

مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی با استفاده از آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره بر مبنای شاخص‌های ماهواره‌ای

یونس جعفری گلدرق^۱، علی محمدزاده^{۲*}، علی سرکارگر اردکانی^۳

۱ کارشناسی ارشد سنجش از دور دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲ استادیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳ استادیار دانشگاه امام حسین(ع)

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۲۹؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۰/۲۴)

چکیده

آتش‌سوزی پدیده‌ای است که خسارت‌های زیادی بر منابع طبیعی و جنگل‌ها وارد می‌کند. برای پیشگیری از این پدیده و کاهش خسارت‌های احتمالی ناشی از آن باید با استفاده از پارامترهای مؤثر، مناطق با پتانسیل بالای آتش‌سوزی قبل از وقوع شناسایی شود. در این تحقیق، با استفاده از آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره، مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی بر مبنای داده‌های ماهواره‌ای برای استان گلستان انجام شده است. پارامترهای استاتیک و دینامیک ابتدا به کلاس‌های مختلف تقسیم و با استفاده از دانش کارشناسی و داده‌های وزن کلاس‌ها تعیین شد. سپس، با استفاده از وزن‌های حاصل نقشه شاخص برای هر پارامتر تهیه شد و از طریق ترکیب این شاخص‌ها با وزن‌های حاصل از روش AHP، نقشه خطر استاتیک و دینامیک به دست آمد. از ترکیب این دو نقشه، مناطق با پتانسیل بالای آتش‌سوزی مورد شناسایی قرار گرفت. برای ارزیابی مدل ایجاد شده از ماه‌های مختلف استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده مدل پیشنهادی برای تیر ماه ۱۳۸۴، ۲۷/۸۸ درصد از منطقه مورد مطالعه را به عنوان پرخطر شناسایی کرد که ۹۱/۸ درصد از آتش‌سوزی‌ها در این مناطق اتفاق افتاده بود. برای مهر ماه ۱۳۸۴، مدل ایجاد شده ۱۷/۵ درصد و برای تیر ماه ۱۳۸۳ نیز ۳۰/۶ درصد از منطقه را به عنوان مناطق پرخطر شناسایی کرد که به ترتیب ۶۶/۷ و ۸۹/۴۴ درصد از آتش‌سوزی‌ها در این مناطق روی داده است. همچنین، معیار دقت با به‌کارگیری روش AHP در نقشه خطر استاتیک از ۲/۱۴ به ۲/۴۳ افزایش یافته است که بیان‌گر نقش روش AHP در افزایش دقت می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده روش آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره و همچنین داده‌های ماهواره‌ای، پتانسیل بالایی در شناسایی نواحی با پتانسیل بالای آتش‌سوزی دارند.

کلید واژه‌ها: آتش‌سوزی، آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره، AHP، سنجش از دور

سرآغاز

یکی از پدیده‌هایی که اغلب در اکثر نقاط جهان اتفاق می‌افتد، پدیده آتش‌سوزی است. خسارت‌های مالی و جانی ناشی از این حادثه غیرمترقبه بسیار زیاد و گاهی جبران‌ناپذیر می‌باشد. براساس گزارش FAO، هر سال حدود ۶۵۰۰ هکتار از جنگل‌های ایران بر اثر پدیده آتش‌سوزی از بین می‌رود. در اروپا، هر سال ۵۰ هزار مورد آتش‌سوزی اتفاق می‌افتد که این مقدار آتش‌سوزی حدود ۵۰۰ هزار هکتار از اراضی را طعمه‌ی خود قرار می‌دهد (اردکانی و همکاران، ۱۳۸۹). ترکیبی از تکنولوژی ژئوماتیک، شامل: سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی با روش‌های آماری و یا روش‌هایی مانند AHP^(۱)، داده‌ها و آنالیزهای قدرتمند و مفیدی را در رابطه با مطالعه آتش‌سوزی فراهم می‌کنند (Danan, 2008). نقشه‌های خطر آتش‌سوزی که مشخص کننده مناطق آسیب‌پذیر می‌باشد، اطلاعات مهمی هستند و برای تصمیم‌گیری جهت جلوگیری از وقوع آتش‌سوزی و نحوه توقف آن اهمیت بسیار زیادی دارند. یکی از روش‌هایی که در زمینه تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی می‌تواند به‌خوبی عمل کند، روش آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. آنالیز چند معیاره (MCA)^(۲)، یک ابزار تصمیم‌گیری توسعه یافته برای مسایل پیچیده چند معیاره که شامل جنبه‌های کیفی و کمی در روند تصمیم‌گیری هستند، می‌باشد (Mendoza et al., 1999). روش MCA، با وزن‌دهی هر یک از پارامترهای مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی پس از نظر کارشناسی می‌تواند برای تهیه نقشه خطر آتش استفاده شود (Chuvieco et al., 1999). آنالیز چند معیاره می‌تواند با استفاده از روش AHP انجام گیرد. در این روش، تصمیم‌گیری با مرتب کردن اجزای مهم به ساختار سلسله‌مراتبی (مقایسه دو به دو) انجام می‌شود (Saaty, 1980). AHP یا همان فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. اولین گام در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، ایجاد یک

ساختار سلسله‌مراتبی از موضوع مورد بررسی می‌باشد که در آن اهداف، معیارها، گزینه‌ها و ارتباط بین آن‌ها نشان داده می‌شود (Bowen, 1990). چهار مرحله بعدی در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، محاسبه وزن (ضریب اهمیت) معیارها و (زیرمعیارها در صورت وجود)، محاسبه وزن (ضریب اهمیت) گزینه‌ها، محاسبه امتیاز نهایی گزینه‌ها و بررسی سازگاری منطقی قضاوت‌ها را شامل می‌شود. ساعتی، چهار روش تقریبی برای محاسبه وزن معیارها ارائه کرده است (Saaty, 1980). این روش‌ها شامل: مجموع سطری، مجموع ستونی، میانگین حسابی، میانگین هندسی می‌باشد. از این چهار روش، روش میانگین هندسی دارای دقت بیشتری است (Saaty, 1980). در این روش، ابتدا میانگین هندسی عناصر یک ردیف به‌دست آمده و سپس نرمالیزه می‌شود. با توجه به نسبی بودن اهمیت معیارها، مجموع ضریب اهمیت معیارها، معادل یک است. یکی از مزیت‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها است. مکانیزمی که ساعتی برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است، محاسبه ضریبی به نام ضریب سازگاری (IR)^(۳) می‌باشد که از تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I)^(۴) به شاخص تصادفی (R.I)^(۵) حاصل می‌شود. چنان‌چه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است وگرنه باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود. شاخص ناسازگاری از رابطه (۱ و ۲) حاصل می‌شود. جدول (۱)، رابطه‌ی بین n و R.I را نشان می‌دهد.

(۱)

$$II = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

(۲)

$$IR = \frac{I.I}{R.I_{n \times n}}$$

جدول (۱): مقادیر شاخص تصادفی بودن به ازاء ابعاد مختلف ماتریس مقایسه

۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	N
۱/۴۹	۱/۴۵	۱/۴۱	۱/۳۲	۱/۲۴	۱/۱۲	۰/۹	۰/۵۸	۰	۰	R.I

اغلب از داده‌های زمینی استفاده شده و همچنین تعداد کمی از پارامترها برای مدل‌سازی لحاظ شده است. (Sonia, 2008);

در زمینه‌ی شناسایی مناطق با پتانسیل بالای آتش‌سوزی تحقیقات چندانی صورت نگرفته است. در تحقیق‌های انجام شده

روش پیشنهادی این پارامترها باهم ترکیب شده که سبب افزایش دقت مدل شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان گلستان می‌باشد که در سواحل جنوبی دریای خزر واقع شده است و از جمله مناطقی است که آتش‌سوزی زیادی در آن روی می‌دهد. طول منطقه‌ی مورد مطالعه حدود ۲۶۸ کیلومتر و عرض آن حدود ۲۰ تا ۹۰ کیلومتر و مساحت آن به طور تقریبی ۲۱۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. اکثر نواحی آن شامل زمین‌های زراعت، بوته‌زارها و جنگل می‌باشد. طول جغرافیایی منطقه مورد مطالعه حدود (۵۱°۵۳' الی ۱۸°۵۶') و عرض جغرافیایی آن (۳۰°۳۶' الی ۲۷°۳۸') می‌باشد.

داده‌های مورد استفاده

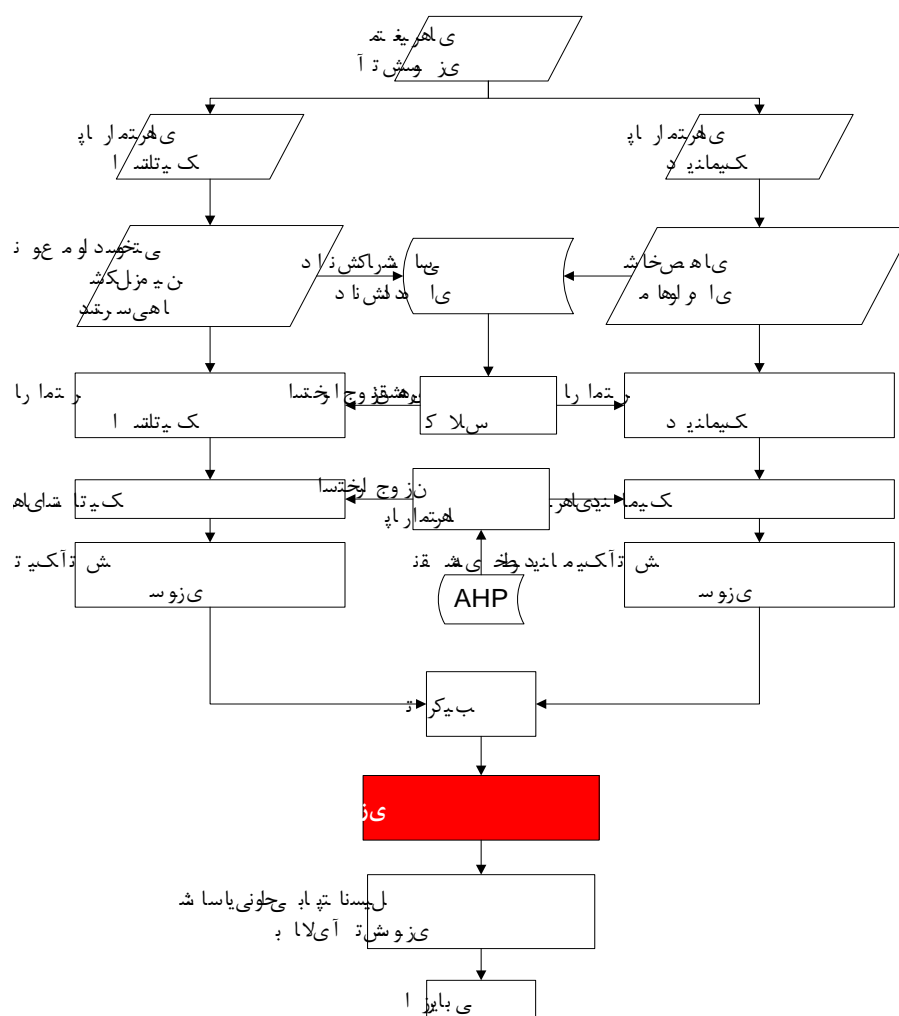
داده‌های به‌کار رفته در این مقاله به دو بخش استاتیک و دینامیک تقسیم می‌شود. داده‌های استاتیک شامل نقشه خطوط ارتباطی، نقشه رقومی شهرها، نقشه رقومی پوشش گیاهی و DEM منطقه می‌باشد. برای پوشش گیاهی از محصول پوشش گیاهی NOAA و برای نقشه شهرها و راه‌های ارتباطی از ماهواره Landsat TM استفاده شده است. برای ارزیابی مدل پیشنهادی، نیاز به نقاط آتش‌سوزی می‌باشد که به دلیل فقدان گزارش دقیق زمینی از نقاط آتش‌سوزی سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۴، از نقاط آتش‌سوزی آشکار شده توسط MODIS (محصول MOD14) از سال ۱۳۷۹ الی ۱۳۸۴ استفاده شده است (Sonia, 2008; Aida, 2008; Ardakani et al, 2010; 2008; اردکانی، ۱۳۸۹). داده‌های دینامیک شامل LST، NDVI و شاخص GVMI بوده که NDVI از ترکیب تصاویر ۱۰ روزه SPOT-VEG با قدرت تفکیک ۱ کیلومتر و شاخص GVMI از تصویر ماهواره‌ای MODIS با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر به دست آمده است. همچنین، برای دمای سطح زمین از محصول MOD11C3 سنجنده مادیس استفاده شده است. بر اساس تحقیق جعفری (۱۳۹۰ و ۱۳۹۱)، داده‌های به کار رفته پارامترهایی هستند که بیشترین تاثیر را بر روی رویداد آتش‌سوزی منطقه مورد مطالعه دارند.

Aida, 2008; Rathaur et al, 2006; Rawat, 2003; Ardakani et al, 2010; Porwal et al, 1997) اردکانی و همکاران، (۱۳۸۹) نمونه‌هایی از این تحقیق‌ها هستند. هدف تحقیق پیشرو بررسی قابلیت داده‌های ماهواره‌ای و روش آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره در شناسایی نواحی با پتانسیل بالای رویداد آتش‌سوزی می‌باشد که در آن، از هیچ داده زمینی برای مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی استفاده نشده و همه پارامترها از داده‌های ماهواره‌ای حاصل شده است. داده‌های هواشناسی از طریق ایستگاه‌های زمینی به دست می‌آیند و با توجه به این که تعداد ایستگاه‌های هواشناسی محدود بوده و اغلب در شهرها و مناطق مسکونی واقع شده‌اند، بنابراین برای مناطق جنگلی و پرخطر از لحاظ وقوع آتش‌سوزی راه‌حلی جز درون‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی جهت استخراج پارامترهای موردنظر نیست. این روش عدم قطعیت‌های زیادی داشته و داده‌های حاصل از نظر دقت قابل اعتماد نمی‌باشد. ولی ماهواره‌های سنجنش از دور به دلیل قدرت تفکیک زمانی و مکانی مناسبی که دارند، اطلاعات مفیدی را می‌توانند در این زمینه در اختیار قرار دهند. بنابراین، در این تحقیق اول این که: فقط از داده‌های ماهواره‌ای برای مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی استفاده شده است. دوم این که: تعداد پارامترهای زیادی در مدل‌سازی لحاظ شده است. بدیهی است هر چه تعداد پارامترها افزایش یابد همپوشانی آن‌ها به سمت مناطق واقعاً خطرناک خواهد رفت. سوم این که: برخلاف تحقیقات مشابه که اغلب از دانش کارشناسی برای تعیین وزن پارامترها استفاده کردند (Sonia, 2008; Aida, 2008; Rawat, 2003; Rathaur et al, 2006; 2008) در این تحقیق هم از دانش کارشناسی و هم از دانش داده‌ای بدین منظور استفاده شده است. برای تعیین وزن کلاس‌های مختلف هر پارامتر از نقاط آتش‌سوزی اتفاق افتاده از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳، استفاده شده است که سبب واقعی‌تر شدن وزن کلاس‌ها می‌شود. چهارم این که: در این تحقیق دقت روش AHP نیز ارزیابی شده است. علاوه بر موارد اشاره شده، اضافه کردن دو شاخص GVMI^(۶) و LST^(۷) از نوع‌آوری‌های دیگر تحقیق حاضر می‌باشد. زیرا، تاکنون از این شاخص‌ها برای مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی استفاده نشده است. همچنین، در بیشتر تحقیق‌ها پارامترهای استاتیک و دینامیک را تفکیک نموده و به صورت جداگانه مدل‌سازی کردند (Rawat, 2003) که در

روش پژوهش

پارامترهای مورد بررسی در مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند. یک دسته از پارامترها استاتیک هستند و در طول زمان تقریباً ثابت می‌باشند. دسته دیگر، پارامترهایی هستند که وابسته به زمان بوده و در طول زمان تغییرات زیادی دارند. علت تفکیک پارامترها به دو دسته این است که چون پارامترهای استاتیک در طول زمان برای منطقه مورد مطالعه تقریباً ثابت می‌باشد، بنابراین اگر نقشه خطر استاتیک با استفاده از این پارامترها تهیه شود، این نقشه برای منطقه در طول زمان ثابت خواهد بود و با وارد کردن متغیرهای دینامیک و ترکیب آن‌ها با نقشه استاتیک حاصل، می‌توان برای هر زمان دلخواهی نقشه خطر آتش‌سوزی را تهیه و مناطق با پتانسیل بالا را شناسایی کرد. بنابراین، ابتدا نقشه خطر استاتیک و سپس با استفاده از پارامترها دینامیک نقشه خطر دینامیک تهیه

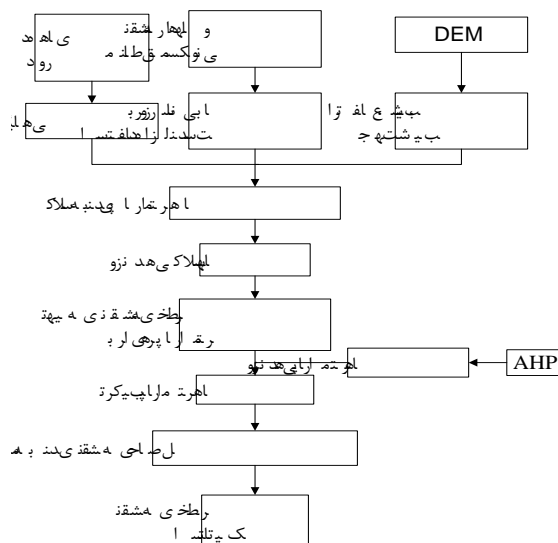
شده و در نهایت، از ترکیب این دو نقشه مناطق با پتانسیل بالا شناسایی می‌شود. در این تحقیق، با استفاده از نظر کارشناسی، آنالیز آتش‌سوزی‌های ۵ سال از ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۴ و بررسی اثر هر کدام از آن‌ها و تحقیقات مشابه صورت گرفته، هر یک از پارامترهای مورد بررسی کلاسه‌بندی شد و به هر کلاس وزن متناسب اختصاص یافت. بدین طریق نقشه شاخص هر یک از پارامترها تهیه شد و سپس این نقشه‌ها با وزن‌های مناسب حاصل شده از روش AHP با هم ترکیب شدند تا نقشه استاتیک و دینامیک خطر آتش‌سوزی تهیه شود. در نهایت، از ترکیب دو نقشه استاتیک و دینامیک، نقشه خطر آتش‌سوزی به دست آمد که با استفاده از آن مناطق با پتانسیل بالای آتش‌سوزی شناسایی شد. خوارزمیک کلی روش پیشنهادی در شکل (۱)، نشان داده شده است.



شکل (۱): خوارزمیک کلی روش پیشنهادی

الف) تهیه نقشه خطر استاتیک (Static Fire Risk Map)

نقشه خطر استاتیک آتش‌سوزی (SFRM)^(۸) یک نقشه رقمی خطر آتش‌سوزی برای یک منطقه مشخص می‌باشد که از طریق ترکیب چندین لایه از پارامترهای ثابت در زمان ایجاد می‌شود. در ایجاد نقشه خطر ابتدا با توجه به میزان اثر هر یک از لایه‌ها، وزنی برای هر کدام از آن‌ها اختصاص داده می‌شود. برای تهیه نقشه خطر استاتیک از لایه‌های اطلاعاتی مربوط به نوع پوشش گیاهی، شکل زمین و دسترسی‌ها استفاده شده است. برای پوشش گیاهی از محصول پوشش گیاهی NOAA و برای شکل زمین از DEM، نقشه رستری شیب و جهت شیب و برای دسترسی از نقشه رستری فاصله از شهرها و براساس مسکونی استفاده شده است. پس از آماده‌سازی داده‌ها مطابق خوارزمیک شکل (۲)، نقشه خطر استاتیک حاصل می‌شود.

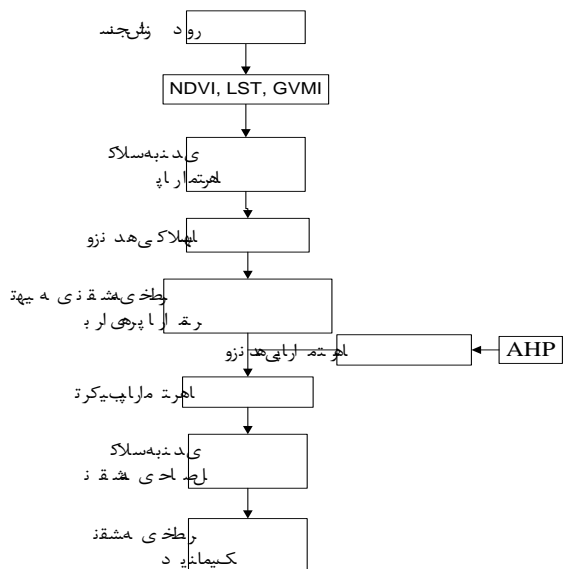


شکل (۲): خوارزمیک کلی تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی استاتیک با استفاده از آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره

بعد از آماده‌سازی داده‌ها، لایه‌های موجود به کلاس‌های مختلف تقسیم می‌شوند و به هر کدام از این کلاس‌ها وزن متناسب با آن اختصاص می‌یابد. با وزن‌دهی به کلاس‌های مختلف در هر لایه، نقشه شاخص آن لایه به دست می‌آید. سپس با استفاده از AHP وزن هر پارامتر تعیین و سپس پارامترها با وزن‌های حاصل با هم ترکیب می‌شوند تا نقشه خطر استاتیک تعیین شود.

ب) تهیه نقشه خطر دینامیک (Dynamic Fire Risk)

علاوه بر پارامترهای استاتیک یک‌سری از پارامترهایی هم هستند که در طول زمان متغیر می‌باشند. این داده‌ها حتی ممکن است در طول روز نیز متغیر باشد. مدل‌سازی این داده‌ها به دلیل متغیر بودن در طول زمان مشکل می‌باشد. زیرا، برخلاف داده‌های استاتیک این پارامترها برای منطقه در طول زمان ثابت نیست و برای تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی برای هر زمان نیاز به داده‌های آن زمان می‌باشد. خوارزمیک تهیه نقشه خطر دینامیک به شکل (۳) می‌باشد.



شکل (۳): خوارزمیک کلی تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی دینامیک با استفاده از آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره

در ادامه، نتایج حاصل برای تمام پارامترها و همچنین نقشه خطر آتش‌سوزی بیان شده است.

یافته‌ها

الف) شاخص نوع پوشش گیاهی

به منظور بررسی تاثیر پوشش گیاهی بر روی وقوع آتش‌سوزی از نقشه رقمی پوشش گیاهی تولید شده توسط سنجنده NOAA استفاده و تعداد ۱۲ کلاس پوشش گیاهی مشخص شده است. کلاس‌های پوشش گیاهی به همراه تعداد آتش‌سوزی اتفاق افتاده در هر نوع پوشش گیاهی و وزن آن‌ها از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۴ در جدول (۲)، نشان داده شده است. همان‌طوری که در جدول (۲)، مشخص است اکثر آتش‌سوزی‌ها در مناطق

آتش‌سوزی‌های ۵ سال برای منطقه مورد مطالعه بررسی شده است. از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۴، تعداد ۸۰۲ مورد آتش‌سوزی توسط سنجنده مادیس در استان گلستان آشکار شده است. ارتفاع همه این نقاط آتش‌سوزی استخراج شده و تعداد آن‌ها در پهنه‌های ارتفاعی مختلف در جدول (۲)، نشان داده شده است. میانگین، کم‌ترین و بیشترین ارتفاع موجود بین همه نقاط آتش‌سوزی به ترتیب برابر با ۲۸-، ۱۸۵/۲۳ و ۱۸۳۷ متر می‌باشد. همان‌طوری که انتظار می‌رفت، با افزایش ارتفاع احتمال رویداد آتش‌سوزی کاهش می‌یابد. بنابراین، با استفاده از نظر کارشناسی، و تحقیق‌های انجام شده و بررسی آتش‌سوزی‌های چندین سال از نظر ارتفاعی در منطقه مورد مطالعه، به هر کلاس ارتفاعی وزن مناسب داده شده و نتایج در جدول (۲)، نشان داده شده است.

پ) شاخص شیب

شیب، ارتباط مستقیمی با سرعت گسترش آتش‌سوزی دارد. شیب زیاد سبب افزایش سرعت گسترش آتش‌سوزی می‌شود ولی باید به این نکته نیز توجه شود که شیب تند پس از شروع آتش‌سوزی تاثیر مستقیم دارد. به عبارت دیگر، شیب زیاد پتانسیل آتش‌سوزی را افزایش نمی‌دهد؛ بلکه اگر آتش‌سوزی در یک منطقه ایجاد شود، جهت گسترش آن به سمت شیب‌های زیاد خواهد بود (Sonia, 2008). میانگین، کم‌ترین و بیش‌ترین شیب موجود در بین همه نقاط آتش‌سوزی به ترتیب برابر با ۰/۴۴، ۴/۹۶ و ۵۴/۴۸ درصد می‌باشد. از روی داده‌های آتش‌سوزی سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۴، شیب‌های مختلف براساس جدول (۲) وزن‌دهی شدند.

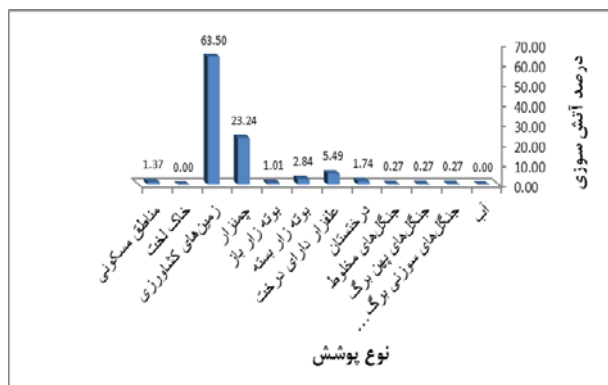
ت) شاخص جهت شیب

به دلیل تابش مستقیم خورشید شیب‌های جنوبی، جنوب شرقی و جنوب غربی بیشتر گرم شده و پتانسیل بیشتری برای وقوع آتش‌سوزی خواهند داشت (Rawat, 2003). بنابراین، باید به این شیب‌ها وزن بیشتری داده شود. با توجه به تحقیق‌های مشابه انجام شده و داده‌های مورد بررسی به هرکدام از جهت شیب براساس با جدول (۲)، وزن داده شده است.

ج) شاخص راه‌های ارتباطی

مناطق نزدیک به راه‌های ارتباطی بیشتر در معرض خطر آتش‌سوزی قرار می‌گیرند. زیرا، دسترسی به این مناطق راحت‌تر

علفزارها و اراضی کشاورزی صورت گرفته است که در شکل (۴) کاملاً مشخص می‌باشد. بیشترین تعداد آتش‌سوزی در زمین‌های کشاورزی و پس از آن در علفزارها روی داده است. مناطق جنگلی از لحاظ تعداد آتش‌سوزی در رتبه سوم قرار گرفته است.



شکل (۴): درصد آتش‌سوزی در کلاس‌های مختلف پوشش گیاهی برای وزن‌دهی به هر کلاس

زیاد بودن تعداد آتش‌سوزی در مناطق علفزارها و اراضی کشاورزی به این دلیل است که این اراضی بیشتر در مناطق پست و هموار واقع شده است و دسترسی انسان به این مناطق بیشتر است. بنابراین، بی‌احتیاطی ساکنان می‌تواند منجر به ایجاد حریق شود. همچنین، در زمین‌های کشاورزی بیشتر آتش‌سوزی‌ها عمدی بوده و برای سوزاندن علف‌های هرز و زاید پس از برداشت و کاشت محصول جدید توسط کشاورزان ایجاد می‌شود. ولی، با توجه به این که اراضی جنگلی کمتر قابل دسترس هستند و بخش زیادی از آن‌ها در مناطق مرتفع واقع شده‌اند و دارای آب و هوای خنک‌تری نسبت به دشت‌های ساحلی می‌باشند، بنابراین امکان آتش‌سوزی در این مناطق کمتر است. به این دلیل، پس از علفزارها و اراضی کشاورزی، مناطق جنگلی از لحاظ تعداد آتش‌سوزی در رتبه سوم قرار دارد.

ب) شاخص ارتفاع

نوع پوشش گیاهی، رطوبت و دمای هوا وابسته به ارتفاع می‌باشد و در ارتفاعات مختلف این پارامترها تغییرات چشم‌گیری دارند. ارتفاعات زیاد دارای رطوبت بالا و دمای پایین می‌باشد. بنابراین، در ارتفاعات بالا میزان پوشش گیاهی کم بوده و همچنین دسترسی به این مناطق دشوارتر می‌باشد. بنابراین، انتظار می‌رود میزان آتش‌سوزی با افزایش ارتفاع کاهش یابد. بدین منظور

جدول (۲): پارامترهای استاتیک موثر بر وقوع آتش‌سوزی به همراه درصد آتش‌سوزی و وزن هر کلاس

فاصله از مناطق مسکونی (km)	تعداد آتش‌سوزی	درصد آتش‌سوزی	وزن	فاصله از راه‌های ارتباطی (km)	تعداد آتش‌سوزی	درصد آتش‌سوزی	وزن
۰-۱۰	۳۷۱	۴۶/۲۶	۱۰	۰-۲	۴۲۳	۵۲/۷۴	۱۰
۱۰-۲۰	۲۵۲	۳۱/۴۲	۹	۲-۴	۱۶۱	۲۰/۰۷	۸
۲۰-۳۰	۱۰۷	۱۳/۳۴	۷	۴-۶	۱۲۱	۱۵/۰۹	۷
۳۰-۴۰	۶۰	۷/۴۸	۵	۶-۸	۴۸	۵/۹۹	۵
۴۰-۵۰	۸	۱	۳	۸-۱۰	۲۷	۳/۳۷	۳
۵۰-۶۰	۴	۰/۵۰	۲	۱۰-۱۲	۱۹	۲/۳۷	۲
۶۰ ≤	۰	۰	۱	۱۲ ≤	۳	۰/۳۷	۱
شیب بر حسب درصد	تعداد آتش‌سوزی	درصد آتش‌سوزی	وزن	جهت شیب	تعداد آتش‌سوزی	درصد آتش‌سوزی	وزن
۰-۵	۶۰۳	۷۵/۱۹	۱۰	شمال	۰	۰	۱
۵-۱۰	۵۳	۶/۶۱	۶	شمال شرق	۷	۰/۸۷	۲
۱۰-۱۵	۵۷	۷/۱۱	۷	شرق	۳۱	۳/۸۷	۴
۱۵-۲۰	۳۸	۴/۷۴	۵	جنوب شرق	۶۷	۸/۲۵	۶
۲۰-۲۵	۳۲	۳/۹۹	۴	جنوب	۲۷۴	۳۴/۱۶	۱۰
۲۵-۳۰	۷	۰/۸۷	۳	جنوب غرب	۲۳۷	۲۹/۵۵	۹
۳۰-۳۵	۷	۰/۸۷	۳	غرب	۱۴۰	۱۷/۴۶	۷
۳۵-۴۰	۳	۰/۳۷	۲	شمال غرب	۴۶	۵/۷۴	۵
۴۰ ≤	۲	۰/۲۵	۱	شمال	۰	۰	۱
ارتفاع	تعداد آتش‌سوزی	درصد آتش‌سوزی	وزن	نوع پوشش زمین	تعداد آتش‌سوزی	درصد آتش‌سوزی	وزن
۰-۱۵۰	۴۷۷	۵۹/۴۸	۱۰	جنگل‌های سوزنی برگ همیشه سبز	۳	۰/۲۷۴	۱
۱۵۰-۳۰۰	۱۳۸	۱۷/۲۱	۹	جنگل‌های پهن برگ	۳	۰/۲۷۴	۱
۳۰۰-۴۵۰	۲۸	۳/۴۹	۷	جنگل‌های مخلوط	۳	۰/۲۷۴	۱
۴۵۰-۶۰۰	۲۸	۳/۴۹	۶	درختستان	۱۹	۱/۷۳۸	۳
۶۰۰-۷۵۰	۱۵	۱/۸۷	۳	علفزار دارای درخت	۶۰	۵/۴۸۹	۷
۷۵۰-۹۰۰	۸	۱	۲	بوته زار بسته	۳۱	۲/۸۳۶	۵
۹۰۰-۱۰۵۰	۱۱	۱/۳۷	۲	بوته زار باز	۱۱	۱/۰۰۶	۲
۱۰۵۰-۱۲۰۰	۹	۱/۱۲	۲	چمنزار	۲۵۴	۲۳/۲۳۹	۸
۱۲۰۰-۱۳۵۰	۱۷	۲/۱۲	۳	زمین‌های کشاورزی	۶۹۴	۶۳/۴۹۵	۱۰
۱۳۵۰ ≤ و ۲۸- ≤	۲	۰/۲۵	۱	خاک لخت	۰	۰	۰
				مناطق مسکونی	۱۵	۱/۳۷۲	۲

مختلف در جدول (۲)، نشان داده شده است.

د) شاخص مناطق مسکونی

همانند راه‌های ارتباط در این جا نیز به دلیل دسترسی آسان به

بوده و بر اثر عوامل انسانی ناشی از غفلت و یا بی‌احتیاطی مسافران و یا گردشگران و ... احتمال رویداد آتش‌سوزی بیشتر می‌شود. بنابراین، برای مناطق نزدیک جاده‌ها باید وزن بیشتر اختصاص یابد. وزن اختصاص یافته به هر کدام از فواصل

با تغییر مقادیر هر پارامتر انجام شده و وزن پارامترها در هر مرتبه محاسبه شده است که بهترین دقت در حالت نشان داده شده در جدول (۴)، حاصل شد است.

جدول (۳): نتایج روش آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره در شناسایی نواحی با پتانسیل بالای آتش‌سوزی در حالت وزن‌های یکسان پارامترهای استاتیک

نوع منطقه	تعداد	وزن	مجموع	مقدار
مساحت ناحیه (km ²)	۳۶۳/۱۰	۴۰۰۷/۳۴	۸۹۵۱/۹۴	۷۳۲۱/۷۰
نسبت مساحت	۱/۷۶	۱۹/۴۱	۴۰/۳۶	۳۸/۴۷
فراوانی آتش‌سوزی	۰	۲۱	۱۱۸	۶۶۳
درصد آتش‌سوزی	۰	۲/۶۲	۱۴/۷۱	۸۲/۶۷
نسبت درصد آتش‌سوزی به درصد مساحت	.	۰/۱۳	۰/۳۴	۲/۱۴

از بین حالت‌های مختلف بررسی شده در این تحقیق، ترتیب اولویت‌های فوق و وزن حاصل بهترین دقت را به خود اختصاص داده است. براساس وزن‌های حاصل نقشه استاتیک خطر آتش‌سوزی از رابطه (۳) حاصل خواهد شد. برای جدول (۴)، مقدار ضریب ناسازگاری برابر ۰/۰۸ به‌دست آمد که کمتر از ۰/۱ بوده است بنابراین، سازگاری آن مورد قبول می‌باشد.

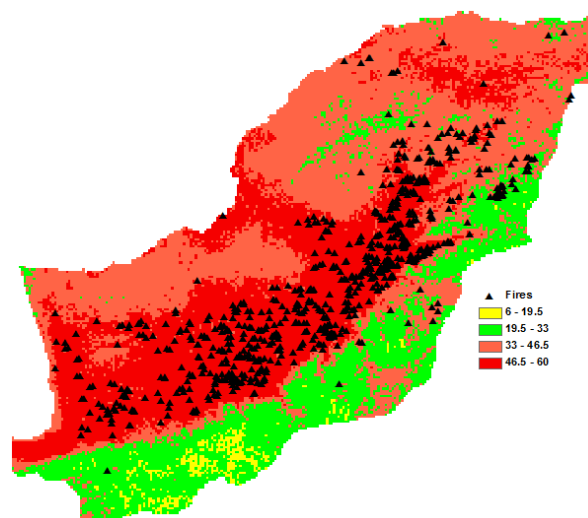
$$\text{Static Fire Risk} = 0.52(\text{landcover}) + 0.08(\text{altitude}) + 0.04(\text{slope}) + 0.03(\text{aspect}) + 0.12(\text{road dist}) + 0.21(\text{city dist}) \quad (3)$$

با استفاده از معادله فوق نقشه خطر استاتیک برای منطقه مورد مطالعه تهیه می‌شود. این نقشه در واقع مناطق مستعد رویداد آتش‌سوزی را با استفاده از پارامترهای به نسبت ثابت در طول زمان شناسایی می‌کند. با توجه به این که مقادیر هر نقشه بین ۱ تا ۱۰ و مجموع ضرایب معادله‌ی فوق برابر ۱ می‌باشد، بنابراین مقادیر نقشه خطر آتش‌سوزی نیز بین ۱ تا ۱۰ خواهد بود که در این‌جا نیز بین ۱ تا ۱۰ به چهار ناحیه تقسیم شده است. شکل (۶)، نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی استاتیک حاصل از رابطه (۳) را نشان می‌دهد.

از روی جدول (۵)، مشخص می‌شود که در حالت اول ۸۲/۶۷ درصد از آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۴، در

مناطق نزدیک شهرها و سایر نواحی مسکونی، وزن این مناطق باید بیشتر باشد. بنابراین، به فواصل نزدیک وزن زیاد اختصاص یافته است که نتایج در جدول (۲)، نشان داده شده است.

پس از وزن‌دهی به هر یک از پارامترهای استاتیک، نقشه خطر استاتیک هر یک از پارامترها به‌دست می‌آید. در مرحله بعد، باید این نقشه‌ها با وزن‌های مناسب به هم ترکیب شوند تا نقشه استاتیک خطر آتش‌سوزی به‌دست آید. بدین‌منظور، از روش آنالیز آماری مقایسه دوجه‌دو استفاده شده است. در مرحله اول، همه این ۶ پارامتر با وزن یکسان با هم ترکیب شدند. با توجه به این که مقادیر همه این پارامترها از یک تا ۱۰ می‌باشد، بنابراین مقدار حاصل جمع شش پارامتر بین ۶ تا ۶۰ خواهد بود که این بازه به چهار قسمت مساوی تقسیم شده و تعداد آتش‌سوزی اتفاق افتاده در هر ناحیه به‌دست آمده است. این چهار ناحیه از مقادیر کمتر به بیشتر به ترتیب منطقه بی‌خطر، منطقه با خطر کم، منطقه با خطر متوسط و منطقه خطرناک نام‌گذاری شده است. نتیجه در جدول (۳)، نشان داده شده است. نقشه خطر استاتیک با در نظر گرفتن اثر یکسان برای هر ۶ پارامتر به‌صورت شکل (۵)، حاصل شده است.

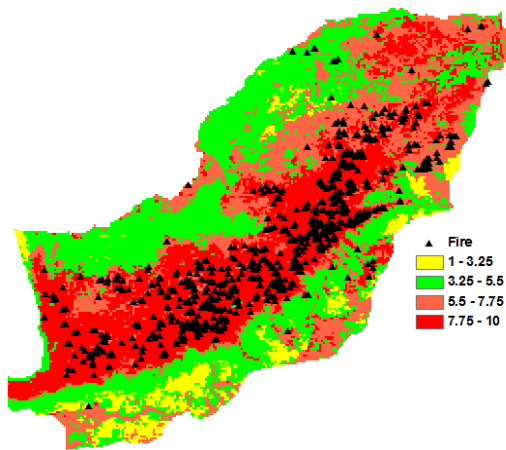


شکل (۵): نقشه خطر آتش‌سوزی استاتیک حاصل از آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره با یکسان گرفتن وزن پارامترها

با توجه به این که اثر این پارامترها یکسان نیست، بنابراین با استفاده از دانش کارشناسی و تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، پارامترها اولویت‌بندی شده و با استفاده از روش AHP وزن آن‌ها محاسبه شده است. اولویت‌بندی پارامترها چندین بار

جدول (۴): اولویت‌بندی پارامترها و وزن‌های استخراج شده به روش میانگین هندسی برای پارامترهای استاتیک

وزن	میانگین هندسی	فاصله از شهر (city dist)	فاصله از جاده (road dist)	جهت شیب (aspect)	شیب (slope)	ارتفاع (altitude)	پوشش زمین (landcover)	
۰/۵۲	۴/۹۷	۵	۶	۸	۹	۷	۱	پوشش زمین (landcover)
۰/۰۸	۰/۷۷	۰/۳	۰/۴	۴	۳	۱		ارتفاع (altitude)
۰/۰۴	۰/۴۲	۰/۲	۰/۲۵	۳	۱			شیب (slope)
۰/۰۳	۰/۳۷	۰/۱۵	۰/۲۵	۱				جهت شیب (aspect)
۰/۱۲	۱/۱۴	۰/۳۳۳۳	۱					فاصله از جاده (road dist)
۰/۲۱	۲/۰۱	۱						فاصله از شهر (city dist)



شکل (۶): نقشه خطر آتش‌سوزی استاتیک حاصل از تصمیم‌گیری چند معیاره با وزن‌دهی پارامترهای استاتیک به روش AHP

چون مخرج این معیار مساحت ناحیه پرخطر می‌باشد و بدیهی است که هر چه مساحت این ناحیه کوچک‌تر باشد، یعنی مدل توانسته است مناطق واقعاً خطرناک را شناسایی کند. صورت معیار تعداد آتش‌سوزی بوده که هرچه تعداد آن در منطقه شناسایی شده به‌عنوان پرخطر زیاد باشد، بیان‌گر دقت بالای مدل می‌باشد. البته لازم به ذکر است جهت ارزیابی دقیق مدل نیاز به داده‌های آتش‌سوزی حاصل از گزارش زمینی برای سال‌های ۱۳۷۹ الی ۱۳۸۴ می‌باشد. ولی، به دلیل فقدان گزارش زمینی دقیق از نقاط آتش‌سوزی منطقه مورد مطالعه مجبور به استفاده از نقاط آتش‌سوزی کشف شده توسط سنجنده مادیس شده که این کار در تحقیق‌های مشابه مانند: (Sonia, 2008; Ardakani et al, 2010; Aida, 2008) اردکانی (۱۳۸۹) نیز صورت گرفته است. لازم است به این نکته توجه شود که جهت

مناطق روی داده است که با استفاده از نقشه خطر استاتیک به عنوان منطقه‌ی پرخطر شناسایی شده است و مساحت این ناحیه ۳۸/۴۷ درصد از کل منطقه را شامل می‌شود. در حالت دوم که وزن‌ها با استفاده از روش AHP به‌دست آمدند، درصد آتش‌سوزی به ۸۶/۱۶ و مساحت ناحیه به ۳۵/۵ درصد رسیده است. این امر بدان معنی است که در حالت دوم صحت مدل افزایش یافته یعنی توانایی مدل در شناسایی مناطق واقعاً خطرناک بیشتر شده است. برای ارزیابی، یک معیار تحت عنوان نسبت درصد آتش‌سوزی اتفاق افتاده در منطقه شناسایی شده به‌عنوان پرخطر به درصد مساحت آن منطقه تعریف شده است و هر چه این معیار بیشتر باشد، بیان‌گر بالا بودن دقت مدل می‌باشد.

جدول (۵): نتایج روش آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره در شناسایی نواحی با پتانسیل بالای آتش‌سوزی در حالت وزن‌دهی پارامترهای استاتیک به روش AHP

نوع منطقه	تعداد	مساحت (km ²)	نسبت مساحت	فرآوانی آتش‌سوزی
مساحت ناحیه (km ²)	۱۲۲۵/۲۲	۶۶۳۱/۳۵	۵۲۷۸/۷۳	۷۲۲۹/۰۴
نسبت مساحت	۶/۰۲	۳۲/۵۶	۲۵/۹۲	۳۵/۵
فرآوانی آتش‌سوزی	۱	۱۹	۹۱	۶۹۱
درصد آتش‌سوزی	۰/۱۲	۲/۳۷	۱۱/۳۵	۸۶/۱۶
نسبت درصد آتش‌سوزی به درصد مساحت	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۴۴	۲/۴۳

داده شده است.

جدول (۶): شاخص LST و GVMI به همراه تعداد آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در هر کلاس و وزن اختصاص یافته

وزن	تعداد آتش‌سوزی	NDVI	وزن	میزان LST	وزن	GVMI
۰	۰	<۰	۱	<۲۹۰	۱	<۰
۱	۱	۰-۰/۱	۲	۲۹۰-۲۹۵	۱۰	۰-۰/۰۵
۶	۱۲۷	۰/۱-۰/۲	۳	۲۹۵-۳۰۰	۹	۰/۰۵-۰/۱
۱۰	۴۰۹	۰/۲-۰/۳	۴	۳۰۰-۳۰۵	۸	۰/۱-۰/۱۵
۷	۱۶۱	۰/۳-۰/۴	۵	۳۰۵-۳۰۷	۷	۰/۱۵-۰/۲
۵	۴۷	۰/۴-۰/۵	۶	۳۰۷-۳۱۰	۶	۰/۲-۰/۲۵
۴	۳۸	۰/۵-۰/۶	۷	۳۱۰-۳۱۵	۵	۰/۲۵-۰/۳
۳	۱۶	۰/۶-۰/۷	۸	۳۱۵-۳۲۰	۴	۰/۳-۰/۴
۲	۲	۰/۷-۰/۸	۹	۳۲۰-۳۲۵	۳	۰/۴-۰/۵
۱	۱	۰/۸ ≤	۱۰	۳۲۵ ≤	۲	۰/۵-۰/۶
					۱	۰/۶ ≤

پس از محاسبه وزن هر کلاس نقشه شاخص با استفاده از وزن‌های حاصل به دست می‌آید و در مرحله دیگر وزن هر یک از شاخص‌های NDVI، GVMI، LST و به روش AHP محاسبه شدند تا از طریق ترکیب این پارامترها با وزن حاصل، نقشه خطر دینامیک ایجاد شود. جدول (۷)، وزن شاخص‌ها را نشان می‌دهد. برای جدول (۷) مقدار ضریب ناسازگاری برابر ۰/۰۰۸ به دست آمد که کمتر از ۰/۱ بوده بنابراین سازگاری آن مورد قبول می‌باشد. با توجه به جدول (۷)، نقشه خطر دینامیک براساس رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$\text{Dynamic Fire Risk} = 0.54(\text{NDVI}) + 0.3(\text{GVMI}) + 0.16(\text{LST}) \quad (۵)$$

جدول (۷): اولویت‌بندی پارامترهای ماهواره‌ای و وزن‌های استخراج شده به روش میانگین هندسی

وزن	میانگین هندسی	LST	GVMI	NDVI	
۰/۵۴	۱/۸۲	۳	۲	۱	NDVI
۰/۳۰	۱	۲	۱		GVMI
۰/۱۶	۰/۵۵	۱	مقارن		LST

ارزیابی دقیق مدل پیشنهادی ابتدا باید خود نقاط آتش‌سوزی کشف شده توسط MODIS از طریق گزارش زمینی نقاط آتش‌سوزی، مورد ارزیابی قرار گیرد.

پارامترهای دینامیک NDVI شاخص

بستر بسیاری از آتش‌سوزی‌ها در ایران پوشش گیاهی می‌باشد و عمده آتش‌سوزی‌ها در مناطق با پوشش گیاهی و جنگل‌ها روی می‌دهد. بنابراین، شاخص گیاهی نرمال شده (NDVI) شاخص مناسبی برای بررسی عوامل آتش‌سوزی مناسب به نظر می‌رسد. NDVI مربوط به نقاط آتش‌سوزی از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۴ استخراج شده و فراوانی آتش‌سوزی در هر کلاس با محدوده NDVI برابر با ۰/۱ محاسبه شده است. سپس با استفاده از فراوانی هر کلاس وزن آن کلاس تعیین گردیده است. نتایج در جدول (۶)، نشان داده شده است.

(ب) شاخص GVMI

شاخص GVMI برای سنجش حجم آب موجود در پوشش گیاهی به کار می‌رود که توسط (Ceccato et al, 2002) رایج شده است. این شاخص از باند ۲ و ۶ مادیس استفاده می‌کند و از رابطه (۴)، به دست می‌آید. وزن مربوط به کلاس‌های مختلف این شاخص در جدول (۶)، نشان داده شده است. بدیهی است هرچه میزان رطوبت مواد سوختی بیشتر باشد، آتش‌سوزی به سستی شروع می‌شود. بنابراین، با افزایش میزان شاخص GVMI میزان وزن آن‌ها کاهش یافته است.

$$GVMI = \frac{(\rho_2 + 0.1) - (\rho_6 + 0.02)}{(\rho_2 + 0.1) + (\rho_6 + 0.02)} \quad (۴)$$

(پ) شاخص LST

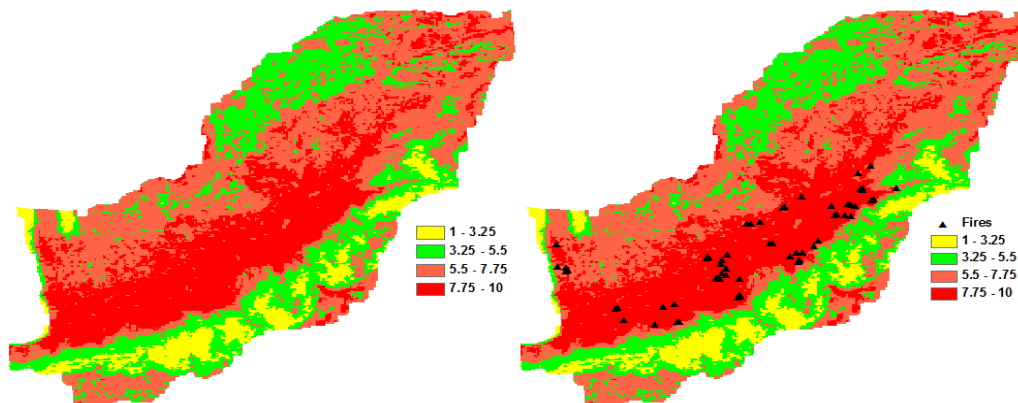
شاخص LST دمای سطح زمین می‌باشد که از طریق تصاویر ماهواره‌ای قابل استخراج می‌باشد. این شاخص با استفاده از باند ۳۱ و ۳۲ مادیس قابل محاسبه می‌باشد. در این تحقیق، از محصول MOD11C3 استفاده شده است. این محصول دمای سطح زمین را با قدرت تفکیک ۵ کیلومتر نشان می‌دهد. این محصول ۱۶ بیتی بوده و ضریب مقیاس آن ۰/۰۲ می‌باشد. پس از اعمال ضریب مقیاس، مقدار واقعی دما برحسب کلون به دست می‌آید. وزن اختصاص یافته به هر کلاس در جدول (۶)، نشان

تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی

پس از تهیه نقشه خطر استاتیک و دینامیک در این مرحله این دو نقشه باهم ترکیب می‌شوند تا نقشه خطر نهایی که بیان‌گر مناطق با پتانسیل بالای آتش‌سوزی است، به دست می‌آید. با استفاده روش‌های گفته شده در مراحل قبل و وزن‌های نشان داده شده در جدول (۷) و همچنین نقشه خطر استاتیک، نقشه خطر آتش‌سوزی برای ماه‌های تیر و مهر ۱۳۸۴ و تیر ۱۳۸۳ تهیه شده و تعداد آتش‌سوزی در هر ناحیه به همراه مساحت آن‌ها در ادامه نشان داده شده است. نقشه خطر آتش‌سوزی ایجاد شده بر مبنای داده‌های ماهواره‌ای برای تیر ماه ۱۳۸۴ در شکل (۷)، نشان داده شده است. تعداد نقاط آتش‌سوزی در هر ناحیه به همراه مساحت آن ناحیه استخراج و نتایج در جدول (۸)، نشان داده شده است.

جدول (۸): نتایج مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی تیر ماه ۱۳۸۴ با استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای

نوع منطقه	وزن	حاصل	خطر متوسط	خطر نای
مساحت ناحیه (km ²)	۱۴۶۹/۶۱	۴۶۰۴/۴۲	۸۲۵۸/۸۸	۵۵۴۰/۳۷
نسبت مساحت	۷/۳۹	۲۳/۱۷	۴۱/۵۶	۲۷/۸۸
فراوانی آتش‌سوزی	۰	۰	۵	۵۶
درصد آتش‌سوزی	۰	۰	۸/۲۰	۹۱/۸
نسبت درصد آتش‌سوزی به درصد مساحت	۰	۰	۰/۲	۳/۲۹

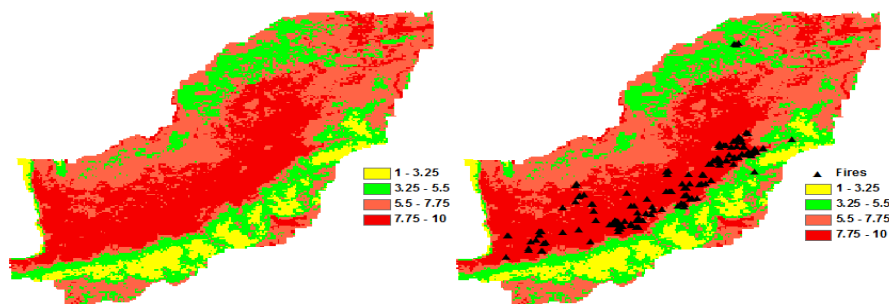


شکل (۷): نقشه خطر آتش‌سوزی حاصل از تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای ماه تیر ماه ۱۳۸۴ به همراه آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده

جدول (۹): نتایج مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی تیرماه ۱۳۸۳ با استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای

نوع منطقه	وزن	حاصل	خطر متوسط	خطر نای
مساحت ناحیه (km ²)	۱۵۲۳/۵۱	۴۱۷۵/۶۰	۷۵۲۸/۴۹	۶۶۹۴/۸۳
نسبت مساحت	۷/۶۵	۲۰/۹۶	۳۷/۷۹	۳۳/۶۰
فراوانی آتش‌سوزی	۰	۴	۱۱	۱۲۷
درصد آتش‌سوزی	۰	۲/۸۲	۷/۷۵	۸۹/۴۴
نسبت درصد آتش‌سوزی به درصد مساحت	۰	۰/۱۳	۰/۲	۲/۶۶

همچنین، نقشه خطر آتش‌سوزی برای تیر ماه ۱۳۸۳ نیز تهیه شد تا میزان جامعیت مدل مورد بررسی قرار گیرد. نقشه حاصل در شکل (۸)، نشان داده شده است. برای این ماه نیز تعداد نقاط آتش‌سوزی در هر ناحیه شناسایی شده به همراه مساحت آن ناحیه محاسبه شده و در جدول (۹)، نشان داده شده است. با توجه به این که در ماه مهر، تعداد آتش‌سوزی کمتری روی داده است، بنابراین برای ارزیابی قابلیت مدل، نقشه خطر آتش‌سوزی برای این ماه نیز تهیه شده است تا مناطق با پتانسیل بالای آن شناسایی شود. نقشه خطر آتش‌سوزی مربوط به این ماه در شکل (۹)، نشان داده شده است.

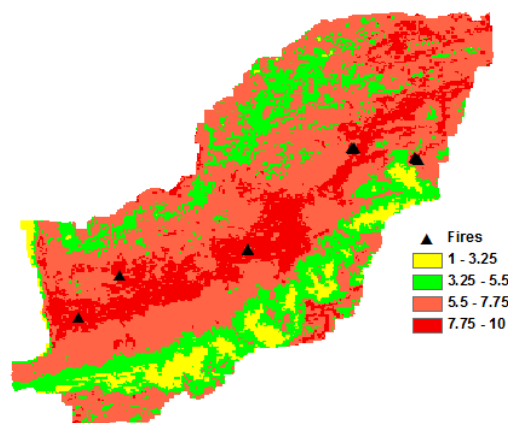


شکل (۸): نقشه خطر آتش‌سوزی حاصل از تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای تیر ماه ۱۳۸۳ به همراه آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده

و تعداد اندکی آتش‌سوزی در این ماه توسط MODIS شناسایی شده است. بنابراین، مناطق کمتری در این ماه دارای پتانسیل بالای آتش‌سوزی خواهد بود. همان‌طوری که از شکل (۹) مشخص است، مدل به‌خوبی عمل کرده و مناطق محدودی را به‌عنوان پرخطر شناسایی کرده است. (جدول ۱۰)

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی صورت گرفت و با استفاده از مدل ایجاد شده مناطق با پتانسیل بالا شناسایی شد. در مقایسه با تحقیق‌های مشابه، در این تحقیق از پارامترهای زیادی برای مدل‌سازی استفاده شده است که این پارامترها از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شدند. برای مثال: اردکانی و همکاران (۱۳۸۹) از رگرسیون خطی و پارامترهای بارش، NDVI، رطوبت و دما بدین منظور استفاده کرده‌اند و یا (Sonia, 2008) از پارامترهای استاتیک استفاده نموده و خطر آتش‌سوزی را مدل‌سازی کرده‌اند. در بیشتر این تحقیق‌ها از تعداد پارامترهای محدودی استفاده شده که اکثر آن پارامترها از ایستگاه‌های زمینی محدود حاصل شدند که در خارج از محدوده ایستگاه‌های زمینی مقادیر به‌روش درون‌یابی به‌دست آمدند. ولی در این تحقیق پارامترهای استاتیک و دینامیک به‌طور هم‌زمان استفاده شده و هیچ داده‌ی زمینی به‌کار نرفته است تا پتانسیل سنجش از دور در زمینه شناسایی نواحی با پتانسیل بالای آتش‌سوزی مورد بررسی قرار گیرد. مدل ایجاد شده برای ماه‌ها و سال‌های مختلف اعمال و ارزیابی شد تا جامعیت و توانایی آن مورد ارزیابی قرار گیرد. برای مقایسه حالت‌های مختلف، نتایج مدل در شناسایی نواحی پر خطر به‌همراه معیار مقایسه جدول (۱۱)، نشان داده



شکل (۹): نقشه خطر آتش‌سوزی حاصل از تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای مهر ماه ۱۳۸۴ به همراه آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده

جدول (۱۰): نتایج مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی مهر ماه ۱۳۸۴ با استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای

نوع منطقه	تعداد	مساحت	نسبت	نسبت درصد
مساحت ناحیه (km ²)	۱۱۳۸/۳۹	۴۳۸۷/۶۳	۱۰۸۶۴/۶	۳۴۷۵/۸۱
نسبت مساحت	۵/۷۳	۲۲/۰۹	۵۴/۶۹	۱۷/۵
فراوانی آتش‌سوزی	۰	۰	۳	۶
درصد آتش‌سوزی	۰	۰	۳۳/۳	۶۶/۷
نسبت درصد آتش‌سوزی به درصد مساحت	۰	۰	۰/۶۱	۳/۸۱

همان‌طوری که مشاهده می‌شود، مدل پیشنهادی به‌خوبی مناطق با پتانسیل بالای آتش‌سوزی را شناسایی کرده است. بر اساس آمار آتش‌سوزی، ماه مهر از نظر وقوع آتش‌سوزی خطرناک نبوده

نظر گرفته است و با استفاده از آن‌ها حد آستانه مربوط به شرایط آتش‌سوزی را تعیین می‌کند. در تصمیم‌گیری چندمعیاره حد آستانه هر کدام از معیارهای مورد بررسی با استفاده از دانش داده‌ای و کارشناسی تعیین شده و از روی آن مناطق پرخطر با دقت بالا شناسایی می‌شود.

شده است. همان‌طوری که در جدول مشخص است، آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره نتایج رضایت‌بخشی در مدلسازی خطر آتش‌سوزی و شناسایی نواحی با پتانسیل بالای آتش‌سوزی دارد. زیرا، تصمیم‌گیری چند معیاره شرایط مربوط به رویداد آتش‌سوزی را با استفاده از داده‌های موجود و دانش کارشناسی در

جدول (۱۱): نتایج مدلسازی خطر آتش‌سوزی برای حالت‌های مختلف با استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای

معیار مقایسه	درصد آتش‌سوزی	درصد مساحت	مدل	حالت
۲/۱۴	۸۲/۶۷	۳۸/۴۷	یکسان گرفتن وزن پارامترها	نقشه‌ی خطر استاتیک
۲/۴۳	۸۶/۱۶	۳۵/۵	استخراج وزن‌ها با روش AHP	
۳/۲۹	۹۱/۸	۲۷/۸۸	نهایی برای تیرماه ۱۳۸۴	نقشه‌ی خطر نهایی
۳/۸۱	۶۶/۷	۱۷/۵	نهایی برای مهرماه ۱۳۸۴	
۲/۶۶	۸۹/۴۴	۳۳/۶۰	نهایی برای تیرماه ۱۳۸۳	

آتش‌سوزی می‌باشد. طوری که، شاخص‌های ماهواره‌ای به‌تنهایی قادر به شناسایی نواحی با خطر بالا می‌باشد و برخلاف داده‌های زمینی شامل خطاهای درون‌یابی نیستند. برای افزایش دقت مدلسازی بهتر است تعداد شاخص‌های ماهواره‌ای مؤثر افزایش یابد تا از هم‌پوشانی آن‌ها مناطق واقعا خطرناک از لحاظ وقوع آتش‌سوزی شناسایی شود. همچنین، برای اطمینان کامل از نتایج مدل بهتر است برای ارزیابی آن از داده‌های واقعی آتش‌سوزی استفاده شود که بدین‌منظور، نیاز به گزارش زمینی نقاط آتش‌سوزی می‌باشد.

همان‌طوری که در جدول (۱۱) مشاهده می‌شود، در تهیه نقشه‌ی خطر استاتیک در حالت یکسان گرفتن وزن‌ها ۳۸/۴۷ درصد از منطقه به‌عنوان پرخطر شناسایی شده است که ۸۲/۶۷ درصد از آتش‌سوزی‌ها در آن مناطق روی داده است. بنابراین، معیار مقایسه برابر ۲/۱۴ به‌دست آمده است. وزن‌های حاصل از روش AHP دقت مدل را افزایش داده و معیار مقایسه به ۲/۴۳ افزایش یافته است. با اعمال مدل ایجاد شده برای زمان‌های مختلف، مشاهده می‌شود که مدل پیشنهادی به‌خاطر لحاظ کردن شرایط وقوع آتش‌سوزی، مستقل از زمان بوده و برای هر زمانی اعم از فصل اوج آتش‌سوزی و یا ماه‌های بدون آتش‌سوزی، نتایج رضایت‌بخشی دارد. برخلاف روش‌های آماری و یا شبکه عصبی که از داده‌های آموزشی استفاده می‌کنند و وابسته به منطقه می‌باشند، روش MCA چون شرایط مستعد آتش‌سوزی را با استفاده از تعریف حد آستانه‌های مختلف برای پارامترهای مؤثر و ترکیب آن‌ها در نظر می‌گیرد، مستقل از زمان و مکان بوده و برای هر فصلی از سال و همچنین هر منطقه دیگری قابل استفاده می‌باشد که این ویژگی سبب برتری این روش نسبت به روش‌های دیگر می‌باشد. همچنین نتایج به‌دست آمده حاکی از پتانسیل بالای داده‌های سنجش از دور در مدلسازی خطر

یادداشت‌ها

1. Analytical heretical processing
2. Multi-criteria Assessment
3. Inconsistency Ratio
4. Inconsistency Index
5. Random Index
6. Global Vegetation Moisture Index
7. Land Surface Temperature
8. Static Fire Risk Map

فهرست منابع

اردکانی، ع؛ ولدان زوج، م؛ منصوریان، ع. و محمدزاده، ع. ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل ویژگی‌های طیفی فضائی آتش و اهداف زمینه برای شناسایی و تفکیک در داده‌های سنجش از دور. رساله دکتری. دانشکده مهندسی نقشه‌برداری. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

جعفری، ی.؛ اردکانی، ع. و محمدزاده، ع. ۱۳۹۰. بررسی و ارزیابی اثر برخی از پارامترهای استاتیک در آتش‌سوزی جنگل‌های شمال کشور با استفاده از RS و GIS. نخستین همایش بین‌المللی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی. ایران. گرگان.

جعفری، ی.؛ محمدزاده، ع. و اردکانی، ع. ۱۳۹۱. بررسی و ارزیابی اثر برخی پارامترهای دینامیک بر روی وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های شمال کشور با استفاده از داده‌های هواشناسی و سنجش از دور. همایش ژئوماتیک. سازمان نقشه‌برداری.

Aida, H. B. M. H. 2008. Early detection of potential forest fires using satellite remote sensing techniques, a thesis submitted in fulfillment of the requirements for the award of the degree of Master of Science (Remote Sensing).

Ardakani, A. S.; Valadan Zoej, M.J.; Mohammadzadeh, A. & Mansourian, A. 2010. Spatial and Temporal Analysis of Fires Detected by MODIS Data in Northern Iran From 2001 to 2008. IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing.

Bowen, W.M.1990. Subjective judgments and data environment analysis in site selection, Computer, Environment and Urban Systems, Vol. 14, pp.133-144.

Ceccato, P.; Gobron, N.; Flasse, S.; Pinty, B. & Tarantola, S. 2002. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data. Part 1 Theoretical approach. Remote Sens. Environ. 82, 188–197.

Chuvieco, E.; Salas, F.J.; Carvacho, L. & Rodríguez-Silva, F. 1999. Integrated fire risk mapping. In: Chuvieco, E. (Ed.), Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean. Springer-Verlag, Berlin, pp. 61–84.

Danan, P. H. 2008. A RS/GIS-Based Multi-Criteria Approaches to Assess Forest Fire Hazard in Indonesia (Case Study: West Kutai District, East Kalimantan Province), A Thesis submitted for the degree of Master of Science of Bogor Agricultural University.

Mendoza, G. A.; Macoun, P.; Prabhu, R.; Sukadri, D.; Purnomo, H. & Hartanto, H. 1999. Guidelines for applying multi-criteria analysis to the assessment of criteria and indicators. Criteria and Indicators Toolbox Series No.9. CIFOR, Bogor, Indonesia.

Porwal, M.C.; Weir M.J.C.; Hussin, Y.A. & Roy, P.S. 1997. Spatial modeling for fire risk zonation using remote sensing and geographical information system (GIS). Presented at ISPRS Commission VII working group 2 workshop on application of remote sensing for sustainable development, November 24-25, NRSA, Hyderabad

Rathaur, S.; Kushwaha, S. P. S. & Hussin, Y. A. 2006. Fire Risk Assessment for Tiger Prey-base in Chilla Range and vicinity, Rajaji National Park, India using Remote Sensing and GIS. Paper presented at ACRS Proceedings of the 27th Asian conference on remote sensing ACRS, 9-13 October, 2006 Ulanbaatar, Mongolia. Bangkok: Asian Association of remote sensing (AARS).

Rawat, G. S. 2003. Fire risk assessment for forest fire control management in chilla forest range of Rajaji National Park Uttaranchal (India), Thesis in ITC for the degree of MSC.

Saaty, T. L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill.

Sonia, J. O. 2008. Forest fire risk model for Michoacan, Mexico, Thesis submitted to the international institute for geo-information science and earth observation.