

Analysis of spatiotemporal changes in winter vegetation index in the Maroon Basin with emphasis on the effects of teleconnection patterns

Leila Mokaram ¹ , Ahmad Mazidi*² , Kamal Omidvar ³ , Hamid Reza Ghafarian Malmiri ⁴

1- Ph.D. Student in climatology, Department of geography, Yazd University, Yazd, Iran. Email: lmokaram@stu.yazd.ac.ir

2- (*Corresponding author) Associate professor, Department of geography and climatology, Yazd University, Yazd, Iran. Email: payammyazd@gmail.com

3- Professor, Department of geography and climatology, Yazd University, Yazd, Iran. Email: komidvar@yazd.ac.ir

4- Associate professor, Department of geography, Yazd University, Yazd, Iran. Email: hrg hafarian@yazd.ac.ir

Article Info

Date of receive:

2025/10/13

Date of last review:

2026/02/22

Date of accept:

2026/02/24

Date of online publication:

2026/02/24

Keywords:

MODIS,
Teleconnection patterns,
NDVI,
Maroon Basin,
Pearson Correlation,
ENSO

Extended Abstract

Introduction

Vegetation is one of the most sensitive environmental components to changes in climatic variables, and any fluctuation in precipitation, temperature, and humidity can result in rapid and observable responses in its growth and dynamics. Teleconnection patterns, particularly ENSO (El Niño–Southern Oscillation), are recognized as major drivers of climatic conditions at regional and global scales and can substantially influence vegetation cover by altering precipitation and temperature patterns. Monitoring and modeling vegetation cover can therefore help in tracking regional climate-change trends (Jiao et al., 2018; Ding et al., 2020; Jien et al., 2023). Identifying climate-induced fluctuations in vegetation conditions is particularly important, especially given recent climate change and the role of vegetation in mitigating its impacts. The most widely used parameter for evaluating vegetation responses to climate variability is the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), derived from satellite remote-sensing data (Adole et al., 2016; Huang et al., 2021; Suberi et al., 2021; Buras et al., 2020; Barbosa et al., 2019). Teleconnection patterns represent persistent, large-scale atmospheric circulation regimes that influence distant regions by altering temperature, precipitation, and pressure patterns. These patterns are statistically defined and explain variations in local and regional climatic variables in response to different phases of large-scale climate modes. Among these, ENSO (El Niño–Southern Oscillation) and NAO (North Atlantic Oscillation) are the most influential in climate–biosphere studies. Jien et al. (2025), in a study titled Impact of the El Niño–Southern Oscillation on Global Vegetation, demonstrated that ENSO, through its influence on precipitation and temperature patterns, is one of the most important drivers of interannual vegetation variability worldwide. Their findings suggest that ENSO impacts differ across regions and that the type of ENSO event—whether the Eastern Pacific (EP) or Central Pacific (CP) pattern—can induce distinct vegetation responses Page 64

How to Cite:

Mokaram, L. Mazidi, A. Omidvar, K. Ghafarian Malmiri, H.R. (2026). Analysis of spatiotemporal changes in winter vegetation index in the Maroon Basin with emphasis on the effects of teleconnection patterns. Scientific-Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 35(137), 63-77.

Nevertheless, the precise interactions between vegetation and ENSO require further investigation. A review of previous research shows that only a limited number of studies in Iran have examined the influence of teleconnection patterns on vegetation dynamics. By focusing on the Maroon Basin in the southern Zagros region and employing key teleconnection indices, the present study addresses a major research gap in this field.

Materials and Methods

In this study, to investigate the relationship between teleconnection indices (NINO4, NINO3, NINO3.4, NINO1+2, and SOI) and winter vegetation changes in the Maroon watershed, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from the MODIS sensor was used for the period 2001–2023. MODIS data, with a spatial resolution of 500 m and a 16-day temporal interval, were obtained after atmospheric correction and processed on the Google Earth Engine platform. NDVI was calculated based on the ratio $(NIR - Red)/(NIR + Red)$. To assess the relationship, Pearson correlation coefficients were calculated between the teleconnection indices during winter and winter NDVI over the 23-year period. Following this, the locations with the highest and lowest correlation coefficients were identified. The coefficient indicates both the strength and direction of the relationship, with values close to ± 1 representing a strong dependency. Teleconnection indices reflect the synchronization of climate fluctuations in a given region with changes in sea-level pressure and temperature in other regions, and their data were obtained from the NCEP/NCAR database. Additionally, the mean NDVI for each winter season was calculated in a GIS environment, as winter represents the main rainy season in the watershed. The low vegetation density during this season facilitates the detection of changes induced by climate variability and human activities. To examine the relationships, Pearson correlation coefficients were calculated between the winter teleconnection indices and the winter NDVI values over a 23-year period. After computing the coefficients, the locations with the highest and lowest correlation values were identified.

Results and Discussion

The winter NDVI time-series analysis for the Maroon Basin from 2001 to 2023 showed that the southern and southwestern parts of the basin consistently exhibited the highest vegetation density, while the northern and central areas had the lowest. NDVI values displayed considerable interannual variability, with years such as 2023 recording the highest and years like 2008 and 2012 the lowest vegetation levels. Correlation analysis with ENSO indices revealed that areas with very dense vegetation were most sensitive to the warm phase of ENSO, showing a strong negative correlation with NINO3.4. In contrast, moderate vegetation classes showed a positive correlation with NINO4. Sparse vegetation exhibited weaker responses to ENSO fluctuations. The positive correlation with SOI further indicated that the cold phase of ENSO is generally associated with slight improvements in vegetation conditions. Overall, the findings demonstrate that vegetation in the Maroon Basin is highly responsive to ENSO variability, and the magnitude of this response depends on vegetation type and density. These results are consistent with previous studies conducted in semi-arid regions both within Iran and internationally.

Conclusion

Winter vegetation in the Maroon watershed was analyzed over a 23-year period (2001–2023) to assess the influence of ENSO indices. The results showed that the southern and southwestern parts of the basin had the highest vegetation density, while the northern and northeastern areas exhibited the lowest density. The strongest negative correlation with ENSO was observed between the NINO3.4 index and the very dense vegetation class ($r = -0.68$), whereas sparse vegetation classes showed weak responses. The SOI index exhibited a weak positive correlation with dense vegetation. Overall, ENSO had a moderate to weak impact on winter NDVI, while local and ecological factors played a more decisive role in vegetation changes. These findings highlight the importance of long-term monitoring and the concurrent consideration of both local and teleconnection factors for effective natural resource management in semi-arid regions.



تحلیل تغییرات مکانی - زمانی شاخص پوشش گیاهی زمستانه در حوضه مارون با تأکید بر اثرات الگوهای پیوند از دور

لیلا مکرم^۱، احمد مزیدی*^۲، کمال امیدوار^۳، حمیدرضا غفاریان مالمیری^۴

۱- دانشجوی دکترای مخاطرات آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد یزد، ایران Imokaram@stu.yazd.ac.ir

۲- (*نویسنده مسئول) دانشیار گروه جغرافیا، آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران payammyazd@gmail.com

۳- استاد گروه جغرافیا، آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران komidvar@yazd.ac.ir

۴- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران hrg hafarian@yazd.ac.ir

چکیده

پوشش گیاهی یکی از حساس ترین مؤلفه های محیطی نسبت به تغییرات عناصر اقلیمی است و هرگونه نوسان در بارش، دما و رطوبت می تواند به واکنش های سریع و قابل مشاهده در رشد و پویایی آن منجر شود. در پژوهش حاضر، تغییرات مکانی - زمانی شاخص NDVI زمستانه در حوضه آبریز مارون طی بازه زمانی سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۳ مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور داده های ماهواره ای MODIS محصول (MOD13A1) استخراج و با توجه به شدت و ضعف مقادیر NDVI و به منظور سنجش میزان حساسیت هر طبقه با الگوهای پیوند از دور به پنج طبقه با پوشش گیاهی خیلی تنک، تنک، متوسط، انبوه و خیلی انبوه تقسیم شدند. علاوه بر این شاخص های دور پیوندی شامل NINO3, NINO1+2, NINO4, NINO3.4, SOI برای تحلیل همبستگی با تغییرات NDVI مورد استفاده قرار گرفته اند. یافته ها نشان می دهند که پوشش گیاهی زمستانه حوضه مارون طی دوره مورد مطالعه نوسانات چشمگیری داشته است. در حالی که بخش های جنوبی و غربی حوضه در اغلب سال ها بیشترین تراکم پوشش گیاهی را نشان می دهند، مناطق شمالی و مرکزی تراکم پوشش گیاهی خیلی کمتری را تجربه نموده اند. بالاترین ارتباط معکوس مقادیر ضریب همبستگی در ناحیه خیلی تنک و تنک مشاهده شد که حاکی از حساسیت بالای پوشش گیاهی منطقه خیلی تنک و تنک به الگوهای جوّی است. به طوری که شاخص NINO1+2 در طبقه خیلی تنک مقدار (۰/۳۴۷-) و شاخص NINO4 در طبقه تنک مقدار (۰/۳۸۹-) را ثبت کرد. در مقابل، مقادیر همبستگی در طبقات «متوسط» و «انبوه» عمدتاً نزدیک به صفر و فاقد رابطه معنادار بوده و نشان می دهد که این گروه ها بیشتر تحت تأثیر شرایط اقلیمی و محیطی محلی قرار دارند. همچنین طبقه «خیلی انبوه» نیز الگوی همبستگی ضعیف و پراکنده ای را نمایش داد و بیانگر اثر ضعیف شاخص های پیوند از دور بر ساختار مکانی NDVI است.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۷/۲۱

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۴/۱۲/۰۳

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۱۲/۰۵

تاریخ انتشار:

۱۴۰۴/۱۲/۰۵

واژه های کلیدی:

مودیس؛

الگوهای پیوند از دور؛

NDVI؛

حوضه مارون؛

همبستگی پیرسون؛

ENSO

استاد به این مقاله:

مکرم، ل؛ مزیدی، الف؛ امیدوار، ک؛ غفاریان مالمیری، ح. ر. (۱۴۰۵) تحلیل تغییرات مکانی - زمانی شاخص پوشش گیاهی زمستانه در حوضه مارون با تأکید بر اثرات الگوهای پیوند از دور؛ فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۳۵ (۱۳۷)، ۷۷ - ۶۳.

۱- مقدمه

پوشش گیاهی از حساس‌ترین اجزای محیط زیست نسبت به تغییرات عناصر اقلیمی است و هرگونه نوسان در بارش، دما یا رطوبت می‌تواند منجر به واکنش‌های سریع و قابل مشاهده در رشد و پویایی آن شود. در این میان، الگوهای پیوند از دور به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سازوکارهای هدایت‌کننده اقلیم در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی مطرح بوده و نقش مؤثری در تعدیل بارش‌های فصلی و دمای هوا، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ایفا می‌کنند. پوشش گیاهی به‌عنوان یک محرک اصلی در تغییر شرایط زیستگاه‌ها و ترکیب گونه‌ها، یکی از مباحث مهم زیستی محسوب می‌شود (رانو و نویر، ۲۰۱۴). برهم‌کنش‌های میان اقلیم و پوشش گیاهی یکی از محورهای اصلی پژوهش در زمینه تغییرات جهانی است. گزارش‌های منتشرشده توسط هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم (IPCC^۱) و کنوانسیون بین‌المللی حفاظت گیاه (IPPC^۲) نیز به موضوعات مختلف مرتبط با پوشش گیاهی و تغییر اقلیم می‌پردازند. اقلیم معمولاً به‌عنوان یک عامل محرک خارجی تغییرات پوشش گیاهی در نظر گرفته می‌شود و از طریق عواملی مانند دما، بارش، رطوبت هوا و تابش خورشید، اثر مستقیم یا غیرمستقیم بر پوشش گیاهی دارد (دینگ و همکاران، ۲۰۲۲). پوشش گیاهی به‌شدت از تغییرات اقلیمی تأثیر می‌پذیرد، به‌طوری‌که حدود ۵۵ درصد از روند سبزی‌نگی جهانی در مناطق خشک به تغییرات اقلیمی نسبت داده می‌شود. دما و بارش از عوامل کلیدی تعیین‌کننده رشد پوشش گیاهی هستند و ENSO نقش مهمی در شکل‌دهی الگوهای جهانی دما و بارش ایفا می‌کند؛ از این‌رو تأثیر قابل توجهی بر پوشش گیاهی دارد (جی‌ین و همکاران، ۲۰۲۳). فنولوژی پوشش گیاهی شاخصی برای ارزیابی شرایط اقلیمی منطقه‌ای محسوب می‌شود. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که تغییرات اقلیمی بلندمدت

تأثیر قابل توجهی بر پویایی و تراکم پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان دارند. در همین راستا، پایش و مدل‌سازی پوشش گیاهی می‌تواند به ردیابی روندهای تغییر اقلیم منطقه‌ای کمک کند (جیانو و همکاران، ۲۰۱۸). در میان شاخص‌های مختلف سنجش از دور پوشش گیاهی، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) مناسب‌ترین شاخص برای پایش پراکندگی و تغییرات پوشش گیاهی است (وو و دیگران، ۲۰۱۷). پرکاربردترین پارامتر برای ارزیابی واکنش پوشش گیاهی به تغییرات اقلیمی شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) است که از داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای به‌دست می‌آید (آدول و همکاران، ۲۰۱۶؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۲۱؛ سویری و همکاران، ۲۰۲۱؛ بوراس و همکاران، ۲۰۲۰؛ باریوسا و همکاران، ۲۰۱۹). الگوهای پیوند از دور، بازتابی از الگوهای پایدار و بزرگ‌مقیاس گردش جو هستند که می‌توانند مناطق بسیار دور از یکدیگر را از طریق تغییر در الگوهای دما، بارش و فشار تحت تأثیر قرار دهند. این الگوها به‌طور آماری تعریف می‌شوند و تغییراتی را توضیح می‌دهند که در مجموعه عوامل اقلیمی محلی و منطقه‌ای در پاسخ به حالت‌های مختلف الگوهای بزرگ مقیاس اقلیمی رخ می‌دهند. از میان این الگوها، ENSO و NAO بیشترین اهمیت را در مطالعات اقلیم-زیست‌کره دارند. با این حال، ارزیابی اثر این الگوها بر پوشش گیاهی دشوار است، زیرا واکنش اکوسیستم‌ها به متغیرهای اقلیمی مانند دما و بارش، می‌تواند با تأخیرهای زمانی متفاوت و در قالب پاسخ‌های پیچیده بروز یابد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تغییرات ناشی از ENSO و NAO می‌توانند پیامدهای قابل توجهی برای موجودات و اکوسیستم‌ها در مقیاس جهانی داشته باشند (مازا ویلالوبوس و همکاران، ۲۰۱۳). الگوهای دورپیوندی سطح

6- Jiao et al

7- Wu et al

8- Adole et al

9- Huang et al

10- Soubry et al

11- Buras et al

12- Barbosa et al

13- Maza Villalobos et al

1- Rannow & Neuber

2- Intergovernmental Panel on Climate Change

3- International Plant Protection Convention

4- Ding et al

5- Jien et al

ایجاد یک الگوی پیوند از دور خاص و پایدار می‌شوند که تغییرات اقلیمی منطقه‌ای، از جمله بارش و دما، را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این تغییرات می‌تواند به نوسانات پوشش گیاهی و شاخص NDVI در مناطق حساس، مانند نواحی خشک یا نیمه‌خشک، منجر شود. یافته‌ها بر اهمیت تحلیل رخدادهای شدید El Niño و ارتباط آن با پاسخ‌های اکوسیستم‌ها تأکید دارند و نشان می‌دهند که مطالعه الگوهای پیوند از دور می‌تواند ابزار مهمی برای پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی و برنامه‌ریزی مدیریت منابع طبیعی باشد. وانگ و همکاران^۴ (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای با عنوان مقایسه ناهنجاری‌های پوشش گیاهی با نوسان جنوبی-ال‌نینو در چین و استرالیا به بررسی رابطه بین ناهنجاری‌های پوشش گیاهی و رخدادهای ENSO پرداختند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که واکنش پوشش گیاهی در چین و استرالیا نسبت به تغییرات ENSO متفاوت بوده و این تفاوت‌ها عمدتاً به اثرات منطقه‌ای ENSO بر بارش و دما مرتبط است. این مطالعه تأکید می‌کند که حساسیت پوشش گیاهی به ENSO تحت تأثیر شرایط اقلیمی و ویژگی‌های اکوسیستمی هر منطقه قرار دارد و درک این الگوها برای تحلیل تغییرات زمانی-مکانی شاخص‌های پوشش گیاهی ضروری است. اشتفان (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای با عنوان سبزینگی پوشش گیاهی در شمال‌شرقی برزیل و ارتباط آن با رخدادهای گرم ENSO به بررسی تغییرات زمانی و مکانی سبزینگی پوشش گیاهی در یک منطقه نیمه‌خشک شمال‌شرقی برزیل پرداختند. این پژوهش با استفاده از داده‌های NDVI سالانه (۲۰۱۰-۱۹۸۲) نشان داد که رخدادهای گرم (ENSO-EL Nino) با کاهش سبزینگی پوشش گیاهی در ارتباط هستند و این تأثیر دارای تأخیر زمانی حدود ۱۲ ماه است. همچنین نتایج حاکی از آن بود که شدت و گستره این کاهش سبزینگی وابسته به نوع پوشش زمین و اکوسیستم منطقه است و مناطق خشک و بیابانی حساسیت بیشتری نسبت به ارتباطات دورپیوندی ENSO دارند. این مطالعه اهمیت تحلیل ENSO و نقش

اقیانوس‌ها (مانند ال‌نینو) با نوسانات دوره‌ای خود اثر قابل توجهی بر آب و هوای سطحی دارند. اگر چه مطالعات متعددی در زمینه ارتباط شاخص‌های پیوند از دور با متغیرهای اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای انجام شده، اما نقش الگوهای پیوند از دور در تغییرات پوشش گیاهی اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. شاخص تفاضل نرمال پوشش گیاهی (NDVI)^۱ استخراج شده از داده‌های سنجنش از دور به‌عنوان شاخصی برای نمایش ویژگی‌های پوشش گیاهی و تغییرات مرتبط با آن ثابت شده است.

جین و همکاران^۲ (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای با عنوان تأثیر نوسان جنوبی-ال‌نینو بر پوشش گیاهی جهانی نشان دادند که پدیده ENSO با تغییر در الگوهای بارش و دما، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر نوسانات بین‌سالانه پوشش گیاهی در سراسر جهان است. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر آن است که اثر ENSO در مناطق مختلف متفاوت بوده و نوع رخداد آن (الگوی اقیانوس آرام شرقی یا مرکزی) می‌تواند واکنش‌های متفاوتی را در پوشش گیاهی ایجاد کند. تعاملات دقیق بین پوشش گیاهی و ENSO همچنان نیازمند بررسی‌های بیشتر است. اوپیو و همکاران^۳ (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای با به‌کارگیری شاخص‌های دورسنجی NDVI و شاخص خشکسالی SPEI، روندهای شش‌دهه‌ای پوشش گیاهی در غرب آفریقای جنوبی را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که حساسیت پوشش گیاهی نسبت به نوسانات رطوبتی و دوره‌های خشکسالی طی زمان افزایش یافته و تغییرات بلندمدت اقلیم نقش مؤثری در کاهش تراکم پوشش گیاهی داشته است. این تحقیق با ارائه تحلیل‌های سری زمانی ۶۰ ساله، شواهد ارزشمندی درباره ارتباط بین تغییرات اقلیمی و رفتار اکوسیستم‌های خشک ارائه می‌کند.

بنیش و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای با عنوان الگوی دورپیوندی پایدار در آمریکای شمالی طی رخدادهای شدید El Niño نشان دادند که رخدادهای شدید El Niño باعث

1- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

2- Jin et al

3- Opiyo et al

4- Wang

اثرات گسترده و متنوعی بر پوشش گیاهی، تغییرات کاربری اراضی و فرایندهای هیدرولوژیکی داشته باشند؛ به گونه‌ای که شدت و جهت این اثرات، بسته به موقعیت جغرافیایی، شرایط آب‌وهوایی و نوع پوشش گیاهی هر منطقه متفاوت است. بررسی پیشینه نشان می‌دهد که در ایران مطالعات کمی درباره اثر الگوهای پیوند از دور بر پوشش گیاهی انجام شده است. پژوهش حاضر با تمرکز بر حوضه مارون در زاگرس جنوبی و بهره‌گیری از شاخص‌های دورپیوندی، می‌تواند خلأ موجود در این حوزه را تا حد زیادی برطرف کند. همچنین انتخاب فصل زمستان و تحلیل طبقات مختلف NDVI، امکان ارزیابی دقیق‌تری از واکنش پوشش گیاهی منطقه به نوسانات اقلیمی و الگوهای دورپیوندی را فراهم کرده و همین امر، این پژوهش را به یکی از معدود مطالعات بومی و تخصصی در این زمینه تبدیل می‌کند.

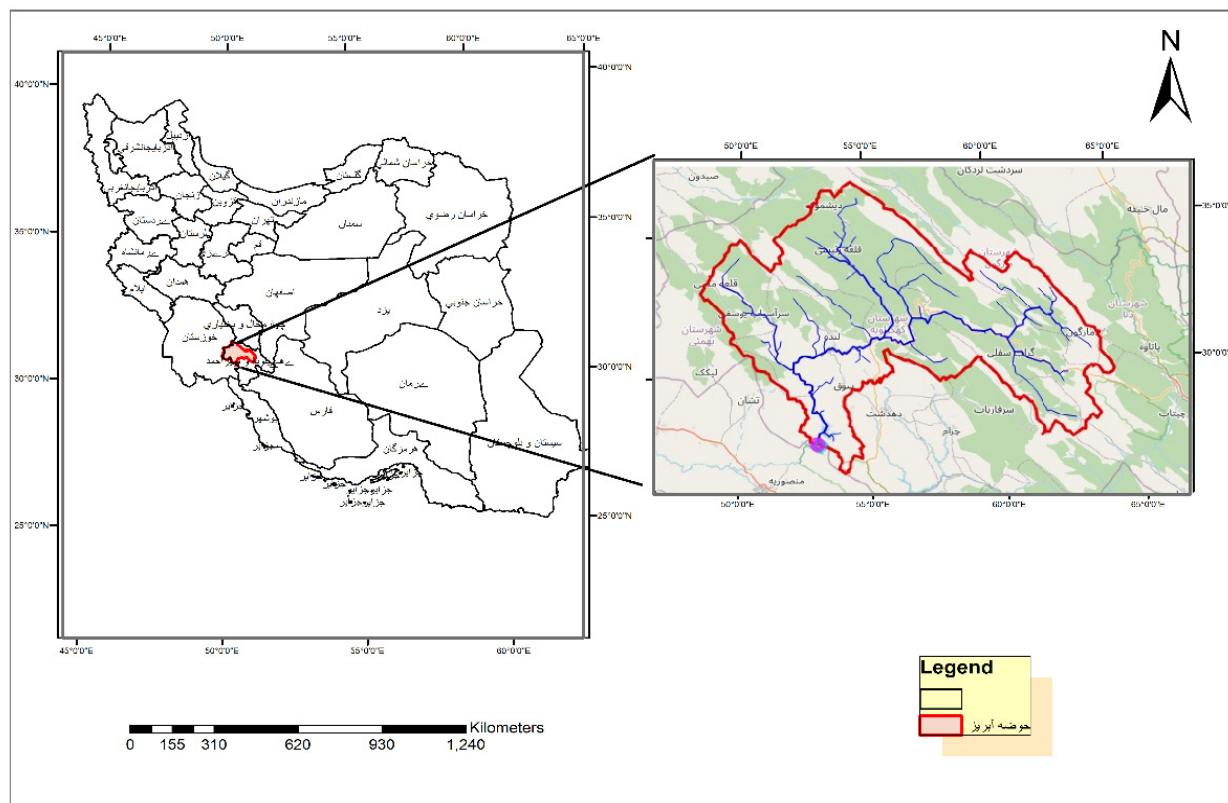
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه پژوهش

زاگرس جنوبی ناحیه‌ای از جنوب و جنوب غرب ایران را در بر می‌گیرد که بین طول‌های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض‌های ۲۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۳ درجه شمالی واقع شده است. این محدوده شامل استان‌های فارس، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان، بوشهر و بخش‌هایی از هرمزگان تا شمال تنگه هرمز می‌شود. از نظر توپوگرافی، دامنه‌های جنوبی و جنوب غربی زاگرس در این منطقه گسترده‌اند؛ به گونه‌ای که از شمال به ارتفاعات زاگرس مرتفع متصل شده و در سمت جنوب تا دشت‌های خوزستان و سواحل خلیج فارس امتداد دارند (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۴). حوضه آبریز مارون در جنوب غرب ایران واقع شده و حدود ۳۸۰۸ کیلومترمربع وسعت دارد (نگاره ۱). این حوضه بخش‌هایی از استان‌های خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد را در بر می‌گیرد و در دامنه‌های رشته‌کوه زاگرس، میان عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۳۲ درجه شمالی و طول‌های ۴۹ تا ۵۱ درجه شرقی قرار

آن در تغییرات پوشش گیاهی و اکوسیستم‌های خشک را برجسته می‌کند.

از جمله مطالعات داخلی به عنوان نمونه بهمن پوری و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی، اثرات تغییر اقلیم را بر کاربری اراضی و پوشش گیاهی استان فارس با استفاده از روش پویایی سیستم بررسی کردند. نتایج دوره شبیه‌سازی نشان داد که در طول ۳۰ سال آینده، مساحت اراضی مسکونی و مناطق بایر افزایش می‌یابد. در مقابل، وسعت زمین‌های کشاورزی، پوشش‌های جنگلی، مراتع و پهنه‌های آبی به تدریج کاهش پیدا خواهد کرد. رضایی و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی به بررسی تأثیر نوسان اقیانوس اطلس شمالی بر تغییرات پوشش گیاهی ایران پرداختند. از داده‌های سنجنده مودیس برای بررسی پوشش گیاهی منطقه استفاده شد. نتایج نشان داد که بالاترین مقادیر ضریب همبستگی در منطقه با پوشش گیاهی تنک مشاهده شد و اینکه ناحیه تنک حساسیت بالاتری نسبت به الگوهای جوّی دارد. پوشش گیاهی در فازهای منفی الگوی نوسان اقیانوس اطلس شمالی انبوه‌تر از فازهای مثبت است. خسروی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به تحلیل فضایی روابط الگوهای پیوند از دور با دمای ماهانه شمال غرب ایران پرداختند. یافته‌های این تحقیق بیانگر آن است که بین الگوهای دورپیوندی و تغییرات دمای منطقه رابطه‌ای معنادار وجود دارد. در میان این الگوها، شاخص‌های AO، EP/NP، SOI، MEI، EA/WR بیشترین تأثیر را بر نوسانات دما نشان داده‌اند و به عنوان شاخص‌های مؤثر اصلی شناخته شدند. براساس تحلیل‌های انجام شده در بازه‌های زمانی با تأخیر یک، دو و سه ماهه، بیشترین میزان همبستگی به تأخیر یک ماهه مربوط بوده است. در این میان، قوی‌ترین رابطه معنادار در ایستگاه سردشت و در ماه فوریه مشاهده شد، جایی که شاخص EA/WR با دمای منطقه همبستگی منفی قابل توجهی معادل -0.771 نشان داد. به طور کلی، مطالعات پیشین نیز تأکید می‌کنند که تغییر اقلیم و نوسانات مربوط به الگوهای پیوند از دور می‌تواند



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز رودخانه مارون در زاگرس جنوبی

۳۰ روزه است که با انجام تصحیحات اتمسفری در شرایط بدون ابر با تعدیل در نقطه نادیر و با وضوح مکانی ۲۵۰ متر، یک کیلومتر و ۰/۰۵ درجه فراهم شده‌اند. هر دو روز یکبار از تمام سطح زمین تصویربرداری می‌کند. پوشش گیاهی نرمال شده سنجنده مودیس براساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$[NDVI = (Near\ Infrared - Red) / (Near\ Infrared + Red)]$$

رابطه (۱)

در این مطالعه داده‌های ۲۳ ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۳) شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) از سنجنده MODIS با نام اختصاری MOD13A1 ماهواره Terra با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متری که با استفاده از ویرایشگر کد JavaScript در پلتفرم گوگل ارث انجین (GEE/Google Earth Engine) پردازش شده‌اند دریافت شد.^۱

دارد. رودخانه مارون از پیوستن شاخه‌هایی مانند شبلیز، لوداب و سقاوه شکل می‌گیرد و پس از طی مسیری در حدود ۱۲۰ کیلومتر به دریاچه سد مارون می‌ریزد. سپس با عبور از تنگ تکاب وارد دشت بهبهان شده و به وسیله سد انحرافی شهدا و شبکه آبیاری بهبهان، و همچنین از طریق سد انحرافی جایزان، دشت‌های جایزان و فجر را آبیاری می‌کند (نقشه و همکاران، ۱۳۹۲).

به منظور بررسی ارتباط شاخص‌های پیوند از دور (NINO4, NINO3, NINO3.4, NINO1+2, SOI) با تغییرات پوشش گیاهی فصل زمستان در محدوده حوضه آبریز مارون از محصولات شاخص پوشش گیاهی نرمال شده سنجنده مودیس طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۳ استفاده شد. سنجنده مودیس با ۳۶ باند طیفی مختلف و حساسیت رادیومتریکی ۱۲ بیت دارای دامنه طول موج ۰/۴ تا ۱۴/۴ است. محصولات پوشش گیاهی مودیس به صورت ۱۶ و

1- <https://code.earthengine.google.com>

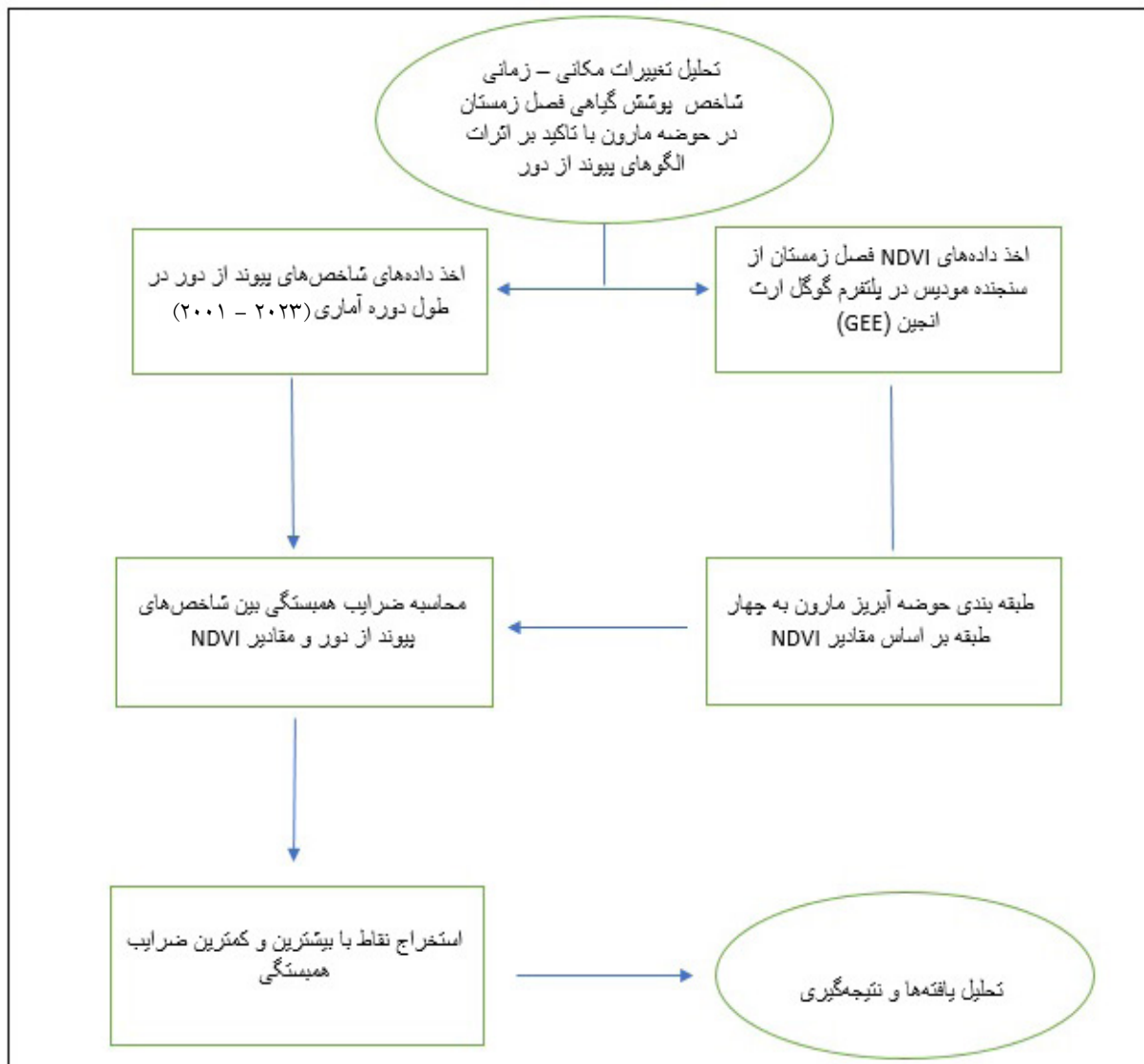
همچنین یکنواختی فنولوژیک در این فصل سبب می‌شود تغییرات پوشش گیاهی بیشتر بازتاب دهنده روندهای اقلیمی بلندمدت باشد تا نوسانات کوتاه مدت. در نگاره ۲ مراحل انجام تحقیق به نمایش گذاشته می‌شود.

۳- بحث و نتایج

بررسی دامنه غالب NDVI زمستانه حوضه مارون طی دوره سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۳ (جدول ۱) نشان می‌دهد که پوشش گیاهی حوضه نوسانات بین‌سالی قابل‌توجهی را تجربه کرده است. دامنه NDVI از مقادیر حداقل حدود ۰/۳- تا ۰/۲ در سال‌های کم‌پوشش (مانند سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱) تا مقادیر بیش از ۰/۷- تا ۰/۶ در سال‌های انبوه (به‌ویژه سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۳) تغییر یافته است. این تغییرات بیانگر حساسیت بالای پوشش گیاهی زمستانه حوضه به شرایط اقلیمی بین‌سالی است. در سال‌های ابتدایی دوره (۲۰۰۱-۲۰۰۴)، NDVI غالب عمدتاً در طبقه متوسط قرار داشته و کاهش تدریجی پوشش، به‌ویژه در سال ۲۰۰۴، منجر به افت محسوس NDVI در شرق و شمال‌شرق حوضه شده است. این الگو در سال‌های خشک‌تر بعدی نظیر ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ تشدید شده و حداقل مقادیر NDVI در کل دوره ثبت شده است که نشان‌دهنده افت گسترده فعالیت زیستی پوشش گیاهی است. از حدود سال ۲۰۰۹ به بعد، افزایش تدریجی NDVI و بازگشت پوشش گیاهی به طبقات متوسط تا انبوه مشاهده می‌شود. اوج این روند در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ با ثبت NDVI در دامنه ۰/۵۶- تا ۰/۴۵ و گسترش پوشش انبوه در غرب، مرکز و جنوب حوضه قابل مشاهده است. در سال‌های پایانی دوره، به‌ویژه سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۳، ورود NDVI به طبقه خیلی انبوه (بیش از ۰/۶) نشان‌دهنده بهبود چشمگیر و کم‌سابقه شرایط پوشش گیاهی در مقیاس کل حوضه است.

به‌منظور بررسی تغییرات پوشش گیاهی زمستانه در حوضه مارون، همان‌گونه که در نگاره ۳ مشاهده می‌شود، نقشه‌های سال‌به‌سال NDVI بیانگر نوسانات قابل‌توجه در

به‌منظور بررسی ارتباط از ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های پیوند از دور در فصل زمستان و شاخص پوشش گیاهی فصل زمستان طی ۲۳ سال مورد استفاده قرار گرفت. پس از محاسبه این ضریب نقاط دارای بالاترین و پایین‌ترین ضریب همبستگی مشخص شدند. در تحلیل‌های چند متغیره آماری برای نمایش میزان همبستگی بین دو یا چند متغیر، از ضریب همبستگی پیرسون که میزان وابستگی را به‌صورت استاندارد شده نمایش می‌دهند استفاده می‌شود. ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد و معمولاً ضرایب همبستگی مقداری در بازه ۱- تا ۱ دارند. هر چه مقدار قدر مطلق این ضریب‌ها به یک نزدیک‌تر باشد، میزان وابستگی بین متغیرها بیشتر است و می‌توان نتیجه گرفت که روند هم‌جهت بودن یا مخالف بودن دو پارامتر مورد بررسی، جدی‌تر است. صفر بودن ضریب همبستگی به این معناست که دو پارامتر در فضای مورد بررسی مستقل از یکدیگر بوده‌اند و براساس اطلاعات موجود از کاهش یا افزایش یکی، نمی‌توان در مورد کاهش یا افزایش دیگری اظهارنظر نمود. همچنین پیوند از دور ارتباط همزمانی بین نوسانات عناصر اقلیمی یک مکان یا تغییرات الگوهای فشار و درجه حرارت سطح دریا در نقاط جغرافیایی دیگر است. داده‌های مربوط به شاخص‌های پیوند از دور از وب سایت اقلیمی مرکز ملی NCEP/NCAR دریافت شدند. این داده‌ها از پایگاه <https://www.esrl.noaa.gov/psd> در بازه زمانی ماهانه برای دوره آماری (۲۰۲۳ - ۲۰۰۱) اخذ شده‌اند. در ادامه میانگین NDVI هر سال برای فصل زمستان در محیط GIS محاسبه شد تا نوسانات پوشش گیاهی فصل زمستان هر سال قابل بررسی باشد. انتخاب فصل زمستان به این دلیل انجام شد که این فصل دوره بارش‌های اصلی در حوضه مارون است و شرایط رطوبتی آن نقش کلیدی در تعیین وضعیت پوشش گیاهی در بهار دارد. علاوه بر این، تراکم پایین پوشش گیاهی در زمستان امکان آشکارسازی بهتر تغییرات ناشی از نوسانات اقلیمی و اثرات انسانی را فراهم می‌کند.



نگاره ۲: روندنمای مراحل انجام تحقیق

حالی که در سال‌های با پوشش انبوه، افزایش NDVI عمدتاً به‌صورت تقویت تراکم پوشش در نواحی مستعد پیشین ظاهر شده است. به‌ویژه در سال ۲۰۲۳، ثبت دامنه غالب NDVI بسیار انبوه (۰/۷-۰/۶) نشان‌دهنده بهبود گسترده پوشش گیاهی در کل حوضه است. در مجموع، نتایج تأیید می‌کنند که پاسخ پوشش گیاهی حوضه مارون بیش از آن‌که ناشی از تغییر الگوی مکانی باشد، تابع نوسانات اقلیمی بین‌سال و تغییر شدت پوشش گیاهی است.

شدت پوشش گیاهی هستند، در حالی که الگوی مکانی غالب در سطح حوضه از پایداری نسبی برخوردار بوده است. در طول دوره مطالعه، پهنه‌های جنوبی و جنوب‌غربی حوضه به‌طور مداوم به‌عنوان کانون‌های اصلی پوشش متراکم شناسایی شده‌اند، در حالی که نواحی شرقی و شمال‌شرقی اغلب پوشش ضعیف‌تری را تجربه کرده‌اند. سال‌های کم‌پوشش با غلبه طبقات NDVI تنک و متوسط، بیانگر افت یکنواخت فعالیت پوشش گیاهی در سطح حوضه هستند، در

جدول ۱: الگوی مکانی غالب پوشش گیاهی فصل زمستان حوضه مارون طی دوره سال‌های ۲۰۰۱ - ۲۰۲۳

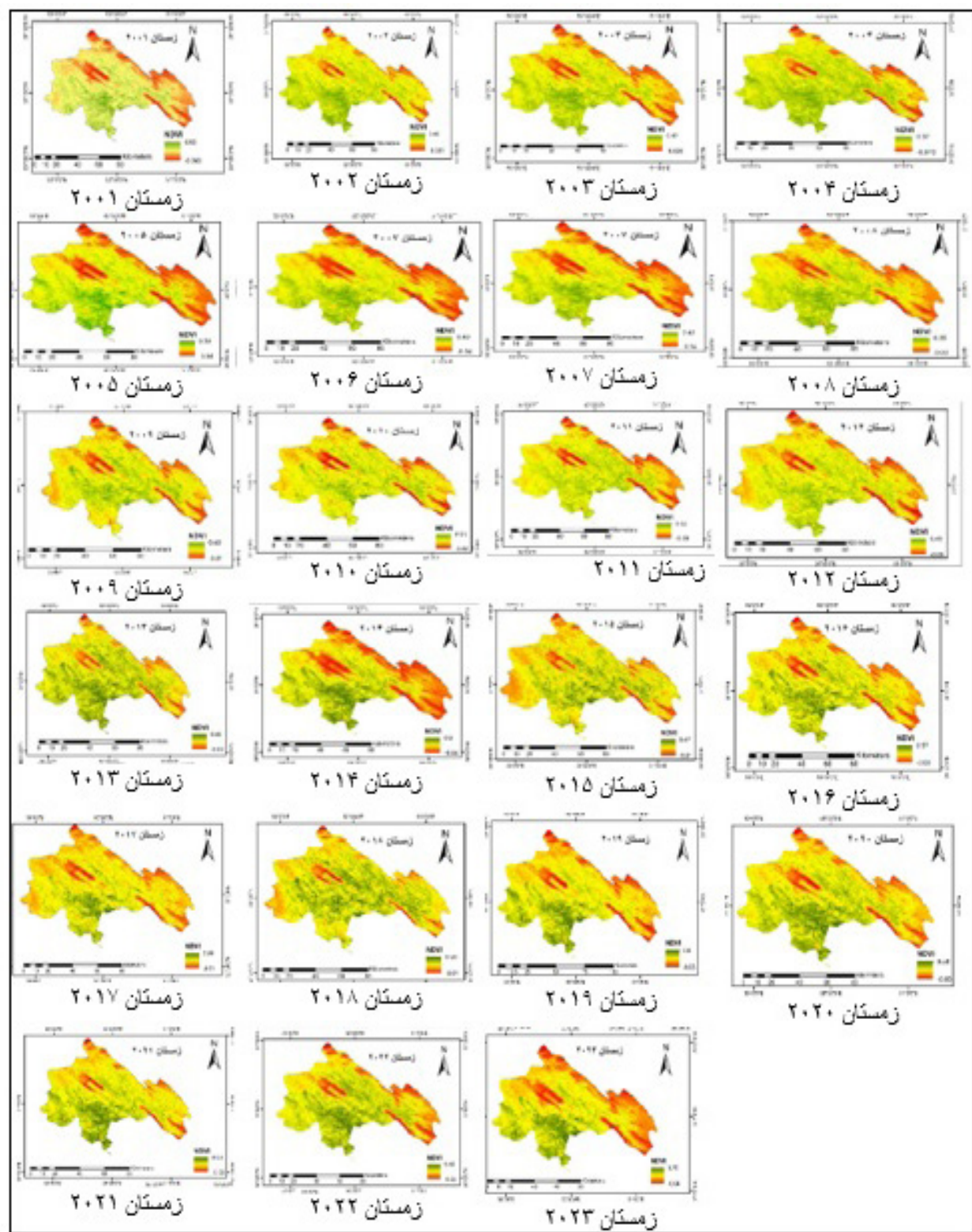
سال	طبقه غالب NDVI	وضعیت غالب پوشش گیاهی	الگوی مکانی غالب
۲۰۰۱	متوسط	متوسط تا انبوه	تراکم بالاتر در جنوب و جنوب غرب
۲۰۰۲	متوسط	متوسط	کاهش تراکم در مرکز و شمال شرق
۲۰۰۳	متوسط	متوسط	تمرکز پوشش در جنوب حوضه
۲۰۰۴	متوسط	ضعیف	افت محسوس در شرق و شمال شرق
۲۰۰۵	متوسط	متوسط تا مطلوب	گسترش پوشش در مرکز و جنوب
۲۰۰۶	متوسط	متوسط	کاهش تدریجی پوشش در مرکز
۲۰۰۷	ننگ	ضعیف	ضعیف پوشش در نواحی شمالی
۲۰۰۸	ننگ	ضعیف	ظایه پوشش‌های کم تراکم
۲۰۰۹	متوسط	متوسط	افزایش پوشش در جنوب
۲۰۱۰	انبوه	مطلوب	گسترش پوشش در غرب و جنوب
۲۰۱۱	ننگ	ضعیف	کاهش پوشش در سطح حوضه
۲۰۱۲	متوسط	متوسط	تمرکز پوشش محدود در جنوب
۲۰۱۳	متوسط	متوسط	ظایه پوشش متوسط در غرب و مرکز
۲۰۱۴	متوسط	متوسط	افزایش پوشش در بخش‌های غربی
۲۰۱۵	متوسط	متوسط	کاهش نسبی پوشش در حوضه
۲۰۱۶	انبوه	مطلوب	بیشینه پوشش در غرب و مرکز
۲۰۱۷	انبوه	مطلوب	تمرکز پوشش انبوه در جنوب و جنوب غرب
۲۰۱۸	انبوه	مطلوب	تمرکز در مرکز و جنوب
۲۰۱۹	خیلی انبوه	بسیار مطلوب	گسترش پوشش انبوه در مرکز و جنوب و جنوب غرب
۲۰۲۰	انبوه	مطلوب	تداوم پوشش بالا در جنوب
۲۰۲۱	انبوه	مطلوب	تمرکز پوشش بالا در جنوب و غرب
۲۰۲۲	متوسط	متوسط	افت پوشش در شرق و شمال شرق تمرکز در جنوب و جنوب غرب
۲۰۲۳	خیلی انبوه	بسیار مطلوب	گسترش پوشش با تراکم بالا در کل حوضه

نشان داده شده است. طبق این جدول بیشترین همبستگی پوشش گیاهی با شاخص‌های (NINO4, NINO3.4) برقرار است.

در مطالعه حاضر، سعی بر آن بود که تغییرات پوشش گیاهی فصل زمستان با نوسانات الگوی پیوند از دور بررسی شود. نتایج محاسبات آماری داده‌های پوشش گیاهی فصل زمستان با شاخص‌های پیوند از دور در جدول ۲

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)

تحلیل تغییرات مکانی - زمانی شاخص پوشش گیاهی زمستانه در حوضه ... / ۷۳



نگاره ۲: توزیع مکانی-زمانی شاخص پوشش گیاهی NDVI فصل زمستان در حوضه آبریز مارون طی دوره ۲۰۰۱-۲۰۲۳

جدول ۲- مقادیر همبستگی پوشش گیاهی و شاخص‌های پیوند از دور فصل زمستان (سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۰۱)

SOI	NINO1+2	NINO3.4	NINO3	NINO4	طبقات پوشش گیاهی
۰/۱۵۵	-۰/۳۷۴	-۰/۲۲۴	-۰/۳۱۹	-۰/۱۴۳	خیلی تنک
۰/۳۹۶	-۰/۱۴۹	-۰/۳۵۹	-۰/۳۱۴	-۰/۳۸۹	تنک
-۰/۲۹	-۰/۱۳۱	۰/۲۰	-۰/۳۳	۰/۵۲	متوسط
۰/۰۱۹	۰/۲۵۵	۰/۰۷۷	۰/۱۳۰	۰/۲۹	انبوه
۰/۱۵۲	۰/۱۳۳	-۰/۰۶۸	-۰/۰۱۰	-۰/۱۱	خیلی انبوه

و NDVI با نتایج پژوهش‌های (Maza et al, 2013), Erasmi et al (2014), Wang et al (2022)) همخوانی دارد؛ این مطالعات نیز کاهش پوشش گیاهی را در دوره‌های الینو قوی در مناطق نیمه‌خشک گزارش کرده‌اند. ناهمگنی مکانی ضرایب همبستگی در این پژوهش نیز با یافته‌های Benish et al (۲۰۲۳) و پژوهش‌های داخلی (رضایی و همکاران، ۱۳۹۶) سازگار است و تأیید می‌کند که پاسخ پوشش گیاهی به نوسانات دورپیوندی وابسته به شرایط محیطی و نوع اکوسیستم است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اگرچه الگوهای دورپیوندی به‌ویژه ENSO می‌توانند از طریق تغییر در بارش و دمای زمستانه بر پوشش گیاهی اثرگذار باشند، اما این تأثیر در حوضه مارون به‌اندازه‌ای قوی و پایدار نیست که نقش تعیین‌کننده‌ای در نوسانات NDVI ایفا کند. ضرایب همبستگی عمدتاً ضعیف تا متوسط بوده و تنها در یک یا دو طبقه پوشش گیاهی میزان همبستگی قابل توجه مشاهده شده است؛ موضوعی که بیانگر آن است که تغییرات پوشش گیاهی منطقه بیشتر تحت کنترل عوامل محلی همچون ویژگی‌های توپوگرافی، رطوبت خاک، بارش‌های منطقه‌ای، شدت چرا، تغییر کاربری و خصوصیات گونه‌های گیاهی قرار دارد. همچنین احتمال بروز تأخیر زمانی در پاسخ اکوسیستم‌ها به سیگنال‌های اقلیمی دورپیوندی و تضعیف اثر ENSO با فاصله جغرافیایی، از دیگر دلایلی است که شدت ارتباط را کاهش می‌دهد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که دورپیوندها تنها یکی از عوامل اثرگذار بر پویایی پوشش گیاهی مارون هستند و به‌تنهایی قادر نیستند

یافته‌های جدول ۲ نشان‌دهنده ضرایب همبستگی پیرسون میان شاخص‌های مختلف دورپیوندی (NINO1+2، NINO3، NINO3.4، NINO4 و SOI) و طبقات مختلف پوشش گیاهی در حوضه آبریز مارون طی بازه مورد مطالعه است. مقادیر ضرایب همبستگی جهت و شدت رابطه بین هر شاخص اقلیمی و تغییرات NDVI در هر طبقه پوشش را مشخص می‌کند. نتایج نشان داد که اغلب شاخص‌های مرتبط با ENSO، به‌ویژه NINO3.4، NINO3 و NINO4، با طبقات متراکم‌تر پوشش گیاهی رابطه‌ای منفی دارند؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار همبستگی منفی مربوط به شاخص NINO3.4 در طبقه «خیلی انبوه» بود ($r = -0.068$)، این الگو بیانگر حساسیت بالای اکوسیستم‌های متراکم به فاز گرم ENSO و پیامدهای آن نظیر کاهش بارش زمستانه، افزایش دما و کاهش رطوبت خاک است. در طبقات «تنک» و «خیلی تنک» نیز همبستگی منفی مشاهده شد، اما شدت آن کمتر بود که می‌تواند ناشی از مقاومت بیشتر این تیپ‌ها به خشکی باشد. نکته جالب، همبستگی مثبت و معنادار طبقه «متوسط» با شاخص NINO4 ($P < 0.01$) است که احتمالاً به تأثیرات غیرمستقیم عوامل محلی یا مداخلات انسانی مرتبط است. همچنین شاخص SOI در بیشتر طبقات همبستگی مثبت ضعیفی داشت و این موضوع نشان می‌دهد که فاز سرد ENSO (لانینا) وضعیت مطلوب‌تری برای پوشش گیاهی ایجاد کرده است.

در مقایسه با مطالعات پیشین، الگوی همبستگی منفی میان شاخص‌های ENSO (خصوصاً NINO3.4 و NINO3)

در مقابل، ارتباط مثبت ضعیف تا متوسط شاخص SOI با پوشش‌های متراکم‌تر بیانگر آن است که در سال‌های لانینا، شرایط بهتری برای پایداری پوشش گیاهی فراهم شده است. یافته‌های پژوهش نشان داد که بین شاخص‌های ENSO و مقادیر NDVI زمستانه حوضه مارون، همبستگی‌های عمدتاً متوسط یا ضعیفی به‌دست آمده است و تنها تعداد محدودی از طبقات پوشش گیاهی همبستگی قابل توجهی نشان دادند. این نتیجه به‌وضوح بیانگر آن است که الگوهای پیوند از دور، علی‌رغم نقش اقلیمی کلان، نمی‌توانند به‌عنوان عامل غالب یا تعیین‌کننده تغییرات پوشش گیاهی در این حوضه کوچک مقیاس تلقی شوند. در واقع، همین ضعف همبستگی به‌خودی خود یک یافته علمی ارزشمند است که نشان می‌دهد نقش ENSO در این منطقه عمدتاً غیرمستقیم بوده و عوامل محلی - اکولوژیکی و مداخلات انسانی سهم بسیار بیشتری در نوسانات NDVI ایفا می‌کنند. مقایسه این یافته‌ها با مطالعات مشابه نشان داد که الگوی رفتاری پوشش گیاهی مارون با نتایج گزارش شده در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان هم‌خوان است؛ جایی که تأثیر منفی ENSO بر بارش و همچنین ناهمگنی مکانی پاسخ پوشش گیاهی تأیید شده است (Erasmı et al., 2009; Li et al., 2017; Jin et al., 2025). همچنین، سازگاری نتایج با پژوهش‌های انجام شده در زاگرس جنوبی و سایر مناطق نیمه‌خشک ایران تأیید می‌کند که پاسخ پوشش گیاهی به تغییرات اقلیمی عمدتاً در قالب تغییر شدت فعالیت زیستی رخ می‌دهد و نه جابه‌جایی الگوی مکانی (فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰؛ خسروی و همکاران، ۱۳۹۵).

به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهند که پوشش گیاهی حوضه مارون واکنش یکنواختی به ENSO ندارد و نوع، تراکم پوشش و شرایط محلی تعیین‌کننده شدت و جهت واکنش آن هستند. این نتایج ضرورت پایش بلندمدت پوشش گیاهی با داده‌های سنجش‌ازدور و توجه به ترکیب عوامل محلی و دورپیوندی را در برنامه‌ریزی مدیریت منابع طبیعی برجسته می‌سازد. پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی تأخیر زمانی اثر ENSO، نقش سایر الگوهای اقلیمی

تغییرات NDVI را توضیح دهند؛ یافته‌ای که اهمیت بررسی فرایندهای محلی و منطقه‌ای را در کنار الگوهای اقلیمی بزرگ مقیاس برجسته می‌نماید.

۴- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر تلاش شد تا تغییرات پوشش گیاهی زمستانه حوضه آبریز مارون در بازه ۲۳ ساله و میزان تأثیرپذیری آن از نوسانات الگوی پیوند از دور ENSO بررسی شود. با توجه به تفاوت قابل توجه در ظرفیت اکولوژیکی نواحی مختلف حوضه، ابتدا مقادیر NDVI زمستانه طبقه‌بندی شد تا واکنش پوشش‌های گیاهی خیلی‌تنک، تنک، متوسط، انبوه و خیلی‌انبوه در برابر شاخص‌های پیوند از دور مشخص شود. این طبقه‌بندی نشان داد که بخش‌های جنوبی و جنوب‌غربی حوضه در اغلب سال‌ها دارای بیشترین تراکم پوشش گیاهی و نواحی شمالی و شمال‌شرقی دارای کمترین مقادیر NDVI بوده‌اند. به‌طور خاص، سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۳ به‌عنوان دوره‌های اوج پوشش و سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۲، ۲۰۱۴، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۱ به‌عنوان سال‌های بحرانی با افت پوشش شناخته شده‌اند. این الگو بیانگر آن است که پوشش گیاهی زمستانه منطقه نه تنها تحت تأثیر شرایط اقلیمی محلی قرار دارد بلکه به شدت از نوسانات جوی در مقیاس جهانی نیز تأثیر می‌پذیرد.

یافته‌های آماری همبستگی نشان دادند که پویایی پوشش گیاهی شاخص زمستانه تحت تأثیر شاخص‌های پیوند از دور به‌ویژه ENSO قرار دارد. بیشترین همبستگی منفی بین NINO3.4 و پوشش گیاهی بسیار انبوه ($r = -0.068$) مشاهده شد که نشان‌دهنده حساسیت شدید اکوسیستم‌های متراکم به شرایط فاز گرم ال‌نینو است. این نتایج بیانگر آن است که در سال‌های همراه با فاز مثبت ENSO، کاهش قابل توجهی در تراکم پوشش گیاهی انبوه و خیلی انبوه رخ می‌دهد، در حالی‌که طبقات تنک و خیلی تنک واکنش ضعیف‌تری نشان داده و از پایداری نسبی برخوردار بوده‌اند.

Name]. (2015). Analysis of atmospheric conditions associated with summer rainfall in southern Zagros. *Geographical Research*, 29(4), 215–228. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.12.014>

9- Farajzadeh, F., Alijani, Z., Amanollahi, M., & Behlol, P. (2011). Assessment of the effect of climatic factors on vegetation cover in the Zagros region using satellite digital data. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 18(1), 107–124. (in Pearsian).

10- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>

11- IPPC Secretariat. Scientific Review of the Impact of Climate Change on Plant Pests-A Global Challenge to Prevent and Mitigate Plant Pest Risks in Agriculture, Forestry and Ecosystems; FAO on behalf of the IPPC Secretariat: Rome, Italy, 2021.

12- Jia, G.; Shevliakova, E.; Artaxo, P.; De Noblet-Ducoudré, N.; Houghton, R.; House, J.; Kitajima, K.; Lennard, C.; Popp, A.; Sirin, A.; et al. Land-climate interactions. In *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*; Shukla, P.R., Skea, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., van Diemen, R., et al., Eds.; IPCC: Geneva, Switzerland, 2019.

13- Jian, D.; Niu, G.-Y.; Ma, Z.; Liu, H.; Guan, D.; Zhou, X.; Zhou, J. Limited driving of elevated CO₂ on vegetation greening over global drylands. *Environ. Res. Lett.* 2023, 18, 104024.

14- Jiao, K.; Gao, J.; Wu, S.; Hou, W. Research progress on the response processes of vegetation activity to climate change. *Acta Ecol. Sin.* 2018, 38, 2229–2238.

15- Jin, J., Jian, D., Zhou, X., Chen, Q., & Li, Y. (2025). Impact of El Niño–Southern Oscillation on global vegetation. *Atmosphere*, 16, 701. <https://doi.org/10.3390/atmos16060701>

16- Khosravi, M., & Mesgari, E. (2016). Spatial analysis

و تحلیل چندفصلی را بررسی کنند تا شناخت جامع‌تری از پویایی اکوسیستم‌های نیمه‌خشک زاگرس جنوبی حاصل شود.

تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

References

1- Adole, T., Dash, J., & Atkinson, P. M. (2016). A systematic review of vegetation phenology in Africa. *Ecological Informatics*, 34, 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.05.004>

2- Bahmanpouri, S., Bakhshoudeh, M., & Zibaei, M. (2023). The impact of climate change on land use and vegetation cover in Fars Province: Application of the system dynamics approach. *Journal of Agricultural Economics Research*, 15(3).

3- Barbosa, H. A., Kumar, T. V. L., Paredes, F., Elliott, S., & Ayuga, J. G. (2019). Assessment of Caatinga response to drought using MeteosatSEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 148, 235–252.

4- Beniche, M., Vialard, J., Lengaigne, M., Voldoire, A., Srinivas, G., & Hall, N. M. J. (2024). A distinct and reproducible teleconnection pattern over North America during extreme El Niño events. *Scientific Reports*, 14, 2457. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52580-9>

5- Buras, A., Rammig, A., & Zang, C. S. (2021). The European Forest Condition Monitor: Using remotely sensed forest greenness to identify hot spots of forest decline. *Frontiers in Plant Science*, 12, 689220.

6- Ding, Y.; Li, Z.; Peng, S. Global analysis of time-lag and-accumulation effects of climate on vegetation growth. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2020, 92, 102179

7- Erasmi, S., Schucknecht, A., Barbosa, M. P., & Matschullat, J. (2014). Vegetation greenness in Northeastern Brazil and its relation to ENSO warm events. *Remote Sensing*, 6(4), 3041–3058. <https://doi.org/10.3390/rs6043041>

8- Farhadi, N., Gandomkar, A., & Montazeri, [Full

M., Gonsamo, A., Xu, S., Fang, B. & Ge, Q., 2017, Land surface phenology derived from normalized difference vegetation index (NDVI) at global FLUXNET sites, *Agr. Forest Meteorol*, 233: 171–182.
<https://code.earthengine.google.com>

of the relationship between teleconnection patterns and monthly temperature in northwestern Iran. *Geography and Urban-Regional Planning*, (21), Winter 2016.

17- Maza-Villalobos, S., Poorter, L., & Martínez-Ramos, M. (2013). Effects of ENSO and temporal rainfall variation on the dynamics of successional communities in old-field succession of a tropical dry forest. *PLoS ONE*, 8(12), e82040. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082040>

18- Opiyo, S. B., Pienaar, L., Piketh, S. J., Burger, R. P., Chikoore, H., & Havenga, H. (2025). Assessment of vegetation density trends in response to long-term climate change impacts in Western South Africa (1962–2022) using SPEI and NDVI time series. *Discover Forests*, 1, Article 29. <https://doi.org/10.1007/s44415-025-00030-3>.

19- Rannow, S. & Neubert, M., 2014, Managing protected areas in central and eastern Europe under climate change, 322p. *Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, 37: 1385–1390.

20- Rezaei, M., Ghasemifar, E., & Mohammadi, C. (2018). "Analysis of the effect of the North Atlantic Oscillation on vegetation variability in Iran". *Geographical Information Quarterly*, 27(108).

21- Soubry, I., Doan, T., Chu, T., & Guo, X. (2021). A systematic review on the integration of remote sensing and GIS to forest and grassland ecosystem health attributes, indicators, and measures. *Remote Sensing*, 13(16), 3262. <https://doi.org/10.3390/rs13163262>

22- Wang, C. Comparison of Vegetation Anomalies to El Niño-Southern Oscillation in China and Australia. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2022, 43, 1027–1032.

23- Wu, C., Peng, D., Soudani, K., Siebicke, L., Gough, C. M., Arain, M. A., Bohrer, G., Lafleur, P. M., Peichl,

COPYRIGHTS

©2026 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 4.0 International \(CC BY-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)



