نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دوم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹٤

صفحات ۱۰٤- ۸۳

تجزیه و تحلیل آتش‌سوزی جنگل با منشأ آب‌وهوایی با داده‌های ماهواره‌ای در منطقه‌ی البرز

منوچهر فرج زاده[1]، استاد آب و هواشناسی، دانشگاه تربیت مدرس

یوسف قویدل رحیمی، استادیار آب و هواشناسی، دانشگاه تربیت مدرس

ساحل مکری، دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه تربیت مدرس

دریافت مقاله:۹۴/۰۱/۱۷ پذیرش نهایی: ۹۴/۰۶/۰۶

چکیده

در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و الگوریتم جهانی کشف آتش برای آشکارسازی مکان‌های آتش‌سوزی در جنگل و مراتع استان مازندران استفاده گردید. با این روش پیشنهادی، پس از اجرای تصحیح‌های هندسی و رادیومتری و با تعیین حد آستانه‌ی مناسب نواحی دارای پتانسیل آتش مشخص گردید. سپس، با تعیین حد آستانه و آزمون‌های گوناگون، پیکسل آتش برای سه مورد آتش‌سوزی سال‌های ۲۰۰۶ در منطقه‌ی سوادکوه، ۲۰۰۹ در منطقه‌ی نور و برای ۲۰۱۰ در منطقه‌ی بهشهر استخراج شد. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از حد آستانه‌ی ۳۱۰ درجه‌ی کلوین برای باند ۲۲ سنجنده‌ی مودیس، که برای مقیاس جهانی در نظر گرفته شده است، آتش‌سوزی‌های سرد و کوچک آشکار نمی‌شود. از این رو، از حد آستانه بومی شده استفاده گردید. همچنین، با ترسیم نقشه‌های دمای سطحی و پوشش گیاهی به بررسی تأثیرات دما و مقدار سبزینگی پوشش گیاهی در روزهای آتش‌سوزی و روز قبل و بعد آن‌ها پرداخته شد. در این بررسی مشخص گردید برای پیکسل آتش‌سوزی مقدار سبزینگی در روز آتش از روز قبل کاهش و میزان دما برای پیکسل آتش در روز آتش‌سوزی از روز قبل افزایش داشته است. ترسیم و بررسی نقشه‌های سینوپتیکی نشان می‌دهد که در روز آتش‌سوزی در سطح زمین استیلای زبانه‌ی کم‌فشار و در ترازهای میانی فراز مانع موجب انتقال هوای گرم عرض‌های جغرافیایی بالا به منطقه‌ی مطالعه شده است.

واژگان کلیدی: آتش‌سوزی جنگل، تصاویر ماهواره‌ای، MODIS، الگوریتم جهانی کشف آتش.

[1] - نویسنده مسئول: Email: farajzam@modares.ac.ir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

مقدمه

ایران از جمله کشورهای حادثه‌خیز دنیاست که پدیده‌ی آتش‌سوزی جنگل یکی از مهم‌ترین بحران‌های آن محسوب می‌شود. آتش‌سوزی در جنگل‌های ایران سالیانه هزاران هکتار از درختان، درختچه‌ها و گیاهان را طعمه‌ی خود می‌سازد. عوامل طبیعی یا عوامل انسانی ممکن است سبب ایجاد آتش‌سوزی‌ها شود. در این میان، نقش عوامل جوی در وقوع و گسترش آتش‌سوزی نیز مهم است. اهمیت شرایط جوی نه تنها به صورت عامل منفرد برای ایجاد آتش‌سوزی نیست، بلکه می‌توان گفت تأثیر عوامل دیگر آتش‌سوزی، همچون عوامل انسانی، خود تابعی از عوامل جوی است. اگر شرایط جوی مساعد نباشد، آتش‌سوزی ایجاد شده نمی‌تواند گسترش یابد. رطوبت هوا یکی از شاخص‌های مهم جوی در تعیین پتانسیل شروع و گسترش آتش‌سوزی در یک ناحیه است، به طوری که در مطالعات صورت گرفته رطوبت نسبی هوا بیشترین همبستگی را با وقوع و میزان گسترش آتش‌سوزی داشته است. هر چقدر سرعت وزش باد بیشتر باشد، شدت آتش‌سوزی نیز افزون‌تر می‌گردد. این امر به این دلیل است که وزش باد سبب جابه‌جایی هوا و در نتیجه رسیدن میزان بیشتر اکسیژن به محیط در حال سوختن می‌گردد. در این زمینه، اگر باد از ناحیه‌ی خشکی بوزد اثر فراوانی در افزایش آتش‌سوزی دارد. افزایش دما سبب افزایش تبخیر و تعرق و در نتیجه خشک شدن مواد سوختنی می‌گردد و ممکن است یکی از عوامل مؤثر در بروز آتش‌سوزی باشد. بارندگی نیز یکی از عوامل کنترل‌کننده آتش است چرا که افزایش بارندگی در یک ناحیه سبب افزایش رطوبت می‌گردد.

امروزه با پیشرفت فناوری سنجش از دور و پرتاب ماهواره‌هایی با سنجنده‌های دارای قدرت تفکیک گوناگون می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه و به‌هنگام‌رسانی نقشه‌های بزرگ‌مقیاس پوشش اراضی و تولید نقشه‌ی تغییرات نیز استفاده کرد. حدود سی سال است که تلاش‌هایی برای کشف آتش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام می‌شود (Croft, ۱۹۷۳). در ابتدا از ماهواره‌های هواشناسی NOAA[۱] (سنجنده AVHRR[۲]) و GOES[۳] استفاده می‌شد. در سنجنده‌های این ماهواره‌ها باندهای حرارتی وجود داشت که بر اساس آن‌ها روش‌هایی برای شناسایی آتش ابداع و استفاده شده بود (Qu et al., ۲۰۰۸). اولین‌بار دوزیر (Dozier, ۱۹۸۱) تئوری کشف آتش را معرفی کرد. پژوهشگران فراوانی از روش دوزیر برای کشف آتش در جنگل بهره بردند تا این‌که فلانین و همکاران (Flannigan et al.,۱۹۸٦)، روش حد آستانه و همچنین لی و تگ (Lee, and Tag, ۱۹۹۰) اولین مدل آزمون زمینه‌ای[۴] را با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی AVHRR گسترش دادند. با آغاز به کار تصویربرداری ماهواره Terra، الگوریتم جهانی کشف آتش (که با کافمن و همکاران (Kaufman et al., ۱۹۹۸) گسترش بود) با اندکی بهبود بر اساس تصاویر سنجنده‌ی MODIS کامل‌تر و به عنوان نسخه‌ی سه‌ی الگوریتم جهانی کشف اتش ارائه شد. این الگوریتم به دلیل استفاده از حد آستانه‌ی ثابت قادر نبود بسیاری از آتش‌های کوچک و سرد (آتش‌هایی با مساحت و درجه‌ی حرارت کم) را کشف کند. همچنین، هشدارهای اشتباه زیادی را در مناطق بیابانی، مناطق با پوشش گیاهی کم تراکم، لبه‌های ابرهای سیروس و برخی مناطق آبی در هنگام تابش شدید آفتاب[۵] ایجاد می‌کرد (Giglio et al., ۱۹۹۸).گیگلیو (Giglio, ۲۰۰۳)، فیلیپ (Philip, ۲۰۰٦) و وانگ و همکاران (Wang et al., ۲۰۰۷) برای بالا بردن کارایی الگوریتم جهانی و گیگلیو و همکاران (Giglio et al., ۱۹۹۸) مدل زمینه‌ای کشف آتش را برای تهیه‌ی آتش از تصاویر سنجنده‌ی مودیس گسترش دادند. این الگوریتم به صورت نسخه‌ی چهار الگوریتم جهانی کشف آتش فعال با کمک تصاویر سنجنده‌ی MODIS از دو ماهواره Aqua و Terra استفاده می‌کند. این الگوریتم جدید به کمک چندین باند و بهره‌گیری از مدل زمینه‌ای به میزان زیادی از هشدارهای اشتباه نسخه‌ی قبلی کم و نسبت به روش آستانه‌ی ثابت بسیار انعطاف‌پذیر و مؤثرتر عمل کرد

۱ . National Oceanic and Atmospheric Administration

۲ . Advanced Very High Resolution Radiometer

۳ . Geostationary Operational Environmental Satellite

۴.Contextual Test

۵ . HOT SPOT

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

(Giglio, ۲۰۰۳). نسخه‌ی پنج این الگوریتم را گیگلیو (Giglio, ۲۰۱۰)، با اندکی بهبود ارائه کرد. پژوهش‌های فراوانی نیز در زمینه‌ی بررسی کارایی تصاویر سنجنده‌ی MODIS برای شناسایی آتش انجام شد. مرینو میگول و همکاران (Merino-de-Miguel, ۲۰۱۰) با استفاده از سنجنده‌ی مودیس الگوریتمی را برای نقشه‌برداری سریع و دقیق از آتش‌سوزی جنگل‌های گالیسا (شمال غربی اسپانیا) ایجاد کردند که در اوت ۲۰۰۶ رخ داده بود. این الگوریتم با بازتاب‌هایی شکل گرفته است که مودیس اندازه گیری می‌کند. محققان با این الگوریتم نیمه‌اتوماتیک و داده‌های سنجش از دور از مناطق سوخته نقشه‌برداری کردند. اطلاعات حاصل از این پژوهش سبب ارزیابی سریع و مفید برای تعیین ارتباط بین تیب‌های جنگلی و مناطق سوخته گردید. آن‌ها همچنین از نوآوری مانند شاخص BAIM (بر اساس باند NIR و SWIR) استفاده کردند. روش مورد استفاده در این مقاله دارای مزایایی از جمله: پیش‌پردازش و پردازش سریع، نیاز نداشتن به اطلاعات درست، وابستگی کمتر به تصمیم‌گیری انسان (روش و هدف)، پیاده‌سازی آن در مقیاس منطقه‌ای آسان و با موفقیت است. روش مذکور به دلیل ایجاد رابطه بین مجموع داده‌ها بخش‌های گوناگون طیفی نتایج قابل اعتمادی را در این پژوهش به دست داد. مائدا و همکاران (Maeda et al., ۲۰۰۹) با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) مناطق پر خطر آتش‌سوزی جنگل آمازون را شناسایی کردند. آن‌ها توانستند یک روش سریع و نسبتاً دقیق برای پیش‌بینی حوادث آتش‌سوزی جنگل در منطقه‌ی مطالعه به دست آورند. در برزیل آتش‌سوزی در جنگل‌های استوایی منبع اصلی انتشار گازهای گل‌خانه‌ای و در نتیجه تغییر اقلیم است. محصول این پژوهش تهیه‌ی نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی برای پیش‌بینی حوادث به عنوان نتیجه‌ی نهایی است. همچنین مناطقی که احتمال خطر آتش‌سوزی آن‌ها از مناطق دیگر بیشتر باشد، در این پژوهش از هم جدا شدند. هاوبیکر و همکاران (Hawbaker et al., ۲۰۰۸) به بررسی درصد آتش‌های شناسایی‌شده به کمک تصاویر سنجنده‌ی MODIS در آمریکا پرداختند. آن‌ها آتش‌هایی با مساحت بیشتر از ۱۸ هکتار را برای مطالعه انتخاب کردند و با استفاده‌ی هم‌زمان از تصویرهای Terra و Aqua توانستند، ۸۲ درصد از آتش‌های مورد مطالعه را شناسایی کنند. پترسون و همکاران (Peterson et al., ۲۰۱۳) به پیش‌بینی کوتاه‌مدت آتش‌سوزی جنگل‌های شمالی آمریکا با استفاده از مشاهده‌های ماهواره‌ای (MODIS) و شاخص NVP پرداختند. مطالعه‌ی آنان نشان می‌دهد که ترکیب داده‌های NVP با مشاهده‌های ماهواره‌ای برای تعیین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از آتش‌سوزی بسیار ارزشمند و مهم است که یک گام مهم برای تهیه‌ی یک مدل پیش‌بینی آتش جهانی در کوتاه‌مدت است. مطالعات شناسایی آتش به کمک تصاویر ماهواره‌ای در ایران سابقه‌ی زیادی ندارد. اکبری و همکاران (۱۳۸۶) به ارائه‌ی مدلی سریع برای نقشه‌برداری آتش‌سوزی در جنگل پرداختند. موقتی و همکاران (۱۳۸۷) سه الگوریتم جهانی، بهبودیافته در استان کرمانشاه را مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که الگوریتم جهانی کشف آتش از دو الگوریتم دیگر نتایج بهتری ارائه می‌دهند. سلامتی و همکاران (۱۳۸۷) نیز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به ارزیابی و تهیه‌ی نقشه‌ی آتش‌سوزی در استان گلستان پرداختند. سرکارگر اردکانی و همکاران (۱۳۸۸، ۱۳۹۰) با دو مطالعه‌ی جداگانه به بررسی کشف آتش به کمک الگوریتم بهبودیافته در نخلستان‌های شهر خور از توابع شهرستان نایین در استان اصفهان پرداختند. در این پژوهش حد آستانه‌ی ۲۹۳ درجه‌ی کلوین به جای حد آستانه‌ی ۳۱۰ درجه‌ی کلوین (حد آستانه‌ی استاندارد الگوریتم جهانی کشف آتش) برای مشخص کردن پیکسل‌های دارای پتانسیل آتش استفاده شد. آنان پیشنهاد کردند با توجه به شرایط متفاوت آب‌وهوایی در کشور حدود آستانه‌ی متفاوتی برای مناطق گوناگون استفاده شود و پژوهش‌های بیشتری در این زمینه صورت گیرد. هر ساله، آتش‌سوزی‌های زیادی در جنگل‌های شمال کشور رخ می‌دهد، ولی تاکنون از سامانه‌ی پایش به کمک تصاویر ماهواره‌ای خیلی استفاده نمی‌شود. ضرورت دارد که با پژوهش هایی ابتدا کارایی تصاویر سنجنده‌ی MODIS و دیگر سنجنده‌های مشابه دارای باندهای انعکاسی و حرارتی و الگوریتم‌های موجود در این جنگل‌ها بررسی شود تا در صورت مناسب بودن برای پایش استفاده شود. همچنین در صورت نیاز الگوریتمی متناسب با شرایط ایران گسترش داده شود. در این پژوهش سعی بر این است تا با استفاده از سنجنده‌ی MODIS آتش‌سوزی‌هایی که منشأ آب‌وهوایی دارند شناسایی و تحلیل شوند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

داده‌ها و روش کار

منطقه‌ی مطالعه در این پژوهش جنگل‌های استان مازندران است. مازندران، استانی در شمال ایران، در کرانه‌های جنوبی دریای مازندران واقع شده که مساحت آن حدود ۲۳۷۵۶/۴ کیلومتر مربع است. استان مازندران در نیم‌کره‌ی شمالی بین ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه‌ی عرض شمالی از خط استوا و بین ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه‌ی طول شرقی از نیم‌روز گرینویچ واقع شده است. این استان از لحاظ طبیعی به سه قسمت اصلی کوهستانی در جنوب، میان‌بند در وسط و جلگه‌ای در شمال تقسیم می‌شود. مازندران به دلیل جغرافیای گوناگون آن که شامل جلگه‌ها، علفزارها، بیشه‌ها و جنگل‌های هیرکانی با صدها گونه گیاهی منحصر به فرد در جهان است و آب‌وهواهای گوناگون از سواحل شنی با پست‌ترین نقطه تا کوهستان‌های ناهموار و پوشیده از برف البرز و با داشتن یکی از هفت آتشفشان معروف دنیا (دماوند) شناخته شده است. آب‌وهوای استان مازندران با توجه به خصوصیات دما و بارش و توپوگرافی شامل آب‌وهوای معتدل خزری، معتدل کوهستان و سرد کوهستانی است.

داده‌های استفاده‌شده در این تحقیق شامل داده‌های اولیه (زمان و وسعت آتش‌سوزی) مربوط به آمار آتش‌سوزی‌های سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۱۰ است که از اداره‌ی کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان تهیه شده است (جدول ۱). با توجه به جدول بیشترین وسعت آتش‌سوزی به ترتیب مربوط به سال‌های ۲۰۱۰ با ۲۲۹ هکتار در ماه دسامبر، ۲۰۰۳ با وسعت ۱۷۲ هکتار آتش‌سوزی در ماه فوریه و ۲۰۰۹ با وسعت ۹۶ هکتار در ماه مارس است. کمترین وسعت آتش‌سوزی نیز مربوط به سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ است. بیشتر آتش‌سوزی‌ها نیز در ماه‌های دسامبر، ژانویه و مارس (فصول سرد) رخ داده است.

جدول ۱: داده‌های مربوط به زمان و وسعت آتش‌سوزی جنگل‌های مازندران طی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۰

روز	ماه	سال	وسعت به هکتار	علت	روز	ماه	سال	وسعت به هکتار	علت
۳	٤	۱۹۹٥	۱٥	نامعلوم	۲۰	٤	۲۰۰٥	۳	نامعلوم و عمدی
۲	۴	۱۹۹۵	۱۳	نامعلوم	۱۷-۱٦	۱۲	۲۰۰٥	۲۷	نامعلوم
۲٥	۳	۱۹۹٥	۶	نامعلوم	۲۱	۱۲	۲۰۰٥	۷	نامعلوم
۲۸	٦	۱۹۹٥	٥۲	نامعلوم	۸	۳	۲۰۰٦	٥۴	نامعلوم
۹	۲	۱۹۹۶	٥۰	نامعلوم	۲٦	۳	۲۰۰٦	۶	نامعلوم
٥	۸	۱۹۹٦	٥	نامعلوم	۳	۲	۲۰۰٦	۸	نامعلوم
۷	۱۲	۱۹۹۹	۱٥	بی‌احتیاطی دامدار	۱۲	۱	۲۰۰۷	۲	نامعلوم
۱۸	۱	۲۰۰۰	٥	احتمالاً عمدی	۲۸	۱	۲۰۰۷	۱۱	نامعلوم
٤	۱	۲۰۰۰	۱۰	نامعلوم	۲	۲	۲۰۰۷	۷	نامعلوم
۲	۱	۲۰۰۱	۳	وزش باد گرم	٤	۲	۲۰۰۷	۲	نامعلوم
۲٤	۳	۲۰۰۱	۱۰	نامعلوم	۹	۹	۲۰۰۷	۳	نامعلوم
۲۰	۱۲	۲۰۰۱	۱٥	نامعلوم	۲۸	٤	۲۰۰۸	۲	نامعلوم
۳۰	۱۲	۲۰۰۱	۸	نامعلوم	۲٥	۱۲	۲۰۰۸	۳	نامعلوم
۲٥	٤	۲۰۰۱	۳	احتمالاً عمدی	۱۸	۱	۲۰۰۹	۲	نامعلوم
۲۷	۱۲	۲۰۰۱	۶	احتمالاً عمدی	۹	۳	۲۰۰۹	۴۶	نامعلوم
۷	۱	۲۰۰۲	۱	وزش بادگرم	۱٤	۳	۲۰۰۹	۸	نامعلوم
۲۸	۱	۲۰۰۲	۷	نامعلوم	۲۹	۳	۲۰۰۹	۴۰	نامعلوم
۲	۱	۲۰۰۳	۱۰	نامعلوم و شکارچیان	۷	۱۲	۲۰۱۰	٥	نامعلوم
٤	۲	۲۰۰۳	۱۱	باد شدید و عمدی	۱۰	۱۲	۲۰۱۰	۴	نامعلوم
۳	۲	۲۰۰۳	۴	نامعلوم و عمدی	۱۱	۱۲	۲۰۱۰	۱۰۰	نامعلوم
٦	٤	۲۰۰۳	۱۴۷	توسط شکارچیان	۱۲	۱۲	۲۰۱۰	۱۰۰	نامعلوم
۲۳-۲۲	۱	۲۰۰٤	۱۸	نامعلوم	۱۳	۱۲	۲۰۱۰	۲۰	نامعلوم

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

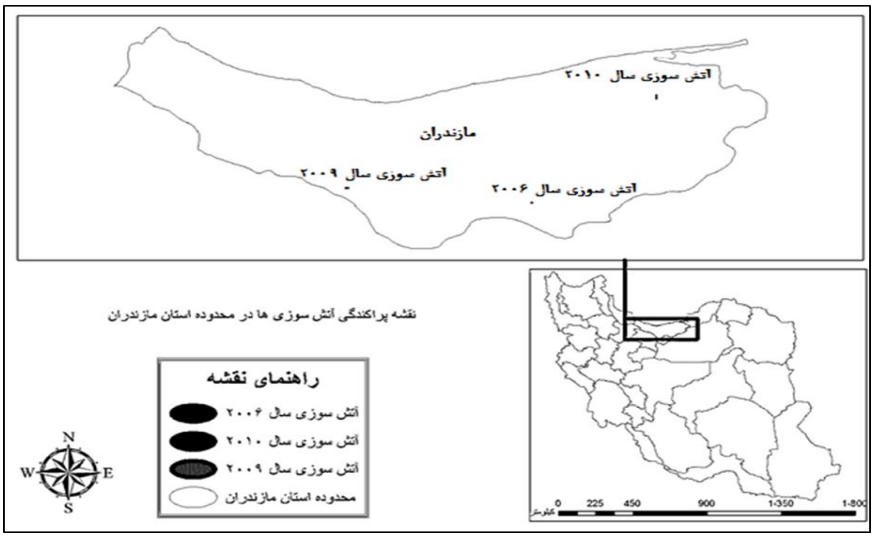
در پژوهش حاضر از داده‌های سنجنده‌ی مودیس ماهواره‌ی Terra استفاده شده است. این سنجنده در ۳۶ باند طیفی در طول موج‌های ۱۴/۴-۰/۴ میکرومتر در محدوده‌های مرئی تا مادون قرمز حرارتی و با تفکیک‌های مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر از زمین تصویربرداری می‌کند. تصاویر سنجنده‌ی MODIS از روز آتش‌سوزی و روزهای قبل و بعد آتش‌سوزی و در زمان‌هایی که ابر زیادی در تصویر وجود داشت، تصاویر دو روز قبل و بعد که منطقه‌ی مازندران را شامل می‌شد اخذ و پردازش گردید. تصاویر محصول یک کیلومتری MOD۰۲۱KM در مقیاس روزانه از سنجنده‌ی مودیس ماهواره ترا به صورت HDF[۱] از سایت rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/realtime تهیه شد.

در جدول شماره‌ی ۲ مشخصات آتش‌سوزی‌ها از جمله زمان شروع و پایان، کاربری محل، مساحت و تعداد تصاویر پردازش‌شده برای هر مورد آتش درج شده است.

جدول ۲: مشخصه‌های مناطق سوخته و تعداد تصاویر پردازش‌شده برای هر مورد آتش

ردیف	نام محل	زمان شروع	زمان پایان	مساحت (ha)	کاربری محل	تعداد تصاویر پردازش‌شده	نتیجه پردازش برای شناسایی آتش
۱	منطقه‌ی البرز	۱۹۹۵/۴/۲	۱۹۹۵/۴/۲	۱۳	جنگل	-	-
۲	منطقه‌ی البرز	۱۹۹۶/۲/۹	۱۹۹۶/۲/۹	۵۰	جنگل	-	-
۳	منطقه‌ی البرز	۲۰۰۰/۱/۱۸	۲۰۰۰/۱/۱۸	۵	جنگل	-	-
۴	منطقه‌ی البرز	۲۰۰۱/۱/۲	۲۰۰۱/۱/۲	۳	جنگل	-	-
۵	منطقه‌ی البرز	۲۰۰۲/۱/۲۸	۲۰۰۲/۱/۲۸	۷	جنگل	-	-
۶	منطقه‌ی البرز	۲۰۰۳/۲/۴	۲۰۰۳/۲/۴	۱۱	جنگل	۸	۹۰٪ ابری ـ عدم شناسایی
۷	منطقه‌ی البرز	۲۰۰۵/۱۲/۱۶	۲۰۰۵/۱۲/۱۶	۲۷	جنگل	۸	۹۵٪ابری ـ عدم شناسایی
۸	سوادکوه	۲۰۰۶/۳/۸	۲۰۰۶/۳/۸	۵۴	جنگل	۱۳	شناسایی آتش
۹	نور	۲۰۰۹/۳/۹	۲۰۰۹/۳/۹	۴۲	جنگل	۱۳	شناسایی آتش
۱۰	بهشهر	۲۰۱۰/۱۲/۱۲	۲۰۱۰/۱۲/۱۲	۱۰۰	جنگل	۱۳	شناسایی آتش

موقعیت مناطق آتش‌گرفته در استان مازندران به صورت واقعیت زمینی در این مطالعه استفاده شده است (شکل ۱). همچنین، تصاویر محصولات مودیس (MOOD ۰۲) به صورت واقعیت زمینی در نظر گرفته شده است. در این پژوهش، تطابق مناطق آتش‌سوزی این محصولات با نتایج مناطق شناسایی‌شده‌ی الگوریتم جهانی کشف آتش نشاندهنده دقت و اعتبار این مطالعه است.



شکل ۱: موقعیت مناطق سوخته در استان مازندران.

[۱]- Hierarchical Data Format

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

در پژوهش حاضر هفت ایستگاه سینوپتیک در سراسر مازندران به گونه‌ای که کل استان را پوشش دهد انتخاب شد. همچنین، در این پژوهش از متغیرهای اقلیمی هم چون دما، فشار، رطوبت نسبی و... استفاده گردید. ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در استان مازندران شامل ایستگاه‌های آمل، بابلسر، رامسر، ساری، نوشهر، قائم‌شهر، سیاه‌بیشه است. در جدول شماره‌ی ۳ مشخصات و ویژگی‌های جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعه‌ی مذکور شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا درج گردیده است.

جدول ۳: موقع جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌های مطالعه در طول دوره‌ی آماری ۲۰۱۰- ۱۹۹۵

ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه‌ی شمالی)	طول جغرافیایی (درجه‌ی شرقی)	ارتفاع از سطح دریا (به متر)
آمل	۳۶/۲۸	۵۲/۲۳	۲۳/۷
بابلسر	۳۶/۴۳	۵۲/۳۹	-۲۱
رامسر	۳۶/۵۴	۵۰/۴۰	-۲۰
ساری	۳۶/۳۳	۵۳	۲۳
نوشهر	۳۶/۳۹	۵۱/۳۰	-۲۰/۹
قائم‌شهر	۳۶/۲۷	۵۲/۴۶	۱۴/۷
سیاه‌بیشه	۳۶/۱۵	۵۱/۱۸	۱۸۵۵/۴

شاخص‌های هواشناسی سینوپتیک مورد استفاده در این مطالعه شامل گروه اول داده‌های دماهای حداکثر روزانه، نم نسبی و نم ویژه‌ی هفت ایستگاه هواشناسی استان مازندران است که از اداره‌ی کل هواشناسی استان مازندران اخذ گردید. گروه دوم داده‌ها داده‌های مربوط به ویژگی‌های دینامیک و ترمودینامیک جو هستند که از سایت www.cdc.noaa.gov تهیه شد. داده‌ها شامل فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، باد مداری، باد نصف‌النهاری و دماست.

در این پژوهش آتش‌سوزی‌هایی در نظر گرفته شد که وسعت آن‌ها بیشتر از ۲ هکتار بود. تعداد این قبیل آتش‌سوزی‌ها در منطقه‌ی مطالعه به ۴۵ مورد می‌رسد. برای وقوف از نقش اقلیم و عوامل جوی سینوپتیک مقیاس نقشه‌های سینوپتیک ۴۵ روز مورد مطالعه ترسیم شد. از میان روزهای مورد نظر ۱۰ روزی برای تحلیل سینوپتیک انتخاب گردید که در آن عامل آتش‌سوزی جنگل‌های مازندران بر اثر نقش مستقیم یا غیر مستقیم فعل و انفعالات جوی (به ویژه وزش دمایی گرم) به وقوع پیوسته بود. روش و رویکرد اقلیم‌شناختی این مطالعه رویکرد محیطی به گردشی است. در این رویکرد، آرایش الگوها و ابعاد سینوپتیک مخاطرات اقلیمی حادث‌شده بر روی سطح زمین در نقشه‌های تراز دریا و سطوح فوقانی و میانی جو ریشه‌یابی می‌شوند. بر مبنای این رویکرد، ابتدا نقشه‌های جوی کل ۴۵ روز ترسیم گردید و از میان روزهای یادشده روزهایی که وضعیت جو می‌توانست در ایجاد آتش‌سوزی مؤثر باشد برای مطالعه انتخاب و تجزیه و تحلیل شد

در بین ۱۰ مورد آتش‌سوزی ذکرشده در بالا، که منشأ آب‌وهوایی داشتند، برای ۵ مورد آن‌ها تصویر تهیه شد و به علت محدودیت‌هایی مانند وجود ابر فقط برای ۳ مورد آتش‌سوزی آن هم برای یک و دو روز قبل و بعد رخداد آتش‌سوزی در سال‌های (۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۰) عملیات پردازش و تحلیل انجام شد. در این پژوهش، از فایل راهنمای مودیس[۱] برای تصحیح هندسی استفاده گردید. همچنین، با توجه به داده‌های جانبی و کالیبراسیون همراه تصاویر (تصاویر Latitude و Longitude) و در نظر گرفتن ۲۵۰۰ نقطه‌ی کنترل زمینی (۵۰ نقطه‌ی کنترلی در راستای هر محور افقی و ۵۰ نقطه‌ی کنترلی در راستای هر محور عمودی) و استفاده از روش Triangulation و بازسازی نزدیک‌ترین همسایه در نرم‌افزار ENVI، تصاویر زمین مرجع‌سازی شد. در این تحقیق، از روش آزمون زمینه‌ای و از

[۱]- hrader

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

رابطه‌های شماره‌ی ۱ تا ۶ استفاده شد. مراحل انجام این الگوریتم به صورت خلاصه به شرح زیر است. در جدول شماره‌ی ۴ مقادیر اصلاح‌شده این الگوریتم متناسب با ویژگی منطقه (بومی‌سازی الگوریتم)، در این پژوهش، برای دستیابی به نتایج بهتر امده است.

جدول۴: تغییرات انجام‌شده الگوریتم جهانی کشف آتش متناسب با ویژگی منطقه‌ی مطالعه

عنوان	ΔT برای شناسایی سلول دارای پتانسیل آتش در تصویر روز	T۴ برای شناسایی سلول دارای پتانسیل آتش در تصویر روز	ρ ۰.۸۶ برای شناسایی سلول دارای پتانسیل آتش در تصویر روز	T۴ برای شناسایی سلول آتش در تصویر روز
الگوریتم جهانی کشف آتش	ΔT>۱۰k	T۴>۳۱۰k	ρ ۰.۸۶<۰.۳	T۴>۳۶۰k
الگوریتم جهانی کشف آتش اصلاح‌شده برای آتش‌سوزی تاریخ ۲۰۰۶/۳/۸	ΔT>۹k	T۴>۳۰۰k	ρ ۰.۸۶<۰.۱۵	T۴>۳۱۰k
الگوریتم جهانی کشف آتش اصلاح‌شده برای آتش‌سوزی تاریخ ۲۰۰۹/۳/۹	ΔT>۱۱.۵k	T۴>۳۰۰k	ρ ۰.۸۶<۰.۳	T۴>۳۰۵k
الگوریتم جهانی کشف آتش اصلاح‌شده برای آتش‌سوزی تاریخ ۲۰۱۰/۱۲/۱۲	ΔT>۱۰k	T۴>۳۰۰k	ρ ۰.۸۶<۰.۳	T۴>۳۱۱k

۱- ماسک ابر و آب: ابتدا با استفاده از محصولات MODIS بخش آب ماسک می‌شود. ماسک ابر در روز و شب به ترتیب با روابط ۳-۲ و ۳-۳ انجام شد.

$$(\rho\ ۰.۶۵+\rho\ ۰.۸۶ > ۰.۹) \text{ or } (T۱۲ < ۲۶۵K) \text{ or } (\rho\ ۰.۶۵+\rho\ ۰.۸۶ > ۰.۷ \text{ and } T۱۲ < ۲۸۵K) \quad (۱)$$

$$T۱۲ < ۲۶۵K \quad (۲)$$

اجزای این رابطه‌ها به همراه باندهای مورد استفاده در الگوریتم، در جدول شماره‌ی ۵ درج شده است. K درجه‌ی حرارت بر اساس واحد کلوین است.

۲- شناسایی سلول‌های دارای پتانسیل آتش: در تصاویر روز وشب به ترتیب با روابط ۳ و ۴ سلول‌های دارای پتانسیل آتش شناسایی می‌شوند.

$$T۴ > ۳۱۰K \text{ and } \Delta T > ۱۰K \text{ and } \rho\ ۰.۸۶ < ۰.۳ \quad (۳)$$

$$T۴ > ۳۰۵K \text{ and } \Delta T > ۱۰K \quad (۴)$$

بعد از شناسایی سلول‌های دارای پتانسیل آتش، باقی سلول‌ها غیر آتش خواهند بود.

۳- آزمون حد آستانه مطلق: آزمون حد آستانه‌ی مطلق بر روی سلول‌های دارای پتانسیل آتش انجام می‌شود. در صورت احراز شرایط این آزمون سلول‌ها آتش محسوب می‌شوند.

آزمون حدآستانه‌ی مطلق برای تصاویر روز و شب به ترتیب با روابط ۵ و ۶ انجام می‌شوند

$$T۴ > ۳۶۰\ K \quad (۵)$$

$$T۴ > ۳۲۰\ K \text{ and Solar Zenith Angle} \geq ۸۵^\circ \quad (۶)$$

جدول شماره‌ی ۵ باندهای سنجنده‌ی مودیس است که در الگوریتم جهانی کشف آتش مورد استفاده قرار گرفت. این جدول شامل علامت‌های باند در الگوریتم، کمیت مورد استفاده و طول موج مرکزی است.

جدول ۵ : باندهای سنجنده‌ی MODIS مورد استفاده در الگوریتم جهانی کشف آتش (Giglio et al.,۲۰۰۳)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

هدف	طول موج مرکزی (میکرومتر)	شماره‌ی باند	علامت باند در الگوریتم	کمیت مورد استفاده
جلوگیری از هشدار اشتباه بر اثر نور خورشید و سواحل، ماسک ابر	۰.۶۵	۱	$\rho_{۰.۶۵}$	DN
جلوگیری از هشدار اشتباه بر اثر نور خورشید و سواحل، ماسک ابر	۰.۸۶	۲	$\rho_{۰.۸۶}$	DN
جلوگیری از هشدار اشتباه بر اثر نور خورشید و سواحل و درخشش سطح زمین‌های لخت	۲.۱	۷	$\rho_{۲.۱}$	DN
کانال با محدوده (دامنه) بالا برای کشف آتش و بررسی خصوصیات آن	۳.۹۶	۲۱	$T_۴$	درجه‌ی حرارت روشنایی[1] استخراج شده از DN
کانال با محدوده (دامنه) کم برای کشف آتش و بررسی خصوصیات آن	۳.۹۶	۲۲	$T_۴$	درجه‌ی حرارت روشنایی استخراج شده از DN
کشف آتش و ماسک ابر	۱۱.۰	۳۱	$T_{۱۱}$	درجه‌ی حرارت روشنایی استخراج شده از DN
ماسک ابر	۱۲.۰	۳۲	$T_{۱۲}$	درجه‌ی حرارت روشنایی استخراج شده از DN

۴- آزمون زمینه: این آزمون درباره‌ی سلول‌هایی انجام می‌شود که دارای پتانسیل آتش‌اند و حائز شرایط آزمون حد آستانه‌ی مطلق نشدند. در این آزمون پنجره‌ای با مرکزیت سلول دارای پتانسیل آتش بر روی سلول‌های پیرامون آن که معتبر باشد (سلول‌هایی که جزو کلاسه‌ی ابر و آب نباشد، روی زمین باشند و ارزش آن در تصویر اصلی از بین نرفته باشد) تشکیل و به منظور محاسبه‌ی شاخص‌هایی برای آزمون زمینه استفاده می‌شود. پنجره با اندازه‌ی ۳×۳ شروع می‌شود و می‌تواند تا ۲۱×۲۱ ادامه پیدا کند. با شناسایی حداقل ۸ سلول معتبر در پنجره، گسترش پنجره متوقف می‌شود. اگر حداقل سلول معتبر شناسایی شود، آماره‌های میانگین انحراف مطلق[2] برای باندهای ۲۱، ۳۱، وΔT در پنجره‌ی مربوط محاسبه و آزمون انجام می‌شود. در این پژوهش به علت این‌که موقعیت زمینی آتش‌سوزی‌ها در دسترس نبود از سایت مودیس، که سایت معتبری نیز است، استفاده گردید.

۵- رد هشدار اشتباه: بازتابش نور خورشید از محیط‌های آبی، خاک‌های خیس[3]، ابرهای سیروس و در مواردی نادر از خاک‌های لخت و مناطق بیابانی و سواحل دریا در روز می‌توانند موجب هشدار اشتباه شوند. این مرحله بر اساس مدل ارائه شده گیگلیو و همکاران (۲۰۰۳) انجام شد.

برای رد هشدار اشتباه در الگوریتم جهانی کشف آتش از رابطه‌ی ۳-۸ استفاده شده است.

$$\rho_{۲.۱} < ۰.۰۵ \text{ and } \rho_{۰.۸۶} < ۰.۱۵ \text{ and can NDVI} < ۰ \qquad (۷)$$

که در این رابطه $\rho_{۲.۱}$ بازتاب در باند ۷، $\rho_{۰.۸۶}$ بازتاب در باند ۲ و NDVI شاخص نرمال شده پوشش گیاهی است. اگر پیکسلی هر سه شرط را با هم داشت، هشدار اشتباه محسوب می‌شود و نباید آن را به دلیل بازتاب آینه‌ای و بیش از اندازه بر اثر زاویه خورشیدی و... پیکسل آتش محسوب نمود.

۶- طبقه‌بندی نهایی و محاسبه‌ی درصد اطمینان: بر اساس پردازش‌های انجام‌شده در مراحل قبل، پیکسل‌های تصویر به کلاسه‌های آتش، غیر آتش، بدون داده[4]، ابر، آب و ناشناخته طبقه‌بندی و در نهایت میزان درصد اطمینان[5] برای یکایک پیکسل‌های آتش شناسایی‌شده محاسبه گردید. از آن‌جا که پیکسلی با دماهای مختلفی می‌تواند به صورت پیکسل آتش شناسایی شود و از سوی دیگر پیکسل‌های ابر و آب محیط مجاور نیز در گذر روز انعکاس زیاد دارند و می‌توانند باعث طبقه‌بندی پیکسل به آتش شده باشند، کمیت اطمینان محاسبه می‌شود. زیاد بودن دما سبب افزایش

۱ .Brightness Temperature
۲ . Mean Absolute Deviation
۳ . Wet Soils
۴ . Missing Data
۵. confidence

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

اطمینان، ولی تعداد زیاد پیکسل‌های ابر و آب سبب کاهش اطمینان می‌شود. بر این اساس روش محاسبه‌ی میزان اطمینان در گذرهای روز و شب متفاوت است (Giglio et al., ۲۰۰۳).

کمیت اطمینان را نمی‌توان معیاری برای صحت دانست و تنها راهنمایی برای کاربر برای تحلیل بهتر فرآیند تجزیه و تحلیل است.

برای محاسبه‌ی درصد اطمینان از رابطه‌های زیر استفاده شده است.

دو شاخص $Z_۴$ و ZΔT به صورت زیر تعریف می‌گردند که در این رابطه‌ها $T_۴$ دمای پیکسل آتش در باند ۲۲ مودیس، $\bar{T}_۴$ میانگین پیکسل در باند ۲۲، $\delta_۴$ انحراف معیار داده‌ها در باند ۴ و همین‌طور ΔT از تفریق باندهای $T_۴$_$T_{۱۱}$ به دست می‌آید. همچنین، $\overline{\Delta T}$ میانگین داده‌های موجود در تصویر ΔT و $\delta_{\Delta T}$ انحراف معیار دما در تصویر ΔT است.

$$Z_۴=\frac{T_۴-\bar{T}_۴}{\delta_۴} \quad (۸)$$

$$Z\Delta T=\frac{\Delta T-\overline{\Delta T}}{\delta_{\Delta T}} \quad (۹)$$

در این قسمت از رابطه‌ی ۱۰ استفاده شده است که مقدار نمره‌ی z آن بین ۰ و ۱ است که صفر عدم اطمینان و یک حداکثر اطمینان است و از شاخص‌های $C_۱$ تا $C_۵$ در این روابط به کار برده شد.

$$S(x;\alpha,\beta)=\begin{cases} O; & X\leq\propto \\ (X-\propto)/(\beta-\propto); & \propto< x<\beta \\ ۱; & x\leq\beta \end{cases} \quad (۱۰)$$

$$C_۱=S(T_۴;۳۱۰K,۳۴۰K) \quad (۱۱)$$

$$C_۲=S(Z_۴;۲.۵,۶) \quad (۱۲)$$

$$C_۳=S(Z_{\Delta T};۳,۶) \quad (۱۳)$$

$$C_۴=۱-S(N_{ac};۰,۶) \quad (۱۴)$$

$$C_۵=۱-S(N_{aw};۰,۶) \quad (۱۵)$$

در رابطه‌ی ۱۱، ۳۱۰ کلوین حداقل دمای روشنایی برای پیکسل آتش و ۳۴۰ کلوین ارزش منطقی برای آتش‌سوزی است. در رابطه‌ی ۱۲، $Z_۴ = ۲.۵$ حداقل مقدار پیکسل لازم برای شناسایی آتش و همین‌طور $Z_۴ = ۶$ مقدار معقول پیکسل برای شناسایی آتش است. در رابطه‌ی ۱۴ و ۱۵ N_{ac} تعداد پیکسل‌هایی است که ابر هستند و به صورت پیکسل آتش معرفی می‌شوند. همین‌طور، N_{aw} تعداد پیکسل‌هایی‌اند که آب هستند و به صورت پیکسل آتش معرفی می‌شوند.

با توجه به شاخص‌های به دست آمده و جایگزینی آن‌ها درصد اطمینان آتش‌سوزی به ترتیب برای تصویر روز (رابطه‌ی ۱۶) و شب (رابطه‌ی ۱۷) محاسبه می‌گردد.

$$C=\sqrt[۵]{C_۱\,C_۲\,C_۳\,C_۴\,C_۵} \quad (۱۶)$$

$$C_۱=S(T_۴;۳۰۵K,۳۲۰K) \quad (۱۷)$$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

برای مشخص کردن تأثیر دما سطحی در آتش‌سوزی‌های رخداده در منطقه‌ی مطالعه، نقشه‌ی دمای سطحی تهیه گردید.

برای محاسبه‌ی دمای سطح زمین از روش چند باندی استفاده گردید (رابطه‌ی ۱۸). در این روش از چند باند مادون قرمز حرارتی برای محاسبه‌ی دما استفاده شده و اندازه‌گیری در زمان شب و روز صورت گرفت (وجه تسمیه‌ی روش شب و روز به این دلیل است). برای به دست آوردن دمای سطحی از باندهای ۳۱ و ۳۲ استفاده شده است.

محاسبه دما با استفاده از رابطه زیر صورت گرفت:

$$T_s = ۰.۳۹(Ts_{۳۱})^{۲} + ۲.۳۵(Ts_{۳۱})_۰.۷۸(Ts_{۳۱})_۰.۷۸(Ts_{۳۱})(Ts_{۳۲})_۱.۳۴(Ts_{۳۲})^{۲} + ۰.۵۶ \qquad (۱۸)$$

در این رابطه، T_s دمای سطحی و $Ts_{۳۱}$ و $Ts_{۳۲}$ میزان دمای سطحی در باندهای ۳۱ و ۳۲ است. دمایی که حاصل می‌شود به درجه‌ی کلوین است که باید به درجه‌ی سانتیگراد تبدیل شود. شاخص پوشش گیاهی به طور گسترده معیارهایی برای تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش اراضی از جمله پوشش گیاهی و شاخص‌های دیگر است. یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی NDVI است.

برای تحلیل آب‌وهوایی آتش‌سوزی‌ها مشخصات اقلیمی برای هر ۵ مورد آتش‌سوزی جنگل (که منشأ آب‌وهوایی داشتند از جمله شاخص‌هایی مانند حداکثر دمای روزانه و رطوبت نسبی) بررسی شد. با استفاده از نرم‌افزار OpenGRADS و داده‌هایی که از مرکز پیش‌بینی‌های محیطی موسوم به NCEP در مرکز ملی اقیانوس و جو (NOAA) تهیه شد، بر`ای سه تاریخ آتش‌سوزی مورد مطالعه (آتش‌سوزی مربوط به سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰) نقشه‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، نقشه‌ی دمای بیشینه‌ی روزانه‌ی ۲ متری سطح زمین و نقشه‌ی وزش دمایی برای ترازهای مختلف تهیه و تحلیل گردید.

شرح و تفسیر نتایج

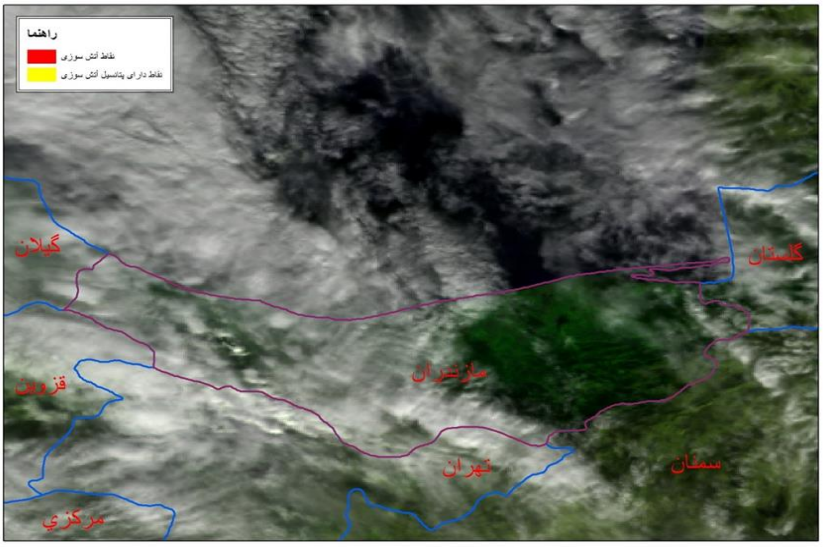
آتش‌سوزی چهارم فوریه‌ی ۲۰۰۳

در روز چهارم فوریه‌ی ۲۰۰۳ آتش‌سوزی به مساحت ۱۱ هکتار در جنگل‌های مازندران به وقوع پیوست. در این روز، میانگین حداکثر دمای روزانه در استان مازندران ۲۲/۵ درجه‌ی سانتیگراد و حداقل رطوبت نسبی ۳۶ درصد بود. میانگین بلندمدت حداکثر دمای روزانه و حداقل رطوبت نسبی در استان مازندران در روز مذکور به ترتیب برابر ۱۳/۵ درجه‌ی سانتیگراد و ۶۵ درصد بود. با وجود این، در روز مذکور دمای بیشینه‌ی ۹ درجه‌ی سانتیگراد دارای ناهنجاری مثبت و نم نسبی دارای ۲۹ درصد ناهنجاری منفی است. در روز مذکور از نظر کمیت عناصر اقلیمی (گرما و خشکی هوا) محیط کاملاً برای آتش‌سوزی جنگل مساعد بود.

در این پژوهش با توجه به شکل شماره‌ی ۲ الگوریتم جهانی کشف آتش برای تاریخ آتش‌سوزی سال ۲۰۰۳ اعمال شد (ساعت ۱۱:۲۵). اما همان طور که در شکل مذکور می‌بینید به دلیل پوشش ابر وسیعی که منطقه‌ی استان را پوشانده هیچ گونه آتش‌سوزی در محدوده‌ی مطالعه شناسایی نگردید. بنابراین نقاط آتش‌سوزی در زیر پوشش ابر قرار دارند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

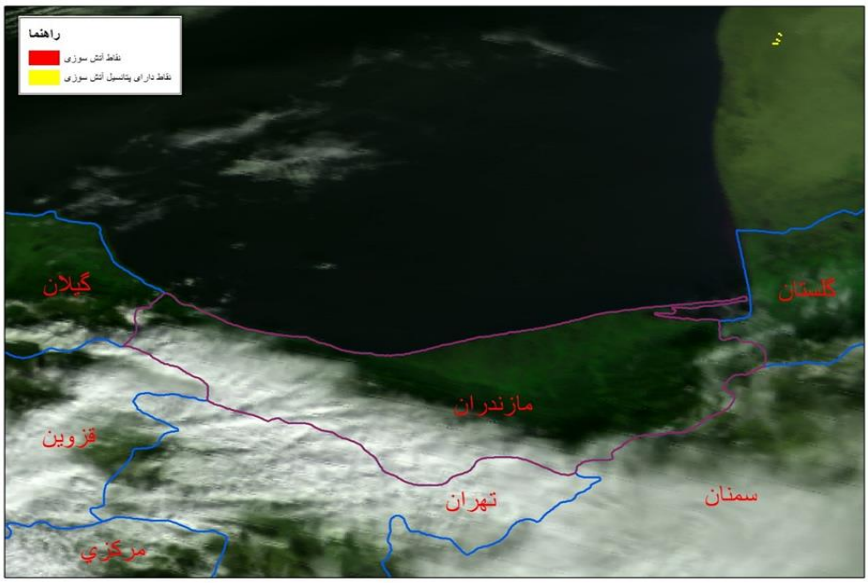
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]



شکل ۲: عدم شناسایی آتش سال ۲۰۰۳ در تصویر ماهواره‌ای مودیس به دلیل پوشش ابرِ الگوریتم جهانی کشف آتش.

در روز شانزدهم دسامبر ۲۰۰۵ آتش‌سوزی به مساحت ۲۷ هکتار در جنگل‌های مازندران به وقوع پیوست. در این روز میانگین حداکثر دمای روزانه در استان مازندران ۲۲/۵ درجه‌ی سانتیگراد و رطوبت نسبی ۴۶ درصد بود. میانگین بلندمدت حداکثر دمای روزانه و حداقل رطوبت نسبی در استان مازندران در روز هشتم مارس به ترتیب برابر ۱۲/۷ درجه‌ی سانتیگراد و ۶۸ درصد بود. با وجود این در روز مذکور دمای بیشینه‌ی ۹/۸ درجه‌ی سانتیگراد دارای ناهنجاری مثبت و نم نسبی دارای ۲۲ درصد ناهنجاری منفی است. بنابراین در روز مذکور نیز محیط برای آتش‌سوزس جنگل مساعد بود.

با توجه به شکل شماره‌ی ۳ الگوریتم جهانی کشف آتش برای تاریخ آتش‌سوزی سال ۲۰۰۵ اعمال شد (ساعت ۱۰:۴۵). اما به دلیل پوشش ابر وسیعی که منطقه‌ی استان را پوشانده هیچ گونه آتش‌سوزی در محدوده‌ی مطالعه شناسایی نگردید. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت نقاط آتش‌سوزی در زیر پوشش ابر قرار دارند.



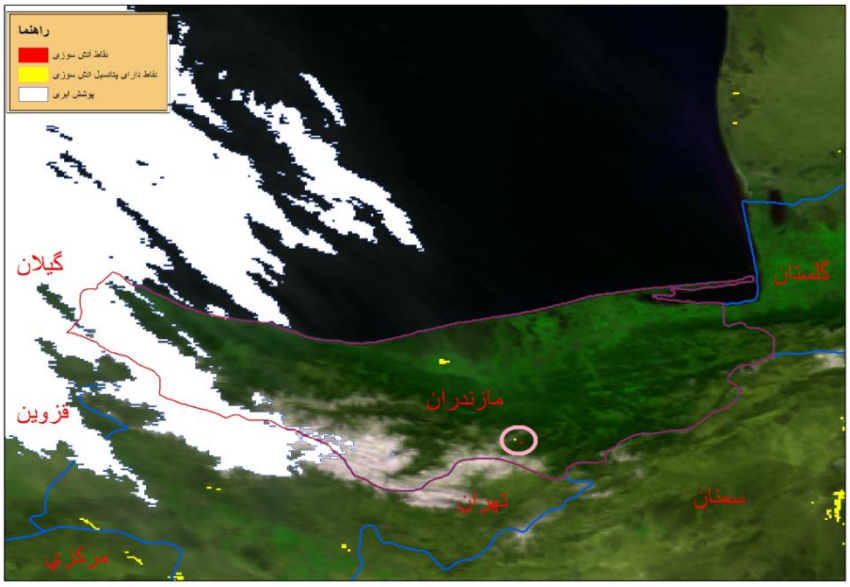
شکل ۳: عدم شناسایی آتش سال ۲۰۰۵ در تصویر ماهواره‌ای مودیس به دلیل پوشش ابرِ الگوریتم جهانی کشف آتش.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

آتش‌سوزی هشتم مارس ۲۰۰۶

در روز هشتم مارس ۲۰۰۶ آتش‌سوزی به مساحت ۵۴ هکتار در جنگل‌های مازندران به وقوع پیوست. در این روز میانگین حداکثر دمای روزانه در استان مازندران ۲۷ درجه‌ی سانتیگراد و حداقل رطوبت نسبی ۲۵ درصد بود. میانگین بلندمدت حداکثر دمای روزانه و حداقل رطوبت نسبی در استان مازندران در روز هشتم مارس به ترتیب برابر ۱۴ درجه‌ی سانتیگراد و ۷۳ درصد بود. بنابراین در روز مذکور دمای بیشینه‌ی ۱۳ درجه‌ی سانتیگراد دارای ناهنجاری مثبت و نم نسبی دارای ۴۸ درصد ناهنجاری منفی است. در کل، این روز از نظر کمیت عناصر اقلیمی (مثل شرایط خشکی و گرمای هوا) کاملاً محیطی مساعد برای آتش‌سوزی جنگل است.

در شکل شماره‌ی ۴، آتش‌سوزی جنگل با الگوریتم جهانی کشف آتش در منطقه‌ی جنوب سوادکوه (۵۲.۸ درجه‌ی شرقی و ۳۶ درجه‌ی شمالی) در ساعت ۱۰:۳۵ با تصویر MOD۰۲ مودیس شناسایی شد. مساحت این آتش‌سوزی ۵۴ هکتار است که در شکل زیر تقریباً یک پیکسل را شامل می‌گردد. برای روز قبل و بعد تاریخ رخداد آتش‌سوزی نیز الگوریتم جهانی کشف آتش اجرا شد، اما آتش‌سوزی‌ای وجود نداشت. همان طور که در راهنمای نقشه آمده است، نقاط قرمز سلول آتش‌سوزی است و نقاط زرد سلول‌های دارای پتانسیل آتش‌اند. منظور از سلول دارای پتانسیل آتش سلول‌هایی است که شروط مربوط به آن را دارا باشند (رابطه‌ی ۳). اگر هر سلول این شروط را با هم داشته باشد، دارای پتانسیل آتش‌سوزی است و باقی سلول‌ها نیز غیر آتش خواهند بود. بعد از آزمون حد آستانه‌ی مطلق که بر روی سلول‌های دارای پتانسیل آتش انجام می‌شود، در صورت احراز شرایط این آزمون (رابطه‌ی ۵) سلول‌ها آتش محسوب می‌شوند. با توجه به این شکل در نزدیکی پیکسل آتش‌سوزی، چند پیکسل دارای پتانسیل آتش نیز شناسایی شده است که نشان‌دهنده‌ی حرارت بالا در آن منطقه است. در این تصویر به دلیل وجود ابر در ناحیه‌ی شمال غرب تصویر، استخراج پوشش ابری نیز صورت گرفته است.



شکل ۴: منطقه‌ی آتش‌سوزی سال ۲۰۰۶ در تصویر ماهواره‌ای مودیس با استفاده از الگوریتم جهانی کشف آتش.

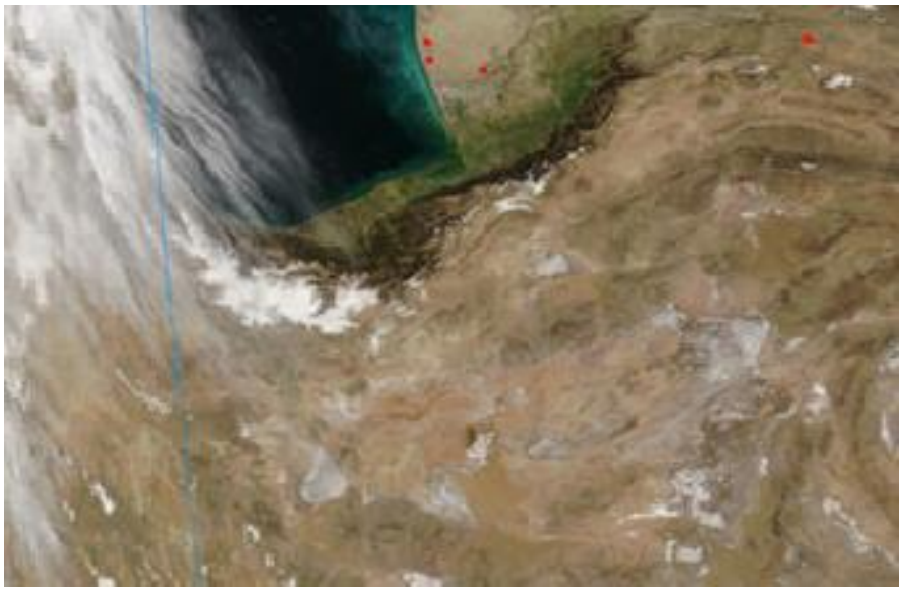
همچنین، نقشه‌ی دمای سطحی زمین برای روز قبل و بعد و خود روز آتش‌سوزی تهیه شد که در قسمت غرب مازندران به طرف جنوب و شرق (به جز مناطق ابری) کاملاً افزایش دمای سطحی مشهود است. این جریان احتمالاً ادامه‌ی همان پرفشاری است که از شمال آفریقا به سمت استان مازندران آمده و با خود هوای گرم و خشک را (موج گرما) را به همراه آورده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

با بررسی آمار آتش‌سوزی‌های اخذ شده از اداره‌ی منابع طبیعی استان مازندران می‌توان نتیجه گرفت که در این دوره‌ی آماری برای اکثر سال‌ها، بدون در نظر گرفتن علت رخداد آن، آتش‌سوزی اتفاق افتاده است. برای نمونه، در سال ۲۰۱۰ برای ماه دسامبر ۵ مورد و در سال ۲۰۰۹ که بیشتر در ماه مارس آتش‌سوزی اتفاق افتاده ۴ مورد که این رخدادها بیانگر وجود خشکسالی در این سال‌های متمادی است. برای مقایسه‌ی پوشش گیاهی و دمای سطحی نیاز به یک سال مرطوب‌تر نسبت به زمان سه رخداد آتش‌سوزی مورد مطالعه هستیم. برای حل این مشکل، سال ۲۰۰۴ با توجه به شاخص‌های اقلیمی (و این‌که فقط یک مورد آتش‌سوزی با وسعت کم در این سال رخ‌داده است) برای مقایسه‌ی سه مورد آتش‌سوزیِ ماه مارس و دسامبر انتخاب گردید. با ترسیم و مقایسه‌ی اشکال دمای سطحی مربوط به روز آتش‌سوزی و قبل و بعد آن با تصویر مربوط به سال مرطوب (مارس ۲۰۰۴) متوجه خواهیم شد که در سال ۲۰۰۴ به علت شرایط اقلیمی مناسب دمای سطحی کمتری نسبت به سال ۲۰۰۶ وجود داشت. بنابراین در سال ۲۰۰۶ به علت وجود دمای بالا یکی از زمینه‌های آتش‌سوزی که همان گرما است، فراهم بوده است.

شکل شماره‌ی ۵ تصویر محصول مودیس برای روز آتش‌سوزی است. اما همان طور که مشخص است آتشی برای این روز روئیت نشده است. این در حالی است که در روز قبل آن، در تصویر محصول مودیس، آتش‌سوزی و حتی دود حاصل از آن نمایان است (شکل ۶). روزهای قبل‌تر و بعدتر نیز بررسی شد که آتش‌سوزی‌ای مشاهده نگردید.

همان طور که ذکر شد، در تصویر محصول مودیس برای تاریخ روز رخداد آتش‌سوزی که سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور گزارش داده بود آتش‌سوزی‌ای مشاهده نگردید. اما با اعمال الگوریتم جهانی کشف آتش برای روز مذکور (هشتم مارس) مکان آتش‌سوزی شناسایی شد (شکل ۴). این مکان مطابق با تصویر محصول مودیس برای روز قبل از آتش‌سوزی است. احتمالاً دلیل عدم شناسایی آتش‌سوزی در روز هشتم با محصول مودیس حرارت پایین آتش بوده است، چرا که با توجه به وجود آتش در تصویر محصول مودیس برای روز قبل، آتش‌سوزی از روز قبل شروع گشته و در روز هشتم دارای حرارت پایین‌تری بوده که تشخیص نگردیده است. با تغییر الگوریتم جهانی کشف آتش با شاخص‌های اقلیمی منطقه، موفق به شناسایی آن در روز هشتم شدیم و می‌توان گفت که اداره‌ی منابع طبیعی استان مازندران باید تاریخ شروع این آتش‌سوزی را یک روز قبل‌تر یعنی هفتم مارس می‌نوشتند.



شکل ۵: تصویر محصول مودیس برای آتش‌سوزی تاریخ ۲۰۰۶/۳/۸.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

شکل ۶: تصویر محصول مودیس برای یک روز قبل از آتش‌سوزی ۲۰۰۶/۳/۷.

شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی برای روز قبل و بعد و خود روز رخداد آتش‌سوزی تهیه شد که در ناحیه‌ی آتش‌سوزی (جنوب سوادکوه) سبزینگی پوشش گیاهی کمتر و مقدار شاخص پوشش گیاهی در نواحی شمالی و شمال غرب بیشتر و به طرف جنوب و غرب استان مازندران کاهش یافته است. با ضعیف شدن پوشش گیاهی شرایط برای آتش‌سوزی ایجاد می‌گردد.

با ترسیم شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی، همان طور که ذکر گردید، ماه مارس سال ۲۰۰۴ سالی مرطوب‌تر از سال ۲۰۰۶ است. میزان سبزینگی پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۴ بیشتر از سبزینگی در سال ۲۰۰۶ است که گواه ضعیف بودن پوشش گیاهی در ماه مارس سال ۲۰۰۶ و زمینه مساعد برای شکل‌گیری آتش‌سوزی است.

مقادیر دمای سطحی و سبزینگی پوشش گیاهی برای پیکسل آتش‌سوزی در روز آتش‌سوزی و روز قبل و بعد آتش‌سوزی سال ۲۰۰۶ به دست آورده شد. با توجه به این مقادیر، برای دمای سطحی در هر سه روز آتش‌سوزی دمای بالایی را داشته‌ایم که بر اساس نقشه‌های سینوپتیک احتمالاً به دلیل بلوکه شدن هوا و استمرار هوای گرم است و برای سبزینگی پوشش گیاهی در روز آتش‌سوزی و بعد از آن کاهش داشته است.

آتش‌سوزی نهم مارس ۲۰۰۹

در روز نهم مارس ۲۰۰۹ آتش‌سوزی به مساحت ۴۶ هکتار در جنگل‌های مازندران به وقوع پیوست. در این روز میانگین حداکثر دمای روزانه در استان مازندران ۴/ ۲۳ درجه‌ی سانتیگراد و میانگین حداقل رطوبت نسبی ۵۱ درصد بود. میانگین بلندمدت حداکثر دمای روزانه و حداقل رطوبت نسبی در استان مازندران در روز نهم مارس به ترتیب برابر ۱۳ درجه‌ی سانتیگراد و ۶۷ درصد بود که بدین جهت در روز مذکور دمای بیشینه‌ی ۱۰/۴ درجه‌ی سانتیگراد دارای ناهنجاری مثبت و نم نسبی دارای ۱۶درصد ناهنجاری منفی است. در روز مذکور از نظر کمیت عناصر اقلیمی (مثل شرایط خشکی و گرمای هوا) محیط برای آتش‌سوزس جنگل مناسب بود.

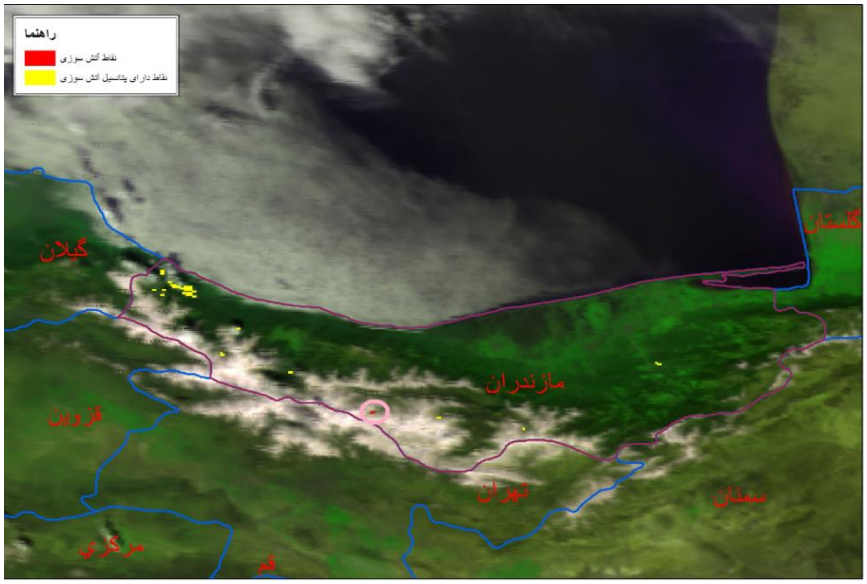
در شکل شماره‌ی ۷ آتش‌سوزی جنگل با الگوریتم جهانی کشف آتش در منطقه‌ی جنوب نور (′۴۳ °۵۱ شرقی و ′۶ °۳۶ شمالی) در ساعت ۱۰:۳۰ با تصویر MOD۰۲ مودیس شناسایی شد. برای روز قبل و بعد آتش‌سوزی نیز الگوریتم اعمال شد، اما آتشی شناسایی نگردید. مساحت این آتش‌سوزی ۴۶ هکتار است که در شکل زیرتقریباً بین دو پیکسل قرار دارد. همان طور که در راهنمای نقشه آمده است، نقاط قرمز سلول آتش‌سوزی و نقاط زرد سلول‌های دارای پتانسیل آتش است. منظور از سلول دارای پتانسیل آتش سلول‌هایی هستند که شروط مربوط به آن را دارا باشند (رابطه‌ی ۳). اگر هر سلول این شروط را با هم داشته باشد، دارای پتانسیل آتش‌سوزی است و باقی سلول‌ها نیز غیر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

آتش خواهند بود. بعد از آزمون حد آستانه‌ی مطلق که درباره‌ی سلول‌های دارای پتانسیل آتش انجام می‌شود، در صورت احراز شرایط این آزمون (رابطه‌ی ۵)، سلول‌ها آتش محسوب می‌شوند.

با توجه به شکل شماره‌ی ۷، در این تاریخ، تعداد سلول‌های دارای پتانسیل آتش‌سوزی بیشتر است که در نواحی شمال غرب و جنوب استان مازندران متمرکز شده‌اند. بنابراین نشان‌دهنده‌ی افزایش حرارت در این مناطق است. همان طور که در تصویر می‌بینیم، در قسمت‌هایی از زیر ابر سلول دارای پتانسیل آتش مشهود است که بیانگر وجود دمای بالا در نواحی ابری و توده هوای گرم و خشک است. در منطقه‌ی جنوبی نور نیز، که سلول آتش‌سوزی در آن‌جا شناسایی گردید، با افزایش حرارت به دلایل مذکور و وجود سایر عوامل ایجادکننده‌ی آتش (خشکی پوشش گیاهی و...) آتش‌سوزی رخ‌داده است.



شکل ۷: منطقه‌ی آتش‌سوزی سال ۲۰۰۹ در تصویر ماهواره‌ای مودیس با استفاده از الگوریتم جهانی کشف آتش.

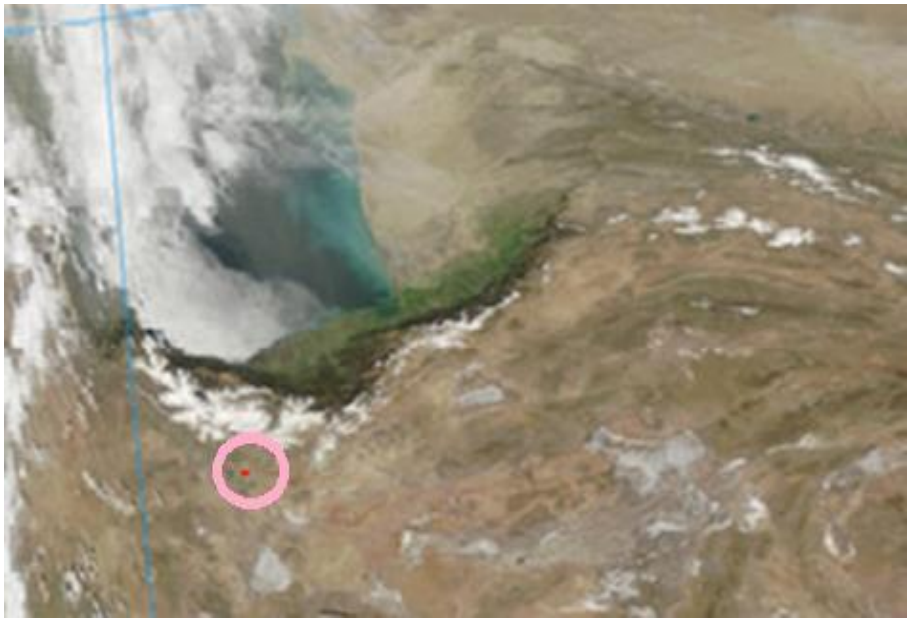
در ادامه، تصاویر دمای سطح زمین برای روزهای قبل و بعد و خود روز آتش‌سوزی تهیه شد که مناطق حداکثر دمای سطحی تقریباً در قسمت‌های جنوبی، مرکزی و غربی را شامل می‌شود و حداقل‌ها نیز بیشتر در بخش‌های شمالی و کرانه‌های دریا و شرقی است.

با تهیه‌ی دمای سطحی برای ماه مارس سال ۲۰۰۴، همان طور که ذکر گردید، نسبت به سال ۲۰۰۹ یک سال مرطوب و ترسالی است و با مقایسه‌ی آن با دمای سطحی در سال ۲۰۰۹ نتیجه گرفته شد که در سال ۲۰۰۹ تقریباً افزایش دمای سطحی بالایی را داشته‌ایم که سبب ایجاد آتش‌سوزی شده است.

شکل شماره‌ی ۸، تصویر محصول مودیس برای نهم ماه مارس سال ۲۰۰۹ است. این تصویر آتش‌سوزی شناسایی‌شده در منطقه‌ی نور است که با منطقه‌ی شناسایی‌شده‌ی الگوریتم جهانی کشف آتش در این پژوهش مطابقت دارد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]



شکل ۸: محصول مودیس برای آتش‌سوزی تاریخ ۲۰۰۹/۳/۹.

میزان پوشش گیاهی در ناحیه‌ی شمالی و تا حدودی شمال شرق در شاخص نرمال‌شده‌ی پوشش گیاهی، که برای روز قبل و بعد و روز رخداد آتش‌سوزی سال ۲۰۰۹ تهیه گردید، بالاست. اما در ناحیه‌ی جنوبی و جنوب غرب کاهش پوشش گیاهی را شاهد هستیم و درست این همان مناطقی است که در نقشه‌ی دمای سطحی دارای افزایش حرارت بودند. بنابراین، در منطقه‌ی سوادکوه یکی از دلایل رخداد آتش‌سوزی کاهش پوشش گیاهی است، که یکی از تأثیرات خشک‌سالی است.

تهیه‌ی تصویر شاخص نرمال‌شده‌ی پوشش گیاهی برای ماه مارس سال ۲۰۰۴ بیانگر این مطلب است که در این سال پوشش گیاهی وضعیت مناسب‌تری از سال ۲۰۰۹ داشت و به همین دلیل کاهش پوشش گیاهی سال ۲۰۰۹ از سال ۲۰۰۴ یکی از دلایل اصلی آتش‌سوزی در ماه مارس بود.

مقادیر دمای سطحی و سبزینگی پوشش گیاهی برای پیکسل آتش‌سوزی در روز آتش‌سوزی و روز قبل و بعد آتش‌سوزی سال ۲۰۰۹ به دست آورده شد. با توجه به این مقادیر، برای دمای سطحی در روز آتش‌سوزی افزایش دما و سبزینگی پوشش گیاهی در روز آتش‌سوزی و بعد از آن کاهش داشته است.

آتش‌سوزی دوازدهم دسامبر ۲۰۱۰

در روز دوازدهم دسامبر ۲۰۱۰ آتش‌سوزی به مساحت ۱۰۰ هکتار در جنگل‌های مازندران به وقوع پیوست. در این روز میانگین حداکثر دمای روزانه در استان مازندران ۲۶ درجه‌ی سانتیگراد و میانگین حداقل رطوبت نسبی ۳۵ درصد بود. میانگین بلندمدت حداکثر دمای روزانه و حداقل رطوبت نسبی در استان مازندران در روز دوازدهم دسامبر به ترتیب برابر ۱۲/۳ درجه‌ی سانتیگراد و ۶۸ درصد بود. بنابراین در روز مذکور دمای بیشینه‌ی ۱۳/۷ درجه‌ی سانتیگراد دارای ناهنجاری مثبت و نم نسبی دارای ۳۳ درصد ناهنجاری منفی است. مشخص است که این روز از نظر کمیت عناصر اقلیمی (مثل شرایط خشکی و گرمای هوا) برای آتش‌سوزی جنگل مساعد است.

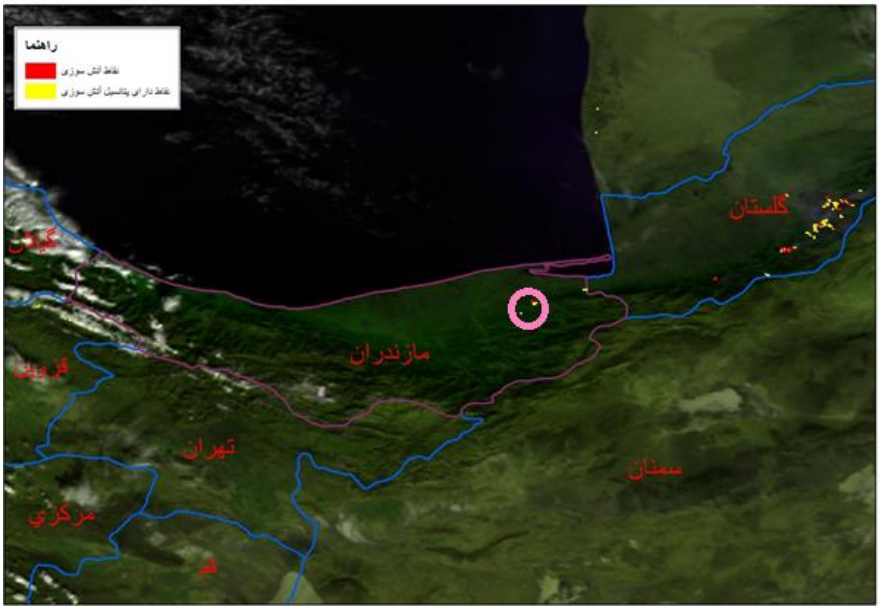
در شکل شماره‌ی ۹ آتش‌سوزی جنگل با الگوریتم جهانی کشف آتش در منطقه‌ی شرق بهشهر (۵۳.۵° شرقی و ۳۶.۶° شمالی) در ساعت ۱۱ با تصویر MOD۰۲ مودیس شناسایی شد. مساحت این آتش‌سوزی ۱۰۰ هکتار است که در شکل زیر تقریباً بین دو نیم‌پیکسل قرار دارد. برای روز قبل و بعد آتش‌سوزی نیز الگوریتم کشف جهانی آتش اعمال شد و آتش‌سوزی‌ای شناسایی نگردید. همان طور که در راهنمای نقشه آمده است، نقاط قرمز سلول آتش‌سوزی است و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

نقاط زرد سلول‌های دارای پتانسیل آتش را نشان می‌دهند. منظور از سلول دارای پتانسیل آتش، سلول‌هایی هستند که شروط مربوط به آن را دارا باشند (رابطه‌ی ۳). اگر هر سلول این شروط را با هم داشته باشد، دارای پتانسیل آتش‌سوزی است و باقی سلول‌ها نیز غیر آتش خواهند بود. بعد از آزمون حد آستانه‌ی مطلق که درباره‌ی سلول‌های دارای پتانسیل آتش انجام می‌شود، در صورت احراز شرایط این آزمون (رابطه‌ی ۵)، سلول‌ها آتش محسوب می‌شوند.

همچنین، در اطراف سلول آتش‌سوزی چند سلول دارای پتانسیل آتش نیز مشاهده می‌گردد که گواه بالا بودن درجه‌ی حرارت در آن منطقه است.



شکل ۹: منطقه‌ی آتش‌سوزی سال ۲۰۱۰ در تصویر ماهواره‌ای مودیس با استفاده از الگوریتم جهانی کشف آتش.

در ادامه، تصاویر دمای سطحی زمین برای روز قبل و بعد و روز رخداد آتش‌سوزی در ماه دسامبر ۲۰۱۰ تهیه گردید که بیانگر افزایش دمای سطحی در نواحی مرکزی و جنوبی و کاهش آن در کرانه‌های دریاست.

همچنین، تصویر دمای سطحی زمین برای ماه دسامبر سال ۲۰۰۴ تهیه شد که گواه دمای سطحی پایین‌تری از سال ۲۰۱۰ است و به همین دلیل یکی از زمینه‌های اصلی آتش‌سوزی که وجود حرارت بالاست وجود ندارد. بنابراین در دسامبر ۲۰۱۰ افزایش حرارت دلیل اصلی ایجاد آتش‌سوزی در منطقه بود.

شکل شماره‌ی ۱۰ تصویر محصول مودیس برای دوازده ماه دسامبر در سال ۲۰۱۰ است. همان طور که مشخص است، آتش‌سوزی شناسایی‌شده در منطقه‌ی بهشهر است. در این پژوهش، این آتش‌سوزی با منطقه‌ی آتش‌سوزی شناسایی‌شده‌ی الگوریتم جهانی کشف آتش کاملاً مطابقت دارد. در این تصویر حتی دود حاصل از آتش‌سوزی نیز مشخص است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

شکل۱۰: محصول مودیس برای تاریخ آتش‌سوزی ۲۰۱۰/۱۲/۱۲.

با توجه به تصاویر تهیه‌شده شاخص نرمال‌شده‌ی پوشش گیاهی برای روز قبل و بعد و روز آتش‌سوزی، میزان پوشش گیاهی در ناحیه‌ی شمال شرق و، به صورت بارزتر، در ناحیه‌ی جنوب و جنوب غرب مازندران کم است. در نواحی کرانه‌های دریا و بخش‌هایی از مرکز و شمال غرب پوشش گیاهی وضعیت بهتری دارد.

شاخص پوشش گیاهی برای ماه دسامبر سال ۲۰۰۴ گواه فزونی میزان پوشش گیاهی در ماه دسامبر ۲۰۰۴ نسبت به سال ۲۰۱۰ است. بنابراین یک دلیل اصلی رخداد آتش‌سوزی در سال ۲۰۱۰ ضعف پوشش گیاهی است.

مقادیر دمای سطحی و سبزینگی پوشش گیاهی برای پیکسل آتش‌سوزی در روز آتش‌سوزی و روز قبل و بعد آتش‌سوزی سال ۲۰۱۰ به دست آورده شد. با توجه به این مقادیر، برای دمای سطحی در روز آتش‌سوزی افزایش دما و میزان سبزینگی پوشش گیاهی در روز آتش‌سوزی و بعد از آن کاهش داشته است که تأییدکننده‌ی وجود آتش‌سوزی در پیکسل مورد نظر است.

میزان دقت شناسایی آتش‌سوزی ها

با تجزیه و تحلیل تصاویر سنجنده‌ی مودیس با استفاده از الگوریتم جهانی کشف آتش سه مورد از ۱۰ مورد آتش‌سوزی گزارش‌شده از سوی سازمان جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری کشور که داده‌های آن‌ها موجود بود، در محدوده‌ی استان مازندران شناسایی شد (جدول ۶).

آتش سوزی سال ۲۰۰۶ در ساعت ۱۰:۳۵ در منطقه‌ی جنوبی سوادکوه و آتش سال ۲۰۰۹ در ساعت ۱۰:۳۰ در منطقه‌ی جنوب شهرستان نور و آتش سال ۲۰۱۰ در ساعت ۱۱ در شرق بهشهر شناسایی شدند.

در جدول شماره‌ی ۶، مشخصات آتش‌سوزی های شناسایی‌شده به همراه درجه‌ی حرارت روشنایی در باندهای ۲۱ و ۳۱ و درجه‌ی اطمینان آتش درج شده است. درجه‌ی روشنایی درجه‌ی حرارت در سطح زمین است که بر اساس باندهای حرارتی استفاده‌شده در الگوریتم محاسبه می‌شود.

جدول ۶: خصوصیات آتش‌های شناسایی‌شده به کمک تصاویر سنجنده‌ی MODIS

ردیف	ماهواره	آتش شناسایی‌شده	تاریخ تصویر برداری	زمان تصویر برداری	ساعت تصویر برداری به وقت ایران	درجه‌ی حرارت روشنایی در باند ۲۱ به کلوین	درجه‌ی حرارت روشنایی در باند ۳۱ به کلوین	درجه‌ی اطمینان آتش به درصد
۱	Terra	منطقه‌ی سوادکوه	۱۳۸۴/۱۲/۱۷	روز	۱۰:۳۵	۳۱۱	۳۰۲	۶۴
۲	Terra	منطقه‌ی نور	۱۳۸۷/۱۲/۱۹	روز	۱۰:۳۰	۳۱۰	۳۰۱	۷۳
۳	Terra	منطقه‌ی بهشهر	۱۳۸۹/۹/۲۱	روز	۱۱	۳۱۲	۳۰۰	۸۷

به نظر می‌رسد که در زمان اخذ گذر ماهواره‌ی TERRA در این منطقه حرارت آتش‌ها به اندازه‌ای بود که در تصاویر ماهواره‌ای شناسایی شود. اساس شناسایی آتش‌ها حرارت است و در زمان اخذ هر گذری هر چه میزان شدت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

آتش‌سوزی بیشتر باشد، احتمال شناسایی آن بیشتر است. آتش‌های شناسایی‌شده مساحتی بین ۴۶ تا ۱۰۰ هکتار داشتند (جدول ۱). با توجه به اندازه‌ی تفکیک مکانی باندهای حرارتی سنجنده‌ی مودیس، هر سلول آن ۱۰۰ هکتار است. از آن‌جا که ماهیت این روش سلول پایه است و برای هر پیکسل احتمال وجود آتش به صورت جداگانه محاسبه می‌شود، می‌توان گفت که تصاویر سنجنده‌ی مودیس قابلیت شناسایی آتش‌هایی با اندازه‌ی زیر یک پیکسل را نیز دارند. تصاویر آتش‌سوزی مربوط به سال ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵ به دلیل وجود درصد بالای ابر در تصویر شناسایی نشدند و همچنین تصاویر روزهای بعد آن‌ها نیز مطالعه گشت که برای سال ۲۰۰۳ آتشی در روز بعد وجود نداشت. اما تصاویر سال ۲۰۰۵ باز با پوشش بالای ابر همراه بود. از دیگر عوامل عدم شناسایی آتش‌ها، می‌توان به وسعت کم آتش، شدت کم آتش و تاج پوشش بسته‌ی جنگل اشاره کرد. به دلیل جهانی بودن الگوریتم کشف آتش، در این پژوهش الگوریتم جهانی را متناسب با شرایط منطقه برای نتایج بهتر تغییر دادیم. که این تغییرات در جدول شماره‌ی ۴ به صورت کامل آمده است. رخداد آتش‌سوزی در جنگل‌های شمال، برخلاف جنگل‌های غرب، در فصول سرد دارای فراوانی بیشتری است. سه آتش‌سوزی مورد مطالعه در این پژوهش نیز در ماه‌های مارس و دسامبر رخ داده‌اند. در این فصول اکثراً بعد از ورود یک موج گرما در منطقه و کاهش رطوبت هوا و وجود برگ‌های خشک در پهنه‌ی جنگل آتش‌سوزی اتفاق می‌افتد. بنابراین، اگر گذری در هنگام سوختن منطقه‌ای اخذ شود که دارای مواد خشک و سوختنی زیادی است به علت حرارت زیاد امکان شناسایی آن بالا خواهد بود. در این پژوهش، همان طور که ذکر شد، با اصلاح الگوریتم متناسب با ویژگی‌های منطقه موفق به شناسایی سه مورد از آتش‌سوزی‌هایی شدیم که داده‌های آن‌ها در دسترس بود. همچنین، مطابقت مکان این آتش‌سوزی‌ها با محصول مودیس نشاندهنده‌ی صحت پژوهش است.

با بررسی نقشه‌ی دمای سطحی و پوشش گیاهی در مناطقی که آتش‌سوزی رخ داده است متوجه خواهیم شد که ارتباط مستقیمی بین افزایش میزان دمای سطحی با کاهش پوشش گیاهی است. به عبارت دیگر، باتوجه به نقشه‌ی دمای سطحی و پوشش گیاهی، درست در مناطقی که بیشینه دمای سطحی وجود دارد با کاهش سبزینگی پوشش گیاهی همراه هستیم. این رابطه‌ی معکوس در مناطق رخداد آتش‌سوزی دلیل اصلی ایجاد و تشدید شرایط آتش‌سوزی در جنگل‌های استان مازندران است، چرا که با افزایش دمای سطحی رطوبت نسبی کاهش می‌یابد و در نتیجه پوشش گیاهی خشک‌تر و زمینه‌ی بروز آتش‌سوزی محیا می‌شود.

اما در سال ۲۰۰۴ نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مقادیر سبزینگی مقادیر دمای سطحی کاهش پیدا می‌کند. این امر به دلیل وجود آب در برگ گیاهان است، به صورتی که افزایش شاخص پوشش گیاهی به معنای افزایش رطوبت گیاه است. وجود آب در برگ گیاهان عامل اصلی پایین بودن دمای سطحی در نواحی با پوشش گیاهی است. بنابراین در این سال زمینه‌ی ایجاد آتش‌سوزی بسیار کمتر است.

همچنین با بررسی نقشه‌های سینوپتیک به صورت بارزی دلایل آب‌وهوایی برای ساعت و روز رخداد آتش‌سوزی نمایان است. افزایش دما، وجود پرفشار در سطوح بالایی جو و کم‌فشار در سطح زمین، قرار گرفتن در شرق ناوه، واگرایی هوا و انتقال گرما و هوای خشک به منطقه‌ی مطالعه زمینه و تشدید آتش‌سوزی را در جنگل‌های استان مازندران فراهم کرده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

نتیجه‌گیری

ترسیم نقشه‌های گوناگون جوی مربوط به ۴۵ روز آتش‌سوزی‌های بالای ۲ هکتار وسعت مازندران و تحلیل آن‌ها نشان داد که فراوانی رخداد روزهایی که نقش عوامل سینوپتیک جو در آن روزها بیشتر است ۱۰ روز است. از ۱۰ روز مورد مطالعه، برای ۵ روز (آتش‌سوزی مربوط به سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۵، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰) داده‌های سنجش از دور آن در دسترس بود. در تصویر MOD۰۲ مودیس برای تاریخ ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵ ابر زیادی گستره‌ی منطقه‌ی مطالعه را پوشانده بود و روزهای قبل و بعد نیز که بررسی گردید همچنان ابر در منطقه بود. یکی از موانع اصلی مطالعات سنجش از دور وجود ابر است. در نتیجه برای سه مورد آتش‌سوزی سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰ پژوهش صورت گرفت.

با توجه به این‌که ایران کشوری خشک و نیمه‌خشک است، سالیانه صدها مورد آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع رخ می‌دهد و خسارت زیادی به منابع طبیعی وارد می‌آورد که گواه ضرورت انجام پژوهش‌هایی در این زمینه است. نتایج حاصل از پژوهش حاضر بیانگر قابلیت تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی مودیس و الگوریتم جهانی کشف آتش برای شناسایی مکان آتش‌سوزی جنگل است. در پژوهش حاضر اقدام به بومی‌سازی الگوریتم جهانی کشف آتش شد و حد آستانه‌ی مناسب تعیین گردید. در روش پیشنهادی، برای شناسایی آتش پس از انجام تصحیحات هندسی و رادیومتری با استفاده از ماسک ابر این پدیده از تصویر حذف شد. سپس، با تعیین حد آستانه‌ی مناسب، نواحی دارای پتانسیل آتش مشخص گردید و با تعیین حد آستانه و آزمون‌های مختلف به استخراج پیکسل آتش اقدام گردید. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از حد آستانه‌ی ۳۱۰ درجه‌ی کلوین برای باند ۲۲، که برای مقیاس جهانی در نظر گرفته شده است، آتش‌سوزی‌های سرد و کوچک آشکار نمی‌شود. از این رو، از حد آستانه‌ی بومی‌شده استفاده گردید. مقادیر اصلاح شده‌ی الگوریتم جهانی کشف آتش در جدول (۴) گنجانده شده است.

همچنین، با ترسیم نقشه‌های دمای سطحی و پوشش گیاهی به بررسی تأثیرات دما و مقدار سبزینگی پوشش گیاهی در روزهای آتش‌سوزی و روز قبل و بعد آن‌ها پرداخته شد. در این باره، برای پیکسل آتش‌سوزی مقدار سبزینگی در روز آتش نسبت به روز قبل کاهش و میزان دما برای پیکسل آتش در روز آتش‌سوزی نسبت به روز قبل آن افزایش داشته است. سال ۲۰۰۴ سالی مرطوب‌تر و دارای فراوانی آتش‌سوزی کمتری به نسبت سال رخداد روزهای آتش‌سوزی مورد مطالعه است. با مقایسه‌ی تصاویر دمای سطحی و تصاویر پوشش گیاهی روزهای آتش‌سوزی با سال ۲۰۰۴ مشخص شد در سال‌های آتش‌سوزی مورد مطالعه افزایش دمای سطحی و کاهش مقدار سبزینگی پوشش گیاهی وجود داشته که زمینه و شدت آتش و فراوانی آن‌ها را بیشتر کرده است.

ویژگی‌های مربوط به عناصر اقلیمی ایستگاه‌های مازندران (که بیانگر افزایش دما و کاهش رطوبت به نسبت میانگین بلندمدت است) زمینه را برای رخداد آتش‌سوزی فراهم کردند. با ترسیم نقشه‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، وزش دمایی و دمای بیشینه‌ی روزانه بالای ۲ متری مشخص شد که در روز آتش‌سوزی در سطح زمین استیلای زبانه‌ی کم‌فشار و در ترازهای میانی فراز مانع (که موجب انتقال هوای گرم عرض‌های جغرافیایی بالا به منطقه‌ی مطالعه می‌شود) از دیگر عوامل سینوپتیکی آتش‌سوزی جنگل‌های مازندران هستند.

در کل، مکان آتش‌سوزی شناسایی‌شده‌ی الگوریتم بومی‌شده‌ی جهانی کشف آتش با تصاویر محصولات مودیس، که به صورت واقعیت زمینی در پژوهش حاضر استفاده شده، تطابق فراوانی دارد. از این رو، با استفاده از روش ارائه‌شده‌ی تصاویر سنجنده‌ی مودیس و استفاده از الگوریتم جهانی کشف آتش می‌توان نقاط آتش‌سوزی را آشکارسازی نمود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

منابع

اکبری، داود؛ جلال امینی و سعادت محمد سرشت (۱۳۸۶). ارائه‌ی یک مدل سریع برای نقشه‌برداری آتش‌سوزی جنگل، *چکیده‌ی کنفرانس مدیریت بحران ایران*، شماره **۷**: ص ۱۲-۱۹.

سرکارگر اردکانی، علی، محمد جواد ولدان زوج؛ علی محمدزاده و علی منصوریان (۱۳۸۸). تجزیه و تحلیل طیفی آتش به منظور شناسایی برآورد وسعت مناطق دچار حریق با استفاده از تصاویر ماهواره ای، *سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی ایران*، دوره ۱، **۳**: ص ۶۲-۶۹.

ـــــــــــــــ (۱۳۹۰). ارزیابی دقت مکانی و زمانی تصاویر سنجنده‌ی MODIS در شناسایی نقاط آتش‌سوزی، مجله‌ی *سنجش از دور و GIS ایران*، دوره ۱، **۴**، ص۱۷-۱۲.

سلامتی، حمید؛ حمید مصطفی لو؛ علی مستوری و فرهاد هنردوست (۱۳۹۰) ارزیابی و تهیه نقشه آتش‌سوزی جنگل استان گلستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مجموعه مقالات اولین همایش بین المللی آتش‌سوزی در عرصه‌ی منابع طبیعی گرگان*، شماره **۲**: ص ۵-۹.

موقتی، سارا؛ فرهاد صمدزادگان و علی عزیزی (۱۳۸۷). *بررسی مقایسه‌ای سه الگوریتم برای شناسایی آتش‌سوزی جنگل در ایران*، آرشیو بین المللی فتوگرامتری علوم اطلاعات و سنجش از دور، ص ۵۱-۴۲.

Croft, T.A., (۱۹۷۳) " Burning waste gas in oil fields." Nature, **۲۴۵**: ۳۷۵-۳۷۶.

Dozier, J., (۱۹۸۱) "A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution." Remote Sensing of Environment, **۱۱**: ۲۲۱-۲۲۹.

Flannigan, M.D and et al,. (۱۹۸۶) "Forest fire monitoring using NOAA satellite AVHRR." Canadian Journal of Forest Research **۱۶**: ۹۷۵-۹۸۲.

Giglio, L and Descloitres, J.; Justice, C.O. and Kaufman, J. (۲۰۰۳) "An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS." Remote Sensing of Environment, **۸۷**: ۲۷۳-۲۸۲.

Giglio, L,. (۲۰۰۶) "Detection, evaluation and analysis of global fire activity using MODIS data." Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.

Giglio, L,. (۲۰۱۰) "MODIS Collection ۵ Active Fire Product User's Guide Version ۲.۴." Science Systems and Applications, Inc., University of Maryland, Department of Geography.

Kaufman, Y.J., Justice, C.; Flynn, L.; Kendall, K.; Prrins, E.; Giglio, L.; Ward, D.E.; Menzel, P. and Setzer, A. (۱۹۹۸) "Potential global fire monitoring from EOS-MODIS." Journal of Geophysical Research **۱۰۳**: ۳۲۲۱۵-۳۲۲۳۸.

Lee, T.F and Tag, P.M..,. (۱۹۹۰) "Improved Detection of Hotspots using the AVHRR ۳.۷-µm Channel." Bulletin of the American Meteorological Society, **۷۱**: ۱۲. ۱۷۲۲-۱۷۳۰.

Maeda, E.E.; Formaggio, A.R.; Shimabukuro, Y.E.; Felipe, G.; Arcoverde, B. and Hansen M. (۲۰۰۹) "Predicting forest fire in the Brazilian Amazon using MODIS imagery and artificial neural networks'', International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, **۱۱**: ۲۶۵–۲۷۲.

Merino-de-Miguel, S.; Huesca, M. and Gonzalez-Alonso, F.(۲۰۱۰) "Modis reflectance and active fire data for burn mapping and assessment at regional level." Ecological Modelling, **۲۲۱**: ۶۷–۷۴.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]

Peterson, D.; Hyer, E. and Wang J. (۲۰۱۳) “A short-term predictor of satellite-observed fire activity in the North American boreal forest: Toward improving the prediction of smoke Emissions.” Atmospheric Environment, **۷۱**: ۳۰۴-۳۱۰.

Philip, S,. (۲۰۰۷) “Active fire detection using remote sensing based polar-orbiting and geostationary observations: an approach towards near real-time fire monitoring, M.Sc.” Thesis, international institute for Geo-information science and earth observation, Enschede, The Nederland.

Qu, J. J.; Wang, W.; Dasgupta, S. and Hao, X. (۲۰۰۸) “Active fire monitoring and fire danger potential detection from space: A review.” Frontiers of Earth Science in China, **۲**: ۴۷۹-۴۸۶.

Hawbaker T.J.; Radeloff, V.C.; Syphard A.D.; Zhu, Z. and Stewart, S.(۲۰۰۸) “Detection rates of the MODIS active fire product in the United States.” Remote Sensing of Environment, **۱۱۲**: ۲۶۵۶-۲۶۶۴.

Wang,W., Qu, J. J.; Xianjun, H.; Liu, Y. and Sommers W.T.(۲۰۰۷) “An improved algorithm for small and cool fire detection using MODIS data: A preliminary study in the southeastern United States.” Remote Sensing of Environment, **۱۰۸**: ۱۶۳-۱۷۰.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.83]