سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال پانزدهم / شماره اول) بهار ۱۴۰۳
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز، سیویلیکا، گوگل اسکولار
آدرس وب سایت : http://girs.iaubushehr.ac.ir

مقاله پژوهشی

مقایسه کارایی روش‌های یادگیری ماشینی درمدلسازی مناطق حساس به وقوع آتش (استان ایلام، شهرستان دره‌شهر)

مریم محمدیان، مریم مروتی، رضا امیدی پور

دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۸ / پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰ / دسترسی اینترنتی: ۰۶/ ۱۴۰۳/۰۴

چکیده

آتش‌سوزی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی بوده که تأثیر بسزایی بر ساختار و پویایی اکوسیستم‌های طبیعی دارد. با توجه به قرارگیری ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان، هرساله تعداد زیادی آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی در مناطق مختلف کشور به وقوع می‌پیوندد. به همین دلیل تعیین مناطق حساس به وقوع آتش‌سوزی نقش مهمی در مدیریت حفاظتی منابع طبیعی دارد. به همین دلیل تحقیق حاضر درصدد است تا با استفاده از دو روش یادگیری ماشینی جنگل تصادفی (Random Forest) و ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine) و ۲۰۲٤ نقطه وقوع آتش، مناطق حساس به وقوع آتش را در شهرستان دره‌شهر در استان ایلام را تعیین نماید.

عوامل محیطی در چهار گروه اصلی شامل عوامل توپوگرافی (ارتفاع، جهت شیب، تندی شیب)، عوامل اقلیمی (بارش، رطوبت نسبی، باد، درجه حرارت)، عوامل زیستی (پوشش گیاهی و رطوبت خاک) و عوامل انسان‌ساخت (فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جاده، فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از آبراهه) تهیه شدند. ارزیابی دقت مدل‌های مورداستفاده با استفاده شاخص سطح زیر نمودار (AUC) در منحنی ROC و آماره‌های ارزیابی متقاطع (Cross-validation) انجام شد.

بررسی شاخص AUC نشان داد که هر دو مدل دارای دقت مناسبی بوده هرچند مدل جنگل تصادفی (AUC = 0.97) دارای دقت بالاتری نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان (AUC = 0.86) بود. براساس نتایج مدل جنگل تصادفی، از منطقه موردمطالعه حدود ٦٠ درصد در کلاس کم‌خطر و حدود ۲۰ درصد در کلاس خطر زیاد آتش قرار دارد. بررسی سهم عوامل تأثیرگذار بر وقوع آتش نشان داد که عوامل انسان‌ساخت (فاصله از مناطق مسکونی) و عوامل اقلیمی (درجه حرارت) نقش مهم‌تری در نقاط دارای سابقه آتش داشتند. بنابراین افزایش فرهنگ عمومی و کاهش رفتارهای خطرناک در طبیعت می‌تواند موجب کاهش وقوع آتش در این منطقه شده و سهم زیادی در حفاظت از محیط‌زیست و حفظ منابع طبیعی داشته باشد.

مقدمه: آتش از مهمترین مخاطرات طبیعی بوده که تاثیر بسزائی بر ساختار و پویایی اکوسیستم‌های طبیعی از جمله جنگل‌ها و مراتع

مریم محمدیان[1]، مریم مروتی[2](✉)، رضا امیدی پور[3]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، ایران

۲. دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

۳. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

DOI: 10.30495/girs.2022.697864

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: mymorovati@ardakan.ac.ir

دارد. از سوی دیگر، با تغییر اقلیم و به موازات گرمایش جهانی، روند افزایش وقوع آتش در بسیاری از مناطق دنیا افزایش یافته است. همچنین مناطقی که تاکنون فاقد سابقه یا پتانسیل وقوع آتش بوده‌اند نیز به عنوان مناطق مستعد وقوع آتش شناخته می‌شوند. با توجه به قرارگیری ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان، هر ساله تعداد زیادی آتش‌سوزی عمدی و غیر عمدی در مناطق مختلف کشور به وقوع می‌پیوندد. با توجه محدودیت نیروی ادارت منابع طبیعی و محیط زیست، اطلاع از مناطق حساس به وقوع آتش می‌تواند نقش بسزائی در مدیریت و کنترل آتش‌سوزی داشته باشد. به همین دلیل تحقیق حاضر در صدد است تا با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین، مناطق حساس به وقوع آتش را در شهرستان دره شهر در استان ایلام را تعیین نماید.

مواد و روش‌ها: در تحقیق حاضر مدلسازی مناطق حساس به وقوع آتش با استفاده از دو روش یادگیری ماشینی در این راستا دو روش جنگل تصادفی (Random Forest) و ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine) انجام شد. همچنین با تجمیع اطلاعات جمع آوری شده از ادارات منابع طبیعی و آبخیزداری و محیط زیست و همچنین نقاط آتش تصاویر ماهواره مادیس (MODIS)، در نهایت ۲۰۲٤ نقطه وقوع آتش تعیین و مورد استفاده قرار گرفت. در کل، برای آموزش و ساخت مدل‌ها از ۱٤۱۸ نقطه و برای ارزیابی دقت مدل‌ها از ٦۰٦ نقطه استفاده شد. همچنین در هر دو گروه از نقاط مدلسازی و ارزیابی، به ترتیب ۱۱۹٦ و ٦۰٤ نقطه به عنوان مناطق فاقد سابقه آتش انتخاب و اطلاعات لایه‌های مورد استفاده آنها برای مرحله مدل‌سازی استخراج شد. عوامل محیطی نیز در چهار گروه اصلی شامل عوامل توپوگرافی (ارتفاع، جهت شیب، تند شیب)، عوامل اقلیمی (بارش، رطوبت نسبی، باد، درجه حرارت)، عوامل زیستی (پوشش گیاهی و رطوبت خاک) و عوامل انسان ساخت (فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جاده، فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از آبراهه) تهیه شدند. همه عوامل محیطی بصورت نقشه رستری و با اندازه پیکسل ۳۰ متر در ۳۰ متر در محیط نرم افزار ArcGIS 10.8 تهیه گردید. در نهایت اطلاعات عوامل محیطی برای مجموعه نقاط مورد استفاده برای مدلسازی و ارزیابی دقت در محیط نرم افزار ArcGIS 10.8 استخراج گردید. مدلسازی مناطق حساس به وقوع آتش با استفاده از نرم‌افزار R و بسته‌های آماری "randomForest" و "e1071" انجام شد. ارزیابی متقاطع با استفاده از آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب همبستگی (r) و ضریب تبیین (R^2) و سطح معنی‌داری آن نیز در نرم افزار SPSS انجام شد. ارزیابی دقت مدل‌های مورد استفاده با استفاده سطح زیر نمودار (AUC) در منحنی ROC در نرم افزار R در بسته آماری "PRROC" نجام شد.

نتایج: بررسی سالانه وقوع آتش (۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲) نشان داد که یک روند افزایشی و معنی‌دار در تعداد وقوع آتش در منطقه وجود دارد و آمار وقوع آتش‌سوزی از سالی کمتر از ۳۰ مورد به بیش از ۵۰۰ مورد افزایش یافته است. بر اساس نتایج بیشترین تعداد وقوع آتش ثبت شده مربوط به سال ۲۰۱٦ بوده که برابر با ٥٤۸ مورد حریق است در حالیکه سال ۲۰۰۸ با یک مورد و سال‌های ۲۰۰٤ و ۲۰۰٦ تنها با دو مورد حریق دارای کمترین تعداد حریق اتفاق افتاده در طی یکسال بودند. بررسی اهمیت نسبی لایه‌های مورد استفاده در مدل‌سازی نشان داد که به ترتیب لایه‌های فاصله از مناطق مسکونی، میانگین دمای سالانه و ارتفاع از سطح دریا مهمترین عوامل موثر در وقوع آتش و لایه‌های جهت شیب و شاخص رطوبت خاک سطحی کم اهمیت‌ترین عوامل در مناطق دارای سابقه آتش در شهرستان دره شهر بودند. نتایج مدل‌سازی با روش جنگل تصادفی نشان داد که ٦۰/٦۳ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه جزو مناطق کم خطر برای وقوع آتش بشمار می‌رود در حالی که مناطق با خطر زیاد وقوع آتش بیش از ۹۰ هزار هکتار (۲۰ درصد) از اراضی منطقه را در بر می‌گرفت. بر اساس مدل ماشین بردار پشتیبان، تنها حدود نیمی از سطح منطقه در کلاس خطر کم وقوع آتش قرار داشت در حالی که کمتر از یک درصد (۲٥۸/٥۹ هکتار) از سطح منطقه دارای خطر زیاد وقوع آتش بود. بررسی سطح زیر نمودار نشان داد که هر دو مدل دارای دقت مناسبی بوده هرچند مدل جنگل تصادفی (AUC = 0.97) دارای دقت بالاتری نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان (AUC = 0.86) بود. ارزیابی دقت دو مدل مورد بررسی با استفاده از آماره‌های ارزیابی متقاطع نیز نشان داد که مدل جنگل تصادفی با ضریب همبستگی (r = 0.875) و ضریب تبیین (R^2 = 0.765) بالاتر نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان (r = 0.623 and R^2 = 0.388) دارای دقت بیشتری بود. همچنین بررسی مقدار شاخص ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق نشان داد که مدل جنگل تصادفی (RMSE = 0.243 و MAE = 0.125) دارای نتایج معتبرتری نسبت به مدل جنگل تصادفی (RMSE = 0.392 و MAE = 0.309) است.

بحث و نتیجه‌گیری: یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که در دو دهه اخیر، روند وقوع آتش در منطقه بشدت افزایشی بوده و از چند مورد در سال به بیش از ۵۰۰ مورد در سال افزایش یافته است که همراستا با روند افزایش وقوع خشکسالی و کاهش بارندگی در منطقه مورد مطالعه بود. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که عوامل انسانی مهمترین عوامل تاثیرگذار بر وقوع آتش در منطقه مورد مطالعه هستند به همین دلیل برای مدیریت صحیح آتش و جلوگیری از وقوع آتش، توجه ویژه‌ای به عوامل انسانی شود. همچنین با توجه به رتبه دوم عوامل اقلیمی در بین عوامل تاثیرگذار بر وقوع آتش، توجه و حفاظت بیشتر در زمان‌های اوج گرما و در مناطق با حساسیت بیشتر ضروری است. بنابراین افزایش فرهنگ عمومی و کاهش رفتارهای خطرناک در طبیعت می‌تواند موجب کاهش وقوع آتش در این منطقه شده و سهم زیادی در حفاظت از محیط زیست و حفظ منابع طبیعی داشته باشد. یافته‌های حاصل از این تحقیق بیانگر کارایی بالای روش‌های یادگیری ماشینی در مدل‌سازی مخاطرات طبیعی ازجمله آتش بود. بنابراین بکارگیری آنها توسط محققین و استفاده از نتایج آنها توسط مدیران و تصمیم‌گیران محلی و منطقه‌ای توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: مدیریت اکوسیستم، مدل‌سازی آتش، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، استان ایلام.

لطفاً به این مقاله استناد کنید: محمدیان، م.، مروتی، م.، امیدی پور، ر. مقایسه کارایی روش‌های یادگیری ماشینی درمدلسازی مناطق حساس به وقوع آتش (استان ایلام، شهرستان دره‌شهر). نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۵(۱): ٤۸-۷۳.

جنگل در منطقه مورد مطالعه داشتند. در تحقیقی دیگر، محمدپور و دشتی (۲۹)، با هدف پیش‌بینی گسترش آتش-سوزی‌ها از روش شبیه‌سازی آتش با استفاده از مدل فرستس[1] در جنگل‌های استان ایلام استفاده نمودند. براساس نتایج پهنه-بندی آتش‌سوزی استان ایلام، ۱/۵ درصد از منطقه دارای ریسک بسیار زیاد است. پام و همکاران[2] (۳٤) در تحقیقی با هدف بررسی ارزیابی عملکرد روش‌های یادگیری ماشینی در پیش‌بینی و مدل‌سازی آتش‌سوزی جنگل‌ها در پارک ملی پوت مات ویتنام از روش‌های شبکه یادگیری ماشین، نایو بیز[3]، درخت تصمیم‌گیری[4] و رگرسیون لجستیک چندمتغیره استفاده نمودند. تجزیه و تحلیل‌های آنان نشان داد که این مدل‌ها دارای دقت کافی نسبت به تغییر مجموعه داده‌ها می‌باشند. علاوه بر این نتایج آنان نشان داد که حساسیت به آتش‌سوزی با شدت-های متوسط تا زیاد ارتباط زیادی با فعالت‌های انسانی دارد. آن‌ها همچنین بیان داشتند که این مطالعه و نیز نقشه‌های حساسیت حاصل، می‌تواند زمینه‌ای را برای توسعه استراتژی-های موثر در اطفاء حریق و نیز سازماندهی سیاست‌های موثر در جهت مدیریت پایدار عرصه‌های جنگلی فراهم نماید. در تحقیقی دیگر، موهاجان و همکاران[5] (۲۷) پژوهشی با هدف توسعه استراتژی‌های دقیق جلوگیری از اثرات احتمالی و به حداقل رساندن وقوع حوادث فاجعه‌آمیز تا حد امکان مدل‌سازی و پیش‌بینی شرایط سخت انجام داد و از پنج مدل یادگیری ماشین ترکیبی جدید برای تعیین مناطق حساس به آتش‌سوزی جنگل در شمال مراکش استفاده کردند. نتایج حاصل از انجام مدل‌های پیشنهادی نشان داد که مدل ترکیبی نسبت فرکانس جنگل‌تصادفی در پیش‌بینی آتش‌سوزی جنگل با ۰/۹۸۹ درصدی بالاترین عملکرد را دارد. براساس نتایج، پس از این مدل، مدل نسبت فرکانس ماشین بردار پشتیبان با ۰/۹۵۹ درصدی، مدل نسبت فرکانس پرسپترون چند لایه ۰/۸۵۸، مدل نسبت فرکانس-رگرسیون لجستیک با ۰/۸٤۷ درصدی، مدل نسبت فرکانس رده‌بندی و درخت رگرسیون با ۰/۸۰۹ درصد دارای بالاترین عملکرد بودند. بر اساس موارد گفته شده، استفاده‌از روش‌های یادگیری ماشینی به دلیل عملکرد بالا، نقش مهمی در تعیین صحیح و دقیق مناطق حساس به وقوع آتش و همچنین عوامل تاثیرگذار آن در هر منطقه‌ای دارد. هرچند، با تغییر شرایط محیطی، نقش عوامل تعیین کننده و بهترین مدل برای مدل‌سازی دقیق و صحیح مناطق حساس به وقوع آتش تغییر خواهد نمود. به همین دلیل، هدف از انجام این تحقیق ارزیابی و تعیین مناطق حساس به آتش و همچنین تعیین مهمترین عوامل تاثیرگذار بر وقوع آتش با استفاده از روش‌های یادگیری‌ماشینی شهرستان دره‌شهر می‌باشد.

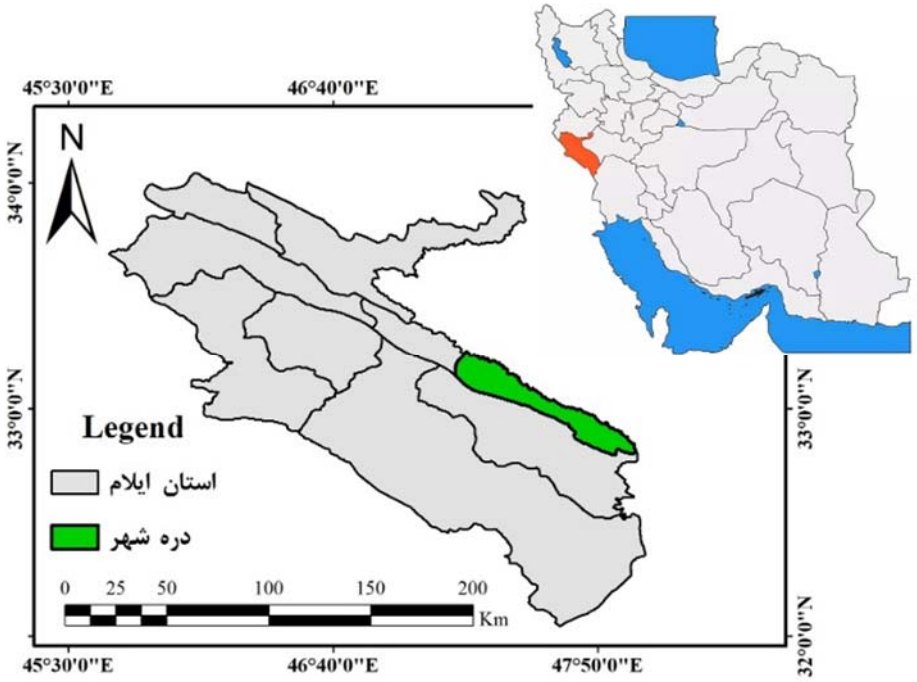
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه:

منطقه موردمطالعه در تحقیق حاضر شهرستان دره‌شهر در استان ایلام می‌باشد. شهرستان دره‌شهر در قسمت جنوب‌شرقی استان ایلام و در دامنه شمالی شرقی کبیرکوه واقع شده و یکی زیرحوضه‌های فرعی رودخانه سیمره بشمار می‌رود که در قسمت جنوب به کبیرکوه و شهرستان آبدانان و در شمال به کوه مله و رودخانه سمیره محدود می‌شود. این منطقه دارای موقعیت جغرافیایی با طول جغرافیایی ٤۷ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۸ دقیقه شمالی است (شکل ۱). شهرستان دره‌شهر یکی از شهرهای غربی ایران و کوهپایه‌ای از سلسله کوه‌های زاگرس و مرکز آن شهر دره‌شهر است. شهرستان دره‌شهر از شرق و جنوب شرقی با شهرستان‌های کوهدشت، رومشکان و پلدختر واقع در استان لرستان و شهرستان اندیمشک واقع در استان خوزستان همجوار است و از شمال، شمال‌غرب و جنوب‌غربی به دیگر شهرستان‌های استان ایلام محدود می‌شود. شهر تاریخی ماداکتو یا سیمره (شهر قدیمی دره‌شهر) در امتداد ضلع جنوبی شهر کنونی دره‌شهر واقع شده است. بیشترین ارتفاع منطقه ۱۹٤۱ متر و کمترین ارتفاع آن معادل ٦۳۷ متر از سطح دریا می‌باشد.

[1] Model Farsits
[2] Pham et al
[3] Naïve Bayes (NB)
[4] Decistion Tree
[5] Mohajane et al

بر اساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه دره‌شهر، این منطقه دارای آب و هوایی معتدل و خشک بوده که شرایط حاکم بر مناطق غرب و جنوب استان ایلام می‌باشد که دارای زمستان-های نسبتا ملایم و تابستان‌های گرم و خشک است (۳۳).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان دره شهر در استان ایلام و ایران

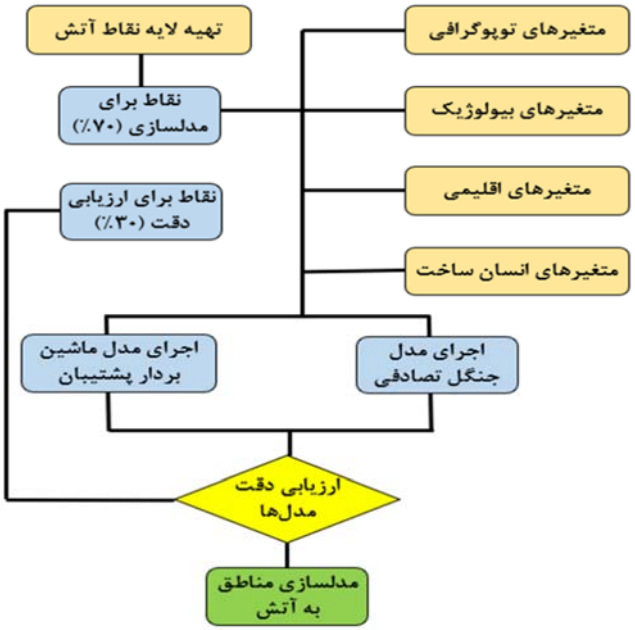
Fig1. Geographical location Dereshahr city in Ilam province and Iran

شهرستان دره‌شهر در زون ساختاری زاگرس چین‌خورده قرار گرفته است. پوشش گیاهی منطقه شامل گونه‌های درختی، درختچه‌ای، بوته‌ای و علفی است. گیاهان علفی به همراه گونه‌های پراکنده بوته‌ای اشکوب تحتانی را تشکیل می‌دهد این اشکوب بخصوص در قسمت‌های کم شیب و پایین‌دست تیپ‌های گیاهی غالبی را تشکیل می‌دهد. مهم‌ترین گیاهان غالب این اشکوب شامل: یو لاف، یونجه زرد، گوش بره و اسپند است. گیاهان درختچه‌ای که تشکیل‌دهنده اشکوب میانی هستند به‌صورت پراکنده در تمام منطقه دیده می‌شوند. از مهم‌ترین گونه‌های اشکوب میانی می‌توان به گونه‌های تنگرس، خرزهره و پنج‌انگشت اشاره نمود. اشکوب فوقانی شامل گونه‌های درختی است. در این منطقه به علت قطع بی‌رویه توسط گونه‌های تحتانی و میانی جایگزین شده است. مهم‌ترین گونه‌های درختی غالب در این اشکوب شامل بلوط ایرانی، انجیر، کیکم است. از گونه‌های پستانداران شاخص منطقه می‌توان به خرس سیاه، گراز، گرگ، پلنگ، کفتار، شغال، گورکن اشاره نمود. از پرندگان شاخص منطقه می‌توان به عقاب طلائی، سارگپه، دلیجه، کبک، تیهو و هدهد اشاره نمود (۳۳).

روش کار

در این تحقیق هدف اصلی تعیین مناطق حساس به وقوع آتش‌سوزی است. به همین دلیل در **گام اول**، براساس تحقیقات گذشته و همچنین نظرات کارشناسان و بررسی سابقه مناطق دارای آتش‌سوزی، ابتدا عوامل تأثیرگذار بر وقوع آتش تعیین شد. از عامل‌های تأثیرگذار می‌توان به ٤ معیار اصلی (عوامل توپوگرافی، بیولوژیکی، اقلیمی و انسان‌ساخت) و ١٤ زیر معیار اشاره نمود. هر معیار و زیر معیارهای آن در ادامه

به‌طور مختصر تشریح شده‌اند. نقشه مربوط به همه عوامل محیطی به‌صورتی رستری و با اندازه پیکسل ۳۰ × ۳۰ مترمربعی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 ساخته شدند. روند مراحل اجرای تحقیق حاضر در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲. فلوچارت مراحل انجام تحقیق

Fig 2. Flowchart of the research process

عوامل توپوگرافی

عوامل توپوگرافی از مهم‌ترین عوامل محیطی غیرزنده بوده که بسیاری از اعمال حیاتی موجودات زنده را به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به‌طورکلی، از میان خصوصیات توپوگرافی، سه عامل ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب و تندی یا مقدار شیب شناخته‌شده‌تر بوده و در اکثر تحقیقات، بیشتر موردبررسی قرار می‌گیرند.تغییرات در ارتفاع از سطح دریا بر میزان بارش و همچنین مقدار دما مؤثر است. همچنین دو عامل جهت و درصد شیب به دلیل تأثیر بر میزان دریافت اشعه نور خورشید و ایجاد شرایط خرد اقلیم، تأثیر بسیاری بر ساختار و تراکم پوشش گیاهی دارند که از مهم‌ترین عوامل در ایجاد وقوع آتش بشمار می‌رود (٦ و ٣١). همچنین عامل شیب نیز با تغییراتی که در مقدار زاویه بین ماده سوختنی و شعله‌های آتش ایجاد می‌کند و جریانات هوایی ایجادشده، در تسریع گسترش آتش نقش مهمی دارد. جهت شیب نیز در محاسبه میزان رطوبت مواد سوختنی نقش دارد (۱۹ و ۲۰). در تحقیق حاضر از نقشه توپوگرافی با مقیاس۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و همچنین نقشه رقومی ارتفاع استخراجی از تصاویر ماهواره ASTER، برای استخراج نقشه‌های ارتفاع، شیب و جهت استفاده شد. برای آماده‌سازی لایه‌های توپوگرافی از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد.

عوامل بیولوژیک

معیارهای بیولوژیکی شامل نوع پوشش گیاهی، تراکم پوشش گیاهی و رطوبت خاک می‌باشد (۲). بطور کلی پوشش گیاهی، بستر اصلی اشتعال پذیری است، که باعث ایجاد و گسترش آتش می‌شود. خصوصیات و ویژگی‌های پوشش گیاهی تأثیرات زیادی بر برخی خصوصیات آتش از قبیل نقطه اشتعال، شدت آتش، نرخ گسترش و ارتفاع شعله دارد (٤٢). به

همین دلیل در بررسی و مدلسازی وقوع آتش در یک منطقه، معیار پوشش گیاهی از جمله نقشه‌های ماده سوختنی، میزان تاج پوشش و ارتفاع، توده جنگل مورد توجه قرار می‌گیرند. در تحقیق حاضر، تاثیر پوشش گیاهی با استفاده از تولید و محاسبه شاخص پوشش گیاهی NDVI و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸[1] به تاریخ ۲۰۲۲/۰۵/۰۹ با درصد ابرناکی ۰/۱۱ درصد انجام شد. برای محاسبه رطوبت خاک از دو شاخص شاخص رطوبت تفاضل نرمال[2](NDWI) و شاخص رطوبت سطحی خاک[3] (LSWI) در محیط نرم افزار TerrSet استفاده شد. شاخص NDWI برای اولین بار توسط گائو[4] (۱۲) و شاخص LSWI نیز توسط ژیائو و همکاران[5] (٤١) معرفی شدند. این دو شاخص بر اساس روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند.

رابطه (۱): $NDWI = (NIR-SWIR2)/(NIR+SWIR2)$

رابطه (۲): $LSWI = (NIR-SWIR1)/(NIR+SWIR1)$

در این روابط NIR: باندهای مادون قرمز نزدیک، SWIR1: مادون قرمز موج کوتاه اول و SWIR2: مادون قرمز موج کوتاه دوم است.

عوامل اقلیمی

شرایط اقلیمی به طور مستقیم در پیدایش آتش تاثیر دارند و به طور غیر مستقیم با اثر بر تیپ و تراکم پوشش گیاهی، بر پیدایش و شدت آتش موثر هستند (١٦ و ٢٠). میزان نزولات آسمانی و درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد و جهت باد مهمترین پارامترهای اقلیمی مؤثر در هر منطقه به شمار می‌روند (١٩). که در وقوع و گسترش آتش‌سوزی در جنگل‌ها دارای اهمیت است. با توجه به قرارگیری تنها یک ایستگاه هواشناسی در شهرستان دره‌شهر، در تحقیق حاضر برای تهیه نقشه عوامل اقلیمی از برای تهیه داده‌های هواشناسی اطلاعات هواشناسی از تمامی ایستگاه سینوپتیک کل استان استفاده شد. پس از استخراج اطلاعات مورد نیاز، ابتدا با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله (IDW) نقشه متغیرهای اقلیمی برای کل استان ایلام ایجاد و سپس محدوده مربوط به شهرستان دره‌شهر از نقشه اصلی تفکیک شد.

عوامل انسانی

عوامل انسانی از مهمتریم عوامل تعیین کننده در آتش بشمار می‌روند (٩). بطور کلی انسان دو نقش ویژه به عنوان ایجادکننده و مدیریت‌کننده آتش دارد. بر اساس نتایج تحقیقات گذشته، هرچه فاصله به سکونتگاه‌ها یا عارضه‌های انسان ساخت نزدیکتر شود، احتمال وقوع آتش افزایش خواهد یافت (١٦، ١٩ و ٢٠). در تحقیق حاضر، لایه عوامل انسانی شامل فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از زمین زراعی ایجاد گردید. در ابتدا پس از تعیین هر عارضه (مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی) و نقشه جاده (استخراجی از نرم افزار Google Earth) وارد محیط نرم افزار ArcGIS شده و نقشه فاصله با استفاده از روش فاصله اقلیدوسی[6] ایجاد شد.

مدل جنگل تصادفی

جنگل تصادفی[7] یک روش جدید و قدرتمند یادگیری ماشینی است که توسعه بسیاری در تکنولوژی عرضه نموده‌اند، ولی در تحقیقات اکولوژیک شناخته نیستند. این الگوریتم به دلیل سادگی و قابلیت استفاده، هم برای دسته‌بندی و هم رگرسیون، یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین محسوب می‌شود. رویکرد جنگل تصادفی بر پایه روش‌های جدید ترکیب اطلاعات است که در آن تعداد زیادی درخت تصمیم‌گیری به وجود آمده است، سپس تمام درختان با هم برای پیش‌بینی ترکیب می‌گردند. پارامترهای کلیدی برای مدل جنگل تصادفی، تعداد درختان و تعداد متغیرهای برای پیش‌بینی ترکیب می‌گردند (٢٠).

[1] Landsat_Product_ID = "LC08_L2SP_167037_20220509_20220518_02_T1"
[2] Normalized Difference Water Index
[3] Land Surface Water Index
[4] Gao
[5] Xiao et al
[6] Euclidean Distance
[4] Random Forest

مدل ماشین بردار پشتیبان

مدل ماشین بردار پشتیبان[1] یکی از مهم‌ترین روش‌های یادگیری ماشینی است که می‌تواند به طور مشترک برای دو عملیات طبقه‌بندی و رگرسیونی به‌کار رود. این روش شامل مجموعه‌ای از توابع طبقه‌بندی است که دارای قابلیت ارزیابی خطا و تعمیم مناسب اطلاعات بوده و با استفاده از اطلاعات موجود در لایه‌های عوامل موثر و تکرار بالای مدل‌سازی، پیچیدگی رفتار پیدایش پدیده آتش‌سوزی را کاهش می‌دهد. این مدل شامل یک مرحله آموزشی با ورودی و ارزش‌های اهداف خروجی است. برای کمینه کردن میزان خطاهای تعمیم یافته باید میزان خطای آموزشی و پیچیدگی طبقه‌بندی کاهش یابد که با استفاده از صفحه جدایش انجام می‌شود که وظیفه افزایش حاشیه بین طبقات را بر عهده دارد. الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، روش کلی برای تخمین توابع ارائه می‌نمایند که هدف اصلی آن‌ها حل مسائل بهینه‌سازی درجه دوم می‌باشد (۲).

مدلسازی و ارزیابی دقت

پس از تهیه لایه‌های عوامل محیطی، اطلاعات مربوط به نقاط آتش استخراج گردید. در این تحقیق، تمامی اطلاعات مربوط به وقوع آتش در ۲۰ سال اخیر از منابع موجود جمع‌آوری گردید. در این راستا علاوه بر اطلاعات ادارات منابع طبیعی و آبخیزداری و حفاظت محیط زیست، از محصول آتش تصاویر ماهواره مادیس استفاده شد. در مجموع و پس از حذف نقاط تکراری و ادغام نقاط با فاصله کمتر از ۱۰۰ متر، لایه نهایی نقاط آتش بصورت نقطه‌ای ایجاد شد. این اطلاعات به دو گروه نقاط لازم برای آموزش مدل (۷۰ درصد) و نقاط لازم برای ارزیابی نتایج مدل (۳۰ درصد) بصورت کاملا تصادفی تقسیم شدند. در کل، برای آموزش و ساخت مدل‌ها از ۱۴۱۸ نقطه و برای ارزیابی دقت مدل‌ها از ۶۰۴ نقطه استفاده شد. مدلسازی مربوط به دو مدل جنگل تصادفی و مایشن بردار پشتیبان در نرم افزار R و به ترتیب بسته‌های "randomForest" و "e1071" انجام شد. همچنین برای تعیین اهمیت نسبی متغیرهای محیطی در وقوع آتش در شهرستان دره‌شهر، از روش نمودار اهمیت نسبی (varImpPlot) در الگوریتم جنگل تصادفی استفاده شد.

برای تعیین دقت و صحت نتایج و قابلیت اطمینان هر مدل‌سازی، نتایج آن باید ارزیابی شود. ارزیابی نتایج مدل‌سازی سبب افزایش اطمینان به اطلاعات به دست آمده خواهد شد (۳۰). در این تحقیق شاخص سطح زیر نمودار[2] در منحنی نمودار مشخصه عملکرد[3] به معنی مشخصه عملکرد سیستم استفاده شد. همچنین برای مقایسه دو مدل مورد بررسی، برخی از مهمترین آماره‌های ارزیابی متقابل شامل ضریب همبستگی (r)، ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) استفاده گردید.

نتایج

روند سالانه وقوع خطرآتش‌سوزی:

تحقیق حاضر با استفاده از اطلاعات ۲۰ ساله (۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲) مناطق دارای سابقه وقوع آتش‌سوزی انجام شد. بررسی وقوع سالانه خطر آتش‌سوزی در شهرستان دره‌شهر نشان داد که یک روند افزایشی و مثبت در تعداد وقوع آتش وجود داشته است (شکل ۳). بر اساس نتایج بیشترین تعداد وقوع آتش ثبت شده در سال ۲۰۱۶ بوده که برابر با ۵۴۸ مورد حریق است. همچنین دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ با به ترتیب ۳۴۴ و ۳۲۷ مورد حریق ثبت شده دارای بیشترین تعداد حریق در طی یک سال بودند. در بین سال‌های مورد مطالعه (۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲) سال ۲۰۰۸ با یک مورد و سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶ تنها با دو مورد حریق دارای کمترین تعداد حریق اتفاق افتاده در طی یکسال بودند.

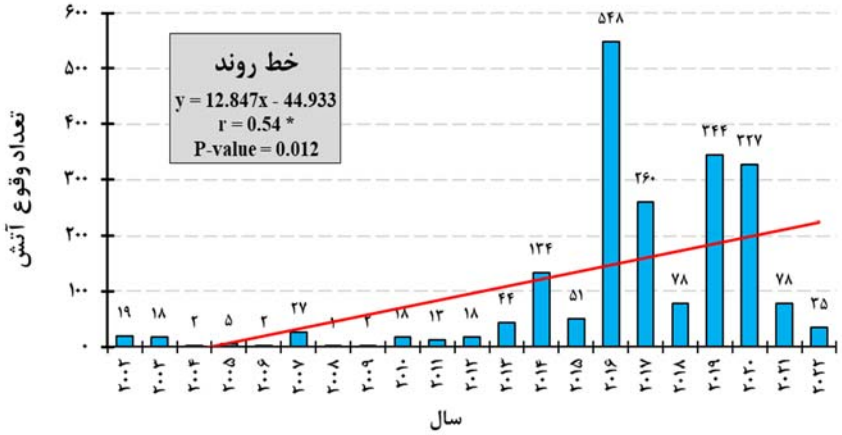
[1] Support Vector Machine (SVM)

[2] Area Under Curve (AUC)

[3] Receiver Operating Characteristic (ROC)

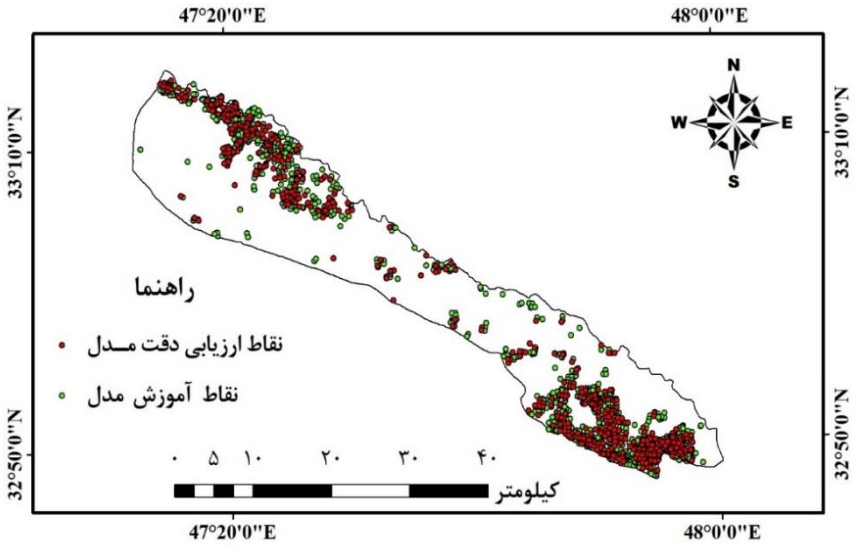
تهیه نقاط آتش برای مدل‌سازی:

در تحقیق حاضر از مجموعه نقاط آتش ثبت شده توسط ماهواره مادیس و همچنین موقعیت حریق‌های اتفاق افتاده که توسط ادارات منابع طبیعی و آبخیزداری و همچنین اداره کل محیط زیست شهرستان دره شهر ثبت گردیده بود استفاده شد. در مجموع و پس از حذف نقاط تکراری و ادغام نقاط با فاصله کمتر از ۱۰۰ متر، لایه نهایی نقاط آتش بصورت نقطه‌ای ایجاد شد. این اطلاعات به دو گروه نقاط لازم برای آموزش مدل (۷۰ درصد) و نقاط لازم برای ارزیابی نتایج مدل (۳۰ درصد) بصورت کاملا تصادفی تقسیم شدند. در کل، برای آموزش و ساخت مدل‌ها از ۱٤۱۸ نقطه و برای ارزیابی دقت مدل‌ها از ٦۰٦ نقطه استفاده شد. نمایی از موقعیت نقاط آموزش و ارزیابی مدل در شکل (٤) ارائه شده است. همچنین در هر دو نقطه، به ترتیب ٦۰٤ و ۱۱۹٦ نقطه به عنوان مناطق فاقد سابقه آتش انتخاب و اطلاعات لایه‌های مورد استفاده آنها برای مرحله مدل‌سازی استخراج شد.



شکل ۳. تعداد آتش در طی دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲) در شهرستان دره شهر

Fig 3. The number of fires during the statistical period under study (2002 to 2022) in Dereshahr city

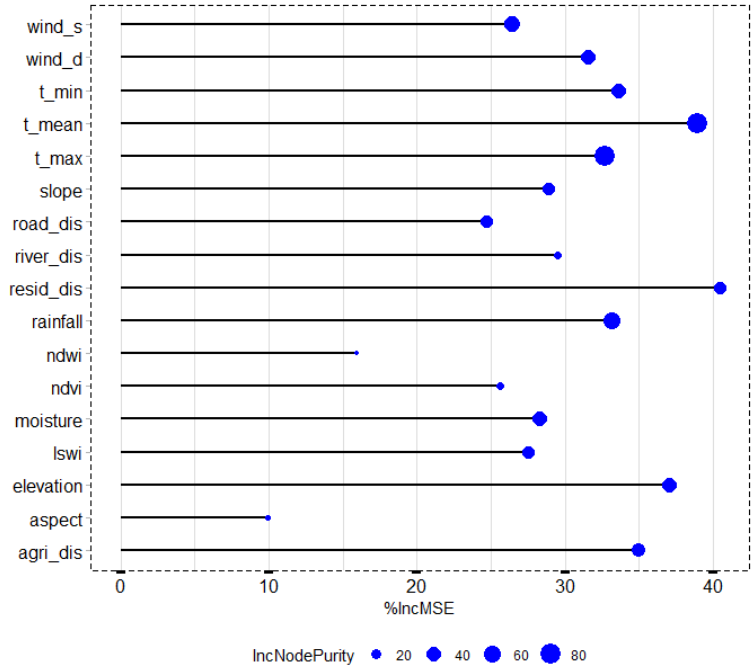


شکل ۴. موقعیت نقاط آتش برای آموزش مدل و ارزیابی دقت مدل‌سازی

Fig 4. Location of fire points for model training and modeling accuracy assessment

تعیین اهمیت نسبی عوامل موثر در وقوع آتش:

بررسی اهمیت نسبی متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی نشان داد که به ترتیب لایه‌های فاصله از مناطق مسکونی (resid_dis)، میانگین دمای سالانه (t_mean) و ارتفاع از سطح دریا (elevation) مهمترین عوامل موثر در وقوع آتش در شهرستان دره شهر بودند (شکل ۵). همچنین لایه‌های جهت شیب (aspect) و شاخص رطوبت خاک سطحی (ndwi) کم اهمیت‌ترین عوامل در مناطق دارای سابقه آتش در شهرستان دره شهر بودند (شکل ۵).



شکل ۵. اهمیت نسبی لایه‌های مورد استفاده در تعیین مناطق حساس به وقوع آتش

Fig 5. The relative importance of the layers used in determining fire sensitive areas

مدل‌سازی آتش:

پس از تهیه نقشه لایه‌های عوامل تأثیرگذار، اطلاعات هر لایه مربوط به نقاط آتش مورد استفاده برای آموزش مدل به کمک نرم افزار ArcGIS استخراج شد. سپس این اطلاعات برای مدل‌سازی در دو الگوریتم جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت رابطه بدست آمده توسط هر مدل با استفاده از تابع پیش‌بینی[1] در نرم افزار R بر روی اطلاعات تمام لایه‌های اولیه اعمال و نقشه خطر آتش برای هر مدل بصورت مجزا تولید گردید.

مدل‌سازی با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان:

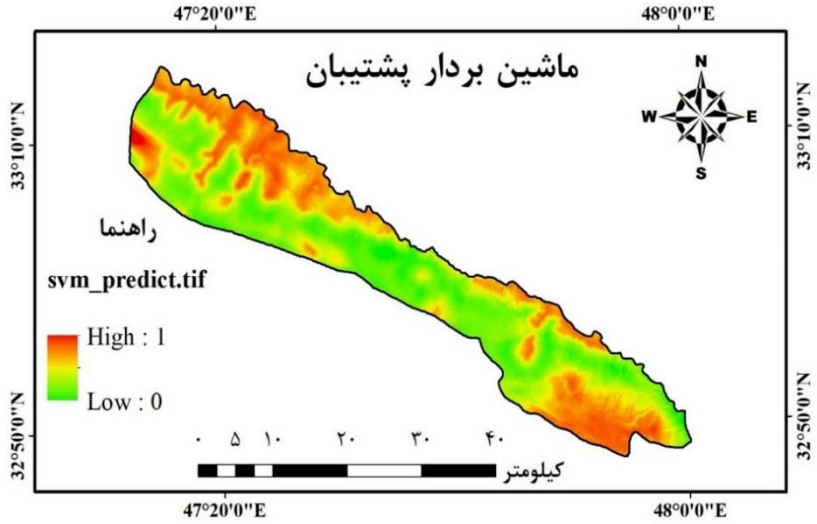
پس از آموزش مدل با استفاده از اطلاعات تهیه شده، بر اساس شبکه‌ای از نقاط (۴۰۱۴۹ نقطه) ارزش خطر آتش برای همه پیکسل‌های منطقه مورد بررسی بر اساس دو الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی تهیه شد. بر اساس نتایج بدست آمده از مدل ماشین بردار پشتیبان، عمده مناطق مرکزی، غربی، شمال–غرب و جنوب غرب دارای خطر کمی برای وقوع آتش‌سوزی هستند (شکل ٦). همچنین مناطق با خطر متوسط در محدوده‌های شمال–شرق و جنوب دیده می‌شوند. نتایج مدل‌سازی خطر وقوع آتش در شهرستان دره شهر با

[1] Predict

استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در شکل (٦) نمایش داده شده است.

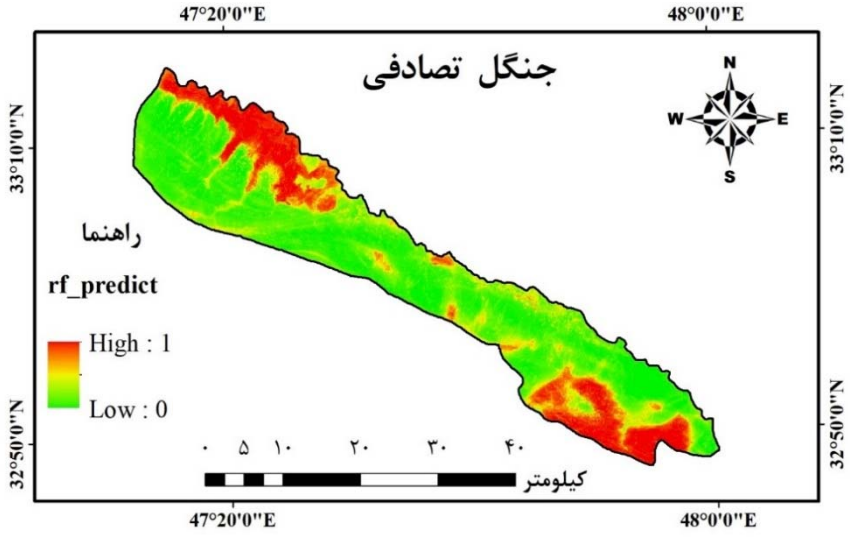
مدل‌سازی با استفاده از مدل جنگل تصادفی:

بر خلاف الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، نتایج الگوریتم جنگل تصادفی بیانگر وجود دو منطقه کاملا متمایز در زمینه خطر وقوع آتش بود (شکل ۷). بر اساس نتایج، دو منطقه با خطر کم و خطر خیلی زیاد در شهرستان دره‌شهر وجود دارد که مناطق جنوبی و شمال تا شمال شرق حوزه مورد بررسی دارای خطر خیلی زیاد در زمینه وقوع آتش هستند و سایر مناطق در محدود خطر کم قرار دارند که احتمال وقوع آتش در آنها کمتر از ۲۵ درصد (کلاس خطر کم وقوع آتش) است (شکل ۷).



شکل ۶. مدل‌سازی خطر وقوع آتش با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان در شهرستان دره شهر

Fig 6. Modeling risk of fire using support vector machine model in DereShahr city

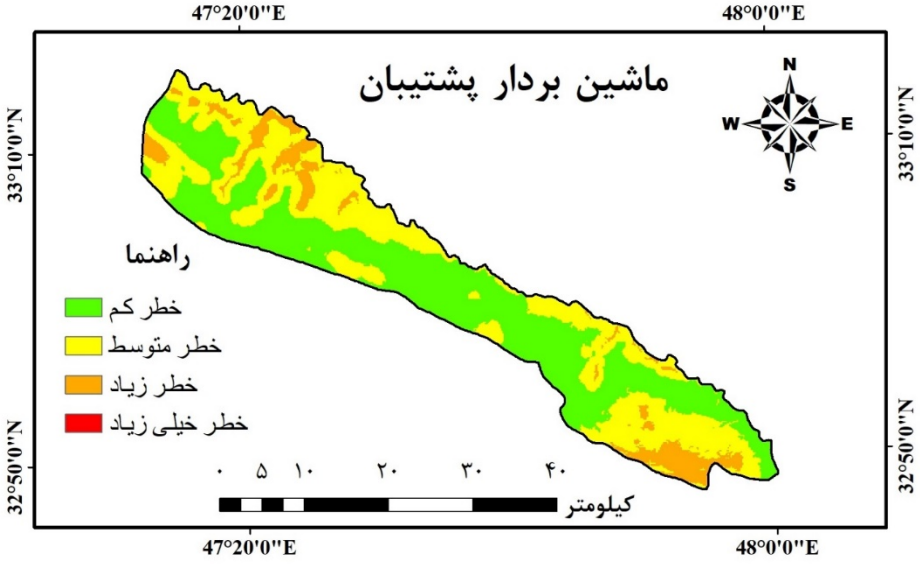


شکل ۷. مدل‌سازی خطر وقوع آتش با استفاده از مدل جنگل تصادفی در شهرستان دره شهر

Fig 7. Modeling risk of fire using random forest model in DereShahr city

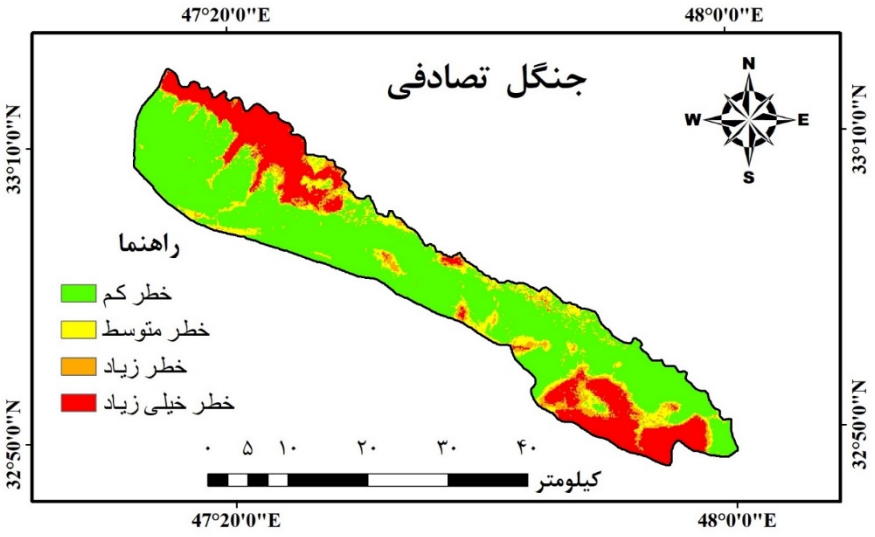
کلاس‌بندی نقشه خطر آتش:

پس از تهیه نقشه خطر آتش، برای تحلیل بهتر اطلاعات و نتایج، این نقشه در چهار کلاس خطر شامل کلاس خطر کم (خطر وقوع صفر تا ۰/۲۵)، کلاس خطر متوسط (خطر وقوع ۰/۲۵ تا ۰/۵۰)، کلاس خطر زیاد (خطر وقوع ۰/۵۰ تا ۰/۷۵) و کلاس خطر خیلی زیاد (خطر وقوع ۰/۷۵ تا ۱) دسته‌بندی گردیدند (شکل ۸ و ۹). بر اساس نتایج، در مدل ماشین بردار پشتیبان کلاس خطر کم دارای بیشترین مساحت در هر دو مدل جنگل تصادفی (۶۰/۶۳ درصد) و ماشین بردار پشتیبان (۴۷/۹ درصد) بود (شکل ۱۰ و جدول ۱). در مدل ماشین بردار پشتیبان، دومین کلاس با مساحت زیاد مربوط به کلاس خطر متوسط بود که ۴۱/۶۹ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود در حالی که در مدل جنگل تصادفی، کلاس خطر خیلی زیاد با مساحت بیش از ۹۰ هزار هکتار معادل ۲۰/۴۱ از سطح منطقه، دومین کلاس با مساحت زیاد در مدل جنگل تصادفی بود (شکل ۱۰ و جدول ۱). در نهایت، در مدل ماشین بردار پشتیبان، کمترین مساحت مربوط به کلاس خطر خیلی زیاد بود که تنها ۲۵۸/۵۹ هکتار (معادل ۰/۲۹ درصد) از سطح منطقه را پوشش می‌داد در حالی که در مدل جنگل تصادفی، کمترین مساحت مربوط به کلاس خطر زیاد وقوع آتش با مساحتی معادل ۶۲۷۳/۵ هکتار (۶/۹۵ درصد) بود (شکل ۱۰ و جدول ۱).



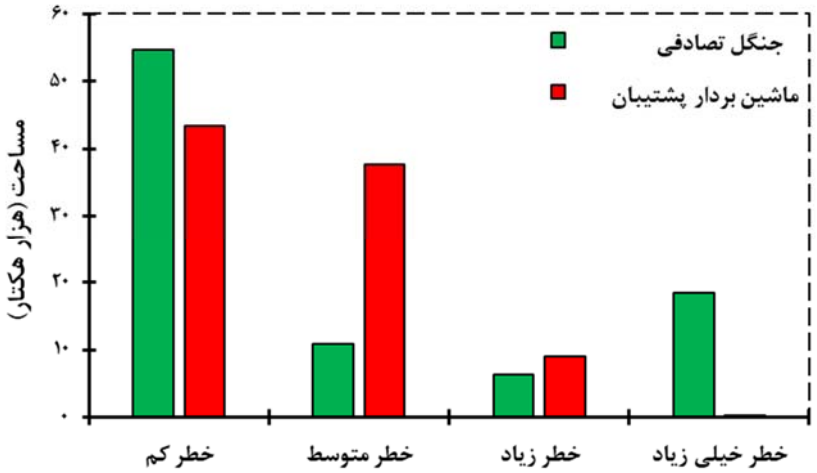
شکل ۸. کلاس خطر وقوع آتش با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان در شهرستان دره شهر

Fig 8. Class risk of fire using support vector machine model in DereShahr city



شکل ۹. کلاس خطر وقوع آتش با استفاده از مدل جنگل تصادفی در شهرستان دره شهر

Fig 9. Class risk of fire using random forest model in DereShahr city



شکل ۱۰. مساحت (هکتار) کلاس‌های خطر وقوع آتش بر اساس دو مدل جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان در شهرستان دره شهر

Fig 10. Area (hectares) of fire risk classes based on two random forest models and support vector machine in DereShahr city

جدول ۱. مساحت کلاس‌های مختلف خطر بر اساس مدل‌های مورد استفاده

Table 1. The area of different risk classes based on the models used

کلاس خطر وقوع آتش	مدل جنگل تصادفی		مدل ماشین بردار پشتیبان	
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
خطر کم	۵۴۷۳۹/۰۷	۶۰/۶۳	۴۳۳۲۷/۶۰	۴۷/۹۹
خطر متوسط	۱۰۸۴۰/۳۳	۱۲/۰۱	۳۷۶۳۴/۲۴	۴۱/۶۹
خطر زیاد	۶۲۷۳/۵۰	۶/۹۵	۹۰۵۷/۲۲	۱۰/۰۳
خطر خیلی زیاد	۱۸۴۲۴/۷۴	۲۰/۴۱	۲۵۸/۵۹	۰/۲۹
کل	۹۰۲۷۷/۶۴۷	۱۰۰	۹۰۲۷۷/۶۴۷	۱۰۰

ارزیابی دقت نقشه‌های کیفی خطر آتش‌سوزی:

برای اطمینان از صحت نتایج بدست آمده، از لایه اطلاعات استفاده نشده در مدل‌سازی که شامل ۳۰ درصد نقاط آتش (۵۹۰ نقطه وقوع آتش و ٦٠٤ نقطه فاقد سابقه وقوع آتش) استفاده گردید. بر اساس نتایج مشخص گردید که مدل جنگل تصادفی قادر بوده است تا بیش از ۸۲ درصد نقاطی که در آنها آتش اتفاق افتاده است را در کلاس خطر خیلی زیاد قرار دهد در حالی که در مدل ماشین بردار پشتیبان هیچ نقطه‌ای با سابقه وقوع آتش در کلاس خطر زیاد وقوع آتش قرار نگرفت است (جدول ۲). بر اساس نتایج، مدل ماشین بردار پشتیبان بیشتر نقاط آتش را در دو کلاس خطر متوسط (۳۲۵ نقطه معادل ۵۳/۸۱ درصد) و خطر زیاد (۲۲۰ نقطه معادل ۳٦/٤۲ درصد) طبقه‌بندی کرد در حالی که مدل جنگل تصادفی دقت بالاتری داشته و اکثر نقاط دارای سابقه آتش را در کلاس با خطر خیلی زیاد طبقه‌بندی کرده بود (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که هر دو مدل کمتر از ۱۰ درصد از نقاط دارای سابقه آتش را در کلاس با خطر کم قرار دادند. در مدل جنگل تصادفی ٤/١٤ درصد و در مدل ماشین بردار پشتیبان ۹/۷۷ درصد از نقاط دارای آتش در کلاس خطر کم قرار گرفتند که در این زمینه نیز نتایج بیانگر دقت بالاتر مدل جنگل تصادفی بود. نتایج این بخش در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲. ارزیابی دقت مدل‌های مورد بررسی با استفاده از نقاط آتش بر اساس کلاس خطر وقوع آتش

Table 2. Assessing the accuracy of the investigated models using fire points based on the fire risk class

کلاس خطر وقوع آتش	مدل جنگل تصادفی		مدل ماشین بردار پشتیبان	
	تعداد نقطه	درصد	تعداد نقطه	درصد
خطر کم	۲۵	٤/١٤	۵۹	۹/۷۷
خطر متوسط	۲٦	٤/۳۰	۳۲۵	۵۳/۸۱
خطر زیاد	۵٤	۸/۹٤	۲۲۰	۳٦/٤۲
خطر خیلی زیاد	٤۹۹	۸۲/٦۲	۰	۰
کل	٦۰٤	۱۰۰	٦۰٤	۱۰۰

ارزیابی دقت مدل‌های مورد بررسی با استفاده از نقاط فاقد سابقه آتش (نقاط کنترل) نیز بیانگر دقت بالاتر مدل جنگل تصادفی بود (جدول ۳). بر اساس نتایج، در مدل جنگل تصادفی ۸۵/٦٤ درصد و در مدل ماشین بردار پشتیبان ۵۹/۰۸ درصد از نقاط فاقد سابقه آتش را در کلاس خطر کم وقوع آتش قرار دادند. خطر متوسط در مدل جنگل تصادفی در برگیرنده ۵۱ نقطه و در مدل ماشین بردار پشتیبان در برگیرنده ۲۲۷ نقطه بود. در نهایت، در کلاس خطر خیلی زیاد، هر دو مدل کارائی مناسبی داشته و کمتر از ۵ درصد از نقاط فاقد سابقه آتش را در این کلاس قرار دادند (جدول ۳).

ارزیابی دقت دو مدل ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی بر اساس سطح زیر نمودار (AUC) در منحنی ROC نشان داد که هر دو مدل از دقت مناسبی برخوردار هستند اما مدل جنگل تصادفی دارای دقت بالاتری است. بر اساس نتایج، مدل جنگل تصادفی دارای سطح زیر نمودار ۰/۹۷ و مدل ماشین بردار پشتیبان دارای سطح زیر نمودار ۰/۸٦ بود (شکل ۱۱).

جدول ۳. نتایج ارزیابی دقت مدل‌های مورد بررسی در مناطق دارای فاقد آتش (کنترل)

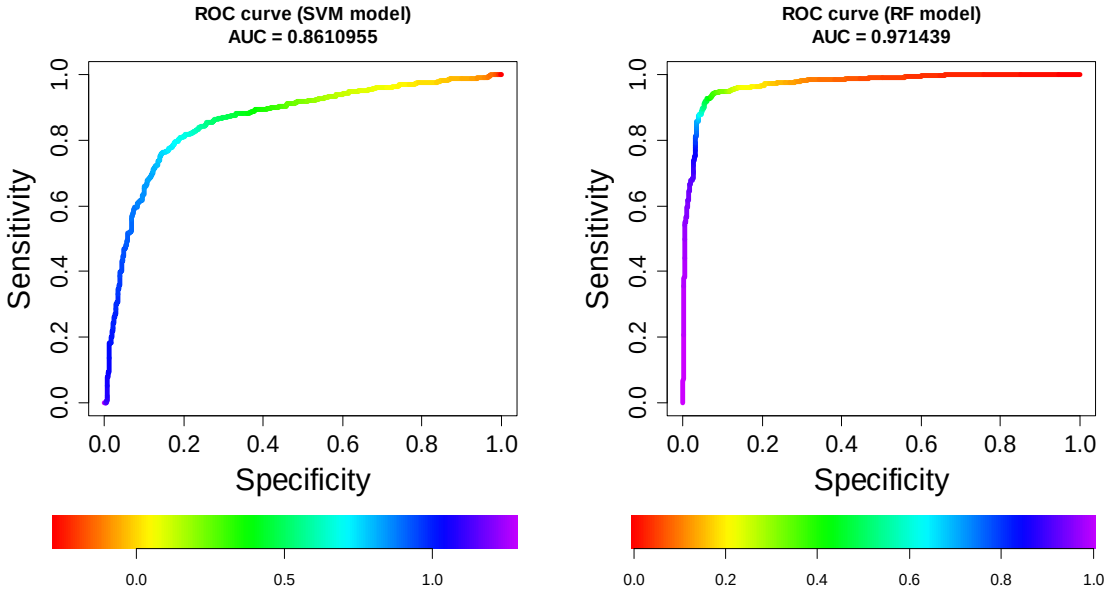
Table 3. The results of evaluating the accuracy of the investigated models in areas with and without fire (control)

کلاس خطر وقوع آتش	مدل جنگل تصادفی		مدل ماشین بردار پشتیبان	
	تعداد نقطه	درصد	تعداد نقطه	درصد
خطر کم	۵۱۹	۸۵/٦٤	۳۵۸	۵۹/۰۸
خطر متوسط	۵۱	۸/٤۲	۲۲۷	۳۷/٤٦
خطر زیاد	۱۵	۲/٤۸	۲۰	۳/۳۰
خطر خیلی زیاد	۲۱	۳/٤۷	۱	۰/۱۷
کل	٦۰٦	۱۰۰	٦۰٦	۱۰۰

بررسی آماری سطح زیر نمودار در دو مدل نیز نشان داد که هر دو مدل جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان از خطای کمی برخودار بوده و سطح زیر نمودار آنها به لحاظ آماری در محدوده معنی‌دار قرار می‌گیرد. بر اساس نتایج، سطح زیر نمودار در مدل جنگل تصادفی بین فاصله اطمینان دو محدوده ۰/۹٦ و ۰/۹۸ قرار دارد در حالی که مدل ماشین بردار پشتیبان بین فاصله اطمینان ۰/۸٤ تا ۰/۸۸ قرار داشت (جدول ٤).

ارزیابی مقاطع

ارزیابی متقاطع با استفاده از آمارهای مرسوم نشان داد که مدل جنگل تصادفی دارای دقت بالاتری نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان است. بر اساس نتایج، مدل جنگل تصادفی دارای ضریب همبستگی بالاتر ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق کمتری نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان بود (جدول ۵).



شکل ۱۱. ارزیابی دقت مدل‌های مورد بررسی با استفاده از سطح زیر نمودار (AUC)

Fig 11. Assessing the accuracy of the investigated models using the area under the graph (AUC)

جدول ۴. نتایج آماری ارزیابی دقت مدل‌های جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی خطر وقوع آتش بر اساس سطح زیر نمودار

Table 4. Statistical results of evaluating the accuracy of random forest models and support vector machine for predicting the risk of fire based on the area under the diagram

مدل	سطح زیر نمودار	خطا استاندارد	سطح معنی داری	فاصله اطمینان در سطح ۹۵ درصد	
				حد بالا	حد پایین
جنگل تصادفی (RF)	۰/۹۷۱	۰/۰۰٤	۰/۰۰۰	۰/۹٦۳	۰/۹۸۰
ماشین بردار پشتیبان (SVM)	۰/۸٦۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰	۰/۸٤۰	۰/۸۸۳

جدول ۵. ارزیابی متقاطع دقت مدل‌های جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان

Table 5. Cross-validation of the accuracy of random forest and support vector machine models

آماره ارزیابی دقت		جنگل تصادفی (RF)	ماشین بردار پشتیبان (SVM)
ضریب همبستگی	R	۰/۸۷۵	۰/٦۲۳
ضریب تبیین	R-squared	۰/۷٦۵	۰/۳۸۸
ریشه میانگین مربعات خطا	RMSE	۰/۲٤۳	۰/۳۹۲
میانگین خطای مطلق	MAE	۰/۱۲۵	۰/۳۰۹
شاخص نرمال شده BIC	Normalized BIC	-۲/۸۲۱	-۱/۸٦٤

بحث

مدل‌سازی مناطق حساس به وقوع آتش می‌تواند ابزاری کلیدی در راستای مدیریت صحیح و به هنگام مخاطرات طبیعی از جمله آتش باشد. در کشور ایران به عنوان یکی از نقاط حادثه خیز دنیا، آتش‌سوزی جنگل، یکی از مهمترین بحران‌های آن به حساب می‌آید (۸). اولین راهبرد در خصوص حمایت از جنگل‌ها جلوگیری از وقوع آتش‌سوزی می‌باشد. از سوی دیگر، در سال‌های اخیر، یکی از مهمترین عوامل تخریب کننده و تأثیرگذار بر بوم سازگان جنگل‌های زاگرس، آتش‌سوزی بوده است (۳۵). بطور کلی بسیاری از مدیران منابع طبیعی و محیط زیست در تلاشند تا بهترین راهکار را برای مدیریت آتش‌سوزی پیدا نمایند تا بتوانند با استفاده از آن در کوتاه‌ترین زمان ممکن آتش‌سوزی را مدیریت و کنترل کرد. با توجه به زمان لازم برای کنترل آتش‌سوزی و سرمایه‌گذاری منابع، تخمین دقیق احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی و تهیه نقشه‌های توزیع آتش، گام نخست در مدیریت آتش‌سوزی و ارزیابی خطر می‌باشد (۲). تحقیق حاضر نیز به منظور بررسی کارائی روش‌های مختلف یادگیری ماشینی در مدل‌سازی مناطق حساس به وقوع آتش و همچنین تعیین مهمترین عوامل تاثیرگذار بر وقوع آتش در شهرستان دره شهر استان ایلام صورت گرفت. بر اساس نتایج مطالعه حاضر در طی سال‌های مورد مطالعه (۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲) یک روند افزایشی در تعداد نقاط آتش وجود داشت. بیشترین تعداد وقوع آتش ثبت شده در سال ۲۰۱٦ (٥٤٨ مورد حریق) بود. همچنین برای دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۳٤٤ و ۳۲۷ مورد حریق ثبت شده که دارای بیشترین تعداد حریق در طی یک سال بودند. سال ۲۰۰۸ با یک مورد و سال‌های ۲۰۰٤ و ۲۰۰٦ تنها با دو مورد حریق، دارای کمترین تعداد حریق اتفاق افتاده در طی یکسال بودند. با توجه به کاهش بارندگی و افزایش دما و خشکسالی‌های اخیر در منطقه مورد مطالعه (۳۳) و همچنین نتایج حاصل از مدل‌سازی که دما را به عنوان یکی از عوامل موثر بر آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه پیش‌بینی کرد، افزایش تعداد

نقاط آتش در طی دوره زمانی مورد بررسی قابل توجیه است. اسکندری و جلیلوند (۸) در مطالعه‌ای به بررسی وضعیت آتش در شهرستان نکا پرداختند. براساس نتایج آنان بین تعداد وقوع آتش و متوسط درجه حرارت سالانه و متوسط بارندگی در سطح اطمینان ۹۵٪ رابطه معنی‌داری وجود دارد. به منظور شناسایی مناطق در معرض خطر آتش‌سوزی، مشخص کردن مهمترین عوامل موثر بر وقوع و گسترش آتش از قبیل مواد سوختنی، شرایط توپوگرافی، شرایط آب وهوایی و عوامل انسانی، لازم و ضروری می‌باشد (۳۸). در تحقیق حاضر براساس نتایج حاصل از مدل‌سازی فاصله از مناطق مسکونی، میانگین دمای سالانه و ارتفاع از سطح دریا به ترتیب مهمترین عوامل موثر در وقوع آتش در شهرستان دره شهر بودند و جهت شیب و شاخص رطوبت خاک سطحی کم اهمیت‌ترین عوامل در مناطق دارای سابقه آتش در شهرستان دره شهر بودند. نتایج مطالعه اسکندری و همکاران (۹) نیز نشان داد که از بین عوامل انسانی فاصله از جاده و فاصله از مناطق مسکونی و عوامل توپوگرافی شیب و ارتفاع، بیشترین سهم را در وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های بخش سه نکا–ظالمرود داشتند. محمدی و همکاران (۲۸) نیز عامل فاصله از مناطق مسکونی و دما بالا را از عواملی دانستند که سهم زیادی در وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های پاوه داشتند. در مطالعه دیگری توسط ارتن و همکاران[1] (٦) در جنگل‌های گالیپولی ترکیه، مناطق نزدیک به جاده و مناطق مسکونی،با پوشش گیاهی خشک، شیب بالا و جهت جنوبی قابلیت خطر آتش‌سوزی زیاد دانستند. به علت بیشتر بودن فعالیت مردم در نزدیکی مناطق مسکونی بیشترین احتمال خطر آتش‌سوزی در این نقاط وجود داشت. یکی دیگر از عوامل مهم و موثر بر وقوع آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه دمای سالانه بود که گرایش نقاط آتش‌سوزی از مناطقی با میانگین دمای سالیانه کمتر به سمت مناطقی با میانگین دمای سالیانه بیشتر بود. بنابراین افزایش دما، بیشترین اثر را در وقوع آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه داشته است. بطور کلی درجه حرارت به عنوان یک عامل مهم در وقوع آتش‌سوزی جنگل‌ها عنوان شده است (٤٥). براساس مطالعات انجام شده، افزایش دما، خشکی هوا و کاهش بارندگی ازجمله عوامل طبیعی هستند که زمینه را برای ایجادآتش‌سوزی‌های سطحی و گسترده در جنگل‌ها فراهم می‌کنند (٤٣). همچنین زومبرونن و همکاران[2] (٤٥) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که دما مهمترین عوامل اقلیمی تأثیرگذار در رژیم آتش‌سوزی در اکوسیستم‌های جنگلی می‌باشد و وقوع آتش‌سوزی‌ها در مناطقی با دمای زیاد و اقلیم گرمسیری خشک و اقلیم‌های گرمتر بیشتر می‌باشد. در مطالعه ای دیگر که توسط هانگ و همکاران[3] (١٦) انجام شد، نتایج مطالعه آنها نیز نشان داد افزایش دما و کاهش بارندگی بیشترین اثر را در وقوع آتش‌سوزی دارد. عامل سوم موثر بر وقوع آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه ارتفاع از سطح دریا بود. ارتفاع از سطح دریا فاکتوری است که به طور غیر مستقیم بر وقوع آتش‌سوزی از طریق تعدیل شرایط آب و هوایی اثر دارد. رطوبت و دما اثر بیشتری بر آتش‌سوزی در مناطق مرتفع نسبت به مناطق پایین‌تر دارند (١٤). در ارتفاعات بالا وقوع آتش‌سوزی کمتر و بارندگی بیشتر است. براساس نتایج، ارتفاعات پایین و متوسط به ترتیب بیشترین خطر احتمال آتش‌سوزی را در مطالعه حاضر داشتند. بیشتر سطح منطقه مورد مطالعه در ارتفاع پایین و سپس متوسط قراردارد، به همین دلیل در معرض خطر آتش‌سوزی قرار دارند که ناشی از فعالیت‌های شدید انسانی (۳۱ و ۱۳)، رطوبت خاک و پوشش گیاهی و شرایط آب و هوایی (۱) می‌باشد. بطور کلی با افزایش ارتفاع و کوهستانی شدن منطقه، قابلیت سکونت آن کاهش می‌یابد (۳۱). به همین دلیل در ارتفاعات کم و مناطق با دمای متوسط تراکم جمعیت بیشتر است (۱۳). این امر این ارتفاعات را مستعد آتش‌سوزی می‌کند. یکی دیگر از دلایل احتمال وقوع آتش در ارتفاعات پایین را می‌توان به دسترسی راحت عوامل انسانی اعم از توریست‌ها و طبیعت گردان، دامداران، روستاییان، کشاورزان، مرتع داران و شکارچیان به

[1] Erten et al

[2] Zumbrunnen et al
[3] Hong et al

حضور در این ارتفاعات دانست. مطالعات مختلف اثر عامل ارتفاع بر وقوع آتش‌سوزی را تایید کرده‌اند که از جمله می‌توان به مطالعه بازیار و همکاران (۲) در شهرستان بویر احمد اشاره کرد. نتایج مطالعه آنان نیز نشان داد که احتمال وقوع آتش-سوزی در ارتفاعات میانی بیشتر از سایر ارتفاع است. جانباز قبادی (۱۸) احتمال وقوع آتش در جنگل‌های گلستان را بررسی و به این نتیجه رسید که در ارتفاعات متوسط (۷۰۰ تا ۱۵۰۰ متر) احتمال وقوع خطر آتش‌سوزی در این جنگل‌ها بیشتر می‌باشد. جایسوال و همکاران[1] (۱۷) نیز در مطالعه خود بیشترین میزان احتمال وقوع آتش در ارتفاع کم (۱۴۰۰ تا ۱۸۰۰ متر) گزارش کردند.

بر اساس نتایج، کلاس خطر کم دارای بیشترین مساحت در هر دو مدل جنگل تصادفی (۶۰/۶۳ درصد) و ماشین بردار پشتیبان (۴۷/۹ درصد) بود. در مدل ماشین بردار پشتیبان دومین کلاس از نظر مساحت به خطر متوسط (۴۱/۶۹ درصد از سطح منطقه) تعلق داشت و کمترین مساحت مربوط به کلاس خطر خیلی زیاد بود که دارای مساحت ۲۵۸/ هکتار (معادل ۰/۲۹ درصد) بود. به عبارتی بر اساس نتایج مدل ماشین بردار پشتیبان کمتر از یک درصد از سطح منطقه مورد مطالعه دارای خطر زیاد وقوع آتش است. درحالیکه در مدل جنگل تصادفی دومین کلاس از نظر مساحت در کلاس خطر خیلی زیاد و کمترین مساحت در کلاس خطر زیاد (۶/۹۵) وجود داشت. دو مدل از نظر میزان مساحت در کلاس‌های مختلف خطر باهم اختلاف داشتند که این امر ناشی از دقت دو مدل و همچنین حساسیت دو مدل در تعیین مناطق حساس به وقوع آتش است (۹). در مطالعه‌ای که توسط مهدوی و همکاران[2] (۲۴) انجام گرفت ده درصد مناطق در کلاس خطر خیلی زیاد و ۴۰ درصد در کلاس خطر زیاد قرار گرفتند.

اعتبارسنجی نقشه‌های حساسیت به آتش با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشینی، نشان از دقت بالاتر و صحت بالاتر روش جنگل تصادفی نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان بود. مدل جنگل تصادفی بر اساس آماره‌های ضریب همبستگی، خطای جذر میانگین مربعات، ضریب تبیین، میانگین خطای مطلق و معیار اطلاعات بیزین به عنوان بهترین مدل، با دقت بیشتری به پیش‌بینی نقشه نقاط آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه بپردازد. اهمیت نسبی عوامل مورد استفاده در مدلی که بالاترین صحت پیش‌بینی نقشه وقوع آتش‌سوزی داشت نیز تعیین گردید. بر اساس جنگل تصادفی، پارامترهای انسانی فاصله از مناطق مسکونی، دمای سالانه و ارتفاع از سطح دریا تأثیرگذارترین پارامترها در امر آتش‌سوزی جنگل‌های شهرستان دره شهر بودند. نتایج مطالعه حاضر در خصوص دقت بالاتر مدل جنگل تصادفی نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان در تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی با نتایج برخی از مطالعات انجام شده مطابقت داشت. در حالیکه برخی از مطالعات نیز وجود دارند که مدل‌های بردار پشتیبان را برای تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی مناسب می‌دانند. همچنین از نظر میزان مطابقت وقوع آتش‌سوزی با نتایج الگوریتم‌ها مشخص شد که هر دو الگوریتم جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان توانستند منطقه را به خوبی از نظر احتمال وقوع آتش‌سوزی طبقه‌بندی نمایند. در این راستا، ساکر و الحاج[3] (۳۶) به پیش‌بینی وقوع آتش در جنگل‌های آمریکا بر اساس دو مدل ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصب مصنوعی پرداختند و نتیجه مطالعه آنان نشان داد که این دو مدل خطای کمتری در پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی داشتند. همچنین هولدن و همکاران[4] (۱۵) در مطالعه خود در جنگل‌های ملی جیلا در جنوب غربی آمریکا در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که الگوریتم جنگل تصادفی با صحت کلی ۷۹/۵ خطر وقوع آتش‌سوزی را به خوبی پیش‌بینی می‌کند. اسحاقی و شتایی جویباری (۷) نقشه خطر وقوع آتش در پارک ملی گلستان را با استفاده از الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و عصب مصنوعی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل جنگل تصادفی با صحت کلی ۷۵ درصد خطر وقوع آتش‌سوزی را بهتر از سایر الگوریتم‌ها پیش‌بینی

[1] Jaiswal et al
[2] Mahdavi et al
[3] Sakr and Elhal
[4] Holden et al

کند. همچنین از نظر میزان مطابقت وقوع آتش‌سوزی با نتایج الگوریتم‌ها مشخص شد که همه الگوریتم‌ها مورد استفاده در مطالعه آنان، منطقه را به خوبی از نظر احتمال وقوع آتش‌سوزی طبقه‌بندی کردند که با نتایج حاصل از مطالعه حاضر همخوانی دارد. این در حالیست که مطالعه ویسی و همکاران (۳۹) در مراتع با استفاده از دو مدل جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتبان نشان داد که مدل ماشین بردار پشتیبان با ضریب کارائی ۰/۸٦ و میزان خطای ۳/۰۵، از دقت بالاتری برخوردار بود. لئونبرگر و همکاران[1] (۲۲) برای تعیین نقشه حساسیت آتش-سوزی در جنگل‌های دائو-لافیس کشور پرتغال از دو روش ماشین یادگیری پشتیبان و جنگل تصادفی استفاده کردند و دو روش مذکور را با یک روش قطعی مقایسه نمودند. نتایج آنان نشان داد که مدل به دست آمده با روش جنگل تصادفی بسیار شبیه مدل های قطعی بود. بازیار و همکاران (۲) در مطالعه‌ای پهنه‌بندی و بررسی عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی جنگل در شهرستان بویراحمد با استفاده از مدل‌های تابع شواهد قطعی و ماشین بردار پشتیبان را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل ماشین بردار پشتیبان از دقت و صحت بالاتری برخوردار بود. سطح احتمالی در این مطالعه حاضر نشان‌دهنده این است که مدل‌های ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی قابلیت پیش‌بینی احتمال وقوع آتش‌سوزی را دارند ولی دقت روش جنگل تصادفی بیشتر است و برای تهیه نقشه‌های پیش-بینی آتش‌سوزی مناسب می‌باشد. این درحالیست که برخی مطالعات بهتر بودن مدل ماشین بردار پشتیبان را تایید کردند. بنابراین، می‌توان گفت که با وجود مطالعات انجام شده و تلاش‌های فراوان در خصوص پیش‌بینی مناطق حساس به وقوع آتش با استفاده از این دو مدل هنوز شناسایی و معرفی بهترین مدل، امکان پذیر نیست.

بطور کلی، میزان صحت مدل مورد استفاده به عوامل بسیاری وابسته است که می‌توان به ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه چون توپوگرافی، عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی، دقت و نوع لایه های متغیرهای مستقل جهت مدل‌سازی احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی، دقت نقاط و محدوده‌های ثبت شده آتش‌سوزی‌های به وقوع پیوسته در گذشته و نوع الگوریتم پیش‌بینی مورد استفاده از جمله عوامل تأثیر گذار بر صحت کلی طبقه‌بندی اشاره کرد. با توجه به افزایش میزان آتش‌سوزی جنگل‌ها و افزایش بحران در مناطق جنگلی، نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند به عنوان یک الگو برای مدیریت جنگل‌ها در منطقه مورد مطالعه و کمک به مدیران در جهت برنامه‌ریزی و اقدامات و فراهم کردن امکانات در مناطق پرخطر و مستعد آتش‌سوزی باشد.

نتیجه‌گیری

آتش از مهمترین مخاطرات طبیعی بوده و یکی از مهمترین عوامل تخریب منابع طبیعی از قبل جنگل‌ها در ایران بشمار می‌رود. از سویی دیگر، در ساهای اخر به دلیل افزایش خشکسالی، پتانسیل وقوع آتش در بسیاری از مناطق افزایش یافته است. به همین دلیل تعیین مناطق حساس به وقوع آتش می‌تواند نقش مهمی در کنترل وقوع و مدیریت پس از وقوع آتش داشته باشد. تحقیق حاضر با هدف مدل‌سازی و بررسی تاثیر عوامل محیطی مختلف بر وقوع آتش در شهرستان دره-شهر در استان ایلام انجام گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که در سال‌های اخیر، روند وقوع آتش در منطقه مورد مطالعه یک روند افزایشی بوده و از چند مورد در سال به بیش از ۵۰۰ مورد در سال افزایش یافته است که همراستا با افزایش وقوع خشکسالی و کاهش بارندگی در منطقه مورد مطالعه بود. نتایج حاصل از مدل‌سازی عوامل تاثیرگذار بر وقوع آتش نشان داد که فاصله از مناطق مسکونی، میانگین دمای سالانه و ارتفاع از سطح دریا به ترتیب مهمترین عوامل موثر در وقوع آتش در شهرستان دره شهر و جهت شیب و شاخص رطوبت خاک سطحی کم اهمیت‌ترین عوامل بودند. یافته‌های حاصل از این تحقیق بیانگر کارایی بالای روش‌های یادگیری ماشینی در مدل‌سازی مخاطرات طبیعی ازجمله آتش بود. بنابراین بکارگیری آنها توسط محققین و استفاده از نتایج آنها توسط مدیران و تصمیم‌گیران محلی و منطقه‌ای توصیه می‌شود. بر

[1] Leuenberger et al

اساس نتایج مقایسه دو روش مورد بررسی، مدل جنگل تصادفی دارای دقت بیشتر و خطای کمتری نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان بود. بررسی صحت نتایج مدل‌ها با استفاده از نقاط آتش‌سوزی که در بخش مدل‌سازی استفاده نشده بود نشان داد که مدل جنگل تصادفی کارای بالایی در پیش‌بینی وقوع آتش در این مناطق داشته در حالی که مدل ماشین بردار پشتیبان، دقت کمتری در این زمینه داشت. نتایج این تحقیق به روشنی نشان داد که استفاده از روش‌های مدل مختلف یادگیری ماشینی دارای قابلیت بالایی در تعیین مناطق حساس به وقوع مخاطرات طبیعی از قبیل آتش هستند و بکارگیری آنها توسط محققان و متخصصین می‌تواند اطلاعات ارشمندی را برای مدیران و تصمیم‌گیران محلی و منطقه در راستای مدیریت صحیح منابع طبیعی فراهم نماید.

References

1. Adab H, Kanniah K.D, Solaimani K. 2013. Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. Natural Hazards, 65: 1723- 1743. Doi: https://doi.org/10.1007/s11069-012-0450-8.
2. Bazyar M, Oladi Ghadikolaii J, Pourghasemi H.R, Serajyan Maralan M.R. 2020. Zoning and Investigation of Factors Affecting Forest Fire Using Evidential Belief Function Algorithm and Support Vector Machine in Boyer Ahmad City. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 17 (2): 197- 222. (In Persian).
3. Carnicer J, Vives-Ingla M, Blanquer L, Méndez-Camps X, Rosell C, Sabaté S, Gutiérrez E, Sauras T, Peñuelas J, Barbeta A. 2021. Forest resilience to global warming is strongly modulated by local-scale topographic, microclimatic and biotic conditions. Journal of Ecology, 109(9):3322-39.
4. Conciani DE, dos Santos LP, Silva TS, Durigan G, Alvarado ST. Human-climate interactions shape fire regimes in the Cerrado of São Paulo state, Brazil. Journal for Nature Conservation. 2021 Jun 1;61:126006.
5. Emami H, Shahriyari H. 2020. Quantifying environmental and human factors affecting occurance and spread of wildfires using RS and GIS methods protected area of Arasbaran. Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 28 (112): 35- 53. (In Persian).
6. Erten E, Kurgun V, Musaolu N. 2005. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and firerisk: A recent case study from Mt. Carmel (Israel). Forest Ecology and Management, 262: 1184– 1188.
7. Eshaghi M.A, Shetaeejoybari, Sh. 2017. Preparation map of Forest Fire Risk Using SVM, RF & MLP Algorithms (Case Study: Golestan National Park, Northeastern Iran). Wood & Forest Science and Technology, 23 (4): 133- 154. (In Persian).
8. Eskandari S, Jalilvand H. 2012. Climate change and its effect on the frequency and area of forest fires in eastern Mazandaran. Proceedings of the third international conference on non-climate and tree chronology in Caspian ecosystems, Sari, May 2012. (In Persian).
9. Eskandari S, Oladi Ghadikolaei J, Jalilvand H, Saradjian M.R. 2013. Fire risk modeling and prediction in district three of Neka-Zalemroud forest, using Geographical Information System. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21 (2): 203- 217. (In Persian).
10. Esmaeili Sharif M, Jalilvand H, Amoozad M, Jafari A, Sayed Mahale M. 2018. The effect of ecological factors on fire in Hyrcanian forests (Case study: forest areas of Neka, Mazandaran, Iran). Journal of Forest Research and Development, 4 (1): 113- 129. (In Persian).
11. Feizizadeh B, Omarzadeh D, Mohammadnejad V, Khallaghi H, Sharifi A, Karkarg BG. 2022. An integrated approach of artificial intelligence and geoinformation techniques applied to forest fire risk modeling in Gachsaran, Iran. Journal of Environmental Planning and Management, 8:1-23.
12. Gao B.C. 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote sensing of environment, 58(3): 257-266.
13. Guo F, Wang G.Su.Z, Liang H, Wang, W, Lin F.E.A. 2016. What drives forest fire in Fujian, China? Evidence from logistic regression and Random Forests. International Journal of Wildland Fire, 25 (5): 505- 519. DOI:10.1071/WF15121
14. Hernandez-Leal P, Arbelo M, Gonzalez-Calvo A. 2006. Fire risk assessment using satellite data. Advances in Space research, 37 (4): 741- 746. Doi: https://doi.org/10.1016/j.asr.2004.12.053
15. Holden Z, Morgan P, Evans J. 2009. A predictive model of burn severity based on 20-year satellite-inferred burn severity data in a large southwestern US wilderness area. For Ecol Manag, 258 (11): 2399– 2406. DOI:10.1016/j.foreco.2009.08.017
16. Hong H, Naghibi S.A, Moradi Dashtpagerdi 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

17. Jaiswal R, Mukherjee S, Kumaran R, Saxena R, 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 4 (1): 1- 10. Doi: https://doi.org/10.1016/S0303-2434(02)00006-5
18. Janbazghobadi Gh. 2019. Investigation of forest fire hazard areas in Golestan province based on fire risk system index (FRSI) using the technique (GIS). Journal of Spatial Analysis Environmental Hazarts, 6 (3): 89- 102. (In Persian).
19. Kaboodi A, Azizi Y, Rezaee S. 2017. Investigating the main causes of Zagros forest fires and providing solutions to manage these forests (case study: Ilam province). The third national congress of development and promotion of agricultural engineering and soil science of Iran: 1- 14. (In Persian).
20. Kargar M, Farzi H, Taheri A. 2018. Comparison of random forest models and artificial neural network in predicting the occurrence of pasture fires in Alborz province. The 7th National Conference on Pasture and Pasture Management of Iran: 1- 13. (In Persian).
21. Karimi A, Abdollahi S, Ostad-Ali-Askari K, Eslamian S, Singh VP. 2021. Predicting fire hazard areas using vegetation indexes, case study: Forests of Golestan Province, Iran. Journal of Geography and Cartography, 5;4(1):1-6.
22. Leuenberger M, Parente J, Tonini M, Pereira M.G, Kanevski M. 2018. Wildfire susceptibility mapping: Deterministic vs. stochastic approaches. Environmental Modelling & Software, 101 (2018): 194- 203. Doi: https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.12.019
23. Mafi-Gholami D, Jaafari A. 2020. Analysis of relationship between the meteorological and hydrological droughts and biomass change of mangrove forests in the Gwatr Port over a 34-year period. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 28 (2): 149- 162. (In Persian).
24. Mahdavi A, Rangin S, Mehdizadeh H, Mirzaei Zadeh V. 2018. Modelling the Trend of Zagros Forest Degradation using Logistic Regression (Case study: Chardavol Forest of Ilam province). Geography and Sustainability of Environment, 8 (27): 1- 13. (In Persian).
25. Mahdavi A. 2012. Forests and rangelands Wild fire risk zoning using GIS and AHP techniques. Caspian Journal of Environmental Sciences. 10 (1), 43- 52. (In Persian).
26. Meng Y, Deng Y, Shi P. 2015. Mapping forest wildfire risk of the world. World Atlas of Natural Disaster Risk, Springer, Berlin, Heidelberg: 261-275. DOI:10.1007/978-3-662-45430-5_14
27. MohaJane M, Costache R, Karimi F, Baopham Q, Essahlaoui A, Nguyen H, Laneve G, Oudija F. 2021. Application of remote sensing and machine Learning algorithms for forest fire mapping in a Mediterranean area. Ecological Indicators, 129: 1-17. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107869
28. Mohammadi F, Shabanian N, Pourhashemi M, Fatehi P. 2011. Risk zone mapping of forest fire using GIS and AHP in a part of Paveh forests. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 18 (4): 569- 586. (In Persian).
29. Mohammadpoor M, Dashti S. 2020. Fire Simulation and Fire Spreading Zoning in Forest Ecosystem Using FARSITE Model (Case Study: Ilam Province Forests). Journal of Geography and Environmental Hazards, 8 (32): 87- 101. (In Persian).
30. Monavvari M. 2004. Guide to environmental impact assessment of tourism and nature tourism projects. Farzaneh Book Publications, 160 pp. (In Persian).
31. Oliveira S, Oehler F, San-Miguel-Ayanz, J, Camia, A, Pereira J.M.C .2012. Modeling spatial patterns of fire occurrence in Mediterranean Europe using Multiple Regression and Random Forest. Forest Ecology and Management, 275: 117– 129. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.03.003
32. Omidi M, Mafi Gholami D, Mahmoodi B, Jafari A. 2020. Spatial modeling the probability of wildfire occurrence using frequency ratio and weight- of-evidence models. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 17 (2): 125- 144. (In Persian).
33. Organization of Agriculture- Jahad- Ilam. 2000. Physiographic report of DareShahr watershed, 150 pp. (In Persian).
34. Pham B.T, Jaafari A, Avand M, Al-Ansari N, Dinh Du T, Yen H.P.H, … Tuyen T.T, 2020. Performance evaluation of machine learning methods for forest fire modeling and prediction. Symmetry, 12 (6): 10- 12. Doi: https://doi.org/10.3390/sym12061022
35. Sadeghifar M, Beheshti Al Agha A, Pourreza M. 2017. Variability of Soil Nutrients and Aggregate Stability in Different Times after Fire in Zagros Forests (Case Study: Paveh Forests). Ecology of Iranian Forests, 4 (8): 19- 27. (In Persian).
36. Sakr G.E, Elhajj I.H. 2010. Artificial intelligence for forest fire prediction: A comparative study. Proceedings of the Sixth International Conference on Forest Fire Research, Coimbra, Portugal: 653-661. Doi: https://scholarhub.balamand.edu.lb/handle/uob/983
37. Tinya F, Kovács B, Bidló A, Dima B, Király I, Kutszegi G, Lakatos F, Mag Z, Márialigeti S, Nascimbene J, Samu F. 2021. Environmental drivers of forest biodiversity in temperate mixed Journal of Geosciences, 10: 1- 14. Doi: https://doi.org/10.1007/s12517-017-2905-4

forests–A multi-taxon approach. Science of the Total Environment, 15;795:148720.

38. Vasilakos C, Kalabokidis K, Hatzopoulos J, Matsinos I. 2009. Identifying wildland fire ignition factors through sensitivity anaiysis of a neural network. J Natural hazards, 50 (1): 125- 143. Doi: https://doi.org/10.1007/s11069-008-9326-3
39. Veysi R, Fattahi B, Khosrobeigi S. 2022. Predicting and preparing a risk map of rangeland fires using random forest algorithms and support vector machine (Case study: Arak rangelands). Journal of Rangeland, 16 (2): 413- 426. (In Persian).
40. Viljur ML, Abella SR, Adámek M, Alencar JB, Barber NA, Beudert B, Burkle LA, Cagnolo L, Campos BR, Chao A, Chergui B. 2022. The effect of natural disturbances on forest biodiversity: an ecological synthesis. Biological Reviews, 97(5):1930-47.
41. Xiao X, Boles S, Frolking S, Salas W, Moore Iii B, Li C, He L, Zhao R. 2002. Observation of flooding and rice transplanting of paddy rice fields at the site to landscape scales in China using VEGETATION sensor data. International Journal of Remote Sensing, 23(15): 3009-3022.
42. Xie Y, Peng M. 2018. Forest fire forecasting using ensemble learning approaches. Neural Computing and Applications, 2018: 1- 10. https://doi.org/10.1007/s00521-018-3515-0
43. Yousefi A, Jalilvand H. 2010. Investigation of fire situation on forest and range areas of Mazandaran Province (Natural Resources Administration) from 1994 to 2007. The Second International Conference on Climate Change and Dendrochronology in Khazar Ecosystems, Sari. (In Persian).
44. Zhao Z, Li W, Ciais P, Santoro M, Cartus O, Peng S, Yin Y, Yue C, Yang H, Yu L, Zhu L. 2021. Fire enhances forest degradation within forest edge zones in Africa. Nature Geoscience, 14(7):479-83.
45. Zumbrunnen T, Pezzattic G.B, Menéndezd P, Bugmann H, Bürgia M, Conederac M. 2011. Weather and human impacts on forest fires: 100 years of fire history in two climatic regions of Switzerland. Forest Ecology and Management, 261: 2188- 2199. https://doi.org/10.1016/j. foreco.2010.10.009

RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 15/ Issue 1) Spring 2024
Indexed by ISC, SID, Magiran, Noormags, Civilica, Google Scholar
journal homepage : www.girs.iaubushehr.ac.ir

Original paper

Comparison of the effectiveness of machine learning methods in modeling fire-prone areas (Ilam Province, Darehshahr City)

Maryam Mohammadian, Maryam Morovati, Reza Omidipour

Received: 2022-10-30 / Accepted: 2022-12-21 / Available online: 2024-06-26

Abstract

Fire is one of the most important natural hazards that has a great impact on the structure and dynamics of natural ecosystems. Due to Iran's location in the arid and semi-arid belt of the world, a large number of human-made and natural fires occur in different regions of the country every year. Therefore, determining sensitive areas to fire occurrence plays an important role in fire management in natural resources. To do so, the current study aims to identify fire-prone areas in Dere Shahr city in Ilam province using two machine learning of random forest (RF) and support vector machine (SVM) and 2024 fire occurrence points. Environmental factors were prepared in categories including topographical factors (altitude, slope direction, slope anlgle), climatic factors (rainfall, relative humidity, wind, temperature), biological factors (vegetation and soil moisture) and man-made factors (distance from residential areas, distance from road, distance from agricultural land, distance from river). The model's accuracy was evaluated using the area under the curve (AUC) in the ROC curve and cross-validation statistics. Examining the AUC index showed that both models had good accuracy, although the RF model (AUC = 0.97) had higher accuracy than the support vector machine model (AUC = 0.86). According to the results of RF model, about 60% are in the low-risk class and about 20% are in the high fire risk class. Investigating the contribution of the factors affecting the occurrence of fire showed that man-made factors (distance from residential areas) and climatic factors (temperature) played a more important role in areas with a history of fire. Therefore, increasing public culture and reducing dangerous behaviors in nature can reduce the occurrence of fire in this area and contribute greatly to the protection of the environment and preservation of natural resources.

Maryam Mohammadian[1], Maryam Morovati[2](✉), Reza Omidipour [3]

1. MSc. Student of assessment and land use planning, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Iran

3. Associate Prof., Department of Environmental Sciences & Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Iran

4. Assisstant Prof., Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran

DOI: 10.30495/girs.2022.697864

e-mail: mymorovati@ardakan.ac.ir

Extended abstract

Introduction: Fire is one of the most important natural hazards that has a great impact on the structure and dynamics of natural ecosystems, including forests and rangelands. On the other hand, with climate change and parallel to global warming, the trend of fire occurrence has increased in many regions of the world. Also, areas that have no history or potential for fire occurrence (fire-free areas) are also known as areas prone to fire occurrence. Due to Iran's location in the dry and semi-arid belt of the world, a large number of human-made and natural fires occur in different regions of the country every year.

Due to the limitations in resources and gards of the natural resources and environment administration, information on fire-prone areas can play a significant

role in fire management and control. For this reason, this research aims to to determine the fire-prone areas in Dere-Shahr city in Ilam province useing machine learning methods.

Materials and methods: In the current research, modeling of fire-prone areas was done using two machine learning methods: Random Forest and Support Vector Machine. Also, by aggregating the fire occurance points information collected from the Natural Resources and Watershed Management and Environmental Protection Organizations, as well as the fire points of MODIS satellite images. Finally, 2024 fire occurrence points were determined and used. In total, 1418 points were used to train and build the models and 606 points were used to evaluate the accuracy of the models.

Also, in both groups of modeling and evaluation points (train and test data), 1196 and 604 points were selected as areas with no history of fire, respectively, and information on the layers used by them was extracted for the modeling stage. Environmental factors are divided into four main groups, including topographical factors (elevation, slope direction, slope angle), climatic factors (rainfall, relative humidity, wind, temperature), biological factors (vegetation cover and soil moisture) and man-made factors (distance from residential areas, distance from the road, distance from agricultural lands, distance from river) were prepared.

All environmental factors were prepared as a raster map with a pixel size of 30 meters by 30 meters in the environment of ArcGIS 10.8 software. Finally, information on environmental factors was extracted by the set of points used for modeling and accuracy assessment (train and test) in the environment of ArcGIS 10.8 software. Modeling of fire porn areas was done using R software and "randomForest" and "e1071" packages. Cross-validation was done using root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), correlation coefficient (r) and determination coefficient (R^2) and its significance level in SPSS software. The accuracy of the used models was evaluated using the area under the curve (AUC) in the ROC curve in R software in the "PRROC" statistical package.

Results: The annual survey of fire occurence (2002 to 2022) showed that there is a significant increasing trend in the number of fire occurrences in the Dere-Shahr city and the number of fire occurrences has increased from less than 30 cases to more than 500 cases a year. According to the results, the highest number of recorded fires was observed in 2016, which is equal to 548 fires, while 2008 with one fire and 2004 and 2006 with only two fires had the lowest number of fires in a year.Examining the relative importance of the layers used in modeling showed that, the layers of distance from residential areas, average annual temperature and elevation were the most important factors in the occurrence of fire, and layers of slope direction and surface soil moisture index werethe least important factors in the areas with a history of fire in Dere-Shahr city.

The results of random forest modeling showed that 60.63% of the studied area was considered to be among the low-risk areas for fire occurrence, while the areas with high risk of fire occurrence were more than 90,000 ha (20%) of studied area. According to the support vector machine model, only about half of the area was in the low fire risk class, while less than one percent (258.59 ha) of the area was high fire risk. Examining the AUC index showed that both models had good accuracy, although the random forest model (AUC = 0.97) had higher accuracy than the support vector machine model (AUC = 0.86).

The evaluation of the accuracy of the two investigated models using cross-validation statistics also showed that the random forest model has a higher correlation coefficient (r = 0.875) and determination coefficient (R^2 = 0.765) than the support vector machine model (r = 0.623 and R^2 = 0.388) had more accuracy. Also, the examination of RMS and MAE showed that the random forest model (RMSE = 0.243 and MAE = 0.125) has more valid results than the random forest model (RMSE = 0.392 and MAE = 0.309).

Discussion and conclusion: The findings of this research incicated that in the last two decades, the trend of fire occurrence in Dere-Shahr city has increased from a few cases per year to more than 500 cases per year, which is in line with the increasing trend in occurrence of drought and decrease of rainfall.

The results obtained from this research showed that human factors were the most important factors influencing the occurrence of fire in the study area, therefore, for proper fire management and fire prevention, special attention should be paid to human factors. Also, due to the second rank of climatic factors among the factors influencing the occurrence of fire, more attention and protection is necessary during peak heat and in more sensitive areas.

Therefore, increasing public culture and reducing dangerous behaviors in nature can reduce the occurrence of fire in this area and contribute greatly to the protection of the environment and preservation of

natural resources. The findings of this research revealed the high efficiency of machine learning methods in modeling natural hazards, including fire. Therefore, it is recommended to use them by researchers and use their results by managers and local and regional decision makers.

Keywords: ecosystem management, fire modeling, random forest, support vector machine, Ilam province.

Please cite this article as: Mohammadian M, Morovati M, Omidipour R. Comparison of the effectiveness of machine learning methods in modeling fire-prone areas (Ilam Province, Darehshahr City). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 15(1): 48-73.