جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۴
ص ۷۹۹-۸۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۰۷

ارزیابی اثر وضعیت رطوبت مادهٔ سوختنی بر گسترش و رفتار آتش در پارک ملی گلستان

❖ **رقیه جهدی؛** دکتری جنگلداری و اقتصاد جنگل دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **علی‌اصغر درویش‌صفت *؛** استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **وحید اعتماد؛** استادیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

شبیه‌سازی رایانه‌ای رفتار آتش امکان تجزیه‌وتحلیل مشخصات اصلی گسترش و رفتار آتش را در ناحیه‌ای معین فراهم می‌سازد. تغییرات زمانی و مکانی رفتار آتش می‌تواند با استفاده از یکی از مدل‌های نیمه‌فیزیکی یا تجربی توسعه‌یافته در سال‌های گذشته پیش‌بینی شود. این پژوهش اثر شرایط مختلف رطوبت مادهٔ سوختنی را بر گسترش و رفتار آتش‌سوزی در تیرماه ۱۳۹۰ در پارک ملی گلستان، با استفاده از سیستم‌های شبیه‌سازی FARSITE، FlamMap، و سابقهٔ حریق بررسی می‌کند. داده‌های سیمای سرزمین، شامل اطلاعات مکانی توپوگرافی و پوشش گیاهی، همراه دادهٔ آب‌وهوا به منزلهٔ ورودی شبیه‌سازی استفاده شد. همهٔ لایه‌های ورودی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شدند. چهار وضعیت رطوبت مادهٔ سوختنی معرف سناریوهای رطوبت مادهٔ سوختنی مرطوب، نیمه‌خشک، خشک، و بسیار خشک برای تولید مشخصه‌های مختلف گسترش و رفتار آتش استفاده شد. این مشخصه‌ها شامل محیط و مساحت آتش برای هر گام زمانی تولیدشده توسط FARSITE، و نرخ گسترش، طول شعله، و شدت خط آتش به منزلهٔ پارامترهای محاسبه‌شده توسط FlamMap هستند. شبیه‌ساز سطح آتش با لکهٔ آتش واقعی نقشه‌برداری‌شده با استفاده از GPS اعتبارسنجی شد. بر اساس نتایج، گسترش آتش شبیه‌سازی‌شده ۹۰ درصد از لکهٔ آتش مشاهده‌شده را پوشش داد، که نسبتاً زیاد بود؛ اگرچه میزان بیش‌برآورد ۳۰ درصد بود. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد کاهش رطوبت مادهٔ سوختنی موجب رشدی چشمگیر در محیط و مساحت آتش همراه افزایش در حداکثر و نیز متوسط نرخ گسترش، طول شعله، و شدت خط آتش می‌شود. این نتایج تغییرپذیری مکانی پارامترهای رفتار آتش را بیان می‌کند که در اولویت‌بندی تیمارهای مادهٔ سوختنی و هدایت فعالیت‌های دیگر مدیریت ریسک آتش جنگل مفید است.

واژگان کلیدی: پارک ملی گلستان، سیستم‌های شبیه‌سازی، شرایط رطوبت مادهٔ سوختنی، گسترش و رفتار آتش، نرخ گسترش آتش.

* نویسندهٔ مسئول
Email: adarvish@ut.ac.ir

مقدمه

آتش‌سوزیِ عرصه‌های طبیعی، مانند جنگل‌ها و مراتع، مشکلی اکولوژیک است که امروزه، با توجه به وقوع مکرر و میزان تخریب آن‌ها، بسیاری از جوامع علمی و مدیریت منابع طبیعی به آن توجه می‌کنند [۱]. این وضعیت نشان می‌دهد در سطح استراتژیک باید به علل اساسی، اثر مدیریت اراضی بر اکولوژی آتش، ریسک آتش، پویایی مادهٔ سوختنی، و چگونگی کاهش احتمال آتش‌سوزی‌های فاجعه‌انگیز بیشتر توجه شود [۲]. با وجود این، هنگامی که آتش‌سوزی در حال وقوع است، یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری با شبیه‌سازی هم‌زمان برای پیش‌بینی سریع اینکه آتش به کجا و با چه سرعتی گسترش خواهد یافت در سطح عملیاتی مورد نیاز است. سیستم‌های شبیه‌سازی به تشخیص مسیر سوختن مادهٔ سوختنی کمک می‌کنند [۱]. شبیه‌ساز سطح آتش FARSITE[۳] و FlamMap [۴ و ۵] از سیستم‌های اصلی شبیه‌سازی آتش در جنگل‌ها و مراتع‌اند.

FARSITE بر اساس مدل نیمه‌تجربی پیش‌بینی آتش، که روترمل [۶] آن را توسعه داد، شکل گرفته است و در آن سیستم مدل‌سازی مادهٔ سوختنی و پیش‌بینی رفتار آتش[1] [۷] ترکیب شده است. از آنجا که این سیستم یک مدل مشخص زمانی و مکانی است می‌تواند تجزیه‌وتحلیلی دقیق از رفتار آتش، مانند جهت و مساحت گسترش آتش، و آثار آن تولید کند. برای دستیابی به این قابلیت‌ها، این شبیه‌ساز به لایه‌های ورودی از جمله ارتفاع، شیب، جهت، مواد سوختنی، درصد تاج‌پوشش، و ... همراه دادهٔ آب‌وهوا نیاز دارد. گسترش فضایی آتش به صورت پخش موج بیضی‌شکل[2] با به‌کارگیری اصل Huygen شبیه‌سازی می‌شود [۳ و ۸]. مشخصات فیزیکی بستر مادهٔ سوختنی ـ شامل بار مادهٔ سوختنی، رطوبت مادهٔ سوختنی، رطوبت اطفا، مقدار گرما، و ...ـ بر اساس مدل‌های مادهٔ سوختنی استاندارد [۹ و ۱۰] یا مدل‌های مادهٔ سوختنی محلی خاص برآورد می‌شود.

FlamMap [۴ و ۵] یک شبیه‌ساز تهیهٔ نقشه و تجزیه‌وتحلیل رفتار آتش برای محاسبهٔ مشخصات بالقوهٔ رفتار آتش در مناطق معین برای شرایط آب‌وهوایی، میدان‌های بادی، بار مادهٔ سوختنی، و رطوبت ثابت در زمان است. در واقع این شبیه‌ساز محاسبات رفتار آتش را برای هر نقطه به طور مستقل و بدون توجه به محیط مجاور در مقیاس واحد سیمای سرزمین انجام می‌دهد [۵]. این سیستم نقشهٔ گسترش آتش را تهیه نمی‌کند و فقط برای بررسی تغییرپذیری مکانی در رفتار آتش طراحی شده است. این شبیه‌ساز از ورودی‌های مکانی مشابه FARSITE استفاده می‌کند و مدل‌های مختلف رفتار آتش، از جمله آتش سطحی روترمل [۱۰] و آتش تاجی [۱۱ و ۱۲]، را در بر می‌گیرد. خروجی‌های این سیستم شناخت خوبی برای مقایسه‌های سیمای سرزمین، مثلاً آثار قبل و بعد از تیمار مادهٔ سوختنی، و برای شناسایی ترکیب‌های خطرناک توپوگرافی و مادهٔ سوختنی ارائه می‌کند. بنابراین، به ارزیابی خطر آتش و تولید اطلاعات مفید برای مدیریت آتش و اولویت‌بندی فازهای عملیاتی کمک می‌کند. یک تصور نادرست متداول بین مدیران و عموم این است که تیمارهای مادهٔ سوختنی آتش‌سوزی‌ها را متوقف

1. Fire Behave

2. Elliptical wave propagation

می‌کنند [۱۳]. به منظور کاهش آثار تخریبی آتش در محیط‌های طبیعی، می‌توان تیمارهایی را از پیش در این مناطق اجرا کرد؛ از جمله انواع روش‌های برداشت یا اصلاح پوشش گیاهی، مانند تغییر ترکیب گونه‌ها و درجهٔ تراکم آن‌ها، یا برداشت‌ها با شدت‌های مختلف. این تیمارها می‌توانند باعث تغییر رفتار آتش اغلب به صورت کاهش در طول شعله، شدت آتش، نرخ گسترش[1] تعیین‌شده، یا رشد آتش شوند [۱۳].

محققان استفاده از شبیه‌سازهای آتش را روشی مناسب برای به دست آوردن نقشه‌های گسترش و رفتار آتش در شرایط محیط زیستی و تیمارهای کاهش مادهٔ سوختنی مختلف اعلام کردند [۱۴ــ ۱۸]. وقوع آتش تحت تأثیر عوامل مختلف انسانی و محیط زیست است؛ در حالی که بسیاری از تغییرات در نحوهٔ گسترش و رفتار آتش به عوامل آب‌وهوایی ارتباط دارد [۱۹ــ ۲۲]. تغییرات زمانی و مکانی گسترش و رفتار آتش در ارتباط با تغییرات شرایط محیط زیست رخ می‌دهد و آب‌وهوا مؤلفه‌ای است که در زمان و مکان تغییرات زیادی دارد [۲۳]. در این مطالعه، نقشه‌های مختلف رفتار آتش‌ـ شامل نرخ گسترش، شدت خط آتش، طول شعله، و ...ـ که شبیه‌ساز FlamMap آن را برای بخشی از پارک ملی گلستان تولید کرده است، تحت سناریوهای مختلف رطوبت مادهٔ سوختنی، برای پیش‌بینی اثر آن‌ها بر رفتار بالقوهٔ آتش، مقایسه می‌شود. علاوه بر این، محیط و مساحت آتش تحت این سناریوها با شبیه‌ساز FARSITE شبیه‌سازی و بررسی می‌شوند. این تحقیق تأثیر شرایط رطوبت مادهٔ سوختنی بر گسترش و رفتار آتش را، با استفاده از یک موقعیت حریق احتمالی و آب‌وهوای مربوط به یک دورهٔ خشکی تابستانه و مدل‌های رفتار و گسترش آتش، بررسی می‌کند.

مواد و روش‌ها

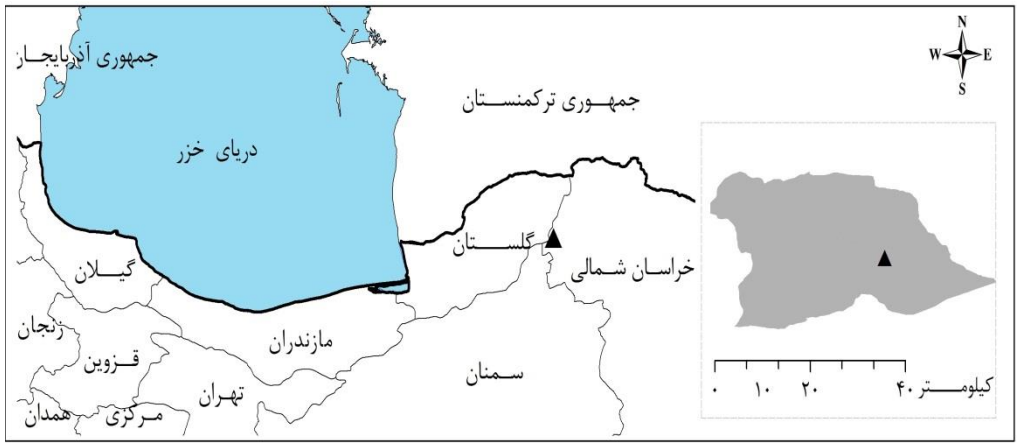
منطقهٔ مطالعه

برای اجرای این تحقیق بخشی از منطقهٔ کوهستانی یکه‌برماق، از حوزهٔ استحفاظی محیط‌بانی آلمه، در محدودهٔ پارک ملی گلستان در غرب استان خراسان شمالی، انتخاب شد که بین عرض جغرافیایی ′۳۶ °۳۷ تا ′۳۸ °۳۷ شمالی و طول جغرافیایی ′۰۴ °۵۶ تا ′۰۷ °۵۶ شرقی، با وسعت ۳۰۰ هکتار، واقع است (شکل ۱). دامنهٔ شمالی این ناحیه تقریباً مسطح، ولی بخش جنوبی آن پرشیب و به صورت تپه‌ماهور است، با بلندترین نقطه به ارتفاع ۲۲۰۰ متر از سطح دریا (شکل ۲). اراضی جنگلی تقریباً ۴۰ درصد این ناحیه را می‌پوشاند که از گونه‌های اُرس، شامل پیرو[2] و اردوج[3]، تشکیل شده است. بقیهٔ منطقه علف‌زار و شامل گونه‌های گل گندم، گون، آویشن، و اسپرس است.

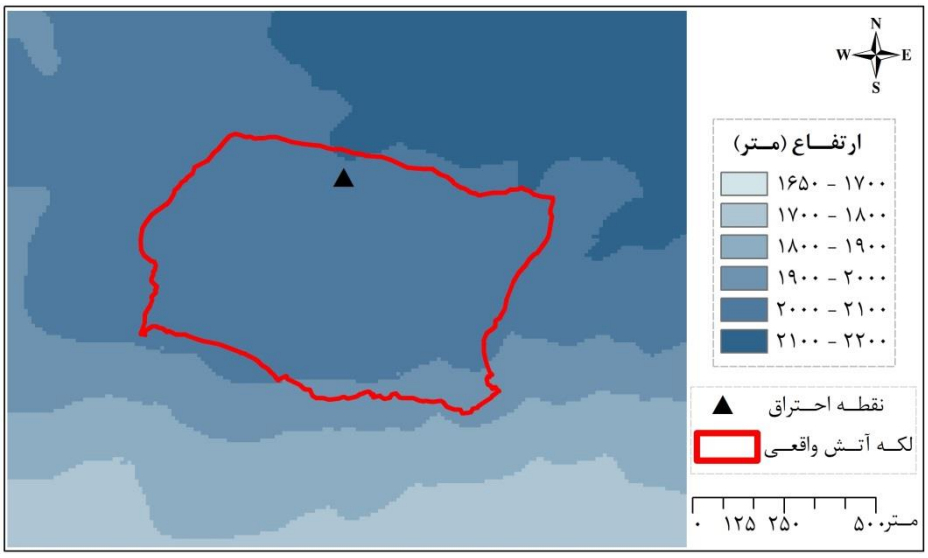
اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه در طبقهٔ نیمه‌خشک و بر اساس روش کوپن در طبقهٔ نیمه‌بیابانی سرد قرار دارد [۲۴]. متوسط بارندگی سالیانهٔ منطقه ۱۷۰ میلی‌متر، متوسط دمای سالیانه ۱۲ درجهٔ سانتی‌گراد، متوسط حداکثر دمای سالیانه ۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد، و متوسط حداقل دمای سالیانه ۴ درجهٔ سانتی‌گراد است [۲۵].

1. Rate of Spread

2. *Juniperus communis* L.
3. *Juniperus excels* M. Bieb



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ یکه‌برماق در شمال شرق ایران و در پارک ملی گلستان



شکل ۲. نقشهٔ ارتفاع منطقهٔ یکه‌برماق همراه مشخصات آتش (محیط آتش و نقطهٔ شروع حریق) مورد مطالعه

بیشترین فراوانی بادها بادهای غربی با سرعت ۲۱ کیلومتر بر ساعت و شدیدترین بادهای منطقه دارای جهت شمال شرقی با سرعت ۴۳ کیلومتر بر ساعت است [۲۶].

در این مطالعه دادهٔ آب‌وهوا شامل سرعت باد، جهت باد، حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، و بارندگی در طول مدت آتش‌سوزی به منزلهٔ ورودی آب‌وهوا برای مدل‌سازی از ایستگاه کلیماتولوژی دشت گلستان (37° 17′ N, 56° 01′ E) و ایستگاه هواشناسی خودکار رباط قره‌بیل (37° 21′ N, 56° 19′ E) تهیه شد. این ایستگاه‌ها نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به منطقهٔ مورد مطالعه‌اند و به ترتیب در ارتفاع ۱۰۰۰ و ۱۲۸۲ متر از سطح دریا و در فاصلهٔ ۷ و ۲۰ کیلومتری مرز جنوبی و شرقی منطقه قرار دارند.

در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در پارک ملی گلستان

آتش‌سوزی‌های زیادی رخ داد. می‌توان، با توجه به تعداد آتش‌سوزی‌ها و نیز سطوح سوخته‌شده، این سال‌ها را سال‌های بحرانی آتش‌سوزی نامید. اساساً، سال‌های بحرانی با شرایط خشکی، امواج گرما، بادهای شدید، و تجمع مادهٔ سوختنی ریز مرده ارتباط دارد [۲۷]. آتش‌سوزی‌های پارک ملی گلستان بیشتر در فصل پاییز، به‌ویژه ماه‌های آبان و آذر، رخ می‌دهند. البته ماه‌های دیگر نیز از این حادثه در امان نیستند. برای اجرای شبیه‌سازی‌های رفتار آتش باید پارامترهای آتش (نقطهٔ شروع حریق، مدت، زمان) تعیین شود. بدین سبب از پارامترهای آتش مربوط به لکهٔ آتش‌سوزی سطحی رخ‌داده در این ناحیه با تکرار زیاد آتش‌سوزی در سال‌های گذشته، با وسعت ۵۸ هکتار، در تاریخ ۲۴ تیرماه ۱۳۹۰، همراه یک بافر ۵۰۰ متری در اطراف آن (در مجموع ناحیه‌ای با وسعت ۳۰۰ هکتار)، استفاده شد (شکل ۲). در این تحقیق به کمک مشخصات یک واقعهٔ آتش‌سوزی گذشته و دادهٔ هواشناسی دورهٔ حریق، در گام زمانی یک ساعت، شبیه‌سازی مساحت انجام شد و با مقایسه با مساحت آتش واقعی مدلِ شبیه‌سازی آتش اعتبارسنجی شد.

شبیه‌سازی گسترش آتش (FARSITE): برای شبیه‌سازی گسترش آتش، یک نقطهٔ شروع احتراق در ناحیهٔ مورد مطالعه با سابقهٔ تکرار زیاد حریق در سال‌های گذشته در مدل FARSITE انتخاب و شبیه‌سازی یک‌روزه با دورهٔ سوختن از ساعت ۱۱ تا ۲۱ با ارائهٔ شرایط مادهٔ سوختنی مرطوب، نیمه‌خشک، خشک، و بسیار خشک اجرا شد. فرایند شبیه‌سازی با همان نقطهٔ شروع احتراق برای نمایش تغییرات مساحت، شکل، مسیرهای گسترش آتش، و ... تکرار شد و خروجی‌های شبیه‌سازی به فرمت‌های جدولی، وکتوری، و رستری به دست آمد. علاوه بر این، برای ارزیابی قابلیت این شبیه‌ساز در مدل‌سازی دقیق رفتار و گسترش آتش در منطقهٔ مورد مطالعه و با استفاده از مشخصات مکانی آن، پارامترهای آتش‌سوزی (مانند نقطهٔ شروع حریق، زمان شروع و خاتمه آن، و ...) و نیز شرایط آب‌وهوایی در طول دورهٔ حریق رخ‌داده در تیرماه ۱۳۹۰، شبیه‌سازی آتش‌سوزی گذشته اجرا و با استفاده از معیار درصد هم‌خوانی اعتبارسنجی آن انجام شد. درصد هم‌خوانی نشان‌دهندهٔ نسبت مناطقی است که به‌درستی به منزلهٔ ناحیهٔ سوخته‌شده شبیه‌سازی شده است.

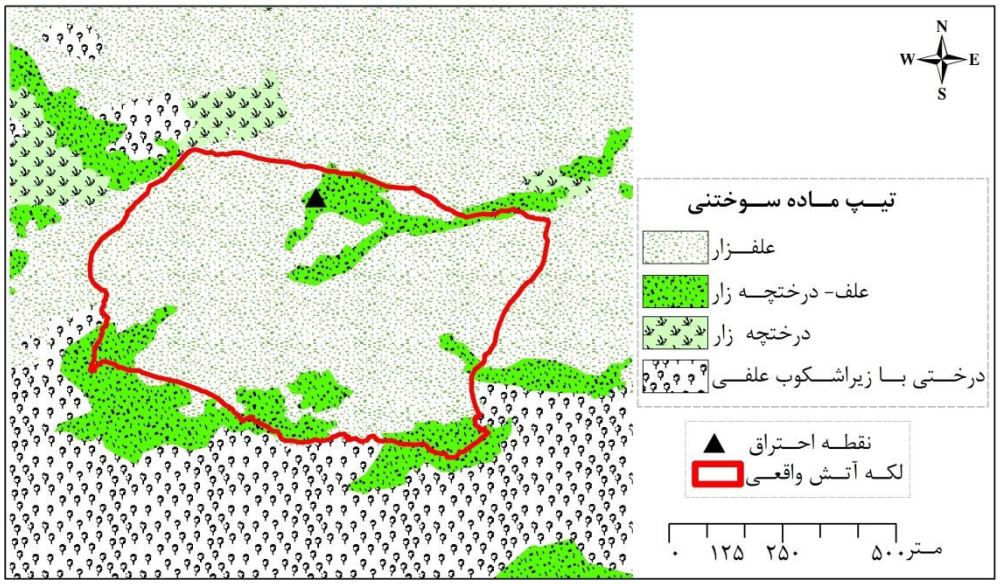
محاسبهٔ نرخ گسترش، طول شعله، و شدت خط آتش (FlamMap): با توجه به اینکه در نرم‌افزار FlamMap محاسبات رفتار آتش برای هر موقعیت (سلول) به طور مستقل و بدون توجه به محیط مجاور انجام می‌شود، هیچ‌گونه پیش‌بینی حرکت آتش در واحد سیمای سرزمین ارائه نشده است و اطلاعات آب‌وهوا در هر شبیه‌سازی ثابت لحاظ می‌شود.

سیستم اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS 9.3) برای مدیریت اطلاعات مکانی و تهیهٔ لایه‌های ورودی استفاده شد. اندازهٔ سلول‌های داده‌های رستری برای تعریف فایل سیمای سرزمین ۱۰ متر تعیین شد. مدل رقومی ارتفاع (DEM) به‌دست‌آمده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ برای تولید نقشه‌های ارتفاع، شیب، و جهت استفاده شد. نقشه‌های مادهٔ سوختنی و تاج‌پوشش از طریق کار میدانی به روش نمونه‌برداری خطی[1] تهیه شد. قطعات

1. Line Plot Survey

مربع‌شکل (۱ متر در ۱ متر) بر مسیرهای خطی تعیین و اجرا شد. پانزده مسیر ۵۰۰ متری در نواحی نسوخته (اطراف لکهٔ آتش‌سوزی) و دو مسیر ۱۰۰۰ متری در لکهٔ سوخته‌شده روی نقشهٔ توپوگرافی منطقهٔ مطالعه تعیین و به کمک دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) روی زمین جانمایی و مشخص شد. قطعات نمونه نیز روی هر مسیر به شیوهٔ تصادفی‌ـ سیستماتیک و با فاصلهٔ ۱۰۰ متر از هم تعیین و آماربرداری شدند. در مجموع نود و پنج قطعه نمونه در کل منطقه برای ارزیابی پوشش گیاهی برداشت شد. در این قطعات پارامترهای پوشش گیاهی شامل تیپ، تراکم، درصد پوشش، و عمق لاش‌برگ تعیین و حاصل برداشت‌ها به نقشه‌های موضوعی تبدیل شد. بر اساس اطلاعات پوشش گیاهی منطقه، مدل‌های مادهٔ سوختنی مناسب این مطالعه از بین چهل مدل مادهٔ سوختنی استاندارد [۱۰] انتخاب شد. این مدل‌ها شامل مدل‌های مادهٔ سوختنی علفی (با تراکم‌های خیلی کم، کم، متوسط، زیاد)، علفی‌ـ درختچه‌ای (با تراکم کم و متوسط)، درختچه‌ای (با تراکم متوسط و زیاد)، و درختی با زیراشکوب علفی‌اند (شکل ۳).

پوشش گیاهی جنگل‌ها و مراتع شامل مواد سوختنی زنده و مرده با اندازه‌های ذرات مختلف است که در مجموعه‌هایی به نام لایهٔ سوختنی قرار دارند [۲۸]. بر اساس طرح طبقه‌بندی سندبرگ و همکاران [۲۹]، مواد سوختنی به لحاظ ساختار افقی به شش لایهٔ بستر مادهٔ سوختنی تقسیم می‌شوند؛ شامل تاج درختان، درختچه‌ها و درختان کوچک، گیاهان کوتاه، پست، مواد سوختنی چوبی، مواد سوختنی لاش‌برگ، و مواد سوختنی زمینی [۲۹]. میزان مادهٔ سوختنی قابل اشتعال به میزان آب (رطوبت مادهٔ سوختنی) در لایهٔ سوختنی بستگی دارد [۲۳]. این رطوبت، که نتیجهٔ آثار تجمعی شرایط آب‌وهوایی کنونی و گذشته است، در مکان و زمان تغییر می‌کند و این موضوع، به شکلی اجتناب‌ناپذیر، بر قابلیت اشتعال مادهٔ سوختنی تأثیر می‌گذارد [۳۰].



شکل ۳. نقشهٔ تیپ مادهٔ سوختنی منطقهٔ مورد مطالعه

در این مطالعه با شبیه‌سازی‌های FARSITE و FlamMap اثر وضعیت‌های مختلف رطوبت مادهٔ سوختنی بر مشخصات گسترش و رفتار آتش در منطقهٔ مورد مطالعه بررسی و ارزیابی شد. نقشه‌های محیط آتش به‌دست‌آمده از FARSITE برای ارزیابی وسعت و شکل گسترهٔ آتش استفاده شد. سه پارامتر اصلی خروجی (نرخ گسترش آتش، شدت خط آتش، طول شعله)، که FlamMap تولید کرده، نیز در جهت تشریح رفتار آتش و تجزیه‌وتحلیل شدت آتش در منطقهٔ مطالعه استفاده شد. نرخ گسترش آتش (m min^{-1}) سرعتی است که در آن آتش در مادهٔ سوختنی حرکت می‌کند. شدت خط آتش (kW m^{-1}) انرژی گرمایی آزادشده در واحد زمان است.

سناریوهای رطوبت مادهٔ سوختنی: شبیه‌سازی‌ها با استفاده از مدل‌های مادهٔ سوختنی استاندارد متناسب با تیپ‌های پوشش گیاهی منطقه انجام گرفت. برای مقایسهٔ شرایط رطوبت این مدل‌ها، سناریوهای رطوبت مادهٔ سوختنی مرده و زندهٔ استاندارد توسعه یافت (جدول‌های ۱ و ۲). در این مدل‌های مادهٔ سوختنی استاندارد، اگر میزان رطوبت مادهٔ سوختنی علفی ۱۲۰ درصد یا بیشتر باشد، مواد سوختنی علفی سبزند و همهٔ پوشش علفی در طبقهٔ زنده در میزان رطوبت معین باقی می‌ماند [۱۰]. تغییرات میزان رطوبت مادهٔ سوختنی زنده (علفی و چوبی) به میزان زیادی تحت تأثیر رطوبت خاک و درجهٔ حرارت خاک و هواست [۳۱]. در مواردی که مادهٔ سوختنی زنده در طول فصل رشد می‌سوزد، این رطوبت اهمیت فراوان دارد. از آنجا که بیشتر آتش‌سوزی‌ها در عرصه‌های منابع طبیعی کشور در فصل کمون[1] (پاییز) رخ می‌دهد، آگاهی از میزان رطوبت مادهٔ سوختنی مرده برای کنترل آتش مهم است. البته، رطوبت مادهٔ سوختنی زنده نیز می‌تواند نقش مهمی در آتش‌سوزی‌های فصل کمون داشته باشد. مثلاً، آگاهی از میزان رطوبت مادهٔ سوختنی زنده به تعیین حساسیت‌پذیری آن به آتش کمک می‌کند [۳۲]. مواد سوختنی علفی زنده می‌تواند شامل مواد سوختنی سالیانه و دائمی باشد. مواد سوختنی چوبی زنده نیز شامل برگ‌ها، شاخه‌ها، و ساقه‌های ریز درختان و درختچه‌ها (همیشه‌سبز و خزان‌کننده) است [۳۱]. مواد سوختنی مرده با توجه به میزان زمان واکنش آن‌ها به تغییرات در رطوبت به چهار طبقه تقسیم می‌شوند. این زمان واکنش تأخیر زمانی[2] شناخته می‌شود که متناسب با قطر مادهٔ سوختنی است. این چهار طبقه شامل مواد سوختنی 1-hr (مواد سوختنی ریز دارای قطر کمتر از ۰٫۶۴ سانتی‌متر)، مواد سوختنی 10-hr (مواد سوختنی با قطر ۰٫۶۴ تا ۲٫۵۴ سانتی‌متر)، مواد سوختنی 100-hr (مواد سوختنی با قطر ۲٫۵۴ تا ۷٫۶۲ سانتی‌متر)، و مواد سوختنی 1000-hr (مواد سوختنی ۷٫۶۲ تا ۲۰٫۳۲ سانتی‌متر) است [۳۲]. ویژگی‌های مادهٔ سوختنی علفی و نیز درختچهٔ ارس در منطقهٔ مطالعه‌شده نیز تا حدی پذیرفتنی با این طبقه‌بندی مطابقت دارد. با توجه به نمونه‌برداری زمینی، طبقهٔ 1000-hr در منطقهٔ

1. Dormant season
2. Time Lag

مطالعه‌شده وجود ندارد. رطوبت مادهٔ سوختنی به درصد است و ممکن است بیش از ۱۰۰ نیز باشد.

در این مطالعه، اثر شرایط مختلف محیط زیست، به‌ویژه سطوح مختلف خشکی تابستانهٔ مادهٔ سوختنی، بر رفتار و گسترش آتش تحت سناریوهای مختلف رطوبت مادهٔ سوختنی بررسی شد. با توجه به سناریوهای رطوبت مادهٔ سوختنی مرده و زندهٔ استاندارد (جدول‌های ۱ و ۲) [۱۰]، همچنین وضعیت پوشش گیاهی منطقهٔ مطالعه‌شده، چهار سناریوی رطوبت مادهٔ سوختنی مرطوب، نیمه‌خشک، خشک، و شدید به ترتیب برای درصد رطوبت زیاد، متوسط، کم، و خیلی کم مادهٔ سوختنی مرده و زنده، برای شبیه‌سازی‌ها، تعیین شد. به این منظور از سرعت و جهت باد به‌دست‌آمده از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به منطقهٔ مطالعه، با در نظر گرفتن شدت باد متوسط روزانهٔ ۱۸ کیلومتر بر ساعت و جهت باد (۲۲۰°) SW، در مدت شبیه‌سازی آتش استفاده شد. متغیرهای هواشناسی ـ شامل دما، رطوبت نسبی، بارندگی، و سرعت و جهت باد ـ مربوط به دورهٔ حریق، در گام زمانی یک ساعت، وارد مدل شد.

جدول ۱. درصد رطوبت مادهٔ سوختنی مردهٔ استاندارد در طبقات مختلف [۱۰]

سناریوهای رطوبت ماده سوختنی / طبقات مادهٔ سوختنی مرده	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد
1-hr	۳	۶	۹	۱۲
10-hr	۴	۷	۱۰	۱۳
100-hr	۵	۸	۱۱	۱۴

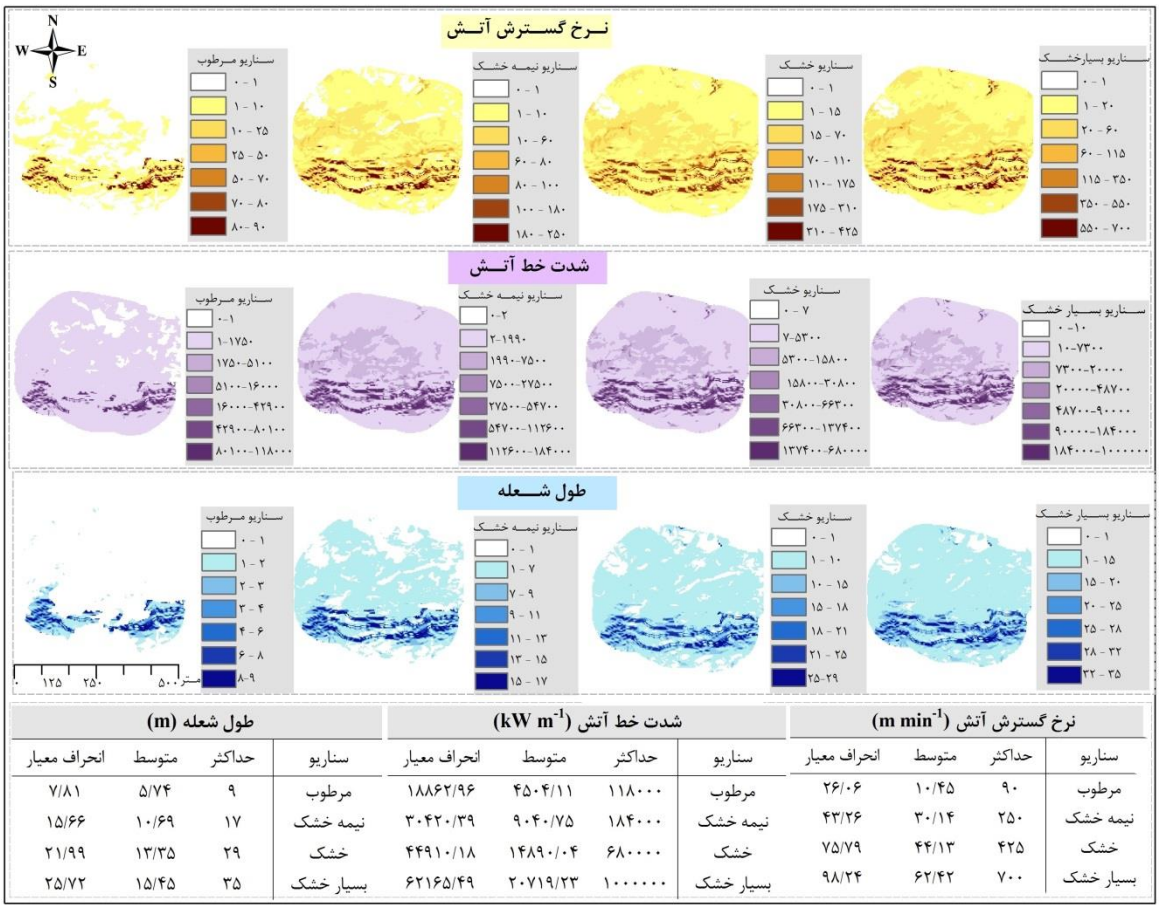
جدول ۲. درصد رطوبت مادهٔ سوختنی زندهٔ استاندارد در طبقات مختلف [۱۰]

سناریوهای رطوبت مادهٔ سوختنی / طبقات مادهٔ سوختنی زنده	خیلی کم (کاملاً خشک)	کم ($\frac{2}{3}$ خشک)	متوسط ($\frac{1}{3}$ خشک)	زیاد (کاملاً سبز)
علفی زنده	۳۰	۶۰	۹۰	۱۲۰
چوبی زنده	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰

یافته‌ها و بحث

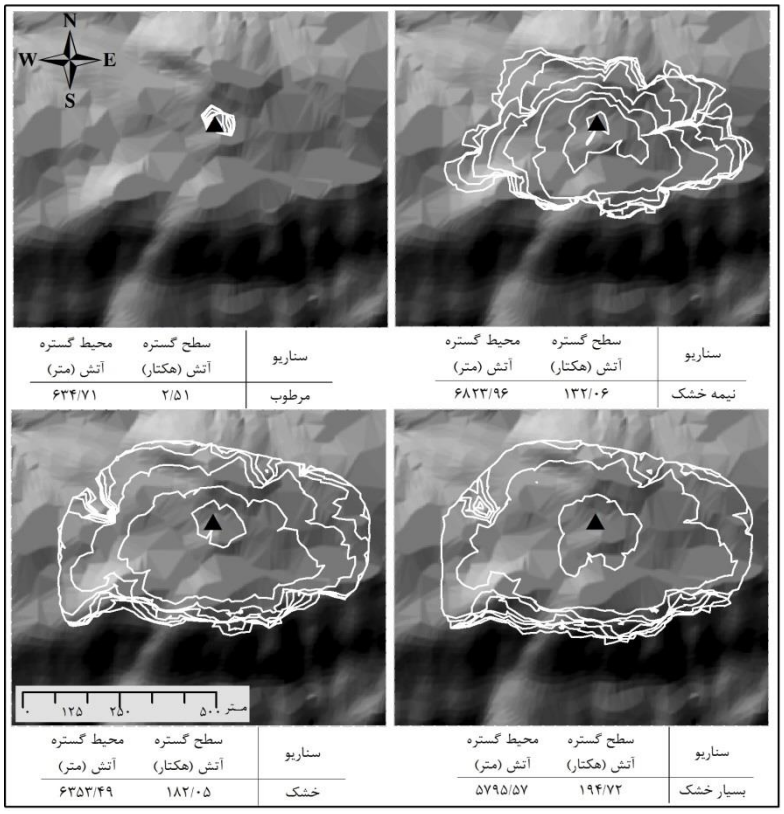
نرخ گسترش، شدت خط آتش، و طول شعله: شکل ۴ نقشه‌های خروجی FlamMap (نرخ گسترش، طول شعله، و شدت خط آتش) را در چهار سناریوی شرایط رطوبت مادهٔ سوختنی همراه خلاصهٔ داده‌های جدولی مربوطه نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، کاهش رطوبت مادهٔ سوختنی به افزایش حداکثر و نیز متوسط مشخصه‌های مختلف رفتار آتش منجر شد. نقشه‌های رفتار آتش بالقوه ابزاری مهم در جهت تولید اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیران، با توجه به شرایط محیط زیست معین، ارائه می‌دهند. در نقشه‌های خروجی نواحی با مقادیر بالاتر مشخصه‌های رفتار آتش به سبب مقدار رطوبت مادهٔ سوختنی کمتر قابل تشخیص است.

شکل ۵ شبیه‌سازی‌های FARSITE را برای سناریوهای مختلف شرایط رطوبت مادهٔ سوختنی ارائه می‌دهد؛ که روی تصویر سایه‌روشن پستی و بلندی‌های منطقه دیده می‌شود. هر خط سفید نشان‌دهندهٔ پیشرفت آتش در یک گام زمانی یک ساعت است. دادهٔ جدولی برای پارامترهای محیط و مساحت گسترش آتش برای هر سناریو در شکل ۵ به صورت خلاصه می‌آید.



نرخ گسترش آتش ($m\ min^{-1}$)				شدت خط آتش ($kW\ m^{-1}$)				طول شعله (m)			
سناریو	حداکثر	متوسط	انحراف معیار	سناریو	حداکثر	متوسط	انحراف معیار	سناریو	حداکثر	متوسط	انحراف معیار
مرطوب	۹۰	۱۰/۴۵	۲۶/۰۶	مرطوب	۱۱۸۰۰۰	۴۵۰۴/۱۱	۱۸۸۶۲/۹۶	مرطوب	۹	۵/۷۴	۷/۸۱
نیمه خشک	۲۵۰	۳۰/۱۴	۴۳/۲۶	نیمه خشک	۱۸۴۰۰۰	۹۰۴۰/۷۵	۳۰۴۲۰/۳۹	نیمه خشک	۱۷	۱۰/۶۹	۱۵/۶۶
خشک	۴۲۵	۴۴/۱۳	۷۵/۷۹	خشک	۶۸۰۰۰۰	۱۴۸۹۰/۰۴	۴۴۹۱۰/۱۸	خشک	۲۹	۱۳/۳۵	۲۱/۹۹
بسیار خشک	۷۰۰	۶۲/۴۲	۹۸/۲۴	بسیار خشک	۱۰۰۰۰۰۰	۲۰۷۱۹/۲۳	۶۲۱۶۵/۴۹	بسیار خشک	۳۵	۱۵/۴۵	۲۵/۷۲

شکل ۴. اثر وضعیت رطوبت مادهٔ سوختنی (از مرطوب تا بسیار خشک) بر مشخصه‌های مختلف رفتار آتش، رشد مساحت، و محیط آتش



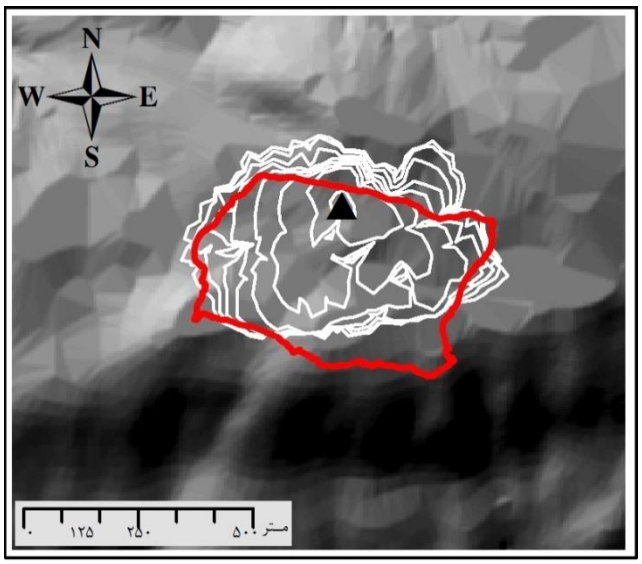
شکل ۵. اثر وضعیت رطوبت مادهٔ سوختنی (از مرطوب تا بسیار خشک) روی مساحت و محیط آتش (گستره‌های شبیه‌سازی‌شدهٔ آتش در گام‌های زمانی یک ساعت (خطوط سفید) و پس‌زمینهٔ تصویر سایه‌روشن پستی و بلندی‌های منطقه است)

در نگاه نخست، مشهود است که تغییرات رطوبت مادهٔ سوختنی اثری قابل توجه بر گسترش آتش دارد. کاهش رطوبت مادهٔ سوختنی موجب رشدی چشمگیر در گسترهٔ آتش و محیط آن می‌شود. زمانی که شرایط رطوبت مادهٔ سوختنی به سمت خشک‌تر شدن (سناریوی بسیار خشک) پیش می‌رود، مساحت آتش افزایش می‌یابد.

نتیجهٔ برآورد هم‌خوانی و صحت لکهٔ آتش شبیه‌سازی‌شده در مقایسه با لکهٔ آتش مشاهده‌شده با استفاده از مشخصات آتش واقعی رخ‌داده در منطقهٔ مطالعه در شکل ۶ می‌آید. آتش شبیه‌سازی‌شده جهت گسترشی مشابه با لکهٔ سوخته‌شدهٔ واقعی دارد. مقایسهٔ سطح آتش پیش‌بینی‌شده با مساحت آتش رخ‌داده نشان داد ۹۰ درصد لکهٔ آتش واقعی در طول زمان حقیقی آتش به منزلهٔ ناحیهٔ سوخته‌شده شبیه‌سازی شده است. سطوح کم‌برآورد[1] و بیش‌برآورد[2] نیز هر یک ۳۰ درصد به دست آمد.

بر اساس پیشینهٔ تحقیق [۱۳، ۱۵، ۳۳] استفاده از مدل‌های آتش برای ارزیابی آثار فعلی و بالقوهٔ تغییرات سیمای سرزمین (مثلاً تغییر عوامل آب‌وهوایی) و نتایج تصمیمات مدیریتی (مانند اجرای تیمارهای مختلف مادهٔ سوختنی) بر گسترش و رفتار آتش در جوامع علمی و مدیریتی مطرح شده است.

1. Underestimation
2. Overestimation



شکل ۶. اعتبارسنجی شبیه‌ساز سطح آتش با لکهٔ آتش واقعی نقشه‌برداری‌شده با استفاده از GPS (گسترهٔ شبیه‌سازی‌شدهٔ آتش در گام زمانی یک ساعت (خطوط سفید) و لکهٔ آتش واقعی (خط قرمز))

بنابراین، در این مطالعه گسترش و رفتار آتش در سیمای سرزمین بحرانی پارک ملی گلستان، با توسعهٔ سناریوهای مختلف رطوبت مادهٔ سوختنی، شبیه‌سازی شد. خروجی‌های مدل‌ها اطلاعاتی را دربارهٔ واکنش آتش در این سیمای سرزمین به این سناریوها (با تغییر درصد رطوبت مادهٔ سوختنی) ارائه می‌کند. کاهش رطوبت مادهٔ سوختنی بر سطح و نیز شکل و جهت گسترش آتش تأثیر گذاشته است؛ به نحوی که آتش در سناریوی مرطوب به صورت محدود، فقط در یک جهت، گسترش یافته، ولی با کاهش میزان رطوبت، ضمن افزایش سطح، آتش در جهت‌های جغرافیایی متفاوت گسترده شده است. علاوه بر این، افزایش قابل توجه مقادیر پارامترهای رفتار آتش، طول شعله، شدت خط آتش، و نرخ گسترش آن با کاهش هر چه بیشتر رطوبت مادهٔ سوختنی به سمت سناریوی شدید مشهود است.

محدودیت‌های مدل‌سازی: محدودیت‌های متعددی برای شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در این تحقیق وجود داشت. عامل اصلی محدودکنندهٔ شبیه‌سازی زمانی و مکانی آتش کمبود داده بود؛ شامل اطلاعات مکانی دربارهٔ شرایط آب‌وهوا، تیپ مادهٔ سوختنی، و توپوگرافی. فایل سیمای سرزمین شبیه‌ساز سطح آتش (FARSITE) برای هر ناحیه و با توجه به وجود نیروی متخصص، حمایت مالی، و نیازمندی‌های شبیه‌سازی آتش توسعه می‌یابد [۳۴]. علاوه بر اطلاعات مکانی، اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی نیز می‌تواند برای کارشناس اجرای شبیه‌سازی رفتار آتش غیر دقیق، دور از محدودهٔ مورد بررسی، یا تحت تأثیر عوامل محلی ناشناخته (مانند تغییرات آب‌وهوایی) باشد. با وجود این، محدودیت‌ها استفاده از مدل‌ها و خروجی‌های آن‌ها درون محدوده‌های معین و اعتبارسنجی آن‌ها همراه بهبود داده‌های ورودی مورد نیاز مدل‌ها اهمیت بسیار دارد.

مقایسهٔ FARSITE با FlamMap

FARSITE برای شبیه‌سازی گسترش آتش استفاده می‌شود؛ هرچند خروجی‌های دیگر مانند شدت خط آتش، طول شعله، و نرخ گسترش آتش نیز از طریق این مدل قابل دسترس است. معمولاً FlamMap برای محاسبهٔ پارامترهای یادشدهٔ رفتار آتش به کار می‌رود. از دلایل این موضوع می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. محاسبات FlamMap تقریباً سریع‌تر از شبیه‌سازی‌های FARSITE، که حدوداً چندین ساعت طول می‌کشد، است؛

۲. طراحی اولیهٔ FlamMap برای بررسی تغییرپذیری مکانی در رفتار آتش است و مقایسه‌های قبل و بعد از تیمار مادهٔ سوختنی و تشخیص تفاوت‌ها در سیماهای سرزمین آسان‌تر و پذیرفتنی‌تر از FARSITE است؛

۳. اگرچه یک حادثهٔ آتش‌سوزی قبلی در منطقهٔ مورد مطالعه در این تجزیه‌وتحلیل، به‌ویژه در شبیه‌سازی گسترش آتش در FARSITE، به منظور تعیین موقعیت حریق احتمالی و تعیین پارامترهای آتش مورد نیاز مد نظر قرار گرفت، هیچ تضمینی وجود ندارد که آتش‌سوزی‌های آتی نیز در این ناحیه رخ بدهد. همچنین جمعیت‌ها، فعالیت‌های انسانی، و شرایط آب‌وهوایی می‌توانند در زمان و مکان تغییر کند. بنابراین، انتخاب یک نقطهٔ شروع آتش مشخص اغلب ذهنی است، به‌ویژه با دادهٔ حریق حداقل یا بدون آن. با این حال، بر نتایج شبیه‌سازی‌ها اثری قابل توجه دارد. از این رو، عدم نیاز به این ورودی (در FlamMap) سودمند است؛

۴. تعیین دیگر عوامل مؤثر- مانند توسعهٔ فایل باد (مثلاً مدل‌سازی رفتار باد و تهیهٔ دادهٔ باد متغیر مکانی)، مدت زمان شبیه‌سازی، تنظیم پارامترهای رفتار آتش- تا حد زیادی در اختیار کارشناس شبیه‌سازی است و تعیین دقیق آن‌ها مشکل است. در حالی که پارامترهای کمتری در FlamMap مورد نیاز است [۱۳].

وجود این محدودیت‌ها، به‌ویژه برای استفاده از FARSITE، ضرورت تهیهٔ پایگاه دادهٔ آتش را، به‌خصوص در سیمای سرزمین بحرانی پارک ملی گلستان، با جمع‌آوری اطلاعات آتش‌سوزی‌های تاریخی رخ‌داده در این ناحیه، نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

توسعهٔ سیاست‌های مدیریت آتش، در جهت کاهش ریسک آن، با به‌کارگیری روش‌ها و مدل‌ها، برای برنامه‌ریزی فازهای عملیاتی مدیریت آتش جنگل‌ها و مراتع مورد نیاز است. تغییرات زمانی و مکانی گسترش و رفتار آتش می‌تواند با استفاده از مدل‌های نیمه‌فیزیکی یا تجربی توسعه‌یافته در سال‌های گذشته پیش‌بینی شود. تجزیه‌وتحلیل اطلاعات در زمینهٔ گسترش و رفتار آتش تولیدشده از طریق این مدل‌ها می‌تواند برای شناسایی نواحی با ریسک بالقوهٔ زیاد (نواحی با ارزش‌های بالاتر مشخصه‌های رفتار آتش)، به دلیل سناریوهای مختلف شرایط مادهٔ سوختنی و آب‌وهوا، مفید باشد. در شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در این تحقیق از FARSITE و FlamMap و سابقهٔ حریق قبلی برای بررسی پارامترهای گسترش و رفتار آتش تحت سناریوهای مختلف رطوبت مادهٔ سوختنی استفاده شد. نتایج این شبیه‌سازی‌ها نشان داد روند کاهشی در میزان رطوبت مادهٔ سوختنی به سمت

سناریوی بسیار خشک (رطوبت مادهٔ سوختنی خیلی کم یا کاملاً خشک) موجب روند افزایشی در همهٔ این پارامترها می‌شود. اگرچه این روند قبل از شبیه‌سازی‌ها قابل پیش‌بینی بود، تعیین شدت تغییر پارامترهای گسترش و رفتار آتش ناشی از کاهش میزان رطوبت مادهٔ سوختنی در برنامه‌ریزی استراتژیک و عملیاتی پیشگیری، کنترل، و مهار آتش حائز اهمیت است. خروجی‌های مدل‌ها اطلاعات مفیدی در زمینهٔ برنامه‌ریزی، ارزیابی، و اولویت‌بندی اقدامات مدیریت آتش جنگل‌ها و مراتع، مانند تیمارهای مادهٔ سوختنی، به دست می‌دهند. با در نظر گرفتن محدودیت‌های سیستم‌های شبیه‌سازی، نقشه‌های گسترش و رفتار آتش می‌تواند در شناسایی نواحی با پتانسیل بالای حریق و رفتارهای شدید آتش، برنامه‌ریزی فعالیت‌های پیشگیرانه، و تعیین اولویت‌بندی این نواحی برای تیمارهای مادهٔ سوختنی و تخصیص استراتژیک منابع اطفای حریق به تصمیم‌گیران کمک کند. همچنین، نقشه‌های پارامترهای گسترش و رفتار آتش می‌تواند برای ارزیابی آتش‌سوزی‌های تجویزی یا طبیعی به منظور پشتیبانی از تصمیم‌های فنی و استراتژیک در ارتباط با سبک کردن شدت و ریسک آتش و مقابله با آن مفید باشد.

شبیه‌سازی‌ها و محاسبات رفتار آتش می‌تواند با رفتارهای مورد انتظار برای محیط آتش تعریف‌شده در هر سلول (با در نظر گرفتن مادهٔ سوختنی، آب‌وهوا، و توپوگرافی) از سیمای سرزمین (مانند یک حادثهٔ آتش‌سوزی واقعی رخ‌داده) نیز مقایسه شود. علاوه بر این، با توجه به بارندگی‌های فراوان در فصل بهار، که موجب رویش پوشش گیاهی و تولید مادهٔ سوختنی قابل اشتعال در حجم زیاد در منطقه می‌شود، یکباره، با وزش بادهای گرم و وقوع خشکی در اوایل فصل پاییز، احتمال وقوع آتش‌سوزی با شدت زیاد افزایش می‌یابد و کوهستانی بودن منطقه نیز دشواری عملیات اطفای حریق را در حوزهٔ پارک ملی گلستان افزایش می‌دهد. این مسئله بر ضرورت اجرای تیمارهای مختلف مادهٔ سوختنی در این ناحیه تأکید می‌کند. البته کارآیی این تیمارها موضوعی قابل بحث و تا حد زیادی تحت تأثیر شرایط آب‌وهوایی، به‌ویژه مقدار رطوبت مادهٔ سوختنی و روش و طراحی تیمار (مثلاً مکان، اندازه، شدت تیمار)، است. سیستم‌های شبیه‌سازی تا حدی به کاربر امکان می‌دهد، تحت سناریوهای مختلف مادهٔ سوختنی و آب‌وهوایی، به این مسائل بپردازد و یک خروجی آزمایش‌شده برای استفاده در عرصه ارائه می‌دهد. بنابراین، تکرار شرایط آب‌وهوایی خشک در منطقه، که بر رژیم و رفتار آتش اثر بگذارد، احتمال آتش‌سوزی با نرخ گسترش، طول شعله، و شدت خط آتش بالاتر را افزایش می‌دهد. در این حالت کارآیی اقدامات کنترل و مدیریت روی گسترش آتش کاهش می‌یابد. این مسئله بر ضرورت استفاده از سیستم‌های شبیه‌سازی و توسعهٔ آن‌ها، همراه تهیهٔ ورودی‌های دقیق مورد نیاز این سیستم‌ها، تأکید می‌کند.

سپاسگزاری

از ادارهٔ کل حفاظت محیط زیست استان گلستان و مجموعهٔ مدیریت و پرسنل یگان حفاظت محیط زیست پارک ملی گلستان به دلیل مساعدت در اجرای طرح سپاسگزاری می‌شود.

References

[1]. Andrews, P. L. and Queen, L. P. (2001). Fire modeling and information system technology. International Journal of Wildland Fire, 10, 343-352.

[2]. Ntaimo, L. and Zeigler, B. P. (2005). Integrating Fire Suppression into a DEVS Cellular Forest Fire Spread Model. Proc. of the 2005 Spring Simulation Multi Conference, San Diego, CA, USA, April 3-7, 48-54, 2005.

[3]. Finney, M. A. (1998). FARSITE: Fire Area Simulator- Model development and evaluation. Research Paper RMRS-RP-4. Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 47 p.

[4]. Finney, M. A., Britten, S., and Seli, R. (2003). FlamMap2 Beta Version 3.0.1. Fire Sciences Lab and Systems for Environmental Management, Missoula, Montana.

[5]. Finney, M. A. (2006). An overview of FlamMap modeling capabilities. In Proc. of Conf. on fuels management - How to measure success, Andrews P.L., and Butler B.W. (eds.). pp. 213-220. USDA Forest Service, RMRS-P41.

[6]. Rothermel, R. C. (1972). A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service, Research Paper INT-115.

[7]. Andrews, P. L. (1986). BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system--BURN subsystem, Part 1. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. INT-194. 130 pp.

[8]. Richards, G. D. (1990). An elliptical growth model of forest fire fronts and its numerical solution. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 30: 1163-1179.

[9]. Anderson, H. E. (1982). Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA For. Service General Technical Report INT-122. (Ogden, UT).

[10]. 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. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station; 72 pp.

[11]. Van Wagner, C. E. (1977). Conditions for the start and spread of crown fire. Canadian Journal of Forest Research, 7:23-24.

[12]. Rothermel, R. C. (1991). Predicting behavior and size of crown fires in the northern RockyMountains. USDA Forest Service, Research Paper INT-438.

[13]. Stratton, R. D. (2004). Assessing the effectiveness of landscape fuel treatments on fire growth and behavior. Journal of Forestry, 102:32- 40.

[14]. Stratton, R. D., Long, D., and Mislivets, M. (2003). Greenville Bench case study analysis. http://jfsp.nifc.gov/documents/Greenville_Case_Stu dy.pdf.

[15]. Finney, M. A. (2005). The challenge of quantitative risk assessment for wildland fire. Forest Ecology and Management, 211: 97-108.

[16]. Ager, A. A. and Finney, M. (2009). Application of wildfire simulation models for risk analysis. Geophysical Research Abstracts, 11, EGU2009-5489, EGU General Assembly, Vienna, April 2009.

[17]. Finney, M. A., Seli, R. C., McHugh, C. W., Ager, A. A., Bahro, B., and Agee, J. K. (2007). Simulation of long-term landscape-level fuel treatment effects on large wildfires. International Journal of Wildland Fire, 16:712-727.

[18]. Ager, A. A., Finney, M. A., Kerns, B. K., and Maffei, H. (2007). Modeling wildfire risk to northern spotted owl (Strix occidentalis caurina) habitat in Central Oregon, USA. Forest Ecology and Management, 246: 45–56.

[19]. Flannigan, M. D. and Harrington, J. B. (1988). A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada, 1953-80. Journal of Applied Meteorology, 27: 441-452.

[20]. Viegas, D. X. and Viegas, M. T. (1994). A relationship between rainfall and burned area for Portugal. International Journal of Wildland Fire, 4: 11-16.

[21]. Flannigan, M. D. and Wotton, B. M. (2001). Climate, weather and area burned. In: Johnson E.A., Miyanishi K. (eds.), Forest Fires-Behaviour and Ecological Effects. Academic Press, San Diego, CA, pp 335-357.

[22]. Chuvieco, E., Giglio, L., and Justice, C. (2008). Global characterization of fire activity: toward defining fire regimes from Earth observation data. Global Change Biology, 14, 1488-1502.

[23]. Pyne, S. J., Andrews, P. L., and Laven, A. R. (1996). Introduction to Wildland Fire. 2nd Edition, John Wiley & Sons: Edition. New York, 769 pp.

[24]. Hasan Zadeh Kiabi, B., Zehzad, B., and Farhang Dareshori, B. (1996). Golestan National Park. Iran Department of Environment, 203 pp.

[25]. Statistical Yearbook of North Khorasan. (2001). Statistical Center of Iran.

[26]. Gholami, N. and Mesdaghi, M. (2012). An investigation of spatial pattern of woody plants in shrublands of Golestan National Park. Iranian Journal of Range and Desert Research, 18 (4), 2012.

[27]. Salis, S., Arca, B., Bacciu, V., Duce, D., and Spano, D. (2009). Assessment of fire severity in a Mediterranean area using FlamMap Simulator. Eighth Symposium on Fire and Forest Meteorology 13–15 October 2009, Kalispell, Montana.

[28]. Clar, C. R. and Chatten, L. R. (1966). Principles of forest fire management. Sacramento, CA: Office of Procurement, State of California.

[29]. Sandberg, D. V., Ottmar, R. D., and Cushon, G. H. (2001). Characterizing Fuels in 21st Century. International Journal of Wildlland Fire, 10, 381-387.

[30]. Biswell, H. H. (1989). Prescribed Burning in California Wildlands Vegetation. Berkeley, CA: University of California Press.

[31]. Pollet, J. and Brown, A. (2007). Fuel Moisture Sampling Guide. Bureau of Land Management. 30 pp.

[32]. Russell, S. (2005). Fuel Loading, Fuel Moisture Are Important Components of Prescribed Fire. Rangelands, 27 (5), p 20.

[33]. LaCroix, J. J., Ryu, S. R., Zheng, D., and Chen, J. (2006). Simulating fire spread with landscape management scenarios. Forest Science, 52 (5), 522-529.

[34]. Stratton, R. D. (2009). Guidebook on LANDFIRE fuels data acquisition, critique, modification, maintenance, and model calibration. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-220. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 54 p.