Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Time Series Trend Analysis of Fire Frequency in Natural Resources Relative to Vegetation Canopy Cover using MODIS Data Products (Case Study: Lorestan Province)

Akram Alinia[1] | Amir Gandomkar[2] | Alireza Abbasi[3]

1. PhD student in climatology, Department of Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran. **E-mail: aliniaakram3@gmail.com**
2. Corresponding author, Associate Professor, Department of Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran. **E-mail: aagandomkar@gmail.com**
3. Assistant Professor, Department of Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran. **E-mail: Abbasi.ara@gmail.com**

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2022/10/02
Received in revised
2022/12/07
Accepted
2022/12/18
Published
2023/02/22
Published online
2024/01/21

Keywords:
Fires in natural areas,
MODIS meter,
Normalized vegetation,
Lorestan province.

ABSTRACT

Today, one of the most significant challenges in the field of natural resources pertains to fire incidents that pose a substantial threat to national lands across the globe. The objective of this research is to conduct an analysis of the trend of fire events in natural areas and uncover the relationship between these occurrences and the vegetation in Lorestan province. For this purpose, the data from the MODIS sensor's fire product (MOD14A1) and vegetation product (MOD13A3) were utilized for the statistical period ranging from 2000 to 2020. The spatial distribution of fires in Lorestan province was examined on both a monthly and annual basis. To reveal the connection between fire incidents and vegetation, cross-information matrix analysis and spatial correlation matrix were employed. The findings demonstrated that over 70% of the total frequency of fire incidents in natural resource areas (fires with code 2) were associated with the months of June and July. Moreover, the 21-year trend of fire incident frequency indicated a general increase in incidents within the field of natural resources, with an annual slope of 3 incidents. Correlation analysis between monthly vegetation cover and the annual frequency of fire occurrences showed a significant correlation between fire events and changes in vegetation cover during a four-month period, specifically from May to August, which constitutes the growing season. The cross-matrix analysis between the spatial distribution of fire occurrence centers and the NDVI index revealed that the highest frequency of fire occurrences was observed between May and August, corresponding to a range of greenness between 0.15 and 0.22. This range of vegetation generally corresponds to rainfed lands, areas with poor pastures, and low-density forest patches.

Cite this article: Alinia, Akram., Gandomkar, Amir., & Abbasi, Alireza. (2025). Analysis of the Time Series Trend of Fire Frequency of Natural Resources in Relation to the Vegetation Structure using Madis Sensor Products (Case: Lorestan Province). Journal of Applied Researches in Geographical Sciences, 75 (24), 480-492. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.24.75.23

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University.
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.24.75.23

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.75.23]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

Fires are widely acknowledged as a significant climatic and emerging environmental hazard that annually cause severe devastation to expansive forests, pastures, and agricultural lands across the globe. The occurrence of fire-related incidents in various regions, including African countries, the Middle East, Australia, India, China, and more recently, in European countries and the United States, has escalated to an environmental catastrophe of unprecedented proportions. This poses a substantial threat to global food security. Iran, in particular, has been grappling with this issue for a considerable period, with a significant increase in fire incidents observed in the Zagros forests and pastures over the past decade.

Material and Methods

The active fire product data of Sanjande Madis, which is sourced from the Sanjande Madis database, is available for the statistical period spanning from 2000 to 2020. The fire event data is categorized into two groups: the first comprises fire codes recorded in areas devoid of vegetation, while the second encompasses fire codes recorded in areas with vegetation. For the purposes of this research, fire data code 02, which specifically relates to fires occurring in natural resource fields, was utilized. Besides these two datasets, the monthly vegetation product from the MOD13A3 sensor, titled MOD13A3, was also acquired. This dataset possesses a spatial resolution of 1 km and was employed to examine the spatial correlation between the yearly frequency of fire events and the vegetation density index of each land cover class.

Results and Discussion

The temporal and spatial analysis of fire occurrences has revealed that during the statistical period of 2000-2020, the months of June and July accounted for 75% of the total recorded fire incidents in the province. Following closely behind these two months, May and August exhibited the highest frequency of fire occurrences. Consequently, it can be observed that 91% of the total fire events recorded in Lorestan province were concentrated between the months of May and August. In contrast, only 9% of the total recorded events took place in Lorestan province during the remaining months. The long-term trend analysis indicates an increasing trend in the annual frequency of fire incidents in Lorestan province. Additionally, a periodic fluctuation pattern in the annual frequency of fire incidents within the province was observed. Over the 21-year time series, there were two periods of increase and two periods of decrease in the frequency of fire incidents. Between 2002 and 2004, 2010 and 2014, and from 2018 onwards (until 2021), there were periods of increase in fire incidents. On the other hand, between 2005 and 2009, as well as 2015 and 2017, there was a decrease in fire incidents within the province. The cross-matrix analysis between the spatial distribution of fire occurrence centers and the NDVI index revealed that in May, the highest frequency of fire occurrences corresponded to a vegetation threshold of 0.15 to 0.22. In June, the highest frequency of fire incidents in natural areas was concentrated within a vegetation

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.75.23]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

cover range of 0.17 to 0.24, which corresponded to the highest frequency. In July, the second month in terms of fire incident frequency (after June), the highest frequency of fire incidents in this month corresponded to a greenness range of 0.15 to 0.22. In August, when the frequency of fire occurrences significantly decreased, the NDVI range with the highest frequency of fire incidents was 0.15 to 0.20.

Conclusion

The study findings indicate that, on an annual basis in Lorestan province, over 75% of fire incidents tend to occur during the months of June and July. Furthermore, the time series analysis reveals a consistent upward trend in the annual frequency of fire events, with a linear slope of 3 events per year. Additionally, the correlation analysis demonstrates a significant relationship between the monthly vegetation cover and the annual frequency of fire incidents in the province. Specifically, this correlation is observed during the four-month period of the growing season, spanning from May to August. The cross-matrix analysis, which examines the spatial distribution of fire occurrence centers and the NDVI index derived from MODIS sensor data, reveals that the highest occurrence of fire incidents in Lorestan province generally takes place from May to August, coinciding with the greening period. During this time, the NDVI index ranges from 0.15 to 0.22.

Keywords: Natural Field Fires, MODIS Sensor, Normalized Vegetation Cover, Lorestan Province

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.24.75.23]

نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۲۲۲۸-۷۷۳۶ شاپا الکترونیکی: ۲۵۸۸-۵۱۳۸
https://jgs.khu.ac.ir/

تحلیل روند سری زمانی فراوانی آتش‌سوزی منابع طبیعی در ارتباط با ساختار پوشش گیاهی با استفاده از محصولات سنجنده مودیس (مورد: استان لرستان)

اکرم علی نیا [۱]، امیر گندمکار [۲]✉، علیرضا عباسی [۳]

۱. گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران. رایانامه: aliniaakram3@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران. رایانامه: aagandomkar@gmail.com
۳. گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران. رایانامه: Abbasi.ara@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۷/۱۰
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۱/۰۹/۱۶
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۹/۲۷
تاریخ انتشار:
۱۴۰۱/۱۰/۰۳
تاریخ انتشارآنلاین:
۱۴۰۲/۱۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
آتش‌سوزی‌های عرصه‌های طبیعی،
سنجنده MODIS،
پوشش گیاهی نرمال شده،
استان لرستان.

چکیده

امروزه یکی از مهم‌ترین چالش‌های عرصه‌های منابع طبیعی، رخدادهای آتش‌سوزی هستند که بخش وسیعی از اراضی ملی را در سطح جهان مورد تهدید قرار داده‌اند. هدف این تحقیق تحلیل روند رخدادهای آتش‌سوزی عرصه‌های طبیعی و آشکارسازی ارتباط این رخدادها با پوشش گیاهی استان لرستان است. در این راستا از داده‌های محصول آتش سنجنده مادیس (MOD14A1) و نیز محصول پوشش گیاهی (MOD13A3) سنجنده مادیس طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰ استفاده شد. توزیع فضایی ماهانه و سالانه آتش‌سوزی در استان لرستان بررسی شد. از تحلیل ماتریس اطلاعات متقاطع و ماتریس همبستگی فضایی، برای آشکارسازی ارتباط بین رخدادهای آتش‌سوزی و پوشش گیاهی استفاده شد. نتایج نشان داد که بیش از ۷۰ درصد کل فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی عرصه‌های منابع طبیعی (آتش‌سوزی‌های با کد ۲)، مربوط به ماه ژوئن و سپس جولای است. روند ۲۱ ساله فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی نشان داد فراوانی رخدادهای عرصه‌های منابع طبیعی به‌طورکلی با شیب سالانه ۳ رخداد، روند افزایشی داشته است. تحلیل همبستگی بین پوشش گیاهی ماهانه و فراوانی سالانه رخدادهای آتش‌سوزی نشان داد رخدادهای آتش‌سوزی با تغییرات پوشش گیاهی ۴ ماه دوره رشد یعنی از می تا آگوست همبستگی معنی‌داری نشان داده است. تحلیل ماتریس متقاطع بین توزیع فضایی کانون‌های رخداد آتش‌سوزی و شاخص NDVI نشان داد بیشترین فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی در دوره می تا آگوست، منطبق بر بازه سبزینگی ۰.۱۵ تا ۰.۲۲ بوده است. این بازه پوشش گیاهی عموماً منطبق بر اراضی دیم، مراتع ضعیف و اشکوب جنگلی کم تراکم بوده است.

استناد: علی نیا، اکرم؛ گندمکار، امیر؛ و عباسی ، علیرضا. (۱۴۰۳). تحلیل روند سری زمانی فراوانی آتش‌سوزی منابع طبیعی در ارتباط با ساختار پوشش گیاهی با استفاده از محصولات سنجنده مادیس(مورد: استان لرستان). *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی* ، ۷۵ (۲۴)، ۴۹۲-۴۸۰. http://dx.doi.org/10.61186/jgs.24.75.23

CC BY NC

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.
© نویسندگان.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.75.23]

مقدمه

آتش‌سوزی‌ها که امروزه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات اقلیمی و محیطی نوظهور شناخته می‌شوند، سالانه بخش وسیعی از اراضی جنگلی، مراتع و اراضی کشاورزی جهان را تحت تأثیر مخرب قرار می‌دهند. رخدادهای آتش‌سوزی در کشورهای آفریقایی، خاورمیانه، استرالیا، هند و چین و اخیراً در کشورهای اروپایی و آمریکا، تبدیل به یک پاندمی مخرب محیطی شده است که حتی امنیت غذایی جهان را در خطر انداخته است. این مسئله در ایران نیز به‌ویژه در اراضی جنگلی و مرتعی زاگرس همواره وجود داشته است که در دهه اخیر روند افزایشی چشمگیری از خود نشان داده است(علی نیا و همکاران، ۱۴۰۰).

گرمایش جهانی و تغییر اقلیم نیز از عوامل مهم آتش‌سوزی در جنگل‌های جهان و ایران به‌ویژه در سال‌های اخیر محسوب می‌شود. این عامل از طریق افزایش میانگین دما، کاهش بارندگی و رطوبت نسبی و افزایش خشک‌سالی و بادهای گرم، نقش مهمی در فراوانی رخداد آتش‌سوزی‌ها در مناطق طبیعی و جنگلی داشته است. رخداد و شدت موجهای گرمایی در سال‌های اخیر در بخش‌هایی از جهان افزایش‌یافته است که یکی از عوامل افزایش فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی را می‌توان افزایش فراوانی و شدت امواج گرم در نظر گرفت (اسکندری و چویکو، ۲۰۱۵). رخداد خشک‌سالی و آتش‌سوزی در جنگل‌های غرب روسیه و رخداد سیلاب بی‌سابقه در بخش‌های گسترده‌ای از پاکستان و نیز رخدادهای آتش‌سوزی‌های مخرب استرالیا را می‌توان از مهم‌ترین پیامدهای موج گرمایی در دهه اخیر نام برد (مولودی و همکاران،۱۳۹۵). محیط طبیعی جنگل‌ها و مراتع همیشه در معرض آسیب‌های طبیعی و تخریب قرار دارند. امروزه خشک‌سالی، فعالیت‌های شهری و کشاورزی انسان و آتش‌سوزی جز فراگیرترین عوامل تخریب‌کننده اکوسیستم‌های طبیعی به شمار می‌روند (ین و همکاران، ۲۰۰۴). در میان عوامل مخرب، آتش‌سوزی به‌عنوان یکی از عوامل اصلی تخریب اکوسیستم‌های طبیعی شناخته‌شده که سالانه خسارت فراوانی را به این عرصه‌ها وارد می‌سازد و علاوه بر خسارت‌های اقتصادی، آلودگی‌های شدید زیست‌محیطی را نیز به دنبال دارند. آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی نه‌فقط از دیدگاه محیط‌زیست بلکه ازنظر اقتصادی، اجتماعی و امنیتی ازجمله اصلی‌ترین نگرانی‌ها و چالش‌های موجود در بسیاری از نقاط جهان هستید (لبلون و همکاران، ۲۰۰۷؛ پورتقی و همکاران، ۲۰۱۶). بر اساس آمار منتشرشده از طرف سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور سالانه هزاران مورد آتش‌سوزی یا علل طبیعی یا انسانی در مناطق مختلف ایران رخ می‌دهد که به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم اثرات زیان‌بار و ویرانگری بر زندگی بشر بر جای می‌گذارد (اسکندری و چویکو، ۲۰۱۵). به دلیل قرارگرفته کشور ایران در کمربند خشک کره زمین و ناحیه پرفشار جنب‌حاره‌ای، شرایط جوی لازم برای وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع فراهم است از طرف دیگر، عوامل انسانی از قبیل بی‌احتیاطی مسافران یا آتش‌سوزی‌های عمدی جهت تبدیل اراضی جنگلی به کشاورزی، باعث ایجاد حریق در پهنه‌های جنگلی ایران شده است (سرکارگر، ۲۰۰۷). استان لرستان به لحاظ ذخایر زیستی جنگل‌های زاگرس یکی از مهم‌ترین استان‌های کشور است. یکی از مهم‌ترین مزیت‌های نسبی استان لرستان در عرصه منابع طبیعی، وجود جنگل‌های زاگرس در این استان است، به‌طوری‌که ۴۰ درصد از مساحت این استان پوشیده از تاج پوشش‌های متراکم تا فقیر جنگل‌های بلوط زاگرس است. مراتع این استان نیز ظرفیت بسیار قابل‌توجهی برای دامداری در این استان فراهم کرده است به‌طوری‌که از لحاظ نسبت واحد دامی بر سطح یا تراکم دام در مرتع، استان لرستان، در رتبه نخست کشور قرار دارد. یکی از مهم‌ترین آفت‌هایی که در دهه‌های اخیر، در کنار عوامل متعدد دیگر، منجر به خسارات قابل‌توجهی به جنگل‌های استان لرستان شده است، رخدادهای آتش‌سوزی است که در دهه اخیر به‌صورت قابل‌توجهی تشدید شده است. به‌طوری‌که تنها در استان لرستان بین سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۷۵ حدود ۳۳۷ مورد آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی روی‌داده که مساحتی حدود ۷۴۰۰ هکتار را در برمی‌گیرد(سپهوند، ۲۰۰۹). استفاده از داده‌های سنجش‌ازدوری، برای پایش آتش‌سوزی، به‌ویژه در مناطق صعب‌العبور و پناهگاهی حفاظت‌شده، بسیار حائز اهمیت است. برخی از تحقیقات به بررسی و ارزیابی کارایی الگوریتم‌های مختلف آشکارسازی و شناسایی آتش مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای در نواحی صعب‌العبور و پناهگاه‌های حیات‌وحش، پرداخته‌اند(ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸) و کارایی آن‌ها را در تولید یک سیستم پیش هشدار آتش‌سوزی مبتنی بر عناصر محیطی اثبات کرده‌اند (آقازاده، ۱۳۹۹ و ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج تحقیقات مختلفی کارایی الگوریتم‌های آشکارگر آتش‌سوزی مبتنی بر سنجش‌ازدور را در نواحی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.24.75.23]

مختلف دنیا اثبات کرده‌اند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸، هنگ و همکاران، ۲۰۱۷، چن و همکاران، ۲۰۱۴، زامبرون و همکاران، ۲۰۱۱). به‌کارگیری داده‌های (AHI) با استفاده از الگوریتم آستانه و یک روش تفسیر بصری برای آشکارسازی و نظارت بر کل پروسه آتش‌سوزی علف‌های هرز که در مناطق مرتعی مرز جنوبی مغولستان رخداده است، نشان می‌دهد که آتش‌سوزی علفزار برای دو روز و هشت ساعت با مساحت حدود ۲۰۰۰ کیلومترمربع سوزانده شده که اطلاعات AHI با دقت بالا و به‌موقع توانست این آتش‌سوزی را آشکار کرده و اطلاع‌رسانی کند که این مسئله توانست کارایی بالای این الگوریتم‌ها را در آشکارسازی و پیش هشدار دهی رخداد آتش‌سوزی نشان دهد.

کاربری/پوشش اراضی یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین تغییرهای مرتبط با آتش‌سوزی است. بسیاری از تحقیقات، اقدام به تحلیل فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی آشکارشده از تصاویر سنجش‌ازدور، به تفکیک طبقات پوشش اراضی کرده‌اند(جانباز قبادی، ۱۳۹۸)، برای نمونه تحلیل فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی در جنگل‌های استان گلستان نشان داد که بیشتر آتش‌سوزی‌ها در مناطق جنگلی با تاج و پوشش انبوه و همچنین در مناطق جنگلی با تاج و پوشش متوسط و در مرحله بعد در مناطق بیشه‌زار و بوته‌زارها اتفاق افتاده است و ازلحاظ ساختار ارتفاعی توزیع رخدادهای آتش‌سوزی نیز مشاهده شد، تقریباً ۹۰ درصد آتش‌سوزی‌ها در پهنه‌های ارتفاعی متوسط بین ۷۰۰ تا ۱۵۰۰ متر رخداده‌اند. (جانباز قبادی، ۱۳۹۸).

علاوه بر کاربری اراضی، فاکتورهای اقلیمی از قبیل دمای بیشینه روزانه در ماه‌های فصل گرم، علاوه بر کمیت رخدادها، وسعت آتش‌سوزی را نیز کنترل می‌کند (اسکندری و جلیلوند ۱۳۹۶). بیشتر تحقیقات مرتبط با عوامل محیطی آتش‌سوزی، در بین فاکتورهای اقلیمی، میانگین یا بیشینه دمای روزانه به‌علاوه رطوبت نسبی و بارش سالانه را تبیین‌کننده اصلی رخدادهای آتش‌سوزی در عرصه منابع طبیعی می‌دانند(هنگ و همکاران، ۲۰۱۷). در تحقیقی که این مسائله را در مورد جنگل‌های شهرستان نکا و بهشهر، بررسی کرده است(ارتباط عناصر اقلیمی با وسعت آتش‌سوزی)، مشاهده شد که اولاً بین تعداد آتش‌سوزی‌های به وقوع پیوسته در این منطقه و متوسط درجه حرارت سالانه و متوسط بارندگی سالانه در سطح اطمینان ۹۵ ٪ رابطه معنی‌داری وجود داشته است و از طرف دیگر همین رابطه به‌صورت قوی‌تری (در سطح ۰/۹۹ اطمینان) بین وسعت آتش‌سوزی‌های به وقوع پیوسته و متوسط بارندگی سالانه در سطح جنگل‌ها و مراتع منطقه وجود داشته است. این رابطه همیشه صادق نیست و ممکن است عوامل و فاکتورهای مداخله‌گر دیگری آن را تحت تأثیر قرار دهند، برای نمونه رابطه‌ای که در فوق در مورد جنگل‌های شهرستان بهشهر، مطرح گردید، در مورد جنگل‌های شهرستان نکا، معنی‌دار نبود(اسکندری و جلیلوند ۱۳۹۶)، درحالی‌که در جنگل‌های استان گلستان، در تحقیق دیگری مشاهده گردید که بین آتش‌سوزی‌های استان گلستان و میانگین درجه حرارت سالانه رابطه مستقیم و بین این آتش‌سوزی‌ها و میانگین رطوبت نسبی سالانه رابطه معکوس وجود دارد(اسکندری ۱۳۹۴). علاوه بر مقادیر کمی تغییرهای اقلیمی، توزیع زمانی آن‌ها نیز می‌توانند از مهم‌ترین فاکتورهای دخیل در کنترل آتش‌سوزی باشد(چن و همکاران، ۲۰۱۴). رویکرد دیگری که در ارتباط با کنترل آتش‌سوزی منابع طبیعی وجود دارد، در واقع یک رویکرد برنامه‌ریزی مبتنی بر تولید نقشه‌های ریسک آتش‌سوزی در مناطق مختلف است. تحقیقی که در راستای تولید نقشه‌های ریسک آتش‌سوزی جنگل‌های استان گیلان انجام‌شده است، نشان داد که نقشه طبقات ریسک آتش‌سوزی که با در نظر گرفتن عوامل توپوگرافی، اقلیم، پوشش گیاهی و عوامل اقتصادی-اجتماعی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی و نظام اطلاعات جغرافیایی تولید شده است، ۰/۶۶ از رخدادهای واقعی و ثبت‌شده در جنگل‌های استان را در طبقه ریسک بالا برآورد کرده است(زرع کار و همکاران، ۱۳۹۳)؛ اما در این مدل‌های تولید نقشه‌های آتش‌سوزی همیشه عناصر و برآوردگرهای ثابتی وجود ندارند، برای نمونه نقشه‌های طبقه‌بندی ریسک آتش‌سوزی تولید شده در سویس، دو فاکتور اقلیم(رژیم اقلیمی، امواج گرم، ساختار بادها، توزیع زمانی و مکانی رطوبت و بارش) و شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در توزیع فضایی رخدادهای آتش‌سوزی در سطح جنگل‌های این کشور هستند(زامبزون ، ۲۰۱۱). در این تحقیق، هدف اساسی بررسی و آشکارسازی روند سری زمانی فراوانی سالانه رخدادهای آتش‌سوزی عرصه‌های منابع طبیعی و تحلیل ارتباط بین رخدادهای آتش‌سوزی عرصه‌های منابع طبیعی و پوشش گیاهی، با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدوری سنجنده مادیس است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

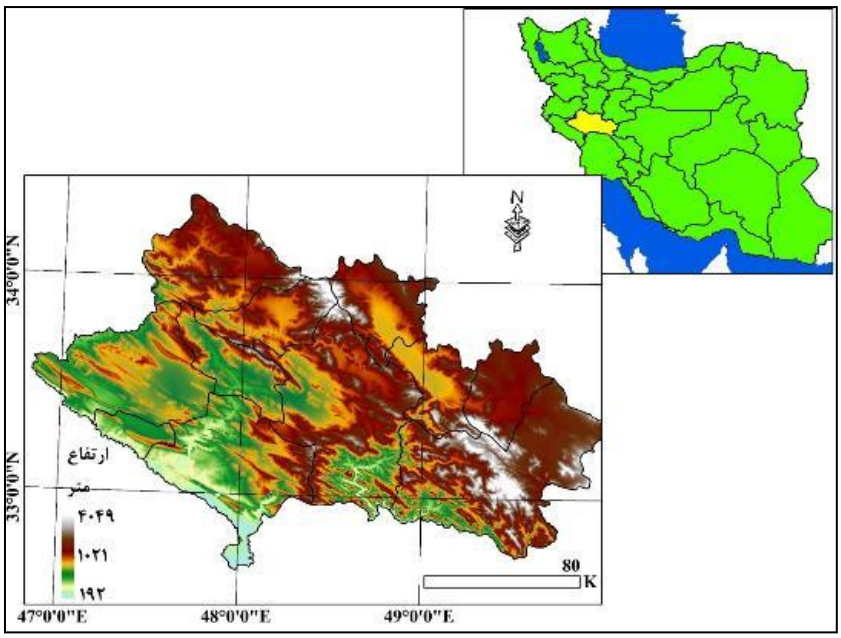
[DOI: 10.61186/jgs.24.75.23]

روش‌شناسی

در این تحقیق برای آشکارسازی ارتباط بین فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی در طبقات مختلف کاربری اراضی، از تحلیل ماتریس اطلاعات متقاطع در نرم‌افزار ARC-GIS استفاده گردید. نحوه کار این تحلیل به این صورت است که یک ماتریس یک ستون و چندین سطری بر اساس تعداد پیکسل‌های لایه عامل تولید می‌کند. در این تحقیق لایه کاربری اراضی به‌عنوان لایه عامل وارد تحلیل متقاطع گردید که بر اساس، فراوانی ماهانه رخدادهای آتش‌سوزی در هرکدام از پیکسل‌های لایه کاربری اراضی مشخص گردید. درنهایت اقدام به تجمیع این اطلاعات متقاطع پیکسلی در هرکدام از طبقات اصلی پوشش اراضی شد. از ماتریس همبستگی فضایی برای بررسی و آشکارسازی ارتباط بین فراوانی ماهانه رخدادهای آتش‌سوزی و تراکم پوشش گیاهی ماهانه، به تفکیک هرکدام از کاربری‌های استفاده شد.

موقعیت منطقه موردمطالعه

استان لرستان با مساحت ۲۸۳۰۸ کیلومترمربع طول جغرافیایی استان: ۴۶ درجه و۵۲ دقیقه و۵۵ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه و ۴۵ ثانیه، عرض جغرافیایی استان: ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه و ۳۸ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۲۵ دقیقه و ۰ ثانیه در غرب ایران قرار دارد. این استان سرزمینی کوهستانی است که میانگین ارتفاع آن بیش از ۲۲۰۰ متر از سطح دریا است. ۴۰ درصد از مساحت این استان پوشیده از اراضی جنگلی با غالبیت گونه بلوط زاگرس است و بخش وسیعی از اراضی استان را نیز مراتع تشکیل می‌دهد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های استان لرستان تنوع توپوگرافیکی آن است که این تنوع توپوگرافی کی به‌طوری‌که دامنه ارتفاعی استان از ۱۹۲ متر در بخش‌های جنوبی شهرستان پلدختر تا بیش از ۴۰۰۰ متر در ارتفاعات اشترانکوه شهرستان دورود و الیگودرز متفاوت است. این تنوع توپوگرافیک خود را در تنوع اقلیمی و به‌تبع آن تنوع پوشش گیاهی و اشکوب‌های مختلف جنگلی نشان داده است شکل (۱).



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی استان لرستان

روش انجام پژوهش

در این تحقیق، از سه دسته داده استفاده شد، داده‌های محصول آتش فعال سنجنده مادیس که برای دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰، از پایگاه داده‌های سنجنده مادیس اخذ شد. داده‌های مربوط به رخدادهای آتش‌سوزی دارای دو طبقه بوده‌اند، دسته اول کدهای آتش‌سوزی ثبت‌شده در عرصه‌های فاقد پوشش گیاهی (کد صفر) و دسته دوم کدهای آتش‌سوزی ثبت‌شده

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.75.23]

مربوط به عرصه‌های پوشش گیاهی (کد ۲) بودند که در این تحقیق از داده‌های آتش‌سوزی کد ۰۲ که مربوط به آتش‌سوزی‌های ثبت‌شده در عرصه‌های منابع طبیعی است استفاده شد. علاوه بر این دو محصول، محصول پوشش گیاهی ماهانه همین سنجنده نیز با رزولوشن فضایی ۱ کیلومتر تحت عنوان MOD13A3 نیز برای تحلیل همبستگی فضایی بین فراوانی رخدادهای سالانه آتش‌سوزی و شاخص تراکم پوشش گیاهی هرکدام از طبقات پوشش اراضی، نیز اخذ شد.

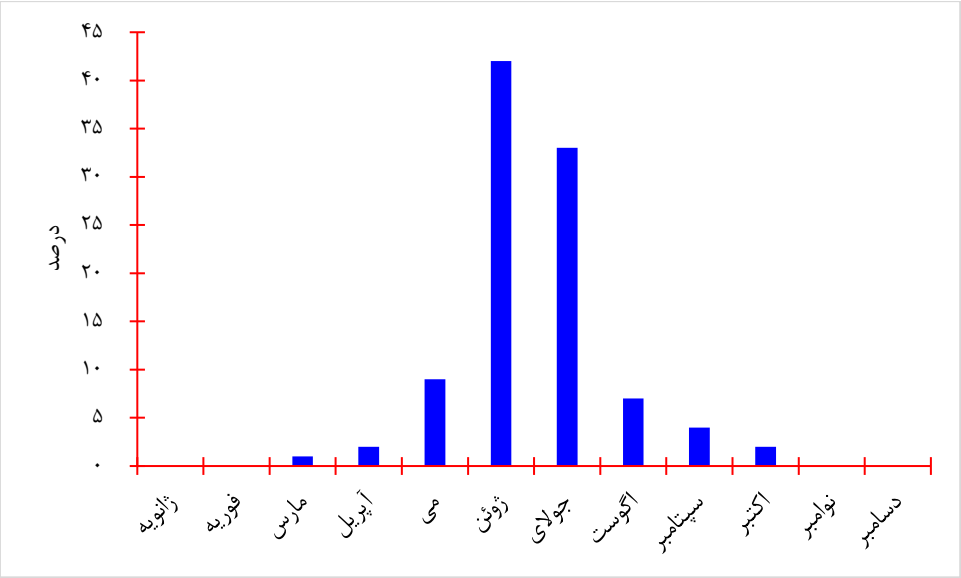
لازم به ذکر است که کلیه محصولات مادیس برای استان لرستان در دو بلوک تصویری H22V05 و H21v05، کل استان لرستان را پوشش می‌داد، بنابراین دو بلوک تصویری مذکور برای استان لرستان طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰ اخذ و موزاییک‌سازی شد. بر این اساس برای این تحقیق طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰، به‌طورکلی ، ۵۰۴ محصول ماهانه رخدادهای آتش‌سوزی و ۵۰۴ محصول ماهانه شاخص پوشش گیاهی استفاده شد.

جدول (۱). انواع داده‌های استفاده شده در این تحقیق

نوع داده	منبع	رزولوشن فضایی	دوره آماری	تعداد تصاویر اخذ شده
محصول آتش فعال	محصول MOD14، سنجنده مادیس	۱ کیلومتر	ماهانه ۲۰۰۰-۲۰۲۰	۵۰۴ تصویر ماهانه
محصول پوشش گیاهی	محصول MOD13A3، سنجنده مادیس	۱ کیلومتر	ماهانه ۲۰۰۰-۲۰۲۰	۵۰۴ تصویر ماهانه

نتایج و بحث

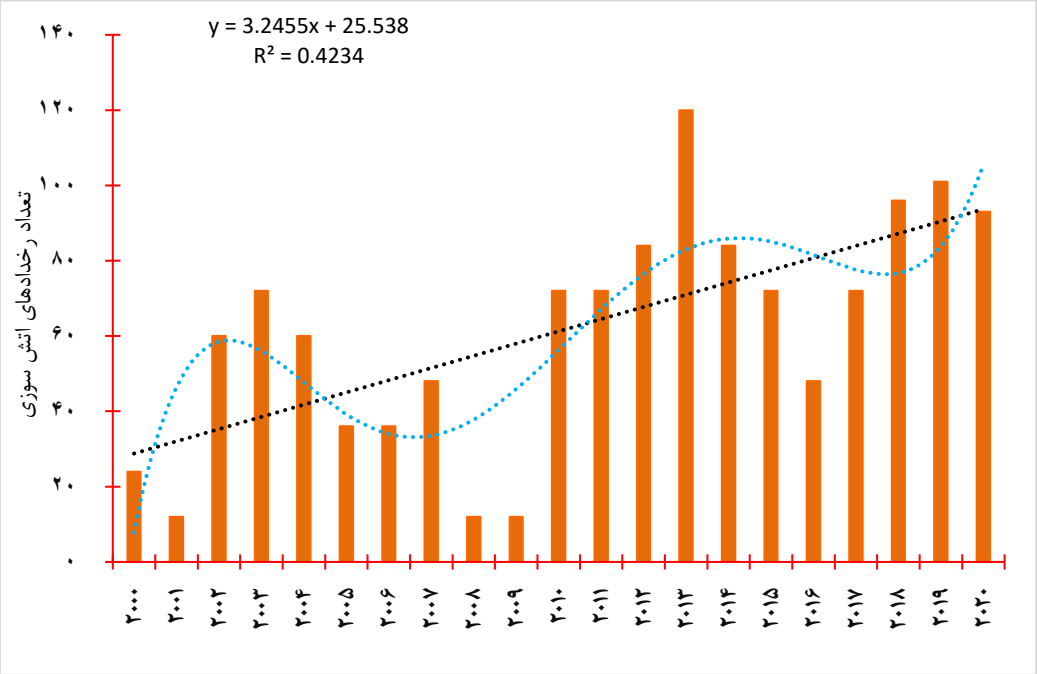
تحلیل زمانی مکانی رخدادهای آتش‌سوزی با استفاده از داده‌های رخدادهای آتش‌سوزی محصول MOD14، سنجنده مادیس، نشان داد که دو ماه ژوئن و سپس جولای حدود ۷۵ درصد از فراوانی کل رخدادهای آتش‌سوزی‌های ثبت‌شده استان را طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰ به خود اختصاص داده‌اند، ماه‌های می و سپس آگوست بعد از این دو ماه بیشترین فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی را به خود اختصاص داده‌اند(شکل ۲)؛ بنابراین ۹۱ درصد از فراوانی کل رخدادهای آتش‌سوزی ثبت‌شده در استان لرستان در ۴ ماه می تا آگوست توزیع شده است و در خارج از این ۴ ماه، تنها ۹ درصد از کل فراوانی رخدادهای ثبت‌شده استان لرستان رخداده است.



شکل (۲). توزیع فراوانی درون سالی رخدادهای آتش‌سوزی‌های ثبت‌شده طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰ بر اساس محصول MOD14، سنجنده مادیس

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.75.23]

از لحاظ روند بلندمدت رخدادهای آتش‌سوزی در سطح استان، نتایج این تحقیق حاکی از وجود یک روند افزایشی در فراوانی رخدادهای سالانه آتش‌سوزی در سطح استان لرستان بود شکل (۳). بررسی روند ۲۱ ساله(۲۰۰۰-۲۰۲۰) فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی محصول MOD14، سنجنده مادیس، در سطح استان لرستان، گویای آن است که فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی در سطح استان، به‌طورکلی با شیب سالانه ۳ رخداد، روند افزایشی داشته است اما در کنار این روند کلی، فراوانی سالانه رخدادهای آتش‌سوزی در سطح استان، دارای یک الگوی نوسان دوره‌ای بوده است در این سری زمانی ۲۱ ساله دو دوره افزایشی و دو دوره کاهشی در فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی مشاهده‌شده است، سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴، ۲۰۱۰-۲۰۱۴ و درنهایت ۲۰۱۸ به بعد(تا سال ۲۰۲۱) دوره‌های افزایشی در رخدادهای آتش‌سوزی بوده‌اند درحالی‌که طی دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ و ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷، فاز کاهشی در رخدادهای آتش‌سوزی سطح استان بوده است.



شکل (۳). روند ۲۱ ساله فراوانی رخداد آتش‌سوزی محصول آتش فعال سنجنده مادیس (ACTIVE FIRE-MOD14).

در جدول (۲) ماتریس همبستگی سری زمانی فراوانی سالانه رخدادهای آتش‌سوزی‌های ثبت شده استان لرستان (محصول آتش فعال سنجنده مادیس (ACTIVE FIRE-MOD14).) با مقادیر میانگین فضایی سبزینگی ماهانه استان (مستخرج از محصول MOD13A3 سنجنده MODIS) طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰، ارائه شده است. همان‌طور که در این ماتریس همبستگی دیده میشود، فراوانی سالانه رخدادهای آتش‌سوزی در سطح استان لرستان تنها با میانگین سبزینگی (شاخص NDVI) در ۴ ماه دوره رشد سال یعنی ماه‌های می، ژوئن، جولای و آگوست همبستگی معنی‌داری نشان داد و با مقادیر میانگین فضایی شاخص NDVI سایر ماه‌ها همبستگی معنی‌داری نشان نداد.

جدول (۲). ماتریس همبستگی بین میانگین فضایی ماهانه شاخص NDVI در سطح استان لرستان(مستخرج از محصول MOD13A3 سنجنده MODIS) و فراوانی سالانه رخدادهای آتش‌سوزی‌های ثبت شده استان لرستان (محصول آتش فعال سنجنده مادیس (ACTIVE FIRE-MOD14).)

ماه	میانگین فضایی NDVI	ضریب همبستگی
ژانویه	۰/۱۳	۰/۰۲
فوریه	۰/۱۵	۰/۰۱۱
مارس	۰/۱۷	۰/۰۹۲

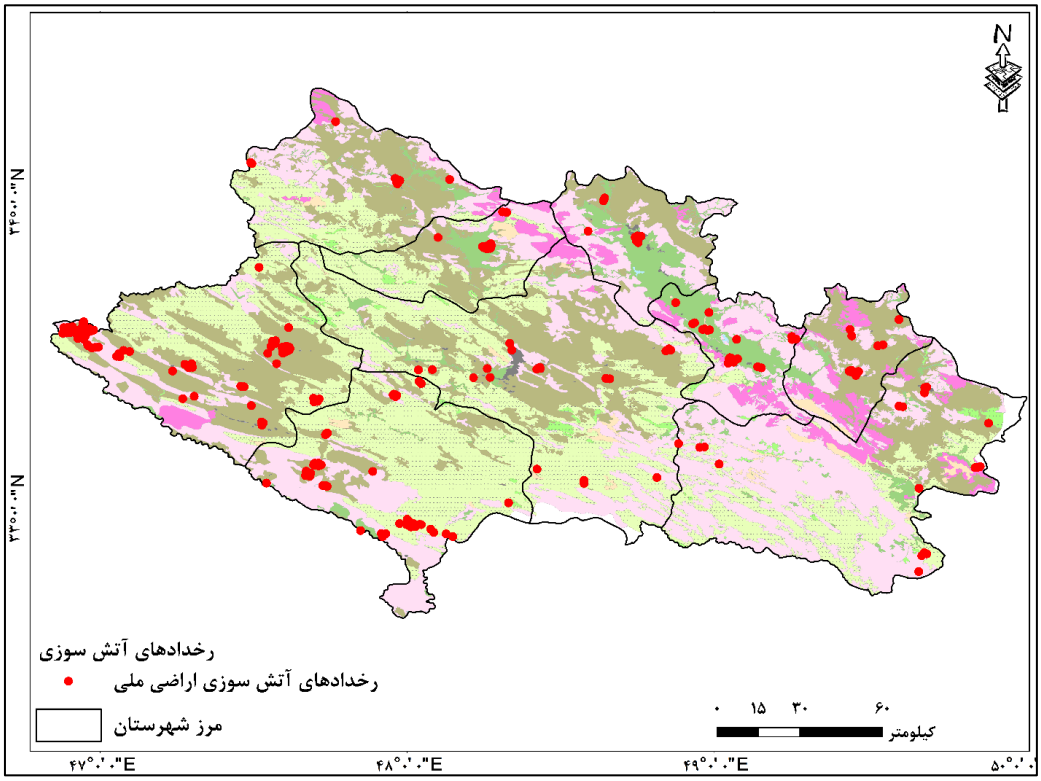
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.75.23]

آوریل	۰/۱۹	۰/۲۱
می	۰/۲	*۰/۳۱
ژوئن	۰/۲۲	**۰/۵۵
جولای	۰/۲	**۰/۵۱
آگوست	۰/۱۸	*۰/۳۶
سپتامبر	۰/۱۸	۰/۲۴
اکتبر	۰/۱۶	۰/۱۷
نوامبر	۰/۱۶	۰/۰۲
دسامبر	۰/۱۵	۰/۰۲

*معنی‌دار در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value=0.05)

**معنی‌دار در سطح اطمینان ۰/99 (P_value=0.01)

توزیع فضایی هسته‌های پرفراوانی رخدادهای آتش‌سوزی در شکل (۴) موقعیت‌هایی که در طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰، بیشترین فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی آشکارشده توسط سنجنده مادیس را داشته‌اند، در سطح استان لرستان ارائه‌شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، شهرستان‌های کوهدشت و سپس پلدختر، بیشترین کانون‌های ثابت رخدادهای آتش‌سوزی را طی دوره موردبررسی یعنی ۲۰۰۰-۲۰۲۰، به خود اختصاص داده‌اند.

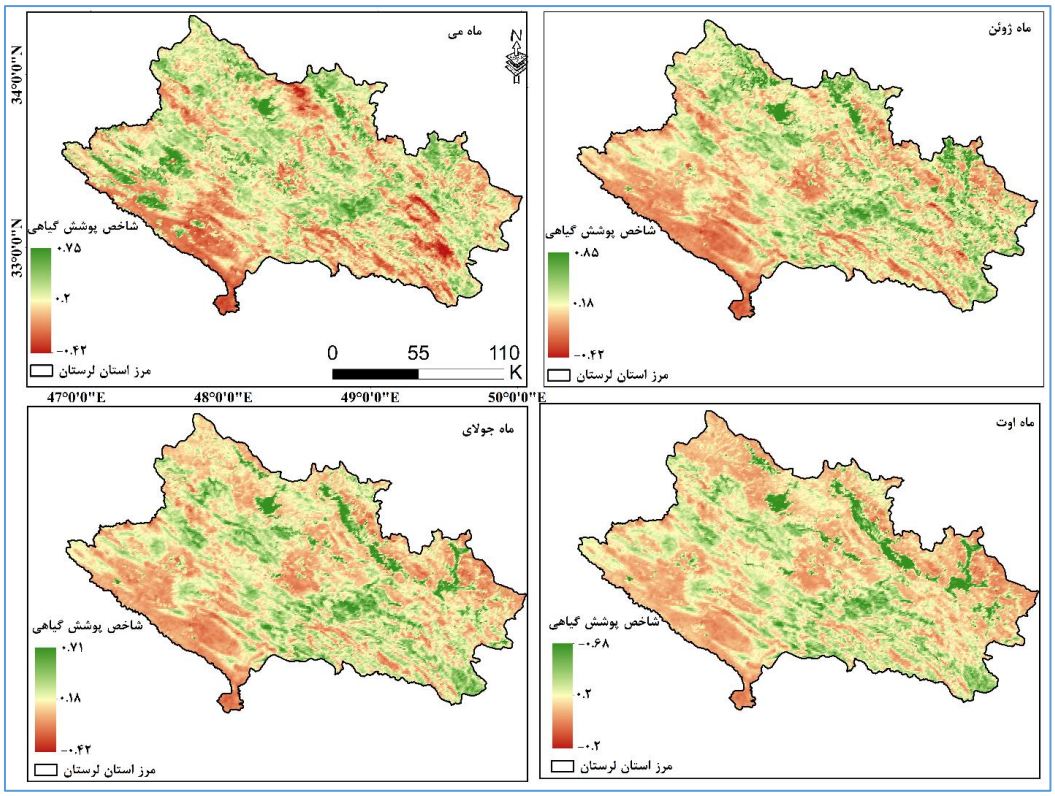


شکل (۴). توزیع فراوانی کانون‌های رخداد آتش‌سوزی محصول آتش فعال سنجنده مادیس (ACTIVE FIRE-MOD14)

از لحاظ شاخص NDVI در سطح استان لرستان(مستخرج از محصول MOD13A3 سنجنده MODIS) نتایج بیانگر آن بوده است که در ۴ ماه می تا آگوست که همبستگی معنی‌داری بین فراوانی سالانه رخدادهای آتش‌سوزی و میانگین ماهانه شاخص NDVI این ماه‌ها وجود دارد، کانون‌های رخداد آتش‌سوزی عموماً مبتنی بر پهنه‌های پوشش گیاهی بین

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.75.23]

۰/۱۵ تا ۰/۲۲ بوده است. این پهنه پوشش گیاهی عموماً اراضی دیم یا اراضی مراتع فقیر یا اشکوب‌های جنگلی کم تراکم هستند.



شکل(۵). توزیع فضایی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در سطح استان لرستان در ماه‌های می تا اگوست(مستخرج از محصول MOD13A3 سنجنده MODIS)

تحلیل ماتریس متقاطع بین توزیع فضایی کانون‌های رخداد آتش‌سوزی و شاخص NDVI که هر دو از محصولات سنجنده MODIS بوده‌اند، بیانگر آن بود که در ماه می، آستانه پوشش گیاهی ۰.۱۵ تا ۰.۲۲ بازه پوشش گیاهی منطبق بر بیشترین فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی بوده‌اند درحالی‌که در ماه ژوئن که بیشترین فراوانی سالانه رخدادهای آتش‌سوزی عرصه‌های طبیعی در این ماه متمرکز بوده است، بازه پوشش گیاهی۰.۱۷ تا ۰.۲۴ بازه منطبق بر بالاترین فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی بوده‌اند. در ماه جولای نیز که دومین ماه از لحاظ فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی (بعد از ژوئن) بوده است، بیشترین فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی در این ماه منطبق بر بازه سبزینگی ۰.۱۵ تا ۰.۲۲ بوده است. در ماه آگوست نیز که فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی کاهش قابل‌توجهی داشته است، بازه NDVI که بیشترین فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی را به خود اختصاص داده است، ۰.۱۵ تا ۰.۲۰ بوده است.

جدول (۳). ماتریس تحلیل متقاطع بین میانگین فضایی ماهانه شاخص NDVI در سطح استان لرستان(مستخرج از محصول MOD13A3 سنجنده MODIS) و فراوانی سالانه رخدادهای آتش‌سوزی‌های ثبت شده استان لرستان (محصول آتش فعال سنجنده مادیس (ACTIVE FIRE-MOD14).)

ماه	آستانه NDVI کانون‌های آتش‌سوزی
ماه می	۰/۱۵ تا ۰/۲۲
ماه ژوئن	۰/۱۷ تا ۰/۲۴
ماه جولای	۰/۱۵ تا ۰/۲۲
ماه اوت	۰/۱۵ تا ۰/۲۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.75.23]

نتیجه‌گیری

در این تحقیق رخدادهای آتش‌سوزی ماهانه طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰، مستخرج از محصول آتش فعال سنجنده مادیس در ارتباط با طبقات پوشش گیاهی (محصول MCD12Q1 سنجنده مادیس) مورد تحلیل زمانی و مکانی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به‌طورکلی در مقیاس درون سالی در استان لرستان، بیش از ۷۵ درصد رخدادهای آتش‌سوزی در ماه‌های ژوئن و جولای (اواسط اردیبهشت تا اواخر تیرماه) متمرکز است و علاوه بر آن روند سری زمانی فراوانی سالانه رخدادهای آتش‌سوزی یک روند افزایشی کلی با شیب‌خطی ۳ رخداد در سال را داشته است. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین پوشش گیاهی ماهانه و فراوانی سالانه رخدادهای آتش‌سوزی نشان داد که رخدادهای آتش‌سوزی در سطح استان با تغییرات پوشش گیاهی ۴ ماه دوره رشد یعنی از می تا آگوست همبستگی معنی‌داری نشان داده است. تحلیل ماتریس متقاطع بین توزیع فضایی کانون‌های رخداد آتش‌سوزی و شاخص NDVI که هر دو از محصولات سنجنده MODIS بوده‌اند، بیانگر آن بود که به‌طورکلی، بیشترین فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی در استان لرستان در دوره می تا آگوست، منطبق بر بازه سبزینگی ۰/۱۵ تا ۰/۲۲ بوده است. این بازه پوشش گیاهی عموماً منطبق بر اراضی دیم، مراتع ضعیف و اشکوب جنگلی کم تراکم بوده است. نتایج این تحقیق می‌تواند بیانگر آن باشد که با تمرکز مدیریت طی یک دوره زمانی ۶۲ روزه یعنی ۲۵ اردیبهشت تا ۲۵ تیر در عرصه دو پوشش اراضی مراتع و اشکوب جنگلی، می‌توان به‌صورت قابل‌توجهی فراوانی سالانه آتش‌سوزی را کنترل کرد.

منابع

اسکندری، سعیده؛ اوالدی قادیکالیی، جعفر؛ جلیلوند، حمید و سراجیان، محمدرضا (۱۳۹۶). مدل‌سازی و پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های بخش سه نکا - ظالم رود با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. *فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۲۱، ۲۳۰-۲۱۷.

اسکندری؛ سعیده (۱۳۹۴). آتش‌سوزی جنگل؛ تغییر اقلیم؛ تعداد آتش‌سوزی؛ وسعت آتش‌سوزی؛ جنگل‌های گلستان. *دو فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران*، ۱۳(۱)، ۱۰-۱.

آقازاده، فیروز (۱۳۹۹). به شناسایی بلادرنگ آتش‌سوزی جنگل و مراتع با استفاده از داده‌هایNOAA/AVHRR منطقه موردمطالعه: پناهگاه حیات‌وحش پیامک ی. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۷(۱)، ۱-۱۴.

جانبار قبادی؛ غلامرضا (۱۳۹۸). بررسی مناطق خطر آتش‌سوزی جنگل در استان گلستان، بر اساس شاخص خطر آتش‌سوزی با بهره‌گیری از تکنیک GIS. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۶(۳). ۸۹-۱۰۲.

زرعکار، آزاده؛ کاظمی زمانی، بهاره؛ قربانی، ساره؛ عاشق معال، مریم و جعفری، حمیدرضا (۱۳۹۲). تهیه نقشه پراکندگی فضایی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: سه حوزه جنگلی در استان گیلان). *فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۲۱(۲)، ۲۱۸ -۲۳۰.

مولودی، گلاله؛ خورانی، اسداله و مرادی، عباس (۱۳۹۵). اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج‌فارس. *مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۳(۱)، ۱-۱۴.

Aghazadeh, F. (2019). Real-time identification of forest and pasture fires using NOAA/AVHRR data. Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 7(1), 1-14. (In Persian)

Beltrami, H. & R. N, Harris. (2001). Inference of climate change from geothermal data, Global Planet. Change, 29, 148–352.

Chen, F. Niu, Sh. Tong, X. Zhao, J. Sun, Y. & He, T. (2014). The impact of precipitation regimes on forest fires in Yunnan Province, Southwest China. The Scientific World Journal, 1-9.

Eskandari, S. & Chuvieco, E. (2015). Fire danger assessment in Iran based on geospatial information. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 42, 57-64.

Eskandari, S. (2014). forest fire; climate change; number of fires; extent of fire; The forests of Golestan. Bi-Quarterly Journal of Scientific Research on the Support and Protection of Iran's Forests and Rangelands, 13(1), 1-10. (In Persian)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.24.75.23]

Eskandari, S. (2015). Investigation on the relationship between climate change and fire in the forests of Golestan Province. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 13 (1), 1-10. (In Persian)

Eskandari, S. Oaldi Qadikalii, J. Jalilund, H. & Sarajian, M. R. (2016). Modeling and forecasting the risk of fire in the forests of Se Neka-Zalemroud sector using geographic information system. Iranian Forest and Spruce Research Quarterly, 21, 230-217. (In Persian)

Hong, H. Naghibi, S. A. Moradi Dashtpagerdi, M. Pourghasemi, H. R. & Chen, W. (2017). A comparative nassessment between linear and quadratic discriminant analyses (LDA-QDA) with frequency ratio and weights-of-evidence models for forest fire susceptibility mapping in China. Arabian Journal of Geosciences, 10, 1-14.

Janbaz Qobadi; Gh. (2018). Investigation of forest fire risk areas in Golestan province, based on fire risk index using GIS technique. Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 6(3). 89-102. (In Persian)

Kassomenos, Pavlos. (2010). Synoptic circulation control on wild fire occurrence, Physics and Chemistry of the Earth, 35.

Leblon, B. García, PAF. Oldford, S. Maclean, DA. & Flannigan, M. (2007). Using cumulative NOAA-AVHRR spectral indices for estimating fire danger codes in northern boreal forests. International journal of applied earth observation and Geoinformation, 9(3), 335-342.

Maeda, E. E. Formaggio, R. A. Shimabukuro, Y. E. Shimabukuro, Y. E. Arcoverde, G. F. B. & Hansen, M. C. (2009). Predicting forest fire in the Brazilian Amazon using MODIS imagery and artificial neural networks. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,11, 265–272.

Mulodi, G. Khorani, E. & Moradi, A. (2015). The effect of climate change on heat waves on the northern coasts of the Persian Gulf. Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 3(1), 1-14. (In Persian)

Na, L. Zhang, J. Bao, Y. Bao, Y. Na, R. Tong, S. & Si, A. (2018). Himawari-8 Satellite Based Dynamic Monitoring of Grassland Fire in China-Mongolia Border Regions. Sensors, 18(1), 276.

Pereira, Mário G. Trigo, R. M. da Camara, C. Pereira, J. M.C. & Leite, S. M. (2005). Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal, Agricultural and Forest Meteorology, 129, 1-2.

Pourtaghi, ZS. Pourghasemi, HR. & Rossi, M. (2015). Forest fire susceptibility mapping in the Minudasht forests, Golestan province, Iran. Environmental Earth Sciences, 73(4), 1515-1533.

Sarkargar Ardakani, A. (2007). Analysis of radiometric- spatial characteristics of fire and its Application in identification and separation by remote sensing data. PhD thesis, Faculty of Engineering, Khaje- Nasir- Toosi University, 290.

Yin, H. Kong, FH. & Li, XZ. (2004). RS and GIS based forest fire zone mapping in Dahinggan Mountains. Chinese Geographical Science, 14 (3), 251- 25.

Zarekar, A. Kazemi Zamani, B. Qurbani, S. Asheq Maal, M & Jafari, H. (2012). Preparation of forest fire risk spatial distribution map using multi-criteria decision making method and geographic information system (case study: three forest areas in Gilan province). Iranian Forest and Spruce Research Quarterly, 21(2), 218-230. (In Persian)

Zumbrunnen, T. Pezzattic, G. B. Menéndezd, P. Bugmann, H. Bürgia, M. & Conederac, M. (2011). Weather and human impacts on forest fires: 100 years of fire history in two climatic regions of Switzerland. Forest Ecology and Management, 261, 2188-2199.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.24.75.23]