

## بررسی رابطه زمانی و مکانی تغییر پارامترهای اقلیمی و آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان

سعیده اسکندری<sup>۱\*</sup>، فاطمه احمدلو<sup>۲</sup>، حمیدرضا پورقاسمی<sup>۳</sup>، یزدانفر آهنگران<sup>۴</sup> و ذوالفقار رضاپور<sup>۵</sup>

\*- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

پست الکترونیک: saeede.scandari@yahoo.com

۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات صنوبر، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۳- استاد، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۴- کارشناس ارشد، رییس گروه گیاه‌پزشکی، دفتر حفاظت و حمایت، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، تهران، ایران.

۵- کارشناس ارشد، رییس گروه توسعه هواشناسی کاربردی، اداره کل هواشناسی استان کهگیلویه و بویراحمد، یاسوج، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۴

### چکیده

آتش‌سوزی یکی از پدیده‌های مخرب عرصه‌های طبیعی است که طی سال‌های اخیر بخش وسیعی از جنگل‌ها و مراتع استان گیلان را نابود کرده است. این پژوهش به منظور بررسی رابطه زمانی و مکانی بین متغیرهای اقلیمی و آتش‌سوزی در استان گیلان انجام شد. متغیرهای آتش‌سوزی شامل تعداد و وسعت آتش‌سوزی‌ها و متغیرهای اقلیمی شامل هفت متغیر طی ۲۶ سال اخیر بودند. برای بررسی رابطه زمانی بین آتش‌سوزی‌ها و متغیرهای اقلیمی، از همبستگی پیرسون و روابط رگرسیونی استفاده شد. برای بررسی رابطه مکانی بین وقوع آتش‌سوزی‌ها و متغیرهای اقلیمی، از روش‌های یادگیری ماشین استفاده شد. نقشه آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌ها و مراتع استان، از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان (۱۴۰۰-۱۳۷۵) و سنجنده مادیس (۱۴۰۰-۱۳۸۱) تهیه شد. نقشه‌های متغیرهای اقلیمی با روش‌های درون‌یابی در GIS تهیه شدند. اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی در وقوع آتش‌سوزی با آماره‌های میانگین کاهش جینی (Mean Decrease Gini: MDG) و میانگین کاهش صحت (Mean Decrease Accuracy: MDA) تعیین شد. برای مدل‌سازی و تهیه نقشه‌های احتمال وقوع آتش‌سوزی، از ۷۰ درصد موقعیت آتش‌سوزی‌ها و مدل‌های مختلف یادگیری ماشین (رگرسیون لجستیک، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و مدل ترکیبی SVM-RF) در نرم‌افزار زبان برنامه‌نویسی R استفاده شد. برای صحت‌سنجی مدل‌ها، از ۳۰ درصد موقعیت آتش‌سوزی‌ها و مشخصه AUC استفاده شد. نتایج رابطه زمانی نشان داد، طی دوره ۲۶ ساله، بین تعداد آتش‌سوزی و میانگین بارندگی فصلی به صورت منفی و بین تعداد آتش‌سوزی و میانگین سرعت باد فصلی و میانگین حداکثر سرعت باد فصلی به صورت مثبت، رابطه معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود داشت. به علاوه، بین وسعت آتش‌سوزی و میانگین بارندگی فصلی، رابطه معنی‌دار منفی در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده شد. نتایج رابطه مکانی نشان داد، میانگین حداکثر درجه حرارت فصلی، میانگین بارندگی فصلی و میانگین رطوبت نسبی فصلی بیشترین اهمیت را در وقوع آتش‌سوزی استان گیلان در گستره مکانی داشته‌اند. نتایج اعتبارسنجی نقشه‌های احتمال وقوع آتش‌سوزی نشان داد، مدل جنگل تصادفی (AUC: 0/82) و مدل ترکیبی SVM-RF (AUC: 0/79) دقت بیشتری در نقشه‌برداری احتمال وقوع آتش‌سوزی داشته‌اند. بنابراین پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های ناشی از عوامل اقلیمی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان با استفاده از نقشه‌های مذکور امکان‌پذیر است که کمک شایانی به مدیران منابع طبیعی در انجام اقدامات حفاظتی در مناطق پرخطر می‌کند. در این مورد، ضروری است که اقدامات کنترلی برای پیشگیری از وقوع آتش‌سوزی‌های آینده در مناطق پرخطر آتش‌سوزی، با حساسیت بیشتری توسط یگان حفاظت اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان انجام شود.

واژه‌های کلیدی: تحلیل زمانی و مکانی آتش‌سوزی، تعداد و وسعت آتش‌سوزی، رگرسیون خطی، متغیرهای اقلیمی، مدل‌های یادگیری ماشین.

## مقدمه

جنگل‌ها از بوم‌سازگان‌هایی هستند که به دلیل کارکردهای متنوع اکولوژیکی و محیط زیستی، اهمیت فراوانی دارند (Pourhashemi *et al.*, 2012). آتش‌سوزی یکی از مهمترین عوامل مخرب اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی محسوب می‌شود که سالانه هزاران هکتار از درختان، درختچه‌ها و گیاهان را نابود می‌کند (Roman *et al.*, 2013). طی سال‌های اخیر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان‌های شمالی ایران افزایش چشمگیری داشته است. براساس گزارش‌های اداره‌های کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان‌های گلستان، مازندران و گیلان، علل وقوع این آتش‌سوزی‌ها بسیار متعدد بوده‌اند، اما به‌طورکلی عوامل انسانی و عوامل طبیعی (اقلیمی)، نقش مهمی در وقوع این آتش‌سوزی‌ها داشته‌اند (Rahimi & Khademi, 2018). اگرچه انسان عامل اصلی بیشتر آتش‌سوزی‌ها چه به‌صورت عمدی و چه به‌صورت تصادفی است (Flannigan *et al.*, 2000; Eskandari *et al.*, 2013)، اما گرمایش جهانی و تغییر اقلیم نیز از عوامل مهم آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع جهان و ایران به‌ویژه در سال‌های اخیر محسوب می‌شود. عوامل آب‌وهوایی از طریق افزایش میانگین درجه حرارت، کاهش بارندگی و رطوبت نسبی و افزایش خشک‌سالی و بادهای گرم، نقش مهمی در تعداد و وسعت آتش‌سوزی‌ها در مناطق طبیعی و جنگلی استان گیلان و شرق مازندران داشته است (Eskandari & Jalilvand, 2017). اجزای مختلف رژیم‌های آتش‌سوزی (تعداد، شدت و وسعت آتش‌سوزی) و رابطه پیچیده آنها با ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های جنگلی، وابستگی زیادی با عوامل اقلیمی (درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد و بارندگی) دارند (Chen *et al.*, 2014; Urrutia-Jalabert *et al.*, 2018). بعضی از محققان اعتقاد دارند که افزایش تعداد آتش‌سوزی‌ها در جهان با گرم شدن زمین ارتباط زیادی دارد (Jolly *et al.*, 2015). به‌طوری‌که پاسخ رژیم‌های آتش‌سوزی به تغییر اقلیم بسیار قابل توجه است. بنابراین اگر تغییرات پیش‌بینی‌شده اقلیم، در آینده به واقعیت تبدیل

شود، پیش‌بینی رژیم آتش‌سوزی حاصل از آن و تأثیر آن بر اکوسیستم‌های جنگل و مرتع امکان‌پذیر خواهد بود (Flannigan *et al.*, 2000). مدل‌های پیش‌بینی‌کننده، بهترین ابزار قابل‌دسترس برای برآورد تأثیر تغییر اقلیم بر رژیم‌های آتش‌سوزی (تعداد و وسعت آتش‌سوزی) در مقیاس بزرگ هستند (Flannigan *et al.*, 2000). برای نمونه، Meyn و همکاران (۲۰۰۷) یک مدل مفهومی را برای پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی‌های وسیع و پرتعداد در اکوسیستم‌های طبیعی در سطح جهان ارائه کرده‌اند. بر همین اساس، اثرهای مدیریت انسانی و تغییر اقلیم بر وقوع آتش‌سوزی‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد، فرایندهای اقلیمی به‌عنوان کنترل‌کننده‌های نهایی طرح‌های منطقه‌ای آتش‌سوزی در اکوسیستم‌های طبیعی هستند. Turco و همکاران (۲۰۱۳) نیز از مدل‌های رگرسیونی و ناپارامتری برای بررسی اثر متغیرهای بارندگی و درجه حرارت بر تعداد و وسعت آتش‌سوزی در کاتالونیای اسپانیا استفاده کردند تا اثر تغییر اقلیم بر تغییر رژیم آتش‌سوزی در این منطقه را در یک دوره ۲۵ ساله بررسی کنند. نتایج نشان داد، آتش‌سوزی‌ها در فصل تابستان به‌طور معنی‌داری با بارندگی و درجه حرارت فصل تابستان مرتبط بودند. نتایج مدل رگرسیونی نشان داد، ۷۶ درصد تغییرات در سطح آتش‌سوزی‌ها و ۹۱ درصد تغییرات در تعداد آتش‌سوزی‌ها در این منطقه، مرتبط با متغیرهای اقلیمی بودند. Chen و همکاران (۲۰۱۴) نیز با مدل رگرسیون خطی ساده، تأثیر رژیم‌های بارندگی را بر تعداد و وسعت آتش‌سوزی‌های جنگلی در استان یونان در جنوب‌غربی چین طی دو دوره شش و ۱۹ ساله ارزیابی کردند. نتایج نشان داد، رژیم بارندگی رابطه معنی‌داری با آتش‌سوزی طی دو دوره مورد بررسی داشت. Urrutia-Jalabert و همکاران (۲۰۱۸) نیز با ضریب همبستگی پیرسون و مدل‌های رگرسیونی چندگانه، رابطه بین تعداد و وسعت آتش‌سوزی را با متغیرهای اقلیمی بارندگی و درجه حرارت در مرکز و جنوب شیلی طی دوره ۲۰۱۳-۱۹۷۶ بررسی کردند. نتایج نشان داد، درجه حرارت رابطه مثبتی با سطح آتش‌سوزی در سراسر منطقه مورد مطالعه به‌ویژه در جنوب

آتش‌سوزی‌های به‌شهر و متوسط بارندگی سالانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد رابطه معنی‌داری وجود دارد. همچنین بین وسعت آتش‌سوزی‌های به‌وقوع‌پیوسته در جنگل‌های به‌شهر با متوسط درجه حرارت سالانه و متوسط بارندگی سالانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد رابطه معنی‌داری وجود داشت، درحالی‌که بین داده‌های آب‌وهوایی و تعداد و وسعت آتش‌سوزی‌های به‌وقوع‌پیوسته در جنگل‌های نکا رابطه معنی‌داری وجود نداشت. در تحقیق دیگری، Rahimi و Khademi (۲۰۱۸) آتش‌سوزی‌های شمال شرق ایران را به‌دلیل نوسان‌های عناصر اقلیمی کاهش رطوبت، افزایش دما و وزش باد ناشی از گرمایش جهانی بررسی کردند. این پژوهش با استفاده از داده‌های اقلیمی سطح زمین و جو بالا، خصوصیات فیزیوگرافی و داده‌های آتش‌سوزی دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۸۴ با روش محیط‌گردشی انجام شد. طبق بررسی‌ها، بیشتر آتش‌سوزی‌ها در دامنه‌های شمالی و شمال‌غربی البرز و در شیب ۰-۳ درصد و دامنه ارتفاعی ۷۲۹-۰ متر از سطح دریا رخ داده‌اند. تحلیل اقلیمی این پدیده نیز افزایش ۲ تا ۶ درجه سانتی‌گراد، عدم ریزش بارش، کاهش رطوبت، افزایش سرعت باد در روز آتش‌سوزی نسبت به روز قبل و در جو بالا وجود موج گرمایی، افزایش ضخامت جو در تراز ۱۰۰۰-۵۰۰ را نشان داد. بنابراین با کمک عوامل ذکرشده مؤثر در آتش‌سوزی به‌ویژه پیش‌بینی‌های هم‌دید، می‌توان نسبت به کاهش خسارت‌های آن در چهارچوب مدیریت خطر اقدام کرد. درمجموع، نتایج این مطالعات نشان می‌دهد، با استفاده از مدل‌هایی که رابطه بین متغیرهای اقلیمی و آتش‌سوزی را بررسی می‌کنند، می‌توان پیش‌بینی قابل‌قبولی از آتش‌سوزی‌های آینده براساس متغیرهای اقلیمی داشت.

استان گیلان ازجمله استان‌های مستعد آتش‌سوزی در کشور است که سالانه صدها هکتار از جنگل‌ها و مراتع آن در اثر آتش‌سوزی از بین می‌روند. به‌طوری‌که طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۴۰۰، تعداد ۲۳۳۰ فقره آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان اتفاق افتاده است که سطحی در حدود ۵۲۰۱/۲۶ هکتار را سوزانده‌اند ( Gilan Natural

شیلی داشت. Tošić و همکاران (۲۰۱۹) با ضریب همبستگی پیرسون و مدل‌های رگرسیونی، تأثیر متغیرهای اقلیمی درجه حرارت، بارندگی، رطوبت نسبی و سرعت باد را بر خطر آتش‌سوزی در مناطق طبیعی صربستان طی یک دوره ۱۷ ساله (۲۰۱۷-۲۰۰۰) ارزیابی کردند. نتایج نشان داد، رطوبت نسبی و بارندگی مهمترین عوامل برای پیش‌بینی آتش‌سوزی در صربستان هستند. نتایج این مطالعات، دقت مطلوب برخی از مدل‌های استفاده شده را نشان می‌دهد. در ایران نیز در این مورد، تحقیقاتی در شمال کشور انجام شده است. Azizi و Yousefi (۲۰۰۹) اثر باد گرم را بر آتش‌سوزی جنگل‌های مازندران و گیلان بررسی کردند. نتایج نشان داد، کاهش رطوبت نسبی تا حدود ۲۰ درصد و افزایش دما در حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد و وجود شرایط بارش و اشباع (رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد) در سمت رو به باد دامنه جنوبی البرز، رخداد پدیده باد گرم را میسر می‌سازد که به‌عنوان عامل اصلی آتش‌سوزی است. همچنین آنان وجود باد پرفشار در سطح زمین و پشته در سطوح فوقانی را در رخداد آتش‌سوزی جنگل مؤثر دانستند. Azizi و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی هم‌دید رخداد آتش‌سوزی در استان‌های گیلان و گلستان پرداختند. نتایج نشان داد، ارتفاع کم در سطوح میانی جو که محور آن در شرق دریای مدیترانه در کشورهای ترکیه و عراق است، در غرب تالش و جنوب البرز، باعث ایجاد بارش شده و در شرق تالش و شمال البرز، باد گرم و خشک ایجاد می‌کند که منجر به ایجاد آتش‌سوزی در جنگل‌ها می‌شود. Jalilvand و Eskandari (۲۰۱۷) تأثیر عوامل آب‌وهوایی را بر رژیم آتش‌سوزی جنگل‌های نکا و به‌شهر در استان مازندران بررسی کردند. بدین‌منظور آمار تعداد و وسعت آتش‌سوزی‌های به‌وقوع‌پیوسته و داده‌های آب‌وهوایی مربوط به پنج سال گذشته این دو شهرستان تهیه شد. نتایج بررسی آماری داده‌های آب‌وهوایی و آتش‌سوزی‌ها براساس ضریب همبستگی پیرسون نشان داد، بین تعداد آتش‌سوزی‌های به‌وقوع‌پیوسته در جنگل‌های به‌شهر و متوسط درجه حرارت سالانه در سطح اطمینان ۹۹ درصد و بین تعداد

و مراتع ناحیه ریشی هیرکانی در استان گیلان، بررسی رابطه زمانی و مکانی آتش‌سوزی‌ها و متغیرهای اقلیمی و تهیه نقشه‌های مکانی احتمال وقوع آتش‌سوزی با استفاده از مدل‌های مختلف یادگیری ماشین انجام شد. در این پژوهش، برای اولین بار پیش‌بینی دوگانه زمانی و مکانی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی استان گیلان که مستعد آتش‌سوزی‌های مهیب است، انجام می‌شود. این پیش‌بینی دوگانه، نقش بسیار مهمی در کاهش رخداد آتش‌سوزی‌های اقلیمی در جنگل‌ها و مراتع این استان خواهد داشت و مدیریت آتش‌سوزی را قبل از وقوع آن در مناطق پرخطر این جنگل‌ها و مراتع تسهیل خواهد کرد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان گیلان با وسعت ۱۴۷۱۱۰۰ هکتار در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه و ۳ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه و ۷ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۴ دقیقه و ۲۵ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۲۶ دقیقه و ۴۲ ثانیه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). استان گیلان از سه بخش ساحلی، جلگه‌ای و کوهپایه‌ای تشکیل شده است. پهنای جلگه ساحلی در استان گیلان کم بوده و در بیشتر نقاط، بلافاصله پس از خط ساحلی، ارتفاع به ۹۰۰ متر افزایش می‌یابد. حداقل ارتفاع استان، ۲۶- متر و حداکثر آن ۳۷۰۳ متر از سطح دریای آزاد می‌باشد. بیشترین میانگین بارندگی سالانه در استان در یک دوره ۲۶ ساله (۱۴۰۰-۱۳۷۵) ۱۰۹۷،۵۳ میلی‌متر و کمترین آن ۴۵۸،۳۰ میلی‌متر بوده است. استان گیلان دارای ۷۸۹۵۱۳ هکتار عرصه منابع طبیعی تجدیدشونده است که تقریباً ۵۶۵۰۰۰ هکتار آن را جنگل و ۲۲۴۵۱۳ هکتار آن را مرتع تشکیل می‌دهد ( Gilan Natural Resources Administration, 2019). قسمت جنگلی استان، بخشی از جنگل‌های هیرکانی محسوب می‌شود که به‌طور عمده شامل گونه‌های درختی خزان‌کننده معتدله است و تنوع زیستی منحصربه‌فردی را به‌عنوان زیستگاه برای انواع گونه‌های گیاهی و جانوری فراهم

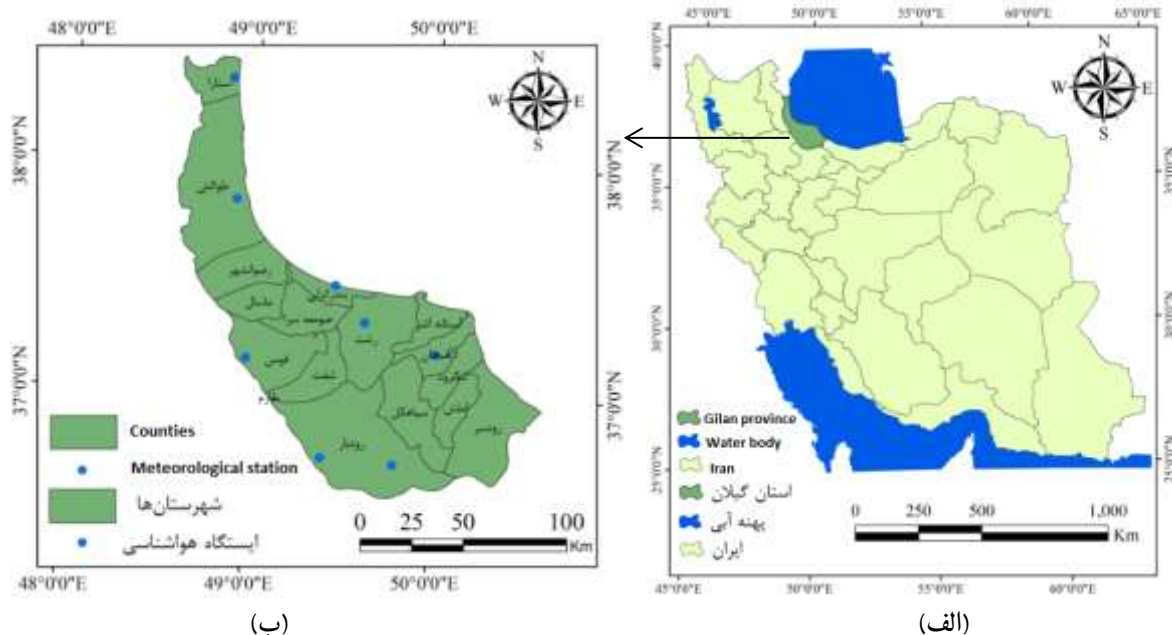
(Resources Administration, 2019). بنابراین بررسی نقش عوامل مختلف در این آتش‌سوزی‌ها و پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی‌های آینده ضروریست. با توجه به نقش احتمالی عوامل اقلیمی در افزایش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع استان گیلان در دهه‌های اخیر، بررسی رابطه دقیق این عوامل با آتش‌سوزی‌های عرصه‌های طبیعی در این استان بسیار مهم است، زیرا با تحلیل این روابط، امکان پیش‌بینی زمانی و مکانی خطر وقوع آتش‌سوزی‌های اقلیمی در جنگل‌ها و مراتع این استان تا حدودی وجود خواهد داشت، به‌طوری‌که بعد از بررسی این روابط و ارزیابی خطر آتش‌سوزی با استفاده از عوامل اقلیمی، پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی برای آینده از نظر زمانی (با استفاده از داده‌های اقلیمی در طول زمان) و از نظر مکانی (با استفاده از نقشه‌های احتمال وقوع آتش‌سوزی حاصل از عوامل اقلیمی) در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان وجود خواهد داشت. براساس مسئله تحقیق، سؤالات این پژوهش عبارت است از:

- ۱- آیا عوامل اقلیمی در دهه‌های اخیر، نقشی در وقوع آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع استان گیلان داشته‌اند؟
- ۲- آیا رابطه زمانی بین متغیرهای اقلیمی و تعداد آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان، در دهه‌های اخیر معنی‌دار است؟
- ۳- آیا رابطه زمانی بین متغیرهای اقلیمی و وسعت آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان، در دهه‌های اخیر معنی‌دار است؟
- ۴- آیا رابطه مکانی‌ای بین متغیرهای اقلیمی و وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان، طی دهه‌های اخیر وجود دارد؟
- ۵- آیا نقشه‌های مکانی احتمال وقوع آتش‌سوزی، در پیش‌بینی مکانی آتش‌سوزی‌های اقلیمی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان، دقت مناسبی دارند؟

براساس سؤالات مطرح‌شده، پژوهش پیش‌رو با هدف شناسایی عوامل اقلیمی مؤثر در وقوع آتش‌سوزی جنگل‌ها

استان گیلان از جمله استان‌های آتش‌خیز در شمال کشور است، به طوری که طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۴۰۰، تعداد ۲۳۳۰ فقره آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی (جنگل‌ها و مراتع) این استان رخ داده است که در اثر آن سطحی برابر ۵۲۰۱/۲۶ هکتار از این منابع طبیعی ارزشمند از بین رفته است ( Gilan Natural Resources Administration, 2019).

می‌کند. بخش جنگلی دارای ساختار ناهمسال بوده و شامل گونه‌های پهن‌برگ راش، ممرز، بلندمازو، انجیلی، توسکا، نمدار، ون، گیلاس وحشی و سایر گونه‌هاست ( Eshaghi Rad et al., 2009). مراتع استان نیز دارای غنای گونه‌ای فراوانی هستند و نقش مهمی را در دامداری استان ایفا می‌کنند (Eshaghi Rad et al., 2009). اقلیم استان گیلان، معتدل خزری و مرطوب است و بارندگی سالانه فراوانی دارد ( Gilan Natural Resources Administration, 2019).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (استان گیلان) در ایران (الف) و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در شهرستان‌های استان (ب)  
**Figure 1. Geographical location of study area (Gilan province) in Iran (a), and location of the meteorological stations in the counties of Gilan province (b)**

#### داده‌ها

از داده‌های آتش‌سوزی، از داده‌های محصول آتش‌سوزنده مادیس (MODIS) در استان گیلان استفاده شد که از سایت زمین‌شناسی ناسا (<http://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/firms/active-fire-data>) تهیه گردید. داده‌های آتش‌سوزنده مادیس از سال ۲۰۰۲ میلادی (۱۳۸۱) به بعد در دسترس هستند که در این مطالعه طولانی‌ترین دوره داده‌های در دسترس آنها (۱۴۰۰-۱۳۸۱) استفاده شد. پس از تهیه این داده‌ها، نقاط آتش‌سوزی حاصل، برای رفع هرگونه خطای احتمالی، به اندازه محدوده جنگل‌ها و مراتع استان

شامل داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، شامل داده‌های متغیرهای آتش‌سوزی و داده‌های متغیرهای اقلیمی بودند. متغیرهای آتش‌سوزی شامل تعداد و وسعت آتش‌سوزی‌ها طی ۲۶ سال اخیر (۱۳۷۵-۱۴۰۰) بودند که از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان تهیه شدند. همچنین، موقعیت آتش‌سوزی‌ها شامل مختصات جغرافیایی نقاط آتش‌سوزی (طول و عرض جغرافیایی) از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان تهیه شد. برای داشتن یک پایگاه کامل

گیلان جداسازی شدند تا فقط نقاط آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی وارد تجزیه و تحلیل‌ها شوند (Eskandari & Chuvieco, 2015; Eskandari et al., 2015). در نهایت، نقاط آتش‌سوزی حاصل از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان با داده‌های آتش‌سوزی محصول آتش‌سنجنده مادیس تلفیق شدند تا یک پایگاه کامل از داده‌های آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان به دست آید.

متغیرهای اقلیمی شامل میانگین درجه حرارت فصلی (درجه سانتی‌گراد)، میانگین حداکثر درجه حرارت فصلی (درجه سانتی‌گراد)، حداکثر مطلق درجه حرارت فصلی (درجه سانتی‌گراد)، میانگین بارندگی فصلی (میلی‌متر)، میانگین رطوبت نسبی فصلی (درصد)، میانگین سرعت باد فصلی (متر بر ثانیه) و میانگین حداکثر سرعت باد فصلی (متر بر ثانیه) مربوط به فصل آتش‌سوزی (اردیبهشت تا آذر) در طی ۲۶ سال اخیر (۱۳۷۵ تا ۱۴۰۰) بودند که داده‌های آنها از ایستگاه‌های هواشناسی استان گیلان که دارای داده‌های بلندمدت اقلیمی بودند (آستارا، منجیل، رشت، ماسوله، تالش، لاهیجان، انزلی و جیرانده بودند که همگی داده‌های اقلیمی بلندمدت ۲۶ ساله (۱۴۰۰-۱۳۷۵) هستند. برای به‌دست‌آوردن میانگین هر متغیر اقلیمی برای هر سال (به‌عنوان مثال میانگین درجه حرارت)، از داده‌های آن متغیر اقلیمی در ایستگاه‌های مختلف برای آن سال، میانگین حسابی گرفته شد تا یک عدد میانگین برای آن سال به دست آید. به‌عبارت‌دیگر، برای هر متغیر اقلیمی در هر سال خاص، از مقدار آن متغیر از همه ایستگاه‌های استان، میانگین گرفته شد تا یک عدد واحد برای هر متغیر اقلیمی در هر سال به دست آید. بنابراین در بخش اول پژوهش، داده‌های زمانی (سال‌ها) به داده‌های مکانی (ایستگاه‌های هواشناسی) اولویت داشتند.

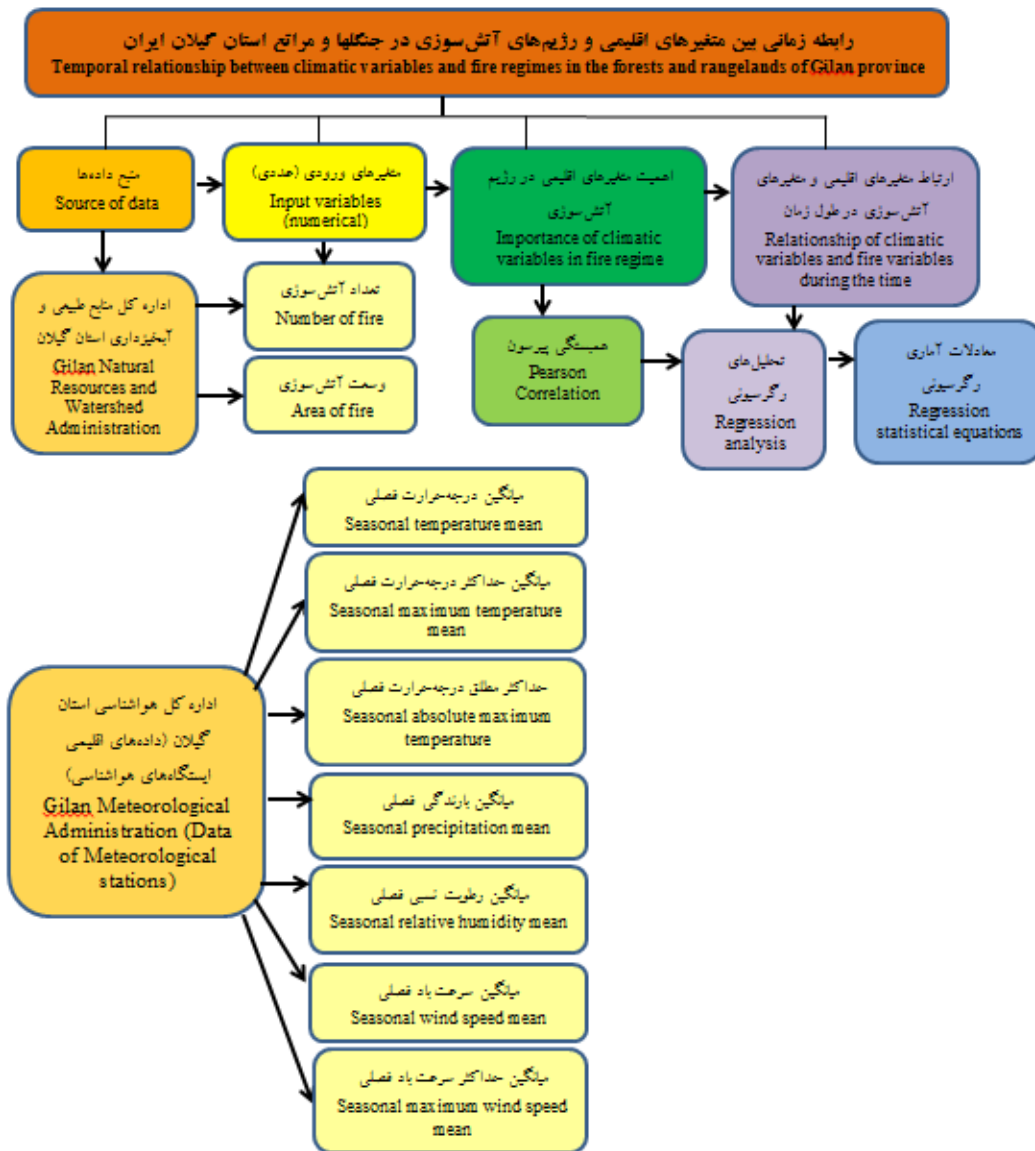
در ادامه، برای آگاهی از شرایط محیطی و اقلیمی مناطق آتش‌سوزی و بررسی دقت نقاط آتش‌سوزی محصول آتش‌سنجنده مادیس، از عرصه‌های آتش‌سوزی‌های رخ‌داده در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان بازدید میدانی شد. از آنجایی‌که آثار آتش‌سوزی به‌ویژه در مراتع، در سال‌های بعد از آتش‌سوزی و با گذشت زمان با بازرویش پوشش مرتعی به‌تدریج محو می‌شود، در بازدید میدانی سعی شد که مشاهدات از مناطق آتش‌سوزی جدید (۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱) به عمل آید. آتش‌سوزی مهیبی که در آذرماه ۱۴۰۱ به وقوع پیوست، در منطقه جنگلی رودبار در رستم‌آباد استان گیلان بود که حدود ۴۰ هکتار از عرصه‌های جنگلی استان را سوزاند. آتش‌سوزی خسارت‌های بسیاری را به جنگل‌ها و مراتع استان گیلان وارد کرده بود که شامل سوختن تنه درختان و نابودی گونه‌های مرتعی در منطقه بود (شکل ۳). در پایان، موقعیت مناطق آتش‌سوزی بازدیدشده در استان گیلان با سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت شد.

متغیرهای اقلیمی شامل میانگین درجه حرارت فصلی (درجه سانتی‌گراد)، میانگین حداکثر درجه حرارت فصلی (درجه سانتی‌گراد)، حداکثر مطلق درجه حرارت فصلی (درجه سانتی‌گراد)، میانگین بارندگی فصلی (میلی‌متر)، میانگین رطوبت نسبی فصلی (درصد)، میانگین سرعت باد فصلی (متر بر ثانیه) و میانگین حداکثر سرعت باد فصلی (متر بر ثانیه) مربوط به فصل آتش‌سوزی (اردیبهشت تا آذر) در طی ۲۶ سال اخیر (۱۳۷۵ تا ۱۴۰۰) بودند که داده‌های آنها از ایستگاه‌های هواشناسی استان گیلان که دارای داده‌های بلندمدت اقلیمی بودند (آستارا، منجیل، رشت، ماسوله، تالش، لاهیجان، انزلی و جیرانده) تهیه شد. ذکر این نکته لازم است که متغیرهای اقلیمی برای این تحقیق، براساس فاکتورهای اقلیمی تأثیرگذار بر وقوع آتش‌سوزی براساس مطالعات پیشین انتخاب شدند (Syphard et al., 2008; Turco et al., 2013; Urrutia-Jalabert et al., 2018; Tošić et al., 2019).

#### روش پژوهش

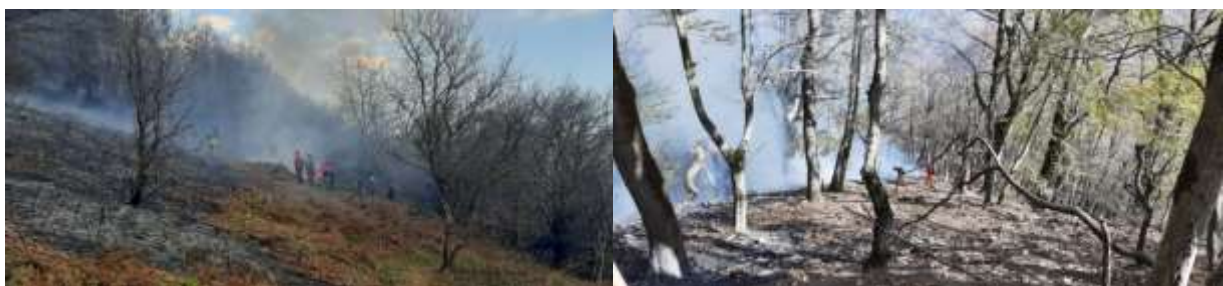
رابطه زمانی بین متغیرهای آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان و متغیرهای اقلیمی

برای بخش اول پژوهش (رابطه زمانی بین متغیرهای اقلیمی و آتش‌سوزی)، داده‌های کمی متغیرهای اقلیمی و متغیرهای آتش‌سوزی (تعداد و وسعت) در طی ۲۶ سال گذشته (۱۳۷۵-۱۴۰۰) مربوط به فصل آتش‌سوزی در استان گیلان استفاده شدند. منظور از فصل آتش‌سوزی (Fire season) ماه‌هایی است که در آنها، رخداد حریق بیشتر است و در مطالعات آتش‌سوزی، معمولاً به‌عنوان فصل آتش‌سوزی شناخته می‌شود (Flannigan et al., 2013; Tošić et al., 2019).



شکل ۲- مراحل انجام تحقیق در مورد رابطه زمانی بین متغیرهای آتش سوزی و متغیرهای اقلیمی

Figure 2. Steps of research regarding to the temporal relationship between fire variables and climatic variables



شکل ۳- خسارت های آتش سوزی در مناطق جنگلی و مرتعی استان گیلان

Figure 4. Losses of fire in the forest and rangeland areas of Gilan province

پارامترهای اقلیمی و داده‌های آتش‌سوزی در طول زمان) به صورت عددی وارد مدل شدند. بنابراین ضریب همبستگی پیرسون بین تعداد آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی محاسبه شد. همچنین ضریب همبستگی پیرسون بین وسعت آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی طی سال‌های مورد مطالعه محاسبه شد و ضرایب همبستگی همه آنها در نرم‌افزار IBM SPSS statistics Ver. 22 به دست آمد. در نهایت، برای متغیرهای اقلیمی‌ای که همبستگی معنی‌داری را با تعداد و وسعت آتش‌سوزی نشان دادند، از روش رگرسیون خطی برای پی بردن به رابطه زمانی بین آنها و متغیرهای آتش‌سوزی استفاده شد و معادلات (مدل‌های رگرسیونی) بین تعداد و وسعت آتش‌سوزی (متغیرهای وابسته) و هفت متغیر اقلیمی (متغیرهای مستقل) به دست آمد.

به منظور بررسی رابطه زمانی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان در طی ۲۶ سال اخیر (۱۴۰۰-۱۳۷۵)، با توجه به مقیاس نسبی و فاصله‌ای داده‌ها، از ضریب همبستگی پیرسون و روابط رگرسیونی استفاده شد (Bihamta & Zare Chahooki, 2015).

متغیرهای آتش‌سوزی (تعداد و وسعت آتش‌سوزی‌ها)، متغیرهای وابسته و متغیرهای اقلیمی (میانگین درجه حرارت فصلی، میانگین حداکثر درجه حرارت فصلی، حداکثر مطلق درجه حرارت فصلی، میانگین بارندگی فصلی، میانگین رطوبت نسبی فصلی، میانگین سرعت باد فصلی و میانگین حداکثر سرعت باد فصلی) و متغیرهای مستقل بودند. متغیرهای اقلیمی و آتش‌سوزی در قسمت اول تحقیق (تحلیل زمانی رابطه بین



شکل ۴- مراحل انجام تحقیق در مورد رابطه مکانی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی

Figure 4. Steps of research regarding to the spatial relationship between fire variables and climatic variables



نقاط معلوم شامل هشت ایستگاه هواشناسی بود، از این روش درون‌یابی استفاده شد. همه نقشه‌های عوامل اقلیمی به فرمت رستری و در اندازه پیکسل  $30 \times 30$  متر تهیه گردید. برای تهیه نقشه موقعیت آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان طی ۲۶ سال گذشته (۱۳۷۵-۱۴۰۰) نیز از داده‌های آتش‌سوزی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان و داده‌های محصول آتش‌سوزی سنجنده مادیس (MODIS) استفاده شد.

در این پژوهش برای بررسی اهمیت متغیرهای اقلیمی در پیش‌بینی مکانی احتمال وقوع آتش‌سوزی، از آماره‌های میانگین کاهش جینی یا MDG (Mean Decrease Gini) و میانگین کاهش صحت یا MDA (Mean Decrease Accuracy) از الگوریتم جنگل تصادفی به دلیل سهولت به‌کارگیری استفاده شد. این آماره‌ها در پکیج RandomForest (Breiman & Cutler, 2022) در نرم‌افزار R 4.1.3 (R Core Team, 2014) در دسترس هستند که برای دستیابی به اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی در تهیه نقشه‌های مکانی احتمال وقوع آتش‌سوزی از نظر اقلیمی در استان گیلان پیاده‌سازی شدند. بعد از تعیین اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی در وقوع آتش‌سوزی، از مدل‌های مختلف یادگیری ماشین برای تهیه نقشه‌های احتمال وقوع آتش‌سوزی استفاده شد. مدل‌های مختلف یادگیری ماشین مورد استفاده در این پژوهش، شامل الگوریتم‌های رگرسیون لجستیک، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و الگوریتم ترکیبی جنگل تصادفی-ماشین بردار پشتیبان بودند.

تهیه نقشه‌های مکانی احتمال وقوع آتش‌سوزی از نظر اقلیمی

برای تهیه نقشه‌های مکانی احتمال وقوع آتش‌سوزی براساس مدل‌های مختلف داده‌کاوی، از داده‌های واقعی آتش‌سوزی در استان گیلان استفاده شد. از آنجایی‌که مدل‌های مختلف مورد استفاده در این پژوهش (الگوریتم‌های جنگل تصادفی، رگرسیون لجستیک،

رابطه مکانی بین وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان و متغیرهای اقلیمی

برای بخش دوم پژوهش (رابطه مکانی بین متغیرهای اقلیمی و وقوع آتش‌سوزی در گستره جنگل‌ها و مراتع استان)، داده‌های اقلیمی همانند داده‌های بخش اول پژوهش بود، با این تفاوت که در این بخش، برخلاف قسمت اول پژوهش، داده‌های مکانی (ایستگاه‌های هواشناسی و موقعیت‌های آتش‌سوزی) به داده‌های زمانی (سال‌ها) اولویت داشتند. همچنین، برای بخش دوم پژوهش یعنی تحلیل مکانی، نیاز به نقشه‌های عوامل اقلیمی و نقشه مکانی وقوع آتش‌سوزی‌ها بود. بنابراین، پارامترهای اقلیمی در قسمت دوم پژوهش (تحلیل مکانی در گستره مکانی جنگل‌ها و مراتع استان گیلان) به صورت نقشه وارد مدل‌ها شدند. شکل ۴ نمودار مراحل انجام تحقیق در مورد رابطه مکانی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان را نشان می‌دهد.

برای تهیه نقشه‌های میانگین درجه حرارت فصلی، میانگین حداکثر درجه حرارت فصلی، حداکثر مطلق درجه حرارت فصلی، میانگین بارندگی فصلی، میانگین رطوبت نسبی فصلی، میانگین سرعت باد فصلی و میانگین حداکثر سرعت باد فصلی، اطلاعات مربوط به این عوامل در طی دهه‌های گذشته از ایستگاه‌های هواشناسی داخل استان گیلان تهیه شد. سپس برای هر ایستگاه خاص، از اطلاعات اقلیمی آن ایستگاه طی ۲۶ سال گذشته میانگین گرفته شد تا یک عدد واحد برای هر یک از متغیرهای اقلیمی مربوط به آن ایستگاه در طول زمان بلندمدت (۲۶ سال) به دست آید. هدف این بود که با استفاده از این داده‌های بلندمدت، نقشه‌های اقلیمی بلندمدت استان حاصل شوند. در نهایت، برای تهیه نقشه‌های رقمی مربوط به این متغیرها، با استفاده از اطلاعات تمام ایستگاه‌های موجود در استان، از روش درون‌یابی وزنی فاصله معکوس (IDW) در GIS استفاده شد. زیرا این روش، در زمانی که تعداد نقاط معلوم نسبت به سطح منطقه کم باشد، نتایج مطلوبی را به همراه داشته است (Smith et al., 2007). از آنجایی‌که در این تحقیق، تعداد

شد. در مرحله بعد، فایل متنی لایه ترکیبی آتش - غیر آتش حاوی مشخصات متغیرهای اقلیمی در نرم افزار R فراخوانی شده و هر یک از مدل‌های یادگیری ماشین به طور جداگانه در نرم افزار R پیاده سازی و اجرا شدند. پس از اجرای مدل‌ها، نقشه‌های احتمال وقوع آتش سوزی براساس مدل‌های یادگیری ماشین در نرم افزار R به دست آمدند.

صحت سنجی و اعتبارسنجی مدل‌ها و نقشه‌ها در نهایت دقت مدل‌های یادگیری ماشین در این تحقیق، ارزیابی و مقایسه شدند تا بهترین مدل برای پیش بینی مکانی احتمال وقوع آتش سوزی مشخص شود. در این پژوهش، برای ارزیابی عملکرد نقشه‌های احتمال وقوع آتش سوزی، از منحنی مشخصه عملکرد سیستم یا ROC (Receiver Operating Characteristic) استفاده شد. مشخصه منحنی، یکی از مهمترین آماره‌های بررسی کارایی مدل‌های ساخته شده است. ROC یک پلات گرافیکی است که کارایی مدل را از طریق آزمون تشخیصی تعیین می‌کند (Egan, 1975; Golkarian et al., 2018). این پلات، منحنی حساسیت مدل را با پلات کردن پیش‌بینی‌های صحیح (در اینجا مناطق آتش سوزی پیش‌بینی شده) در محور عمودی در مقابل پیش‌بینی‌های نادرست (مناطق پیش‌بینی شده به عنوان غیر آتش سوزی) در محور افقی نشان می‌دهد (Golkarian et al., 2018).

مشخصه سطح زیر منحنی (Area under the curve: AUC) که روشی معمول برای ارزیابی کارایی نقشه‌های طبقه‌بندی شده است، از مشخصه منحنی ROC حاصل می‌شود (Mas et al., 2013). در واقع سطح زیر منحنی (AUC) مطلوبیت مدل‌ها را نشان می‌دهد. مقدار AUC بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. AUC برابر با ۱، نشان‌دهنده طبقه‌بندی بسیار مطلوب مدل پیش‌بینی‌کننده است. در حالی که AUC بیشتر از ۰/۵ تا ۱ صحت متوسط تا مطلوب مدل را در طبقه‌بندی نشان می‌دهد. مقدار ۰/۵ نیز نشان‌دهنده طبقه‌بندی ضعیف مدل و دقت غیرقابل قبول آن است (Yesilnacar, 2005; Golkarian et al., 2018).

ماشین بردار پشتیبان و روش ترکیبی (SVM-RF) یک پراکندگی دوگانه یا باینری (کلاس صفر و یک) از متغیرهای وابسته (آتش سوزی) را در نظر می‌گیرند، بنابراین برای متغیر وابسته آتش سوزی، نیاز به در نظر گرفتن مناطق با آتش سوزی (کلاس یک) و مناطق بدون آتش سوزی (کلاس صفر) بود. همان طور که ذکر شد، مناطق آتش سوزی از تاریخچه آتش سوزی‌ها در دهه‌های اخیر به دست آمد (کلاس یک). برای مناطق غیر آتش سوزی نیز یک نمونه مشابه تصادفی از نقاط در پیکسل‌های بدون آتش ایجاد شد. تعداد این نقاط تصادفی به تعداد همان نقاط آتش سوزی بود و این نقاط نیز در مناطق قابل سوختن (جنگل و مرتع) ایجاد شدند (کلاس صفر) (Chou, 1992; Koutsias & Karteris, 1998; Eskandari & Chuvieco, 2015).

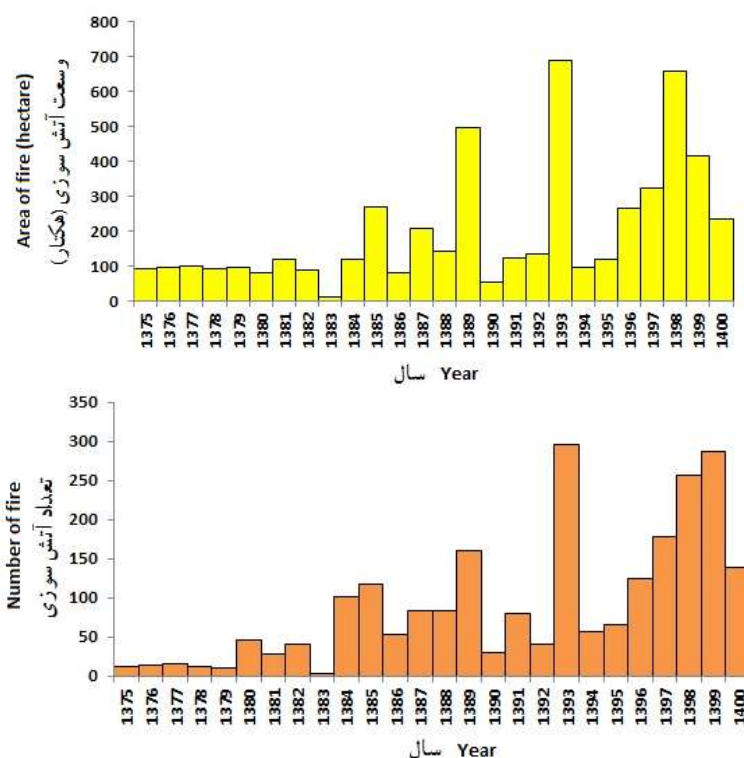
بنابراین، برای فرایند مدل سازی، ابتدا لایه نقاط آتش (کلاس یک) و غیر آتش (کلاس صفر) در GIS ایجاد شد. سپس یک نمونه تصادفی ۷۰ درصدی از نقاط آتش - غیر آتش برای طبقه بندی و یک نمونه تصادفی باقی مانده ۳۰ درصدی از نقاط آتش - غیر آتش برای صحت سنجی ساخته شد (Martínez et al., 2009; Eskandari & Chuvieco, 2015). بعد از آن، مقادیر متغیرهای اقلیمی برای لایه ترکیبی نقاط آتش - غیر آتش با عملگرهای GIS استخراج (Extract) شدند. این لایه به فایل متنی تبدیل شد. از سوی دیگر، همه لایه‌های متغیرهای اقلیمی که با اندازه پیکسل ۳۰×۳۰ متر در فرمت رستری تهیه شده بودند، به فرمت متنی (ASCII) تبدیل شدند تا در نرم افزار R قابل فراخوانی باشند. تمام پردازش‌های ذکر شده روی داده‌ها تا این مرحله، در GIS انجام شد.

بعد از تحلیل‌ها و پردازش‌های مکانی روی داده‌های آتش سوزی و داده‌های اقلیمی در GIS، اجرای مدل‌های یادگیری ماشین در نرم افزار R انجام شد. ابتدا یکپیکه‌های مدل‌های یادگیری ماشین جنگل تصادفی (RF)، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، رگرسیون لجستیک (LR) و مدل ترکیبی SVM-RF در نرم افزار R نصب شده و در صورت لزوم، برنامه نویسی مختص مدل‌های مختلف در نرم افزار R انجام

## نتایج

کمترین تعداد آن در سال ۱۳۸۳ (۲ فقره) به وقوع پیوسته است. همچنین، بیشترین وسعت آتش‌سوزی در سال ۱۳۹۳ (۶۹۰٫۳۱ هکتار) و کمترین آن در سال ۱۳۸۳ (۲ هکتار) بوده است (شکل ۵).

رابطه زمانی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی روند تعداد و وسعت آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان طی ۲۶ سال اخیر (۱۳۷۵-۱۴۰۰) نشان داد، بیشترین تعداد آتش‌سوزی در سال ۱۳۹۳ (۲۹۶ فقره) و



شکل ۵- روند تعداد و وسعت آتش‌سوزی طی دوره مورد مطالعه

Figure 5. Trend of number and area of fire during the study period

(جدول ۱). بیشترین همبستگی معنی‌دار بین تعداد آتش‌سوزی و میانگین بارندگی فصلی (ضریب همبستگی پیرسون: ۰/۴۹-) بوده است (جدول ۱). به‌علاوه براساس این جدول، همبستگی پیرسون، تنها بین وسعت آتش‌سوزی و میانگین بارندگی فصلی معنی‌دار و منفی بوده است (ضریب همبستگی پیرسون: ۰/۴۷-) (جدول ۱). روابط رگرسیونی دوگانه و چندگانه برای آن دسته از متغیرهای اقلیمی که رابطه معنی‌داری با تعداد و وسعت آتش‌سوزی طی ۲۶ سال نشان دادند، در دو ستون آخر جدول ۱ آورده شده است.

همبستگی پیرسون و رابطه رگرسیونی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی همبستگی پیرسون و روابط رگرسیونی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی در استان گیلان در جدول ۱ نشان داده شده است. براساس این جدول، همبستگی پیرسون بین تعداد آتش‌سوزی و میانگین بارندگی فصلی (همبستگی منفی)، میانگین سرعت باد فصلی (همبستگی مثبت) و میانگین حداکثر سرعت باد فصلی (همبستگی مثبت) در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان طی دوره ۲۶ ساله معنی‌دار بوده است

جدول ۱- همبستگی پیرسون و رابطه رگرسیونی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی در استان گیلان

Table 1. Pearson correlation and regression relationship between fire and climatic variables in Gilan province

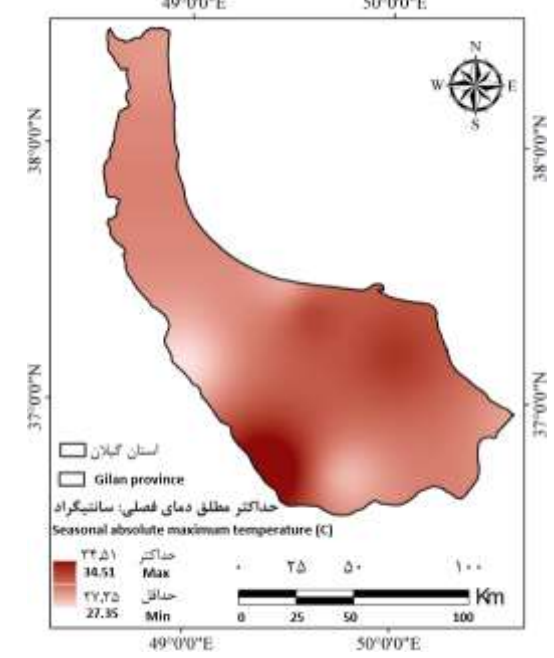
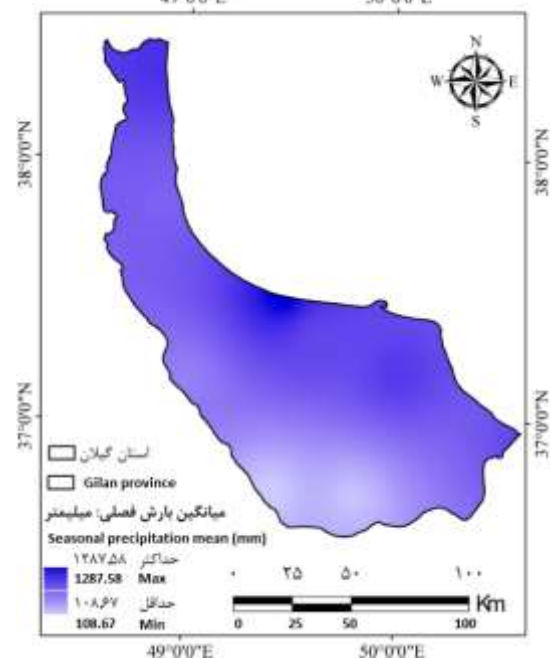
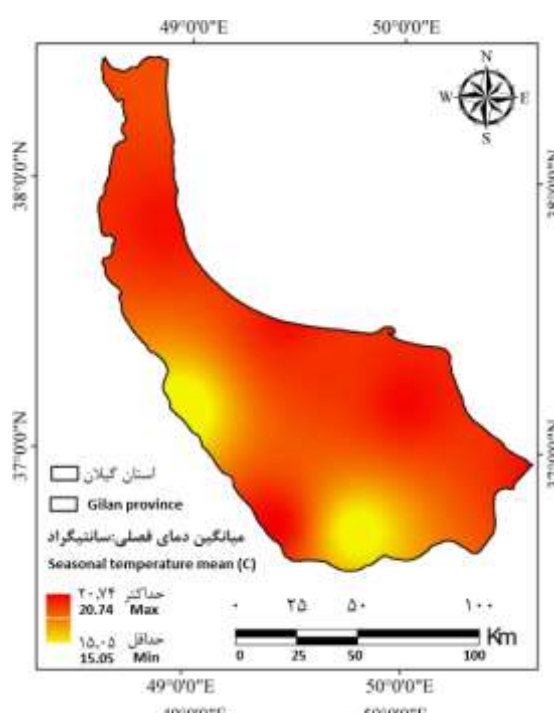
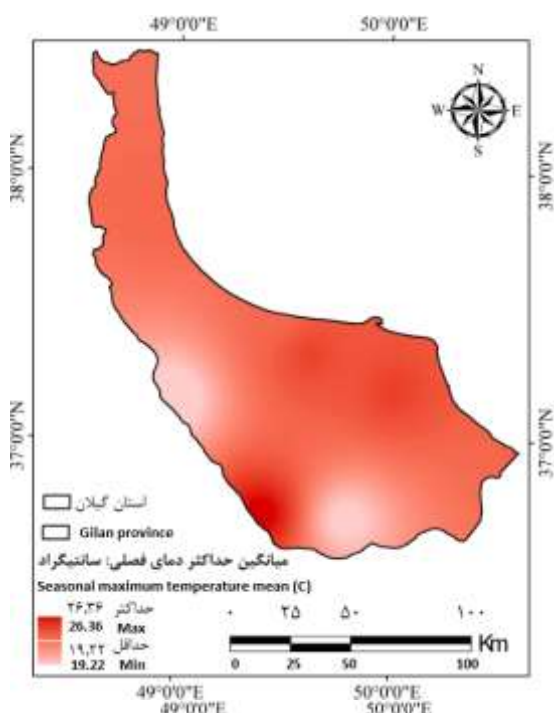
رابطه رگرسیونی	رابطه رگرسیونی	ضریب همبستگی	متغیر مستقل (اقلیمی)	متغیر وابسته	
چندگانه	دوگانه	معنی‌داری	پیرسون	(آتش‌سوزی)	
Multiple regression relationship	Binary regression relationship	(Significance)	Pearson correlation coefficient	Dependent variable (Fire)	
	-	0.73	0.007	میانگین درجه حرارت فصلی seasonal temperature mean	تعداد آتش‌سوزی Number of fire
	-	0.68	0.08	میانگین حداکثر درجه حرارت فصلی seasonal maximum temperature mean	
	-	0.63	0.09	حداکثر مطلق درجه حرارت فصلی seasonal absolute maximum temperature	
NF = 649.69 - 0.17(P_Mean) + 71.68(W_Mean) + 17.16(W_Max)	NF= 292.17 - 0.26 P_Mean*	0.01*	-0.49	میانگین بارندگی فصلی seasonal precipitation mean	
	-	0.12	-0.30	میانگین رطوبت نسبی فصلی seasonal relative humidity mean	وسعت آتش‌سوزی Area of fire
	NF= -525.78 +157.23 W_Mean*	0.04*	0.39	میانگین سرعت باد فصلی seasonal wind speed mean	
	NF= -533.44 +33.45 W_Max*	0.01*	0.46	میانگین حداکثر سرعت باد فصلی seasonal maximum wind speed mean	
	-	0.91	0.02	میانگین درجه حرارت فصلی seasonal temperature mean	
	-	0.4	0.17	میانگین حداکثر درجه حرارت فصلی seasonal maximum temperature mean	وسعت آتش‌سوزی Area of fire
	-	0.61	0.10	حداکثر مطلق درجه حرارت فصلی seasonal absolute maximum temperature	
AF = 613.11 - 0.54(P_Mean)	AF= 613.11 - 0.54 P_Mean*	0.01*	-0.47	میانگین بارندگی فصلی seasonal precipitation mean	
	-	0.07	-0.35	میانگین رطوبت نسبی فصلی seasonal relative humidity mean	
	-	0.08	0.34	میانگین سرعت باد فصلی seasonal wind speed mean	
	-	0.06	0.36	میانگین حداکثر سرعت باد فصلی seasonal maximum wind speed mean	

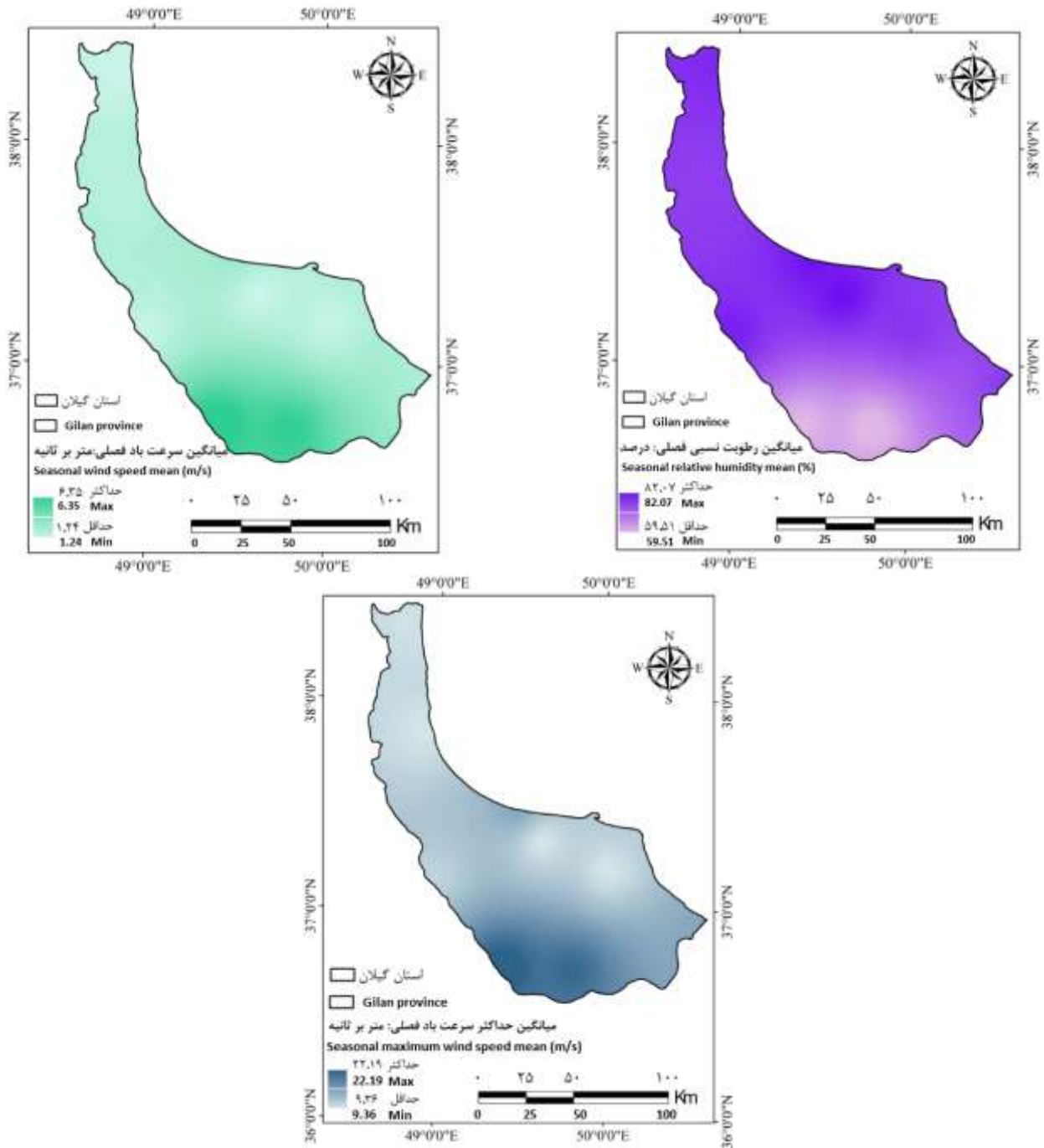
\*: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

NF: تعداد آتش‌سوزی، AF: وسعت آتش‌سوزی، P\_Mean: میانگین بارندگی فصلی، W\_Mean: میانگین سرعت باد فصلی، W\_Max: میانگین حداکثر سرعت باد فصلی

که از روش‌های درون‌یابی و با استفاده از اطلاعات ۲۶ ساله ایستگاه‌های هواشناسی استان گیلان به دست آمدند، در شکل ۶ نشان داده شده است.

رابطه مکانی بین وقوع آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی نقشه‌های متغیرهای اقلیمی و وقوع آتش‌سوزی نقشه‌های هفت متغیر اقلیمی مورد مطالعه در این پژوهش



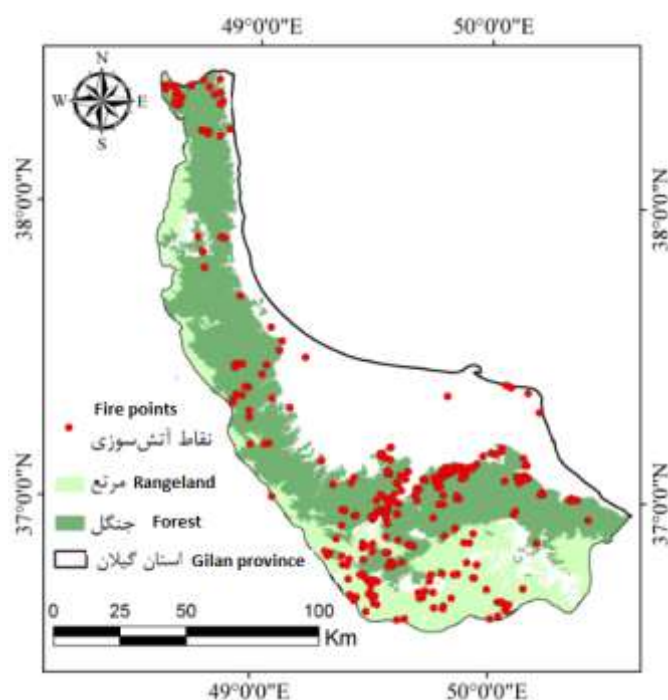


شکل ۶- نقشه متغیرهای اقلیمی در استان گیلان

Figure 6. The climatic variables maps in Gilan province

شده است. براساس این نقشه، بیشتر آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌ها و مراتع، در جنوب استان رخ داده است.

نقشه مناطق وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان در یک دوره ۲۶ ساله نیز در شکل ۷ نشان داده



شکل ۷- نقشه مناطق وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان

Figure 7. Fire occurrence map in the forests and rangelands of Gilan province

جدول ۲- اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی در وقوع آتش‌سوزی استان گیلان با استفاده از آماره‌های MDA و MDG

Table 2. The relative importance of climatic variables in fire occurrence of Gilan province using MDA and MDG

اهمیت نسبی با آماره MDG Relative importance by MDG	اهمیت نسبی با آماره MDA Relative importance by MDA	متغیر مستقل (اقلیمی) Independent variable (climatic)	متغیر وابسته (آتش‌سوزی) Dependent variable (Fire)
44.32	43.76	میانگین درجه حرارت فصلی seasonal temperature mean	وقوع آتش‌سوزی Fire occurrence
64.19	55.92	میانگین حداکثر درجه حرارت فصلی seasonal maximum temperature mean	
51.60	54.08	حداکثر مطلق درجه حرارت فصلی seasonal absolute maximum temperature	
73.55	56.84	میانگین بارندگی فصلی seasonal precipitation mean	
51.53	60.15	میانگین رطوبت نسبی فصلی seasonal relative humidity mean	
35.59	37.28	میانگین سرعت باد فصلی seasonal wind speed mean	
44.28	43.03	میانگین حداکثر سرعت باد فصلی seasonal maximum wind speed mean	

اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی در آتش‌سوزی در بعد مکانی اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی در مدل‌های پیش‌بینی‌کننده مکانی احتمال وقوع آتش‌سوزی در استان گیلان، با استفاده از آماره‌های میانگین کاهش جینی یا

اعتبارسنجی نقشه‌های احتمال وقوع آتش‌سوزی از نظر اقلیمی

نشان داده شده است. براساس نتایج، میانگین حداکثر درجه حرارت فصلی، میانگین بارندگی فصلی و میانگین رطوبت نسبی فصلی، بیشترین اهمیت مکانی را در وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان داشته‌اند. نقشه‌های احتمال وقوع آتش‌سوزی از نظر اقلیمی با مدل‌های یادگیری ماشین نقشه‌های احتمال وقوع آتش‌سوزی از نظر اقلیمی براساس مدل‌های مختلف یادگیری ماشین (جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، رگرسیون لجستیک و مدل ترکیبی SVM-RF) در شکل ۸ نشان داده شده است. براساس بیشتر نقشه‌ها، مناطق پرخطر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان، به‌طور عمده در جنوب استان قرار گرفته‌اند.

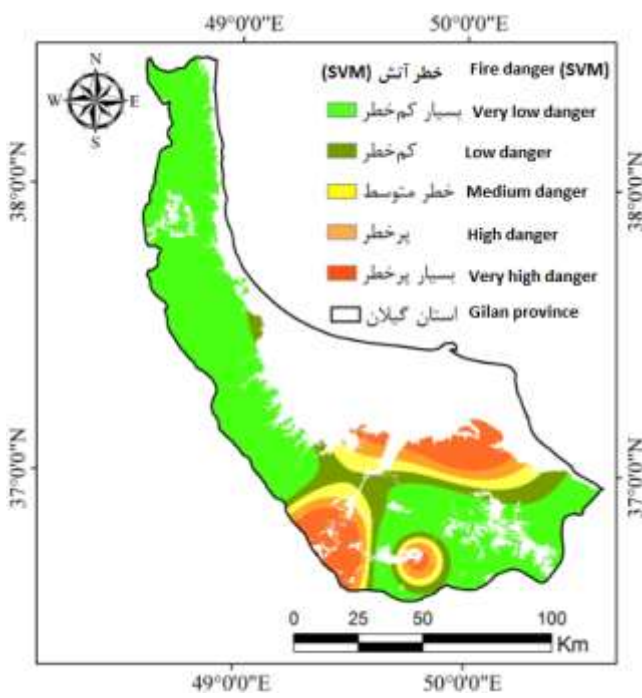
اعتبارسنجی نقشه‌های احتمال وقوع آتش‌سوزی از نظر اقلیمی

اعتبارسنجی نقشه‌های احتمال وقوع آتش‌سوزی از نظر اقلیمی براساس مشخصه منحنی ROC در شکل ۹ و میزان سطح زیر منحنی (AUC) برای مدل‌های مختلف یادگیری ماشین در جدول ۳ آورده شده است. براساس نتایج به‌دست آمده، مدل جنگل تصادفی (AUC: 0/82) و مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان - جنگل تصادفی (SVM-RF) (AUC: 0/79)، دقت بیشتری از مدل‌های ماشین‌بردار پشتیبان و رگرسیون لجستیک در پیش‌بینی مناطق خطر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان داشته‌اند.

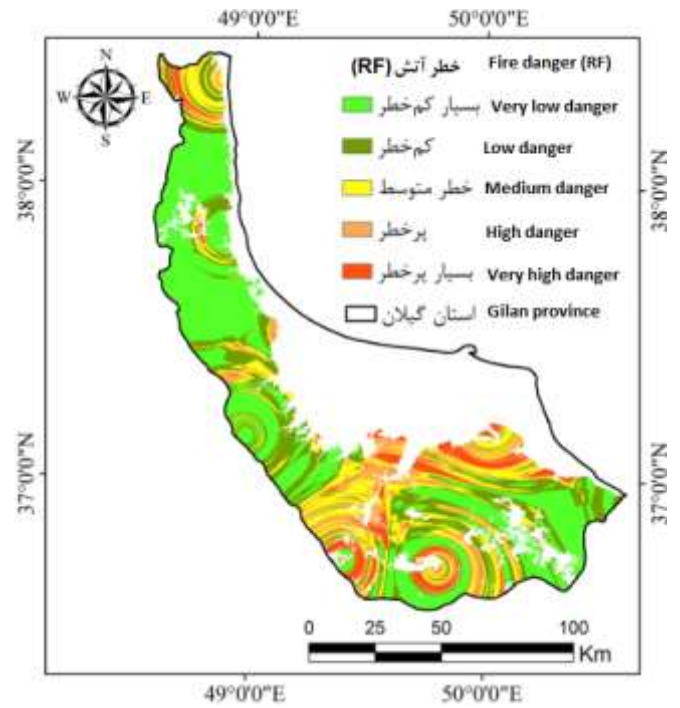
اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی در آتش‌سوزی در بعد مکانی اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی در مدل‌های پیش‌بینی‌کننده مکانی احتمال وقوع آتش‌سوزی در استان گیلان، با استفاده از آماره‌های میانگین کاهش جینی یا (Mean Decrease Gini) MDG و میانگین کاهش صحت یا (Mean Decrease Accuracy) MDA در جدول ۲ نشان داده شده است. براساس نتایج، میانگین حداکثر درجه حرارت فصلی، میانگین بارندگی فصلی و میانگین رطوبت نسبی فصلی، بیشترین اهمیت مکانی را در وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان داشته‌اند. نقشه‌های احتمال وقوع آتش‌سوزی از نظر اقلیمی با مدل‌های یادگیری ماشین

نقشه‌های احتمال وقوع آتش‌سوزی از نظر اقلیمی براساس مدل‌های مختلف یادگیری ماشین (جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، رگرسیون لجستیک و مدل ترکیبی

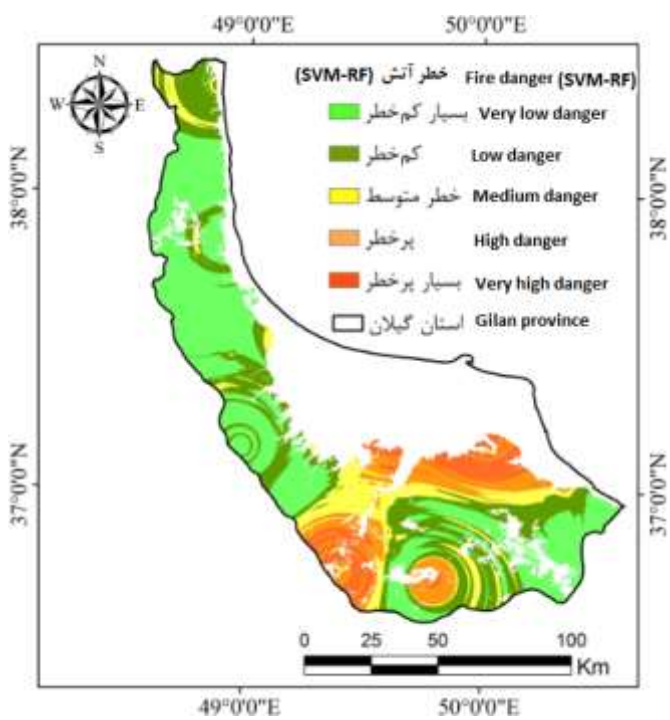




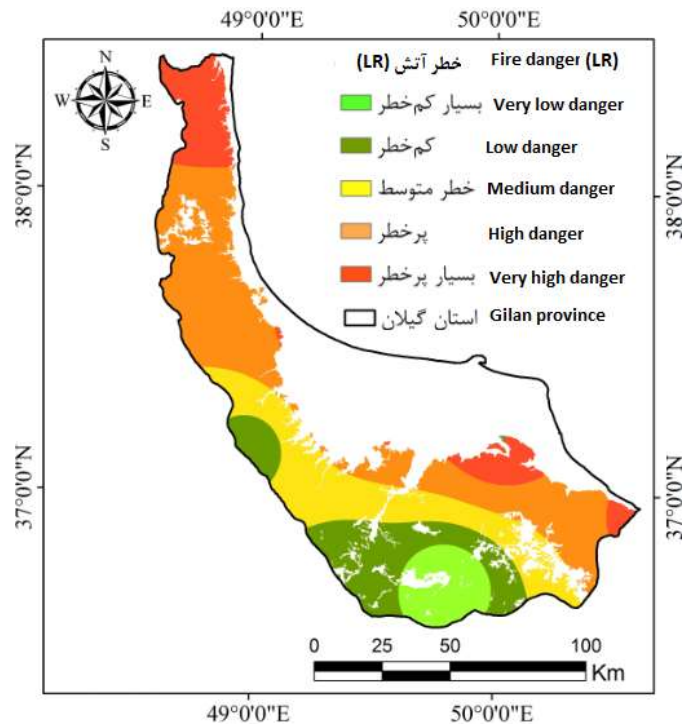
مدل ماشین بردار پشتیبان (Support vector machine model)



مدل جنگل تصادفی (Random forest model)



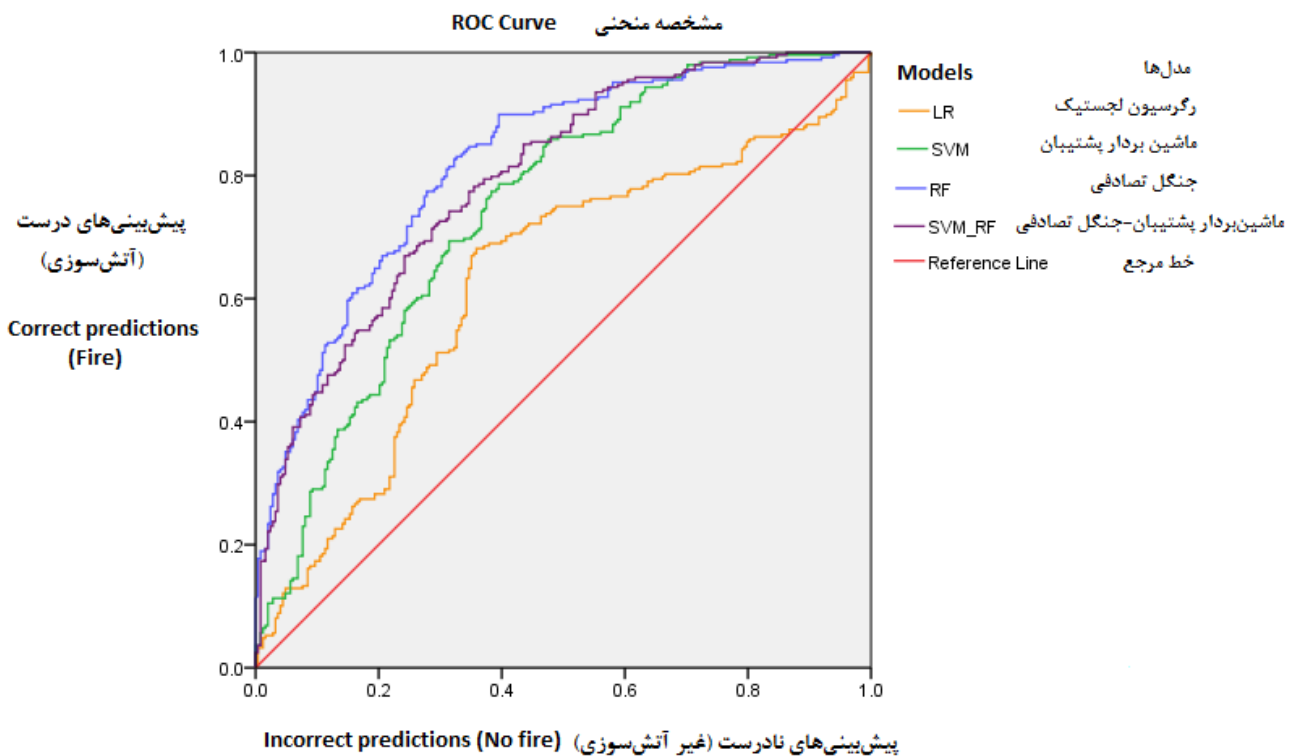
مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان - جنگل تصادفی (Ensemble support vector machine-random forest model)



مدل رگرسیون لجستیک (Logistic regression model)

شکل ۸- نقشه‌های احتمال وقوع آتش‌سوزی با مدل‌های مختلف یادگیری ماشین در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان

Figure 8. Fire occurrence probability maps by different machine learning models in the forests and rangelands of Gilan province



شکل ۹- مشخصه منحنی ROC برای مدل‌های مختلف یادگیری ماشین مورد استفاده در نقشه برداری احتمال وقوع آتش سوزی

Figure 9. ROC curve for different machine learning models used in fire occurrence probability mapping

جدول ۳- میزان سطح زیر منحنی (AUC) برای مدل‌های مختلف یادگیری ماشین مورد استفاده در نقشه برداری احتمال وقوع آتش سوزی

Table 3. Area under the curve (AUC) for different machine learning models used in fire occurrence probability mapping

فواصل سطح اطمینان ۹۵ درصد Asymptotic 95% Confidence Interval		معنی داری (Significance)	اشتباه معیار (Standard error)	سطح زیر منحنی (Area under the curve)	مدل (Model)
مرز بالایی Upper Bound	مرز پایینی Lower Bound				
.675	.575	.000	.026	.625	رگرسیون لجستیک (Logestic regression)
.786	.700	.000	.022	.743	ماشین بردار پشتیبان (Support vector machine)
.856	.784	.000	.019	.820	جنگل تصادفی (Random forest)
.832	.755	.000	.020	.793	مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان - جنگل تصادفی (Ensemble support vector machine-random forest model)

تغییرات پارامترهای اقلیمی و آتش سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان انجام شد. نتایج تحلیل آتش سوزی‌ها

بحث  
پژوهش پیش رو به منظور بررسی رابطه زمانی و مکانی

نشان داد، طی ۲۶ سال، تعداد ۲۳۳۰ فقره آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان اتفاق افتاده است که سطحی در حدود ۵۲۰۱/۲۶ هکتار را سوزانده‌اند.

تحلیل رابطه زمانی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی نتایج تحلیل رابطه زمانی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی در استان گیلان نشان داد، تعداد آتش‌سوزی با میانگین بارندگی فصلی، میانگین سرعت باد فصلی و میانگین حداکثر سرعت باد فصلی، طی دوره ۲۶ ساله، همبستگی و رابطه معنی‌دار داشته است. بیشترین همبستگی با متغیر میانگین بارندگی فصلی (ضریب همبستگی: ۰/۴۹-) مشاهده شد. همچنین وسعت آتش‌سوزی، تنها با میانگین بارندگی فصلی (ضریب همبستگی: ۰/۴۷-)، طی دوره ۲۶ ساله، همبستگی معنی‌دار داشت. نتایج تحقیق دیگری در شمال ایران (استان مازندران) نیز نشان داد، بین وسعت آتش‌سوزی‌های به‌وقوع‌پیوسته در جنگل‌های شهرستان بهشهر و متوسط بارندگی سالانه رابطه معنی‌داری وجود داشت (Eskandari & Jalilvand, 2017) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. نتایج تحقیق Turco و همکاران (۲۰۱۳) در مورد اثرهای تغییر اقلیم بر رژیم آتش‌سوزی‌های جنگلی در اسپانیا نیز نشان داد، آتش‌سوزی‌ها در فصل تابستان به‌طور معنی‌داری با بارندگی فصلی مرتبط بودند. نتایج پژوهش Chen و همکاران (۲۰۱۴) در جنوب غربی چین نیز حکایت از رابطه معنی‌دار رژیم بارندگی با آتش‌سوزی طی دوره‌های مورد بررسی داشته است که با نتایج پژوهش پیش‌رو همخوانی دارد. در مورد نقش عامل باد در آتش‌سوزی نیز نتایج تحقیق Rahimi و Khademi (۲۰۱۸) در مورد نوسان‌های عناصر اقلیمی و آتش‌سوزی‌ها در شمال‌شرقی ایران نشان داد، افزایش سرعت باد در روزهای آتش‌سوزی، عامل اقلیمی مهمی در حریق بوده و وزش باد عامل اثرگذاری در پیش‌بینی آتش‌سوزی است. در مطالعات دیگری نیز نقش سرعت باد در رژیم‌های آتش‌سوزی در مناطق طبیعی جهان تأیید شده است

نتایج تحلیل رابطه مکانی بین متغیرهای آتش‌سوزی و متغیرهای اقلیمی

نتایج تحلیل رابطه مکانی با استفاده از آماره‌های میانگین کاهش صحت (MDA) و میانگین کاهش جینی (MDG) از جنگل تصادفی نشان داد، در استان گیلان بین وقوع آتش‌سوزی و متغیرهای میانگین حداکثر درجه حرارت فصلی (اهمیت نسبی براساس آماره MDG: ۶۴/۱۹)، میانگین بارندگی فصلی (اهمیت نسبی براساس آماره MDG: ۷۳/۵۵) و میانگین رطوبت نسبی فصلی (اهمیت نسبی براساس آماره MDG: ۵۱/۵۳) رابطه قوی‌تری نسبت به متغیرهای اقلیمی دیگر وجود داشته است. بنابراین، متغیرهای میانگین حداکثر درجه حرارت فصلی، میانگین بارندگی فصلی و میانگین رطوبت نسبی فصلی، بیشترین

دقت مطلوب مدل جنگل تصادفی را در نقشه برداری احتمال وقوع آتش سوزی تأیید کرده‌اند (Leuenerberger *et al.*, 2013; Guo *et al.*, 2017; Song *et al.*, 2017; Ghorbanzadeh *et al.*, 2019) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. همچنین مدل سازی مکانی پدیده‌های محیط زیستی با مدل های ترکیبی در سال های اخیر، نتایج مطلوبی را به همراه داشته است و دقت این مدل ها در نتایج تحقیقات دیگر نیز به اثبات رسیده است (Razavi-Termeh *et al.*, 2019; Kordestani *et al.*, 2019; Arabameri *et al.*, 2019).

نتایج این پژوهش نشان داد، براساس دقیق ترین نقشه های احتمال وقوع آتش سوزی (به دست آمده از مدل جنگل تصادفی و مدل ترکیبی SVM-RF)، مناطق بحرانی (پرخطر) از نظر وقوع آتش سوزی های اقلیمی در استان گیلان، در جنوب مرکزی استان قرار گرفته اند. بنابراین فعالیت های پیشگیرانه و مدیریت حفاظتی در برابر آتش سوزی، باید توسط یگان حفاظت اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان، در این مناطق متمرکز شود تا از وقوع آتش سوزی های بیشتر در آینده جلوگیری شود. فعالیت های پیشگیرانه و مدیریت حفاظتی در جنگل ها و مراتع استان گیلان، می تواند شامل موارد زیر باشد:

- مراقبت ها و کنترل های بیشتر در مناطق بحرانی یا پرخطر آتش سوزی؛
  - نصب تابلوهای هشدار در مناطق پرخطر آتش سوزی؛
  - منع آتش افروزی در فصول گرم سال توسط جنگل نشینان، کشاورزان و گردشگران؛
  - افزایش نیروهای حفاظتی به ویژه در فصول گرم آتش سوزی؛
  - احداث برج های دپه بانی و آتش بر در نزدیکی مناطق پرخطر آتش سوزی؛
  - ایجاد واحدهای مدیریت بحران در عرصه های طبیعی با امکانات اطفای حریق.
- با توجه به اعتبار مطلوب مدل های جنگل تصادفی و مدل ترکیبی SVM-RF و نقشه های احتمال وقوع تهیه شده

اهمیت را در وقوع آتش سوزی در جنگل ها و مراتع استان گیلان داشته اند. نتایج مطالعه دیگری نیز نشان داد، در اقلیم گرم تر، احتمال وقوع آتش سوزی بیشتر است (Zumbrunnen *et al.*, 2011). بررسی طرح های مکانی وقوع آتش سوزی در جنوب کالیفرنیا نشان داد، متغیر اقلیمی درجه حرارت بیشترین تأثیر را در تغییرات وقوع آتش سوزی در منطقه مورد مطالعه داشته است (Syphard *et al.*, 2008). به علاوه رطوبت نسبی و بارندگی مهمترین فاکتورهای پیش بینی کننده برای پیش بینی وقوع آتش سوزی از نظر اقلیمی در صربستان بوده اند (Tošić *et al.*, 2019) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

بنابراین نیاز به اقدامات پیشگیرانه و مدیریت حفاظتی در برابر آتش سوزی به ویژه در ماه های آتش سوزی، بیش از پیش احساس می شود. بر همین اساس، ضروری است در فصل آتش سوزی، در مکان هایی که براساس نقشه های این عوامل اقلیمی، حداکثر درجه حرارت فصلی، کمترین بارندگی فصلی و حداقل رطوبت نسبی فصلی در استان گیلان وجود دارد، مراقبت های بیشتری را از نظر احتمال وقوع آتش سوزی انجام داد.

تحلیل نقشه های احتمال وقوع آتش سوزی در استان گیلان نتایج این پژوهش نشان داد، مقادیر سطح زیر منحنی برای تمام مدل های یادگیری ماشین مورد استفاده در نقشه برداری احتمال وقوع آتش سوزی در استان گیلان معنی دار بوده اند. براساس مقادیر این مشخصه، مدل جنگل تصادفی و مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان- جنگل تصادفی، بیشترین دقت را نقشه برداری احتمال وقوع آتش سوزی از نظر اقلیمی در جنگل ها و مراتع استان گیلان داشته اند. مقدار سطح زیر منحنی برای مدل جنگل تصادفی برابر با ۰/۸۲ و برای مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان- جنگل تصادفی برابر با ۰/۷۹ بود. این مقدار برای رگرسیون لجستیک برابر با ۰/۶۲ و برای مدل ماشین بردار پشتیبان برابر با ۰/۷۴ بود که نشان دهنده دقت کمتر این مدل ها در مقایسه با دو مدل دیگر است. نتایج تحقیقات دیگری نیز

- Guilan). *Iranian Journal of Forest*, 1(4): 277-285 (In Persian).
- Eskandari, S. and Chuvieco, E., 2015. Fire danger assessment in Iran based on geospatial information. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 42: 57-64.
  - 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 (In Persian).
  - Eskandari, S., Oladi, J., Jalilvand, H. and Saradjian, M.R., 2013. Role of human factors on fire occurrence in District Three of Neka Zalemroud forests-Iran. *World Applied Sciences Journal*, 27(9): 1146-1150.
  - Eskandari, S., Oladi, J., Jalilvand, H. and Saradjian, M.R., 2015. Evaluation of the MODIS fire-detection product in Neka-Zalemroud fire-prone forests in Northern Iran. *Polish Journal of Environmental Studies*. 24(5): 2305-2308.
  - Flannigan, M., 2013. Global wildland fire season severity in the 21st century. *Forest Ecology and Management*, 294: 54-61.
  - Flannigan, M.D., Stock, B.J. and Wotton, B.M., 2000. Climate change and forest fires. *The Science of the Total Environment*, 262: 221-229.
  - Ghorbanzadeh, O., Valizadeh Kamran, Kh., Blaschke, Th., Aryal, J., Naboureh, A., Einali, J. and Bian, J., 2019. Spatial prediction of wildfire susceptibility using field survey GPS data and machine learning approaches. *Fire*, 2(3): 43.
  - Gilan Natural Resources Administration (GNRA), 2019. Statistics and data of fire in Mazandaran province. Protection Unit of GNRA, Sari, 120p (In Persian).
  - Golkarian, A., Naghibi, S.A., Kalantar, B. and Pradhan, B., 2018. Groundwater potential mapping using C5.0, random forest, and multivariate adaptive regression spline models in GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(3): 149.
  - Guo, F., Su, Zh., Tigabu, M., Yang, X., Lin, F., Liang, H. and Wang, G., 2017. Spatial Modelling of Fire Drivers in Urban-Forest Ecosystems in China. *Forests*, 8(180): 1-18.
  - 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.
  - Kordestani, M.D., Naghibi, S.A., Hashemi, H., Ahmadi, K., Kalantar, B. and Pradhan, B., 2019. Groundwater potential mapping using a novel data-mining ensemble model. *Hydrogeology Journal*, 27(1): 211-224.
  - Koutsias, N. and Karteris, M., 1998. Logistic

از آنها در این پژوهش، پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های اقلیمی آینده در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان با استفاده از نقشه‌های مذکور امکان‌پذیر خواهد بود. بنابراین، اقدامات کنترلی برای پیشگیری از وقوع آتش‌سوزی‌های آینده در مناطق پرخطر آتش‌سوزی باید با حساسیت بیشتری انجام شود.

## سیاسگزاری

این اثر تحت حمایت مادی «صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور» (برگرفته‌شده از طرح شماره ۹۹۰۳۰۴۵۷) انجام شده است. پژوهشگران طرح و نویسندگان مقاله از مسئولان محترم این صندوق برای حمایت در انجام این طرح، سیاسگزاری می‌نمایند.

## منابع مورد استفاده

- Arabameri, A., Pradhan, B. and Rezaei, K., 2019. Spatial prediction of gully erosion using ALOS PALSAR data and ensemble bivariate and data mining models. *Geosciences Journal*, 23(4): 669-686.
- Azizi, Gh. and Yousefi, Y., 2009. Warm wind and forest fire in Mazandaran and Gilan provinces (example: fire on 25-30 December of 2005). *Geographical Researches*, 24(1): 3-28.
- Azizi, Gh., Borzou, F. and Alijani, B., 2012. Observational analysis of fires in the northern forests of Iran, a case study: Golestan and Gilan provinces. *The Journal of Spatial Planning*, 16(3): 79-98.
- Bihamta, M. and Zare Chahooki, M., 2015. Principles of Statistics in Natural Resource Sciences Statistics. Tehran University Press, Tehran, 300p. (In Persian)
- Breiman, L. and Cutler, A., 2022. Random forest for classification and regression. *UTC*, 29p.
- Chen, F., Niu, Sh., Tong, X., Zhao, J., Sun, Y. and He, T., 2014. The impact of precipitation regimes on forest fires in Yunnan Province, Southwest China. *The Scientific World Journal*, 2014: 1-9.
- Chou, Y.H., 1992. Management of wildfires with a geographical information system. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6: 123-140.
- Egan, J.P., 1975. Signal detection theory and ROC-analysis (Academic Press Series in Cognition and Perception). Academic Press, New York, 277p.
- Eshaghi Rad, J., Seyyedi, N. and Hasanzad Navrodi, I., 2009. Effect of single selection method on woody species diversity (case study: Janbe sara district-

- 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.
- Song, Ch., Kwan, M., Song, W. and Zhu, J., 2017. A Comparison between Spatial Econometric Models and Random Forest for Modeling Fire Occurrence Susceptibility, 9(819): 1-21.
- 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.
- Tošić, I., Mladjan, D., Gavrilov, M.B., Živanović, S., Radaković, M.G., Putniković, S., Petrović, P., Krstić Mistrizelović, I. and Marković, S.B., 2019. Potential influence of meteorological variables on forest fire risk in Serbia during the period 2000-2017. Open Geosciences, 11: 414-425.
- 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.
- 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.
- Urrutia-Jalabert, R., Gonzalez, M.E., Gonzalez-Reyes, A., Lara, A. and Garreaud, R., 2018. Climate variability and forest fires in central and south-central Chile. Ecosphere, 9(4): 1-18.
- 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.
- Zumbrennen, 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.
- regression modelling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping. International Journal of Remote Sensing, 19: 3499-3514.
- Leuenberger, M., Kanevski, M. and Vega Orozco, C.D., 2013. Forest Fires in a Random Forest. Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly, 15: 32-38.
- Martínez, 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.
- 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.
- Meyn, A., White, P.S., Buhk, C. and Jentsch, A., 2007. Environmental drivers of large, infrequent wildfires: the emerging conceptual model. Progress in Physical Geography, 31(3): 287-312.
- Pourhashemi, M., Eskandari, S., Dehghani, M., Najafi, T., Asadi, A. and Panahi, P., 2012. Biomass and leaf area index of Caucasian Hackberry (*Celtis caucasica* Willd.) in Taileh urban forest, Sanandaj, Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19(4): 609-620.
- R Core Team, 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Accessed: <http://www.R-project.org/>
- Rahimi, D. and Khademi, S., 2018. Analysis Synoptic Patterns for Forest Fires Risk in Northern of Iran. Journal of Natural Environmental Hazards, 7(17): 19-36 (In Persian).
- Razavi-Termeh, S.V., Sadeghi-Niaraki, A. and Choi, S.M., 2019. Groundwater potential mapping using an integrated ensemble of three bivariate statistical models with random forest and logistic model tree models. Water, 11(8): 1596.
- Roman, M.V., Azqueta, D. and Rodrigues, M., 2013. Methodological approach to assess the socio-economic vulnerability to wildfires in Spain. Forest Ecology and Management, 294: 158-165.

## Temporal and spatial analysis of the relationship between climate parameter changes and fire in the forests and rangelands in the province of Gilan

S. Eskandari<sup>1\*</sup>, F. Ahmadloo<sup>2</sup>, H.R. Pourghasemi<sup>3</sup>, Y. Ahangaran<sup>4</sup> and Z. Rezapour<sup>5</sup>

1\* - Corresponding author, Assistant Prof., Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, E-mail: saeede.scandari@yahoo.com

2- Assistant Prof., Poplar Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

3- Prof., Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

4- Senior expert, Head of Plant Pathology Group, Protection and Conservation Office, Natural Resources and Watershed Organization of Iran, Tehran, Iran.

5- Senior expert, Head of Applied Meteorology Development Group, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Meteorological Administration, Yasouj, Iran.

Received: 24.04.2023

Accepted: 02.07.2023

### Abstract

Fire is one of the destructive phenomena that have devastated a significant portion of forests and grasslands in Gilan province in recent years. This study aimed to investigate the temporal and spatial relationship between climatic variables and wildfires in Gilan province. The wildfire variables included the number and extent of wildfires, and the climatic variables consisted of seven parameters over the past 26 years (2001-2026). Pearson correlation and regression analysis were utilized to examine the temporal relationship. The relative importance of climatic variables in wildfire occurrence was determined using Mean Decrease Gini (MDG) and Mean Decrease Accuracy (MDA) statistics. For modeling and generating probability maps of wildfire occurrence, 70% of wildfire locations and various machine learning models (Logistic Regression, Random Forest, Support Vector Machine, and SVM-RF Hybrid) were employed using the R programming language. Model validation was conducted using 30% of wildfire locations and the Area Under the Curve (AUC) metric. The temporal results showed that during the 26-year period (2001-2026), a significant negative correlation was observed between the number of wildfires and the average seasonal precipitation, while positive correlations were found between the number of wildfires and the average seasonal wind speed and maximum wind speed at a 95% confidence level. Furthermore, a significant negative correlation was observed between the extent of wildfires and the average seasonal precipitation at a 95% confidence level. The spatial relationship analysis indicated that the average maximum temperature, average seasonal precipitation, and average relative humidity had the highest importance in wildfire occurrence within the geographical extent of Gilan Province. Model validation results revealed that the Random Forest model (AUC: 0.82) and the SVM-RF Hybrid model (AUC: 0.79) outperformed others in predicting the occurrence of wildfires. Therefore, predicting wildfires resulting from climatic factors in the forests and grasslands of Gilan province using the aforementioned maps is feasible and can significantly aid natural resource managers in implementing protective measures in high-risk wildfire areas. Hence, it is imperative that proactive measures be taken by the Natural Resources and Watershed Management Organization of the province to prevent future wildfires with greater sensitivity.

**Keywords:** Climatic variables, number and area of fire, fire spatial and temporal analysis, linear regression, machine learning models.