



کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۴

مریم صادقی^{۱*}، هومن مرادپور^۲، مهدی بابایی^۳، حسین فتحیان^۴

۱- کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز

۲- کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز

۳- کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز

۴- استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز

چکیده

آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع باعث نابودی بخش عظیمی از منابع طبیعی منطقه جنگلی کهگیلویه و بویراحمد شده است. هدف از این تحقیق تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی، با استفاده از معیارها و زیر معیارهای توپوگرافی (شیب، فاصله از رودخانه، ارتفاع، جهت شیب)، معیار فیزیکی (نوع پوشش گیاهی، تراکم پوشش گیاهی، رطوبت خاک)، معیار انسانی (فاصله از راه‌ها، فاصله از روستا) و معیار اقلیم (میانگین دمای سالانه، بارش، رطوبت نسبی و جهت باد غالب) است که وابستگی میان معیارها با استفاده از تکنیک دیماتل تعیین شد. سپس با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه معیارها و زیر معیارها در نرم‌افزار سوپردسیژن وزن دهی شدند و در گام آخر لایه‌ها توسط منطق فازی، فازی سازی شده و در محیط GIS نقشه نهایی پتانسیل خطر آتش‌سوزی تهیه گردید. در نتیجه از بین معیارها، معیار توپوگرافی (۰/۴۲۳)، دارای وزن بالا و وزن معیار انسانی، زیست‌شناختی و اقلیم به ترتیب از راست به چپ (۰/۲۵۷)، (۰/۱۹۴) و (۰/۱۲۴) دارند. درصد مساحت نقشه‌های فازی شده با عملگر فازی برای طبقه پتانسیل آتش‌سوزی بالا به ترتیب؛ عملگر پروداکت (PRODUCT) ۵ درصد، ۳۵/۶۸ AND، ۳۴/۸۲ Gamma و ۳۴/۸۴ SUM درصد است. همچنین مدل فایر ریسک با استفاده از تصاویر لندست ۸، DEM، شیب و جهت شیب برای منطقه تهیه شد. در نهایت با استفاده از داده‌های نقطه‌ای آتش‌سوزی برای ۴ سال (۹۳-۹۶) تهیه گردید. مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های FUZZY-ANP و FIRE RISK بدست آمده از داده‌های نقطه‌ای آتش‌سوزی‌های رخ داده در منطقه جنگلی، تطابق بالایی با مناطق پرخطر در نقشه نهایی پتانسیل خطر آتش‌سوزی دارد.

کلمات کلیدی: فازی‌ای‌ان‌پی، دیماتل، پتانسیل خطر آتش‌سوزی، کهگیلویه و بویراحمد.

۱- مقدمه

جنگل‌ها مهم‌ترین منبع طبیعی و اکولوژیکی در کره زمین به شمار می‌آیند و کارکرد آن‌ها نقش اساسی در حفظ تعادل در چرخه طبیعت دارد. علاوه بر این وجود جنگل مانع از وقوع بسیاری از بلایای طبیعی دیگر بوده و از این رو می‌تواند همراه بسیار بزرگی برای انسان در مقابله با تهدیدهای طبیعی باشد. برای مثال پوشش گیاهی جنگل همواره مانعی برای فرسایش خاک بوده و در نتیجه از وقوع سیلاب و رانش زمین جلوگیری خواهد نمود (۱، ۱۷). وقوع آتش‌سوزی مکرر در این عرصه‌ها یکی از عوامل مهم تهدیدکننده است. جنگل‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی تجدید پذیر شونده نقش حیاتی در استمرار حیات و پایداری زیست‌بوم‌ها را ایفا می‌نمایند. این مسئله به‌ویژه در ایران که در زمره کشورهای خشک و کم آب جهان بشمار می‌رود و از محدودیت شدید پوشش گیاهی رنج می‌برد بسیار حائز اهمیت است (۲۱). امروزه بعد از خشکی، فعالیت‌های شهری و کشاورزی انسان و آتش‌سوزی، جزء فراگیرترین عوامل تخریب‌کننده اکوسیستم‌های طبیعی به شمار می‌روند (۲۸). درک فاکتورهای مؤثر بر آتش‌سوزی بسیار با اهمیت است. بی‌نظمی فاکتورها در تنظیم زمان وقوع آتش‌سوزی پوشش گیاهی نقش برجسته‌ای دارند، آب و هوا و توپوگرافی فاکتورهایی هستند که خطر آتش‌سوزی با چالش‌های بزرگی همراه می‌سازند (۳) آتش‌سوزی‌های طبیعی تأثیر عمیقی بر کاربری اراضی، تولیدات اقتصاد، انتشار گاز و سلامتی بشر دارد، همچنین با وارد آوردن خسارت‌های جبران‌ناپذیر به مناطق جنگلی سبب تغییر در اکولوژی منظر می‌شود. به دلیل قرار گرفتن کشور ایران در کمربند خشک کره زمین و ناحیه پرفشار جنب‌حاره‌ای شرایط جوی لازم برای وقوع حوادث غیرمترقبه کاملاً فراهم است مطابق بررسی‌های انجام‌شده، کشور ما جز ۱۰ کشور حادثه‌خیز دنیاست به‌طوری‌که از ۴۰ حادثه‌ای که تاکنون شناسایی شده ۳۱ مورد آن در ایران رخ داده است. در بین کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا، کشور ایران در رتبه چهارم از لحاظ وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها قرار دارد. آتش‌سوزی‌های رخ داده در جنگل‌های یاسوج در سال ۱۳۸۹ بیش از ۲۰ هکتار برآورد شده است (۱۸). شناسایی مناطق بحرانی خطر آتش‌سوزی یکی از زمینه‌های پژوهش برای کنترل آتش‌سوزی‌های جنگل است (۱۴). بنابراین امروزه با استفاده از فناوری و دانش روزافزون و با در نظر گرفتن علت دقیق بروز آتش در منطقه و ارائه راهکارهای مناسب در جهت پیشگیری از بروز آن، می‌توان تا حدودی از وقوع آتش‌سوزی جلوگیری به عمل آورد و یا خسارات آن را به حداقل می‌رساند (۲۰). این تکنیک‌ها با ارائه محیط دیجیتال، توانایی تولید نقشه‌های رقومی، مقایسه، نظارت و پایش سطوح مورد مطالعه (۲۲) و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی را ممکن ساخته‌اند (۱۵) و به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) مربوط به منطقه می‌توان به مناطق پرخطر آتش‌سوزی پی برد. بدین منظور سه فاکتور شیب، جهت شیب و شاخص تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) که روی آتش‌سوزی تأثیرگذارند، در نظر گرفته شده و با فرموله کردن اعمال آن‌ها بر روی تصویر، مناطق با خطر زیاد مشخص شد. جعفرزاده (۱۷) به ارزیابی پتانسیل منابع آب دشت اردبیل با استفاده از تحلیل

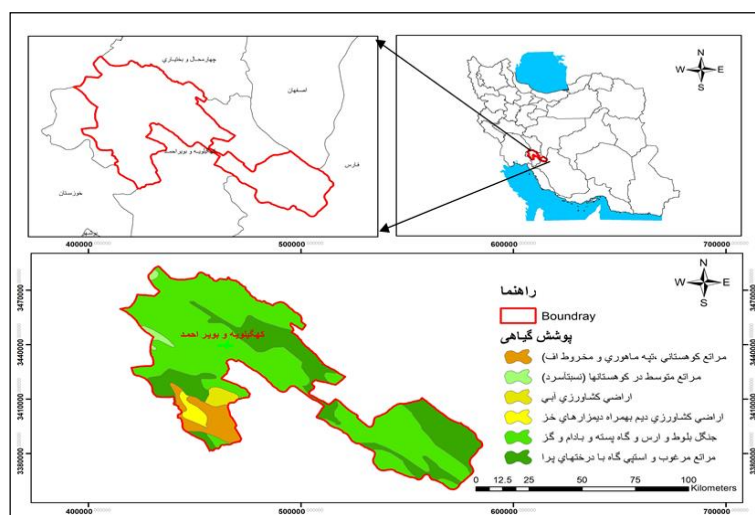
شبکه‌ای فازی (FANP) پرداختند و با استفاده از چهار معیار طبیعی، هیدرولیکی، کشاورزی و انسانی، مناطق کم‌خطر، متوسط و با خطر بالا شناسایی کردند که نتایج نشان دادند که مناطق با خطر بالا بیشتر در شرق و جنوب شرق دشت اردبیل قرار گرفته‌اند. نظم‌فر و بهشتی (۱۳۹۶) طی مقاله‌ای به پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز چلی‌چای در استان گلستان با استفاده از مدل تحلیل شبکه و پارامترهای مؤثر طبیعی و انسانی پرداختند که نتایج نشان‌دهنده ۷۰ درصد وقوع زمین‌لغزش در مناطق با خطر زیاد بوده است. عابدینی و بهشتی (۱) به ارزیابی وضعیت سیل‌خیزی و حوضه آبریز ليقوان چای با استفاده از مدل ترکیبی فرآیند تحلیل شبکه و منطق فازی با استفاده از ۱۲ معیار طبیعی پرداختند.

لاکسمی (۱۹) به مدل‌سازی تهیه نقشه وقوع آتش‌سوزی در باهدف برنامه‌ریزی در جهت استفاده از زمین و مدیریت پایدار منابع طبیعی در منطقه جنگلی ترادیو (tardive) با مدل AHP- FUZZY پرداختند. عابدی و فیضی‌زاده (۳) با استفاده از یک رویکرد یکپارچه از فرآیند تحلیل شبکه و سیستم‌های تصمیم‌گیری فضایی مبنی بر فازی برای ارزیابی خطر زمین‌لغزش در حوضه آذرشهر در شمال غرب ایران پرداختند. لین (۲۷) طی مقاله‌ای با استفاده از منطق فازی و الگوریتم تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ، برای پیش‌بینی آتش‌سوزی در جنگل و ارزیابی خطر آتش‌سوزی و پتانسیل وقوع آتش‌سوزی به کار گرفتند. با توجه به مطالعات انجام‌گرفته، در منطقه کهگیلویه و بویر احمد که از مناطق مهم طبیعی و اقتصادی به لحاظ گردشگری می‌باشد نتایج پهنه‌بندی تکنیک‌های متعددی برای ارزیابی تولید و مدیریت جنگل، برنامه‌ریزی و سناریو توسعه جنگل پیشنهاد شده است، برخی از تکنیک‌ها محدود به استفاده در جنگل‌های سالم است درحالی‌که برای هر نوع مدیریت جنگل، ازجمله سیستم‌های مداوم پوششی کاربرد دارد. از انواع بهترین مدل‌های برنامه‌ریزی، با کاربرد تجزیه و تحلیل ریسک است. گادو (۱۳) پتانسیل خطر آتش‌سوزی در این منطقه برای مدیریت بهتر و حفظ چشم‌انداز طبیعت مؤثر می‌باشد. با توجه به پیشینه پژوهش در اکثر مطالعات از روش‌های تصمیم‌گیری مکانی همچون AHP، AHP FUZY و ANP استفاده شده که از نظر موضوعی در زمینه آتش‌سوزی جنگل کمتر مطالعه صورت گرفته است. بویژه اینکه در جنگل‌های کهگیلویه و بویر احمد چنین پژوهشی انجام نگرفته است. بنابراین روش‌های ای ان پی فازی و فایر ریسک به طور مقایسه‌ای برای تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی در این منطقه بررسی گردید که این نکته نوآوری پژوهش محسوب می‌شود. هدف از این پژوهش تکراربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی برای منطقه جنگلی کهگیلویه و بویر احمد است و هدف جزئی‌تر شناسایی عوامل مؤثر با تأثیرگذاری بالا بر پتانسیل وقوع خطر آتش‌سوزی و مقایسه نتایج مدل برای شناسایی مناطق با پتانسیل آتش‌سوزی بالا است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان کهگیلویه و بویراحمد در جنوب غربی ایران در حدفاصل استان‌های فارس و خوزستان واقع شده است. مساحت آن ۱۶ هزار و ۲۶۴ کیلومترمربع است، از شمال با چهارمحال بختیاری و از جنوب با استان بوشهر همسایه است. مرکز استان شهر یاسوج است که در موقعیت ارتباطی شرق و غرب زاگرس اهمیت گردشگری دارد. این استان در میان کوه‌های زاگرس قرار دارد و به همین دلیل بیشتر مناطق استان کوهستانی و دارای اقلیم سردسیری است اما بخش جنوبی از هوای گرمسیری برخوردار است (۱۰).

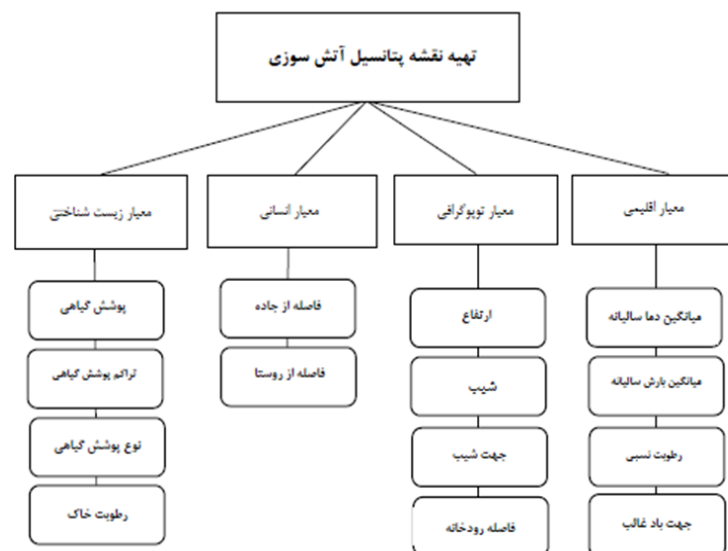


شکل (۱): موقعیت منطقه مطالعاتی
 Figure (1): Location of the study area

۲-۲- روش اجرای پژوهش

در این پژوهش معیارها و عوامل مؤثر در پیشبرد مدل‌ها، با توجه به ادبیات مطالعه شده در این زمینه و با توجه به ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه مشخص گردید. در ادامه مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تهیه نقشه پتانسیل آتش‌سوزی از نظر ۳۰ نفر کارشناس (اساتید و دانشجویان دانشکده منابع طبیعی و برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز در حوزه خاک، جنگل‌داری و اقلیم و سنجش از دور) شناسایی و برای وزن دهی به صورت پرسشنامه در اختیار خبرگان جامعه مورد بررسی قرار گرفت. داده‌ها و لایه‌های مورد استفاده در تهیه رستری خطر آتش‌سوزی عبارت‌اند از: تصاویر لندست ۸ برای تهیه نقشه رطوبت خاک ۲۸/۰۷/۲۰۱۸، پوشش گیاهی (NDVI) در ۲۰۱۸، مدل رقومی ارتفاع (DEM SRTM) و لایه‌های تهیه‌شده از آن، مانند: نقشه شیب جهت

شیب است. همچنین لایه‌های مورد استفاده در روش تحلیل شبکه، از داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک کهکیلویه و بویراحمد تا سال ۱۳۹۶، برای تهیه نقشه میانگین بارش، رطوبت نسبی، دما و جهت باد غالب است، از سازمان منابع طبیعی استان لایه نوع پوشش گیاهی و آمار آتش سوزی ۴ ساله که در منطقه رخ داده است در نهایت لایه روستاها، راه‌ها از نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰ منطقه از سازمان نقشه‌برداری استان کهکیلویه و بویراحمد تهیه گردید. ورودها از سایت اپن استریت مپ (Open Street Map) تهیه و در نرم‌افزار گلوبال میپر به شیب فایل تبدیل گردید؛ که تمامی لایه‌های فوق‌الذکر به‌عنوان معیارهای ورودی ما (شکل ۳) در مدل فازی ای ان پی در نرم‌افزارهای GIS، EXCEL، ENVI.5.3، SUPER DECISION تهیه و مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت.



شکل (۲): معیارها و زیر معیارهای استفاده‌شده در تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی

Figure (2): Criteria and sub-criteria used in the preparation of a potential fire hazard map

منطق فازی برای اولین بار در پی تنظیم نظریه مجموعه‌های فازی به‌وسیله پروفیسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ در صحنه محاسبات نو مطرح شد (۲۹) در تحلیل شبکه‌ای عناصر تصمیم در هر قسمت با توجه به اهمیت آن‌ها در کنترل معیار به‌صورت زوجی مقایسه می‌گردند. ماتریس مقایسات زوجی از طریق تبدیل عبارات کلامی به داده‌های فازی تبدیل می‌شوند عناصر تصمیم در هر یک از خوشه‌ها بر اساس میزان اهمیت آن‌ها در ارتباط با معیارهای کنترلی دوبه‌دو مقایسه می‌شوند خود خوشه‌ها نیز بر اساس نقش و تأثیر آن‌ها در دستیابی به هدف دوبه‌دو مورد مقایسه قرار می‌گیرند. علاوه بر این، وابستگی بین عناصر یک خوشه نیز باید دوبه‌دو مورد مقایسه

گیرند. تأثیر هر عنصر بر عنصر دیگر از طریق بردار ویژه قابل ارائه است (۲). فرآیند تحلیل شبکه فازی از تلفیق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و ماتریس تأثیرات وابستگی متقابل بین معیارها به دست می آید. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلثی فازی اند (جدول ۱). در این پژوهش از منطق فازی (فازی مثلثی) برای تهیه نقشه پتانسیل آتش سوزی استفاده گردید.

جدول (۱): متغیرهای اعداد فازی متناظر (۱۳)

Table (1): The variables of the corresponding fuzzy numbers

متغیر زبانی	اعداد قطعی	اعداد فازی مثلثی متناظر
بی تأثیر	۰	(۰/۲۵، ۰، ۰)
تأثیر خیلی کم	۱	(۰/۲۵، ۰/۲۵، ۰)
تأثیر کم	۲	(۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵)
تأثیر زیاد	۳	(۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
تأثیر خیلی زیاد	۴	(۱، ۱، ۰/۷۵)

۳- بحث و یافته ها

در ابتدا برای مشخص کردن روابط بین معیارها و زیر معیارها با استفاده از نظر کارشناسان و وابستگی آن ها در قالب یک جدول با روش دیماتل تعیین شد؛ که وزن دهی به صورت مقایسات زوجی تأثیر عامل سطر بر عامل ستون به صورت عددی بین صفرتا چهار طبق جدول مشخص شد که پس از تجمیع نظر کارشناسان، تکنیک دیماتل فازی بر روی ماتریس تکمیل و محاسبه گردید. وزن هریک از چهار معیار اصلی نسبت به هدف (پتانسیل خطر آتش سوزی) مشخص و به صورت فازی در جدول ۳، مشخص گردیده است.

جدول (۲): ماتریس بردار ویژه سطح ۲ نسبت به سطح یک

Table (2): Special vector level 2 matrix versus level one

پتانسیل خطر آتش سوزی	
(۰/۶۵۷، ۰/۲۵۷، ۰/۵۱۴)	عوامل انسانی
(۰/۲۶۶، ۰/۴۲۳، ۰/۸۴۶)	عوامل توپوگرافی
(۰/۷۰۶، ۰/۱۹۴، ۰/۳۸۸)	عوامل زیست شناختی
(۰/۸۵۸، ۰/۱۲۴، ۰/۲۴۸)	عوامل اقلیمی

برای استخراج روابط میان معیارها و زیر معیارهای پژوهش، با بهره گیری از قضاوت و نظرات خبرگان به منظور شناسایی عناصر تأثیر گذار در پتانسیل خطر آتش سوزی با استفاده از تکنیک دیماتل به صورت جدول ۲ محاسبه شد. ماتریس روابط کلی را پس از اعمال تکنیک دیماتل فازی به دست آمده نشان داده می شود.

جدول (۳): ماتریس نتیجه نهایی روابط کلی زیر معیارها

Table (3): Matrix of the final result of the general relations of the following criteria

نوع پوشش گیاهی	میانگین رطوبت نسبی	میانگین دما	میانگین بارش	فاصله از روستا	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	شیب	شاخص پوشش گیاهی	رطوبت خاک	جهت شیب	جهت باد غالب	تراکم پوشش گیاهی	ارتفاع
ارتفاع	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰
تراکم پوشش گیاهی	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱
جهت باد غالب	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
جهت شیب	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰
رطوبت خاک	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱
شاخص پوشش گیاهی	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱
شیب	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱
فاصله از جاده	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱
فاصله از رودخانه	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰
فاصله از روستا	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰
میانگین بارش	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰
میانگین دما	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
میانگین رطوبت نسبی	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
نوع پوشش گیاهی	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱

جدول (۴): ماتریس بردار ویژه سطح ۲ نسبت به سطح دو

Table (4): Special vector level 2 matrix versus level 2

عوامل انسانی	عوامل اقلیمی	عوامل زیست‌شناختی	عوامل توپوگرافی
(۰/۴۱۲، ۰/۳۴۹، ۰/۲۶۸)	(۰/۳۸۰، ۰/۲۸۹، ۰/۱۳۰)	(۰/۳۸۰، ۰/۲۹۵، ۰/۱۹۵)	(۰/۵، ۰/۵، ۰/۵)
(۰/۲۴۷، ۰/۲۲۵، ۰/۱۹۸)	(۰/۲۴۵، ۰/۱۹۸، ۰/۱۵۰)	(۰/۵، ۰/۵، ۰/۵)	(۰/۴۶، ۰/۳۴۶، ۰/۲۶۷)
(۰/۲۴۷، ۰/۱۸۹، ۰/۲۱۳)	(۰/۵، ۰/۵، ۰/۵)	(۰/۱۸۶، ۰/۱۶۴، ۰/۱۳۴)	(۰/۳۷۹، ۰/۲۴۶، ۰/۱۷۸)
(۰/۵، ۰/۵، ۰/۵)	(۰/۲۴۶، ۰/۱۹۸، ۰/۱۴۰)	(۰/۲۴۸، ۰/۲۲۱، ۰/۱۹۷)	(۰/۴۲۰، ۰/۳۴۵، ۰/۲۶۰)

هر یک از معیارها دارای زیر معیارهایی هستند در تعیین وزن نهایی هر معیار اثرگذارند که در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. زیرمعیارها علاوه بر اینکه می‌توانند با معیارهای خود در ارتباط باشند با زیر معیارهای، معیارهای دیگر نیز می‌توانند در ارتباط باشند.

جدول (۵): وزن نهایی زیر معیارها در تهیه نقشه پتانسیل خطراتش سوزی

Table (5): The final weight of the following criteria in the preparation of a potential fire hazard

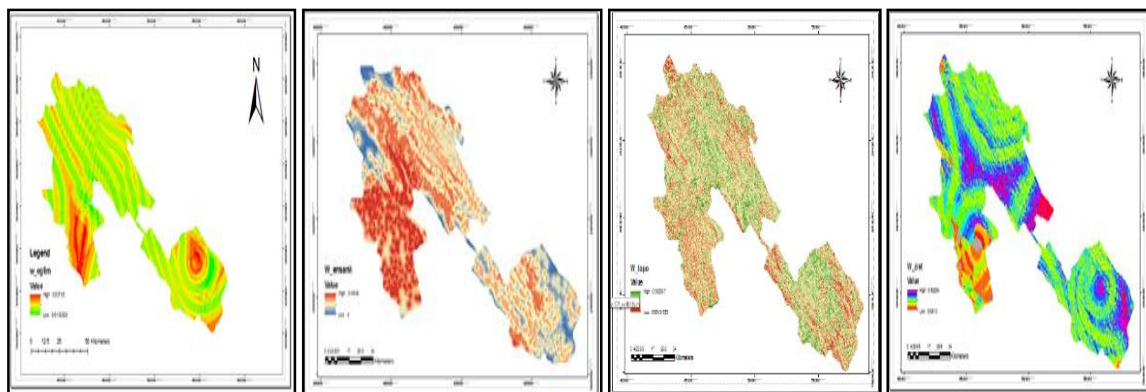
نام	وزن ایدئال	وزن نرمال شده	وزن خام
ارتفاع	۰/۲۶۲۵	۰/۰۳۹۹۵۳	۰/۰۳۶۱۹۵
تراکم پوشش گیاهی	۰/۵۰۰۵	۰/۰۷۶۱۷۷	۰/۰۶۹۰۱۳
جهت باد غالب	۰/۱۹۹۰۱۸	۰/۰۳۰۲۹۱	۰/۰۲۷۴۲۲
جهت شیب	۰/۶۹۷۵۸	۰/۱۰۶۱۷۲	۰/۰۹۶۱۸۶
رطوبت خاک	۰/۴۰۵۳۶	۰/۰۶۱۶۹۶	۰/۰۵۵۸۹۳
شاخص پوشش گیاهی	۰/۸۲۳۳۶	۰/۱۲۵۳۱۶	۰/۰۱۱۳۵۳
شیب	۰/۱۶۵۱۵۱	۰/۰۲۵۱۳۶	۰/۰۲۲۷۷۲
فاصله از جاده	۰/۱۹۲۰۳۹	۰/۰۲۹۲۸۳	۰/۰۲۶۴۷۹
فاصله از رودخانه	۰/۱۳۰۵۶	۰/۰۱۹۸۷۸	۰/۰۱۸۰۰۳
فاصله از روستا	۰/۲۵۳۲۸۵	۰/۰۳۸۵۵	۰/۰۳۴۹۲۴
میانگین بارش	۰/۴۵۴۷۴۱	۰/۰۶۹۲۰۱۲	۰/۰۶۲۰۷۲
میانگین دما	۱/۰	۰/۱۵۲۲۲	۰/۱۳۷۸۸۵
میانگین رطوبت نسبی	۰/۵۸۷۸۲۸	۰/۰۹۸۴۶۷	۰/۰۸۱۵۲
نوع پوشش گیاهی	۰/۸۹۸۳۵۲	۰/۱۳۶۷۲	۰/۱۲۳۸۷

جدول (۶): ماتریس بردار ویژه سطح دو نسبت به سطح سه

Table (6): Spacial matrix vector of two levels relative to the surface of third

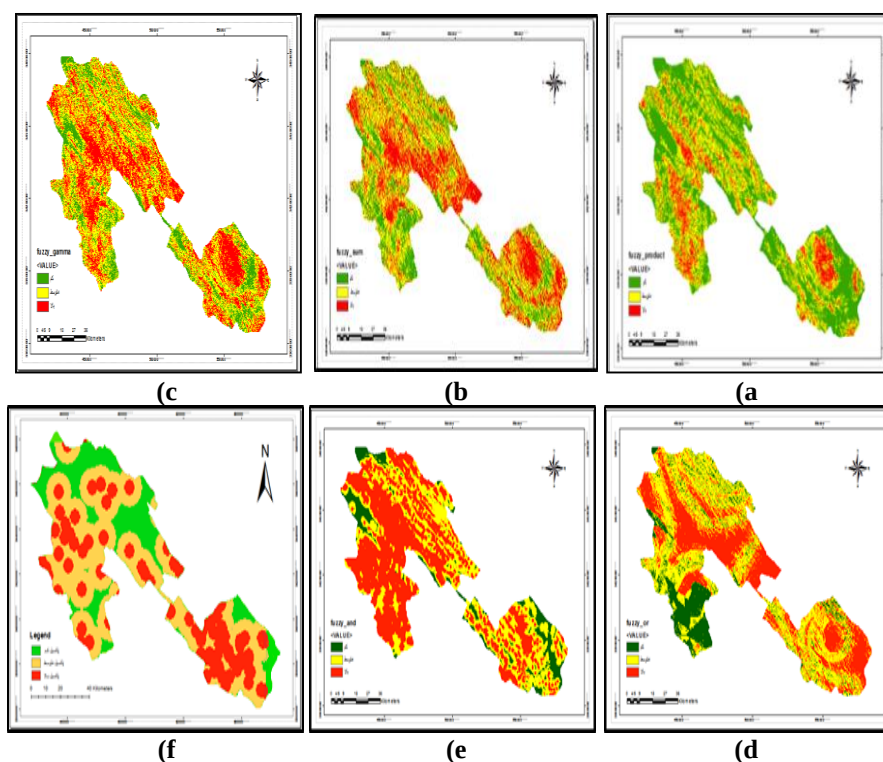
عوامل انسانی	عوامل توپوگرافی	عوامل زیست‌شناختی	عوامل اقلیمی	
(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	(۰/۰، ۹۸۹/۰، ۰۳۹/۰۳)	ارتفاع
(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	(۰/۰، ۰۶۹/۰۶۹، ۰/۱۶)	میانگین بارش سالیانه
(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	(۰/۵۸۹، ۰/۱۵۲، ۰/۳۰۴)	میانگین دمای سالیانه
(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	(۰/۶۹۲، ۰/۱۳۶، ۰/۲۷۴)	میانگین رطوبت نسبی
(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	۰/۹۹۷، ۰/۰۳، ۰/۰	جهت باد غالب
(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	(۰/۵، ۰/۵، ۰/۵)	(۰، ۰، ۰)	تراکم پوشش گیاهی
(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	(۰/۱۱۳، ۰/۸۹۸، ۰/۰، ۵۵۶)	(۰، ۰، ۰)	انواع پوشش گیاهی
(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	(۰/۱۴۲، ۰/۱۲۵، ۰/۲۵)	(۰، ۰، ۰)	پوشش گیاهی
(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	(۰/۰۰۶، ۰/۰۶۱، ۰/۱۲۲)	(۰، ۰، ۰)	رطوبت خاک
(۰، ۰، ۰)	(۰/۲۵، ۰/۲۵، ۰/۵)	(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	شیب
(۰، ۰، ۰)	(۰/۱۱۸، ۰/۱۰۶، ۰/۲۱۲)	(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	جهت شیب
(۰، ۰، ۰)	(۰/۰۴، ۰/۰۳۹، ۰/۰۰۷۸)	(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	ارتفاع
(۰، ۰، ۰)	(۰/۱۹۳، ۰/۰۱۹، ۰/۰۰۳۹)	(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	فاصله از رودخانه
(۰/۰۲۹، ۰/۰۲۹، ۰/۰۵۸)	(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	فاصله از روستا
(۰/۱۵۸، ۰/۰۳۸، ۰/۰۰۶)	(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	فاصله از جاده

نقشه‌های فازی شده (شکل ۴) در سه طبقه، مناطق با پتانسیل کم برای خطر آتش‌سوزی، مناطق دارای پتانسیل متوسط و مناطق با پتانسیل بالا برای آتش‌سوزی طبقه‌بندی شد نمایش داده می‌شود. عمل فازی سازی لایه‌ها (معیارها و زیر معیارها) در محیط GIS با استفاده از توابع عضویت خطی، گوسین و همسایگی (Near) انجام گردید. برای فازی سازی لایه برحسب نوع رابطه آن از توابع مختلف استفاده کرد. برای شاخص پوشش گیاهی از تابع خطی استفاده شد به این صورت که با افزایش پوشش گیاهی پتانسیل خطر آتش‌سوزی نیز افزایش می‌یابد یا برای ارتفاع برعکس این نیز با این تابع صورت می‌گیرد یعنی هر چه قدر رطوبت پایین‌تر مطلوبیت آن بیشتر است و ارزش عددی بالاتری می‌گیرد. بدین صورت لایه‌های وزنی فازی سازی شدند و پس از اعمال ضرب به دست آمده از تحلیل شبکه در نرم‌افزار سوپردسیژن، نتایج نهایی چهار معیار به صورت نقشه در شکل ۳ ارائه گردید و با استفاده ۵ تابع AND، OR، sum، Gama و Product و نقشه نهایی پتانسیل خطر آتش‌سوزی تهیه گردید (شکل ۴).



شکل (۳): نقشه نهایی وزنی معیارهای اقلیم، انسانی، توپوگرافی و زیست‌شناختی (به ترتیب از چپ به راست)

Figure (3): Final weight map of climatic, human, topographic and biological criteria (from left to right, respectively)

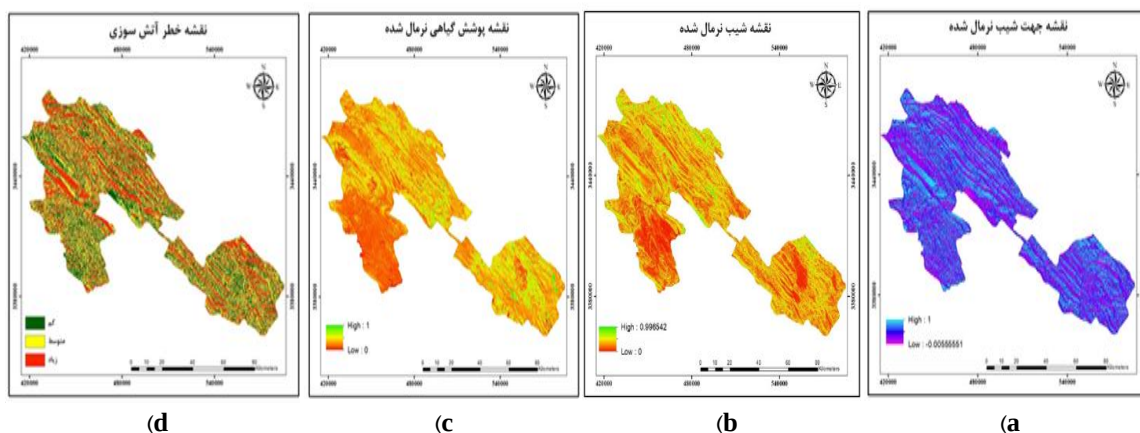


شکل (۴): نقشه نهایی پتانسیل خطر آتش‌سوزی با عملگرهای فازی: (a) PRODUCT، (b) GAMMA، (c) SUM، (d) OR.

(e) AND و (f) نقشه طبقه‌بندی نقاط آتش‌سوزی به وقوع پیوسته در سال‌های ۹۳-۹۶

Figure (4): Final map of fire hazard potential with fuzzy operators: PRODUCT: a; GAMMA: b; SUM: c; OR: d; AND: e and Classification map of continuous fire points in the years 93-96:f.

لایه‌های به‌کاررفته (a, b, c) در فایر ریسک و (d) نقشه خطر آتش‌سوزی به‌دست‌آمده از تصویر لندست ۸ در شکل ۵ آورده شده است.



شکل (۵): نقشه جهت شیب (الف)، شیب (ب)، پوشش گیاهی نرمال شده (ج) و (د) نقشه نهایی فایر ریسک
Figure (5): Map for apple (a), slope (b), normalized vegetation (c) and (d) FIRE RISK final map

نتایج حاصل از نقشه فازی شده در سه طبقه مناطق با پتانسیل کم برای خطر آتش سوزی، مناطق دارای پتانسیل متوسط و مناطق با پتانسیل بالا خطر آتش سوزی طبقه بندی شد که مساحت هر کدام از طبقات برای هر کدام از توابع در جدول ۷ آورده شده است. با توجه به نتایج عملگر OR مساحت بیشتری (۷۲ درصد) مناطق با پتانسیل خطر آتش سوزی بالا و عملگر Product کمترین مساحت را دارد.

جدول (۷): مساحت نقشه نهایی پتانسیل خطر آتش سوزی

Table (7): Area of the final map of fire hazard potential

طبقات پتانسیل خطر آتش سوزی	مساحت مناطق با پتانسیل کم (km^2)	مساحت مناطق پتانسیل متوسط (km^2)	مساحت مناطق با پتانسیل بالا (km^2)	% مساحت مناطق با پتانسیل خطر بالای آتش سوزی
نقشه نهایی عملگر OR	۹/۳۳۸	۳۳/۱۵۷	۳۷/۵۰۰	۷۲/۳۵
نقشه نهایی عملگر Product	۹۲/۴۲۵	۸۶/۳۳۴	۸۴/۳۶۸	۵/۳۴
نقشه نهایی عملگر AND	۱۲/۶۵۴	۴۲/۳۱۶	۰۵/۳۱۰	۴۵/۶۸
نقشه نایی عملگر Gama	۷۵/۸۰۴	۷۱،۳۷۰	۱۱/۲۴۱	۳۴/۸۴
نقشه نهایی عملگر SUM	۵/۱۰۲	۳۳/۳۴۹	۷/۲۳۹	۳۴/۶۴

۴- نتیجه گیری

آتش سوزی یکی از بحران هایی است که همه ساله حجم زیادی از درختان را در مناطق جنگلی جهان نابود می کند و علاوه بر مضرات زیست محیطی، زیان های بسیاری را در زمینه حیات وحش، اقتصادی و امنیت جانی انسان ها به دنبال دارد به منظور پیشگیری از این رخداد خطرناک یکی از بهترین راهکارها تهیه مدل ریسک آتش سوزی برای جنگل می باشد این پدیده به دلیل پیچیدگی زیاد به پارامترهای مختلف طبیعی و انسانی

وابسته است (۱۶). در این پژوهش برای ارزیابی پتانسیل خطر آتش‌سوزی در منطقه جنگلی کهگیلویه و بویراحمد، با بهره‌گیری از سنجش از دور و GIS و مدل فایر ریسک و مدل ترکیبی فازی ای ان پی که تاکنون در این منطقه چنین پژوهشی با استفاده بیشتر عوامل تأثیرگذار بر خطراتش سوزی انجام نگرفته است. در مدل فازی ای ان پی از چهار عامل اصلی: عوامل اقلیمی، فیزیکی (زیست‌شناختی)، توپوگرافی و عوامل انسانی با ۱۴ زیر معیار اجرا گردید. بر اساس مقایسات زوجی و درونی معیارها که وزن دهی معیارهای انسان ساخت، بیولوژیکی، اقلیمی و توپوگرافی (۱۱) با استفاده از نرم‌افزار SuperDecision با ضریب خطا کمتر از ۰/۱ وزن دهی گردید که آماده‌سازی و اعمال وزن بر لایه‌ها در محیط نرم‌افزار GIS انجام گرفت. با توجه به وزن‌های بدست آمده برای معیارها، دما، جهت شیب و نوع پوشش گیاهی بالاترین وزن را در بین عوامل موثر داشتند که نتایج با مطالعات موسی بیگی و ممیرزا بیگی (۲۳) همخوانی دارد. با توجه به مقایسه نقشه خطراتش سوزی به‌دست‌آمده از مدل رستری فایر ریسک با نقشه طبقه‌بندی‌شده نقاط آتش‌سوزی اتفاق افتاده در سال‌های ۹۳-۹۶ همپوشانی قابل قبولی در مناطق با خطر آتش‌سوزی بالا دارند به‌ویژه مناطق جنوبی و جنوب غرب، غرب و مرکز منطقه بخصوص بخش شمالی و مرکزی یاسوج که نزدیک به جاده‌ها هستند. با توجه به این‌که در نقشه خطر آتش‌سوزی تنها عوامل توپوگرافی و پوشش گیاهی دخیل هستند بیشتر این نواحی پرخطر در مناطق با پوشش گیاهی قرار دارد. همچنین نتایج نهایی نقشه‌های به‌دست‌آمده از مدل تحلیل شبکه فازی که در سه طبقه با پتانسیل خطر آتش‌سوزی کم، متوسط و بالا طبقه‌بندی گردید؛ که در بین عوامل تأثیرگذار بر خطر آتش‌سوزی با توجه به نتایج می‌توان گفت معیار توپوگرافی با وزن ۰/۴۲۳ بالاترین عامل اثرگذار در پتانسیل آتش‌سوزی منطقه کهگیلویه و بویراحمد و از بین زیر معیارهای آن جهت شیب (۰/۱۰۶) بالاترین وزن را دارد و در مرتبه بعدی معیار انسانی با وزن (۰/۲۵۷)، زیست‌شناختی (۰/۱۹۴) و اقلیم (۰/۱۲۴) را به دست آوردند. در این در بین عوامل زیست‌شناختی نوع پوشش گیاهی و پوشش گیاهی به‌عنوان ماده سوختنی قابل اشتعال، بیشترین وزن را در آتش‌سوزی ایفا می‌کنند که با نتایج مطالعه المدی (۸) تطابق دارد و از نظر پوشش گیاهی در شرایط مناسبی برای تقویت خطر آتش‌سوزی هستند و جزء مناطق با خطر بالا قرار گرفته‌اند در منطقه مورد مطالعه بخش‌های شمال غربی و شمال و شمال شرق مناطق با پتانسیل آتش‌سوزی کم و متوسط قرار گرفته‌اند که این مناطق جهت شیب و ارتفاع می‌تواند از عوامل اثرگذار در آن باشد. با مقایسه نقشه نقاط آتش‌سوزی با نتایج نهایی عملگر AND وسعت بیشتری در طبقه با خطر بالای آتش‌سوزی قرار داده که بیشتر نواحی وقوع آتش‌سوزی را پوشش می‌دهد و در قسمت شمال غرب و غرب قسمتی که وقوع آتش‌سوزی در آنجا اتفاق نیفتاده را نیز جزء مناطق پرخطر قرار گرفته است. نقشه به‌دست‌آمده از عملگر توابع، OR با ۷۲ درصد از مساحت کل منطقه در بین توابع بیشترین مساحت را برای طبقه حساس به پتانسیل بالای خطر آتش‌سوزی را نشان می‌دهد. همچنین برای مناطق کم‌خطر درصد مساحت کمی (۴ درصد) را شناسایی کرده است؛ و عملگر PRODUCT کمترین

مساحت را از مناطق با خطر بالا پوشش می دهد که بیشتر این مناطق با مناطق وقوع آتش سوزی همپوشانی دارند. در کل نقشه آتش سوزی واقعی حاصل از نتایج عملگرها در مدل مکانی فازی ای ان پی نسبت به مدل فایر ریسک همپوشانی بالایی با مناطق با مناطق وقوع آتش سوزی نشان می دهند که با نتایج اسکندری و همکاران (۱۲)، انصاری همکاران (۱۱)، موسی بیگی و میبیرزا بیگی (۲۳)، دانگ و همکاران (۱۱) و پرادهان (۲۵) مطابقت دارد. که این به دلیل در نظر گرفتن بیشتر عوامل مهم تأثیرگذار در مدل سازی پتانسیل خطر آتش سوزی می باشد. این نشانگر دقت نتایج به دست آمده در این پژوهش است .

در شرایط کنونی شناسایی مناطق با پتانسیل بالا آتش سوزی همچنین شناسایی عوامل تأثیرگذار در آن و کاهش هزینه ها با استفاده از فناوری های سنجش از دور و GIS، موجب برنامه ریزی و تصمیم گیری های آگاهانه تر در راستای حفاظت منابع طبیعی و کنترل بحران های آتش سوزی گردد. این امر می تواند از بسیاری از آتش سوزها که موجب از دست رفتن منابع باارزش جنگلی این منطقه و مخدوش ساختن چهره طبیعت که از جمله مناطق گردشگری محسوب می شود، جلوگیری شود. همچنین پیشنهاد می شود در پژوهش های بعدی عوامل تأثیرگذار انسانی بیشتر مورد توجه قرار گیرد که در این تحقیق وزن پایین در پتانسیل وقوع آتش سوزی به این خاطر بوده است. البته بیشتر تأثیر انسان به صورت غیرمستقیم است و این نیز این موضوع را پررنگ تر می کند.

تقدیر و تشکر

در اینجا جا دارد که از محضر اساتید محترم جنابان آقای دکتر ولیزاده و دکتر رستمزاده به خاطر راهنمایی های ارزنده شان در انجام این پژوهش، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

۵-منابع

- 1-Abedini, M., Beheshti, E. (1397). Evaluation of the flood situation in Lighvan-e-Chai watershed using the combined model of network analysis and fuzzy logic, *Zeomorpholosisicism research*, seventh edition. 1: 169-179. [In Persian].
- 2-Ahmadi, O., Mortazavi, A., Seyyed, B., Khavanin, A. (2017). Choosing optimal method for analysis of accidents in petroleum industry using fuzzy ANP and TOPSIS multi – criteria decision methods, *Journal of Health Administration*, 14(2): 166-180. [In Persian].
- 3-Abedi, H.G., Feizizadeh, B. (2017). An integrated approach of analytical network process and fuzzy based spatial decision making systems applied to landslide risk mapping, *Journal of African Earth Sciences*, 133: 15-24.
- 4-Ataei, M. (1394). Decisions with Multiple Criteria, Shahrood University Press, Second Edition, 264 P.
- 5-Adab, H., K. Devi, Kanniah, K., Solaimani (2012). Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GI techniques, *Natural Hazard*, 65(3): 1723-1743.
- 6-Aalim Tabriz, A., Mohammad BaghZadeh, A. (2010). Decision Making Process for Fuzzy Network Analysis for Selecting a Strategic Supplier, *Quarterly Journal of Commerce Research*, Vol. 554, 57-86.
- 7-Adab, H., Nokhandan, M., Miza Bayati, R., Adab Firouzjani, A. (2008). Mapping fire risk in forests of Mazandaran province using Molgan Precautionary Index and GIS, Abstracts of 1st International Conference on Climate Change and Botany in Caspian Ecosystems, Iran, 178-189.
- 8-Almedia, R. (1994). Forest fire risk areas and definition of the priority planning actions using GIS, pp: 1-9.
- 9-Adrevu, KP., Eaturu, A., Badarinath, A., Raju, R. (2002). Saxena Forest Fire Risk Zone Mapping through Satellite Imagery & Geographical Information System, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Elsevier Publications, 4:1-10.
- 10-Azadkhani, PA., Navai, Kh. (2013). Resource Map, Attractions and Cultural Heritage in Attracting Tourists (Case Study: Kohkiluyeh and Boyer-Ahmad Provinces), 2 *National Conference on Environmental Protection and Planning*, Hamedan, Farda Environmental Thinkers Company.

- 11-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. Journal of Forestry Research*, 16(3): 169-174.
- 12-Eskandari, S., Olad, Qadiklayi, J., Jalilvand, H., Serajian, MR. (2014). Modeling and predicting fire risk in the forests of Seh Neka-Zalmarud section Using GIS, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(2): 203-217. [In Persian].
- 13-Gadow, K.V. (2000). Evaluating risk in forest planning models, *Silva Fennica*, 34(2): 181-91. [In Persian].
- 14- Gonzales, R., Wintz, P. (1977). *Digital Image Processing* (Addison Wesley) 503.
- 15-Jaiswal, RK., Mukhrjee, S., Raju KD., Saxena, R. (2002). Forest fire risk zone Mapping from satellite Imagery and GIS, *International Journal of A pplied Earth Observation and Geoinformation*: 1-10.
- 16-Jaiswal, RK, Prasad, KVS, Badarinath, A. (2008). *Eaturu.Biophysical and Plateau Management*, 86: 1-13.
- 17-Jafarzadeh, J., Rostamzadeh, H., Nikjou (deceased) MR, Asadas, I. (2016). Assessment of water resource potential of Ardebil Plain using Fuzzy Network Analysis Process (GIS), *Journal of Research Geography and Planning*, 61: 146-16. [In Persian].
- 18-Hoseinpoor Milaghardan, A. (2012). Modeling forest fire potential using geospatial information systems (case study: golestan forest), A Thesis Submitted as a Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master, *Graduate University of Advanced Technology Faculty of Civil and Surveying Engineering*, [In Persian].
- 19-Laxmi, K., Sharma, SK., Mahendra, S N, Suman, S., Prem Chandra, P. (2012). Fuzzy AHP for forest fire risk modelin, *Products, Disaster Prevention and Management*, 21(2): 160-171.
- 20-Li, R. (1998). Potential of High-resolution Satellite Imagery, *National Mapping Journal of Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64(12): 116-1166.
- 21-Mobarghai, N., Sherzei, GH A., Makhdom, M., Yavari, AR., Jafari, R. (2009). The Spatial Valuation Pattern of Co2 Absorption Function in Caspian Forests of Iran, *Journal of Environmental Science*, 35(3): 57-68.
- 22-Miguel-Ayanz, SJ., Vogt, J., De Roo, A., Schmuck, G. (2000). Natural hazards monitoring: forest fires, droughts and floods - the example of European pilot projects, *Surv. Geophys.*, 21, 291-305.

- 23-Musa, Beigi, Mo., Mirzabeigi, F. (2013). Forest Fire Risk Zoning Using Network Analysis Model and Geographic Information System (Case Study: Manesht and Qalarang Protected Area, *Quarterly Journal of Environmental Sciences*, 14(4):175-178.
- 24-Perry, DA. (1998). The scientific basis of forestry, *Annu Rev Ecol Syst*, 29:435-466.
- 25- Pradhan, B., Bin Suliman, MH., Bin Awang, MA. (2007). Forest fire susceptibility and risk mapping using remote sensing and geographical information systems (GIS). *Proceedings of Disaster Prevention and Management*, 16(3): 344-352. Lumpur, India.
- 26-Ramkumar, M., Jenamani, M. (2015b). Sustainability in Supply Chain Through E-Procurement—An Assessment Framework Based on DANP and Liberatore Score, *IEEE Systems Journal*, *Forthcomming*.
- 27-Lin, H., Liu, X.W., Liu, Y. (2018). A fuzzy inference and big data analysis algorithm for the prediction offorest fire based on rechargeable wireless sensor networks, *Sustainable Computing: Informatics and Systems*.101-111.
- 28-Yin, HH., Knowlton, BJ., Balleine, BW. (2004). Lesions of dorsolateral striatum preserve outcome expectancy but disrupt habit formation in instrumental learning. *Eur. J. Neurosci*, 19, 181–189.
- 29-Zadeh, LA. (1965). Fuzzy sets. *Information and Content*, University Shahrood, 8: 338–356.