J. RS. GEOINF. RES. 4(2): 305-320, Summer & Autumn 2026

Journal of Remote Sensing and Geoinformation Research
(JRSGR)
Homepage: jrsgr.sru.ac.ir

ORIGINAL RESEARCH PAPER

# Ecological monitoring and analysis of temporal changes in vegetation cover using NDVI index and remote sensing data (Case study: Golestan National Park)

***A. Ghodsifar, A. Milan*, Z. Azizi***

*Department of Engineering Surveying, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*

Received: 03 April 2026
Reviewed: 20 May 2026
Revised: 12 September 2026
Accepted: 28 October 2026

**KEYWORDS:**
Temporal Variations
Vegetation Cover
Environmental Degradation
Biodiversity
Ecological Sustainability

* Corresponding author
a_milan@sbu.ac.ir
(+9821) 73932456

## ABSTRACT

**Background and Objectives:** Monitoring the spatial and temporal changes in vegetation cover is an important tool for assessing the condition of natural ecosystems and planning the management of protected areas. Remote sensing data provide the capability for continuous vegetation monitoring and enable the assessment of changes across different spatial and temporal scales. Golestan National Park, owing to its high biodiversity and considerable extent of natural habitats, is one of the important areas in Iran for monitoring vegetation changes. This study aimed to investigate the spatial and temporal changes in vegetation cover in Golestan National Park during 2015–2025 and to assess their statistical relationships with precipitation, air temperature, and land surface temperature.

**Methods:** In this study, Landsat 8 and Landsat 9 images with a spatial resolution of 30 m were processed in the Google Earth Engine environment, and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated for all images. After generating annual composites, the spatial mean of NDVI was extracted for each year from 2015 to 2025. NDVI maps for 2015, 2019, 2023, and 2025, as well as a difference map between 2015 and 2025, were also generated. In addition, annual cumulative precipitation was derived from CHIRPS data, annual mean air temperature from ERA5-Land, and annual mean land surface temperature (LST) from the MODIS MOD11A2 product. Descriptive statistics, the Mann–Kendall test, Sen's slope estimator, linear regression, and Pearson and Spearman correlation coefficients were applied to analyze the 11-year time series.

**Findings:** The mean NDVI over the study period was 0.227, with a coefficient of variation of 11.56%. Comparison of 2015 and 2025 indicated an approximately 5.56% decrease in NDVI; however, the Mann–Kendall test did not confirm a statistically significant decreasing trend. Air temperature showed an increasing trend, whereas precipitation and land surface temperature exhibited decreasing trends; however, none of these trends was statistically significant at the 0.05 significance level. Among the relationships examined, the relationship between NDVI and air temperature was negative and statistically significant (Pearson: ...). The relationship between NDVI and precipitation was positive (...), but did not reach statistical significance. The relationship between NDVI and LST was also negative and statistically non-significant (...). The NDVI difference map revealed the simultaneous occurrence of areas with relative increases and decreases in NDVI across different parts of the park.

**Conclusion:** The results showed that vegetation cover in Golestan National Park experienced interannual fluctuations and spatial variations during 2015–2025; however, based on the analyzed time series, there was insufficient statistical evidence to confirm a significant decreasing trend across the entire park. At the same time, the significant negative relationship between NDVI and air temperature indicated a statistical association between variations in these two variables at the annual scale, although this relationship alone does not imply causality. The NDVI maps and difference map can be used as preliminary monitoring tools for identifying areas experiencing changes and for prioritizing field investigations. Future studies are recommended to extend the length of the statistical record, use monthly or seasonal data, investigate the time-lagged relationship between precipitation and NDVI, and incorporate field observations and complementary spatial layers to provide a more accurate assessment of the factors influencing vegetation changes.

| NUMBER OF TABLES | NUMBER OF FIGURES | NUMBER OF REFERENCES |
|---|---|---|
| 6 | 7 | 39 |

مقاله پژوهشی

# پایش اکولوژیکی و تحلیل تغییرات زمانی پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI و داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: پارک ملی گلستان)

**امیر قدسی فر، اصغر میلان*، زهرا عزیزی**

*گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران*

## چکیده

**پیشینه و اهداف:** پایش تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی یکی از ابزارهای مهم در ارزیابی وضعیت اکوسیستم‌های طبیعی و برنامه‌ریزی برای مدیریت مناطق حفاظت‌شده است. داده‌های سنجش از دور با فراهم‌کردن امکان پایش پیوسته پوشش گیاهی، قابلیت بررسی تغییرات در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف را فراهم می‌کنند. پارک ملی گلستان به‌دلیل تنوع زیستی و گستره قابل‌توجه زیستگاه‌های طبیعی، از مناطق مهم برای پایش تغییرات پوشش گیاهی در ایران محسوب می‌شود. هدف این پژوهش، بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی پارک ملی گلستان طی دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ و ارزیابی ارتباط آماری آن با بارش، دمای هوا و دمای سطح زمین بود.

**روش‌ها:** در این پژوهش، تصاویر Landsat 8 و Landsat 9 با تفکیک مکانی ۳۰ متر در محیط Google Earth Engine پردازش و شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) برای تمامی تصاویر محاسبه شد. پس از تهیه ترکیب سالانه، میانگین منطقه‌ای NDVI برای هر یک از سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ استخراج شد و نقشه‌های NDVI سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۹، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۵ و نقشه تفاضلی بین سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵ تهیه گردید. همچنین، بارش تجمعی سالانه از داده‌های CHIRPS، میانگین سالانه دمای هوا از ERA5-Land و میانگین سالانه دمای سطح زمین از محصول MODIS MOD11A2 استخراج شد. برای تحلیل داده‌های ۱۱ ساله، آمار توصیفی، آزمون Mann–Kendall، برآوردگر شیب Sen، رگرسیون خطی و ضرایب همبستگی Pearson و Spearman به‌کار گرفته شد.

**یافته‌ها:** میانگین NDVI در دوره مورد مطالعه ۰.۲۲۷ و ضریب تغییرات آن ۱۱.۵۶ درصد به دست آمد. مقایسه سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵ نشان داد که NDVI حدود ۵.۵۶ درصد کاهش داشته است، اما آزمون Mann–Kendall روند کاهشی معنی‌داری را تأیید نکرد. دمای هوا دارای روند افزایشی و بارش و دمای سطح زمین دارای روند کاهشی بودند، ولی این روندها نیز در سطح معنی‌داری ۰.۰۵ معنی‌دار نبودند. در میان روابط بررسی‌شده، رابطه NDVI و دمای هوا منفی و از نظر آماری معنی‌دار بود. (Pearson: $r = -0.688, p = 0.019$) رابطه NDVI با بارش مثبت بود ($r = 0.590, p = 0.056$)، اما به سطح معنی‌داری نرسید و رابطه NDVI با LST نیز منفی و غیرمعنی‌دار بود. ($r = -0.411, p = 0.210$) نقشه تفاضلی NDVI نیز نشان‌دهنده وجود هم‌زمان نواحی دارای افزایش و کاهش نسبی NDVI در بخش‌های مختلف پارک بود.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که پوشش گیاهی پارک ملی گلستان طی دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ دارای نوسانات بین‌سالی و تغییرات مکانی بوده است، اما بر اساس سری زمانی مورد بررسی، شواهد آماری کافی برای تأیید یک روند کاهشی معنی‌دار در کل پارک وجود نداشت. در عین حال، ارتباط منفی و معنی‌دار NDVI با دمای هوا نشان‌دهنده همراهی تغییرات این دو متغیر در مقیاس سالانه بود، هرچند این رابطه به‌تنهایی بیانگر رابطه علّی نیست. نقشه‌های NDVI و نقشه تفاضلی می‌توانند به‌عنوان ابزار پایش اولیه برای شناسایی نواحی دارای تغییر و اولویت‌بندی بررسی‌های میدانی مورد استفاده قرار گیرند. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده با افزایش طول دوره آماری، استفاده از داده‌های ماهانه یا فصلی، بررسی تأخیر زمانی بارش و NDVI و بهره‌گیری از داده‌های میدانی و لایه‌های مکمل، عوامل مؤثر بر تغییرات پوشش گیاهی با دقت بیشتری بررسی شوند.

تاریخ دریافت: ۱۴ فروردین ۱۴۰۵
تاریخ داوری: ۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵
تاریخ اصلاح: ۲۱ شهریور ۱۴۰۵
تاریخ پذیرش: ۰۶ آبان ۱۴۰۵

**واژگان کلیدی:**
تغییرات زمانی
پوشش گیاهی
تخریب محیط زیست
تنوع زیستی
پایداری اکولوژیکی

* نویسنده مسئول
a_milan@sbu.ac.ir
۰۲۱-۷۳۹۳۲۴۵۶

## مقدّمه

پوشش گیاهی یکی از مؤلفه‌های اصلی ساختار و عملکرد اکوسیستم‌هاست و تغییرات آن می‌تواند بازتابی از تغییرات اقلیمی، شرایط رطوبتی و فشارهای انسانی بر سرزمین باشد. این موضوع در مناطق حفاظت‌شده و به‌ویژه اکوسیستم‌های خشک اهمیت بیشتری دارد؛ زیرا شرایط حفاظتی می‌تواند بر نحوه پاسخ پوشش گیاهی به تنش‌های اقلیمی اثرگذار باشد [۱]. مطالعات انجام‌شده در ایران نیز نشان داده‌اند که داده‌ها و شاخص‌های سنجش از دور قابلیت مناسبی برای آشکارسازی تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی در مناطق خشک دارند [۲]. همچنین، تحلیل سری‌های زمانی NDVI در مقیاس منطقه‌ای امکان شناسایی تفاوت الگوهای فصلی و زمانی پوشش گیاهی در زیست‌بوم‌های مختلف را فراهم کرده است [۳]. در میان شاخص‌های سنجش از دور، شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) به دلیل ارتباط با میزان سبزینگی و فعالیت نسبی پوشش گیاهی، یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش وضعیت و روند پوشش گیاهی است استفاده از سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند روندهای افزایشی و کاهشی پوشش گیاهی و تغییرات وضعیت اکوسیستم را آشکار کند [۴].

در مطالعات داخلی نیز ارتباط روند پوشش گیاهی با شرایط اقلیمی در زیست‌اقلیم‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۵]. علاوه بر این، شاخص‌های سنجش از دور در ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی در شرایط خشکسالی و بررسی روابط میان شاخص‌های مختلف گیاهی نیز کاربرد گسترده‌ای دارند [۶]. در مقیاس جهانی، داده‌های سنجش از دور برای ارزیابی تغییرات عملکرد اکوسیستم و روندهای پوشش گیاهی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۷]. اهمیت سری‌های زمانی بلندمدت زمانی بیشتر آشکار می‌شود که هدف، شناسایی روند و نوسانات پوشش گیاهی در طول چندین سال باشد. استفاده از سری‌های زمانی NDVI و روش‌های تحلیل زمانی، از جمله تحلیل هارمونیک، امکان استخراج روندها و مؤلفه‌های دوره‌ای پوشش گیاهی را فراهم می‌کند [۸]. در مقیاس وسیع‌تر نیز بررسی پویایی پوشش گیاهی نشان داده است که الگوهای تغییرات زمانی و مکانی می‌توانند تحت تأثیر هم‌زمان عوامل اقلیمی و محیطی قرار گیرند [۹]. همچنین، تغییرات بهره‌وری پوشش گیاهی و ارتباط آن با متغیرهای هواشناسی بر ضرورت بررسی هم‌زمان روند پوشش گیاهی و شرایط اقلیمی تأکید دارد [۱۰].

مطالعات مربوط به حوضه‌های آبریز نیز رابطه میان تغییرات NDVI و تغییرپذیری اقلیم را در طول زمان نشان داده‌اند [۱۱]. با وجود کاربرد گسترده NDVI، انتخاب شاخص و داده مناسب متناسب با نوع پوشش گیاهی و شرایط محیطی اهمیت دارد و عملکرد شاخص‌های گیاهی در محیط‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد [۱۲]. در ایران، استفاده از سنجش از دور برای تحلیل روند پوشش گیاهی و ارزیابی سلامت اکوسیستم نیز مورد توجه قرار گرفته است [۱۳]. ترکیب داده‌های سنجش از دور و داده‌های هواشناسی، امکان بررسی دقیق‌تر تغییرات فصلی و پاسخ پوشش گیاهی به شرایط محیطی را فراهم می‌کند [۱۴]. از سوی دیگر، بررسی رابطه فضایی میان شرایط اقلیمی و فعالیت پوشش گیاهی در مقیاس جهانی نشان داده است که ویژگی‌های اقلیمی می‌توانند الگوهای مکانی فعالیت پوشش گیاهی را کنترل کنند [۱۵]. مطالعات جدیدتر بر ضرورت بررسی هم‌زمان عوامل طبیعی و انسانی در تبیین تغییرات پوشش گیاهی تأکید دارند. تلفیق NDVI حاصل از Landsat با متغیرهای اقلیمی و عوامل انسانی نشان داده است که تغییرات پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند حاصل برهم‌کنش چندین عامل باشد [۱۶].

پایش جهانی پوشش گیاهی نیز قابلیت داده‌های ماهواره‌ای را برای ارزیابی تغییرات وضعیت پوشش گیاهی در مقیاس‌های بزرگ نشان داده است [۱۷]. همچنین، توسعه مجموعه‌داده‌های بلندمدت NDVI امکان مطالعه تغییرات پوشش گیاهی را در دوره‌های چنددهه‌ای فراهم کرده است [۱۸]. در مطالعات منطقه‌ای، پویایی NDVI و پاسخ آن به تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی نیز در مناطق مختلف بررسی شده و ناهمگونی مکانی این پاسخ‌ها مورد تأکید قرار گرفته است [۱۹]. از سوی دیگر، پایش بلندمدت پوشش گیاهی می‌تواند در ارزیابی وضعیت زیستگاه‌ها و آسیب‌پذیری گونه‌های گیاهی نیز کاربرد داشته باشد [۲۰]. بررسی تغییرات سلامت پوشش گیاهی در فصل‌ها و مناطق مختلف نشان داده است که ارتباط NDVI با متغیرهای اقلیمی به مقیاس زمانی و مکانی وابسته است [۲۱]. همچنین، مطالعات مربوط به روند سبزشدن پوشش گیاهی نشان داده‌اند که تشخیص و تبیین روندها نیازمند توجه به شرایط محلی و عوامل مؤثر بر تغییرات است [۲۲].

در مقیاس منطقه‌ای نیز نقش بارش، دما و فعالیت‌های انسانی در تغییرات پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفته است [۲۳]. تحلیل تغییرات NDVI در مناطق مختلف نیز نشان می‌دهد که این شاخص می‌تواند برای آشکارسازی تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گیرد [۲۴]. در ایران، روش‌های مختلفی برای تحلیل و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی به کار گرفته شده است. استفاده از GIS و زنجیره مارکوف برای ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی، امکان تحلیل روند و پیش‌بینی تغییرات فضایی را فراهم کرده است [۲۵]. همچنین، سری‌های زمانی MODIS-NDVI برای شناسایی تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی در مقیاس استانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲۶]. مقایسه NDVI با روش‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نیز نشان داده است که نوع داده و روش پردازش می‌تواند بر شناسایی و تفسیر پوشش گیاهی اثرگذار باشد [۲۷]. افزون بر این، ترکیب شاخص‌های پوشش گیاهی و رطوبتی می‌تواند اطلاعات مکملی درباره وضعیت سلامت پوشش گیاهی و شرایط رطوبتی محیط فراهم کند [۲۸]. ارتباط NDVI با تغییرات اقلیمی نیز در اکوسیستم‌های تالابی مورد بررسی قرار گرفته است [۲۹].

در سال‌های اخیر، توجه پژوهش‌ها از صرفاً شناسایی روند پوشش گیاهی به سمت بررسی پاسخ و تاب‌آوری آن در برابر تنش‌های محیطی، به‌ویژه

خشکسالی، افزایش یافته است [۳۰]. همچنین، مطالعات انجام‌شده در مناطق کوهستانی نشان داده‌اند که تغییرات NDVI می‌تواند تحت تأثیر ترکیبی از عوامل اقلیمی و انسانی قرار داشته باشد [۳۱]. بررسی‌های جامع‌تر درباره شاخص‌های سنجش از دور نیز بر تنوع شاخص‌ها و ضرورت انتخاب شاخص متناسب با هدف مطالعه و ویژگی‌های اکوسیستم تأکید کرده‌اند [۳۲]. از سوی دیگر، ویژگی‌های مکانی، ارتفاع و شرایط محیطی می‌توانند موجب تفاوت در الگوهای زمانی NDVI شوند [۳۳]. تغییرات فنولوژیک پوشش گیاهی نیز با استفاده از سری‌های زمانی NDVI و در ارتباط با تغییرات اقلیمی مورد بررسی قرار گرفته است [۳۴]. در حوضه‌های خشک و نیمه‌خشک نیز بررسی روند NDVI و ارتباط آن با عوامل اقلیمی و انسانی، اهمیت تحلیل هم‌زمان روند و عوامل کنترل‌کننده را نشان داده است [۳۵].

علاوه بر تغییرات کلی پوشش گیاهی، شرایط اقلیمی می‌تواند بر زمان‌بندی مراحل رشد و الگوهای فنولوژیک پوشش گیاهی اثرگذار باشد [۳۶]. از این رو، بررسی تغییرات زمانی NDVI در کنار متغیرهای اقلیمی می‌تواند درک دقیق‌تری از رفتار پوشش گیاهی ارائه کند. همچنین، توسعه شاخص‌ها و روش‌های جدید برای شناسایی رخدادهای تخریب پوشش گیاهی، ظرفیت سنجش از دور را برای پایش تغییرات و آشفتگی‌های سرزمین افزایش داده است [۳۷]. ارزیابی سازگاری NDVI زمینی و داده‌های حاصل از سنجش از دور نیز بر اهمیت کیفیت و قابلیت مقایسه داده‌ها در تحلیل پوشش گیاهی تأکید دارد [۳۸]. در نهایت، سری‌های زمانی Landsat امکان پایش پیوسته تغییرات و آشفتگی‌های سرزمین را با تفکیک مکانی مناسب فراهم می‌کنند و برای مطالعات منطقه‌ای کاربرد ویژه‌ای دارند [۳۹].

با وجود گستردگی مطالعات پیشین، ارزیابی یکپارچه و منطقه‌محور تغییرات پوشش گیاهی در پارک ملی گلستان طی یک دوره اخیر همچنان نیازمند بررسی است. ویژگی‌های توپوگرافی، اقلیمی و اکولوژیکی متنوع این منطقه سبب می‌شود که میانگین منطقه‌ای NDVI به‌تنهایی نتواند الگوی واقعی تغییرات پوشش گیاهی را نشان دهد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف پایش تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی پارک ملی گلستان طی دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ انجام می‌شود. در این پژوهش، سری زمانی سالانه NDVI حاصل از تصاویر Landsat 8 و Landsat 9با تفکیک مکانی ۳۰ متر، نقشه‌های NDVI سال‌های منتخب و نقشه تفاضلی ابتدا و انتهای دوره، همراه با داده‌های بارش CHIRPS، دمای هوای ERA5-Land و دمای سطح زمین MODIS بررسی می‌شوند همچنین، آزمون Mann–Kendall، شیب Sen، رگرسیون خطی و ضرایب همبستگی Pearson و Spearman برای تعیین جهت و شدت روند و بررسی ارتباط NDVI با متغیرهای اقلیمی به کار گرفته خواهند شد. نوآوری پژوهش در تلفیق تحلیل زمانی و مکانی NDVI با سه مؤلفه بارش، دمای هوا و دمای سطح زمین در مقیاس منطقه‌ای پارک ملی گلستان و در یک دوره ۱۱ ساله است؛ رویکردی که می‌تواند تصویری مستند از روند تغییرات پوشش گیاهی و ارتباط آن با شرایط محیطی منطقه ارائه کند.

### *منطقه مورد مطالعه*

پارک ملی گلستان در شمال‌شرق ایران و در مرز استان‌های گلستان، خراسان شمالی و سمنان واقع شده و با مساحتی حدود ۹۲۰ کیلومتر مربع، قدیمی‌ترین پارک ملی کشور به‌شمار می‌آید. این پارک بین حدود ′۵۳ °۳۶ تا ′۲۵ °۳۷ عرض شمالی و ′۲۵ °۵۵ تا ′۰۰ °۵۶ طول شرقی قرار گرفته و به‌دلیل موقعیت جغرافیایی خاص در بخش شرقی رشته‌کوه البرز، از تنوع بالای زیستگاه‌ها و شرایط اکولوژیکی برخوردار است. تنوع توپوگرافی و دامنه ارتفاعی قابل‌توجه پارک، که از حدود ۴۵۰ تا بیش از ۲۴۰۰ متر از سطح دریا متغیر است، موجب شکل‌گیری گرادیان‌های اقلیمی مختلف و در نتیجه تنوع بالای پوشش گیاهی شده است. اقلیم منطقه از نیمه‌خشک تا مرطوب متغیر بوده و این شرایط بستر مناسبی برای استقرار تیپ‌های متفاوت از جنگل‌های مرتفع، مراتع و پوشش‌های گیاهی متنوع فراهم آورده است. پارک ملی گلستان زیستگاه گونه‌های گیاهی و جانوری ارزشمند و حفاظت‌شده‌ای است که بقای آنان به‌طور مستقیم با کیفیت و تراکم پوشش گیاهی مرتبط است. ازاین‌رو، تغییرات در ساختار پوشش گیاهی می‌تواند پیامدهای مهمی برای تعادل اکولوژیکی و پایداری زیستگاه‌های طبیعی این منطقه به همراه داشته باشد. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

### *داده های مورد استفاده*

در این پژوهش، به‌منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی و ارزیابی ارتباط آن با شرایط اقلیمی و حرارتی، از ترکیبی از داده‌های سنجش از دور و بازتحلیل اقلیمی طی دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ استفاده شد. داده‌های اصلی پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 و Landsat 9با تفکیک مکانی ۳۰ متر استخراج شدند. تصاویر موجود در این بازه زمانی، بدون اعمال محدودیت ماهانه و پس از اعمال فیلتر مکانی محدوده پارک ملی گلستان و فیلتر پوشش ابری کمتر از ۳۰ درصد، مورد استفاده قرار گرفتند. سپس شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) از باندهای قرمز و فروسرخ نزدیک محاسبه شد و تصاویر NDVI موجود در هر سال با استفاده از میانگین‌گیری پیکسلی به یک تصویر NDVI سالانه تبدیل شدند. برای بررسی شرایط بارشی منطقه، از داده‌های روزانه CHIRPS و برای تعیین دمای هوای نزدیک سطح زمین از داده‌های ERA5-Land استفاده شد. همچنین، دمای سطح زمین (LST) از محصول MODIS MOD11A2 با تفکیک مکانی اسمی حدود ۱ کیلومتر استخراج گردید. داده‌های بارش، دمای هوا و دمای سطح زمین نیز پس از پردازش و تجمیع زمانی در مقیاس سالانه، به‌صورت میانگین منطقه‌ای برای محدوده پارک ملی گلستان محاسبه شدند. در نهایت، مقادیر سالانه NDVI، بارش، دمای هوا و LST برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ در یک پایگاه داده یکپارچه گردآوری و برای تحلیل‌های آماری مورد استفاده قرار گرفتند. مشخصات اصلی مجموعه‌داده‌های مورداستفاده در پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.




شکل ۱: منطقه مورد مطالعه
Fig. 1: Study area

جدول ۱: داده های مورد استفاده
Table 1: Dataused

| Data / Product | Data Source / Satellite | Variable Used | Spatial Resolution | Application in the Study |
|---|---|---|---|---|
| Landsat 8 OLI | USGS / Landsat | Surface Reflectance (SR_B4, SR_B5) | 30 m | NDVI calculation and spatial analysis of vegetation cover |
| Landsat 9 OLI-2 | USGS / Landsat | Surface Reflectance (SR_B4, SR_B5) | 30 m | NDVI calculation and completion of the time series |
| CHIRPS | Climate Hazards Group | Daily precipitation | Approximately 0.05° (~5 km) | Calculation of annual cumulative precipitation |
| ERA5-Land | ECMWF | 2-m air temperature | Approximately 0.1° (~9 km) | Calculation of annual mean air temperature |
| MODIS MOD11A2 | Terra/Aqua MODIS | Daily Land Surface Temperature (LST_Day_1km) | 1 km | Calculation of annual mean land surface temperature |

## روش تحقیق

این پژوهش با هدف پایش و ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی در پارک ملی گلستان و بررسی ارتباط تغییرات پوشش گیاهی با شرایط اقلیمی و حرارتی طی دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ انجام شد. چارچوب روش‌شناختی پژوهش بر پایه تلفیق داده‌های سنجش از دور، داده‌های اقلیمی و روش‌های آماری سری زمانی طراحی شد. در مرحله نخست، محدوده پارک ملی گلستان به‌صورت یک لایه برداری در محیط Google Earth Engine (GEE) وارد شد و به‌عنوان هندسه مرجع برای تمامی پردازش‌های مکانی مورد استفاده قرار گرفت. سپس تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) و Landsat 9 Operational Land Imager-2 (OLI-2)از مجموعه Collection 2 ، Tier 1، Level 2 برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ تهیه شدند. تصاویر بر اساس محدوده جغرافیایی مطالعه و تاریخ تصویربرداری فیلتر شدند و به‌منظور کاهش اثر پوشش ابر، آستانه پوشش ابر کمتر از ۲۰ درصد در نظر گرفته شد. در سال‌هایی که با این آستانه تعداد تصاویر مناسب برای حفظ پیوستگی سری زمانی کافی نبود، آستانه پوشش ابر تا ۳۰ درصد افزایش یافت. پس از اعمال فیلترهای مکانی و زمانی، تصاویر در محدوده پارک برش داده شدند و باندهای مورد نیاز برای محاسبه شاخص پوشش گیاهی استخراج شدند. برای پایش وضعیت پوشش گیاهی، شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI)برای تمامی تصاویر Landsat محاسبه شد در تصاویر Landsat 8 وLandsat 9 ، باند SR_B4 به‌عنوان باند قرمز (Red) و باند SR_B5 به‌عنوان باند فروسرخ نزدیک (NIR) مورد استفاده

قرار گرفتند. NDVI از نسبت اختلاف نرمال‌شده بازتابندگی باند فروسرخ نزدیک و قرمز محاسبه می‌شود و رابطه آن به‌صورت زیر است:

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{NIR} - \mathrm{Red}}{\mathrm{NIR} + \mathrm{Red}} \quad (1)$$

در این رابطه، NIR بازتابندگی باند فروسرخ نزدیک و Red بازتابندگی باند قرمز است. مقدار NDVI از نظر نظری در بازه ۱- تا ۱+ قرار دارد و مقادیر بالاتر عموماً نشان‌دهنده سبزینگی بیشتر و فعالیت نسبی بالاتر پوشش گیاهی هستند. پس از محاسبه NDVI برای هر تصویر، تصاویر بر اساس سال تصویربرداری گروه‌بندی شدند و میانگین پیکسل‌به‌پیکسل تصاویر هر سال محاسبه شد. به این ترتیب، برای هر سال از ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ یک تصویر NDVI سالانه ایجاد شد و یک سری زمانی ۱۱ ساله از وضعیت پوشش گیاهی منطقه تشکیل گردید. نقشه‌های NDVI برای سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۹، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۵ نیز به‌منظور نمایش تغییرات مکانی در ابتدای دوره، یک مرحله میانی و انتهای دوره تهیه شدند. این نقشه‌ها با تفکیک مکانی ۳۰ متر و پس از اعمال محدوده پارک ملی گلستان تولید شدند. به‌منظور ارزیابی تغییرات مکانی پوشش گیاهی در کل دوره مطالعه، نقشه تفاضلی NDVI بین سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵ محاسبه شد این نقشه از تفریق تصویر NDVI سال ۲۰۱۵ از تصویر NDVI سال ۲۰۲۵ به‌دست آمد و مقدار تغییر در هر پیکسل را نشان داد:

$$\Delta NDVI = NDVI_{2025} - NDVI_{2015} \quad (2)$$

مقادیر مثبت ΔNDVI بیانگر افزایش نسبی NDVI و مقادیر منفی نشان‌دهنده کاهش نسبی NDVI در سال ۲۰۲۵ نسبت به سال ۲۰۱۵ بودند. برای تفسیر مکانی تغییرات، مقادیر ΔNDVI در پنج طبقه شامل کاهش شدید، کاهش متوسط، تغییر اندک یا بدون تغییر، افزایش متوسط و افزایش شدید طبقه‌بندی شدند. به منظور بررسی ارتباط تغییرات پوشش گیاهی با شرایط بارشی، داده‌های بارش روزانه از مجموعه Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) در محیط Google Earth Engine استخراج شدند. برای هر سال از دوره مطالعه، تمامی داده‌های روزانه از ابتدای ژانویه تا پایان دسامبر انتخاب و مجموع آنها برای ایجاد بارش تجمعی سالانه محاسبه شد. بارش سالانه هر پیکسل از رابطه زیر به‌دست آمد:

$$P_{annual} = \sum_{d=1}^{n} P_d \quad (3)$$

که در آن $P_d$ مقدار بارش در روز d و n تعداد روزهای سال است. پس از تولید تصویر بارش تجمعی سالانه، میانگین مکانی بارش در محدوده پارک ملی گلستان محاسبه شد و مقدار حاصل به‌عنوان بارش سالانه منطقه در تحلیل‌های آماری مورد استفاده قرار گرفت. برای استخراج دمای هوای نزدیک سطح زمین، از مجموعه ERA5-Land و متغیر دمای هوای ۲ متری سطح زمین (temperature_2m) استفاده شد. داده‌های دمای هوا برای هر سال استخراج و میانگین زمانی آنها محاسبه شد. از آنجا که دمای هوا در این مجموعه بر حسب کلوین ارائه می‌شود، مقادیر به درجه سلسیوس تبدیل شدند:

$$T(^\circ C) = T(K) - 273.15 \quad (4)$$

پس از تبدیل واحد، میانگین مکانی دمای هوای سالانه در محدوده پارک محاسبه شد.

برای بررسی شرایط حرارتی سطح زمین، از محصول MODIS MOD11A2 استفاده شد. این محصول دارای تفکیک مکانی اسمی حدود ۱ کیلومتر و تناوب زمانی ۸ روزه است و باند دمای سطح زمین روزانه (LST_Day_1km) برای تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. تمامی تصاویر LST مربوط به هر سال انتخاب و میانگین زمانی آنها محاسبه شد مقادیر خام LST با استفاده از ضریب مقیاس ۰/۰۲ به مقدار واقعی دما تبدیل شدند و سپس برای تبدیل کلوین به درجه سلسیوس از رابطه زیر استفاده شد:

$$LST(^\circ C) = LST_{raw} \times 0.02 - 273.15 \quad (5)$$

پس از محاسبه LST سالانه، میانگین مکانی آن در محدوده پارک استخراج شد. در نتیجه، برای هر سال از دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ یک مقدار نماینده از میانگین دمای سطح زمین منطقه به‌دست آمد. در نهایت، داده‌های سالانه NDVI، بارش، دمای هوا و LST در یک پایگاه داده واحد تجمیع شدند. هر رکورد مربوط به یک سال بود و پایگاه داده نهایی شامل ۱۱ مشاهده سالانه برای هر متغیر شد. این پایگاه داده مبنای انجام تحلیل‌های آماری و بررسی روابط بین تغییرات پوشش گیاهی و متغیرهای اقلیمی و حرارتی قرار گرفت.

در مرحله تحلیل آماری، ابتدا شاخص‌های آمار توصیفی شامل میانگین، انحراف معیار، کمینه، بیشینه و ضریب تغییرات برای هر متغیر محاسبه شد. میانگین متغیر X از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \quad (6)$$

انحراف معیار برای بیان میزان پراکندگی مشاهدات نسبت به میانگین محاسبه شد:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2} \quad (7)$$

همچنین ضریب تغییرات برای مقایسه نسبی میزان تغییرپذیری متغیرها به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$CV = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 \quad (8)$$

برای شناسایی روندهای افزایشی یا کاهشی در سری زمانی ۱۱ ساله، آزمون ناپارامتری Mann–Kendall مورد استفاده قرار گرفت. آماره آزمون $S$ بر اساس مقایسه زوجی مشاهدات به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn(X_j - X_i) \quad (9)$$

تابع علامت نیز به‌صورت زیر تعریف شد:

$$sgn(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & X_j - X_i > 0 \\ 0 & X_j - X_i = 0 \\ -1 & X_j - X_i < 0 \end{cases}$$

در صورت وجود مقادیر تکراری، واریانس آماره S با در نظر گرفتن تعداد مقادیر تکراری در گروه‌های مختلف محاسبه شد:

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{q} t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (10)$$

که در آن $t_p$ تعداد مشاهدات تکراری در گروه p و q تعداد گروه‌های دارای مقادیر تکراری است. سپس آماره استانداردشده Z به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & S < 0 \end{cases}$$

سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد؛ بنابراین، در صورتی که $p < 0.05$ باشد، روند از نظر آماری معنی‌دار تلقی شد. آزمون Mann–Kendall به‌صورت مستقل برای NDVI ، بارش، دمای هوا و LST انجام گرفت.

برای تعیین شدت و جهت روند، برآوردگر شیب Sen نیز محاسبه شد شیب بین هر دو مشاهده از رابطه زیر به‌دست آمد:

$$Q_{ij} = \frac{X_j - X_i}{j - i}, \; i < j \quad (11)$$

سپس میانه تمامی شیب‌های محاسبه‌شده به‌عنوان شیب Sen در نظر گرفته شد:

$$Q_{Sen} = Median(Q_{ij}) \quad (12)$$

مقدار مثبت $Q_{Sen}$ نشان‌دهنده روند افزایشی و مقدار منفی آن نشان‌دهنده روند کاهشی بود و مقدار مطلق آن نرخ تغییر سالانه متغیر را نشان داد. علاوه بر آزمون Mann–Kendall و شیب Sen ، به‌منظور بررسی تغییرات خطی متغیرها در طول زمان، رگرسیون خطی ساده‌بین سال و مقدار سالانه هر متغیر انجام شد. مدل رگرسیون به‌صورت زیر تعریف شد:

$$Y = a + bX \quad (13)$$

که در آن Y مقدار متغیر مورد بررسی، X سال، a عرض از مبدأ و b ضریب شیب رگرسیون است. برای ارزیابی میزان تغییرپذیری متغیر وابسته که توسط مدل خطی توضیح داده می‌شود، ضریب تعیین $R^2$ محاسبه شد:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (14)$$

همچنین، ریشه میانگین مربعات خطا برای ارزیابی میزان خطای برازش خطی محاسبه گردید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (15)$$

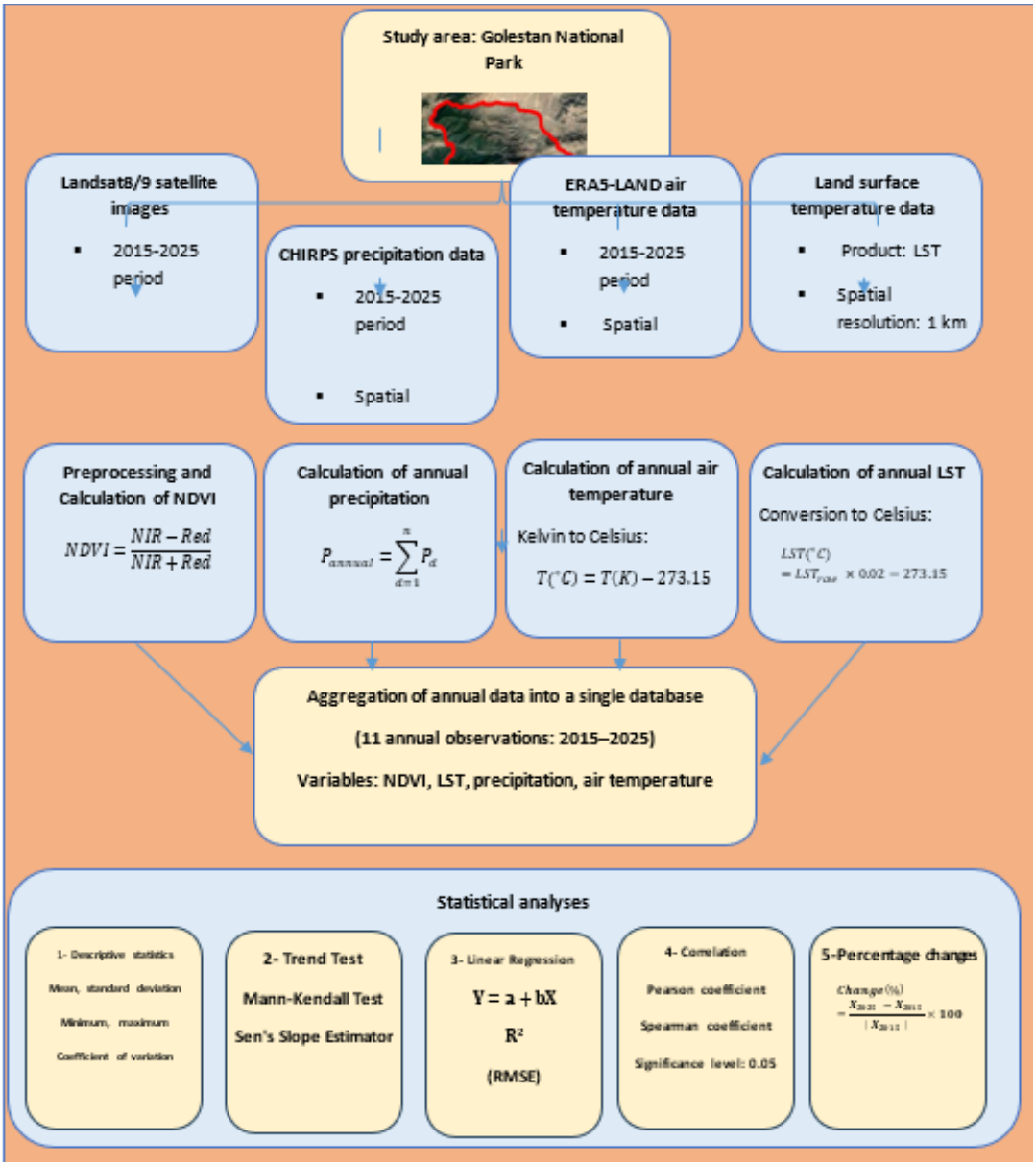
برای بررسی ارتباط میان تغییرات سالانه NDVI و متغیرهای بارش، دمای هوا و LST ، ضرایب همبستگی Pearson و Spearman محاسبه شدند. ضریب Pearson برای تعیین شدت و جهت رابطه خطی بین دو متغیر به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (16)$$

ضریب Spearman نیز برای ارزیابی رابطه رتبه‌ای میان متغیرها مورد استفاده قرار گرفت تا روابطی که الزاماً خطی نیستند نیز بررسی شوند برای هر ضریب همبستگی، مقدار p-value محاسبه و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. در نتیجه، روابط دارای $p < 0.05$ از نظر آماری معنی‌دار تلقی شدند. نتایج همبستگی صرفاً به‌عنوان شواهدی از ارتباط آماری بین متغیرها تفسیر شدند و به‌منظور جلوگیری از استنباط نادرست، وجود رابطه همبستگی به‌عنوان اثبات رابطه علّی در نظر گرفته نشد. در نهایت، به‌منظور بیان میزان تغییر کلی هر متغیر بین ابتدای و انتهای دوره مطالعه، تغییرات درصدی بین سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵ محاسبه شد:

$$Change(\%) = \frac{X_{2025} - X_{2015}}{|X_{2015}|} \times 100 \quad (17)$$

که در آن $X_{2015}$ مقدار متغیر در ابتدای دوره و $X_{2025}$ مقدار آن در انتهای دوره است. تمامی مراحل دریافت و پردازش داده‌های سنجش از دور، محاسبه NDVI ، تولید ترکیبات سالانه و استخراج متغیرهای اقلیمی و حرارتی در محیط Google Earth Engine انجام شد و تحلیل‌های آماری با استفاده از زبان برنامه‌نویسی Python و کتابخانه‌های NumPy ، Pandas ، SciPy و scikit-learn صورت گرفت. در این چارچوب، تحلیل مکانی NDVI بر مبنای تصاویر Landsat با تفکیک مکانی ۳۰ متر انجام شد، در حالی که تحلیل LST بر اساس تفکیک مکانی ذاتی محصول MODIS انجام گرفت. در نهایت، تلفیق تحلیل‌های مکانی و زمانی با آزمون‌های روند، رگرسیون و همبستگی، امکان ارزیابی جامع تغییرات پوشش گیاهی پارک ملی گلستان و بررسی ارتباط آماری آن با بارش، دمای هوا و دمای سطح زمین را طی دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ فراهم کرد




شکل ۲: روند تحقیق

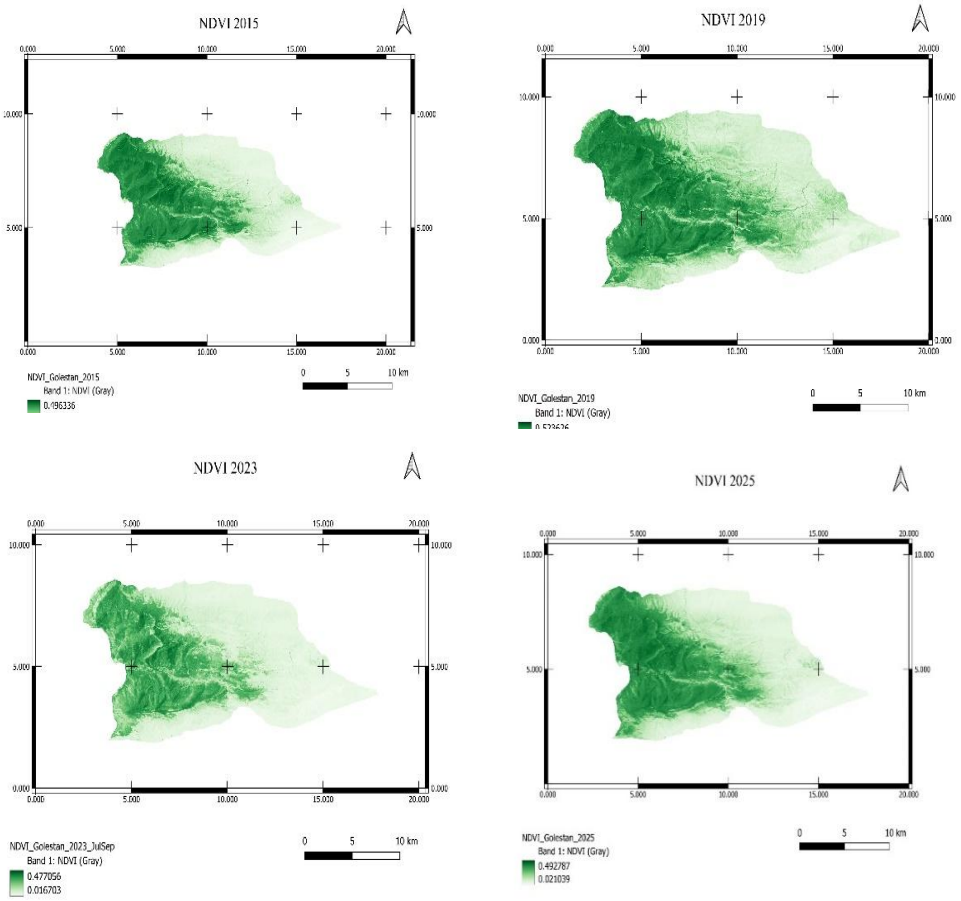
Fig. 2: Research Process

## نتایج و بحث

بررسی الگوی مکانی شاخص NDVI در پارک ملی گلستان طی دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ نشان داد که وضعیت پوشش گیاهی در سطح منطقه از الگوی کاملاً یکنواختی پیروی نمی‌کند و شدت سبزینگی در بخش‌های مختلف پارک در طول زمان دستخوش تغییر شده است. به‌منظور مشاهده این تغییرات، نقشه‌های میانگین سالانه NDVI برای سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۹، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۵ تهیه و مقایسه شدند. انتخاب این چهار سال امکان بررسی وضعیت پوشش گیاهی در ابتدای دوره، یک مرحله میانی و سال‌های پایانی مطالعه را فراهم می‌کند.

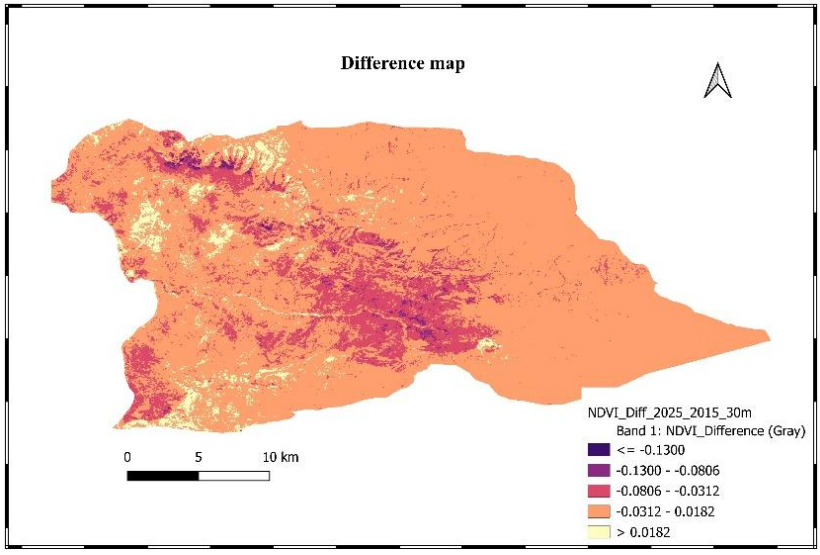
همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، توزیع مکانی NDVI در سال‌های مختلف تغییراتی را در شدت و گستره نواحی دارای سبزینگی متفاوت نشان می‌دهد. نواحی برخوردار از پوشش گیاهی متراکم‌تر، به‌ویژه در بخش‌هایی از مناطق جنگلی و ارتفاعات، عموماً مقادیر بالاتری از NDVI را به خود اختصاص داده‌اند، در حالی که مقادیر پایین‌تر بیشتر در نواحی با پوشش گیاهی پراکنده‌تر یا شرایط محیطی محدودکننده مشاهده می‌شوند. مقایسه چهار سال نشان می‌دهد که تغییرات پوشش گیاهی در پارک ملی گلستان بیشتر ماهیتی بین‌سالی و مکانی داشته و شدت NDVI در همه نقاط منطقه به یک میزان تغییر نکرده است. در میان سال‌های مورد بررسی، سال ۲۰۱۹ از نظر مقدار میانگین NDVI نیز وضعیت متفاوتی داشت و بالاترین مقدار سالانه کل دوره، یعنی 0.2699، در این سال ثبت شد. در مقابل، در سال‌های پایانی دوره کاهش مقادیر NDVI در بخشی از منطقه قابل مشاهده است. این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی صرفاً بر اساس یک سال نمی‌تواند بیانگر شرایط کلی منطقه باشد و بررسی سری زمانی برای

شناخت رفتار واقعی پوشش گیاهی ضروری است. برای تکمیل این بررسی و مشخص کردن نواحی دارای تغییر در کل دوره، اختلاف NDVI بین سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵ محاسبه شد. این مقایسه امکان شناسایی مستقیم نواحی دارای افزایش یا کاهش نسبی سبزینگی را در طول یازده سال فراهم می‌کند.




شکل ۳: نقشه‌های میانگین سالانه NDVI پارک ملی گلستان در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۹، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۵

Fig. 3: Maps of annual average NDVI for Golestan National Park in the years 2015, 2019, 2023, and 2025




شکل ۴: نقشه تفاضلی NDVI بین سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵

Fig. 4: NDVI difference map between 2015 and 2025

بر اساس شکل ۴، تغییرات NDVI در سطح پارک از الگوی فضایی یکسانی برخوردار نیست و هم‌زمان نواحی دارای افزایش و کاهش شاخص مشاهده می‌شوند. مقادیر مثبت تفاضل NDVI بیانگر افزایش نسبی سبزینگی در سال ۲۰۲۵ نسبت به ۲۰۱۵ و مقادیر منفی نشان‌دهنده کاهش آن هستند. بنابراین، اگرچه مقایسه دو سال ابتدا و انتهای دوره وجود تغییر در وضعیت پوشش گیاهی را نشان می‌دهد، اما این تغییر در تمام سطح پارک به یک شکل رخ نداده است. این موضوع اهمیت تحلیل زمانی متغیرهای اقلیمی و حرارتی را برای تفسیر تغییرات پوشش گیاهی آشکار می‌کند؛ زیرا تغییرات مکانی NDVI می‌تواند حاصل برهم‌کنش مجموعه‌ای از عوامل محیطی، اقلیمی و ویژگی‌های محلی اکوسیستم باشد. در کنار الگوی مکانی، بررسی مقادیر سالانه متغیرها امکان شناخت رفتار کلی آنها در مقیاس منطقه‌ای را فراهم کرد. آمار توصیفی محاسبه‌شده برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ در جدول ۲ ارائه شده است.

میانگین NDVI کل دوره برابر با ۰,۲۲۷ بود و دامنه تغییرات آن از ۰,۱۷٤ تا ۰,۲۷۰ متغیر بود. انحراف معیار ۰,۰۲۸ و ضریب تغییرات ۱۱,۵٦ درصد نشان می‌دهد که NDVI در مقیاس سالانه دارای تغییرپذیری متوسطی بوده است. در مقایسه با آن، بارش با ضریب تغییرات ۱۸,۲٤ درصد بیشترین تغییرپذیری نسبی را در میان متغیرهای مورد مطالعه نشان داد. مقدار بارش سالانه از حدود ۳۰۱,٦۹ تا ۵۵۷,۹۳ میلی‌متر تغییر کرده است که بیانگر نوسان قابل توجه شرایط بارشی بین سال‌های مختلف است. دمای هوا با ضریب تغییرات ۳,۹۷ درصد کمترین تغییرپذیری را نشان داد و میانگین آن طی دوره ۱۲,۷۸ درجه سلسیوس بود. میانگین LSTنیز ۲۱,۰۵ درجه سلسیوس با ضریب تغییرات ۵,۷۱ درصد به دست آمد. بنابراین، در حالی که دمای هوا در مقیاس سالانه نسبتاً پایدار بوده است، بارش نوسانات بیشتری را تجربه کرده و NDVI نیز متناسب با تغییرات شرایط محیطی، نوسانات بین‌سالی قابل توجهی داشته است. برای مشخص شدن اینکه این نوسانات صرفاً ناشی از تغییرات سالانه بوده‌اند یا می‌توان برای آنها روند زمانی مشخصی در نظر گرفت، آزمون Mann–Kendallو برآوردگر شیب Senبرای هر چهار متغیر انجام شد نتایج این تحلیل در جدول ۳ ارائه شده است

نتایج آزمون Mann–Kendall نشان داد که هیچ‌یک از چهار متغیر در سطح معنی‌داری ۰,۰۵ روند آماری معنی‌داری در دوره مورد بررسی نداشته‌اند. با این حال، جهت و اندازه شیب Sen اطلاعات مهمی درباره رفتار کلی متغیرها ارائه می‌دهد .NDVI دارای شیب Sen برابر با ۰,۰۰۰۳٦۹- در سال بود که بیانگر یک جهت کاهشی بسیار ضعیف است. در مقابل، دمای هوا شیب مثبت ۰,۰۵٦ درجه سلسیوس در سال را نشان داد و جهت کلی آن افزایشی بود، اگرچه این روند از نظر آماری معنی‌دار نبود. بارش نیز با شیب Senبرابر با ۹,٦۸- میلی‌متر در سال دارای جهت کاهشی بود. مقدار p این متغیر برابر با ۰,۰٦۲ بود که به آستانه ۰,۰۵ نزدیک است، اما همچنان از نظر معیار آماری مورد استفاده در این پژوهش معنی‌دار محسوب نمی‌شود LST .نیز شیب کاهشی ۰,۱۸۹- درجه سلسیوس در سال را نشان داد، ولی این روند نیز معنی‌دار نبود. نتایج آزمون روند نشان می‌دهد که کاهش NDVI در این دوره را نمی‌توان به‌عنوان یک روند قطعی و معنی‌دار آماری تلقی کرد؛ بلکه باید آن را در چارچوب نوسانات بین‌سالی پوشش گیاهی تفسیر کرد. برای بررسی بیشتر این موضوع و مشخص کردن میزان توانایی یک روند خطی در توضیح تغییرات مشاهده‌شده، رگرسیون خطی بین سال و مقدار سالانه هر متغیر نیز انجام شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۲: آمار توصیفی متغیرهای مورد مطالعه در دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵

Table 2: Descriptive statistics of the variables under study for the period 2015–2025

| Variable | Mean | Standard Deviation | Minimum | Maximum | Coefficient of Variation (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| NDVI | 0.227 | 0.028 | 0.174 | 0.270 | 11.56 |
| Air Temperature (°C) | 12.779 | 0.532 | 11.870 | 13.497 | 3.97 |
| Precipitation (mm) | 382.852 | 73.222 | 301.693 | 557.935 | 18.24 |
| LST (°C) | 21.048 | 1.261 | 18.635 | 23.021 | 5.71 |

جدول ۳: نتایج آزمون Mann–Kendall و برآوردگر شیب Sen

Table 3: Results of the Mann–Kendall test and Sen's slope estimator

| Variable | Z-statistic | p-value | Sen's Slope | Trend Interpretation |
|---|---|---|---|---|
| NDVI | 0.000 | 1.000 | -0.000369 | Decreasing, non-significant |
| Air Temperature | 0.778 | 0.436 | +0.055999 | Increasing, non-significant |
| Precipitation | -1.868 | 0.062 | -9.677120 | Decreasing, non-significant |
| LST | -1.246 | 0.213 | -0.189382 | Decreasing, non-significant |

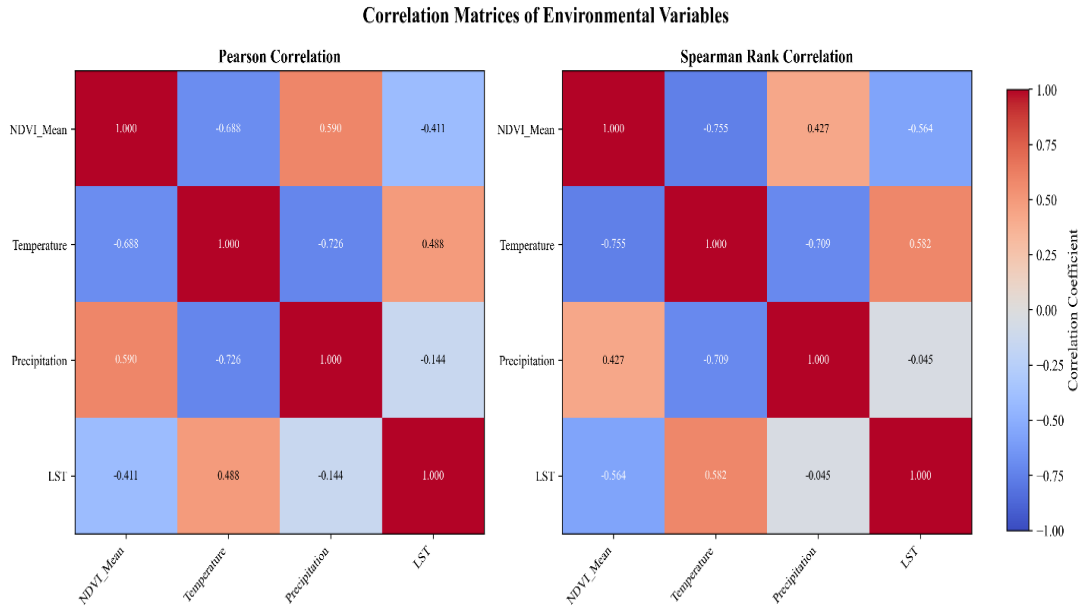
جدول ۴: نتایج رگرسیون خطی متغیرهای مورد مطالعه طی دوره ۲۰۱۵–۲۰۲۵

Table 4: Linear regression results for the variables under study during the 2015–2025 period

| Variable | Annual Slope | $R^2$ | RMSE |
|---|---|---|---|
| NDVI | -0.000360 | 0.0019 | 0.0263 |
| Air Temperature | +0.0454 °C | 0.0801 | 0.4862 |
| Precipitation | -10.650 mm | 0.2327 | 61.154 |
| LST | -0.1821 °C | 0.2296 | 1.0551 |

رگرسیون خطی نیز تصویر مشابهی را ارائه داد. شیب خطی NDVI برابر با ۰٫۰۰۰۳۶۰- در سال بود، اما مقدار بسیار پایین $R^2 = 0.0019$ نشان داد که روند خطی سالانه تقریباً هیچ بخشی از تغییرپذیری NDVI را توضیح نمی‌دهد. این نتیجه با آزمون Mann–Kendall همخوان است و نشان می‌دهد که تغییرات NDVI بیشتر تحت تأثیر نوسانات بین‌سالی بوده‌اند تا یک روند خطی مشخص. دمای هوا با شیب مثبت ۰٫۰۴۵۴ درجه سلسیوس در سال و $R^2 = 0.0801$ افزایش خطی ضعیفی را نشان داد. برای بارش، شیب منفی ۱۰٫۶۵ میلی‌متر در سال و $R^2 = 0.2327$ به دست آمد و LST نیز دارای شیب منفی ۰٫۱۸۲ درجه سلسیوس در سال و $R^2 = 0.2296$ بود. بنابراین، اگرچه جهت تغییرات این متغیرها قابل تشخیص است، اما نبود معنی‌داری آماری در آزمون روند نشان می‌دهد که این جهت‌ها نباید به‌عنوان تغییرات قطعی بلندمدت تفسیر شوند. با توجه به اینکه پوشش گیاهی تحت تأثیر هم‌زمان شرایط حرارتی و رطوبتی قرار دارد، گام بعدی تحلیل، بررسی ارتباط آماری NDVI با دمای هوا، بارش و دمای سطح زمین بود. نتایج ضرایب همبستگی Pearson و Spearman در شکل ۵ و جدول ۵ ارائه شده است.

در میان روابط بررسی‌شده، ارتباط $NDVI$ با دمای هوا برجسته‌ترین رابطه را نشان داد. ضریب $Pearson$ برابر با 0.688- و ضریب Spearman برابر با 0.755- به دست آمد. مقدار $p = 0.019$ برای رابطه Pearson نشان می‌دهد که این ارتباط در سطح ۰.۰۵ از نظر آماری معنی‌دار است. بنابراین، در مقیاس سالانه و منطقه‌ای، سال‌هایی که دمای هوای بالاتری داشته‌اند، عموماً با مقادیر پایین‌تر NDVI همراه بوده‌اند. نزدیک بودن ضریب Spearman به Pearson نیز نشان می‌دهد که جهت منفی این رابطه تنها ناشی از یک رابطه خطی ساده نیست و در ترتیب رتبه‌ای مقادیر نیز تا حد زیادی حفظ شده است. در مقابل، رابطه NDVI و بارش مثبت بود و ضریب Pearson برابر با ۰٫۵۹۰ به دست آمد. این نتیجه از نظر زیست‌محیطی می‌تواند بیانگر تمایل پوشش گیاهی به وضعیت بهتر در سال‌های پربارش‌تر باشد، اما مقدار $p = 0.056$ اندکی بالاتر از سطح معنی‌داری ۰.۰۵ قرار دارد. ازاین‌رو، این رابطه در چارچوب این پژوهش به‌عنوان رابطه مثبت اما غیرمعنی‌دار گزارش می‌شود و نمی‌توان بر اساس آن وجود یک اثر آماری قطعی بارش بر NDVI را تأیید کرد. رابطه NDVI با LST نیز منفی بود؛ ضریب Pearson برابر با ۰.۴۱۱- و Spearman برابر با ۰.۵۶۴- به دست آمد، اما مقدار $p = 0.210$ نشان داد که این رابطه در سطح معنی‌داری مورد نظر از نظر آماری معنی‌دار نیست.




شکل ۵: ماتریس ضرایب همبستگی Pearson و Spearman بین NDVI، دمای هوا، بارش و LST

Fig. 5: Pearson and Spearman correlation coefficient matrix among NDVI, air temperature, precipitation, and LST

جدول ۵: ضرایب همبستگی NDVI با متغیرهای اقلیمی و حرارتی

Table 5: Correlation coefficients of NDVI with climatic and thermal variables

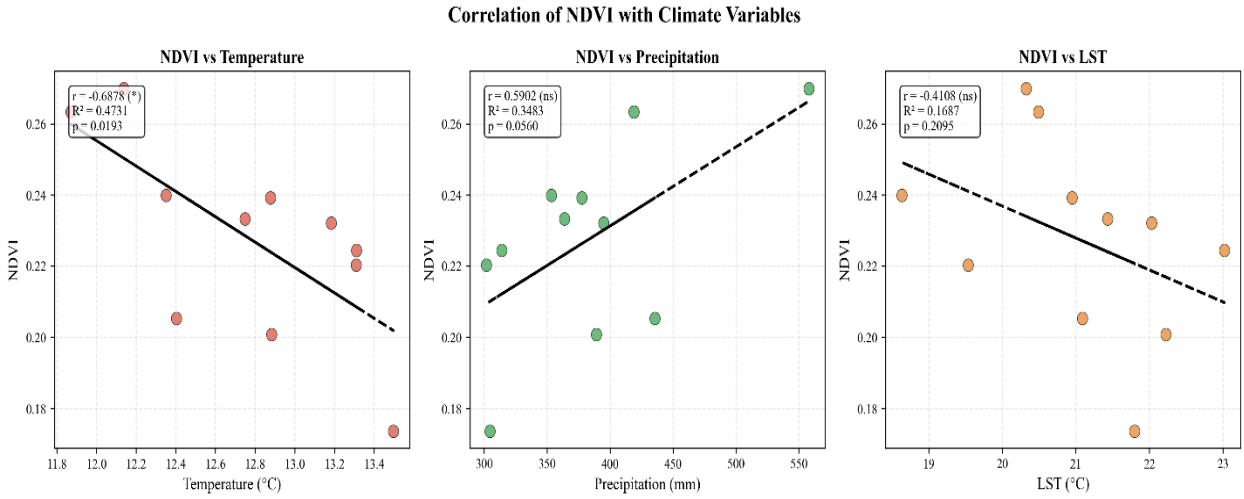
| Relationship | Pearson (r) | Spearman (ρ) | Pearson p-value |
|---|---|---|---|
| NDVI – Air Temperature | -0.688 | -0.755 | 0.019 |
| NDVI – Precipitation | +0.590 | +0.427 | 0.056 |
| NDVI – LST | -0.411 | -0.564 | 0.210 |

الگوی موجود در میان خود متغیرهای اقلیمی نیز قابل توجه است. دمای هوا و بارش رابطه منفی نسبتاً قوی داشتند، به‌طوری که ضریب Pearson آنها برابر با ۰.۷۲۶- و ضریب Spearman برابر با ۰.۷۰۹-بود و رابطه Pearsonدر سطح ۰.۰۵ معنی‌دار شد .($p = 0.011$)این هم‌زمانی نشان می‌دهد که در سال‌های گرم‌تر، بارش سالانه تمایل به کاهش داشته است و بنابراین اثر جداگانه هر یک از این متغیرها بر NDVI باید با احتیاط تفسیر شود؛ زیرا متغیرهای اقلیمی خود نیز با یکدیگر ارتباط دارند. برای مشاهده مستقیم این روابط و بررسی میزان پراکندگی مقادیر سالانه، نمودارهای پراکنش NDVI با دمای هوا، بارش و LST نیز تهیه شدند.

همان‌گونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، رابطه NDVI و دمای هوا دارای شیب منفی مشخصی است و $R^2 = 0.4731$نشان می‌دهد که حدود ۴۷ درصد از تغییرات خطی مشاهده‌شده در NDVI در این مجموعه داده با تغییرات دمای هوا همراه بوده است. مقدار $p = 0.0193$ نیز معنی‌داری این رابطه را تأیید می‌کند. در مقابل، رابطه NDVI و بارش دارای شیب مثبت و $R^2 = 0.3483$ است، اما مقدار $p = 0.0560$ باعث می‌شود که این رابطه در سطح ۰.۰۵ معنی‌دار تلقی نشود. رابطه NDVI و LST نیز جهت منفی دارد و $R^2 = 0.1687$ نشان‌دهنده قدرت توضیح‌دهندگی محدودتر این متغیر نسبت به دمای هواست؛ ضمن آنکه مقدار $p = 0.2095$ معنی‌داری آماری آن را تأیید نمی‌کند.

در ادامه، برای آنکه تنها به روند آماری سالانه اکتفا نشود و تغییر وضعیت واقعی متغیرها در ابتدا و انتهای دوره نیز مشخص شود، مقادیر سال ۲۰۱۵ با سال ۲۰۲۵ مقایسه و درصد تغییرات محاسبه شد. نتایج این مقایسه در جدول ۶ و شکل ۷ ارائه شده است.

مقایسه ابتدا و انتهای دوره نشان داد که میانگین NDVI از ۰,۲۳۳۲ در سال ۲۰۱۵ به ۰,۲۲۰۳ در سال ۲۰۲۵ رسیده و در مجموع ۵,۵۶ درصد کاهش داشته است. در همین بازه، دمای هوای میانگین از ۱۲,۷۵ به ۱۳,۳۱ درجه سلسیوس افزایش یافته که معادل ٤,۳۹ درصد افزایش است. بارش سالانه نیز از ۳٦۳,۸۰ میلی‌متر به ۳۰۱,٦۹ میلی‌متر کاهش یافته و با کاهش ۱۷,۰۷ درصدی، بیشترین تغییر نسبی منفی را در میان متغیرهای مورد مطالعه نشان داده است .LST نیز از ۲۱,٤۳ به ۱۹,٥٤ درجه سلسیوس رسیده و کاهش ۸,۸٤ درصدی را نشان می‌دهد. این مقایسه نقطه‌ای با نتایج روند سالانه تفاوت مهمی دارد؛ به این معنا که تغییر بین دو سال ابتدایی و انتهایی لزوماً معادل وجود یک روند یکنواخت طی کل دوره نیست. برای مثال، در حالی که دمای هوا بین سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵ افزایش یافته است، روند Mann–Kendall آن معنی‌دار نبود و LST نیز با وجود کاهش ۸,۸٤ درصدی بین دو سال مذکور، روند کاهشی معنی‌داری در کل دوره نشان نداد. این تفاوت اهمیت بررسی سری زمانی کامل را در کنار مقایسه ابتدا و انتهای دوره نشان می‌دهد.



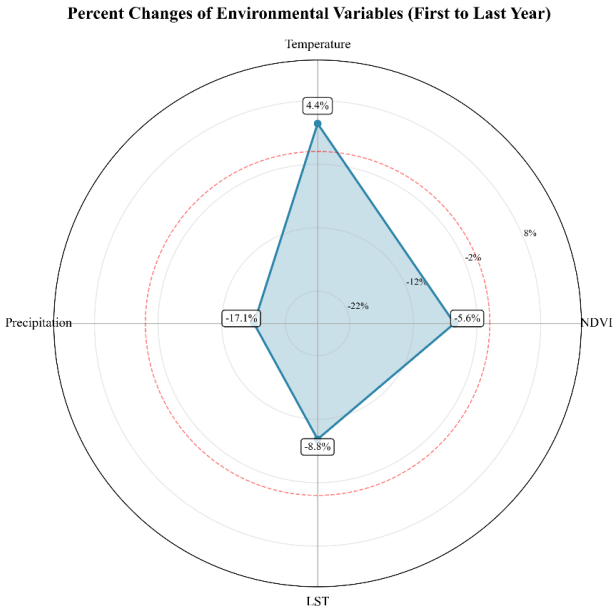

شکل ۶: نمودارهای پراکنش و رگرسیون NDVI با دمای هوا، بارش وLST

Fig. 6: Scatter plots and regression of NDVI against air temperature, precipitation, and LST

جدول ۶: تغییرات متغیرهای محیطی بین سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵

Table 6: Changes in environmental variables between 2015 and 2025

| Variable | 2015 | 2025 | Change (%) |
|---|---|---|---|
| NDVI | 0.2332 | 0.2203 | -5.56 |
| Air Temperature (°C) | 12.75 | 13.31 | +4.39 |
| Precipitation (mm) | 363.80 | 301.69 | -17.07 |
| LST (°C) | 21.43 | 19.54 | -8.84 |




شکل ۷: نمودار راداری درصد تغییرات متغیرهای محیطی بین سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵

Fig. 7: Radar chart of the percentage change in environmental variables between 2015 and 2025

در مجموع، یافته‌های مکانی و زمانی این پژوهش نشان می‌دهد که پوشش گیاهی پارک ملی گلستان طی دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ با نوسانات قابل توجه بین‌سالی همراه بوده و در مقایسه مستقیم سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵، کاهش ۵٫۵۶ درصدی NDVI مشاهده شده است؛ با این حال، آزمون Mann–Kendall وجود یک روند کاهشی معنی‌دار را تأیید نکرد در میان عوامل بررسی‌شده، دمای هوا بیشترین ارتباط آماری را با NDVI نشان داد و رابطه آن با NDVI منفی و معنی‌دار بود، در حالی که ارتباط با بارش مثبت اما در آستانه معنی‌داری و ارتباط با LST منفی اما غیرمعنی‌دار بود. از سوی دیگر، کاهش نسبی بارش و افزایش دمای هوا در مقایسه ابتدا و انتهای دوره، در کنار رابطه منفی NDVI و دمای هوا، نشان می‌دهد که تغییرات پوشش گیاهی در پارک احتمالاً در چارچوب تعامل چندین عامل محیطی قابل تفسیر است. با این حال، با توجه به اینکه تحلیل‌های آماری بر پایه تنها ۱۱ مشاهده سالانه انجام شده‌اند، نتایج باید به‌عنوان شواهدی از ارتباط و هم‌زمانی آماری تفسیر شوند و نمی‌توان از آنها رابطه علّی قطعی میان تغییرات اقلیمی و تغییرات پوشش گیاهی استنباط کرد. به این ترتیب، ترکیب نقشه‌های NDVI، نقشه تفاضلی، آمار توصیفی، تحلیل روند، رگرسیون و همبستگی، تصویری یکپارچه از وضعیت پوشش گیاهی پارک ملی گلستان ارائه می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که تغییرات مکانی پوشش گیاهی وجود دارد، اما در مقیاس کل پارک و طی دوره ۱۱ ساله، روند کاهشی NDVI از نظر آماری معنی‌دار نیست و در میان متغیرهای اقلیمی بررسی‌شده، دمای هوا قوی‌ترین ارتباط آماری را با تغییرات سالانه NDVI نشان داده است.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با هدف پایش تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی پارک ملی گلستان طی دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵، شاخص NDVI از تصاویر Landsat 8 و Landsat 9 استخراج و با داده‌های بارش CHIRPS، دمای هوای ERA5-Land و دمای سطح زمین MODIS MOD11A2 تلفیق شد. پس از پردازش داده‌ها در محیط Google Earth Engine، برای هر سال میانگین منطقه‌ای NDVI، بارش، دمای هوا و LST محاسبه و یک سری زمانی ۱۱ ساله برای تحلیل‌های آماری ایجاد شد. بررسی نقشه‌های NDVI سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۹، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۵ نشان داد که وضعیت پوشش گیاهی در سطح پارک یکنواخت نبوده و بخش‌های مختلف منطقه تغییرات متفاوتی را تجربه کرده‌اند؛ این الگو در نقشه تفاضلی NDVI بین سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵ نیز مشاهده شد، به‌طوری‌که در کنار نواحی دارای کاهش NDVI، مناطقی با افزایش نسبی این شاخص نیز وجود داشتند.

از نظر زمانی، میانگین NDVI در کل دوره ۰٫۲۲۷ بود و مقدار آن در مقایسه مستقیم سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵ حدود ۵٫۵۶ درصد کاهش یافت، اما آزمون Mann–Kendall با مقدار $p = 1.000$ وجود روند کاهشی معنی‌دار را تأیید نکرد؛ بنابراین کاهش مشاهده‌شده را نمی‌توان به‌عنوان یک روند بلندمدت قطعی در کل پارک در نظر گرفت. بررسی سایر متغیرها نیز نشان داد که دمای هوا دارای جهت افزایشی با شیب Sen برابر با ۰٫۰۵۶ درجه سلسیوس در سال، بارش دارای جهت کاهشی با شیب ۹٫۶۸- میلی‌متر در سال و LST دارای جهت کاهشی با شیب ۰٫۱۸۹- درجه سلسیوس در سال بوده است، اما هیچ‌یک از این روندها در سطح معنی‌داری ۰٫۰۵ معنی‌دار نبودند. در مقایسه ابتدا و انتهای دوره، دمای هوا ۴٫۳۹ درصد افزایش و بارش ۱۷٫۰۷ درصد کاهش داشت، در حالی که LST حدود ۸٫۸۴ درصد کاهش یافت.

تحلیل همبستگی نشان داد که در میان متغیرهای بررسی‌شده، دمای هوا بیشترین ارتباط را با NDVI داشته و رابطه‌ای منفی و معنی‌دار بین آنها مشاهده شد($r = -0.688, p = 0.019$)؛ در مقابل، رابطه

NDVIبا بارش مثبت بود ($r = 0.590, p = 0.056$) اما در سطح ۰،۰۵ معنی‌دار نشد و رابطه آن با LST نیز منفی ولی غیرمعنی‌دار بود= r) $-0.411, p = 0.210$). بر این اساس، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات پوشش گیاهی پارک در دوره مورد مطالعه بیشتر با نوسانات بین‌سالی همراه بوده و در مقیاس کل منطقه، شواهد آماری کافی برای تأیید یک روند کاهشی معنی‌دار NDVI وجود ندارد؛ در عین حال، ارتباط منفی و معنی‌دار NDVI با دمای هوا نشان می‌دهد که تغییرات حرارتی هوا در مقیاس سالانه با تغییرات وضعیت پوشش گیاهی همراه بوده است، هرچند این رابطه به‌تنهایی به معنای وجود رابطه علّی نیست. از نظر کاربردی، نقشه‌های NDVI و نقشه تفاضلی تهیه‌شده می‌توانند به‌عنوان ابزار پایش اولیه برای شناسایی نواحی دارای تغییر و تعیین مناطق اولویت‌دار برای بررسی‌های میدانی و مدیریتی مورد استفاده قرار گیرند و ترکیب آنها با داده‌های اقلیمی امکان ارزیابی هم‌زمان وضعیت پوشش گیاهی و شرایط محیطی را فراهم می‌کند.

همچنین، چارچوب مورد استفاده در این پژوهش به دلیل تکیه بر داده‌های سنجش از دور و پردازش در Google Earth Engine ، قابلیت تکرار و به‌روزرسانی برای پایش دوره‌های بعدی را دارد. با توجه به محدودیت سری زمانی ۱۱ ساله و تعداد کم مشاهدات سالانه، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده این پایش در یک دوره طولانی‌تر ادامه یابد و علاوه بر مقیاس سالانه، تغییرات NDVI در مقیاس ماهانه یا فصلی بررسی شود. همچنین بررسی تأخیر زمانی پاسخ پوشش گیاهی به بارش، تحلیل روند در واحدهای ارتفاعی و اکولوژیکی مختلف پارک و استفاده از داده‌های میدانی و لایه‌های مکمل برای بررسی علت تغییرات مشاهده‌شده در نقشه تفاضلی می‌تواند به تفسیر دقیق‌تر الگوهای پوشش گیاهی کمک کند. در مجموع، این پژوهش یک چارچوب پایه برای پایش مستمر پوشش گیاهی و بررسی هم‌زمان شرایط اقلیمی و حرارتی پارک ملی گلستان ارائه می‌دهد، بدون آنکه از نتایج آماری موجود فراتر از شواهد به‌دست‌آمده نتیجه‌گیری شود.

## مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت برابر مشارکت داشته اند.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کلیه عزیزانی که مارا در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر میکنیم.

## تعارض منافع

« هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

## منابع و مآخذ

[1] Abulibdeh A. The role of protected areas in modulating vegetation response to climatic stressors in hyper-arid ecosystems. Journal for Nature Conservation. 2025;89:127081. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2025.127081

[2] Akbarzadeh P, Nikoo, Akbarzadeh M. Investigating Spatial and Temporal Changes in Vegetation via Remote Sensing Indicators and Revealing Their Trends in The Central Desert of Iran. 2025. https://doi.org/10.35762/AER.2025024

[3] Aktürk E. Seasonal Vegetation Trends in Biomes of Türkiye: A Decade-Long Analysis Using NDVI Time Series. Bartın Orman Fakültesi Dergisi. 2024. https://doi.org/10.24011/barofd.1468085

[4] Alemayehu B, Suarez-Minguez J, Rosette J, Khan SA. Vegetation Trend Detection Using Time Series Satellite Data as Ecosystem Condition Indicators for Analysis in the Northwestern Highlands of Ethiopia. Remote Sensing [Internet]. 2023; 15(20):[5032 p.]. https://doi.org/10.3390/rs15205032

[5] Alizadeh M, Jafari R. Investigation of vegetation trend changes in the bioclimates of Isfahan Province under the influence of climatic parameters. Arid Biom. 2024;14(2):19–33. doi:10.29252/aridbiom.2025.21660.2013. Persian.

[6] Arkhi S, Barzegar Savāsari M, Suri Zāei N, Eshqi B. Investigation of the correlation between vegetation indices in drought analysis using MODIS images (case study: Qom, Isfahan, Chaharmahal and Bakhtiari, and Markazi provinces). Desert Ecosystem Engineering. 2024;12(41):1–20. doi:10.22052/deej.2024.254106.1039. Persian.

[7] Fensholt R, Horion S, Tagesson T, Ehammer A, Ivits E, Rasmussen K. Global-scale mapping of changes in ecosystem functioning from earth observation-based trends in total and recurrent vegetation. Global Ecology and Biogeography. 2015;24. https://doi.org/10.1111/geb.12338

[8] Ghaffarian Malmiri H, Zare Khormizi H. Investigation of vegetation changes in Iran using NOAA-AVHRR NDVI time series and harmonic analysis of time series (HANTS). Sepehr (Geographical Information). 2020;29(113):141–158. doi:10.22131/sepehr.2020.40476. Persian.

[9] Gao C, Ren X, Fan L, He H, Zhang L, Zhang X, et al. Assessing the Vegetation Dynamics and Its Influencing Factors in Central Asia from 2001 to 2020. Remote Sensing [Internet]. 2023; 15(19):[4670 p.]. https://doi.org/10.3390/rs15194670

[10] Gong E, Ma Z, Wang Z, Zhang J. Spatiotemporal Dynamics of Vegetation Productivity and Its Response to Meteorological Factors in China. Atmosphere [Internet]. 2024; 15(4):[491 p.]. https://doi.org/10.3390/atmos15040491

[11] Hussien K, Kassa A, Amera A, Beza S, Haile Erena S. Spatiotemporal trends of NDVI and its response to climate variability in the Abbay River Basin, Ethiopia. Heliyon. 2023;9:e14113. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14113

[12] Jafari R, Lewis M, Ostendorf B. Evaluation of vegetation indices for assessing vegetation cover in southern arid lands in South Australia. Rangeland Journal - RANGELAND J. 2007;29. https://doi.org/10.1071/RJ06033

[13] Jahadi R, Safidi K. Analysis of vegetation trend and ecosystem health monitoring using remote sensing (case study: Fandoghlu region). Iranian Journal of Forest. 2024;16(2):291–310. [In Persian] doi:10.22034/ijf.2024.411977.1940

Kurdistan Province). Journal of Forest and Wood Products. 2019;72(3):193–204. [In Persian] doi:10.22059/jfwp.2019.277944.995.

[27] Vagić N. Comparative analysis of NDVI index and different satellite images classifications in determination the vegetation inventory of Vrčin settlement. Zbornik radova - Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu. 2018;2018:63–83. https://doi.org/10.5937/zrgfub1802063V

[28] Varouchakis E, Komnitsas K, Galetakis M. Spatiotemporal Analysis of Vegetation Health and Moisture Dynamics in Rehabilitated Mining Quarries Using Satellite Imagery. Environmental Processes. 2025;12. https://doi.org/10.1007/s40710-025-00781-3

[29] W.Hassan M. The Effects of Climate Change on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Al-Hawizeh Marsh. International Journal of Environment and Climate Change. 2024;14:208–17. https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i84343

[30] Wei M, Jiao L, Zhang P, Xue R, Wang X, Li Q, et al. Spatial and temporal characteristics of vegetation resilience to drought in China. Science China Earth Sciences. 2025;68. https://doi.org/10.1007/s11430-024-1604-3

[31] Wu Y, Yang J, Li S-L, Guo C, Yang X-D, Xu Y, et al. NDVI-Based Vegetation Dynamics and Their Responses to Climate Change and Human Activities from 2000 to 2020 in Miaoling Karst Mountain Area, SW China. Land. 2023;12:1267. https://doi.org/10.3390/land12071267

[32] Yan K, Gao S, Yan G, Ma X, Chen X, Zhu P, et al. A global systematic review of the remote sensing vegetation indices. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2025;139:104560. https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104560

[33] Yao Zhang JSWL. Temporal and spatial trends in NDVI of vegetation in water level fluctuation zone and drivers along an altitude gradient in the Yarlung Zangbo River Basin. Biodiversity Science. 2024;32(5):23432. https://doi.org/10.17520/biods.2023432

[34] Zare Khormizi H, Ghafarian Malamiri HR. Investigation of phenological components changes of Iranian vegetation in response to climate change using NDVI products of AVHRR sensor from 1982 to 2018. Journal of RS and GIS for Natural Resources. 2020;11(4):87–113. [In Persian] 10.30495/girs.2020.675970.

[35] Zhang H, Li L, Xiaoen Z, 陈峰 FC, Wei J, Feng Z, et al. Changes in Vegetation NDVI and Its Response to Climate Change and Human Activities in the Ferghana Basin from 1982 to 2015. Remote Sensing. 2024;16:1296. https://doi.org/10.3390/rs16071296

[36] Zhang X, Friedl M, Schaaf C, Strahler A. Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid- and high latitudes inferred from MODIS data. Global Change Biology. 2004; 10:1133–45. https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00784.x

[37] Zhao C, Pan Y, Zhang P. Development of a new indicator for identifying vegetation destruction events using remote sensing data. Ecological Indicators. 2024;166:112553. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112553

[14] Jin C. Remote sensing and meteorological data-driven prediction of seasonal changes and optimization of urban roadside plant landscape configuration. Environmental Systems Research. 2025;14. https://doi.org/10.1186/s40068-025-00426-2

[15] Jong R, Schaepman M, Furrer R, de Bruin S, Verburg P. Spatial relationship between climatologies and changes in global vegetation activity. Global change biology. 2013;19. https://doi.org/10.1111/gcb.12193

[16] Li L, Xia R, Dou M, Ling M, Li G, Wang C, et al. Integrating landsat NDVI data with climate and anthropogenic factors reveals drivers of vegetation dynamics in the semi-arid Basin of Western China. Scientific Reports. 2025;15. https://doi.org/10.1038/s41598-025-02360-w

[17] Li L, Xin X, Zhao J, Yang A, Wu S, Zhang H, et al. Remote Sensing Monitoring and Assessment of Global Vegetation Status and Changes during 2016–2020. Sensors [Internet]. 2023; 23(20):[8452 p.]. https://doi.org/10.3390/s23208452

[18] Li M, Cao S, Zhu Z. Spatiotemporally consistent global dataset of the GIMMS Normalized Difference Vegetation Index (PKU GIMMS NDVI) from 1982 to 20202023. https://doi.org/10.5194/essd-15-4181-2023

[19] Lu Y, Yu Y, Sun L, Li C, He J, Zengkun G, et al. NDVI based vegetation dynamics and responses to climate change and human activities at Xinjiang from 2001 to 2020. Scientific Reports. 2025;15. https://doi.org/10.1038/s41598-025-11677-5

[20] Matas-Granados L, Pizarro M, Cayuela L, Domingo D, Gomez D, García M. Long-term monitoring of NDVI changes by remote sensing to assess the vulnerability of threatened plants. Biological Conservation. 2022;265:109428. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109428

[21] Mehmood K, Anees S, Muhammad S, Hussain K, Shahzad F, Liu Q, et al. Analyzing vegetation health dynamics across seasons and regions through NDVI and climatic variables. Scientific Reports. 2024;14. https://doi.org/10.1038/s41598-024-62464-7

[22] Qian C, Shao L, Hou X, Zhang B, Chen W, Xia X. Detection and attribution of vegetation greening trend across distinct local landscapes under China's Grain to Green Program: A case study in Shaanxi Province. Catena. 2019;183:104182. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104182

[23] Rahman G, Farooq U, Jung M-K, Kwon H-H. Spatiotemporal vegetation dynamics in South Asia (2001-2023): roles of climate and anthropogenic activities. Geoscience Letters. 2025;12. https://doi.org/10.1186/s40562-025-00403-8

[24] Rahmi Ma, Parikesit P, Withaningsih S. Vegetation change analysis using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Sumedang Regency. E3S Web of Conferences. 2024;495. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449502007

[25] Sarli R, Roshan G, Garb A. Assessment and prediction of vegetation changes in Mazandaran Province during 2005–2017 using Markov chain and GIS. Sepehr (Geographical Information). 2019;28(111):149–162. [In Persian] doi:10.22131/sepehr.2019.37514

[26] Shabanipour M, Darvishsefat AA, Rahmani R. Analysis of long-term vegetation changes using MODIS-NDVI time series (case study:

[38] Zhao Q, Qu Y. The Retrieval of Ground NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) Data Consistent with Remote-Sensing Observations. Remote Sensing [Internet]. 2024; 16(7):[1212 p.]. https://doi.org/10.3390/rs16071212

[39] Zhu Z, Zhang J, Yang Z, Aljaddani A, Cohen W, Qiu S, et al. Continuous monitoring of land disturbance based on Landsat time series. Remote Sensing of Environment. 2019. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.009

## معرفی نویسندگان

## AUTHOR(S) BIOSKETCHES



**امیر قدسی‌فر** فارغ‌التحصیل رشته مهندسی نقشه‌برداری از دانشگاه جندی‌شاپور دزفول در سال ۱۳۹۹ است. وی برای مقطع کارشناسی ارشد از طریق کنکور در گرایش فتوگرامتری دانشگاه شهید بهشتی و همچنین از طریق استعداد درخشان در گرایش ژئودزی دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی تهران پذیرفته شده و در حال حاضر در مقطع کارشناسی ارشد فتوگرامتری دانشگاه شهید بهشتی مشغول به تحصیل می‌باشد. ایشان دارای سوابق پژوهشی در زمینه پایش و اندازه‌گیری تغییرات پوشش گیاهی و پهنه‌های آبی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بوده و در حوزه یادگیری عمیق (Deep Learning) نیز فعالیت پژوهشی و مهارت دارد.

**Ghodsifar, A., M.Sc. Student in Photogrammetry, Faculty of Civil, Water, and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran**

*a.ghodsifar@mail.sbu.ac.ir*



**اصغر میلان** استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری در دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی، دارای مدرک دکتری از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی در رشته مهندسی نقشه‌برداری- فتوگرامتری می‌باشد. ایشان تا کنون موفق به چاپ مقالات متعدد در مجلات و کنفرانس‌های داخلی و بین‌المللی معتبر شده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: فتوگرامتری، سنجش از دور، کاداستر و پردازش تصاویر می باشد.

**Milan, A. Assistant Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran**

*a_milan@sbu.ac.ir*



**زهرا عزیزی** استادیار مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی، دارای مدرک دکتری از دانشگاه تربیت مدرس، رشته سنجش از دور است. ایشان تاکنون موفق به چاپ مقالات متعدد در مجلات و کنفرانس‌های داخلی و بین‌المللی معتبر شده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: سنجش از دور، فتوگرامتری و کاربردهای سیستم‌های اطلاعات مکانی در مدیریت منابع و محیط زیست است.

**Azizi, Z. Assistant Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran**

*zah_azizi@ sbu.ac.ir*

**Citation (Vancouver):** Ghodsifar A, Milan A, Azizi Z. [Ecological monitoring and analysis of temporal changes in vegetation cover using NDVI index and remote sensing data (Case study: Golestan National Park)]. *J. RS. GEOINF. RES. 2026; 4(2): 305-320*

https://doi.org/10.22061/jrsgr.2026.13034.1122

**COPYRIGHTS**

© 2026 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)