

Research Paper



Investigating the relationship between land surface temperature, vegetation cover and surface moisture in land uses in Kermanshah county



Maryam Bayati Khatibi*¹ , Yousef Amirian²

1-Professor, Geomorphology of Dep. of RS & GIS, Faculty of Planning and Environment sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
m_bayati@tabrizu.ac.ir

2- Phd Candidate of Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environment sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
yousef.amirian@phd.tabrizu.ac.ir

Keywords

**LST, NDVI, NDMI,
Landuse, Kermanshah
county. Western Iran.**

Receive: 2025/ 04 / 30

Accepted: 2025/10/26

Available: 2026/09/23

ABSTRACT**Introduction**

The Earth's surface temperature is of great importance as one of the key factors in controlling the biological, chemical and physical processes of the Earth. The Earth's surface temperature not only has a direct impact on natural processes such as evaporation, gas exchange and the water cycle, but also plays a fundamental role in studying climate change and weather patterns. In this study, the relationship between the Earth's surface temperature and vegetation cover and soil surface moisture in the land use of Kermanshah County was investigated. For this purpose, Landsat 8 satellite images with OLI and TIRS sensors were used in the years 2014, 2019 and 2024.

Methodology

After performing the image processing steps, the land use map was extracted using the supervised classification method in the Google Earth Engine environment using the SVM method in seven classes for a ten-year period. Also, the land surface temperature was obtained with a discrete window algorithm and its relationship with vegetation cover and surface moisture was investigated using statistical methods. The classification accuracy of the SVM method, by examining ground data and satellite images from 2014, 2019, and 2024, was 0.96, 0.97, and 0.97, respectively, in terms of the Kappa statistical coefficient, and 0.972, 0.970, and 0.977, respectively, based on the overall accuracy.

***Correspondin Author:** Maryam Bayati Khatibdl: m_bayati@tabrizu.ac.ir

How to cite this article: Maryam Bayati Khatibi, Yousef Amirian (2026). Investigating the relationship between land surface temperature, vegetation cover and surface moisture in land uses in Kermanshah county, Hydrogeomorphology, 13(48): 1 – 20.

DOI: [10.22034/hyd.2025.67062.1792](https://doi.org/10.22034/hyd.2025.67062.1792)



Copyright: © by the authors

Publisher: University of Tabriz

To obtain LST with the separate window method, data from the two thermal bands of the TIRS sensor are used separately and bands 3, 4, and 5 from the OLI sensor of the Landsat 8 satellite are used as combined layers. First, by converting the digital numerical values to the spectral radiance of the atmosphere or TOA, and then TB is calculated. The NDVI index is produced using bands 4 and 5, and the FVC index, or the fraction of vegetation cover of the region, is obtained using the NDVI index. In the next step, the Land Surface Emissivity (LSE) image is obtained using the FVC index. This image measures the internal properties of the land surface, which indicate the ability to convert thermal energy into radiant energy, and finally the land surface heat is calculated.

The NDVI index was calculated using the RED and NIR visible bands from the OLI image. This index is measured based on the amount of chlorophyll in the plant and its value varies from -1 to +1. The higher the amount of chlorophyll in the vegetation, the healthier it is, and the value will be close to +1, and positive numbers close to zero indicate soil without vegetation. Numbers from -1 to 0 indicate the presence of vegetation and man-made structures.

To calculate the moisture index, two near infrared bands, NIR and SWIR, are used. The short-wave infrared band in Landsat 8 has two bands, SWIR1 and SWIR2. Their wavelength ranges are 1.65-1.57 and 2.29-11.2, respectively. NIR and SWIR1 are used in the soil surface moisture index.

Results and Discussion

The data shows that tree cover has increased by 1.5 square kilometers, or 6.7 percent, overall from 2014 to 2024. Agricultural land has grown by 45.2% in the ten years from 2014 to 2024. Vegetation cover has increased by 63.9 square kilometers, equivalent to 25.5 percent, during this ten-year period. The surface area of the city's watershed has also decreased by 32.8% in these ten years. The area of snow cover has also decreased by 33.3 percent during this period. Man-made has grown by 9.6% from 2014 to 2024.

According to the obtained maps, the NDVI index in 2014 was -0.2 to 0.58, and in 2019 the index ranged from -0.09 to 0.53, and this value in 2024 was -0.24 to 0.72.

The humidity index values in 2014 ranged from -0.36 to 0.44, in 2019 the values of this index were calculated as -0.45 to 0.4, and in 2024 the values were calculated between -0.56 and 0.42.

According to the data, in 2014, the lowest temperature was 7 degrees Celsius and the highest was 44 degrees Celsius. In 2019, the lowest temperature was 6 degrees and the highest was 45 degrees, and in 2024, the lowest temperature was 7 degrees and the highest was 46 degrees Celsius. The lowest temperature in all three measured years is related to the highlands and irrigated agricultural lands, and the highest temperature is related to the rocky areas and barren lands.

Conclusions

The results of the research indicate that in the study area, land surface temperature is affected by the amount of vegetation cover and soil surface moisture and is related to land use. In many studies, there is an inverse relationship between land surface temperature and vegetation index, and this inverse relationship was also proven in this study in 2014, 2019, and 2024. The relationship between LST and NDVI indices has a negative correlation, indicating the role of surface evaporation of vegetation in reducing temperature. The data in the present study showed that the relationship between land surface temperature and surface moisture index also has an inverse correlation in the years 2014, 2019, and 2024.



بررسی رابطه دمای سطح زمین با پوشش گیاهی و رطوبت سطحی در کاربری‌های اراضی در شهرستان کرمانشاه



مریم بیاتی خطیبی^۱، یوسف امیریان^۲

۱-استاد ژئومورفولوژی گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. m_bayati@tabrizu.ac.ir

۲-دانشجوی دکترای سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. yousef.amirian@phd.tabrizu.ac.ir

چکیده

دمای سطح زمین به عنوان یکی از عوامل کلیدی در کنترل فرآیندهای بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی زمین، از اهمیت بالایی برخوردار است. دمای سطح زمین نه تنها تأثیر مستقیمی بر فرآیندهای طبیعی نظیر تبخیر، تبادل گازها و چرخه آب دارد، بلکه در بررسی تغییرات اقلیمی و الگوهای آب و هوایی نیز نقش بنیادی را بر عهده دارد. در این مطالعه رابطه دمای سطح زمین با پوشش گیاهی و رطوبت سطحی خاک در کاربری اراضی شهرستان کرمانشاه بررسی گردید. برای این منظور از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ با سنجندهای OLI و TIRS در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ استفاده شد. پس از انجام مراحل پردازش تصاویر، نقشه کاربری اراضی با روش طبقه بندی نظارت شده در محیط ارث انجین با روش SVM در هفت کلاس برای دوره ده ساله استخراج شد. همچنین دمای سطح زمین را با الگوریتم پنجره مجزا بدست آورده و ارتباط آن با پوشش گیاهی و رطوبت سطحی با روش های آماری بررسی شد. دقت طبقه بندی به روش SVM با بررسی داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره ای سال های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ بر حسب ضریب آماری کاپا به ترتیب ۰/۹۶، ۰/۹۷ و ۰/۹۷ و بر اساس صحت کلی ۰/۹۷۲، ۰/۹۷۰ و ۰/۹۷۷ به دست آمد. میانگین شاخص دمای سطح زمین ۲۵/۵، ۲۵/۵ و ۲۶/۵ درجه سانتی گراد، میانگین شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی ۰/۱۹، ۰/۲۲ و ۰/۲۴ و میانگین شاخص نرمال شده رطوبت ۰/۰۴، ۰/۰۲۵ و ۰/۰۷- برآورد شد. همبستگی بین دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی و شاخص رطوبت معکوس و منفی شد. با توجه به کوهستانی بودن منطقه و وجود پهنه سنگی در بیشتر شهرستان، بیشتر پوشش گیاهی موجود به صورت مراتع فصلی و کوتاه مدت بوده تاثیری در کاهش دمای سطح زمین نداشته و نیز کشاورزی که غالباً به صورت دیم است هم با توجه به آب و هوای شهرستان کرمانشاه در تابستان فاقد پوشش گیاهی است بنابراین تاثیری در کاهش دما ندارد.

کلیدواژه‌ها

دمای سطح زمین، روش پنجره مجزا، شاخص پوشش گیاهی، شاخص رطوبت، کاربری اراضی، شهرستان کرمانشاه، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱

*نویسنده مسئول: مریم بیاتی خطیبی M_bayati@tabrizu.ac.ir **ارجاع به این مقاله:** مریم بیاتی خطیبی، یوسف امیریان (۱۴۰۵). بررسی رابطه دمای سطح زمین با پوشش گیاهی و رطوبت سطحی در کاربری های رایانامه: M_bayati@tabrizu.ac.ir اراضی در شهرستان کرمانشاه. هیدروژئومورفولوژی، ۱۳ (۴۸): ۲۰ - ۱.

شناسه دیجیتال مقاله: 10.22034/hyd.2025.67062.1792



Copyright: ©2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

دمای سطح زمین یا LST^1 از مهمترین عوامل مؤثر در فرآیندهای بیولوژیکی، شیمی و فیزیکی زمین و یکی از پارامترهای کلیدی فرآیندهای سطح زمین در مقیاس منطقه‌ای و جهانی است که ترکیبی از نتایج همه تعاملات سطح زمین و جریان‌های انرژی بین سطح و اتمسفر است (جیمز مونوز^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). محاسبه این دما به عنوان یکی از پارامترهای اساسی در مطالعات اقلیمی و محیطی، نقش ویژه‌ای ایفا می‌کند. افزایش دمای سطح زمین باعث ذوب شدن یخچال‌های طبیعی و یخ‌های منطقه قطبی شده و منجر به جاری شدن سیلاب و افزایش سطح آب دریاها و تغییرات اقلیمی می‌شود، بنابراین بررسی افزایش دمای سطح زمین در کاربری‌های مختلف اراضی امری ضروری است. بررسی LST برای پرداختن به موضوعات مختلف در رشته‌های مختلف مانند علوم زمین، اقلیم‌شناسی، برنامه ریزی شهری و روستایی، تغییرات محیطی و تعاملات محیط زیست انسانی، مهم و ضروری به نظر می‌رسد. نقشه‌های ماهواره‌ای LST داده‌های پایدار را فراهم می‌کند که اطلاعات مهمی در مورد خصوصیات فیزیکی سطح و اقلیم فراهم می‌کند (رونگالی^۳ و همکاران، ۲۰۱۸: ۸۳۲). دمای سطح زمین تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که طبق مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلمندی سطح، رطوبت و جریان هوای اتمسفر مشخص می‌شود، در واقع شاخص دمای سطح زمین تابعی از پاسخ انرژی سطح در پدیده‌های متنوع آب، خاک، پوشش گیاهی و غیره می‌باشد (اون^۴ و همکاران، ۱۹۹۸: ۱۶۷۳). در صورت عدم وجود شبکه متراکم ایستگاه‌های هواشناسی مستقر بر روی زمین، جهت محاسبه LST می‌توان از داده‌های سنجش از دور به عنوان پارامتر کلیدی جهت مطالعات کشاورزی و زیست محیطی استفاده کرد (فیضی زاده و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۵). کاربردهای LST با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، اعتبار سنجی و بهبود مدل‌های پیش‌بینی هواشناسی جهانی پس از اصلاح و پارامتردهی مناسب است (دیاک و ویپل^۵، ۱۹۹۳: ۱۹۶). با توجه به افزایش تغییرات اقلیمی و نوسانات دما، پایش دقیق دمای سطح زمین می‌تواند به پیش‌بینی بهتر رویدادهای شدید جوی، مدیریت منابع آب و کشاورزی، حفاظت از اکوسیستم‌ها، آگاهی از تأثیرات ناشی از فعالیت‌های انسانی، تغییرات کاربری زمین و توسعه شهری کمک کند. بنابراین محاسبه دقیق دمای سطح زمین می‌تواند به عنوان ابزاری حیاتی در برنامه‌ریزی‌های پایدار و مدیریت منابع طبیعی عمل کند. عوامل مؤثر بر توزیع مکانی دمای سطح زمین شامل تابش خورشیدی، وضعیت جوی و ویژگی‌های سطح زمین است. تابش خورشید و شرایط جوی در یک منطقه خاص و در یک زمان معین، به طور یکنواخت و مشابه هستند؛ اما خصوصیات سطح زمین مانند ژئومورفولوژی، نوع پوشش اراضی، وضعیت پوشش گیاهی و شرایط خاک از جمله عوامل کلیدی در تغییرات مکانی دمای سطح زمین به شمار می‌روند. تفاوت در تابش خورشیدی، وضعیت جوی و ویژگی‌های سطح زمین در زمان‌های مختلف، منجر به تغییرات زمانی دمای سطح زمین می‌شود. همچنین، فعالیت‌های انسانی در دهه‌های اخیر موجب پیچیدگی و عدم همگونی ویژگی‌های سطح زمین و افزایش تغییرات مکانی دما گردیده است. بنابراین، دمای سطح خاک و نحوه تغییرات آن با توجه به زمان و مکان، از مهم‌ترین عواملی است که بر تبادل ماده و انرژی در خاک تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، می‌توان گفت

¹ Land Surface Temperature

² Jimenez-Munoz

³ Rongali

⁴ Owen

⁵ Diak and Whipple

که میزان و جهت تمامی فرایندهای فیزیکی خاک به طور مستقیم یا غیرمستقیم به دمای خاک وابسته است (سومرس و همکاران، ۱۹۷۱: ۱۰۶). با پیشرفت تکنیک‌های سنجش از دور برای اندازه‌گیری دمای سطح زمین، الگوریتم‌هایی نیز برای استخراج مقادیر دمای سطح زمین طراحی و توسعه یافته‌اند. دمای سطح زمین به عنوان تابعی از انرژی خالص موجود در سطح زمین عمل می‌کند و تحت تأثیر عواملی نظیر مقدار انرژی دریافتی، گسیلندگی سطح، رطوبت نسبی و جریان هوای اتمسفر قرار دارد. آگاهی از دمای سطح زمین اطلاعات مفیدی درباره تغییرات زمانی و مکانی زمین فراهم می‌کند و در بسیاری از موارد همچون تبخیر و تعرق، تغییرات اقلیمی، چرخ هیدروژئولوژیکی، پایش پوشش گیاهی، اقلیم شهری، مطالعات محیطی و سایر مطالعات مرتبط اهمیتی اساسی دارد (علوی پناه، ۲۰۱۸). سنجش از دور مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای ابزار قوی برای سنجش منابع زمینی و از جمله دمای سطح زمین است که در بسیاری از زمینه‌ها کاربرد دارد. ویژگی‌های مکانی و زمانی دمای سطح زمین و یافتن روابط منطقی بین شاخص‌های تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی یا $NDVI^1$ و شاخص تفاضل نرمال شده رطوبت یا $NDMI^2$ با دمای سطح زمین انجام شده است و مشخص شده است که رابطه‌ای منطقی بین $NDVI$ و LST^3 وجود دارد. ماهواره‌های سنجش از دور متعددی با دارا بودن باندهای اپتیک و حرارتی برای محاسبه LST ، $NDVI$ و $NDMI$ وجود دارد که کاربرد فوق العاده‌ای دارند و دارای توان تفکیک مکانی و زمانی مختلفی می‌باشند. ماهواره لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برای سنجنده‌های OLI یا باندهای اپتیک و قدرت تفکیک ۱۰۰ متر برای سنجنده $TIRS$ یا باندهای حرارتی یکی از گزینه‌های مطلوب جهت بررسی در این مطالعه است. این ماهواره دارای قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روز است و قدرت تفکیک رادیومتریکی آن هم ۱۲ بیتی است که از کیفیت خوبی به منظور انجام اهداف تحقیق برخوردار است. در یک تحقیق انجام شده در دلتای رودخانه زرد چین، تغییرات دمای سطح زمین و روابط آن با پوشش گیاهی و رطوبت خاک بررسی شد. در این مطالعه در یک دوره سی ساله از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ در فصول مختلف در مناطق مختلف روابط متغیرها بررسی شد و حکایت از گرمای بیشتر در مناطق شهری و صنعتی بوده است و همبستگی‌های حاصل از روابط بین دمای سطح زمین با شاخص‌های پوشش گیاهی و رطوبت خاک در زمان‌های مختلف تفاوت داشته است (شی^۴ و همکاران، ۲۰۲۰: ۵). در اسپانیا با استفاده از سنجنده $AVHRR$ طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۵ دمای سطح زمین و تغییرات آن با دمای هوا، تابش خورشید و پوشش سطح زمین بررسی شد. نتایج نشان از همبستگی زیاد بین LST و $NDVI$ است و در حالت کلی افزایش ۰/۷۱ درجه سانتی‌گراد بین سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد. این افزایش در تابستان به میزان ۱/۵۳ درجه میرسد. در مناطق با پوشش گیاهی و جنگلی افزایش دما بسیار کمتر از میانگین و در مناطق بدون پوشش گیاهی با افزایش بیشتر از میانگین بوده است (خورچانی^۵ و همکاران، ۲۰۱۸: ۷۹). الگوریتم‌های متعددی برای محاسبه دمای سطح زمین طراحی شده و که از باندهای مرئی، مادون قرمز و باند حرارتی تصاویر ماهواره‌ای مختلف استفاده می‌شود بعضی از این روش‌ها عبارتند از الگوریتم تک پنجره^۶، پنجره مجزا^۷، دو زاویه^۸ و تک

¹ Normalized Difference Vegetation Index

² Normalized Difference Moisture Index

³ Land Surface Temperature

⁴ Chi

⁵ Khorchani

⁶ Mono window

⁷ Split Window

⁸ Dual Angel

کانال^۱ (لی^۲ و همکاران، ۱۳۸۰:۲۰). روش تک کانال بیشتر در مناطق شهری و مناطق خشک و نیمه خشک استفاده و از یک باند حرارتی بهره می‌گیرد. این روش از دو پارامتر جوی یعنی متوسط دمای مؤثر جو و دمای سطح نیاز دارد. الگوریتم تک کانال بسیار ساده و استفاده محدود دارد زیرا وابسته به الگوهای و پروفیل‌های دقیق جوی و مدل انتقال تابشی است و زمان زیادی نیز برای محاسبات لازم دارد (کریستوبال^۳ و همکاران، ۲۰۰۹:۸). الگوریتم تک پنجره قادر به بازیابی دمای سطح بر اساس معادله انتقال تابش حرارتی سطح بدون تصحیح اتمسفری است (شین^۴ و همکاران، ۲۰۰۱:۳۷۲۶). مزیت این روش این است که فقط به دو پارامتر متوسط دمای مؤثر جو و دمای سطح نیاز است. در الگوریتم پنجره مجزا، اساس کار بر میزان گسیلمندی ناشی از جذب‌های مختلف جوی در کانال‌های باند حرارتی است. علاوه بر این، الگوریتم پنجره مجزا نیاز به الگوهای جوی دقیق ندارد و الگوریتم این روش برای دو سنسور حرارتی لندست و میزان انتشار پذیری پیکسل‌ها عمل می‌کند. معایب اصلی روش پنجره مجزا وجود پارامترهای متعدد است و ممکن است نیاز به محاسبات پیچیده‌تری داشته باشد که منجر به عملکرد متفاوت در محاسبه میزان بخار آب می‌شود و یا اینکه در زاویه‌های دید وسیع میزان دقت کاهش می‌یابد (وان^۵ و همکاران، ۱۹۹۹:۶۲۳۲). در یک مطالعه برای محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸ به مقایسه بین روش سبال و پنجره مجزا پرداخته شد و نتایج نشان داد که وارونگی دمای سطح زمین در روش پنجره مجزا، با $RMSE^6$ کمتر از ۰/۱۷ سانتیگراد می‌باشد و این روش مناسب‌تر از روش سبال برای مطالعه دمای سطح زمین می‌باشد. دمای سطح زمین به دست آمده از سنجنده‌ها که در فضای بالای اتمسفر قرار دارند به دلیل وجود جذب و پخش اتمسفری، کمتر از دمای سطح زمین می‌باشد (فیضی زاده و همکاران، ۱۳۹۵:۱۷۶).

در حالت کلی محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از سنجنش از دور در مقیاس وسیع جایگزین بسیار مناسبی در مقایسه با روش‌های مرسوم است. در این مقاله برای محاسبه دمای سطح زمین از الگوریتم‌های تک پنجره و پنجره مجزا استفاده شده و هدف مقایسه این دو روش و تعیین الگوریتم دقیق‌تر برای بازیابی مقدار دمای سطح زمین به منظور استفاده‌های اقلیمی، برنامه ریزی شهری و روستایی، برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و تغییرات محیطی در مقیاس منطقه‌ای و یا جهانی است. این دو الگوریتم با داده‌های دمای هوا که از وسایط داده‌های ماهواره‌ای و اقیانوس‌شناسی به دست می‌آید اعتبار سنجی می‌شود. در دهه‌های اخیر تغییرات و تأثیرات متقابل دمای سطح زمین، رطوبت سطح زمین و کاربری‌ها در محدوده کرمانشاه و نواحی اطراف آن باعث شده است ناعادلی‌های زیادی در اکوسیستم محدوده مورد نظر پدید بیاید. به نظر می‌رسد که افزایش دمای سطحی و در نتیجه کاهش رطوبت خاک، کاربری‌ها را در محدوده مورد مطالعه تحت تأثیر قرار داده و در اغلب موارد کاربری‌های نامتناسب باعث کاهش رطوبت خاک و افزایش دمای سطحی شده است.

¹ Single Channel

² Li

³ Cristobal

⁴ Qin

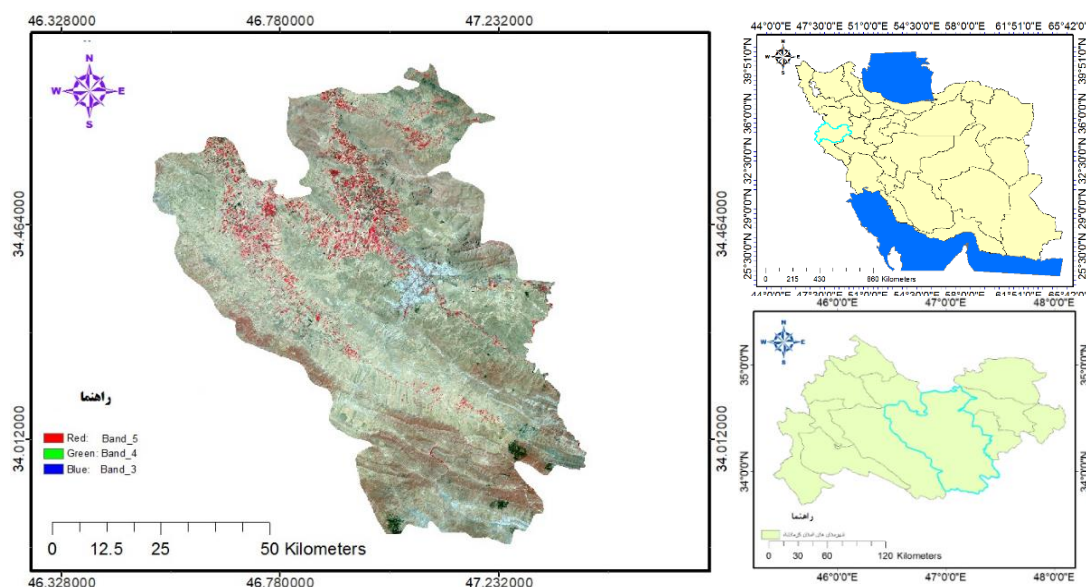
⁵ Wan

⁶ Root Mean Squared Error

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان کرمانشاه در میانه استان کرمانشاه و در محدوده ضلع غربی کشور قرار گرفته و از شمال به استان کردستان، از جنوب به استانهای لرستان و ایلام و از شرق به استان همدان و از غرب با ۳۳۰ کیلومتر مرز مشترک با کشور عراق همسایه است. مختصات جغرافیایی این شهرستان از ۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه و ۳۶ ثانیه تا ۴۷ درجه و ۲۹ دقیقه و ۳۵ ثانیه شرقی و از ۳۳ درجه و ۴۷ دقیقه و ۲۵ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۴۸ دقیقه و ۲۳ ثانیه شمالی امتداد دارد (شکل ۱). ارتفاع متوسط آن از سطح دریاهای آزاد در حدود ۱۲۰۰ متر است. استان کرمانشاه با مساحت ۲۴۶۴۰ کیلومتر مربع، هفدهمین استان ایران از نظر وسعت به شمار می رود و ۱/۵ درصد مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. شهرستان کرمانشاه بزرگترین شهرستان استان از نظر وسعت با مساحت ۵۸۷۰ کیلومتر مربع می باشد که بیش از ۲۳ درصد مساحت استان را تشکیل می دهد. استان کرمانشاه در مسیر کوههای زاگرس و بر روی یال غربی آن قرار گرفته است. این شهرستان در معرض جبهه های مرطوب مدیترانه ای قرار داشته، برخورد این جبهه ها با ارتفاعات زاگرس موجب ریزش برف و باران می گردد. متوسط میزان بارندگی در سطح منطقه ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی متر می باشد. استان کرمانشاه دارای ده دشت تقریباً وسیع است که دشت کرمانشاه با وسعت تقریبی ۱۱۰۰ کیلومتر مربع در محدوده مورد مطالعه پژوهش حاضر قرار دارد. این دشت با ارتفاع ۱۳۵۰ متر، منطقه کشاورزی و دامپروری شهرستان کرمانشاه محسوب می شود.



شکل (۱): موقعیت استان و شهرستان کرمانشاه در نقشه ایران

Figure (1): Location of Kermanshah province and county on the map of Iran

۲-۲- داده ها و روش کار

در این مقاله برای محاسبه دمای سطح زمین از الگوریتم پنجره مجزا از تصاویر سنجنده های OLI و TIRS از ماهواره ۸ با ردیف ۳۶ و گذر ۱۶۷ طی سال های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ بررسی و از تصاویر مربوط به تیرماه با فاصله زمانی ۵ سال استفاده شد. تصاویر انتخابی مربوط به روزهای ۱۳۹۳/۰۴/۳۱، ۱۳۹۸/۰۴/۲۹ و ۱۴۰۳/۰۴/۲۷ با تفکیک زمانی ۱۶ لندست ۸ است (تصاویر از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا یا USGS^۱ دانلود شده است) که از نظر تراکم ابر دارای شرایط یکسانی هستند (جدول ۱). برای انجام مراحل پردازش و تهیه نقشه ها از نرم افزارهای ENVI5.6 و ArcMap10.8 و برای اعتبارسنجی نیز از داده های ماهواره ای و اقیانوس و هواشناسی^۲ استفاده شد.

جدول (۱): مشخصات تصاویر ماهواره ای مورد استفاده در تحقیق
Table (1): Details of satellite images used in the research

ماهواره	ردیف و گذر	زاویه خورشید	زمان	تاریخ به میلادی	تاریخ به شمسی
لندست ۸	۳۶-۱۶۷	۱۱۷/۸۵	۰۷:۲۶:۳۴	۲۰۲۴/۰۷/۱۷	۱۴۰۳/۰۴/۲۷
		۱۱۸/۷۶	۰۷:۲۷:۰۱	۲۰۱۹/۰۷/۲۰	۱۳۹۸/۰۴/۲۹
		۱۱۹/۴۸	۰۷:۲۶:۵۵	۲۰۱۴/۰۷/۲۲	۱۳۹۳/۰۴/۳۱

برای به دست آوردن LST با روش پنجره مجزا از داده های دو باند حرارتی سنجنده TIRS به صورت مجزا و باندهای ۳ و ۴ و ۵ از سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ به صورت لایه های تلفیق شده استفاده و با تبدیل مقادیر عددی دیجیتال به درخشندگی طیفی اتمسفری یا TOA^۳ و پس از آن TB محاسبه شد. شاخص NDVI با استفاده از باندهای ۴ و ۵ تولید و شاخص FVC^۴ یا همان کسری از پوشش گیاهی منطقه با استفاده از شاخص NDVI به دست آمد. در مرحله بعد تصویر قابلیت انتشار سطح زمین یا LSE^۵ با استفاده از شاخص FVC محاسبه شد. این تصویر خصوصیات داخلی سطح زمین را اندازه گیری می کند که نشان دهنده توانایی تبدیل انرژی گرمایی به انرژی تابشی است و در نهایت با استفاده از آن گرمای سطح زمین محاسبه می گردد. روند الگوریتم در چند مرحله طراحی شده است. در مرحله نخست، با استفاده از باندهای TIRS یعنی باند ۱۰ و ۱۱ تصویر درخشندگی یا TOA^۶ را با بکارگیری رابطه ۱ به دست آمد. این کار با تبدیل اعداد دیجیتال^۷ به تابش حرارتی^۸ و سپس تبدیل تابش به دمای درخشندگی یا TB^۹ امکان پذیر است (ونگ و همکاران، ۲۰۱۵).

$$T_i \times Q_{cal} + A_i - O_i$$

در این رابطه، M_i ضریب کاهشی باند i ، A_i ضریب افزایشی باند i و O_i ضریب جبرانی باند i است که مقدار آن در جدول ۲ ارائه شده است (USGS). این رابطه تصویر ابتدایی را به تصویر تابش طیفی تبدیل می کند که در نرم افزار ENVI با استفاده از Band math محاسبه شد. در گام بعدی TB با استفاده از TOA به دست آمده از مرحله قبل با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

^۱ United States Geological Survey

^۲ www.ogimet.com

^۳ Top of Atmosphere

^۴ fractional vegetation cover

^۵ Land Surface Emissivity

^۶ Top of Atmosphere

^۷ Digital Numbers

^۸ Thermal Radiance

^۹ Temperature Brightness

جدول (۲): ضرایب محاسبه تصویر رادیانس

Table (2): Coefficients for calculating the radiance image

ضرایب	M_i	A_i	O_i
باند ۱۰	۰/۰۰۰۳۳۴۲	۰/۱	۰/۲۹
باند ۱۱	۰/۰۰۰۳۳۴۲	۰/۱	۰/۲۹

$$\frac{K_p}{\left(\frac{K_1}{A(L)} + 1\right)}$$

در رابطه ۲، ثابت های K_1 و K_p برای باندهای ۱۰ و ۱۱ در متادیتا موجود است و در جدول ۳ نیز ارائه شده است. سپس با استفاده از باندهای RED و NIR و با بهره گیری از تصاویر سنجده OLI، شاخص NDVI محاسبه شد (رابطه ۳). مقدار این شاخص که بر اساس میزان کلروفیل موجود در گیاه سنجیده می شود، ن از -۱ تا +۱ متغیر است. هر چه میزان کلروفیل پوشش گیاهی بیشتر باشد، نشان دهنده سالم بودن آن است و مقدار آن به +۱ نزدیک خواهد بود و در واقع اعداد مثبت نزدیک به صفر نشان دهنده خاک بدون پوشش گیاهی است. اعداد از -۱ تا ۰ نشان از پوشش سنگ و سازه های انسان ساخت است (تانسنت و جاستیک^۱، ۲۰۰۷).

جدول (۳): ضرایب محاسبه تصویر دمای درخشندگی

Table (3): Coefficients for calculating the brightness temperature image

مقدار	ثابت	TIRS
۷۷۴/۸۸۵۳	K_1	باند ۱۰
۱۳۲۱/۰۷۸۹	K_p	
۴۸۰/۸۸۸۳	K_1	باند ۱۱
۱۲۰۱/۱۴۴۲	K_p	

$$\frac{\rho_f}{\rho_f}$$

(۳)

در رابطه ۳، NIR باند مادون قرمز نزدیک یا باند ۵ لندست ۸ و R باند Red یا همان باند ۴ لندست ۸ است. با محاسبه NDVI، شاخص FVC قابل محاسبه است (رابطه ۴). این شاخص کاربردهای متنوعی در ارزیابی های محیط زیست و اقلیم دارد و شامل رابطه غیر خطی از دو عنصر طیفی در یک تصویر ماهواره ای شامل خاک لخت و پوشش گیاهی سبز است. با استفاده از معادله ۴ شاخص FVC محاسبه شد.

$$\frac{NDVI_s - NDVI_v}{NDVI_s}$$

¹ Townshend and Justice

در رابطه ۴، $NDVI_s$ شاخص $NDVI$ در مناطق بدون پوشش گیاهی و $NDVI_v$ شاخص $NDVI$ در مناطق با پوشش گیاهی خوب است. در حالت خاص اگر $NDVI_s$ مساوی $NDVI_v$ باشد، مقدار FVC برابر صفر و اگر $NDVI_s$ مساوی $NDVI_v$ باشد برابر ۱ خواهد بود. در مناطق دیگر مقادیر $NDVI_s$ و $NDVI_v$ را می‌توان از طریق هیستوگرام $NDVI$ استخراج کرد که در آن مقدار FVC عددی بین صفر و یک خواهد بود. بعد از محاسبه FVC ، LSE محاسبه شد. در این مرحله LSE یا قابلیت انتشار سطح زمین با استفاده از تصویر FVC و ثابت‌های گسیلمندی خاک و پوشش گیاهی (جدول ۴) با استفاده از رابطه ۵ به دست آمد و تصاویر آن متناسب با باندهای ۱۰ و ۱۱ با نرم افزار $ENVI$ تهیه شد.

$$1 - FVC) + \varepsilon_v \times FVC$$

در رابطه ۵، ε_s گسیلمندی خاک و ε_v گسیلمندی پوشش گیاهی است.

جدول (۴): مقدار گسیلمندی خاک و پوشش گیاهی در باند ۱۰ و ۱۱ لندست ۸

Table (4): Soil and vegetation emissivity in Landsat 8 bands 10 and 11

گسیلمندی	باند ۱۰	باند ۱۱
ε_s	۰/۹۷۱	۰/۹۷۷
ε_v	۰/۹۸۷	۰/۹۸۹

در مرحله بعد با استفاده از تصاویر LSE باند ۱۰ و ۱۱، میانگین و تفاضل تصاویر با بهره‌گیری از رابطه ۶، محاسبه گردید و در نهایت با استفاده از رابطه ۷، دمای سطح زمین یا LST محاسبه شد.

$$\frac{+ LSE_{11}}{2}, \quad \Delta m = LSE_{10} - LSE_{11}$$

$$LST = C_0 + TB_{11} \cdot (1 + C_1 + C_2) - TB_{10} \cdot (C_1 + C_2) + (C_3 + C_4 W)(1 - m) - (C_5 + C_6 W) \Delta m \quad (7)$$

در رابطه ۷، TB_{11} و TB_{10} دمای درخشندگی باندهای ۱۰ و ۱۱ هستند. C_0 تا C_6 ضرایب ثابت الگوریتم پنجره مجزا است که مقادیر آن در جدول ۵ ارائه شده است. m و Δm نیز به ترتیب میانگین و اختلاف LSE باندهای ۱۰ و ۱۱ هستند و W مقدار بخار آب جوی (مقدار بخار آب بر حسب گرم بر سانتی متر مربع) با استفاده از رابطه ۸ محاسبه شد.

$$9919 \times RH \times e^{\left(\frac{17/27 \times (T - 273/15)}{337/3 + (T - 273/15)} \right)} + 0/1697$$

در رابطه ۸، RH رطوبت نسبی مستخرج از داده‌های سایت هواشناسی و T دمای هوای نزدیک به سطح زمین است. به این ترتیب با پارامترهای موجود و تصاویر سنجنده های OLI و TIRS مربوط به ماهواره لندست ۸ دمای سطح زمین با الگوریتم پنجره مجزا محاسبه گردید.

جدول (۵): ضرایب ثابت الگوریتم پنجره مجزا برای محاسبه دمای سطح زمین

Table (5): Fixed coefficients of the Split window algorithm for calculating the Land Surface Temperature

ثابت	C _۱	C _۲	C _۳	C _۴	C _۵	C _۶
مقدار	۱/۳۷۸	۰/۱۸۳	۵۴/۳	-۲/۳۳۸	-۱۲۹/۲	۱۶/۴

برای محاسبه شاخص رطوبت از دو باند مادون قرمز نزدیک یا NIR^۱ و مادون قرمز امواج کوتاه SWIR^۲ استفاده شد. باند مادون قرمز امواج کوتاه در لندست ۸ دارای دو باند SWIR1 و SWIR2 می باشد که دامنه طول موج‌های آنها به ترتیب ۱/۶۵-۱/۵۷ و ۲/۲۹-۲/۱۱ است. برای برآورد شاخص رطوبت سطح خاک از NIR و SWIR1 با استفاده از رابطه ۹ محاسبه شد.

$$\frac{IR_1}{IR_2}$$

مقدار NDMI معمولاً بین ۱- تا ۱+ است. مقادیر مثبت بالاتر از ۰/۶ نشان‌دهنده پوشش گیاهی سالم و متراکم است. مقادیر بین ۰/۲ و ۰/۶ به پوشش گیاهی کم‌تراکم یا متوسط مرتبط است. مقادیر کمتر از ۰/۲ یا نزدیک به صفر نشان‌دهنده خاک برهنه یا پوشش گیاهی کم است.

۳- بحث و نتایج

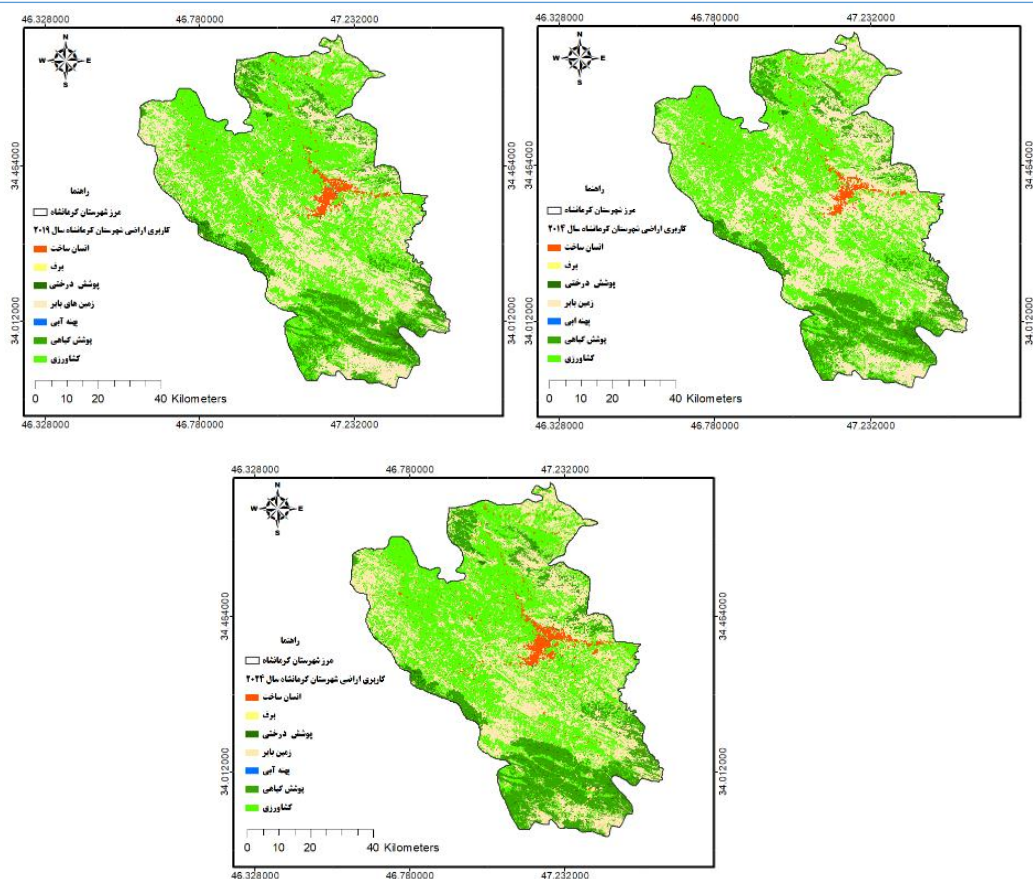
۳-۱- طبقه بندی و نقشه کاربری اراضی

کاربری اراضی شهرستان کرمانشاه در بازه ده ساله برای سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ با روش SVM^۳ در محیط گوگل ارث انجین طبقه بندی در هفت کلاس پوشش درختی، زمین کشاورزی، زمین بایر، پوشش گیاهی، پوشش برف، پهنه آبی و مناطق انسان ساخت انجام شد. شکل ۲ طبقه بندی در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ نشان می دهد. میزان صحت و دقت این کلاس بندی در جدول ۶ درج شده است.

¹ Near Infrared

² Short Wavelength Infrared

³ Support vector machine



شکل (۲): نقشه کاربری اراضی شهرستان کرمانشاه در سال های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴

Figure (2): Land use map of Kermanshah county in 2014, 2019 and 2024

جدول (۶): دقت و صحت طبقه بندی کاربری اراضی شهرستان کرمانشاه

Table (6): Accuracy and precision of land use classification in Kermanshah county

کاربری اراضی	سال ۲۰۱۴		سال ۲۰۱۹		سال ۲۰۲۴	
	صحت	ضریب	صحت	ضریب	صحت	ضریب
	کاربر	تولیدکننده	کاربر	تولیدکننده	کاربر	تولیدکننده
پوشش درختی	۰/۸۹۸	۰/۹۴۷	۰/۹۸۱	۰/۹۴۶	۰/۹۵۴	۰/۹۶۵
زمین کشاورزی	۰/۹۹۱	۰/۹۲۶	۰/۹۶۱	۰/۹۹۷	۰/۹۶۷	۰/۹۸۵
پوشش گیاهی	۰/۹۹۷	۰/۹۶۱	۰/۹۳۵	۰/۹۶۸	۰/۹۸۲	۰/۹۸۵
زمین بایر	۰/۹۸۱	۰/۹۸۶	۰/۹۵۱	۱	۰/۹۵۲	۱
پهنه آبی	۰/۹۹۷	۰/۹۹۰	۰/۹۹۲	۰/۹۹۳	۰/۹۹۵	۰/۹۸۲
پوشش برف	۰/۹۷۲	۰/۹۹۲	۰/۹۶۳	۰/۹۵۴	۱	۰/۹۶۵
انسان ساخت	۰/۹۸۶	۰/۹۹۴	۰/۹۵۲	۰/۹۹۳	۰/۹۷۶	۰/۹۷۴

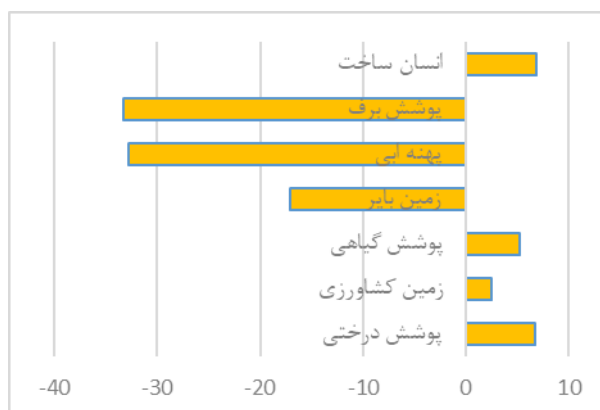
مساحت و درصد هر یک از کلاس‌های طبقه بندی و تغییرات آنها در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ با استفاده از نرم‌افزار ArcMap در جدول ۷ محاسبه شده است.

جدول (۷): مساحت کلاس‌های کاربری اراضی شهرستان کرمانشاه
Table (7): Area of land use classes in Kermanshah county

کاربری اراضی	سال ۲۰۱۴	سال ۲۰۱۹	سال ۲۰۲۴
	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (کیلومتر مربع)
	مساحت (درصد)	مساحت (درصد)	مساحت (درصد)
پوشش درختی	۷۶/۲	۷۷/۱	۸۱/۳
زمین کشاورزی	۲۷۷۱/۲	۳۰۴۶/۹	۲۹۱۵/۴
پوشش گیاهی	۱۲۱۷/۳	۱۱۹۳/۷	۱۲۸۱/۲
زمین بایر	۱۳۷۰/۴	۱۰۹۳/۸	۱۱۳۶/۱
پهنه آبی	۲۱/۹	۲۵/۶	۱۴/۷
پوشش برف	۰/۳	۰/۶	۰/۲
انسان ساخت	۴۱۲/۷	۴۳۲/۳	۴۴۱/۱

داده‌های جدول نشان می‌دهد که پوشش درختی در سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ از ۷۶/۲ به ۷۷/۱ کیلومترمربع به میزان ۰/۰۲ درصد مساحت شهرستان افزایش و در سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴ از ۷۷/۱ به ۸۱/۳ کیلومترمربع به میزان ۴/۲ درصد مساحت شهرستان افزایش پیدا کرده و در مجموع از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ به میزان ۵/۱ کیلومترمربع معادل ۶/۷ درصد افزایش داشته است. این افزایش پوشش درختی ناشی از ایجاد باغچه و درخت‌های مثمر با مدیریت آبیاری قطره‌ای می‌باشد. زمین کشاورزی از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ از ۲۷۷۱/۲ کیلومترمربع به ۳۰۴۶/۹ کیلومترمربع افزایش ۴/۷ درصدی داشته است و این میزان در سال ۲۰۲۴ در کل ۲/۴۵ درصد در این ده ساله رشد داشته است. دلیل این افزایش، تبدیل منابع طبیعی به زمین کشاورزی و کشت محصول است. پوشش گیاهی در این بازه ده ساله ۶۳/۹ کیلومترمربع معادل ۵/۲۵ درصد افزایش داشته است. مساحت زمین‌های بایر شهرستان از ۱۳۷۰/۴ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۴ به ۱۱۳۶/۱ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۴ معادل ۱۷/۱ درصد کاهش داشته است. کاهش زمین‌های بایر شهرستان به دلیل افزایش زمین‌های کشاورزی و نیز افزایش وسعت شهر و بافت‌های انسان ساخت بوده است. مساحت سطحی پهنه آبی شهرستان نیز از ۲۱/۹ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۴ به ۱۴/۷ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۴ با کاهش ۳۲/۸ درصدی همراه بوده است. مساحت پوشش برف نیز

در این ده سال از $0/3$ کیلومتر مربع به $0/2$ کیلومتر مربع معادل $33/3$ درصد کاهش داشته است. کاربری مسکونی شهری و روستایی و بافت انسان ساخت از $412/7$ کیلومتر مربع در سال 2014 به $441/1$ کیلومتر مربع در سال 2024 افزایش داشته است که معادل $6/9$ درصد رشد می‌باشد. این افزایش با توجه به رشد بافت شهری و توسعه شهرک صنعتی معقول به نظر می‌رسد (شکل ۳).



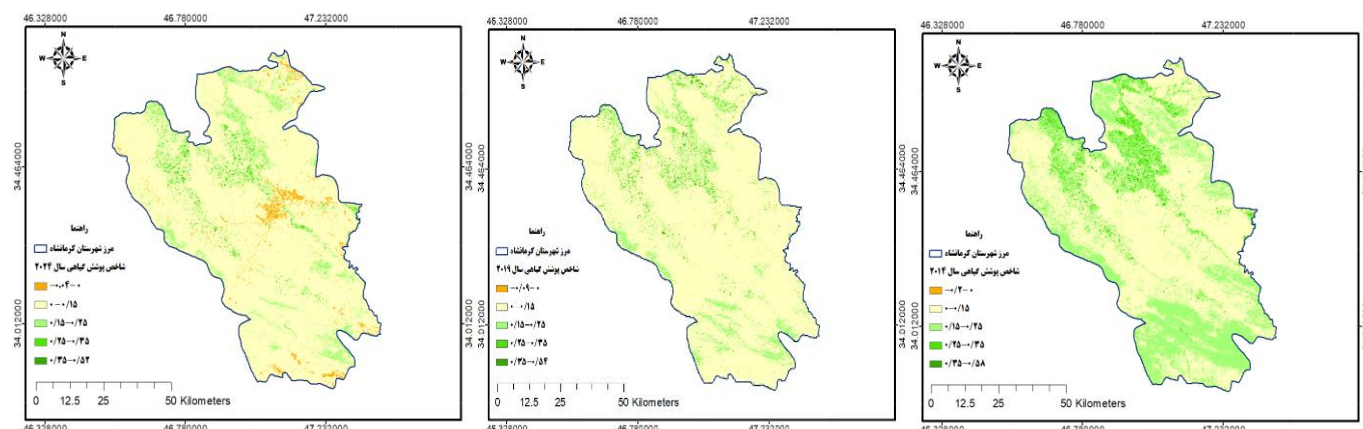
شکل (۳): نمودار تغییرات مساحت کلاس های هفتگانه از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴

Figure (3): Chart of changes in the area of the seven classes from 2014 to 2024

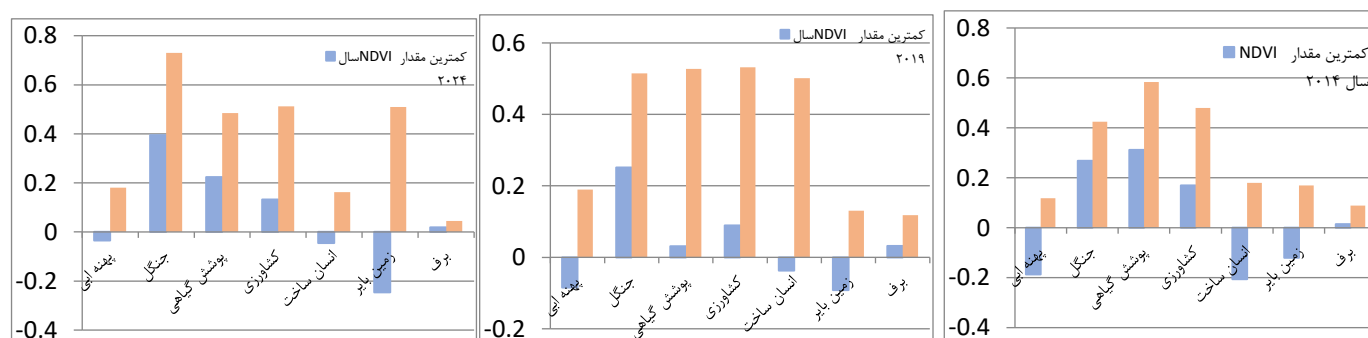
۳-۲- شاخص پوشش گیاهی

نقشه‌های پوشش گیاهی یا همان شاخص NDVI برای شهرستان کرمانشاه در سال های 2014 ، 2019 و 2024 به صورت شکل ۴ تهیه گردید. بر اساس منابع موجود و مقایسه عوارض مختلف، اعداد شاخص NDVI در بازه $0/5$ تا $-0/1$ به نواحی مرطوب و دارای آب اشاره دارد. اعداد در بازه $-0/1$ تا $0/1$ به پوشش سنگی و ماسه‌ای و سازه‌های انسان ساخت و مقادیر بین $0/2$ تا $0/3$ مناطق با پوشش گیاهی کم و مقادیر از $0/3$ تا $0/5$ دارای پوشش گیاهی متوسط و مقادیر از $0/5$ تا 1 نشان دهنده پوشش گیاهی متراکم در منطقه مورد نظر است. مطابق با نقشه‌های به دست آمده میزان شاخص NDVI در سال 2014 به ترتیب $-0/2$ تا $0/58$ و در سال 2019 میزان شاخص در بازه $-0/09$ تا $0/53$ و این مقدار در سال 2024 برابر $-0/24$ تا $0/72$ می‌باشد. با مقایسه مقادیر شاخص می‌توان این نتیجه را گرفت که افزایش مقادیر NDVI در سال 2024 نسبت به سال‌های 2014 و 2019 ناشی از افزایش پوشش درختی و باغچه‌های ایجاد شده در سال‌های اخیر است.

شکل ۵ نمودار کمترین و بیشتر مقدار شاخص NDVI در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ است. داده‌ها نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۴ کمترین مقدار شاخص NDVI برابر $0/2$ و مربوط به سازه‌های انسان ساخت و بیشترین مقدار شاخص برابر $0/58$ و مربوط به پوشش گیاهی است. در سال ۲۰۱۹ کمترین مقدار شاخص NDVI برابر $0/09$ و مربوط به زمین بایر و بیشترین مقدار شاخص برابر $0/53$ و در کلاس زمین کشاورزی می‌باشد. کمترین مقدار این شاخص برای سال ۲۰۲۴ برابر $0/24$ و در کلاس زمین بایر و بیشترین مقدار $0/72$ و در کلاس پهنه جنگلی می‌باشد.



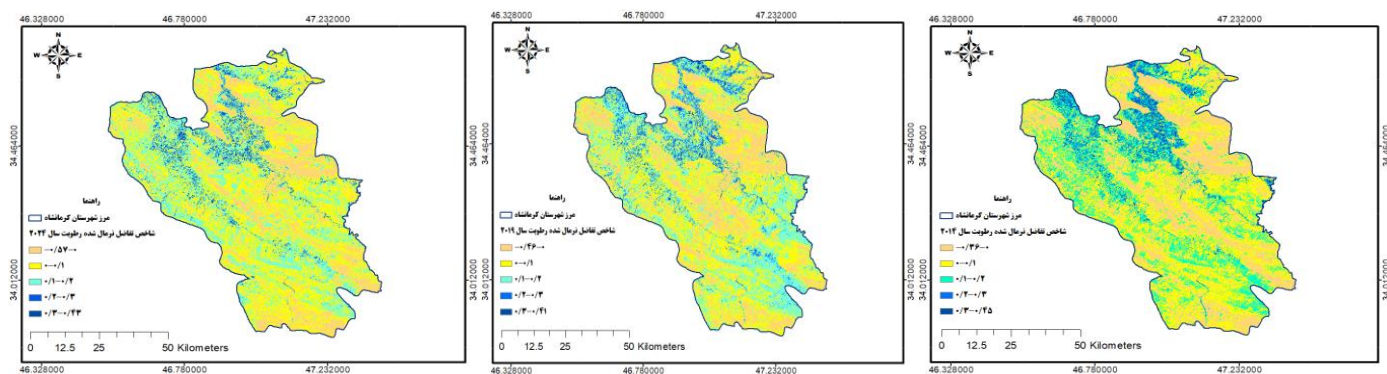
شکل (۴): نقشه شاخص پوشش گیاهی شهرستان کرمانشاه در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴
Figure (4): Kermanshah county vegetation index map in 2014, 2019 and 2024



شکل (۵): نمودار تغییرات شاخص پوشش گیاهی کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴
Figure (5): Chart of changes in the land use vegetation cover index in 2014, 2019, and 2024

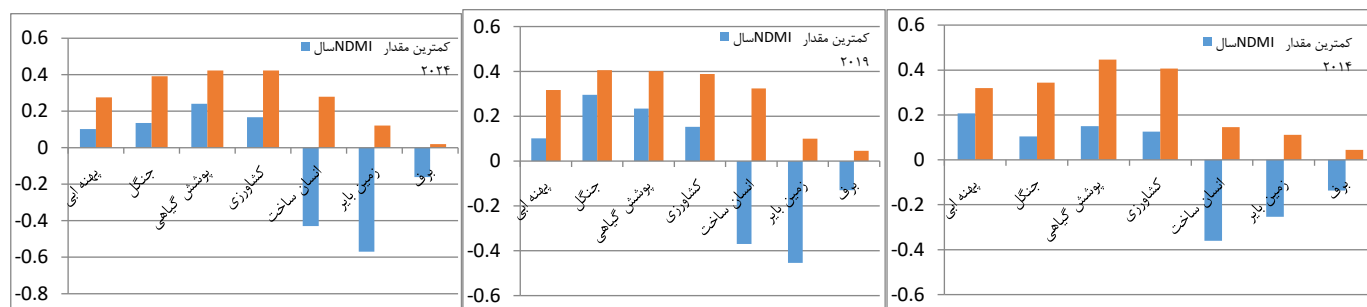
۳-۳- شاخص تفاضل نرمال شده رطوبت

نتایج محاسبه شاخص رطوبت شهرستان کرمانشاه که با بهره‌گیری از رابطه ۹ در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ به دست آمد، در شکل ۶ ارائه شده است. مقادیر شاخص رطوبت در سال ۲۰۱۴ در بازه $0/36$ تا $0/44$ به دست آمد، در سال ۲۰۱۹ مقادیر این شاخص $0/45$ تا $0/4$ محاسبه گردید و در سال ۲۰۲۴ نیز مقادیر بین $0/56$ و $0/42$ محاسبه شد.



شکل (۶): نقشه شاخص رطوبت شهرستان کرمانشاه در سال های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴
Figure (6): Humidity index map of Kermanshah county in 2014, 2019 and 2024

شکل ۷ نمودار مربوط به تغییرات مقادیر شاخص NDMI را در سال های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ است که نشان می دهد که در سال ۲۰۱۴ کمترین مقدار شاخص NDMI برابر ۰/۳۶- و مربوط به سازه های انسان ساخت و بیشترین مقدار شاخص برابر ۰/۴۴ و مربوط به پوشش گیاهی است. در سال ۲۰۱۹ کمترین مقدار شاخص NDMI برابر ۰/۴۵- و مربوط به زمین بایر و بیشترین مقدار شاخص برابر ۰/۴۰ و در پهنه جنگلی ملاحظه شده است. کمترین مقدار این شاخص برای سال ۲۰۲۴ برابر ۰/۵۶- و در کلاس زمین بایر و بیشترین مقدار ۰/۴۲ و در پوشش گیاهی می باشد.

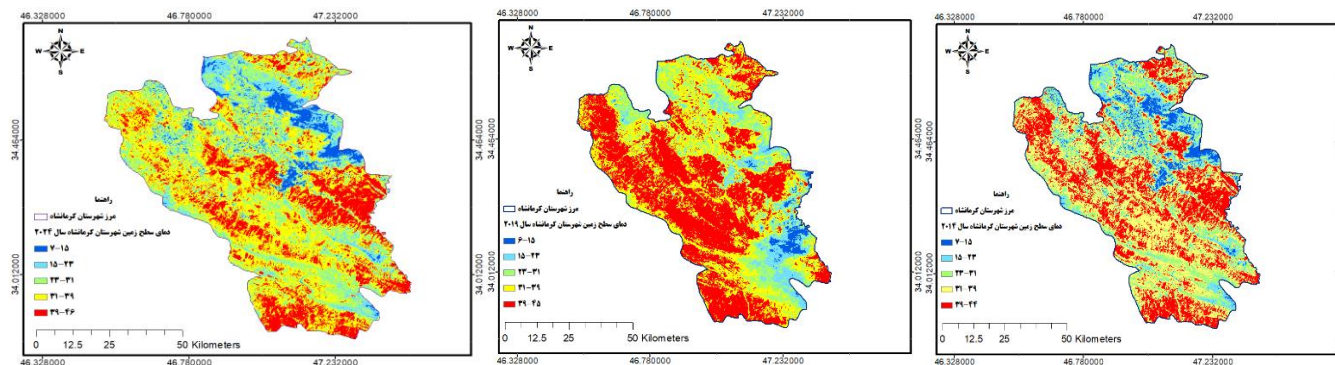


شکل (۷): نمودار تغییرات شاخص رطوبت کاربری اراضی در سال های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴
Figure (7): Chart of changes in land use moisture index in 2014, 2019 and 2024

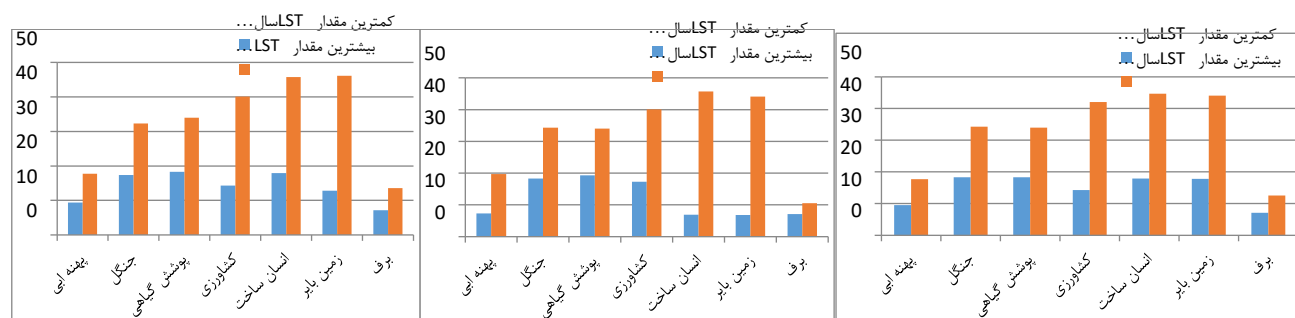
۳-۴- دمای سطح زمین

دمای سطح زمین با روش الگوریتم پنجره مجزا محاسبه و نقشه های سال های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ تهیه گردید. مطابق با شکل ۸ در سال ۲۰۱۴ کمترین دما ۷ درجه سانتیگراد و بیشترین ۴۴ درجه سانتیگراد بوده است. در سال ۲۰۱۹ نیز کمترین دما ۶ و بیشترین ۴۵ درجه و در سال ۲۰۲۴ کمترین دما ۷ درجه و بیشترین ۴۶ درجه سانتیگراد ثبت شده است. کمترین دما در هر سه سال اندازه گیری شده مربوط به ارتفاعات و زمین های کشاورزی آبی است و بیشترین دما نیز مربوط به پهنه سنگی و زمین های بایر می باشد.

شکل ۹ نمودار دمای سطح زمین را در تیرماه سال های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ نشان می دهد. در سال ۲۰۱۴ کمترین دما برابر ۷/۱۲ و مربوط به پهنه برفی و بیشترین دمای سطح زمین برابر ۴۴/۷ و مربوط به سازه های انسان ساخت است. در سال ۲۰۱۹ نیز کمترین دمای سطح زمین برابر ۷/۲۵ و مربوط به پهنه برفی و بیشترین مقدار دما برابر ۴۵/۷ و سازه های انسان ساخت ملاحظه شده است. کمترین مقدار دمای سطح زمین برای سال ۲۰۲۴ برابر ۷/۱۱ و در کلاس پهنه برفی و بیشترین دما ۴۶/۱ و در کلاس زمین بایر می باشد.



شکل (۸): نقشه دمای سطح زمین شهرستان کرمانشاه در سال های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴
Figure (8): Land surface temperature map of Kermanshah county in 2014, 2019 and 2024



شکل (۹): نمودار تغییرات دمای سطح کاربری اراضی در سال های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴
Figure (9): Chart of changes in land use surface temperature in 2014, 2019 and 2024

جدول ۸ مقادیر کمترین، بیشترین و میانگین دمای سطح زمین، شاخص پوشش گیاهی و شاخص رطوبت ناحیه مطالعه را در سال های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ نشان می دهد. داده ها حاکی از این است که میانگین دما در سال ۲۰۲۴ نسبت به سال های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۹ از ۲۵/۵ به ۲۶/۵ درجه به میزان یک درجه افزایش داشته است. میانگین رطوبت نیز از سال ۲۰۱۴ به میزان ۰/۰۴ تا ۲۰۲۴ به میزان ۰/۰۷- سیر نزولی دارد که نشان دهنده کاهش رطوبت در سطح خاک می باشد. میانگین شاخص پوشش گیاهی نیز با وجود کاهش شاخص رطوبت خاک از ۰/۱۹ در سال ۲۰۱۴ به میزان ۰/۲۴ در سال ۲۰۲۴ سیر صعودی را نشان می دهد که ناشی از برداشت غیرمتعارف آب زیر زمینی جهت آبیاری باغات و کشت محصولات مختلف است.

جدول (۸): میانگین دما، پوشش گیاهی و رطوبت شهرستان کرمانشاه در سال های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴

Table (8): Average temperature, vegetation and moisture of Kermanshah county in 2014, 2019 and 2024

سال	شاخص	کمترین	بیشترین	میانگین
۲۰۱۴	NDVI	-۰/۲	۰/۵۸	۰/۱۹
	NDMI	-۰/۳۶	۰/۴۴	۰/۰۴
	LST	۷	۴۴	۲۵/۵
۲۰۱۹	NDVI	-۰/۰۹	۰/۵۳	۰/۲۲
	NDMI	-۰/۴۵	۰/۴۰	-۰/۰۳۵
	LST	۶	۴۵	۲۵/۵
۲۰۲۴	NDVI	-۰/۲۴	۰/۷۲	۰/۲۴
	NDMI	-۰/۵۶	۰/۴۲	-۰/۰۷
	LST	۷	۴۶	۲۶/۵

۳-۵- رابطه بین دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی

برای بررسی و مقایسه بین دو نقشه رستری دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی ۱۰۰۰ نقطه تصادفی در شهرستان کرمانشاه تعریف و اطلاعات دمای سطح و شاخص پوشش گیاهی به آنها نسبت داده شد. نتایج و تحلیل رگرسیون بین داده های LST و NDVI طی سال های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ محاسبه شده است. داده ها نشان از همبستگی منفی بین دو شاخص LST و NDVI طبق تابع رگرسیون و عدد R^2 بدست آمده، در سطح احتمال ($p < 0.01$) معنی دار است. تابع بدست آمده شاخص LST و NDVI از داده های سال ۲۰۱۴ به صورت رابطه ۱۰ است با مقدار R^2 که نشانگر همبستگی منفی با شیب خط منفی بین آنهاست. تابع همبستگی برای داده های سال ۲۰۱۹ نیز به صورت رابطه ۱۱ با شیب منفی به دست آمد با مقدار عددی R^2 . تابع همبستگی برای داده های تصاویر سال ۲۰۲۴ نیز دارای همبستگی منفی به صورت رابطه ۱۲ و R^2 به دست آمد.

$$R^2 = 0.853 \quad 18x + 0.413$$

$$R^2 = 0.768 \quad 76x + 0.72$$

$$R^2 = 0.634 \quad 16x - 0.671$$

با این اطلاعات می توان نتیجه گرفت که بین دمای سطح زمین و پوشش گیاهی همبستگی معکوس و منفی وجود دارد. به این معنا که در مناطقی که پوشش گیاهی بیشتری وجود دارد دمای سطح زمین معمولاً پایین تر است. این امر به دلیل تبخیر و تعرق بالاتر در مناطق با پوشش گیاهی است که باعث کاهش دما می شود (Yue et al., 2007). تبخیر بالا سبب می شود که مقداری از انرژی حرارتی خاک به صورت گرمای نهان تبخیر از خاک به جو انتقال یابد و در نتیجه دمای سطح خاک مرطوب پایین باشد (علوی پناه، ۲۰۱۸). در مناطق با پوشش گیاهی کم، دمای سطح زمین معمولاً بالاتر است. این امر به دلیل جذب بیشتر تابش خورشید توسط سطوح بدون پوشش گیاهی مانند آسفالت یا سنگ و کمبود رطوبت در این مناطق است.

۳-۶- رابطه بین دمای سطح زمین و شاخص رطوبت سطح زمین

داده های به دست آمده از ۱۰۰۰ نقطه تصادفی از نقشه های رستری، دمای سطح زمین و شاخص نرمال شده رطوبت در منطقه شهرستان کرمانشاه تجزیه و تحلیل شد و همبستگی بین شاخص های LST و NDMI در سطح احتمال ($p < 0.01$) معنی دار و دارای همبستگی معکوس با شیب خط منفی است. این نتایج که نشان دهنده این است که مناطقی که دارای رطوبت سطحی اندکی هستند دارای دمای سطح زمین بیشتری نسبت به مناطقی که دارای رطوبت سطحی بالاتری است، با پژوهش هایی مانند (دس و انگدی^۱، ۲۰۲۰) مشابهت بسیاری دارد. مقادیر R^2 و معادله خط رگرسیون در سال ۲۰۱۴ به صورت رابطه ۱۳ به دست آمد.

$$R^2 = 0.642 \quad 71x + 0.72$$

مقادیر R^2 و معادله خط رگرسیون در سال ۲۰۱۹ نیز به صورت رابطه ۱۴ به دست آمد.

$$R^2 = 0.506 \quad 16x + 0.83$$

برای داده های سال ۲۰۲۴ نیز R^2 و معادله خط رگرسیون به صورت رابطه ۱۵ محاسبه گردید.

۴- نتیجه گیری

نتایج تحقیق نشان دهنده آن است که در منطقه مورد مطالعه، دمای سطح زمین تحت تاثیر میزان پوشش گیاهی و رطوبت سطحی خاک با کاربری اراضی مرتبط است. هر چند دمای سطح زمین با شاخص‌های زیادی از جمله، دمای هوا، سرعت باد، میزان تابش خورشید، توان تشعشعی و آلودگی و پستی و بلندی مرتبط است (ون^۱ و همکاران، ۱۹۹۹)، با این حال در بسیاری از مطالعات رابطه معکوس بین دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی وجود دارد و این رابطه معکوس در این تحقیق در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ نیز به اثبات رسید. ارتباط شاخص LST و NDVI دارای همبستگی منفی بیانگر نقش تبخیر سطحی پوشش گیاهی در کاهش دماست (علوی پناه، ۲۰۱۸) که میزان آن به نوع کاربری اراضی، پوشش زمین، مقدار پوشش گیاهی، عرض جغرافیایی و زمان و فصل وابسته است. به طور کلی، در مناطق با رطوبت بالاتر دمای سطح زمین معمولاً پایین‌تر است. دلیل این امر این است که رطوبت بالا، باعث تبخیر بیشتر و کاهش دما می‌شود. داده‌های تصاویر در تحقیق پیش رو نشان داد که رابطه دمای سطح زمین و شاخص رطوبت سطحی نیز در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ دارای همبستگی معکوس است.

References

- Alavipanah, S. K., 2018, Thermal Remote Sensing and its Application in the Earth Sciences, University of Tehran Press, Tehran.
- Chi, Y., Sun, J., Sun, Y., Liu, S., Fu, Z., 2020, Multi-Temporal Characterization of Land Surface Temperature and its Relationships with Normalized Difference Vegetation Index and Soil Moisture Content in the Yellow River Delta, China, *Global Ecology and Conservation*, 23: 1-16.
- Cristóbal, J., Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Ninyerola, P. (2009). Improvements in land surface temperature retrieval from the Landsat series thermal band using water vapor and air temperature. *J Geophys Res Atmos* 114:1-16. <https://doi.org/10.1029/2008JD010616>.
- Das, S., Angadi, D., 2020, Land use-land cover (LULC) Transformation and its Relation with Land Surface Temperature Changes: A Case Study of Barrackpore Subdivision, West Bengal, India, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 19: 1-28.
- Diak, G.R. and Whipple, M.S (1993) Improvements to Models and Methods for Evaluating the Land-Surface Energy Balance and "Effective" Roughness Using Radiosonde Reports and Satellite-Measured "Skin" Temperature Data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 63, 189-218. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(93\)90060-U](https://doi.org/10.1016/0168-1923(93)90060-U).
- Feizizadeh, B. (2017). Modeling the Trends of the Land Use/Cover Change and Its Impacts on the Erosion System of the Allavian Dam Based on the Remote Sensing and GIS Techniques. *Hydrogeomorphology*, 4(11), 21-38.

- Feizizadeh, B. , Didehban, K. and Gholamnia, K. (2016). Extraction of Land Surface Temperature (LST) based on Landsat Satellite Images and Split Window Algorithm Study area: Mahabad Catchment. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(98), 171-181. doi: 10.22131/sepehr.2016.22145.
- Jiménez-Muñoz, J. C., Mattar, C., Barichivich, J., Santamaría-Artigas, A., Takahashi, K., Malhi, Y., ... & Schrier, G. V. D. (2016). Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. *Scientific reports*, 6(1), 33130.
- Khorchani, M., Vicente-Serrano, S.M., Azorin-Molina, C., Garcia, M., Martin-Hernandez, N., Pena-Gallardo, M., El Kenawy, A., Dominguez-Castro, F., 2018, Trends in LST over the Peninsular Spain as Derived from the AVHRR Imagery Data, *Global and Planetary Change*, 166: 75-93.
- Li, Z, L., Tang, B, H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wa, Z., Trigo, I, F., Sobrino, J, A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: current status and perspectives. *Remote Sens Environ* 131:14–37.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>.
- Owen, T.W., Carlson, T.N., Gillies, R.R., 1998, An Assessment of Satellite Remotely Sensed Land Cover Parameters in Quantitatively Describing the Climatic Effect of Urbanization, *International Journal of Remote Sensing*, 19:1663-1681.
- Qin, Z., Berliner, P., Karnieli, A. (2001). *Remote Sensing* 22 3719-3746.
- Rongali, G.; Ashok Kumar, K.; Ashvani Kumar, G. & Rakesh, K. 2018. A Mono-Window Algorithm for Land Surface Temperature Estimation from Landsat 8 Thermal Infrared Sensor Data: A Case Study of the Beas River Basin. India. *Pertanika J. Sci. & Technol.* 26 (2): 829 – 840.
- Sommers, L.E., Gilmour, C.M., Wildung, R.E., Beck, S.M, 1981, The Effect of Water Potential on Decomposition Processes in Soils, *Water Potential Relations in Soil Microbiology*, 9:97-117.
- Townshend, J.R.G., Justice, C.O., 2007, Analysis of the Dynamics of African Vegetation Using the Normalized Difference Vegetation Index. *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1435–1445.
- Wan, Z., Zhang, Y., Ma, X., King, M., Myers, J., Li, X, 1999, Vicarious Calibration of the Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer Airborne Simulator thermal-infrared channels, *Applied Optics*, 38: 6294-6306.