



دانشگاه گورگان  
فصلنامه علمی-پژوهشی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل  
جلد بیستم و دوم، شماره دوم، ۱۳۹۴  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## تهیه نقشه تیپ ماده سوختنی و پیش‌بینی رفتار آتش سطحی با استفاده از FARSITE

رقیه جهدی<sup>۱</sup>، \* علی‌اصغر درویش‌صفت<sup>۲</sup> و وحید اعتماد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته دکتری جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، استادیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۶

### چکیده

سابقه و هدف: سطح و شدت آتش‌سوزی جنگل‌ها به‌میزان زیادی وابسته به تیپ مواد سوختنی و تغییرپذیری مکانی آن در یک سیمای سرزمین است. توسعه روش‌های دقیق برای ارزیابی مشخصات ماده سوختنی و پیش‌بینی احتمال وقوع آتش‌سوزی‌ها در سیماهای سرزمین ناهمگن برای مدیریت و پیشگیری آتش‌سوزی بسیار مهم است. اهداف این مطالعه، تهیه نقشه تیپ ماده سوختنی در مقیاس محلی و شبیه‌سازی رفتار آتش آن‌ها است.

مواد و روش‌ها: گستره مکانی تیپ‌های ماده سوختنی مختلف جنگل توشی در سیاهکل با توپوگرافی و پوشش گیاهی ناهمگن، با استفاده از پیمایش زمینی تعیین شد. چهار تیپ ماده سوختنی مختلف علفزار، علف-درختچه‌زار، جنگل طبیعی و جنگلکاری مورد بررسی قرار گرفت. تیپ‌های ماده سوختنی توسعه یافته با نمونه‌برداری زمینی و داده جمع‌آوری شده در شبیه‌ساز FARSITE برای مدل‌سازی گسترش و رفتار بالقوه آتش‌سوزی سطحی وارد شد.

یافته‌ها: نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تیپ ماده سوختنی برای درختچه‌زارها و جنگل‌های طبیعی بلندترین طول شعله، زیادترین شدت خط آتش و بیشترین انتشار گرما در واحد سطح را ارائه کرد.

\*مسئول مکاتبه: [adarvish@ut.ac.ir](mailto:adarvish@ut.ac.ir)

تیپ ماده سوختنی برای علفزارها سریع‌ترین نرخ گسترش سطحی و مدل ماده سوختنی برای جنگلکاری شدت آتش کمتر را ارائه کرد.

**نتیجه‌گیری:** این نقشه‌های رفتار آتش محصول نهایی است که می‌تواند به شکل کاملاً عملیاتی توسط مسوولان محلی مدیریت آتش برای برنامه‌ریزی و اقدام پیشگیرانه موثر آتش استفاده شود.

**واژه‌های کلیدی:** تیپ ماده سوختنی، رفتار آتش، شبیه‌ساز سطح آتش، مدیریت آتش

#### مقدمه

آتش‌سوزی جنگل در شمار پدیده‌های طبیعی است که به دلیل پیچیدگی فرآیندهای تعیین کننده رفتار آن، حجم عظیمی از داده‌های موردنیاز و نیز دشواری استخراج و جمع‌آوری آن‌ها هنوز به‌طور کافی توصیف نشده است. هر سال آتش‌سوزی‌های جنگل موجب وارد شدن آسیب‌های بزرگی به پوشش گیاهی، املاک، اکوسیستم‌ها و محیط‌زیست می‌شوند. و زندگی مردم و منابع انسانی قابل توجهی را تهدید می‌کنند (گلاسا و هالادا، ۲۰۰۸). برای مدیریت آتش جنگل، آگاهی کامل از شرایط ماده سوختنی به‌عنوان یک مولفه اصلی وقوع آتش، ضروری است (چوویکو و همکاران، ۲۰۰۴). شرایط ماده سوختنی به‌دلیل کمبود اطلاعات در مورد مؤلفه‌های مختلف پوشش گیاهی پیچیده است و به‌همین سبب تا کنون تلاش‌های قابل توجهی برای شناسایی ویژگی‌های ماده سوختنی انجام شده است. طبقه‌بندی‌های تیپ ماده سوختنی مختلفی تشریح شده و در حال حاضر توسط سرویس‌های مختلف مدیریت جنگل در سراسر جهان به‌کار برده می‌شود. دانش درباره توزیع مکانی تیپ‌های ماده سوختنی برای توسعه استراتژی‌های مدیریت آتش نیز ضروری است (آرویو و همکاران، ۲۰۰۸). برای تعیین توزیع مکانی مواد سوختنی نیاز به تعیین مشخصات زیادی از جنگل از جمله میزان انبوهی تاج جنگل، رطوبت پوشش گیاهی، توزیع افقی و عمودی زی‌توده، نسبت مواد گیاهی زنده به مرده، و پراکنش اراضی بدون پوشش گیاهی است (اسکات و رینهارت، ۲۰۰۱). الگوهای مکانی این مشخصات حاوی اطلاعات بنیادی برای ارزیابی پتانسیل آتش و مدل‌سازی رفتار آتش است (کین و همکاران، ۲۰۰۱). با نقشه‌های رقومی دقیق ماده سوختنی، مدل‌های مکانی آتش از جمله شبیه‌ساز سطح آتش FARSITE می‌توانند آتش‌سوزی‌ها را در جهت ارزیابی و برنامه‌ریزی تلاش‌های کاهش و

کنترل آتش یا برای حمایت از استراتژی‌های مدیریت استفاده از آتش، شبیه‌سازی کنند. با این وجود بسیاری از سازمان‌های منابع طبیعی نقشه‌های ماده سوختنی دقیق ندارند، و اطلاعات ماده سوختنی را در طول آماربرداری‌های زمینی جمع‌آوری نمی‌کنند (کین و همکاران، ۲۰۰۱). دامنه وسیعی از مشخصات فیزیکی ماده سوختنی (به‌عنوان مثال، بار، اندازه، تراکم توده و ...) موجود در یک ناحیه و نیاز برای استانداردسازی و یا طبقه‌بندی در توصیف ماده سوختنی در مناطق مختلف برای استفاده از آن‌ها به‌عنوان ورودی برای مدل‌های رفتار آتش، منجر به توسعه طرح‌های طبقه‌بندی ماده سوختنی مختلف شده است. روش‌های توسعه‌یافته برای تهیه نقشه تیپ ماده سوختنی شامل پیمایش زمینی، مدل‌سازی اکولوژیک، روش‌های سنجش از دور و روش‌های ترکیبی است (فالكوسکی و همکاران، ۲۰۰۵). متداول‌ترین روش استفاده شده برای ایجاد نقشه‌های ماده سوختنی استفاده از نقشه‌های پوشش گیاهی (اغلب با استفاده از داده سنجش از دور) است (کین و همکاران، ۲۰۰۱). استفاده از این روش‌ها مشکل است؛ نخست این‌که مواد سوختنی همیشه به‌خوبی و کامل با تیپ گیاهی ارتباط ندارد. دوم این‌که مشخصات فیزیکی ماده سوختنی تأثیرگذار است؛ سوم این‌که تغییرپذیری مواد سوختنی در مقیاس ریز درون هر پلی‌گون از پوشش گیاهی مشابه به دقت منعکس نمی‌شود. علاوه بر این، در زمانی‌که داده سنجش از دور برای تهیه نقشه مواد سوختنی جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرد، تاج پوشش جنگل مانع مشخص شدن مواد سوختنی سطحی است (ریانو و همکاران، ۲۰۰۳).

به لحاظ تاریخی، تلاش‌های نخست در تهیه نقشه تیپ‌های ماده سوختنی بر اساس پیمایش‌های زمینی صورت گرفته است. هورنبری در سال ۱۹۳۵ شرایط ماده سوختنی بیش از ۶ میلیون هکتار در کوه‌های شمالی راکی ایالات متحده را به کمک بیش از ۹۰ کارشناس تشریح نمود. تیپ‌های ماده سوختنی به‌عنوان تابعی از نرخ گسترش و مقاومت به کنترل آتش، طبقه‌بندی شد. کار هورنبری به‌دلیل گستره وسیع و حجم بالای نیروی کار آن متوقف شد. دشواری هدایت یک پیمایش زمینی همچنین در کار انجام شده توسط شوو و کوتوک (۱۹۲۹) که به ۱۰ سال کار میدانی برای فراهم کردن نقشه پوشش گیاهی در ۸ کلاسه با پوشش ۶۱۰۸ هکتار در کالیفرنیا شمالی اختصاص یافته بود، مشهود است. کار آن‌ها نیز ناتمام ماند. با توجه به این‌که نقشه‌های تیپ ماده سوختنی باید به‌صورت دوره‌ای به‌هنگام شود، انجام این‌کار در این روش بسیار مشکل است. به تازگی نقشه ماده سوختنی از طریق آماربرداری زمینی گسترده با نمونه‌برداری و استنتاج آماری تهیه شد (میلر و همکاران،

۲۰۰۳). با وجود موفقیت‌آمیز بودن این روش‌ها، مقدار زمان و هزینه موردنیاز برای اجرای آن‌ها زیاد و استفاده از آن‌ها برای بسیاری از مدیران غیرعملی است (فالکوسکی و همکاران، ۲۰۰۵). با این وجود مزیت اصلی پیمایش‌های زمینی این است که محقق اطلاعات مواد سوختنی را به‌طور مستقیم از عرصه جمع‌آوری می‌کند و در نتیجه، نقشه مواد سوختنی از طریق شرایط واقعی مشاهده شده روی زمین، تهیه می‌شود. خطای تهیه نقشه محدود به ارزیابی‌های نادرست تیپ ماده سوختنی یا تشریح‌های نادرست توده روی نقشه‌های کاغذی است. به‌دلیل پیچیدگی مشخصات پوشش گیاهی، برای تفکیک تیپ ماده سوختنی به‌صورت دقیق نیاز به تلاش میدانی عظیم است. در نتیجه پیمایش‌های زمینی کماکان برای تهیه نقشه تیپ ماده سوختنی به‌عنوان منبع پایه‌ای از داده‌ها، ارزیابی محصولات تولید شده با جزئیات کمتر و نیز پارامتره‌کردن تیپ‌های ماده سوختنی ضروری است. این روش همچنین برای تهیه مجموعه‌های داده واقعیت زمینی برای تأیید اعتبار نقشه‌های تهیه شده از طریق تولیدات داده سنجش از دور استفاده می‌شود.

یکی از گسترده‌ترین مدل‌های رفتار آتش استفاده شده روترمل (۱۹۷۲) است که گسترش آتش را در مواد سوختنی سطحی شبیه‌سازی می‌کند. شبیه‌ساز سطح آتش FARSITE (فینی، ۱۹۹۸) که بر اساس این مدل رفتار آتش توسعه یافته با استفاده از قابلیت‌های پایگاه داده مکانی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، امکان شبیه‌سازی رفتار و گسترش زمانی و مکانی آتش در شرایط مختلف زمین، ماده سوختنی و آب و هوا را برای کاربران فراهم می‌سازد (مالینیس و همکاران، ۲۰۰۸). هدف این مطالعه شناسایی دقیق مدل‌های ماده سوختنی برای تهیه نقشه تیپ ماده سوختنی در مقیاس محلی با استفاده از روش پیمایش زمینی و تهیه نقشه‌های رفتار آتش سطحی در بخشی از ناحیه هیرکانی است. مهم‌ترین متغیرهای توصیف‌کننده طرح رفتار آتش (خروجی مدل) شامل نرخ گسترش<sup>۱</sup> ( $m \text{ min}^{-1}$ ; متر در دقیقه)، شدت خط آتش<sup>۲</sup> ( $kW \text{ m}^{-1}$ ; کیلو وات در متر)،

۱- نرخ گسترش آتش سرعت حرکت آتش درون ماده سوختنی است که معمولاً توسط مدیران و سیستم‌های ریسک آتش برای تعیین روش‌های اصلی مبارزه با آتش استفاده می‌شود (وایت و همکاران، ۲۰۱۳).

۲- شدت خط آتش انرژی گرمایی آزاد شده در واحد زمان است که بر اساس معادله بیرام (۱۹۵۹) با توجه به سه متغیر نرخ گسترش، مواد سوختنی در دسترس و میزان گرمای آزاد شده توسط آن‌ها تعیین می‌شود و با افزایش این متغیرها شدت خط آتش زیاد می‌شود.

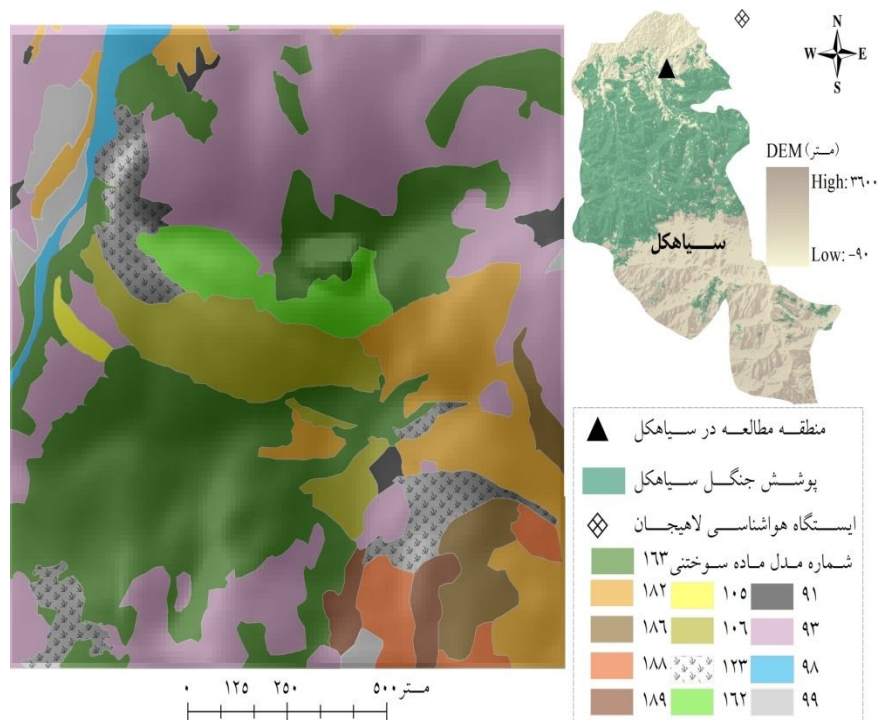
طول شعله<sup>۱</sup> (m؛ متر)، و گرما در واحد سطح<sup>۲</sup> ( $\text{kJ m}^{-2}$ ؛ کیلو ژول در مترمربع) است که در این مطالعه با استفاده از مدل FARSITE شبیه‌سازی رفتار و گسترش آتش سطحی بالقوه در بخشی از جنگل‌های سیاهکل در شرق استان گیلان شد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** منطقه مورد مطالعه بخشی از جنگل‌های مجاور روستای توشی، واقع در ناحیه کلدمسرا در شهرستان سیاهکل با وسعت ۳۰۰ هکتار است (شکل ۱). مرکز این ناحیه در عرض جغرافیایی ۳۷° ۱۱' شمالی و طول جغرافیایی ۴۹° ۸۸' شرقی واقع شده است. این ناحیه دارای آب و هوای معتدل خزری با تابستان‌های ملایم و مرطوب است ولی به دلیل وزش بادهای گرم آتش‌سوزی جنگل در این منطقه فراگیر و مهار آن به دلیل شرایط توپوگرافی پیچیده منطقه بسیار دشوار است. علاوه بر پدیده باد گرم به دلیل نزدیکی جنگل‌های این ناحیه به مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی، عوامل انسانی ناشی از بی‌احتیاطی نیز در آن دخیل هستند. بر اساس گزارش‌های آتش‌سوزی‌ها توسط اداره جنگلداری اداره کل منابع طبیعی گیلان، در طول دهه گذشته ناحیه سیاهکل سالیانه به‌طور متوسط ۱۵ آتش‌سوزی با متوسط وسعت ۶۰ هکتار را تجربه کرده است. این ناحیه با سابقه تکرار آتش زیاد برای شبیه‌سازی گسترش آتش سطحی و با استفاده از داده‌های هواشناسی مربوط به مرداد ماه ۱۳۸۹ تهیه شده از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به منطقه، ایستگاه هواشناسی لاهیجان (ارتفاع ۲- متر؛ ۳۷ درجه و ۱۱ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۰۰ دقیقه شرقی) در فاصله ۱۵ کیلومتری شمال شرقی سیاهکل انتخاب شد (شکل ۱). منطقه مطالعه شامل جنگل دست‌کاشت با گونه‌های پهن‌برگ صنوبر (*Populus caspica* C.A.Mey.)، بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.)، توسکا بیلاقی (*Alnus subcordata* C.A.Mey.)، و سوزنی‌برگ کاج (*Pinus taeda* L.) و نیز جنگل طبیعی با تیپ ممرز آمیخته (*Carpinus betulus* L.) است.

۱- طول شعله شاخص مهم گرما و شدت آتش، سختی اطفاء و نیز اثر روی موجودات زنده است که بر اساس معادله بیرام (۱۹۵۹) تنها با شدت خط آتش بستگی مستقیم دارد.

۲- گرما در واحد سطح میزان انرژی گرمایی آزاد شده در واحد سطح درون جبهه در حال اشتعال از ماده سوختنی است که مستقل از باد، شیب یا جهت گسترش آتش و تنها وابسته به مواد سوختنی ریز مؤثر در گسترش آتش می‌باشد (روتزل، ۱۹۷۲؛ اندروس، ۲۰۰۸).



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعه در شهرستان سیاهکل و مدل‌های ماده سوختنی این منطقه.

نمونه‌برداری ماده سوختنی: به دلیل این که توصیف همه مشخصات فیزیکی شامل بار (وزن در هر واحد سطح)، اندازه (قطر ذره) و توده (وزن در هر واحد حجم) برای تمام مواد سوختنی موجود در هر ناحیه مشکل است، سیستم‌های طبقه‌بندی مختلفی ایجاد شده که به وسیله آن تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی بر اساس رفتار آتش در آن‌ها گروه‌بندی شده است. چنین طبقه‌بندی به طور معمول بر اساس اندازه، گونه، شکل، ترتیب<sup>۱</sup> و پیوستگی عناصر تشکیل‌دهنده ماده سوختنی است (مریل و آلکساندر، ۱۹۸۷). دو سیستم تیپ ماده سوختنی رفتار آتش شناخته شده شامل سیستم آزمایشگاه آتش جنگل شمالی<sup>۲</sup> (NFFL) (آلبینی، ۱۹۷۶؛ مدل‌های ماده سوختنی استاندارد اندرسون (۱۹۸۲) و اسکات و بورگان (۲۰۰۵)) و سیستم پیش‌بینی رفتار آتش کانادا<sup>۳</sup> (FBP) (لاوسون و همکاران، ۱۹۸۵) وجود

- 1- Arrangement
- 2- Northern Forest Fire Laboratory system
- 3- Canadian Forest Fire Behavior Prediction System

دارد. اغلب اطلاعات مکانی دقیق درباره مواد سوختنی موجود در دسترس نیست، بنابراین متخصصان مدیریت آتش روی مدل‌های ماده سوختنی استاندارد تکیه دارند، البته امکان اصلاح این مدل‌ها متناسب با شرایط محلی بر اساس تجربه مدیران جنگل یا اندازه‌گیری‌های لازم، برای به‌دست آوردن نتایج منطقی‌تر وجود دارد. اندرسون (۱۹۸۲) ۱۳ مدل ماده سوختنی رفتار آتش استاندارد را در ۴ گروه ماده سوختنی (علفی، درختچه‌ای، درختی، دارماند<sup>۱</sup>) بر اساس سیستم NFFL ارائه داد. در ادامه ۴۰ مدل ماده سوختنی جدید نیز توسط اسکات و بورگان (۲۰۰۵) ارائه شد. این مدل‌های ماده سوختنی جدید که امکان استفاده آن‌ها برای تیپ‌های پوشش گیاهی متنوع‌تر و شرایط مرطوب و معتدل وجود دارد، به وسیله مشخصات فیزیکی ماده سوختنی توصیف شده‌اند (اندروس و کوئین، ۲۰۰۱؛ اسکات و بورگان، ۲۰۰۵) در حالی که ۱۳ مدل قبلی تنها بر اساس تیپ‌های پوشش گیاهی تشریح شده‌اند. تیپ‌های مدل ماده سوختنی بر اساس طبقه‌بندی اسکات و بورگان (۲۰۰۵) شامل تیپ‌های غیرقابل سوختن<sup>۲</sup> (NB)، علفی (GR)، علفی-درختچه‌ای<sup>۳</sup> (GS)، درختی-زیراشکوب<sup>۴</sup> (TU)، لاشبرگ چوبی<sup>۵</sup> (TL) و دارماند-باد افتاده<sup>۶</sup> (SB) است.

طبقه‌بندی مدل‌های ماده سوختنی بر اساس پوشش گیاهی متداول‌ترین روش و اجرای آن نیز آسان است، زیرا نقشه‌های پوشش گیاهی به‌طور معمول در دسترس است یا می‌تواند تهیه شود (به‌عنوان مثال، از طریق داده سنجش از دور) (وو و همکاران، ۲۰۱۱). البته تیپ‌های پوشش گیاهی مشابه ممکن است مشخصات ماده سوختنی و رفتار آتش کاملاً متفاوتی را نشان دهند، ضمن این‌که مشخصات ماده سوختنی در زمان و مکان نیز می‌تواند تغییر کند (اندروس، ۱۹۸۶؛ میلر و همکاران، ۲۰۰۳). فنون دیگری نیز برای برآورد مشخصات ماده سوختنی استفاده شده است: مدل‌سازی گرادیان (کسل، ۱۹۷۶؛ کین و همکاران، ۲۰۰۱)، کریجینگ (فلورس، ۲۰۰۱)، طبقه‌بندی و درخت رگرسیون (کراسنو و همکاران، ۲۰۰۹) و قضاوت کارشناسی (بورگان و همکاران، ۱۹۹۸).

دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای با اندازه تفکیک مناسب قبل از وقوع آتش‌سوزی می‌تواند در تهیه نقشه مدل ماده سوختنی دقیق کمک کند که متأسفانه در این پژوهش در دسترس نبود، با این وجود

- 
- 1- Slash
  - 2- Nonburnable
  - 3- Grass-Shrub
  - 4- Timber-Understory
  - 5- Timber Litter
  - 6- Slash-Blowdown

تلاش برای حصول اطمینان از این که نمونه‌برداری‌های انجام شده به‌خوبی معرف تیپ‌های ماده سوختنی منطقه باشد انجام شد. در این مطالعه اطلاعات مربوط به توزیع و مشخصات پوشش گیاهی قبل از آتش‌سوزی با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق مصاحبه با مردم محلی و جنگلبانان منطقه و نیز اطلاعات کتابچه‌های طرح‌های جنگلداری مربوط به سال‌های قبل از انجام این تحقیق به‌دست آمد. بر اساس این اطلاعات، نقشه‌های اولیه پوشش منطقه تهیه شد. سپس در کل ناحیه از طریق روش ترانسکت خطی (مارشال و همکاران، ۲۰۰۰؛ ۲۰۰۳) با پیمایش ۱۰ نوار به طول ۱۵۰۰ متر با عرض و فاصله مشخص از یکدیگر (فاصله ۱۵۰ متر)، شناسایی مولفه‌های اصلی مواد سوختنی جنگل، تیپ پوشش و تیپ گیاهی و برآورد مولفه‌های تاج پوشش، بار غلفی کف جنگل، عمق و میزان فشردگی لاشبرگ صورت گرفت. این نوارها که پوشش مناسبی از منطقه مطالعه تولید می‌کنند، ابتدا بر روی نقشه توپوگرافی منطقه طراحی شده و سپس با استفاده از نقاط مشخص جنگل، قطب‌نما و متر نواری بر روی زمین پیاده شد.

نقشه ماده سوختنی با تفسیر اطلاعات پوشش گیاهی جمع‌آوری شده به مشخصات ماده سوختنی، استفاده از اطلاعات توپوگرافی و داده تاریخی آتش و تلفیق آن‌ها با یکدیگر به شکل پوشش یکپارچه مواد سوختنی در GIS ایجاد شد. بر اساس شباهت‌های مابین مشخصات پوشش گیاهی موجود و مؤلفه‌های برآورده شده مواد سوختنی موجود در عرصه و نیز با توجه به توصیف مدل‌های استاندارد، انتخاب تیپ‌های ماده سوختنی حامل آتش و مدل‌های ماده سوختنی آن از بین تیپ‌های ماده سوختنی استاندارد (اسکات و بورگان، ۲۰۰۵) انجام شد (جدول ۱ و شکل ۱).

**نقشه‌های رفتار آتش:** شبیه‌سازی رفتار آتش برای منطقه مطالعه به‌وسیله مدل رشد آتش FARSITE با استفاده از داده‌های ورودی شامل نقشه‌های توپوگرافی و مدل‌های ماده سوختنی تهیه شده در سیستم اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS 10) به‌همراه شرایط آب و هوایی مرداد ۱۳۸۹ انجام شد. این مدل از معادله روترمل (۱۹۷۲) برای محاسبه نرخ گسترش آتش سطحی و اصل هوی‌گن برای محاسبه طرح گسترش سطحی به‌صورت پخش موج بیضی‌شکل استفاده می‌کند. شرایط سوختن تابستانه با در نظر گرفتن مقدار رطوبت ماده سوختنی به‌صورت خیلی کم (فصل بحرانی آتش با شرایط خشکی رطوبت نسبی هوا حداقل و مواد سوختنی خشک)، امواج گرما و بادهای نسبتاً شدید؛  $30 \text{ km h}^{-1}$  شبیه‌سازی شد. شدت رفتار تیپ‌های ماده سوختنی منطقه مطالعه با کلاس‌های رفتار آتش پیش‌بینی



## رقیه جهدی و همکاران

شده توسط اسکات و بورگان (۲۰۰۵؛ جدول ۲) برای مدل‌های ماده سوختنی استاندارد توسعه یافته مقایسه شد.

جدول ۱- مدل‌های ماده سوختنی استاندارد (Scott and Burgan, 2005) در جنگل توشی - سیاهکل.

| پوشش مشاهده شده  | تیپ ماده سوختنی حامل آتش و کد ماده سوختنی    | نام و شماره مدل ماده سوختنی |
|--|--|-----------------------------|
| مسکونی (مناطق توسعه شهری و برون شهری)                          | ماده سوختنی ناکافی برای حمل آتش (NB1)        | غیرقابل اشتعال / ۹۱         |
| کشاورزی (اراضی زراعی سالیانه آبیاری شده)                       | ماده سوختنی ناکافی برای حمل آتش (NB3)        | غیرقابل اشتعال / ۹۳         |
| رودخانه  | ماده سوختنی ناکافی برای حمل آتش (NB8)        | غیرقابل اشتعال / ۹۸         |
| اراضی لخت و بدون پوشش  | ماده سوختنی ناکافی برای حمل آتش (NB9)        | غیرقابل اشتعال / ۹۹         |
| علفی (با تراکم کم)   | علفی اقلیم مرطوب (GR5)                       | علفی / ۱۰۵                  |
| علفی (تراکم متوسط)   | علفی پیوسته اقلیم مرطوب (GR6)                | علفی / ۱۰۶                  |
| علفی - درختچه‌زار  | ترکیب علف و درختچه‌ها (GS3)                  | علفی - درختچه‌زار / ۱۲۳     |
| جنگل طبیعی (تراکم متوسط و درخت - درختچه)                       | بار لاشبرگ متوسط با ترکیب درختچه‌ای (TU2)    | درختی - زیراشکوب / ۱۶۲      |
| جنگل طبیعی / جنگل آمیخته (تراکم متوسط و درختی - علفی - درختچه) | بار لاشبرگ متوسط با ترکیب علف و درختچه (TU3) | درختی - زیراشکوب / ۱۶۳      |
| جنگلکاری پهن‌برگ (تراکم کم)                                    | لاشبرگ پهن‌برگ (TL2)                         | لاشبرگ چوبی / ۱۸۲           |
| جنگلکاری پهن‌برگ (تراکم متوسط)                                 | بار متوسط لاشبرگ پهن‌برگ (TL6)               | لاشبرگ چوبی / ۱۸۶           |
| جنگلکاری سوزنی‌برگ (جنگل کاج نسبتاً متراکم)                    | بار متوسط لاشبرگ کاج با سوزن بلند (TL8)      | لاشبرگ چوبی / ۱۸۸           |
| جنگلکاری پهن‌برگ (تراکم زیاد)                                  | بار خیلی زیاد، لاشبرگ پهن‌برگ نرم (TL9)      | لاشبرگ چوبی / ۱۸۹           |

جدول ۲- طبقات تعریف شده برای رفتار آتش پیش‌بینی شده (Scott and Burgan, 2005).

| شدت رفتار آتش | نرخ گسترش<br>( $m \min^{-1}$ ) | شدت خط آتش<br>( $kW m^{-1}$ ) | طول شعله<br>(m) | گرما در واحد سطح<br>( $kJ m^{-2}$ ) |
|---------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| خیلی کم       | ۰-۰/۰۶                         | ۰-۱۰                          | ۰-۰/۳           | ۰-۶                                 |
| کم            | ۰/۶-۱/۶                        | ۱۰-۱۰۰                        | ۰/۳-۱/۲         | ۶-۶۰                                |
| متوسط         | ۱/۶-۶/۶                        | ۱۰۰-۱۰۰۰                      | ۱/۲-۲/۴         | ۶۰-۶۰۰۰                             |
| زیاد          | ۶/۶-۱۶/۶                       | ۱۰۰۰-۱۰۰۰۰                    | ۲/۴-۳/۶         | ۶۰۰۰-۶۰۰۰۰                          |
| خیلی زیاد     | ۱۶/۶-۵۰                        | ۱۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰                  | ۳/۶-۷/۵         | ۶۰۰۰۰-۶۰۰۰۰۰                        |
| شدید          | >۵۰                            | >۱۰۰۰۰۰                       | >۷/۵            | >۶۰۰۰۰۰                             |

### نتایج

با توجه به جدول ۱ و شکل ۱، مدل‌های ماده سوختنی منطقه مطالعه شامل چهار تیپ اصلی ماده سوختنی می‌باشند: علفی (۷ درصد)، علف-درختچه‌زار (۶ درصد)، جنگل طبیعی (۳۳ درصد) و جنگلکاری (۱۸ درصد). ۳۶ درصد از منطقه مطالعه نیز به‌صورت غیرقابل سوختن (شامل مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی، رودخانه و اراضی لخت و بدون پوشش) است. بعد از انتخاب تیپ ماده سوختنی پیش‌بینی رفتار آتش‌سوزی سطحی بالقوه با استفاده از شبیه‌ساز FARSITE و مقایسه آن با کلاسه‌بندی رفتار آتش اسکات و بورگان (۲۰۰۵؛ جدول ۲) انجام شد. جدول ۳ پتانسیل رفتار آتش مکانی (نرخ گسترش، شدت خط آتش، طول شعله و گرما در واحد سطح) برای هر تیپ ماده سوختنی مطابق با شبیه‌سازی‌های FARSITE را نشان می‌دهد.

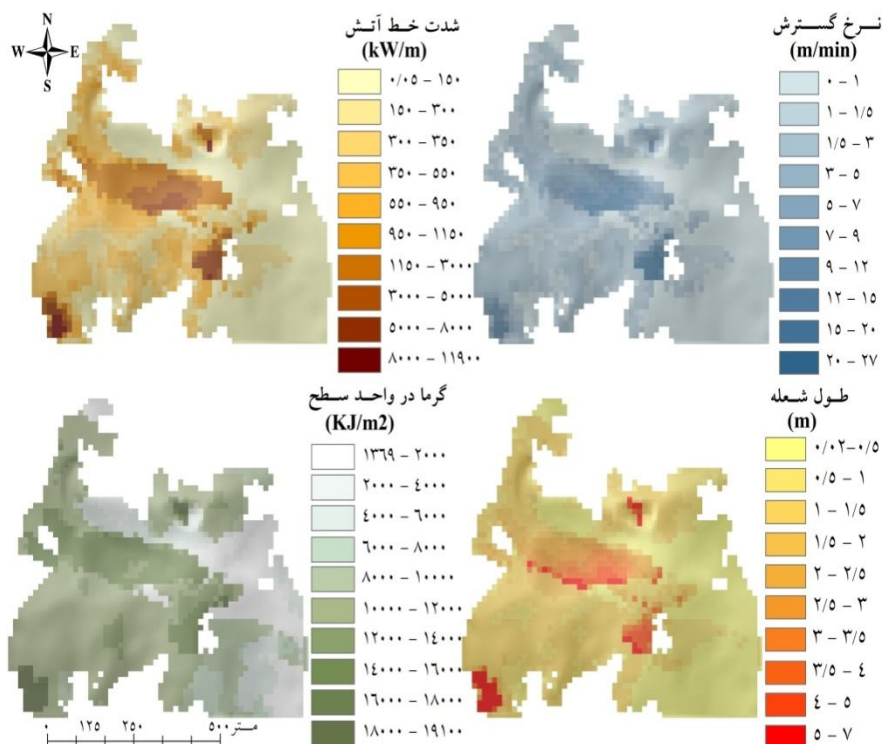
تیپ ماده سوختنی جنگل طبیعی دارای بیشترین پتانسیل آتش به‌دلیل بار ماده سوختنی سنگین‌تر است. در تیپ علفی-درختچه‌زار آتش‌سوزی‌هایی با شدت متوسط شبیه‌سازی شده است. تیپ ماده سوختنی علفی آتش‌سوزی‌هایی با نرخ گسترش زیاد، ولی با شدت کم به‌دلیل بار ماده سوختنی کم که از مواد سوختنی ریزخشک تشکیل شده، مشخص کرده است. شرایط سوختن با شدت حداقل نیز در مدل‌های ماده سوختنی لاشبرگ جنگل (جنگلکاری) مشاهده شد.

جدول ۳- تیپ‌های ماده سوختنی منطقه مطالعه و پیش‌بینی رفتار آتش بالقوه برای آن‌ها.

| تیپ ماده سوختنی | نرخ گسترش (m min <sup>-1</sup> ) | شدت خط آتش (kW m <sup>-1</sup> ) | طول شعله (m) | گرما در واحد سطح (kJ m <sup>-2</sup> ) |
|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|--|
| علفی            | ۰/۰۲-۲۷                          | ۲/۳۹-۵۶۸۳                        | ۰/۱۲-۳/۹     | ۱۹۷۳/۳۳-۷۲۹۶                           |
| علف-درختچه‌زار  | ۰/۰۲-۱۱/۰۸                       | ۱-۸۱۱۸                           | ۰/۰۸-۷       | ۱۳۸۰/۲۵-۱۳۳۸۹                          |
| جنگل طبیعی      | ۰/۰۲-۱۶/۹۵                       | ۰/۷۸-۱۱۹۰۱                       | ۰/۰۷-۴/۵۷    | ۱۴۱۹/۰۱-۱۹۱۰۰                          |
| جنگلکاری        | ۰/۰۱-۵/۵۶                        | ۰/۰۶-۱۲۵۸                        | ۰/۰۲-۲/۰۷    | ۱۳۶۹/۳۷-۱۱۴۲۶                          |

توصیف رفتار آتش: نقشه‌های نرخ گسترش، شدت خط آتش، طول شعله و گرما در واحد سطح برای تیپ‌های ماده سوختنی بر اساس شبیه‌سازی‌های FARSITE در شکل ۲ ارائه شده است. نواحی تیره مربوط به بیشترین پتانسیل رفتار آتش است.

شکل ۲ تغییر مکانی پارامترهای رفتار آتش شبیه‌سازی شده در منطقه مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج علفزارها سریع‌ترین نرخ گسترش آتش سطحی بین ۰/۰۲-۲۷ m min<sup>-1</sup> را با توجه به درجه شیب و شرایط آب و هوایی موجود نشان دادند. در جنگلکاری‌ها نرخ گسترش خیلی کند بود (۰/۰۱-۵/۵۶ m min<sup>-1</sup>). نرخ گسترش تیپ جنگل طبیعی ۰/۰۲-۱۶/۹۵ m min<sup>-1</sup> و تیپ علفی-درختچه‌زار بین ۰/۰۲-۱۱/۰۸ m min<sup>-1</sup> بود. مقادیر بیشینه نرخ گسترش در اراضی با پوشش علفی (شیب بالای ۶۰ درجه) مشاهده شد. در واقع این تیپ پوشش گیاهی قادر به کاهش سرعت باد قوی اراضی با شیب زیاد به صورت قابل ملاحظه نیست، به علاوه شیب تند زمین اثر اضافی روی نرخ گسترش ایجاد می‌کند. کم‌ترین مقادیر نرخ گسترش در اراضی جنگلکاری شده (با بار ماده سوختنی کمتر و شیب کمتر از ۳۰ درجه) به دست آمد و مقادیر میانه نرخ گسترش در زمانی که ماده سوختنی با پوشش علفی-درختچه‌ای پراکنده و کوتاه ارائه شده است، مشاهده شد.



شکل ۲- نرخ گسترش، شدت خط آتش، طول شعله و گرما در واحد سطح پیش‌بینی شده توسط FARSITE.

بر اساس شدت خط آتش پیش‌بینی شده (شکل ۲) و با توجه به این‌که برای درجه شیب مشابه، علفزارها دارای نرخ گسترش بالاتر هستند، اما در جنگل‌های طبیعی و نیز پوشش علفی-درختچه‌زار ماده سوختنی در دسترس بیشتری وجود دارد، به همین دلیل شدت خط آتش بیشتر است. نتایج این تحقیق برای شبیه‌سازی طول شعله (شکل ۲) نشان داد که در جنگل‌کاری‌ها طول شعله خیلی کوتاه (تا ۲ متر) در مقایسه با پوشش‌های دیگر است. بلندترین طول شعله (۷ متر) در درختچه‌زارها در تیپ علفی-درختچه‌زار شبیه‌سازی شد. علاوه بر این بر اساس گرما در واحد سطح محاسبه شده در مدل FARSITE (شکل ۲) از آنجایی که تیپ ماده سوختنی جنگل طبیعی دارای بالاترین شدت خط آتش و نرخ گسترش کندتر نسبت به سایر تیپ‌ها هستند، واضح است که این تیپ گرما در واحد سطح بیشتری داشته باشند.

### بحث و نتیجه گیری

این مطالعه اهمیت تهیه نقشه مدل ماده سوختنی و شبیه‌سازی رفتار آتش برای برنامه‌ریزی مدیریت آتش (به‌عنوان مثال، اجرای تیمارهای مختلف ماده سوختنی<sup>۱</sup>) در سیمای سرزمین را نشان می‌دهد. نقشه‌های شبیه‌سازی شده رفتار آتش محصولات نهایی است که می‌تواند به شکل کاملاً عملیاتی توسط مسوولان محلی مدیریت آتش بدون پردازش بیشتر مورد استفاده قرار گیرد (مالینیس و همکاران، ۲۰۰۸). اگر ماده سوختنی، آب و هوا و توپوگرافی مهم‌ترین عوامل تعیین کننده وقوع و رفتار آتش جنگل در نظر گرفته شوند، واضح است که تنها ماده سوختنی می‌تواند تحت کنترل انسان نگه داشته شود و برای کاهش پتانسیل آتش اصلاح شود (کوتسیاس و کارتریس، ۲۰۰۳). برای تهیه نقشه مدل ماده سوختنی به‌عنوان ورودی شبیه‌ساز FARSITE، پوشش‌های گیاهی منطقه مطالعه به ۴ تیپ ماده سوختنی مشخص با استفاده از نمونه‌برداری ماده سوختنی طبقه‌بندی شد. به‌دلیل تفاوت‌ها در ماده سوختنی، آتش‌سوزی‌های شبیه‌سازی شده رفتار متفاوتی را درون هر تیپ ماده سوختنی نشان داد. شدیدترین آتش‌سوزی‌ها (بیشترین شدت خط آتش، بلندترین طول شعله و زیادترین گرما در واحد سطح) در تیپ‌های جنگل طبیعی و علف-درختچه‌زار شبیه‌سازی شد، در حالی‌که تیپ جنگل‌کاری حداقل شرایط سوختن شدید را ارائه نمود. علفزارها با توجه به سرعت باد بیشتر، سریع‌ترین نرخ گسترش سطحی را ارائه کرد. این نتایج با مطالعات (مالینیس و همکاران، ۲۰۰۸؛ وایت و همکاران، ۲۰۱۳) مطابقت دارد.

فرناندز (۲۰۰۹) با تجزیه و تحلیل نرخ گسترش آتش‌سوزی‌های آزمایشی در توده کاج دریایی در پرتغال، پارامترهای سرعت باد، میزان رطوبت مواد سوختنی ریز مرده و شیب را به‌عنوان تاثیرگذارترین متغیرها روی نرخ گسترش آتش‌شناسایی نمود. در مطالعه مشابه در جنگل اکالیپتوس خشک در استرالیا توسط گولد و همکاران (۲۰۰۷)، نرخ گسترش با سرعت باد، میزان رطوبت ماده سوختنی ریز مرده، و درجه خطر آتش سطحی تعیین شد. در این تحقیق نیز در جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته با وجود بار ماده سوختنی زیاد، بسیار فشرده و رطوبت زیاد، سرعت باد در مقایسه با پوشش‌های دیگر کمتر است، بنابراین آتش به کندی پخش می‌شود. نرخ گسترش پوشش گیاهی علفی (با سرعت باد بیشتر) بالاتر

۱- به‌منظور کاهش اثرات تخریبی آتش در محیط‌های طبیعی، می‌توان تیمارهایی را از پیش در این مناطق اجرا کرد، از جمله آن‌ها می‌توان به انواع روش‌های برداشت و یا اصلاح پوشش گیاهی (مانند تغییر ترکیب گونه‌ها و درجه تراکم آن‌ها) و یا برداشت‌ها با شدت‌های مختلف اشاره کرد (استراتون، ۲۰۰۴).

است که می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با وجود اثر بار ماده سوختنی و میزان رطوبت آن، سرعت باد تأثیر زیادی در نرخ گسترش آتش در تپ علفی دارد. در ارتباط با شیب، شبیه‌سازی با در نظر گرفتن این‌که باد به سمت تپ‌ها (شیب زیاد) می‌وزد، توسعه یافته است. در این شرایط باد و شیب شعله را به طرف ماده سوختنی سوخته نشده کج می‌کند و آنرا زودتر به درجه حرارت احتراق می‌رساند، که موجب نرخ‌های گسترش سریع‌تر و شعله‌های بلندتر می‌شود. به همین دلیل در زمانی که درجه شیب زیاد می‌شود، نرخ گسترش افزایش می‌یابد (وایت و همکاران، ۲۰۱۳).

با توجه به میزان رطوبت زیاد ماده سوختنی در جنگل‌های طبیعی پهن‌برگ شمال کشور، احتمال وقوع آتش در آن به سبب یک عامل به تنهایی بسیار ناچیز است و نیاز به مجموعه شرایط محیط‌زیستی برای ایجاد آتش است. نرخ گسترش کند در این تپ اقدامات مبارزه با آتش را آسان می‌کند. با این وجود اجرای تیمارهای ماده سوختنی برای کاهش احتمال وقوع و نیز شدت آتش در این تپ ضروری است. آتش‌سوزی‌ها در درختچه‌زارها و علف‌زارها به‌ویژه در شرایط آب و هوایی شدید برای حمله مستقیم در دماغه با استفاده از ابزارهای دستی خیلی سخت است و برای توقف آتش نمی‌تواند به یک آتش‌بر تکیه کند. تلاش‌های کنترل در دماغه آتش احتمالاً ناکارآمد خواهد بود و ممکن است مشکلات جدی برای کنترل به همراه داشته باشد. بیشترین سختی در تلاش خاموش کردن آتش‌سوزی در علفزارها سرعت پخش بالا است که می‌تواند به  $57/8 \text{ m min}^{-1}$  یا  $3/47 \text{ km h}^{-1}$  برسد. بنابراین لازم است که مامورهای آتش‌نشانی جنگل تحرک بالایی در جابه‌جایی‌های خارج از جاده داشته باشند. در درختچه‌زارها بیشترین سختی در مواجهه با آتش گرما در واحد سطح، شدت خط آتش و طول شعله زیاد است. مقدار زیاد گرمای آزاد شده در طول آتش، نزدیکی نیروهای مهار را غیرممکن می‌کند، بنابراین استفاده از تجهیزات بزرگ در مقابله با آتش در این پوشش گیاهی ضروری است. در این شرایط تجهیزاتی مانند بولدوزرها، تلمبه‌زن‌ها و هلی‌کوپترها می‌تواند مؤثر باشد (وایت و همکاران، ۲۰۱۳). البته با توجه به شرایط توپوگرافی ناحیه نیاز به بررسی قابلیت به‌کارگیری این تجهیزات برای مهار مؤثر آتش‌سوزی می‌باشد.

مدل رفتار آتش روترمل که در شبیه‌ساز FARSITE استفاده شده است به‌طور گسترده‌ای در نواحی متفاوت با جایی که این مدل‌ها در اصل برای آنجا توسعه یافته است تأیید اعتبار شده است (آرکا و همکاران، ۲۰۰۷؛ بکیو، ۲۰۰۸؛ وو و همکاران ۲۰۱۱). بر اساس این مطالعات استفاده از مدل‌های ماده سوختنی محلی خاص رویشگاه می‌تواند پیش‌بینی‌های رفتار آتش FARSITE را با

اطمینان بیشتری ارائه کند. بنابراین پیشنهاد می‌شود که این مدل‌های ماده سوختنی محلی برای در نظر گرفتن مشخصات ماده سوختنی و ناهمگنی زیاد پوشش گیاهی منطقه مطالعه توسعه یابد. دسترسی به داده سنجش از دور مناسب برای پشتیبانی از تلاش‌های میدانی تهیه نقشه در مقیاس محلی می‌تواند برای توسعه چنین مدل‌های ماده سوختنی استفاده شود. تصاویر هوایی و ماهواره‌ای توسط مدیران و محققان جنگل در بررسی ماده سوختنی جنگل و ارزیابی ریسک آتش در چند دهه اخیر استفاده شده و منافع زیادی را در سطوح گسترده نشان داده است (هی‌پا و همکاران، ۲۰۰۰). با این وجود بررسی زمینی جنگل هنوز هم برای تهیه نقشه صحت زمینی و مطالعه در مقیاس محلی مهم است، البته عمومیت دادن آن در نواحی بزرگ کار بسیار سنگین و دشوار است. مطالعات بیشتر در زمینه تهیه نقشه مدل ماده سوختنی دقیق و مقایسه رفتار آتش شبیه‌سازی شده با انتظارات یا مشاهدات در جهت تأیید اعتبار و کالیبره کردن شبیه‌سازهای رفتار آتش به‌ویژه در شرایط جنگل‌های شمال کشور برای مدیریت مؤثر آتش (مانند توزیع مناسب امکانات مهار آتش‌سوزی با توجه به نتایج شبیه‌سازی‌ها) ضروری است.

### سپاسگزاری

این طرح از محل اعتبارات طرح پژوهشی مصوب معاونت پژوهشی دانشگاه تهران با شماره طرح ۷۲۰۲۰۲/۱/۶ تأمین شده است که بدین وسیله تشکر می‌نماید. مؤلفین بر خود لازم می‌دانند که از معاونت فنی و معاونت حفاظت و امور اراضی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان، رئیس اداره منابع طبیعی شهرستان سیاهکل و نیز جنگل‌بانان منطقه به‌خاطر مساعدت در اجرای طرح سپاس‌گذاری نمایند.

### منابع

1. Albini, F.A. 1976. Estimating wildfire behavior and effects. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-30.100p.
2. Anderson, H.E. 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. In. Gen. Tech. Rep. INT-122. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah. 28p.
3. Andrews, P.L. 2008. BEHAVEplus fire modeling system, version 4.0: Variables. United States Department of Agriculture. Forest Service. General Technical Report RMRS-GTR-213WWW. Fort Collins, CO, 2008. 124p.

4. Andrews, P.L. and Queen, L.P. 2001. Fire modeling and information system technology. *International Journal of Wildland Fire*. 10: 343-352.
5. Andrews, P.L. 1986. BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System—BURN Subsystem. Part 1, USDA For. Serv., Intermount. Res. Stn., Ogden, UT, Gen. Tech. Rep. INT-194, 1986. 46 pp.
6. Arca, B., Duce, P., Laconi, M., Pellizzaro, G., Salis, M. and Spano, D. 2007. Evaluation of FARSITE simulator in Mediterranean maquis. *International Journal of Wildland Fire*. 16: 563-572.
7. Arroyo, L.A., Pascual, C. and Manzanera, J.A. 2008. Fire models and methods to map fuel types: the role of remote sensing. *Forest Ecology and Management*. 256: 1239-1252.
8. Bacciu, V.M. 2009. Maquis fuel model development to support spatially-explicit fire modeling applications. Doctoral Thesis, Università Degli Studi Di Sassari. 277p.
9. Burgan, R.E., Klaver, R.W. and Klaver, J.M. 1998. Fuel models and fire potential from satellite and surface observations. *International Journal of Wildland Fire*. 8: 159-170.
10. Byram, G.M. 1956. Combustion of forest fuels. In: DAVIS, K.P. (ed.) *Forest Fire Control and Use*. McGraw-Hill Book Company, New York, 1959. Pp: 61-89.
11. Chuvieco, E., Cocero, D., Riano, D., Martín, P., Martínez-Vega, J., Riva, J.d.l. and Pérez, F. 2004. Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating. *Remote Sensing of Environment*. 92: 322-331.
12. Falkowski, M.J., Gessler, P.E., Morgan, P., Hudak, A.T. and Smith, A.S. 2005. Characterizing and mapping forest fire fuels using ASTER imagery and gradient modeling. *Forest Ecology and Management*. 217: 129-146.
13. Fernandes, P.M. 2009. Examining fuel treatment longevity through experimental and simulated surface fire behavior: a maritime pine case study. *Canadian Journal of Forest Research*. 39: 2529-2535.
14. Finney, M. 1998. FARSITE: Fire Area Simulator- model development and evaluation. Res. Pap. RMRS-RP-4. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT, 47p.
15. Flores, G.J.G. 2001. Modeling the spatial variability of forest fuel arrays. Ph.D. Dissertation. Dept. For. Sc. Colorado State University. 184p.
16. Glasa, J. and Halada, L. 2008. On elliptical model for forest fire spread modeling and simulation. *Mathematics and Computers in Simulation*. 78: 76-88.
17. Gould, J.S., McCaw, W.L., Cheney, N.P., Ellis, P.F., Knight, I.K. and Sullivan, A.L. 2007. Project Vesta-Fire in Dry Eucalypt Forest: Fuel Structure, Fuel



- Dynamics and Fire Behavior. Ensis-CSIRO, Canberra, and Department of Environment and Conservation. Perth, WA, 218p.
18. Hornby, L.G. 1935. Fuel type mapping in Region One. *Journal of Forestry*. 33: 67–72.
  19. Hyypä, J., Pyysalo, U., Hyypä, H., Haggren, H. and Ruppert, G. 2000. Accuracy of laser scanning for DTM generation in forested areas. *Proceedings of SPIE*. 4035: 119-130.
  20. Keane, R.E., Burgan, R. and Wantendonk, J. 2001. Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: integrating remote sensing, GIS and biophysical setting. *International Journal of Wildland Fire*. 10: 301–319.
  21. Kessell, S.R. 1976. Gradient modeling: a new approach to fire modeling and wilderness resource management. *Environmental Management*. 1: 39–48.
  22. Koutsias, N. and Karteris, M. 2003. Classification analyses of vegetation for delineating forest fire fuel complexes in a Mediterranean test site using satellite remote sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing*. 24. 15: 3093-3104.
  23. Krasnow, K., Schoennagel, T. and Veblen, T.T. 2009. Forest fuel mapping and evaluation of LANDFIRE fuel maps in Boulder County, Colorado, USA. *Forest Ecology and Management*. 257: 1603–1612.
  24. Lawson, B.D., Stocks, B.J., Alexander, M.E. and Van Wagner, C.E. 1985. A system for predicting fire behavior in Canadian forests. In Donoghue, L.R., Martin, R.E (Eds) Proceedings of the 8th conference on fire and forest meteorology. SAF Publication 85-04. 6–16.
  25. Mallinis, G., Mitsopoulos, I.D., Dimitrakopoulos, A.P. and Gitas, I. 2008. Local-Scale Fuel-Type Mapping and Fire Behavior Prediction by Employing High-Resolution Satellite Imagery. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 1: 230-239
  26. Marshall, P.L., Davis, G., and LeMay, V.M. 2000. Using line intersect sampling for coarse woody debris. Technical Report TR-003, Research Section, Vancouver Forest Region, British Columbia Ministry of Forests. 37p.
  27. Marshall, P.L., Davis, G. and Taylor, S. 2003. Using line intersect sampling for coarse woody debris: Practitioner's questions addressed. -Ministry of Forests. Vancouver Forest Region Extension Note. 10p.
  28. Miller, J.D., Danzer, S.R., Watts, J.M., Stone, S. and Yool, S.R. 2003. Cluster analysis of structural stage classes to map wildland fuels in a Madrean ecosystem. *Journal of Environmental Management*. 68: 239-252.
  29. Riano, D., Meier, E., Allgower, B., Chuvieco, E. and Ustin, S.L. 2003. Model airborne laser scanning data for the spatial generation of critical forest parameters in fire behavior modeling. *Remote Sensing of Environment*. 86: 177–186.

30. Rothermel, R.C. 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service, Research Paper INT-115.
31. Scott, J. 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, Fort Collins, CO.
32. Scott, J. and Reinhardt, E. 2001. Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. Research Paper RMRS-RP-29. Forest Service, .M.R.S. US Department of Agriculture, Fort Collins, Colorado, 59p.
33. Show, S.B. and Kotok, E.I. 1929. Cover type and fire control in the national forests of northern California. Report No. 1495. USDA, Forest Services, Washington, DC. 46p.
34. Stratton, R.D. 2004. Assessing the effectiveness of landscape fuel treatments on fire growth and behavior. *Journal of Forestry*. 102: 32- 40.
35. White, B.L.A., Ribeiro, A.S., Reibeiro, G.T. and Souza, R.M. 2013. Building fuel models and simulating their surface fire behavior in the "Serra De Itabaiana" National Park, Sergipe, Brazil. *FLORESTA*, Curitiba, PR. 43: 27-38.
36. Wu, Z.W., He, H.S., Chang, Y., Liu, Z.H. and Chen, H.W. 2011. Development of customized fire behavior fuel models for Boreal forests of Northeastern China. *Environmental Management*. 48: 1148-57.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 22 (2), 2015*  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## **Fuel Type Mapping and Surface Fire Behavior Prediction Using FARSITE**

**R. Jahdi<sup>1</sup>, \*A.A. Darvishsefat<sup>2</sup> and V. Etemad<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D. Graduated, Dept., of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran,

<sup>2</sup>Professor, Dept., of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Dept., of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

Received: 01/19/2014 ; Accepted: 03/07/2014

### **Abstract**

**Background and objectives:** The area and intensity of forest fires is strongly dependent upon the type of fuels and its spatial variability across the Landscape. It is very important to develop accurate ways to assess fuel characteristics and predict the probability of fires occurring in heterogeneous landscapes for fire prevention and management. The objectives of this research were to build local scale fuel type map and simulate their fire behavior.

**Materials and methods:** The spatial extent of the different fuel types of Toshi forest in Siahkal characterized by heterogeneous vegetation and topography was determined using a field survey. Four different fuel types (grass, grass-shrub, natural forest and plantation) were analyzed. The fuel types were developed by field sampling and the collected data was inserted in the FARSITE simulator to modeling potential wildfire spread and behavior.

**Results:** The simulation results revealed that the fuel type for the shrublands and natural forests demonstrated the longest flame length, the highest fireline intensity and the greatest heat release per unit area. The fuel type for the grass fields presented the fastest surface rate of spread; and the fuel type for the plantation the lower fire intensity.

**Conclusion:** The fire behavior maps are an end product which can be fully exploited operationally from local fire management authorities without further processing for an effective wildfire management and proactive emergency response.

**Keywords:** Fire Area Simulator, Fire management, Fuel type, Wildfire behavior

---

\*corresponding author: [adarvish@ut.ac.ir](mailto:adarvish@ut.ac.ir)

