

ارائه‌ی مدلی برای خطر آتش‌سوزی در بوستان ملی گلستان

حسن فرامرزی - دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس مازندران.
سید محسن حسینی* - استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس مازندران؛ hosseini@modares.ac.ir
اسماعیل قجر - استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان.
مهدی غلامعلی فرد - استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس مازندران.
تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۶ | تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۲

چکیده

تحقیق حاضر به شناسایی مناطق حساس به آتش‌سوزی در بوستان ملی گلستان، یکی از مهم‌ترین ذخایر زیست‌کره‌ی جهان، با استفاده از تحلیل تشخیصی (ممیزی) و شبکه‌ی استنتاج عصبی فازی تطبیقی می‌پردازد. بدین منظور ابتدا لایه‌های رقومی و داده‌های مورد نیاز از پایگاه‌های اطلاعاتی، مراکز مرتبط و برداشت‌های میدانی در منطقه مورد مطالعه تهیه شد. پس از آماده‌سازی داده‌ها و در نظر گرفتن آتش‌سوزی‌های رخ داده، با استفاده از تحلیل تشخیصی، مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع آتش‌سوزی مشخص گردید. میانگین وزنی این عوامل محاسبه شد و با استفاده از الگوریتم K-Fold در شش مرحله با توابع عضویت دوزنقه‌ای، گوسی، مثلثی و زنگوله‌ای، مدل‌های عصبی-فازی خطر آتش‌سوزی ساخته شد و با استفاده از نتایج نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی در ۵ طبقه‌ی خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه گردید. ارزیابی صحت نیز با استفاده از مشخصه‌ی عامل نسبی صورت پذیرفت. نتایج حاصل از تحلیل تشخیصی، حضور دامدار، حضور شکارچی، فاصله از جاده‌ی ترانزیتی، میانگین دما، فاصله از چشمه‌ها، بارش در فصل رویش و شیب را مهم‌ترین عوامل آتش‌سوزی نشان داد. اعتبارسنجی تابع عضویت دوزنقه‌ای با مقدار $R^2 = 0.564$ و $RMSE = 0.283$ با بهترین نتایج در بین توابع به دست آمد. نتایج حاصل از ارزیابی صحت مقدار $ROC = 0.875$ را برای مدل مذکور نشان داد. نتایج همچنین نشانگر آن بود که از ۹۱۸۹۵ هکتار مساحت منطقه، ۹۷۲ هکتار دارای احتمال خطر خیلی زیاد و ۱۶۸۷۹ هکتار دارای احتمال خطر زیاد بوده است. با توجه به صحت بالای نقشه‌ی به دست آمده می‌توان از آن برای مهار آتش‌سوزی‌های منطقه استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، الگوریتم K-Fold، ANFIS، بوستان ملی گلستان، مدیریت بحران.

Fire Risk Modeling using Discriminant Analysis and Adaptive Network Based Fuzzy Inference System in the Golestan National Park

Hassan Faramarzi¹, Seyed Mohsen Hosseini^{2*}, Ismail Ghajar³, Mahdi Gholamalifard⁴

Abstract

Nowadays, fires are the most common damaging factor of natural ecosystems after urban and agricultural human activities. The aim of this study is to identify the susceptible areas to fires using Discriminant Analysis and Adaptive Network Based Fuzzy Inference System in the Golestan National Park as one of the most important biosphere reserves. The required data and digital layers were prepared from associated sites, organizations and field surveys in the area of the study. After preparing the data by assuming the occurred fire, the most significant effective factors were identified using Discriminate Analysis. These factors were calculated as a weighted average and models were implemented by using K-Fold Algorithm with trapezoidal, Gaussian, triangular and bell membership functions in six stages. The best model was used for simulation. The fire hazard map was prepared with five classifications, very low, low, medium, high and very high. An accuracy assessment was performed using the relative operating characteristic. The results of the Discriminant Analysis showed the important factors, including presence of hunters and shepherds, distance from roads, average temperature, distance from the springs, rainfall during the growing season and slope. Validation trapezoidal membership functions showed best results with value of $R^2 = 0.534$ and $RMSE = 0.283$. The results of the accuracy assessment obtained with value of $ROC = 0.875$. While the very High-risk area was 972 hectares, and High-risk area was 16879 hectares of 91895 hectares area. According to accuracy of the proposed map, it can be used to control the region fires in Golestan national park.

Key words: Fire, K-Fold, Adaptive Network based Fuzzy Inference System, Golestan National Park, Crisis Management.

1 M.Sc., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.

2 Professor, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran. hosseini@modares.ac.ir

3 Assist. Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh Sara, Guilan, Iran.

4 Assist. Prof., Dept. of Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.

۷۹

شماره پنجم
بهار و تابستان
۱۳۹۳

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



ارائه‌ی مدلی برای خطر آتش‌سوزی در بوستان ملی
گلستان

مقدمه

آتش‌سوزی پرداختند. عوامل مورد استفاده در این مطالعه شامل چهار معیار اصلی توپوگرافی، بیولوژیکی، اقلیمی و انسان‌ساخت است که نقشه‌ی خطر برای هر چهار معیار به دست آمد [۱۲]. الماز و سونمز در مطالعه‌ای (۲۰۱۱)، با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN)، با روش پس انتشار خطا (BP) و با استفاده از روش‌های رتبه‌بندی بیز (NBC) و تبدیل فازی (FS) و با توجه به عواملی چون دما، رطوبت، سرعت باد، بارش باران و فشار به مدل‌سازی مخاطره‌ی آتش در جنگل‌های آنتالیای ترکیه پرداختند و مناطق پرخطر آتش و همچنین روزهایی که خطر آتش بالا بود را مشخص کردند و صحت آن را مورد ارزیابی قرار دادند و نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی جنگل‌های منطقه را در ۵ طبقه ارائه کردند [۱۳]. تیان و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای در چین با در نظر گرفتن منابع ماهواره‌ای^۵ (NOAA) و عواملی چون پوشش گیاهی، ارتفاع از سطح دریا، تراکم جمعیت، فاصله از جاده‌ها و شهرک‌ها و ویژگی‌های مناطق سوخته‌شده، با تعیین نقش هر یک از عوامل در وقوع آتش‌سوزی، به پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی پرداختند. نتایج نشان داد که تأثیر این عوامل با توجه به شرایط منطقه متفاوت است. در این پژوهش نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی با توجه به هر یک از این عوامل نیز تهیه گردیده است [۱۴].

بوستان ملی گلستان بزرگ‌ترین و مهم‌ترین زیستگاه طبیعی حیات وحش در کشور است و به دلیل ارزش‌های بی‌شمار طبیعی، وجود جنگل‌های سرسبز و بکر و گونه‌های متنوع گیاهی و جانوری با نامدارترین بوستان‌های ملی مشابه خود در دنیا برابری می‌کند [۱۵]. با وجود این آتش‌سوزی‌های وسیعی هر ساله این بوستان را تهدید می‌کند. آتش‌سوزی‌های دره زغالی به مساحت ۴۰۰ هکتار در سال ۱۳۸۵، چشمه سردار به مساحت ۸۵۰ هکتار در سال ۱۳۸۹ و شارلق به مساحت ۱۷۰۰ هکتار در شهریور سال ۱۳۹۲ از جمله این آتش‌سوزی‌ها است. مطالعه‌ی حاضر به مدل‌سازی مخاطره و شناسایی مناطق حساس به آتش‌سوزی بر اساس عوامل تأثیرگذار بر آن در بوستان ملی گلستان، با استفاده از تحلیل تشخیصی و شبکه‌ی استنتاج عصبی - فازی تطبیقی (ANFIS)^۶، می‌پردازد و چگونگی تأثیرگذاری هر یک از این عوامل را در شکل‌گیری آتش‌سوزی این منطقه مشخص می‌کند.

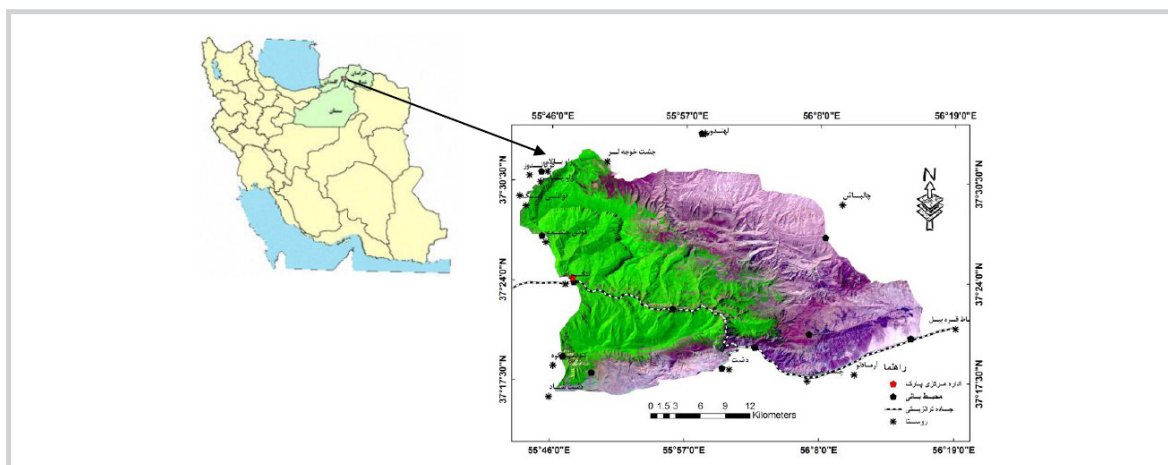
امروزه آتش‌سوزی در خشکی‌ها، پس از فعالیت‌های شهری و کشاورزی انسان، فراگیرترین عامل مخرب اکوسیستم‌های طبیعی به شمار می‌رود. آتش‌سوزی یکی از مهم‌ترین عوامل تغییر در وضعیت جنگل‌ها و مراتع محسوب می‌شود [۱] که در پی تغییر اقلیم و گرمای جهانی، با تغییر در الگوی بارندگی و آب و هوا، موجب خسارت‌های شدیدی در عرصه‌های منابع طبیعی شده است [۲]. در واقع آتش یکی از عوامل مهم ایجاد اختلال در ساختار و پویایی جنگل در شرایط طبیعی است که موجب تولید مقدار زیادی چوب مرده در اثر نابودی درختان می‌شود [۳]. در یک دوره‌ی کوتاه پس از آتش‌سوزی تعداد حشرات به طور ناگهانی کاهش می‌یابد [۴] و بسیاری از حیوانات وحشی که در جنگل زندگی می‌کنند تحت تأثیر قرار می‌گیرند و پوشش گیاهی، لاشبرگ، بانک بذر و خاک منطقه نیز به شدت دچار تغییر می‌شود [۵، ۶، ۷]. هر ساله در کشورها هزینه‌های قابل توجهی برای مهار آتش‌سوزی صورت می‌گیرد [۸] و مدیریت اکوسیستم‌ها در پی روشی برای کاهش اثرهای آتش‌سوزی بر جنگل‌ها و حفظ چشم‌اندازها هستند [۹]. برای مدیریت آتش در جنگل فهم رفتار آتش‌سوزی و عوامل به وجود آورنده‌ی آن در محیط مستعد و عوامل مؤثر در رفتار آن ضروری هستند [۱۰] و می‌توانند از زوایای مختلف بررسی شوند. اخیراً تحقیقات زیادی برای توضیح علت آتش‌سوزی با توجه به انواع متغیرهای فیزیکی و اقتصادی و اجتماعی صورت گرفته است. در مطالعه‌ای که زرعی‌کار و همکاران (۱۳۹۲) در حوزه‌های جنگلی استان گیلان انجام دادند به تهیه‌ی نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی با در نظر گرفتن عوامل توپوگرافی، اقلیم، پوشش گیاهی و عوامل اقتصادی-اجتماعی با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و نظام اطلاعات جغرافیایی پرداختند که در نهایت با توجه به وزن عوامل نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی، با ۶۶ درصد همپوشانی با آتش‌سوزی‌های رخ داده، به دست آمد [۱۱]. در مطالعه‌ای که اسکندری و همکاران (۱۳۹۲) در جنگل‌های بخش سه‌نکا-ظالمروود انجام دادند، با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، به پیش‌بینی خطر

۸۰

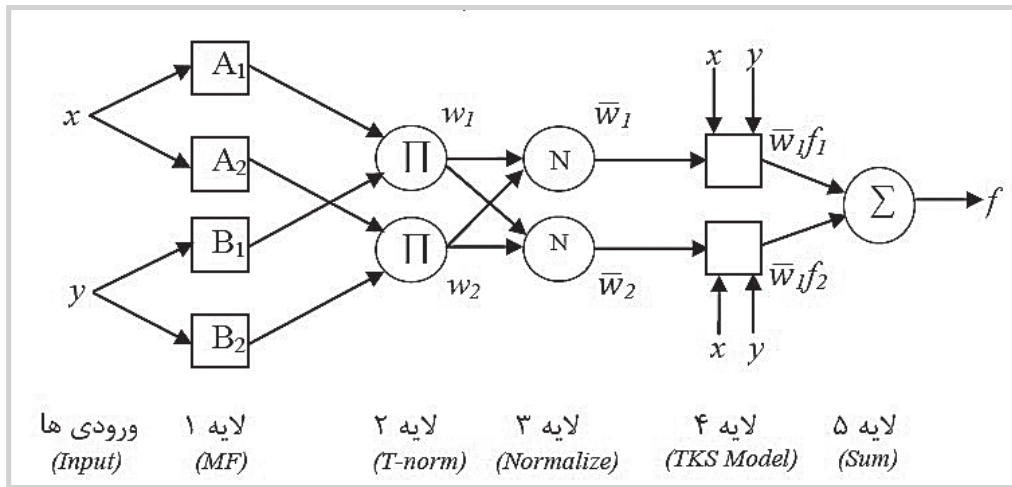
شماره پنجم
بهار و تابستان
۱۳۹۳

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

بهرار
پژوهشی



تصویر ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه



تصویر ۲: طرح کلی ANFIS از نوع Takagisugeno با دو ورودی x و y و یک خروجی z

منطقه‌ی مورد مطالعه

بوستان ملی گلستان در شمال شرقی ایران و شرق گلستان، شمال غربی استان خراسان و شمال استان سمنان قرار گرفته است. این منطقه در حد فاصل ۳۷°۱۷'۴۳" تا ۳۵°۳۱'۳۵" عرض شمالی و ۵۵°۴۳'۲۵" تا ۴۸°۱۷'۵۶" طول شرقی قرار گرفته است. مساحت این بوستان ۹۱۸۹۵ هکتار و محیط آن ۱۹۸ کیلومتر است. مدیریت بوستان به عهده‌ی اداره‌ی کل محیط‌زیست استان گلستان است و شامل یک اداره‌ی مرکزی، پنج سر محیط‌بانی به نام‌های تنگراه، تنگه گل، دشت، میرزابابیلو و لهندور و هفت محیط‌بانی به نام‌های شارلق، آلمه، سولگرد، قوش چشمه، زاو، کندسکوه و دشت شاد است (تصویر ۱).

روش تحقیق و ابزارها

برای مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی در این پژوهش ابتدا پایگاه داده‌ی مکانی با تهیه‌ی لایه‌های رقومی و داده‌های مورد نیاز از پایگاه‌های اطلاعاتی و مراکز مربوط و نیز از طریق آماربرداری در منطقه‌ی مورد مطالعه ایجاد شد (جدول ۱).

پس از تشکیل پایگاه داده‌ی مکانی عوامل تأثیرگذار بر آتش‌سوزی شامل فاصله از جاده‌ی اصلی، فاصله از مکان‌های

حضور گردشگر، دامدار و شکارچی، فاصله از روستاها، شیب، جهت، ارتفاع از سطح دریا، فاصله از چشمه‌ها، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) ^۷، کاربری اراضی، میانگین بارش باران، میانگین رطوبت، میانگین دما، میانگین فشار، بارش در فصل رویش و باد، با استفاده از نرم‌افزارهای Arc GIS و IDRISI، برای ورود به مدل آماده‌سازی شدند. سپس با روش تحلیل تشخیصی (DA) ^۸ در نرم‌افزار SPSS مهم‌ترین عوامل مشخص گردیدند. در واقع تحلیل تشخیصی در صورتی که تعداد نمونه‌ها زیاد باشد، با روشی بهینه، به طبقه‌بندی مهم‌ترین عوامل می‌پردازد [۱۶]. پس از آن عوامل انتخابی طبقه‌بندی شدند و با توجه به نقشه‌ی واقعیت آتش‌سوزی و تعداد پیکسل‌های سوخته‌شده و نسوخته و درصد آن‌ها نسبت به کل پیکسل‌ها، نسبت فراوانی و میانگین وزنی هر طبقه از طریق روابط ۱ و ۲ به دست آمد [۱۷].

رابطه‌ی ۱:

$$\text{نسبت فراوانی} = \frac{\text{درصد پیکسل‌های سوخته‌شده}}{\text{درصد پیکسل‌های نسوخته}}$$

رابطه‌ی ۲:

$$\text{میانگین وزنی} = \frac{\text{نسبت فراوانی طبقه}}{\text{مکزیمم نسبت فراوانی}}$$

جدول ۱: چگونگی دستیابی به لایه‌ها و داده‌ها برای تشکیل پایگاه داده‌ی مکانی

ردیف	عنوان	منبع تهیه	مقیاس
۱	توپوگرافی	سازمان حفاظت محیط‌زیست	۱/۵۰۰۰
۲	راه‌ها	سازمان حفاظت محیط‌زیست	۱/۵۰۰۰
۳	چشمه‌ها	سازمان حفاظت محیط‌زیست	برداستی با GPS در عرصه
۴	روستاها	سازمان حفاظت محیط‌زیست	۱/۵۰۰۰
۵	دامدار و شکارچی	محل دستگیری	برداستی با GPS در عرصه
۶	گردشگر	سازمان نقشه‌برداری کشور	برداستی با GPS در عرصه
۷	داده‌های اقلیمی	سازمان هواشناسی کشور	درون‌یابی بر مبنای عکس فاصله
۸	NDVI	وب سایت [http://glovis.usgs.gov]	ماهواره MODIS
۹	کاربری	سازمان نقشه‌برداری کشور	۱/۲۵۰۰۰
۱۰	نقشه‌ی واقعیت آتش‌سوزی	آماربرداری در منطقه	برداستی با GPS در عرصه

داده‌ها پس از آماده‌سازی با استفاده از الگوریتم K-Fold به سه مجموعه تقسیم شدند: ۱. مجموعه‌ی آموزشی که برای تنظیم وزن و اتصالات در شبکه‌ی عصبی، توابع عضویت و فاکتورهای مدل استفاده می‌شود؛ ۲. مجموعه‌ی اعتبارسنجی که عملکرد مدل را در طول فرایند آموزش پایش می‌کند و موجب فرایند آموزش می‌شود تا از وراآموزی جلوگیری کند و ۳. مجموعه‌ی آزمون که برای ارزیابی عملکرد و قدرت تعمیم‌دهی ANFIS آموزش‌یافته استفاده می‌شود [۱۸]. K-Fold الگوریتمی مشخص برای اعتبارسنجی و آزمون مدل است که برای تفکیک داده‌های اولیه به K زیرمجموعه در روش ANFIS به کار برده می‌شود. در این الگوریتم در هر یک از K زیرمجموعه‌ها، یک مجموعه‌ی مشخص با عنوان اعتبارسنجی برای آزمایش مدل و $k=1$ زیرمجموعه برای آموزش جدا می‌شود. این فرایند به تعداد K بار برای به دست آوردن یک مدل با درجه اعتبار مناسب تکرار می‌گردد [۱۹].

میانگین وزنی هر یک از فاکتورها برای هر پیکسل سوخته‌شده و نسوخته داده‌های ورودی را تشکیل دادند. ۱۵ درصد داده‌ها را داده‌های آزمون و ۱۵ درصد دیگر را داده‌های اعتبارسنجی و ۷۰ درصد باقی‌مانده را داده‌های آموزش تشکیل دادند.

پس از نرمال‌سازی فاکتورها در نرم‌افزار Matlab ۲۰۱۲ از شبکه‌ی استنتاج عصبی فازی تطبیقی، که به وسیله‌ی یک شبکه‌ی پنج لایه و یک الگوریتم ترکیبی^۹ بر اساس ساختار داده‌های ورودی و خروجی عمل می‌کند، استفاده شد [۲۰]. بخش نتیجه‌ی این شبکه‌ی استنتاج می‌تواند یک رابطه‌ی خطی یا عدد ثابت باشد. فاکتورهای مدل با روش حداقل مربعات خطا به دست می‌آیند [۲۱]. تصویر ۲ طرح کلی ANFIS از نوع Takagi Sugeno را با دو ورودی x و y و یک خروجی z، دو تابع عضویت برای هر دو ورودی و دو قاعده نشان می‌دهد؛ این نمونه‌ای ساده از یک شبکه‌ی استنتاج فازی است که با تعبیر شبکه‌ی استنتاج فازی سوگونو مرتبه یک^{۱۰} شناخته می‌شود [۲۲].

برای فازی کردن اطلاعات ورودی از توابع گوسی، زنگوله‌ای، دوزنقه‌ای و مثلثی استفاده شد. برای ارزیابی قدرت پیش‌بینی، عملکرد و همچنین درستی نتایج، مقدار ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای هر سه دسته داده، با چهار تابع عضویت، محاسبه گردید [۲۳] و بهترین مدل با مقدار ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطای آزمون به دست آمد. ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا معیارهایی برای اندازه‌گیری تفاوت بین مقادیر پیش‌بینی‌شده با استفاده از یک مدل و مقادیر واقعی مشاهداتی هستند. تفاوت بین R^2 و RMSE از این نکته ناشی می‌شود که R^2 معیار نسبی برای سنجش مطابقت داده‌ها (مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده) است؛ در حالی که RMSE، به مثابه‌ی یک معیار کامل، میزان مطابقت داده‌ها با یکدیگر را نشان می‌دهد. مقادیر کمتر RMSE و بیشتر R^2 تطبیق بهتر داده‌ها با یکدیگر را نشان می‌دهد و مقدار ضریب تبیین بین ۰ تا ۱ است و برای محاسبه‌ی آن‌ها از روابط ۳ و ۴ استفاده می‌شود:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o}_i)(p_i - \bar{p}_i)}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o}_i)^2 (p_i - \bar{p}_i)^2} \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - p_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

در این روابط o_i داده‌های مشاهداتی، p_i داده‌های شبیه‌سازی شده، \bar{p} متوسط شبیه‌سازی شده به وسیله‌ی مدل و n تعداد داده‌هاست [۲۴].

نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی با توجه به نتایج بهترین مدل و با استانداردسازی آن، با استفاده از رابطه‌ی ۵، در نرم‌افزار Arc GIS 9/3 به دست آمد.

$$X_{standard} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

در این رابطه X متغیر ورودی، X_{min} کوچک‌ترین متغیر و X_{max} بزرگ‌ترین متغیر hsj است.

صحت نقشه‌ی به دست آمده، با استفاده از مشخصه‌ی عامل نسبی (ROC)، مورد ارزیابی قرار گرفت. روش ROC یک عامل نسبی است که برای ارزیابی صحت یک مدل‌سازی به وسیله‌ی مقایسه‌ی یک تصویر پیوسته با نتایج بولین، که نشان می‌دهد چه جاهایی دقیقاً اتفاق افتاده است، انجام می‌گیرد و درست‌نمایی آن را در رتبه مشخص می‌کند [۲۵]. در واقع ROC سطح زیر منحنی است که با رابطه‌ی ۶ محاسبه می‌گردد:

رابطه‌ی ۶:

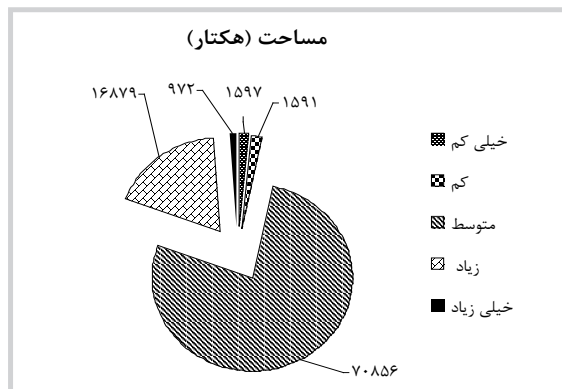
$$AreaUnderCurve = \sum_{i=1}^n [x_{i+1} + 1 - x_i] \times [y_i + (y_{i+1} - y_i) / 2]$$

در این رابطه X_i درصد پیکسل‌های نادرست برای سناریوی i و Y_i میزان درصد پیکسل‌های درست برای سناریوی i است و n تعداد سناریوهاست [۲۶].

در نهایت نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر با ۵ طبقه تهیه گردید و مساحت هر طبقه محاسبه شد.

تحلیل داده‌ها

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل تشخیصی (تحلیل ممیزی) عوامل حضور دامدار، فاصله از جاده‌ی ترانزیتی، حضور شکارچی، شیب، میانگین دما، فاصله از چشمه‌ها و میانگین بارش در فصل رویش گیاهی در تشکیل آتش‌سوزی تأثیرگذار شناخته



تصویر ۴: مساحت طبقات خطر آتش‌سوزی

جدول ۲: وزن‌های حاصل از ارتباط بین عوامل بهینه و آتش‌سوزی

عامل	طبقه	درصد کل پیکسل‌ها	درصد پیکسل‌های عدم حریق	درصد پیکسل‌های دچار حریق	نسبت فراوانی	وزن‌های نرمال شده
میانگین دمای سالیانه (درجه سانتی‌گراد)	۱۲-۱۳	۱۳/۵۹	۱۴	۲/۱	۰/۱۵	۰/۰۵۳۷
	۱۳-۱۴	۳۳/۱۵	۳۲/۱	۶۱	۱/۹	۰/۰۶۸۱
	۱۴-۱۵	۲۷/۷۰	۲۸/۳	۸/۷	۰/۳۰۷	۰/۰۱۱
	۱۵-۱۶	۱۷/۹۰	۱۸/۲	۷/۸	۰/۴۲۹	۰/۰۱۵۴
	>۱۶	۷/۷۳	۷/۳	۲۰/۴	۲/۷۹	۱
بارش در فصل رویش (میلی‌متر)	۸۲-۱۲۵	۵/۸۷	۶/۰۲	۱/۲	۰/۱۹۹	۰/۰۱۱۴
	۱۲۵-۱۷۰	۹/۶۲	۹/۹۱	۰/۹	۰/۰۹۱	۰/۰۰۵۲
	۱۷۰-۲۱۵	۲۰/۰۶	۲۰/۱۲	۱۷/۷	۰/۸۸۰	۰/۰۰۵۰۱
	۲۱۵-۲۶۰	۴۷/۵۳	۴۷/۳۷	۵۱/۱	۱/۰۷۸	۰/۰۰۶۱۳
	>۲۶۰	۱۷/۰۱	۱۶/۵۸	۲۹/۱	۱/۷۵۷	۱
فاصله از چشمه (متر)	۰-۵۰۰	۲/۱۳	۲	۴/۵	۲/۲۰۵	۱
	>۵۰۰	۹۷/۹۴	۹۸	۹۵/۵	۰/۹۷۵	۰/۰۴۴۲
فاصله از محدوده‌ی حضور دامدار (متر)	۰-۴۰۰	۲۶/۷	۲۵/۴	۶۳	۲/۴۸	۱
	۴۰۰-۸۰۰	۳۰/۱	۳۰/۱	۲۷/۳	۰/۹۰۶	۰/۰۳۶۵
	۸۰۰-۱۶۰۰	۲۲/۴	۲۲/۹	۵/۷	۰/۲۴۹	۰/۰۱
	>۱۶۰۰	۲۰/۹	۲۱/۵	۳/۶	۰/۱۶۷	۰/۰۰۶۷
فاصله از محدوده‌ی حضور شکارچی (متر)	۰-۲۰۰۰	۲۰/۶۸	۲۱/۲	۴/۸	۰/۲۲۶	۰/۰۰۹۹
	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۳۹/۲۰	۳۹/۷	۲۴	۰/۶۰۴	۰/۰۲۶۵
	۴۰۰۰-۶۰۰۰	۲۸/۹۲	۲۷/۷	۶۳/۳	۲/۲۸	۱
	۶۰۰۰-۸۰۰۰	۱۰/۳۴	۱۰/۴	۷/۵	۰/۷۲۱	۰/۰۳۱۶
فاصله از جاده‌ی اصلی (متر)	>۸۰۰۰	۰/۹۲	۰/۹	۰	۰	۰
	۰-۵۰۰	۹/۷۹	۹/۳	۲۴/۳	۲/۶۱	۱
شیب (درجه)	>۵۰۰	۹۰/۲۱	۹۰/۷	۸۳/۵	۰/۸۳۵	۰/۰۳۲
	۰-۲۰	۴۱/۰۶	۴۰/۶۶	۵۱/۶۵	۱/۲۷	۱
	۲۰-۴۰	۳۶/۰۸	۳۶/۱۳	۳۳/۳۳	۰/۹۲	۰/۰۷۳
	۴۰-۶۰	۱۵/۱۵	۱۵/۲۸	۱۰/۸۱	۰/۷۱	۰/۰۵۶
	>۶۰	۷/۸۲	۷/۹۳	۴/۲۰	۰/۵۳	۰/۰۴۲

در این عامل بیشترین وزن مربوط به طبقه‌ی اول و کمترین وزن نیز مربوط به آخرین طبقه است.

در عامل مربوط به حضور شکارچی، که به پنج طبقه با فاصله‌های ۲۰۰۰ متری تقسیم شده است، بیشترین وزن مربوط به طبقه‌ی سوم، فاصله‌ی ۶۰۰۰-۴۰۰۰ متری، و کمترین تأثیر نیز مربوط به آخرین طبقه یعنی فاصله‌ی بیشتر از ۸۰۰۰ متری است که در واقع هیچ آتش‌سوزی‌ای در این طبقه رخ نداده است.

در عامل فاصله از جاده‌ی اصلی که به دو طبقه‌ی فاصله‌ی ۵۰۰ متری و بیشتر تقسیم شده است، با توجه به آتش‌سوزی اتفاق افتاده در جاده‌ی اصلی، بیشترین وزن مربوط به طبقه‌ی اول است؛ به عبارت دیگر با وجود اینکه تنها ۹/۸ درصد از مساحت منطقه در فواصل ۵۰۰ متری جاده است، ۲۴/۳ درصد آتش‌سوزی در این فواصل اتفاق افتاده‌اند.

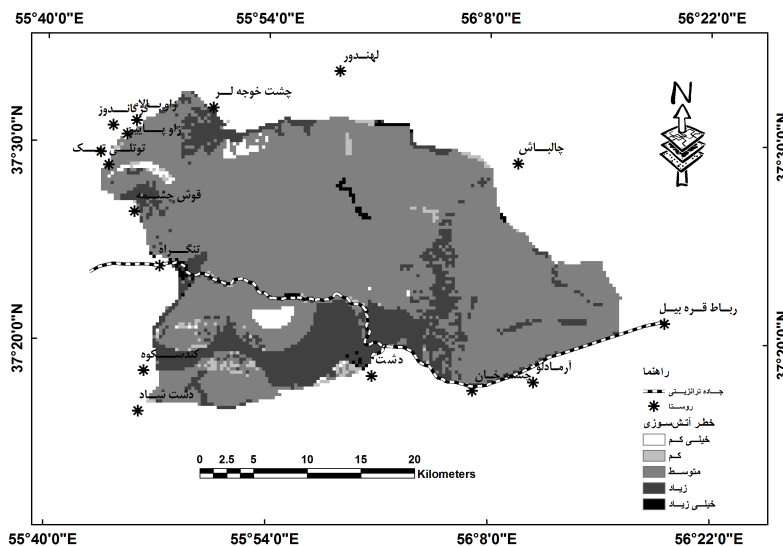
شدند؛ بنابراین نتایج حاصل از وزن‌های ارتباط این عوامل با آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده به دست آمد (جدول ۲).

در عامل میانگین دمای سالیانه، که به ۵ طبقه با فواصل ۱ درجه‌ی سانتی‌گراد تقسیم شده است، ۷/۷۳ درصد از مساحت منطقه دارای دمای بالای ۱۶ درجه‌ی سانتی‌گراد است و بیشترین درصد آتش‌سوزی‌ها نیز با ۲۰/۴ درصد در این مناطق روی داده است. بیشترین وزن نیز به این طبقه اختصاص یافته است. همچنین طبقه‌ی دوم نیز، با ۳۳/۱۵ درصد مساحت منطقه، ۶۱ درصد از آتش‌سوزی‌ها را در خود جای داده و از لحاظ وزنی در رده‌ی دوم قرار گرفته است. در طبقات چهارم، سوم و اول به ترتیب وزن کاهش یافته است.

عامل مربوط به حضور دامدار به چهار طبقه با فاصله‌های ۴۰۰۰ متر تقسیم شده است. در این قسمت ۶۳ درصد از آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در فواصل ۴۰۰۰ متری حضور دامداران است. در واقع

جدول ۳. بررسی دقت مدل‌ها در توابع عضویت مختلف با استفاده از R^2 و RMSE [نویسندگان]

آزمون		صحت سنجی		آموزش		توابع عضویت
R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	
۰/۳۱۴	۰/۴۵۹	۰/۳۵۱	۰/۴۸۷	۰/۶۷۴	۰/۲۶۶	مثلی
۰/۴۷۵	۰/۳۱۷	۰/۵۳۴	۰/۲۸۳	۰/۶۲۵	۰/۲۳۸	دوزنقه‌ای
۰/۲۱۸	۰/۳۶۲	۰/۲۱۶	۰/۴۶۹	۰/۶۴۳	۰/۲۹۳	زنگوله‌ای
۰/۱۸۶	۰/۶۱۲	۰/۳۴۸	۰/۴۰۲	۰/۵۸۳	۰/۳۰۳	گوسی



تصویر ۳: نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی با ۵ طبقه خطر حاصل از روش ANFIS

نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی با مقدار $ROC = 0/875$ به دست آمد که به ۵ طبقه خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، خیلی کم و کم تقسیم شد و مساحت هر طبقه محاسبه گردید (تصویر ۳ و ۴).

بحث

هدف پژوهش حاضر شناسایی عوامل تأثیرگذار بر آتش‌سوزی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه و پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی است. نتایج حاصل از تحلیل تشخیصی عواملی را که نقش مهم‌تری در وقوع آتش‌سوزی‌های منطقه دارند، مشخص می‌کند. در واقع این روش از جمله روش‌های تفکیکی است که، با روش گام به گام و بهره‌گیری برخی متغیرهای مستقل، متغیرهای مهم‌تر را، که موجب تفکیک متغیر پیوسته می‌شود، تشخیص می‌دهد [۲۷]. بنابراین می‌توان گفت عوامل شناسایی شده نقش مهمی در رخداد یا رخ ندادن آتش‌سوزی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه داشته است. همچنین با استفاده از این روش و تفکیک متغیرهای مهم‌تر تعداد قوانین^{۱۱} کاهش یافته است و امکان استفاده از روش شبکه‌ی استنتاج عصبی فازی تطبیقی ممکن شده است.

در پژوهش حاضر نقش هر پیکسل بر اساس ویژگی و جایگاه آن در منطقه‌ی مورد مطالعه و آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در منطقه، بر اساس وزن به دست آمده، مشخص می‌گردد. نتایج به دست آمده از میانگین وزنی طبقات عوامل، گسترش و وقوع آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در منطقه‌ی مورد مطالعه در

عامل شیب در چهار طبقه‌ی ۲۰ درجه طبقه‌بندی شد. بیشترین وزن مربوط به طبقه‌ی اول و کمترین وزن مربوط به طبقه‌ی آخر است. ۵۲/۵ درصد آتش‌سوزی‌ها در طبقه‌ی اول، که ۴۱/۹ درصد منطقه را پوشش می‌دهد، رخ داده است. با افزایش طبقات شیب درصد آتش‌سوزی‌ها نیز کاهش یافته است.

عامل فاصله از چشمه‌ها به دو طبقه با فواصل ۵۰۰ متر و بیشتر از ۵۰۰ متر تقسیم شده است. در هر دو طبقه بیشترین وزن مربوط به طبقه‌ی اول یعنی فواصل ۵۰۰ متری است؛ به طوری که در این عامل ۲/۱۳ درصد از منطقه در فاصله‌ی ۵۰۰ متری قرار دارد، ولی ۴/۵ درصد آتش‌سوزی‌ها در این فاصله اتفاق افتاده است.

عامل میانگین بارش در شش ماه فصل رویشی به پنج طبقه با فاصله‌ی ۴۵ میلی‌لیتر بارش تقسیم شده است. در این عامل طبقه‌ی پنجم، با ۱۷/۰۱ درصد از مساحت منطقه و ۲۹/۱ درصد از آتش‌سوزی‌های رخ داده، بیشترین وزن را به خود اختصاص داد. طبقه‌ی چهارم نیز، با مساحت ۴۷/۵۳ درصد و ۵۱/۱ درصد از آتش‌سوزی‌های منطقه، در اولویت دوم قرار گرفت. سپس وزن با کاهش بارش تا طبقه‌ی دوم کاهش یافت و طبقه‌ی اول وزن بیشتری را نسبت به طبقه‌ی دوم به خود اختصاص داد.

نتایج حاصل از بررسی دقت مدل‌ها در توابع عضویت مختلف با توجه به مقدار R^2 و RMSE داده‌های آزمون و اعتبارسنجی به دست آمد (جدول ۳).

این طبقات را نشان می‌دهد (جدول ۲). همان‌طور که از نتایج پیداست، در عوامل فاصله از جاده‌ی ترانزیتی، حضور دامدار و فاصله از چشمه‌ها، وزن‌ها بیشتر به طبقات نزدیک‌تر تعلق دارد که به‌خوبی بیانگر تأثیر این عوامل در آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در منطقه‌ی مورد مطالعه است. در واقع جاده‌ی ترانزیتی با فراهم آوردن تردد زیاد گردشگران و مسافران موجب افزایش احتمال خطر در منطقه‌ی مورد مطالعه شده است. دامداران نیز ممکن است در اثر سهل‌انگاری یا برای تهیه‌ی علوفه‌ی بیشتر موجب ایجاد آتش‌سوزی شده باشند. چشمه‌ها نیز از آنجا که احتمال حضور دامداران، شکارچیان و گردشگران را در اطراف خود بالا می‌برند، می‌توانند احتمال خطر آتش‌سوزی را افزایش دهند. نتایج مطالعات برخی از پژوهشگران تأثیر این عوامل را بر خطر آتش‌سوزی نشان می‌دهد [۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱].

در نتایج به دست آمده از میانگین وزنی حضور شکارچی، بیشترین تأثیر شکارچیان در فاصله‌ی ۴۰۰۰-۶۰۰۰ متری محل دستگیری آن‌ها است که علت را می‌توان فاصله‌ی بین محل دستگیری تا محل تأثیرگذاری و یا وابستگی آن به عوامل دیگر دانست. در واقع شکارچیان نیز ممکن است بر اثر سهل‌انگاری یا برای جلب محیط‌بانان موجب ایجاد آتش‌سوزی در منطقه‌ی مورد مطالعه شده باشند. باکیرسی (۲۰۱۰) نیز در مطالعات خود به نقش شکارچیان در ایجاد آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی اشاره داشته است [۳۲].

با توجه به افزایش دما در منطقه‌ی مورد مطالعه خطر آتش‌سوزی نیز افزایش پیدا کرده است، زیرا طبقات دارای دمای بیشتر وزن بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند؛ بنابراین تأثیر این عامل نیز در آتش‌سوزی‌های رخ داده در منطقه روشن می‌شود. تغییر اقلیم با گرمایش جهانی و افزایش دما افزایش احتمال خطر آتش‌سوزی را در پی دارد. در واقع افزایش دما موجب کاهش رطوبت مواد سوختنی می‌شود که این عامل احتمال خطر آتش‌سوزی را بالا می‌برد. نتایج پژوهش سببانا (۲۰۱۱) و هوفمان و دیگران (۲۰۰۳) نیز نشانگر تأثیر این عامل بر وقوع آتش‌سوزی است [۳۳، ۳۴].

نتایج حاصل از میانگین وزنی عوامل بارش سالیانه و بارش در فصل رویش می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که خشکسالی بعد از یک دوره رویش گیاهی می‌تواند شرایط خطرناکی را برای وقوع آتش‌سوزی فراهم کند؛ مطالعات محمدی و همکاران (۱۳۸۸) نیز گویای این امر است [۳۵].

همچنین نتایج حاصل از میانگین وزنی به دست آمده از طبقات شیب نشان می‌دهد که افزایش شیب تأثیر منفی در آتش‌سوزی منطقه داشته است. جایسول و همکاران (۲۰۰۲) و آلمدیا (۱۹۹۴) نیز در مطالعات خود افزایش شیب را در افزایش آتش‌سوزی مهم دانسته‌اند [۳۶، ۳۷] که علت تفاوت را می‌توان حالت کوهستانی بوستان دانست؛ به طوری که بوستان‌های مناطق پرشیب تحت تأثیر کمتر عوامل انسانی قرار می‌گیرند.

در ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف به کمک نمایه‌های RMSE و R² مدلی که قدرت تعمیم‌دهی بیشتری داشت، برای پهنه‌بندی نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی مورد استفاده قرار گرفته است.

در واقع در این روش‌ها برتری مدل‌ها از طریق مقایسه بین مقادیر مشاهده و پیش‌بینی شده تعیین می‌شود. پارامترهای تابع عضویت در ANFIS بیانگر رفتار سیستم است که از الگوی داده‌های ورودی به دست می‌آید. ANFIS الگوی داده‌های ورودی را یاد می‌گیرد و سپس پارامترهای جواب شرط را با توجه به خطای داده شده تنظیم می‌کند [۲۲]؛ بنابراین می‌توان گفت الگوی داده‌های ورودی به تابع عضویت دوزنقه‌ای نزدیک است که موجب عملکرد بهتر این عوامل در این توابع شده است.

نتایج حاصل از ارزیابی صحت بالای نقشه‌ی به دست آمده را نشان می‌دهد که در واقع تناسب روش شبکه‌ی استنتاج عصبی فازی تطبیقی در مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی است. مطالعه‌ی بهارگوی (۲۰۱۲) در کرایستچرچ نیوزلند نیز، که با در نظر گرفتن عوامل محیط‌زیستی و اقلیمی و با روش ANFIS به پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی پرداخته است، این روش را به مثابه‌ی روشی مناسب معرفی کرد [۳۸]. نتایج حاصل از مطالعه‌ی حاضر، با شناسایی مناطق پرخطر با صحت بالا، می‌تواند در مدیریت بحران و مهار خطر آتش‌سوزی در منطقه‌ی مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

بوستان ملی گلستان یکی از قدیمی‌ترین ذخیره‌گاه‌های زیست‌کره و از بیوم سیستم‌های مختلط کوهستانی است و به مثابه‌ی تنها نمونه‌ی معروف از بیوم جنگل‌های بارانی معتدل در سطح جهان مطرح است؛ با وجود این هر ساله آتش‌سوزی‌های بزرگی این بوستان را تهدید می‌کند. مطالعه‌ی حاضر به شناسایی عوامل مهم در وقوع آتش‌سوزی‌های منطقه و مناطق پرخطر پرداخته است که، با وجود صحت بالای نقشه‌ی خطر تهیه شده، نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند برای مدیریت آتش‌سوزی‌های بوستان مورد استفاده قرار گیرد.

با وجود نقش جاده در تغییرات ساختاری منطقه [۳۹]، تصادفات جاده‌ای و از بین رفتن تعداد بسیاری از حیات وحش بر اثر این تصادفات و ایجاد خطر آتش‌سوزی در منطقه، با توجه به مطالعه‌ی حاضر، ضرورت انتقال این جاده را به مسیر کلاله‌ی آشخانه بیشتر نمایان می‌سازد. برای کاهش تأثیر دامداران در منطقه‌ی مورد مطالعه، تبدیل دامداری سنتی به نیمه مکانیزه و صنعتی با توجه به دادن تسهیلات بانکی به این افراد پیشنهاد می‌شود و برای کاهش تأثیر افراد شکارچی، برخورد جدی دستگاه قضایی و افزایش جرائم برای این افراد توصیه می‌گردد. با توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر، خطر آتش‌سوزی در مناطق اطراف روستاهای دشت، چشت خوجه لر، قوش چشمه، تنگراه و کندسکوه بسیار بالاست؛ بنابراین می‌توان راهکارهای مدیریتی از جمله طراحی مخازن آب در مناطق صعب‌العبور برای اطفای حریق در هنگام آتش‌سوزی، آموزش روستاییان، ایجاد آتش‌برها و آتش‌بندها و پوشش مناطق پرخطر با شبکه‌های حسگر بی‌سیم را برای کشف هر چه سریع‌تر آتش‌سوزی در این مناطق در نظر گرفت.

۱۱. زرعی‌کار، آزاده؛ کاظمی زمانی، بهاره؛ قربانی، ساره؛ عاشق معلا، مریم؛ جعفری، حمیدرضا (۱۳۹۲). تهیهی نقشه‌ی پراکنندگی فضایی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (مطالعه‌ی موردی: سه حوزه‌ی جنگلی در استان گیلان). فصلنامه‌ی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۲۱، شماره‌ی ۲، ۲۱۸ - ۲۳۰.

۱۲. اسکندری، سعیده؛ اولادی قادی‌کلایی، جعفر؛ جلیوند، حمید؛ سراجیان، محمدرضا (۱۳۹۲). مدل‌سازی و پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های بخش سه نکا - ظالمروود با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه‌ی علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۲۱، شماره‌ی ۲، ۲۰۳ - ۲۱۷.

13. Elmas C., Sonmez Y. (2011). A data fusion framework with novel hybrid algorithm for multi-agent Decision Support System for Forest Fire. *Expert Systems with Applications*, Volume 38, Issue 8, 9225 - 9236.
14. Tian, X., Zhao, F., Shu, L., Wang, M. (2013). Distribution characteristics and the influence factors of forest fires in China. *Forest Ecology and Management*, 310, 460 - 467.
۱۵. امیرنژاد، حمید (۱۳۸۶). برآورد ارزش حفاظتی پارک ملی گلستان با استفاده از تمایل پرداخت افراد. ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۸-۹ آبان.
16. Lachenbruch, P.A., Mickey, M.R. (1968). Estimation of error rates in discriminant analysis. *Technometrics*, 10, 1 - 10.
۱۷. قجر، اسماعیل (۱۳۹۱). طراحی شبکه‌ی نزدیک به بهینه‌ی جاده‌ی جنگلی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و تئوری فازی. رساله‌ی دکتری جنگلداری دانشگاه تربیت مدرس تهران.
18. Stone, M. (1974). Cross-validated choice and assessment of statistical predictions. *Journal of Royal Statistical Society*, 36, 111 - 147.
19. Elabd S, Schlenkhoff A. (2009). ANFIS and BP Neural Network for travel time prediction, World Academy of Science. *Engineering and Technology*, 57, 116 - 121.
20. Sugeno, M, Kang, G.T. (1988). Structure identification of fuzzy model. *Fuzzy Sets and Systems*, 28, 15 - 33.
21. Farokhnia, A, Morid, S, Byun, H.R. (2010). Application of global SST and SLP data for drought forecasting on Tehran plain using data mining and ANFIS techniques. *Theoretical and Applied Climatology*, 104, 71-81.
22. Ghajar, E, Najafi, A, Torabi, A, Khamchian, M, Boston K. (2012). An Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System for Rock Share Estimation in Forest Road Construction, Croatia. *Journal of Forest Engineering*, 34, 313 - 328.
23. Shahin, M.A, Jaksa, M.B, Maier, H.R. (2008). State of the art of artificial neural networks in geotechnical engineering. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 8, 1 - 26.
۲۴. رضایی، عبدالمجید؛ میرمحمدی میبدی، علی محمد (۱۳۸۹). آمار و احتمالات (کاربرد در کشاورزی). چاپ چهارم، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
25. Rossiter, D.G., Loza, A. (2010). Analyzing land cover

1. Artificial Neural Network (ANN)
2. Back Propagation (BP)
3. Naive Bays Classifier (NBC)
4. Fuzzy Switching (FS)
5. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
6. Adaptive Network based Fuzzy Inference Systems (ANFIS)
7. Normalized Difference Vegetation Index
8. Discriminant Analysis
9. Hybrid algorithm
10. First-order Sugeno
11. Rule

منابع

1. Penttila, R., Junninen, K., Punttila, P., Siitonen, J. (2013). Effects of forest restoration by fire on polypores depend strongly on time since disturbance - A case study from Finland based on a 23-year monitoring period. *Forest Ecology and Management*, 310, 508 - 516.
2. Collins, R., Neufville, R., Claro, J., Olivera, T., Pacheco, A. (2013). Forest fire management to avoid unintended consequences: A case study of Portugal using system dynamics. *Journal of Environmental Management*, 130, 1-9.
3. Shorohova, E., Kuuluvainen, T., Kangur, A., Jogiste, K. (2009). Natural structures, disturbance regimes and successional dynamics in the Eurasian boreal forests: a review with special reference to Russian studies. *Annals of Forest Science*, 66 (2), 201.
4. Swengel, A.B. (2001). A literature review of insect responses to fire, compared to other conservation managements of open habitat Biodivers. *Conserv.* 10, 1141 - 1169.
5. Kim, J.W., Jung, C.E. (2008). Abundance of soil microarthropods associated with forest fire severity in Samcheok, Korea. *Journal of Asia Pacific Entomology Entomol*, 11, 77 - 81.
6. Johnson, E.A., Fryer, G.I. (1996). Why Engelmann spruce does not have a persistent seed bank. *Journal of Forest Research*, 26, 872 - 87.
7. Henig-Sever, N., Poliakov, D., Broza, M. (2001). A novel method for estimation of wild fire intensity based on ash PH and soil microarthropod community. *Pedobiologia*, 45, 98 - 106.
8. Oliveira, T. (2005). The Portuguese National Plan for Prevention and Protection of Forest against Fires: the First Step. *International Forest Fire News*, Lisbon, Portugal, 30 - 34.
9. Bergeron, Y., Harvey, B. (1997). Basing silviculture on natural ecosystem dynamics: an approach applied to the southern boreal mixed wood forest of Quebec. *Forest Ecology and Management*, 92, 235 - 242.
10. Erten, E., Kurgun, V., ve Musaoglu, N. (2004). Forest Fire Risk Zone Mapping from Satellite Imagery and GIS: A Case Study. *XX.th, Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)*, July, Istanbul, Turkey, Proceedings, 12 - 25.

change with logistic regression in R, Technical Report ITC, Enschede.

26. Gil Pontius R, Schneider L. (2001). Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed. *Massachusetts, USA, Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 239 - 248.

۲۷. کلانتری خلیل (۱۳۹۱). پردازش و تحلیل داده‌ها در تحقیقات اجتماعی و اقتصادی. نشر فرهنگ صبا، ج ۵.

28. Vilar, L, Woolford, D.G, Martell, D.L, Pilar Martin, M. (2010). A model for predicting human-caused wildfire occurrence in the region of Madrid, Spain. *International Journal of Wildland Fire*, 19 (3), 325 - 337.

29. Agee, J.K., Bahro, B., Finney, M.A., Omi, P.N., Sapsis, D.B., van Wagtendonk, J.W., Skinner, C.N., Weatherspoon, C.P., (2000). The use of shaded fuelbreaks in landscape fire management. *Forest Ecology and Management*, 127, 55-66.

30. Kushla J., Ripple W. (1997). The role of terrain in a fire mosaic of a temperate coniferous forest. *Forest Ecology and Management*, 95, 97- 107.

31. Camp, A.E., Oliver, C.D., Hessburg, P.F., Everett, R.L. (1997). Predicting late-successional fire refugia from physiography and topography. *Forest Ecology and Management*, 95, 63-77.

32. Bakirci M. (2010). Negative Impacts of Forest Fires on Ecological Balance and Environmental Revija za geografijo. *Journal for Geography*, 5-1, 15-32.

33. Sibanda, C. (2011). *Modelling forest fire behaviour and carbon emission in the Ludikhola Watershed, Gorkha District, Nepal*. MSc Thesis, University of Twente.

34. Hoffmann, W. A., Orthen, B., Nascimento, P. K. V. D. (2003). Comparative fire ecology of tropical savanna and forest trees. *Functional Ecology*, 17(6), 720-726.

۳۵. محمدی، فریده؛ شعبانیان، نقی؛ پورهایمی، مهدی؛ فاتحی، پرویز (۱۳۸۸). تهیه نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی با استفاده از GIS و AHP در بخشی از جنگل‌های پاوه. فصلنامه‌ی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۸ (۴)، ۵۶۹-۵۸۶.

36. Jaiswal R.K., Mukherjee S., Raju K.D., 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.

37. Almedia, R. (1994). Forest fire risk area and definition of the prevention priority planting using gis. *Fifth European Conference and Exhibition on Geographic Information Systems, EGIS 941994*, 1700-1706.

38. Bhargavi Koppula, L. (2012). *Wildfire hazard prediction: A Fuzzy Model for Sensor Embedded Intelligence*. A thesis submitted to AUCKLAND University of Technology in fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engineering (ME).

۳۹. زبردست، لعبت؛ یآوری، احمدرضا؛ صالحی، اسماعیل؛ مخدوم، مجید (۱۳۹۰). استفاده از متریک مؤثر شبکه در تحلیل از هم گسیختگی پوشش‌های جنگلی محدودی اثر جاده در پارک ملی گلستان. محیط‌شناسی، سال سی و هفتم، شماره‌ی ۵۸، ۱۵ - ۲۰.