

تحلیل سناریوهای پتانسیل خطر آتش سوزی جنگل های شهرستان لردگان با استفاده از GIS و RS

نگار حامدی*: کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان،

az_hamed_i_90@yahoo.com

علی اسماعیلی: استادیار گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.

حسن فرامرزی: دکتری جنگلداری دانشگاه تربیت مدرس تهران، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، نور، مازندران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۲۶

چکیده

آتش سوزی جنگل عوارض جانبی زیادی بر روی عملکرد جنگل و زمین، مانند از دست دادن تنوع زیستی، کاهش ارزش اقتصادی جنگل ها و تغییرات آب و هوایی در مقیاس بزرگ دارد. با توجه به اهمیت موضوع، مطالعه ی حاضر به بررسی تغییرات پتانسیل خطر آتش سوزی می پردازد. برای رسیدن به این هدف لایه های رقومی و داده های مورد نیاز از سایت های مرتبط، سازمان ها و برداشت های میدانی در منطقه ی مورد مطالعه تهیه شد. پس از آماده سازی داده ها و در نظر گرفتن آتش سوزی های رخ داده با فازی سازی لایه ها از روش تحلیل شبکه ای و روش میانگین وزنی مرتب استفاده گردید. بدین منظور آتش سوزی جنگل های زاگرس شهرستان لردگان با استفاده از تصاویر ماهواره ی لندست و مادیس همراه با عوامل مؤثر بر آتش سوزی (عوامل توپوگرافی، انسانی، اقلیمی و پوشش گیاهی) مورد بررسی قرار می گیرد. در روش ANP، بیشترین وزن ها را فاکتورهای فاصله از مناطق مسکونی و جاده، شاخص GVMI و حداکثر دمای روزانه ی هوا به دست آوردند. روش OWA برای تهیه ی مدل پیش بینی خطر صورت پذیرفت و با استفاده از نتایج نقشه ی خطر آتش سوزی در چهار طبقه خطر بسیار کم، کم، متوسط، زیاد تهیه گردید. ارزیابی صحت نیز با استفاده از مشخصه ی عامل نسبی صورت پذیرفت. از بین شش سناریوی اعمال شده، سناریوی سطح ریسک پایین و مقدار اندک جبران با میزان $ROC = 0.702$ به منزله ی بهترین مدل برای پیش بینی خطر آتش سوزی جنگل برآورد گردید. با توجه به صحت و دقت بالای مدل به دست آمده می توان از آن برای مهار آتش سوزی هایی که در آینده رخ خواهد داد استفاده کرد.

واژه های کلیدی: آتش سوزی جنگل، سنجش از دور ANP، OWA، ROC

Analysis of the potential fire hazard scenarios using GIS and RS: A case study of Lordegan forests

Negar Hamedy^{*1}, Ali Esmaeily², Hassan Faramarzi³

Abstract

Forest fire has many side effects on forest and land function. Among them are loss of biodiversity, reduction of economic value of forests and climate change in large scale. The aim of this study was to evaluate the changes in forest fires potentials. To achieve this goal, the required digital layers and data were obtained from the relevant websites and organizations as well as through field surveys in the area of the study. After preparing the data by assuming the occurred fire, the layers were entered in a fuzzy process using Analytical Network Process (ANP) and Ordered Weighted Average (OWA) method. For this purpose, Zagros fire forests (Lordegan city) were examined using Landsat and MODIS images and considering the factors affecting fire (topographical factors, human, climate and vegetation). In ANP procedure, the largest weights were assigned to the distance of residential areas from roads, GVMI index and maximum daily air temperature factors in their magnitude order. OWA method was also used to create the hazard prediction model. Based on the results, the fire hazard map was prepared in four classifications: very low, low, medium, and high. An accuracy assessment was also performed using the relative operating characteristics. Of the six scenarios applied, the low-risk scenario and a small compensation amount of $ROC = 0.702$ were evaluated as the best model to predict the risk of forest fires. Due the high accuracy and precision of the model obtained, it can be used to contain the fires that will occur in the future.

Keywords: fire forest, remote sensing, ANP, OWA, ROC

1. Dept. of Surveying Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Mahan, Iran, az_hamed_i_90@yahoo.com

2. Dept. of Surveying Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Mahan, Iran

3. Forestry PhD student Tarbiat Modarres University of Tehran, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Noor, Mazandaran

آتش‌سوزی جنگل‌های شمال را با استفاده از تصاویر سنجنده ASTER مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد که ۵۱ درصد مناطق آتش‌سوزی شده در مناطق پرخطر یا بسیار پرخطر قرار گرفته‌اند [۸].

مرور تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد در اکثر مطالعات برای ارزیابی پتانسیل خطر حریق از فاکتورهای محیطی متعدد با کمک گرفتن از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است و در اغلب موارد برای وزن‌دهی فاکتورها روش AHP به کار گرفته شده است. در این میان استفاده از مدلی که بتواند با استفاده از وزن‌دهی مناسب به متغیرهای مؤثر در وقوع حریق نتایج مطلوبی به دست آورد اهمیت بسزایی دارد، از این رو با توجه به اهمیت پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی جنگل این تحقیق در نظر دارد مناطق خطر وقوع حریق در جنگل‌های زاگرس را با استفاده از روش میانگین وزنی مرتب و تحلیل شبکه‌ای شناسایی و ضمن تهیه نقشه‌ی مناطق مستعد آتش‌سوزی و اعتبارسنجی آن ضمن معرفی مناطق بحرانی راهکاری به منظور جلوگیری از آتش‌سوزی‌های بعدی در جنگل‌های این ناحیه ارائه دهد. نوآوری این تحقیق استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای برای تعیین وزن معیارها و همچنین روش میانگین وزنی مرتب (OWA) به عنوان روشی برای مکان‌یابی و پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی است. روش میانگین وزنی مرتب در ایجاد دامنه‌ی گسترده‌ای از گزینه‌های تصمیم‌گیری برای نمایش عدم اطمینان، در ارتباط با تأثیر متقابل چندین معیار استفاده می‌شود با این تفاوت که مقادیر معیارها قبل از ضرب در بردار وزن‌ها، مرتب می‌شوند و این مرتب‌سازی باعث غیرخطی شدن مدل می‌شود. مزیت و تمایز این روش نسبت به سایر روش‌ها این است که سناریوهای مختلف مکان‌یابی مناسبی را در مقیاس بین صفر و یک نمایش می‌دهد و درواقع این سناریوها برای تعیین سطوح ریسک‌پذیری (خوش‌بینانه، بدبینانه و خنثی) در نظر گرفته می‌شوند [۹].

ساختار تحقیق در این مطالعه دارای چهار بخش است، ابتدا منطقه‌ی مورد مطالعه و ویژگی‌های آن معرفی می‌گردد. سپس در بخش مواد و روش‌ها داده‌های مورد استفاده، اعم از داده‌های هواشناسی، تصاویر ماهواره‌ای و سایر عوامل مؤثر در آتش‌سوزی معرفی می‌گردند. در ادامه مهم‌ترین عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی مورد بررسی قرار می‌گیرند. همچنین شاخص‌ها و روش پیشنهادی تحلیل داده‌ها و استخراج اطلاعات مورد نیاز از آن‌ها و دلایل استفاده از روش پیشنهادی مورد بحث قرار می‌گیرد. در بخش سوم پیاده‌سازی و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از داده‌های ورودی نمایش داده خواهد شد و در بخش چهارم نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه خواهد شد.

منطقه‌ی مورد مطالعه

شهرستان لردگان با مساحت ۳۳۹۶۸۱ هکتار در موقعیت $31^{\circ}04'16''$ ، $50^{\circ}02'20''$ درجه تا $31^{\circ}04'25''$ ، $51^{\circ}02'20''$ طول شرقی و $31^{\circ}04'25''$ ، $51^{\circ}02'20''$ عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. این منطقه با میانگین بارندگی ۵۷۱٫۷ میلی‌متر

آتش‌سوزی جنگل با منشأ طبیعی و یا انسانی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم آثار مخرب و زیان‌باری بر جامعه‌های انسانی وارد می‌کند که در صورت بروز این واقعه، به دلیل تمرکز جمعیت در اطراف روستاها تأثیر بسیار زیادی بر محیط‌زیست، آبادی‌ها و ساکنان آن‌ها می‌گذارد [۱]. حریق جنگل یک تهدید بالقوه همراه با اثرات اکولوژیکی، محیطی و فیزیکی است که نه تنها به‌منزله‌ی یک عامل جدایی‌ناپذیر محیطی بر روی پوشش گیاهی، بلکه به‌منزله‌ی یک عامل آشفته‌گی مکانی و زمانی بر روی اکوسیستم‌ها تأثیر می‌گذارد [۲]. جنگل‌های زاگرس نیز از جمله مناطقی است که در سنوات گذشته دچار آتش‌سوزی‌های مکرر و مداوم شده است. بنابراین اقدامات پیشگیرانه از بروز حریق در این جنگل‌ها برای جلوگیری از خسارات جبران‌ناپذیر آن‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است. یکی از مهم‌ترین راه‌های کنترل این آتش‌سوزی‌ها، شناسایی مناطق بحرانی آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه است.

اخیراً مطالعات زیادی برای بررسی و علت‌یابی آتش‌سوزی‌های جنگل با توجه به عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی صورت گرفته است. چوویکو و همکارانش در سال ۱۹۸۹ از داده‌های ماهواره‌ای IRS سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تشخیص محدوده‌های حساس به آتش‌سوزی در جنگل‌های هندوستان استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که منطقه‌ی مورد مطالعه دارای ۲۰٪ قابلیت بسیار زیاد، ۱۰٪ قابلیت زیاد، ۱۵٪ قابلیت متوسط و ۵۵٪ قابلیت کم برای وقوع حریق است [۳]. زنگ و همکاران در سال ۲۰۰۳ خطر آتش‌سوزی جنگل در پارک سیدنی استرالیا را با استفاده از روش فازی برآورد کردند. در این پژوهش مناطق دارای بیشترین احتمال خطر شناسایی و از لحاظ میزان و شدت خطر آتش‌سوزی طبقه‌بندی شدند [۴]. ارتن و همکاران در سال ۲۰۰۵ در منطقه‌ی گالی پولی ترکیه مناطق مستعد به خطر آتش‌سوزی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و GIS نقشه‌برداری کردند. نتایج بیانگر این بود که در محدوده‌های با پوشش گیاهی خشک، جهت جنوبی، شیب بالا، نزدیک به مناطق مسکونی و جاده، قابلیت خطر آتش‌سوزی جنگل زیاد است [۵]. در سال ۲۰۱۰ سومیا و همکارانش در پناهگاه حیات وحش Bhadra در هندوستان با کمک روش AHP و وزن‌دهی به همه‌ی عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی منطقه را تهیه کردند. نقشه‌ی به‌دست‌آمده با نقشه‌ی واقعی حریق سنوات قبل مقایسه شد و مشاهده شد مدل به‌دست‌آمده قابلیت اعتماد بالایی داشته و می‌تواند برای مدیریت و پیشگیری از آتش‌سوزی در آینده استفاده شود [۶]. لاکشمی در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۲ بر روی جزیره‌های شمالی و جنوبی نیوزیلند انجام داد به بررسی موضوع پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی از طریق روش‌های پیش‌بینی فازی و اطلاعات آب و هوایی با توجه به موقعیت جغرافیایی می‌پردازد. با این روش، خطر آتش‌سوزی با استفاده از یک مدل تزییدی مطلق که در آن تأثیر هر یک از متغیرها به‌طور جداگانه برآورد شده است تعیین می‌گردد [۱۷]. در سال ۱۳۹۳ اسکندری با استفاده از مدل دانگ پهنه‌ی پتانسیل خطر

و میانگین درجه حرارت ۱۵٫۲ سانتی‌گراد در سال است که ۹۸ درصد پوشش عمده‌ی جنگلی این مناطق را درخت بلوط تشکیل می‌دهد. وابستگی مستقیم معیشت بخش عمده‌ای از عشایر و ساکنان محدوده‌های عرفی این منطقه به مراتع و حضور خانوارهای جنگل‌نشین در جنگل‌ها و همچنین مسائل اقتصادی و اجتماعی خاص حاکم بر منطقه از شاخص‌های ویژه‌ی منطقه است. از این‌رو شرایط برای آتش‌سوزی مهیا است و پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع از طریق تعریف مدلی مناسب می‌تواند در امر مدیریت پیشگیری و کنترل آتش مؤثر واقع شود.



تصویر ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

جنگل‌های منطقه‌ی زاگرس به دلیل ارزش‌های زیستگاهی، تنوع گونه‌ای و ژنتیکی، جذب آب و جلوگیری از فرسایش خاک، تفرجگاهی و اقتصادی دارای اهمیت ویژه‌ای است و حفاظت این جنگل‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. هرساله آتش‌سوزی‌های متعددی در جنگل‌های شهرستان لردگان اتفاق می‌افتد که می‌تواند به آتش‌سوزی‌های مرداد ۹۴ و تیرماه ۹۶ در منطقه‌ی ارمند و مرداد ماه ۹۷ در بخش خانمیرزا اشاره نمود. با تکیه به دلایل مذکور و اهمیت زیست‌محیطی این جنگل‌ها، اتخاذ رویکردهای پیشگیری‌کننده از رخداد حریق در این جنگل‌ها ضروری به نظر می‌رسد. برای تهیه‌ی نقشه‌ی پتانسیل خطر آتش‌سوزی از فاکتورهای مختلفی که در آتش‌سوزی تأثیر دارند، استفاده می‌شود و از آنجا که این عوامل از تعدد و تنوع بالایی برخوردار هستند، در این مطالعه به منظور سهولت در انجام و همچنین درک بهتر روند محاسبات، این پارامترها در چهار گروه اصلی معیارهای توپوگرافی، اقتصادی- اجتماعی، اقلیمی و پوشش گیاهی مورد طبقه‌بندی قرار گرفتند. داده‌ها و اطلاعات استفاده شده در این تحقیق شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست TM در تاریخ ۲۰۱۴/۸/۱۸ و تصاویر ماهواره‌ای مادیس MOD02HKM مربوط به زمان ۲۰۱۴/۸/۱۷، اطلاعات توصیفی از قبیل داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی و همچنین لایه‌های اطلاعاتی عوامل انسانی، اقلیمی، توپوگرافیک و پوشش گیاهی منطقه است. در این تحقیق، پس از بررسی و مرور سوابق مختلف نقشه‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی با توجه به دسترسی داده‌های اولیه برای تشکیل پایگاه داده‌های مکانی

به شرح جدول ۱ تهیه گردید. جمع‌آوری داده‌ها از بانک‌های اطلاعاتی و با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند AutoCAD، ENVI، Excel، GIS است که نهایتاً به سیستم نرم‌افزاری IDRISI وارد شده و لایه‌های رقومی و نقشه‌های مورد نظر تهیه می‌گردند.

جدول ۱: مراحل تشکیل پایگاه داده‌های مکانی

ردیف	عنوان معیار	منبع تهیه	مقیاس نقشه
۱	داده‌های اقلیمی	سازمان هواشناسی کشور	میان‌یابی با روش کریجینگ معمولی
۲	توپوگرافی	سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور	۱/۲۵۰۰۰
۳	جاده	سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور	۱/۲۵۰۰۰
۴	مناطق مسکونی	سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور	۱/۲۵۰۰۰
۵	شبکه آبراهه	سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور	۱/۲۵۰۰۰
۶	مراکز اطفای حریق	اداره‌ی منابع طبیعی و آبخیزداری	۱/۲۵۰۰۰
۷	شاخص‌های ماهواره‌ای NDVI، SR، EVI، GVMi و	سایت https://earthexplorer.usgs.gov	لندست TM و مادیس MOD02HKM
۸	نقشه‌ی واقعیت آتش‌سوزی	آماربرداری در منطقه‌ی مورد مطالعه	برداشت با GPS

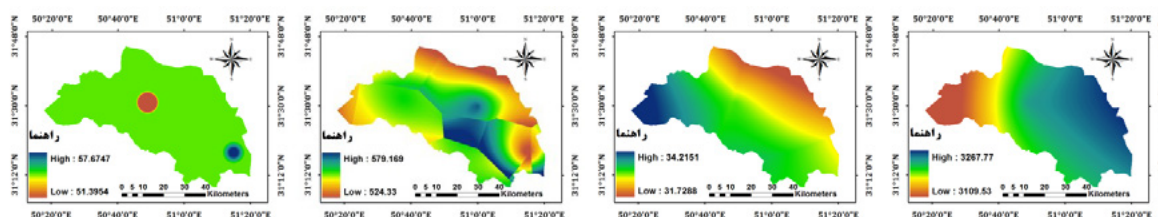
از آنجا که عوامل تأثیرگذار بر وقوع حریق به یک میزان دارای اهمیت نیستند، پس از نظرسنجی از افراد متخصص با روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) می‌توان این عوامل را اولویت‌بندی کرد. از طرفی، به این دلیل که در طبیعت مرزبندی قطعی بین معیارها و زیر معیارها وجود ندارد، منطق فازی مورد استفاده قرار گرفت تا ارتباطات بین معیارها و عدم قطعیت‌های موجود نیز در تحلیل‌ها وارد شوند. بنابراین پس از فازی کردن نقشه‌ها و وزن‌دهی عناصر با روش تحلیل شبکه‌ای و تعیین وزن معیارها و وزن ترتیبی، از روش OWA در نرم‌افزار IDRISI برای تلفیق لایه‌ها و مدل‌سازی استفاده گردید و به ازای هر سناریو، نقشه‌ی پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی جنگل تهیه شد.

انتخاب معیارها و پردازش داده‌ها

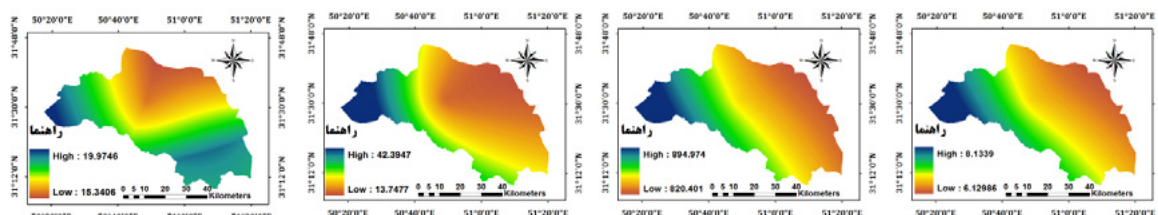
بر اساس مطالعات داخل و خارج از کشور و همچنین مطالعه‌ی ویژگی‌های طبیعی منطقه فاکتورهای اقلیمی، توپوگرافیک، پوشش گیاهی و عوامل انسانی به‌عنوان عوامل مؤثر در توسعه‌ی آتش‌سوزی شناسایی شدند. بیشتر آتش‌سوزی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه در متوسط دمای هوای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد،

متوسط رطوبت نسبی سالانه ۲۰ درصد، متوسط سرعت باد چهار متر بر ثانیه، فاصله‌ی پنج کیلومتری از جاده‌ها و پنج تا ده کیلومتری از مراکز اطافای حریق، شیب‌های بالای ۲۰ درصد و جهت جنوبی و با میانگین ارتفاع ۱۸۰۰ متر رخ داده است. برای تهیه‌ی نقشه‌های اقلیمی ابتدا میانگین سالانه‌ی شاخص‌های اقلیمی به تفکیک ایستگاه سینوپتیک، کليما تولوژی و باران سنجی از سازمان هواشناسی کشور در قالب فایل Excel تهیه شد تا قابل استفاده در نرم افزار ARCGIS باشد. با توجه به پراکنش نامنظم

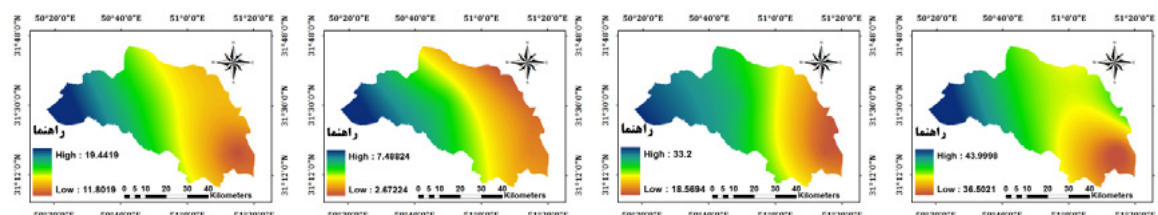
و تصادفی داده‌های هواشناسی از روش کریجینگ معمولی که یک روش میان‌یابی و برآورد زمین آماری است برای تهیه‌ی نقشه‌های سطحی اقلیمی استفاده گردید. در روش کریجینگ برای هر کدام از ایستگاه‌هایی که در داخل و خارج از منطقه‌ی مورد مطالعه قرار دارند برحسب فاصله و موقعیت آن‌ها وزن آماری مشخصی در نظر گرفته می‌شود به طوری که واریانس تخمین کمینه می‌گردد [۱۰]. بنابراین نقشه‌ی معیارهای مؤثر در خطر آتش سوزی جنگل تهیه و به ترتیب در تصویرهای ۲ تا ۷ نشان داده می‌شود.



تصویر ۲: به ترتیب از چپ به راست نقشه‌های میانگین حداکثر رطوبت نسبی (۱)، مجموع بارندگی ماهیانه به میلی‌متر (۲)، تعداد روزهای ابری (۳)، مجموع ماهیانه‌ی ساعات آفتابی (۴)



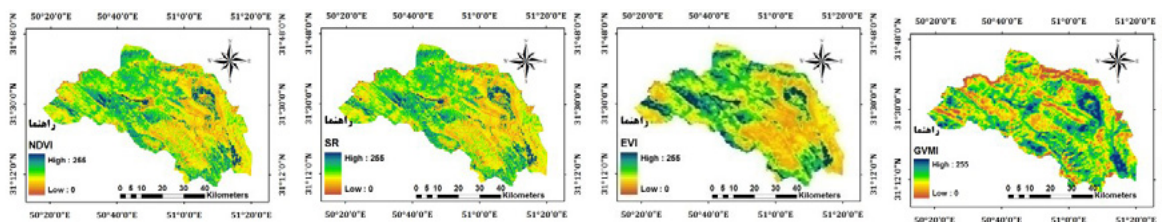
تصویر ۳: به ترتیب از چپ به راست نقشه‌های تعداد روزهای با طوفان تندی (۱)، تعداد روزهای توأم با طوفان گردوغبار (۲)، نقشه‌ی متوسط فشار QFE برحسب HPA (۳)، میانگین فشار بخار آب (HPA) (۴)



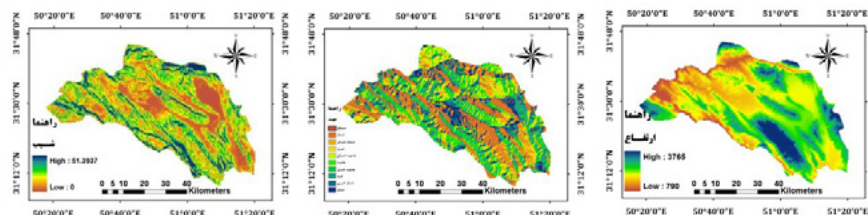
تصویر ۴: به ترتیب از چپ به راست نقشه‌های میانگین ماهیانه‌ی متوسط دمای روزانه هوا (۱)، میانگین حداقل و حداکثر دمای روزانه‌ی هوا (۲) و (۳)، حداکثر دمای ثبت شده برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد (۴)

جدول ۲: شاخص‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در تحقیق

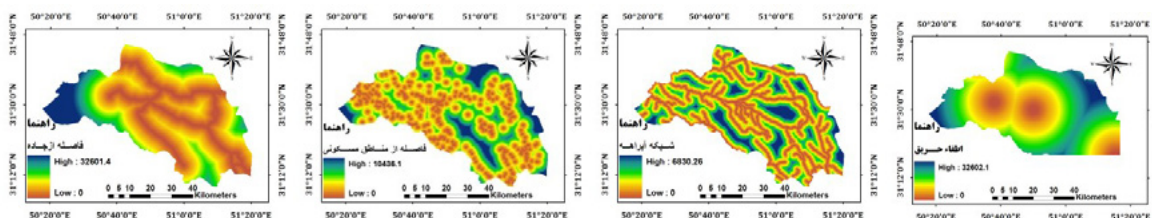
ردیف	نام اندیس	فرمول
۱	EVI(Enhanced Vegetation Index)	$EVI = \frac{2.5(NIR - RED)}{(1 + NIR + 6RED - 7.5BLUE)}$
۲	NDVI(Normalized Difference Vegetatio Index)	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$
۳	GVMI(Global Vegetation Moisture Index)	$GVMI = \frac{(\rho_2 + 0.1) - (\rho_6 + 0.02)}{(\rho + 0.1) + (\rho_6 + 0.02)}$
۴	SR(Ratio Vegetation Index)	$SR = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{RED}}$



تصویر ۵: به ترتیب از چپ به راست شاخص‌های ماهواره‌ای EVI، (۲) SR، (۱) NDVI و (۳) GMVI (۴)



تصویر ۶: به ترتیب از چپ به راست نقشه شیب (۱) و جهت (۲) و ارتفاع از سطح دریا (۳)



تصویر ۷: به ترتیب از چپ به راست نقشه‌ی فاصله از جاده (۱)، فاصله از مناطق مسکونی (۲)، فاصله از شبکه‌ی آبراهه (۳)، فاصله از مراکز اطفاء حریق (۴)

با تابع عضویت خطی و شکل افزایشی استانداردسازی گردیدند. برای کلیه فاکتورهای عوامل انسانی تابع عضویت زنگوله‌ای و شکل افزایشی یا کاهشی در نظر گرفته شد، در صورتی که برای عوامل توپوگرافیک، ارتفاع تابع عضویت خطی و شکل کاهشی داشته ولی برای شیب و جهت زنگوله‌ای و شکل متقارن اختصاص یافت. پس از استانداردسازی و مقیاس‌گذاری، لایه‌ای رستری با دامنه‌ی ۰ تا ۲۵۵ به وجود آمد و با توجه به نقشه‌ی به دست آمده لایه‌هایی که قابلیت استفاده در مدل را دارا بودند انتخاب گردیدند، سپس برای تعیین بردار وزن معیارها، از روش ANP برای وزن دهی معیارها استفاده گردید.

محاسبه‌ی اهمیت نسبی معیارها با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ معرفی شد [۱۱]. فرض اصلی روش AHP وجود استقلال زیر معیارها یا معیارها با هم است [۱۲]. ساعتی در مواردی که این اصل نقض می‌شود و ساختار مسئله به شکل شبکه‌ای است، روش ANP را به منزله‌ی بسطی از AHP معرفی کرد. هدف از ارائه‌ی این روش ساختن مدلی است که از طریق آن بتوان مسائل پیچیده‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره را به صورت اجزای کوچک‌تر تجزیه نمود و به واسطه‌ی مقداردهی معقوله به اجزای ساده‌تر و سپس ادغام این مقادیر تصمیم‌گیری نهایی را انجام داد. در

نقشه‌ی تراکم پوشش گیاهی از شاخص‌های ماهواره‌ای NDVI، SR، EVI و GVMi تصاویر لندست و مادیس به کمک نرم‌افزار ENVI استخراج گردید. در میان شاخص‌های متعدد پوشش گیاهی NDVI (شاخص اختلاف نرمال شده‌ی پوشش گیاهی) از پوشش گیاهی (EVI) (شاخص اصلاح شده‌ی پوشش گیاهی) از شاخص‌های پوشش گیاهی جهانی هستند که برای فراهم کردن دائمی اطلاعات مکانی و زمانی پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌ویژه شاخص NDVI که کارایی مفید آن در بسیاری از تحقیقات مشخص شده است. شاخص نسبت ساده با SR در مورد زیست‌توده‌ی گیاهان و شاخص سطح برگ اطلاعات مناسبی را در اختیار ما قرار می‌دهد. شاخص GVMi برای سنجش حجم آب موجود در پوشش گیاهی کاربرد دارد و از باند ۲ و ۶ مادیس استفاده می‌کند. جدول ۲ فرمول شاخص‌های به کار برده شده در این مقاله همراه با نام اندیس مربوط به هر شاخص را نشان می‌دهد که در اینجا باندهای ماهواره، NIR باند مادون قرمز نزدیک، RED باند مادون قرمز و BLUE باند آبی ماهواره است.

بنابراین برای مدل‌سازی به کمک منطق فازی با انتقال لایه‌های رقومی به محیط IDRISI عملیات استانداردسازی نقشه‌ها با کمک توابع عضویت فازی انجام شد. در اینجا کلیه فاکتورهای اقلیمی با تابع عضویت خطی و شکل افزایشی یا کاهشی استانداردسازی شدند. از میان شاخص‌های ماهواره‌ای شاخص GVMi با تابع عضویت زنگوله‌ای و شکل متقارن و سایر شاخص‌ها

جدول ۳: وزن معیارهای به دست آمده از روش تحلیل شبکه‌ای

ردیف	عامل مؤثر	وزن	ردیف	عامل مؤثر	وزن	ردیف	عامل مؤثر	وزن
۱	فاصله از مناطق مسکونی	۰,۲۰۹۱۷	۹	ارتفاع از سطح دریا	۰,۳۵۴۴۸	۱۷	مجموع بارندگی ماهیانه به میلی‌متر	۰,۰۰۷۲۱۵
۲	فاصله از جاده	۰,۱۹۸۰۲	۱۰	حداکثر دمای ثبت شده	۰,۰۲۶۴۸۳	۱۸	میانگین حداکثر رطوبت نسبی	۰,۰۰۶۳۹۲
۳	شاخص GMVI	۰,۰۹۰۴۳	۱۱	موقعیت ایستگاه‌های کنترل آتش (اطفای حریق)	۰,۰۱۸۷۹۶	۱۹	شاخص نسبت ساده	۰,۰۰۶۰۲۳
۴	مجموع ماهیانه‌ی ساعات آفتابی	۰,۰۷۱۶۷	۱۲	شاخص اصلاح شده‌ی پوشش گیاهی	۰,۰۱۸۰۷	۲۰	تعداد روزهای با طوفان تندی	۰,۰۰۴۵۸۳
۵	شیب	۰,۰۶۵۴۵	۱۳	فاصله از شبکه‌ی آبراهه	۰,۰۱۷۲۵۲	۲۱	تعداد روزهای توأم با طوفان گرد و غبار	۰,۰۰۳۵۸۴
۶	جهت	۰,۰۶۲۷۲	۱۴	میانگین حداقل دمای روزانه هوا	۰,۰۱۲۰۹۴	۲۲	میانگین فشار بخار آب (HPA)	۰,۰۰۲۷۱۴
۷	شاخص اختلاف نرمال پوشش گیاهی	۰,۰۶۱۷۳	۱۵	میانگین ماهیانه متوسط دمای روزانه هوا	۰,۰۱۰۹۳۸	۲۳	متوسط فشار QFE بر حسب HPA	۰,۰۰۲۰۵۲
۸	میانگین حداکثر دمای روزانه هوا	۰,۰۶۰۴۶	۱۶	تعداد روزهای ابری	۰,۰۰۸۷۰۱			

معیارها، n تعداد معیارها، و W_r وزن معیار در α امین ترتیب است [۱۵، ۱۶].

رابطه‌ی ۱: $ORness = 1 - ANDness$

رابطه‌ی ۲: $ANDness = \frac{1}{n-1} \sum_r (n-r)w_r$

رابطه‌ی ۳: $TRADE - OFF = 1 - \sqrt{\frac{n \sum_r (w_r - \frac{1}{n})^2}{n-1}}$

سناریوهای پیشنهادی برای پیش‌بینی حریق با استفاده از روش وزن‌های ترتیبی

در روش میانگین وزنی مرتب از وزن‌های معیار و وزن‌های ترتیبی استفاده می‌شود، به طوری که در یک نقشه همه‌ی سلول‌ها دارای یک وزن معیار مشترک است ولی وزن ترتیبی متفاوت خواهند داشت. وزن‌های معیار اهمیت نسبی فاکتورهای مورد بررسی و وزن‌های ترتیبی موقعیت مکانی سلول نقشه‌ها و لایه‌ها را نشان می‌دهند. با استفاده از کمیت سنج‌های فازی می‌توان به تولید وزن‌های ترتیبی پرداخت. این وزن‌ها بر اساس کمیت سنج‌های یکنواخت افزایشی منظم هستند. وزن‌های ترتیبی $v = [v_1, v_2, \dots, v_n]$ که در آن v_n رتبه‌ی ترتیبی است، $v_{max} = [0, 0, \dots, 1]$ برای عملگر OR ، $v_{min} = [1, 0, \dots, 0]$ برای عملگر AND ، $v_{mean} = [1/n, 1/n, \dots, 1/n]$ ، و جوابی شبیه WLC تولید می‌کند. در هر صورت، به دلیل اینکه وزن‌های ترتیبی بر اساس انحراف و پراکندگی‌شان می‌توانند تغییر کنند، راه‌حل‌های (سناریوهای) زیادی برای پیش‌بینی حریق به دست می‌آید. برای اجرای این روش و محاسبه‌ی وزن‌ها، از ساختش سناریوی وزنی و رابطه‌ی زیر استفاده می‌گردد. عملگر ترکیبی

فرایند تحلیل شبکه‌ای موضوعات به مثابه‌ی شبکه‌ای از معیارها و زیر معیارها هستند که با هم در خوشه‌هایی جمع‌آوری می‌شوند و تمامی عناصر در یک شبکه در هر شکلی می‌توانند دارای ارتباط با یکدیگر باشند. به عبارت دیگر در یک شبکه، ارتباط و بازخورد متقابل بین و میان خوشه‌ها امکان‌پذیر است [۱۳]. جدول ۳ وزن به دست آمده برای هر معیار از روش تحلیل شبکه‌ای را نشان می‌دهد. بنابراین وزن‌های به دست آمده از روش ANP که به کمک نرم‌افزار $Super decisions$ استخراج شد به منزله‌ی وزن معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پس از وزن‌دهی معیارها، تلفیق لایه‌ها با استفاده از روش OWA برای تهیه‌ی مدل پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی جنگل صورت پذیرفت.

تلفیق معیارها با استفاده از روش میانگین وزنی مرتب (OWA)

در این روش در کنار وزن معیارها، وزن ترتیبی هم تعریف شده که این وزن‌های ترتیبی اجازه‌ی کنترل مستقیم بر سطوح موازنه (tradeoff) و ریسک را می‌دهند. درجه‌ی ریسک، فرایند ترکیب بین حداقلی کردن (AND) و حداکثری کردن (OR) محدوده‌هایی است که نهایتاً مناسب می‌شوند. tradeoff برای تخمین میزان جبران‌کنندگی معیارها کاربرد دارد و جبران‌پذیری معیار ناکارآمد را نسبت به سایر معیارها نشان می‌دهد و مقدار آن بین ۰ و ۱ است که عدد صفر عدم جبران‌کنندگی و عدد یک جبران‌کنندگی کامل را بیان می‌کند. عملگر $ORness$ ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی تصمیم‌گیرنده را نشان می‌دهد [۱۴]. فرمول عملگرهای OWA در رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده می‌شود که در اینجا r ترتیب

جدول ۴: وزن‌های ترتیبی مربوط به سناریوهای مختلف روش OWA برای ترکیب عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی جنگل

ردیف	سناریوها	وزن‌های ترتیبی					ANDness	ORness	TREADOFF
		اول	دوم	سوم	 دوازدهم.....	بیست و سوم			
۱	سناریوی اول (ریسک پایین و عدم جبران)	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰۰۶۶۴۳۶۱۲۹
۲	سناریوی دوم (سطح بالای ریسک و عدم جبران)	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰۰۱۱۰۸۹۱۵۵
۳	سناریوی سوم (ریسک میانه‌گین و جبران کامل)	۰۰۴۳۴۷۸۲۶	۰۰۴۳۴۷۸۲۶	۰۰۴۳۴۷۸۲۶	۰۰۴۳۴۷۸۲۶	۰۰۴۳۴۷۸۲۶	۰۰۵	۰۰۵	۰۰۹۵۵۳۴۶۹۷
۴	سناریوی چهارم (سطح ریسک پایین و مقدار اندک جبران)	۰۰۱۲	۰۰۱۱	۰۰۱		۰۰۱	۰۰۷۹۸۸۶۴	۰۰۲۰۱۱۳۶	۰۰۱۹۹۸۰۲۳۹۶
۵	سناریوی پنجم (سطح ریسک بالا و جبران اندک)	۰۰۰۱	۰۰۰۲	۰۰۰۳		۰۰۱۵	۰۰۲۰۱۱۳۶	۰۰۷۹۸۸۶۴	۰۰۲۴۴۲۵۷۸۱۸
۶	سناریوی ششم (سطح میانه‌گین ریسک و عدم جبران)	۰	۰	۰	۰۰۰۰۱۰۰۰	۰	۰۰۵	۰۰۵	۰

بعد از فازی‌سازی لایه‌های مختلف و تعیین وزن معیارها و وزن ترتیبی، از روش OWA در نرم‌افزار idrisi برای تلفیق لایه‌ها استفاده گردید و به ازای هر سناریو، نقشه‌ی پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی جنگل تهیه شد. این نقشه‌ها بیانگر لایه‌هایی با مطلوبیت‌های متفاوت پیکسل‌ها (۰ تا ۲۵۵) هستند که مقدار مطلوب بودن هر پیکسل بیانگر میزان مطلوبیت معیارها و وزن‌های مربوط به آن‌ها است. تصویر ۸ نقشه‌های نهایی طبقه‌بندی‌شده‌ی سناریوهای شش‌گانه به روش OWA را نشان می‌دهد.

ارزیابی سناریوها به روش میانگین وزنی مرتب‌شده نتایج متفاوتی را به همراه داشت. منحنی ROC یک روش عالی برای ارزیابی اعتبار از یک مدل است که پیش‌بینی محل وقوع یک کلاس با مقایسه‌ی یک تصویر مناسب را به تصویر می‌کشد.

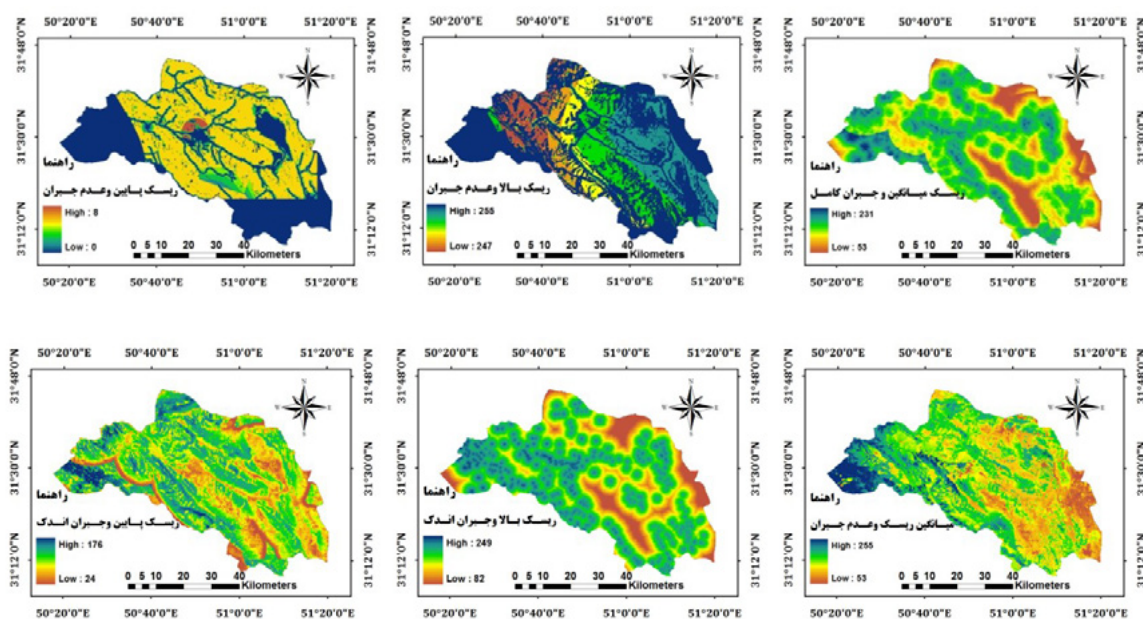
OWA مربوط به موقعیت i ام مجموع وزن‌های ترتیب $v_1, v_2, \dots, v_n$ است، فرمول وزن‌های ترتیبی در رابطه‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده می‌شود، به‌طوری‌که:

$$\sum_{j=1}^n v_j = 1 \quad \text{رابطه‌ی ۴:}$$

$$v_j \in [0,1], j=1,2,\dots,n \quad \text{رابطه‌ی ۵:}$$

$$W_A = \sum_{j=1}^n \left(\frac{u_j v_j}{\sum_{j=1}^n u_j v_j} \right) z_j \pi c_i \quad \text{رابطه‌ی ۶:}$$

که در آن: u_j وزن باز مرتب فاکتور j ، v_j وزن ترتیب فاکتور c_i ، z_j امتیاز محدودیت i و π ارزش باز مرتب فاکتور j است [۱۷]. وزن‌های ترتیبی در شش سناریو در جدول ۴ آورده شده است.



تصویر ۸: نقشه‌ی سناریوهای شش‌گانه در روش OWA

جدول ۵: نتایج بررسی دقت سناریوها با کمک منحنی ROC

ردیف	سناریوها	ROC
۱	سناریوی اول (ریسک پایین و عدم جبران)	۰,۶۲۷
۲	سناریوی دوم (سطح بالای ریسک و عدم جبران)	۰,۳۰۴
۳	سناریوی سوم (ریسک میانگین و جبران کامل)	۰,۶۶۱
۴	سناریوی چهارم (سطح ریسک پایین و مقدار اندک جبران)	۰,۷۰۲
۵	سناریوی پنجم (سطح ریسک بالا و جبران اندک)	۰,۲۵۱
۶	سناریوی ششم (سطح میانگین ریسک و عدم جبران)	۰,۶۴۳

جدول ۶: طبقه‌بندی مقادیر OWA برای شناسایی مکان‌های مستعد آتش‌سوزی

مساحت کلاس به هکتار	سناریوی اول (AND)		سناریوی دوم (OR)		سناریوی سوم (WLC)		سناریوی چهارم (WLC-AND)		سناریوی پنجم (WLC-OR)		سناریوی ششم (AVG)	
	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت
پتانسیل بسیار کم آتش‌سوزی	۶۳,۴	۲۱۵۳۷۳	۵,۱	۱۷۵۷۱	۰,۱۵	۴۹۹	۰,۷	۲۵۸۳	۱,۴	۴۹۵۲	۱,۳	۴۳۰۰
پتانسیل کم آتش‌سوزی	۲۴,۱	۸۱۹۶۳	۸,۵	۲۸۸۹۸	۱۱,۶	۳۹۰۸۷	۴۳,۳	۱۴۷۲۵۸	۱۲,۶	۴۲۲۵۳	۵۲,۶	۱۷۸۵۱۳
پتانسیل متوسط آتش‌سوزی	۱۱,۳	۳۸۶۴۲	۲۶,۲	۸۸۹۷۸	۷۷,۷	۲۶۴۰۱۵	۵۴,۸	۱۸۶۰۷۸	۶۰,۲	۲۰۴۶۴۱	۲۷,۹	۹۵۰۹۳
پتانسیل زیاد آتش‌سوزی	۱,۲	۳۶۸۷	۶۰,۲	۲۰۴۲۱۸	۱۰,۶	۳۶۰۶۳	۱,۲	۳۷۴۵	۲۵,۸	۸۷۸۱۸	۱۸,۲	۶۱۷۵۸

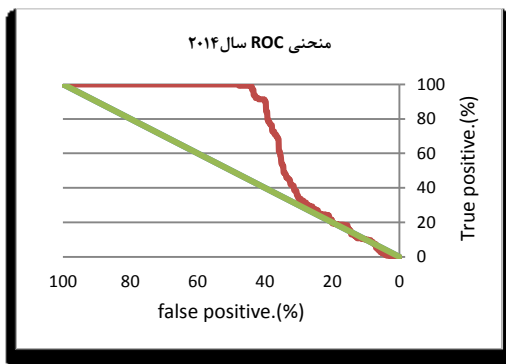
آنالیز حساسیت به روش عامل نسبی (ROC)

روش ROC یک عامل نسبی است که برای ارزیابی صحت یک مدل با استفاده از مقایسه‌ی یک تصویر پیوسته با نتایج بولین نشان می‌دهد کجاها دقیقاً اتفاق افتاده و درست نمایی آن را در کلاس مشخص می‌کند [۱۸]. آماره‌ی ROC سطح زیر منحنی‌ای است که با استفاده از رابطه‌ی ۷ محاسبه می‌گردد.

رابطه‌ی ۷: $Area\ under\ curve =$

$$\sum_{i=1}^n [x_{i+1} + 1 - x_i] \times [y_i + \frac{(y_{i+1} - y_i)}{2}]$$

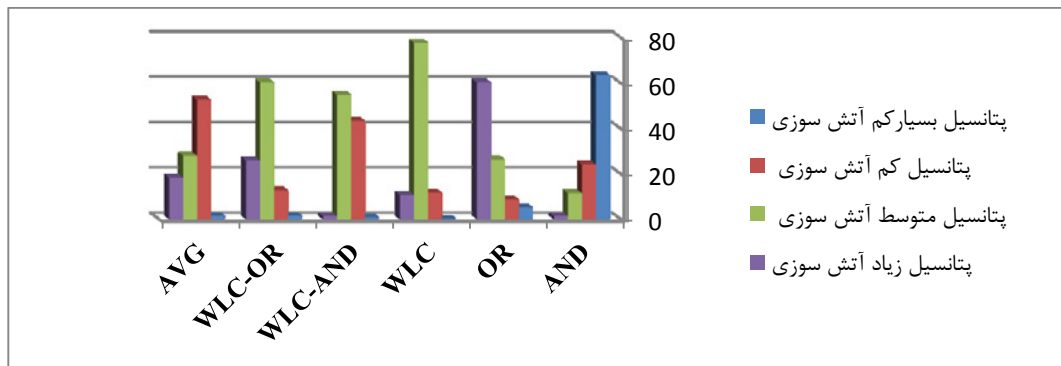
که در آن x_i درصد پیکسل‌های نادرست برای سناریوی i و y_i میزان درصد پیکسل‌های درست برای سناریوی i و n تعداد سناریوها است. تصویر ۹ منحنی ROC را نشان می‌دهد [۱۹]. در این روش نقشه‌ی هر یک از سناریوها به عنوان تصویر ورودی و نقشه‌ی بولی حاصل از پلی‌گون‌های آتش‌سوزی‌های رخ داده در طی سال‌های متمادی در منطقه به منزله‌ی تصویر مرجع وارد نرم‌افزار می‌شوند. سطح زیر منحنی ROC نشان می‌دهد که مدل تا چه حد قادر به پیش‌بینی صحیح متغیر وابسته است که مقدار عددی آن بین ۰/۵ تا ۱ است. چنانچه این مقدار ۰/۵ باشد، بیان‌کننده‌ی تصادفی بودن مدل است، مقادیر بالاتر از عدد ۰/۷ نشان‌دهنده‌ی دقت خوب مدل است [۲۰]. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از منحنی ROC سناریوی چهارم (سطح ریسک پایین و مقدار اندک جبران) با $ROC=0.702$ به منزله‌ی بهترین مدل برای پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی جنگل انتخاب می‌شود. نتایج حاصل



تصویر ۹: منحنی ROC مربوط به سناریو ریسک پایین و مقدار اندک جبران

از بررسی دقت مدل سناریوهای مختلف با کمک منحنی ROC در جدول ۵ نشان داده شده است.

بعد از تهیه‌ی نقشه‌ی سناریوهای مختلف مقادیر OWA، مناطق مستعد آتش‌سوزی جنگل طبقه‌بندی شدند. جدول ۶ و تصویر ۱۰ اطلاعات مربوط به این طبقه‌بندی را نشان می‌دهد. تصویر ۱۰ نشان می‌دهد در عملگر AND بیشترین سطح در کلاس دارای پتانسیل بسیار کم آتش‌سوزی قرار می‌گیرد که با حرکت به سمت عملگر OR و WLC از میزان آن کاسته می‌شود؛ به‌طوری‌که میزان تغییرات در گروه پتانسیل بسیار کم آتش‌سوزی در عملگرهای WLC-AND، WLC-OR، AVG و WLC چندان محسوس نیست ولیکن در عملگر AND به‌شدت افزایش یافته است. در گروه دارای پتانسیل کم آتش‌سوزی نیز دو عملگر Average



تصویر ۱۰: نمودار ستونی مقادیر OWA برای مکان‌یابی مناطق مستعد آتش‌سوزی

و با $OR_{ness}=1$ بیشترین ریسک و کمترین موازنه را داشته و با $TREDOFF=0.011$ عدم جبران را نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۴ بیشترین سطح در کلاس پتانسیل زیاد آتش‌سوزی با ۶۰٫۲ درصد نشان داده می‌شود و کمترین سطح نیز متعلق به کلاس مستعد پتانسیل آتش‌سوزی بسیار کم است. این روش با توجه به میزان دقت بسیار کمی که دارد از بدترین سناریوها است.

سناریوی سوم: در واقع دقیقاً شبیه WLC است و ریسک در حد میانی حداقل و حداکثر (AND و OR) قرار دارد و وزن ترتیبی بین کلیه فاکتورها به‌طور مساوی توزیع می‌شود و با $OR_{ness}=0.5$ و $AND_{ness}=0.5$ میزان ریسک در حد میانه قرار می‌گیرد. لذا در نتیجه‌ی نهایی هیچ‌یک از موقعیت‌های رده‌بندی ترتیبی تأثیر بیشتری بر دیگری نداشته و از این‌رو بین فاکتورها جبران کامل وجود دارد ($TREDOFF=0.995$) و بر همین مبنا وزن فاکتورها به‌صورت کامل مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیشترین مناطق خطر در غرب و تا حدی شمال منطقه نشان داده شده است. بر اساس جدول ۴ بیشترین سطح در کلاس دارای پتانسیل آتش‌سوزی متوسط با سطحی معادل ۷۷٫۷ درصد از کل منطقه و کمترین سطح در کلاس دارای پتانسیل آتش‌سوزی بسیار کم نشان داده می‌شود. این روش با ROC ای به میزان ۰٫۶۶۱ جزء سناریوهای تقریباً مناسب می‌تواند به‌شمار رود.

سناریوی چهارم: اولین فاکتور بیشترین وزن ترتیبی را گرفته و به‌تدریج وزن‌ها کاهش می‌یابد. این وزن‌های ترتیبی سطح جبران را در حد میانه، بین جبران کامل تابع WLC و تابع عدم جبران AND قرار می‌دهد. این سناریو با دارا بودن $OR_{ness}=0.20$ و $TREDOFF=0.19$ دارای سطح ریسک پایین و مقدار اندک جبران است. بر اساس جدول ۴ بیشترین سطح مربوط به کلاس دارای پتانسیل آتش‌سوزی متوسط و کمترین سطح در کلاس دارای پتانسیل آتش‌سوزی بسیار کم نشان داده شده است. کلاس مستعد پتانسیل آتش‌سوزی زیاد نیز سطحی معادل ۱٫۲ درصد داشته است. این روش با ROC بالای ۰٫۷ به‌عنوان بهترین سناریو برای مدل پیش‌بینی خطر انتخاب گردید و دارای دقت خوبی است که نتایج تحقیقات اثر و همکاران [۲۰] نیز گویای این امر است. در نقشه مدل بیشترین مناطق خطر در غرب منطقه متمرکز شده است و با توجه به دقت بالای مدل و شرایط منطقه می‌توان گفت پیش‌بینی از صحت بالایی برخوردار است و این مدل می‌تواند

(سناریوی ششم) و عملگرهای WLC و WLC-AND (سناریوی چهارم و اول) بالاترین سطح را شامل شده‌اند و همان‌طور که توضیح داده شد این دو عملگر در وسط ریسک قرار می‌گیرند که از نظر مکان‌یابی Average محدوده‌ی وسیع‌تری را برای مکان‌یابی ایجاد می‌کند. در گروه پتانسیل متوسط آتش‌سوزی عملگر AND کمترین میزان و عملگر WLC بیشترین سطح را داشته است که بیان‌کننده‌ی ریسک‌پذیری پایین عملگر AND است. در گروه پتانسیل بالای آتش‌سوزی عملگر WLC-AND کمترین تغییرات را داشته ولی در عملگر OR این میزان افزایش یافته است و به بالاترین میزان خود رسیده و نشان می‌دهد که عملگر WLC-AND کمترین میزان سطح ریسک را داشته ولی جواب OR ریسک‌پذیر است و بیشترین مساحت را برای مکان‌یابی ارائه می‌دهد.

در روش OWA وزن‌های معیار اهمیت نسبی معیارها را نشان داده ولی وزن‌های ترتیبی بر اساس موقعیت مکانی سلول‌های لایه‌ها اختصاص‌دهی می‌شوند. بدین معنی که همه‌ی سلول‌ها در یک نقشه دارای یک وزن معیار مشترک هستند، اما وزن ترتیبی آن‌ها متفاوت خواهد بود.

سناریوی اول: شبیه عملگر AND است و تمام وزن به رتبه‌ی ترتیبی اول داده می‌شود. بنابراین امتیاز تناسب بسیاری از نقاط پایین آمده و فاکتور با رتبه‌ی حداکثر نقشه‌ی خروجی نهایی را مشخص می‌کند. در این سناریو $OR_{ness}=0$ و سطح ریسک پایین بوده و با $TREDOFF=0.067$ میزان عدم جبران‌کنندگی را بیان می‌کند. نقشه‌ی این سناریو بیشترین میزان خطر حریق را در مرکز محدوده‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۶ بیشترین سطح در کلاس مستعد پتانسیل آتش‌سوزی بسیار کم قرار می‌گیرد و کمترین سطح با ۱٫۲ درصد مربوط به کلاس مستعد پتانسیل آتش‌سوزی زیاد است. کلاس مستعد پتانسیل آتش‌سوزی کم سطحی معادل ۲۴٫۱ درصد از کل منطقه را نشان می‌دهد و با ROC ای به میزان ۰٫۶۲۷ می‌توان گفت به علت دقت نسبتاً کم مدل این روش جزء سناریوهای متوسط به‌شمار می‌رود.

سناریوی دوم: برای هر پیکسل فاکتوری که حداقل امتیاز را گرفته، وزن ترتیبی ۱ (تمام وزن ترتیبی) داده می‌شود و در واقع وزن‌دهی هیچ‌گونه جبرانی را امکان‌پذیر نمی‌سازد و شبیه عملگر OR عمل می‌کند، به‌طوری‌که فاکتور حداقل، به‌تنهایی خروجی نهایی را تعیین می‌نماید. این سناریو با ROC به میزان ۰٫۳۰۴

به عنوان الگویی مناسب برای استفاده در کارهای مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد.

سناریوی پنجم: اولین فاکتور کمترین وزن ترتیبی را گرفته و به تدریج وزن ها افزایش می یابد، و سطح جبران را بین جبران کامل در تابع WLC و عدم جبران در تابع OR قرار می دهد. این روش با $OR_{ness} = 0.79$ و $TREADOFF = 0.24$ دارای سطح ریسک بالا و میزان جبران اندک است. بر اساس جدول ۴ بیشترین سطح مربوط به کلاس دارای پتانسیل آتش سوزی متوسط و کمترین سطح در کلاس دارای پتانسیل آتش سوزی بسیار کم نشان داده شده است. در این سناریو مناطق دارای پتانسیل آتش سوزی زیاد سطحی معادل ۲۵.۸ درصد از کل منطقه را نشان می دهد که رقم بالایی است و با توجه به شرایط منطقه، منطقی به نظر نمی رسد. در این سناریو ROC در هر سه سال حدود ۰.۲۵ بوده و با دقت بسیار پایین از جمله بدترین سناریوها به شمار می رود.

سناریوی ششم: فاکتور میانی تمام وزن ترتیبی را به خود اختصاص داده و رتبه ی یک می گیرد. این روش همانند روش WLC با $OR_{ness} = 0.5$ و $AND_{ness} = 0.5$ دارای ریسک میانگین است و با $TREADOFF = 0$ هیچ گونه جبرانی در آن صورت نمی گیرد. بر اساس جدول ۴ بیشترین سطح مربوط به کلاس دارای پتانسیل کم آتش سوزی با سطحی معادل ۵۲.۶ درصد از کل منطقه است و کمترین سطح در کلاس دارای پتانسیل بسیار کم آتش سوزی نشان داده می شود. میزان ROC حدود ۰.۶۵ است و دارای دقت تقریباً مناسبی است و در نقشه ی مدل، محدوده ی دارای پتانسیل بالای خطر آتش سوزی در غرب منطقه نشان داده شده است.

نتیجه گیری

جنگل های شهرستان لردگان با وسعت ۱۵۷۰۰۰ هکتار در ناحیه ی رویشی جنگل های سلسله جبال زاگرس با گونه ی غالب بلوط از ارزش زیست محیطی بالایی برخوردار است. با این وجود آتش سوزی های متعددی هر ساله جنگل های این منطقه را تهدید کرده و خسارات زیادی به آن ها وارد می کند. مطالعه ی حاضر با هدف تهیه ی نقشه ی خطر آتش سوزی با استفاده از روش های تحلیل شبکه ی (ANP) و ترکیب مفهوم فازی با روش میانگین وزنی مرتب (OWA) انجام شده است. بدین منظور ابتدا مهم ترین عوامل مؤثر بر آتش سوزی شناسایی شده و با استفاده از روش OWA لایه ها با هم ترکیب و نقشه ی ریسک آتش سوزی تهیه گردید. مقایسه ی مناطق سوخته شده با مناطق پیش بینی شده بهترین اعتبار برای بررسی صحت مدل ها است. طبق نتایج حاصله در روش ANP فاصله از مناطق مسکونی و جاده، شاخص GVMI، حداکثر دما، شیب و جهت بیشترین وزن را به خود اختصاص داده و از بین شش سناریوی اعمال شده سناریوی سطح ریسک پایین و مقدار اندک جبران با میزان $ROC = 0/702$ به منزله ی بهترین مدل برای پیش بینی خطر آتش سوزی جنگل برآورد گردید. بررسی فاکتورهای مؤثر در وقوع حریق در مناطق بحرانی نشان داد که از بین عوامل انسانی عامل فاصله از جاده و مناطق مسکونی، از بین

عوامل توپوگرافی عامل شیب و جهت، از بین عوامل پوشش گیاهی شاخص های GVMI و NDVI و همچنین حداکثر دما از بین عوامل اقلیمی بیشترین تأثیر را در ایجاد حریق در منطقه داشته اند. بنابراین با توجه به حساسیت و اهمیت زیست محیطی جنگل های زاگرس و افزایش بحران هایی که گریبان گیر این جنگل ها است و مسائل اقتصادی و اجتماعی زیادی را به وجود آورده است اتخاذ رویکردهای پیشگیری کننده از رخداد آتش سوزی در این جنگل ها ضروری به نظر می رسد. پیشنهاد می شود با توجه به نقش ویژه ی عوامل انسانی در وقوع حریق ضمن برنامه ریزی هدفمند و کارشناسی شده دقت لازم در طراحی مسیرها و احداث جاده ها صورت پذیرد. همچنین با نصب تابلوهای هشدار حریق، اطلاعیه، بروشور، پوستر و پخش برنامه های تلویزیونی، آموزش های لازم به مأموران اطفای حریق، کشاورزان، عشایر و کودکان و سایر اقشار جامعه داده شود و در آن ها انگیزه های لازم به منظور همکاری عمومی در خصوص اطفای حریق و حفاظت از جنگل ها ایجاد شود.

پی نوشت

1. Analytical Network Process (ANP)
2. Order Weighted Average (OWA)
3. Relative Operating Characteristic (ROC)
4. Weighted Linear Combination (WLC)

منابع

1. Podur J, Martell D.L, Knight K. (2002). Statistical quality control analysis of forest fire activity in Canada. *Canadian Journal Forest Research*, 32, 195-205.
2. Somashekar R, Ravikumar P, Mohankumar C, Prakash K, Nagaraja B. (2009). Burnt area mapping of Bandipur National Park, India using IRS1C/1D LISS III data, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37, 37-50.
3. Chuvieco E, Congalton R.G. (1989). Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing of the Environment*, 29, 147-159.
4. Zeng T, Hudson J, Kay S, Laginestra E. (2003). A fuzzy GIS approach to fire risk assessment: a case study of Sydney Olympic park, Australia, *Spatial Sciences Conferences*, 1-20.
5. Erten E, Kurgun V, Musaolu N. (2005). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and risk: A recent case study from Mt, Carmel (Israel), *Forest Ecology and Management*, 262, 1184-1188.
6. Sowmya S. V, Somashekar R. K. (2010). Application of remote sensing and geographical information system in mapping forest fire risk zone at Bhadra wildlife sanctuary, India, *Journal of Environmental Biology*,

7. Lakshmi B. (2012). Wildfire hazard prediction: A Fuzzy Model for Sensor Embedded Intelligence, Master of Engineering, A thesis submitted to Auckland University of Technology.
۸. اسکندری، سعیده (۱۳۹۴). ارزیابی پتانسیل خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از مدل Dong. *مجله‌ی آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۵، ۱۹۵-۲۱۰.
9. Eastman, J. R. (1988). Idrisi: A Geographic analysis system for research applications, *The Operational Geographer*, 15, 17-21.
10. Isaaks E. H, Srinivasta R. M. (1989). *Applied Geostatistics*. Oxford University Press: Oxford.
11. Saaty T. (1980). *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*, New York; London: McGraw-Hill International Book Co.
12. Saaty T. (2006). *Decision making with the analytic network process: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks*, New York: Springer.
13. Garcia M, Javier F, Jeronimo A, Pablo A, Rocio P. (2008). Farmland appraisal based on the analytic network Process, *Journal of Global Optimization*, 42, 143-155.
14. Malczewski J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20 (7), 703-726.
15. Jiang H, Eastman R.J. (2000). Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 14, 173-184.
16. Rinner C, Malczewski J. (2000). Web-enabled spatial decision analysis using Ordered Weighted Averaging (OWA). *Journal of Geographical Systems*, 385-403.
17. Malczewski, J. (2006). Integrating multicriteria analysis and geographic information systems: the ordered weighted averaging (OWA) approach. *International Journal Environmental Technology and Management*, 6(1/2): 7-19.
18. Rossiter, D.G., Loza, A. (2010). Analyzing land cover change with logistic regression in R, Technical Report ITC, Enschede, 71.
19. Gil Pontius R, Schneider L. (2001). Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 239-248.
20. Etter A, McAlpine C., Wilson K, Phinn S, Possingham H. (2006). Regional patterns of agricultural land use

