



تجزیه و تحلیل طیفی آتش به منظور شناسایی و برآورد وسعت مناطق دچار حریق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

علی سرکارگر اردکانی^{۱*}، محمدجواد ولدان‌زوج^۲، علی منصوریان^۳، علی محمدزاده^۴

۱. دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
۲. دانشیار دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۳. استادیار دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۴. استادیار دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۴/۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۱/۱۴

چکیده

سالیانه در کشور ما صدها مورد آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع اتفاق می‌افتد و هزاران هکتار از درختان، درختچه‌ها و گیاهان را طعمه خود می‌سازد. حریق‌ها علاوه بر خسارات اقتصادی، آثار مخرب زیست‌محیطی را نیز به دنبال دارند. وقوع آتش‌سوزی‌های مکرر در مناطق مختلف ایران در چند سال گذشته پژوهشگران منابع طبیعی را بر آن داشته است تا پژوهش‌های جدیدی در عرصه‌های بالارزش جنگلی انجام دهند. در پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و Landsat ETM⁺ به منظور آشکارسازی، و تعیین وسعت مناطق دچار حریق در نخلستان‌های شهر خور از توابع استان اصفهان استفاده گردیده است. سنجنده MODIS در لحظه عبور از فراز این منطقه، آتش‌سوزی‌ای را در تاریخ یازدهم مرداد ماه ۱۳۸۷ ثبت کرد، که با الگوریتم بومی‌شده کشف آتش، مکان حریق‌ها مشخص گردید. در روش پیشنهادی، برای شناسایی آتش پس از انجام تصحیحات رادیومتری و هندسی با استفاده از ماسک ابر و آب این دو پدیده از تصویر حذف شدند و سپس با تعیین حد آستانه مناسب، نواحی دارای پتانسیل آتش مشخص گردید. در این نواحی پیکسل‌هایی که درجه حرارت روشنایی آنها در باند ۲۲ کمتر از ۲۹۳ درجه کلوین و میزان انعکاس طیفی آنها در باند ۲ کمتر از ۰/۳ و اختلاف دمایی باند ۲۲ و ۳۱ کمتر از ۱۰ درجه کلوین بود، به عنوان پیکسل‌های دارای پتانسیل آتش علامت‌گذاری شدند و با تعیین حد آستانه و آزمون‌های مختلف، اقدام به استخراج پیکسل‌های آتش گردید. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از حد آستانه ۳۱۰ درجه کلوین برای باند ۲۲ که برای مقیاس جهانی در نظر گرفته شده است، آتش‌های سرد و کوچک آشکار نمی‌شوند. لذا از حد آستانه بهینه‌شده استفاده گردید. همچنین به منظور تعیین وسعت منطقه دچار حریق از تصاویر ماهواره‌ای Landsat ETM⁺ استفاده شد. پس از انجام طبقه‌بندی با روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت، وسعت منطقه سوخته‌شده تعیین گردید. نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان می‌دهد که این آتش‌سوزی وسعتی حدود ۹ هکتار را طعمه حریق ساخته است.

کلیدواژه‌ها: آتش‌سوزی، تصاویر ماهواره‌ای، نخلستان، MODIS، Landsat.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. تلفن: ۰۲۱-۸۸۸۸۸۴۴۵

۱- مقدمه

به دلیل قرار گرفتن کشور ایران در کمربند خشک کره زمین و ناحیه پرفشار جنب حاره‌ای، شرایط جوی برای وقوع حوادث غیرمترقبه کاملاً فراهم است. مطابق بررسی‌های انجام شده، کشور ما جزء ۱۰ کشور حادثه‌خیز دنیاست، به طوری که از ۴۰ حادثه‌ای که تاکنون شناسایی شده است، ۳۱ مورد آن در ایران رخ می‌دهد. یکی از این حوادث که به وفور در ایران اتفاق می‌افتد، پدیده آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع است. برطبق گزارش‌های منتشر شده از طرف سازمان خواربار جهانی (FAO) هر ساله حدود ۰/۰۶ درصد از جنگل‌های ایران بر اثر آتش‌سوزی از بین می‌رود. براساس گزارش سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، عرصه‌های منابع طبیعی ایران شامل جنگل، مرتع، بیابان و بیشه‌زار و درختچه‌زارها معادل ۸۳/۴۸ درصد از مساحت کشور را شامل می‌شود، که از این بین سهم جنگل‌ها و مراتع ۶۱/۸۲ درصد است (Shariatnejad, 2008) و عمده آتش‌سوزی ایران در این عرصه‌ها اتفاق می‌افتد. از مهمترین عواملی که زمینه آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع را فراهم می‌آورد، کاهش رطوبت نسبی هوا و در دسترس بودن مواد سوختی است. ماده سوختی می‌تواند از خشک شدن شاخ و برگ گیاهان به دلیل خشکسالی و یا یخبندان در فصل زمستان فراهم شود. همچنین در فصل پاییز که سطح جنگل را برگ‌های خشک‌شده می‌پوشاند، گرم شدن هوا زمینه مناسبی را برای آتش‌سوزی مواد سوختی فراهم می‌آورد و انباشت مواد سوختی در جنگل، خطر آتش‌سوزی را افزایش می‌دهد. نگهداری درختان خشک شده در فصولی که خطر آتش وجود دارد نیز بر ریسک حریق می‌افزاید. از طرف دیگر، بی‌احتیاطی ساکنان و یا مسافران و عدم امکان دستیابی به مناطق آتش‌گرفته، باد، توپوگرافی و شکل زمین و مدیریت آتش، از عواملی هستند که در شدت و گسترش آتش‌سوزی مؤثرند (Mohammadi, 2008). وقوع آتش‌سوزی‌های مکرر در مناطق مختلف ایران،

پژوهشگران منابع طبیعی و سنجش از دور را بر آن داشته است تا پژوهش‌های جدیدی در عرصه‌های بالارزش جنگلی و پوشش‌های گیاهی انجام دهند، تا حتی‌الامکان از بروز و گسترش آتش جلوگیری به عمل آورند. مطالعات مربوط به آتش در ایران، از سال ۱۳۳۸ توسط جزیره‌ای آغاز شد (Kazemi, 2000) و به دنبال آن پژوهشگران دیگری همچون خراسانی‌نژاد (1996) و اترک چایی (2001) مطالعاتی را در زمینه آتش‌سوزی در جنگل‌ها و تأثیر آن بر روی پوشش گیاهی با مشاهدات زمینی انجام داده‌اند. جاستیس و همکاران (2002) دقت تصاویر MODIS در کشف آتش در جنوب آفریقا را با استفاده از تصاویر ASTER همزمان مورد مطالعه قرار داده است. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در زمینه شناسایی، نظارت، و بررسی رفتار آتش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی در محیط GIS در ایران و جهان به‌وسیله پژوهشگران مختلفی مانند: کافمن و همکاران (2003) و موقتی و همکاران (2008) و جفری و گیگیو (2005) و کافمن و همکاران (1998) و حسینعلی (2005) صورت گرفته که منجر به دستیابی به الگوریتم‌های بهینه به‌منظور کشف آتش با دقت بهتری در مقیاس جهانی و منطقه‌ای شده است. این آشکارسازی معمولاً در محدوده طیفی فروسرخ حرارتی و فروسرخ انعکاسی صورت می‌گیرد (Prins & Menzel, 1992; Kaufman, 2003; Gigolo et al., 2003)، زیرا این باندها کاربردهای فراوانی در تشخیص منابع حرارتی از قبیل آتش‌سوزی دارد (Alavipanah, 2006). برای کشف آتش در مقیاس محلی نیاز به بومی‌سازی الگوریتم با استفاده از تعیین حد آستانه بهینه متناسب با شرایط مذکور است، که در پژوهش حاضر به آن پرداخته شده است. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای MODIS به‌منظور کشف آتش و از Landsat-ETM به‌منظور تعیین وسعت مناطق دچار حریق در آتش‌سوزی اتفاق افتاده در نخلستان‌های شهر خور از توابع استان اصفهان استفاده گردیده است. در بخش ۲ نوشتار حاضر، موقعیت جغرافیایی منطقه

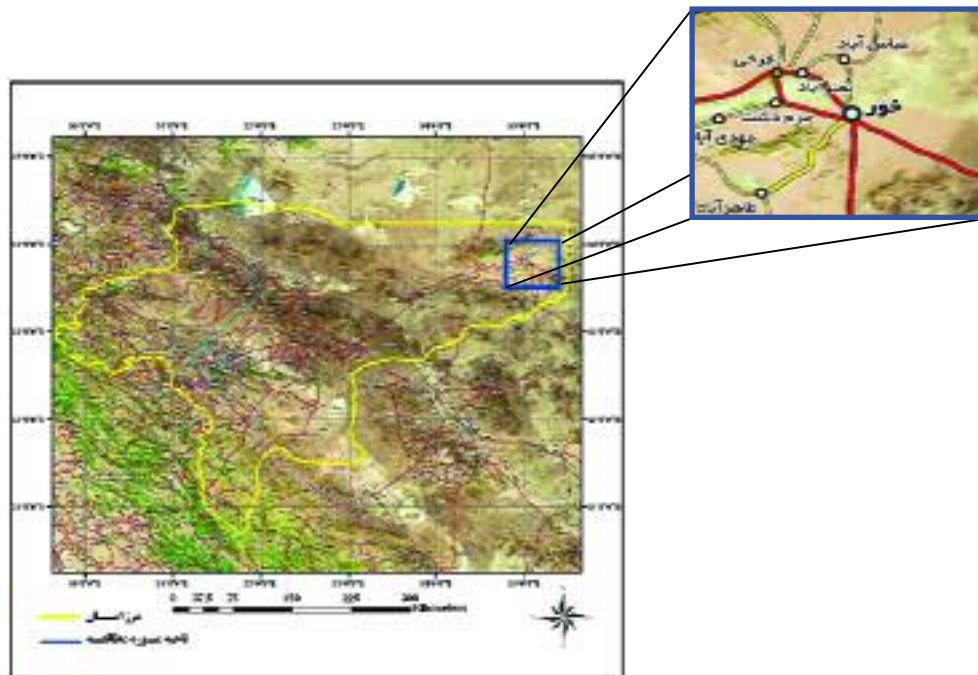
شمالی قرار دارد. شهر خور دارای آب و هوای گرم و خشک کویری است. حداکثر دمای مطلق ثبت شده طی بازه زمانی (۱۳۸۸-۱۳۶۵) ۴۶/۶ درجه سانتی‌گراد و همچنین حداقل دمای مطلق ثبت شده به ۹- درجه سانتی‌گراد رسیده است. این در حالی است که در سال ۱۳۸۶ حداقل مطلق دما به ۱۴/۴- درجه کاهش یافته است. در این منطقه طی شش ماه، دو حادثه غیرمترقبه به وقوع پیوست. در سال ۱۳۸۶ یکی از سخت‌ترین زمستان‌ها را پشت سر گذاشت، به طوری که بخش عمده‌ای از حیات درختی منطقه دچار سرمازدگی شد و از بین رفت. درختان موجود در این شهر که عمدتاً از نخل‌های خرما تشکیل شده‌اند، بر اثر این حادثه خشک شدند. از آنجا که اقدامی جدی به منظور جداسازی سرشاخه‌های خشک شده از درختان صورت نگرفت، حجم انبوهی از سرشاخه‌های خشک در کنار یکدیگر بستر مناسب و خطرناکی را برای ایجاد حریق (عمدی یا غیرعمدی) فراهم آورد، به طوری که طی مدت زمان کوتاهی چندین فقره آتش‌سوزی، دسترنج سالیان متمادی کویرنشینان را طعمه حریق ساخت.

تعیین گردیده و در بخش ۳ خصوصیات طیفی و روش‌های کشف آتش بیان شده است. در بخش چهارم روش پیشنهادی برای شناسایی آتش از تصاویر ماهواره‌ای MODIS ارائه گردیده و در نهایت اقدام به اجرا و پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی و استخراج نقاط آتش شده است. سپس وسعت منطقه خسارت دیده با استفاده از تصاویر لندست برآورد گردیده است.

۲- موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه مورد مطالعه، نخلستان‌ها و زمین‌های کشاورزی حاشیه شهر خور از توابع شهرستان نایین است. این منطقه در شرقی‌ترین نقطه استان اصفهان قرار دارد (شکل ۱). فاصله این شهر کویری تا مرکز شهرستان نایین ۲۵۵ کیلومتر است.

بخش خور و بیابانک به مرکزیت شهر خور، از شمال به استان سمنان از جنوب و شرق به استان خراسان و از سمت غرب به بخش انارک شهرستان نایین محدود است. مرکز این بخش در ۵۵ درجه و ۵ دقیقه و ۳ ثانیه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۴۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی شهرستان خور

سال ۱۳۸۶	دی ماه	بازه زمانی	درجه حرارات (c)
(درجه سانتی گراد)	۱۳۸۸-۱۳۶۵	۱۳۸۸-۱۳۶۵	شاخص دما
-	۱۲/۱	۲۷	میانگین حداکثر دما
-	۱/۲	۱۳/۶	میانگین حداقل دما
-۱۴/۴	-۹	-۹	حداقل مطلق دما
۴۵/۶	-	۴۶/۶	حداکثر مطلق دما

منبع: اداره کل هواشناسی خور

گونه‌ای که قابل شناسایی باشند، تحت تأثیر قرار دهند. بعضی از باندهای سنجنده MODIS در همان محدوده طیفی طراحی گردیده است که برای کشف هسته‌های آتش مناسب است. در هر طول موج، تابش اندازه‌گیری شده نمایانگر درجه حرارت جسم سیاه در آن طول موج است، که به صورت تابش انتشار می‌یابد؛ این همان دمای روشنایی است. در سنجنده‌ها سنجش و اندازه‌گیری تابش متفاوت است، و خروجی هر باند به صورت ولتاژی است که متناسب با انرژی رسیده به سنجنده در واحد زمان است. این ولتاژ که به صورت آنالوگ ظاهر می‌شود، به عددی رقومی تبدیل می‌گردد. این فرایند در سنجنده MODIS به صورت ۱۲ بیتی صورت می‌گیرد که آن را توان تفکیک رادیومتری سنجنده می‌گویند.

اگر منحنی رادیانس طیفی پدیده‌ها با درجه حرارت‌های مختلف بر حسب طول موج ترسیم شوند (شکل ۲) مشاهده می‌گردد که با افزایش درجه حرارت اجسام، نقطه حداکثر تشعشع به سمت امواج کوتاه‌تر تمایل پیدا می‌کند (قانون جابه‌جایی وین). بر مبنای قانون جابه‌جایی وین، می‌توان با استفاده از طول موج‌های مختلف به تفکیک اهداف حرارتی اقدام کرد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد هسته‌های آتش با مساحت تنها ۲۰ مترمربع قادرند که درجه روشنایی را تا ۲۰ واحد در محدوده ۳/۷ میکرومتر افزایش دهند، که همین مقدار برای کشف آتش‌سوزی در مراحل ابتدایی حریق کافی خواهد بود.

دلیل اصلی یخ‌زدگی و از بین رفتن نخلستان‌ها و باغ‌های خور در یخبندان زمستان ۱۳۸۶، ماندگاری طولانی مدت دمای زیر صفر درجه، در آن منطقه بوده است، به طوری که طی یک هفته حداقل مطلق دما بین ۱۴- تا ۱۲- و حداکثر مطلق دمای منطقه نیز در همان هفته زیر صفر بوده است. همچنین تا اواخر دی‌ماه حداقل مطلق دما کمتر از ۱۰- درجه بوده که نسبت به حداقل مطلق دمای بلندمدت -۹ درجه است - میزان کمتری را نشان می‌دهد (جدول ۱).

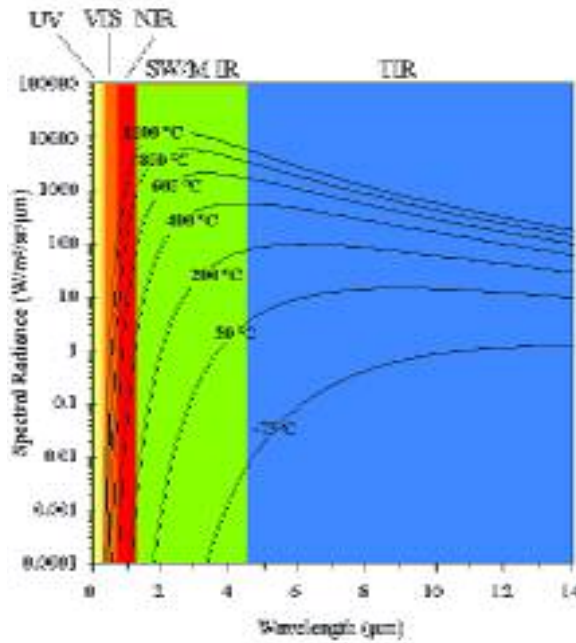
۳- مواد و روش‌ها

از آنجا که سنجنده MODIS بر روی ماهواره‌های Terra از فوریه ۲۰۰۰ و Aqua از ژوئن ۲۰۰۲ شروع به جمع‌آوری داده‌ها کرده، امکان کشف آتش‌سوزی در مناطق مختلف جهان نیز با استفاده از تصاویر مذکور فراهم شده است. لذا در مطالعه حاضر به منظور آشکارسازی منطقه دچار حریق از این نوع تصاویر که به وسیله ماهواره Aqua در ساعت ۲۱ و ۵۵ دقیقه به وقت گرینویچ در تاریخ ۲۰۰۸/۰۸/۰۱ دریافت شده است، استفاده گردید.

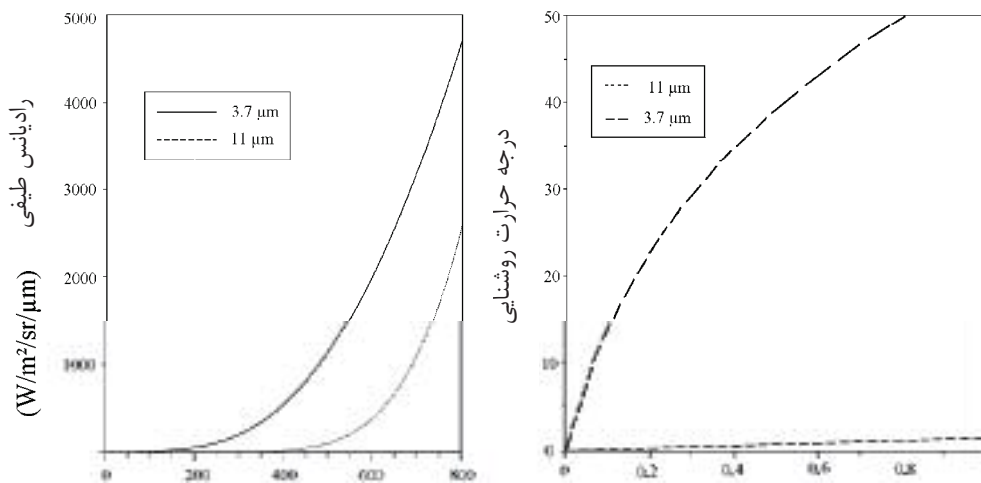
روش‌های کشف آتش عمدتاً بر مبنای پردازش و تجزیه و تحلیل باندهای حرارتی و انعکاسی استوار است و معمولاً در مقیاس کوچک‌تر از ابعاد پیکسل صورت می‌گیرد. سیگنال‌های ناشی از آتش به اندازه‌ای قوی هستند که اگرچه تنها بخشی کوچک از یک پیکسل را در بر گرفته باشند ولی می‌توانند کل پیکسل را به

(شکل ۳). بنابراین با انتخاب طول موج‌های مناسب (۳/۷ میکرومتر یا کوتاه‌تر) در سنجش از دور می‌توان به شناسایی پدیده‌های با درجه حرارت بسیار زیاد - نظیر آتش‌سوزی پوشش‌های گیاهی - مبادرت ورزید (Wooster, 1998).

ترسیم منحنی رادیانس طیفی براساس درجه حرارت پدیده‌ها در محدوده طول موج‌های کوتاه مادون قرمز (۳/۷ میکرومتر) و طول موج‌های بلندتر مادون قرمز (۱۱ میکرومتر) نشان می‌دهد که با افزایش درجه حرارت، منحنی رادیانس طیفی در طول موج‌های مادون قرمز کوتاه‌تر به شدت افزایش پیدا می‌کند



شکل ۲. منحنی تشعشع طیفی پدیده‌ها با درجه حرارت‌های مختلف (Wooster, 1998)



شکل ۳. مقایسه رادیانس طیفی در محدوده موج‌های ۳/۷ میکرومتر با ۱۱ میکرومتر (Wooster, 1998)

وجود دارد این است که هسته‌های اولیه آتش‌سوزی بسیار کوچک‌تر از ابعاد پیکسل تصاویر سنجنده فوق است، از این رو دستیابی به الگوریتم‌هایی که با استفاده از آن بتوان هسته‌های آتش را در همان مراحل اولیه شناسایی کرد و به اطفای آن اقدام ورزید دارای اهمیت زیادی است.

۴- الگوریتم کشف آتش

به منظور شناسایی نقاط آتش‌سوزی تا کنون روش‌های مختلفی ارائه شده که یکی از آنها الگوریتم کشف آتش مبتنی بر زمینه تصویر است. این الگوریتم برای کشف آتش در مقیاس‌های جهانی طراحی گردیده است (Giglio et al., 2003)، لذا برای استفاده در مقیاس منطقه‌ای ضعیف و تا حدی ناکارآمد به نظر می‌رسد. آزمایش‌های انجام شده با استفاده از این الگوریتم برای کشف آتش‌های فعال در بعضی از مناطق، نشان می‌دهد که آتش‌های سرد و کوچک اغلب به خاطر شرایط محیطی و الگوهای رفتاری آتش در هر منطقه‌ای قابل کشف نیستند.

افزون بر اینها آتش‌های سرد و کوچک به خاطر نوع بیوماس، مقدار مواد سوختی، زمان روز، فصل، مناطق جغرافیایی و زاویه تصویربرداری خصوصیات متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. به دلایل گفته شده، الگوریتم‌های مبتنی بر زمینه با تغییر حد آستانه‌ها برای تشخیص پیکسل‌های آتش بهبود یافته‌اند.

با همه این اقدامات، الگوریتم‌های مبتنی بر زمینه به اندازه کافی انعطاف لازم را برای کشف آتش در مقیاس‌های منطقه‌ای ندارند. بنابراین، حد آستانه‌های خاص هر منطقه به منظور افزایش دقت الگوریتم‌های کشف آتش ضروری می‌نماید. در پژوهش حاضر، با بهینه‌سازی الگوریتم جهانی کشف آتش با تعیین حد آستانه مناسب، الگوریتم مناسب بومی برای کشف آتش ارائه شده، که مراحل آن در شکل ۴ آورده شده است.

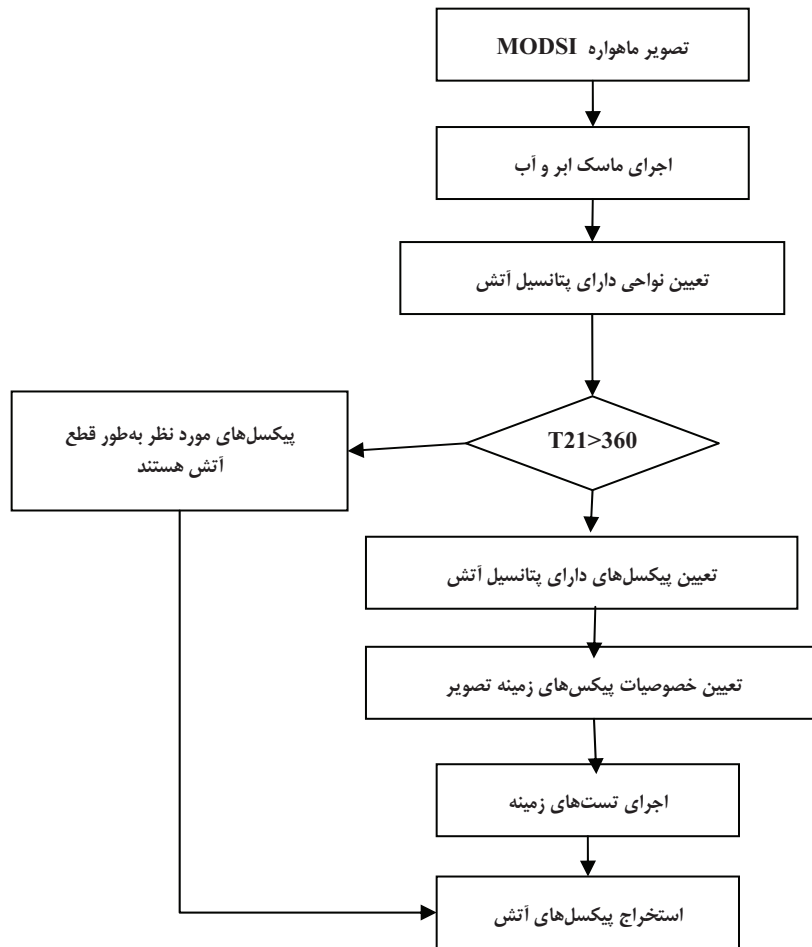
استفاده از الگوریتم‌های موجود کشف آتش برای کشف آتش‌هایی که دارای وسعت کم و درجه حرارت پایین هستند، دشوار است، زیرا این آتش‌ها به اندازه کافی حرارت و تشعشع ندارند تا بتوانند سنجنده‌های حرارتی نصب شده بر روی ماهواره‌ها را تحت تأثیر قرار دهند. الگوریتم‌هایی که تا کنون طراحی شده‌اند برای کشف آتش‌سوزی در مقیاس‌های جهانی مناسب‌اند. این الگوریتم‌ها برای کشف آتش‌های با حرارت زیاد از باندهای فرورسرخ حرارتی و انعکاسی استفاده می‌کنند.

محدودیت روش‌های مذکور این است که انعکاس‌های گمراه‌کننده - که گاهی در طول روز در منطقه مورد مطالعه بروز می‌کند - باعث می‌شود که آتش‌سوزی به اشتباه تشخیص داده شود و یا اینکه آتش‌های سرد و کوچک به خاطر استفاده از حد آستانه بالا که برای کشف آتش در مقیاس‌های جهانی طراحی گردیده‌اند، آشکار و تشخیص داده نشوند.

با استفاده از تصاویر برداشت‌شده به‌وسیله سنجنده‌ها با توان تفکیک مکانی متوسط و با اجرای الگوریتم کشف آتش بر روی آنها، امکان کشف آتش‌هایی با ابعاد کوچک وجود خواهد داشت. روشن است که شناسایی و کشف هسته‌های آتش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک مکانی بالا به راحتی امکان‌پذیر است، ولی به دلیل اینکه معمولاً این‌گونه تصاویر توان تفکیک زمانی بالایی ندارند و امکان دریافت تصویر در فواصل زمانی کوتاه وجود ندارد، در نتیجه مونیتورینگ و نظارت بر روند پیشروی آتش‌سوزی در مناطق مختلف جهان به آسانی امکان‌پذیر نخواهد شد.

تصاویر ماهواره‌ای با توان مکانی پایین - همانند ماهواره MODIS - که دارای اندازه پیکسل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر در نادر و عرض گذر زیاد (حدود ۲۳۰۰ کیلومتر) هستند، به دلیل فعال بودن دو سنجنده از این نوع در فضا، امکان نظارت مداوم بر مناطق دچار حریق را به خوبی فراهم می‌آورند. مشکلی که در این زمینه

تجزیه و تحلیل طیفی آتش به منظور شناسایی و برآورد وسعت مناطق دچار حریق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای



شکل ۴. مراحل اجرای الگوریتم کشف آتش

$$(R_1 + R_2) > 0.7 \text{ and } T_{32} > 285K \quad (3) \text{ رابطه (۳)}$$

در روابط فوق R_1 و R_2 به ترتیب انعکاس طیفی باندهای شماره ۱ (۰/۶۵ میکرومتر) و شماره ۲ (۰/۸۶ میکرومتر) و T_{32} درجه حرارت روشنایی باند شماره ۳۲ (۱۲/۰۲ میکرومتر) را نشان می‌دهد. برطبق این روابط در صورتی که مجموع انعکاس طیفی باند شماره ۱ و ۲ بزرگ‌تر از ۰/۹، یا درجه حرارت روشنایی باند ۳۲ کوچک‌تر از ۲۶۵ درجه کلونین و یا مجموع انعکاس طیفی باند شماره ۱ و ۲ بزرگ‌تر از ۰/۷ و درجه حرارت روشنایی باند ۳۲ کوچک‌تر از ۲۸۵ درجه کلونین باشد، پیکسل‌های مورد نظر به کلاس ابر تعلق می‌گیرند.

۴-۱- اجرای ماسک ابر و آب

به‌منظور جداسازی پهنه‌های آبی ایران از تصویر MODIS، لایه رستر آب‌های ایران با بهره‌گیری از نقشه‌های موجود (اطلاعات غیرتصویری) تهیه شد و این مناطق از تصویر حذف گردید. برای جداسازی مناطق ابری از حد آستانه‌های زیر که به‌وسیله Giglio و همکاران (۲۰۰۳) ارائه شده است استفاده گردید. با اعمال شرایط زیر پیکسل‌های ابر از بقیه پیکسل‌ها تفکیک می‌گردند.

$$(R_1 + R_2) > 0.9 \quad (1) \text{ رابطه (۱)}$$

$$(T_{32} < 265K) \quad (2) \text{ رابطه (۲)}$$

۴-۲- تعیین نواحی دارای پتانسیل آتش

طرح اصلی الگوریتم مبتنی بر زمینه تصویر، بر پایه آزمون‌های زمینه استوارست، به طوری که با انتخاب چند حد آستانه ثابت، پیکسل‌های دارای پتانسیل آتش تشخیص داده می‌شود. یکی از حد آستانه‌های اولیه برای تعیین نواحی دارای پتانسیل آتش $T_{22} > 310K$ است (Giglio et al., 2003). این معیار پیکسل‌هایی را که درجه حرارت آنها کمتر از $310K$ درجه کلون باشد، به عنوان پیکسل‌های غیرآتش در نظر می‌گیرد. مطالعات انجام شده نشان داده است که انتخاب حد آستانه $310K$ باعث می‌شود آتش‌های سرد و کوچک تشخیص داده نشوند - به ویژه زمانی که زاویه تصویربرداری زیاد باشد. این حد آستانه، باعث می‌شود این پیکسل‌ها جزء پیکسل‌های زمینه قرار گیرند. بعد از اعمال ماسک ابر و آب، پیکسل‌های حاوی دود شناسایی می‌شوند. هدف از شناسایی پیکسل‌های دود، تعیین محل تقریبی آتش‌سوزی است. سپس به‌طور دقیق‌تر با کاهش حد آستانه کشف آتش، پیکسل‌های دارای پتانسیل آتش، مورد بررسی قرار می‌گیرند. این پیکسل‌ها که تا حد زیادی شرایط آتش را دارا هستند، در مراحل بعدی مورد پردازش دقیق‌تر قرار می‌گیرند. در این مطالعه از الگوریتم کشف دود که به‌وسیله Xie و همکاران (2005) ارائه گردیده استفاده شده است. پیکسل‌های غیر ابر و آب به عنوان پیکسل دارای پتانسیل دود در نظر گرفته می‌شود. سپس پیکسل‌هایی که در چهار معیار زیر صدق کنند به عنوان پیکسل‌های دود در نظر گرفته می‌شوند.

صورتی که دارای شرایط زیر باشند به عنوان پیکسل‌های دارای پتانسیل آتش در نظر گرفته می‌شوند:

$$\text{رابطه (۸)} \quad \Delta T_{22} > 10K, R_p < 0.3, T_{22} > 293K$$

$$\text{رابطه (۹)} \quad \text{Where } \Delta T_{22} = T_{22} - T_{31}$$

در این رابطه T_{22} درجه حرارت روشنایی باند شماره ۲۲ ($3/96$ میکرومتر) و R_p انعکاس طیفی باند شماره ۲ ($0/86$ میکرومتر) و T_{31} درجه حرارت روشنایی باند شماره ۳۱ ($11/03$ میکرومتر) است. این شرایط با تغییر حد آستانه T_{22} در الگوریتم کشف آتش MODIS به‌منظور افزایش حساسیت به آتش‌های سرد و کوچک ایجاد شده است. انتخاب $293K$ برای حد آستانه T_{22} می‌تواند خطای Omission ایجاد شده به‌وسیله الگوریتم مبتنی بر زمینه MODIS را کاهش دهد و همچنین می‌تواند تعداد پیکسل‌های حاوی آتش را که به‌طور اشتباه جزء زمینه قرار گرفته‌اند، کاهش دهد. حد آستانه پایین‌تر از T_{22} خطاهای Omission ناشی از زاویه زیاد تصویربرداری را کاهش می‌دهد. از آنجا که رادیانس هر شیء در زاویه اسکن بزرگ کاهش پیدا می‌کند، حد آستانه‌های پایین‌تر امکان پردازش بیشتر پیکسل‌هایی را که با زاویه بزرگ برداشت شده‌اند، فراهم می‌سازند. در پژوهش حاضر با تعیین حد آستانه مناسب برای T_{22} اقدام به بومی‌سازی الگوریتم و استخراج نقاط آتش‌سوزی گردید.

۴-۴- تعیین پیکسل‌های آتش

۴-۴-۱- اعمال حد آستانه مطلق

در این مرحله با اعمال یک حد آستانه بالا بر روی دمای تشعشعی، پیکسل‌هایی که قطعاً در محدوده پوشش‌شان حاوی آتش‌اند و احتمال اینکه به اشتباه برجسب آتش بخورند بسیار اندک است، از بقیه پیکسل‌های پتانسیل آتش تفکیک می‌شوند و به عنوان پیکسل آتش برجسب می‌خورند.

$$\text{رابطه (۴)} \quad 0.15 \leq (R_{18} - R_{19}) / (R_{18} + R_{19}) \leq 0.5$$

$$\text{رابطه (۵)} \quad (R_9 - R_7) / (R_9 + R_7) \geq 0.30$$

$$\text{رابطه (۶)} \quad (R_{18} - R_3) / (R_{18} + R_3) \leq 0.09$$

$$\text{رابطه (۷)} \quad R_{18} \geq 0.09$$

۴-۳- تعیین پیکسل‌های دارای پتانسیل آتش

پیکسل‌های موجود در ناحیه دارای پتانسیل آتش در

بعدی، کمیت‌های محاسبه شده برای انجام تست‌های زمینه‌ای مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

۴-۳-۴- اجرای آزمون‌های زمینه‌ای و استخراج پیکسل‌های آتش

در این مرحله، آزمون‌هایی بر روی خصوصیات محاسبه‌شده از پیکسل‌های همسایه مرحله قبل به گونه‌ای انجام می‌شود که پیکسل‌های آتش استخراج گردد.

$$\text{رابطه (۱۱)} \quad \Delta T > \overline{\Delta T} + 3/5 \delta_{\Delta T} \quad (\text{آزمون ۲})$$

$$\text{رابطه (۱۲)} \quad \Delta T > \overline{\Delta T} + 3/5 K \quad (\text{آزمون ۳})$$

$$\text{رابطه (۱۳)} \quad T_{21} > \overline{T_{21}} + 3 \delta_{21} \quad (\text{آزمون ۴})$$

$$\text{رابطه (۱۴)} \quad T_{31} > \overline{T_{31}} + \delta_{31} + 4K \quad (\text{آزمون ۵})$$

$$\text{رابطه (۱۵)} \quad \delta'_{21} > 5K \quad (\text{آزمون ۶})$$

در صورتی که آزمون ۲ تا ۴ درست باشد و یکی از آزمون‌های ۵ و ۶ درست باشد، پیکسل مورد نظر به عنوان پیکسل آتش استخراج می‌گردد.

در پژوهش حاضر به منظور تعیین وسعت مناطق سوخته‌شده بر اثر آتش‌سوزی از تصاویر ETM ماهواره Landsat استفاده گردید. همچنین از قابلیت‌های نرم‌افزار ARCGIS ۹/۲ و نرم‌افزار ENVI ۴/۵ به منظور پردازش تصاویر ماهواره‌ای بهره گرفته شد.

حد آستانه در نظر گرفته شده معادل ۳۶۰ درجه کلون و برابر با ۸۷ درجه سانتی‌گراد است. پیکسل‌هایی که در این شرط صدق کنند به عنوان آتش برچسب خواهند خورد.

$$\text{رابطه (۱۰)} \quad T_{21} > 360K \quad (\text{آزمون ۱})$$

پیکسل‌های باقی‌مانده که از این شرط عبور نمی‌کنند در مراحل بعدی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند تا در صورتی که به اشتباه برچسب آتش خورده‌اند برچسب آنها حذف شود.

۴-۴-۲- تعیین خصوصیات پیکسل‌های زمینه

کلیه پیکسل‌های دارای پتانسیل آتش، صرف‌نظر از نتیجه آزمون حد آستانه مطلق در این مرحله مورد بررسی قرار می‌گیرند. هدف این مرحله استفاده از پیکسل‌های همسایه برای تخمین خصوصیات رادیومتریکی پیکسل دارای پتانسیل آتش در حالت عادی و نبود آتش است.

در این مرحله پنجره‌ای با ابعاد متغیر بین ۳×۳ تا ۲۱×۲۱ حول هر یک از پیکسل‌های دارای پتانسیل آتش که در مرحله دو برچسب خورده‌اند ایجاد می‌شود و بعد از تعیین پیکسل‌های معتبر داخل پنجره، کمیت‌های جدول ۲ از پنجره با استفاده از مقادیر مختلف این پیکسل‌ها محاسبه می‌شود. در مراحل

جدول ۲. خصوصیات استخراج شده از پیکسل‌های زمینه تصویر

ردیف	عنوان	پارامتر محاسبه شده
۱	میانگین درجه حرارت روشنایی باند ۲۱	$\overline{T_{21}}$
۲	میانگین انحراف معیار مطلق باند ۲۱	δ_{21}
۳	میانگین درجه حرارت روشنایی باند ۳۱	$\overline{T_{31}}$
۴	میانگین انحراف معیار مطلق باند ۳۱	δ_{31}
۵	میانگین اختلاف درجه حرارت روشنایی باند ۳۱ و ۲۱	$\overline{\Delta T}$
۶	انحراف معیار مطلق اختلاف درجه حرارت روشنایی باند ۳۱ و ۲۱	$\delta_{\Delta T}$
۷	میانگین درجه حرارت روشنایی باند ۲۱ Back Ground Fire	$\overline{T'_{21}}$
۸	انحراف معیار مطلق درجه حرارت روشنایی باند ۲۱ Back Ground Fire	δ'_{21}

منبع: Giglio, 2003

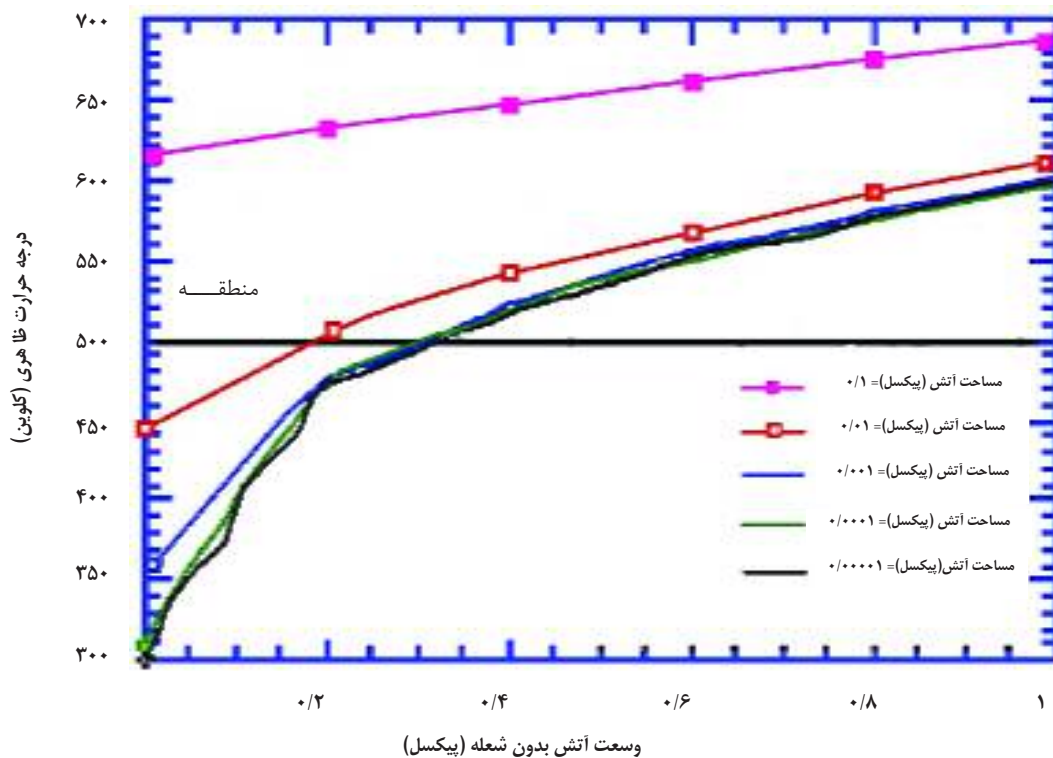
۵- پردازش و تجزیه و تحلیل اطلاعات

در آتش‌سوزی منطقه خور، حجم وسیعی از درختان خرما، آن هم با سرشاخه‌های خشک ناشی از یخبندان زمستان ۱۳۸۶، سبب بروز آتش‌سوزی‌ای با شعله‌های زیاد گردیدند. آتش‌سوزی در ساعت ۲ بعد از ظهر به وقت محلی آغاز شد و تا ساعت ۶ صبح روز بعد ادامه داشت. ماهواره MODIS در ساعت ۶/۵ بعد از ظهر - یعنی ۴/۵ ساعت بعد از آتش‌سوزی - از منطقه تصویر گرفته است. کل منطقه سوخته‌شده تا زمان دریافت تصویر ۵ هکتار بوده است. با توجه به اینکه ۵ هکتار در ۴ ساعت سوخته است، پس حدوداً هر هکتار در ۱ ساعت سوخته و در هر دقیقه ۱۵۰ مترمربع مساحت آتش‌سوزی بوده است.

بدین ترتیب اگر آتش فعال را $0/00001$ مساحت پیکسل در نظر بگیریم با واقعیت مطابقت دارد.

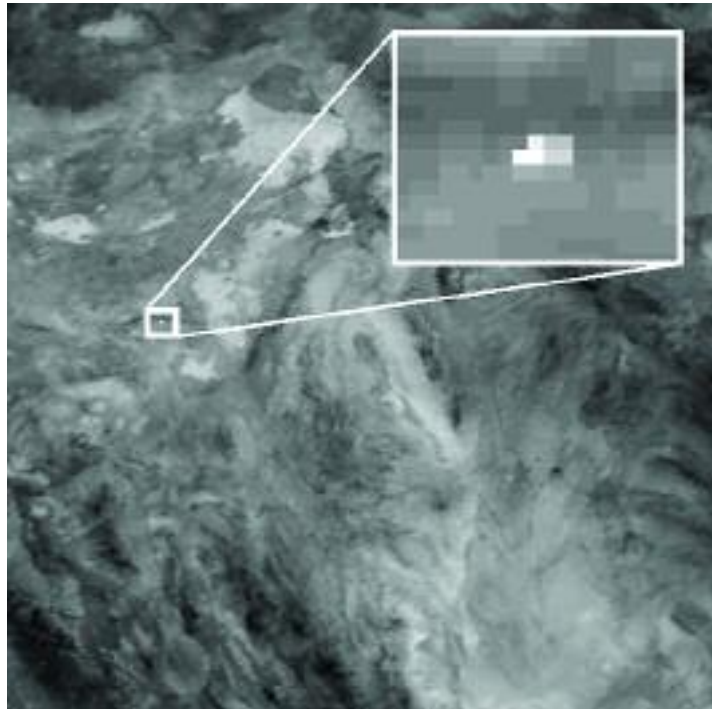
همچنین $0/01$ مساحت پیکسل منطقه سوخته‌شده بدون شعله بوده است. طبق نمودار ارائه شده به وسیله MODIS (شکل ۵) بایستی برای آتش $0/00001$ و منطقه سوخته شده بدون شعله $0/01$ مساحت پیکسل عدد درجه حرارت روشنایی پیکسل معادل ۳۰۷ تا ۳۱۰ درجه کلوین باشد. که به عدد محاسبه شده برای آتش‌سوزی در این منطقه نزدیک است (۳۰۹ درجه کلوین). همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، پس از انجام عملیات پردازش، تصویر مکان آتش‌سوزی در باند شماره ۲۲ مشخص گردید (شکل ۶).

سنجنده MODIS در لحظه عبور از فراز منطقه، یک مورد آتش‌سوزی را در تاریخ یازدهم مردادماه ۱۳۸۷ ثبت کرد که با الگوریتم‌های خاص کشف آتش، مکان این حریق‌ها مشخص گردیده است.



شکل ۵. حساسیت باند ۴/۹۵ سنجنده MODIS به زیر پیکسل آتش و همراه با آتش غیرفعال

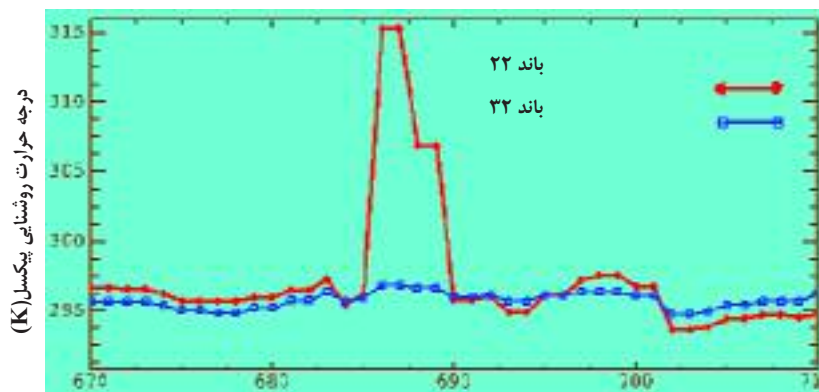
منبع: MODIS ATDB, 2006



شکل ۶. باند ۲۲ تصویر MODIS پس از پردازش و آشکارسازی آتش‌سوزی

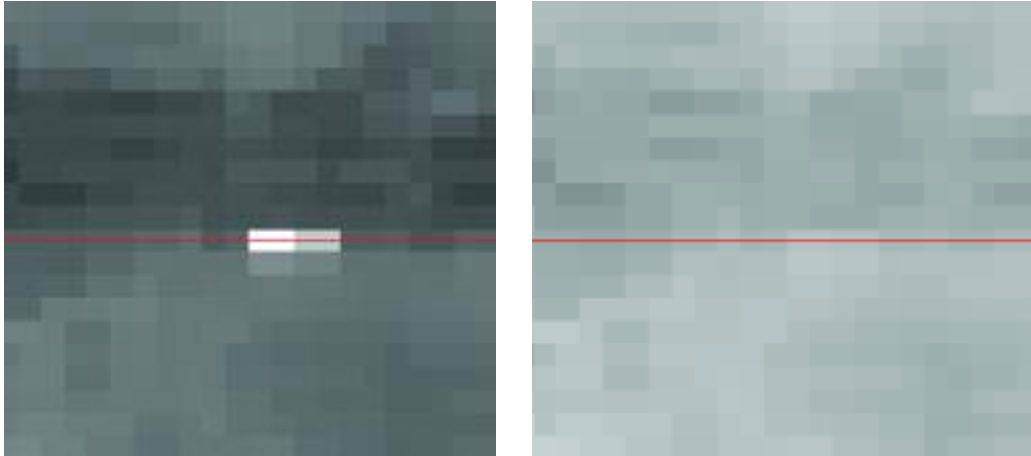
همان‌طور که در طول پروفیل رسم شده برای آتش‌سوزی منطقه خور مشاهده می‌گردد، در باند ۲۲ درجه حرارت روشنایی به حدود ۳۱۵ درجه کلوین می‌رسد و این در حالی است که در باند شماره ۳۲ این مقدار در حدود ۲۹۷ درجه کلوین به ثبت رسیده - که به راحتی از طریق الگوریتم ارائه شده قابل کشف است.

در صورت مقایسه مکان آتش‌سوزی پس از پردازش در باندهای شماره ۲۲ (۳/۹۸۹-۳/۹۲۹ میکرومتر) و شماره ۳۲ (۱۱/۷۷۰-۱۲/۲۷۰ میکرومتر) سنجنده MODIS مشاهده می‌گردد که باند شماره ۲۲ به شدت تحت تأثیر سیگنال‌های منتشر شده از آتش قرار گرفته، در صورتی که حساسیت باند شماره ۳۲ بسیار پایین است و یا اصلاً تأثیر نمی‌پذیرد (شکل ۷ و ۸).



مسافت در طول پروفیل (پیکسل)

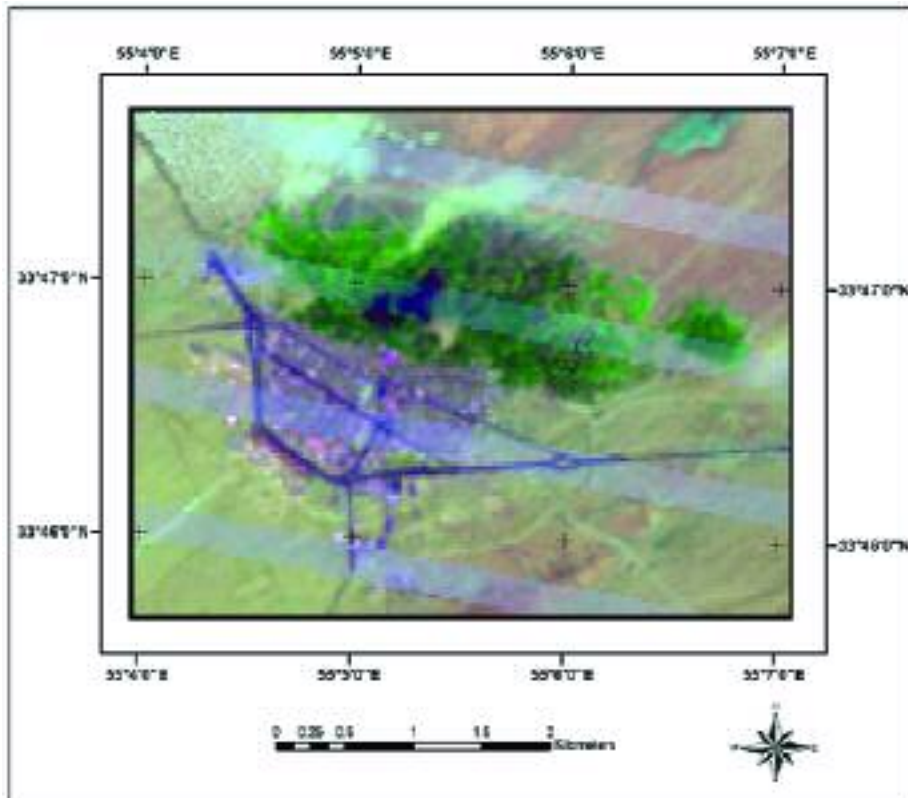
شکل ۷. پروفیل درجه حرارت روشنایی پیکسل



باند مادون قرمز حرارتی (باند ۲۲)

باند مادون قرمز حرارتی (باند ۳۲)

شکل ۸. بازتاب طیفی حرارتی آتش در باندهای مورد بررسی

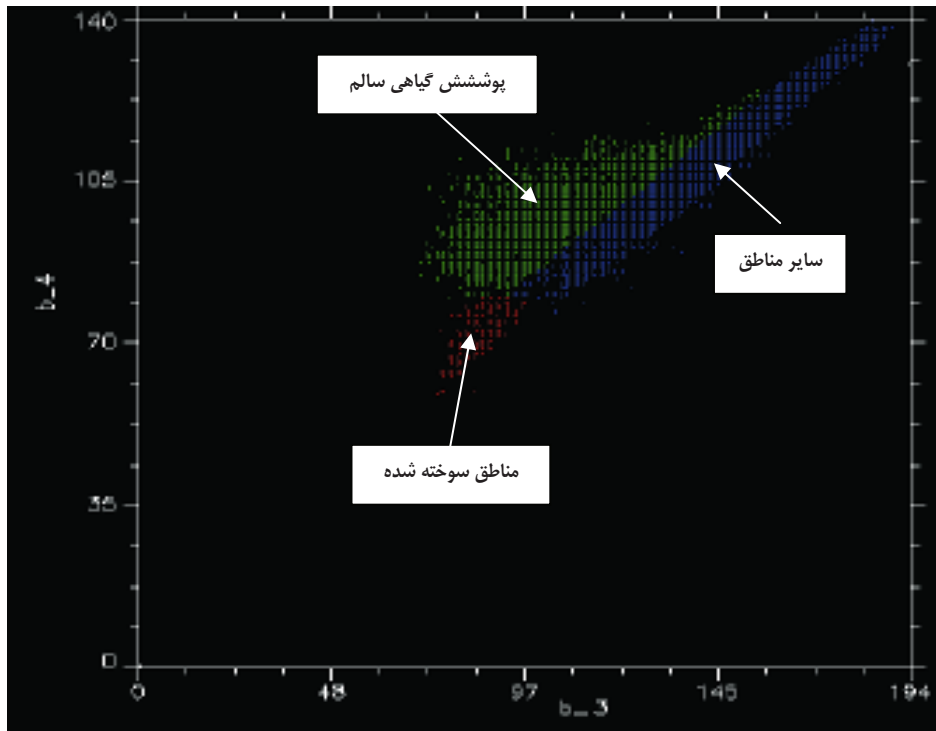


شکل ۹. تصویر ماهواره‌ای لندست منطقه خور پس از آتش‌سوزی

۶- تعیین وسعت منطقه خسارت دیده

به منظور تعیین وسعت مناطق سوخته شده بر اثر آتش‌سوزی در پژوهش حاضر از تصویر ماهواره لندست استفاده گردید (شکل ۹). سامانه تصویر انتخابی برای این تصاویر UTM با زون ۴۰ و بیضوی WGS 1984 در نظر گرفته شد و تصحیح هندسی و رادیومتری به منظور بهبود کیفیت تصویر بر روی آن اعمال گردید. سپس منطقه مورد مطالعه در ابعاد ۳۰۰ در ۴۰۰ پیکسل از تصویر اصلی انتخاب شد و عملیات طبقه‌بندی تصویر به منظور استخراج مناطق سوخته شده بر روی آن انجام گرفت.

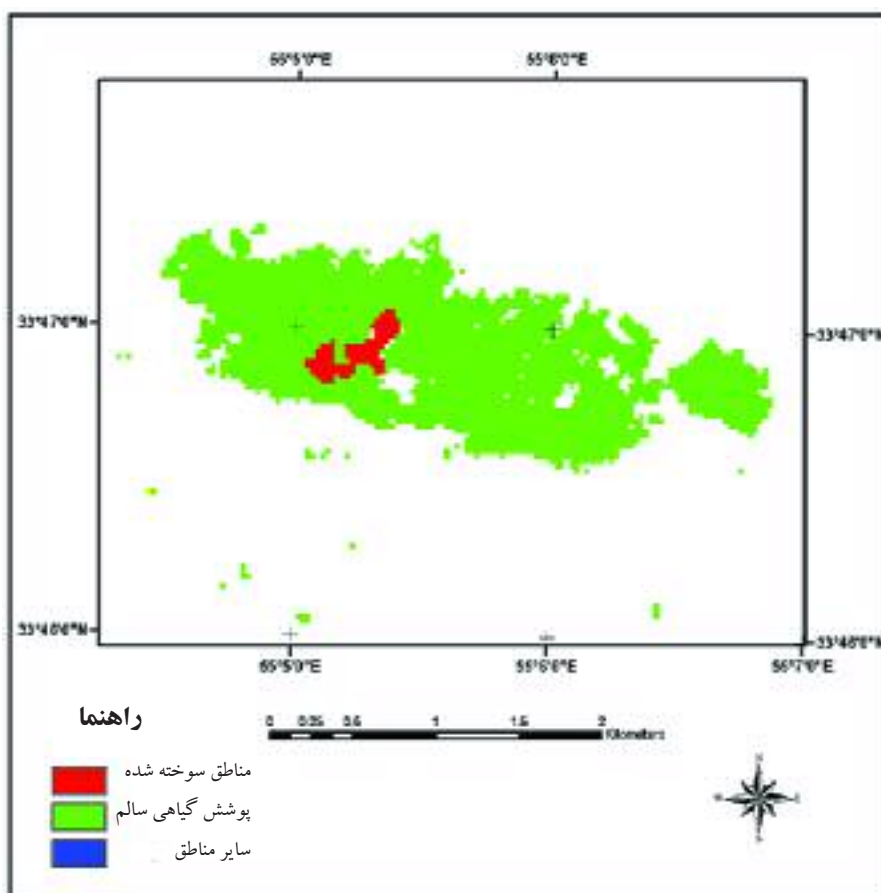
شکل ۱۰ فضای طیفی و کلاس‌های انتخابی را به تفکیک نشان می‌دهد. برای طبقه‌بندی تصویر از روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت استفاده شد که پس از انتخاب نمونه آموزشی، طبقه‌بندی تصویر صورت گرفت. کلاس مناطق سوخته شده نیز استخراج گردید و مساحت آن تعیین شد. همان‌طور که پیش‌تر ذکر آن رفت، این مورد از آتش‌سوزی در نخلستان‌های شهر خور در دو ناحیه صورت گرفته بود. در منطقه مذکور، مجموع مساحت سوخته شده حدود ۹ هکتار است که با گزارش‌های مسئولان محلی مطابقت دارد (شکل ۱۱).



شکل ۱۰. تفکیک کلاس‌های انتخابی در فضای طیفی باند ۳ و ۴ تصویر لندست

جدول ۳. مساحت مناطق سوخته شده و سالم حاصل از طبقه‌بندی تصویر لندست

نوع پوشش	تعداد پیکسل	مساحت بر حسب پیکسل
مناطق سوخته شده	۹۶	۸/۶۴
پوشش گیاهی سالم	۳۰۱۶	۲۷۱/۴۴
سایر اراضی	۱۶۳۸۶	۱۴۷۴/۷۴



شکل ۱۱. تصویر طبقه‌بندی‌شده منطقه خور و استخراج کلاس‌های انتخابی

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به اینکه در کشور ما سالانه صدها مورد آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع اتفاق می‌افتد و معمولاً این آتش‌سوزی خسارت زیادی را به عرصه‌های منابع طبیعی وارد می‌آورد، ضروری به نظر می‌رسد که از فناوری‌های جدید آشکارسازی، نظارت و ارزیابی خسارت ناشی از آتش‌سوزی استفاده گردد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر بیانگر قابلیت تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS به‌منظور کشف آتش‌سوزی جنگل‌هاست. همچنین ارزیابی خسارت ناشی از این آتش‌سوزی‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با دقت مکانی بیشتر همانند Landsat مناسب است. در پژوهش حاضر اقدام به بومی‌سازی الگوریتم کشف آتش شد و حد آستانه مناسب نیز تعیین گردید. در روش

پیشنهادی برای شناسایی آتش پس از انجام تصحیحات رادیومتری و هندسی با استفاده از ماسک ابر و آب این دو پدیده از تصویر حذف شدند و سپس با تعیین حد آستانه مناسب، نواحی دارای پتانسیل آتش مشخص گردید. در این نواحی پیکسل‌هایی که درجه حرارت آنها در باند ۲۲ کمتر از ۲۹۳ درجه کلوین و میزان انعکاس طیفی آنها در باند ۲ کمتر از ۰/۳ و اختلاف دمایی باند ۲۲ و ۳۱ کمتر از ۱۰ درجه کلوین بود، به عنوان پیکسل‌های دارای پتانسیل آتش علامت‌گذاری شدند و با تعیین حد آستانه و آزمون‌های مختلف اقدام به استخراج پیکسل‌های آتش گردید. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از حد آستانه ۳۱۰ درجه کلوین برای باند ۲۲ که برای مقیاس جهانی در نظر گرفته شده است، آتش‌های سرد و کوچک را آشکار نمی‌کند، از این رو از

Giglio, L., Descloitres, J., Christopher, O., Kaufman, Y.J., 2003, **AN Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS**, Remote sensing of Environment Vol. 87, pp. 273-282.

Hoseinali, F., Rajabi, M., 2005, **Simulation of Forest Fires by Using GIS**, Paper Presented at the Geomatic Conference, Tehran.

Iran Forest, Range & Watershed Management Organization website: www.frw.org.ir.

Iran Metrological Organization home page, On line accessed, website: <http://www.weather.ir>.

Jeffrey T. et al., 2005, **Validation of MODIS Active Fire Detection Products Derived from Two Algorithms**, Earth interactions., Vol. 9, pp. 1.

Justice, C.O., Giglio, L., et al., **The MODIS Fire Products**, Remote Sensing of Environment Vol. 83, pp. 244-262.

Kaufman, Y.J. et al., 1998, **Potential Global Fire Monitoring from EOS-MODIS**, Journal of Geophysical Research, Vol. 103, pp. 32215-32238.

Kaufman, Y.J., Ichoku, C., Giglio, L., 2003, **Fire and Smoke Observation from the Earth Observation System MODIS Instrument-Products, Validation, and Operational Use**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 24, No, 8, pp.1765-1781.

حد آستانه پایین‌تر استفاده گردید. لازم به ذکر است که به دلیل شرایط محیطی و آب و هوایی کشور ما، حد آستانه‌ها متغیرند، لذا نیاز به تحقیقات بیشتری در این زمینه وجود دارد.

مساحت برآورد شده در این مطالعه که بر اثر آتش‌سوزی از بین رفته (حدود ۹ هکتار) با اطلاعات اعلام شده از سوی مسئولان محلی تفاوت زیادی نداشته است، لذا می‌توان با استفاده از روش ارائه شده در پژوهش حاضر از تصاویر سنجنده MODIS به منظور آشکارسازی نقاط آتش‌سوزی در مقیاس زیرپیکسل و از تصاویری با دقت مکانی بالاتر مانند Landsat برای برآورد و ارزیابی خسارات وارد آمده استفاده کرد. همچنین با توجه به اینکه آتش‌سوزی‌های منطقه مورد مطالعه با شعله‌های زیادی همراه بوده است، امکان کشف آنها به وسیله سنجنده MODIS و الگوریتم مورد استفاده در این تحقیق فراهم آمده است، ولی برای کشف آتش‌های با حرارت کمتر و در مراحل اولیه شروع آتش‌سوزی، نیاز به تحقیقات بیشتری وجود دارد.

۸- منابع

Alavipanah, S.K., 2006, **Thermal Remote Sensing and its Applications in Geosciences**, Tehran University publication.

Atracchai, A.N., 2001, **An Investigation on the Effects of fire on Vegetation**, M.Sc. dissertation, Agriculture Faculty, Mazandaran, Iran.

FAO News, 2003, **Fire Situation in the Islamic Republic of Iran**, International Forest Fire News, No.28, pp. 88-91.

Giglio, L., 2005, **MODIS Collection 4 Active Fire Product**, MODIS User Guide Version 2.2, Science Systems and Application, inc.

- Kazemi, M., 2008, **Fire and Forest Ecosystems**, Dam, Kesht and Sannat Journal 7th year, vol. 70, pp. 46-55.
- Khorasaninejad, A., 1996, **Investigation of Forest Fire and Control Method in Shast Kalateh Woodland**, M.Sc. dissertation, Agriculture instituted Gorgan, Iran.
- Mohammadi, H., 2008, **Disasters of Atmospheric**, Tehran University., Pri. 1, pp. 169.
- Movaghati, S., Samadzadegan, F., Azizi, A., 2008, **A Comparative Study of Three Algorithms for Forest Fire Detection in Iran**, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 37, pp. 379-382.
- Prins, E., Menzel, W., 1992, **Geostationary Satellite Detection of Biomass Burning in South America**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 13, pp. 2783-2799.
- Shariatnejad, S., 2008, **Role of Forest, Range & watershed Management Organization in development Management of Country Wood Industry**, Gorgan University, page 2.
- Wooster, M.J., 1998, **Biomass Burning**, Department of Geography, King's College London,
http://www.kcl.ac.uk/kis/schools/hums/geog/mw/fire_page.htm.
- Xie et al., 2005, **Smoke Plume Detecting Using MODIS Measurements in Eastern United States**, EastFIRE Conference Proceeding, Fairfax, VA, MAY, pp. 11-13.