

GES	Journal of Geography and Environmental Studies, 14 (53), Spring 2025 https://sanad.iau.ir/journal/ges ISSN: 2008-7845 Doi: 10.71740/ges.2025.1128265
-----	--

Research Paper

Received: 05 August 2024

Revised: 16 November 2024

Accepted: 21 January 2025

Land Surface Temperature Monitoring and Its Relationship with Spectral Indices and Vegetation Using GEE System (Case Study: Tabriz City)

Mousa Abedini^{1*} (Corresponding Author), AmirHesam Pasban², Mahdi Frotan², Tayebe Babaei Olam²

1. Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Email: abedini@uma.ac.ir

2. Ph.D Student, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Abstract

Land surface temperature (LST) is directly influenced by the energy balance at the Earth's surface. This energy balance is affected by various factors such as incoming solar radiation, surface emissivity, air humidity, and atmospheric air currents. This study aims to investigate the relationship between LST and spectral indices, particularly the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), in Tabriz County during the year 1402 (2023). Landsat and MODIS satellite imagery were used in conjunction with the Google Earth Engine (GEE) platform to analyze this relationship. Near-infrared and red bands were utilized to calculate spectral indices and vegetation cover. Subsequently, correlation analysis using Pearson's correlation coefficient was conducted in SPSS to examine the correlation between LST and spectral indices and land cover. Results indicated a strong negative correlation between LST and vegetation indices (-0.049) and bare land (0.879), suggesting that increased vegetation cover significantly decreases LST. Urban and industrial areas with lower vegetation cover exhibited the highest LST values. The findings of this study emphasize the importance of vegetation in reducing ambient temperature and improving air quality. These results can be utilized in urban planning, natural resource management, and assessing the impacts of climate change in the study area.

Keywords: Vegetation cover, land use, LST, Spectral indices, Tabriz County.

Citation: Abedini, M.; Pasban, A.H.; Frotan, M.; Babaei Olam, T. (2025), Land Surface Temperature Monitoring and Its Relationship with Spectral Indices and Vegetation Using GEE System (Case Study: Tabriz City), Journal of Geography and Environmental Studies, 14 (53), 24-39. Doi: 10.71740/ges.2025.1128265.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



پایش دمای سطح زمین و ارتباط آن با شاخص‌های طیفی و پوشش گیاهی با استفاده از سامانه GEE (مطالعه موردی: شهرستان تبریز)

موسی عابدینی^{۱*}، امیرحسام پاسبان^۲، مهدی فروتن^۲، طیه بابایی^۲ اولم

۱. استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

چکیده

دمای سطح زمین به طور مستقیم تحت تأثیر تعادل انرژی در سطح زمین قرار دارد. این تعادل انرژی متأثر از عوامل مختلف اقلیمی هم‌چون میزان انرژی دریافتی از خورشید، میزان رطوبت هوا و ... است. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی ارتباط بین دمای سطح زمین (LST) و شاخص‌های طیفی و پوشش گیاهی استاندارد شده (NDVI) در شهرستان تبریز طی دوره زمانی (سال ۱۴۰۲) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و مودیس در پلتفرم گوگل ارث انجین (GEE) انجام شده است. همچنین به منظور محاسبه شاخص‌های طیفی و پوشش گیاهی از باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز استفاده شده است. در وهله بعد پس از تهیه نقشه‌های عامل، در محیط نرم‌افزار SPSS با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون میزان همبستگی و رابطه بین دمای سطح با شاخص‌های طیفی و پوشش گیاهی مورد آزمون آماری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بین LST و شاخص‌های NDVI (با مقدار -0.232) و SAVI (با مقدار -0.185) یک همبستگی منفی قوی و بین شاخص‌های NDBI و NDBal به ترتیب مقدار (0.188) و (0.092) رابطه مثبت و معنی داری حاکم است. به طوری که افزایش پوشش گیاهی به طور قابل توجهی با کاهش دمای سطح زمین همراه است. مناطق شهری و صنعتی که دارای پوشش گیاهی کمتری هستند، بالاترین مقادیر LST را نشان می‌دهند. یافته‌های این پژوهش تأکید بر اهمیت پوشش گیاهی در کاهش دمای محیط و بهبود کیفیت هوا دارد و می‌تواند در برنامه‌ریزی شهری، مدیریت منابع طبیعی و ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: پوشش گیاهی، کاربری اراضی، LST، شاخص‌های طیفی، شهرستان تبریز.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۵/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۱

نویسنده مسئول: موسی عابدینی، استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. abedini@uma.ac.ir

نحوه ارجاع به مقاله:

عابدینی، موسی؛ پاسبان، امیرحسام؛ فروتن، مهدی؛ بابایی اولم، طیه (۱۴۰۴)، پایش دمای سطح زمین و ارتباط آن با شاخص‌های طیفی و پوشش گیاهی با استفاده از سامانه GEE (مطالعه موردی: شهرستان تبریز)، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۴ (۵۳)، ۳۹-۲۴. Doi: 10.71740/ges.2025.1128265

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



مقدمه

در طول نیم قرن گذشته، سطح زمین دستخوش تغییرات فراوانی ناشی از فعالیت‌های انسانی از طریق جنگل‌زدایی و توسعه شهرها شده است، گسترش مناطق شهری تاثیر قابل توجهی بر کاربری زمین با تغییر پوشش گیاهی به مسکونی و تجاری و زیرساخت‌های مرتبط با آن دارد که باعث افزایش درجه حرارت زمین می‌شود (Ibrahim and Rasoul, 2017:3). سطوح غیرقابل نفوذ عمدتاً با مواد غیرقابل نفوذی مانند آسفالت، بتن و سنگ، ساخته می‌شوند. سطوح غیرقابل نفوذ شهری مانند سطوح سنگلاخی بیابان رفتار می‌کنند، چراکه این سطوح رسانایی و ذخیره‌سازی گرمایی بالایی در مقایسه با سطوح قابل نفوذ (پوشش گیاهی) دارند (Barnes et al., 2001: 121). جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با ساخت و سازهای شهری، اثرات خنک‌کنندگی سطوح طبیعی را از بین می‌برد (Gorsevski et al., 1998: 25). تغییرات جهانی و محلی در پوشش گیاهی و بارندگی کم به طور قابل توجهی بر دما و بارندگی محلی تأثیر می‌گذارد (Farhan et al., 2024: 16259). بنابراین استفاده از سوخت‌های فسیلی برای سرمایش و گرمایش باعث افزایش دمای هوای محیط می‌شود که در ادامه این تغییرات جزیره حرارتی به وجود می‌آید (هاشمی دره‌بادامی، ۱۳۹۴: ۱۴۲). جزایر حرارتی شهری، مرگ و میر مرتبط با گرما و آلودگی را افزایش و آسایش حرارتی را کاهش می‌دهد و تقاضا برای انرژی را بالا می‌برد (Mirzaei, 2015: 202). سری‌های زمانی سنجش از دور یا داده‌های ماهواره‌ای یکی از سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های در اختیار محققین برای بررسی تغییرات و پویایی‌های محیطی می‌باشد (Bandari et al., 2012: 614). کاربرد سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی^۱ (GIS)، به ویژه در برخورد با چندین داده جغرافیایی و تفسیر منطقه گسترده سطح زمین به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Amirin and Hasmadi, 2010: 16). شاخص‌های پوشش گیاهی به‌طور گسترده به‌عنوان معیارهایی برای تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش اراضی از جمله پوشش گیاهی و عوامل دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند (Magee et al., 2011: 289). یکی از کاربردی‌ترین شاخص‌های گیاهی منتج از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده^۲ (NDVI) است (Zhou et al., 2011: 124). بررسی تغییرات پوشش‌های گیاهی و ارتباط آن با دمای سطح زمین می‌تواند اطلاعات حیاتی در خصوص اثرات گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی فراهم کند، زیرا پوشش‌های گیاهی تحت تأثیر مستقیم دما و تغییرات آن قرار دارند (Zhao et al., 2023: 1242; Pettoirelli et al., 2005: 504). مطابق با مطالعات انجام شده، گسترش سطوح نفوذناپذیر رابطه مستقیم با دمای هوا و رابطه‌ای معکوس با پوشش گیاهی دارد (اصغری سراسکانرود و امامی، ۱۳۹۷: ۱۹۵). همچنین ارتباط مثبت و معنی‌داری بین دمای سطح زمین^۳ (LST) و پارامترهای آلودگی هوا وجود دارد (Hashim Mohammed and Sultan, 2010: 20). تاکنون مطالعات زیادی در خصوص پایش دمای سطح زمین و ارتباط آن با شاخص‌های طیفی و پوشش گیاهی در خارج و داخل ایران انجام شده است برای مثال، وانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی جزایر حرارتی شهری شهر شنزن چین پرداختند. نتایج نشان داد که میزان دمای سطح زمین شهر شنزن در سطوح غیرقابل نفوذ شهری به‌طور چشمگیری بیش‌تر از مناطق دارای پوشش گیاهی است. گریگوراش^۵ و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی و بررسی جزایر حرارتی شهر بخارست در کشور رومانی پرداختند. نتایج بیانگر این بود که از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۶ با افزایش کاربری شهری و اراضی زراعی و کاهش اراضی جنگلی، دمای هوا در سطح شهر افزایش یافته و جزایر حرارتی شهری در بخارست روند رو به رشدی داشته است. چن^۶ و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی به بررسی شهرنشینی و جزایر حرارتی شهر پکن در چین را مورد مطالعه قرار داده و به این

1- Geographyc Information System

2- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

3- Land Surface Temperature

4- Wang

5- Grigorash

6- Chen

نتیجه رسیدند که ارتباط بالای بین توزیع دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و سطح شهرنشینی را نشان می‌دهد. در پژوهشی دیگر ژیاو و مودی^۱، (۲۰۲۱)، با هدف تحلیل رابطه بین تغییرات کاربری اراضی با الگوی دمای سطح زمین در دلتایی در ایالت گوانجنگ چین انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که پراکندگی جزایر حرارتی در مناطق شهری با الگویی توزیع شده بودند که رابطه مستقیم با توزیع الگویی پوشش اراضی داشته‌اند. جیانگ^۲ و همکاران (۲۰۲۲)، نرخ درجه حرارت پوشش گیاهی و ارتباط آن با تغییرات کاربری اراضی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات شدید کاربری پوشش زمین منجر به ایجاد حرارت گرمایی می‌شود. سلکا^۳ و همکاران (۲۰۲۳)، تغییرات کاربری و پوشش زمین در ارتباط با دمای سطح زمین را در شمال الجزایر با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ دمای سطح در شمال غربی الجزایر ۴ تا ۶ درجه افزایش یافته است. پانده^۴ و همکاران (۲۰۲۴)، با هدف پیش‌بینی دمای سطح زمین (LST) و بررسی روابط آن با شاخص‌های زیست‌محیطی پرداختند. نتایج نشان داد که بین شاخص NDVI و تبخیر و تعرق یک رابطه مثبت و قوی با R^2 برابر با ۰/۹۵ وجود دارد که نشان‌دهنده ارتباط نزدیک این دو متغیر است. در مقابل، همبستگی NDVI با دمای سطح زمین با R^2 معادل ۰/۳۱ نسبتاً ضعیف‌تر بود. در ایران نیز درویشی و همکاران (۱۳۹۷)، ارتباط تغییرات کاربری اراضی با دمای سطح زمین را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در شهرستان مریوان مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده این بود که شاخص پوشش گیاهی روندی کاهشی داشته، به‌طوری که روند این تغییرات بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰ حدود ۷/۲۱۵ کیلومتر مربع و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ حدود ۶۴/۱۵۳ کیلومتر مربع بوده است. احمدی و همکاران (۱۳۹۸)، آشکارسازی تغییرات زمانی - مکانی پوشش گیاهی کلان‌شهر تهران را در ارتباط با دمای سطحی زمین مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که روند کلی مساحت پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه در حال افزایش است. از طرفی در شهرستان‌های رباط کریم و تهران سطح‌های پوشش گیاهی در حال افزایش است. در پژوهشی دیگر عیفی (۱۴۰۰)، با هدف ارزیابی رابطه کاربری، پوشش اراضی و گسترش شهر با طبقات دمایی در شهر کرمانشاه پرداخته و به این نتیجه رسید که جزایر حرارتی شهر کرمانشاه با ساخت و ساز و کاربری اراضی رابطه مستقیم دارد. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱)، جهت پایش دمای سطح زمین در رابطه با تغییرات کاربری اراضی در حوضه صوفی چای مراغه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین کاربری‌ها در درجه نخست مربوط به بخش کوهستانی نوع ۱ می‌باشد که مساحتی به تقریب ۳۲۰/۴۲ کیلومتر مربع را دارا می‌باشد. سپس کاربری دیم با مساحتی بالغ بر ۱۹۱/۰۹ کیلومتر مربع را دارا می‌باشند. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱)، به بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح زمین در مشگین شهر پرداختند. نتایج نشان داد که مناطقی با پوشش گیاهی بالا و مناطق آبی دارای درجه حرارت پایین بودند. همچنین کاربری کشاورزی دیم دارای بیش‌ترین درجه حرارت بودند. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱)، در پژوهشی 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. انصاری و نوروزی (۱۴۰۲)، به بررسی دمای سطح زمین و ارتباط آن با کاربری اراضی شهر اهواز پرداختند. نتایج حاکی از این بود که بین شاخص NDVI و LST همبستگی منفی (۰/۴۷-) وجود داشت. همچنین میانگین شاخص NDVI برابر با ۰/۱۷ بوده که نشان‌دهنده پوشش گیاهی ضعیف در شهر اهواز است. در پژوهشی دیگر فیروزی و همکاران (۱۴۰۲)، آشکارسازی ارتباط تغییرات مکانی - زمانی جزایر سرد و حرارتی با تغییرات کاربری اراضی / پوشش اراضی در دشت یزد منطقه اردکان مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که از سال ۲۰۰۲

1- Xiao and Moody

2- Jiang

3- Selka

4- Pande

تا ۲۰۱۹ وسعت جزایر سرد در زمستان کاهش و در تابستان روندی افزایشی داشته، همچنین افزایش ۷/۶ درصدی مناطق ساخت و ساز شده در دوره ۱۷ ساله موجب افزایش جزایر سرد سطحی شده و با کاهش بیش از ۳۲ درصدی مناطق دارای پوشش گیاهی در دشت اردکان جزایر حرارتی در فصل تابستان گسترش بیش‌تری داشته است. شگرخدایی و همکاران (۱۴۰۳)، به منظور بررسی ارتباط آلاینده‌های هوا با شاخص‌های سنجش از دور در شهر تهران را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده این بود که در فصل بهار بالاترین مقدار همبستگی مثبت بین LST و SO₂ (۰/۲۴) و بیش‌ترین میزان همبستگی منفی بین NDVI و SO₂ (۰/۳۶-) مشاهده شد. خدائی و زندی (۱۴۰۳)، پایش تغییرات پوشش گیاهی و ارتباط آن با دمای سطح زمین و کاربری اراضی در شهرستان خداآفرین و کلیبر را با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاکی از این بود که مهم‌ترین عامل تغییرات تراکم پوشش گیاهی در منطقه، فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی، ساخت و ساز و راه‌سازی، موجب تغییرات بسیاری در پوشش سطح زمین شده است. در پژوهشی دیگر زندی و همکاران (۱۴۰۳)، ارتباط دمای سطح زمین را با شاخص‌های طیفی در استان خوزستان مورد مطالعه قرار دادند. نتایج همبستگی دما با شاخص‌های NDBaI^۱، NDVI، NDBI^۲ نشان داد که شاخص مناطق بایر همبستگی مثبتی با دمای سطح زمین دارد و میزان R² آن معادل ۰/۴۸۸ می‌باشد. شاخص مناطق ساخته شده (NDBI) از همبستگی منفی با دمای سطح زمین برخوردار است (R²: -0/642). شهر تبریز به عنوان یکی از کلان‌شهرهای مهم ایران، در طول دهه‌های اخیر شاهد تغییرات قابل توجهی در پوشش اراضی و کاربری زمین بوده است. این تغییرات که عمدتاً ناشی از رشد سریع شهرنشینی و گسترش فعالیت‌های انسانی است، می‌تواند اثرات متعددی بر محیط زیست، از جمله تغییرات آب و هوایی محلی داشته باشد. یکی از پیامدهای بالقوه این تغییرات، افزایش دمای سطح در شهر است. مطالعات متعددی در نقاط مختلف جهان نشان داده‌اند که بین پوشش اراضی، کاربری و دمای سطح زمین ارتباط نزدیکی وجود دارد. با توجه به اهمیت موضوع انجام پژوهشی در این خصوص در شهرستان تبریز ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف از این پژوهش پایش دمای سطح زمین و ارتباط آن با شاخص‌های طیفی و پوشش گیاهی با استفاده از سامانه GEE در شهرستان تبریز می‌باشد.

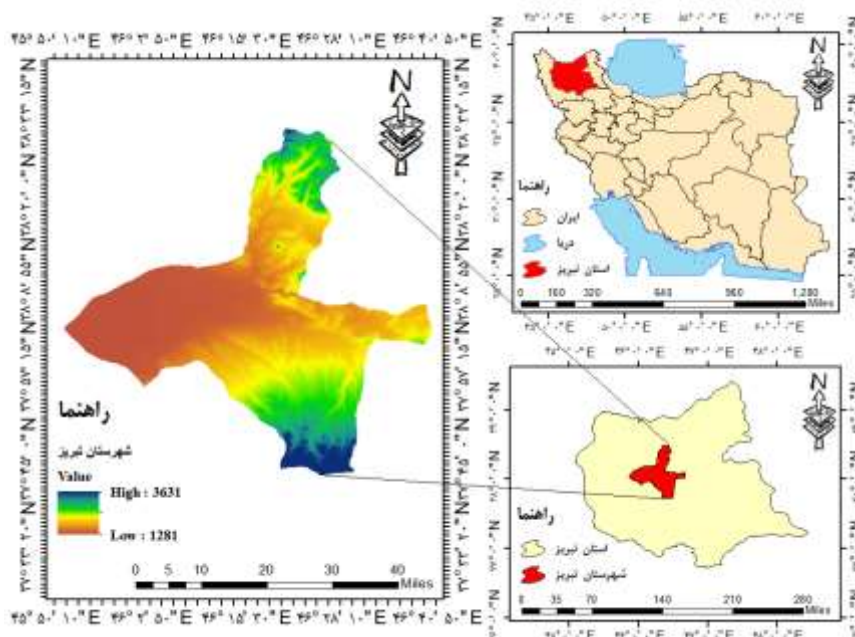
داده‌ها و روش تحقیق

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شهر تبریز در شمال غرب ایران با وسعتی حدود ۲۴۵۰۰ هکتار در موقعیت جغرافیایی ۱۱ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع متوسط ۱۳۴۰ متر در جلگه‌ای به نام جلگه تبریز واقع شده است. شهرستان تبریز از دو ناحیه کوهستانی و دشتی تشکیل شده است. ارتفاع از سطح دریای آن در مناطق دشت ۱۳۱۰ متر و در مناطق کوهستانی ۲۱۰۰ متر می‌باشد. این شهر از شمال و جنوب توسط کوه‌های عینالی و سهند احاطه شده است (کوشش وطن و زمانی، ۱۴۰۰: ۵۲). در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی شهرستان تبریز ارائه شده است.

1- Normalized Difference Built-Up Index (NDBaI)

2- Normalized Difference Bareness Index (NDBI)



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی شهرستان تبریز در سطح کشور و استان آذربایجان شرقی

داده‌ها و روش تحقیق

در این پژوهش، از سامانه گوگل ارث انجین برای جمع‌آوری، پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای برای شناسایی روندها و الگوهای تغییرات پوشش زمین استفاده شده است. گوگل ارث انجین این امکان را فراهم می‌کند که کاربران از داده‌های ماهواره‌ای مختلفی مانند تصاویر خام و محصولات بازتاب سطحی بهره‌برداری کنند و شاخص‌های طیفی متنوعی را در مقیاس‌های مختلف استخراج نمایند (Feng et al., 2024: 10096). داده‌های به کار رفته در این پژوهش شامل تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، مودیس و نقشه توپوگرافی است که به منظور استخراج و تهیه میانگین نقشه‌های کاربری اراضی، شاخص‌های پوشش گیاهی و نقشه دمای سطح زمین برای بزه زمانی (۱۴۰۲-۱۳۹۳) به کار رفت. بدین منظور ابتدا در محیط برنامه‌نویسی گوگل ارث انجین، با فراخوانی داده‌های ماهواره لندست ۸ و با به کارگیری از DEM^۱ (۳۰ متر استر^۲) شهرستان تبریز و شاخص‌های پوشش گیاهی، اقدام به نمونه‌برداری از کلاس‌های کاربری پرداخته شد و نقشه کاربری اراضی شهرستان تبریز استخراج شد. در گام بعد به منظور صحت‌سنجی نقشه تهیه شده با استفاده از دستور ضریب کاپا، میزان درستی و دقت کلی آن بررسی شد. در مرحله بعد اقدام به تهیه و تولید نقشه دمای سطحی زمین (LST) گردید. بدین منظور با فراخوانی داده‌های ماهواره مودیس (ترا MOD11A2.061 و فرآورده LST_Night_1km در محیط گوگل ارث انجین و کدنویسی در آن اقدام به ترسیم نقشه دمای سطحی زمین برای شهرستان تبریز طی سال ۱۳۹۳ و ۱۴۰۲ شد. در وهله آخر نیز اقدام به بررسی همبستگی بین LST با شاخص‌های استخراج شده گردید. همچنین جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و تجزیه و تحلیل آماری بین دمای سطح زمین با شاخص‌های مورد استفاده از نرم‌افزارهای GIS، Excel و SPSS بهره گرفته شد.

استخراج دمای سطح زمین (LST)

LST متغیری اصلی در تحلیل و مدل‌سازی تراز انرژی سطح، تبخیر و تعرق، رطوبت و مطالعات تغییر اقلیم است. روش‌های محاسبه LST با استفاده از سنجش از دور به سه دسته تقسیم می‌شود: دسته اول الگوریتم‌های تک کاناله که بر اساس بکارگیری یک باند

1- Digital Elavation Model

2- Aster

حرارتی استوار هستند. دسته دوم الگوریتم‌های چندکاناله که از دو باند حرارتی برای محاسبه LST استفاده می‌کنند و گروه سوم الگوریتم‌های چند زمانه می‌باشند (جوان و مهران، ۱۴۰۳؛ ۱۹۱؛ ۱۹؛ Li et al., 2013). در این مرحله، محاسبه LST روی پلتفرم گوگل ارث انجین انجام می‌شود. عوامل اصلی در نظر گرفته شده در محاسبه LST، NDVI، دمای روشنایی و نشر سطح زمین (LSE) هستند.

برآورد شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص توسعه شهری، شاخص گرمای نهان نرمال شده

شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI): شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) یکی از متداول‌ترین شاخص‌ها در سنجش از دور است که برای ارزیابی پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن به کار می‌رود. این شاخص از نسبت بازتابندگی در باند مادون قرمز نزدیک (NIR) به بازتابندگی در باند قرمز طیف الکترومغناطیسی محاسبه می‌شود و مقادیر آن بین ۱- تا ۱+ متغیر است. مقادیر مثبت NDVI نشان‌دهنده وجود پوشش گیاهی و مقادیر منفی نشان‌دهنده عدم وجود پوشش گیاهی یا سطوح غیر زیستی است (Ranagalage et al, 2018: 1367). در این مطالعه، از NDVI برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۱۴۰۲ استفاده شده است. این شاخص به صورت رابطه (۱) زیر محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{\rho NIR - \rho Red}{\rho NIR + \rho Red} \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن PNIR بازتابندگی باند، NIR و pRed بازتابندگی باند قرمز است.

شاخص نرمال شده تفاوت شاخص ساختمان (NDBI) شاخص دیگری است که برای شناسایی مناطق شهری و سطوح مصنوعی به کار می‌رود. این شاخص بر اساس نسبت بازتابندگی در باند مادون قرمز میانی (MIR) به بازتابندگی در باند مادون قرمز نزدیک NIR محاسبه می‌شود (He et al., 2010: 216). مقادیر آن از ۱- تا ۱+ متغیر است، که در آن مقادیر مثبت NDBI نشان‌دهنده وجود سطوح مصنوعی مانند ساختمان‌ها و آسفالت و مقادیر منفی نشان‌دهنده وجود پوشش گیاهی یا آب است (Ranagalage et al., 2018: 1367). این شاخص با استفاده از رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$NDBI = \frac{\rho MIR - \rho NIR}{\rho MIR + \rho NIR} \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این رابطه PMIR و PNIR به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر بازتابندگی برای باندهای مادون قرمز میانی و مادون قرمز نزدیک تصاویر لندست هستند.

شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDLI) یک شاخص نوین است که برای تخمین تبخیر-تعرق سطحی به کار می‌رود. این شاخص از ترکیب بازتابندگی در باندهای سبز، قرمز و مادون قرمز میانی محاسبه می‌شود. این شاخص دارای قابلیت منحصر به فرد بهینه‌سازی حساسیت طیف بر روی پارامترهای سطحی بیوفیزیکی زمین است که با استفاده از رابطه (۳) به دست می‌آید (Traore et al., 2021: 104).

$$NDLI = \frac{\rho GREEN - \rho RED}{\rho GREEN + \rho RED + \rho MIR} \quad \text{رابطه ۳:}$$

در این رابطه PRED، PGREEN و PMIR به ترتیب بیانگر مقادیر بازتابندگی برای باندهای سبز، قرمز و مادون قرمز میانی تصاویر لندست هستند.

شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی (SAVI) یکی از شاخص‌های بسیار پر کاربرد در سنجش از دور برای ارزیابی پوشش گیاهی و تغییرات آن است. این شاخص به دلیل حساسیت کمتر به تغییرات خاک نسبت به شاخص‌های دیگر، به ویژه در مناطقی با پوشش گیاهی کم یا خاک‌های با بازتاب بالا، بسیار مفید است. در مناطقی که پوشش گیاهی کم است، تغییرات خاک می‌تواند تأثیر

زیادی بر روی شاخص‌های دیگر مانند NDVI داشته باشد. SAVI با کاهش این تأثیر، امکان ارزیابی دقیق‌تر پوشش گیاهی در این مناطق را فراهم می‌کند (Huete, 1988: 297). این شاخص به صورت رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$\text{SAVI} = ((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + L)) * (1 + L) \quad \text{رابطه ۴:}$$

شاخص NDBaI نیز جهت استخراج زمین‌های بایر و مناطق فاقد پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد و از این رو نقش مهمی در تغییرات اکوسیستم‌های محلی دارد (زندى و همکاران، ۱۴۰۳: ۵۰). این شاخص به صورت رابطه (۶) است.

$$\text{NDBaI} = (\text{SWIRI} - \text{TIRSI}) / (\text{SWIRI} + \text{TIRSI}) \quad \text{رابطه ۵:}$$

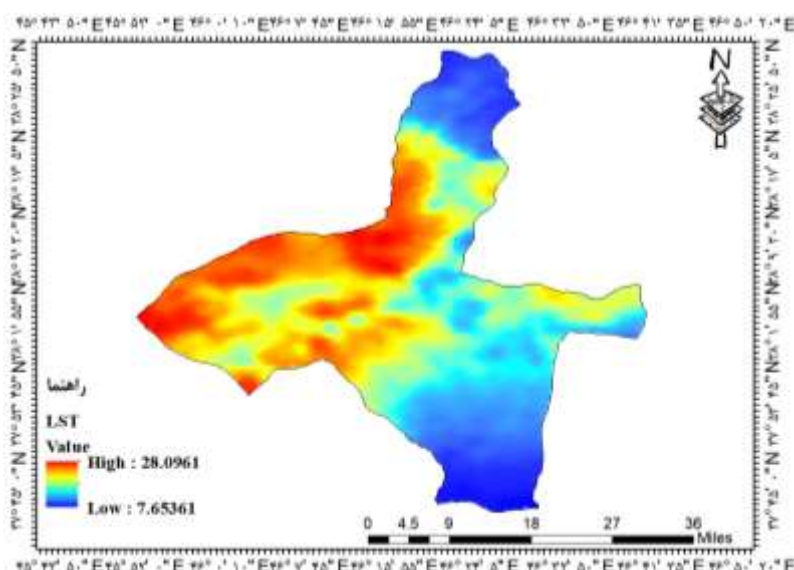
تحلیل همبستگی

برای بررسی ارتباط بین تغییرات دمای سطح زمین (LST) و تغییرات پوشش گیاهی و سطوح مصنوعی، از تحلیل همبستگی بین LST و شاخص‌های NDVI، NDBI، NDLI، SAVI و NDBaI استفاده شده است. از این رو ضریب همبستگی پیرسون یکی از کاربردی‌ترین روش‌های آماری است که به بررسی جهت و اندازه هم خطی بودن بین متغیر مستقل و وابسته می‌پردازد (شگرخدايي و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۳۱). برای این منظور از نرم‌افزار SPSS بهره گرفته شد. همچنین با استفاده از ضریب تعیین میزان پراکنش بین دمای سطح زمین و شاخص‌های طیفی و پوشش گیاهی با استفاده از توابع آماری اکسل بهره گرفته شد.

یافته‌های تحقیق

محاسبه دمای سطح زمین

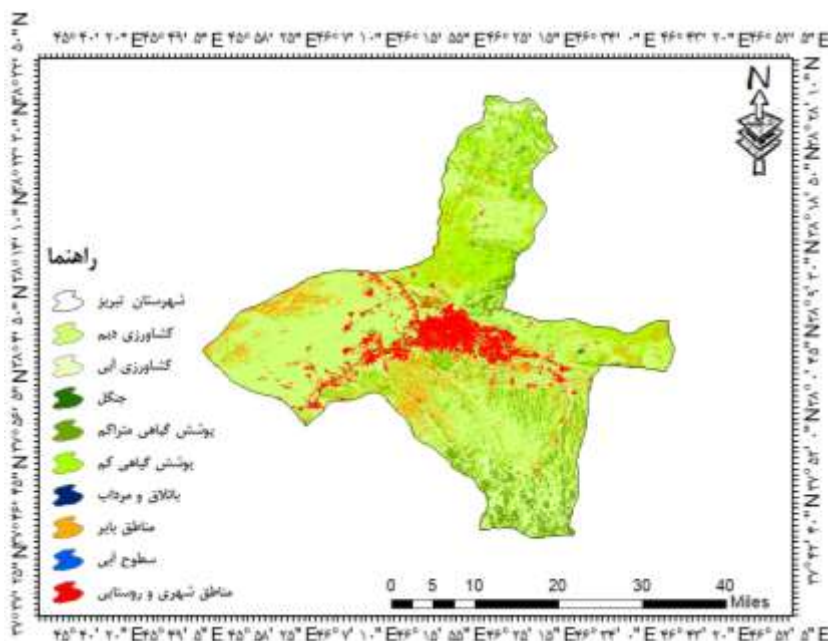
نقشه LST برای نشان دادن توزیع مکانی دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه تهیه می‌شود. از این رو نقشه میانگین LST شهرستان تبریز برای بازه زمانی (۱۳۹۳-۱۴۰۲) تهیه شد. متوسط الگوی دامنه دمایی شهرستان تبریز طی سال‌های (۱۳۹۳ تا ۱۴۰۲) در دامنه بین ۷/۶۵ تا ۲۸/۰۹ سلسیوس را نشان می‌دهد. الگوهای دمایی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست شهرستان تبریز در شکل (۲) ارائه شده است. براساس نتایج (شکل ۲) مناطق مرکزی و شمال شرقی شهر و نواحی صنعتی به دلیل تراکم ساختمان‌ها و آسفالت، دمای بالاتری را نشان می‌دهند و به عنوان جزایر گرمایی شهری شناخته می‌شوند. برعکس، پارک‌ها و فضاهای سبز به دلیل پوشش گیاهی، دمای پایین‌تری دارند. این اختلاف دما به دلیل جذب بیشتر گرما توسط سطوح مصنوعی و تأثیر خنک‌کنندگی پوشش گیاهی است.



شکل (۲): نقشه دمای سطح زمین (LST) شهرستان تبریز برای سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۲۳

تهیه نقشه کاربری اراضی (۱۴۰۲-۱۳۹۳) شهرستان تبریز و ارتباط آن با دمای سطح زمین

شکل (۳) نقشه کاربری اراضی شهرستان تبریز را نشان می‌دهد. نقشه کاربری اراضی در ۹ کلاس شامل مناطق کشاورزی دیم و آبی، جنگل، پوشش گیاهی متراکم و کم تراکم، باتلاق و مرداب، مناطق بایر، سطوح آبی و مناطق شهری و روستایی در محیط سامانه گوگل ارث انجین از پروداکت آماده GLC-FCS30D استخراج و طبقه‌بندی گردید. مقدار دقت کلی نقشه ترسیم شده (۸۰/۸۸ درصد) به دست آمد که نشان از دقت بسیار بالای این روش در طبقه‌بندی و تهیه نقشه کاربری اراضی برای شهرستان تبریز می‌باشد. در این نقشه مناطق کشاورزی دیم بیش‌ترین مساحت را در حدود ۱۲۱۵ کیلومترمربع و کم‌ترین مساحت هم مربوط به کلاس باتلاق و مرداب بوده که وسعتی حدود ۰/۰۸۴ کیلومترمربع داشته است. مساحت سایر کلاس‌ها نیز بدین ترتیب بوده که کلاس کشاورزی آبی (۸۱/۸۳)، جنگل (۶/۳۶)، پوشش گیاهی متراکم (۲۳۰)، پوشش گیاهی کم تراکم (۴۰۱)، مناطق بایر (۱۹۰)، سطوح آبی (۰/۶۶) و مناطق شهری و روستایی (۱۷۹/۶۸) کیلومترمربع وسعت داشته‌اند.



شکل (۳): نقشه کاربری اراضی شهرستان تبریز

تهیه نقشه‌های شاخص‌های پوشش گیاهی، توسعه شهری و شاخص اختلاف گرمای نهان نرمال شده و ارتباط آن با دمای سطح زمین

شاخص‌های طیفی، مجموعه‌ای از فرمول‌های ریاضی هستند که با هدف بارسازی یک پدیده سطح زمین، بر روی دو یا بیش از دو باند یک تصویر چندطیفی یا فراتطیفی اعمال می‌شود. اصول استفاده از شاخص‌های طیفی بر مبنای جذب طیفی بنا نهاده شده است. سه شاخص پوشش گیاهی، مناطق ساخته شده و زمین‌های بایر با استفاده از تصویر لندست شهرستان تبریز استخراج شده است.

شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و ارتباط آن با LST: پوشش گیاهی تاثیر قابل توجهی در میزان پراکنش دمای سطح زمین دارد. در مورد جزایر گرمایی شهری با استفاده از سنجش از دور و سامانه گوگل ارث انجین، برای تخمین رابطه دمای سطح زمین و پوشش گیاهی از شاخص‌های پوشش گیاهی در وسعت بزرگ‌تری استفاده می‌شود. مناطق دارای پوشش گیاهی، دمای هوای کم‌تری نشان می‌دهند. بنابراین انتظار می‌رود پیکسل‌های کاملاً گیاهی دارای دمای سطح سردتری باشند (جوان و مهرران، ۱۴۰۳؛ علوی‌پناه و همکاران، ۲۰۱۵). نقشه پوشش گیاهی شهرستان تبریز برای بازه زمانی (۱۳۹۳-۱۴۰۲) در

شکل (۴) ارائه شده است. مقادیر پوشش گیاهی برای سال‌های مذکور در دامنه بین ۰/۳۸- تا ۰/۷۳ به دست آمد. با توجه به نتایج قسمت‌های شمال و جنوب شرقی و غربی شهرستان از تراکم بیش‌تر پوشش گیاهی برخوردار است. در مقابل بخش‌های مرکزی میزان پوشش گیاهی ضعیف‌تری دارا است. در شهرستان تبریز، رابطه معکوس قوی بین شاخص استاندارد شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین (LST) مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر، مناطقی که پوشش گیاهی بیشتری دارند (NDVI بالاتر) دمای سطح پایین‌تری دارند و بالعکس. این رابطه به دلیل نقش پوشش گیاهی در تنظیم دمای محیط است. پوشش گیاهی با جذب انرژی خورشیدی و انجام فرآیند تعرق، دمای محیط را کاهش می‌دهد و با ایجاد سایه، از گرم شدن مستقیم سطح زمین جلوگیری می‌کند. در نتیجه، مناطقی با پوشش گیاهی کم (NDVI پایین) مانند مناطق مرکزی شهر و مناطق صنعتی، به عنوان جزایر گرمایی شهری شناخته می‌شوند و دمای بسیار بالاتری نسبت به مناطق با پوشش گیاهی زیاد دارند. این موضوع بر آسایش حرارتی شهروندان، مصرف انرژی و کیفیت هوا در تبریز تأثیرگذار است. بنابراین، افزایش پوشش گیاهی در تبریز می‌تواند به کاهش دمای سطح زمین، بهبود کیفیت هوا و ایجاد محیطی پایدارتر کمک کند.

شاخص اختلاف گرمای نهان نرمال شده (NDLI) و ارتباط آن با LST: این شاخص برای ارزیابی پوشش گیاهی و رطوبت خاک استفاده می‌شود. مقدار بالای این شاخص نشان‌دهنده پوشش گیاهی زیاد و رطوبت خاک بالا و بالعکس می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر این شاخص برای منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی (۱۳۹۳-۱۴۰۲) برابر با ۰/۲۶- تا ۰/۱۸ به دست آمد. مقادیر بالای این شاخص بیشتر قسمت‌های مرکزی و جنوب منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهد که نشان‌دهنده سطح بالای آب موجود در خاک و گیاهان بوده و خاک این نواحی از مقدار رطوبت بیش‌تری برخوردار بوده در مقابل مناطقی از شمال غرب و جنوب شرقی منطقه بیش‌تر تحت تنش خشکی قرار گرفته و عاری از گیاهان بوده است. به عبارتی دیگر مقادیر پایین این شاخص به دلیل ساخت و ساز و خاک‌های بایر و لخت بوده است.

شاخص توسعه شهری (NDBI) و ارتباط آن با LST: با توجه به این که افزایش پوشش ساختمانی، اراضی مسکونی، شهرک‌های صنعتی و سطوح غیرقابل نفوذ نقش عمده‌ای در تشکیل جزایر حرارتی شهری ایفا می‌کنند. بنابراین میانگین این شاخص برای شهرستان تبریز در بازه زمانی (۱۳۹۳-۱۴۰۲) تهیه شد. با توجه به شکل (۶) نتایج حاصل از این بخش نشان داد شاخص NDBI نیز از توانایی و دقت کافی در استخراج اطلاعات پوشش ساختمانی برخوردار بود. مقدار حد پایین این شاخص بیانگر حضور پوشش گیاهی و مقادیر حد بالای آن نشان‌دهنده حضور پوشش ساختمانی و سطوح نفوذ ناپذیر است. از این رو مقادیر شاخص NDBI برای منطقه مورد مطالعه برابر با ۰/۴۹- تا ۰/۳۴ به دست آمد (شکل ۶). براساس نتایج بدست آمده در شهرستان تبریز، رابطه مستقیمی بین شاخص استاندارد شده اختلاف مناطق ساخته شده (NDBI) و دمای سطح زمین (LST) وجود دارد. به عبارت دیگر، مناطقی که سطوح ساخته شده بیشتری دارند (NDBI بالاتر) دمای سطح بالاتری نیز دارند و بالعکس. این ارتباط به دلیل ویژگی‌های حرارتی مواد ساختمانی مانند بتن و آسفالت است که گرما را جذب کرده و باعث افزایش دمای سطح زمین می‌شوند. در مقابل، مناطق با پوشش گیاهی بیشتر (NDBI پایین‌تر) به دلیل فرآیند تعرق و سایه اندازی، دمای سطح پایین‌تری دارند. این پدیده به ویژه در مناطق مرکزی شهر و مناطق صنعتی که تراکم ساخت و ساز بالاست، به شکل جزایر گرمایی شهری نمود پیدا می‌کند.

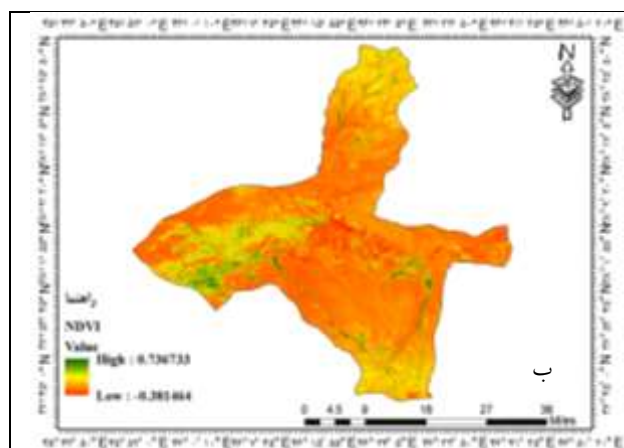
شاخص SAVI و ارتباط آن با LST

شاخص SAVI و دمای سطح زمین (LST) دو شاخص کلیدی در سنجش از دور هستند که به ترتیب پوشش گیاهی و دمای سطح را اندازه‌گیری می‌کنند. بین این دو شاخص رابطه معکوس وجود دارد؛ به این معنا که افزایش پوشش گیاهی (افزایش SAVI) با کاهش دمای سطح زمین (LST) همراه است. این رابطه به دلیل فرآیندهای زیستی پوشش گیاهی همچون تعرق، تبخیر و بازتابش نور برقرار می‌شود. پوشش گیاهی با جذب انرژی خورشیدی و انجام فرآیند تعرق، دمای محیط را کاهش می‌دهد و با بازتابش نور

و ایجاد سایه، از گرم شدن مستقیم سطح زمین جلوگیری می‌کند. در نتیجه، مناطق با پوشش گیاهی انبوه (SAVI بالا) معمولاً دمای سطح پایین‌تری نسبت به مناطق با پوشش گیاهی کم (SAVI پایین) دارند. این رابطه، اهمیت پوشش گیاهی را در تنظیم دمای محیط و کاهش اثرات جزایر گرمایی شهری نشان می‌دهد. در شکل (۷) شاخص SVAI ارائه شده است. مقادیر شاخص SAVI برای منطقه مورد مطالعه در دامنه بین ۰/۱۷- الی ۰/۵۹ محاسبه گردید. از طرفی شهرستان تبریز، رابطه خوبی بین شاخص (SAVI) و دمای سطح زمین (LST) مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر، مناطقی که پوشش گیاهی بیشتری دارند (SAVI بالاتر) دمای سطح پایین‌تری دارند و بالعکس. این رابطه به دلیل نقش پوشش گیاهی در تنظیم دمای محیط است. پوشش گیاهی با جذب انرژی خورشیدی و انجام فرآیند تعرق، دمای محیط را کاهش می‌دهد و با ایجاد سایه، از گرم شدن مستقیم سطح زمین جلوگیری می‌کند. در نتیجه، مناطق با پوشش گیاهی کم (SAVI پایین) مانند مناطق مرکزی شهر و مناطق صنعتی، به عنوان جزایر گرمایی شهری شناخته می‌شوند و دمای بسیار بالاتری نسبت به مناطق با پوشش گیاهی زیاد دارند.

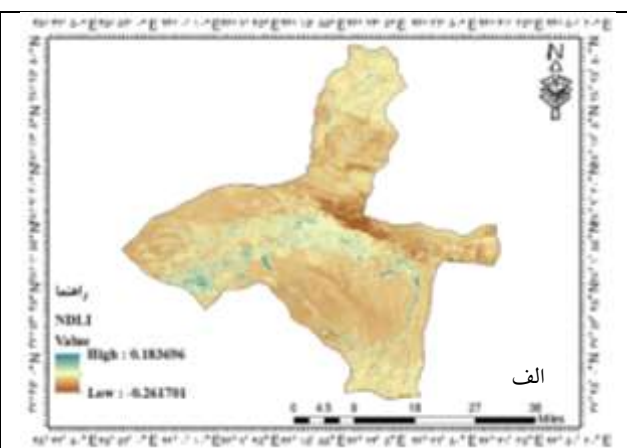
شاخص NDBaL و ارتباط آن با LST

شاخص زمین بایر (NDBaL) نیز برای شهرستان تبریز در دامنه بین ۰/۹۹- تا ۰/۹۹+ به دست آمد. مقداری بالای این شاخص همانطور که در شکل (۸) نشان داده شده است بیشتر در قسمت‌های شمال و شمال شرقی محسوس است و در مقابل قسمت‌های جنوب و جنوب شرقی از شدت این شاخص کاسته شده است. از طرفی براساس نتایج به دست آمده از همبستگی پیرسون رابطه معنی داری با دمای سطح زمین برقرار است.



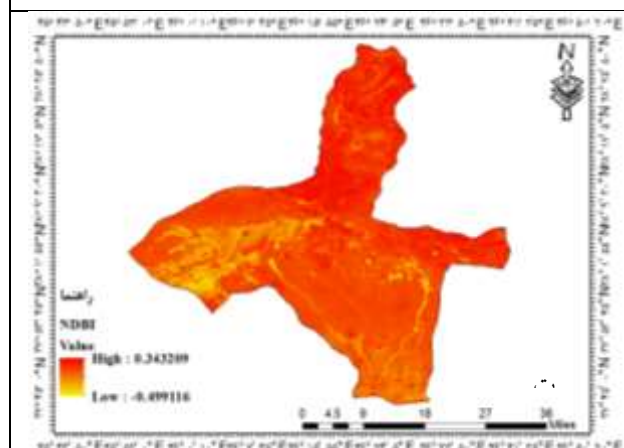
شکل (۴): نقشه میانگین شاخص NDVI شهرستان تبریز طی سال‌های ۱۳۹۳-

۱۴۰۲



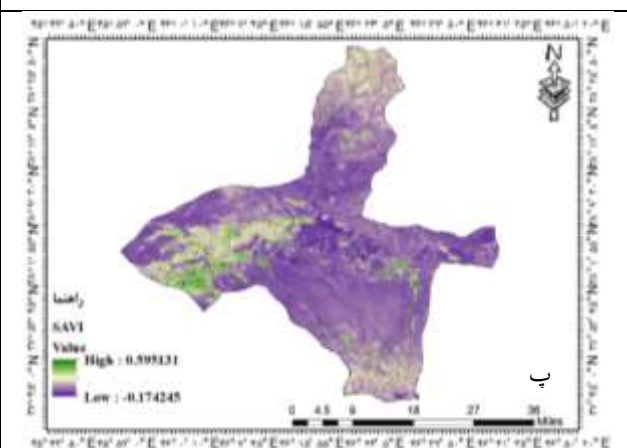
شکل (۵): نقشه میانگین شاخص NDLI شهرستان تبریز طی سال‌های ۱۳۹۳-

۱۴۰۲



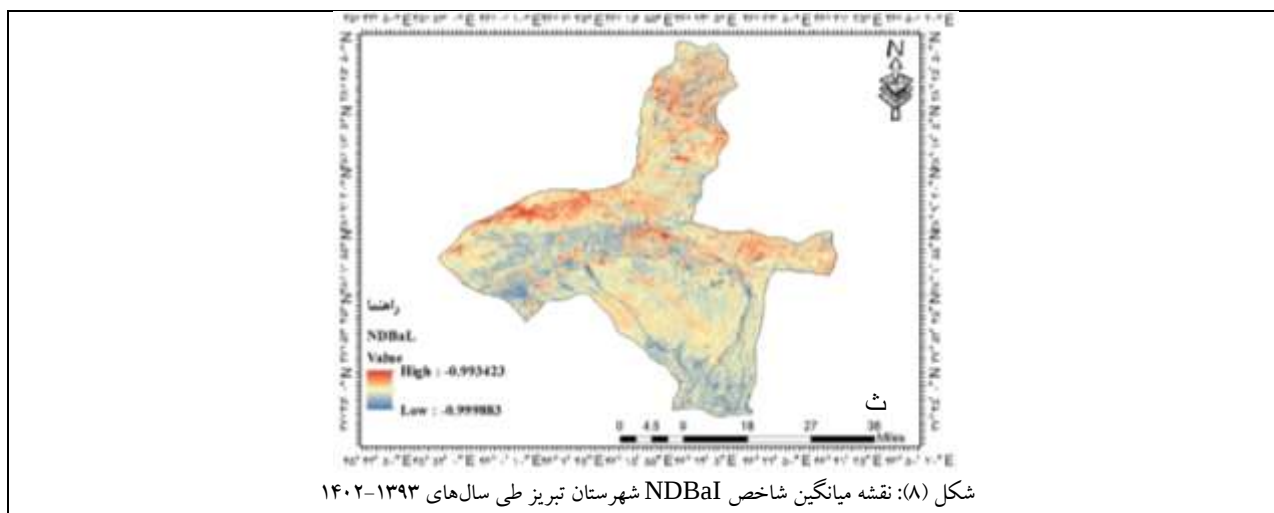
شکل (۶): نقشه میانگین شاخص NDBI شهرستان تبریز طی سال‌های ۱۳۹۳-

۱۴۰۲



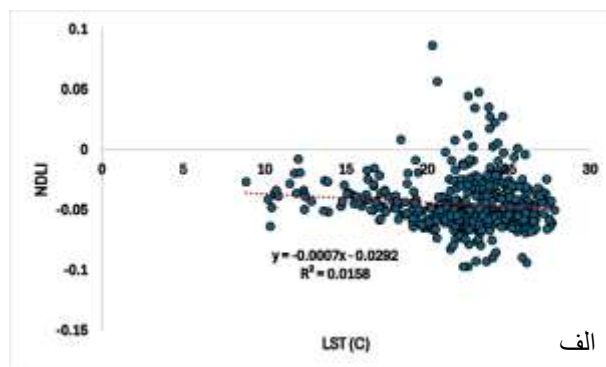
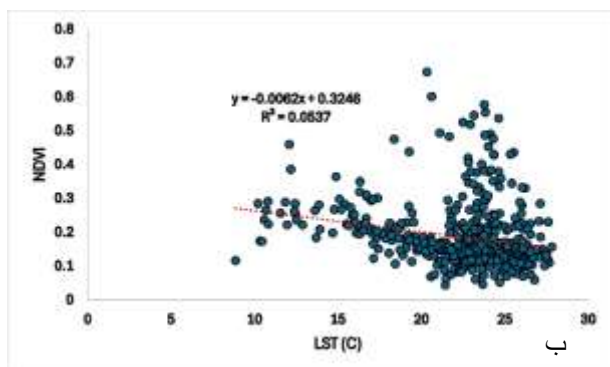
شکل (۷): نقشه میانگین شاخص SAVI شهرستان تبریز طی سال‌های ۱۳۹۳-

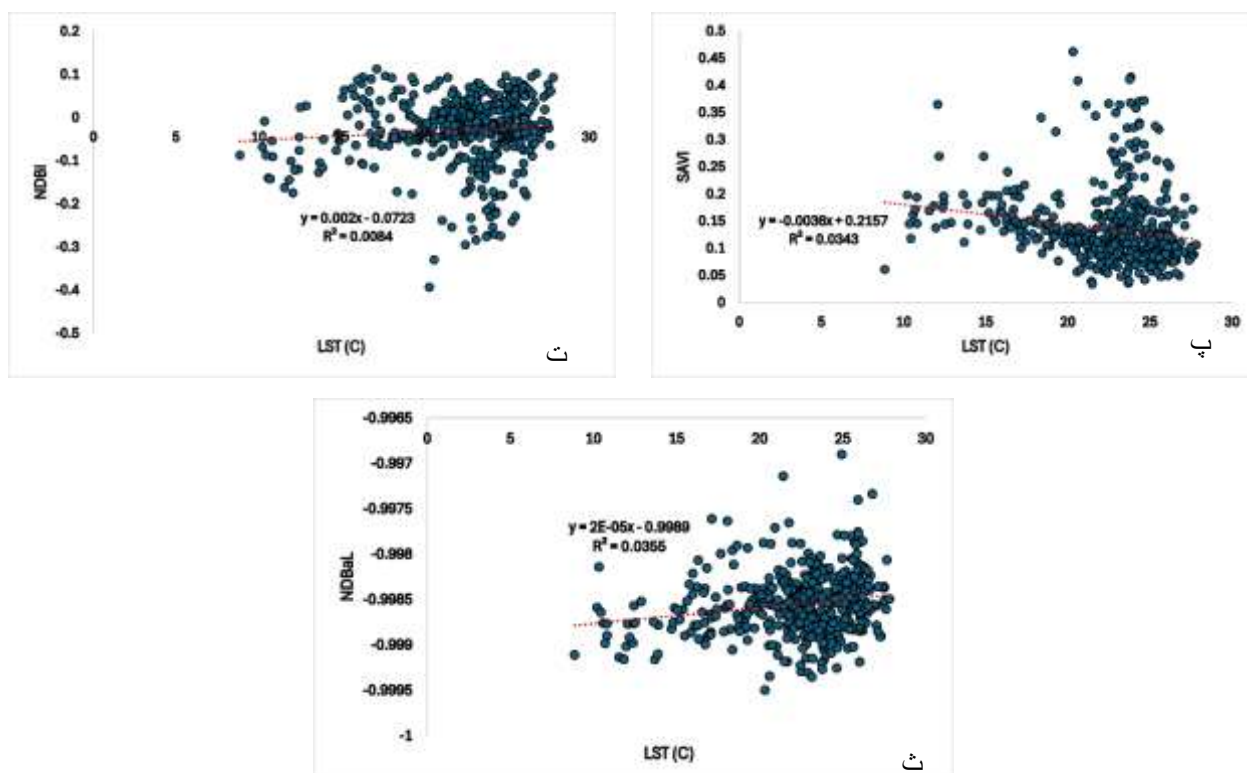
۱۴۰۲



تحلیل همبستگی و میزان پراکنش LST با شاخص‌های NDVI، NDBI، NDLI، SAVI، NDBaI

پس از این که نقشه‌های پهنه‌بندی هر یک از شاخص‌های مورد مطالعه به دست آمد. ارتباط این شاخص‌ها با میزان دمای سطح زمین (LST) به صورت رابطه رگرسیونی در محیط نرم‌افزار ExcelStat به دست آمد تا میزان همبستگی آن‌ها مشخص شود. به عبارتی دیگر تجزیه رگرسیون یک وسیله آماری است که برای برآورد ارزش یک متغیر کمی با توجه به رابطه‌اش با یک متغیر با یک یا چند متغیر کمی دیگر به کار می‌رود. این رابطه طوری است که با استفاده از یک متغیر می‌توان دیگری را پیش‌بینی کرد هم‌چنین این رابطه همیشه بین ۰ تا ۱ درصد است که ۰ نشان‌دهنده این است که مدل مورد استفاده هیچ یک از تغییرپذیری داده‌های پاسخ در اطراف میانگین آن را تبیین نمی‌کند و مقدار ۱ درصد نیز نشان می‌دهد که مدل مورد استفاده تغییرپذیری داده‌ها را در اطراف میانگین آن تبیین می‌کند (آرخی و همکاران، ۱۴۰۱: ۴۴). برای انجام تحلیل رگرسیون در این پژوهش، بعد از تهیه لایه‌های موردنیاز، هریک از این لایه‌ها در محیط ArcMAP به لایه‌های نقطه‌ای تبدیل و مقادیر عددی آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر این لایه‌ها وارد محیط نرم‌افزار ExcelStat شده و با استفاده از ماژول Statistics روش REGRESS عمل رگرسیون انجام گردید. در این مدل رگرسیونی دمای سطح زمین به عنوان متغیر وابسته (Y) و شاخص‌های طیفی و پوشش گیاهی به عنوان متغیرهای مستقل (X) در نظر گرفته شدند روند این شاخص‌ها در شکل ۹ (الف، ب، پ، ت و ث) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود شاخص‌های NDVI و NDBI با ضریب تبیین (۵۳۷/۰) و (۰۸/۰) به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار R^2 را به خود اختصاص داده‌اند. در گام بعد ارتباط بین LST با شاخص‌های مورد مطالعه با استفاده از روش پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS مورد آزمون آماری قرار گرفت (جدول ۱)، و مشخص شد بین دمای سطح زمین به ترتیب با شاخص‌های NDVI، SAVI، NDLI رابطه معکوس معنی‌دار و بین شاخص‌های NDBI و NDBaI نیز همبستگی معنی‌داری برقرار است.





شکل (۹): نمودار ضریب تبیین شاخص LST با شاخص‌های طیفی (الف) NDVI، (ب) SAVI، (ت) NDBI، (ث) NDBaL شهرستان تبریز برای سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۲۳

جدول (۱): همبستگی مقادیر شاخص‌های طیفی با شاخص میانگین دمای شهرستان تبریز سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۲۳

LST	NDBaL	NDBI	NDLI	NDVI	SAVI
	۰/۱۸۸**	۰/۰۹۲*	-۰/۱۲۶**	-۰/۲۳۲**	-۰/۱۸۵**

* اطمینان در سطح ۹۵ درصد

** اطمینان در سطح ۹۹ درصد

نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی و افزایش دمای کره زمین یکی از چالش‌های اصلی قرن حاضر است. در این میان، درک ارتباط بین دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و شاخص‌های طیفی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پوشش گیاهی به عنوان یکی از عوامل مهم در تنظیم دمای کره زمین، نقش بسزایی در جذب انرژی خورشیدی و تبخیر آب دارد. از سوی دیگر، شاخص‌های طیفی مانند به عنوان معیاری برای سنجش سلامت و تراکم پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین، بررسی ارتباط بین این عوامل می‌تواند به شناخت بهتر فرآیندهای اقلیمی و محیطی کمک کرده و در تدوین برنامه‌های مدیریت پایدار منابع طبیعی موثر باشد. از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی ارتباط بین دمای سطح زمین با شاخص‌های طیفی و پوشش گیاهی در شهرستان تبریز با استفاده از سامانه Google Earth Engine انجام شد. در این راستا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و مودیس استفاده شد. در مرحله بعد در محیط پلتفرم گوگل ارث انجین اقدام به تهیه نقشه‌های شاخص‌های مورد مطالعه گردید و با فراخوانی در محیط ArcMap خروجی هریک از نقشه‌ها انجام شد. پس از تهیه نقشه شاخص‌های مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار Excel STAT ضریب تعیین بین دمای سطح زمین با شاخص‌های طیفی و پوشش گیاهی تهیه شد. سپس با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون ارتباط LST با شاخص‌های SAVI، NDBI، NDVI و NDBaL مورد آزمون آماری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بین پوشش گیاهی

(با مقدار ۰/۲۳۲-) و SAVI (با مقدار ۰/۱۸۵-) رابطه معکوس معنی داری برقرار است. به طوری که افزایش پوشش گیاهی منجر به کاهش دما می شود. همچنین، کاربری های مختلف زمین تأثیر متفاوتی بر دمای سطح زمین داشته و مناطق شهری و صنعتی به دلیل سطوح نفوذناپذیر و جذب بالای انرژی خورشیدی، دمای بالاتری دارند. با استفاده از سامانه GEE، تغییرات فصلی دمای سطح زمین و تأثیر آن بر محیط زیست بهتر درک شد. این پژوهش نشان می دهد که پوشش گیاهی نقش مهمی در تنظیم دمای محیط دارد و افزایش فضای سبز می تواند به کاهش اثرات جزیره گرمایی شهری کمک کند. نتایج این تحقیق می تواند در برنامه ریزی شهری، مدیریت منابع آب و انرژی و کاهش اثرات تغییرات اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- احمدی، محمود؛ علی بخشی، زهرا؛ فرج زاده اصل، منوچهر (۱۳۹۸). آشکارسازی تغییرات زمانی-مکانی پوشش گیاهی کلان شهر تهران و اقمار در ارتباط با دمای سطحی زمین. *علوم محیطی*. ۱۷ (۴)، ۱۵۰-۱۳۳.
- اصغری سراسکانرود، صباد؛ امامی، هادی (۱۳۹۷). پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و ETM+ (مطالعه موردی: شهرستان اردبیل). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. ۱۹ (۵۳)، ۲۱۵-۱۹۵.
- انصاری، محمدرضا؛ نوروزی، آذین (۱۴۰۲). بررسی خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین و ارتباط آن با کاربری اراضی شهر اهواز. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*. ۳۴ (۳)، ۱۶۸-۱۴۳.
- جوان، خدیجه؛ مهران، سحر (۱۴۰۳). پایش دمای سطح زمین با به کارگیری روش پنجره مجزا در شهرستان تبریز و اثر آن بر تغییرات کاربری اراضی. *جغرافیا و روابط انسانی*. ۷ (۱)، ۲۰۴-۱۸۶.
- خدائی، علی؛ زندی، رحمان (۱۴۰۳). پایش تغییرات پوشش گیاهی و ارتباط آن با دمای سطح زمین و کاربری اراضی در شهرستان خداآفرین و کلیبر را با استفاده از فن آوری سنجنش از دور. *محیط زیست طبیعی*. ۷۷ (۱)، ۷۳-۵۹.
- درویشی، شادمان؛ رشیدپور، مصطفی؛ سلیمانی، کریم (۱۳۹۷). بررسی ارتباط تغییرات کاربری اراضی با دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای مطالعه موردی: شهرستان مریوان. *جغرافیا و توسعه*. ۱۷ (۵۴)، ۱۶۲-۱۴۳.
- زندى، رحمان؛ ظاهری عبدهوند، زینب؛ امامی، صدیقه (۱۴۰۳). سنجنش دمای سطح زمین و ارتباط آن با شاخص های طیفی مطالعه موردی: استان خوزستان. *جغرافیا و توسعه*. ۲۲ (۷۶)، ۶۴-۳۳.
- شگرخدایی، سیده زینب؛ فتح نیا، امان اله؛ هاشمی دره آبادی، سیروس (۱۴۰۲). بررسی ارتباط آلاینده های هوا با شاخص های سنجنش از دور (NDVI، NDBI، LST، ATI) در شهر تهران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲ (۴۷)، ۱۴۴-۱۲۳.
- عابدینی، موسی و دیگران (۱۴۰۱). پایش دمای سطح زمین در رابطه با تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوضه صوفی چای مراغه). *جغرافیا و مطالعات محیطی*. <https://sanad.iau.ir/Journal/ges/Article/979156/FullText>
- عابدینی، موسی و دیگران (۱۴۰۱). پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و TM. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. ۲۲ (۶۷)، ۳۹۳-۳۷۵.
- عابدینی، موسی؛ محمدزاده شیشه گران، مریم؛ قلعه، احسان (۱۴۰۱). پایش و برآورد وسعت مناطق دچار حریق بخشی از کوهستان زاگرس با استفاده از تصاویر ماهواره لندست. *نشریه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*. ۳۳ (۴)، ۶۲-۴۹.
- عفیفی، محمدابراهیم (۱۴۰۰). ارزیابی رابطه ی کاربری، پوشش اراضی و گسترش شهر با طبقات دمایی شهری با استفاده از تصاویر چند زمانه TM و شاخص NDVI (مطالعه موردی شهر کرمانشاه). *جغرافیا و مطالعات محیطی*. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/979036?FullText=FullText>
- فیروزی، ابوالقاسم؛ بمانی، اکرم؛ عرفانی، ملیحه (۱۴۰۲). آشکارسازی ارتباط تغییرات مکانی - زمانی جزایر سرد و حرارتی با گرادیان تغییرات کاربری اراضی/پوشش اراضی در دشت یزد- اردکان. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. ۱۰ (۱)، ۲۱۲-۱۹۳.

- کوشش وطن، محمدعلی؛ اصغری زمانی، اکبر (۱۴۰۰). مطالعه دمای سطح زمین شهر تبریز در رابطه با کاربری اراضی با استفاده از تصویر لندست ۸. *پژوهش‌های جغرافیایی/اقتصادی*. ۲ (۳)، ۴۹-۵۸.
- هاشمی دره‌بادامی، سیروس (۱۳۹۴). مدل‌سازی تغییرات سالانه جزیره حرارتی شهری و بررسی اثر آن بر میزان تغییرات آلودگی هوا (کلان شهر تهران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور. دانشگاه تهران. تهران. ایران.
- وروانی، هادی؛ فرهادی بانسوله، بهمن؛ شریفی، محمدعلی (۱۳۹۷). ارزیابی شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی بر سنجش از دور در مراحل مختلف رشد برای برآورد زیست توده ذرت. *تولید گیاهان زراعی*. ۱۱ (۳)، ۲۹-۴۱.
- Alavipanah, S. et al (2015). The role of vegetation in mitigating urban land surface temperatures: A case study of Munich, Germany during the warm season. *Sustainability*. 7 (4), 4689-4706.
- Amirin, M. K. & Hasmadi, I. M. (2010). Land use changes in Perak catchment zone using remote sensing and GIS technique. *Journal of GIS Trends*. 1 (1), 15-19.
- Bandari, A.K.; Kummar, A. & Singh, G.K. (2012). Feature extraction using normalized difference vegetation index (NDVI), A case study of Jabalpur city. *Procedia Technogy*. 6, 612 - 621.
- Barnes, K. B.; Morgan, J. & Roberge, M. (2001). *Impervious Surfaces and the Quality of Natural and Built Environments*. Baltimore: Department of Geography and Environmental Planning. Towson University.
- Chen, W. et al (2020). The investigation of urbanization and urban heat island in Beijing based on remote sensing. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 216, 141-150.
- Farhan, M. et al (2024). Predicting land use land cover dynamics and land surface temperature changes using CA-Markov-Chain models in Islamabad, Pakistan (1992–2042). *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 17, 16255–16271.
- Feng, X. et al (2024). Seasonal dynamics in land surface temperature in response to land use land cover changes using Google Earth Engine. *Earth Science Systems and Society*. 5 (1), 10096.
- Gorsevski, V. et al (1998). Air pollution prevention through urban heat island mitigation: An update on the Urban Heat Island Pilot Project. *Proceedings of the ACEEE Summer Study, Asilomar*. 9 (10), 23-32.
- Grigoras, G. & Uritescu, B. (2019). Land Use/Land Cover changes dynamics and their effects on Surface Urban Heat Island in Bucharest Romania. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 80, 115-126.
- Hashim Mohammed, B. & Abdullah Sultan, M. (2010). Using remote sensing data and GIS to evaluate air pollution and their relationship with land cover and land use in Baghdad City. *Iranian Journal of Earth Sciences*. 2 (1), 20-24.
- He, C. et al (2010). Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. *Remote Sens Lett*. 1, 213–221.
- Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Journal of Remote Sensing of Environment*. 25, 295-309.
- Ibrahim, F. & Rasoul, G. (2017). Urban land use land cover changes and their effect on land surface temperature: Case study using Dohuk City in the Kurdistan Region of Iraq. *Climate*. 5 (1), 1-18.
- Jiang, J. & Tian, G. (2010). Analysis of the impact of land use/land cover change on land surface temperature with remote sensing. *Journal of Applied Procedia Environmental Sciences*. 2, 571-575.
- Li, Z. L. et al (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*. 15 (131), 14-37.
- Magee, T.K.; Ringold, P. L. & Bollman, M.A. (2008). Alien species importance in native vegetation along wadeable streams, John Day River Basin Oregon USA. *Plant Ecology*. 195 (2), 287-307.
- Mirzaei, P. A. (2015). Recent challenges in modeling of urban heat island. *Sustainable Cities and Society*. 19, 200-206.
- Pande, C. B. et al (2024). Predictive modeling of land surface temperature (LST) based on Landsat-8 satellite data and machine learning models for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*. 444, 141035.
- Pettorelli, N. et al (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*. 20 (9), 503-510.
- Ranagalage, M. et al (2018). Spatial changes of urban heat island formation in the Colombo District, Sri Lanka: Implications for sustainability planning. *Sustainability*. 10, 1367.
- Selka, I. et al (2023). Assessing the impact of land use and land cover changes on surface temperature dynamics using Google Earth Engine: A case study of Tlemcen Municipality, Northwestern Algeria (1989–2019). *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 13 (7), 237.

- Traore, M. et al (2021). Assessment of land use/land cover changes and their impacts on land surface temperature in Bangui (the capital of Central African Republic. *Environ Chall.* 4, 100-114.
- Wang, W. et al (2019). Remote sensing image-based analysis of the urban heat island effect in Shenzhen, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C.* 110, 168-17.
- Xiao, J. & Moody, A. (2021). A comparison of methods for estimating fractional green vegetation cover within a desert-to-upland transition zone in central New Mexico, USA. *Remote Sensing of Environment.* 98(3), 237-250.
- Zhao, F. et al (2023). Detection of geothermal potential based on land surface temperature derived from remotely sensed and in-situ data. *Geo-Spatial Information Science.* 27 (4), 1237-1253.
- Zhou, J. et al (2010). Improvement of mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from HJ-1B satellite data. *Chinese Geographical Science.* 20, 123-131.