



فصلنامه علوم محیطی، دوره چهاردهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵

۱۷۵-۱۸۸

پهنه‌بندی خطر وقوع آتش‌سوزی جنگل با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی (بررسی موردی: منطقه حفاظت‌شده مانشت و قلا‌رنگ)

منیره موسی‌بیگی* و فاطمه میرزابیگی^۲

^۱ گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تبریز، ایران
^۲ گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۸

موسوی بیگی، م.، و ف. میرزابیگی. ۱۳۹۵. پهنه‌بندی خطر وقوع آتش‌سوزی جنگل با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی (بررسی موردی: منطقه حفاظت‌شده مانشت و قلا‌رنگ). فصلنامه علوم محیطی. ۱۴(۴)، ۱۷۵-۱۸۸.

سابقه و هدف: جنگل‌ها از منابع ارزشمند طبیعی هستند که همه ساله بخش‌های وسیعی از آنها در نتیجه آتش‌سوزی از بین می‌رود. این پدیده سالانه هزاران هکتار از درختان، درختچه‌ها و گیاهان را طعمه خود می‌سازد، به طوری که میانگین سالانه حریق در جنگل‌های جهان شش تا چهارده میلیون هکتار تخمین زده شده است. یکی از راه‌های مقابله با آتش‌سوزی جنگل‌ها، شناسایی نقاط بحرانی آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه است. این مهم ضرورت تحقیق در این زمینه را در راستای حفظ این منابع ارزشمند آشکار می‌سازد. منطقه حفاظت‌شده مانشت و قلا‌رنگ در شمال استان ایلام و در بین سه شهرستان ایلام، شیروان چرداول و ایوان قرار دارد. این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه حفاظت‌شده مانشت و قلا‌رنگ انجام شد.

مواد و روش‌ها: مهم‌ترین عوامل موثر در فرآیند آتش‌سوزی جنگل با استفاده از تجربیات کارشناسان و پژوهشگران در مناطق مشابه، شامل ۹ فاکتور از جمله تراکم پوشش گیاهی، بارش، دما، جهت شیب، شیب، فاصله از جاده، فاصله از روستا، ارتفاع و فاصله از آبراهه هستند. همچنین فرآیند مدل‌سازی برای ارزیابی حساسیت خطر آتش‌سوزی جنگل در مدل تحلیل شبکه‌ای در سه مرحله انجام شد. بدین ترتیب ساختار مدل در نرم‌افزار SuperDecisions تشکیل شد. ماتریس مقایسات زوجی به کمک طیف ۱ تا ۹ انجام و سپس سوپرماتریس مربوطه تهیه شد. در نهایت وزن نهایی معیارها برآورد شد.

نتایج و بحث: نتایج نهایی به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر نشان داد که وزن معیارهای تراکم پوشش گیاهی، بارش، دما، جهت شیب، شیب، فاصله از جاده، فاصله از روستا، ارتفاع و فاصله از آبراهه به ترتیب دارای مقادیر ۰/۲۹۴، ۰/۲۲۶، ۰/۱۳۴، ۰/۱۲۱، ۰/۰۷۵، ۰/۰۵۱، ۰/۰۴۱، ۰/۰۲۹ و ۰/۰۲۵ هستند که عامل تراکم پوشش گیاهی، بارش، دما و جهت شیب بیشترین وزن را داشتند. در نهایت، با تلفیق این لایه‌ها با توجه به وزن‌های به‌دست‌آمده، در محیط نرم‌افزار ARC GIS نقشه‌ی پهنه‌بندی تهیه شد. نتایج تحقیق نشان داد که مناطق با تراکم

پوشش گیاهی بالای ۵۰ درصد، جهت‌های جنوبی و شیب‌های بالای ۲۰ درصد مستعد خطر آتش‌سوزی هستند. همچنین جهت‌های جنوبی و شرقی برای دریافت بیشترین میزان نور خورشید مشخص شد. که حدود ۳۰ کیلومتر مربع (۱۰ درصد) از مساحت کل منطقه در کلاس خطر خیلی زیاد و ۶۲ کیلومتر مربع (۲۰ درصد) از مساحت منطقه در کلاس خطر زیاد از نظر احتمال وقوع آتش‌سوزی قرار دارد. بنابراین، ضرورت دارد که اقدامات لازم برای جلوگیری از وقوع آتش‌سوزی در این مناطق صورت گیرد.

نتیجه‌گیری: در پژوهش حاضر نقشه پهنه‌بندی در ۵ کلاس خطر خیلی، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد و در نهایت نتایج حاصل نشان داد که با توجه به نقشه حاصل از اجرای مدل، شیب‌های بالای ۲۰ درصد، جهت‌های جنوبی و شرقی و مناطقی که تراکم پوشش گیاهی آن بالای ۵۰ درصد است جزء مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد از نظر احتمال وقوع آتش‌سوزی هستند. بنابراین ضروری است که در این مناطق اقدامات لازم برای جلوگیری از احتمال وقوع آتش‌سوزی صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، آتش‌سوزی جنگل، GIS، تحلیل شبکه، منطقه حفاظت‌شده مانشت و قلازنگ.

مقدمه

وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های ایران است. آتش‌سوزی در جنگل می‌تواند در دو حالت اتفاق بیفتد. در حالت اول آتش‌سوزی به عنوان بخشی از چرخه‌ی نیتروژن است و در نتیجه جلوگیری از این آتش‌سوزی، که یک فرایند طبیعی به شمار می‌رود، مداخله در طبیعت است. حالت دوم، آتش‌سوزی‌های مهیب است که نوعی بحران محسوب می‌شود. منظور از آتش‌سوزی در جنگل این نوع از آتش‌سوزی است (<http://forestfire.nau.edu>).

یکی از راه‌های مقابله با آتش‌سوزی جنگل‌ها، شناسایی نقاط بحرانی آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه است؛ زیرا عدم شناخت کافی این نقاط باعث وقوع و گسترش آتش در جنگل، تأخیر در مهار آن و وارد آمدن صدمه به حیات جانوران و گیاهان جنگل خواهد شد (Jaiswal *et al.*, 2002). بنابراین تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی اهمیت بسزایی در کاهش تعداد دفعات آتش‌سوزی و جلوگیری از تخریب جنگل‌های منطقه دارد (Dong *et al.*, 2005). این امر به مدیران جنگل برای پیش‌گیری آتش قبل از وقوع آن کمک می‌کند تا با انجام مراقبت‌های ویژه در مناطق بحرانی، از وقوع آتش‌سوزی‌های احتمالی جلوگیری کنند (Faramarzi *et al.*, 2014).

جنگل‌ها، یکی از زیباترین منابع طبیعی پیرامون ما هستند و نقش مهمی را در سلامت جسمی و روانی موجودات زنده ایفا می‌کنند. سلامتی جنگل در هر محل شاخصی از شرایط اکولوژیکی متداول در آن ناحیه است (Zhang and Chen, 2007). یکی از خطراتی که جنگل‌ها را تهدید می‌کند آتش‌سوزی است که با خسارات جبران‌ناپذیری که به آنها وارد می‌کند، سبب تغییر اکولوژی منطقه می‌شود (Xu *et al.*, 2005). آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع نه تنها از دیدگاه زیست‌محیطی، بلکه از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی و امنیتی نیز یکی از اصلی‌ترین موضوعات و نگرانی‌ها در بسیاری از نقاط جهان است (Silvia, 2010). این پدیده سالانه هزاران هکتار از درختان، درختچه‌ها و گیاهان را طعمه خود می‌سازد، به طوری که میانگین سالانه حریق در جنگل‌های جهان شش تا چهارده میلیون هکتار تخمین زده شده است. در بین کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا، کشور ایران در رتبه چهارم از لحاظ وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها قرار دارد (Adab *et al.*, 2011). قرار گرفتن در کمربند خشک کره‌ی زمین از عوامل اقلیمی و بی‌احتیاطی مسافران یا آتش‌سوزی‌های عمدی برای تبدیل اراضی جنگلی به کشاورزی از عوامل انسانی

معیارهای شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، پوشش زمین، دما و بارندگی استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که ۲۵/۱۴ درصد از مساحت جنگل‌های نوشهر از نظر خطر وقوع آتش‌سوزی در طبقات زیاد و بسیار زیاد قرار دارند (Abedi et al., 2016). ژانگ و همکاران، در تحقیقی در مراتع مغولستان و چین با در نظر گرفتن پارامترهایی از جمله توپوگرافی، فاصله از جاده‌ها، راه‌آهن و روستاها، رطوبت نسبی، بارش و دما به تهیه مدل پیش‌بینی احتمال آتش‌سوزی و بررسی همبستگی آن با این پارامترها پرداختند. با تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی منطقه مورد بررسی مشخص شد که مدل به کاررفته در تحقیق با دما و ارتفاع همبستگی مثبت و با فاصله از جاده‌ها، راه‌آهن و روستاها، رطوبت نسبی و بارش همبستگی منفی دارد (Zhang et al., 2010). مهدوی و همکاران، به پهنه‌بندی خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های شهرستان ایلام با استفاده از روش AHP پرداختند (Mahdavi et al., 2012). متغیرهای مورد استفاده شامل کاربری اراضی، جاده‌ها، رودخانه‌ها و مشخصات اقلیمی، فیزیوگرافی و انسان‌ساخت بودند. نتایج تحقیق نشان داد که ۵۰ درصد آتش‌سوزی‌های گذشته در مناطق با خطر بسیار زیاد و ۴۰ درصد آنها در مناطق با خطر زیاد قرار گرفته‌اند که اعتبار بالای مدل ساخته شده را نشان می‌دهد (Mahdavi et al., 2012). تاکور و سینگ، خطر آتش‌سوزی جنگل در منطقه دهرادون کشور هند را با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و تکنیک GIS پهنه‌بندی کردند. در این تحقیق عامل رطوبت مناطق مسکونی نیز در نظر گرفته شد. این فاکتورها بر اساس تأثیرشان در خطر آتش‌سوزی در مدل AHP، وزن‌دهی شده و نقشه نهایی به دست آمد. نتایج تحقیق نشان داد که بیشتر آتش‌سوزی‌ها در منطقه مورد بررسی طبیعی بوده و ناشی از عوامل انسان‌ساخت نیست (Thakur and Singh, 2104). این بررسی به مدل‌سازی و شناسایی مناطق

شناسایی و تعیین عوامل موثر در بالا رفتن استعداد آتش‌سوزی در جنگل‌ها امری ضروری است (Chuvieco and Congalton, 1989). آتش‌سوزی‌ها از مشارکت عوامل زیست‌محیطی و انسانی شکل می‌گیرند (Vasilakos et al., 2009). عوامل زیست‌محیطی شامل معیارهای اقلیمی، پوشش گیاهی و توپوگرافی هستند که در کنار عوامل انسانی زمینه‌ی آتش‌سوزی در جنگل‌ها را فراهم می‌کنند (Saranya et al., 2014).

روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی خطر وقوع آتش‌سوزی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به مدل‌های ریاضیاتی محض، روش‌های هوش محاسباتی و ماشین‌های سلولی اشاره کرد (Allgower, 2003). روش‌های دیگری نیز برای حفاظت از آتش‌سوزی وجود دارند که در عمل برای مناطق وسیع بی‌فایده هستند که از جمله‌ی آنها می‌توان به خطوط آتش و برج‌های دیدبانی آتش اشاره کرد. یکی از کارآمدترین روش‌های کنترل و پایش خطر آتش‌سوزی جنگل تهیه‌ی نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی بر اساس فاکتورهای موثر بر وقوع آتش‌سوزی جنگل و با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی است (Lowell and Astroth, 1989). روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری مثل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای برای وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها در زمینه‌ی حل مشکلات زیست‌محیطی کاربرد دارند و کمی کردن خطر آتش‌سوزی یکی از آنها است (Keeney and Raiffa, 1976).

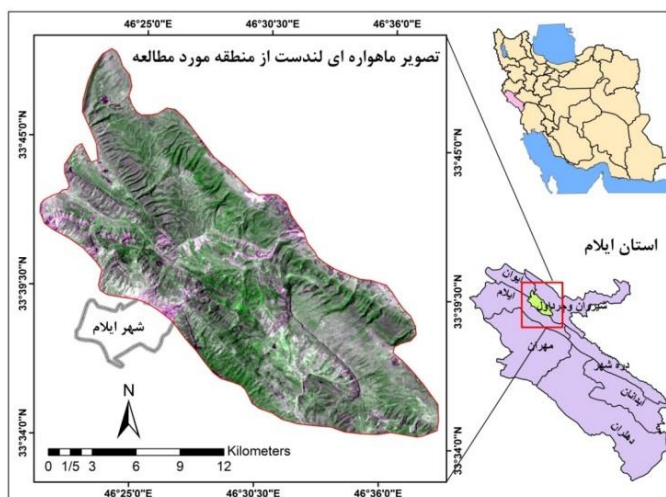
پژوهش‌های مختلفی درباره پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره مثل ANP و AHP انجام شده است که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: عابدی قشلاقی و همکاران با استفاده از مدل ANP و تکنیک GIS به پهنه‌بندی خطر وقوع آتش‌سوزی جنگل در شهرستان نوشهر در استان مازندران پرداختند. در این تحقیق برای تهیه نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی از

تا ۳۳ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی واقع شده است. این منطقه در شمال استان ایلام و بین سه شهرستان ایلام، شیروان چرداول و ایوان قرار دارد. منطقه حفاظت‌شده ماندشت و قلارنگ منطقه ای کوهستانی از سلسله جبال زاگرس است که پوشش گیاهی آن را درخت بلوط ایرانی به عنوان گونه غالب و انواع گندمیان و گون‌ها تشکیل می‌دهند. میانگین بارندگی منطقه حدود ۶۰۰ میلی‌متر است که بیشترین بخش از بارندگی سالیانه در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی را در استان ایلام نشان می‌دهد.

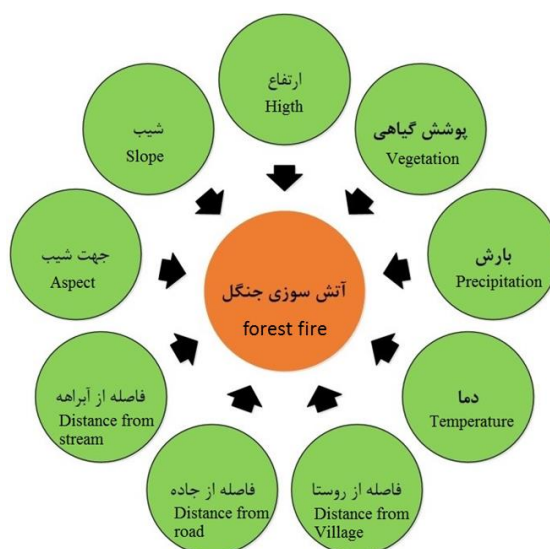
حساس به آتش‌سوزی با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر در آتش‌سوزی در منطقه حفاظت‌شده ماندشت و قلارنگ با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP^۱) و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته است.

مواد و روش‌ها منطقه مورد بررسی

منطقه حفاظت‌شده ماندشت و قلارنگ با وسعت ۳۰۷ کیلومتر مربع در طول ۴۶ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۳۴ دقیقه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی
Fig. 1- The geographical location of the study area



شکل ۲- عوامل مؤثر در آتش‌سوزی جنگل
Fig. 2- Factors affecting forest fires

(*et al.*, 2004). برای تهیه نقشه فاصله از آبراهه از نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شده و آبراهه‌های منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی و نقشه نهایی تهیه شد. به منظور تهیه نقشه فاصله از جاده در محیط نرم‌افزار Google Earth جاده‌های اصلی منطقه رقومی شده و سپس وارد محیط GIS کرده و با استفاده از دستور Euclidean Distance نقشه نهایی تهیه شد. در شکل (۳) لایه‌های مورد نیاز تحقیق نشان داده شده است.

فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

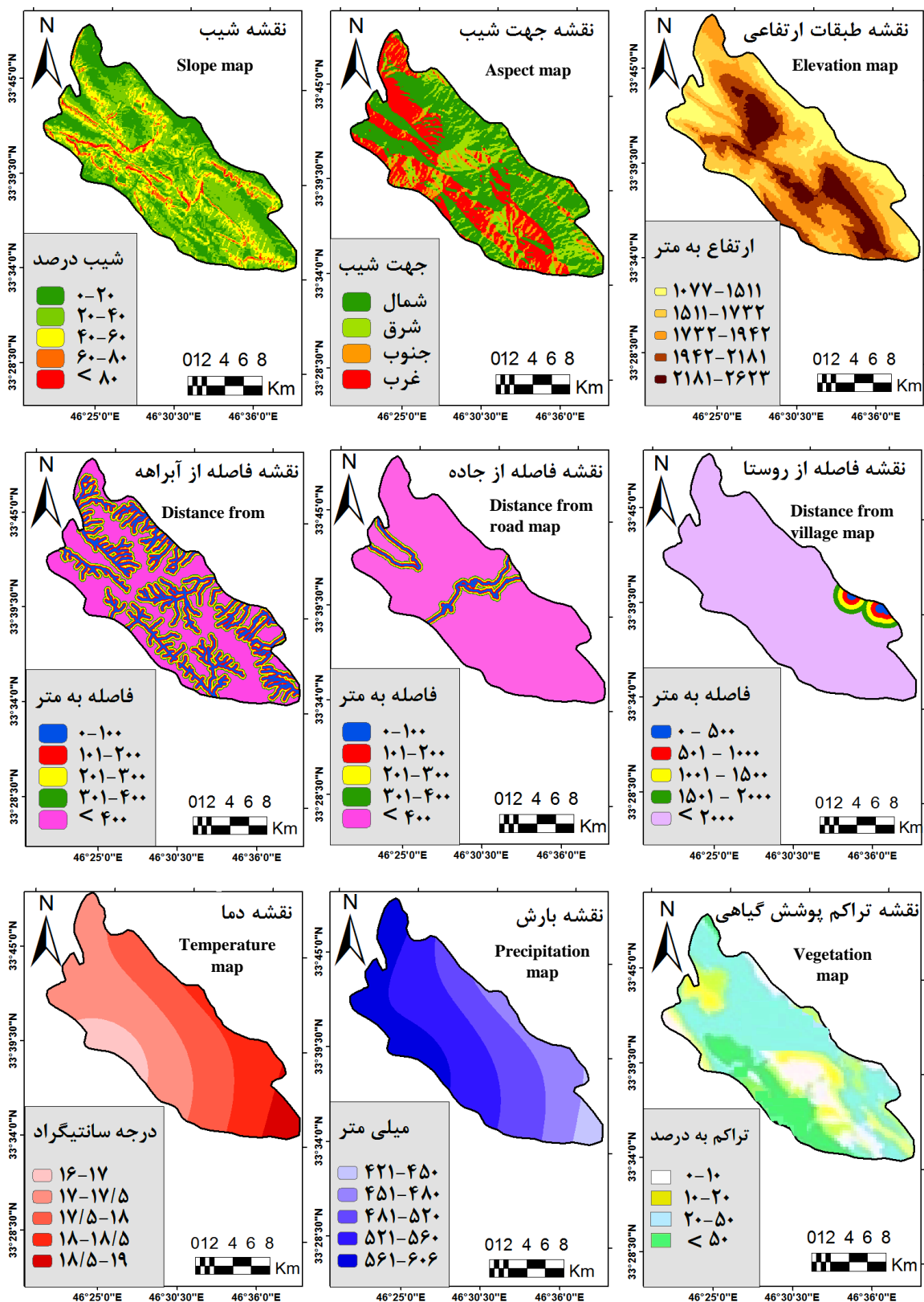
روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای به وسیله توماس ساعتی در سال ۱۹۹۶ ابداع شد. این مدل، از جمله روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) را با جایگزینی شبکه به جای سلسله‌مراتب بهبود می‌بخشد همه مدل‌های تصمیم‌گیری با این هدف طراحی می‌شوند که بتوانند با بررسی معیارها و شاخص‌های مختلف بهترین گزینه را از بین گزینه‌های مختلف پیش‌رو انتخاب کنند. اما تفاوت همه آنها در نوع ارزشیابی معیارها و شاخص‌ها است. در واقع فرآیند تحلیل شبکه‌ای، چارچوبی اجرایی برای تحلیل‌های عمومی و همکاری در تصمیم‌گیری‌ها ارائه می‌کند و همه عوامل و معیارهای ملموس و غیرملموس را که تأثیر معناداری در ساخت بهترین تصمیم دارد، لحاظ و در نهایت اولویت‌های لازم را برای تصمیم‌گیری ارائه می‌کند (Tuzkaya *et al.*, 2008). فرآیند مدل‌سازی برای ارزیابی حساسیت خطر آتش‌سوزی جنگل در مدل تحلیل شبکه‌ای به شرح زیر است:

گام اول، پایه‌ریزی مدل و ساختار مسئله

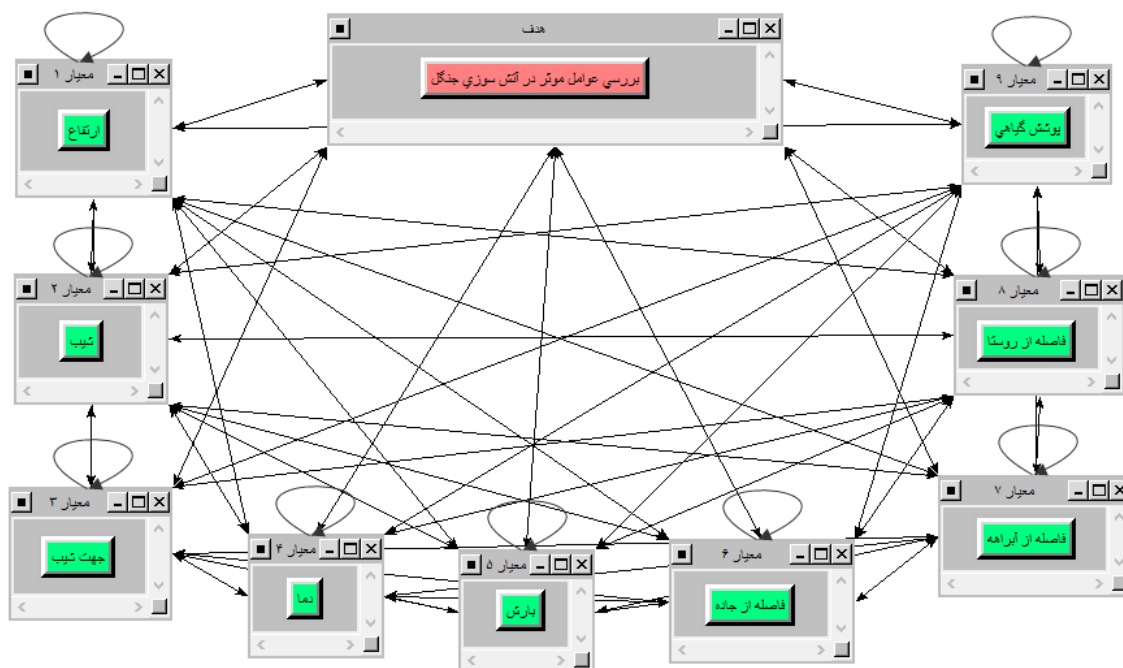
با توجه به معیارهای موثر در آتش‌سوزی جنگل که در این پژوهش در نظر گرفته شده‌اند، ساختار مدل در نرم‌افزار SuperDecisions تشکیل شد (شکل ۴).

در این پژوهش، ۹ فاکتور از مهم‌ترین عوامل موثر در فرآیند آتش‌سوزی جنگل بررسی شد که بر اساس تجربیات کارشناسان و پژوهشگران از بررسی مناطق مشابه انتخاب شده است. در شکل (۲) فاکتورهای مورد استفاده در این تحقیق ذکر شده‌اند.

برای تهیه طبقات ارتفاعی منطقه از مدل رقومی ارتفاع منطقه (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد. تأثیر ارتفاع در آتش‌سوزی به این صورت است که با افزایش ارتفاع خطر آتش‌سوزی کم می‌شود (Whelan Robert, 1995). نقشه‌های شیب و جهت شیب نیز با استفاده از DEM منطقه در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شدند. با افزایش شیب خطر آتش‌سوزی افزایش می‌یابد (Whelan Robert, 1995). جهت‌هایی که نور خورشید بیشتری دریافت می‌کنند شدت آتش‌سوزی بیشتر خواهد بود (Franklin *et al.*, 2000). برای تهیه نقشه‌های دما و بارش از آمار دما و بارش ایستگاه‌های سنوپتیک اطراف منطقه استفاده شد. با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ داده‌های دما و بارش ایستگاه‌ها درون‌یابی شده و نقشه‌های دما و بارش استخراج شد. تأثیر دما در آتش‌سوزی به این صورت است که با افزایش دما خطر آتش‌سوزی افزایش می‌یابد (Balzter, 2005). با افزایش بارش نیز خطر آتش‌سوزی کم می‌شود. در تهیه نقشه فاصله از روستا با توجه به اینکه هیچ روستایی در داخل منطقه وجود نداشت تنها از سه روستا که در مرز محدوده قرار داشتند استفاده شد. گسترش مناطق مسکونی باعث افزایش آتش‌سوزی می‌شود (Rundel and King, 2001). برای تهیه نقشه پوشش گیاهی منطقه از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI/TIRS مربوط به خرداد سال ۲۰۱۵ استفاده شد و نقشه پوشش گیاهی منطقه در محیط نرم‌افزار Envi 5 استخراج شد. در مناطقی که شاخص خشک آن بیشتر باشد یا به عبارتی رطوبت سوخت کمتر باشد خطر آتش‌سوزی بالاتر می‌رود (Chuvieco



شکل ۳- لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز تحقیق
Fig. 3- Data layers required for research



شکل ۴- ساختار شبکه‌ای مدل پهنه‌بندی آتش‌سوزی جنگل

Fig. 4- Network structure model forest fire hazard

که در آن A؛ ماتریس مقایسه‌ی دودویی معیارها، W؛ بردار ویژه (ضریب اهمیت) و λ_{max} ؛ بزرگ‌ترین مقدار ویژه‌ی عددی است. تعیین صحت ماتریس‌های مقایسه‌ی زوجی با محاسبه‌ی نسبت سازگاری (CR) انجام می‌گیرد.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن CI؛ شاخص سازگاری و n؛ تعداد مؤلفه‌های مورد مقایسه در ماتریس است.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن CR؛ نسبت پایداری و RI؛ بیانگر شاخص تصادفی است که به تعداد عناصر مورد مقایسه بستگی دارد. مقایسه‌ی دو به دو زمانی قابل قبول و دارای پایداری خواهد بود که نسبت پایداری کمتر از ۰/۱ به دست آید (Saaty, 1980).

گام دوم، ماتریس مقایسه‌ی زوجی و برآورد وزن نسبی

در مدل تحلیل شبکه‌ای اندازه‌گیری مقادیر اهمیت نسبی مانند تحلیل سلسله‌مراتبی، با مقایسه‌ی زوجی و به کمک طیف ۱ تا ۹ انجام می‌گیرد. در این فرآیند، بالاترین ارجحیت به لایه‌ی تعلق می‌گیرد که حداکثر تاثیر را در تعیین هدف دارد. در ارجحیت‌بندی معیارها از قضاوت‌های شفاهی که به صورت مقایسه‌ای بین فاکتورها صورت می‌گیرد، استفاده می‌شود. در جدول (۱)، میزان اهمیت فاکتورها در مقایسه‌ی زوجی آورده شده است.

پس از نوشتن ارجحیت‌ها در ماتریس‌های مقایسه‌ی زوجی، بردار اهمیت داخلی که بیانگر اهمیت نسبی عناصر یا خوشه‌هاست، با استفاده از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$AW = \lambda_{max} \cdot W \quad \text{رابطه (۱)}$$

هر ستون آن نشان‌دهنده‌ی بردار اولویت کلی است (رابطه‌ی ۴) (Lami and Abastante, 2014).

$$\lim_{k \rightarrow \infty} w^k \quad \text{رابطه (۴)}$$

گام چهارم: تعیین گزینه‌های برتر

برای اولویت‌بندی گزینه‌ها دو حالت می‌تواند وجود داشته باشد: ۱- سوپرماتریس تهیه‌شده در مرحله‌ی سوم، کل شبکه و گزینه‌ها را نیز در نظر گرفته باشد. در این صورت اولویت‌بندی گزینه‌ها از روی ستون مربوط به آنها در سوپرماتریس حد نرمالیزه‌شده قابل‌دسترسی است؛ ۲- سوپرماتریس تنها بخشی از شبکه که دارای وابستگی متقابل است را شامل شود و در واقع فاقد گزینه‌ها باشد. در این حالت برای اولویت‌بندی گزینه‌ها باید محاسبات دیگری صورت گیرد (Zebardast, 2010). در جدول (۲) مقایسه زوجی و وزن نهایی معیارها آورده شده است.

نتایج و بحث

بعد از طی مراحل مرتبط با مدل تحلیل شبکه‌ای و به دست آوردن وزن هر معیار، نوبت به ترکیب لایه‌ها می‌رسد. لذا پس از به دست آوردن ضرایب فاکتورهای موثر در وقوع آتش‌سوزی، این ضرایب روی لایه‌های اطلاعاتی اعمال شد. با توجه به وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر یک از معیارهای موثر در وقوع آتش‌سوزی در مدل شبکه‌ای، مشخص شد که معیارهای تراکم پوشش گیاهی، بارش و دما دارای بیشترین اهمیت و تاثیر هستند. پس از اعمال وزن‌ها بر معیارها نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع آتش‌سوزی بر اساس مدل تحلیل شبکه‌ای در محیط ArcGIS تهیه شد. نقشه پهنه‌بندی در ۵ کلاس خطر بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و خیلی کم طبقه‌بندی شد. شکل (۵) نقشه پهنه‌بندی‌شده به روش تحلیل شبکه را نشان می‌دهد. پس از اجرای فرایند تحلیل

جدول ۱- مقادیر ترجیحات و قضاوت کارشناسی برای مقایسه زوجی

Table 1. Values, preferences and judgments of experts to compare a couple

مقدار عددی numerical value	ترجیحات (قضاوت شفاهی) Preferences (oral judgment)
9	کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر (Extremely preferred)
7	اهمیت خیلی قوی (Very strongly preferred)
5	اهمیت یا مطلوبیت قوی (Strongly preferred)
3	کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر (Moderately preferred)
1	اهمیت یا مطلوبیت یکسان (Equally preferred)
2-4-6-8	اولویت بین فواصل

گام سوم: تشکیل سوپرماتریس

یک سوپرماتریس روابط موجود در ساختار شبکه‌ای و نیز وزن‌های نسبی محاسبه شده در مرحله‌ی دوم را ارائه می‌دهد. درواقع از اجتماع کلیه‌ی بردارهای اولویت محاسبه‌شده برای تک‌تک ماتریس‌های مقایسه‌ی زوجی در یک ماتریس، سوپرماتریس حاصل می‌شود (Lami and Abastante, 2014). در فرآیند تحلیل شبکه‌ای سه نوع ماتریس ساخته می‌شود:

سوپرماتریس اولیه (ناموزون): از وارد کردن تمامی بردارهای ویژه‌ی به‌دست‌آمده از ماتریس‌های مقایسه‌ی زوجی به ماتریس اولیه، سوپرماتریس ناموزون حاصل می‌شود (Lami and Abastante, 2014).

سوپرماتریس موزون: از ضرب ارزش‌های موجود در سوپرماتریس ناموزون در وزن هر خو شه، سوپرماتریس موزون به دست می‌آید. سپس این سوپرماتریس نرمالیزه شده و از نظر ستونی به حالت تصادفی تبدیل می‌شود (Lami and Abastante, 2014).

سوپرماتریس حد: اگر تمامی عناصر سوپرماتریس موزون تا جایی به توان برسد که همگرایی حاصل شود و به عبارت دیگر ارزش‌های کلیه‌ی ستون‌های ماتریس یکسان شوند، آنگاه سوپرماتریس حد تشکیل می‌شود که

شبکه‌ای، مدل پیشنهادی به صورت رابطه (۵) ارائه می‌شود.
 رابطه (۴) مدل تحلیل شبکه‌ای = $0.25 \times$ فاصله از آبراهه + $0.26 \times$ ارتفاع + $0.41 \times$ فاصله از
 روستا + $0.51 \times$ فاصله از جاده + $0.75 \times$ شیب + $0.121 \times$ جهت شیب + $0.294 \times$ تراکم پوشش گیاهی

جدول ۲- مقایسه زوجی، وزن معیارها و ضریب سازگاری
 Table 2. Compare couple, weight standards and compatibility factor

معیارها Scale	تراکم پوشش گیاهی Density of vegetation	بارش Rain	دما Temperature	جهت شیب Slope Course	شیب Slope	فاصله از جاده Distance from the road	فاصله از روستا The distance from the village	ارتفاع Elevation	فاصله از آبراهه Distance from the river	وزن نهایی The final weight
تراکم پوشش گیاهی Density of vegetation	1	2	3	3	4	7	5	7	7	0.294
بارش Rain	1.2	1	2	3	4	5	5	7	6	0.226
دما Temperature	1.3	1.2	1	2	2	3	3	5	4	0.134
جهت شیب Slope Course	1.3	1.3	1.2	1	3	3	3	5	5	0.121
شیب Slope	1.4	1.4	1.2	1.3	1	2	3	3	3	0.075
فاصله از جاده Distance from the road	1.7	1.5	1.3	1.3	1.2	1	2	2	3	0.051
فاصله از روستا The distance from the village	1.5	1.5	1.3	1.3	1.3	1.2	1	2	2	0.041
ارتفاع Elevation	1.7	1.7	1.5	1.5	1.3	1.2	1.2	1	2	0.029
فاصله از آبراهه Distance from the river	1.7	1.6	1.4	1.5	1.3	1.3	1.2	1.2	1	0.025

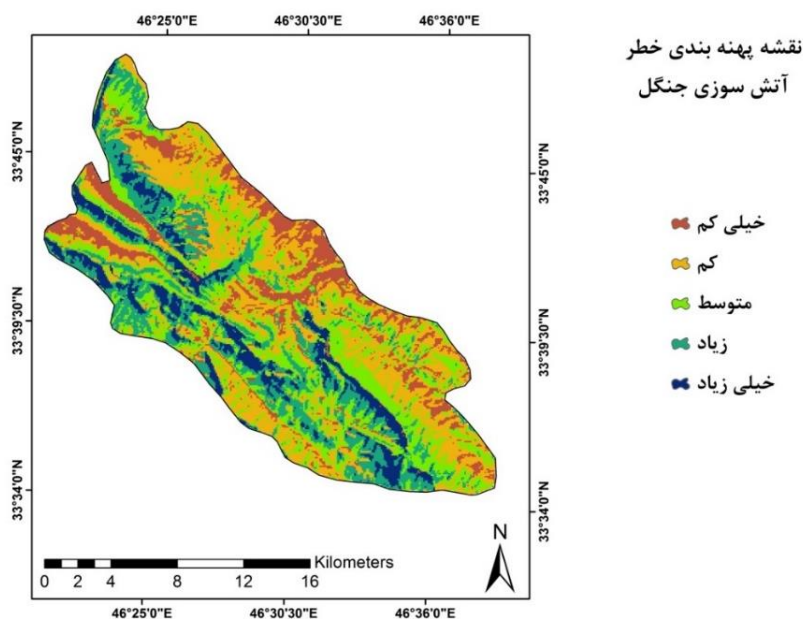
ضریب سازگاری: 0.03

در هر کلاس، نقشه نهایی در محیط GIS به فرمت وکتوری تبدیل و درصد پهنه‌های خطر آتش‌سوزی طبقات محاسبه شد. نتایج نشان داد که حدود ۳۰ کیلومتر مربع (۱۰ درصد) از مساحت کل منطقه در کلاس خطر خیلی زیاد و ۶۲ کیلومتر مربع (۲۰ درصد) از مساحت منطقه در کلاس خطر زیاد از نظر احتمال وقوع آتش‌سوزی قرار دارد. جدول (۳) مساحت و درصد مساحت پهنه‌های خطر آتش‌سوزی را نشان می‌دهد. می‌توان گفت که نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات پژوهشگرانی همچون عابدی قشلاقی و همکاران

همانطور که شکل (۵) نشان می‌دهد بیشترین احتمال خطر وقوع آتش‌سوزی در مناطق پرشیب (بالای ۲۰ درصد) و مناطقی که تراکم پوشش گیاهی آن بالای ۵۰ درصد است دیده می‌شود. همچنین جهت‌های جنوبی و شرقی به دلیل اینکه نور خورشید بیشتری دریافت می‌کنند جزو مناطق خطر خیلی زیاد از نظر احتمال وقوع آتش‌سوزی هستند. مناطق نزدیک به جاده اصلی نیز جزو مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد تشخیص داده شد. پس از انجام پهنه‌بندی و تهیه نقشه نهایی، برای محاسبه درصد پهنه‌های خطر آتش‌سوزی

مطابقت دارد. آنها استفاده از تکنیک GIS و روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره مثل ANP و AHP را روش خوبی برای تهیه نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی بیان کرده‌اند که نتایج این تحقیق نیز نتایج محققان مذکور را تایید می‌کند.

(Abedi *et al.*, 2016)، که به بررسی آتش‌سوزی در جنگل‌های نوشهر در استان مازندران با استفاده از مدل ANP پرداخته بودند و همچنین ادب و همکاران (Adab, 2013) که با تکنیک GIS به پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل در شمال شرق ایران پرداخته بودند



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل در محدوده مورد بررسی

Fig. 5- Map of forest fire hazard in the study area

استفاده شد. از میان نه معیار موثر در وقوع آتش‌سوزی منطقه معیارهای تراکم پوشش گیاهی، بارش، دما و جهت شیب بیشترین تاثیر را داشته‌اند. پس از به دست آمدن ضرایب معیارهای موثر در وقوع آتش‌سوزی منطقه، نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع آتش‌سوزی بر اساس مدل تحلیل شبکه‌ای تهیه شد. بدین منظور ابتدا در محیط ArcGIS لایه‌های اطلاعاتی تهیه و به فرمت رستری تبدیل شدند. در نهایت وزن‌های به دست آمده از مدل تحلیل شبکه‌ای روی لایه‌های اطلاعاتی اعمال شد و نقشه پهنه‌بندی حاصل از مدل تحلیل شبکه‌ای به دست آمد. نقشه پهنه‌بندی در ۵ کلاس خطر خیلی، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. با توجه به نقشه حاصل از اجرای مدل مشاهده شد که شیب‌های بالای ۲۰ درصد، جهت‌های جنوبی و شرقی و مناطقی که تراکم پوشش

جدول ۳- مساحت و درصد مساحت

پهنه‌های خطر آتش‌سوزی

Table 3. Area and percentage of area fire hazard zones

درصد مساحت Area Percent	مساحت (کیلومتر مربع) Percent (km ²)	کلاس Class
13.3	40.8	خیلی کم Very Low
31.7	97.2	کم Low
24.6	75.8	متوسط Normal
20.3	62.3	زیاد Much
10.1	30.9	خیلی زیاد Very Much
100	307	مجموع Total

نتیجه‌گیری

در بررسی وقوع خطر آتش‌سوزی در منطقه حفاظت‌شده مانشت و قلازنگ، فرآیند تحلیل شبکه‌ای

پی‌نوشت‌ها

¹ Analytic Network Process (ANP)

² Analytic Hierarchy Process (AHP)

گیاهی آن بالای ۵۰ درصد است جزو مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد از نظر احتمال وقوع آتش‌سوزی هستند. بنابراین ضروری است که در این مناطق اقدامات لازم برای جلوگیری از احتمال وقوع آتش‌سوزی صورت گیرد.

منابع

Abedi Gheslghahi, H., Valizadeh Kamran, Khm. and Hasheminasab H., 2016. Assessing and Zoning forest fire risk by using an analysis network process. International Conference on Natural Hazards and Enviromental Crises, Tabriz, Iran. 1-11. (In Persian with English abstract).

Adab, H., Kanniah, D. and Solaimani K., 2011. GISbased Probability Assessment of Fire Risk inGrassland and Forested Landscapes of Golestan Province, Iran. International Conference on Environmental and Computer Science, IPCBEE. 19, 170-175 (In Persian with English abstract).

Adab, H., Kanniah, KD. and Solaimani, K., 2013. Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. Natural hazards. 65 (3), 1723-1743. (In Persian with English abstract).

Allgower, B., Carlson JD. and Wagtendonk JWV., 2003. Introduction to fire danger rating and remote sensing—will remote sensing enhance wildland fire danger rating? In E. Chuvieco (Eds.). Wild land fire danger estimation and mapping. The role of remote sensing data. Newjersey: World Scientific.

Balzter, H., Gerardm, F., George, Ch., Rowland, C., Jupp, T., McCallum, I., Shivdenko, A., Nilsson, S., Sukhinin, A., Ounchin, A. and Schmuilius, Ch., 2005. Impact of the Arctic Oscillation pattern on interannual forest fire variability in Central

Siberia. Geophysica Research Letters; 32.

Chuvieco, E. and Congalton, R., 1989. Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. Remote Sensing of Environment. 29, 147-159.

Chuvieco, E., Cocero, D., Riano, D., Martin, P., Martinez-Vega, J., Riva j. and Perez, F., 2004. Combining NDVI and surface tem perature for the estimation of live, fuel moisture content in forest fire danger rating. Remote Sensing of Environment. 92, 322-331.

Dong, XU., Li-min, D., Guo-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.

Faramarzi, H., Hoseini, SM. and Gholamali fard, M., 2014. zoning fire hazard in Golestan National Park using logistic regression. Geography and environmental hazards. 10, 73-90. (In Persian with English abstract).

Franklin, J., McCullough, P. and Gray, C., 2000. Terrain variables used for predictive mapping of vegetation communities in Southern California. In 'Terrain Analysis: Principles and Applications. 331-353.

[11] <http://forestfire.nau.edu>

- Jaiswal, RK., Mukherjee, S., Raju, KD. and 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.
- Keeney, RL. and Raiffa H., 1976. *Decisions with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs*. New York: John Wiley.
- Lami, IM. and Abastante F., 2014. Decision making for urban solid waste treatment in the context of territorial conflict: Can the Analytic Network Process help?. *Land Use Policy*. 1, 11-20.
- Lowell, KE. and Astroth, J H., 1989. Vegetative Succession and Controlled Fire in a Glades Ecosystem – A Geographical Information Systems Approach. *International Journal of Geographical Information Systems*. 3 (1), 69-81.
- Mahdavi, A., 2012. Forests and rangelands Wild fire risk zoning using GIS and AHP techniques. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 10 (1), 43-52. (In Persian with English abstract).
- Silvia Merino-de-Miguela Huescab, M. and González-Alonsob, F., 2010. Modis reflectance and active fire data for burn mapping and assessment at regional level. *Ecological Modelling*. 221, 67-74.
- Rundel, PW. and King JA., 2001. Ecosystem processes and dynamics in the urban/ wildland interface of Southern California. *Journal of Mediterranean Ecology*. 2, 209–219.
- Saaty TL., 1980. *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill, New York.
- Saranya, KRL., Sudhakar Reddy, C., Prasada Rao, PVV. and Jha, CS., 2014. Decadal time-scale monitoring of forest fires in Similipal Biosphere Reserve, India using remote sensing and GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*. 186, 3283–3296.
- Thakur, AK. and Singh, D., 2014. Forest Fire Risk Zonation Using Geospatial Techniques and Analytic Hierarchy Process in Dehradun District, Uttarakhand, India. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*. 4 (2), 82-89.
- Tuzkaya, G., Tuzkaya, UR. and Lsun, BG., 2008. An Analytic Network Process Approach for Locating Undesirable Facilities: An Example from Istanbul, Turkey. *Journal of Environmental Management*. 88, 970-983.
- Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J. and Matsinos, I., 2009. Identifying wildland fire ignition factors through sensitivity analysis of a neural network. *Natural Hazards*. 50 (1), 125–143.
- Whelan Robert, J., 1995. *The ecology of fire*. Cambridge University Press, New York: NY;P. 346.
- Xu, D., Dai, LM., Shao, GF., Tang, L. and Wang, H., 2005. Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe forestry Bureau, Jilin China. *Journal of forestry research*. 15 (3), 169-174.
- Zebardast, E., 2010. Application of Analytic Network Process (ANP) in urban and regional planning. *Beautiful arts- architecture and urbanism*. 41, 79-90. (In Persian with English abstract).
- Zhang, QF. and Chen, WJ., 2007. Fire cycle of the Canada's boreal region and its potential response to global change. *Journal of forestry research*. 18(1), 55-61.
- Zhang, ZX., Zhang, HY. and Zhou, DW., 2010. Using GIS spatial analysis and logistic regression to predict the probabilities of human-caused grassland fires. *Journal of arid environments*. 74 (3), 386-393.



Environmental Sciences Vol.14 / No.4 / Winter 2017

175-188

Zoning forest fire risk in the Manesht and Qalarang Protected Area using a network analysis model and geographic information system

Monireh Mosa Beigi^{1*} and Fatemeh Mirza Beigi²

¹ Department of Remote Sensing and Geographical Information Systems, Faculty of Geography and Urban Planning, Tabriz University, Iran

² Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2016

Accepted: 2016

Mosa Beigi, M. and Mirza Beigi, F., 2017. Zoning forest fire risk in the Manesht and Qalarang Protected Area using a network analysis model and geographic information system. *Environmental Sciences*. 14(4), 175-188.

Introduction: Forests are natural resources most of which are destroyed each year by fire. One way to deal with forest fires is to identify the hot spots in forest fires in the region. This phenomenon destroys hectares of trees, shrubs and plants annually, with an annual average of six to fourteen million hectares of the world's forests estimated to be damaged by fires. This reveals the need for research in this area in order to preserve this invaluable resource. Manesht and Qalarang Protected Area is located in the northern Province of Ilam, covering Chardaval and Ivan. The research aims to assess the level of fire hazard in this protected area using network analysis and geographic information systems.

Materials and Methods: This will apply the most important factors in the process of forest fires according to experts and researchers in these areas, including 9 factors, such as the density of vegetation, rainfall, temperature, slope, aspect, distance from the road, distance from the village height and distance from the river. In the process of modelling for the evaluation of forest fire risk, a sensitivity model network analysis was conducted over three stages and, in this way, the structure of the model was formed in the SuperDecisions software. The matrix of pairwise comparisons was performed using all of 1 to 9 and, then, the super matrix was prepared. Finally, the criteria weighting was determined.

Results and Discussion: The results from this study showed that weighting of criteria for density of vegetation, rainfall, temperature, slope, aspect, distance from the road, distance from the village, elevation and distance from the river to the values were 0.294, 0.226, 0.134, 0.121, 0.075, 0.051, 0.041, 0.29 and 0.025, respectively;

* Corresponding Author. *E-mail Address:* m.moosabeigi16@gmail.com

hence, density of vegetation, rainfall, temperature and slope had the greatest weight. Finally, by combining the layers according to the weights obtained in ARC GIS software, a zoning map was prepared. The results showed that the top 50% of regions with dense vegetation, southerly directions and slopes greater than 20 percent are prone to fire hazard. The southerly and easterly directions were determined as receiving the maximum amount of sunlight. Approximately 30 square kilometers (10 percent) of the total area of the 62 square-kilometer area were in the very high risk class (20%) in terms of the probability of fire. So it is essential that measures be taken to prevent the occurrence of fire in these areas.

Conclusion: In this research, the zoning map was classified in the five classes of very small, low, medium, high and very high. The results showed that, according to maps from the running model, slopes greater than 20 percent, southerly and easterly directions and areas where vegetation density is over 50 percent are among the areas with high and very high risk of likelihood of fires occurring. It is therefore essential that in these areas the necessary measures be taken to prevent the possibility of fire.

Keywords: Zoning, Forest fires, GIS, Network analysis, Manesht and Qalarang Protected Area.