Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.13, Issue 41, October 2024

Investigating the Role of Climate Change in the Risk of Wildfires Occurring in the Forests and Rangelands of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province

Zolfaghar Rezapour [1], Saeedeh Eskandari [2*], Hojjatollah Yazdanpanah*[3]

1. PhD. Student, Climatology Research Group, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
2. *Corresponding Author*, Associate Prof., Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
3. Associate Prof., Climatology Research Group, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 13 November 2023
Revised: 15 March 2024
Accepted: 23 April 2024

Keywords:
Fire regime, fire risk probability, climate change, Zagros vegetative area, natural resources areas.

ABSTRACT

Fire is one of the threatening factors of Iran's forests and rangelands. Thousands of hectares of forests and rangelands are burned by fire in Zagros, yearly. A wide part of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad's forests and rangelands have burned by fire in recent years. The present research was conducted to investigate the role of climatic parameter changes in fire occurrence in forests and rangelands of this province. Both temporal and spatial relationships between climatic and fire variables were investigated. Climatic variables data were obtained from the Iran Meteorological Organization and fire data (number, area, and location) in the period of 2006-2020 were obtained from the Natural Resources and Watershed Organization of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad province. The temporal relationship between climatic and fire variables was analyzed based on Pearson correlation coefficient and regression analysis. After preparing the fire map and climatic maps by interpolation method, the spatial relationship between climatic variables and fire occurrence was obtained by the logistic regression method. The spatial modeling of the fire risk probability was done using 70% of fire locations and the logistic regression method. To evaluate the efficiency of the logistic regression method, 30% of fire locations and area under the curve (AUC) method were used. For the accuracy assessment of the fire risk probability map, error matrix and overall accuracy were applied. Results of the temporal relationship showed that the number of fires had a significant relationship with seasonal wind speed mean. Results of spatial relationship showed that seasonal temperature mean was the most important variable in fire occurrence. Evaluation of efficiency and validation of logistic regression and fire risk map showed that this method with AUC 0.95 and OA 92.7% had a good accuracy in identifying fire risk areas in forests and rangelands of the province. The results of this research are practical in fire management, monitoring, and prediction in the natural resources of the province.

Cite this article: Eskandari, S., Yazdanpanah, H., & Rezapour, Z. (2024). Investigating the Role of Climate Change in the Risk of Wildfires Occurring in the Forests and Rangelands of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province. Journal of Natural Environmental Hazards, 13(41), 103-130. DOI: 10.22111/jneh.2024.47185.1998

© Saeedeh Eskandari & Hojjatollah Yazdanpanah Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2024.47185.1998

* Corresponding Authors Email: s.eskandari@rifr-ac.ir & h.yazdan@geog.ui.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۴۱، مهر ۱۴۰۳

بررسی نقش تغییرات اقلیمی در خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد

ذوالفقار رضاپور[۱]، سعیده اسکندری[۲*]، حجت‌الله یزدان‌پناه[۳*]

۱. دانشجوی دکتری، گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان
۲. دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران(نویسنده مسئول)
۳. دانشیار گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول)

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۳/۰۲/۰۴

واژه‌های کلیدی:
رژیم آتش‌سوزی، احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی، تغییر اقلیم، ناحیه رویشی زاگرس، عرصه‌های منابع طبیعی.

چکیده

آتش‌سوزی یکی از عوامل تهدیدکننده جنگل‌ها و مراتع ایران به‌شمار می‌رود. سالانه هزاران هکتار از جنگل‌ها و مراتع زاگرس طعمه حریق می‌شوند. طی سال‌های اخیر بخش وسیعی از جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد در اثر آتش‌سوزی از بین رفته است. این پژوهش به‌منظور بررسی نقش تغییرات پارامترهای اقلیمی در وقوع آتش‌سوزی‌های جنگل‌ها و مراتع این استان انجام شد. برای این منظور هم رابطه زمانی و هم رابطه مکانی بین متغیرهای اقلیمی و آتش‌سوزی بررسی شد. داده‌های متغیرهای اقلیمی (۱۴۰۰-۱۳۸۵) از سازمان هواشناسی ایران و داده‌های آتش‌سوزی (تعداد، وسعت و موقعیت مکانی) در دوره ۱۴۰۰-۱۳۸۵ از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد به‌دست آمدند. رابطه بین متغیرهای اقلیمی و آتش‌سوزی طی زمان موردمطالعه، براساس ضریب همبستگی پیرسون و تحلیل‌های رگرسیونی حاصل شد. پس از تهیه نقشه موقعیت آتش‌سوزی‌ها و نقشه‌های پارامترهای اقلیمی با روش‌های درون‌یابی، رابطه مکانی بین متغیرهای اقلیمی و وقوع حریق با روش رگرسیون لجستیک به‌دست آمد. مدل‌سازی احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی، با استفاده از ۷۰ درصد موقعیت آتش‌سوزی‌ها و روش رگرسیون لجستیک انجام شد. به‌منظور ارزیابی کارایی روش رگرسیون لجستیک از ۳۰ درصد موقعیت آتش‌سوزی‌ها و روش سطح زیرمنحنی (AUC) استفاده شد. برای ارزیابی صحت نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی از ماتریس خطا و شاخص صحت کلی استفاده شد. نتایج رابطه زمانی نشان داد که تعداد آتش‌سوزی رابطه معنی‌داری با میانگین سرعت باد فصلی داشت. نتایج رابطه مکانی نشان داد که میانگین درجه حرارت فصلی مهم‌ترین متغیر در وقوع آتش‌سوزی بود. نتایج ارزیابی کارایی و صحت‌سنجی روش رگرسیون لجستیک و نقشه احتمال خطر آتش‌سوزی نشان داد که این روش با سطح زیرمنحنی ۰,۹۵ و صحت کلی ۹۲,۷ درصد، دقت مطلوبی در شناسایی مناطق خطر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد داشته است. نتایج این پژوهش در مدیریت، نظارت و پیش‌بینی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی استان بسیار کاربردی است..

استناد: اسکندری، سعیده، یزدان پناه، حجت الله، رضاپور، ذوالفقار. (۱۴۰۳). بررسی نقش تغییرات اقلیمی در خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳(۴۱)، ۱۰۳-۱۳۰. DOI: 10.22111/jneh.2024.47185.1998

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© ذوالفقار رضاپور، سعیده اسکندری*، حجت‌الله یزدان‌پناه*.

*- سعیده اسکندری و حجت‌الله یزدان‌پناه (نویسنده مسئول)
Email: eskandari@rifr-ac.ir & h.yazdan@geog.ui.ac.ir

مقدمه

رشته‌کوه‌های زاگرس که از شمال غرب تا جنوب غربی ایران ادامه دارد، حدود ۴۰ درصد از جنگل‌های ایران را در خود جای داده است که تیپ غالب این جنگل‌ها، بلوط می‌باشد. استان کهگیلویه و بویراحمد دارای ۱۴۲۶۳۰۰ هکتار منابع طبیعی بوده که از این سطح ۸۷۳۶۰۰ هکتار (۵۳٪ از مساحت استان) را جنگل و ۵۵۲۷۰۰ هکتار (۳۴٪ از مساحت استان) را مرتع تشکیل می‌دهد. سهم استان کهگیلویه و بویراحمد از جنگل‌های زاگرس در بین استان‌های زاگرس‌نشین کشور، ۲۰٪ می باشد که بالاترین سهم و سرانه جنگل (۱/۶ هکتار به ازای هر نفر) را دارا است (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد[1]، ۱۳۹۹).

جنگل‌های زاگرس علاوه بر اهمیت فراوان محیط زیستی، در حفظ آب و خاک منطقه کوهستانی زاگرس، از نظر تنوع گونه‌های جانوری و گیاهی نیز اهمیت بسیار زیادی دارند (فتاحی[2]، ۱۳۷۳). هرچند آفات و بیماری‌ها، چرای دام، بهره‌برداری بی‌رویه، تغییر اقلیم، خشکسالی و پدیده زوال در دهه‌های اخیر، نقش مهمی در تخریب این جنگل‌ها داشته است (فتاحی، ۱۳۷۳؛ اسکندری[3] و عالی‌محمودی سراب[4]، ۲۰۲۲)؛ اما نقش آتش‌سوزی نیز در تخریب جنگل‌های ایران از آن جهت که باعث نابودی گونه‌های جانوری و گیاهی، تخریب محیط زیست، آسیب به چشم‌انداز جنگل و آلودگی آب و هوا می‌شود، بسیار مهم است (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲). بر اساس اطلاعات اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ بیش از ۵۲۰۰ هکتار از جنگل‌های استان از طریق آتش‌سوزی از بین رفته‌اند که این میزان حدود یک درصد مساحت فعلی جنگل‌های استان کهگیلویه و بویراحمد است (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد، ۱۳۹۹). بنابراین آتش‌سوزی طی سال‌های اخیر، از اصلی‌ترین دلایل از بین رفتن جنگل‌ها و مراتع در ناحیه رویشی زاگرس در این استان محسوب می‌شود. گفتنی است که آتش‌سوزی‌ها اغلب در دوره‌های خشکی با وزش بادهای گرم ایجاد می‌شوند و گسترش می‌یابند و ازاین‌رو، فصل آتش‌سوزی اهمیت می‌یابد. بااین‌حال نقش انسان که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم باعث آتش‌سوزی می‌شود، نیز قابل توجه است (مارتینز[5] و همکاران، ۲۰۰۹، ادب[6] و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین علت این آتش‌سوزی‌ها به‌طور عمده شامل عوامل طبیعی (به‌طور عمده تغییر اقلیم) و عوامل غیرطبیعی (انسانی) می‌باشد (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲). اگر انسان به‌عنوان یک عامل ثابت در وقوع آتش‌سوزی‌ها درنظر گرفته شود، به‌نظر می‌رسد که در سال‌های اخیر، گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، از عوامل مهم افزایش آتش‌سوزی در جنگل‌های جهان و ایران بوده است. این عامل از طریق افزایش میانگین درجه حرارت، کاهش بارندگی و افزایش خشکسالی و بادهای گرم، نقش مهمی در تعداد و وسعت آتش‌سوزی‌ها در برخی مناطق طبیعی و جنگلی شمال ایران داشته است (خان‌محمدی[7] و همکاران، ۱۳۹۵؛ اسکندری و جلیلوند[8]، ۱۳۹۶؛ اسکندری و همکاران، ۱۴۰۲). برخی از پژوهشگران به ارتباط مستقیم بین افزایش آتش‌سوزی‌های جنگل و گرمایش جهانی اعتقاد دارند (جولی[9] و همکاران، ۲۰۱۵). بر

1 - Natural Resources and Watershed Organization of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad province
2 - Fattahi
3 - Eskandari
4 - Ali Mahmoudi Sarab
5 - Martinez
6 - Adab
7 - Khanmohammadi
8 - Jalilvand
9 - Jolly

اساس گزارش‌های هیئت بین دولتی تغییر اقلیم[1]، میانگین جهانی دما تحت سناریوهای مختلف و بسته به منطقه جغرافیایی در اواسط قرن بیست‌ویکم (۲۰۶۵-۲۰۴۶) در محتمل‌ترین شرایط، تحت سناریوهای مختلف بین ۰,۴ تا ۲,۶ درجه سلسیوس و در اواخر قرن بیست‌ویکم (۲۱۰۰-۲۰۸۱) بین ۰,۳ تا ۴,۸ درجه سلسیوس نسبت به میانگین دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) افزایش خواهد یافت (قهرمان[2] و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به نوسانات قابل‌توجه اقلیمی طی دهه‌های اخیر، اگر پیش‌بینی‌های بلندمدت در خصوص تغییر اقلیم در آینده به واقعیت تبدیل شود، پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های ناشی از آن در عرصه‌های منابع طبیعی امکان‌پذیر خواهد بود که این امر می‌تواند اثرات مخرب این تغییرات اقلیمی را تاحدی تعدیل کند و در صورت آگاهی از میزان احتمـال خطر وقوع آتش‌سوزی در طول زمان و مکان، می‌توان برای مقابله مناسب بـا آتش و درنتیجـه کاهش میزان خسارت‌های ناشی از آن برنامه‌ریزی نمود (اسکندری و همکاران، ۱۴۰۲).

با توجه به نقش تغییرات اقلیمی در روند فزاینده آتش‌سوزی‌ها در اکوسیستم‌های طبیعی جهان و ایران، تاکنون مطالعات مختلفی در این خصوص در مناطق مختلف انجام شده است. اسکندری و چوویکو[3] (۲۰۱۵) خطر آتش‌سوزی در پوشش‌های گیاهی ایران (جنگل‌ها و مراتع) را در سطح ملی ارزیابی کردند. بدین‌منظور، ارزیابی خطر در دو بخش احتمال خطر وقوع (با استفاده از رگرسیون لجستیک[4]) و احتمال گسترش آتش‌سوزی (با استفاده از برنامه Flammap) در قالب نقشه‌های مکانی خطر وقوع و خطر گسترش آتش‌سوزی انجام شد. برای ارزیابی مدل‌ها از محصول آتش سنجنده MODIS در یک دوره ۱۲ ساله (۲۰۱۳-۲۰۱۲) و مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته استفاده شد. نتایج نشان داد که روش رگرسیون لجستیک ۷۲/۷ درصد از احتمال وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع ایران را به‌درستی پیش‌بینی کرده است. همچنین بر اساس مدل Flammap، مناطق با احتمال زیاد گسترش آتش‌سوزی با مناطق آتش‌سوزی گذشته، با ضریب تعیین ۰/۶۸ در سطح اطمینان ۹۹ درصد هم‌خوانی داشتند. پتیناری[5] و چوویکو (۲۰۱۷) رفتار آتش را با استفاده از اطلاعات اقلیمی و سوخت در سطح جهانی مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که آتش‌سوزی‌های شدید در درختچه‌زارها و علفزارها، به‌طور عمده در بیوم‌های گرمسیری خشک با درجه حرارت زیاد اتفاق افتاده است. هانگ[6] و همکاران (۲۰۱۷) مدل‌های مختلف ارزیابی خطر آتش‌سوزی را برای پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی در چین با استفاده از متغیرهای مختلف مقایسه کردند. نتایج نشان داد که از بین متغیرهای اقلیمی، افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی سالانه بیشترین تأثیر را در وقوع آتش‌سوزی در چین داشتند. سادات رضوی[7] و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از مدل‌سازی شبکه عصبی، ارتباط بین تغییرات دما و میزان تغییرات در تعداد آتش‌سوزی‌های جنگلی در جنگل‌های ایالات‌متحده آمریکا از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۵ (به جز آتش‌سوزی‌های جنگل‌های حاره‌ای) را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که افزایش دما رابطه مستقیمی با آتش‌سوزی‌های طبیعی در جنگل‌ها دارد

1 - IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
2 - Ghahraman
3 - Chuvieco
4 - Logistic regression
5 - Pettinari
6 - Hong
7 - Sadat Razavi

و با استفاده از پارامترهای اقلیمی، امکان مدل‌سازی و تعیین این رابطه و در نتیجه پیش‌بینی تغییرات آتش‌سوزی‌های جنگل متأثر از گرمایش جهانی وجود دارد.

با وجود تحقیقات مختلف انجام‌شده در مورد رابطه بین متغیرهای اقلیمی و آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی در جهان، تحقیقات انجام‌شده در این خصوص در ایران بسیار محدودتر بوده است. ضمن اینکه بیشتر تحقیقات انجام‌شده در ایران برای مناطق جنگلی شمال کشور بوده (خان‌محمدی[1] و همکاران ۱۳۹۵؛ رحیمی[2] و خادمی[3]، ۱۳۹۷؛ اسکندری و همکاران، ۱۴۰۲) و درخصوص آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس، تحقیقات اندکی انجام شده است که در ادامه به آنها اشاره می‌شود. عالی‌محمودی سراب[4] و همکاران (۱۳۹۱) وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع شهرستان ایذه را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که الگوریتم پرسپترون چندلایه و تابع هایپربولیک در ایجاد ارتباط بین داده‌های وقوع آتش‌سوزی و داده‌های آب و هوایی کارایی زیادی داشتند و شبکه با دو لایه مخفی و ۱۵ نرون بیشترین صحت را نشان داد. درنهایت توانایی شبکه در پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی با ضریب تعیین ۰/۹۲، مطلوب بود. بیگی حیدرلو[5] و همکاران (۱۳۹۳) نقشه خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های سردشت را با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و نسبت فراوانی تهیه کردند. نتایج نشان داد که 98.44 درصد از مناطق سوخته در محدوده‌های پرخطر و بسیار پرخطر قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده صحت روش‌های یادشده در ارزیابی خطر آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه بوده است. پولات[6] و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های ایلام را با روش شبکه عصبی و عوامل اقتصادی - اجتماعی، اقلیمی، توپوگرافی و پوشش گیاهی مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که نقشه حاصله با مقادیر صحت کلی بالا، دقت مطلوبی در پیش‌بینی مکانی خطر آتش‌سوزی در استان ایلام دارد. دشتی[7] و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی دیگر، مناطق مستعد آتش‌سوزی در جنگل‌های سردشت در استان آذربایجان غربی در ناحیه رویشی زاگرس شمالی را مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس نتایج پژوهش یادشده، ۱۵,۵ درصد منطقه از نظر خطر آتش‌سوزی، بی‌خطر، ۳۱,۹ درصد از منطقه کم‌خطر، ۳۹,۹ درصد از منطقه به‌عنوان خطر متوسط و ۱۲,۷ درصد از منطقه پرخطر تشخیص داده شد. از بین عوامل مورد مطالعه در پژوهش یادشده، بعد از تراکم پوشش گیاهی با اهمیت ۵۷ درصد، عوامل اقلیمی و توپوگرافی با اهمیت ۴۳ درصد، بیشترین تأثیر را بر آتش‌سوزی‌های منطقه مورد مطالعه داشتند. آزاده[8] و همکاران (۱۴۰۱) کارایی مدل‌های مختلف در پهنه‌بندی پتانسیل خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های استان کهگیلویه و بویراحمد را بررسی کردند و از اطلاعات ۱۱ معیار مؤثر در وقوع آتش‌سوزی استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش تصمیم‌گیری چندمعیاره با درنظر گرفتن تعداد پارامترهای بیشتر، دقت بیشتری نسبت به روش‌های دیگر داشته است.

در ناحیه رویشی زاگرس، استان کهگیلویه و بویراحمد یکی از مهم‌ترین استان‌هایی است که آتش‌سوزی یکی از اصلی‌ترین عوامل تهدیدکننده جنگل‌ها و مراتع آن بوده است (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و

1 - Khanmohammadi
2 - Rahimi
3 - Khademi
4 - Ali Mahmoudi Sarab
5 - Beygi Heidarlou
6 - Polat
7 - Dashti
8 - Azadeh

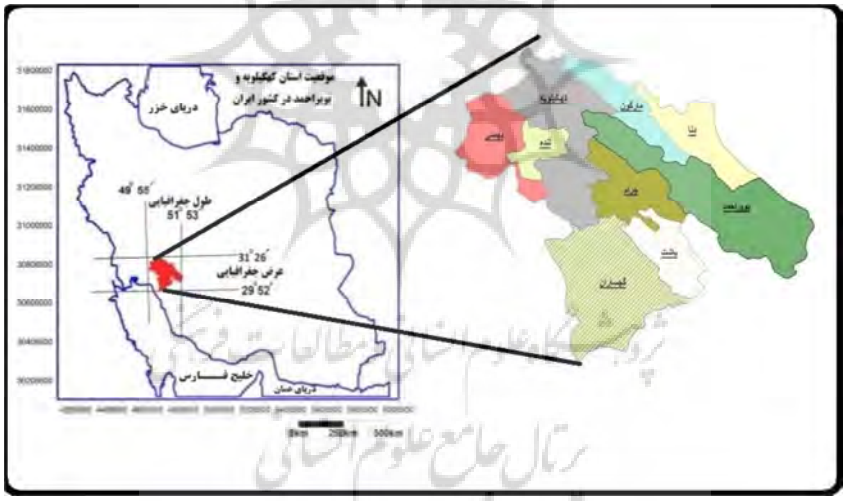
بویراحمد، ۱۳۹۹). به‌طوری‌که طی سال‌های اخیر، جنگل‌ها و مراتع این استان در معرض آتش‌سوزی‌های مهیب قرار گرفته‌اند و بخش وسیعی از آنها سوخته است. بر اساس آمار و اطلاعات اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد، در طی دهه منتهی به سال ۱۴۰۰، بیش از ۷۰۰ فقره آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع این استان رخ داده که بر اثر این آتش‌سوزی‌ها، حدود ۹۰۰۰ هکتار از جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد از بین رفته است. ازآنجایی‌که پارامترهای اقلیمی مانند درجه حرارت، میزان بارندگی، رطوبت نسبی و سرعت وزش باد نقش مؤثری در وقوع و گسترش آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع ایران داشته‌اند (خان‌محمدی و همکاران ۱۳۹۵؛ اسکندری و جلیلوند، ۱۳۹۶؛ رحیمی و خادمی، ۱۳۹۷؛ اسکندری و همکاران، ۱۴۰۲)؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد که بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی و بررسی روابط بین این پارامترهای اقلیمی و آتش‌سوزی‌های رخداده در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد، نقش مهمی در پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع این استان ازنظر پارامترهای اقلیمی دارد. نظر به نقش احتمالی پارامترهای اقلیمی در افزایش رخداد آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد در دهه‌های اخیر، بررسی رابطه زمانی و مکانی دقیق این عوامل با آتش‌سوزی‌های جنگلی رخ‌داده در این استان ضروری است؛ زیرا با تحلیل این روابط، امکان پیش‌بینی مکانی خطر وقوع آتش‌سوزی ازنظر پارامترهای اقلیمی در جنگل‌ها و مراتع استان تا حد زیادی وجود خواهد داشت. به‌نظر می‌رسد بعد از بررسی این روابط و ارزیابی خطر وقوع آتش‌سوزی با استفاده از پارامترهای اقلیمی، پیش‌بینی خطر وقوع آتش‌سوزی‌های آینده (با استفاده از نقشه خطر آتش‌سوزی حاصل از عوامل اقلیمی) در گستره جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد میسر باشد. به همین منظور در پژوهش پیش رو، ابتدا به شناسایی پارامترهای اقلیمی موثر در وقوع آتش‌سوزی‌های جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد در دهه‌های اخیر پرداخته می‌شود. به‌علاوه، رابطه بین پارامترهای اقلیمی و تعداد و وسعت آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان در طول زمان (در دهه‌های گذشته) بررسی می‌شود. بدین منظور از ضرایب همبستگی و روابط رگرسیونی استفاده می‌شود. همچنین رابطه مکانی بین پارامترهای اقلیمی و موقعیت مکانی وقوع آتش‌سوزی‌ها در گستره جنگل‌ها و مراتع استان بررسی می‌شود. بر همین اساس، نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی از نظر پارامترهای اقلیمی در استان با استفاده از روش رگرسیون لجستیک تهیه می‌شود. براساس نقشه یادشده، پیش‌بینی مکانی وقوع آتش‌سوزی‌های آینده در جنگل‌ها و مراتع استان از نظر پارامترهای اقلیمی میسر خواهد بود. نتایج این پژوهش در کاهش رخداد آتش‌سوزی در مناطق پرخطر آتش‌سوزی استان کهگیلویه و بویراحمد بسیار کاربردی بوده و مدیریت، نظارت و کنترل آتش‌سوزی در مناطق پرخطر جنگل‌ها و مراتع این استان را تسهیل خواهد کرد.

داده‌ها و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

استان کهگیلویه و بویراحمد با مساحتی حدود ۱۵۵۰۴۰۰ هکتار، استانی نسبتاً مرتفع و کوهستانی در دامنه سلسله جبال زاگرس در جنوب غربی ایران است (شکل ۱). این استان از شرق با استان اصفهان و فارس، از جنوب با استان بوشهر، از غرب با استان خوزستان و از شمال با استان چهارمحال و بختیاری هم‌جوار است. این استان شامل دو بخش

سردسیری و گرمسیری است. بخش گرمسیری منطقه‌ای پست با ارتفاع حداقل ۹۰۰ متر از سطح دریا و بخش سردسیری منطقه‌ای مرتفع با ارتفاع حدود ۲۱۰۰ متر از سطح دریا است. میانگین میزان بارش سالانه در استان کهگیلویه و بویراحمد بر اساس آمار مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی معادل ۶۱۸٫۳ میلی‌متر می‌باشد. این استان، طبق آخرین تقسیمات کشوری، به ۹ شهرستان و ۱۶ بخش تقسیم شده است. استان کهگیلویه و بویراحمد دارای ۱۴۲۶۳۰۰ هکتار منابع ملی بوده که از این سطح ۸۷۳۶۰۰ هکتار (۵۳٪ از مساحت استان) را جنگل و ۵۵۲۷۰۰ هکتار (۳۴٪ از مساحت استان) را مرتع تشکیل می‌دهد. جنگل‌های استان کهگیلویه و بویراحمد شامل گونه‌های بلوط، بنه، کیکم، بادام، زبان‌گنجشک، زالزالک، گلابی وحشی و غیره می‌باشد (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد، ۱۳۹۹). گونه‌های مرتعی نیز متنوع و بسیار غنی می‌باشند. بنابراین منابع طبیعی غنی استان، پوشش گیاهی مناسبی از نظر تنوع گونه‌های جنگلی و مرتعی ایجاد کرده است (شکل ۲) که به همراه وجود شرایط اقلیمی گرمسیری، شرایط مناسبی را برای وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان فراهم کرده است. به همین دلیل طی سال‌های اخیر بخش وسیعی از جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد در اثر آتش‌سوزی از بین رفته‌اند که بر اثر آنها خسارت‌های جبران‌ناپذیری به عرصه‌های منابع طبیعی استان وارد شده است (شکل ۳).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (استان کهگیلویه و بویراحمد) در ایران (منبع: اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد)

شکل ۲: چشم‌اندازی از جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد (منبع: نویسندگان مقاله)

شکل ۳: مناطق آتش‌سوزی‌های اخیر در استان کهگیلویه و بویراحمد (منطقه ده برآفتاب) و خسارت‌های وارده به جنگل‌ها و مراتع (منبع: نویسندگان مقاله)

داده‌ها

برای انجام این پژوهش، داده‌های متغیرهای آتش‌سوزی و داده‌های متغیرهای اقلیمی طی دوره ۱۶ ساله (۱۳۸۵ تا ۱۴۰۰) مورد نیاز بود. متغیرهای اقلیمی شامل میانگین درجه حرارت فصلی (برحسب درجه سلسیوس)، میانگین حداکثر درجه حرارت فصلی (برحسب درجه سلسیوس)، مجموع بارندگی فصلی (برحسب میلیمتر)، میانگین رطوبت نسبی فصلی (برحسب درصد)، میانگین حداقل رطوبت نسبی فصلی (برحسب درصد)، میانگین سرعت باد فصلی (برحسب متر بر ثانیه)، میانگین حداکثر سرعت باد فصلی (برحسب متر برثانیه) و مجموع ساعات آفتابی (برحسب

ساعت) مربوط به ماه‌هایی از سال که آتش‌سوزی اتفاق می‌افتد (اردیبهشت تا آبان)، در دوره زمانی ۱۶ ساله (۱۳۸۵ تا ۱۴۰۰) بودند. داده‌های این متغیرها از ایستگاه‌های هواشناسی داخل و اطراف استان کهگیلویه و بویراحمد و از سازمان هواشناسی ایران تهیه شدند (شکل ۴).

داده‌های آتش‌سوزی نیز شامل تعداد و وسعت آتش‌سوزی‌های به وقوع‌پیوسته طی ۱۶ سال اخیر (۱۳۸۵ تا ۱۴۰۰) در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد بودند که از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری این استان دریافت شدند. به‌علاوه، برای بررسی رابطه مکانی بین وقوع آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی، موقعیت مکانی آتش‌سوزی‌ها نیز لازم بود. موقعیت مکانی حریق‌ها (مختصات جغرافیایی) در عرصه‌های منابع طبیعی استان، شامل مناطقی که آتش‌سوزی طی سال‌های اخیر در آنها اتفاق افتاده است، از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد دریافت شد. گفتنی است که به‌دلیل عدم ثبت موقعیت مکانی برخی مناطق آتش‌سوزی، داده‌های آتش‌سوزی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان با داده‌های آتش‌سوزی سنجنده مادیس[1] کامل شد.

روش پژوهش

این پژوهش به‌منظور بررسی نقش تغییرات پارامترهای اقلیمی بر وقوع آتش‌سوزی‌های عرصه‌های منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد انجام شد. بدین منظور، رابطه زمانی و مکانی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی در یک دوره ۱۶ ساله (۱۴۰۰-۱۳۸۵) بررسی شد. روش کامل این پژوهش برای تحلیل رابطه زمانی و مکانی بین متغیرهای اقلیمی و آتش‌سوزی، در ادامه آورده شده است.

بررسی رابطه زمانی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی در عرصه‌های منابع طبیعی استان طی دوره ۱۶ ساله

بخش اول این پژوهش، شامل بررسی رابطه زمانی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی در عرصه‌های منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد (جنگل‌ها و مراتع) طی دوره ۱۶ ساله بود که طی مراحل زیر انجام شد.

تهیه نقشه رقومی موقعیت جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد

ابتدا نقشه رقومی کاربری اراضی استان کهگیلویه و بویراحمد از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان تهیه شد. سپس تحلیل‌های لازم و تفکیک جنگل‌ها و مراتع روی این نقشه انجام شد.

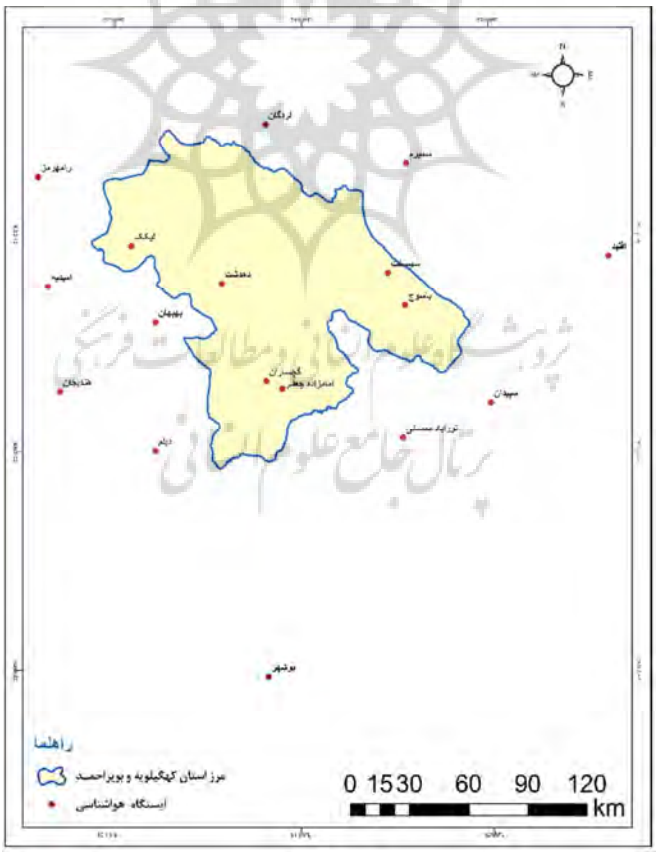
تهیه داده‌های بلندمدت (۱۶ ساله) متغیرهای اقلیمی (هشت متغیر) در استان کهگیلویه و بویراحمد

داده‌های بلندمدت (۱۶ ساله) متغیرهای اقلیمی (هشت متغیر) از ایستگاه‌های هواشناسی داخل (۶ ایستگاه) و اطراف استان (۱۱ ایستگاه) تهیه شد. لازم به یادآوری است که متغیرهای اقلیمی به‌صورت فصلی بودند. منظور از فصلی، آمار متغیرهای اقلیمی از ابتدای اردیبهشت تا آخر آبان (می تا نوامبر) در هر سال است. ازآنجایی‌که بیشتر آتش‌سوزی‌ها در این ماه‌ها رخ می‌دهند و در واقع این ماه‌ها فصل آتش‌سوزی محسوب می‌شوند (اسکندری و همکاران، ۱۴۰۲)،

[1] - MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

سعی بر آن بود که دوره زمانی داده‌های متغیرهای اقلیمی هم متناسب با این دوره (فصل) از سال باشد. سال‌های مورد مطالعه برای دریافت متغیرهای اقلیمی نیز ۱۶ سال بودند.

برای محاسبات این مرحله، ابتدا داده‌های متغیرهای اقلیمی برای شش ایستگاه هواشناسی داخل استان (یاسوج، گچساران، دهدشت، سیسخت، لیکک و امامزاده جعفر) از اداره کل هواشناسی استان کهگیلویه و بویراحمد جمع‌آوری شدند. همچنین از ایستگاه‌های هواشناسی اطراف استان برای در دست داشتن داده‌های اقلیمی در گستره مکانی وسیع‌تر استفاده شد (شکل ۴). لازم به یادآوری است که در این خصوص، از آمار ایستگاه‌هایی که دارای داده بلندمدت (۱۶ ساله) برای متغیرهای اقلیمی بودند، استفاده شد. سپس تحلیل‌های اولیه، محاسبات آماری داده‌ها و میانگین‌گیری انجام شد. برای هر ایستگاه هواشناسی، میانگین متغیر اقلیمی مورد نظر (به‌عنوان مثال میانگین درجه حرارت فصلی) از ابتدای اردیبهشت تا پایان آبان هر سال، محاسبه شد و به‌عنوان متغیر اقلیمی فصلی آن سال درنظر گرفته شد. این امر برای همه ایستگاه‌های هواشناسی و برای همه سال‌ها انجام شد. این داده‌ها برای آنالیزهای تحلیل رابطه زمانی بین متغیرهای آتش‌سوزی و اقلیمی، وارد نرم‌افزار IBM SPSS Statistics ver. 22 شدند.



شکل ۴: موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در داخل و اطراف استان کهگیلویه و بویراحمد (منبع: اداره کل هواشناسی استان کهگیلویه و بویراحمد)

تهیه داده‌های بلندمدت تعداد و وسعت آتش‌سوزی (۱۶ ساله) در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان و داده‌های سنجنده مادیس (MODIS)

همان‌طور که قبلاً گفته شد، داده‌های متغیرهای آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان (تعداد آتش‌سوزی‌ها و وسعت آتش‌سوزی‌ها) طی ۱۶ سال اخیر، به تفکیک برای هر سال، از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد تهیه شد. بدین منظور برای تعداد آتش‌سوزی برای هر سال، تعداد کل آتش‌سوزی‌های رخداده در آن سال درنظر گرفته شد. برای وسعت آتش‌سوزی نیز مساحت کل آتش‌سوزی‌های رخداده در آن سال در نظر گرفته شد. سپس روند تعداد آتش‌سوزی و روند وسعت آتش‌سوزی طی سال‌های مورد مطالعه (۱۶ سال) در قالب نمودارهایی ترسیم شد. همچنین این داده‌ها برای آنالیزهای تحلیل رابطه زمانی بین متغیرهای آتش‌سوزی و اقلیمی، وارد نرم‌افزار IBM SPSS Statistics ver. 22 شدند.

بررسی همبستگی و رابطه بین تعداد و وسعت آتش‌سوزی‌ها و متغیرهای اقلیمی استان طی ۱۶ سال

همبستگی بین تعداد آتش‌سوزی‌ها و متغیرهای اقلیمی (هشت متغیر) طی دوره زمانی ۱۶ ساله با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون[1] در نرم‌افزار IBM SPSS Statistics ver. 22 بررسی شد. با توجه به مقیاس نسبتی و فاصله‌ای داده‌ها، از این ضریب همبستگی استفاده شده است (بی‌همتا[2] و زارع چاهوکی[3]، ۱۳۹۴). همبستگی بین وسعت آتش‌سوزی‌ها و متغیرهای اقلیمی (هشت متغیر) نیز طی دوره زمانی ۱۶ ساله با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون در همین نرم‌افزار بررسی شد.

بررسی رابطه مکانی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی در عرصه‌های منابع طبیعی استان طی دوره ۱۶ ساله

بخش دوم این پژوهش به‌منظور بررسی رابطه مکانی بین وقوع آتش‌سوزی‌ها و متغیرهای اقلیمی در عرصه‌های منابع طبیعی استان (جنگل‌ها و مراتع) طی دوره ۱۶ ساله انجام شد که طی مراحل زیر انجام شد.

تهیه نقشه‌های متغیرهای اقلیمی برای استان با استفاده از داده‌های ۱۶ سال اخیر

نقشه‌های هشت متغیر اقلیمی برای استان کهگیلویه و بویراحمد با داده‌های بلندمدت ۱۶ سال اخیر، از ایستگاه‌های هواشناسی داخل و اطراف استان، با استفاده از روش درون‌یابی وزن‌دهی فاصله معکوس[4] در اندازه پیکسل ۱۰×۱۰ متر در نرم‌افزار ArcMap 10.8 تهیه شدند. اسمیت[5] و همکاران این روش را برای مناطقی که تعداد داده‌های معلوم زیاد نباشد، روش مناسبی برای درون‌یابی عنوان کرده‌اند. ازآنجایی‌که در این پژوهش، تعداد ایستگاه‌های هواشناسی که دارای داده‌های معلوم بودند، محدود بود (۱۶ ایستگاه)، از این روش درون‌یابی استفاده شد. در نهایت، نقشه‌های

1 - Pearson correlation coefficient
2 - Bihamta
3 - Zare Chahooki
4 - IDW: Inverse Distance Weighted
5 - Smith

تهیه‌شده در این پژوهش، برای مدل‌سازی مکانی احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی براساس متغیرهای اقلیمی مورد استفاده قرار گرفتند.

تهیه نقشه موقعیت مکانی وقوع آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌ها و مراتع استان طی دوره ۱۶ ساله

نقشه موقعیت مکانی آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌ها و مراتع استان طی ۱۶ سال اخیر در GIS تهیه شد. بدین منظور از داده‌های موقعیت آتش‌سوزی‌های به وقوع‌پیوسته در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد که از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان تهیه شده بود و نیز از داده‌های سنجنده مادیس استفاده شد. این نقشه برای مدل‌سازی مکانی احتمال خطر آتش‌سوزی براساس متغیرهای اقلیمی مورد نیاز بود.

بررسی اهمیت (وزن) متغیرهای اقلیمی در وقوع آتش‌سوزی و مدل‌سازی مکانی خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل-ها و مراتع استان با روش رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک که با نام رگرسیون اسمی نیز نامیده می‌شود، یک روش آماری برای طبقه‌بندی پدیده‌ها بر پایهٔ مقادیر فیلدهای ورودی است. این روش مشابه رگرسیون خطی است؛ اما به جای یک متغیر هدف عددی، یک متغیر کیفی (مانند متغیر اسمی) را درنظر می‌گیرد. این روش می‌تواند هم با مدل‌های دوجمله‌ای (برای هدف‌هایی که دارای دو دسته جدا از هم باشند) و هم با مدل‌های چند جمله‌ای (برای هدف‌هایی که دارای بیش از دو دسته باشند) به‌کار برده شود (پاک‌گهر[1]، ۱۳۹۵).

روش رگرسیون لجستیک با ساختن یک مجموعه از معادله‌ها کار می‌کند که مقادیر متغیرِ ورودی را به احتمالات مربوط به هریک از دسته‌های ممکن (فاکتورهای تأثیرگذار) برای آن متغیر (فیلد خروجی) مرتبط می‌سازد. هنگامی که مدل ایجاد شد، می‌توان آن را برای تخمین زدن احتمالات برای داده‌های جدید به‌کار برد. برای هر ثبت، یک احتمال عضویت برای هر یک از دسته‌های ممکن خروجی محاسبه می‌شود. آن دسته هدف که دارای بیشترین میزان احتمال باشد، به‌عنوان مقدار پیش‌بینی‌شده خروجی برای آن ثبت درنظر گرفته خواهد شد. مدل‌های رگرسیون لجستیک معمولاً بسیار دقیق هستند. این مدل‌ها می‌توانند با متغیرهای ورودی نمادی یا عددی کار کنند و احتمالات پیش‌بینی‌شده را برای تمام دسته‌های متغیر هدف به‌دست آورند. مدل‌های رگرسیون لجستیک هنگامی بیشترین تأثیر را دارند که یک متغیر دسته‌ای وجود داشته باشد که عضویت در گروه را نشان دهد (پاک‌گهر، ۱۳۹۵). به‌عنوان مثال در این پژوهش، متغیر آتش‌سوزی یک متغیر دسته‌ای است که می‌تواند وجود داشته باشد (وقوع آتش‌سوزی) یا وجود نداشته باشد (عدم وقوع آتش‌سوزی). مدل رگرسیون لجستیک برای احتمال وقوع آتش‌سوزی جنگل از طریق رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$\text{Pfire}\,(0,1) = \left(\frac{1}{(1+e^{-\beta}}\right) \qquad (۱)$$

$$ß = a0 + a1x1 + a2x2 + a3x3 + \ldots$$

1 - Pakgohar

که در آن متغیرها به شرح زیر می‌باشند:

$P_{fire=}$ احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی

x= متغیرهای مستقل

a= ضریب متغیرهای مستقل

a0= ضریب ثابت

e = ۲/۷۱ عدد نپر معادل

ازآنجایی‌که مدل رگرسیون لجستیک به‌صورت یک توزیع باینری (دوگانه) می‌باشد، در این پژوهش به‌صورت مناطق دارای آتش‌سوزی (۱) و فاقد آتش‌سوزی (۰) اعمال شد (اسکندری و چوویکو، ۲۰۱۵). بدین منظور، تعدادی نقاط به‌عنوان مناطق غیر آتش‌سوزی در محدوده عرصه‌های طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد ایجاد شد. تعداد این نقاط دقیقاً برابر تعداد نقاط آتش‌سوزی استان بود و این نقاط هم در عرصه‌های قابل‌سوختن طبیعی (جنگل‌ها و مراتع) به‌صورت کاملاً تصادفی ایجاد شدند (اسکندری و چوویکو، ۲۰۱۵؛ کوت‌سیاس[1] و کارتریس[2]، ۱۹۹۸؛ چو[3]، ۱۹۹۲). درنهایت ۷۰ درصد نقاط آتش - غیر آتش برای فرایند مدل‌سازی به‌کار گرفته شدند و ۳۰ درصد باقیمانده نقاط آتش-غیر آتش برای فرایند اعتبارسنجی مدل استفاده شدند (اسکندری و چوویکو، ۲۰۱۵؛ اسکندری و همکاران، ۱۴۰۲؛ مارتینز و همکاران، ۲۰۰۹؛ پورتقی[4] و همکاران، ۲۰۱۶).

تهیه نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان با روش رگرسیون لجستیک

در این پژوهش، با استفاده از روش رگرسیون لجستیک، نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد به‌دست آمد. بدین‌منظور ضرایب به‌دست‌آمده برای متغیرهای اقلیمی مختلف (حاصل از مدل رگرسیون لجستیک) به‌عنوان وزن آنها در ترکیب وزنی متغیرها در GIS در نظر گرفته شدند و براساس روش رگرسیون لجستیک، نقشه ترکیبی احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی براساس همه متغیرهای اقلیمی به‌دست آمد.

اعتبارسنجی مدل و نقشه پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان

به‌منظور ارزیابی کارایی روش رگرسیون لجستیک و نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی حاصل از آن در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد، از ۳۰ درصد نقاط باقیمانده آتش - غیر آتش که در فرایند مدل‌سازی دخالت داده نشده بودند، استفاده شد. درنهایت کارایی روش رگرسیون لجستیک و نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد ارزیابی شد. بدین منظور از مشخصه منحنی (Receiver Operating Characteristic: ROC) و سطح زیر منحنی (Area under the Curve: AUC) استفاده شد. مشخصه سطح زیر منحنی (AUC) از مشخصه منحنی ROC به‌دست می‌آید (ماس[5] و همکاران، ۲۰۱۳). سطح زیر منحنی (AUC) کارایی مدل را در فرایند پیش‌بینی نشان می‌دهد. معمولاً مقدار AUC بین ۰٫۵ تا ۱ در تغییر است. مقدار AUC

1 - Koutsias
2 - Karteris
3 - Chou
4 - Pourtaghi
5- Mas

مساوی ۱، نشان‌دهنده دقت بسیار خوب و طبقه‌بندی مطلوب مدل در فرایند پیش‌بینی می‌باشد. این درحالی است که AUC بیشتر از ۰,۵ تا ۱ صحت متوسط تا مطلوب مدل را در فرایند پیش‌بینی نشان می‌دهد. درنهایت، مقدار AUC برابر ۰,۵ نیز نشان‌دهنده طبقه‌بندی نامطلوب مدل در فرایند پیش‌بینی است (گل‌کاریان[۱] و همکاران، ۲۰۱۸؛ نقیبی[۲] و پورقاسمی[۳]،۲۰۱۶؛ یسیل‌ناکار[۴] و همکاران، ۲۰۰۵؛ یوسف[۵] و همکاران، ۲۰۱۶).

به‌علاوه در این پژوهش، برای اعتبارسنجی نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی از ماتریس خطا و آماره صحت کلی (Overall accuracy: OA) استفاده شد. شاخص صحت کلی از رابطه ۲ به‌دست می‌آید:

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^{j} n_{ii}}{n} \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن، OA صحت کلی، n تعداد کل پیکسل‌های واقعیت زمینی، n_{ii} مجموع عناصر روی قطر اصلی (تعداد نقاط یا پیکسل‌های طبقه‌بندی‌شده صحیح) و j تعداد طبقات نقشه است (کانگالتون[۶] و گرین[۷]، ۲۰۰۸).

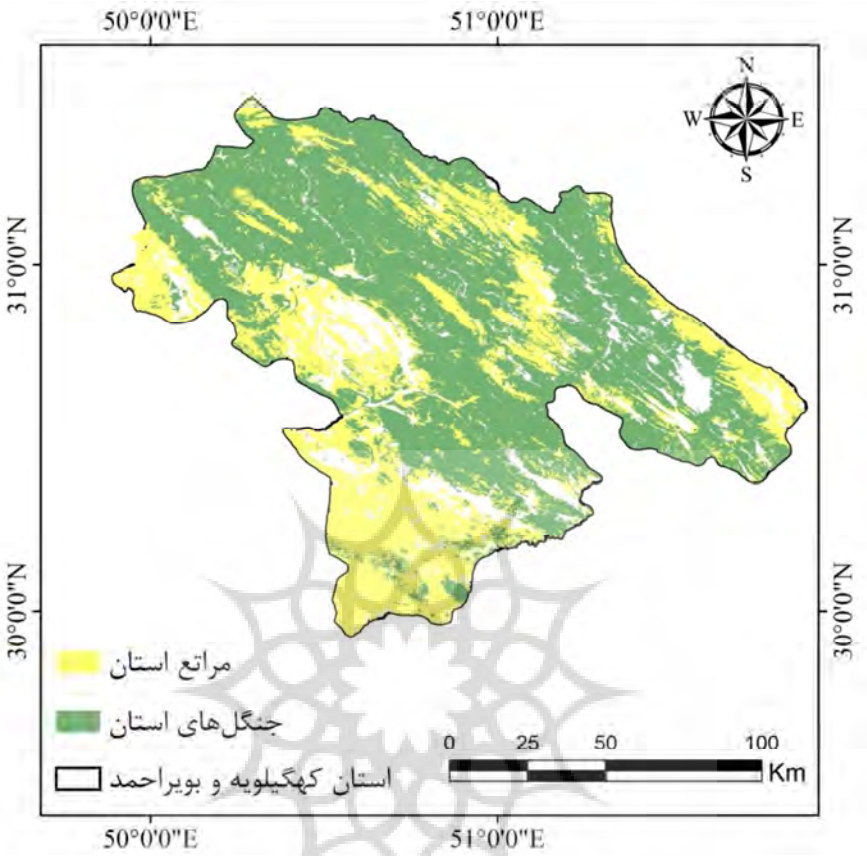
نتایج و بحث

نقشه جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد

نقشه جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد در شکل ۵ نشان داده شده است. براساس این نقشه، استان کهگیلویه و بویراحمد از نظر منابع طبیعی غنی است و بخش اعظم مساحت آن را جنگل‌ها و مراتع تشکیل می‌دهند (۸۷ درصد). ازآنجایی‌که نقشه مربوطه از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد تهیه شده است، این رقم (۸۷ درصد) اقتباس‌شده از همین اداره است. جنگل‌ها به‌طور عمده در شمال استان و مراتع در جنوب غربی استان قرار گرفته‌اند (شکل ۵).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1- Golkarian
2- Naghibi
3- Pourghasemi
4- Yesilnacar
5- Youssef
6 - Congalton
7 - Green

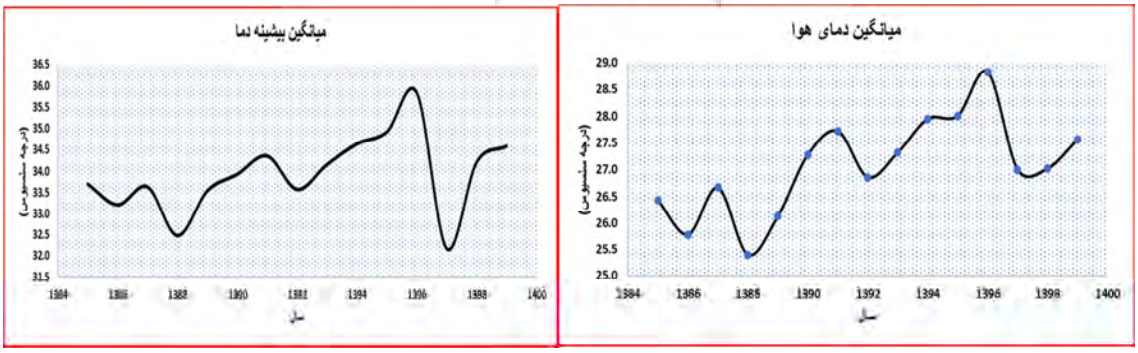


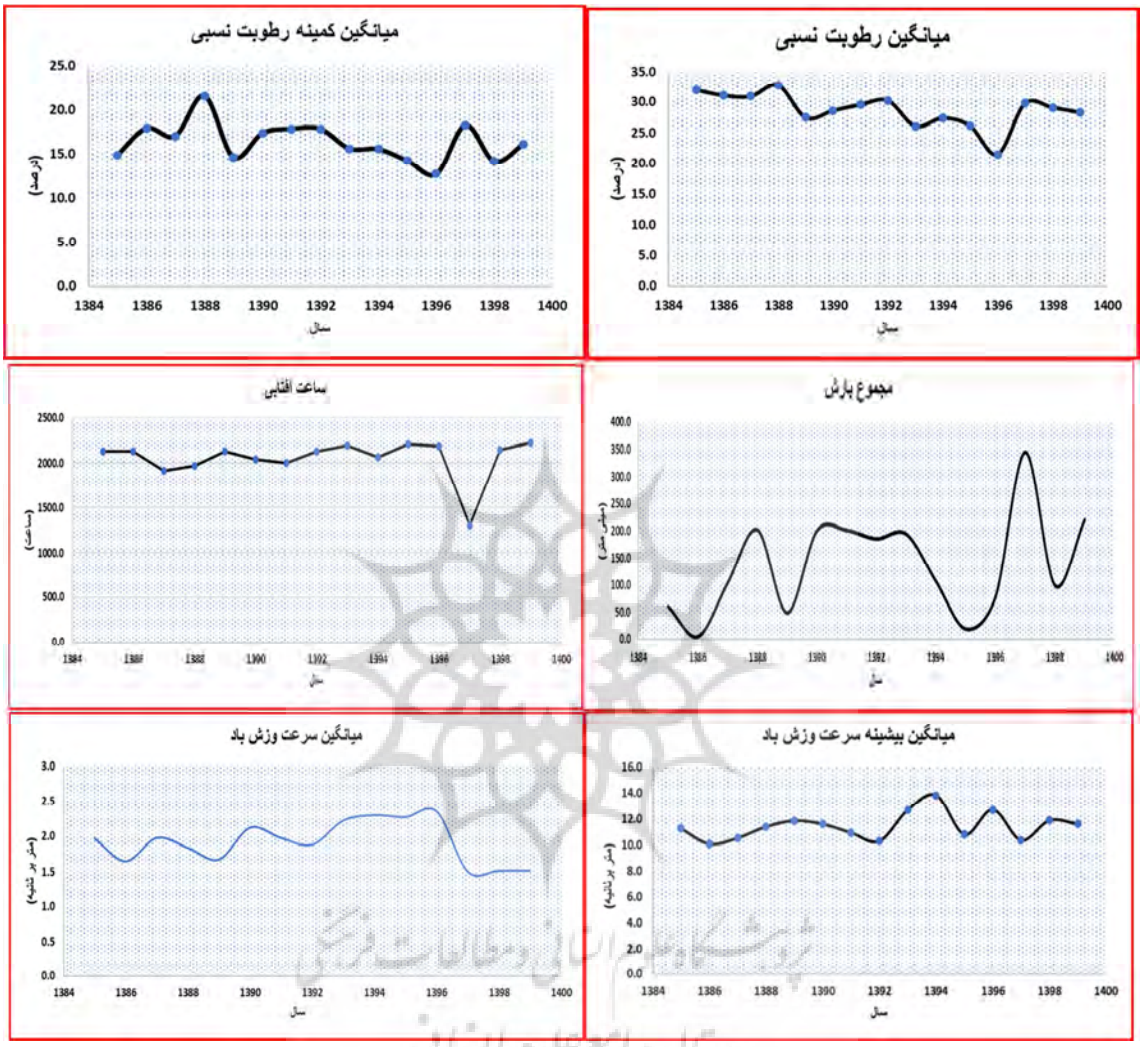
شکل ۵: موقعیت جنگل‌ها و مراتع در استان کهگیلویه و بویراحمد (منبع: اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد)

رابطه زمانی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی در عرصه‌های منابع طبیعی استان

نمودارهای روند متغیرهای اقلیمی

نمودارهای روند تغییرات متغیرهای اقلیمی طی ۱۶ سال اخیر، به‌تفکیک برای هر سال در شکل ۶ نشان داده شده است.

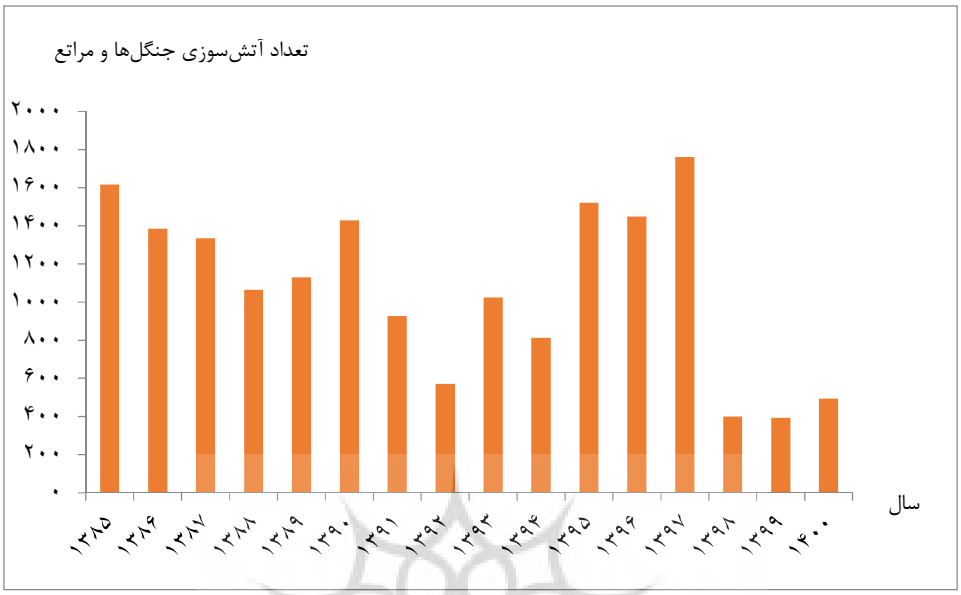




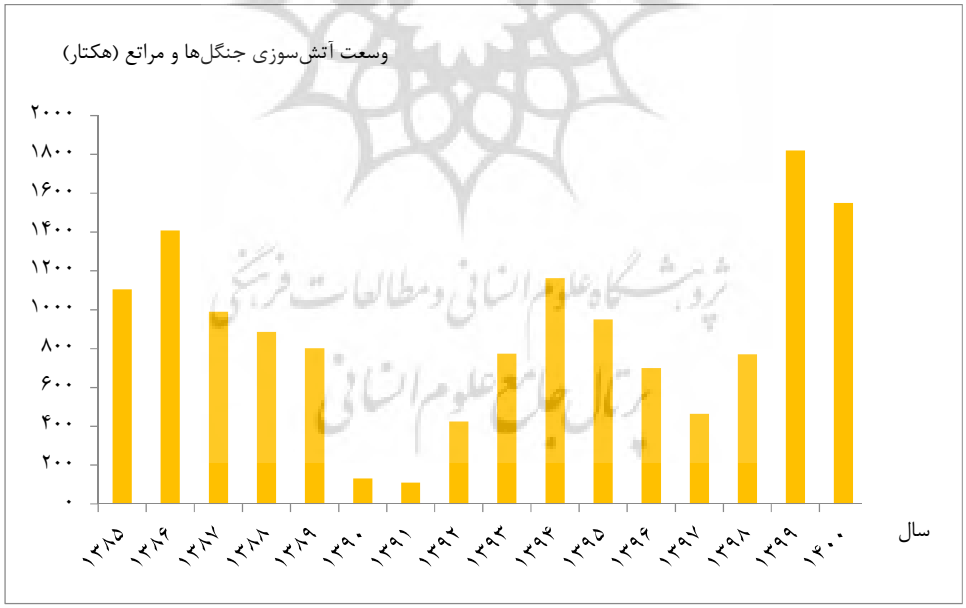
شکل ۶: نمودارهای روند تغییرات هشت متغیر اقلیمی طی ۱۶ سال اخیر (منبع: یافته‌های پژوهش)

روند تعداد و وسعت آتش‌سوزی

نمودارهای روند تعداد و وسعت آتش‌سوزی طی ۱۶ سال اخیر، به تفکیک برای هر سال در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. براساس نتایج (شکل‌های ۷ و ۸)، بیشترین تعداد آتش‌سوزی در سال ۱۳۹۷ و بیشترین وسعت آتش‌سوزی در سال ۱۳۹۹ به وقوع پیوسته است.



شکل ۷: روند تعداد آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌ها و مراتع استان طی ۱۶ سال اخیر (منبع: یافته‌های پژوهش)



شکل ۸: روند وسعت آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌ها و مراتع استان طی ۱۶ سال اخیر (منبع: یافته‌های پژوهش)

همبستگی بین متغیرهای اقلیمی و آتش‌سوزی

نتایج بررسی رابطه بین متغیرهای اقلیمی و آتش‌سوزی در طی زمان ۱۶ ساله اخیر در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داد که بین تعداد آتش‌سوزی و متغیر میانگین سرعت باد فصلی، همبستگی مثبت و

معنی‌داری وجود داشته است (جدول ۱). بنابراین این متغیر اقلیمی، مهم‌ترین متغیر اقلیمی اثرگذار در تعداد آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌ها و مراتع استان بوده است. در مورد نقش عامل باد در آتش‌سوزی، نتایج پژوهش رحیمی و خادمی (۱۳۹۷) در مورد نوسانات عناصر اقلیمی و آتش‌سوزی‌ها در شمال شرقی ایران نشان داده که افزایش سرعت باد در روزهای آتش‌سوزی، عامل اقلیمی مهمی در حریق بوده است و وزش باد عامل اثرگذاری در پیش‌بینی آتش‌سوزی می‌باشد. نقش سرعت باد در رژیم‌های آتش‌سوزی در مناطق طبیعی جهان در مطالعات دیگری نیز تأیید شده است (جولی و همکاران، ۲۰۱۵؛ تیماسترا[1] و همکاران، ۲۰۰۷) که با نتایج پژوهش پیش‌رو مطابقت دارد.

همچنین نتایج نشان داد که بین وسعت آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی، طی دوره زمانی مورد مطالعه، هیچ همبستگی معنی‌داری وجود نداشته است (جدول ۱). این موضوع نشان می‌دهد که وسعت آتش‌سوزی‌های استان متأثر از پارامترهای اقلیمی نبوده است.

جدول ۱: همبستگی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی در استان کهگیلویه و بویراحمد (منبع: یافته‌های پژوهش)

متغیر وابسته	متغیر مستقل	ضریب همبستگی پیرسون	معنی‌داری (Sig.)
تعداد آتش‌سوزی	میانگین درجه‌حرارت فصلی	۰,۱۴	۰,۵۸
	میانگین حداکثر درجه‌حرارت فصلی	۰,۲۱	۰,۴۲
	میانگین رطوبت نسبی فصلی	-۰,۱۶	۰,۵۳
	میانگین حداقل رطوبت نسبی فصلی	-۰,۲۰	۰,۴۵
	مجموع بارندگی فصلی	-۰,۰۱	۰,۹۶
	مجموع ساعات آفتابی فصلی	۰,۱۵	۰,۵۷
	میانگین سرعت باد فصلی	*۰,۵۰	*۰,۰۴
	میانگین حداکثر سرعت باد فصلی	۰,۰۴	۰,۸۶

*: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

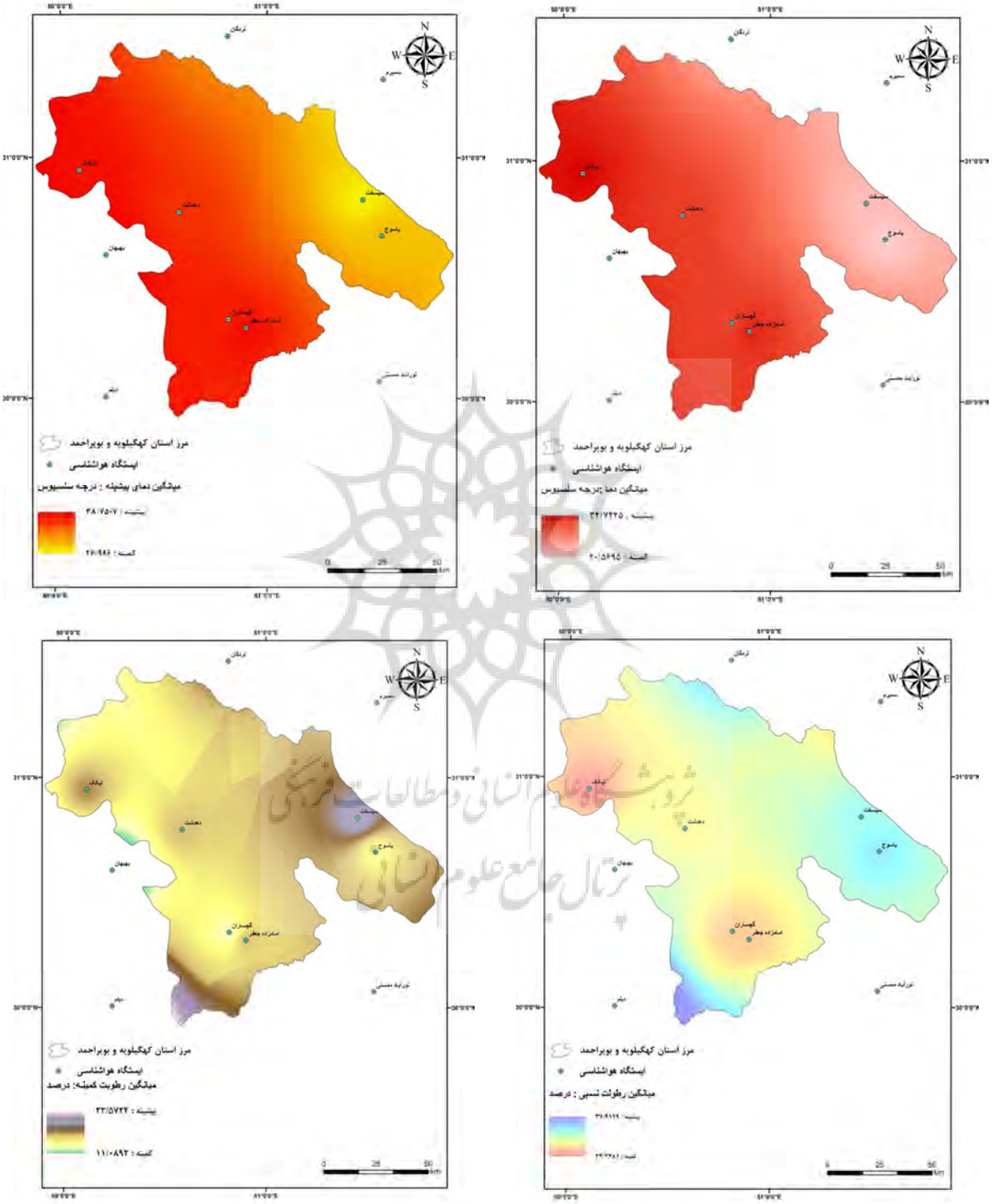
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

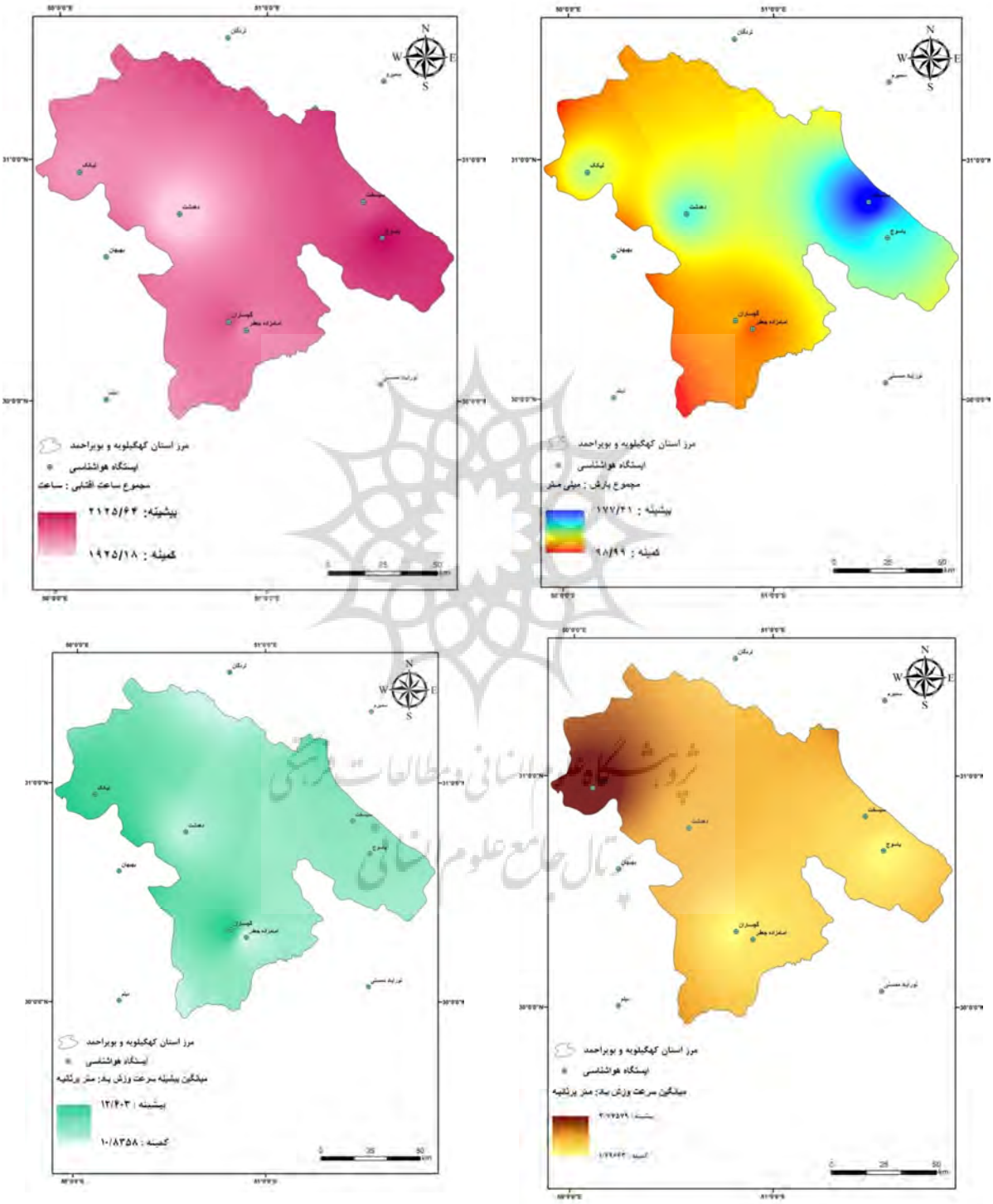
رابطه مکانی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی در عرصه‌های منابع طبیعی استان

نقشه‌های متغیرهای اقلیمی

نقشه‌های هشت متغیر اقلیمی مورد استفاده در این پژوهش، در شکل ۹ نشان داده شده است.

1 - Tymstra

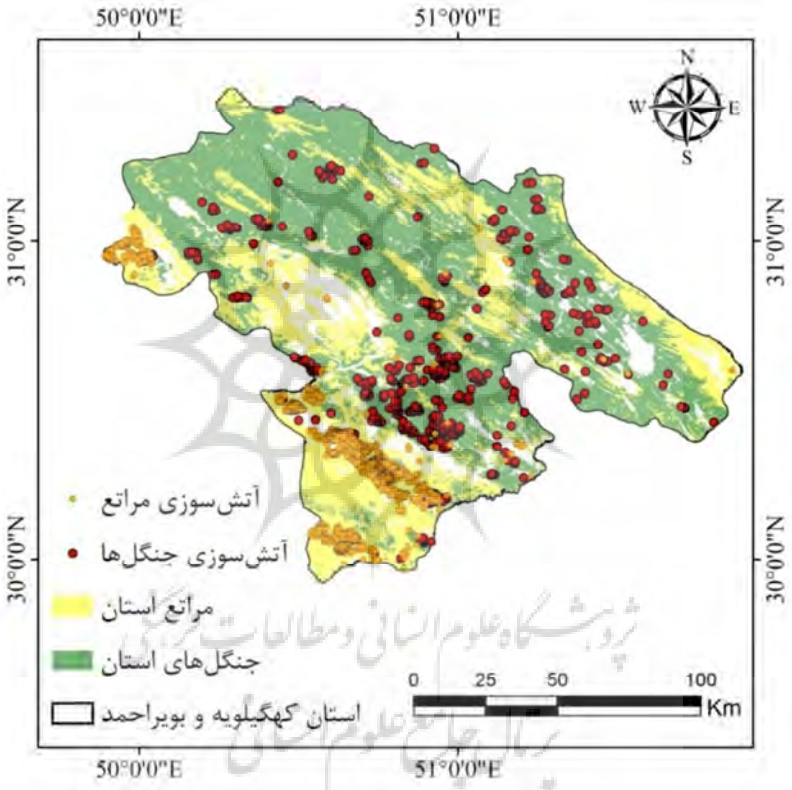

مرز استان کهگیلویه و بویراحمد
ایستگاه هواشناسی
میانگین دمای پیشینه : درجه سلسیوس
مرز استان کهگیلویه و بویراحمد
ایستگاه هواشناسی
میانگین دما :درجه سلسیوس
مرز استان کهگیلویه و بویراحمد
ایستگاه هواشناسی
میانگین رطوبت کمینه: درصد
مرز استان کهگیلویه و بویراحمد
ایستگاه هواشناسی
میانگین رطوبت نسبی : درصد



شکل ۹: نقشه‌های هشت متغیر اقلیمی در استان کهگیلویه و بویراحمد (منبع: یافته‌های پژوهش)

نقشه وقوع آتش‌سوزی

نقشه وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد طی ۱۶ سال اخیر، در شکل ۱۰ نشان داده شده است. بر این اساس، طی دوره زمانی مورد مطالعه، تعداد ۱۶۳۴۲ فقره آتش‌سوزی در محدوده جنگل‌ها و مراتع استان اتفاق افتاده است که ۶۵۶ فقره آتش‌سوزی در محدوده جنگل‌ها و ۱۵۴۱۶ فقره آتش‌سوزی در محدوده مراتع به وقوع پیوسته است (شکل ۱۰). بنابراین تعداد آتش‌سوزی‌های رخداده در مراتع به‌طور چشمگیری بیشتر از جنگل‌ها بوده است. علت این موضوع می‌تواند سهولت بیشتر برای اشتعال بوته‌های مرتعی کوتاه به‌ویژه در فصول خشک سال (فصل آتش‌سوزی) باشد.



شکل ۱۰: موقعیت مکانی آتش‌سوزی‌های رخداده در جنگل‌ها و مراتع استان طی ۱۶ سال اخیر (منبع: یافته‌های پژوهش)

اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی در وقوع آتش‌سوزی و مدل احتمال وقوع آتش‌سوزی براساس روش رگرسیون لجستیک

اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی در وقوع آتش‌سوزی براساس روش رگرسیون لجستیک در جدول ۲ نشان داده شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل رابطه مکانی بین متغیرهای اقلیمی و وقوع آتش‌سوزی با استفاده از روش رگرسیون لجستیک، ضرایب همه متغیرها در احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۲). همچنین میانگین درجه حرارت فصلی بیشترین تأثیر را وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان داشته است و مهم‌ترین متغیر در وقوع آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی استان بوده است. نتایج پژوهش

دیگری در استان مازندران نیز نشان داد که بین آتش‌سوزی‌های به‌وقوع‌پیوسته در جنگل‌های بهشهر و متوسط درجه حرارت سالانه رابطه معنی‌داری وجود داشته است (اسکندری و جلیلوند، ۱۳۹۶) که با نتایج این پژوهش تطابق دارد. نتایج پژوهش تورکو[1] و همکاران (۲۰۱۳) درخصوص اثرات تغییر اقلیم بر رژیم آتش‌سوزی‌های جنگلی در اسپانیا نیز نشان داد که آتش‌سوزی‌ها در فصل تابستان به‌طور معنی‌داری با درجه حرارت فصلی مرتبط بودند. در مطالعه دیگری نیز، از بین متغیرهای اقلیمی، افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی سالانه بیشترین تأثیر را در وقوع آتش‌سوزی در چین داشته‌اند (هانگ و همکاران، ۲۰۱۷) که با نتایج پژوهش پیش‌رو همخوانی دارد. به‌علاوه، نتایج مطالعه دیگری نشان داده که در اقلیم گرم‌تر، احتمال وقوع آتش‌سوزی بیشتر است (زامبرانن[2] و همکاران، ۲۰۱۱). بررسی طرح‌های مکانی وقوع آتش‌سوزی در جنوب کالیفرنیا نیز نشان داده که متغیر اقلیمی درجه حرارت، بیشترین تأثیر را در تغییرات وقوع آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه داشته است (سایفارد[3] و همکاران، ۲۰۰۸). عامل درجه حرارت بر روی جریان‌های هوایی نیز اثرگذار است، به‌طوری‌که جریان‌های هوا، زمانی‌که درجه‌حرارت محیط بالا باشد، تبدیل به بادهای گرم می‌شوند که در فصول خشک سال، تأثیر مهمی بر وقوع و گسترش آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی دارند. با توجه به موارد یادشده، نیاز به اقدامات پیشگیرانه و مدیریت حفاظتی در برابر آتش‌سوزی به‌ویژه در فصول گرم آتش‌سوزی، بیش از پیش احساس می‌شود. بر همین اساس، ضروری است در فصل آتش‌سوزی، در مکان‌هایی که براساس نقشه درجه حرارت فصلی، بیشترین درجه حرارت در استان وجود دارد، مراقبت‌های بیشتری را از نظر احتمال وقوع آتش‌سوزی انجام داد.

جدول ۲: اهمیت متغیرهای اقلیمی در وقوع آتش‌سوزی در استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (منبع: یافته‌های پژوهش)

متغیر وابسته	متغیر مستقل	ضریب رگرسیون لجستیک	اشتباه معیار (S.E.)	معنی‌داری (Sig.)
وقوع آتش‌سوزی	مجموع بارندگی فصلی	۰.۲۲۱**	.۰۱۸	.۰۰۰
	میانگین درجه حرارت فصلی	۶.۷۹۹**	.۲۰۱	.۰۰۰
	میانگین حداکثر درجه حرارت فصلی	۳.۵۳۰**	.۲۴۰	.۰۰۰
	میانگین سرعت باد فصلی	۵.۷۴۷**	.۱۴۹	.۰۰۰
	میانگین حداکثر سرعت باد فصلی	۱.۰۸۳**	.۲۷۰	.۰۰۰
	میانگین رطوبت نسبی فصلی	-۱.۴۷۹**	.۰۴۰	.۰۰۰
	میانگین حداقل رطوبت نسبی فصلی	-۰.۵۳۱**	.۰۳۳	.۰۰۰
	مجموع ساعات آفتابی فصلی	۰.۱۷۸**	.۰۰۷	.۰۰۰
	ضریب ثابت	-۴۹۳.۸۹۸**	۱۹.۲۷۳	.۰۰۰

**: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

براساس ضرایب به‌دست‌آمده، مدل احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی حاصل از روش رگرسیون لجستیک به‌صورت زیر به‌دست آمد:

1 - Turco
2 - Zumbrunnen
3 - Syphard

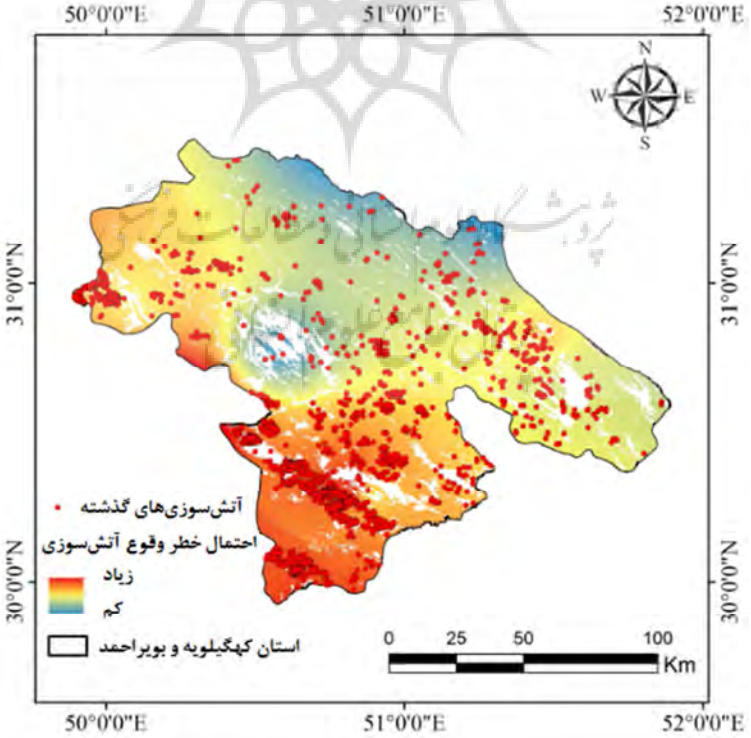
$$P_{fire}(0,1) = 1/(1+e^{-(0.221 * "rain") + (6.799 * "tempmean") + (3.530 * "maxtempmean") + (5.747 * "meanwindspeed") + (1.083 * "maxwindspeed") + (-1.479 * "humimean") + (-0.531 * "minhumimean") + (0.178 * "sunshine") - 493.898)} \quad (۳)$$

که در آن:

$P_{fire}(0,1)$: احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی، e: عدد نپر معادل ۲,۷۱۸، rain: مجموع بارندگی فصلی، tempmean میانگین درجه حرارت فصلی، maxtempmean میانگین حداکثر درجه حرارت فصلی، meanwindspeed میانگین سرعت باد فصلی، maxwindspeed میانگین حداکثر سرعت باد فصلی، humimean میانگین رطوبت نسبی فصلی، minhumimean میانگین حداقل رطوبت نسبی فصلی و sunshine مجموع ساعات آفتابی فصلی می‌باشند.

نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی براساس روش رگرسیون لجستیک

نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی براساس روش رگرسیون لجستیک در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همچنین موقعیت آتش‌سوزی‌های گذشته در جنگل‌ها و مراتع استان در این شکل آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشتر آتش‌سوزی‌های گذشته در مناطق پرخطر استان (رنگ قرمز در نقشه) که در جنوب استان قرار گرفته‌اند، به وقوع پیوسته‌اند. درحالی‌که آتش‌سوزی‌های اندکی در مناطق کم‌خطر استان (رنگ آبی در نقشه) که در شمال استان قرار گرفته‌اند، رخ داده‌اند (شکل ۱۱). این مسأله نشان از دقت نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی در پیش‌بینی مکانی مناطق وقوع آتش‌سوزی در آینده دارد.

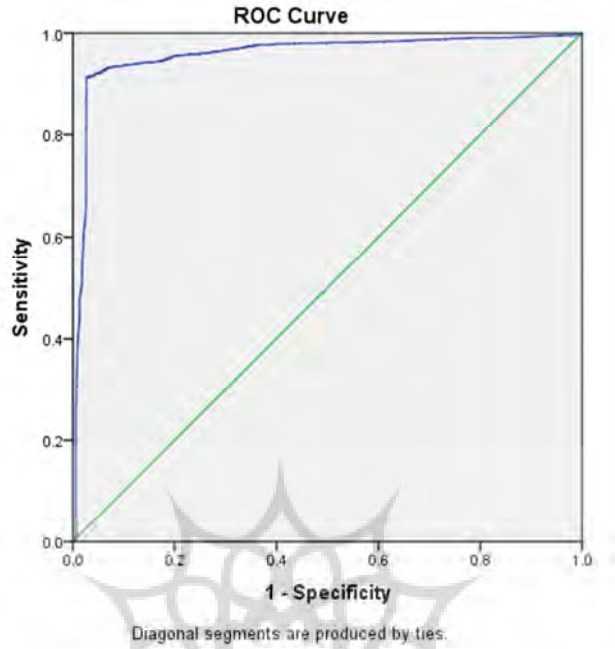


شکل ۱۱: نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد (منبع: یافته‌های پژوهش)

اعتبارسنجی نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی

نتایج مشخصه سطح زیر منحنی (AUC) برای اعتبارسنجی نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی براساس رگرسیون لجستیک در شکل ۱۲ و جدول ۳ نشان داده شده است. در شکل ۱۲، مساحت زیر منحنی آبی‌رنگ، نشان‌دهنده سطح زیر منحنی و خط سبز نشان‌دهنده خط مبدأ است. نتایج ارزیابی روش رگرسیون لجستیک و نقشه خطر به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که این روش با سطح زیر منحنی ۰,۹۵، کارایی مطلوبی در شناسایی مناطق خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد داشته است. همچنین مقدار سطح زیر منحنی برای این مدل در نقشه‌برداری احتمال خطر آتش‌سوزی در استان معنی‌دار بوده است (جدول ۳).

نتایج صحت‌سنجی نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی براساس ماتریس خطا و صحت کلی نشان می‌دهد که صحت کلی نقشه احتمال خطر آتش‌سوزی تهیه‌شده برابر با ۹۲,۷ درصد است که حاکی از دقت مطلوب روش رگرسیون لجستیک در طبقه‌بندی پیکسل‌های نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد بوده است (جدول ۴). در ماتریس خطا، اعداد روی قطر اصلی نشان‌دهنده صحت نقشه و اعداد روی قطر فرعی نشان‌دهنده خطاهای طبقه‌بندی در نقشه هستند. براساس نتایج ماتریس خطا و تحلیل اعداد روی قطر اصلی، ۱۰۵۰۵ پیکسل که در واقعیت غیر آتش‌سوزی بوده‌اند، در نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی نیز به‌عنوان غیر آتش‌سوزی طبقه‌بندی شده‌اند. به‌علاوه ۱۰۶۹۸ پیکسل که در واقعیت به‌عنوان آتش‌سوزی بوده‌اند، در نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی نیز به‌عنوان آتش‌سوزی طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین براساس تحلیل اعداد روی قطر فرعی ماتریس خطا، ۹۳۳ پیکسل که در واقعیت، به‌عنوان غیر آتش‌سوزی بوده‌اند، در نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی به‌عنوان آتش‌سوزی طبقه‌بندی شده‌اند. از طرف دیگر، ۷۴۰ پیکسل که در واقعیت، آتش‌سوزی بوده‌اند، در نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی به‌عنوان غیر آتش‌سوزی طبقه‌بندی شده‌اند. براساس نتایج کلی ماتریس خطا، صحت کلی نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی برابر با ۹۲,۷ درصد بوده است. بدین معنی که این میزان از پیکسل‌ها به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند. این نتایج حاکی از دقت مطلوب روش رگرسیون لجستیک در طبقه‌بندی پیکسل‌های نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد. دقت این روش در پژوهش‌های دیگری نیز که در خصوص پیش‌بینی احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی انجام شده، تأیید شده است (اسکندری و چوویکو، ۲۰۱۵؛ مارتینز و همکاران، ۲۰۰۹) که به‌دلیل سازماندهی مناسب فاکتورهای مؤثر در وقوع آتش‌سوزی در قالب سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره و وزن‌دهی لجستیکی به آنها است. نتایج مطالعه آزاده و همکاران (۱۴۰۱) نیز نشان داده که زمانی که از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود، دقت نقشه پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی افزایش می‌یابد که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد.



شکل ۱۲: مشخصه منحنی ROC برای روش رگرسیون لجستیک در نقشه‌برداری احتمال خطر آتش‌سوزی (منبع: یافته‌های پژوهش)

جدول ۳: میزان سطح زیر منحنی (AUC) برای ارزیابی روش رگرسیون لجستیک در نقشه‌برداری احتمال خطر آتش‌سوزی (منبع: یافته‌های پژوهش)

مدل	سطح زیر منحنی (AUC)	اشتباه معیار (S.E)	معنی‌داری (Sig.)	فواصل سطح اطمینان ۹۵ درصد	
				مرز پایینی	مرز بالایی
رگرسیون لجستیک	۰,۹۵۸	۰,۰۰۲	۰.۰۰۰	۰,۹۵۴	۰,۹۶۳

جدول ۴: ماتریس خطا و صحت کلی برای صحت‌سنجی روش رگرسیون لجستیک در نقشه‌برداری خطر آتش‌سوزی (منبع: یافته‌های پژوهش)

		پیکسل‌های پیش‌بینی‌شده (طبقه‌بندی)		
		غیر آتش‌سوزی (۰)	آتش‌سوزی (۱)	درصد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی‌شده یا صحت کلی (٪)
پیکسل‌های مشاهده‌شده (واقعیت زمینی)	غیر آتش‌سوزی (۰)	۱۰۵۰۵	۹۳۳	۹۱.۸
	آتش‌سوزی (۱)	۷۴۰	۱۰۶۹۸	۹۳.۵
	صحت کلی (٪)			۹۲.۷

نتیجه‌گیری

با توجه به روند فزاینده آتش‌سوزی‌ها در عرصه‌های طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، پژوهش پیش‌رو به‌منظور بررسی نقش تغییرات پارامترهای اقلیمی در وقوع آتش‌سوزی‌های جنگل‌ها و مراتع این استان در دو دهه اخیر انجام شد. اثر تغییر اقلیم بر رژیم‌های آتش‌سوزی (تعداد و وسعت آتش‌سوزی) در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و

بویراحمد برای اولین بار در این پژوهش بررسی شد که نوآوری آن محسوب می‌شود. به‌علاوه بررسی رابطه دوگانه زمانی و رابطه مکانی پارامترهای اقلیمی و مشخصات آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد، برای اولین بار در این پژوهش انجام شد که نتایج آن قابل‌توجه است.

نتایج تحلیل نقشه احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی حاصل از این پژوهش نشان داد که مناطق پرخطر از نظر وقوع آتش‌سوزی به‌طور عمده در جنوب استان قرار گرفته‌اند. از طرف دیگر، مناطق با خطر متوسط در قسمت میانی استان و مناطق کم‌خطر حریق در شمال استان قرار گرفته‌اند. بنابراین فعالیت‌های پیشگیرانه و مدیریت حفاظتی در برابر آتش‌سوزی، باید توسط یگان حفاظت اداره کل منابع طبیعی استان در مناطق جنوبی استان (پرخطر) متمرکز شود تا از وقوع آتش‌سوزی‌های بیشتر در آینده جلوگیری شود. فعالیت‌های پیشگیرانه و مدیریت حفاظتی در جنگل‌ها و مراتع استان، می‌توانند شامل موارد زیر باشند:

- مراقبت‌ها و کنترل‌های بیشتر در مناطق بحرانی یا پرخطر آتش‌سوزی
- نصب تابلوهای هشدار در مناطق پرخطر آتش‌سوزی
- به‌کارگیری سامانه‌های هشدار آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی توسط کارشناسان اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان و مجهز کردن گوشی‌های تلفن همراه کارشناسان به این سامانه‌ها
- منع آتش‌افروزی در فصول گرم سال توسط جنگل‌نشینان، کشاورزان و گردشگران
- افزایش نیروهای حفاظتی به‌ویژه در فصول گرم آتش‌سوزی
- احداث برج‌های دیده‌بانی و آتش‌بر در نزدیکی مناطق پرخطر آتش‌سوزی
- ایجاد واحدهای مدیریت بحران در عرصه‌های طبیعی با امکانات اطفای حریق

با توجه به اعتبار مطلوب روش رگرسیون لجستیک و نقشه احتمال خطر آتش‌سوزی تهیه‌شده از آن در این پژوهش، پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های اقلیمی آینده در جنگل‌ها و مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از نقشه یادشده امکان‌پذیر خواهد بود. بنابراین اقدامات کنترلی برای پیشگیری از وقوع آتش‌سوزی‌های آینده در مناطق پرخطر آتش‌سوزی باید با حساسیت بیشتری انجام گیرد. ازاین‌رو نتایج این پژوهش در مدیریت، نظارت، پیش‌بینی و کنترل آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد به‌ویژه در فصل آتش‌سوزی بسیار کاربردی و ارزشمند است.

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)، ۸۱-۹۴.

اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد. (۱۳۹۹). قابل دسترس در: https://kohgiluye.frw.ir/۰۰Fa/StaticPages/Page.aspx?tid=۱۳۱۱۹

اسکندری، سعیده؛ احمدلو، فاطمه؛ پورقاسمی، حمیدرضا؛ آهنگران، یزدانفر؛ رضاپور، ذوالفقار. (۱۴۰۲). بررسی رابطه زمانی و مکانی تغییر پارامترهای اقلیمی و آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان. تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۲۱(۲)، ۱۶۴-۱۸۶.

اسکندری، سعیده؛ اولادی قادیکلایی، جعفر؛ جلیلوند، حمید؛ سراجیان، محمدرضا. (۱۳۹۲). مدلسازی و پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های بخش سه نکا-ظالمرود با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۱(۲)، ۲۰۳-۲۱۷.

اسکندری، سعیده؛ جلیلوند، حمید. (۱۳۹۶). تأثیر تغییرات آب و هوایی بر رژیم آتش‌سوزی جنگل‌های نکا و بهشهر. تحقیقات حمایت و حفاظت از جنگل‌ها و مراتع ایران، ۱۵(۱)، ۳۰-۳۹.

بیگی حیدرلو، هادی؛ بانج شفیعی، عباس؛ عرفانیان، مهدی. (۱۳۹۳). تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از فن فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و روش نسبت فراوانی (پژوهش موردی: جنگل‌های سردشت، شمال غربی ایران). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۲(۴)، ۵۹۹-۵۷۳.

بی‌همتا، محمدرضا؛ زارع چاهوکی، محمدعلی. (۱۳۹۴). اصول آمار در علوم منابع طبیعی. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۰۰ ص.

پاک‌گهر، علیرضا. (۱۳۹۵). مقایسهٔ کارایی روش‌های رده‌بندی‌کننده رگرسیون لجستیک و رگرسیون درختی برای متغیر وابسته باینری- گستره علوم آماری، ۱(۲)، ۷-۱۴.

پولات، سارا؛ قاسمی آقباش، فرهاد؛ مهدوی، علی. (۱۳۹۹). پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های حوزه شهرستان ایلام. پژوهش و توسعه جنگل، ۶(۱)، ۱۳۵-۱۵۲.

خان‌محمدی، مرتضی؛ رحیمی، محمد؛ کرتولی‌نژاد، داوود. (۱۳۹۵). تحلیل خطر آتش‌سوزی جنگل‌های هیرکانی شمال شرق ایران با استفاده از شاخص‌های کچ- بایرام و مک- آرتور. تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۱۴(۱)، ۴۸-۵۷.

دشتی، شهریار؛ امینی، جمال؛ احمدی ثانی، ناصر؛ جوانمرد، عبدالله. (۱۳۹۹). پهنه‌بندی مناطق مستعد آتش‌سوزی در بوم‌سازگان‌های جنگلی زاگرس شمالی (مطالعه موردی: جنگل‌های سردشت در آذربایجان غربی). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۰(۳۰)، ۱۲۶-۱۰۵.

رحیمی، داریوش؛ خادمی، سمانه. (۱۳۹۷). تحلیل الگوهای همدید خطرآتش‌سوزی در جنگل‌های شمال ایران (استان گلستان). مخاطرات محیط طبیعی، ۷(۱۷)، ۱۹-۳۶.

عالی‌محمودی سراب، سجاد؛ فقهی، جهانگیر؛ جباریان امیری، بهمن. (۱۳۹۱). پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: جنگل‌های منطقه زاگرس شهرستان ایذه). اکولوژی کاربردی، ۱(۲)، ۷۵-۸۵.

فتاحی، محمد. (۱۳۷۳). بررسی جنگل‌های بلوط زاگرس و مهم‌ترین عوامل تخریب آن. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ۶۳ ص.

قهرمان، نوذر؛ بابائیان، ایمان؛ عسگری، سجاد. (۱۳۹۶). پیش‌نگری کمی اثرات محتمل تغییر اقلیم بر شاخص گرمایی (THI) تحت سناریوهای واداشت تابشی (RCP) در ایران. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۸(۳۱ و ۳۲)، ۱-۱۸.

Adab, H., Kanniah, K.D. and Solaimani, K. (2013). Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. Natural Hazards, 65(3), 1723-1743. https://doi.org/10.1890/01-6029

Chou, Y.H. (1992). Management of wildfires with a geographical information system. International Journal of Geographical Information Systems, 6, 123-140. https://doi.org/10.1080/02693799208901900

Congalton, R.G. and Green, K. (2008). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. 2nd Edition, CRC press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 210p. https://doi.org/10.1201/9780429052729.

Dashti, S., Amini, J., Ahmadi Sani, N. and Javanmard, A. (2022). Zoning areas prone to fire occurrences in the forest ecosystems of North Zagros (Case study: Sardasht forests in West Azarbaijan). Journal of Natural Environmental Hazards 10(30), 105-126. https://doi.org/10.22111/jneh.2021.34965.1683

Eskandari, S. and Chuvieco, E. (2015). Fire danger assessment in Iran based on geospatial information. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 24, 57-64. https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.05.006.

Eskandari, S., Ali Mahmoudi Sarab, S. (2022). Mapping land cover and forest density in Zagros forests of Khuzestan province in Iran: A study based on Sentinel-2, Google Earth and field data. Ecological Informatics, 70 (101727), 1-18. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101727.

Golkarian, A., Naghibi, S.A., Kalantar, B. and Pradhan, B. (2018). Groundwater potential mapping using C5۰., random forest, and multivariate adaptive regression spline models in GIS. Environmental Monitoring and Assessment, 190 (3), 149-150. https://doi.org/10.1007/s10661-018-6507-8.

Hong, H., Naghibi, S.A., Moradi Dashtpagerdi, M., Pourghasemi, H.R. and Chen, W. (2017). A comparative assessment between linear and quadratic discriminant analyses (LDA-QDA) with frequency ratio and weights-of-evidence models for forest fire susceptibility mapping in China. Arabian Journal of Geosciences, ۱۰, 1-14. https://doi.org/10.1007/s12517-017-2905-4.

Jolly, W.M., Cochrane, M.A., Freeborn, P.H., Holden, Z.A., Brown, T.J., Williamson, G.J. and Bowman, D.M.J.S. (2015). Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. Nature Communication, 6(7537), 1-11. https://doi.org/10.1038/ncomms8537

Koutsias, N. and Karteris, M. (1998). Logistic regression modeling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping. International Journal of Remote Sensing, 19, 3499-3514. https://doi.org/10.1080/014311698213777.

Martinez, J., Vega-Garcia, C. and Chuvieco, E. (2009). Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. Journal of Environmental Management, 90, 1241-1252. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.005.

Mas, J.F., Filho, B.S.S., Pontius, R.G. and Farfan, M. (2013). A Suite of Tools for ROC Analysis of Spatial Models. International Journal of Geo-Information, 2(3), 869-888. https://doi.org/10.3390/ijgi2030869.

Naghibi, S.A. and Pourghasemi, H.R. (2016). A comparative assessment between three machine learning models and their performance comparison by bivariate and multivariate statistical methods in groundwater potential mapping. Water Resources Management, 29 (14), 5217-5236. https://dx.doi.org/10.1007/s11269-015-1114-8.

Pettinari, M.L. and Chuvieco, E. (2017). Fire Behavior Simulation from Global Fuel and Climatic Information. Forests,8(6), 1-23. https://doi.org/10.3390/f8060179.

Pourtaghi, Z.S., Pourghasemi, H.R., Aretano, R. and Semeraro, T. (2016). Investigation of general indicators influencing forest fire and its susceptibility modeling using different data mining techniques. Ecological Indicators, 64, 72-84. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.030.

Sadat Razavi, A.H., Shafiepour Motlagh, M., Noorpoor, A. and Ehsani, A.H. (2020). Modeling of wildfire occurrence by using climate data and the effect of temperature increments. Natural Hazards and Earth System Sciences, https://doi.org/10.5194/nhess-2020-353, 2020.

Smith, M.J., Goodchild, M.F. and Longley, P.A. (2007). Geospatial analysis- a comprehensive guide to principles, techniques and software tools. Troubador Publishing Ltd, Leicester, 516p. http://www.spatialanalysisonline.com/.

Syphard, A.D., Radeloff, V.C., Keuler, N.S., Taylor, R.S., Hawbaker, T.J., Stewart, S.I. and Clayton, M.K. (2008). International Journal of Wildland Fire, 17, 602-613.

Turco, M., Llasat, M.C., Hardenberg, J.V. and Provenzale, A. (2013). Impact of climate variability on summer fires in a Mediterranean environment (northeastern Iberian Peninsula). Climatic Change, 116, 665-678. http://doi.org/10.1007/s10584-012-0505-6.

Tymstra, C., Flannigan, M.D., Armitage, O.B. and Logan, K. (2007). Impact of climate change on area burned in Alberta's boreal forest. International Journal of Wildland Fire, 16, 153-160. http://doi.org/10.1071/WF06084.

Yesilnacar, E.K. (2005). The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey. Ph.D. thesis, Department of Geomatics, University of Melbourne, Melbourne, Australia.

Youssef, A.M., Pourghasemi, H.R., Pourtaghi, Z.S. and Al-Katheeri, M.M. (2016). Landslide susceptibility mapping using random forest, boosted regression tree, classification and regression tree, and general linear models and comparison of their performance at Wadi Tayyah Basin, Asir Region, Saudi Arabia. Landslides, 13, 839-856. https://doi.org/10.1007/s10346-015-0614-1.

Zumbrunnen, T., Pezzattic, G.B., Menéndezd, P., Bugmann, H., Bürgia, M. and Conederac, M. (2011). Weather and human impacts on forest fires: ۱۰0 years of fire history in two climatic regions of Switzerland. Forest Ecology and Management, 261(12), 2188-2199. http://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.10.009.

---.

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Ali Mahmoudi Sarab, S., Feghi, J. and Jabarian Amiri, B. (2012). Forecasting the occurrence of fire in forests and ranges using an artificial neural network (case study: forests of Zagros region, Izeh city). Applied Ecology, 1(2), 75-85. doi: 20.1001.1.24763128.1391.1.2.7.1 .[In Persian]

Azadeh, J., Etemad, V., Namiranian, M. (2022). Investigation of the efficiency of different models in zoning of fire hazard potential in forests of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad provinces. Journal of Environmental Sciences and Technology, 24(7), 81-94. doi : 10.22034/JEST.2021.63244.5504. [In Persian]

Beygi Heidarlou, H, Banj Shafiee, A. and Erfaniyan, M. (2014). Preparation of forest fire risk map using hierarchical analysis process technique and frequency ratio method. (Case study: Sardasht forests, northwestern Iran). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22 (4), 573-599. doi: 10.22092/IJFPR.2015.13172.[In Persian]

Bihamta, M. and Zare Chahooki, M. (2015). Principles of Statistics in Natural Resource Sciences Statistics. Tehran University Press, Tehran, 300p. [In Persian]

Dashti, S., Amini, J., Ahmadi Sani, N. and Javanmard, A. (2022). Zoning areas prone to fire occurrences in the forest ecosystems of North Zagros (Case study: Sardasht forests in West Azarbaijan). Journal of Natural Environmental Hazards, 10(30),105-126. doi: 10.22111/JNEH.2021.34965.1683 .[In Persian]

Eskandari, S. and Jalilvand, H. (2017). Effect of weather changes on fire regime of Neka and Behshahr forests. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 15(1), 30-39. doi: 10.22092/IJFRPR.2017.11333.[In Persian]

Eskandari, S., Ahmadloo, F., Pourghasemi, H., Ahangaran., Y., Rezapour, Z. (2023). Temporal and spatial analysis of the relationship between climate parameter changes and fire in the forests and rangelands in the province of Gilan. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 15(1), 30-39. Link: magiran.com/p2619657. [In Persian]

Eskandari, S., Oladi, J., Jalilvand, H., Saradjian, M.R. (2013). Fire risk modeling and prediction in district three of Neka-Zalemroud forest using Geographic Information System. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(2), 203-217. Doi: 10.22092/IJFPR.2013.3827.[In Persian]

Fattahi, M., 1994. Investigation of Zagros Oak Forests and the Most Important Factors of its Degradation. Research Institute of Forests and Rangelands publishing, Tehran, 63 p. [In Persian]

Ghahraman, N., Babaian, A. and Asgari, S. (2016). Quantitative forecasting of possible effects of climate change on thermal index (THI) under radiative forcing (RCP) scenarios in Iran. Climatology Research Journal, 8(31& 32), 1-18. [In Persian]

Khanmohammadi, M., Rahimi, M. and Kartulinejad, D. (2016). Fire risk analysis of Hyrcanian forests in Northeast Iran using Ketch-Bayram and Mac-Arthur indices. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 14(1), 48-57.doi: 10.22092/IJFRPR.2016.107641. [In Persian]

Natural Resources and Watershed Organization of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad province. (2020). available at: https://kohgiluye.frw.ir/۰۰/Fa/StaticPages/Page.aspx?tid=۱۳۱۱۹ [In Persian]

Pakgohar, A. (2015). Comparing the efficiency of logistic regression and tree regression classification methods for binary dependent variables. Scope of Statistical Sciences, 1(2), 7-14. Link: magiran.com/p1621463. [In Persian]

Polat, S., Ghasemi Aqbash, F. and Mahdavi, A. (2020). Fire risk zoning in the forests of Ilam region. Forest Research and Development, 6(1), 135-152. Doi: JR_JFRD-6-1_010. [In Persian]

Rahimi, D. and Khademi, S. (2018). Analysis Synoptic Patterns for Forest Fires Risk in Northern Iran. Journal of Natural Environmental Hazards, 7(17), 19-36. doi: 10.22111/JNEH.2017.3279 [In Persian]

References (in English)

Adab, H., Kanniah, K.D. and Solaimani, K. (2013). Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. Natural Hazards, 65(3), 1723-1743. https://doi.org/10.1890/01-6029

Chou, Y.H. (1992). Management of wildfires with a geographical information system. International Journal of Geographical Information Systems, 6, 123-140. https://doi.org/10.1080/02693799208901900

Congalton, R.G. and Green, K. (2008). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. 2nd Edition, CRC press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 210p. https://doi.org/10.1201/9780429052729.

Dashti, S., Amini, J., Ahmadi Sani, N. and Javanmard, A. (2022). Zoning areas prone to fire occurrences in the forest ecosystems of North Zagros (Case study: Sardasht forests in West Azarbaijan). Journal of Natural Environmental Hazards 10(30), 105-126. https://doi.org/10.22111/jneh.2021.34965.1683

Eskandari, S. and Chuvieco, E. (2015). Fire danger assessment in Iran based on geospatial information. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 24, 57-64. https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.05.006.

Eskandari, S., Ali Mahmoudi Sarab, S. (2022). Mapping land cover and forest density in Zagros forests of Khuzestan province in Iran: A study based on Sentinel-2, Google Earth and field data. Ecological Informatics, 70 (101727), 1-18. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101727.

Golkarian, A., Naghibi, S.A., Kalantar, B. and Pradhan, B. (2018). Groundwater potential mapping using C5۰., random forest, and multivariate adaptive regression spline models in GIS. Environmental Monitoring and Assessment, 190 (3), 149-150. https://doi.org/10.1007/s10661-018-6507-8.

Hong, H., Naghibi, S.A., Moradi Dashtpagerdi, M., Pourghasemi, H.R. and Chen, W. (2017). A comparative assessment between linear and quadratic discriminant analyses (LDA-QDA) with frequency ratio and weights-of-evidence models for forest fire susceptibility mapping in China. Arabian Journal of Geosciences, ۱۰, 1-14. https://doi.org/10.1007/s12517-017-2905-4.

Jolly, W.M., Cochrane, M.A., Freeborn, P.H., Holden, Z.A., Brown, T.J., Williamson, G.J. and Bowman, D.M.J.S. (2015). Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. Nature Communication, 6(7537), 1-11. https://doi.org/10.1038/ncomms8537

Koutsias, N. and Karteris, M. (1998). Logistic regression modeling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping. International Journal of Remote Sensing, 19, 3499-3514. https://doi.org/10.1080/014311698213777.

Martinez, J., Vega-Garcia, C. and Chuvieco, E. (2009). Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. Journal of Environmental Management, 90, 1241-1252. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.005.

Mas, J.F., Filho, B.S.S., Pontius, R.G. and Farfan, M. (2013). A Suite of Tools for ROC Analysis of Spatial Models. International Journal of Geo-Information, 2(3), 869-888. https://doi.org/10.3390/ijgi2030869.

Naghibi, S.A. and Pourghasemi, H.R. (2016). A comparative assessment between three machine learning models and their performance comparison by bivariate and multivariate statistical methods in groundwater potential mapping. Water Resources Management, 29 (14), 5217-5236. https://dx.doi.org/10.1007/s11269-015-1114-8.

Pettinari, M.L. and Chuvieco, E. (2017). Fire Behavior Simulation from Global Fuel and Climatic Information. Forests,8(6), 1-23. https://doi.org/10.3390/f8060179.

Pourtaghi, Z.S., Pourghasemi, H.R., Aretano, R. and Semeraro, T. (2016). Investigation of general indicators influencing forest fire and its susceptibility modeling using different data mining techniques. Ecological Indicators, 64, 72-84. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.030.

Sadat Razavi, A.H., Shafiepour Motlagh, M., Noorpoor, A. and Ehsani, A.H. (2020). Modeling of wildfire occurrence by using climate data and the effect of temperature increments. Natural Hazards and Earth System Sciences, https://doi.org/10.5194/nhess-2020-353, 2020.

Smith, M.J., Goodchild, M.F. and Longley, P.A. (2007). Geospatial analysis- a comprehensive guide to principles, techniques and software tools. Troubador Publishing Ltd, Leicester, 516p. http://www.spatialanalysisonline.com/.

Syphard, A.D., Radeloff, V.C., Keuler, N.S., Taylor, R.S., Hawbaker, T.J., Stewart, S.I. and Clayton, M.K. (2008). International Journal of Wildland Fire, 17, 602-613.

Turco, M., Llasat, M.C., Hardenberg, J.V. and Provenzale, A. (2013). Impact of climate variability on summer fires in a Mediterranean environment (northeastern Iberian Peninsula). Climatic Change, 116, 665-678. http://doi.org/10.1007/s10584-012-0505-6.

Tymstra, C., Flannigan, M.D., Armitage, O.B. and Logan, K. (2007). Impact of climate change on area burned in Alberta's boreal forest. International Journal of Wildland Fire, 16, 153-160. http://doi.org/10.1071/WF06084.

Yesilnacar, E.K. (2005). The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey. Ph.D. thesis, Department of Geomatics, University of Melbourne, Melbourne, Australia.

Youssef, A.M., Pourghasemi, H.R., Pourtaghi, Z.S. and Al-Katheeri, M.M. (2016). Landslide susceptibility mapping using random forest, boosted regression tree, classification and regression tree, and general linear models and comparison of their performance at Wadi Tayyah Basin, Asir Region, Saudi Arabia. Landslides, 13, 839-856. https://doi.org/10.1007/s10346-015-0614-1.

Zumbrunnen, T., Pezzattic, G.B., Menéndezd, P., Bugmann, H., Bürgia, M. and Conederac, M. (2011). Weather and human impacts on forest fires: ۱۰0 years of fire history in two climatic regions of Switzerland. Forest Ecology and Management, 261(12), 2188-2199. http://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.10.009.