نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیستم و دوم، شماره سوم، ۱۳۹٤
http://jwfst.gau.ac.ir

ارزیابی روش ترکیب خطی وزنی فازی در تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی جنگل (مطالعه موردی: جنگل‌های سردشت، آذربایجان غربی)

هادی بیگی حیدرلو[۱]، *عباس بانج شفیعی[۲] و مهدی عرفانیان[۳]

[۱]دانش‌آموخته رشته جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، [۲]استادیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، [۳]استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۰۲

چکیده

سابقه و هدف: با وجود ضرورت تعیین نواحی پرخطر آتش‌سوزی در ایران، انجام این کار با استفاده از روش‌های معمول دشوار و پرهزینه است. وقوع آتش‌سوزی در یک ناحیه وابسته به عوامل مختلف انسانی، طبیعی و زیست‌محیطی است. سامانه اطلاعات جغرافیایی و تلفیق آن با روش ترکیب خطی وزنی فازی و یا تحلیل سلسله مراتبی امکان تهیه نقشه‌های ریسک آتش‌سوزی را برای مناطق جنگلی فراهم می‌سازد. از نقشه ریسک آتش‌سوزی می‌توان برای جلوگیری و پیشگیری از آتش‌سوزی و خسارات ناشی از آن استفاده کرد و به‌عنوان یک ابزار مطمئن و قوی در مدیریت مناطق مستعد یا با پتانسیل بالای وقوع آتش‌سوزی به کار برد. تاکنون در زمینه استفاده از روش منطق فازی برای تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی به‌ویژه در جنگل‌های سردشت، تحقیقات جدی و کاربردی انجام‌نشده است. تحقیق حاضر باهدف تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی از طریق فازی‌سازی نقشه‌های رقومی مؤثر در وقوع آتش‌سوزی با استفاده از توابع عضویت مناسب فازی و ترکیب خطی لایه‌های فازی به صورت وزنی (FWLC) برای اولین بار در جنگل‌های شمال غرب ایران انجام شده است.

*مسئول مکاتبه: Banedg@yahoo.com

مواد و روش‌ها: این تحقیق با استخراج اطلاعات ثبت شده مربوط به آتش‌سوزی‌های رخ‌داده در حوزه‌ی اداره منابع طبیعی شهرستان سردشت و موقعیت آتش‌سوزی‌های رخ‌داده انجام گرفته. با استفاده از ۱۰ عامل مؤثر در آتش‌سوزی جنگل‌های منطقه (شامل ارتفاع، شیب، جهت، کاربری زمین/ پوشش زمین، متوسط بارندگی سالانه، متوسط حداکثر دمای ماهانه، تعداد جمعیت، فاصله از زمین کشاورزی، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده) ریسک آتش‌سوزی جنگل در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و با مدل ترکیب خطی وزنی فازی (FWLC) ارزیابی شده است. سپس با کمک نقشه پهنه‌بندی، ریسک آتش‌سوزی در پنج رده خطر (بسیار کم تا بسیار زیاد) تهیه گردیده است. برای فازی‌سازی ارزش نقشه‌های هرکدام از عوامل از توابع عضویت فازی و برای وزن دهی به معیارها از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در قالب پرسشنامه استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی اکوسیستم‌های جنگلی عوامل توپوگرافیکی می‌باشند. در این فرایند عامل شیب با ۰/۱۹٦ وزن، بالاترین میزان اهمیت را دارا است. پس از تعیین وزن هر معیار، نقشه‌های فازی شده با روش ترکیب خطی وزنی نقشه نهایی ریسک آتش‌سوزی جنگل منطقه به‌دست آمد. نتایج نقشه ریسک آتش‌سوزی نشان داد که حدود ٦۰ درصد از منطقه مورد مطالعه، دارای ریسک آتش‌سوزی بالایی است. همچنین پس از تلفیق نقشه ریسک تولید شده با مناطق آتش‌گرفته واقعی، نتایج نشان دادند که نزدیک ۹۲ درصد از مناطق آتش‌گرفته و ۳٦/۳۸ درصد از اراضی جنگلی در رده‌های ریسک زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته‌اند.

نتیجه‌گیری: بر اساس نقشه نهایی ریسک آتش‌سوزی تهیه شده برای منطقه سردشت، نواحی با ریسک بالا از نظر وقوع آتش‌سوزی، دارای اولویت بیشتری برای اقدامات پیشگیرانه هستند. تهیه نقشه ریسک با صحت بالا می‌تواند نقش مهمی در بررسی و ارزیابی میزان حساسیت عرصه‌های جنگلی و اتخاذ تصمیمات مدیریتی صحیح اطفای حریق داشته باشد. و در صورت عدم چاره‌اندیشی، پوشش باقی می‌ماند و بقیه از بین خواهد رفت.

واژه‌های کلیدی: ریسک آتش‌سوزی جنگل، ترکیب خطی وزنی فازی، AHP، سردشت

مقدمه

جنگل یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی است که منافع اکولوژیکی، اقتصادی، آموزشی و اجتماعی گوناگونی دارد. این منبع با ارزش، امروزه به‌وسیله عوامل متعدد انسانی و طبیعی تخریب شده است. در سال‌های اخیر و با توسعه فنّاوری و صنعت و افزایش جمعیت، بهره‌برداری و تخریب عرصه‌های منابع طبیعی برای تأمین مواد اولیه، فضا و غذا روزبه‌روز افزایش می‌یابد. یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب، وقوع آتش‌سوزی است که می‌تواند بر اکوسیستم جنگل تأثیر زیادی داشته باشد (٤). امروزه تغییر و تبدیل اکوسیستم‌ها به یک معضل جهانی تبدیل شده است و کشاورزان و جنگل‌نشینان برای افزایش سطح اراضی کشاورزی خود اقدام به آتش‌سوزی در جنگل‌ها می‌کنند (١٤)، به‌طوری که سالانه ١٦ میلیون هکتار از مساحت جنگل‌های جهان تخریب می‌شود (١٨). پس از فعالیت‌های شهری و کشاورزی، آتش‌سوزی فراگیرترین عامل تخریب‌کننده اکوسیستم طبیعی به شمار می‌رود (٣٢) که به‌صورت مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و میکروکلیما و به‌صورت غیرمستقیم روی کیفیت رویش‌گاه تأثیر می‌گذارد (٤).

فرآیند مدیریت بحران با مکان‌یابی و تعیین مشکلات یا خطرات بالفعل و بالقوه آغاز می‌شود و داشتن آمادگی و رسیدن به‌موقع به منطقه آتش‌سوزی می‌تواند بسیار مفید باشد. بر اساس آمارهای منتشرشده توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری ایران، سالانه صدها مورد آتش‌سوزی در مناطق مختلف ایران رخ می‌دهد. با توجه به از بین رفتن مراتع و جنگل‌ها در قسمت‌های مختلف ایران، به‌خصوص در سلسله جبال زاگرس و البرز، تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی، شناسایی مناطق یا پهنه‌های با خطر بالا به‌منظور پیش‌بینی و آمادگی اولیه به‌منظور مقابله با آن ضروری به‌نظر می‌رسد. با توجه به این‌که آتش‌سوزی‌ها تقریباً در اکثر عرصه‌های گیاهی ایران می‌تواند رخ دهد، نظارت کامل و مداوم بر روند پیشروی آن‌ها با مطالعات میدانی و در مقیاس‌های محلی به‌راحتی امکان‌پذیر نیست (٢٥). وقوع آتش‌سوزی‌های مکرر در مناطق مختلف ایران، محققان منابع طبیعی را بر آن داشته تا پژوهش‌های جدیدی در عرصه‌های باارزش جنگلی و پوشش‌های گیاهی انجام دهند تا حتی‌الامکان از بروز و گسترش آتش جلوگیری کرده و یا آن را به تأخیر اندازند.

باوجود ضرورت تعیین نواحی پرخطر آتش‌سوزی در ایران، انجام این کار با استفاده از روش‌های معمول دشوار و پرهزینه است زیرا وقوع آتش‌سوزی در یک ناحیه وابسته به عوامل مختلف انسانی،

طبیعی و زیست‌محیطی است. استفاده از روش ترکیب خطی وزنی فازی (FWLC[1]) و فن فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[2]) به‌منظور تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی جنگل از طریق مدل‌سازی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS[3])، به‌عنوان روش کاربردی و مفید برای ارایه راه‌کارهای مناسب و اساسی توسط مدیران و برنامه‌ریزان حوزه جنگل‌داری برای نظارت، پیشگیری و مدیریت این مشکل است. در صورت وجود اطلاعات جامع و کافی از نقاط مختلف ایران می‌توان با تحلیل مکانی اطلاعات رقومی در محیط GIS و کاربرد روش‌های مذکور نسبت به تعیین نواحی ریسک بالا و پهنه‌بندی و اولویت‌بندی آن‌ها اقدام کرد.

لازمه دسترسی سریع‌تر به محل وقوع آتش‌سوزی و داشتن آمادگی برای مبارزه با آتش‌سوزی این است که بدانیم در چه مناطقی امکان یا ریسک بالای وقوع آتش‌سوزی وجود دارد و در چه زمان‌هایی از سال، احتمال وقوع آتش‌سوزی بیشتر است. میردیلمی و همکاران (۲۰۱٤) با استفاده از روش چندعاملی ترکیب خطی وزنی (WLC) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی در پارک ملی گلستان با به‌کارگیری عوامل چهارگانه اقلیمی، توپوگرافی، پوشش گیاهی و عوامل انسانی اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی کردند (۱۹). در این مطالعه با استفاده از نقشه مناطق آتش‌سوزی واقعی اقدام به ارزیابی نقشه نهایی خطر آتش‌سوزی کرده و نتایج نشان داد که مدل ترکیب خطی وزنی توانسته است احتمال وقوع آتش‌سوزی در منطقه را به‌خوبی پهنه‌بندی کند. در تحقیق دیگری توسط اسکندری و همکاران (۲۰۱۳) به‌منظور مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شد (۱۰). در این تحقیق معیارهای مؤثر بر آتش‌سوزی شامل چهار معیار اصلی و ۱۷ زیر معیار بود و بعد از به‌دست آوردن وزن هر معیار با استفاده از ارزیابی پرسشنامه‌های توزیع‌شده بین متخصصان آتش‌سوزی در عرصه منابع طبیعی در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، با استفاده از روش فازی در محیط GIS استانداردسازی و مقادیر ارزش‌های پیکسلی هر نقشه بین صفر تا یک ارزش‌گذاری شده و با استفاده از مدل و ادغام وزنی زیرمعیارهای هر معیار نقشه نهایی تولید گردید. نتایج نشان دادند که نقشه خطر تهیه‌شده تطابق زیادی با مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته داشته است. زرع کار و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی متعدد از جمله

1- Fuzzy Weighted Linear Combination
2- Analytical Hierarchy Process
3- Geographic Information System

توپوگرافی، اقلیم، پوشش گیاهی و عوامل اقتصادی- اجتماعی اقدام به تهیه‌ی نقشه قابلیت آتش‌سوزی در بخشی از جنگل‌های گیلان نمودند (۳٤). در این مطالعه روش تحلیل سلسله مراتبی فازی شیوه مورداستفاده به‌منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها بوده و وزن دهی به معیارها بین ۰ تا ۱ بوده است. پس از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی وزن‌دار در سامانه اطلاعات جغرافیایی و تهیه نقشه نهایی خطر آتش‌سوزی، نتایج ارزیابی نشان‌دهنده‌ی مطابقت ٦٦ درصدی مناطق دارای خطر زیاد و خیلی‌زیاد آتش‌سوزی با مناطق آتش‌سوزی واقعی بوده است. در این مطالعه با توجه به نتایج، مجاورت به جاده‌ها و مناطق مسکونی از عوامل اصلی بوده‌اند که حتی عوامل توپوگرافیک را تحت تأثیر قرار داده و نقش بارزی در وقوع حریق داشته‌اند.

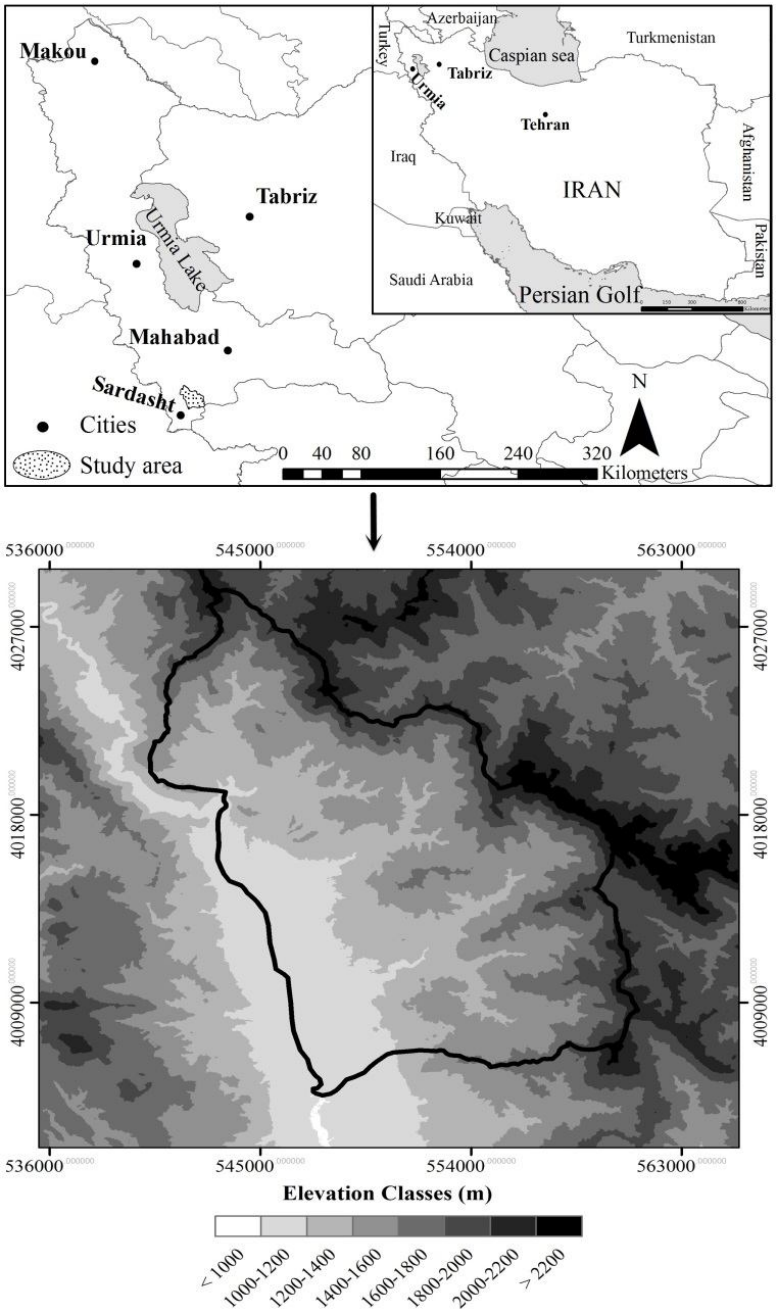
سامانه اطلاعات جغرافیایی و تلفیق آن با روش ترکیب خطی وزنی فازی و یا تحلیل سلسله مراتبی امکان تهیه نقشه‌های ریسک آتش‌سوزی را برای مناطق جنگلی فراهم می‌سازد. از نقشه ریسک آتش‌سوزی می‌توان برای جلوگیری و پیشگیری از آتش‌سوزی و خسارات ناشی از آن استفاده کرد و به‌عنوان یک ابزار مطمئن و قوی در مدیریت مناطق مستعد یا با پتانسیل بالای وقوع آتش‌سوزی به کار برد. تاکنون در زمینه استفاده از روش منطق فازی برای تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی به‌ویژه در جنگل‌های سردشت، تحقیقات جدی و کاربردی انجام نشده است. لذا تحقیق حاضر باهدف تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی از طریق فازی سازی نقشه‌های رقومی مؤثر در وقوع آتش‌سوزی با استفاده از توابع عضویت مناسب فازی و ترکیب خطی لایه‌های فازی به‌صورت وزنی (FWLC) برای اولین بار در جنگل‌های شمال غرب ایران انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه انتخابی در این تحقیق با مساحت ۲۷۳/۳ کیلومترمربع در محدوده جغرافیایی ۳٦ درجه ۱۱ دقیقه ۵ ثانیه الی ۳٦ درجه ۲٤ دقیقه ۱۱ ثانیه عرض شمالی و ٤۵ درجه ۲٦ دقیقه ۵۵ ثانیه الی ٤۵ درجه ٤۰ دقیقه ٤۸ ثانیه طول شرقی در قسمت شمال شرقی شهرستان سردشت قرار دارد (شکل ۱). این منطقه در حدود ۳۸ آبادی و یک شهر بنام رَبَط را شامل می‌شود. میانگین بارش سالانه منطقه ۷۲٤ میلی‌متر است. میانگین حداکثر و حداقل دمای سالانه به‌ترتیب برابر ۲۱ و ٦ درجه سانتی‌گراد است و اقلیم آن بر اساس روش اقلیم نمای آمبرژه، از نوع مرطوب سرد است.

در این مطالعه، ده عامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی جنگل انتخاب گردید. برای انتخاب این عوامل از نتایج تحقیقات انجام شده (۱۲، ۲۲، ۳۱، ۵، ۳، ۱۵، ۱۷ و ۲۰) و آمار و فراوانی آتش‌سوزی‌های رخ داده در گذشته، استفاده شد. سپس نقشه یا لایه رقومی ده عامل انتخاب شده تهیه شد. عوامل یا معیارهای انتخابی برای تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی شامل ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت، کاربری اراضی/ پوشش زمین، متوسط بارش سالانه، متوسط حداکثر دمای ماهانه، جمعیت، فاصله از جاده‌ها، فاصله از زمین‌های کشاورزی و فاصله از آبراهه‌ها می‌باشند. نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM[1]) از سایت سنجنده استر[2] برای محدوده جغرافیایی منطقه، دانلود و مطابق شکل ۱ آماده‌سازی شد. با استفاده از نقشه DEM با اندازه سلول ۳۰ متر، نقشه‌های رستری شیب و جهت در نرم‌افزار ArcGIS 9.3 تهیه شد. همچنین لایه‌های اقلیمی بارش و دما نیز از داده‌های بارش و دمای ایستگاه‌های سینوپتیک اطراف منطقه موردمطالعه با استفاده از روش IDW تولید شدند. به‌منظور استخراج لایه جاده‌ها و تعداد جمعیت نیز از نقشه توپوگرافی منطقه شامل جاده‌ها و نقشه سامان‌های عرفی منطقه استفاده شد. برای تهیه نقشه کاربری اراضی/ پوشش زمین (LU/LC[3])، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ به تاریخ چهارشنبه ۱۰ جولای ۲۰۱۳ (۱۹ تیر ۱۳۹۲) استفاده شد و نقشه LU/LC با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر درست‌نمایی (ML[4]) با صحت کل ۸۲/۷۱ درصد و ضریب کاپای کل ۰/۷٤ و با استفاده از نرم‌افزارهای Erdas Imagine 9.2 و Envi4.2 تهیه شد.

1- Digital Elevation Model
2- Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer
3- Land Use/Land Cover
4- Maximum Likelihood



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه نسبت به ایران، استان آذربایجان غربی و شهرستان سردشت.

Figure 1. The geographical location of study area within Iran, West Azerbaijan province and Sardasht city.

در این تحقیق، برای فازی سازی کلیه نقشه‌های رقومی رستری ۱۰ گانه (اندازه سلول ۳۰ متری) از منطق فازی و تعریف توابع عضویت مناسب استفاده شد. برای تعیین میزان اهمیت نسبی یا وزن هر یک از عوامل، از فن تحلیل سلسله مراتبی و نرم‌افزار Expert Choice 11 استفاده شد. تحلیل مکانی و فرآیند مدل‌سازی برای تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی جنگل، برای ترکیب کلیه لایه‌های فازی شده (با ارزش‌های ۰ تا ۱ برای هر لایه)، از روش ترکیب خطی وزنی فازی (FWLC) استفاده شد. به‌منظور ارزیابی صحت یا اعتبارسنجی نقشه ریسک تولیدشده، از پهنه‌های آتش‌سوزی مشاهده‌ای در منطقه از آمار و اطلاعات آتش‌سوزی‌های ثبت‌شده در اداره منابع طبیعی شهرستان سردشت در دوره آماری ۹۱-۱۳۸۱ استفاده شد و ۱۲ منطقه با وسعت بالا در طی دو سال اخیر توسط جنگل‌نشینان و قرقبانان شناسایی‌شده و نقشه رقومی آن‌ها با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS[1]) ثبت گردید. توابع عضویت فازی، روش وزن دهی با فن فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و روش ترکیب خطی وزنی فازی به‌ترتیب در بخش بعدی توضیح داده می‌شوند.

توابع عضویت فازی و استانداردسازی نقشه معیارها: در ارزیابی چندمعیاره، برای دستیابی به یک هدف معین ابتدا باید شاخص‌های ارزیابی را تعریف کرد و بر مبنای آن‌ها به هدف تعریف‌شده دست‌یافت، این سنجه‌ها یا شاخص‌ها را معیار ارزیابی می‌نامند (۱۳). در تحقیق از ۱۰ معیار یا عامل مؤثر بر ریسک آتش‌سوزی استفاده شد. ابتدا نقشه رقومی تمام معیارها در نرم‌افزار ArcGIS 9.3 با اندازه سلول ۳۰ متر تهیه شد. چون هر عامل دارای دامنه یا محدوده متفاوتی است، برای تحلیل و ارزیابی چندمعیاره باید مقیاس اندازه‌گیری آن‌ها را همسان و متناسب با یکدیگر کرد. مثلاً مقدار حداقل و حداکثر نقشه شیب با نقشه ارتفاع متفاوت بود. یا اینکه برخی از نقشه‌ها مانند نقشه کاربری اراضی/ پوشش زمین از نوع کیفی بوده و به‌صورت قراردادی، کمی شدند. لذا مقیاس نقشه‌های تهیه شده، متفاوت بود. برای همسان‌سازی مقیاس و تبدیل مقیاس نقشه‌ها به واحدهای قابل مقایسه، از فرآیند فازی سازی (۰ تا ۱) بر اساس منطق فازی و تعریف توابع عضویت مناسب استفاده شد. به‌عبارت‌دیگر، مقادیر یا ارزش‌های لایه‌ها به دامنه یا مقیاس واحد (۰ تا ۱) تبدیل شد. در این حالت، بیشترین ارزش یعنی مقدار یک به حداکثر عضویت فازی و کمترین ارزش یعنی عدد صفر به حداقل عضویت در یک مجموعه فازی تعلق گرفت (۲۸). به‌منظور فازی سازی از توابع مختلفی چون S شکل، L شکل، مثلثی و ذوزنقه‌ای استفاده شد (شکل ۲) و هرکدام از عوامل در محیط نرم‌افزار

1- Global Position System

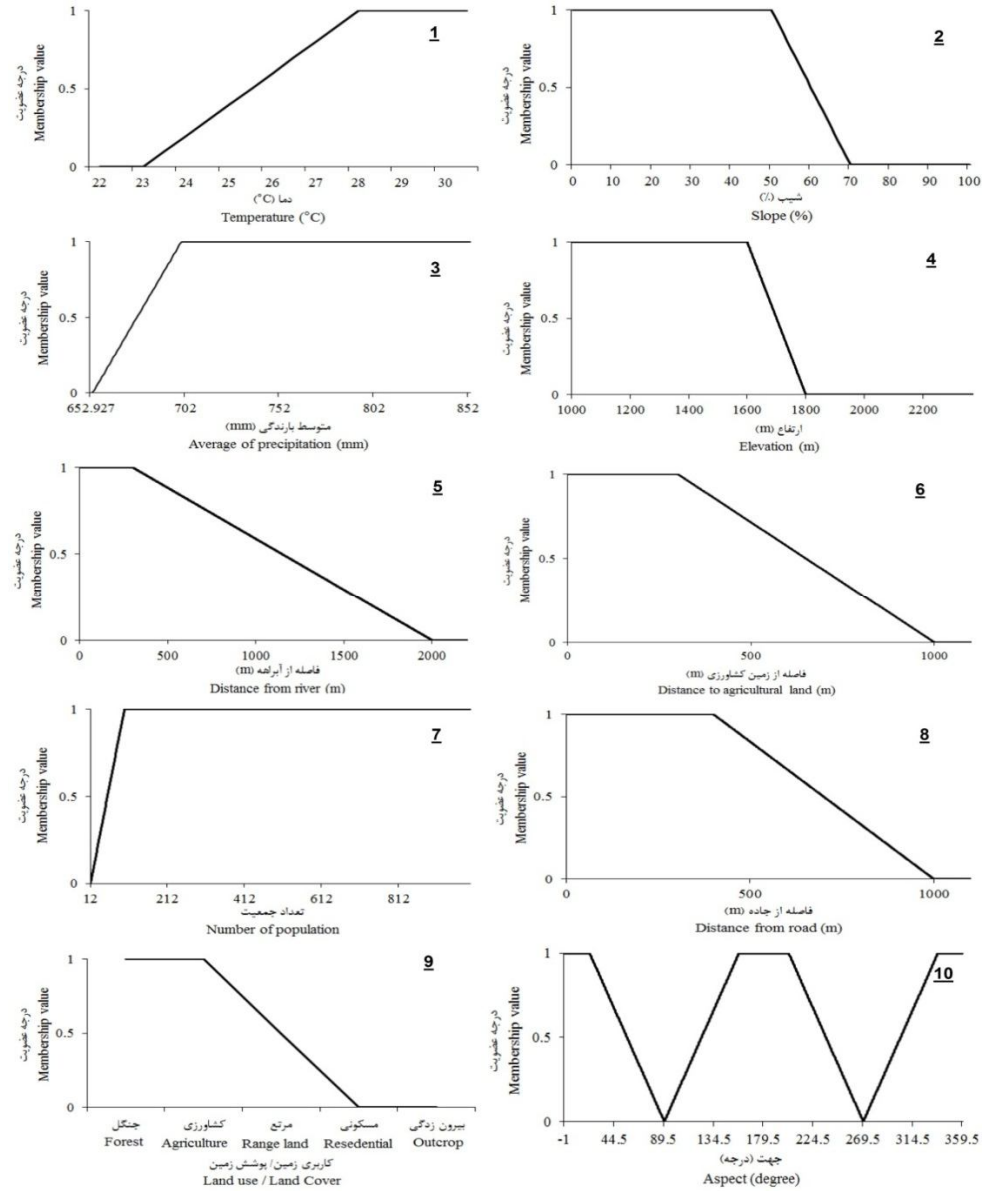
ArcGIS9.3 به حالت استاندارد یا فازی تبدیل شد و حداقل و حداکثر مقدار در ۱۰ نقشه رقومی مرتبط با وقوع آتش‌سوزی بین ۰ تا ۱ قرار گرفت.

وزن‌دهی عوامل آتش‌سوزی: پس از آن‌که معیارهای ارزیابی به مقیاس‌های قابل مقایسه و استاندارد تبدیل شدند باید وزن و اهمیت نسبی هریک از آن‌ها را در رابطه با هدف تعیین کرد. در این پژوهش، از فن فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین وزن نسبی هر معیار استفاده شد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یک روش ریاضی جهت تعیین اهمیت و تقدم معیارها در فرآیند تحلیل و ارزیابی است. در این روش در ابتدا ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر در قالب یک پرسشنامه تهیه شد و به کارشناسان، اساتید و متخصصان دانشگاهی مرتبط با موضوع تحقیق در عرصه منابع طبیعی ارسال شد.

در این روش و در قالب ماتریس مقایسه‌های زوجی، میزان اهمیت یا ارجحیت یک معیار نسبت به معیار دیگری بر اساس جدول ارایه‌شده توسط ساعتی (۱۱)، توسط هر کارشناس در پرسشنامه پاسخ داده شد و قضاوت‌های شفاهی به مقادیر کمی تبدیل گشتند. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها و ترکیب یا ادغام نظرات کارشناسان، ماتریس نهایی مقایسات زوجی برای محاسبه وزن نهایی هر یک از معیارها تحلیل گردیدند. در این تحلیل، به‌دلیل نظرات متفاوت کارشناسان در پاسخ به سؤالات پرسشنامه، با استفاده از روش میانگین هندسی، نظرات آن‌ها در نرم‌افزار اکسپورت چویس[1] ادغام شده و وزن تک‌تک معیارها محاسبه شد. میانگین هندسی، بهترین روش برای تلفیق قضاوت‌ها در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است (۱). لازم به ذکر است که جمع جبری وزن‌ها برابر با یک شده است. برای تخمین میزان سازگاری بین نظرات کارشناسان مختلف، درروش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از شاخص سازگاری (CI[2]) استفاده شده است. طبق تعریف، چنانچه شاخص سازگاری معادل ۰/۱ یا کمتر از آن باشد، نیازی به تجدیدنظر در اعداد ماتریس مقایسات زوجی نیست (۱۱).

روش ترکیب خطی وزنی فازی (FWLC): روش ترکیب خطی وزنی فازی درواقع یک روش ارزیابی چندمعیاره برای تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی است. روش ترکیب خطی وزنی فازی یکی از روش‌های کاربردی در این زمینه است، مهم‌ترین و اصلی‌ترین آن‌ها شامل ترکیب خطی وزنی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد (۱۶). این روش درواقع یکی از روش‌های رایج در تحلیل ارزیابی چندمعیاره است. در این روش، از طریق ضرب کردن وزن هر معیار در لایه فازی و جمع خطی آن‌ها، نقشه نهایی ریسک آتش‌سوزی به‌دست می‌آید.

1- Expert Choice
2- Consistency Index



شکل ۲- توابع عضویت عوامل دما (۱)، شیب (۲)، بارندگی (۳)، ارتفاع (٤)، فاصله از آبراهه (۵)، فاصله از زمین کشاورزی (٦)، تعداد جمعیت (۷)، فاصله از جاده (۸)، کاربری/ پوشش زمین (۹) و جهت (۱۰).

Figure 2. Membership function of Temperature (1), Slope (2), Precipitation (3), Elevation (4), Distance from River (5), Distance from Agricultural lands (6), Number of Population (7), Distance from Road (8), LU/LC (9) and Aspect (10) factors.

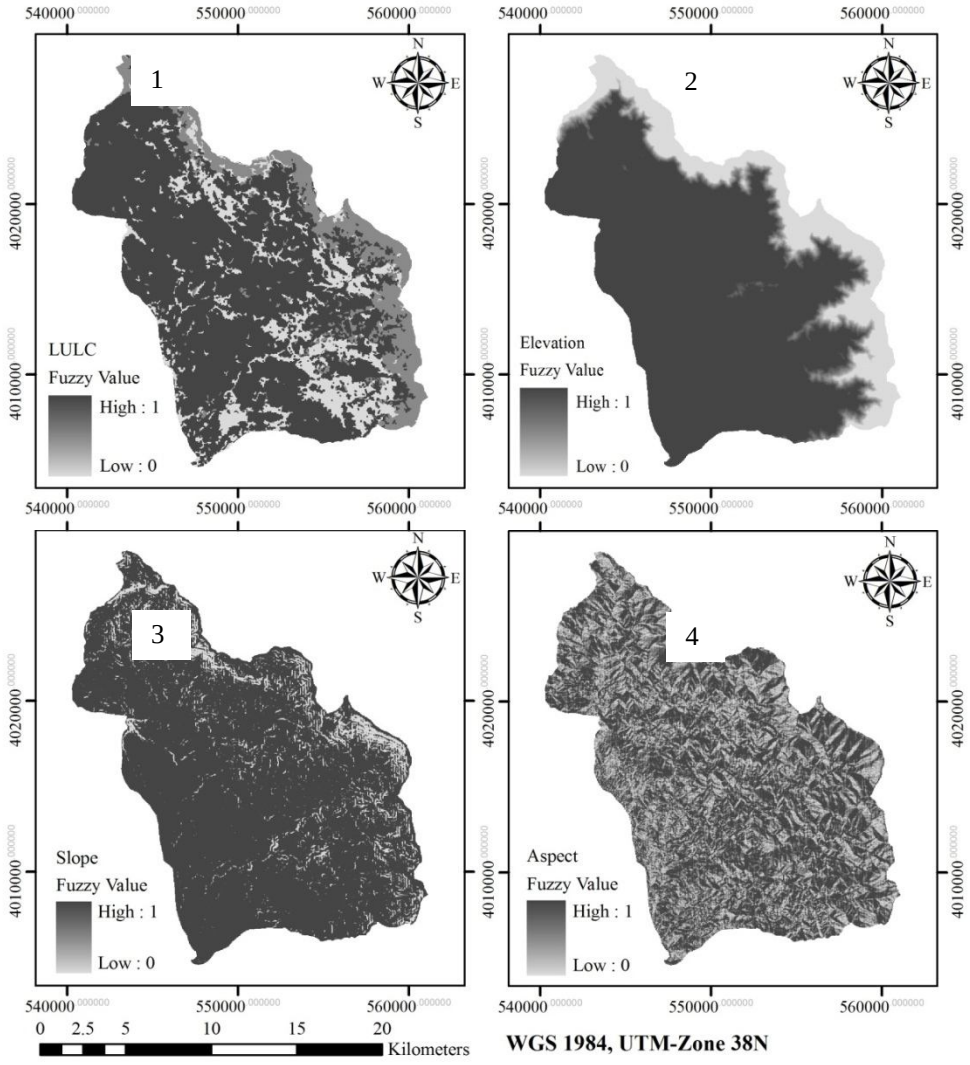
در این روش قاعده تصمیم‌گیری، مقدار هر گزینه A_i به‌وسیله رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A_i = \sum_{j=1}^{n=10} W_j \times X_{ij}$$ رابطه (۱)

در این رابطه W_j وزن شاخص یا معیار j ام به‌دست آمده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، X_{ij} مقدار فازی یک پیکسل معین (i ام) در روی نقشه فازی معیار j است، A_i مقدار جمع وزنی فازی همه معیارها در پیکسل i ام است. مقدار A_i نیز عددی بین صفر و یک در هر یک از پیکسل‌های نقشه ریسک اولیه است. در این روش، گزینه ایده‌آل، گزینه‌ای خواهد بود که دارای بیش‌ترین A_i باشد (۲۱)؛ بنابراین پیکسل‌های با مقدار نزدیک‌تر به عدد ۱ بیانگر ریسک بالاتر وقوع آتش‌سوزی می‌باشند. استفاده از این روش در هر دو نوع قالب رستری و برداری سیستم اطلاعات جغرافیایی عملی است (۲۶). محاسبه مقدار A_i در رابطه (۱) در نرم‌افزار ArcGIS 9.3 انجام شد و نقشه تولیدشده به روش طبقه‌بندی Jenks به پنج کلاس یا طبقه ریسک بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی مجدد شد. نقشه پهنه‌های آتش‌سوزی مشاهده‌ای در منطقه روی این نقشه قرار داده شد و اعتبار سنجی آن بر اساس درصد یا میزان هم‌پوشانی در کلاس‌های مختلف نقشه ریسک آتش‌سوزی انجام شد.

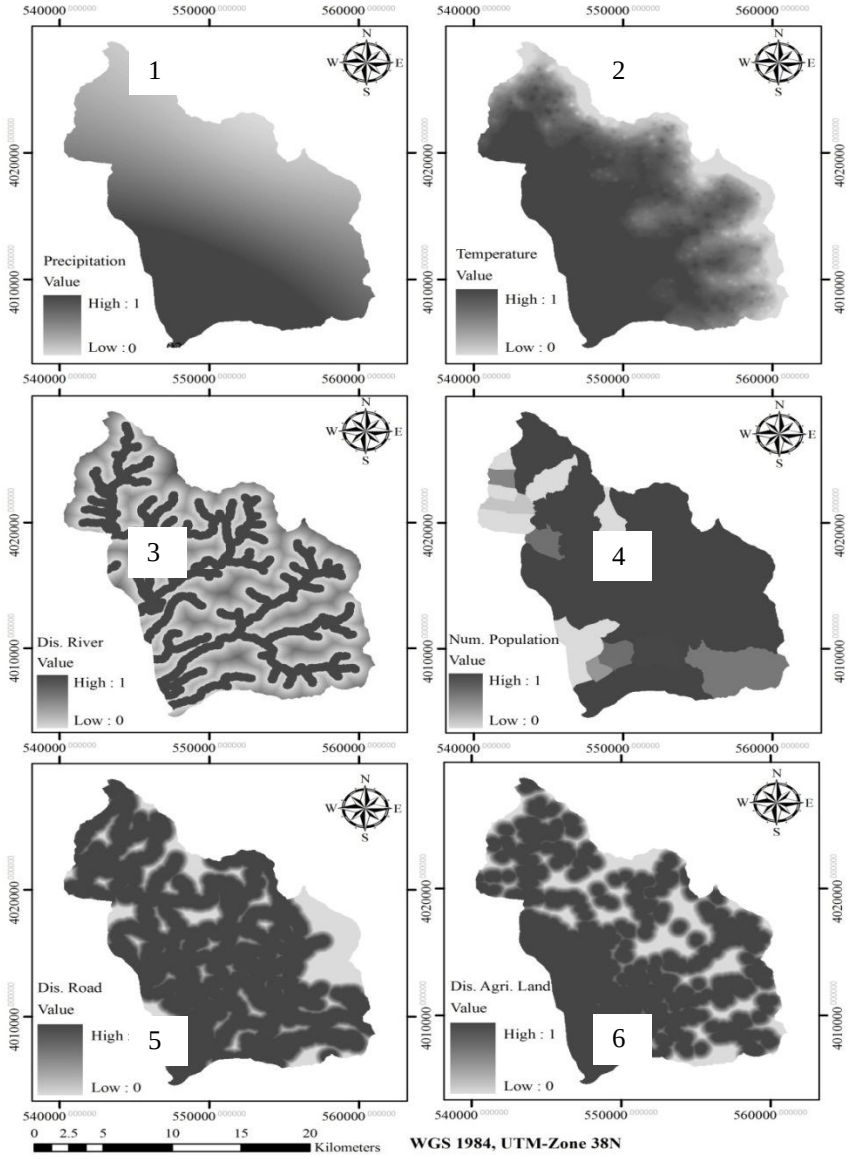
نتایج و بحث

پس از اعمال توابع عضویت فازی مربوط به هر عامل در نرم‌افزار ArcGIS 9.3، لایه‌ی فازی شده هرکدام از عوامل تهیه و مقادیر آن‌ها بین دو مقدار یک و صفر قرار گرفت (شکل ۳ و ٤).



شکل ۳- نقشه‌های فازی عوامل کاربری و پوشش زمین (۱)، ارتفاع (۲)، شیب (۳) و جهت (٤).

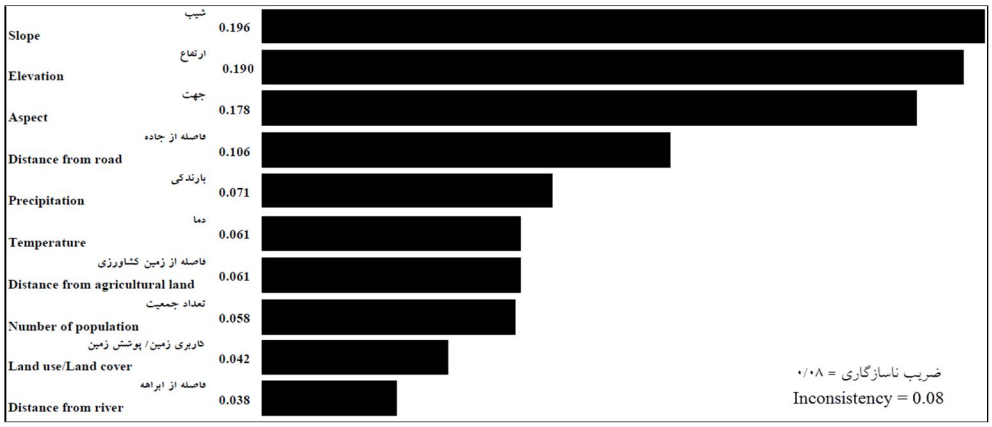
Figure 3. Fuzzy maps of LU/LC (1), Elevation (2), Slope (3) and Aspect (4) factors.



شکل ٤- نقشه‌های فازی عوامل بارندگی (۱)، دما (۲)، فاصله از آبراهه (۳)، جمعیت (٤)، فاصله از جاده (۵) و زمین کشاورزی (٦).

Figure 4. Fuzzy maps of Precipitation (1), Temperature (2), Distance from River (3), Population (4), Distance from Road (5) and Distance from Agricultural lands (6) factors.

پس از ادغام مقایسه‌ها و تهیه ماتریس ترکیب شده مقایسه، وزن نهایی هر عامل به‌دست آمد (شکل ۵). نتایج کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در نرم‌افزار Expert Choice 11 نشان داد که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی اکوسیستم‌های جنگلی عوامل توپوگرافیکی می‌باشند به‌گونه‌ای که عامل شیب با ۰/۱۹٦ وزن، بالاترین میزان اهمیت را نشان می‌دهد.



شکل ۵- اوزان نهایی محاسبه شده برای عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی در نرم‌افزار Expert Choice 11.

Figure 5. The final calculated weights for effective factors on fire by EC-11 software.

میزان ناسازگاری به‌دست آمده در نرم‌افزار اکسپرت چویس برای وزن‌دهی به معیارهای ده‌گانه نیز معادل ۰/۰۸ است. پس از تعیین وزن هر معیار ۱۰ نقشه فازی شده با روش ترکیب خطی وزنی با یکدیگر جمع شد و با استفاده از روش طبقه‌بندی Jenks در نرم‌افزار ArcGIS9.3، نقشه نهایی ریسک آتش‌سوزی جنگل منطقه مطابق شکل ٦ به‌دست آمد. با توجه به این نقشه، حدود ٦۰ درصد از منطقه در کلاس‌های ریسک زیاد و بسیار زیاد واقع شده‌اند (جدول ۱).

جدول ۱- درصد مساحت کلاس‌های ریسک آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه.

Table 1. Area percentage of fire risk classes in study area.

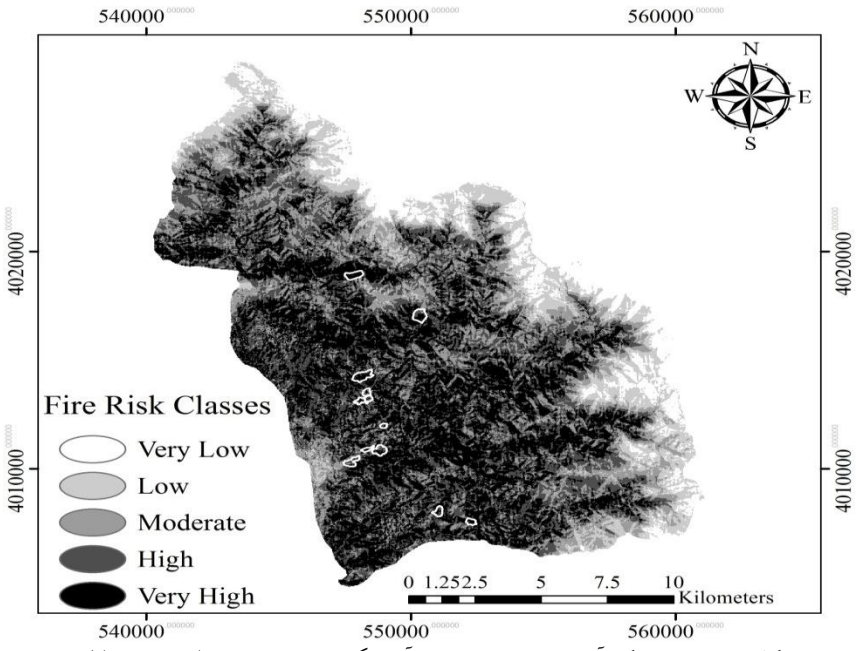
کلاس ریسک Risk class	بسیار کم Very low	کم Low	متوسط Moderate	زیاد High	بسیار زیاد Very high
مساحت (درصد) Area (%)	8.52	11.61	19.71	28.83	31.33

با روی هم‌گذاری و قطع دادن نقشه ریسک با نقشه کاربری اراضی/ پوشش زمین (LU/LC) مشخص گردید که ۳۶/۳۸ درصد از اراضی جنگلی در طبقات ریسک زیاد و بسیار زیاد قرار دارند که درواقع بالاترین میزان در بین انواع کاربری موجود در منطقه هست (جدول ۲).

جدول ۲- درصد مساحت کاربری‌های مختلف موجود در منطقه به تفکیک کلاس‌های ریسک آتش‌سوزی.

Table 2. Area percentage of various land-uses in the region according to fire risk classes.

بیرون‌زدگی سنگی Outcrop	کشاورزی Agriculture	مسکونی Residential	مرتع Range land	جنگل Forest	کلاس ریسک Risk class
0.85	0.12	0.07	6.60	0.88	بسیار کم Very low
1.54	0.43	0.07	5.51	4.06	کم Low
3.98	1.96	0.35	1.39	12.03	متوسط Moderate
4.48	5.31	0.49	0.87	17.68	زیاد High
3.04	8.52	0.48	0.59	18.69	بسیار زیاد Very high



شکل ٦- نقشه ریسک آتش‌سوزی و پهنه‌های آتش گرفته مشاهده‌ای منطقه مورد مطالعه.

Figure 6. Fire risk map and observed fire zones of study area.

مطابق جدول ۳، هم‌پوشانی نقشه کلاس‌های ریسک و نقشه پهنه‌های آتش‌سوزی رخ‌داده در سال‌های اخیر در منطقه نشان داد که ۹۲/۱۰ درصد از مناطق آتش‌گرفته قبلی در کلاس‌های ریسک زیاد و بسیار زیاد قرار دارند که این موضوع بیانگر دقت یا صحت بالای نقشه ریسک تهیه شده به روش ترکیب خطی وزنی فازی است.

جدول ۳- درصد مساحت یا انطباق بین پهنه‌های آتش‌سوزی مشاهده‌ای و کلاس‌های ریسک آتش‌سوزی.

Table 3. Area percentage or overlaying between observed fire zones and fire risk classes.

کلاس ریسک Risk class	بسیار کم Very low	کم Low	متوسط Medium	زیاد High	بسیار زیاد Very high
مساحت (درصد) Area (%)	0.00	0.00	7.90	33.33	58.77

آتش‌سوزی‌های جنگلی از گذشته تا به امروز، باعث نابودی جنگل‌ها به‌عنوان بخش مهمی از منابع طبیعی، آلودگی هوا و از بین رفتن منابع با ارزش بسیاری شده است و از مصادیق بحران‌های طبیعی است (۱۸). شناسایی عوامل مؤثر در وقوع حریق و پهنه‌بندی ریسک وقوع آن از مهم‌ترین ابزارهای اساسی جهت دستیابی به راهکارهای کنترل و مقابله با آتش‌سوزی است. در این تحقیق، نقشه ریسک آتش‌سوزی جنگل بر پایه ۱۰ عامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره FWLC تهیه شد و در پنج کلاس ریسک از بسیار کم تا بسیار زیاد طبقه‌بندی شد. در بسیاری از مطالعات انجام شده در زمینه تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی، از تعداد عوامل محدود که وقوع آتش‌سوزی جنگل دخالت دارند استفاده شده است. مثلاً، محمدی و همکاران (۲۰۱۰) در تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی بخشی از جنگل‌های پاوه، از نقشه کاربری اراضی استفاده نکردند (۲۰). در تحقیقات آکپینار و یوشول (۲۰۰۷) برای تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی با سامانه اطلاعات جغرافیایی در ترکیه، نقش عوامل اقلیمی و ارتفاع از سطح دریا (۲)، در تحقیق چاوان و همکاران (۲۰۱۲) نقش نوع کاربری اراضی و پوشش زمین، ارتفاع از سطح دریا و عوامل اقلیمی نادیده گرفته شده‌اند (٦). چنین رویکردی باعث سادگی مدل می‌شود هرچند ممکن است این پارامترها شامل تمام فرآیندهای آتش‌سوزی به‌طور کامل نباشند. فرآیند آتش‌سوزی متأثر از عوامل متعددی هستند که شاید در مورد تعداد زیادی از آن‌ها تاکنون تحقیقات قابل‌توجه و کاربردی نشده است. در تحقیق حاضر، به‌منظور

تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی، از ترکیب وزنی خطی ۱۰ عامل شامل ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب، جهت، کاربری و پوشش زمین، متوسط بارندگی سالانه، متوسط دمای ماهانه، تعداد جمعیت، فاصله از جاده‌ها، فاصله از آبراهه‌ها و فاصله از زمین‌های کشاورزی استفاده شد. استفاده از فاکتورهای بیشتر به کاربر یا کارشناس امکان تهیه یک خروجی با صحت بالاتر را مهیا می‌کند.

نقشه تولید شده با روش ترکیب خطی وزنی فازی برای ارزیابی ریسک آتش‌سوزی در جنگل‌های سردشت، نقشه‌ای است تلفیقی با فرمت رستری که مقادیر آن ارزش‌هایی بین صفر و یک دارد. مقادیر بالاتر (به سمت یک) در این نقشه بیانگر ریسک بالاتر برای وقوع آتش‌سوزی و مقادیر کمتر (به سمت صفر) نشان‌دهنده مناطق با ریسک پایین‌تر هستند. درروش ترکیب خطی وزنی فازی با ضرب کردن وزن هر عامل در نقشه فازی معیار مربوطه، کلیه نقشه‌ها به‌صورت خطی جمع یا ترکیب شدند و با به‌کارگیری روش طبقه‌بندی Jenks، نقشه ریسک آتش‌سوزی تهیه شد. نتایج نشان داد که ٦٠/١٦ درصد از منطقه در کلاس ریسک زیاد و بسیار زیاد آتش‌سوزی قرار دارد و حدود ۲۰/۱۳ درصد از منطقه در طبقات ریسک کم و بسیار کم آتش‌سوزی قرار دارند. این اراضی شامل مناطق با بارندگی کم و دمای زیاد، شیب‌های ۲۰ الی ۵۰ درصد (۳۱/۲۰ درصد مساحت منطقه) و نسبتاً مناسب برای رفت و آمد انسان و نزدیک به جاده‌ها و اراضی زراعی به‌دلیل تبدیل جنگل به زمین‌های کشاورزی و همچنین آتش زدن پسماند محصولات برای مقاصد مختلف بوده که حساسیت به ایجاد و گسترش حریق بیشتر شده که با پژوهش‌های مشابه توسط کورتز و موارایس (۲۰۰۷)، جایسوال و همکاران (۲۰۰۲)، زو (۲۰۰۵) و محمدی و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت داشته است (۸، ۱۲، ۳۱ و ۲۰). همچنین اراضی با ریسک زیاد مناطق با ارتفاع از سطح دریای ۱۲۰۰ تا ۱٦۰۰ متری (٤٥/٦٨ درصد مساحت منطقه) برابر با روستاهای منطقه مورد مطالعه بوده که با نتایج حاصله از تحقیق زو و همکاران (۲۰۰۵) و محمدی و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد (۳۱ و ۲۰). جهات جنوب و شمال نیز به‌ترتیب با ٢٤/٢١ و ١٥/٠٦ درصد مساحت منطقه، بالاترین ریسک آتش‌سوزی را در بین جهات جغرافیایی داشته‌اند که با نتایج تحقیقات مذکور، مطابقت بالایی را نشان می‌دهد. شرایط منطقه سبب گردیده تا انسان هرچه بیشتر به مناطق جنگلی به‌منظور تفرج، چرانیدن دام، کشاورزی و سایر کاربری‌ها دسترسی داشته باشد؛ اما افزایش درجه حرارت در فصول خشک‌سال همواره یکی از مهم‌ترین دلایل وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها می‌باشد، به‌طوری‌که خشکی هوا، کاهش بارندگی و وزش بادهای گرم ازجمله عوامل طبیعی هستند که شرایط مساعدی را برای ایجاد آتش‌سوزی‌های گسترده و سطحی فراهم می‌آورند (۳۳).

نتایج روش ترکیب خطی وزنی فازی نشان داد که حدود ۹۲/۱۰ درصد آتش‌سوزی‌های به وقوع پیوسته در مناطقی با ریسک زیاد آتش‌سوزی واقع شده‌اند (۵۸/۷۷ درصد در مناطق ریسک بسیار زیاد، ۳۳/۳۳ درصد در مناطق ریسک زیاد)؛ که با نتایج مطالعات چویکو و کانگالتون (۱۹۸۹)، دانگ و همکاران (۲۰۰۵)، وادرو و همکاران (۲۰۰۹)، محمدی و همکاران (۲۰۱۰)، سلامتی و همکاران (۲۰۱۱)، سوم‌یا و سوماشکار (۲۰۱۰) و پاز و همکاران (۲۰۱۱) از نظر همخوانی مناطق آتش‌سوزی واقعی با مناطق دارای ریسک آتش‌سوزی مطابقت دارد (۷، ۹، ۳۰، ۲۰، ۲٤، ۲۷ و ۲۳). این موضوع نشان‌دهنده میزان کارایی نسبتاً بالای روش ترکیب خطی وزنی فازی در تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی است، به‌عبارت‌دیگر می‌توان از نقشهٔ تولید شده در مدیریت و پیشگیری به‌همراه جلوگیری از وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های غرب استفاده کرد.

بر اساس نقشه نهایی ریسک آتش‌سوزی تهیه شده برای منطقه سردشت، نواحی با ریسک بالا ازنظر وقوع آتش‌سوزی، میزان بالای اولویت آن‌ها را برای اقدامات پیشگیرانه و اجرای اقدامات حفاظتی را نشان می‌دهد. تهیه نقشه ریسک با صحت بالا می‌تواند نقش مهمی در بررسی و ارزیابی میزان حساسیت عرصه‌های جنگلی و اتخاذ تصمیمات مدیریتی صحیح اطفای حریق داشته باشد و طبیعتاً در صورت عدم چاره‌اندیشی صحیح، این مقدار پوشش سبز موجود و باقیمانده نیز از بین خواهد رفت؛ بنابراین نقشه حاصل از این تحقیق می‌تواند در مدیریت آتش‌سوزی جنگل، پیشگیری به همراه جلوگیری از وقوع آتش‌سوزی و درنهایت اطفاء سریع آن به‌همراه شناسایی سریع‌تر مناطق آتش‌سوزی شده در آینده و نصب برج‌های دیده‌بانی آتش در نواحی ریسک بالا کمک کند. بر اساس نقشه تهیه شده، بخش‌های اجرایی می‌توانند تا اقدامات لازم را برای پیشگیری یا مقابله با آتش‌سوزی و برنامه‌ریزی تأمین امکانات موردنیاز انجام دهند.

منابع

1.Aczel, J., and Saaty, T. 1983. Procedure for synthesizing ratio judgments. J. of mathematical psychology. 27: 93-102.
2.Akpinar, E., and Usul, N. 2007. GIS in Fires, case study: Bolu, Turkey, 11p.
3.Almedia, R. 1994. Forest fire risk areas and definition of the prevention priority planning actions using GIS. Proceedings of the Fifth European Conference and Exhibition on Geographic Information Systems, EGIS 94. Utrecht: EGIS Foundation, 2: 1700-1706.

4.Barnes, B.V., Zak, D.R., Denton, S.R., and Spurr, S.H. 1998. Forest Ecology. John Wiley and Sons, USA, 774p.
5.Chandra, S., and Arora, M.K. 2006. Forest fire risk zonation mapping using remote sensing technology. Proceedings of the SPIE, V. 6412: 64120A. 1-64120A.10.
6.Chavan, M.E., Das, K.K., and Suryawanshi, R.S. 2012. Forest fire risk zonation using Remote Sensing and GIS in Huynial watershed, Tehri Garhwal district, UA. International J. of Basic and Applied Research. 2: 6-12.
7.Chuvieco, E., and Congalton, R.G. 1989. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. Remote Sensing of the Environment. 29: 147-159.
8.Cortez, P., and Morias, A. 2007. A data mining approach to predict forest fires using meteorological data. New Trends in Artificial Intelligence, Proceedings of the 13th EPIA- Portuguese Conference on Artificial Intelligence, December, Guimarães, Portugal, 512-523
9.Dong, X.U., 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. J. of Forestry Research. 16(3): 169-174.
10.Eskandari, S., Oladi Ghadiklayi, J., Jalilvand, H., and Serajiyan, M.R. 2013. Fire risk modeling and prediction in district three of Neka-Zalemroud forest, using Geographical Information System. Iranian J. of Forest and Poplar Research. 21(2): 203-217. (In Persian)
11.Ghodsipour, S.H. 2010. Analytical Hierarchy Process (AHP). Amirkabir University Pub., 222p. (In Persian)
12.Jaiswal, R.K., Mukherjee, S., Raju, K.D., and Saxena, R. 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. International J. of Applied Earth Observation and Geoinformation. 4(1): 1-10.
13.Karam, A.A. 2004. Application of Modeling Weighted Linear Combination (WLC) in Landslide Zonation, A Case study: Sarkhun district in Chaharmahal va Bakhtiyari province. J. of Geography and Development. 131-146. (In Persian)
14.Ketterings, Q.M., Wibowo, T., Noordwijk, M., and Penot, E. 1999. Farmers' perspectives on slash-and-burn as a land clearing method for small-scale rubber producers in Sepunggur, Jambi province, Sumatra, Indonesia. Forest Ecology and Management. 120: 157-169.
15.Mahdavi, A., Fallah Shamsi, S.R., and Nazari, R. 2012. Forests and rangelands wildfire risk zoning using GIS and AHP techniques. Caspian J. of Environmental Sciences. 10: 43-52.
16.Malezewski, J. 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wily and Sons, New York, USA, 392p.

17.Mansoori, N., Nazari, R., Nasiri, P., and Gharagozlu, A.R. 2011. Planning Forest Fire Crisis Management Using GIS and RS. J. of Applies RS and GIS Techniques in Natural Resource Science. 2(3): 63-73.
18.Marvi Mohajer, M.R. 2005. Silviculture, University of Tehran Press, 387p. (In Persian)
19.Mirdeylami, T., Shataee, Sh., and Kavousi, M.R. 2014. Forest fire risk zone mapping in the Golestan national park using weighted linear combination (WLC) method. Iranian J. of Forest. 4(4): 377-390. (In Persian)
20.Mohammadi, F., Shabanian, N., Pourhashemi, M., and Fatehi, P. 2010. Risk Zone mapping of forest fire using GIS and AHP in a part of Paveh Forests. Iranian J. of Forest and Poplar Research, 18(4): 569-586. (In Persian)
21.Parhizgar, A., and Ghafari, A. 2006. Geographical Information System and Analytical Hierarchy Process, First printing, Tehran, Semat Publication, 606p. (In Persian)
22.Patah, N.A., Mansor, S., and Mispan, M.R. 2000. An application of remote sensing and GIS for Forest Fire Risk Mapping. Bulletin of Malaysian Center for Remote Sensing, Pp: 54-57.
23.Paz, SH., Carmel, Y., Jahshan, F., and Shoshany, M. 2011. Post-fire analysis of pre-fire mapping of firerisk: A recent case study from Mt. Carmel. Forest Ecology and Management. 262: 1184–1188.
24.Salamati, H., Mostafalou, H., Mastoori, A., and Honardoost, F. 2011. Evaluation and provision of forest fire risk map using GIS in Golestan forests. Proceeding of the First International Conference on Fire in Natural Resources, Gorgan, Iran, 37-47. (In Persian)
25.Sarkargar Ardakani, A., Valdan Zoj, M.J., and Mansurian, A. 2009. The spatial analysis of fire in different regions of Iran using RS and GIS. J. of Environmental Studies. 35(4): 25-34. (In Persian)
26.Shahabi, H., and Niyazi, Ch. 2009. Studying influencing factors in site selection of rescue stations on Saghez-Sannandaj using Weighted Linear Combination Model, National Conference on Geomatic, Tehran, 11p. (In Persian)
27.Sowmya, S.V., and Somashekar, R.K. 2010. Application of remote sensing and geographical information system in mapping forest fire risk zone at Bhadra wildlife sanctuary, India. J. of Environmental Biology. 31(6): 969-974.
28.Sui, D.Z. 1999. A Fuzzy GIS Modeling Approach for Urban land Evaluation. Computer, Environment, and Urban systems. 16(2): 101-115.
29.Taghvai, M., and Ghaffari, S.R. 2006. Precedency of Crisis in Rural Settlements using AHP Method: A case study of Rural Disrtrict of Bazoft. J. of Esfahan University. 20(1): 47-74. (In Persian)
30.Vadrevu, K.P., Eaturu, A., and Badarinath, A.V.S. 2009. Fire risk evaluation using multi criteria analysis-a case study. J. of Environmental Monitoring Assessment. 166: 223-239.

31. Xu, D., Dai, L.M., Shao, G.F., Tang, L., and Wang, H. 2005. Forest Fire Risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilir China. J. of Forestry Research. 15(3): 169-174.
32. Yin, H.W., Kong, F.H., and Li, X.Z. 2004. RS and GIS-based forest fire risk zone mapping in Da Hinggan mountains. Chinese Geographical Science. 14(3): 251-257.
33. Yousefi, A., and Jalilvand, H. 2010. Investigation of fire situation in forest and pasture areas of Mazandaran province (Basin of Sari Natural Resources Administration Office) from 2004 to 2007. Proceedings of the Second International Conference on Climate Change and Tree Chronology, Sari, Iran, 12-14 May 2010: 67-82.
34. Zarekar, A., Kazemi Zamani, B., Ghorbani, S., Ashegh Moalla, M., and Jafari, H. 2013. Mapping Spatial Distribution of Forest Fire using MCDM and GIS (Case Study: Three Forest Zones in Guilan Province). Iranian J. of Forest and Poplar Research. 21: 2. 218-230. (In Persian)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 22 (3), 2015
http://jwfst.gau.ac.ir

Evaluating the Fuzzy Weighted Linear Combination Method in Forest Fire Risk Mapping (Case study: Sardasht Forests, West Azerbaijan Province, IRAN)

H. Beygi Heidarlu[1], *A. Banj Shafiei[2] and M. Erfanian[3]
[1]Master's Degree, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University,
[2]Assistant Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University,
[3]Assistant Prof., Dept. of Range and Watershed Management Engineering,
Faculty of Natural Resources, Urmia University
Received: 01/04/2013; Accepted: 11/25/2014

Abstract
Background and objectives: Despite necessity of identifying areas with high-risk of fire in Iran, doing this using common methods are difficult and costly, because occurrence of fire in an area depends on different human, natural and environmental factors. Geographical Information System (GIS) and it's integration with Fuzzy Weighted Linear Combination (FWLC) or Analytical Hierarchy Process (AHP) create possibility of making fire risk maps for forest areas. Fire risk map can be used to prevent the risk of fire and its damages and used as a reliable and powerful tool in management of areas with high potential for fires. Since, fuzzy logic method not used in any applied research for fire risk mapping, especially in Sardasht forests, therefore, this study aimed to fire risk mapping by fuzzification of effective digital maps on occurrence of fire using suitable fuzzy membership functions and linear combination of fuzzy layers as weighted was done for first time in northwest forests of Iran.
Material and methods: In this research with extracting recorded information about occurred fires in Sardasht forests, location of occurring fires were identified and using 10 effective factors in fires in this region (Including: elevation, slope, aspect, land use/land cover, average annual precipitation, monthly average maximum temperature, population, distance from agricultural lands, distance from streams and distance from roads) forest fire risk in GIS using fuzzy weighted linear combination model evaluated and mapping of fire risk in five risk classes (very low to very high) were provided. For fuzzy modeling of value of each factor the fuzzy membership functions and for the weight to criteria Analytical Hierarchy Process in questionnaire form was used.

Results: The results of using Analytical Hierarchy Process showed that the most important factors that affecting forest fires are topographical factors, as slope with 0.196 weights, shows the highest importance factor. After weighting each criterion, fuzzy maps are combined using weighted linear combination and final fire risk map was obtained. Fire risk map results shows that about 60 percent of the study area has a high fire risk. Also, after the integration of risk map with real fire areas, result showed that nearly 92 percent of the burned areas and 36.38 percent of forest areas are located in high and very high risk classes.

Conclusion: Based on final fire risk map areas with high risk of fire, shows top priority locations to protective measures. Preparation of fire risk map with high accuracy can play an important role in reviewing and assessing forest area's sensitivity to fire and make a proper fire management decisions. Naturally, in the absence of proper solution, this existing and remaining green cover of forests will be lost.

Keywords: Forest Fire Risk, FWLC, AHP, Sardasht