌ریزی قبلی به شهر یا کلانشهر تبدیل شده‌اند، یکی از مشکلات زیست محیطی اساسی است. توسعه فیزیکی شهرها موجب تغییرات وسیعی در الگوی پوشش اراضی پیرامون شهرها شده است (اسماعیل‌پور و همکاران، ۱۴۰۰). گرم شدن شهر و شکل جزیره حرارتی شهر یک ویژگی دگرگونی زمین شهری است که در تمام رشته‌های علمی مورد علاقه است، زیرا علامت جزیره حرارتی شهری مجموعه وسیعی از تغییرات مهم سطح زمین است که بر سطح سلامتی انسان، عملکرد زیست محیطی، آب و هوای محلی و احتمالاً آب و هوا موثر است (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۹۵). گرمای شهری سطحی حساس به اختلافات مکانی - زمانی جزیره‌های گرمی در گنبد شهری است و در مطالعه ویژگی‌های سطح و فعالیت‌های انسانی از مزایا برخوردار است. اغلب به عنوان یک پارامتر برای مشخص کردن ویژگی‌های محیط حرارتی در مقیاس‌های مختلف در مناطق شهری به کار می‌رود. محققان از داده‌های نظارتی ماهواره‌ای برای بازیابی دماهای سطحی به عنوان یک پارامتر برای مشخص کردن ویژگی‌های محیط حرارتی در مقیاس‌های مختلف در شهرها استفاده می‌کنند، و پوشش گسترده داده‌های ماهواره‌ای این اطلاعات را برای مطالعه ویژگی‌های توزیع محیط حرارتی شهری فراهم می‌کند (وانگ و همکاران^۱، ۲۰۲۳). رشد سریع شهرنشینی و توسعه مناطق تحت پوشش سطح زمین ساخته شده توسط انسان یکی از دلایل تغییرات آب و هوایی در جهان است. رشد جمعیت در مناطق شهری به ویژه در کشورهای در حال توسعه، فشار زیادی را به طبیعت وارد می‌کند و باعث اتلاف تدریجی این منابع طبیعی می‌شود. در دهه‌های اخیر پدیده جزیره حرارتی شهری که در مقایسه با محیط اطراف به عنوان مناطقی با شیب دمای منفی شناخته می‌شوند، یکی از مهمترین عواملی است که کیفیت زندگی انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (بوکایی و همکاران^۲، ۲۰۱۶). درجه حرارت بالا به دلیل اثر جزیره حرارتی شهری ممکن است قابل سکونت یک شهر را تهدید کند و باعث افزایش مسائل زیست محیطی شود. با افزایش پوشش مصنوعی زمین در مناطق وسیع و تخریب زمین‌های زیست محیطی از طریق شهرنشینی، خصوصیات ترمودینامیکی سطح به تدریج منجر به افزایش ظرفیت گرما و حرارت بالا می‌شود. بنابراین مطالعه در مورد الگوهای اثر جزیره حرارتی شهری و نحوه کاهش اثرات آن ضروری است (یاو و همکاران^۳، ۲۰۱۸). افزایش شهرنشینی و رشد جمعیت باعث تخریب اکوسیستم شهری می‌شود. بنابراین، درک جامع محیط گرمایی درون شهری برای دستیابی به توسعه پایدار برای شهرهای دارای تراکم بالا امری حیاتی است (چن و همکاران^۴، ۲۰۲۰). شهرنشینی منجر به تغییر شکل مناظر طبیعی از جمله پوشش گیاهی، اجسام آبی و زمین‌های کشاورزی، سطوح غیر قابل نفوذ و زیرساخت‌های شهری می‌شود. این تحول تبخیر و تعرق پوشش گیاهی را کاهش، جذب تابش خورشید را افزایش داده، بر آب و هوای محلی و منطقه‌ای تأثیر می‌گذارد (دای و همکاران^۵، ۲۰۱۸). شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری به یکی از چالش‌های جدی عصر حاضر تبدیل شده و ذهن جامعه علمی را به خود مشغول کرده است. اگر

¹ Wang et al
¹ Bokaie & et.al
² Yao & et.al
³ Chen & et.al
⁴ Dai & et.al

روند فعلی افزایش دما ادامه یابد، باعث بروز مشکلات جدی زیست محیطی و تحمیل هزینه‌های بسیار در سطح شهرها خواهد شد (زهو و همکاران^۱، ۲۰۱۸). علاوه بر تغییر در ساختار جو زمین، فعالیت‌های انسانی و تغییرات در استفاده از زمین در مقیاس شهری و منطقه‌ای نیز به افزایش دما کمک کرده است. جایگزینی مواد و مصالح ساختمانی مانند بتون و آسفالت در توسعه شهری به جای درختان و سایر گیاهان طبیعی، میزان جذب و ذخیره انرژی حرارتی را در شهرها نسبت به مناطق روستایی اطراف افزایش می‌دهد (پورامین و همکاران^۲، ۲۰۲۰). در وضعیت کنونی، جهان شهرنشینی مهم‌ترین عامل تغییرات اقلیمی و از علل اصلی ایجاد پدیده جزیره حرارتی در یک ناحیه شناخته شده است (واین و همکاران^۳، ۲۰۱۸). عوامل متعددی در ایجاد و شدت پدیده جزیره حرارتی شهری مؤثر هستند. از جمله این موارد جایگزینی پوشش گیاهی با ساختارهای مصنوعی متنوعی است که علاوه بر ایجاد آلودگی‌های محیطی، تغییرات اقلیمی را موجب می‌گردد. سطوح تیره بام و جداره ساختمان‌های بلند و پیاده‌روهای پوشیده از آسفالت یا بتن دارای ضریب بازتاب کمتری نسبت به سطوح دیگر هستند. این سطوح مقادیر بیشتری از تابش آفتاب را جذب و به انرژی حرارتی تبدیل می‌کنند و باعث افزایش گرمای محسوس در محیط مجاور خود شده و انواع جزایر حرارتی ایجاد می‌گردد (پوردیهیمی و همکاران، ۱۳۹۸). بررسی وضعیت پراکندگی تابش‌های حرارتی و ارتباط آن با کاربری‌های موجود در شناخت میکروکلیمای نواحی شهری دارای اهمیت زیادی است. مطالعات نشان می‌دهد سنجش از دور حرارتی برای مطالعه اثرات جزایر حرارتی شهری بسیار حائز اهمیت است. داده‌های سنجش از دور حرارتی امکان نظارت و ارزیابی حرارتی شهری را به صورت پویا فراهم کرده است (متکان و همکاران، ۱۳۹۳). استفاده از داده‌های سنجش از دور حرارتی در قدرت تفکیک‌های فضایی - زمانی متفاوت و در انواع مناطق جغرافیایی به منظور بررسی جزایر حرارتی شهری مستند شده است. بیشتر این مطالعات بر پایه رابطه بین دمای سطح زمین با کاربری / پوشش زمین، فراوانی پوشش گیاهی، سطوح نفوذناپذیر و سایر خواص فیزیکی و بیوفیزیکی سطح زمین در مناطق شهری استوار است (هاشمی دره بادامی و همکاران، ۱۳۹۸). مرور منابع بیانگر این است که این پدیده به نقش آفرینی ویرانگر خود در سطح شهر ادامه می‌دهد و انسان شهرنشین بدون توجه به آنچه خود پدیدآور و تشدیدکننده آن بوده است، به سوی فروپاشی محیط زیست خود گام برمی‌دارد: حلبیان و سلطانی (۱۳۹۹) واکاوی تغییرات فضایی - زمانی جزایر گرمایی شهری و کاربری اراضی با رویکرد زیست محیطی در شیراز را مطالعه نمودند. نتایج نشان داده است که اراضی بایر پیرامون شهر به صورت پیوسته و متراکم دارای بالاترین دما هستند و محدوده‌های دمایی بسیار گرم را تشکیل می‌دهند. این مراکز حرارتی در مناطق مسکونی شهری با محدوده‌های بافت فرسوده و متراکم شهری انطباق دارد. بنابراین گسترش بام سبز و استفاده از پوشش گیاهی سازگار با اقلیم بومی به عنوان راه حلی برای تعدیل جزیره گرمایی شهری و مقابله با وضع بحرانی زیست محیطی پیشنهاد می‌شود. صادقی و عابدینی (۱۴۰۰) به بررسی روند تغییرات دمای سطح زمین به صورت سری زمانی با استفاده از گوگل ارث انجین، شهر تبریز از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۱ پرداختند، نتایج آن‌ها نشان داد کمترین دمای تابستان مربوط به تابستان سال ۲۰۱۴ با میانگین ۲۸/۸۶ و بیش‌ترین دما مربوط به تابستان سال ۲۰۱۷ با دمای ۴۳/۱۸ سانتی‌گراد بوده است. محمدی‌راوری و همکاران (۱۴۰۱) به پژوهش ارزیابی روند تغییرات دما، جزیره حرارتی و پوشش گیاهی ایام گرم سال در شهر یزد برای سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر لندست ۴ و ۸ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در طی دوره آماری هر چه به سال‌های جاری نزدیک‌تر شده‌اند از میزان پوشش گیاهی و زمین‌های بایر کاسته شده و در عوض به وسعت ناحیه‌ی شهری افزوده شده است. نقشه‌های LST نیز نشان از دماهای بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌صورت خوشه‌های داغ در قسمت‌های غرب و جنوب‌غرب شهر یزد بوده که در دهه‌های اخیر ایجاد و تقویت شده‌اند. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیق به مطالعه پایش و برآورد وسعت مناطق دچار حریق بخشی از کوهستان زاگرس با استفاده از تصاویر ماهواره لندست نموده‌اند و نتایج نشان داده که شاخص‌های NBR و dNBR اطلاعات مناسبی را درخصوص آتش‌سوزی و روند تغییرات در اختیار قرار می‌دهند؛ همچنین ۱۳۶۸۵ هکتار از جنگل‌های زاگرس در این آتش‌سوزی دچار حریق شده‌اند. عابدینی و

1 Zhou & et. al

2 Pouramin & et. al

3 Yin & et. al

همکاران (۱۴۰۱) به بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح زمین در مشگین‌شهر پرداختند نتایج نشان داده که مناطقی با پوشش گیاهی بالا و مناطق آبی دارای درجه حرارت پایین بودند. همچنین کاربری کشاورزی دیم دارای بیش‌ترین درجه حرارت بودند.

سرور و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی ارزیابی رابطه بین برنامه‌ریزی کاربری زمین و شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری در مشگین‌شهر در سه مقطع زمانی ۱۹۸۴، ۱۹۹۹ و ۲۰۲۰ با استفاده از دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در سال ۱۹۸۴ حداقل دما ۲۲ و حداکثر دما ۴۳ درجه بوده در حالی که در سال ۲۰۲۰ حداقل دما ۲۹ و حداکثر دما ۶۳ درجه بوده که با افزایش دما همراه بوده است. عابدینی و همکاران (۱۴۰۲) پژوهشی با عنوان کاهش اثرات جزایر گرمایشی شهر از طریق مصالح روسازی خنک برای منطقه ۸ شهر تبریز را انجام دادند. با استفاده از تصاویر لندست ۸ شناسایی ۲ جزیره حرارتی گرم در مرکز و غرب با دمای ۳۳/۴۸ درجه سانتیگراد و یک جزیره حرارتی سرد در شمال منطقه با دمای ۲۰/۰۲ درجه سانتیگراد را شناسایی کردند. دیمیتروف^۱ و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی به بررسی ارزیابی شدت جزیره حرارتی سطحی در مقیاس میکرو به منظور حمایت از توسعه پایدار شهری پرداختند. در این پژوهش از کاربرد فتوگرامتری حرارتی بر اساس استفاده از سیستم‌های پهپاد، به همراه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) شدت جزیره حرارتی شهری سطحی در سطح محلی برای بزرگترین مجتمع مسکونی در بلغارستان، منطقه لیولین در پایتخت شهر صوفیا، را مورد بررسی قرار دادند. این پژوهش در طول یک موج گرما در ژوئیه ۲۰۲۳ انجام شد. تفاوت ۱۶/۵ درجه سانتیگراد بین مکان‌های دارای وقوع جزیره حرارتی شهری و نواحی غیرساخته و پوشش اراضی طبیعی در محدوده شهری یافت شد. اطلاعات به دست آمده به صورت محلی و قابلیت کاربرد مستقیم آن‌ها در پشتیبانی از فرآیندهای تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی و مدیریت مناطق شهری، شامل سازگاری با آب و هوا و توسعه پایدار آن‌ها، مورد بحث قرار می‌گیرد. گولر و توی^۲ (۲۰۲۴) به مطالعه تأثیرات مورفولوژی شهری بر جزیره‌های حرارتی شهری در مناطق مسکونی ارزوروم، ترکیه با استفاده از تحلیل همبستگی پیرسون پرداختند. یافته‌های آن‌ها نشان داد: ۱- مشاهده اثرات چشم‌گیر جزیره حرارتی بود، به خصوص در مناطق فشرده با ساختمان‌های بلند، ۲- روابط قوی بین شاخص‌های مورفولوژیک شهری و جزیره‌های حرارتی و ۳- تقویت ادغام شبکه خیابانی به عنوان یک استراتژی موثرتر برای کاهش اثرات جزیره حرارتی در ساختمان‌های متوسط ارتفاع نسبت به سایر عوامل مورفولوژیک. سیاد و همکاران^۳ (۲۰۲۴) به بررسی جزیره حرارتی شهری در شهر آناپا پرداختند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که اثر جزیره حرارتی شهری در شهر آناپا بسیار شدید است با تفاوت بیشینه ۶/۹ درجه سانتیگراد، که تبعات عملی برای ساختمان‌ها، زمین و جاده‌ها، وسایل نقلیه، تهویه مطبوع، و مواد نمای ساختمان خاص دارد. گیاهان شهری، به خصوص درختان شهری و سقف‌های سبز، به طور بسیار موثر در کاهش اثر جزیره حرارتی شهری در وسط شهر آناپا اثرگذار بوده است. درختان شهری بیشترین تأثیر را نشان داده‌اند، با کاهش دماها به اندازه ۱/۹ درجه سانتیگراد در ساعت ۱ ظهر، در حالی که کاهش دما در سقف‌های سبز در محدوده ۰/۱ درجه سانتیگراد تا ۲ درجه سانتیگراد بوده است. ژانگ و همکاران^۴ (۲۰۲۴) به ارزیابی دمای سطح زمین بازسازی شده برای تحلیل جزیره حرارتی شهری در هر آب و هوا در شهر لهاسا چین پرداختند. با استفاده از داده‌های LST بازسازی شده توسط مدل Weather Research and Forecasting (WRF) را با داده‌های LST مبتنی بر سنجش از دور ترکیب کرده و دمای سطح زمین همه‌آب و هوا را برای ماه‌های مارس، ژوئن، سپتامبر و دسامبر سال ۲۰۲۰ با دقت ۰/۰۱ درجه با استفاده از داده‌های MODIS LST به عنوان مرجع (از نظر دقت) بازسازی کردند. سپس، بر اساس LST بازسازی شده، تحلیل UHI انجام شد تا توزیع فضایی و زمانی اثر UHI در منطقه لهاسا تحت شرایط دمای سطح زمین همه‌آب و هوا را به‌دست آورند. نتایج نشان داد که LST بازسازی شده به‌طور مؤثر و با دقت بالا ویژگی‌های توزیع فضایی مورد انتظار را ضبط می‌کند، با میانگین خطای میانگین مربعات معادل ۲/۲۰ کلوین، میانگین خطای

¹ Dimitrov et al

² Guller and Toy

³ Sayad

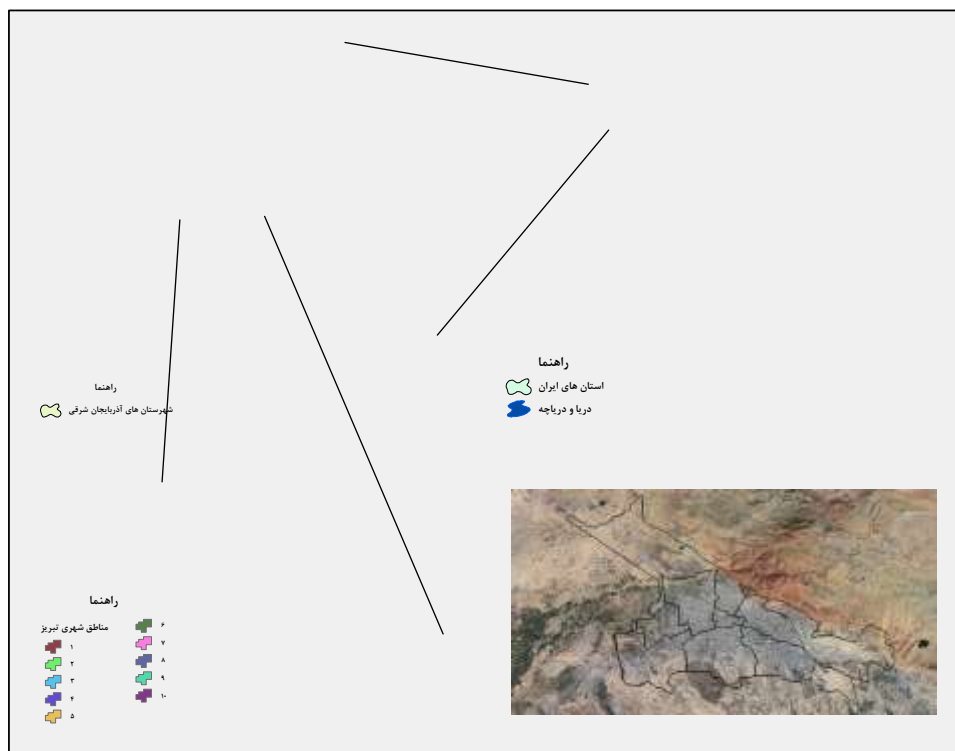
⁴ Zhang et al

مطلق مربعات معادل $1/51$ کلوین و ضریب همبستگی به طور پیوسته بالاتر از $0/9$ علاوه بر این، تأثیر جزیره حرارتی در منطقه لهاسا اصولاً در فصل بهار و زمستان با پایداری نسبی تأثیر جزیره حرارتی در زمستان مشاهده گردید.

با توجه به پژوهش‌های انجام شده در داخل و خارج از ایران و روند رو به رشد شهرنشینی و انتشار آلاینده‌ها، جزیره حرارتی در مقیاس شهری، اهمیت ویژه‌ای یافته است. متأسفانه در شهرهای ایران از جمله تبریز، تلاش‌های اندکی برای مقابله با پدیده جزیره حرارتی شهری به عنوان یک مخاطره زیست محیطی صورت گرفته است. از این رو مطالعات جامع درباره‌ی این پدیده، با وجود داده‌های ماهواره‌ای در دسترس به عنوان مهم‌ترین منبع داده برای مطالعات اقلیم شهری، کمتر انجام شده است. لذا هدف این پژوهش شناسایی مناطق جزیره حرارتی در شهر تبریز است. در این پژوهش از تصاویر شبانه استر و شبانه سنتینل ۳ استفاده شد گردد تا دمای روز بر اثر انرژی خورشید حذف گردد. دمای استخراج شده با استفاده از تصاویر شبانه استر و سنتینل ۳ با ۲ روش متفاوت استخراج شد تا مقایسه ۲ روش و ۲ ماهواره باهم انجام بگیرد. همچنین در این پژوهش از سامانه GEE برای استخراج شاخص پوشش گیاهی^۱ استفاده شد که در این سامانه بدون نیاز به دانلود تصویر لندست فقط شاخص پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه با یک حجم خیلی کم محاسبه شد.

محدوده مورد مطالعه

کلان‌شهر تبریز در استان آذربایجان شرقی در شمال غرب ایران با مختصات 37° درجه $41'$ دقیقه الی 38° درجه $29'$ دقیقه شمالی و 45° درجه $51'$ دقیقه الی 46° درجه $41'$ دقیقه شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). طبق آخرین سرشماری که در سال ۱۳۹۵ انجام گرفت، جمعیت کل تبریز برابر با ۱۷۷۳۰۳۳ بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). مساحت کل شهرستان تبریز $2023/70$ کیلومتر و مساحت منطقه مورد مطالعه $250/42$ کیلومتر که منطقه شهری محسوب می‌شود و میانگین دمای سالانه بین $18 +$ الی $6/9 +$ درجه سانتیگراد متغیر است و میانگین بارش سالانه 310 میلیمتر و روزهای یخبندان سالانه 104 روز است (خواجه محمدیلر و همکاران، ۱۳۹۹). ارتفاع آن از سطح دریا بین 1325 تا 1846 متر است (Dem SRTM 30m).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

تصاویر مورد استفاده

پژوهش حاضر از داده‌های شبانه ماهواره 3 SENTINEL سنجنده SLSTR و داده‌های شبانه ماهواره TERRA سنجنده Aster استفاده شده است که مشخصات تصاویر مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. سنجنده Aster دارای ۱۴ باند در حیطه‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR) مادون قرمز کوتاه موج (SWIR) و مادون قرمز گرمایی (TIR) است. تصاویر دریافتی در سه حیطه طیفی دارای توان تفکیک مکانی متفاوت می‌باشند که توان تفکیک باندهای ۱۵ W NIR، متر، باندهای SWIR دارای توان تفکیک مکانی ۳۰ متر، تصاویر مادون قرمز گرمایی دارای تفکیک مکانی ۹۰ متر و باند ۱۰ سنجنده ASTER مقدار گرمای گسیل شده از سطوح را اندازه‌گیری می‌کند (Nonomura & Et al, 2009). ماهواره 3 SENTINEL ماهواره اروپایی مشاهده زمین می‌باشد که برای پژوهش و بررسی اقیانوس‌ها، زمین، جو، بحران، امنیت و یخ کره توسعه یافته است. هدف اصلی 3 SENTINEL پایش و بررسی وضعیت توپوگرافی کف و بستر دریا، درجه حرارت سطح دریا، زمین و سطح اقیانوس با دقت و قابلیت اطمینان بالا برای پشتیبانی از سامانه‌های پیش‌بینی اقیانوس، نظارت بر محیط زیست و نظارت بر آب و هوا است. ماهواره 3A SENTINEL در ۱۶ فوریه ۲۰۱۶ از مکانی به نام Plesetsk Cosmodrome در نزدیکی آرخانگلسک در روسیه در مدار قرار داده شد. بعد از اولین در مدار قراردادن ماهواره 3A SENTINEL، نصب ماهواره 3B SENTINEL در ۲۵ آوریل ۲۰۱۸ با استفاده از همان راکتی که ماهواره 3A SENTINEL را در مدار قرار داده بود، انجام پذیرفت. 3 با دو ماهواره A و B کل زمین را در دو روز تصویربرداری می‌کند و تصاویر دریافتی در کمتر از ۳ ساعت پس از دریافت قابل استفاده است. ماهواره 3 SENTINEL دارای ۴ سنسور اصلی است که عبارت‌اند از:

1. OLCI (Ocean and Land Colour Instrument)
2. SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer)
3. SRAL (SAR Radar Altimeter)
4. MWR (Microwave Radiometer)

که در این پژوهش از سنسور SLSTR استفاده کردیم. سنسور SLSTR که مخفف رادیومتر دمای سطح خشکی و دریا است، دمای سطح دریاهای به صورت جهانی با یک دقت بیش از ۳۰۰ کیلوین تعیین می‌کند. اندازه‌گیری‌های ماهواره سنتینل-۳ با استفاده از این سنسور در ۹ کانال طیفی و ۲ باند اضافی بهینه شده برای پایش آتش، انجام می‌گیرد. ۶ باند طیفی نخست شامل مادون قرمز مرئی و نزدیک و نیز طیف مادون قرمز موج کوتاه می‌شود. در نتیجه مادون قرمز مرئی و نزدیک باند ۱ تا ۳ و مادون قرمز موج کوتاه باند ۴ تا ۶ را پوشش می‌دهد. این ۶ باند دارای قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متری هستند در حالیکه باند ۷ تا ۹ همانند آن دو باند اضافی دیگر دارای قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتری هستند.

ماهواره‌های خانواده لندست توانسته‌اند داده‌های با وضوح متوسط را از سطح زمین جمع‌آوری و ذخیره کنند، که برای نظارت بر رویدادها و ارزیابی تغییرات در استفاده از زمین کاربرد دارد. کاربردهای داده‌های لندست شامل زمین‌کشاورزی، نقشه‌برداری زمین، تشخیص تغییرات در کاربری اراضی، آب، و همچنین تغییرات در مناطق برف و یخ می‌باشد. سنسور تصویرگر زمین عملیاتی لندست ۸ (OLI) در ۹ باند طیفی، از جمله نواحی مرئی و موج کوتاه، اندازه‌گیری انجام می‌دهد. این سنسور با سنسور حرارتی مادون قرمز (TIRS) که دو کانال موج بلند مادون قرمز را اندازه‌گیری می‌کند، تکمیل می‌شود. تصاویر با ابعاد (۱۸۵ کیلومتر در ۱۸۰ کیلومتر) روزانه جمع‌آوری می‌شود (با میانگین روزانه بیش از ۵۵۰ تصویر)، سپس در مرکز مشاهده و علوم زمین (EROS) سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) پردازش و به صورت رایگان در دسترس عموم قرار می‌گیرد (نایت و کووان^۱، ۲۰۱۴). که در این پژوهش برای استخراج شاخص پوشش گیاهی در سامانه GEE از این ماهواره استفاده شده است.

¹ Knight and Kvaran

جدول ۱: تصاویر استفاده شده در پژوهش

ماهواره	سنجنده	تفکیک مکانی متر	ساعت به وقت گرینویچ	ساعت به وقت ایران	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی
SENTINEL 3	SLSTR	۱۰۰۰*۱۰۰۰	۱۸:۱۴:۵۰	۲۱:۴۴:۵۰	۲۰۲۰/۰۶/۰۳	۱۳۹۹/۰۳/۱۴
TERRA	ASTER	۹۰*۹۰	۱۸:۵۳:۳۸	۲۲:۲۳:۳۸	۲۰۲۰/۰۶/۰۳	۱۳۹۹/۰۳/۱۴
LANDSAT 8	OLI-TIRS	۳۰*۳۰	۰۷:۳۲:۱۰	۱۱:۰۲:۱۰	۲۰۲۰/۰۶/۲۷	۱۳۹۹/۰۴/۰۷

مراحل انجام پژوهش حاضر شامل تهیه و آماده‌سازی داده‌های مورد نیاز (دانلود تصاویر)، اجرای تکنیک‌های پردازش تصاویر (تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری)، استخراج تصویر حرارتی کلانشهر تبریز و طبقه‌بندی آن، نقشه کاربری اراضی با ۹ کلاس کاربری مسکونی، آموزشی، بایر، فضای سبز، تاسیسات کارگاهی، تجاری، محدوده ساحل، حمل و نقل و مسیل رودخانه و ... تعیین رابطه میان کاربری اراضی مختلف و دمای سطح زمین به کمک آزمونهای آمار استنباطی کروسکال والیس و ضریب همبستگی اسپیرمن، محاسبه شاخص پوشش گیاهی^۱ برای تصاویر و تعیین رابطه پوشش گیاهی و دمای سطح زمین است.

تهیه تصاویر

برای تهیه تصویر حرارتی از سنجنده استر باندهای ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ سنجنده استر با قدرت تفکیک ۹۰ متر استفاده شد که برای استخراج دمای سطح زمین مناسب است. الگوریتمی که در پژوهش حاضر برای استخراج دمای سطح زمین از تصاویر سنجنش از دوری استفاده شد، بر اساس دمای روشنایی سنجنده ماهواره‌ای می‌باشد. محاسبه دمای روشنایی در دو مرحله انجام گردید. در ضمن برای تبدیل ارزش‌های رقومی باندها به رادیانس طیفی و تبدیل رادیانس طیفی به دمای روشنایی سنجنده برحسب کلوین از رابطه (۱) استفاده شد (متکان و همکاران، ۱۳۹۲).

$$L_{sat} = (DN1) \times UCC$$

رابطه ۱

که در این رابطه (۱) L_{sat} انرژی تشعشعی سنجنده، DN عدد رقومی (ارزش عددی هر پیکسل در تصاویر اصلی)، UCC ضریب تبدیل واحد، این ضریب برای هر باند استر متفاوت است و به شدت $Gain$ سنجنده وابستگی دارد. برای تعیین میزان $Gain$ سنجنده از فایل متادیتا تصویر استفاده شد. بعد از محاسبه انرژی تشعشعی، دمای سطح زمین با استفاده از معکوس‌سازی رابطه ۲ تعیین گردید (الحسینی المدرسی و همکاران، ۱۳۹۴).

$$B\lambda(T) = \frac{C1}{C2 - \lambda^{5(e\lambda T - 1)}}$$

رابطه ۲

در این رابطه (۲)؛ $C1$ از رابطه $(C1 = 1.19104 \times 10^{-16} \text{ W m})$ ، $C2$ از رابطه $(C2 = 1.43879 \times 10^{-2} \text{ m k})$ تعیین و رابطه ۲ به صورت رابطه ۳ اصلاح گردید (لی و همکاران، ۲۰۰۴)

$$T = \frac{C2}{\lambda \cdot \ln \left[\frac{C1}{\lambda^5 B\lambda(T)} + 1 \right]}$$

رابطه ۳

^۱ -NDVI

^۲ Li et al

برای ساده کردن رابطه ۳ می‌توان به جای $K1$ ($\lambda 5C1$) و $K2$ ($\lambda 5C2$) را در رابطه ۴ قرار داد (جورجسکو و همکاران^۱، ۲۰۱۱).

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad \text{رابطه ۴}$$

که در این رابطه T درجه حرارت سطح زمین بر حسب کلونین که بایستی به درجه سلسیوس تبدیل گردد (-Celsius=Kelvin)، L درخشندگی طیفی، $\lambda = (8.291 \times 10^{-6} \text{m})$ ، $K1$ ثابت تابش اول، $K2$ ثابت تابش دوم (جدول ۲).

جدول ۲: میزان ثابت تابش اول و دوم

ثابت	باند ۱۰	باند ۱۱	باند ۱۲	باند ۱۳	باند ۱۴
K_1	3.024×10^3	2.460×10^3	1.909×10^3	8.900×10^2	6.464×10^2
K_2	1.733×10^3	1.663×10^3	1.581×10^3	1.357×10^3	1.273×10^3

برای تهیه جزیره حرارتی با استفاده از تصاویر سنجنده SLSRT ماهواره SENTINEL 3 پس از دانلود تصاویر از مرجع ماهواره در محیط نرم‌افزار SNAP در مرحله اول چون این تصاویر باید تصحیح هندسی شوند، تصحیح هندسی شده و سپس منطقه مورد تحقیق از کل تصویر برش زده شد. در مرحله بعد برای محاسبه بهتر جزیره حرارتی شهری در محیط SNAP میانگین دمای اطراف شهر را منهای دمای شهر کردیم (شکل ۲ و ۳). سپس با استفاده از رابطه (۵) جزیره حرارتی شهر بر حسب کلونین محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۵} \quad (LST - \text{Mean}) / (LST + \text{Mean})$$

در مرحله آخر تصویر مورد نظر برای گرفتن خروجی بهتر به محیط ArcMap انتقال داده شد که در این محیط دمای تصویر با استفاده از رابطه (۶) به سلسیوس تبدیل شد.

$$\text{رابطه ۶} \quad \text{Celsius} = \text{Kelvin} - 273.15$$

شاخص پوشش گیاهی

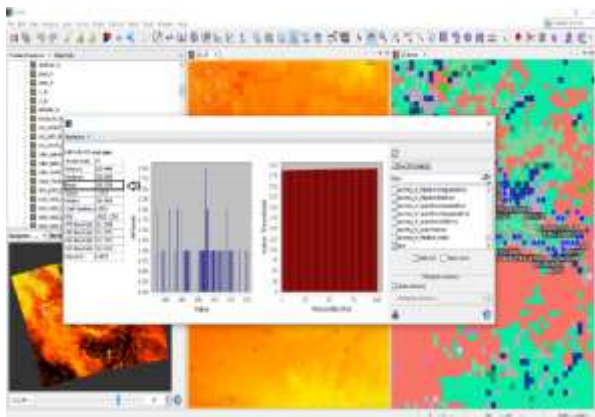
شاخص پوشش گیاهی (NDVI) بر اساس تفاوت بین مادن قرمز نزدیک (NIR) و جذب رنگ‌دانه در باند قرمز (RED) است. این شاخص به عنوان شناخته شده‌ترین شاخص پوشش گیاهی، برای ارزیابی سلامت و تراکم پوشش گیاهی با اندازه‌گیری تغییرات در جذب کلروفیل گیاه است که بر اساس رابطه (۷) محاسبه شد (ربیعی و همکاران، ۲۰۲۲).

$$\text{رابطه ۷} \quad \text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

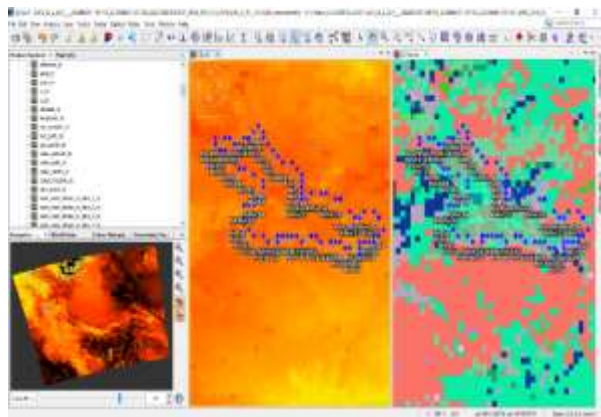
در این رابطه RED مقدار بازتاب در محدوده باند قرمز و NIR مقدار بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک است. مقدار این شاخص بین -۱ و ۱ تغییر می‌کند. مقادیر منفی نشان می‌دهد که زمین توسط ابرها آب یا برف پوشانده شده است. مقدار صفر نشانگر وجود سنگ‌ها یا خاک‌های برهنه است؛ در واقع سنگ‌ها و خاک‌های بایر که واکنش‌های طیفی مشابه در دو باند مورد استفاده دارند با مقادیر نزدیک به صفر دیده می‌شوند. در این شاخص خاک معمولی معادل یک منظور می‌شود. هر قدر فاصله شاخص یک پیکسل بالاتر از اندازه خاک باشد نشان دهنده تراکم پوشش گیاهی است. در واقع مقادیر مثبت وجود پوشش گیاهی را نشان می‌دهد (پنگ و همکاران^۲، ۲۰۲۰).

¹ Georgescu et al

² Peng et al



شکل ۳: نتایج نمونه‌های برداشته شده اطراف شهر تبریز



شکل ۲: نمونه‌های برداشت شده اطراف شهر تبریز

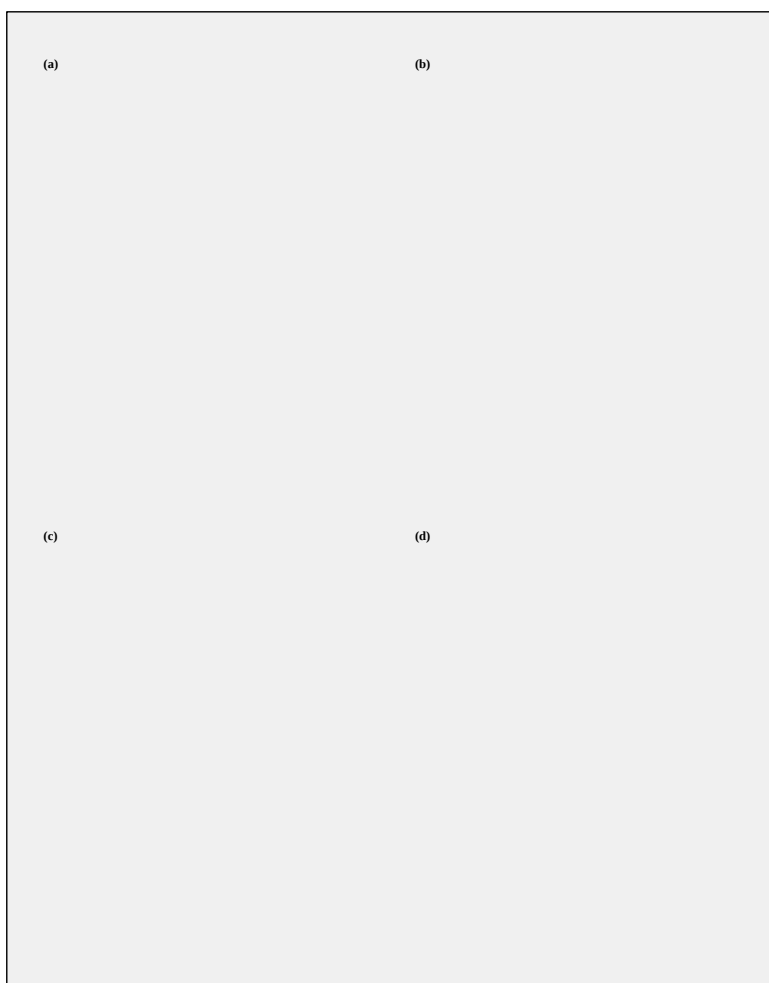
تهیه نقشه طبقه‌بندی دمای شبانه

پس از پیش پردازش‌ها بر روی تصویر استر در محیط ENVI 5.3.1 دمای شبانه کلانشهر تبریز استخراج و در محیط ArcMap 10.8 به ۸ کلاس طبقه‌بندی شد و سپس برای مشاهده بر روی گوگل ارث نیز خروجی گوگل ارث^۱ گرفته شد (شکل ۴).

بحث و یافته‌ها

تصویر حرارتی سال ۲۰۲۰ سنجنده استر کمترین دما ۵/۱ درجه سانتی‌گراد و بیشترین دما ۲۳/۹ درجه سانتی‌گراد را نشان داد که در این شکل محدوده‌های گرم با رنگ آبی پر رنگ در کلاس هشتم مشخص شد (شکل ۴). برای سنجنده سنتینل نیز کمترین دما ۱۲/۸ و بیشترین دما ۲۱/۶ درجه سانتی‌گراد مشخص شد (شکل ۴) که در این تصویر نیز دماهای بالای ۱۹ با رنگ آبی پر رنگ نشان دادیم. در کمترین دما بین دو سنجنده اختلاف دمایی ۷ درجه است با این تفاوت که تصویر سنجنده استر، تقریباً ۴۰ دقیقه بعد از سنجنده SLSTR برداشت شده است و در بیشترین دما بین ۲ سنجنده اختلاف دمایی تقریباً ۲ درجه مشاهده شد. میزان مساحت و درصد هر کدام از طبقه‌های حرارتی سنجنده استر و سنتینل به ترتیب در جدول‌های شماره ۳ و ۴ قابل مشاهده است.

^۱ -KML



شکل ۴: (a) طبقه‌بندی دمای شبانه استر، (b) تصویر طبقه‌بندی استر در گوگل ارث، (c) طبقه‌بندی دمای شبانه سنتینل و (d) تصویر طبقه‌بندی سنتینل در گوگل ارث

جدول ۳: طبقه‌بندی دمای شبانه استر تبریز بر حسب مساحت و درصد

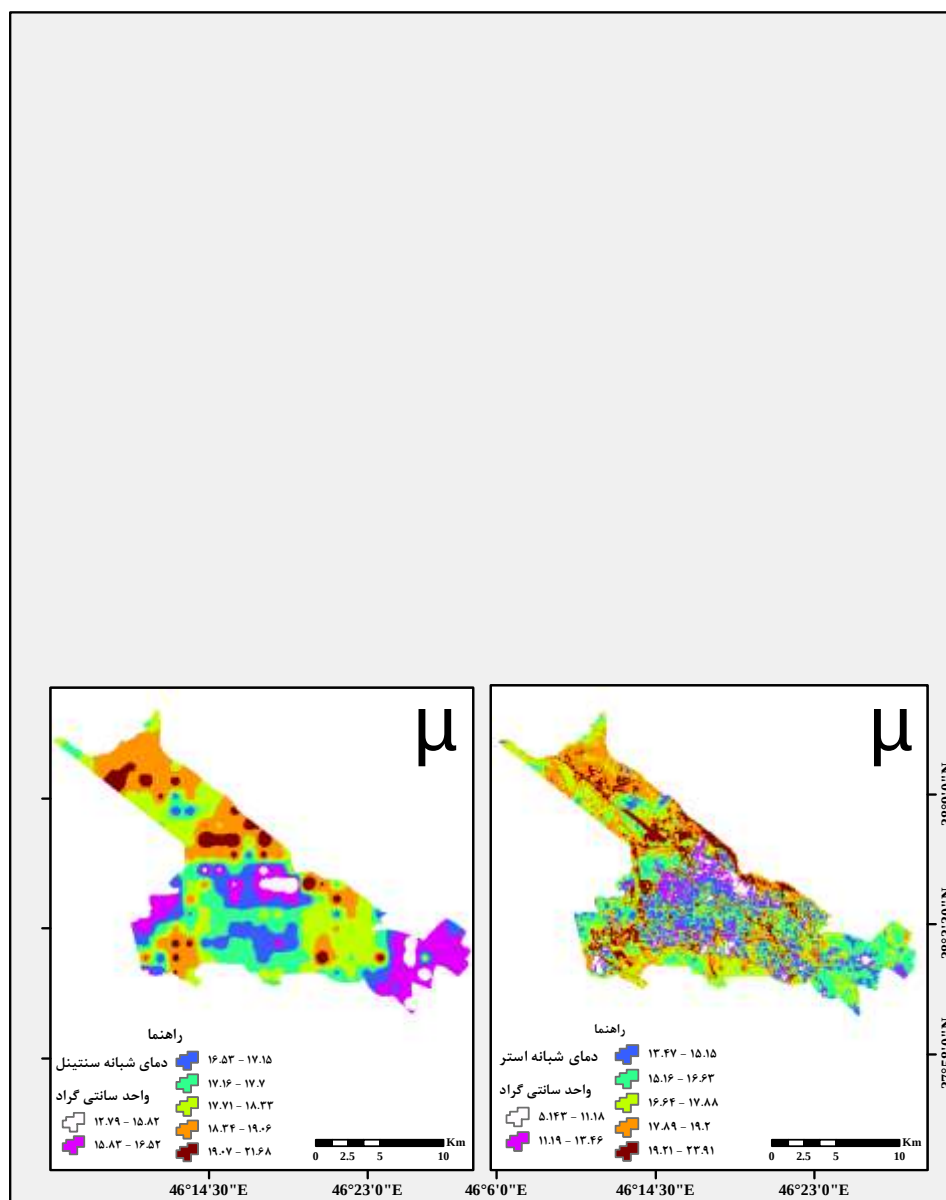
درصد مساحت	مساحت (Km ²)	کلاس حرارتی	ردیف
۲/۳۸	۵/۹۴۷۶	۵/۱۴ – ۱۱/۱۸	۱
۶/۴۵	۱۶/۱۳۴۱	۱۱/۱۹ – ۱۳/۴۶	۲
۱۲/۷۳	۳۱/۸۴۳۶	۱۳/۴۷ – ۱۵/۱۵	۳
۲۲/۱۸	۵۵/۴۵۸۶	۱۵/۱۶ – ۱۶/۶۳	۴
۲۳/۷۵	۵۹/۴۰۳۱	۱۶/۶۴ – ۱۷/۸۸	۵
۱۹/۹۳	۴۹/۸۵۱۴	۱۷/۸۹ – ۱۸/۹۹	۶
۱۲/۵۸	۳۱/۴۵۱۲	۱۹/۰۰ – ۲۳/۹۱	۷

جدول ۴: طبقه‌بندی دمای شبانه سنتینل تبریز بر حسب مساحت و درصد

ردیف	کلاس حرارتی	مساحت (Km ²)	درصد مساحت
۱	۱۵/۹۴ - ۱۲/۸۴	۱۱/۹۰۰۵	۴/۷۶
۲	۱۶/۶۳ - ۱۵/۹۵	۳۵/۱۶۴۸	۱۴/۰۵
۳	۱۷/۲۸ - ۱۶/۶۴	۴۰/۱۹۱۸	۱۶/۰۶
۴	۱۷/۸۳ - ۱۷/۲۹	۵۰/۹۶۱۷	۲۰/۳۷
۵	۱۸/۴۵ - ۱۷/۸۴	۵۴/۶۰۸۲	۲۱/۸۲
۶	۱۸/۹۹ - ۱۸/۴۶	۴۰/۳۴۰۳	۱۶/۱۲
۷	۲۱/۶۲ - ۱۹/۰۰	۱۷/۰۶۸۵	۶/۸۲

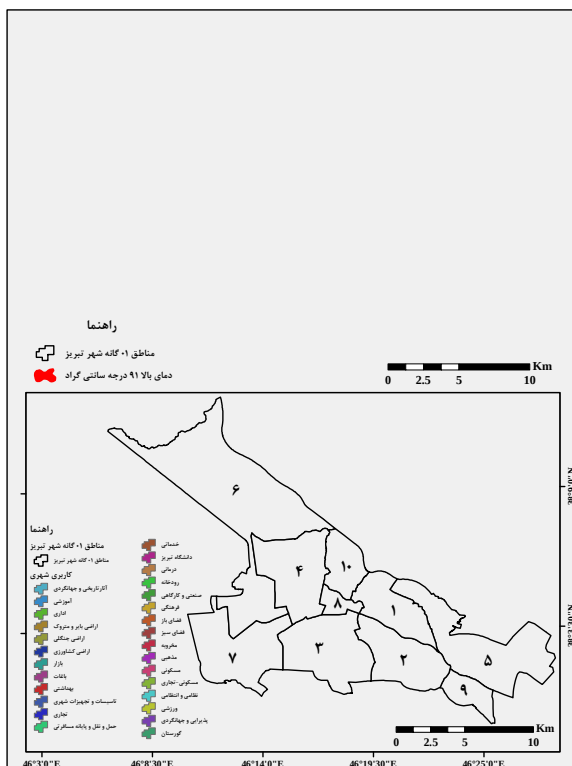
رابطه دما و کاربری‌های شهری

برای تهیه نقشه کاربری‌های شهر تبریز از طرح تفصیلی شهر تبریز استفاده شد که این کاربری‌ها در طرح تفصیلی شهر تبریز هر کدام از مناطق به شکل جداگانه بودند که ۱۰ منطقه به هم متصل شد که در نهایت کاربری‌های شهر تبریز در ۲۸ کلاس طبقه‌بندی شده بودند که برای استخراج مناطق و کاربری‌هایی که دارای بیش‌ترین دما بودند، همپوشانی شدند. در شکل ۵ نوع کاربری‌های شهری شهر تبریز به همراه دمای شبانه استر و سنتینل قابل مشاهده است. نتایج به دست آمده نشان داد که در سنجنده استر کاربری‌هایی همچون اراضی بایر، حمل و نقل، کشاورزی، مسکونی، صنعتی و ... به ترتیب از بیش‌ترین به کمترین دما و مساحت را داشته‌اند. بعلاوه در شکل ۷ مناطق و کاربری‌هایی که دمای آن‌ها بالای ۱۹ درجه سانتی‌گراد بوده قابل مشاهده است. در سنجنده سنتینل نیز کاربری‌های اراضی بایر و متروک، کشاورزی، حمل و نقل و مسکونی و ... بیش‌ترین دما را به خود اختصاص داده‌اند که در شکل ۸ مناطق و کاربری‌هایی که دمای آن‌ها بالای ۱۹ درجه سانتی‌گراد بوده مشخص شد.

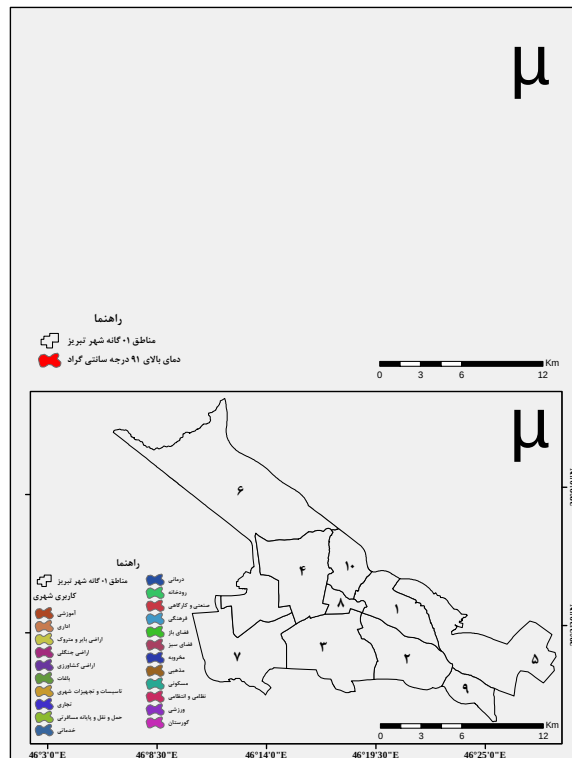


شکل ۵: کاربری شهر تبریز و دمای شبانه استر و سنتینل

در سنجنده استر (شکل ۶) مناطقی که دمای آن‌ها بالای ۱۹ درجه سانتی‌گراد هستند عمدتاً مناطق بایر و متروک، مسکونی، حمل و نقل به‌خصوص فرودگاه بین‌المللی تبریز شامل می‌شود. در واقع مناطق ۴، ۶، ۷ و ۱۰ دارای دمای بالای ۱۹ درجه سانتی‌گراد هستند. همچنین در سنجنده سنتینل (شکل ۷) نیز کاربری‌های بایر و متروک، مسکونی، حمل و نقل دارای دمای بالای ۱۹ درجه سانتی‌گراد بوده‌اند که این کاربری‌ها نیز تقریباً در مناطق ۴، ۶، ۷ و ۱۰ شامل می‌شوند.



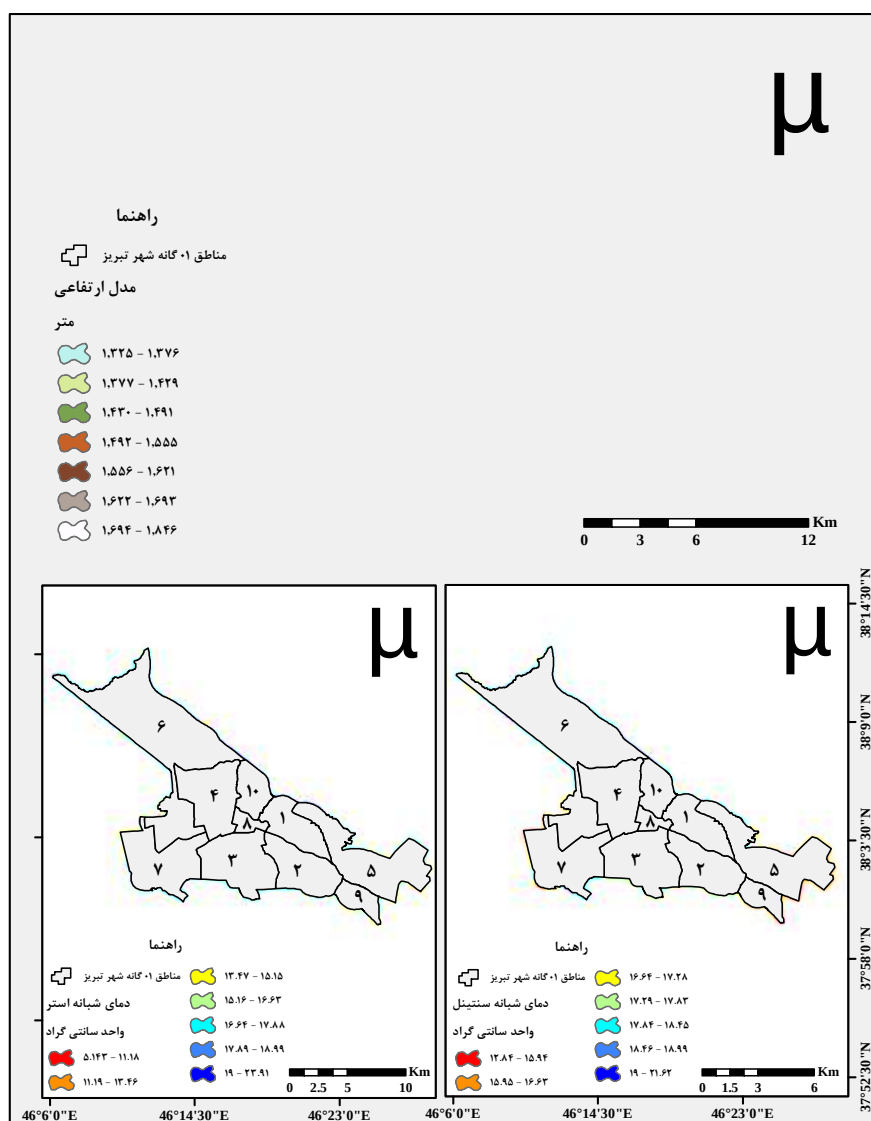
شکل ۶: مناطق و کاربری‌های بالای ۱۹ درجه سانتی گراد در سنجنده استر



شکل ۷: مناطق و کاربری‌های بالای ۱۹ درجه سانتی گراد در سنجنده سنتینل

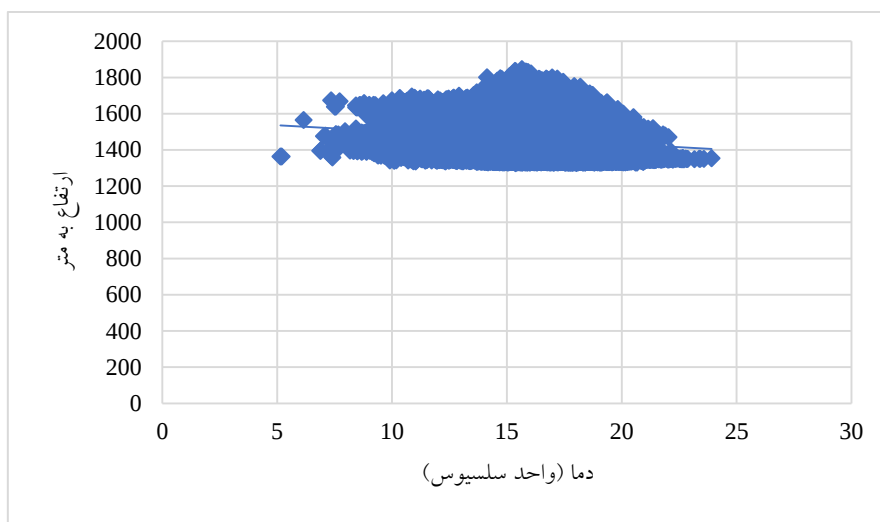
رابطه ارتفاع و دما

در مناطق ارتفاعی بالای ۱۵۰۰ متر کلانشهر تبریز دما به مراتب خنک‌تر از سایر مناطق بوده است. مناطق ارتفاعی بلند در جنوب شرقی شهر تبریز یعنی مناطق ۱، ۲، ۵ و ۹ را شامل می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده از هر دو سنجنده، دما در این مناطق نسبت به سایر مناطق شهر تبریز خنک‌تر است. مناطق شمال غربی شهر که از ارتفاع کمتری نسبت به سایر مناطق دارد (تقریباً هموار) دارای دمای بیشتری است. لازم به ذکر است که فرودگاه بین‌المللی کلانشهر تبریز در این محدوده قرار دارد.

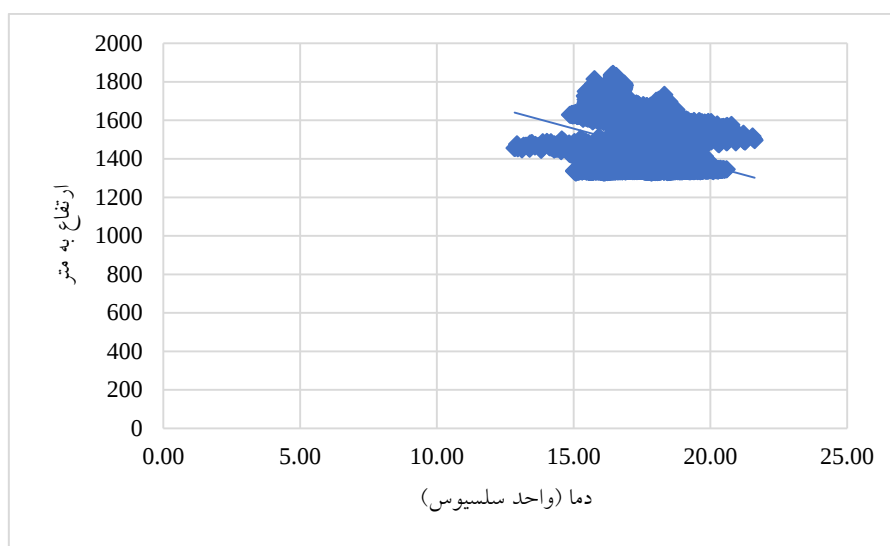


شکل ۸: مدل ارتفاعی و دما شهر تبریز

همچنین در شکل‌های ۹ و ۱۰ که به ترتیب برای استر و سنتینل هستند رابطه بین دما و ارتفاع نمایش داده شد که در نقاط ارتفاعی بالا دما خنک‌تر از سایر مناطق بود و گرم‌ترین نقاط در ارتفاعات پایین و متوسط شهر تبریز قرار داشت.



شکل ۹: رابطه ارتفاع و دمای سنجنده استر شهر تبریز



شکل ۱۰: رابطه ارتفاع و دمای سنجنده سنتینل شهر تبریز

رابطه پوشش گیاهی و دما

پوشش گیاهی شهر تبریز از تصویر لندست ۸ سنجنده OLI و با استفاده از باندهای ۴ (RED) و ۵ (NIR) بر اساس رابطه ۷ استخراج شد. مساحت به دست آمده برای پوشش گیاهی داخل شهر تبریز برابر است با ۱۸/۱۵ کیلومتر مربع که بیشتر مناطق پوشش گیاهی شهر تبریز در مناطق ۲،۴،۵،۶ و ۷ قرار دارد. همانطور که در شکل ۹ نیز مشاهده شد در هر دو تصویر مناطقی که دارای پوشش گیاهی هستند به نسبت سایر مناطق از دمای کمتری برخوردار بودند. این موضوع نشان می‌دهد که پوشش گیاهی قادر به متعادل کردن درجه دمای محیط هست و می‌تواند دما را نسبت به سایر مناطق خنک‌تر کند. همانطور که در تصویر استر نیز قابل مشاهده است فرودگاه بین‌المللی تبریز که از بالا ترین دما برخوردار می باشد. ولی پوشش گیاهی که در نزدیکی این کاربری قرار داشت از دمای کمتری نسبت به کاربری حمل و نقل و پایانه مسافری برخوردار است. در مجموع می‌توان گفت پوشش گیاهی نقش مهمی در متعادل کردن دمای هر منطقه دارد.



شکل ۹: نقشه پوشش گیاهی و دمای شبانه شهر تبریز سال ۲۰۲۰

بحث و نتیجه‌گیری

در طول قرن بیستم آب و هوای زمین تعادل خود را از دست داده و دما رو به افزایش گذاشته است و اقلیم در حال تغییر و گرمایش جهانی در حال وقوع است (مصری علمداری و رسولی، ۱۴۰۰). شناسایی دقیق مناطق کلیدی جزیره‌های حرارتی شهری (UHIs) برای کاهش موثر اثرات UHI بسیار حائز اهمیت است (ژائو و همکاران^۱، ۲۰۲۴). روند شهرنشینی در حال حاضر مشکلات جدی مرتبط با آب و هوا ایجاد کرده است. یکی از مهم‌ترین این مشکلات، جزیره حرارتی شهری است و در شهرهای بزرگ در سراسر جهان رخ می‌دهد (کالوگرپولوس و همکاران^۲، ۲۰۲۴). حرارت سطح زمین شاخص مهمی در مطالعه مدل‌های تعادل انرژی در سطح زمین و بررسی اثرات گلخانه‌ای بوده و از مهمترین پارامترها در بررسی فعل و انفعالات سطح زمین در مقیاس منطقه‌ای و جهانی می‌باشد (محمدی و عقیفی، ۱۴۰۰). پدیده جزیره حرارتی شهری توسط سه روش اصلی نظارت و مطالعه شده است: دمای هوا، دمای سطح زمین (LST) و شبیه‌سازی مدل‌سازی، هر کدام از این رویکردها مزایا و محدودیت‌های خود را دارند؛ دمای سطح زمین که از تصاویر حرارتی اشعه مادون قرمز دریافت می‌شود، می‌تواند دمای هر پیکسل در سراسر منطقه مطالعه را فراهم کند (سو و همکاران^۳، ۲۰۲۴). در این پژوهش برای مقایسه جزایر حرارتی شهری از دو تصاویر ماهواره استر و سنتینل و نرم افزارهای ENVI 5.3.1، ARC GIS 10.8 و نرم افزار SNAP برای یک روز در سال ۱۳۹۹ استفاده شد که نتایج این تحقیق نشان داد که کاربری‌های مشابه در همه‌ی نقاط شهری دمای مشابهی ندارند عوامل دیگری نظیر ارتفاع،

¹ Zhao et al

² Kalogeropoulos et al

³ Su et al

پوشش گیاهی همسایگی با سایر کاربری‌ها نیز می‌تواند بر دمای کاربری دخیل باشد. نتایج به دست آمده نشان داد که در هر دو ماهواره زمین‌های بایر، حمل و نقل، کشاورزی، مسکونی، صنعتی در شب دارای دمای بیشتری نسبت به سایر مناطق بود. همچنین مناطقی که دارای پوشش گیاهی بودند در هر دو ماهواره نسبت به سایر مناطق دمای پایینی داشتند. در مقایسه بین ارتفاع و دما نیز مشاهده شد که هر چقدر به مناطق مرتفع شهر تبریز که قسمت‌های شمالی و شرقی از ارتفاع بیشتری برخوردار هستند حرکت می‌کنیم از دما کاسته می‌شود و بالعکس هر چه به سمت دشت تبریز که عمدتاً در قسمت غربی این شهر قرار دارد، حرکت می‌کنیم به دما اضافه می‌شود که نشان دهنده رابطه بین عامل ارتفاع و دما است. هدف این پژوهش نشان دادن جزیره حرارتی شبانه در شهر تبریز با توجه به کاربری اراضی شهری و مقایسه بین ۲ ماهواره ASTER و SENTINEL3 بود که هر دو دارای داده‌های شبانه و دمایی هستند که می‌توان بسته به اندازه محدوده مورد مطالعه و زمان بررسی جزیره حرارتی و همچنین از داده‌های روزانه این دو ماهواره در استخراج دمای سطحی زمین استفاده کرد که با توجه به میزان تفکیک مکانی ۹۰ متری سنجنده استر برای شهرهای کوچک بهتر از سنتینل ۳ است که دارای تفکیک مکانی ۱ کیلومتری را شامل می‌شود. با توجه به نتایج استخراج شده که هر دو ماهواره دمای تقریباً مشابه و کاربری و مناطقی که دارای دمای بالایی بودند مشترک استخراج کرده بودند می‌توان گفت که در استخراج جزیره حرارتی شهری (دمای شبانه) از هر دو ماهواره می‌توان استفاده کرد.

باتوجه به پژوهش‌های انجام شده در این پژوهش نیز با استفاده از ماهواره‌های استر سنجنده ترا و سنتینل ۳ داده‌های SLSTR جزیره حرارتی شبانه برای شهر تبریز استخراج شد. نتایج دمای شبانه استخراج شده با پوشش گیاهی، انواع کاربری‌های شهری و ارتفاع مقایسه شد. که نتایج نشان داد مناطقی که دارای پوشش گیاهی بوده، و همچنین از ارتفاع بالاتری برخوردار بودند دمای کمتری را بر عکس مناطقی که خالی از پوشش گیاهی بوده و ارتفاع کمتری داشتند را ثبت کردند. همچنین در کاربری‌های شهری که دارای ارتباط مستقیمی با حرارت بودند مثل (فرودگاه) دمای بالاتری ثبت کردند. می‌توان نتیجه گرفت که برای ارزیابی جزیره حرارتی شبانه می‌توان از ماهواره‌های شبانه استر و سنتینل ۳ استفاده کرد. با توجه به نتایج استخراج شده که هر دو ماهواره دمای تقریباً مشابه و کاربری و مناطقی که دارای دمای بالایی بودند مشترک استخراج کرده بودند می‌توان گفت که در استخراج جزیره حرارتی شهری (دمای شبانه) از هر دو ماهواره می‌توان استفاده کرد با این تفاوت که میانگین خطای استخراج جزیره حرارتی در Aster پایین‌تر بود.

نتایج این پژوهش نشان داد که برای بررسی دمای شبانه و جزیره حرارتی شهری می‌توان از تصاویر ماهواره ترا سنجنده استر و سنتینل ۳ داده‌های SLSTR استفاده کرد. داده‌های استر از سال ۱۹۹۰ و سنتینل ۳ از سال ۲۰۱۶ موجود است برای پژوهش در سال‌های مورد نظر می‌توان با توجه به موجود بودن داده‌های این ۲ ماهواره تصمیم گرفت که از کدام ماهواره استفاده شود. اگر منظور از پژوهش بررسی تغییرات به صورت سری زمانی باشد داده‌های ماهواره سنتینل ۳ که دارای قدرت تفکیک زمانی ۴ روزه هستند مناسب است به این دلیل که می‌توان به فاصله ۴ روز تصاویر را دریافت کرده و مورد پژوهش قرار داد ولی تصاویر ماهواره استر دارای قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روزه هستند. ولی اگر قدرت تفکیک مکانی مورد نظر باشد با توجه به اینکه سنجنده استر دارای قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر است بهتر از ماهواره سنتینل ۳ که دارای قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر است نتیجه خواهد داد.

پیشنهاد می‌شود محققان برای پژوهش‌های آینده جزیره حرارتی شهری (دمای شبانه) را در فصل‌های مختلف و سال‌های مختلف با هدف تفکیک مکانی بالا از ماهواره استر و با هدف تفکیک زمانی بالا از ماهواره SENTINEL3 استفاده نمایند.

منابع

- اسماعیل‌پور، نجما؛ اسمعیل‌پور، فاطمه؛ یامی، مجتبی و امیرعزیدی، حسین (۱۴۰۰). بررسی رابطه تغییرات پوشش‌زمین و جزیره‌حرارتی با استفاده از الگوریتم تک‌پنجره و روش مفهومی درخت تصمیم (نمونه موردی: شهر اهواز). نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۵(۷۸)، ۴۱-۲۱.
- امیری، رضا؛ علیمحمدی، عباس و علوی پناه، سیدکاظم (۱۳۸۶). مطالعه تغییرپذیری فضایی-زمانی حرارت در ارتباط با کاربری/پوشش زمین در منطقه شهری تبریز با استفاده از داده‌های حرارتی و انعکاسی TM و ETM+ لندست. محیط-شناسی، ۳۳(۴۳)، ۱۲۰-۱۰۷.
- پوردیهیمی، شهرام؛ تحصیل‌دوست، محمد و عامری، پوریا (۱۳۹۸). تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش شدت جزایر حرارتی شهری: نمونه موردی کلان‌شهر تهران. پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، ۵(۱۶)، ۹۷-۱۲۲.
- الحسینی‌المدرسی، سیدعلی؛ ساعتی، مهدی و ابراهیمی، سیدعقیل (۱۳۹۴). استخراج جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از تصاویر ASTER. اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، ۱-۱۰.
- حلبیان، امیرحسین و سلطانی، زهرا (۱۳۹۹). واکاوی تغییرات فضایی - زمانی جزایر گرمایی شهری و کاربری اراضی با رویکرد زیست محیطی در شیراز. مطالعات ساختار و کارکرد شهری، ۷(۲۴)، ۷۳-۹۷.
- خسروی، یونس؛ حیدری، محمدعلی؛ توکلی، آزاده و زمانی، عباسعلی (۱۳۹۶). تحلیل رابطه تغییرات زمانی دمای سطح زمین و الگوی فضایی تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهر زنجان). برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۲۱(۳)، ۱۱۹-۱۴۴.
- خواجه محمدیلر، سید رضا، ذوقی، فرهاد، فرج زاده، محمد، و پور حسین، فاطمه (۱۳۹۹). کتاب سالنامه آماری استان آذربایجان شرقی. سال ۱۳۹۸. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان آذربایجان شرقی. ۱-۸۶۰.
- رحمتی، مهدی، حیدری، شاهین و بمانیان، محمدرضا (۱۳۹۵). بررسی راهکارهای طراحی معماری بر کاهش اثر جزایر حرارتی شهری. نشریه انرژی ایران، ۱۹(۱)، ۹۱-۱۰۴.
- سرور، هوشنگ؛ کرباسی، پوران و واعظی، موسی (۱۴۰۲). ارزیابی رابطه بین برنامه‌ریزی کاربری‌زمین و شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری (مطالعه موردی: مشکین شهر). فصلنامه علمی و مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی، ۱۸(۳)، ۱۷۳-۱۸۵.
- صادقی، ابوذر و عابدینی، موسی (۱۴۰۰). بررسی روند تغییرات دمای سطح زمین به‌صورت سری زمانی با استفاده از گوگل ارث انجین (مطالعه موردی: شهر تبریز از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۱). دومین همایش بین‌المللی علم اطلاعات جغرافیایی، بنیادها و کاربردهای بین‌رشته‌ای، دانشگاه فردوسی مشهد.
- عابدینی، اصغر؛ آزمون، مجتبی؛ آذرکیش، کیارش و مشتاقی، سینا (۱۴۰۲). کاهش اثرات جزایر گرمایشی شهر از طریق مصالح روسازی خنک (نمونه مطالعاتی: منطقه ۸ کلان‌شهر تبریز). فصلنامه توسعه پایداری شهری، ۴(۱۳)، ۹۱-۱۱۴.
- علوی‌پناه، کاظم؛ رضایی، عبدالعلی؛ آزادی قطار، سعید و جدی ازغندی، حمیدرضا (۱۳۹۵). بررسی سطوح غیر قابل نفوذ و شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده به عنوان پارامترهای نمایشگر جزایر حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۰(۵۵)، ۱۸۳-۲۰۷.
- عابدینی، موسی؛ قلعه، احسان؛ آقازاده، نازفر؛ محمدزاده شیشه‌گران، مریم (۱۴۰۱). پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و TM. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۲(۶۷)، ۳۹۳-۳۷۵.
- عابدینی، موسی؛ محمدزاده شیشه‌گران، مریم و احسان قلعه (۱۴۰۱). پایش و برآورد وسعت مناطق دچار حریق بخشی از کوهستان زاگرس با استفاده از تصاویر ماهواره لندست. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۳۳(۴)، ۶۲-۴۹.

- کیاورد مقدم، مجید و کریمی فیروزجایی، محمد (۱۳۹۵). بررسی و پیش‌بینی شدت جزیره حرارتی شهر بابل در بازه زمانی ۱۳۶۴-۱۴۲۴ با استفاده از فناوری سنجش از دور. اولین کنفرانس ملی فناوری اطلاعات و مدیریت شهری، تهران.
- متکان، علی اکبر؛ نوحه‌گر، احمد؛ میرباقری، بابک و ترک چین، ناهید (۱۳۹۳). تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از داده‌های چند زمانه سنجنده ASTER (مطالعه موردی: شهر بندرعباس). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵(۴)، ۱-۱۴.
- محمدی، مجتبی؛ عقیقی، محمد ابراهیم (۱۴۰۰). بررسی وقوع پدیده جزایر حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER (منطقه مورد مطالعه: شهر شیراز)، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۰(۳۷)، ۲۱-۴۴.
- محمدی‌راوری، فروغ؛ مزیدی، احمد و بهزادی‌شهربابک، زهرا (۱۴۰۱). ارزیابی روند تغییرات دما، جزیره حرارتی و پوشش گیاهی ایام گرم سال در شهر یزد. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۳۲(۱۲۵)، ۱۶۳-۱۷۷.
- مرکز آمار ایران، جمعیت شهرستان‌های ایران، سال ۱۳۹۵.
- مسعودیان، سیدابوالفضل و منتظری، مجید (۱۳۹۹). رفتار زمانی - مکانی جزیره حرارتی شهر اصفهان. مخاطرات محیط طبیعی، ۹(۲۴)، ۳۵-۴۶.
- مصری‌علمداری، پرچهر و رسولی، سیدحسن (۱۴۰۰). تحلیل تاثیر تغییرات اقلیمی شهری بر میزان توزیع فضایی جمعیت با تاکید بر جزایر حرارتی نمونه موردی: شهر ساری. نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۵(۷۷)، ۲۳۱-۲۴۳.
- هاشمی دره بادامی، سیروس؛ درویشی بلورانی، علی؛ علوی‌پناه، سیدکاظم و ملکی محمد، بیات‌رضا (۱۳۹۸). تحلیل تغییرات جزیره حرارتی سطوح شهری در روز و شب با استفاده از محصولات چند زمانه مادیس (مطالعه موردی: کلانشهر تهران). تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹(۵۲)، ۱۱۳-۱۲۸.
- Bokaie, M., Zarkesh, M. K., Arateh, P. D., Hossini, A., (2016). Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and Land Use/ Land Cover in Tehran, Sustainable Cities and Society, 23, 94-104. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.009>
- 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, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100568>
- Dai, Z., Guldman, J., Hu, Y., (2018). Spatial regression models of park and land-use impacts on the urban heat island in central Beijing, Science of the Total Environment, 626, 1136-1147. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.165>
- Dimitrov, S., Iliev, M., Borisova, B., Semerdzhieva, L., & Petrov, S. (2024). UAS-Based thermal photogrammetry for microscale surface urban heat island intensity assessment in support of sustainable urban development (A case study of Lyulin Housing Complex, Sofia City, Bulgaria). Sustainability, 16(5), 1766. <https://doi.org/10.3390/su16051766>
- Georgescu, M., Moustau, M., Mahalov, A., & Dudhia, J. (2011). An alternative explanation of the semiarid urban area "oasis effect." Journal of Geophysical Research, 116(D24). <https://doi.org/10.1029/2011jd016720>.
- Güller, C., & Toy, S. (2024). The impacts of urban morphology on urban heat islands in housing areas: the case of Erzurum, Turkey. Sustainability, 16(2), 791. <https://doi.org/10.3390/su16020791>
- Kalogeropoulos, G., Tzortzi, J. N., & Dimoudi, A. (2024). Remote sensing and field measurements for the analysis of the thermal environment in the "Bosco Verticale" area in Milan City. Land, 13(2), 182. <https://doi.org/10.3390/land13020182>
- Knight, E. J., & Kvaran, G. (2014). LANDSAT-8 Operational Land Imager Design, Characterization and Performance. Remote Sensing, 6(11), 10286-10305. <https://doi.org/10.3390/rs61110286>
- Li, F., Jackson, T. J., Kustas, W. P., Schmugge, T. J., French, A. N., Cosh, M. H., et al. (2004). Deriving land surface temperature from Landsat 5 and 7 during SMEX02/SMACEX. Remote Sensing of Environment, 92, 521-534. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.018>
- Li, J., Ye, Q., Li, K., Wang, C., Dou, X., Wang, F., Yang, J., Shan, T., & Wang, Y. (2024). An Urban Land Surface Temperature and Emissivity Separation Algorithm from Aster Tir Data and its Application. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4690689>
- Nonomura A, Kitahara M, Masuda T. 2009. Impact of land use and land cover changes on the ambient temperature in a middle scale city, Takamatsu, in Southwest Japan. Journal of environmental management, 90(11): 3297-3304. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.05.004>

- Peng, W., Wang J., Zhang, J. & Zhang, Y. (2020). Soil moisture estimation in the transition zone from the Chengdu Plain region to the Longmen Mountains by field measurements and LANDSAT 8 OLI/TIRS-derived indices. *Arabian Journal of Geosciences*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5152-z>.
- Pouramin, A. And N.D. Mani (2020). "Estimation of Land Surface Temperature of Dindigul District using Landsat 8 data", *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*.
- Rabiei, J., Khademi, M. S., Bagherpour, S., Ebadi, N., Karimi, A., & Ostad-Ali-Askari, K. (2022). Investigation of fire risk zones using heat-humidity time series data and vegetation. *Applied Water Science*, 12(9), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01742-z>
- Renc, A., & Lupikasza, E. (2024). Changes in the surface urban heat island between 1986 and 2021 in the polycentric Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolis, southern Poland. *Building and Environment*, 247, 110997. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110997>
- Sayad, B., Helmi, M., Osra, O. A., Abed, A. M., & Alhubashi, H. H. (2024). Microscale Investigation of Urban Heat Island (UHI) in Annaba City: Unveiling factors and mitigation strategies. *Sustainability*, 16(2), 747. <https://doi.org/10.3390/su16020747>
- Su, R., Yang, C., Xu, Z., Luo, T., Yang, L., Liu, L., & Wang, C. (2024). Comparing characteristics of the urban thermal environment based on the local climate zone in three Chinese metropolises. *ISPRS International Journal of Geo-information*, 13(2), 61. <https://doi.org/10.3390/ijgi13020061>
- Wang, L., Wang, G., Chen, T., & Liu, J. (2023). The regulating effect of urban large planar water bodies on residential heat islands: a case study of Meijiang Lake in Tianjin. *Land*, 12(12), 2126. <https://doi.org/10.3390/land12122126>
- Yin, C., Yuan, M., Lu, Y., Huang, Y., Liu, Y., (2018). Effects of urban form on the urban heat island effect based on spatial regression model, *Science of the Total Environment*, 634, 696-704.
- Zhang, X., Chen, M., Gou, P., Huang, Y., Ma, Y., Ma, W., Wang, Z., & Hu, Z. (2024). Evaluating the reconstructed All-Weather Land surface temperature for Urban Heat Island Analysis Remote Sensing, 16(2), 373. <https://doi.org/10.3390/rs16020373>
- Zhao, Z., Wen, L., Zhang, J., & Zheng, Y. (2024). Constructing an urban heat island network based on connectivity perspective: A case study of Harbin, China. *Ecological Indicators*, 159, 111665. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111665>