

آتش‌سوزی در جنگل‌ها، اثرات، پیش‌بینی و راهکارهای ترویجی مقابله با آن در ایران و جهان

اکرم احمدی^{۱*}، لیلا کریمی^۲، زهره ذوقی^۳، زری مصلحی جویباری^۴، سعید شعبانی^۵

*استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
ahmadi.1870@gmail.com

^۲دکتری جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

^۳دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

^۴آموزشیار معلم، آموزش و پرورش مازندران، جویبار، ایران

^۵استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

چکیده

آتش‌سوزی جنگل تأثیرات عمیقی بر اتمسفر، چرخه بیوگرافی، شیمیایی و ساختار بوم‌سازگان جنگل می‌گذارد. آتش‌سوزی‌ها، تأثیرات متفاوتی بسته به اندازه و فاصله تکرار آنها در محیط زیست دارد. آتش‌سوزی می‌تواند اثر مستقیم بر نابودی زیستگاه حیوانات داشته باشد و یا با تغییر محیط زیست، آشیان اکولوژیک و منابع غذایی آنها، سبب از بین رفتن، مهاجرت و یا جایگزینی آنها با گونه‌های دیگر شده و بر تنوع و تعداد موجودات زنده اثر گذارد. از طرفی، با افزایش مکرر آتش‌سوزی‌ها در مناطق مختلف جهان و خسارت‌های ناشی از آن، شناخت روش‌هایی مناسب درخصوص شناسایی آتش و پیش‌بینی سرعت گسترش آن در عرصه‌ها برای مدیریت ایمن و کارآمد آتش‌سوزی و حفاظت از منابع بسیار ضروری است. استفاده از تکنولوژی سنجش از دور همراه با تصاویر ماهواره‌ای، به‌کارگیری انواع روش‌های آماری و کامپیوتری، مدل‌سازی و بهره‌مندی از تکنولوژی‌های جدید دوربین‌های دیجیتال، سیستم وایرلس و کنترل از راه دور، کمک قابل توجهی در مقابله با آتش‌سوزی‌ها در اختیار مدیران جنگل قرار داده است. لذا، از جمله راهکارهای موثر در مقابله و جلوگیری با آتش‌سوزی، شناسایی مناطق بحرانی آتش‌سوزی در نواحی جنگلی و تهیه نقشه بحرانی آتش‌سوزی در نواحی جنگلی و مرتعی است. همچنین، استفاده از مدل‌سازی گسترش آتش‌سوزی نیز از جمله ابزارهای کارآمد در کنترل و اطفاء حریق است. در کنار تمامی این عوامل، فعالیت‌های ترویجی همچون آموزش و آگاهی دادن به مردم و جوامع محلی می‌تواند در پیشگیری و مقابله با آتش‌سوزی موثر واقع شوند.

واژگان کلیدی: آتش‌سوزی، پیش‌بینی، جنگل، راهکارهای ترویجی.

بیان مسأله

جنگل به‌عنوان یکی از عناصر کلیدی چشم‌انداز، بسیاری از خدمات زیست محیطی ارائه شده مانند تنظیم آب، تعدیل محیط طبیعی، کاهش آلودگی هوا و حفاظت از تنوع زیستی را ارائه می‌دهد و از کارآمدترین منابع طبیعی در تعادل و توازن زیست‌محیطی زمین به‌شمار می‌رود (Alkhatib, 2014). آتش‌سوزی جنگل بخشی جدایی‌ناپذیر از بوم‌سازگان‌های زمینی مانند جنگل‌های سردسیر، جنگل‌های معتدله، بوم‌سازگان‌های مدیترانه، مراتع و غیره بوده و به‌عنوان یک عامل اکولوژیکی تخریب و بازسازی جنگل شناخته می‌شود (Certini, 2005). آتش‌سوزی با توجه به نوع پوشش گیاهی و شرایط آب و هوایی هر منطقه می‌تواند ترکیب گیاه، ساختار و تنوع گیاهی را تغییر دهد (Jhariya, 2013). اگرچه آتش‌سوزی بر ناهمسانی جنگل بی‌تأثیر است، ولی با از بین بردن درختان کم‌قطر و جایگزین نمودن زادآوری گونه‌های سایه‌پسند نظیر راش با گونه‌های نورپسند و پیشگام نظیر افرا سبب تغییر در ترکیب جنگل می‌شود. قابل ذکر است آتش با از بین بردن زیست توده و مواد آلی خاک، سبب کاهش تخلخل و افزایش اسیدیته خاک می‌شود. سالانه حدود ۱۳ میلیون هکتار از جنگل‌های جهان بر اثر آتش‌سوزی تخریب می‌شوند. این امر سبب ایجاد مشکلات جدی در توازن و پایداری محیط زیست می‌شود.

مشاهدات در ۲۰ سال گذشته نشان می‌دهد که تکرار و گسترش آتش‌سوزی جنگل‌ها در آسیا به‌طور عمده به افزایش دما و کاهش بارش در اثر تغییر کاربری زمین (IPCC, 2007) مرتبط می‌باشد. در ایران نیز هر سال آتش‌سوزی سبب نابودی سطح وسیعی از جنگل‌ها می‌شود. با توجه به کمبود منابع جنگلی در ایران و روند رو به افزایش تخریب این منابع به دلایل متعدد از جمله آتش‌سوزی در جنگل که دارای پیامدهای منفی اکولوژیک، اقتصادی و اجتماعی می‌باشد، حفظ این منابع بسیار حائز اهمیت است. آمارها حاکی از آتش‌سوزی نواحی جنگلی در شمال و غرب ایران به‌میزان قابل توجهی است که عمدتاً در ارتباط با عوامل انسانی و اقلیمی بوده‌اند. به‌عنوان مثال، در استان گلستان تنها در فواصل سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۹ حدود ۱۶۸۸ فقره آتش‌سوزی رخ داده است که ۱۴۱۴۵ هکتار از جنگل‌های این استان نابوده شده‌اند (اداره کل منابع طبیعی استان گلستان، ۱۳۹۰). اگر چه آتش‌سوزی در جنگل‌ها همیشه به کرات اتفاق می‌افتد ولی همچنان از جمله معضلات اساسی در مباحث مربوط به جنگل است که مطالعه و همچنین اندیشیدن تدابیر صحیح در جهت به‌حداقل رساندن اثرات منفی به شدت مورد نیاز است.

دستاوردها

- اثرات آتش‌سوزی بر روی فون و فلور جنگل‌ها (تغییر تنوع گونه‌ای)

تنوع زیستی نقش مهمی در تعادل محیط زیست جهانی ایفاء می‌کند. یکی از عوامل تضعیف تنوع زیستی، آتش‌سوزی جنگل است. آتش‌سوزی‌ها به‌طور عمده بر گونه‌های علف‌خوار از طریق اثر بر زیستگاه آنها تأثیر می‌گذارد. همچنین، آتش‌سوزی موجب افزایش کوتاه‌مدت منابع غذایی برخی حیوانات و در نتیجه افزایش جمعیت آنها می‌شود. آتش بر ترکیب، ساختار و الگوهای مکانی زیستگاه حیوانات تأثیر می‌گذارد. زندگی حیوانات ممکن است به‌طور مستقیم با مرگ و میر یا غیرمستقیم با تبدیل زیستگاه آنها تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار گیرد. آتش‌سوزی جنگل می‌تواند باعث سوختن و از بین رفتن خشک‌دارها شود که خود مأمون و محل زندگی بسیاری از پرندگان، خزندگان و پستانداران کوچک هستند. بسته به شدت آتش‌سوزی، تنوع گونه‌ای پرندگان تحت تأثیر قرار می‌گیرد که علت عمده آن تغییرات ساختاری گیاهان، تغییر در منابع غذایی و آشیان آنها است (Kirkpatrick et al., 2006).

به‌طور معمول در اثر آتش‌سوزی، گیاهان قسمت یا تمام اندام‌های خود را از دست می‌دهند. در درختان نوع اندام حذف شده طی آتش‌سوزی از اهمیت بالایی برخوردار است. ریشه‌های درختی واقع در لایه آلی نسبت به ریشه‌های موجود در لایه

معدنی خاک بیشتر در معرض سوختن در آتش قرار دارند. از آنجا که ریشه‌های تغذیه کننده درخت در لایه آلی خاک قرار دارند، از بین رفتن آنها باعث از بین رفتن درخت می‌شود. در حالی که آسیب به ریشه‌های ساختاری درخت، کمتر موجب حذف درخت خواهد شد. البته در گونه‌هایی که توانایی تولید جست را دارند، بعد از مدتی اندام‌ها بازسازی می‌شوند. پس از آتش‌سوزی جست‌ها می‌توانند از جوانه‌های خفته یا قسمت‌های سطحی گیاهان یا از قسمت‌های مختلف در بین لاشبرگ، هوموس یا لایه‌های خاک به‌وجود آمده و درخت را با سرعت بالایی احیاء نمایند. به‌ویژه آن که با افزایش نور دریافتی در آشکوب تحتانی و گرم‌تر شدن زمین، زمینه برای رشد سریع گیاهان بیش از پیش فراهم است (Haubensak et al., 2009).

ذکر این نکته حائز اهمیت است که در کنار آسیب‌های جدی ذکر شده، گاهی آتش‌سوزی می‌تواند فرصت مناسبی برای افزایش تولید گیاهی، پراکنش بذر و کاهش رقابت گیاهان فراهم کند. از این‌رو در موارد متعددی مشاهده شده است که از آتش‌سوزی به‌عنوان یک تکنیک مدیریتی برای دستیابی به اهداف مختلف مدیریتی استفاده می‌شود (سیاه‌منصور و همکاران، ۱۳۹۲).

- اثرات آتش‌سوزی بر روی خاک جنگل‌ها

آتش‌سوزی می‌تواند بسته به نوع، شدت، فراوانی و شرایط آب و هوایی پس از وقوع؛ تغییرات کوتاه‌مدت، طولانی‌مدت یا دائمی در ویژگی‌های خاک ایجاد کند. تغییر ماهیت خاک طی این فرآیند به دو عامل اساسی بستگی دارد. الف- میزان دمایی که اعماق مختلف خاک دریافت می‌کنند، ب- میزان درجه گرمایی که اجزای مختلف خاک می‌توانند تحمل کنند. میزان گرمایش خاک به عواملی مانند شدت و مدت زمان انرژی منتقل شده از آتش به خاک، ترکیب خاک (از جمله رطوبت)، ساختار (میزان تخلخل) و غیره بستگی دارد. به‌طور کلی، آتش‌سوزی منجر به سوزاندن مواد آلی خاک می‌شود که خود بر وضعیت مواد مغذی خاک تأثیر زیادی می‌گذارد. در آتش‌سوزی‌های شدید به‌علت نفوذ حرارت به سمت پایین، هوموس از بین می‌رود و با سوختن ریشه‌ها در خاک نفوذ می‌کند. آتش‌سوزی بر روی چرخه بیوژئوشیمیایی عناصر غذایی خاک به‌ویژه نیتروژن و فسفر تأثیر دارد. بخش قابل توجهی از نیتروژن خاک بلافاصله با سوختن از بین می‌رود. همچنین آتش‌سوزی می‌تواند بر منابع غذایی مانند کلسیم، پتاسیم و منیزیم که در حاصل‌خیزی خاک اثر اساسی دارند، تأثیر بگذارد (بانج شفیع و همکاران، ۱۳۸۹). تأثیر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند رنگ خاک نیز قابل توجه است. به‌طوری‌که، در آتش‌سوزی‌های با شدت بالا، رنگ خاک به دلیل از بین رفتن ماده آلی و اکسیدشدن آهن به رنگ قرمز تغییر می‌کند (Certini, 2005).

- اثرات آتش‌سوزی بر روی ساختار جنگل‌ها

آتش‌سوزی خطری جدی برای درختان کم‌قطر و جوان به‌شمار می‌رود. در حالی که درختان قطورتر نسبت به درختان جوان کمتر در معرض خطر سوختن و از بین رفتن قرار دارند. احیای جنگل با از بین رفتن بافت بنیادی ساقه نونهال‌ها و نونهال‌ها و گرم شدن خاک که باعث از بین بردن ریشه‌ها و دانه‌ها در نزدیکی سطح خاک می‌شود و شدت و وسعت آتش‌سوزی‌های جنگلی تأثیر به‌سزایی بر بذور و زادآوری دارد. اگرچه برخی مطالعات حاکی از آن است که آتش‌سوزی‌های طبیعی باعث تغییر ناهمسانی جنگل نمی‌شود، اما ترکیب گونه‌های اولیه و تنوع و تعداد نونهال‌ها دستخوش تغییر خواهد شد. با سوختن و از بین رفتن درختان کم‌قطر و زادآوری گونه‌های سایه‌پسند و مرغوب، زمینه‌ای برای جایگزین شدن گونه‌های نورپسند و پیشگام فراهم می‌شود و جنگل را از حالت اولیه دور می‌کند (بانج شفیع و همکاران، ۱۳۸۹).

عوامل موثر در آتش‌سوزی

عوامل مختلف مؤثر در وقوع و گسترش آتش‌سوزی جنگل شامل عوامل طبیعی و انسانی است. علاوه بر انسان‌ها، تغییرات آب و هوایی نیز می‌تواند اثرات مثبت و منفی بر روی جنگل‌ها داشته باشد. بر این اساس مشاهدات نشان داده است که علی‌رغم تأثیرات مثبت رژیم‌های آتش‌سوزی و همچنین بازتاب نسبی و تعادل تابش در آینده نزدیک، تغییرات به‌وجود آمده در میان و بلندمدت به‌صورت منفی بوده است. به‌طور کلی، تغییرات آب و هوایی به‌دلیل طولانی شدن فصل رشد، سرعت رشد جنگل را در عرض‌های جغرافیایی شمالی بالا می‌برد. علاوه بر این، غلظت بالای دی‌اکسیدکربن باعث کاهش تعرق و افزایش سرعت فتوسنتز و در نتیجه رشد جنگل می‌شود (Peltola et al., 2018). آسیب عوامل زیستی (نظیر آفات و بیماری‌ها) و غیرزیستی (نظیر باد و طوفان) ممکن است اثرات معکوسی بر رشد جنگل داشته باشد. به عنوان مثال، خشکسالی، خطر آتش‌سوزی جنگل‌ها را افزایش می‌دهد، اما بر رشد درختانی همچون *Picea abies* نیز تأثیر منفی می‌گذارد و درختان را در معرض آسیب‌های بیولوژیکی قرار می‌دهد. پیش‌بینی می‌شود به‌دلیل کوتاه شدن دوره یخبندان خاک، خطر آسیب باد افزایش یابد. بسیاری از حشرات جنگلی که مسئول از بین بردن اشکال درختان هستند، به‌دلیل ارتباط برقرار شده با افزایش دامنه زیستگاه و افزایش دمای زمستان، از تغییرات آب و هوایی بهره‌مند می‌شوند. انتظار می‌رود شرایط آب و هوایی آینده برای آتش‌سوزی جنگل‌ها حتی در مناطق سردسیری با مدیریت بالا نیز مهیاتر شود (Jessica et al., 2021).

روش‌ها، راهکارها و تکنولوژی در کشف آتش‌سوزی

افزایش روز افزون آتش‌سوزی‌های جنگلی، ضرورت ارائه راهکارهایی عملی و مناسب برای جلوگیری از وقوع و کنترل پیشروی آنها را امری اجتناب‌ناپذیر می‌کند. در گذشته، کشف آتش از طریق دیده‌بانی و با چشم غیرمسلح و همچنین گشت‌زنی در منطقه انجام می‌گرفت. این روش‌ها به‌علت عدم وجود دید کافی و همچنین وجود عوارض زمینی سخت معمولاً روش مناسبی برای به‌دست آوردن اطلاعات درست در ارتباط با محل، اندازه و شدت آتش‌سوزی‌ها نبودند؛ بنابراین، برای پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی و سطوح سوخته شده، روش‌های مختلفی ابداع شده است. به‌دلیل ماهیت خطرناک آتش، مطالعه آن در شرایط طبیعی و در محیط عملاً غیرممکن است. بر این اساس، پژوهشگران از روش‌های مختلف مدل‌سازی و شبیه‌سازی برای بررسی چگونگی رفتار آتش و پیش‌بینی نحوه گسترش آن استفاده می‌کنند (اسکندری، ۱۳۹۴). دانش‌سنجش از دور همراه با تصاویر ماهواره‌ای امکان پیش‌بینی و مدل‌سازی خطر آتش و مدیریت آتش بعد از وقوع آن را امکان‌پذیر می‌کند (Aslan, 2010).

مطالعات صورت گرفته در ایران درخصوص استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دور برای کشف و مهار آتش‌سوزی‌ها بسیار اندک است. تعیین مناطق دارای پتانسیل بالای آتش‌سوزی و پهنه‌بندی خطر آتش یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده در کشف و کنترل آتش است. در پهنه‌بندی، ضریب خطر فاکتورهای مؤثر بر آتش‌سوزی‌ها از قبیل نوع پوشش گیاهی، شیب، جهت، دوری و نزدیکی به مناطق شهری، دسترسی به رودخانه و جاده و ... تعیین و وزن‌دهی می‌شوند، سپس در محیط GIS و با تلفیق نقشه‌ها، نقشه‌های خطر آتش استخراج می‌شوند. امروزه دانشمندان به دنبال کشف راه‌هایی هستند که آتش را در مراحل اولیه وقوع شناسایی کنند و از گسترش سریع آن جلوگیری کنند. این امر، پژوهشگران را به سوی استفاده از سیستم‌های کنترل از راه دور و حسگرهای مختلف جهت مشاهده و پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های جنگلی سوق داده است. برخی از این تکنولوژی‌ها عبارتند از انواع دوربین‌های مادون قرمز و دیجیتال، حسگرهای تشخیص دود و نور که در مناطق مشخصی از جنگل نصب می‌شوند و از طریق سیستم‌های وایرلس اطلاعات را انتقال می‌دهند (Alkhatib, 2014).

– راهکارهای مدیریتی و ترویجی مقابله با آتش‌سوزی در ایران و دیگر کشورها

مدیریت آتش‌سوزی، برنامه‌ریزی برای آتش‌سوزی، ظرفیت مقابله با آتش‌سوزی، فرصت‌ها مسئولیت‌ها در سطح جامعه و بسیاری از راه‌حل‌های مربوط به مشکلات آتش‌سوزی جنگل را پایه‌ریزی می‌کند. ابزارهای ترویج جلوگیری و مقابله با آتش‌سوزی شامل آموزش، اطلاع‌رسانی و تجهیز جوامع مختلف از جمله دولت، بخش خصوصی، سازمان‌های غیردولتی، اهدا کنندگان و بانک‌های توسعه هستند. انگیزه برای جوامع در مشارکت و پذیرش نقش بالقوه خود، بر حل برخی از مسائل اساسی تأکید دارند (Rowell and Moore, 2000).

کشورها در سراسر جهان در حال تلاش برای مقابله با مشکل آتش‌سوزی در جنگل‌های خود هستند. برنامه‌ریزی، هماهنگی و پیشرفت‌های فنی در حال بررسی است. بسیاری از کشورهای مدیترانه‌ای مدرن، در حال ارزیابی مجدد مدیریت آتش‌سوزی در جنگل‌ها به‌خصوص در شرایط پس از فصول خشک که فاجعه آفرین هستند، می‌باشند. بسیاری از کشورها دارای سیاست و ساختار هستند، اما نتایجشان ضعیف است. هر دو مورد تعداد آتش‌سوزی و مساحت منطقه جنگلی سوخته در بسیاری از کشورهای مدیترانه از دهه ۱۹۷۰ میلادی دو برابر شده است. برنامه‌های اجرایی یکپارچه مانند آنچه که توسط اندونزی تهیه شده، معمول نیست و تعامل منطقه‌ای نیز هنوز به‌عنوان پتانسیلی برای رفع آتش‌سوزی جنگل شناخته نشده است. در جنوب شرق آسیا، مسئولیت خاموش کردن آتش‌سوزی جنگل‌ها در برخی از کشورها، جدای از مسئولیت افرادی است که وظیفه مدیریت جنگل‌ها را برعهده دارند یا در آن زندگی می‌کنند. در مقابل، پروژه‌های مقابله با آتش‌سوزی در اندونزی، آفریقا و آمازون، پیشرفت‌های خوبی را از طریق مشارکت مردمی با کاهش عوامل موثر در آتش‌سوزی تجربه کرده‌اند. با افزایش شواهد ارتباط بین تغییرات آب و هوایی و النینو، نیاز به یک بازنگری مجدد در حفاظت و مدیریت جنگل‌ها می‌باشد که به مواردی همچون تغییر آب و هوا رسیدگی کند. یکی از این تغییرات، نیاز به تشخیص این امر است که کنترل دولت در جنگل‌های مناطقی مانند آسیا موثر نبوده است. مارک پوفنبرگر از IUCN بیان می‌کند که "شکست گسترده منطقه‌ای جنگل از سیاست‌های جنگل برای نیم قرن یا بیشتر نیازمند این است که ما فراتر از مدیریت بنگریم و با مشکلات فنی مربوط به آژانس‌های جنگلی برای بررسی الگوهای مدیریت جایگزین روبرو شویم، جنگل‌داری اجتماعی یک انتخاب منطقی است". مدیریت جنگل‌ها بر اساس افراد جامعه راهی مناسب است. با توجه به تحقیقات انجام شده توسط هارتموت ابربرگ، از پروژه IFFM. نتایج نشان می‌دهد، مردم احساس مسئولیت در برابر آتش‌سوزی نمی‌کنند. از آنجایی که آنها مالکیت ندارند، لذا احساس مسئولیت کمتری در برابر این قضیه دارند. در نتیجه موفقیت در مهار آتش‌سوزی نیز با عدم همکاری مردم بومی امری بسیار مشکل است (Rowell and Moore, 2000).

توصیه ترویجی

مکانیسم‌های موفقیتی بر اساس تحقیقات انجام گرفته در جوامع در سطح کاربردی ارائه شده است. مجموعه‌ای از پیشنهادها ترویجی برای کاهش اثرات آتش‌سوزی جنگل در ادامه آمده است که بخش‌های دولتی، ملی، محلی، جهانی و بخش خصوصی را پوشش می‌دهد. اگرچه بیشتر پیشنهادها نتایج مثبتی را در بیشتر مواقع ایجاد می‌کنند، اما همه پیشنهادها برای تمام کشورها مناسب نیستند. لذا، با توجه به مطالعات انجام گرفته، پیشنهادها ترویجی در جهت جلوگیری، کنترل، پیش‌بینی، آموزش و بهبود امکانات آتش‌نشانی در ذیل ارائه می‌شود:

– جنگل‌های محلی نه تنها سطوح بیشتر تنوع زیستی را نشان می‌دهند، بلکه آتش‌سوزی کمتری را نیز تجربه می‌کنند. لذا با توجه به مطالعات سیستم مدیریت جنگل‌های بومی، حفظ تنوع زیستی که از جمله موارد مهم در مدیریت آتش‌سوزی در جنگل‌ها می‌باشد، توصیه می‌شود.

- ایجاد و تجهیز مراکز آتش‌نشانی محلی و آموزش پرسنل آموزش داده شده برای جلوگیری از آتش‌سوزی و مقابله با آن
- ترویج فرهنگ مقابله و پیش‌گیری با آتش در میان جمعیت محلی
- تأمین بودجه جهت برنامه‌های راهبردی در زمینه کنترل آتش‌سوزی
- ایجاد کمپین اطلاع‌رسانی درخصوص پیشگیری و مقابله با آتش‌سوزی در مدارس و سازمان‌های محلی از طریق آموزش جزوات کتبی، پوستر، رادیو و فایل‌های ویدئویی به مردم
- انجام ارزیابی جامع و تجزیه و تحلیل از امکانات و تجهیزات حداقل یک بار در سال به‌خصوص در استان‌هایی که آتش‌سوزی در جنگل‌ها به کرات در آنها صورت می‌گیرد.
- تقویت سیستم تعمیر و نگهداری و ارتقاء تجهیزات آتش‌نشانی
- استفاده از امکاناتی همچون سیستم اعلام حریق (FAS) و سیستم خاموش کننده آتش که در بسیاری از کشورها مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- تهیه استانداردهایی برای تجهیزات آتش‌نشانی و ارزیابی ایمنی سالانه آنها

فهرست منابع

- اداره کل منابع طبیعی استان گلستان. ۱۳۹۰. آمار و اطلاعات آتش‌سوزی در استان گلستان. یگان حفاظت اداره کل منابع طبیعی استان گلستان، گرگان، ۱۳۵ ص.
- اسکندری، س. ۱۳۹۴. تحلیلی بر روش‌های مدل‌سازی و شبیه‌سازی گسترش آتش‌سوزی در جنگل‌ها. فصلنامه انسان و محیط زیست، ۳۴: ۸۸-۶۷.
- بانج شفیعی، ع.، اکبری‌نیا، م.، عزیزی، پ.، و اسحاقی‌راد، ج. ۱۳۸۹. تأثیر آتش‌سوزی بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک جنگل در شمال ایران (مطالعه موردی: جنگل خیرودکنار). جنگل و صنوبر ایران، ۱۸ (۳): ۳۶۹-۳۶۵.
- سیاه‌منصور، ر.، ارزانی، ح.، جعفری، م.، جوادی، س.ا. و طویلی، ع. ۱۳۹۲. اثر آتش‌سوزی بر تولید، تاج‌پوشش، ترکیب، تراکم و پوشش خاک سطحی رویشگاه، مطالعه موردی: مراتع بیلاقی حوزه آبخیز زاغه لرستان. نشریه علمی- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۴ (۵): ۲۹۶-۲۸۹.
- Alkhatib, A.A.A. 2014. A Review on Forest Fire Detection Techniques. International Journal of Distributed Sensor Networks. Hindawi Publishing Corporation, 12p.
- Aslan, Y. 2010. A framework for the use of wireless sensor networks in the forest fire detection and monitoring. M.S. thesis, Department of Computer Engineering, The Institute of Engineering and Science Bilkent University, 72pp.
- Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143: 1-10.
- Haubensak, K., Antonio C.D. and Wixon, D. 2009. Effect of fire and environmental variables and composition in grazed salt desert shrub lands of the Great Basin (USA). *Journal of Arid Environments*, 73 (6-7): 643-665.
- Jessica, L., McCarty, J.A, Ville-Veikko, Steve, A., Eckhardt, S., Klimont, Z., Fain, J.J., Evangelidou, N., Venäläinen, A., Tchebakova, N.M., Parfenova, E.I., Kupiainen, K., Soja, A.J., Huang, L., Wilson, S. 2021. Reviews & Syntheses: Arctic Fire Regimes and Emissions in the 21st Century Biogeoscience. <https://doi.org/10.5194/bg-2021-83>.
- Jhariya, M.K. 2013. Impact of Fires on Forest Ecosystem: Vegetational Response to Forest Fire. Lap Lambert Academic Publishing. Heinrich-Bocking-Str. 6-8, 66121, Saarbrücken, Germany, 104 pp.

- Kirkpatrick, C., Conway, C.J. and Jones, P.B. 2006. Distribution and relative abundance of forest birds in relation to burn severity in southeastern Arizona. *Journal of Wildlife Management*, 70 (4): 1005–1012.
- Peltola, H., Kilpeläinen, A. and Kellomäki, S. 2002. Diameter growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) trees grown at elevated temperature and carbon dioxide concentration under boreal conditions. *Tree Physiology*, 22: 963-972, <https://doi.org/10.1093/treephys/22.14.963>.
- Rowell, A. and Moore, P.F. 2000. *Global Review of Forest Fires*. IUCN, 64pp.