

توسعه روشی برای ارزیابی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از متغیرهای محیطی و انسان‌ساخت

سعیده اسکندری

دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. پست الکترونیک: saeedeheskandari119@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۳۱

چکیده

پژوهش پیش‌رو به منظور ارزیابی خطر آتش‌سوزی به‌روش همپوشانی و با استفاده از متغیرهای مختلف محیطی و انسان‌ساخت در جنگل‌های بخش سه نکا- ظالمروود انجام شد. ابتدا نقشه‌های زیرمعیارهای عامل‌های فیزیوگرافی، زیست‌شناختی، اقلیمی و انسان‌ساخت تهیه شد. همچنین نقشه آتش‌سوزی‌های گذشته منطقه از شرکت نکاچوب تهیه و رقومی شد. سپس نقشه مناطق آتش‌سوزی گذشته با نقشه زیرمعیارهای هر یک از معیارهای مذکور روی هم‌گذاری شد تا میزان همپوشانی طبقات پرخطر این نقشه‌ها با محدوده آتش‌سوزی‌های گذشته (اهمیت یا وزن هر زیرمعیار در وقوع آتش‌سوزی) مشخص شود. نتایج نشان داد زیرمعیارهای نوع و تراکم پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه و میانگین رطوبت نسبی سالانه بیشترین تأثیر را در وقوع آتش‌سوزی این جنگل‌ها داشته‌اند. نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی با ادغام وزنی کلیه نقشه‌های زیرمعیارهای موثر در GIS در پنج طبقه تهیه شد. در نهایت نقشه آتش‌سوزی‌های گذشته با نقشه خطر آتش‌سوزی روی هم‌گذاری شد. نتایج نشان داد که مناطق پرخطر آتش‌سوزی در نقشه پتانسیل خطر تهیه شده با روش همپوشانی، تطابق زیادی با مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته دارند که نشان‌دهنده اعتبار و صحت زیاد روش مورد استفاده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌های نکا- ظالمروود، خطر آتش‌سوزی جنگل، سیستم اطلاعات جغرافیایی، معیارهای انسان‌ساخت، معیارهای محیطی

مقدمه

می‌باشند. پوشش گیاهی از مهم‌ترین عامل‌های زیست‌شناختی مؤثر در آتش‌سوزی جنگل محسوب می‌شود که از نظر نوع گونه، تراکم، میزان لاشبرگ و میزان رطوبت در وقوع آتش‌سوزی تأثیر دارد (Sowmya & Somashekar, 2010). توپوگرافی (شیب، جهت شیب و ارتفاع) عامل مهم دیگری در وقوع و گسترش آتش‌سوزی است، به طوری که احتمال وقوع و گسترش آتش‌سوزی در مناطق پرشیب، جهت‌های جنوبی و غربی و ارتفاعات پایین‌تر بیشتر است (Jaiswal et al., 2002; Dong et al., 2005; Vadrevu et al., 2009; Sowmya &

آتش‌سوزی یکی از فاکتورهای مهم اکولوژیکی جنگل‌ها است که وقوع آن دقیقاً قابل پیش‌بینی نیست (Röder et al., 2008). این پدیده مخرب اکولوژیکی ارتباط تنگاتنگی با عامل‌های محیطی و انسان‌ساخت دارد. به‌طور کلی علل وقوع آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌های جهان متعدد و ناشی از عامل‌های طبیعی (محیطی) و مصنوعی (انسان‌ساخت) است. فاکتورهای محیطی مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی‌های جنگلی متعدد و دارای درجه اهمیت متفاوتی هستند. این فاکتورها شامل عامل‌های زیست‌شناختی، فیزیوگرافی و اقلیمی

معنی‌داری دارد. نتایج مطالعه Lozano و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان داد که براساس مدل‌های رگرسیون درختی، وقوع آتش‌سوزی با فاکتورهای محیطی در مقیاس‌های مکانی مختلف ارتباط زیادی دارد. نتایج مطالعه Zumbrunnen و همکاران (۲۰۱۱) در سوییس نیز نشان داد که اقلیم، وجود جاده‌ها و احشام نقش مهمی در وقوع آتش‌سوزی ایفا می‌کنند. به‌علاوه رابطه غیرخطی بین وقوع آتش‌سوزی و عوامل انسان‌ساخت وجود دارد و در اقلیم گرم‌تر وقوع آتش‌سوزی بیشتر است. همچنین نتایج مطالعه Biranvand و همکاران (۲۰۱۱) در غرب ایران نشان داد که پوشش گیاهی و رطوبت مواد سوختنی مهمترین عامل‌های بوم‌شناختی مؤثر بر توسعه آتش‌سوزی هستند. به‌علاوه تاکنون مطالعات مختلفی برای مدل‌سازی و ارزیابی خطر آتش‌سوزی با روش‌های مختلف در دنیا انجام شده است. برخی از مطالعات با مدل‌های خطر آتش‌سوزی از پیش تعریف‌شده انجام شده است (Dong *et al.*, 2005; Keane *et al.*, 2010; Paz *et al.*, 2011; Eskandari *et al.*, 2013a). برخی از مطالعات نیز از روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی جنگل استفاده کرده‌اند (Chuvieco & Congalton, 1989; Mohammadi *et al.*, 2010; Sowmya & Somashekar, 2010; Salamati *et al.*, 2011; Mahdavi *et al.*, 2012) و برخی دیگر نیز روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی را برای مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی بکار برده‌اند (Vadrevu *et al.*, 2009; Eskandari *et al.*, 2013b; Zarekar *et al.*, 2013). همچنین برخی پژوهش‌ها از رگرسیون لجستیک برای مدل کردن خطر وقوع آتش‌سوزی استفاده کرده‌اند (Vasconcelo *et al.*, 2001; Rollins *et al.*, 2004; Martinez *et al.*, 2009; Jurdao *et al.*, 2012; Sitanggang *et al.*, 2013)، در حالی‌که برخی دیگر از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی رژیم‌های آتش‌سوزی استفاده کرده‌اند (Vasconcelo *et al.*, 2001; Alonso & Betanzos *et al.*, 2002; Vakalis *et al.*, 2004; Vasilakos *et al.*, 2009; Radpour *et al.*, 2011; Ali

Somashekar, 2010; Santiago & Kheladze, 2011; Mahdavi *et al.*, 2012). افزایش درجه‌حرارت، کاهش رطوبت نسبی و بارندگی نیز از عامل‌های اقلیمی مؤثر در وقوع آتش‌سوزی جنگل‌ها هستند (Dong *et al.*, 2005; Sibold & Veblen, 2006; Cortez & Morais, 2007). در ایران نیز دمای بالا در فصول گرم سال و خشکی حاصل از آن به‌همراه وجود مواد سوختنی با ضریب خشکی زیاد در سطح مناطق جنگلی از علل اصلی وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های نکا محسوب می‌شود (Yousefi & Jalilvand, 2010). به‌طوری‌که بین تعداد حریق‌های به‌وقوع پیوسته در بهشهر و متوسط درجه‌حرارت سالانه و متوسط بارندگی سالانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد رابطه معنی‌داری به‌دست آمده است (Eskandari & Jalilvand, 2012). نتایج پژوهش دیگری در ایران نیز نشان داد که پارامترهای اقلیمی در پیش‌بینی خطر وقوع آتش‌سوزی کارایی لازم را دارند (Ali Mahmoudi Sarab *et al.*, 2012). بجز عامل‌های طبیعی، بسیاری از آتش‌سوزی‌های جنگلی در جهان منشأ انسانی دارند (Anonymous, 2001; Stolzenburg, 2001; FAO, 2007). فاکتورهای انسان‌ساختی که باعث وقوع آتش‌سوزی در جنگل می‌شوند، شامل تراکم جاده‌ها، محوطه‌های کمپ، زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی در داخل یا اطراف جنگل هستند. بسیاری از آتش‌سوزی‌ها به‌عنوان ابزاری برای پاک کردن زمین‌ها برای کشاورزی یا جنگلکاری ایجاد می‌شوند (Stolle *et al.*, 2003). پژوهش‌های بسیاری در خصوص فاکتورهایی که بر شدت آتش‌سوزی تأثیر می‌گذارند و همچنین تأثیر فاکتورهای محیطی و انسان‌ساخت در وقوع آتش‌سوزی جنگل‌ها انجام شده است (Keeley & Fortheringham, 2001; Minnich, 2001; Broncano & Retana, 2004; Schoennagel *et al.*, 2004; Alexander *et al.*, 2006; Lentile *et al.*, 2006). Vazquez و Moreno (۲۰۰۱) پراکندگی مکانی آتش‌سوزی‌ها در مرکز اسپانیا را در ارتباط با عامل‌های محیطی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که وسعت مناطق سوخته با توپوگرافی منطقه ارتباط

(Mahmoudi Sarab et al., 2012).

با وجود مطالعات مختلف انجام شده، تاکنون پژوهشی که ارزیابی خطر آتش‌سوزی و تأثیر هر کدام از عوامل‌های موثر در وقوع حریق را از طریق ارتباط بین متغیرهای محیطی و انسان‌ساخت با آتش‌سوزی‌های واقعی گذشته مورد توجه قرار دهد، در جنگل‌های ایران انجام نشده است، درحالی‌که ارزیابی خطر آتش‌سوزی از طریق بررسی ارتباط بین آتش‌سوزی‌های گذشته با عوامل‌های محیطی و انسان‌ساخت در واقعیت ممکن است نتایج مطلوبی را داشته باشد. جنگل‌های منطقه نکا- ظالمروود از جمله مناطقی است که در سال‌های اخیر دچار آتش‌سوزی‌های مکرر و مداومی شده است. براساس گزارش کارشناسان اداره کل منابع طبیعی مازندران، بیشترین آتش‌سوزی استان مازندران در سال‌های اخیر در جنگل‌های نکا اتفاق افتاده است، به طوری‌که تنها در سال ۱۳۸۹ حدود ۵۳ فقره آتش‌سوزی در این جنگل‌ها به وقوع پیوسته که در اثر آن حدود ۳۸ هکتار از این جنگل‌ها از بین رفته است (Anonymous, 2011). بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی اهمیت متغیرهای مختلف محیطی و انسان‌ساخت در آتش‌سوزی جنگل‌ها و ارزیابی خطر آتش‌سوزی براساس تطابق هر یک از این متغیرها با آتش‌سوزی‌های گذشته و درنهایت تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی است. تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی با استفاده از روشی مناسب در پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه نقش بسزایی دارد و به مدیران جنگل کمک می‌کند تا با نظارت بیشتر به پیشگیری و مقابله با این مشکل ملی بپردازند.

مواد و روش‌ها

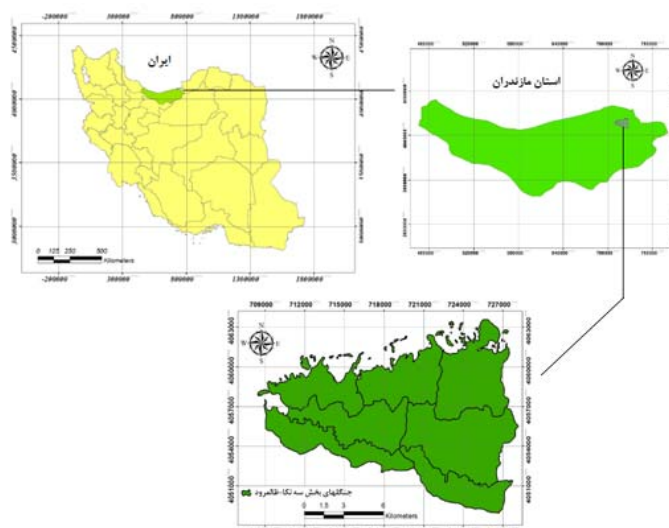
منطقه مورد مطالعه

حدود این پژوهش بخش سه طرح جنگلداری نکا- ظالمروود می‌باشد 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 سه طرح جنگلداری نکا- ظالمروود با وسعت حدود ۱۵۳۰۷/۲ هکتار در عرض شمالی ۴۰° ۳۶' تا ۳۶° ۳۰' و طول شرقی ۲۶° ۵۳' تا ۵۳° ۱۵' درجه واقع شده است. (شکل ۱). بخش سه 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 ۹۰ متر و حداکثر ارتفاع آن ۸۲۰ متر می‌باشد. جنگل‌های این منطقه از نوع دانه‌زاد ناهمسال و آمیخته هستند. گونه‌های گیاهی منطقه شامل انواع گونه‌های درختی از جمله راش، مرز، بلندمازو، توسکای بیلاقی، شیردار، نمدار، انجیلی، آزاد و درختچه‌هایی مانند ازگیل، ولیک، شمشاد، گوجه وحشی و همچنین گونه‌های علفی و خشبی مانند آسپرولا، کارکس، کوله‌خاس، سیکلامن، بنفشه، پامچال، تمشک و سرخس می‌باشد. جاده‌های منطقه عمدتاً جاده جنگلی درجه دو محسوب می‌شود. این بخش به هفت سری تقسیم شده است که طی سال‌های گذشته سابقه حریق‌های شدید و وسیع را داشته است (Anonymous, 2010).

روش پژوهش

روش تهیه نقشه آتش‌سوزی‌های گذشته و نقشه‌های عامل‌های مختلف مؤثر در آتش‌سوزی جنگل و روی هم‌گذاری آنها برای انجام این پژوهش ابتدا نقشه موقعیت آتش‌سوزی‌های به‌وقوع پیوسته در جنگل‌های بخش سه نکا- ظالمروود از شرکت سهامی نکاچوب تهیه و در GIS رقومی شد. سپس نقشه متغیرهای مؤثر در آتش‌سوزی تهیه شد. متغیرهای مؤثر در آتش‌سوزی شامل چهار معیار اصلی و ۱۷ زیرمعیار مربوط به آنها بودند (جدول ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران

جدول ۱- معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در آتش‌سوزی و منبع تهیه آنها

منبع	زیرمعیار	معیار
مدل رقومی ارتفاع سنجنده ASTER	شیب	فیزیوگرافی
مدل رقومی ارتفاع سنجنده ASTER	جهت	
مدل رقومی ارتفاع سنجنده ASTER	ارتفاع	
طرح جنگلداری بخش سه نکا- ظالمرو	فاصله از رودخانه	
طرح جنگلداری بخش سه نکا- ظالمرو	نوع پوشش گیاهی	زیست‌شناختی
طرح جنگلداری بخش سه نکا- ظالمرو	تراکم پوشش گیاهی	
نمونه‌برداری زمینی	بافت خاک	
نمونه‌برداری زمینی	عمق لاشبرگ	
نمونه‌برداری زمینی	رطوبت خاک	
نمونه‌برداری زمینی	رطوبت لاشبرگ	
اداره کل هواشناسی استان مازندران	میانگین درجه حرارت سالانه	اقلیمی
اداره کل هواشناسی استان مازندران	میانگین بارندگی سالانه	
اداره کل هواشناسی استان مازندران	میانگین رطوبت نسبی سالانه	
اداره کل هواشناسی استان مازندران	میانگین شدت باد سالانه	
طرح جنگلداری بخش سه نکا- ظالمرو	فاصله از جاده	انسان‌ساخت
طرح جنگلداری بخش سه نکا- ظالمرو	فاصله از زمین‌های زراعی	
طرح جنگلداری بخش سه نکا- ظالمرو	فاصله از مناطق مسکونی (روستا)	

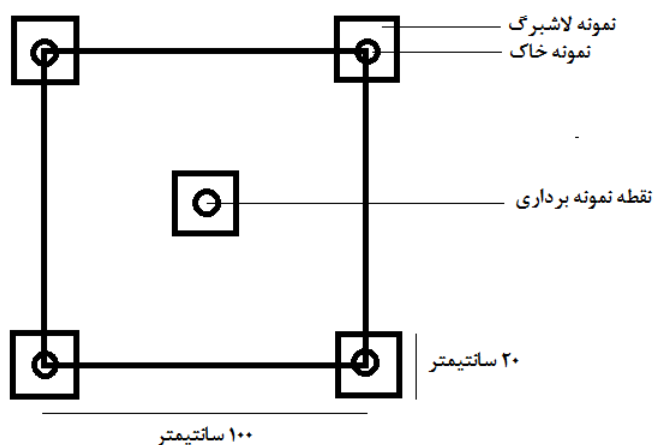
نمونه مورد نیاز در آن محاسبه شد. روش محاسبه تعداد نمونه مورد نیاز در هر تیپ بدین ترتیب بود که مساحت هر تیپ به مساحت کل منطقه مورد مطالعه تقسیم شد و عدد حاصل در تعداد کل نمونه‌ها (۱۰۰) ضرب شد (جدول ۲)، سپس نمونه‌ها به صورت تصادفی در هر تیپ انتخاب شدند و موقعیت آنها بر روی نقشه تیپ گیاهی مشخص شد. عملیات میدانی موقعیت نقاط نمونه در عرصه شناسایی شد. در هر یک از نقاط نمونه برداری، عمق لاشبرگ در مرکز و چهار گوشه یک پلات مربعی ۱×۱ مترمربعی با استفاده از خطکش فلزی اندازه‌گیری شد (شکل ۲). از میانگین اعداد عمق لاشبرگ برای اندازه واقعی عمق لاشبرگ در هر نقطه نمونه استفاده شد. همچنین در مرکز و چهار گوشه همان پلات یک مترمربعی، نمونه‌های لاشبرگ با استفاده از فریم فلزی ۲۰×۲۰ سانتی‌متری و نمونه‌های خاک با استفاده از استوانه فلزی ۱۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شدند تا از اندازه‌گیری رطوبت میانگین آنها در آزمایشگاه خاکشناسی برای مقدار نهایی رطوبت لاشبرگ و خاک در هر نقطه نمونه برداری استفاده شود. برآورد بافت نمونه‌های خاک نیز در آزمایشگاه خاکشناسی انجام شد. در نهایت از داده‌های مربوط به این فاکتورها در نقاط نمونه داخل هر تیپ گیاهی میانگین گرفته شد و عدد میانگین به عنوان مشخصات نهایی عمق لاشبرگ، رطوبت لاشبرگ، رطوبت خاک و بافت خاک هر تیپ پوشش گیاهی در نظر گرفته شد. بدین ترتیب نقشه نهایی این فاکتورها بر اساس نقشه تیپ و اطلاعات نقاط نمونه به صورت رقمی در GIS تهیه شد. هر کدام از این نقشه‌ها بر حسب هدف این پژوهش طبقه‌بندی شدند و در تعداد طبقات مورد نظر تهیه گردیدند.

معیارهای فیزیوگرافی در این پژوهش شامل زیرمعیارهای شیب، جهت، ارتفاع و فاصله از رودخانه می‌باشد. برای تهیه نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع از داده‌های DEM سنجنده ASTER با اندازه پیکسل ۲۵ متر استفاده شد. هر کدام از این نقشه‌ها بر حسب هدف پژوهش طبقه‌بندی شده و در پنج طبقه آماده گردیدند. نقشه تنها رودخانه موجود در جنگل‌های بخش سه نکا- ظالمروود (مهربان‌رود) نیز از شرکت سهامی نکاچوب تهیه و مسیر رودخانه در GIS رقمی شد، سپس در اطراف این نقشه بافر (حائل) ۲۰۰ متری در نظر گرفته شد (Dong et al., 2005; Mahdavi et al., 2012) و نقشه مربوطه تهیه گردید.

معیارهای زیست‌شناختی در این پژوهش شامل نوع پوشش گیاهی، تراکم پوشش گیاهی، عمق لاشبرگ، رطوبت لاشبرگ، رطوبت خاک و بافت خاک می‌باشد. نقشه‌های نوع و تراکم پوشش گیاهی از شرکت سهامی نکاچوب تهیه و در GIS رقمی شد. برای تهیه نقشه‌های عمق لاشبرگ، رطوبت لاشبرگ، رطوبت خاک و بافت خاک از نمونه برداری زمینی ۱۰۰ نمونه خاک و لاشبرگ با بکارگیری GPS استفاده شد. برای اختصاص این ۱۰۰ نمونه به کل محدوده مورد مطالعه و دستیابی به اطلاعات عمق لاشبرگ، رطوبت لاشبرگ، رطوبت خاک و بافت خاک از روش نمونه‌بندی (استراتیفیکاسیون) استفاده شد (Zobeiri, 2007). با توجه به اینکه خصوصیات عمق لاشبرگ، رطوبت لاشبرگ، رطوبت خاک و بافت خاک در هر طبقه پوشش گیاهی نسبتاً مشابه است، هر طبقه نوع پوشش گیاهی به عنوان یک نمونه در نظر گرفته شد، بنابراین پیش از شروع عملیات میدانی، با توجه به مساحت هر تیپ (نمونه) تعداد

جدول ۲- تعداد نمونه‌های برداشت‌شده به تفکیک تیپ‌های پوشش گیاهی

ردیف	تیپ پوشش گیاهی (مونه)	مساحت تقریبی (هکتار)	تعداد نمونه
۱	ممرز	۹۹۴	۷
۲	ممرز- راش	۱۸۳۲	۱۲
۳	ممرز- انجیلی	۱۴۷۲	۱۰
۴	راش- ممرز	۸۵۹	۶
۵	انجیلی- ممرز	۶۸۷	۵
۶	بلوط	۴۰۹	۳
۷	آزاد- بلوط	۲۶۱	۲
۸	آمیخته	۹/۲	۱
۹	منطقه حفاظت شده	۵۹۶۴	۳۶
۱۰	جنگلکاری سوزنی‌برگ	۲۴۹۲	۱۸
۱۱	زمین کشاورزی	۱۸۰	۰
۱۲	بوته‌زار	۶	۰
۱۳	عرصه سنگلاخی	۱۴۲	۰
کل	کل	۱۵۳۰۷/۲	۱۰۰



شکل ۲- طرح نمونه‌برداری نمونه خاک و لاشبرگ

واحد برای هر یک از داده‌های اقلیمی (بارندگی، رطوبت نسبی، درجه حرارت و شدت باد) مربوط به هر ایستگاه به دست آید. برای تهیه نقشه رقومی داده‌های اقلیمی از روش درونیابی IDW در GIS استفاده شد، سپس نقشه مربوط به این عامل‌ها طبقه‌بندی شد و نقشه نهایی آنها تهیه شد.

معیارهای انسان‌ساخت شامل زیرمعیارهای فاصله از

معیارهای اقلیمی شامل زیرمعیارهای میانگین بارندگی، رطوبت نسبی، درجه حرارت و شدت باد سالانه می‌باشد. اطلاعات مربوط به این فاکتورها طی ۲۰ سال گذشته از ایستگاه‌های هواشناسی بایعکلا، تیرتاش، افراچال، دشت‌ناز و ساری که در اطراف محدوده جنگل‌های بخش سه‌نکا- ظالمروود قرار دارند، تهیه شد، سپس از اطلاعات این ایستگاه‌ها در ۲۰ سال گذشته میانگین گرفته شد تا یک عدد

بر اساس هدف پژوهش در GIS طبقه‌بندی شد. پس از تهیه نقشه‌های تمام زیرمعیارها، نقشه مناطق آتش‌سوزی گذشته با نقشه‌های هر یک از زیرمعیارهای مذکور در محیط GIS روی هم‌گذاری شد تا میزان همپوشانی طبقات پرخطر این نقشه‌ها با محدوده آتش‌سوزی‌های گذشته مشخص شود. طبقات خطر هر کدام از نقشه‌های متغیرها و حساسیت آنها به آتش‌سوزی در جدول‌های ۳ تا ۶ نشان داده شده است.

جاده‌ها، مناطق مسکونی و زمین‌های زراعی بود. این معیارها با استفاده از اطلاعات موجود در شرکت سهامی نکاچوب و عملیات میدانی شناسایی شدند و نقشه‌های مربوط به آنها به صورت رقومی در GIS تهیه شد. سپس در اطراف جاده‌ها بافرهایی با شعاع ۲۰۰ متر و در اطراف مناطق مسکونی (روستاها) و زمین‌های زراعی بافرهایی با شعاع ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته شد (Jaiswal *et al.*, 2002; Dong *et al.*, 2005; Sowmya & Somashekar, 2010; Santiago & Kheladze, 2011) و نقشه‌های بافر آنها

جدول ۳- اختصاص وزن به طبقات نقشه‌های زیرمعیارهای فیزیوگرافی در GIS

زیرمعیار	طبقات	حساسیت به آتش	میزان خطر	امتیاز (وزن درون‌لایه‌ای)
شیب (درصد)	بیشتر از ۴۰ درصد	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰
	۳۰-۴۰ درصد	زیاد	پرخطر	۸
	۲۰-۳۰ درصد	متوسط	خطر متوسط	۶
	۱۰-۲۰ درصد	کم	کم خطر	۲
	۰-۱۰ درصد	خیلی کم	بسیار کم خطر	۰
جهت	جنوبی	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰
	غربی	زیاد	پرخطر	۸
	بدون جهت (مسطح)	متوسط	خطر متوسط	۴
	شرقی	کم	کم خطر	۲
	شمالی	خیلی کم	بسیار کم خطر	۰
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۱۱-۱۵۰ متر	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰
	۱۵۰-۳۰۰ متر	زیاد	پرخطر	۸
	۳۰۰-۴۵۰ متر	متوسط	خطر متوسط	۶
	۴۵۰-۶۰۰ متر	کم	کم خطر	۴
	بیشتر از ۶۰۰ متر	خیلی کم	بسیار کم خطر	۰
فاصله از رودخانه (متر)	بیشتر از ۸۰۰ متر	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰
	۶۰۰-۸۰۰ متر	زیاد	پرخطر	۸
	۴۰۰-۶۰۰ متر	متوسط	خطر متوسط	۶
	۲۰۰-۴۰۰ متر	کم	کم خطر	۲
	۰-۲۰۰ متر	خیلی کم	بسیار کم خطر	۰

جدول ۴- اختصاص وزن به طبقات نقشه‌های زیرمعیارهای زیست‌شناختی در GIS

زیرمعیار	طبقات	حساسیت به آتش	میزان خطر	امتیاز (وزن درون لایه‌ای)	
نوع پوشش گیاهی	منطقه حفاظت شده	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰	
	ممرز- راش و راش - ممرز	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۹	
	ممرز و بوته‌زار	زیاد	پرخطر	۸	
	ممرز- انجیلی	زیاد	پرخطر	۷	
	انجیلی- ممرز	متوسط	خطر متوسط	۶	
	جنگلکاری سوزنی‌برگ	متوسط	خطر متوسط	۵	
	بلوط	متوسط	خطر متوسط	۴	
	آزاد- بلوط	کم	کم خطر	۳	
	آمیخته	کم	کم خطر	۲	
	کشاورزی	خیلی کم	بسیار کم خطر	۱	
تراکم پوشش گیاهی (مترمکعب بر هکتار)	عرضه سنگلاخی	بدون خطر	بدون خطر	۰	
	منطقه حفاظت شده	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰	
	بیشتر از ۲۵۰	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۹	
	۲۵۰-۲۰۰	زیاد	پرخطر	۸	
	۲۰۰-۱۰۰	متوسط	خطر متوسط	۶	
	کمتر از ۱۰۰	کم	کم خطر	۵	
	جنگلکاری سوزنی‌برگ	خیلی کم	بسیار کم خطر	۴	
	کشاورزی	بدون خطر	بدون خطر	۰	
	عمق لاشبرگ (سانتی‌متر)	۴/۴-۴/۱	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰
		۴/۱-۳/۲	زیاد	پرخطر	۹
۳/۲-۲/۳		متوسط	خطر متوسط	۶	
۰-۲/۳		کم	کم خطر	۳	
۰		خیلی کم	بسیار کم خطر	۰	
رطوبت لاشبرگ (درصد)	۰	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰	
	۰-۱۸/۱	زیاد	پرخطر	۶	
	۱۸/۱-۲۰/۳	متوسط	خطر متوسط	۵	
	۲۰/۳-۲۱/۶	کم	کم خطر	۴	
	۲۷/۹-۲۷/۷	خیلی کم	بسیار کم خطر	۳	
بافت خاک	۲۷/۹-۲۷/۷	بدون خطر	بسیار پرخطر	۰	
	شنی- لومی	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰	
	شنی لومی- لومی	زیاد	پرخطر	۸	
	لومی- شنی	متوسط	خطر متوسط	۴	
	لومی	کم	کم خطر	۲	
رطوبت خاک (درصد)	زمین بایر	خیلی کم	بسیار کم خطر	۰	
	۰	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰	
	۲۸/۸-۳۰/۵	زیاد	پرخطر	۵	
	۳۰/۵-۳۱/۴	متوسط	خطر متوسط	۴	
	۳۱/۴-۳۶/۵	کم	کم خطر	۳	
	۳۶/۵-۳۸/۹	خیلی کم	بسیار کم خطر	۲	
	۳۸/۹-۳۹/۴	بدون خطر	بدون خطر	۰	

جدول ۵- اختصاص وزن به طبقات نقشه‌های زیرمعیارهای اقلیمی در GIS

زیرمعیار	طبقات	حساسیت به آتش	میزان خطر	امتیاز (وزن درون لایه‌ای)
میانگین درجه حرارت سالانه (ساتی‌گراد)	۱۷/۲۱-۱۷/۲۴	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰
	۱۷/۱۸-۱۷/۲۱	زیاد	پرخطر	۸
	۱۷/۱۵-۱۷/۱۸	متوسط	خطر متوسط	۶
	۱۷/۱۲-۱۷/۱۵	کم	کم خطر	۴
	۱۷/۰۹-۱۷/۱۲	خیلی کم	بسیار کم خطر	۰
میانگین رطوبت نسبی سالانه (درصد)	۷۵/۴۲-۷۵/۵۶	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰
	۷۵/۵۶-۷۵/۷	زیاد	پرخطر	۸
	۷۵/۷-۷۵/۸۴	متوسط	خطر متوسط	۶
	۷۵/۸۴-۷۵/۹۸	کم	کم خطر	۴
	۷۵/۹۸-۷۶/۱۴	خیلی کم	بسیار کم خطر	۰
میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)	۶۰۲/۲۳-۶۰۵	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰
	۶۰۵-۶۰۹	زیاد	پرخطر	۸
	۶۰۹-۶۱۳	متوسط	خطر متوسط	۶
	۶۱۳-۶۱۷	کم	کم خطر	۴
	۶۱۷-۶۲۱	خیلی کم	بسیار کم خطر	۰
میانگین شدت باد سالانه (متر بر ثانیه)	۱۱-۱۲/۵	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰
	۹/۵-۱۱	زیاد	پرخطر	۸
	۸-۹/۵	متوسط	خطر متوسط	۶
	۶/۵-۸	کم	کم خطر	۴
	۵-۶/۵	خیلی کم	بسیار کم خطر	۰

جدول ۶- اختصاص وزن به طبقات نقشه‌های زیرمعیارهای انسان‌ساخت در GIS

زیرمعیار	طبقات	حساسیت به آتش	میزان خطر	امتیاز (وزن درون لایه‌ای)
فاصله از جاده (متر)	۰-۲۰۰ متر	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰
	۲۰۰-۴۰۰ متر	زیاد	پرخطر	۸
	۴۰۰-۶۰۰ متر	متوسط	خطر متوسط	۶
	۶۰۰-۸۰۰ متر	کم	کم خطر	۴
	بیش از ۸۰۰ متر	خیلی کم	بسیار کم خطر	۲
فاصله از مناطق مسکونی (متر)	۰-۱۰۰۰	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	زیاد	پرخطر	۸
	۲۰۰۰-۳۰۰۰	متوسط	خطر متوسط	۶
	۳۰۰۰-۴۰۰۰	کم	کم خطر	۴
	بیش از ۴۰۰۰	خیلی کم	بسیار کم خطر	۲
فاصله از زمین زراعی (متر)	۰-۱۰۰۰	خیلی زیاد	بسیار پرخطر	۱۰
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	زیاد	پرخطر	۸
	۲۰۰۰-۳۰۰۰	متوسط	خطر متوسط	۶
	۳۰۰۰-۴۰۰۰	کم	کم خطر	۴
	بیش از ۴۰۰۰	خیلی کم	بسیار کم خطر	۲

نقشه هر زیرمعیار به فرمت رستری تبدیل شد. سپس ارزش‌های پیکسلی در هر نقشه رستری براساس حساسیت به آتش‌سوزی طبقه‌بندی شدند. سپس این طبقات در هر نقشه در محیط ArcGIS 10 استانداردسازی و مقادیر ارزش‌های پیکسلی هر نقشه بین صفر (پتانسیل خطر بسیار کم برای وقوع آتش‌سوزی) تا ۱۰ (پتانسیل خطر بسیار زیاد برای وقوع آتش‌سوزی) ارزش‌گذاری شد. نقشه‌های کلیه زیرمعیارها با اعمال وزن آنها از طریق رویه Raster calculator در نرم‌افزار ArcGIS 10 تلفیق شدند تا در نهایت یک نقشه ترکیبی (شامل تمام ۱۷ فاکتور مؤثر در آتش‌سوزی) با دامنه ارزش صفر تا ۱۰ به‌دست آید. سپس نقشه نهایی پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی 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.

نقشه آتش‌سوزی‌های گذشته و اعتبارسنجی نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی

به‌منظور اعتبارسنجی کیفی روش همپوشانی، نقشه پتانسیل آتش‌سوزی منطقه با نقشه مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته روی هم‌گذاری شد. همچنین به‌منظور اعتبارسنجی کمی نقشه پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی و روش مورد استفاده برای تهیه آن، مساحت طبقات بسیار پرخطر و پرخطر آتش‌سوزی در محدوده آتش‌سوزی‌های گذشته محاسبه شد.

نتایج

درجه تطابق بین فاکتورهای مختلف مؤثر در آتش‌سوزی و آتش‌سوزی‌های واقعی

نتایج درجه تطابق بین فاکتورهای مختلف مؤثر در آتش‌سوزی و آتش‌سوزی‌های واقعی در جدول ۷ ارائه شده است.

روش تعیین درجه تطابق بین فاکتورهای مختلف مؤثر در آتش‌سوزی و آتش‌سوزی‌های واقعی

برای وزن‌دهی به فاکتورهای مؤثر در آتش‌سوزی و تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی از روش تطابق (همپوشانی) بین زیرمعیارهای محیطی و انسان‌ساخت با آتش‌سوزی‌های گذشته استفاده شد. هر یک از نقشه‌های زیرمعیارها براساس حساسیت طبقه‌های آنها به آتش و با توجه به مطالعات انجام‌شده پیشین، از طبقه‌های بسیار پرخطر تا بسیار کم‌خطر طبقه‌بندی شدند (جدول‌های ۳ تا ۶). به‌منظور بررسی تطابق (همپوشانی) بین زیرمعیارهای مختلف مؤثر در آتش‌سوزی جنگل و آتش‌سوزی‌های واقعی به‌وقوع پیوسته در جنگل‌های منطقه، مساحت طبقه‌های پرخطر هر نقشه زیرمعیار در محدوده آتش‌سوزی‌های واقعی محاسبه شد. سپس از تقسیم مساحت طبقه‌های پرخطر هر نقشه زیرمعیار در محدوده آتش‌سوزی‌های واقعی به مساحت کل محدوده‌های آتش‌سوزی‌های واقعی (مساحت کل محدوده‌های آتش‌سوزی ۱۰۳۹/۵ هکتار بود)، میزان همپوشانی هر نقشه زیرمعیار با آتش‌سوزی‌های واقعی به‌دست آمد. این تحلیل برای همه نقشه‌های زیرمعیارها انجام شد و میزان همپوشانی هر نقشه زیرمعیار با آتش‌سوزی‌های واقعی گذشته به‌صورت عددی بین صفر تا یک به‌دست آمد و به‌عنوان وزن هر زیرمعیار (متغیر) در تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی جنگل در نظر گرفته شد. بدین ترتیب اگر طبقه پرخطر زیرمعیاری در محدوده‌های آتش‌سوزی‌های واقعی گذشته، مساحت بیشتری را به‌خود اختصاص دهد، آن زیرمعیار تطابق (همپوشانی) بیشتری با آتش‌سوزی داشته و عامل مؤثرتری در وقوع آتش‌سوزی محسوب می‌شود.

اختصاص وزن زیرمعیارها (لایه‌ها) در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی پس از تهیه نقشه‌های ۱۷ زیرمعیار و به‌دست آوردن درجه تطابق آنها با آتش‌سوزی از طریق روش همپوشانی،

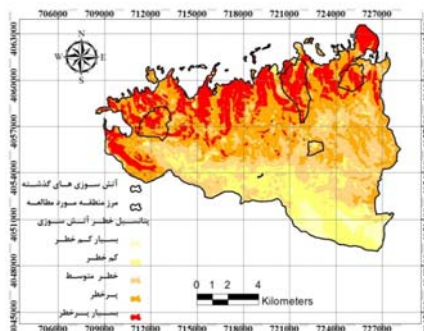
جدول ۷- درجه تطابق فاکتورهای مختلف موثر در آتش‌سوزی جنگل و آتش‌سوزی‌های واقعی

درجه تطابق	معیار	زیرمعیار	طبقات پرخطر	مساحت طبقات پرخطر زیرمعیار در محدوده آتش‌سوزی (هکتار)
۰/۳		شیب (درصد)	۳۰-۴۰ درصد و بیش از ۴۰ درصد	۳۵۹/۳۹
۰/۵		جهت	جنوبی و غربی	۵۱۸/۲۸
۰/۵	فیزیوگرافی	ارتفاع (متر)	۱۱-۱۵۰ و ۱۵۰-۳۰۰ متر	۵۵۱
۰/۹		فاصله از رودخانه (متر)	۶۰۰-۸۰۰ و بیش از ۸۰۰ متر	۹۷۵/۳۱
۰/۷		نوع پوشش گیاهی	منطقه حفاظت‌شده، تپ‌های ممرز، ممرز-راش، راش-ممرز، ممرز-انجیلی، بوت‌زار	۷۰۲/۵۹
۰/۷		تراکم پوشش گیاهی (مترمکعب در هکتار)	منطقه حفاظت‌شده، تراکم ۲۰۰-۳۵۰ و بیش از ۳۵۰ مترمکعب	۷۶۲/۴۰
۰/۵		بافت خاک	شنی لومی، شنی لومی-لومی	۵۵۰/۵۲
۰/۶	زیست‌شناختی	عمق لاشبرگ (سانتی‌متر)	۳/۲-۴/۱ و ۴/۱-۴/۴ سانتی‌متر	۶۱۹/۷۴
۰/۰۱		رطوبت خاک (درصد)	۰ و ۲۸/۸-۳۰/۵ درصد	۱۱/۱۱
۰/۰۱		رطوبت لاشبرگ (درصد)	۰-۱۸/۱ درصد	۱۱/۱۱
۰/۶		میانگین درجه‌حرارت سالانه (سانتی‌گراد)	۱۷/۱۸ تا ۱۷/۲۱ و ۱۷/۲۱ تا ۱۷/۲۴	۶۴۴/۸۰
۰/۳		میانگین بارندگی سالانه (میلی-متر)	۶۰۲/۲۳-۶۰۵ و ۶۰۵-۶۰۹ میلی‌متر	۳۱۲/۸۵
۰/۹	اقليمی	میانگین رطوبت نسبی سالانه (درصد)	۷۵/۴۲-۷۵/۵۶ و ۷۵/۵۶-۷۵/۷	۹۳۶/۷۶
۰/۳		میانگین شدت باد سالانه (متر بر ثانیه)	۲۳/۵-۲۵ و ۲۵-۲۶/۱ متر بر ثانیه	۳۱۳/۷۹
۰/۷		فاصله از جاده (متر)	۲۰۰-۴۰۰ و ۴۰۰-۰ متر	۷۱۱/۱۶
۰/۶	انسان‌ساخت	فاصله از زمین‌های زراعی (متر)	۱۰۰۰-۲۰۰۰ و ۲۰۰۰-۰ متر	۶۴۲/۲۵
۰/۲		فاصله از مناطق مسکونی (روستا) (متر)	۱۰۰۰-۲۰۰۰ و ۲۰۰۰-۰ متر	۱۹۴/۱۴

و نتایج روی هم‌گذاری این نقشه و نقشه آتش‌سوزی‌های گذشته در جنگل‌های بخش سه نکا- ظالمروود به‌منظور اعتبارسنجی روش مورد استفاده در شکل ۳ نشان داده شده

نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی با روش همپوشانی و اعتبارسنجی آن
نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی جنگل با روش همپوشانی

است. نتایج اعتبارسنجی کمی نقشه پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی و روش همپوشانی برای تهیه آن در جدول ۸ نشان داده شده است.



شکل ۳- نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی با روش همپوشانی و اعتبارسنجی آن

جدول ۸- نتایج اعتبارسنجی کمی نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی با روش همپوشانی

شماره آتش‌سوزی	مساحت (هکتار)	مساحت طبقات بسیار پرخطر و پرخطر در محدوده آتش‌سوزی (هکتار)	همپوشانی
۱	۳۱۳/۷۹	۲۹۷/۰۶	۰/۹۴
۲	۴۴۳/۶۹	۴۲۶/۲۴	۰/۹۶
۳	۲۱۲/۱۴	۲۰۳/۴۷	۰/۹۵
۴	۶۹/۸۷	۳۰/۰۳	۰/۴۲
کل	۱۰۳۹/۵۰	۹۵۶/۸۱	۰/۹۲

بحث

پژوهش پیش‌رو به منظور بررسی نقش متغیرهای مختلف محیطی و انسان‌ساخت در آتش‌سوزی جنگل‌ها براساس همپوشانی این متغیرها با آتش‌سوزی‌های گذشته انجام شد. نتایج نشان داد که درجه تطابق طبقات پرخطر نقشه‌های شیب، جهت، ارتفاع و فاصله از رودخانه با آتش‌سوزی‌های گذشته به ترتیب برابر با ۰/۳، ۰/۵، ۰/۵ و ۰/۹ می‌باشد، بنابراین معیار فاصله از رودخانه بیشترین تأثیر را در وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های این منطقه داشته است. پس از آن جهت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا اهمیت بیشتری در وقوع آتش‌سوزی‌های گذشته داشته‌اند. نتایج پژوهش

دیگری نیز نشان داده است که مناطق سوخته با توپوگرافی منطقه ارتباط معنی‌داری دارند (Vazquez & Moreno, 2001) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

همچنین نتایج همپوشانی طبقات پرخطر نقشه‌های تراکم پوشش گیاهی، نوع پوشش گیاهی، عمق لاشبرگ، بافت خاک، رطوبت خاک و رطوبت لاشبرگ با آتش‌سوزی‌های گذشته نشان داد که این ضرایب به ترتیب برابر با ۰/۷، ۰/۶، ۰/۵، ۰/۱ و ۰/۱ می‌باشند، بنابراین نوع پوشش گیاهی و تراکم آن نقش بسیار مهمی در آتش‌سوزی جنگل‌های بخش سه نکا- ظالمروود داشته است. نتایج پژوهش Biranvand و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان داد که

پوشش گیاهی یکی از مهم‌ترین عامل‌های بوم‌شناختی مؤثر بر توسعه آتش‌سوزی است. پس از آن عمق لاشبرگ با وزن ۰/۶ بیشترین تأثیر را در وقوع آتش‌سوزی‌های گذشته در جنگل‌های منطقه داشته است. با توجه به اینکه طبق اظهار کارشناسان اداره کل منابع طبیعی استان مازندران، یکی از عامل‌های اصلی وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های بخش سه نکا- ظالمروود تجمع لاشبرگ خشک در اواخر تابستان و اوایل پاییز است (Anonymous, 2011)، چنین نتایجی منطقی به نظر می‌رسد. همچنین عامل بافت خاک با درجه تطابق ۰/۵ فاکتور زیست‌شناختی بعدی مؤثر در آتش‌سوزی جنگل‌های منطقه بوده است. این در حالی است که تا به حال موردی از اهمیت تأثیر بافت خاک بر وقوع آتش‌سوزی جنگل‌های منطقه گزارش نشده است. فاکتورهای زیست‌شناختی رطوبت خاک و رطوبت لاشبرگ نیز کمترین همپوشانی را با وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های این منطقه (وزن ۰/۰۱) داشته‌اند.

در ادامه این پژوهش، نتایج همپوشانی آتش‌سوزی‌های گذشته با طبقات پرخطر معیارهای اقلیمی نیز نشان داد که میزان این تطابق برای نقشه‌های رطوبت نسبی، دما، بارندگی و باد به ترتیب برابر با ۰/۹، ۰/۶، ۰/۳ و ۰/۳ می‌باشد. براساس نتایج، ابتدا فاکتور کاهش رطوبت نسبی و سپس افزایش دما بیشترین تأثیر را در وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه داشته‌اند. درجه حرارت منطقه بیشتر هم به‌عنوان فاکتور مهمی در وقوع آتش‌سوزی جنگل‌ها عنوان شده است (Yousefi & Jalilvand, 2010; Zumbrunnen

2012; Eskandari & Jalilvand, 2011; et al., 2011). همچنین نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که میزان همپوشانی طبقات پرخطر نقشه‌های فاصله از جاده‌ها، زمین‌های کشاورزی و روستاها با محدوده آتش‌سوزی‌های گذشته به ترتیب برابر با ۰/۷، ۰/۶ و ۰/۲ می‌باشد، بنابراین عامل جاده مهم‌ترین فاکتور انسان‌ساخت در وقوع آتش‌سوزی جنگل‌های منطقه محسوب می‌شود. اهمیت فاکتور جاده در وقوع آتش‌سوزی جنگل توسط محققان دیگری نیز اثبات شده است (Stolle et al., 2003; Lozano

نتایج نهایی این پژوهش نشان داد که فاکتورهای نوع و تراکم پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه و میانگین رطوبت نسبی سالانه بیشترین تأثیر را در وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های بخش سه نکا- ظالمروود داشته‌اند و بنابراین دارای بیشترین اهمیت (وزن) در خطر وقوع آتش‌سوزی جنگل براساس روش همپوشانی می‌باشند. نتایج آنالیز نقشه خطر وقوع آتش‌سوزی براساس روش همپوشانی نشان می‌دهد که از مجموع مساحت حدود ۱۵۳۰۷/۲ هکتاری این جنگل‌ها، ۲۰ درصد از منطقه پتانسیل خطر بسیار زیاد و

آتش‌سوزی‌های به‌وقوع پیوسته در مناطق با خطر زیاد آتش‌سوزی (در نقشه پتانسیل تهیه‌شده) قرار گرفته است، در آینده نیز به احتمال زیاد آتش‌سوزی‌ها در مناطق با خطر زیاد اتفاق خواهند افتاد، بنابراین اقدامات کنترلی برای پیشگیری از وقوع آتش‌سوزی‌های آینده در مناطق پرخطر باید با حساسیت بیشتری انجام گیرد.

References

- Alexander, J.D., Seavy, N.E., Ralph, C.J. and Hogoboom, B., 2006. Vegetation and topographical correlates of fire severity from two fires in the Klamath-Siskiyou region of Oregon and California. *International Journal of Wildland Fire*, 15: 237-245.
- Ali Mahmoudi Sarab, S., Fegghi, J. and Jabarian Amiri, B., 2012. Prediction of fire occurrence in forests and rangelands using Artificial Neural Network (Case study: Zagros forests, Eyzeh). *Applied Ecology*, 1(2): 75-85 (In Persian).
- Alonso-Betanzos, A., Fontenla-Romero, O., Guijarro-Berdin̄as, B., Hernandez- Pereira, E., Canda, E., Jimenez, J., Luis Legido, J., Mun̄iz, S., Paz-Andrade, C. and Paz-Andrade, M.I., 2002. A neural network approach for forest fire risk estimation: 643-647. In: Van Harmelen, F. (Eds.). *Proceedings of the 15th European Conference on Artificial Intelligence*. Lyon, France.
- Anonymous, 2001. Available from: www.unifreiburg.de/yfireglobeyiffnyorgyecefao yece-1.htm
- Anonymous, 2010. Forestry plan of District Three of Neka-Zalemroud Forests. Natural Resources and Watershed Administration of Mazandaran Province, Iran, 290p (In Persian).
- Anonymous, 2011. Statistics and data of fire in 2010 in Mazandaran. Protection unit of MNRA Press, Iran, 190p.
- Biranvand, A., Babaei Kafaki, S. and Kiadaliri, H., 2011. Investigation the ecological factors affecting fire spread in forest ecosystems (Case Study: Kakareza-Lorestan). *Journal of Renewable Natural Resources Researches*, 2(2): 1-13 (In Persian).
- Broncano, M.J. and Retana, J., 2004. Topography and pre-fire vegetation affecting the spatial heterogeneity generated after a large forest

۳۳ درصد آن پتانسیل خطر زیاد برای آتش‌سوزی دارد. همچنین ۲۶ درصد از منطقه دارای پتانسیل خطر متوسط، ۱۶ درصد از منطقه دارای پتانسیل کم (کم‌خطر) و ۵ درصد از منطقه دارای پتانسیل بسیار کم (بسیار کم‌خطر) برای آتش‌سوزی می‌باشد. بنابراین بیشتر منطقه (۵۳ درصد) پتانسیل زیاد (پرخطر و بسیار پرخطر) برای آتش‌سوزی دارد.

نتایج روی‌هم‌گذاری نقشه پتانسیل خطر وقوع آتش‌سوزی براساس روش همپوشانی با آتش‌سوزی‌های گذشته نشان داد که مناطقی که بیشتر در منطقه دچار حریق شده‌اند، با مناطق پرخطر و بسیار پرخطر از نظر آتش‌سوزی تا حد بسیار زیادی هم‌خوانی دارند و ۹۲ درصد از مساحت مناطق سوخته در محدوده دو طبقه مذکور قرار گرفته‌اند. در حالی‌که تنها شش درصد از مناطق سوخته در محدوده خطر متوسط برای آتش‌سوزی قرار دارند و مساحت محدوده‌های کم‌خطر و بسیار کم‌خطر در مناطق آتش‌سوزی‌های گذشته بسیار محدودتر است (دو درصد). به‌علاوه این نتیجه نشان‌دهنده اعتبار زیاد روش همپوشانی در ارزیابی خطر وقوع آتش‌سوزی و صحت زیاد نقشه پتانسیل آتش‌سوزی تهیه‌شده براساس آن است. در برخی موارد نتایج مطالعات انجام شده با روش‌های دیگر نشان داده است که مناطق آتش‌سوزی شده با مناطق پرخطر از نظر آتش‌سوزی تا حدی هم‌پوشانی دارند، ولیکن در پژوهش پیش‌رو استفاده از روش همپوشانی داده‌های محیطی و انسان‌ساخت با آتش‌سوزی‌های گذشته در ارزیابی خطر وقوع آتش‌سوزی جنگل که روشی متفاوت از روش پژوهش‌های پیشین بود، نشان داد که مناطق آتش‌سوزی‌شده با مناطق پرخطر از نظر آتش‌سوزی تا حد زیادی هم‌پوشانی دارند که نشان‌دهنده دقت زیاد نقشه پتانسیل تهیه شده با این روش می‌باشد.

با توجه به اعتبار زیاد روش مورد‌استفاده و نقشه پتانسیل تهیه‌شده در پژوهش پیش‌رو، پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های آینده در جنگل‌های منطقه مورد‌مطالعه با استفاده از نقشه پتانسیل تهیه شده امکان‌پذیر خواهد بود. بدین ترتیب همان‌طور که در گذشته ۹۲ درصد از

- Fire Ecology, 8(1): 77-97.
- Keane, R.E., Drurya, S.A., Karaua, E.C., Hessburg, P.F. and Reynolds, K.M., 2010. A method for mapping fire hazard and risk across multiple scales and its application in fire management. *Ecological Modelling*, 221: 2-18.
 - Keeley, J. and Fortheringham, J., 2001. History and management of crown-fire ecosystems: a summary and response. *Conservation Biology*, 15: 1561-1567.
 - Lentile, L.B., Holden, Z.A., Smith, A.M.S., Falkowski, M.J., Hudak, A.T., Morgan, P., Lewis, S.A., Gessler P.E. and Benson, N.C., 2006. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and postfire effects. *International Journal of Wildland Fire*, 15: 319-345.
 - 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.
 - 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.
 - Martinez, J., Vega-Garcia, C. and Chuvieco, E., 2009. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management*, 90: 1241-1252.
 - Minnich, R.A., 2001. An integrated model of two fire regimes. *Conservation Biology*, 15: 1549-1553.
 - Mohammadi, F., Shabaniyan, N., Pourhashemi, M. and Fatehi, P., 2010. Forest fire hazard mapping using AHP and GIS. *Iranian Journal of Forest and Poplar Researches*, 18(4): 569-586 (In Persian).
 - 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.
 - Radpour, S., Ismailzadeh, M., Yazdani, V., Sohani Darban, A.R. and Jahedipour, S., 2011. Application of artificial neural networks in estimating the occurrence of fire. *Proceedings of the First international conferences on wildfire in natural resources lands. Iran*, 26-28 wildfire in the Mediterranean Basin. *International Journal of Wildland Fire*, 13: 209-216.
 - Chuvieco, E. and Congalton, R.G., 1989. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing of Environment*, 29: 147-159.
 - Cortez, P. and Morais, A., 2007. A data mining approach to predict forest fires using meteorological data. *Proceedings of the 13th Portugese Conference on Artificial Intelligence. Portugal*: 512-523.
 - 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.
 - Eskandari, S. and Jalilvand, H., 2012. Climate change and its impact on number and area of fire of forest areas of Eastern Mazandaran. *Proceedings of the Third International Conference on Climate Change and Tree Chronology. Iran*, 16-18 May. 2012: 15p (In Persian).
 - Eskandari, S., Oladi Ghadikolaei, J. and Jalaivand, H., 2013a. Efficiency evaluation of Dong model for determination of fire risk potential in Zarrin Abad forests of Neka-Mazandaran province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(3): 31-44 (In Persian).
 - Eskandari, S., Oladi Ghadikolaei, J., Jalilvand, H., Saradjian, MR., 2013b. Forest fire risk modeling and prediction in district three of Neka-Zalemroud forest using geographical information system. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(2): 203-217 (In Persian).
 - FAO, 2007. *Fire Management-Global Assessment 2006, A Thematic Study Prepared in the Framework of the Global Forest Resources Assessment 2005*. FAO Press, Rome.
 - 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.
 - Jurdao, S., Chuvieco, E. and Arevalillo, J.M., 2012. Modelling fire ignition probability from satellite estimates of live fuel moisture content.

- Vadrevu, K.P., Eaturu, A. and Badarinath, K.V.S., 2009. Fire risk evaluation using multicriteria analysis, a case study. *Environment Monitoring and Assessment*, 166(1-4): 223-239.
- Vakalis, D., Sarimveis, H., Kiranoudis, C.T., Alexandridis, A. and Bafas, G.V., 2004. A GIS based operational system for wildland fire crisis management, I. Mathematical modelling and simulation. *Applied Mathematical Modelling*, 28(4): 389-410.
- Vasconcelo, M.J., Silva, S., Tome, M., Alvim, M. and Perelra, J.M.C., 2001. Spatial prediction of fire ignition probabilities: comparing logistic regression and neural networks. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(1): 73-81.
- Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J. and Matsinos, I., 2009. Identifying wildland fire ignition factors through sensitivity analysis of a neural network. *Natural Hazards*, 50(1): 125-143.
- Vazquez, A. and Moreno, J.M., 2001. Spatial distribution of forest fires in Sierra de Gredos (central Spain). *Forest Ecology and Management*, 147(1): 55-65.
- Yousefi, A. and Jalilvand, H., 2010. Investigation of fire situation in forest and pasture areas of Mazandaran province (Basin of Sari Natural Resources Administration) from 2004 to 2007. *Proceedings of the Second International Conference on Climate Change and Tree Chronology, Iran, 14-16 May 2010*: 15p (In Persian).
- Zarekar, A., Kazemi Zamani, B., Ghorbani, S., Ashegh Moalla, M. and Jafari, H., 2013. Mapping spatial distribution of forest fire using MCDM and GIS (Case study: three forest zones in Guilan Province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(2): 218-230 (In Persian).
- Zobeiri, M., 2007. *Forest Biometry*. University of Tehran Press, Tehran, 405p (In Persian).
- Zumbrunnen, T., Pezzattic, G.B., Menéndezd, P., Bugmann, H., Bürgia, M. and Conederac, M., 2011. Weather and human impacts on forest fires: 100 years of fire history in two climatic regions of Switzerland. *Forest Ecology and Management*, 261: 2188-2199.
- Oct. 2011: 8p (In Persian).
- Röder, A., Hill, J., Duguay, B., Alloza, J.A. and Vallejo, R., 2008. Using long time series of Landsat data to monitor fire events and post-fire dynamics and identify driving factors, a case study in the Ayora region (eastern Spain). *Remote Sensing of Environment*, 112: 259-273.
- Rollins, M.G., Keane, R.E. and Parsons, R.A., 2004. Mapping fuels and fire regimes using remote sensing, ecosystem simulation and gradient modeling. *Ecological Applications*, 14(1): 75-95.
- Salamati, H., Mostafalou, H., Mastoori, A. and Honardoost, F., 2011. Evaluation and provision of forest fire risk map using GIS in Golestan forests. *Proceedings of the First International Conferences on Wildfire in Natural Resources Lands. Iran, 26-28 Oct. 2011*: 10 p (In Persian).
- Santiago, I.T.F. and Kheladze, N., 2011. GIS wildland fire hazard modeling in Georgia. *MATRA project report, Caucasus Environmental NGO Network*, 98p.
- Schoennagel, T., Veblen, T.T. and Romme, W.H., 2004. The interaction of fire, fuels, and climate across Rocky Mountain forests. *BioScience*, 54: 661-676.
- Sibold, J.S. and Veblen, T.T., 2006. Relationships of subalpine forest fires in the Colorado Front Range with interannual and multidecadal-scale climatic variation. *Journal of Biogeography*, 33: 833-842.
- Sitanggang, I.S., Yaakob, R., Mustapha, N., Ainuddin, A.N., 2013. Predictive models for hotspots occurrence using decision tree algorithm and logistic regression. *Journal of Applied Sciences*, 13(2): 252-261.
- 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.
- Stolle, F., Chomitz, K.M., Lambin, E.F. and Tomich, T.P., 2003. Human ecological intervention and the role of forest fires in human ecology. *Forest Ecology and Management*, 179: 277-292.
- Stolzenburg, W., 2001. Fire in the rain forest. *Nature Conservancy*, 31: 22-27.

Developing a method to assess forest fire risk using environmental and human variables

S. Eskandari

Ph.D. Forestry, Forestry Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
E-mail: saeedeheskandari119@yahoo.com

Received: 08.22.2014

Accepted: 01.12.2015

Abstract

A study was conducted to evaluate fire risk using environmental- and human-induced factors in District Three of Neka-Zalemroud forests. For this purpose, a range of effective sub-criteria including physiographic, biological, climatic and human variables were applied. The historical fire map in study area was additionally used. It was overlaid on the spatial map of each sub-criterion to explore the correlation of the weighted high-risk classes with the historical fire occurrences. Fire risk potential map was provided based on weighted overlay of all effective sub-criteria in five classes. The historical fire map was consequently overlaid on fire risk potential map. Results showed that vegetation type and density, distance from river and the averaged relative annual humidity were associated with the highest effects in fire occurrence. Results also demonstrated the agreement of high-risk areas in the potential fire risk map with the historical fires, which supports the high validity of the applied method to assess the fire risk across the study area.

Keywords: Neka-Zalemroud Forests, forest fire risk, GIS, human-induced criteria, environmental- induced criteria.