

Zoning forest fire risk in semi-arid oak forests of Zagros using fuzzy hierarchical model (FAHP)

Negin Bozorgmehr, Katayoon Varshosaz*, Sina Attarroshan, Soolmaz Dashti, Neda Orak

Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

* Corresponding author: kvarshosaz@yahoo.com

(Received: 16 August 2024

Revised: 24 September 2024

Accepted: 16 October 2024)

Extended Abstract

Introduction: Today, the phenomenon of forest fires threatens much of the world's forests and the livelihoods of local people. Fire is the main cause of disturbances in forest ecosystems around the world. The results of some studies have shown that various ecological and climatic factors have led to changes in the extent and intensity of forest fire. By reviewing past studies, it can be said that in most of these cases, various environmental factors are used to evaluate fire risk potential, and most of them use the AHP to weigh these indices and emphasize assigning appropriate weight to environmental variables. Hence, a model that provides good results by assigning appropriate weight to the environmental variables effective on the occurrence of fire is very important. Therefore, this study aimed to identify the more critical areas threatened by fire which can be an effective help in controlling and managing future burns.

Materials and methods: Dehdez is in a mountainous area of the Zagros. This area with an approximate area of 1480 km² has a population of more than 19351 people who live in 147 villages. For this study the fire statistics from 2011 to 2021 were prepared by Natural Resources and Watershed Management institute of Khuzestan Province. Then by field measurement, the range of the areas that had the largest fire and frequency was registered, and its digital map was prepared. The recorded points were placed on the fire risk potential map based on FAHP. The inverse distance weighed interpolation method was used by GIS to prepare a digital map of climate data. The map related to these factors was classified and their final map was prepared. Based on the research and as much as possible, all the factors affecting the fires in the study area, including 12 factors of height above sea level, slope, direction, land use/land cover, average annual rainfall, average maximum monthly temperature, density of population centers, distance from roads, distance from water resources, distance from agricultural fields and gardens, wind speed and vegetation type of the area were considered.

Results and Discussion: The results showed that the man-made criterion with a weight of 0.7869 is in the priority, the climatic criterion with a weight of 0.1044 is in the second priority, the ecological criterion is in the third priority with a weight of 0.0896, and the topographic criterion is in the fourth priority with a weight of 0.0191. The prioritization of topographic sub-criteria showed that the slope percentage (0.5644) is preferable to other sub-criteria. Among the man-made sub-criteria, it was also found that the distance from agricultural land (0.62), among the climatic sub-criteria, average precipitation (0.5238) and in the examination of the ecological sub-criteria, it was also found that the forest density (0.8562) compared to other Sub-criteria are preferred. Finally, the area studied has a high potential for fire, as per the map prepared, 69.94% of the area is under high and very high fire risk.

Conclusions: The risk of fire threatens forests, Rangeland, agricultural lands, and other uses in the region, so the map obtained can be used as a guide for fire management in areas with high risk and density of forces and facilities in these areas. Designing, constructing, and forecasting installing warning signs in the region, organizing people's visits of the forest, and expanding the quality and quantity of the created resorts are effective measures to control the destructive phenomenon of forest fire. Given the great effect of land use on forest fires in the region, it is suggested that the constructions and the change in land use from forest use to agricultural use receive more attention from the relevant Institutes, especially the Natural Resources Institute. Also, it is suggested to hold training classes for the villagers and firemen to teach how to put out the fire and use the fire extinguishers correctly and quickly, carry out social forestry activities with the help of villagers and forest dwellers for preventing the occurrence and spread of fire.

Keywords: Geographic information system, Risk classification, Fire, Dehdez, Khuzestan.

Citation: Bozorgmehr, N., Varshosaz, K., Attarroshan, S., Dashti, S., & Orak, N. (2025). Zoning forest fire risk in semi-arid oak forests of Zagros using fuzzy hierarchical model (FAHP). *Integrated Watershed Management*, 5(1), 112-128. doi: 10.22034/iwm.2024.2038521.1171

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در جنگل‌های نیمه‌خشک بلوط زاگرس

نگین بزرگمهر، کتابون ورشوساز*، سینا عطارروشن، سولماز دشتی، ندا اورک

گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

*نویسنده مسئول: kvarshosaz@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۶

چکیده مبسوط

مقدمه: امروزه آتش‌سوزی جنگل‌ها بخش بزرگی از جنگل‌های جهان و زندگی ساکنان را تهدید کرده است. آتش‌سوزی عامل اصلی اختلال در اکوسیستم‌های جنگلی در سراسر جهان است. نتایج برخی از مطالعات نشان داده است که عوامل مختلف اکولوژیکی و اقلیمی منجر به تغییر در وسعت و شدت آتش‌سوزی جنگل‌ها شده است. با مروری بر مطالعات گذشته می‌توان گفت که در اغلب این موارد از عوامل محیطی مختلفی برای ارزیابی پتانسیل خطر آتش‌سوزی استفاده می‌شود و بیشتر آنها از AHP برای وزن‌دهی این شاخص‌ها استفاده می‌کنند و بر تعیین وزن مناسب به متغیرهای محیطی تأکید دارند. از این رو، مدلی که با تخصیص وزن مناسب به متغیرهای محیطی مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی، نتایج خوبی را ارائه دهد، بسیار مهم است. بنابراین، این مطالعه با هدف شناسایی مناطق بحرانی در معرض خطر آتش‌سوزی انجام شد که می‌تواند کمک مؤثری در کنترل و مدیریت آتش‌سوزی‌های آینده باشد.

مواد و روش‌ها: منطقه‌ی دهدز، در استان خوزستان در منطقه‌ی کوهستانی از سلسله جبال زاگرس واقع شده است که از شمال شرقی به استان چهارمحال و بختیاری از جنوب شرقی به استان کهگیلویه و بویراحمد از غرب و شمال غربی به شهرستان ایذه و از جنوب به شهرستان باغملک محدود می‌شود. این منطقه با مساحت تقریبی ۱۴۸۰ کیلومتر مربع بیش از ۱۹۳۵۱ نفر جمعیت دارد که در ۳ دهستان (دهدز، دنباله‌رود شمالی و دنباله‌رود جنوبی) متشکل از ۱۴۷ روستا، زندگی می‌کنند. به منظور انجام این مطالعه آمار آتش‌سوزی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ از یگان حفاظت از منابع طبیعی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان تهیه و سپس با پیمایش زمینی، محدوده و مساحت مناطقی که دارای بیشترین وسعت آتش‌سوزی و تکرار بودند ثبت شد و نقشه رقمی آن تهیه شد. سپس نقاط ثبت شده بر روی نقشه پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی قرار داده شد. برای تهیه نقشه رقمی داده‌های اقلیمی، از روش درون‌یابی IDW در GIS استفاده شد. سپس نقشه مربوط به این عوامل طبقه‌بندی شده و نقشه نهایی آنها تهیه شد. بر اساس تحقیقات انجام شده و در حد امکان، تمام عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی‌های منطقه مورد مطالعه شامل ۱۲ عامل ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت، کاربری اراضی/ پوشش زمین، متوسط بارش سالانه، متوسط حداکثر دمای ماهانه، تراکم مراکز جمعیت، فاصله از جاده‌ها، فاصله از آبراه‌ها، فاصله از زمین‌های کشاورزی و باغات، سرعت باد و تیپ پوشش گیاهی منطقه در نظر گرفته شدند.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که معیار انسان‌ساخت با وزن ۰/۷۸۶۹ و درجه اول، معیار اقلیمی با وزن ۰/۱۰۴۴ و درجه دوم، معیار اکولوژیکی با وزن ۰/۰۸۹۶ و درجه سوم و معیار توپوگرافی با وزن ۰/۰۱۹۱ و درجه چهارم اهمیت قرار دارند. اولویت‌بندی زیرمعیارهای توپوگرافی نشان داد که درصد شیب (۰/۵۶۴۴) نسبت به سایر زیرمعیارها ارجحیت دارد. در بین زیرمعیارهای انسان‌ساخت نیز مشخص شد که فاصله از زمین‌های کشاورزی (۰/۰۶۲)، در بین زیرمعیارهای اقلیمی هم میانگین بارش (۰/۵۲۳۸) و در بررسی زیرمعیارهای اکولوژیکی هم مشخص شد که تراکم جنگل (۰/۱۸۵۶۲) نسبت به سایر زیرمعیارها دارای ارجحیت است. در نهایت منطقه مورد مطالعه پتانسیل زیادی برای آتش‌سوزی دارد به ترتیبی که بر اساس نقشه تهیه شده، ۶۹/۹۴ درصد منطقه تحت خطر آتش‌سوزی زیاد و خیلی زیاد قرار دارد.

نتیجه‌گیری: خطر آتش‌سوزی جنگل‌ها، مراتع، اراضی کشاورزی و سایر کاربری‌های منطقه را تهدید می‌کند، بنابراین نقشه به‌دست‌آمده می‌تواند به عنوان راهنمای مدیریت آتش‌سوزی در مناطق با خطر و تراکم نیروها و امکانات بالا در این مناطق مورد استفاده قرار گیرد. طراحی، ساخت و پیش‌بینی نصب علائم هشداردهنده در منطقه، ساماندهی بازدید مردم از جنگل و گسترش کمی و کیفی تفرجگاه‌های ایجاد شده از اقدامات مؤثر در کنترل پدیده مخرب آتش‌سوزی جنگل‌ها است. با توجه به تأثیر زیاد کاربری اراضی در آتش‌سوزی جنگل‌های منطقه، پیشنهاد می‌شود ساخت و سازها و تغییر کاربری اراضی از کاربری جنگلی به کاربری کشاورزی بیشتر مورد توجه مؤسسات مربوطه به ویژه مؤسسه منابع طبیعی قرار گیرد. همچنین برگزاری کلاس‌های آموزشی برای روستاییان و آتش‌نشانان جهت آموزش اطفاء حریق و استفاده صحیح و سریع از کپسول‌های آتش‌نشانی، انجام فعالیت‌های جنگلداری اجتماعی با کمک روستائیان و جنگل‌نشینان جهت پیشگیری از وقوع و گسترش آن پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: سیستم اطلاعات جغرافیایی، طبقه‌بندی ریسک، آتش‌سوزی، دهدز، خوزستان.

استناد: بزرگمهر، ن.، ورشوساز، ن.، عطارروشن، س.، دشتی، س. و اورک، ن. (۱۴۰۴). پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در جنگل‌های نیمه‌خشک بلوط زاگرس. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۱)، ۱۲۸-۱۱۲.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

جنگل اکوسیستمی پیچیده و پویاست و هر کدام از اجزای تشکیل‌دهنده آن دارای نقش اکولوژیکی هستند که باعث تعادل و خودتنظیمی اکوسیستم شده و بقای آن را موجب می‌شوند. اگر یک عامل مخرب طبیعی یا مصنوعی بر اکوسیستم اثر بگذارد باعث از بین رفتن تعادل اکوسیستم شده و رفته رفته اکوسیستم به سمت نابودی پیش می‌رود (Janbaz Ghobadi, 2019). امروزه پدیده آتش‌سوزی در عرصه‌های جنگلی، بخش وسیعی از جنگل‌های جهان و زندگی ساکنین را مورد تهدید قرار داده است. این پدیده سالانه هزاران هکتار از درختان، درختچه‌ها و گیاهان را طعمه خود می‌سازد (Miller & Ager, 2013). آتش‌سوزی‌ها عامل اصلی اختلالات در اکوسیستم‌های جنگلی در سراسر جهان هستند (Hallema et al., 2018; Moradizadeh et al., 2021; Jhariya and Singh, 2021). بسیاری از عوامل فیزیکی و شیمیایی خاک و پوشش گیاهی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار می‌گیرند (Heydari et al., 2016; Sazawa et al., 2018). آتش‌سوزی در جنگل نه تنها باعث نابودی پوشش گیاهی در منطقه دچار آتش‌سوزی می‌شود، بلکه باعث ایجاد اختلال در فرآیندهای هیدرولوژیکی، افزایش فرسایش خاک و رواناب تولیدی این مناطق می‌شود (Vadrevu and Lasko, 2015; Salehipour, 2023). آتش‌سوزی جنگل یک بحران زیست‌محیطی محسوب شده که فرایندهای تخریب و بیابان‌زایی را گسترش می‌دهد (Girardin et al., 2006). خطر آتش‌سوزی، ترکیبی از دو واژه خطر آتش‌سوزی (احتمال شروع و گسترش آن) و آسیب‌پذیری ناشی از آتش‌سوزی (پیامد یا نتیجه آتش‌سوزی) است. خطر آتش‌سوزی، به وجود ماده سوختنی و حساسیت‌پذیری آن به سوختن و حضور عوامل خارجی (چه انسانی و چه طبیعی) بستگی دارد (Girardin et al., 2006). به علاوه خطر آتش‌سوزی به معنای ارزیابی عوامل ثابت (ماده سوختنی، حرارت و اکسیژن) و متغیر محیط

آتش‌سوزی (اقلیم، توپوگرافی، پوشش گیاهی و غیره) است که سهولت احتراق، سرعت گسترش، دشواری کنترل و اثرات آتش‌سوزی‌های مهیب را تعیین می‌کند (Taylor & Alexander, 2006). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است که عوامل مختلف اکولوژیکی و اقلیمی منجر به تغییر وسعت و شدت آتش‌سوزی در جنگل‌ها شده‌اند (Valdez et al., 2023b; Salehi et al., 2017). خصوصیات پوشش گیاهی ایران از مهم‌ترین عوامل زیست‌شناختی مؤثر در شروع و توسعه آتش‌سوزی جنگل محسوب می‌شود. از این نظر که میزان تراکم و نوع گونه، لاشبرگ و مقدار رطوبت ماده سوختی در وقوع آتش‌سوزی تأثیر دارد. عوامل توپوگرافی از قبیل شیب، جهت و ارتفاع نیز از عوامل مهم دیگر در وقوع و گسترش آتش‌سوزی هستند (Valdez, et al., 2017; Heydari et al., 2021). بطور کلی، بیشترین آتش‌سوزی‌ها در مناطقی اتفاق می‌افتد که دسترسی انسان به آن‌ها بیشتر است. به‌عبارت‌دیگر، مناطقی با شیب مناسب و ارتفاع کم، بیشترین خطر آتش‌سوزی در جنگل را دارند (Gerdzheva, 2014). علی‌رغم تعدد عوامل مؤثر در بروز آتش‌سوزی، وقوع آن در یک منطقه به‌طور معمول بر اساس الگوهای زمانی و مکانی منظم ایجاد می‌شود که امکان مدل‌سازی آن‌ها را فراهم می‌کند (Semeraro et al., 2016). با توجه به مطالب یادشده، پهنه‌بندی خطر وقوع آتش‌سوزی به عنوان یک پیش‌نیاز برای مدیریت مؤثر و علمی آتش‌سوزی جنگل محسوب می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، پیش‌بینی مکانی احتمال وقوع و پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی، امکان مدیریت بهتر آتش‌سوزی جنگل را فراهم می‌کند (Lozano et al., 2008). طی سال‌های اخیر سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌از‌دور امکانات و ابزارهای دقیق‌تری را در اختیار پژوهشگران و مدیران قرار داده تا آتش‌سوزی در جنگل‌ها را از جنبه‌های متعدد مورد بررسی قرار دهند (Zarkar et al., 2013). استفاده از مدل‌سازی به انضمام در نظر گرفتن مؤثرترین عوامل

(نظیر توپوگرافی، انسان ساخت، اقلیمی، اکولوژیکی و ...) با اختصاص وزن مناسب به آنها به کمک روش‌های هوشمند همانند تهیه نقشه‌های خطر در نرم افزارهای سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌تواند ابزاری مناسب برای مدیران و دست‌اندرکاران عرصه جنگل جهت برنامه‌ریزی برای کاهش فراوانی صدمات و سطوح آتش‌سوزی باشد. سازمان خدمات جنگلداری کانادا بیش از ۵۰ سال است که تحقیقات آتش‌سوزی جنگل را به صورت گسترده‌ای انجام می‌دهد (Lee & Talib, 2005). Eskandari (۲۰۱۳) نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل را در دو نقطه از جنگل‌های شمال با استفاده از دو روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و همبستگی را ایجاد کرد. فاکتورهای مورد استفاده شامل ۴ معیار اصلی و ۱۷ زیرمعیار بود. نقشه‌های پتانسیل خطر تهیه شده با دو روش مورد مطالعه تطابق زیادی با مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته داشته است. همچنین در مطالعه‌ای که Eskandari (۲۰۱۵) با عنوان ارزیابی پتانسیل خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از مدل Dong در جنگل‌های بخش سه نکاء - ظالمروود انجام داد، اقدام به تهیه نقشه پتانسیل آتش‌سوزی منطقه از روی هم‌گذاری وزنی همه نقشه‌های متغیرهای مؤثر بر اساس مدل دانگ در GIS نمود. نتایج نشان داد که ۵۱ درصد از مناطق آتش‌سوزی‌های واقعی در مناطق پرخطر و بسیار پرخطر قرار گرفته‌اند.

Salehi و همکاران (۲۰۲۳) در پهنه‌بندی ریسک آتش‌سوزی مناطق جنگلی با استفاده از روش تلفیقی شبکه عصبی مصنوعی و سیستم اطلاعات مکانی در منطقه حفاظت شده شیمبار واقع در استان خوزستان نشان دادند که ۲۰ درصد مساحت منطقه در طبقه متوسط پتانسیل وقوع آتش‌سوزی، ۱۱ درصد در طبقه زیاد و ۱۰ درصد در طبقه خیلی زیاد قرار دارد. همچنین مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی، فاصله از رودخانه، تیپ اراضی، ارتفاع و حداقل دما شناسایی شد. با توجه به شاخص‌های مورد مطالعه مشخص شد که مدل‌های تلفیقی شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم اطلاعات مکانی در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر

آتش‌سوزی کارایی بسیار بالایی دارند. Tabibian (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای با عنوان پهنه‌بندی کالبدی خطر آتش‌سوزی جنگل با روش AHP فازی و ArcGIS در اسالم استان گیلان پرداخت و پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر در پنج طبقه از مناطق با پتانسیل خیلی زیاد تا پتانسیل خیلی کم نشان داد که از کل محدوده مطالعاتی، مساحت مناطق با خطر آتش‌سوزی خیلی زیاد برابر با ۷۱۷۰ هکتار و مساحت مناطق خطر آتش‌سوزی خیلی کم برابر با ۶۹۰۸ هکتار است. نتایج همچنین نشان داد مناطقی که در سال‌های گذشته دارای سابقه آتش‌سوزی بودند با نقشه نهایی کاملاً مطابقت داشته و ۴۸ درصد از آتش‌سوزی‌های به وقوع پیوسته در مناطقی با پتانسیل زیاد و خیلی زیاد قرار گرفتند. Parnian و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به بررسی روش‌های پایش و پیش‌بینی آتش‌سوزی نواحی روستایی ایران و جهان پرداختند و نشان دادند که نوع پوشش گیاهی، شیب، جهت جغرافیایی، فاصله از جاده‌ها، توپوگرافی و کاربری اراضی، مؤثرترین عوامل در پایش وقوع آتش‌سوزی جنگل‌ها بوده‌اند و ادغام لایه‌ها معمولاً بر اساس سلسله‌مراتب و ضریب خطر در وقوع آتش‌سوزی انجام شده است. از فعالیت‌های قابل ذکر دیگر کشورها، تهیه نقشه پایش و پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های فعال به جهت شناسایی به موقع آتش‌سوزی با تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های طیفی مناسب است که نتایج مطلوبی را به منظور تصمیم‌گیری بهینه برای اطفاء و جلوگیری از این آشفستگی همراه داشته است. پژوهشگران در تحقیقات اخیر به بررسی ارزیابی شاخص پایش آتش‌سوزی پرداختند و شاخص سیستم رتبه‌بندی خطر آتش‌سوزی ایالات متحده نسبت به دیگر روش‌های مشابه در پایش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع را به‌عنوان شاخصی جامع و مطلوب مطرح کردند. با بررسی مطالعات انجام شده می‌توان به این نتیجه رسید که در اکثر این موارد برای ارزیابی پتانسیل خطر آتش‌سوزی از شاخص‌های محیطی مختلف استفاده شده و اغلب

دریا است (شکل ۱). میانگین بیشینه دما در این منطقه ۳۱/۲ درجه سانتی‌گراد در مردادماه، میانگین کمینه دما ۵/۷ درجه سانتی‌گراد در دی‌ماه و میانگین دما معادل ۱۸/۹ درجه سانتی‌گراد بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی دهدز است (Mataji et al., 2013). به دلیل تنوع شرایط طبیعی حاکم بر محدوده مطالعاتی به خصوص ارتفاع از سطح دریا (مناطقی با کمتر از ۱۰۰۰ متر تا بیش از ۲۶۰۰ متر از سطح دریا)، در محدوده مورد مطالعه تنوع آب و هوایی گسترده‌ای حاکم است. نزولات آسمانی معمولاً در فصل پاییز، زمستان و بهار بصورت باران و در ارتفاعات بالاتر از ۱۸۰۰ متر به صورت برف صورت می‌گیرد. میزان بارندگی با توجه به ارتفاع در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه متفاوت است. میزان بارندگی سالانه در منطقه به‌طور متوسط ۵۷۶/۴ میلی‌متر بوده که حداقل آن در تابستان (صفر میلی‌متر) و حداکثر آن در زمستان (۲۹۴/۳ میلی‌متر) است. بالاترین میزان رطوبت نسبی در دی‌ماه برابر ۸۵ درصد و کمترین آن در تیرماه به میزان ۱۷/۶ درصد برآورد گردید. جهت باد غالب منطقه جنوب‌غربی و غرب است. با توجه به محاسبات و بنابر تقسیم‌بندی دومارتن و آمبرژه منطقه مورد مطالعه از نظر اقلیمی جزء اقلیم نیمه‌خشک و تقریباً در مرز اقلیم مدیترانه‌ای طبقه‌بندی می‌شود (Mataji et al., 2013). از مهم‌ترین تیپ‌های جنگلی که وسیع‌ترین تیپ جنگلی منطقه و جنگل‌های اطراف را تشکیل می‌دهد، می‌توان به تیپ غالب بلوط ایرانی اشاره نمود. تیپ‌های آمیخته بلوط ایرانی با گونه‌هایی نظیر بنه (*Pistacia atlantica* Desf.)، زالزالک (*Crataegus azarolus* L.)، کیکم (*Acer monspessulanum* L.)، تنگرس (*Rhamnus*)، *Pistacia persica* Boiss. & Hohen. و کلخونگ (*Pistacia khinjuk* Stocks) نیز در منطقه دیده می‌شود. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این جنگل‌ها پایین بودن تنوع گونه‌های درختی و درختچه‌ای در منطقه است. اکثر درختان جنگلی این منطقه را گونه بلوط ایرانی (L. *Quercus brantii*) تشکیل می‌دهد (Mataji et al.,

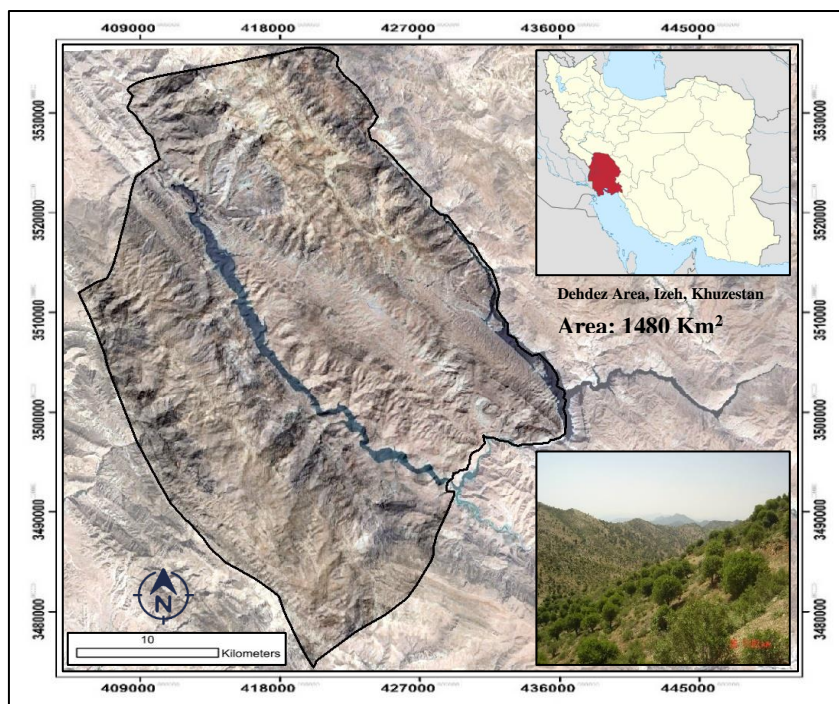
آنها از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی به این شاخص‌ها استفاده و به اختصاص وزن مناسب به متغیرهای محیطی تأکید کرده‌اند. اغلب این مطالعات از سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزاری کارآمد در پتانسیل‌یابی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌ها استفاده کرده‌اند به طوری که اهمیت کاربرد GIS به عنوان سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای مدیریت و پیش‌بینی آتش‌سوزی در جنگل‌ها محرز شده است، از این رو مدلی که با اختصاص وزن مناسب به متغیرهای محیطی مؤثر در وقوع آتش‌سوزی نتایج مطلوبی را به همراه داشته باشد اهمیت بسیار زیادی دارد. بنابراین با توجه به اهمیت پیش‌بینی آتش‌سوزی جنگل‌ها با استفاده از ابزار توانمند تحلیل مکانی از یک طرف و با توجه به وقوع آتش‌سوزی‌های مکرر در جنگل‌های زاگرس از طرف دیگر، در این تحقیق در نظر است، ضمن شناسایی عوامل تاثیرگذار بر خطر آتش‌سوزی جنگل و وزن‌دهی به این عوامل، مناطق بحرانی بروز آتش‌سوزی را شناسایی و به مدیران جنگل معرفی نماید تا راهکاری مناسب جهت پیشگیری از وقوع آتش‌سوزی‌های آینده در جنگل‌های منطقه ارائه دهند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی دهدز، از توابع شهرستان ایذه در استان خوزستان، در "۵۰°۰۰'۰۸" تا "۵۰°۲۸'۳۸" طول شرقی و "۳۱°۲۴'۰۲" تا "۳۱°۵۵'۲۲" عرض شمالی در منطقه‌ای کوهستانی از سلسله جبال زاگرس واقع شده است که از شمال شرقی به استان چهارمحال و بختیاری از جنوب شرقی به استان کهگیلویه و بویراحمد از غرب و شمال غربی به شهرستان ایذه و از جنوب به شهرستان باغملک محدود می‌شود. این منطقه با مساحت تقریبی ۱۴۸۰ کیلومتر مربع بیش از ۱۹۳۵۱ نفر جمعیت دارد که در ۳ دهستان (دهدز، دنباله‌رود شمالی و جنوبی) متشکل از ۱۴۷ روستا، زندگی می‌کنند. حداقل ارتفاع از سطح دریا در محدوده مورد مطالعه ۶۰۸ متر و حداکثر ارتفاع ۳۵۷۹ متر از سطح

این منطقه (Attarrosan & Heydari, 2013). این منطقه به عنوان عرصه‌های تحت مدیریت اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان قرار دارد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1- Location of study area

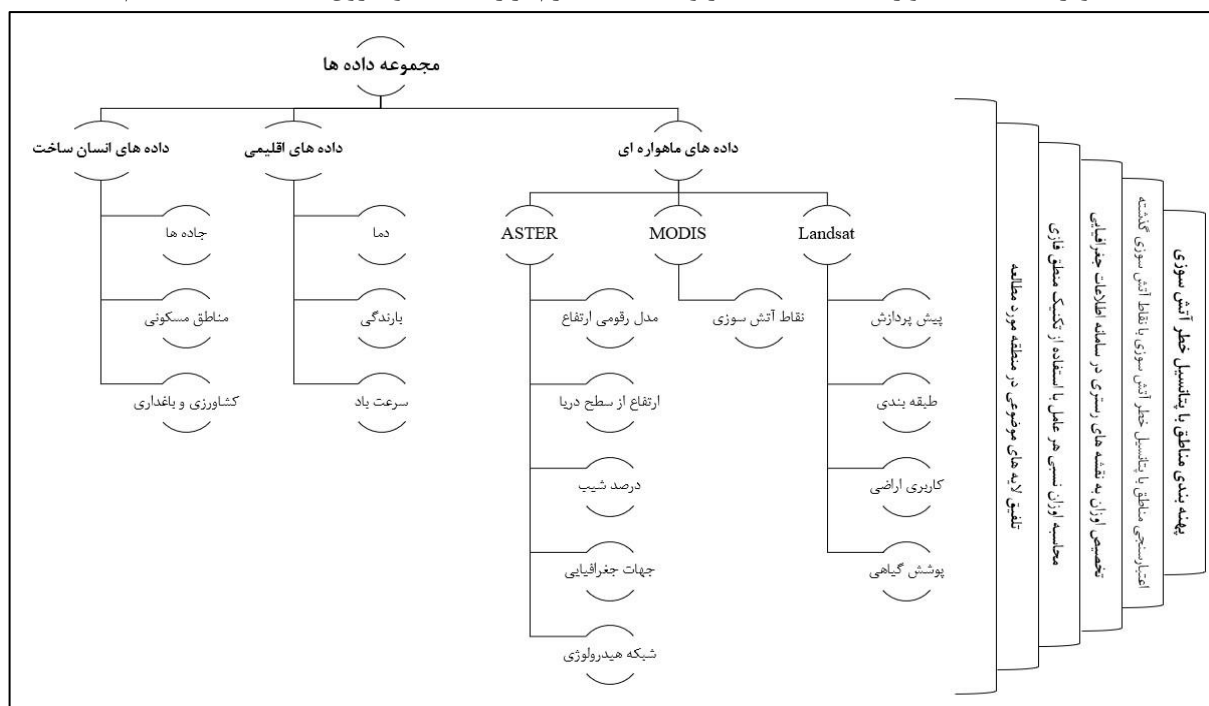
این روش اغلب توانی برای عکس فاصله در نظر گرفته می‌شود که به طور معمول بین ۱ تا ۵ است، ولی اغلب از توان ۲ استفاده می‌شود، یعنی عکس مجذور فاصله. مشخصه جالب این روش این است که وزن به کار رفته با افزایش فاصله به سرعت کاهش می‌یابد، در نتیجه درونیابی در این روش کاملاً محلی است و چون وزن‌های به کار رفته هیچگاه صفر نمی‌شوند، بنابراین هیچگونه انقطاع و عدم پیوستگی در برآوردها رخ نمی‌دهد (Webster & Oliver, 2000). سپس نقشه مربوط به این عوامل طبقه‌بندی شده و نقشه نهایی آنها تهیه شد. بر اساس تحقیقات انجام شده و در حد امکان، تمام معیارهای اصلی (توپوگرافی، انسان‌ساخت، اقلیمی و اکولوژیک) بر آتش‌سوزی‌های منطقه مورد مطالعه شامل ۱۲ زیر معیار ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت دامنه، کاربری اراضی/پوشش زمین، متوسط بارش سالانه، متوسط حداکثر دمای ماهانه، تراکم مراکز

روش تحقیق

با استعلام از یگان حفاظت از منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان مشخص شد تعداد ۲۶۹ فقره آتش‌سوزی جنگل در بازه زمانی سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۴۰۰ در منطقه به ثبت رسیده است. با پیمایش زمینی به همراه جنگلبانان مقیم در منطقه و اطمینان از نقاط ثبت شده در گزارشات با مشاهده آثار آتش‌سوزی و همچنین تایید جنگلبانان، جنگلشنینان و کارشناسان، نقشه نقاط آتش‌سوزی در سنوات گذشته در محیط ArcMap 10.2.2 تهیه شد. برای تهیه نقشه رقومی داده‌های اقلیمی، از روش درونیابی IDW در GIS استفاده شد. این روش از جمله روش‌های درونیابی است که در آن برآورد بر اساس مقادیر نقاط نزدیک به نقطه برآورد که بنابر عکس فاصله وزن‌دهی می‌شوند، انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر، به نقاط نزدیک به نقطه برآورد وزن بیشتری داده می‌شود تا به نقاط دورتر. در

به سال ۲۰۲۲ با پوشش کامل منطقه مورد مطالعه که از سایت <https://www.gov.usgs> دانلود شد، استفاده گردید. برخی تصحیحات شامل تصحیحات رادیومتری، هندسی و همچنین تصحیح خطای جابه‌جایی ناشی از توپوگرافی بر روی تصاویر اعمال و بررسی تصحیحات اتمسفری نیز بر روی هر باند به طور جداگانه توسط نرم‌افزار SNAP و افزون SEN2COR انجام شد.

جمعیت، فاصله از جاده‌ها، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از زمین‌های کشاورزی و باغات، سرعت و جهت باد و تیپ تراکم پوشش گیاهی منطقه در نظر گرفته شدند (Dong et al., 2005; Mansouri et al., 2011;) به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی در این مطالعه از داده‌های تصاویر سنجنده ماهواره Sentinel2A مربوط



شکل ۲- روندنمای مراحل انجام مطالعه
Figure 2- Flowchart of methodology

زمینه آتش‌سوزی، معیارهای اصلی (عامل‌های ۱۲ گانه) در قالب AHP مورد مقایسه زوجی قرار گرفت و پس از دریافت و جمع‌آوری ۳۰ پرسشنامه ارسال شده به کارشناسان در سه زمان مختلف، نظرات یا پاسخ کارشناسان مختلف با روش میانگین هندسی در نرم‌افزار Expert Choice ادغام و در نهایت وزن هر یک از عامل‌های مؤثر در آتش‌سوزی جنگل به دست آمد (نرخ سازگاری = ۰/۰۹). در این مطالعه از روش آنالیز توسعه چانگ (Zarekar et al., 2013) استفاده شد (رابطه ۱). در این روش فرض می‌شود $\tilde{A} = \{\tilde{M}_{ij}\}$ یک ماتریس مقایسه زوجی فازی باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

تهیه ساختار سلسله مراتبی اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است (Ghodsipour, 2010). در این پژوهش با بهره‌گیری از تکنیک AHP و تصمیم‌گیری گروهی، عامل‌های ۱۲ گانه مؤثر بر آتش‌سوزی مورد مقایسه قرار گرفته و در نهایت اهمیت نسبی یا وزن هر یک از عامل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice برآورد شد. در ابتدا نقشه‌های رقومی مربوط به هر یک از عامل‌ها تهیه و سپس بر اساس شرایط موجود در منطقه به طبقات مختلفی طبقه‌بندی شدند که سطح بعدی ساختار سلسله مراتبی را تشکیل می‌دهند. در مرحله بعد با تهیه پرسشنامه و ارسال آن به کارشناسان و متخصصین منابع طبیعی و جنگلداری صاحب‌نظر در

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))$$

گام چهارم: نرمالیزه کردن بردار W' و به دست آوردن بردار وزن نرمالیزه شده W است (رابطه-۴).

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)) \quad \text{رابطه ۴:}$$

پس از محاسبه وزن زیرمعیارها در AHP فازی، با استفاده از تابع Reclassify در محیط ArcMap، وزن‌های اختصاص داده شده برای هر طبقه تعریف شد. در گام نهایی، اوزان محاسبه‌شده در محیط GIS به نقشه‌های فازی رستری تأثیرگذار اختصاص داده شدند و نقشه‌های وزن‌دار، به دست آمدند. در ادامه با کمک توابع همپوشانی Calculator Raster تمامی لایه‌های اطلاعاتی روی هم قرار گرفتند و نقشه نهایی به روش Jenks در ۵ کلاس خطر آتش‌سوزی از خیلی کم تا خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند. در این روش طبقه‌بندی، نقاط شکستگی بین طبقات به گونه‌ای تعیین می‌شود که به مناسب‌ترین وجه ممکن مقادیر مشابه در یک گروه قرار گرفته و تفاوت بین طبقه‌ها حداکثر شود و اگر یک یا چند عارضه در دسته‌ای خاص قرار نگیرند، هیچ مقداری به آن اختصاص داده نمی‌شود (Sanjary, 2007). در پایان، اعتبارسنجی و دقت نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی با استفاده از آتش‌سوزی‌های گذشته، در شناسایی مناطق حساس به آتش‌سوزی ارزیابی شد.

نتایج

نقشه‌های نقاط سوخته شده (دارای سابقه آتش‌سوزی) در گذشته، طبقات ارتفاع، درصد شیب، جهت جغرافیایی، فاصله از جاده‌ها، فاصله از زمین‌های کشاورزی، فاصله از آبراهه‌ها، تراکم مراکز جمعیت، متوسط بارش سالانه، متوسط حداکثر دمای ماهانه، سرعت باد و کاربری اراضی در شکل‌های ۳ تا ۷ نشان داده شده‌اند.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{M}_{12} & \dots & \tilde{M}_{1n} \\ \tilde{M}_{21} & 1 & \dots & \tilde{M}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{M}_{n1} & \tilde{M}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

آنگاه رابطه $\tilde{M}_{ji} = 1/\tilde{M}_{ij}$ برقرار خواهد بود. آنالیز چانگ به صورت زیر انجام شد:

گام اول: اگر $M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m$ مقادیر آنالیز توسعه آمین معیار به ازای m آرمان باشد، آنگاه بسط مرکب فازی m آرمان برای آمین معیار، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad \text{رابطه ۱:}$$

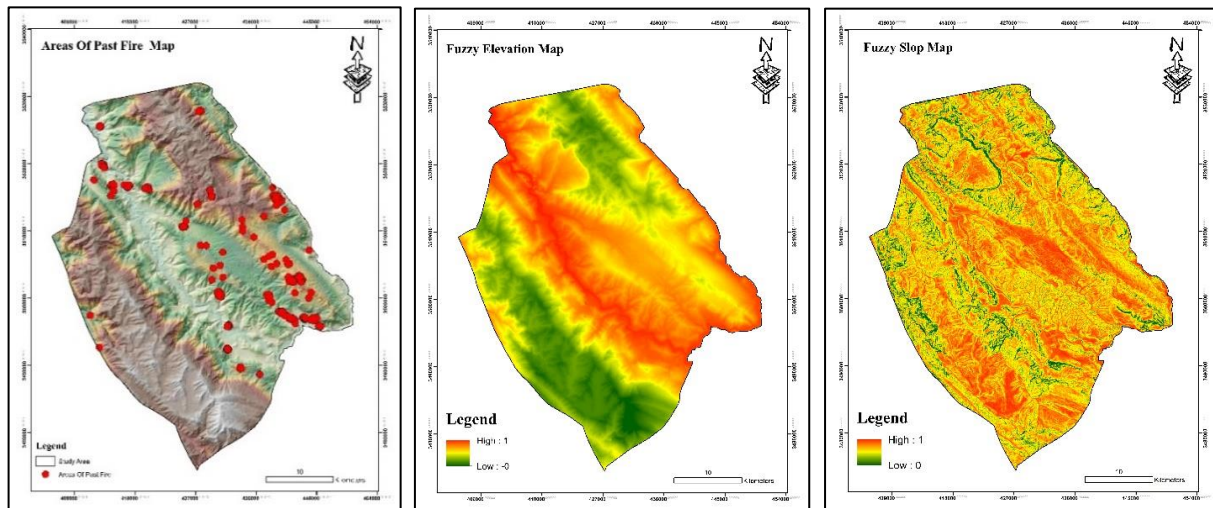
که در این فرمول j نماینده هر کدام از آرمان‌ها است. چنانچه $M_{gi}^j = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ باشد آنگاه $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ به وسیله عملگر جمع فازی روی آنالیز توسعه m آرمان به صورت زیر تعریف می‌شود (Patil and Kunt, 2014). گام دوم: محاسبه درجه ارجحیت (درجه امکان‌پذیری) S_i بر S_k خواهد بود (رابطه ۲). چنانچه $S_i = (l_i, m_i, u_i)$ و $S_k = (l_k, m_k, u_k)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، آنگاه درجه ارجحیت S_i بر S_k که با $V(S_i > S_k)$ نمایش داده می‌شود، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V(S_i > S_k) = \begin{cases} 1 \\ 0 \\ \frac{l_k - u_i}{(m_i - u_i) - (m_k - l_k)} \end{cases} \quad \text{رابطه ۲:}$$

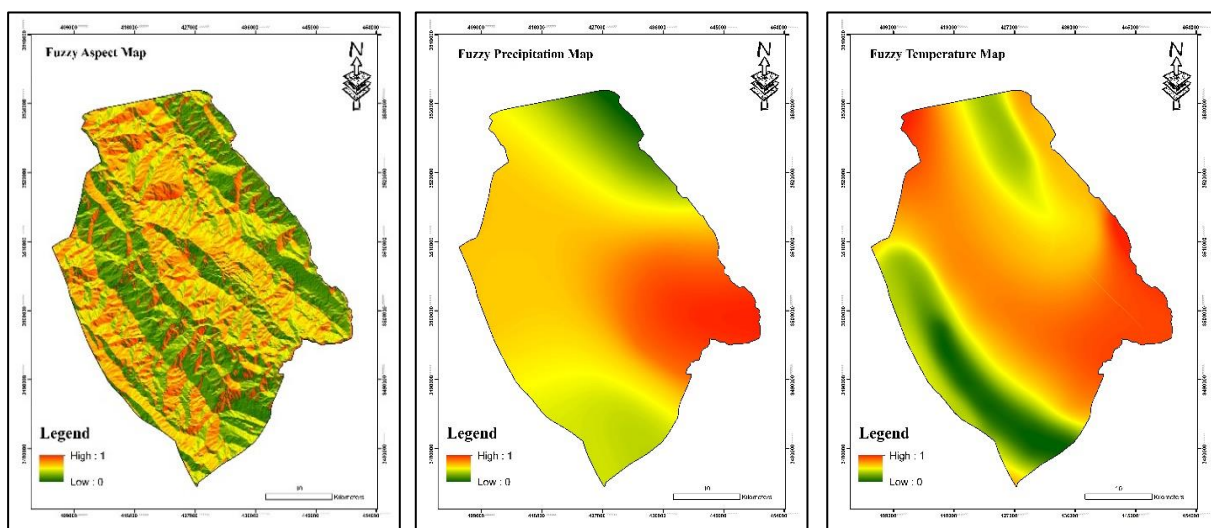
گام سوم: محاسبه درجه ارجحیت یک عدد فازی S که بزرگ‌تر از K عدد فازی $S_i; i=1, 2, \dots, k$ است (رابطه ۳)، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) &= \\ &= V((S \geq S_1), (S \geq S_2), \dots, (S, S_k)) \\ &= \min(V((S \geq S_1), (\geq S_2), \dots, (S, S_k))) \\ &= \min V(S \geq S_i) \end{aligned} \quad \text{رابطه ۳:}$$

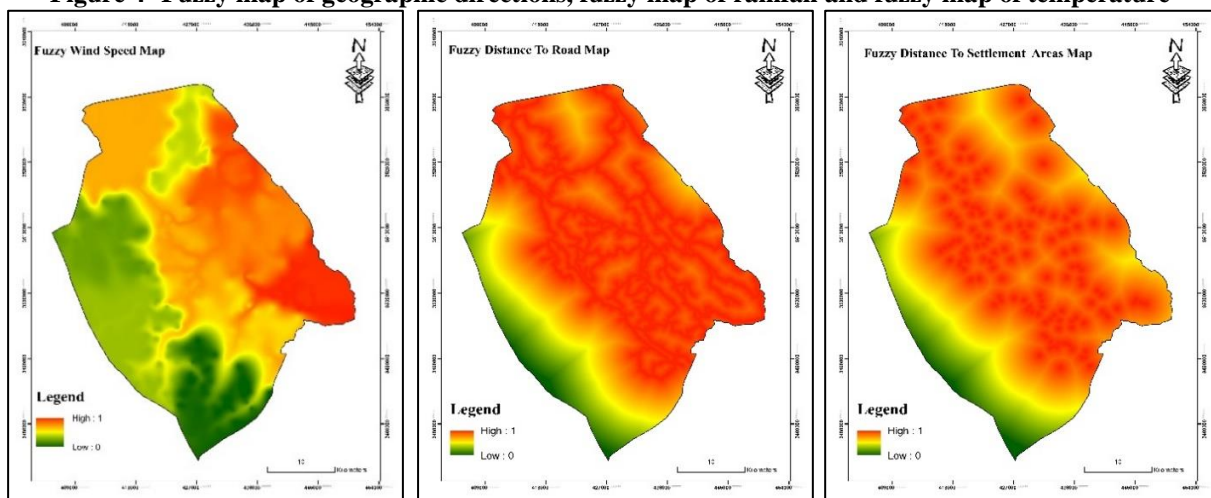
چنانچه برای هر $k=1, 2, \dots, n$ $k \neq i$ فرض کنیم که $d'(A_i) = \min V(S_i, S_k)$ آنگاه بردار وزن به صورت زیر محاسبه می‌شود:



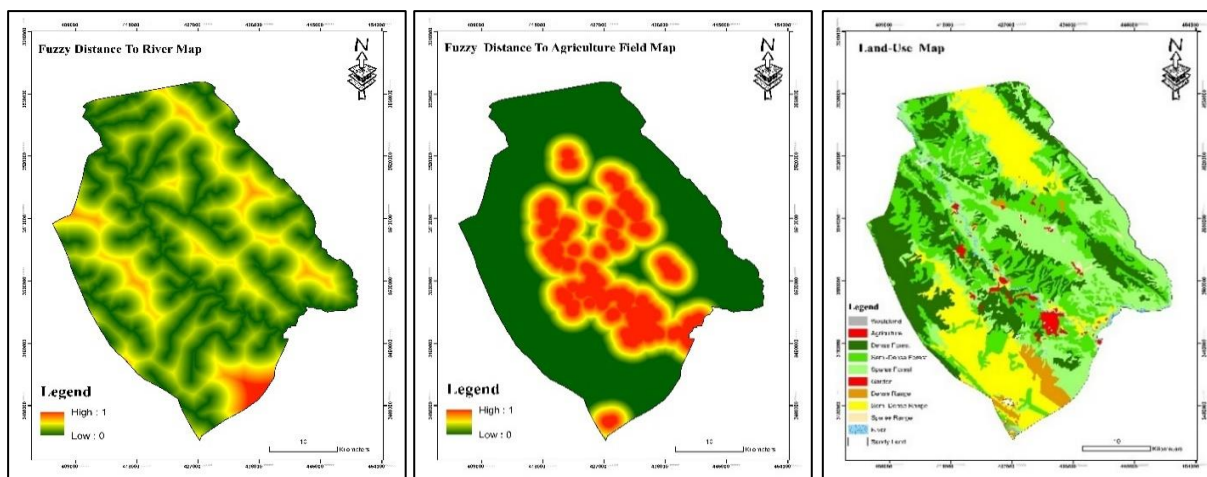
شکل ۳- نقشه نقاط آتش‌سوزی جنگل از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۴۰۰، نقشه فازی ارتفاع و نقشه فازی شیب
 Figure 3- Map of forest fire positions from 2011 to 2021, fuzzy height and fuzzy slope maps



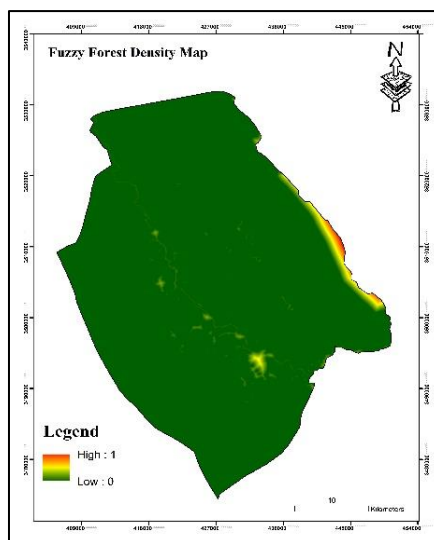
شکل ۴- نقشه فازی جهات جغرافیایی، نقشه فازی بارندگی و نقشه فازی درجه حرارت
 Figure 4- Fuzzy map of geographic directions, fuzzy map of rainfall and fuzzy map of temperature



شکل ۵- نقشه فازی سرعت باد، نقشه فازی مراکز جمعیتی و نقشه فازی شبکه جاده‌ها
 Figure 5- fuzzy map of wind speed, fuzzy map of population centers and fuzzy map of road network



شکل ۶- نقشه فازی شبکه آبراهه‌ها، نقشه فازی زمین‌های کشاورزی و باغات و نقشه کاربری اراضی
Figure 6- fuzzy map of water resources network, fuzzy map of agricultural land and land use map.



شکل ۷- نقشه فازی تراکم جنگل
Figure 7- Fuzzy map of forest density

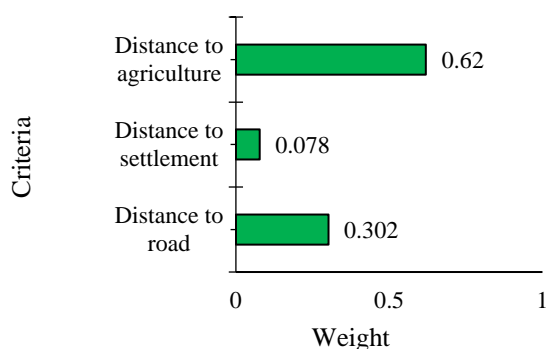
جدول ۱- داده‌های ماتریس خطا و ارزیابی صحت نقشه کاربری و پوشش زمین در منطقه مورد مطالعه

Table 1- Data of the error matrix and evaluation of the accuracy of the LULC map in the study area

نقشه طبقه‌بندی شده
Classified map

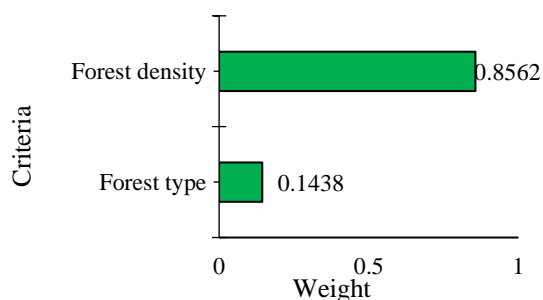
	جنگل Forest	مرتع Rangeland	رودخانه River	کشاورزی و باغ Agriculture & garden	اراضی ماسه‌ای و بایر Sandy & barren lands	جمع کل Total	صحت تولیدکننده Producer accuracy
جنگل	133	1	1	12	4	151	88.08
مرتع	6	27	0	5	3	41	65.85
رودخانه	0	0	5	2	0	7	71.43
کشاورزی و باغ	3	0	1	44	2	51	89.8
اراضی ماسه‌ای و بایر	3	0	0	7	35	45	77.78
جمع کل	145	29	7	70	44	295	
صحت کاربری User accuracy (%)	91.1	93.1	71.43	61.97	83.33		82.71

توپوگرافی نشان داد که زیر معیار درصد شیب (۰/۵۶۴۴) نسبت به سایر زیر معیارها ارجحیت دارد. همچنین بر اساس اولویت بندی زیر معیارهای انسان ساخت نیز مشخص شد که زیر معیار فاصله از زمین-های کشاورزی و باغات (۰/۶۲) نسبت به سایر زیر معیارها دارای ارجحیت است. در بررسی زیر معیارهای اقلیمی هم زیر معیار بارش (۰/۵۲۳۸) نسبت به سایر زیر معیارها اولویت داشت و در نهایت، نتایج اولویت-بندی زیر معیار اکولوژیکی هم نشان داد که زیر معیار تراکم جنگل (۰/۸۵۶۲) نسبت به زیر معیار تیپ جنگل دارای ارجحیت است (شکل‌های ۸ تا ۱۱).



شکل ۹- اولویت بندی زیر معیارهای انسان ساخت

Figure 9- Prioritization of human activities sub-criteria

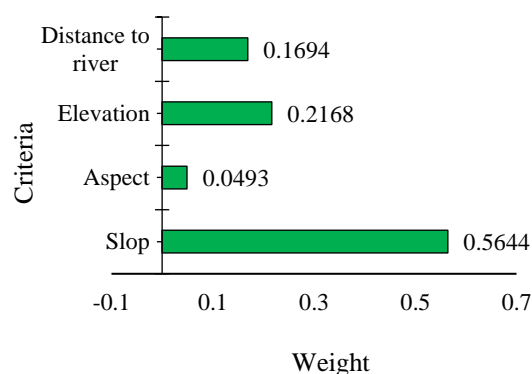


شکل ۱۱- اولویت بندی زیر معیارهای اکولوژیکی

Figure 11- Prioritization of ecological sub-criteria

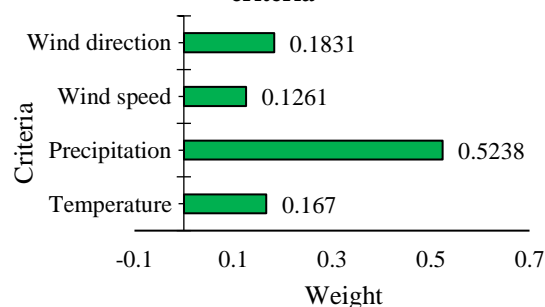
(جدول ۳). به منظور مقایسه وزن معیارها در این مطالعه بر اساس آنالیز توسعه چانگ و بر اساس رابطه ۲ مقادیر S_i محاسبه شد (جدول ۴). در ادامه با استفاده از رابطه ۳ درجه ارجحیت هر معیار بر دیگر معیارها مشخص و پس از تعیین اوزان خام، با استفاده از رابطه ۴ اوزان نرمال شده هر معیار محاسبه شد (جدول ۵).

پس از تهیه نقشه کاربری اراضی، بر اساس نتایج به دست آمده، صحت کلی نقشه بر مبنای نمونه‌های تعلیمی (پیمایش زمینی، ۲۹۵ نقطه) ۸۲/۷۱ درصد و صحت طبقه‌بندی در طبقه‌های جنگل، مرتع، رودخانه، زمین‌های کشاورزی، اراضی ماسه‌ای، اراضی بایر و باغات به ترتیب ۸۸/۰۸، ۶۵/۸۵، ۷۱/۴۳، ۸۹/۸ و ۷۷/۷۸ درصد محاسبه شد (جدول ۱). با توجه به اینکه نتایج صحت‌سنجی به عدد ۱۰۰ نزدیک است، نقشه کاربری اراضی تولیدشده از قابلیت اعتماد مناسبی برخوردار است. همچنین مقدار ضریب کاپای کل ۰/۷۴ برآورد شد (جدول ۲). نتایج اولویت بندی زیر معیار



شکل ۸- اولویت بندی زیر معیارهای توپوگرافی

Figure 8- Prioritization of topographic sub-criteria



شکل ۱۰- اولویت بندی زیر معیارهای اقلیمی

Figure 10- Prioritization of climatic sub-criteria

به منظور اولویت بندی معیارهای اصلی در روش AHP فازی بر اساس زیر معیارهای این مطالعه و با توجه به پاسخ‌های خبرگان به مقایسات زوجی، با استفاده از روش میانگین هندسی پرداخته شد. به این منظور پاسخ‌ها ادغام، ماتریس زوجی ادغام شده تشکیل و در نهایت مقایسات زوجی معیارهای اصلی انجام شد

جدول ۳- مقایسات زوجی معیارهای اصلی در AHP فازی
Table 3- Pairwise comparisons of the criteria by the FAHP

اقلیمی Climatic	اکولوژیکی Ecological	انسان‌ساخت Human activities	توپوگرافی Topographic	شاخص Criteria
(3.538, 4.339, 5.163)	(0.181, 0.221, 0.285)	(0.141, 0.165, 0.198)	(1, 1, 1)	توپوگرافی
(1.381, 2.416, 3.431)	(2.482, 3.497, 4.505)	(1, 1, 1)	(5.03, 6.047, 7.059)	انسان‌ساخت
(0.186, 0.23, 0.301)	(1, 1, 1)	(0.221, 0.285, 0.402)	(3.497, 4.505, 5.51)	اکولوژیکی
(1, 1, 1)	(3.313, 4.336, 5.349)	(0.291, 0.413, 0.723)	(0.193, 0.23, 0.282)	اقلیمی

جدول ۴- مقادیر S_i معیارهای اصلی در روش آنالیز توسعه چانگ
Table 4- S_i values of the criteria using Chang's method.

S_i	M_{gi}^j	شاخص Criteria
0.04, 0.053, 0.199	1.478, 1.571, 1.71	توپوگرافی
0.269, 0.437, 1	9.895, 12.962, 15.996	انسان‌ساخت
0.137, 0.212, 0.403	5.053, 6.291, 7.913	اکولوژیکی
0.183, 0.298, 0.724	6.73, 8.858, 11.171	اقلیمی
0.183, 29.682, 36.791	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j$	

جدول ۵- درجه ارجحیت معیارها اصلی نسبت به هم
Table 5- Possibility degree of the criteria compared to each other

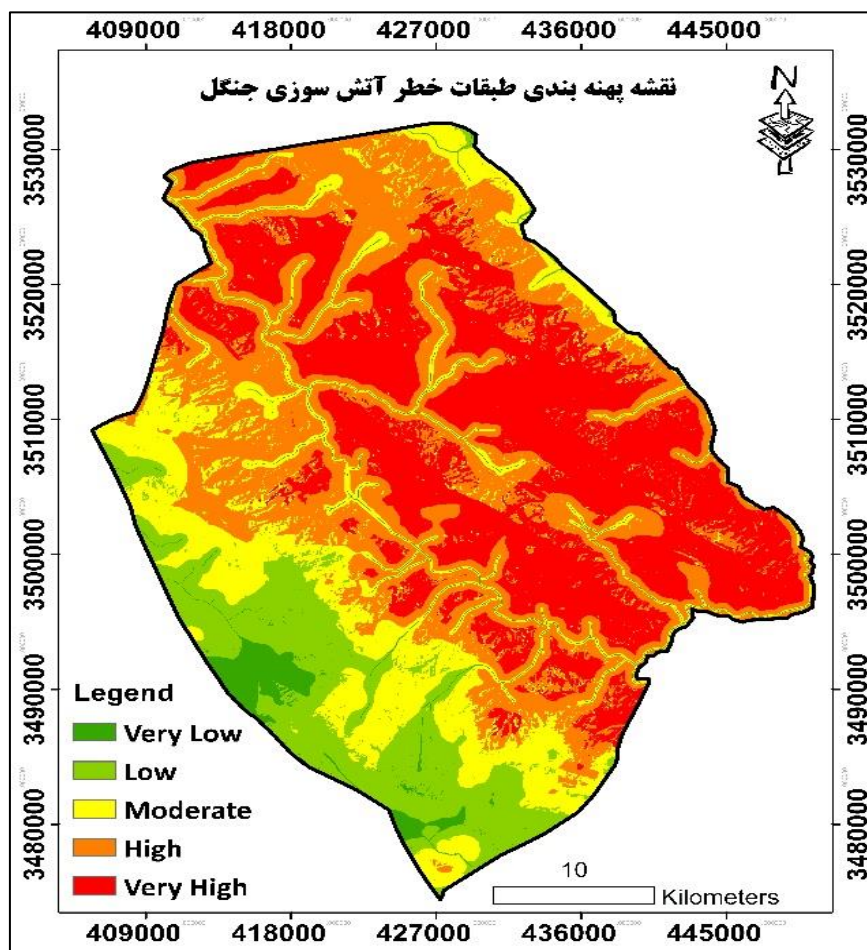
وزن نرمال Normal weight	وزن خام Raw weight	اقلیمی Climatic	اکولوژیکی Ecological	انسان‌ساخت Human activities	توپوگرافیک Topographic	شاخص Criteria
0.0191	0.024	0.945	0.936	0.024	-	توپوگرافی
0.7869	1	1	1	-	1	انسان‌ساخت
0.0896	0.114	1	-	0.114	1	اکولوژیکی
0.1044	0.133	-	0.992	0.133	1	اقلیمی

جغرافیایی (GIS)، مساحت پهنه‌های مستعد آتش‌سوزی در ۵ طبقه از خیلی کم تا خیلی زیاد به دست آمد. مناطق با خطر آتش‌سوزی خیلی زیاد برابر با ۵۲۸۰۳/۷۴ هکتار (۳۵/۸ درصد) و مساحت مناطق با خطر آتش‌سوزی خیلی کم برابر با ۴۰۶۸/۳۷ هکتار (۲/۷۶ درصد) برآورد شد (جدول ۶ و شکل ۱۲).

با توجه به نتایج جدول ۵، معیار اصلی انسان‌ساخت با وزن ۰/۷۸۶۹ در درجه اول اهمیت، معیار اقلیمی با وزن ۰/۱۰۴۴ در درجه دوم، معیار اکولوژیکی با وزن ۰/۰۸۹۶ در درجه سوم و معیار توپوگرافی با وزن ۰/۰۱۹۱ در درجه چهارم اهمیت قرار گرفتند. پس از ارزش‌گذاری لایه‌ها در محیط سیستم اطلاعات

جدول ۶- مساحت پهنه‌های مستعد آتش‌سوزی در مدل AHP فازی
Table 6- Area of places at risk of fire in the FAHP model

درصد مساحت Area (%)	مساحت (هکتار) Area (ha)	طبقات خطر آتش‌سوزی Fire risk classes
2.76	4068.37	خیلی کم
12.13	17894.88	کم
18.17	26792.35	متوسط
31.14	45912.72	زیاد
35.8	52803.74	خیلی زیاد



شکل ۱۲- نقشه پهنه‌بندی مدل AHP فازی در منطقه مورد مطالعه

Figure 12- FAHP model zoning map in the study area

بیشترین تأثیر را در آتش‌سوزی جنگل‌های این منطقه داشته و به ترتیب معیارهای اقلیمی (۰/۱۰۴۴)، معیار اکولوژیک (۰/۰۸۹۶) و در نهایت معیار توپوگرافی (۰/۰۱۹۱) در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. در معیار انسان‌ساخت، زیرمعیار فاصله تا زمین‌های کشاورزی و باغات (۰/۰۶۲) بیشترین اولویت را داشت؛ به‌این ترتیب مناطق جنگلی نزدیک به زمین‌های کشاورزی بیشترین خطر وقوع آتش‌سوزی را داشتند که علت آن را می‌توان به استفاده از آتش‌سوزی عمدی به‌عنوان ابزاری برای تغییر کاربری اراضی جنگلی به کشاورزی توسط جنگل‌نشینان، پاک‌سازی مزارع و نیز از بین بردن پسماندهای کشاورزی نسبت داد. از سوی دیگر با توجه به اینکه کاربری جنگل سطح زیادی از منطقه را پوشانده است، بیشتر آتش‌سوزی‌ها در این کاربری اتفاق افتاده است که این موضوع به دلیل نزدیکی به مناطق مسکونی و کاربری‌های کشاورزی قابل توجیه است (Shafiei *et al.*, 2015). بیشترین آتش‌سوزی جنگل در

بحث

آتش‌سوزی جنگل به‌عنوان بخش مهمی از آشفستگی در محیط‌زیست، باعث آلودگی هوا، از بین رفتن ثروت‌ها و امکانات بسیاری می‌شود و جان انسان‌های ساکن در جنگل یا در مجاورت جنگل را با مخاطرات جدی مواجه می‌سازد. به‌این ترتیب می‌توان از آتش‌سوزی جنگل به‌عنوان یکی از مصادیق بحران‌های طبیعی یاد کرد (Mansouri *et al.*, 2011). شناسایی عوامل مؤثر در وقوع آتش‌سوزی و پهنه‌بندی خطر آن یکی از ابزارهای اساسی جهت دستیابی به راهکارهای کنترل و مقابله با حریق است (Mustafa *et al.*, 2018). این مطالعه به‌منظور شناسایی مناطق پرخطر آتش‌سوزی در حوزه جنگلی دهدز در استان خوزستان با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی انجام شد. با توجه به وزن نهایی به‌دست‌آمده برای معیارها می‌توان نتیجه گرفت که معیار انسان‌ساخت (۰/۷۸۶۹) از بین سایر معیارها

این منطقه در نزدیک‌ترین فاصله از جاده و دورترین فاصله از رودخانه اتفاق افتاده است. در مورد فاصله از رودخانه در برخی از پژوهش‌ها، بیشترین آتش‌سوزی‌ها در فاصله کمتری از رودخانه‌ها رخ داده است (Dong *et al.*, 2005; Erten *et al.*, 2005). این مطالعه بر اساس مشاهدات زمینی، اکثر رودخانه‌های منطقه از دره‌هایی با شیب زیاد عبور می‌کنند و در سایر مناطق غالباً اطراف رودخانه‌های منطقه به باغ‌های میوه تبدیل شده است و تا فواصل دوردست نیز پوشش جنگلی از بین رفته است. وجود جاده در مناطق جنگلی منافع زیادی نظیر دسترسی سریع نیروهای امدادی را به همراه دارد اما در نقطه مقابل دسترسی مردم و یا افراد سودجو را نیز به جنگل میسر می‌سازد که می‌تواند به صورت عمدی یا غیرعمدی باعث ایجاد آتش‌سوزی در جنگل شود (Attar Roshan *et al.*, 2022). شبکه راه‌های دسترسی و روستاهای منطقه مورد مطالعه سبب شده‌اند تا انسان هرچه بیشتر و راحت‌تر به مناطق جنگلی به منظور تفریح، چرای دام، کشاورزی و سایر فعالیت‌ها دسترسی پیدا کرده و به دلیل بی‌احتیاطی اقدام به روشن کردن آتش و رهاسازی نماید (Tabibian, 2022). شایان ذکر است در این پژوهش موقعیت جغرافیایی مناطقی که در گذشته دچار آتش‌سوزی شده بودند ثبت و پس از تهیه نقشه رقومی، موقعیت نقاط بر روی نقشه پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی قرار داده شد. نتایج نشان داد که مناطقی که در گذشته دچار آتش‌سوزی شده‌اند، با مناطق پرخطر و بسیار پرخطر از نظر آتش‌سوزی جنگل تا حد بسیار زیادی همخوانی دارند که این یافته می‌تواند دقت مدل پیشنهادی را تأیید نماید.

در این مطالعه معیار اقلیمی در اولویت بعدی اهمیت قرار داشت به ترتیبی که بیشترین خطر آتش‌سوزی در طبقات با دمای زیاد و بارش کم اتفاق افتاده است که این مورد به دلیل ایجاد شرایط محیطی مناسب برای وقوع آتش‌سوزی کاملاً منطقی به نظر می‌رسد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، گیاهان به علت رطوبت کمتر و درجه حرارت بالاتر با سهولت بیشتر از جنگل‌های سایر نقاط طعمه آتش‌سوزی شده و این آتش‌سوزی به سرعت گسترش یافته و سطح وسیعی از جنگل را در زمان کوتاهی در بر می‌گیرد (Nuthammachot and Stratoulas, 2019). در بین زیر معیارهای توپوگرافی نیز زیر معیار درصد شیب (۰/۵۶۴۴) در درجه اول اهمیت قرار گرفت. نتایج نشان داد

بیشترین احتمال وقوع آتش‌سوزی جنگل در مناطقی با شیب کم وجود دارد و عرصه‌های پرشیب در قسمت‌های جنوبی تا غرب منطقه، حداقل خطر وقوع آتش‌سوزی را دارند. لازم به ذکر است تمرکز پدیده‌های انسان‌ساخت نظیر مناطق مسکونی، جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی در همین مناطق واقع شده‌اند که بر اساس نتایج، حضور پدیده‌های یادشده خطر آتش‌سوزی در منطقه را افزایش می‌دهد (Lamat *et al.*, 2020). جهت جغرافیایی و از بین جهت‌ها نیز جهت جنوبی بیشترین تأثیر را بر وقوع آتش‌سوزی جنگل داشته است. این جهت‌ها به علت رطوبت کم، افزایش تبخیر و تعرق، خشک‌تر بودن و قرار داشتن در معرض نور خورشید بیشتر در معرض آتش‌سوزی قرار دارند (Matin *et al.*, 2017). در بین گزینه‌های معیار ارتفاع از سطح دریا نیز ارتفاعات میانی تا پایین بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند. همان‌طور که در نقشه پهنه‌بندی مدل AHP فازی مشاهده می‌شود قسمت‌های جنوبی تا غرب محدوده مورد مطالعه با بیشترین ارتفاع دارای حداقل خطر آتش‌سوزی است که کمبود جاده‌های دسترسی در این مناطق، افزایش میزان بارندگی، کاهش چشمگیر مناطق مسکونی از مهم‌ترین دلایل آن است (Rasooli *et al.*, 2018). منطقه مورد مطالعه در مجموع پتانسیل نسبتاً زیادی برای آتش‌سوزی دارد، به گونه‌ای که بر اساس نقشه تهیه‌شده، ۳۵/۸ درصد منطقه در طبقه خطر خیلی زیاد و ۳۱/۱۴ درصد نیز در طبقه زیاد قرار گرفته است که در مجموع ۶۹/۹۴ درصد منطقه تحت خطر آتش‌سوزی زیاد قرار دارد.

نتیجه‌گیری کلی

خطر آتش‌سوزی، جنگل‌ها، مراتع، زمین‌های کشاورزی و سایر کاربری‌های موجود در منطقه را تهدید می‌کند؛ بنابراین نقشه به‌دست‌آمده از این تحقیق می‌تواند به‌عنوان راهنما در مدیریت آتش‌سوزی برای مقابله با آن در مناطق با خطر زیاد و متمرکز کردن نیروها و امکانات در این مناطق مورد استفاده قرار گیرد. طراحی و احداث آتش‌بُرو و همچنین پاک‌سازی سالیانه آن‌ها، پیش‌بینی و نصب تابلوهای هشدار در منطقه، ساماندهی گشت‌وگذار مردم در جنگل و گسترش کمی و کیفی تفرجگاه‌های ایجاد شده، از جمله اقدامات مؤثر در کنترل پدیده مخرب آتش‌سوزی جنگل خواهد بود. با توجه به تأثیر زیاد کاربری اراضی در وقوع آتش‌سوزی جنگل

آتش‌سوزی در جنگل با توجه به شرایط منطقه‌ای، ویژگی‌های مختص به خود را داشته که باید متناسب با شرایط مدل مناسب را ایجاد نمود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از رساله دکتری مصوب در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از اساتید محترم گروه علوم محیط‌زیست و همچنین کارشناسان محترم اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشند.

References

- Attar Roshan, S., Heydari, M., Wait, A., Uddin, S.M., Lucas-Borja, M.E. & Keeley, J.E. (2022). Divergent successional trajectories of soil seed bank and post-fire vegetation in a semiarid oak forest: Implications for post-fire ecological restoration. *Ecological Engineering*, 182, 106736. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106736>
- Bavarsad, F.S., Attarroshan, S. & Orak, N., (2023). Assessment of fire history effects on the plant diversity and regeneration of woody species in *Ziziphus spina-christi* (L.) Willd. forests in HaftShahidan protected area. *Acta Ecologica Sinica*, 43(6), 968-976. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2023.02.010>
- Dong, X., Li-min, D., Guo-fan, S., Lei, T. & Hui, W. (2005). Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau. *Journal of Forestry Research*, 16(3), 169-174. <https://doi.org/10.1007/BF02856809>
- Erten, E., Kurgun, V. & Musaoglu, N. (2004). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS: A case study. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, (4), 1-10.
- Eskandari, S. (2013). *Proposing the Forest Fire Potential Model and its Spread using RS and GIS*. Ph.D Thesis of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian)
- Eskandari, S. (2015). Assessment of the Forest Fire Risk Potential using the Dong Model (Case Study: The Forests of District 3 of Neka, Zalemroud). *Journal of Geographical Survey of Space*, 6 (15), 195-209. (In Persian)
- 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.
- Ghodsipour, S.H. (2010). *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Amirkabir University Press, Tehran, 222p.
- Hallema, H.D.W., Robinne, F.N. & Bladon, K.D. (2018). Reframing the challenge of global wildfire threats to water supplies. *Earth's Future*, 6(6), 772-776. <https://doi.org/10.1029/2018EF000867>
- Heydari, M., Faramarzi, M. & Pothier, D. (2016). Post-fire recovery of herbaceous species composition and diversity, and soil quality indicators one year after wildfire in a semi-arid oak woodland. *Ecological Engineering Journal*, (94), 688-697. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.032>
- Heydari, M., Attar Roshan, S., Lucas-Borja, M.E., Omidipour, R. & Prévosto, B. (2021a). Diverging consequences of past forest management on plant and soil attributes in ancient oak forests of southwestern Iran. *Forest Ecology and Management*, (494), 119360. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119360>
- Heydari, M., Attar Roshan, S., Omidipour, R., Lucas-Borja, M.E. & Prevosto, B. (2021b).

- Current plant ecological features reflect historical forest management systems in semi-arid oak forests. *Ecological Engineering*, (167), 106268.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106268>
- Janbaz Ghobadi, R. (2019). Investigation of forest Fire Risk Areas in Golestan Province based on FRIS using GIS. *Journal of Spatial Analysis of Natural Hazards*, (3), 89-102.
<https://doi.org/10.29252/jsaeh.6.3.89> (In Persian)
- Jhariya, M.K. & Singh, L. (2021). Effect of fire severity on soil properties in a seasonally dry forest ecosystem of Central India. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(12), 3967-3978.
<https://doi.org/10.1007/s13762-020-03062-8>
- Lamat, R., Kumar, M., Kundu, A. & Lal, D. (2020). Forest fire risk mapping using analytical hierarchy process (AHP) and earth observation datasets: a case study in the mountainous terrain of Northeast India, *Applied Sciences journal*, (3), 425, 1-16.
<https://doi.org/10.1007/s42452-021-04391-0>
- Lee, S. & Talib, J.A. (2005). Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Journal of Environmental Geology*, (47), 982-990.
<https://doi.org/10.1007/s00254-005-1228-z>
- Lozano, F.J., Suárez-Seoane, S., Kelly, M. & Luis, E. (2008). A multi-scale approach for modeling fire occurrence probability using satellite data and classification trees: A case study in a mountainous Mediterranean region. *Journal of Remote Sensing of Environment*, (112), 708-719.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.06.006>
- Mansouri, N., Nazari, R., Nasiri, P. & Gharagozlu, A.R. (2011). Planning forest fire crisis management using GIS & RS. *Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resource Science*, 2(3), 63-73.
- Mataji, A., Daliri, H.K., Babaie, S., Jafari, S. & Attar Roshan, S.A. (2013). Flora diversity in burned forest areas in Dehdez, Iran. *Folia Forestalia Polonica*, 55(1), 33-41.
<https://doi.org/10.2478/ffp-2013-0005>
- Mahdavi, A., FallahShamsi, S.R. & Nazari, R. (2012). Forests and Rangelands wildfire risk zoning using GIS and AHP techniques. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, (10), 43-52.
- Matin, M.A., Chitale, V.S., Murthy, M.S.R., Uddin, K., Bajracharya, B. & Pradhan, S. (2017). Understanding Forest fire patterns and risk in Nepal using remote sensing, geographic information system and historical fire data. *International Journal of Wildland Fire*. (26), 276–286.
<https://doi.org/10.1071/WF16056>
- Miller, C. & Ager, A. (2013). A review of recent advances in risk analysis for wildfire management. *International Journal of Wildland Fire*, 22(1), 1–14.
<https://doi.org/10.1071/WF11114>
- Moazzeni, N., Sayah nia, R. & Esmaeilzadeh, H. (2020). Metodological Framework for Risk Classification of Forest Fireing in Iland Ecosystem (Case Study: Kurdistan Province), *Environmental Research*, 11(21), 97-108. (In Persian)
- Moradzadeh, H., Heydari, M., Omidipour, R., Mezbani, A. & Prévosto, B. (2020). Ecological effects of fire severity and time since fire on the diversity partitioning, composition, and niche apportionment models of post-fire understory vegetation in semi-arid oak forests of Western Iran. *Ecological Engineering Journal*, (143), 105694.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105694>
- Mustafa, A., Rienow, A., Saadi, I., Cools, M. & Teller, J. (2018). Comparing support vector machines with logistic regression for calibrating cellular automata land use change models. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 391-401.
<https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1442179>
- Nuthammachot, N. & Stratoulis, D. (2019). A GIS- and AHP-based approach to map fire risk: a case study of Kuan Kreng peat swamp forest, Thailand. *Geocarto International*, 36 (2), 212–225.
<https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1611946>
- Parnian, M., Asadi Oskoui, A. & Rahnama, M. (2021). Investigation of Fire Monitoring and Forecasting Methods in the Vegetation of Iran and the World. *Climatology Research Journal*, 12(47), 103-122. (In Persian)
- Patil, S. K. & Kant, R. (2014). A hybrid approach based on fuzzy DEMATEL and FMCDM to predict success of knowledge management adoption in supply chain. *Applied Soft Computing*, (18), 126-135.

- <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.01.027>
Rasooli, S.B., Bonyad, A.E. & Bavaghar, M. (2018). Forest fire vulnerability map using remote sensing data, GIS and AHP analysis (case study: Zarivar Lake surrounding area). *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 16(4), 369–377.
- <https://doi.org/10.22124/cjes.2018.3205>
Salehi, N., Dashti, S., Ataroshan, S., Nazarpour, A. & Jaafarzadeh, N. (2023a). Forest Risk Fire Zoning using an Integrated Method of Artificial Neural Network and Spatial Information System (Murray Study: Shimbar Protected Area). *Environmental Erosion Research Journal*, 13 (2), 235-253. (In Persian)
- Salehi, N., Dashti, S., Attar Roshan, S., Nazarpour, A. & Jaafarzadeh, N. (2023b). Using neural networks and a fuzzy inference system to evaluate the risk of wildfires and the pinpointing of firefighting stations in forests on the northern slopes of the Zagros Mountains, Iran (case study: Shimbar national wildlife preserve). *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(2), 294.
<https://doi.org/10.1007/s10661-022-10702-8>
- Sanjary, S. (2007). *Application Guide to ArcGIS 9.2*, Abed Press, Tehran, 334 (In Persian)
- Sazawa, K., Yoshida, H., Okusu, K., Hata, N. & Kuramitz, H. (2018). Effects of forest fire on the properties of soil and humic substances extracted from forest soil in Gunma, Japan. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(30), 30325-30338.
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-3011-1>
- Semeraro, T., Mastroleo, G., Aretano, R., Facchinetti, G., Zurlini, G. & Petrosillo, I. (2016). GIS fuzzy expert system for the assessment of ecosystems vulnerability to fire in managing Mediterranean natural protected areas. *Journal of Environmental Management*, 168, 94-103.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.053>
- Shafiei, A., Beygi Heidarlu, H. & Erfanian, M. (2015). Evaluating the Fuzzy Weighted Linear Combination Method in Forest Fire Risk Mapping (Case study: Sardasht Forests, West Azerbaijan Province, IRAN), *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 22(3), 29-52.
<https://dori.net/dor/20.1001.1.23222077.1394.22.3.2.8> (In Persian)
- Tabibian, S. (2022). Physical Zoning of Forest Fire Risk by Fuzzy AHP method and GIS (Case Study: Asalem). *Scientific Journal of Physical Development Planning*, 2(26) 61-72.
<https://www.doi.org/10.30473/psp.2022.62345.2561> (In Persian)
- Taylor, S.W. & Alexander, M.E. (2006). Science, technology, and human factors in fire danger rating: The Canadian experience. *International Journal of Wild Land Fire*, 15(1), 121- 135.
<https://doi.org/10.1071/WF05021>
- Vadrevu, K. & Lasko, K. (2015). Fire regimes and potential bioenergy loss from agricultural lands in the Indo-Gangetic Plains. *Journal of Environmental Management*, (148), 10–20.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.026>
- Valdez, M.C., Chang, K.T., Chen, Ch.F., Chiang, Sh.H. & Santos, J.L. (2017). Modelling the spatial variability of wildfire susceptibility in Honduras using remote sensing and geographical information systems. *Journal of Geomatics, Natural Hazards and Risk*, (8),1-7.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1278404>
- Webster, R. & M.A. Oliver, (2000). *Geostatistics for environmental scientists*, Wiley press, 271 pp.
- Zarkar, A., Kazemi Zamani, S., Bagheri, M., Ashgh Moala, H. & Jafari, R. (2013). Preparation of Forest Fire Risk Spatial Distribution Map using MCDM and GIS (Case Study: 3 Forest Areas in Gilan Province). *Iranian Forest and Populus Research Quarterly*, (2), 218-230. (In Persian)