فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۳ شماره ۳، صفحه ۵۷۲ـ ۵۶۲، (۱۳۹۴)

ارزیابی مقدار مواد سوختنی پس از آتش‌سوزی در جنگل‌کاری‌های کاج تدا با استفاده از خط‌نمونه و روش FLM (مطالعه موردی: جنگل‌کاری‌های تَخسَم در استان گیلان)

مسعود امین‌املشی[۱*]، مهرداد قدس‌خواه[۲]، امیراسلام بنیاد[۳]، حسن پورربابایی[۳]، مصطفی جعفری[۴] و وحید غلامی[۲]

۱*– نویسنده مسئول، دانشجوی دکترای جنگل‌داری دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

پست الکترونیک: msd_amin@yahoo.com

۲– استادیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

۳– دانشیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

۴– دانشیار پژوهشی، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۹/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۲۷

چکیده

وقوع آتش‌سوزی در بوم‌سازگان‌های طبیعی به شرایط آب‌وهوایی، در دسترس بودن منابع احتراق و مقدار و مشخصات مواد سوختنی بستگی دارد. میزان انباشتگی مواد سوختنی یک عامل تعیین کننده در رفتار آتش است. باقی‌مانده‌های چوبی افتاده در جنگل و نیز پوشش علفی کف جنگل‌ها ازجمله عامل‌های تعیین کننده در شدت آتش‌سوزی و زمان احتراق است. مدیران جنگل برای مدیریت ماده سوختنی نیاز به آگاهی از مقدار، ترکیب طبقه قطری و وضعیت زمانی و مکانی مواد سوختنی دارند. جنگلکاری‌های سوزنی‌برگ در ناحیه سراوان و لاکان شهرستان رشت ازجمله حساسترین مناطق به آتش‌سوزی در جنگل‌های استان گیلان هستند. به‌منظور مشخص کردن مقدار انباشت ماده سوختنی و درجه اهمیت آن در خطر آتش‌سوزی این جنگل‌ها پس از آتش‌سوزی‌های اخیر، جنگلکاری تخسم در منطقه جنگلی لاکان مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از خط‌نمونه و از روش FLM (روش برآورد مقدار ماده سوختنی) استفاده شد. نتایج نشان داد که مقدار ماده سوختنی در پوشش جنگلکاری با کاج تدا ۳/۸۹ تن در هکتار است که در طبقه‌های قطری مختلف پراکنده است. این میزان سوخت، آتش‌سوزی شدیدی را متوجه این جنگل نمی‌کند، اما بعضی از پوشش‌های علفی منطقه دارای مقدار ماده سوختنی زیادی هستند که آتش‌سوزی شدید و گذرایی را از این پوشش‌ها می‌توان انتظار داشت.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی‌جنگل، خط‌نمونه، کاج تدا، مقدار ماده سوختنی جنگل.

مقدمه

مواد سوختنی یکی از اجزای اصلی آتش‌سوزی است که در مثلث آتش (ماده سوختنی، گرما و اکسیژن) و نیز مثلث رفتار آتش (ماده سوختنی، توپوگرافی و آب‌وهوا) دیده می‌شود (Bennett *et al.*, 2010). به نقل از Alexander و همکاران (۲۰۰۴)، شعله‌ور شدن، گسترش و رفتار آتش به ماده سوختنی بیشتر از هر فاکتور دیگر وابسته است، بنابراین اگر ماده سوختنی نباشد، آتش هم وجود ندارد. آسیب‌های

ناشی از آتش‌سوزی و توانایی نیروی مهار و سرکوب آتش به‌صورت شدید به شدت آتش‌سوزی که خود تحت تأثیر عامل‌هایی همچون ماده سوختنی، توپوگرافی و آب‌وهوا قرار دارد، وابسته است. از بین عامل‌های یادشده فقط ماده سوختنی است که قابل دستکاری و تغییر می‌باشد و مدیریت آن اساس پیشگیری از آتش‌سوزی است (Gould, 2006). مطابق تعریف فائو، مدیریت ماده سوختنی یعنی مهار شعله‌ور شدن آتش و کاهش مقاومت آن. کنترل ماده سوختنی در اراضی طبیعی و به شکل‌های مکانیکی، شیمیایی، بیولوژیکی یا آتش‌سوزس‌های‌های تجویزی در حمایت از مدیریت زمین انجام می‌گیرد (Xanthopoulos *et al*., 2006). با انباشتگی ماده سوختنی شدت آتش‌سوزی زیاد می‌شود و خطر خسارت به حیات وحش و منابع طبیعی افزایش می‌یابد. میزان انباشتگی ماده سوختنی یکی از عامل‌های تعیین کننده رفتار آتش به‌ویژه در مناطقی است که آتش‌سوزی به طور مکرر اتفاق می‌افتد (Keifer *et al*., 2006).

Rego (۲۰۱۰) به این نکته اشاره دارد که برای مدیریت آتش، شرح مکانی ویژگی‌های ماده سوختنی در سرتاسر منطقه مورد مطالعه نیاز است و نوع، ترکیب و توزیع ماده سوختنی یکی از مهمترین فاکتورهای مؤثر در خطر آتش‌سوزی محسوب می‌شود. شناسایی ویژگی‌ها و پراکنش مکانی ماده سوختنی از مهمترین برنامه‌ها در مدیریت ماده سوختنی و آتش، برای سیستم‌های تصمیم‌گیری حمایت‌کننده منابع است. ویژگی‌ها و مقدار مواد سوختنی، به‌عنوان یک منبع مهم در رفتار و تأثیرات آتش همیشه برای کارشناسان آتش، بوم‌شناسان، مدیران هواشناسی تلقی می‌شود و در بررسی مدل‌های تعادل کربن به‌عنوان یک منبع مهم و تأثیرگذار درنظر گرفته می‌شود. بسترهای ماده سوختنی ازنظر ویژگی‌های فیزیکی، ساختار پیچیده‌ای دارند که در پتانسیل رفتار آتش و در انتخاب روش‌های کنترل آتش بسیار مؤثر است. اهمیت طبقه‌بندی ماده سوختنی به‌قدری است که در ایالات متحده آمریکا نقشه مهار و کنترل آتش برای مدت ۸۰ سال فقط بر روی طبقه‌بندی مواد سوختی متمرکز شده بود (Sandberg *et al*., 2001). Sexton (۲۰۰۶) هدف اصلی مدیریت مواد سوختنی جنگل را در ایالات متحده آمریکا، کاهش مقدار ماده سوختنی به‌منظور کاهش اثرات ناخواسته آتش‌سوزی بر سلامت عمومی، هزینه‌های مترتب بر خاموش‌سازی آتش و خسارت وارده بر منابع طبیعی و کشاورزی می‌داند.

ماده سوختنی جنگل از دو بخش زنده و مرده تشکیل شده است. بخش مرده شامل قسمت زبرین بستر جنگل (Litter) و قسمت زیرین آن (Duff) است. قسمت زبرین بستر (افق ۰۱ یا لایه L) لایه سطحی کف جنگل است که مرکب از برگ‌های افتاده تازه، پوست درختان، میوه‌ها و مخروط‌ها و نیز قطعات چوبی باقی‌مانده است. قطعات چوبی شامل چوب‌های کلفت (CWD) و چوب‌های نازک (FWD) است. چوب‌های کلفت شامل تنه‌های درختان و درختچه‌های مرده است و چوب‌های نازک که به ماده سوختنی خوب معروف هستند، شامل شاخه‌های مرده و پایه‌های بوته‌ای و درختچه‌ای کم‌قطر هستند. قسمت زیرین بستر جنگل (افق ۰۲ یا لایه‌های H و F) لایه هوموس و تخمیرشده‌ای است که در زیر لایه زبرین بستر قرار دارد (Brown, 1974 ; Brown *et al*. 1982).

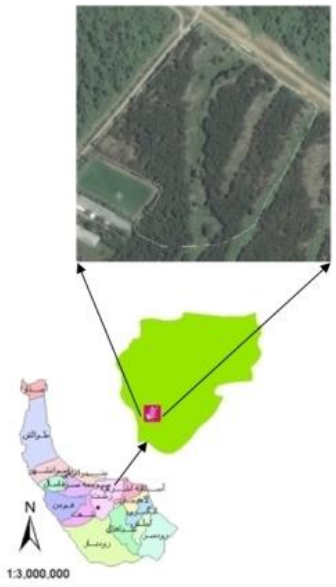
هدف اصلی پژوهش پیش‌رو بررسی مقدار ماده سوختنی موجود و تفکیک آن در طبقه‌های قطری مختلف پس از آتش‌سوزی در جنگلکاری‌های تخسم به روش FLM (برآورد مقدار ماده سوختنی) است. پیرو آن، نقش مقدار ماده سوختنی انباشت‌شده در خطر آتش‌سوزی منطقه نیز مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

جنگل تخسم بخشی از جنگل‌کاری با گونه کاج تدا (*Pinus taeda*) در لاکان شهرستان رشت است که در سال ۱۳۷۱ در موقعیت جغرافیایی ″۱۸ ′۰۹ °۳۷ طول شرقی و ″۱۷ ′۳۵ °۴۹ عرض شمالی و در ارتفاع ۷۰ متر بالاتر از سطح دریا و در منطقه مسطح و بدون شیب در فواصل ۳×۳ متر کشت شده است (شکل ۱). درختان تدا در حال حاضر با قطر متوسط ۲۰ سانتی‌متر و با میانگین ارتفاعی ۱۱ متر توده

خالص و همسالی را به‌وجود آورده‌اند. در ابتدای مرداد سال ۱۳۹۲ مساحتی برابر با ۵/۵ هکتار از این جنگل‌کاری‌ها در آتش سوخت و در تابستان سال ۱۳۹۳ (یک سال پس از آتش‌سوزی) مقدار ماده سوختنی انباشت‌شده آن مورد ارزیابی قرار گرفت. در توده جنگل‌کاری کاج تدا نوارهایی به عرض تقریبی ۱۵ متر عاری از درخت به‌چشم می‌خورد که احتمالاً برای زادآوری طبیعی و یا به عنوان آتش‌بر قطع شده است، بنابراین علاوه‌بر توده‌های کاج تدا، پوشش‌هایی در سطوح نواری شکل از علفی‌های متراکم سرخس عقابی (*Pteridium aquilinum*) و آقطی (*Sambucus ebulus*) و نیز علفی‌های پراکنده بندواش (*Paspalum distichum*)، علف هفت‌بند (*Polygonum* sp.)، درمنه (*Artemisia annua*) و تمشک (*Rubus* sp.) این منطقه را پوشش می‌دهند. با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، مرز نقاط آتش‌سوزی‌شده جنگل‌کاری کاج تدا و نیز مرز پوشش‌های علفی که در مساحت‌های مختلف دیده می‌شدند، مشخص شد، سپس موقعیت این داده‌ها بر روی تصاویر Google Earth مشخص و لایه‌های تهیه شده آن به محیط ArcGis معرفی شدند تا مساحت پوشش‌های مختلف محاسبه شود (شکل ۱).

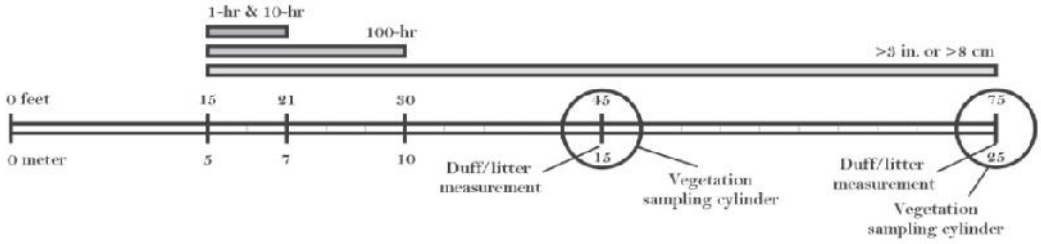


شکل ۱- جنگل‌کاری تخسم در منطقه لاکان شهرستان رشت

از مجموع ۵/۵ هکتار عرصه آتش‌سوزی‌شده، جنگل‌کاری کاج تدا وسعتی برابر با ۳/۹۹ هکتار را تشکیل می‌داد و مناطق با پوشش علفی متراکم و پراکنده به‌ترتیب دارای مساحتی برابر با یک و ۰/۵۱ هکتار بودند.

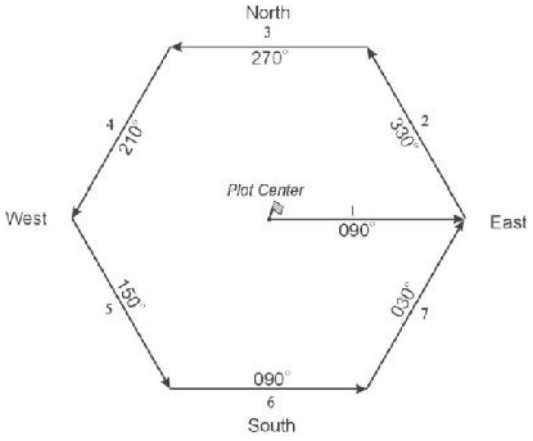
روش پژوهش

برای آماربرداری از خط‌نمونه و روش FLM (برآورد مقدار ماده سوختنی) استفاده شد. نمونه‌برداری با خط‌نمونه برای اندازه‌گیری مواد سوختنی برای اولین بار توسط Brown در سال ۱۹۷۴ با تغییراتی بر خط‌نمونه Warrenو Olsen و به‌منظور افزایش دقت، کاهش هزینه‌ها و تسهیل در اندازه‌گیری قطعات چوبی مرده و افتاده در کف جنگل معرفی شد. Brown طول خط‌نمونه را ۲۵ متر انتخاب کرد و آن را به سه قسمت پنج تا هفت متر، پنج تا ۱۰ متر و پنج تا ۲۵ متر تقسیم کرد. به همین منظور می‌توان از آن به عنوان خط‌نمونه منقطع نیز یاد کرد. در نمونه‌برداری با خط‌نمونه منقطع یا همان خط‌نمونه، باقی‌مانده چوب‌های افتاده و مرده در کف جنگل در چهار طبقه قطری شامل طبقه قطری یک (کمتر از شش میلی‌متر)، طبقه قطری دو (شش تا ۲۵ میلی‌متر)، طبقه قطری سه (۲۵ تا ۷۶ میلی‌متر) و طبقه قطری چهار (بیشتر از ۷۵ میلی‌متر) طبقه‌بندی می‌شوند که هر طبقه قطری را یک تایم لگ (Time-lag) (مدت زمان تأخیر گرما در ماده سوختنی) می‌نامند (Scott, 2010). در قسمت اول خط‌نمونه (فاصله طولی بین پنج تا هفت متر) طبقه قطری یک و طبقه قطری دو اندازه‌گیری می‌شوند. در فاصله بین پنج تا ۱۰ متر طبقه قطری سه و در طول ۲۰ متر از خط‌نمونه یعنی فاصله بین پنج تا ۲۵ متر، طبقه قطری چهار اندازه‌گیری می‌شود (شکل۲). در خط‌نمونه تمام قطعات چوبی به شکل دایره فرض شده‌اند (Lutes & Keane, 2006).



شکل۲- خط‌نمونه منقطع (Lutes & Keane, 2006)

در روش مقدار ماده سوختنی، در قطعات نمونه‌برداری خطوط‌نمونه به شکل یک شش‌ضلعی برای اندازه‌گیری مواد سوختنی مورد استفاده قرار می‌گیرند، علاوه‌بر آن یک خط‌نمونه نیز از مرکز شش ضلعی عمود به اولین ضلع در جهت شرقی ترسیم می‌شود که اولین خط‌نمونه در هر قطعه‌نمونه است. خط‌نمونه دوم که در واقع اولین ضلع شش‌ضلعی است، با زاویه ۳۳۰ درجه در جهت شمال قرار می‌گیرد. خط‌نمونه سوم از انتهای خط‌نمونه دوم و با زاویه ۲۷۰ درجه در جهت غرب حرکت می‌کند و سایر خطوط نمونه نیز با زاویه تعیین‌شده در زمین پیاده می‌شوند تا شش‌ضلعی هر قطعه‌نمونه مشخص شود (شکل ۳).



شکل ۳- قطعه نمونه‌برداری به روش مقدار ماده سوختنی (Lutes & Keane, 2006)

در روش ماده سوختنی دو اصل برای اندازه‌گیری وجود دارد: اول اینکه سه خط‌نمونه از مجموع هفت خط‌نمونه حتماً باید برداشت شوند و دوم آنکه از هر قطعه نمونه‌برداری باید حداقل ۱۰۰ نمونه (قطعات چوبی افتاده روی زمین) اندازه‌گیری شود. اگر پس از اجرای اصل اول یعنی اتمام اندازه‌گیری خط‌نمونه سوم، ۱۰۰ نمونه از قطعات چوبی مرده و افتاده روی زمین اندازه‌گیری شد، یا به‌عبارتی اصل دوم نیز تحقق یافت، نمونه‌برداری در آن قطعه‌نمونه پایان می‌یابد، اما اگر تعداد قطعات چوبی پس از اندازه‌گیری سه خط‌نمونه به ۱۰۰ نمونه نرسید، اندازه‌گیری از سایر خطوط ادامه می‌یابد تا اصل دوم محقق شود. در هر خط‌نمونه، دو قطعه‌نمونه کوچک در فاصله‌های ۱۵ تا ۲۵ متری برای اندازه‌گیری پوشش علفی و نیز عمق پوشش زبرین و زیرین مشخص شده است.

برای تعیین تعداد قطعات نمونه در منطقه مورد مطالعه، ابتدا تعدادی خط‌نمونه به‌طور تصادفی انتخاب شد و پس از اندازه‌گیری از قطعات چوبی افتاده و مشخص کردن انحراف‌معیار نمونه‌ها و با قبول اشتباه آماربرداری هشت درصد (Zobeiri, 2002)، تعداد ۲۱ قطعه‌نمونه در منطقه مشخص شد. قطعات نمونه با شبکه آماری ۶۰ × ۵۰ متر در سیستم اطلاعات جغرافیایی (نرم‌افزار ArcGis نسخه 9.3) ترسیم شدند. با داشتن موقعیت جغرافیایی هر قطعه‌نمونه، با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPSmap مدل Garmin 60cs$_x$) با حداکثر سه متر خطا، قطعات نمونه در عرصه مشخص و عملیات آماربرداری به شکل تصادفی- منظم انجام شد.

از ۲۱ قطعه نمونه تعداد ۱۱۸ خط‌نمونه اندازه‌گیری شد که کمترین تعداد خط‌نمونه در هر قطعه نمونه، چهار خط‌نمونه و بیشترین آن هفت خط‌نمونه بود. ۱۸۶ قطعه‌نمونه کوچک با ابعاد ۱×۱ مترمربع نیز برای تعیین اطلاعات پوشش علفی بر روی خط‌نمونه برداشت شد. تعداد ۵۰ قطعه‌نمونه کوچک از مجموع کل قطعات نمونه کوچک در خارج از مرز نمونه‌برداری و یا در مسیر رودخانه فصلی قرار داشت که اندازه‌گیری نشدند.

برای اندازه‌گیری قطعات چوبی افتاده، محل تقاطع هر قطعه چوب با خط‌نمونه و با خط‌کش معمولی اندازه‌گیری شد. در قطعات نمونه کوچک در هر خط‌نمونه چنانچه پوشش علفی کم بود، تمام پوشش علفی برداشت شد و توسط ترازوی دیجیتال سیار (مدل WeiHang) با دقت یک گرم در محل اندازه‌گیری شد. در بعضی از قطعات نمونه کوچک با پوشش علفی متراکم، یک‌چهارم قطعه‌نمونه با فرض از قبل مشخص شده برای انتخاب قطعه‌نمونه (دومین قطعه‌نمونه در سمت راست مسیر حرکت خط‌نمونه)، انتخاب شد و پوشش علفی آن برداشت و وزن شد. از عمق لایه‌های زبرین و زیرین با خط‌کش معمولی و در چهار گوشه هر قطعه‌نمونه اندازه‌گیری شد. برای تعیین مقدار ماده سوختنی (وزن باقی‌مانده چوبی افتاده) از فرمول Van Wagner (رابطه ۱) استفاده شد (Zobeiri, 2002):

رابطه (۱)
$$W = \frac{\pi^2 \times s \times \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n_j} d_{ij}^2}{8 \times L \times m}$$

که در آن W: وزن (حن درهکتار)، S: وزن مخصوص (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، L: طول هر خط‌نمونه (متر)، d_{ij}: قطر قطعه چوب i در خط‌نمونه j به سانتی‌متر و m: تعداد خط‌نمونه است.

برای برآورد مقدار ماده سوختنی، وزن مخصوص کاج تدا برای جنگل‌کاری‌های گیلان ۰/۳۷ لحاظ شد (Golbabaei *et al*., 2012).

نتایج

از مجموع ۱۱۸ خط‌نمونه ۹۲۴ قطعه چوبی اندازه‌گیری شد که ۴۹۴ قطعه در طبقه قطری یک، ۲۸۳ قطعه در طبقه قطری دو، ۹۱ قطعه در طبقه قطری سه و ۵۶ قطعه در طبقه قطری چهار قرار داشتند. پس از تفکیک داده‌ها در طبقه‌های قطری مختلف، مقدار ماده سوختنی چوب مرده به‌شرح جدول ۱ برآورد شد. اشتباه‌معیار و حدود اعتماد مقدار ماده سوختنی چوب مرده نیز در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- میانگین مقدار ماده سوختنی چوب مرده در جنگل‌کاری تخسم

طبقه قطری (میلی‌متر)	میانگین وزن ماده سوختنی (تن در هکتار)
۶ >	۰/۲۱
۶-۲۵	۱/۳۰
۲۵-۷۶	۱/۴۸
۷۶ <	۰/۹۹
مجموع	۳/۹۸

جدول ۲- اشتباه‌معیار وحدود اعتماد مقدار ماده سوختنی چوب مرده

	تن در هکتار
اشتباه‌معیار	۰/۰۹
اشتباه آماربرداری	۰/۱۸
حدود اعتماد	۴/۱۶ الی ۳/۸ = ۰/۱۸ ± ۳/۹۸

میانگین مقدار ماده سوختنی زنده علفی که شامل پوشش علفی متراکم و پراکنده است، به شرح جدول ۳ برآورد شد. اشتباه‌معیار و حدود اعتماد مقدار ماده سوختنی علفی نیز در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳- میانگین مقدار ماده سوختنی علفی‌های زنده

نوع پوشش علفی	میانگین وزن ماده سوختنی (تن در هکتار)
پوشش علفی پراکنده	۲/۸۷
پوشش علفی متراکم	۲۸/۲

جدول ۴- اشتباه‌معیار و حدود اعتماد مقدار ماده سوختنی در پوشش‌های علفی

۱- پوشش علفی پراکنده	تن در هکتار
اشتباه‌معیار	۰/۳۹
اشتباه آماربرداری	۰/۷۷
حدود اعتماد	۳/۶۴ الی ۲/۱ =۰/۷۷ ± ۲/۸۷
۲- پوشش علفی متراکم	**تن در هکتار**
اشتباه‌معیار	۱/۴۸
اشتباه آماربرداری	۲/۹۹
حدود اعتماد	۳۱/۱۹ الی ۲۵/۲۱ = ۲/۹۹ ± ۲۸/۲

عمق بستر ماده سوختنی در پوشش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه به‌شرح جدول ۵ مشخص شد.

جدول ۵- میانگین عمق بستر ماده سوختنی

نوع پوشش	عمق بستر زیرین (سانتی‌متر)	عمق بستر زبرین (سانتی‌متر)
جنگل‌کاری کاج تدا	۰/۲	۱/۷۵
پوشش علفی پراکنده	۰	۰
پوشش علفی متراکم	۱/۸	۰

بحث

براساس نتایج به‌دست‌آمده، میانگین مقدار ماده سوختنی چوبی مرده و افتاده در عرصه پوشش جنگل‌کاری کاج تدا که در مباحث آتش‌سوزی تحت عنوان پوشش گیاهی استاتیک یا دائمی از آن نام برده می‌شود، ۳/۹۸ تن در هکتار بود که شامل ماده سوختنی که پس از آتش‌سوزی در عرصه انباشت شده است و یا ماده سوختنی که پیشتر و احیاناً در اثر حوادث طبیعی گذشته باقی مانده است (اکثراً قطعات چوبی طبقه قطری چهار که آتش‌سوزی اخیر نتوانسته بود کاملاً آنها را بسوزاند و از بین ببرد)، می‌باشد. میانگین مقدار ماده سوختنی در پوشش‌های علفی پراکنده ۲/۸۷ تن در هکتار و در پوشش علفی متراکم ۲۸/۲ تن در هکتار بود که این مواد سوختنی جزو پوشش‌های پویا هستند و در طبقه ماده سوختنی خوب قرار می‌گیرند. درمجموع میانگین مقدار ماده سوختنی عرصه مورد مطالعه ۱۱/۶۸ تن در هکتار محاسبه شد.

میزان انباشت مقدار ماده سوختنی به شکل طبیعی (نه در اثر حوادث غیرمترقبه) به عامل‌های مختلفی بستگی دارد ازجمله باز بودن یا تنک بودن منطقه، تعداد درختان برگ‌ریز و حاصلخیزی منطقه. Gavazzi و McNulty (۲۰۱۳) به نقل از Parasol و همکاران بیان کرده‌اند که مقدار مواد سوختنی در دشت‌های ساحلی مانند جنگل‌های پهن‌برگ آپالاچی در ایالات متحده آمریکا در کمتر از دو یا سه سال می‌تواند دوباره بازسازی شود. انباشت دوباره مواد سوختنی در چند فصل اول پس از آتش‌سوزی در بستر جنگل به سرعت انجام می‌گیرد و علت آن منابع غذایی برجامانده از آتش‌سوزی پیشین است که با اتمام این منابع روند افزایش مقدار ماده سوختنی کند می‌شود. نتایج پژوهش‌های Marshall و همکاران (۲۰۰۸) در توده‌های کاج تدا حاکی از آن است که مقدار ماده سوختنی ذخیره شده در طول سه سال پس از آتش‌سوزی و براساس مقدار رویه زمینی مختلف بین ۷/۹ تن تا ۱۸/۵ تن در هکتار متفاوت است. مطالعات درمورد مقدار ماده سوختنی در ارتفاعات جنگلی Ozark در ایالت Missouri آمریکا نشان داد که متوسط مقدار ماده سوختنی این نواحی در چهار طبقه قطری اندازه‌گیری شده ۱۱/۱۲ تن در هکتار است که در دامنه بین ۰/۲۵ تا ۱۷۳/۷ تن در هکتار متغیر می‌باشد. همچنین این بررسی‌ها نشان داد که تنوع زیادی در مقدار ماده سوختنی طبقه قطری بالاتر از ۷۶ میلی‌متر وجود دارد، به‌طوری‌که تعداد زیادی از قطعات نمونه اندازه‌گیری شده فاقد این مقدار بودند، درصورتی‌که در بعضی دیگر از قطعات نمونه، مقدار ماده سوختنی بیشتر از ۳۷ تن در هکتار بود. آنها به این نتیجه رسیدند که زیاد بودن مقدار ماده سوختنی در بعضی از قطعات نمونه در نتیجه مدیریت فعلی این جنگل‌ها و تخریب ناشی از باد باید باشد (Stambaugh *et al.*, 2007).

تعیین مقدار مواد سوختنی در طبقه‌های قطری مختلف برای دست‌یابی به یک دامنه مناسب از ترکیبات مقدار ماده سوختنی است تا خطر آتش‌سوزی و نیز مهار آن را با کمترین خسارت

امکان‌پذیر سازد. در بسیاری از جنگل‌های اکالیپتوس در استرالیا، هدف اصلی مدیریت مواد سوختنی، کاهش مقدار ماده سوختنی طبقه قطری یک به کمتر از ۱۰ تن در هکتار است که این مقدار ماده سوخت مانع از تبدیل آتش‌های سطحی به آتش‌های تاجی می‌شود و درجه پخش و خسارت آتش را محدود می‌سازد. برای این منظور و برای جلوگیری از افزایش مواد سوختنی، آتش‌سوزی‌های مصنوعی بین پنج تا ۱۰ سال تجویز می‌شوند. در این جنگل‌ها اگر مقدار مواد سوختنی کمتر از ۱۰ تن در هکتار باشد، آتش‌سوزی نمی‌تواند بیشتر از ۱۰۰۰۰ کیلووات در متر توسعه یابد و بنابراین با ابزار دستی می‌توان آتش را مهار و خاموش کرد و اگر مقدار مواد سوختنی به کمتر از ۷/۵ تن در هکتار برسد، آتش‌سوزی در این نواحی با ابزار دستی حتی در شرایط آب‌وهوایی خطرآفرین نیز میسر خواهد بود (Gould, 2006).

براساس تحقیقات Brown و همکاران (۲۰۰۳) چرخه زندگی بسیاری از موجودات کوچک به مقدار ماده سوختنی موجود در عرصه جنگلی وابسته است و در این راستا چوب‌های افتاده با طبقه قطری چهار تنوع حیات را به‌عنوان بخشی از چرخه زندگی برای موجوداتی چون کنه‌ها، حشرات، آفتاب‌پرست‌ها، وزغ‌ها و پستانداران و پرندگان مهیا می‌کنند. به گفته آنان تحقیقات نشان داده است که مقدار مواد سوختنی مرده کف جنگل در طبقه قطری چهار، فعالیت پستانداران کوچک مانند موش‌ها را افزایش می‌دهد. پژوهشگران مذکور پیشنهاد می‌کنند که بهتر است ۱۵ تا ۲۰ درصد از مقدار مواد سوختنی طبقه قطری چهار برای شرایط مناسب زندگی جانوران در عرصه جنگلی باقی بماند. علاوه‌بر آن باید توجه کرد که بقایای چوبی افتاده با طبقه‌های قطری بالا برای حاصلخیزی خاک و تولید آینده جنگل نیز لازم هستند.

مطالعات انجام‌شده در جنگل‌هایی با گونه‌های غالب اکالیپتوس نشان داده است که بر تجمع مقدار ماده سوخت برای چهار تا پنج سال اول آتش‌سوزی افزوده شده است و پس از آن بین پوشش وارد به کف جنگل و تجزیه این مواد توسط جانوران بی‌مهره حالت تعادل ایجاد می‌شود (Gilroy &Tran, 2006). Brown و همکاران (۲۰۰۳) مقدار مواد سوختنی مناسب برای جنگل‌های مختلف مونتانا و برای توده‌های *Pseudotsuga menziesiil / Physocarpus malvaceusy* را ۱۲ تا ۲۲ تن در هکتار، برای *Pseudotsuga menziesii / Calamagrostis rubescens*، ۲۹ تا ۵۹ تن در هکتار و برای *Abies grandis / Nolina sp.*، ۱۷ تا ۳۴ تن در هکتار پیشنهاد کرده‌اند.

یکی دیگر از تبعات مقدار ماده سوختنی تأثیر آن بر خاک منطقه جنگلی در زمان‌های آتش‌سوزی است. اگر درجه حرارت آتش به ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد برسد، بافت آلی خاک تخریب می‌شود و برای اینکه درجه حرارت زمین حداقل به ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد برسد، نیاز به ۹۹ تن در هکتار ماده سوختنی است. وقتی مقدار مواد سوختنی بزرگ (طبقه قطری چهار) به ۶۱ تا ۷۴ تن در هکتار برسد و با ترکیبی از مقدار مواد سوختنی خوب (طبقه قطری یک، دو و سه) به میزان ۱۲ تن در هکتار همراه شود، کنترل آتش بسیار دشوار خواهد شد (Brown *et al*, 2003). سازمان کشاورزی ایالات متحده آمریکا (USDA) در مناطق جنگلی غرب اقیانوس آرام، طرح درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی براساس مقاومت آتش در برابر کنترل را برای طبقه‌های قطری مختلف ماده سوختنی به‌شرح جدول ۶ ارائه کرده است (Brown *et al*., 2003).

جدول ۶- درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌های غرب اقیانوس آرام (USDA)

طبقه قطری ۲۵۴-۷۶ میلی‌متر (تن در هکتار)		طبقه قطری ۷۶-۰ میلی‌متر (تن در هکتار)
درجه مقاومت شدید	درجه مقاومت زیاد	
۹۹	۶۲	۱۲
۶۲	۳۷	۲۵
۳۷	۱۲	۲۷

چنانچه پیشتر اشاره شد، مقدار مواد سوختنی موجود در پوشش جنگل‌کاری تدا در تخسم ۳/۸۹ تن در هکتار بود که این مقدار ماده سوختنی که یک سال پس از آتش‌سوزی در عرصه انباشت شده است، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از سایر پژوهش‌ها و نیز جدول درجه‌بندی خطر آتش‌سوزی سازمان کشاورزی ایالات متحده آمریکا تهدید شدیدی برای این مناطق جنگلی نیست و در صورت بروز هر نوع رخداد آتش‌سوزی، به استناد پژوهش‌های Gould (۲۰۰۶) حتی در شرایط آب‌وهوایی بحرانی مهار و خاموش‌سازی آتش برای این مقدار ماده سوختنی با کمک ابزار دستی نیز امکان‌پذیر است. باید توجه کرد که در منطقه مورد مطالعه دو مسیر جاده شوسه نیز وجود دارد که امکان ورود ماشین‌آلات و ازجمله ماشین‌های آتش‌نشانی را برای مهار آتش ممکن می‌سازد. در پوشش علفی پراکنده مقدار متوسط مواد سوختنی ۲/۸۷ تن در هکتار بود که با توجه به تعریف مدل سوخت‌های استاندارد (Scott & Burgan, 2005) می‌توان انتظار داشت که سرعت آتش در این نوع ماده سوختنی متوسط و طول شعله‌های آتش نیز کوتاه باشد. پوشش علفی متراکم منطقه که غالب آن را سرخس عقابی و به مقدار کمتر آقطی تشکیل می‌دهد، دارای تاج‌پوشش بسیار انبوه و نزدیک به سطح زمین است. از آنجایی‌که ساقه‌های کم‌قطر این پوشش قادر به تحمل وزن سنگین تاج نیست، در اواسط فصل رویش (مرداد) تاج گیاه به طرف زمین خم می‌شود و به‌راحتی در دسترس آتش قرار می‌گیرد. مقدار مواد سوختنی این پوشش زیاد (به‌طور متوسط ۲۸/۲ تن در هکتار) بود و از طرفی با توجه به اینکه تمام مواد سوختنی علفی از نوع سوخت‌های خوب محسوب می‌شوند، می‌توان خطر آتش‌سوزی شدیدی را در این بخش منطقه پیش‌بینی کرد، البته با توجه به مساحت اندک این پوشش و نیز عدم وجود مقدار مواد سوختنی چوبی، مدت آتش‌سوزی یا شعله‌ور ماندن و دوره احتراق آتش در این ناحیه بسیار محدود بوده و آتش‌سوزی آن ناپایدار است. براساس مدل‌های سوخت استاندارد در صورتی‌که پوشش‌های علفی بلند دارای مقدار مواد سوختنی بیشتر از ۲۵ تن در هکتار باشند، شدت گسترش و طول شعله‌ها به‌ویژه زمانی‌که گیاه به‌طور کامل خشک است، خیلی زیاد خواهد بود (Scott & Burgan, 2005). از آنجایی‌که آتش‌سوزی جنگل در هر مقدار و مقیاس در خارج از طرح آتش‌سوزی‌های مصنوعی و نظارت‌شده (تجویزی) قابل پذیرش نیست، بنابراین راهکار اصلی در کاهش خطر آتش‌سوزی، کاهش مقدار مواد سوختنی است (Swanson *et al.*, 2005) و عمومی‌ترین روش کاهش مواد سوختنی خطر آفرین، روش‌های مکانیکی و آتش‌سوزی‌های تجویزی است (Vaillant, 2006). در همین راستا باید اشاره شود که در جنوب ایالات متحده آمریکا هرساله در ماه‌های خرداد و دی سطحی معادل چهار میلیون هکتار از مواد سوختنی از اراضی جنگلی این نواحی پاکسازی می‌شوند (Baumann *et al.*, 2013).

عمق بستر مواد سوختنی در جدول ۵ نشان می‌دهد که پوشش علفی کم‌تراکم منطقه فاقد هر گونه عمق در لایه‌های زیرین و زبرین است که بیانگر آن است که آتش‌سوزی اخیر تمام پوشش گیاهی گذشته را در این منطقه سوزانده و از بین برده است. در پوشش علفی متراکم، ماده سوختنی فقط در لایه زیرین وجود داشت که همگی ساقه‌های برجامانده از سرخس و آقطی بودند. ساقه‌های گیاهان مذکور به‌دلیل زنده بودن و دارا بودن رطوبت زیاد و نیز نیمه‌خشبی بودن به‌ویژه در فصل رویش که آتش‌سوزی در این منطقه رخ داده است، کمتر در آتش سوخته است و بیشتر تاج این گونه‌ها طعمه آتش شده و از بین رفته است. در جنگل‌کاری کاج تدا هر دو لایه دیده می‌شوند که اکثراً در لایه زبرین سوزن‌های افتاده در طول سال وجود دارند و در لایه زیرین، مقدار اندکی (دو میلی‌متر) سوزن‌های پوسیده دیده می‌شوند که حکایت از آن دارد که در سال‌های پیش به‌طور احتمال غالب پوشش سوزنی لایه زبرین در آتش‌سوزی‌ها سوخته است. ناگفته نماند که یکی از مهمترین ویژگی‌های این لایه‌ها، به‌ویژه

لایه زیرین که از رطوبت زیادی برخوردار است، عایقی است که بین مقدار سوخت سطحی و زمین ایجاد می‌کنند تا مانع از رسیدن دمای مخرب آتش (به‌ویژه از آتش‌هایی که به حالت احتراق و پایدار در منطقه باقی می‌مانند) به عناصر آلی خاک شوند.

Reference

- Alexander, M.E., Stefner, C.N., Mason, J.A., Stocks, B.J., Hartley, G.R., Maffey, M.E., Wotton, B.M., Taylor, S.W., Lavoie, N. and Dalrymple, G.N., 2004. Characterizing the Jack Pine - Black Spruce Fuel Complex of the International Crown Fire Modelling Experiment (ICFME). Natural Resources Canadian Forest Service Northern Forestry Center, 49p.
- Baumann, K., Mitchell, S.R., Christensen, N.L., Schauer, J.J., Blake, D.R., Fort, J.M. and Edgerton, E.S., 2013. Effects of mechanical thinning on fuel consumption and emissions from prescribed burning in coastal North Carolina. Proceedings of 4th Fire Behavior and Fuels Conference, February 18-22, Raleigh, North Carolina, USA International Association of Wildland Fire, Missoula, Montana, USA: 84-121.
- Bennett, M., Fitzgerald, S., Parker, B., Main, M., Perleberg, A., Schnepf, C. and Mahoney, R., 2010. Reducing Fire Risk on Your Forest Property. A Pacific Northwest Extension Publication Oregon State University, University of Idaho, Washington State University, 40p.
- Brown, J.K., 1974. Handbook for Inventorying Downed Woody Material. Intermountain Forest and Range Experiment Station, U.S.D.A. Forest Service, Utah, 24p.
- Brown, J.K., Oberheu, R.D. and Johnston, C.M., 1982. Handbook for Inventorying Surface Fuels and Biomass in the Interior West. USDA, Intermountain Forest and Range Experiment Station Ogden, Utah, General Technical Report INT-129, 48p.
- Brown, J.K., Reinhardt, E.D. and Kramer, K.A., 2003. Coarse Woody Debris: Managing Benefits and Fire Hazard in the Recovering Forest. USDA, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-105, 16p.
- Gavazzi, M.J. and McNulty, A.S.G., 2013. The influence of prescribed fire and burn interval on fuel loads in four North Carolina forest ecosystems. Proceedings of 4th Fire Behavior and Fuels Conference, February 18-22, Raleigh, North Carolina, USA International Association of Wildland Fire, Missoula, Montana, USA: 26-48.
- Gilroy, J. and Tran, C., 2006. A new fuel model for eucalyptus forests in southeast Queensland Bushfire. Conference of Life in Fire- Prone Environment: Translating Science into Practice: 1-9.
- Golbabaei, F., Hosseinkhani, H., Kargarfard, A., Nourbakhsh, A., Haji Hussain, R. and Fakhrian, A., 2012. Physical and mechanical properties of wood species Loblolly pine (*Pinus taeda*) in northern habitats. Iran Journal of Wood and Paper Science Research, (27)1: 177-187 (In Persian).
- Gould, J., 2006. Fuel management- An integral part of fire management: Trans-Tasman perspective, fuels management- How to measure success: Conference Proceedings, Portland, USDA, Rocky Mountain Research Station, RMRS-P-41: 17-28.
- Keifer, M.B., Van Wagtendonk, J.W. and Buhler, M., 2006. Long term surface fuel accumulation in burned and unburned mixed - conifer forests of the central and southern Sierra Nevada. CA (USA), Fire Ecology, (2)1: 53-72.
- Lutes, D.C. and Keane, R.E., 2006. Fuel load (FL) sampling method. USDA Forest Service, General Technical Report RMRS-GTR-164-CD, 21p.
- Marshall D.J., Wimberly, M., Bettinger, P. and Stanturf, J., 2008. Synthesis of knowledge of hazardous fuels management in Loblolly Pine forests. USDA, Southern Research Station General Technical Report SRS-110, 43p.
- Rego, F.C., 2010. An innovative approach of integrated wildland fire management - regulating the wildfire problem by the wise use of fire: Solving the fire paradox. Project No. FP6-018505, Project Acronym Fire Paradox, 57p.
- Sandberg, D.V., Ottmar, R.D. and Cushon, G.H., 2001. Characterizing fuels in the 21st Century. International Journal of Wildland Fire, 10: 381-387.
- Scott, J.H., 2012. Introduction to Fire Behavior Modeling. National Interagency Fuels, Fire, & Vegetation Technology Transfer. Integrating Science, Technology and Fire Management, Wildland Fire Management Rd & A, Available: www.niftt.gov., 149p.
- Scott, J.H. and Burgan, R.E., 2005. Standard fire behavior fuel models: A comprehensive set for use with Rothermel's Surface Fire Spread model. USDA, Report RMRS-GTR-153, 72p.
- Sexton, T., 2006. U.S. Federal fuel management programs: Reducing risk to communities and increasing ecosystem resilience and sustainability. Conference Proceedings, 28-30 March 2006; Portland, Rocky Mountain Research Station: 9-12.
- Stambaugh, M.C., Guyette, R.P. and Dey, D.C., 2007. Forest fuels and landscape-level fire risk assessment

of the Ozark highlands. Missouri Proceedings of the 15th Central Hardwood Forest Conference - e-GTR–SRS-101: 258-266.
- Swanson, J., Stephens, S., O'Hara, K., Blonski, K. and Shelly, J., 2005. Fire hazard reduction in Ponderosa Pine plantations. Final Report to the Joint Fire Science Program. Project Number 00-2-30, 49p.
- Vaillant, N.M., Fites-Kaufman J., Reiner, A., Noonan-Wright, E. and Dailey, S., 2009. Effect of fuel treatments on fuels and potential fire behavior in California National Forests. Fire Ecology, (2)5: 14-29.
- Xanthopoulos, G., Caballero, D., Galante, M., Alexandrian, D., Rigolot, E. and Marzano, R., 2006. Forest fuels management in Europe, fuels management- How to measure success: Conference Proceedings, 29-46.
- Zobeiri, M., 2002. Forest Biometry. University of Tehran Press, 411p (In Persian).

Evaluation of fuel load following fire in Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) plantations using line sampling and of FLM method (Case study: Takhsam plantations in Guilan Province)

M. Amin Amlashi[1*], M. Ghodskhah[2], A.I. Bonyad[3], H. Pourbabaei[3], M. Jafari[4] and V. Gholami[2]

1*- Corresponding author. Ph.D. Student Forestry, Faculty of Natural Resources, Guilan University, Some'eh Sara, Iran. E-mail: msd_amin@ yahoo.com
2- Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Some'eh Sara, Iran
3- Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Some'eh Sara, Iran
4- Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 12.01.2014 Accepted: 06.17.2015

Abstract

The occurrence of fire in natural ecosystems depends on the prevailing meteorological conditions, the availability of ignition material and the quantity and characteristics of fuel biomass. The rate at which fuels accumulate is a crucial determinant of fire regimes. Woody debris in the forest and herbaceous cover are also important determinants of the severity of the fire. Therefore particular fuel management is required for improved understanding and awareness on the amount of fuel, fuel diameter classes and required spatial and temporal fuel condition. Coniferous plantations located in Saravan and Lacan located in the vicinity of Rasht metropolitan area are amongst the most fire sensitive areas within Guilan province. To determine the amount of accumulated fuel and the degree of their proneness to fire risk, forest plantation area of Takhsam in Lakan was investigated. To this aim, we used the transect sampling and the FLM method. The results showed that the fuel load in loblolly pine plantation accounts for 3.89 tons per hectare and vary in different diameter classes. This amount of fuel is not presumable to impose high wildfire risks for severe fire events. However, if combined with the existing herbaceous cover, a higher proneness to severe wildfire can be expected.

Keywords: Forest fire, transect, loblolly pine, forest fuel load.