



Understanding Wildfire Regime and Mapping Wildfire Hazard in the Protected Areas in Guilan Province

Roghayeh Jahdi 

Associate Professor of Forest Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. E-mail: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Every year, wildfires burn large areas in the Hyrcanian forests, of northern Iran. However, there is no information about the increasing fire activities and losses of forests and pastures, especially in the protected areas that are protected due to their known natural, ecological, or cultural values. This study aims to know the fire regime and assess fire risk in protected areas in Guilan province (256488 hectare). Fire ignitions and frequency/frequency of burned areas from 1992 to 2022 were identified. Then fire behavior modeling was done to simulate burn probability and fire intensity (i.e. conditional flame length) using the FlamMap modeling system based on fire weather information, topography maps, local fuel models, and historical fire data. By combining maps of simulated burn probability and conditional flame length, a fire hazard map was prepared in the protected areas. According to the obtained results, 8% of the number of historical fires in the period occurred in the protected areas, although most of these fires have very small sizes and limited burned areas (including 0.1% of the burned areas in the province). Frequent fires (fire frequency more than 1) cover 60% of the protected areas, and 11% of these areas are highly likely to ignite. The changes in the burn probability and fire intensity reflect the diversity of fire activity in the protected areas, especially in the south-central parts, which catch the highest values of burn probability (more than 1) and conditional flame length (more than 3 meters). Finally, the fire hazard mapping showed that 77.7% and 4.8% of the protected areas are classified as very low and low fire hazards, respectively. On the other hand, 12.4% and 5.2% of these areas were placed in high and very high hazard classes, respectively. The quantitative results of this research provide scientific criteria for identifying high-priority areas in protected areas where management efforts can help reverse the increasing fire risk of protected forests.
Article history:	
Received	
2024/07/10	
Received in revised	
2025/01/06	
Accepted	
2025/01/23	
Published	
2025/01/24	
Published online	
2026/06/22	
Keywords:	
Fuel,	
Fire behavior,	
Fire risk,	
Frequency,	
Burn probability.	

Cite this article: Jahdi., Roghayeh. (2026). Understanding Wildfire Regime and Mapping Wildfire Hazard in the Protected Areas in Guilan Province. *Applied Researches in Geographical Sciences*, 26 (81), 134-151. DOI: <http://dx.doi.org/10.66224/jgs.26.81.11>



© The Author(s). Publisher: Kharazmi University

DOI: <http://dx.doi.org/10.66224/jgs.26.81.11>



Extended Abstract

Introduction

Fire regime refers to fire patterns that occur over long periods and the immediate effects of fire in the ecosystems occurs ([Krebs](#) et al., 2010), which is a function of the frequency of fire occurrence, fire intensity, and the fuel amount. Understanding past and present fire regimes is very important in predicting future changes and understanding fire behavior over time and space ([Wang](#) et al., 2022). Along with understanding the fire regime in an area, determining and evaluating the main concepts of fire such as fire hazard, fire risk, and fire danger are the main components of fire management. In order to facilitate this understanding and assessment of fire risk to promote effective fire management, we identify the fire regime and fire risk mapping in the past three decades in the protected areas of Guilan province. The main goals of this research include: 1) What is the spatial distribution of fires and fire recurrence in the study area? 2) What is the ignition probability in protected areas? and 3) how is the distribution of fire hazard map classes in the study area? The results of this research describe the current fire regime and the fire risk assessment approach based on modeling presented can be extended to other protected areas prone to fire in the country.

Material and Methods

This study was conducted in the protected areas (20 regions with a total area of 256,488 hectare) of Guilan province (14,044 km²) in northern Iran (Figure 2). We used the fires that occurred between 1992 and 2022 in the study area. Fire simulation inputs (topography, weather, fuels, and historical fire activity) were collected. The method used to prepare these data was presented in a previous study ([Jahdi](#) and Al-Haj Khalaf, 2024). Using historical fire data, two component maps of the fire regime (fire frequency and ignition probability) were prepared using GIS tools. Then, using all input data, 10,000 fires were simulated for each pixel of the study area using the FlamMap model, and two output maps of burn probability and conditional flame length were obtained. Burn probability values were scaled between 0 and 100. Conditional flame length values were shown with 6 classes of fire intensity (less than 0.5, 0.5-1, 1-2, 2-3, 3-4, and more than 4 meter). Finally, a fire hazard map was created by combining burn probability and conditional flame length maps. Pixels with higher burn probability and conditional flame length values have more potential to cause damage and are therefore more dangerous. Fire hazard map values were rescaled (linear rescaling) on a scale of 0-100 with 100 being the most hazardous conditions in the study area. Finally, fire hazard classes were defined as follows: very low (less than 0.01), low (0.01-0.1), moderate (0.1-1), high (1-10), and very high (more than 10) ([Erni](#) et al., 2024).

Results and Discussion

During the study period, Guilan province experienced 2249 fires, and a total area of 25,564 was burned. About 70 % of these fires have been burned with a fire size of less than 10 ha. About 8% of these fires occurred in the protected areas of the province, and these fires account for only 0.1% of the burned areas in the province. This case indicates the smallness of the fires and also the faster containment of the fire spread in these protected areas



compared to unprotected areas. This result is consistent with the study of [Nelson](#) and Chomitz (2011).

Based on the modeled maps of fire frequency in the whole province, about 40% of burnable areas have experienced fires one or more times. Furthermore, in the protected areas, 60% of these areas have experienced fires one or more times. Fires in areas with a frequent fire regime can lead to high-consequence events ([McEvoy](#) et al., 2021). In the whole province, 14% have an ignition probability less than 0.01, 60% have an ignition probability of 0.01-0.3, and 26% have an ignition probability greater than 0.3 (Figure 6). Furthermore, in the protected areas, 21% have an ignition probability less than 0.01, 68% have an ignition probability of 0.01-0.3, and 11% have an ignition probability greater than 0.3. These areas with high ignition probability should be considered for fuel treatment and management.

The changes in burn probability and conditional flame length values reflect the diversity of fire activity in the protected areas (Figure 7), especially in the south-central parts. The highest burn probability (more than 1) was observed in the south-central parts of Rudbar County. The highest conditional flame length (more than 3 meters) have been observed in these parts. In these areas, due to the Foehn winds and the severe decrease in air humidity, some of the forests located in the mountainous areas are prone to fire. Based on the fire hazard map (Figure 8), more than 80% of protected areas were classified as very low and low hazard. Therefore, the rest of the protected areas (less than 20%) are classified as high and very high hazard.

Conclusion

The fire regime in the protected areas in the last three decades showed that about 60% of these areas have experienced fires one or more times and 80% of these areas have an ignition probability of more than 0.1. These areas with frequent fires and high ignition probabilities should be considered for fuel management and treatment. In addition, based on the maps of burn probability and conditional flame length simulated, the fire hazard map showed that 18% of the protected areas have high and very high hazards. This work provides the necessary tools to identify fire critical points in the protected areas, which should be considered in their protection and management plans.



درک رژیم آتش و نقشه‌برداری مخاطره آتش در مناطق حفاظت شده در استان گیلان

رقیه جهدی^۱

۱. دانشیار علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه:

roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	آتش‌سوزی‌ها سالانه مناطق وسیعی را در جنگل‌های هیرکانی شمال ایران می‌سوزاند. با این وجود، اطلاعاتی در مورد فعالیت‌های فزاینده آتش‌سوزی و تلفات جنگل‌ها و مراتع به‌ویژه در مناطق حفاظت شده که به دلیل ارزش‌های طبیعی، اکولوژیکی یا فرهنگی شناخته شده خود مورد حفاظت قرار می‌گیرند، وجود ندارد. هدف این مطالعه شناخت رژیم آتش و ارزیابی مخاطره آتش در مناطق حفاظت‌شده در استان گیلان (۲۵۶۴۸۸ هکتار) است. احتراق‌های آتش و فراوانی/تکرار مناطق سوخته‌شده از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ شناسایی شدند. سپس، مدلسازی رفتار آتش برای شبیه‌سازی احتمال سوختن و شدت آتش (طول شعله شرطی) با استفاده از سیستم مدل‌سازی FlamMap بر پایه اطلاعات آب‌وهوای آتش، نقشه‌های توپوگرافی، مدل‌های ماده سوختنی محلی و داده تاریخی آتش، انجام شد. با ترکیب نقشه‌های احتمال سوختن و طول شعله شرطی شبیه‌سازی شده، نقشه مخاطره آتش در مناطق حفاظت شده تهیه شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، ۸٪ از تعداد آتش‌سوزی‌های تاریخی در دوره مورد مطالعه در مناطق حفاظت شده رخ داده که اغلب دارای اندازه‌های بسیار کوچک و سطوح سوخته‌شده محدود (شامل ۰/۱٪ از سطوح سوخته‌شده در استان) است. آتش‌سوزی‌های مکرر (تکرار آتش بیش از ۱) ۶۰٪ از مناطق حفاظت شده را پوشش می‌دهند و ۱۱٪ از این مناطق احتمال سوختن زیاد دارند. تغییرات مقادیر احتمال سوختن و شدت آتش منعکس‌کننده تنوع فعالیت آتش‌سوزی در مناطق حفاظت شده به‌ویژه در بخش‌های جنوب-مرکزی است که شاهد بیشترین مقادیر احتمال سوختن (بیش از ۱) و طول شعله شرطی (بیش از ۳ متر) است. در نهایت، نقشه‌برداری مخاطره آتش نشان داد که ۷/۷۷٪ و ۴/۸٪ از مناطق حفاظت شده به ترتیب در طبقات مخاطره بسیار کم و کم قرار گرفتند. در مقابل، ۴/۱۲٪ و ۵/۲٪ از این مناطق به ترتیب در طبقات مخاطره زیاد و بسیار زیاد قرار گرفتند. نتایج کمی این تحقیق معیارهای علمی را برای شناسایی مناطق با اولویت بالا در مناطق حفاظت شده فراهم می‌کند که در آن تلاش‌های مدیریتی می‌تواند به معکوس کردن خطر فزاینده آتش‌سوزی جنگل‌های حفاظت شده کمک کند.
تاریخ دریافت:	
۱۴۰۳/۰۴/۲۰	
تاریخ بازنگری:	
۱۴۰۳/۱۰/۱۷	
تاریخ پذیرش:	
۱۴۰۳/۱۱/۰۴	
تاریخ انتشار:	
۱۴۰۳/۱۱/۰۵	
تاریخ انتشار آنلاین:	
۱۴۰۵/۰۴/۰۱	
کلیدواژه‌ها:	
ماده سوختنی، رفتار آتش، ریسک آتش، تکرار، احتمال سوختن.	

استناد: جهدی، رقیه (۱۴۰۵). درک رژیم آتش و نقشه‌برداری مخاطره آتش در مناطق حفاظت شده در استان گیلان. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۶ (۸۱)، ۱۳۴-۱۵۱. <http://dx.doi.org/10.66224/jgs.26.81.11>



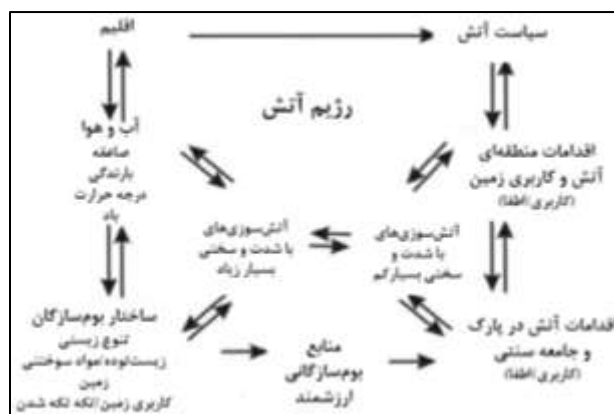
© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

مقدمه

آتش سوزی یک عامل اکولوژیکی و تکاملی قدرتمند است که صفات ارگانسمی، اندازه جمعیت، تعاملات گونه‌ها، ترکیب جامعه، چرخه کربن و مواد مغذی و عملکرد بوم‌سازگان را تنظیم می‌کند. همچنین، آتش بازخوردهای پیچیده‌ای را در بین فرایندهای زیستی، ژئوفیزیکی و فعالیت انسانی (اقتصادی-اجتماعی و زیرساخت‌ها) ادغام می‌کند و نیاز به هماهنگی در زمینه‌ها و مقیاس‌های مختلف مطالعه دارد (لیو و همکاران، ۲۰۲۴). بسیاری از بوم‌سازگان‌های زمینی مستعد آتش سوزی هستند، به طوری که ترکیب و ساختار آن‌ها عمدتاً در نتیجه رژیم آتش آن‌ها است. از منظر اکولوژیکی، پوشش گیاهی، توپوگرافی و شرایط آب‌وهوایی محلی در طول آتش سوزی، سیمای سرزمین با تغییرات مکانی و زمانی در لکه‌های مرتبط با آتش^۱ ایجاد می‌کند و این ناهمگونی زیستی و محیطی را تولید می‌کند که تنوع زیستی را در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای هدایت می‌کند (کوبزیار و همکاران، ۲۰۲۴).

از طرف دیگر، مناطق حفاظت شده برای حفاظت از تنوع زیستی ایجاد شده‌اند و اغلب حفاظت‌های شدید در این زمینه اعمال می‌شود و نقش آتش سوزی‌ها در شکل‌گیری این مناطق حفاظت‌شده نادیده گرفته می‌شود و هدف اصلی از حفاظت، جلوگیری از وقوع و گسترش این پدیده است (پریرا و همکاران، ۲۰۱۲). این حفاظت شدید تغییرات مهمی در زیستگاه‌های حفاظت شده ایجاد کرده و آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر آتش سوزی‌های مخرب را افزایش می‌دهد؛ بنابراین، ادغام مدیریت آتش در برنامه مدیریت مناطق حفاظت‌شده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (مارتینز تورس و همکاران، ۲۰۱۸). از جمله استفاده به موقع از آتش سوزی تجویزی (به صورت کنترل شده) با توجه به رژیم‌های آتش در منطقه، برای پایداری سیمای سرزمین ضروری است. مدیریت یکپارچه آتش نشان‌دهنده یک گام عظیم در پایداری زیستگاه‌ها است (نگر و همکاران، ۲۰۲۴). سیاست‌ها باید بیشتر روی رویکرد مدیریت یکپارچه آتش که ملاحظات اکولوژیکی و اجتماعی را در بر می‌گیرد، به جای سرکوب آن متمرکز شوند (مارتینز تورس و همکاران، ۲۰۱۸). آتش سوزی یک پدیده متداول در مناطق حفاظت شده است و منجر به تخریب محیط زیستی از جمله تخریب سیمای سرزمین، فرسایش خاک، کاهش مواد مغذی، از بین رفتن تنوع زیستی، تغییر بوم‌سازگان‌ها (پوشش گیاهی و زیستگاه‌ها، با پیامدهایی برای پایداری جانوران) و آلودگی هوا می‌شود. این تغییرات می‌تواند از چند ماه تا چند سال باقی بماند. احیای بوم‌سازگان در پی آتش سوزی بستگی به آسیب‌پذیری و تاب‌آوری بوم‌سازگان در برابر این آشفتگی، پوشش گیاهی قبل از آتش، توپوگرافی، شرایط آب‌وهوایی و مداخله انسان دارد. به دلیل افزایش توجه عمومی به مناطق حفاظت‌شده به ویژه در دهه‌های گذشته، اطفای شدید آتش در این مناطق روی رژیم آتش اثرگذار بوده است. این مداخلات آثار منفی روی بوم‌سازگان‌های حفاظت‌شده داشته است. رژیم آتش به میزان زیادی تحت تأثیر ارزش‌های فرهنگی، اقدامات انسانی، کاربری اراضی، اطفای حریق و سیاست‌های محلی، ملی و منطقه‌ای است. شکل (۱) مدل مفهومی عوامل مؤثر بر رژیم آتش در مناطق حفاظت شده اثر می‌گذارد را نشان می‌دهد.



شکل (۱). مدل مفهومی عوامل مؤثر بر رژیم آتش در مناطق حفاظت شده (منبع: وایت و همکاران، ۲۰۱۱)

^۱. Pyrodiversity

رژیم آتش به الگوهای آتش‌سوزی که در دوره‌های زمانی طولانی رخ می‌دهند و تأثیرات فوری آتش در بوم‌سازگانی که در آن رخ می‌دهد اشاره دارد (کریس و همکاران، ۲۰۱۰)؛ که تابعی از تکرار (فراوانی) رخداد آتش، شدت آتش و میزان ماده سوختنی (پوشش گیاهی) مصرفی است. تکرار تا حد زیادی توسط مشخصات بوم‌سازگان، مدت زمان و ویژگی آب‌وهوا (این که آیا فصل خشک‌تر یا مرطوب‌تر از حد معمول است و غیره) و منابع احتراق تعیین می‌شود. شدت آتش‌سوزی بر اساس مقدار ماده سوختنی موجود، نرخ احتراق ماده سوختنی و شرایط آب‌وهوایی موجود تعیین می‌شود. فعل و انفعالات بین تکرار و شدت تحت تأثیر باد، توپوگرافی و تاریخ آتش است. درک رژیم‌های آتش گذشته و حال در پیش‌بینی تغییرات آینده و درک رفتار آتش در طول زمان و مکان بسیار مهم است (ونگ و همکاران، ۲۰۲۲). با این وجود، مطالعات محدودی در زمینه رژیم آتش در مناطق حفاظت شده دنیا وجود دارد که در اینجا به آن‌ها اشاره می‌شود. [دایونته](#) و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی فعالیت آتش و تلفات جنگل در مناطق حفاظت شده حوضه آمازون پرداختند. نتایج نشان داد که اگرچه کانون‌های آتش‌سوزی مکرر کاهش یافته‌اند، اما بخش عمده‌ای از منطقه سوخته شده را تشکیل می‌دهند. سالانه سطوح وسیعی از جنگل‌های طبیعی در مناطق حفاظت شده سوخته شده است. همچنین، ساوانا و غلزارها به ترتیب ۲۹٪ و ۴۱٪ از احتراق‌های آتش را در بر می‌گیرند، جایی که کشاورزان و دامداران به طور دوره‌ای از آتش برای پاکسازی بقایا و چرای گسترده استفاده می‌کنند. این امر موجب انتقال آتش‌سوزی از مزارع کشاورزی به جنگل‌های حفاظت شده می‌شود که از دلایل اصلی آن می‌توان به فقدان درک روشن از سیاست‌های محیط‌زیستی و اجرای ناکافی قانون اشاره کرد. [سیلیس](#) و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به شناسایی آثار آتش‌سوزی در مناطق حفاظت شده برای مدیریت تاب‌آوری آن‌ها در برابر آتش در جنوب ایتالیا پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مناطقی با بیشترین فراوانی آتش در داخل یا نزدیک به مناطق حفاظت شده پدید آمدند که بنابراین می‌توان در سطوح مختلف برنامه‌ریزی به آن‌ها توجه کرد. [آرلانو-دل-وربو](#) و همکاران (۲۰۲۳) به مدل‌سازی احتمال احتراق آتش در غرب مرکزی اسپانیا به عنوان تابعی از متغیرهای بیوفیزیکی و انسانی در ۱۷۲ منطقه حفاظت شده، زون‌های بافر آن‌ها و مناطق غیر حفاظت شده پرداختند. بر اساس نتایج، احتراق آتش‌سوزی‌های کوچک با متغیرهای انسانی مرتبط بود، در حالی که آتش‌سوزی‌های بزرگتر با متغیرهای بیوفیزیکی مرتبط بود. احتمال احتراق برای اندازه‌های آتش کوچک و متوسط در زون‌های بافر بالاترین بود، در حالی که در مناطق حفاظت شده کمترین بود. برعکس، احتمال آتش‌سوزی‌های بزرگ و به‌ویژه بسیار بزرگ در مناطق حفاظت شده بالاترین بود.

در کنار درک رژیم آتش در یک منطقه، تعیین و ارزیابی مفاهیم اصلی آتش از جمله مخاطره آتش^۲، ریسک آتش^۳ و خطر آتش^۴ از اجزای اصلی مدیریت آتش است. این مفاهیم برای نقشه‌برداری و رتبه‌بندی خطرهای آتش و دارایی‌های آسیب‌پذیر استفاده می‌شود، در نتیجه اطلاعات حیاتی ارائه می‌کند که می‌تواند برای شناسایی مناطق در معرض خطر برای اطلاع‌رسانی آمادگی آتش‌سوزی، پیشگیری/کاهش و برنامه‌ریزی بازسازی استفاده شود ([تامپسون](#) و همکاران، ۲۰۱۶). با این وجود، در ایران، علی‌رغم رخداد سالانه و افزایش آتش‌سوزی‌های جنگلی به‌ویژه در دهه‌های گذشته، در حال حاضر هیچ روش استاندارد برای نقشه‌برداری و ارزیابی خطر آتش وجود ندارد. مطالعات قبلی بر ارزیابی خطر آتش در مقیاس محلی و منطقه‌ای متمرکز شده‌اند، از جمله پهنه‌بندی ریسک آتش با استفاده از فناوری‌های مکانی (سنجش‌ازدور و GIS) و تلفیق

^۲ Fire hazard: درجه سهولت احتراق و انتشار آتش و مقاومت در برابر کنترل (با توجه به منبع احتراق) است که بستگی به کمیت و پیوستگی پوشش گیاهی (ماده سوختنی) دارد و مستقل از آب و هوا است (برخلاف خطر آتش). همچنین، رفتار بالقوه آتش مرتبط با خواص استاتیک ماده سوختنی را منعکس می‌کند (مخاطره آتش از روزی به روز دیگر تغییر نمی‌کند، برخلاف خطر آتش (Fire danger) ([پاوساس](#)، ۲۰۱۷).

^۳ Fire risk: معمولاً به احتمال احتراق اشاره دارد، یعنی شانس شروع آتش (ریسک احتراق). می‌توان آن را به ریسک آتش رعد و برق و ریسک آتش انسانی تقسیم کرد. دومی معمولاً با فاصله از جاده‌ها کاهش می‌یابد و با تراکم جمعیت در مناطق روستایی یا نیمه‌روستایی افزایش می‌یابد. سایر نویسندگان ریسک آتش را به عنوان آسیب بالقوه (یا ریسک تخریب) تعریف می‌کنند و بنابراین آن‌ها مخاطره آتش و آسیب‌پذیری آتش (Fire vulnerability) را در مفهوم ریسک آتش در بر می‌گیرند. ریسک آتش نسبتاً ثابت است (برخلاف خطر آتش، به عنوان مثال، یک زون با ریسک آتش زیاد) و اغلب برای تهیه نقشه‌ها (نقشه‌برداری ریسک آتش) استفاده می‌شود ([پاوساس](#)، ۲۰۱۷).

^۴ Fire danger: مجموع عوامل مؤثر بر شروع، گسترش و مقاومت در برابر کنترل در یک منطقه معین را نشان می‌دهد و اغلب اوقات تا حد زیادی به آب و هوا بستگی دارد و بسیار پویا است. معمولاً به عنوان یک شاخص نیمه کمی بیان می‌شود (به عنوان مثال، از بسیار زیاد تا بسیار کم) ([پاوساس](#)، ۲۰۱۷).

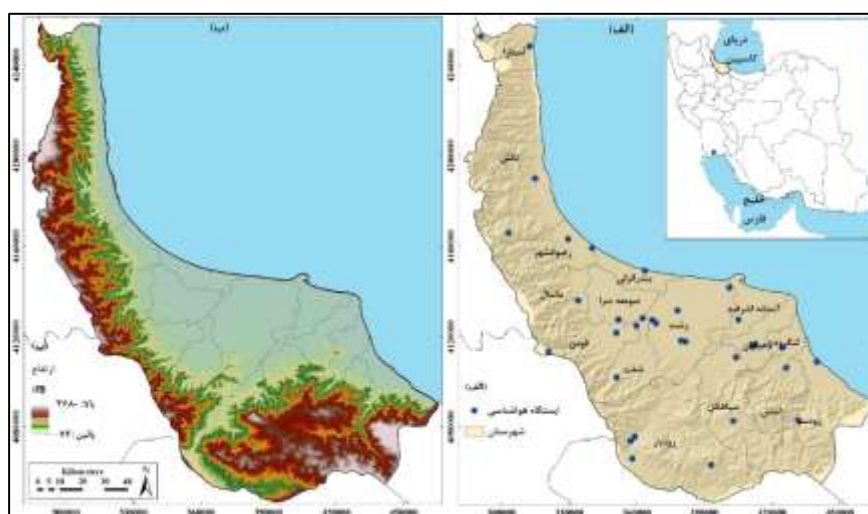
آن با روش‌های آماری و تحلیل سلسله مراتبی (گلیجی و همکاران، ۱۳۹۷؛ هدایتی و همکاران، ۱۳۹۸؛ باقرآبادی و همکاران، ۱۴۰۱) و مدل‌سازی رفتار و گسترش آتش (جهدی و همکاران، ۱۳۹۹؛ الحاج خلف و همکاران، ۱۳۹۹). انتظار می‌رود پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های مکانی اطلاعات بیشتری در مورد شناسایی و نقشه‌برداری آتش برای تصمیم‌گیری بهتر در مدیریت آتش ارائه کند (مک‌فایدن و همکاران، ۲۰۲۳).

ارزیابی فعالیت آتش و درک رژیم آتش به همراه نقشه‌برداری مخاطره و ریسک آتش به ویژه در جنگل‌های معتدله شمال کشور که به دلیل ویژگی‌های آب‌وهوایی به‌عنوان مثال پدیده وزش بادهای محلی گرم‌باد (گرمش یا گرمیج؛ جهدی، ۱۴۰۰) و پوشش گیاهی آن مستعد آتش‌سوزی‌های جنگلی است (فرهی آشتیانی و همکاران، ۱۳۹۱)، بسیار مهم است. در این تحقیق به شناسایی رژیم آتش و نقشه‌برداری مخاطره آتش در سه دهه گذشته در مناطق حفاظت شده استان گیلان پرداخته شده است. این مناطق به دلیل سابقه رخداد آتش‌سوزی‌های متعدد و نیز تراکم زیاد مواد سوختنی به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. اهداف این تحقیق شامل (۱) بررسی توزیع فضایی آتش‌سوزی‌ها و تکرار آتش در منطقه مورد مطالعه، (۲) برآورد احتمال احتراق آتش در مناطق حفاظت شده و (۳) بررسی توزیع کلاسه‌های نقشه مخاطره آتش در منطقه مورد مطالعه است. همچنین، هدف اصلی توصیف رژیم آتش‌سوزی فعلی در این مناطق و ارائه رویکرد ارزیابی مخاطره آتش مبتنی بر مدل‌سازی است که می‌تواند برای سایر مناطق حفاظت شده مستعد آتش‌سوزی در کشور قابل گسترش باشد، جایی که شناسایی مناطق با مخاطره آتش زیاد می‌تواند به پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های فاجعه‌بار آینده کمک کند.

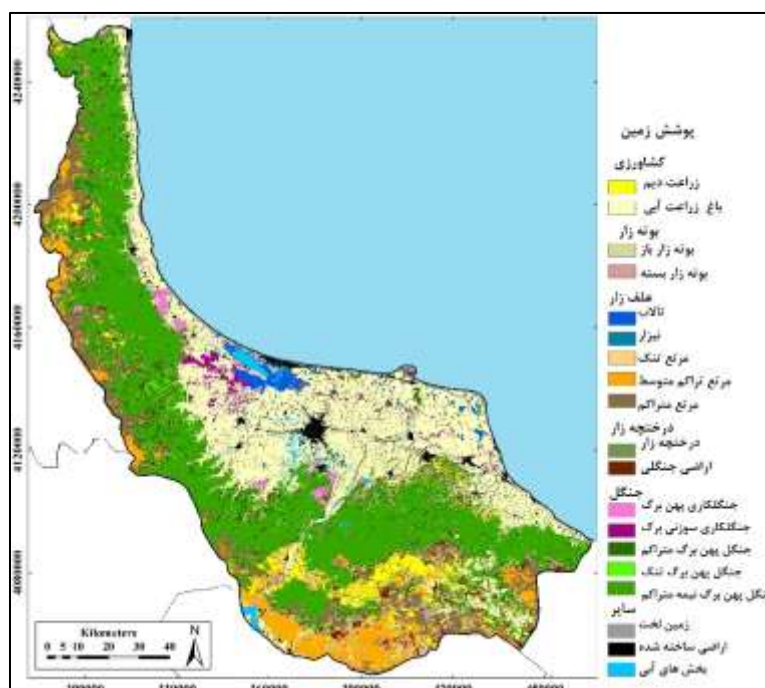
روش‌شناسی

موقعیت منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در استان گیلان با وسعت ۱۴۰۴۴ کیلومترمربع در شمال کشور انجام شده است شکل (۲). این استان از شمال به سواحل دریای کاسپین، از جنوب به استان‌های زنجان و قزوین، از شرق به استان مازندران و از غرب به استان اردبیل محدود شده است. گیلان دومین استان پرجمعیت (۲،۵۳۰،۶۹۶ نفر؛ سرشماری سال ۱۳۹۵) در شمال ایران است. ارتفاع از سطح دریا از ۷۴ متر تا بیش از ۳،۶۰۰ متر متغیر است شکل (۲). آب‌وهوای آن معتدل تحت تأثیر کوهستان البرز و دریای کاسپین است. میانگین بارندگی سالانه حدود ۱۱۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه حدود ۱۷ درجه سانتی‌گراد است (جان‌بزرگی و همکاران، ۱۴۰۰). پوشش گیاهی عمدتاً جنگلی است و در ارتفاعات بالاتر قرار دارند. در واقع، حدود نیمی از سطح گیلان توسط جنگل‌های پهن‌برگ خزان‌کننده پوشانده شده است. در نیمه شمالی استان، کشاورزی پوشش غالب است. همچنین، پوشش‌های مرتعی (علفزارها) بیشتر در بخش جنوبی استان متمرکز است شکل (۳) (جهدی و الحاج خلف، ۱۴۰۳).



شکل (۲). نقشه موقعیت استان گیلان در شمال ایران و مرزهای شهرستان‌های آن به همراه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی موجود (نقاط آبی‌رنگ) برای داده‌های آب‌وهوا در هر شهرستان (الف) به همراه نقشه مدل رقومی ارتفاع (متر، ب).



شکل (۳). نقشه طبقات کاربری / پوشش زمین در استان گیلان.

روش انجام پژوهش

داده آتش

در این تحقیق، از آتش‌سوزی‌های ثبت شده بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان (۱۴۰۲) در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. از نظر تاریخی، گیلان یکی از استان‌های با بیشترین درصد آتش‌سوزی در ایران شناخته می‌شود، با فصل آتش‌سوزی طولانی (از اواخر خرداد تا اسفند).

مناطق حفاظت شده

بر اساس اطلاعات اخذ شده از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گیلان (۱۴۰۳)، بوم‌سازگان‌های حساس و با ارزش و مناطق چهارگانه تحت مدیریت این سازمان شامل ۲۰ منطقه با مجموع مساحت حدود ۲۵۶۴۸۸ هکتار است. این مناطق شامل ۵ منطقه حفاظت شده (۱۰۷۰۹۶ هکتار)، ۶ منطقه شکارممنوع (۱۴۳۵۶۸ هکتار)، ۵ پناهگاه حیات‌وحش (۴۰۵۳ هکتار)، ۳ اثر طبیعی ملی (۲ هکتار) و ۱ پارک ملی (۱۷۷۰ هکتار) است.

روش تحقیق

تهیه پایگاه اطلاعاتی داده پشتیبان آتش

فناوری‌های مکانی (سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی) وسیله‌ای برای مطالعه آتش‌سوزی‌ها در مقیاس‌های زمانی و مکانی چندگانه با استفاده از روشی کارآمد و کمی فراهم می‌کنند (زاگالیکیس، ۲۰۲۳). کاربردهای فناوری‌های مکانی در مدیریت آتش شامل مدیریت شرایط قبل از آتش (نقشه‌برداری مخاطره آتش، نقشه‌برداری ریسک آتش، نقشه‌برداری ماده سوختنی)، پایش شرایط آتش (شناسایی آتش، شناسایی نقاط داغ، پارامترهای حرارتی آتش و غیره) و مدیریت شرایط پس از آتش (نقشه‌برداری منطقه سوخته‌شده، شدت سوختن، ارزیابی‌های فرسایش خاک، ارزیابی‌ها و پایش بازبانی پوشش گیاهی پس از آتش) است. در این مطالعه، هدف تعیین رژیم آتش و نقشه‌برداری مخاطره آتش است که پس از جمع‌آوری داده‌ها، به منظور پیاده‌سازی اولین تحلیل‌های مکانی که برای ایجاد پایگاه‌های اطلاعاتی آتش مفید هستند، از برخی ابزارهای نرم‌افزار ArcGIS 10.8 استفاده شد. هدف از ایجاد این پایگاه‌های اطلاعاتی ایجاد داده‌های پشتیبان برای پایش آتش در مناطق

حفاظت شده و در نتیجه ارائه ابزارهایی است که می‌تواند برای برنامه‌ریزی تاب‌آورتر شدن مناطق حفاظت شده مورد استفاده قرار گیرد. این تحلیل‌های مکانی اولیه کاربرپسند هستند، بنابراین می‌تواند توسط هر کارشناسی در ادارات دولتی و خصوصی که با مناطق حفاظت شده سروکار دارند، استفاده شود. رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان مدیریت آسان داده‌های مکانی را فراهم می‌کند و به ویژه آمارهای ساده اما بسیار مفیدی را در برنامه‌ریزی آتش ارائه می‌دهد (برواینگ و همکاران، ۲۰۲۰). در واقع، سیستم اطلاعات جغرافیایی راهی برای ادغام داده‌های مربوط به مکان و وسعت آتش‌سوزی جنگل‌ها با انواع دیگر داده‌های محیطی، مانند الگوهای آب‌وهوا و اطلاعات اکولوژیکی سیمای سرزمین فراهم می‌کند (سیلیس و همکاران، ۲۰۲۳). چنین اطلاعاتی می‌تواند برای پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های آینده و مکان‌هایی که احتمالاً تحت تأثیر قرار می‌گیرند استفاده شود.

تهیه شبکه شطرنجی تجمیع داده‌های آتش

در این مطالعه، اولین مرحله ساخت یک شبکه شطرنجی (۵ کیلومتر در ۵ کیلومتر) در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 برای تجمیع آتش‌های رخ داده از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ در استان گیلان بود. به‌طور کلی، استفاده از یک شبکه برای نمایش داده‌های مکانی در یک سیمای سرزمین باعث سهولت و سرعت بیشتر تجزیه و تحلیل و تفسیر اطلاعات مکانی و درعین حال تجسم دقیق و یکنواخت داده‌ها می‌شود که یک روش عینی برای مقایسه داده‌ها در طول زمان و مکان ارائه می‌دهد (برچ و همکاران، ۲۰۰۷).

شناسایی مناطق تحت تأثیر آتش‌سوزی

در مرحله بعد، از طریق جستجوی مکانی مناطق حفاظت شده و مناطق سوخته شده، مکان‌هایی که تعداد آتش‌سوزی‌های بیشتری در دوره مورد بررسی داشتند، شناسایی شد. در واقع، تلاقی مناطق آسیب دیده ناشی از آتش‌سوزی با مناطق حفاظت شده انجام شد. از این طریق می‌توان زیستگاه‌هایی که از نقطه نظر حفاظتی حائز اهمیت بالایی هستند و بیشتر تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار گرفته‌اند، شناسایی کرد. با شناسایی این مناطق می‌توان راهبردهای حفاظتی هدفمند و مؤثر در زمینه پیشگیری و کنترل آتش‌سوزی ارائه داد.

استفاده از مدل شبیه‌سازی آتش

در ادامه به منظور نقشه‌برداری مخاطره آتش، از مدل شبیه‌سازی آتش FlamMap 6 (فینی، ۲۰۰۶) استفاده شد. مخاطره آتش از دو مؤلفه متمایز اما مرتبط تشکیل شده است: درست‌نمایی^۵ آتش (احتمال^۶ سوختن) و شدت آتش (آزاد شدن انرژی از پیشانی آتش که با رفتار آتش مانند طول شعله و نرخ گسترش مرتبط است). این مقادیر را می‌توان در هر نقطه از سیمای سرزمین با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی آتش تصادفی مکانی برآورد کرد. از مدل FlamMap 6 برای تعیین کمیت احتمال سوختن و شدت آتش در اندازه سلول ۱۰۰ متری در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. FlamMap 6 یک برنامه دسکتاپ تجزیه و تحلیل آتش است که در یک محیط سیستم عامل ویندوز ۶۴ بیتی اجرا می‌شود. سیستم نقشه‌برداری و تجزیه و تحلیل آتش FlamMap 6 رفتار آتش بالقوه (سرعت گسترش، طول شعله، شدت خط آتش و غیره)، رشد و گسترش آتش و احتمال سوختن شرطی را تحت شرایط محیط‌زیستی ثابت (آب‌وهوا و رطوبت ماده سوختنی) توصیف می‌کند. رطوبت ماده سوختنی مرده و شرایط مواد سوختنی مرده در هر سلول بر اساس شیب، سایه، ارتفاع، جهت و آب‌وهوا است (فینی،

^۵ Likelihood: درست‌نمایی برای بعد از داشتن داده‌ها به کار برده می‌شود، برای توضیح تابعی از پارامترها به شرط داشتن خروجی.

^۶ Probability: احتمال برای قبل از داشتن داده‌ها به کار برده می‌شود، برای توضیح پیش‌بینی‌های ممکن آتی به شرط داشتن پارامترهای ثابت.

هر دو واژه بالا به شانس/میزان محتمل بودن وقوع چیزی (رویدادی) مربوط می‌شوند. در مدیریت ریسک، بیشتر از کلمه "درست‌نمایی" برای اشاره به شانس وقوع یک رویداد (event) استفاده می‌شود. کلمه "احتمال" یک اصطلاح ریاضی است که مقدار آن می‌تواند عددی بین ۰ تا ۱ باشد. در بسیاری از مواقع و به خصوص در کاربردهای مربوط به مدیریت ریسک، اغلب به دلیل فقدان داده کافی، امکان اندازه‌گیری یا تعیین عینی یا ذهنی و یا کیفی یا کمی شانس وقوع یک رویداد با دقت لازم به شکلی که در مورد احتمال انجام می‌شود، وجود ندارد. لذا، از کلمه درست‌نمایی استفاده می‌شود تا با مفهوم احتمال خلط نشود (ISO 31000:2018, 3.7).

۲۰۰۶). احتمال سوختن تعداد دفعات سوختن هر نقطه از سیمای سرزمین را بر تعداد کل تکرارها نشان می‌دهد (ارنی و همکاران، ۲۰۲۴). به طور همزمان، شدت آتش نیز هر بار که یک سلول آتش‌سوزی را تجربه می‌کند، ثبت می‌شود.

اطلاعات ورودی به مدل 6. FlamMap و طبقه‌بندی آن‌ها

ورودی‌های شبیه‌سازی آتش شامل چهار دسته توپوگرافی، ماده سوختنی، آب‌وهوا و داده تاریخی آتش‌سوزی (۱۹۹۲-۲۰۲۲) جمع‌آوری شد. نقشه‌های توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت) منطقه مورد مطالعه با استفاده از یک مدل رقومی ارتفاع (DEM) با اندازه سلولی ۳۰ متر تهیه شد (شکل ۲ ب). برای به دست آوردن مدل‌های ماده سوختنی، در ابتدا تیپ‌های پوشش زمین شامل کشاورزی، بوته‌زار، علف‌زار، درختچه‌زار، جنگل و سایر با استفاده از تصاویر سنجنش‌ازدور و کار میدانی استخراج شد. در این تحقیق، تهیه نقشه تیپ پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat-8 OLI/TIRS L1TP مربوط به سپتامبر ۲۰۲۱ و نیز کار میدانی انجام شد. پیش‌پردازش این تصاویر شامل واسنجی رادیومتریکی، تصحیح اتمسفری با روش FLAASH، حذف پوشش ابر با الگوریتم FMask و در نهایت تولید ترکیب‌ها و بهبود کنتراست تصاویر در نرم‌افزار ENVI 5.6 انجام شد. سپس، طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر بر اساس الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) انجام شد. برای ارزیابی صحت این طبقه‌بندی، از بین ۱۰۰۰ نقطه واقعیت زمینی که به‌طور تصادفی مبتنی بر تصاویر Google Earth و نیز نقشه موجود کاربری اراضی استان گیلان انتخاب شده بود، ۲۰۰ نقطه به‌عنوان مرجع کنترل کیفیت نقاط واقعیت زمینی، استفاده شد. بر اساس ماتریس خطای طبقه‌بندی کننده این تصاویر، صحت کلی و ضریب کاپا به‌ترتیب برابر با ۰/۹۱ و ۰/۸۸ به دست آمد. شکل ۳ نقشه تیپ‌های پوشش زمین منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. سپس، با اختصاص هر تیپ پوشش زمین به یکی از ۴۰ مدل ماده سوختنی رفتار آتش استاندارد (Scott & Burgan, 2005) و محلی (Jahdi et al., 2020, 2023)، این نقشه در ArcGIS به مدل‌های ماده سوختنی مجدداً کلاسه‌بندی شد. همچنین، میانگین عوامل آب‌وهوایی در طول دوره ۳۰ ساله مورد مطالعه شامل پارامترهای مقدار رطوبت، سرعت باد و جهت باد از ایستگاه‌های هواشناسی موجود در استان گیلان به دست آمد (شکل ۲ الف). در نهایت، داده تاریخی آتش‌سوزی از گزارش‌های آتش‌سوزی ثبت شده در اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری و اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گیلان تهیه شد.

با استفاده از این داده‌های ورودی، ۱۰،۰۰۰ تکرار آتش برای هر سلول از منطقه مورد مطالعه انجام شد و دو نقشه خروجی احتمال سوختن و طول شعله شرطی به‌عنوان نماینده شدت آتش، به دست آمد. مقادیر احتمال سوختن بین ۰ تا ۱۰۰ تغییر مقیاس داده شد و مقادیر طول شعله شرطی با ۶ کلاسه شدت آتش (کمتر از ۰/۵، ۰/۵-۱، ۱-۲، ۲-۳، ۳-۴ و بیش از ۴ متر) نشان داده شد.

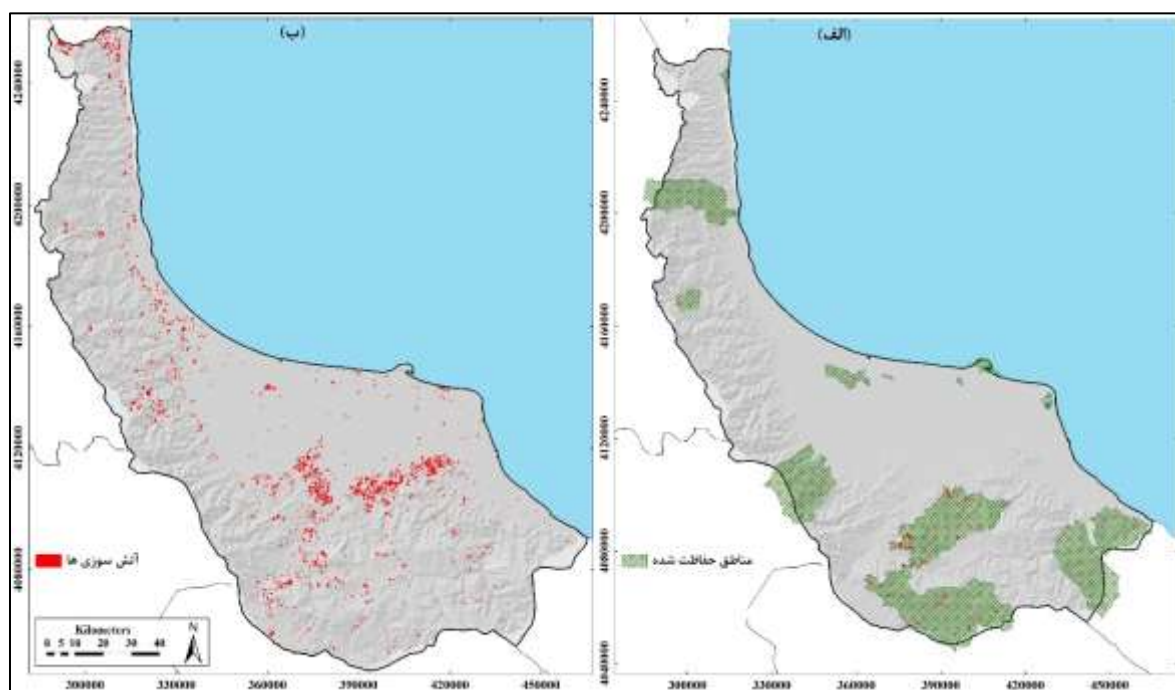
تهیه نقشه نهایی مخاطره آتش

در نهایت یک نقشه مخاطره آتش با ترکیب نقشه‌های احتمال سوختن و طول شعله شرطی ایجاد شد. سلول‌هایی که مقادیر احتمال سوختن و نیز طول شعله شرطی بیشتری دارند، پتانسیل بیشتری برای ایجاد آسیب دارند و بنابراین خطرناک‌تر هستند. مقادیر نقشه مخاطره آتش در مقیاس ۱۰۰-۱۰۰ با ۱۰۰ برای بیشترین شرایط خطرناک در منطقه مورد مطالعه، تغییر مقیاس داده شد (مقیاس مجدد خطی). در نهایت، کلاسه‌های مخاطره آتش به شرح زیر تعریف شد: بسیار کم (کمتر از ۰/۱)، کم (۰/۱-۰/۱)، متوسط (۰/۱-۱)، زیاد (۱-۱۰) و بسیار زیاد (بیش از ۱۰) (ارنی و همکاران، ۲۰۲۴).

نتایج و بحث

در این تحقیق، نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه و تحلیل‌های فعالیت آتش بر اساس آتش‌سوزی‌هایی که بین سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۲۲ رخ داده است، ارائه می‌شود. در شکل (۴) نقشه پراکنش مناطق حفاظت‌شده (اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گیلان، ۱۴۰۳) و نیز توزیع آتش‌سوزی‌های تاریخی در استان گیلان نمایش داده شده است. در طول دوره مورد مطالعه، استان گیلان ۲۲۴۹ آتش‌سوزی را تجربه کرد و مساحت کل ۲۵،۵۶۴ هکتار سوخته شده است. حدود ۷۰٪ این آتش‌سوزی‌ها

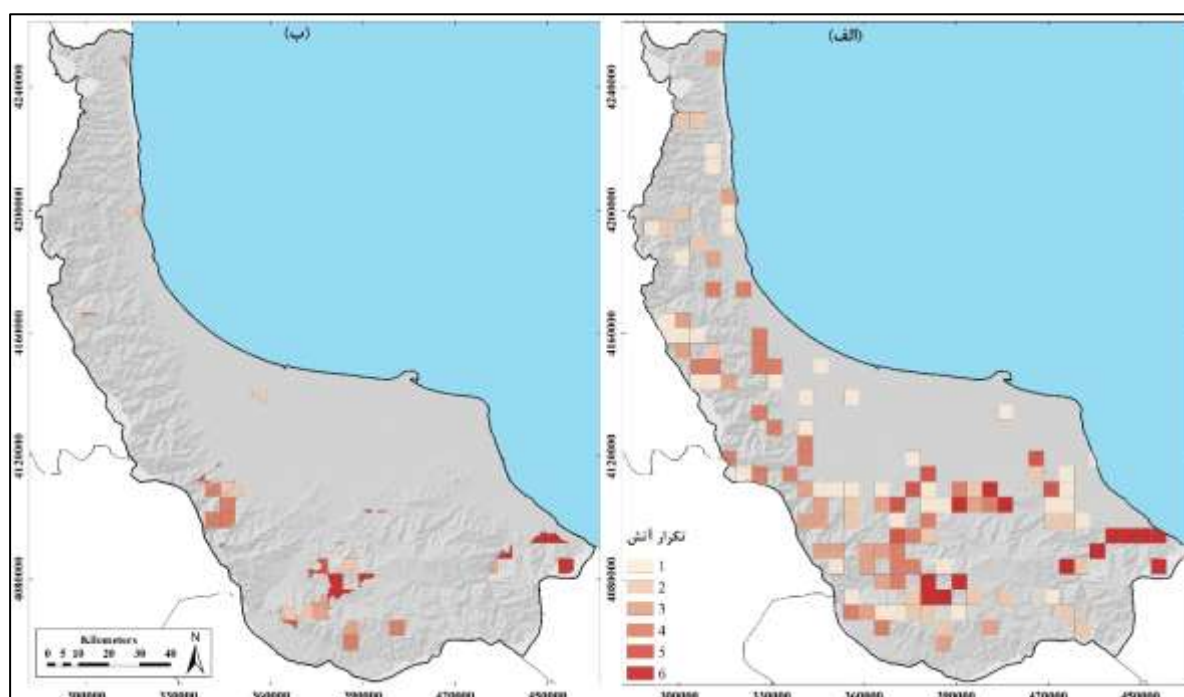
با اندازه آتش کمتر از ۱۰ هکتار سوخته شده است. حدود ۸٪ از این تعداد آتش‌سوزی‌ها در مناطق حفاظت شده استان رخ داده است که این آتش‌سوزی‌ها تنها ۰/۱٪ از سطوح سوخته‌شده در استان را به خود اختصاص می‌دهند. این مورد حاکی از کوچک بودن آتش‌سوزی‌ها و همچنین مهار سریع‌تر گسترش آتش در این مناطق حفاظت شده نسبت به مناطق حفاظت نشده است. این نتیجه با مطالعه [نلسون](#) و [چومیتز](#) (۲۰۱۱) مطابقت دارد. آن‌ها در مطالعه جامعی در مناطق مختلف دنیا از جمله امریکای لاتین، آفریقا و آسیا به این نتیجه رسیدند که اقدامات سخت‌گیرانه در مناطق حفاظت شده به‌منظور کاهش آتش‌سوزی‌ها و تلفات جنگل مؤثر بوده است. همچنین، [ایرایت](#) و همکاران (۲۰۲۳) اشاره به این داشتند که مناطق حفاظت شده در برابر آتش‌سوزی‌ها و سایر جنگل‌زدایی‌ها به طور مؤثرتر جنگل‌ها را نسبت به سیمای‌های سرزمین اطراف آن‌ها حفظ کردند؛ اما این نتیجه مخالف با نتیجه [آرلانو-دل-وربو](#) و همکاران (۲۰۲۳) است که اشاره به این دارد که آتش‌سوزی‌های بزرگ بیشتری در مناطق حفاظت شده نسبت به مناطق حفاظت نشده رخ می‌دهد. این مورد می‌تواند ناشی از تجمع زیاد بار ماده سوختنی آماده اشتعال در این مناطق در نتیجه جلوگیری از رخداد آتش و کنترل آن باشد.



شکل (۴). نقشه مناطق حفاظت‌شده (الف) و توزیع آتش‌سوزی‌های تاریخی (۱۹۹۲-۲۰۲۲؛ ب) در استان گیلان

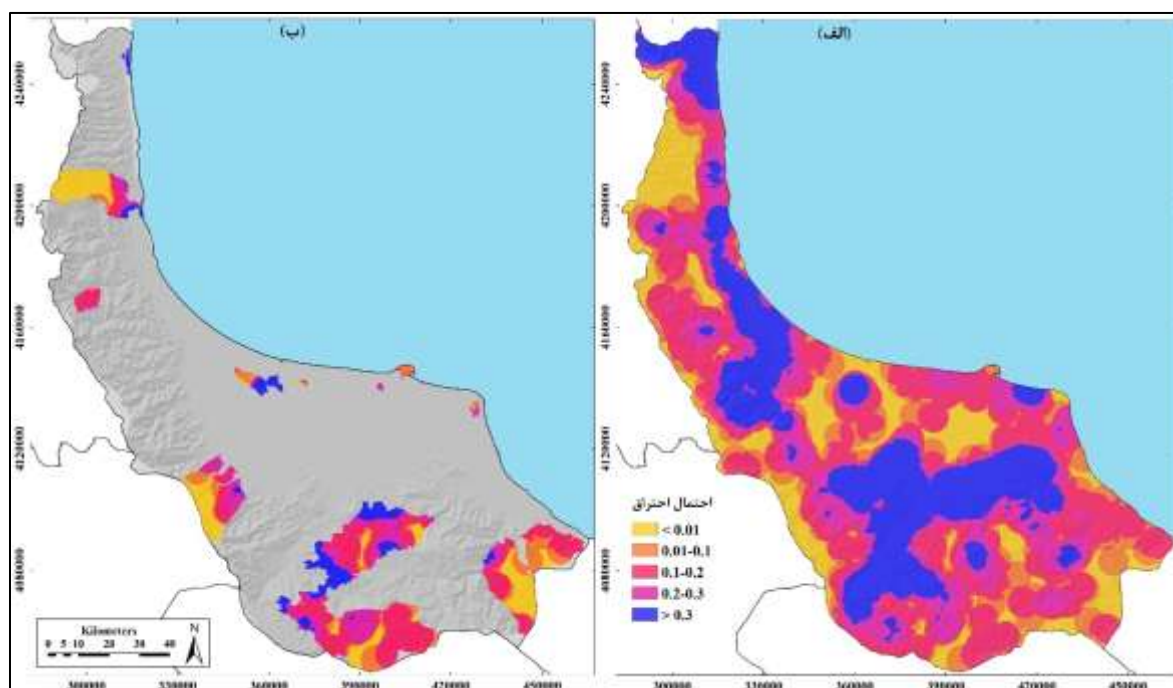
با توجه به مدیریت داده‌های مکانی، مؤلفه‌های اصلی رژیم آتش‌سوزی شامل تکرار آتش و احتمال احتراق به دست آمد. آتش‌سوزی‌ها بیش از ۲۵ هزار هکتار را در استان گیلان بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ سوزاند. بیشتر مناطق سوخته شده در بخش‌های مرکزی و جنوبی منطقه مورد مطالعه قرار داشتند. علاوه بر این، این بخش‌ها سطوح بزرگی را با آتش‌سوزی‌های مکرر نشان دادند، جایی که تکرار آتش حتی به ۶ مورد هم رسیده است شکل (۵). بر اساس نقشه‌های مدلسازی شده تکرار آتش در کل استان، حدود ۴۰٪ از مناطق قابل اشتعال، یک یا بیش از یک‌بار آتش‌سوزی‌ها را تجربه کرده‌اند. همچنین، در مناطق حفاظت شده، ۶۰٪ از این مناطق یک یا بیش از یک‌بار آتش‌سوزی‌ها را تجربه کرده‌اند. آتش‌سوزی در مناطق با رژیم آتش‌سوزی با تکرار زیاد (فاصله بازگشت کم) می‌تواند منجر به رویدادهای با پیامدهای زیاد شود ([مکوی](#) و همکاران، ۲۰۲۴). به‌عنوان مثال، آتش‌سوزی‌های مکرر در کوتاه‌مدت می‌تواند از تاب‌آوری گونه‌های بومی فراتر رود و برخی از بوته‌زارها تحت فراوانی‌های آتش زیاد به علف‌های سالانه غیربومی و بیگانه مهاجم تبدیل شوند ([جاکوبسن](#) و همکاران، ۲۰۰۷)؛ بنابراین، با وجودی که گسترش آتش‌سوزی‌ها در مناطق حفاظت شده محدود است، اما تعداد زیاد آتش‌سوزی‌ها و نیز تکرار آن می‌تواند

منجر به آسیب آتش به این مناطق شود. در نظر گرفتن تکرار آتش می‌تواند از تلاش‌ها برای هدفیابی مناسب و تخصیص دقیق منابع مدیریت ریسک آتش حمایت کند (هینو و فیلد، ۲۰۲۳). به عنوان مثال، با تمرکز مدیریت پوشش گیاهی در فصل رشد می‌توان به طور قابل ملاحظه‌ای تکرار آتش سالانه در یک منطقه را کنترل کرد (علی نیا و همکاران، ۱۴۰۳).



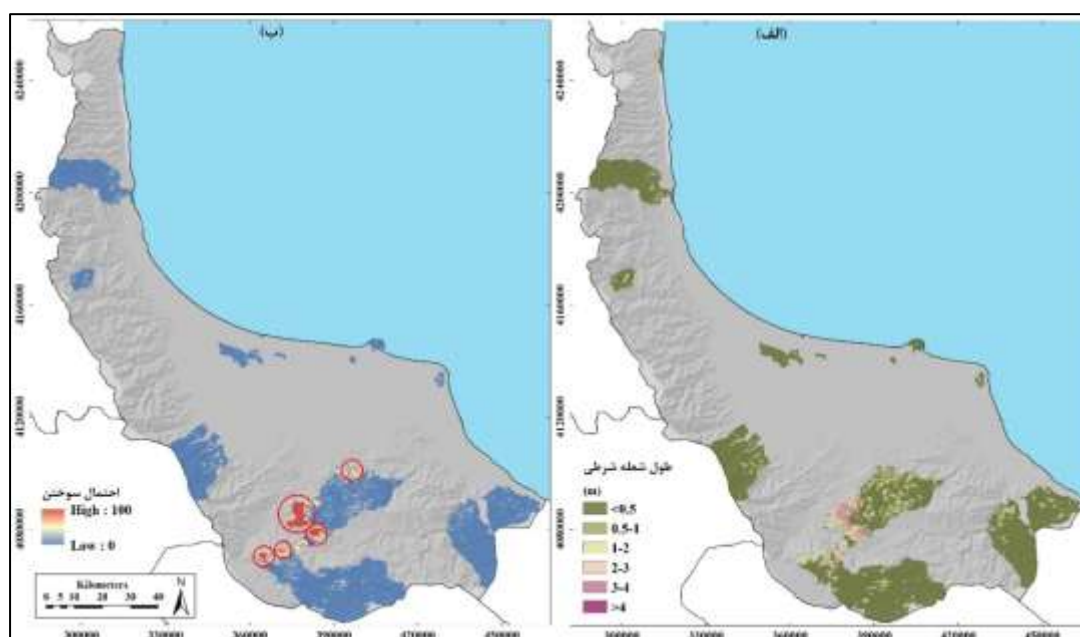
شکل (۵). توزیع تعداد آتش‌سوزی‌ها (فراوانی یا تکرار آتش) در سال‌های ۱۹۹۲-۲۰۲۲ در استان گیلان (الف) و در مناطق حفاظت شده این استان (ب)

بر اساس نقشه‌های شبیه‌سازی شده احتمال احتراق شکل (۶)، در کل استان، ۱۴٪ دارای احتمال احتراق کمتر از ۰/۰۱، ۶۰٪ دارای احتمال احتراق ۰/۰۱-۰/۳ و ۲۶٪ دارای احتمال احتراق بیش از ۰/۳ هستند. همچنین، در مناطق حفاظت شده، ۲۱٪ دارای احتمال احتراق کمتر از ۰/۰۱، ۶۸٪ دارای احتمال احتراق ۰/۰۱-۰/۳ و ۱۱٪ دارای احتمال احتراق بیش از ۰/۳ هستند. این مناطق با احتمال احتراق زیاد باید برای مدیریت و تیمار ماده سوختنی مورد توجه قرار گیرد. اگرچه احتمال احتراق وابسته به فعل و انفعالات پیچیده بین عوامل طبیعی (توپوگرافی، اقلیم، ماده سوختنی) و انسانی است، در شرایط بدون دخالت انسان، احتمال احتراق بیشتر وابسته به شرایط ماده سوختنی به‌ویژه ویژگی‌های فیزیکی آن است. اشتعال‌پذیری مواد سوختنی زنده و مرده که میزان رطوبت آن از طریق بارش، دما و کمبود فشار بخار کنترل می‌شود، یک عامل کلیدی برای احتراق آتش است (فلانینگ و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین، مقدار (بار) ماده سوختنی که به عنوان زیست‌توده قابل احتراق در دسترس تعریف می‌شود تا حد زیادی بر احتمال احتراق مؤثر است. به عنوان مثال، مواد سوختنی علفی بیشتر که در سال‌های مرطوب به‌ویژه با بارش‌های بهاره انباشته می‌شوند، می‌توانند باعث رخداد آتش‌سوزی شوند (جین و همکاران، ۲۰۱۵). رطوبت کمتر ماده سوختنی، در طول دوره‌های خشک شدید و طولانی یا شرایط گرمای شدید، به طور قابل توجهی به افزایش احتمال احتراق کمک می‌کند. به منظور کاهش این احتمال احتراق می‌توان از تیمارهای جنگل‌شناسی برای کاهش یا حذف مقدار و پیوستگی ماده سوختنی قبل از شروع فصل آتش استفاده کرد (چمبرز و همکاران، ۲۰۲۴).



شکل (۶). توزیع احتمال احتراق در سال‌های ۱۹۹۲-۲۰۲۲ در استان گیلان (الف) و در مناطق حفاظت شده این استان (ب)

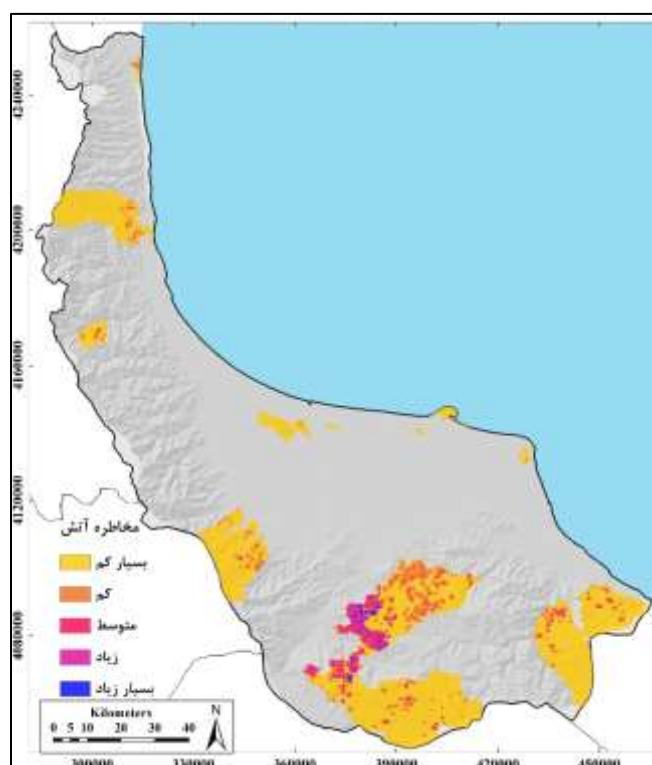
به منظور محاسبه مخاطره آتش در مناطق حفاظت شده، نقشه‌های احتمال سوختن و طول شعله شرطی شبیه‌سازی شد (شکل ۷). تغییرات مقادیر احتمال سوختن و طول شعله شرطی منعکس کننده تنوع فعالیت آتش در مناطق حفاظت شده به‌ویژه در بخش‌های جنوب-مرکزی است. بیشترین میزان احتمال سوختن (بیش از ۱) در بخش‌های جنوب-مرکزی در شهرستان رودبار مشاهده شده است. در زمینه شدت آتش‌سوزی نیز بیشترین مقادیر طول شعله شرطی (بیش از ۳ متر) در همین بخش‌ها مشاهده شده است. در این مناطق اغلب بر اثر وزش باد گرم و کاهش شدید رطوبت هوا، بخشی از جنگل‌های واقع در مناطق کوهستانی و مرتفع مستعد آتش‌سوزی هستند.



شکل (۷). نقشه‌های طول شعله شرطی (الف) و احتمال احتراق (ب) مناطق با احتمال احتراق زیاد در این نقشه با دایره‌های قرمز رنگ مشخص شده است) (۱۹۹۲-۲۰۲۲) مدل‌سازی شده در مناطق حفاظت شده استان گیلان

بر اساس نقشه مخاطره آتش شکل (۸)، ۷/۷۷٪ از مناطق حفاظت شده به‌عنوان مخاطره بسیار کم و نیز ۸/۴٪ به‌عنوان مخاطره کم طبقه‌بندی شدند. این طبقات مخاطره آتش بسیار کم و کم ناشی از وجود مناطق سوخته شده قبلی به همراه وجود باتلاق‌ها و نیزارها است که می‌توانند در برابر آتش تاب‌آوری بیشتری نشان دهند، به ویژه زمانی که رطوبت خاک زیاد و احتمال احتراق کم است. این نتایج با مطالعه او و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. بقیه مناطق حفاظت شده در طبقات مخاطره زیاد (۴/۱۲٪) و بسیار زیاد (۲/۵٪) قرار می‌گیرند. در این مناطق، ترکیب شرایط تابستانی گرم و خشک منجر به رشد بیشتر جنگل‌ها در ارتفاعات بالاتر و در نتیجه بار ماده سوختنی زیاد و افزایش آسیب‌پذیری در برابر آتش‌سوزی‌های جنگل در طول دوره‌های باد گرم شده است. نتیجه مشابه ناشی از اثر دوره‌های گرم بر افزایش فعالیت آتش‌سوزی‌های طبیعی در مطالعه حیدری و همکاران (۲۰۲۱) ارائه شده است.

با توجه به این طبقات مخاطره آتش در مناطق حفاظت شده، نادر بودن نسبی آتش در مناطق با مخاطره کم می‌تواند یک چالش باشد که ممکن است منجر به احساس امنیت کاذب و عدم آمادگی مدیران و جوامع شود. این موضوع در این مناطق که انتظار می‌رود فعالیت آتش‌سوزی‌های جنگلی در دهه‌های آینده به دلیل تغییرات اقلیمی افزایش یابد و جمعیت رو به رشدی که برای زندگی و بازآفرینی به این مناطق جنگلی می‌روند، قرار گرفتن در معرض آتش‌سوزی‌های جنگلی را افزایش می‌دهد، می‌تواند نگران‌کننده باشد (آرسنات و همکاران، ۲۰۱۶). در مطالعه شیرزاد و همکاران (۱۴۰۳) تحلیل فرایند تغییر اقلیم در استان گیلان نشانگر روند صعودی پارامترهای دمای حداقل، حداکثر و متوسط و تبخیر در فصل رشد و در مقابل روند نزولی بارندگی سالیانه بوده است. به‌طورکلی، نقشه مخاطره آتش که سطوح مخاطره محلی را بر اساس «مواد سوختنی، تاریخچه آتش‌سوزی، تأثیرات زمین، تراکم توسعه و وقوع آب‌وهوای شدید آتش‌سوزی» تعیین می‌کنند، می‌تواند ابزار اصلی برای ردیابی، برقراری ارتباط و کاهش ریسک آتش در برنامه‌های تصمیم‌گیری و نظارتی باشد (هینو و فیلد، ۲۰۲۳).



شکل (۸). نقشه طبقات مخاطره آتش در مناطق حفاظت شده استان گیلان

نتیجه‌گیری

مدیریت مناطق حفاظت‌شده مستلزم دانستن اینکه چه عواملی احتراق‌های آتش را کنترل می‌کنند و احتمال آن در مقایسه با مناطق غیر حفاظت‌شده چقدر است، می‌باشد. در این تحقیق، احتمال احتراق آتش و تکرار آتش از مؤلفه‌های اصلی رژیم آتش به‌عنوان تابعی از متغیرهای بیوفیزیکی و انسانی در مناطق حفاظت‌شده استان گیلان، مدل‌سازی شد. رژیم آتش در مناطق حفاظت‌شده در سه دهه گذشته نشان داد که ۶۰٪ از این مناطق یک یا بیش از یک‌بار آتش‌سوزی‌ها را تجربه کرده‌اند و ۷۹٪ از این مناطق نیز دارای احتمال احتراق بیش از ۰/۰۱ هستند. این مناطق با تکرار آتش و احتمال احتراق زیاد باید برای مدیریت و تیمار ماده سوختنی مورد توجه قرار گیرند. علاوه بر این، بر پایه نقشه‌های احتمال سوختن و شدت آتش (طول شعله شرطی) شبیه‌سازی شده، نقشه مخاطره آتش نشان داد که ۱۷/۶٪ از مناطق حفاظت‌شده دارای مخاطره زیاد و بسیار زیاد هستند. این کار ابزارهای مورد نیاز را برای شناسایی نقاط بحرانی آتش در مناطق حفاظت‌شده فراهم می‌کند که باید در برنامه‌های حفاظت و مدیریت آن‌ها در نظر گرفته شود. در واقع، نتایج کمی به دست آمده در این تحقیق، معیارهای علمی را برای شناسایی مناطق با اولویت بالا در نواحی رویشی مختلف فراهم می‌کند که در آن تلاش‌های مدیریتی می‌تواند به معکوس کردن خطر فزاینده آتش‌سوزی جنگل‌های حفاظت‌شده کمک کند. هم‌چنین، یک رویکرد جامع برای تهیه نقشه‌های خطر آتش و بررسی ارتباط بین بوم‌سازگان‌های جنگلی و آتش‌سوزی‌ها در آینده مبتنی بر تجزیه و تحلیل سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و توجه به عوامل اقتصادی-اجتماعی و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت، برای کاهش خطر آتش در مناطق حفاظت‌شده پیشنهاد می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌هاست.

مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها:؛ تهیه گزارش پژوهش:؛ تحلیل داده‌ها:

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

پژوهش حامی مالی ندارد.

منابع

- الحاج خلف، محمد واثق؛ شتایی، شعبان و رقیه جهدی (۱۳۹۹). مقایسه عملکرد مدل‌های اولیه و بهینه‌شده اتوماسیون سلولی در پیش‌بینی گسترش آتش‌سوزی جنگل. *جنگل و صنوبر ایران*، ۲۸ (۴)، ۳۵۱-۳۶۹.
<https://doi.org/10.22092/ijfpr.2020.351429.1945>
- باقرآبادی، رسول؛ شیخ کانلوی میلان، فرهاد و محسن زارعی محمدآباد (۱۴۰۱). ارزیابی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی شهرستان دالاهو). *مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی*، ۲ (۲)، ۶۰-۷۲.
<https://doi.org/10.22034/emj.2022.254859>
- جان‌بزرگی، محمد؛ حنیفه‌پور، مهین و حسن خسروی (۱۴۰۰). تغییرات زمانی خشکسالی هواشناسی- هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: استان گیلان). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱ (۲)، ۱۳-۱۳.
<https://doi.org/10.22098/mmws.2021.1215>

- جهدی، رقیه و محمد واثق الحاج خلف (۱۴۰۳). مدل‌سازی ریسک آتش‌سوزی با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور و شبیه‌سازی رفتار آتش در استان گیلان. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۳ (۴)، ۱۰۲-۱۲۹. <https://doi.org/10.22067/geoh.2024.86597.1462>
- جهدی، رقیه (۱۴۰۲). آتش‌سوزی‌ها در توده‌های جنگل‌کاری تنک‌شده و تنک‌نشده در شمال ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۲ (۱)، ۸۷-۱۰۱. <https://doi.org/10.22067/geoh.2022.74988.1164>
- جهدی، رقیه؛ درویش صفت، علی‌اصغر و حسین بدری پور (۱۳۹۹). مدل‌سازی ریسک و فشار آتش با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در شهرستان‌های خلخال و کوثر. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۷ (۳)، ۷۹-۹۴. <http://dx.doi.org/10.29252/jsaeh.7.3.79>
- شیرزاد، فرزاد؛ علیجانی، بهلول؛ اکبری، مهری و محمد سلیقه (۱۴۰۳). مطالعه فرایند تغییر اقلیم در استان گیلان با استفاده از شاخص‌های اقلیم‌شناسی درختی. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، آماده انتشار (موقت). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22287736.1300.0.0.191.4>
- علی نیا، اکرم؛ گندمکار، امیر و علیرضا عباسی (۱۴۰۳). تحلیل روند سری زمانی فراوانی آتش‌سوزی منابع طبیعی در ارتباط با ساختار پوشش گیاهی با استفاده از محصولات سنجده مودیس (مورد: استان لرستان). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۴ (۷۵)، ۴۹۲-۴۸۰. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-4196-fa.html>
- فرهی آشتیانی، احسان؛ قدس‌خواه دریایی، مهرداد؛ محمدی سمائی، کیومرث و مسعود امین املشی (۱۳۹۱). بررسی مناطق حساس و بحرانی آتش‌سوزی با تأکید بر خشکسالی با استفاده از *PDSI*، *AHP* و *GIS* (مطالعه موردی: جنگل سراوان استان گیلان). *تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران*، ۱۰ (۲)، ۸۳-۱۰۱. <https://doi.org/10.22092/ijfrpr.2012.11141>
- گلجی، الهام؛ حسینی، سید محسن؛ خراسانی، نعمت‌الله و سید مسعود منوری (۱۳۹۷). ارزیابی ریسک مخاطره آتش‌سوزی در جنگل با استفاده از *WLC* و *ANP* (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ۳۳ و ۳۴ شمال ایران). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۷ (۱۵)، ۲۲۲-۱۰۷. <https://doi.org/10.22111/jneh.2017.3265>
- هدایتی، سیده نگار؛ جنیدی جعفری، حامد و شیرکو ابراهیمی محمدی (۱۳۹۸). بررسی ریسک وقوع آتش‌سوزی عرصه‌های طبیعی استان کردستان به کمک تکنیک شاخص آماری. *محیط‌زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)*، ۷۲ (۳)، ۴۰۳-۴۱۶. <https://doi.org/10.22059/jne.2019.271708.1594>
- Arellano-del-Verbo, G., Urbieto, I.R., & Moreno, J.M. (2023). Large-Fire Ignitions Are Higher in Protected Areas than Outside Them in West-Central Spain. *Fire*, 6, 28. <https://doi.org/10.3390/fire6010028>
- Arsenault, A., LeBlanc, R., Earle, E., Brooks, D., Clarke, B., Lavigne, D., & Royer, L. (2016). Unravelling the past to manage Newfoundland's forests for the future. *The Forestry Chronicle*, 92 (4), 487-502. <https://doi.org/10.5558/tfc2016-085>
- Birch, C.P., Oom, S.P., & Beecham, J.A. (2007). Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. *Ecological Modelling*, 206, 347-359. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.03.041>
- Breunig, M., Bradley, P.E., Jahn, M., Kuper, P., Mazroob, N., Rösch, N., Al-Doori, M., Stefanakis, E., & Jadidi, M. (2020). Geospatial Data Management Research: Progress and Future Directions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9, 95. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020095>
- Cillis, G., Lanorte, A., Santarsiero, V., & Nolè, G. (2023). Natural Hazard Impact in Protected Areas for Resilience Management: The Case of Wildfires in the Basilicata Region. *Pollutants*, 3, 437-450. <https://doi.org/10.3390/pollutants3040030>
- Chambers, J.C., Strand, E.K., Ellsworth, L.M., Tortorelli, C.M., Urza, A.K., Crist, M.R., Miller, R.F., Reeves, M.C., Short, K.C., & Williams, C.L. (2024). Review of fuel treatment effects on fuels, fire behavior and ecological resilience in sagebrush (*Artemisia* spp.) ecosystems in the Western U.S. *Fire Ecology*, 20, 32. <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00260-4>

- Da Ponte, E., Alcasena, F., Bhagwat, T., Hu, Z., Eufemia, L., Turetta, A.P.D., Bonatti, M., Sieber, S., & Barr, P.L. (2023). Assessing wildfire activity and forest loss in protected areas of the Amazon basin. *Applied Geography*, 157, 102970. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.102970>
- Ebright, S.J., Stan, A.B., Sâm, H.V., & Fulé, P.Z. (2023). Protected Areas Conserved Forests from Fire and Deforestation in Vietnam's Central Highlands from 2001 to 2020. *Fire*, 6, 164. <https://doi.org/10.3390/fire6040164>
- Erni, S., Wang, X., Swystun, T., Taylor, S.W., Parisien, M.A., Robinne, F.N., Eddy, B., Oliver, J., Armitage, B., & Flannigan, M.D. (2024). Mapping wildfire hazard, vulnerability, and risk to Canadian communities. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 101, 104221. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.104221>
- Finney, M.A. (2006). An Overview of FlamMap Fire Modeling Capabilities. In: Andrews, Patricia L.; Butler, Bret W., comps. 2006. Fuels Management-How to Measure Success: Conference Proceedings. 28-30 March 2006; Portland, OR. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 213-220
- Flannigan, M.D., Wotton, B.M., Marshall, G.A., De Groot, W., Johnston, J., Jurko, N., & Cantin, A. (2016). Fuel moisture sensitivity to temperature and precipitation: climate change implications. *Climatic Change*, 134, 59–71. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1521-0>
- Heidari, H., Arabi, M., & Warziniack, T. (2021). Effects of climate change on natural-caused fire activity in western U.S. national forests. *Atmosphere*, 12, 981. <https://doi.org/10.3390/atmos12080981>
- Hino, M., & Field, C.B. (2023). Fire frequency and vulnerability in California. *PLOS Climate*, 2(2), e0000087. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000087>
- ISO 31000:2018, 3.7. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en>
- Jacobsen, A.L., Pratt, R.B., Ewers, F.W., & Davis, S.D. (2007). Cavitation resistance among twenty-six chaparral species of southern California. *Ecological Monographs*, 77, 99–115. <https://doi.org/10.1890/05-1879>
- Jin, Y., Goulden, M.L., Faivre, N., Veraverbeke, S., Sun, F., Hall, A., Hand, M.S., Hook, S., & Randerson, J.T. (2015). Identification of two distinct fire regimes in Southern California: implications for economic impact and future change. *Environmental Research Letters*, 10, 094005. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/10/9/094005>
- Kobziar, L.N., Hiers, J.K., Belcher, C.M., Bond, W.J., Enquist, C.A., Loudermilk E.L., Miesel, J.R., O'Brien, J.J., Pausas, J.G., Hood, S., Keane, R., Morgan, P., Pingree, M.R.A., Riley, K., Safford, H., Seijo, F., Varner, J.M., Wall, T., & Watts, A.C. (2024). Principles of fire ecology. *Fire ecology*, 20, 39. <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00272-0>
- Krebs, P., Pezzatti, G.B., Mazzoleni, S., Talbot, L.M., & Conedera, M. (2010). Fire regime: history and definition of a key concept in disturbance ecology. *Theory in Biosciences*, 129, 53–69. <https://doi.org/10.1007/s12064-010-0082-z>
- Liu, J., Wang, Y., Guo, H., Lu, Y., Xu, Y., Sun, Y., Gan, W., Sun, R., & Li, Z. (2024). Spatial and temporal patterns and driving factors of forest fires based on an optimal parameter-based geographic detector in the Panxi region, Southwest China. *Fire ecology*, 20, 27. <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00257-z>
- Martínez-Torres, H.L., Pérez-Salicrú, D.R., Castillo, A., & Ramírez, M.I. (2018). Fire Management in a Natural Protected Area: What Do Key Local Actors Say? *Human Ecology*, 46(4), 515–528. <http://www.jstor.org/stable/45154160>

- McEvoy, A., Kerns, B.K., & Kim, J.B. (2021). Hazards of Risk: Identifying Plausible Community Wildfire Disasters in Low-Frequency Fire Regimes. *Forests*, 12, 934. <https://doi.org/10.3390/f12070934>
- McFayden, C.B., Hope, E.S., Boychuk, D., Johnston, L.M., Richardson, A., Coyle, M., Sloane, M., Cantin, A., Johnston, J.M., & Lynham, T.J. (2023). Canadian Fire Management Agency Readiness for WildFireSat: Assessment and Strategies for Enhanced Preparedness. *Fire*, 6, 73. <https://doi.org/10.3390/fire6020073>
- Nelson, A., & Chomitz, K.M. (2011). Effectiveness of Strict vs. Multiple Use Protected Areas in Reducing Tropical Forest Fires: A Global Analysis Using Matching Methods. *PLoS ONE*, 6(8), e22722. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022722>
- Neger, C., Ponce-Calderón, L.P., de Lourdes Manzo-Delgado, L., & López-Madrid, M.A. (2024). Integrated fire management in a tropical biosphere reserve: Achievements and challenges. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 106, 104447. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104447>
- O, S., Hou, X., & Orth, R. (2020). Observational evidence of wildfire-promoting soil moisture anomalies. *Scientific Reports*, 10(1), 11008. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67530-4>
- Pausas, J.G. (2017). Fire danger, fire hazard, fire risk, ... J.G. Pausas' blog, Notes on fire ecology, Mediterranean ecology, and other things <https://jgpausas.blogs.uv.es/2017/08/05/fire-danger-fire-hazard-fire-risk/>
- Pereira, P., Mierauskas, P., Ubada, X., Mataix-Solera, J., & Cerda, A. (2012). Fire in Protected Areas - the Effect of Protection and Importance of Fire Management. *Environmental Research, Engineering and Management*, 59 (1), 52-62. <https://doi.org/10.5755/j01.erem.59.1.856>
- Thompson, M.P., Zimmerman, T., Mindar, D., & Taber, M. (2016). Risk terminology primer: Basic principles and a glossary for the wildland fire management community. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-349. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 13 p.
- Wang, W., Wu, W., Guo, F., & Wang, G. (2022). Fire regime and management in Canada's protected areas. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 10 (2), 240-251. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2022.04.003>
- White, C.A., Perrakis, D.D.B., Kafka, V.G., & Ennis, T. (2011). Burning at the edge: Integrating biophysical and Eco-cultural fire process in Canada's Parks and protected areas. *Fire Ecology*, 7(1), 74–106. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701074>
- Zagalikis, G. (2023). Remote Sensing and GIS Applications in Wildfires. Geographic Information Systems - Data Science Approach. *IntechOpen*, 24. <https://doi.org/10.5772/intechopen.111616>