# پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در پارک ملی گلستان با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی (WLC)

**طیبه میردیلمی[۱]، شعبان شتایی*[۲] و محمدرضا کاووسی[۳]**

[۱]دانش آموخته ارشد جنگلداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۲]دانشیار گروه جنگلداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
استادیار گروه جنگلداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۶)

## چکیده

آتش‌سوزی جنگل از مخاطرات مهم در عرصه‌های طبیعی جنگل‌های ایران و بویژه در جنگل‌های خزری است. پهنه‌بندی عرصه‌های جنگلی از نظر احتمال وقوع آتش‌سوزی، یکی از تدابیر سازمان‌های اجرایی و آموزشی برای شناسایی و پیشگیری از وقوع آتش‌سوزی است. در این بررسی با استفاده از روش چندعاملهٔ ترکیب خطی وزنی (WLC) و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در محیط GIS در پارک ملی گلستان با هدف تعیین مناطق دارای احتمال زیاد خطر، پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی صورت پذیرفت. معیارهای مختلف از عوامل چهارگانهٔ اقلیم، توپوگرافی، پوشش گیاهی و عوامل انسانی به روش‌های مختلف محیط GIS تهیه شدند. نقشهٔ موقعیت مناطق آتش‌سوزی در سنوات گذشته تهیه شد، و احتمال وقوع آتش‌سوزی در هر یک از طبقه‌های معیارهای عوامل چهارگانه محاسبه شد. با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و با توجه به سهم وقوع آتش‌سوزی در هر طبقه و مقایسه‌های زوجی وزن معیارها تعیین شد. با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی لایه‌های مختلف با هم ترکیب و نقشهٔ احتمال وقوع آتش‌سوزی تهیه شد و با دسته‌بندی به چهار طبقهٔ کم‌خطر، متوسط، خطرناک و پرخطر، پهنه‌بندی منطقه صورت پذیرفت. نقشهٔ پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی با استفاده از چند نقطهٔ آتش‌سوزی که در فرآیند بررسی، استفاده نشده بودند، ارزیابی شد. نتایج نشان داد که بیشترین نقاط دچار آتش‌سوزی در مناطق پرخطر و خطرناک قرار داشتند. این نتیجه نشان داد که مدل ترکیب خطی وزنی توانست منطقهٔتحت بررسی را از نظر احتمال وقوع آتش پهنه‌بندی کند.

**واژه‌های کلیدی**: آتش‌سوزی جنگل، پارک ملی گلستان، پهنه‌بندی خطر، ترکیب خطی وزنی.

*نویسنده مسئول تلفن: ۰۱۷۱۴۴۲۷۰۵۰ Email: shataee@yahoo.com

**مقدمه و هدف**

جنگل‌ها میراثی گران‌بها هستند که علاوه بر استفاده از آن‌ها، در حفظ و حراستشان نیز باید کوشا بود. اما طی سالیان متمادی، در اثر بی‌توجهی و بی‌مبالاتی کم‌کم رو به زوال و نابودی نهاده و چهرهٔ متفاوتی به خود گرفته‌اند. خطرهای زیادی جنگل‌ها را تهدید می‌کند که یکی از آن‌ها آتش‌سوزی است. آتش‌سوزی‌های جنگلی در اثر مشخصه‌های فیزیکی، بیولوژیکی، اکولوژیکی و محیطی به‌وجود می‌آیند (Jaiswal *et al*., 2002). بسته به اقلیم یا موقعیت اقتصادی و اجتماعی جوامع ساکن در پیرامون جنگل‌ها، حریق‌های جنگلی ممکن است علل طبیعی یا انسانی داشته باشد که همان‌گونه که مطرح شد، در هر دو مورد می‌توان نه به‌طور کامل، اما تا حد زیادی پیامدهای مخرب آن را کاهش داد. آتش‌سوزی‌های سالیانه، سبب کاهش رشد علف‌ها، گیاهان و درختچه‌ها می‌شود که یکی از نتایج آن، افزایش فرسایش خاک است (Kandya *et al*., 1998). به این منظور، در ابتدا باید با پژوهش‌های میدانی و جنگل‌گردشی‌های پی‌درپی، بررسی‌های جامعی از منطقه، اعم از وضعیت توپوگرافی، اقلیمی، نوع و تراکم پوشش گیاهی و وضعیت اقتصادی و اجتماعی مردم در شهرها و روستاهای اطراف صورت گیرد و عوامل و مشخصه‌های مؤثر بر ایجاد و گسترش آتش‌سوزی مشخص شود.

یکی از تدابیری که برای کنترل حریق و کاهش خطرهای آن اندیشیده می‌شود، پهنه‌بندی خطر است. پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی عبارت است از دسته‌بندی منطقه به محدوده‌های با پتانسیل‌های متفاوت و انتشار حریق بر اساس مشخصه‌های موثر بر آن. به‌عبارت دیگر، با در دست داشتن عوامل دخیل در ایجاد آتش‌سوزی، می‌توان منطقه را به نواحی با احتمال خطر کم، متوسط و زیاد تقسیم کرد که با وجود این ناحیه‌بندی، می‌توان در آینده تصمیم‌گیری بهتر و علمی‌تری برای استقرار ابزار و ادوات مهار آتش اعمال کرد.

پهنه‌بندی احتمال وقوع آتش تاکنون به روش‌های مختلف پارامتریک و ناپارامتریک صورت گرفته است که می‌توان به روش‌های رگرسیون لجستیک (Hernandez-Leal *et al*., 2006; Martinez *et al*., 2009; Preisler *et al*., 2004; Zhang *et al*., 2009) ترکیب خطی وزنی ساده (Dong *et al*., 2005) روش ترکیب خطی وزنی با استفاده از روش AHP برای تعیین مقدار وزن عوامل و معیارهای مؤثر بر وقوع آتش (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ مهدوی و همکاران،۱۳۹۰؛ اسعدی اسکویی و همکاران، ۱۳۹۰ (Vadrevu *et al*., 2010; Sharma *et al*., 2009; فازی لجستیک (Iliadis, 2005) شبکه‌های عصبی (Alonso-Betanzos *et al*., 2002; Vasilakos *et al*., 2007) و دیگر روش‌های نوین ناپارامتریک نظیر روش‌های داده‌کاوی[1] و یادگیری ماشین[2] اشاره کرد که به‌کارگیری آنها، مستلزم تهیه و اجرای دقیق مدل‌های حاصل بین عوامل مؤثر بر وقوع آتش است. هر یک از این روش‌ها با توجه به پیچیدگی فرآیند آتش‌سوزی در مناطق مختلف و تأثیرگذاری عوامل مختلف، فواید و معایبی دارند و در بسیاری از موارد و مکان‌ها، ممکن است کارایی لازم را برای پیش‌بینی دقیق و پهنه‌بندی مکانی خطر آتش‌سوزی در مناطق مختلف نداشته باشند. تجربه و به‌کارگیری آنها در مناطق مختلف می‌تواند در نتیجه‌گیری برای انتخاب بهترین و مؤثرترین روش کمک زیادی کند.

در این تحقیق از روش ترکیب خطی وزنی استفاده شد و پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در منطقه مورد بررسی صورت گرفت. روش ترکیب و همپوشانی خطی وزنی، یکی از روش‌های پارامتریک مدلسازی است که در زمینه‌های مختلف مدلسازی وقوع پدیده‌هایی نظیر زمین‌لغزش، تعیین و اولویت‌بندی مناطق با قابلیت

1. Data mining
2. Machine learning

عبور متفاوت جاده و موارد دیگر از جمله در مدلسازی احتمال وقوع آتش به‌کار می‌رود. در این روش، متغیرهای مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی بعد از کمی‌سازی و تهیهٔ نقشهٔ رستری، با توجه به شدت تأثیر به‌صورت خطی با وزن‌هایی که از طریق تعیین شدت وقوع تعداد یا سطح آتش‌سوزی (چگالی نسبی) (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹) در هریک از متغیرهای موردنظر به‌دست می‌آید (در صورت نبود این داده‌ها یا عدم استفاده از آن‌ها، این وزن‌ها از طریق نظرهای کارشناسی، یا با استفاده از مقایسهٔ زوجی و روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) تعیین و در ترکیب خطی مورد استفاده قرار می‌گیرد)، در محیط GIS با هم ترکیب می‌شوند و مدل مکانی نهایی به‌صورت اعداد و ارقام، مقدار وقوع آتش در هر یک از سلول‌های رستری نشان داده می‌شود. با طبقه‌بندی این اعداد پیوسته در طبقه‌های کم تا زیاد، مناطق کم‌خطر تا پرخطر تعیین می‌شود. در این روش، استفاده از اطلاعات تاریخی وقوع آتش‌سوزی ضروری است. در دنیا تحقیقاتی نیز با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی انجام گرفته و قابلیت این روش در پهنه‌بندی تایید شده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. Sharma و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از GIS و داده‌های دورسنجی و استفاده از روش ترکیب وزنی، نقشهٔ پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی را با ترکیب نقشه‌های شاخص‌های نوع سوخت، شیب، جهت و دسترسی فاصله‌ای و با وزن‌های متفاوت به‌دست آمده براساس اهمیت متغیرهای مؤثر بر آتش، تولید کردند. همچنین محمدی و همکاران (۱۳۸۹) نقشه خطر آتش‌سوزی در جنگل را با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی و AHP برای بخشی از جنگل‌های پاوه تهیه کرده و منطقهٔ موردنظر را به پنج طبقهٔ خطر از خیلی‌زیاد تا خیلی‌کم دسته‌بندی کردند. برای ارزیابی نقشهٔ پهنه‌بندی، نقشهٔ پراکنش آتش‌سوزی گذشته را با نقشه پهنه‌بندی تهیه‌شده تطابق دادند و نتیجه گرفتند که ۹۰ درصد از مناطق آتش‌گرفته در پهنه‌های با خطر زیاد قرار دارند.

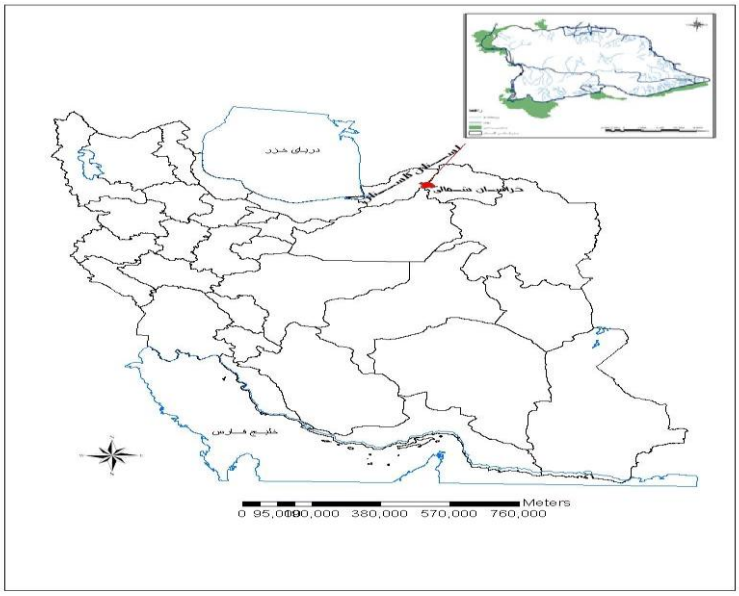
مرور منابع نشان می‌دهد که روش ترکیب خطی وزنی در عین ساده بودن، کارآیی خوبی در مدلسازی خطر وقوع آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی دارد و می‌توان آن را به‌عنوان یک مدل خوب به‌کارگرفت. با توجه به آتش‌سوزی‌های وسیع و پرتکرار در جنگل‌های استان گلستان و به‌ویژه در پارک ملی گلستان در سال‌های اخیر، هدف این بررسی، تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در منطقهٔ پارک ملی گلستان بر اساس مشخصه‌های مؤثر بر آتش‌سوزی شامل عوامل فیزیوگرافی، اقلیمی، پوشش و انسانی، با استفاده از شیوهٔ AHP در محیط GIS به روش ترکیب خطی وزنی است. به این ترتیب می‌توان مناطق با پتانسیل زیاد خطر را تعیین کرد و در نتیجه زمان و هزینه‌های کنترل و مهار آتش‌سوزی را کاهش داد.

## مواد و روش‌ها

### - منطقهٔ مورد بررسی

پارک ملی گلستان در شمال شرقی ایران و شرق استان گلستان، در حد فاصل ″۴۳ ′۱۶ °۳۷ تا ″۳۵ ′۳۱ °۳۷ عرض شمالی و ″۲۵ ′۴۳ °۵۵ تا ″۴۸ ′۱۷ °۵۶ طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت پارک حدود ۸۷۲۴۲ هکتار و محیط آن ۱۴۷ کیلومتر است. جادهٔ ترانزیتی معروف به جادهٔ آسیایی که شمال و مرکز ایران را به شمال شرقی ایران وصل می‌کند، به طول ۳۵ کیلومتر از درون پارک می‌گذرد. ارتفاع منطقه در پست‌ترین نقطه به ۴۵۰ متر و در مرتفع‌ترین نقطه به ۲۴۱۱ متر می‌رسد. پارک ملی گلستان در بین دو ناحیهٔ اقلیمی کاملاً متفاوت، یعنی معتدل مرطوب و سرد و خشک واقع شده است. اغلب اقلیم در طول چندصد متر از غرب به شرق، یا شمال به جنوب و برعکس، یا با تغییر اندک ارتفاع به‌شدت تغییر می‌کند. میانگین سالیانهٔ بارش نیز بین ۱۴۲ تا ۸۶۶ میلی‌متر متغیر است. البته مناطق مرتفع در یال‌های شمالی باران بیشتری (حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر) دریافت

می‌کنند. در بیشتر ایستگاه‌ها، اغلب بارندگی از اواخر پاییز تا ابتدای بهار رخ می‌دهد. دمای متوسط سالانهٔ پارک ملی گلستان بین ۱۱/۵ و ۱۷/۵ درجهٔ سانتی‌گراد متغیر است. رطوبت نسبی هوا در زمستان تا ۱۰۰ درصد (اشباع) نیز می‌رسد و در تابستان به ۱۸درصد می‌رسد. متوسط رطوبت نسبی منطقه ۷۵ درصد است. در این منطقه بادهای شدیدی با سرعت ۱۲ متر بر ثانیه با جهت شمال شرقی می‌وزد (آخانی،۱۳۸۳).




شکل ۱- موقعیت منطقهٔ مورد بررسی در استان گلستان و ایران

**- داده‌های به‌کار رفته**

از نقشهٔ آنالوگ ۱:۵۰۰۰۰ تیپ پوشش گیاهی که سازمان حفاظت محیط زیست تهیه کرده است، استفاده شد. اطلاعات آتش‌سوزی سنوات گذشته، در آرشیو ادارات کل منابع طبیعی و محیط‌زیست استان گلستان (از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹) موجود است. فایل‌های رقومی خطوط میزان منحنی، رودخانه‌ها به صورت شاخه‌های اصلی و فرعی و روستاهای اطراف، اطلاعات دما و بارش منطقه از ایستگاه‌های سینوپتیک اطراف منطقه تهیه شد.

**- روش تحقیق**

بر اساس مطالعات در داخل و خارج از کشور و همچنین ویژگی‌های طبیعی منطقه، عوامل تأثیرگذار بر حریق شامل عوامل فیزیوگرافی (ارتفاع، شیب، جهت)، پوشش گیاهی (تیپ پوشش گیاهی و کاربری اراضی)، عوامل اقلیمی (دما، بارش) و عوامل فاصله‌ای (نسبت فاصله از رودخانه، جاده و اراضی زراعی) مشخص و برای هریک از این عوامل لایهٔ مکانی در محیط GIS تهیه شد. نقشهٔ تیپ پوشش گیاهی پارک ملی گلستان که از سازمان حفاظت محیط زیست کشور تهیه شد، در محیط GIS زمین‌مرجع و رقومی گردید و به‌صورت یک لایهٔ مکانی آماده استفاده شد. در منطقهٔ مورد بررسی ۱۶ تیپ گیاهی مرتعی و جنگلی وجود دارد.

در روی نقشهٔ رقومی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه، خطوط میزان منحنی، رودخانه‌ها و روستاها نیز جداگانه استخراج شد. از لایهٔ خطوط میزان، مدل رقومی ارتفاع (DEM) تولید و نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع تهیه شد. سپس این نقشه‌ها به طبقه‌های مختلف طبقه‌بندی شدند. نقشه‌های کاربری اراضی منطقه با دو کاربری جنگل و مرتع با استفاده از تصاویر برگرفته از Google earth رقومی و بهنگام شد. همچنین لایهٔ جاده موجود نیز با استفاده از

Google earth و کنترل زمینی بهنگام شد. با استفاده از تابع فاصله، لایهٔ فاصله از جاده ایجاد و به طبقه‌های معینی تقسیم شد.

اراضی کشاورزی اطراف محدودهٔ پارک نیز با استفاده از تصاویر برگرفته از Google earth رقومی شده و به صورت یک لایهٔ مکانی آمادهٔ کار شد. همچنین با استفاده از تابع فاصله لایه فاصله از اراضی زراعی تولید و سپس طبقه‌های فواصل از اراضی زراعی تهیه گردید. نقشه‌های بارش متوسط و دمای متوسط شش ماهه (فصول تابستان و پاییز که بیشترین آتش‌سوزی در آنها اتفاق می‌افتد) نیز با استفاده از درون‌یابی اطلاعات ایستگاه‌های موجود تهیه و طبقه‌بندی شد. بر اساس اطلاعات ثبت‌شدهٔ کارشناسان ادارات کل منابع طبیعی و محیط زیست استان و موقعیت و محدوده‌های مناطق آتش‌سوزی‌شده در چند سال اخیر که با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) برداشت شده بود، لایهٔ رقومی محدوده‌های آتش‌گرفته تهیه شد.

هر یک از عوامل تهیه‌شده تأثیر متفاوتی در وقوع آتش در عرصه‌های طبیعی دارند. بنابراین برای مدلسازی نیز وزن هر یک از این عوامل باید تعیین شود. این اوزان را می‌توان با استفاده از روند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) تعیین کرد. در روند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) ابتدا باید مطلوبیت تأثیر عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی به صورت دو به دو مقایسه شود. سپس نتیجهٔ این قضاوت‌های کارشناسی، باید در محیط نرم‌افزارهای تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به صورت اوزان لایه‌ها تبدیل شود. بهترین روش برای بیان مقدار تأثیر عوامل و مقایسه‌ها، استفاده از داده‌های طبیعی و وقوع‌یافته است. این فرآیند بر مبنای شناخت ویژگی‌های طبیعی ناحیهٔ مورد بررسی انجام می‌گیرد و وزن طبقه‌ها بر اساس بیشترین نقشی است که آن لایه در وقوع پدیده مؤثر است. این روش در مقایسه با تکمیل پرسشنامه توسط کارشناسانی که ممکن است در مورد منطقه شناخت کاملی نداشته باشند، نتایج مطمئن‌تری را به همراه دارد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). در این تحقیق به منظور وزن‌دهی از آتش‌سوزی‌های سنوات گذشته بهره گرفته شد، به این صورت که با استفاده از نقشهٔ مناطق آتش‌گرفته، ارزش یا مقدار کمی وزن هر یک از طبقه‌های مربوط به عوامل، از طریق تعیین سطح تحت اشغال حریق‌های روی داده در هر یک از طبقه‌های لایه‌های موردنظر به‌صورت درصد مساحت دچار آتش‌سوزی به مساحت کل منطقهٔ آتش‌گرفته، بین ۱۰۰-۰ تعیین شد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). در هر یک از سطوح سلسله‌مراتبی بیشترین مقدار به دست آمده به سطح بالاتر نسبت داده شد و در نهایت با دادن این مقادیر به بخش ضمیمهٔ AHP نرم‌افزار GIS وزن هر کدام از طبقه‌ها به‌دست آمد. سپس با استفاده از تحلیل مکانی محیط GIS و اعمال عمل جمع بین نقشه‌های وزن داده‌شده عوامل مؤثر، براساس رابطه زیر، نقشهٔ پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی تهیه شده و سپس در چهار طبقهٔ کم خطر، متوسط، خطرناک و پرخطر دسته‌بندی شد.

$$P = a(S) + b(A) + c(E) + d(T) + e(L) + f(TE) + g(R) + h(Dr) + i(Dag) + j(Dri)$$

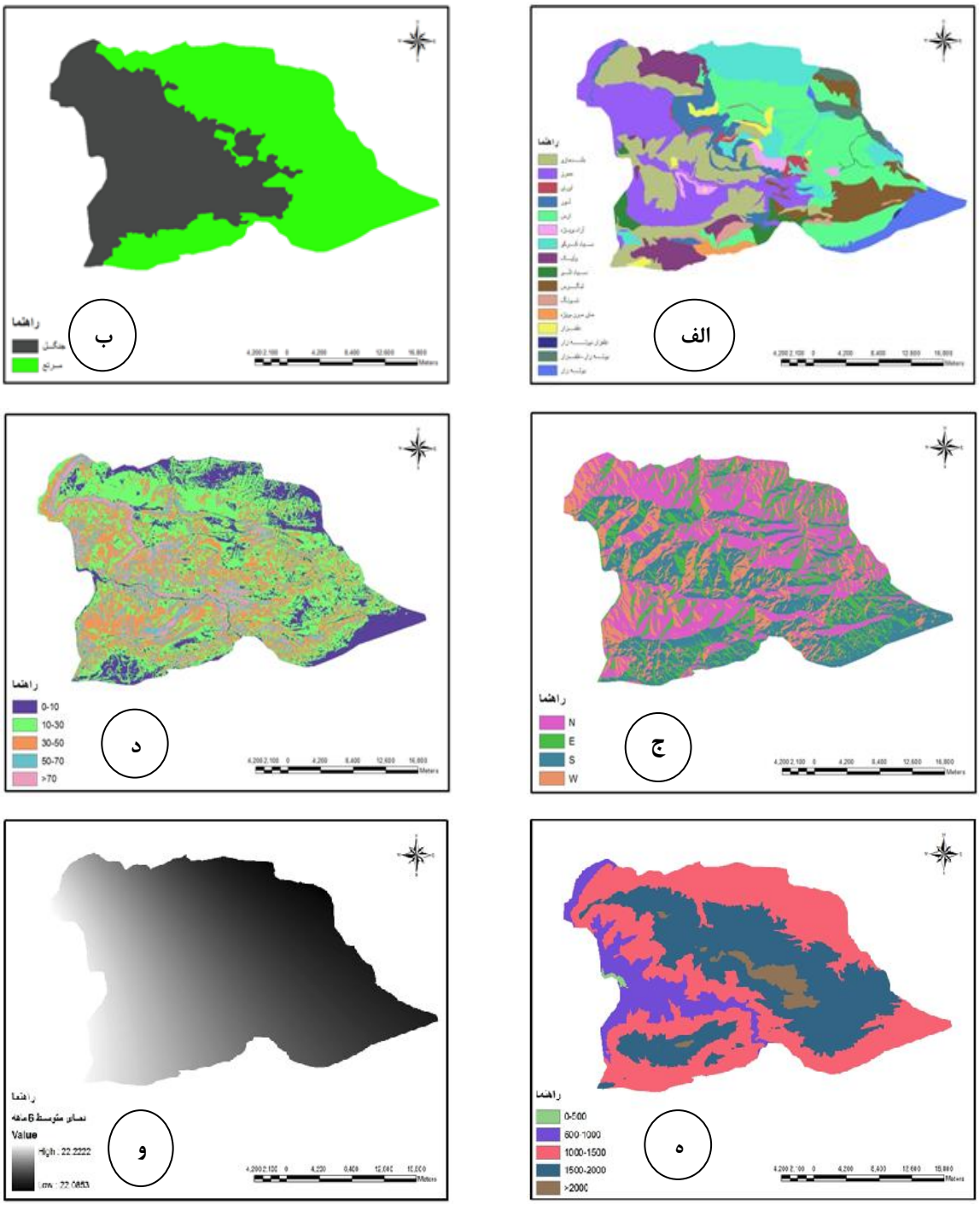
در این رابطه، P احتمال خطر آتش‌سوزی، S شیب، A جهت، E ارتفاع از سطح دریا، T تیپ پوشش گیاهی، L کاربری اراضی، TE دما، R بارش، Dr فاصله از جاده، Dag فاصله از اراضی زراعی، Dri فاصله از رودخانه و (a, b, c,…) وزن هر یک از عوامل مؤثر است.

برای ارزیابی نقشهٔ پهنه‌بندی، ابتدا تعدادی از نقاط آتش‌سوزی به‌عنوان نقاط تست کنار گذاشته شد و عمل تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی برای باقی‌ماندهٔ نقاط (نقاط آزمون) صورت گرفت. سپس از طریق تلاقی[1] نقشه‌های نقاط تست و نقشهٔ تولیدشده با استفاده از نقاط آزمون، درصد نواحی آتش‌سوزی در هر یک از طبقه‌های خطر محاسبه و مقدار وقوع نقاط آتش‌سوزی در هر یک از طبقه‌ها ارزیابی شد.

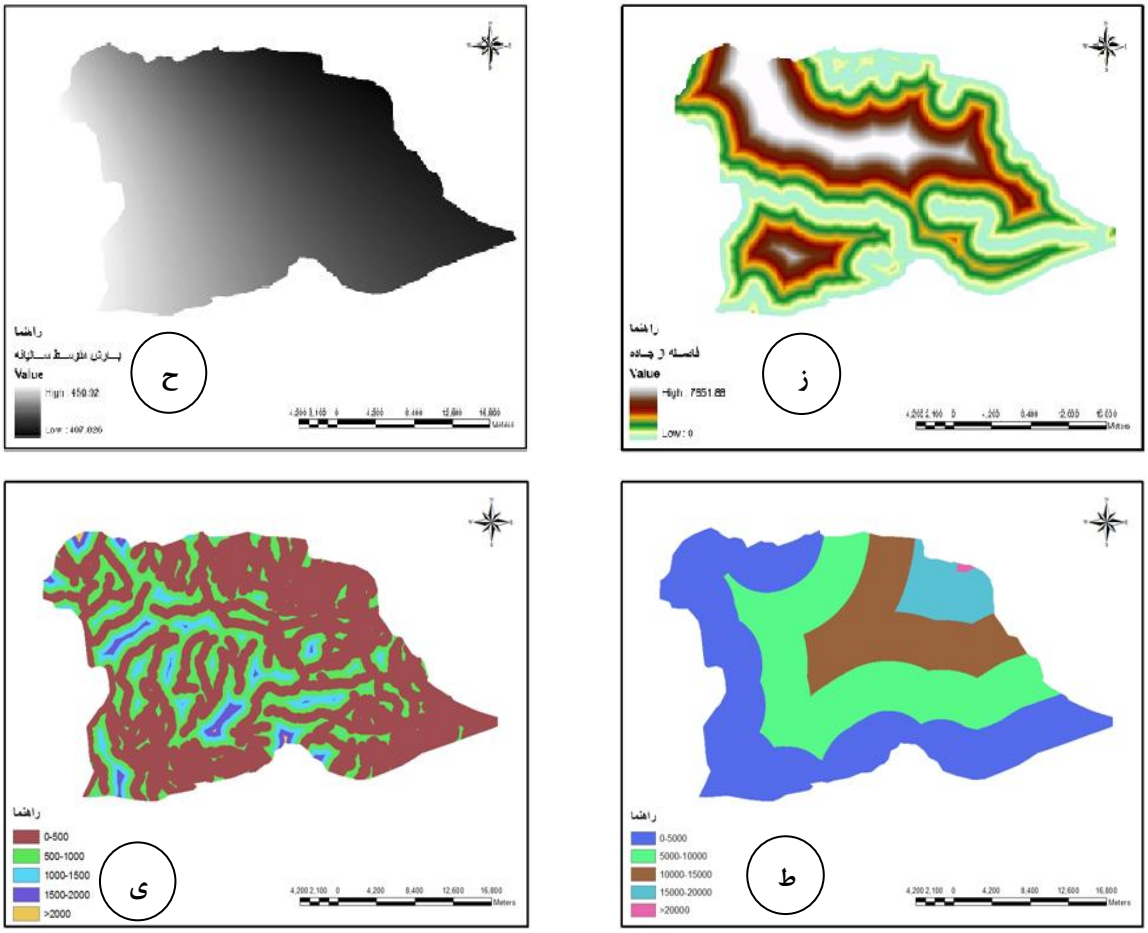
1. Crosstab

## نتایج

نقشه‌های عوامل تأثیرگذار بر آتش‌سوزی و موقعیت محدوده‌های آتش‌گرفته در سال‌های گذشته در شکل‌های۲ و ۳ و نتایج طبقه‌بندی لایه‌های عوامل و وزن‌دهی آن‌ها در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است.




شکل ۲- نقشهٔ هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی که حرف الف بیان‌گر (تیپ گیاهی)، ب (کاربری اراضی)، ج (جهت)، د (شیب)، ه (ارتفاع از سطح دریا)، و (دمای متوسط شش ماهه)، ز (فاصله از جاده)، ح (بارش متوسط سالیانه)، ط (فاصله از اراضی زراعی) و ی (فاصله از رودخانه) می‌باشند.




ادامه شکل ۲

برای تحلیل سلسله‌مراتبی، به مقادیر کمی معیارها نیاز است. برای این کار، مقایسه‌های زوجی متغیرها که حاصل دیدگاه‌های کارشناسی است، ضرورت دارد. با توجه به این‌که در این تحقیق از داده‌های وقوع آتش‌سوزی استفاده شد، بالاترین مقدار درصد وقوع آتش در هر طبقه از یک معیار به‌عنوان مقدار کمی آن معیار وارد تجزیه‌وتحلیل سلسله‌مراتبی شد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹).

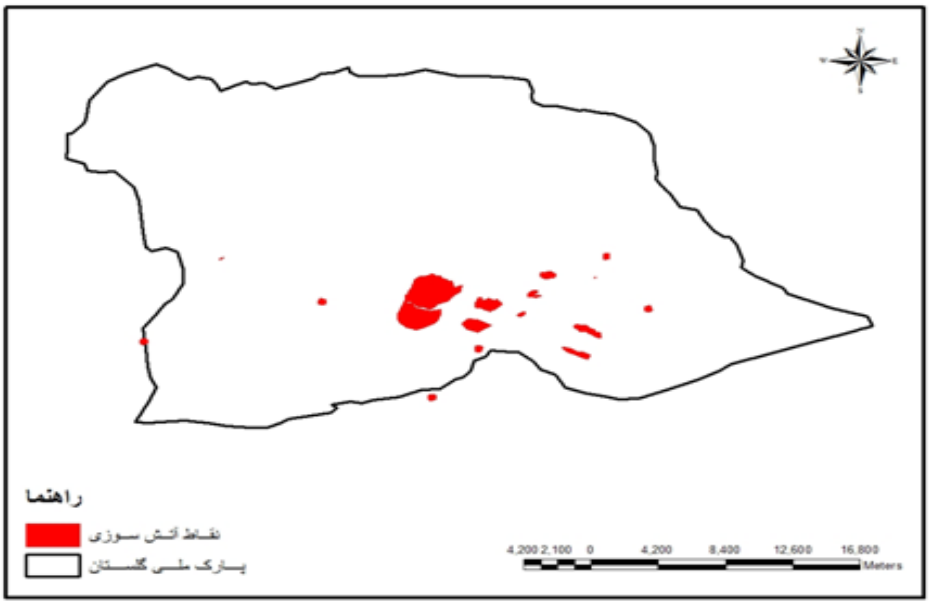
مقادیر کمی معیارها و زیرمعیارها وارد بخش AHP نرم‌افزار GIS شد و با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی وزن‌های لازم محاسبه شد (جدول‌های ۳ و ۴).

جدول ۱- کد طبقه‌های عوامل مؤثر بر بروز آتش

| کد | ارتفاع (متر از سطح دریا) | شیب (درصد) | جهت | دما (درجه سانتی‌گراد) | بارش (میلی‌متر) | تیپ | کاربری اراضی | فاصله از جاده (متر) | فاصله از اراضی زراعی (متر) | فاصله از رودخانه (متر) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰ -۵۰۰ | ۰ -۱۰ | شمال | ۲۲٫۰۸ -۲۲٫۱۵ | ۴۳۰-۴۰۷ | بلندمازو | جنگل | ۰-۲۰۰۰ | ۰-۵۰۰۰ | ۰-۵۰۰ |
| ۲ | ۵۰۰ -۱۰۰۰ | ۱۰ -۳۰ | شرق | ۲۲٫۱۵ -۲۲٫۲۲ | ۴۵۰-۴۳۰ | ممرز | مرتع | ۲۰۰۰-۴۰۰۰ | ۵۰۰۰-۱۰۰۰۰ | ۵۰۰-۱۰۰۰ |
| ۳ | ۱۰۰۰ -۱۵۰۰ | ۳۰ -۵۰ | جنوب | | | اوری | | ۴۰۰۰-۶۰۰۰ | ۱۰۰۰۰-۱۵۰۰۰ | ۱۰۰۰-۱۵۰۰ |
| ۴ | ۱۵۰۰ -۲۰۰۰ | ۵۰ -۷۰ | غرب | | | لور | | ۶۰۰۰-۸۰۰۰ | ۱۵۰۰۰-۲۰۰۰۰ | ۱۵۰۰-۲۰۰۰ |
| ۵ | >۲۰۰۰ | >۷۰ | | | | ارس | | | >۲۰۰۰۰ | >۲۰۰۰ |
| ۶ | | | | | | آزاد | | | | |
| ۷ | | | | | | سیاه‌کرکو | | | | |
| ۸ | | | | | | ولیک | | | | |
| ۹ | | | | | | سیاه‌تلو | | | | |
| ۱۰ | | | | | | تنگرس | | | | |
| ۱۱ | | | | | | شونگ | | | | |
| ۱۲ | | | | | | مای‌مرز | | | | |
| ۱۳ | | | | | | علفزار | | | | |
| ۱۴ | | | | | | علفزار-بوته‌زار | | | | |
| ۱۵ | | | | | | بوته‌زار-علفزار | | | | |
| ۱۶ | | | | | | بوته‌زار | | | | |

جدول ۲- درصد وقوع آتش‌سوزی در هر یک از طبقه‌های عوامل مختلف

| کد طبقه‌ها | ارتفاع (متر از سطح دریا) | شیب (درصد) | جهت | دما (درجه سانتی‌گراد) | بارش (میلی‌متر) | تیپ | کاربری اراضی | فاصله از جاده (متر) | فاصله از اراضی زراعی (متر) | فاصله از رودخانه (متر) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰ | ۷ | ۴۴ | ۱۹ | ۳۹ | ۴۵ | ۸۵ | ۹۱ | ۲۶ | ۴۳ |
| ۲ | ۲۰ | ۳۱ | ۱۲ | ۸۱ | ۶۱ | ۲۸ | ۱۵ | ۹ | ۷۳ | ۳۶ |
| ۳ | ۵۶ | ۳۹ | ۲۲ | | | ۰ | | ۰ | ۱ | ۱۸ |
| ۴ | ۲۰ | ۱۳ | ۲۲ | | | ۰ | | ۰ | ۰ | ۳ |
| ۵ | ۴ | ۱۰ | | | | ۳ | | | ۰ | ۰ |
| ۶ | | | | | | ۱ | | | | |
| ۷ | | | | | | ۳ | | | | |
| ۸ | | | | | | ۰ | | | | |
| ۹ | | | | | | ۴ | | | | |
| ۱۰ | | | | | | ۱۲ | | | | |
| ۱۱ | | | | | | ۳ | | | | |
| ۱۲ | | | | | | ۱ | | | | |
| ۱۳ | | | | | | ۰ | | | | |
| ۱۴ | | | | | | ۰ | | | | |
| ۱۵ | | | | | | ۰ | | | | |
| ۱۶ | | | | | | ۰ | | | | |




شکل ۳- نقشهٔ مناطق آتش‌گرفته در سنوات گذشته

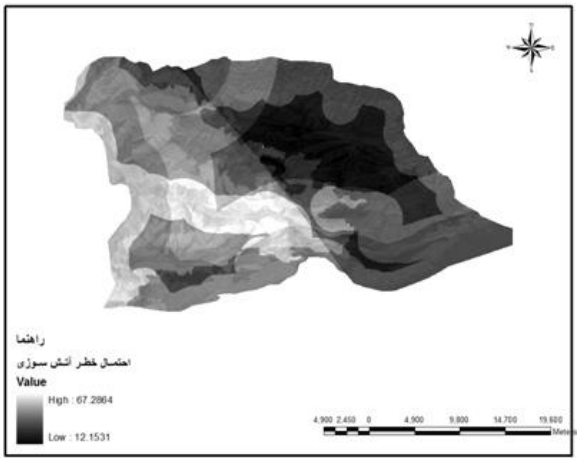
جدول ۳- اندازهٔ کمی معیارها و زیرمعیارها

| معیار | اندازهٔ کمی | زیرمعیار | اندازهٔ کمی |
|---|---|---|---|
| توپوگرافی | ۵۶ | شیب | ۳۹ |
| | | جهت | ۴۴ |
| | | ارتفاع | ۵۶ |
| پوشش گیاهی | ۸۵ | تیپ‌بندی | ۴۵ |
| | | کاربری اراضی | ۸۵ |
| عوامل اقلیمی | ۸۱ | دما | ۸۱ |
| | | بارش | ۶۱ |
| عوامل انسانی | ۹۱ | فاصله از جاده | ۹۱ |
| | | فاصله از اراضی زراعی | ۷۳ |
| | | فاصله از رودخانه | ۴۳ |

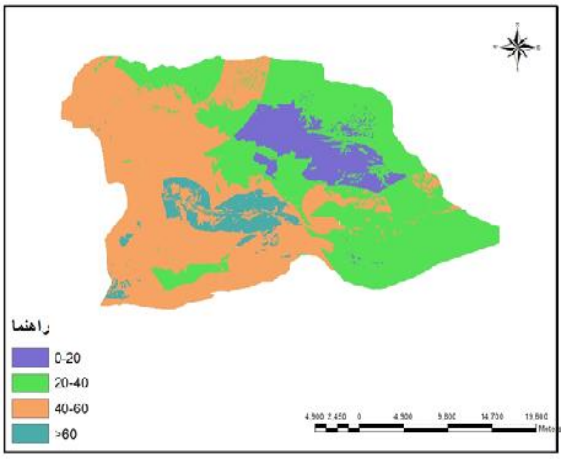
جدول ۴- وزن‌های مربوط به لایه‌ها

| زیرمعیار | شیب | جهت | ارتفاع | تیپ | کاربری اراضی | دما | بارش | فاصله از جاده | فاصله از اراضی زراعی | فاصله از رودخانه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| وزن | ۰/۰۶۳۲ | ۰/۰۷۱۲ | ۰/۰۹۰۶ | ۰/۰۷۲۸ | ۰/۱۳۷۸ | ۰/۱۳۱۲ | ۰/۰۹۸۸ | ۰/۱۱۷۹ | ۰/۱۴۷ | ۰/۰۶۹۵ |

نتایج حاصل از جمع نقشه‌های عوامل مؤثر براساس رابطهٔ ۱ به‌صورت نقشه‌های پیوستهٔ احتمال خطر (شکل ۴) و پهنه‌بندی خطر آتش سوزی منطقه (شکل ۵) آورده شد.




شکل ۴- نقشهٔ پیوسته احتمال خطر




شکل ۵- پهنه‌بندی خطر آتش سوزی

همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، کمترین احتمال خطر آتش‌سوزی در منطقهٔ دارای فراوانی ۱۲/۱۵۳۱ درصد و بیشترین احتمال آن، دارای فراوانی ۶۷/۲۸۶۴ درصد است. بر این اساس، منطقه با توجه به مقادیر احتمال وقوع به‌دست آمده به چهار طبقهٔ کم‌خطر (۲۰-۰)، با خطر متوسط (۴۰-۲۰)، خطرناک (۶۰-۴۰) و پرخطر (۶۰ < ) طبقه‌بندی شد (شکل ۵). ارزیابی نقشه پهنه‌بندی با استفاده از محدوده‌های آتش‌سوزی که در فرآیند مدل‌سازی استفاده شدند، صورت گرفت (جدول ۵).

جدول ۵- درصد نواحی آتش‌سوزی واقع در پهنه‌های خطر

| طبقه‌های خطر | کم‌خطر | متوسط | خطرناک | پرخطر |
|---|---|---|---|---|
| سطح حریق (درصد) | ۳/۸ | ۴/۰۵ | ۴۶/۰۵ | ۴۶/۱ |

**بحث**

آتش‌سوزی‌های جنگلی از گذشته تا به امروز، از رخدادهای طبیعی و انسانی در جنگل‌های کشور بوده و آثار مخربی را، چه در سیمای ظاهری و چه در روند تنوع گونه‌ای به‌جای گذاشته است. با نگاهی اجمالی به آمارهای چند سال اخیر حریق‌های جنگلی، می‌توان بیشتر به اهمیت موضوع پی برد.

برای مقابله و کاهش اثرهای زیان‌بار آتش‌سوزی‌های جنگلی، راهکارهای زیادی وجود دارد که یکی از آن‌ها تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی خطر آتش است. با در دست داشتن این نقشه‌ها، مدیران منابع طبیعی و مدیریت بحران، بازدهی بیشتر و بهتری در راستای مقابله با این بلای طبیعی خواهند داشت. در این تحقیق نقشهٔ حساسیت خطر آتش‌سوزی برای منطقهٔ پارک ملی گلستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. نتایج نشان داد که بیشترین خطر آتش‌سوزی مربوط به طبقه‌های ارتفاعی ۱۰۰۰- ۵۰۰ و۱۵۰۰- ۱۰۰۰ مترو طبقه‌های شیب زیاد (۵۰-۳۰، ۷۰-۵۰ و ۷۰< درصد) است که با نتایج پژوهش‌های Jaiswal *et al*. (2002)، Ertena *et al*. (2004) و Xu *et al*. (2005) مطابقت دارد. توپوگرافی پارک ملی گلستان زیاداست و بخش بزرگی ازپارک درمناطق پرشیب قراردارد. با توجه به اینکه یکی از مسببان اصلی آتش‌سوزی در پارک، شکارچیان غیرقانونی است و حیوانات وحشی نیز در مناطق پر شیب حضور دارند،می‌توان نتیجه گرفت که در مناطق پر شیب، احتمالاً آتش‌سوزی توسط شکارچیان بیشتر است. در طبقه‌های جهت شیب، بیشترین خطر مربوط به جهت شمالی است.

بیشترین طبقه‌های خطر در تیپ‌های بلندمازو و ممرز واقع است که این مسئله با نزدیکی این تیپ‌ها به جاده توجیه‌پذیر است. همچنین نتایج نشان داد که طبقه‌های با خطر آتش‌سوزی زیاد،در مناطق جنگلی بیشتر از مراتع است. زیرا مواد اشتعال‌پذیر و سوخت برای آتش‌سوزی در مناطق جنگلی بیشتر است. بر اساس اطلاعات ثبت شدهٔ آتش‌سوزی‌ها در چند سال اخیر، ۸۵ درصد آتش‌سوزی‌ها در جنگل و تنها ۱۵ درصد آنها در مراتع اتفاق افتاده است. البته اگر اطلاعات طولانی مدت آتش‌سوزی درسال‌های متمادی در اختیار بود، بی‌تردید این نتیجه‌گیری تغییر می‌کرد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در طبقه‌های فاصله از رودخانه نیز بیشترین خطر در کمترین فواصل یعنی طبقه‌های ۱۵۰۰- ۱۰۰۰، ۲۰۰۰- ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰< متر وجود دارد. در بعضی تحقیق‌ها، طبقه‌های با فاصلهٔ بیشتر از رودخانه، طبقه‌های پرخطر و خطرناک را تشکیل داده‌اند، اما در این پژوهش منطقهٔ خطر بیشتر مربوط به طبقه‌های با فاصلهٔ کمتر از رودخانه

است که دلیل آن وجود مواد آتش‌زا مانند بطری‌های شکسته، ته‌سیگار و... یا بقایای آتش به‌جامانده از مسافران و گردشگران در اطراف رودخانه است. در مورد عوامل فاصله از جاده و اراضی زراعی، نتایج نشان می‌دهد که بیشترین طبقه‌های خطر در فواصل کمتر از جاده (طبقه‌های فاصلهٔ ۲۰۰۰-۰ و ۴۰۰۰-۲۰۰۰ متر از جاده) است که با نتایج تحقیق Xu *et al.* (2005) مطابقت دارد. همچنین در فواصل نزدیک به اراضی زراعی (طبقه‌های فاصلهٔ ۵۰۰۰-۰ و ۱۰۰۰۰-۵۰۰۰ متر از اراضی زراعی) خطر آتش‌سوزی بیشتر است زیرا در فواصل کوتاه از اراضی زراعی، به‌دلیل تبدیل جنگل به زمین‌های کشاورزی و همچنین آتش زدن باقی‌ماندهٔ محصول برای تقویت زمین، حساسیت به ایجاد و گسترش حریق بیشتر است. در مورد عوامل اقلیمی نیز طبقه‌های با بارندگی کم و دمای زیاد باخطر آتش‌سوزی زیادمواجه بودند که با نتایج دیگر پژوهش‌ها (Cortez & Morais, 2007) همخوانی دارد.

با روی‌هم‌اندازی لایهٔ محدوده‌های آتش‌سوزی که به‌عنوان نقاط تست در نظر گرفته شد و نقشهٔ پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی، مشخص شد که ۴۶/۱ درصد از مناطق آتش‌گرفته در طبقهٔ پرخطر، ۴۶/۰۵ درصد در طبقهٔ خطرناک، ۴/۰۵ درصد در طبقهٔخطر متوسط و ۳/۸ درصد نیز در طبقهٔ کم‌خطر قرار دارد که نشان‌دهندهٔ کارایی مدل ترکیب وزنی خطی در تهیهٔ نقشهٔ احتمال وقوع آتش و پهنه‌بندی آن است، به‌عبارتی می‌توان از نقشهٔ به‌دست‌آمده در مدیریت و پیشگیری از حریق‌های جنگلی استفاده کرد. از نقشه‌های حساسیت خطر آتش‌سوزی می‌توان در برنامه‌ریزی‌های مدیریت و پیشگیری بلایای طبیعی بهره گرفت و در زمان و هزینه برای استقرار ابزار و ادوات و نیروی انسانی به‌منظور مهار آتش‌سوزی به‌هنگام بحران صرفه‌جویی کرد.

نتایج این تحقیق نشان داد که WLCروش مناسبی برای تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در منطقهٔ پارک ملی گلستان است. باتوجه به اینکه در این تحقیق برای وزن‌دهی عوامل از روش دادهٔ مبنا به‌جای نظرهای کارشناسی استفاده شد و این روش متکی به اطلاعات بیشتر و دقیق‌تر موقعیت و محدوده‌های آتش‌سوزی‌های وقوع‌یافته است، به دستگاه‌های اجرایی پیشنهاد می‌شود که پس از هر آتش‌سوزی در محل حاضر شوند و مختصات نقاط و طلاعاتی ذخیره کنند تا بتوان از این داده‌ها در تحقیق‌های بعدی و مدلسازی‌ها استفاده کرد. همچنین پیشنهاد می‌شود در تحقیق‌های بعدی، عوامل مؤثر در بروز آتش از نظر عمدی یا غیرعمدی بودن نیز بررسی شود. با توجه به اینکه آتش‌سوزی‌ها توزیع یکسانی در پارک ندارند و صرف‌نظر از یک نقطهٔ پرت، به‌صورت متمرکزند، جا دارد که این نکته به‌طور ویژه مورد توجه و بررسی قرار گیرد.

## منابع

آخانی، حسین. ۱۳۸۳. فلور مصور پارک ملی گلستان. موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران،۲۰۱ ص.

اسعدی اسکوئی، ابراهیم، افشین عزیزی و نیما فرید مجتهدی، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی ریسک آتش‌سوزی عرصه‌های طبیعی استان گیلان. مجموعه چکیده مقالات اولین همایش بین‌المللی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی، ۱۰-۱۱.

محمدی، فریده، نقی شعبانیان، مهدی پورهاشمی و پرویز فاتحی، ۱۳۸۹. تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از GIS و AHP در بخشی از جنگل‌های پاوه، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۸ (۴):۵۸۶-۵۶۹.

مهدوی، علی، رشید فلاح شمسی، رحیم نظری و مهدی حیدری، ۱۳۹۰. تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی در اراضی جنگلی و مرتعی حوزه شهرستان ایلام با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی AHP. مجموعه چکیده مقالات اولین همایش بین‌المللی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی، ۳۹-۴۰

Alonso-Betanzos, A., O. Fontenla-Romero, B. Guijarro-Berdiñas, E. Hernández-Pereira,E. Canda, J. Jimenez,J. Luis Legido,S. Muñiz,C. Paz-Andrade&M. L. Paz-Andrade, 2002. A neural network approach for forest fire risk estimation. In: F. Van Harmelen, (Ed.), Proceedings of the 15th European Conference on Artificial Intelligence, ECAI'2002, Lyon, France, 643–647.

Cortez, P. & A. Morias, 2007. A data mining approach to predict forest fires using meteorological data. New Trends in Artificial Intelligence, Proceedings of the 13th EPIA - Portuguese Conference on Artificial Intelligence, December, Guimarães, Portugal, 512-523

Dong, X.U., D. Li-min, S.H. Guo-fan, T. Lei & W. Hui, 2005. Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe forestry Bureau, Jilin, China, *Journal of Forestry Research*, 16(3): 169-174.

Ertena, E., 2004. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS, a case study, XXth Congress of the International Society for Photogrammetryand Remote Sensing (ISPRS), 12-25 July, Istanbul, Turkey, 33-39.

Hernandez-Leal, P.A., M. Arbelo & A. Gonzalez-Calvo, 2006. Fire risk assessment using satellite data, *Advances in Space Research*, 37: 741–746.

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., S. Mukherjee, D.K. Raju &R. Saxena, 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS,*International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4: 1-10.

Kandya, A.K., M.M. Kimothi, R.N. Jadhav & J.P. Agarwal, 1998. Application of GIS in identification of fire prone areas, a feasibility study in parts of Junagarh (Gujarat, India), *Indian Forester*, 124(7): 531–535.

Martínez, J., C. Vega-Garcia & E. Chuvieco, 2009. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain, *Journal of Environmental Management*, 90(2): 1241-1252.

Preisler, H.K. & A.L. Westerling, 2004. Statistical model for forecasting monthly large wildfire events in western United States, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46(7): 1020-1030.

Sharma, D., V. Hoa, T.V. Cuong, H.T. Tuyen& N. Sharma, 2009. Forest Fire Risk Zonation for Jammu District forest division using Remote Sensing and GIS. 7th FIG Regional Conference, Spatial Data Serving People: Land Governance and the Environment – Building the Capacity. Hanoi, Vietnam, 19-22 October, 1-12

Vadrevu, K.P., A. Eaturu & K.V.S. Badarinath, 2010. Fire risk evaluation using multi criteria analysis, a case study, *Environmental Monitoring and Assessment*, 166(1-4): 223-239.

Vasilakos, C., K. Kalabokidis, J. Hatzopoulos, G. Kallos & Y. Matsinos, 2007. Integrating new methods and tools in fire danger rating, *International Journal of Wild Land Fire*, 16(3): 306–316.

Xu, D., L.M. Dai, G.F. Shao, L. Tang & H. Wang, 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., H.Y. Zhang & D.W. Zhou, 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 zone mapping in the Golestan national park using weighted linear combination (WLC) method

**T. Mirdeylami[1], Sh. Shataee[2*], and M.R. Kavousi[3]**

[1] MSc. Graduated of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran
[2]Associate Prof., Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran
[3] Assistant Prof., of Forest Ecology and Silviculture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran

(Received: 30 July 2012; Accepted: 16 March 2013)

## Abstract

Forest fires in Iran and particularly in the northern forests had destructive effects on the physiognomy of these forests. Forest fire risk zone mapping in forest lands is one of the main approaches of recognition and prevention by educational organizations. In this study, the Golestan national park was zoned based on fire risk probability using weighted linear combination (WLC) method and analytical hierarchical process (AHP) in the GIS environment. The various effective factors on fire including climate, topography, vegetation and human elements were prepared using different methods and sources in GIS. The occurred forest fires map was gathered and generated and the fire occurrences rates in each category of four elements were computed. Regards to the fire occurrences rates in each category and dual comparative analysis, the weight of each element was determined using AHP method. The different layers were combined using weighted linear combination method to generate the fire risk probability map of study area. The obtained map for study area was divided to four fire risk categories including low, medium, dangerous and highly dangerous. The obtained forest fire probability map was assessed using the some unused occurred fire points. The results showed that more of occurred forest fire points were in the dangerous and highly dangerous classes. This results show that WLC method could zone the study area based on fire occurrence probability.

**Keywords**: Forest fire, Golestan national park, Risk zoning, Weighted linear combination.

*Corresponding author Tel: +981714427050 Email: shataee@yahoo.com