

ارزیابی پتانسیل خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از مدل Dong.

مطالعه موردی: جنگل‌های بخش سه نکا - ظالم‌رود

* سعیده اسکندری

دانش‌آموخته دکترای مهندسی منابع طبیعی، گرایش جنگلداری،
دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۶/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۶

چکیده

این تحقیق به منظور پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی با استفاده از مدل دانگ در جنگل‌های بخش ۳ نکا-ظالم‌رود در شمال ایران انجام شد. ابتدا مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه از سنجنده ASTER تهیه شد. سپس نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا از مدل رقومی ارتفاع تهیه شد. نقشه‌های نوع و تراکم پوشش گیاهی و عوامل انسان‌ساخت (جاده‌ها، مناطق مسکونی (روستاها) و زمین‌های کشاورزی منطقه) از شرکت سهامی نکاچوب تهیه شد. سپس نقشه‌های بافر (حائل) اطراف جاده‌ها، روستاها و زمین‌های کشاورزی تهیه شد. همه‌ی لایه‌های رقومی مطابق مدل دانگ طبقه‌بندی شدند. در نهایت نقشه‌ی پتانسیل آتش‌سوزی منطقه از روی هم‌گذاری وزنی همه نقشه‌های متغیرهای مؤثر بر اساس مدل دانگ در GIS تهیه شد. نقشه آتش‌سوزی‌های واقعی در منطقه‌ی مورد مطالعه نیز برای ارزیابی نتایج از شرکت سهامی نکاچوب تهیه شد. سپس برای ارزیابی مدل، این نقشه با نقشه‌ی پتانسیل خطر آتش‌سوزی منطقه روی هم‌گذاری شد. نتایج نشان داد که ۵۱ درصد از مناطق آتش‌سوزی‌های واقعی در مناطق پرخطر و بسیار پرخطر قرار گرفته‌اند. این مسأله اعتبار نسبتاً خوب مدل دانگ را برای پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های آینده در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد. با اصلاح این الگو به نظر می‌رسد که از آن بتوان برای سایر مناطق جنگلی شمال نیز برحسب موقعیت مکانی حوضه‌های آبخیز استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل خطر آتش‌سوزی، مدل دانگ، جنگل‌های بخش ۳ نکا-ظالم‌رود، GIS

مقدمه و طرح مسأله

ظهور گونه‌های پست و نامرغوب می‌انجامد که از نظر تجاری ارزشی ندارند. حریق‌های مهیب علاوه‌بر خسارات اقتصادی، آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز به دنبال دارد. هم‌چنین آتش‌سوزی جنگل با منشأ طبیعی یا انسانی، اثرات زیان‌بار و ویرانگری را بر زندگی بشر بر جای می‌گذارد (Podur et al, 2002: 196) و پناهی، ۱۳۸۶: ۶). افزایش وقوع آتش‌سوزی‌های مکرر در جنگل‌های شمال ایران طی سال‌های اخیر، محیط‌زیست، جنگل‌ها، روستاها و ساکنان آن‌ها را در گستره‌ای وسیع با خسارات و تلفات زیادی مواجه کرده است. فشردگی جنگل‌ها در شمال ایران، تمرکز و تداخل آن‌ها در زندگی روزمره ساکنین، دقت در آمار

آتش‌سوزی یکی از مهم‌ترین عوامل مخرب جنگل‌ها محسوب شده، همواره این اکوسیستم‌های حیاتی را تهدید می‌کند (Marozas et al, 2007: 48). آتش‌سوزی در جنگل‌ها سالانه هزاران هکتار از درختان، درختچه‌ها و گیاهان را طعمه‌ی خود می‌سازد (کاظمی، ۱۳۸۴: ۱). به طوری که میانگین سالانه حریق در جنگل‌های جهان شش تا چهارده میلیون هکتار تخمین زده شده است (Encinas et al, 2007: 373) و حریق در صورت وسعت، شدت و تکرار در یک جنگل، سبب تغییر ارزش کیفی گونه‌ها شده و به

سلامتی و همکاران (۱۳۹۰)، نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های استان گلستان را با استفاده از روش AHP با به کارگیری GIS تهیه کردند. بدین منظور فاکتورهای مؤثر در وقوع آتش‌سوزی بر اساس مقایسات زوجی وزن‌دهی و نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی تهیه شد. نتایج نشان داد که چهل درصد منطقه در طبقات پرخطر و بسیار پرخطر قرار دارد.

مهدوی^۱ و همکاران (۲۰۱۲)، مناطق خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های شهرستان ایلام را با استفاده از روش AHP با به کارگیری GIS نقشه‌برداری کردند. متغیرهای مورد استفاده شامل کاربری اراضی، جاده‌ها، رودخانه‌ها و مشخصات اقلیمی، فیزیوگرافی و انسان‌ساخت بودند. موقعیت مناطق آتش‌سوزی گذشته از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ با استفاده از GPS برداشت شد. سپس با استفاده از AHP، وزن متغیرها به منظور ترکیب آن‌ها برای دستیابی به نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی تعیین شد. نتایج نشان داد که پنجاه درصد حریق‌های گذشته در مناطق با خطر بسیار زیاد و چهل درصد آن‌ها در مناطق با خطر زیاد قرار گرفته‌اند که اعتبار بالای مدل ساخته‌شده را نشان می‌دهد.

اسکندری (۱۳۹۲) به‌منظور مدل‌سازی خطر وقوع حریق و تهیه‌ی نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی در بخشی از جنگل‌های شمال ایران از دو روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و همبستگی استفاده کرد. فاکتورهای مورد استفاده شامل چهار معیار اصلی (توپوگرافی، زیست‌شناختی، اقلیمی و انسانی) و هفده زیرمعیار بود. پس از تهیه نقشه‌های کلیه فاکتورها و تعیین وزن همه آن‌ها با دو روش یادشده، مدل‌های خطر آتش‌سوزی به‌دست آمد. سپس نقشه‌های کلیه عوامل مؤثر با در نظر گرفتن وزن آن‌ها بر اساس مدل‌های ساخته‌شده در GIS ترکیب شد و نقشه‌های پتانسیل خطر آتش‌سوزی با دو روش یادشده حاصل گردید. نتایج نشان داد که مناطق پرخطر آتش‌سوزی در نقشه‌های پتانسیل خطر تهیه شده با دو روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و روش همبستگی، تطابق زیادی با مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته داشته است،

آتش‌سوزی‌های گذشته و میزان خسارات به بار آمده از آن‌ها، نشان از اهمیت این مسأله و ارائه راه‌کارهای لازم دارد (محمدزاده و فلاحی، ۱۳۸۶: ۲).

جنگل‌های بخش ۳ نکا- ظالمروود نیز از جمله مناطقی است که در سال‌های اخیر دچار آتش‌سوزی‌های مکرر و مداومی شده است. به‌طوری که 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 (اداره کل منابع طبیعی استان مازندران، ۱۳۹۰: ۱۰). بر اساس آمار و اطلاعات موجود، در سال‌های گذشته چهار فقره آتش‌سوزی شدید در جنگل‌های این منطقه اتفاق افتاده است که بیش‌تر آن‌ها از نوع سطحی و گاه تنه‌ای بوده‌اند (همان: ۶۰) (شکل ۹). بنابراین اقدامات پیشگیرانه از بروز آتش‌سوزی در این جنگل‌ها برای جلوگیری از خسارات جبران‌ناپذیر آن‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است. یکی از مهم‌ترین راه‌های کنترل این آتش‌سوزی‌ها، شناسایی مناطق بحرانی آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه است (Jaiswal et al, 2002: 2).

پیشینه تحقیق

در مورد شناسایی مناطق پرخطر آتش‌سوزی در جنگل‌های ایران، مطالعاتی صورت گرفته است، اما اغلب این تحقیقات نوظاست. محمدی و همکاران (۱۳۸۹) اقدام به تهیه نقشه نواحی دارای خطر آتش‌سوزی جنگل بر پایه عوامل پوشش گیاهی، فیزیوگرافی، اقلیمی و انسانی و فاصله از جاده‌ها و رودخانه‌ها، در بخشی از حوضه پاره‌رود در غرب ایران کردند. با به کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، عوامل مؤثر در وقوع آتش‌سوزی وزن‌دهی شدند و نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی با استفاده از لایه‌های وزنی و ضریب وزنی مربوط به هر یک از عوامل در پنج طبقه تهیه شد. نتایج نشان داد که نود درصد از مناطق آتش‌سوزی‌شده در پهنه‌هایی با خطر زیاد قرار دارند.

ادب^۱ و همکاران (۲۰۱۳)، خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های استان گلستان را با استفاده از RS و GIS مدل‌سازی کردند. شاخص آتش‌سوزی ساختاری، شاخص خطر آتش‌سوزی و شاخص هیبریدی آتش‌سوزی، برای مشخص کردن خطر آتش‌سوزی استفاده شد. لایه‌های مؤثر در حریق با اختصاص مقادیر وزنی به طبقات آن‌ها بر اساس نرخ حساسیت به حریق، در GIS ترکیب شد. داده‌های هات‌اسپات سنجنده MODIS برای اعتبارسنجی شاخص‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که مناطق پرخطر آتش‌سوزی بر اساس شاخص هیبریدی و شاخص ساختاری، تطابق بیش‌تری با هات‌اسپات‌ها دارد. ارزیابی نهایی شاخص‌ها با استفاده از روش منحنی‌های ROC^۲، دقت ۷۶/۶ درصدی شاخص هیبریدی آتش‌سوزی را نسبت به دو شاخص دیگر نشان داد.

با توجه به اهمیت مسأله آتش‌سوزی در جنگل‌ها، تاکنون مطالعات مختلفی در این زمینه در مناطق مختلف دنیا انجام شده است. سازمان خدمات جنگل‌داری کانادا (CFS) بیش از ۷۵ سال است که تحقیقات آتش‌سوزی جنگل را به‌صورت گسترده‌ای انجام می‌دهد (Lee et al, 2002:195) از جمله تحقیقات مربوط به ارزیابی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های جهان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

آلمدیا^۳ (۱۹۹۴)، نقشه مناطق خطر وقوع آتش‌سوزی در بخشی از جنگل‌های پرتغال را بر اساس عوامل گونه‌های جنگلی، شیب، جهت جغرافیایی، فاصله از جاده‌ها و رودخانه‌های دائمی تهیه کرد. متغیرهای مورد نظر بر اساس ضریب خطر آتش‌سوزی به طبقاتی تقسیم شده و با تجزیه و تحلیل داده‌ها در محیط GIS، نهایتاً پنج طبقه خطر برای منطقه به دست آمد. مناطق خطر وقوع آتش‌سوزی دارای شیب بیش از ۴۰ درصد، جهت بین ۱۳۵ تا ۲۲۵ درجه (غربی)، فاصله بیش از ۱۰۰ متر از رودخانه‌های دائمی بوده و اغلب پوشیده از درخت‌زار و بوته‌زار بودند. در

اما دقت روش همبستگی بیش‌تر از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی است.

اسکندری و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای دیگر، کارایی مدل دانگ را برای تعیین قابلیت خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های زرین‌آباد استان مازندران ارزیابی کردند. تمام لایه‌های رقومی با توجه به مدل Dong تهیه و طبقه‌بندی شد. فاکتورهای مورد استفاده شامل نوع و تراکم پوشش گیاهی، شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از جاده‌ها، مناطق مسکونی و زمین‌های زراعی بودند. از روی هم‌گذاری تمام نقشه‌ها در محیط GIS و وزندهی به هر فاکتور با استفاده از مدل یادشده، نقشه قابلیت آتش‌سوزی منطقه در پنج طبقه تهیه و با نقشه آتش‌سوزی‌های گذشته روی هم‌گذاری شد. نتایج نشان داد که تقریباً ۴۰ درصد از محدوده‌ی مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته در مکان‌هایی قرار گرفته‌اند که قابلیت زیاد یا بسیار زیادی برای آتش‌سوزی دارد که نشان‌دهنده‌ی اعتبار متوسط مدل مورد استفاده است. بنابراین در ادامه، اصلاح مدل مذکور انجام شد و وزن لایه‌ها بر اساس اهمیت آن‌ها در منطقه مورد مطالعه تغییر یافت و مدل جدیدی ارائه شد. نقشه قابلیت جدید بر اساس مدل اصلاحی مجدداً تهیه و با نقشه‌ی مناطق آتش‌سوزی گذشته روی هم‌گذاری شد. نتایج نشان داد که تقریباً هشتاد درصد از محدوده‌ی مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته در نقاطی قرار گرفته‌اند که قابلیت زیاد یا بسیار زیادی برای آتش‌سوزی دارند که نشان‌دهنده‌ی اعتبار قابل توجه مدل اصلاح شده برای منطقه مورد مطالعه است.

زرع‌کار و همکاران (۱۳۹۲)، نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی در سه حوزه‌ی جنگلی استان گیلان را با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و GIS تهیه کردند. با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، وزن تمام عوامل مؤثر در وقوع حریق به دست آمد و از روی هم‌گذاری نقشه‌های همه لایه‌های مؤثر در آتش‌سوزی، نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی حاصل شد. نتایج نشان داد که ۶۶ درصد از مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته در مناطق پرخطر و بسیار پرخطر قرار گرفته‌اند.

1- Adab
2- Receiver Operating Characteristic
3- Almedia

مختلف زیست‌محیطی را با استفاده از مدل‌های طبقه‌بندی و رگرسیونی درختی با به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای مدل‌سازی کردند و مدلی را برای احتمال وقوع آتش‌سوزی بر اساس مشخصات توپوگرافی، قابلیت دسترسی، نوع پوشش و تاریخچه آتش‌سوزی در مناطق مدیترانه‌ای ارائه دادند. نتایج نشان داد که وقوع آتش‌سوزی با فاکتورهای محیطی در مقیاس‌های مکانی مختلف ارتباط زیادی دارد و اغلب مناطق خطر وقوع آتش‌سوزی در بوته‌زارها و شیب‌های تند واقع شده است. به‌علاوه مدل‌های مکانی آتش‌سوزی با مکان‌های آتش‌سوزی گذشته ارتباط زیادی دارد.

وادروو^۵ و همکاران (۲۰۰۹)، خطر وقوع آتش‌سوزی جنگل در ایالت اندهرا پرادش^۶ هند را با استفاده از آنالیز چندمعیاره در قالب روش تحلیل سلسله‌مراتبی و با استفاده از داده‌های اقتصادی-اجتماعی، اقلیمی، پوشش گیاهی و توپوگرافی مدل‌سازی کردند. تمام داده‌ها در سطح مکانی در GIS سازمان‌دهی شدند و نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی تهیه شد. نتایج نشان داد که مناطق خطر وقوع با پیکسل‌های آتش مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای، تا ۶۴/۴ درصد همخوانی دارند که نشان‌دهنده اعتبار مدل ساخته شده در شناسایی مناطق بحرانی خطر وقوع آتش‌سوزی است.

پرا و کوی^۷ (۲۰۱۰) نیز رژیم‌های آتش‌سوزی در اونتاریو^۸ کانادا را پیش‌بینی و مدل‌سازی کردند و نقشه احتمال وقوع آتش‌سوزی را بر اساس فاکتورهای شیب، جهت، پوشش گیاهی، رطوبت خاک و غیره در پنج طبقه تهیه کردند. نتایج نشان داد که مدل شبیه‌سازی آتش‌سوزی با آتش‌سوزی‌های گذشته همخوانی دارد. پاز^۹ و همکاران (۲۰۱۱) نیز نقشه خطر آتش‌سوزی‌ای را که برای منطقه کارمل^{۱۰} اسرائیل در سال ۲۰۰۹ تهیه کرده بودند، با آتش‌سوزی واقعی که

تحقیق مشابه دیگری برای شناسایی مناطق حساس به حریق در جنگل‌های هندوستان از داده‌های ماهواره‌ای IRS LISS و پایگاه داده‌ها در GIS استفاده شد. فاکتورهای مؤثر در وقوع آتش‌سوزی جنگل بر اساس وزن و درجه‌ی اهمیت هر یک ادغام شد. در مدل به کار گرفته شده به ترتیب پوشش گیاهی، شیب و فاصله از مناطق مسکونی و جاده‌ها بیش‌ترین اهمیت را داشتند. نتایج نشان داد که مناطق پرخطر با آتش‌سوزی‌های گذشته همپوشانی دارد (Jaiswal et al, 2002: 9)

دانگ^۱ و همکاران (۲۰۰۵)، روشی ترکیبی با RS و GIS را برای نقشه‌برداری مناطق خطر آتش‌سوزی با استفاده از نقشه‌های عوامل مؤثر در حریق در حوضه‌ی جنگل‌داری بیهه^۲ چین توسعه دادند. مناطق خطر آتش‌سوزی با اختصاص وزن‌های معقول به طبقات همه لایه‌های فاکتورهای مؤثر در آتش‌سوزی مشخص شدند. سپس 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. هم‌چنین ارتن^۳ و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیق دیگری، مناطق خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های گالی‌پولی ترکیه را با توجه به مدل دانگ و با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و GIS نقشه‌برداری کردند. در این تحقیق، قبل و بعد از وقوع آتش‌سوزی از تصویر TM استفاده شد. سایر اطلاعات از نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ استخراج و در محیط GIS برحسب وزن و اهمیت آن‌ها در ایجاد حریق، ادغام شد. نتایج نشان داد که در مناطق با پوشش گیاهی خشک، شیب زیاد، جهت جنوبی و نزدیک به جاده و مناطق مسکونی، پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی بالاست.

لوزانو^۴ و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی دیگر، ارتباط میان احتمال وقوع آتش‌سوزی و فاکتورهای

5- Vadrevu
6- Andhra Pradesh
7- Perera and Cui
8- Ontario
9- Paz
10- Carmel

1- Dong
2- Baihe
3- Erten
4- Lozano

هدف از این مطالعه، تعیین یک مدل ارزیابی خطر صحیح برای منطقه مورد مطالعه بود. بر همین اساس، سه مدل پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی انتخاب شد. نتایج هر کدام از مدل‌ها با تاریخچه آتش‌سوزی‌های گذشته مقایسه شد. بدین منظور مدل‌های کاسرس^۶ (۲۰۱۱)، اوزلکان^۷ (۲۰۰۹) و ادب (۲۰۱۱) که هر یک دربردارنده شاخص‌های مختلف آتش‌سوزی بودند، استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل ادب، اوزلکان و کاسرس به ترتیب بیش‌ترین دقت را در پیش‌بینی مناطق خطر آتش‌سوزی داشته‌اند.

با بررسی تحقیقات انجام‌شده می‌توان به این نتیجه رسید که در اکثر این مطالعات برای ارزیابی پتانسیل خطر آتش‌سوزی از فاکتورهای محیطی مختلف استفاده شده و اغلب آن‌ها از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی به این فاکتورها استفاده کرده و به اختصاص وزن مناسب به متغیرهای محیطی تأکید کرده‌اند. همچنین اغلب این مطالعات از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان ابزاری کارآمد در پتانسیل‌یابی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌ها استفاده کرده‌اند. به طوری که اهمیت کاربرد GIS به‌عنوان سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای مدیریت کارآمد و پیش‌بینی آتش‌سوزی در جنگل‌ها محرز شده است (Akpınar and Usul, 2003: 3). در این میان استفاده از مدلی که با اختصاص وزن مناسب به متغیرهای محیطی مؤثر در وقوع آتش‌سوزی، نتایج مطلوبی را به‌همراه داشته باشد، اهمیت بسیار زیادی دارد. از این‌رو با توجه به اهمیت مسأله پیش‌بینی آتش‌سوزی جنگل‌ها با استفاده از ابزار توانمند تحلیل مکانی از یک طرف و با توجه به وقوع آتش‌سوزی‌های مکرر در جنگل‌های بخش ۳ نکا-ظالمرو از طرف دیگر، این تحقیق در نظر دارد مناطق خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های این منطقه را با استفاده از مدل دانگ و همکاران (۲۰۰۵) شناسایی و ضمن تهیه نقشه پتانسیل آتش‌سوزی و اعتبارسنجی آن، مناطق بحرانی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه را به

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 نقشه‌ی پتانسیل تهیه شده قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده ضریب اطمینان بالای مدل مورد استفاده برای پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های آینده است.

چوویکو^۱ و همکاران (۲۰۱۲)، خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های اسپانیا را با استفاده از چهارچوبی از داده‌های مکانی ارزیابی کردند. ابتدا چهارچوب مدل تعریف شده و سپس متغیرهای ورودی تهیه شد و برای به‌دست آوردن شاخص‌های خطر آتش‌سوزی ترکیب شدند. در نهایت اعتبارسنجی مدل انجام گرفت. خطر آتش‌سوزی شامل متغیرهای انسانی، رعد و برق، میزان رطوبت سوخت مرده و زنده و پتانسیل گسترش آتش‌سوزی بود. شاخص‌های بروز و گسترش آتش‌سوزی با استفاده از آخرین آمار آتش‌سوزی در دسترس، اعتبارسنجی شد. نتایج، روابط معنی‌داری را بین وقوع آتش‌سوزی و مهم‌ترین شاخص‌های خطر ساخته‌شده نشان داد. در مطالعه دیگری، تاکور و سینگ^۲ (۲۰۱۴)، خطر آتش‌سوزی جنگل در منطقه دهرادون^۳ هند را با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی و GIS زون‌بندی کردند. بدین منظور عوامل رطوبت پوشش گیاهی، شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از جاده و مناطق مسکونی در نظر گرفته شد. این فاکتورها بر اساس تأثیرشان در خطر آتش‌سوزی وزن‌دهی شدند. نتایج نشان داد که ۹۸ درصد مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته در مناطق پرخطر و خطر متوسط آتش‌سوزی قرار گرفته‌اند. همچنین نتایج نشان داد که بیش‌تر آتش‌سوزی‌ها در منطقه مورد مطالعه طبیعی بوده و ناشی از عوامل انسان ساخت نیست.

در مطالعه دیگری گردزوا^۴ (۲۰۱۴)، آنالیزی مقایسه‌ای از مدل‌های مختلف ارزیابی خطر آتش‌سوزی در منطقه اسمولیان^۵ بلغارستان ارائه داد.

- 1- Chuvieco
- 2- Thakur and Singh
- 3- Dehradun
- 4- Gerdzheva
- 5- Smolyan

6- Caceres

7- Ozelkan

گرفتن مهم‌ترین اجزای مرتبط با وقوع آتش‌سوزی انجام شود. به عبارت دیگر برای پهنه‌بندی خطر وقوع آتش‌سوزی در مناطق جنگلی، نیاز به مدلی مناسب و بهینه است. مدل‌های ریسک آتش‌سوزی، زمینه مناسبی را برای درک خطر آتش‌سوزی فراهم می‌کنند (Adab et al., 2013: 1724). برای برآورد اینکه آتش‌سوزی در چه زمان و مکانی اثرات نامطلوبی خواهد داشت، نیاز به مدلی است که هم بروز آتش و پتانسیل گسترش آن و هم آسیب‌پذیری آتش‌سوزی را در نظر بگیرد (Chuvieco et al., 2012: 2). برای انتخاب بهترین مدل خطر وقوع آتش‌سوزی جنگل، در نظر گرفتن مؤثرترین فاکتورها با اختصاص وزن مناسب به آنها اهمیت بسزایی دارد.

روش تحقیق

با توجه به این که برای تهیه نقشه‌ی پتانسیل خطر آتش‌سوزی از فاکتورهای مختلفی که در وقوع آتش‌سوزی تأثیر دارند استفاده می‌شود، در این تحقیق پس از بررسی مدل‌های مختلف، مدل دانگ و همکاران به‌عنوان یکی از کاربردی‌ترین مدل‌ها برای تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی استفاده شد. زیرا مهم‌ترین عامل مؤثر در وقوع آتش‌سوزی جنگل در آن لحاظ شده است. مدل یادشده عبارت است از:

$$Rc = 7(V_t + V_d) + 5(S + A + E) + 3(D_f + D_r + D_s)$$

که در آن Rc، شاخص عددی پتانسیل آتش‌سوزی، V_t نوع پوشش گیاهی، V_d تراکم پوشش گیاهی، S شیب، A جهت، E ارتفاع از سطح دریا، D_r فاصله از جاده، D_f فاصله از زمین‌های کشاورزی و D_s فاصله از مناطق مسکونی (روستا) است. ضمناً اعداد صحیح (ضرایب) نشان‌دهنده وزن هر فاکتور (وزن برون لایه‌ای) است.

روش تهیه نقشه‌های معیارهای مؤثر در آتش‌سوزی نقشه پتانسیل آتش‌سوزی و نقشه آتش‌سوزی‌های گذشته: برای انجام این تحقیق، ابتدا مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه از

مدیران جنگل معرفی کند تا حتی‌المقدور راه‌کاری را برای پیشگیری از وقوع حریق‌های آینده در جنگل‌های منطقه ارائه دهد.

مفاهیم، دیدگاه و مبانی نظری: طبق تعریف سازمان خوار و بار جهانی، خطر وقوع آتش‌سوزی جنگل، شانس شروع آتش‌سوزی از طریق حضور یا فعالیت هر عامل مؤثر می‌باشد (FAO, 1986: 5). بر اساس تعریفی دیگر، خطر آتش‌سوزی میزان پتانسیل منابع احتراق است (Canadian Forest Service, 1997: 10). خطر آتش‌سوزی^۱ جنگل، مجموعه‌ای از دو جزء خطر شروع آتش‌سوزی^۲ و گسترش^۳ آن است (Chuvieco and Congalton, 1989: 148). ریسک آتش‌سوزی^۴ ترکیبی از دو واژه خطر آتش‌سوزی (احتمال شروع و گسترش آن) و آسیب‌پذیری ناشی از آتش‌سوزی^۵ (پیامد یا نتیجه آتش‌سوزی) می‌باشد (Chuvieco, et al., 2003: 198). خطر کلی بستگی به سوخت و حساسیت‌پذیری آن به سوختن و حضور عوامل خارجی (چه انسانی و چه طبیعی) دارد. به علاوه خطر آتش‌سوزی به معنای ارزیابی عوامل ثابت و متغیر محیط آتش‌سوزی (سوخت، آب و هوا و توپوگرافی) است که سهولت احتراق، سرعت گسترش، دشواری کنترل و اثرات آتش‌سوزی‌های مهیب را تعیین می‌کند (Merril and Alexander, 1987: 15; Taylor and Alexander, 2006: 122).

پهنه‌بندی خطر وقوع آتش‌سوزی به‌عنوان یک پیش‌نیاز برای طرح مدیریت آتش‌سوزی جنگل محسوب می‌شود. به عبارت دیگر، پیش‌بینی مکانی احتمال وقوع و پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی در مناطق مختلف، امکان مدیریت بهتر آتش‌سوزی جنگل را فراهم می‌کند (میردیلمی و شتایی، ۱۳۹۰: ۲). ارزیابی خطر آتش‌سوزی و پهنه‌بندی وقوع آن، باید با در نظر

- 1- Fire danger
- 2- Ignition
- 3- Propagation
- 4- Fire risk
- 5- Fire vulnerability

در GIS رقومی شد. سپس در اطراف جاده‌ها بافرهای ۲۰۰ متری و در اطراف روستاها و زمین‌های کشاورزی در نقشه‌های یاد شده، بافرهای ۱۰۰۰ متری زده شد و هر کدام از این نقشه‌ها با توجه به مدل دانگ و همکاران طبقه‌بندی شد. نحوه‌ی اختصاص وزن درون‌لایه‌ای (ارزش‌های بین ۰ تا ۱۰) به طبقات هر یک از نقشه‌های متغیرهای مؤثر در آتش‌سوزی، برحسب حساسیت هر طبقه به حریق، در جدول (۱) نشان داده شده است.

سنجنده ASTER با اندازه پیکسل ۲۵ متر در ۲۵ متر تهیه شد. با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، نقشه‌های شیب (در پنج طبقه)، جهت‌های جغرافیایی (در پنج طبقه) و ارتفاع از سطح دریا (در پنج طبقه) تهیه شد. نقشه‌های نوع و تراکم پوشش گیاهی منطقه از شرکت سهامی نکاچوب تهیه و در GIS رقومی شد. سپس نقشه‌های نوع و تراکم پوشش گیاهی برحسب حساسیت به آتش‌سوزی طبقه‌بندی شد. نقشه‌های جاده‌ها، مناطق مسکونی (روستاها) و زمین‌های کشاورزی منطقه نیز از شرکت سهامی نکاچوب تهیه و

جدول ۱- اختصاص وزن به طبقات نقشه‌های معیارهای مؤثر در آتش‌سوزی در GIS

امتیاز (وزن درون‌لایه‌ای)	حساسیت به آتش	طبقات	ضریب (وزن برون‌لایه‌ای)	معیار
۱۰	خیلی زیاد	منطقه حفاظت‌شده	۷	نوع پوشش گیاهی
۹	خیلی زیاد	ممرز- راش و راش - ممرز		
۸	زیاد	ممرز و بوته‌زار		
۷	زیاد	ممرز- انجیلی		
۶	متوسط	انجیلی- ممرز		
۵	متوسط	جنگل کاری سوزنی‌برگ		
۴	متوسط	بلوط		
۳	کم	آزاد- بلوط		
۲	کم	آمیخته		
۱	خیلی کم	کشاورزی		
۰	بدون خطر	عرصه سنگلاخی	۷	تراکم پوشش گیاهی (مترمکعب در هکتار)
۱۰	خیلی زیاد	منطقه حفاظت‌شده		
۹	خیلی زیاد	بیش از ۳۵۰ مترمکعب در هکتار		
۸	زیاد	۲۰۰-۳۵۰ مترمکعب در هکتار		
۶	متوسط	۱۰۰-۲۰۰ مترمکعب در هکتار		
۵	کم	کم‌تر از ۱۰۰ مترمکعب در هکتار		
۴	خیلی کم	جنگل کاری سوزنی‌برگ		
۰	بدون خطر	کشاورزی	۵	شیب (درصد)
۱۰	خیلی زیاد	بیش از ۴۰ درصد		
۸	زیاد	۳۰-۴۰ درصد		
۶	متوسط	۲۰-۳۰ درصد		
۲	کم	۱۰-۲۰ درصد		
۰	خیلی کم	۰-۱۰ درصد	۵	جهت
۱۰	خیلی زیاد	جنوبی		
۸	زیاد	غربی		
۴	متوسط	بدون جهت (مسطح)		
۲	کم	شرقی		
۰	خیلی کم	شمالی		

ادامه جدول ۱ -

امتیاز (وزن درون لایه‌ای)	حساسیت به آتش	طبقات	ضریب (وزن برون لایه‌ای)	معیار
۱۰	خیلی زیاد	۱۱-۱۵۰ متر	۵	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۸	زیاد	۱۵۰-۳۰۰ متر		
۶	متوسط	۳۰۰-۴۵۰ متر		
۴	کم	۴۵۰-۶۰۰ متر		
۰	خیلی کم	بیش از ۶۰۰ متر		
۱۰	خیلی زیاد	۰-۲۰۰ متر	۳	فاصله از جاده (متر)
۸	زیاد	۲۰۰-۴۰۰ متر		
۶	متوسط	۴۰۰-۶۰۰ متر		
۴	کم	۶۰۰-۸۰۰ متر		
۲	خیلی کم	بیش از ۸۰۰ متر		
۱۰	خیلی زیاد	۰-۱۰۰۰ متر	۳	فاصله از منطقه مسکونی (متر)
۸	زیاد	۱۰۰۰-۲۰۰۰ متر		
۶	متوسط	۲۰۰۰-۳۰۰۰ متر		
۴	کم	۳۰۰۰-۴۰۰۰ متر		
۲	خیلی کم	بیش از ۴۰۰۰ متر		
۱۰	خیلی زیاد	۰-۱۰۰۰ متر	۳	فاصله از زمین زراعی (متر)
۸	زیاد	۱۰۰۰-۲۰۰۰ متر		
۶	متوسط	۲۰۰۰-۳۰۰۰ متر		
۴	کم	۳۰۰۰-۴۰۰۰ متر		
۲	خیلی کم	بیش از ۴۰۰۰ متر		

گذاری شد؛ به طوری که در صورت هم پوشانی مناطق بحرانی خطر در نقشه پتانسیل آتش سوزی با نقشه آتش سوزی های گذشته، صحت مدل مورد استفاده اثبات خواهد شد. برای اعتبارسنجی کمی نقشه پتانسیل آتش سوزی حاصل از مدل دانگ و همکاران، مساحت طبقات پرخطر و بسیار پرخطر آتش سوزی در محدوده‌ی آتش سوزی های گذشته محاسبه شد.

محدوده و قلمرو پژوهش: حدود این تحقیق، بخش ۳ طرح جنگل داری نکا- ظالمروود است که در حوضه آبخیز ۷۷ و در جنوب شهرهای نکا- بهشهر در استان مازندران واقع شده است. این بخش جزء مجتمع جنگلی نکا- ظالمروود و در حوضه رودخانه نکا به فاصله حدود ۱۵ کیلومتری شهرستان نکا و در امتداد جاده نکا- بهشهر قرار دارد. بخش ۳ طرح جنگل داری نکا- ظالمروود با وسعت حدود ۱۵۳۰۷/۲ هکتار در عرض شمالی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه و ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه

از روی هم گذاری وزنی تمام این نقشه ها در محیط GIS و دادن وزن اختصاصی به هر فاکتور با استفاده از مدل دانگ و همکاران (وزن ۷ برای نوع و تراکم پوشش گیاهی، وزن ۵ برای شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا، وزن ۳ برای فاصله از جاده ها، زمین های کشاورزی و مناطق مسکونی) با استفاده از رویه‌ی Raster calculator در محیط GIS، نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی منطقه در پنج طبقه تهیه شد. نقشه آتش سوزی های واقعی در منطقه مورد مطالعه نیز برای ارزیابی نتایج از شرکت سهامی نکاچوب تهیه و در GIS رقومی شد.

روش اعتبارسنجی مدل دانگ و همکاران برای تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی: به منظور اعتبارسنجی کیفی مدل دانگ و همکاران برای تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی، نقشه پتانسیل آتش سوزی منطقه با نقشه آتش سوزی های گذشته روی هم

نقشه شیب منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نقشه جهت منطقه مورد مطالعه نیز در پنج طبقه شامل چهار جهت اصلی و یک طبقه بدون جهت تهیه شد (شکل ۲). با توجه به این‌که دامنه ارتفاعی جنگل‌های بخش ۳ نکا-ظالمروود نکا از ۱۱ تا ۸۷۴ متر است و با توجه به مدل مورد استفاده، نقشه طبقات ارتفاع در پنج طبقه تهیه شد (شکل ۳).

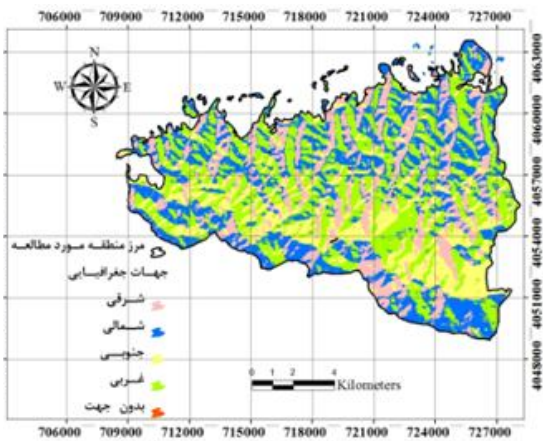
شکل‌های (۴) و (۵)، نقشه‌های تراکم و نوع پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در منطقه مورد مطالعه، چندین مسیر جاده اصلی وجود دارد که نقشه بافر در اطراف آن‌ها در شکل (۶) نشان داده شده است. نقشه بافر در اطراف زمین‌های کشاورزی منطقه مورد مطالعه نیز در شکل (۷) نشان داده شده است. هم‌چنین در محدوده جنگل‌های بخش ۳ نکا-ظالمروود، ده روستا وجود دارد که موقعیت این روستاها و حریم‌های در نظر گرفته شده در اطراف آن‌ها در شکل (۸) نشان داده شده است.

در نهایت نقشه‌های رقومی تمام فاکتورهای مؤثر در وقوع آتش‌سوزی بر اساس مدل دانگ و همکاران در GIS روی هم‌گذاری وزنی شد. با در نظر گرفتن ارزش‌های مناسب برای طبقات هر کدام از این نقشه‌ها (وزن درون‌لایه‌ای) و هم‌چنین اختصاص وزن مناسب به هر لایه رقومی (وزن برون‌لایه‌ای) با توجه به مدل دانگ و همکاران، نقشه نهایی پتانسیل آتش‌سوزی منطقه تهیه شد (شکل ۱۰). در محدوده مورد مطالعه در سال‌های گذشته، چهار آتش‌سوزی نسبتاً وسیع به وقوع پیوسته است. شکل (۹)، نقشه مناطق آتش‌سوزی گذشته را نشان می‌دهد.

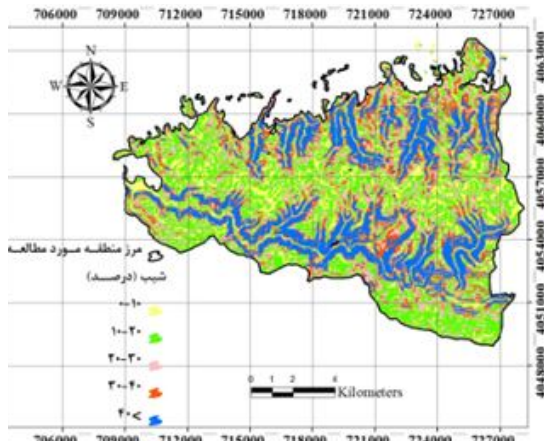
و طول شرقی ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه و ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه درجه واقع شده است. از شرق به یال چاخانی در دامنه‌ی راست (شمال مهربان‌رود) و یال سوترآباد روی دامنه چپ (جنوب مهربان‌رود)، از غرب به یال آبلو، از جنوب به یال زرن‌دین-خرم چماز و از شمال نیز به جاده آسفالت‌نکا-بهشهر محدود می‌شود. بخش ۳ از ارتفاعات کوتاه تا نسبتاً بلند با شیب توپوگرافی غالباً ملایم، عمق خاک نسبتاً زیاد و پوشش جنگلی نسبتاً انبوه تشکیل شده است. حداقل ارتفاع آن از سطح دریای آزاد، حدود ۱۱ متر و حداکثر ارتفاع آن ۸۷۴ متر است. جنگل‌های این منطقه از نوع دانه‌زاد ناهمسال و آمیخته است. گونه‌های گیاهی منطقه شامل انواع گونه‌های درختی از جمله 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 آسپرولا، کارکس، کوله‌خاس، سیکلامن، بنفشه، پامچال، تمشک، سرخس و غیره است. بخش ۳ 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 آسفالت‌نکا است. جاده‌ها عمدتاً جاده‌ی جنگلی درجه دو محسوب می‌شود. این بخش به هفت سری تقسیم شده است که طی سال‌های گذشته، سابقه حریق‌های شدید و وسیع را داشته‌اند (شرکت سهامی نکاچوب، ۱۳۸۹: ۱۵).

بحث اصلی

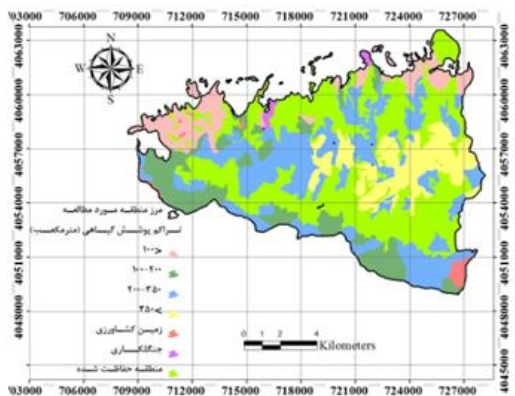
نقشه معیارهای مؤثر در آتش‌سوزی، نقشه پتانسیل آتش‌سوزی و نقشه آتش‌سوزی‌های گذشته: نقشه شیب منطقه مورد مطالعه با توجه به مدل مورد استفاده در پنج طبقه تهیه شد. شکل (۱)،



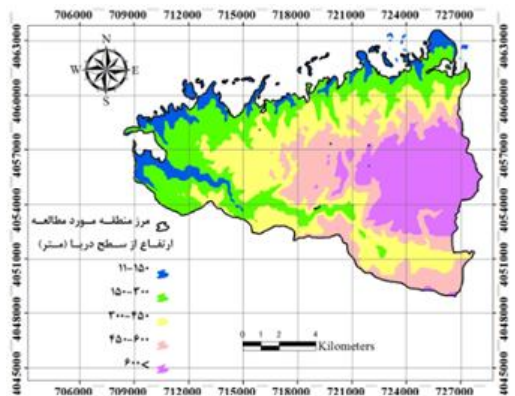
شکل ۲- نقشه جهت‌های جغرافیایی



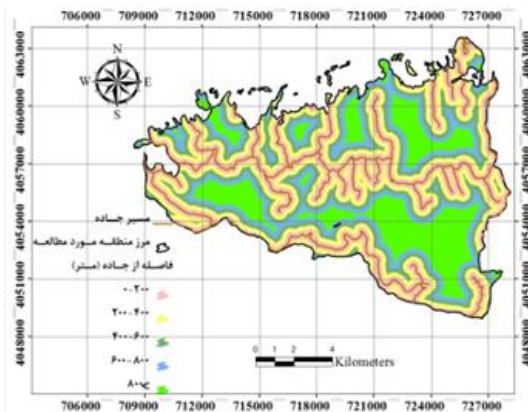
شکل ۱- نقشه شیب



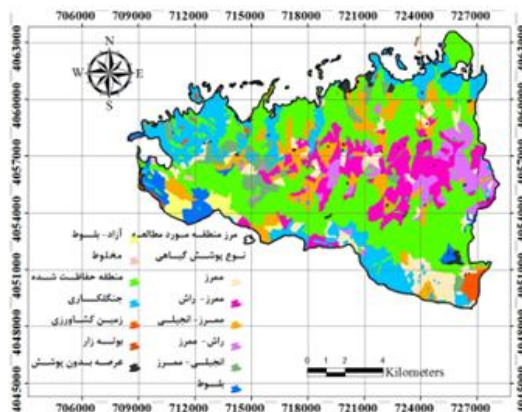
شکل ۴- نقشه تراکم پوشش گیاهی



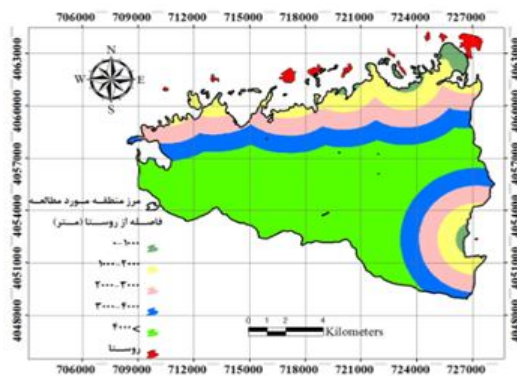
شکل ۳- نقشه ارتفاع از سطح دریا



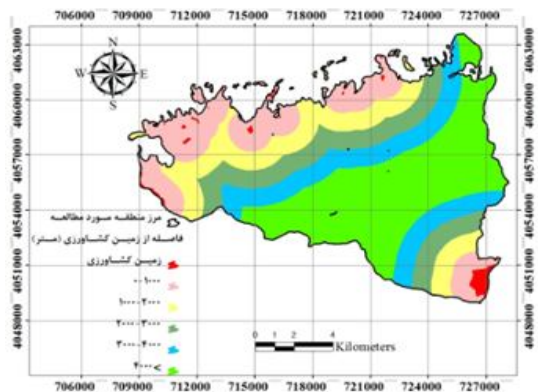
شکل ۶- نقشه بافر اطراف جاده‌های جنگلی



شکل ۵- نقشه نوع پوشش گیاهی



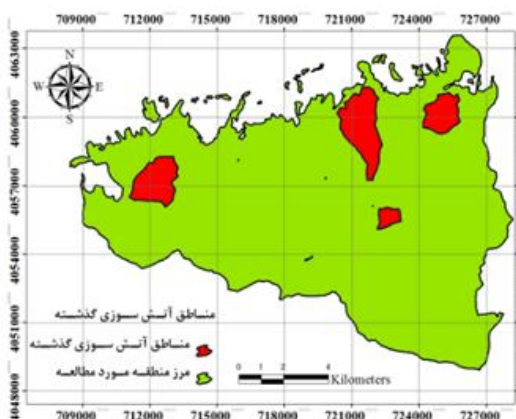
شکل ۸- نقشه بافر اطراف روستاها



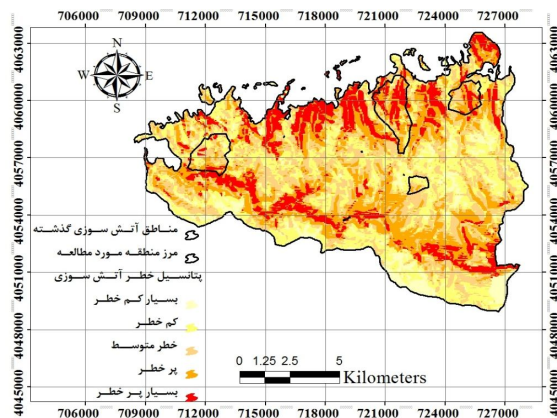
شکل ۷- نقشه بافر اطراف زمین‌های کشاورزی

آتش سوزی و نقشه مناطق آتش سوزی گذشته در جنگل‌های بخش ۳ نکا- ظالمروود در GIS روی هم گذاری شد (شکل ۱۰). نتایج اعتبارسنجی کمی نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی حاصل از مدل دانگ و همکاران در جدول (۲) آورده شده است.

اعتبارسنجی مدل دانگ برای تهیه نقشه خطر پتانسیل آتش سوزی: به منظور تعیین صحت و درجه اعتبار مدل دانگ و همکاران برای تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی، از داده‌های واقعی آتش سوزی‌های گذشته استفاده شد. بدین منظور، نقشه پتانسیل خطر



شکل ۱۰- نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی و اعتبارسنجی آن



شکل ۹- نقشه آتش سوزی‌های گذشته

جدول ۲- اعتبارسنجی کمی نقشه پتانسیل خطر آتش سوزی با استفاده از آتش سوزی‌های گذشته

شماره آتش سوزی	مساحت (هکتار)	مساحت طبقات بسیار پرخطر و پرخطر در محدوده آتش سوزی (هکتار)	همبستگی
۱	۳۱۳/۷۹	۹۶/۴۴	۰/۳۱
۲	۴۴۳/۶۹	۲۹۹/۳۶	۰/۶۷
۳	۲۱۲/۱۴	۱۲۱/۱۷	۰/۵۷
۴	۶۹/۸۷	۱۱/۰۱	۰/۱۵
کل	۱۰۳۹/۵۰	۵۲۸/۰۰۱۲	۰/۵۱

شد. نتایج استفاده از این مدل در پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع آتش سوزی نشان داد که از مجموع مساحت حدود ۱۵۳۰۷/۲ هکتاری این جنگل‌ها، ۱۵ درصد از منطقه، پتانسیل خطر بسیار زیاد و ۲۳ درصد آن

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این تحقیق به منظور شناسایی مناطق پرخطر آتش سوزی در جنگل‌های بخش ۳ نکا- ظالمروود انجام

مکان‌هایی واقع شده است که قبلاً در آن‌ها آتش‌سوزی اتفاق افتاده است (Dong et al., 2005).

این مسأله می‌تواند بیانگر این باشد که مدل دانگ و همکاران برای پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های چین کارایی بیش‌تری نسبت به جنگل‌های شمال ایران دارد و به عبارت دیگر مدل یادشده برای جنگل‌های چین با توجه به شرایط خاص آن‌ها بومی‌سازی شده است. در حالی که نتیجه‌ی این تحقیق و نتیجه تحقیق مشابه انجام‌گرفته با استفاده از مدل دانگ در جنگل‌های زمین‌آباد استان مازندران (اسکندری و دیگران، ۱۳۹۲) نشان‌دهنده اعتبار نسبتاً خوب و متوسط این مدل برای تهیه نقشه پتانسیل آتش‌سوزی در جنگل‌های شمال ایران است که البته بومی‌سازی این مدل با توجه به شرایط جنگل‌های ایران ضروری به نظر می‌رسد. از این‌رو برای استفاده از مدل دانگ و همکاران برای تهیه نقشه‌ی پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های ایران لازم است که این مدل ابتدا با توجه به شرایط جنگل‌های ایران و در نظر گرفتن کلیه‌ی فاکتورهای محیطی مؤثر در وقوع آتش‌سوزی این جنگل‌ها (به عنوان مثال عمق لاشبرگ، متغیرهای اقلیمی و غیره) و یا تغییر وزن (ضریب) متغیرها اصلاح و بومی‌گردد و سپس به کار گرفته شود تا صحت آن با داده‌های واقعی آتش‌سوزی در هر منطقه بیش‌تر شود. به طوری که در تحقیق دیگری در جنگل‌های شمال ایران نیز اصلاح مدل دانگ بر اساس تغییر وزن متغیرها انجام شده و نتایج نشان داده که بر اساس مدل اصلاح‌شده‌ی دانگ، تقریباً ۸۰ درصد از محدوده مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته در نقاطی قرار گرفته‌اند که قابلیت بسیار زیاد یا زیادی برای آتش‌سوزی دارند که نشان‌دهنده اعتبار قابل توجه مدل اصلاح‌شده دانگ برای منطقه مورد مطالعه است (همان).

با توجه به این‌که با استفاده از مدل یادشده، ۳۸ درصد منطقه پتانسیل خطر زیاد و بسیار زیاد برای آتش‌سوزی دارد، جنگل‌های منطقه مورد مطالعه در معرض آتش‌سوزی‌های آینده خواهد بود. بنابراین اقدامات پیشگیرانه برای جلوگیری از آتش‌سوزی‌های

پتانسیل زیاد برای آتش‌سوزی دارد. هم‌چنین ۲۹ درصد از منطقه دارای پتانسیل خطر متوسط، ۲۵ درصد از منطقه دارای پتانسیل کم (کم‌خطر) و ۸ درصد از منطقه دارای پتانسیل بسیار کم (بسیار کم‌خطر) برای آتش‌سوزی است. از این‌رو بیش‌تر منطقه (۳۸ درصد) پتانسیل زیاد (پرخطر و بسیار پرخطر) برای آتش‌سوزی دارد.

نتایج روی‌هم‌گذاری نقشه پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی بر اساس مدل دانگ و همکاران با نقشه مناطق آتش‌سوزی گذشته نشان داد که مناطقی که قبلاً در منطقه دچار حریق شده‌اند، هم‌پوشانی نسبتاً خوبی با مناطق پرخطر و بسیار پرخطر از نظر آتش‌سوزی دارند و تقریباً نیمی از مساحت مناطق سوخته (۵۱ درصد) در محدوده پرخطر و بسیار پرخطر قرار گرفته‌اند. هم‌چنین ۳۰ درصد از مناطق سوخته در محدوده‌ی با خطر متوسط برای آتش‌سوزی قرار گرفته‌اند و مساحت محدوده‌های کم‌خطر و بسیار کم‌خطر در مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته محدودتر است (۱۹ درصد).

نتایج تحقیق مشابه دیگری که با استفاده از مدل دانگ در جنگل‌های زمین‌آباد استان مازندران انجام شده نیز نشان داد که تقریباً ۴۰ درصد از محدوده‌ی مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته در مکان‌هایی قرار گرفته‌اند که قابلیت بسیار زیاد یا زیادی برای آتش‌سوزی دارند که نشان‌دهنده‌ی اعتبار متوسط مدل مورد استفاده است. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات دیگر (محمدی و دیگران، ۱۳۸۹؛ سلامتی و دیگران، ۱۳۹۰؛ اسکندری، ۱۳۹۲؛ Mahdavi et al., 2012؛ Adab et al., 2013؛ Jaiswal et al., 2002؛ Vadrevu et al., 2009؛ Lozano et al., 2008؛ Paz et al., 2011؛ Cui؛ Perera, 2010) که نشان دادند مناطق آتش‌سوزی‌شده با مناطق پرخطر از نظر آتش‌سوزی تا حدی هم‌پوشانی دارند، نسبتاً هم‌خوانی دارد. در حالی که نتایج مطالعه مشابه انجام گرفته با مدل یادشده در جنگل‌های چین نشان داده که بخش اعظم (۸۰ درصد) مناطق با خطر زیاد آتش‌سوزی در

پیشنهادها

پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی مدل یادشده با توجه به شرایط جنگل‌های ایران به‌ویژه جنگل‌های شمال ایران بومی گردد تا صحت آن با داده‌های واقعی آتش‌سوزی در هر منطقه افزایش یابد. بدین ترتیب از مدل ارائه‌شده می‌توان به‌عنوان یک سیستم حامی تصمیم‌گیری در کنترل بهتر آتش‌سوزی و اختصاص بهینه نیروها و امکانات در مکان‌های مناسب در هنگام حریق استفاده کرد؛ زیرا یک سیستم حامی تصمیم‌گیری برای مدل‌سازی آتش‌سوزی جنگل‌ها، بخش لاینفک واحدهای مدیریتی محیط‌زیست است. در این راستا، وجود سیستمی که بتواند وقوع آتش‌سوزی جنگل را از لحاظ مکانی به خوبی پیش‌بینی کند، مدیریت آتش‌سوزی جنگل را به طور چشمگیری تسهیل خواهد نمود. وجود چنین سیستمی، قدرت تصمیم‌گیری مدیران را برای تخصیص امکانات و نیروها در مکان‌های مناسب افزایش خواهد داد. در پایان با توجه به وقوع آتش‌سوزی‌های مکرر در جنگل‌های منطقه و سایر مناطق جنگلی شمال کشور، ایجاد واحدهای مدیریت بحران در ادارات کل منابع طبیعی که دارای امکاناتی نظیر بالگرد و مواد ضد حریق باشند، پیشنهاد می‌شود.

آینده در جنگل‌های این منطقه به کمک ابزار و سیستم‌های توانمند اطلاعات مکانی ضروری است. از طرف دیگر با اثبات دقت نسبتاً خوب مدل دانگ و همکاران برای پتانسیل‌یابی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های بخش ۳ نکا-ظالمروود، پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های آینده در جنگل‌های این منطقه با استفاده از نقشه پتانسیل تهیه‌شده بر اساس این مدل تا حدی امکان‌پذیر است. نقشه‌های پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی با دقت قابل قبول، می‌توانند به عنوان ابزار ارزشمندی در مدیریت و پیش‌بینی آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه و انجام عملیات پیشگیرانه پیش از وقوع حریق در این جنگل‌ها به کار گرفته شود. بدین ترتیب که همان‌طور که در گذشته ۵۱ درصد آتش‌سوزی‌های اتفاق‌افتاده در مناطق با خطر زیاد آتش‌سوزی (در نقشه پتانسیل تهیه‌شده) به وقوع پیوسته است، در آینده نیز به احتمال زیاد، آتش‌سوزی‌ها در مناطق با خطر زیاد اتفاق خواهد افتاد. بنابراین اقدامات مدیران جنگل برای پیشگیری و کنترل آتش‌سوزی‌های آینده (مانند ایجاد برج‌های دیده‌بانی و استقرار یگان حفاظت در مناطق پرخطر و هم‌چنین احداث آتش‌بر در محل‌های مناسب) در مناطق با خطر زیاد آتش‌سوزی باید با حساسیت بیش‌تری انجام گیرد.

منابع

۱. اداره کل منابع طبیعی استان مازندران. ۱۳۹۰. آمار و اطلاعات آتش‌سوزی در استان مازندران، یگان حفاظت اداره کل منابع طبیعی استان مازندران، ساری.
۲. اسکندری، سعیده و دیگران. ۱۳۹۲. ارزیابی کارایی مدل دانگ برای تعیین قابلیت خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های زرین‌آباد نکا، استان مازندران، فصل‌نامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۲۱، شماره ۳، صص ۴۳۹-۴۵۱.
۳. اسکندری، سعیده. ۱۳۹۲. ارائه الگوی پتانسیل آتش‌سوزی جنگل و گسترش آن با استفاده از RS و GIS، پایان‌نامه دکتری، استاد راهنما: جعفر اولادی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، گروه جنگل‌داری.
۴. پناهی، پریسا. ۱۳۸۶. کاربرد سنجش از دور در مدیریت آتش‌سوزی جنگل، سمینار دکتری، دانشگاه مازندران، دانشکده منابع طبیعی، گروه جنگل‌داری.
۵. زرع‌کار، آزاده، بهاره کاظمی زمانی، ساره قربانی؛ مریم عاشق معلا و حمیدرضا جعفری. ۱۳۹۲. تهیه نقشه پراکندگی فضایی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: سه حوزه جنگلی در استان گیلان)، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۲۱ شماره ۲، صص ۲۱۸-۲۳۰.

۶. سلامتی، حمید، حمید مصطفی‌لو، علی مستوری و فرهاد هنردوست. ۱۳۹۰. ارزیابی و تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از GIS در جنگل‌های استان گلستان، مجموعه مقالات نخستین همایش بین‌المللی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی، گرگان.
۷. شرکت سهامی نکاچوب. ۱۳۸۹. طرح جنگل‌داری جنگل‌های بخش ۳ نکا-ظالمروود، سازمان جنگل‌ها مراتع و آبخیزداری کشور، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران، ساری.
۸. کاظمی، سید محمود. ۱۳۸۴. آتش و اکوسیستم‌های جنگلی، دام، کشت، صنعت، شماره ۷۰، صص ۴۶-۵۶.
۹. محمدزاده، راضیه و علیرضا فلاحی. ۱۳۸۶. تمهیدات کاهش خطر آتش‌سوزی جنگل در مناطق شهری، مجموعه مقالات سومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه، تهران.
۱۰. محمدی، فریده، نقی شعبانیان، مهدی پورهاشمی و پرویز فاتحی. ۱۳۸۹. تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از AHP و GIS در بخشی از جنگل‌های پناه، فصل‌نامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۱۸، شماره ۴، صص ۵۶۹-۵۸۶.
۱۱. میردیلمی، طیبه و شعبان شتایی. ۱۳۹۰. تحلیلی بر روش‌های پیش‌بینی و مدل‌سازی مکانی خطر آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی، مجموعه مقالات نخستین همایش بین‌المللی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی، گرگان.
12. Adab, H., Kanniah, K.D., and Solaimani, K. 2013. Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques, *Natural Hazards*, 65:1723-1743.
13. Akpinar, E., and Usul, N. 2003. GIS and Forest fire, Project of INTA Space Turk, Engineering Department, Middle East Technical University, 11 p.
14. Almedia, R. 1994. Forest fire risk areas and definition of the prevention priority planning actions using GIS, *Proceeding of the Fifth European Conference and Exhibition on Geographic Information Systems, EGIS 94*, Utrecht: EGIS Foundation, 2, 1700-1706.
15. Canadian Forest Service. 1997. A wildfire threat rating system for the Mac Gregor Model Forest, Fianl Report MMF Practices-3015. Canada, 231p.
16. Chuvieco, E., Aguado, I., Jurdao, S., Pettinari, M.L., Yebra, M., Salas, J., Hantson, S., de la Riva, J., Ibarra, P., Rodrigues, M., Echeverria, M., Azqueta, D., Roman, M.V., Bastarrika, A., Martinez, S., Recondo, C., Zapico, E., Martinez-Vega, F.J. 2012. Integrating geospatial information into fire risk assessment, *International Journal of Wildland Fire*, DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/WF12052>. 14 p.
17. Chuvieco, E., Allgower, B., and Salas, J. 2003. Integration of physical and human factors in fire danger assessment, in: Chuvieco, E. (Eds.). *Wild land fire danger estimation and mapping, the role of remote sensing data*. World Scientific. New Jersey, USA, 197-217.
18. 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.
19. 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.
20. Encinas, L.H., White, S.H., Del Rey, A.M., and Sanchez, G.R. 2007. Simulation of forest fire fronts using cellular automata, *Advances in Engineering Software*, 38: 372-378.
21. Erten, E., Kurgun, V., and Musaolu, N. 2005. Forest Fire Risk Zone Mapping From Satellite Imagery and GIS, a Case Study. Civil Engineering Faculty, Remote Sensing Division. 7 p.
22. FAO. 1986. Wild land fire management terminology, Report number 70, FAO Forestry Paper, Roma, M-99, ISBN 92-5- 0024207, 76 p.
23. Gerdzheva, A.A. 2014. A Comparative analysis of different wildfire risk assessment models (a case study for smolyan distric, Bulgaria). *European Journal of Geography*, Vol. 5(3), pp. 22-36.
24. 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.
25. Lee, B.S., Alexander, M.E., Hawkes, B.C., Lynham, T.J., Stocks, B.J., and Englefield, P. 2002. Information systems in support of wild land fire management decision making in Canada, *Computers and Electronics in Agriculture*, 37: 185-198.
 26. Lozano, F.J., Suárez-Seoane, S., Kelly, M., and Luis, E. 2008. A multi-scale approach for modeling fire occurrence probability using satellite data and classification trees: A case study in a mountainous Mediterranean region, *Remote Sensing of Environment*, 112: 708-719.
 27. Mahdavi, A., Fallah Shamsi, S.R., and Nazari, R. 2012. Forests and rangelands' wildfire risk zoning using GIS and AHP techniques, *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 10(1), 43-52.
 28. Marozas, V., Racinkas J., and Bartkevicius, E. 2007. Dynamics of ground vegetation after surface fires in hemi boreal *Pinus sylvestris* forests, *Forest Ecology and Management*, 250(1-2): 47-55.
 29. Merrill, D.F., and Alexander, M.E. 1987. Glossary of forest fire management terms (4th ed.), National Research Council of Canada, Canadian Committee on Forest Fire management, Publication NRCC No. 26516, Ottawa, Ontario, 225p.
 30. Paz, Sh., Carmel, Y., Jahshan, F., and Shoshany, M. 2011. Post-fire analysis of pre-fire mapping of fire-risk: A recent case study from Mt. Carmel (Israel), *Forest Ecology and Management*, 262: 1184-1188.
 31. Perera, A.H., and Cui, W. 2010. Emulating natural disturbances as a forest management goal: Lessons from fire regime simulations, *Forest Ecology and Management*, 259: 1328-1337.
 32. 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.
 33. Taylor, S.W., and Alexander, M.E. 2006. Science, technology, and human factors in fire danger rating: The Canadian experience, *International Journal of Wild land Fire*, 15: 121-135.
 34. Thakur, A.K., and Singh, D. 2014. Forest Fire Risk Zonation Using Geospatial Techniques and Analytic Hierarchy Process in Dehradun District, Uttarakhand, India. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, Vol. 4(2): 82-89.
 35. Vadrevu, K.P., Eaturu, A., and Badarinath, K.V.S. 2009. Fire risk evaluation using multicriteria analysis, a case study, *Journal of Environment Monitoring Assessment*, 166: 223-239.

