

مدل سازی و پیش بینی خطر آتش سوزی در جنگل های بخش سه نکا- ظالمرو با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی

سعیده اسکندری^{۱*}، جعفر اولادی قادیکلایی^۲، حمید جلیوند^۲ و محمدرضا سراجیان^۳

*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
پست الکترونیک: saedeheksandari119@yahoo.com

^۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

^۳- دانشیار، گروه سنجش از دور، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱/۸

تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۲۵

چکیده

این تحقیق با هدف پیش بینی آتش سوزی های آینده با استفاده از مدل سازی خطر آتش سوزی در جنگل های بخش سه نکا- ظالمرو انجام شد. به منظور مدل سازی خطر آتش سوزی از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای وزندهی به عوامل مؤثر در آتش سوزی استفاده شد و بعد نقشه مربوط به هر عامل برای قابلیت یابی مناطق خطر آتش سوزی تهیه شد. عوامل مورد استفاده شامل ۴ معیار اصلی و ۱۷ زیرمعیار بود. معیارهای اصلی شامل معیارهای توپوگرافی، معیارهای بیولوژیکی، معیارهای اقلیمی و معیارهای انسان ساخت بود. برای تهیه نقشه تمام این عوامل از مدل رقومی ارتفاع منطقه و اطلاعات موجود در شرکت سهامی نکاچوب استفاده شد. همچنین نقشه آتش سوزی های گذشته با استفاده از اطلاعات موجود در شرکت سهامی نکاچوب و بعضاً نقشه برداری محیط لکه های آتش سوزی در عرصه با سیستم موقعیت یاب جهانی تهیه شد. برای وزندهی به عوامل مؤثر در آتش سوزی با تحلیل سلسله مراتبی فازی، از مقیاس های زبانی برای بیان درجه اهمیت عوامل و نتایج ارزیابی پرسشنامه های توزیع شده بین متخصصان آتش سوزی در عرصه های منابع طبیعی استفاده شد. سپس نسبت سازگاری هر معیار برای بررسی صحت وزن معیارها محاسبه شد. نتایج نشان داد که وزن نهایی معیارهای انسان ساخت، بیولوژیکی، اقلیمی و توپوگرافی در قابلیت خطر آتش سوزی به ترتیب برابر با ۰/۳۰۱، ۰/۲۵۹۵، ۰/۲۳۱۵ و ۰/۲۰۸ است. پس از بدست آوردن وزن هر معیار و زیرمعیار با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، مدل خطر آتش سوزی در جنگل های منطقه ارائه شد؛ سپس نقشه مربوط به تمام عوامل مؤثر در آتش سوزی (۱۷ زیرمعیار) با استفاده از روش فازی در محیط GIS استانداردسازی و مقادیر ارزش های پیکسلی هر نقشه بین ۰ تا ۱ ارزش گذاری شد. در نهایت با استفاده از مدل بدست آمده ابتدا نقشه معیارهای اصلی (از ادغام وزنی زیرمعیارهای هر معیار) و بعد نقشه نهایی خطر آتش سوزی جنگل های منطقه (از ادغام وزنی نقشه ۴ معیار اصلی) تهیه شد. در پایان نقشه خطر آتش سوزی جنگل های منطقه در ۵ طبقه ارائه شد. نتایج نشان داد که مناطق پرخطر آتش سوزی در نقشه قابلیت خطر تهیه شده با مناطق آتش سوزی های گذشته تطابق زیادی داشته که نشان دهنده اعتبار و صحت بالای مدل ساخته شده است.

واژه های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی فازی، معیارهای بیولوژیکی، توپوگرافی، اقلیمی و انسان ساخت، مدل رقومی ارتفاع

مقدمه

جنگل ها، روستاها و ساکنان آنها به دلیل تمرکز جمعیت می گذارد (Podur et al., 2002; Kazemi, 2005). کشور ایران از جمله کشورهای حادثه خیز دنیا است که پدیده آتش سوزی جنگل، یکی از مهمترین بحران های آن

آتش سوزی جنگل با منشأ طبیعی و یا انسانی آثار زیان بار و ویرانگری به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر جوامع انسانی دارد که در صورت وقوع، تأثیر عظیمی بر محیط زیست

با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) نقشه مناطق آتش‌سوزی شده تهیه شد. سپس با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) عوامل مؤثر در بروز و انتشار آتش‌سوزی وزن‌دهی شدند و اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی با استفاده از لایه‌های وزنی و ضریب وزنی مربوط به هر یک از عوامل شد. نتایج نشان داد که ۹۰ درصد از مناطق آتش گرفته در پهنه‌هایی با خطر زیاد قرار دارند. (Salamati et al., 2011) نیز نقشه خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های گلستان را با استفاده از AHP و GIS تهیه کردند. بدین منظور عوامل مؤثر در وقوع آتش‌سوزی براساس مقایسه‌های زوجی، وزن‌دهی و نقشه خطر آتش‌سوزی تهیه شد. نتایج نشان داد که ۴۰ درصد منطقه در طبقات پرخطر و بسیار پرخطر قرار دارد. به علاوه با توجه به اهمیت مسئله آتش‌سوزی جنگل‌ها در خارج از کشور، پژوهش‌های گسترده‌ای نیز در این زمینه انجام شده است. در همین راستا در تحقیقی نقشه مناطق بحرانی خطر آتش‌سوزی در سواحل مدیترانه در اسپانیا با استفاده از ترکیب داده‌های پردازش یافته تصویر TM و داده‌های دیگر در محیط GIS تهیه شد. ادغام لایه‌ها براساس سلسله‌مراتب (AHP) انجام شد. نتایج نشان داد که ۲۲ درصد از پیکسل‌هایی که در مناطق پرخطر از نظر آتش‌سوزی قرار گرفته‌اند، طی سال‌های گذشته واقعاً آتش گرفته بودند، درحالی‌که تنها ۳/۴۷ درصد از مناطق کم-خطر واقعاً سوخته بودند (Chuvieco & Congalton, 1989). در تحقیق مشابه دیگری برای شناسایی مناطق حساس به حریق در جنگل‌های هندوستان از داده‌های ماهواره‌ای IRS ID LISS و پایگاه داده‌ها در GIS استفاده شد. البته فاکتورهای مؤثر در وقوع آتش‌سوزی جنگل براساس وزن و درجه اهمیت هر یک از آنها ادغام شدند. نتایج نشان داد که ۲۰ درصد از منطقه قابلیت بسیار زیاد، ۱۰ درصد قابلیت زیاد، ۱۵ درصد قابلیت متوسط و ۵۵ درصد از منطقه قابلیت کم برای وقوع آتش‌سوزی دارد (Dong et al., 2005). (Jaiswal et al., 2002) یک روش ترکیبی با RS و GIS را برای نقشه‌برداری مناطق خطر

محسوب می‌شود. به‌طوری‌که تنها در سال ۱۳۸۹، ۲۱۸ فقره آتش‌سوزی در حوضه اداره کل منابع طبیعی مازندران اتفاق افتاده و تنها در همین سال حدود ۴۹۴.۵۸ هکتار از جنگل‌ها و مراتع شمال ایران بر اثر آتش‌سوزی از بین رفته‌اند (Anonymous, 2011). جنگل‌های بخش سه‌نکا-ظالمروود نیز از جمله مناطقی است که در سال‌های اخیر دچار آتش‌سوزی‌های متعددی شده است، به‌طوری‌که بیشترین آتش‌سوزی استان مازندران در سال‌های اخیر در جنگل‌های نکا اتفاق افتاده و تنها در سال ۱۳۸۹ حدود ۵۳ فقره آتش‌سوزی در این جنگل‌ها به وقوع پیوسته است که در اثر آن حدود ۳۸ هکتار از این جنگل‌ها از بین رفته‌اند (Anonymouse, 2011). محدود بودن سطح این جنگل‌های ارزشمند از یک طرف و نابودی هر ساله این سطح محدود توسط آتش‌سوزی‌های مکرر از طرف دیگر، نشان از اهمیت ارائه راهکاری برای مدیریت، نظارت و در نتیجه کاهش خسارت آتش‌سوزی جنگل دارد.

یکی از زمینه‌های پژوهش برای کنترل آتش‌سوزی‌های جنگل، شناسایی مناطق بحرانی آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه است (Jaiswal et al., 2002) که اهمیت بسزایی در کاهش تعداد دفعات آتش‌سوزی و جلوگیری از تخریب جنگل‌های منطقه دارد (Dong et al., 2005). در همین راستا در کشورمان (Akbari, 2010) مدلی ساده برای تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی و هشدار آتش‌سوزی در نواحی جنگلی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور ارائه داد. با استفاده از این مدل و به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و DEM مربوط به منطقه، می‌توان پی به وجود مناطق با خطر زیاد آتش‌سوزی برد. بدین منظور سه فاکتور شیب، جهت شیب و NDVI را که بر روی مسئله فوق تأثیرگذارند در نظر گرفته شده و با فرموله کردن و اعمال آنها بر روی تصویر، مناطق با خطر زیاد مشخص شد. در تحقیق دیگری (Mohammadi et al., 2010) اقدام به تهیه نقشه نواحی پرخطر آتش‌سوزی جنگل بر پایه عوامل پوشش گیاهی، فیزیوگرافی، اقلیمی، انسانی و فاصله از جاده‌ها و رودخانه‌ها در بخشی از حوضه پاره‌رود کردند.

شده در بخشی از جنگل‌های آمازون برزیل را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان مناطق پرخطر از نظر آتش-سوزی شناسایی کردند. سپس با استفاده از تصاویر MODIS آتش‌سوزی‌های فعال در منطقه شناسایی شد. نتایج آتش‌سوزی‌های گذشته با مناطق آتش‌سوزی‌های فعال مقایسه شد. به‌طوری‌که نتایج ضریب همبستگی ۰.۸۴ را بین این دو منطقه نشان داد. Paz et al. (2011) نیز نقشه خطر آتش‌سوزی را که برای منطقه Carmel اسرائیل در سال ۲۰۰۹ تهیه کرده بودند با آتش‌سوزی واقعی که در سال ۲۰۱۰ در همین منطقه اتفاق افتاده بود مقایسه کردند. نتایج نشان داد که اغلب مناطق سوخته در سال ۲۰۱۰ در مناطق با خطر زیاد در نقشه قابلیت تهیه شده قرار گرفته-اند که نشان می‌دهد مدل مورد استفاده ضریب اطمینان بالایی برای پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های آینده دارد.

بنابراین با توجه به اهمیت مسئله پیش‌گیری از آتش-سوزی جنگل‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و با توجه به وقوع آتش‌سوزی‌های متعدد در جنگل‌های بخش سه نکا-ظالمروود طی سال‌های اخیر، این تحقیق در نظر دارد با روشی متفاوت از تحقیقات قبلی (تحلیل سلسله مراتبی فازی) برای مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی جنگل، تهیه نقشه قابلیت آتش‌سوزی و بررسی کارایی مدل ساخته شده، مناطق بحرانی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه را شناسایی و به مدیران جنگل معرفی نماید تا حتی‌المقدور راهکاری برای پیش‌گیری از وقوع حریق‌های آینده در جنگل‌های منطقه ارائه دهد که به نظر می‌رسد برای پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های آینده در جنگل‌های منطقه مورد مطالعه روش مناسبی باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حدود این تحقیق بخش سه طرح جنگلداری نکا ظالمروود است که در حوضه آبخیز ۷۷ و در جنوب شهرهای نکا-بهبهر در استان مازندران واقع شده است. بخش سه جزء مجتمع جنگلی نکا-ظالمروود و در حوضه رودخانه نکا به

آتش‌سوزی در حوضه جنگلداری Baihe چین توسعه دادند. به همین منظور داده‌های توپوگرافی از DEM منطقه و اطلاعات مربوط به پوشش گیاهی و کاربری اراضی (جاده‌ها، مناطق مسکونی و غیره) از تصویر ETM+ لندست استخراج شدند. سپس مناطق خطر آتش‌سوزی با اختصاص وزن‌های معقول به طبقات همه لایه‌ها مشخص شدند. همچنین تاریخچه آتش‌سوزی در جنگل‌های مورد مطالعه از سال ۱۹۷۴ تا ۲۰۰۱ برای کنترل مطلوبیت روش مورد استفاده بررسی شد. نتایج نشان داد که مناطق با خطر آتش‌سوزی زیاد در مکان‌هایی واقع شده‌اند که قبلاً در آنها آتش‌سوزی اتفاق افتاده است. Erten et al. (2005) در تحقیق دیگری مناطق خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های گالی‌پولی ترکیه را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و GIS نقشه‌برداری کردند. نتایج نشان داد که در مناطق با پوشش گیاهی خشک، شیب بالا، جهت جنوبی و نزدیک به جاده و مناطق مسکونی، قابلیت خطر آتش‌سوزی زیاد است. Pradhan et al. (2007) نیز مناطق مستعد آتش‌سوزی جنگل در منطقه Kuala Selangor مالزی را با استفاده از RS و GIS بررسی کردند. مناطق مستعد آتش‌سوزی جنگل با استفاده از داده‌های موقعیت آتش‌سوزی‌های گذشته تعیین صحت شدند. نتایج، صحت بالای نقشه قابلیت تهیه شده را به دلیل همخوانی مناطق پرخطر آن با مناطق آتش‌سوزی شده در گذشته نشان داد. در تحقیق مشابه دیگری (Sowmya & Somashekar (2010) با وزن-دهی مناسب به همه فاکتورهای مؤثر در ایجاد آتش‌سوزی با روش AHP، نقشه مناطق خطر آتش‌سوزی در پناهگاه حیات وحش Bhadra در هند را تهیه کردند. مناطق خطر آتش‌سوزی با مناطق واقعاً آتش‌گرفته طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۶ مقایسه شدند. نتایج نشان داد که اغلب مناطق پیش-بینی شده برای آتش‌سوزی با توجه به مدل استفاده شده در مناطق واقعاً سوخته قرار گرفته‌اند. بنابراین روش، مدل و نقشه تهیه شده قابلیت اعتماد بالایی دارد و می‌تواند برای سیاست‌های جلوگیری از آتش‌سوزی در آینده استفاده شود. Maeda et al. (2011) مناطق آتش‌سوزی

معیارها و زیرمعیارها، 2) وزن‌دهی به عوامل مؤثر در آتش‌سوزی و مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی جنگل با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP = Fuzzy Analytical Hierarchy Process) 3) اختصاص وزن معیارها و ادغام معیارها (لایه‌ها) در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تهیه نقشه قابلیت خطر آتش‌سوزی و 4) تهیه نقشه آتش-سوزی‌های گذشته و اعتبارسنجی نقشه خطر آتش‌سوزی (Vadrevu et al., 2009).

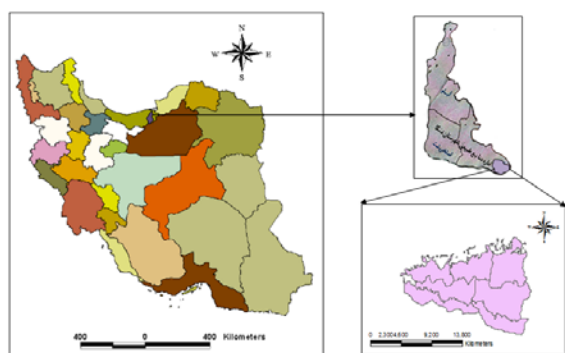
۱- ایجاد ساختار سلسله مراتبی معیارهای خطر آتش-سوزی و تهیه نقشه معیارها و زیرمعیارها
برای انجام این تحقیق ابتدا ساختار سلسله مراتبی برای دستیابی به هدف قابلیت خطر آتش‌سوزی جنگل تشکیل شد (شکل ۲) و نقشه همه عوامل مؤثر در آتش‌سوزی تهیه شد. عوامل مورد استفاده شامل چهار معیار اصلی و هفده زیرمعیار بود. معیارهای اصلی شامل معیارهای توپوگرافی، معیارهای بیولوژیکی، معیارهای اقلیمی و معیارهای انسان-ساخت بود.

توجه: شکلها و جدولها به قسمت نتایج منتقل شود.
معیار توپوگرافی شامل زیرمعیارهای شیب، جهت، ارتفاع و فاصله از رودخانه است. برای تهیه نقشه‌های شیب و جهت و ارتفاع از داده‌های DEM سنجنده ASTER با اندازه پیکسل ۲۵ متر استفاده شد. هر کدام از این نقشه‌ها بر حسب هدف تحقیق Reclassify شده و در ۵ طبقه طبقه‌بندی شدند. نقشه تنها رودخانه موجود در جنگل‌های بخش سه نکا- ظالمروود (مهربان رود) نیز از شرکت سهامی نکاچوب تهیه و مسیر رودخانه در GIS رقومی شد. سپس در اطراف این نقشه بافرهای (حائل‌های) ۲۰۰ متری در نظر گرفته شده و نقشه مربوطه تهیه شد.

فاصله حدود ۱۵ کیلومتری شهرستان نکا و در امتداد جاده نکا- بهشهر قرار دارد. بخش سه طرح جنگلداری نکا-ظالمروود با وسعت حدود ۱۵۴۰۰ هکتار در عرض شمالی ۴۰° ۳۶' تا ۳۰° ۳۶' و طول شرقی ۲۶° ۵۳' تا ۱۵° ۵۳' درجه واقع شده است. از شرق به یال چاخانی در دامنه راست (شمال مهربان رود) و یال سوتر آباد روی دامنه چپ (جنوب مهربان رود)، از غرب به یال آبلو، از جنوب به یال زرن‌دین- خرم چماز و از شمال به جاده آسفالتی نکا- بهشهر محدود می‌گردد (شکل ۱). بخش سه از ارتفاعات کوتاه تا بلند با شیب توپوگرافی اغلب ملایم، عمق خاک به نسبت زیاد و پوشش جنگلی به نسبت انبوه تشکیل شده است. حداقل ارتفاع آن از سطح دریای آزاد حدود ۹۰ متر و حداکثر ارتفاع آن ۸۲۰ متر است. جنگل-های این منطقه از نوع دانه‌زاد ناهمسال و آمیخته است. گونه‌های گیاهی منطقه شامل انواع گونه‌های درختی مانند راش، ممرز، بلوط، توسکا، افرا، نمدار، انجیلی، آزاد و غیره و درختچه‌ها مانند ازگیل، ولیک، شمشاد، گوجه وحشی و غیره و همچنین گونه‌های علفی و خشبی مانند اسپرولا، کارکس، کوله‌خاس، سیکلامن، بنفشه، پامچال، تمشک، سرخس و غیره است. بخش سه با توجه به اجرای طرح در سالهای گذشته (۳۰ سال) دارای ۱۰۳/۴ کیلومتر جاده جنگلی احداث شده، ۲۷ کیلومتر جاده روستایی و ۲۱ کیلومتر جاده آسفالتی است. جاده‌ها به-طور عمده جاده جنگلی درجه دو محسوب می‌شود. این بخش به هفت سری تقسیم شده است که طی سال‌های گذشته سابقه حریق‌های شدید و وسیع را داشته‌اند (Anonymous, 2010).

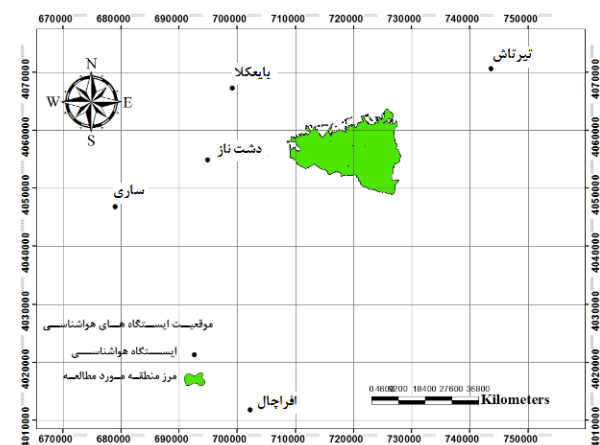
روش پژوهش

در این تحقیق از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Saaty, 1980) همراه با مجموعه‌های فازی برای رتبه‌بندی و وزن-هی به عوامل مؤثر در آتش‌سوزی استفاده شد. روش تحقیق شامل چهار مرحله اصلی بود. 1) ایجاد ساختار سلسله مراتبی معیارهای خطر آتش‌سوزی و تهیه نقشه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران / شکل ۲- ساختار سلسله مراتبی برای قابلیت خطر آتش سوزی جنگل

جاده‌ها، فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از زمین‌های زراعی است. نقشه زیرمعیارهای مربوط به عوامل انسان-ساخت کلیه جاده‌ها، مناطق مسکونی (روستاها) و زمین‌های زراعی از شرکت سهامی نکاچوب شناسایی شده و نقشه مربوط به آنها به صورت رقومی تهیه شد. سپس در اطراف جاده‌ها بافرهایی با شعاع ۲۰۰ متری و در اطراف مناطق مسکونی (روستاها) و زمین‌های زراعی بافرهایی با شعاع ۱۰۰۰ متری زده شد و نقشه بافر این عوامل براساس هدف تحقیق در GIS طبقه‌بندی شد.



شکل ۳- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در اطراف محدوده جنگل‌های بخش سه نکا- ظالمروود

معیارهای بیولوژیکی شامل نوع پوشش گیاهی، تراکم پوشش گیاهی، عمق لاشبرگ، رطوبت لاشبرگ، رطوبت خاک و بافت خاک است. نقشه معیارهای بیولوژیکی از شرکت سهامی نکاچوب تهیه و رقومی شد.

معیارهای اقلیمی در این تحقیق شامل زیرمعیارهای میانگین بارندگی سالیانه، میانگین رطوبت نسبی سالیانه، میانگین درجه حرارت سالیانه و میانگین شدت باد سالیانه است. برای تهیه نقشه زیرمعیارهای مربوط به عوامل اقلیمی به اداره کل هواشناسی مازندران مراجعه شد. اطلاعات مربوط به این عوامل طی سال‌های مربوط به آتش سوزی از ایستگاه‌های هواشناسی بایبکلا، تیر تاش، افراچال، دشت ناز و ساری که در اطراف محدوده جنگل-های بخش سه نکا-ظالمروود قرار دارند، تهیه شد (شکل ۳). سپس از اطلاعات این ایستگاه‌ها در سال‌های مربوط به آتش سوزی میانگین گرفته شد تا یک عدد واحد برای هر یک از داده‌های اقلیمی (میانگین بارندگی سالیانه، میانگین رطوبت سالیانه، میانگین درجه حرارت سالیانه و میانگین شدت باد سالیانه) مربوط به هر ایستگاه بدست آید. سپس برای تهیه نقشه رقومی مربوط به این داده‌های اقلیمی از روش درون‌یابی IDW در GIS استفاده شد. سپس نقشه مربوط به این عوامل Reclassify شده و نقشه نهایی مربوط به آنها تهیه شد.

معیارهای انسان‌ساخت شامل زیرمعیارهای فاصله از

سلسله مراتبی فازی استفاده شد. بدین منظور تعدادی پرسشنامه بین کارشناسان آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی توزیع شد و میانگین پرسشنامه‌های تکمیل شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. هر پرسشنامه شامل یک جدول برای بیان مقیاس زبانی اهمیت معیارها و زیرمعیارها نسبت به هم (جدول ۱) و پنج ماتریس مقایسه زوجی (چهار ماتریس مربوط به مقایسه زیرمعیارهای هر معیار و یک ماتریس مربوط به مقایسه معیارهای اصلی) بود. مقیاس‌های زبانی برای بیان اهمیت معیارها و زیرمعیارها نسبت به هم در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در جدول ۱ آورده شده است.

۲- وزندهی به عوامل مؤثر در آتش‌سوزی و مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی جنگل با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

روش‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی در بسیاری از تحقیقات برای اهداف مختلف مطرح شده‌اند (Deng, 1999; Feng, 1995; Mikhailov & Tsvetinov, 2004; Erensal *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2008) که در این تحقیق از آن برای وزندهی به عوامل مؤثر در آتش‌سوزی جنگل استفاده شده است. بنابراین پس از تهیه نقشه‌های رقومی مربوط به معیارها و زیرمعیارها و فازی کردن این لایه‌ها، برای تعیین وزن مناسب آنها به منظور تلفیق در محیط GIS، از روش تحلیل

جدول ۱- مقیاس‌های زبانی بیان درجه اهمیت در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (Chang, 1996)

اعداد فازی مثلثی (l, m, u)	مقیاس زبانی برای درجه اهمیت	
(1, 1, 1)	ارجحیت با اهمیت دقیقاً برابر	Just equal (JE)
($\frac{1}{n}$, 1, $\frac{n}{n}$)	ارجحیت با اهمیت تقریباً برابر	Equally Important (EI)
(1, $\frac{3}{n}$, 2)	ارجحیت با اهمیت کم	Weakly more Important (WMI)
($\frac{1}{n}$, 2, $\frac{n}{n}$)	ارجحیت با اهمیت قوی‌تر	Strongly more Important (SMI)
(2, $\frac{5}{2}$, 3)	ارجحیت با اهمیت خیلی قوی‌تر	Very strongly more Important (VSMI)
($\frac{1}{n}$, 3, $\frac{n}{n}$)	ارجحیت با اهمیت کامل و مطلق	Absolutely more Important (AMI)

آزمایش پایداری وزن معیارها (نسبت سازگاری) هدف از انجام آزمون پایداری آزمایش صحت وزن‌های بدست‌آمده برای هر معیار و زیرمعیار است. بنابراین باید ماتریس بردار پایداری وزن نرمال معیارها تشکیل گردد که برای این منظور وزن نرمال میانگین هر معیار در ارزش‌های نسبت داده شده در سطرهای ماتریس مقایسه جفتی معیارها ضرب شد (رابطه ۱).

$$A \times W = \lambda_{\max} \times W \quad (1)$$

که W بردار ویژه وزنی مربوط به ماتریس مقایسه زوجی A و λ_{\max} بزرگترین مقدار ویژه ماتریس A است. ارزش لاندا (λ_{\max}) به‌طور ساده شامل میانگین ارزش‌های

در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل‌های نتایج پرسشنامه‌های تکمیل شده کارشناسان در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، از روش آنالیز توسعه‌ای فازی مثلثی چانگ (Chang, 1996) استفاده شد. زمانی که کارشناسان قضاوت‌های خود را براساس اعداد فازی مثلثی بیان می‌کنند، ماتریس مقایسه‌های زوجی تکمیل می‌شود. مراحل آنالیز توسعه‌ای چانگ بعد از تکمیل ماتریس‌ها (پرسشنامه‌ها) به‌طور کامل در Chang (1996) تشریح شده است. بر این اساس وزن نهایی هر معیار و زیرمعیار با استفاده از مقایسه‌های زوجی براساس نظر کارشناسان و به کمک روش سلسله مراتبی فازی محاسبه شد.

اعمال وزن آنها با استفاده از رویه Raster calculator در GIS تلفیق شدند و در نهایت یک نقشه ترکیبی (شامل هفده معیار مؤثر در آتش‌سوزی) با دامنه ارزش صفر تا یک بدست آمد. سپس نقشه نهایی با طبقه‌بندی این نقشه ترکیبی براساس ارزش‌های بسیار کم تا بسیار زیاد در پنج طبقه بسیار پرخطر، پرخطر، خطر متوسط، کم‌خطر و بسیار کم‌خطر تهیه شد.

۴- تهیه نقشه آتش‌سوزی‌های گذشته و اعتبارسنجی نقشه خطر آتش‌سوزی

نقشه آتش‌سوزی‌های گذشته در جنگل‌های بخش سه نکا- ظالمروود با استفاده از اطلاعات موجود در شرکت سهامی نکاچوب و بعضاً نقشه‌برداری محیط لکه‌های آتش‌سوزی جدید در عرصه با سیستم موقعیت‌یاب جهانی تهیه شد. به‌منظور اعتبارسنجی نقشه خطر آتش‌سوزی، نقشه مناطق آتش‌سوزی گذشته با نقشه قابلیت خطر تهیه شده در محیط GIS روی هم‌گذاری شد. بر این اساس در صورتی که مناطق پرخطر نقشه قابلیت خطر با محدوده-هایی که قبلاً آتش گرفته‌اند تطابق داشته باشد، اعتبار مدل ساخته شده برای تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی اثبات خواهد شد.

نتایج

نقشه زیرمعیارهای مؤثر در خطر آتش‌سوزی

نقشه زیرمعیارهای توپوگرافی (شیب، جهت، ارتفاع و فاصله از رودخانه)، زیرمعیارهای بیولوژیکی (نوع پوشش گیاهی، تراکم پوشش گیاهی، عمق لاشبرگ، رطوبت لاشبرگ، رطوبت خاک و بافت خاک)، زیرمعیارهای اقلیمی (میانگین بارندگی سالیانه، میانگین رطوبت نسبی سالیانه، میانگین درجه حرارت سالیانه و میانگین شدت باد سالیانه) و زیرمعیارهای انسان‌ساخت (فاصله از جاده‌ها، فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از زمین‌های زراعی) به- ترتیب در شکل‌های ۴ تا ۷ نشان داده شده است.

بردار پایداری است. بر این اساس مجموع بردارهای پایداری بر تعداد معیارها (n) تقسیم می‌شود (رابطه ۲). سپس شاخص سازگاری ماتریس برای اطمینان از انسجام قضاوت‌ها در مقایسه‌های زوجی، محاسبه می‌شود. سپس می‌توان طبق رابطه ۳ شاخص سازگاری (CI) را محاسبه کرد.

$$\lambda_{max} = \frac{\lambda_{max1} + \lambda_{max2} + \dots + \lambda_{maxn}}{n} \quad (2)$$

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (3)$$

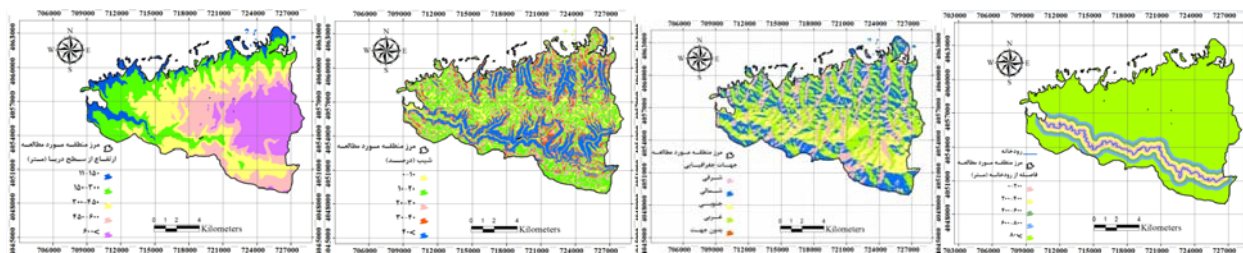
در این رابطه، n بعد ماتریس و λ_{max} بزرگترین مقدار ویژه ماتریس مقایسه زوجی است. همچنین نسبت سازگاری (CR) از رابطه ۴ بدست می‌آید.

$$CR = CI/RI \quad (4)$$

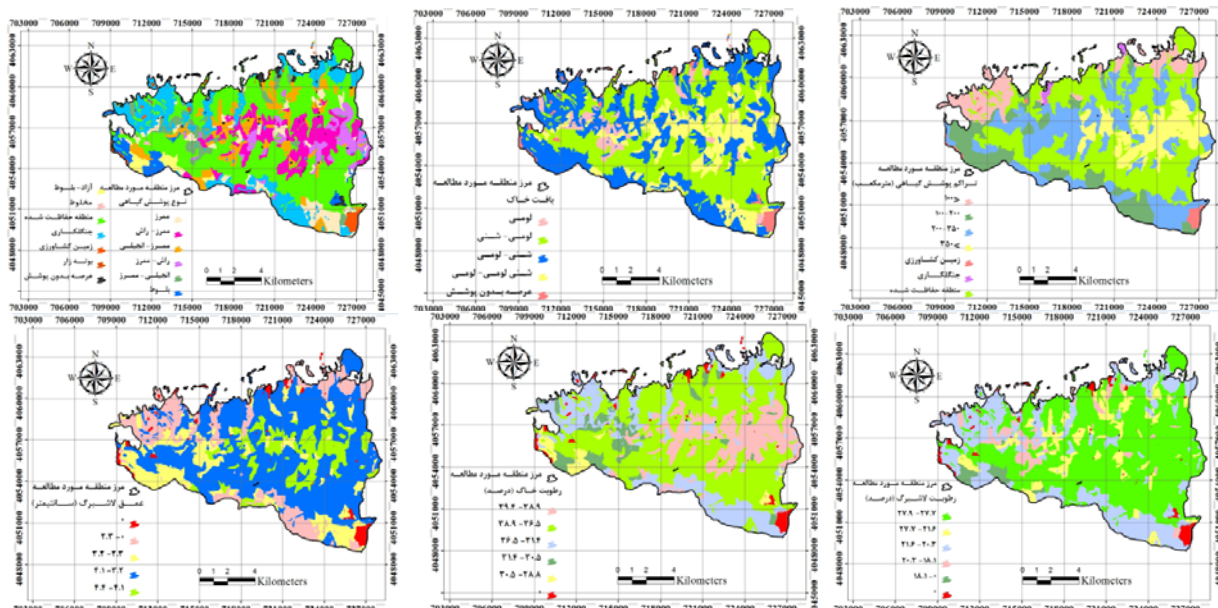
در این رابطه، RI شاخص تصادفی یک ماتریس با مقادیر تصادفی است. به‌طورکلی CR کمتر از ۰.۱ نشان-دهنده قضاوت سازگار در تصمیم‌گیری است (Saaty, 1980; Ghodsipour, 2011).

۳- اختصاص وزن معیارها و ادغام معیارها (لایه‌ها) در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تهیه نقشه قابلیت خطر آتش‌سوزی

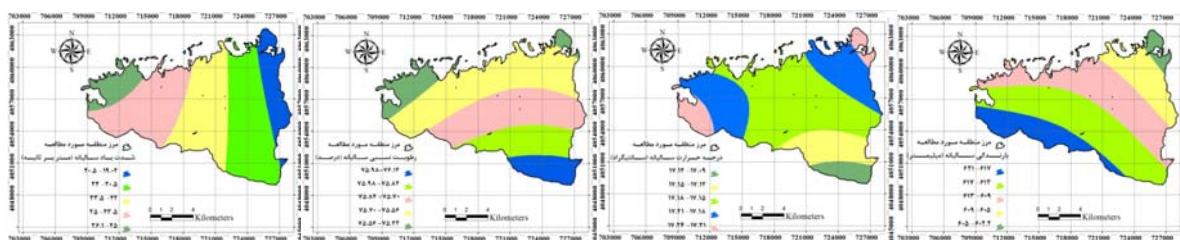
پس از تهیه نقشه کلیه زیرمعیارها (هفده زیرمعیار) و بدست آوردن وزن آنها از طریق روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، نقشه هر زیرمعیار به فرمت رستری تبدیل شد. سپس ارزش‌های پیکسلی در هر نقشه با استفاده از تابع عضویت فازی و بکار بردن رویه fuzzy membership در محیط GIS استانداردسازی و مقادیر ارزش‌های پیکسلی هر نقشه بین صفر (قابلیت خطر بسیار کم برای آتش‌سوزی) تا یک (قابلیت خطر بسیار زیاد برای آتش‌سوزی) ارزش‌گذاری شد. نقشه زیرمعیارهای مربوط به هر معیار اصلی با اعمال وزن آنها با استفاده از رویه Raster calculator در GIS تلفیق شدند تا نقشه ترکیبی مربوط به هر معیار با دامنه ارزش صفر تا یک بدست آید. سپس نقشه نهایی چهار معیار اصلی نیز با



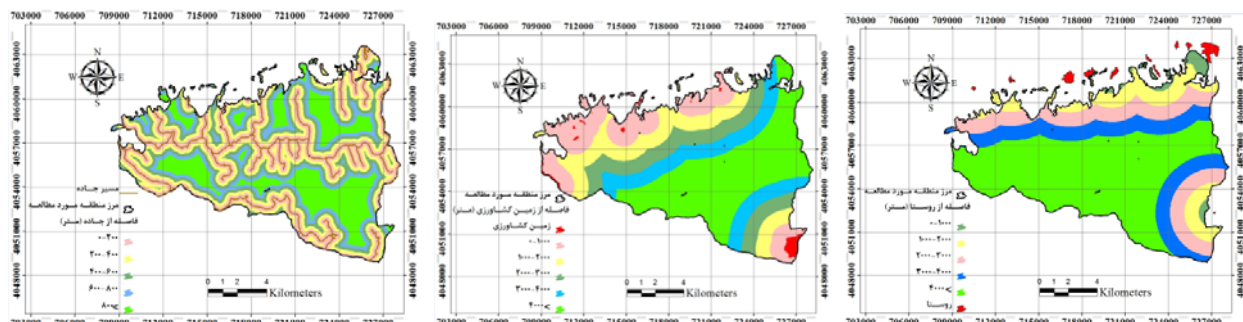
شکل ۴- نقشه زیرمعیارهای توپوگرافی



شکل ۵- نقشه زیرمعیارهای بیولوژیکی



شکل ۶- نقشه زیرمعیارهای اقلیمی



شکل ۷- نقشه زیرمعیارهای انسان ساخت

A) ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای هر معیار اصلی و نیز ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی) است. همچنین وزن زیرمعیارها و معیارهای اصلی براساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در جدول‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

وزن معیارها و زیرمعیارها یا لایه‌های مؤثر در آتش-سوزی و مدل خطر آتش‌سوزی جنگل با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی نتایج محاسبه نسبت سازگاری زیرمعیارها و معیارهای اصلی براساس تحلیل سلسله مراتبی فازی در جدول ۲ نشان داده شده است. λ_{max} بزرگترین مقدار ویژه ماتریس

جدول ۲- محاسبه نسبت سازگاری زیرمعیارها و معیارهای اصلی براساس تحلیل سلسله مراتبی فازی

معیار	λ_{max}	$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$	$CR = CI / RI$
معیارهای توپوگرافی	۴/۱۵۰۷	۰/۰۵۰۲	۰/۰۵۵
معیارهای بیولوژیکی	۶/۴۸	۰/۰۹۶	۰/۰۷۴۴
معیارهای اقلیمی	۴/۱۲۲۵	۰/۰۴۰۸	۰/۰۴۵۳
معیارهای انسان‌ساخت	۳/۰۳۹۶	۰/۰۱۹۸	۰/۰۳۴۱
معیارهای اصلی	۴/۰۲۱۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷۸

جدول ۳- وزن زیرمعیارهای هر معیار

معیار	زیرمعیار	وزن	معیار	زیرمعیار	وزن
توپوگرافی	شیب	۰/۲۵۱۷	بیولوژیکی	نوع پوشش گیاهی	۰/۱۸۳۹
	جهت	۰/۳۰۵۶		تراکم پوشش گیاهی	۰/۱۷۶۲
	ارتفاع	۰/۲۱۷۷		عمق لاشبرگ	۰/۱۸۳۹
	فاصله از رودخانه	۰/۲۵۵		رطوبت لاشبرگ	۰/۱۸۳۹
اقلیمی	میانگین درجه حرارت سالیانه	۰/۲۶۵۲	انسان‌ساخت	بافت خاک	۰/۱۳۰۶
	میانگین بارندگی سالیانه	۰/۲۲۵۷		رطوبت خاک	۰/۱۴۱۵
	میانگین رطوبت نسبی سالیانه	۰/۲۳۸۱		فاصله از جاده	۰/۳۷۳۶
	میانگین شدت باد سالیانه	۰/۲۷۱		فاصله از سکونتگاه	۰/۳۲۲۷
			فاصله از زمین زراعی	۰/۳۰۳۷	

جدول ۴- وزن معیارهای اصلی

معیار اصلی	وزن براساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی
توپوگرافی	۰/۲۰۸
بیولوژیکی	۰/۲۵۹۵
اقلیمی	۰/۲۳۱۵
انسان‌ساخت	۰/۳۰۱

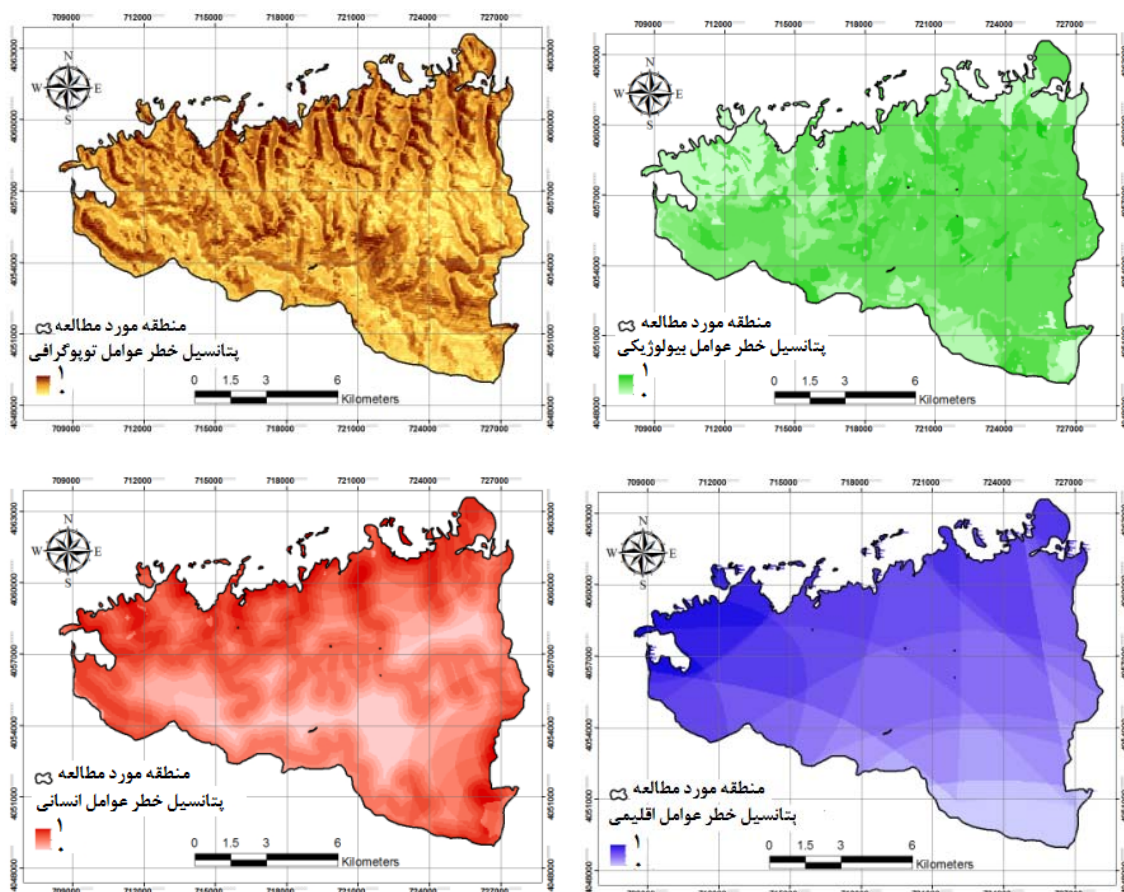
روش تحلیل سلسله مراتبی فازی تهیه شد (شکل ۸). مدل مربوط به ادغام زیرمعیارهای هر یک از معیارها براساس وزن آنها در زیر ارائه شده است:

(فاصله از رودخانه) 0.225 + (ارتفاع) 0.2177 + (جهت) 0.3056 + (شیب) 0.2517 = شاخص معیار توپوگرافی

0.1839 + (عمق لاشبرگ) 0.1839 + (تراکم پوشش گیاهی) 0.1762 + (نوع پوشش گیاهی) 0.1839 = شاخص معیار بیولوژیکی
(رطوبت خاک) 0.1415 + (بافت خاک) 0.1306 + (رطوبت لاشبرگ)

(شدت باد) 0.271 + (رطوبت نسبی) 0.2381 + (بارندگی) 0.2257 + (درجه حرارت) 0.2652 = شاخص معیار اقلیمی

(فاصله از زمین) 0.3037 + (فاصله از منطقه مسکونی) 0.3227 + (فاصله از جاده) 0.3736 = شاخص معیار انسان ساخت (کشاورزی)



شکل ۸- نقشه معیارهای اصلی خطر آتش سوزی جنگل

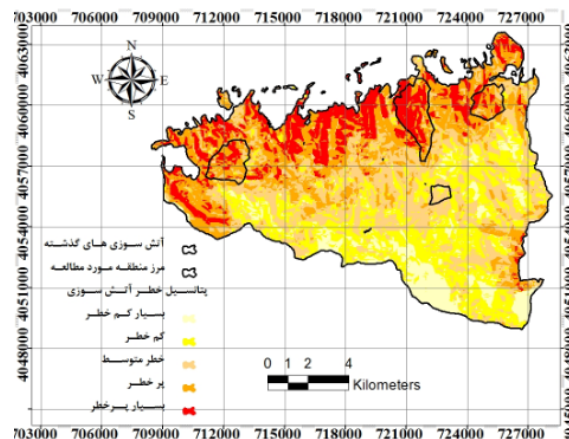
روش تحلیل سلسله مراتبی فازی تهیه شد (شکل ۱۰). مدل خطر آتش سوزی جنگل عبارت است از:

در نهایت نقشه نهایی قابلیت خطر آتش سوزی در جنگل های بخش سه نکا- ظالمروود از طریق تلفیق نقشه معیارهای اصلی براساس وزن های بدست آمده آنها از

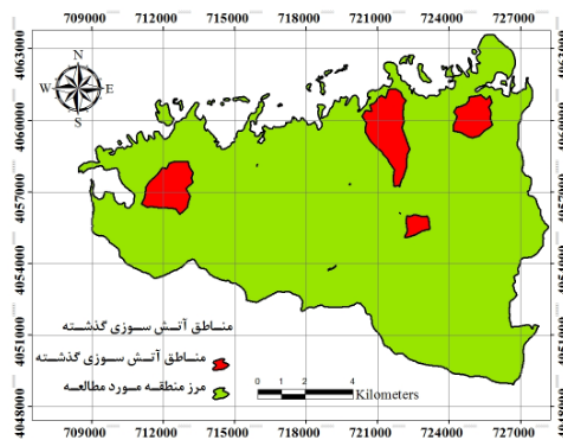
$$۰/۲۳۱۵ + (شخص معیار بیولوژیکی) ۰/۲۵۹۵ + (شخص معیار توپوگرافی) ۰/۲۰۸ = \text{شاخص خطر آتش سوزی}$$

$$(شخص معیار انسان ساخت) ۰/۳۰۱ +$$

نقشه آتش سوزی های گذشته و اعتبارسنجی نقشه خطر آتش سوزی
 نقشه آتش سوزی های گذشته در جنگل های بخش سه نکا- ظالمروود در شکل ۹ نشان داده شده است. نتایج هم- پوشانی نقشه خطر آتش سوزی جنگل و نقشه آتش- سوزی های گذشته در جنگل های بخش سه نکا- ظالمروود به منظور اعتبارسنجی مدل ساخته شده برای تهیه نقشه خطر آتش سوزی جنگل در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۹- نقشه آتش سوزی های گذشته



شکل ۱۰- نقشه خطر آتش سوزی و اعتبارسنجی آن براساس آتش سوزی های گذشته

وقوع آتش سوزی جنگل ضروریست. پژوهش های اولیه در خصوص خطر آتش سوزی در جنگل ها به طور عمده به شناسایی متغیرهای مؤثر در آتش سوزی جنگل و ادغام آنها براساس یک مدل ریاضی تأکید کرده اند. همچنین

بحث

برای مدیریت آتش سوزی های فزاینده جنگل ها و خطرهای متعاقب آن و همچنین پیش بینی آتش سوزی های آینده در این اکوسیستم ها بررسی اهمیت عوامل مؤثر در

عمق لاشبرگ هر کدام با وزن $0/1839$ بیشترین وزن را دارا می‌باشند، بنابراین مهمترین عوامل بیولوژیکی مؤثر در وقوع آتش‌سوزی هستند. با توجه به این که تجمع لاشبرگ خشک در فصل پاییز یکی از مهمترین شرایط مطلوب در وقوع آتش‌سوزی‌های جنگل‌های بخش سه نکا ظالمروود است (Anomymous, 2011)، چنین نتایجی منطقی به نظر می‌رسد که باز هم نشان‌دهنده مطلوبیت روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در وزن‌دهی به عوامل مؤثر در وقوع آتش‌سوزی و مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی جنگل است. در مورد معیار اقلیمی، زیرمعیارهای میانگین شدت باد سالیانه (وزن $0/271$) و میانگین درجه حرارت سالیانه ($0/2652$) بیشترین وزن و اهمیت را در وقوع آتش‌سوزی دارا می‌باشند. افزایش درجه حرارت در فصول خشک سال قبلاً هم یکی از مهمترین زمینه‌های وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های نکا عنوان شده است (Anomymous, 2011). همچنین نتایج تحقیق Yousefi and Jalilvand (2010) نیز نشان می‌دهد که در سال ۱۳۷۷ بیشترین وسعت حریق در حوضه اداره منابع طبیعی ساری اتفاق افتاده است که خشکی هوا، کاهش بارندگی و وزش بادهای گرم از جمله عوامل طبیعی محسوب می‌شود که شرایط مساعدی را برای ایجاد آتش‌سوزی‌های گسترده و سطحی در این سال فراهم کرده است. از بین زیرمعیارهای انسان‌ساخت نیز زیرمعیار فاصله از جاده (وزن $0/3736$) و بعد فاصله از مناطق مسکونی (وزن $0/3227$) بیشترین وزن را در وقوع آتش‌سوزی به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به اینکه مهمترین راه دسترسی گردشگران و جنگل‌نشینان به جنگل‌های منطقه جاده‌های جنگلی هستند و این افراد از مهمترین عوامل ایجاد آتش‌سوزی در جنگل‌های بخش سه نکا- ظالمروود هستند، چنین نتایجی منطقی به نظر می‌رسد.

همچنین نتایج نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل نشان می‌دهد که از مجموع مساحت حدود 15400 هکتاری این جنگل‌ها، $14/45$ درصد (2204 هکتار) از منطقه قابلیت خطر بسیار زیاد و $24/29$ درصد (3706 هکتار) آن قابلیت

اغلب آنها فقط به عوامل اقلیمی (Goncalves & Lourenco, 1990; Van Wagner, 1993) و پوشش گیاهی (Maselli et al., 2003; Hernandez-Leal et al., 2006) به تنهایی تمرکز کرده‌اند. درحالی‌که پیش‌بینی طبیعت دینامیک و متغیر آتش‌سوزی جنگل‌ها تنها از طریق شناسایی متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی امکان‌پذیر نیست (Vadrevu et al., 2009). ترکیب روش تحلیل سلسله مراتبی فازی همراه با GIS که در این تحقیق به کار گرفته شد، روش متفاوتی از پژوهش‌های قبلی است که برای پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های آینده در جنگل‌های شمال ایران روش مناسبی به نظر می‌رسد. زیرا بسیاری از متغیرهای مؤثر در خطر آتش‌سوزی جنگل ذاتاً دارای مشخصات فازی هستند.

این تحقیق به منظور شناسایی مناطق پرخطر آتش‌سوزی و پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های آینده در جنگل‌های بخش سه نکا- ظالمروود با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی انجام گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که وزن نهایی معیارهای انسان‌ساخت، بیولوژیکی، اقلیمی و توپوگرافی در قابلیت خطر آتش‌سوزی براساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به ترتیب برابر با $0/301$ ، $0/2595$ ، $0/2315$ و $0/208$ است. بنابراین معیارهای انسان‌ساخت دارای بیشترین تأثیر در خطر آتش‌سوزی جنگل می‌باشند. با توجه به این که طبق گفته کارشناسان اداره منابع طبیعی نیز عامل شروع حدود 90 درصد آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌های بخش سه نکا- ظالمروود انسان‌ها هستند (Anomymous, 2011)، بنابراین نتایج بدست‌آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در خصوص وزن معیارهای اصلی مؤثر در خطر آتش‌سوزی جنگل مطلوب به نظر می‌رسد. بنابراین در مورد زیرمعیارهای معیار توپوگرافی، معیار جهت جغرافیایی با وزن $0/3056$ بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است و پس از آن به ترتیب زیرمعیارهای شیب، فاصله از رودخانه و ارتفاع بیشترین وزن را دارا می‌باشند. در مورد معیار بیولوژیکی نیز زیرمعیارهای نوع پوشش گیاهی، رطوبت لاشبرگ و

این منطقه با استفاده از نقشه قابلیت تهیه شده امکان پذیر خواهد بود. بنابراین اقدامات مدیران جنگل برای پیش-گیری و کنترل آتش سوزی های آینده (مانند ایجاد برج های دیده بانی و استقرار یگان حفاظت در مناطق پرخطر و همچنین احداث آتش بر در محل های مناسب) در مناطق با خطر زیاد آتش سوزی باید با احتیاط بیشتری انجام - گیرد.

تقدیر و تشکر

این تحقیق با حمایت سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح ایران انجام شده که بدینوسیله از مسئولین مربوطه تشکر و قدردانی می گردد.

منابع مورد استفاده

References

- Akbari, D., 2010. Warning of fire in forest areas using remote sensing techniques. Proceedings of the First National Conference on New Geomatic in Service of Society, Tehran, 14 March 2008: 25-30.
- Anonymous, 2011. Statistics and data of fire in 2010 in Mazandaran, Sari. Mazandaran Province Natural Resources Administration Office, Protection Unit, 120 p.
- Anonymous, 2010. Forestry plan of District Three of Neka-Zalemroud forests. Iran's Forests and Rangelands Organization, Mazandaran Natural Resources Administration Office, Iran, 109 p.
- Chang, D.Y., 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95: 649-655.
- Chuvieco, E. and 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.
- Dong, X.U., Li-min, D., Guo-fan, SH., Lei, T. and Hui, W., 2005. Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China. Journal of Forestry Research, 16(3): 169-174.
- Deng, H., 1999. Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparisons. International Journal of Approximate Reasoning, 21: 215-231.
- Erensal, Y.C., Oncan, T. and Demircan, M.L., 2006. Determining key capabilities in technology management using fuzzy analytic hierarchy process: A case study of Turkey. Information Sciences, 176: 2755-2770.
- Erten, E., Kurgun, V. and Musaolu, N., 2005. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and

خطر زیاد برای آتش سوزی دارد. همچنین ۲۸/۸۵ درصد (۴۴۰۳ هکتار) از منطقه دارای قابلیت خطر متوسط، ۲۳/۶ درصد (۳۶۰۱ هکتار) از منطقه دارای قابلیت کم (کم خطر) و ۸/۸۱ درصد (۱۳۴۵ هکتار) از منطقه دارای قابلیت بسیار کم (بسیار کم خطر) برای آتش سوزی است. بنابراین بیشتر منطقه قابلیت متوسط را برای آتش سوزی دارد.

نتایج هم پوشانی نقشه قابلیت خطر آتش سوزی با آتش سوزی های گذشته نشان داد، مناطقی که قبلاً در منطقه دچار حریق شده اند با مناطق بسیار پرخطر و پرخطر از نظر آتش سوزی تا حد زیادی همخوانی دارند و تقریباً ۸۰ درصد از مساحت مناطق سوخته در محدوده بسیار پرخطر و پرخطر برای آتش سوزی قرار گرفته اند. همچنین ۱۷ درصد از مناطق سوخته در محدوده خطر متوسط برای آتش سوزی قرار گرفته اند و مساحت محدوده های کم خطر و بسیار کم خطر در مناطق آتش سوزی های گذشته بسیار محدودتر است (۳ درصد). این نتایج با نتایج پژوهش های دیگر که نشان دادند مناطق آتش سوزی شده با مناطق پرخطر از نظر آتش سوزی هم پوشانی زیادی دارند، همخوانی لازم را دارد (Chuvieco & Congalton, 1989; Dong *et al.*, 2005; Pradhan *et al.*, 2007; Mohammadi *et al.*, 2010; Sowmya & Somashekar, 2010; Salamati *et al.*, 2011; Maeda *et al.*, 2011; Paz *et al.*, 2011).

با توجه به اینکه ۳۸/۷۴ درصد (۵۹۱۰ هکتار) از منطقه قابلیت خطر زیاد و بسیار زیاد برای آتش سوزی دارد، بنابراین جنگل های بخش سه نکا- ظالمروود در معرض آتش سوزی های آینده خواهند بود. بنابراین اقدامات پیش گیری کننده از وقوع آتش سوزی های آینده در این جنگل ها ضروری به نظر می رسد. به علاوه با توجه به اینکه مدل ساخته شده برای وقوع آتش سوزی جنگل بر اساس مقایسه با نتایج آتش سوزی های گذشته اعتبار بالایی را نشان داده است و با اثبات کارایی این مدل برای قابلیت یابی آتش سوزی در جنگل های بخش سه نکا- ظالمروود، پیش بینی آتش سوزی های آینده در جنگل های

- risk: A recent case study from Mt. Carmel (Israel). *Forest Ecology and Management*, 262: 1184–1188.
- Podur, J., Martell, D.L. and Knight, K., 2002. Statistical quality control analysis of forest fire activity in Canada. *Canadian Journal Forest Research*, 32: 195–205.
 - Pradhan, B., Bin Suliman, M.H., Bin Awang, M.A., 2007. Forest fire susceptibility and risk mapping using remote sensing and geographical information systems (GIS). *Proceedings of Disaster Prevention and Management*, 16(3): 344 – 352, Lumpur, India, 3 – 4 May 2006: 7-12.
 - Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York, 270 p.
 - Salamati, H., Mostafalou, H., Mastoori, A. and Honardoost, F., 2011. Evaluation and provision of forest fire risk map using GIS in Golestan forests. *Proceeding of the First International Conference on Fire in Natural Resources*, Gorgan, Iran, 26-28 Oct. 2011: 37-47.
 - Sowmya, S. V. and 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*, 31(6): 969-974.
 - Vadrevu, K.P., Eaturu, A. and Badarinath, K.V.S., 2009. Fire risk evaluation using multicriteria analysis, a case study. *Environment Monitoring Assessment*, DOI: 10.1007/s10661-009-0997-3.
 - Van Wagner, C. E., 1993. Prediction of crown fire behavior in two stands of Jack Pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 18: 818–820.
 - Wang, Y.M., Luo, Y. and Hua, Z., 2008. On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications. *European Journal of Operational Research*, 186: 735-747.
 - Yousefi, A. and Jalilvand, H., 2010. Investigation of fire situation in forest and pasture areas of Mazandaran province (Basin of Sari Natural Resources Administration Office) from 2004 to 2007. *Proceedings of the Second International Conference on Climate Change and Tree Chronology*, Sari, Iran, 12-14 May 2010: 67-82.
 - GIS, a case study. Fire risk report, Civil Engineering Faculty, Remote Sensing Division, 7 p.
 - Feng, C., 1995. Fuzzy multicriteria decision making in distribution of factories: an application of approximate reasoning. *Fuzzy Sets and Systems*, 71: 197-205.
 - Ghodsipour, S.M., 2011. *Analytical Hierarchy Process (Ninth Edition)*. Amirkabir University Press, Tehran, 220 p.
 - Goncalves, Z. J. and Lourenco, L., 1990. Meteorological index of forest fire risk in the Portuguese mainland territory. *Proceedings of the International Conference on Forest Fire Research*, Coimbra, Portugal, 23-24 July 1990: 1–14.
 - Hernandez-Leal, P. A., Arbelo, M. and Gonzalez-Calvo, A., 2006. Fire risk assessment using satellite data. *Advances in Space Research*, 37: 741–746.
 - Jaiswal, R.K., Mukherjee, S., Raju, D.K. and Saxena, R., 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4: 1-10.
 - Kazemi, S. M., 2005. Fire and forest ecosystems. *Livestock, industry and culture journal*: 79-81.
 - Maeda, E. E., Arcoverde, G. F.B., Pellikka, P. K.E. and Shimabukuro, Y.E., 2011. Fire risk assessment in the Brazilian Amazon using MODIS imagery and change vector analysis. *Applied Geography*, 31: 76-84.
 - Maselli, F., Romanelli, S., Bottai, L. and Zipoli, G., 2003. Use of NOAA-AVHRR NDVI images for the estimation of dynamic fire risk in Mediterranean areas. *Remote Sensing of Environment*, 86: 187–197.
 - Mikhailov, L. and Tsvetinov, P., 2004. Evaluation of services using a fuzzy analytic hierarchy process. *Applied Soft Computing*, 5: 23–33.
 - Mohammadi, F., Shabaniyan, N., Pourhashemi, M. and Fatehi, P., 2010. Risk zone mapping of forest fire using GIS and AHP in a part of Paveh forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(4): 569-586.
 - Paz, SH., Carmel, Y., Jahshan, F. and Shoshany, M., 2011. Post-fire analysis of pre-fire mapping of fire-

Fire risk modeling and prediction in district three of Neka-Zalemroud forest, using Geographical Information System

S. Eskandari^{1*}, J. Oladi Ghadikolaei², H. Jalilvand², M. R. Saradjian³

^{1*} - Corresponding author, PhD student, Forestry Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. Iran. Email: saeedeheskandari119@yahoo.com

² - Associate professor, Forestry Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. Iran.

³ - Associate professor, Remote Sensing Division, Surveying Engineering Department, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, IR. Iran.

Received: 16.10.2012

Accepted: 27.03.2013

Abstract

The aim of the study was to predict future fires at District Three of Neka-Zalemroud Forests, using fire risk modeling. Fuzzy Analytical Hierarchy (AHP) method was used to weight the effective fire factors, then map of each factor was developed for modeling sites with fire risk. The fire factors consisted of four major criteria and 17 sub-criteria. The major criteria consisted of topographical, biological, climatical and human factors. The maps of these factors were developed, using DEM and existing data in Neka Corporation Company. In addition, the past fires map was generated, using existing data in the Company and mapping fire patches perimeter by GPS. Verbal scales and results of distributed questionnaires among forest fire experts were used to weight the effective fire factors, using fuzzy AHP. Then relation consistency of each criterion was calculated, in order to investigate accuracy of criteria weight. Results showed that final weight of human, biological, climatical and topographical factors in forest fire risk potential were 0.301, 0.2595, 0.2315 and 0.208, respectively. Local fire risk model was presented, using weight of each criterion and sub-criterion, based on fuzzy AHP. Then map of effective fire factors (17 sub-criteria) was standardized, using fuzzy membership command in GIS and the pixel values of each map were scaled between 0 and 1. Finally, at first major criteria map (using weighted overlay of sub-criteria maps of each criterion) then fire risk map (using weighted overlay of four major criteria maps) was developed, using fire risk model equation. Overall, fire risk map was presented at five classes. Results showed that the sites with high fire risk on the developed map of fire risk potential are highly in accordance with the sites with past fire records which shows the high validation and accuracy of the developed model.

Key words: Fuzzy AHP, topographic, biologic, climatic and human factors, DEM