

تهیه نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی جنگل بر اساس عوامل فیزیوگرافی، انسانی و اقلیمی با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی در سروآباد استان کردستان

فروزان محمدی سرواله^{۱*}، مهتاب پیر باوقار^۲ و نقی شعبانیان^۳

*۱- نویسنده مسئول، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

پست الکترونیک: frouzan.mohammadi@yahoo.com

۲- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

۳- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۸/۱۵

چکیده

آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس با توجه به نقش حفاظتی این جنگل‌ها در جلوگیری از فرسایش آب و خاک، یک تهدید زیست‌محیطی جدی برای این جنگل‌ها محسوب می‌شود. هدف از انجام این تحقیق، بررسی میزان تأثیر متغیرهای مؤثر در ایجاد آتش‌سوزی و تهیه نقشه‌ی حساسیت مناطق مختلف به آتش‌سوزی می‌باشد. به همین منظور متغیرهای مؤثر در رخداد آتش‌سوزی شامل ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جاده، فاصله از اراضی زراعی، دما و بارندگی برای تعیین میزان تأثیر هر متغیر در ایجاد آتش‌سوزی بررسی شدند. به همین دلیل نمونه‌برداری از مناطق جنگلی که آتش‌سوزی اتفاق افتاده بود و مناطق جنگلی که آتش‌سوزی در دوره‌ی مورد بررسی اتفاق نیفتاده بود، انجام شد. برای این تحقیق از روش آماری MLP^۱، استفاده شد تا میزان اهمیت و تأثیر عوامل مختلف به آتش‌سوزی مشخص شود. نقشه‌ی احتمال خطر مناطق مختلف به آتش‌سوزی توسط روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی تهیه شد. نتایج نشان داد که متغیرهای شیب و فاصله از جاده به ترتیب با تأثیر ۱۰۰ درصدی و ۹۵ درصدی، مهمترین عوامل تأثیرگذار در ایجاد آتش‌سوزی هستند و متغیر جهت با تأثیر ۵۵ درصد کمترین ارتباط را با ایجاد آتش‌سوزی در منطقه داشته است. اعتبارسنجی مدل به وسیله‌ی ضرایب کاپا انجام شد. نتایج نشان داد که نقشه‌ی حساسیت تهیه شده دارای ۹۰ درصد صحت است و ۹۸ درصد سلول‌های شبکه به درستی طبقه‌بندی شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، شبکه‌ی عصبی مصنوعی، عامل انسانی، عامل فیزیوگرافی، اقلیم، سروآباد

مقدمه

امروزه آتش‌سوزی به‌عنوان یک بحران، از مهمترین بحث‌ها در سراسر جهان می‌باشد، افزایش و گسترش آتش‌سوزی طی دهه‌های اخیر در جنگل‌های سراسر جهان مشاهده شده است (Garcia et al., 2007). آتش‌سوزی یک تهدید بالقوه همراه با اثرات محیطی، اکولوژیکی و فیزیکی است که به‌عنوان یک عامل جدایی‌ناپذیر محیطی روی جوامع گیاهی، و یک عامل آشفستگی زمانی و مکانی بر روی اکوسیستم‌ها

اثر می‌گذارد (Somashekar et al., 2009). از نظر بوم-شناسی هم یکی از عوامل اساسی در تعیین تنوع و پراکندگی گونه‌های گیاهی می‌باشد (Bajocco et al., 2009). در بعضی از اکوسیستم‌ها آتش‌سوزی یک وظیفه‌ی مهم در حفظ اکوسیستم‌ها دارد و در مواردی به‌عنوان یک پدیده‌ی طبیعی و قسمتی از چرخه‌ی نیتروژن محسوب شده

1. Multi- Layer Perceptron

برای تهیه نقشه خطر استفاده و نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی با ۵ طبقه از دامنه‌ی خطر آتش‌سوزی از خیلی زیاد تا بسیار کم تهیه شد. ۹۰ درصد مناطق آتش‌سوزی شده در طبقات با خطر زیاد قرار داشتند.

رحیمی و اسماعیلی (۱۳۸۹) پتانسیل آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع شهرستان مریوان را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS^۱ برآورد و ارتباط بین شاخص پوشش گیاهی نرمال شده و کیفیت و شدت آتش‌سوزی‌ها را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در فصل بهار هر چه میزان بارندگی‌ها بیشتر باشد، میزان پوشش کف جنگل بیشتر رشد می‌کند و احتمال رخداد آتش‌سوزی در فصل تابستان با خشک‌شدن پوشش کف جنگل بیشتر می‌شود.

اسکندری و همکاران (۱۳۹۲) از ۴ معیار اصلی شامل معیارهای توپوگرافی، بیولوژیکی، اقلیمی و انسان ساخت و ۱۷ زیر معیار مربوط به معیارها جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی جنگل‌های بخش سه نکا- ظالمروود با استفاده از روش AHP^۲ بهره بردند. نتایج نشان داد که نقش معیار فیزیوگرافی (شیب و ارتفاع از سطح دریا) و بیولوژیکی در رخداد آتش‌سوزی بسیار مهمتر از سایر عوامل است.

گراوند و همکاران (۱۳۹۲) در جنگل‌های استان لرستان الگوی پراکنش مکانی نقاط آتش‌سوزی و خطر وقوع آتش‌سوزی را مطالعه کردند. به همین منظور فاکتورهای فیزیوگرافی را مورد بررسی قرار داده و برای تعیین الگوی پراکنش نقاط آتش‌سوزی از سه روش کوادرات، نزدیکترین همسایه، K رایلی و برای تعیین نقاط پرخطر از روش کرنل استفاده نمودند. نتایج نشان داد که طبقه‌ی ارتفاعی ۱۳۰۰-۱۷۰۰ متر، شیب ۲۰-۱۰ درصد و جهت‌های جنوب و جنوب غربی بیشترین فراوانی آتش‌سوزی را داشتند.

Zeng و همکاران در سال ۲۰۰۳ با استفاده از روش فازی خطر آتش‌سوزی جنگل را در پارک سیدنی استرالیا برآورد کردند. روش فازی یک روش سریع برای برآورد خطر است. به این منظور شاخص توپوگرافی (شیب، جهت، ارتفاع)، شاخص ارزش‌های حفاظتی (گونه‌های در معرض خطر، فاصله تا زیستگاه گونه‌های در معرض خطر)، منابع

و به سلامت و شادابی اکوسیستم کمک می‌کند؛ به طوری که جلوگیری از برخی آتش‌سوزی‌ها مداخله در طبیعت است (Jaiswal *et al.*, 2002). از طرفی دیگر آتش‌سوزی‌های بزرگ از مهمترین منابع تخریب اراضی هستند که فرایندهای تخریب و بیابان‌زایی را سبب می‌شوند و نقشی بحرانی در تغییر منظر دارند (Hernandez *et al.*, 2006). همچنین آتش‌سوزی دارای اثرات بلندمدت و کوتاه‌مدت بر شرایط اکوسیستم و عملکرد آن می‌باشد (Banazountas *et al.*, 2006).

براساس آمارهای منتشر شده از طرف سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور سالانه صدها مورد آتش‌سوزی در مناطق مختلف ایران رخ می‌دهد. منابع طبیعی ایران شامل جنگل، مرتع، بیابان، بیشه‌زار و درختچه‌زار است که در کل ۸۳/۴۸ درصد مساحت کشور را تشکیل می‌دهد. بیشتر آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در کشور در عرصه‌های جنگلی و مرتعی است. براساس آمار FAO سالانه حدود ۰/۰۶ درصد از جنگل‌های ایران در اثر آتش‌سوزی از بین می‌رود (سرکارگر اردکانی و همکاران، ۱۳۸۸). در سال ۱۳۸۴ استان کرمانشاه و فارس از لحاظ سطح و استان کردستان به لحاظ تعداد آتش‌سوزی‌ها بحرانی‌ترین نقاط کشور بوده‌اند (بی‌نام، ۱۳۸۴). در استان کردستان، شهرستان‌های مریوان و سروآباد در چند سال اخیر بارها دچار آتش‌سوزی شده‌اند و سطح زیادی از جنگل‌های این شهرستان‌ها آتش‌سوزی‌های بزرگ را تجربه کرده‌اند (رحیمی و اسماعیلی، ۱۳۸۹).

استفاده از مدل‌سازی با کمک روش‌های هوشمند همانند شبکه‌های عصبی مصنوعی و تعیین میزان خطر مناطق مختلف به آتش‌سوزی در نقشه خطر آتش‌سوزی با توجه به عوامل مؤثر بر آن می‌تواند کمکی به مدیران و دست‌اندرکاران عرصه جنگل جهت برنامه‌ریزی برای کاهش فراوانی صدمات و سطوح آتش‌سوزی باشد. ازجمله مطالعات صورت گرفته در این زمینه در منابع داخلی و خارجی می‌توان موارد زیر را مطرح نمود.

محمدی (۱۳۸۸) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سیستم اطلاعات جغرافیایی و وزن‌دهی به عوامل موثر نقشه خطر آتش‌سوزی را برای شهرستان پاوه در استان کرمانشاه تهیه کرد. متغیرهایی همانند ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، تراکم جمعیت، دما، بارندگی و پوشش گیاهی را در ارتباط با رخداد آتش‌سوزی

1 Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer

2 Analytic Hierarchy Process

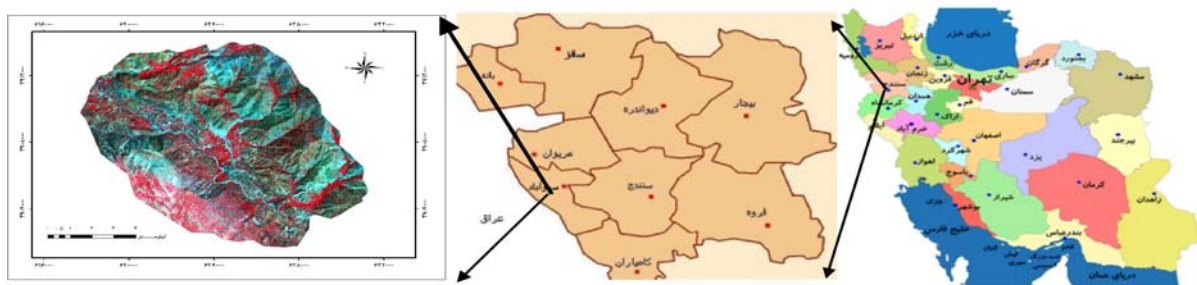
بارندگی برای پیش‌بینی رخداد آتش‌سوزی جنگل استفاده شد. هدف تحقیق حاضر با توجه به نقش جنگل‌های منطقه در حفاظت از آب و خاک و جلوگیری از فرسایش، تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از تکنیک‌های GIS و روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی تحت تأثیر فاکتورهای انسانی، فیزیوگرافی و اقلیمی دخیل در رخداد آتش‌سوزی می‌باشد. همچنین تعیین میزان تأثیرگذاری هر عامل در ایجاد و گسترش آتش‌سوزی در این پژوهش بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه واقع در شهرستان سروآباد در غرب استان کردستان به مساحت ۱۱۳۳۶ هکتار است که در سامانه مختصات UTM زون ۳۸ بین عرض‌های جغرافیایی ۳۹۰۱۷۱۷ تا ۳۹۱۳۹۹۸ شمالی و طول جغرافیایی ۶۱۷۷۱۵ تا ۶۳۱۲۱۰ قرار گرفته است (شکل ۱). وجود کوه‌های اورامانات و شاهو و رطوبت ابرهای باران‌زای مدیترانه، شرایط را برای جنگلی شدن این منطقه فراهم نموده است، بنابراین دامنه‌های شهرستان پوشش جنگلی مناسبی دارند. مقدار متوسط بارندگی سالیانه ۷۰۰-۶۵۰ میلی‌متر است که حداکثر نزولات آسمانی از اواسط اردیبهشت‌ماه شروع شده و تا اواسط مهرماه ادامه دارد. متوسط ارتفاع منطقه ۱۶۰۰ متر از سطح دریاست. میانگین درجه حرارت در فصل تابستان ۲۶ درجه و در زمستان ۴ درجه‌ی سلسیوس است.

اطفای حریق (ایستگاه‌های آتش‌نشانی، لوله‌های آب‌رسانی، منابع آبی) و سرمایه‌ها (ساختمان میراث فرهنگی، فاصله تا این ساختمان‌ها و ارزش تجدید حیات طبیعی گیاهی) در پارک سیدنی استفاده شد. در نهایت نواحی با بالاترین احتمال خطر شناسایی و این نواحی از نظر میزان و شدت خطر آتش‌سوزی طبقه‌بندی شدند. Yang و همکاران در سال ۲۰۰۶ از سه روش (مدل) برای پیش‌بینی محل رخداد آتش‌سوزی در ایالت Kingdom چین استفاده کردند. تعداد نقاط آتش‌سوزی، جمعیت و بیکاری، حداقل و حداکثر دما متغیرهای ورودی به مدل‌ها بودند. از روش رگرسیون لجستیک در پیش‌بینی رخداد آتش‌سوزی جنگل استفاده شد و شبکه‌ی عصبی برای مدل‌سازی ارتباط میان تعداد آتش‌سوزی‌ها و فاکتورهایی که بر رخداد آتش‌سوزی اثر می‌گذارد، به کار برده شد. همچنین روش سوم (الگوریتم ژنتیک) که داده‌های در دسترس در زمینه آتش‌سوزی را طبقه‌بندی می‌کرد، برای پیش‌بینی تعداد آتش‌سوزی‌ها به کار برده شد. نتایج نشان داد که هر سه روش نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهند، اما روش GA با طبقه‌بندی‌هایی که در گروه‌های مختلف انجام می‌دهد، بهتر قابل درک است و هر سه روش نقاطی که احتمال رخداد آتش‌سوزی در آنها زیاد است را با دقت مناسبی نشان دادند. Sakr *et al.*, 2011 دو پارامتر آب و هوایی را برای پیش‌بینی رخداد آتش‌سوزی در لبنان استفاده کردند، در این راستا دو روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی و SVM (مکانیزم برداری پشتیبانی) را با هم مقایسه نمودند و در هر دو روش دو پارامتر رطوبت نسبی و



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در کشور و استان

داده‌های مورد استفاده در تحقیق

در این تحقیق، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ شهرستان سروآباد، پوشش گیاهی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و کاربری اراضی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ برای منطقه‌ی مورد مطالعه از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه و به‌کار برده شد. همچنین از تصویر ماهواره‌ی SPOT 5 سال ۲۰۰۵ میلادی استفاده شده است.

در جنگل‌های سروآباد استان کردستان طرحی اجرا نشده و نقشه‌ی پوشش گیاهی دقیقی از منطقه وجود ندارد. در این پژوهش با استفاده از تمام امکانات موجود از جمله تصویر ماهواره‌ی SPOT 5، نقشه‌ی کاربری اراضی ۱:۱۰۰۰۰۰ و نقشه‌ی پوشش گیاهی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه، یک نقشه‌ی پوشش مناسب اولیه تهیه شد و در یک جنگل‌گردشی گسترده از منطقه‌ی مورد مطالعه نقشه‌ی پوشش تهیه شده پس از کنترل تکمیل گردید. براساس آمار اداره‌ی کل منابع طبیعی استان کردستان بیش از ۹۰ درصد آتش‌سوزی‌ها در عرصه‌های جنگلی طی دوره‌ی مورد مطالعه اتفاق افتاده بود. برای تجزیه و تحلیل‌های بررسی میزان تأثیر عوامل مختلف در ایجاد آتش‌سوزی، کل نمونه‌برداری‌ها از مناطق با پوشش جنگلی (مناطق جنگلی که آتش‌سوزی در آنها اتفاق افتاده بود و مناطق جنگلی بدون رخداد آتش‌سوزی) انجام شد. پوشش جنگلی بستر ایجاد آتش‌سوزی بوده است و سوخت مورد نیاز برای ایجاد حریق را فراهم کرده است. سایر کاربری‌ها (زمین کشاورزی، باغ، مناطق مسکونی) کمتر از ۱۰ درصد آتش‌سوزی را به‌خود اختصاص داده بودند و نمونه‌ای هم از این کاربری‌ها برای تجزیه و تحلیل برداشت نشده است.

تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز

براساس آمار آتش‌سوزی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ مناطقی که بیشترین تکرار و وسعت آتش‌سوزی را داشتند، شناسایی و برداشت زمینی مناطق انجام شد. مسیرهای برداشت شده در نرم‌افزار ARCGIS وارد شده و محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه و محدوده‌ی مناطق آتش‌سوزی تعیین شد. به مناطق جنگلی که آتش‌سوزی در آنها اتفاق افتاده بود کد یک و به سایر مناطق جنگلی

کد صفر تخصیص داده شد. آتش‌سوزی از اثرات متقابل عوامل فیزیوگرافی، انسانی، پوشش گیاهی و اقلیمی ایجاد می‌گردد. گسترش آتش‌سوزی به شدت وابسته به کیفیت، اندازه، تراکم، کمیت و تداوم محتوای رطوبت پوشش-گیاهی است که سوخت قابل دسترسی را برای ایجاد آتش‌سوزی فراهم می‌کند (Vasilakos et al., 2008).

عوامل فیزیوگرافی آب‌وهوای و سیمای منطقه را تغییر می‌دهند و بر پوشش گیاهی اثر می‌گذارند. پارامترهای مورد بررسی در زمینه عوامل فیزیوگرافی شیب، جهت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا تعیین شدند. در ابتدا مدل رقومی زمین با استفاده از خطوط توپوگرافی رقومی تهیه شد. نقشه‌های شیب، جهت جغرافیایی و ارتفاع منطقه از مدل رقومی زمین و توابع موجود ایجاد شدند. نقشه‌ی شیب به ۴ طبقه ۰-۲۵، ۲۵-۵۰، ۵۰-۷۵ و بیشتر از ۷۵ درصد کلاسه‌بندی شد. نقشه‌ی جهت به چهار جهت اصلی شمال، شرق، جنوب، غرب و مسطح طبقه‌بندی شد. نقشه‌ی ارتفاع از سطح دریا به ۴ طبقه ۱۳۰۰-۹۰۰، ۱۷۰۰-۱۳۰۰، ۲۱۰۰-۱۷۰۰ و بیشتر از ۲۱۰۰ تقسیم‌بندی شد. عوامل انسانی بیشترین سهم را در ایجاد خطر آتش‌سوزی دارند. آنالیز مکانی خطر انسان در گسترش آتش‌سوزی با توجه به دشواری ارتباط مکانی فعالیت‌های اقتصادی اجتماعی انسان در محیط طبیعی پیچیده است (Vasilakos et al., 2008). حرکت انسان‌ها، وسایل نقلیه و حیوانات در جاده‌های نزدیک جنگل فرصت‌هایی را برای ایجاد آتش‌سوزی بوجود می‌آورد. روشن‌کردن آتش و بی‌دقتی از عوامل مؤثر در ایجاد آتش‌سوزی هستند (Jaiswal et al., 2002). در این تحقیق عوامل انسانی به صورت فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از اراضی زراعی و فاصله از جاده بررسی شد. مناطق مسکونی و جاده‌ها با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی و نقشه‌ی کاربری اراضی مشخص گردید و نقشه‌ی فاصله ایجاد شد. نقشه‌ی فاصله از مناطق مسکونی به ۴ طبقه ۱۰۰۰ متری، ۱۰۰۰-۰، ۲۰۰۰-۱۰۰۰، ۳۰۰۰-۲۰۰۰ و بیشتر از ۳۰۰۰ متر طبقه‌بندی شد. طبقه‌بندی فاصله از جاده به صورت طبقات ۵۰۰ متری ۰-۵۰۰، ۱۰۰۰-۵۰۰، ۱۵۰۰-۱۰۰۰ و بیشتر از ۱۵۰۰ متری انجام شد. اراضی زراعی با استفاده از بررسی‌های میدانی و نقشه‌ی کاربری اراضی مشخص و نقشه‌ی فاصله از اراضی زراعی

تهیه شد. این نقشه نیز به ۴ طبقه ۵۰۰ متری تقسیم‌بندی شد. آب‌وهوا یکی از فاکتورهای مؤثر بر رفتار آتش-سوزی است. عناصر مهم آب‌وهوا که بر روی رفتار آتش‌سوزی اثر می‌گذارند درجه‌ی حرارت و بارندگی می‌باشد. دمای هوا بر روی رطوبت ماده سوختنی (پوشش گیاهی) اثر می‌گذارد و باعث تبخیر و تعرق رطوبت آن می‌شود که ماده سوختنی را مستعد آتش‌سوزی می‌کند. برای بدست آوردن نقشه‌ی دما، متوسط درجه‌ی حرارت ماهیانه ایستگاه‌ها محاسبه شد. نقشه‌ی دمایی منطقه براساس رابطه‌ی رگرسیون خطی ارتفاع ایستگاه‌ها با متوسط درجه‌ی حرارت ماهیانه تهیه شد. در تهیه‌ی نقشه‌ی بارندگی مجموع بارندگی سالیانه برای ۱۰ ایستگاه در دوره‌ی ۵ ساله بدست آمد و از روش درونیابی فاصله‌ی وزنی معکوس^۱ برای تهیه‌ی نقشه‌ی بارندگی استفاده شد. نقشه‌های دما و بارندگی با توجه به حداقل و حداکثر مقدار در ۳ طبقه تقسیم‌بندی شدند. با روی هم‌گذاری نقشه‌ی مناطق آتش‌سوزی با نقشه‌ی هر کدام از متغیرها، درصد آتش‌سوزی در طبقات در نظر گرفته شده برای متغیرها به دست آمد.

مدل‌سازی توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی

در این تحقیق از روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی رخداد آتش‌سوزی استفاده شد. شبکه‌های عصبی با طبقه‌بندی‌های پیچیده‌ای همراه هستند؛ به‌علاوه این روش نشان داده که برای ورودی‌های متعدد و پیچیده مستعد است. در این روش سعی می‌شود براساس روابط ذاتی میان داده‌ها، نگاشتی غیرخطی و یا خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته برقرار گردد. شبکه‌های عصبی می‌توانند در مقیاس خطی کوچک مانند شبکه‌های زیستی آموزش داده شده و این آموزش را تعمیم دهند. مهمترین بخش یک شبکه‌ی زیستی، نرون است که سلول‌های تشکیل‌دهنده‌ی دستگاه عصبی انسان هستند و با استفاده از تعدادی گیرنده تحریکات عصبی را دریافت می‌کنند. پس از پردازش این تحریکات، اطلاعات آن را به‌وسیله‌ی یک فرستنده به نرون بعدی منتقل می‌کنند. فرایند آموزش و یادگیری در واقع مشخص کردن ارتباط بین ورودی و

شبکه‌ی عصبی شامل لایه‌های ورودی، لایه‌های پنهانی و لایه خروجی است. در شبکه‌ی عصبی مهمترین بخش، لایه‌های پنهانی شبکه است که می‌تواند شامل چند لایه و نرون‌های متعددی باشد. به‌منظور طراحی و آموزش شبکه از داده‌های آتش‌سوزی استفاده شد. پارامترهای ورودی به شبکه شامل ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت جغرافیایی، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از آبراهه و فاصله از اراضی زراعی، دما و بارندگی (متغیرهای مستقل) بودند. در این پژوهش شبکه‌ی عصبی پرسپترون چند لایه الگوریتم پس انتشار و تابع سیگموئید به کار گرفته شد. تعداد لایه‌های پنهانی شبکه با توجه به دقت شبکه و کمترین خطای ریشه مربعات جهت طراحی و آموزش دادن شبکه با استفاده از داده‌های آتش‌سوزی انتخاب شد، آموزش شبکه چندین بار انجام شد تا در نهایت یک شبکه با کمترین خطای نمونه‌های آموزشی، آزمایشی و خطای نسبی به‌دست آمد. در این الگوریتم خطای خروجی شبکه برآورد و به داخل شبکه انتشار می‌یابد و بر این اساس وزن‌های انتخاب شده در مدل اصلاح می‌شود. این فرایند اصلاح وزن‌ها در تمام شبکه ادامه می‌یابد تا بهترین وزن‌ها که صحیح‌ترین خروجی را برای شبکه ایجاد می‌کند، شناسایی و انتخاب شوند. در این روش با تصحیح مرتب خطا وزن‌های مناسب برای هر متغیر بدست می‌آید و شبکه به‌طور کامل آموزش داده می‌شود تا در نهایت لایه‌ی خروجی که همان نقشه‌ی نهایی احتمال خطر آتش‌سوزی (متغیر وابسته) است،

1 -Inverse Weights Distance.

نتایج

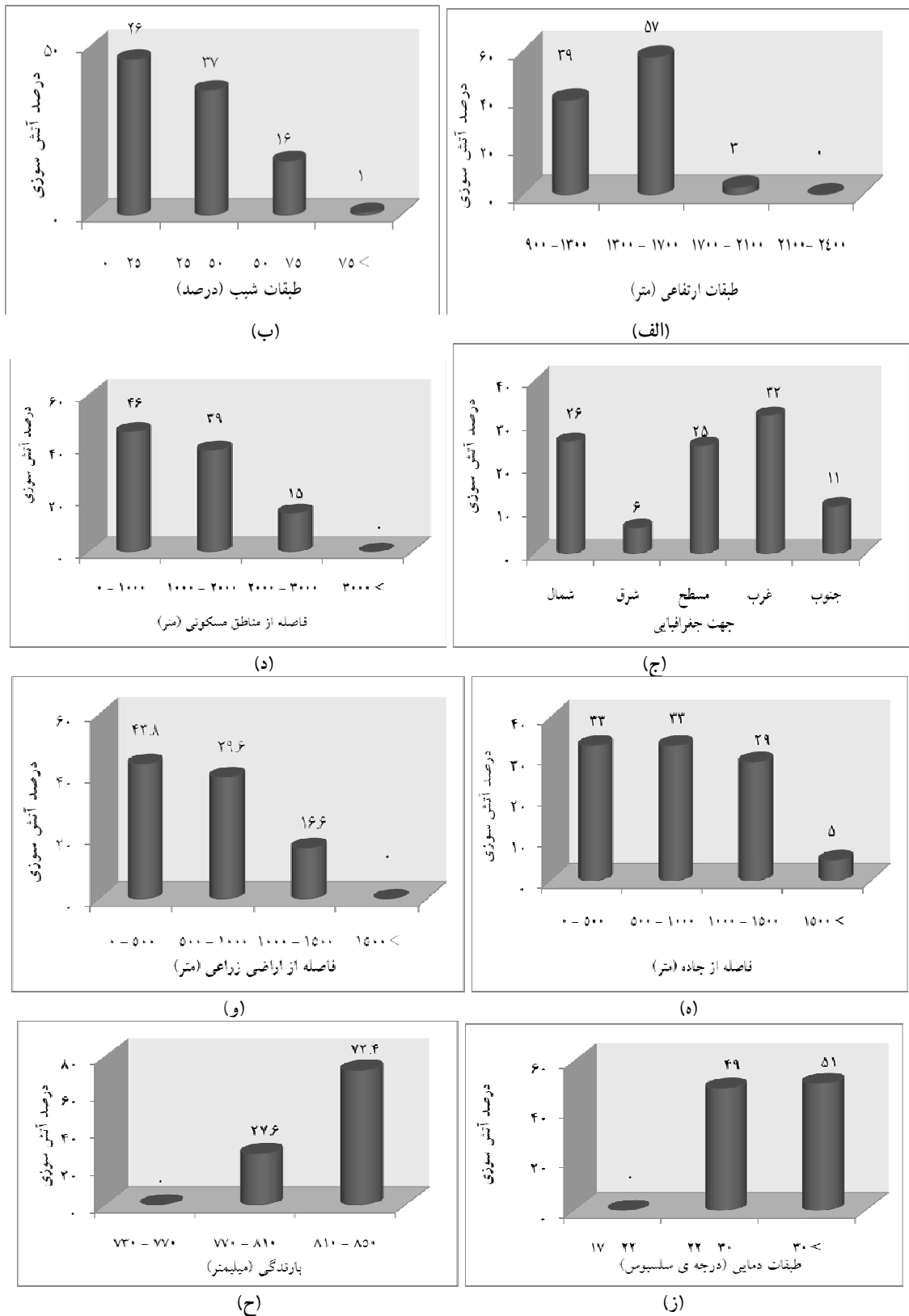
نقشه‌ی مناطق آتش‌سوزی براساس برداشت مناطقی که هر ساله طی دوره ۵ ساله آتش‌سوزی داشتند، تهیه شد. در این نقشه مناطق آتش‌سوزی با کد یک و بقیه‌ی مناطق با کد صفر در روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی به عنوان نمونه‌های آموزشی جهت آموزش شبکه برای تهیه نقشه احتمال خطر آتش‌سوزی استفاده شدند. درصد آتش‌سوزی در هر طبقه‌ی ارتفاعی در شکل (۲الف) نشان داده شده است. بیش از ۹۰ درصد آتش‌سوزی‌ها در طبقات ارتفاعی پایین اتفاق افتاده است. ۸۳ درصد آتش‌سوزی‌ها در شیب کمتر از ۵۰ درصد ایجاد شده است و با افزایش درصد شیب رخداد آتش‌سوزی یک روند نزولی را طی کرده است (شکل ۲ب). درصد پراکنش مکانی آتش‌سوزی در جهت‌های مختلف شیب در شکل (۲ج) ارائه شده است.

بیشتر از ۴۰ و ۶۶ درصد آتش‌سوزی‌ها به ترتیب در فاصله‌ی کمتر از یک کیلومتری از مناطق مسکونی و جاده‌ها به وقوع پیوسته است (شکل ۲د، ۲ه)، همچنین با افزایش فاصله از اراضی زراعی درصد آتش‌سوزی‌ها کاهش یافته است (شکل ۲و) با افزایش دما و بارندگی درصد رخداد آتش‌سوزی افزایش چشم‌گیری داشته است، به طوری که بیش از ۵۰ درصد آتش‌سوزی در دمای بالای ۳۰ درجه و ۷۲ درصد در بارندگی بیش از ۸۰۰ میلی‌متر رخ داده است (شکل ۲ز و ۲ح). نمودار میزان تأثیر هر عامل در ایجاد آتش‌سوزی در شکل ۳ ارائه شده است. متغیر شیب با وزن ۱۰۰٪ بالاترین ارتباط را در منطقه‌ی مورد مطالعه با رخداد آتش‌سوزی از خود نشان داده است و متغیر جهت (۵۵٪) کمترین تأثیر را در ایجاد و گسترش آتش‌سوزی داشته است.

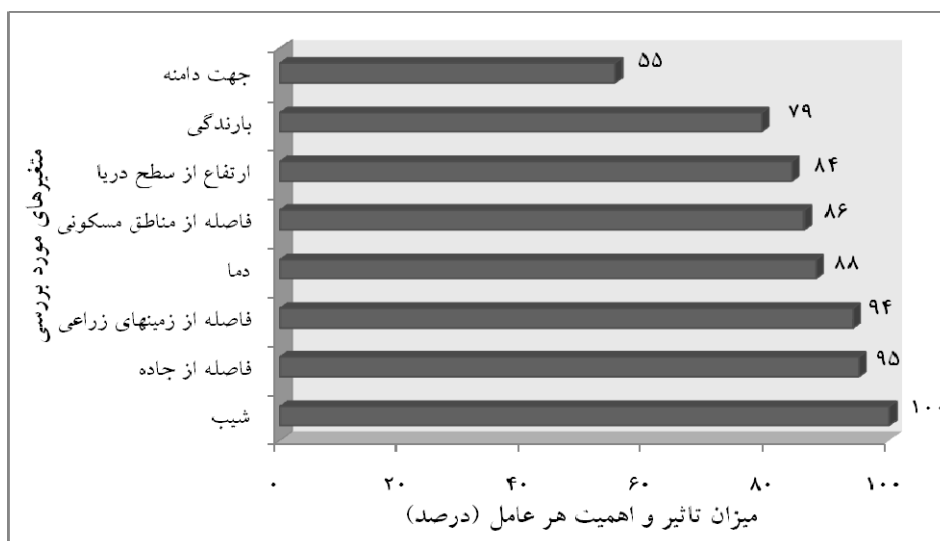
آموزش شبکه‌ی عصبی جهت تشکیل نقشه‌ی نهایی با ترکیب تعداد زیادی از لایه‌های میانی انجام شد و در نهایت با تعداد ۱۰۰۰۰ تکرار، ۸ لایه ورودی، ۱۳ لایه میانی (پنهانی) و کمترین میزان ریشه مربعات خطای نمونه‌های آموزشی (۰/۰۳۹)، آزمایشی (۰/۰۳۸) و خطای نسبی (۰/۰۱)، شبکه برای تهیه نقشه‌ی نهایی (لایه خروجی) آموزش داده شد.

ایجاد گردد. برای تعیین میزان تأثیر هر پارامتر در رخداد آتش‌سوزی تعداد ۱۰۰ نمونه از مناطق جنگلی که آتش‌سوزی در آنها اتفاق افتاده بود و ۱۰۰ نمونه از سایر مناطق جنگلی بدون آتش‌سوزی به صورت تصادفی انتخاب شد تا در تجزیه و تحلیل‌های روش MLP استفاده شوند. خصوصیات مکانی متغیرها در محل نمونه‌ها استخراج شد و استانداردسازی داده‌ها برای نرمال کردن داده‌ها و مقایسه اثرات نسبی هر متغیر انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از روش آماری MLP برای تعیین میزان اهمیت هر عامل انجام شد. در این روش عاملی که بالاترین ارتباط را با رخداد آتش‌سوزی داشته باشد اهمیت و وزن ۱۰۰ درصد می‌گیرد و عوامل دیگر به ترتیب میزان تأثیر، وزن‌های کمتر از صد درصد را بخود اختصاص می‌دهند.

اعتبارسنجی مدل توسط ضرایب کاپا انجام شد که مقدار آن بین صفر و یک می‌باشد. در این آزمون Kno نسبت طبقه‌بندی صحیح نسبی را به طبقه‌بندی صحیح پیش‌بینی شده توسط شبیه‌سازی بدون توجه به یک دقت ویژه بیان می‌کند. Klocation نشان می‌دهد که چقدر از سلول‌های شبکه در موقعیت‌های صحیح خود قرار گرفته‌اند. Klocation strata بیان‌کننده‌ی میزان سلول‌هایی از شبکه است که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند. K standard نسبت صحت واقعیت زمینی یک رویداد را به صحت پیش‌بینی مورد انتظار نشان می‌دهد. ضریب کاپای کلی (Kappa total) برآوردی از ضرایب کاپای بیان شده است که با حذف اثر شانسی در طبقه‌بندی مقدار تطابق با واقعیت زمینی را نشان می‌دهد، از مقادیر حاشیه‌ای خطا جهت محاسبه دقت استفاده کرده و نتیجه و دقت بالاتری را ارائه می‌کند (Pointius, 2000). همچنین از سطح زیر منحنی ROC به عنوان معیار دیگری برای ارزیابی دقت مدل استفاده شد. این سطح نشان می‌دهد که مدل تا چه مقدار توانسته است متغیر وابسته را بخوبی پیش‌بینی کند، این مقدار عددی بین ۰/۵ تا ۱ می‌باشد. در صورتی که این مقدار ۰/۵ باشد، نشان‌دهنده‌ی تصادفی بودن مدل است، مقادیر بالاتر از ۰/۷ بیان‌کننده دقت خوب مدل می‌باشد (Etter et al., 2006).



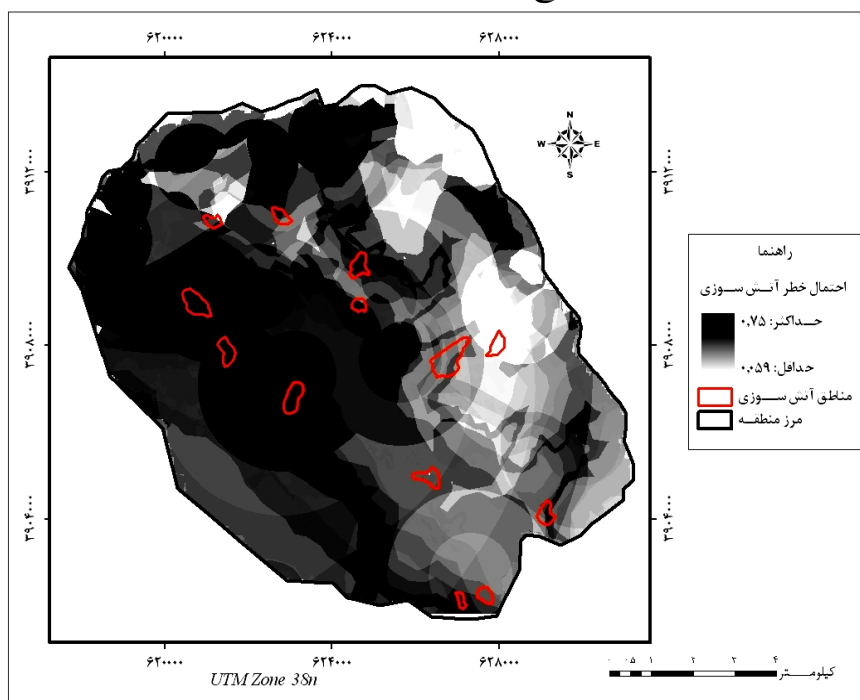
شکل ۲- (الف) درصد سطوح آتش سوزی در هر طبقه ارتفاعی، (ب) در هر طبقه شیب، (ج) در هر طبقه جهت، (د) در هر طبقه فاصله از مناطق مسکونی، (ه) در هر طبقه فاصله از جاده، (و) در طبقات مختلف فاصله از اراضی زراعی، (ز) در طبقات دمایی، (ح) در هر طبقه بارش.



شکل ۳- میزان اهمیت متغیرهای مورد بررسی در رخداد آتش‌سوزی

بحرانی و خطرناک ایجاد شده بودند (شکل ۵). اعتبارسنجی شبکه به‌وسیله‌ی ضرایب کاپا و مقدار سطح زیر منحنی ROC انجام شد. نتایج اعتبارسنجی در جدول ۱ ارائه شده است. ضریب کاپای کلی به دست آمده ۸۶ درصد و سطح زیر منحنی ROC ۹۰ درصد است که هر دو معیار دقت بالای مدل پیش-بینی را بیان می‌کنند. البته ۹۸ درصد سلول‌های شبکه به‌درستی در موقعیت و طبقه‌بندی‌های خود قرار گرفته‌اند (جدول ۱).

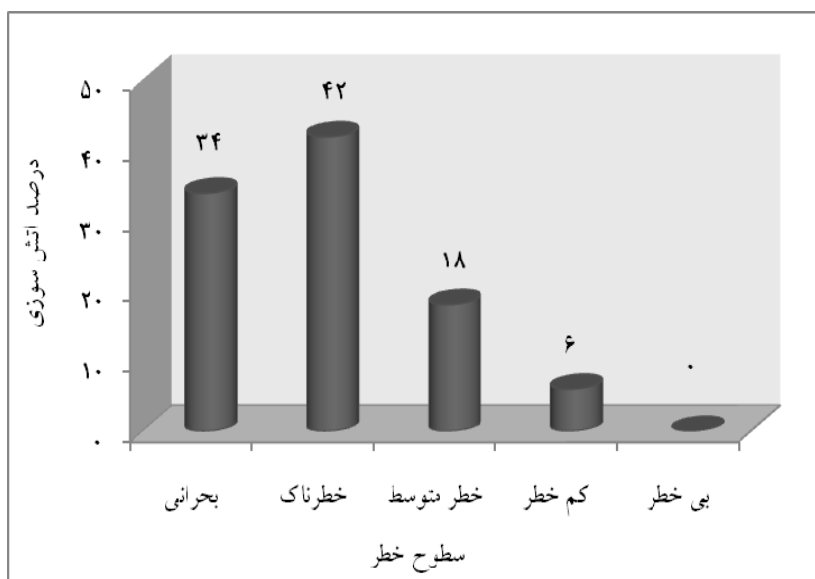
نقشه‌ی پیش‌بینی احتمال خطر آتش‌سوزی در منطقه‌ی مورد مطالعه توسط شبکه‌ی عصبی با حداقل خطا ایجاد شد، میزان احتمال خطر آتش‌سوزی از حداقل تا حداکثر مقدار آن در شکل ۴ ارائه شده است. میزان احتمال خطر در ۵ سطح بحرانی، خطرناک، متوسط، کم‌خطر و بی‌خطر طبقه‌بندی شد، با روی هم‌گذاری نقشه‌ی مناطق آتش‌سوزی با نقشه‌ی سطوح خطر درصد آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در هر سطح خطر بدست آمد. حدود ۷۶ درصد آتش‌سوزی‌ها در سطوح خطر



شکل ۴- نقشه‌ی احتمال خطر آتش‌سوزی جنگل

جدول ۱- نتایج اعتبارسنجی مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی

| | |
|-----------------------|-------------------------|
| Kno = ۰/۹۹ | Kstandard = ۰/۸۰۱۳ |
| Klocation = ۰/۹۸ | Klocation strata = ۰/۹۸ |
| ضریب کاپای کلی = ۰/۸۶ | ROC = ۰/۹۰ |



شکل ۵- درصد آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در سطوح مختلف خطر

بحث

درصد شیب احتمال رخداد آتش‌سوزی کاهش یافته است، البته شیب‌های کم برای کشاورزی و سکونت مناسبند و با تراکم جمعیت در ارتباط هستند. محققانی مانند Setiawan *et al.*, (2004)، Dong *et al.*, (2005) و Somashakar *et al.*, (2009) نیز نتایج مشابهی را ارائه کرده‌اند. در پژوهش‌های محمدی و همکاران (۱۳۸۸)، گراوند و همکاران (۱۳۹۲) هم بیشتر آتش‌سوزی‌ها در شیب‌های کمتر از ۲۵ درصد مشاهده شده است. متغیر شیب در صورت وجود شرایط دیگر (پوشش گیاهی، رطوبت و گرما) باعث گسترش آتش‌سوزی به طرف شیب‌های بالاتر می‌شود، به طوری که سرعت آتش‌سوزی با هر ۱۰ درجه افزایش شیب دو برابر می‌شود (Zeng *et al.*, 2003).

از بین عوامل انسانی فاصله از جاده (تأثیر ۹۵٪) و فاصله از اراضی زراعی (۹۴٪) تأثیر بیشتری در ایجاد آتش‌سوزی داشته‌اند. به طوری که ۶۶ درصد آتش‌سوزی‌ها در فاصله کمتر از یک کیلومتری از جاده‌ها به وقوع پیوسته است (شکل ۲ ه). مهمترین راه‌های دسترسی جنگل‌نشینان و رهگذران به جنگل، جاده‌های موجود در منطقه است، بدیهی

آمار ثبت شده آتش‌سوزی‌ها توسط اداره‌ی کل منابع طبیعی استان کردستان طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ نشان می‌دهد که بیشتر آتش‌سوزی‌ها در اواخر بهار (خرداد ماه) و فصل تابستان و ۹۰ درصد آنها در عرصه‌های جنگلی رخ داده است. بررسی عوامل مؤثر در ایجاد و گسترش آتش‌سوزی و تعیین میزان احتمال خطر مناطق مختلف به آتش‌سوزی یکی از ابزارهای اساسی جهت مقابله با حریق و کنترل آن می‌باشد. این پژوهش با هدف تعیین میزان احتمال خطر مناطق مختلف به آتش‌سوزی و بررسی میزان اثر تک عوامل مؤثر در رخداد آتش‌سوزی با استفاده از روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی انجام شد. با توجه به شکل ۳ میزان اهمیت و درصد تأثیر عوامل مؤثر در رخداد آتش‌سوزی مشخص شد، از بین عوامل فیزیوگرافی مورد بررسی در این پژوهش متغیر شیب با اهمیت ۱۰۰ درصد و به صورت منفی بیشترین تأثیر را در رخداد آتش‌سوزی داشته است (شکل ۳). بیشتر از ۸۳ درصد آتش‌سوزی‌ها در شیب‌های کمتر از ۵۰ درصد اتفاق افتاده است (شکل ۲ ب) و با افزایش

جغرافیایی خاص در منطقه مورد مطالعه به دلیل شرایطش بر رخداد آتش‌سوزی مؤثر بوده است، بنابراین از بین مجموعه عوامل مورد بررسی کمترین تأثیر را در ایجاد و گسترش آتش‌سوزی داشته است.

احتمال رخداد آتش‌سوزی به صورت معکوس با فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از اراضی زراعی، فاصله از جاده، شیب و ارتفاع از سطح دریا در ارتباط است و در ارتباط مستقیم با بارندگی و دما می‌باشد (شکل‌های ۲ الف تا ۲ م). با توجه به نتایج به دست آمده و بررسی تأثیر متغیرهای مختلف در احتمال رخداد آتش‌سوزی نقش عوامل انسانی بسیار بیشتر و گسترده‌تر از تأثیر عوامل فیزیوگرافی و اقلیمی است. به طوری که بیشتر آتش‌سوزی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه به دلیل زمین‌خواری، تبدیل جنگل به باغ، توسعه زمین‌های کشاورزی، سهل‌انگاری، بهره‌برداری از محصولات فرعی و مرتعی جنگل و ... می‌باشد (بلندهمت، ۱۳۸۶).

بیش از ۷۶ درصد آتش‌سوزی‌های ایجاد شده در منطقه در نقشه‌ی احتمال خطر، در سطوح خطر بحرانی و خطرناک قرار داشتند (شکل ۵)، نتایج اعتبارسنجی (جدول ۱) و تطابق بیشتر از ۹۰ درصدی (سطح زیر منحنی ROC) داده‌های پیش‌بینی شده مناطق خطر آتش‌سوزی در نقشه احتمال خطر با داده‌های واقعی آتش‌سوزی نشان داده که مدل‌سازی توسط شبکه‌ی عصبی مصنوعی می‌تواند یک روش مدل‌سازی مناسب برای تهیه نقشه‌های پیش‌بینی باشد.

با توجه به حساسیت جنگل‌های منطقه و افزایش بحران‌های گریبان‌گیر این جنگل‌ها مانند خشکیدگی بلوط، کاهش زادآوری، آفت‌های برگ‌خوار بلوط و مسائل اقتصادی-اجتماعی موجود در این جنگل‌ها توجه به مسئله آتش‌سوزی در کنار سایر عوامل به‌عنوان یک عامل دائمی تخریب امری ضروریست. البته بیشترین اهمیت مسئله آتش‌سوزی برنامه‌ریزی‌های مربوط به کنترل و بحران این پدیده است. تهیه نقشه مناطق مستعد به آتش‌سوزی به‌عنوان گامی مؤثر در کمک به مدیران و حافظان جنگل جهت برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات پیش‌گیرانه لازم در مناطق حساس و پرخطر بسیار مفید و کمک‌کننده است و تهیه این نقشه‌ها باید به‌عنوان یک اصل در دستور کار سازمان‌ها و نهادها قرار گیرد تا باقیمانده جنگل‌ها، این سرمایه‌های سبز در اثر ناآگاهی، فقدان اطلاعات حاصل از آتش‌سوزی و عدم برنامه‌ریزی صحیح از بین نرود.

است همین امر زمینه را برای ایجاد آتش‌سوزی توسط انسان فراهم می‌کند (Jaiswal *et al.*, 2002; Erten *et al.*, 2004). در پژوهش انجام شده توسط اسکندری و همکاران (۱۳۹۲) نیز بیشتر آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌های نزدیک جاده‌ها مشاهده شده است. در منطقه‌ی مورد مطالعه، اراضی زراعی نزدیک جنگل قرار دارند، فعالیت انسان جهت توسعه‌ی زمین کشاورزی می‌تواند یکی از علت‌های افزایش احتمال رخداد آتش‌سوزی در فواصل نزدیک زمین‌های زراعی باشد. نتایج به دست آمده در این خصوص با نتایج پژوهش (Dong *et al.*, 2005) هماهنگی دارد. متغیر فاصله از مناطق مسکونی تأثیر ۸۴ درصدی را در ایجاد آتش‌سوزی نشان داده است (شکل ۳). تغییر کاربری جنگل به زمین‌های کشاورزی و باغ و بهره‌برداری از محصولات فرعی جنگل، روند و احتمال ایجاد آتش‌سوزی را در فاصله‌های نزدیک مناطق مسکونی افزایش داده است. نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج پژوهش Jaiswal *et al.*, (2002) و Somashekar *et al.*, (2009) هم‌خوانی دارد.

ارتفاع از سطح دریا دارای تأثیر ۸۴ درصدی در ایجاد آتش‌سوزی بوده است، بیش از ۹۰ درصد آتش‌سوزی‌ها در ارتفاعات پایین‌تر مشاهده شده است (شکل ۲ الف). در ارتفاعات پایین دمای هوا بیشتر و تراکم جمعیت بالاتر است و همین امر ارتفاعات پایین را مستعد آتش‌سوزی می‌کند. ارتفاع یک منطقه بر عوامل اقلیمی تأثیر می‌گذارد، چنانچه بیشتر از ۵۰ درصد آتش‌سوزی‌ها در دمای بالای ۳۰ درجه‌ی سلسیوس در منطقه مشاهده شده است (شکل ۲ ب). با افزایش ارتفاع دمای هوا کاهش می‌یابد، بنابر آنچه که در شکل ۲ الف و ۲ ب دیده می‌شود با افزایش ارتفاع و کاهش دما روند رخداد آتش‌سوزی کاهش یافته است. بارندگی تأثیر ۷۹ درصدی در ایجاد آتش‌سوزی داشته است، افزایش میزان بارش‌ها در فصل بهار افزایش رشد پوشش علفی را در پی دارد، این پوشش در تابستان خشک می‌شود و زمینه ایجاد آتش‌سوزی را فراهم می‌کند. در نتایج پژوهش رحیمی و اسماعیلی (۱۳۸۹) در منطقه مریوان استان کردستان به این موضوع اشاره شده است. در نهایت جهت جغرافیایی (۵۵٪) ارتباط کمتری را با رخداد آتش‌سوزی نشان داده است، زیرا در تمام جهت‌های جغرافیایی در منطقه آتش‌سوزی مشاهده شده است (شکل ۲ ج)، پس نمی‌توان گفت یک جهت

منابع مورد استفاده

- Dong, X., Li-min, D., Gue- fan, Sh., Lei, T. and Hui, W., 2005. Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe forestry Bureau, Jilin, China. *Journal of Forestry Research*. (16)3: 169- 174.
- Erten, E., Kurgun, V. and Musaoglu, N., 2004. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS a case study. *Proceedings of 20th Congress of ISPRS, Istanbul, Turkey*, 29-33.
- Etter, A., McAlpine, C., Wilson, K., Phinn, S. and Possingham, H. 2006. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agric. Ecosystems & Environment*, 114: 369-386.
- Garcia Strino, J., Alhaddad, B. and Roca Gladera, J. 2007. Remote sensing to detect fire risk locations. *GéoCongrés*, 2-5 octobre.
- Hawes, P., Crook, N., 1999. Using input parameter influence to support the decisions of feedforward neural networks. *Neurocomputing*, 24: 191-206.
- Hernandez-Leal, P. A., Arbelo, M. and Gonzalez-Clavo, A., 2006. Fire risk assessment using satellite data. *Advances in space research*, 37: 741- 746.
- Jaiswal, R. K., Mukerjee, S., Raju, D. K. and Saxana, R., 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International Journal of Applied Earth observation and Geoinformation*, 4: 1-10.
- Pointius, R. G., 2000. Quantification Error versus location Error in comparison of categorical Maps. *Photogrammetric Engineering & Remote sensing*, 66(8): 1011-1016.
- Sakr, G. E., Elhajj, I. H. and Mitri, G., 2011. Efficient forest fire occurrence prediction for developing countries using two weather parameters. *Engineering applications of artificial intelligence*. 24: 888 -894.
- Setiawan, I; Mahmud, A; Masnsor, S; Shariff, A; Nuruddin, A; 2004. GIS- grid- based and multi-criteria analysis for identifying and mapping peat swamp forest fire hazard in Pahang, Malaysia. *Disaster Prevention And Management*. 13: 379- 386.
- Somashekar, R., Ravikumar, P., Mohankumar, C., Prakash, K. and Nagaraja, B., 2009. Burnt area mapping of Bandipur National Park, India using IRS1C/1D LISS III data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 37: 37-50.
- Vasilokos, CH; Kalabokidis, K; Hatzopoulos, J; Kallos, G; Matsinos, Y; 2007. Integrating new methods and tools in fire danger rating. *International Journal Of Wildland Fire*. 16: 306 – 316.
- Yang, L., Dawson, C. W., Brown, M. R. and Gell, M., 2006. Neural network and GA approaches for dwelling fire occurrence prediction. *Knowledge-Based Systems*, 19(4): 213- 219.
- Yuan, H., 2002. Development and evaluation of advanced classification systems using remotely sensed data for accurate land use/ land-cover mapping. Ph. D, Thesis, Department of forestry, North Carolina state university.
- Zeng, T., Hudson, J., Kay, S. and Laginestra, E., 2003. A fuzzy GIS approach to fire risk assessment: a case study of Sydney Olympic park, Australia. *Spatial Sciences Conferences*, 1-20
- اسکندری، س.، اولادی قادیکلایی، ج.، جلیوند، ح. و سراجیان، م.، ۱۳۹۲. مدل سازی و پیش بینی خطر آتش سوزی در جنگل های بخش سه نکا- ظالمروود با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۱(۲): ۲۱۷-۲۰۳.
- بلندهمت، ا.، ۱۳۸۶. اثرات آتش سوزی روی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک جنگل های منطقه مریوان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، ص ۸۵.
- بی نام، ۱۳۸۶. آمار آتش سوزی ۴ سال. سازمان جنگل ها و مراتع کل کشور، ۳۶ صفحه.
- رحیمی، ا. و اسماعیلی، ع.، ۱۳۸۹. بررسی پتانسیل آتش سوزی جنگل ها و مراتع با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنجنده MODIS و تکنیک های سنجش از دور منطقه مورد مطالعه جنگل های شهرستان مریوان. همایش ژئوماتیک، ۱۲ صفحه.
- سرکارگر اردکانی، ع.، ولدان زوج، م. و منصوریان، ع.، ۱۳۸۸. تحلیل فضایی نیروی آتش سوزی مناطق مختلف کشور با استفاده از RS, GIS. ۵۲: ۳۴-۲۵.
- گراوند، س.، یارعلی، ن. و کاجی، ح.، ۱۳۹۲. الگوی مکانی و نقشه خطر وقوع آتش سوزی در اراضی طبیعی استان لرستان. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۱(۲): ۲۴۲-۲۳۱.
- محمدی، ف.، ۱۳۸۸. تهیه نقشه خطر آتش سوزی جنگل با استفاده از تصاویر ماهواره ای و GIS در بخشی از جنگل های پاوه. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، ۶۴ صفحه.
- Andersson, F. O., Aberg, M. and Jacobsson, S. P., 2000. Algorithmic approaches for studies of variable influence, contribution and selection in neural networks. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 51(1): 61-72.
- Bajocco, S., Rosalti, L. and Ricotta, C., 2009. Knowing fire incidence through fuel phenology. A remotely sensed approach. *Ecological Modelling*, 59-66.
- Banazountas, M., Kallidromitou, D., Kassamenos, P. and Passes, N., 2006. A decision support system for managing forest fire casualties. *Journal of Environmental Management*, 84(4):412-418.
- Dayhoff, J. E., 1990. *Neural Network Architectures*. VNR. USA.