



سنجش از دور

و

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران  
Iranian Remote Sensing & GIS

سال پنجم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۲  
Vol.5, No.2, Summer 2013

۶۵-۷۸

## شناسایی نواحی دارای پتانسیل بالای آتش‌سوزی با استفاده از شبکه عصبی و تصمیم‌گیری چندمعیاره

یونس جعفری گلدرق<sup>۱\*</sup>، علی محمدزاده<sup>۲</sup>، علی سرکارگر اردکانی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. استادیار گروه سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. استادیار گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه امام حسین (ع)

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۷/۲۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۹

### چکیده

آتش‌سوزی جنگل پدیده‌ای است که خسارت‌های مالی و برخی مواقع جان بسیار زیادی به بار می‌آورد. شناسایی و بررسی اثر پارامترهای مؤثر در وقوع آتش‌سوزی و مدل‌سازی آن‌ها در پیشگیری آتش‌سوزی و کاهش خسارت‌های ناشی از آن بسیار مفید است. در این تحقیق، با استفاده از روش‌های شبکه عصبی و تصمیم‌گیری چندمعیاره، مناطق دارای پتانسیل بالای آتش‌سوزی در استان گلستان شناسایی شده است. در روش پیشنهادی برای تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی، ابتدا با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره نقشه خطر استاتیک و سپس از طریق شبکه عصبی مصنوعی، نقشه خطر دینامیک تهیه می‌شود. سرانجام از ترکیب این دو، نقشه خطر آتش‌سوزی به‌دست می‌آید که مقادیر هر پیکسل در آن بیانگر میزان احتمال وقوع آتش‌سوزی برای آن پیکسل است. برای ارزیابی مدل از داده‌های آتش‌سوزی ماه ژوئن سال ۲۰۰۵ استفاده شده است. مدل پیشنهادی درصدی از مساحت منطقه را به‌عنوان منطقه پرخطر شناسایی می‌کند. با توجه به این‌که درصد آتش‌سوزی اتفاق افتاده در آن منطقه نیز معلوم است، معیار دقت از تقسیم درصد آتش‌سوزی‌های رخ داده در منطقه پرخطر به درصد مساحت آن منطقه تعریف می‌شود. این معیار دقت برای نقشه استاتیک با وزن‌های یکسان پارامترها برابر ۱/۸۶ و در حالت استخراج وزن‌ها به روش AHP برابر ۲/۲۱ به‌دست آمد، که بیانگر بهبود دقت مدل از طریق روش AHP است. طبق نتایج مدل نهایی، حدود ۷۰/۴۹ درصد آتش‌سوزی‌ها در مناطقی که به‌عنوان مناطق پرخطر شناسایی شده، اتفاق افتاده است. در حالی‌که در مناطق بی‌خطر و کم‌خطر هیچ آتش‌سوزی اتفاق نیفتاده و در منطقه با خطر متوسط ۲۹/۵۱ درصد از آتش‌سوزی‌ها اتفاق افتاده است. همچنین معیار دقت برای مدل نهایی برابر ۲/۷۷ به‌دست آمده است.

**کلیدواژه‌ها:** آتش‌سوزی، شبکه عصبی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، AHP.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولی‌عصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری. تلفن: ۰۹۳۸۲۳۰۴۸۴۷

## ۱- مقدمه

برای شناسایی مناطق با پتانسیل بالای آتش‌سوزی قبل از وقوع آن است. خروجی مدل‌های آتش‌سوزی، نقشه احتمال آتش‌سوزی است که در آن مقدار هر پیکسل بیانگر میزان احتمال وقوع آتش‌سوزی برای آن پیکسل است. با توجه به نوع ورودی، مدل‌ها به دو دسته استاتیک و دینامیک تقسیم می‌شوند (Sonia, 2008). مدل‌های استاتیک از داده‌های تا حدودی ثابت در طول زمان استفاده می‌کند، در حالی که ورودی مدل‌های دینامیک داده‌های متغیر در زمان مانند داده‌های آب‌وهوا هستند. در تمامی نقشه‌های خطر آتش‌سوزی مقدار هر پیکسل بیانگر احتمال وقوع آتش‌سوزی برای آن پیکسل است که با استفاده از آن‌ها مناطق با پتانسیل بالای آتش‌سوزی شناسایی می‌شوند.

در اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه آتش‌سوزی اثر پارامترهای محدودی بررسی شده است. به عنوان مثال در بعضی از تحقیقات اثر رطوبت (Donnegan, 2001؛ Westerling, 2003)، و در برخی اثر دما بررسی شده است (Westerling, 2006, 2007). اثر همه پارامترها به صورت توأم و در قالب مدل‌سازی برای پیش‌بینی آتش‌سوزی بررسی نشده است و در اکثر تحقیقات پارامترهای استاتیک و دینامیک از هم تفکیک شده و جداگانه بررسی شده است (Hernandez et al., 2006). در این تحقیق، با استفاده از روش AHP<sup>1</sup> نقشه استاتیک و با استفاده از شبکه عصبی نقشه دینامیک خطر آتش‌سوزی ایجاد شده و در آخر از ترکیب این دو، نقشه خطر آتش‌سوزی برای منطقه مطالعه شده به دست آمده است. برای نقشه خطر استاتیک لایه‌های اطلاعاتی نوع پوشش گیاهی، شکل زمین، و دسترسی‌ها، و برای نقشه خطر دینامیک از NDVI و پارامترهای هواشناسی استفاده شده است. نوآوری‌های این پژوهش عبارتند از: ۱. بررسی اثر اکثر پارامترهای مؤثر در وقوع آتش‌سوزی (۱۲ پارامتر که

آتش‌سوزی جنگل خسارت‌های زیادی را به منابع طبیعی وارد می‌کند. افزایش میزان آتش‌سوزی و خسارت‌های ناشی از آن، اهمیت توجه بیشتر به این موضوع را آشکار می‌سازد. بیش از ۶ میلیون کیلومتر مربع از جنگل‌های جهان در کمتر از ۲۰۰ سال بر اثر آتش‌سوزی از بین رفته است (Dimopoulos and Giannikos, 2004). بسیاری از آتش‌سوزی‌ها ناشی از عوامل انسانی است که بعضی از آن‌ها بر اثر عوامل عمدی مانند سوزاندن پوشش زمین برای تغییر کاربری و مانند این‌ها و بعضی دیگر بر اثر بی‌احتیاطی و غفلت ایجاد می‌شود. از جمله خسارت‌های بی‌شمار آتش‌سوزی جنگل می‌توان به اینها اشاره کرد: به فرسایش خاک، از بین رفتن گیاهان و جانوران گوناگون، آلودگی هوا، تخریب درختان، از بین رفتن منظره طبیعی، و از این دست اشاره کرد (FAO, 2007; Roy et al., 2004). برخی از آتش‌سوزی‌ها نیز ممکن است بر اثر عوامل طبیعی مانند رعدوبرق و یا جرقه ناشی از اصطکاک حاصل از عوامل گوناگون باشد. فناوری سنجش از دور به دلیل قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالایی که دارد در کاهش میزان خسارت ناشی از آتش‌سوزی بسیار مفید است. در زمینه کشف نقاط آتش‌سوزی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای تحقیقات زیادی صورت گرفته است (Laneve et al., 2006; Stroppiana et al., 2000). ولی متأسفانه برای پیش‌بینی آتش‌سوزی تحقیقات چندانی انجام نشده است. ماهواره‌های سنجش از دور به دلیل قدرت تفکیک زمانی و مکانی مناسب‌شان، داده‌های ارزشی را در اختیار کاربران قرار می‌دهند که با استفاده از آنها می‌توان مناطق با پتانسیل بالا را شناسایی کرد و با انجام آمادگی‌های لازم قبل از وقوع آتش‌سوزی از آن پیش‌گیری کرد و یا از میزان خسارت‌های احتمالی تا حد امکان کم کرد. مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی شامل آمیختن داده‌های گوناگون مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی

1. Analytic Hierarchy Process

پوشش گیاهی و DEM منطقه است. برای پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای Landsat TM استفاده شده است. همچنین برای فراوانی آتش‌سوزی از نقاط آتش‌سوزی آشکار شده به وسیله MODIS از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ استفاده شده است. داده‌های دینامیک شامل NDVI، دما، بارش، باد، میزان تابش آفتاب، و رطوبت نسبی هوا به صورت ماهانه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ است. داده‌های NDVI از ترکیب تصاویر ۱۰ روزه SPOT-VEG با قدرت تفکیک ۱ کیلومتر به دست آمده است. برای سایر داده‌های دینامیک از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی منطقه مطالعه شده و مناطق اطراف آن استفاده شده است. علت انتخاب این پارامترها برای مدل‌سازی، این است که پارامترهای مذکور تأثیر زیادی در وقوع آتش‌سوزی استان گلستان دارند و در تحقیقات گوناگون این داده‌ها بررسی شدند (Jafari, 2011).

## ۲-۳- روش تحقیق

هدف از این تحقیق، شناسایی نواحی دارای پتانسیل بالای آتش‌سوزی است که بدین منظور با استفاده از داده‌های دینامیک نقشه خطر دینامیک، و با داده‌های استاتیک نقشه خطر استاتیک، تهیه و سرانجام از ترکیب این دو، نقشه مناطق با پتانسیل بالای آتش‌سوزی شناسایی شده است. فلوجارت کلی روش به کاررفته در این تحقیق مطابق شکل ۲ است.

بیشتر پارامترهای مؤثر در وقوع آتش‌سوزی را شامل می‌شود؛ ۲. به کارگیری این پارامترها به صورت توأم برای مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی؛ ۳. استفاده هم‌زمان از دانش داده‌ای و دانش کارشناسی برای وزن‌دهی پارامترها؛ ۴. تلفیق نقشه استاتیک حاصل از روش AHP؛ و ۵. نقشه دینامیک خطر آتش‌سوزی حاصل از شبکه عصبی.

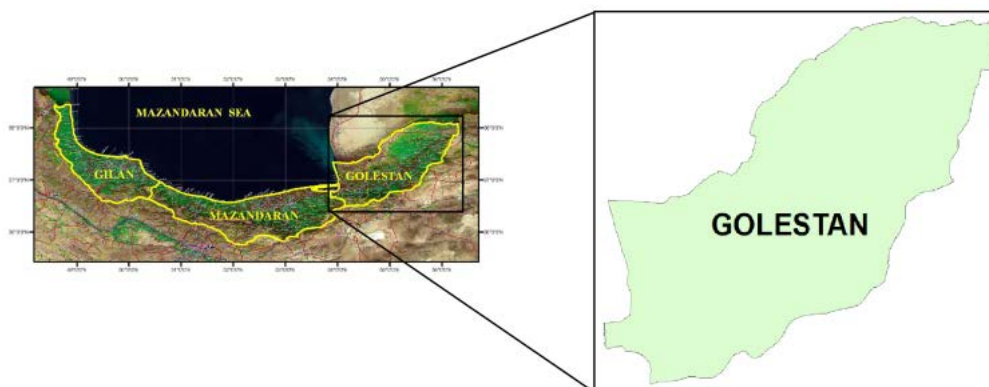
## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مطالعه شده

منطقه مطالعه شده استان گلستان است که در سواحل جنوبی دریای خزر واقع شده و از جمله مناطقی است که آتش‌سوزی در آنجا زیاد اتفاق می‌افتد. طول منطقه مطالعه شده حدود ۲۶۸ کیلومتر و عرض آن حدود ۲۰ تا ۹۰ کیلومتر و مساحت آن تقریباً ۲۱۰۰۰ کیلومترمربع است و اکثر نواحی آن شامل زمین‌های زراعت، بوته‌زارها، و جنگل است. طول جغرافیایی منطقه مطالعه شده (۵۱° ۵۳' الی ۱۸° ۵۶') و عرض جغرافیایی آن (۳۰° ۳۶' الی ۲۷° ۳۸') است. منطقه مطالعه شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

### ۲-۲- داده‌های استفاده شده

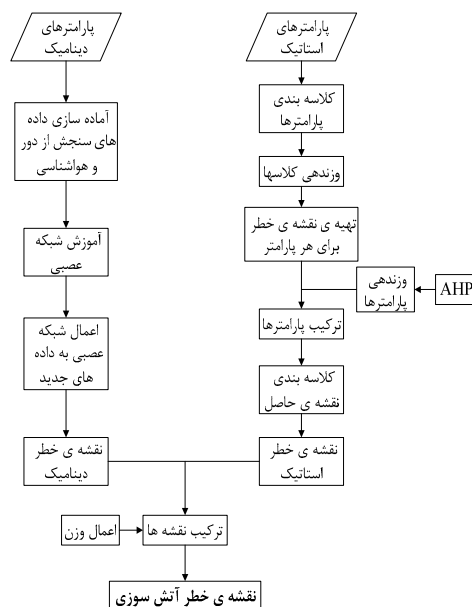
داده‌های به کاررفته در این مقاله به دو بخش استاتیک و دینامیک تقسیم می‌شود. داده‌های استاتیک شامل نقشه خطوط ارتباطی، نقشه رقومی شهرها، نقشه رقومی



شکل ۱. منطقه مطالعه شده به همراه استان‌های اطراف

کلاس‌های متفاوت در هر لایه، نقشه اندکس آن لایه به دست می‌آید. برای وزن‌دهی به هر کلاس در هر لایه اطلاعاتی، از دانش کارشناسی و دانش داده‌ای (داده‌های آتش‌سوزی سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵) استفاده شده است. دانش کارشناسی متکی به دیدگاه‌های کارشناسان در زمینه عوامل آتش‌سوزی و تحقیقات انجام‌شده در این زمینه است (Hernandez et al., 2006; Sonia, 2008). در دانش داده‌ای از آنالیز آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در سال‌های قبل و بررسی شرایط محیطی و اقلیمی آن‌ها استفاده می‌شود و از طریق آمار آتش‌سوزی‌ها و پارامترهای مؤثر بر آن، وزن کلاس‌های گوناگون هر لایه از اطلاعات استنتاج می‌گردد. برای مثال اگر ارتفاع همه نقاط آتش‌سوزی چند سال قبل موجود باشد از روی آن مشخص می‌شود که آتش‌سوزی‌ها بیشتر در چه ارتفاعاتی رخ داده است و وزن بیشتری برای آن بازه‌های ارتفاعی گرفته می‌شود. از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ تعداد ۸۰۲ نقطه آتش‌سوزی به‌وسیله MODIS برای استان گلستان کشف شده است که ابتدا مقدار هر لایه اطلاعاتی استفاده‌شده در این تحقیق برای تمامی نقاط آتش‌سوزی استخراج و درصد آتش‌سوزی برای هر کلاس محاسبه شده است. بیشترین وزن به بالاترین درصد آتش‌سوزی و کمترین وزن به پایین‌ترین درصد آن اختصاص یافته است و بقیه بازه‌ها متناسب با درصد آتش‌سوزی بین ۱ تا ۱۰ وزن‌دهی شدند. مطابق دانش کارشناسی و تحقیقات انجام‌شده در این زمینه تأثیر برخی از پارامترها بر وقوع آتش‌سوزی ساده و بدیهی به‌نظر می‌رسد. برای مثال نزدیکی به شهرها یا جاده‌های دسترسی، احتمال وقوع آتش‌سوزی را افزایش می‌دهد زیرا هر چه امکان دسترسی انسان به محیط بیشتر باشد احتمال وقوع آتش‌سوزی بر اثر عوامل انسانی نیز افزایش خواهد یافت. از این رو، با افزایش فاصله از شهرها و جاده‌ها وزن کلاس‌های این لایه‌های اطلاعاتی را باید کاهش داد. بدین ترتیب وزن هر یک از

با توجه به شکل ۲ تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی شامل دو مرحله است: مرحله یکم تهیه نقشه خطر استاتیک، و مرحله دوم تهیه نقشه خطر دینامیک. در ادامه هر دو مرحله بیان شده است.



شکل ۲. فلوچارت کلی روش پیشنهادی برای تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی

### الف) تهیه نقشه خطر استاتیک

مطابق فلوچارت نشان داده‌شده در شکل ۲، ابتدا باید نقشه خطر آتش‌سوزی استاتیک تهیه شود. بدین منظور از لایه‌های اطلاعاتی نوع پوشش گیاهی، شکل زمین، و دسترسی‌ها استفاده شده است. برای پوشش گیاهی از تصویر لندست TM استفاده شده و پوشش گیاهی با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده<sup>۱</sup> بیشترین احتمال<sup>۱</sup> تصویر لندست به‌دست آمده است. برای تأثیر شکل زمین از لایه‌های اطلاعاتی DEM، نقشه رستری شیب، و جهت شیب برای اعمال نقش عوامل انسانی (دسترسی‌ها) در مدل‌سازی از نقشه رستری فاصله از شهرها و فاصله از مناطق مسکونی استفاده شده است. بعد از آماده‌سازی داده‌ها، لایه‌های موجود به کلاس‌های گوناگون تقسیم می‌شوند و به هر کدام از این کلاس‌ها وزن متناسب با آن اختصاص می‌یابد. با وزن‌دهی به

1. Maximum Likelihood

شناسایی نواحی دارای پتانسیل بالای آتش‌سوزی با استفاده از شبکه عصبی و تصمیم‌گیری چندمعیاره

کلاس‌های لایه‌های ورودی با استفاده از تحقیقات مشابه (Hernandez et al., 2006; Sonia, 2008)، اصول علمی و بدیهی، و همچنین آمار آتش‌سوزی‌های چندین سال قبل تعیین و اعمال گردید و برای هر لایه

اطلاعاتی استاتیک، اندکس خطر آن لایه به دست آمد. جدول ۱ وزن هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی را به‌همراه تعداد نقاط آتش‌سوزی نشان می‌دهد.

جدول ۱. وزن لایه‌های اطلاعاتی گوناگون به‌همراه تعداد آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در هر کلاس

اندکس	درصد آتش‌سوزی	تعداد آتش‌سوزی	فاصله از راه‌های ارتباطی (km)	اندکس	درصد آتش‌سوزی	تعداد آتش‌سوزی	فاصله از مناطق مسکونی (km)
۱۰	۵۲/۷۴	۴۲۳	۲-۰	۱۰	۴۶/۲۶	۳۷۱	۱۰-۰
۸	۲۰/۰۷	۱۶۱	۴-۲	۹	۳۱/۴۲	۲۵۲	۲۰-۱۰
۷	۱۵/۰۹	۱۲۱	۶-۴	۷	۱۳/۳۴	۱۰۷	۳۰-۲۰
۵	۵/۹۹	۴۸	۸-۶	۵	۷/۴۸	۶۰	۴۰-۳۰
۳	۳/۳۷	۲۷	۱۰-۸	۳	۱	۸	۵۰-۴۰
۲	۲/۳۷	۱۹	۱۲-۱۰	۲	۰/۵۰	۴	۶۰-۵۰
۱	۰/۳۷	۳	۱۲≤	۱	۰	۰	۶۰≤
اندکس	درصد آتش‌سوزی	تعداد آتش‌سوزی	جهت شیب	اندکس	درصد آتش‌سوزی	تعداد آتش‌سوزی	شیب برحسب درصد
۱	۰	۰	North	۱۰	۷۵/۱۹	۶۰۳	۵-۰
۲	۰/۸۷	۷	North East	۶	۶/۶۱	۵۳	۱۰-۵
۴	۳/۸۷	۳۱	East	۷	۷/۱۱	۵۷	۱۵-۱۰
۶	۸/۳۵	۶۷	South East	۵	۴/۷۴	۳۸	۲۰-۱۵
۱۰	۳۴/۱۶	۲۷۴	South	۴	۳/۹۹	۳۲	۲۵-۲۰
۹	۲۹/۵۵	۲۳۷	South West	۳	۰/۸۷	۷	۳۰-۲۵
۷	۱۷/۴۶	۱۴۰	West	۳	۰/۸۷	۷	۳۵-۳۰
۵	۵/۷۴	۴۶	North West	۲	۰/۳۷	۳	۴۰-۳۵
۱	۰	۰	North	۱	۰/۲۵	۲	۴۰≤
اندکس	تعداد آتش‌سوزی	مساحت (هکتار)	نوع پوشش زمین	اندکس	درصد آتش‌سوزی	تعداد آتش‌سوزی	ارتفاع (m)
۸	۷۱	۴۸۷/۳۷۷	مناطق مسکونی	۵	۸/۶۰	۶۹	۰-(-۲۸)
۴	۳	۴۸۳۹/۰۶	جنگل انبوه	۱۰	۵۹/۴۸	۴۷۷	۰-۱۵۰
۳	۲	۴۶۰۸/۰۳	جنگل نیمه‌انبوه	۹	۱۷/۲۱	۱۳۸	۱۵۰-۳۰۰
۵	۶	۲۵۴۵/۰۱	جنگل تنک	۷	۳/۴۹	۲۸	۳۰۰-۴۵۰
۲	۱	۳۲۸/۹۸	جنگل‌های ماندابی	۶	۳/۴۹	۲۸	۴۵۰-۶۰۰
۴	۳	۳۱۵/۷۶	بیشه‌زار و درختچه‌زار	۳	۱/۸۷	۱۵	۶۰۰-۷۵۰
۸	۶۴	۱۰۸۹۶/۸۹	جنگل‌های دست کاشت	۲	۱	۸	۷۵۰-۹۰۰
۷	۱۷	۱۲۶۳۳/۶۴	مراتع متراکم	۲	۱/۳۷	۱۱	۹۰۰-۱۰۵۰
۶	۶	۲۰۵۱/۱۱	مراتع نیمه‌متراکم	۲	۱/۱۲	۹	۱۰۵۰-۱۲۰۰
۱۰	۳۴۵	۹۰۴۵/۳۴	مراتع کم‌تراکم	۳	۲/۱۲	۱۷	۱۲۰۰-۱۳۵۰
۹	۲۸۴	۱۱۹۰۳/۹۷	زراعات آبی و باغات	۱	۰/۲۵	۲	۱۳۵۰≤ و -۲۸≤
۰	۰	۰/۶۹	دق‌های رسی				
۱	۰	۸۸۶/۱۴	باتلاق				
۰	۰	۲۵/۰۵	سطوح آبی				

شده است. در این روش ابتدا میانگین هندسی عناصر یک ردیف به دست می‌آید و سپس نرمالیزه می‌شود. با توجه به نسبی بودن اهمیت معیارها، مجموع ضریب اهمیت معیارها، معادل یک است.

### ب) تهیه نقشه خطر دینامیک

علاوه بر پارامترهای استاتیک بررسی شده در بخش قبل، پارامترهای دیگری وجود دارند که در طول زمان متغیر هستند. این داده‌ها ممکن است در طول روز نیز متغیر باشند. مدل‌سازی این داده‌ها به دلیل متغیر بودنشان در طول زمان مشکل است، زیرا برخلاف داده‌های استاتیک، این پارامترها برای منطقه در طول زمان ثابت نیستند و برای تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی در هر زمان، نیاز به داده‌های همان زمان است. داده‌های استفاده شده برای نقشه دینامیک در این تحقیق شامل دمای هوا، NDVI، رطوبت نسبی، درصد باد غالب، میزان تابش آفتاب، و بارش است. برای تهیه نقشه خطر دینامیک از شبکه عصبی استفاده شده است.

شبکه‌های عصبی مصنوعی، مانند مغز انسان از نورون‌های مصنوعی به‌عنوان واحدهای پردازشگر تشکیل یافته و این نورون‌ها با یکدیگر در ارتباط‌اند. شبکه عصبی به دلیل قابلیت بسیار بالا در حل مسائل پیچیده و غیرخطی کاربرد زیادی دارد (Egmont-Petersen et al., 2002)، و در مسائل طبقه‌بندی پیچیده نیز نتایج رضایت‌بخشی به دست می‌دهد (Bishop, 1995; Haykin, 1994). ساختار شبکه عصبی چندلایه پیشخور با R ورودی در شکل ۳ نشان داده شده است.

در شکل ۳، S تعداد نرون و اندیس بالا شماره لایه است. مطابق شکل، هر ورودی x در وزن w ضرب و حاصل جمع آن با بایاس (b) وارد تابع انتقال  $f(x)$

در مرحله بعد باید این نقشه‌ها با وزن‌های مناسب با هم ترکیب شوند تا نقشه استاتیک خطر آتش‌سوزی به دست آید. بدین منظور از روش آنالیز فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شده است. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری شروع می‌شود. این عناصر شامل: اهداف، معیارها یا مشخصه‌ها، و گزینه‌های احتمالی است که در اولویت‌بندی به کار گرفته می‌شوند. فرایند شناسایی عناصر و ارتباط بین آن‌ها که به ایجاد ساختاری سلسله‌مراتبی می‌انجامد، ساختن سلسله‌مراتب نامیده می‌شود. سلسله‌مراتبی بودن ساختار به این دلیل است که عناصر تصمیم‌گیری (گزینه‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری) را می‌توان در سطوح گوناگون خلاصه کرد (Bowen, 1990). بنابراین نخستین گام در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، ایجاد ساختاری سلسله‌مراتبی از موضوع بررسی شده است که در آن اهداف، معیارها، گزینه‌ها، و ارتباط بین آن‌ها نشان داده می‌شود. چهار مرحله بعدی در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی شامل اینهاست: محاسبه وزن (ضریب اهمیت)، معیارها (و زیرمعیارها در صورت وجود)، محاسبه وزن (ضریب اهمیت) گزینه‌ها، محاسبه امتیاز نهایی گزینه‌ها، و بررسی سازگاری منطقی قضاوت‌ها. عملیات وزن‌دهی با استفاده از دانش کارشناسی، دانش داده‌ای، و یا تلفیق هر دو انجام‌پذیر است. برای محاسبه ضریب اهمیت معیارها، چهار روش عمده مطرح است: روش حداقل مربعات<sup>۱</sup>، روش حداقل مربعات لگاریتمی<sup>۲</sup>، روش بردار ویژه<sup>۳</sup>، روش‌های تقریبی<sup>۴</sup>.

هر چه ابعاد ماتریس مربوط به اولویت معیارها بزرگ‌تر باشد، محاسبه مقادیر و بردارهای ویژه، طولانی‌تر و وقت‌گیرتر خواهد بود. «ساعتی» چهار روش تقریبی را ارائه کرده (Saaty, 1980) که شامل اینهاست: مجموع سطری، مجموع ستونی، میانگین حسابی، و میانگین هندسی. از این چهار روش، روش میانگین هندسی دقت بیشتری دارد که در پژوهش حاضر نیز از این روش برای محاسبه وزن‌ها استفاده

1. Least Squares Method
2. Logarithmic Least Squares Method
3. Eigen Vector Method
4. Approximation Method

و تابع انتقال خطی در لایه خروجی و الگوریتم آموزشی Levenberg-Marquardt (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963) به کار رفته است. برای آموزش شبکه، داده‌های سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ به کار رفته و از داده‌های سال ۲۰۰۵ برای ارزیابی استفاده شده است. بدین منظور نقشه ۶ پارامتر بررسی شده برای ۱۵ ماه (ماه‌های ۶، ۷ و ۸ سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴) با ابعاد پیکسلی ۸۵۰ متر تهیه شد. با توجه به زیادبودن نمونه‌های زمینه در مقایسه با تعداد ۶۵۶ پیکسل آتش‌سوزی (تعداد نقاط آتش‌سوزی اتفاق افتاده از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴)، تعداد ۲۲۰۰۰ پیکسل زمینه به‌طور سیستماتیک انتخاب شده و برای آموزش شبکه استفاده شده است. از این رو، جمعاً ۲۲۶۵۶ نمونه برای آموزش شبکه انتخاب شد و شبکه عصبی با این داده‌ها آموزش دید و میزان MSE آن برابر ۰/۰۱ به‌دست آمد. داده‌های آموزشی به سه دسته تقسیم شد: ۶۰ درصد برای آموزش، ۲۰ درصد برای ارزیابی و ۲۰ درصد دیگر برای تست استفاده شد، که دقت نمونه‌های تست برابر  $R=0/70$  به‌دست آمد.

### ۳- نتایج

همان‌طور که در بخش روش تحقیق اشاره شد، ابتدا همه پارامترها با وزن یکسان با هم ترکیب شدند و سپس اولویت‌بندی پارامترها چندین بار با تغییر مقادیر هر پارامتر اجرا و وزن پارامترها در هر مرتبه محاسبه شد. بر مبنای وزن‌های حاصل، پارامترهای استاتیک ترکیب شدند و نقشه خطر استاتیک در هر مرحله به‌دست آمد. نقشه‌های به‌دست آمده با استفاده از نقاطی که در آنها آتش‌سوزی رخ داده بود و یک معیار دقت، ارزیابی و بر مبنای آن‌ها بهترین وزن‌ها استخراج شدند. با اعمال وزن‌های حاصل و ترکیب پارامترهای استاتیک، درصدی از مساحت منطقه به‌عنوان منطقه

می‌شود. سپس خروجی تابع انتقال، ورودی لایه بعدی می‌شد و این کار ادامه می‌یابد و سرانجام لایه خروجی، مقدار نهایی خروجی را برمی‌گرداند. شبکه عصبی ابتدا باید آموزش ببیند که این فرایند مشتمل بر تنظیم وزن و بایاس شبکه برای رسیدن به جواب مطلوب است. شبکه بعد از یادگیری قادر به تشخیص پدیده‌های مشابه می‌شود (Prost et al., 2005). از مشکلات آموزش شبکه عصبی، فرابرازش<sup>۱</sup> است (Geman et al., 1992)؛ به این صورت که خطاهای موجود در آموزش ابتدا بسیار کوچک می‌شود ولی زمان اعمال شبکه برای داده‌های جدید خطاها افزایش می‌یابد. یعنی شبکه فقط داده‌های آموزشی را حفظ می‌کند و برای داده‌های جدید نتایج رضایت‌بخش نیست. از روش‌های رفع این مشکل، تکنیک توقف زودهنگام<sup>۲</sup> است. در این تکنیک داده‌های موجود به سه دسته تقسیم می‌شوند (Prechelt, 1998): نخستین دسته داده‌های آموزشی است که برای محاسبه و به‌روزرسانی وزن‌ها استفاده می‌شود. دسته بعدی داده‌های ارزیابی است، که خطای آن در فرایند آموزش نمایش داده می‌شود. خطای ارزیابی همانند خطای داده‌های آموزشی در مرحله نخست آموزش کاهش پیدا می‌کند. هنگامی که شبکه شروع به فرابرازش می‌کند، خطای ارزیابی نیز رفته رفته افزایش می‌یابد. زمانی که خطای ارزیابی به تعداد تکرار مشخص شده رسید آموزش شبکه قطع می‌شود و وزن‌ها و بایاس‌های کمترین خطای آموزشی برگردانده می‌شود. دسته بعدی، داده‌های تست است و در طول آموزش استفاده نمی‌شود اما برای مقایسه مدل‌های گوناگون از آن استفاده می‌شود. اگر خطای تست در کمترین مقدار به کمتر از خطای ارزیابی برسد بیانگر بدبودن تقسیم‌بندی داده‌هاست.

در این تحقیق از شبکه عصبی پیش‌خور با لایه‌ای ورودی دارای ۶ نرون، دو لایه میانی دارای ۲۰ و ۲۸ نرون و لایه‌ای خروجی با یک نرون استفاده شده است. بدین ترتیب شبکه عصبی با ساختار [ ۲۸ ۲۰ ۶ ] با تابع انتقال logarithmic sigmoid در هر دو لایه میانی

1. Overfitting  
2. Early stopping

مستعد وقوع آتش‌سوزی را با استفاده از پارامترهای تاحدودی ثابت در طول زمان شناسایی می‌کند. با توجه به اینکه مقادیر هر نقشه بین ۱ تا ۱۰، و مجموع ضرایب معادله مذکور برابر ۱ است، مقادیر نقشه خطر آتش‌سوزی نیز بین ۱ تا ۱۰ خواهد بود. در این تحقیق فاصله ۱ تا ۱۰ به چهار ناحیه مساوی تقسیم شده و نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است. البته در مرحله یکم همه این ۶ پارامتر با وزن یکسان با هم ترکیب شدند. با توجه به این که مقادیر همه این پارامترها از یک تا ده است، بنابراین مقدار حاصل جمع شش پارامتر با وزن یکسان بین ۶ تا ۶۰ خواهد بود که این بازه به چهار قسمت مساوی تقسیم شده و تعداد آتش‌سوزی اتفاق افتاده در هر ناحیه به دست آمده است. این چهار ناحیه از مقادیر کمتر به بیشتر به ترتیب منطقه بی‌خطر، منطقه کم‌خطر، منطقه با خطر متوسط، و منطقه خطرناک نام‌گذاری شده‌اند و نتیجه در جدول ۲ نشان داده شده است.

پرختر شناسایی می‌شود. با توجه به این که درصد آتش‌سوزی اتفاق افتاده در آن منطقه نیز معلوم است، معیار دقت از تقسیم درصد آتش‌سوزی‌های رخ داده در منطقه پرختر به درصد مساحت آن منطقه مطابق رابطه تعریف شد:

رابطه (۱)

$$\text{معیار دقت} = \frac{\text{درصد آتش‌سوزی اتفاق افتاده در منطقه شناسایی شده به عنوان پرختر}}{\text{درصد مساحت آن منطقه}}$$

از بین حالت‌های گوناگون بررسی شده در این تحقیق، وزن‌های نشان داده شده در رابطه (۲) بهترین دقت را دارد. طبق وزن‌های حاصل، نقشه استاتیک خطر آتش‌سوزی از رابطه (۲) به دست می‌آید.

رابطه (۲)

$$\text{Static Fire Risk} = 0.52 (\text{landcover}) + 0.08 (\text{altitude}) + 0.04 (\text{Slope}) + 0.03 (\text{aspect}) + 0.12 (\text{road dist}) + 0.21 (\text{city dist})$$

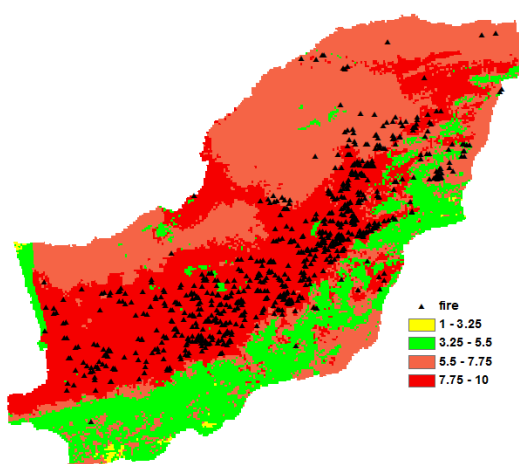
با استفاده از رابطه (۲) نقشه خطر استاتیک برای منطقه مطالعه شده تهیه می‌شود. این نقشه مناطق

جدول ۲. نتایج روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در شناسایی نواحی با پتانسیل بالای آتش‌سوزی در حالت وزن‌های یکسان و وزن‌های حاصل از روش AHP با استفاده از پارامترهای استاتیک

خطرناک	خطر متوسط	کم‌خطر	بی‌خطر	نوع منطقه
۹۰۲۱/۳۴	۷۱۵۹/۱۱	۳۸۷۸/۴۹	۱۷۹/۵۸	مساحت ناحیه (km <sup>2</sup> )
۰/۴۵	۰/۳۵	۰/۱۹	۰/۰۱	نسبت مساحت
۶۷۲	۱۰۹	۲۱	۰	فراوانی آتش‌سوزی
۸۳/۷۹	۱۳/۵۹	۲/۶۲	۰	درصد آتش‌سوزی
۱/۸۶	۰/۳۹	۰/۱۴	۰	نسبت درصد آتش‌سوزی به درصد مساحت
۷۹۵۱/۱۶	۸۴۸۹/۸۸	۳۹۰۱/۱۲	۶۶/۴۳	مساحت ناحیه (km <sup>2</sup> )
۰/۳۹	۰/۴۱	۰/۱۹	۰/۰۰۳	نسبت مساحت
۶۹۲	۱۰۰	۱۰	۰	فراوانی آتش‌سوزی
۸۶/۲۸	۱۲/۴۷	۱/۲۵	۰	درصد آتش‌سوزی
۲/۲۱	۰/۳	۰/۰۶۶	۰	نسبت درصد آتش‌سوزی به درصد مساحت



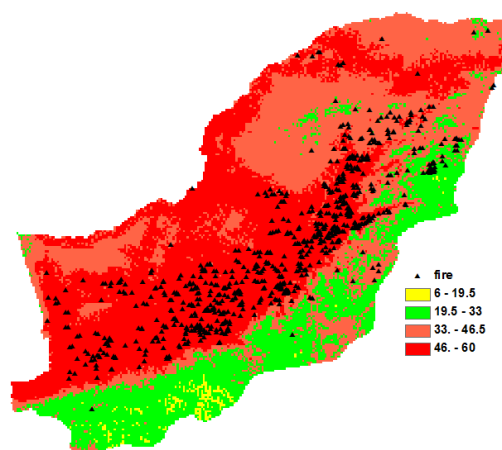
پرخاطر شناسایی کند، در این صورت، دقت نقاط آتش‌سوزی ۱۰۰ درصد خواهد بود ولی نمی‌توان آن را مدل دقیقی برشمرد، چون هرچه منطقه شناسایی شده ریزتر باشد یعنی مناطق کاملاً خطرناک شناسایی شده‌اند. از مقایسه دو شکل ۴ و ۵ نیز مشاهده می‌شود که برخی از مناطقی که در حالت نخست به‌عنوان خطرناک شناسایی شده‌اند، در حالت دوم خطرناک نیستند و ناحیه خطرناک در حالت دوم نسبت به حالت اول کوچک‌تر شده است؛ با این حال تعداد نقاط آتش‌سوزی ناحیه خطرناک کاهش نیافته و حتی افزایش یافته است. این روند، بهبود دقت حالت دوم - یعنی استفاده از روش AHP برای وزن‌دهی به پارامترها - را در مقایسه با یکسان‌گرفتن وزن پارامترها نشان می‌دهد.



شکل ۵. نقشه خطر آتش‌سوزی استاتیک حاصل از تصمیم‌گیری چندمعیاره با وزن‌دهی پارامترها به روش AHP به‌همراه نقاط آتش‌سوزی در هر ناحیه

بعد از تهیه نقشه خطر استاتیک با استفاده از پارامترهای متغیر در زمان، نقشه خطر دینامیک تهیه و از ترکیب این دو، نقشه خطر آتش‌سوزی حاصل می‌شود. همان‌طور که اشاره شد برای تهیه نقشه خطر دینامیک از شبکه عصبی استفاده شده است. شبکه عصبی بعد از آموزش به داده‌های ماه ژوئن سال ۲۰۰۵ که در آموزش شبکه حضور نداشتند، اعمال و نقشه

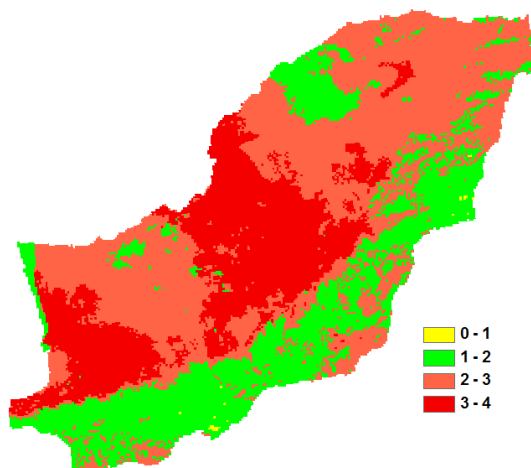
شکل ۴ نقشه خطر آتش‌سوزی استاتیک حاصل از یکسان‌گرفتن وزن همه پارامترها و شکل ۵ نقشه خطر آتش‌سوزی استاتیک حاصل از رابطه (۲) را به‌همراه آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در هر ناحیه نشان می‌دهد.



شکل ۴. نقشه خطر آتش‌سوزی استاتیک حاصل از تصمیم‌گیری چندمعیاره با یکسان‌گرفتن وزن پارامترها به‌همراه آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در هر ناحیه

از روی جدول ۲ مشخص می‌شود که در حالت نخست ۸۳/۷۹ درصد از آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ در مناطقی اتفاق افتاده که با استفاده از نقشه خطر استاتیک به‌عنوان منطقه پرخاطر شناسایی شده و مساحت آن شامل ۴۵ درصد کل منطقه است. در حالت دوم که وزن‌ها با استفاده از روش AHP به‌دست آمدند، درصد آتش‌سوزی به ۸۶/۲۸ و مساحت ناحیه به ۳۹ درصد رسیده و این بدین معنی است که در حالت دوم، هم دقت افزایش یافته و هم مساحت مناطق خطرناک کاهش یافته است. به‌همین دلیل معیار دقت به‌صورت رابطه (۱) تعریف شد. هر چه این معیار بیشتر باشد بهتر است، چون مخرج این معیار مساحت ناحیه پرخاطر را نشان می‌دهد و بدیهی است که هر چه مساحت این ناحیه کوچک‌تر باشد، یعنی مناطقی شناسایی شده است که به‌راستی پتانسیل بالایی برای وقوع آتش‌سوزی دارند. برای مثال اگر مدلی کل منطقه مطالعه‌شده را به‌عنوان منطقه

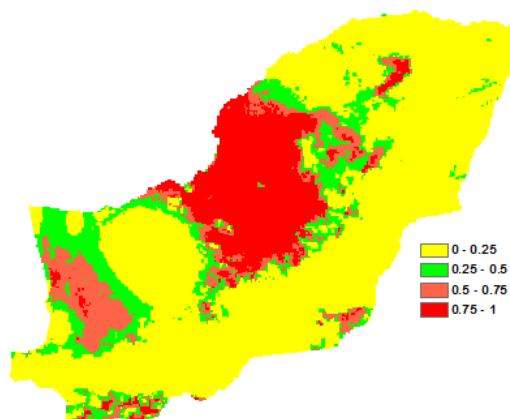
مطالعه‌شده وزن مربوط به نقشه استاتیک ۳ برابر دینامیک در نظر گرفته شده است. با توجه به مقادیر هر یک از نقشه‌های استاتیک و دینامیک، خروجی رابطه (۳) از ۰ تا ۴ خواهد بود. از این رو، این بازه به چهار قسمت مساوی تقسیم شده، و از مقادیر کمتر به بیشتر به ترتیب منطقه بی‌خطر، منطقه کم‌خطر، منطقه با خطر متوسط و منطقه خطرناک نام‌گذاری شده است. شکل ۷ نقشه خطر آتش‌سوزی را برای ماه ژوئن ۲۰۰۵ به همراه چهار ناحیه نشان می‌دهد.



شکل ۷. نقشه خطر آتش‌سوزی برای ماه ژوئن ۲۰۰۵

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود تعدادی از مناطق به رنگ قرمز نشان داده شده است. مقدار به‌دست‌آمده برای این مناطق بین ۳ تا ۴ بوده و جزء مناطق پرخطر است. در واقع، با استفاده از شبکه عصبی و تصمیم‌گیری چندمعیاره نواحی با خطر بالای آتش‌سوزی برای ماه ژوئن سال ۲۰۰۵ شناسایی شده است. برای ارزیابی میزان صحت این شناسایی از داده‌های آتش‌سوزی اتفاق افتاده در این ماه استفاده شده است. بدیهی است بیشتر بودن تعداد آتش‌سوزی اتفاق افتاده در نواحی قرمز رنگ، بیانگر دقیق بودن روش پیشنهادی است. شکل ۸ پراکندگی نقاط آتش‌سوزی اتفاق افتاده در ماه ژوئن را نشان می‌دهد.

خطر دینامیک برای این ماه تهیه شد. علت انتخاب ماه ژوئن این است که میزان آتش‌سوزی در این ماه بیشترین بوده است. شکل ۶ نقشه خطر دینامیک حاصل از شبکه عصبی را نشان می‌دهد.



شکل ۶. نقشه خطر آتش‌سوزی دینامیک حاصل از اعمال شبکه عصبی برای ماه ژوئن ۲۰۰۵

با توجه به اینکه خروجی شبکه عصبی بین ۰ و یک است، مقادیر نقشه خطر دینامیک نیز بین ۰ تا ۱ خواهد بود. از آنجا که مقادیر نقشه استاتیک بین ۱ تا ۱۰ بوده است، برای متناسب شدن مقادیر هر دو نقشه، ابتدا نقشه خطر استاتیک در ۰/۱ ضرب شده است تا مقدار آن به کمتر از یک برسد و با مقادیر نقشه دینامیک متناسب شود و در آخر با استفاده از رابطه (۳) با هم ترکیب شدند.

رابطه (۳)

$$\text{Fire Risk} = 3 \times (\text{static fire risk}) + (\text{dynamic fire risk})$$

با توجه به تأثیر متفاوت پارامترها بر وقوع آتش‌سوزی در مناطق گوناگون، پژوهشگران وزن‌های متفاوتی برای این پارامترها ارائه کرده است (Hernandez et al., 2006; Sonia, 2008). در این تحقیق با تغییر ضرایب هر یک از نقشه‌های استاتیک و دینامیک و ارزیابی نتایج آن‌ها و همچنین در نظر گرفتن تأثیر عوامل انسانی در اکثر آتش‌سوزی‌های منطقه

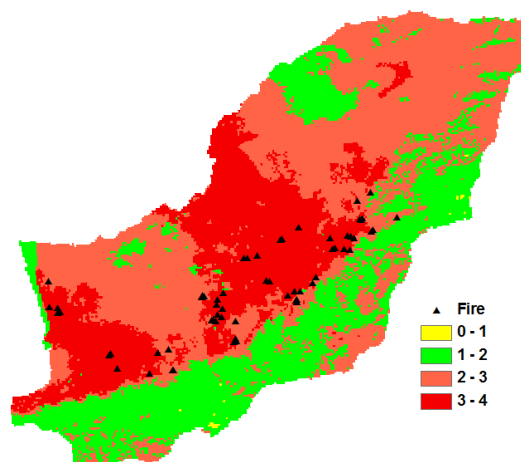
آتش‌سوزی‌ها رخ داده است، که بالا بودن دقت پیش‌بینی مدل را نشان می‌دهد. از این رو، می‌توان با استفاده از این مدل مناطق با خطر زیاد را شناسایی کرد و با انجام تمهیدات لازم تا حد امکان از بروز آتش‌سوزی جلوگیری کرد و از میزان خسارات ناشی از آن کاست.

جدول ۳. مساحت نواحی گوناگون به همراه تعداد آتش‌سوزی اتفاق افتاده در هر ناحیه

نوع منطقه	بی‌خطر	کم‌خطر	خطر متوسط	خطرناک
مساحت ناحیه (km <sup>2</sup> )	۱۸/۹۸	۵۴۷۷/۹۲	۹۳۹۸/۷۵	۵۰۸۰/۸
نسبت مساحت فراوانی آتش‌سوزی	۰/۱۰	۲۷/۴۲	۴۷/۰۵	۲۵/۴۳
درصد آتش‌سوزی	۰	۰	۱۸	۴۳
نسبت درصد آتش‌سوزی به درصد مساحت	۰	۰	۲۹/۵۱	۷۰/۴۹
	۰	۰	۰/۶۳	۲/۷۷

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

آتش‌سوزی سالانه خسارت‌های زیادی را بر اراضی و جنگل‌های کشور وارد می‌کند. با شناسایی مناطق با پتانسیل بالای آتش‌سوزی و انجام آمادگی‌های لازم می‌توان از وقوع آن جلوگیری کرد و یا تا حد امکان از خسارت‌های احتمالی آن کاست. در این مقاله با استفاده از شبکه عصبی و تصمیم‌گیری چندمعیاره، مناطق با پتانسیل بالای آتش‌سوزی استان گلستان شناسایی شد. مدل پیشنهادی از دو مرحله تشکیل شده است. در مرحله نخست با استفاده از روش AHP وزن پارامترها تعیین و از ترکیب آن‌ها نقشه خطر استاتیک تهیه می‌شود و در مرحله دوم با استفاده از شبکه عصبی نقشه خطر دینامیک به دست می‌آید و در آخر از ترکیب دو نقشه حاصل، نقشه خطر آتش‌سوزی که بیانگر میزان پتانسیل مناطق برای وقوع آتش‌سوزی است، تهیه می‌شود.



شکل ۸. نقشه خطر آتش‌سوزی برای ماه ژوئن ۲۰۰۵ به همراه آتش‌سوزی اتفاق افتاده

همان‌طور که مشاهده می‌شود اکثر آتش‌سوزی‌ها در مناطق پرخطر رخ داده است. در بعضی از نقاط قرمز رنگ (پرخطر) آتش‌سوزی اتفاق نیفتاده است ولی این دلیل بر نقص مدل نیست، زیرا مدل پیشنهادی مناطق با پتانسیل بالای آتش‌سوزی را شناسایی می‌کند و داشتن پتانسیل بالا لزوماً به آتش‌سوزی نمی‌انجامد؛ چرا که ممکن است خیلی از مناطق، پتانسیل بالایی برای وقوع آتش‌سوزی داشته باشند ولی به دلیل نبودن عامل احتراق، آتش‌سوزی در منطقه رخ ندهد. بنابراین، عامل انسانی همیشه مشکلات و عدم قطعیت‌های زیادی را در زمینه مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی ایجاد می‌کند. علاوه بر ارزیابی بصری، ارزیابی کمی نیز صورت گرفته است. تعداد آتش‌سوزی در هر ناحیه به همراه مساحت آن ناحیه محاسبه شده و نتایج در جدول نشان داده شده است. لازم به ذکر است که تعداد ۶۱ مورد آتش‌سوزی در این ماه به وسیله MODIS کشف شده است.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود ۷۰/۴۹ درصد آتش‌سوزی‌ها در مناطقی که به‌عنوان مناطق پرخطر شناسایی شده، اتفاق افتاده است در حالی که، در مناطق بی‌خطر و کم‌خطر هیچ آتش‌سوزی‌ای اتفاق نیفتاده و در منطقه با خطر متوسط ۲۹/۵۱ درصد از

آتش‌سوزی به درصد مساحت در مدل نهایی برابر ۲/۷۷ به‌دست آمد که در مقایسه با مدل خطر استاتیک نشان می‌دهد که با ورود نقشه خطر دینامیک حاصل از شبکه عصبی و ترکیب آن با نقشه خطر استاتیک، دقت نقشه خطر استاتیک افزایش بسیار خوبی یافته است.

در مدل پیشنهادی از داده‌های ماهواره‌ای و زمینی هم‌زمان استفاده شد. داده‌های زمینی از طریق درون‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی به دست آمدند، که دارای خطا و نویز زیادی هستند. داده‌های سنجش از دور به دلیل قدرت تفکیک زمانی و مکانی مناسب، می‌توانند اطلاعات و داده‌های بارزشی را در این زمینه در اختیار کاربران قرار دهند. از این رو می‌توان داده‌های ماهواره‌ای را جایگزین داده‌های هواشناسی کرد و با استفاده از آن‌ها، خطر آتش‌سوزی را مدل‌سازی کرد. به عنوان مثال می‌توان از شاخص‌های گوناگون تصاویر ماهواره‌ای نظیر LST و سایر شاخص‌های پوشش گیاهی استفاده کرد و دقت مدل‌سازی را افزایش داد.

##### ۵- منابع

- Bishop, C., 1995, **Neural Networks for Pattern Recognition**, New York: Oxford University Press.
- Dimopoulo, Maria., Giannikos., Ioannis, 2004, **Towards an Integrated Framework for Forest Fire Control**, European Journal of Operation Research 152, PP. 476-486.
- Donnegan, J.A., T.T. Veblen, S.S. Sibold, 2001, **Climatic and Human Influences on Fire History in Pike National Forest**, central Colorado. Can. J. For. Res., 31, PP. 1527-1539.
- Egmont-Petersen, M., Ridder, D., Handels, H., 2002, **Image Processing using Neural Networks—a Review**, Pattern Recognition 35 (10), PP. 2279-2301.

در فراهم‌کردن نقشه خطر استاتیک، ابتدا وزن پارامترهای استاتیک یکسان در نظر گرفته شد، که نقشه حاصل نشان داد ۸۳/۷۹ درصد از آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ در مناطقی رخ داده است که با استفاده از نقشه خطر استاتیک به‌عنوان منطقه پرخطر شناسایی شده است و مساحت این ناحیه شامل ۴۵ درصد کل منطقه است. در حالت دوم که وزن‌ها با استفاده از روش AHP به‌دست آمدند، درصد آتش‌سوزی به ۸۶/۲۸ و مساحت ناحیه به ۳۹ درصد رسیده و این بدین معنی است که در حالت دوم هم دقت افزایش یافته و هم مساحت مناطق خطرناک کاهش یافته است. بدین ترتیب معیاری با عنوان نسبت درصد آتش‌سوزی به درصد مساحت تعریف شد، که هر چه مقدار آن بیشتر باشد، مدل دقت بیشتری خواهد داشت. این نسبت برای مدل استاتیک در حالت وزن یکسان برابر ۱/۸۶ و در حالت استفاده از روش AHP برای وزن‌دهی برابر ۲/۲۱ به‌دست آمد که از افزایش چشمگیر دقت مدل به دلیل استفاده از روش AHP حکایت می‌کند.

مدل نهایی خطر آتش‌سوزی از ترکیب دو مدل استاتیک و دینامیک به‌دست می‌آید که می‌تواند مناطق پرخطر را به درستی و با دقت بالایی شناسایی کند. ۷۰/۴۹ درصد آتش‌سوزی‌ها در مناطقی که به‌عنوان مناطق پرخطر شناسایی شده بودند، اتفاق افتاده است. مساحت این منطقه ۲۵/۴۳ درصد از مساحت کل را به خود اختصاص داده است، درحالی‌که در مناطق بی‌خطر و کم‌خطر هیچ آتش‌سوزی‌ای اتفاق نیفتاده و در منطقه با خطر متوسط ۲۹/۵۱ درصد از آتش‌سوزی‌ها به وقوع پیوسته است. این نشان می‌دهد که از طریق مدل‌سازی با استفاده از روش پیشنهادی در این مقاله، می‌توان مناطق خطرناک و مستعد آتش‌سوزی را با دقت بالا شناسایی کرد. با شناسایی مناطق پرخطر قبل از وقوع آتش‌سوزی می‌توان با انجام آمادگی‌های لازم از وقوع آن تا حد امکان جلوگیری کرد. نسبت درصد

- FAO., 2007, **Fire Management- Global Assessment 2006**, FAO forestry paper No. 151. Rome.
- Geman, S., Bienenstock, E., Doursat, R., 1992, **Neural Networks and the Bias/Variance Dilemma**. Neural Computation 4 (1), PP. 1–58.
- Haykin, S., 1994, **Neural Networks**, A Comprehensive Foundation, New York: Macmillan.
- Hernandez P.A., M. Arbelo, A. Gonzalez-Calvo, 2006, **Fire Risk Assessment Using Satellite Data**, Advances in Space Research, 37, PP. 741–746.
- Jafari, Y., Ardakani A., Mohammadzadeh A., 2011, **Examination and Evaluation of Some Static Parameters Effect on North Forest Using RS and GIS**, The 1st International Conference on Wildfire in Natural Resources Lands, 26-28 October 2011, Gorgan, Iran.
- Laneve, G.G., Castronuovo, M.M., and Cadau, E.G., 2006, **Continuous Monitoring of Forest Fires in the Mediterranean Area Using MSG**, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 44, No. 10, PP. 2761–2768, Oct.
- Levenberg, K., 1944, **A Method for the Solution of Certain Non-linear Problems in Least Squares**, Quarterly of Applied Mathematics 2 (2), PP. 164–168.
- Marquardt, D.W., 1963, **An Algorithm for the Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters**, SIAM Journal of Applied Mathematics 11 (2), PP. 431–441.
- Prechelt, L., 1998, **Automatic Early Stopping Using Cross Validation: Quantifying the Criteria**, Neural Networks, 11 (4), PP. 761–767.
- Prost, C., Zerger, A., Dare, P., 2005, **A Multilayer Feedforward Neural Network for Automatic Classification of Eucalyptus Forests in Airborne Video Imagery**, International Journal of Remote Sensing, 26 (15), PP. 3275–3293.
- Roy, P.S., In M.V.K. Sivakumar, K. Harmesen & S.K. Saha (Eds), 2004, **Forest Fire and Degradation Assessment Using Satellite Remote Sensing and Geographic Information System**, satellite remote sensing and GIS application in Agriculture Meteorology, Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, PP. 361-400.
- Saaty, T.L., 1980, **The Analytic Hierarchy Process**, New York: McGraw-Hill.
- Sonia Juarez Orozco, 2008, **Forest Fire Risk Model for Michoacan**, Mexico, Thesis Submitted to the International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Stroppiana, D., Pinnock, S., and Gregoire, J. M., 2000, **The Global Fire Product: Daily Fire Occurrence from April 1992 to December 1993 Derived from NOAA AVHRR Data**, Int. J. Remote Sens., Vol. 21, No. 6-7, PP.1279–1288.
- Westerling, A. Gershunov, D. R. Cayan, 2003, **Statistical Forecasts of the 2003 Western Wildfire Season Using Canonical**

- Correlation Analysis**, Experimental Long-Lead Forecast Bulletin, Institute of Global Environment and Science, Vol. 12, No. 1–2, PP. 71–75.
- Westerling, A.H. Hidalgo, D.R. Cayan, T. Swetnam, 2006, **Warming and Earlier Spring Increases Western U.S. Forest Wildfire Activity**, Science, 313, PP. 940–943.
- Westerling, A.L., 2007, **Climatology for Wildfire Management. Economics of Forest Disturbances—Wildfires, Storms, and Invasive Species**, T.P. Holmes, J.P. Prestemon, K. L.Abt, Eds., Springer-Verlag, in press.