

مدل سازی خطر وقوع آتش سوزی در منطقه حفاظت شده دینارکوه، جنوب استان ایلام (مقاله پژوهشی)

۱- جواد میرزائی، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۲- رضا امیدپور*، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

R.omidipour@ilam.ac.ir

۳- ناهید جعفریان، محقق بخش تحقیقات جنگل ها، مراتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران.

دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵

پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰

چکیده

آتش سوزی تهدیدی جدی برای اکوسیستم های جنگلی جهان به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است. درک عوامل کلیدی مؤثر بر وقوع آتش سوزی برای مدیریت مؤثر و کاهش آن ضروری است. به همین دلیل، این مطالعه با هدف مدل سازی خطر وقوع آتش سوزی در جنگل های نیمه خشک جنوب استان ایلام انجام گرفت. ابتدا نقاط آتش سوزی های قبلی منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره ای MODIS بین سال های ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۲ استخراج شد. عوامل مؤثر بر وقوع آتش سوزی در منطقه در قالب چهار گروه اصلی شامل عوامل توپوگرافی، اقلیمی، پوشش گیاهی و انسانی شناسایی شد. برای پیش بینی و مدل سازی پتانسیل وقوع آتش از مدل های جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. برای ارزیابی دقت دو مدل از شاخص سطح زیر منحنی (AUC) در نمودار ROC استفاده شد. براساس نتایج، میزان رطوبت نسبی هوا، پوشش گیاهی، فاصله از جاده و میانگین دمای هوا تأثیرگذارترین و فاصله از جنگل، درصد شیب و جهت جغرافیایی کم اهمیت ترین عوامل در بروز آتش سوزی منطقه مورد مطالعه می باشند. ارزیابی دقت دو مدل مورد بررسی نشان داد که مدل جنگل تصادفی ($AUC=0.87$) دارای دقت بالاتری نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان ($AUC=0.82$) بود. براساس نتایج مدل جنگل تصادفی، بیش از ۵۹ درصد از سطح منطقه دارای خطر وقوع آتش خیلی کم بودند در حالی که کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۱/۸۰ و ۰/۸۶ درصد (به ترتیب ۷۵۰ و ۳۵۶ هکتار) از مساحت کل منطقه را دربرگرفتند. باتوجه به تمرکز وقوع آتش سوزی ها در مناطق نزدیک به تنها جاده عبوری از منطقه، پیشنهاد می گردد جهت کاهش و کنترل سریع آتش سوزی های آتی، اقدامات مدیریتی و تاسیسات اطفا حریق در این منطقه بیش از سایر مناطق باشد.

واژگان کلیدی: پوشش گیاهی، سنجنده مودیس، عوامل اقلیمی، مدل جنگل تصادفی.

مقدمه

تعدیل آب و هوا، کمک به افزایش منابع آب زیرزمینی، جلوگیری از فرسایش خاک، حفظ تنوع زیستی و بهبود کیفیت زندگی انسان ها می شود [۱۱، ۲۳، ۴۰].

امروزه، جنگل ها به ویژه در مناطق خشک بر اثر تغییر کاربری اراضی، چرای بی رویه دام، آتش سوزی های جنگلی و مدیریت نادرست منابع طبیعی دچار تخریب شده اند [۱۸].

آتش سوزی بر تنظیم آب و هوا، ترسیب کربن و تنوع زیستی تأثیر گذاشته [۱۷، ۴۴] و سبب کاهش حاصلخیزی خاک و آلودگی هوا و گرمایش جهانی می شود

اکوسیستم های جنگلی، یکی از مهم ترین منابع طبیعی و بوم شناختی در کره زمین هستند و کارکرد آنها نقش اساسی در حفظ تعادل در چرخه طبیعت دارد [۱۸]. این اکوسیستم ها در مناطق خشک، نقش حیاتی در تعدیل شرایط محیطی و حفظ منابع طبیعی دارند [۵].

پوشش گیاهی در اکوسیستم های جنگلی خشک و نیمه خشک به عنوان شاخص مهمی در ارزیابی محیط زیست می باشند و نقش مهمی در حفظ تعادل اکوسیستم ها دارند [۲۱]. همچنین پوشش گیاهی در این مناطق، سبب تبادل انرژی، چرخه آب و عناصر زمین،

برده می‌شوند [۲]. در این راستا از روش‌های مختلف مبتنی بر یادگیری ماشین استفاده می‌شود که ابزاری قدرتمند مبتنی بر داده می‌باشند و برای مدل‌سازی تأثیر عوامل توضیحی متعدد روی یک متغیر پیش‌بینی‌شده استفاده می‌شوند و قادر به توضیح روابط خطی و غیرخطی هستند [۲۵].

مطالعات بسیاری، خطر وقوع آتش را با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشینی گزارش کرده‌اند که می‌توان به مطالعه مدل‌سازی خطر وقوع آتش با استفاده از GIS و سنجش از دور در منطقه حفاظت‌شده باغ-شادی در استان یزد [۲۹]، ارزیابی خطر آتش‌سوزی و عوامل مؤثر بر آتش در جنگل‌های زاگرس در لرستان [۱۹]، پیش‌بینی و تهیه نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی با استفاده از مدل جنگل تصادفی و ماشین‌بردار پشتیبان در مراتع اراک [۳۹]، مدل‌سازی و طبقه‌بندی ریسک آتش‌سوزی محدوده‌ای در شهرستان دالاهو از جنگل‌های نیمه‌خشک بلوط زاگرس [۵]، مدل‌سازی مکانی خطر آتش‌سوزی جنگل‌های طبیعی و دست‌کاشت در کشور الجزایر [۳۶] و پیش‌بینی مکانی ریسک آتش‌سوزی جنگل‌های گوترنیا و بنی‌خمیس در الجزایر [۸] اشاره کرد.

اکوسیستم‌های طبیعی از قبیل جنگل‌ها و مراتع منشاء بسیاری از خدمات و کارکردهایی هستند که جوامع بشری نیاز دارد. به همین دلیل حفاظت و مراقبت از آنها بسیار ضروری است. بنابراین، اطلاعات عوامل تخریب این قبیل اکوسیستم‌ها برای مدیریت پایدار آنها ضروری است. در این راستا، سازمان‌های مربوطه برای کاهش اثرات منفی آتش‌سوزی، در ابتدا نیاز به شناخت مناطق آسیب‌پذیر دارند تا بتوانند با این اطلاعات و مدیریت زمان، سرعت عمل به همراه برنامه ریزی دقیق و همچنین امکانات، تجهیزات و آموزش‌های لازم و ضروری در این خصوص همت گماشته و بتوانند در کنترل و کاهش خسارات ناشی از آتش‌سوزی نقش مؤثری ایفا کنند [۳۴].

منطقه حفاظت‌شده دینار در استان ایلام، علیرغم حفاظت‌شده بودن، هر ساله دچار وقوع آتش‌سوزی شده و این امر در سالیان اخیر شدت یافته است.

از این‌رو، با توجه به اهمیت پیش‌بینی خطر وقوع آتش و آتش‌سوزی‌های مکرر در مناطق خشک و اهمیت

[۳۵، ۴۳]. این تهدید در مناطقی با جنگل‌های انبوه و به‌ویژه در شرایط آب‌وهوایی نیمه‌خشک حادث‌تر است [۱۵]. آتش‌سوزی‌های مکرر در ناحیه جنگلی زاگرس به‌عنوان یکی از مناطق نیمه‌خشک ایران، در چند سال اخیر صدمات بسیاری به پوشش گیاهی و زیست‌محیطی جنگل‌ها و مراتع وارد نموده است [۲۰]. اثرهای منفی آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس شامل کاهش گونه‌های گیاهی چندساله در زیرآشکوب درختان بلوط ایرانی، اثرهای نامطلوب بر بانک بذر و ترکیب پوشش گیاهی آبی منطقه، بروز فرسایش خاک، تغییرات اکولوژیکی و جنگل‌شناسی و هدر رفت سرمایه جنگل و کاهش حاصلخیزی خاک در درازمدت می‌باشد [۹].

آتش‌سوزی در جنگل‌ها تحت تأثیر عوامل محیطی مختلفی از جمله عوامل توپوگرافی، اقلیمی، انسانی و مقدار پوشش گیاهی می‌باشد [۴، ۱۳].

از آنجاییکه گسترش آتش‌سوزی فرآیندی پویا و وابسته به زمان می‌باشد، بنابراین به‌منظور جلوگیری از اثرات مخرب آن، نیاز است تا به صورت صحیح امکان وقوع و گسترش آتش‌سوزی پیش‌بینی گردد [۳]. این امر سبب می‌شود قبل از وقوع آتش با انجام مراقبت‌های ویژه در مناطق بحرانی از بروز آتش‌سوزی‌های احتمالی جلوگیری شود [۳]. بنابراین شناسایی و تعیین عوامل مؤثر، در بالا رفتن استعداد آتش‌سوزی در جنگل‌ها امری ضروری است.

امروزه با پیشرفت علم و استفاده از علم سنجش از دور می‌توان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سامانه اطلاعات جغرافیایی و لایه‌های اطلاعاتی تیپ پوشش گیاهی، مناطق سکونت‌گاهی، شبکه راه‌ها و شیب، اقدام به تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی نمود. نقشه‌های حساسیت به آتش‌سوزی جنگل‌ها، با مدل‌سازی روابط پیچیده بین این عوامل و وقوع آتش‌سوزی ایجاد می‌شوند [۳۲]. این نقشه‌ها، با تعیین مناطقی که بیشتر مستعد آتش‌سوزی جنگل‌ها هستند یا در معرض خطر بیشتری هستند، برای نشان‌دادن احتمال وقوع آتش‌سوزی در مناطق مختلف و گسترش بالقوه آنها تهیه می‌شوند [۳۸]. از این‌رو نقشه‌های حساسیت به آتش‌سوزی ابزار ارزشمندی برای مدیریت فعال جنگل و کاهش خطر هستند که در پیشگیری از آتش‌سوزی، برنامه‌ریزی اضطراری و تخصیص منابع به کار

باتوجه به منحنی آمبروترمیک منطقه (براساس ایستگاه آبدانان (۱۴۰۳-۱۳۸۸))، دوره خشکی منطقه حدوداً از اواخر اردیبهشت و اوایل خرداد تا اوایل آبان‌ماه است. آب‌وهوای این منطقه براساس طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن و بارات جزو مناطق نیمه‌خشک و باتوجه به طبقه‌بندی ترانسوا جزء مناطق خشک است.

این منطقه در دامنه ارتفاعی ۶۶۷ تا ۱۹۳۵ متر از سطح دریا واقع شده است و میانگین شیب آن بالای ۲۰ درصد است.

تیپ غالب منطقه، بلوطستان از گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* L.) است. بقیه گونه‌های درختی غالب منطقه زالزالک (*Crataegus pontica*)، بنه (*atlantica Pistaica*)، کیکم (*Acer*)، بادام (*monspessulanum*)، و انجیر کوهی (*Ficus carica*) می‌باشند.

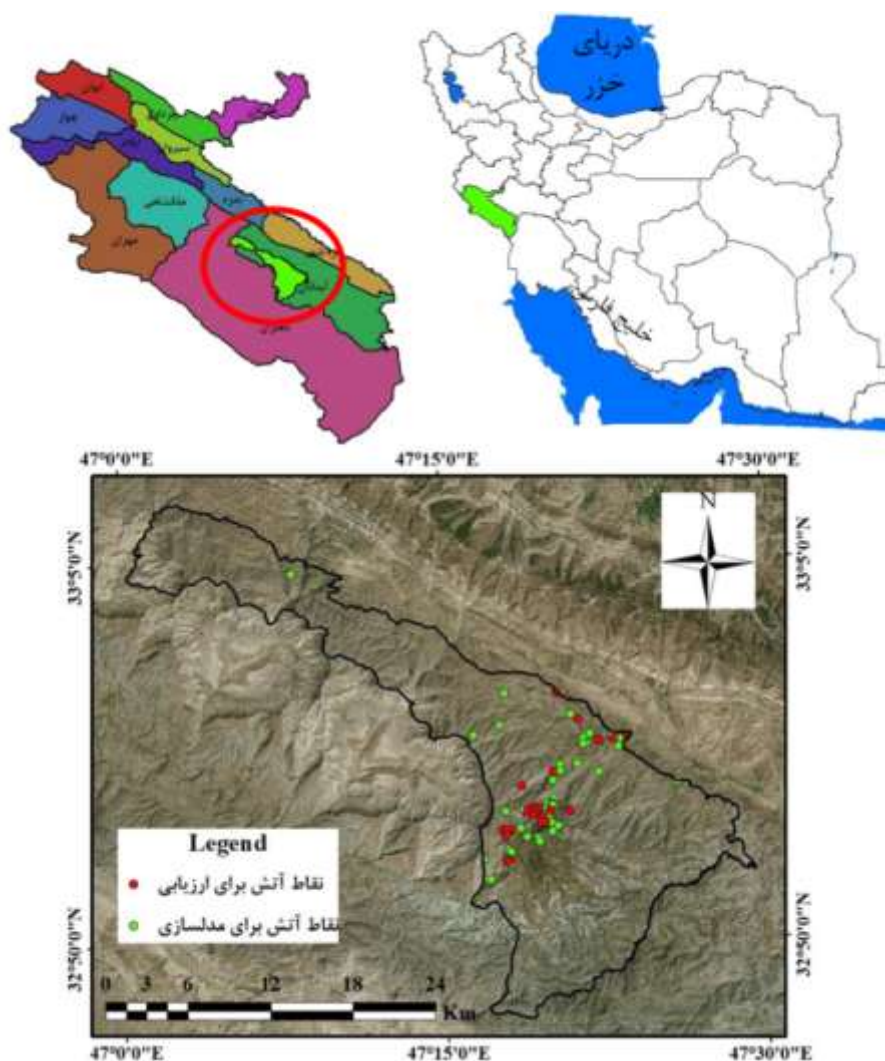
حفاظت و صیانت از مناطق حفاظت‌شده، پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های مناطق نیمه‌خشک زاگرس در منطقه حفاظت‌شده دینارکوه استان ایلام انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه حفاظت‌شده دینارکوه در مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱).

متوسط بارندگی سالانه منطقه، ۵۴۵ میلی‌متر است. مرداد ماه با میانگین ۳۵/۸ درجه سانتی‌گراد بالاترین و بهمن‌ماه با میانگین ۹/۷ درجه سانتی‌گراد کمترین دما را دارند. میانگین رطوبت نسبی منطقه ۴۳ درصد است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط بروز آتش‌سوزی

روش تحقیق

برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در ابتدا عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی در منطقه شناسایی شدند. در این تحقیق عوامل مؤثر بر وقوع آتش در چهار گروه اصلی عوامل توپوگرافی (شیب، جهت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا)، عوامل اقلیمی (جهت باد غالب، سرعت باد، درصد رطوبت، میانگین دمای سالیانه و میزان بارش)، عوامل بیولوژیکی (شاخص‌های پوشش گیاهی و رطوبت خاک) و عوامل انسانی (فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جنگل، فاصله از رودخانه، فاصله از اراضی کشاورزی) دسته‌بندی شدند.

لازم به ذکر است که سایر عوامل از قبیل چرای دام و تفرج افراد بومی شهرستان از عوامل مهم در وقوع آتش در این منطقه است. در زمینه عامل اول، فاصله از مناطق مسکونی (بخصوص روستاهای اطراف منطقه مورد مطالعه) و در زمینه عامل دوم (تفرج) نزدیکی به جاده دو لایه‌ای بودند که این اثرات را به‌خوبی مشخص خواهند نمود.

در ادامه، نقشه رستری هر عامل با اندازه پیکسل 30×30 متر مربع در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه و از اطلاعات تولید شده برای مدل‌سازی مناطق دارای سابقه حریق استفاده شد.

در این تحقیق اطلاعات مناطق دارای سابقه آتش از ادارات منابع طبیعی و آبخیزداری و سازمان حفاظت محیط زیست تهیه گردیدند. علاوه بر این آمار، از اطلاعات مربوط به ثبت وقوع آتش توسط تصاویر ماهواره مودیس (MODIS) نیز استفاده شد. این اطلاعات از سال ۱۳۸۰ به بعد در دسترس بوده و از مهم‌ترین منابع بررسی آتش و مدل‌سازی آن بشمار می‌رود [۱۴]. در نهایت اطلاعات به‌دست آمده از همه منابع با یکدیگر تلفیق شدند.

با توجه به وجود هم‌پوشانی و همچنین نزدیکی نقاط وقوع آتش، ابتدا نقاط دارای هم‌پوشانی حذف شده و حداقل فاصله ۱۰۰ برای وقوع در نظر گرفته شد. در مجموع ۱۶۲ نقطه آتش برای دوره زمانی مورد مطالعه برای منطقه حفاظت‌شده دینارکوه در شهرستان آبدانان به‌دست آمد.

پس از حذف نقاط تکراری و نزدیک به یکدیگر، تنها ۹۸ نقطه دارای سابقه آتش باقی‌مانده که به دو گروه نقاط مدل‌سازی (معادل ۷۰ درصد نقاط نهایی) و نقاط ارزیابی

مدل (معادل ۳۰ درصد نقاط نهایی) تقسیم شدند که به‌ترتیب شامل ۶۲ و ۲۶ نقطه بودند.

پس از تهیه نقشه عوامل مؤثر بر وقوع آتش و همچنین جمع‌آوری و تلفیق اطلاعات مناطق دارای سابقه آتش‌سوزی، مدل‌سازی مناطق حساس به وقوع آتش با استفاده از دو مدل ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) و جنگل تصادفی (RF) در نرم افزار R انجام شد.

برای ارزیابی دقت، از آماره سطح زیر نمودار (AUC^1) در منحنی ROC در نرم افزار SPSS استفاده شد. این آماره بین صفر تا ۱ متغیر بوده و اعداد بیشتر از ۰/۵ بیانگر دقت قابل قبول برای مدل است. همچنین از چهار آماره ضریب تبیین (R -squared)، خطای جذر میانگین مربعات 2 (RMSE)، میانگین خطای مطلق 3 (MAE)، و معیار اطلاعات بیزین 4 (BIC) برای بررسی دقت نتایج دو مدل استفاده شد.

نتایج

نتایج نشان داد که دامنه ارتفاعی منطقه بین ۶۶۷ تا ۱۹۳۵ متر از سطح دریا بود که بیش از ۷۰ درصد از سطح منطقه در دامنه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ قرار داشت. دامنه شیب منطقه بین صفر تا ۶۱/۸ درصد بود به‌طوریکه بیش از ۶۰ درصد از سطح منطقه در دامنه شیب بین ۱۰ تا ۴۰ درصد قرار داشت. همچنین در این منطقه، جهت شمال، شرق، جنوب و غرب به‌ترتیب ۲۴، ۱۶، ۲۳ و ۲۹ درصد از سطح منطقه را تشکیل می‌دهند و سایر مناطق فاقد جهت (هموار) بودند (شکل ۲).

پراکندگی نقاط آتش‌سوزی در ارتباط با میانگین دمای سالیانه بسیار متغیر بود. به‌طوریکه در میانگین دمای بین ۲۲/۱۸ تا ۲۵/۴۲ درجه سانتی‌گراد، بیش‌ترین تراکم نقاط مشاهده گردید.

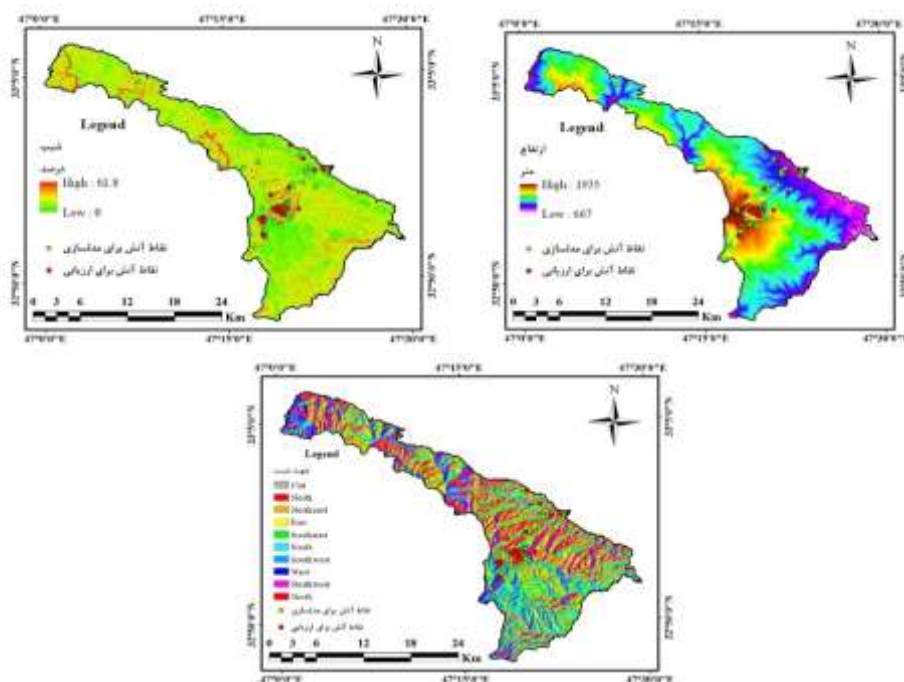
بیش‌ترین دمای سالیانه در جهت‌های جنوبی و کم‌ترین میزان آن در جهت شمال و شمال‌شرقی بود. دامنه بارش سالانه از ۳۴۸/۹۳ تا ۶۲۴/۵۵ میلی‌متر متغیر بود.

¹ - Area Under the Curve

² - Root mean square error

³ - Mean Absolute Error

⁴ - Bayesian Information Criterion



شکل ۲- نقشه توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت) منطقه حفاظت‌شده دینارکوه

برابر با ۰/۱۴۵ بود که بیانگر پوشش گیاهی متوسط تا ضعیف است (شکل ۴).

نتایج نشان داد که بیشینه فاصله از جاده تا ۳۳۱۸۶ متر بود. در همه فواصل، پراکندگی نقاط آتش‌سوزی مشاهده گردید، به طوری که بیش‌ترین تراکم نقاط وقوع آتش در مناطقی با فاصله کمتر از جاده اتفاق افتاده بود و با افزایش فاصله از جاده، میزان وقوع آتش‌سوزی کاهش یافت (شکل ۵).

فاصله از جنگل، فاصله از رودخانه و فاصله از اراضی کشاورزی نیز از جمله عواملی هستند که فاصله از آن بر پتانسیل وقوع به آتش تأثیر خواهد داشت که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند.

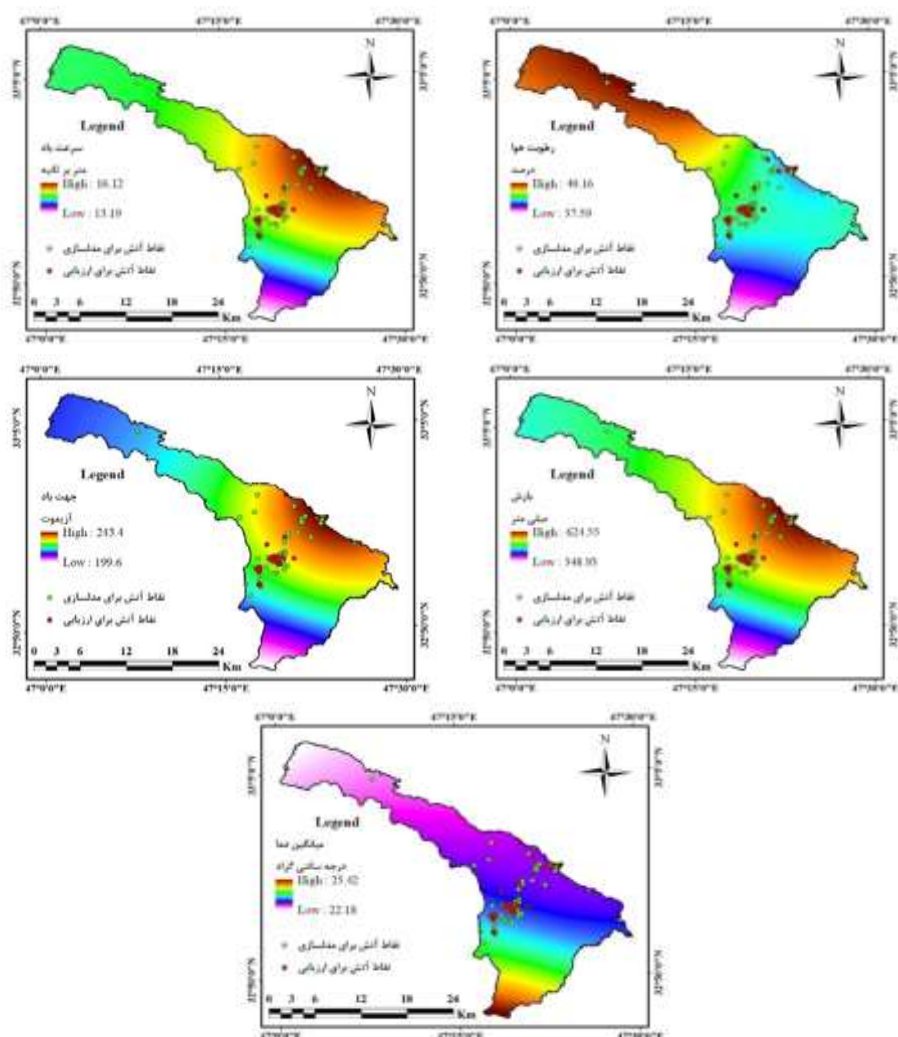
براساس نتایج تعیین اهمیت نسبی عوامل مؤثر در وقوع آتش، نتایج نشان داد که عوامل اقلیمی (رطوبت نسبی هوا)، پوشش گیاهی، فاصله از جاده و میانگین دمای هوا تأثیرگذارترین و فاصله از جنگل، درصد شیب و جهت جغرافیایی کم اهمیت‌ترین پارامترها در امر آتش‌سوزی در منطقه حفاظت‌شده دینارکوه در شهرستان آبدانان بودند (شکل ۶).

بخش بیشتری از نقاط آتش‌سوزی در مناطقی که با میزان بارش سالانه متوسط قرار گرفته بودند، اتفاق افتاده است. بخشی از تراکم نقاط آتش‌سوزی در بارش سالانه کم نیز واقع شده است. بیش‌ترین میزان بارش در جهت‌های غربی شمال‌غربی و کم‌ترین میزان آن در جهت جنوبی بود. نتایج نشان داد که مناطق شمالی دارای بیش‌ترین مقدار رطوبت‌نسبی هوا بودند در حالی که مناطق جنوبی رطوبت‌نسبی کمتری داشتند.

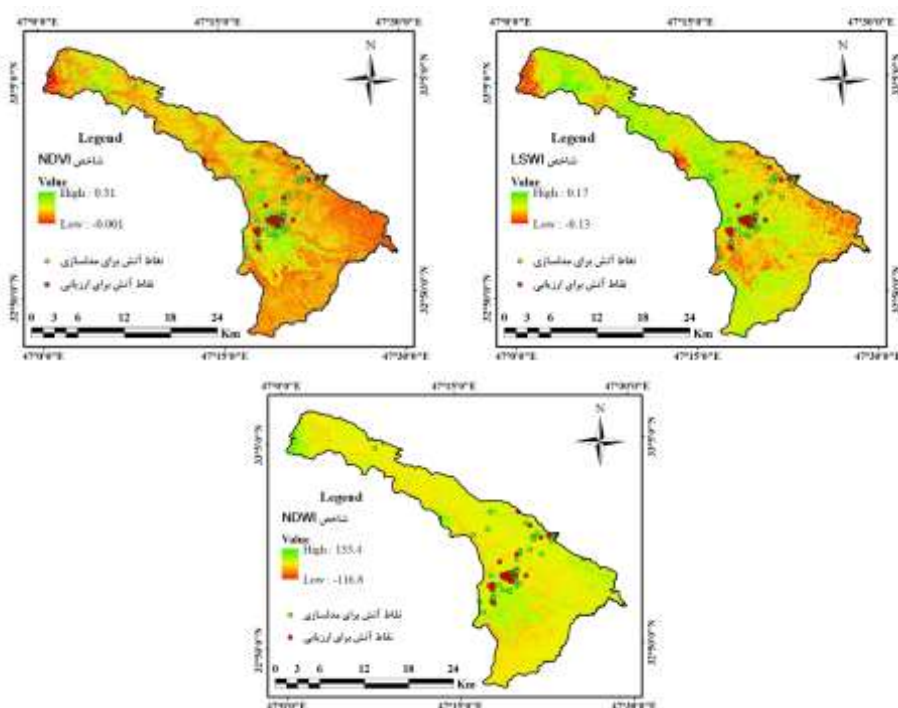
براساس اطلاعات به‌دست آمده از درون‌یابی سرعت باد در منطقه حفاظت‌شده دینارکوه، حداکثر سرعت باد (۱۶/۱۲ متر بر ثانیه) در مناطق شرقی مشاهده شد در حالیکه حداقل سرعت باد برابر با ۱۳/۱۹ متر بر ثانیه در مناطق جنوبی وجود داشت.

بررسی جهت باد غالب بر حسب آزمونوت (زاویه با شمال جغرافیایی) نشان داد که عمده بادهای موجود در منطقه دارای جهت جنوب-غرب هستند (شکل ۳).

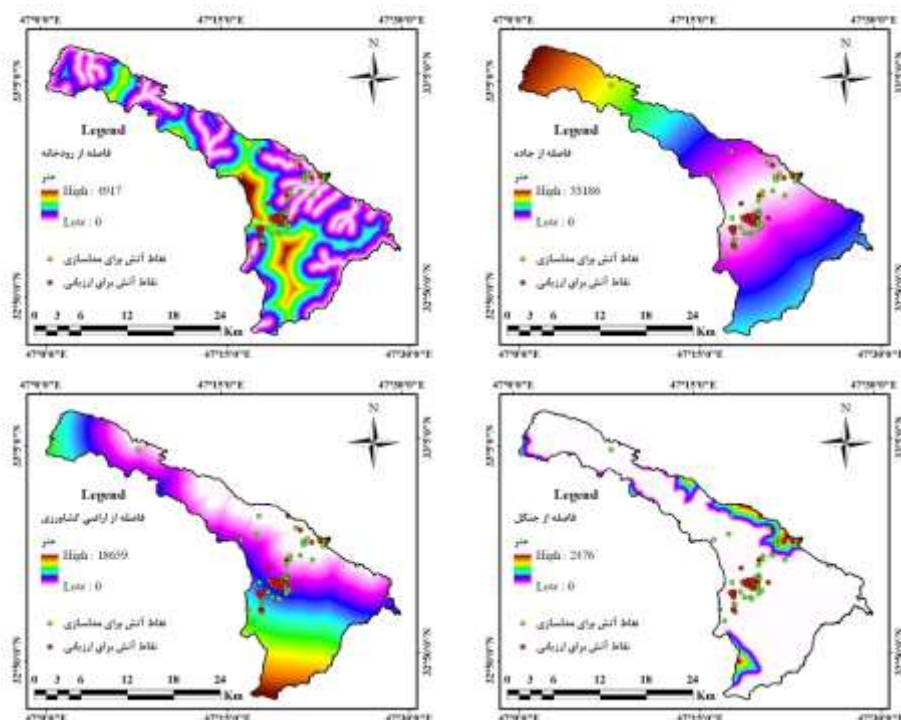
براساس نتایج، دامنه شاخص پوشش گیاهی NDVI از ۰/۰۰۱- تا ۰/۳۱ متغیر بود. آتش‌سوزی براساس نتایج، میانگین شاخص NDVI برای مناطق دارای سابقه آتش



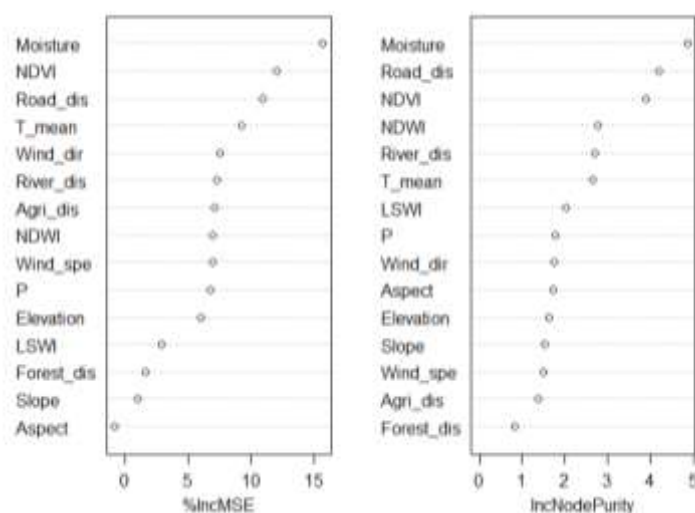
شکل ۳- نقشه متغیرهای اقلیمی منطقه حفاظت شده دینارکوه



شکل ۴- نقشه طبقات پوشش گیاهی در منطقه حفاظت شده دینارکوه



شکل ۵- نقشه عوامل انسانی در منطقه حفاظت شده دینار کوه



شکل ۶- تعیین مهم ترین عامل مؤثر بر وقوع آتش در منطقه حفاظت شده دینار کوه

جهت های جنوب غربی بیشترین میزان آتش سوزی را به خود اختصاص دادند که هم راستا با جهت باد غالب در منطقه بود. همچنین میزان رطوبت در مناطقی که دچار آتش سوزی شده بودند کمتر از منطقه شاهد بود. علاوه بر این نتایج این تحقیق نشان داد که بیشتر آتش سوزی ها در فواصل نزدیک روستاها، رودخانه ها و جاده ها اتفاق افتاده است (جدول ۱).

نتایج مقایسه تأثیر عوامل مختلف بر آتش سوزی نشان داد که از نظر شاخص های NDVI، میزان بارندگی، سرعت باد، جهت باد، میزان رطوبت، فاصله از جنگل، فاصله از رودخانه، فاصله از روستا بین دو منطقه آتش سوزی و منطقه شاهد اختلاف معنی داری وجود دارد (جدول ۱).

به طوریکه در مناطق دارای سابقه آتش سوزی، دمای هوا، سرعت باد و مقدار پوشش گیاهی به صورت معنی داری از منطقه کنترل بیشتر بود.

جدول ۱- نتایج آنالیز t مستقل بین نقاط آتش سوزی و کنترل (میانگین $\pm$ اشتباه معیار)

شاخص	T	p	آتش	کنترل
NDVI	۳/۸۸۲	۰/۰۰۰	۰/۱۴۵ $\pm$ ۰/۰۰۴	۰/۱۲۴ $\pm$ ۰/۰۰۲
LSWI	۰/۴۹۷	۰/۶۱۹	۰/۰۰۴ $\pm$ ۰/۰۰۳	۰/۰۰۲ $\pm$ ۰/۰۰۲
NDWI	-۰/۳۱۷	۰/۷۵۲	۰/۰۹۸ $\pm$ ۰/۰۰۵	۰/۱۰۰ $\pm$ ۰/۰۰۳
بارندگی	۴/۵۳۷	۰/۰۰۰	۵۵۸/۰۹۳ $\pm$ ۴/۰۱	۵۳۰/۱۴ $\pm$ ۴/۱۸
میانگین دما	۱/۶۰۶	۰/۱۱۰	۲۳/۱۰۱ $\pm$ ۰/۰۲۳۵۸	۲۳/۰۰۳ $\pm$ ۰/۰۴۶
سرعت باد	۴/۴۱۷	۰/۰۰۰	۱۵/۴۲۵ $\pm$ ۰/۰۴۱	۱۵/۱۴۷ $\pm$ ۰/۰۴۲
جهت باد	۵/۱۴۲	۰/۰۰۰	۲۳۱/۰۵۵ $\pm$ ۰/۷۱۸۸	۲۲۵/۲۶۱ $\pm$ ۰/۷۶۹
رطوبت	-۴/۶۷۱	۰/۰۰۰	۳۸/۸۵۰ $\pm$ ۰/۰۲۳۷	۳۹/۱۷ $\pm$ ۰/۰۵۲
فاصله از جنگل	۲/۵۸۰	۰/۰۱۱	۳۰۶/۷۵۱ $\pm$ ۷۲/۰۲۵	۱۲۳/۷۶ $\pm$ ۳۳/۴۶
فاصله از کشاورزی	-۱/۳۸۳	۰/۱۶۸	۳۱۵۸/۹ $\pm$ ۲۸۲/۱	۳۸۱۹/۳ $\pm$ ۳۳۳/۹
فاصله از رودخانه	-۳/۳۳۴	۰/۰۰۱	۵۳۶/۸۴۵ $\pm$ ۴۸/۶	۸۶۶/۵۶ $\pm$ ۷۲/۱
فاصله از جاده	-۷/۰۲۸	۰/۰۰۰	۱۹۰۳/۹ $\pm$ ۱۳۲/۲	۴۱۶۹/۲۱ $\pm$ ۲۴۱/۰۲
شیب	-۰/۰۵۸	۰/۹۵۴	۱۵/۷ $\pm$ ۱/۱	۱۵/۷۶ $\pm$ ۰/۹
ارتفاع از سطح دریا	۱/۸۶۴	۰/۰۶۴	۱۳۸۱/۱۸ $\pm$ ۳۴/۲	۱۳۰۶/۸ $\pm$ ۲۳/۳
جهت جغرافیایی	۰/۸۹۱	۰/۳۷۴	۱۶۳/۹۲۰ $\pm$ ۱۲/۱	۱۴۹/۸۳ $\pm$ ۹/۹۴

در مدل جنگل تصادفی، پراکندگی نقاط حساس به آتش و یا نقاطی که احتمال متوسط و زیاد آتش سوزی دارند، نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان مساحت کمتری داشتند (شکل ۷).

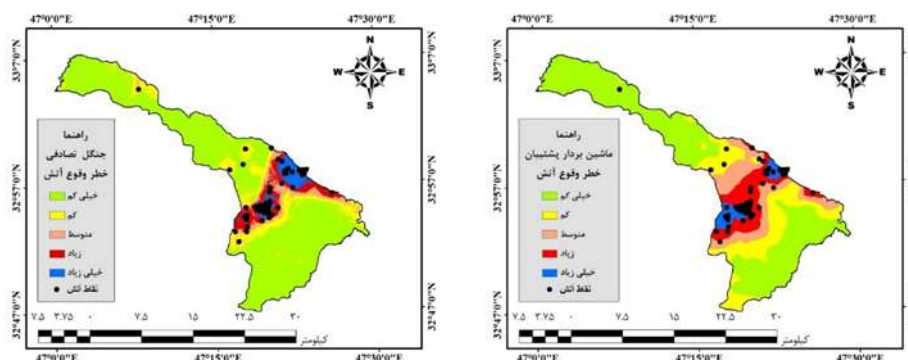
این در حالی است که مناطق با احتمال خیلی کم خطر آتش سوزی از مدل ماشین بردار پشتیبان بیشتر بود. بیشترین سطح منطقه در کلاس خطر خیلی کم قرار داشت که معادل ۵۹/۲۴ درصد بود و مساحتی برابر ۲۴۶۳۶/۳ هکتار را به خود اختصاص داد (جدول ۲). پس از کلاس خطر خیلی کم، کلاس خطر کم بیشترین فراوانی را داشت (۳۱/۴۲ درصد). مساحت کلاس خطر متوسط برابر ۱۳۰۶۹/۴۳ هکتار می باشد. کلاس های خطر زیاد و خیلی زیاد به ترتیب معادل ۱/۸۰ و ۰/۸۶ درصد از مساحت کل نقاط حساس را شامل شدند.

در مدل ماشین بردار پشتیبان مناطقی با حساسیت بالا به آتش سوزی دارای مساحت کمتری بودند (شکل ۷). پس از مدل سازی و مشخص شدن مقادیر نقاط مجهول و ایجاد نقشه پیوسته احتمال خطر وقوع آتش سوزی، سپس نقشه پیوسته ایجاد شده به پنج کلاس کم خطر، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی گردید. همان گونه که مشخص است نقاط با احتمال خطر خیلی کم و کم بخش زیادی از مساحت نقشه مورد نظر را به خود اختصاص داده اند. به ترتیب ۱۰۷۷۰/۶ (۲۵/۹۰ درصد مساحت) و ۲۵۲۱۶/۳ (۶۰/۶۳ درصد مساحت) هکتار از سطح منطقه حفاظت شده دینارکوه در کلاس های خطر خیلی کم و کم قرار گرفتند. در حالی که سطح بسیار کمی از منطقه در کلاس خطر وقوع آتش خیلی زیاد و زیاد قرار داشت (شکل ۷).

جدول ۲- مساحت مناطق مختلف با توجه پتانسیل وقوع آتش براساس مدل های مورد استفاده

پتانسیل وقوع آتش	ماشین بردار پشتیبان		جنگل تصادفی	
	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
خیلی کم	۱۰۷۷۰/۶۱	۲۵/۹۰	۲۴۶۳۶/۳	۵۹/۲۴
کم	۲۵۲۱۶/۳۱	۶۰/۶۳	۱۳۰۶۹/۴۳	۳۱/۴۲
متوسط	۳۹۹۸/۴۴	۹/۶۱	۲۷۷۸/۷۹	۶/۶۸

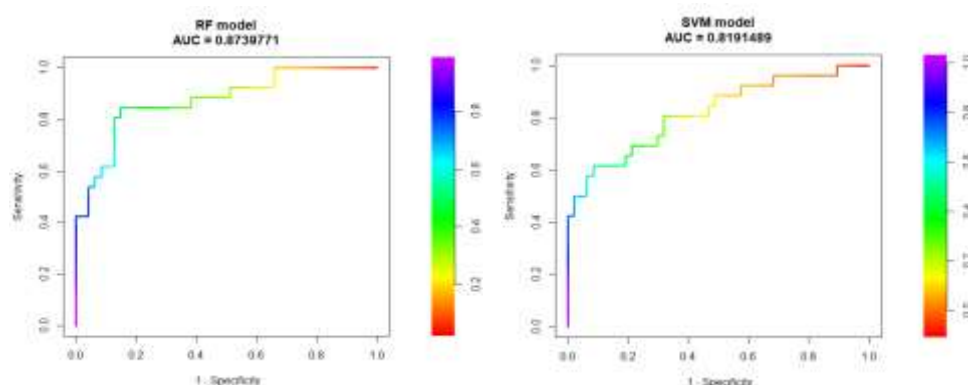
زیاد	۱۲۹۲/۳۹	۳/۱۱	۷۴۹/۷۷	۱/۸۰
خیلی زیاد	۳۱۲/۲۴	۰/۷۵	۳۵۵/۶۹	۰/۸۶



شکل ۷- نتایج کلاس بندی مدل سازی وقوع آتش براساس مدل های مورد استفاده

بررسی شاخص سطح زیر نمودار (AUC) در دو روش ماشین بردار پشتیبان (AUC=0.82) بود (شکل ۸).

بررسی شاخص سطح زیر نمودار (AUC) در دو روش جنگل تصادفی



شکل ۸- نتایج ارزیابی دقت مدل های یادگیری ماشین در تعیین مناطق حساس به وقوع آتش

نتایج، مدل جنگل تصادفی دارای ضریب تبیین ۴۲ درصد و ماشین بردار پشتیبان دارای ضریب تبیین ۳۳ درصد بودند (جدول ۳).

ارزیابی دقت دو مدل، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان براساس آماره های آماری ارزیابی دقت، نشان داد که جنگل تصادفی دارای ضریب تبیین بالاتر و میزان خطای کمتری بود (جدول ۳). براساس

جدول ۳- نتایج ارزیابی دقت روش های یادگیری ماشین

آماره	جنگل تصادفی	ماشین بردار پشتیبان
R-squared	۰/۴۱۸	۰/۳۳۱
RMSE	۰/۳۷۱	۰/۳۹۷
MAPE	۳۷/۴۹۰	۴۳/۰۵۲
MaxAPE	۹۱/۲۲۲	۹۴/۰۰۲
MAE	۰/۲۸۳	۰/۳۰۷
MaxAE	۰/۹۱۲	۰/۹۴۰
Normalized BIC	-۱/۸۶۸	-۱/۷۳۰

دارای سابقه آتش را در مناطق با پتانسیل خیلی زیاد وقوع آتش طبقه‌بندی کرده بودند. همچنین در مورد نقاط کنترل، مدل جنگل تصادفی ۷۵ درصد و مدل ماشین‌بردار پشتیبان ۴۹ درصد این نقاط را در کلاس خطر وقوع آتش خیلی کم طبقه‌بندی کردند (جدول ۴).

در نهایت برای ارزیابی دو مدل، میزان صحت طبقه‌بندی داده‌های مورد استفاده برای ارزیابی سنجیده شد. این داده‌ها متشکل از دو نوع داده (صفر و یک، نقاط شاهد و نقاط دارای سابقه آتش) بود. براساس این ارزیابی نیز مشخص گردید مدل جنگل تصادفی و ماشین‌بردار پشتیبان به ترتیب ۷۶ و ۶۴ درصد از نقاط

جدول ۴- ارزیابی دقت مدل‌های مورد بررسی براساس طبقه‌بندی صحیح نقاط آتش و غیر آتش در کلاس‌های مختلف. (لازم به ذکر است در مورد نقاط آتش، مدل بهتر است که درصد بیشتری از نقاط را در کلاس خطر زیاد دسته‌بندی کند درحالی‌که در نقاط غیر آتش، مدل بهتر است که بیشتر نقاط را در کلاس خطر آتش خیلی کم طبقه‌بندی کند).

کلاس خطر وقوع آتش	دسته‌بندی	جنگل تصادفی		ماشین‌بردار پشتیبان	
		تعداد	درصد	تعداد	درصد
خیلی کم		۱	۱/۳۹	۱	۱/۳۹
کم		۰	۰	۳	۴/۱۷
متوسط	نقاط آتش (دارای سابقه آتش)	۴	۵/۵۶	۵	۶/۹۴
زیاد		۱۲	۱۶/۶۷	۱۷	۲۳/۶۱
خیلی زیاد		۵۵	۷۶/۳۹	۴۶	۶۳/۸۹
کلاس خطر وقوع آتش	دسته‌بندی	جنگل تصادفی		ماشین‌بردار پشتیبان	
		تعداد	درصد	تعداد	درصد
خیلی کم		۸۶	۷۵/۴۴	۵۶	۴۹/۱۲
کم		۱۵	۱۳/۱۶	۱۹	۱۶/۶۷
متوسط	نقاط غیر آتش (بدون سابقه آتش)	۶	۵/۲۶	۱۹	۱۶/۶۷
زیاد		۴	۳/۵۱	۱۴	۱۲/۲۸
خیلی زیاد		۳	۲/۶۳	۶	۲/۲۶

بحث

یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب اکوسیستم‌های طبیعی آتش‌سوزی می‌باشد که از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی، امنیتی و زیست‌محیطی از اصلی‌ترین نگرانی‌ها در بسیاری از نقاط جهان است و نقش اساسی در تغییر ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های طبیعی دارد [۱۷].

گسترش آتش تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله پوشش گیاهی، عوامل انسانی، اقلیمی و توپوگرافی می‌باشد. از این‌رو شناسایی عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع و مناطقی که این عوامل در آنها غالبیت دارد، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است [۳۹].

آتش‌سوزی‌ها در سطح جهان تا ۹۰ درصد می‌تواند در نتیجه عوامل انسانی باشد [۲۲]. بسیاری از این عوامل انسانی باهم در ارتباط هستند. به‌طوریکه، وقوع

آتش‌سوزی با نزدیکی جاده‌ها و سکونتگاه‌ها در ارتباط است [۳۶] که هم‌راستا با یافته‌های این تحقیق مبتنی بر سهم بیشتر عوامل انسانی (فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از جاده) در منطقه دینارکوه، بر وقوع آتش است. با توجه به اینکه فعالیت‌های انسانی در نزدیک جاده‌ها و مناطق مسکونی بیشتر می‌باشد، پس با کاهش فاصله از جاده‌ها احتمال خطر آتش‌سوزی افزایش پیدا می‌کند [۱۹].

منطقه دینارکوه به علت طبیعت زیبا و مناظر بکر، وجود جاذبه‌های گردشگری و نزدیکی به شهر، سبب جذب مسافران و گردشگران زیادی به منطقه می‌شود. به همین دلیل، یکی از عوامل بروز آتش‌سوزی در این مناطق، بی‌احتیاطی گردشگران و حتی ساکنین منطقه، در حاشیه‌ی جاده می‌باشد. مطالعات بسیاری، افزایش

آتش‌سوزی در جنگل به علت نزدیکی به جاده را تأیید کرده‌اند که می‌توان به مطالعه [۱۹، ۳۶] اشاره کرد.

عامل بعدی تأثیرگذار بر ایجاد آتش‌سوزی، فاصله از روستاها و اراضی کشاورزی بود [۲۷]. ساکنین روستاهای اطراف این مناطق و یا ساکنین داخل محدوده‌های جنگلی به میزان زیادی برای تأمین انرژی به جنگل وابسته هستند. بنابراین علاوه بر مسافران و گردشگران، نقش ساکنین منطقه در ایجاد حریق به‌ویژه حریق‌های پس‌چر مزارع که سبب گسترش به داخل منابع جنگلی می‌شود، نیز در این زمینه غیرقابل انکار است.

براساس مطالعات انجام‌شده، وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها با فاصله از روستا نسبت معکوسی دارد [۷]. نتایج تحقیق حاضر در زمینه نقش عوامل انسانی در وقوع نقاط آتش در منطقه حفاظت‌شده دینارکوه با نتایج [۱۲] مطابقت داشت.

بین آتش‌سوزی‌های جنگلی و عوامل توپوگرافی (مانند ارتفاع و شیب)، روابطی وجود دارد [۳۱]. ارتفاع از سطح دریا فاکتوری است که به‌طور غیرمستقیم بر وقوع آتش‌سوزی تأثیر می‌گذارد. به گونه‌ای که این عامل از طریق تعدیل شرایط آب‌وهوایی بر وقوع آتش‌سوزی اثرگذار است. سایر تحقیقات نیز [۱، ۳۶] گزارش نمودند که مناطق با ارتفاع کمتر دارای خطر وقوع آتش بیشتری هستند.

پوشش گیاهی نیز یکی از عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی در مناطق مختلف است [۳۷] که نوع پوشش نقش مهمی در تعیین خطر نسبی و رفتار احتمالی آتش در جنگل را ایفا می‌کند [۱۶]. معمولاً در مناطقی که پوشش گیاهی مناسبی دارند، وجود لاشبرگ‌ها در سطح زمین در اواخر تابستان و شروع فصل پاییز موجب بروز آتش‌سوزی می‌شود [۳۳]. در این راستا، نتایج تحقیق حاضر نشان‌داد که مناطق دارای سابقه وقوع آتش دارای مقدار پوشش بیشتری هستند که تاییدی بر نتایج به‌دست آمده در این تحقیق است.

نتایج این تحقیق نشان‌داد میانگین دما در مناطق دارای سابقه وقوع آتش، به‌صورت معنی‌داری نسبت به مناطق کنترل بیشتر بود. به‌طور کلی، دما می‌تواند یکی از عوامل اصلی مؤثر بر وقوع و افزایش خطر آتش‌سوزی‌های

جنگلی باشد [۴۲]. در این راستا برخی محققین [۶] در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین آتش‌سوزی در ماه‌های گرم سال رخ می‌دهد. همچنین مطالعات مختلف نشان می‌دهد که افزایش دما سبب افزایش وقوع آتش‌سوزی خواهد شد [۱۰، ۲۸].

نتایج نشان‌داد که مناطق دارای سابقه وقوع آتش، دارای رطوبت نسبی کمتری نسبت به مناطق کنترل بودند. به عبارتی، بین رطوبت نسبی هوا و وقوع آتش‌سوزی ارتباط منفی وجود دارد که هم‌راستا با نتایج سایر تحقیقات است [۲]. در تایید این نتیجه، یافته‌های این تحقیق نشان‌داد که وقوع آتش در جهت جنوبی‌غربی بیش از سایر جهات جغرافیایی بود. جهت‌های جنوبی به علت دریافت نور بیشتر و خشکی بیشتر، نسبت به شیب شمالی که دارای رطوبت بالاتری هستند، استعداد مناسب‌تری برای وقوع آتش‌سوزی دارند.

اعتبارسنجی نقشه‌های حساسیت به آتش، حاکی از دقت بالاتر روش جنگل تصادفی نسبت به ماشین‌بردارپشتیبان بود. هم‌راستا با این نتیجه، سایر تحقیقات [۱۴، ۲۶، ۴۴] بر کارایی بالاتر روش جنگل-تصادفی تأکید دارند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نقشه حساسیت به وقوع آتش‌سوزی بر پایه مدل‌های ماشین‌بردارپشتیبان و جنگل تصادفی با استفاده از پارامترهای اقلیمی، توپوگرافی، عوامل بیولوژیک یا پوشش گیاهی و عوامل انسانی تهیه شد.

براساس نتایج به‌دست آمده، روش‌های یادگیری ماشینی از دقت بالایی در پیش‌بینی مناطق حساس به وقوع آتش برخوردارند، هرچند دقت مدل جنگل تصادفی نسبت به ماشین‌بردارپشتیبان بیشتر بود.

نتایج این تحقیق نشان‌داد که عوامل اقلیمی از قبیل رطوبت نسبی و میانگین دمای هوا، مقدار پوشش گیاهی و فاصله از جاده مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع آتش در منطقه حفاظت‌شده دینارکوه هستند. با توجه به پتانسیل بالاتر مناطق نزدیک به جاده، پیشنهاد می‌شود عملیات‌های پیشگیرانه از قبیل احداث آتش‌بر در این منطقه با تمرکز بیشتری ایجاد شود. همچنین با توجه به

وسیله از زحمات و حمایت‌های آنها تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از زحمات جناب آقای دکتر محمدی مدیر کل محیط‌زیست استان ایلام و جناب آقای مهندس محمدی معاون محیط طبیعی و سایر کارشناسان این اداره و همچنین کارکنان محترم معاونت پژوهشی دانشگاه ایلام تشکر و قدردانی نمایند.

تمرکز بیشتر آتش‌های اتفاق افتاده مناطق مرکزی و نزدیک جاده، پیش‌بینی و احداث ایستگاه اطفاء حریق در این مناطق تاثیر بسزائی در کنترل سریع‌تر و کاهش خسارات آتش‌سوزی‌های احتمالی خواهد داشت.

سیاسگزاری

مقاله حاضر مستخرج از قرارداد پژوهشی بین اداره کل محیط‌زیست استان ایلام و دانشگاه ایلام می‌باشد که بدین

References

- [1]. Adab H., Kanniah K., & Solaimani K. (2011). GIS-based probability assessment of fire risk in grassland and forested landscapes of Golestan province, Iran. *Environmental Science, Geography*, 19, 170-175.
- [2]. Adab, H., Kanniah, K.D., & Solaimani, K. (2013). Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Natural Hazards*, 65(2), 1723-1743. doi: 10.1007/s11069-012-0450-8.
- [3]. Artes, T., Cencerrado, A., Cortes, A., & Margalef, T. (2013). Relieving the effects of uncertainty in forest fire spread prediction by hybrid MPI-OpenMP parallel strategies. *International Conference on Computational science, Procedia Computer Science*, 18, 2278-2287. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.05.399>.
- [4]. Babu, K.N., Gour, R., Ayushi, K., Ayyappan, N., & Parthasarathy, N. (2023). Environmental drivers and spatial prediction of forest fires in the Western Ghats biodiversity hotspot, India: An ensemble machine learning approach. *Forest Ecology and Management*, 504, 121057. doi: 10.1016/j.foreco.2023.121057.
- [5]. Bagherabadi, R., Shikhkanloo Milan, F., & Zarei Mohammadabad, M. (2022). Evaluation of fire risk in the Zagros forests (Case study: Dalahu County). *Management of Natural Ecosystems*, 2(2), 60-72. Doi: 10.22034/emj.2022.254859 [in Farsi].
- [6]. Bahrami-Pichaghchi, H., Norooz-Valashedi, R., & Gholami Sefidkouhi, M. A. (2024). Investigating the trend of wildfires and its relationship with climate variables using satellite data (case study: Mazandaran province). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 13(39), 127-140. Doi:10.22111/jneh.2023.45573.1967 [in Farsi].
- [7]. Bazyar, M., Oladi Ghadikolaii, J., Pourghasemi, H.R., & Serajyan maralan M.R. (2018). Zoning and Investigation of Factors Affecting Forest Fire Using Evidential Belief Function Algorithm and Support Vector Machine in Boyer Ahmad City. *Iranian Journal of Forests and Rangelands Protection Research*, 17(2), 197-222. doi: 10.22092/ijfrpr.2020.128649.1406 [in Farsi]
- [8]. Benbakkar, H.A., Souidi, Z., Bardadi, A., & Bento-Gonçalves, A. (2024). Forest Fires Risk in A semi -Arid Region: A Case Study in Western Alger. *International Journal of Professional, Business. Review*, 9(5), 1-20.
- [9]. Chamandeh, J., Alvaninejad, S., & Gholami, P. (2017). A survey of composition and diversity of herbaceous species after a fire in Persian Oak forests of Southern Zagros. *Journal of Wood & Forest Science and Technolog*, 24(3), 1-15. doi: 10.22069/jwfst.2017.11742.1620 [in Farsi]
- [10]. Charizanos, G., & Demirhan, H. (2023). Bayesian prediction of wildfire event probability using normalized difference vegetation index data from an Australian forest. *Ecological Informatics*, 73, 101899. doi: 10.1016/j.ecoinf.2022.101899.
- [11]. Ellison, D., Morris, C.E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., Van Noordwijk, M., Creed, I.F., Pokorny, J., & Gaveau, D. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43, 51-61. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002.
- [12]. Emami, H., & Shahriari, H. (2020). Quantification of environmental and human factors in the occurrence of forest fire with RS and GIS methods. *Arsbaran protected areas. Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR)*, 28(112), 35- 53. doi: 10.22131/sepehr.2020.38606 [in Farsi].
- [13]. Enoh, M.A., Okeke, U.C., & Narinua, N. Y. (2021). Identification and modelling of forest fire severity and risk zones in the Cross – Niger

- transition forest with remotely sensed satellite data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 879-887. doi: 10.1016/j.ejrs.2021.09.002.
- [14]. Eskandari, S., Pourghasemi, H.R., & Tiefenbacher, J.P. (2020). Relations of land cover, topography, and climate to fire occurrence in natural regions of Iran: Applying new data mining techniques for modeling and mapping fire danger. *Forest Ecology and Management*, 473, 118338. doi: 10.1016/j.foreco.2020.118338.
- [15]. Farfán, M., Dominguez, C., Espinoza, A., Jaramillo, A., Alcántara, C., Maldonado, V., Tovar, I., & Flamenco, A. (2021). Forest fire probability under ENSO conditions in a semi-arid region: a case study in Guanajuato. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193 (10), 684. doi: 10.1007/s10661-021-09494-0.
- [16]. 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.
- [17]. Huang, L., Zhou, M., Lv, J., & Chen, K. (2020). Trends in global research in forest carbon sequestration: A bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119908. doi: doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119908.
- [18]. Jafari, M., Karamshahi, A., Heydari, M., Mirzaei, J., & Jafarian, N. (2024). Evaluation of oak decline in relation to the diversity of woody species, soil properties and physiographic factors in southern Zagros forests. *Journal of Arid Biome*, 14(1), 91-106. doi: 10.29252/aridbiom.2024.21417.2006.
- [19]. Jahdi, R.; Beiranvandi, V., & Amini, H. (2024). Wildfire Risk Assessment in Zagros Forests using Geographic Information System and Best-Worst Method (BWM) (Case Study: Dore Chegeni County, Lorestan Province). *Journal of Geography and Environmental Studies*, 13 (49): 68-85. <https://www.magiran.com/p2740687> [in Farsi].
- [20]. Javanmiri Pour, M., Valipour, J., & Hasanzadeh, A. (2022). Study of structural factors and effective motives in causing forest and pasture fires in semi-arid ecosystems of the Zagros Mountain. *Journal of Arid Biome*, 11(2), 15-27. doi: 10.29252/aridbiom.2022.18321.1888.
- [21]. Kermani, F., Rayegani, B., Nezami, B., Goshtasb, H., & Khosravi, H. (2016). Assessing the vegetation trends in arid and semi-arid regions (Case study: Touran Protected Area). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 6(17), 1-14. doi: 10.22052/6.17.1 [in Farsi].
- [22]. Kolanek, A., Szymanowski, M., & Raczyk, A. (2021). Human activity affects forest fires: the impact of anthropogenic factors on the density of forest fires in Poland. *Forests*, 12(6), 728. doi: 10.3390/f12060728.
- [23]. Lal, R. (2003). Soil erosion and the global carbon budge. *Environment International*, 29(4), 437-450. doi: 10.1016/S0160-4120(02)00192-7.
- [24]. Merino-de-Miguela, S., Huescab, M., & González-Alonsob, F. (2010). Modis reflectance and active fire data for burn mapping and assessment at regional level. *Ecological Modelling*, 221(1), 67-74. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2009.09.015.
- [25]. Michael, Y., Helman, D., Glickman, O., Gabay, D., Brenner, S., & Lensky, I.M. (2020). Forecasting fire risk with machine learning and dynamic information derived from satellite vegetation index time-series. *Science of the Total Environment*, 746, 142844. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142844.
- [26]. Moghim, S., & Mehrabi, M. (2024). Wildfire assessment using machine learning algorithms in different region. *Fire Ecology*, 20, 104. doi: 10.1186/s42408-024-00335-2.
- [27]. Mohammadi, F., Bavaghar, M.P., & Shabanian, N. (2014). Forest fire risk zone modeling using logistic regression and GIS: an Iranian case study. *Small-scale Forestry*, 13, 117-125. doi: 10.1007/s11842-013-9244-4.
- [28]. Morovati, M., & Karami, P. (2024). Modeling the seasonal wildfire cycle and its possible effects on the distribution of focal species in Kermanshah Province, western Iran. *PLoS ONE*, 19(10), e0312552. doi: 10.1371/journal.pone.0312552.
- [29]. Najafi, A., Irannezhad, M. H., Sotoudeh, A., Mokhtari, M.H., & Kiani, B. (2016). Modeling and Risk Mapping of Forest Fires using Remote Sensing and GIS (Case Study: Baghe-Shadi Protected Area, Yazd Province). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 4 (14), 13-26. doi: 10.18869/acadpub.ijae.4.14.13.
- [30]. Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., & Ciais, P. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333 (6045), 988-993. doi: 10.1126/science.1201609.
- [31]. Rodriguez-Jimenez, F., Lorenzo, H., Acuna-Alonso, C., & Alvarez, X. (2023). PLS-PM analysis of forest fires using remote sensing tools. The case of Xurés in the Transboundary Biosphere Reserve. *Ecological Informatics*, 75, 102010. doi: 10.1016/j.ecoinf.2023.102010.
- [32]. Saha, S., Bera, B., Shit, P.K., Bhattacharjee, S., & Sengupta, N. (2023). Prediction of forest fire susceptibility applying machine and deep learning algorithms for conservation priorities of

- forest resources. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 29, 100917. doi: 10.1016/j.rsase.2022.100917.
- [33]. Saranya, K.R.L., Sudhakar Reddy, C., Prasada Rao, P.V.V., & Jha, C.S. (2014). Decadal time -scale monitoring of forest fires in Similipal Biosphere Reserve, India using remote sensing and GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 3283 –3296. doi: 10.1007/s12040-016-0685-y.
- [34]. Scott, J. H., Thompson, M. P., & Calkin, D. E. (2013). *A Wildfire Risk Assessment Framework for Land and Resource Management*. USDA Forest Service. *Rocky Mountain Research Station*. doi: 10.2737/rmrs-gtr-315.
- [35]. Serpa, D., Ferreira, R.V., Machado, A.I., Cerqueira, M.A., & Keizer, J.J. (2020). Mid-term post-fire losses of nitrogen and phosphorus by overland flow in two contrasting eucalypt stands in north-central Portugal. *Science of The Total Environment*, 705, 135843. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135843.
- [36]. Soualah, L., Bouzekri, A., & Chenchouni, H. (2024). Hoping the best, expecting the worst: Forecasting Forest fire risk in Algeria using fuzzy logic and GIS. *Trees, Forests and People*, 17, 100614. doi: 10.1016/j.tfp.2024.100614.
- [37]. Sowmya, S.V., & Somashekar, R.K. (2010). Application of remote sensing and geographical information system in mapping forest fire risk zone at Bhadra wildlife sanctuary, India. *Journal of Environmental Biology*, 31(6), 969-974.
- [38]. Szpakowski, D.M., & Jensen, J.L.R. (2019). A Review of the Applications of Remote Sensing in Fire Ecology. *Remote Sensing*, 11, 2638. doi: 10.3390/rs11222638.
- [39]. Veysi, R., Fattahi, B., & Khosrow Beigi, S. (2022). Predicting and preparing a risk map of rangeland fires using random forest algorithms and support vector machine (Case study: Arak rangelands). *Journal of Rangeland*, 16(1), 413-426. doi:20.1001.1.20080891.1401.16.2.13.7 [in Farsi].
- [40]. Watson, J.E., Evans, T., Venter, O., Williams, B., Tulloch, A., Stewart, C., Thompson, I., Ray, J.C., Murray, K., Salazar, A., & McAlpine, C. (2018). The exceptional value of intact forest ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, 2(4), 599-610. doi: 10.1038/s41559-018-0490-x.
- [41]. Xie, Y., & Peng, M. (2019). Forest fire forecasting using ensemble learning approaches. *Neural Computing and Applications*, 31, 4541–4550. doi: 10.1007/s00521-018-3515-0.
- [42]. Xu, H., & Schoenberg, F.P. (2011). Point process modeling of wildfire hazard in Los Angeles County, California. *Annals of Applied Statistics*, 5(2), 684-704. doi: 10.1214/10-AOAS401
- [43]. Yin, S., Wang, X., Guo, M., Santoso, H., & Guan, H. (2020). The abnormal change of air quality and air pollutants induced by the forest fire in Sumatra and Borneo in 2015. *Atmospheric Research*, 243, 105027. doi: 10.1016/j.atmosres.2020.105027.
- [44]. Zhao L., Ge, Y., Guo, S., Li, X., & Chen, S. (2024). Forest fire susceptibility mapping based on precipitation-constrained cumulative dryness status information in Southeast China: A novel machine learning modeling approach. *Forest Ecology and Management*, 558, 121771. doi: 10.1016/j.foreco.2024.121771..

Modeling the fire risk occurrence in Dinarkoh Protected Area, southern Ilam Province (Research Paper)

1- Javad Mirzaei, Department of Forestry, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran.

2- Reza Omidipour*, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran.

R.omidipour@ilam.ac.ir

3- Nahid Jafarian, Research Division of Forests, Rangelands and Watershed, Ilam Agricultural and Natural Resources Research Center (AREEO), Ilam, Iran.

Received: 3 Feb. 2025

Accepted: 10 Mar. 2025

Abstract

Fires are a serious threat to the world's forest ecosystems, especially in arid and semi-arid regions. Understanding the key factors affecting forest fire dynamics is essential for effective management and mitigation. For this reason, this study aimed to model the risk of forest fires in the semi-arid forests of southern Ilam province. First, the locations of previous fires in the region were extracted using MODIS satellite images between 2000 and 2023. The factors affecting on the fire's occurrence were identified and categorized in four main groups including topography, climate, vegetation and human factors. Random forest (RF) and support vector machine (SVM) models were used to predict and model the potential for fire occurrence. The area under the curve (AUC) in the ROC curve was used to evaluate the accuracy of the two models. Based on the results, the relative humidity, vegetation, distance from the road and average air temperature were the most influential and the distance from the forest, slope percentage and geographical direction were the least important factors in fires occurrence in the studied region. The accuracy assessment of the two models showed that the RF model (AUC=0.87) had a higher accuracy than SVM model (AUC=0.82). Based on the results of the RF model, more than 59 percent of the area had a very low risk of fire occurrence, while the high and very high-risk classes covered 1.80 and 0.86 percent (750 and 356 hectares, respectively) of the total area of the region. Given the concentration of fires in areas close to road, it is recommended that management measures and firefighting facilities be more in place in this area than in other areas to reduce and quickly control future fires.

Keywords: Climatic factors, MODIS sensor, Random Forest model, Vegetation.