

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 Doghoozlo¹, Mehdi Hayatzadeh^{*2}

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

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

مهین فولادی دوقوزلو^{۱*} و مهدی حیات‌زاده^۲

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

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل - پژوهشی ۱۴۰۳؛ جلد ۱۸، شماره ۴ تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۷ واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، شاخص NDVI، متغیر اقلیمی، من-کندال.	سابقه و هدف: پوشش گیاهی تحت تأثیر متقابل بارش و دما قرار می‌گیرد، زیرا میزان و زمان بارندگی، همراه با الگوهای دما، به‌طور مستقیم بر رشد، توزیع و سلامت کلی زندگی گیاهان تأثیر می‌گذارد. شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) به‌عنوان نماینده‌ای از وضعیت پوشش گیاهی سطحی، تأثیرات تغییرات محیطی را به‌خوبی منعکس می‌کند. بارش و دما، دو عامل کلیدی کنترل‌کننده در تغییرات NDVI هستند. هدف این مطالعه بررسی تأثیر تغییرات بارش و دما بر مقادیر NDVI به‌دست‌آمده از داده‌های سنجنده MODIS در استان یزد، طی دوره ۲۴ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳) است. 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. به‌علت 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 ساله (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-کندال 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 غیرمعنی‌دار 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 $r = 0.15$ (غیر معنی‌دار) 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 ($r = 0.75$) است. در مقیاس ماهانه، بیشترین و کمترین همبستگی مثبت با دما به‌ترتیب در ماه‌های جولای ($r = 0.31$) و فوریه ($r = 0.08$) و بیشترین و کمترین همبستگی مثبت با بارش مربوط به ماه‌های مارس ($r = 0.38$) و سپتامبر ($r = 0.04$) است. بر اساس میانگین

ضرایب همبستگی ۱۲ ماه، تأثیر بارش بر تغییرات پوشش گیاهی بیشتر از تأثیر دما بر آن است. نقشه تفاضلی شاخص NDVI بین سال ابتدا (۲۰۰۰) و انتهای (۲۰۲۳) مورد بررسی نشان می‌دهد که مناطق دارای تغییرات مقادیر افزایشی و کاهش 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 به منظور بهبود تخمین NDVI و متغیرهای مختلف آب‌وهوایی، 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 دوقوزلو، م.، م. حیات‌زاده، ۱۴۰۳. بررسی تأثیر تغییرات زمانی و مکانی بارش و دما بر پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: استان یزد). مرتع، ۱۸(۳): ۴۸۳-۵۰۴.



DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.4.1.3

© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

مقدمه

گیاهان به عنوان یکی از اجزای حیاتی اکوسیستم‌ها، نقش کلیدی در حفظ پایداری محیط زیست ایفا می‌کنند (۱۶). این نقش، به‌ویژه در مواجهه با تغییرات آب‌وهوایی، 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 به‌عنوان یک متغیر اقلیمی کلیدی، نقش بسیار مهمی در تعیین الگوهای رشد و توزیع گیاهان ایفا می‌کند (۳۵ و ۴۴). در سال‌های اخیر، افزایش ناهماهنگی‌های 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 به‌عنوان 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 شده تفاوت پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index) نه تنها بطور ساده و آسان قابل محاسبه بوده، بلکه به‌طور قابل توجهی وضعیت گیاهان سطحی را نیز بازتاب می‌کند و در حال حاضر بطور گسترده-ای 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 به‌طور مستقیم با تغییرات آب و هوایی، عمدتاً با تغییرات بارش، مرتبط است (۴۵). به‌عنوان 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 تاثیر عوامل مختلفی در مقیاس مکانی مختلف است و عوامل اقلیمی از عوامل بزرگ مقیاس

تأثیرگذار بر پوشش گیاهی بشمار می‌روند. 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 (۵ و ۲۴). علاوه بر این، بارش در مقیاس منطقه‌ای، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بر NDVI تأثیر بسیار زیادی دارد (۲۶). با این حال، برخی مناطق در زمان‌های مختلف به‌صورت 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). به‌طور کلی، تغییر سالانه گیاهان به‌طور 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 کنترلی بارش بر NDVI بیشتر از دما است. حداکثر همبستگی مثبت و منفی، بین متوسط بارش سالیانه و NDVI با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۸۳ و همچنین حداکثر همبستگی منفی و مثبت بین NDVI و دما به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۵ به‌دست آمد. صادقی و همکاران (۲۰۲۳) رابطه بین شاخص NDVI و دمای سطح

زمین 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 انطباق 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 انطباق 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 -0.4 می‌باشند که نشان‌دهند تاثیر قابل توجه آن‌ها در تغییرات پوشش گیاهی است. ژو و ژانگ (۲۰۲۱) رابطه بین شاخص NDVI و بارش و دما در منطقه تبت 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 محرک اصلی برای رشد پوشش گیاهی در تبت جنوبی است. همچنین، ضرایب همبستگی بین NDVI با دما و بارندگی به ترتیب در حدود 0.72 و 0.60 درصد در مناطق دارای پوشش گیاهی بیشتر از 0.6 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 تخریب 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 به‌طور کافی در این مقیاس‌های زمانی روشن نیست و نمی‌تواند روابط واقعی بین آن‌ها را به‌خوبی نشان دهد. در مقیاس زمانی ماهانه، شرایط اقلیمی تأثیر بیشتری بر رشد

گیاهان دارند (۲۵)، و رابطه تأخیری 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 به‌عنوان یک ابزار حیاتی و موثر ظهور کرده است (۹). داده‌های ماهواره‌ای به‌طور گسترده 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 به‌طور رایج برای تحلیل واکنش گیاهان به اقلیم در مقیاس جهانی و منطقه‌ای استفاده می‌شوند (۴۲). همچنین، استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای به‌عنوان 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 به‌عنوان 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 به‌کارگیری تکنیک سنجش از دور کمک شایانی به مدیریت لازم برای اصلاح پوشش گیاهی می‌کند (۲۹). استفاده از منابع مبتنی بر ابر (Cloud-based) به‌دلیل تحلیل سریع و دقیق، به‌ویژه ابزار GEE (Google Earth 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

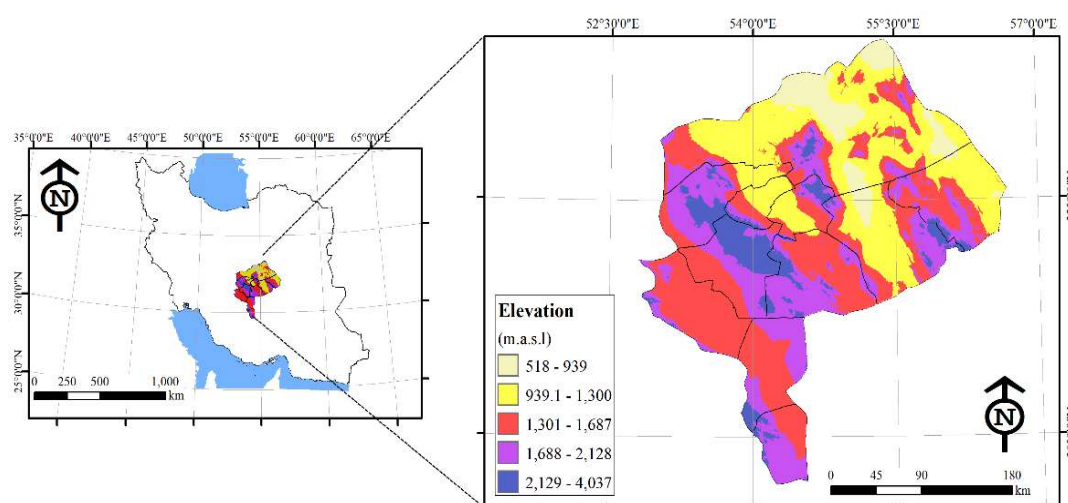
و میانگین دمای سالانه آن ۲۸/۶ درجه سانتیگراد است (۲). این استان دارای ویژگی‌های اقلیمی و توپوگرافی منحصر به فردی است که می‌تواند تأثیر بسیاری روی پوشش گیاهی داشته باشد. توپوگرافی استان یزد نیز با تنوع بالایی همراه است. این استان شامل رشته کوه‌های زاگرس و کویر دشت لوت و بیابان‌های مرکزی ایران است. این ویژگی‌های توپوگرافی، به همراه اقلیم، می‌تواند به‌عنوان عوامل محدودکننده یا تشدیدکننده 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 بهار اتفاق می‌افتد (۱۸). در برخی مناطق این استان، شرایط گرم و خشک تابستانی و خنک و خشک زمستانی حاکم است (۳۴). با این حال، در سال‌های اخیر، این منطقه با تغییرات اقلیمی روبه‌رو 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 گسترده 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 به‌ترتیب 52° و 48° تا 58° و 29° و 35° تا 35° و 5° عرض شمالی است. استان یزد با وسعتی بالغ بر ۱۲۸ هزار کیلومتر مربع در مرکز ایران قرار گرفته است. میانگین ارتفاعی استان ۱۲۵۷ متر از سطح دریا و شیب متوسط آن حدود ۱۰ درصد است. میانگین بارش سالانه در یک دوره ۲۲ ساله (از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳) در این منطقه ۱۷/۴ میلی‌متر



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

روش تحقیق

در این تحقیق، از داده‌های سنجنده MODIS (Terra 250-meter) و شاخص NDVI ۱۶ 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 مودیس (MOD09A1) به‌دست 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):

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

که در این رابطه NIR و Red به‌ترتیب 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 بالایی از این شاخص را نشان می‌دهند، خاک برهنه 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). 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 GEE انجام شده و سپس تجزیه و تحلیل مکانی تصاویر با استفاده از محیط ArcGIS 10.8.3 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)

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 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 کاهش NDVI

به‌منظور 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. (به‌عنوان 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 به‌دست آمد.

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

مقدار آماره t از رابطه زیر محاسبه و سپس با مقدار t جدول با درجه آزادی $n-2$ تصمیم گیری می شود.

رابطه (۳):

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

آزمون من-کندال

آزمون من-کندال (به اختصار MK) یک آزمون آماری ناپارامتری است که در مقایسه با سایر روش های آزمون پارامتریک، نیازی به پیروی از توزیع مشخصی از نمونه ها ندارد. MK به وسیله سازمان جهانی هواشناسی (WMO) در سال ۱۹۸۸ پیشنهاد شد. یکی از مزایای این آزمون نسبت به آزمون های تحلیل روند دیگر، این است که از رتبه داده ها در سری زمانی بدون در نظر گرفتن مقادیر متغیرها استفاده می شود. به عبارت دیگر، از این آزمون می توان برای داده هایی با ویژگی چولگی نیز استفاده کرد، و داده ها نیاز به تطابق 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 داده های 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 نقشه های تفاضلی به عنوان نقطه مرکزی تغییرات انتخاب شد. آستانه تغییرات به صورت زیر تعریف شد:

- مقادیر مثبت بالاتر از میانگین، نشان دهنده تغییرات افزایشی NDVI
- مقادیر منفی پایین تر از میانگین، نشان دهنده تغییرات کاهش NDVI

این رویکرد امکان تفکیک تغییرات واقعی را از نوسانات تصادفی در NDVI فراهم کرده و پایه ای قوی برای تحلیل های مکانی دقیق تر 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 اندازه گیری می کند. برخلاف روش های خطی، این روش به فرض رابطه خطی میان متغیرها متکی نیست و سازگاری ترتیب رتبه متغیرها را ارزیابی می کند. به ویژه، همبستگی اسپیرمن زمانی مفید است که ارتباط بین NDVI و بارش/دما لزوماً خطی نباشد یا زمانی که داده ها از توزیع نرمال پیروی نکنند. در این مطالعه، به دلیل عدم بررسی خطی بودن یا نبودن این رابطه و همچنین نامطمئن بودن از توزیع داده ها، 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 تفاوت های زمینه ای قابل توجهی با یکدیگر داشته باشند تا رتبه بندی افراد مفهوم پیدا کند. در صورت کم بودن تعداد تفاوت های زمینه ای به دلیل قرارگیری تعداد زیادی از پارامترها در یک رتبه، محاسبه این ضریب امکان ناپذیر می شود. 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 مشاهده ها می باشند. $\sum d_i^2$ مجموعه مجذور 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، α سطح معنی‌داری آزمون و Z_α آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α است که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، $\alpha/2$ 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.

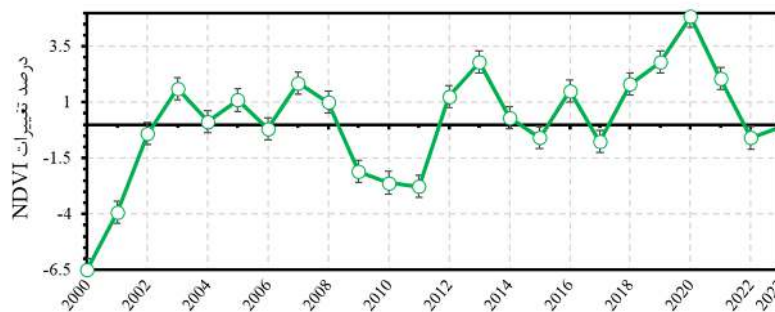
نتایج

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 به ترتیب نشان‌دهنده افزایش و کاهش درصد

تغییرات NDVI است. درصد تغییرات سالانه NDVI در دوره مورد مطالعه از یک روند صعودی برخوردار است. محدوده نوسان تغییرات NDVI در دوره مورد مطالعه بین ۶/۵- درصد (سال ۲۰۰۰) و ۵ درصد (سال ۲۰۲۰) است. روند نوسانات سالانه از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند. نرخ رشد بین سالانه ۰/۰۲۱ در سال است.

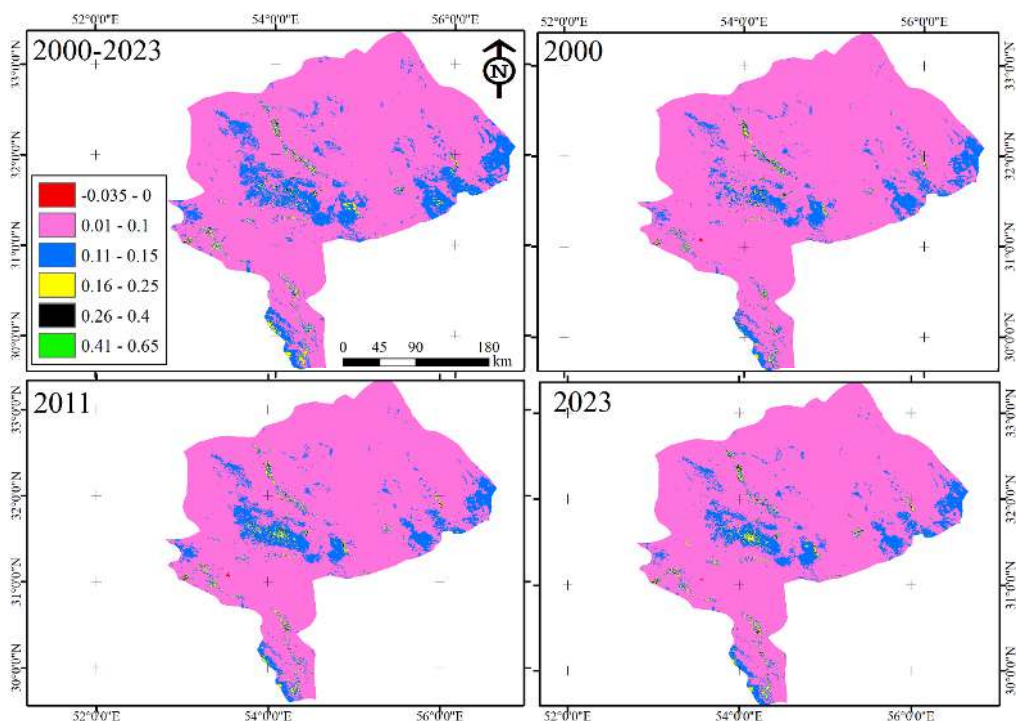
شکل (۳) میانگین NDVI ۱۶ روزه استان یزد را در سال‌های ابتدا (۲۰۰۰)، میانه (۲۰۱۱) و انتهای (۲۰۲۳) و همچنین میانگین ۲۳ ساله شاخص NDVI را نشان می‌دهد. میانگین NDVI برای دوره ۲۳ ساله مورد بررسی برابر با ۰/۰۹۸. به منظور بررسی دقیق‌تر، پوشش گیاهی منطقه، به شش کلاس طبقه‌بندی شده است که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. در این دوره درصد مساحت کلاس ۴ (۰/۱۶ تا ۰/۲۵) و ۵ (۰/۲۶ تا ۰/۴) افزایش داشته‌اند اما افزایش یا کاهش مساحت دیگر کلاس‌ها از الگوی خاصی پیروی نمی‌کنند. بطور کلی، برای هر چهار نقشه NDVI به ترتیب بیشترین و کمترین درصد این شاخص مربوط به کلاس ۱-۰/۱-۰/۰۱ و ۰/۴-۰/۶۵ 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

کلاس	محدوده کلاس	درصد مساحت (%)		
		سال ۲۰۲۳	سال ۲۰۱۱	سال ۲۰۰۰
۱	۰ تا ۰/۰۳۵	۳	۴	۴
۲	۰/۰۱ تا ۰/۱	۶۹	۶۷	۷۲
۳	۰/۱۱ تا ۰/۱۵	۱۵	۱۷	۱۲
۴	۰/۱۶ تا ۰/۲۵	۸	۷	۶
۵	۰/۲۶ تا ۰/۴	۳	۳	۴
۶	۰/۴۱ تا ۰/۶۵	۲	۲	۱

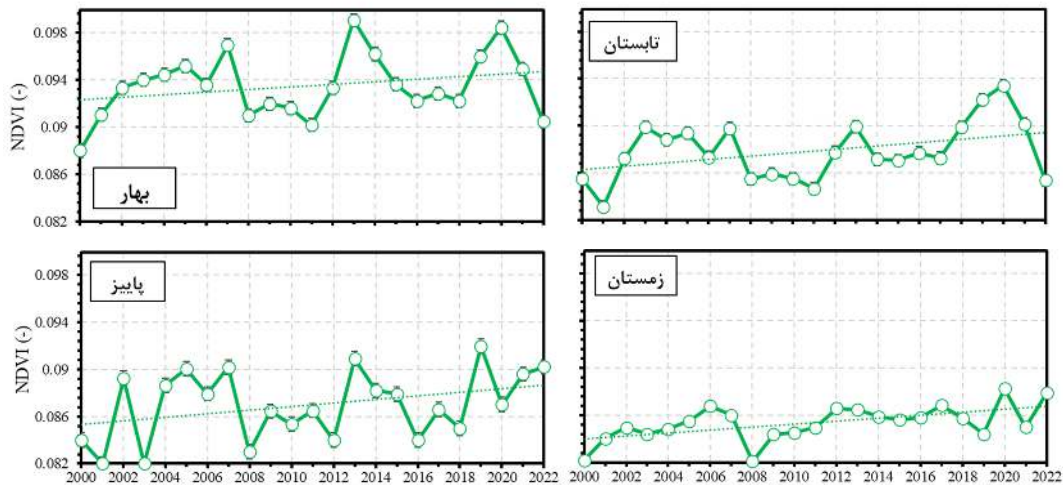


شکل ۳: میانگین شاخص NDVI ۱۶ روزه برای میانگین ۲۳ ساله، دوره ابتدایی (۲۰۰۰)، میانه (۲۰۱۱) و انتهایی (۲۰۲۳) مورد بررسی در استان یزد

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 ۰/۰۰۳ 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

۰/۰۸۷ و با تغییراتی در محدوده ۰/۰۸۳ تا ۰/۰۹۳ نسبت به فصول دیگر نسبتاً پایدار است، و نرخ رشد ۰/۰۰۲ 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 ۰/۰۰۲ بود. سری زمانی ۲۳ ساله NDVI در فصل زمستان تغییرات کمتری دارد و نرخ رشد سالانه آن حدوداً ۰/۰۰۱ 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 به‌عنوان یک روند قطعی در نظر گرفت.

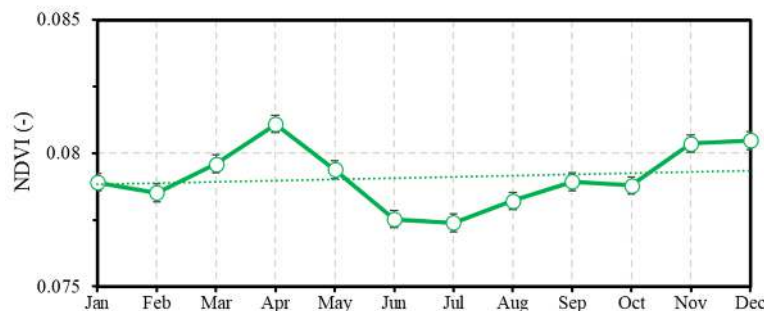


شکل ۴: نمودار سری زمانی میانگین فصلی NDVI در بهار، تابستان، پاییز و زمستان. خط چین سبز نشان دهنده خط برازش داده شده به NDVI در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ است

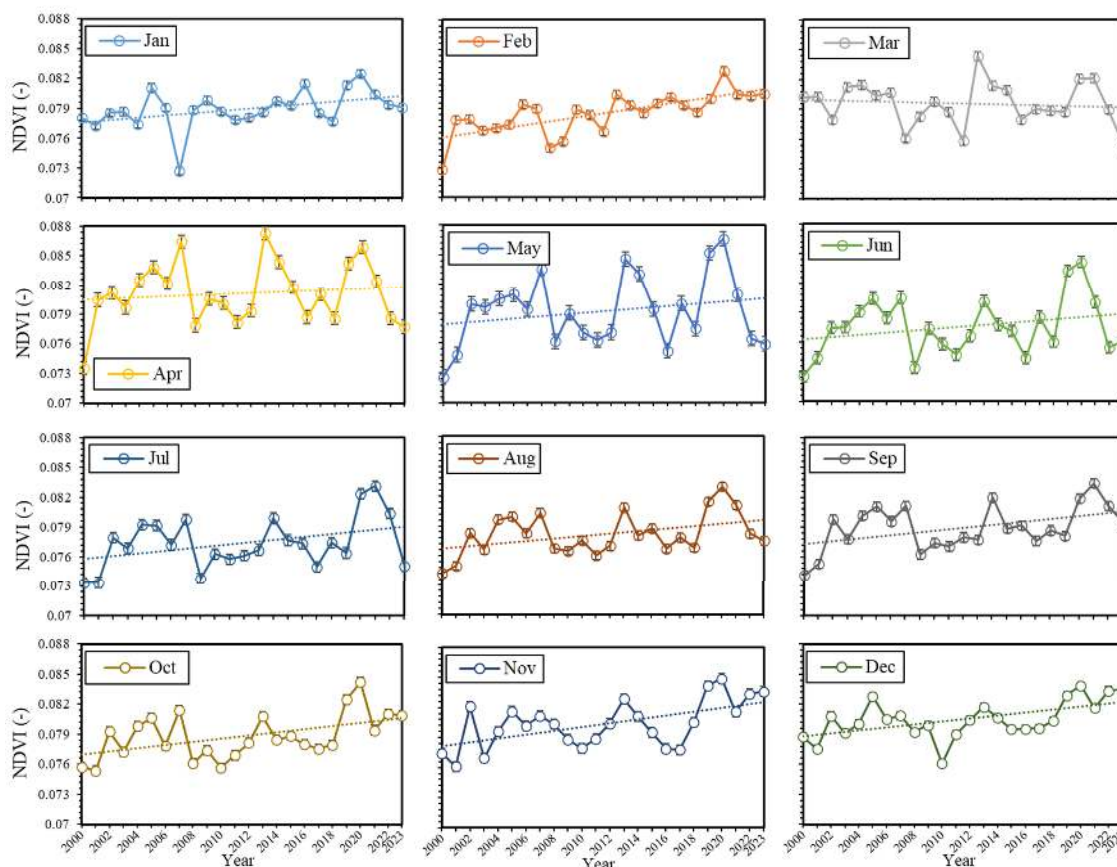
تغییرات ماهانه شاخص NDVI

در این بخش از مطالعه، تغییرات ماهانه در شاخص NDVI برای دوره ۲۳ ساله (شکل ۵) مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل دقیق نتایج نشان داد که میانگین درازمدت ماهانه شاخص NDVI در دوره مطالعه یک روند 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.

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 و ۲۰۱۳ با مقدار ۰/۰۸۸ و ژوئن ۲۰۰۰ با مقدار ۰/۰۷۳ است.



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



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

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 نظارت مداوم بر تغییرات آب و هوا و محیط زیست را تایید می‌کند، زیرا تاثیرات آن‌ها در مقیاس‌های طولانی مدت قابل مشاهده‌تر و قابل توجه تر هستند.

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

برای ارزیابی تغییرات از آزمون روند من-کندال 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-کندال در بررسی روند شاخص NDVI، بارش و دما در استان یزد

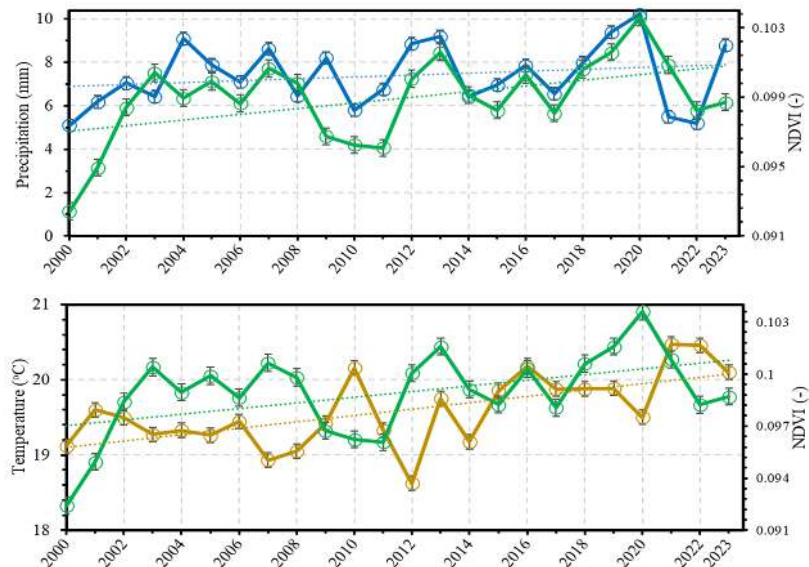
شاخص/متغیر	مقیاس	آماره آزمون من-کندال (Z)	معناداری آماری
NDVI	ماهانه	۰/۰۷۶	غیرمعنی دار
	فصلی	۰/۲۵۷	غیرمعنی دار
	سالانه	۰/۴۶	غیرمعنی دار
بارش	ماهانه	۰/۰۷۷	غیرمعنی دار
	فصلی	۰/۲۹	غیرمعنی دار
	سالانه	۰/۰۳	غیرمعنی دار
دما	ماهانه	۰/۱۱۹	غیرمعنی دار
	فصلی	۰/۴۶	غیرمعنی دار
	سالانه	۰/۵۸۱	غیرمعنی دار

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

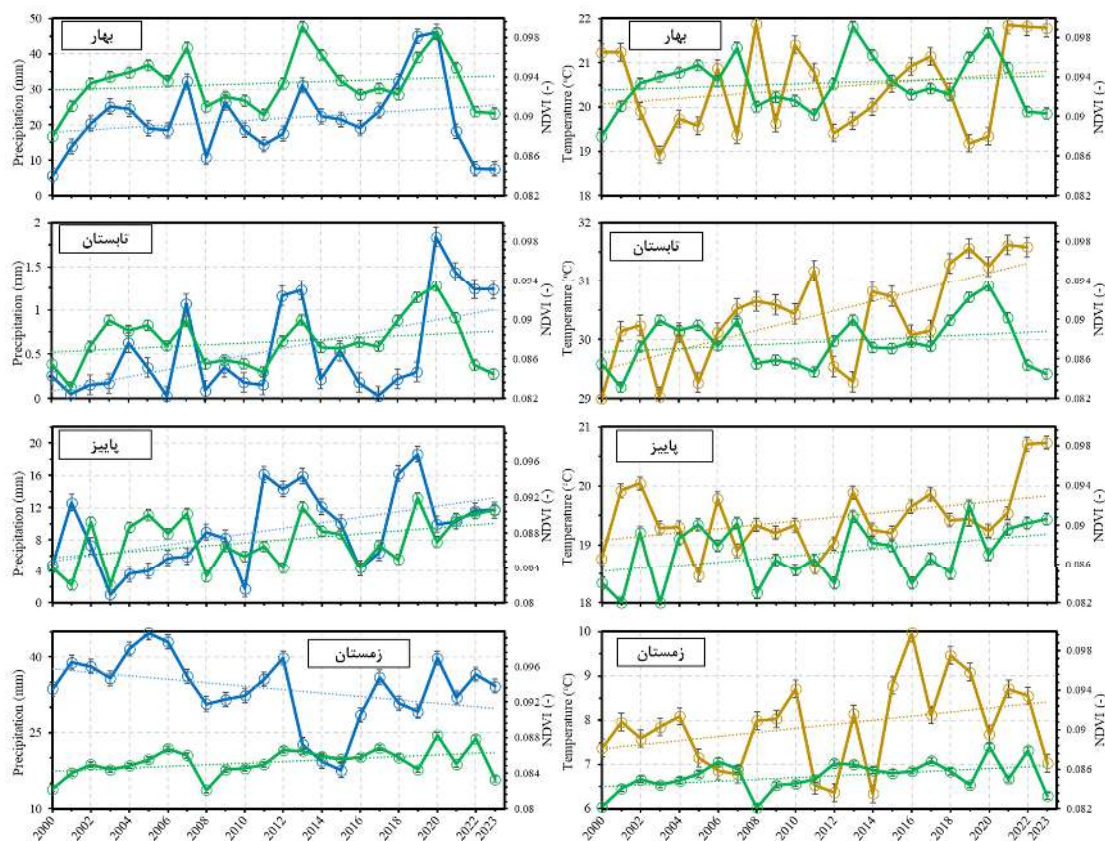
در مقیاس فصلی (شکل ۸)، روند تغییرات فصلی بارش و دما همراه با NDVI را نمایش می‌دهد. سری‌های زمانی دما در هر چهار فصل دارای روند افزایشی هستند، و بیشترین و کمترین شیب به ترتیب به فصل‌های تابستان و بهار تعلق دارد. روند افزایشی دما در فصل‌های تابستان و زمستان معنی‌دار (در سطح ۹۵ درصد) است. سری‌های زمانی بارش، به جز فصل زمستان، در سه فصل دیگر دارای روند افزایشی هستند، و بیشترین شیب 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، شیب خط برازش داده شده به‌عنوان 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 تا ۲۰۲۳ در استان یزد



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 می‌باشند.

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 ۰/۳۱ و بین NDVI و دما ۰/۱۵ بود. بیشترین همبستگی مثبت بین NDVI و دما به میزان ۰/۱۴ در فصل پاییز و بیشترین همبستگی مثبت بین NDVI و بارش به میزان ۰/۷۵ (معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد) در فصل بهار مشاهده شد. در مقیاس ماهانه، بیشترین و کمترین همبستگی مثبت بین NDVI و دما به‌ترتیب در ماه‌های جولای (۰/۳۱) و فوریه (۰/۰۸) و بیشترین و کمترین همبستگی مثبت بین NDVI و بارش به‌ترتیب در ماه مارس (۰/۳۸) و سپتامبر (۰/۰۴) 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 را 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 ۰/۵۴ نسبت به دما (با همبستگی ۰/۲۷) تاثیر بیشتری در توزیع فضایی شاخص NDVI داشته است. این نتایج با تحقیقات دیگری نیز سازگاری دارند که تاثیر قوی‌تر بارش نسبت به تاثیر دما بر شاخص NDVI را تایید نموده‌اند (۴۸ و ۴۶).

شد. بر اساس میانگین ضریب همبستگی در طی ۱۲ ماه، تاثیر 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 مطالعه ما، 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
دما	۰/۱۵	۰/۱۳	-۰/۶۲	۰/۱۴	-۰/۰۶	-۰/۱
بارش	۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۷۵*	۰/۵۱*	۰/۱۲	۰/۴۱

* بارش در مقیاس‌های بهار و تابستان دارای سطح معنی‌داری است، با مقادیر p-value کمتر از ۰/۰۵ 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	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	کل
دما	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۱۲	-۰/۳۲	۰/۲۳	-۰/۰۲۲	۰/۱
بارش	-۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۳۸	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۰۴	-۰/۲۳	۰/۲۸	-۰/۱۵	۰/۱۲

میانگین NDVI برابر با ۰/۰۷۹ 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 (۰/۰۷۷)، مشاهده می‌شود که این ممکن است تحت تاثیر الگوهای بارش نامنظم کمتر و اثرات دما قرار گیرد.

از سوی دیگر، مقادیر کمتری از NDVI در فصل پاییز (با میانگین برابر با ۰/۰۶۹) و زمستان (با میانگین برابر با ۰/۰۶۱) 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

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

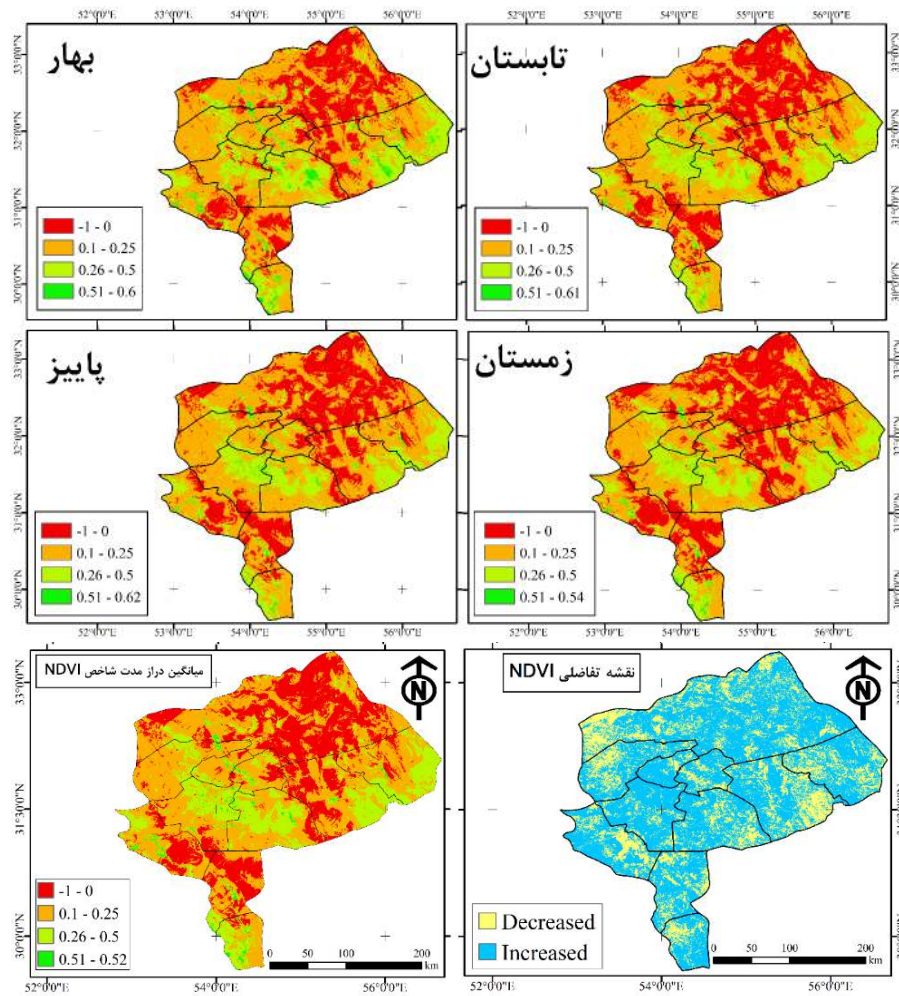
نتایج نشان داد که هیچ الگوی مکانی ثابت و معناداری برای تغییرات افزایشی یا کاهش NDVI در سطح استان یزد وجود ندارد. به عبارت دیگر، تغییرات پوشش گیاهی در این استان پراکنده و بدون تبعیت از الگوی مکانی خاصی رخ داده است. برای بررسی دقیق‌تر این تغییرات، پیشنهاد می‌شود تحلیل‌های آتی در مقیاس‌های کوچک‌تر و مناطق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

همچنین، برای تعیین آستانه تغییرات افزایشی و کاهش NDVI، مقادیر مثبت و منفی نقشه‌های تفاضلی تحلیل شدند. تغییرات افزایشی با مقادیر مثبت بالاتر از میانگین و تغییرات کاهش NDVI با مقادیر منفی پایین‌تر از میانگین تفاضلی طبقه‌بندی شدند. این آستانه‌ها با استفاده از تحلیل‌های آماری و مشاهدات میدانی تعیین شدند تا دقت 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 کاربری 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 عمدتاً 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 کاهش NDVI، تفاوت مقادیر شاخص NDVI بین سال‌های متوالی 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

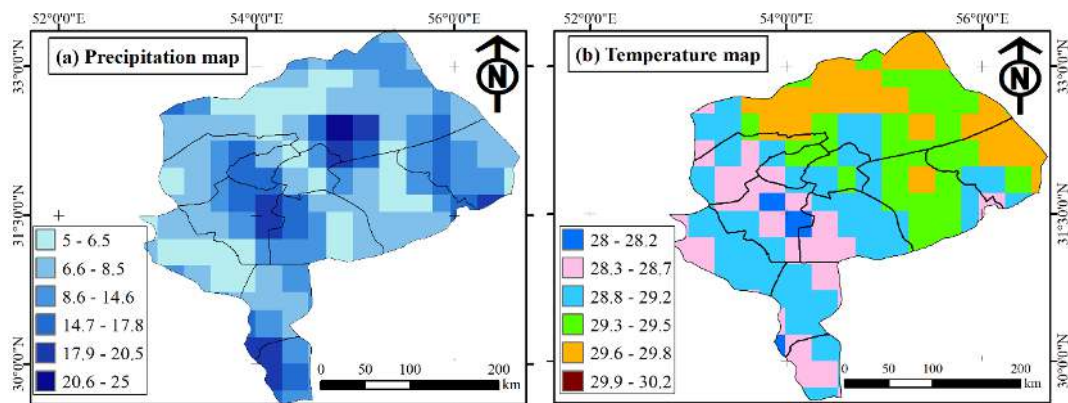


شکل ۹: الگوی مکانی تغییرات مکانی و فصلی میانگین NDVI در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ و نقشه میانگین دراز مدت و تفاضلی NDVI در استان یزد

استان، مقادیر بالاتر NDVI معمولاً در مناطق با بارش بیشتر متمرکز 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 درازمدت بارش و دما در شکل (۱۰) با استفاده از نقشه‌های میانگین ۲۳ ساله، مشتمل بر داده‌های ERA5-Land برای استان یزد نشان داده شده است. هر پیکسل در این نقشه‌ها نشان‌دهنده مقیاس 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 درازمدت بارش با نقشه میانگین ۲۳ ساله NDVI (شکل ۹) نشان می‌دهد که در برخی نقاط



شکل ۱: نقشه تحلیل تغییرات سالانه میانگین بارش (a) و دما (b) در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳

بحث و نتیجه گیری

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 عمده در مرکز، جنوب و غرب منطقه مورد مطالعه واقع شده‌اند. این مناطق با مناطقی که دارای بارش بیشتر و دماهای معتدل‌تری هستند همخوانی دارند. علاوه بر این، این مناطق به طور عمده 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

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 مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه، روندهای متفاوتی را نشان می‌دهند. بر اساس تحلیل روند آزمون من-کندال، افزایش شاخص NDVI و پارامترهای اقلیمی در برخی مقیاس‌ها مشاهده شده است، اما این روندها از نظر آماری در بیشتر موارد معنی‌دار نبوده‌اند. نتایج نشان داد که تأثیرات تغییرات اقلیمی در مقیاس‌های بلندمدت (سالانه) به طور نسبی قابل مشاهده‌تر هستند، اما این تغییرات نیازمند تحلیل‌های دقیق‌تری 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

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 جامع‌تر 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 سناریوهای 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 متنوع 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 NDVI 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 برجسته 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 انجام‌شده 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 Semirom). *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. Buitenwerf, 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. Vadeboncoeur, 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 Damaneh, 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, SN., 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, RF., D.G. Despain, R.N. Clark & KE. 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. Alsubih & 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. Haghighi, 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, RR., 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. Ogutu, JO., 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. Taripanahe, 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. Ghebregabher, 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.