University of Tehran Press

ECO HYDROLOGY

Home Page: https://ije.ut.ac.ir

Online ISSN: 2423-6101

Monitoring Vegetation Degradation and Recovery Patterns Using NDVI Time Series in Hormozgan Province

Masoomeh Forozanfard [1], Ommolbanin Bazrafshan [2*], Yahya Esmaeilpour [3]
Hossein Zamani [4], Mojtaba Mohammadi [5]

1. Phd Student, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Email: forozanfard@gmail.com
2. Corresponding author, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Email: o.bazrafshan@hormozgan.ac.ir.
3. Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Email: yahya98uni@gmail.com
4. Department of Statistics and mathematics, Faculty of Science, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Email: zamani.huni@hormozgan.ac.ir
5. Department of Desert Management and Control, Faculty of Environmental Sciences, Planning and Sustainable Development, University of Saravan, Saravan, Iran. Email: m.mohamadi@saravan.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 25 January 2026
Revised 10 February 2026
Accepted 09 March 2026
Available online 21 March 2026

Keywords:
Remote ensing,
Mann-Kendall Test,
Greening and rowning,
Land Degradation,
Arid Ecosystems.

ABSTRACT

Background: This research evaluates the spatiotemporal patterns of vegetation degradation and restoration in the arid and fragile ecosystems of Hormozgan province.

Objective: The main objective of this study was to analyze the trends of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) changes at overall, seasonal, and monthly time scales during the 2000-2018 period, and to identify the main hotspots of vegetation increase (greening) and decrease (browning) across the province.

Method: This study utilized 19-year time-series data of the NDVI from the MOD13Q1 product with a spatial resolution of 250 meters. For trend analysis at the pixel level, the non-parametric Mann-Kendall test was used to detect significant trends, and Sen's Slope estimator was employed to determine the magnitude of changes. All analyses were conducted in the R software environment.

Results: The results indicate the dominance of a widespread declining trend (browning) in the western and central regions of the province. Seasonal analysis revealed a key paradox: the degradation trend occurred not only in the hot and dry summer but also significantly during the wet winter season. In contrast, autumn showed a dual pattern, where the eastern half of the province experienced a notable increasing trend (greening) due to the impact of monsoon precipitation. June and July were identified as the most critical periods of degradation, while August and September were the only periods of significant restoration (limited to the eastern part of the province).

Conclusion: The ecosystem of Hormozgan province is undergoing an increasing degradation trend, and the ecological balance is shifting towards a reduction in plant biomass. The discovery of a declining trend during the winter precipitation season is a serious warning for the region's water security and biological sustainability, emphasizing the need to adopt adaptive, location-based, and evidence-based management strategies to combat the consequences of climate change and prevent irreversible alterations.

Cite this article: Forozanfard, M., Bazrafshan, O., Esmaeilpour, Y., Zamani, H., Mohammadi, M (2026). Monitoring Vegetation Degradation and Recovery Patterns Using NDVI Time Series in Hormozgan Province. *Journal of Ecohydrology*, *13*(1), 1163-1185. https://doi.org/10.22059/ije.2025.404133.1890

© Masoomeh Forozanfard, Ommolbanin Bazrafshan, Yahya Esmaeilpour, Hossein Zamani, Mojtaba Mohammadi

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ije.2025.404133.1890

Extended Abstract

Introduction

Vegetation cover is a critical component of terrestrial ecosystems and a key indicator of ecological health, directly influencing the exchange of energy, water, and carbon between the atmosphere and the land surface. In arid and semi-arid regions, land degradation and desertification pose a significant threat to sustainable development and global food security. Accelerated climate change, characterized by rising temperatures and extreme rainfall fluctuations, profoundly impacts plant growth patterns, making the study of vegetation dynamics in these vulnerable areas a vital research priority. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), derived from satellite remote sensing data, has long been recognized for decades as a reliable and widely used proxy for monitoring vegetation health and productivity. While numerous studies have analyzed NDVI trends across various regions of Iran, a comprehensive, multi-temporal scales (monthly, seasonal, and overall) analysis for the unique and sensitive coastal-desert ecosystems of Hormozgan Province in southern Iran has been largely overlooked. This research aims to fill this knowledge gap. The specific objectives of this study are: (1) to analyze the spatio-temporal trends of NDVI in Hormozgan Province from 2000 to 2018; (2) to assess and compare these trends on seasonal and monthly scales to understand the underlying dynamics; and (3) to identify and map the "hotspots" of areas of significant vegetation gain (greening) and loss (browning).

Materials and Methods

The study was conducted in Hormozgan Provincein southern Iran, bordering the Persian Gulf and the Oman Sea. The region is characterized by a hot and arid to semi-arid climate, with low, irregular annual rainfall (<200 mm) and high temperatures, making water availability the primary limiting factor for plant growth. To analyze vegetation dynamics, this study utilized the MODIS NDVI product (MOD13Q1, Collection 6) with a spatial resolution of 250 meters and a 16-day temporal resolution. A complete time series spanning 19 years, from January 2000 to December 2018, was acquired and processed via or through the Google Earth Engine platform. The core of the methodology involved a per-pixel trend analysis using two robust non-parametric statistical methods. The Mann-Kendall (MK) test was employed to detect the presence and statistical significance of monotonic trends (upward or downward) in the NDVI time series. The MK test is advantageous as it does not require the data to be normally distributed and is insensitive to outliers. Subsequently, the Sen's Slope Estimator was used to quantify the magnitude (rate of change) of the identified trends. These analyses were performed systematically for each pixel across the entire province for the overall, seasonal, and monthly time series to generate comprehensive trend maps using the R software framework or platform.

Results and Discussion

The analysis revealed a complex and alarming dual pattern of vegetation change across Hormozgan Province. The overall trend from 2000-2018 was dominated by a widespread and statistically significant "browning" (negative NDVI trend), indicating extensive vegetation degradation, particularly concentrated in the western and central inland areas. In contrast, a smaller, localized but significant "greening" (positive NDVI trend) was observed, primarily in the southeastern coastal strip and some eastern highlands. The seasonal analysis uncovered critical dynamics. Summer (June-August) was identified as the period of most intense degradation, with a homogenous and severe browning trend covering nearly the entire province, driven by extreme heat and water stress. In contrast, spring (March-May) was a period of relative stability with no significant widespread trends. Autumn (September-November) displayed a distinct east-west divide: the western half continued its degradation trend, while the eastern half experienced significant greening, clearly linked to the moisture provided by the summer monsoon system. Most paradoxically, winter (December-February), the region's primary rainy season, exhibited a

widespread and significant browning trend. This counter-intuitive finding suggests that the effectiveness of winter precipitation in promoting vegetation growth has declined over the study period, potentially due to factors like rising winter temperatures increasing evapotranspiration, shifts in rainfall patterns, or intensified human pressures such as overgrazing. The monthly analysis confirmed that the most critical period of degradation occurs from May to July, peaking in June. The winter degradation was most pronounced in December, January, and February. These findings suggest that the ecosystem is under severe pressure, with its resilience declining even during the traditional growing season. The spatial concentration of browning in western and central Hormozgan aligns with areas experiencing greater agricultural pressure and groundwater over-extraction, while the resilience in the southeast may be linked to unique ecosystems like mangrove forests.

Conclusion

This study provides a detailed and concerning assessment of vegetation dynamics in Hormozgan Province, revealing a dominant and accelerating trend of degradation (browning). The key finding is that the ecological balance is shifting towards a net loss of vegetation biomass, underscored by the paradoxical discovery of a significant declining trend during the winter rainy season. This phenomenon is a powerful indicator of fundamental shifts in regional climate patterns and signals a serious threat to water security, agricultural productivity, and the overall ecosystem stability of the province. The results have critical implications for policy and natural resource management. The identified spatio-temporal patterns demonstrate that one-size-fits-all management strategies are destined to fail. An urgent shift towards adaptive, location-specific, and evidence-based interventions is required, prioritizing the vulnerable western and central “hotspots” of degradation. Proactive strategies to mitigate the declining effectiveness of winter rainfall, such as integrated water resource management and promoting drought-resistant vegetation, are essential. This research serves as a scientific baseline and a call to action to implement sustainable land management policies to prevent the observed trends from becoming irreversible and to bolster the ecological resilience of this fragile region against future challenges.

Keywords: Greening and Browning, Land Degradation, Mann-Kendall Test, Remote Sensing, Arid Ecosystems.

مجله اکوهیدرولوژی
انتشارات دانشگاه تهران
شاپای الکترونیکی: ۶۱۰۱-۲۴۲۳
سایت نشریه: https://ije.ut.ac.ir

پایش الگوهای تخریب و بازیابی پوشش گیاهی با استفاده از سری زمانی NDVI در استان هرمزگان

معصومه فروزان فرد[۱]، ام‌البنین بذرافشان[۲*]، یحیی اسماعیل‌پور[۳]، حسین زمانی[۴]، مجتبی محمدی[۵]

۱. دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندر عباس، ایران. رایانامه: forozanfard@gmail.com

۲. نویسندهٔ مسئول، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندر عباس، ایران. رایانامه: o.bazrafshan@hormozgan.ac.ir.

۳. گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندر عباس، ایران. رایانامه: yahya98uni@gmail.com

۴. گروه آمار، دانشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندر عباس، ایران. رایانامه: zamani.huni@hormozgan.ac.ir

۵. گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکدهٔ علوم محیطی، برنامه‌ریزی و توسعهٔ پایدار، دانشگاه سراوان، سیستان و بلوچستان، ایران. رایانامه: m.mohamadi@saravan.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۰۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۱۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
سنجش از دور،
آزمون من ـ کندال،
سبز شدن و قهوه‌ای شدن،
تخریب سرزمین،
اکوسیستم‌های خشک.

چکیده

موضوع: این پژوهش به ارزیابی الگوهای مکانی ـ زمانی تخریب و بازیابی پوشش گیاهی در اکوسیستم‌های خشک و شکنندهٔ استان هرمزگان می‌پردازد.

هدف: هدف اصلی این تحقیق، تحلیل روند تغییرات شاخص تفاضل نرمال‌شدهٔ پوشش گیاهی (NDVI) در مقیاس‌های زمانی کلی، فصلی و ماهانه طی دورهٔ ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ و شناسایی کانون‌های اصلی افزایش (سبز شدن) و کاهش (قهوه‌ای شدن) پوشش گیاهی در سطح استان بود.

روش تحقیق: در این مطالعه از داده‌های سری زمانی ۱۹ساله شاخص NDVI محصول MOD13Q1 با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر استفاده شد. برای تحلیل روند در هر پیکسل، از آزمون ناپارامتریک من ـ کندال (Mann-Kendall) برای تشخیص وجود روند معنادار و از برآوردگر شیب سن (Sen's Slope) برای تعیین شدت تغییرات بهره گرفته شد. تمامی تحلیل‌ها در نرم‌افزار R انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان‌دهندهٔ حاکمیت یک روند کاهشی گسترده (قهوه‌ای شدن) در نواحی غربی و مرکزی استان است. تحلیل فصلی، یک پارادوکس کلیدی را آشکار ساخت: روند تخریب نه تنها در فصل گرم و خشک تابستان، بلکه به طور معناداری در فصل مرطوب زمستان نیز رخ داده است. در مقابل، فصل پاییز الگویی دوگانه از خود نشان داد که در آن نیمهٔ شرقی استان به دلیل تأثیر بارش‌های موسمی، روند افزایشی (سبز شدن) قابل توجهی را تجربه کرده است. ماه‌های ژوئن و ژوئیه به عنوان بحرانی‌ترین دورهٔ تخریب و ماه‌های اوت و سپتامبر به عنوان تنها دورهٔ بازیابی معنادار (محدود به شرق استان) شناسایی شدند.

نتایج: اکوسیستم استان هرمزگان تحت یک روند تخریب فزاینده قرار دارد و موازنهٔ اکولوژیک به سمت کاهش زیست‌تودهٔ گیاهی در حال تغییر است. کشف روند کاهشی در فصل بارش زمستان، زنگ خطری جدی برای امنیت آبی و پایداری زیستی منطقه است و بر لزوم اتخاذ راهبردهای مدیریتی تطبیقی، مکان‌محور و مبتنی بر شواهد علمی برای مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم و جلوگیری از تغییرات غیرقابل بازگشت تأکید دارد.

استناد: فروزان فرد، معصومه؛ بذرافشان، ام‌البنین، اسماعیل‌پور، یحیی؛ زمانی، حسین؛ محمدی، مجتبی. (۱۴۰۵). پایش الگوهای تخریب و بازیابی پوشش گیاهی با استفاده از سری زمانی NDVI در استان هرمزگان. *مجلهٔ اکوهیدرولوژی*، ۱۳(۱)، ۱۱۶۳ ـ ۱۱۸۵.
https://doi.org/10.22059/ije.2025.404133.1890
ناشر: انتشارات دانشگاه تهران. © بهزاد خدائی، رحیم باقری، سمیه زارعی.

مقدمه

پوشش گیاهی به عنوان یکی از مؤلفه‌های حیاتی اکوسیستم‌های خشکی و شاخصی کلیدی برای سنجش سلامت اکولوژیکی، نقشی اساسی در سیستم اقلیمی زمین ایفا می‌کند (جیا و همکاران، ۲۰۲۴؛ رحمان و همکاران، ۲۰۲۵) و بر تبادل انرژی، آب و کربن بین اتمسفر و سطح زمین تأثیر مستقیم دارد (دهام و همکاران، ۲۰۱۸). با این‌حال، پدیده‌هایی همچون تخریب سرزمین و بیابان‌زایی که فرایندهایی هم‌زمان و مرتبط با مناطق خشک هستند، به عنوان یک مانع جدی بر سر راه توسعهٔ پایدار و تهدیدی برای امنیت غذایی جهانی شناخته می‌شوند (نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۷؛ حجازی‌زاده و سنبلی، ۱۴۰۱). با توجه به اینکه تغییرات اقلیمی جهانی در حال شتاب گرفتن است و پدیده‌هایی مانند افزایش دما و نوسانات شدید بارش، الگوهای رشد گیاهان را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (جیا و همکاران، ۲۰۲۴؛ کفایت مطلق و مسعودیان، ۱۳۹۶؛ دستیگردی و همکاران، ۱۴۰۱)، درک پویایی اکولوژیکی پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به یک حوزهٔ مطالعاتی حیاتی تبدیل شده است (الحربی و همکاران، ۲۰۲۴). خشکسالی به عنوان یک عامل مهم در تعیین کمیت و کیفیت پوشش گیاهی شناخته می‌شود (فیضی و همکاران، ۲۰۲۲) و از این‌رو، بررسی تأثیرات آن بر پوشش گیاهی برای پیش‌بینی تهدیدهای بالقوه و برنامه‌ریزی جهت سازگاری، امری ضروری است (جیا و همکاران، ۲۰۲۴؛ دهام و همکاران، ۲۰۱۸؛ رحمان و همکاران، ۲۰۲۵).

برای پایش و سنجش کمی تغییرات منطقه‌ای در پوشش گیاهی، محققان به طور گسترده از روش‌های سنجش از دور استفاده می‌کنند (دهام و همکاران، ۲۰۱۸)، زیرا این فناوری امکان نظارت کارآمد، تکرارپذیر و سریع بر تغییرات در مقیاس‌های بزرگ را ممکن می‌سازد (فیضی و همکاران، ۲۰۲۲؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹). استفاده از فناوری‌های اطلاعات مکانی در مطالعات داخلی نیز به عنوان ابزاری مهم برای ارزیابی و کنترل تخریب سرزمین به کار گرفته شده است (نیک‌پور، کریمیان اقبال و ملکیان، ۱۳۹۷؛ فولادی دوقزلو و صیادی، ۱۴۰۱). در این‌میان، شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی[1] برای چندین دهه به عنوان یک معیار پرکاربرد و قابل اعتماد برای ارزیابی پویایی پوشش گیاهی شناخته شده است (دهام و همکاران، ۲۰۱۸؛ رحمان و همکاران، ۲۰۲۵؛ نیک‌پور، کریمیان اقبال و ملکیان، ۱۳۹۷). این شاخص که از داده‌های ماهواره‌ای مختلفی نظیر MODIS استخراج می‌شود (فیضی و همکاران، ۲۰۲۲؛ رحمان و همکاران، ۲۰۲۵)، نه تنها برای مطالعه تغییرات مکانی ـ زمانی به کار می‌رود، بلکه به دلیل همبستگی بالا با سلامت و رشد گیاهان، اغلب به عنوان معیاری برای بهره‌وری پوشش گیاهی در نظر گرفته می‌شود (جیا و همکاران، ۲۰۲۴) و داده‌های سری زمانی آن به طور گسترده در کاربردهای اقلیمی ـ زیست‌محیطی در ایران مورد استفاده قرار گرفته‌اند (فولادی دوقزلو و صیادی، ۱۴۰۱؛ دستیگردی، فتاحی و مسعودیان، ۱۴۰۱).

به منظور درک عمیق‌تر پویایی پوشش گیاهی، تحلیل روند سری‌های زمانی بلندمدت داده‌های NDVI امری ضروری است. در این زمینه، آزمون من ـ کندال[2] به عنوان یک روش ناپارامتریک که نیازی به پیروی داده‌ها از توزیع خاصی ندارد و تحت تأثیر داده‌های پرت قرار نمی‌گیرد، برای آزمون معناداری روند در سری‌های زمانی بلندمدت بسیار مناسب است (جیا و همکاران، ۲۰۲۴؛ فیضی و همکاران، ۲۰۲۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۷). این روش به همراه برآوردگر شیب سن[3] که نرخ تغییرات را محاسبه می‌کند (جیا و همکاران، ۲۰۲۴)، به یک رویکرد استاندارد در مطالعات تحلیل روند در ایران تبدیل شده است (فولادی دوقزلو و صیادی، ۱۴۰۱؛ کفایت مطلق و مسعودیان، ۱۳۹۶؛ دستیگردی، فتاحی و مسعودیان، ۱۴۰۱).

پژوهشگران متعددی در ایران با استفاده از داده‌های سنجش از دور و روش‌های تحلیل روند، به بررسی پویایی پوشش گیاهی در مناطق مختلف کشور پرداخته‌اند که نتایج پژوهش آن‌ها نشان‌دهندهٔ الگوهای مکانی پیچیده و اغلب متضاد است. نیک‌پور و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از روش رگرسیون خطی کلاسیک، روند تغییرات NDVI را در استان ایلام بررسی کردند و نشان دادند کانون بیشترین روند کاهشی (تخریب سرزمین) در نیمهٔ غربی استان متمرکز است، در حالی که مناطق مرکزی و شرقی روند افزایشی را تجربه کرده‌اند.

1 NDVI
2 Mann-Kendall
3 Sen's Slope

کامل نارستان و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای بر منطقهٔ پخش سیلاب کلاته سادات سبزوار، با استفاده از تصاویر لندست دریافتند که اراضی با پوشش خوب و بسیار خوب افزایش مساحت داشته‌اند، که نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت اقدامات مدیریتی در سطح محلی است. در مقابل، حجازی‌زاده و سنبلی (۱۴۰۱) در شهرستان ملارد با تحلیل داده‌های MODIS طی دورهٔ ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۷، روند کاهشی معناداری را در ماه‌های اوج رشد گیاهی مشاهده کردند که به افزایش حدود ۹ کیلومتر مربع اراضی بایر در هر ۶ سال منجر شده است. این مطالعه به‌خوبی ارتباط مستقیم بین کاهش پوشش گیاهی و چالش‌های توسعهٔ پایدار مانند افزایش خطر سیل و آلودگی هوا را نشان داد. فولادی دوقزلو و صیادی (۱۴۰۱) با بهره‌گیری از آزمون من ـ کندال، روند افزایشی کلی NDVI را در حوضهٔ هامون ـ جازموریان شناسایی و آن را به افزایش بارش نسبت دادند. دستیگردی و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای گسترده در شمال شرق ایران، نشان دادند ۵۶ درصد از مساحت منطقه دارای روند کاهشی است و ارتباط معناداری بین روند تغییرات و ارتفاع وجود دارد؛ به طوری که سبزینگی معنادار در ارتفاعات بالای ۲۰۳۰ متر و روند قهوه‌ای شدن در اراضی پست‌تر از ۶۷۰ متر رخ داده است. در نهایت، کفایت مطلق و مسعودیان (۱۳۹۶) در یک مطالعهٔ سراسری، نشان دادند کمربندهای ارتفاعی خاصی در ایران دارای روند مثبت معنادار NDVI هستند و هیچ کمربند ارتفاعی روند منفی معناداری را در سطح ملی نشان نمی‌دهد.

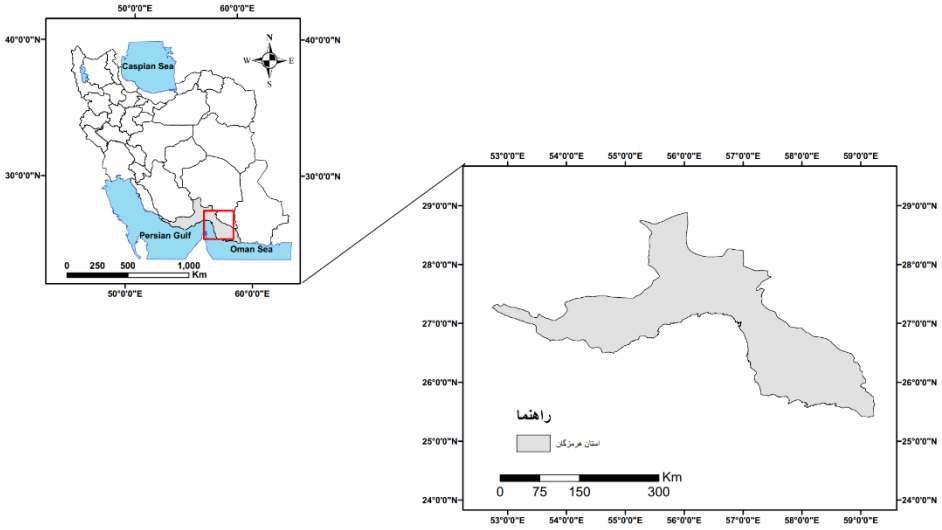
این مطالعات متعدد، با وجود آنکه تصویری ارزشمند و دقیق از پویایی پوشش گیاهی در مناطق مختلف ایران از جمله کوه‌های زاگرس، حوضه‌های شرقی و دشت‌های مرکزی ارائه می‌دهند، اما خلأ یک تحلیل جامع و چندمقیاسی (ماهانه، فصلی و کلی) را در یکی از حساس‌ترین اکوسیستم‌های کشور، یعنی مناطق ساحلی ـ بیابانی جنوب، برجسته می‌سازند. استان هرمزگان، به دلیل حساسیت بالا به تغییرات اقلیمی، آسیب‌پذیری اکولوژیکی و اکوسیستم‌های منحصربه‌فرد خود (علی و همکاران، ۲۰۲۳؛ رحمان و همکاران، ۲۰۲۵؛ سان و همکاران، ۲۰۱۵)، کمتر مورد توجه تحلیل‌های روند چندمقیاسی قرار گرفته است. درک پویایی پوشش گیاهی در چنین منطقه‌ای برای برنامه‌ریزی و اجرای استراتژی‌های سازگاری با تغییرات اقلیمی حیاتی است (دهام و همکاران، ۲۰۱۸). بر این‌اساس و در ادامهٔ پژوهش‌های پیشین، هدف اصلی این تحقیق، تحلیل روند مکانی ـ زمانی تغییرات پوشش گیاهی (NDVI) در استان هرمزگان با استفاده از آزمون من ـ کندال است. بر این‌اساس، اهداف این تحقیق شامل تعیین روند کلی تغییرات NDVI طی دهه‌های اخیر، ارزیابی و مقایسهٔ روندهای فصلی و ماهانه برای درک بهتر پویایی‌های گیاهی، و درنهایت شناسایی و نقشه‌سازی کانون‌های اصلی روند افزایشی (سبز شدن[۴]) یا کاهشی (قهوه‌ای شدن[۵]) است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

استان هرمزگان در جنوب ایران بین عرض‌های جغرافیایی ´۲۴ °۲۵ تا ´۵۷ °۲۸ شمالی و طول‌های جغرافیایی ´۴۱ °۵۳ تا ´۱۵ °۵۹ شرقی واقع شده است (شکل ۱). این استان با خط ساحلی به طول تقریبی ۹۰۰ کیلومتر در امتداد خلیج فارس و دریای عمان، از موقعیتی استراتژیک برخوردار است. توپوگرافی منطقه دارای تنوع قابل توجهی بوده و از مناطق کوهستانی متأثر از رشته‌کوه‌های زاگرس در شمال و شمال شرق تا دشت‌های پست ساحلی در جنوب امتداد می‌یابد. اقلیم حاکم بر استان، گرم و خشک تا نیمه‌خشک است که با میانگین دمای سالانه حدود ۲۷ درجهٔ سانتی‌گراد و بارش سالانه نامنظم و اندک (کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر) مشخص می‌شود. این شرایط، دسترسی به آب را به اصلی‌ترین عامل محدودکنندهٔ رشد گیاهی تبدیل کرده است. در نتیجه، پوشش گیاهی منطقه عمدتاً از گونه‌های مقاوم به خشکی و شوری تشکیل شده و شامل مراتع بیابانی و اکوسیستم‌های منحصربه‌فرد جنگل‌های حرا (مانگرو) با گونهٔ غالب *Avicennia marina* می‌شود. حساسیت بالای این اکوسیستم‌های شکننده به نوسانات اقلیمی، دلیل اصلی انتخاب این استان برای تحلیل روند تغییرات پوشش گیاهی است.

4 Greening
5 Browning



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان هرمزگان در ایران

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش، برای پایش و تحلیل روند مکانی ـ زمانی تغییرات پوشش گیاهی، از سری زمانی داده‌های شاخص تفاضل نرمال‌شدهٔ پوشش گیاهی (NDVI) محصول MOD13Q1 نسخهٔ ۶ استفاده شد. این داده‌ها توسط سنجندهٔ MODIS، که به عنوان بخشی از سیستم رصد زمین ناسا[6] روی ماهوارهٔ Terra نصب شده است، جمع‌آوری می‌شوند. محصول MOD13Q1 دارای قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و قدرت تفکیک زمانی ۱۶روزه است. هر فایل اصلی این محصول، که به آن ترکیبی گفته می‌شود، حاوی بهترین مقدار NDVI برای هر پیکسل در یک دورهٔ ۱۶روزه است تا اثراتی مانند پوشش ابر به حداقل برسد.

بازهٔ زمانی مورد استفاده در این پژوهش، دورهٔ ۱۹ساله از ژانویه ۲۰۰۰ تا دسامبر ۲۰۱۸ را برای استان هرمزگان در بر می‌گیرد. این محصول به دلیل کیفیت رادیومتریک بالا، تصحیحات اتمسفری انجام‌شده و قابلیت اطمینان اثبات‌شده در پایش تغییرات پوشش گیاهی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به عنوان منبع اصلی داده انتخاب شد. اگرچه داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی بالاتر مانند لندست (۳۰ متر) نیز در دسترس هستند، اما با توجه به هدف اصلی این پژوهش که تحلیل روند در مقیاس‌های زمانی ماهانه و فصلی در یک بازهٔ بلندمدت ۱۹ساله بود، محصول MODIS به دلیل قدرت تفکیک زمانی بسیار برتر (سری زمانی ترکیبی ۱۶روزه) و ایجاد یک آرشیو داده‌ای یکپارچه و پیوسته، به عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب شد. این تفکیک زمانی بالا برای شناسایی دقیق دینامیک‌های فصلی و ماهانه ضروری است. شاخص NDVI بر اساس تفاوت بازتاب سطوح در باندهای قرمز (Red) و فروسرخ نزدیک (NIR) محاسبه می‌شود. این شاخص از این اصل بهره می‌برد که کلروفیل موجود در پوشش گیاهی سالم، بخش زیادی از تابش در طیف قرمز را برای فتوسنتز جذب می‌کند و هم‌زمان، ساختار سلولی برگ‌ها بخش زیادی از تابش در طیف فروسرخ نزدیک را بازتاب می‌دهد (بناری و همکاران، ۱۹۹۵). فرمول کلی این شاخص به صورت رابطهٔ ۱ است:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (۱)$$

داده‌های مورد نیاز از طریق سامانه گوگل ارث انجین دریافت و پردازش شدند که داده‌های خود را از مرکز بایگانی فعال توزیع‌شده فرایندهای زمینی ناسا (LP DAAC) فراخوانی می‌کند. با توجه به شرایط اقلیمی عمدتاً بدون ابر در استان هرمزگان در بیشتر ایام سال، این محصول برای اهداف این پژوهش بسیار مناسب ارزیابی می‌شود (دهام، الجمیلی و التمیمی، ۲۰۱۸).

6 EOS

تحلیل روند با آزمون من ــ کندال

آزمون من ـ کندال یک روش ناپارامتریک است که به طور گسترده برای تشخیص روندهای معنادار در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و اقلیمی استفاده می‌شود (من، ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۷۵). این آزمون در مقایسه با روش‌های پارامتریک، مزیت‌های قابل توجهی دارد، از جمله عدم نیاز به نرمال بودن توزیع داده‌ها و مقاومت در برابر تأثیر مقادیر پرت (یو و همکاران، ۲۰۰۲). به همین‌دلیل، آزمون من ـ کندال به عنوان یک روش استاندارد برای تحلیل روند در مطالعات سنجش از دور و پایش تغییرات پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این آزمون، فرض صفر (H_0) بیانگر نبود روند در سری زمانی است، در حالی که فرض مقابل (H_1) نشان‌دهندهٔ وجود روند (صعودی یا نزولی) است. آمارهٔ آزمون من ـ کندال (S) از طریق رابطهٔ ۲ محاسبه می‌شود:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \operatorname{sgn}(x_j - x_i) \qquad (۲)$$

که در آن n تعداد مشاهدات در سری زمانی، x_i و x_j به‌ترتیب مقادیر داده در زمان‌های (i و j) i < j هستند و تابع sgn به صورت رابطهٔ ۳ تعریف می‌شود:

$$\operatorname{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1, & \text{if } x_j - x_i > 0 \\ 0, & \text{if } x_j - x_i = 0 \\ -1, & \text{if } x_j - x_i < 0 \end{cases} \qquad (۳)$$

برای سری‌های زمانی با تعداد مشاهدات بیشتر از ۱۰ (n > ۱۰)، آمارهٔ S تقریباً دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس رابطهٔ ۴ است:

$$\operatorname{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{m} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \qquad (۴)$$

که در آن m تعداد گروه‌های داده‌های تکراری و t_i تعداد داده‌ها در گروه i ام است. در صورتی که داده‌های تکراری وجود نداشته باشد، جملهٔ دوم در صورت کسر حذف می‌شود.

سپس آمارهٔ استاندارد Z به صورت رابطهٔ ۵ محاسبه می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}, & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}, & \text{if } S < 0 \end{cases} \qquad (۵)$$

در سطح معناداری α (معمولاً ۰/۰۵)، اگر $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$ باشد، فرض صفر رد می‌شود و وجود روند معنادار در سری زمانی تأیید می‌شود. مقدار مثبت Z نشان‌دهندهٔ روند صعودی و مقدار منفی Z بیانگر روند نزولی است.

علاوه بر تشخیص معناداری روند، برای تعیین شدت روند از تخمین‌گر شیب سن استفاده شد (سن، ۱۹۶۸). این تخمین‌گر، میانهٔ تمام شیب‌های خط بین جفت نقاط در سری زمانی را محاسبه می‌کند و به صورت رابطهٔ ۶ بیان می‌شود:

$$\beta = \text{Median}\left(\frac{x_j - x_i}{j - i}\right) \text{for all } i < j \qquad (۶)$$

که در آن β شیب خط روند است و مقدار مثبت آن نشان‌دهندهٔ روند افزایشی و مقدار منفی آن بیانگر روند کاهشی در سری زمانی است.

در این پژوهش، آزمون من ـ کندال و تخمین‌گر شیب سن برای هر پیکسل در سری‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه NDVI در استان هرمزگان طی دورهٔ ۲۰۰۰ ـ ۲۰۱۸ اجرا شد. این تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار R و بسته‌های trend و raster انجام گرفت.

نتایج

تحلیل مکانی روند تغییرات پوشش گیاهی در کل سری زمانی (۲۰۰۰ ـ ۲۰۱۸)

نتایج حاصل از تحلیل روند مکانی تغییرات شاخص پوشش گیاهی به صورت پیکسل به پیکسل برای کل دورهٔ مطالعاتی (۲۰۰۰ ـ ۲۰۱۸) در شکل ۲ ارائه شده است. این شکل شامل نقشه‌های شیب سن برای نشان دادن شدت تغییرات، مقدار احتمال (p-value) برای ارزیابی معناداری آماری روند، و تای کندال (Kendall's Tau) برای نمایش جهت و قدرت روند است.

نقشهٔ مقدار احتمال (p-value) نشان می‌دهد بخش وسیعی از استان هرمزگان طی دورهٔ ۱۹ساله مورد مطالعه، تغییرات روند معناداری را تجربه کرده است. پیکسل‌های با رنگ تیره‌تر (مقادیر p-value نزدیک به صفر) نمایانگر مناطقی هستند که روند مشاهده‌شده در آن‌ها از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($p<0/05$) معنادار است. همان‌طور که در نقشه مشخص است، تقریباً تمامی پهنهٔ استان، به‌جز مناطق پراکنده‌ای که با رنگ روشن‌تر نمایش داده شده‌اند، دارای روندهای معنادار (اعم از مثبت یا منفی) بوده‌اند. این یافته نشان می‌دهد پویایی پوشش گیاهی در این منطقه به طور گسترده تحت تأثیر عوامل پایدار و بلندمدت قرار داشته است.

ترکیب نقشه‌های شیب سن و تای کندال، الگوی مکانی پیچیده‌ای از تغییرات پوشش گیاهی را آشکار می‌سازد:

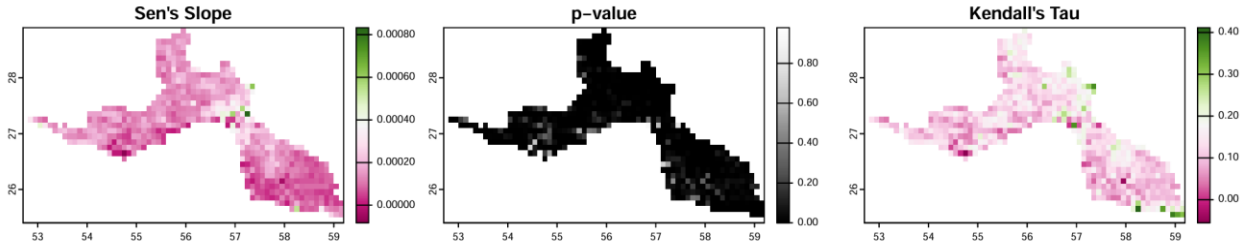
روند کاهشی: بخش غالب و گسترده‌ای از استان، به‌ویژه در نواحی مرکزی، غربی و بخش‌هایی از شمال، روند کاهشی معناداری را نشان می‌دهد. این مناطق در نقشه‌ها با رنگ‌های طیف بنفش (Magenta) مشخص شده‌اند. این روند منفی که نشان‌دهندهٔ تخریب پوشش گیاهی یا «قهوه‌ای شدن» است، در این نواحی شدت بیشتری دارد. این پدیده می‌تواند با عواملی همچون خشکسالی‌های مکرر، افزایش فشار چرای دام، توسعهٔ نامتوازن شهری و صنعتی و تخریب سرزمین در ارتباط باشد (شکل ۲).

روند افزایشی: در مقابل، لکه‌ها و مناطق مشخصی از روند افزایشی معنادار یا «سبز شدن» برخوردار بوده‌اند. این مناطق که با رنگ‌های طیف سبز در نقشه‌ها نمایش داده شده‌اند، عمدتاً در نوار ساحلی جنوب شرقی (احتمالاً منطبق بر اکوسیستم‌های جنگل حرا و مصب‌ها) و برخی نواحی مرتفع در شرق استان متمرکز شده‌اند. شدت این روند مثبت، همان‌طور که از مقادیر شیب سن (تا حدود ۰/۰۰۰۸۰ واحد NDVI در سال) پیداست، در این مناطق قابل توجه بوده و نشان‌دهندهٔ بهبود وضعیت پوشش گیاهی است. این بهبود می‌تواند ناشی از اجرای طرح‌های مدیریتی و حفاظتی، تغییرات موضعی در رژیم بارش یا پاسخ مثبت اکوسیستم‌های خاص (مانند جنگل‌های حرا) به شرایط محیطی باشد (شکل ۲).

تحلیل مکانی روند NDVI نشان می‌دهد استان هرمزگان در دورهٔ مورد مطالعه با یک الگوی دوگانه از تغییرات پوشش گیاهی مواجه بوده است: تخریب گسترده در مناطق داخلی و بهبود متمرکز در برخی اکوسیستم‌های خاص ساحلی و کوهستانی. این الگوی ناهمگون

با نتایج مطالعات منطقه‌ای در ایران که به طور همزمان پدیدهٔ بیابان‌زایی در دشت‌ها و بهبود پوشش گیاهی در برخی مناطق حفاظت‌شده را گزارش می‌دهند، همخوانی دارد (فولادی دوغزلو و صیادی، ۱۴۰۱؛ نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۷).

این یافته نشان می‌دهد تحلیل‌های مبتنی بر میانگین فضایی برای کل استان می‌تواند کاملاً گمراه‌کننده باشد. یک روند مثبت ضعیف در سطح کلان، لزوماً به معنای بهبود وضعیت اکوسیستم نیست؛ بلکه همان‌طور که نتایج نشان داد، این روند می‌تواند یک اثر آماری باشد که در آن، روند افزایشی شدید در مساحت‌های کوچک و متمرکز (مانند نواحی ساحلی شرقی)، روند کاهشی گسترده و معنادار در پهنه‌های وسیع‌تر (نواحی غربی و مرکزی) را پنهان یا به‌اصطلاح خنثی می‌کند. بنابراین، تحلیل پیکسل‌مبنا که در این پژوهش انجام شد، برای شناسایی کانون‌های واقعی تغییر (نقاط داغ) و جلوگیری از تفسیرهای نادرست در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و حفاظتی، امری ضروری است.



شکل ۲. توزیع مکانی نتایج تحلیل روند NDVI برای کل سری زمانی (۲۰۰۰ ـ ۲۰۱۸). نقشه (Sen's Slope) نشان‌دهندهٔ شدت تغییرات (مقادیر مثبت سبز و مقادیر منفی بنفش). نقشه (p-value) بیانگر معناداری آماری (رنگ‌های تیره نشان‌دهندهٔ روند معنادار ($p<0.05$). نقشه (Kendall's Tau) نشان‌دهندهٔ جهت و قدرت روند

تحلیل روند فصلی NDVI

به منظور درک عمیق‌تر پویایی زمانی پوشش گیاهی و شناسایی فصل‌های کلیدی که بیشترین تغییرات را تجربه کرده‌اند، تحلیل روند به تفکیک فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان انجام شد. نتایج این تحلیل در شکل ۳ ارائه شده است.

روند فصل بهار

تحلیل روند NDVI در فصل بهار، که فصل اصلی رویش در منطقه محسوب می‌شود، الگوی متفاوتی را نسبت به سایر فصل‌ها نشان می‌دهد (شکل ۳ الف). نقشهٔ مقدار احتمال (p-value) بیانگر آن است که بخش غالب استان (بیش از ۹۰ درصد مساحت) در این فصل روند معناداری را نشان نمی‌دهد (پیکسل‌های با رنگ روشن). تنها لکه‌های بسیار کوچک و پراکنده‌ای، عمدتاً در نواحی شرقی و ساحلی، روند معنادار (عمدتاً مثبت) را تجربه کرده‌اند. مقادیر شیب سن در کل منطقه بسیار نزدیک به صفر (در بازه ۰/۰۰۰۱±) است که بیانگر پایداری نسبی وضعیت پوشش گیاهی در فصل بهار طی دورهٔ ۱۹ساله مورد مطالعه است. این یافته نشان می‌دهد شرایط رشد در فصل بهار، با وجود نوسانات سالانه، یک روند بلندمدت مشخص (چه مثبت و چه منفی) را در سطح گسترده‌ای از استان ایجاد نکرده است.

روند فصل تابستان

نتایج تحلیل روند در فصل تابستان، به عنوان گرم‌ترین و خشک‌ترین فصل سال، الگوی کاملاً متضادی را با فصل بهار به نمایش می‌گذارد (شکل ۳ ب). نقشهٔ p-value نشان‌دهندهٔ وجود روند معنادار در مساحت بسیار وسیعی از استان است. نقشهٔ شیب سن به‌وضوح نشان می‌دهد روند غالب در این فصل، کاهشی و معنادار است. تقریباً تمامی پهنه‌های غربی، مرکزی و شمالی استان با پدیدهٔ «قهوه‌ای شدن» مواجه بوده‌اند. شدت این روند منفی در نواحی غربی و مرکزی بیشتر بوده و مقادیر شیب سن در این مناطق به حدود ۰/۰۰۰۶− واحد NDVI در سال می‌رسد. این روند کاهشی شدید در فصل تابستان می‌تواند بیانگر تشدید تنش آبی و حرارتی بر پوشش گیاهی طی سال‌های مورد مطالعه باشد که به خشکیدگی سریع‌تر و تخریب پوشش گیاهی در فصل گرم منجر می‌شود.

روند فصل پاییز

فصل پاییز یک الگوی مکانی دوگانه و پیچیده از تغییرات را نشان می‌دهد (شکل ۳ ج). در این فصل، هم مناطق با روند کاهشی و هم مناطق با روند افزایشی معنادار به صورت گسترده مشاهده می‌شوند.

روند کاهشی: مشابه فصل تابستان، در نواحی غربی و مرکزی، روند کاهشی معنادار با شیب سن تا حدود ۰/۰۰۰۴− واحد NDVI در سال حاکم است. این امر ممکن است نشان‌دهندهٔ ادامهٔ اثرات تنش تابستانه و تأخیر در بازیابی پوشش گیاهی باشد.

روند افزایشی: در مقابل، بخش‌های قابل توجهی از شرق استان و نوار ساحلی، روند افزایشی معناداری را با شیب مثبت تا حدود ۰/۰۰۰۵+ واحد NDVI در سال نشان می‌دهند. این «سبز شدن» پاییزی می‌تواند به بارش‌های اولیه این فصل و پاسخ مثبت اکوسیستم‌های خاص مانند جنگل‌های حرا و پوشش گیاهی مناطق مرتفع شرقی به این بارش‌ها مرتبط باشد.

روند فصل زمستان

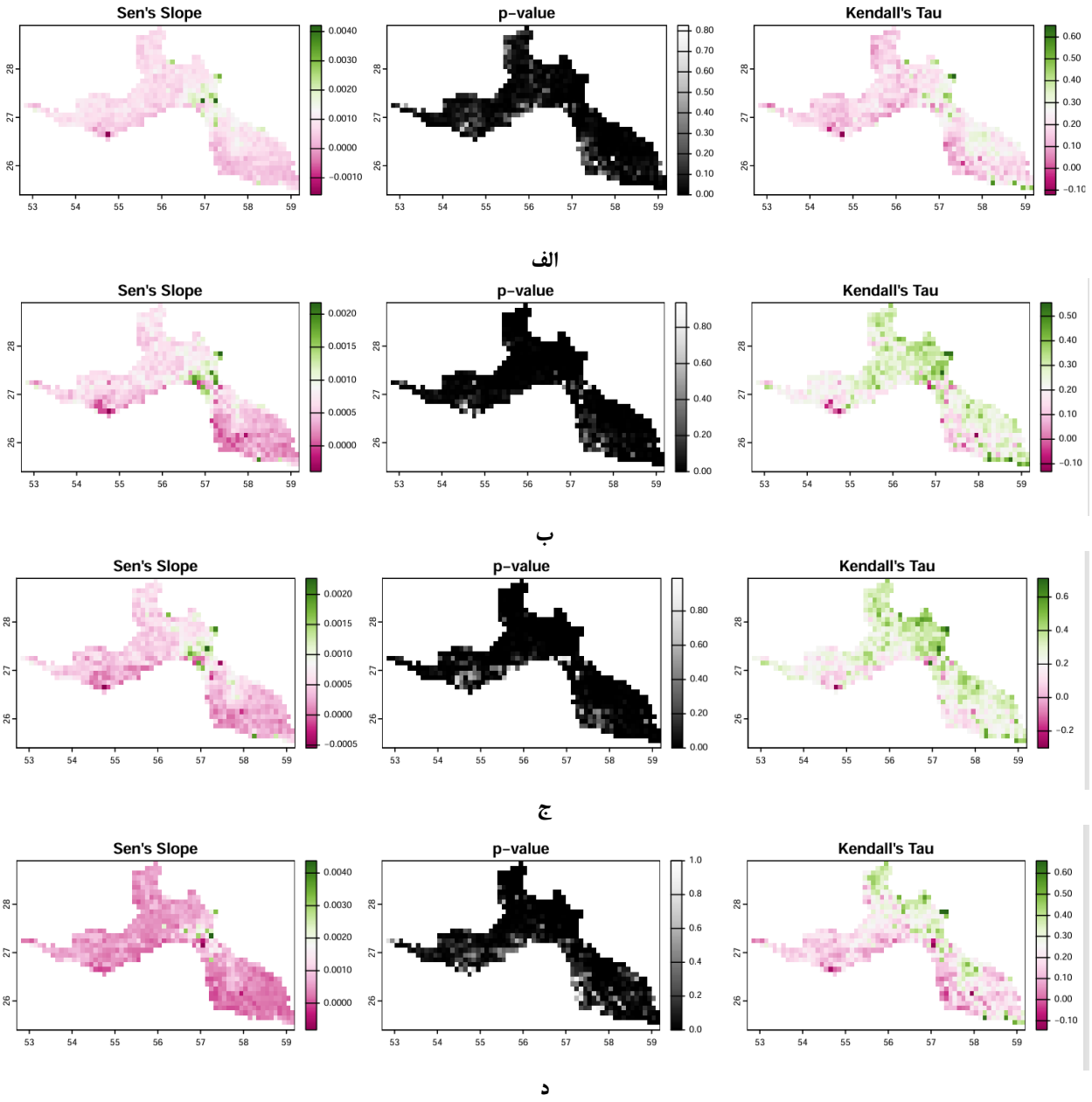
تحلیل آماری روند در فصل زمستان، به عنوان فصل اصلی بارش در منطقه، الگویی نگران‌کننده را آشکار می‌سازد که در شکل (۳ د) به صورت بصری نمایش داده شده است. نتایج آزمون من ـ کندال نشان می‌دهد بخش بزرگی از استان دارای یک روند از نظر آماری معنادار ($p<0.05$) است. همان‌طور که مقادیر شیب سن (عمدتاً در بازه ۰/۰۰۰۲− تا ۰/۰۰۰۵−) نشان می‌دهند، روند غالب در این فصل به طور گسترده کاهشی است. این یافته اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا اثبات می‌کند که حتی در فصل دریافت بارش، پوشش گیاهی استان با یک روند تخریبی معنادار مواجه است. این پدیده می‌تواند ناشی از عواملی همچون کاهش کارایی بارش، افزایش تبخیر به دلیل دماهای بالاتر از نرمال زمستانه، یا تخریب ساختار خاک باشد. با این‌حال، لکه‌های کوچکی از روند افزایشی، به‌ویژه در منتهی‌الیه جنوب شرقی (منطقه جاسک) با شیب مثبت تا ۰/۰۰۰۴+ نیز دیده می‌شود که احتمالاً به شرایط اقلیمی و اکولوژیکی موضعی آن ناحیه بازمی‌گردد.

مقایسهٔ الگوهای فصلی، دینامیک پیچیدهٔ پوشش گیاهی استان هرمزگان را آشکار می‌سازد. جدول ۱ یافته‌های کلیدی را به صورت کمی خلاصه می‌کند.

جدول ۱. تحلیل مقایسه‌ای روند تغییرات فصلی شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در استان هرمزگان

فصل	روند غالب	محدوده تقریبی شیب سن (واحد NDVI/سال)	توصیف الگوی مکانی
بهار	بدون روند معنادار	±۰/۰۰۰۱	پایداری نسبی در اکثر مناطق استان
تابستان	کاهشی معنادار	۰/۰۰۰۱− تا ۰/۰۰۰۶−	روند کاهشی گسترده، به‌ویژه در غرب و مرکز
پاییز	دوگانه (کاهشی و افزایشی)	۰/۰۰۰۴− (غرب) تا ۰/۰۰۰۵+ (شرق)	روند کاهشی در غرب و مرکز؛ روند افزایشی در شرق و سواحل
زمستان	کاهشی معنادار	۰/۰۰۰۲− تا ۰/۰۰۰۵−	روند کاهشی گسترده، با لکه‌های کوچک افزایشی در جنوب شرق

در مجموع، نتایج فصلی نشان می‌دهد فشار اصلی بر پوشش گیاهی استان در فصل‌های تابستان و زمستان متمرکز است. روند تخریبی گسترده در این دو فصل، پایداری نسبی فصل بهار را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد و بیانگر آسیب‌پذیری بالای اکوسیستم‌های منطقه در برابر تنش‌های اقلیمی و انسانی است. الگوی دوگانه در فصل پاییز نیز نشان‌دهندهٔ پاسخ متفاوت زیرسیستم‌های اکولوژیکی استان به شرایط محیطی است.



شکل ۳. تحلیل روند فصلی NDVI، الف: بهار؛ ب: تابستان؛ ج: پاییز؛ د: زمستان

تحلیل روند ماهانه NDVI

به منظور درک دقیق‌تر دینامیک درون‌سالی پوشش گیاهی و شناسایی الگوهای ظریفی که در تحلیل‌های فصلی قابل مشاهده نیستند، روند تغییرات NDVI به صورت ماه به ماه تحلیل شد. این تحلیل امکان شناسایی ماه‌های بحرانی، دوره‌های رشد و دوره‌های تخریب را طی چرخهٔ سالانه فراهم می‌آورد. نتایج این تحلیل در شکل ۴ ارائه شده است.

تحلیل ماه به ماه

ژانویه و فوریه: این دو ماه که بخش اصلی فصل مرطوب زمستان را تشکیل می‌دهند، الگوی مشابه و نگران‌کننده‌ای را نشان می‌دهند. یک روند کاهشی گسترده و معنادار ($p<0.05$) بر بخش غالب استان، به‌ویژه نواحی غربی و مرکزی، حاکم است. شدت این روند منفی

با مقادیر شیب سن (Sen's Slope) بین ۰/۰۰۰۵- تا ۰/۰۰۰۶- واحد NDVI در سال قابل توجه است. در مقابل، تنها یک لکهٔ کوچک افزایشی در منتهی‌الیه جنوب شرقی استان مشاهده می‌شود. این الگوی تخریبی در فصل بارش، نشان‌دهندهٔ تضعیف بلندمدت پوشش گیاهی در دورهٔ اصلی رویش است.

مارس و آوریل: این دو ماه که دورهٔ گذار از فصل مرطوب به خشک هستند، به عنوان دورهٔ پایداری شناخته می‌شوند. در این ماه‌ها، هیچ‌گونه روند آماری معنادار و گسترده‌ای در سطح استان مشاهده نمی‌شود و مقادیر شیب سن در کل منطقه بسیار نزدیک به صفر است. این یافته بیانگر آن است که وضعیت پوشش گیاهی در ابتدای بهار طی دورهٔ مطالعاتی به یک ثبات نسبی رسیده است.

مه: ماه مه نقطه عطفی در دینامیک سالانه و آغازگر دورهٔ بحرانی تخریب است. در این ماه، یک روند کاهشی گسترده و معنادار در بخش‌های وسیعی از استان، به‌ویژه نواحی غربی و مرکزی، ظاهر می‌شود. شدت این «قهوه‌ای شدن» با مقادیر شیب سن در محدودهٔ ۰/۰۰۰۴- تا ۰/۰۰۰۸-، بیانگر آغاز تنش شدید اقلیمی (افزایش دما و تبخیر) است.

ژوئن و ژوئیه: این دو ماه اوج دورهٔ گرما و خشکی بوده و شدیدترین و گسترده‌ترین روند کاهشی را طی سال نشان می‌دهند. تقریباً تمامی مساحت استان تحت پوشش یک روند کاهشی معنادار و شدید قرار گرفته است. شدت این روند تخریبی در نواحی غربی و مرکزی به اوج خود رسیده و مقادیر شیب سن در این مناطق به بیش از ۰/۰۰۰۷- واحد NDVI در سال می‌رسد. این الگوی همگن، واکنش سریع و منفی پوشش گیاهی به شرایط حدی تابستانه را تأیید می‌کند.

اوت و سپتامبر: این دو ماه به عنوان دورهٔ بازیابی موسمی شناخته می‌شوند و یک الگوی مکانی دوگانه و برجسته را به نمایش می‌گذارند. در حالی که نیمهٔ غربی استان همچنان روند کاهشی معنادار (با شیب تا حدود ۰/۰۰۰۶-) را تجربه می‌کند، نیمهٔ شرقی استان به طور کامل یک روند افزایشی (معنادار و قوی را با شدت بیش از ۰/۰۰۰۵+ نشان می‌دهد. این الگوی دوگانه به‌وضوح تأثیر بارش‌های موسمی تابستانه (مونسون) را که عمدتاً بخش‌های شرقی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، آشکار می‌سازد.

اکتبر: ماه اکتبر یک ماه گذار با تمایل به روند کاهشی ملایم است. الگوی «سبز شدن» قوی در شرق استان از بین رفته و یک روند کاهشی ضعیف اما گسترده در بسیاری از نقاط استان حاکم می‌شود. شدت این روند عمدتاً در بازه ۰/۰۰۰۲- تا ۰/۰۰۰۴- قرار دارد و نشان‌دهندهٔ پایان اثرات مونسون و ورود به دورهٔ خشک پاییزی است.

نوامبر: ماه نوامبر، مشابه ماه‌های مارس و آوریل، یک دورهٔ پایداری نسبی است. روند معنادار گسترده‌ای در سطح استان مشاهده نمی‌شود و الگوهای مکانی بسیار پراکنده و ضعیف هستند. این ماه به عنوان دورهٔ آرامش قبل از شروع مجدد بارش‌های زمستانه عمل می‌کند.

دسامبر: در ماه دسامبر، الگوی تخریبی زمستانه دوباره آغاز می‌شود. یک روند کاهشی معنادار، مشابه ژانویه و فوریه اما با شدت کمی کمتر، در نواحی غربی و مرکزی استان با شیب سن حدود ۰/۰۰۰۴- تا ۰/۰۰۰۵- شکل می‌گیرد. این امر چرخهٔ تخریب در فصل مرطوب را تکمیل می‌کند.

تحلیل ترکیبی و گروه‌بندی ماه‌ها

تحلیل ماه به ماه، امکان گروه‌بندی ماه‌های سال به چهار دورهٔ اکولوژیکی متمایز را فراهم می‌کند:

دورهٔ تخریب زمستانه (دسامبر، ژانویه، فوریه): این دوره به شکل نگران‌کننده‌ای با روند کاهشی گسترده در فصل اصلی بارش مشخص می‌شود که نشان‌دهندهٔ آسیب‌پذیری ساختاری اکوسیستم و یا کاهش اثربخشی بارش‌ها طی دورهٔ مورد مطالعه است.

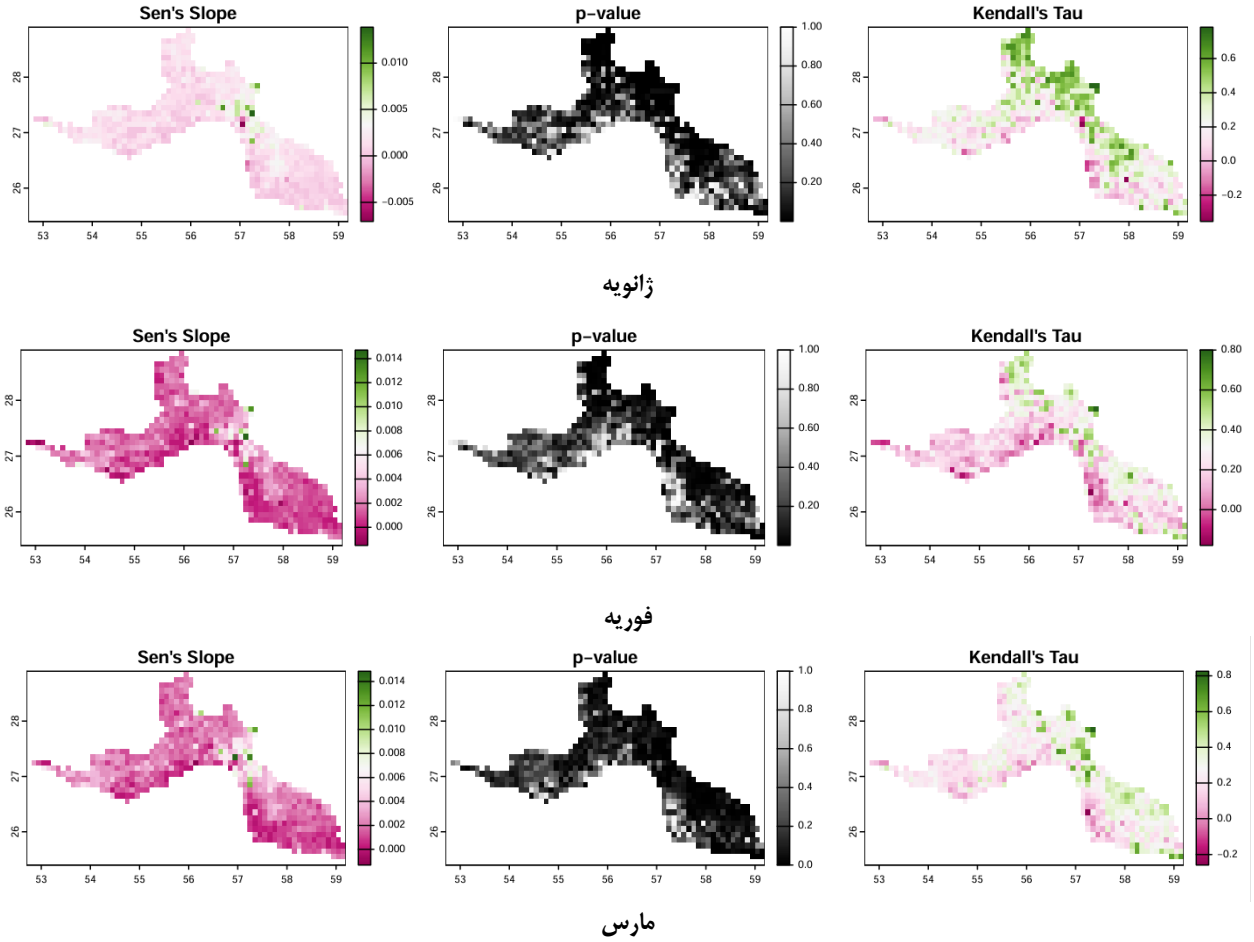
دورهٔ پایداری و گذار بهاره (مارس، آوریل): این دوره فاقد روند معنادار گسترده است و به عنوان یک دورهٔ باثبات بین فصل مرطوب و خشک عمل می‌کند.

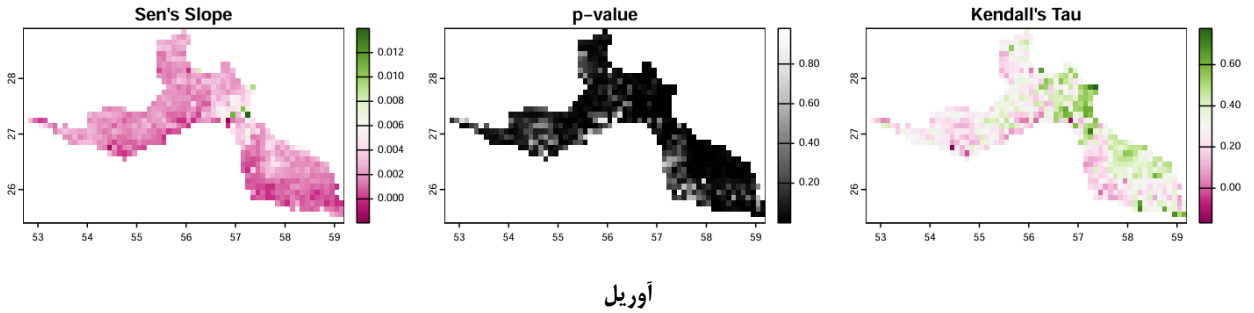
دورهٔ تخریب شدید تابستانه (مه، ژوئن، ژوئیه): این دوره با شروع از ماه مه و رسیدن به اوج در ژوئن و ژوئیه، بحرانی‌ترین دورهٔ تخریب پوشش گیاهی به دلیل تنش شدید گرما و خشکی در سراسر استان است.

دورهٔ بازیابی موسمی و گذار پاییزی (اوت، سپتامبر، اکتبر، نوامبر): این دوره پیچیده‌ترین الگو را دارد. با شروع بازیابی در شرق استان در ماه‌های اوت و سپتامبر (ناشی از مونسون)، به یک دورهٔ تخریب ملایم در اکتبر و درنهایت یک دورهٔ پایداری دیگر در نوامبر ختم می‌شود.

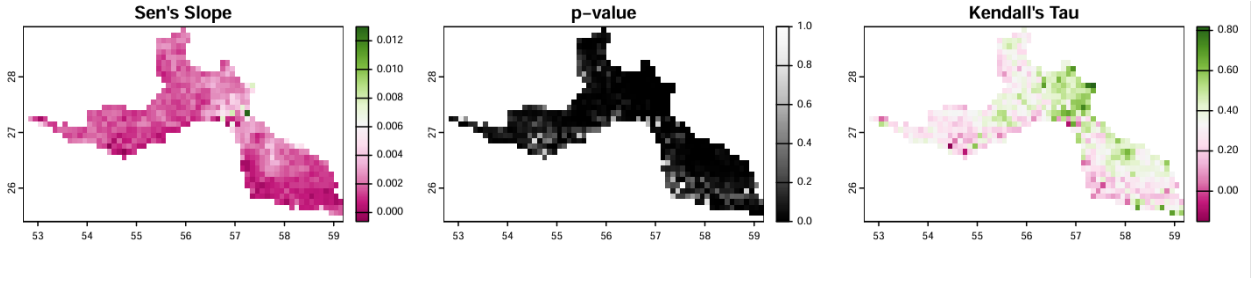
بنابراین، ماه‌های ژوئن و ژوئیه به دلیل شدت و گستردگی روند تخریب، و ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه به دلیل وقوع روند تخریب در فصل رشد، به عنوان بحرانی‌ترین ماه‌ها برای سلامت پوشش گیاهی استان هرمزگان شناسایی می‌شوند.

جدول ۲ خلاصه‌ای کمی از نتایج تحلیل روند ماهانه را ارائه می‌دهد و چرخهٔ دینامیکی پوشش گیاهی استان را طی سال به تصویر می‌کشد. این جدول به‌وضوح نشان می‌دهد اکوسیستم منطقه تحت فشارهای فصلی متمایزی قرار دارد. یافتهٔ کلیدی، وجود دو دوره تخریب اصلی است: یک دوره تخریب زمستانه (دسامبر تا فوریه) با روند کاهشی معنادار (شیب تا ۰/۰۰۰۶−) که در فصل بارش رخ می‌دهد و یک دوره تخریب شدید تابستانه (مه تا ژوئیه) که با رسیدن به شدیدترین روند کاهشی در ماه ژوئن (شیب بیش از ۰/۰۰۰۷−)، بحرانی‌ترین دورهٔ سال محسوب می‌شود. در مقابل، تنها دورهٔ بازیابی و رشد معنادار، دورهٔ موسمی (اوت و سپتامبر) است که به صورت مکانی به نیمهٔ شرقی استان محدود شده و قوی‌ترین روند مثبت (شیب تا ۰/۰۰۰۶+) را به ثبت رسانده است. دوره‌های پایداری در بهار (مارس و آوریل) و اواخر پاییز (نوامبر) نیز به عنوان فازهای گذار باثبات، این چرخهٔ پیچیده را تکمیل می‌کنند.

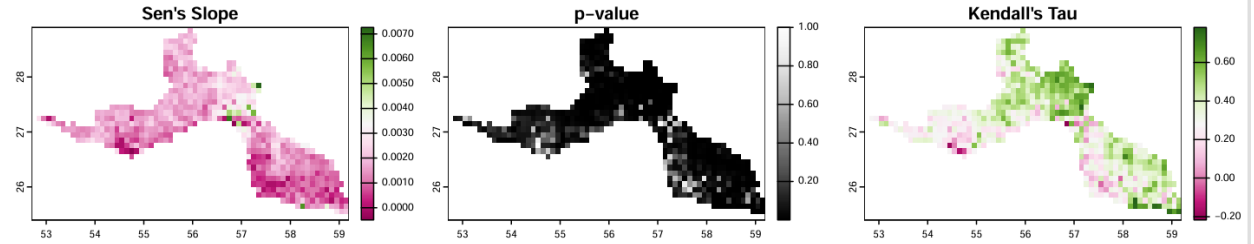




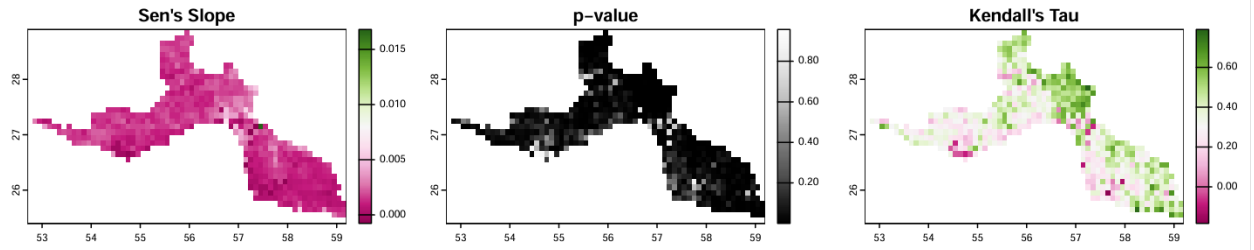
آوریل



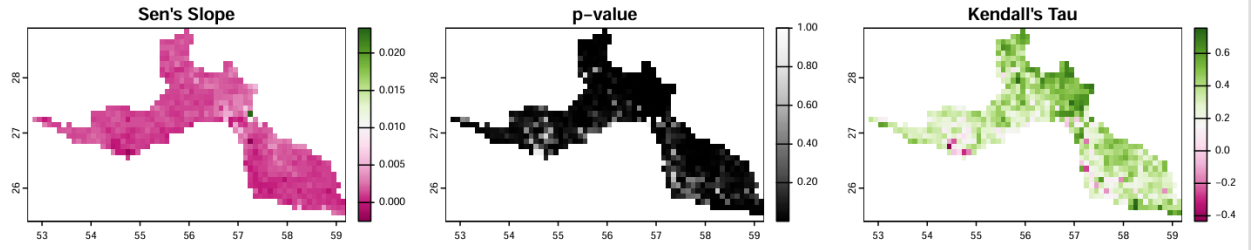
می



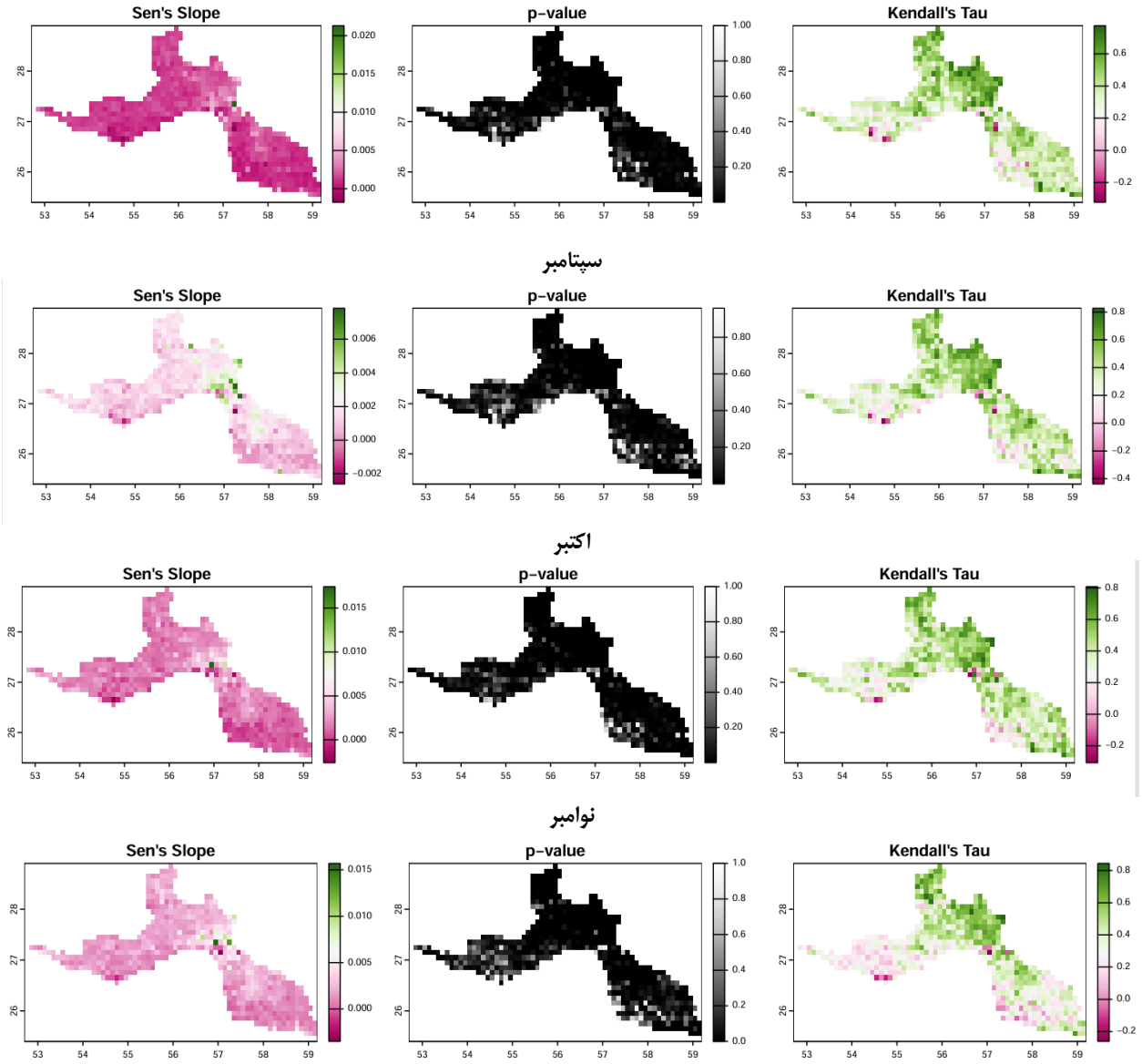
ژوئن



جولای



آگوست



شکل ۴. نتایج تحلیل روند ماهانهٔ NDVI برای ماه‌های سال

جدول ۲. خلاصهٔ نتایج تحلیل روند ماهانهٔ NDVI

ماه	روند غالب	محدودهٔ تقریبی شیب سن (واحد NDVI/سال)	توصیف الگوی مکانی کلیدی
ژانویه	کاهشی معنادار	−۰/۰۰۰۶ تا +۰/۰۰۰۴	روند کاهشی گسترده در غرب و مرکز؛ لکه افزایشی در جنوب شرق
فوریه	کاهشی معنادار	−۰/۰۰۰۵ تا +۰/۰۰۰۴	مشابه ژانویه؛ تداوم روند کاهشی گسترده
مارس	بدون روند معنادار	±۰/۰۰۰۲	پایداری نسبی در اکثر مناطق استان
آوریل	بدون روند معنادار	±۰/۰۰۰۲	تداوم پایداری نسبی قبل از شروع فصل خشک
مه	کاهشی معنادار	−۰/۰۰۰۴ تا −۰/۰۰۰۸	آغاز روند کاهشی گسترده و شدید، به‌ویژه در غرب و مرکز
ژوئن	کاهشی بسیار شدید	−۰/۰۰۰۴ تا −۰/۰۰۰۷	روند کاهشی همگن و بسیار شدید در سرتاسر استان (اوج تخریب)
ژوئیه	کاهشی شدید	−۰/۰۰۰۵ تا −۰/۰۰۰۷	تداوم روند کاهشی گسترده، به‌ویژه در نیمهٔ غربی

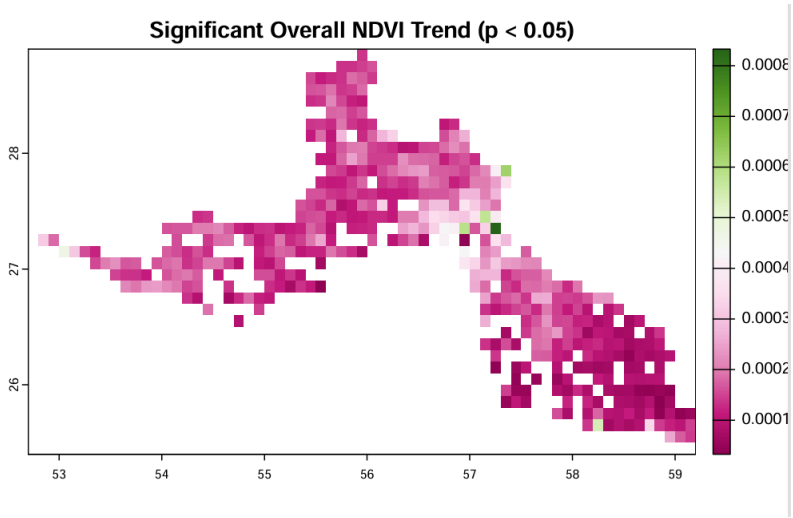
اوت	دوگانه (کاهشی/افزایشی)	۰/۰۰۰۶- (غرب) تا ۰/۰۰۰۵+ (شرق)	کاهشی در غرب؛ افزایشی قوی در شرق (اثر مونسون)
سپتامبر	دوگانه (کاهشی/افزایشی)	۰/۰۰۰۵- (غرب) تا ۰/۰۰۰۶+ (شرق)	تداوم الگوی دوگانه ماه اوت با شدت بیشتر در بخش شرقی
اکتبر	کاهشی ملایم	۰/۰۰۰۲- تا ۰/۰۰۰۴-	حاکم شدن روند کاهشی ضعیف در اکثر مناطق پس از دورهٔ مونسون
نوامبر	بدون روند معنادار	۰/۰۰۰۲±	دورهٔ پایداری نسبی قبل از شروع بارش‌های زمستانه
دسامبر	کاهشی معنادار	۰/۰۰۰۴- تا ۰/۰۰۰۵-	شروع مجدد روند کاهشی گسترده در غرب و مرکز

تحلیل فضایی روندهای معنادار

به منظور درک بهتر الگوهای مکانی تغییرات پوشش گیاهی، پیکسل‌هایی که روند تغییرات آن‌ها از نظر آماری معنادار ($p<0/05$) بوده است، استخراج و در قالب نقشه‌های مجزا تحلیل شدند. در این نقشه‌ها، مناطق سبز نمایانگر روند افزایش معنادار، مناطق صورتی/بنفش نشان‌دهندهٔ روند کاهش معنادار، و پس‌زمینهٔ سفید معرف مناطقی است که تغییرات بلندمدت قابل توجهی نداشته‌اند.

تحلیل روند کلی (دورهٔ آماری ۲۰۰۰ ــ ۲۰۱۸)

تحلیل روند کلی در بازه زمانی ۱۹ساله (شکل ۵) به‌وضوح نشان می‌دهد پدیدهٔ «قهوه‌ای شدن» روند غالب در استان هرمزگان بوده است. بخش غالب و معناداری از مساحت استان، که به طور تقریبی بیش از ۶۰ تا ۷۰ درصد آن را شامل می‌شود، روند کاهشی معنادار را به نمایش می‌گذارد. این روند کاهشی به طور مشخص در نواحی غربی و مرکزی استان متمرکز است و دشت‌ها و مناطق داخلی را به صورت گسترده تحت تأثیر قرار داده است. در مقابل، یک لکهٔ مشخص و منسجم از «سبز شدن» در نواحی جنوب شرقی استان، به‌ویژه در امتداد سواحل منطقهٔ جاسک، مشاهده می‌شود که از نظر مکانی، گسترهٔ بسیار محدودتری نسبت به روند کاهشی دارد.



شکل ۵. نقشه‌های روند معنادار سری زمانی ($p<0.05$) شاخص NDVI طی دورهٔ ۲۰۰۰ ـ ۲۰۱۸

تحلیل الگوهای فصلی معنادار

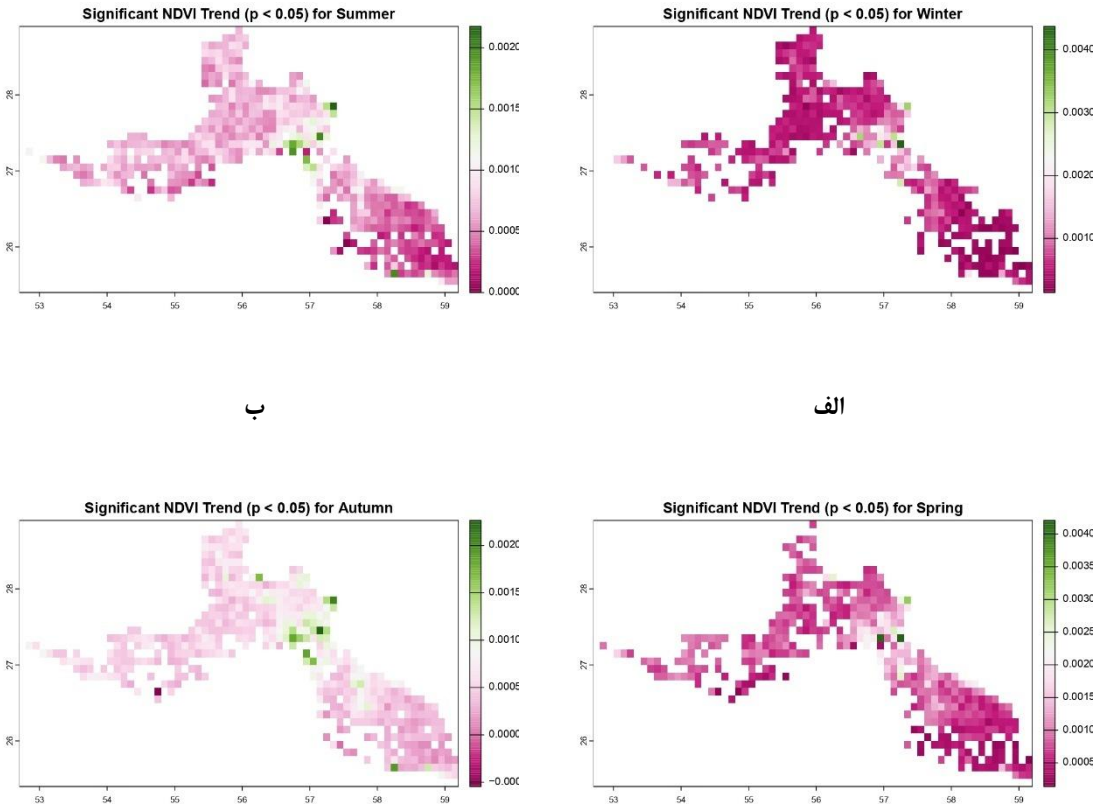
تحلیل تفکیکی فصل‌ها، دینامیک زمانی این روندها را آشکارتر می‌سازد (شکل ۶).

فصل زمستان: علی‌رغم اینکه فصل اصلی بارش منطقه است، یک الگوی گسترده و نگران‌کننده از «قهوه‌ای شدن» معنادار را به نمایش می‌گذارد. تقریباً تمام پهنهٔ استان، به‌ویژه در مناطق غربی و مرکزی، تحت پوشش این روند منفی قرار گرفته است. فقدان تقریباً کامل هرگونه روند سبز شدن در این فصل، آسیب‌پذیری بلندمدت پوشش گیاهی را حتی در دورهٔ دریافت رطوبت نشان می‌دهد.

فصل بهار: این فصل به عنوان یک دورهٔ پایداری نسبی عمل می‌کند. نقشهٔ مربوط به این فصل عمدتاً فاقد روندهای معنادار (چه سبز و چه صورتی) است. پس‌زمینهٔ سفید گسترده نشان می‌دهد برای بخش اعظم استان، تغییرات در این دوره در بلندمدت از نظر آماری معنادار نبوده‌اند و اکوسیستم به یک ثبات موقت می‌رسد.

فصل تابستان: این فصل نمایانگر اوج دورهٔ تخریب است. گسترهٔ مکانی پدیدهٔ «قهوه‌ای شدن» معنادار در این فصل به بیشترین حد خود طی سال می‌رسد و با یکنواختی قابل توجهی تقریباً تمام مساحت استان را در بر می‌گیرد. این نقشه به‌وضوح نشان‌دهندهٔ تنش شدید اقلیمی و واکنش منفی و همگن پوشش گیاهی در کل استان طی دورهٔ گرم و خشک است.

فصل پاییز: فصل پاییز متمایزترین و دوگانه‌ترین الگوی مکانی را به نمایش می‌گذارد. یک روند «سبز شدن» قوی و معنادار در نیمهٔ شرقی استان مشهود است که به‌وضوح بازتاب‌دهندهٔ تأثیر بارش‌های موسمی تابستانه و دورهٔ بازیابی پوشش گیاهی در این نواحی است. در مقابل، نیمهٔ غربی استان همچنان روند «قهوه‌ای شدن» معنادار را نشان می‌دهد که بیانگر تداوم شرایط خشک در این مناطق است.



الف ب ج د

شکل ۶. نقشه‌های روند معنادار فصلی ($p<0.05$) شاخص NDVI طی دورهٔ ۲۰۰۰ ـ ۲۰۱۸

(الف) زمستان؛ (ب) تابستان؛ (ج) بهار؛ (د) پاییز. مناطق سبز نشان‌دهندهٔ روند افزایشی و مناطق صورتی نشان‌دهندهٔ روند کاهشی هستند.

دینامیک ماهانهٔ الگوهای معنادار

تحلیل ماه به ماه (شکل ۷) جزئیات دقیق‌تری از چرخهٔ سالانهٔ تخریب و بازیابی را آشکار می‌سازد و امکان گروه‌بندی ماه‌ها بر اساس الگوهای فضایی غالب را فراهم می‌کند.

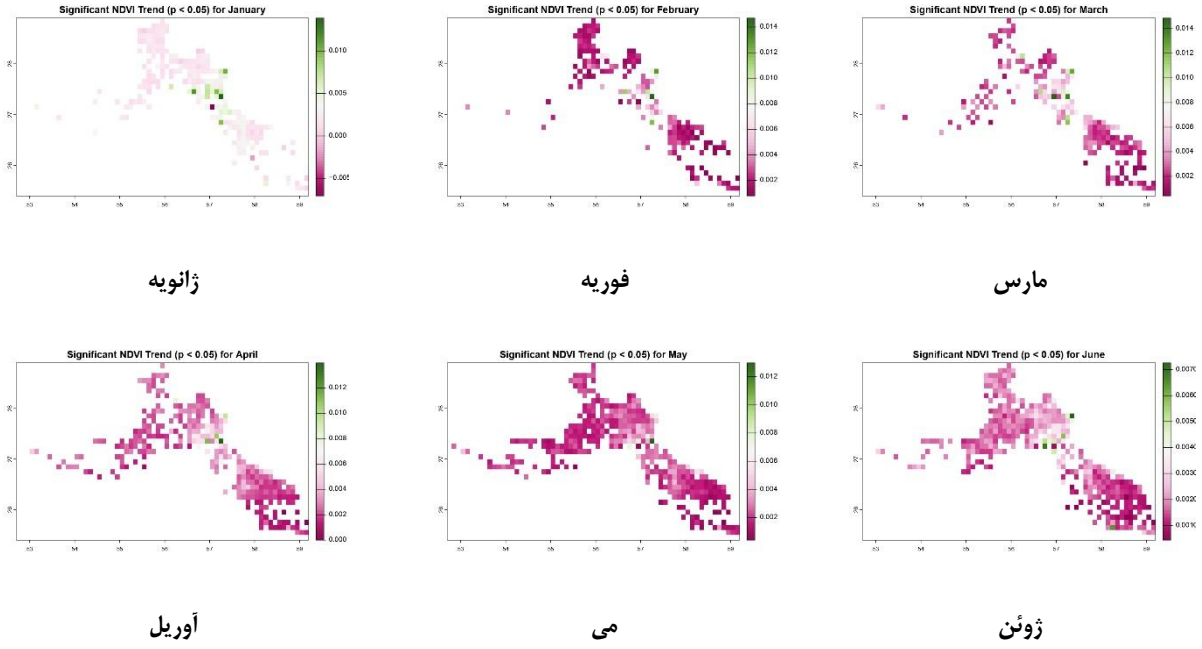
دورهٔ تخریب زمستانه (ژانویه، فوریه و دسامبر): این سه ماه، که فصل اصلی بارش منطقه هستند، به طور متناقضی یک الگوی «قهوه‌ای شدن» معنادار و گسترده را نشان می‌دهند. در ژانویه و فوریه، یک پهنهٔ وسیع کاهشی بر نیمهٔ غربی و مرکزی استان حاکم است، در حالی که یک لکهٔ کوچک اما پایدار از «سبز شدن» در منتهی‌الیه جنوب شرقی قابل مشاهده است. در ماه دسامبر، این الگوی کاهشی دوباره با گستردگی زیاد ظاهر می‌شود و چرخهٔ تخریب در فصل مرطوب را آغاز می‌کند.

دورهٔ پایداری بهاره (مارس و آوریل): این دو ماه به عنوان یک دورهٔ گذار باثبات عمل می‌کنند. نقشه‌ها در این دوره عمدتاً فاقد روندهای معنادار گسترده هستند. مساحت پیکسل‌های رنگی (چه سبز و چه صورتی) به حداقل خود طی سال می‌رسد که نشان‌دهندهٔ یک دورهٔ پایداری نسبی در اکوسیستم پیش از آغاز تنش شدید تابستانه است.

دورهٔ تخریب شدید تابستانه (مه، ژوئن و ژوئیه): این دوره با ماه مه آغاز می‌شود که در آن لکه‌های بزرگ «قهوه‌ای شدن» در مناطق غربی و مرکزی ظاهر می‌شوند. این روند در ماه ژوئن به اوج خود می‌رسد، به طوری که گسترهٔ مکانی روند کاهشی معنادار تقریباً تمام پهنهٔ استان را در بر می‌گیرد و این ماه را به بحرانی‌ترین ماه از نظر وسعت تخریب تبدیل می‌کند. در ماه ژوئیه، این الگوی کاهشی گسترده با شدت کمی کمتر همچنان ادامه دارد.

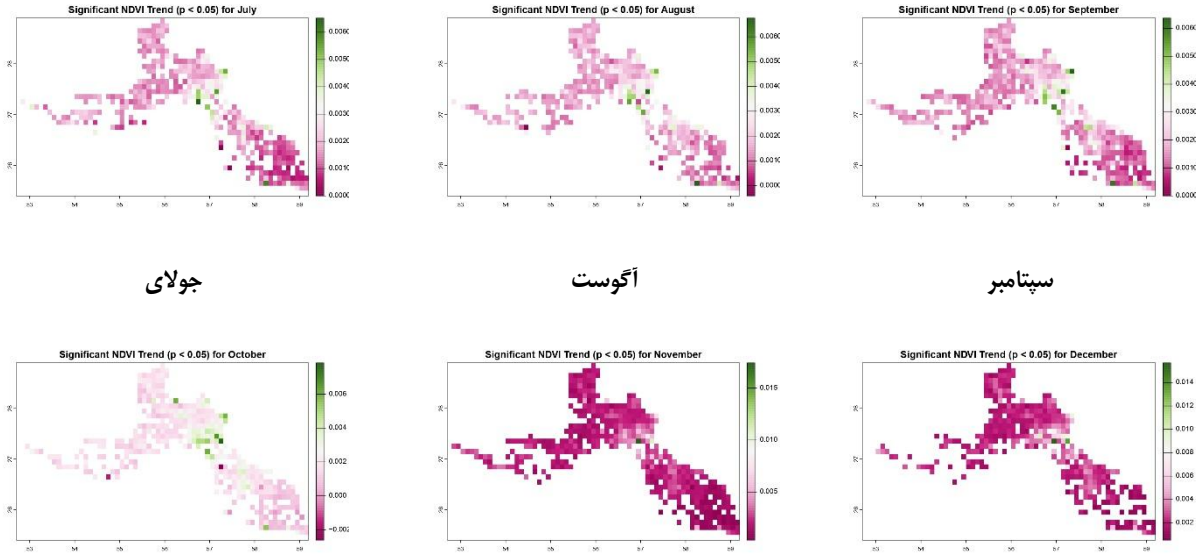
دورهٔ بازیابی موسمی (اوت و سپتامبر): این دو ماه متمایزترین الگوی مکانی را طی سال به نمایش می‌گذارند. در ماه اوت، نقشه به دو بخش مجزا تقسیم می‌شود: نیمهٔ غربی همچنان روند «قهوه‌ای شدن» را ادامه می‌دهد، در حالی که نیمهٔ شرقی به طور کامل تحت تأثیر یک روند «سبز شدن» قوی و یکپارچه قرار می‌گیرد. این الگوی دوگانه که به‌وضوح ناشی از تأثیر بارش‌های موسمی تابستانه (مونسون) است، در ماه سپتامبر نیز ادامه می‌یابد.

دورهٔ گذار پاییزی (اکتبر و نوامبر): در ماه اکتبر، تأثیر مونسون کاهش یافته، لکه‌های سبز شرقی به‌شدت کوچک می‌شوند و یک روند کاهشی ملایم و پراکنده دوباره در بخش‌هایی از استان ظاهر می‌شود. ماه نوامبر، مشابه فصل بهار، یک دورهٔ پایداری دیگر است که در آن روندهای معنادار گسترده‌ای مشاهده نمی‌شود و اکوسیستم به حالت باثبات قبل از شروع مجدد چرخهٔ تخریب زمستانه بازمی‌گردد.



ژانویه فوریه مارس

آوریل می ژوئن



شکل ۷. نقشه‌های روند معنادار ماهانه ($p<0.05$) شاخص NDVI طی دورهٔ ۲۰۰۰ ـ ۲۰۱۸
مناطق سبز نشان‌دهندهٔ روند افزایشی و مناطق صورتی نشان‌دهندهٔ روند کاهشی هستند.

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با تحلیل جامع سری زمانی ۱۹ساله شاخص NDVI، تصویری دقیق و هشداردهنده از دینامیک پوشش گیاهی استان هرمزگان ارائه داد و نشان داد اکوسیستم‌های این منطقه شکننده، تحت یک روند تخریب غالب و فزاینده قرار دارند. پیام اصلی تحقیق این است که علی‌رغم وجود دوره‌های بازیابی محدود و مکانی (که عمدتاً در فصل پاییز و در شرق استان متمرکز است)، موازنهٔ اکولوژیک به سمت قهوه‌ای شدن و کاهش زیست‌تودهٔ گیاهی در حال تغییر است.

شاید شگفت‌انگیزترین یافتهٔ این تحقیق، روند کاهشی معنادار NDVI در فصل زمستان باشد. این پارادوکس، که با تصور فصل رشد و بارش همخوانی ندارد، فقط یک ناهنجاری آماری نیست، بلکه شاخصی قدرتمند از تغییر در الگوهای بنیادین اقلیمی و کاهش اثربخشی فصل سنتی رشد در منطقه است. این پدیده می‌تواند ناشی از ترکیبی از عواملی همچون تغییر در الگوی بارش و کاهش بارش‌های مؤثر زمستانه، افزایش دمای زمستانه که با بالا بردن نرخ تبخیر و تعرق اثربخشی بارش را کاهش می‌دهد، و فشارهای انسانی مانند چرای زمستانه که اثر مثبت بارش را خنثی می‌کنند، باشد. از سوی دیگر، الگوی دوگانه در فصل پاییز (رشد در شرق و تخریب در غرب) به‌وضوح نقش حیاتی رطوبت ناشی از سیستم‌های موسمی را در تعدیل خشکی و حمایت از پوشش گیاهی در نواحی شرقی نشان می‌دهد، در حالی که مناطق غربی از این مزیت بی‌بهره مانده و روند تخریب خود را ادامه می‌دهند. الگوی مکانی تخریب که عمدتاً در نواحی غربی و مرکزی استان متمرکز است، منعکس‌کنندهٔ تعامل فشارهای اقلیمی و انسانی است. این مناطق که با توسعهٔ کشاورزی، بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و فشار چرای دام مواجه هستند، تاب‌آوری اکولوژیکی کمتری در برابر افزایش دما و خشکسالی‌های مکرر نشان می‌دهند. در مقابل، تاب‌آوری نسبی مناطق ساحلی شرقی و جنگل‌های حرا را می‌توان به وجود گونه‌های گیاهی مقاوم به شوری و خشکی و دسترسی به رطوبت ساحلی نسبت داد.

یافته‌های این مطالعه در چند سطح با تحقیقات پیشین قابل مقایسه است. در سطح ملی، روند کلی تخریب پوشش گیاهی، نتایج گزارش‌شده در سایر مناطق خشک ایران مانند استان کرمان (نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۷) را تأیید می‌کند. با این‌حال، الگوهای فصلی شناسایی‌شده، دینامیک منحصربه‌فرد اکوسیستم‌های ساحلی جنوب را آشکار می‌سازد. به طور مشخص، پدیدهٔ تخریب زمستانه در

هرمزگان در تضاد آشکار با نتایج مطالعاتی مانند فولادی دوغزلو و صیادی (۱۴۰۱) است که بهبود پوشش گیاهی در زمستان را در حوضه‌هایی با رژیم اقلیمی متفاوت گزارش کرده‌اند. این تمایز، تأثیر متفاوت تغییرات اقلیمی بر رژیم‌های بارشی مدیترانه‌ای ـ قاره‌ای ایران در مقایسه با رژیم بیابانی ـ موسمی جنوب را برجسته می‌سازد. مهم‌تر آنکه، این پدیده متناقض با بدنه رو به رشد تحقیقات جهانی همسو است که نشان می‌دهد افزایش دما می‌تواند «کارایی استفاده از بارش[7]» را به‌شدت کاهش دهد (ام بو و همکاران،۲۰۱۴). به بیان دیگر، با گرم‌تر شدن زمستان‌ها، بخش بیشتری از بارش قبل از آنکه توسط گیاه استفاده شود، تبخیر می‌شود و اثربخشی آن کاهش می‌یابد. این مکانیزم، که به پدیدهٔ «browning» حتی در فصل‌های مرطوب منجر می‌شود، در بسیاری از مناطق خشک جهان به عنوان یکی از پیامدهای اصلی گرمایش جهانی شناسایی شده است (پونکو کامبوس و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر این، مطالعات در سایر مناطق خشک مانند ساحل آفریقا نشان داده‌اند که فشار چرای دام در فصل رشد می‌تواند اثر مثبت بارش را به طور کامل خنثی کند و به یک روند تخریبی قابل توجه منجر شود (جیانولی و همکاران، ۲۰۲۵). در نهایت، شدت روند تخریب مشاهده‌شده در این پژوهش، بیش از مقادیر گزارش‌شده برای مناطق بیابانی مرکزی ایران (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۸) است که این امر نشان‌دهندهٔ آسیب‌پذیری بالاتر و پیچیدگی بیشتر اکوسیستم‌های ساحلی ـ بیابانی جنوب کشور در مواجهه با فشارهای دوگانه اقلیمی و انسانی است. نتایج این مطالعه برای مدیران، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان منابع طبیعی استان هرمزگان از اهمیت کاربردی بالایی برخوردار است. الگوهای متمایز مکانی ـ زمانی شناسایی‌شده، به‌وضوح نشان می‌دهد استراتژی‌های مدیریتی یکپارچه و بدون توجه به تفاوت‌های درون‌استانی و فصلی، ناکارآمد و محکوم به شکست خواهند بود. یافته‌ها بر ضرورت یک تغییر نگرش از مدیریت ایستا به مدیریت تطبیقی و مکان‌محور تأکید دارند. این امر مستلزم تدوین راهبردهای حفاظتی و احیایی هدفمند و اولویت‌بندی مناطق آسیب‌پذیر غربی و مرکزی است که کانون‌های اصلی تخریب شناسایی شده‌اند. علاوه بر این، اتخاذ رویکردهای فعالانه برای سازگاری با تغییر اقلیم، از جمله مدیریت یکپارچهٔ منابع آب و خاک و اصلاح الگوهای کشت، برای مقابله با کاهش کارایی بارش‌های زمستانه امری حیاتی است. البته محدودیت اصلی این پژوهش، قدرت تفکیک مکانی متوسط داده‌های MODIS (۲۵۰ متر) است که تحلیل تغییرات در مقیاس‌های خرد را دشوار می‌سازد. علاوه بر این، یکی از محدودیت‌های ذاتی این نوع پژوهش‌های کلان‌مقیاس، نبود داده‌های صحت‌سنجی زمینی جامع برای کل دورهٔ زمانی است. با این‌حال، باید تأکید کرد که هدف اصلی این تحقیق، تحلیل روند و شناسایی تغییرات نسبی طی زمان بوده است، نه برآورد مقادیر مطلق پوشش گیاهی. برای این‌منظور، اتکا به محصول استاندارد و جهانی MOD13Q1 که خود تحت فرایندهای گستردهٔ کنترل کیفیت و اعتبارسنجی قرار گرفته، یک رویکرد علمی پذیرفته‌شده است که اعتبار نتایج تحلیل روند را تضمین می‌کند. بنابراین، نتایج و نقشه‌های ارائه‌شده، تصویری از الگوهای آماری معنادار تغییرات هستند و نه برآوردی از وضعیت مطلق پوشش گیاهی. برای تحقیقات آینده، پیشنهاد می‌شود از تلفیق داده‌های با وضوح بالا (مانند Sentinel-2) برای دوره‌های زمانی کوتاه‌تر استفاده شود تا الگوهای شناسایی‌شده در این تحقیق با جزئیات بیشتری مورد واکاوی قرار گیرند. همچنین، تحلیل همبستگی مکانی ـ زمانی روند NDVI با متغیرهای اقلیمی (بارش و دما) و اعتبارسنجی نتایج از طریق مطالعات میدانی، گام‌های ضروری بعدی خواهند بود.

در نهایت، این پژوهش یک مبنای علمی و یک نقشهٔ راه مکانی ـ زمانی برای اقدامات فوری فراهم می‌کند. تداوم روندهای مشاهده‌شده می‌تواند پیامدهای وخیمی همچون تشدید بیابان‌زایی، افزایش وقوع توفان‌های گرد و غبار، فرسایش شدید خاک و تهدید معیشت جوامع محلی را به دنبال داشته باشد. بنابراین، این تحقیق فراخوانی برای اقدام فوری و مبتنی بر شواهد علمی است تا با اجرای سیاست‌های مدیریت پایدار سرزمین، از تبدیل روندهای تخریب فعلی به تغییرات غیرقابل بازگشت در آینده جلوگیری به عمل آید و تاب‌آوری اکولوژیکی استان هرمزگان در برابر چالش‌های پیش رو تقویت شود.

7 Rain-Use Efficiency - RUE

منابع

1 Afshari, Z. (2020). Interbank Market Failure and the Effects of the Basel III Regulations in a DSGE Model for Iran. *Iranian Journal of Economic Studies, 8*(1), 163-183. (in Persian)

2 Al Harbi, H. A., Ullah, S., Al-Ghamdi, K. M., Al-Zahrani, R. M., & Migdadi, H. M. (2024). Vegetation cover changes in Saudi Arabia over the past two decades using MODIS data. Heliyon, 10(5), e26895.

3 Ali, S., Zhang, F., Abdullah, M., Riaz, A., & Ahmad, M. (2023). Spatio-temporal analysis of vegetation dynamics and its response to climate variability in Hormozgan, Iran. Ecological Indicators, 154, 110688.

4 Bannari, A., Morin, D., & Bonn, F. (1995). A review of vegetation indices. Remote Sensing Reviews, 13(1-2), 95-120.

5 Daham, A. A., Al-Jumaily, K. S., & Al-Timimi, Y. K. (2018). Monitoring of vegetation cover changes using NDVI and MODIS images in the south of Iraq from 2000 to 2017. Journal of Engineering, 24(7), 113-128.

6 Dastigerdi, A., Saniei, E., Nazemosadat, M. J., & Ghahraman, N. (2022). Spatiotemporal analysis of vegetation changes based on topographic factors in Northeast of Iran. Journal of Rangeland Science, 12(3), 364-378. (in Persian)

7 Feizi, Z., Karimi, N., & Hassan, W. H. (2022). Spatiotemporal vegetation dynamics and their responses to climate variability in Iraq using MODIS-NDVI. Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 25(3), 819-829.

8 Fouladi Doghezlou, B., & Sayadi, P. (2022). Monitoring of vegetation trend using Mann-Kendall test in Hamoun-Jazmourian basin. Journal of Water and Soil Resources Conservation, 12(1), 43-57. (in Persian)

9 Gianoli, F., Weynants, M., & Brink, A. (2025). Land degradation and the Convergence of Evidence in the Sahel. In Water and Land in the Sahel (pp. 128-140). Routledge.

10 Hejazi Zadeh, Z., & Sonboli, A. (2022). Investigating land use changes and vegetation dynamics using remote sensing in Malard county. Geography and Environmental Sustainability, 12(2), 23-40. (in Persian)

11 Jia, T., Xia, Z., Zhou, W., Gu, C., Ma, X., & Xu, J. (2024). Vegetation dynamics and their response to climate change in ecologically fragile areas of Northwest China. Remote Sensing, 16(5), 843.

12 Kamel Narestan, M., Malekian, A., & Salajegheh, A. (2021). Investigating vegetation changes using Landsat satellite imagery in the Kalateh Sadat flood spreading area of Sabzevar. Iranian Journal of Range and Desert Research, 28(2), 263-277. (in Persian)

13 Kefayat Motlagh, A., & Masoodian, S. A. (2017). Analysis of NDVI trend in relation to elevation belts of Iran. Geography and Environmental Planning, 28(3), 1-16. (in Persian)

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

15 Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. Econometrica, 13(3), 245-259.

16 Mbow, C., Fensholt, R., Nielsen, T. T., & Rasmussen, K. (2014). Advances in monitoring vegetation and land use dynamics in the Sahel. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, *114*(1), 84-91.

17 Nikpour, M., Zoraghi, N., & Zanganeh, A. (2018). Analyzing trend of vegetation and land degradation using NDVI in Ilam province. Journal of Geography and Planning, 22(64), 287-306. (in Persian)

18 Ponce-Campos, G. E., Moran, M. S., Huete, A., Zhang, Y., Bresloff, C., Huxman, T. E., ... & Starks, P. J. (2013). Ecosystem resilience despite large-scale altered hydroclimatic conditions. *Nature*, *494*(7437), 349-352.

19 Rahman, M. S., Tabriz, S. S., & Islam, M. S. (2025). Analyzing spatio-temporal vegetation cover dynamics using NDVI and LULC in the coastal region of Bangladesh. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 37, 101314.

20 Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association, 63(324), 1379-1389.

21 Sun, Y., Yang, Y., Zhang, L., & Wang, Z. L. (2015). The relative roles of climate and human activities in regulating vegetation growth in the Hilly-gullied region of the Loess Plateau, China. Theoretical and Applied Climatology, 128, 247-259.
22 Wang, F., Wang, Z., Yang, H., & Zhao, Y. (2017). The dynamic response of vegetation to climate change in the Gannan Plateau, China. Sustainability, 9(6), 1014.
23 Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. (2002). Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. Journal of Hydrology, 259(1-4), 254-271.
24 Zhang, H., Wang, C., Li, W., & Li, Z. (2019). Study on vegetation change and its response to climate change in the Three-River Headwaters Region. Journal of Geovisualization and Spatial Analysis, 3(1), 7.