مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان

دورهٔ ۱۴، شمارهٔ ۱ (پیاپی ۴۶)، بهار ۱۴۰۴، صفحه ۱ـ۱۶

مقاله پژوهشی

شناسایی متغیرهای تأثیرگذار بر آتش‌سوزی در اراضی طبیعی شهرستان خرم‌آباد با استفاده از مدل درخت تصمیم

سهیلا ناصری‌راد،[۱] حامد نقوی،[۲*] حمیدرضا پورقاسمی،[۳] آروین فخری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۱ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۵**

چکیده

وقوع مکرر آتش‌سوزی در اراضی طبیعی منطقهٔ زاگرس، ضرورت انجام پژوهش‌هایی برای شناسایی عوامل مؤثر و پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های آتی را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. لذا پژوهش حاضر با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی در حوزهٔ آبخیز شهرستان خرم‌آباد و با استفاده از روش مدل‌سازی مبتنی‌بر درخت تصمیم، انجام گرفت. بدین منظور تأثیر عوامل اقلیمی، توپوگرافی، کاربری و پوشش زمین و انسانی بر وقوع آتش‌سوزی در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. ازطرف دیگر، تعداد ۳۸۰ نقطهٔ آتش‌سوزی مربوط به بازهٔ زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۳ که از اداره‌کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان اخذ شده بود، به‌عنوان متغیر وابسته در روند مدل‌سازی به کار گرفته شد. ۷۰ درصد از این نقاط (۲۶۶ نقطه) به‌عنوان داده‌های آموزشی و ۳۰ درصد (۱۱۴ نقطه) برای داده‌های آزمون در نظر گرفته شد. برای ارزیابی و صحت‌سنجی مدل از منحنی ROC و ماتریس ابهام استفاده شد. تحلیل اهمیت متغیرها نشان داد که متغیرهای فاصله از جاده و شاخص نرمال‌شدهٔ تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی در منطقه است. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش میزان فاصله از جاده‌ها، افزایش تراکم پوشش گیاهی و نیز افزایش میزان تأثیر باد، میزان وقوع آتش‌سوزی نیز افزایش خواهد یافت. همچنین نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل نشان داد که توانایی مدل مذکور در تشخیص صحیح وقوع آتش‌سوزی در مقابل عدم وقوع آن، برابر با ۸۵ درصد است. نتایج این پژوهش، می‌تواند برای شناسایی عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی و پیش‌گیری از آتش‌سوزی‌های آینده و مدیریت پایدار اراضی مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: یادگیری ماشین، سنجش از دور، NDVI، منحنی ROC.

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، soheilanaseri2@gmail.com

۲. دانشیار گروه مهندسی جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، نویسنده مسئول، naghavi.ha@lu.ac.ir

۳. استاد بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، hporghasemi@gmail.com

۴. دکتری فتوگرامتری، گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران، arvin.fakhri@fu-berlin.de

DOI: 10.22052/DEEJ.2025.256094.1090

مقدمه

عرصه‌های طبیعی، منابع ارزشمند هر کشور محسوب می‌شوند که نه‌تنها باید در حفاظت آن‌ها کوشا بود، بلکه باید با مدیریت پایدار و اصولی، آن‌ها را به نسل‌های آینده نیز منتقل کرد (عیوضی و همکاران، ۲۰۲۱). امروزه عوامل بسیاری در تخریب و نابودی اراضی طبیعی ناحیهٔ زاگرس دخیل‌اند. از عوامل مؤثر بر تخریب این اراضی، می‌توان به تغییر آن‌ها به سایر کاربری‌ها، استفاده مردم محلی به‌عنوان منابع سوخت، آفات و بیماری‌ها و آتش‌سوزی اشاره کرد (مروتی و کرمی، ۲۰۲۴). در حال حاضر، یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب مراتع و جنگل‌های این ناحیه، آتش‌سوزی‌هایی است که به‌صورت ناخواسته یا عمدی موجب تخریب آن‌ها شده است (پژوه و علیجانی، ۲۰۲۴؛ اسکندری و همکاران، ۲۰۲۱). تاکنون متغیرهای مختلفی توسط محققان به‌عنوان عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی معرفی شده است که ازجمله این متغیرها می‌توان به متغیرهای توپوگرافی (اسکندری و همکاران، ۲۰۲۱)، اقلیمی (آنجوم[1] و همکاران، ۲۰۲۲) و انسانی (فیضی‌زاده، ۲۰۲۱) اشاره کرد. کنترل آتش‌سوزی امری دشوار است اما با شناسایی متغیرهای مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی و تعیین نواحی مستعد آتش‌سوزی، می‌توان خسارات ناشی از آن را تا حدودی کاهش داد (ساگار[2] و همکاران، ۲۰۲۴). به‌منظور شناسایی و تعیین این متغیرها و میزان مخاطرات ناشی از آن‌ها، معمولاً از روش‌های سنتی مبتنی‌بر بازدیدهای میدانی و نظرات کارشناسی استفاده می‌شود (میرزایی‌زاده و نیک‌نژاد، ۲۰۱۴). دشواری، زمان‌بر بودن، هزینهٔ زیاد و محدود بودن مطالعات به سطوح کوچک‌تر، منجر شده است تا استفاده از این روش‌های سنتی رایج به حداقل کارکرد خود برسد (دهقانی، ۲۰۲۰). امروزه علوم مبتنی‌بر سنجش از دور[3] (RS) در مواجهه با چنین مشکلاتی توسعه یافته است. استفاده از داده‌های سنجش از دوری، می‌تواند در جهت کسب اطلاعات دقیق‌تر و کم‌هزینه‌تر مفید باشد (جهدی، ۲۰۲۳).

برای پیش‌بینی آتش‌سوزی‌ها در اراضی طبیعی، عمدتاً از یک رویکرد مدل‌سازی به‌منظور شناسایی و تعیین عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی استفاده می‌شود (استوکس[4] و همکاران، ۲۰۲۰). در واقع مدل‌سازی وقوع آتش‌سوزی یک روش عملی برای پیش‌بینی، تهیهٔ نقشه و تجزیه‌وتحلیل رفتار آتش و بررسی اثر عوامل مختلف بر روی شدت، اندازه و جهت گسترش آتش است (متئو[5] و همکاران، ۲۰۲۴). ازجمله روش‌های مدل‌سازی پرکاربرد در این زمینه، می‌توان به روش‌های مبتنی‌بر مدل‌سازی یادگیری ماشین[6] اشاره کرد (فقهی و همکاران، ۲۰۱۹).

با توجه به اهمیت مسئلهٔ آتش‌سوزی در منابع طبیعی و لزوم شناسایی عوامل مؤثر بر بروز آتش‌سوزی و نیز شناسایی مناطق مستعد و حساس به آن، تاکنون مطالعات زیادی در این زمینه در نقاط مختلف ایران و جهان صورت گرفته است. به‌طور مثال موسی‌بیگی و میرزابیگی (۲۰۱۶)، در مطالعه‌ای به بررسی خطر وقوع آتش‌سوزی جنگل حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ پرداختند. متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش شامل تراکم پوشش گیاهی، بارش، دما، جهت شیب، شیب، فاصله از جاده، فاصله از روستا و آبراهه و ارتفاع بود. فرایند مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد که شیب‌های بالای ۲۰ درصد، جهت‌های جنوبی و شرقی و مناطقی که دارای تراکم پوشش گیاهی بالا هستند، جزء مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد ازنظر وقوع آتش‌سوزی هستند. باقرآبادی و همکاران (۲۰۲۲) به شناسایی مناطق پرخطر آتش‌سوزی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در جنگل‌های شهرستان دالاهو پرداختند. در این پژوهش از متغیرهای تراکم پوشش جنگلی، شاخص نرمال‌شدهٔ تفاضل پوشش گیاهی[7] (NDVI)، تبخیر، شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی استفاده شد. ایشان بیان نمودند با استفاده از متغیرهای اشاره‌شده می‌توان احتمال وقوع آتش‌سوزی در منطقه را پیش‌بینی کرد. اسکندری و همکاران (۲۰۲۱)، متغیرهای مؤثر در مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی در جنگل‌های بخش

1. Anjum
2. Sagar
3. Remote Sensing
4. Stocks
5. Matthew
6. Machine learning
7. Normalized Difference Vegetation Index

سه نکا- ظالم‌رود استان مازندران را بررسی کردند. متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش شامل متغیرهایی مانند میانگین ارتفاع از سطح دریا، شیب، میانگین دما و بارندگی سالانه، باد، فاصله از رودخانه، جاده و روستا و انحنای زمین بود. نتایج نشان داد که متغیرهای فاصله از روستا، میانگین باردگی سالانه و ارتفاع از سطح دریا مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار در وقوع آتش‌سوزی هستند. آچو و رگهوناث[1] (۲۰۲۱) در تحقیقی به بررسی کاربرد تکنیک‌های یادگیری ماشین و ابزارهای آمار مکانی در تعیین مناطق مستعد آتش‌سوزی جنگلی ناحیهٔ وایاناد در جنوب غربی هندوستان پرداختند. در این پژوهش به‌منظور مدل‌سازی از متغیرهای دما، سرعت باد، بارندگی، رطوبت نسبی، فشار بخارآب اتمسفر، ارتفاع، شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، جهت، کاربری و پوشش زمین، فاصله از جاده و روستاها استفاده شد. نتایج اهمیت نقش عوامل انسانی در وقوع آتش‌سوزی‌های جنگلی در این منطقه را نشان داد. کن آیلبان و سکرتکین[2] (۲۰۲۲) به تهیه نقشه‌های حساسیت به آتش‌سوزی مبتنی‌بر یادگیری ماشین در بخش مدیترانه‌ای ترکیه پرداختند. ایشان از چهار دسته متغیر توپوگرافی، هواشناسی، پوشش گیاهی و انسانی در فرایند مدل‌سازی استفاده نمودند. نتایج پژوهش بیانگر آن بود که متغیرهای ارتفاع، دما و شیب مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار هستند. اوتاپا[3] و همکاران (۲۰۲۵) به تهیهٔ نقشهٔ نقشهٔ حساسیت آتش‌سوزی مناطق جنگلی با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و یادگیری ماشین در منطقهٔ گات غربی هند پرداختند. در این پژوهش از متغیرهایی مانند ارتفاع، شیب، جهت، شاخص رطوبت توپوگرافی، انواع پوشش جنگلی، NDVI، فاصله تا جاده، فاصله تا مناطق مسکونی و دمای سطح زمین در روند مدل‌سازی استفاده شد. نتایج نشان داد که متغیرهای نوع پوشش جنگلی، فاصله از مناطق مسکونی، شیب و NDVI تأثیرگذارترین متغیرها بودند.

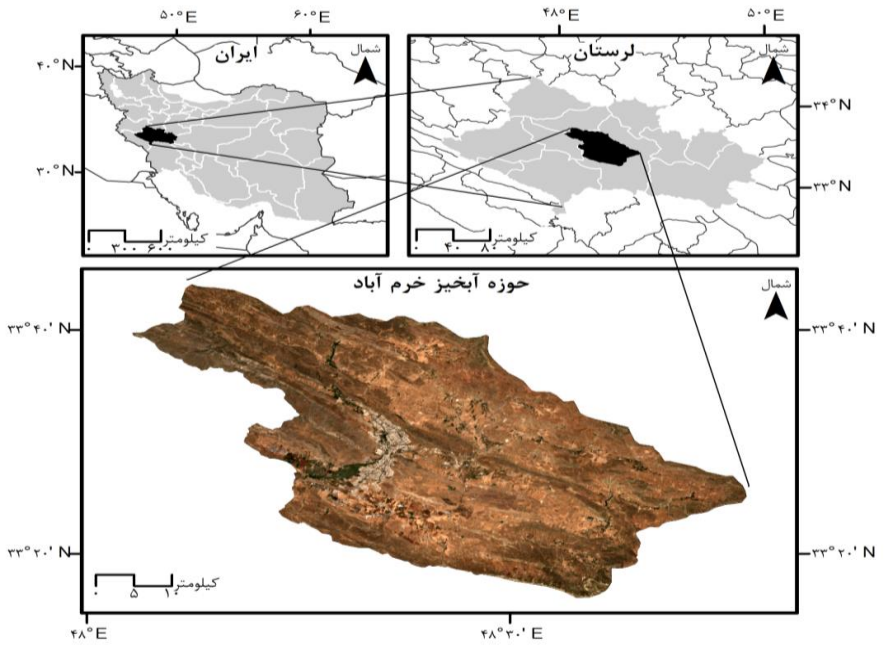
همان‌گونه که در مرور منابع فوق مشخص است، تاکنون درزمینهٔ بررسی عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی پژوهش‌های بسیاری در مناطق مختلف انجام شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش‌ها مشخص است که شرایط اقلیمی، توپوگرافی و نوع پوشش باعث می‌شود تا نتایج متفاوتی در مناطق مختلف حاصل شود. همچنین نوع مدل مورد استفاده هم بر نتایج مطالعات مختلف تأثیرگذار است. لذا با توجه به اهمیت جنگل‌های زاگرس، شناسایی عوامل مؤثر بر تخریب آن‌ها امری ضروری است. بر این اساس، هدف اصلی پژوهش حاضر شناسایی متغیرهای مؤثر بر وقوع آتش و تحلیل آن، در حوزه آبخیز شهرستان خرم‌آباد و با استفاده از روش مدل‌سازی مبتنی‌بر درخت تصمیم[4] است. در راستای انجام این پژوهش انتخاب یک مدل ساده و تفسیرپذیر می‌تواند نیل به این هدف را تسهیل نماید. لذا در این پژوهش، روش درخت تصمیم به‌عنوان مدل مناسب برای تشخیص عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور، سؤالات اساسی تحقیق حاضر عبارت‌اند از اینکه در منطقهٔ مورد مطالعه چه موارد و عواملی بیشترین تأثیر را در بروز و رخداد آتش‌سوزی دارند و چگونه می‌توان تأثیر این عوامل را برآورد و اولویت‌بندی نمود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه در این تحقیق اراضی طبیعی حوزهٔ آبخیز شهرستان خرم‌آباد است (شکل ۱). مساحت این حوزه، ۱۶۰۸۲۲ هکتار است و در محدودهٔ جغرافیایی ″۳۷ ′۴۰ °۴۸ تا ″۴۶ ′۳۷ °۴۸ طول شرقی و ″۱۶ ′۱۵ °۳۳ تا ″۵۲ ′۴۳ °۳۳ عرض شمالی واقع شده است (نوری‌زاده و همکاران، ۲۰۲۳). این منطقه دارای آب و هوای نسبتاً معتدل و میزان بارندگی زیاد، به‌ویژه در فصول بهار و زمستان است (محمدیان، ۲۰۱۰). متوسط درجه‌حرارت سالانهٔ آن معادل ۱۷/۴ درجهٔ سانتی‌گراد بوده و میانگین بارندگی سالانهٔ آن نیز ۴۸۴ میلی‌متر است. حداقل، حداکثر و متوسط ارتفاعات منطقهٔ مورد مطالعه به‌ترتیب ۱۱۷۴، ۳۰۰۰ و ۱۶۹۵/۳ متر از سطح دریاست. همچنین، میانگین شیب حوضه ۲۴/۳۶ درصد است (نوری‌زاده و همکاران، ۲۰۲۳).

1. Achu & Reghunath
2. Can Ilban & Sekertekin
3. Uthappa
4. Decision Tree



شکل (۱): موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در کشور ایران و استان لرستان

Figure (1): Location of the study area in Iran and Lorestan province

داده‌های مورد استفاده

به‌منظور اجرای پژوهش، در گام نخست مختصات جغرافیایی نقاط آتش‌سوزی رخ‌داده در منطقهٔ مورد مطالعه مورد نیاز بود. لذا مختصات مکانی آتش‌سوزی‌های اتفاق‌افتاده در بازهٔ زمانی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۳، از اداره‌کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان اخذ گردید. پس از تهیهٔ نقاط آتش‌سوزی، تعیین اهمیت نسبی متغیرهای مؤثر بر آتش‌سوزی نیز بسیار حائز اهمیت بود. به‌طور کلی، متغیرهای مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی که در این پژوهش استفاده شدند، به دو دسته متغیرهای ایستا[1] و پویا[2] تقسیم شد. ازجمله متغیرهای ایستا می‌توان به متغیرهایی مانند شیب، جهت جغرافیایی، ارتفاع، فاصله از جاده‌ها، فاصله از رودخانه‌ها، فاصله از مناطق مسکونی و نقشهٔ انحنای نیمرخ زمین[3] اشاره کرد؛ درحالی‌که متغیرهایی مانند دما، بارندگی، رطوبت نسبی، شاخص NDVI و اثر باد ازجمله متغیرهای پویا و تغییرپذیر مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی هستند که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند (اسکندری و همکاران، ۲۰۲۱). از میان متغیرهای آب‌وهوایی و اقلیمی مؤثر بر رفتار آتش‌سوزی، باد دارای تغییرپذیری و اهمیت زیادی است. باد به دو طریق می‌تواند در انتقال و گسترش آتش‌سوزی نقش داشته باشد، اولاً باد می‌تواند سرعت انتقال و گسترش آتش را درنتیجهٔ افزایش اکسیژن زیاد نماید؛ ثانیاً باد به‌واسطهٔ کاهش فاصله و زاویهٔ بین منبع حرارت و مواد سوختنی موجود، حرکت آتش را تسریع می‌کند (خلج و پورقاسم، ۲۰۱۷).

از دیگر متغیرهای مؤثر بر آتش‌سوزی، پوشش گیاهی منطقه است. برای بررسی تأثیر این متغیر، از شاخص گیاهی NDVI استفاده شد. اگرچه NDVI بهترین شاخص برای تعیین مناطق سوخته نیست، به سبزینگی پوشش گیاهی و درنتیجه به فقدان پوشش گیاهی در این مناطق حساس است (چراغی و همکاران، ۲۰۲۰). متغیرهای ایستا و پویا مؤثر بر آتش‌سوزی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته، در جدول (۱) نمایش داده شده است.

روش‌شناسی

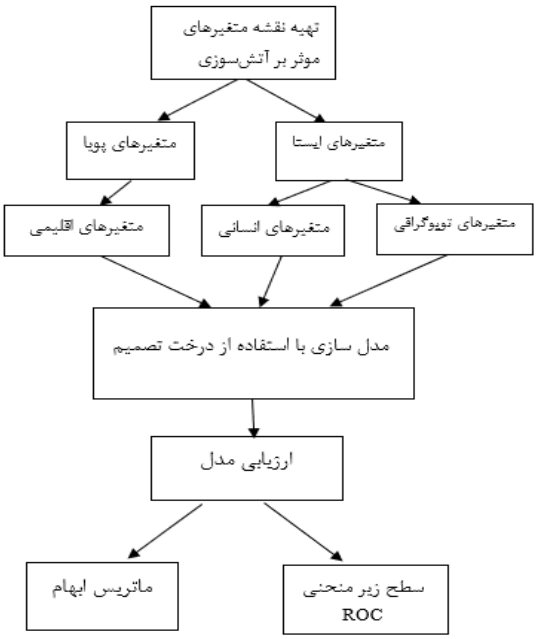
مراحل اجرای این پژوهش، به‌اختصار در شکل (۲) نمایش داده شده است.

1. Static
2. Dynamic
3. Curvature

جدول (۱): متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش

Table (1): Variables used in this study

متغیرهای ایستا	مبنا	متغیرهای پویا	مبنا
شیب	GEE/DEM	دما	داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک، تبخیرسنجی و باران‌سنجی
جهت جغرافیایی	GEE/DEM	بارش	داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک، تبخیرسنجی و باران‌سنجی
ارتفاع	GEE/DEM	تأثیر باد	GEE/DEM
فاصله از جاده	سازمان نقشه‌برداری و سازمان زمین‌شناسی	کاربری و پوشش زمین	GEE
فاصله از مناطق مسکونی	سازمان نقشه‌برداری و سازمان زمین‌شناسی	شاخص NDVI	GEE
فاصله از رودخانه	سازمان نقشه‌برداری و سازمان زمین‌شناسی	رطوبت نسبی	DEM و داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک، تبخیرسنجی و باران‌سنجی
انحنای نیم‌رخ زمین	GEE/DEM		



شکل (۲): فلوچارت مراحل اجرای پژوهش

Figure (2): Flowchart of the study

تهیهٔ نقشهٔ متغیرهای مؤثر برآتش‌سوزی

با توجه به تفکیک مکانی متفاوت نقشهٔ متغیرهای ورودی و ازآنجاکه نقشهٔ رقومی ارتفاع مورد نظر برای منطقهٔ مورد مطالعه، دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر بود، لایه‌های عوامل تأثیرگذار نیز به همان تفکیک مکانی تغییر یافتند. با توجه به تفکیک زمانی متغیرهای ورودی و با توجه به اینکه آمار وقوع آتش‌سوزی برای دورهٔ زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۳ جمع‌آوری شده بود، سایر داده‌ها نیز برای همین دوره تهیه شدند. برای تهیهٔ نقشهٔ رقومی ارتفاع، ابتدا مرز منطقهٔ مورد مطالعه در سامانهٔ گوگل ارث انجین[1] (GEE) بارگذاری و سپس نقشهٔ رقومی ارتفاع فراخوانی شد. پس از آن، با استفاده از نقشهٔ رقومی ارتفاع، نقشه‌های مربوط به شیب، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا تهیه شد.

همچنین نقشهٔ کاربری اراضی و پوشش زمین شامل طبقات جنگل، کشاورزی، مراتع، سکونتگاه‌ها و اراضی بایر و سنگلاخی با کمک تصاویر ماهوارهٔ Sentinel 2 در سامانهٔ GEE تهیه شد. برای تهیهٔ این نقشه، تعداد ۴۸۴ نقطه به‌عنوان نمونه برای کاربری‌های مختلف به‌صورت انتخابی برداشت شد که از این تعداد، ۳۲۲ نقطه (۷۰ درصد) برای اجرای طبقه‌بندی و مابقی نقاط (۳۰ درصد) برای صحت‌سنجی طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. برای طبقه‌بندی نقشهٔ کاربری اراضی و پوشش زمین از روش طبقه‌بندی جنگل تصادفی[2] (RF) استفاده شد.

نقشه‌های مربوط به جاده‌ها و مناطق مسکونی نیز از سازمان نقشه‌برداری و سازمان زمین‌شناسی اخذ شده و برای آگاهی از صحت این نقاط، بخشی از آن‌ها با بازدید از منطقهٔ مورد مطالعه، مقایسه و صحت‌سنجی شد. داده‌های اقلیمی مورد نیاز برای تهیهٔ نقشه‌های مربوط به متغیرهای اقلیمی نیز از ایستگاه‌های سینوپتیک، تبخیرسنجی و باران‌سنجی داخل و

1. Google Earth Engine
2. Random Forest

اطراف حوزهٔ آبخیز شهرستان خرم‌آباد و ازطریق اداره‌کل هواشناسی استان لرستان و سازمان آب منطقه‌ای استان لرستان در محدودهٔ سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۳ جمع‌آوری شد (پیوست ۱). در ادامه، تهیهٔ نقشه‌های مربوط به پارامترهای مختلف هواشناسی با استفاده از داده‌های هواشناسی و با کمک روش درون‌یابی وزن‌دهی فاصلهٔ معکوس[1] (IDW) تهیه شد. برای تهیهٔ نقشهٔ اثر باد نیز از مدل wind effect استفاده در محیط نرم‌افزار SAGA استفاده شد (اسکندری وهمکاران، ۲۰۲۱). نقشهٔ مربوط به شاخص NDVI نیز در سامانهٔ GEE و برای فواصل زمانی سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۳ میلادی تهیه شد.

مدل‌سازی

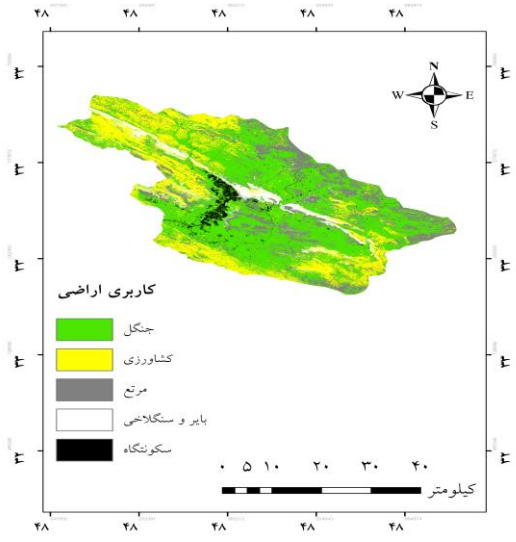
در این پژوهش، برای شناسایی و تعیین عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی در ناحیهٔ مورد مطالعه از مدل درخت تصمیم استفاده شد. این مدل و قوانین آن ساده و تفسیرپذیر است و با استفاده از آن بهتر می‌توان میزان تأثیر متغیرهای مورد بررسی و چگونگی اثر آن‌ها را تحلیل کرد (امیدوار و همکاران، ۲۰۱۸). برای انجام این مدل‌سازی، ۷۰ درصد (۲۶۶ عدد) کل داده‌های آتش‌سوزی به کار گرفته شد. به‌منظور تعیین میزان تأثیر هر متغیر در وقوع آتش‌سوزی، ابتدا نقشهٔ مربوط به نقاط آتش‌سوزی تهیه شد، سپس با استفاده از نقشهٔ متغیرهای مورد بررسی، ارزش متناظر با هر نقطه استخراج شد. در مرحلهٔ بعد، متغیر آتش‌سوزی به‌عنوان متغیر وابسته و متغیرهای دیگر به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده و تمام متغیرهای ورودی برای مدل‌سازی آماده شدند. متغیرهای مستقل مورد استفاده شامل شیب، جهت جغرافیایی، ارتفاع، فاصله از جاده‌ها، رودخانه‌ها و مناطق مسکونی، دما، بارندگی، NDVI، رطوبت نسبی، کاربری اراضی و پوشش زمین، نقشهٔ انحنای زمین و اثر باد بودند.

ارزیابی و صحت‌سنجی مدل

به‌منظور برآورد صحت مدل انجام‌شده و بررسی میزان تأثیرگذاری عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی، ارزیابی و صحت‌سنجی مدل به کمک منحنی ROC و ماتریس ابهام انجام گرفت. برای ارزیابی و صحت‌سنجی مدل، ۳۰ درصد (۱۱۴ عدد) از کل داده‌های آتش‌سوزی که به‌صورت تصادفی انتخاب شدند، مورد استفاده قرار گرفتند. سطح زیر منحنی ROC توانایی و شانس مدل را در تشخیص وقوع یا رخداد آتش‌سوزی در مقابل عدم وقوع آن بیان می‌کند. در واقع سطح زیر منحنی ROC بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم ازطریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع آتش‌سوزی رخداده و نیز عدم وقوع آن است (دی آروجو[2] و همکاران، ۲۰۲۳). مقادیر کمتر از ۰/۵ برای منحنی ROC نشان‌دهندهٔ توانایی ضعیف مدل در پیش‌بینی، مقادیر ۰/۵–۰/۹ نشان‌دهندهٔ یک پیش‌بینی قابل قبول و مقادیر بالای ۰/۹ نشان‌دهندهٔ توانایی پیش‌بینی عالی مدل است (گودفلوو[3] و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین برای صحت نقشه از ماتریس ابهام استفاده شد (ویزا[4] و همکاران، ۲۰۱۶).

نتایج

نتایج مربوط به ارزیابی نتایج طبقه‌بندی نقشهٔ کاربری اراضی و پوشش زمین بیانگر صحت کلی ۸۹/۶۲ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۲ برای این نقشه بود. نقشهٔ نهایی این طبقه‌بندی در شکل (۳) آورده شده است.



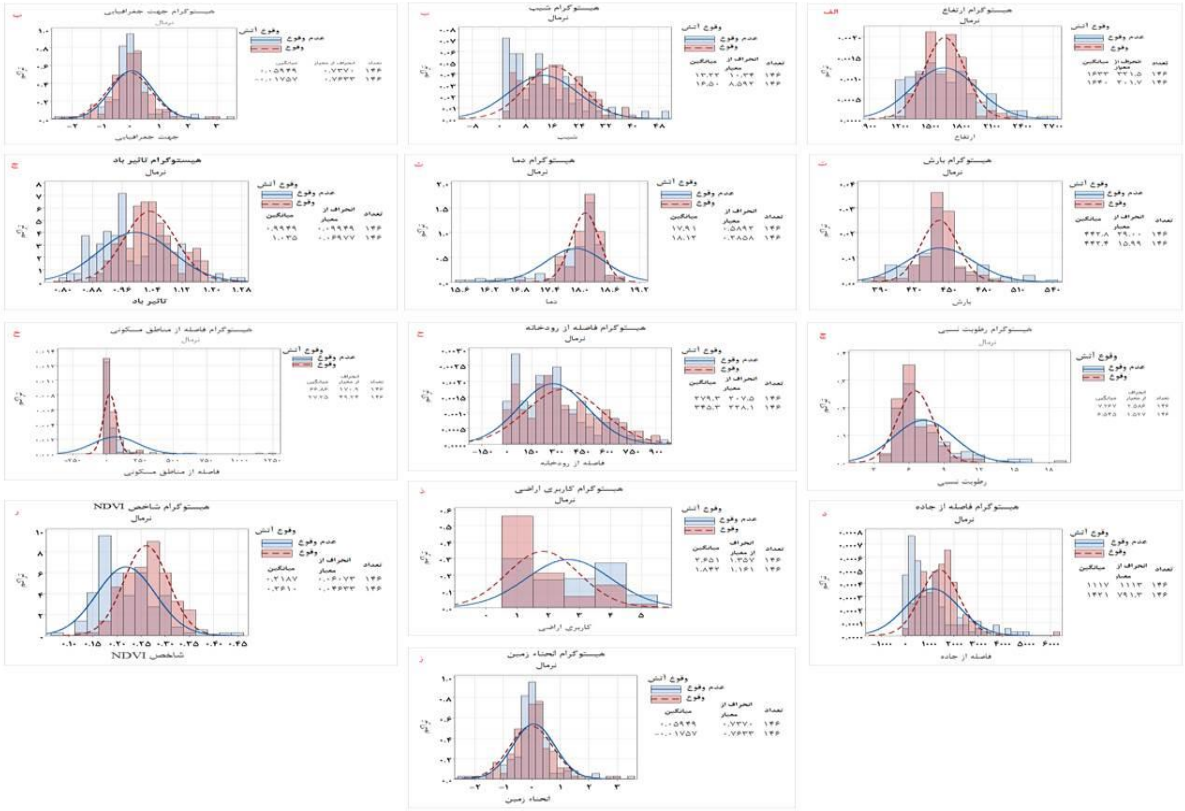
شکل (۳): نقشهٔ کاربری اراضی و پوشش زمین منطقه

Figure (3): Land use/land cover map of the study area

1. Inverse Distance Weighting

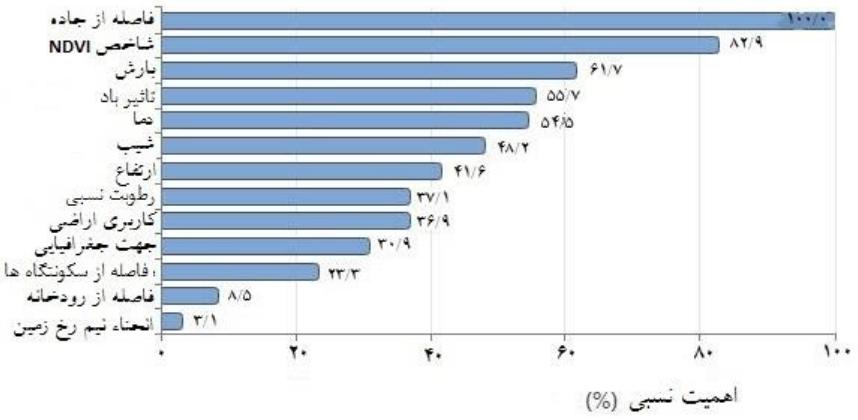
2. Dearojou
3. Goodfellow
4. Visa

برای شناسایی عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی و محاسبهٔ میـزان تأثیرگذاری هرکدام از این عوامل، از روش مدل‌سازی درخـت تصمیم استفاده شد. نمودارهای حاصل از نتایج ایـن مـدل، در شکل (۴) ارائه شده است. این نمودارها توانایی مـدل درخـت تصمیم را در تفکیک آتش‌سوزی و عـدم آتـش‌سـوزی نشـان می‌دهند. در این نمودارهـا، خـط و خـطچـین، توزیـع نرمـال منطبق بر داده‌ها را نشان می‌دهنـد. هرچـه میـزان هـم‌پوشـانی نمودارها کمتـر باشـد، قـدرت مـدل در تشـخیص و تفکیـک رخداد آتش در مقابل عدم رخداد آن بیشتر است.



شکل (۴): نمودارهای مربوط به توزیع متغیرهای ارتفاع، شیب، جهت جغرافیایی، بارش، دما، تأثیر باد، رطوبت نسبی، فاصله از رودخانه، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جاده، کاربری اراضی، شاخص NDVI و انحنای نیم‌رخ زمین

Figure (4): Diagrams related to the distribution of the variables of altitude, slope, geographical direction, precipitation, temperature, wind effect, relative humidity, distance from the river, distance from residential areas, distance from the road, land use, NDVI index and curvature of the land profile

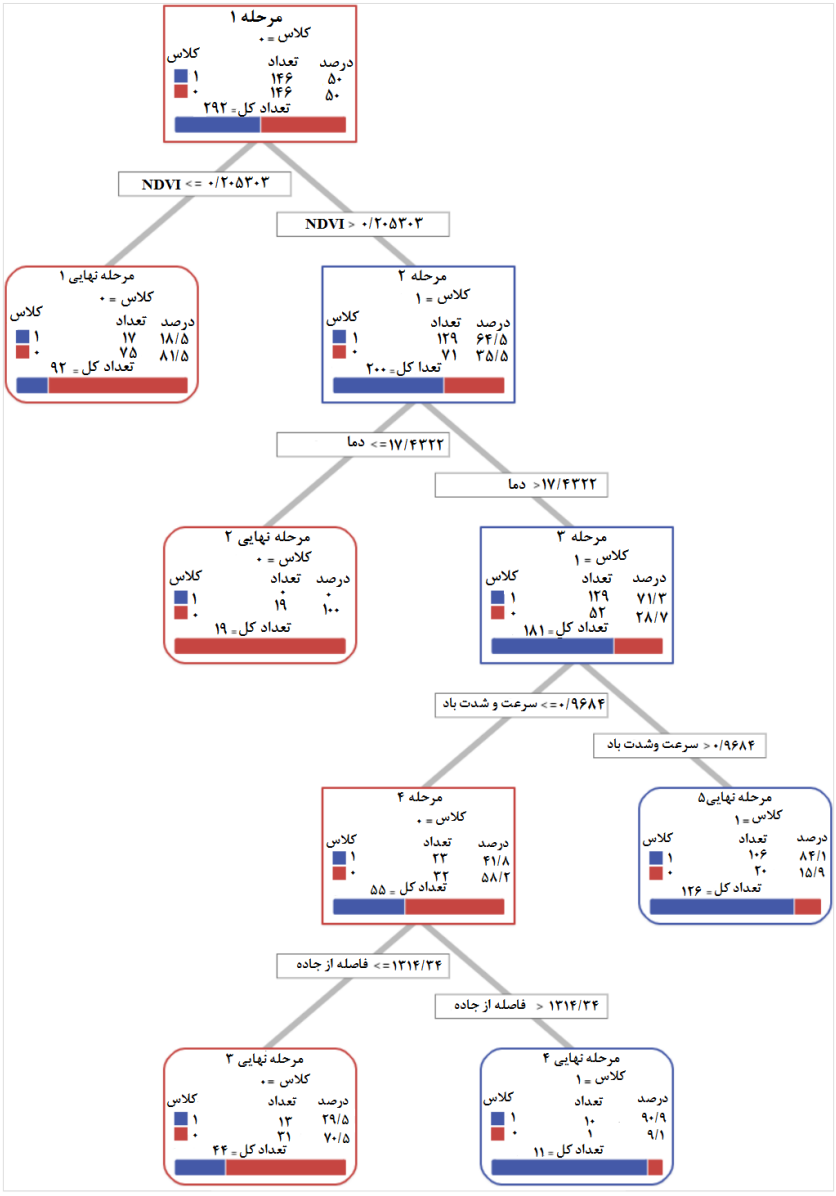


شکل (۵): میزان اهمیت نسبی متغیرها در بروز آتش‌سوزی

Figure (5): The relative importance of variables in the occurrence of fires

میزان اهمیت و تأثیرگذاری نسبی متغیرهای مختلف در وقوع آتش‌سوزی، در شکل (۵) نمایش داده شده است. براساس نتایج حاصل، متغیر فاصله از جاده بیشترین نقش را در وقوع آتش‌سوزی این ناحیه ایفا می‌کند. نتایج همچنین بیانگر آن بود که هرچه فاصله از جاده بیشتر باشد، خطر آتش‌سوزی نیز بیشتر است و با توجه به وزنی که این عامل گرفته، می‌توان از آن به‌عنوان یکی از عوامل بسیار مهم آتش‌سوزی در منطقه نام برد. همچنین، متغیرهای NDVI، بارش، اثر باد و دما تأثیر بسزایی در وقوع آتش‌سوزی‌های این ناحیه دارند. ازطرف دیگر، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، متغیرهای انحنای نیم‌رخ زمین و فاصله از رودخانه کمترین میزان اثرگذاری را در بروز آتش‌سوزی دارند.

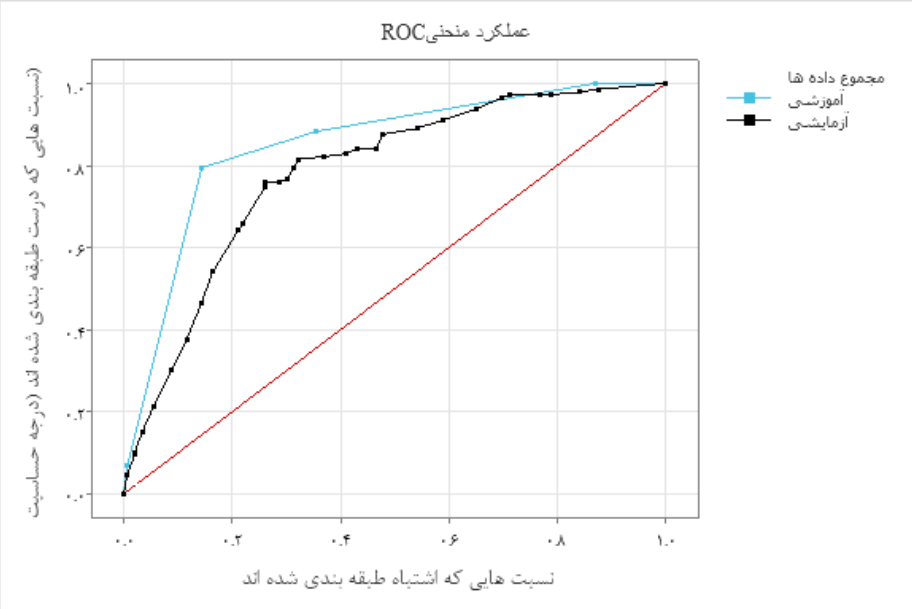
براساس شکل (۶)، اگر شاخص NDVI بزرگ‌تر از ۰/۲ باشد، احتمال وقوع آتش‌سوزی افزایش می‌یابد، اما درصورتی‌که این شاخص کمتر از ۰/۲ باشد، احتمال اتفاق آتش‌سوزی کاهش یافته و یا احتمال وقوع آن بسیار اندک خواهد بود. همچنین در مورد دما می‌توان گفت که دمای کمتر از ۱۷/۴۳ درجهٔ سانتی‌گراد، کاهش آتش‌سوزی و دمای بیشتر از ۱۷/۴۳ درجهٔ سانتی‌گراد، افزایش میزان آتش‌سوزی را نشان می‌دهد. ازطرف دیگر، اگر میزان اثر باد کمتر از ۰/۹۶ باشد، احتمال وقوع آتش کاهش یافته و اگر بیشتر از این مقدار باشد، وقوع آتش‌سوزی محتمل‌تر خواهد بود. برای متغیر فاصله از جاده نیز می‌توان گفت که در فاصله‌های بیشتر از ۱۳۱۴/۳۴ متر احتمال بروز آتش‌سوزی افزایش می‌یابد.



شکل (۶): ساختار مدل درخت تصمیم

Figure (6): Decision tree model structure

به‌منظور بررسی صحت نتایج به‌دست‌آمده، عملکرد مدل مورد استفاده با کمک منحنی ROC و ماتریس ابهام بررسی قرار شد. منحنی ROC میزان دقت و وضعیت طبقه‌بندی‌کننده را نشان می‌دهد (شکل ۷). نتایج اعتبارسنجی مدل نشان داد که سطح زیر منحنی ROC برابر با ۰/۸۵ است؛ درنتیجه می‌توان گفت میزان توانایی مدل مذکور در تشخیص وقوع یا رخداد آتش‌سوزی در مقابل عدم وقوع آن برابر با ۸۵ درصد است.



شکل (۷): منحنی ROC برای برآورد میزان دقت طبقه‌بندی‌کننده

Figure (7): ROC curve to estimate the accuracy of the classifier

نتایج و اطلاعات مربوط به ماتریس ابهام در جدول (۲) آمده است. با توجه به این اطلاعات می‌توان گفت دامنهٔ خطا برای بخش‌های آموزشی و آزمایشی تغییرات زیادی نشان نداده است. این نتیجه می‌تواند بیانگر این مسئله باشد که مدل مورد استفاده یک مدل معتبر و قابل اعتماد است؛ زیرا این مدل در قسمت ارزیابی نیز همانند قسمت آموزشی عملکردی قوی داشته است. براساس نتایج حاصل، این مدل دارای دقت بالا و خطای آموزشی و آزمایشی پایینی است.

جدول (۲): نتایج صحت‌سنجی مدل و ماتریس ابهام

Table (2): Model validation results and confusion matrix

دقت کل		کلاس پیش‌بینی‌شده							
آموزشی	ارزیابی	آموزشی				ارزیابی			
۰/۸۵	۰/۷۴		تعداد طبقه واقعی	۱	۰	درصد (طبقه‌بندی) صحیح		۱	۰	درصد (طبقه‌بندی) صحیح
		۱	۱۴۶	۱۱۶	۳۰	۷۹/۵		۱۱۱	۳۵	۷۶/۰
		۰	۱۴۶	۲۱	۱۲۵	۸۵/۶		۳۸	۱۰۸	۷۴/۰
		مجموع	۲۹۲	۱۳۷	۱۵۵	۸۲/۵		۱۴۹	۱۴۳	۷۵/۰

معیار	آموزشی	ارزیابی
نرخ مثبت واقعی	۷۹/۵	۷۶/۰
نرخ مثبت کاذب	۱۴/۴	۲۶/۰
نرخ منفی کاذب	۲۰/۵	۲۴/۰
نرخ منفی واقعی	۸۵/۶	۷۴/۰

بحث و نتیجه‌گیری

هرساله وقوع آتش‌سوزی، منابع طبیعی ارزشمند کشور ایران را تهدید می‌کند و سبب آسیب به سطح وسیعی از جنگل‌ها و مراتع می‌شود. پژوهش حاضر به‌منظور شناسایی و تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در بروز آتش‌سوزی و تعیین مناطق پرخطر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع حوزهٔ خرم‌آباد، با استفاده از روش مدل‌سازی درخت تصمیم انجام گرفت.

نتایج پژوهش نشان داد که به‌ترتیب متغیرهای فاصله از جاده، شاخص NDVI، بارش، باد و دما مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی در منطقهٔ مورد مطالعه هستند؛ اما تأثیر عواملی مانند شیب، ارتفاع و جهت جغرافیایی در مقایسه با این عامل به مراتب کمتر است. در پژوهش سایر پژوهشگران نیز به عوامل مشابهی در این زمینه اشاره شده است؛ برای مثال سرکارگر و همکاران (۲۰۱۸) از معیارهای رطوبت، شاخص NDVI، بارش و دما و غلامی و کفاش چرندابی (۲۰۱۸) از معیارهای شیب، جهت شیب و شاخص NDVI به‌عنوان متغیرهای تأثیرگذار در مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی استفاده کردند. همچنین پورتقی و همکاران (۲۰۱۵)، چاوان[1] و همکاران (۲۰۱۲) و کوماری و پاندیی[2] (۲۰۲۰) به اهمیت متغیرهای ذکرشده اشاره کرده‌اند.

نتایج مطالعهٔ حاضر نشان داد که آتش‌سوزی در مناطق با پوشش گیاهی متراکم، سهم فراوانی را به خود اختصاص داده است. در مطالعات مشابه نیز بسیاری از محققان تراکم پوشش گیاهی بیشتر را به‌لحاظ افزایش مادهٔ سوختنی، از عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی در مناطق مختلف برشمرده‌اند. برای مثال محققینی چون رومرو[3] و همکاران (۲۰۲۲)، نجفی و همکاران (۲۰۱۷) و یانگ[4] و همکاران (۲۰۱۷) نظراتی هم‌راستا با این پژوهش دارند.

به‌رغم اینکه انتظار می‌رفت در اطراف جاده‌های جنگلی میزان وقوع آتش‌سوزی‌ها بیشتر باشد، نتایج روند کاملاً معکوس را نشان داد و حاکی از آن بود که با افزایش فاصله از جاده، میزان آتش‌سوزی افزایش می‌یابد. در این راستا در برخی منابع ذکر شده است که معمولاً آتش‌سوزی‌های ناشی از عوامل انسانی، در نزدیکی جاده‌ها و راه‌های دسترسی اتفاق افتاده، درحالی‌که آتش‌سوزی‌های ناشی از عوامل طبیعی در فاصله‌های دورتری از جاده‌ها رخ می‌دهد. مطالعات همچنین نشان می‌دهد که میزان، محل و نحوهٔ رخداد آتش‌سوزی‌ها برای مناطق مختلف، متفاوت است؛ بدین معنا که در برخی از مناطق ممکن است آتش‌سوزی در نزدیکی جاده‌ها و راه‌های ارتباطی اتفاق بیفتد، درحالی‌که برای منطقهٔ دیگر عمدهٔ آتش‌سوزی‌ها در فاصله‌های دورتری از جاده‌ها رخ می‌دهد. همچنین مطالعات نشان می‌دهد که اگرچه آتش‌سوزی‌های کوچک معمولاً در نزدیکی جاده‌ها رخ می‌دهد، اغلب آتش‌سوزی‌های بزرگ در مناطق بدون جاده و صعب‌العبور اتفاق می‌افتد. این نتیجه در مطالعات مشابهی که توسط محمدی و همکاران (۲۰۲۰)، کوکلینا[5] و همکاران (۲۰۲۳) و نارایاناراج[6] و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی مورد تأیید قرار گرفته است. این درحالی است که نتایج حاصل با نتایج مطالعهٔ جایسوال[7] و همکاران (۲۰۲۳) و سوماشکار[8] و همکاران (۲۰۰۹) در تضاد است. آن‌ها در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که با توجه به اینکه رفت‌وآمد انسان و فعالیت او بیشتر در نزدیکی جاده‌ها اتفاق می‌افتد و در بسیاری موارد، جاده‌ها مسیر دسترسی به مناطق جنگلی هستند، افراد بیشتری در این مناطق حضور یافته و دسترسی افراد به این مناطق بیشتر است. این امر زمینه را برای ایجاد آتش‌سوزی‌های انسانی فراهم می‌کند. همچنین، محمدی و همکاران (۲۰۲۰) و ارتن[9] و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش فاصله از مناطق مسکونی، رخداد آتش‌سوزی کاهش یافته و بیشتر آتش‌سوزی‌ها در نزدیکی مناطق مسکونی رخ داده است.

بارش سالانه نیز بر وقوع آتش‌سوزی در منطقهٔ مورد مطالعه تأثیر بسزایی داشت. این یافته بدین دلیل است که با

1. Chavan
2. Kumari & Pandey
3. Romero
4. Yang
5. Kuklina
6. Narayanaraj
7. Jaiswal
8. Somashekar
9. Erten

افزایش بارندگی در منطقهٔ مورد مطالعه، پوشش کف جنگل رشد بیشتری خواهد داشت که این امر باعث افزایش مادهٔ سوختنی در فصول خشکِ سال خواهد شد. این نتیجه با نتایج مطالعات دیگر محققان همچون زامبرونن[1] و همکاران (۲۰۲۰) (۲۰۲۰) و بشری و همکاران (۲۰۱۶) که بارش سالانه را به‌عنوان یک عامل مهم در وقوع و فراوانی آتش‌سوزی معرفی کرده‌اند، مطابقت دارد. ازطرف دیگر، این نتایج با نتایج پورقاسمی و همکاران (۲۰۱۴) در تضاد است. آن‌ها در مطالعهٔ خود به این نتیجه رسیدند که پوشش گیاهی معمولاً در دامنه‌های رو به جنوب، خشک‌تر و متراکم‌تر از شیب‌های شمالی است؛ به همین دلیل شرایط لازم را برای آتش‌سوزی فراهم می‌کند. نتایج پژوهش حاضر همچنین با نتایج مطالعهٔ اسلامی و همکاران (۲۰۱۹) و استوکس و همکاران (۲۰۲۰) در تضاد است. نتایج مطالعهٔ آن‌ها نمایانگر آن بود که بارش باران با تنظیم میزان رطوبت جو و رطوبت خاک، احتمال بروز آتش‌سوزی را کاهش می‌دهد.

نتایج حاکی از آن بود که با افزایش میزان اثر باد، میزان احتمال بروز آتش‌سوزی افزایش می‌یابد. وزش باد موجب افزایش تبخیر و تعرق و درنتیجه کاهش رطوبت و خشک شدن پوشش گیاهی می‌گردد که این امر می‌تواند موجبات افزایش بروز آتش‌سوزی را فراهم کند. هنگام وزش باد گرم میزان رطوبت هوا به‌شدت کاهش پیدا می‌کند و حتی برخورد برگ‌ها با یکدیگر ممکن است سبب بروز آتش‌سوزی شود. هرچقدر سرعت وزش باد بیشتر باشد، شدت آتش‌سوزی نیز زیادتر می‌گردد. این امر به این دلیل است که وزش باد باعث جابه‌جایی هوا و درنتیجه رسیدن میزان بیشتری اکسیژن به محیط در حال سوختن می‌گردد. این نتایج با نتایج مطالعهٔ خلج و پورقاسم (۲۰۱۷) و هانگ[2] و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد.

نتایج نشان داد که درجه‌حرارت یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در بروز آتش‌سوزی است. درجه‌حرارت بالا، تبخیر و تعرق را افزایش و رطوبت را کاهش می‌دهد، لذا احتمال وقوع آتش را افزایش خواهد داد (استوکس و همکاران، ۲۰۲۰). با توجه به اینکه اکثر آتش‌سوزی‌ها در فصل خشک سال اتفاق می‌افتد، می‌توان گفت مهم‌ترین عوامل ایجاد آتش، میزان بارندگی و دماست. نقش دما در وقوع آتش‌سوزی جنگل‌ها، در مطالعات مختلف دیگر نیز تأیید شده است (اسکندری، ۲۰۱۵). همچنین روات[3] (۲۰۰۳) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که به‌دلیل تابش مستقیم خورشید، شیب‌های جنوبی و جنوب شرقی گرم‌تر بوده و پتانسیل بیشتری برای وقوع آتش‌سوزی خواهند داشت.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نقش جنگل‌ها و مراتع منطقهٔ زاگرس در حفاظت از آب و خاک و جلوگیری از فرسایش و نیز با توجه به پوشش جنگلی کم منطقه، تشخیص و تعیین عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی و نیز شناسایی مناطق مستعد آتش‌سوزی به‌عنوان گامی مؤثر در کمک به مدیران و حافظان جنگل برای اجرای اقدامات پیشگیرانه، بسیار مفید خواهد بود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مدل درخت تصمیم دارای دقت و توانایی بالایی در شناسایی و تعیین عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی است. نتایج حاکی از آن بود که مدل مذکور با دقت ۸۵ درصد، به‌خوبی توانسته است عوامل مؤثر بر بروز و وقوع آتش‌سوزی در منطقه را رتبه‌بندی و تفکیک کند و با اجرای این مدل در هر بازهٔ زمانی می‌توان عوامل مهم و تأثیرگذار بر وقوع آتش‌سوزی را شناسایی نمود. نتایج به‌طور کلی نشان داد که از بین عوامل مختلف مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی، عامل انسانی فاصله از جاده و عوامل طبیعی مانند شاخص NDVI، بارش، اثر باد و دما بیشترین تأثیر را در بروز آتش‌سوزی جنگل‌های منطقه دارند. نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای مطالعهٔ سایر محققان مرتبط با منابع طبیعی قرار گیرد. محققان در مطالعات آینده می‌توانند سایر متغیرهای مهم و تأثیرگذار بر وقوع آتش‌سوزی را شناسایی کرده و در پژوهش‌های خود به کار گیرند. در این راستا مدل شناسایی عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی باید به‌صورت دوره‌ای (فصلی یا سالانه) اجرا شود تا تغییرات در عوامل، شناسایی شده و اقدامات پیشگیرانه به‌روز شوند. تغییرات اقلیمی می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر

1.Zumbrunnen
2. Hong
3. Rawat

وقوع آتش‌سوزی‌ها داشته باشند؛ لذا توصیه می‌شود در پژوهش‌های آینده، تأثیر عوامل اقلیمی و آب‌وهوایی در طولانی‌مدت بر وقوع آتش‌سوزی در مناطق مختلف بررسی گردد. درزمینهٔ مدل‌سازی تأثیر متغیرهای تأثیرگذار بر وقوع آتش‌سوزی، می‌توان از روش‌های جدیدتر یادگیری ماشین یا یادگیری عمیق نیز استفاده کرد.

منابع

1. Achu, A.L., & Reghunath, R. (2021). Machine learning modeling of fire susceptibility in a forest agriculture mosaic landscape of southern India. *ecological information*, 12-20.
2. Anjum, N., Qammer, H., & Masood, R. (2022). Intelligent computing based forecasting of deforestation using fire alerts. *A deep learning approach* 55, 2-6.
3. Bagherabadi, R., Sheikh Katlo Milan, F., & Zarei Mohammad Abad, M. (2022). Fire risk assessment in Zagros forests. *Ecosystem Management Journal* 1 (3), 60-72.
4. Bashari, H., A.A., Naghipour., S.J., Khajeddin., H., & Sangoony Tahmasebi, P. (2016). Risk of fire occurrence in arid and semi-arid ecosystems of Iran: an investigation using Bayesian belief networks. *Environmental monitoring and assessment* 9, 531.
5. Can Ilban, M., & Sekertekin, A. (2022). Machine learning based wildfire susceptibility mapping using remotely sensed fire data and GIS case study of Adana and Mersin provinces Turkey. 1-24.
6. Chavan, M., Das, K.K., & Suryawanshi, R. (2012). Forest fire risk zonation using remote sensing and GIS in Huynial watershed Tehri Garhwal district. *International Journal of Basic and Applied Research* 2 (7), 6-12.
7. Cheraghi, R., Sharifi, J., Mohammadi, H., (2020). The effect of fire on the density and composition of vegetation in forest lands of the Vanan Khalkhal region. *Journal of Nature of Iran*, 6 (6),76-87.
8. Dehghani, A.R. (2020). Preparing a forest fire hazard distribution map using multi-criteria decision-making method. 1-43.
9. Dearojou, G., Brun, C., Margalef, T., & Cortes, A. (2015). Wind field uncertainty in forest fire propagation prediction. *Procedia Computer Science* 29, 1535–1545.
10. Eskandari, S. (2015). Evaluation of Forest Fire Risk Potential. *Geographical Spatial Planning Journal*, 5, 17, 192-205.
11. Eskandari, S., Pourghasemi, H.R., & Tiefenbacher, J.P. (2021). Fire susceptibility mapping in the Northeast forests and rangeland of Iran using new and ensemble data mining models. 1-22.
12. Eslami, R., Azarnoosh, M.R., Kialashaki, A., & Kzem Nezhad, F. (2019). Modeling the spread of forest fires based on GIS and cellular automation. Case Study: Babolrud Watershed, Mazandaran *Journal of Geographical Sciences* 32, 107-117.
13. Erten, E., Kurgun, V., & Musaoglue, N. (2004). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS: a case study. XXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey. 222-230.
14. Eyvazi, Sh., Babaei Kafaki, S., Jafari, M., & Tahmooreth, M. (2021). The status and value of renewable natural resources and their protection and exploitation. *Journal of Natural Resources* 34 (3), 599-611.
15. Faezizadeh, B. (2021). Comparative evaluation of pixel-based and object-oriented processing techniques in ASTER satellite image classification for extracting agricultural and garden land maps on the eastern shore of Lake Urmia. *Journal of Scientific research of geographic information* 28 (109), 167-183.
16. Feghhi, J., Ali Mahmoodi Sarab, S., & Gholi Khageh, S. (2019). Preparing a forest fire hazard map using artificial neural networks in Golestan province. *Journal of Wood and Forest Science and Technology Research* 25 (2), 123-136.
17. Gholami, S., & Kafash Charandani, N., (2018). The width of the dam, (or fire, danger, burning, model, and construction of the water reservoirs of the forests of the Yarsbaran. *Conference on Technology, Applications and Innovation in Geomatics, Tabriz.*
18. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2021). Deep learning. MIT press.3 (5), 42-56.
19. Hong, H., Naghibi, S.A., Moradi Dashtpagerdi, M.M., Pourghasemi, H.R., & 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*, 10 (7), 1-14.
20. Jahdi, R. (2023). Modeling fire risk and pressure using geographic information systems in Khalkhal and Kosar counties. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards* 3, 79-9.

21. Jaiswal, R.K., Saumitra, M., Kumaran, R.D., & Rajesh, S. (2023). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 4, 1–10.
22. Khalaj, A., & Pourghasem, M. (2017). The role of weather and atmospheric factors in forest fires. The First International Conference on the Position of Safety, *Health and Environment in Organizations*.
23. Kuklina, V., Sizov, O., Bogdanov, V., Krasnoshtanova, N., Morozova, A., & Petrov, N. (2023). Combining community observations and remote sensing to examine the effects of roads on wildfires in the East Siberian boreal forest9, 293-407.
24. Kumari, B., & Pandey, A.C. (2020). Geo-informatics based multi-criteria decision analysis (MCDA) through analytic hierarchy process (AHP) for forest fire risk mapping in Palamau Tiger Reserve Jharkhand stateIndia. *Journal of Earth System Science* 129 (1), 1-16.
25. Matthew, W., Douglas, I., & Chantele, A. (2024). State of Wildfires 2023-2024. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards* 17-26.
26. Mirzaeezadeh, V., & Niknezhad, M. (2014). Identifying factors affecting forest cover reduction using Landsat satellite images. *Journal of Conservation and Exploitation of Natural Resources* 2, 91-108.
27. Mohamadi, F., Shaabanian, M., Poorhashmi, M., & Fatehi, P. (2020). Forest fire risk mapping using GIS and AHP in DA part of the forest. *Kordestan Quarterly Iran*. 18 (4), 569-586.
28. Mohammadian, M. (2010). Research on Zagros anticlines in the Seymourh watershed in Darreshahr county, Bachelor's thesis. *Islamic Azad*
29. Morvati, M., & Karami, P. (2024). Analysis of spatial-temporal changes in fire occurrence in Kermanshah province with emphasis on the network of protected areas. *Journal of Natural Environmental Hazards* 13, 40.
30. Mosa Beigi, M., & Mirza Beigi, F. (2016). Fire hazard analysis model using GIS network. Scientific knowledge 4 (14), 175-188.
31. Najafi, A., Iran Nezhad, M.H., Sotoudeh, A., Mokhtari, M.H., & Kiani, B. (2017). Modeling and mapping forest fire risk using GIS-based measurements. *Applied Geology* 14, 13-25.
32. Narayanaraj, G., & Wimberly, C. (2012). Influences of forest roads on the spatial patterns of human- and lightning-caused wildfire ignitions. *Apllied Geography*, 32, 787-888.
33. Nourizadeh, M., Naghavi, H., & Omidvar, E. (2023). The effect of land use and land cover changes on soil erosion in semi‑arid areas using cloud‑based google earth engine platform and GIS‑based RUSLE model.
34. Omidvar, K., Shafiei, Sh., Taghizadeh, Z., & Alipoor, M. (2018). Evaluation of the efficiency of the decision tree model in rainfall forecasting at the Kermanshah Synoptic Station. *Journal of Applied Research in Geographic Sciences* 14 (4), 89-110.
35. Pazhouh, F., & Alijani, B. (2024). Analysis of forest fires in Western Guilan County for risk management. 3, 5-20.
36. Pourtaghi, Z.S., Pourghasemi, H.R., & Rossi, M. (2015). Forest fire susceptibility mapping in the Minudasht forests Golestan province, *Iran. Environmental Earth Sciences*, 73 (4), 1515-1533.
37. Pourghasemi, H.R., Beheshtirad, M., & Pradhan, B. (2014). A comparative assessment of prediction capabilities of modified analytical hierarchy process (M-AHP) and Mamdani fuzzy logic models using Netcad-GIS for forest fire susceptibility mapping. Geomatics, *Natural Hazards and Risk* 7 (2), 861-885.
38. Rawat, G.S. (2003). Fire risk assessment for forest fire control management in Chilla Forest Range of Rajaji National Park, Uttaranchal, (India). M.Sc Thesis, International institute for Geo- Information Sciience and Earth Observation Enschede, ITC University, Netherlands 78.
39. Romero-Calcerrada, R. C., Novillo, J., & Millington, I. (2008). GIS analysis of spatial patterns of human-caused wildfire ignition risk in the SW of Madrid (Central Spain). *Landscape Ecology* 23 (3), 341-356.
40. Sagar, K.P., Suresh, Y.B., Naveesh, C.A., Archana, D., Hemadri, S.S., Patil, V.P., Archana, R., & Raaga, A.S. (2024). Forest fire dynamics in India unveiling climate impact spatial pattern and interface with antrrax incidence. *Ecological Indicators* 166.
41. Sarkargar, A., Valdan, M., & Mansourian, A. (2018). Spatial analysis of fire using RS, GIS in different parts of the country. *Journal of Ecology* 35, 25- 34.
42. Somashekar, R., Ravikumar, P., Mohankumar, C., Prakash, K., & Nagaraja, B. (2009). Burntarea mapping of bandipur national park, India using IRS1C\ 1D LISS III data. *Indiansoc. Remote sensing* 37, 37- 50.
43. Stocks, M.R., Lynham, A.F., Lawson, B.D., & Alexander, K.L. (2020). The Danger of forest fire. *the forestry chronicle* 54, 6, 243-278.
44. Uthappa, A.R., Das, B., Raizada, A., Kumar, P., Jha, P. & Prasad, P.V. (2025). Forest fire susceptibility mapping using multi-criteria decision making and machine learning models in

the Western Ghats of India. *Journal of Environmental Management*, 379, p.124777.

45. Visa, S., Ramsay, B., & Ralescu, A. (2016). Confusion matrix based feature selection. 3, 32-41.
46. Yang, J., Shifley S.R., & Gustafson, E.J. (2017). Spatial patterns of modern period human-caused fire occurrence in the Missouri Ozark Highlands. Forest science 53 (1), 1-15.
47. Zumbrunnen, T., Pezzatti, G., Menéndez, P., Bugmann, H., Bürg, I.M., & Conedera, M. (2020). Weather and human impacts on forest fires: 100 years of fire history in two climaticregions of Switzerland. *Forest Ecology and Management* 261 (12), 2188-2199.

Identifying Factors Influencing Wildfires in Khorramabad's Natural Areas Using a Decision Tree Model

Soheila Naseri rad[1] Hamed Naghavi[2]* Hamidreza Pourghasemi[3] Arvin Fakhri[4]

Received: 31/12/2024 Accepted: 15/06/2025

Extended abstract

Itroduction: The frequent occurrence of wildfires in the natural landscapes of the Zagros region necessitates comprehensive research to identify contributing factors and predict future fire incidents. Accordingly, this study aims to determine the key drivers of wildfires in the Khorramabad County watershed, located in the central Zagros, using decision tree-based modeling approaches.

Material and Methods: The study examined fire-influencing factors across four categories: climate, topography, land use, and human activity. Wildfire data spanning 2011–2024 (380 fire points), obtained from the Lorestan Province General Department of Natural Resources and Watershed Management, served as the dependent variable. The dataset was split into training (70%, 266 points) and evaluation (30%, 114 points) subsets. Model performance was assessed using the ROC curve and confusion matrix for validation..

Results: Variable importance analysis revealed that distance from roads and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were among the most significant factors influencing wildfire occurrences in the study area. The results demonstrated a positive correlation between fire incidence and three key variables: (1) greater proximity to roads, (2) higher vegetation density, and (3) increased wind effects. Model validation indicated an 85% accuracy rate in correctly classifying fire events versus non-fire events. These findings provide actionable insights for identifying fire risk factors, supporting wildfire prevention strategies, and promoting sustainable land management practices in the region..

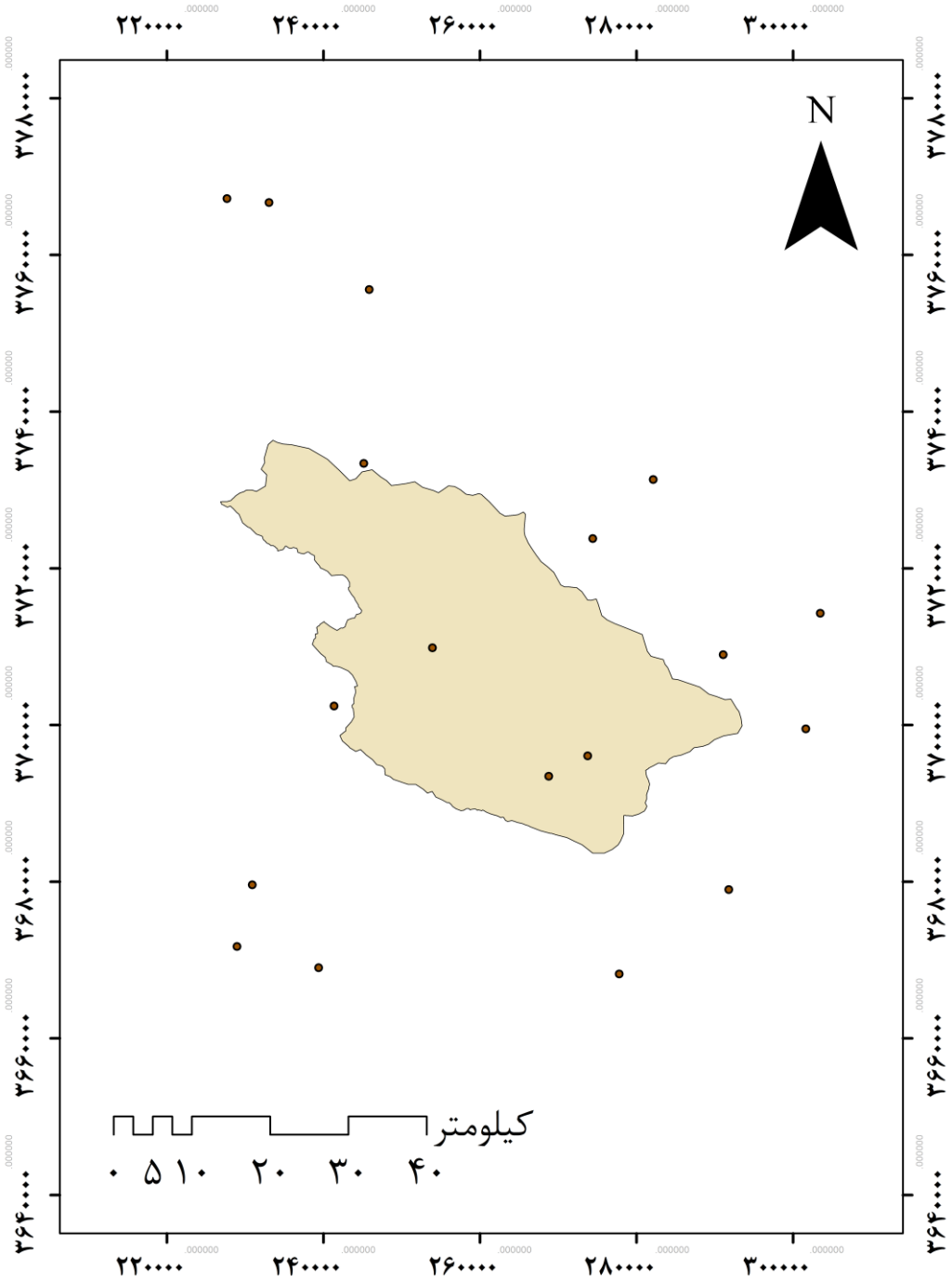
Discusssion and Conclusion: Given the critical role of forests and rangelands in water and soil conservation, as well as erosion prevention, identifying key drivers of wildfires is essential for effective land management. This study highlights distance from roads, NDVI, precipitation, wind effect, and temperature as the most influential factors affecting fire occurrences in the study area, ranked in order of significance. The decision tree model demonstrated high predictive accuracy (85%), confirming its effectiveness in identifying wildfire risk factors. These findings provide valuable insights for:Wildfire prevention strategies, Sustainable land management, and Informed decision-making for policymakers and land-use planners. Furthermore, the results serve as a foundational reference for future research on natural resource management, particularly in fire-prone ecosystems. By integrating these findings into regional planning, stakeholders can better mitigate fire risks and enhance ecosystem resilience.

***Keywords*:** Machine learning, Remote sensing, NDVI, ROC curve.

1. PhD student in Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran, soheilanaseri2@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Forestry Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran, corresponding author, naghavi.ha@lu.ac.ir
3. Professor, Department of Engineering and Environment, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran, hporghasemi@gmail.com
4. PhD in Photogrammetry, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N Toosi University of Technology, Tehran, Iran, arvin.fakhri@fu-berlin.de

DOI: 10.22052/DEEJ.2025.256094.1090

پیوست



موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی

Location of meteorology stations