فصلنامهٔ علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۰ شمارهٔ ۱، صفحهٔ ٦١-٥٠، (۱۳۹۱)

شبیه‌سازی آتش‌سوزی سطحی به منظور بررسی سرعت گسترش آن در جنگل آمیخته پهن‌برگ

مهران نصیری[1*]، سیدمحمد حجتی[2] و مهرسده تفضلی[3]

۱*- نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
پست الکترونیک: Me.nasiri@sanru.ac.ir
۲- استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد جنگل‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰٦/۱۲

چکیده

آتش به‌عنوان پدیده‌ای طبیعی همواره اکوسیستم‌های جنگلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گرمایش جهانی و تأثیر آن در طولانی شدن فصل خشک به همراه تجمع لاشبرگ سبب تشدید اثرهای آتش‌سوزی در اکوسیستم‌های جنگلی می‌شود. جنگلهای هیرکانی ایران اغلب تحت تأثیر آتش‌سوزیهای طبیعی و عمدی هستند. این پژوهش به منظور بررسی سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی و عوامل مؤثر بر آن در جنگل آمیخته طبیعی چلمردی استان مازندران انجام شد. سرعت گسترش آتش در شرایط مختلف از طریق شبیه‌سازی سرعت‌های مختلف باد (از یک تا ١٦ متر بر ثانیه)، طبقات شیب (از صفر تا ۹۰ درصد)، نوع لاشبرگ (بلندمازو، ممرز، انجیلی، راش و پلت) و ضخامت آن (از یک تا ۸ سانتی‌متر) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش سرعت باد، سرعت آتش‌سوزی سطحی به‌طور تصاعدی افزایش یافته است. همچنین افزایش شیب سبب تسریع در گسترش آتش‌سوزی سطحی شده است. یافته‌های این تحقیق حکایت از آن دارد که با افزایش ضخامت لاشبرگ تا ٤ سانتی‌متر سرعت آتش‌سوزی سطحی افزایش و از آن به بعد کاهش می‌یابد. نوع لاشبرگ تأثیر زیادی بر سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی دارد. به‌طوری که برگهایی با ضخامت کم (راش) و پهنای زیاد (پلت) با خم شدن سریع خود باعث تسهیل انتقال آتش به لاشبرگ‌های مجاور شده و سرعت آتش‌سوزی را افزایش می‌دهند و برگ‌هایی با ضخامت بیشتر (بلندمازو) و کوچکتر (ممرز) به دلیل عدم انتقال سریع آتش به لاشبرگ‌های مجاور باعث کاهش سرعت گسترش آتش‌سوزی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی سطحی جنگل، سرعت باد، شیب، ضخامت لاشبرگ، نوع لاشبرگ، سرعت گسترش آتش.

مقدمه

آتش قسمت جدانشدنی بیشتر اکوسیستم‌های جنگلی است (Cammeraat & Imeson, 1999) و معمولاً به‌عنوان عامل اکولوژیکی تخریب و بازسازی جنگل محسوب می‌شود (Certini, 2005). جنگل اکوسیستمی پویا و پیچیده است که اجزای تشکیل دهنده آن با یکدیگر در حالت تعادل قرار دارند. هنگامی که جنگل تحت تأثیر عوامل مخرب طبیعی یا مصنوعی قرار گیرد، با توجه به نوع و شدت اثر آنها، حالت تعادل یا قدرت خود تنظیمی آن ضعیف شده یا از بین می‌رود (Barnes *et al*., 1998). در دهه‌های اخیر تعداد و شدت آتش‌سوزیها رو به افزایش بوده که از علل اصلی آن تغییر کاربری اراضی به دلیل افزایش جمعیت روستاها و توسعه زمین‌های زراعی و باغی و گرم شدن کره زمین می‌باشد. یکی از اقدامات اصلی در مبارزه با آتش، مطالعه رفتار آتش تحت تأثیر شرایط مختلف جوی، توپوگرافی و پوشش گیاهی می‌باشد (Viegas, 2004). مطالعات بسیاری در مورد نحوه انتشار آتش جهت مدل‌سازی رفتار آتش در مقیاس

Archive of SID
www.SID.ir

آزمایشگاهی به منظور درک بهتر رفتار این پدیده در محیط طبیعی انجام شده است (Mendes-Lopez *et al*., 1998; Catchpole *et al*., 1998). از آنجایی که آزمایشگاه نمی‌تواند معرف کاملی از شرایط محیط جنگل باشد، بنابراین کار در عرصه می‌تواند اطلاعات کاربردی را در رابطه با آتش‌سوزی جنگل فراهم کند (Morandini *et al*., 2006). آتش‌سوزی جنگل به انواع آتش‌سوزی زمینی، سطحی، تنه‌ای و تاجی تقسیم می‌شود (Agee, 1993). جنگلهای شمال ایران در نواحی معتدله نیمکره شمالی زمین قرار گرفته است و دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل تا گرم می‌باشد. با توجه به اینکه جنگلهای شمال ایران از درختان پهن‌برگ خزان‌کننده تشکیل شده است، ار این رو آتش‌سوزی متداول در فصل خزان، آتش‌سوزی سطحی می‌باشد. با تداوم گرمایش زمین و طولانی شدن فصل خشک سال و متعاقب آن کاهش رطوبت خاک بعد از خزان برگ و انباشته شدن حجم زیادی از لاشبرگ بر روی سطح خاک شرایط مناسبی برای آتش‌سوزی سطحی فراهم می‌شود. عدم بارندگی طی هفته‌های متوالی و تابش مستقیم نور خورشید به‌ویژه در شیب‌های جنوبی و جنوب‌غربی، باعث ایجاد آتش‌سوزی سطحی می‌شود. آتش‌سوزی سطحی در اثر آتش گرفتن پوشش مرده گیاهان و نهالهای کوچک به وجود می‌آید که می‌تواند به انواع آتش‌سوزیهای دیگر تبدیل شده و سطح وسیعی از جنگل را نابود نماید. سرعت توسعه آتش‌سوزیهای سطحی اغلب زیاد است. این نوع آتش‌سوزی با افزایش سرعت جریان باد تقویت می‌شود (Wotton *et al*., 1999). از آنجایی که لایه بستر جنگل مملو از لاشبرگ می‌باشد، بنابراین اهمیت لایه لاشبرگ در آتش‌سوزیهای سطحی در بسیاری از تحقیقات مورد تأکید قرار گرفته است (Bradstock & Cohn, 2002; Scarff & Westboy, 2006). سرعت انتشار آتش در یک لایه از لاشبرگ بستگی به سرعت باد، رطوبت مواد سوختنی و شیب زمین دارد (Viegas, 2004). نحوه سوختن لاشبرگ تحت تأثیر نوع بقایای گیاهی، رطوبت و ضخامت آن می‌باشد. در واقع نوع پوشش گیاهی شدت احتراق، مدت زمان احتراق و درصد مصرف مواد سوختنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Anne Morandini *et al*. (2001) .(*et al*., 2010) گزارش کردند که با توجه به ترکیب مواد آلی موجود در لاشبرگ، سرعت انتشار آتش متفاوت خواهد بود. تعیین ضخامت برگ و سطح برگ به‌عنوان عوامل کلیدی در شدت و پایداری سوختن لاشبرگ اهمیت زیادی دارد (Dimitrakopoulos & Panov, 2001). Scarff & Westboy (2006) دریافتند که هر چه طول برگ پهن‌برگان بیشتر باشد، قابلیت اشتعال آن افزایش می‌یابد. Kane *et al*. (2008) بیان داشتند که آتش‌سوزی در گونه‌های خزان‌کننده دارای شدت بیشتری است. خصوصیات فیزیکی زمین جنگل از جمله جهت دامنه و شرایط توپوگرافی نیز در آتش‌سوزی جنگل مؤثر است (حسینی، ۱۳۸٤). شیب زمین یکی از عوامل تأثیرگذار در سرعت و جهت انتشار آتش می‌باشد (Brown & Sieg, 1996)، چنانچه در آتش‌سوزیهای با شدت کم، شیب نقش عمده‌ای در انتشار آتش داشته در حالی که در آتش‌سوزیهای با شدت زیاد، اثر شیب ناچیز بوده و آتش به صورت بی‌قاعده انتشار می‌یابد (Swanson, 1981). شیب‌های جنوبی و غربی به دلیل قرار گرفتن در جهت رو به آفتاب نسبت به آتش‌سوزی حساس‌تر هستند (حسینی، ۱۳۸٤). سرعت باد نیز از عوامل تأثیرگذار بر گسترش آتش است. بر روی زمین مسطح بادهای افقی جریان دارند که توزیع سرعت آنها یکنواخت می‌باشد، در حالی که جریان باد بر روی سطوح شیب‌دار ناهمگن بوده و باعث ایجاد نوسان در سرعت و جهت آن خواهد شد. جریان باد منجر به انتقال سریع حرارت آتش به سمت بالای دامنه می‌شود (Boboulos & Purvis, 2009). همچنین با وزش باد، گرما از شعله آتش به لاشبرگ انتقال یافته که این امر باعث سوختن بیشتر آن می‌شود (Tse &

Archive of SID

www.SID.ir

(Fernandez-Pello, 1998). Morandini *et al*. (2001) با مطالعه لاشبرگ گونه *Pinus pinaster* دریافتند زمانی که آتش با وزش باد حرکت می‌کند، انتشار آن در مرکز سطح لاشبرگ بیشتر از حاشیه آن خواهد بود، زیرا گرما در مرکز لاشبرگ بیشتر است. همچنین وقتی آتش بر روی شیب و تحت تأثیر باد انتشار می‌یابد، شعله آتش به سمت مواد سوخته نشده پیش می‌رود، حرارت آنها را افزایش داده و باعث افزایش سرعت آتش‌سوزی می‌شود. جریان باد باعث انتقال سریع اکسیژن مورد نیاز آتش‌سوزی به لابه‌لای لاشبرگ‌ها می‌شود و با نفوذ به عمق لاشبرگ نه تنها باعث خشک شدن مواد سوختنی مجاور شده بلکه باعث تعیین مسیر جریان آتش‌سوزی نیز می‌شود (جزیره‌ای، ۱۳۸٤). این پژوهش به منظور بررسی سرعت گسترش آتش سطحی در لایه بستر جنگل و عوامل مؤثر بر آن به واسطه شبیه‌سازی باد در شرایط مختلف توپوگرافی در عرصه طبیعی جنگل آمیخته با در نظر گرفتن عوامل مؤثر از جمله سرعت باد، شرایط توپوگرافی، ضخامت لاشبرگ و نوع گونه‌های بومی موجود در منطقه انجام شده است. با توجه به افزایش چشمگیر آتش‌سوزی سطحی جنگلهای شمال ایران در فصل خزان ضرورت مطالعه سرعت گسترش آتش‌سوزی امری اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد.

مواد و روشها

این پژوهش در منطقه چلمردی واقع در شهرستان نکا، استان مازندران انجام شد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی "۲۱ '۲۳ °۵۳ شمالی و "۵۹ '۳۳ °۳٦ شرقی قرار گرفته و ارتفاع آن ۳۷۸ تا ٤۵۸ متر از سطح دریا می‌باشد. توپوگرافی منطقه نشان می‌دهد که جنگل مورد بررسی دارای تنوعی از دامنه‌های صاف و موجدار کم شیب تا شیب زیاد می‌باشد. گونه‌های درختی اصلی منطقه شامل بلندمازو و ممرز بوده و تک‌پایه‌های راش، انجیلی و پلت نیز به‌صورت پراکنده مشاهده می‌شوند. براساس آمار سالهای ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و نیمه اول ۱۳۸۹ (هجری شمسی) ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک دشت ناز (بی‌نام، ۱۳۸۹) در این منطقه سرعت باد در طول روز با توجه به شرایط توپوگرافی و ارتفاع از سطح دریا بین ۲ تا ۹ متر بر ثانیه متغیر بوده و به‌طور میانگین ۵ متر بر ثانیه می‌باشد. در این پژوهش مناطقی به صورت تصادفی با طبقات مختلف شیب (بلوک) در نظر گرفته شدند و ضخامت لاشبرگ در هر یک از کرت‌های آزمایش، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. اندازه کرت‌های آزمایش ۵ متر در جهت شیب (طولی) و ۱/۲ متر در جهت عمود بر شیب (عرضی) تعیین شد. ابعاد مذکور برای اندازه کرت‌ها به‌صورت تجربی انتخاب شده است. از دلایل انتخاب این اعداد پرتاب جرقه توسط مواد سوختنی به اطراف و متناسب نبودن شرایط توپوگرافی (از نظر ثابت در نظر گرفتن شیب و ضخامت لاشبرگ) در ابعاد بزرگتر برای انجام آزمایش‌های مورد نظر می‌باشد. به منظور شبیه‌سازی دمای آتش‌سوزی سطحی به دمای مورد نظر در عرصه، از دستگاه تنظیم حرارت (سیلندر ENK) که به‌طور غیر مستقیم حرارت ۲٦۰ تا ٤۰۰ درجه سانتی‌گراد (درجه حرارت لازم برای احتراق مواد سوختنی جنگل) را ایجاد می‌کند، استفاده شد. شبیه‌سازی باد با کمک نوعی فن با مولد پیل (Ventilator) انجام شد و سرعت باد توسط بادسنج (نوعی آلتراسونیک) اندازه‌گیری و با تنظیم فاصله فن (دور و نزدیک کردن فن) ثابت در نظر گرفته شد.

در این کرت‌ها عوامل مؤثر بر سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی شامل سرعت باد (۱ تا ۳، ۴ تا ۸، ۹ تا ۱۲ و ۱۳ تا ۱۶ برحسب متر برثانیه) ، ضخامت لاشبرگ (۱ تا ۲، ۳ تا ۴، ۵ تا ۶ و ۷ تا ۸ برحسب سانتی‌متر) و شیب (صفر تا ۱۵، ۱۵ تا ۳۰، ۳۰ تا ۴۵، ۴۵ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۹۰ برحسب درصد) در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. در این آزمایش طبقه‌بندیهای مذکور به‌صورت تجربی (مشاهدات) در نظر گرفته شدند. سرعت

Archive of SID

www.SID.ir

گسترش آتش‌سوزی سطحی با استفاده از فرمول سرعت ($V = \Delta X / T$) محاسبه شد که در آن (T) زمان، (ΔX) اختلاف مسافت طی شده و (V) سرعت توسعه که برابر است با مسافت طی شده در مدت زمان معین برحسب متر بر ساعت. نتایج بدست آمده از این مطالعه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با انجام آنالیز خطی (Univariate) در نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل آماری شد. با استفاده از این آزمون می توان اثر هر یک از عوامل موثر بر آتش سوزی را بصورت مجزا مورد بررسی قرار داد. سپس با استفاده از آزمون توکی اختلاف آماری میانگین ها در سطح احتمال ۹۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به صورت الفبایی نمایش داده شدند.

با توجه به اینکه تنوع گونه‌های درختی در جنگل باعث ایجاد ترکیبی از لاشبرگ‌های درختان موجود در عرصه شده و امکان اندازه‌گیری سرعت آتش‌سوزی سطحی لاشبرگ درختان به‌صورت مجزا دشوار می‌شود، برای اندازه‌گیری تأثیر نوع لاشبرگ گونه‌های مورد نظر بر سرعت آتش‌سوزی سطحی و معنی‌دار بودن اثر تیمارهای مختلف (لاشبرگ گونه‌ها)، ابتدا برگ گونه‌ها به‌صورت مجزا جمع‌آوری و آزمایش مورد نظر برای آنها انجام شد. این آزمایش در ٦ تکرار در شرایط ثابت عرصه (سرعت باد طبیعی، ضخامت لاشبرگ حدود ۳ سانتی‌متر و با ابعاد معین ۱/۲×۵ متر مربع از لاشبرگ گونه‌ها) برای هرگونه انجام شد. سپس با استفاده از طرح کاملاً تصادفی متعادل (طرحی برای شرایط مشابه کار)، تجزیه واریانس میانگین‌ها انجام شد. به منظور تحلیل آماری اثر تیمار (نوع لاشبرگ) بر سرعت گسترش آتش‌سوزی لاشبرگ گونه‌ها، از آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و آزمون دانکن استفاده و نتایج به صورت الفبایی نمایش داده شدند.

شکل ۱- منطقه مورد مطالعه (محدوده جنگل چلمردی نکا

نتایج

تأثیر نوع لاشبرگ گونه‌های درختی بر سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی

همانطور که در جدول (۱) مشخص می‌باشد نتایج تجزیه واریانس یک طرفه حکایت از آن دارد که تفاوت آماری معنی‌داری بین سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی برخی گونه‌ها وجود دارد. سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی لاشبرگ گونه راش که برگ‌های کوچکتری نسبت به پلت دارد بیشتر و در گونه بلندمازو با وجود برگ‌های بزرگتر، کمتر از سایر گونه‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد.

www.SID.ir

مشاهدات در هنگام آزمایش نشان داد که برگهای پهن (پلت) می‌تواند آتش را به صورت عرضی گسترش دهد. همچنین برگهای با ضخامت کمتر با خم شدن سریع خود در هنگام آتش‌سوزی باعث انتقال سریع آتش به لاشبرگ مجاور شده و گسترش آتش را تسهیل می‌کنند و برگهایی با ضخامت بیشتر (بلندمازو) و کوچکتر (ممرز) باعث کاهش سرعت گسترش آتش‌سوزی می‌شود.

جدول ۱- تأثیر نوع لاشبرگ بر سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی

نام گونه	میانگین سرعت گسترش آتش‌سوزی (متر بر ساعت)
Quercus castaneifolia	۴۲/۱۷ d *
Carpinus betulus	۴۷/۵ c
Parrotia persica	۵۱/۸۳ b
Fagus orientalis	۵۹/۷ a
Acer velutinum	۵۷ b

*: حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵٪ می‌باشد.

تأثیر ضخامت لاشبرگ و شیب منطقه بر سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی

نتایج نشان داد در سرعت ثابت باد، ضخامت لاشبرگ نقش تعیین کننده‌ای در سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی دارد، به‌طوری که در یک طبقه شیب یکسان با افزایش ضخامت لاشبرگ ابتدا سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی به سرعت افزایش یافته سپس شیب منحنی کمتر شده و در نهایت تقریباً ثابت می‌شود. وقتی ضخامت لاشبرگ ۱ تا ۲ سانتی‌متر باشد سرعت آتش‌سوزی تقریباً روند ثابتی دارد و با افزایش ضخامت به ۳ تا ٤ سانتی‌متر سرعت تقریباً دو برابر و سپس با ضخیم‌تر شدن این لایه به ۵ تا ٦ سانتی‌متر سرعت آن روند نزولی به خود گرفته و کمی کاهش می‌یابد. با افزایش ضخامت به ۷ تا ۸ سانتی‌متر سرعت آن کاهش یافته و تقریباً معادل سرعت اولیه می‌شود (شکلهای ۲ و ۳، جدولهای ۲ و ۳). ذکر این نکته ضروری است که کم شیب بودن زمین و عدم وزش باد سبب خاموش شدن آتش می‌شود.

جدول۲- تأثیر شیب بر سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی

شیب (درصد)	میانگین سرعت گسترش آتش‌سوزی (متر بر ساعت)
۰ – ۱۵	۶۵/۷۵ c*
۱۵ – ۳۰	۱۱۱/۷۵ bc
۳۰ –٤۵	۱۲۸/۲۵ abc
٤۵ – ٦۰	۱۶۴/۲۵ ab
٦۰ – ۹۰	۱۸۹ a

*: حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵٪ می‌باشد.

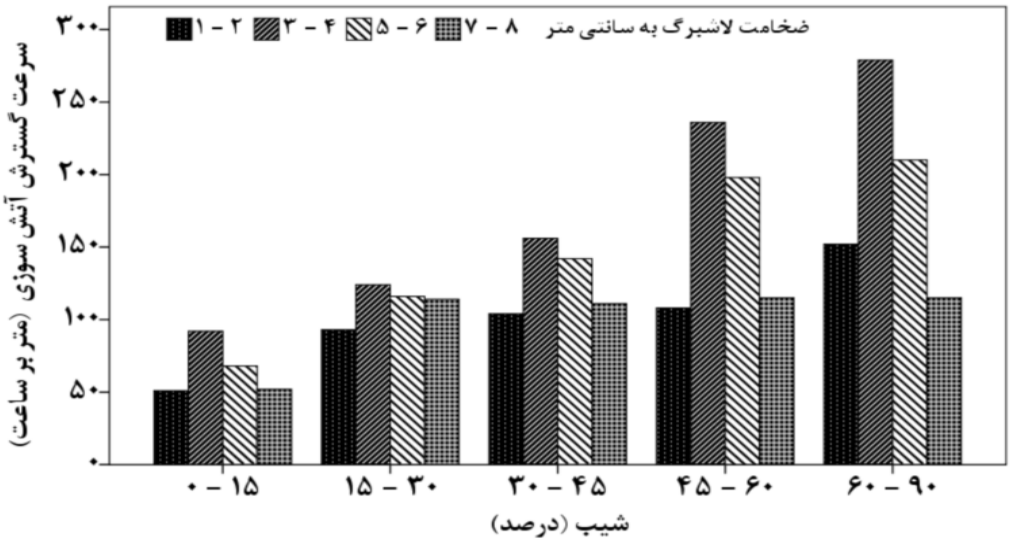
Archive of SID

www.SID.ir

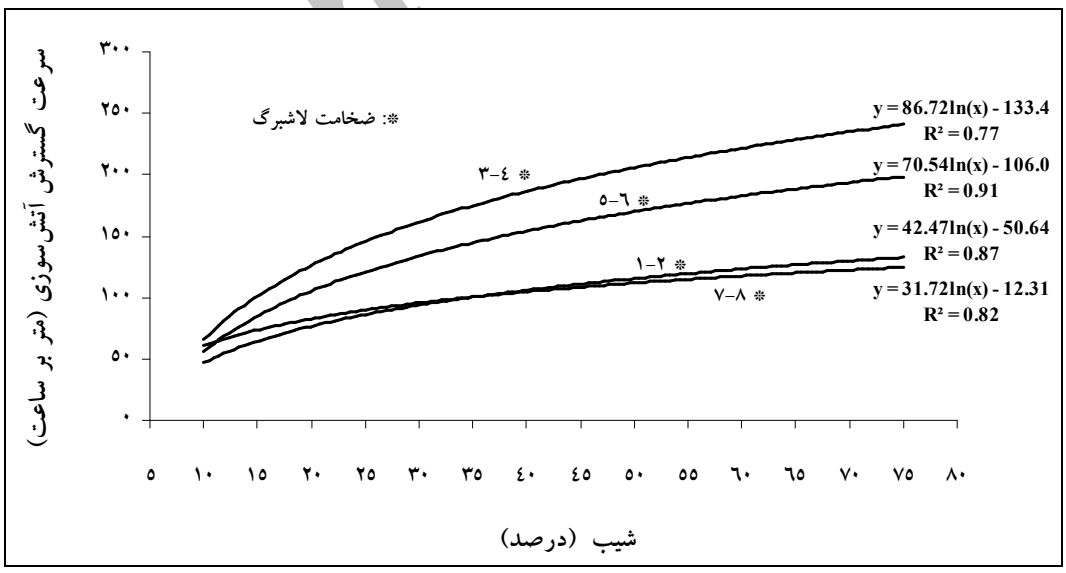
جدول ۳- تأثیر ضخامت لاشبرگ بر سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی

ضخامت لاشبرگ (سانتی‌متر)	میانگین سرعت گسترش آتش‌سوزی (متر بر ساعت)
۱ – ۲	۱۰۱/۶ [b*]
۳ – ٤	۱۷۷/۴ [a]
٥ – ٦	۱۴۶/۸ [ab]
۷ – ۸	۱۰۱/۴ [b]

*: حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵٪ می‌باشد.



شکل ۲– تغییرات سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی با توجه به طبقه‌های شیب و ضخامت لاشبرگ

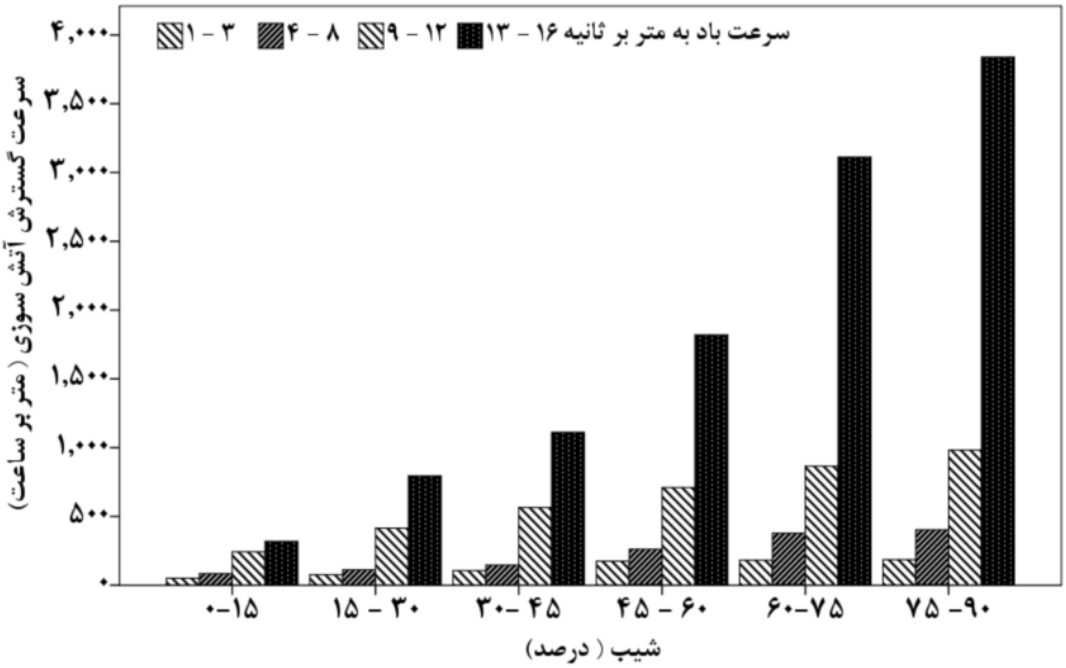


شکل ۳- منحنی سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی جنگل با توجه به طبقه‌های شیب و ضخامت لاشبرگ

www.SID.ir

تأثیر سرعت باد بر سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی

جریان باد انتقال حرارت به برگهای مجاور را تسهیل کرده و همچنین در مواردی با جابه‌جا کردن برگهای سبکی که در حال سوختن بودند باعث گسترش محدوده آتش‌سوزی شده و افزایش تصاعدی سرعت آتش‌سوزی سطحی را به‌دنبال داشت. این تغییرات در شیب‌های بالا روند صعودی بیشتری دارد. سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی در طبقات شیب ۷۵ تا ۹۰ درصد با سرعت باد ۱۳ تا ۱۶ متر بر ثانیه تقریباً ٤ برابر سرعت باد ۹ تا ۱۲ متر بر ثانیه، ۱۰ برابر سرعت باد ٤ تا ۸ متر بر ثانیه و ۲۰ برابر سرعت باد ۱ تا ۳ متر بر ثانیه می‌باشد (شکلهای ٤ و ۵، جدول ٤). همچنین تفاوت معنی‌داری برای تأثیر طبقه‌های مختلف شیب بر سرعت گسترش آتش‌سوزی در سرعت‌های متغیر باد وجود ندارد.



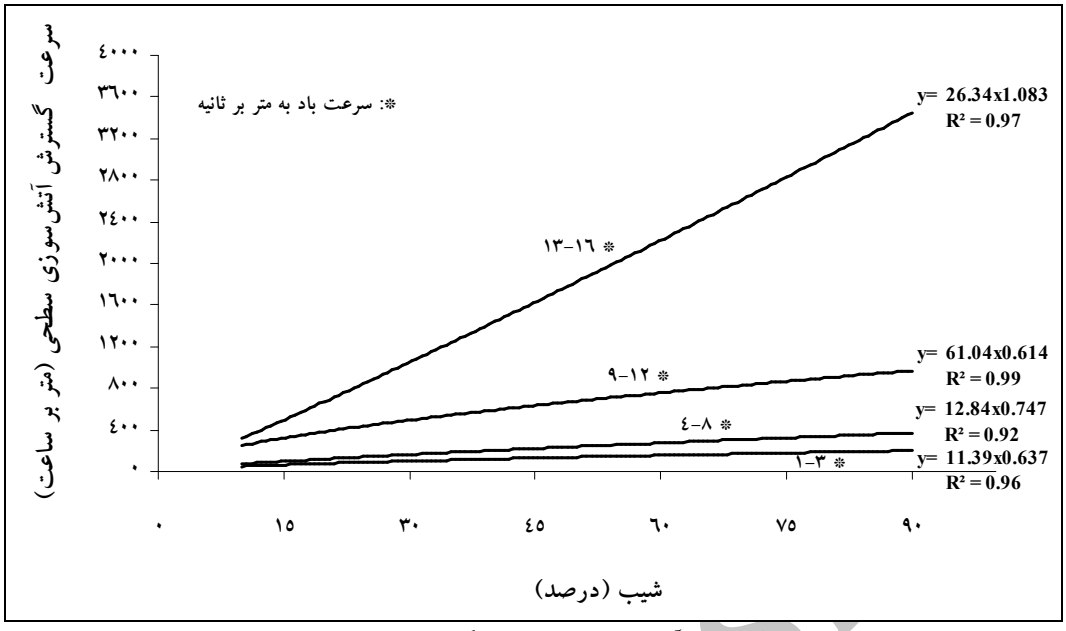
شکل ٤- تغییرات سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی با توجه به طبقه‌های شیب و سرعت باد

جدول ٤- تأثیر سرعت باد بر سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی

سرعت باد (متر بر ثانیه)	میانگین سرعت گسترش آتش‌سوزی (متر بر ساعت)
۱ - ۳	۱۲۹/۱۷ b*
٤ - ۸	۲۳۰/۵ b
۹ - ۱۲	۶۳۰ b
۱۳ - ۱۶	۱۸۳۲/۸۳ a

*: حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵٪ می‌باشد.

www.SID.ir



شکل ۵- منحنی سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی جنگل با توجه به طبقه‌های شیب و سرعت باد

بحث

از عوامل شکل‌گیری آتش‌سوزی می‌توان به حرارت، اکسیژن و مواد سوختنی اشاره کرد. آتش‌سوزی وقتی به وقوع می‌پیوندد که مواد سوختنی مناسب و کافی در دسترس باشد. در فصل خزان با ریزش برگ درختان پهن‌برگ حجم زیادی از لاشبرگ بر روی هم انباشته می‌شوند. با توجه به اینکه جنگلهای شمال ایران اغلب دو تا سه آشکوبه می‌باشند، در فصول مختلف سال لایه بستر جنگل پوشیده از مقدار زیادی لاشبرگ تجزیه نشده می‌باشد (مروی مهاجر، ۱۳۸۵). پس از خزان درختان با کم شدن تراکم تاج‌پوشش، نور خورشید به صورت مستقیم به لایه لاشبرگ بستر جنگل تابیده و باعث کاهش رطوبت در این لایه و خاک سطحی می‌شود، بنابراین شرایط مناسبی برای آتش‌سوزی سطحی فراهم می‌شود (جزیره‌ای، ۱۳۸٤). به‌طور کلی جهت‌های جنوبی به میزان دو تا سه برابر جهات شمالی نور و حرارت دریافت می‌کنند و معمولاً جهات جنوب غربی به دلیل تابش بیشتر نور خورشید در بعد از ظهر و خشک شدن خاک، بالاترین درجه حرارت را دارند (مروی مهاجر، ۱۳۸۵). معمولاً آتش در دامنه‌های رو به شمال به همان سرعتی که در دامنه‌های رو به جنوب توسعه می‌یابد، گسترش پیدا نمی‌کند (جزیره‌ای، ۱۳۸٤). در اثر تشعشع آفتاب و گرم شدن هوای محیط، این لاشبرگ‌ها حرارت را جذب می‌نمایند، بنابراین به درجه حرارت کمتری برای شروع آتش‌سوزی نیاز است. با توجه به این موارد، مناطقی با این شرایط می‌توانند نقطه شروع آتش‌سوزی سطحی در جنگلهای شمال ایران باشد. نوع گونه تشکیل دهنده لاشبرگ نقش مؤثری در گسترش آتش‌سوزی سطحی دارد (Anne *et al.*, 2010). نتایج این پژوهش نشان داد که لاشبرگ گونه‌های با برگ نازک (ضخامت کمتر) در هنگام سوختن به‌دلیل خم شدن باعث افزایش سرعت گسترش آتش‌سوزی می‌شوند. به‌طوری که مشاهدات نشان می‌دهد با خم شدن برگهای نازک گونه‌های راش و انجیلی (نسبت به بلندمازو) در هنگام سوختن، آتش به راحتی به لاشبرگ‌های مجاور انتقال یافته و سبب تسهیل گسترش طولی و عرضی آتش‌سوزی می‌شود. همین وضعیت در گونه پلت به دلیل داشتن برگهای پهن رخ می‌دهد، با این تفاوت که گسترش بیشتر به صورت عرضی می‌باشد. خم

Archive of SID

www.SID.ir

شدن برگها باعث تغییر در زاویه گسترش آتش‌سوزی می‌شود. تغییرات زاویه گسترش (چرخش برگ هنگام سوختن) در برگهای پهن گونه پلت نسبت به برگهای باریک و بلند بلندمازو و ممرز، بیشتر است. مشاهدات نشان داد گونه‌هایی مانند بلندمازو با وجود اینکه دارای برگهای زبرتر و سرعت کمتری در گسترش آتش‌سوزی هستند، اما با پرتاب برگها و شاخه‌های مشتعل خود در هنگام آتش‌سوزی سطحی، می‌توانند منشأ شروع آتش در سایر نقاط مجاور کانون آتش‌سوزی باشند. البته ضخامت لایه لاشبرگ نیز در افزایش و یا کاهش سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی تأثیر بسزایی دارد (Anne *et al*., 2010; Ormeno *et al*., 2009). در طبقات مختلف شیب، ضخامت لاشبرگ باعث تغییر در سرعت گسترش آتش‌سوزی می‌شود، به‌طوری که نتایج مشاهدات نشان می‌دهند در ضخامت لاشبرگ یکسان، شیب‌های کم تا ملایم باعث کاهش و شیب‌های زیاد باعث تشدید سرعت آتش‌سوزی سطحی می‌شود. دلیل این رفتار، صعود جریان هوا و انتقال حرارت حاصل از احتراق مواد سوختنی پایین‌دست به سمت بالای دامنه می‌باشد. همچنین زبانه کشیدن شعله‌های آتش هنگام آتش‌سوزی سطحی در جنگلهای پهن‌برگ در دامنه‌هایی با شیب زیاد، باعث انتقال توده‌های هوای گرم به مواد سوختنی مجاور می‌شود و دمای این مواد را به دمای مناسب برای آتش‌سوزی رسانده و با افزایش سرعت آتش‌سوزی، جریان آتش‌سوزی سطحی را تسهیل می‌کند (جزیره‌ای، ۱۳۸٤). Drysdale & Macmillan (1992) نشان دادند با افزایش ضخامت لاشبرگ زمان متوسط سرعت انتشار آتش در شیب ملایم در مقایسه با انتشار افقی آن دو برابر بیشتر است و با افزایش شیب تا ۱۰ تا ۱۵ درجه، سرعت انتشار آتش بیشتر می‌شود. Karafyllidis & Thanailakis (1992) اظهار کردند که سرعت و شکل گسترش آتش‌سوزی با توجه به سرعت باد و طبقات مختلف شیب متفاوت می‌باشد. مطالعه‌ای در جنگلهای اکالیپتوس در استرالیا نشان داد که سرعت گسترش آتش‌سوزی در شیب‌های ۱۰ و ۲۰ درصد نسبت به مناطق مسطح به‌ترتیب دو و چهار برابر شده است (Luke & Mcarthur, 1978). همچنین Trollope (1984) در شیب‌های ۲۲ تا ۳۵ و ۳۵ تا ۴۵ درصد به نتایج مشابه دست یافت. افزایش شیب به‌طور مداوم باعث افزایش گسترش و توسعه آتش‌سوزی سطحی می‌شود، اما عامل محدود کننده آن در شیب‌های بالا عدم وجود لاشبرگ در این شیب‌ها می‌باشد. به نظر می‌رسد که دلیل کم بودن مقدار لاشبرگ در شیب‌های بالا انتقال لاشبرگ درختان در اثر نیروی جاذبه به پایین دامنه و یا نقاطی با شیب ملایم می‌باشد. در شیب‌های بالا معمولاً به‌دلیل تمایل عمومی درختان و در دسترس بودن شاخه‌های آنها (شاخه‌های پایین تنه درخت) آتش‌سوزی سطحی به آتش‌سوزی تاجی و تنه‌ای تبدیل شده و باعث تغییر نوع آتش‌سوزی و تشدید آن می‌شود. نتایج حاصل از بررسی در عرصه نشان می‌دهد که سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی در شیب‌های بالا به‌صورت تصاعدی افزایش می‌یابد و در این شیب‌ها گسترش آتش‌سوزی وابستگی کمتری به نوع گونه درختی و لاشبرگ آن دارد. در نتیجه انتظار می‌رود در این نوع شیب‌ها با افزایش حرارت و حرکت توده هوای گرم، آتش تشدید شده (Boboulos & Purvis, 2009) و در نهایت به آتش‌سوزی تنه‌ای و تاجی تبدیل شود. در بسیاری از موارد سرعت گسترش آتش‌سوزی در سراشیبی‌ها به‌ویژه با همراه شدن باد کاهش می‌یابد (Berjak & Hearne, 2002). باد با تغییر زاویه بین شعله و مواد سوختنی باعث افزایش انتقال حرارت شعله آتش به سمت مواد سوخته نشده می‌شود (Burgan & Rothermel, 1984; Nelson & Adkins, 1986; Weise & Biging, 1996). جریان باد باعث انتقال سریع اکسیژن مورد نیاز آتش‌سوزی به لابه‌لای لاشبرگ می‌شود و با نفوذ به عمق لاشبرگ نه تنها باعث خشک شدن مواد سوختنی مجاور شده بلکه باعث تغییر مسیر جریان آتش‌سوزی می‌شود (جزیره‌ای، ۱۳۸٤)،

Archive of SID

www.SID.ir

به‌طوری که با انتقال سریع حرارت به سمت بالای دامنه و با زبانه کشیدن شعله آتش، جریان آتش‌سوزی را به سمت بالا هدایت می‌کند (Boboulos & Purvis, 2009). مشاهدات در منطقه نشان داد که با افزایش سرعت باد، سرعت گسترش آتش‌سوزی سطحی نیز افزایش یافته و پیش‌بینی رفتار و جهت گسترش آن ممکن نخواهد بود. مشاهدات نشان داد این حالت در لاشبرگ گونه‌هایی با برگهای بسیار پهن مانند پلت کاملاً مشهود است. با بیشتر شدن سرعت باد نحوه گسترش آتش‌سوزی به سمت بالای دامنه به‌صورت خطی درآمده و به‌صورت عمود بر جهت باد با سرعت کمتر به ناحیه‌های مجاور منتقل می‌شود. نتایج این بررسی حکایت از رفتار غیر متعارف آتش‌سوزی سطحی در سرعت‌های بیشتر وزش باد دارد، به‌طوری که بین تیمار با سرعت باد ۱۳ تا ۱۶ متر بر ثانیه با بقیه تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد (به جدول ٤ رجوع شود)، بدین معنی که وقتی سرعت باد به ۱۳ تا ۱۶ متر بر ثانیه برسد میانگین سرعت گسترش آتش از ٦۳۰ به ۱۸۳۲ متر بر ساعت می‌رسد، بنابراین در این شرایط بهتر است از آتش‌بُر استفاده شود. هرچند برای جنگلهای ارزشمند شمال کشور، ایجاد آتش‌بُر به تعداد زیاد به صلاح نیست، اما به‌دلیل تعدد وقوع آتش‌سوزیها و عدم مدیریت صحیح در اعمال اقدامات پیشگیرانه، در حال حاضر ایجاد آتش‌بُر در برخی مناطق پُرخطر آتش‌سوزی به منظور جلوگیری از گسترش بیشتر آتش ضروری به نظر می‌رسد. بدین‌ترتیب برای انتخاب محل آتش‌بُر باید به نوع گونه گیاهی توجه شود، زیرا نتایج این مطالعه نشان داد گونه‌هایی مانند پلت که برگهای پهن‌تری نسبت به سایر گونه‌ها دارند می‌توانند آتش را به صورت عرضی گسترش دهند. نتایج بررسی حاضر نشان می‌دهد با مطالعه نحوه سوختن لاشبرگ گونه‌های مختلف جنگلهای شمال ایران و با در نظر گرفتن سرعت باد و شیب منطقه امکان پیش‌بینی نحوه گسترش و سرعت آتش‌سوزیهای سطحی طبیعی فراهم می‌شود. بنابراین می‌توان در هنگام وقوع آتش‌سوزی با اجرای عملیات مناسب و پیشگیرانه از گسترش هر چه بیشتر آن جلوگیری کرده و از اکوسیستم‌های جنگلی ارزشمند شمال کشور که از گونه‌های صنعتی و نادر تشکیل شده حفاظت و از خسارتهایی که به نواحی مجاور آن وارد می‌شود ممانعت بعمل آورد.

سپاسگذاری

در پایان از بنیاد ملی نخبگان و سازمان بسیج علمی پژوهشی و فناوری استان مازندران به منظور حمایت مالی در راستای اجرای این تحقیق، تشکر و سپاسگذاری به عمل می آید. همچنین تشکر ویژه خدمت استادکار صنعت جوش، جناب آقای مصلحی که تجهیزات لازم را به منظور انجام آزمایش در اختیار اینجانب قرار دادند.

منابع مورد استفاده

– بی‌نام، ۱۳۸۹. بانک اطلاعات هواشناسی(www.irimo.ir).
– جزیره‌ای، م.ح.، ۱۳۸٤. نگهداشت جنگل. انتشارات دانشگاه تهران، ۲۳۱ صفحه.
– حسینی، س.م.، ۱۳۸٤. جنگل‌داری مقدماتی. انتشارات دانشگاه مازندران، ۲۷۴ صفحه.
– مروی مهاجر، م.ر.، ۱۳۸۵. جنگل‌شناسی و پرورش جنگل. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۸۷ صفحه.
- Agee, J.K., 1993 .Fire ecology of pacific northwest forests. Island press, Washington D.C., 493 p.
- Anne, G., Marielle, J., Corinne, L.M., Thomas, C. and Laurent, B., 2010. Effects of vegetation type and fire regime on flammability of undisturbed litter in South eastern France. Forest Ecology and Management, 261 (12): 2223-2231.
- Barnes, B.V., Zak, D.R., Denton, S.R. and Spurr, S.H., 1998. Forest Ecology. Forth Edition, Wiley and Sons, New York, 774 p.
- Berjak, S.G. and Hearne, J.W., 2002. An improved cellular automaton model for simulating fire in a spatially heterogeneous Savanna system. Ecological Modelling, 148: 133-151.
- Boboulos, M. and Purvis, M.R.I., 2009. Wind and slope effects on ROS during the fire propagation in East-Mediterranean pine forest litter. Fire Safety Journal, 44: 764-769.

Archive of SID

www.SID.ir

International Conference on Fire Research. Luso, Portugal: 497-511.
- Morandini, F., Santoni, P.A. and Balbi, J.H., 2001. The contribution of radiant heat transfer to laboratory-scale spread under the influences of wind and slope. Fire Safety Journal, 36: 519-543
- Morandini, F., Silvani, X., Rossi, L., Santoni, P.A., Simeoni, A., Balbi, J.H., Rossi, J.L. and Marcelli, T., 2006. Fire spread experiment across Mediterranean shrub: Influence of wind on flame front properties. Fire Safety Journal, 41: 229-235.
- Nelson, R.M. and Adkins, C.W., 1986. Flame characteristics of wind-driven surface fires. Canadian Journal of Forest Research, 18: 391-403.
- Ormeno, E., Céspedes, B., Sánchez, I.A., Velasco-García, A., Moreno, J., Fernandez, C. and Baldy,V., 2009. The relationship between terpenes and flammability of leaf litter. Forest Ecology and Management, 257: 471-482.
- Scarff, F.R. and Westboy, M., 2006. Leaf litter flammability in some semi-arid Australian woodlands. Functional Ecology, 20: 745-752.
- Swanson, F.J., 1981. Fire and geomorphic processes. In: Mooney, H.A., Bonnicksen, T.M., Christensen, N.L., Lotan, J.E. and Reiners, W.A., (Eds.). Fire regimes and ecosystem properties, proceedings of the conference, USDA Forest Service General Technical Report WO-26, Honolulu, HI.. 401-420.
- Trollope, W.J., 1984. Fire in Savanna. In: Booysen, P.V. and Tainton, N.M., (Eds.). Ecological effects of fire in South African ecosystems. Springer-Verlag, Berlin: 149-176.
- Tse, S.D. and Fernandez-Pello A.C., 1998. On the flight paths of metal particles and embers generated by power lines in high winds-a potential source of wildland fires. Fire Safety Journal, 30: 333-356.
- Viegas, D., 2004. Slope and wind effect on fire propagation. International Journal of Wildland Fire, 13: 143-156.
- Weise, D.R. and Biging, G.S., 1996. Effects of wind velocity and slope on flame properties. Canadian Journal of Forest Research, 26 (10): 1849-1858.
- Wotton, B.M., McAlpine, R.S. and Hobbs, M.W., 1999. The effect of fire front width on surface fire behavior. International Journal of Wildland Fire, 9 (4): 247-253.
- Bradstock, R.A. and Cohn, J.S., 2002. Fire regimes and biodiversity in semi-arid mallee ecosystems. In: Bradstock, R.A., Williams, J.E., Gill, A.M. (Eds.). Flammable Australia: The fire regimes and biodiversity of a continent. Cambridge University Press, Cambridge, UK: 238-258.
- Brown, P.M. and Sieg, C.H., 1996. Fire history in interior ponderosa pine communities of the Black Hills, SD, USA. International Journal of Wildland Fire, 6: 97-105.
- Burgan, R.E. and Rothermel, R.C., 1984. Behave: fire behavior prediction and fuel modeling system-fuel subsystem. USDA. Forest Service. General Technical Report INT-167, 126 p.
- Cammeraat, L.H. and Imeson, A.C., 1999. The evolution and significance of soil-vegetation patterns following land abandonment and fire in Spain. The significance of soil, water and landscape processes in banded vegetation patterning, Catena, 37: 107-127.
- Catchpole, W.R., Catchpole, E.A., Butler, B.W., Rothermel, R.C., Morris, G.A. and Latham, D.J., 1998. Rate of spread of free-burning fires in woody fuels in a wind tunnel. Combust Science Technology, 131: 1-37.
- Certini, G., 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. Oecologia, 143: 1-10.
- Dimitrakopoulos, A.P. and Panov, P.I., 2001. Pyric properties of some dominant Mediterranean vegetation species. International Journal of Wildland Fire, 10: 23-27.
- Drysdale, D.D. and Macmillan, A.J., 1992. Flame spread on inclined surfaces. Fire Safety Journal, 18: 245-254.
- Kane, J.M., Varner, J.M. and Hiers, J.K., 2008. The burning characteristics of southeastern oaks: discriminating fire facilitators from fire impeders. Forest Ecology and Management, 256: 2039-2045.
- Karafyllidis, I. and Thanailakis, A., 1997. A model for predicting forest fire spreading using cellular automata. Ecological Modelling, 99 (1): 87-97.
- Luke, R.H. and Mcarthur, A.G., 1978. Bushfires in Australia. Australian Government Publishing Service, Canberra, 359 p.
- Mendes-Lopes, J.M., Ventura, J.M. and Amaral, J.M., 1998. Rate of spread and flame characteristics in a bed of pine needles. Proceedings of the III.

Archive of SID

www.SID.ir

Simulation of surface fire to study the spread rate of it's distribution in mixed hardwood forest

Mehran Nasiri [1*], Seyed Mohammad Hojjati [2] and Mehrsedeh Tafazoli [3]

1*- Corresponding author, M.Sc. student of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Science and Natural Resources University. E-mail : Me.nasiri@sanru.ac.ir
2- Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Science and Natural Resources University, Iran, Sari.
3- M.Sc. student of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Science and Natural Resources University, Iran, Sari.
Received: 30.05.2011 Accepted: 02.09.2011

Abstract

Wildfires as one of the natural events influence forest ecosystems. Global warming and it's effect on lengthening of dry season along with accumulation of senesced litter may couple the effects of fire in forest ecosystems. Hyrcanian forests of Iran are often bothered from the natural and also manmade fires severely. The present study was conducted to investigate the spread rate of surface fire and the effective factors which influence on it in natural mixed forest of Chalmardi- Mazandaran, Northern Iran. The spread rate of fire was measured under different conditions which were simulated with different wind speed (1-16 m s^{-1}), slope classes (% 0-90), species (*Parrotia persica* C.A.M., *Acer velutinum* L., *Fagus orientali*s L., *Carpinus betulus* L., *Quercus castaneifolia* L.) and thicknesses of leaf litter (1-8 cm). Results showed that the surface fire distributed intensively with increasing wind speed. This was also accelerated in greater slope degrees. Our findings revealed that the spread rate of fire increased with increasing litter thicknesses up to 4 cm and then decreased. The types of leaf litter influence the spread rate of fire, as leaves with small thickness (*Fagus orientalis* L.) and large width (*Acer velutinum* L.), facilitate the fire transmission to neighbor litter by bending itself and increase the spread rate of fire, and leaves with greater (*Quercus castaneifolia* L.) and smaller (*Carpinus betulus* L.) thickness reduce the spread rate of fire due to the lack of rapid transmission of fire to the neighbor litter.

Key words: surface fire, wind speed, slope, litter thickness, litter type, spread rate of fire.

Archive of SID

www.SID.ir