

Investigating the trend of wildfires and its relationship with climate variables using satellite data (case study: Mazandaran province)

Hadigheh Bahrami-Pichaghchi¹, Reza Norooz-Valashedi^{2*} , Mohammad Ali Gholami Sefidkouhi³

1. PhD Student of Agrometeorology, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2. *Corresponding Author*, Assistant Professor of Agrometeorology, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari., Iran
3. Associate Professor of Irrigation, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	<p>Wildfires are one of the critical environmental issues that cause financial and human losses. This harmful phenomenon endangers the lives of humans and creatures and is one of the factors of global warming. Its quick detection is a key element in controlling such a phenomenon. Therefore, this research aims to investigate the trend of active vegetation fire spots and its relationship with climatic variables using satellite data in Mazandaran province. So, while checking the efficiency of remote sensing data, practical measures can be taken to control and monitor this destructive phenomenon in a precise location and time. Therefore, in this research, meteorological data with daily scale, Brightness temperature 31 (BRIGHT_T31), and Fire Radiative Power (FRP) of MODIS sensors were used in the period from 2001 to 2022. The results showed that the most occurrences of vegetation fires were in the east of Mazandaran in the altitude classes of 0-500 meters and the lowest frequency was related to the altitude classes of 2500-5600 meters. Most of the vegetation fire incidents occurred in the hot and dry months of the year in the eastern strip of Mazandaran. The Petit homogeneity test was used to check the change point of fire. The results of the Petit homogeneity test presented the trend change point in an upward direction in July 2011 for the BRIGHT_T31 profile at the 95% confidence level. Spearman's non-parametric test was used to investigate the correlation between climatic parameters and the number of fires. Correlation results showed a significant relationship between climate parameters with a daily scale (Temperature, Precipitation, Relative Humidity, Sunshine Hours) and FRP and BRIGHT_T31 profiles at the 90% confidence level. So, temperature has been the most effective meteorological component of forest fires. As a result, fire events are strongly related to weather conditions.</p>
Article history:	
Received: 01 June 2023	
Revised: 09 September 2023	
Accepted: 13 October 2023	
Keywords: Forest fire, Mazandaran province, fire, FRP index, BRIGHT_T31 index.	

Cite this article: Bahrami-Pichaghchi, H., Norooz-Valashedi, R., & Gholami Sefidkouhi, M. A. (2024). Investigating the trend of wildfires and its relationship with climate variables using satellite data (case study: Mazandaran province). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 13(39), 127-140. DOI: 10.22111/jneh.2023.45573.1967



© Reza Norooz-Valashedi*

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2023.45573.1967

* Corresponding Author Email: r.norooz@sanru.ac.ir



مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۳۹، فروردین ۱۴۰۳

بررسی روند آتش‌سوزی‌ها و ارتباط آن با متغیرهای اقلیمی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (مطالعه موردی: استان مازندران)

حدیقه بهرامی پیچاقچی^۱، رضا نوروز ولاشدی^{۲*}، محمدعلی غلامی سفیدکوهی^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری (نویسنده مسئول)

۳. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	آتش‌سوزی پوشش گیاهی یکی از مسائل حیاتی محیط زیست است که باعث خسارت مالی و جانی می‌شود. این پدیده زیان‌بار حیات موجودات زنده را به خطر انداخته و خود از عوامل موثر بر گرمایش جهانی است. تشخیص سریع جهت کنترل چنین پدیده‌ای لازم است. هدف این پژوهش بررسی روند نقاط فعال آتش‌سوزی و ارتباط آن با متغیرهای اقلیمی توسط داده‌های دورسنجی در استان مازندران است تا ضمن بررسی کارایی داده‌های سنجنش‌زدور بتوان در کنترل و پایش دقیق مکانی و زمانی این پدیده مخرب اقدامات عملی انجام داد. از داده‌های هواشناسی با مقیاس روزانه، نمایه درجه حرارت روشنایی (BRIGHT_T31) و توان تابشی آتش (FRP) سنجنده MODIS در بازه سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ استفاده شد. نتایج نشان داد، بیشترین رخدادهای آتش‌سوزی پوشش گیاهی در شرق مازندران و در طبقات ارتفاعی ۵۰۰-۰ متر و کمترین فراوانی مربوط به طبقات ارتفاعی ۵۶۰۰-۲۵۰۰ متر بوده است. بیشینه رخدادهای آتش‌سوزی پوشش گیاهی در ماه‌های گرم و خشک سال شامل ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر در نوار شرقی مازندران رخ داده است. برای بررسی نقطه تغییر روند نقاط آتش‌سوزی پوشش گیاهی از آزمون همگنی پتیت استفاده شد که نتایج این آزمون، نقطه تغییر روند را به صورت صعودی در ماه ژوئیه سال ۲۰۱۱ برای نمایه BRIGHT_T31 در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داد. از ضریب همبستگی ناپارامتری اسپیرمن به منظور بررسی همبستگی بین پارامترهای اقلیمی و تعداد آتش‌سوزی‌ها استفاده شد. نتایج همبستگی نشان داد که میان پارامترهای اقلیمی در مقیاس روزانه (دما، بارش، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی) با نمایه‌های FRP و BRIGHT_T31 رابطه معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۰ درصد وجود دارد؛ به طوری که دما با ضریب همبستگی ۰/۷۲ مؤثرترین مؤلفه هواشناسی بر آتش‌سوزی جنگل بوده است. در نتیجه رخدادهای آتش‌سوزی به شدت با شرایط آب و هوایی مرتبط هستند که به طور مستقیم و غیرمستقیم بر اشتعال و انتشار آتش تأثیر می‌گذارد.
واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی جنگل، استان مازندران، آتش، نمایه FRP، نمایه BRIGHT_T31	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۱	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۱	

استناد: بهرامی پیچاقچی، حدیقه، نوروز ولاشدی، رضا، غلامی سفیدکوهی، محمدعلی. (۱۴۰۳). بررسی روند آتش‌سوزی‌ها و ارتباط آن با متغیرهای اقلیمی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (مطالعه موردی: استان مازندران). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳(۳۹)، ۱۲۷-۱۴۰.

DOI: 10.22111/jneh.2023.45573.1967



© حدیقه بهرامی پیچاقچی، رضا نوروز ولاشدی*، محمدعلی غلامی سفیدکوهی.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

یکی از پدیده‌های زیانبار زیست‌محیطی که اغلب در اکثر نقاط جهان اتفاق می‌افتد رخداد آتش‌سوزی است. خسارت‌های مالی و جانی ناشی از این حادثه غیرمترقبه بسیار زیاد و گاهی جبران‌ناپذیر است که هر ساله بسته به شرایط محیطی (دما، رطوبت نسبی، بارش، باد و غیره) و دخالت‌های انسانی، آتش‌سوزی‌هایی با ابعاد مختلف در عرصه‌های منابع طبیعی کشور از جمله جنگل‌های شمال رخ می‌دهد (آرنل^۱ و همکاران، ۲۰۲۱ و پورشکوری و همکاران، ۱۳۹۳). گاهی مشاهده شده است به‌طور وسیع برای تمیز کردن مزارع حتی در مجاورت جنگل از آتش استفاده می‌شود؛ زیرا این کار یک روش آسان و اقتصادی برای افزایش دسترسی به سطح زیرکشت است (اعظمی و پور هاشم‌زهی، ۱۳۹۷). در نتیجه این آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌های ایران علاوه بر خسارت‌های اقتصادی و آلودگی‌های زیست‌محیطی در از بین بردن گونه‌های گیاهی و جانوری منحصربه‌فرد این جنگل‌ها کاهش تنوع زیستی و کاهش ارزش کیفی گونه‌های گیاهی صنعتی نیز تأثیر مهمی داشته است. به‌علاوه آتش‌سوزی‌های اخیر در جنگل‌ها و مزارع ایران باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز شده است که خود نقش مهمی در گرمایش این بوم‌سامانه‌ها و افزایش وقوع آتش‌سوزی‌های متعاقب در این جنگل‌ها داشته است (اسکندری و اسکندری، ۱۴۰۰). بنابراین برای مبارزه با آتش‌سوزی جنگل و مزارع باید هم‌زمان رفتار آتش و نیز نحوه مبارزه با آن را در یک دنیای مجازی قبل، حین و بعد از وقوع آتش‌سوزی بازسازی و رفتار گسترش آتش، استراتژی‌ها و روش‌های مبارزه با آن را بررسی کرد. چنانچه آتش‌سوزی در ساعات اولیه شروع شناسایی و مهار شود می‌توان از نابودی بسیاری از جنگل‌ها و منابع طبیعی جلوگیری کرد. از این‌رو شناسایی آتش در ساعات اولیه شروع آن حیاتی است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۹).

سنجنده‌های ماهواره‌های سنجش‌ازدور با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب اطلاعات مهمی را برای هشدارهای زودهنگام آتش‌سوزی در دسترس قرار می‌دهد؛ همچنین فرصت‌هایی را برای آنالیز کیفی جنگل و دیگر بوم‌سامانه‌ها در مقیاس‌های مکانی، جغرافیایی، تکنولوژی و ژئومکانی فراهم می‌کند و اطلاعات و ابزارهای ضروری را برای ایجاد یک نقشه حساسیت آتش‌سوزی از طریق شناسایی، کلاسه‌بندی و تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی ایجاد می‌کند (لبیب^۲ و هریس^۳، ۲۰۱۸).

طی مطالعات اخیر، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS، ابزار ارزشمندی برای شناسایی آتش‌سوزی‌های در حال وقوع (فعال) بوده‌اند. از آنجایی که محصول آتش سنجنده MODIS در مقیاس جهانی تهیه شده است، می‌توان با دسترسی به این تصاویر مناطق آتش‌سوزی‌های فعال در جنگل‌ها و مزارع ایران را شناسایی نمود (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۹؛ اسکندری، ۱۳۹۴؛ شریف نژاد و همکاران، ۱۳۹۱؛ شجاعی زاده و همکاران، ۱۴۰۲). همچنین طبق مطالعات اخیر، نمایه توان تابشی^۴ (FRP) سنجنده MODIS قادر است نقاط فعال آتش‌سوزی را به خوبی برآورد کند (انگل^۵ و همکاران، ۲۰۲۲، فو^۶ و همکاران، ۲۰۲۰ و لی^۷ و همکاران، ۲۰۲۰).

1 Arnell

2 Labib

3 Harris

4 Fire Radiative Power

5 Engel

6 Fu

7 Li

پاندی و کوماری^۱ (۲۰۲۰) برای تجزیه و تحلیل کانون آتش‌سوزی جنگل، از سنجنده MODIS استفاده کردند و برای بررسی ارتباط وقوع آتش‌سوزی جنگل از پارامترهای هواشناسی مانند بارش، تابش خورشیدی، میانگین دما و رطوبت نسبی بهره گرفتند. گزارش کردند بین داده‌های هواشناسی و بررسی وقوع آتش‌سوزی جنگل رابطه معنی‌دار وجود دارد. زنگ^۲ و همکاران (۲۰۲۰) برای بررسی تغییرات و عوامل محرک آتش‌سوزی جنگل‌های استان ژجیانگ از داده‌های MODIS همراه با داده‌های هواشناسی و فعالیت‌های انسانی بهره گرفتند. نتایج نشان داد که تعداد آتش‌سوزی‌های جنگل در بهار و تابستان به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است، در حالی که آتش‌سوزی جنگل‌ها در پاییز و زمستان ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش یافته است. همچنین عوامل هواشناسی محرک اصلی آتش‌سوزی در پاییز و زمستان در منطقه ژجیانگ چین بوده است. اسکندری و جلیلود (۱۳۹۶) تأثیر تغییرات آب و هوایی بر رژیم آتش‌سوزی جنگل‌های نکا و بهشهر را بررسی کردند. براساس ضریب همبستگی پیرسون گزارش کردند که بین تعداد آتش‌سوزی‌های به وقوع پیوسته در جنگل‌های بهشهر و متوسط دمای سالانه در سطح اطمینان ۹۹ درصد و بین تعداد آتش‌سوزی‌های بهشهر و متوسط بارندگی سالانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد رابطه معنی‌داری وجود داشت.

اسکندری (۱۳۹۴) رابطه بین تغییر اقلیم و آتش‌سوزی در جنگل‌های استان گلستان را بررسی کردند. بر اساس ضریب همبستگی پیرسون اذعان داشتند 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. عالی محمودی و همکاران (۱۳۹۲) با سنجش عناصر اقلیمی مؤثر در توسعه آتش‌سوزی جنگل‌های زاگرس با به‌کارگیری مدل‌های رگرسیون در جنگل‌های زاگرس شهرستان ایزده اذعان داشتند که فاکتورهای دمای متوسط ($r=0.417, P=0.020$) و حداکثر دما ($r=0.417, P=0.037$) با مساحت سطوح سوخته‌شده همبستگی مثبت دارند. همچنین فاکتورهای حداقل رطوبت نسبی ($r=-0.207, P=0.028$) و متوسط رطوبت نسبی ($r=-0.395, P=0.000$) همبستگی منفی و حداکثر دما ($r=0.607, P=0.000$)، دمای متوسط ($r=0.595, P=0.000$) و تعداد ساعات آفتابی ($r=0.224, P=0.049$) با تعداد وقوع آتش‌سوزی همبستگی مثبت دارند.

باتوجه به اینکه جنگل‌های شمال ایران تحت عوامل مختلف تخریب قرار دارند، یکی از این عوامل تخریب، آتش‌سوزی است. پدیده آتش‌سوزی همه ساله سطح کم‌وبیش زیادی از مساحت جنگل‌های شمال را مورد تهدید یا خسارت قرار می‌دهد و بر کیفیت و سلامت آنها تأثیر منفی می‌گذارد. همان‌طور که پیشتر بیان شد، از آتش به‌طور وسیع برای افزایش سطح زیر کشت و تغییر کاربری استفاده می‌شود که برای پایش این پدیده اکثر مطالعات از نمایه‌های مختلفی مانند نمایه مناطق سوخته^۳ (BAI)، نمایه نسب سوختگی معمولی^۴ (NBR)، نمایه نسب سوختگی معمولی-حرارتی^۵ (NBRT) بهره گرفته‌اند (عباس‌زاده طهرانی و همکاران، ۱۴۰۰؛ عابدینی و همکاران، ۲۰۲۲). درحالی که کمتر از نمایه توان تابشی برای پایش نقطه فعال آتش‌سوزی پوشش گیاهی در ایران استفاده شده است.

1 Kumari & Pandey

2 Zeng

3 Burn Area Index

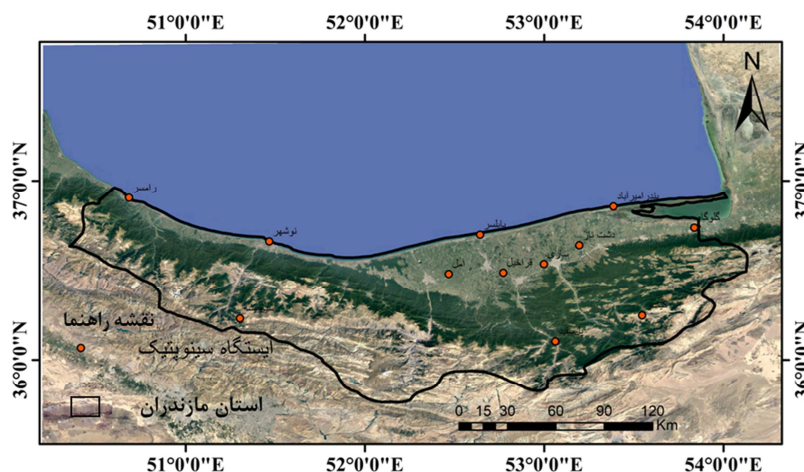
4 Normalized Burn Ratio

5 Normalized Burn Ratio-Thermal

به طوری که در استان مازندران پایش نقطه‌ای فعال آتش‌سوزی جنگل با استفاده از نمایه توان تابشی آتش‌سنگنده MODIS مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین هدف این پژوهش استفاده از داده نمایه توان تابشی محصولات سنجنده MODIS برای بررسی نقطه فعال آتش‌سوزی پوشش گیاهی مازندران و بررسی ارتباط آن با داده‌های هواشناسی است.

داده‌ها

منطقه‌ی مطالعاتی در این پژوهش، پهنه‌ی استان مازندران است (شکل ۱). استان مازندران با مساحتی بالغ بر ۲/۳۸ میلیون هکتار در شمال کشور ایران و در محدوده ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این منطقه در شمال ایران و در ساحل دریای خزر واقع شده و در بین رشته کوه‌های البرز در شمال قرار گرفته است. بیشترین ارتفاع این محدوده ۵۶۷۰ متر و کمینه ارتفاع آن ۲۱- متر از سطح دریاهای آزاد است. آب و هوای استان مازندران به دلیل ویژگی‌های خاص جغرافیایی آن و فاصله کم بین مناطق کوهستانی و دریا، همراه با بارش‌های سالانه نسبتاً قابل توجه (میانگین ۶۳۱ میلی‌متر در سال) و دمای معتدل (میانگین ۱۷ درجه سلسیوس) در طول سال است. استان مازندران دارای جنگل انبوه و پوشش گیاهی مناسبی است؛ به طوری که جنگل‌های استان، حدود ۱/۱ میلیون هکتار از گستره استان را شامل می‌شود که در این میان سهم جنگل‌ها در غرب استان حدود ۰/۳۱ میلیون هکتار (معادل ۲۸/۲ درصد) و در شرق استان حدود ۰/۷۹ میلیون هکتار (معادل ۷۱/۸ درصد) می‌باشند. هدف این مقاله استفاده از داده‌های سنجنده MODIS برای بررسی روند آتش‌سوزی پوشش گیاهی و ارتباط آن با متغیرهای هواشناسی در استان مازندران است. برای بررسی این هدف اصلی تعداد ۱۲ ایستگاه همدیدی از استان مازندران در نظر گرفته شده است که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های همدیدی و محدوده جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های روزانه سنجنده MODIS و هواشناسی طی دوره ۲۰۰۱-۲۰۲۲ است. این داده‌ها شامل ۱۰ متغیر درجه حرارت روشنایی (BRIGHT_T31)^۱، توان تابشی آتش (FRP)^۲ سنجنده MODIS، متوسط دما، بیشینه دما، کمینه دما، بارش، مجموع ساعات آفتابی، متوسط رطوبت نسبی، حداکثر رطوبت نسبی و حداقل رطوبت نسبی است که در مقیاس روزانه از سازمان هواشناسی ایران (IRIMO) تهیه شد. خلاصه‌ای از اطلاعات آماری مربوط به این داده‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات آماری نمایه توان تابشی آتش، درجه حرارت روشنایی و پارامترهای اقلیمی

متغیر	Variable	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف استاندارد
درجه حرارت روشنایی	BRIGHT_T31(k)	۰/۰	۵۹/۱	۹/۳	۱۰/۵
توان تابشی آتش	FRP(mw)	۰/۰	۳۱۶/۳	۱۸۲/۴	۱۴۶/۰
متوسط دما	T(°C)	۰/۸	۲۹/۳	۱۵/۸	۷/۱
بیشینه دما	Tmax(°C)	۵/۳	۳۵/۲	۲۰/۵	۷/۳
کمینه دما	Tmin (°C)	۲/۵-	۲۳/۲	۱۱/۱	۶/۹
مجموع بارش	rr24(mm)	۰/۱	۳۴۶/۷	۵۸/۱	۴۶/۰
مجموع ساعات آفتابی	Sun(h)	۷۱/۴	۱۴۹۳۲/۰	۲۳۲/۳	۹۸۳/۴
متوسط رطوبت نسبی	U (%)	۶۵/۳	۸۴/۲	۷۷/۴	۳/۷
حداکثر رطوبت نسبی	Umax (%)	۸۰/۹	۹۵/۲	۹۰/۸	۲/۴
حداقل رطوبت نسبی	Umin (%)	۴۵/۶	۷۰/۲	۶۰/۶	۵/۰

سنجنده MODIS

داده‌های مربوط به زمان و مختصات مکانی رخداد‌های آتش‌سوزی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ از مرکز پردازش داده‌های سنجنده MODIS (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>) ماهواره آکوآ و ترا^۳ دریافت شد. این داده‌ها محصول پردازش تصاویر سنجنده MODIS بوده که با استفاده از جدیدترین الگوریتم جهانی کشف آتش (Collection 6) (MODIS آنالیز شده و در اختیار کاربران قرار گرفته است. این ماهواره ۹۲۲ مورد آتش‌سوزی فعال را در استان مازندران طی یک دوره یک ساله (سال ۲۰۱۰) بیان کرده است. شرکت‌های ناسا^۴ با انواع قالب‌های داده، مکان‌های آتش‌سوزی جهانی (نقاط مهم) را به راحتی ارائه می‌دهند. ابر داده‌ی آتش‌سوزی به‌هنگام NASA's FIRMS، یک داده مکانی فعال برای آتش‌سوزی است که نشان‌دهنده تفکیک مکانی حدود میانی به ابعاد ۱ کیلومتر در ۱ کیلومتر است که از تصویر سنجنده MODIS با استفاده از الگوریتم‌های ناهنجاری‌های حرارتی استخراج می‌شود. داده‌های آتش‌سوزی به‌هنگام FIRMS^۵ بخشی از سامانه داده و اطلاعات سامانه پایش زمینی ناسا (EOSDIS)^۶ به منظور پایش و مدیریت گسترش آتش‌سوزی‌هاست. سامانه EOSDIS همراه با دوازده مرکز بایگانی فعال توزیع‌شده (DAAC) دسترسی به داده‌های مأموریت‌های علوم زمین ناسا را در دو بخش اصلی عملیاتی پروژه محور و بخش

^۱ Brightness Temperature 31 (Kelvin)

^۲ Fire Radiative Power (MW - MegaWatts)

^۳ Aqua and Terra

^۴ National Aeronautics and Space Administration

^۵ Fire Information for Resource Management System

^۶ Earth Observing System Data and Information System

تولیدات داده‌های علمی سطوح بالاتر فراهم می‌کند. خلاصه‌ای از تولیدات مکانی مربوط به آتش MCD14ML در جدول ۲ نشان داده شده است. تولیدات مکانی با تفکیک مکانی مشخص شده از سنجد مورد نظر اطلاعاتی نظیر مکان جغرافیایی، تاریخ و برخی مشخصات اضافی دیگر از تصاویر سنجد از دوری را در یک خروجی متنی مکان محور در مقیاس جهانی ارائه می‌کند. بر اساس راهنمای استفاده از این داده‌ها، رخداد های آتش سوزی دارای کدهای ۰، ۱، ۲ و ۳ به ترتیب در محدوده پوشش گیاهی و سایر منابع زمینی (به جز پوشش گیاهی) هستند (گیگلیو^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). الگوریتم‌های مورد استفاده در این پژوهش، الگوریتم توان تابشی آتش (FRP) و درجه حرارت روشنایی (BRIGHT_T31) کد صفر است که توسط ووستر^۲ و همکاران (۲۰۰۵) را کاملاً تشریح شده است.

جدول ۲: خلاصه‌ای از محصولات مکان آتش MCD14ML (گیگلیو و همکاران، ۲۰۱۸)

ردیف	Name	واحدها	توضیحات
۱	YYYYMMDD	-	سال ^۳ (YYYY)، ماه (MM) و روز (DD)
۲	HHMM	-	ساعت (HH) و دقیقه (MM)
۳	sat	-	ماهواره: ترا و اکوا
۴	lat	درجه	عرض جغرافیایی در مرکز پیکسل آتش
۵	lon	درجه	طول جغرافیایی در مرکز پیکسل آتش.
۶	T21	کلوین	باند ۲۱ دمای روشنایی پیکسل آتش.
۷	T31	کلوین	باند ۳۱ دمای روشنایی پیکسل آتش.
۸	sample	-	شماره نمونه (دامنه ۰-۱۳۵۳).
۹	FRP	مگاوات	توان تابشی آتش (FRP)
۱۰	conf	درصد	درجه اطمینان (دامنه ۰-۱۰۰). $0 \leq C < 30\%$ کم $30\% \leq C < 80\%$ متوسط $80\% \leq C \leq 100\%$ بالا
۱۱	type	-	نوع نقطه داغ استنباط شده: ۰ = آتش سوزی احتمالی پوشش گیاهی ۱ = آتش فشان فعال ۲ = سایر منابع زمینی ایستا ۳ = دریایی
۱۲	dn	-	الگوریتم پرچم ^۴ : روز (D) یا شب (N)

آزمون ناپارامتری پتیت

جهت بررسی تعیین نقطه تغییر از آزمون پتیت استفاده شده است که این آزمون توسط پتیت^۵ (۱۹۷۹) ارائه شده است و در نقطه زمانی مشخصی از سری داده‌ها تغییری معنی‌دار وجود داشته باشد، سری مورد نظر در آن مکان به دو جزء سری تقسیم می‌شود. در صورت معنی‌دار شدن نقطه شکست در سری مورد نظر، نسبت مقادیر میانگین اجزاء

1 Giglio
 2 Wooster
 3 UTC
 4 Flag
 5 Pettitt

سری قبل و بعد از نقطه تغییر، برای تحلیل بزرگی نقطه شکست به کار گرفته می‌شود. برای سری‌های زمانی که نقطه شکست معنی‌دار را نشان نمی‌دهد، آزمون روند روی کل سری اعمال می‌شود. توصیف این آزمون و نحوه محاسبات آن در مطالعات (پارتال و کهیا^۱، ۲۰۰۶) به‌طور مبسوط ارائه شده است.

ضریب همبستگی اسپیرمن

برای تعیین رابطه بین نمایه توان تابشی آتش و درجه حرارت روشنایی با داده‌های اقلیمی، از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. ضریب همبستگی اسپیرمن در اوایل دهه ۱۹۰۰ توسط چارلز اسپیرمن ارائه شد. ضریب همبستگی اسپیرمن که آن را با p نمایش داده می‌شود (رابطه ۱) همواره بین $+1$ و -1 در نوسان است و از جمله شرایط استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن، این است که دو متغیر باید سطح‌های زیادی داشته باشند تا رتبه‌بندی افراد مفهوم پیدا کند و چنانچه تعداد سطح‌ها کم باشد، به دلیل این که تعداد زیادی از پارامترها در یک رتبه قرار می‌گیرند، محاسبه ضریب امکان‌پذیر نیست (زارع چاهوکی، ۲۰۱۰).

$$p = 1 - \frac{6(\sum d_i^2)}{n(n^2 - 1)} \quad (1)$$

که در این معادله عبارت p ضریب همبستگی اسپیرمن، n تعداد مشاهده‌ها و عبارت $\sum d_i^2$ مجموع مجذور تفاوت دو رتبه است. لازم به یادآوری است با توجه به بررسی نرمال بودن داده‌ها و عدم پاسخ آزمون به معنی‌داری و پیروی از توزیع آماری نرمال داده‌ها، از همبستگی ناپارامتری یادشده بهره گرفته شد.

یافته‌های پژوهش

شکل ۲ نقاط آتش‌سوزی پوشش گیاهی برای دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ و طبقه ارتفاعی مختلف در استان مازندران را نشان می‌دهد که برای طبقه ارتفاعی مختلف از مدل رقومی ارتفاعی^۲ که از سایت ناسا^۳ با توان جداسازی مکانی ۳۰ متر موجود بود، استفاده شد. رخدادهای آتش‌سوزی پوشش گیاهی مازندران که بیشترین فراوانی این رخدادهای در طبقات ارتفاعی ۵۰۰-۰ متر که بیشتر این طبقه ارتفاعی مربوط به مزارع است. طبقه ارتفاعی ۱۶۰۰-۵۰۰ که مربوط به پوشش گیاهی جنگل‌های مازندران است نسبت به طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۰ دارای رخداد آتش‌سوزی کمتری است. همچنین کمترین فراوانی آتش‌سوزی مربوط به طبقات ارتفاعی ۵۶۰۰-۲۵۰۰ متر بود؛ به‌طوری که در این طبقه ارتفاعی فقط دو مورد آتش‌سوزی مشاهده شده است.

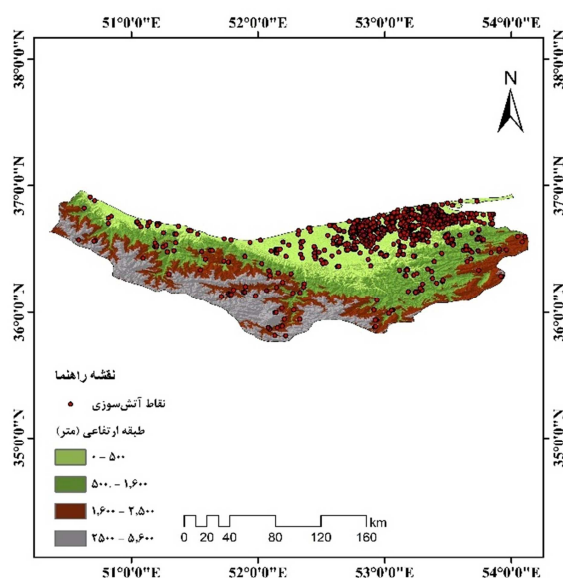
از لحاظ مکانی بیشینه رخدادهای آتش‌سوزی پوشش گیاهی در شرق مازندران رخ داده است (شکل ۲). به دلیل اینکه با حرکت از مناطق غربی به سمت مناطق شرقی استان، از مقدار بارش کاسته شده و بر میزان دمای هوا افزوده

1 Partal & Kahya

2 DEM

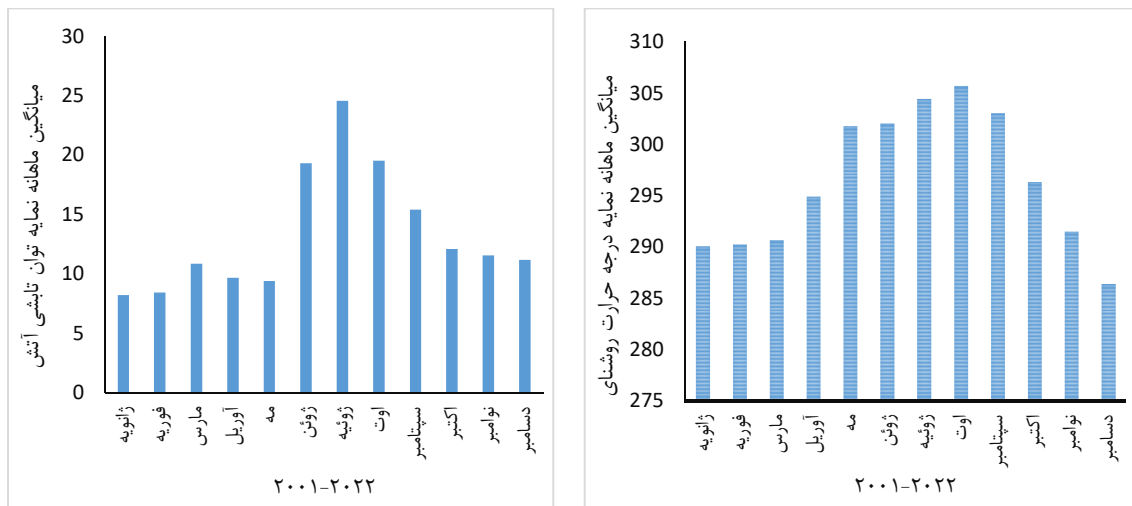
3 <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex>

می‌شود (بهرامی پیچاقچی و همکاران، ۱۳۹۹)، می‌تواند یکی از دلایل آتش‌سوزی در این منطقه باشد و اینکه بیشتر این منطقه مربوط به کشاورزی است که برای پاکسازی مزارع بقایای گیاهی آن را آتش می‌زنند. ارتفاع نیز یکی از عوامل مهم فیزیوگرافی است که بر ویژگی‌های عمومی آب و هوا تأثیر گذار بوده، به طوری که در ارتفاعات پایین‌تر درجه حرارت بیشتر و بارندگی کمتر است (بیشترین قسمت طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۰ در شرق مازندران قرار دارد) و در ارتفاعات بالاتر درجه حرارت کمتر و بارندگی بیشتر می‌شود. رخداد‌های آتش‌سوزی در طبقات ارتفاعی پایین (۵۰۰-۰ متر) بیشترین فراوانی را داشته که از دلایل آن می‌تواند وجود پوشش گیاهی مناسب در این طبقات ارتفاعی و بیشتر بودن فعالیت‌های انسانی مانند سوزاندن بقایای گیاهی باشد.



شکل ۲: نقاط آتش‌سوزی برای سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ و طبقه ارتفاعی مختلف در منطقه استان مازندران

شکل ۳ تغییرات میانگین ماهانه درجه حرارت روشنایی و توان تابشی آتش در دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد که به جهت زمانی بیشینه رخداد‌های آتش‌سوزی پوشش گیاهی در ماه‌های گرم و خشک سال شامل ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر در استان مازندران رخ داده است.



شکل ۳: تغییرات میانگین ماهانه نمایه درجه حرارت روشنایی و توان تابشی آتش در دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲

نقطه تغییر یا نقطه شکست توان تابشی آتش و درجه حرارت روشنایی در روزهای مختلف ۲۰۲۲-۲۰۰۱ با آزمون همگنی پتیت بررسی شد. نتایج آزمون همگنی پتیت نقطه تغییر را در سال ۲۰۱۱ ماه ژوئیه برای درجه حرارت روشنایی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ ارائه داد؛ ولی توان تابشی آتش فاقد نقطه تغییر معنی‌داری بود (جدول ۳).

جدول ۳: نتایج آماره پتیت برای نمایه درجه حرارت روشنایی و توان تابشی آتش به‌صورت روزانه در دوره آماری (۲۰۲۲-۲۰۰۱)

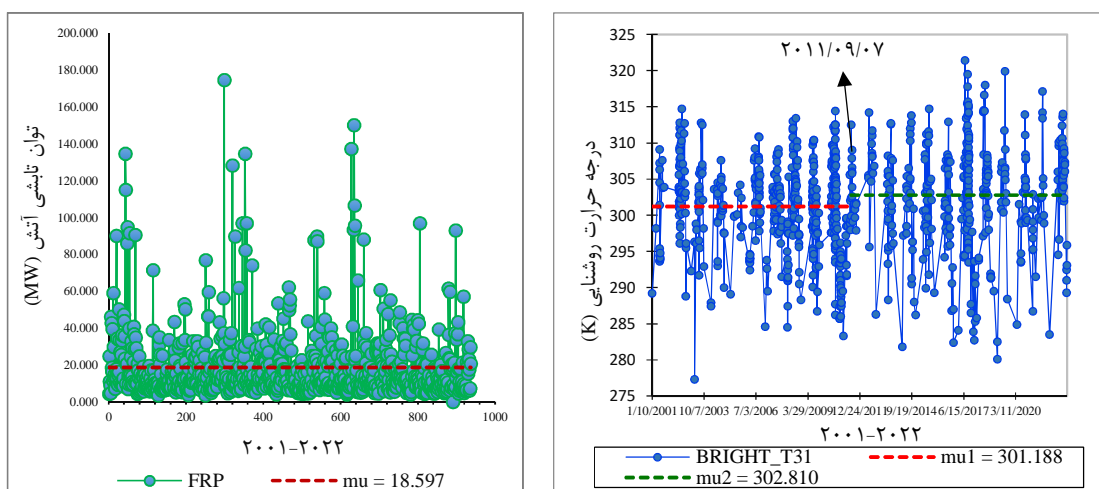
آزمون پتیت				
توان تابشی آتش		درجه حرارت روشنایی		تاریخ تغییر در سری زمانی ۲۰۱۱/۰۹/۰۷
p-value	K	p-value	K	
۰/۱۰	۲۱۹۱۹	۰/۰۰۱	*۳۰۰۶	

*: معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

همچنین نقطه تغییر در سری زمانی نمایه درجه حرارت روشنایی در ماه ژوئیه به‌صورت صعودی اتفاق افتاده است (شکل ۴). بنابراین، نتایج آزمون یادشده در آستانه‌های درجه حرارت روشنایی دارای تغییر ناگهانی و ناهمگنی بودند که در شکل ۴ نمایش داده شده است. بیشتر تغییرات در سال‌های اخیر سری‌های زمانی داده‌ها اتفاق افتاده است. وجود نقطه تغییر در سری‌های زمانی، داده‌ها را به دو سری متفاوت تقسیم می‌کند. به‌عبارتی، تغییر در ساختار سری‌های زمانی اتفاق افتاده است. تغییر زمانی در سری‌های زمانی اطلاعات مهمی در اختیار می‌گذارد. برای مثال، با بررسی این تغییرات ناگهانی می‌توان پی برد که عوامل طبیعی همچون تغییرات محیطی سبب تغییر ناگهانی در نمایه توان تابشی آتش و درجه حرارت روشنایی گشته است. پس نتایج حاصل‌شده هشدار می‌دهد که در مورد تحول آب و هوا در این منطقه که تحت عنوان پدیده گرمایش جهانی شناخته شده است.

همچنین با توجه به نمایه درجه حرارت روشنایی، شاهد جابه‌جایی زمان وقوع و افزایش شدت آتش‌سوزی‌ها در پوشش گیاهی شمال کشور نسبت به گذشته خواهیم بود که تا حدی نشان از غیرطبیعی بودن این آتش‌سوزی‌ها دارد. یکی از عوامل تاثیرگذار در این جابه‌جایی زمانی و مکانی، می‌تواند تغییرات اقلیمی باشد. به یقین می‌توان گفت

که این تغییرات آب و هوایی تأثیرات مستقیم بر کاهش سطح پوشش گیاهی شمال دارد (قنبری مطلق و امرایی، ۱۳۹۹؛ خلعتبری لیمای و همکاران، ۱۴۰۱؛ کوهانی و همکاران، ۱۴۰۲).



شکل ۴: نتایج آزمون پتیت برای بررسی زمان تغییر ناگهانی نمایه توان تابشی آتش (MW) و درجه حرارت روشنایی (K) در روزهای مختلف ۲۰۲۲-۲۰۰۱ منطقه مورد مطالعه

همچنین با بررسی همبستگی نمایه توان تابشی آتش و درجه حرارت روشنایی مطابق نتایج جدول شماره ۴ با پارامترهای اقلیمی مشخص شد که نمایه توان تابشی آتش دارای رابطه مستقیم (همبستگی مثبت) با بیشینه دما حدود ۰/۷۲۳، با میانگین دما حدود ۰/۷۱۹، با کمینه دما حدود ۰/۷۰۴، ساعات آفتابی حدود ۰/۶۰۲ است؛ به طوری که در سطح اطمینان ۹۹ درصد یا معنی داری ۰/۰۱ است. نمایه توان تابشی با متوسط رطوبت نسبی حدود ۰/۴۹۱، حداکثر رطوبت نسبی حدود ۰/۴۸۹، حداقل رطوبت نسبی حدود ۰/۴۰۶ و بارش حدود ۰/۳۷۴ دارای رابطه معکوس (همبستگی منفی) است که در سطح اطمینان ۰/۰۱ معنی دار است (جدول ۴). درجه حرارت روشنایی با بیشینه دما حدود ۰/۶۰۶، با میانگین دما حدود ۰/۶۰۲، با کمینه دما حدود ۰/۵۸۸، ساعات آفتابی حدود ۰/۴۹۳ دارای رابطه مستقیم است که در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی دار است و درجه حرارت روشنایی دارای رابطه معکوس با متوسط رطوبت نسبی حدود ۰/۴۴۳، حداکثر رطوبت نسبی حدود ۰/۴۴۲، حداقل رطوبت نسبی حدود ۰/۳۶۳ و بارش حدود ۰/۳۱۰ است که در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی دار است.

جدول ۴: بررسی ضریب همبستگی اسپیرمن بین نمایه توان تابشی آتش و درجه حرارت روشنایی با پارامترهای اقلیمی

متغیر	دما	بیشینه دما	کمینه دما	بارش	ساعات آفتابی	متوسط رطوبت نسبی	حداکثر رطوبت نسبی	حداقل رطوبت نسبی
درجه حرارت روشنایی	۰/۶۰۳*	۰/۶۰۶*	۰/۵۸۸*	۰/۳۱۰*	۰/۴۹۳*	-۰/۴۴۳*	۰/۴۴۲*	-۰/۳۶۳*
توان تابشی آتش	۰/۷۱۹*	۰/۷۲۳*	۰/۷۰۴*	-	۰/۶۰۲*	-۰/۴۹۱*	-۰/۴۸۹*	-۰/۴۰۶*

*: معنی داری در سطح ۰/۰۱

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که از لحاظ مکانی بیشترین رخداد آتش‌سوزی پوشش گیاهی در ارتفاعات پایین (۵۰۰-۰ متر) و قسمت شرق مازندران، همسو با نتایج پژوهش لافون و گریسینو مایر^۱ (۲۰۰۷) است که گزارش کردند در طبقه بالایی ارتفاع از سطح دریا کمترین فراوانی رخدادهای آتش‌سوزی ثبت شده است. بیشینه رخدادهای آتش‌سوزی پوشش گیاهی در ماه‌های گرم و خشک سال شامل ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر در نوار شرقی مازندران رخ داده است. این نتایج همسو با نتایج تحقیقات احمدی و همکاران (۱۴۰۱) و شجاعی‌زاده و همکاران (۱۴۰۲) است. گزارش کردند که بیشینه رخداد آتش‌سوزی پوشش گیاهی مربوط به ماه‌های گرم و خشک سال به‌خصوص ماه ژوئیه است.

همچنین مشابه پژوهش جاری تحقیقات اسکندری و جلیوند (۱۳۹۶)، اسکندری (۱۳۹۴)، محمودی و همکاران (۱۳۹۲)، شیخی و همکاران (۱۳۹۲)، دی آنجلیس^۲ و همکاران (۲۰۱۵)، پاندی و کوماری (۲۰۲۰)، آل کاهلوت^۳ و همکاران (۲۰۲۰) و ماسیندا^۴ و همکاران (۲۰۲۲) صورت گرفته است و در همه این تحقیقات، دما مؤثرترین مؤلفه هواشناسی بر آتش‌سوزی بوده است که هم‌جهت با نتایج حاصل از پژوهش جاری هستند. اما در پژوهش جاری همبستگی دما با آتش‌سوزی (حدود ۰/۷۱۹ و ۰/۶۰۲) بیشتر از همبستگی دما با آتش‌سوزی (ضریب برای دمای متوسط $r=0.595$) پژوهش عالی محمودی و همکاران (۱۳۹۲) بود. این تفاوت می‌تواند به دلیل شرایط اقلیمی متفاوت شهرستان ایذه با استان مازندران باشد؛ به طوری که ایذه دارای اقلیمی سرد و مرطوب است و استان مازندران دارای اقلیم مرطوب و معتدل است. همچنین در این تحقیقات کمترین همبستگی مربوط به مؤلفه رطوبت نسبی و بارش است که هم‌جهت با پژوهش جاری است. با توجه به رابطه مستقیم دما و آتش‌سوزی پوشش گیاهی، می‌توان گفت که نوسانات دما باعث افزایش آتش‌سوزی می‌شود و در بلند مدت می‌تواند موجب کاهش رطوبت در محیط‌های طبیعی مانند شمال کشور شود. ضمن اینکه رطوبت نسبی و آتش‌سوزی دارای رابطه معکوس هستند یعنی اینکه رطوبت موجود در جنگل‌های هیرکانی می‌تواند تا حد زیادی مانع از گسترش آتش‌سوزی‌ها شود؛ اما با کاهش این رطوبت و افزایش دما می‌توان گفت که در آینده وسعت آتش‌سوزی‌ها افزایش پیدا خواهد کرد که این نتایج همسو با نتایج شیخی و همکاران (۱۳۹۲) است. طبق بررسی‌های انجام‌شده، می‌توان نتیجه گرفت که متغیرهای اقلیمی می‌تواند سبب تغییر در روند وقوع آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی شود. به طوری که تغییرات اقلیمی ممکن است همراه با افزایش دما و کاهش رطوبت و بارندگی باشد که این عوامل می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر اشتعال و انتشار آتش تأثیرگذار باشد. بدین سبب، آمادگی شرایط برای شروع و گسترش آتش‌سوزی بستگی به شرایط مختلف پارامترهای هواشناسی دارد و به همین دلیل می‌توان پیشنهاد کرد با استفاده از همین عوامل، پیش‌بینی وقوع آتش را با مدل‌ها و نمایه‌های گوناگون انجام داد. همچنین تأثیر سناریوهای گرمایش جهانی روی آتش‌سوزی پوشش گیاهی بررسی شود. به طوری که آتش‌سوزی پوشش گیاهی هر ساله خسارت‌های زیادی را به بوم‌سامانه‌های مرتعی و جنگلی وارد می‌سازند. از جمله خسارت‌های وارده می‌توان به افزایش اختلاف دمای شب و روز، کاهش ظرفیت گرمایی

1 Lafon & Grissino-Mayer

2 De Angelis

3 Al-Kahlout

4 Masinda

ویژه، کاهش تنوع زیستی گونه‌های سازگار شده با شرایط منطقه، کاهش گیرش گردوغبار، تشدید آلودگی هوا و کاهش نفوذ آب در خاک اشاره نمود.

منابع

- احمدی، محمود؛ شجاعی زاده، کبری؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۱). بررسی ارتباط شاخص‌های پوشش گیاهی بر رخداد آتش‌سوزی در نواحی رومیزی ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. <https://doi.org/10.22067/GEOEH.2022.78468.1276>
- اسکندری، سعیده؛ اسکندری، سمانه. (۱۴۰۰). آتش‌سوزی جنگل‌های ایران، پیامدها، روش‌های مقابله و راهکارها. انسان و محیط زیست، ۱۹(۱)، صص ۱۷۵-۱۸۷.
- اسکندری، سعیده؛ جلیوند، حمید. (۱۳۹۶). تأثیر تغییرات آب و هوایی بر رژیم آتش‌سوزی جنگل‌های نکا و بهشهر. تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۱۵(۱)، صص ۳۰-۳۹.
- اسکندری، سعیده. (۱۳۹۴). رابطه بین تغییر اقلیم و آتش‌سوزی در جنگل‌های استان گلستان. تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۱۳(۱)، صص ۱-۱۰.
- اعظمی، جابر؛ پورهاشم زهی، سمیه. (۱۳۹۷). آثار آتش‌های عمدی بخش کشاورزی بر محیط زیست (مطالعه موردی: استان اصفهان). انسان و محیط زیست، ۱۶(۳)، صص ۱۱۳-۱۲۴.
- بهرامی پیچاقچی، حدیقه؛ رائینی سرجاز، محمود؛ نوروز ولاشدی، رضا. (۱۳۹۹). بررسی اثرگذاری گرمایش فراگیر بر تغییرات زمانی و مکانی پوشش برف و ماندگاری آن در گستره‌ی دامنه شمالی البرز مرکزی. *هواشناسی کشاورزی*، ۸(۱)، صص ۱۵-۲۵.
- پورشکوری اله ده، فرخ؛ درویش صفت، علی اصغر؛ صمد زادگان، فرهاد؛ عطارد، پدram؛ سلیمانی، جواد. (۱۳۹۲). ارزیابی الگوریتم جهانی کشف آتش در شناسایی آتش فعال در عرصه‌های منابع طبیعی به کمک تصاویر سنجنده MODIS (مطالعه موردی: پارک ملی گلستان). *پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۲۰(۴)، صص ۸۱-۹۷.
- خلعتبری لیمایی، مهدیه؛ اسحق نیموری، مجید؛ علوی، جلیلی؛ مناجی، اسداله؛ کاظم نژاد، فرید. (۱۴۰۱). بررسی تغییرات پراکنش ارتفاعی گونه ممرز تحت تاثیر تغییر اقلیم آینده در شمال ایران. *تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده*، ۱۳(۲)، صص ۷۱-۸۵.
- شجاعی زاده، کبری؛ احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۲). تغییرات زمانی - مکانی آتش‌سوزی نواحی رومیزی ایران مبتنی بر پرونداد سنجنده MODIS. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۲(۳۶)، صص ۱-۱۰.
- شریف نژاد، طوبی؛ خاوریان نهزک، حسن؛ ورامش، سعید. (۱۴۰۰). ارزیابی قابلیت محصولات آتش سنجنده مادیس در شناسایی آتش‌سوزی‌ها در استان گلستان. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۰(۳۰)، صص ۱-۱۶.
- شیخی، مرضیه؛ کابلی، سیدحسن؛ رحیمی، محمد؛ یزدانی، محمدرضا؛ معافی، مهران. (۱۳۹۲). بررسی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر پارامترهای اقلیمی (مطالعه موردی: استان مازندران، پارسای کارشناسی ارشد، رشته بیابان‌زدایی، دانشکده کویر شناسی، دانشگاه سمنان).
- عابدینی، موسی؛ محمدرزاده شیشه‌گران، مریم؛ قلعه، احسان. (۱۴۰۱). پایش و برآورد وسعت مناطق گرفتار حریق بخشی از کوهستان زاگرس با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۳(۴)، صص ۴۹-۶۲.
- عالی محمودی، سجاده؛ فقهی، جهانگیر؛ جباریان امیری، بهمن؛ دانه‌کار، افشین؛ عطارد، پدram. (۱۳۹۲). سنجش عناصر اقلیمی مؤثر در توسعه‌ی آتش‌سوزی جنگل‌های زاگرس با به‌کارگیری مدل‌های رگرسیون در جنگل‌های زاگرس شهرستان ایذه. *نشریه محیط زیست طبیعی*، ۶۶(۲)، صص ۱۹۱-۲۰۱.
- عباس‌زاده طهرانی، نادیا؛ مروتی، آذر؛ خانبانی، سارا؛ جانعلی پور، میلاد. (۱۴۰۰). ارزیابی عملکرد پردازش تک‌زمانه و چندزمانه‌ی تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ مبتنی بر طبقه‌بندی‌کننده‌های ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی در پایش آتش‌سوزی جنگل‌ها. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۸(۲)، صص ۱۱۹-۱۳۵.

عزیزی، معصومه؛ خسروی، محمد؛ پوررضا، مرتضی. (۱۳۹۹). فراوانی رخداد‌های آتش‌سوزی در ارتباط با فیزیوگرافی جنگل‌ها و مراتع زاگرس (استان کرمانشاه) با استفاده از داده‌های آتش فعال سنجنده MODIS. تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۱۸(۱)، صص ۴۲-۵۵.

قنبری مطلق، محدثه؛ امرایی، بهزاد. (۱۳۹۹). آشکارسازی ارتباط زمانی - مکانی تغییرات پوشش گیاهی در استان مازندران با عناصر اقلیمی. جغرافیا و پایداری محیط، ۱۰(۲)، صص ۳۷-۵۵.

کوهانی، مریم؛ کیانی، عباس؛ ابراهیمیان قاجاری، یاسر. (۱۴۰۲). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به منظور تحلیل بلند مدت روند تغییرات و تشخیص ناهنجاری پوشش گیاهی با کمک داده‌های هواشناسی. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر».

<https://doi.org/10.22131/sepehr.2023.1982943.2932>

Al-Kahlout, M. M., Ghaly, A. M. A., Mudawah, D. Z., & Abu-Naser, S. S. (2020). Neural network approach to predict forest fires using meteorological data. *International Journal of Academic Engineering Research (IJAER)*, 4(9).

Arnell, N., Freeman, A., & Gazzard, R. (2021). The effect of climate change on indicators of fire danger in the UK. *Environmental Research Letters*, 16(4), 044027.

De Angelis, A., Ricotta, C., Conedera, M., & Pezzatti, G. B. (2015). Modeling the meteorological forest fire niche in heterogeneous hydrologic conditions. *PloS one*, 10(2), e0116875.

Engel, C. B., Jones, S. D., & Reinke, K. J. (2022). Fire Radiative Power (FRP) Values for Biogeographical Region and Individual Geostationary HHMMSS Threshold (BRIGHT) Hotspots Derived from the Advanced Himawari Imager (AHI). *Remote Sensing*, 14(11), 2540.

Fu, Y., Li, R., Wang, X., Bergeron, Y., Valeria, O., Chavardès, R. D., Wang, Y., & Hu, J. (2020). Fire detection and fire radiative power in forests and low-biomass lands in Northeast Asia: MODIS versus VIIRS Fire Products. *Remote Sensing*, 12(18), 2870.

Giglio, L., Schroeder, W., Hall, J., & Justice, C. MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide Revision B. 2018. In: NASA.

Kumari, B., & Pandey, A. C. (2020). MODIS-based forest fire hotspot analysis and its relationship with climatic variables. *Spatial Information Research*, 28(1), 87-99.

Labib, S., & Harris, A. (2018). The potentials of Sentinel-2 and LandSat-8 data in green infrastructure extraction, using object-based image analysis (OBIA) method. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 231-240.

Lafon, C. W., & Grissino-Mayer, H. D. (2007). Spatial patterns of fire occurrence in the central Appalachian Mountains and implications for wildland fire management. *Physical Geography*, 28(1), 1-20.

Li, F., Zhang, X., & Kondragunta, S. (2020). Biomass burning in Africa: An investigation of fire radiative power missed by MODIS using the 375 m VIIRS active fire product. *Remote Sensing*, 12(10), 1561.

Masinda, M. M., Li, F., Qi, L., Sun, L., & Hu, T. (2022). Forest fire risk estimation in a typical temperate forest in Northeastern China using the Canadian forest fire weather index: a case study in autumn 2019 and 2020. *Natural hazards*, 111(1), 1085-1101.

Partal, T., & Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(9), 2011-2026.

Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 28(2), 126-135.

Wooster, M. J., Roberts, G., Perry, G., & Kaufman, Y. (2005). Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: FRP derivation and calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D24).

Zare Chahouki, M. (2010). Data analysis in natural resources research using SPSS software. Academic, Tehran.

Zeng, A.-C., Cai, Q.-J., Su, Z.-w., Guo, X.-B., Jin, Q.-F., & Guo, F.-T. (2020). Seasonal variation and driving factors of forest fire in Zhejiang Province, China, based on MODIS satellite hot spots. *Ying Yong Sheng tai xue bao= The Journal of Applied Ecology*, 31(2), 399-406.

References

References (in Persian)

- Aazami, J., & Pourhashemzahi, S. (2018). The Effect of Arson in Agriculture on the Environment (Case study: Esfahan Province). *Human & Environment*, 16(3), 113-124. [In Persian]
- Abbaszadeh Tehrani, N., Morovati, A., Khanbani, S., & Janalipour, M. (2021). Evaluating Performance of Support Vector Machine and Random Forest Classifiers in Monitoring Wildfire from pre-and post-event Landsat8 Satellite Images. *Environmental Management Hazards*, 8(2), 117-133. [In Persian]
- Abedini, M., Shishegaran, M., & Ghale, E. (2022). Monitoring and Estimating the Fire-Affected Areas of the Zagros Mountains Using Landsat Satellite Images. *Geography and Environmental Planning*, 33(4), 49-62. [In Persian]
- Ahmadi, M., Shojaeizadeh, K., & Dadashi-Roudbari, A. (2022). Investigating the relationship between vegetation indices and the occurrence of wildfire in the vegetation areas of Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 10.22067/GEOEH.2022.78468.1276. [in Persian]
- Aleemahmoodi Sarab, S., Fegghi, J., Jabbarian Amiri, B., Danehkar, A., & Attarod, P. (2013). Applying the regression models to assess the influences of climate factors on forest fires (case study: Izeh). *Journal of Natural Environment*, 66(2), 191-201. [in Persian]
- Azizi, M., Khosravi, M., & Pourreza, M. (2020). Frequency of fire incidence concerning Zagros forests and rangelands physiography (Kermanshah province) using MODIS active fire data. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 18(1). <https://doi.org/10.22092/ijfrpr.2020.342093.1421>. [in Persian]
- Bahrami Pichaghchi, H., Raeini-Sarjaz, M., & Norooz Valashedi, R. (2020). Investigation of the effect of global warming on temporal and spatial changes of snow cover and its durability in the northern slope of Central Alborz. *Journal of Agricultural Meteorology*, 8(1), 15-25. [in Persian]
- 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). [In Persian]
- Eskandari, S., & Eskandari, S. (2021). Fire of Iranian forests, consequences, opposition methods, and solutions. *Human & Environment*, 19(1), 175-187. [In Persian]
- Eskandari, S., & Jalilvand, H. (2017). Effect of weather changes on fire regime of Neka and Behshahr forests. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 15(1), 30-39. [In Persian]
- Ghanbari Motlagh, M., & Amraei, B. (2020). Detecting the Spatiotemporal Relationship of Vegetation Changes with Climatic Elements in Mazandaran Province. *Geography and Environmental Sustainability*, 10(2), 37-55. [In Persian]
- Khalatbari Limaki, M., Es-hagh-Nimvari, M., Alavi, S. J., Mataji, A., & Kazemzhadad, F. (2023). Elevational shift of *Carpinus betulus* L. under the future climate change in northern Iran. *Journal of Renewable Natural Resources Research*, 13(2), 71-85. [In Persian]
- Kouhani, M., Kiani, A., & Ebrahimi Ghajari, Y. (2023). Using satellite images for long-term analysis of vegetation changes and detection of vegetation anomalies with the help of meteorological data. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2023.1982943.2932>. [In Persian]
- Pourshakouri, F., Darvishsefat, A. A., Samadzadegan, F., Attarod, P. A., & Selyari, J. S. (2014). Assessment of active fire detection algorithm for fire detection in natural resources using MODIS images (case study: Golestan National Park). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 20(4), 81-97. [In Persian]
- Sharifnejad, T., Nehzak, H. K., & Varamesh, S. (2022). Assessing the capability of Modis fire detector products in identifying fires in Golestan State. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(30), 1-1. [In Persian]
- Sheikhi, M. Kabuli, S. Rahimi, M. Yazdani, M. Moafi, M. (2012). Investigating the risk of forest fire using indicators based on climatic parameters (case study: Mazandaran province, Parsa, Master's degree, Department of Desertification, Faculty of Desertology, Semnan University. [In Persian]
- Shojaeizadeh, K., Ahmadi, M., & Dadashi-Roudbari, A. (2022). Spatiotemporal changes of forest fire in vegetation areas of Iran based on MODIS sensor. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 36(12), 1-1. [In Persian]

References (in English)

- Al-Kahlout, M. M., Ghaly, A. M. A., Mudawah, D. Z., & Abu-Naser, S. S. (2020). Neural network approach to predict forest fires using meteorological data. *International Journal of Academic Engineering Research (IJAER)*, 4(9).
- Arnell, N., Freeman, A., & Gazzard, R. (2021). The effect of climate change on indicators of fire danger in the UK. *Environmental Research Letters*, 16(4), 044027.
- De Angelis, A., Ricotta, C., Conedera, M., & Pezzatti, G. B. (2015). Modeling the meteorological forest fire niche in heterogeneous hydrologic conditions. *PloS one*, 10(2), e0116875.
- Engel, C. B., Jones, S. D., & Reinke, K. J. (2022). Fire Radiative Power (FRP) Values for Biogeographical Region and Individual Geostationary HHMMSS Threshold (BRIGHT) Hotspots Derived from the Advanced Himawari Imager (AHI). *Remote Sensing*, 14(11), 2540.
- Fu, Y., Li, R., Wang, X., Bergeron, Y., Valeria, O., Chavardès, R. D., Wang, Y., & Hu, J. (2020). Fire detection and fire radiative power in forests and low-biomass lands in Northeast Asia: MODIS versus VIIRS Fire Products. *Remote Sensing*, 12(18), 2870.

- Giglio, L., Schroeder, W., Hall, J., & Justice, C. MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide Revision B. 2018. In: NASA.
- Kumari, B., & Pandey, A. C. (2020). MODIS-based forest fire hotspot analysis and its relationship with climatic variables. *Spatial Information Research*, 28(1), 87-99.
- Labib, S., & Harris, A. (2018). The potentials of Sentinel-2 and LandSat-8 data in green infrastructure extraction, using object-based image analysis (OBIA) method. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 231-240.
- Lafon, C. W., & Grissino-Mayer, H. D. (2007). Spatial patterns of fire occurrence in the central Appalachian Mountains and implications for wildland fire management. *Physical Geography*, 28(1), 1-20.
- Li, F., Zhang, X., & Kondragunta, S. (2020). Biomass burning in Africa: An investigation of fire radiative power missed by MODIS using the 375 m VIIRS active fire product. *Remote Sensing*, 12(10), 1561.
- Masinda, M. M., Li, F., Qi, L., Sun, L., & Hu, T. (2022). Forest fire risk estimation in a typical temperate forest in Northeastern China using the Canadian forest fire weather index: a case study in autumn 2019 and 2020. *Natural hazards*, 111(1), 1085-1101.
- Partal, T., & Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(9), 2011-2026.
- Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 28(2), 126-135.
- Wooster, M. J., Roberts, G., Perry, G., & Kaufman, Y. (2005). Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: FRP derivation and calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D24).
- Zare Chahouki, M. (2010). *Data analysis in natural resources research using SPSS software*. Academic, Tehran.
- Zeng, A.-C., Cai, Q.-J., Su, Z.-w., Guo, X.-B., Jin, Q.-F., & Guo, F.-T. (2020). Seasonal variation and driving factors of forest fire in Zhejiang Province, China, based on MODIS satellite hot spots. *Ying Yong Sheng tai xue bao= The Journal of Applied Ecology*, 31(2), 399-406.