مدل‌های ماده سوختنی سطحی و خطر آتش در پارک ملی گلستان

رقیه جهدی[1]*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۰

چکیده

تعیین مدل‌های ماده سوختنی محلی در بوم‌سازگان‌های جنگل و مرتع به منظور پیش‌بینی رفتار و گسترش آتش، مدیریت آتش و بازسازی این بوم‌سازگان‌ها بسیار مهم است. هدف این مطالعه تعیین مقدار و ساختار ماده سوختنی سطحی آماده اشتعال در علفزار، درختچه‌زار و جنگل در پارک ملی گلستان، شمال شرق ایران است. همه اطلاعات پوشش گیاهی علفی و لاشبرگ سطحی از قطعه نمونه-های ۱×۱، ۱۰×۱۰ و ۳۰×۳۰ متری به ترتیب در تیپ‌های ماده سوختنی علفزار (۲۴ قطعه نمونه)، درختچه‌زار (۸ قطعه نمونه) و جنگل (۲۲ قطعه نمونه) بر اساس نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده جمع‌آوری شد. رتبه‌بندی خطر آتش برای هر ماده سوختنی با ارزیابی مولفه‌های اصلی شامل بار ماده سوختنی (تن در هکتار)، عمق بستر ماده سوختنی (سانتی‌متر) و پوشش لاشبرگ (درصد) استفاده شد. نتایج نشان داد که تغییرات در خطرات آتش ماده سوختنی سطحی مرتبط با طرح‌های بارهای ماده سوختنی ریز (۱ساعت) است. لاشبرگ پهن‌برگان دارای بارهای ماده سوختنی ریز بیشتر و در نتیجه به صورت بالقوه خطر آتش ماده سوختنی سطحی بیشتر را دارند. تفاوت‌ها در ساختار ماده سوختنی در بین تیپ‌های ماده سوختنی موجود نیز اثر مهمی را به همراه داشت. تعیین مدل‌های ماده سوختنی محلی و ارزیابی خطر آتش آنها برای مدیران منابع طبیعی به منظور انتخاب روش‌های کاهش ماده سوختنی، کاهش آسیب آتش و حفظ تاب‌آوری سیمای سرزمین در برابر آتش‌سوزی‌های آتی مهم است.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی جنگل، بار ماده سوختنی، تاب‌آوری سیمای سرزمین، پارک ملی گلستان، ماده سوختنی سطحی.

[1] * نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران، پست الکترونیک: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

مقدمه

آتش‌سوزی در جنگلها و مراتع پدیده پیچیده‌ای است که شامل بسیاری از فرایندهای فیزیکی مانند جریان چرخشی، احتراق، آزادسازی انرژی و انتقال است که در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف رخ می‌دهد (۱۱). مشخصات مواد سوختنی و ساختار بستر آن (اندازه و نظم مکانی گیاهان)، انرژی در دسترس برای احتراق و نحوه انجام احتراق و فرآیندهای انتقال حرارت را تعیین می‌کنند (۴۶). از مشخصات مواد سوختنی جنگل به دلیل آثار آنها بر رفتار و گسترش آتش، برای آگاهی از طیف گسترده-ای از برنامه‌های مدیریت آتش با هدف کاهش رخداد آتش‌سوزی‌های بزرگ و آثار آنها بر محیط زیست، ضروری است (۴۴).

ماده سوختنی اصطلاحی کلی است که برای توصیف مشخصات پوشش گیاهی استفاده می-شود و مرتبط با رفتار آتش بوده و برای مدیریت آتش حائزاهمیت است (۴). مجموعه ماده سوختنی تجمعی از اشکوب‌های ماده سوختنی (به عنوان مثال مواد سوختنی تاجی و سطحی) است (۳۷). تصور بر این است که این اشکوب‌ها تا حدودی خاصیت همگن دارند و با مشخصات توده‌ای ذرات ماده سوختنی آنها تعریف می‌شود. اشکوب‌های ماده سوختنی با فاصله عمودی از زمین و جهت‌گیری ماده سوختنی متمایز می‌شوند. درک تأثیر این چیدمان چند لایه ماده سوختنی روی رفتار آتش، نیاز به کمی‌سازی خصوصیات فیزیکی هر اشکوب ماده سوختنی و پیوستگی عمودی و افقی آن دارد.

مدل‌های ماده سوختنی نمایانگر رفتار معمول آتش یا وضعیت ماده سوختنی برای یک منطقه مشخص هستند. مدل‌های ماده سوختنی فعلی محدود به پیش‌بینی رفتار آتش هستند، زیرا آنها اطلاعات کافی و دقیق در مورد بار ماده سوختنی یا رطوبت مورد نیاز ماده سوختنی برای محاسبات آثار آتش را شامل نمی‌شوند. در طی دهه‌های گذشته سیستم‌های پیش‌بینی خطر آتش مختلفی مانند سیستم کانادایی رتبه‌بندی خطر آتش جنگل (۱) و سیستم ملی رتبه‌بندی خطر آتش ایالات متحده (۳ و ۱۳) توسعه یافته است. این سیستم‌ها در ارزیابی آثار متغیرهای توپوگرافی و هواشناسی بر وضعیت پوشش گیاهی، رفتار بالقوه آتش، یعنی شدت خط آتش (کیلو وات در متر) و نرخ گسترش آتش (متر در دقیقه) استفاده می‌شود (۱۷). برای تهیه نتایج قابل اعتماد از پیش‌بینی آتش، تمام سیستم‌های موجود خطر آتش نیاز به مشخصات کامل تیپ ماده سوختنی شامل مؤلفه‌های ساختاری پوشش گیاهی و پاسخ آنها به رفتار و انتشار آتش، دارند. مهم است که مواد سوختنی مرده و زنده از هم متمایز شوند، زیرا در احتراق و اشتعال‌پذیری نقش متفاوتی دارند. شرایط فیزیولوژیکی ماده سوختنی مرده در کف جنگل (شاخه‌های افتاده، لاشبرگ و شاخ و برگ)، ظرفیت آتش برای گسترش در جنگل را مشخص می‌کند، زیرا از ماده سوختنی زنده خشک‌تر است و به تغییرات جوی سریع بیشتر واکنش نشان می‌دهد. ماده سوختنی زنده نقش مهمی در احتراق آتش دارد، اما نقش آن در انتشار آتش بسیار حیاتی است زیرا میزان رطوبت آن ارتباط مستقیمی

با نرخ گسترش آتش دارد (۵). در حقیقت، در یک مدل انتشار آتش، بار ماده سوختنی (تن در هکتار) و مقدار گرمای آزاد شده (کیلو ژول بر کیلوگرم) از مواد سوختنی زنده نقش عمده-ای در شدت خط آتش، یعنی انرژی ساطع شده توسط جبهه آتش در طول انتشار آن دارد (۱۷).

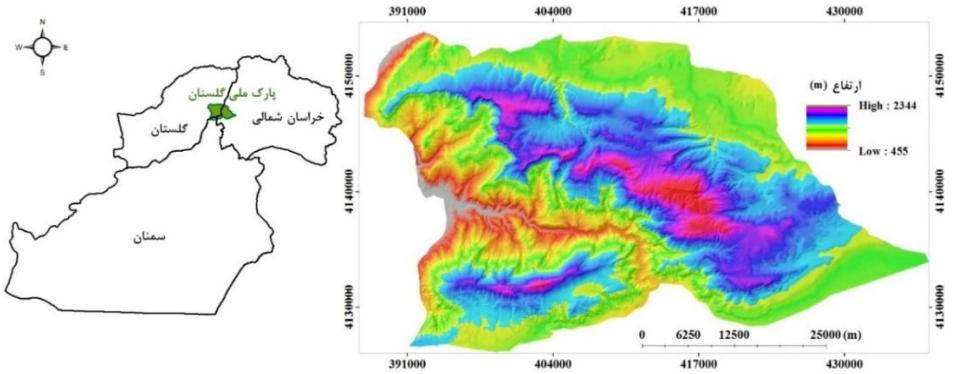
پارامترهای مختلف مدل ماده سوختنی موثر بر رفتار و گسترش آتش شامل بار ماده سوختنی (تن در هکتار)، نسبت سطح به حجم (سانتی-متر$^{-1}$) برای طبقات مختلف ماده سوختنی و طبقه‌های اندازه قطری، عمق بستر ماده سوختنی (سانتی‌متر)، رطوبت اطفای ماده سوختنی مرده (درصد) و مقدار گرما (کیلو ژول بر کیلوگرم) مواد سوختنی زنده و مرده است (۶). بار ماده سوختنی همراه با رطوبت ماده سوختنی مهمترین عواملی هستند که مدیران آتش می‌توانند آنها را برای برنامه‌ریزی و اجرای تیمارهای مختلف ماده سوختنی مانند آتش تجویزی برای کاهش خطر آتش، کنترل کنند. بار ماده سوختنی به عنوان مقدار ماده سوختنی موجود که به صورت کمی به وسیله وزن ماده سوختنی در هر واحد سطح بیان می‌شود، ممکن است ماده سوختنی در دسترس (ماده سوختنی مصرف شدنی) یا کل ماده سوختنی که به طور معمول به صورت وزن خشک بیان می‌شود، باشد (۲۴). مدل‌های آتش پیشرفته مانند FlamMap (۱۶) نیاز به برآوردهای بار ماده سوختنی دارند تا بتواند از آنها برای برنامه‌ریزی، اولویت‌بندی، طراحی و اجرای تیمارهای مهم ماده سوختنی برای کاهش مواد سوختنی خطرناک و در نتیجه کاهش خطر آتش استفاده کنند (۳۰).

ارزیابی بارهای ماده سوختنی نیاز به اطلاعات پیوسته و دقیقی دارد و اندازه‌گیری آن در زمین دشوار است زیرا به ترکیب کاملی از روش‌های نمونه‌برداری مختلف طراحی شده در مقیاس‌های مختلف نیاز دارد (۲۸). مطالعات متعددی به توسعه مدل‌های ماده سوختنی محلی و تعیین بار ماده سوختنی علفی، درختچه‌ای و درختی با استفاده از انواع روش-های نمونه‌برداری زمینی از جمله نمونه‌برداری تخریبی و نیز با بهره‌گیری از انواع تصاویر ماهواره‌ای پرداخته‌اند (۶، ۲۳، ۳۸، ۴۵ و ۴۷). در همه این مطالعات به اهمیت ارزیابی‌های منظم بارهای ماده سوختنی برای حفظ آنها در یک سطح مناسب به منظور کاهش خطر آتش در این مواد سوختنی اشاره شده است. هدف اصلی این مطالعه تعیین مدل‌های ماده سوختنی محلی و ارائه یک روش نمونه‌برداری برای برآورد سریع و دقیق بارهای ماده سوختنی سطحی در پارک ملی گلستان، در شمال شرق ایران است. علاوه بر این، ارزیابی خطر آتش ماده سوختنی سطحی بر اساس بار ماده سوختنی و ساختار ماده سوختنی در این منطقه انجام می‌شود. تهیه مدل‌های ماده سوختنی محلی و تعیین رفتار آتش آنها برای مدیریت جنگل، زمین و آتش بسیار مهم است (۳۳).

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

پارک ملی گلستان با وسعت ۸۷،۴۰۲ هکتار در شمال شرق ایران و جنوب شرقی دریای خزر (′۳۱°۳۷ -′۱۷ °۳۷ عرض شمالی، ′۱۷°۵۶ - ′۴۳ °۵۵ طول شرقی) واقع شده است (شکل ۱). با توجه به محیط زیست آتش (پوشش گیاهی، توپوگرافی و آب و هوا) و سابقه تاریخی آن، این پارک منطقه‌ای جالب توجه برای رخدادهای آتش در حوزه نیمه‌مدیترانه‌ای است. توپوگرافی پیچیده این منطقه بر اساس شرایط میکروکلیمای خاص آن است که نشان دهنده عوامل آشفتگی رژیم آب و هوایی مدیترانه‌ای (مانند تابستان گرم و خشک و زمستان ملایم) است. با توجه به قرار گرفتن این پارک در مرز بین اقلیم‌های نیمه‌مرطوب خزری و نیمه‌خشک و دارا بودن جهت‌های اصلی گوناگون و پستی و بلندی شدید باعث شده تا از اقلیم‌های متنوعی برخوردار باشد (۱۴ و ۴۳). متوسط بارندگی‌های سالانه بین ۲۰۰ (غرب پارک) تا ۷۵۰ میلی‌متر (شرق پارک)، دمای متوسط سالانه بین ۱۲ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت هوا بین ۶۰ تا ۸۰ درصد متغیر است. بادهای غربی با سرعت ۶ متر در ثانیه دارای بیشترین فراوانی و بادهای شمالی-شرقی با سرعت ۱۲ متر در ثانیه از شدیدترین بادهای منطقه است. نتیجه این تغییرات زمین-اقلیمی ترکیبی ناهمگن از اکوتیپ‌ها و لکه‌های پوشش گیاهی است، به طوری که جنگل‌های پهن‌برگ در غرب ذخیره‌گاه (حد نهایی شرقی جنگلهای خزری)، جنگل‌های سوزنی‌برگ در ارتفاعات و مراتع در تپه‌ماهورهای شرق و شمال آن وجود دارد. منطقه مورد مطالعه با توجه به وقوع آتش‌سوزی‌های نسبتا شدید و پرتکرار در جنگل‌ها و مراتع که عمدتاً در فصول تابستان و پائیز است، انتخاب شد. پرتکرار بودن آتش‌سوزی در پارک ملی گلستان، این منطقه را به عنوان یکی از مناطق به شدت تحت تاثیر آتش در ایران معرفی می‌کند (۲۵ و ۲۶).

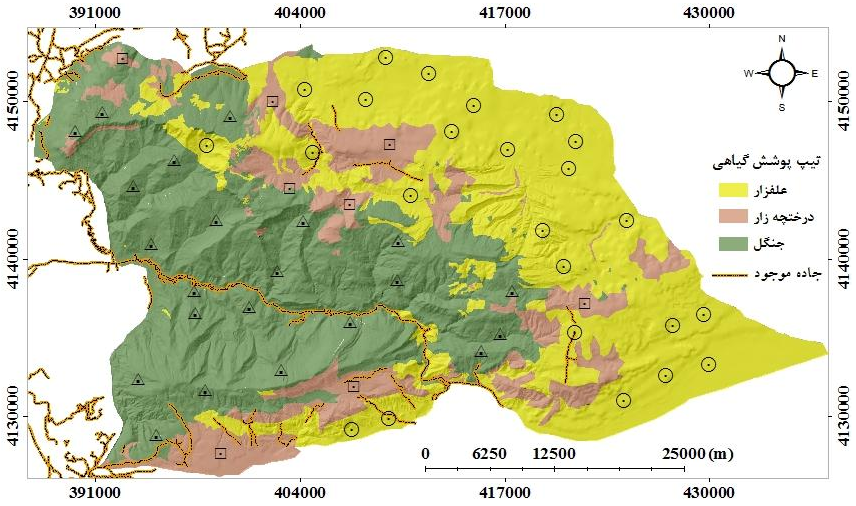


شکل ۱- نقشه پارک ملی گلستان

تیپ پوشش گیاهی

پوشش گیاهی از سه لایه اصلی تشکیل شده است. لایه اول که نمایانگر گیاهان علفی و لاشبرگ (مواد سوختنی ریز) است، لایه دوم از درختچه‌ها و زیراشکوب و لایه سوم از تاج پوشش گیاهان بلند تشکیل شده است (۹). با توجه به غالب بودن آتش‌سوزی‌های سطحی در پارک ملی گلستان (۲۵)، در این مطالعه تنها

بخش مرده گیاهان در لایه اول به عنوان ماده سوختنی موجود برای احتراق و ایجاد آتش در نظر گرفته شده است، در حالی که لایه دوم فقط در ارزیابی خطر آتش ماده سوختنی و در نتیجه شدت و سرعت گسترش آتش نقش دارد (۳۲). توصیف پوشش گیاهی از نقشه پوشش زمین تهیه شده بر اساس داده سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ مربوط به تاریخ ۱۹ جولای ۲۰۲۰ میلادی (۲۹ تیر ۱۳۹۹) (گذر ۱۶۲ و ردیف ۳۴) که از وب‌سایت سازمان زمین-شناسی آمریکا (USGS) تهیه شد، استخراج شده است. داده‌های مرجع برای تهیه نمونه‌های آموزشی در طبقه‌بندی نظارت شده این تصویر و ارزیابی دقیق نقشه پوشش زمین بر پایه پیمایش میدانی در تابستان ۱۳۹۷ و تصاویر Google Earthبدست آمد. صحت کلی این نقشه ۹۱,۷٪ بدست آمد. این نقشه شامل ۳ تیپ پوشش اصلی علفزار، درختچه‌زار و منطقه جنگلی است (شکل ۲). گونه‌های *Artemisia siberi*، *Stipa barbata*، *Agropyron* spp.، *Bromus persicus* و *Astragalus spp.* از پوشش‌های غالب علفزارها است (۱۸). درختچه‌های سوزنی‌برگ ارس شامل دو گونه غالب اردوج (*Juniperus excelsa* M. Bieb) و پیرو (*Juniperus communis* L.) همراه با درختچه‌های زرشک (*Berberis vulgaris* L.) و دغدغک (*Colutea arborescens* L.) از گونه‌های غالب درختچه‌زارها است. همچنین گونه‌های درختی بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.)، ممرز (*Carpinus betulus* L.)، لور (*Carpinus orientalis* Mill.) و افرا شیردار (*Acer cappadocicum* Gled.) از گونه‌های غالب در منطقه جنگلی است (۲۵). برای هر تیپ پوشش، دامنه ارزش بار مواد سوختنی سطحی بر اساس مرور منابع مرتبط (۳ و ۴۲) بدست آمد.



شکل ۲- موقعیت مکانی نمونه‌برداری‌ها در منطقه مورد مطالعه

نمونه‌برداری از ماده سوختنی

داده ماده سوختنی از ۵۴ قطعه نمونه برای ایجاد مدل‌های ماده سوختنی سطحی از سه تیپ پوشش زمین در منطقه مطالعه شامل علفزار (۲۴ قطعه نمونه)، درختچه‌زار (۸ قطعه نمونه) و جنگل (۲۲ قطعه نمونه)، استخراج شد (شکل ۲). لازم به ذکر است که این تعداد قطعه نمونه‌ها در هر تیپ پوشش زمین با توجه

به وسعت هر تیپ ماده سوختنی شامل علفزار، درختچه‌زار و جنگل به ترتیب ۴۲۴۷۰، ۷۳۱۲ و ۳۵۹۵۰ هکتار انتخاب شده است. همچنین ۱۶۷۰ هکتار از این پارک نیز از بخش‌های غیرقابل سوختن شامل اراضی لخت و سنگلاخی، کشاورزی و توسعه‌یافته تشکیل شده است. انتخاب قطعه نمونه‌های مربع شکل با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه-بندی شده انجام شد. موقعیت‌های هر قطعه - نمونه از طریق سیستم موقعیت جهانی (GPS) تعیین شد. در هر قطعه نمونه از منطقه علفزار (۱×۱ متری) گیاهان به صورت تصادفی اندازه-گیری و کل ماده سوختنی خشک موجود جمع‌آوری شد. نمونه‌ها از درختچه‌زار و منطقه جنگلی در قطعه نمونه‌ها به ترتیب با اندازه‌های ۱۰×۱۰ و ۳۰×۳۰ متری جمع‌آوری شد (۳۲). کل نمونه‌برداری‌های ماده سوختنی در فصل-های بحرانی آتش در منطقه مطالعه (تابستان و پائیز) سال ۱۳۹۸ انجام شد.

مواد سوختنی سطحی شامل مواد سوختنی زنده و مرده است که به‌طور مؤثر اجزای آن با سطح زمین تماس دارد (علوفه و درختچه‌های زیر ۲ متر) است. مقدار رطوبت ماده سوختنی زنده به دو بخش ۱) علفی و ۲) چوبی (درختی-درختچه‌ای) تقسیم می‌شود. همچنین مواد سوختنی مرده با توجه به میزان زمان واکنش آنها به تغییرات در رطوبت (تاخیر زمانی) که متناسب با قطر ماده سوختنی است به چهار طبقه بار ماده سوختنی تقسیم می‌شود. این طبقات شامل طبقه قطری اول (۰/۶-۰ سانتی‌متر) با تأخیر زمانی ۱ساعت، طبقه قطری دوم (۲/۵-۰/۶ سانتی‌متر) با تأخیر زمانی ۱۰ساعت، طبقه قطری سوم (۷/۵-۲/۵ سانتی-متر) با تأخیر زمانی ۱۰۰ ساعت و طبقه قطری چهارم (بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر) با تأخیر زمانی ۱۰۰۰ ساعت تقسیم می‌شوند (۲ و ۲۵). این طبقات بار مواد سوختنی مهم‌ترین طبقات زی-توده ماده سوختنی مورد استفاده در محاسبه شدت آتش‌سوزی‌ها است (۱۳). در هر قطعه - نمونه پارامترهای ماده سوختنی زیر اندازه‌گیری شد:

۱) ارتفاع متوسط مواد سوختنی زنده علفی و چوبی (درختی-درختچه‌ای) (متر) با دقت دسی‌متر
۲) بار ماده سوختنی ۱ساعت (کیلوگرم)،
۳) بار ماده سوختنی ۱۰ساعت (کیلوگرم)
۴) بار ماده سوختنی ۱۰۰ساعت (کیلوگرم)
۵) شاخ و برگ زنده (کیلوگرم) (قطر کمتر از ۰/۶ سانتی‌متر)
۶) بار ماده سوختنی کل (کیلوگرم)
۷) بار لاشبرگ (کیلوگرم)
۸) عمق لاشبرگ (سانتی‌متر)
۹) پوشش لاشبرگ (درصد) (شکل ۳) (۳۲)

ارتفاع متوسط مواد سوختنی زنده علفی و چوبی (درختی-درختچه‌ای) به عنوان فاصله عمودی از بالای شاخه‌ها تا سطح زمین اندازه-گیری شد. به منظور اندازه‌گیری این متغیر در سه نقطه در امتداد یک ترانسکت که از درون هر قطعه نمونه عبور کرده اندازه‌گیری‌ها با متر لیزری انجام شد و میانگین آنها برای محاسبه ارزش متوسط ارتفاع برای قطعه نمونه در نظر گرفته شد. مواد سوختنی در طبقه‌های اندازه قطری ۱ساعت، ۱۰ساعت، ۱۰۰ساعت به صورت جداگانه برداشت و در کیسه‌های

پلاستیکی ریخته و وزن تر آنها با ترازوی قابل حمل در منطقه اندازه‌گیری شد (۹). عمق لاشبرگ، شاخ و برگ، پوشش گیاهی علفی (زنده و مرده)، درختچه‌هایی که تا ۲ متر ارتفاع دارند و بارهای لاشبرگ در هر قطعه نمونه اندازه‌گیری شد (۹ و ۴۱). همه بارهای ماده سوختنی (وزن ماده سوختنی در واحد سطح) بر اساس وزن خشک محاسبه شد. متداولترین پارامترهای ماده سوختنی یافت شده در زیراشکوب جنگل و کف جنگل، پوشش علفی، برگ‌های و سوزن‌های مرده بود. عمق متوسط لاشبرگ (برگ‌ها و سوزن‌های مرده) با یک خط‌کش در هر قطعه نمونه اندازه‌گیری شد. برای برآورد بار ماده سوختنی چوبی زنده تعداد درختان، ارتفاع و مساحت اشغال‌شده هر درخت در هر قطعه‌نمونه محاسبه و محاسبه بار ماده سوختنی در هر قطعه نمونه با قطع یک درختچه انجام شد.

پس از اتمام طبقه‌بندی مواد سوختنی در سه طبقه اندازه قطری ۱ساعت، ۱۰ ساعت و ۱۰۰ ساعت، تمام مواد سوختنی مرده و زنده با استفاده از ترازوی الکترونیکی با دقت ۰/۱ گرم در منطقه اندازه‌گیری شد. این طبقات ماده سوختنی که در کیسه‌های پلاستیکی جمع‌آوری شده برچسب گذاری شد و برای محاسبه وزن خشک به آزمایشگاه منتقل شد. تمام نمونه‌های علفی و چوبی جمع‌آوری شده در دستگاه آون با حرارت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تا زمان ثبات وزن آنها خشک شدند. این زمان برای گونه‌های علفی یک روز و برای نمونه‌های چوبی ۷۲ ساعت لحاظ شد و بعد از خشک شدن دوباره با همان ترازو وزن شدند. درصد میزان رطوبت ماده سوختنی (FMC) با کم کردن وزن خشک (W_d) از وزن تر (W_f) و سپس تقسیم نتیجه بر وزن خشک با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (۱۳):

$$FMC = \frac{W_f - W_d}{W_d} \times 100 \qquad (۱)$$

این میزان رطوبت ماده سوختنی محاسبه شده اشاره به میزان رطوبت بستر ماده سوختنی در مورد علفزارها و نیز میزان رطوبت ماده سوختنی زنده در مورد درختچه‌زارها و جنگل‌ها دارد (۵، ۸ و ۴۰).

نسبت سطح به حجم (سانتی‌متر$^{-1}$) یکی دیگر از ویژگی‌های ماده سوختنی است که در این مطالعه تعیین شد. این پارامتر به‌طور غیرمستقیم هندسه اجزاء را مشخص می‌کند و به عنوان نسبت سطح رویه (S) به حجم یک جزء ماده سوختنی (V) تعریف می‌شود. نسبت سطح به حجم (σ) از رابطه زیر به‌دست آمد (۲):

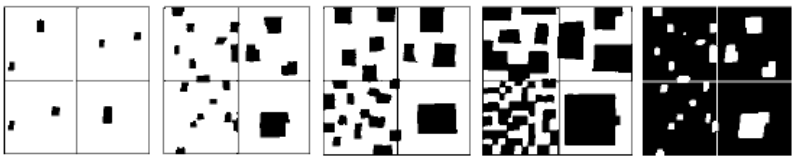
$$\sigma = \frac{S}{V} \qquad (۲)$$

در تعیین مدل‌های ماده سوختنی محلی، تیپ‌های توده با مشخصات مشابه به لحاظ تراکم (یا انبوهی که از شمارش تعداد افراد یک گونه در هر قطعه نمونه بدست آمد)، درصد پوشش، متوسط ارتفاع، کمیت و عمق بستر مواد سوختی در همان طبقه مدل ماده سوختنی مورد بررسی قرار گرفت. سرانجام، با استفاده از همه اطلاعات تیپ ماده سوختنی، اندازه و درصد میزان رطوبت ماده سوختنی، بار ماده سوختنی جنگل به صورت تن در هکتار تعیین شد. بارهای ماده سوختنی سطحی با جمع وزن‌های ماده سوختنی اندازه‌گیری شده در هر

لایه برای هر قطعه نمونه و محاسبه بار ماده سوختنی متوسط از مجموع قطعه نمونه‌ها برای هر تیپ پوشش گیاهی، محاسبه شد.

ارزیابی خطر آتش در ماده سوختنی سطحی

ارزیابی خطر آتش در ماده سوختنی سطحی می‌تواند با اندازه‌گیری عمق بستر ماده سوختنی با استفاده از یک خط‌کش ساده انجام شود (۳۱). عمق بستر ماده سوختنی به عنوان میانگین ارتفاع مواد سوختنی سطحی در بستر ماده سوختنی تعریف می‌شود که از عوامل مهم در پیش‌بینی رفتار آتش است. با افزایش عمق بستر ماده سوختنی، ماده سوختنی به باد حساس‌تر می‌شود و در نتیجه رفتار آتش تغییر می‌کند. برای اندازه‌گیری عمق بستر ماده سوختنی، دست کم باید پنج اندازه‌گیری در هر قطعه نمونه (در سطحی با شعاع تقریبی ۱۰ متر) انجام شود (۲۰ و ۳۱). بنابراین در منطقه مطالعه اندازه‌گیری عمق بستر ماده سوختنی با توجه به تفاوت وسعت در طبقات پوشش زمین و در نتیجه اندازه‌های متفاوت قطعه نمونه‌ها در هر طبقه به صورت جداگانه انجام شد. به‌طوری که یک اندازه‌گیری در هر قطعه - نمونه واقع در علفزار، پنج اندازه‌گیری در هر قطعه نمونه واقع در درختچه‌زار و ۱۵ اندازه-گیری در هر قطعه نمونه واقع در جنگل انجام شد. عمق بستر ماده سوختنی فاصله سطح خاک (نقطه‌ای که در آنجا خاک معدنی دیده می‌شود) تا بالای بستر ماده سوختنی (روی برگ‌ها، شاخه‌های کوچک و پوست درختان افتاده روی سطح خاک، شامل پوشش گیاهی پوسیده کف جنگل) است. ارزیابی پوشش لاشبرگ سطحی می‌تواند به تعیین خطر آتش کمک کند. الگوی ارائه شده در شکل ۳ برای این ارزیابی استفاده شد که هر یک‌چهارم از هر مربع قطعه نمونه دارای سطح مشابه پوشش لاشبرگ سطحی (لکه‌های سیاه) است (۳۲). جدول ۱ برای تبدیل ارزش‌های عمق بستر ماده سوختنی به خطر آتش به کمک پارامترهای بار ماده سوختنی و نیز پوشش لاشبرگ سطحی، استفاده شده است (۳۱).



شکل ۳- الگوی ارزیابی درصد پوشش لاشبرگ سطحی در قطعه نمونه‌ها در منطقه مطالعه (۳۲).

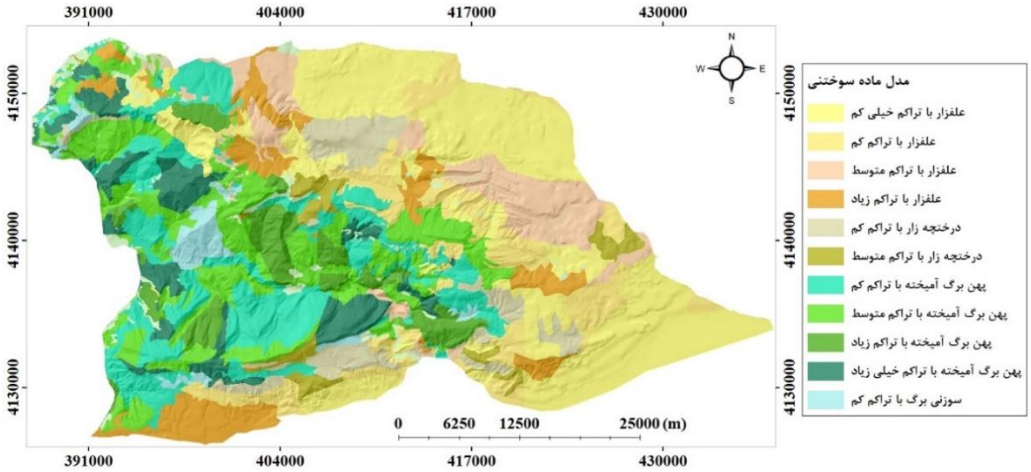
جدول ۱- سیستم رتبه‌بندی خطر آتش ماده سوختنی سطحی (۳۱) استفاده شده در منطقه مطالعه.

رتبه‌بندی خطر آتش ماده سوختنی سطحی	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	شدید
عمق بستر ماده سوختنی (سانتی‌متر)	<۱۵	۲۵-۱۵	۳۵-۲۵	۵۰-۳۵	>۵۰
بار ماده سوختنی (تن در هکتار)	<۴	۸-۴	۱۲-۸	۲۰-۱۲	>۲۰
پوشش لاشبرگ (درصد)	<۶۰	۸۰-۶۰	۹۰-۸۰	۹۵-۹۰	>۹۵

نتایج

مدل‌های ماده سوختنی منطقه مطالعه

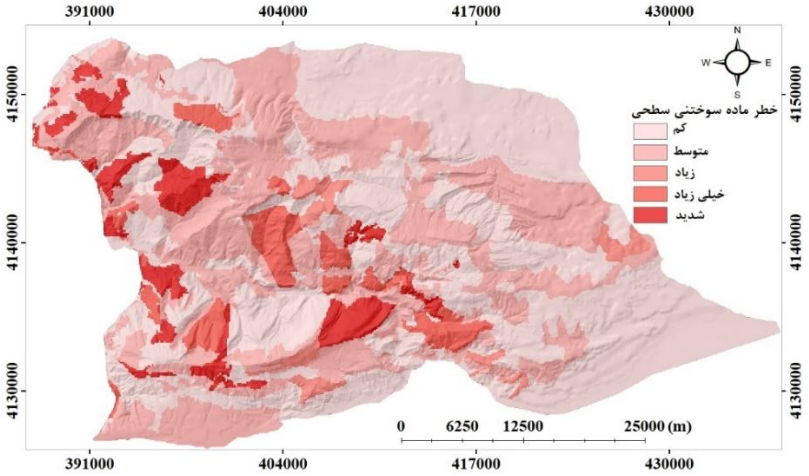
مشخصات تیپ‌های ماده سوختنی نقش مهمی در تعیین رفتار آتش و نحوه گسترش آن دارد، به‌طوری که داده عددی مدل‌های ماده سوختنی روی اعتبار خروجی‌های مدل‌های رفتار آتش موثر است (۲۹). بر اساس نمونه-برداری میدانی ۱۱ مدل ماده سوختنی سطحی از سه تیپ پوشش گیاهی اصلی موجود در منطقه مطالعه انتخاب شد (شکل ۴). جدول ۲ شامل پارامترهای مدل‌های ماده سوختنی بررسی‌شده در منطقه مطالعه است. بارهای ماده سوختنی سطحی با طبقه‌های اندازه قطری در این جدول ارائه شده است.



شکل ۴- نقشه مدل‌های ماده سوختنی سطحی در منطقه مورد مطالعه

ارزیابی خطر آتش در مواد سوختنی سطحی

نقشه خطر آتش در مواد سوختنی سطحی (شکل ۴) بر پایه سه پارامتر اندازه‌گیری شده (عمق بستر ماده سوختنی، بار ماده سوختنی و نیز درصد پوشش لاشبرگ سطحی) مطابق جدول ۱ بدست آمد. تقریبا ۵۰ درصد از مواد سوختنی پارک دارای پتانسیل خطر آتش کم است. ۱۳ درصد و ۲۲ درصد از مواد سوختنی موجود نیز به ترتیب دارای خطر آتش متوسط و زیاد است. خطر آتش خیلی زیاد و شدید نیز به ترتیب ۸ و ۷ درصد از منطقه مطالعه می-باشد.



شکل ۵- نقشه خطر آتش در مواد سوختنی سطحی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۲- پارامترهای ماده سوختنی برای ۱۱ مدل ماده سوختنی محلی در منطقه مطالعه

تیپ مدل ماده-سوختنی		تراکم	بار ماده‌سوختنی (تن در هکتار)					نسبت سطح به حجم (سانتی‌متر$^{-1}$)			عمق بستر ماده-سوختنی (سانتی-متر)	رطوبت اطفاء ماده-سوختنی مرده (درصد)
			ماده‌سوختنی مرده			ماده‌سوختنی زنده						
			۱ساعت	۱۰ساعت	۱۰۰ساعت	علفی زنده	چوبی زنده	مرده ۱ساعت	علفی زنده	چوبی زنده		
علفزار		خیلی‌کم	۰,۱۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۱,۲۶	۰,۰۰	۷۸,۱۳	۹۹۹۹	۹۹۹۹	۱۷,۲۱	۱۴
		کم	۰,۳۶	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۷۹	۰,۰۰	۵۲,۳۸	۹۹۹۹	۹۹۹۹	۲۰,۱۵	۱۴
		متوسط	۰,۸۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۶۷	۰,۰۰	۷۰,۹	۹۹۹۹	۹۹۹۹	۱۶,۷۱	۱۷
		زیاد	۱,۸۶	۰,۰۰	۰,۰۰	۳,۰۵	۰,۰۰	۶۱,۰۴	۹۹۹۹	۹۹۹۹	۱۸,۳	۱۷
درختچه‌زار		کم	۰,۶۳	۰,۲۵	۰,۰۰	۰,۱۵	۱,۳۰	۲۶,۱۵	۹۹۹۹	۴۶,۱۵	۳۲,۲	۱۴
		متوسط	۲,۹۱	۰,۷۸	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۱۵	۳۷,۱۲	۹۹۹۹	۵۳,۰۶	۴۶,۲	۲۱
جنگل	پهن-برگ آمیخته	کم	۱,۶۶	۱,۴۲	۰,۳۳	۰,۶۷	۱,۱۲	۲۱,۴۶	۶۵,۳	۴۱,۲	۱۲	۲۱
		متوسط	۲,۹۵	۱,۳۰	۰,۶۵	۱,۴۷	۰,۹۸	۳۴,۱۹	۶۹,۱	۵۲,۶	۱۹,۴	۲۳
		زیاد	۴,۲۱	۲,۰۶	۱,۱۲	۲,۳۵	۱,۵۵	۴۲,۱۹	۶۶,۳	۷۵,۱	۴۴,۳	۳۷
		خیلی زیاد	۵,۴۲	۳,۳	۲,۱۵	۲,۷۷	۱,۹۹	۵۱,۱۴	۶۹,۴۷	۸۸,۳۲	۵۳,۱	۴۵
	سوزنی-برگ	کم	۳,۱۵	۰,۹۷	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۱۶	۳۴,۶۲	۹۹۹۹	۴۸,۱۲	۲۹,۲	۲۴

نکته- ارزش ۹۹۹۹ در جدول به مواردی که هیچ بار ماده‌سوختنی در یک طبقه ماده‌سوختنی وجود نداشته باشد، اختصاص یافته است.

بحث و نتیجه‌گیری

مدل‌های ماده سوختنی منطقه مطالعه

مواد سوختنی جنگل می‌تواند به سه دسته اصلی شامل تاج درختان، مواد سوختنی تا ارتفاع ۲ متر (درختچه‌ها) و لاشبرگ سطحی تقسیم شود. لاشبرگ سطحی و مواد سوختنی تا ارتفاع ۲ متر بیشترین نقش را روی خطر آتش در مواد سوختنی سطحی دارد. تاج درختان و مواد سوختنی درشت‌تر روی رفتار آتش اثر می‌گذارند، اما اثر آنها روی خطر آتش سطحی کم‌اهمیت‌تر است (۲۲). با توجه به این

مسئله و نیز گسترش بیشتر آتش‌سوزی‌های سطحی در شرایط پوشش گیاهی ایران (۲۵)، در این مطالعه ۱۱ مدل ماده سوختنی سطحی محلی در نتیجه نمونه‌برداری میدانی از سه تیپ پوشش گیاهی اصلی در پارک ملی گلستان تهیه شد. پوشش علفی که ۵۱ درصد از منطقه مطالعه را به خود اختصاص می‌دهد با توجه به تراکم در چهار مدل ماده سوختنی طبقه‌بندی شده است. متوسط بار ماده سوختنی در این مدل‌ها ۲/۲۴ تن در هکتار (شامل ۲۶ درصد از بار ماده سوختنی کل منطقه) و متوسط عمق بستر ماده سوختنی ۱۸ سانتی‌متر بدست آمده است. بطور کلی پوشش علفی در منطقه مطالعه کمترین بار ماده سوختنی را در واحد سطح نسبت به پوشش-های درختچه‌ای و درختی دارد. این نتیجه مشابه با مطالعه Balley و Anderson (۱۹۸۰) است که علفزارها دارای کمترین بار مواد سوختنی و نیز درجه‌حرارت‌های آتش‌سوزی کمتر هستند. آتش‌سوزی‌ها در این تیپ پوشش با وجود مواد سوختنی ریز فراوان، به آسانی احتراق می‌یابند و به سرعت می‌سوزند، اما با شدت کم تا متوسط. مواد سوختنی علفی نسبت به لاشبرگ جنگل سریع‌تر رطوبت خود را از دست داده و خشک می‌شوند و می‌توانند تنها چند ساعت بعد از بارندگی برای احتراق و گسترش آتش آماده باشند (۱۰). در این مطالعه نیز مشابه با اغلب مطالعات انجام شده در مناطق مختلف مقدار ماده سوختنی سطحی به صورت پیوسته از علفزار به درختچه‌زار و نیز جنگل افزایش می‌یابد (۱۱، ۲۷ و ۳۴). پوشش درختچه‌ای با وجود وسعت محدود (۹ درصد) در حدود ۷ درصد از کل بار ماده سوختنی منطقه را در بر می‌گیرد. این تیپ با درجه تاج پوشش متوسط ۳۰ درصد دارای میانگین بار ماده سوختنی ۳/۰۸ تن در هکتار و متوسط عمق بستر ماده سوختنی ۳۹ سانتی‌متر است. همچنین پوشش درختی با وسعت ۴۰ درصد، در حدود ۶۷ درصد از بار ماده سوختنی کل منطقه را تشکیل می‌دهد. متوسط تاج پوشش این منطقه جنگلی ۶۰ درصد و متوسط بار ماده سوختنی و عمق بستر ماده سوختنی به ترتیب ۷/۲۹ تن در هکتار و ۳۱/۶ سانتی‌متر است. آتش‌سوزی‌ها در مواد سوختنی سنگین در پوشش‌های درختچه‌ای و درختی، اگرچه به سرعت احتراق نمی‌یابند، اما با شدت بیشتر و در دوره طولانی‌تری نسبت به پوشش علفی می‌سوزند.

گونه‌های متفاوت نیز با شدت متفاوتی می-سوزند. درختچه‌های سوزنی‌برگ همیشه‌سبز ارس شامل دو گونه غالب اردوج در نواحی پرشیب کوهستانی و پیرو در دامنه‌ها در منطقه مورد مطالعه، به دلیل داشتن مواد رزین اشتعال‌پذیرتر هستند. برخلاف آنها، گونه‌های پهن‌برگ خزان‌کننده موجود در این منطقه شامل بلوط بلندمازو، ممرز، لور و افرا شیردار به دلیل نداشتن چنین موادی اشتعال‌پذیری کمتری دارند. بدون توجه به نوع گونه‌ها، مناطق با مقدار زیاد مواد چوبی افتاده و مرده با شدت و سرعت بیشتری می‌سوزند. ترتیب ماده سوختنی نیز عامل مهم دیگری است که با توجه به ساختار ماده سوختنی متفاوت است. در مناطقی که مواد سوختنی پیوسته است بویژه در شرایطی که پوشش گیاهی کمتر

توسط توپوگرافی یا با تیپ‌های ماده سوختنی متفاوت تکه‌تکه شده است، آتش‌سوزی می‌تواند به صورت نسبتا غیرقابل کنترلی گسترش یابد (۲۷). این شرایط در مدل‌های ماده سوختنی پهن‌برگ با تراکم زیاد و خیلی زیاد در غرب پارک و نیز ماده سوختنی علفی با تراکم زیاد بویژه در لکه‌ای در جنوب پارک دیده می‌شود.

ارزیابی خطر آتش در مواد سوختنی سطحی

برآوردهای بارهای ماده سوختنی در این مطالعه برای ارزیابی خطر آتش در ماده سوختنی به همراه پوشش لاشبرگ و عمق بستر ماده سوختنی مورد استفاده قرار گرفت. بطور کلی تغییرات در خطر آتش در ماده سوختنی سطحی بیشتر مرتبط با بار ماده سوختنی ۱ساعت (مواد سوختنی ریز با قطر کمتر از ۰/۶ سانتی‌متر) است (۳۹). این مورد در نرخ بالای تجمع مواد سوختنی ۱ساعت در مناطق جنگل پهن‌برگ آمیخته با تراکم‌های زیاد و خیلی زیاد و نیز جنگل سوزنی‌برگ مشهود است که دارای بیشتر خطر آتش در مواد سوختنی در منطقه مورد مطالعه است. علاوه بر این، پوشش لاشبرگ جنگل به طور مستقیم روی خطر آتش در مواد سوختنی سطحی و در نتیجه شدت آتش‌سوزی سطحی اثر می‌گذارد. لاشبرگ‌های عمیق که دارای درصد زیادی از شاخه‌های درختان افتاده مرده است به دلیل بار ماده سوختنی بیشتر، شدیدتر می‌سوزند. لاشبرگ‌های بزرگ پهن‌برگان یا سوزنی‌برگان که به صورت یکنواخت در سطح پراکنده هستند و به صورت فشرده نیستند، نرخ‌های گسترش آتش بالاتری نسبت به لاشبرگ‌های کوچک و ریز دارند (۱۲). همچنین تفاوت‌ها در ساختار ماده سوختنی در بین مناطق مختلف نیز اثر مهمی روی خطر آتش در ماده سوختنی دارد. مواد سوختنی ریز سوزنی‌برگان بومی منطقه مثل ارس دارای فشردگی کمتر، نسبت‌های مواد سوختنی مرده سرپا بیشتر، عمق‌های بستر ماده سوختنی بیشتر، سوزن‌های فراوان پوشیده شده در بین علف‌ها و بارهای کمتر از گیاهان پوسیده کف جنگل است و بنابراین بهتر در معرض هوادیدگی، حساس به خشک شدن و احتمالا نرخ‌های بیشتر خطر آتش در ماده سوختنی را دارد. این نتیجه مطابق با مطالعات Platt و همکاران (۱۹۹۱) و نیز Robertson و Ostertag (۲۰۰۷) است. خطر آتش کمتر مواد سوختنی لاشبرگ پهن‌برگان به‌ویژه در مناطق با تراکم کم می‌تواند بطور کلی به دلیل قابلیت سوختن کمتر مواد سوختنی ۱ساعت و تجمع بیشتر گیاهان پوسیده کف جنگل باشد. بر اساس نتایج مطالعه Prescott و همکاران (۲۰۰۴) بارهای گیاهان پوسیده کف جنگل به طور قابل‌توجهی مرتبط با مواد سوختنی لاشبرگ پهن‌برگان و علف‌های هرز است که نرخ‌های تجزیه بیشتر و انتقال سریع‌تر از مواد سوختنی لاشبرگ به گیاهان پوسیده کف جنگل دارد.

در درختچه‌زارها، ترکیب درختچه‌های ارس و گیاهان علفی، تیپ ماده سوختنی تشکیل داده که آتش‌سوزی‌های با اثرگذاری زیاد در طی سالهای گذشته در پارک ملی گلستان را ایجاد کرده است. تنه و تاج‌های این درختچه‌ها بعد از

یک دوره خشکی طولانی به راحتی با یک آتش‌سوزی سطحی در مواد سوختنی علفی، احتراق یافته و می‌سوزند. این نتیجه مشابه با مطالعات Paysen و همکاران (۲۰۰۰) و Robertson و Ostertag (۲۰۰۷) است. مقدار و نسبت توزیع علف‌ها و درختچه‌ها سرعت گسترش آتش و شدت سوختن آن را در این تیپ معین می‌کند. افزایش مقدار گیاهان علفی نرخ گسترش آتش را زیادتر خواهد کرد. در حالی که افزایش مقدار درختچه‌ها به طور کلی نرخ گسترش آتش را کندتر می‌کند، اما شدت-های آتش‌سوزی را افزایش می‌دهد (۱۹).

در ارتباط با علفزارها، تیپ‌های غالب با علف-های هرز به طور کلی اشتعال‌پذیری کمتر نسبت به مناطق غالب با گراس‌ها دارند (۳۵). مواد سوختنی لاشبرگ و گیاهان پوسیده کف جنگل نیاز به شرایط خشک‌تر برای گسترش آتش بهتر دارند (۱۵). تحت شرایط خیلی خشک، گیاهان پوسیده کف جنگل که به مدت ۵ سال یا بیشتر تجمع یافته‌اند می‌توانند به صورت بالقوه تاج درختان را به خطر بندازند (۲۱). این موارد با اندازه‌گیری‌های بار مواد سوختنی و ارزیابی‌های خطر آتش در پوشش-های علفی با تراکم زیاد در منطقه مطالعه مطابقت دارد. با وجود بارهای ماده سوختنی کمتر در علفزار نسبت به درختچه‌زار و جنگل-های منطقه، در شرایط آب و هوای شدید که شامل سرعت باد در دامنه ۶۵-۴۸ کیلومتر بر ساعت است، سرعت گسترش آتش‌سوزی‌ها در علفزارها می‌تواند تا ۱۰ کیلومتر بر ساعت افزایش یابد (۱۲). چنین آتش‌سوزی‌هایی در مواد سوختنی با غالبیت گراس زمان اندکی را به آتش‌نشانان برای واکنش نسبت به آنها می-دهد و تلاش‌های اطفای آتش را کم‌اثر می‌کند.

با توجه به نتایج این مطالعه، افزایش در تراکم توده‌های جنگلی، بار و پیوستگی ماده سوختنی منجر به ایجاد تیپ حساس به آتش‌سوزی با شدت بالا می‌شود. بنابراین، برآورد دقیق این پارامترها و نیز نرخ‌های تغییر آنها برای هر تیپ ماده سوختنی مورد نیاز است. به طور کلی در مقایسه سه تیپ اصلی ماده سوختنی در منطقه مطالعه، علفزارها نرخ گسترش آتش و در واقع اشتعال‌پذیری بیشتری نسبت به درختچه‌زارها و جنگل‌ها دارند، اما با توجه به بار ماده سوختنی بیشتر درختچه‌زارها و جنگل‌ها در صورت وقوع آتش در این تیپ‌ها با شدت‌های آتش‌سوزی بیشتری خواهند سوخت. بررسی توزیع مکانی مواد سوختنی سطحی و مدل-سازی رفتار آتش در تیپ‌های پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه برای تعیین پتانسیل و اثر آتش سطحی در این مواد سوختنی حائزاهمیت است. مطالعات آتی در زمینه تغییرات در بارهای ماده سوختنی در مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت پیشنهاد می‌شود. همچنین مطالعات بیشتر در زمینه مواد سوختنی تاجی برای آتش‌سوزی‌های تاجی در منطقه مورد مطالعه مورد نیاز است.

References

1- Alexander, M.E., 1994. Proposed revision of fire danger class criteria for forest and rural areas in New Zealand. National Rural Fire Authority, Wellington. Circular 1994/2. 73 p.
2- Amin Amlashi, M., Ghodskha, M., Bonyad, A.I., Porbabaei, H., Jafari, M., and Gholami, V., 2016. Fire behavior simulation using the FlamMapfire modeling in ArcFuels program (Case study: Pinustaeda forestation in Takhsam, Gilan province). Forest and Range Protection Research 14 (1), 1-11. (In Persian)
3- Anderson, H.E., 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-122. lntermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah 84401., 22.
4- Anderson, H.E., 1974. Appraising Forest Fuels: A Concept; Research Note INT-187; US Dept. of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station: Ogden, UT, USA, 1974.
5- Argañaraz, J.P., Landi, M.A., Scavuzzo, C.M., and Bellis, L.M., 2018. Determining fuel moisture thresholds to assess wildfire hazard: A contribution to an operational early warning system. PLoS ONE 13(10), e0204889.
6- Ascoli, D., Vacchiano, G., Motta, R., and Bovio, G., 2015. Building Rothermel fire behaviour fuel models by genetic algorithm optimization. International Journal of Wildland Fire, http://dx.doi.org/10.1071/WF14097.
7- Balley, A.W., and Anderson, M.L., 1980. Fire Temperatures in grass, shrub and Aspen forest communities of Central Alberta. Journal of Range Management 33 (1), 37-40.
8- Bianchi, L.O., and Defossé, G.E., 2015. Live fuel moisture content and leaf ignition of forest species in Andean Patagonia, Argentina. International Journal of Wildland Fire 24, 340–348.
9- Brown, J.K., Oberheu, R.D., and Johnston, C.M., 1982. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report INT-129. 88 p.
10- Cheney, N.P., and Sullivan, A., 2008. Grassfires: Fuel, Weather and Fire Behaviour. 2nd Edition. CSIRO Publishing. Melbourne VIC. 150 pp.
11- Cruz, M.G., Gould, J.S., Hollis, J.J., and McCaw, W.L., 2018. A Hierarchical Classification of Wildland Fire Fuels for Australian Vegetation Types. Fire 1, 13; doi:10.3390/fire1010013.
12- Cruz, M.G., Matthews, S., Gould, J., Ellis, P., Henderson, M., Knight, I., and Watters, J., 2010. Fire Dynamics in Mallee Heath: Fuel, Weather and Fire Behaviour Prediction in South Australian Semi-arid Shrublands. CSIRO Sustainable Ecosystems, Canberra, ACT; Department of Environment and Heritage, South Australia.
13- Deeming, I.E., Lancaster, I.W., Fosberg, M.A., Furman, R.W., and Schroeder, M., 1972. The National Fire-Danger Rating System USDA Forest Service Research Paper RM-84.
14- Faramarzi, H., Hosseini, S.M., Gholamalifard, M., 2014. Fire Hazard Zoning in National Golestan Park Using Logistic Regression and GIS. Journal of Geography and Environmental Hazards 3 (10), 73-90. (In Persian)
15- Ferguson, S.A., Ruthford, J.E., McKay, S.J., Wright, D., Wright, C., and Ottmar, R., 2002. Measuring moisture dynamics to predict fire severity in longleaf pine forests. International Journal of Wildland Fire 11, 267–279.

16- Finney, M.A., 2006. An overview of FlamMap fire modeling capabilities. In 'Fuels management—how to measure success: conference proceedings', 28–30 March, Portland, OR. (Comp PL Andrews, BW Butler), USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station Proceedings RMRS-P-41, 213-220.
17- Fiorucci, P., Gaetani, F., Lanorte, A., and Lasaponara, R., 2007. Dynamic Fire Danger Mapping from Satellite Imagery and Meteorological Forecast Data. Earth Interact 11, 1–17.
18- Ghodsi, M., Mesdaghi, M., and Heshmati, G., 2011. Effect of different growth forms on soil surface features (Case study: Semi-steppe rangeland, Golestan National Park). Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) 93, 63-69. (In Persian)
19- Gould, J., and Cruz, M., 2012. Australian Fuel Classification: Stage II. Ecosystem Sciences and Climate Adaption Flagship, CSIRO, Canberra Australia.
20- Gould, J., and Sullivan, A., 2004. Fuel Hazard Development. Client Report for Fire Management Unit, Dept. Urban Services, ACT. CSIRO Forestry & Forest Products, Canberra.
21- Hiers, J.K., Ottmar, R.D., O'Brien, J.J., Varner III, J.M., Putz, F.E., Gordon, D., and Ferguson, S.A., 2003. Correlates of tree mortality resulting from reintroducing fire to long-unburned longleaf pine forests [abstract]. Page 121 in Proceedings of the Second International Wildland Fire Ecology and Fire Management Congress and Fifth Symposium on Fire and Forest Meteorology, 16–20 Nov 2003, Orlando, FL. American Meteorological Society, Boston, MA.
22- Hines, F., Tolhurst, K.G., Wilson, A.A.G., and McCarthy, G.J., 2010. Overall Fuel Hazard Assessment Guide, 4th edition. Report 82, Fire Management Branch, Department of Sustainability and Environment, Melbourne.
23- Ivanova, GA., Kukavskaya, E.A., Ivanov, V.A., Conard, S.G., and McRae, D.J., 2019. Fuel characteristics, loads and consumption in Scots pine forests of central Siberia. Journal of Forest Research.
24- Jahdi, R., Goshtasb Meygoni, H. 2018. EuroFire Competency Standards and Training Materials. Global Fire Monitoring Center (GFMC). 2016. Translation into Parsi. Department of Environment, Islamic Republic of Iran. 180 pp. http://www.fire.uni-freiburg.de/eurofire/ef_per.html.
25- Jahdi, R., Darvishsefat, A.A., and Etemad, V., 2016. Assessing the Impact of Fuel Moisture Conditions on Fire Spread and Behavior in Golestan National Park. Journal of Forest and Wood Products 68 (4), 799-813. (In Persian)
26- Jahdi, R., Salis, M., Darvishsefat, A.A., Mostafavi, M.A., Alcasena, F., Etemad, V., Munoz Lozano, O., and Spano D., 2015. Calibration of FARSITE Fire Area Simulator in Iranian Northern Forests. Natural Hazards and Earth System Science 15, 443-459.
27- Johnston, D.C., 2012. Quantifying the Fuel Load, Fuel Structure and Fire Behaviour of Forested Bogs and Blowdown. Master of Science in Forestry, Faculty of Forestry, University of Toronto, 149 pp.
28- Keane, R.E., and Dickinson, L.J., 2007. The photoload sampling technique: estimating surface fuel loadings from downward-looking photographs of synthetic fuelbeds. General Technical Report RMRS-GTR-190. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 44 p.
29- Kucuk, O., Bilgili, E., and Fernandes, P.M., 2015. Fuel modeling and potential fire behavior in Turkey. Sumarski list 11 (12), 553–560.

30- Laverty, L., and Williams, J., 2000. Protecting people and sustaining resources in fire-adapted ecosystems—a cohesive strategy. Forest Service response to GAO Report GAO/RCED 99-65. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
31- McCarthy, G.J., Chatto, K., and Tolhurst, K., 1998. Overall Fuel Hazard Guide. Research Report No. 47. Fire Management Branch, Dept. of Natural Resources and Environment, Victoria.
32- McDonald, R.C., Isbell, R.F., Speight, J.G., Walker, J., and Hopkins, MS., 1990. Australian Soil and Land Survey - Field Handbook, 2nd edition, Inkata Press, Melbourne, Victoria.
33- Mitsopoulos, I., Mallinis, G., Zibtsev, S., Yavuz, M., Sağlam, B., Kucuk, O., Bogomolov, V., Borsuk, A., and Zaimes, G., 2017. An integrated approach for mapping fire suppression difficulty in three different ecosystems of Eastern Europe. Journal of Spatial Science 62(1), 139-155.
34- Paysen, T.E., Ansley, R.J., Brown, J.K., Gotffried, G.J., Haase, S.M., Harrington, M.J., Narog, M.G., Sackett, S.S., and Wilson, R.C., 2000. Chapter 6: Fire in Western Shrubland, Woodland, and Grassland Ecosystems, USDA Forest Service Gen.Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 2. 2000.
35- Platt, W.J., Glitzenstein, J.S., and Streng, D.R., 1991. Evaluating pyrogenicity and its effects on vegetation in longleaf pine savannas. Proceedings of the Tall Timbers Fire Ecology Conference 17, 143–161.
36- Prescott, C.E., Blevins, L.L., and Staley, C., 2004. Litter decomposition in British Columbia forests: controlling factors and influences of forestry activities. BC Journal of Ecosystems and Management 5(2), 44–57.
37- Pyne, S.J., 1984. Introduction to Wildland Fire, Fire Management in the United States; John Wiley and Sons: New York, NY, USA, 1984; p. 455.
38- Qi, Y., Dennison, P.E., Spencer, J., and Riaño, D., 2012. Monitoring live fuel moisture using soil moisture and remote sensing proxies. Fire Ecology 8(3), 71–87.
39- Robertson, K.M., and Ostertag, T.E., 2007. Effects of land use on fuel characteristics and fire behavior in pinelands of Southwest Georgia. Proceedings of the 23rd Tall Timbers Fire Ecology Conference: Fire in Grassland and Shrubland Ecosystems. Tall Timbers Research Station, Tallahassee, Florida, USA.
40- Rossa, C.G., 2017. The effect of fuel moisture content on the spread rate of forest fires in the absence of wind or slope. International Journal of Wildland Fire 26, 24–31.
41- Sağlam, B., Küçük, Ö., Bilgili, E., Durmaz, B.D., and Baysal, I., 2008. Estimating fuel biomass of some shrub species (Maquis) in Turkey. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 32(4), 349-356.
42- Scott, J.H., and Burgan, R., 2005. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's Surface Fire Spread Model. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-153. (Fort Collins, CO)
43- Shahkoubi E., 2011. Investigating the Role of Climate in Tourism Planning in Golestan Province. Scientific-research journal of Geographical Data (SEPEHR) 20 (79), 52-57. (In Persian)
44- Stephens, S.L., Burrows, N., Buyantuyev, A., Gray, R.W., Keane, R.E., Kubian, R., Liu, S.R., Seijo, F., Shu, L.F., and Tolhurst, K.G., 2014. Temperate and boreal forest mega-fires: Characteristics and challenges. Front. Ecol. Environment 12, 115–122.

45- Twidwell, D., Fuhlendorf, S.D., Engle, D.M., and Taylor, C.A., 2009. Surface fuel sampling strategies: linking fuel measurements and fire effects. Rangeland Ecology and Management 62, 223–229.
46- Weise, D.R., and Wright, C.S., 2014. Wildland fire emissions, carbon and climate: Characterizing wildland fuels. Forest Ecology Management 317, 26–40.
47- Wu, Z.W., He, H.S., Chang, Y., Liu, Z.H., Chen, H.W., 2011. Development of customized fire behavior fuel models for boreal forests of northeastern China. Environmental Management 48(6), 1148–1157.

Surface Fuel Models and Fire Hazard in Golestan National Park

Roghayeh Jahdi[1*]

Abstract

Determining custom fuel models in forest and rangeland ecosystems is crucial to predict the potential fire behavior and spread, wildfire management, and ecosystem restoration. The objective of this study was to quantify the amount and structure of surface fuel available for combustion in grasslands, shrublands and forests in Golestan National Park, NE Iran. All information related herbaceous vegetation and surface litter were collected from 1m × 1m, 10m × 10m, and 30m × 30m sampling plots, respectively in the grasslands (n=24), shrublands (n=8), and forest (n=22) fuel types based on Stratified Random Sampling. A fuel hazard rating is assigned to each fuel by assessing the key attributes including fuel load (t ha^{-1}), fuelbed depth (cm), and litter cover (%). The results revealed that variation in surface fuel hazards among fuel types corresponded to patterns of fine fuel loading (1-hr). Broadleaves litter fuels had higher total fine fuel loads resulting from greater grass dominance, potentially providing higher surface fuel hazard. Differences in fuel structure between the existing fuel types also had an important effect. Determining custom fuel models and fire risk assessment in these models is important for natural resource managers to select methods to reduce fuel loads, fire mitigation, and retain the landscape resilience to future wildfires.

Keywords: Fuel load, Golestan National Park, Landscape resilience, Surface fuel, Wildfire.

[1] * Corresponding author, Assistant Prof., Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir