سومین کنفرانس ملی مدیریت، اقتصاد و علوم اسلامی
تهران - ۲۶ خرداد ۱۴۰۱
3rd National Conference on Management, Economy & Islamic Science
16 June 2022 | Tehran

بررسی نظری مدل سازی آتش سوزی جنگل های شمال با تاکید براستان گیلان

سیدنصیرمعراجی نبوی
فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشگاه ازاد واحد علوم تحقیقات تهران
nasirmeraji@yahoo.com

چکیده:

جنگل‌ها مهم‌ترین منابع طبیعی و اکولوژیکی در زمین به شمار می‌آیند و کارکرد آن‌ها نقش اساسی در حفظ تعادل در چرخه طبیعت دارند. علاوه بر این وجود جنگل مانع از وقوع بسیاری از عوامل طبیعی مانند وقوع سیلاب و رانش زمین می‌باشد. همچنین تأثیر جنگل در مبارزه با آلودگی هوا و تولید اکسیژن غیر قابل انکار می‌باشد. امروزه در خشکی‌ها پس از فعالیت‌های شهری و کشاورزی، آتش سوزی فراگیرترین عامل تخریب جنگل‌ها به شمار می‌رود. در سال‌های اخیر به واسطه خشکسالی‌های بی سابقه و مداوم و کاهش چشمگیر بارندگی در کشور بر میزان تعداد آتش سوزی‌های رخ داده در جنگل‌های کشور افزوده شده است. وقوع این رخداد تابع مکان و زمان خاصی نبوده و در همه فصول سال و در همه پوشش‌های جنگلی کشور، مدام جان و تن درختان را ذغال و خاکستر می‌کند. پارامترهای طبیعی و مصنوعی زیادی در وقوع آتش سوزی دخالت دارند که شناسایی و بررسی اثر این پارامترها و تهیه نقشه پتانسیل آتش‌سوزی و کاهش خسارات ناشی از آن بسیار مفید می‌باشد.

تاکنون مطالعات مختلفی در رابطه با تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر آتش سوزی جنگل‌ها انجام شده است که از روش تلفیق خطی وزن‌دار نقشه‌های معیار با یکدیگر جمع شده‌اند و نتایج مطلوبی حاصل گردیده است. در این پژوهش با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) و تحلیل‌های مکانی مورد نیاز، نسبت به پهنه‌بندی مناطق با ریسک بالای آتش‌سوزی جنگل‌های ۵ حوزه جنگلی استان گیلان اقدام شده است. از این رو در این تحقیق با توجه به اینکه عوامل مختلفی در آتش سوزی جنگل‌ها نقش دارند و میزان اهمیت هر کدام با دیگری متفاوت است، به بررسی روش وزن‌دهی AHP و چندین مدل همپوشانی لایه‌ها پرداخته و با تولید نقشه نهایی توسط این روش‌ها بهترین مدل به عنوان روش پیشنهادی ارائه می‌گردد. قابل ذکر است که در این مقاله منطقه مورد بررسی جنگل‌های حاشیه جنوب دریای خزر (جنگل‌های گیلان) می‌باشد که در مقایسه با سایر مناطق کشور پتانسیل بالایی برای وقوع آتش‌سوزی دارد و هر سال آتش‌سوزی‌های زیادی در این جنگل اتفاق می‌افتد.

کلمات کلیدی: نقشه پتانسیل آتش‌سوزی، سیستم اطلاعات مکانی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، فازی، AHP-OWA

مقدمه

جنگل‌ها مهم‌ترین منبع طبیعی و اکولوژیکی در کره زمین به شمار می‌آیند و کارکرد آن‌ها نقش اساسی در حفظ تعادل در چرخه طبیعت دارد. علاوه بر این وجود جنگل مانع از وقوع بسیاری از بلایای طبیعی دیگر بوده و از این رو می‌تواند همراه بزرگی

[1] Analytic Hierarchy Process

www.SID.ir

برای انسان در مقابله با تهدیدهای طبیعی باشد. از فواید مهم جنگل می‌توان به موار زیر اشاره کرد:

منبعی برای تأمین غذا، تبدیل دی‌اکسید کربن به اکسیژن (مبارزه با آلودگی هوا)، منبعی مهم برای تأمین مواد اولیه صنایع از جمله تولید کاغذ، کنترل آب‌های سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی جلوگیری از فرسایش خاک و حفظ و تولید خاک، تعدیل آب و هوای منطقه و جلوگیری از وقوع بهمن و سیلاب. به‌طور کلی هر گونه تغییرات مضر و قابل اندازه‌گیری در کیفیت شیمیایی یا توان زیستی منابع طبیعی که باعث از بین رفتن و یا کاهش کمی و کیفی عملکرد منابع طبیعی، مانند کارکردهای فیزیکی و بیولوژیکی آن گردد، اصطلاحاً تخریب یا آسیب منابع طبیعی نامیده می‌شود. امروزه در خشکی‌ها پس از فعالیت‌های شهری و کشاورزی، آتش‌سوزی فراگیرترین عامل تخریب‌کننده اکوسیستم‌های طبیعی به شمار می‌رود. آتش‌سوزی جنگل اثراتی نظیر تخریب چرخه طبیعت و محیط زیست، گرم شدن زمین و تولید گازهای شیمیایی، انتشار زیاد گاز دی اکسید کربن و آلودگی هوا، فرسایش خاک، از بین رفتن پوشش گیاهی سطح خاک و تلفات جانی و مالی را در پی دارد.

در سال‌های اخیر به واسطه خشکسالی‌های بی‌سابقه و مداوم و کاهش چشمگیر بارندگی در کشور بر میزان تعداد آتش سوزی‌های رخ داده در جنگل‌های کشور افزوده شده است. وقوع این رخداد تابع مکان و زمان خاصی نبوده و در همه فصول سال و در همه پوشش‌های جنگلی کشور، مدام جان و تن درختان را ذغال و خاکستر می‌کند. پارامترهای طبیعی و مصنوعی زیادی در وقوع آتش‌سوزی دخالت دارند که شناسایی و بررسی اثر این پارامترها و تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی و کاهش خسارات ناشی از آن بسیار مفید باشد. در این راستا هدف اصلی این مطالعه تهیه نقشه مکانی مناطق مستعد آتش‌سوزی در جنگل‌های گیلان تعریف گردید.

اهمیت و ضرورت انجام پژوهش

آتش سوزی‌های طبیعی تأثیرات عمیقی بر کاربری اراضی، تولیدات، اقتصاد، انتشار گاز و سلامتی بشر داشته و باعث تغییر در اکوسیستم‌های طبیعی می‌گردد. به عنوان مثال در کم‌تر از ۲۰۰ سال گذشته، شش میلیون کیلومتر مربع از زمین‌های جنگلی در جهان بر اثر آتش سوزی از بین رفته‌اند (Dimopoulou and Giannikos 2004). ایران نیز در این زمینه مستثنی نبوده و از گذشته آتش‌سوزی‌های متعددی در آن رخ داده است، به‌طوری‌که در یک دوره ۲۸ ساله (۱۳۴۷-۱۳۷۵) حدود ۱۶۰۰۰۰ هکتار از جنگل‌های کشور بر اثر آتش‌سوزی از دست رفته است، و پس از پیروزی انقلاب، از سال ۱۳۵۷ تا ۱۳۷۴، حدود ۸۷۰۰۰ هکتار از جنگل‌ها دچار حریق شده‌اند (بهنیا و آلا شتی ۱۳۸۶)، به عبارت دیگر در طی ۱۳ سال ۲۶۰۰ فقره آتش سوزی در جنگل‌ها اتفاق افتاده است، و از سال ۱۳۴۷ تاکنون، به‌طور متوسط همه ساله در حدود ۵۵۰۰ هکتار از جنگل‌ها به حریق مبتلا شده‌اند (خانقاهی ۱۳۷۹). دفعات زیاد وقوع آتش سوزی در جنگل‌های کشورمان باعث گردیده که ایران در میان کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا از نظر میزان نابودی مناطق جنگلی در اثر آتش سوزی در رتبهٔ چهارم قرار داشته باشد. این آتش سوزی‌ها سبب شده تا سال ۸۹ به عنوان سال بلا برای جنگل‌های ایرانی نامیده شود. در ایران هر ساله ۶۵۰۰ هکتار از مناطق جنگلی در آتش سوزی نابود می شود. از این‌رو برای حفظ جنگل نیازمند ایجاد برنامه از پیش تعیین شده برای جلوگیری از وقوع و گسترش آن پس از وقوع هستیم. این برنامه زمانی عملی خواهد بود که مناطق با احتمال آتش‌سوزی زیاد را پهنه‌بندی کرده و نیازمندی‌های خود را برای مقابله با وقوع آن حادثه مهم در زمان جاری فراهم آوریم.

به طور کلی علل آتش سوزی‌ها را می‌توان به دو دسته انسانی و غیرانسانی (طبیعی) تقسیم‌بندی کرد. عوامل غیر انسانی شامل صاعقه، وزش بادهای گرم، ریزش برگ‌ها و خشک شدن آن‌ها، وجود اشیایی که مانند ذره‌بین عمل می‌کنند و از این قبیل می‌باشند. عوامل انسانی نیز به دو دسته عمدی و غیرعمدی تقسیم می شود که از دلایل عمدی می‌توان به فعالیت‌های کشاورزی،

www.SID.ir

دام‌پروری و اختلاف با نهادهای دولتی و از دلایل غیرعمدی می‌توان به بی‌احتیاطی و سهل‌انگاری مردم در استفاده از جنگل اشاره کرد.

در بررسی مضرات آتش‌سوزی نشان داده شده است که علاوه بر از بین بردن درختان و پوشش گیاهی موجب عریانی خاک و در نتیجه فرسایش خاک خواهد شد. به همین دلیل آتش‌سوزی را همواره دلیلی برای تبدیل شدن جنگل به دشت، بوته زار و یا زمین‌های بی‌حاصل می‌دانند. تغییرات پوشش زمین می‌تواند تغییرات در شرایط آب و هوایی را نیز به دنبال داشته باشد.

دلایل ذکر شده همگی موید ضرورت اهمیت مطالعه و تحقیق در زمینه آتش‌سوزی جنگل و ارائه راه کارهای مناسب به منظور پیشگیری از وقوع یا کاهش صدمات ناشی از آن می‌باشند. یکی از این راهکارها تهیه نقشه ریسک آتش‌سوزی می‌باشد. در این راستا تعریف‌های معتبر گوناگونی برای نقشه ریسک آتش‌سوزی بیان شده است. سازمان ملی موقعیت‌یابی آتش‌سوزی جنگل در آمریکا (NWCGUS National Wildfire Coordinationg Group)، تنها روی سوخت آتش در جنگل تأکید نموده و چنین تعریفی را ارائه کرده است: «حجم، نوع، شرایط، نحوه آرایش درختان، موقعیت، درجه سهولت برای وقوع آتش و میزان سختی خاموش کردن آتش». در تعریفی دیگر توسط Bachmann و همکاران در سال ۲۰۰۱، آمده است (Bachmann and Allgower 2001): «احتمال وقوع آتش در جنگل در یک مکان مشخص و تحت یکسری شرایط خاص با همدیگر».

بررسی مطالعات انجام شده در زمینه آتش‌سوزی جنگل، بیانگر تأثیر پارامترهای انسانی و طبیعی مختلف در وقوع آن می‌باشد. در مطالعه‌ی درباره تأثیر متغیرها بر آتش‌سوزی بیان شده است که در جنگل‌های جلگه‌ای عامل مؤثر در آتش‌سوزی گرما می‌باشد. همچنین در جنگل‌های مرتفع، کاهش رطوبت مواد سوختی موجب آتش‌سوزی می‌گردد(حسینی۱۳۸۳). به همین ترتیب بیان شده است که جاده‌ها از عوامل اصلی در قطعه‌بندی جنگل هستند. لذا با ساخت و طراحی دقیق جاده‌ها و قطعه‌بندی مناسب می‌توان از گسترش آتش از قسمتی به دیگر مناطق جلوگیری کرد. جاده‌ها در جنگل علاوه بر اهمیت شان در بهره‌برداری و حمل و نقل چوب، در تفریح و تفرج و جلوگیری از آتش نیز نقش مهمی دارند. Morris در سال (۲۰۰۷) نیز در مدلی که ارائه کرد، از شیب و پوشش گیاهی به عنوان عوامل طبیعی و از میان فاکتورهای انسانی نزدیکی به جاده و محل سکونت را به عنوان پارامترهای موثر در وقوع آتش‌سوزی انتخاب کردند(Morris 2007). در تحقیقی دیگر که توسط Eduardo و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد، با شناسایی تغییرات جنگل و پوشش گیاهی که توسط تصاویر ماهواره‌ای مربوط به دو سال استخراج شده بود، مدلی برای پیش‌بینی آتش سوزی با توجه به بردار تغییرات پوشش گیاهی در منطقه ارائه گردید. در این تحقیق تأثیر بزرگ بردار تغییرات پوشش گیاهی در پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی آشکار شد (Maeda, Arcoverde et al. 2011).

موضوع دیگری که در اکثر تحقیقات مشاهده می شود، استفاده از مدل سعی و خطا و یا مدل‌هایی است که بدون در نظر گرفتن نظرات کارشناسی راجع به تأثیر پارامترها و ارتباط آن‌ها با همدیگر به پیش‌بینی آتش‌سوزی می‌پردازند. به‌طور مثال می‌توان به تحقیق Yin Hai و همکاران (۲۰۰۴) اشاره نمود که در آن برای ترکیب پارامترها و وزن‌دهی آن‌ها از یک فرمول، که با نام ایندکس آتش‌سوزی معرفی شده است، استفاده شده است(Yin, Kong et al. 2004).

در طی دهه اخیر استفاده از سنجش از دور (RS) و سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) به عنوان ابزار مفید برای آنالیزهای مختلف و مدیریت‌های بهینه آتش‌سوزی هم قبل و هم بعد از وقوع آن توسعه‌یافته است. سنجنده‌های ماهواره‌ای سنجش از دور با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب، اطلاعات مهمی را برای هشدارهای زود هنگام آتش‌سوزی در دسترس قرار می‌دهند. همچنین قابلیت‌های فراوان سیستم‌های اطلاعات مکانی در زمینه یکپارچه‌سازی لایه‌های اطلاعات نتایج مناسبی را در این راستا فراهم

www.SID.ir

می‌نماید. ترکیبی از تکنولوژی‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی با روش‌های مدل‌سازی آماری مانند درخت تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)، داده‌ها و آنالیزهای قدرتمند و مفیدی را در رابطه با مطالعه آتش‌سوزی فراهم می‌کند.

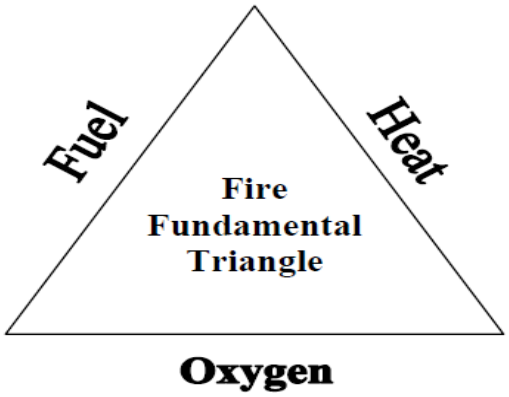
حریق ا صولاً بر اثر عوامل مختلف به وجود می‌آید. گاهی یک جرقه آتش در جنگل خ صو صاً در ف صلی که برگ درختان خزان کرده یا علوفه کاملاً خشک شده و سطح زمین را پو شانیده ا ست، ممکن ا ست حریق خطرناکی پدید آورد و دامنه آن به نقاط دور دست کشد و خسارات هنگفتی را متوجه کشور سازد. کبریت، ته‌سیگار و بقایای آتشی که از یک کوره زغال باقی مانده، ممکن است رفته‌رفته برگ‌های خشک اطراف خود را مشتعل سازد و حریقی دامنه‌دار را ایجاد کند. بشر در ادوار گذشته، با آتش زدن جنگل‌ها و افروختن شاخ و برگ‌های خشک، بر وسعت اراضی زارعی می‌افزوده و هنوز هم این رسم در کشور ما برقرار است و آتش زدن جنگل‌های مخروبه و تبدیل آن‌ها به زمین‌های زراعتی را احیای زمین می‌دانند، در صورتی که در حقیقت این کار را باید صرفاً تخریب جنگل نامید.

در فصل پیش رو در بخش اول عوامل موثر در وقوع آتش سوزی معرفی می شوند و در بخش دوم روش‌های ترکیب عوامل موثر در آتش‌سوزی و الگوریتم‌های وزن‌دهی به معیارها به طور کامل از نظر تئوری مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۱-۳ مفهوم آتش و آتش‌سوزی

کشف آتش موضوع مهمی بوده است که در پیشرفت تمدن بشر نقش موثری ایفا نمود. پس از آن‌که بشر توانست آتش را مهار کرده و به‌کار برد، از آن استفاده بی شماری کرده است. اما باید متذکر شد که برای استفاده مفید از آتش باید آن را مهار نمود. چرا که همان‌قدر که آتش می‌تواند خادم بشر با شد، چنان‌چه مهار نشود به بزرگ‌ترین وسیله مخرب و نابودی مبدل می شود. پس بنا به اهمیت موضوع باید عوامل به وجود آورنده آتش و وسایل مبارزه با آن را شناخت تا در صورت آتش‌سوزی در کوتاه مدت آن را مهار کرد.

به‌طور کلی برای به وجود آوردن آتش می□بایست سه عامل حرارت، ماده سوختنی و اکسیژن با هم و یک□جا وجود داشته با شد به□طوری که اگر شعله یا آتش را به صورت یک مثلث در نظر بگیریم شکل ۱-۰ ضلع‌های آن سه عامل حرارت، مواد قابل اشتعال و اکسیژن خواهند بود و در غیاب یکی از آن‌ها، این مثلث تشکیل نخواهد شد.



شکل۳-۱. مثلث حریق

www.SID.ir

۳-۲ گزندها و فواید آتش‌سوزی

آتش‌سوزی جنگلی یکی از عوامل بسیار مخرب جنگل می‌باشد و در بعضی از موارد ممکن است متضمن فوایدی نیز باشد ولی چون به‌طور کلی خسارات و گزندهای آن خیلی زیادتر از اثرات سودمند و فواید آن می‌باشد، بدین جهت فواید حریق غالباً مورد توجه واقع نشده است.

۳-۲-۱ فواید آتش‌سوزی

اثرات سودمند آتش‌سوزی به شرح زیر است:

۱-آتش‌سوزی به تجدید نسل طبیعی جنگل به طرق مختلف کمک می‌نماید. زیرا در اثر حریق پوشش ضخیم و مرده جنگل از بین رفته و در نتیجه خاک جنگل از بین رفته و در نتیجه خاک جنگل تشکیل بستر مساعدی برای بعضی از انواع بذور جنگلی می‌دهد. در نقاطی که دارای مازاد مقطوع اتمی باشند نهال‌ها نمی‌توانند به خوبی رشد و نمو نمایند. بنابراین اگر مازاد مقطوعات در اثر آتش‌سوزی از بین برود مانعی برای رشد و نمو نهال‌ها در بین نخواهد بود.

۲- اگر آتش‌سوزی قبل از نهال‌کاری در جنگل رخ دهد در اثر از بین رفتن پوشش مرده و زنده زمین عملیات نهال‌کاری آسان‌تر می‌گردد و اگر آتش‌سوزی بعد از نهال‌کاری رخ دهد رقابت بین نباتات علوفه و نهال‌های کاشته شده تقلیل خواهد یافت.

۳- مواد آلی تجزیه نشده که در خاک جنگل موجود است در اثر آتش سوزی از بین رفته و در نتیجه خواص فیزیکی خاک جنگل اصلاح شده و تهویه و حرارت آن افزایش یافته و بدین ترتیب رشد و نمو درختان زیاد می‌شود. آتش‌سوزی به فعالیت باکتری‌های موجود در خاک کمک می‌نماید و به‌دین وسیله سبب ازدیاد موقتی املاح نیترات می‌گردد.

۴- علوفه مورد نیاز دام‌ها ممکن است در اثر آتش‌سوزی اصلاح شود. برای مثال: اگر حریق در فصل زمستان در جنگل رخ دهد علوفه که در فصل بهار در جنگل مزبور سبز می شود در مقایسه با جنگل‌های مجاور از لحاظ کمیت و کیفیت بیشتر و بهتر است.

۵- آتش‌سوزی به مبارزه علیه آفات جنگلی و نباتات طفیلی کمک می‌نماید زیرا مقدار زیادی از آفات نباتی و نباتات انگلی در اثر حریق از بین رفته و ممکن است تا مدت به نسبت زیادی آفات قبلی در منطقه مورد حریق بروز نموده و گیاهان انگلی نیز رشد و نمو نمایند.

۳-۲-۲ خسارات و گزندهای سالیانه آتش‌سوزی

خسارات و گزندهای سالیانه آتش‌سوزی به دو قسمت زیر تقسیم می‌شود:

الف) خسارات و گزندهای مستقیم: شامل کلیه گزندهای وارده به چوب و نهال‌های جوان و علوفه و منظره جنگل و اثرات عدم نفوذ آب در خاک و جریان آن در سطح جنگل و غیره می‌باشد.

ب) خسارات و گزندهای غیرمستقیم: مانند از بین رفتن قوه حاصلخیزی خاک و تضعیف درختان و در نتیجه کمک به حمله حشرات و قارچها به آن‌ها و غیره می‌باشد. در صورتی که خسارات و گزندهای مزبور مدت مدیدی ادامه یابند ممکن است خیلی بیش از میزان خسارات و گزندهای مستقیم شود.

www.SID.ir

۳-۳ انواع آتش‌سوزی در جنگل

۳-۳-۱ آتش‌سوزی زمینی

این نوع حریق در نقاطی اتفاق می‌افتد که در زمین جنگل مواد قابل اشتعال از قبیل رگه‌های زغال سنگ و مواد آلی تجزیه نشده موجود باشد. حریق‌های زمینی، زیرزمین شروع و قبل از آن‌که به سطح زمین سرایت کند ساخت زیادی را در زیر خاک طی می‌کند. آتش‌سوزی زمینی غالباً بدون دود است و همواره بدون شعله می‌باشد. ریشه‌های درختان از حرارت زیادی که به این ترتیب به وجود می‌آید آسیب می‌بینند و در نتیجه درخت خشک می شود. در این نوع از آتش سوزی حرارت بسیار شدید بوده و معمولاً باعث از بین رفتن ساختارهای زیر خاک و میکرو ارگانیسم‌های درون آن می‌شود. این مواد ارگانیک و مغذی خاک مانند نیتروژن پس از سوختن وارد اتمسفر شده و آلودگی هوا را به‌دنبال خواهند داشت.

۳-۳-۲ آتش‌سوزی سطحی

آتش سوزی سطحی رایج‌ترین آتش سوزی است که در کل بستر جنگل گسترش‌یافته و لانه‌های جانوران را از بین می‌برد، گیاهان و بوته‌ها را منهدم کرده و ریشه درختان را می‌سوزاند. علاوه بر شدت آتش، میزان مرگ و میر درختان بستگی به گونه، سن و جایگاه ریشه درختان دارد. ریشه سطحی درختان از حرارت زیادی که به این ترتیب به‌وجود آمده آسیب می‌بیند و گاهی گزند ناشی از گرمای شدید به خشکیدن درخت منجر می شود. گونه‌های بلوط و گردو که ریشه آن‌ها از سطح خاک بیرون است، در آتش‌سوزی‌های سطحی بیشتر آسیب می‌بینند. آتش‌سوزی سطحی اغلب منشأ بروز شکل دیگر آتش‌سوزی یعنی آتش‌سوزی تاجی می‌شود.

۳-۳-۳ آتش‌سوزی تاجی

این نوع آتش‌سوزی که در تاج درختان و نهال‌ها رخ می‌دهد و آن‌ها را می‌سوزاند برای جنگل بسیار خطرناک می‌باشد و در اثر حرارت زیاد به لایه زاینده صدمه وارد می‌آورد و سبب مرگ درختان می‌شود. آتش‌سوزی تاجی می‌تواند در اثر آتش‌سوزی سطحی به‌وجود آید که خطرات آن چندان زیاد نبوده و اگر شرایط جوی ایجاد نکند در سطح کمی از جنگل محدود می‌ماند. ولی اگر آتش سوزی از تاج درختی به تاج درخت دیگر سرایت کند، سرعت آن بیشتر شده، در مدت کوتاهی سطح وسیعی از جنگل را نابود می‌سازد. این‌گونه آتش‌سوزی‌ها منحصر به درختانی است که دارای برگ و شاخه‌های قابل اشتعال می‌باشند و در مناطق گرم و خشک غرب، جنوب و شرق ایران برای جنگل خطرناک‌تر از منطقه شمال است.

۳-۴ علل بروز آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع

علل بروز آتش‌سوزی در هر گوشه از جهان با سایر مناطق متفاوت و مخصوص به خود می‌باشد. اما نکته قابل توجه این است که انسان‌ها عامل اصلی حریق در هر منطقه هستند (FAO 2007). از سوی دیگر آگاهی از علل بروز آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع برای جلوگیری و تقلیل خسارت‌های ناشی از آتش‌سوزی‌ها بسیار الزامی بوده و با از بین بردن این علل می‌توان از بروز آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع جلوگیری نمود. اما به‌طور کلی علت‌های بروز آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع کشور را با توجه به سوابق قبلی می‌توان به ۲ دسته تقسیم نمود:

www.SID.ir

الف) آتش‌سوزهای طبیعی:

در آتش‌سوزی‌های طبیعی چند عامل دخالت دارند:

۱. آتش‌سوزی‌هایی که بر اثر آتش گرفتن گیاهان خشک بوسیله صاعقه ایجاد می‌شود.

۲. خودسوزی جنگل‌های شمال کشور که در اثر وزش بادهای گرم و ایجاد پدیده‌ای خاص اتفاق می‌افتد.

۳. آتش سوزی‌هایی که به علت وجود اجسامی مانند تەلیوان و یا بطری‌های شکسته ایجاد می شود، زیرا این قبیل اجسام همانند ذره‌بین عمل نموده و باعث مشتعل شدن گیاهان می‌گردند.

۴. خودسوزی گیاهان در اثر شدت گرما و خشکی شدید گیاهان خصوصاً علوفه مراتع.

ب) آتش‌سوزی‌های غیر طبیعی (آتش‌سوزی‌هایی که به‌وسیله انسان ایجاد می‌شوند):

آتش‌سوزی‌هایی که منشأ انسانی داشته یا به عبارتی دیگر توسط انسان ایجاد می‌شود، خود به دو دسته تقسیم می‌شوند.

۱.آتش‌سوزی‌های عمدی:

آتش سوزی‌های عمدی یعنی آن دسته از حریق‌هایی که عملاً توسط برخی از افراد برای دستیابی به اهداف مورد نظر آنان صورت می‌پذیرد که از جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

آ. تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی به زمین‌های زراعی یا به عبارت دیگر ایجاد آتش سوزی به منظور تصاحب زمین‌های منابع طبیعی.

ب. تبدیل جنگل به مرتع به منظور تأمین علوفه بیشتر برای چرای دام.

ج. اختلافات قومی و عشایری و ایجاد آتش‌سوزی به منظور ضربه زدن به طوایف و اقوام دیگر.

د. آتش‌زدن بوته‌زارها و بیشه‌ها برای از بین بردن جانوران مضر.

2. آتش‌سوزی‌های غیرعمد:

منظور از این نوع آتش‌سوزی‌ها، آن دسته از آتش‌سوزی‌هایی است که در اثر بی‌توجهی و سهل‌انگاری افراد صورت می‌گیرد. از جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

آ. سهل‌انگاری و بی‌توجهی چوپانان، شکارچیان و رهگذران که در این عرصه مشغول کار می‌باشند.

ب. پرتاب سیگار یا کبریت روشن در مسیر جاده‌ها.

ج. سهل‌انگاری افرادی که به منظور تفریح و تفرج به عرصه‌های جنگلی و مرتعی رفته و جهت پخت و پز آتش روشن می‌نمایند.

د. شیطنت کودکان و نوجوانان در بازی با آتش.

هـ. آتش‌زدن سرشاخه و مازاد مقطوعات و بقایای محصولات کشاورزی در مزارع مجاور جنگل‌ها و مراتع و سرایت آن به عرصه‌های جنگلی و مرتعی.

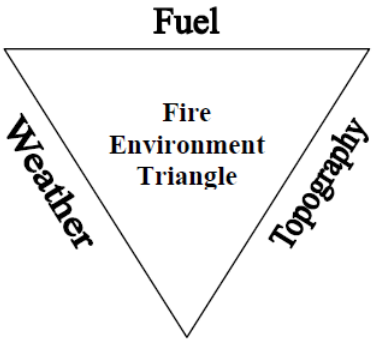
و. بروز آتش‌سوزی در اثر عملیات عمرانی خصوصاً آن‌های که با مواد منفجره همراه است.

www.SID.ir

ح. پرت شدن جرقه از قطارها و وسایل نقلیه موتوری یا دودکش اجاق‌های هیزمی.

۳-۵ پارامترهای موثر در وقوع آتش‌سوزی

جهت درک عوامل موثر در ریسک آتش‌سوزی لازم است شرایط وقوع آتش بررسی شود. Countryman (Countryman 1972) مفهوم شرایط آتش را به صورت « شرایط احاطه کننده، تأثیرات و نیروهای خارجی که در نهایت رفتار آتش را تعیین می‌کنند» ارائه کردند. آنها همچنین توپوگرافی، سوخت و شرایط آب و هوایی را که مولفه‌های تشکیل دهنده مثلث شرایط آتش هستند به عنوان پارامترهای اصلی معرفی کردند. البته فعالیت‌های انسان نیز در این شرایط بی‌تأثیر نیست و از مهم‌ترین عوامل در شروع آتش‌سوزی می‌باشد. شکل ۳-۲ بیانگر مثلث شرایط آتش می‌باشد.



شکل ۳-۲. مثلث شرایط آتش‌سوزی در جنگل

اما پارامترهای دیگری نیز بر شروع آتش سوزی تأثیر دارند که جهت شناخت بهتر این پارامترها به تفسیر هر یک پرداخته در بخش بعدی پرداخته می‌شود.

۳-۵-۱ توپوگرافی

شامل پارامترهای شیب، جهت شیب و ارتفاع می‌باشد. این پارامتر یکی از اجزای مثلث شرایط آتش‌سوزی بوده و به عنوان عاملی است که باعث تغییر در رفتار و پیشرفت آتش در منطقه خواهد شد. اگر چه این پارامتر با مرور زمان تغییر نمی‌کند، اما مسلماً در مسیر تغییرات سوخت و شرایط آب و هوایی تأثیرمی‌گذارد. بدین ترتیب که تفاوت در توپوگرافی باعث تغییر در الگوی شرایط آب و هوایی شده و در نتیجه آن نوع سوخت و میزان رطوبت آن منطقه تغییر خواهد کرد(Pyne, Andrews et al. 1996).

۳-۵-۲ ارتفاع

ارتفاع از سطح دریای روی شرایط آب و هوایی تأثیر می‌گذارد. به‌طوری‌که در ارتفاعات پایین شاهد دمای بالاتر و رطوبت نسبی کم‌تر خواهیم بود. هم چنین در ارتفاعات بالاتر به دلایل افزایش بارش رطوبت نسبی بیشتر بوده و دما کاهش می‌یابد و در نتیجه شرایط گسترش و شروع آتش سوزی کاهش می‌یابد. در ضمن در ارتفاعات بالاتر دوره زمانی ذوب برف نیز وجود دارد. بدین

www.SID.ir

ترتیب که با افزایش ارتفاع زمان وجود برف افزایش می‌یابد و با شـروع فصـل ذوب برف نیز جریان یافتن آب باعث افزایش رطوبت نسبی خواهد شد(Rothermel 1972).

۳-۵-۳ جهت شیب

پارامتری است که بیانگر در معرض خورشـید بودن یک شـیب می‌باشـد و به‌صـورت درجه از صـفر (شـمال) تا ۱۸۰ درجه (جنوب) و دوباره تا ۳۶۰ درجه (شمال) تغییرمی‌کند. بدین ترتیب که در نیم‌کره شمالی، شیب‌های جنوبی بیشتر از سایر جهات در معرض اشعه خورشید قرار دارند. همچنین شیب‌های جنوبی و جنوب غرب بیشتر در معرض بادهای غالب قرار دارند که ترکیب این عوامل ذکر شـده کاهش رطوبت نسـبی، افزایش دما و افزایش تراکم درختان در این شـیب‌ها را نتیجه می‌دهد (Heyerdahl, Brubaker et al. 2001).

۳-۵-۴ شیب

این پارامتر بیانگر سرعت تغییر ارتفاع می‌با شد و تأثیر آن در آتش سوزی بدین ترتیب ا ست که در شیب‌های تند احتمال گسترش آتش سوزی بسیار بالاتر از شیب کم و زمین مسطح است(Vadrevu, Eaturu et al. 2010)، چرا که در شیب تند ماده سوختنی دقیقاً در بالای شعله آتش قرار داشته و کاملاً در دسترس است و آتش رو به بالا گسترش می‌یابد. همچنین شیب بر میزان نور و گرمای تابیده بر ماده سـوختنی و در نتیجه میزان رطوبت موجود در درخت تأثیر به‌سـزایی دارد. بدین ترتیب که با افزایش شیب رو به خورشید میزان گرمای دریافتی افزایش می‌یابد و در پی آن با تبخیر رطوبت موجود، برگ درخت خشک شده و خطر آن برای آتش‌سوزی افزایش می‌یابد.

۳-۵-۵ شرایط آب و هوایی

آتش‌سـوزی در جنگل ارتباط بسـیار زیادی با شـرایط آب و هوایی منطقه دارد. این پارامتر بیشـترین تغییر را از بین سـایر عوامل داشته و فاکتور ثابت در تعیین درجه ریسک آتش در ساعت‌های یک روز خاص است. البته منظور از این شرایط آب و هوایی، پارامترهای جوی روزانه یک منطقه می‌باشد و نباید آن‌را به عنوان شرایط کلی آب و هوایی منطقه قلمداد کرد. به همین دلیل آن‌را شرایط اتمسفری می‌نامیم که شامل دما، میزان بارش و رطوبت می‌باشد. کاهش نزولات جوی، کاهش رطوبت و افزایش دما عواملی هستند که تأثیر به سزایی در وقوع آتش سوزی دارند. به همین دلیل شاخص‌هایی مانند[۲]KBDI (شاخصی برای پیش‌بینی خشکی هوا) بر اسـاس پارامترهای آب و هوایی (میزان بارش و دما) به منظور کنترل میزان بارندگی و پیش‌بینی خشـکسـالی در فصـل آتش‌سوزی ارائه شده‌اند (Keetch and Byram 1968).

۳-۵-۶ دما

دمای سـطحی می‌تواند به‌صـورت مسـتقیم روی ریسـک آتش‌سـوزی تأثیر بگذارد، زیرا کنترل‌کننده دمای درختان اسـت. افزایش دما دو تأثیر مستقیم و غیرمستقیم را به همراه خواهد داشت. تأثیر مستقیم دما بر درختان باعث مهیا شدن عامل حرارت و رسـیدن به نقطه شـروع آتش‌سـوزی خواهد بود و تأثیر غیرمسـتقیم دما، رطوبت نسـبی موجود در هوا را کاهش داده و همچنین با تبخیر رطوبت درختان، خ شکی آن‌ها را سبب می شود که بسیار خطرناک می‌با شد. نتایج تحقیقی که در منطقه MONGOLIA تو سط Hussin و همکاران (Hussin, Matakala et al. 2008) انجام شد، موید این مو ضوع می‌با شد که با افزایش دمای

[۲]Keeych-Byram Drought Index

www.SID.ir

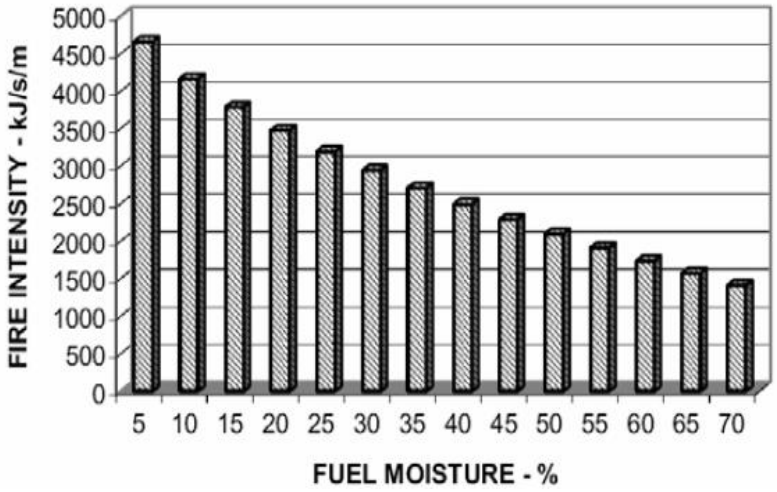
منطقه خطر وقوع آتش‌سوزی افزایش می‌یابد.

۳-۵-۷ بارندگی

این عامل می‌تواند خطر آتش‌ســـوزی را کاهش داده و حتی مناطقی که آتش گرفته را خاموش نماید. همچنین بارش باران روی پوشـــش گیاهی و درختان، محتوای رطوبت درختان (FMC[۳]) را افزایش می‌دهد، به‌طوری‌که با افزایش FMC، گیاه به گرمای بیشتری نیز برای تبخیر و احتراق نیاز دارد. به همین دلیل است که افزایش طول دوره خشکسالی در یک منطقه، شدت و احتمال وقوع آتش را افزایش می‌دهد.

۳-۵-۸ پوشش گیاهی

این پارامتر، سوخت لازم جهت آتش سوزی بوده و در هر دو مثلث احتراق و مثلث شرایط آتش سوزی نقش ا سا سی دارد. معمولاً این پارامتر با عنوان تراکم پوشش گیاهی استفاده می شود. بررسی پارامتر سوخت شامل نوع پوشش گیاهی منطقه و تراکم پوشـــش گیاهی می‌شـــود. نوع گیاه مربوط به شـــرایط فیزیکی و ســـاختاری انواع گیاه می‌باشـــد و مواردی از قبیل نوع برگ، ارتفاع، فشـــردگی فیزیکی، تراکم شـــاخه‌ها و جنس آن‌را در بر می‌گیرد. از موارد قابل توجه در بررســـی نوع گیاهان میزان رطوبتی اســـت که به‌طور ثابت در خود نگه می‌دارد. با افزایش این رطوبت و در صورت وقوع آتش‌سوزی، بخار حاصل از تبخیر آن باعث کاهش اکسیژن در هوا شده و در نتیجه روند گسترش آتش‌سوزی را کند می‌نماید (Trollope, Trollope et al. 2002). تأثیر منفی رطوبت گیاه بر شدت آتش‌سوزی در شکل ۳-۳ نمایش داده شده است.



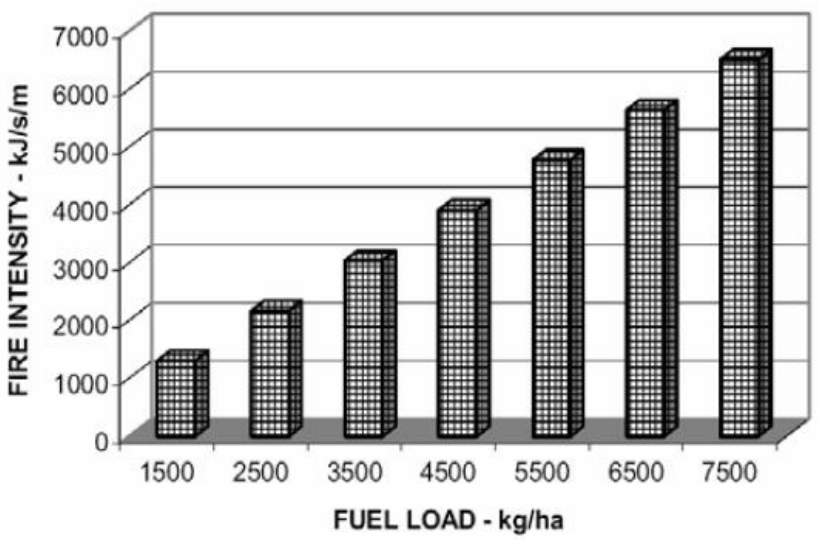
شکل ۳-۳. تأثیر رطوبت گیاه بر شدت آتش‌سوزی (Trollope, Trollope et al. 2002)

به‌طورکلی هر گاه رطوبت مواد سوختنی بیش از ۳۰ درصد باشد جنگل تقریباً از آتش سوزی ناشی از اثر کبریت مشتعل و ته‌سیگار و... مصون مانده و در صورتی‌که رطوبت مواد سوختنی کم‌تر از ۳۰ درصد باشد عوامل بیشتری می‌تواند سبب آتش‌سوزی در آن‌ها بشوند و اگر رطوبت ماده سوختنی به ۶ درصد و یا کم‌تر از آن برسد تمام عوامل و منابع احتراق خطرناک بوده و باعث بروز آتش‌سوزی در آن‌ها می‌گردند (Trollope, Trollope et al. 2002).

[۳] Fuel Moisture Content

www.SID.ir

تراکم پوشش گیاهی نیز در شدت و روند گسترش آتش‌سوزی بسیار موثر خواهد بود و با افزایش آن در منطقه شدت حرارت و انرژی حاصل از سوختن افزایش‌یافته و شرایط برای گسترش آتش به پوشش‌های گیاهی هم‌جوار مهیا می‌شود. رابطه بین شدت آتش‌سوزی و تراکم پوشش گیاهی در شکل ۳-۴ دیده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش حجم درختان (محور افقی) و مواد سوختی در جنگل، شدت آتش‌سوزی (محور قائم) زیاد می‌شود.



شکل ۳-۴. تأثیر تراکم پوشش گیاه بر شدت آتش‌سوزی (۲۰۰۲)

۹-۵-۳ عوامل انسانی موثر در وقوع آتش‌سوزی

مطمئناً هیچ آتش‌سوزی بدون دلیل نمی‌باشد. عوامل لازم برای شروع آتش‌سوزی شامل سوخت قابل اشتعال و احتراق اولیه است. احتراق اولیه می‌تواند به دلیل طبیعی مثل در معرض نور بودن، و یا به دلایل انسانی باشد(Stolle, Chomitz et al. 2003) و امروزه دلایل انسانی بیش از دلایل طبیعی مد نظر محققان می‌باشد. بدین صورت که فعالیت‌های انسانی می‌تواند به صورت مستقیم مانند روشن کردن آتش و یا غیرمستقیم مانند سکونت، گسترش جاده و دعواهای محلی باعث بروز آتش سوزی شود(Santoso 2006). از جمله فعالیت‌های انسانی که می‌تواند باعث آتش‌سوزی در جنگل شود عبارتند از:

الف-آتش سوزی عمدی (مانند: کشاورزان برای اینکه زمین بیشتری زیر کشت برود و یا برای ساختمان سازی، قسمتی از جنگل را آتش می‌زنند)

ب- آتش‌سوزی غیرعمدی (مانند: پرت کردن ته‌سیگار و یا کبریت خاموش نشده)

www.SID.ir

۳-۶ نقشGIS و RS در مدل‌سازی پتانسیل آتش‌سوزی جنگل

۳-۶-۱ سنجش از دور و کاربرد آن در آتش‌سوزی جنگل

Lillesand (Lillesand and Kiefer 1979) سنجش از دور را این‌گونه تعریف کرده است: « سنجش از دور علم و هنر به‌دست آوردن اطلاعات راجع به اشیاء، پدیده‌ها و یا ناحیه‌ای خاص است که از طریق آنالیز داده‌های حاصل از ابزاری که هیچ تماسی با شیء یا پدیده مورد نظر ندارد، به‌دست می‌آید». بنابراین این علم، دربرگیرنده تکنولوژی است که می‌توانیم از آن جهت اندازه‌گیری و کنترل یک‌سری عوارض بیوفیزیکی در زمین استفاده کنیم. در ضمن سنجش از دور یکی از منابع داده خام جهت ورود به سیستم‌های اطلاعات مکانی است.

سنجش از دور در بسیاری از زمینه‌های علمی و تحقیقاتی کاربردهای گسترده‌ای دارد. از جمله کاربردهای فن سنجش از دور می‌توان به استفاده از آن در زمین شناسی، آب شناسی، معدن، شیلات، کارتوگرافی، جغرافیا، مطالعات زیست‌شناسی، مطالعات زیست‌محیطی، هواشناسی، کشاورزی، جنگل‌داری، توسعه اراضی و به‌طورکلی مدیریت منابع زمینی و غیره اشاره کرد. داده‌های سنجش از دور به دلیل یکپارچه و وسیع بودن، تنوع طیفی، تهیه پوشش‌های تکراری و ارزان بودن، در مقایسه با سایر روش‌های گردآوری اطلاعات از قابلیت‌های ویژه‌ای برخوردار است که امروزه عامل نخستین در مطالعه سطح زمین و عوامل تشکیل دهنده آن محسوب می‌شود.

متأسفانه روش‌های قدیمی و معمول شناسایی مناطق آتش‌گرفته پاسخ‌های درست و قابل اطمینانی را در مورد موقعیت، حجم و شدت آتش ارائه نمی‌دهند و این مشکل به دلیل دید کمی است که در این روش‌ها وجود دارد. در این رابطه علم سنجش از دور ثابت کرده است که می‌تواند منبع ارزشمند داده در فازهای مختلف مدیریت آتش سوزی، چه در مرحله پیشگیری و چه بعد از آتش سوزی (ارزیابی خسارت) باشد. مشاهدات سنجش از دور امتیازات قابل توجهی نسبت به روش‌های سنتی کنترل و شناسایی آتش‌سوزی دارند و این به‌دلیل پوشش تکراری است که می‌تواند از یک منطقه بزرگ داشته باشد. به‌طور کلی آتش‌سوزی چهار نوع از سیگنال‌ها را ایجاد می‌کند که می‌تواند توسط علم سنجش از دور شناسایی شوند:

۱) انتشار امواج از آتش‌های فعال (گرما و نور)
۲) دود ناشی از آتش‌سوزی
۳) خاکسترهای باقی مانده از آتش‌سوزی
۴) ساختار و آرایش بقایای گیاهان بعد از آتش‌سوزی

در ابتدا شناسایی آتش توسط تصاویر ماهواره‌ای تنها با استفاده از نوع اول صورت می‌گرفت. در حال حاضر تعدادی از ماهواره‌ها و هواپیمایی وجود دارند که می‌توانند در این زمینه مورد استفاده قرار گیرند و شامل NOAA-AVHRR و Landsat- TM و MSS و SPOT و GOOES و ERS–ASTR می‌باشند.

فواید کاربردی شناسایی لحظه‌ای (تقریباً) از فضا، کاملاً به فرکانس مشاهدات سنسورها وابسته است. از این لحاظ ماهواره‌های هواشناسی بدلیل پوشش تکراری بالا بسیار مناسب هستند. ماهواره‌های زمین ثابت نیز تصاویری را با فاصله زمانی سی دقیقه و فقط برای کشورهای آمریکایی ارائه می‌دهند. ماهواره با مدار قطبی NOAA-AVHRR نیز تصاویری از کل دنیا ارائه می‌دهند که این توانایی‌ها کاربرد سنجش از دور را در شناسایی مناطق آتش‌گرفته بسیار بارز می‌کند.

www.SID.ir

۲-۶-۳ سیستم‌های اطلاعات مکانی و کاربرد آن در آتش‌سوزی جنگل

سیستم‌های اطلاعات مکانی یا GIS یک سیستم کامپیوتری برای مدیریت و تجزیه و تحلیل اطلاعات مکانی بوده که قابلیت جمع‌آوری، ذخیره، تجزیه و تحلیل و نمایش اطلاعات مکانی را دارد. تکنولوژی GIS با جمع‌آوری و تلفیق اطلاعات پایگاه داده‌ها و استفاده از آنالیزهای مکانی، اطلاعاتی را برای تهیه نقشه‌ها فراهم می‌سازد. این اطلاعات به منظور واضح‌تر جلوه دادن رویدادها، پیش‌بینی نتایج و تهیه نقشه‌ها به کار گرفته می‌شوند. یکی از توانایی‌های GIS قابلیت ترکیب با تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا و تولید نقشه‌هایی برای کاربرد در علوم دیگر می‌باشد. سیستم‌های اطلاعات مکانی در راستای مدیریت منابع طبیعی و با استفاده از سنجش از دور می‌تواند در زمینه‌های زیر مورد استفاده قرار گیرد:

- آنالیز حوادث طبیعی، شامل فرسایش خاک، سیلاب، خشکسالی و آتش‌سوزی
- مدیریت آبخیزداری
- مطالعه کاربردی زمین در توسعه کشاورزی
- پیش‌بینی میزان محصولات نسبت به وسعت زمین

همان‌طور که در بخش‌های قبلی ذکر شد، جهت تهیه نقشه ریسک بایستی تعداد زیادی از متغیرها و پارامترها آماده‌سازی شوند و هر یک از این پارامترها با توجه به میزان تأثیری که در وقوع آتش سوزی دارند باید وزن‌دهی شوند. GIS ابزاری است که برای ساخت، تبدیل و ترکیب لایه‌های مد نظر می‌توان از آن استفاده نمود. به‌طور خلاصه چند نمونه از کاربردهای مهم RS و GIS در زمینه آتش‌سوزی جنگل‌ها عبارتند از:

۱- ترکیب و یکپارچه‌سازی پارامترهای موثر در ریسک آتش‌سوزی، از قبیل پوشش گیاهی، دما، توپوگرافی و عوامل انسانی.

۲- شناسایی نواحی دارای پتانسیل آتش سوزی با در نظر گرفتن پارامترهای موثر و همچنین امکان آشکار سازی نواحی ساخته شده.

۳- تأمین اطلاعات مهم راجع به منابع طبیعی، سکونت‌گاه‌های انسان و غیره.

۴- امکان تعیین درجه خطر آتش‌سوزی به منظور استفاده از آن در مدیریت منابع جنگل.

۳-۷ مدل‌سازی پتانسیل آتش‌سوزی جنگل

مدل‌های خطر آتش سوزی برای پیش‌بینی مناطق مستعد آتش سوزی و بهره‌گیری از آن در مدیریت بحران تهیه می شوند. عوامل موثر در این روند شامل فاکتورهای طبیعی و انسانی می‌باشند. در این راستا مدل کردن عوامل طبیعی مشکلات کم‌تری را نسبت به عوامل انسانی دارد، چراکه نحوه رفتار انسان در جنگل قابل پیش‌بینی نمی‌باشد. در یک مسئله تصمیم‌گیری مانند پهنه‌بندی مناطق مستعد آتش سوزی بعضی از معیارها از معیارهای دیگر به صورت نسبی دارای اهمیت بیشتری هستند زیرا در جواب مسئله دارای نقش بیشتری هستند و باید به آن‌ها ارزش بیشتری داده شود. بر همین اساس در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی نیز، برخی از لایه‌ها به صورت نسبی دارای اهمیت بیشتری نسبت به سایر لایه‌ها هستند پس باید همه لایه‌ها در یک وزن که به عنوان وزن معیار شناخته شده است، ضرب شوند تا ارزش پیکسل‌های موجود در لایه‌ی معیار مهم‌تر، دارای اهمیت بیشتر شود. در این قسمت به توضیح روش‌های مورد استفاده پرداخته می‌شود.

۱-۷-۳ دسته‌بندی روش‌های تلفیق و وزن‌دهی داده‌ها

از بین مدل‌های تلفیق موجود، برخی از آن‌ها می‌توانند وزن تولید کنند و برخی دیگر وزن‌ها را از بیرون به عنوان ورودی

www.SID.ir

می‌گیرند. از این رو مدل‌ها به سه روش تقسیم می‌شوند:

۱- دسته اول روش‌هایی هستند که فقط عملیات تلفیق را انجام می‌دهند. از این نوع روش‌ها می‌توان هم‌پوشانی شاخص[4] نام برد. وزن‌ها و درجات مورد استفاده در این مدل، باید توسط یک روش دیگر تعیین شوند و این روش، تنها آن‌ها را تلفیق و خروجی را تهیه می‌نماید (فرهاد ۱۳۸۵).

۲- دسته دوم روش‌هایی هستند که می‌توانند وزن‌ها را با استفاده از داده‌های موجود تخمین بزنند و خود آن‌ها را با هم تلفیق کنند. روش‌هایی مانند وزن‌های نشانگر و رگرسیون لجستیک، در این دسته قرار می‌گیرند(فرهاد ۱۳۸۵).

۳- دسته سوم روش‌هایی هستند که فقط برای تعیین وزن از آن‌ها استفاده می‌شود. روش‌هایی نظیر پشتیبان تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی از جمله AHP، که از دانش کارشناسی استفاده می‌کنند در این دسته قرار می‌گیرند. در این روش‌ها وزن‌های به‌دست آمده توسط یک روش تلفیق مناسب با هم تلفیق شده و خروجی تهیه می‌شود.

۲-۷-۳ سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی

سیستم‌های پشتیبان تصمیم، ابزارهای مبتنی برکامپیوتر می‌باشند که می‌توانند نقش مؤثری در ارتقای عملکرد تصمیم‌گیران و مدیران، به هنگام برخورد با مسائل پیچیده و غیرساختار یافته ایفا نمایند. هدف نهایی از به‌کارگیری GIS در این سیستم‌ها، تدارک پشتیبانی برای تصمیم‌گیری‌های مکانی می‌باشد. این در حالی است که اکثر مسائل مکانی به صورت غیرساختار یافته همراه با معیارهای چندگانه و متعارض می‌باشند. در این شرایط، انتخاب بهترین گزینه مستلزم برخی از روش‌های نظام‌مند است. لذا GIS می‌تواند با تلفیق با ابزارهای دیگر، به عنوان ابزاری مؤثر در تصمیم‌گیری‌ها به کار رود.

Morton در اوایل دهه ۱۹۷۰ برای اولین‌بار، عنوان سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری را مطرح کرد. وی در سال ۱۹۷۱، به همراه Gorry (از دانشگاه MIT)، نیاز به یک چارچوب برای هدایت کاربردهای کامپیوتر در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی را مطرح و مفهوم سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری را پایه‌گذاری نمود. پیچیدگی زیادی که در مسائل تصمیم‌گیری مکانی وجود دارد، منجر به توسعه‌ی نوع جدیدی از سیستم‌های حامی تصمیم‌گیری به نام سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی (SDSS[5]) گردید. SDSS را می‌توان یک سیستم مبتنی بر کامپیوتر تعریف کرد که در راستای پشتیبانی از کاربری گروهی از کاربران درحل یک مسأله تصمیم‌گیری مکانی نیمه‌ساختاریافته طراحی شده است(Clarke and Rowley 1995).

۳-۷-۳ سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی

مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی به‌طور معمول شامل مجموعه‌ای از گزینه‌های مکانی می‌باشد که انتخاب یک یا چندگزینه، با توجه به مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی مربوط صورت می‌پذیرد. به‌منظور حل این مسائل نیاز به سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی (MC-SDSS[6]) که بخشی از حوزه‌ی گسترده سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی به حساب می‌آیند، می‌باشد(Jankowski 1995). سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی به کاربران در تبیین اهداف تصمیم‌گیری، معیارهای ارزیابی و اولویت‌ها، یافتن گزینه‌های محتمل تصمیم‌گیری و ارزیابی این گزینه‌ها به‌طوری که

[4] Index overlay
[5] Spatial Decision Support System
[6] Multi-Criteria Spatial Decision Support System

www.SID.ir

بهترین گزینه تصمیم شناسایی گردد، کمک می‌نماید (Ascough, Rector et al. 2002).چارچوب رایج برای طراحی یک MC-SDSS، شامل سه مؤلفه اصلی: واسط کاربری، مدل‌های MCDM و تحلیل و مدیریت داده‌های مکانی می‌باشد.

مؤلفه واسط کاربری شامل روش‌هایی می‌باشد که برای نمایش داده‌های ورودی، اطلاعات و نتایج حاصل از یک MC-SDSS به کار می‌روند. این مؤلفه دارای قابلیت تعاملی پویا به منظور تبادل اطلاعات بین کاربر و سیستم می‌باشد(Malczewski 1999).

مؤلفه MCDM متشکل از یک مجموعه از تکنیک‌های مدل سازی ارزش‌ها و اولویت‌ها و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد. تکنیک‌های مدل‌سازی ارزش‌ها و اولویت‌ها می‌تواند شامل روش‌های وزن‌دهی معیارها و همچنین روشی برای ایجاد ساختار سلسله مراتبی معیارهای ارزیابی باشد(Malczewski 1999).

مؤلفه تحلیل و مدیریت داده‌های مکانی ممکن ا ست ابزارهای تحلیلی برای تحلیل‌های داده‌های اکتشافی مانند: تحلیل‌های آماری و تکنیک‌های مدل‌سازی ریاضی را نیز شامل شوند. این تکنیک‌ها می‌توانند برای تولید ورودی داده‌ها (نقشه معیارها) به تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، طراحی و استخراج گزینه‌های تصمیم‌گیری و همچنین به عنوان ابزاری برای تحلیل‌های حساسیت و عدم قطعیت به کار روند(Malczewski 1999).

مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره MCDM

هر فرآیند تجزیه و تحلیلی که جهت اتخاذ تصمیم‌گیری بهینه بتواند معیارهای سازگار و نا سازگار را مدل سازی نماید و از میان گزینه‌های ایجاد شده بهترین را انتخاب نماید، یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد(Malczewski 1999). این روش برای کمک به تصمیم‌گیران جهت تلفیق گزینه‌های مختلف و نظرات کارشناسان مرتبط در یک چارچوب مؤثر طراحی می‌شود. مشارکت تصمیم‌گیران در این فرآیند، قسمت مرکزی و اساسی این دیدگاه می‌باشد. مدل‌های MCDM را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی نمود: ۱- مدل‌های چند هدفه یا MODM[۸] و ۲- مدل‌های چند شاخصه یا MADM[۹](Vassilev, Genova et al. 2005).

مدل‌های موجود در تصمیم‌گیری‌های چند شاخصه خود به دو نوع عمده تقسیم‌بندی می شوند: یک د سته از این روش‌ها منشعب از مدلی به نام مدل غیرجبرانی* و دسته دیگر منشعب از مدلی معروف به مدل جبرانی* می‌باشد(اصغرپور ۱۳۹۰).

الف) مدل غیرجبرانی شامل روش‌هایی می‌با شد که در آن‌ها مبادله‌ی بین شاخص‌ها مجاز نیست، یعنی مثلاً نقطه ضعف موجود در یک شاخص توسط مزیت موجود از شاخص دیگر جبران نمی شود. بنابراین هر شاخص در این روش‌ها به تنهایی مطرح بوده و مقایسات بر اساس شاخص به شاخص انجام می‌پذیرد. روش‌های مورد استفاده در این مدل کم‌تر در بحث تعیین مکان بهینه مورد استفاده قرار گرفته است، زیرا با خواسته‌های ذهنی تصمیم‌گیرنده مطابقت ندارد.

ب)مدل جبرانی مشتمل بر روش‌هایی است که مبادله‌ی بین شاخص‌ها در آن مجاز است، یعنی مثلاً تغییری احتمالاً کوچک در یک شاخص می‌تواند توسط تغییری مخالف در شاخص یا شاخص‌های دیگر جبران شود. از آن‌جا که مسأله مورد تحقیق ما منشعب از مدل جبرانی می‌باشد، در ادامه به بررسی رایج‌ترین روش تصمیم‌گیری مدل جبرانی می‌پردازیم.

---

[۷] Multi-Criteria Decision Making
[۸] Multi-Objective Decision Making
[۹] Multi-Attribute Decision Making

www.SID.ir

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه است که اولین بار توسط Saaty در سال ۱۹۷۰، به عنوان ابزاری برای سازماندهی اطلاعات و قضاوت‌ها در انتخاب بهترین گزینه در مسائل تصمیم‌گیری ارائه شده است. این تکنیک، مسائل پیچیده را بر اساس آثار متقابل آن‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد و آن‌ها را به شکلی ساده تبدیل کرده، به حل آن می‌پردازد(Buyukyazici and Sucu 2003).

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از جامع‌ترین تکنیک‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسأله را به‌صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌آورد و همچنین توانایی در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسأله دارد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را فراهم می‌آورد. علاوه بر این، AHP بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد(پور ۱۳۹۰). به‌علاوه این روش، از یک مبنای تئوریک قوی برخوردار بوده و بر اساس اصول بدیهی بنا نهاده شده است که در ادامه به بیان این اصول می‌پردازیم.

۳-۷-۴-۲ اصول فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

Saaty چهار اصل زیر را به عنوان اصول فرآیند تحلیل سلسله‌مراتب بیان نمود و کلیه محاسبات، قوانین و مقررات را بر این اصول بنا نهاده است(Saaty 1986). این اصول عبارتند از:

- **شرط معکوسی**: اگر ترجیح عنصر A بر عنصر B برابر n باشد، آنگاه ترجیح عنصر B بر A برابر 1/n خواهد بود.
- **اصل همگنی**: عنصر A باعنصر B باید همگن و قابل مقایسه باشد. به عبارت دیگر برتری عنصر A بر عنصر B نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد.
- **وابستگی**: هر عنصر سلسله مراتبی، به عنصر سطح بالاتر خود می‌تواند وابسته باشد و این وابستگی به صورت خطی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد.
- **انتظارات**: هرگاه تغییری در ساختمان سلسله‌مراتبی رخ دهد، پروسه‌ی ارزیابی باید مجدداً انجام گیرد.

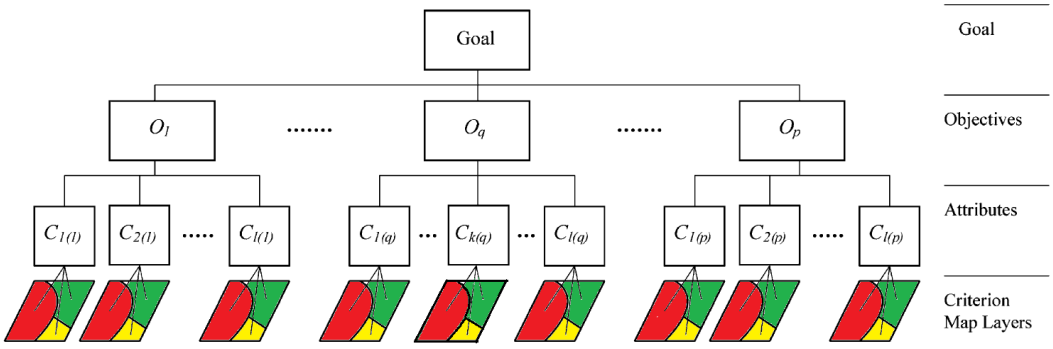
مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

روش کار مبتنی بر AHP سه مرحله اصلی دارد(Malczewski 1999):

الف) ایجاد ساختار سلسله مراتبی، ب) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی و ج) رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها.

الف)ایجاد ساختار سلسله مراتبی: اولین قدم درفرآیند تحلیل سلسله مراتبی، کلاسه‌بندی معیارها و ایجاد ساختار سلسله‌مراتبی است که اجزای تشکیل دهنده‌ی آن هدف، معیارها (صفت‌ها یا شاخص‌ها) و گزینه‌های مورد نظر (گزینه‌های تصمیم) می‌باشند. مفهوم صفت، روش مبتنی بر AHP را با رویه‌های مبتنی بر GIS پیوند می‌دهد. به ملاک‌های متضمن هدف و سازنده آن، معیار گفته می شود. هر اندازه معیارها اجزای هدف را بیشتر پوشش دهند و بیشتر بیان‌کننده‌ی هدف باشند، احتمال نتیجه گرفتن دقیق‌تر افزایش خواهد یافت شکل ۰-۴ ساختار سلسله مراتبی یک مسأله تصمیم‌گیری و سطوح مختلف آن‌را نشان می‌دهد:

www.SID.ir



شکل ۳-۵. ساختار سلسله مراتبی در حل یک مشکل تصمیم‌گیری مکانی(Boroushaki and Malczewski 2008)

ب) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی: در این مرحله، اولویت‌های تصمیم‌گیران در مورد معیارها بیان می‌گردد. در روش AHP، مقایسه‌های دو به دو، به عنوان روش پایه برای اندازه‌گیری به کار می‌رود که باعث می‌شود تا حد زیادی از پیچیدگی مفهومی مطرح در تصمیم‌گیری کاسته شود. این امر در سه بخش شکل می‌گیرد: ۱. بسط یک ماتریس مقایسه‌ای در هر سطح از ساختار سلسله مراتبی که از بالا به پایین قرار دارد، ۲. محاسبه وزن‌ها در هر سطح از ساختار سلسله مراتبی و ۳. ارزیابی نرخ ناسازگاری.

۱. در این مرحله تصمیم‌گیرندگان می‌بایست مجموعه ماتریس‌هایی که به‌طور عددی، اهمیت یا ارجحیت نسبی شاخص‌ها را نسبت به یکدیگر و هر گزینه تصمیم را با توجه به شاخص‌ها نسبت به سایر گزینه‌ها اندازه‌گیری می‌نمایند، ایجاد کنند. این کار با انجام مقایسات زوجی عناصر تصمیم و از طریق تخصیص امتیازات عددی که نشان‌دهنده‌ی ارجحیت بین دو عنصر تصمیم است، صورت می‌گیرد. برای انجام این کار معمولاً تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد، به گونه‌ای که اگر عنصر i با عنصر j مقایسه شود تصمیم گیرنده خواهد گفت که اهمیت i بر j یکی از حالات زیر است (پور ۱۳۹۰):

- کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر
- ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
- ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
- کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
- ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان

این قضاوت‌ها توسط ساعتی به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل شده‌اند که در جدول زیر مشخص گردیده‌اند.

جدول ۳-۱. مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی (پور ۱۳۹۰)

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	مقدار عددی
کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر	۹

www.SID.ir

ترجیح یا اهمیت خیلی قوی	۷
ترجیح یا اهمیت قوی	۵
کمی مرجح یا کمی مهم‌تر	۳
ترجیح یا اهمیت یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۸ ،۶ ،۴ ،۲

۲. حال بایستی به انجام محاسبات لازم برای تعیین وزن هر یک از عناصر تصمیم با استفاده از اطلاعات ماتریس‌های مقایسات زوجی بپردازیم.

AHP یک روش ریاضی برای تبدیل ماتریس مقایسه زوجی به یک بردار از وزن نسبی معیارها را فراهم می‌آورد. یکی از روش‌هایی که بدین منظور به‌طور گسترده استفاده می‌گردد، روش بردار ویژه می‌باشد. در این روش، وزن‌ها به گونه‌ای تعیین می‌شوند که روابط زیر صادق باشند:

$$a_{11}\, w_1 + a_{12}\, w_2 + \ldots + a_{1n}\, w_n = \lambda .\, w_1$$
$$a_{21}\, w_1 + a_{22}\, w_2 + \ldots + a_{2n}\, w_n = \lambda .\, w_2$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$a_{n1}\, w_1 + a_{n2}\, w_2 + \ldots + a_{nn}\, w_n = \lambda .\, w_n$$

معادلهٔ(۱-۳)

که در این روابط a_{ij} اولویت عنصر i بر عنصر j است و w_i نیز وزن عنصر iام و λ یک عدد ثابت می‌باشد. این روش یک نوع میانگین‌گیری می‌باشد که هارکر آن‌را میانگین در طرق مختلف می‌نامد(Harker1989). دستگاه معادلات فوق را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$A \times W = \lambda \cdot W$$

معادلهٔ(۲-۳)

که در این رابطه $A = [a_{ij}]$ همان ماتریس مقایسه زوجی و W بردار وزن و λ یک اسکالر است. طبق تعریف چنان‌چه این رابطه برقرار باشد، گفته می‌شود که W بردار ویژه و λ مقدار ویژه برای ماتریس A می‌باشند(Harker 1989).

علاوه بر روش فوق، می‌توان از روش‌های تقریبی نیز در تعیین وزن معیارها استفاده کرد که هر چند دارای دقت کم‌تری می‌باشند، اما محاسبات به مراتب ساده‌تری دارند. این روش‌ها، عمدتاً تقریبی از روش بردار ویژه هستند که با دقت‌های مختلف، محاسبات را تسهیل می‌نمایند. عمده‌ی این روش‌ها که توسط ساعتی بیان گردیده‌اند، عبارتند از (پور ۱۳۹۰):

•مجموع سطری

در این روش، ابتدا مجموع عناصر هر سطر محاسبه شده تا یک بردار ستونی حاصل گردد. سپس این بردار ستونی نرمال می‌گردد. بردار ستونی نرمال شده، بردار وزن می‌باشد.

www.SID.ir

•مجموع ستونی

مطابق این روش، ابتدا مجموع عناصر هر ستون محاسبه می‌شوند تا یک بردار سطری حاصل گردد. عناصر این بردار معکوس گشته، سپس بردار حاصل نرمال می‌گردد. بردار سطری نرمال شده، بردار وزن خواهد بود.

• میانگین حسابی

در این روش، ابتدا هرستون نرمال شده، سپس میانگین سطری عناصر محاسبه می‌گردد تا بردار وزن به دست آید.

• میانگین هندسی

مطابق این روش، میانگین هندسی عناصر هر سطر محاسبه می‌شود و سپس بردارحاصل نرمال می‌گردد تا بردار وزن حاصل شود.

۳. یکی از مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کنترل سازگاری تصمیم است، به عبارت دیگر همواره در این فرآیند می‌توان میزان سازگاری تصمیم را محاسبه نمود و نسبت به خوب و بد بودن و یا قابل قبول و مردود بودن آن قضاوت کرد. نرخ ناسازگاری که در ادامه نحوه محاسبه‌ی آن بیان می‌گردد، ابزاری است که سازگاری را مشخص ساخته و نشان می‌دهد که تا چه حد می‌توان به اولویت‌های حاصل از مقایسات اعتماد کرد. برای مثال اگر A دو برابرB اهمیت داشته باشد و B سه برابر C مهم باشد، حال چنان‌چه A شش برابر C اهمیت داشته باشد، این قضاوت را سازگار می‌گوییم. ولی در عمل این‌گونه نیست که تصمیمات و قضاوت‌های انسان همواره سازگار باشند. شاید مقایسه دو گزینه امری ساده باشد، اما زمانی که تعداد مقایسات افزایش می‌یابد اطمینان از سازگاری مقایسات به راحتی میسر نبوده و باید با به‌کارگیری نرخ ناسازگاری به این اعتماد دست یافت. محدوده قابل قبول ناسازگاری در هر سیستم به تصمیم‌گیرنده بستگی دارد اما در حالت کلی ساعتی پیشنهاد کرد که اگر نرخ ناسازگاری تصمیم بیشتر از ۰/۱ باشد، بهتر است تصمیم‌گیرنده در قضاوت‌های خود تجدید نظر کند. نرخ ناسازگاری یک ماتریس را طبق مراحل زیر می‌توان به‌دست آورد (پور ۱۳۹۰):

- محاسبه بردار مجموع وزنی: ماتریس مقایسات زوجی را در بردار ستونی وزن نسبی ضرب نموده، بردار حاصل را بردار مجموع وزنی* می‌نامند.
- محاسبه بردارسازگاری: عناصر بردار مجموع وزنی را بر بردار وزن نسبی تقسیم می‌نماییم. بردار جدیدی که به این طریق به‌دست می‌آید، بردار سازگاری می‌باشد.
- به‌دست آوردنλ_{max}: متوسط عناصر بردار سازگاری، λ_{max}را نتیجه می‌دهد.
- محاسبه شاخص ناسازگاری: مقدار شاخص ناسازگاری از طریق معادلهٔ(۳-۳) محاسبه می‌گردد:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$$ معادلهٔ(۳-۳)

که در آن پارامترهای CI، n وλ_{max} به ترتیب عبارتند از: شاخص ناسازگاری، بعد ماتریس مقایسات زوجی و حداکثر مقدار ویژه ماتریس مقایسات زوجی.

- محاسبه نرخ ناسازگاری: نرخ ناسازگاری از تقسیم شاخص ناسازگاری بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی هم‌بعدش، مطابق رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$ معادلهٔ(۴-۳)

www.SID.ir

که در آن پارامترهای CR^*، CI^*وRI^* به ترتیب بیان‌گر نرخ ناسازگاری، شاخص ناسازگاری و شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی می‌باشند. چنان‌چه نرخ ناسازگاری کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است وگرنه باید در قضاوت‌ها تجدید نظر نمود. شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی از جدول استخراج می‌شود.

جدول ۳-۲. شاخص ناسازگاری ماتریس‌های تصادفی

ν	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
PI	۰	۰	۰,۵۸	۰,۹	۱,۱۲	۱,۲۴	۱,۳۲	۱,۴۱	۱,۴۵	۱,۵۱

ج) رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها: در قدم نهایی، وزن‌های نسبی مربوط به سطوح به‌دست آمده در قدم دوم را جمع می‌نماییم تا رتبه‌بندی نهایی به‌دست آید. این امر به کمک یک توالی از ضرب‌های مربوطبه ماتریس وزن‌های نسبی در هر سطح از ساختار سلسله‌مراتبی صورت می‌گیرد.

روش متوسط وزنی مرتب شده OWA

۲۰

متوسط وزنی مرتب شدهٔ(OWA)یکی از اپراتورهای تلفیق چند معیار است که در سال ۱۹۸۸ توسط یاگر[1]توسعه پیدا کرد(Boroushaki and Malczewski 2008). این روش دارای دو نوع وزن می‌باشد، یکی وزن معیار و دیگری وزن ترتیبی. وزن معیار اهمیت نسبی یک معیار نسبت به معیار دیگر را نشان می‌دهد و در یک لایه اطلاعاتی برای تمام سلول‌های آن یکسان است(Boroushaki and Malczewski 2008). اما وزن ترتیبی به صورت یک مجموعه هستند که تعداد اعضای آن برابر تعداد لایه‌های معیار موجود است. به ازای هر سلول در لایه رستر نهایی یک مجموعه وزن ترتیبی وجود دارد. این وزن‌ها از مقادیر سلولی لایه‌های معیار موجود که به صورت نزولی مرتب شده‌اند به دست می‌آید بدون توجه به این که این مقادیر از کدام لایه معیار آمده‌اند (Meng, Malczewski et al. 2011).

با توجه به مجموعه وزن‌های ترتیبی که به‌صورت $V=[v_1, v_2, ..., v_n]$است، باید $v_j \varepsilon [0.1]$ برای $\sum_{i=1}^{n} v_i = 1$, $j = 1,2,3,...,n$ باشد، اپراتور OWA به صورت معادلهٔ (۳-۱۱) تعریف می‌شود(Boroushaki and Malczewski 2008).

$$OWA_j = \sum_{j=1}^{n} \left(\frac{u_j v_j}{\sum_{j=1}^{n} u_j v_j}\right) z_{ij}$$

معادلهٔ(۳-۱۱)

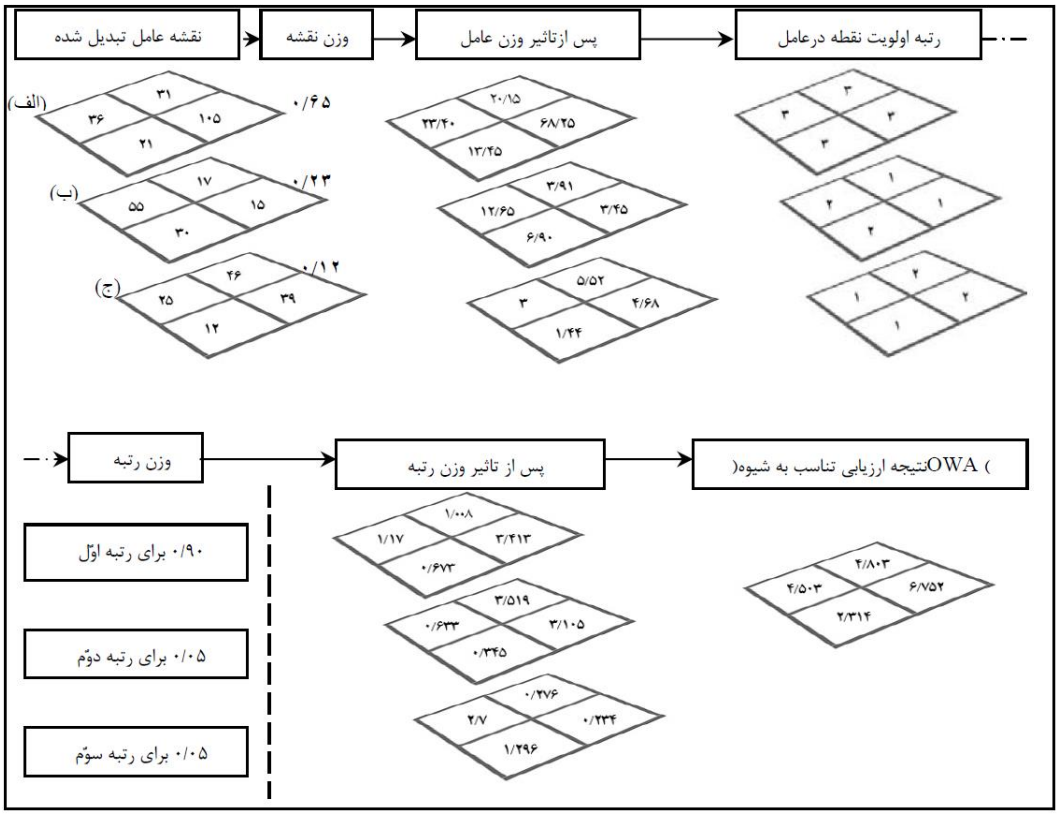
که در آن $z_{i1} \geq z_{i2} \geq ..... \geq z_{in}$ از مقادیر سلولی لایه‌های معیار موجود که به صورت نزولی مرتب شده‌اند، به‌دست آمده است و u_j همان وزن‌های معیار (w_j) هستند که با توجه به z_{ji}ها مرتب شده‌اند. در این مرحله می‌توان از وزن‌های معیاری که از روش AHP به دست آمده است استفاده کرد. برای مثال شکل ۳-۳ مراحل وزن‌دهی و نحوه ترکیب لایه‌ها را برای یک مثال ساده

[1] Ordered Weighted Averaging

[1] Yager

www.SID.ir

به روش OWA در حیطه رستر نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷. مدل ساده شده روش متوسط وزنی مرتب شده (OWA). داده‌های مثال فرضی می‌باشد.

جبران کنندگی و ریسک‌پذیری[۱۳]

ویژگی اصلی روش OWA این است که با تغییر در وزن‌های ترتیبی آن می‌توان یک سری عملگر، از جمله علمگرهای مخصوصی مثل OR و AND و WLC را تولید کرد(Meng, Malczewski et al. 2011). یکی از عناصر بحرانی روش OWA روش به دست آوردن وزن‌های ترتیبی است.

وزن‌های ترتیبی با مقدار جبران کنندگی و ریسک‌پذیری همراه هستند. اعداد به‌دست آمده از این دو مفهوم بین صفر و یک هستند(Meng, Malczewski et al. 2011). مقدار ریسک‌پذیری نشان دهنده این است که این عملگر به‌دست آمده تا چه اندازه به عملگر منطقی OR شبیه است(Meng, Malczewski et al. 2011). به زبانی ساده‌تر به این معنی است که تا چه حد این عملگر به‌دست آمده ریسک‌پذیری دارد و هر چه این عدد به ۱ نزدیک‌تر باشد ریسک‌پذیری آن بیشتر است. اگر مقدار ریسک‌پذیری ۱ شود این عملگر همانند عملگر OR عمل می‌کند. ریسک‌پذیری این عملگر به خاطر این است که مانند عملگر

[1] Trade-off
[1] Orness
[2]
[3]

www.SID.ir

اجتماع مجموعه‌ها است و بیشترین مقدار پیسکل‌های نقشه‌های ورودی را در نقشه خروجی قرار می‌دهد. این عمل باعث می شود ماکزیمم مقادیر در نقشه خروجی ظاهر شوند و همه معیارها در ایجاد نقشه نهایی نقش نداشته باشند و مکان‌های نامناسب برای هدف مشخص شوند که باعث ایجاد ریسک در تصمیم‌گیری می‌شود. روش *AHP* دارای ریسک‌پذیری ثابت و نزدیک به صفر است(محمدرضا، علی et al. 1390). فرمول محاسبه ریسک‌پذیری در معادلهٔ (۱۲-۳) آورده شده است(حجت و عباس ۱۳۸۷).

$$ORness = \frac{1}{n-1}\sum_r (n-r)V_r \qquad \text{معادلهٔ(۱۲-۳)}$$

که در آن n تعداد معیارها، r ترتیب معیارها که به صورت نزولی مرتب شده‌اند و V_r وزن ترتیبی معیار rام است.

مقدار جبران‌کنندگی می‌تواند به عنوان اندازه پراکندگی وزن های ترتیبی بیان شود. به عنوان مثال اگر بین معیارهای موجود یک معیار که برای مکان‌یابی اثر منفی دارد، وجود داشته باشد و وجود معیارهای دیگر باعث بشود که مکانی که دارای تقریبی از این معیار منفی است، انتخاب شود، بدین معنی است که معیارهای دیگر برای این مکان اثر معیار منفی را جبران کرده‌اند. ماکزیمم جبران‌کنندگی برای زمانی است که وزن‌های ترتیبی به طور یکسان بین معیارها پراکنده شده باشند(Meng, Malczewski et al. 2011). میزان جبران‌کنندگی صفر بیان‌گر عدم جبران‌کنندگی و میزان جبران‌کنندگی یک نشان‌دهنده جبران‌کنندگی کامل است(محمدرضا، علی و دیگران ۱۳۹۰) اما AHP این ویژگی عملگرهای OWA را ندارد و فرایندی کاملاً جبرانی و با مقدار جبران‌کنندگی نزدیک به یک است که همه معیارها را براساس وزن آن‌ها دخالت می‌دهد. فرمول محاسبه جبران پذیری در معادله (۱۳-۳) آمده است(حجت و عباس ۱۳۸۷):

$$TRADE-off = 1-\sqrt{\frac{n\sum_r (V_r - 1/n)^2}{n-1}} \qquad \text{معادلهٔ(۱۳-۳)}$$

که در آن n تعداد معیارها، r ترتیب معیارها که به صورت نزولی مرتب شده‌اند و V_r وزن ترتیبی معیار rام است.

در روش بولین برای ترکیب لایه‌ها تنها دو تابع نهایی AND برای ریسک پذیری پایین و OR برای ریسک‌پذیری بالا قابل استفاده است. در روش WLC نیز برای میزان شدت ریسک‌پذیری حد میانه بین AND وOR مطرح است(SAMO ۲۰۰۹ ANAD ANKA)

ولی در روش OWA با توجه به مثلث فضای استراتژی تصمیم‌گیری به تصمیم گیرندگان اجازه داده می شود بر موقعیت خود در طول هر دو محور ریسک و توازن کنترل داشته باشند شکل ۳-۴. یعنی این اجازه را به او می‌دهد که سطح ریسک مورد نظر و درجه‌ای که وزن‌های معیار (وزن‌های توازن) مطلوبیت نقشه نهایی را متاثر می‌سازد را در تصمیم‌گیری کنترل کند. در این روش کنترل بر روی سطح ریسک و سطح جبران کنندگی از طریق مجموعه‌ای از وزن‌های درجه‌ای برای موقعیت‌های مختلف رتبه- درجه معیارها در هر پیکسل ممکن می‌باشد (Estman 1997). با استفاده از این وزن‌ها می‌توان بر روی سطح کلی توازن معیارها و همچنین سطوح ریسک اعمال مدیریت کرد.

۱-۶ نتیجه‌گیری

www.SID.ir

آتش‌سوزی یکی از بحران‌هایی است که همه ساله حجم زیادی از درختان را در مناطق جنگلی جهان نابود می‌کند و علاوه بر مضرات زیست محیطی، زیان‌های بسیاری را در زمینه حیات وحش، اقتصادی و امنیت جانی انسان‌ها به دنبال دارد. به منظور پیشگیری از این رخداد خطرناک، یکی از بهترین راهکارها تهیه مدل پتانسیل آتش‌سوزی برای جنگل می‌باشد. چرا که با اشراف بر مناطق پُرخطر آتش‌سوزی جنگل و انجام تمهیدات لازم در برابر این حادثه در وقوع، آمادگی بیشتری در برابر آن هستیم.

پدیده آتش‌سوزی به دلیل پیچیدگی زیاد به پارامترهای مختلف طبیعی و انسانی وابسته است. در این زمینه مطالعات بسیاری صورت گرفته که در اکثر آنها پارامترهای محدودی در نظر گرفته‌اند و یا برای تهیه نقشه پتانسیل آتش‌سوزی از مدل‌های تجربی استفاده شده است. به همین منظور هدف این مطالعه شناسایی مناطق مستعد آتش‌سوزی در مناطق جنگلی ۵ حوزه جنگلی استان گیلان تعریف گردید و عوامل نزدیکی به جاده‌ها، تراکم جنگل، دما، بارندگی، ارتفاع منطقه، شیب و جهت شیب در تولید نقشه پتانسیل آتش‌سوزی در نظر گرفته شد.

به منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر می‌توان از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مختلفی استفاده نمود. به طور قطع نمی‌توان یک روش تصمیم‌گیری را برتر از همه روش‌ها بیان نمود. روش فازی یک روش قوی برای حل این گونه مسائل می‌باشد که دارای پنج عملگر اجتماع فازی، اشتراک فازی، ضرب فازی، جمع فازی و فازی گاماست. در بین این روش‌ها فازی گاما از قدرت بیشتری برخوردار است به شرطی که برخی از فاکتورهای موجود در تصمیم‌گیری یکدیگر را تقویت و برخی یکدیگر را تضعیف کنند. اگر تمامی فاکتورهای یک تصمیم‌گیری هم‌دیگر را تقویت کنند، جمع فازی جواب مطلوبیت تری نسبت به فازی گاما ارائه می‌دهد. در این پژوهش با توجه به اثرات کاهشی و افزایشی فاکتورهای تصمیم‌گیری، روش فازی گاما که بین دو حالت ضرب و جمع فازی جابه‌جا می‌شود، با روش AHP-OWA که بین دو عمگر اجتماع و اشتراک فازی جابه‌جا می‌شود مقایسه گردید.

نتایج آنالیز وزن‌دهی به روش AHP نشان داد (معادله(۱-۰)) که عامل نزدیکی به جاده‌های دسترسی بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است. این امر به دلیل موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه است زیرا این منطقه علاوه بر ساکنین خود یک قطب توریستی در ایران به حساب می‌آید و سالیانه مسافرین زیادی به این منطقه مسافرت می‌کنند. معیار بعدی که دارای بیشترین وزن است، معیار دما می‌باشد. علت این امر را شاید بر این دانست که کارشناسان در هنگام پر کردن جداول مقایسات زوجی به گرم شدن زمین و دوران چند ساله خشکسالی در ایران و جهان توجه ویژه داشته‌اند چرا که چندین سال است که میانگین دما نسبت زمان‌های گذشته افزایش پیدا کرد است. عامل سوم شیب می‌باشد و دلیل آن‌را می‌توان در پتانسیل بالای شیب در میزان نورگیری و دریافت گرما و هم‌چنین انتقال آتش دانست. و سایر عوامل به ترتیب اولویت تراکم درختان، ارتفاع منطقه، بارندگی و جهت شیب قرار گرفتند.

در این مطالعه به منظور بررسی صحت نقشه‌های پتانسیل آتش سوزی مدل شده به روش‌های مختلف، از داده‌های آماری وقوع آتش‌سوزی در طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ از اداره منابع طبیعی استان گیلان استفاده شد. شکل ۵-۲ و ۵-۳ نتایج ارزیابی صحت برای حالت‌های مختلف ترکیب لایه‌ها با فازی گاما و AHP-OWA را نشان می‌دهد. طی روی هم‌گذاری نقشه قابلیت آتش‌سوزی به روش AHP-OWA با وزن‌های درجه‌ای در حالت حداکثر ریسک و بدون جبران‌کنندگی با مناطق بحرانی حریق گذشته مشخص شد که حدود ۹۲/۶ درصد از مجموع نقاط بسیار پُرخطر و پُرخطر با یکدیگر هم‌خوانی دارند ولی از آن جهت که این حالت از ترکیب لایه‌ها مانند روش ترکیب بولین با استفاده از OR منطقی می‌باشد و حداکثر ریسک در زمان ترکیب لایه‌ها در نظر گرفته شده است، نقشه حاصله به این روش مورد نظر کارشناسان قرار نگرفت.

پس از آن روش AHP-OWA با وزن‌های درجه‌ای در حالت ریسک کم و دارای جبران کنندگی با ۷۵/۱ درصد هم‌پوشانی

www.SID.ir

با نقاط بسیار پُرخطر و پُرخطر بیشترین دقت در روش‌های استفاده شده در این مطالعه را داشت که بر اساس این نقشه ۱۰۰۸/۳ Km2 منطقه جنگلی مورد مطالعه در پهنه بسیار پُرخطر، Km2۲۰۱/۳ در پهنه پُرخطر، Km2۱۰۵۳/۲ در پهنه متو سط خطر و Km2۱۰۷۴/۲ در پهنه کم‌خطر قرار دارد.

در ترکیب لایه‌ها به روش گامای فازی، با افزایش گاما که همان حرکت به سمت جمع فازی است، نقشه‌های حاصله دارای مطلوبیت بیشتری شدند ولی در مجموع در این مطالعه استفاده از روش گامای فازی دقت قابل قبولی ارائه نداد.

در بین روش‌های تلفیق پیاده‌سازی شده در این پژوهش، با توجه به قدرت روش فازی در تلفیق لایه‌ها، روش AHP-OWA از نتایج بهتری برخوردار شد. به‌طور کلی در بین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نمی‌توان یک روش را به عنوان روش برتر در تمامی کاربرها برگزید. حتی احتمال دارد اگر چند روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در یک کاربرد در دو منطقه متفاوت مقایسه شوند، روش‌هایی که در دو منطقه دارای ارجحیت می‌شود، با یکدیگر متفاوت است.

پیشنهادات

- اثر دادن داده رطوبت پوشش گیاهی و هم‌چنین لایه تفرج‌گاه‌هایی که انسان‌ها در مسافرت و ایام تعطیل از آن مکان‌ها استفاده می‌کنند، که در این مطالعه به دلیل نبود این داده‌ها از تأثیر آن خودداری شد.
- برای تهیه نقشه پهنه‌بندی از روش‌های مختلف تلفیق دیگر مانند وزن‌های نشانگر، ژنتیک و شبکه عصبی استفاده شود.
- در صورت وجود داده‌های مربوط به تاریخچه آتش سوزی در منطقه به صورت دقیق به همراه زمان و مخت صات آن‌ها و اطلاعات هواشناسی می‌توان نقشه پتانسیل دینامیک و بروز برای آتش‌سوزی ایجاد کرد.

منابع :

۱. اصغرپور، م. ج. (۱۳۹۰). "تصمیم‌گیری‌های چند معیاره." انتشارات دانشگاه تهران.
۲. پور،ح. ق. (۱۳۹۰). "مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره (فرآیند تحلیل سلسله مراتبی)." انتشارات دانشگاه امیر کبیر۹.
۳. محمدر ضا، ر.et al.,.(۱۳۹۰)" .مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ,AHP-OWA,AHP Fuzzy AHP-OWA برای مکان‌یابی مجتمع‌های مسکونی در شهر تبریز." محیط شناسی۵۷: ۷۷-۹۲.
۴. حجت، م. آ and .ا. عباس (۱۳۸۷). "کاربرد روش میانگین وزنی مرتب شده (OWA) درتصمیم‌گیری و مدیریت ریسک." اولین کنفرانس بین المللی مدیریت استراتژیک پروژه ها.
۵. حسینی، م. (۱۳۸۳). "جنگلداری مقدماتی." انتشارات دانشگاه مازندران.
۶. خانقاهی، هـ ف .(۱۳۷۹)" راهنمای خسارات بحرانی در جنگل."دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان: ۱۴۰.
۷. فرهاد، ح. (۱۳۸۵). "درجه‌بندی و وزن‌دهی اتوماتیک لایه‌های اطلاعاتی در سامانه‌های اطلاعات مکانی." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
8. Ascough, J. C., et al. (2002). "Multicriteria Spatial Decision Support Systems: Overview, Applications, and Future Research Directions."

www.SID.ir

9. Boroushaki, S. and J. Malczewski (2008). "Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS." Computers & Geosciences**34**(4): 399-410.
10. Buyukyazici, M. and M. Sucu (2003). "The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes." Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics**32**(65-73).
.11
12. Clarke, I. and J. Rowley (1995). "A Case for Spatial Decision Support Systems in Retail Location Planning." International Journal of Retail & Distribution Management**23**: 4-10.
13. Eastman, I. R. (1997). "IDRISI for windows, version 2.0." Graduate school of Geography, Clark University.
14. FAO (2007). "FAO." http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx
15. Harker, P. (1989). "The Art and Science of Decision Making: The AHP Chapter 2 of Analytical Hierarchy Process." Springer-Verlag, New York.
16. Heyerdahl, E. K., et al. (2001). "Spatial controls of historical fire regimes: A multiscale example from the interior West, USA." Ecology**82**(3): 660-678.
17. Hussin, Y. A., et al. (2008). " The application of remote sensing and GIS in modelling forest fire hazard in Mongolia." the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing: 289-294.
18. Jankowski, P. (1995). "Integrating Geographical Information Systems and Multiple Criteria Decision Making Methods." International Journal of Geographic Information Systems**9**(3): 251-273.
19. Keetch, J. J. and G. M. Byram (1968). A drought index for forest fire control, U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station.
20. Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer (1979). Remote sensing and image interpretation, Wiley.
21. Malczewski, J. (1999). "GIS and Multicriteria Decision Analysis." John Wiley & Sons, New York.
22. Meng, Y., et al. (2011). "A GIS-Based Multicriteria Decision Analysis Approach for Mapping Accessibility Patterns of Housing Development Sites: A Case Study in Canmore, Alberta." Journal of Geographic Information System**3**: 50-61.
23. Saaty, T. L. (1986). "Axiomatic Foundation of Analytical Hierarchy Process." Management Science**32**(7).
24. Santoso, H. (2006). "Adaptation to recurrence forest fires and their risks under the influence of climate change and climate variability." 16th Asia Pacific Seminar on Climate Change, Jakarta, Indonesia
25. Trollope, W. S. W., et al. (2002). "Fire behaviour a key factor in the fire ecology of African grasslands and savannass." Forest Fire Research and Wildland Fire Safety: Proceedings of IV International Conference on Forest Fire Research/ 2002 Wildland Fire Safety Summit. Coimbra, Portugal: 1-17.

www.SID.ir

Summary:

Forests are the most important natural and ecological resources on earth and their function plays an essential role in maintaining balance in the nature cycle. In addition, the presence of forests prevents the occurrence of many natural factors such as floods and landslides. The impact of forests on combating air pollution and oxygen production is undeniable. Today, on land, after urban and agricultural activities, fire is the most widespread cause of deforestation. In recent years, due to unprecedented and continuous droughts and a significant decrease in rainfall in the country, the number of fires in the country's forests has increased. The occurrence of this event is not a function of a specific place and time, and in all seasons of the year and in all forest coverings of the country, the souls and bodies of the trees are constantly charred and reduced to ashes. Many natural and artificial parameters are involved in the occurrence of fire that it is very useful to identify and study the effect of these parameters and prepare a map of fire potential and reduce the damage caused by it.

So far, various studies have been conducted on the preparation of forest fire risk zoning maps, which have been collected by weighted linear combination method of standard maps and good results have been obtained. In this study, using multi-criteria decision making methods (MCDM) and required spatial analysis, zoning of areas with high risk of forest fires in 5 forest areas of Guilan province has been attempted. Therefore, in this study, considering that different factors are involved in forest fires and the importance of each is different, the AHP weighting method and several models of layer overlap are investigated and by producing the final map by these methods, the best model as The proposed method is presented. It is noteworthy that in this article, the study area is the forests along the southern Caspian Sea (Gilan forests), which compared to other parts of the country has a high potential for fires and many fires occur in this forest every year.

Keywords: fire potential map, spatial information system, multi-criteria decision making, fuzzy, AHP-OWA

www.SID.ir