

## پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و GIS همراه با ارزیابی ریسک در جنگل‌های حوزه زاب - سردشت

ساسان بابایی کفاکی<sup>۱\*</sup>، نگار مرادزاده‌آذر<sup>۲</sup>، هادی کیادلیری<sup>۱</sup>، عباس بانج‌شفیعی<sup>۳</sup> و نعیمه رحیمی‌زاده<sup>۴</sup>

(۱) دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

\* رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات: s\_babaie@srbiau.ac.ir

(۲) کارشناس ارشد رشته جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۳) استاد گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

(۴) دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۶

### چکیده

آتش‌سوزی بخش جدانشدنی بیشتر زیست‌بوم‌ها است که دارای پیامدهای منفی زیست‌محیطی و اجتماعی است. شناسایی عوامل مؤثر در وقوع آتش‌سوزی و پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در جنگل، یکی از ابزارهای اساسی جهت دستیابی به راهکارهای کنترل و مقابله با آتش‌سوزی است. هدف این پژوهش شناسایی عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر توسعه آتش‌سوزی و ارزیابی ریسک آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه سردشت با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی است. پس از انجام مطالعات پایه، واحدهای همگن زیست‌محیطی تولید و با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره به چهار طبقه تقسیم شدند. با انجام مطالعات میدانی شرایط بوم‌شناختی مناطق دارای سابقه آتش‌سوزی موردبررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی صورت پذیرفت و ارزیابی ریسک آتش‌سوزی به روش خطی انجام شد. در نتیجه‌گیری کلی پوشش گیاهی و عوامل اقلیمی، مهم‌ترین عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر توسعه آتش‌سوزی در زیست‌بوم جنگل بود. همچنین منطقه از نظر خطر ریسک آتش‌سوزی متوسط بود که بایستی برای مناطق پرخطر تمهیداتی مانند ایجاد آتش‌بر و برج دیده‌بانی ایجاد نمود.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، تحلیل سلسله مراتبی، سردشت، GIS، SAW.

### مقدمه

آتش‌سوزی باعث تغییر دادن الگوی توالی و منابع گیاهی و مختل نمودن ترکیب گونه‌های گیاهی عرصه می‌شود (بانج‌شفیعی و همکاران، ۱۳۸۶)، همچنین باعث تضعیف پایداری گونه‌های نادر و ذخایر ژنتیکی و به هم خوردن تعادل بوم‌شناختی جنگل می‌شود (کریمی، ۱۳۹۵).

با توجه به اینکه کشور ایران از لحاظ منابع جنگلی با محدودیت‌های جدی مواجه بوده و خطرات مختلفی آن را تهدید نموده و باعث از بین رفتن این منابع می‌شود، بنابراین

جنگل‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی تجدیدشونده و از جمله سرمایه‌های ملی بسیار مهم در هر کشور محسوب می‌شوند که نقش حیاتی در استمرار حیات و حفظ و پایداری زیست‌بوم‌ها ایفا می‌نمایند (زرع‌کار و همکاران، ۱۳۹۲؛ Said et al., 2017). عرصه‌های منابع طبیعی دستخوش عوامل خسارت‌زای متعددی هستند و حوادث غیرمترقبه از جمله آتش‌سوزی یکی از شایع‌ترین این عوامل است.

حفظ آن بسیار حائز اهمیت است. در این بین زیست بوم جنگلی زاگرس به دلیل بالا بودن درجه حساسیت و شکنندگی دارای اهمیت خاصی است. جنگل‌های زاگرس به عنوان رویشگاه مهم بلوط در ایران به طور فزاینده‌ای در معرض خطر آتش‌سوزی هستند. آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس همراه با سایر عوامل مخرب، همواره این منابع با ارزش کشور را تهدید نموده و باعث از بین رفتن آن‌ها می‌شود و پس از آنکه آتش پوشش گیاهی را سوزاند، چیزی جایگزین آن نمی‌شود. در یک دوره آماری ده‌ساله (۱۳۹۰-۱۳۸۱) در مجموع بیش از ۵۵۰ هکتار از جنگل‌های سردشت در اثر آتش‌سوزی در فصول خشک و گرم سال از بین رفته‌اند (بیگی حیدرلو و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به اینکه آتش‌سوزی‌ها تقریباً در اکثر عرصه‌های گیاهی کشور می‌تواند واقع شود، نظارت کامل و مداوم بر روند پیشروی آن‌ها با مطالعات میدانی و در مقیاس‌های محلی به راحتی امکان‌پذیر نیست (سرکارگردکانی و همکاران، ۱۳۸۸ الف). کاربردهای GIS و سنجش‌ازدور در این حوزه متفاوت و متنوع است و از این میان، کاربرد در تعیین میزان ریسک آتش‌سوزی نقاط مختلف، شبیه‌سازی آتش‌سوزی نقاط مختلف، شبیه‌سازی آتش‌سوزی و مدیریت منابع و امکانات در زمان آتش‌سوزی جنگل، از جمله مؤثرترین آن‌ها به شمار می‌رود (منصوری و همکاران، ۱۳۹۰). عوامل زیادی در آتش‌سوزی جنگل تأثیر گذار هستند (جزیره‌ای، ۱۳۸۴). در این زمینه پژوهش‌های زیادی صورت گرفته تا عوامل مؤثر را مشخص نمایند. بیرانوند و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی با عنوان «بررسی تأثیر عوامل بوم‌شناختی بر توسعه آتش‌سوزی در زیست‌بوم‌های جنگلی، مطالعه موردی کاکارضا - لرستان» بیان نمود پوشش گیاهی و رطوبت مواد سوختنی مهم‌ترین عامل ایجاد آتش‌سوزی است. Dong و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهشی با عنوان «نقشه‌سازی مناطق مستعد آتش‌سوزی در جنگل با استفاده از اطلاعات مکانی و آنالیز مؤلفه‌های اولیه»، با استفاده از اطلاعات سنجش‌ازدور و مدل رقومی ارتفاعی و بررسی تأثیر سه عامل انسانی، مواد سوختنی و توپوگرافی در آتش‌سوزی‌های منطقه بیان نمودند، مهم‌ترین عامل در توزیع آتش‌سوزی جنگل

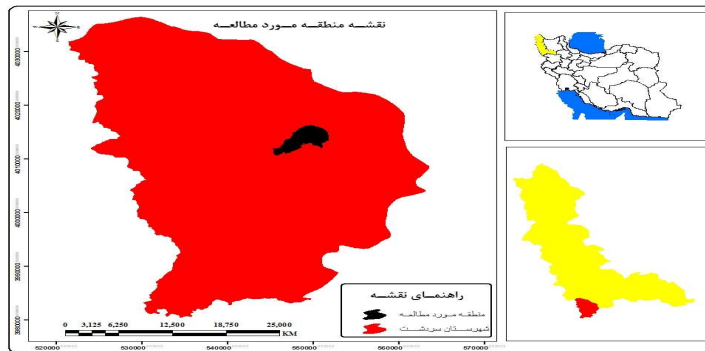
توپوگرافی و بعدازآن عوامل انسانی است. در تحقیق دیگری You و همکاران (۲۰۱۷) در ارزیابی خطر آتش‌سوزی جنگل به تاثیر عواملی مانند توپوگرافی، فعالیت انسانی، آب‌وهوا و ویژگی‌های جنگل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند و به این نتیجه رسیدند عوامل مذکور تأثیر مشابهی در ایجاد آتش‌سوزی داشتند. بهزادی و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیق دیگری پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در مرتع و جنگل را با استفاده از روش AHP و GIS تولید و با استفاده از داده‌های زمینی صحت‌سنجی نمودند که با توجه به اینکه عمدتاً آتش‌سوزی‌های موجود در مناطق پرخطر رخ داده بود بنابراین صحت مدل‌های تولیدشده اثبات گردید.

هدف از پژوهش حاضر شناسایی عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر بروز و تقویت پتانسیل آتش‌سوزی و پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های سردشت در استان آذربایجان غربی است. به این منظور پس از انجام مطالعات پایه، واحدهای همگن زیست‌محیطی تولید و با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره به چهار طبقه تقسیم شدند. با انجام مطالعات میدانی شرایط بوم‌شناختی مناطق دارای سابقه آتش‌سوزی مورد بررسی قرار گرفته و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی صورت گرفت و در نتیجه مناطق مستعد آتش‌سوزی شناسایی و مهم‌ترین عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر آتش‌سوزی در منطقه تعیین گردید.

### مواد و روش‌ها

#### مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر با مساحت ۱۸۱۶ هکتار در محدوده جغرافیایی  $36^{\circ}14'23''$  تا  $36^{\circ}17'24''$  عرض شمالی و  $45^{\circ}30'16''$  تا  $45^{\circ}34'38''$  طول شرقی در قسمت شمال شرقی شهرستان سردشت در استان آذربایجان غربی و قسمت شرقی رودخانه زاب با حداقل ارتفاع ۱۰۱۷ و حداکثر ارتفاع ۱۶۵۹ متر قرار دارد. میزان بارندگی سالیانه در منطقه مورد مطالعه که یکی از عوامل مهم اقلیمی است برابر ۷۲۴ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن  $14/3$  درجه سانتی‌گراد است (مرادزاده آذر و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

### روش پژوهش

در این تحقیق ابتدا با انجام مطالعات کتابخانه‌ای، عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر بروز و توسعه آتش‌سوزی تعیین گردید. به‌منظور محاسبه اوزان و درجه اهمیت نسبی هر یک از معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، فاکتورها مورد مقایسه زوجی قرار گرفتند و ماتریس مقایسه زوجی تشکیل گردید. ماتریس تهیه‌شده توسط ۱۰ کارشناس متخصص در زمینه‌های جنگل و اکولوژی و مسلط به روش‌های ارزیابی تکمیل گردید. به‌دلیل استفاده از روش AHP گروهی از تمام فرم‌های AHP تکمیل‌شده توسط کارشناسان، یک فرم AHP گروهی با نرخ سازگاری کمتر از ۰/۱ تهیه شد. با قرار دادن مقادیر کمی به‌دست‌آمده برای معیارها در نرم‌افزار Expert Choice برای هرکدام از معیارها، وزنی به‌دست آمد که مبین میزان تأثیر آن‌ها بود. سپس برای محاسبه وزن نهایی، مقدار کمی زیرمعیارهای هر معیار در وزن معیار ضرب گردید و وزن نهایی محاسبه شد. درنهایت مجموع ساده وزینشده یعنی SAW از حاصلجمع وزن نهایی به‌دست آمد (زارع و همکاران، ۱۳۹۰).

مطالعه ارزیابی ریسک حریق به دو صورت انجام پذیرفت: مطالعه عوامل ریسک شروع آتش‌سوزی و مطالعه عوامل ریسک توسعه آتش‌سوزی. در مطالعه حاضر برای انجام ارزیابی ریسک ابتدا اجزای ریسک مشخص گردید که عبارت از احتمال وقوع و شدت پیامدها بودند. در مرحله بعد متغیرهایی که اجزای ریسک به آن‌ها وابسته هستند، تعیین گردید. اجزای ریسک به متغیرهای درونی و بیرونی برای شروع و توسعه آتش‌سوزی وابسته هستند. عوامل ریسک شروع آتش‌سوزی عبارت از عوامل انسانی، رعدوبرق و نور خورشید بودند. عوامل ریسک توسعه آتش‌سوزی عبارت از لاشبرگ، پوشش علفی، تاج پوشش (درختی و درختچه‌ای)، میزان آلی خاک، جهت، دما و باد غالب بودند. سپس در جدول (۱) برای هر عامل، یک ضریب تأثیر و یک احتمال وقوع به تفکیک مناطق خطر در نظر گرفته شد. ریسک هر عامل از حاصل ضرب ضریب تأثیر در احتمال وقوع هر عامل و ریسک کلی از تقسیم مجموع ریسک عوامل بر مجموع ضریب تأثیر عوامل محاسبه گردید.

جدول ۱. محاسبه عوامل مؤثر بر ارزیابی ریسک

مناطق خطر				
بدون خطر	کم خطر	خطر متوسط	پرخطر	عوامل درونی
۰/۱	۰/۵	۰/۷	۰/۹	ضریب تأثیر
۰/۱	۰/۳	۰/۵	۰/۵	احتمال وقوع
۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۳۵	۰/۴۵	ریسک عامل
۰/۱	۰/۵	۰/۷	۰/۹	ضریب تأثیر
۰/۱	۰/۳	۰/۵	۰/۷	احتمال وقوع
۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۳۵	۰/۶۳	ریسک عامل
۰/۱	۰/۳	۰/۵	۰/۷	ضریب تأثیر
۰/۳	۰/۳	۰/۵	۰/۵	احتمال وقوع

۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۲۵	۰/۳۵	ریسک عامل	
۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/۵	ضریب تأثیر	
۰/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۳	احتمال وقوع	میزان مواد آلی خاک
۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۱۵	ریسک عامل	
۰/۱	۰/۳	۰/۵	۰/۵	ضریب تأثیر	
۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	احتمال وقوع	جهت جغرافیایی
۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۱۵	ریسک عامل	
۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۷	ضریب تأثیر	
۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	احتمال وقوع	دما
۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۲۱	ریسک عامل	
۰/۱	۰/۳	۰/۵	۰/۷	ضریب تأثیر	
۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/۳	احتمال وقوع	باد غالب
۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۲۱	ریسک عامل	

و هم‌باران تهیه گردید. جهت تهیه نقشه‌های اقلیمی با نرم‌افزار ArcGIS، ابتدا آمار و داده‌های مربوط به هرکدام از عناصر اقلیمی دما و بارندگی از سازمان هواشناسی آذربایجان غربی و از ایستگاه‌های سینوپتیک اطراف منطقه مورد مطالعه (نزدیک‌ترین ایستگاه‌های موجود) شامل ایستگاه‌های سردشت، مهاباد، پیرانشهر، سقز، بانه، مریوان، تکاب و ارومیه (دوره زمانی ۲۰ ساله) تهیه شد. سپس با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله (IDW)<sup>۲</sup>، نقشه میزان بارندگی منطقه تهیه گردید.

در این پژوهش نقشه توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰) مربوط به منطقه از سازمان جنگل‌ها دریافت شد و سپس ارزش ارتفاعی خطوط تراز ارتفاع کنترل گردید و مدل رقمی ارتفاعی (DEM)<sup>۱</sup> تهیه شد. با استفاده از این مدل، نقشه شکل زمین (شیب، جهت و ارتفاع) با کاربرد مدل طبقه‌بندی مخدوم به وسیله نرم‌افزار ArcGIS صورت پذیرفت (Rahimizadeh et al., 2021).

برای بررسی اقلیم منطقه مورد مطالعه، نقشه سطوح هم‌دما

جدول ۲. مقادیر متوسط بارندگی سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه

ایستگاه‌ها	سردشت	پیرانشهر	تکاب	مهاباد	ارومیه	سندج	بانه	بیجار	مریوان	سقز
متوسط بارندگی سالانه	۸۶۶	۶۷۳	۳۴۸	۴۱۳	۳۴۱	۴۵۸	۶۸۹	۳۴۴	۹۹۱	۴۹۹

الگوریتم این روش به صورت زیر است:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{Z_i}{D_i} \right)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{D_i} \right)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

نقشه سطوح هم‌دما همانند نقشه سطوح هم‌باران و به روش معکوس وزنی فاصله (IDW) و با استفاده از آمار و اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک اطراف منطقه مورد مطالعه تهیه شد.

در این رابطه  $X$  ارزش برآورد شده از روش درون‌یابی،  $Z_i$  ارزش نقاط موجود (نقاط یا پیکسل‌های همسایه) و  $D_i$  فاصله بین  $X$  و هر نقطه موجود است.

جدول ۳. مقادیر متوسط حداکثر دمای ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	سردشت	پیرانشهر	تکاب	مهاباد	ارومیه	سندج	بانه	بیجار	مریوان	سقز
متوسط حداکثر دمای ماهانه	۲۵	۲۷	۲۵	۲۸	۲۶	۳۰	۲۷	۲۶	۲۹	۲۸

(اصغری‌پور، ۱۳۸۰). در نهایت مجموع ساده وزینشده برای تعیین ارزش نهایی واحدها به‌کار گرفته شد (رحیمی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). در مرحله بعد بر اساس ارزش‌های نهایی به‌دست‌آمده، واحدها رتبه‌بندی شده و ۲۵ درصد بالاترین ارزش‌ها به‌عنوان مناطق دارای عوامل بوم‌شناختی با تأثیر زیاد بر توسعه آتش‌سوزی و ۲۵ درصد پایین‌ترین ارزش‌ها به‌عنوان مناطق دارای عوامل بوم‌شناختی با تأثیر بسیار کم بر توسعه آتش‌سوزی در نظر گرفته شد (بیرانوند و همکاران ۱۳۹۰). در نهایت منطقه مورد مطالعه از نظر شدت تأثیر عوامل بوم‌شناختی بر توسعه آتش‌سوزی به چهار طبقه تقسیم شد. به‌منظور شناسایی مهم‌ترین عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر بروز و توسعه آتش‌سوزی در این منطقه، پس از بررسی و مشاهدات میدانی سه منطقه عمده که در آن‌ها آتش‌سوزی در سنوات قبل رخ داده بود، شناسایی و نقشه آن‌ها با دستگاه GPS برداشت گردید. همچنین در ۳۰ قطعه‌نمونه، فاکتورهای بوم‌شناختی بررسی شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی انجام گرفت. در مرحله آخر مهم‌ترین عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر بروز و توسعه آتش‌سوزی در این منطقه تعیین گردید.

### نتایج

نتایج حاصل از مطالعات کتابخانه‌ای نشان داد که فاکتورهای متعددی در توسعه آتش‌سوزی در هر ناحیه تأثیرگذار هستند. پوشش گیاهی، اقلیم و فیزیوگرافی از فاکتورهای مؤثر بر بروز و توسعه آتش‌سوزی در جنگل هستند. وزن‌دهی به هر یک از فاکتورها توسط تکمیل فرم‌های AHP صورت پذیرفت، سپس برای محاسبه وزن نهایی، مقدار کمی زیرمعیارهای هر معیار در وزن معیار ضرب گردید و وزن نهایی محاسبه شد. در نهایت مجموع ساده وزن شده از حاصل جمع وزن نهایی به‌دست آمد. نتایج حاصل از انجام روش تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که مهم‌ترین عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر وقوع و گسترش آتش‌سوزی زیست‌بوم‌های جنگلی به‌ترتیب اولویت شامل پوشش علفی، تاج پوشش، دما، بارندگی، ماده آلی خاک، جهت، بافت خاک، شیب و ارتفاع است (جدول ۴).

وضعیت خاک و پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه با انجام مطالعات میدانی مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور آماربرداری به‌روش تصادفی انتخابی و توزیع قطعات نمونه به‌صورت تصادفی انجام گردید (بیرانوند و همکاران، ۱۳۹۰). تعداد ۲۵ قطعه‌نمونه به شکل مستطیل با مساحت ۲۰ آر و ابعاد ۱۰۰×۲۰ متر آماربرداری شد. شناسایی مرکز قطعات نمونه با دستگاه GPS صورت گرفت. در هر قطعه‌نمونه تعداد و نوع گونه درختی و درختچه‌ای، فرم رویشی گونه‌ها، ارتفاع درختان، قطر برابر سینه درختان دانه‌زاد، متوسط قطر تاج پوشش، درصد تراکم تاج‌پوشش، درصد پوشش علفی کف جنگل، ضخامت لاشبرگ، وضعیت درخت از نظر خشکیدگی، وضعیت خاک، شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا مورد بررسی قرار گرفت.

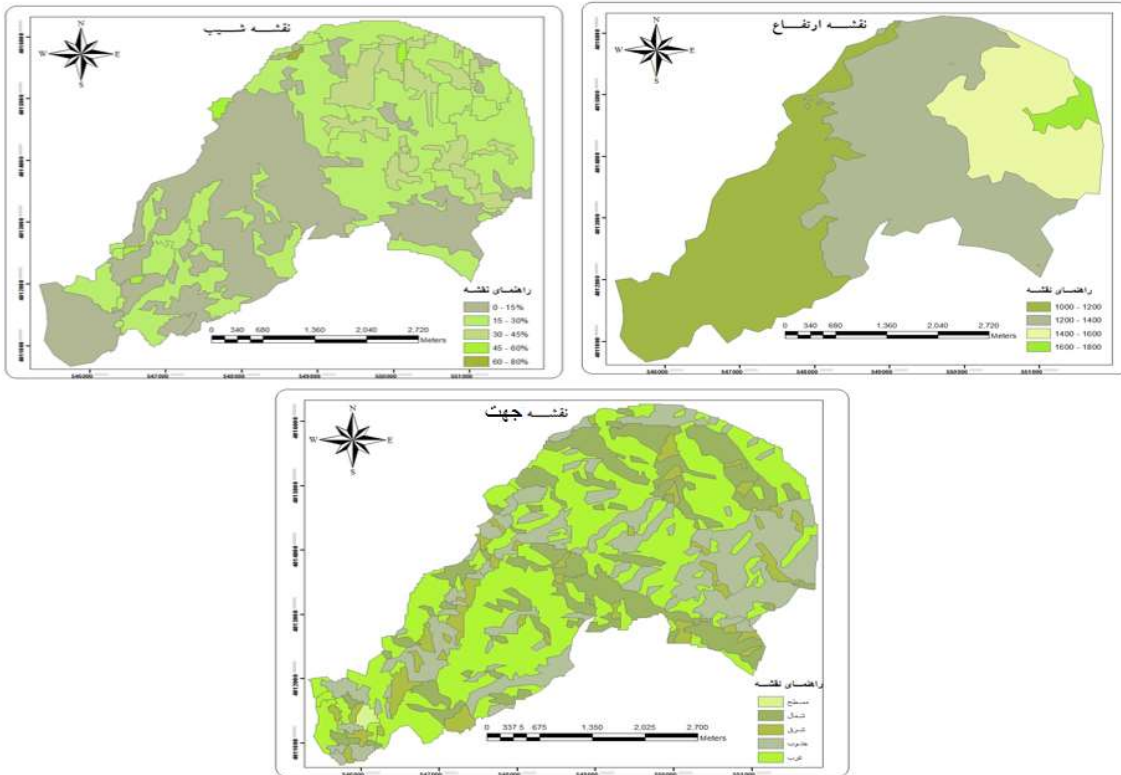
پس از تهیه همه لایه‌های اطلاعاتی ارتفاع، شیب، جهت، بارندگی، دما، تراکم پوشش جنگلی (نقشه تیپ و تراکم با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه که قبلاً توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه شده بود)، تراکم پوشش علفی (با استفاده از تصویر ماهواره‌ای Aster و تدقیق با مطالعات صحرایی)، بافت خاک و ماده آلی خاک (با استفاده از نقشه خاک‌شناسی و کربن آلی خاک با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه مربوط به مطالعات اداره کل منابع طبیعی استان آذربایجان غربی) به‌منظور تهیه واحدهای همگن زیست‌محیطی، تمامی لایه‌ها دوبه‌دو بر هم منطبق شدند و لایه حاصله با لایه اطلاعاتی بعدی تلفیق شد و این کار تا آخرین لایه اطلاعاتی ادامه پیدا کرد و واحدهای کوچک‌تر (کمتر از ۳ هکتار) به واحدهای بزرگ‌تر مجاور تعمیم داده شد. برای بررسی تأثیر شرایط بوم‌شناختی هر واحد همگن بر آتش‌سوزی، واحدهای همگن به روش ارزیابی چندمعیاره مورد بررسی قرار گرفتند. برای این کار ابتدا معیارهای کیفی با استفاده از روش مقیاس دو قطبی به معیارهای کمی تبدیل گردید. سپس به‌منظور مقایسه‌شدن مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری (به‌ازای شاخص‌های گوناگون) بی‌مقیاس کردن صورت گرفت. در این تحقیق از روش بی‌مقیاس کردن خطی استفاده شد

جدول ۴. نتایج حاصل از روش تحلیل سلسله مراتبی

معیار	پوشش غلفی	تاج پوشش	دما	بارندگی	ماده آلی خاک	جهت	بافت خاک	شیب	ارتفاع
وزن	۰/۳۴۶	۰/۲۲۵	۰/۱۳۲	۰/۰۸۱	۰/۰۷۸	۰/۰۴۱	۰/۰۳۶	۰/۰۳۴	۰/۰۲۷

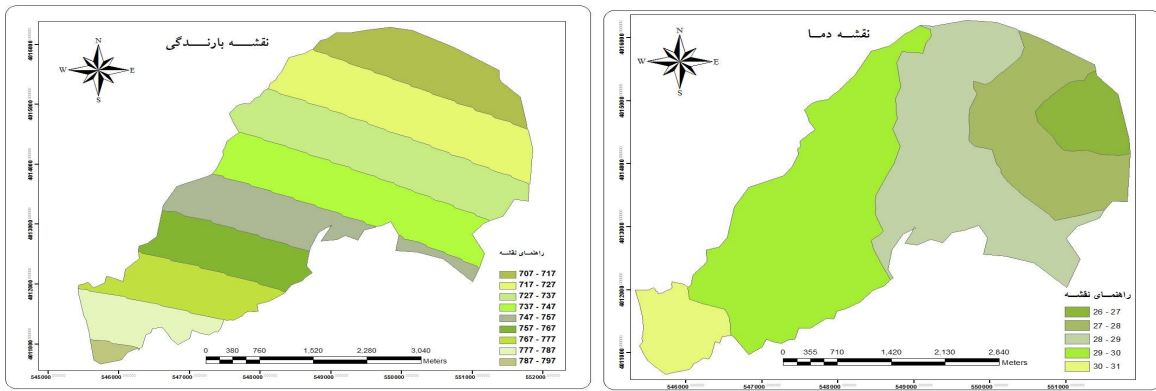
۲ طبقه با بیشترین سطح در طبقه ۱ (۱/۵-۰/۹) (شکل ۴)، نقشه پوشش غلفی در ۵ طبقه با بیشترین سطح در طبقه ۲ (۷۵-۵۰ درصد)، نقشه تراکم جنگل در ۶ طبقه با بیشترین سطح در طبقه ۱ (۵۰-۰ درصد) جای گرفتند (شکل ۵). حاصل تلفیق اطلاعات، تولید یک لایه اطلاعاتی متشکل از ۵۴۱ واحد همگن زیست‌محیطی با حداقل سطح ۳ هکتار بود که هرکدام از این واحدها کلیه اطلاعات توصیفی مربوط به تمام مطالعات قبلی را با خود به همراه داشتند (شکل ۶). در جدول (۵) نمونه‌ای از اطلاعات توصیفی واحدهای همگن قابل مشاهده است.

نتایج حاصل از مطالعات پایه شامل تولید نقشه شیب منطقه در ۵ طبقه با بیشترین سطح در طبقه ۲ (۳۰-۱۵ درصد)، نقشه جهت جغرافیایی با ۵ طبقه با بیشترین سطح در طبقه ۴ (جهت غربی)، نقشه ارتفاع در ۴ طبقه ارتفاعی با بیشترین سطح در طبقه ۲ (۱۲۰۰-۱۴۰۰ متر) (شکل ۲)، نقشه سطوح هم‌دما در ۵ طبقه با بیشترین سطح در طبقه ۴ (۳۰-۲۹ درجه سانتی‌گراد)، نقشه سطوح هم‌باران در ۹ طبقه با بیشترین سطح در طبقه ۳ (۷۲۷-۷۳۷ میلی‌متر) (شکل ۳)، نقشه بافت خاک در ۴ طبقه با بیشترین سطح در طبقه ۳ (لومی‌رسی)، نقشه ماده آلی خاک در

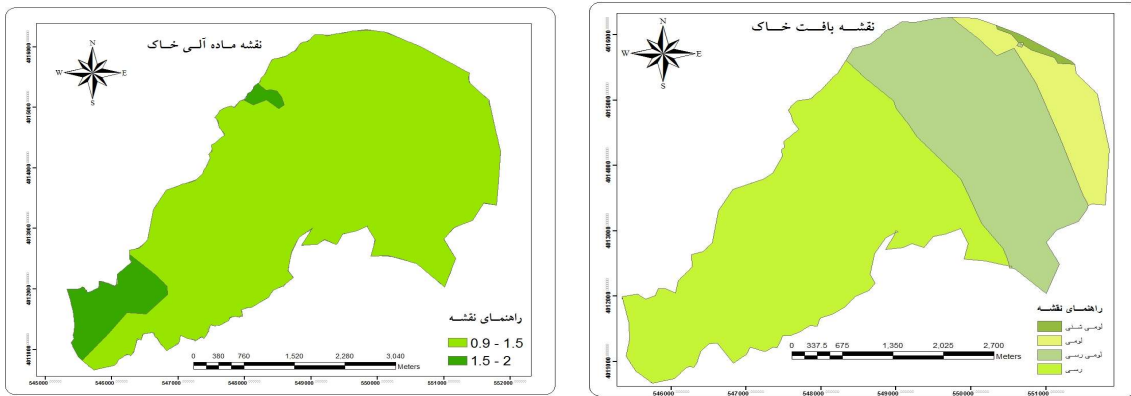


شکل ۲. نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع

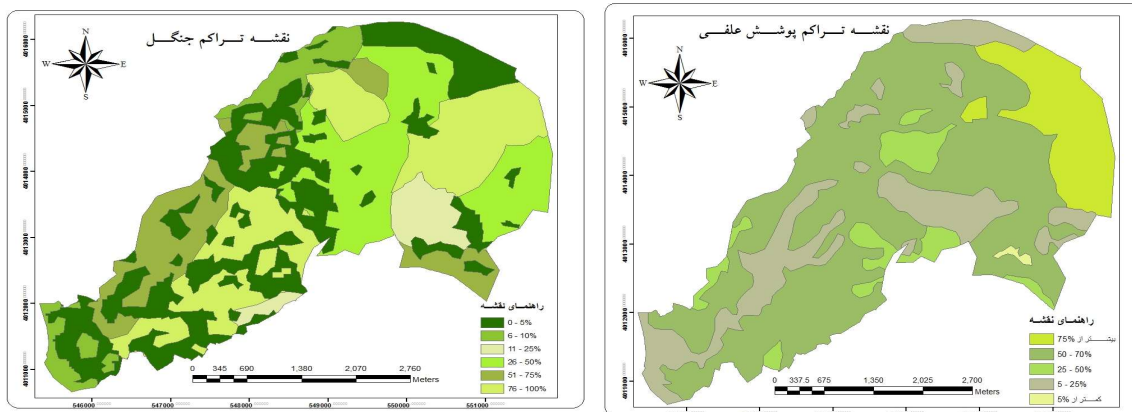
پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و GIS همراه با ارزیابی ریسک... / ۱۰۷



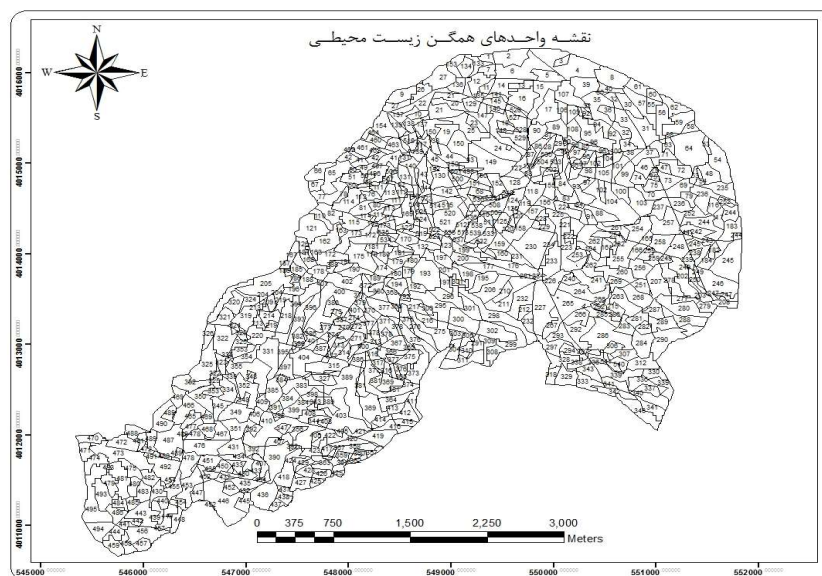
شکل ۳. نقشه‌های سطوح هم‌دما و هم‌باران



شکل ۴. نقشه‌های بافت و ماده آلی خاک



شکل ۵. نقشه‌های تراکم جنگل و تراکم پوشش علفی



شکل ۶ نقشه واحدهای همگن زیست محیطی

جدول ۵. نمونه‌هایی از اطلاعات توصیفی واحدهای همگن تولیدشده

کد واحد همگن	شیب (درصد)	جهت	ارتفاع (متر)	بافت خاک	ماده آلی خاک	تراکم جنگل (درصد)	تراکم پوشش علفی (درصد)	بارندگی (میلی‌متر)	درجه حرارت (سانتی‌گراد)
۷۶	۱۵-۳۰	شمال	۱۶۰۰-۱۸۰۰	لومی‌رسی	۰/۹-۱/۵	۱۰۰-۷۶	۵<	۷۱۷-۷۲۷	۲۷-۲۶
۴۶۸	۰-۱۵	مسطح	۱۲۰۰-۱۰۰۰	رسی	۱/۵-۲	۱۰-۶	۵۰-۷۵	۷۷۷-۷۸۷	۳۱-۳۰

۴/۴۷-۵/۵۶۶ بوده که دارای شرایط ضعیف برای توسعه آتش-سوزی جنگل، تعداد ۵۴ واحد همگن با مساحت ۱۵۲ هکتار دارای ارزش نهایی ۴/۲۴۸-۳/۳۹۴ بوده که دارای شرایط بسیار ضعیف برای توسعه آتش‌سوزی جنگل می‌باشند. در این تحقیق طبقات ۱ با مساحت ۴۱۹ هکتار و ۲ با مساحت ۶۹۰ هکتار مناطق مستعد آتش‌سوزی معرفی گردیدند (جدول ۶).

نتایج حاصل از ارزیابی واحدهای همگن با روش ارزیابی چندمعیاره نشان داد، تعداد ۱۱۱ واحد همگن با مساحت ۴۱۹ هکتار دارای ارزش نهایی ۶/۶۶۸-۷/۰۳۸ بوده که دارای شرایط مساعد برای توسعه آتش‌سوزی جنگل، تعداد ۲۰۸ واحد همگن با مساحت ۶۹۰ هکتار دارای ارزش نهایی ۵/۸۷۸-۵/۹۳ بوده که دارای شرایط متوسط برای توسعه آتش‌سوزی جنگل، تعداد ۱۶۸ واحد همگن با مساحت ۵۶۷ هکتار دارای ارزش نهایی

جدول ۶. طبقه‌بندی مناطق از نظر شدت تأثیر عوامل بوم‌شناختی بر توسعه آتش‌سوزی

ردیف	تأثیر عوامل بوم‌شناختی	تعداد واحد همگن	مساحت (هکتار)	درصد نسبت به کل
۱	زیاد	۱۱۱	۴۱۹	۲۲/۶۸
۲	متوسط	۲۰۸	۶۹۰	۳۷/۳۵
۳	کم	۱۶۸	۵۶۷	۳۰/۶۴
۴	بسیار کم	۵۴	۱۷۲	۹/۳۱

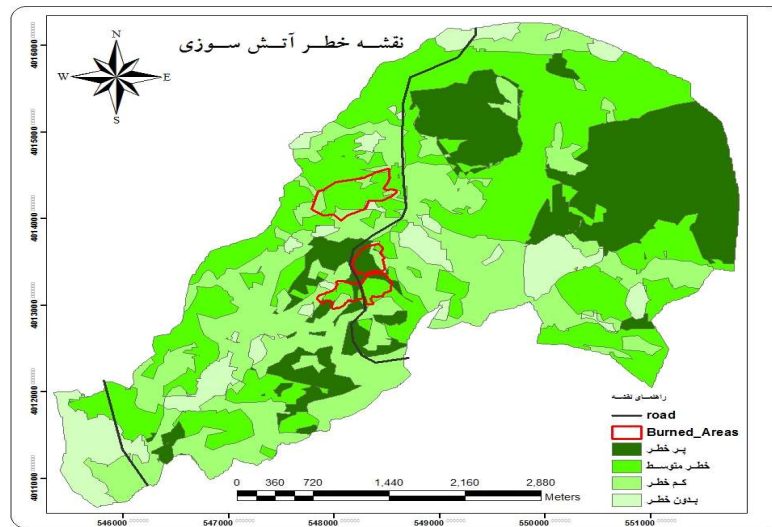
داد که متوسط درصد تاج‌پوشش بیش از ۵۰ درصد است. درصد پوشش علفی کف به میزان قابل توجهی دیده می‌شود. به علت چرای شدید و تردد مداوم دام در این پارسل خاک کوبیده‌شده

نتایج حاصل از آماربرداری به صورت تولید نقشه موقعیت مکانی پلات‌های آماربرداری‌شده و تجزیه و تحلیل فرم پلات‌های تکمیل شده است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل این فرم‌ها نشان



جنگلی دارای ساختار یک‌اَشکوبه بوده و فرم رویشی جنگل، شاخه‌زاد بوده و پایه‌های دانه‌زاد بلوط، دارمازو و ویول و هیچ نهال دانه‌زادی مشاهده نشده و اندک نهال‌های شاخه‌زاد داخل جست گروه‌ها هم در فصل بهار سرچر شده و از بین می‌روند. نتایج حاصل از بررسی آمار آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در منطقه به صورت نقشه نواحی دارای سابقه آتش‌سوزی است (شکل ۷).

و نفوذپذیری آن کم است و در بعضی نقاط فرسایش سطحی و شیاری و در برخی نقاط بیرون‌زدگی سنگی مشاهده می‌شود. نتایج حاصل از بررسی تیپ جنگل در منطقه مورد مطالعه نشان داد که فرم‌های زیستی گیاهان منطقه بسیار متنوع است. در میان فرم رویشی درختی، بلوط گونه غالب منطقه را تشکیل می‌دهد. گونه‌های افرای کیکم، زالزالک، گلابی وحشی، گردو، بادام و غیره بقیه عناصر درختی را شامل می‌شوند که گاه به‌صورت زیرآشکوب مشاهده می‌گردند. کلیه توده‌های



شکل ۷. نقشه خطر آتش‌سوزی

آتش‌سوزی، به لحاظ اثرات سریع و ویرانگری که دارد و همچنین به دلیل وارد کردن صدمات بوم‌شناختی و اقتصادی بر منابع جنگلی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین انواع آشفستگی شناخته شده است (غلامیمافی و همکاران، ۱۳۸۸). در این پژوهش بررسی فاکتورهای بوم‌شناختی مؤثر بر توسعه آتش‌سوزی، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت پذیرفت (ورجاوندانصری و همکاران، ۱۳۹۴). سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان ابزار توانمند مدیریت و به‌کارگیری اطلاعات مکانی در این زمینه قابلیت‌های خود را به اثبات رسانده است (بهزادی و همکاران، ۱۳۹۷). این سیستم به‌طور مؤثر در ادغام عوامل مختلف ایجاد آتش‌سوزی، به‌منظور تعیین نقشه نواحی در معرض خطر آتش‌سوزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نتایج حاصل از نظرسنجی با استفاده از روش AHP نشان داد در بین عوامل بوم‌شناختی تأثیرگذار بر توسعه آتش‌سوزی

نتایج حاصل از بررسی مناطق دارای سابقه آتش‌سوزی نشان داد که این مناطق دارای تراکم جنگلی و پوشش علفی زیاد (بیشتر از ۵۰ درصد) می‌باشند. آتش‌سوزی‌ها اکثراً در مناطقی رخ داده که بافت خاک لومی و لومی‌رسی بوده است. مناطقی که آتش‌سوزی در آن‌ها رخ داده است دارای بارندگی کم و درجه حرارت زیاد نسبت به سایر مناطق می‌باشند. بیشتر آتش‌سوزی‌ها در مناطق با شیب ۳۰-۰ درصد اتفاق افتاده است، همچنین بیشتر آتش‌سوزی‌ها در مناطق با ارتفاع ۱۴۰۰-۱۲۰۰ متر روی داده و در نهایت اکثر آتش‌سوزی‌ها در نواحی غربی اتفاق افتاده است. ضمناً منطقه از نظر ریسک آتش‌سوزی متوسط است که بایستی برای مناطق پرخطر تمهیداتی مانند ایجاد آتش‌یر و برج دیده‌بانی و غیره ایجاد گردد.

## بحث و نتیجه‌گیری

1989). در ارتفاعات بالاتر رطوبت نسبی هوا و رطوبت مواد سوختنی بیشتر بوده و توانایی ایجاد و گسترش آتش سوزی را محدود می‌کند (Romme & Knight, 1981). بررسی انجام شده توسط خلج و پورقاسم (۱۳۸۷) نشان می‌دهد که تأثیر دما در بروز آتش سوزی ناشی از اثری است که بر تبخیر و تعرق دارد. افزایش دما باعث افزایش تبخیر و تعرق و در نتیجه خشک شدن مواد سوختنی می‌گردد، بنابراین دما می‌تواند یکی از عوامل مؤثر بر بروز آتش سوزی باشد. اکثر آتش سوزی‌ها در مناطق با شیب ۴۵-۱۵ درصد بوده و دلیل آن را می‌توان صعود جریان هوا و انتقال حرارت حاصل از احتراق مواد سوختنی پایین دست به سمت بالای دامنه دانست. همچنین زیانه کشیدن شعله‌های آتش هنگام آتش سوزی سطحی در جنگل‌های پهن‌برگ در دامنه‌هایی با شیب زیاد، باعث انتقال توده‌های هوای گرم به مواد سوختنی مجاور می‌شود و دمای این مواد را به دمای مناسب برای آتش سوزی می‌رساند و با افزایش سرعت آتش سوزی، جریان آتش سوزی سطحی را تسهیل می‌کند (جزیره‌ای، ۱۳۸۴). در این مورد بررسی انجام شده توسط بیرانوند و همکاران (۱۳۹۰) در جنگل‌های لرستان نشان می‌دهد که بیشترین خطر آتش سوزی ۲۳ تا ۵۰ درصد است. آتش سوزی‌های این منطقه در جهت جنوبی و غربی اتفاق افتاده که دلیل آن را دمای بیشتر و رطوبت کمتر این جهات نسبت به سایر جهات می‌توان دانست.

پوشش گیاهی به‌عنوان ماده سوختنی از اصلی‌ترین عوامل تأثیرگذار در هر آتش سوزی است. ماده سوختنی می‌تواند از خشک شدن شاخ و برگ گیاهان به دلیل خشک سالی و یا یخبندان در فصل زمستان فراهم شود. انباشت مواد سوختنی در جنگل، خطر آتش سوزی را افزایش می‌دهد (نصیری و همکاران ۱۳۹۰). در فصل پاییز که سطح جنگل را برگ‌های خشک شده می‌پوشاند، گرم شدن هوا زمینه مناسبی برای آتش سوزی مواد سوختنی فراهم می‌آورد. همچنین نگهداری درختان خشک شده در فصولی که خطر آتش وجود دارد بر ریسک حریق می‌افزاید (سرکارگردگانی و همکاران، ۱۳۸۸، ب) پوشش گیاهی به‌عنوان مؤثرترین عامل وقوع آتش سوزی شناخته شده است که این نتیجه با نتایج (Almedia, 1994; Jaiswal et al., 2002; Dong et al., 2005) مطابقت

در اکوسیستم جنگل، پوشش گیاهی با بیشترین وزن مهم‌ترین عامل است، زیرا پوشش گیاهی (درختی، درختچه‌ای و پوشش علفی) به‌عنوان مواد قابل اشتعال مورد نیاز برای بروز و توسعه آتش سوزی محسوب می‌شود. تراکم پوشش گیاهی بیانگر میزان و در دسترس بودن مواد سوختنی در هر حریق است (Vadreu et al., 2010). هرچقدر تراکم پوشش علفی بیشتر باشد، ماده سوختنی برای وقوع حریق بیشتر است، در نتیجه احتمال وقوع آتش سوزی افزایش می‌یابد و برعکس. تراکم توده جنگل نیز عامل مهمی در بروز آتش سوزی جنگل است، به این شکل که در مناطق جنگلی که تراکم درختان توده زیاد است، تاج درختان مانع تابش نور خورشید به درون جنگل می‌شود و بنابراین میزان پوشش علفی کف جنگل به دلیل نرسیدن نور خورشید به کف کاهش می‌یابد. همچنین درجه حرارت هوای داخل جنگل کمتر و درجه رطوبت نسبی درون جنگل بیشتر از محیط خارج است و این باعث افزایش رطوبت مواد سوختنی جنگل شده و خطر آتش سوزی را کاهش می‌دهد. نتایج بررسی آتش سوزی‌های اتفاق افتاده در این منطقه حاکی از آن است که ۹۰ درصد آتش سوزی‌های این منطقه در نواحی جنگلی با تراکم زیاد پوشش علفی اتفاق افتاده است. این نتایج با تحقیقات بیرانوند و همکاران (۱۳۹۰) و بهزادی و همکاران (۱۳۹۷) و Ajin و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد. مناطق مورد بررسی دارای خاک لومی و لومی رسی بوده که قابلیت نگهداری آب در این نوع خاک‌ها کمتر است یا به عبارت دیگر خاک خشک‌تر است که باعث کاهش میزان رطوبت موجود در مواد سوختنی (در تماس با این خاک) شده و این امر سبب افزایش احتمال وقوع آتش سوزی می‌گردد. این نتایج با نتایج بیرانوند و همکاران (۱۳۹۰) همخوانی دارد. میزان مواد آلی خاک در مناطق مورد بررسی ۰/۹-۱/۵ است که هرچه مواد آلی خاک بیشتر باشد در نتیجه پوشش علفی بیشتر شده که با افزایش پوشش علفی مواد قابل احتراق در جنگل افزایش می‌یابد. مناطقی که در آن آتش سوزی اتفاق افتاده، اکثراً در ارتفاعات پایین بوده (۱۶۰۰-۱۴۰۰ متر از سطح دریا) و دارای میزان بارندگی کمی بوده است. از آنجایی که در ارتفاعات رطوبت بیشتر و درجه حرارت کمتر است، بنابراین احتمال وقوع حریق با افزایش ارتفاع رابطه عکس دارد (Chuvieco & Congalton, )

آتش‌سوزی تاجی و تنه‌ای تبدیل و باعث تغییر نوع آتش‌سوزی و تشدید آن می‌شود (Boboulos & Purvis, 2009).

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، آتش‌سوزی‌های این منطقه در نواحی نزدیک جاده‌های جنگلی اتفاق افتاده است. بنابراین بررسی عوامل بوم‌شناختی در این منطقه نشان می‌دهد که این عوامل به‌تنهایی باعث وقوع آتش‌سوزی نمی‌شوند، بلکه وجود این عوامل بوم‌شناختی شرایط را برای وقوع آتش‌سوزی مساعد می‌کند. درنهایت می‌توان این‌طور بیان نمود که مهم‌ترین عامل در وقوع آتش‌سوزی عامل انسانی است و پوشش گیاهی و رطوبت مواد سوختنی مهم‌ترین عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر توسعه آتش‌سوزی جنگل هستند.

جهت جغرافیایی نمایان‌گر میزان دریافت تابش نور خورشید و گرما در یک محدوده است که با خشک بودن گیاهان آن محدوده و در حقیقت ماده سوختنی در ارتباط است (Chuveico & Congalton, 1989). به‌عبارتی دیگر تأثیر جهت‌های جغرافیایی در بروز آتش‌سوزی ناشی از اثری است که بر رطوبت مواد سوختنی دارد. جهت‌های جغرافیایی به نسبت‌های مختلف انرژی خورشید را دریافت می‌کنند. به‌طورکلی جهات جنوبی و شرقی بالاترین میزان دریافت تابش خورشید را دارند و در نتیجه شرایط محیطی برای وقوع حریق مساعدتر است (Vadreu et al., 2010). جهت‌های جنوبی به میزان دو تا سه برابر جهت‌های شمالی نور و حرارت دریافت می‌کنند و معمولاً جهات جنوب غربی به‌دلیل تابش بیشتر نور خورشید در بعدازظهر و خشک شدن خاک، بالاترین درجه حرارت را دارند (مروی‌مهاجر، ۱۳۸۵). تغییرات ارتفاعی دما، میکروکلیم و پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Chandra, 2005). از آنجایی که در ارتفاعات رطوبت بیشتر و درجه حرارت کمتر است، بنابراین احتمال وقوع حریق با افزایش ارتفاع رابطه معکوس دارد (Chuvieco & Congalton, 1989). در ارتفاعات بالاتر، رطوبت نسبی هوا و رطوبت مواد سوختنی بیشتر بوده و توانایی ایجاد و گسترش آتش‌سوزی را محدود می‌کند (Romme & Knight, 1981). نقش خاک را نیز در آتش‌سوزی جنگل نمی‌توان نادیده گرفت. پوشش مرده که در خاک‌شناسی تحت افق A مشخص می‌شود، بستگی به نوع مواد، وضعیت آب‌وهوایی،

دارد. بررسی انجام‌شده توسط محمدی (۱۳۸۹) در جنگل‌های کردستان نشان می‌دهد که پوشش گیاهی مهم‌ترین عامل مؤثر در آتش‌سوزی جنگل است. Dong و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی جنگل‌های Baihe چین و Jaiswal و همکاران (۲۰۰۱) در بررسی جنگل‌های هند پوشش گیاهی را مهم‌ترین عامل مؤثر در آتش‌سوزی جنگل عنوان نمودند.

نتایج بررسی تعیین سطوح خطر آتش‌سوزی و میزان اثر عوامل محیطی مانند اقلیم و عوامل فیزیوگرافی بر میزان وقوع حریق در جنگل‌های سردشت در استان آذربایجان غربی توسط ارزیابی واحدهای همگن زیست‌محیطی در این منطقه، چهار سطح خطر را نشان می‌دهد. از مجموع ۵۴۱ واحد همگن زیست‌محیطی که مورد ارزیابی قرار گرفت، تعداد ۵۴ واحد در منطقه بدون خطر تعداد ۱۶۸ واحد در منطقه کم‌خطر، تعداد ۲۰۸ واحد در منطقه دارای خطر متوسط و تعداد ۱۱۱ واحد در منطقه پرخطر واقع گردید، همچنین شیب زمین یکی از عوامل تأثیرگذار در سرعت و جهت انتشار آتش است (Brown & Sieg, 1996). چنانچه در آتش‌سوزی‌هایی با شدت کم، شیب نقش عمده‌ای در انتشار آتش دارد، درحالی که در آتش‌سوزی‌هایی با شدت زیاد، اثر شیب ناچیز و آتش به‌صورت بی‌قاعده انتشار می‌یابد (Swanson, 1981). شیب، میزان و جهت گسترش آتش را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Vadreu et al., 2010). طبق بررسی‌های انجام‌شده، میزان تخریب و خسارت نیز در شیب‌های شدیدتر بیشتر است (Chuveico & Congalton, 1989). طبق تحقیقات، انتشار آتش در شیب‌های بالاتر از ۲۰ درجه تقریباً دو برابر از انتشار آن در شیب‌های پایین‌تر است (Chandra, 2005). افزایش شیب به‌طور مداوم باعث افزایش گسترش و توسعه آتش‌سوزی سطحی می‌شود، اما عامل محدودکننده آن در شیب‌های بالا عدم وجود لاشبرگ در این شیب‌ها است. به نظر می‌رسد که دلیل کم بودن مقدار لاشبرگ در شیب‌های بالا، انتقال لاشبرگ درختان در اثر نیروی جاذبه به پایین دامنه و یا نقاطی با شیب ملایم است. در شیب‌های بالا معمولاً به‌دلیل تمایل عمومی درختان و در دسترس بودن شاخه‌های آنها (شاخه‌های پایین‌تنه درخت) آتش‌سوزی سطحی به

ارتفاع از سطح دریا، نوع و تیپ خاک و دخالت انسان در امر بهره‌برداری از جنگل دارد و در رابطه با حاصل‌خیزی رویشگاه، امکان یا عدم امکان تجدید حیات طبیعی و آتش‌سوزی جنگل نقش بسیار مهمی را بر عهده دارد. هرچه قابلیت نگهداری آب در خاک کمتر باشد یا به عبارت دیگر خاک خشک‌تر باشد باعث کاهش میزان رطوبت موجود در مواد سوختنی (در تماس با این خاک) شده که این امر باعث افزایش احتمال وقوع آتش‌سوزی می‌گردد. چون رطوبت مواد سوختنی به‌ویژه آن دسته از مواد سوختنی که بر خاک تکیه دارند تابعی از رطوبت زمین است که خود نیز به مقدار آب زیرزمینی بستگی دارد و هر چه قابلیت نگهداری آب در خاک کمتر باشد مقدار آب زیرزمینی کاهش یافته و خاک خشک‌تر شده، در نتیجه رطوبت مواد سوختنی کاهش می‌یابد. در نهایت هر چه مواد آلی خاک بیشتر باشد در نتیجه پوشش علفی بیشتر می‌شود. با افزایش پوشش علفی مواد قابل احتراق در جنگل نیز افزایش می‌یابد.

یکی از عوامل کنترل‌کننده آتش‌سوزی در جنگل بارندگی است، اگر باران به مقدار زیاد و به‌طور یکنواخت بیارد رطوبت مواد سوختنی به حدی خواهد رسید که آتش‌سوزی رخ نمی‌دهد. در این زمینه باید به مقدار بارندگی و سیستم به وجود آورنده آن دقت کرد، چراکه بارندگی‌هایی که همراه با رعدوبرق شدید می‌باشند خود می‌توانند باعث بروز آتش‌سوزی شوند. علاوه بر باران به رطوبت نسبی جو نیز که بر قابلیت اشتعال مواد سوختنی مؤثر است باید اشاره نمود. به‌طور کلی، وقتی مقدار رطوبت مواد سوختنی از ۳۰ درصد بگذرد از شراره‌های عادی از قبیل شعله کبریت و آتشی که در موقع تفرج در جنگل فروخته می‌شود، خطر آتش‌سوزی وجود ندارد. اما چنانچه میزان رطوبت در مواد سوختنی از این حد کاهش یابد، آتش‌سوزی ممکن و هر قدر رطوبت کمتر باشد شدت وقوع و انتشار حریق زیادتر خواهد بود. از بررسی‌های انجام‌شده این نتیجه به‌دست‌آمده که تنها رطوبت نسبی جو در میزان رطوبت مواد سوختنی مؤثر نیست، بلکه عواملی از قبیل درجه حرارت محیط، تعداد ساعاتی که از آخرین بارندگی می‌گذرد نیز در میزان رطوبت مواد سوختنی مؤثر هستند. تأثیر دما در بروز آتش‌سوزی ناشی از اثری است که بر تبخیر و تعرق دارد. افزایش دما باعث افزایش تبخیر و تعرق و در نتیجه خشک شدن

مواد سوختنی می‌گردد. بنابراین دما می‌تواند یکی از عوامل مؤثر بر بروز آتش‌سوزی باشد. در مورد نتایج حاصل از ارزیابی ریسک اگر ریسک کلی به‌دست‌آمده ۵۰-۳۰ درصد باشد، منطقه از نظر ریسک خطر آتش‌سوزی متوسط و اگر ۷۰-۵۰ درصد باشد منطقه دارای ریسک بالای خطر آتش‌سوزی است. در نهایت اگر ریسک کلی به‌دست‌آمده ۱۰۰-۷۰ درصد باشد، منطقه دارای ریسک بسیار بالای آتش‌سوزی است و بایستی اقداماتی نظیر ایجاد آتش‌بر، قرق‌کردن منطقه، ایجاد برج دیده‌بانی و وسایل اطفاء حریق قرار داد.

میزان ریسک کلی محاسبه‌شده برای منطقه مورد مطالعه ۳۸ درصد است. منطقه از نظر خطر ریسک آتش‌سوزی متوسط است. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان مناطقی را که فراوانی و خسارات وارده از آتش‌سوزی جنگل در آن تقریباً بالا است (مناطق مستعد آتش‌سوزی) شناسایی و اهمیت نسبی هر یک از پارامترهای ایجادکننده آتش‌سوزی در جنگل را برآورد نمود. از این سیستم می‌توان برای تولید نقشه خطر آتش‌سوزی و برای ایجاد نسخه‌های به‌روز شده این نقشه در هر سال استفاده کرد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش برای این منطقه چهار سطح خطر (بدون خطر، کم‌خطر، متوسط و پرخطر) در نظر گرفته شد. در این میان سهم منطقه بدون خطر نسبت به سایر مناطق کمتر است و بیشترین سهم را منطقه با خطر متوسط به خود اختصاص داده است. با توجه به بررسی فاکتورهای مؤثر بر خطر آتش‌سوزی در نهایت می‌توان چنین برداشت کرد که وقوع آتش‌سوزی به تأثیر فراوان یک عامل بوم‌شناختی بستگی ندارد، بلکه برای وقوع آتش‌سوزی برآیند کلی عوامل بوم‌شناختی تأثیرگذار در این فرآیند همراه با تأثیر عوامل انسانی باید مهیا باشد.

#### منابع

- اصغری‌پور، م. (۱۳۸۰) تصمیم‌گیری چندمعیاره، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۹۸ صفحه.
- بانج‌شفیعی، ع.، اکبری‌نیا، م.، جلالی، غ.ع.، عزیزی، پ. و حسینی، م. (۱۳۸۶) تأثیر آتش‌سوزی بر ساختار جنگل، مطالعه موردی سری چلیخ خیرودکنار، حوزه ۴۵ گلبدن نوشهر. مجله پژوهش و سازندگی، ۲۰(۳): ۱۰۵-۱۱۲.

سرکارگردکانی، ع.، ولدان‌زوج، م.ج. و منصوریان، ع. (۱۳۸۸الف) تحلیل فضایی نیروی آتش‌سوزی مناطق مختلف کشور با استفاده از RS و GIS. نشریه محیط-شناسی، ۴(۵۲): ۲۵-۳۴.

سرکارگردکانی، ع.، ولدان‌زوج، م.ج.، منصوریان، ع. و محمدزاده، ع. (۱۳۸۸ب). تجزیه و تحلیل طیفی آتش‌به-منظور شناسایی و برآورد وسعت مناطق دچار حریق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. مجله سنجش‌ازدور و GIS ایران، ۳: ۶۵-۸۰.

غلامی مافی، د.، نوری کمری، ا.، صادقی، ش. (۱۳۸۸) تأثیر آتش‌سوزی بر اکوسیستم جنگل، دومین کنفرانس بین‌المللی جایگاه ایمنی، بهداشت و محیط زیست در سازمان‌ها. کرمی، ف. (۱۳۹۵) نابودی جنگل‌ها آتش‌سوزی، سومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی، برلین آلمان، ۱۹ تیر ۱۳۹۵.

محمدی، ف.، شعبانیان، ن.، پورهاشمی، م. و فاتحی، پ. (۱۳۸۹) تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از GIS و AHP در بخشی از جنگل‌های پاوه. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۸(۴): ۵۶۹-۵۸۶.

مرادزاده آذر، ن.، بابایی کفاکی، س.، کیادلیری، ه.، بانج شفیعی، ع. (۱۳۹۲) پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و GIS همراه با ارزیابی ریسک (مطالعه موردی: جنگل‌های حوزه زاب - سردشت)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته منابع طبیعی، جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران. مروی مهاجر، م (۱۳۸۵) جنگل‌شناسی و پرورش جنگل، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۸۷ ص.

منصوری، نبی‌اله، نظری، ر.، نصیری، پ. و قراگوزلو، ع.ر. (۱۳۹۰) تدوین برنامه مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل با تکنولوژی GIS و RS. مجله کاربرد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی، ۲(۳): ۶۳-۷۳.

نصیری، م.، حجتی، م. و تفضلی، م. (۱۳۹۱) شبیه‌سازی آتش-سوزی سطحی به‌منظور بررسی سرعت گسترش آن در

بهبزادی، ح.، محتشم‌نیا، س. و قره‌داغی، ح. (۱۳۹۷) پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی مراتع و جنگل‌ها با استفاده از GIS و مدل AHP (مطالعه موردی پارک ملی بمو)، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۵(۴): ۸۱۷-۸۲۸. بیرانوند، ع.، بابایی کفاکی، س. و کیادلیری، ه. (۱۳۹۰) بررسی تأثیر عوامل اکولوژیکی بر توسعه آتش‌سوزی در زیست‌بوم‌های جنگلی، مطالعه موردی کاکارضا - لرستان. مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۲(۲): ۱-۱۳.

بیگی حیدرلو، ه.، بانج شفیعی، ع.، و عرفانیان، م. (۱۳۹۱) بررسی مهم‌ترین عوامل محیطی و فیزیوگرافی مؤثر بر فراوانی آتش‌سوزی جنگل‌های سردشت. اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار در بخش‌های کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست، ۸ ص. جزیره‌ای م. ۱۳۸۴. نگهداشت جنگل، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۵۲ ص.

خلج، ع.، پورقاسم، م. (۱۳۸۷) نقش آب‌وهوا و عوامل جوی در آتش‌سوزی جنگل‌ها، اولین کنفرانس بین‌المللی جایگاه ایمنی، بهداشت و محیط زیست در سازمان‌ها، اصفهان، ۹ ص.

رحیمی‌زاده، ن.، بابایی کفاکی، س. و متاجی، ا. (۱۳۹۰) تعیین گونه‌های مناسب جنگل‌کاری بر اساس توان اکولوژیک جنگل‌های دامنه جنوبی البرز با استفاده از روش GIS (درکه ولنجک شمیران). فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، ۷(۱): ۴۳-۵۶.

زارع، ر.، بابایی کفاکی، س.، متاجی، ا. (۱۳۹۰) ارزیابی توان رویشگاه به منظور تعیین گونه‌های مناسب جنگل‌کاری در دامنه‌های جنوبی البرز با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دره وسیه)، تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۱(۳): ۵۵-۶۷.

زرع‌کار، ا.، کاظمی‌زمانی، ب.، قربانی، س.، عاشق‌معلا، م. و جعفری، ح.ر. (۱۳۹۲) تهیه نقشه پراکندگی فضایی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی سه حوزه جنگلی در استان گیلان. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۱(۲): ۲۱۸-۲۳۰.

- Systems to Forest Fire Hazard Mapping, REMOTE SENS. ENVIRON, 29:147-159.
- Dong, X., 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: 169-174.
- Jaiswal, R., Mukherjee, S., Raju, K. and Saxena, R. (2002) Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 4: 1-10.
- Said, S.N.M.B.M., Zahran, E.S.M.M. and Shams, S. (2017) Forest fire risk assessment using hotspot analysis in GIS. *The Open Civil Engineering Journal*, 11(1): 786-801.
- Rahimizadeh, N., Sahebi, M., Babaie Kafaki, S. and Mataji, A. (2021) Estimation of trees height and vertical structure using SAR interferometry in uneven-aged and mixed forests, *Environ Monit Assess*, 193:298.
- Romme, W. and Knight, D. (1981) Fire Frequency and Subalpine Forest Succession Along a Topographic Gradient in Wyoming, *Ecological society of America*, 62(2):319-326.
- Swanson, F. (1981) Fire and Geomorphic Process, processing fire regimes and ecosystems conference 1973 december 11-15; Honolulu.
- You, W., Lin, L., Wu, L., Ji, Z., Zhu, J., Fan, Y. and He, D. (2017) Geographical information system-based forest fire risk assessment integrating national forest inventory data and analysis of its spatiotemporal variability. *Ecological Indicators*, 77: 176-184.
- Vadrevu, K., Eaturu, A. and Badarinath, K. (2010) Fire risk evaluation using multicriteria analysis—a case study, *Environmental Monitoring and Assessment*, volume 166: 223-239.
- جنگل آمیخته پهن برگ. فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۰(۱): ۵۰-۶۱.
- ورجاندناصری، ح.، زرعیکار، آ.، قربانی، س. و کاظمی، ب. (۱۳۹۴) پهنه بندی خطر آتش سوزی جنگلی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی منطقه حفاظت شده جنگلی هلن - زاگرس مرکزی. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۲۶(۱): ۱۶۷-۱۸۰.
- Ajin, R.S., Loghin, A.M., Vinod, P.G. and Jacob, M.K. (2016) Forest fire risk zone mapping using RS/GIS techniques: A study in Achankovil forest division, Kerala. *India Journal of Earth Environment and Health Sciences*, 2(3): 109-115.
- Almedia, R. (1994) Forest fire hazard areas and definition of the prevention priority planning actions using GIS, EGIS Foundation.
- Boboulos, M. and Purvis, M. (2009) Wind and slope effects on ROS during the fire propagation in East-Mediterranean pine forest litter, *Fire Safety Journal* 44(5):764-769.
- Brown, M. and Sieg, C. (1996) Fire history in interior ponderosa pine communities of the Black Hills, South Dakota, USA, *International Journal of Wildland Fire*. 6(3): 97-105.
- Chandra, S. (2005) Application of Remote Sensing and GIS Technology in Forest Fire Risk Modeling and Management of Forest Fires: A Case Study in the Garhwal Himalayan Region, *Geo-information for Disaster Management* , pp.1239-1254.
- Chuvieco, E. and Congalton, R. (1989) Application of Remote Sensing and Geographic Information

## Fire risk mapping using hierarchical analysis and GIS methods along with risk assessment in the Zab-Sardasht forests

Sasan Babaie Kafaki<sup>1</sup>, Negar Moradzadeh Azar<sup>2</sup>, Hadi Kiadaliri<sup>1</sup>, Abbas Banj Shafiei<sup>3</sup> and Naimeh Rahimizadeh<sup>4</sup>

- 1) Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. \*Corresponding Author Email Address: s\_babaie@srbiau.ac.ir
- 2) M.Sc. Graduated of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
- 3) Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.
- 4) Ph.D. Graduated of forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Date of Submission: 2020/06/15

Date of Acceptance: 2021/02/28

### Abstract

Fire is an integral part of most ecosystems, which have negative environmental and social consequences. The identification of effective factors in the occurrence of fire and mapping of fire risk in the forest is one of the basic tools to achieve fire control and countermeasures. The purpose of this study is to identify the ecological factors affecting the development of fire and assess the risk of fire in the forests of Sardasht region using a geographic information system. After basic studies, homogeneous environmental units were produced and divided into four classes using the multi-criteria evaluation method. The ecological conditions of the areas with a history of fire were investigated by conducting field studies. Data analysis was performed using a geographic information system and hierarchical analysis. The fire risk assessment was also performed linearly. In conclusion, vegetation and climatic factors are the most important ecological factors affecting the development of fires in the forest ecosystem. Besides, the area was moderate in terms of fire risk, and measures should be taken for high-risk areas, such as building fire stations and watchtowers.

**Keywords:** Fire, GIS, Hierarchical analysis, Sardasht, GIS, SAW.