

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۵، بهار ۱۳۹۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۰۴

صفحات: ۱۲۴ - ۱۰۷

## ارزیابی ریسک مخاطره آتش‌سوزی در جنگل با استفاده از WLC و ANP (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ۳۳ و ۳۴ شمال ایران)

الهام گلیجی<sup>۱</sup>، سید محسن حسینی<sup>۲\*</sup>، نعمت‌الله خراسانی<sup>۳</sup>، سید مسعود منوری<sup>۴</sup>

### چکیده

آتش‌سوزی جنگل یک مسئله عمده محیط زیست می‌باشد که منجر به آسیب‌های اقتصادی و زیست محیطی می‌شود. آتش‌سوزی جنگل‌ها یکی از مخاطرات محیطی طبیعی در ایران می‌باشد. کنترل این آتش‌سوزیها بصورت طبیعی غیرممکن است اما با استفاده از نقشه مناطق خطر آتش‌سوزی جنگل میتوان مناطق دارای ریسک بیشتر را شناسایی و آتش‌سوزی را به حداقل رساند. بنابراین تهیه نقشه مناطق خطر آتش‌سوزی جنگل به عنوان یک راهکار مناسب برای حفاظت از جنگل در برابر آتش‌سوزی ضروری به نظر میرسد. در این مقاله به منظور پهنبندی ریسک آتش‌سوزی جنگل ابتدا معیارها و شاخصهای موثر به روش دلفی در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. سپس نقشه معیارها در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) رقومی و کلیه معیارها و شاخصها به روش فازی کمی و نرمال گردید. سپس با استفاده از GIS و تلفیق آن با روشهای ترکیب خطی وزنی (WLC) و فرایند تحلیل شبکه ای (ANP) به پهنبندی ریسک آتش‌سوزی در جنگلهای منطقه مورد مطالعه پرداخته شد. در نهایت نقشه پتانسیل آتش‌سوزی منطقه از رویهم‌گذاری وزنی همه نقشهها تهیه شد. به منظور بررسی صحت ارزیابی، نتایج به دست آمده از تحقیق از طریق مقایسه با حوادث آتش‌سوزی سالهای گذشته به روش ضریب کاپا صحت سنجی شد. نتایج حاصل از ارزیابی دقت نشان داد که نقشه پهنبندی دارای ضریب کاپای ۰,۸۷ و دقت کلی ۹۰٪ می‌باشد که نشان دهنده دقت بالای ارزیابی می‌باشد.

واژگان کلیدی: پهنبندی ریسک آتش‌سوزی، دلفی، فرایند تحلیل شبکه ای، منطق فازی، ترکیب خطی وزنی، شمال ایران.

Elham.goleiji@gmail.com

Hosseini@modares.ac.ir

khoresan@ut.ac.ir

monavarism@yahoo.com

<sup>۱</sup>- دانشجوی دکتری، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

<sup>۲</sup>- استاد دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup>- استاد دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

<sup>۴</sup>- استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

## مقدمه

جنگل‌ها به عنوان یکی از مهمترین منابع طبیعی تجدید شونده نقش حیاتی در استمرار حیات و حفظ و پایداری زیست بوم‌ها ایفا می‌نمایند (ژانگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹). یکی از خطرانی که جنگل‌ها را تهدید می‌کند آتش‌سوزی می‌باشد که با خسارات جبران ناپذیری که به آنها وارد می‌کند، سبب تغییر اکولوژی منطقه می‌شود (زو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۵، جیسوال<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳). آتش‌سوزی یکی از مهمترین عوامل مخرب جنگل‌ها محسوب شده که همواره این اکوسیستم‌های حیاتی را تهدید می‌کند (ماروزاس<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). آتش‌سوزی در جنگل‌ها 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 (کاظمی، ۱۳۸۴). ریسک مخاطره آتش‌سوزی ترکیبی از دو واژه خطر آتش‌سوزی (احتمال شروع و گسترش آن) و (آسیب پذیری ناشی از آتش‌سوزی) می‌باشد (چویکو<sup>۵</sup> و همکاران، ۱۹۸۹). در کمتر از ۲۰۰ سال گذشته شش میلیون کیلومتر مربع از اراضی جنگلی در جهان بر اثر آتش‌سوزی از بین رفته‌اند (مروی مهاجر<sup>۶</sup>، ۲۰۰۵). در ایران نیز طی یک دوره چند سال گذشته حدود ۱۱۰۴۴ هکتار از جنگل‌های طبیعی دچار آتش‌سوزی شده‌اند (محمدی<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۰).

افزایش وقوع آتش‌سوزی‌های مکرر در جنگل‌های شمال ایران طی سالهای اخیر، محیط زیست، جنگل‌ها، روستاها و ساکنان آنها را در گستره‌های وسیع با خسارات و تلفات زیادی مواجه کرده است. فشردگی جنگل‌ها در شمال ایران، تمرکز و تداخل آنها در زندگی روزمره ساکنین، دقت در آمار آتش‌سوزی‌های گذشته و میزان خسارات به بار آمده از آنها، نشان از اهمیت این مسأله و ارائه راهکارهای لازم دارد (محمدزاده، ۱۳۸۶). بدون شک انسانها نمی‌توانند آتش‌سوزی‌ها را به طور کامل مهار نمایند، اما می‌توانند تا حدود زیادی از شدت آن بکاهند و خسارات وارده به منابع طبیعی را کاهش دهند. برای این منظور می‌توان هر منطقه را با استفاده از نقاط موجود از نظر احتمال وقوع آتش‌سوزی پهنه‌بندی نمود و نواحی که دارای پتانسیل بالای آتش‌سوزی هستند را مشخص و اقدامات لازم برای پیشگیری از آتش‌سوزی را انجام داد (دانگ<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۶).

پهنه بندی احتمال وقوع آتش تاکنون به روش‌های مختلف پارامتریک و ناپارامتریک صورت گرفته است که می‌توان به روش‌های رگرسیون لجستیک (پریزله<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۰۴؛ مارتینز<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۰۶)، ترکیب خطی وزنی ساده (دانگ و همکاران، ۲۰۰۵)، روش ترکیب خطی وزنی<sup>۱۱</sup> با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> (وادروو<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰)،

- 
- 1- Zhang
  - 2- Xu
  - 3- Jaiswal
  - 4- Marozas
  - 5- Chuvieco
  - 6- Marvi Mohajer
  - 7- Mohammadi
  - 8- Dong
  - 9- Preisler
  - 10- Martinez
  - 11- Weighted Liner Combination

(مهدوی و همکاران، ۲۰۱۰) روش فازی لجستیک (ایلدیاز<sup>۳</sup>، ۲۰۰۵)، روش شبکه‌های عصبی (واسیلاکوس<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۷) و دیگر روشهای نوین ناپارمتریک نظیر روشهای داده کاوی<sup>۵</sup> و یادگیری ماشین<sup>۶</sup> می‌توان اشاره نمود. اغلب پژوهشگران نقشه زون بندی خطر آتش‌سوزی را با استفاده مستقیم از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۷</sup> انجام داده‌اند (لوزانو<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۸)، که شامل اطلاعات و داده‌های مربوط به توپوگرافی، پوشش گیاهی، کاربری زمین، جمعیت و اطلاعات مربوط به سکونت‌گاه‌ها می‌باشد (جیسوال، ۲۰۰۲). استفاده از قابلیت‌های ابزار سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۹</sup> نیز توانسته است پهنه‌بندی و مدل‌سازی وقوع و احتمال خطر آتش‌سوزی را تسهیل نماید (سرکارگر اردکانی<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۰۹؛ سلامتی<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۱؛ سومیا و سوماشکار<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۸).

در این تحقیق از روش ترکیب خطی وزنی و فازی و فرایند تحلیل شبکه ایی<sup>۱۳</sup>، جهت ارزیابی مخاطره آتش‌سوزی در منطقه مورد بررسی استفاده شد. تاکنون در این منطقه از این روش جهت پهنه‌بندی ریسک آتش‌سوزی استفاده نشده است. هدف تحقیق حاضر آن است که با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره<sup>۱۴</sup> به پهنه‌بندی ریسک آتش‌سوزی منطقه مورد مطالعه بپردازد.

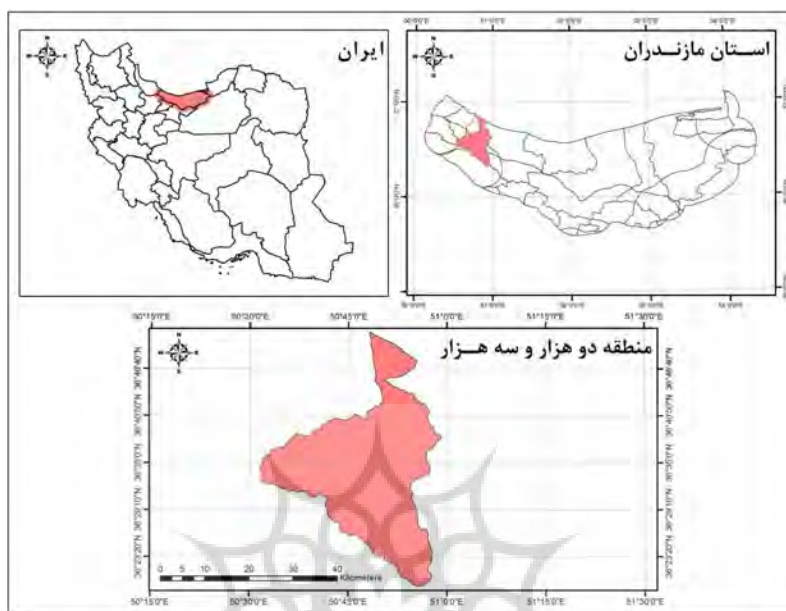
## داده‌ها و روش‌ها

### الف- روش شناسی:

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حوضه‌های آبخیز ۳۳ و ۳۴ شمال ایران در شهرستان تنکابن در استان مازندران، واقع شده است (شکل ۱)، این استان از شمال به دریای خزر، از غرب به استان گیلان و از جنوب به استان تهران و از شرق به استان گلستان محدود شده است. مساحت این حوضه‌ها ۹۷۱۷۲/۸۲ هکتار به طول جغرافیایی "۵۷'۲۹°۵۰" و "۴۳'۵۸°۵۰" شرقی و عرض جغرافیایی "۲۲'۱۹°۳۶" و "۲۵'۴۵°۳۶" شمالی می‌باشد.

- 
- 1- Analytical Hierarch Process
  - 2- Vadrevu
  - 3- Iliadis
  - 4- Vasilakos
  - 5- Data mining
  - 6- Machine learning
  - 7- Geographic Information System
  - 8- Lozano
  - 9- Geographic Information System
  - 10- Sarkargar Ardakani
  - 11- Salamati
  - 12- Sowmya and Somashkar
  - 13- Analytical Network Process
  - 14- Multi Criteria Decision Making



شکل ۱: محدوده منطقه مورد مطالعه

### روش انجام تحقیق

اولین گام جهت پهنه‌بندی ریسک آتش‌سوزی در جنگل، شناسایی معیارها و شاخص‌های تاثیرگذار در این امر است. در این مطالعه با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، اطلاعات بدست آمده از مقالات معتبر و همچنین از روش دلفی<sup>۱</sup> به منظور گردآوری نظر کارشناسان استفاده شد. روش دلفی فرایندی ساختار یافته برای جمع آوری و طبقه‌بندی دانش موجود در نزد گروهی از کارشناسان و خبرگان است که از طریق توزیع پرسشنامه‌هایی در بین این افراد و بازخور کنترل شده پاسخ‌ها و نظرات دریافتی صورت می‌گیرد. به کارگیری روش دلفی بیشتر با هدف کشف ایده‌های خلاقانه و قابل اطمینان و یا تهیه اطلاعاتی مناسب به منظور تصمیم‌گیری است.

معیارهای تاثیرگذار در این تحقیق عبارتند از پارامترهای اکولوژیک شامل منابع آب (رودخانه و چشمه)، اقلیم (دما، بارندگی، تبخیر، رطوبت)، فیزیوگرافی (شیب، جهت، ارتفاع)، خاک (هوموس و لاشبرگ)، کاربری اراضی، باد، تراکم پوشش گیاهی و پارامترهای اقتصادی اجتماعی شامل (فاصله از جاده، فاصله از روستا، فاصله از مراکز تجمع توریسم، فاصله از دام‌سراها و جمعیت) می‌باشد. برای انجام این تحقیق، ابتدا مدل رقومی ارتفاع از DEM منطقه تهیه شد. سپس با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، نقشه‌های شیب در پنج طبقه، جهت‌های جغرافیایی در پنج طبقه و ارتفاع از سطح دریا در پنج طبقه تهیه شد. نقشه‌های نوع و تراکم پوشش گیاهی منطقه از اداره کل منابع طبیعی غرب استان مازندران تهیه و رقومی شد. سپس نقشه‌های مرتبط به مناطق مسکونی، روستاها و جمعیت نیز با استفاده از داده‌های Google Earth به هنگام شد.

نقشه‌های کاربری اراضی منطقه با استفاده از اطلاعات برگرفته شده از مجموعه و کنترل زمینی به Google Earth رقومی و به هنگام شد. لایه جاده موجود نیز با استفاده از داده‌های Google Earth به هنگام شد. با استفاده از تابع فاصله از جاده، لایه فاصله از جاده ایجاد گردید. نقاط تجمع مراکز گردشگری و دام‌سراها توسط اطلاعات برگرفته شده از اداره کل منابع طبیعی و اداره محیط زیست شهرستان و همچنین اطلاعات اخذ شده از کارشناسان منابع طبیعی به همراه بازدید میدانی از منطقه جمع‌آوری و بصورت نقاط GPS، رقومی شد. همچنین با استفاده از تابع فاصله لایه فاصله از مکان‌های تجمع مراکز توریسم، تولید گردید. نقشه هوموس و لاشبرگ منطقه با تقسیم‌بندی منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری تصادفی سیستماتیک با استفاده از روش پلات‌گذاری (۱×۱ مترمربع) در هر یک از محدوده‌های انتخاب شده (براساس نقشه تراکم پوشش گیاهی جنگل) اندازه‌گیری شد و در هر نقطه از نقاط نمونه برداری GPS زده شد و در مجموع اطلاعات اوزان، مختصات جغرافیایی و حجم ۱۵۰ نمونه گرفته شده وارد GIS و سپس با استفاده از روش درون‌یابی و به صورت نقشه لایه هوموس و لاشبرگ ایجاد گردید.

نقشه‌های بارش متوسط و دمای متوسط ۵ ماهه (تابستان و پاییز) نیز با استفاده از درون‌یابی اطلاعات ایستگاه‌های موجود تهیه شد. اطلاعات آتش‌سوزی سال‌های گذشته از آرشیو ادارات کل منابع طبیعی و محیط زیست استان مازندران جمع‌آوری گردید. بر اساس اطلاعات ثبت شده توسط کارشناسان ادارات کل منابع طبیعی و محیط زیست استان، موقعیت و محدوده‌های مناطق آتش‌سوزی شده در چند سال اخیر که با استفاده از گیرنده سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) برداشت شده بود لایه رقومی محدوده‌های آتش گرفته در سنوات گذشته تهیه شد.

در حل مسائل مکانیابی با توجه به این که مجموعه‌هایی از اهداف باید به طور همزمان بهینه شوند، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود. روش تحلیل شبکه‌ای، می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر در مواردی که ارتباط داخلی عناصر یک سیستم به صورت ساختار شبکه‌ای شکل می‌گیرند، مورد استفاده قرار گیرد (ساعتی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۶).

در این تحقیق، وزن معیارها و شاخص‌ها بر اساس نظرات کارشناسان مجرب به روش ANP و با استفاده از نرم افزار super decision محاسبه شد. جهت تعیین تعداد پرسشنامه‌های مورد نیاز از روش کوکران و جدول مورگان استفاده شد. بر این اساس ۲۰ عدد پرسشنامه به روش دلفی جهت امتیازدهی به مدل ANP تهیه گردید. جهت شناسایی مناطق مستعد آتش‌سوزی با استفاده از روش WLC نقشه معیارها و شاخص‌ها طبق رابطه ۲ باهم تلفیق شدند (Malczewski, ۱۹۹۹).

$$A_i = \sum_j W_j X_{ij}$$

A<sub>i</sub>: Final Utility

W<sub>j</sub>: Factor Weight

X<sub>ij</sub>: Factor Fuzzy Value

(۲)

به منظور صحت ارزیابی ریسک آتش‌سوزی، نقشه مناطق حساس به آتش‌سوزی به صورت تصادفی از مناطقی که قبلاً آتش‌سوزی در آنها اتفاق افتاده بود انتخاب و تهیه شد و به منظور ارزیابی صحت، روش ضریب کاپا<sup>۱</sup> مورد استفاده قرار گرفت. ضریب کاپا که دقت پهنه‌بندی را نسبت به یک پهنه‌بندی تصادفی مورد ارزیابی قرار می‌دهد، بین صفر و یک قرار دارد که صفر نشانگر پهنه‌بندی کاملاً تصادفی و یک نشانگر پهنه‌بندی کاملاً صحیح است (لیلساند<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸). دقت کلی پهنه‌بندی بیانگر میزان اعتبار پهنه‌بندی انجام شده است و در نقشه‌های استخراج شده باید بیش از ۸۵٪ باشد. در این تحقیق، با استفاده از نمونه‌برداری‌های میدانی توسط GPS اقدام به تعیین نمونه‌های نقشه واقعیت زمینی برای پهنه‌های مورد نظر گردید، جمعاً ۴۰۰ نقطه بررسی شده به طوری که حداقل ۵ نمونه با مساحت حدود ۲ هکتار برای هر یک از مناطق با آتش‌سوزی رخ داده شده و مناطق بدون آتش‌سوزی تعیین گردید. این نقاط به صورت پلی‌گون در آمده و در نرم افزار IDRISI Selva با پهنه‌بندی اصلی مقایسه گردید.

#### ب- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

جنگل‌های شمال ایران دچار آتش‌سوزی‌های متعدد شده است و آتش‌سوزی در جنگل‌های استان مازندران یکی از مشکلات بزرگ جنگل‌ها در منطقه می‌باشد که می‌توان به مطالعات اسکندری و همکاران (۱۳۹۳)، فرامرزی و همکاران (۱۳۹۳)، میردیلیمی و همکاران (۱۳۹۱)، زرع کار و همکاران (۱۳۹۲) اشاره نمود. در مطالعه حاضر سعی بر آن شده است به تهیه نقشه زون‌بندی ریسک آتش‌سوزی با استفاده از GIS و اطلاعات اکولوژیکی و اقتصادی و اجتماعی منطقه مورد مطالعه پرداخته شود. در مورد شناسایی مناطق پرخطر آتش‌سوزی در جنگل‌های ایران، مطالعاتی صورت گرفته است، اما اغلب این تحقیقات نوپاست.

محمدی و همکاران، (۱۳۸۹) اقدام به تهیه نقشه نواحی دارای خطر آتش‌سوزی جنگل بر پایه عوامل پوشش گیاهی، فیزیوگرافی، اقلیمی، انسانی و فاصله از جاده‌ها و رودخانه‌ها، در بخشی از حوزه پاوه رود در غرب ایران کردند. با به کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۳</sup> و عوامل مؤثر در وقوع آتش‌سوزی موفق شدند نقشه پهنه‌بندی خطر را در پنج طبقه تهیه نمودند. نتایج نشان داد که نود درصد از مناطق آتش‌سوزی شده در پهنه‌هایی با خطر زیاد قرار دارند.

مهدوی و همکاران، (۲۰۱۲)، مناطق خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های شهرستان ایلام را با استفاده از روش AHP و با بکارگیری GIS، نقشه برداری کردند. متغیرهای مورد استفاده در مطالعه ایشان شامل کاربری اراضی، جاده‌ها، رودخانه‌ها و مشخصات اقلیمی، فیزیوگرافی و انسان ساخت بودند. نتایج نشان داد که پنجاه درصد حریق‌های گذشته در مناطق با خطر بسیار زیاد و چهل درصد آنها در مناطق با خطر زیاد قرار گرفته اند که اعتبار بالای مدل ساخته شده را نشان می‌دهد (مهدوی، ۲۰۱۲).

1- Kappa

2- Lillesand

3- Analytical Hierarchy Process

اسکندری، (۱۳۹۳) به منظور مدل‌سازی خطر وقوع حریق و تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی در بخشی از جنگل‌های شمال ایران از دو روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و همبستگی استفاده کرد. فاکتورهای مورد استفاده شامل چهار معیار اصلی توپوگرافی، زیست‌شناختی، اقلیمی و انسانی و هفده زیر معیار بود. پس از تهیه نقشه‌های کلیه فاکتورها و تعیین وزن همه آنها با دو روش یاد شده، مدل‌های خطر آتش‌سوزی به دست آمد. سپس نقشه‌های کلیه عوامل مؤثر با در نظر گرفتن وزن آنها بر اساس ترکیب شد و نقشه‌های GIS مدل‌های ساخته شده در پتانسیل خطر آتش‌سوزی با دو روش یاد شده حاصل گردید. نتایج نشان داد که مناطق پرخطر آتش‌سوزی در نقشه‌های پتانسیل خطر تهیه شده با دو روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و روش همبستگی، تطابق زیادی با مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته داشته است، اما دقت روش همبستگی بیشتر از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی است.

منصوری و همکاران، (۱۳۹۰) ضمن شناسایی عوامل مؤثر در آتش‌سوزی به پهنه بندی ریسک آتش‌سوزی منطقه پرداختند و به علاوه به تدوین برنامه مدیریت بحران در منطقه در سه فاز عملیاتی طرح پیشگیری، طرح مقابله و طرح بازسازی اقدام نمودند.

زرع کار و همکاران، (۱۳۹۲) نقشه خطر آتش‌سوزی در سه حوضه جنگلی استان گیلان را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و GIS تهیه کردند. با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی، وزن تمام عوامل مؤثر در وقوع حریق به دست آمد و از رویهم‌گذاری نقشه‌های همه لایه‌های مؤثر در آتش‌سوزی، نقشه خطر آتش‌سوزی حاصل شد. نتایج نشان داد که ۶۶ درصد از مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته در مناطق پرخطر و بسیار پرخطر قرار گرفته‌اند.

با توجه به اهمیت مسأله آتش‌سوزی در جنگل‌ها، تاکنون مطالعات مختلفی در این زمینه در مناطق مختلف دنیا انجام شده است. سازمان خدمات جنگلداری کانادا، بیش از ۷۵ سال است که تحقیقات آتش‌سوزی جنگل را به صورت گسترده انجام می‌دهد. از جمله تحقیقات مربوط به ارزیابی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های جهان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

پرا و کوی اونتاریو<sup>۱</sup> (۲۰۱۰)، احتمال وقوع آتش‌سوزی کانادا را پیش‌بینی و مدل‌سازی کردند و نقشه احتمال وقوع آتش‌سوزی را بر اساس فاکتورهای شیب، جهت، پوشش گیاهی، رطوبت خاک و غیره در پنج طبقه تهیه کردند. نتایج نشان داد که مدل شبیه‌سازی آتش‌سوزی با آتش‌سوزی‌های گذشته همخوانی دارد.

پاز<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۱)، نیز نقشه خطر آتش‌سوزی را که برای منطقه کارمل اسراییل در سال ۲۰۰۹ تهیه کرده بودند، با آتش‌سوزی واقعی که در سال ۲۰۱۰ در همین منطقه اتفاق افتاده بود مقایسه کردند. نتایج نشان داد که اغلب مناطق سوخته در سال ۲۰۱۰ در مناطق با خطر زیاد در نقشه‌ی پتانسیل تهیه شده قرار گرفته‌اند که نشان دهنده ضریب اطمینان بالای مدل مورد استفاده برای پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های آینده است.

1- Perera and Cui

2- Paz

گردزوا<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) آنالیز مقایسه‌ای از مدل‌های مختلف ارزیابی خطر آتش‌سوزی در منطقه اسمولیان بلغارستان ارائه داد. هدف از این مطالعه، تعیین یک مدل ارزیابی خطر صحیح برای منطقه مورد مطالعه بود. بر همین اساس، سه مدل پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی انتخاب شد. نتایج هر کدام از مدل‌ها با تاریخچه آتش‌سوزی‌های گذشته مقایسه شد.

### نتایج و بحث

کلیه معیارها و شاخص‌ها به روش فازی کمی و نرمال گردید. در منطق فازی، قالب بندی مقادیر و ارزش‌ها به شکل یک مجموعه عضویت عملی می‌گردد که مقدار عضویت بالاتر در بازه فازی، نشان دهنده مطلوبیت بیشتر و مقدار عضویت پائینتر مطلوبیت کمتر را نشان می‌دهد. در جدول ۱ شاخص‌ها، شکل و نوع تابع عضویت شاخص‌ها نشان داده شده است.

جدول ۱: جدول معیارها، شکل توابع عضویت و محدودیت‌ها

منابع	طبقه بندی	شکل توابع عضویت	لايه محدودیت معيارها	معیارها
منصوری، (۱۳۹۰) زرع کار، (۱۳۹۲) بیگی حیدرلو (۱۳۹۳) شارما <sup>۲</sup> (۲۰۰۹) میر دیلمی، (۱۳۹۲) Perera and Cui، (۲۰۱۰) اسکندری، (۱۳۹۳) شتائی، (۱۳۹۲) فرامرزی، (۱۳۹۳) Rajabi، (۲۰۱۳) Mahdavi، (۲۰۱۱)	۰ تا ۵٪ معادل ۰/۲، ۵ تا ۳۵٪ معادل (۰/۴ تا ۱)، بیش از ۳۵٪ معادل ۱	گسسته		شیب
منصوری، (۱۳۹۰) زرع کار، (۱۳۹۲) بیگی حیدرلو (۱۳۹۳) میر دیلمی، (۱۳۹۲) اسکندری، (۱۳۹۳) شتائی، (۱۳۹۲) فرامرزی، (۱۳۹۳) Mahdavi، (۲۰۱۱)	۳۰- تا ۵۰۰ متر معادل ۱، ۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر معادل (۱-۰)، بیش از ۳۵۰۰ متر معادل ۰	گسسته		ارتفاع (متر)

1- Gerdzheva

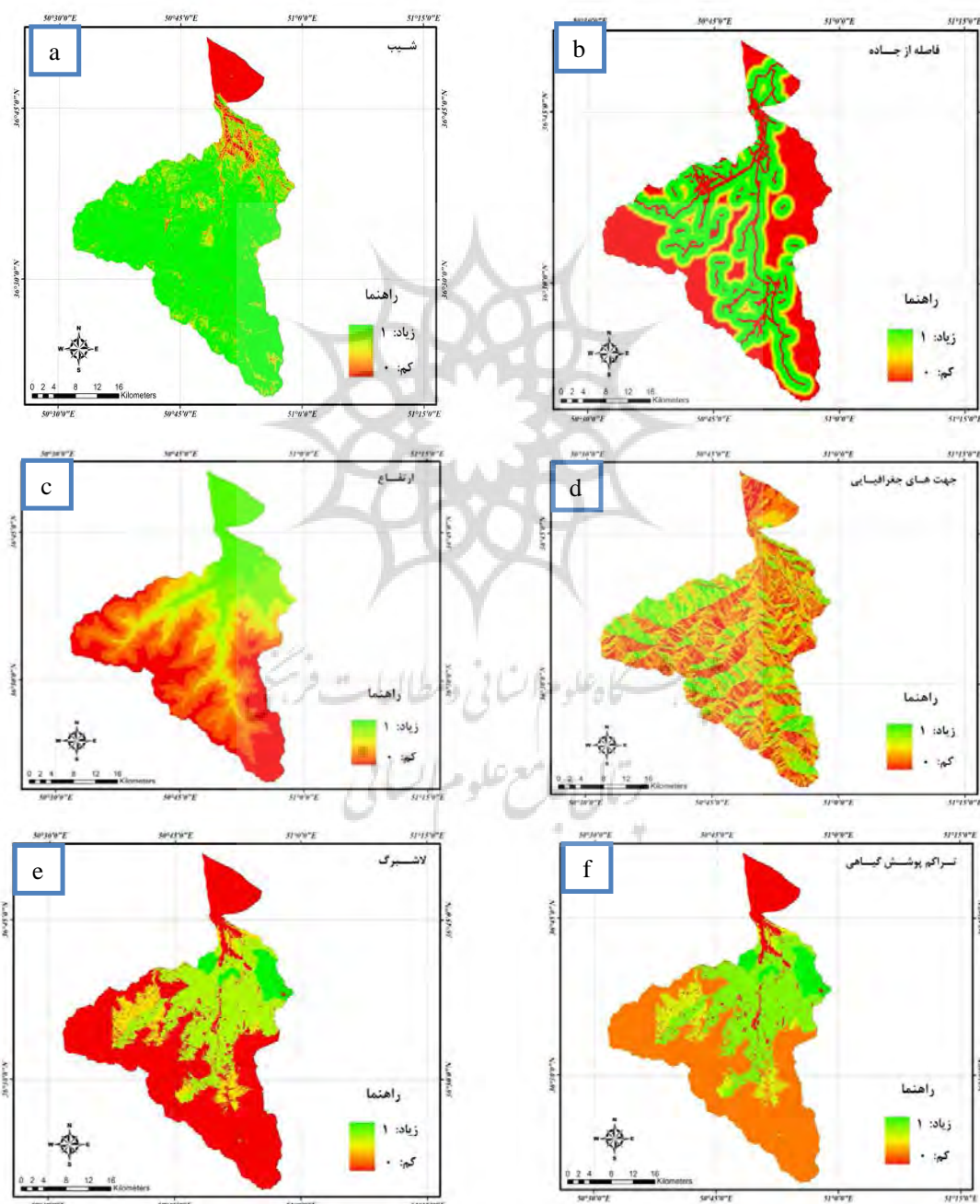
2- Sharma

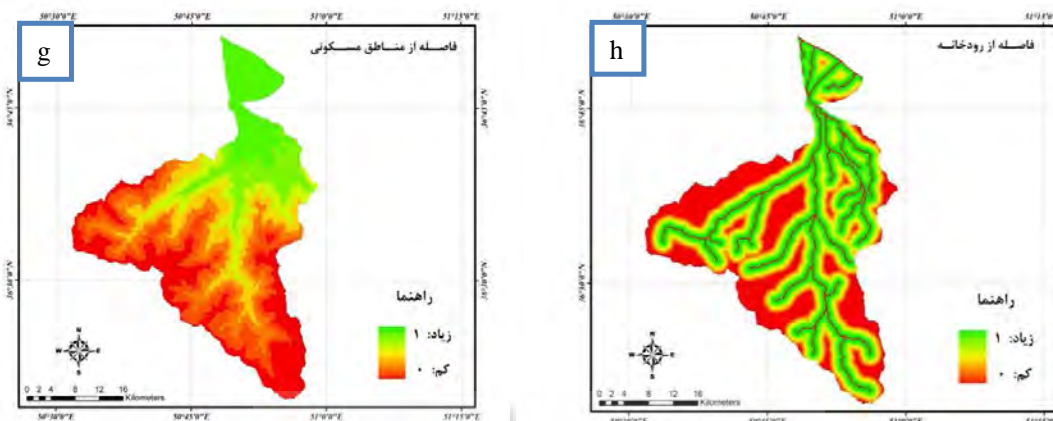


منصوری، (۱۳۹۰) زرع کار، (۱۳۹۲) بیگی حیدرلو (۱۳۹۳) شارما، (۲۰۰۹) میر دیلمی، (۱۳۹۲) Perera and Cui (۲۰۱۰) اسکندری، (۱۳۹۳) شتائی، (۱۳۹۲) فرامرزی، (۱۳۹۳) Mahdavi، (۲۰۱۱)	جهت جنوبی معادل ۰/۱، جنوب غربی معادل ۰/۸، جهت جنوب شرقی معادل ۰/۶، جهت غرب و شرق معادل ۰/۴، شمال شرقی و شمال غربی معادل ۰/۲، جهت شمال معادل ۰	گسسته		جهت
نگارندگان (به روش دلفی)	(۲۰۰۰ تا ۳۶۰۰) گرم معادل ۰/۱، (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۰) گرم معادل ۰/۴، (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۰) گرم معادل ۰/۲	گسسته		هوموس
نگارندگان (به روش دلفی)	(۴۵۰۰ تا ۸۰۰۰) گرم معادل ۰/۱، (۱۸۰۰ تا ۴۵۰۰) گرم معادل ۰/۶، (۸۰۰ تا ۱۸۰۰) گرم معادل ۰/۴	گسسته		لاشبرگ
میر دیلمی، (۱۳۹۲) بیگی حیدرلو، (۱۳۹۳)	جنگلی معادل ۰/۱، زمین‌های مرتعی معادل ۰/۲، زمین‌های ساخته شده معادل ۰/۱	گسسته		کاربری زمین
ارتن، (۲۰۰۵) زرع کار، (۱۳۹۲) Rajabi، (۲۰۱۳) اسکندری، (۱۳۹۳)	(۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰) متر معادل ۰/۱، (۳۰۰۰ تا ۳۰۰۰) متر معادل ۰/۲، بیش از ۳۰۰۰ متر معادل صفر	کاهنده- خطی		فاصله از روستاها و سکونت‌گاه‌ها (متر)
Rajabi، (۲۰۱۳) Mahdavi، (۲۰۱۱)	(۱۱۰۰ تا ۱۲۵۰) میلی‌متر معادل ۰/۱، (۹۵۰ تا ۱۱۰۰) میلی‌متر معادل ۰/۸، (۷۵۰ تا ۸۵۰) میلی‌متر معادل ۰/۶، (۸۵۰ تا ۸۵۰) میلی‌متر معادل ۰/۴	گسسته		تبخیر (میلی‌متر)
بیگی حیدرلو، (۱۳۹۳) فرامرزی، (۱۳۹۳) میر دیلمی، (۱۳۹۲) زرع کار، (۱۳۹۲) شتائی، (۱۳۹۲)	(۷۰۰ تا ۸۰۰) میلی‌متر معادل ۰/۱، (۸۰۰ تا ۹۰۰) میلی‌متر معادل ۰/۸، (۹۰۰ تا ۱۰۰۰) میلی‌متر معادل ۰/۶، (۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰) میلی‌متر معادل ۰/۴، بیش از ۱۱۰۰ میلی‌متر معادل ۰/۲	گسسته		بارندگی (میلی‌متر)
Rajabi، (۲۰۱۳) Mahdavi، (۲۰۱۱)	(کمتر از ۱۰ درصد) معادل ۰/۱، (۱۰ تا ۲۰ درصد) معادل ۰/۶، (۲۰ تا ۵۰ درصد) معادل ۰/۸، (۵۰ تا ۷۰ درصد) معادل ۰/۴، بیش از ۷۰ درصد معادل ۰/۲	گسسته		رطوبت
زرع کار، (۱۳۹۲)	بیش از ۱۲ درجه معادل ۰/۸، (۹ تا ۱۲)	گسسته		دما

فرامرزی، (۱۳۹۳) بیگی حیدرلو (۱۳۹۳) Rajabi, (۲۰۱۳) Mahdavi, (۲۰۱۱)	درجه معادل ۰/۶، (۶ تا ۹ درجه) معادل ۰/۴، (۳ تا ۶ درجه) معادل ۰/۲			
نگارندگان (به روش دلفی)	(۸/۲ تا ۹/۵) معادل ۱، (۶/۸ تا ۸/۲) معادل ۰/۸، (۵/۵ تا ۶/۸) معادل ۰/۶، (۴/۱ تا ۵/۵) معادل ۰/۴، (۲/۷ تا ۴/۱) معادل ۰/۲، کمتر از ۲/۷ معادل ۰/۱	گسسته		سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)
زرع کار، (۱۳۹۲) Rajabi, (۲۰۱۳) Mahdavi, (۲۰۱۱) میر دیلمی، (۱۳۹۲) اسکندری، (۱۳۹۳) شتائی، (۱۳۹۲) Perera and Cui, (۲۰۱۰)	جنگل ۷۰ تا ۱۰۰ درصد معادل ۱، جنگل ۴۰ تا ۶۹٪ معادل ۰/۸، جنگا ۱۰ تا ۳۹٪ معادل ۰/۶، زمین های مرتعی معادل ۰/۴، مناطق ساحلی معادل صفر	گسسته		تراکم پوشش گیاهی
زرع کار، (۱۳۹۲) اسکندری، (۱۳۹۳) Rajabi, (۲۰۱۳) ارتن، (۲۰۰۵)	(۲۰۰-۲۰۰۰ متر) معادل ۱، (۳۰۰-۳۰۰۰ متر) معادل ۱ تا ۱۰، بیش از ۳۰۰۰ متر معادل صفر	کاهنده- خطی		جمعیت
بیگی حیدرلو (۱۳۹۳) فرامرزی، (۱۳۹۳) زرع کار، (۱۳۹۲) شتائی، (۱۳۹۲) منصوری، (۱۳۹۰) میر دیلمی (۱۳۹۲) اسکندری (۱۳۹۳) Mahdavi, (۲۰۱۱)	(۱۵۰-۱۰۰۰ متر) معادل ۱، (۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر) بین صفر تا ۱، بیش از ۲۰۰۰ متر معادل صفر	کاهنده - خطی	(۱۵۰-۰) متر بافر	فاصله از جاده (متر)
میر دیلمی، (۱۳۹۲) Rajabi, (۲۰۱۳) Mahdavi, (۲۰۱۱)	(۱۰۰ تا ۵۰۰ متر) معادل ۱، (۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر) بین ۱ تا صفر، بیش از ۲۰۰۰ متر معادل صفر	کاهنده - خطی	(۱۰۰-۰) بافر	فاصله از رودخانه (متر)
فرامرزی، (۱۳۹۳) بیگی حیدرلو، (۱۳۹۳)	(۵۰۰-۵۰۰۰ متر) معادل ۱، (۱۰۰۰-۵۰۰) (متر) بین ۱ تا ۱۰، بیش از ۱۰۰۰ متر معادل صفر	کاهنده - خطی		فاصله از چشمه (متر)
منصوری، (۱۳۹۰)	(۲۰۰-۲۰۰۰ متر) معادل ۱، (۲۰۰ تا متر) برابر بین ۱-۱۰، بیش از ۲۰۰۰ متر معادل ۰	کاهنده- خطی		فاصله از تراکم توریسم
فرامرزی، (۱۳۹۳)	(۲۰۰-۲۰۰۰ متر) معادل ۱، (۲۰۰ تا متر) برابر بین ۱-۱۰، بیش از ۲۰۰۰ متر معادل ۰	کاهنده- خطی		فاصله از دام سراها

برخی از نقشه‌های شاخص‌های قابل مقایسه و کمی شده از روش فازی شامل نقشه‌های شیب، فاصله از جاده، ارتفاع، جهت جغرافیایی، لاشبرگ، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از رودخانه در شکل ۲ نشان داده شده است.





شکل ۲: نقشه هریک از عوامل موثر بر وقوع حریق: (a) شیب، (b) فاصله از جاده، (c) ارتفاع، (d) جهت جغرافیایی، (e) لاشبرگ، (f) تراکم پوشش گیاهی، (g) فاصله از مناطق مسکونی، (h) فاصله از رودخانه

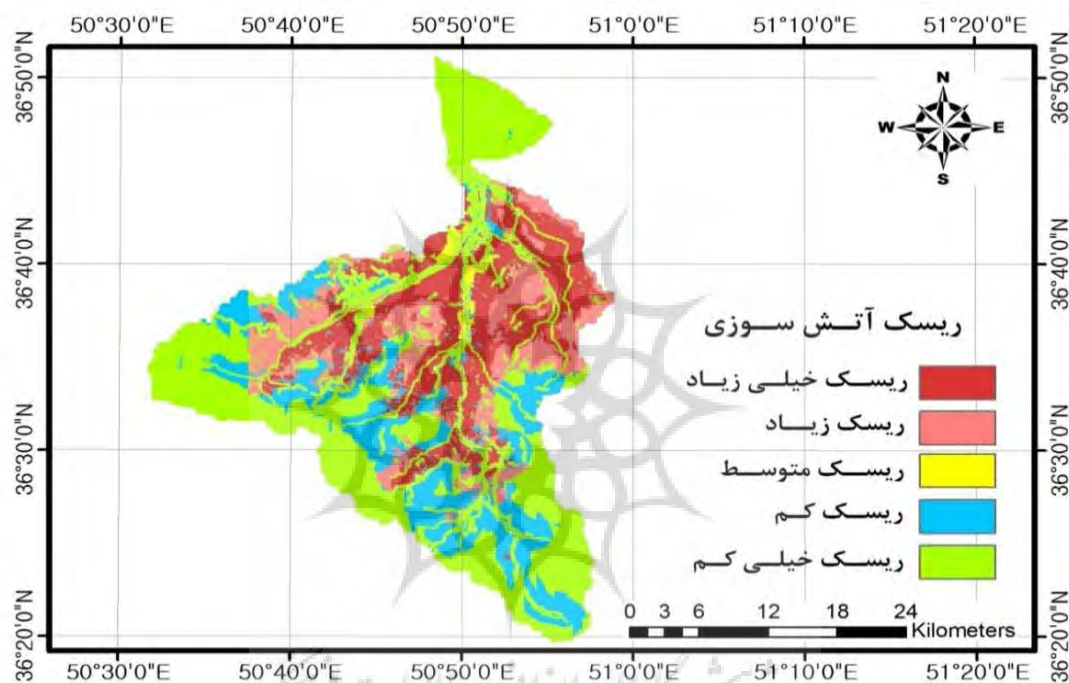
جدول ۲ وزن معیارها و شاخص‌های استخراج شده از فرایند تحلیل شبکه‌ای را نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به اوزان بدست آمده می‌توان بیان داشت که از بین معیارهای اکولوژیکی و اقتصادی اجتماعی، معیارهای اکولوژیکی بیشترین اهمیت با وزن ۰/۶۴۳ را در پهنه‌بندی ریسک آتش‌سوزی داشته‌اند و معیارهای اقتصادی اجتماعی وزن ۰/۳۵۸ را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین ۳ شاخص فاصله از مراکز تجمع توریسم، سرعت باد و پوشش گیاهی به ترتیب هریک با ضریب اهمیت ۰/۱۷۳، ۰/۰۹۱۱ و ۰/۰۶۰ دارای بیشترین میزان اهمیت در فرایند پهنه‌بندی ریسک می‌باشند.

جدول ۲: وزن معیارها و شاخص‌های بدست آمده از ANP

وزن	شاخص‌ها و معیارها	وزن	شاخص‌ها و معیارها	وزن	شاخص‌ها و معیارها
۰/۰۸۶۳	اقتصادی - اجتماعی	۰/۰۰۹۴	بارندگی	۰/۰۰۲	شیب
۰/۳۴۸۸	اکولوژیکی	۰/۰۰۹۶	دما	۰/۰۵۷	فاصله از جاده
۰/۰۲۳۴	کاربری زمین	۰/۰۲۶۶	اقلیم	۰/۱۷۳	فاصله از توریسم
۰/۰۱۹۱	فیزیوگرافیک	۰/۰۰۱۷	تبخیر	۰/۰۱۵	فاصله از روستاها
۰/۰۰۷	خاک	۰/۰۶۰	پوشش گیاهی	۰/۰۰۰۳	هوموس
۰/۰۱۶	منابع آب	۰/۰۰۳	جهت	۰/۰۰۱۹	لاشبرگ
۰/۰۰۹۵	رطوبت	۰/۰۰۵	ارتفاع	۰/۰۹۱۱	سرعت باد
۰/۰۰۸۷	فاصله از دام سراها	۰/۰۰۰۰۹	چشمه	۰/۰۰۹۵	رودخانه
				۰/۰۱۸۱	جمعیت

شکل ۳ پهنه‌بندی ریسک آتش‌سوزی را در ۵ طبقه ریسک خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی نشان داد از کل منطقه مورد مطالعه، ۲۰۳۴۰/۲۷ هکتار دارای

پتانسیل بسیار بالای آتش‌سوزی و ۱۲۶۴۶/۳۵ هکتار دارای پتانسیل بالا و ۹۳۰/۷۸ هکتار دارای پتانسیل متوسط آتش‌سوزی و ۱۸۴۶۷/۱۸ هکتار دارای ریسک کم و ۴۴۷۸۸/۲۴ هکتار دارای ریسک خیلی کم یا ناچیز می باشد (جدول ۳).



شکل ۳: نقشه پهنه‌بندی ریسک مخاطره آتش‌سوزی در حوضه آبخیز ۳۳ و ۳۴ ایران

جدول ۳: طبقه بندی ریسک آتش‌سوزی، ارزش هر یک و مساحت هر کدام

ردیف	طبقه بندی ریسک آتش‌سوزی جنگل	مساحت (هکتار)	ارزش نهایی برای هر پیکسل
۱	ریسک خیلی بالا	۲۰۳۴۰/۲۷	۰/۸ - ۱
۲	ریسک بالا	۱۲۶۴۶/۳۵	۰/۶ - ۰/۸
۳	ریسک متوسط	۹۳۰/۷۸	۰/۴ - ۰/۶
۴	ریسک کم	۱۸۴۶۷/۱۸	۰/۲ - ۰/۴
۵	ریسک خیلی کم	۴۴۷۸۸/۲۴	۰ - ۰/۲

نتایج حاصل از ارزیابی صحت به روش کاپا نشان داد که نقشه پهنه‌بندی دارای ضریب کاپای ۰/۸۷ و دقت کلی ۹۰٪ می‌باشد.

نتایج مطالعه دیگران در گذشته نشان می‌دهد که روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره از صحت بالایی برخوردارند. از جمله این نتایج می‌توان به مطالعات چویکو و کنگالتون<sup>۱</sup> (۱۹۸۹)، وادروو (۲۰۰۹)، دانگ (۲۰۰۵)، محمدی و همکاران (۲۰۱۰)، سلامتی (۲۰۱۱)، سومیا و سوماشکار<sup>۲</sup> (۲۰۱۰)، لوزانو<sup>۳</sup> (۲۰۰۸)، ادب<sup>۴</sup> (۲۰۱۳)، چاندرا<sup>۵</sup> (۲۰۰۶) و پاز (۲۰۱۱) اشاره کرد که مناطق آتش‌سوزی واقعی منطقه مورد مطالعه‌شان با مناطق دارای ریسک آتش‌سوزی مطابقت دارد.

### نتیجه‌گیری

آتش‌سوزی اثرات مخرب بر محیط زیست می‌گذارد (لنتیله<sup>۶</sup>، ۲۰۰۶). برای به حداقل رساندن این تهدید در جنگل مدیران باید شناخت کامل از فرآیند آتش‌سوزی‌های گذشته داشته باشند و تحلیل مکانی وقوع آتش‌سوزی‌ها در هر منطقه صورت گیرد و بعد از شناخت کامل از فرآیندهای زمانی و مکانی می‌بایست استراتژی‌های حفاظتی برای هر منطقه را طراحی کنند. لازمه این طراحی توانایی در پیش‌بینی، تحلیل مکانی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر آتش است (شتایی، ۱۳۹۲). هدف از انجام این مطالعه، تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی به منظور کنترل و پیشگیری از وقوع آتش‌سوزی در جنگل منطقه دوهزار و سه هزار، در حوضه آبخیز ۳۳ و ۳۴ شمال کشور ایران می‌باشد.

بر اساس نتایج بدست آمده از تحقیق، ۲۱ درصد از اراضی منطقه دارای ریسک خیلی زیاد و ۱۳ درصد از منطقه دارای ریسک زیاد می‌باشد. در ضمن وزن نهایی بدست آمده از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای نشان می‌دهد که عوامل اکولوژیکی با وزن ۰/۳۵۸ از بین سایر معیارها بیشترین تأثیر را در آتش‌سوزی دارند. همچنین از بین شاخص‌ها، شاخص فاصله از مراکز تجمع توربسم، سرعت باد و پوشش گیاهی از بالاترین وزن‌ها در تعیین پهنه‌بندی آتش‌سوزی برخوردارند. نتایج حاصل از ارزیابی صحت نشان داد که نقشه نهایی پهنه‌بندی دارای دقت کلی بالا می‌باشد که این خود گواهی بر درستی انجام روش می‌باشد.

روش ترکیب خطی وزنی، یکی از روش‌های پارامتریک مدل‌سازی است که قابلیت اولویت‌بندی مناطق با پهنه‌های متفاوت را دارد (میردیلیمی، ۱۳۹۴). روش ترکیب خطی وزنی در عین ساده بودن، کارایی خوبی در مدل‌سازی خطر وقوع آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی دارد و می‌توان آن را به عنوان یک مدل مناسب در برنامه مدیریت آتش‌سوزی در جنگل‌ها به کار گرفت.

یکی از معضلات برنامه ریزی‌های مدیریت جنگل، در زمینه آتش‌سوزی، فقدان نقاط آتش‌سوزی ثبت شده می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌گردد ابتدا اطلاعات آتش‌سوزی بصورت دقیق توسط دستگاه‌های مربوطه ثبت و به صورت رقومی در

1- Chuvieco and Congalton  
2- Sowmya and Somashekar  
3- Lozano  
4- Adab  
5- Chandra  
6- Lentile

بانک اطلاعاتی ذخیره شود. همچنین جهت مقابله با آتش‌سوزی در مناطق با خطر زیاد می‌توان با ایجاد آتش‌بر و آتش بند در مناطق حساس، برج دیده بانی، نصب تابلوهای هشدار خطر آتش در مسیر حضور گردشگران، فرهنگ سازی در ارتباط با حفظ جنگل و استفاده صحیح از آن، احداث مسیرهای دسترسی، استفاده از بالگرد، احداث مسیرهای دسترسی قبل از وقوع آتش‌سوزی، ایجاد مخازن آب در مناطق با احتمال آتش‌سوزی بالا، پیشگیری‌های لازم را به عمل آورد.

### منابع

- اسکندری سعیده (۱۳۹۳). ارزیابی پتانسیل خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از مدل Dong. آمایش جغرافیایی فضا، سال پنجم، شماره ۱۵، صص ۲۰۳-۱۹۰.
- زرع کار آزاده؛ زمانی بهاره؛ قربانی ساره؛ عاشق معلا مریم؛ جعفری حمیدرضا (۱۳۹۲). تهیه نقشه پراکندگی فضایی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۲۱ شماره ۲، صص ۲۳۰-۲۱۸.
- شتائی شعبان؛ میردیلیمی طیبه؛ کاووسی محمد رضا (۱۳۹۲). پهنه بندی خطر آتش‌سوزی در پارک ملی گلستان با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی، جنگل ایران، سال پنجم، شماره ۴، صص ۳۹۰-۳۷۷.
- فرامرزی حسن؛ حسینی سید محسن؛ قجر اسماعیل؛ غلامعلی فرد مهدی (۱۳۹۳). ارائه مدلی برای خطر آتش‌سوزی در بوستان ملی گلستان، مدیریت بحران، شماره ۵، صص ۸۷-۷۹.
- فرقانی علی؛ یزدانشناس نیما؛ آخوندی علیرضا (۱۳۸۶). ارایه چارچوبی برای مکانیابی مراکز صنعتی در سطح ملی همراه با مطالعه موردی، فصلنامه دانش مدیریت، شماره ۱۱، صص ۱۰۴-۸۱.
- کاظمی سید محمود (۱۳۸۴). آتش و اکوسیستم‌های جنگلی، دام، کشت و صنعت، شماره ۷۰، صفحه ۴.
- محمدی فریده؛ شعبانیان نقی؛ پورهاشمی مهدی؛ فاتحی پرویز (۱۳۸۸). تهیه نقشه خطرات آتش‌سوزی با استفاده از AHP و GIS در بخشی از جنگل‌های پاوه، فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، شماره ۱۸، صفحه ۵۸۱.
- محمدزاده، راضیه؛ فلاحی علیرضا (۱۳۸۶). «تمهیدات کاهش خطر آتش‌سوزی جنگل در مناطق شهری». مجموعه مقالات سومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه (۲۹ بهمن تا ۳۰ بهمن ۱۳۸۶)، تهران، صفحه ۲.
- منصوری نبی‌الله؛ نظری رحیم؛ نصیری پروین؛ فراگوزلو علیرضا (۱۳۹۰). تدوین برنامه مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل با تکنولوژی RS و GIS، کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و برنامه ریزی، سال دوم، شماره ۳، صص ۷۳-۶۳.
- میردیلیمی طیبه؛ شتائی شعبان؛ کاووسی محمدرضا (۱۳۹۴). پهنه بندی ریسک خطر آتش‌سوزی در پارک ملی گلستان با استفاده از رگرسیون لجستیک، نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، شماره اول، صص ۱۶-۱.
- Adab, H. Kanniah, K. D. Solaimani, K. (2013), Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques *Natural Hazards*, 65, 1723-1743.
- Chuvieco, E. Kasischke, E.S. (2007). Remote sensing information for fire management and fire effects assessment *Journal of geophysical research, bio-geosciences*, 112.
- 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.
- Chuvieco, E. Salas, J. (1994), Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(3), 333-345.

- Chandra, S. aurora, M. K. (2006), Forest fire risk zonation mapping using remote sensing technology (proceedings paper). Journal of spice (abstract). 1-2 p.
- Chandra, S. (2005), Application of Remote Sensing and GIS Technology of Forest Fires, A Case Study in the Garhwal Himalayan Region, P. Van Oosterom, S. Zlatanova, M. E. Fendel (Eds.), Geo-Information for Disaster Management. Springer Berlin Heidelberg, p. 1434, pp. 1239-1254.
- Dimopoulou, M. Giannikos, I. (2004). Towards an integrated framework for forest fire control, European Journal of Operational Research, 152(2), 476-486.
- Dong, XU. Shao, G. Limin, D. Zhanqing, H. Lei, T. Hui, W. (2006), Mapping frost fire risk zones with spatial data and principal component analysis, science in China. series E Technological Science 49:140-149
- Encinas, L.H. White, S.H. Del Rey, A.M. Sanchez, G.R. (2007), Simulation of forest fire fronts using cellular automata, Advances in Engineering Software, 38, 372-378.
- Gerdzheva, A.A. (2014), A Comparative Analysis of different wildfire risk assessment models (a case study for smolyan district, Bulgaria, European Journal of Geography, Vol. 5(3), pp. 22-36.
- Giglio, L. (2005), MODIS Collection 4 active fire product user's guide version 2. 2, Science systems and application, 35-37p.
- Iliadis, L.S. (2005), A decision support system applying an integrated fuzzy model for long-term forest fire risk estimation. Environmental Modeling & Software, 20(5), 613-621.
- Jaiswal, R.K. Mukherjee, S. Raju, D.K. Saxena, R. (2002), Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 4 (2002). pp.1-10.
- Lentile, L. B Holden, Z.A. Smith, A.M.S. Falkowski, M. J. Hudak, A.T. Morgan, P. (2006), Remote Sensing Techniques to Assess Active Fire Characteristics and Post- Fire Effects. International Journal of Wildland Fire, Vol. 15, pp. 319-345.
- Lillesand, T. M. Kiefer, R.W. (1999), Remote Sensing and Image Interpretation. New York, John Wiley, and Sons.
- Lozano, F.J. Suárez-Seoane, S. Kelly, M. Luis, E. (2008), A multi-scale approach for modeling fire occurrence probability using satellite data and classification trees, A case study in a mountainous Mediterranean region. Remote Sensing of Environment, 112: 708-719.
- Lymberopoulos, N. Papadopoulos, C. Stefanakis, E. Pantalos, N. Lockwood, F. (1996), A GIS -based forest fire management information system. EARSel Journal-Advances in Remote Sensing, 4(1), 68-75.
- Malczewski, J. (1999), GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley&Sons, pp 392.
- Martínez, J. Vega-García C. Chuvieco, E. (2009), Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain, Journal of Environmental Management, 90(2): 1241-1252.
- Marozas, V. Racinskas J. Bartkevicius, E. (2007), Dynamics of ground vegetation after surface fires in hemi boreal Pinus sylvestris forests, Forest Ecology and Management, 250(1- 2): 47-55.
- Marvi Mohajer, M. R. 2005. Silviculture, University of Tehran Press, 387p. (In Persian)
- Merrill, D. F. Alexander, M.E. (1987), Glossary of forest fire management terms (4th ed.)National Research Council of Canada, Canadian Committee on Forest Fire Management, Publication NRCC No. 26516, Ottawa, Ontario, 225p.
- Rajabi, M. Alesheikh, A. Chehregan, A. Gazmeh, H. (2013), An innovative method for forest fire risk zoning map using Fuzzy interference system and GIS. International journal of scientific and technology, 2, 57-64.
- Rajabi, F. Shabaniyan, N. Pourhashemi, M. Fatehi, P. (2010), Risk zone mapping of forest fire using GIS and AHP in a part of Pavah Forests. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 18(4), 569-586.
- Oliveira, T. (2005), The Portuguese National Plan for Prevention and Protection of Forest against Fires: the First Step. International Forest Fire News, Lisbon, Portugal, 30 - 34.
- Paz, SH. Carmel, Y. Jahshan, F. Shoshany, M. (2011), Post-fire analysis of pre-fire mapping of fire risk: A recent case study from Mt. Carmel. Forest Ecology and Management. 262: 1184-1188.
- Perera, A.H. Cui, W. (2010), Emulating natural disturbances as a forest management goal, Lessons from fire regime simulations. Forest Ecology and Management. No, 259, 1328-1337.
- Preisler, H.K. Westerling, A.L. (2004), Statistical model for forecasting monthly large wildfire events in the western United States. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 46(7): 1020-1030.
- Rajeev Kumar, J. Saumitra M. Kumaran D. R, Rajesh S. (2002), Forest Fire Risk Zone Mapping from Satellite Imagery and GIS, Int. J. of App. Earth Obs. & Geo-info., 4(2004), 1-10.
- Saaty, T. L. (2000), "Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process", Pittsburg: RWS Publications.



- Salamati, H. Mostafa Lou, H. Mastoori, A. Honardoust, F. (2011), "Assessment and mapping forest fire risk using GIS in Golestan province forests". Abstracts of 1st International Conference on Wildfire in Natural Resources Lands, Iran, 26-28 Oct. 10 p.
- Salamati, H. Mostafalou, H. Mastoori, A. 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)
- Sarkargar Ardakani, A. Valdan Zouj, M. Mansoorian, A. (2009), Spatial analysis of fire potential in Iran different region by using RS and GIS. *Journal of Environmental Science*, 35(52), 25-34.
- Sowmya, S. V. Somashekar, R. K. (2010), Application of remote sensing and geographical information system in mapping forest fire risk zone at Bhadra wildlife sanctuary, India. *Journal of Environmental Biology*. 31(6), 969-974.
- Vadrevu, K.P. Eaturu, A., and Badarinath, A.V.S. (2009), Fire risk evaluation using multi-criteria analysis, (a case study). *Journal of Environmental Monitoring Assessment*. 166, 223-239.
- Taghizade Mehrjerdi, R. Zareiean Jahromi, M. Mahmoodi, Sh. Heidari, A. Sarmadi, F. (2008), The evaluation of spatial interpolation for determining the qualification of undergrounded water Variation (Case study, Rafsanjan plain), science and engineering of aquifer, 2(5), 64-72( In Persian).
- Vasilakos, C., K. Kalabokidis, J. Hatzopoulos, G. Kallos, Matsinos, Y. (2007), Integrating new methods and tools in fire danger rating. *International Journal of Wild Land Fire*, 16(3), 306-316.
- Xu, D. Dai, L.M. Shao, G.F. Tang, L. 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.
- Zhang, Z.X. Zhang, H.Y. Zhou, D.W. (2009), Using GIS spatial analysis and logistic regression to predict the probabilities of human-caused grassland fires. *Journal of Arid Environments*, 74, 386-393.

## Forest fire risk assessment using WLC and ANP (Case study: 33 and 34 watersheds north of Iran)

Elham.Goleiji<sup>1</sup>, Seyed Mohsen Hoseini<sup>\*2</sup>, Nematollah khorasani<sup>3</sup>, Seyed Masoud Monavari<sup>4</sup>

Received: 2016-12-04

Accepted: 2017-06-25

### Abstract

Forest fires are a major environmental problem that led to the economic and environmental damages. Forest fires are one of the environmental hazards in Iran. Naturally, it is impossible to control the forest fires. By the use of forest fire risk maps, we can identify the areas with high risk of fire and reduce the fires as well as possible. Preparing the map of forest fire risk areas as a strategy is necessary for protecting the forests against fire. In this paper, in order to prepare the forest fire risk zoning, at first the effective criteria's and indices are identified by Delphi technique, and all of the criteria's and the indexes were normalized by Fuzzy logic. And also the weights of criteria prepared with Analytical Network Process, then by using GIS system and integrating it with Weighted Linear Combination methods (WLC) the map of zonation of the forest fire risk in the study area was carried out. To assess the accuracy of the evaluation, the results obtained from the study were compared with the past year's fire history data of studied area. This was done using the Kappa coefficient test. The results of the comparison indicated that the prepared map has 90% accuracy for Kappa coefficient test. This result showed that the prepared map had high accuracy and efficacy.

**Keywords:** Forest fire hazard risk assessment, ANP, Fuzzy, WLC, North of Iran.

<sup>1</sup>- PhD Student, Department of Environmental Science, Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

<sup>2\*</sup>- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Research and Marine Science, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Iran

Hosseini@modares.ac.ir

<sup>3</sup>- Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

<sup>4</sup>- Professor Assistant, Department of Environmental Science, Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran