GES	Journal of Geography and Environmental Studies, 13 (49), Spring 2024 https://sanad.iau.ir/journal/ges ISSN: 2008-7845

Research Paper

Wildfire Risk Assessment in Zagros Forests using Geographic Information System and Best-Worst Method (BWM) (Case Study: Dore Chegeni County, Lorestan Province)

Jahdi, Roghayeh
Associate Professor, Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
Email: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir
Beiranvandi, Vahid
PhD Student, Department of Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Amini, Hamed
PhD Student, Department of Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Abstract
Due to the effect of climate change, the frequency and intensity of wildfires is continuously increasing. Wildfire risk assessment is an important part of fire prevention because pre-fire planning requires tools to monitor an area in terms of when and where fire is most likely to occur, or when a fire will have the most severe negative effects. Wildfires are one of the most important natural hazards in Zagros forest ecosystems in western Iran. This study was conducted to analyze the risk of fire and investigate the factors affecting fire in the forest area of Dore Chegeni County. The main goal of the current study is to try to prepare a wildfire risk zoning map by combining topographic data and other auxiliary data through the geographic information system and using the Best-Worst Method for the study area. The fire risk map was obtained by scoring and weighing the layers of effective fire factors (vegetation, slope, aspect, elevation, climate, and distance from settlements and roads). Based on the results, the study area was classified into four fire risk classes. Very high (7%) and high (11%) fire risk areas were identified in the study area. Furthermore, 8% and 74% of the study area were placed in medium and low fire risk classes, respectively. This analysis helps land managers to understand patterns of vulnerability and fire risk in the landscape. By using the analysis of the results, investments in conditions of limited resources, forest restoration, fuel treatments and other mitigation measures to reduce fire risk can be targeted in areas with high fire risk.

Keywords: Climate change, Natural hazard, Wildfire, Best and Worst Method, Vegetation.

Citation: Jahdi, R.; Beiranvandi, V; Amini, H. (2024), Wildfire Risk Assessment in Zagros Forests using Geographic Information System and Best-Worst Method (BWM) (Case Study: Dore Chegeni County, Lorestan Province), Journal of Geography and Environmental Studies, 13 (49), 68-85.

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – acsses article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

مقاله پژوهشی

ارزیابی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش بهترین- بدترین (BWM) (مطالعه موردی: شهرستان دوره چگنی، استان لرستان)

رقیه جهدی

دانشیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

وحید بیرانوندی

دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

حامد امینی

دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

به دلیل اثر تغییر اقلیم، فراوانی و شدت آتش‌سوزی جنگل‌ها به طور مداوم در حال افزایش است. ارزیابی خطر آتش‌سوزی جنگل بخش مهمی از پیشگیری آتش است، زیرا برنامه‌ریزی قبل از آتش نیاز به ابزارهای پایش یک منطقه از نظر زمان و مکان که در آن وقوع آتش محتمل‌تر است، یا وقتی که آتش آثار منفی شدیدتری خواهد داشت، دارد. آتش جنگل از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در بوم‌سازگان‌های جنگلی زاگرس در غرب ایران است. این مطالعه به منظور تجزیه و تحلیل خطر آتش‌سوزی و بررسی عوامل موثر بر آتش‌سوزی در محدوده جنگلی شهرستان دوره چگنی انجام شد. هدف اصلی مطالعه حاضر تلاش برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی با ترکیب داده‌های توپوگرافی و سایر داده‌های کمکی از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی و استفاده از روش بهترین-بدترین برای منطقه مورد مطالعه است. نقشه خطر آتش‌سوزی از طریق نمره‌دهی و وزن‌دهی لایه‌های عوامل موثر آتش‌سوزی (پوشش گیاهی، شیب، جهت، ارتفاع، اقلیم و فاصله از سکونت‌گاه‌ها و جاده‌ها) بدست آمد. بر اساس نتایج، منطقه مورد مطالعه به چهار کلاسه خطر آتش‌سوزی طبقه‌بندی شد. مناطق با خطر آتش خیلی زیاد (۷ درصد) و زیاد (۱۱ درصد) در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. همچنین به ترتیب ۸ و ۷۴ درصد از منطقه مورد مطالعه در کلاسه‌های خطر آتش متوسط و کم قرار گرفت. این تجزیه و تحلیل به مدیران زمین در درک الگوهای آسیب‌پذیری و خطر آتش در سیمای سرزمین کمک می‌کند. با استفاده از تجزیه و تحلیل نتایج، سرمایه‌گذاری‌ها در شرایط محدودیت منابع، بازسازی جنگل، تیمارهای ماده سوختنی و سایر اقدامات کاهش آسیب آتش می‌تواند در نواحی با خطر آتش‌سوزی زیاد هدف‌گذاری شود.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، مخاطرات طبیعی، آتش‌سوزی جنگل، روش بهترین-بدترین، پوشش گیاهی.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۵/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۸

نویسنده مسئول: رقیه جهدی، دانشیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

مقدمه

گسترش آتش در یک منطقه مشخص وابسته به عوامل متعددی است که بیشر تحت تاثیر توپوگرافی، پوشش گیاهی و آب و هوای محلی است (Stocks et al, 5.1, 2003). از میان این سه عامل، ویژگی‌های جغرافیایی به صورت ایستا و ثابت است، در حالی که پوشش گیاهی به تدریج و به مرور زمان تغییر می‌کند. علاوه بر این، تغییرات در طرح‌های انسانی کاربری زمین، مانند کشاورزی صنعتی، یا گسترش شهر می‌تواند منجر به تغییرات در پوشش گیاهی شود. آب و هوا پویاترین عامل موثر بر خطر آتش‌سوزی است. در جنگل‌ها آتش‌سوزی طبیعی در اثر عواملی از جمله: افزایش درجه حرارت، برخورد صاعقه، تجمع لاشبرگ و وزش بادهای گرم ایجاد می‌گردد (اسحاقی و همکاران، ۲۹۴، ۱۴۰۱) از این‌رو طبیعت غیرقابل پیش‌بینی آب و هوا ارزیابی خطر آتش-سوزی و مدلسازی گسترش آن را بسیار پیچیده می‌سازد (Mohammed et al, 184, 2022).

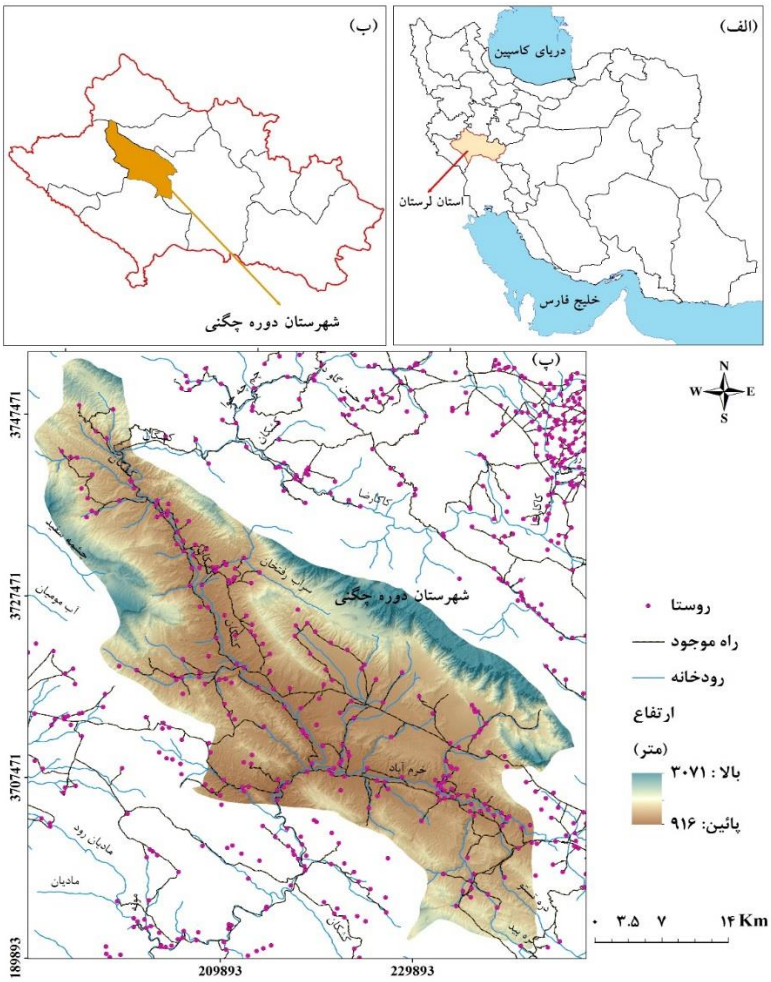
کمی کردن خطر آتش‌سوزی به دلیل پیچیدگی حوادث آتش‌سوزی در مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوت، آثار این حوادث آتش‌سوزی روی بوم‌سازگان‌های طبیعی، و رژیم‌های آتش متنوع که با این حوادث آتش‌سوزی در طول زمان ایجاد می‌شود، کاری بسیار دشوار است (Finney, 97, 2005). خطر آتش‌سوزی با احتمال یک آتش‌سوزی که موجب از بین رفتن زیستگاه می‌شود (Ager et al, 46, 2007)، توزیع احتمالی احتراق‌ها، اندازه‌های آتش و شرایط سوختن (Parisien et al, 107, 2005)، رخداد آب و هوای آتش (Gill et al, 300, 1987) و تکرار حوادث آتش کمیاب (Neuenschwander et al, 36, 2000) تعریف شده است. به منظور پشتیبانی از برنامه‌ریزی مدیریت خطر آتش‌سوزی پیشرفت‌های قابل توجهی در استفاده از GIS و تکنیک‌های مدل‌سازی مکانی در دو دهه گذشته انجام شده است. انواع مختلف برنامه‌های کاربردی GIS برای تامین نیازمندی‌های خاص ارزیابی خطر و مدیریت آتش توسعه یافته است (Gollberg et al, 3, 2001). هدف این برنامه‌های کاربردی تعیین خطر آتش‌سوزی در یک روش مکانی مشخص و کمک به مدیران آتش از طریق یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مدیریت خطر است. طی سالیان اخیر، پژوهش‌های فراوانی در ارتباط با تعیین خطر آتش‌سوزی و پهنه‌بندی جنگل‌ها از نظر احتمال آتش‌سوزی با استفاده از این برنامه‌ها صورت گرفته است. Zumbrunnen و همکاران (۲۱۸۸، ۲۰۱۰) شناسایی تاثیر مهم‌ترین متغیرهای آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی بر وقوع آتش‌سوزی در نواحی حساس به آتش در سوئیس را انجام دادند. Verma و همکاران (۱۲، ۲۰۱۵) به ارزیابی الگوهای مکانی و زمانی آتش‌سوزی جنگل‌ها بین سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۱۴ با استفاده از سنجش از دور و GIS در ذخیره‌گاه جنگلی در غرب هند پرداختند. Zhang و همکاران (۱۴، ۲۰۲۳) در مطالعه خود پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی و تعیین فاکتورهای پیشران خطر بر اساس مدل رگرسیون لجستیک پارامتر بهینه در منطقه جنگلی در چین را انجام دادند. همچنین در ایران مطالعات متعددی به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از GIS به همراه تکنیک‌های مختلف تصمیم‌گیری به ویژه تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره پرداخته‌اند. به‌ویژه در جنگل‌های زاگرس، جعفری و مافی غلامی (۲۳۴، ۱۳۹۶) به بررسی قابلیت روش نسبت فراوانی و ترکیب آن با انتروپی شانون به بررسی خطر آتش در استان چهارمحال و بختیاری پرداختند. بر اساس نتایج، نرخ موفقیت و پیش‌بینی برای مدل نسبت فراوانی و مدل ترکیبی به ترتیب ۷۹.۰۲ و ۷۵.۷۲ درصد و ۸۵.۱۶ و ۸۲.۹۱ درصد محاسبه شد و در مجموع بیش از یک سوم مساحت استان در طبقات خطر زیاد تا خیلی زیاد آتش‌سوزی قرار گرفته است. باقرآبادی و همکاران (۶۶، ۱۴۰۱) به شناسایی مناطق پرخطر آتش در جنگل‌های زاگرس در شهرستان دالاهو با استفاده از GIS و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. نتایج نشان داد که مناطق با خطرپذیری زیاد و خیلی زیاد در مجموع حدود ۲۰ درصد از جنگل‌های منطقه را در بر می‌گیرد. عابدینی و همکاران (۵۱، ۱۴۰۱) نیز اقدام به پایش و برآورد وسعت مناطق مستعد آتش در بخشی از جنگل‌های زاگرس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست نمودند که نتایج بدست آمده اطلاعات مناسبی از تغییرات آتش‌سوزی با بهره‌گیری از شاخص‌های NBR و dNBR را ارائه داد.

با توجه به موقعیت کوهستانی و محصور بودن منطقه لرستان در میان سلسله جبال زاگرس میانی شرایط مساعدی برای تقویت و تشدید بارش‌ها در این منطقه وجود دارد (نوری آرا و همکاران، ۳۳، ۱۴۰۱) که منجر به قرارگیری استان لرستان در بین سه استان پر بارش کشور شده است. این عامل در رشد گیاهان یک ساله می‌تواند نقش ویژه‌ای داشته باشد که منجر به افزایش پوشش گیاهی بهاره و در نتیجه افزایش بار ماده سوختنی قابل اشتعال در انتهای بهار و اوایل تابستان و در نهایت زیاد شدن احتمال احتراق و گسترش آتش‌سوزی در منطقه می‌شود. علی نیا و همکاران (۱۲۸، ۱۴۰۰) نیز مخاطره آتش‌سوزی‌های عرصه‌های طبیعی در دوره گرم سال را یکی از مهم‌ترین مخاطرات اقلیمی استان لرستان نام بردند. به‌طور کلی، این منطقه به دلیل شرایط محیط‌زیستی خاص مستعد تهدیدات مختلف تنوع زیستی و بلایای طبیعی مختلف مانند آتش‌سوزی است که نیاز به ارزیابی خطر و تدوین برنامه مدیریت محیط‌زیستی با رویکردی جامع و کاربردی است (بهمن‌پور و همکاران، ۱۱۴، ۱۴۰۱). بنابراین، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی خطر آتش‌سوزی در بخش از جنگل‌های زاگرس در شهرستان دوره چگنی، استان لرستان انجام شد. این تحقیق به شناسایی مناطق مستعد و در معرض آتش‌سوزی بر پایه استفاده از GIS و با بهره‌گیری از روش بهترین- بدترین (BWM، تصمیم‌گیری چند معیاره) برای وزن‌دهی معیارها به‌منظور کسب نتایج دقیق در یک منطقه حساس به آتش‌سوزی در ناحیه رویشی زاگرس در غرب ایران می‌پردازد. ارزیابی احتمالی وقوع و خطر آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه، تعیین مهم‌ترین فاکتورهای تأثیر گذار در گسترش آتش و پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی و استفاده از تکنیک نوین تصمیم‌گیری چند معیاره (BWM) از اهداف اصلی این مطالعه است. نتایج این تحقیق می‌تواند به منظور اطلاع‌رسانی مدیریت و کنترل آتش‌سوزی در مناطق مستعد آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس مورد استفاده قرار گیرد.

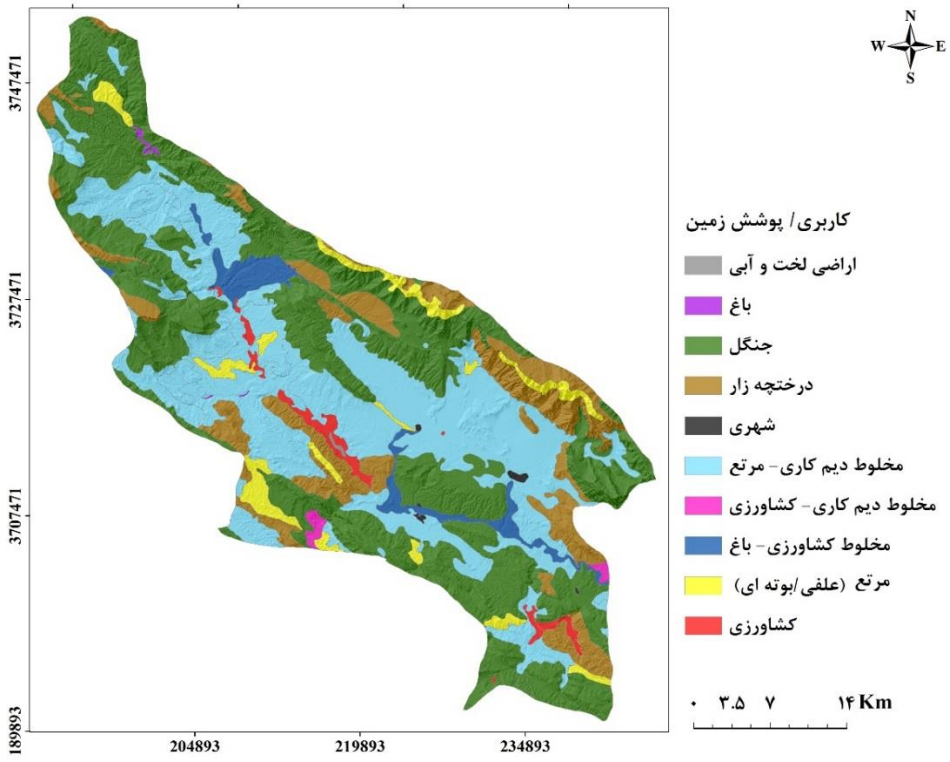
داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی شهرستان دوره چگنی در غرب استان لرستان، غرب ایران است که در طول‌های جغرافیایی '۳۷ °۴۷ تا '۱۵ °۴۸ شرقی و عرض‌های جغرافیایی '۲۰ °۳۳ تا '۵۳ °۳۳ شمالی واقع شده است (شکل ۱). بخش زیادی از تنوع اکولوژیکی این منطقه می‌تواند به دلیل توپوگرافی با تغییرپذیری زیاد و دامنه گسترده ارتفاع (۹۱۶-۳۰۷۱ متر) باشد. ارتفاع متوسط این منطقه ۱۲۹۴ متر از سطح دریا می‌باشد. اقلیم منطقه بیشتر تحت تاثیر سلسله جبال زاگرس میانی است که در معرض عبور بادهای باران‌آور غربی و ورود سیستم‌های مدیترانه‌ای- سودانی است. محدوده مورد مطالعه از نظر شرایط آب و هوایی دارای میانگین دما و بارش سالیانه به ترتیب ۲۲ درجه سانتیگراد و ۴۶۶ میلی‌متر است. (سازمان هواشناسی استان لرستان، ۱۳۹۸)، از نظر کاربری/ پوشش زمین بخش اعظم منطقه مورد مطالعه اراضی مرتعی و دارای کاربری دیم‌کاری- مرتع است که مستعد آتش‌سوزی است، نقش کاربری موجود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 در اداره کل منابع طبیعی استان لرستان تهیه شده است (شکل ۲). پوشش جنگلی این منطقه نیز شامل تیپ غالب بلوط ایرانی (Quercus brantii var.perisica)، همراه با سایر گونه‌های درختی و درختچه‌ای از جمله کیکم (Acer monspessulanum subsp. Cinerascens)، گلابی وحشی (Pyrus spp.)، بنه (Pistacia atlantica Desf.)، بادام (Amygdalus spp.)، گیلاس وحشی (Cerasus microcarpa) و زالزالک (Crataegus aronia L.) است (دریکوندی و همکاران، ۹۸، ۱۳۹۳). وسعت منطقه مورد مطالعه ۱۸۹۲۰۰ هکتار است که از حوزه‌های اصلی آبریز کرخه به شمار می‌رود.



شکل (۱): موقعیت شهرستان دوره چگنی در غرب ایران (الف) و در استان لرستان (ب)؛ نقشه مدل رقومی ارتفاع شهرستان دوره چگنی به همراه نقشه موقعیت روستاها، راه‌های موجود و رودخانه‌ها (پ)، (ماخذ: نویسندگان، ۱۴۰۲)



شکل (۲): نقشه کاربری/پوشش زمین منطقه مورد مطالعه، (منبع: اداره منابع طبیعی استان لرستان، ۱۳۹۸)

در پژوهش حاضر به‌منظور فراهم نمودن، تجزیه و تحلیل اطلاعات و پردازش نهایی از روش مطالعات کتابخانه‌ای افزون بر بازنگری اطلاعات از سیستم اطلاعات جغرافیایی، در زمینه پهنه‌بندی، شناخت شاخص‌ها و مسائل مربوط به آتش‌سوزی شهرستان دوره چگنی استفاده شده است. لازم به ذکر است به‌منظور وزن‌دهی معیارهای مورد استفاده در این پژوهش از روش BWM استفاده گردیده است.

شاخص‌ها برای ارزیابی خطر آتش‌سوزی

این مطالعه نمونه‌ای از استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ارزیابی خطر آتش‌سوزی در یک مقیاس محلی است. طرح‌های مکانی ترکیب و ساختار سیمای سرزمین (توپوگرافی و ماده سوختنی) برای خطر آتش‌سوزی مهم است، زیرا این طرح‌ها روی گسترش و شدت آتش اثر می‌گذارد (Loehle, 265, 2004). وقوع و گسترش آتش در ارتباط با تنوع پوشش گیاهی، فاصله از سکونت‌گاه‌ها و جاده‌ها، منابع آبی (دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و ...)، ویژگی‌های توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) و پارامترهای اقلیمی (درجه حرارت و بارندگی) است. به منظور ارزیابی خطر آتش‌سوزی نیاز به تهیه داده‌ها و اطلاعات مربوط به این متغیرها در مقیاس مورد مطالعه است.

بطور کلی سه گروه از شاخص‌ها برای ارزیابی خطر آتش‌سوزی جنگل بر اساس مقیاس زمانی آنها تعریف شده است:

- شاخص‌های ساختاری یا درازمدت، که در کوتاه‌مدت تغییر نمی‌کنند مانند توپوگرافی، تیپ پوشش گیاهی، پوشش زمین، شیب، جهت، ارتفاع، فاصله با جاده‌ها و نزدیکی به مناطق شهری، تراکم جمعیتی، اقلیم و خاک‌ها.
- شاخص‌های پویا یا کوتاه‌مدت، که به صورت ملایم و پیوسته در طول زمان تغییر می‌کند، مانند عوامل پوشش گیاهی (مانند نوع، اندازه و رطوبت) یا آب و هوایی. این شاخص به منظور تعیین اشتعال‌پذیری مواد سوختنی در طول فصل آتش‌سوزی استفاده می‌شود و از متغیرهایی بهره می‌گیرد که در یک مدت زمان کوتاه تغییر می‌کند (Chuvieco and Congalton, 150, 1989). شاخص آب و هوای آتش کانادایی نمونه‌ای از این شاخص کوتاه مدت است.
- شاخص‌های ترکیبی یا پیشرفته، که شامل عوامل ساختاری و پویا مانند موارد اشاره شده در بالا است. اما موضوع خیلی مهم در این رویکرد این است که چگونه به شکل موثری این عوامل مرتبط را برای بدست آوردن یک معیار منسجم ترکیب کنیم (Adab et al, 19, 2011).

تمرکز اصلی این مطالعه بر استفاده از شاخص‌های ساختاری/ درازمدت موثر بر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع است. در اغلب مطالعات مرتبط پیشین (Ozelkan and Ormeci, 53, 2009; Adab et al, 19, 2011; Thakur and Singh, 83, 2014) از عوامل پوشش گیاهی، نزدیکی به جاده‌ها، نزدیکی به سکونت‌گاهها، شیب، جهت و ارتفاع استفاده شده است که در این تحقیق نیز این عوامل برای منطقه مورد مطالعه گزینش شد. تفاوت‌های اصلی شاخص‌های موجود برای پهنه‌بندی خطر آتش داده مورد استفاده برای برآورد خطر ماده سوختنی و وزن‌دهی این فاکتورها است. بنابراین در این تحقیق ارزیابی خطر آتش بر پایه پیشران‌های اصلی رفتار آتش شامل توپوگرافی، پوشش گیاهی (ماده سوختنی) و آب و هوا، به همراه اطلاعات زیرساخت‌های فیزیکی (جاده و سکونت‌گاهها) در منطقه مورد مطالعه انجام می‌شود (جدول ۱). در این جدول رتبه‌بندی خطر آتش در منطقه مورد مطالعه مطابق با رتبه‌بندی‌های گزارش شده در مطالعات Adab و همکاران (۲۰۱۱) و جانباز قبادی (۹۱، ۱۳۹۸) انجام شد.

جدول (۱): شاخص‌ها و کلاسه‌های خطر آتش مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه (Adab et al., 19, 2011؛ جانباز قبادی، ۹۱، ۱۳۹۸)

شاخص	کلاسه‌ها	رتبه‌بندی خطر
شیب	<۵٪, ۵-۱۰٪, ۱۰-۲۰٪, ۲۰-۳۵٪, ۳۵٪>	۱,۲,۳,۴,۵
جهت	شمال، جنوب غرب، جنوب غرب، دشت، غرب، شرق، شمال غرب، شمال شرق، شمال	۱۰,۹,۸,۷,۶,۵,۴,۳,۲
ارتفاع	<۱۲۹۰, ۱۲۹۰-۱۶۷۰, ۱۶۷۰-۲۶۹۰, ۲۶۹۰> m	۱,۲,۳,۴
پوشش	مرتع (علفی/بوته‌ای)، درختچه‌زار، جنگل، اراضی کشاورزی (مخلوط دیم‌کاری- مرتع و باغات)، مناطق شهری یا ساخته‌شده، اراضی لخت و آبی	۰,۱,۲,۳,۴
فاصله از جاده‌ها	<۲۰۰, ۲۰۰-۳۰۰, ۳۰۰-۴۰۰, ۴۰۰-۵۰۰, ۵۰۰> m	۱,۲,۳,۴,۵
فاصله از سکونت‌گاهها	<۵۰۰, ۵۰۰-۱۰۰۰, ۱۰۰۰-۱۵۰۰, ۱۵۰۰-۲۰۰۰, ۲۰۰۰> m	۱,۲,۳,۴,۵
اقلیم	مدیترانه‌ای، نیمه خشک سرد، نیمه خشک معتدل و مرطوب معتدل	۱,۲,۳,۴

ارزیابی خطر آتش با استفاده از روش بهترین-بدترین (BWM)

روش بهترین-بدترین (BWM) از تکنیک‌های جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره است که توسط Rezaei (۲۰۱۵) ارائه شده است. در این روش ابتدا توسط تصمیم‌گیرنده بهترین (با اهمیت‌ترین و خوشایندترین) و بدترین (بی‌اهمیت‌ترین و ناپسندترین) معیارها مشخص، سپس به مقایسه‌های زوجی میان هر یک از شاخص‌ها و زیر معیارها می‌پردازد. از جمله مزیت‌های این روش در مقایسه با الگوهای مشابه می‌توان به مقایسه‌های کمتر به همراه سازگاری این مقایسه‌ها اشاره کرد که منجر به قابل اطمینان‌تر شدن نتیجه تصمیم‌گیری می‌گردد (Rezaei, 320, 2015). گام‌های اصلی روش BWM شامل موارد زیر است:

گام ۱: بیان معیارهای تصمیم‌گیری به‌منظور تصمیم‌گیری به صورت {C1, C2, …, Cn}

گام ۲: بدون مقایسه بهترین و بدترین به تعریف بهترین و بدترین شاخص می‌پردازیم.

گام ۳: مشخص نمودن برتری بهترین معیار با اعداد ۱ تا ۹ و نمایش برداری آن به صورت (ABB=(aB1, aB2, …, aBn. که در این بردار ارجحیت معیار B به شاخص j با بردار aBJ نشان داده می‌شود.

گام ۴: در این گام ارجحیت هر یک از شاخص‌ها با بدترین معیار با اعداد ۱ تا ۹ همانند گام ۳ تعیین شده است.

گام ۵: یافتن مقادیر بهینه وزن‌ها (W*1, W*2, …, W*n) و محاسبه نرخ سازگاری، برای این منظور از مدل بهینه‌ساز استفاده می‌شود (رضایی، ۲۰۱۵).

$$\text{Min } \xi$$
$$\text{s.t.}$$
$$\left|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}\right| \le \xi, for\ all\ j \quad (۱)$$
$$\left|\frac{W_j}{W_w} - a_{jw}\right| \le \xi, for\ all\ j \quad (۲)$$
$$\sum W_j = 1 \quad (۳)$$
$$W_j \ge 0, for\ all\ j \quad (۴)$$

محاسبه نرخ سازگاری در روش BWM

با بهره‌گیری از ξ و استفاده از جدول ۲ نرخ سازگاری از رابطه $\frac{\xi}{\text{شاخص سازگاری}} =$ نرخ سازگاری به‌دست می‌آید. در این رابطه با استفاده از شاخص سازگاری جدول (۲) نرخ سازگاری را محاسبه نموده، و آن را در بازه [۰ ۱] قرار داده، هر چه این نرخ به صفر

نزدیکتر سازگاری و ثبات بیشتر و با نزدیک شدن این مقدار به صفر سازگاری و ثبات کمتر می‌شود. همچنین در این پژوهش به منظور همسان‌سازی معیارها در ساخت نقشه‌ها از استانداردسازی داده‌ها با دامنه صفر و یک استفاده شده است (Siu, 20, 1999).

جدول (۲): شاخص سازگاری در روش BWM (Siu, 20, 1999)

aBW	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
شاخص سازگاری	۰	۴۴	۱	۶۳/۱	۳/۲	۳	۷۳/۳	۴۷/۴	۲۳/۵

شاخص‌های موثر در پهنه‌بندی مناطق مستعد آتش‌سوزی در جدول ۳ ارایه شده‌اند.

جدول (۳): شاخص‌ها و وزن‌های مناطق مستعد آتش‌سوزی (Siu, 20, 1999)

ردیف	شاخص‌ها	رتبه شاخص	وزن نهایی شاخص‌ها
۱	شیب	۱	۰/۲۵
۲	جهت	۵	۰/۱۱
۳	ارتفاع	۲	۰/۱۸
۴	پوشش	۴	۰/۱۴
۵	اقلیم	۶	۰/۱۰
۶	فاصله از سکونتگاه‌ها	۷	۰/۰۶۲
۷	فاصله از جاده‌ها	۳	۰/۱۴

یافته‌های تحقیق

شاخص‌های خطر آتش در منطقه مورد مطالعه

توپوگرافی: شیب

یکی از مهم‌ترین پارامترها که نقش اساسی در پهنه‌های آتش‌سوزی دارد، نقشه شیب است. پخش آتش‌سوزی در شیب‌های بالای ۲۰ درجه، دو برابر پخش آن در شیب‌های پایین می‌باشد (Estes et al, 1794, 2017) (جدول ۴). توپوگرافی منطقه مورد مطالعه به دلیل کوهستانی بودن و پستی و بلندی‌های پیچیده و ناهموار، نقش مهمی را در نرخ گسترش آتش ایفا می‌کند. در شیب‌های بیشتر، به دلیل انتقال گرما و پیش‌گرمایش ماده سوختنی در پیشانی آتش و نیز نزدیکی بیشتر شعله به مواد سوختنی در پیشانی آتش، آتش سریع‌تر و با شدت بیشتری به مواد سوخته‌نشده گسترش می‌یابد.

توپوگرافی: جهت

به دلیل تفاوت رژیم رطوبتی و پوشش گیاهی در جهت‌های مختلف، جهت نیز برای ارزیابی خطر آتش رتبه‌بندی می‌شود. جهت‌های شمال معمولا با پوشش گیاهی مرطوب‌تر و با بار سنگین‌تر و جهت‌های غربی با پوشش گیاهی خشک‌تر و با بار سبک‌تر هستند. جدول ۴ ارتباط بین درجه حرارت، بار و رطوبت ماده سوختنی با رفتار آتش را توصیف می‌کند. بیشترین تابش خورشیدی به ترتیب در دامنه‌های جنوبی، شرقی، غربی، شمالی و مناطق دشتی مشهود و این مناطق در معرض آتش‌سوزی می‌باشند (Vadrevu et al, 223, 2009).

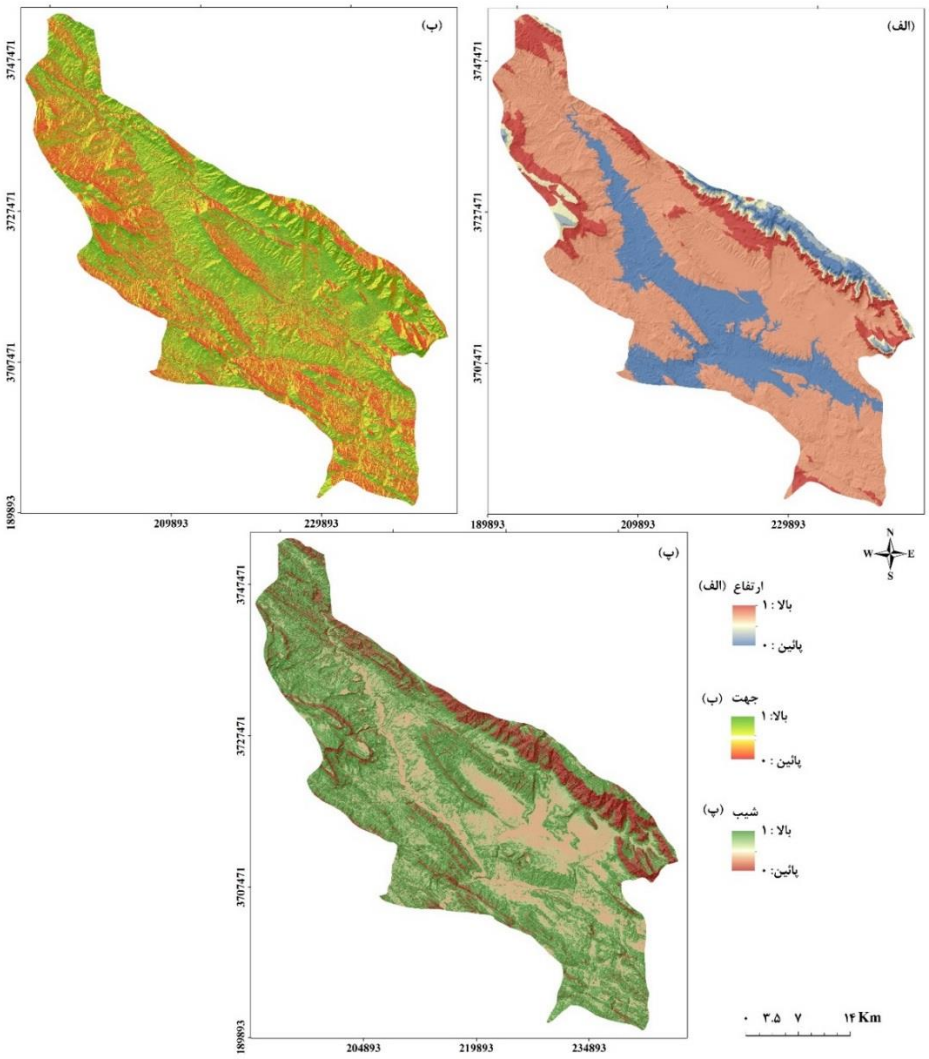
توپوگرافی: ارتفاع

ارتفاع متغیر فیزیوگرافی مهمی است که با درجه حرارت، رطوبت و باد مرتبط است (Zhang et al, 2, 2014). کلاسه‌بندی‌های متضادی از خطر آتش در زمینه ارتفاع وجود دارد. Ozelkan و Ormeci (۲۰۰۹) در مطالعه خود بیان کردند که ارتفاع‌های بالاتر نسبت به ارتفاع‌های پائین‌تر حساس‌تر به آتش‌سوزی هستند. در حالی که در مطالعه Adab و همکاران (۲۰۱۱) مناطق با ارتفاع‌های پائین‌تر پرخطرتر برآورد شده است که مبنای رتبه‌بندی خطر آتش در این مطالعه نیز می‌باشد. Chuvieco و Congalton (۱۹۸۹) نیز در مطالعه خود به نقش افزایش ارتفاع در ازدیاد رطوبت و نقش متضاد پهنه آتش‌سوزی و ارتفاع اشاره کردند. بنابراین خطر عامل ارتفاع باید مطابق با مشخصات هر منطقه برآورد شود.

جدول (۴): اثر توپوگرافی: درصد شیب و جهت روی گسترش آتش (منبع، Chuvieco و Congalton، ۱۹۸۹)

شاخص		توصیف	رتبه‌بندی خطر
شیب	<٪۲۰	طول شعله و فعل و انفعال ماده سوختنی ایجاد شده با شیب خیلی کم است، نرخ گسترش آتش کم	۱
	۲۱٪-۳۰	کج شدن شعله برای پیش‌گرمایش ماده سوختنی شروع می‌شود، نرخ گسترش آتش متوسط	۲
	۳۱٪-۴۵	کج شدن شعله برای پیش‌گرمایش ماده سوختنی انجام شده و فرو رفتن شعله‌ها درون ماده سوختنی شروع می‌شود، نرخ گسترش آتش زیاد	۳
	۴۶٪-۶۰	کج شدن شعله برای پیش‌گرمایش ماده سوختنی انجام شده و فرو رفتن شعله‌ها درون ماده سوختنی ادامه می‌یابد، نرخ گسترش آتش خیلی زیاد	۴
	>٪۶۰	کج شدن شعله برای پیش‌گرمایش ماده سوختنی انجام شده و فرو رفتن شعله‌ها درون ماده سوختنی با افزایش شیب بیشتر می‌شود، نرخ گسترش آتش شدید	۵
جهت	شمال	میزان رطوبت بیشتر، بارهای ماده سوختنی سنگین، اثر خیلی کم ناشی از تابش خورشید.	۱
	شرق/ جلگه	اندکی خش‌تر از جهت شمال، بار ماده سوختنی متوسط. تنها اثر واقعی از تابش خورشیدی آفتاب صبح است.	۲
	غرب	ماده سوختنی خشک سبک، به خوبی در معرض خورشید برای دریافت تابش آفتاب است.	۳
	جنوب	ماده سوختنی خشک سبک، دریافت تابش آفتاب طولانی‌تر از سایر جهت‌ها است.	۴

نقشه‌های ارتفاع، جهت و شیب منطقه مورد مطالعه از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ده متری تهیه شده از مرکز تحقیقات استان لرستان در سال ۱۳۹۸ استخراج شده است (شکل ۳).



شکل (۳): نقشه‌های کلاسه‌بندی شده ارتفاع (الف)، جهت (ب) و شیب (پ) منطقه مورد مطالعه (ماخذ: نویسندگان، ۱۴۰۲)

پوشش گیاهی

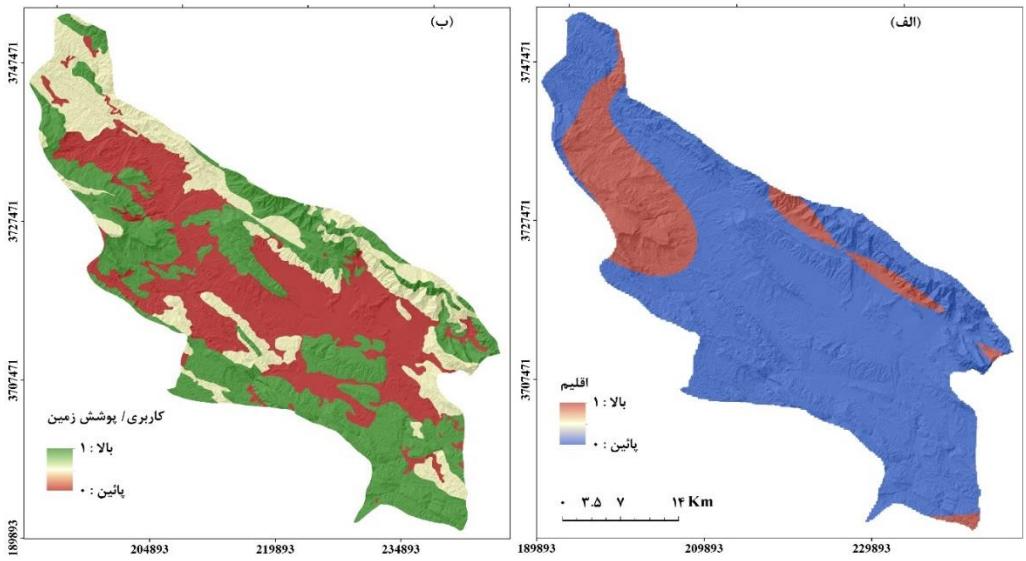
نوع پوشش گیاهی نقش مهمی در تعیین خطر نسبی و رفتار احتمالی آتش جنگل ایفا می‌کند (Gerdzheva, 22, 2014). انواع مختلف کلاسه‌بندی‌های پوشش زمین و تیپ پوشش گیاهی و نیز روشهای متفاوتی برای برآورد شرایط بیومس که می‌تواند به عنوان داده‌ای برای برآورد خطر آتش بکار رود، وجود دارد. در این پژوهش از نقشه پوشش زمین تهیه شده در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه شده در سال ۱۳۹۷ استفاده شده است (شکل ۴ ب).

اقلیم

اقلیم به میزان زیادی تحت تاثیر شکل زمین و سیمای سرزمین (مشخصه‌های عرض جغرافیایی و توپوگرافی) است (Wright, 132, 1961). بیشترین و کمترین میزان بارندگی سالانه به ترتیب ۸۰,۳ و ۰ میلی‌متر در ماههای فروردین و تیر در منطقه مورد مطالعه است. متوسط رطوبت نسبی منطقه مورد مطالعه بین ۵۷٪ در ماه‌های مهر، آبان و اردیبهشت و ۲۵٪ در ماه مرداد نوسان دارد. متوسط دمای ماهانه بین ۵,۱۳ و ۴۱,۹ درجه سانتی‌گراد است. آتش‌سوزی‌ها در طول دوره خشک در ماه‌های تیر و مرداد (فصل تابستان) با احتمال زیاد احتراق مواد سوختنی بویژه به دلیل دسترسی مواد سوختنی علفی خشک زیاد در کف جنگل رخ می‌دهد.

تغییرات اقلیمی با افزایش دما و تاثیر بر نوع پوشش گیاهی بر وقوع آتش‌سوزی در منطقه تاثیرگذار می‌باشد. منطقه مطالعاتی دارای اقلیم‌های متنوع مدیترانه‌ای (تابستان گرم و خشک)، نیمه خشک سرد (پوشش نیمه خشک)، نیمه خشک معتدل (پوشش و رطوبت

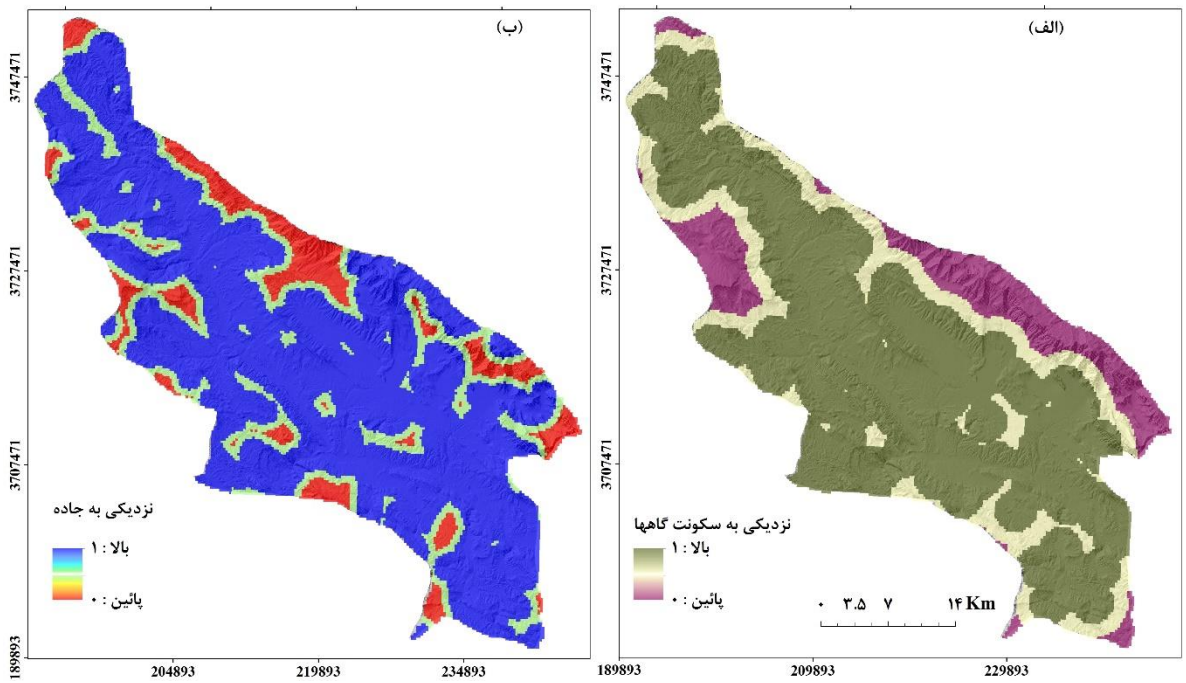
کم) و مرطوب معتدل (رطوبت دار در تمام فصول) است (سازمان هواشناسی استان لرستان، ۱۳۹۸) و از نظر خطر آتش‌سوزی به کلاسه‌های مختلفی تقسیم می‌گردد (شکل ۴ الف).



شکل (۴): نقشه کلاسه‌بندی شده اقلیم (الف) و پوشش زمین (ب) منطقه مورد مطالعه (ماخذ: نویسندگان، ۱۴۰۲)

نزدیکی به جاده و سکونت‌گاهها

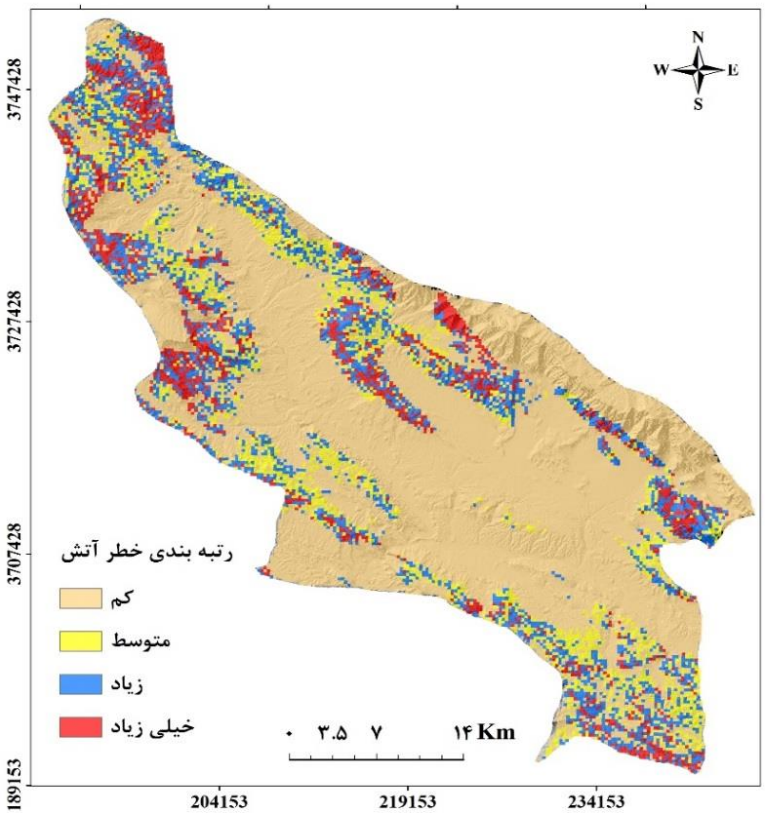
با توجه به نقش انسان‌ها در تخریب و ایجاد آتش‌سوزی در مناطق جنگلی با نزدیکی محدوده به جاده خطر آتش‌سوزی افزایش پیدا می‌کند. همچنین نزدیکی جنگل به مناطق مسکونی از یک سو با استفاده مستقیم جوامع انسانی از منابع جنگلی برای تامین نیازهای خود و از سوی دیگر با بی‌توجهی در استفاده از آتش در مناطق جنگلی، موجب تخریب این منابع می‌شود. فعالیت‌های انسانی در جاده‌ها فرصت‌هایی را برای آتش‌سوزی‌های تصادفی/ انسان‌ساخت ایجاد می‌کند. بنابراین جنگل‌های نزدیک‌تر به جاده‌ها، حساس‌تر به آتش‌سوزی هستند. بی‌دقتی مردم در مواردی مانند پرتاب ته‌سیگار از ماشین‌های خود موجب این آتش‌سوزی‌های انسان‌ساخت می‌شود (Gerdzheva, 22, 2014). نقشه کلاسه‌بندی شده نزدیکی به جاده و سکونت‌گاهها در منطقه مورد مطالعه در شکل ۵ ارائه شده است.



شکل (۵): نقشه کلاسه‌بندی شده فاصله از سکونت‌گاهها (الف) و نزدیکی به جاده (ب) در منطقه مورد مطالعه (ماخذ: نویسندگان، ۱۴۰۲)

نقشه خطر آتش با استفاده از روش BWM

درر این مطالعه با ورود وزن‌های محاسباتی هر شاخص به بانک اطلاعاتی آن اقدام به تهیه نقشه رستری هر شاخص نموده، و با تلفیق نقشه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه نهایی خطر آتش‌سوزی به‌دست آمد (شکل ۶). توزیع مکانی طبقات خطر آتش در منطقه مورد مطالعه در این نقشه خطر آتش نشان داده شده است. بر اساس ارزیابی کمی این نقشه، ۷ درصد از منطقه مورد مطالعه در طبقه "خطر خیلی زیاد" قرار دارد. همچنین، ۱۱ و ۸ درصد از منطقه مورد مطالعه به ترتیب در طبقه "خطر زیاد" و "خطر متوسط" قرار دارد. در نهایت ۷۴ درصد منطقه مورد مطالعه نیز در طبقه "خطر کم" قرار دارد.



شکل (۶): نقشه رتبه‌بندی خطر آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه (ماخذ: نویسندگان، ۱۴۰۲)

بحث

با دقت به اینکه الگوهای تصمیم‌گیری چند معیاره متعددی در پیش‌بینی و آماده‌سازی پهنه‌بندی مخاطرات استفاده می‌شود، با این حال به طور قطع و یقین نمی‌توان یک روش را برتر از سایر روش‌ها قلمداد نمود. در این مطالعه که فاکتورهای تصمیم‌گیری نقش کاهشی و افزایشی بر یکدیگر داشته از روش BWM بهره گرفته شده است. در این تحقیق با توجه به شاخص‌های مورد استفاده (شکل‌های ۳، ۴، ۵) و ادغام آن‌ها در هم پس از تأثیر وزن‌های به دست آمده در این روش کلاسه‌های خطر آتش محاسبه شد. بر اساس مطالعات صورت گرفته و تجزیه و تحلیل نتایج مستخرج از این پژوهش محدوده مطالعاتی در ۴ طبقه خطر خیلی زیاد، خطر زیاد، خطر متوسط و خطر کم قرار گرفت (شکل ۶). نتایجی که با مقایسه نقشه خطر آتش‌سوزی و کاربری منطقه می‌توان استخراج نمود، قرارگیری کلاس خطر خیلی زیاد را در مناطق جنگلی و در بالاترین ارتفاعات نشان می‌دهد. با بررسی سابقه آتش‌سوزی‌های رخ داده در این منطقه مشخص شد که حدود ۹۰ درصد آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌های زاگرس با تراکم پوشش گیاهی نسبتا کم و در ارتفاعات بالا گسترش یافته است که این مورد به دلیل تابش مستقیم نور خورشید در ارتفاعات بالا و در نتیجه استقرار پوشش علفی فراوان در کف جنگل و از دست دادن سریع رطوبت ماده سوختنی توسط این پوشش گیاهی علفی با شروع فصل گرما و احتمال زیاد اشتعال آن و گسترش سریع آتش می‌باشد (بیرانوند و همکاران، ۱۰، ۱۳۹۰). همچنین طبقه خطر زیاد و متوسط در مناطق با ترکیب مراتع علوفه‌ای و بوته‌ای، دیم کاری، کشاورزی و درختچه‌زارها در مناطق جنوبی و مرکزی متمرکز است. بر اساس نتایج مطالعه عابدینی و همکاران (۵۸، ۱۴۰۱) آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌های زاگرس به صورت پراکنده و با شدت زیاد از شمال غرب منطقه آغاز شده و به سمت جنوب شرق ادامه می‌یابند که مطابق با الگوی مکانی توزیع خطر آتش در این مطالعه است. توجه به نتایج بدست آمده، در مناطق مرکزی با وجود داشتن راه‌های ارتباطی فراوان و تجمع جمعیتی زیاد، به همراه دما و خشکی زیاد این محدوده، به دلیل پوشش گیاهی ضعیف امکان رخداد آتش‌سوزی بسیار کم برآورد شده است.

ضعیف بودن پوشش گیاهی در این مناطق می‌تواند ناشی از تکرار آتش‌سوزی‌های گذشته در این نواحی باشد که مطابق با مطالعه مرادی و همکاران (۳۸۱، ۱۳۹۵) در جنگل‌های زاگرس، آتش‌سوزی‌ها بر وضعیت پوشش گیاهی اثر داشته و ساختار توده‌های جنگلی را تغییر می‌دهد. در مطالعه Alcasena و همکاران (۲۰۱۶) و نیز Jahdi و همکاران (۲۰۲۳) کم بودن احتمال سوختن در مناطق با پوشش گیاهی ضعیف و در نتیجه بار ماده سوختنی اندک گزارش شده است. در مناطق شمالی به‌ویژه شمال غربی با توجه به پوشش گیاهی مناسب و اقلیم مدیترانه‌ای که در این ناحیه وجود دارد، این نواحی را مستعد آتش‌سوزی در شرایط خشکی زیاد قرار داده است. مطابق با تحقیقات قبلی در مناطق مدیترانه‌ای، تغییرات اقلیمی و سایر عوامل محیطی و اجتماعی-اقتصادی در دهه‌های اخیر، به طور قابل توجهی بر رژیم آتش‌سوزی و ارتباط آتش-اقلیم تاثیر گذاشته است (Syphard et al, 13750, 2017; Ruffault and Mouillot, 2, 2015). به طور خاص، Pausas و Paula (۲۰۱۲) نشان دادند که در بوم‌سازگان‌های مدیترانه، پوشش گیاهی (ماده‌سوختنی) رابطه آتش و اقلیم را تعیین می‌کند، زیرا مناطق مرطوب و حاصلخیز نسبت به مناطق خشک به شرایط قابل اشتعال حساس‌تر هستند.

با توجه به نتایج روش تصمیم‌گیری چند معیاره (BWM) مورد استفاده در این پژوهش شاخص شیب و ارتفاع اهمیت بالاتری را نسبت به سایر شاخص‌ها در ارزیابی خطر آتش نشان داد. همچنین کمترین اهمیت نیز به فاصله از سکونتگاه و اقلیم تعلق گرفت، که با نتیجه مطالعه Akay و Erdoğan (۲۰۱۷)، بهزادی و همکاران (۱۳۹۷) و امامی و شهریاری (۱۳۹۸) در استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، و نیز استفاده از تکنیک‌های RS و GIS مطابقت دارد. با این وجود عدم انطباق با نتایج مطالعه Zumbrunnen و همکاران (۲۰۱۰) و Fiqh و همکاران (۲۰۱۸) با بهره‌گیری از شبکه عصبی مصنوعی که در آن بیشترین نقش به اقلیم داده شد، مشاهده شد. در مطالعه Pourtaghi و همکاران (۲۰۱۵) و Eugenio و همکاران (۲۰۱۶) نیز که از فرآیند تحلیل شبکه استفاده نمودند بالاترین امتیاز به فاکتورهای دما و بارندگی تعلق گرفت.

لازم به ذکر است که ارزیابی صحت نقشه خطر آتش محاسبه شده در این مطالعه به دلیل نبود بانک داده آتش تاریخی از منطقه مورد مطالعه امکان‌پذیر نبود. با این وجود با توجه به آمار موجود در منابع طبیعی استان لرستان در طی چند سال گذشته و طبقه‌بندی شهرستان‌های این استان در سه گروه خیلی بحرانی، بحرانی و نیمه بحرانی، و قرارگیری شهرستان دوره چگنی در دسته خیلی بحرانی، نتایج این مطالعه و قرارگیری ۲۶ درصد از منطقه در طبقات خطر خیلی زیاد تا متوسط صحت نتایج تحقیق مذکور را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با هدف واکاوی مناطق مستعد آتش‌سوزی در بخشی از سلسله جبال زاگرس بر اساس روش تصمیم‌گیری چند معیاره از روش BWM با هدف وزن‌دهی در محیط ArcGIS استفاده شد. پهنه‌بندی مناطق دارای خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های شهرستان دوره چگنی به منظور مدیریت آتش و کاهش این مخاطره طبیعی، منجر به شناسایی مناطق دارای خطر آتش‌سوزی خیلی زیاد (۷ درصد)، خطر زیاد (۱۱ درصد)، خطر متوسط (۸ درصد) و خطر کم (۷۴ درصد) شد. با وجودی که درصد بالایی از منطقه مورد مطالعه در محدوده خطر کم آتش‌سوزی قرار دارد، مناطق با سطوح خطر بالا باید در اولویت برنامه‌ریزی به منظور پیشگیری و کنترل آتش در منطقه مورد مطالعه قرار گیرد. از میان شاخص‌های ارزیابی خطر آتش مورده استفاده در منطقه مورد مطالعه به ترتیب شاخص‌های شیب، ارتفاع، مجاورت با جاده و پوشش زمین بیشترین تاثیر را در خطر آتش برآورد شده داشته‌اند. شناسایی مناطق با سطوح خطر آتش بالا به همراه مهم‌ترین عوامل محیطی و انسانی اثرگذار بر وقوع و گسترش آتش، اطلاعات مفیدی را برای تمرکز فعالیت‌های پیشگیرانه و توزیع بهینه منابع اطفای حریق برای واکنش فوری در صورت رخداد آتش در مناطق پرخطر

را برای مدیریان اراضی و آتش ارائه می‌دهد. با توجه به تکرار زیاد آتش‌سوزی‌هایی که هر ساله در مناطق جنگلی استان لرستان روی می‌دهد و بهره‌گیری از دانش سیستم اطلاعات جغرافیایی و استفاده از نظر کارشناسان و تجربه مدیریت حوادث آتش در گذشته، تحقیق حاضر به دنبال کاهش این رخدادها و هزینه‌های شناسایی و برخورد با عواقب پیش‌روی آن به بهترین شکل می‌باشد. بر اساس نتایج توزیع مکانی احتمال خطر آتش‌سوزی جنگل در منطقه مورد مطالعه، در نواحی دارای خطر آتش‌سوزی با درصدهای خیلی زیاد و زیاد پیشنهاد می‌شود که از نظر منابع احتراق موجود و گسترش آتش‌سوزی در این نواحی کنترل و مدیریت شود، زیرساخت‌های پیشگیری از آتش‌سوزی تقویت شود، آموزش پیشگیری از آتش‌سوزی در جنگل‌ها برای ارتقای آگاهی مردم در برابر آتش‌سوزی انجام شود و اقدامات مختلفی در بلندمدت برای حفاظت جنگل‌ها انجام شود.

منابع

آزاده، جواد؛ اعتماد، وحید؛ نمیرانیان، منوچهر (۱۴۰۱). بررسی کارایی مدل‌های مختلف در پهنه‌بندی پتانسیل خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های استان استان کهگیلویه و بویراحمد. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*. ۲۴ (۷)، ۹۴-۸۱.

اسحاقی، محمد امین، شتایی جویباری، شعبان؛ قربانی، خلیل (۱۴۰۱). بررسی کارآیی سیستم شاخص اقلیمی آتش‌سوزی جنگل کانادا در استان گلستان. *پژوهش و توسعه جنگل*. ۸ (۳)، ۳۰۹-۲۹۳.

امامی، حسن؛ شهریاری، حسن (۱۳۹۸). کمی‌سازی عوامل محیطی و انسانی در وقوع آتش‌سوزی جنگل با روش‌های RS و GIS، مناطق حفاظت شده ارسباران. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی*. ۲۸ (۱۱۲)، ۵۳-۳۵.

باقرآبادی، رسول؛ شیخ کانلوی میلان، فرهاد؛ زارعی محمد آباد، محسن (۱۴۰۱). ارزیابی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی شهرستان دالاهو). *مدیریت اکوسیستم*. ۲ (۳)، ۶۰-۷۲.

قره‌داغی، حسین؛ محتشم‌نیا، سعید؛ بهزادی، حسن (۱۳۹۷). پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی مراتع و جنگل‌ها با استفاده از GIS و مدل AHP. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*. ۲۵ (۴)، ۸۲۸-۸۱۷.

بهمن‌پور، هومن؛ بالی، علی؛ ولیان، طیبه (۱۴۰۱). ارزیابی توان اکولوژیک و تناسب کاربری اراضی زاگرس مرکزی با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل اکولوژیکی سرزمین. *جغرافیا و مطالعات محیطی*. ۱۱ (۴۴)، ۱۲۹-۱۱۴.

بابایی کفاکی، ساسان؛ کیادلیری، هادی؛ بیرانوند، عطیه (۱۳۹۰). بررسی تاثیر عوامل اکولوژیک بر توسعه آتش‌سوزی در اکوسیستم‌های جنگلی (مطالعه موردی: کاکا رضا- لرستان). *تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده*. ۲ (۲)، ۱۳-۱.

جانباز قبادی، غلامرضا (۱۳۹۸). بررسی مناطق خطر آتش‌سوزی جنگل در استان گلستان، بر اساس شاخص خطر آتش سوزی (FRSI) با بهره گیری از تکنیک (GIS). *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. ۲۳ (۶)، ۱۰۲-۸۹.

جعفری، ابوالفضل؛ مافی غلامی، داوود (۱۳۹۶). پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از روش ترکیبی نسبت فراوانی- آنتروپی شانون. *فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*. ۲۵ (۲)، ۲۴۳-۲۳۲.

دریکوندی، آرش و دیگران (۱۳۹۳). بررسی تغییرات گستره جنگل‌های زاگرس میانی با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و بهره‌گیری از GIS (مطالعه موردی: منطقه کاکا رضا، استان لرستان). *اکوسیستم‌های طبیعی ایران*. ۵ (۴)، ۱۰۹-۹۵.

سازمان هواشناسی استان لرستان (۱۳۹۸). *شناسنامه اقلیمی شهرستان کوهدشت*.

طبیبیان، سحر (۱۴۰۱). پهنه‌بندی کالبدی خطر آتش‌سوزی جنگل با روش AHP فازی و GIS (مورد مطالعه: اسالم). *برنامه ریزی توسعه کالبدی*. ۷ (۲)، ۷۲-۶۱.

عابدینی، موسی؛ محمدزاده شیشه گران، مریم؛ قلعه، احسان (۱۴۰۱). پایش و برآورد وسعت مناطق گرفتار حریق بخشی از کوهستان زاگرس با استفاده از تصاویر ماهوارهای لندست. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*. ۳۳ (۴)، ۶۲-۴۹.

علی نیا، اکرم؛ گندمکار، امیر؛ عباسی، علیرضا (۱۴۰۰). تحلیل زمانی - مکانی رخدادهای مخاطره آتش‌سوزی‌های طبیعی در استان لرستان با استفاده از محصولات سنجندۀ مادیس. *جغرافیا و پایداری محیط*. ۱۱ (۱)، ۱۲۷-۱۱۳.

فروتن، سارا؛ اسلام زاده، نیلوفر (۱۴۰۱). بررسی آتش‌سوزی در مراتع و جنگل‌های مازندران با استفاده از تصاویر لندست. *پژوهش‌های محیط زیست*. ۱۳ (۲۶)، ۳۷۳-۳۸۲.

کرامت میرشکارلو، اسما؛ بانج شفیعی، عباس؛ بیگی حیدرلو، هادی (۱۴۰۲). مدل سازی رفتار آتش سوزی‌های کنترل شده و تصادفی در جنگل‌های زاگرس شمالی با تأکید بر حجم مواد سوختی. *بوم شناسی جنگل‌های ایران*. ۱۱ (۲۱)، ۱۳۷-۱۲۰.

مرادی، بهمن و دیگران (۱۳۹۵). تأثیر آتش‌سوزی بر ساختار پوشش گیاهی در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: شهرستان سروآباد، استان کردستان). *جنگل ایران*. ۸ (۳)، ۳۹۲-۳۸۱.

نوری آرا، رسول و دیگران (۱۴۰۱). تحلیل سینوپتیکی بارش‌های سیل آسای فروردین ۱۳۹۸ ایران (مطالعه موردی استان لرستان). *پژوهش‌های اقلیم شناسی*. ۱۳ (۵۲)، ۳۶-۲۱.

نوروزی، محمد و دیگران (۱۴۰۲). بررسی عددی آثار رطوبت هوا بر گسترش آتش در جنگل‌ها (مطالعۀ موردی: جنگل ملکرود سیاهکل). *نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب*. ۷۶ (۱)، ۵۵-۶۴.

Adab H.; Kanniah K. & Solaimani K. (2011). GIS-based probability assessment of fire risk in grassland and forested landscapes of Golestan province, Iran. *International Conference on Environmental and Computer ScienceIPCBEE*. © (2011) IACSIT Press, Singapore.

Ager A. A. et al (2007). Modeling wildfire risk to northern spotted owl (Strix occidentalis caurina) habitat in Central Oregon, USA. *Forest Ecology and Management*. 246, 45-56.

Akay A. E. & Erdoğan A. (2017). A GIS based multi criteria decision analysis for forest fire risk mapping. ISPRS Ann. Photogramm. *Remote Sens. Spatial Inf. Sci*. IV-4/W4, 25–30. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-W4-25-2017.

Alcasena, F.J.; Salis, M. & Vega-García, C. A. (2016). Fire modeling approach to assess wildfire exposure of valued resources in central Navarra, Spain. *Eur J Forest Res*. 135, 87–107. https://doi.org/10.1007/s10342-015-0919-6

Bar Massada, A. et al (2009). Wildfire risk in the wildland–urban interface: a simulation study in northwestern Wisconsin. *Forest Ecology and Management*. 258 (9), 1990-1999.

Chuvieco, E. & Congalton, R.G. (1989). Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing of the Environment*. 29, 147-159.

Cochrane, M.A. (2003). Fire science for rainforests. *Nature*. 421, 913-919.

Estes, B.L. et al (2017). Factors influencing fire severity under moderate burning conditions in the Klamath Mountains, northern California, USA. *Ecosphere*. 8 (5), e01794. https://doi.org/10.1002/ecs2.1794.

Eugenio, F.C. et al (2016). Applying GIS to develop a model for forest fire risk: a case study in Espírito Santo, Brazil. *Journal of Environmental Management*. 173, 65-71. DOI:10.1016/j.jenvman.2016.02.021

Finney, M. A. (2005). The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire. *Forest Ecology and Management*. 211, 97-108.

Fiqh, J.; Ali Mahmoudi Sarab, S. & Khajeh, P. (2018). Preparation of forest fire hazard map using artificial neural network in Golestan province. *Journal of Wood and Forest Science and Technology Research*. 25 (2), 136-123.

Gerdzheva, A.A. (2014). A comparative analysis of different wildfire risk assessment models (a case study for Smolyan district, Bulgaria. *European Journal of Geography*. 5 (3), 22 -36.

Gill, A.M.; Christian, K.R. & Moore, R.I. (1987). Bushfire incidence, fire hazard, and fuel reduction burning. *Australian Journal of Ecology*. 12, 299-306.

Gollberg, G.E. & Neuenschwander, L.F. (2001). Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management. *International Journal of Wildland Fire*. 10, 3-4.

Hoshyarkhah, B. & Jamshidi Alashti, R. (2007). *Forest Fire Regimes and Coping Strategies*. Tehran. 25 December. 8-13.

Jahdi, R. et al (2023). Assessing the effectiveness of silvicultural treatments on fire behavior in the hyrcanian temperate forests of northern Iran. *Environmental Management*. 72 (3), 1-16. https://doi.org/10.1007/s00267-023-01785-1

Loehle, C. (2004). Applying landscape principles to fire hazard reduction. *Forest Ecology and Management*. 198, 261–267.

Mahamed, M.et al (2022). Fire risk assessment on wildland–urban interface and adjoined urban areas: Estimation vegetation ignitability by artificial neural network. *Fire*. 5 (6), 184. https://doi.org/10.3390/fire5060184

Neuenschwander L. F. et al (2000). Indexing colorado watersheds to risk of wildfire. *Journal of Sustainable Forestry*. 11 (1-2), 35-55. DOI:10.1300/J091v11n01_03

Ozbayoglo, A. M. & Bozer, R. (2012). Estimation of the burned area in forest fires using computational intelligence techniques. *Procedia Computer Science*. 12, 282–287.

Ozelkan, E. & Ormeci, C. (2009, June). Risk assessment of forest fires by using satellite data with remote sensing techniques, *28th EARSeL Symposium: Remote Sensing for a Changing Europe*. Istanbul. Turkey. DOI:10.3233/978-1-58603-986-8-53

Qin, D. et al (2022). A comprehensive review on fire damage assessment of reinforced concrete structures. Case Studies in Construction Materials. *16, e00843*, 12-17. DOI:10.1016/j.cscm.2021.e00843

Parisien, M.A. et al (2005). Mapping wildfire susceptibility with the BURN-P3 simulation model. Informational Report NOR-X-405. *Canadian Forest Service Northern Forestry Centre*, Edmonton Alberta, Canada.

Pausas, J.G. & Paula, S. (2012). Fuel shapes the fire-climate relationship: evidence from Mediterranean ecosystems. *Glob. Ecol. Biogeogr*. 21, 1074–1082.

Pourtaghi, Z.S.; Pourghasemi, H.R. & Rossi, M. (2015). Forest fire susceptibility mapping in the Minudasht forests, Golestan province, Iran. *Environmental Earth Sciences*. 73 (4), 1515-1533.

Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*. 53, 49-57.

Ruffault, J. & Mouillot, F. (2015). How a new fire-suppression policy can abruptly reshape the fire-weather relationship. *Ecosphere*. 6, 1–19.

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. Tehran. Iran.

Sasikala, K. & Petrou, M. (2001). Generalised fuzzy aggregation in estimating the risk of desertification of a burned forest. *Fuzzy Sets and Systems*. 118 (1), 121-137.

Stocks, B.J.; Mason, J.A. & Todd, J.B. (2003). Large forest fires in Canada, 1959–1997. *Journal of Geophysical Research*. 108 (1), 5.1–5.12.

Sui, D.Z. (1999). A Fuzzy GIS Modeling Approach for Urban land Evaluation. *Computer, Environment, and Urban systems*. 16 (2), 101-115.

Syphard, A.D. et al (2017). Human presence diminishes the importance of climate in driving fire activity across the United States. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*. 114 (52), 13750–13755.

Thakur, A.K. & Singh, D. (2014). Forest fire risk Zonation using geospatial techniques and analytic hierarchy process in Dehradun district, Uttarakhand, India. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*. 4 (2), 82-89.

Vadrevu, K.P.; Eaturu, A. & Badarinath, K.V.S. (2009). Fire risk evaluation using multicriteria analysis, A case study. *Environment Monitoring Assessment*. 166, 223-239.

Verma, K.T.V.; Mani, S. & Shanmuganathan Jayakumar, S. (2015). Monitoring changes in forest fire pattern in Mudumalai tiger reserve, western Ghats India, using remote sensing and GIS. *Global Journal of Science Frontier Research*. 15 (4), 12-20.

Wright, H.E. (1961). Pleistocene glaciation in Kurdistan. *Eiszeitalter Und Gegenwart*. 12, 131–164.

Zumbrunnen, T. et al (2010). Weather and human impacts on forest fires: 100 years of fire history in two climatic regions of Switzerland. *Forest Ecology and Management*. 261 (12), 2188-2199.

Zhang, Q. et al (2014). National fire risk map for continental USA: Creation and validation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 18, 1-6.

Zhang, F. et al (2023). Forest fire driving factors and fire risk zoning based on an optimal parameter logistic regression model: A case study of the Liangshan Yi Autonomous prefecture, China. *Fire*. 6 (9), 336. https://doi.org/10.3390/fire6090336

نحوه ارجاع به مقاله:

جهدی، رقیه؛ بیرانوندی، وحید؛ امینی، حامد (۱۴۰۳)، ارزیابی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش بهترین-بدترین (BWM) (مطالعه موردی: شهرستان دوره چگنی، استان لرستان)، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۳ (۴۹)، ۸۵-۶۸.

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – acsses article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.