CERTIFICATE

Article Acceptance

The 2St International Conference of GIScience:

Basis & Trans/Interdisciplanary Applications

6th FUM-GIS Day

Certifies that article titled:

Fire Risk Zoning in Hezar Masjed Forest Using GIS and Application of AHP Process

By:

Amir Ansari , Mohammad Farzam , Morteza Akbari , Mahmood Azami Rad , Saeed Jahedi Pour

Has accepted in:

The 2St International Conference of GIScience:Basis & Trans/Interdisciplanary Applications
20 December 2021, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Scientific Secretary
Dr. Masoud Minaei

Ferdowsi University of Mashhad

International Conference of GIScience: Basis and Trans/ Interdisiciplanary Applications
دومین همایش بین المللی
علم اطلاعات جغرافیایی
بنیادها و کاربردهای بین رشته ای
ششمین بزرگداشت روز جهانی GIS
6th FUM_GISDay
2021/1400

پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در جنگل ارس هزار مسجد با استفاده از GIS و کاربرد فرآیند AHP

امیر انصاری[۱*]، محمد فرزام[۲]، مرتضی اکبری[۳]، محمود اعظمی راد[۴]، سعید جاهدی پور[۵]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی مرتع، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد
[۲] استاد گروه آموزشی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد
[۳] استادیار گروه آموزشی مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد
[۴] دکتری تخصصی سازه های آبی و کارشناس آموزشی دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد
[۵] دکتری تخصصی اگرواکولوژی و پژوهشگر اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی، مدرس دانشگاه جامع علمی کاربردی
*Email: nabzesabz1390@gmail.com

چکیده

آتش سوزی از مهم ترین آشفتگی های اکولوژیکی است که سبب تغییر خصوصیات پوشش گیاهی و خاک می شود. هدف این مطالعه، پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در جنگل ارس هزار مسجد و اولویت بندی مناطق از نظر شدت حساسیت به آتش سوزی است. به منظور پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه، از دو روش تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل سلسله مراتبی - فازی استفاده شد. در مجموع هفت پارامتر شامل درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از منطقه مسکونی و کاربری اراضی به منظور پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی استفاده شدند. در نهایت، عملکرد مدل ها با استفاده از منحنی **ROC** مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل منحنی ویژگی عملگر نسبی نشان داد که مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی و سلسله مراتبی- فازی به ترتیب دارای مقدار **AUC** برابر ۰/۸۴۷ و ۰/۸۳۷ می‌باشند. نتایج پژوهش نشان داد که درصد مناطق با پتانسیل خطر آتش‌سوزی متوسط تا خیلی زیاد در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (۳۱/۹ درصد) نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی (۵۶/۵ درصد) کمتر بوده است. با توجه به نتایج وزندهی و اولویت‌بندی معیارها مشخص شد که معیار کاربری اراضی با امتیاز ۰/۲۰۸ دارای بیشترین اهمیت و لایه ارتفاع از سطح دریا با امتیاز ۰/۱۰۲ دارای کمترین اهمیت می‌باشد در پایان، می‌توان نتیجه گرفت که دستیابی به یک نقشه پیش‌بینی مکانی دقیق می‌تواند به مدیران در شناسایی مناطق حساس به وقوع آتش‌سوزی جهت مدیریت بحران نواحی مستعد کمک شایانی بنماید.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، پتانسیل خطر، پهنه بندی، جنگل و مرتع.

* نویسنده مسئول مکاتبات: شماره تماس(۰۹۳۶۶۳۹۲۰۳۲)

Fire risk zoning in Hezar Masjed forest using GIS and application of AHP process

Amir Ansari[1*], Mohammad Farzam[2], Morteza Akbari[3], Mahmood Azami Rad[4], Saeed Jahedi Pour[5]

[1]Master student of Rangeland Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
[2]Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
[3]Assistant Professor, Department of Arid and Desert Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
[4]Ph.D. in water structures and educational expert in the Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
[5]Ph.D. in Agroecology and Researcher of the General Department of Natural Resources and Watershed Management of Khorasan Razavi Province, Lecturer at the University of Applied Science and Technology, Mashhad, Iran.
**Email: nabzesabz1390@gmail.com*

Abstract:
Fire is one of the most important ecological disturbances that cause changing the soil and vegetation characteristics of the rangelands. The aim of this study was to Fire risk zoning in Hezar Masjed forest using GIS and application of AHP process. Totally, 7 fire conditioning factors including slope, aspect, elevation, distance to river, distance to road, distance to residential area and land use were obtained from various data sources to fire hazard mapping. Subsequently, the resulting two models were validated and compared using some statistical metrics including area under the receiver operating characteristics (AUROC) curve. The AUC results introduced that the two model have success rates 0.847 and 0.837 for AHP and AHP-Fuzzy respectively. The results showed that the percentage of areas with moderate to very high fire risk potential in the fuzzy hierarchical analysis method (31.9 %) was less than the hierarchical analysis method (56.5 %). According to the results of weighting and prioritization of criteria, it was found that land use criterion with a score of 0.208 is the most important and sea level elevation with a score of 0.102 is the least important. In general, it can be said that a rigorous spatial forecasting map can help managers and planners in identifying fire sensitive areas for disaster management.
Keywords: Fire, Forest and pasture, Risk potential, Zoning.

۱ – مقدمه

آتش‌سوزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل آشفتگی طبیعی اکوسیستم‌های جنگلی، تأثیر زیادی بر منابع جنگلی، تغییرات اقلیمی و توالی‌های اکولوژیکی دارد (Jin et al., 2021). آتش‌سوزی یکی از مهم‌ترین عوامل مخرب جنگل‌ها محسوب شده، همواره این اکوسیستم‌های حیاتی را تهدید می‌کند (Marozas et al., 2007). آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع سالانه هزاران هکتار از درختان، درختچه‌ها و گیاهان را طعمه ی خود می‌سازد. به‌طوری که میانگین سالانه حریق در جنگل‌های جهان شش تا چهارده میلیون هکتار تخمین زده شده است (Encinas etal., 2007). حریق در صورت وسعت، شدت و تکرار در یک مرتع، سبب تغییر ارزش کیفی گونه‌ها شده و به ظهور گونه‌های پست و نامرغوب می انجامد که از نظر تجاری ارزشی ندارند حریق های مهیب علاوه بر خسارات اقتصادی، آلودگی های زیست‌محیطی را نیز به دنبال دارد. همچنین آتش‌سوزی جنگل با منشأ طبیعی یا انسانی، اثرات زیان‌بار و ویرانگری را بر زندگی بشر برجای می‌گذارد (Podur et al, 2002).

بسیاری از آتش سوزی ها توسط عوامل انسانی و تنها بخش کمی از آن به‌وسیله عوامل محیطی و خود طبیعت به وجود می آید. آتش‌سوزی‌های طبیعی و ایجاد شده توسط بشر باعث تغییرات منظر و ایجاد یک آشفتگی اکولوژیکی می شود که بر چرخه طبیعی پوشش گیاهی و ساختار اکوسیستم تأثیر می گذارد (زرع کار و همکاران، ۱۳۹۲). آتش به‌عنوان یکی

از عوامل اصلی اختلال و تغییر در بیشتر اکوسیستم‌های طبیعی محسوب می‌شود (Pew and Larsen, 2011). آتش سوزی در جنگل‌ها و بوته-زارها نه‌فقط از دیدگاه محیط‌زیستی، بلکه از نقطه نظر اقتصادی و اجتماعی و امنیتی یکی از اصلی‌ترین موضوعات و نگرانی‌ها در بسیاری از نقاط جهان است (Merino et al., 2010).

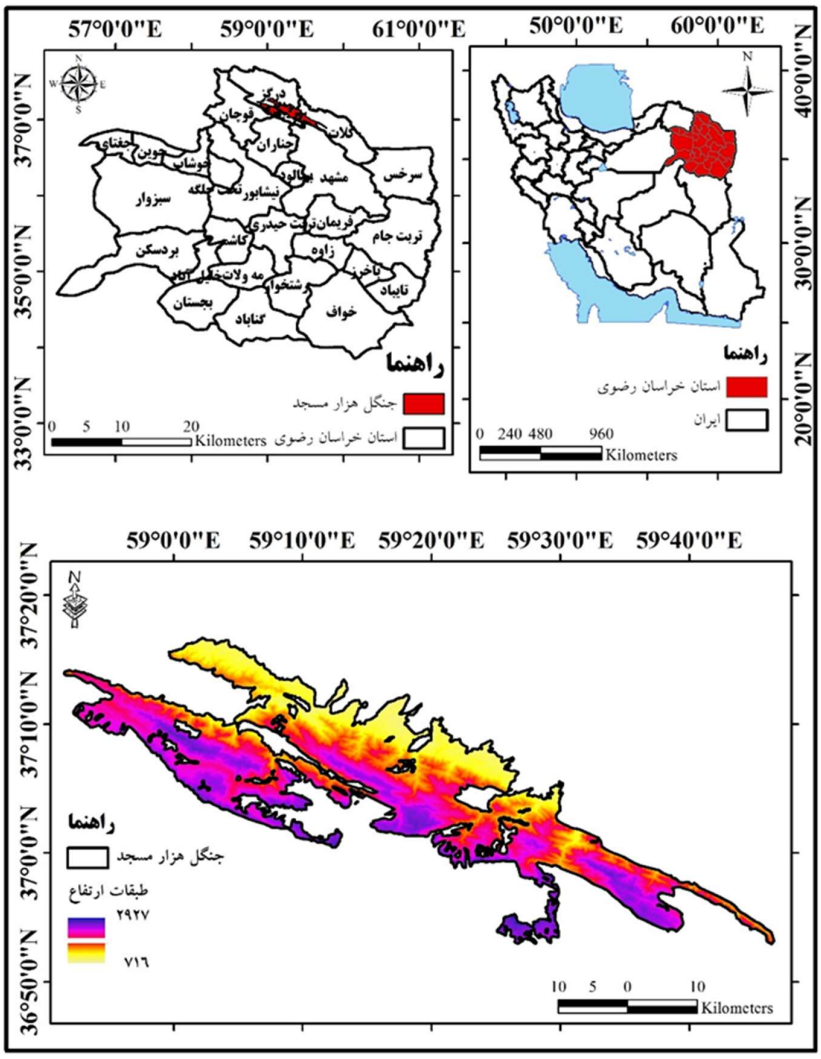
آتش پدیده تخریبی است که می تواند به‌شدت به پوشش گیاهی و خاک آسیب برساند و بدین ترتیب مانع برخی عملکردهای اکوسیستمی مانند نگهداری منابع آب، محافظت از فرسایش خاک و تجمع مواد غذایی می شود و همچنین موجب تغییر فیزیولوژی، میزان و بازده فتوسنتز پوشش گیاهی نیز می شود که در نتیجه بر قدرت رقابت و مراحل توالی تأثیرگذار (بانج شفیعی و همکاران، ۱۳۸۸) و بر ویژگی‌های معدنی ، بیولوژیکی خاک نیز تأثیر گذاشته و موجب تغییراتی می شود (نظری و همکاران،۱۳۹۱).

۲- داده ها و روش تحقیق

این پژوهش در جنگل ارس هزار مسجد انجام شده که در شمال استان خراسان رضوی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه در محدوده شهرستان‌های درگز، قوچان، چناران، کلات و مشهد واقع شده که مساحت آن ۷۹۷۳۹/۷ هکتار می‌باشد. منطقه مورد مطالعه بین ″۳۶ ′۵۱ °۵۸ تا ″۴۱ ′۴۷ °۵۹ طول جغرافیایی شرقی و ″۴۴ ′۱۶ °۳۷ تا ″۳۸ ′۵۳ °۳۶ عرض جغرافیایی شمالی قرار گرفته است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان خراسان رضوی و ایران در شکل (۱) نشان داده شده است.

هزارمسجد یا رشته‌کوه هزارمسجد، ارتفاعات شمال خراسان را تشکیل می‌دهد که به صورت مرزی طبیعی دشت هموار مشهد را از صحرای سرد و خشک قره‌قوم ترکمنستان جدا می‌کند. بلندترین نقطه این رشته‌کوه، قله هزارمسجد با ارتفاع حدود ۳۱۴۰ متر در شمال‌غربی شهر مشهد قرار گرفته‌است و راه دسترسی به آن از دو مسیر جبهه جنوبی (جاده ماشین‌رو) آن و جبهه شمالی روستای لائین نو می‌باشد. این رشته‌کوه از شمال‌غربی به سمت جنوب‌شرقی امتداد یافته‌است که در دامنه‌های سرسبز شمالی این رشته‌کوه، منطقهٔ کلات نادری، در کوهپایه‌های شمالی دشت قره‌قوم ترکمنستان، در شمال‌غربی آن شهرستان درگز و در جنوب این کوهستان دشت مشهد واقع گشته‌است.

در ادامه آن رشته‌کوه مزداوند (مزدوران) به ارتفاع ۱۲۰۰ متر، قره‌داغ به ارتفاع ۱۶۵۰ متر، کپه‌داغ و بالخان ترکمنستان کشیده شده‌است. بخشی از کوه‌های هزارمسجد را کپه‌داغ می‌نامند. در امتداد جاده درگز - قوچان، رشته‌کوهی به نام الله‌اکبر خوانده می‌شود. (سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۱۳۹۹).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲-۱- گردآوری داده

اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش شامل:

- نقشه ۱:۵۰۰۰۰ کاربری اراضی که از اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی تهیه شد.
- مختصات نقاط آتش‌سوزی در سنوات گذشته که از اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی تهیه شد.
- لایه رقومی منطقه شامل خطوط میزان منحنی، جاده، سکونتگاه‌ها و انشعاب رودخانه‌ها

۲-۲- نرم‌افزارهای مورد استفاده

نرم‌افزارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل Expert Choice نسخه ۱۱، ArcGIS نسخه ۱۰.۳ و EXCEL بود. نمودار درختی و فرایند انجام مطالعه در شکل (۲) ارائه شده است.

۳-روش پژوهش

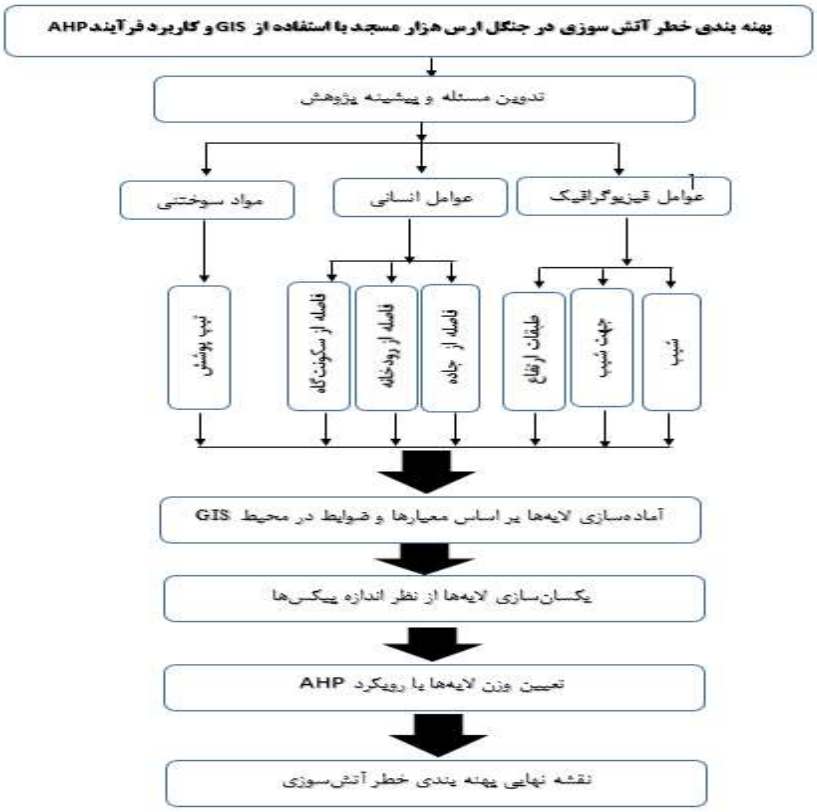
۳-۱- روش تجزیه‌وتحلیل

روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی آتش‌سوزی استفاده شده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به روش تحلیل سلسله مراتبی، نسبت فراوانی، شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی و رگرسیون لجستیک اشاره کرد. یکی از مهم‌ترین اقدامات در

پهنه‌بندی آتش‌سوزی تعیین عوامل تأثیرگذار بر آنهاست که انتخاب درست این عامل‌ها رابطه مستقیم با دقت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر دارد.

۳-۲- عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی

برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی، در ابتدا عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی در منطقه شناسایی شدند. در این مطالعه عوامل سه‌گانه فیزیوگرافی (ارتفاع (فرهی آشتیانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Nuthammachot etal., 2021)، شیب (فرهی آشتیانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ بیگی حیدرلو و همکاران، ۱۳۹۴؛ Mato etal., 2019) و جهت شیب (بهزادی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Mato etal., 2019) ، مواد سوختنی (پوشش گیاهی (بیگی حیدرلو و همکاران، ۱۳۹۴)) و عوامل انسانی (فاصله از جاده (بهزادی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Mato etal., 2019) ، فاصله از رودخانه (Nuthammachot etal., 2021؛ بیگی حیدرلو، ۱۳۹۴) و فاصله از سکونتگاه (بهزادی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Nuthammachot etal., 2021) در نظر گرفته شدند.



شکل ۲- نمودار درختی و معیارهای مورد استفاده

۳-۳-روش تحلیل سلسله مراتبی- فازی

در تئوری کلاسیک مجموعه‌ها، یک عنصر یا عضو مجموعه است یا نیست (صفر و یک). تئوری مجموعه‌های فازی این مفهوم را گسترش داده و عضویت درجه‌بندی‌شده را مطرح می‌کند. به‌این‌ترتیب که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی و نه کاملاً، عضو یک مجموعه باشد. به‌بیان‌دیگر یک مجموعه فازی، مجموعه‌ای از المان‌ها با ویژگی‌های مشابه است که در آن، مجموعه درجه‌ای مشخص از صفر تا یک را دارد. صفر به معنی عدم عضویت و یک به معنی عضویت کامل است (دمان و همکاران، ۲۰۰۶)؛ بنابراین، قبل از اجرای مدل فازی نیاز است که برای هر یک از لایه‌های اشاره شده در فوق توابع عضویت تعیین گردد و ارزش لایه‌ها در بازه ای بین (صفر و یک) قرار گیرد و سپس لایه‌ها وارد مدل فازی گردند.

برای اجرای تکنیک فازی نیاز به عملگر گاما می‌باشد، مقدار گامای تعدیل‌کننده بین صفر و یک است، گامای صفر معادل ضرب فازی و گامای یک معادل جمع فازی می‌باشد. بر همین اساس وزندهی به هر یک از این پارامترها بر اساس تأثیر نسبی که در پهنه‌بندی دارند با استفاده از منطق فازی انجام می‌گیرد و در هر نقشه فاکتور فازی، ارزش هر یک از کلاس‌ها و واحدهای موجود با درجات عضویت فازی حد واسط بین صفر تا یک مشخص می‌گردد. درنهایت لایه‌های فازی شده با استفاده از عملگر فازی گامای ۰/۸ با هم ترکیب می‌شوند. (متولی و اسماعیلی، ۱۳۹۱؛ شادفر، ۱۳۹۳).

تئوری فازی در تحلیل مسائل مکانی استفاده می‌شود. انسان‌ها عناصر هوشمند طبیعت هستند که برای درک محیط پیرامون خود اقدام به جمع‌آوری اطلاعات در قالب نقشه‌ها و اطلاعات توصیفی نموده و جهت نیل به اهداف خود اقدام به تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی می‌نمایند. انسان‌ها برای نظم بخشیدن و اولویت‌بندی اطلاعات نقشه‌ای، از توانایی‌های ذهنی و ابزارهای تصمیم‌گیری نظیر GIS استفاده می‌کنند. اما به دلیل محدودیت اطلاعاتی ابزارهای تصمیم‌گیری از جهان پیرامون و نیز محدودیت قدرت استدلال جامع و دقیق آنها، معمولاً با عدم قطعیت در رابطه با کفایت اطلاعات و جامعیت استنتاجات مواجه هستند. در اینجا مهم‌ترین مسئله که پیش روی است چگونگی تحت کنترل در آوردن پیچیدگی تغییرات عوارض شهری در محیط GIS است. بدین منظور بایستی از ابزارهای ساده‌سازی نظیر منطق فازی برای مصالحه بین اطلاعات در دسترس GIS و میزان عدم قطعیت قابل‌قبول استفاده کرد (عابدی و همکاران، ۲۰۲۰)

برای دستیابی بیشتر انعطاف‌پذیری و گنجایش مؤثرتر کنترل و پردازش اطلاعات نادقیق درباره جهان واقعی، تئوری مجموعه فازی در GIS مطرح شد. سلول فازی یک سیستم طراحی شده و پیاده‌سازی شده برای افزایش قراردادی نرم افزار GIS با تئوری مجموعه فازی است. توسعه GIS با منطق فازی (یک نظریه زبانی به‌عنوان مدل تفکر انسان) تنها یک راه برای بیان و کنترل نایقینی حاضر در جهان واقعی پیوسته پیشنهاد نمی‌دهد بلکه به کاربر GIS کمک می‌کند تا تصمیماتی مفید و ماهرانه در پروسه تصمیم سازی بسازد. ارزش پیدا کردن راه حل ها برای مسائل تصمیم سازی بوسیله مدل که تصمیم سازان را به تصور قیود و مفاهیم نایقینی موجود در داد ههای مکانی برای حجم بزرگ، قادر می‌سازد، بسیار بالاست (گارسیا و همکاران، ۲۰۱۷).

فرایند واکاوی سلسله مراتبی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری است. هدف تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی انتخاب بهترین گزینه بر اساس معیارهای مختلف از طریق مقایسه زوجی است. این تکنیک برای وزن دهی به معیارها نیز استفاده می‌شود. چون افزایش تعداد عناصر هر خوشه مقایسه زوجی را دشوار می‌کند بنابراین معمولاً معیارهای تصمیم‌گیری را به زیرمعیارهایی تقسیم می‌کنند (Nuthammachot and Stratoulias, 2021).

فرایند تحلیل سلسله مراتبی روشی است منعطف و قوی که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد، مورد استفاده قرار می‌گیرد (زیردست، ۱۳۸۰). فرایند تحلیل سلسله مراتبی عموماً از مراحل سه‌گانه: ۱-ایجاد درخت سلسله مراتب، ۲-مقایسه دوتایی، ۳-تعیین امتیاز نهایی گزینه‌ها و بالاخره بررسی سازگاری قضاوت‌ها تشکیل می‌گردد. روش مذکور بر اساس تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده و فازی توسط محققی به نام توماس ال ساعتی در دهه ۱۹۷۰ پیشنهاد گردید و تاکنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است (اصغرپور، ۱۳۹۲).

الف-مدل سازی

اولین مرحله در روش AHP، تجزیه نمودن مسئله تصمیم‌گیری به سلسله مراتب می‌باشد. در این مرحله، مسئله و هدف تصمیم گیری به صورت سلسله مراتبی از عناصر تصمیم که با هم در ارتباط می‌باشند، در آورده می‌شود. عناصر تصمیم شامل «شاخص‌های تصمیم گیری» و «گزینه‌های تصمیم» می‌باشد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی نیازمند شکستن یک مسئله با چندین شاخص به سلسله مراتبی از سطوح است. سطح بالاتر بیانگر هدف اصلی فرایند تصمیم گیری است. سطح دوم، نشان‌دهنده شاخص‌های عمده و اساسی که ممکن است به شاخص‌های فرعی و جزئی‌تر در سطح بعدی شکسته شود می‌باشد. سطح آخر گزینه‌های تصمیم را ارائه می‌کند (قدسی پور، ۱۳۹۸).

ب) مقایسات ترجیحی

در این روش ابتدا ماتریس مقایسه‌ای تشکیل شده و مشخصه‌ها به‌صورت زوجی مقایسه وزن (ارزش) نسبی آنها به‌طور نظری تعیین می‌شود. نسبت‌های یاد شده با مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ بیان می‌شود (جدول ۱). در این روش به‌منظور اجتناب از خطاهای شخصی، یا سلیقه‌ای در تصمیم‌گیری می‌توان از آرای گروهی متخصصان استفاده کرد؛ بنابراین در این تحقیق پس از تعیین مشخصه‌های تأثیرگذار، به‌منظور تعیین وزن نسبی آنها و به‌منظور بالا بردن صحت، پرسشنامه‌ای برای استفاده از آرای متخصصان مرتبط با موضوع طراحی می‌شود، نتایج ابتدا وارد ماتریس اولیه و سپس ماتریس نرمال می‌شود.

جدول ۱- جدول مقادیر ترجیحات برای مقایسه های زوجی (اصغرپور، ۱۳۹۲)

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	مقدار
کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر	۹
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	۷
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	۳
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت مساوی	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۲ و ٤ و ٦ و ۸

ج- محاسبات وزن‌های نسبی

قدم بعدی در فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام محاسبات لازم برای تعیین اولویت هر یک از عناصر تصمیم با استفاده از اطلاعات ماتریس‌های مقایسات زوجی است. خلاصه عملیات ریاضی در این مرحله به صورت زیر است. مجموع اعداد هر ستون از ماتریس مقایسات زوجی را محاسبه کرده، سپس هر عنصر ستون را بر مجموع اعداد آن ستون تقسیم می‌کنیم. ماتریس جدیدی که بدین‌صورت به دست می‌آید، «ماتریس مقایسات نرمال شده» نامیده می‌شود. میانگین اعداد هر سطر از ماتریس مقایسات نرمال شده را محاسبه می‌کنیم. این میانگین وزن نسبی عناصر تصمیم با سطرهای ماتریس را ارائه می‌کند (قدسی پور، ۱۳۹۸).

د-ادغام وزن های نسبی

به‌منظور رتبه بندی گزینه‌های تصمیم، در این مرحله بایستی وزن نسبی هرعنصر را در وزن عناصر بالاتر ضرب کرد تا وزن نهایی آن به دست آید. با انجام این مرحله برای هر گزینه، مقدار وزن نهایی به دست می‌آید.

و-سازگاری در قضاوت ها

گام بعدی محاسبه شاخص ناسازگاری (II) است که بر مبنای رویکرد بردار ویژه تئوری گراف محاسبه می‌گردد. چنانچه شاخص معادل ۰/۱ یا کمتر از آن باشد وزن دهی صحیح بوده، در غیر این صورت وزن دهی نسبی داده شده به معیارها بایستی تغییر یابند وزن دهی مجدداً باید انجام شود (قدسی پور، ۱۳۹۸). ساعتی برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها، نرخ ناسازگاری (IR) را به کار می‌برد که از تقسیم شاخص ناسازگاری (II) به شاخص تصادفی بودن (RI) حاصل می‌شود. درصورتی‌که نرخ سازگاری کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، در مقایسات زوجی، سازگاری وجود دارد و می‌توان کار را ادامه داد. در غیر این صورت تصمیم‌گیرنده باید در مقایسات زوجی تجدیدنظر کند (مؤمنی، ۱۳۸۹). با انجام مراحل فوق می‌توان وزن نهایی پارامترها را تهیه و ارائه نمود. میزان قابل‌قبول ارجحیت‌های داده شده بر اساس نرخ ناسازگاری،

کمتر از ۰/۱ می‌باشد. نرخ ناسازگاری در نرم‌افزار EXPERT CHOICE 11 محاسبه شده که در پژوهش حاضر نرخ تمام ناسازگاری‌ها کمتر از ۰/۰۵ به دست آمد.

فرایند تصمیم گیری در چهار سطح انجام گرفت:

۱) در سطح اول این سلسله مراتب، هدف پژوهش مبنی بر پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در جنگل ارس هزار مسجد قرار گرفت.

۲) در این سطح سه عامل اصلی که برای پهنه پندی آتش‌سوزی مد نظر بودند، تعیین شدند. این عوامل اصلی شامل عوامل فیزیوگرافی، مواد سوختنی و عوامل انسانی بودند.

۳) در این سطح، عوامل اصلی سطح دوم به تعدادی عوامل جزئی‌تر شامل ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب، جهت شیب، فاصله از منطقه مسکونی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و پوشش گیاهی تقسیم‌بندی شدند.

۴) در سطح چهارم، هر یک از عوامل و لایه‌های مطرح شده در سطح سوم، با توجه به مطالعات قبلی انجام شده به طبقات جداگانه تقسیم‌بندی شدند.

در این مطالعه، پرسشنامه مقایسات زوجی در اختیار ۳۰ نفر از کارشناسان، مدیران اجرایی، متخصصان مراکز علمی که جامعه نمونه این پژوهش را تشکیل داده اند، قرار گرفته و بعد از تکمیل پرسشنامه، پرسشنامه های مذکور گردآوری شد. اطلاعات به دست آمده از نظرات جامعه نمونه گرداوری شد و به همراه بازدیدهای میدانی از عرصه جهت شناخت بهتر منطقه و همچنین داده های موجود، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. فرآیند بررسی اطلاعات در نرم افزار Expert choice انجام گردید.

۴- نتایج و بحث

آتش سوزی های جنگلی از گذشته تا به امروز، باعث نابودی جنگل ها به‌عنوان بخش مهمی از منابع طبیعی، آلودگی هوا و از بین رفتن منابع با ارزش بسیاری شده است و از مصادیق بحران‌های طبیعی است (مروی مهاجر، ۱۳۸۵). اطلاع از مناطق مستعد و دارای پتانسیل وقوع آتش‌سوزی برای برنامه‌ریزی منطقه ای و لجستیکی و همچنین اقدامات پیشگیری و مبارزه با آتش سوزی ضروری می-باشد (Nicolete and Zimback, 2013; Schmidt et al., 2018). این موضوع می توان به‌طور مؤثری به درک فرآیندهای تخریب زمین و مدیریت پایدار خاک کمک کند. گسترش آتش‌سوزی جنگل و مراتع می‌تواند تهدیدی برای پوشش طبیعی زمین و ایمنی مردم باشد. تشخیص زود هنگام آتش سوزی برای کاهش خسارت ناشی از آتش سوزی ضروری است (Erten et al, 2004). در تحقیق حاضر، خطر آتش‌سوزی در جنگل ارس هزار مسجد با استفاده از GIS و کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل سلسله مراتبی-فازی پهنه بندی شد و عوامل مؤثر بر آن و دقت روش های استفاده شده در این موضوع مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج وزن دهی و اولویت‌بندی معیارها نشان داد که معیار کاربری اراضی با امتیاز ۰/۲۰۸ دارای بیشترین اهمیت و لایه طبقات ارتفاع با امتیاز ۰/۱۰۲ دارای کمترین اهمیت می‌باشد. در مطالعه اوگنیو و همکاران (۲۰۱۶) در برزیل، بارش (۰/۳۰۱) و تبخیر و تعرق (۰/۲۱) دارای بیشترین امتیاز و طبقات ارتفاع (۰/۰۱۸) و جهت شیب (۰/۰۲۵) کمترین امتیاز را در خطر آتش سوزی جنگل داشتند. در مطالعه قشلاقی و ولی زاده (۱۳۹۷) در جنگل‌های نوشهر، فاصله از جاده و جهت شیب کمترین تأثیر را در ایجاد آتش‌سوزی داشتند که با نتایج مطالعه حاضر مغایرت دارد. در مطالعه موسوی بیگی و میرزابیگی (۱۳۹۵) در منطقه مانشت و قلارنگ، عامل تراکم پوشش گیاهی (۰/۲۹۴)، بیشترین وزن را داشته و ارتفاع و بارش کمترین امتیاز را داشتند که این یافته‌ها با نتایج مطالعه کنونی همخوانی دارد.

بر اساس یافته های تحقیق با افزایش ارتفاع خطر آتش‌سوزی افزایش یافته به‌طوری که طبقه ارتفاعی ۲۹۲۷-۲۳۰۰ با امتیاز ۰/۲۰۹ دارای بیشترین اهمیت می‌باشد. این بخش از یافته ها با نتایج جانبازقبادی (۱۳۹۸) و اسماعیلی شریف و همکاران (۱۳۹۷) مغایرت دارد. ارتفاع از سطح دریا محل با تغییر شکل جبهه و روند انتشار آتش‌بر گستره آتش سوزی تأثیرگذار است. چنانچه در مطالعه ی در یونان، ارتفاع، تراکم پوشش گیاهی و شرایط و وضعیت باد بر انتشار حریق

تأثیرگذار شناسایی شدند (Koutsias et al, 2012).

نتایج وزن دهی و اولویت‌بندی لایه درصد شیب نشان داد که شیب بیشتر از ۵۰ درصد با امتیاز ۰/۲۵۹ دارای بیشترین اهمیت و درصد شیب کمتر از ۱۰ درصد با امتیاز ۰/۱۴۹ دارای کمترین اهمیت می‌باشد. در تحقیق آلمدیا (۱۹۹۴) در پرتغال؛ مناطق دارای پتانسیل بیشتر خطر آتش سوزی، شیب بیش از ۴۰ درصد داشتند. نتایج موسوی بیگی و میرزابیگی (۱۳۹۵) نشان داد که مناطق با شیب‌های بالای ۲۰ درصد مستعد خطر آتش‌سوزی هستند. شکل عوارض زمین، تأثیر زیادی بر توزیع آتش سوزی دارد. به‌طوری که هنگام آتش‌سوزی در مناطق شیب دار، شعله آتش تماس شدیدی با سطح زمین برقرار می‌کند و حرارت سوخت را افزایش می‌دهد و به گسترش آتش‌سوزی کمک می‌کند، بنابراین حرکت آتش‌سوزی اگر از یک قله شروع شود کندتر و از دره تندتر می‌شود، این رفتار همچنین می تواند دلیلی باشد بر اینکه چرا توپوگرافی های ناهموار می توانند یک مانع متوقف کننده آتش باشند. شیب های تندتر در افزایش سرعت گسترش آتش‌سوزی تأثیر بیشتری می‌گذارند (جانبازقبادی، ۱۳۹۸). Sebastian-Lopez و همکاران (۲۰۰۸) معتقدند که افزایش شیب در جهت مثبت موجب افزایش انتقال حرارت و افزایش شیب در جهت منفی موجب کاهش انتقال حرارت می شود.

در مقایسه بین جهت های مختلف شیب، جهت جنوبی با امتیاز ۰/۲۶۴ دارای بیشترین اهمیت در ایجاد و خطر آتش سوزی می‌باشد. این بخش از یافته ها با نتایج تحقیقات بهزادی و همکاران (۱۳۹۷)، موسی بیگی و میرزابیگی (۱۳۹۵) و محمدی و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد. جهت دامنه نقش کلیدی در رفتار آتش سوزی دارد به این دلیل که در نیمکره شمالی شیب های جنوبی استعداد مناسب تری نسبت به شیب شمالی جهت وقوع آتش سوزی دارند (جانبازقبادی، ۱۳۹۸). جهت های جنوبی به دلیل برخورداری از نور بیشتر خورشید، درجه حرارت بیشتری دریافت می کنند و متعاقباً پوشش سطح خاک دارای رطوبت کمتری خواهد بود که آن را مستعد آتش سوزی می کند.

توپوگرافی پایدارترین متغیر در مثلث رفتار آتش است. شیب، جهت، ارتفاع و ویژگی‌های توپوگرافی بر گسترش آتش (سرعت حرکت آتش) تأثیر می‌گذارد. جهت شیب بر میزان تابش خورشیدی که یک سایت دریافت می‌کند و همچنین نوع پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد. دامنه‌های رو به جنوب و غرب دارای پوشش گیاهی کمتر و بار سوخت کمتری هستند ، به‌ویژه در جنگل‌های کم ارتفاع. دامنه‌های جنوبی تابش خورشید بسیار بیشتری دریافت می‌کنند و گرم‌تر هستند ، بنابراین سوخت‌ها در فصل آتش‌سوزی زودتر و به‌طور کامل خشک می شوند. در مقابل، دامنه‌های شمالی دارای پوشش گیاهی بیشتر و در نتیجه بارهای سوختی سنگین‌تری هستند. دامنه‌های شمالی سردتر و سایه‌دارتر هستند، بنابراین خشک شدن سوخت‌ها را تا مدت طولانی در فصل آتش‌سوزی به تأخیر می‌اندازد. بااین‌حال، به دلیل بارگیری سوخت بیشتر، دامنه‌های شمالی با پوشش گیاهی زیاد می‌توانند آتش‌سوزی شدیدتری را تجربه کنند. ارتفاع با تأثیر بر میزان و زمان بارندگی و همچنین قرار گرفتن در معرض باد غالب بر رفتار آتش تأثیر می‌گذارد. ارتفاع همچنین بر خشک شدن فصلی سوخت تأثیر می‌گذارد. در ارتفاعات پایین (جایی که بیشتر زمین‌های خصوصی در آن واقع شده است) ، مواد سوختنی به دلیل دمای بالاتر و بارندگی کمتر در اوایل سال خشک می‌شوند. اما در ارتفاعات بالاتر نیز احتمال رعدوبرق و صاعقه و وجود آتش‌سوزی در اثر این عامل وجود دارد.

لایه فاصله از آبراهه دارای نقش دوگانه‌ای در وقوع آتش‌سوزی می‌باشد. فعالیت انسان در کنار شبکه‌های زهکشی و رودخانه‌ها بیشتر بوده و نقش افزاینده در وقوع آتش‌سوزی داشته و وقوع آتش‌سوزی را افزایش می‌دهد؛ اما از طرف دیگر نقش کاهنده را در وقوع آتش‌سوزی دارد چون در نزدیکی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، رطوبت بیشتر بوده و این رطوبت زیاد نقش مهارکننده و کاهش‌دهنده وقوع آتش‌سوزی را دارد (فرهی آشتیانی و همکاران، ۱۳۹۱). با افزایش فاصله از رودخانه، پتانسیل و خطر آتش‌سوزی کاهش یافته به‌طوری که فاصله بیشتر از ۲۴۰۰ متر دارای کمترین اهمیت و طبقات با فاصله کمتر از ۳۰۰ متر دارای بیشترین اهمیت در ایجاد آتش سوزی در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. آب در دسترس پوشش گیاهی ارتباط نزدیکی با وضعیت آتش سوزی جنگل دارد به‌طوری که در صورت وجود خشکسالی و خشک شدن رودخانه ها یا فاصله گرفتن از منابع آبی مانند رودخانه، مواد و پوشش گیاهی رطوبت خود را از دست می دهند و منجر به شرایط

مطلوب تری برای وقوع آتش‌سوزی می شوند (Sherstyukov and Sherstyukov, 2014; Wu et al., 2015). بر اساس نتایج، با افزایش فاصله از جاده و منطقه مسکونی، خطر آتش سوزی کاهش یافته است. این بخش از یافته ها با نتایج مطالعات صالحی و زارعی (۱۳۹۷) در کرمانشاه، بهزادی و همکاران (۱۳۹۷) در پارک ملی بمو، موسی بیگی و میرزابیگی (۱۳۹۵) در منطقه حفاظت شده مانشت و قلارنگ ایلام و موتا و همکاران (۲۰۱۹) در ماتوگروسو برزیل مطابقت دارد. حساسیت به آتش سوزی در جنگل ارتباط مستقیمی با مجاورت آن با جاده ها و مسیرهای پیاده‌روی دارد. راهروهای جاده به‌طور قابل‌توجهی بر الگوی فضایی آتش سوزی ناشی از انسان تأثیر می‌گذارد (Aguiar et al., 2012; Balch et al., 2015).

جنگل تنک به مقدار بیشتری نسبت به سایر کاربری ها مانند مراتع فقیر و زمین های کشاورزی در معرض خطر آتش‌سوزی هستند و طبقه برونزد سنگی دارای کمترین اهمیت از این لحاظ می باشند. نتایج پژوهش صالحی و زارعی (۱۳۹۷) نشان داد که پوشش جنگلی و مرتعی متراکم در فصول خشک، ریسک وقوع آتش‌سوزی را افزایش می‌دهند. ویژگی پوشش گیاهی و نوع کاربری اراضی یک عامل اصلی و مؤثر در آتش سوزی می‌باشد (Cawson et al., 2017). مراتع دارای پوشش گیاهی متراکم و خوب با اتمام فصل رویش و نزدیک شدن به فصل رخدادهای آتش‌سوزی و خشک شدن پوشش گیاهی، مواد سوختنی زیادی را فراهم می کند که به‌شدت مستعد آتش سوزی می شود.

بر اساس اولویت طبقات و وزن‌های محاسبه شده حاصل از روش AHP، بیشترین مساحت به ترتیب به طبقات با پتانسیل خطر متوسط (۳۱/۱ درصد)، پتانسیل پایین (۲۷/۸ درصد)، پتانسیل زیاد (۱۵/۷ درصد)، پتانسیل خیلی پایین (۱۰/۳ درصد) و بسیار بالا (۷/۱) اختصاص دارد. به توجه به نتایج این پژوهش، ۵۶/۵ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه در طبقات پتانسیل خطر متوسط به بالا قرار دارند. بر اساس روش ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی-فازی، ۶۸ درصد مساحت منطقه دارای پتانسیل خطر آتش سوزی پایین و خیلی پایینی هستند. ۱۶/۱ درصد منطقه پتانسیل متوسط و ۱۵/۹ درصد دارای پتانسیل خطر آتش سوزی بالا و خیلی بالایی هستند. درصد مناطق با پتانسیل خطر آتش‌سوزی متوسط تا خیلی زیاد در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (۳۱/۹ درصد) نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی (۵۶/۵ درصد) کمتر بوده است.

در مطالعه اوگنیو و همکاران (۲۰۱۶)، ۴۵ درصد از سطح جنگل های مطالعه شده برزیل در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد واقع شده بود که نسبت به مطالعه حاضر (۱۵/۶٪ در AHP و ۱۳/۴٪ در AHP-فازی) مساحت بیشتری را به خود اختصاص داده است. در مطالعه بهزادی و همکاران (۱۳۹۷)، بیش از ۴۰ درصد مساحت پارک ملی بمو در محدوده خطر بالا و بسیار بالای آتش‌سوزی تشخیص داده شد. نتایج مطالعه قشلاقی و ولی زاده (۱۳۹۷) در جنگل‌های نوشهر نشان داد که ۱۷ درصد منطقه در کلاس‌های خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد که به نتایج مطالعه ما نزدیک می باشد. در مطالعه موسوی بیگی و میرزابیگی (۱۳۹۵) حدود ۳۰ درصد از مساحت منطقه در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد از نظر احتمال وقوع آتش‌سوزی قرار دارد. در مطالعه ای دیگر، ۴۰ درصد جنگل‌های استان گلستان در طبقات پرخطر و بسیار پرخطر آتش سوزی قرار داشت (سلامتی و همکاران، ۱۳۹۰). در مطالعه بیگی حیدرلو و همکاران (۱۳۹۴) حدود ۶۰ درصد از مساحت جنگل های سردشت در آذربایجان غربی در کلاس خطر بالای آتش سوزی قرار دارند.

میزان صحت مدل تلفیقی تحلیل سلسله مراتبی-فازی و رویکرد تحلیل سلسله مراتبی جهت پتانسیل‌یابی خطر آتش‌سوزی به ترتیب ۰/۸۳۷ و ۰/۸۴۷ بوده؛ بنابراین مدل‌های مورد نظر جهت پتانسیل‌یابی خطر آتش‌سوزی دارای عملکرد مناسبی می‌باشد. اما عملکرد مدل تحلیل سلسله مراتبی جهت پتانسیل‌یابی خطر آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه بیشتر بود. در تحقیقات نوتماچت و همکاران (۲۰۲۱)، اوگنیو و همکاران (۲۰۱۶)، بهزادی و همکاران (۱۳۹۷)، موسوی بیگی و میرزابیگی (۱۳۹۵) و زرع کار و همکاران (۱۳۹۲) از GIS و AHP به منظور پهنه‌بندی آتش سوزی عرصه‌های طبیعی استفاده شد و اعتبار سنجی و صحت روش های استفاده شده را قابل‌قبول ارزیابی کردند.

ژانگ و همکاران (۲۰۰۹)، در مناطق علفزاری چین نشان دادند که احتمال خطر آتش سوزی با دما و ارتفاع رابطه مثبت و با فاصله از روستاها، جاده ها و مناطق مسکونی رابطه منفی دارد که در مورد ارتفاع و متغیرهای دسترسی با نتایج

تحقیق حاضر مطابقت دارد. در تحقیق میردیلمی و همکاران (۱۳۹۴)، وقوع آتش سوزی جنگل در پارک ملی گلستان با عوامل شیب رابطه مثبت داشته که این یافته با نتایج مطالعه کنونی همخوانی دارد.

نقشه نهایی خطر آتش سوزی، اولویت اقدامات پیشگیرانه و اجرای اقدامات حفاظتی را نشان می-دهد. تهیه نقشه خطر با صحت بالا می تواند نقش مهمی در بررسی و ارزیابی میزان حساسیت عرصه-های جنگلی و اتخاذ تصمیمات مدیریتی صحیح اطفای حریق داشته باشد و طبیعتاً در صورت عدم چاره اندیشی صحیح، این مقدار پوشش سبز موجود و باقیمانده نیز از بین خواهد رفت (بیگی حیدرلو و همکاران، ۱۳۹۴). بنابراین نقشه های تهیه شده خطر وقوع آتش سوزی می تواند در مدیریت آتش سوزی جنگل، پیشگیری به همراه جلوگیری از وقوع آتش سوزی و درنهایت اطفاء سریع آن به همراه شناسایی سریع تر مناطق آتش سوزی شده در آینده در نواحی دارای خطر بیشتر کمک کند

۵- نتیجه گیری و جمع بندی

بر اساس یافته های تحقیق با افزایش ارتفاع، احتمال وقوع خطر آتش‌سوزی افزایش یافته به‌طوری که ارتفاعات بالاتر از ۲۳۰۰ متر دارای بیشترین اهمیت می‌باشد. همچنین با افزایش مقدار درصد شیب، احتمال رخداد و خطر آتش سوزی روند افزایشی دارد و شیب بیشتر از ۵۰ درصد دارای بیشترین اهمیت بوده است. در مقایسه بین جهت های مختلف شیب، جهت جنوبی دارای بیشترین احتمال خطر آتش سوزی می‌باشد. با افزایش فاصله از رودخانه، پتانسیل و خطر آتش‌سوزی کاهش یافته به‌طوری که فاصله بیشتر از ۲۴۰۰ متر دارای کمترین اهمیت در ایجاد آتش سوزی در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. بر اساس نتایج، با افزایش فاصله از جاده و منطقه مسکونی، خطر آتش سوزی کاهش یافته است. همچنین، جنگل تنک به مقدار بیشتری نسبت به سایر کاربری ها مانند مراتع فقیر و زمین-های کشاورزی در معرض خطر آتش‌سوزی هستند. بر اساس اولویت طبقات و وزن‌های محاسبه شده حاصل از روشAHP و ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی-فازی، بیشترین مساحت به کلاس پتانسیل خطر متوسط و پتانسیل خطر خیلی پایین به ترتیب با مقادیر ۳۱/۱ و ۴۲/۲ درصد از مساحت کل منطقه اختصاص دارد. بر اساس روش AHP، 5/25 درصد منطقه دارای پتانسیل بالا و بسیار بالا در خطر آتش سوزی می باشد و بر اساس روش ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی-فازی، ۱۵/۹ درصد منطقه دارای پتانسیل خطر آتش سوزی بالا و خیلی بالایی هستند. به‌منظور اعتبارسنجی نقشه پتانسیل خطر آتش-سوزی، از منحنی ROC استفاده شد. میزان صحت مدل تلفیقی تحلیل سلسله مراتبی-فازی و رویکرد تحلیل سلسله مراتبی جهت پتانسیل‌یابی خطر آتش سوزی به ترتیب ۰/۸۳۷ و ۰/۸۴۷بوده که نشان از صحت و قابلیت اعتماد روش های مورد جهت پتانسیل یابی خطر آتش سوزی استفاده دارد.

۶- منابع

اصغرپور، موج. (۱۳۹۲). تصمیم‌گیری چندمعیاره. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ یازدهم. حاتمی نژاد، حسیا؛ حاتمی، بانج شفیعی،ع. (۱۳۸۵). اثرات آتش‌سوزی بر روی خصوصیات اکولوژیکی سری ۴جنگل چیلر حوه ۴۵گلبند، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۶۰صفحه.

بانج شفیعی،ع.، اکبری نیا،م.، جلالی، غ.، و علیجانپور، ا. (۱۳۸۸). تأثیر آتش سوزی جنگل بر رویش قطری گونه های راش و ممرز (مطالعه موردی: جنگل خیرود). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل وصنوبر ایران، ۱۷(۳): ۴۷۴-۴۶۴.

بهزادی، ح.، محتشم نیا، س. و قره داغی، ح. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی مراتع و جنگل ها با استفاده از GISو مدل AHP (مطالعه موردی: پارک ملی بمو). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۲۵(۲): ۸۲۸-۸۱۷.

بهزادی، ح.، محتشم نیا، س.، قره داغی، ح، (۱۳۹۷). پهنه بندی خطر آتش سوزی مراتع و جنگل ها با استفاده از GISو مدل AHP (مطالعه موردی: پارک ملی بمو(، فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۵ (۴): ۸۱۷-۸۲۸.

بیگی حیدرلو، ه.، بانج شفیعی، ع. و عرفانیان، م. (۱۳۹۴). ارزیابی روش ترکیبی خطی وزنی فازی در تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی جنگل (مطالعه موردی: جنگل‌های سردشت). علوم فناوری چوب و جنگل. ۲۲(۳): ۳۸-۲۹.

جانبازی قبادی، غ. ر. (۱۳۹۸). ررسی مناطق خطر آتش‌سوزی جنگل در استان گلستان، بر اساس شاخص خطر

آتش‌سوزی(FRSI) با بهره گیری از تکنیک .(GIS)تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۶(۳): ۱۰۲-۸۹.

جلالی، ا. م. (۱۳۷۹). آتش ویرانگر جنگل و مرتع. چاپ موسسه توسعه روستایی ایران. چاپ اول.

حسن زنده‌دل (۱۳۷۷)، کتاب استان خراسان، نشر ایرانگردان

زرع کار، آ.، زمانی، ب.، قربانی، س.، عاشق معلا، م.، و جعفری، ح. (۱۳۹۲). تهیه نقشه پراکندگی فضایی خطر آتش سوزی جنگل با استفاده از روش تصمیم گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: سه حوزه جنگلی در استان گیلان). فصلنامهٔ علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۲۱(۲): ۲۱۸-۲۳۰.

زیردست، ا. (۱۳۸۰). کاربرد فرایند تحلیل سلسله مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. نشریه هنرهای زیبای دانشگاه تهران. ۱۰: ۲۱-۱۳.

شادفر، ص. (۱۳۹۳). کاربرد منطق فازی در بررسی فرسایش خندقی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه طرود). پژوهش اطلاعات جغرافیایی. ۲۳ (۹۲): ۴۲-۳۶.

صالحی، س. و زارعی، ز. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی مناطق دارای ریسک بالای آتش‌سوزی در جنگل ها با استفاده از GIS (مطالعه موردی جنگل‌های استان کرمانشاه). جغرافیا و روابط انسانی. ۱(۱): ۳۱۹-۳۰۴.

عابدی قشلاقی، ح. و ولی زاده، خ. (۱۳۹۷). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از تکنیک های تصمیم گیری چندمعیاره و .GIS مجله مخاطرات محیط طبیعی. ۱۵: ۶۶-۴۹.

علائی طالقانی، م. (۱۳۸۲). ژئومورفولوژی ایران. چاپ دوم. انتشارات قومس.

فرهی آشتیانی، ا.، قدس خواه، م.، محمدی، ک. و امین املشی، م. (۱۳۹۱). بررسی مناطق حساس و بحرانی آتش‌سوزی با تاکید بر خشکسالی با استفاده ازAHP ، PDSIو GIS (مطالعه موردی: جنگل سراوان استان گیلان). تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل ها و مراتع ایران. ۱۰(۲): ۱۰۱-۸۳.

قدسی پور، ح. (۱۳۹۸). فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در تصمیم‌گیری. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. چاپ دوازدهم. تهران.

کرم، ع. ا. (۱۳۸۴). تحلیل تناسب زمین برای توسعه فیزیکی شمال غرب شیراز با استفاده از رهیافت ارزیابی چندمعیاره (MCE) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی. پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۴: ۱۰۶-۹۳.

متولی، ص؛ و اسماعیلی، ر. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان). پژوهشهای فرسایش محیطی. ۸: ۲۰-۱.

محمدی، ف. (۱۳۸۸). تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل با تصاویر ماهواره ای در جنگل‌های پاوه. پایان نامه کارشناسی ارشد جنگلداری. دانشگاه کردستان. ۱۱۲ ص.

محمدی، ف.، شعبانیان، ن.، پورهاشمی، م.، فاتحی، پ. (۱۳۸۹). تهیه نقشه خطر آتش سوزی جنگل با استفاده از GISو AHP در بخشی از جنگل های پاوه، فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۸(۴): ۵۶۹-۵۸۶.

محمدی، م. (۱۳۹۲). تعیین مکان های بحرانی در استحصال آب زیرزمینی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی مطالعه موردی: دشت نیشابور. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه بیرجند.

محمودی، ف. (۱۳۵۲). جغرافیای ناحیه قروه، بیجار و دیواندره. طرح پژوهشی کردستان. دانشگاه تهران.

مروی مهاجر، م. ر. (۱۳۸۵). جنگل شناسی و پرورش جنگل، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۸۸ صفحه.

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

مؤمنی، م. (۱۳۸۹). مباحث نوین تحقیق در عملیات. تهران. انتشارات مؤمنی.

میردیلمی، ط.، شتایی جویباری، ش.، کاووسی، م.ر. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در پارک ملی گلستان با استفاده از روش رگرسیون لجستیک. پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۲(۱): ۱-۱۶.

نبوی، ح. (۱۳۵۵). دیباچه ای بر زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی ایران.

نظری، ف.، حسینی، و. و شعبانیان، ت. (۱۳۹۱). تاثیر شدت آتش‌سوزی بر میزان کربن، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب در خاک های جنگلی (مطالعه موردی: جنگلهای مریوان). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۲۰(۱): ۳۷-۲۵.

Abedi Gheshlaghi, H., Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2020). GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic. Journal of Environmental Planning and Management, 63(3), 481-499.

Aguiar, A.P.D., Ometto, J.P., Nobre, C., Lapola, D.M., Almeida, C., Vieira, I.C., Soares, J.V., Alvala, R., Saatchi, S., Valeriano, D., Castilla-Rubio, J.C., 2012. Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation-driven carbon emissions: the INPE-EM framework applied to the Brazilian Amazon. Glob. Change Biol. Bioenergy 18 (11), 3346–3366

Balch, J.K., Brando, P.M., Nepstad, D.C., Coe, M.T., Silvério, D., Massad, T.J., Davidson, E.A., Lefebvre, P., Oliveira-Santos, C., Rocha, W., Cury, R.T.S., Parsons, A., Carvalho, K.S., 2015. The susceptibility of southeastern amazon forests to fire: insights from a large-scale burn experiment. BioScience 65 (9), 893–905

Brown, K. J., Hebda, N. J., Conder, N., Golinski, K. G., Hawkes, B., Schoups, G., & Hebda, R. J. (2017). Changing climate, vegetation, and fire disturbance in a sub-boreal pine-dominated forest, British Columbia, Canada. Canadian Journal of Forest Research, 47(5), 615-627.

Capitanio, R., & Carcaillet, C. (2008). Post-fire Mediterranean vegetation dynamics and diversity: a discussion of succession models. Forest ecology and management, 255(3-4), 431-439.

DeBano, L.F. (2000). The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. Journal of Hydrology, 231, 195-206

Dong, X., li- min, D., GUO-fan, S., lei, T. and Hui, W., 2005.forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for baihe forestry bureau, jilir china. Journal of forestry research, 167-176

Erten, E., Kurgun, V. and Musaoglu, N., 2004. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS: a case study. In XXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey (pp. 222-230).

Eugenio, F. C., dos Santos, A. R., Fiedler, N. C., Ribeiro, G. A., da Silva, A. G., dos Santos, Á. B., ... & Schettino, V. R. (2016). Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. Journal of environmental management, 173, 65-71.

FAO. (2006). Better forestry, less poverty. A practitioner's guide.

Fox, D. M., Laaroussi, Y., Malkinson, L. D., Maselli, F., Andrieu, J., Bottai, L., & Wittenberg, L. (2016). POSTFIRE: a model to map forest fire burn scar and estimate runoff and soil erosion risks. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 4, 83-91.

Garcia-Jimenez, S., Jurio, A., Pagola, M., De Miguel, L., Barrenechea, E., & Bustince, H. (2017). Forest fire detection: A fuzzy system approach based on overlap indices. Applied Soft Computing, 52, 834-842.

Giglio, L., 2005. MODIS collection 4 active fire product user's guide version 2.2. Science systems and application, inc., 35-37 p.

Hessburg, P. F., Agee, J. K., & Franklin, J. F. (2005). Dry forests and wildland fires of the inland Northwest USA: contrasting the landscape ecology of the pre-settlement and modern eras. Forest Ecology and Management, 211(1-2), 117-139.

Jin, X. Y., Jin, H. J., Iwahana, G., Marchenko, S. S., Luo, D. L., Li, X. Y., & Liang, S. H. (2020). Impacts of climate-induced permafrost degradation on vegetation: A review. Advances in Climate Change Research.

Koutsias, N., G. Xanthopoulos, D. Founda, F. Xystrakis, F. Nioti, M. Pleniou, G. Mallinis & M. Arianoutsou, 2012. On the relationships between forest fires and weather conditions in Greece from longterm national observations (1894–2010), International Journal of Wildland Fire, 22(4): 493-507.

Lautenberger, C. (2013). Wildland fire modeling with a Eulerian level set method and automated

calibration. Fire Safety Journal, 62, 289-298.

Merino-de-Miguel, S., Huesca, M., & González-Alonso, F. (2010). Modi's reflectance and active fire data for burn mapping and assessment at regional level. Ecological Modelling, 221(1), 67-74.

Mota, P. H. S., da Rocha, S. J. S. S., de Castro, N. L. M., Marcatti, G. E., de Jesus França, L. C., Schettini, B. L. S., ... & dos Santos, A. R. (2019). Forest fire hazard zoning in Mato Grosso State, Brazil. Land use policy, 88, 104206.

Naderpour, M., Rizeei, H. M., Khakzad, N., & Pradhan, B. (2019). Forest fire induced Natech risk assessment: A survey of geospatial technologies. Reliability Engineering & System Safety, 191, 106558.

Nicolete, D.A.P., Zimback, C.R.L., 2013. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a fazenda experimental Edgardia–Botucatu (SP), através de sistemas de informações geográficas. Agrogeoambiental 5 (3), 55–62

Nuthammachot N, Stratoulias D. A GIS-and AHP-based approach to map fire risk: a case study of Kuan Kreng peat swamp forest, Thailand. Geocarto International. 2021 Jan 20;36(2):212-25.

Nuthammachot, N., & Stratoulias, D. (2021). A GIS-and AHP-based approach to map fire risk: a case study of Kuan Kreng peat swamp forest, Thailand. Geocarto International, 36(2), 212-225.

Pettinari, M. L., & Chuvieco, E. (2017). Fire behavior simulation from global fuel and climatic information. Forests, 8(6), 179.

Pew, K.L. & Larsen, C.P.S. (2001). GIS analysis of spatial and temporal patterns of human-caused wildfires in the temperate rain forest of Vancouver Island, Canada. Forest Ecology and Management, 140, 1–18.

Schmidt, I.B., Moura, L.C., Ferreira, M.C., Eloy, L., Sampaio, A.B., Dias, P.A., Berlinck, C.N., 2018. Fire management in the Brazilian savanna: first steps and the way forward. J. Appl. Ecol. 55 (5), 2094–2101

Sebastian-Lopez, A., R. Salvador-Civil, J. Gonzalo-Jimenez & J. San-Miguel Ayanz, 2008. Integration of socio-economic and environmental variables for modeling longterm fire danger in Southern Europe, European Journal of Forest Research, 127(2): 149-163

Sherstyukov, B.G., Sherstyukov, A.B., 2014. Assessment of increase in forest fire risk in Russia till the late 21st century based on scenario experiments with fifth-generation climate models. Russ. Meteorol. Hydro. 39 (5), 292–301.

Thach, N. N., Ngo, D. B. T., Xuan-Canh, P., Hong-Thi, N., Thi, B. H., Nhat-Duc, H., & Dieu, T. B. (2018). Spatial pattern assessment of tropical forest fire danger at Thuan Chau area (Vietnam) using GIS-based advanced machine learning algorithms: A comparative study. Ecological informatics, 46, 74-85.

Wu, Z., He, H.S., Yang, J., Liang, Y., 2015. Defining fire environment zones in the boreal forests of northeastern China. Sci. Total Environ. 518–519, 106–116

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.