این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.---, Issue ----, ------ ------

Analysis of the Impact of the ENSO Index on Spring Vegetation Cover Variability in the Karoon River Basin

Leila Mokaram[1], Ahmad Mazidi[2*], Kamal Omidvar[3]

1. *Ph.D. Student in Climatology, Department of Geography, Yazd, Yazd, Iran*
2. Corresponding Author, *Associate Professor, Department of Geography and Climatology, Yazd University, Yazd, Iran*
Email: *Mazidi@yazd.ac.ir* ***ORCID:*** *https://orcid.org/0000-0003-4558-9907*
3. *Professor, Department of Geography and Climatology, Yazd University, Yazd, Iran*

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: ----------
Revised: ----------
Accepted: ----------
Published: ----------

Keywords:
NDVI; ENSO; Sequential Mann–Kendall (SQMK) test; Pearson correlation ;MODIS; Google Earth Engine (GEE).

ABSTRACT

Vegetation dynamics reflect the influence of climatic variability and environmental disturbances, frequently exhibiting complex, nonlinear responses. Among the major modes of climate variability, the El-Niño–Southern Oscillation (ENSO) significantly influences regional climate patterns through atmospheric teleconnections. This study examined springtime variations in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) across the Karoon River Basin during 2001–2023. NDVI data were derived from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) MOD13A1 product and classified into five canopy-density classes to assess differences in their responses to large-scale climate variability. Associations between NDVI and seven climate indices Niño1, Niño3, Niño3.4, Niño4, the Southern Oscillation Index (SOI), the Oceanic Niño Index (ONI), and the Multivariate ENSO Index (MEI) were evaluated. Temporal trends and potential structural shifts in NDVI time series were evaluated using the nonparametric Sequential Mann–Kendall (SQMK) test. The results revealed a distinct spatial distribution of vegetation greenness, with higher NDVI values in the northern and northwestern highlands and lower values in the southern lowlands. Correlation analyses indicated that vegetation–climate associations varied substantially among canopy-density categories. In particular, very dense vegetation exhibited a statistically significant negative correlation with ENSO-related indices. The SQMK results showed that interannual variability predominated over long-term trends across most classes. However, the very sparse vegetation class exhibited a statistically significant declining trend, with a potential abrupt shift in the temporal pattern around 2010–2011. Overall, the findings demonstrate that, although the broad spatial distribution of vegetation greenness remained relatively stable, its magnitude varied heterogeneously across the basin and over time. These results highlight the importance of accounting for differences among canopy-density levels when assessing vegetation dynamics and developing strategies for sustainable natural resource management under climate variability.

آماده انتشار (بدون شماره مجلد)

How to Cite: Last Name, Initial., Last Name, Initial., & Last Name, Initial. (2021). Title of paper. *Journal of Natural Environmental Hazards*, -- (--), ----.

© The Author/Authors

DOI: 0000000000000000000

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

Vegetation dynamics provide valuable insights into terrestrial ecosystem responses to climate variability and environmental change. Among the major modes of large-scale climate variability, the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) influences vegetation patterns at both regional and global scales through its effects on precipitation and temperature. However, vegetation responses to ENSO are often nonlinear and spatially heterogeneous, reflecting differences in local topography and ecological conditions. Previous studies (Rezaei et al., 2017; Dastigardi et al., 2022; Wang et al., 2022; Jin et al., 2025) have highlighted the complexity of climate–vegetation relationships.

Despite these advances, the relationship between ENSO variability and spring vegetation dynamics in the Karoon River Basin remains insufficiently understood. Spring is an important period of vegetation growth, making it a relevant season for investigating associations between climate variability and vegetation greenness. Moreover, differences in these associations among vegetation-density classes require further investigation. To address this research gap, the present study uses MODIS-derived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data for 2001–2023 to investigate spring vegetation dynamics in the Karoon River Basin. Vegetation is classified into density classes to assess whether the relationships between NDVI and selected ENSO indices vary across classes. The study aims to characterize temporal variations in vegetation greenness and identify class-specific patterns of association with ENSO-related climate variability, thereby improving understanding of vegetation dynamics across the basin.

DATA AND METHODOLOGY

The Greater Karoon River Basin, encompassing approximately 67,257 km², is located in southwestern Iran between 48°02′–52°01′ E and 29°56′–34°07′ N. Characterized by pronounced topographic gradients spanning rugged mountainous terrains of the Zagros range to low-lying alluvial plains, the basin represents a vital hydrological and ecological system with a mean annual precipitation of approximately 600 mm. Originating from the central Zagros Mountains, the Karoon River traverses several provinces before discharging into the Persian Gulf. To evaluate springtime vegetation responses to large-scale climate teleconnections, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) time series (2001–2023) were extracted from the MODIS MOD13A1 product (16-day composite, 500 m spatial resolution) via Google Earth Engine (GEE). Mean spring NDVI values were calculated annually for the peak growth season. Subsequently, relationships between NDVI anomalies and seven primary ENSO teleconnection indices, namely Niño1, Niño3, Niño 3.4, Niño 4, the Southern Oscillation Index (SOI), the Oceanic Niño Index (ONI), and the Multivariate ENSO Index (MEI), were evaluated using Pearson correlation analysis. Long-term temporal trajectories and abrupt change points in vegetation dynamics were detected using the nonparametric sequential Mann–Kendall (SQMK) test. The overall methodological framework adopted in this study is illustrated in Figure 1.

آماده انتشار (بدون شماره صفحه)

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

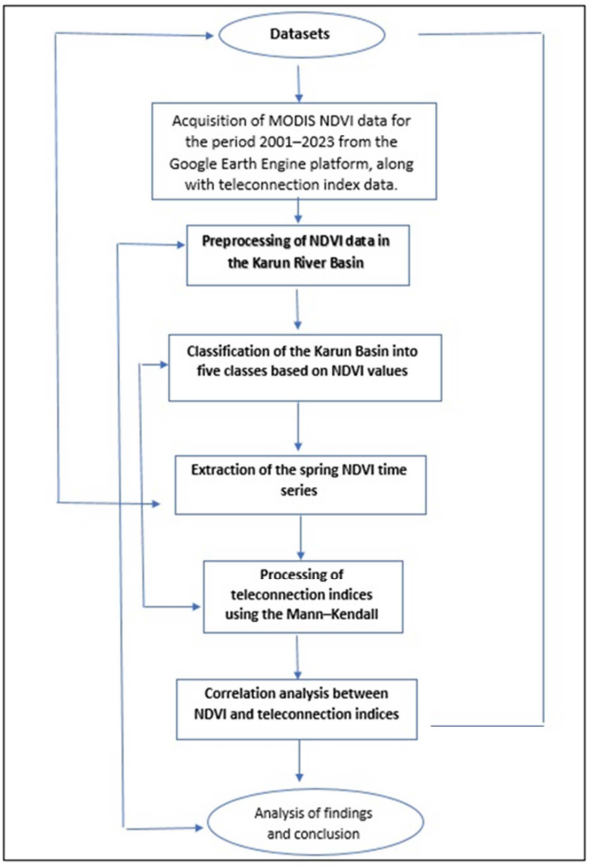


Fig. 1. Research flowchart

RESULTS AND DISCUSSION

The spatiotemporal analysis of spring NDVI from 2001 to 2023 revealed a relatively persistent spatial pattern of vegetation greenness across the Karoon River Basin. NDVI values generally decreased from the northern and northwestern Zagros highlands toward the drier southern and southeastern regions of the basin. The highest values, reaching approximately 0.79, occurred in the northern highlands, whereas the lowest values (0.10–0.30) were recorded in the southern plains. Despite this spatial consistency, spring NDVI exhibited substantial interannual variability, with higher greenness levels during wet periods (2003, 2010, 2013–2014, and 2020–2021) and marked declines during drought episodes (2001–2002, 2008, 2012, 2019, and 2022).

Pearson correlation analysis indicated that the associations between NDVI and ENSO teleconnection indices varied across vegetation-density classes. Sparse vegetation showed weak positive correlations with tropical Pacific Niño SST indices and negative correlations with the Southern Oscillation Index (SOI). In contrast, moderate- and dense-vegetation classes generally exhibited weak negative correlations with Niño indices and weak positive correlations with SOI. These contrasting patterns suggest that the response direction of the NDVI–climate association differs among canopy-density strata. However, the strength and statistical significance of individual correlations should be considered when interpreting these relationships. Because correlation analysis alone does not establish causality, the observed patterns should be interpreted as empirical associations rather than direct evidence of ENSO driving mechanisms.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

CONCLUSION

The results revealed a relatively persistent spatial pattern of vegetation greenness across the Karoon River Basin during 2001–2023. NDVI values were consistently higher in the humid northern and northwestern Zagros highlands and lower across the arid southern lowlands. Despite this spatial consistency, vegetation greenness exhibited substantial interannual variability. Pearson correlation analysis indicated that associations between spring NDVI and ENSO-related indices were generally weak and diverged across vegetation-density classes. Furthermore, sequential Mann–Kendall (SQMK) analysis demonstrated that while most canopy classes experienced interannual fluctuations without statistically significant long-term monotonic trends, the very sparse vegetation class displayed a significant downward trend with an abrupt change point around 2010–2011. Taken together, these findings highlight the co-existence of broad-scale spatial stability and fine-scale temporal dynamics in canopy greenness, demonstrating the necessity of stratifying vegetation into density classes when assessing ecological responses to regional climate variability.

ETHICAL CONSIDERATIONS

Conflict of Interest Statement: The authors declare no conflict of interest.

Ethical Statement: This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to express our sincere gratitude to the Research Department of Yazd University, our supervisor, and the honorable reviewers for their valuable cooperation, guidance, and support in conducting this research.

آماده انتشار (بدون شماره صفحه)

REFERENCES

References [in Persian]

Dastigardi, M., Nadi, M., Raieni-Sarjaz, M., & Kiapasha, K. (2022). Trend analysis of vegetation cover using MODIS NDVI time series in northeastern Iran. Journal of Water and Soil Conservation Research, 29(1), 138.[in Persian]

Rezaei, M., Ghasemifar, E., & Mohammadi, C. (2017). Analysis of the impact of the North Atlantic Oscillation on vegetation variability in Iran. Journal of Geographic Information, 27(108).[in Persian]

References [in English]

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

Wang, C. (2022). Comparison of vegetation anomalies to El Niño–Southern Oscillation in China and Australia. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLIII-B3-2022. Proceedings of the XXIV ISPRS Congress, Nice, France.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ----، شماره ----- ، -------- -----

تحلیل اثر شاخص ENSO بر تغییر پذیری پوشش گیاهی فصل بهار حوضه آبریز کارون

لیلا مکرم[۱]، احمد مزیدی[۲]*، کمال امیدوار[۳]

۱. دانشجوی دکترای مخاطرات آب و هواشناسی ، گروه جغرافیا ، یزد، یزد، ایران

۲. دانشیار گروه جغرافیا، آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران (**نویسنده مسئول**)

ایمیل: Mazidi@yazd.ac.ir **ORCID:** https://orcid.org/0000-0003-4558-9907

۳. استاد گروه جغرافیا ، آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: --/--/--

تاریخ ویرایش: --/--/--

تاریخ پذیرش : --/--/--

تاریخ انتشار : --/--/--

واژه‌های کلیدی:
شاخص انسو، مودیس، پوشش گیاهی، آزمون SQMK، پیرسون، گوگل ارث انجین.

چکیده

پوشش گیاهی یکی از مؤلفه‌های کلیدی اکوسیستم‌هاست که به‌صورت پیچیده و ناهمگن به تغییرات اقلیمی و آشفتگی‌های محیطی پاسخ می‌دهد. در این میان، نوسان جنوبی–ال‌نینو (ENSO) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نوسانات طبیعی سامانه اقیانوس–جو، از طریق سازوکارهای دورپیوندی، الگوهای اقلیمی را در مقیاس‌های منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این پژوهش، تغییرات شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) در فصل بهار حوضه آبریز کارون طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۳ بررسی شد. برای این منظور، داده‌های ماهواره‌ای MODIS (محصول MOD13A1) استخراج و مقادیر NDVI بر اساس شدت پوشش گیاهی در پنج طبقه دسته‌بندی شد تا حساسیت هر طبقه به الگوهای دورپیوندی ارزیابی شود. همچنین، شاخص‌های اقلیمی بزرگ‌مقیاس شامل Niño1، Niño3.1، Niño3.4، Niño4، SOI، ONI و MEI برای تحلیل ارتباط با تغییرات NDVI به‌کار رفت. به‌منظور بررسی روند بلندمدت از آزمون من کندال و شیب سن و همچنین برای شناسایی نقاط تغییر در سری زمانی پوشش گیاهی، از آزمون ناپارامتری SQMK(Sequential Mann–Kendall) استفاده شد. نتایج تحلیل مکانی نشان داد الگوی مکانی پوشش گیاهی حوضه عمدتاً تحت تأثیر توپوگرافی و اقلیم کوهستانی زاگرس، از پایداری نسبی بالایی برخوردار است؛ به‌گونه‌ای‌که بیشترین تراکم سبزینگی در ارتفاعات شمال و شمال‌غرب و کمترین مقادیر در نواحی جنوبی مشاهده شد. تحلیل ارتباط NDVI با شاخص‌های ENSO نشان داد که الگوی ارتباط این شاخص‌ها با پوشش گیاهی در طبقات مختلف تراکم پوشش گیاهی متفاوت است به‌طوری‌که پوشش‌های بسیار متراکم همبستگی منفی معناداری با فازهای ENSO نشان دادند. نتایج آزمون SQMK نیز بیانگر غلبه نوسانات بین‌سالی بر روندهای بلندمدت در اغلب طبقات بود؛ با این حال، در طبقه «بسیار تنک»، کاهش معنادار آماری و یک تغییر ساختاری در حدود سال‌های ۲۰۱۰–۲۰۱۱ شناسایی شد در مجموع، یافته‌های پژوهش بر اهمیت بررسی هم‌زمان الگوهای مکانی، تغییرات زمانی و روابط آماری میان شاخص‌های دورپیوندی و طبقات پوشش گیاهی در ارزیابی تغییرپذیری سبزینگی حوضه آبریز کارون تأکید دارند.

آماده انتشار بدون شماره مجله

استناد: نام خانوادگی، نام؛ نام خانوادگی، نام؛ و نام خانوادگی، نام (۱۴۰۰). عنوان مقاله. *مخاطرات محیط طبیعی*، -- (--)، ----

© نویسنده/ نویسندگان

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

DOI: 00000000000000000000000000

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

مقدمه

پوشش گیاهی بخش مهمی از سطح زمین است که با تأمین مواد آلی، نقش مؤثری در پایداری اکوسیستم‌های زمینی، تنظیم چرخه کربن و ارتقای تبادل انرژی دارد(فنشولت و همکاران[1]،۲۰۱۲). تحولات آب‌وهوایی مستقیماً فرآیندهای رشد پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، در حالی‌که پوشش گیاهی نیز با نقش‌آفرینی در تنظیم منابع آب، تبادل انرژی و کنترل غلظت دی‌اکسیدکربن، به‌عنوان یک عامل بازخوردی در سیستم اقلیم عمل می‌کند(بونان[2]،۲۰۰۸؛اوگوتو و همکاران[3]،۲۰۰۳؛وانگ[4]،۲۰۱۲). پوشش گیاهی از طریق تعامل عوامل محیطی، از محیط‌زیست محافظت می‌کند. با توجه به اهمیت پوشش گیاهی، محققان زیادی به بررسی الگوهای رشد فضایی پوشش گیاهی در مناطق مختلف پرداختند(جن و همکاران[5]،۲۰۰۸؛لی و همکاران[6]،۲۰۱۶). برهم‌کنش‌های میان اقلیم و پوشش‌گیاهی یکی از محورهای اصلی پژوهش در زمینه تغییرات جهانی است. گزارش‌های هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم (IPCC[7]) و کنوانسیون بین‌المللی حفاظت گیاه (IPPC[8]) نیز ابعاد گوناگون ارتباط میان پوشش گیاهی و تغییرات اقلیمی را بررسی کرده‌اند. تغییرات اقلیمی می‌تواند اثر قابل‌توجهی بر وضعیت و روند سبزینگی پوشش گیاهی داشته باشد؛ به‌طوری‌که بر اساس برخی برآوردها، حدود ۵۵ درصد از تغییرات سبزینگی مشاهده‌شده در مناطق خشک جهان به نوسانات اقلیمی نسبت داده می‌شود. در این میان، دما و بارش از مهم‌ترین متغیرهای محیطی مؤثر بر رشد و پویایی پوشش گیاهی به‌شمار می‌روند. از سوی دیگر، نوسان‌های سامانه اِل‌نینو–نوسان جنوبی (ENSO)با تغییر دادن توزیع زمانی و مکانی دما و بارش در مقیاس جهانی، می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر پویایی و تغییرات پوشش گیاهی اثر بگذارند(جی‌ین و همکاران[9]،۲۰۲۳). تمامی الگوهای پیوند از دور پدیده‌هایی طبیعی و حاصل سرشت آشوب‌مند جو و برگرفته از پویایی درونی آن هستند. برخی از این الگوها گاه متاثر از تغییرات دمای آب اقیانوس‌ها در منطقه حاره و جریان‌های همرفتی این منطقه هستند. این الگوها معرف تغییرات کلان در الگوهای امواج جوی و رودبادها بوده و بر الگوی دما، بارش، مسیر رگبار و موقعیت و شدت رودبادها در قلمروهای وسیع تاثیر می‌گذارد. به همین دلیل الگوهای پیوند از دور ایجاد کننده ناهنجاری‌هایی هستند که همزمان در نواحی ظاهرا خیلی دور از هم دیده می‌شوند(غیور و همکاران ،۱۳۸۱). وقوع همزمان و توام دو رویداد ال نینو (EN)و نوسانات جنوبی (SO)که آشفتگی‌های شدید ناحیه‌ای ایجاد می‌کنند به انسو (ENSO)معروف است. این رخداد در واقع پدیده‌ای طبیعی از اثرات توام و متقابل بین جو و اقیانوس در اقیانوس ارام است. نوسان جنوبی زمانی با ال‌نینو همراه می‌شده است که دمای آب دریا در شرق ناحیه حاره اقیانوس آرام در دوره زمانی یکساله یا بیشتر بسیار گرم‌تر از متوسط آن شود. رویداد ال‌نینو و نوسان جنوبی با افزایش قدرت و شدت بادهای تجارتی جنوب شرقی اقیانوس آرام در نیمکره جنوبی و تجمع آب گرم در نواحی استوایی غرب اقیانوس آرام آغاز می‌گردد انسو در ارتباط با دما و بارش نواحی حاره،جنب حاره و برخی نواحی عرض‌های میانه است، آثار و پیامدهای پدیده ENSO ممکن است

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

[1] -Fensholt et al
[2] - Bonan
[3] - Ogutu et al
[4] - Wang
[5] - Jen et al
[6] - Li et al
[7] - Intergovernmental Panel on Climate Change
[8] - International Plant Protection Convention
[9] - Jien et al

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

به صورت اغتشاشات شدید در شکل طبیعی پدیده‌های فیزیکی مانند سامانه موسمی جهانی، الگوهای امواج بلند راسبی،رودبادها،جریان‌های اقیانوسی،نوسان‌های دما،تغییر در مقدار بارندگی، نوسان‌های دبی رودخانه‌ها،بروز اتش سوزی در جنگل‌ها، رشد یا ضعف صنایع صیادی، نوسان قیمت محصولات کشاورزی و دامپروری و حتی بروز اغتشاش‌های سیاسی در سطح جهان تظاهر کند(امیدوار،۱۳۹۹). الگوهای پیوند از دور [1]معرف ساختارهای پایدار و کلان‌مقیاس در سیستم گردش جوی هستند که از طریق نوسانات در مؤلفه‌های دما، بارش و فشار، موجب همبستگی اقلیمی میان مناطق جغرافیایی دوردست می‌شوند. این الگوها بر پایه تحلیل‌های آماری تبیین شده و چگونگی پاسخ متغیرهای اقلیمی منطقه‌ای به فازهای مختلف سامانه‌های جوی بزرگ‌مقیاس را تشریح می‌کنند.. در میان الگوهای پیوند از دور، نوسان جنوبی–ال‌نینو (ENSO) و نوسان اطلس شمالی (NAO) از مهم‌ترین الگوها در مطالعات اقلیم–زیست‌کره به‌شمار می‌روند. با این حال، بررسی اثر این الگوها بر پوشش گیاهی با چالش‌هایی همراه است، زیرا پاسخ اکوسیستم‌ها به تغییرات اقلیمی، به‌ویژه دما و بارش، اغلب به‌صورت غیرخطی و با تأخیرهای زمانی متفاوت بروز می‌یابد. شواهد پژوهشی نشان می‌دهد که نوسانات مرتبط با ENSO و NAO می‌توانند پیامدهای گسترده و معناداری برای موجودات زنده و کارکرد اکوسیستم‌ها در مقیاس جهانی به همراه داشته باشند(مازا ویالاباس و همکاران[2]،۲۰۱۳). در سال‌های اخیر، سنجش از دور به‌دلیل قابلیت پوشش‌دهی گسترده، تکرارپذیری زمانی بالا و ارائه خروجی‌های دیجیتالی منطبق با پردازش‌های رایانه‌ای، به‌عنوان ابزاری راهبردی در مقایسه با روش‌های زمینی، در جمع‌آوری داده‌های مکانی اولویت یافته است. (زارع خورمیزی و همکاران،۱۳۹۶). پوشش گیاهی، مهم ترین تولید کننده هر اکوسیستم گیاهی است و عوامل متعدد آن را منعکس می کند، بنابراین، با مطالعه رابطه تغییرات پوشش گیاهی با سایر عوامل نظیر دما، بارش، تبخیر و تعرق و خشکسالی می توان اثرات متقابل آنها را شناسایی کرد. شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) در اراضی علفی متراکم به حدود ۰/۶ افزایش یافته و در مقابل، برای پوشش‌های تنک و نیمه‌متراکم به ترتیب مقادیر ۰/۰۹ و ۰/۲۴را ثبت می‌کند (چن و همکاران[3]،۲۰۱۵). اگرچه پژوهش‌های متعددی به بررسی ارتباط شاخص‌های پیوند از دور با متغیرهای اقلیمی در مقیاس‌های منطقه‌ای پرداخته‌اند، اما نقش این شاخص‌ها در تبیین تغییرات پوشش گیاهی نسبتاً جدید بوده و تنها در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است.

در پژوهشی روابط فضایی میان الگوهای پیوند از دور و تغییرات دمای ماهانه در شمال‌غرب ایران توسط خسروی و همکاران(۱۳۹۵) مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین شاخص‌های دورپیوندی و نوسانات دمایی منطقه، رابطه‌ای معنادار وجود دارد. در میان الگوهای بررسی‌شده، شاخص‌های EA/WR، MEI، SOI، AO , EP/NP بیشترین تأثیر را بر تغییرات دما داشته و به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر شناسایی شدند. بررسی همبستگی‌ها در بازه‌های زمانی با تأخیر یک، دو و سه‌ماهه حاکی از آن بود که بیشترین شدت ارتباط به تأخیر یک‌ماهه اختصاص دارد. در این میان، قوی‌ترین رابطه معنادار در ایستگاه سردشت و در ماه فوریه مشاهده شد، به‌گونه‌ای که شاخصEA/WR همبستگی منفی قابل‌توجهی با دمای منطقه نشان داد. حساسیت پوشش گیاهی به نوسانات الگوهای دورپیوندی اقلیمی می‌تواند در مناطق مختلف ایران متفاوت باشد. شواهد پژوهشی در مقیاس کشور نشان می‌دهد که این ارتباط ممکن است با تراکم پوشش گیاهی و فازهای نوسانات اقلیمی نیز تغییر کند. برای نمونه،

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

[1] - Teleconnections Patterns
[2] - Maza Villalobos et al.
[3] - Chen et al

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

رضایی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS ، ارتباط الگوی نوسان اطلس شمالی (NAO) با تغییرات پوشش گیاهی ایران را بررسی کردند. نتایج آنان حاکی از آن بود که ضرایب همبستگی بالاتر عمدتاً در نواحی دارای پوشش گیاهی تنک مشاهده شده و تراکم پوشش گیاهی در فاز منفی NAO بیشتر از فاز مثبت آن گزارش شده است.

در مطالعه‌ای با عنوان تحلیل روند پوشش گیاهی با استفاده از سری زمانی NDVI ماهواره مودیس در شمال‌شرق ایران که توسط دستی‌گردی و همکاران (۱۴۰۱) انجام گرفت روند تغییرات پوشش گیاهی طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ را با استفاده از داده‌های MODIS-NDVI و آزمون ناپارامتری من-کندال بررسی کردند. نتایج نشان داد حدود ۵۲ درصد از منطقه دارای روند کاهشی پوشش گیاهی است و روندهای افزایشی بیشتر در ارتفاعات بالاتر مشاهده می‌شود، به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع، مقدار آماره من-کندال نیز افزایش می‌یابد. تغییرات اقلیمی می‌توانند با تحولات کاربری اراضی و تغییرات پوشش گیاهی در مقیاس منطقه‌ای همراه باشند. در این زمینه، بهمن‌پور و همکاران (۱۴۰۲) با بهره‌گیری از رویکرد پویایی سیستم، تغییرات کاربری اراضی و پویایی پوشش گیاهی استان فارس را بررسی کردند. نتایج شبیه‌سازی آنان برای افق زمانی ۳۰ ساله، افزایش مساحت اراضی مسکونی و بایر و کاهش وسعت اراضی کشاورزی، جنگل‌ها، مراتع و پهنه‌های آبی را نشان داد. این یافته‌ها اهمیت بررسی تغییرات پوشش زمین در مطالعات مرتبط با تغییر اقلیم را برجسته می‌کند.

در مطالعه‌ای که توسط قانقرمه و همکاران (۱۴۰۴) در بررسی اثرات متقابل تغییر اقلیم و کاربری اراضی در استان گلستان (۲۰۲۰-۲۰۰۰) انجام شد نشان دادند که ۱۰/۴ درصد از اراضی استان دچار تغییر کاربری شده و خشکسالی‌های طولانی‌مدت و نوسانات دریای خزر عامل اصلی تبدیل پهنه‌های آبی بوده‌اند. یافته‌های آن‌ها حاکی از افزایش دمای شبانه در بیشتر مناطق استان و تأثیر متقابل تغییرات پوشش سطحی و بارش بر یکدیگر است.

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

در پژوهشی با عنوان تحلیل تغییرات مکانی – زمانی شاخص پوشش گیاهی زمستانه در حوضه مارون با تاکید بر اثرات الگوهای پیوند از دور مکرم و همکاران (۱۴۰۵) وضعیت سبزینگی این حوضه را طی بازه ۲۳ ساله (۲۰۰۱ تا ۲۰۲۳) مورد واکاوی قرار دادند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که پوشش‌های گیاهی تنک و خیلی تنک در مقایسه با مناطق انبوه، حساسیت و همبستگی معکوس بیشتری نسبت به شاخص‌های دورپیوندی نظیر Niño 1 و Niño 4 از خود نشان می‌دهند. در مطالعه‌ای با عنوان مقایسه ناهنجاری‌های پوشش گیاهی با نوسان جنوبی–ال‌نینو در چین و استرالیا وانگ و همکاران[1] (۲۰۲۲) رابطه بین ناهنجاری‌های پوشش گیاهی و رخدادهای ENSO را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که واکنش پوشش گیاهی در چین و استرالیا نسبت به تغییرات ENSO یکسان نیست و این تفاوت‌ها عمدتاً به اثرات منطقه‌ای ENSO بر الگوهای بارش و دما بازمی‌گردد. یافته‌های این مطالعه تأکید می‌کند که حساسیت پوشش گیاهی به ENSO به‌شدت تحت تأثیر شرایط اقلیمی و ویژگی‌های اکوسیستمی هر منطقه قرار دارد و درک این تفاوت‌ها برای تحلیل تغییرات زمانی–مکانی شاخص‌های پوشش گیاهی ضروری است.

در پژوهشی با عنوان الگوهای مکانی فعالیت پوشش گیاهی مرتبط با ENSO در شمال آمریکای جنوبی سوارز و همکاران[2] (۲۰۲۴) تغییرات فضایی و زمانی فعالیت پوشش گیاهی را در ارتباط با فازهای مختلف ENSO را مورد

[1] - Wang et al

[2] - Suarez et al

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

بررسی قرار دادند. در این پژوهش با تحلیل سری‌های زمانی متغیرهای پوشش گیاهی طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ و استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، شاخصی برای فعالیت پوشش گیاهی استخراج گردید و ارتباط آن را با شاخص چندمتغیره ENSO در فازهای ال‌نینو، لانینا و خنثی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که فاز ال‌نینو نسبت به لانینا اثر قوی‌تر و پایدارتری بر فعالیت پوشش گیاهی دارد و اکوسیستم‌های دارای فصل خشک نسبت به این نوسان اقلیمی حساسیت بیشتری نشان می‌دهند.

همچنین بنیچ و همکاران[1] (۲۰۲۴) در تحقیقی با عنوان الگوی دورپیوندی پایدار در آمریکای شمالی طی رخدادهای شدید ال‌نینو، نشان دادند که رخدادهای شدید El Niño منجر به شکل‌گیری الگوهای دورپیوندی مشخص و پایداری می‌شوند که به‌طور معناداری بر تغییرات اقلیمی منطقه‌ای، از جمله الگوهای بارش و دما، اثر می‌گذارند. این تغییرات اقلیمی می‌توانند موجب نوسانات قابل‌توجهی در پوشش گیاهی و شاخص NDVI، به‌ویژه در مناطق حساس مانند نواحی خشک و نیمه‌خشک، شوند. یافته‌های این پژوهش بر ضرورت بررسی رخدادهای شدید El Niño و ارتباط آن‌ها با پاسخ‌های اکوسیستمی تأکید داشته و نشان می‌دهد که تحلیل الگوهای دورپیوندی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی و بهبود برنامه‌ریزی در مدیریت منابع طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

در پژوهشی با عنوان تأثیر نوسان جنوبی–ال‌نینو بر پوشش‌گیاهی جهانی جین و همکاران[2] (۲۰۲۵) نشان دادند که پدیده ENSO با ایجاد تغییرات قابل‌توجه در الگوهای بارش و دما، یکی از عوامل اصلی مؤثر بر نوسانات بین‌سالانه پوشش‌گیاهی در مقیاس جهانی به‌شمار می‌رود. نتایج این پژوهش بیانگر آن است که شدت و جهت اثر ENSO در مناطق مختلف جهان یکسان نبوده و به ویژگی‌های اقلیمی و اکوسیستمی هر منطقه وابسته است. همچنین نوع رخداد ENSO، اعم از الگوی اقیانوس آرام شرقی یا مرکزی، می‌تواند پاسخ‌های متفاوتی را در پویایی پوشش‌گیاهی ایجاد کند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که درک سازوکارهای تعامل میان ENSO و پوشش‌گیاهی همچنان نیازمند مطالعات عمیق‌تر و منطقه‌محور است . در مطالعه‌ای دیگر اوپیو و همکاران[3](۲۰۲۵) با بهره‌گیری از شاخص‌های دورسنجی NDVI و شاخص خشکسالی SPEI، روندهای بلندمدت پوشش‌گیاهی در غرب آفریقای جنوبی طی یک دوره شش‌دهه‌ای را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که حساسیت پوشش‌گیاهی نسبت به نوسانات رطوبتی و رخدادهای خشکسالی در گذر زمان افزایش یافته و تغییرات اقلیمی بلندمدت نقش قابل‌توجهی در کاهش تراکم پوشش‌گیاهی این منطقه ایفا کرده است. این پژوهش با ارائه تحلیل‌های سری‌زمانی ۶۰ ساله، شواهد معتبری از ارتباط تنگاتنگ میان تغییرات اقلیمی و پویایی اکوسیستم‌های خشک فراهم می‌آورد. به طور کلی، مطالعات پیشین نیز تأکید می‌کنند که تغییر اقلیم و نوسانات مربوط به الگوهای پیوند از دور می‌توانند اثرات گسترده و متنوعی بر پوشش‌گیاهی، تغییرات کاربری اراضی و فرآیندهای هیدرولوژیکی داشته باشند؛ به‌گونه‌ای که شدت و جهت این اثرات، بسته به موقعیت جغرافیایی، شرایط آب‌وهوایی و نوع پوشش‌گیاهی هر منطقه متفاوت است. پژوهش حاضر با تمرکز بر حوضه آبریز کارون و با هدف تحلیل اثر شاخص ENSO بر تغییرپذیری پوشش‌گیاهی در فصل بهار انجام شده است. بهره‌گیری از شاخص‌های دورپیوندی در کنار داده‌های دورسنجی پوشش‌گیاهی، امکان بررسی دقیق‌تر ارتباط بین نوسانات اقلیمی بزرگ‌مقیاس و پاسخ پوشش‌گیاهی منطقه را فراهم می‌سازد. انتخاب فصل بهار، به‌عنوان دوره اوج فعالیت فنولوژیکی، و تحلیل طبقات مختلف شاخص NDVI، شرایطی را مهیا می‌کند تا حساسیت و

آماده انتشار (بدون شماره و مجله)

[1] -Benich et al

[2] - Jin et al

[3] - Opiyo et al

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

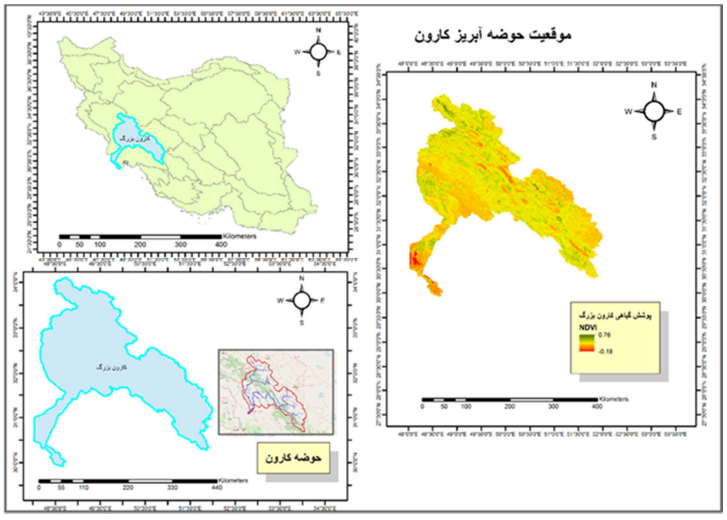
الگوهای واکنش پوشش‌گیاهی حوضه کارون نسبت به نوسانات ENSO با دقت بالاتری ارزیابی شود؛ امری که می‌تواند خلأ موجود در مطالعات منطقه‌ای را تا حد زیادی پوشش داده و به توسعه دانش بومی در زمینه تعامل اقلیم و پوشش‌گیاهی کمک کند.

داده‌ها و روش‌ها

قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

حوضه آبریز کارون بزرگ با مساحتی بالغ بر ۶۷,۲۵۷ کیلومتر مربع، در جنوب غربی ایران و در محدوده طول شرقی ′۰۲ °۴۸ الی ′۰۱ °۵۲ و محدود عرض شمالی ′۵۶ °۲۹ الی ′۰۷ °۳۴ واقع شده است(شکل۱). ساختار فیزیوگرافی حوضه شامل حدود ۶۷ درصد اراضی کوهستانی و دامنه‌ای و ۳۳ درصد مناطق دشتی است که بیانگر ناهمگنی توپوگرافی و تفاوت شرایط محیطی در بخش‌های مختلف آن است. از نظر هیدرولوژیک، رودخانه‌های کارون و دز از مهم‌ترین شریان‌های اصلی حوضه محسوب می‌شوند و در محدوده بند قیر به یکدیگر می‌پیوندند. رودخانه کارون از ارتفاعات زاگرس، از جمله محدوده زردکوه، سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از نواحی کوهستانی و دشت‌های پایین‌دست، به آبهنه‌های آبی منتهی به خلیج فارس می‌ریزد. میانگین حجم آبدهی سالانه گزارش‌شده برای حوضه حدود ۱۸٬۷۰۰ میلیون مترمکعب و میانگین بارش سالانه حدود ۶۰۰ میلی‌متر است. بااین‌حال، این مقادیر میانگین کل حوضه هستند و به‌تنهایی بیانگر تفاوت‌های مکانی و اقلیمی میان زیرحوضه‌ها نیستند. از نظر اقلیمی و توپوگرافی، بخش‌های مرتفع زاگرس در بالادست و نواحی کم‌ارتفاع دشتی در پایین‌دست، شرایط محیطی متفاوتی دارند. این تفاوت‌ها در توزیع بارش، ویژگی‌های حرارتی و الگوی پراکنش پوشش گیاهی بازتاب می‌یابند. این تفاوت‌ها در توزیع بارش، ویژگی‌های حرارتی و الگوی پراکنش پوشش گیاهی بازتاب می‌یابند، به‌طوری‌که جنگل‌های زاگرسی و مراتع کوهستانی در ارتفاعات بالادست (با بارش سالانه بیش از ۸۰۰ میلی‌متر)، و اراضی کشاورزی و مراتع فقیرتر در دشت‌های پایین‌دست (با بارش کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر)، ساختار کمی پوشش گیاهی حوضه را تشکیل می‌دهند.

آماده انتشار (بدون شماره مجله)



این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (*منبع : یافته‌های تحقیق*)

داده‌ها و روش کار

به‌منظور بررسی ارتباط میان شاخص‌های دورپیوند اقلیمی و تغییرات پوشش گیاهی در فصل بهار در حوضه آبریز کارون، داده‌های ماهانه شاخص‌های ONI، MEI، Niño1، Niño3، Niño3.4، Niño4 و SOI از پایگاه داده ملی اقیانوسی و جوی آمریکا (NOAA) دریافت شد. این شاخص‌ها جنبه‌های مختلف تغییرپذیری سامانه اقیانوس–جو در اقیانوس آرام حاره‌ای و پدیده نوسان جنوبی را توصیف می‌کنند. شاخص‌های Niño1، Niño3، Niño3.4 و Niño4 بر اساس ناهنجاری دمای سطح آب دریا (SST) در مناطق مشخصی از اقیانوس آرام حاره‌ای تعریف می‌شوند. شاخص ONI میانگین متحرک سه‌ماهه ناهنجاری دمای سطح آب دریا در منطقه Niño 3.4 را نشان می‌دهد؛ شاخص MEI بر ترکیبی از متغیرهای اقیانوسی و جوی مرتبط با ال‌نینو و نوسان جنوبی مبتنی است و شاخص SOI بر اساس اختلاف فشار جو بین تاهیتی و داروین محاسبه می‌شود. بررسی این شاخص‌ها امکان ارزیابی ارتباط میان تغییرپذیری دورپیوندی اقلیم و تغییرات زمانی طبقات مختلف پوشش گیاهی را فراهم می‌کند.

برای ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی فصل بهار در محدوده حوضه‌آبریز کارون از محصولات شاخص پوشش‌گیاهی نرمال شده سنجنده مودیس طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۳ استفاده گردید. 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 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 ۰/۵ درجه فراهم شده اند. هر دو روز یکبار از تمام سطح زمین تصویر برداری می کند. اساس محاسبه پوشش گیاهی نرمال شده سنجنده مودیس بر اساس رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$[NDVI=(Near\ Infrared - Red)/(Near\ Infrared+Red)] \quad (1)$$

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

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 گردید[1].

به منظور بررسی ارتباط از ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص های پیوند از دور فصل بهار و شاخص پوشش گیاهی طی ۲۳ سال استفاده گردید. پس از محاسبه این ضریب نقاط دارای بالاترین و پایین ترین ضریب همبستگی مشخص گردید. در تحلیل‌های چند متغیره آماری برای نمایش میزان همبستگی بین دو یا چند متغیر، از ضریب همبستگی پیرسون که میزان وابستگی را به صورت استاندارد شده نمایش می‌دهند استفاده گردید . ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد و 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 هم جهت بودن یا مخالف بودن دو پارامتر مورد بررسی، جدی‌تر است. صفر بودن ضریب همبستگی به این معناست که دو پارامتر در فضایی که مورد بررسی قرار گرفته مستقل از یکدیگر بوده اند و بر اساس 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. داده های مربوط به شاخص های پیوند از دور از وب سایت اقلیمی

[1] - https://code.earthengine.google.com

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

مرکز ملی NCEP/NCAR دریافت گردید . این داده‌ها از پایگاه https://www.esrl.noaa.gov/psd استخراج گردید . داده ها در بازه زمانی ماهانه برای دوره آماری (۲۰۲۳ – ۲۰۰۱) اخذ گردید. در ادامه میانگین NDVI هر سال برای فصل بهار در محیط GIS محاسبه گردید تا نوسانات پوشش‌گیاهی فصل بهار هر سال قابل بررسی باشد. در شکل ۲ مراحل انجام تحقیق به نمایش گذاشته شده است. . در مرحله بعدی روند تغییرات پوشش گیاهی حوضه مارون توسط آزمون ناپارامتری من–کندال و تخمین‌گر شیب سن در مقیاس فصل بهار مورد بررسی قرار گرفت. این آزمون در ابتدا توسط Mann در سال 1945 با تکیه بر معنی‌داری ضریب همبستگی تاو کندال (τ) معرفی گردید و بعدها Kendall در سال 1975 آن را گسترش داد. آزمون من–کندال از جمله روش‌های پرکاربرد در شناسایی روند داده‌های سری زمانی به شمار می‌رود و از ویژگی‌های مهم آن، حساسیت پایین نسبت به داده‌های پرت یا مقادیر حدی است(کندال و همکاران[1]،۲۰۱۳). به طور کلی، برای شناسایی روندهای یکنواخت در داده‌هایی که از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند، از آزمون آماری من–کندال مبتنی بر رتبه‌ها استفاده می‌شود. از آنجا که این آزمون علاوه بر تشخیص وجود روند، جهت آن (صعودی یا نزولی) را نیز تعیین می‌کند، نیازی به نرمال‌سازی داده‌ها در فرایند تحلیل وجود ندارد.

مراحل محاسبه آماره این آزمون (رابطه ۲) به شرح زیر است:

$$S = \sum_{k-1}^{n-1} \sum_{j-k+1}^{n} sgn(x_j - x_k) \qquad (۲)$$

که با قبول فرض H_0 توزیع S در حد $n \to \infty$ نرمال است.

n، مدت سری زمانی داده‌ها؛

x_k و x_j نیز داده‌های متوالی kام و jام سری است. که در این رابطه k,j≤n است و k≠ j

Sgn، تابع علامت است؛ و تابع علامت نیز از طریق رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$\mathrm{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 \; if \; (x_j - x_k) > 0 \\ 0 \; if \; (x_j - x_k) = 0 \\ -1 \; if \; (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \qquad (۳)$$

آزمون آماره‌های S میانگین صفر دارد و واریانس آن نیز از طریق رابطه۴ محاسبه می‌شود:

$$\mathrm{Var(S)} = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum t(t-1)(2t+5)}{18} \qquad (۴)$$

در رابطه بالا t اندازه یک بازه زمانی در سری داده‌ها است و $\sum t$ نیز مجموع بازه‌ها (سری زمانی داده‌ها) است. برای مواردی که مدت سری زمانی داده‌های بیش‌تر از ۱۰ باشد (n>10) آماره Z استاندارد شده را باید به کمک رابطه ۵ محاسبه کرد.

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\mathrm{Var(s)}}} & \text{if } s > 0 \\ 0 \quad \text{if} \quad s = 0 \\ \frac{s-1}{\sqrt{\mathrm{Var(s)}}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \qquad (۵)$$

بنابراین، در آزمون دوطرفه روند، اگر رابطه $|Z| \leq Z_{\frac{a}{n}}$ در سطح اطمینان ۰/۰۹۵ برقرار باشد، باید فرضیه H_0 (قبول تصادفی بودن سری داده‌ها) را پذیرفت و در غیر این صورت باید فرضیه H_1 (وجود روند) را قبول کرد. اگر معنی‌داری

[1] - Kazemzadeh et al

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

در سطح 0.01 =α (سطح ۰/۰۹۹اطمینان) آزمون شد، فرضیه صفر H_0 در صورتی رد می‌شود که $|Z| > Z_{0.995} =$ 2.575 برقرار باشد. مقادیر مثبت روند Z روند صعودی و مقادیر منفی Z روند نزولی سری داده‌ها را نشان می‌دهند.

مقادیر آماره Z در آزمون من–کندال جهت روند تغییرات را مشخص می‌کنند؛ به این صورت که مقادیر مثبت نشان‌دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی بیانگر روند کاهشی در پوشش گیاهی هستند. علاوه بر این، شیب سن (Q) بیانگر برآوردی از میزان تغییرات سالانه شاخص NDVI در هر طبقه بوده و پارامتر B بیشترین تغییر میانگین را در بازه زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد. این متغیرها به‌خوبی توانایی نمایش جهت، شدت و ثبات روندها را در داده‌های سری زمانی دارند.

تخمین شیب خط روند با روش سن

سن[1](1968) با توسعه و بسط یک سری مطالعات آماری که(Theil.,1950) به انجام رسانده بود یک روش ناپارامتری را برای تحلیل سری‌های زمانی ارائه نمود. این روش تمام نقاط قوت من – کندال را دارا بوده بعلاوه اینکه در تحلیل روند سری‌های زمانی که در آنها فراوانی داده‌های تکراری زیاد می‌باشد از ارجحیت بیشتری نسبت به من – کندال برخوردار است و نتایج قابل قبول‌تری به دست می‌دهد. مقدار (β) طبق رابطه ۶ قابل محاسبه است.

$$\beta = \text{median}\frac{\mathrm{X}j-Xi}{\mathrm{j}-i} \quad \forall = (\mathrm{j} > 1) \qquad (۶)$$

مقادیر مثبت β نشان‌دهنده شیب صعودی (روند افزایشی) و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده شیب نزولی (روند کاهشی) می‌باشد(کنعانی و همکاران،۲۰۱۹).

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

آزمون SQMK

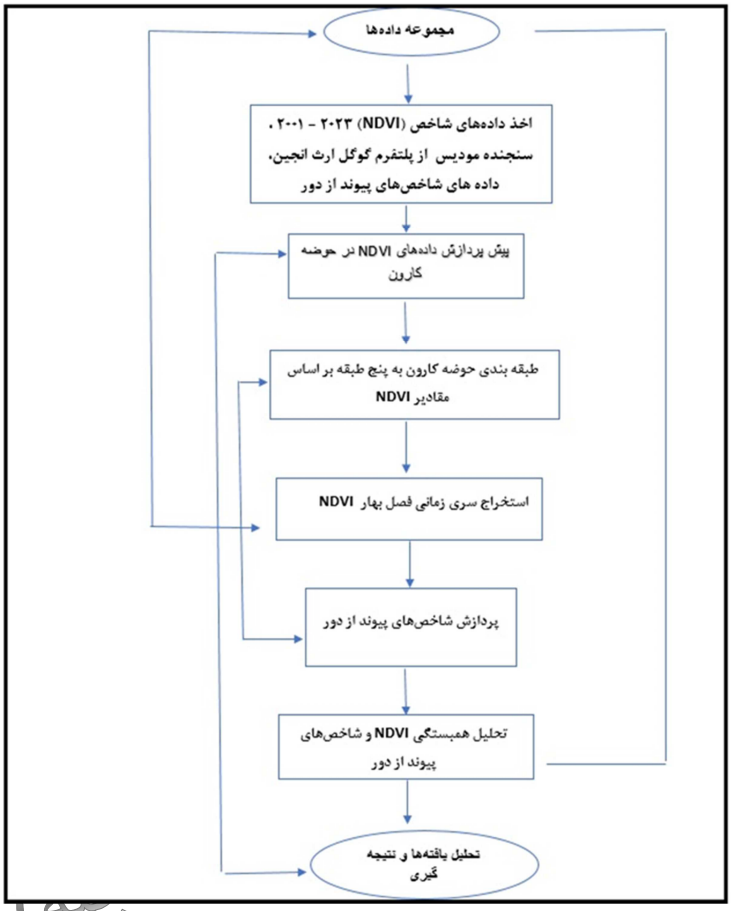
به‌منظور تحلیل دقیق‌تر پویایی روند و شناسایی زمان دقیق شروع تغییرات و نقاط جهش در شاخص پوشش گیاهی حوضه آبریز کارون، از آزمون ناپارامتری من-کندال ترتیبی[3] SQMK استفاده گردید . این نمودار با ترسیم دو سری آماره پیش‌رونده u(t) و پس‌رونده u′(t)، امکان تشخیص تغییرات ساختاری روند را در طول دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۲۳ فراهم می‌کند. در نمودارهای SQMK، منحنی پیش‌رونده(U(t بیانگر روند تجمعی داده‌ها در طول زمان و منحنی پس‌رونده (U′(t نشان‌دهنده روند معکوس زمانی است. نقاط تقاطع دو منحنی بیانگر زمان احتمالی وقوع تغییر در روند هستند. عبور مقادیر U(t) از حدود بحرانی ±1.96 نشان‌دهنده معنی‌داری روند در سطح اطمینان ۹۵درصد است.

[1] – Sen

[2] - Change Points

[3] - Sequential Mann-Kendall

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۲: فلوچارت مراحل انجام تحقیق *(منبع: یافته‌های تحقیق)*

یافته‌های تحقیق

۱. الگوی مکانی و تغییرات بین‌سالی NDVI در فصل بهار

پایش تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی از طریق شاخص NDVI یکی از مؤثرترین ابزارها برای ارزیابی پویایی اکوسیستم‌های طبیعی در مناطق نیمه‌خشک و کوهستانی به شمار می‌رود. حوضه آبریز کارون به‌عنوان یکی از مهم‌ترین حوضه‌های غرب و جنوب‌غرب ایران، تحت تأثیر ترکیب پیچیده‌ای از عوامل توپوگرافی، الگوهای بارش زمستانه، و تنوع اقلیمی قرار دارد که همگی به‌طور مستقیم بر شدت و پراکنش سبزینگی در فصل بهار اثر می‌گذارند. تحلیل نقشه‌هایNDVI *طی* دوره زمانی مطالعه حاضر، امکان بررسی دقیق تغییرات بین‌سالی، شناسایی الگوهای پایدار مکانی، و ارزیابی میزان حساسیت پوشش گیاهی نسبت به نوسانات اقلیمی را فراهم می‌کند. بنابراین، نتایج به‌دست‌آمده از نقشه‌های NDVI این حوضه، مبنایی قوی برای تحلیل پایداری اکولوژیک، ارزیابی اثرگذاری نوسانات اقلیمی، و تبیین تفاوت‌های مکانی ساختاری در پوشش گیاهی فراهم می‌آورد.

به‌منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش‌گیاهی منطقه مورد مطالعه، شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش‌گیاهی (NDVI)در فصل بهار طی دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۳ استخراج و بررسی گردید. این شاخص به‌عنوان یکی از

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

مهم‌ترین شاخص‌های سنجش‌ازدور، امکان ارزیابی وضعیت سلامت، تراکم و تغییرات پوشش‌گیاهی را فراهم می‌کند و به‌طور گسترده در پایش شرایط اکولوژیکی و تغییرات محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بررسی نقشه‌های NDVI فصل بهار طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۳ در حوضه آبریز کارون شکل‌های (۳ و۴) نشان می‌دهد که پوشش گیاهی منطقه، ضمن برخورداری از الگوی مکانی نسبتاً پایدار، با نوسانات بین‌سالی در شدت سبزینگی همراه بوده است .بیشترین مقادیر NDVI عمدتاً در نواحی شمالی و شمال‌غربی حوضه و در امتداد ارتفاعات زاگرس مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که مقادیر شاخص در این مناطق غالباً بین ۰/۶ تا ۰/۷ قرار دارد و در برخی سال‌ها به مقادیر بالاتری می‌رسد. در مقابل، بخش‌های جنوبی و جنوب‌شرقی حوضه عموماً دارای مقادیر پایین‌تر، در محدوده ۰/۱ تا ۰/۳ هستند؛ درحالی‌که نواحی مرکزی عمدتاً مقادیر متوسط NDVI، در بازه ۰/۳ تا ۰/۵، را نشان می‌دهند .تداوم این الگوی مکانی در طول دوره مطالعه بیانگر آن است که تفاوت‌های فضایی پوشش گیاهی تا حد زیادی می‌تواند با ویژگی‌های محیطی پایدار حوضه، از جمله ارتفاع، توپوگرافی و تفاوت شرایط اقلیمی، مرتبط باشد بااین‌حال، تغییرات مقادیر شاخص در نقاط مختلف حوضه نشان می‌دهد که شدت سبزینگی در کنار این پایداری مکانی، از تغییرپذیری زمانی نیز برخوردار بوده است.

از نظر زمانی، مقایسه نقشه‌ها نشان‌دهنده نوسانات محسوس در مقادیر حداکثر NDVI و گستره پهنه‌های دارای سبزینگی بیشتر است .در سال‌های ابتدایی دوره، مقادیر شاخص در برخی نواحی حوضه پایین‌تر بوده، اما در ادامه، افزایش مقادیر NDVI در بخش‌هایی از منطقه مشاهده می‌شود .سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۰، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ از جمله سال‌هایی هستند که مقادیر بالاتر شاخص در آن‌ها گزارش شده است .همچنین، در سال ۲۰۱۵ حداکثر NDVI به حدود ۰/۷۳و در سال ۲۰۲۰ به حدود ۰/۷۴ رسیده است .در سال‌های پایانی دوره، حداکثر مقدار شاخص در سال ۲۰۲۱ به حدود ۰/۷۹ افزایش یافته، در سال ۲۰۲۲ به حدود ۰/۷ کاهش پیدا کرده و در سال ۲۰۲۳ مجدداً به حدود ۰/۷۶ رسیده است .این تغییرات نشان می‌دهد که شرایط سبزینگی در طول دوره مطالعه یکنواخت نبوده و افزایش یا کاهش شدت پوشش گیاهی در سال‌های مختلف، بدون تغییر اساسی در الگوی کلی پراکنش مکانی آن، رخ داده است.

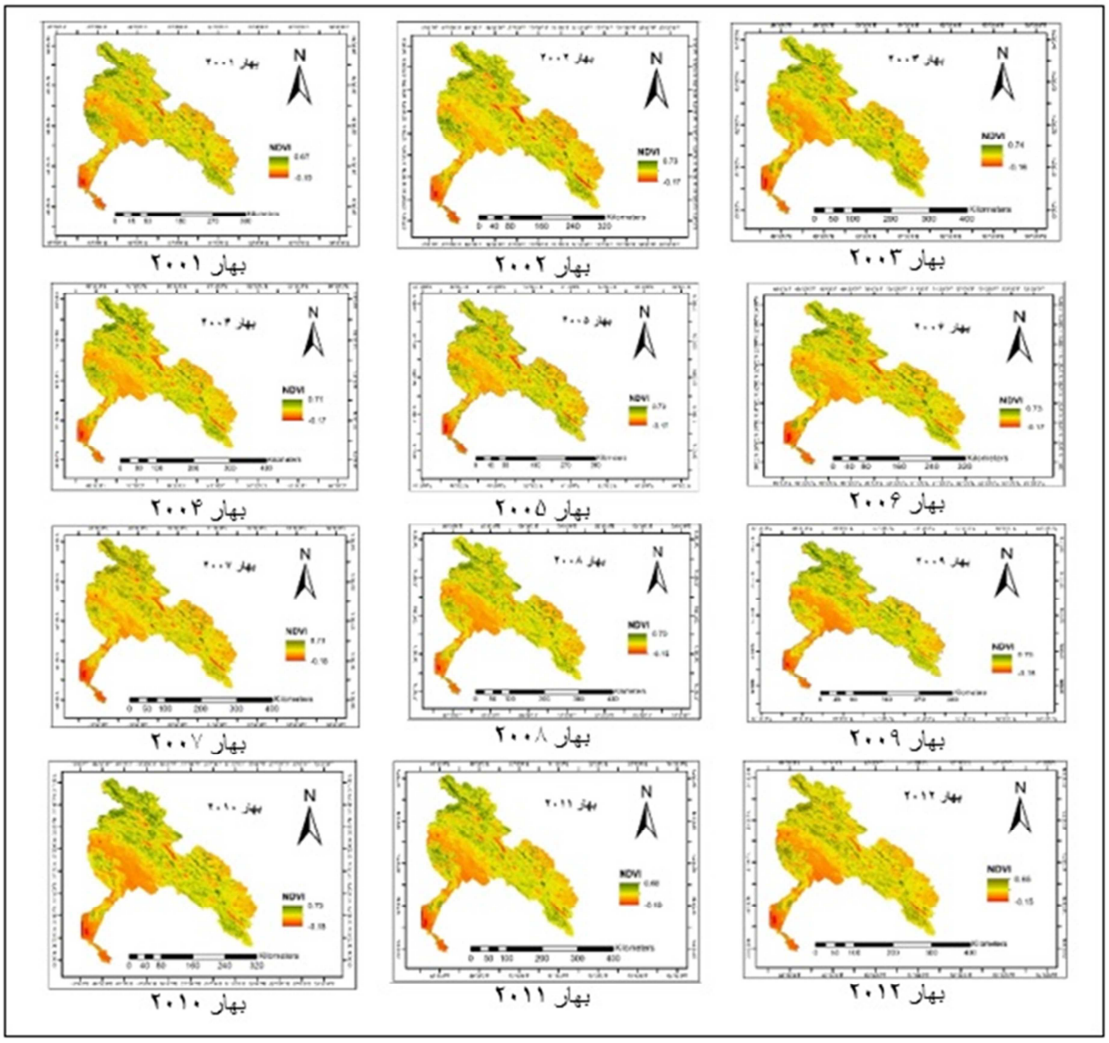
آماده انتشار (بدون شماره مجله)

از منظر مکانی، تداوم مقادیر بالاتر NDVI در شمال و شمال‌غرب حوضه را می‌توان با شرایط متفاوت ارتفاعی و اقلیمی این نواحی در مقایسه با بخش‌های جنوبی مرتبط دانست .نواحی مرتفع زاگرس از نظر شرایط محیطی با مناطق جنوبی و جنوب‌شرقی تفاوت دارند و این تفاوت‌ها می‌توانند در الگوی پراکنش و شدت سبزینگی منعکس شوند .در مقابل، مقادیر پایین‌تر NDVIدر بخش‌های جنوبی و جنوب‌شرقی نشان‌دهنده تراکم کمتر پوشش گیاهی در این مناطق است .نواحی مرکزی نیز با مقادیر متوسط شاخص، وضعیت بینابینی دارند و تغییرات سالانه NDVI در آن‌ها می‌تواند بازتاب‌دهنده تغییرپذیری شرایط رشد پوشش گیاهی باشد. بنابراین، تفاوت‌های مشاهده‌شده در نقشه‌ها را می‌توان در چارچوب تعامل میان ویژگی‌های پایدار مکانی و نوسانات زمانی شرایط محیطی تفسیر کرد.

به‌طور کلی، تحلیل نقشه‌های NDVI فصل بهار در حوضه آبریز کارون طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد که پویایی پوشش گیاهی از دو ویژگی اصلی برخوردار بوده است، پایداری نسبی الگوی مکانی و نوسان بین‌سالی شدت سبزینگی، استمرار مقادیر بالاتر شاخص در نواحی مرتفع شمالی و شمال‌غربی و مقادیر پایین‌تر در بخش‌های جنوبی و جنوب‌شرقی با نقش احتمالی تفاوت‌های توپوگرافی و اقلیمی در توزیع پوشش گیاهی سازگار است. در مقابل، تغییرات مقادیر NDVI در سال‌های مختلف می‌تواند نشان‌دهنده واکنش پوشش گیاهی به تغییرپذیری شرایط

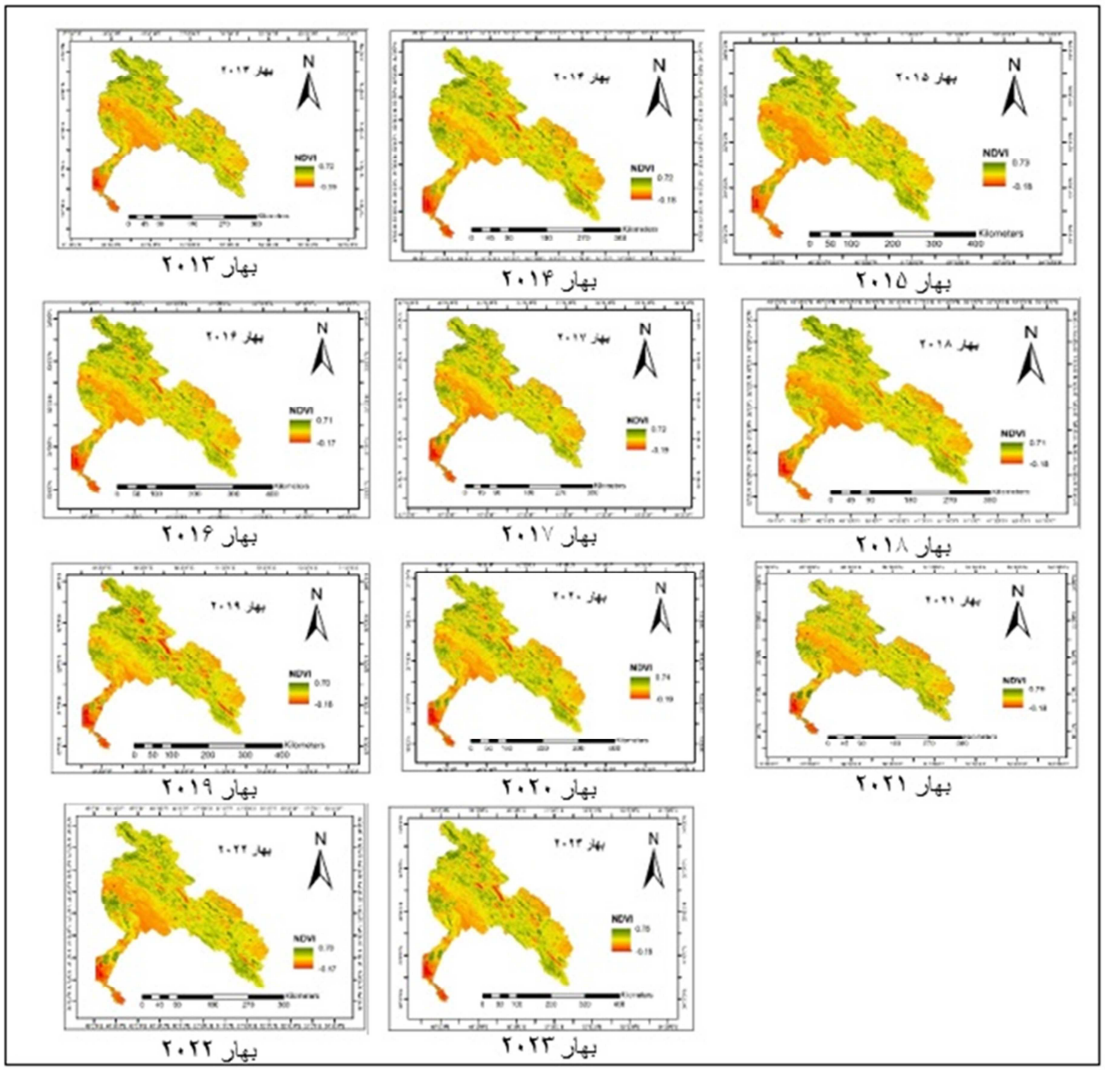
این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

محیطی و اقلیمی باشد .ازاین‌رو، نتایج حاضر ضمن آشکارساختن الگوهای مکانی و زمانی سبزینگی، اهمیت NDVI را به‌عنوان شاخصی برای پایش تغییرات پوشش گیاهی نشان می‌دهد.



شکل ۳. توزیع مکانی – زمانی شاخص NDVI فصل بهار در حوضه آبریز کارون طی دوره ۲۰۰۱ – ۲۰۱۲ *(منبع: یافته های تحقیق)*

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۴. توزیع مکانی – زمانی شاخص NDVI فصل بهار در حوضه آبریز کارون طی دوره ۲۰۲۳ – ۲۰۱۳ *(منبع: یافته های تحقیق)*

رابطه شاخص‌های دورپیوند اقلیمی با طبقات مختلف پوشش گیاهی

پوشش‌گیاهی به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی اکوسیستم‌های خشکی، به‌شدت تحت تأثیر نوسانات اقلیمی در مقیاس‌های محلی تا جهانی قرار دارد. در این میان، شاخص‌های دورپیوند اقلیمی نظیر نوسان جنوبی (SOI) و شاخص‌های مرتبط با پدیده ال‌نینو–لانینا (ENSO) می‌توانند از طریق تغییر در الگوهای بارش، دما و رطوبت خاک، بر پویایی پوشش گیاهی اثرگذار باشند. شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش‌گیاهی (NDVI) نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های سنجش‌ازدور، ابزار مؤثری برای پایش تغییرات مکانی و زمانی وضعیت پوشش‌گیاهی محسوب می‌شود. از این‌رو، بررسی ارتباط بین شاخص‌های دورپیوند اقلیمی و مقادیر NDVI می‌تواند به درک بهتر نقش نوسانات اقلیمی بزرگ‌مقیاس در تغییرات پوشش گیاهی و مدیریت پایدار منابع طبیعی کمک کند.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

به‌منظور بررسی تأثیر نوسانات اقلیمی بزرگ‌مقیاس بر تغییرات پوشش گیاهی منطقه، رابطه بین شاخص‌های دورپیوند اقلیمی شامل ، SOIو شاخص‌های ENSO با طبقات مختلف شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI)مورد تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج محاسبات آماری و ضرایب همبستگی حاصل از این تحلیل در جدول ۱ ارائه شده است که بیانگر شدت و جهت ارتباط بین شاخص‌های اقلیمی و وضعیت پوشش گیاهی در دوره مورد مطالعه می‌باشد.

جدول۱: مقادیر همبستگی پوشش گیاهی و شاخص‌های پیوند از دور فصل بهار ۲۰۰۱ – ۲۰۲۳ *(منبع: یافته‌های تحقیق)*

طبقات پوشش گیاهی	Niño4	Niño3.1	Niño3.4	Niño1	ONI	MEI	SOI
خیلی تنک	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱۲	-۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۱۷	-۰/۲۹
تنک	-۰/۰۳	۰/۰۰۸	-۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۱۸	۰/۰۸	-۰/۰۸
متوسط	-۰/۱۷	-۰/۰۷	-۰/۰۸	-۰/۱۲	-۰/۰۶	-۰/۰۸	۰/۱۸
انبوه	۰/۱۶	-۰/۰۳	۰/۰۸	-۰/۰۲	-۰/۱۷	-۰/۰۵	۰/۳۹
خیلی انبوه	-۰/۴*	-۰/۲۹	-۰/۳۶	-۰/۲۰	-۰/۲۳	-۰/۳۱	۰/۱۰

نتایج تحلیل همبستگی پیرسون بین طبقات مختلف پوشش گیاهی و شاخص‌های پیوند از دور مرتبط با پدیده ENSO (شامل Niño4، Niño3.1، Niño3.4، Niño1، ONI، MEI و SOI) نشان‌دهنده وجود پاسخ‌های ناهمگون و وابسته به تراکم پوشش گیاهی در حوضه آبریز کارون است. در طبقه پوشش گیاهی بسیار تنک، ضرایب همبستگی عمدتاً مثبت با شاخص‌های Niño و ENSO مشاهده شد (با مقادیر تا حدود ۰/۱۷)، در حالی‌که این طبقه همبستگی منفی نسبتاً قابل‌توجهی با شاخص SOI (حدود ۰/۲۹-) نشان می‌دهد. این الگو بیانگر آن است که در سال‌های غالب ال‌نینو، شرایط رطوبتی بهبود یافته می‌تواند به افزایش نسبی سبزینگی در نواحی دارای پوشش بسیار ضعیف منجر شود، در حالی‌که فاز لانینا اثر کاهنده‌ای بر این طبقه دارد. در طبقه پوشش تنک، ضرایب همبستگی عموماً ضعیف و در بازه ۰/۰۳- تا ۰/۱۸ قرار دارند که حاکی از حساسیت کمتر این طبقه نسبت به نوسانات بزرگ‌مقیاس اقلیمی و نقش پررنگ‌تر عوامل محلی نظیر ویژگی‌های خاک و فشارهای انسانی است.

در طبقه پوشش گیاهی متوسط، اغلب شاخص‌های Niño و ENSO همبستگی منفی ضعیفی تا متوسط (حداکثر حدود ۰/۱۷-) با NDVI نشان می‌دهند، در حالی‌که شاخص SOI همبستگی مثبت ملایمی (حدود ۰/۱۸) را ثبت کرده است. این رفتار معکوس نسبت به طبقات فقیرتر بیانگر آن است که پوشش‌های متوسط، که عمدتاً شامل مراتع نسبتاً پایدار و مناطق گذار جنگل–مرتع هستند، واکنش متفاوتی به تغییرات اقلیمی بزرگ‌مقیاس نشان می‌دهند و احتمالاً تحت تأثیر هم‌زمان بارش، دما و تابش در فصل رشد قرار دارند. در طبقه پوشش انبوه نیز الگوی ترکیبی مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که همبستگی مثبت ضعیفی با شاخص Niño4 (حدود ۰/۱۶) و همبستگی‌های منفی با شاخص‌های ONI، MEI و SOI ثبت شده است که نشان‌دهنده وابستگی این طبقه به رژیم بارش زمستانه و حساسیت آن به شرایط لانینا است. بیشترین و منسجم‌ترین الگوی همبستگی در طبقه پوشش گیاهی بسیار انبوه مشاهده می‌شود، به‌گونه‌ای که این طبقه در تمامی شاخص‌های Niño و MEI همبستگی منفی قابل‌توجهی از خود نشان داده است (تا حدود ۰/۰۴-)، در حالی‌که ارتباط آن با شاخص SOI ضعیف و مثبت است. این نتایج نشان می‌دهد که در نواحی دارای پوشش بسیار متراکم، فاز ال‌نینو می‌تواند با کاهش نسبی شدت سبزینگی همراه باشد؛ پدیده‌ای که احتمالاً ناشی از افزایش ابرناکی، کاهش تابش خورشیدی و تغییر شرایط حرارتی در فصل رشد است. به‌طور کلی، نتایج حاکی از آن است که اثر ENSO بر پوشش گیاهی حوضه کارون یکنواخت نیست و پاسخ

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

اکوسیستم‌ها به این پدیده به‌طور معناداری به تراکم و نوع پوشش گیاهی وابسته است؛ به‌طوری‌که پوشش‌های فقیرتر بیشتر از بهبود شرایط رطوبتی منتفع می‌شوند، در حالی‌که پوشش‌های متراکم‌تر واکنش پیچیده‌تر و گاه معکوس به فازهای مختلف ENSO نشان می‌دهند.

تحلیل روند من – کندال و شیب سن

در این مطالعه، به منظور تحلیل تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی فصل بهار ، از آزمون ناپارامتری من-کندال[1] و برآورد شیب سن[2] استفاده گردید. داده‌های شاخص پوشش گیاهی NDVI طی دوره‌ی ۲۳ ساله (۲۰۰۱ تا ۲۰۲۳) استخراج و بر اساس پنج طبقه تراکمی شامل خیلی تنک، تنک، متوسط، انبوه و خیلی انبوه طبقه‌بندی شدند(جدول ۲). در این آزمون مقدار Z بیانگر جهت و معنی‌داری روند است، به گونه‌ای که مقادیر مثبت Z نشان‌دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی Z بیانگر روند کاهشی هستند. شدت و میزان تغییر سالانه از طریق شاخص شیب سن (Q) مشخص می‌شود که مقادیر مثبت آن بیانگر افزایش و مقادیر منفی نشان‌سهنده کاهش سالانه در طول دوره مورد مطالعه است. همچنین مقدار β معرف براورد اولیه یا مقدار تقریبی شاخص در ابتدای دوره زمانی می‌باشد که همراه با Q روند کلی تغییرات را مشخص می‌کند.

بررسی هم‌زمان نتایج آزمون من–کندال، برآورد شیب سن و سری‌های زمانی تغییرات مساحت طبقات پوشش گیاهی حوضه آبریز کارون طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۳(جدول ۲-شکل۵) نشان می‌دهد که روند تغییرات مساحت در طبقات مختلف NDVI یکسان نبوده است. این تفاوت در جهت روندها و میزان نوسانات بین‌سالی، بیانگر تغییرات ناهمگون در توزیع مساحت طبقات پوشش گیاهی در سطح حوضه است .در طبقه فاقد یا دارای پوشش گیاهی بسیار اندک (NDVI<=0.1) روند کلی مساحت نزولی است. خط روند برازش‌شده در نمودار شکل ۵ (نمودار a) کاهش تدریجی مساحت این طبقه را نشان می‌دهد؛ بااین‌حال، سری زمانی از نوسانات قابل‌توجهی برخوردار است و در برخی سال‌ها افزایش‌های موقتی در مساحت مشاهده می‌شود. برآورد شیب سن نیز با مقدار منفی (Q= -۲۹/۷۷۷) جهت کاهشی روند را تأیید می‌کند. این الگو نشان می‌دهد که مساحت این طبقه در طول دوره بررسی به‌طور یکنواخت تغییر نکرده و تغییرات بین‌سالی بخش مهمی از رفتار زمانی آن را تشکیل داده است .در طبقه پوشش گیاهی تنک (NDVI>>=0.1-<=0.2)

روند نزولی مساحت با مقدار شیب سن(Q= -۱۷۱/۰۹۶) مشاهده می‌شود. شکل ۵ (نمودارb) ضمن نشان دادن کاهش کلی، نوسانات قابل‌توجهی را در طول دوره بررسی آشکار می‌کند؛ به‌گونه‌ای که در برخی سال‌ها افزایش موقتی مساحت و در سال‌های دیگر کاهش محسوس آن رخ داده است. در مقایسه با طبقهNDVI<=0.1 ، مقدار مطلق شیب سن در این طبقه بزرگ‌تر است که نشان‌دهنده نرخ تغییر برآوردشده بیشتر مساحت برحسب واحد زمانی و واحد اندازه‌گیری مساحت است. البته مقایسه شدت تغییرات میان طبقات باید با توجه به مقیاس مساحت هر طبقه و واحد شیب سن انجام شود .در مقابل، طبقه پوشش گیاهی با تراکم متوسط (NDVI>>=0.2-<=0.4)روندی افزایشی نشان می‌دهد. شیب سن مثبت این طبقه(Q=134.75) و خط روند صعودی در شکل ۵ (نمودارc) حاکی از افزایش کلی مساحت آن طی دوره بررسی است. با وجود این، تغییرات مساحت در همه سال‌ها یکسان نبوده و افزایش‌ها و کاهش‌های متناوبی در سری زمانی مشاهده می‌شود. بنابراین، روند صعودی بیانگر جهت کلی تغییرات

[1] - Mann-Kendall

[2] -Sen's Slope

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

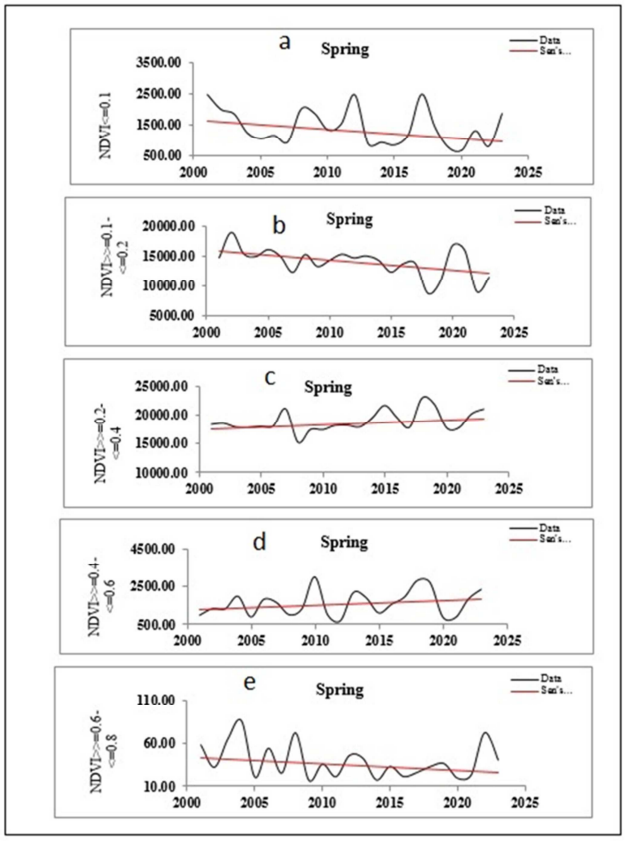
است و نباید به‌عنوان افزایش پیوسته مساحت این طبقه در تمام سال‌ها تفسیر شود .طبقه پوشش گیاهی نسبتاً متراکم (NDVI>>=0.4-<=0.6) نیز روندی افزایشی دارد. مقدار مثبت شیب سن(Q= ۳۸/۱۶۷) و خط روند صعودی شکل ۵ (نمودارd) این جهت تغییرات را نشان می‌دهد. در عین حال، نوسانات بین‌سالی مساحت در این طبقه مشهود است و در برخی مقاطع، افزایش یا کاهش‌های نسبتاً شدیدی رخ داده است. در مقایسه با طبقه پوشش گیاهی با تراکم متوسط، مقدار شیب سن کوچک‌تر است؛ ازاین‌رو، افزایش برآوردشده مساحت این طبقه با نرخ کمتری همراه بوده است، هرچند مقایسه نهایی باید با در نظر گرفتن واحد مساحت و مقیاس هر سری زمانی صورت گیرد .در طبقه پوشش گیاهی متراکم (NDVI>>=0.6-<=0.8) ، روند کلی مساحت نزولی است. مقدار منفی شیب سن(Q=۰/۷۵۳) و خط روند نزولی در شکل ۵ (نمودارe) نشان می‌دهد که مساحت این طبقه در مجموع دوره بررسی کاهش یافته است. بااین‌حال، نوسانات سری زمانی قابل‌توجه است و افزایش‌های موقتی، به‌ویژه در برخی سال‌های ابتدایی و انتهایی دوره، در کنار کاهش کلی مشاهده می‌شود. با توجه به کوچک بودن مقدار مطلق شیب سن، جهت نزولی روند را باید از شدت تغییرات آن متمایز کرد؛ به بیان دیگر، منفی بودن شیب به‌تنهایی به معنای کاهش شدید مساحت نیست. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که تغییرات مساحت طبقات پوشش گیاهی حوضه آبریز کارون در فصل بهار طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۳ از الگوی زمانی یکسانی پیروی نکرده است. کاهش مساحت طبقات دارای مقادیر پایین NDVI، در کنار افزایش مساحت طبقات با مقادیر متوسطNDVI ، بیانگر تغییر در توزیع مساحت طبقات پوشش گیاهی در طول دوره بررسی است. در مقابل، طبقه دارای NDVI بین ۰/۶ تا ۰/۸ روندی نزولی نشان می‌دهد. همچنین، نوسانات بین‌سالی مشهود در سری‌های زمانی نشان می‌دهد که تغییرات مساحت طبقات در طول دوره بررسی پیوسته و یکنواخت نبوده است. این تفاوت در جهت و شدت روندها، ناهمگونی پویایی زمانی پوشش گیاهی در حوضه را برجسته می‌کند و بر ضرورت بررسی جداگانه روند هر طبقه برای شناخت دقیق‌تر الگوی تغییرات پوشش گیاهی تأکید دارد.

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

جدول ۲: روند پوشش گیاهی (*NDVI*) فصل بهار حوضه ابریز کارون طی دوره ۲۰۰۱-۲۰۲۳(*منبع: یافته‌های تحقیق*)

Time series	Test Z	Signific	Q	B
NDVI<=0.1	-۱/۸۵	-	-۲۹/۷۷۷	۱۶۲۰/۶۶
NDVI>>=0.1-<=0.2	-۱/۹۵	-	-۱۷۱/۰۹۶	۱۵۸۱۰/۶۲
NDVI>>=0.2-<=0.4	۱/۷۴	-	۱۳۴/۷۵۰	۱۷۳۱۸/۵۰
NDVI>>=0.4-<=0.6	۱/۲۱		۳۸/۱۶۷	۱۲۸۷/۵۱
NDVI>>=0.6-<=0.8	-۰/۸۵		-۰/۷۵۳	۴۳/۰۸

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



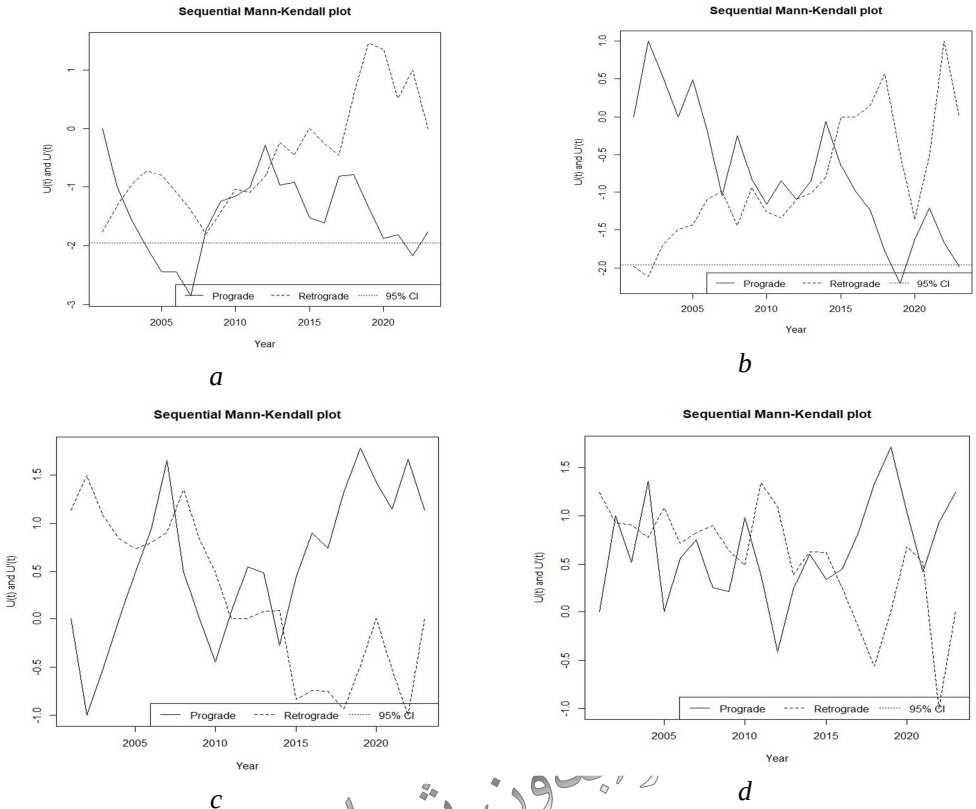
شکل۵. برازش نمودار خط شیب سن ۵ طبقه پوشش گیاهی فصل بهار طی دوره (۲۰۰۱-۲۰۲۳) حوضه آبریز کارون(*منبع: یافته‌های تحقیق*)

آماده ارسال (مجله)

تحلیل روند و شناسایی نقاط تغییر NDVI با آزمونSQMK

شناسایی روندهای بلندمدت و نقاط تغییر در سری‌های زمانی پوشش گیاهی، کلید درک واکنش اکوسیستم به نوسانات اقلیمی است. با توجه به ماهیت غیرخطی پاسخ پوشش گیاهی به متغیرهای اقلیمی و پدیدهENSO ، تحلیل‌های آماری معمول ممکن است قادر به شناسایی تغییرات ساختاری در طول زمان نباشند. در این راستا، برای بررسی دقیق‌تر رفتار زمانی NDVI در حوضه آبریز کارون و تفکیک روندهای معنادار از نوسانات تصادفی، از آزمون ترتیبی من-کندال (SQMK) استفاده شده است. این روش به دلیل توانایی در تعیین زمان وقوع «نقطه تغییر در سری زمانی، ابزاری کارآمد برای بررسی پویایی پوشش گیاهی و تشخیص تغییرات ناگهانی یا تدریجی در روند سبزینگی منطقه طی دوره مطالعاتی ۲۰۲۳-۲۰۰۱ فراهم می‌آورد. این نمودار با ترسیم دو سری آماره پیش‌رونده u(t)و پس‌رونده u′(t)، امکان تشخیص تغییرات ساختاری روند را فراهم می‌کند. در نمودارهای SQMK، منحنی پیش‌رونده(U(t بیانگر روند تجمعی داده‌ها در طول زمان و منحنی پس‌رونده (U′(t نشان‌دهنده روند معکوس زمانی است. نقاط تقاطع دو منحنی بیانگر زمان احتمالی وقوع تغییر در روند هستند. عبور مقادیر U(t) از حدود بحرانی ±1.96 نشان‌دهنده معنی‌داری روند در سطح اطمینان ۹۵٪ است. در ادامه، نمودارهای حاصل از این تحلیل شکل (۶) ارائه و تفسیر می‌گردد.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۶: نمودارهای SQMK پوشش گیاهی فصل بهار حوضه آبریز کارون طی دوره آماری ۲۰۰۱ – ۲۰۲۳ *(منبع: یافته‌های تحقیق)*

نتایج آزمون ترتیبی من–کندال (SQMK) برای سری زمانی NDVI در طبقه بسیار تنک (NDVI ≤ 0.1) نشان می‌دهد که سبزینگی این طبقه دارای نوسانات شدید و رفتار غیرایستا است شکل۶(نمودار a). آماره پیش‌رونده U(t) در بخش قابل‌توجهی از دوره در محدوده منفی قرار داشته و بیانگر غلبه تمایل کاهشی یا رکود سبزینگی است. عبور U(t)از حد بحرانی ۱/۹۶- در بازه ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ و نیز در حدود سال ۲۰۲۲، وقوع کاهش‌های معنادار و غیرتصادفی را تأیید می‌کند. همچنین تقاطع آماره پیش رونده U(t)و پس رونده U'(t)در حدود ۲۰۱۰–۲۰۱۱ حاکی از وقوع یک نقطه تغییر ساختاری در سری زمانی NDVI است. پس از این تغییر، نوسانات U(t) و U'(t) پیرامون صفر باقی می‌ماند و عدم پایداری در ناحیه مثبت نشان می‌دهد که این طبقه در سال‌های اخیر روند احیای پایدار را تجربه نکرده و نسبت به محرک‌های اقلیمی به‌ویژه رخدادهای مرتبط باENSO حساس باقی مانده است.

نتایج آزمون من–کندال ترتیبی (SQMK) برای طبقه NDVI=0.1–0.2 شکل ۶(نمودار b) حاکی از رفتار نوسانی و عدم وجود روند جهت‌دار معنادار طی دوره ۲۰۰۱–۲۰۲۳ است مقادیر آماره پیش‌رونده u(t) اگرچه در سال‌های ابتدایی (۲۰۰۲–۲۰۰۴) به آستانه ۱,۸- نزدیک شده، اما در هیچ مقطعی از بازه اطمینان ۹۵ درصد (±۱,۹۶) فراتر نرفته است. نوسانات آماره‌های u(t)و u′(t) عمدتاً در دامنه ±۱/۵ محدود مانده که بیانگر غلبه تغییرات بین‌سالی بر روند بلندمدت است همچنین، تقاطع منحنی‌ها در سال‌های ۲۰۱۳–۲۰۱۴، به دلیل عدم انطباق با تغییرات ساختاری معنادار در سری زمانی، نشان‌دهنده تغییر جهت‌های مقطعی است و مؤید یک تحول رژیمی پایدار نیست. در مجموع،

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

سبزینگی این طبقه به‌جای تبعیت از یک روند یکنواخت، نشان‌دهنده حساسیت به نوسانات اقلیمی کوتاه‌مدت است و روند بلندمدت معناداری برای آن قابل‌تعریف نیست.

نتایج آزمون من–کندال ترتیبی (SQMK) برای طبقه NDVI=0.2–0.4 شکل ۶(نمودار c) نشان‌دهنده غلبه رفتارهای نوسانی با تمایل نسبی به افزایش سبزینگی است. آماره پیش‌رونده u(t) در دوره‌های متعددی (نظیر ۲۰۰۷ و ۲۰۲۰) به مقادیر مثبت (تا حدود ۱٫۷+) متمایل شده، اما به دلیل عدم عبور از آستانه بحرانی ۱/۹۶±، این روند در سطح اطمینان ۹۵٪ فاقد معناداری آماری است. وجود نقاط تقاطع متعدد بین آماره‌های u(t)و) u′(t) به‌ویژه در بازه ۲۰۱۱–۲۰۱۴ در محدوده غیربحرانی، حاکی از وقوع نوسانات گذرا و عدم ثبات در ساختار سری زمانی است. در مجموع، سبزینگی در این طبقه فاقد روند یکنواخت بلندمدت بوده و به‌شدت تحت تأثیر نوسانات اقلیمی بین‌سالی و محرک‌های هیدرو–اقلیمی دوره‌ای قرار دارد.

نتایج آزمون SQMK برای طبقهNDVI=0.4–0.6 شکل۶(نمودارd) بیانگر پایداری نسبی و نوسانات مثبت در سری زمانی طی دوره ۲۰۰۱–۲۰۲۳ است. آماره پیش‌رونده u(t) در اغلب سال‌ها مقدار مثبت داشته و در ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ به حدود ۱٫۵+ رسیده، اما با توجه به عدم عبور از آستانه بحرانی ۱/۹۶± روند افزایشی مشاهده‌شده معنادار نیست. آماره بازگشتی u′(t) نیز رفتاری مشابه دارد و تقاطع‌های آن با u(t) در حوالی ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ تنها بیانگر نوسانات بین‌سالی است. به‌طور کلی، پوشش گیاهی با تراکم متوسط تا نسبتاً بالا در این طبقه ثبات زمانی قابل‌قبولی داشته و بیش از آنکه روندی بلندمدت نشان دهد، به نوسانات اقلیمی کوتاه‌مدت واکنش نشان می‌دهد.

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش با تحلیل تلفیقی داده‌های MODIS و آزمون‌های آماری پیشرفته، پویایی پوشش گیاهی حوضه آبریز کارون را در دو محور «توزیع فضایی» و «رفتار زمانی» مورد ارزیابی قرار داد. مطابق با نقشه‌های توزیع مکانیNDVI ، الگوی پوشش گیاهی حوضه به‌شدت از توپوگرافی کوهستانی زاگرس تبعیت می‌کند؛ به‌طوری‌که بیشترین تراکم سبزینگی در ارتفاعات شمالی و شمال‌غرب متمرکز بوده و با کاهش ارتفاع به سمت نواحی جنوبی، از شدت آن کاسته می‌شود. این همسویی نقشه‌ها با واحدهای فیزیوگرافی حوضه، بیانگر پایداری الگوی توزیع پوشش گیاهی در مقیاس دو دهه اخیر است. در تحلیل زمانی، نتایج همبستگی نشان داد که اثر شاخص‌های ENSO بر NDVI یکنواخت نیست و واکنش اکوسیستم به تراکم پوشش گیاهی وابسته است. در طبقات متراکم، همبستگی‌های عمدتاً منفی (ضعیف تا متوسط) با شاخص‌های Niño مشاهده شد، در حالی‌که در طبقات تنک، رفتار متفاوت‌تری بروز کرد. همچنین تحلیل روند و آزمون SQMK نیز نشان داد که در اکثر طبقات، نوسانات بین‌سالی بر روند بلندمدت غلبه دارند و روند معنادار (در سطح اطمینان ۹۵٪) در آن‌ها مشاهده نمی‌شود. تنها در طبقه بسیار تنک، شواهد آماری از کاهش‌های معنادار و یک نقطه تغییر ساختاری در بازه ۲۰۱۰–۲۰۱۱ به دست آمد که این موضوع در نقشه‌های تغییرات مکانی نیز به شکل کاهش‌های موضعی در بخش‌های خاصی از حوضه نمود پیدا کرده است.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که الگوی تغییرات NDVI و ارتباط آن با شاخص‌های ENSO در طبقات مختلف تراکم پوشش گیاهی یکسان نیست و در برخی جنبه‌ها با نتایج مطالعات جهانی جن و همکاران (۲۰۲۵)، وانگ و همکاران(۲۰۲۲) هم خوانی دارد. در حالی که حساسیت بالای طبقه «بسیار تنک» به تحولات ساختاری با یافته‌های پیشین در مناطق نیمه‌خشک ایران (رضایی و همکاران، ۱۳۹۶) همسو است، تفاوت نتایج روندِ زمانی، در حوضه

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

کارون (در مقایسه با دستی‌گردی و همکاران، ۱۴۰۱)، اهمیتِ به‌کارگیری آزمون‌های ناپارامتری دقیق‌تر (SQMK) را جهت تفکیک نوسانات بین‌سالی از روندهای پایدار اثبات می‌کند. در نهایت، تمرکز زمانی این مطالعه بر فصل بهار، در مقایسه با مطالعات سالانه نظیر بنیش و همکاران(۲۰۲۴)، اوپیو و همکاران(۲۰۲۵) دقت تحلیلِ سازوکارهای اکولوژیکِ حوضه‌های کوهستانی را ارتقاء داده و نشان می‌دهد که پایداری نسبی حوضه، ماهیتی ناهمگن دارد. در این راستا، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده تأثیر تأخیر زمانی شاخص‌های دورپیوند اقلیمی، تحلیل‌های چندفصلی و ترکیب داده‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی و کاربری اراضی به‌منظور درک دقیق‌تر سازوکارهای مؤثر بر تغییرات پوشش گیاهی مورد توجه قرار گیرد.

منابع

امیدوار،کمال. (۱۳۹۹). رابطه آب‌وهوا یی اتمسفر و اقیانوس، انتشارات دانشگاه یزد، چاپ سوم.

بهمن پوری، صدف؛بخشوده، محمد؛ زیبایی، منصور. (۱۴۰۲). تاثیر تغییر اقلیم بر کاربری اراضی و پوشش گیاهی استان فارس.کاربرد روش سیستم پویا. *فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۵۱(۳)، ۵۶-۶۹. https://doi.org/10.30495/jae.2023.28473.2263

خسروی، محمود؛مسگری، ابراهیم. (۲۰۱۶). تحلیل فضایی رابطه بین الگوهای دورپیوندی و دمای ماهانه در شمال‌غرب ایران. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری–منطقه‌ای*،۶ (۲۱)،۲۰۳-۲۱۴.
https://doi.org/10.22111/gaij.2016.2843

دستی‌گردی، مرتضی؛ نادی، مهدی؛ رائینی سرجاز،محمود؛ کیاپاشا،خدیجه. (۱۴۰۱). تحلیل روند پوشش گیاهی با استفاده از سری زمانی *NDVI*ماهواره مودیس در شمال‌شرق ایران .*پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۹ (1)، ۱۳۵-۱۵۰.
https://doi.org/10.22069/jwsc.2022.20208.3554

رضایی،محمد، قاسمی‌فر،الهام و محمدی،چنور.(۱۳۹۶). تحلیل اثر نوسان اطلس شمالی بر تغییرپذیری پوشش گیاهی ایران. *فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی*، ۲۷(۱۰۸)، ۱۵۱-۱۶۴.**https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.34627**

زارع خورمیزی، هادی؛ غفاریان مالمیری، حمیدرضا. (۱۳۹۶). پایش خشکسالی و تاثیر آن بر پوشش گیاهی با استفاده از فناوری‌های سنجش از دور (بررسی موردی:استان یزد، سال‌های ۱۹۹۴تا ۲۰۱۴). *مدیریت بیابان*،۵(۱۰)،۶۸-۸۶.
https://doi.org/10.22034/jdmal.2018.30663

غیور،حسنعلی؛ عساکره،حسین. (۱۳۸۱). مطالعه اثر پیوند از دور بر اقلیم ایران مطالعه موردی: اثر نوسانات اطلس شمالی و نوسانات جنوبی بر تغییرات میانگین ماهانه دمای جاسک. *نشریه تحقیقات جغرافیایی*، ۱۷-۱۶ ، شماره ۴-۱، ۱۱۳-۱۹۳.**https://sid.ir/paper/417653/fa**

قانقرمه، عبدالعظیم؛ روشن، غلامرضا ؛ رجبی، مصیب. (۱۴۰۴). آشکارسازی پیامدهای متقابل تغییرات اقلیمی بر پوشش سطحی و کاربری اراضی در استان گلستان طی دو دهه اخیر. *مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیطی طبیعی*، ۱۴(۴۶)، ۱۰۵–۱۲۴ .
https://doi.org/10.22111/jneh.2025.50298.2082

کنعانی، رضا؛ فاخری‌فرد، احمد؛ قربانی، محمدعلی؛ دین‌پژوه، یعقوب. (۱۳۹۸). تحلیل روند تغییرات تدریجی و سریع عوامل هیدرواقلیمی (مطالعه موردی: حوضه آبریز لیقوان‌چای). *مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۹(۱)، ۹۷-۱۱۰ .
https://sid.ir/paper/147941/fa

مکرم، لیلا؛ مزیدی، احمد؛ امیدوار، کمال؛ غفاریان مالمیری،حمیدرضا.(۱۴۰۵).تحلیل تغییرات مکانی – زمانی شاخص پوشش گیاهی زمستانه در حوضه مارون با تاکید بر اثرات الگوهای پیوند از دور. *نشریه علمی - پژوهشی علوم جغرافیایی سپهر. ۳۵(۱۳۷)،۶۳-۷۷.*
https://doi.org/10.22131/sepehr.2026.2074423.3157

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

Bonan, G.B. (2008). Ecological Climatology. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Chen, Y., Randerson, J.T.,& Morton, D.C. (2015). Tropical North Atlantic ocean-atmosphere interactions synchronize forest carbon losses from hurricanes and Amazon fires. *Geophys. Res. Abstr*. 6462–6470. http://dx.doi.org/10.1002/2015GL064505.

Erasmi, S. (2014). Spatial Patterns of NDVI Variation over Indonesia and Their Relationship to ENSO Warm Events during the Period 1982–2006, 6(4), 3041–3058. https://doi.org/10.3390/rs6043041

آماده انتشار (بدون شماره مجلد)

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

Estupinan-Suarez, L. M., Mahecha, M. D., Brenning, A., Kraemer, G., Poveda, G., Reichstein, M., & Sierra, C. A. (2024). Spatial Patterns of Vegetation Activity Related to ENSO in Northern South America. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 129, e2022JG007344. https://doi.org/10.1029/2022JG007344

Fensholt, R., &Proud, S.R. (2012). Evaluation of earth observation-based global long-term vegetation trends—Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series. *Remote Sensing of Environment*, 119: 131-147.

IPCC. (2013) Climate change, Working Group I, the physical science basis. United Nations Environment Program (UNEP) and World Meteorological Organization (WMO)

IPCC.(2007). Summary for policymakers: Climate change: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report. Cambridge University Press, 881p.

IPCC.(2014). Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on

Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K. & Meyer, L.A. (eds.)].

IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp., 2014.

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.

Jen, X., Zhang, Y., Schaepman, M., Clevers, J. &Su, Z., 2008, Impact of elevation and aspect on the spatial distribution of vegetation in the Qilian Mountain area with remote sensing data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*,1.

Jian, D.; Niu, G.-Y.; Ma, Z.; Liu, H.; Guan, D.; Zhou, X.; Zhou, J. (2023). Limited driving of elevated CO2 on vegetation greening over global drylands. *Environmental Research Letters*, 18, 104024.

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

Kendall, M.G. (1975), Rank correlation methods, *Charles Griffin*, London.

Li, J., Fan, K., Xu, Z., (2016). Links between the late wintertime North Atlantic Oscillation and springtime vegetation growth over Eurasia. Clim. *Dyn.* 46, 987–1000. http://dx.doi.org/10.1007/s00382-015-2627-9.

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. http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0082040

Ogutu, J.O., & Owen-Smith, N. (2003). ENSO, rainfall and temperature influences on extreme population declines among African savanna ungulates. *Ecol.* Lett. 6, 412–419. http://dx.doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00447.x.

Opiyo, S. B., Pienaar, L., Piketh, S. J., Burger, R. P., & Chikoore, 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, 29. https://doi.org/10.1007/s44415-025-00030-3

Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association, 63*, 1379–1389.

Wang, C. (2022). Comparison of vegetation anomalies to El Niño–Southern Oscillation in China and Australia. The International Archives of the Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B3-2022. Proceedings of the XXIV ISPRS Congress, Nice, France.

Wang, X., Yang, T., Shao, Q., Kumud, A., Wang, W., & Yu, Z.(2012). Statistical Downscaling Of Extremes Of Precipitation And Temperature And Construction Of Their Future Scenarios In An Elevated And Cold Zone," *Stoch. Environ. Res. Risk.* Asses., 26, 405-418.

آماده انتشار (بدون شماره مجله)