



## Investigation of the Impact of Temporal and Spatial Changes in Precipitation and Temperature on Vegetation Cover Using Satellite Imagery (Case Study: Yazd Province)

Mahin Fooladi Doghzlo<sup>1</sup>, Mehdi Hayatzadeh<sup>\*2</sup>

1. PhD. Student of Rangeland Science and Engineering, Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

2. Corresponding author; Assistant Prof., Department of Natural Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran. E-mail: mhayatzadeh@ardakan.ac.ir

**Article Info**

**Article type:**  
Research Full Paper

**2025; Vol 18, Issue 4**

**Article history:**  
Received: 12.11.2023  
Revised: 10.12.2024  
Accepted: 16.01.2025

**Keywords:**  
Remote Sensing,  
NDVI,  
Climatic Variables,  
Mann-Kendall.

**Abstract**

**Background and objectives:** Vegetation cover is affected by the interplay of precipitation and temperature, as the amount and timing of precipitation, along with temperature patterns, directly influence plant growth, distribution, and overall health. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) serves as an indicator of surface vegetation condition and effectively reflects the impacts of environmental changes. Precipitation and temperature are key controlling factors in NDVI variations. This study aims to examine the effects of precipitation and temperature changes on NDVI values derived from MODIS data in Yazd Province over a 24-year period (2000 to 2023).

**Methodology:** This study utilized NDVI data extracted from the MODIS sensor aboard the TERRA satellite. The NDVI index with a spatial resolution of 250 meters was generated every 16 days. These images, which include vegetation indices, are used for global vegetation monitoring, land cover representation, and its changes. The analysis of NDVI changes was performed in Google Earth Engine (GEE), and spatial analysis of the images was conducted using ArcGIS 10.8.3. Due to the lack of long-term precipitation and temperature data and the absence of suitably distributed meteorological stations in Yazd Province during the study period, ERA5-Land reanalysis data for the 24-year period (2000 to 2023) were utilized. The spatial resolution of ERA5-Land is 9 km, and its temporal resolution is hourly. Data processing related to the calculation of annual, monthly, and seasonal averages of NDVI, precipitation, and temperature was carried out, followed by trend analysis using the Mann-Kendall test. The correlation between NDVI and climatic variables (precipitation and temperature) was examined at the annual, monthly, and seasonal scales.

**Results:** The time series of NDVI, precipitation, and temperature at the annual scale for the 23-year study period showed an insignificant upward trend. Correlation analysis between NDVI and precipitation and temperature revealed that at the annual scale, the correlation of NDVI with precipitation was 0.31 ( $r = 0.31$ ,  $p$ -value = 0.05) and with temperature was 0.15 (non-significant). At the seasonal scale, the highest correlations between NDVI and temperature occurred in autumn ( $r = 0.14$ ), while the highest correlation with precipitation occurred in spring ( $r = 0.75$ ). At the monthly scale, the strongest positive correlation with temperature was observed in

---

July ( $r = 0.31$ ) and the weakest in February ( $r = 0.08$ ), while the strongest positive correlation with precipitation occurred in March ( $r = 0.38$ ) and the weakest in September ( $r = 0.04$ ). Based on the average monthly correlation coefficients, the effect of precipitation on vegetation changes was found to be stronger than that of temperature. A differential map of NDVI between the start (2000) and end (2023) years indicated that areas with increasing and decreasing vegetation changes were scattered irregularly and did not follow any specific spatial pattern. Vegetation changes in different areas were observed with considerable variation in magnitude and form.

**Conclusion:** The use of advanced remote sensing techniques, such as time series analysis of satellite images, the integration of multi-source data, and machine learning algorithms, has become a focus for improving NDVI estimation and other climatic variables, including temperature, precipitation, and evapotranspiration. The results indicate that both precipitation and temperature have a positive effect on NDVI, with precipitation having a greater impact. However, the intensity of this effect varies depending on the time scale. At the annual scale, NDVI showed the highest positive correlation with both precipitation and temperature. In spring, the highest correlation between NDVI and precipitation was observed, while in summer, the highest correlation occurred between NDVI and temperature. The findings of this study show that vegetation changes, in addition to the direct impacts of climatic variables, are also indirectly influenced by human activities such as land-use change, water resource management, and land exploitation in Yazd Province. These findings contribute to a deeper understanding of the interactions between vegetation cover, climatic variables, and human activities.

---

**Cite this article:** Fooladi Doghozlo, M., M. Hayatzadeh, 2025. Investigation of the Impact of Temporal and Spatial Changes in Precipitation and Temperature on Vegetation Cover Using Satellite Imagery (Case Study: Yazd Province). Journal of Rangeland, 18(4): 483-504.



© The Author(s).

Publisher: Iranian Society for Range Management

DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.4.1.3

# مرتع

شایا چاپی: ۲۰۰۸-۰۹۱

شایا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۵۰۳۹

## بررسی تاثیر تغییرات زمانی و مکانی بارش و دما بر پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردي: استان یزد)

مهین فولادی دوقوزلو<sup>۱</sup> و مهدی حیاتزاده<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی دکترای علوم و مهندسی مرتعاری، گروه مهندسی مرتع، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریاپی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. رایان نامه: mhayatzadeh@ardakan.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل - پژوهشی	سابقه و هدف: پوشش گیاهی تحت تأثیر متقابل بارش و دما قرار می‌گیرد، زیرا میزان و زمان بارندگی، همراه با الگوهای دما، به طور مستقیم بر رشد، توزیع و سلامت کلی زندگی گیاهان تأثیر می‌گذارد. شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) به عنوان نماینده‌ای از وضعیت پوشش گیاهی سطحی، تأثیرات تغییرات محیطی را به خوبی منعکس می‌کند. بارش و دما، دو عامل کلیدی کنترل کننده در تغییرات NDVI هستند. هدف این مطالعه بررسی تأثیر تغییرات بارش و دما بر مقدار NDVI به دست آمده از داده‌های سنجنده MODIS در استان یزد، طی دوره ۲۴ (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳) است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۷	مواد و روش‌ها: در این تحقیق از شاخص NDVI استخراج شده از اطلاعات سنجنده MODIS ماهواره TERRA استفاده شد. شاخص NDVI با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر به صورت ۱۶ روزه تولید گردید. این تصاویر شامل شاخص‌های پوشش گیاهی هستند و برای پایش جهانی پوشش گیاهی، نمایش پوشش زمین و تغییرات آن به کار می‌روند. تحلیل تغییرات این شاخص در محیط Google Earth Engine (GEE) انجام شده و سپس تجزیه و تحلیل مکانی تصاویر با استفاده از محیط ArcGIS 10.8.3 انجام گرفته است. به علت عدم دسترسی به داده‌های بارش و دما در دراز مدت و نبود ایستگاه‌های پایش اقلیمی با پراکنش مناسب در استان یزد در دوره مورد بررسی، از داده‌های دوره ۲۴ (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳) تحلیل مجدد ERA5-Land استفاده شد. تفکیک مکانی ERA5-Land برابر با ۹ کیلومتر و تفکیک زمانی آن یک ساعته است. پردازش داده‌های مرتبط با محاسبه میانگین سالانه، ماهانه و فصلی از سری زمانی NDVI، بارش و دما، و میانگین این مقادیر در سطح استان یزد انجام شد. در پایان آنالیز روند این سه مجموعه داده با استفاده از آزمون من-کنadal بررسی و سپس همبستگی بین شاخص NDVI و متغیرهای اقلیمی بارش و دما در مقیاس‌های سالانه، ماهانه و فصلی بررسی گردید. نتایج: سری‌های زمانی NDVI، بارش و دما در مقیاس سالانه در دوره مورد مطالعه ۲۳ ساله دارای روند صعودی غیرمعنی دار می‌باشند. با تحلیل همبستگی میان NDVI و بارش و دما، مشخص شد که در مقیاس سالانه، همبستگی NDVI با بارش به مقدار $r = 0.31$ ( $P\text{-value} = 0.05$ ) و با دما به مقدار $r = 0.15$ ( $P\text{-value} = 0.14$ ) معنی دار است. در مقیاس فصلی، بیشترین ضرایب همبستگی NDVI و دما مربوط به فصل پاییز ( $r = 0.14$ ) و بیشترین همبستگی با بارش مربوط به فصل بهار ( $r = 0.25$ ) است. در مقیاس ماهانه، بیشترین و کمترین همبستگی مشبت با دما به ترتیب در ماههای جولای ( $r = 0.31$ ) و فوریه ( $r = 0.08$ ) و بیشترین و کمترین همبستگی مشبت با بارش مربوط به ماههای مارس ( $r = 0.38$ ) و سپتامبر ( $r = 0.04$ ) است. بر اساس میانگین
واژه‌های کلیدی: سنجدش از دور، شاخص NDVI، متغیر اقلیمی، من-کنadal.	

ضرایب همیستگی ۱۲ ماه، تأثیر بارش بر تغییرات پوشش گیاهی بیشتر از تأثیر دما بر آن است. نقشه تفاضلی شاخص NDVI بین سال ابتدا (۲۰۰۰) و انتهایی (۲۰۲۳) مورد بررسی نشان می‌دهد که مناطق دارای تغییرات مقادیر افزایشی و کاهشی پوشش گیاهی، دارای پراکنش نامنظمی هستند و از تغییرات مکانی خاصی پیروی نمی‌کنند. به عبارت دیگر، تغییرات در پوشش گیاهی در مناطق مختلف با تفاوت‌های بسیاری در میزان و شکل دیده می‌شود.

**نتیجه‌گیری:** استفاده از تکنیک‌های پیشرفته سنجش از دور مانند تحلیل سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای، ترکیب داده‌های چندمنبعی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین بهمنظور بهبود تخمین NDVI و متغیرهای مختلف آب‌وهوازی، از جمله دما، بارش و تبخیر-تعرق مورد توجه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که هر دو متغیر بارش و دما تأثیر مثبتی بر NDVI دارند، با این تفاوت که بارش تأثیر بیشتری را نشان می‌دهد. با این حال، شدت این تأثیر بسته به مقیاس زمانی متفاوت است. در مقیاس سالانه، NDVI بیشترین همبستگی مثبت را با هر دو متغیر بارش و دما داشته است. در فصل بهار بیشترین همبستگی بین NDVI و بارش و در تابستان بین NDVI و دما مشاهده شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تغییرات پوشش گیاهی علاوه بر تأثیرات مستقیم متغیرهای اقلیمی، بهطور غیرمستقیم نیز تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی همچون تغییر کاربری اراضی، مدیریت منابع آب و بهره‌برداری از زمین در استان یزد قرار دارد. این یافته‌ها می‌توانند به درک عمیق‌تر تعاملات بین پوشش گیاهی، متغیرهای اقلیمی و فعالیت‌های انسانی کمک کنند.

استناد: فولادی دوقولو، م. حیاتزاده، ۱۴۰۳. بررسی تأثیر تغییرات زمانی و مکانی بارش و دما بر پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مقاله موردی: استان یزد). مرتع، ۱۸(۳): ۴۸۳-۵۰۴.



DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.4.1.3

© نویسنده‌گان

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

## مقدمه

تاثیرگذار بر پوشش گیاهی بشمار می‌رond. در همین راستا، تحقیقات نشان داده است که رابطه NDVI و خصوصیات اقلیمی در مقیاس‌های مختلف وجود دارد (۳۱). همچنین در مقیاس جهانی، بارش و دما هر دو عامل کنترل‌کننده بسیار مهمی برای افزایش و کاهش پوشش گیاهی هستند (۲۴ و ۵). علاوه بر این، بارش در مقیاس منطقه‌ای، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بر NDVI تأثیر بسیار زیادی دارد (۲۶). با این حال، برخی مناطق در زمان‌های مختلف به صورت متفاوتی تحت تأثیر عوامل آب و هوایی قرار می‌گیرند. مطالعات مختلف نتایج متفاوتی در زمینه رابطه بین NDVI و بارش و دما در مقیاس‌های متفاوت نشان داده‌اند (۱۰ و ۳۰). به طور کلی، تغییر سالانه گیاهان به طور قابل توجهی تحت تأثیر بارش قرار دارد، در حالی که رشد گیاهان در مقیاس زمانی ماهانه، کمتر تحت تأثیر دما و بارش است (۱۷). به‌دلیل رابطه پیچیده بین گیاهان و اقلیم و تفاوت‌های موجود در مقیاس زمانی-مکانی و نوع پوشش گیاهی، نتایج تحلیلی ممکن است متفاوت باشند.

نتایج مطالعات قبلی در این زمینه نشان می‌دهد که بیشتر مطالعات تمرکز خود را روی همبستگی بین دو عامل بارش و دما با شاخص NDVI قرار داده‌اند (۱۱، ۱۹ و ۳۷). مکرم و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات شاخص NDVI استخراج شده از تصاویر سنجنده‌های Landsat و ASTER با دما را در شمال شهرستان دارابدر استان فارس در دو سال ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ و در ۳۹ نقطه تصادفی بررسی کردند. نتایج همبستگی و رگرسیون خطی نشان داد که با افزایش دما شاخص NDVI کاهشی و میزان همبستگی اغلب بالای ۹۰ درصد معنی‌دار است. رنجبر و همکاران (۲۰۲۰) در یک دوره ۱۷ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ تغییرات شاخص NDVI را در ارتباط با تغییرات بارش و دما بررسی کردند. نتایج نشان دهنده افزایش دما و کاهش بارندگی در طول دوره مورد بررسی بود. آن‌ها همچنین نشان دادند که نقش دارای اولویت بالایی است.

و همچنین حداکثر همبستگی منفی و مثبت NDVI با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۸۳ و ۰/۰ و همچنین حداکثر همبستگی منفی و مثبت NDVI و دما به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۵ و ۰/۰ به دست آمد. صادقی و همکاران (۲۰۲۳) رابطه بین شاخص NDVI و دمای سطح

گیاهان به عنوان یکی از اجزای حیاتی اکوسیستم‌ها، نقش کلیدی در حفظ پایداری محیط زیست ایفا می‌کند (۱۶). این نقش، به ویژه در مواجهه با تغییرات آب‌وهواهی، اهمیت دوچندان پیدا می‌کند، زیرا تغییرات اقلیمی می‌توانند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر رشد، توزیع، و عملکرد کربنی گیاهان تأثیر بگذارند (۴ و ۱۳). از میان عوامل مختلف تأثیرگذار بر پوشش گیاهی، اقلیم یکی از اصلی‌ترین عوامل است که بارش به عنوان یک متغیر اقلیمی کلیدی، نقش بسیار مهمی در تعیین الگوهای رشد و توزیع گیاهان ایفا می‌کند (۴۴ و ۳۵). در سال‌های اخیر، افزایش ناهمانگی‌های اقلیمی، اهمیت مطالعه روابط میان اقلیم و پوشش گیاهی را برجسته‌تر کرده است. با توجه به وسعت زیاد پوشش گیاهی و محدودیت‌های موجود در مطالعات زمینی، استفاده از شاخص‌های گیاهی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای به عنوان ابزاری کارآمد برای پایش و تحلیل تغییرات اکوسیستم‌ها، گسترش یافته است (۲۳). توسعه فناوری سنجش از دور نیز این امکان را فراهم آورده است که تغییرات پوشش گیاهی با دقت و کارایی بیشتری مورد بررسی قرار گیرند (۳ و ۳۳). تا کنون شاخص‌های پوشش گیاهی زیادی معرفی شده که در بین آنها، شاخص نرمال NDVI= Normalized Difference Vegetation Index شده تفاوت پوشش گیاهی (DVI) نه تنها بطور ساده و آسان قابل محاسبه بوده، بلکه به طور قابل توجهی وضعیت گیاهان سطحی را نیز بازتاب می‌کند و در حال حاضر بطور گستردگی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۴۳). این شاخص بیشترین استفاده را برای مطالعه مراحل مختلف رشد و توسعه سالانه و فصلی مناطق گیاهی بزرگ دارد (۱۲ و ۳۹). تغییرات NDVI به طور مستقیم با تغییرات آب و هوایی، عمدهاً با تغییرات بارش، مرتبط است (۴۵). به عنوان مثال، بارش شدید مقدار NDVI گونه‌های گیاهی را افزایش می‌دهد (۴۰)، بنابراین، برای مطالعات پوشش گیاهی، بخصوص در دوره‌های زمانی گذشته، استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای از قبیل شاخص NDVI دارای اولویت بالایی است.

پوشش گیاهی تحت تأثیر عوامل مختلفی در مقیاس مکانی مختلف است و عوامل اقلیمی از عوامل بزرگ مقیاس

گیاهان دارند (۲۵)، و رابطه تأثیری بین آن‌ها نیز بهتر آشکار می‌شود. از آنجا که نوع پوشش گیاهی می‌تواند بازتابی از شرایط اقلیمی باشد، بررسی رابطه NDVI و اقلیم در مقیاس زمانی ماهانه ممکن است نتایج دقیق‌تر و معنادارتری نسبت به مقیاس‌های سالانه یا فصلی ارائه دهد (۴۳).

برای پایش و تجزیه و تحلیل تغییرات در عناصر طبیعی زمین، سنجش از دور به عنوان یک ابزار حیاتی و موثر ظهر کرده است (۹). داده‌های ماهواره‌ای به طور گستردۀ در تجزیه و تحلیل محیطی داده‌های پوشش زمین و متغیرهای اقلیمی (۴۷) و همچنین تشخیص تغییرات درازمدت آن‌ها استفاده شده است. یکی از مجموعه داده‌های سری زمانی شاخص NDVI مجموعه Terra از سنجنده MODIS است. این مجموعه داده‌ای به طور رایج برای تحلیل واکنش گیاهان به اقلیم در مقیاس جهانی و منطقه‌ای استفاده می‌شوند (۴۲). همچنین، استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای به عنوان یکی از روش‌های مدرن و دقیق در تعیین وضعیت اقلیمی منطقه‌ای بسیار مفید است. با توجه به تغییرات اقلیمی مناطق مختلف ایران (۲۱)، استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای می‌تواند به عنوان یک ابزار پایش وضعیت اقلیمی در طولانی مدت مفید باشد. با این حال، برای انجام این کار، نیاز به تحلیل دقیق و شناخت دقیقی از ویژگی‌های داده‌های بارش ماهواره‌ای، از جمله دقت جغرافیایی و زمانی، وجود دارد (۱۴). استفاده از شاخص گیاهی و به کارگیری تکنیک سنجش از دور کمک شایانی به مدیریت لازم برای اصلاح پوشش گیاهی می‌کند (۲۹). استفاده از منابع مبتنی بر ابر (Cloud-based) Google Earth (GEE) تحلیل سریع و دقیق، به ویژه ابزار GEE Engine، توجه جهانی را به خود جلب کرده است (۳۸). اما هنوز مطالعات زیادی درباره استفاده از منابع مبتنی بر ابر، از جمله GEE، انجام نشده است.

این مطالعه به بررسی رابطه بین تغییرات پوشش گیاهی و متغیرهای اقلیمی (بارش و دما) در استان یزد، که در بخش مرکزی ایران با اقلیم گرم و بیابانی و پوشش گیاهی متنوع واقع شده است، می‌پردازد. با بررسی روند تغییرات این متغیرها، رابطه بین شاخص NDVI و دو متغیر اقلیمی مورد نظر در مقیاس‌های زمانی مختلف (سالانه، ماهانه و

زمینی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در محدوده شهر اصفهان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در فصل بهار بالاترین درصد NDVI با پایین‌ترین میزان دما فاقد انتظامی مکانی است، که نشان دهنده عدم وجود رابطه معکوس بین درصد شاخص پوشش گیاهی با درجه حرارت سطح است. اما در فصل تابستان بالاترین میزان درصد شاخص پوشش گیاهی با کمترین میزان دمای سطح زمین انتظامی مکانی کامل دارد.

نانزاد و همکاران (۲۰۱۹) در یک دوره هفده ساله (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۶) در مغولستان رابطه همبستگی بین شاخص NDVI و دما و بارش را بررسی کردند. نتایج نشان داد همبستگی بین NDVI و بارش و دما به ترتیب برابر با  $0.46$  و  $-0.40$  می‌باشد که نشان دهنده تاثیر قابل توجه آن‌ها در تغییرات پوشش گیاهی است. ژی و زانگ (۲۰۲۱) رابطه بین شاخص NDVI با بارش و دما در منطقه بت جنوبی در مقیاس ماهانه را بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که طی ماه‌های فصل بهار، شاخص NDVI با دما و بارندگی همبستگی مثبت داشته و دما، عامل محرك اصلی برای رشد پوشش گیاهی در بت جنوبی است. همچنین، ضرایب همبستگی بین NDVI با دما و بارندگی به ترتیب در حدود  $72$  و  $60$  درصد در مناطق دارای پوشش گیاهی بیشتر از  $60\%$  به دست آمد. Wei و همکاران (۲۰۲۲) روند تغییرات شاخص NDVI و تغییرات بارش و دمای محاسبه شده توسط ERA5-Land در کل کشور چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که پوشش گیاهی شمال شرق چین در پاییز و زمستان با تحریب قابل توجهی روبرو شده است. همچنین، بارش با ضریب همبستگی  $0.54$  تاثیر بیشتری نسبت به دما (با همبستگی  $0.27$ ) در کنترل توزیع فضایی شاخص NDVI داشته است.

با بررسی مطالعات در این زمینه مشخص می‌شود که انتخاب مقیاس زمانی در تحلیل رابطه NDVI و اقلیم بسیار مهم است. بسیاری از مطالعات در مقیاس زمانی سالانه یا فصلی به بررسی رابطه بین اقلیم و پوشش گیاهی پرداخته‌اند (۶). با این حال، تأثیر اقلیم بر رشد گیاهان به طور کافی در این مقیاس‌های زمانی روش نیست و نمی‌تواند روابط واقعی بین آن‌ها را به خوبی نشان دهد. در مقیاس زمانی ماهانه، شرایط اقلیمی تأثیر بیشتری بر رشد

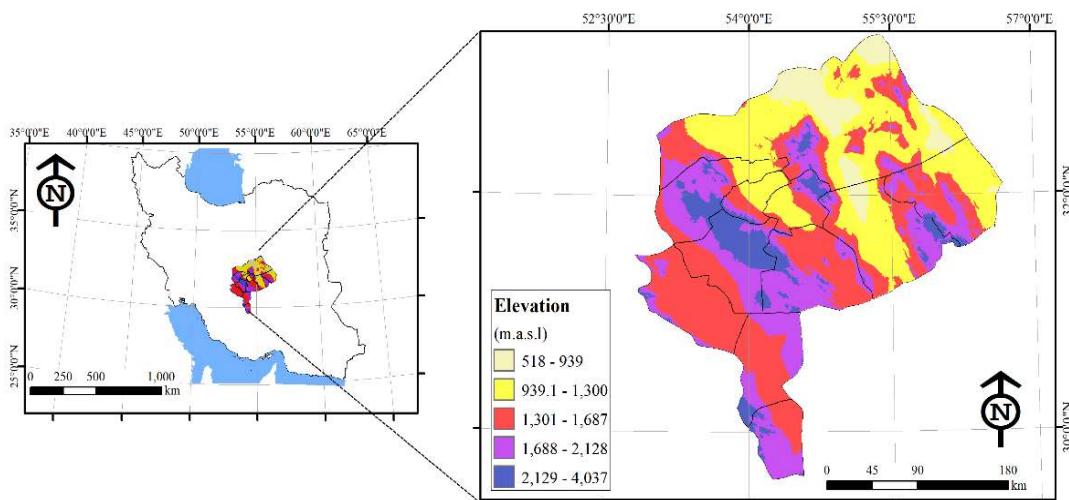
و میانگین دمای سالانه آن  $28/6^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی‌گراد است (۲). این استان دارای ویژگی‌های اقلیمی و توپوگرافی منحصر به فردی است که می‌تواند تأثیر بسیاری روی پوشش گیاهی داشته باشد. توپوگرافی استان یزد نیز با تنوع بالایی همراه است. این استان شامل رشته کوههای زاگرس و کویر دشت لوت و بیابان‌های مرکزی ایران است. این ویژگی‌های توپوگرافی، به همراه اقلیم، می‌تواند به عنوان عوامل محدودکننده یا تشدید کننده برای رشد گیاهان در برخی مناطق استان یزد عمل کند. اقلیم کلی استان یزد، بر اساس روش آمبرژه گرم و بیابانی بوده و در بسیاری از مناطق آن، بارش بیشتر در فصل زمستان و شرایط گرم و خشک تابستانی و خنک و خشک زمستانی حاکم است (۱۸). با این حال، در سال‌های اخیر، این منطقه با تغییرات اقلیمی روبرو شده است که تأثیرات آن بر روی پوشش گیاهی و منابع آبی این منطقه قابل مشاهده است (۳۶). شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و نقشه ارتفاعی آن را نشان می‌دهد.

فصلی) تحلیل می‌شود. تحقیق حاضر، اولین تحقیق گستردۀ در این منطقه با توجه به مقیاس مکانی و زمانی است. هدف آن بررسی تفاوت‌های تغییرات NDVI در ارتباط با تغییرات عوامل اقلیمی است و روش‌هایی برای بررسی ارتباط NDVI و عوامل اقلیمی در آینده ارائه می‌دهد. نتایج این تحقیق نیز درباره تأثیر تغییرات اقلیمی بر پوشش گیاهی در منطقه یزد را ارائه خواهد کرد و می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های مرتبط با مدیریت منابع طبیعی و حفاظت محیط زیست به کمک کند.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، استان یزد است. محدوده طول و عرض جغرافیایی استان یزد به ترتیب  $52^{\circ} 52'$  و  $48^{\circ} 58'$  طول شرقی و  $29^{\circ} 35'$  و  $35^{\circ} 5'$  عرض شمالی است. استان یزد با وسعتی بالغ بر  $128$  هزار کیلومتر مربع در مرکز ایران قرار گرفته است. میانگین ارتفاعی استان  $1257$  متر از سطح دریا و شب متوسط آن حدود  $10$  درصد است. میانگین بارش سالانه در یک دوره  $22$  ساله (از  $2000$  تا  $2023$ ) در این منطقه  $17/4$  میلی‌متر



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه (استان یزد) در ایران

## روش تحقیق

توسعه یافته است. این مشاهدات از منابع مختلف، از جمله ایستگاه‌های هواشناسی، ماهواره‌ها، و رادار را با یک مدل عددی ترکیب می‌کند تا تخمین‌هایی از متغیرهای سطح زمین، مانند بارش، میانگین دما، و رطوبت خاک تولید کند. مشاهدات باران‌سنج برای کالیبره کردن مشاهدات رادار و ماهواره و ارائه داده‌های زمینی برای ارزیابی دقت برآوردها استفاده می‌شود. میانگین دما در یک مکان معین در ERA5-Land با استفاده از یک مدل عددی تخمین زده می‌شود (۱۵). ERA5-Land تنها با یک شبیه‌سازی و بدون در نظر گرفتن بخش جوی سامانه یکپارچه پیش‌بینی ERA5-ECMWF تولید می‌شود. یکی از مهم‌ترین مزایای ERA5-Land نسبت به ERA5 این است که تفکیک مکانی آن بهتر است و برابر با ۹ کیلومتر است. تفکیک زمانی آن‌ها مشابه و یک ساعته است، اما متغیرهای مرتبط با اقیانوس‌ها در آن در نظر گرفته نشده است.

در این تحقیق، از داده‌های ۲۴ ساله دما و بارش از مجموعه داده‌های ERA5-Land استفاده شده و در محدوده استان یزد از نقشه‌های رستری مربوطه دانلود شده‌اند. پردازش داده‌های مرتبط با محاسبه میانگین سالانه، ماهانه و فصلی از سری زمانی NDVI، بارش و دما، و میانگین این مقادیر در سطح استان یزد انجام شد. دوره زمانی مورد مطالعه بهار از مارس تا مه، تابستان از ژوئن تا آگوست، پاییز از سپتامبر تا نوامبر، و زمستان از دسامبر تا فوریه است. سپس داده‌های فصلی و سالانه توسط تصاویر ماهانه ترکیب شده و در مقیاس پیکسل برای منطقه مورد مطالعه انجام شد. تمام مراحل فوق در سه مقیاس زمانی و مکانی مورد بررسی در محیط GEE انجام گرفت.

**تعیین آستانه تغییرات افزایشی و کاهشی NDVI**  
به منظور تحلیل تغییرات مکانی NDVI در طول دوره مطالعه (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳)، ابتدا نقشه‌های تفاضلی سالانه محاسبه شدند. این نقشه‌ها با تفریق مقادیر NDVI هر سال از سال بعدی ایجاد شدند. (به عنوان مثال، نقشه سال ۲۰۰۱ از تفریق NDVI سال ۲۰۰۰ محاسبه شد). این فرآیند برای تمام سال‌های متوالی اجرا شد و در نهایت ۲۲ نقشه تفاضلی به دست آمد.

سپس، برای تعیین آستانه تغییرات، مقادیر پیکسلی تمام ۲۲ نقشه جمع‌آوری و تحلیل آماری انجام شد. میانگین

در این تحقیق، از داده‌های سنجنده MODIS (Terra 250-meter) و شاخص ۱۶ NDVI روزه برای ارزیابی پوشش گیاهی دوره‌ی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ در سطح استان یزد استفاده شده است. مقادیر NDVI از تصاویر ماهواره Terra حاصل از سنجنده MODIS (MOD09A1) به دست آمدند. این شاخص یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت و کمیت پوشش گیاهی است که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مقیاس‌های زمانی مختلف، از جمله فصلی، ماهانه و سالانه، برای بررسی رشد و تغییرات پوشش گیاهی به کار می‌رود. براس محاسبه این شاخص از رابطه (۱) می‌توان استفاده کرد.

رابطه (۱):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$$

که در این رابطه NIR و Red به ترتیب باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز می‌باشند (۹ و ۲۰). مقدار NDVI از ۱ تا ۱ (بدون بعد) متغیر است، کمترین و بیشترین مقدار این شاخص مربوط به ابر و برف و آب و بیشترین مقدار آن مربوط به پوشش گیاهی است. گیاهان سبز، مقادیر نزدیک از این شاخص را نشان می‌دهند، خاک برهمه مقادیر نزدیک به صفر و آب مقادیر منفی را نشان می‌دهند. شاخص تفاضل نرمال پوشش گیاهی با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر به صورت ۱۶ روزه توسط MOD09A1 تولید می‌شود (earthexplorer.usgs.gov) پوشش گیاهی هستند و برای پایش جهانی پوشش گیاهی، نمایش پوشش زمین و تغییرات آن به کار می‌روند. تحلیل تغییرات این شاخص در محیط GEE انجام شده و سپس ArcGIS تجزیه و تحلیل مکانی تصاویر با استفاده از محیط ۱۰.8.3 انجام گرفت.

### داده‌های اقلیمی بارش و دما

در این تحقیق، به علت عدم دسترسی به داده‌های بارش و دما دراز مدت و نبود ایستگاه‌های پایش اقلیمی با پراکنش مناسب در استان یزد در دوره مورد بررسی، از داده‌های تحلیلی ERA5-Land استفاده شد. ERA5-Land یک محصول تجزیه و تحلیل مجدد سطح زمین است که توسط مرکز اروپایی پیش‌بینی هوای متوسط (ECMWF)

## بررسی تاثیر تغییرات زمانی و مکانی بارش و دما بر پوشش گیاهی.../ فولادی و حیات‌زاده

مقدار آماره  $t$  از رابطه زیر محاسبه و سپس با مقدار  $t$  جدول با درجه آزادی  $n-2$  تصمیم گیری می‌شود.  
رابطه (۳):

$$t = \frac{p\sqrt{n-2}}{1-p^z}$$

### آزمون من-کندال

آزمون من-کندال (به اختصار MK) یک آزمون آماری ناپارامتری است که در مقایسه با سایر روش‌های آزمون پارامتریک، نیازی به پیروی از توزیع مشخصی از نمونه‌ها ندارد. MK به وسیله سازمان جهانی هواشناسی (WMO) در سال ۱۹۸۸ پیشنهاد شد. ایکی از مزایای این آزمون نسبت به آزمون‌های تحلیل روند دیگر، این است که از رتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر گرفتن مقادیر متغیرها استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، از این آزمون می‌توان برای داده‌هایی با ویژگی چولگی نیز استفاده کرد، و داده‌ها نیاز به تطبیق با یک توزیع خاص ندارند (۳۲).  
رابطه (۴):

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

که در آن  $S$ ، نشان دهنده تفاوت مقادیر با یکدیگر و vars(s) پراش  $S$  است (رابطه ۵).  
رابطه (۵):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n Sgn(X_j - X_k)$$

که در آن،  $n$  تعداد مشاهدات سری،  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب داده‌های  $J$  ام و  $K$  ام سری (مرتب شده به ترتیب وقوع)،  $sgn(.)$  در رابطه (۶) تابع علامت است.  
رابطه (۶):

$$Sgn(X) = \begin{cases} +1, & \text{if } (X_j - X_k) > 0 \\ 0, & \text{if } (X_j - X_k) = 0 \\ -1, & \text{if } (X_j - X_k) < 0 \end{cases}$$

مقادیر نقشه‌های تفاضلی به عنوان نقطه مرکزی تغییرات انتخاب شد. آستانه تغییرات به صورت زیر تعریف شد:

- مقادیر مثبت بالاتر از میانگین، نشان‌دهنده تغییرات افزایشی

- مقادیر منفی پایین‌تر از میانگین، نشان‌دهنده تغییرات کاهشی

این رویکرد امکان تفکیک تغییرات واقعی را از نوسانات تصادفی در NDVI فراهم کرده و پایه‌ای قوی برای تحلیل‌های مکانی دقیق‌تر ارائه داده است.

### تحلیل همبستگی

در این مطالعه از ضریب همبستگی رتبه اسپیرمن (ρ) استفاده شد (معادله ۲). این روش تطابق ترتیبی میان دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند. برخلاف روش‌های خطی، این روش به فرض رابطه خطی میان متغیرها متکی نیست و سازگاری ترتیب رتبه متغیرها را ارزیابی می‌کند. به‌ویژه، همبستگی اسپیرمن زمانی مفید است که ارتباط بین NDVI و بارش/دما لزوماً خطی نباشد یا زمانی که داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نکنند. در این مطالعه، به دلیل عدم بررسی خطی بودن یا نبودن این رابطه و همچنین نامطمئن بودن از توزیع داده‌ها، از این روش استفاده شد.

این ضریب در دهه ۹۰ توسط چارلز اسپیرمن مطرح شد. مقدار ضریب همبستگی اسپیرمن همیشه بین  $-1$  و  $+1$  قرار دارد. یکی از شرایط استفاده از این ضریب این است که دو متغیر باید تفاوت‌های زمینه‌ای قابل توجهی با یکدیگر داشته باشند تا رتبه‌بندی افراد مفهوم پیدا کند. در صورت کم بودن تعداد تفاوت‌های زمینه‌ای به دلیل قرارگیری تعداد زیادی از پارامترها در یک رتبه، محاسبه این ضریب امکان ناپذیر می‌شود. معادله این ضریب به صورت رابطه (۲) است.  
رابطه (۲):

$$P = 1 - \frac{6(\sum d_i^2)}{n(n^2 - 1)}$$

که در آن  $p$  و  $n$  به ترتیب ضریب همبستگی اسپیرمن و تعداد مشاهده‌ها می‌باشند.  $\sum d_i^2$  مجموعه مجدد تفاوت دو رتبه است. برای آزمون این ضریب همبستگی،

در یک آزمون دو دامنه‌ای برای تحلیل روند سری داده‌ها، فرض صفر در نظر گرفته می‌شود که مبنای آن، رابطه (۷) باشد:

رابطه (۷):

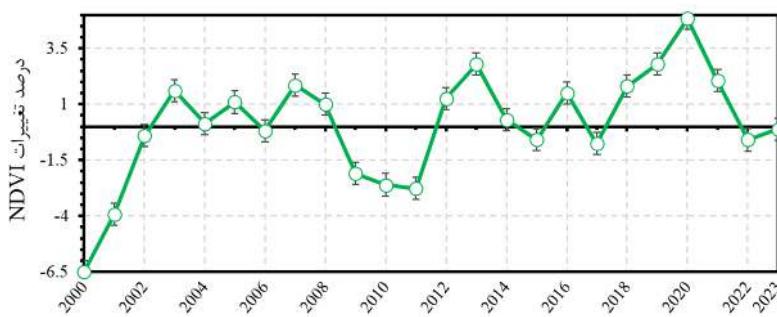
$$|Z| \leq Z_{\alpha/2}$$

که در آن،  $\alpha$  سطح معنی‌داری آزمون و  $Z_\alpha$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری  $\alpha$  است که با توجه به دو دامنه بودن آزمون،  $Z_\alpha = Z_{\alpha/2}$  استفاده می‌شود. در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد روند سری داده‌ها افزایشی و در صورت منفی بودن آن روند کاهشی در نظر گرفته می‌شود.

## نتایج

### تغییرات سالانه شاخص NDVI

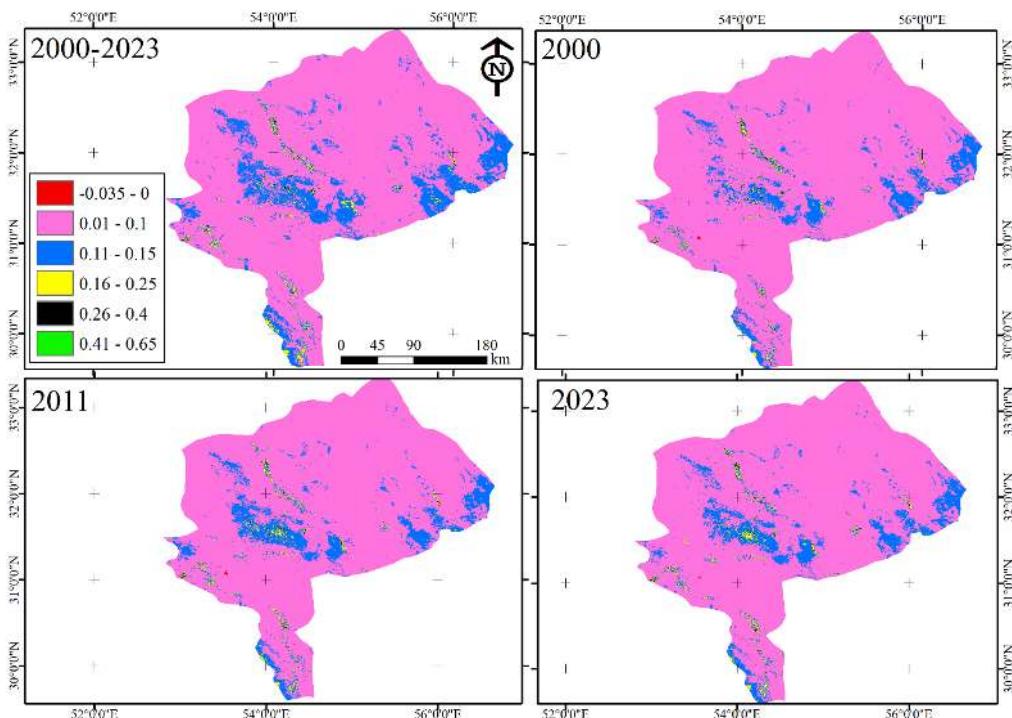
درصد تغییرات میانگین سالانه NDVI نسبت به میانگین دراز مدت این شاخص در استان یزد طی سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۰۰ در شکل (۲) نشان داده شده است. مقادیر مثبت و منفی بهترین و کمترین درصد این شاخص مربوط به کلاس طبقه‌بندی شده است که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. در این دوره درصد مساحت کلاس ۴ (۰/۰۱۰۰ تا ۰/۰۲۵) و ۵ (۰/۰۲۶ تا ۰/۰۴) افزایش داشته‌اند اما افزایش یا کاهش مساحت دیگر کلاس‌ها از الگوی خاصی پیروی نمی‌کنند. بطور کلی، برای هر چهار نقشه NDVI بهترین بیشترین و کمترین درصد این شاخص مربوط به کلاس ۱ (۰/۰۴۰۰ تا ۰/۰۶۵) و ۶ (۰/۰۱۰۰ تا ۰/۰۲۵) است.



شکل ۲: نمودار درصد تغییرات میانگین سالانه NDVI نسبت به میانگین پوشش گیاهی ۲۴ ساله

جدول ۱: درصد مساحت کلاس‌های طبقه‌بندی شاخص NDVI در استان یزد

دوره ۲۳ ساله	درصد مساحت (%)			محدوده کلاس	کلاس
	۲۰۲۳ سال	۲۰۱۱ سال	۲۰۰۰ سال		
۳/۵	۳	۴	۴	۰/۰۳۵ تا ۰/۰۰۳۰	۱
۶۹/۷	۶۹	۶۷	۷۲	۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۱	۲
۱۵/۲	۱۵	۱۷	۱۲	۰/۰۱۱ تا ۰/۰۱۵	۳
۷	۸	۷	۶	۰/۰۱۶ تا ۰/۰۲۵	۴
۳/۲	۳	۳	۴	۰/۰۲۶ تا ۰/۰۴۰	۵
۱/۴	۲	۲	۱	۰/۰۴۱ تا ۰/۰۶۵	۶

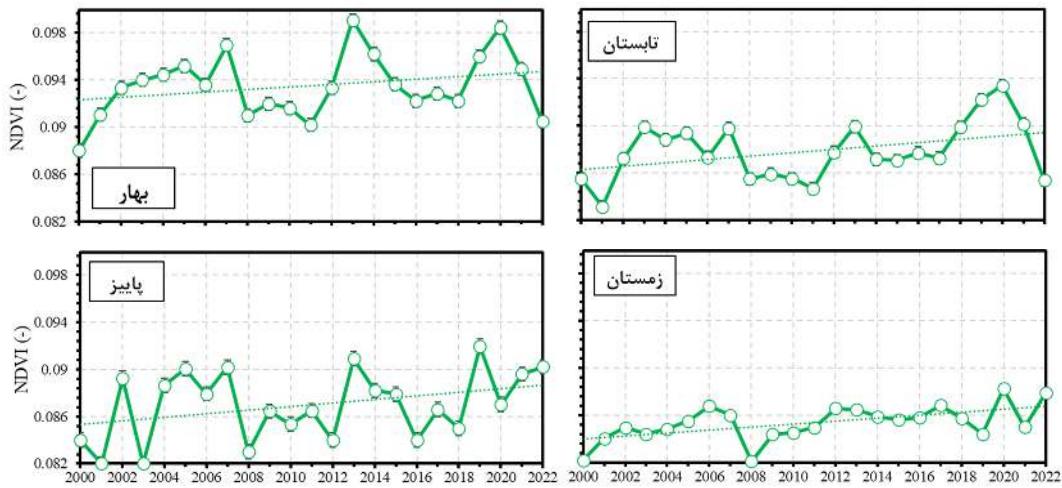


شکل ۳: میانگین شاخص NDVI ۱۶ روزه برای میانگین ۲۳ ساله، دوره ابتدایی (۲۰۰۰)، میانه (۲۰۱۱) و انتهایی (۲۰۲۳) مورد بررسی در استان یزد

۰/۰۸۷ و با تغییراتی در محدوده ۰/۰۸۳ تا ۰/۰۹۳ نسبت به فصول دیگر نسبت پایدار است، و نرخ رشد ۰/۰۰۰۲ بود. در فصل پاییز، میانگین مقدار NDVI برابر با ۰/۰۸۶ و با تغییرات در محدوده ۰/۰۸۱ تا ۰/۰۹۱ و نرخ رشد سالانه حدود ۰/۰۰۰۲ بود. سری زمانی ۲۳ ساله در فصل NDVI زمستان تغییرات کمتری دارد و نرخ رشد سالانه آن حدوداً ۰/۰۰۰۱ بود. مقدار حداقل در این فصل برابر با ۰/۰۸۱ (سال ۲۰۰۸) و مقدار حداکثر آن برابر با ۰/۰۸۸ (سال ۲۰۲۰) بود. با در نظر گرفتن خط روند NDVI در شکل (۴) مشخص شد که پوشش گیاهی در هر چهار فصل دارای افزایش جزئی بود. با این حال، این روند از لحاظ آماری معنی‌دار نیست و نمی‌توان آن را به عنوان یک روند قطعی در نظر گرفت.

#### تغییرات فصلی شاخص NDVI

در این بخش، تفاوت‌های فصلی در پویایی پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. سری زمانی NDVI برای چهار فصل در استان یزد در بازه زمانی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که تغییرات آن در طول این دوره قابل ملاحظه است (شکل ۴). در فصل بهار، مقادیر NDVI بین ۰/۰۸۸ و ۰/۰۹۹ با نوسان نسبتاً زیادی متغیر و نرخ رشد سالانه آن حدوداً ۰/۰۰۰۳ بود. بر اساس میانگین ۲۳ ساله NDVI در چهار فصل، حداقل مقدار آن برابر با ۰/۰۹۲ در سال ۲۰۰۰ و حداکثر مقدار ۰/۰۱ در سال ۲۰۱۳ بود. در بین چهار فصل، فصل بهار با میانگین NDVI برابر با ۰/۰۹۳ دارای بیشترین مقدار پوشش گیاهی بود. در این فصل، کمترین و بیشترین مقدار پوشش گیاهی به ترتیب مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ بود. در فصل تابستان، مقدار میانگین مقدار NDVI حدود

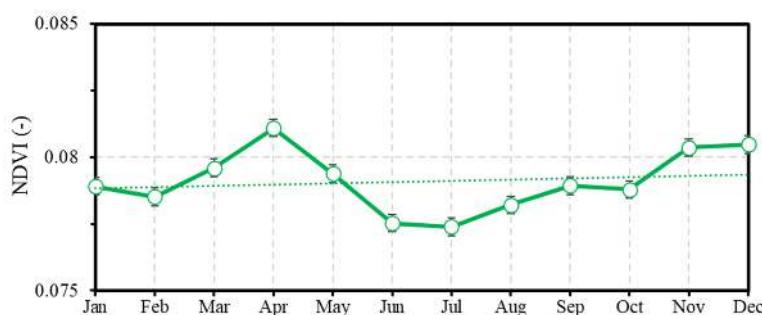


شکل ۴: نمودار سری زمانی میانگین فصلی NDVI در بهار، تابستان، پاییز و چمستان. خط چین سبز نشان دهنده خط برازش داده شده به NDVI در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ است

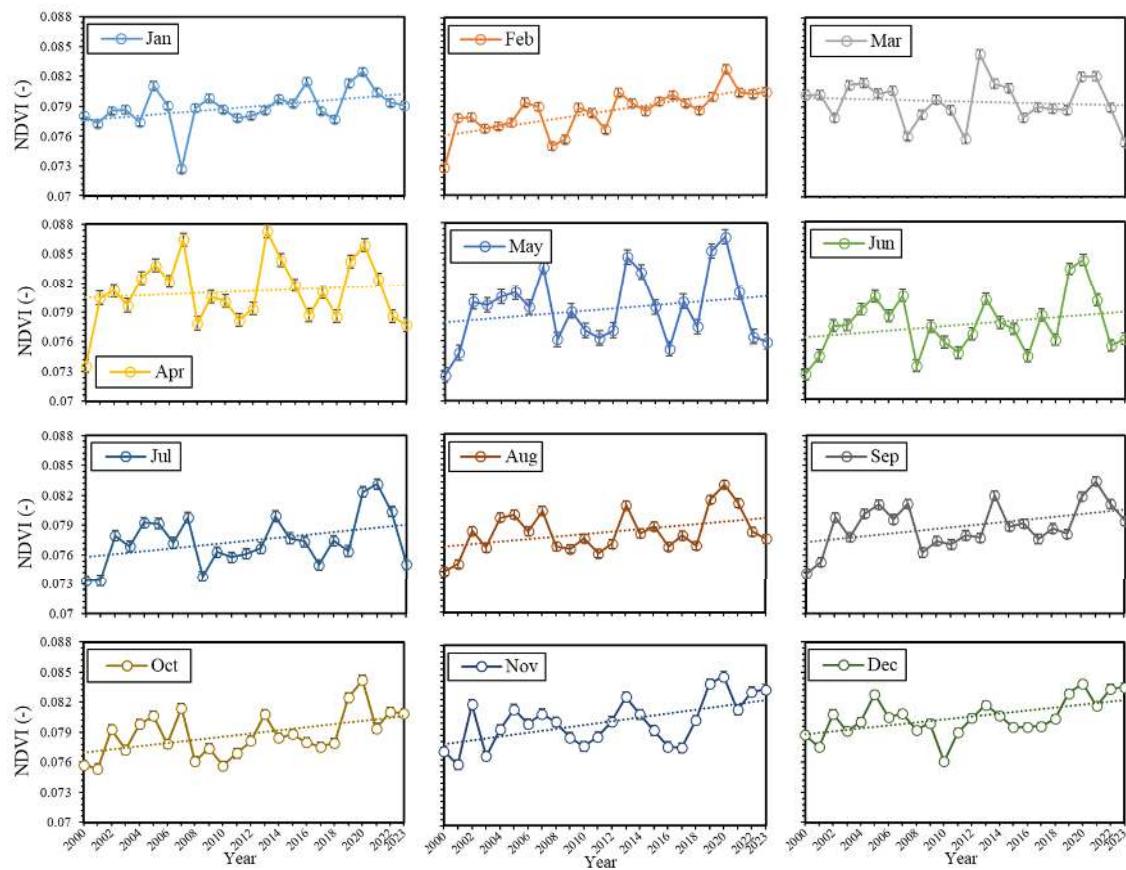
همچنین، میانگین ماهانه NDVI به طور جداگانه برای تمامی ماهها در دوره مورد بررسی محاسبه گردید (شکل ۶). نتایج نشان داد که در تمامی ماههای دوره مورد مطالعه، شاخص NDVI دارای روند افزایشی است. این افزایش در تمامی ماهها، علیرغم غیرمعنی دار بودن، نشان دهنده بهبود شرایط پوشش گیاهی در طی این دوره است. بیشترین و کمترین مقدار NDVI به ترتیب مربوط به ماههای آوریل ۲۰۱۳ با مقدار ۰/۰۸۸ و ژوئن ۲۰۰۰ با مقدار ۰/۰۷۳ است.

#### تغییرات ماهانه شاخص NDVI

در این بخش از مطالعه، تغییرات ماهانه در شاخص NDVI برای دوره ۲۳ ساله (شکل ۵) مورد بررسی بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل دقیق نتایج نشان داد که میانگین درازمدت ماهانه شاخص NDVI در دوره مطالعه یک روند افزایشی غیرمعنی دار دارد. این بدان معناست که تغییرات مشاهده شده از لحاظ آماری به عنوان روند قطعی تأیید نمی شوند. بیشترین مقدار میانگین NDVI به میزان ۰/۰۸۸ در ماه مه به دست آمده است که نمایانگر حداکثر پوشش گیاهی در آن ماه است.



شکل ۵: نمودار تغییرات زمانی میانگین ماهانه شاخص NDVI در استان یزد در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳. خط چین سبز رنگ نشان دهنده خط برازش داده شده به شاخص NDVI می باشد



شکل ۶: نمودار تغییرات زمانی میانگین شاخص در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ به تفکیک ماههای سال در استان یزد. خط چین‌ها نشان دهنده خط برآش داده شده به شاخص NDVI می‌باشد

است و روند تغییرات فصلی نیز از روند تغییرات ماهانه شدیدتر است. این موضوع اهمیت مقیاس‌های زمانی در تحلیل تغییرات اقلیمی و تغییرات پوشش گیاهی را مورد تایید قرار می‌دهد. با توجه به این تحلیل، می‌توان نتیجه گرفت که متغیرهای اقلیمی و شاخص NDVI در مقیاس‌های زمانی بلندمدت با شدت بیشتری تغییر می‌کنند. این مفهوم اهمیت نظرارت مداوم بر تغییرات آب و هوا و محیط زیست را تایید می‌کند، زیرا تأثیرات آن‌ها در مقیاس‌های طولانی مدت قابل مشاهده‌تر و قابل توجه‌تر هستند.

#### بررسی روند تغییرات بارش، دما و NDVI در مقیاس‌های زمانی مختلف

برای ارزیابی تغییرات از آزمون روند من-کنдал برای سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه برای هر سه متغیر بارش، دما و شاخص NDVI استفاده گردید (جدول ۲). نتایج این تحلیل نشان داد که هر دو متغیر اقلیمی و همچنین شاخص NDVI دارای روند افزایشی هستند (مقدار مثبت آماره Z)، با این حال، مقادیر آماره Z برای این روندها نشان دادند که این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نیستند. علاوه بر این، مقایسه میان مقیاس‌های زمانی مختلف نشان داد که روند تغییرات سالانه شدیدتر از روند تغییرات فصلی

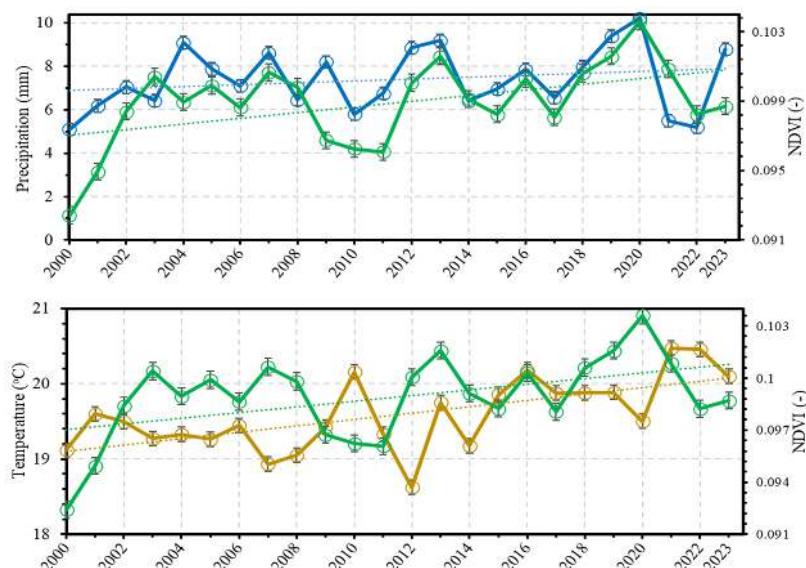
جدول ۲: نتایج آزمون من-کنداال در بررسی روند شاخص NDVI، بارش و دما در استان یزد

معناداری آماری	آماره آزمون من-کنداال (Z)	مقیاس	شاخص/متغیر
غیرمعنی دار	-0.076	ماهانه	NDVI
غیرمعنی دار	-0.257	فصلی	
غیرمعنی دار	-0.46	سالانه	
غیرمعنی دار	-0.077	ماهانه	
غیرمعنی دار	-0.29	فصلی	بارش
غیرمعنی دار	-0.03	سالانه	
غیرمعنی دار	-0.119	ماهانه	
غیرمعنی دار	-0.46	فصلی	دما
غیرمعنی دار	-0.581	سالانه	

روند افزایشی دما نسبت به بارش و NDVI شدت بیشتری دارد.

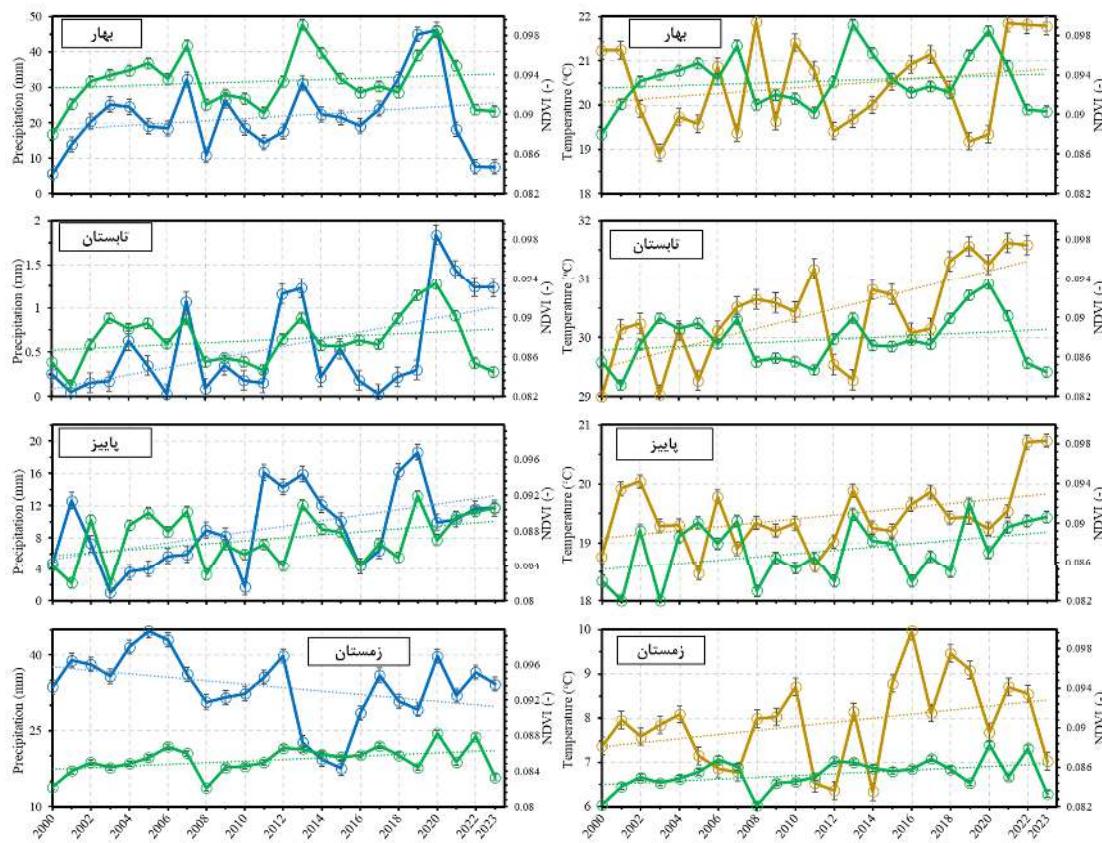
در مقیاس فصلی (شکل ۸)، روند تغییرات فصلی بارش و دما همراه با NDVI را نمایش می‌دهد. سری‌های زمانی دما در هر چهار فصل دارای روند افزایشی هستند، و بیشترین و کمترین شبیب بهترتبیب به فصل‌های تابستان و بهار تعلق دارد. روند افزایشی دما در فصل‌های تابستان و زمستان معنی دار (در سطح ۹۵ درصد) است. سری‌های زمانی بارش، به جز فصل زمستان، در سه فصل دیگر دارای روند افزایشی هستند، و بیشترین شبیب مربوط به فصل تابستان است.

تغییرات سالانه، ماهانه و فصلی بارش، دما و NDVI در این بخش، تغییرات متغیرهای اقلیمی بارش و دما در ارتباط با شاخص NDVI در سه مقیاس زمانی مختلف یعنی سالانه، ماهانه و فصلی مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا، مقادیر میانگین این دو متغیر اقلیمی در سطح منطقه محاسبه شده و در تحلیلهای بعدی به کار رفته‌اند. برای هر سه مقیاس مورد بررسی، شبیب خط برازش داده شده به عنوان نرخ رشد سالانه ترسیم و روند متغیرها در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ بررسی گردید. سری زمانی میانگین سالانه بارش و دما همراه با سری زمانی NDVI در استان یزد در شکل (۷) نشان داده شده است. بر اساس این شکل، هر دو متغیر اقلیمی بارش و دما دارای روند افزایشی هستند که



شکل ۷: نمودار تغییرات سالانه سری‌های زمانی متوسط بارش (رنگ آبی در شکل بالا) و دما (رنگ قهوه‌ای در شکل پایین) با تغییرات سالانه NDVI (رنگ سبز) در دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۳ در استان یزد

## بررسی تاثیر تغییرات زمانی و مکانی بارش و دما بر پوشش گیاهی.../فولادی و حیات‌زاده



شکل ۸: نمودار تغییرات فصلی سری‌های زمانی متوسط بارش (شکل‌های سمت چپ) و دما (شکل‌های سمت راست) با تغییرات سالانه NDVI در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ در استان یزد

دما بر تغییرات NDVI در مقیاس‌های زمانی گوناگون می‌باشد.

نتایج تجزیه و تحلیل همبستگی (جدول‌های ۳ و ۴) نشان داد که در مقیاس سالانه در استان یزد، هیچگونه همبستگی معناداری بین بارش و دما با شاخص NDVI وجود ندارد. همچنین، ضریب همبستگی بین NDVI و بارش در مقیاس سالانه  $0.31 \pm 0.08$  و بین  $0.15 \pm 0.04$  بود. بیشترین همبستگی مثبت بین NDVI و دما به میزان  $0.14 \pm 0.04$  در فصل پاییز و بیشترین همبستگی مثبت بین NDVI و بارش به میزان  $0.75 \pm 0.95$  (معنی دار در سطح درصد) در فصل بهار مشاهده شد. در مقیاس ماهانه، بیشترین و کمترین همبستگی مثبت بین NDVI و دما به ترتیب در ماه‌های جولای ( $0.31 \pm 0.08$ ) و فوریه ( $0.08 \pm 0.04$ ) و بیشترین و کمترین همبستگی مثبت بین NDVI و بارش به ترتیب در ماه مارس ( $0.38 \pm 0.04$ ) و سپتامبر ( $0.04 \pm 0.04$ ) مشاهده

در جداول (۳ و ۴) مقادیر ضریب همبستگی اسپرمن بین مقادیر بارش و دما با شاخص NDVI برای سه مقیاس زمانی مختلف، شامل سالانه، فصلی و ماهانه آورده شده است.

نتایج تجزیه و تحلیل ارائه شده در قسمت قبل و مقادیر ضریب همبستگی، تأثیر بارش و دما بر تغییرات NDVI را نمایان می‌سازند. در واقع، هر دوی این عوامل، یعنی بارش و دما، تأثیر قابل توجهی بر NDVI دارند. با این حال، اهمیت تأثیر بارش نسبت به دما، بر پوشش گیاهی بیشتر است. این اثرات نیز بسته به مقیاس زمانی مورد نظر متفاوت است. بنابراین، به منظور مقایسه تفاوت‌های موجود بین مقیاس‌های زمانی مختلف، تجزیه و تحلیل همبستگی به صورت جداگانه برای مقیاس‌های مختلف انجام گرفت. این یافته‌ها اساسی برای درک بهتر تأثیرات مختلف بارش و

نتایجی مشابه در استان یزد با میانگین ضرایب همبستگی در طول ۱۲ ماه ارائه می‌دهد. همچنین نتایج تحقیق ما با نتایج مطالعه Wei و همکاران (۲۰۲۲) که در آن تغییرات NDVI و تغییرات بارش و دما محاسبه شده به وسیله ERA5-Land در کل کشور چین، مورد بررسی قرار گرفته است، تطابق دارد. در مطالعه مذکور، نتایج نشان داد که پوشش گیاهی منطقه شمال شرق چین در فصل پاییز و زمستان با تخریب قابل توجهی مواجه شده است، و بارش با ضریب همبستگی  $0.54$  نسبت به دما (با همبستگی  $0.27$ ) تاثیر بیشتری در توزیع فضایی شاخص NDVI داشته است. این نتایج با تحقیقات دیگری نیز سازگاری دارند که تاثیر قوی تر بارش نسبت به تاثیر دما بر شاخص NDVI را تایید نموده‌اند (۴۶ و ۴۸).

شد. بر اساس میانگین ضریب همبستگی در طی ۱۲ ماه، تأثیر بارش بر NDVI نسبت به تاثیر دما بیشتر بود. همچنین، در مقیاس سالانه، ضریب همبستگی بالاتر بین بارش و NDVI، نمایانگر نقش کنترلی قوی‌تر بارش نسبت به دما بود. این نتایج با تحقیقات رنجبر و همکاران (۲۰۲۰) سازگاری دارند. بطور کلی، ضرایب همبستگی در مقیاس فصلی بزرگتر از ضرایب موجود در دو مقیاس دیگر هستند. نتایج این بخش از مطالعه با نتایج Zhang و Zhe (۲۰۲۱) مطابقت دارد. در تحقیق مذکور، رابطه بین NDVI و میزان بارش و دما در منطقه تبت جنوبی به صورت ماهانه مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که در فصل رشد، شاخص NDVI با دما و بارندگی دارای همبستگی مثبت داشته و بر خلاف مطالعه‌ها، دما عامل محرک اصلی برای رشد پوشش گیاهی در کل حوضه است. این مطالعه نیز

جدول ۳: ضریب همبستگی اسپیرمن بین مقادیر دما و بارش با شاخص NDVI در دوره ۲۳ ساله در استان یزد در مقیاس‌های سالانه و

## فصلی

مقیاس	سالانه	پاییز	بهار	تابستان	زمستان	میانگین چهار فصل	کل
دما	$0.15$	$0.13$	$-0.62$	$-0.06$	$-0.14$	$-0.1$	$-0.1$
بارش	$0.31$	$0.24$	$-0.75^*$	$-0.12$	$-0.51^*$	$-0.41$	$-0.41$

\* بارش در مقیاس‌های بهار و تابستان دارای سطح معنی‌داری است، با مقادیر p-value کمتر از  $0.05$  در هر دو مقیاس.

جدول ۴: ضریب همبستگی اسپیرمن بین مقادیر دما و بارش با شاخص NDVI در دوره ۲۳ ساله در استان یزد در مقیاس ماهانه

مقیاس	مارس	فریه	زانویه	آوریل	مه	ژوئن	جولای	اگوست	سیستان	نامایمی	دسامبر	کل
دما	$0.11$	$0.08$	$0.12$	$0.25$	$0.2$	$0.18$	$0.24$	$0.12$	$-0.22$	$0.23$	$-0.22$	$-0.1$
بارش	$0.15$	$0.28$	$-0.12$	$0.32$	$0.34$	$0.12$	$0.13$	$0.04$	$-0.23$	$0.28$	$-0.15$	$-0.12$

میانگین NDVI برابر با  $0.79$  مشاهده شد که با واقعیت مطابقت دارد که این فصل معمولاً بارش‌های بیشتری نسبت به فصول دیگر دارد. پس از آن، در فصل تابستان که از نظر میانگین NDVI در رتبه دوم قرار دارد ( $0.77$ )، مشاهده می‌شود که این ممکن است تحت تأثیر گوهای بارش ناظم‌کننده و اثرات دما قرار گیرد.

از سوی دیگر، مقادیر کمتری از NDVI در فصل پاییز (با میانگین برابر با  $0.69$ ) و زمستان (با میانگین برابر با  $0.61$ ) مشاهده شد. این مقادیر کمتر می‌توانند به کاهش پوشش سبز و کاهش دما در این دو فصل نسبت داده شوند. بنابراین، یک ارتباط واضح بین نوسانات NDVI و میزان بارش در استان یزد وجود دارد که اهمیت حیاتی دسترسی

## بررسی تغییرات مکانی و فصلی NDVI

شکل (۹) الگوی تغییرات مکانی و فصلی میانگین ۲۳ ساله NDVI در چهار فصل را نشان می‌دهد. تغییرات مکانی پوشش گیاهی در استان یزد در تمام فصول نسبتاً ثابت است، اما در مناطق جنوبی، غربی و برخی از مناطق شرقی، پوشش گیاهی تمرکز بیشتری دارد. مناطقی با مقادیر کمتر NDVI به طور عمده در بخش‌های مرکزی و شمال شرقی واقع شده‌اند که در مقایسه این مناطق با شکل شماره (۱) می‌توان دید که این مناطق بخش‌های کم ارتفاع می‌باشند. به طور کلی، نوسانات تغییرات فصلی NDVI در فصول مختلف در استان یزد می‌تواند به تغییرات در بارش و دما نسبت داده شود. بالاترین مقادیر NDVI در فصل بهار با

## بررسی تاثیر تغییرات زمانی و مکانی بارش و دما بر پوشش گیاهی.../ فولادی و حیات‌زاده

طولانی به کار گرفته شد و امکان تحلیل جامع‌تری را فراهم ساخت (۵۰).

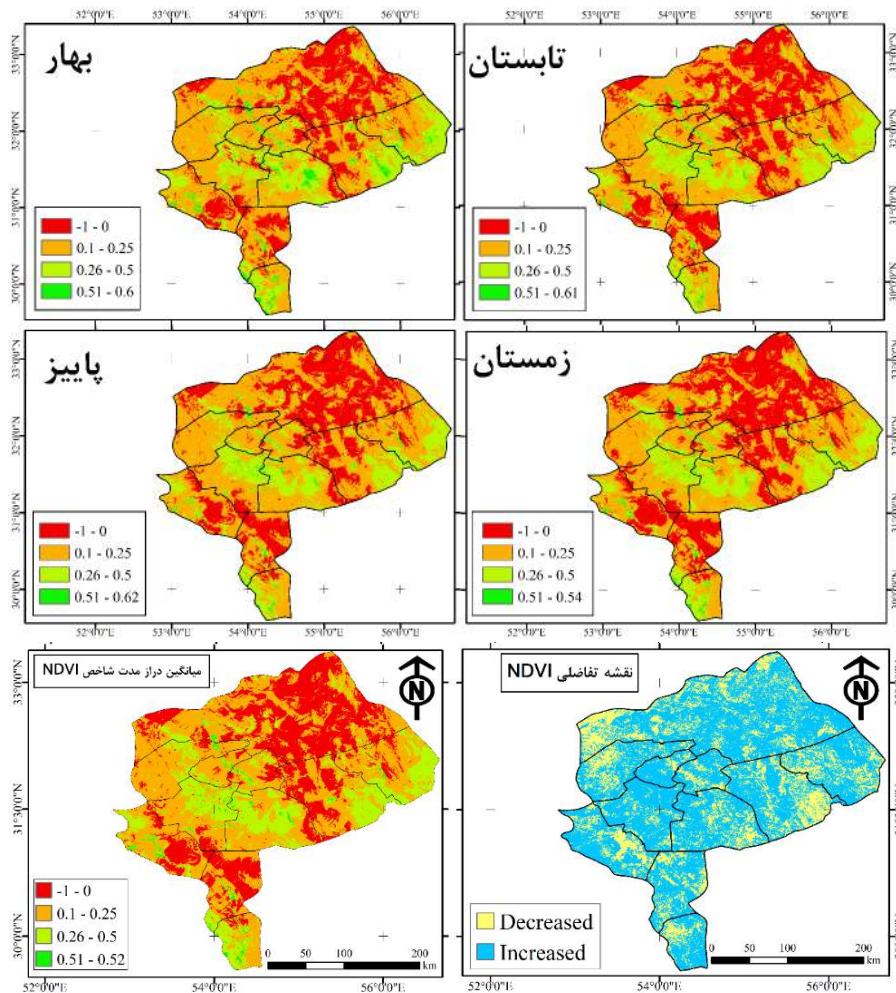
نتایج نشان داد که هیچ الگوی مکانی ثابت و معناداری برای تغییرات افزایشی یا کاهشی NDVI در سطح استان یزد وجود ندارد. به عبارت دیگر، تغییرات پوشش گیاهی در این استان پراکنده و بدون تبعیت از الگوی مکانی خاصی رخ داده است. برای بررسی دقیق‌تر این تغییرات، پیشنهاد می‌شود تحلیل‌های آتی در مقیاس‌های کوچک‌تر و مناطق خاص انجام گیرد.

همچنین، برای تعیین آستانه تغییرات افزایشی و کاهشی NDVI، مقادیر مثبت و منفی نقشه‌های تفاضلی تحلیل شدند. تغییرات افزایشی با مقادیر مثبت بالاتر از میانگین و تغییرات کاهشی با مقادیر منفی پایین‌تر از میانگین تفاضلی طبقه‌بندی شدند. این آستانه‌ها با استفاده از تحلیل‌های آماری و مشاهدات میدانی تعیین شدند تا دقیق در تفسیر تغییرات پوشش گیاهی افزایش یابد.

به منابع آبی برای رشد و بهره‌وری پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که تغییرات کلربری اراضی و تغییر سطوح کشت نیز می‌توانند عوامل تاثیرگذار بر تغییرات پوشش گیاهی در این منطقه باشند.

شکل (۱۰) نقشه میانگین ۲۳ ساله NDVI را نیز نشان می‌دهد. مقادیر بالاتر این شاخص عمده‌تر در بخش‌های غربی، جنوبی و شرقی استان مشاهده شد. این مناطق به دلیل دارا بودن اراضی کشاورزی، باغ‌ها و مراتع با پوشش گیاهی متراکم‌تر، شرایط مناسب‌تری برای رشد و توسعه گیاهان فراهم کرده‌اند.

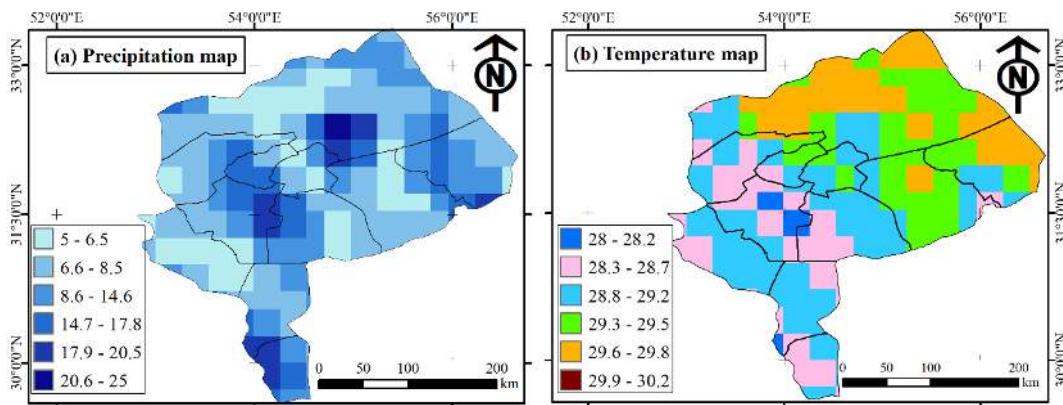
برای بررسی تغییرات مکانی افزایشی یا کاهشی در NDVI، تفاوت مقادیر شاخص NDVI بین سال‌های متولی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ محاسبه شد و در نتیجه، ۲۲ نقشه تفاضلی به دست آمد. سپس، میانگین این نقشه‌ها محاسبه گردید تا تغییرات مکانی NDVI در بازه زمانی مورد مطالعه به صورت جامع مشخص شود. برخلاف روش‌های رایج که تنها سال‌های ابتدایی و انتهایی دوره را مقایسه می‌کنند، این روش با هدف بررسی روند تغییرات سالانه در بازه‌ای



شکل ۹: الگوی مکانی تغییرات مکانی و فصلی میانگین NDVI در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ و نقشه میانگین دراز مدت و تفاضلی NDVI در استان یزد

استان، مقادیر بالاتر NDVI معمولاً در مناطق با بارش بیشتر متتمرکز هستند. این نتیجه‌گیری صرفاً یک مشاهده کلی از تطبیق الگوهای مکانی است و نشان‌دهنده همبستگی آماری نیست. بنابراین، تأثیر بارش بر NDVI باید همراه با تحلیل‌های آماری بررسی شود. علاوه بر این، مقایسه نقشه میانگین دما و نقشه میانگین NDVI نشان می‌دهد که در مناطقی با دمای پایین‌تر، پوشش گیاهی بیشتری مشاهده شده است. این مشاهده نیز می‌تواند به تأثیر غیرمستقیم دما و دسترسی به منابع آبی بهتر در این مناطق اشاره داشته باشد.

تحلیل تغییرات مکانی و الگوی متغیرهای بارش و دما تغییرات دراز مدت بارش و دما در شکل (۱۰) با استفاده از نقشه‌های میانگین ۲۳ ساله، مشتمل بر داده‌های ERA5-Land برای استان یزد نشان داده است. هر پیکسل در این نقشه‌ها نشان‌دهنده مقایس مکانی و میانگین مقدار بارش/دما تخمین زده شده است. بر اساس نقشه بارش، بخش‌هایی از استان اعم از غرب، جنوب غربی و شمال شرقی دارای بارش بیشتری نسبت به سایر بخش‌ها هستند. اما در نقشه دما، الگوی مکانی خاصی برای میانگین دراز مدت تشخیص داده نمی‌شود. مقایسه نقشه تغییرات دراز مدت بارش با نقشه میانگین ۲۳ ساله NDVI (شکل ۹) نشان می‌دهد که در برخی نقاط



شکل ۱۰: نقشه تحلیل تغییرات سالانه میانگین بارش (a) و دما (b) در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳

دسترس نیست، می‌توان از آنالیزهای ماهواره‌ای استفاده کرد.

(۲) روند کلی تغییرات شاخص NDVI، دما و بارش: نتایج نشان داد که در سطح استان یزد، تغییرات شاخص NDVI و پارامترهای اقلیمی بارش و دما در سه مقياس ماهانه، فصلی و سالانه، روندهای متفاوتی را نشان می‌دهند. بر اساس تحلیل روند آزمون من-کنдал، افزایش شاخص NDVI و پارامترهای اقلیمی در برخی مقیاس‌ها مشاهده شده است، اما این روندها از نظر آماری در بیشتر موارد معنی دار نبوده‌اند. نتایج نشان داد که تأثیرات تغییرات اقلیمی در مقیاس‌های بلندمدت (سالانه) به طور نسبی قابل مشاهده‌تر هستند، اما این تغییرات نیازمند تحلیل‌های دقیق‌تر برای تأیید قطعیت هستند. این یافته‌ها نمایانگر پیچیدگی تغییرات اقلیمی و پوشش گیاهی در استان یزد است و بر لزوم انجام تحقیقات بیشتر برای شناسایی الگوهای تغییرات تأکید می‌کند.

(۳) تحلیل روندهای اقلیمی فصلی: تجزیه و تحلیل روندهای اقلیمی فصلی نکات مهمی ارائه داد. در فصل زمستان و تابستان، اگرچه روند افزایشی دما مشاهده شد، اما این روندها از نظر آماری در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد تأیید نشدند. بارش در فصل زمستان نیز یک روند کاهشی غیرمعنی‌دار داشت که می‌تواند نشان‌دهنده الگوی تغییرات اقلیمی در منطقه باشد. این نتایج حاکی از آن است که زمستان‌ها در منطقه مورد مطالعه تمایل به گرم‌تر و خشک‌تر شدن دارند. در سایر فصول، روندهای افزایشی

## بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، روند تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی و متغیرهای اقلیمی مؤثر بر آن (دما و بارش) در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ در استان یزد مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، از تصاویر سنجنده MODIS برای محاسبه شاخص NDVI و از داده‌های بازتحلیل ERA5-Land برای تخمین بارش و دما در منطقه مورد بررسی استفاده شد. همچنین، برای بررسی رابطه بین NDVI و دو متغیر اقلیمی انتخاب شده، از ضریب همبستگی غیرخطی اسپیرمن استفاده شد.

نتایج کلی این مطالعه به صورت زیر می‌باشند:

- ۱) توزیع مکانی شاخص NDVI: توزیع مکانی مشاهده شده در شاخص NDVI نشان داد که تغییرات قابل توجهی در سراسر استان یزد وجود دارد. مناطق با مقادیر بالاتر شاخص NDVI به طور عمدۀ در مرکز، جنوب و غرب منطقه مورد مطالعه واقع شده‌اند. این مناطق با مناطقی که دارای بارش بیشتر و دمای‌های معتدل‌تری هستند همخوانی دارند. علاوه بر این، این مناطق به طور عمدۀ به اراضی کشاورزی، باغ‌ها و مراتع با پوشش گیاهی متوسط مرتبط هستند. این یافته می‌تواند به مدیریت بهتر منابع آب، کشاورزی و حفظ تنوع زیستی در استان یزد کمک کند. به طور کلی، با استفاده از نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی، می‌توان اطلاعات زیادی درباره پوشش گیاهی مراتع، طبقه‌بندی میزان پوشش گیاهی مراتع و مدیریت مراتع را به دست آورد. همچنین، در مناطقی که داده‌های زمینی دما و بارش در

۵) تغییرات مکانی در NDVI: نقشه تفاضلی ۲۳ ساله شاخص NDVI نشان داد که تغییرات NDVI در سراسر استان یزد بدون الگوی مکانی و قابل تمیزی رخ داده است. این نشان می‌دهد که عوامل مؤثر بر پویایی پوشش گیاهی در منطقه پیچیده هستند و ممکن است به عوامل محلی و میکرواقلیمی بازگردد. برای به دست آوردن درک جامع تر از تغییرات پوشش گیاهی در سطح استان، انجام تحقیقات دقیق‌تر در مقیاس‌های کوچک‌تر و مناطق کلیدی خاص ضروری است. علاوه بر این، در نظر گرفتن تأثیر تغییرات کاربری اراضی مانند گسترش شهرنشینی بسیار مهم است. در تحقیقات آینده، می‌توان با تمرکز بر تحلیل و تجزیه دقیق‌تر تغییرات NDVI در مقیاس‌های فضایی کوچک‌تر و مناطق خاص (تأثیر مقیاس مکانی)، پیش‌بینی ساریوهای اقلیمی آینده و مدل‌سازی پاسخ‌های پوشش گیاهی (تأثیر تغییر اقلیم)، تغییرات کاربری زمین نظیر شهرنشینی و گسترش کشاورزی بر روی NDVI در طول زمان را بررسی کرد تا بتوان بهبود مدیریت زمین را مشاهده کرد. همچنین، استفاده از تکنیک‌های پیشرفته سنجش از دور و منابع داده متتنوع به منظور بهبود تخمین NDVI و متغیرهای آب و هوایی (تأثیر تکنیک‌های سنجش از دور) مورد توجه قرار گیرد. با توجه به این حوزه‌های تحقیقاتی، می‌توان به درک جامعی از تعاملات پوشش گیاهی، متغیرهای اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در استان یزد دست یافت و در نتیجه، بهبود مدیریت زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی توسعه پایدار در این منطقه را تسهیل کرد.

غیرمعنی‌دار در هر دو متغیر اقلیمی (بارش، دما) و مشاهده شد. این امر می‌تواند بیانگر آن باشد که شرایط کلی برای رشد گیاهان در طول سال اندکی بهبود یافته است، هرچند این تغییرات قطعی نیستند.

این نتایج، تأثیرات احتمالی تغییرات اقلیمی بر پوشش گیاهی در استان یزد را بر جسته می‌کند. در فصول گرم و خشک، مانند تابستان، افزایش دما و کاهش بارش ممکن است تأثیرات منفی بر پوشش گیاهی داشته باشد. این مشاهدات با یافته‌های ابطحی (۲۰۱۶)، داروند و همکاران (۲۰۲۱) و اسکندری دامنه و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد که تأثیرات تغییرات اقلیمی بر پوشش گیاهی را تأیید کرده‌اند. با این حال، به دلیل غیرمعنی‌دار بودن روندها، نتایج باید با احتیاط تفسیر شوند.

۴) ارتباط بین اقلیم و NDVI: تحلیل‌های انجام شده نشان می‌دهد که هر دو متغیر بارش و دما تأثیر مثبتی بر NDVI دارند، با این تفاوت که بارش تأثیر بیشتری را نشان می‌دهد. با این حال، شدت این تأثیر بسته به مقیاس زمانی متفاوت است. در مقیاس سالانه، NDVI بیشترین همبستگی مثبت را با هر دو متغیر بارش و دما داشته است. باید توجه داشت که بیشترین همبستگی بین NDVI و بارش در فصل بهار و بیشترین همبستگی بین NDVI و دما در تابستان مشاهده شد. این نتایج تأکید می‌کند که ارتباط بین اقلیم و NDVI به میزان زیادی متأثر از فصل است و تأمین آب به میزان مناسب برای گیاهان می‌تواند عاملی مؤثر در رشد پوشش گیاهی در استان یزد باشد.

## References

1. Abtahi, S.M., 2016. Investigation of Vegetation Dynamics in the Semi-Steppe Rangelands of Isfahan Province (Case study: Doolat Gharin of Semiroom). Journal of Range and Watershed Management, 69(2): 311-322.
2. General directorate of meteorology of Yazd province. 2023. Annual meteorological report.
3. Bagheri, S., E. Heydari Alamdarloo, H. Khosravi & A. Abolhasani, 2022. The effect of meteorological drought on vegetation dynamics in Iran. Journal of Rangeland, 4(15): 622-637.
4. Buitewerf, R., L. Rose & S.L. Higgins, 2015. Three decades of multi-dimensional change in global leaf phenology. Nature Climate Change, 5: 364–368.
5. Chang, C.T., T.C. Lin, S.F. Wang & M.A. Vadéboncoeur, 2011. Assessing growing season beginning and end dates and their relation to climate in Taiwan using satellite data. International Journal of Remote Sensing, 32(18): 5035–5058.
6. Chu, H., S. Venevsky, C. Wu & M. Wang, 2019. NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015. Science of the Total Environment, 650: 2051–2062.
7. Darvand, S., H. Khosravi, H. Eskandari Damaneh & H. Eskandari Damane, 2021. Investigating the Trend of NDVI Changes Derived from MODIS Sensor Imagery (Case Study: Isfahan Province). Degradation and Rehabilitation of Natural Land, 1(2): 69-79.

8. Eskandari Damaneh, H., H. Gholami, R. Mahdavi, A. Khorani & J. Li, 2021. Monitoring Land Degradation and Desertification in the Arid and Semi-arid Regions with an Emphasis in Response to Gross Primary Production Relative to the Climatic Variables during the 2001-2017 in the Province of Fars. *Watershed Management Research*, 34(1): 35-48.
9. Eskandari Damaneh, H., H. Eskandari Damaneh, H. Khosravi, A. Gilevari & M. Adeli Sardooei, 2021. A survey on the effect of drought on environmental indices derived from the MODIS data over the 2001-2019 period (Case study: Rangelands of Isfahan province). *Journal of Rangeland*, 15(3): 460-476.
10. Garai, S., Khatun, M., Singh, R., Sharma, J., Pradhan, M., Ranjan, A., Rahaman, M., Latif Khan, M & Tiwari, S., 2022. Assessing correlation between Rainfall, normalized difference Vegetation Index (NDVI) and land surface temperature (LST) in Eastern India. *Safety in Extreme Environments*, 4: 119-127.
11. Georganos, S., A.M. Abdi, D.E. Tenenbaum & S. Kalogirou, 2017. Examining the NDVI-rainfall relationship in the semi-arid Sahel using geographically weighted regression. *Journal of Arid Environments*, 146: 64–74.
12. Goward, S.N., C.J. Tucker & D.G. Dye, 1985. North American vegetation patterns observed with the NOAA-7 advanced very high-resolution radiometer. *Vegetatio*, 64(1): 3–14.
13. Guo, B., Y. Zhou, S.X. Wang & H.P. Tao, 2014. The relationship between normalized difference vegetation index (NDVI) and climate factors in the semiarid region: A case study in Yalu Tsangpo River basin of Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Mountain Science*, 11(4), 926–940.
14. Huffman, G.J., D. T. Bolvin, E. J. Nelkin, D. B. Wolff, R. F. Adler, G. Gu, Y. Hong, K. P. Bowman & E. F. Stocker, 2007. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*: 8, 38-55.
15. Jiang, Q., W. Li, Z. Fan, X. He, W. Sun, S. Chen, J. Wen, J. Gao & J. Wang, 2021. Evaluation of the ERA5 reanalysis precipitation dataset over Chinese MainLand. *Journal of Hydrology*: 595:p 125660.
16. Kokaly, R.F., D.G. Despain, R.N. Clark & K.E. Livo, 2003. Mapping vegetation in Yellowstone National Park using spectral feature analysis of AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment*, 84(3), 437–456.
17. Liu, S.L. & T. Wang, 2012. Climate change and local adaptation strategies in the middle Inner Mongolia, northern China. *Environmental Earth Sciences*, 66: 1449–1458.
18. Maleki, S. & E. Mavedate, 2015. Classification of drought zoning by PNPI, SIAP and TOPSIS indices (Case Study Yazd Province). *Disaster Presentation and Management Knowledge*, 6(1): 59-70.
19. Mallick, J., M.K. AlMesfer, V.P. Singh, I.I. Falqi, C.K. Singh, M. Alsuhib & N.B. Kahla, 2021. Evaluating the NDVI–Rainfall Relationship in Bisha Watershed, Saudi Arabia Using Non-Stationary Modeling Technique. *Atmosphere*, 12(5): 593.
20. Mokarram, M., M. Mozayan, M. Faraji & K. Musavi, 2017. Investigation of vegetation changes in different seasons using satellite image and relationship between it and temperature changes (case study: North of Darab). *Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 8(3): 1-20.
21. Mousavi Dehaghani, A., A. Gohari, M.J. Zareian & A. T. Haghghi, 2023. A comprehensive evaluation of the satellite precipitation products across Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 46: 101360.
22. Nanzad, L., J. Zhang, B. Tuvdendorj, M. Nabil, S. Zhang & Y. Bai, 2019. NDVI anomaly for drought monitoring and its correlation with climate factors over Mongolia from 2000 to 2016. *Journal of Arid Environments*, 164: 69-77.
23. Nemani, R.R., C.D. Keeling, H. Hashimoto, W.M. Jolly, S.C. Piper, C.J. Tucker, R.B. Myneni & S.W. Running, 2003. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science*, 300(5625): 1560–1563.
24. Ongutu, J.O., H.P. Piepho, H.T. Dublin, N. Bhola & R.S. Reid, 2008. El Niño-southern oscillation, rainfall, temperature and normalized difference vegetation index fluctuations in the Mara-Serengeti ecosystem. *African Journal of Ecology*, 46(2): 132–143.
25. Pang, J., & Z. Du. Zhang, 2015. Time-lagged response of vegetation to hydrothermal factors in Xinjiang region. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*: 36: 82–88.
26. Piao, S.L., X.H. Wang, P. Ciais, B. Zhu, T. Wang & J. Liu, 2011. Changes in satellite-derived vegetation growth trend in temperate and boreal Eurasia from 1982 to 2006. *Global Change Biology*, 17: 3228–3239.
27. Ranjbar, A., A. Valia, M. Mokaramn & F. Taripanahc, 2020. Analyzing of the spatio-temporal changes of vegetation and its response to environmental factors in north of Fars province, Iran. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 11(4): 61-82.
28. Sadeghi, M., M. Shaikhzadeh, A. Rahdan & A. Reegi. 2023. Investigating spatial-temporal changes of climatic variables related to vegetation in urban areas: Case Study of Isfahan City. *Journal of Climate Change Research*, 4(13): 19-34.

29. Sanaee, Z. & A. Ebrahimi, 2023. Estimation and Comparison of Natural Ranges and Abandoned Rangelands Using Remote Sensing-Based Vegetation Indices: A Case Study of Chaharmahal and Bakhtiari Province Rangelands. *Journal of Rangeland*, 2(17): 165-178.
30. Schultz, P.A. & Halpert, M.S, 1993. Global correlation of temperature, NDVI and precipitation. *Advances in Space Research*, 13(5): 277-280.
31. Sepahvand, A., M. Ghobadi, M. Karampour & B. Mir Derikvand, 2022. Drought Effects on Vegetation Changes in Kashkan Basin of Lorestan Using ETM + and OLI Landsat Data. *Journal of Rangeland*, 16(1): 124-139.
32. Sharratt, B.S., 1992. Growing Season Trends in the Alaskan Climate Record, Arctic 45: 124-127. Year Book, 2005-2006, Ministry of Food, Agriculture and Live Stock, Pakistan.
33. Shen, X.J., B.H. Liu & D.W. Zhou, 2016. Using GIMMS NDVI time series to estimate the impacts of grassLand vegetation cover on surface air temperatures in the temperate grass Land region of China. *Remote Sensing Letters*, 7: 229-238.
34. Shirani, F., A. Mazidi & M. Khodagholi. 2007. Climatic zoning of Yazd province using multivariate statistical methods. *Journal of Geography and Regional Development*, 7(13): 139-157.
35. Sipayung, SB., A. Nurlatifah & B. Siswanto, 2018. Analysis of climate change impact on rainfall pattern of Sambas district, West Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 149(1), 012029.
36. Statistics Center of Yazd Province, 2019. Weather condition of Yazd province. 236 pages.
37. Subash, N. & A.K. Sikka, 2014. Trend analysis of rainfall and temperature and its relationship over India. *Theoretical and Applied Climatology*, 117(3): 449-462.
38. Tamiminia, H., B. Salehi, M. Mahdianpari, L. Quackenbush, S. Adeli & B. Brisco, 2020. Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*: 164: 152-170.
39. Tucker, C.J. & P.J. Sellers, 1986. Satellite remote sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing*, 7(11): 1395-1416.
40. Wang, J., P.M. Rich & K.P. Price, 2003. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, 24(11): 2345-2364.
41. Wei, Y., S. Sun, D. Liang & Z. Jia, 2022. Spatial-temporal variations of NDVI and its response to climate in China from 2001 to 2020. *International Journal of Remote Sensing*, 43(4): 1463-1484.
42. Wei, Z.F., Q.Y. Huang & R. Zhang, 2019. Dynamics of Vegetation Coverage and Response to Climate Change in China-South Asia-Southeast Asia during 1982-2013. *Applied Ecology and Environmental Research*: 17: 2865-2879.
43. Wen, Y., X. Liu, J. Yang, K. Lin & G. Du, 2019. NDVI indicated inter-seasonal non-uniform time-lag responses of terrestrial vegetation growth to daily maximum and minimum temperature. *Global and Planetary Change*, 177: 27-38.
44. Xu, X., H. Du, W. Fan, J. Hu, F. Mao & H. Dong, 2019. Long-term trend in vegetation gross primary production, phenology and their relationships inferred from the FLUXNET data. *Journal of Environmental Management*, 246, 605-616.
45. Yang, X., T. Yang, Q. Ji, Y. He & M.G. Ghebrezgabher, 2014. Regional-scale grassLand classification using moderate-resolution imaging spectrometer datasets based on multistep unsupervised classification and indices suitability analysis. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1): 083548.
46. Zhang, B., L. Cui, J. Shi & P. Wei, 2017. Vegetation Dynamics and Their Response to Climatic Variability in China. *Hindawi Advances in Meteorology*: Article ID 8282353, 10 pp.
47. Zhang, X.X., P.F. Wu & B. Chen, 2010. Relationship between vegetation greenness and urban heat isLand effect in Beijing City of China. *Procedia Environmental Science*, 2: 1438-1450.
48. Zhao, Z., M.J. Gao, Y. Wang, J. Liu & S.H. Li, 2015. Exploring spatially variable relationships between NDVI and climatic factors in a transition zone using geographically weighted regression. *Theoretical and Applied Climatology*, 120: 507-519.
49. Zhe, M. & X. Zhang, 2021. Time-lag effects of NDVI responses to climate change in the Yamzhog Yumco Basin, South Tibet. *Ecological Indicators*, 124: 107431.
50. Zhu, Z. & C.E. Woodcock, 2014. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 144(25): 152-171.