

کارایی تصاویر سنجنده MODIS و الگوریتم جهانی کشف

آتش برای شناسایی آتش فعال در جنگل‌های زاگرس

- ❖ فرخ پورشکوری الهده؛ دانشجوی دکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ علی اصغر درویش صفت؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ فرهاد صمدزادگان؛ استاد دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- ❖ پدram عطارد؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

چکیده

تصاویر سنجنده MODIS برای شناسایی آتش فعال به صورت گسترده در دنیا استفاده می‌شوند. اختصاص باندهایی خاص برای انجام این کار، این سنجنده را متمایز کرده است. از آنجا که هر ساله آتش‌سوزی‌های زیادی در جنگل‌های غرب ایران اتفاق می‌افتد، این مطالعه با هدف بررسی پتانسیل تصاویر سنجنده MODIS و همچنین الگوریتم جهانی کشف آتش در جنگل‌های اطراف شهرستان مریوان انجام شد. مشخصه‌های ۲۰ مورد آتش‌سوزی، که در سال ۱۳۸۹ در این منطقه رخ داده بود، به عنوان واقعیت زمینی دریافت و به نقشه‌ای نقطه‌ای تبدیل شد. تصاویر سنجنده MODIS از دو ماهواره Terra و Aqua در روز آتش‌سوزی و روزهای قبل و بعد از آن دریافت شد. این تصاویر در سطح تصحیحات LIB برای استفاده در الگوریتم یادشده مناسب‌اند. تصاویر ماهواره Aqua در این سطح و تصاویر ماهواره Terra در فرمت خام دریافت و با پردازش‌های اولیه به سطح LIB تبدیل شد. تصاویر با الگوریتم جهانی کشف آتش تحلیل و بررسی شدند. با مقایسه آتش‌های شناسایی شده از تصاویر با واقعیت زمینی، مشخص شد که ۶ مورد از آتش‌ها با وسعت کم، شناسایی شده‌اند. علاوه بر این، ۴ سلول آتش دیگر روی تصاویر شناسایی شدند که قبلاً گزارش نشده بودند. با بررسی نقشه‌های منطقه مشخص شد که موقعیت این چهار نقطه در مناطق شهری است. از دلایل مهم شناسایی نشدن تمامی آتش‌ها در این مناطق، می‌توان به عدم حرارت کافی آن‌ها در هنگام اخذ گذر ماهواره اشاره کرد. ۳۰ درصد آتش‌ها شناسایی شدند که کشف همین مقدار نیز می‌تواند در جلوگیری و کاهش خسارت‌ها تأثیرگذار باشد. تصاویر سنجنده MODIS پتانسیل بالقوه خوبی در شناسایی آتش‌ها در جنگل‌های ناحیه ریشی زاگرس دارند، اما با استفاده از الگوریتم جهانی کشف آتش درصد شناسایی آتش‌ها پایین است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود امروزه از این تصاویر و الگوریتم یادشده در پایش این ناحیه استفاده شود و تحقیقات تکمیلی برای بهبود الگوریتم متناسب با شرایط این ناحیه ریشی انجام شود.

واژگان کلیدی: الگوریتم جهانی کشف آتش، تصاویر ماهواره‌ای، جنگل‌های زاگرس، سنجنده MODIS، کشف آتش.

مقدمه

از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ حدود ۱۵ هزار فقره آتش‌سوزی در جنگل‌های کشور رخ داده است [۱] که ۴۶ درصد از این آتش‌سوزی‌ها در ۵ سال اخیر در جنگل‌های زاگرس بوده است [۲]. در سال‌هایی که بارندگی بهاره و سپس خشکی شدید تابستان و پاییز اتفاق می‌افتد، احتمال وقوع آتش در جنگل‌های زاگرس بیشتر می‌شود. بارندگی بهاره سبب رویش خوب گیاهان یک و چندساله، و فقدان بارندگی از خردادماه منجر به افزایش حساسیت به آتش‌سوزی می‌شود [۳]. اقدام برای مبارزه و رساندن افراد و وسایل آتش‌نشانی به محل وقوع آتش‌سوزی مستلزم آن است که مکان آتش‌سوزی مشخص شود. کشف و اعلام فوری این حادثه به مراجع آتش‌نشانی در محدودساختن دامنه خطر و میزان خسارت ناشی از آتش‌سوزی بسیار مؤثر است. پایش جنگل‌ها برای شناسایی آتش‌ها از فنونی است که در گذشته به کمک روش‌های سنتی از قبیل دیده‌بان، بالگرد، و هواپیما انجام می‌شد [۴]. با ورود فناوری فضایی به عرصه زندگی بشر، تصاویر ماهواره‌ای به تدریج جایگزین روش‌های سنتی شد. تمامی این اقدامات در جهت حضور به موقع نیروهای اطفای حریق در جنگل و به تبع آن کاهش خسارت‌های ناشی از آتش‌سوزی است. اهمیت جنگل‌های زاگرس به‌خصوص در حفظ آب و خاک منطقه بر کسی پوشیده نیست. بنابراین، حفظ و صیانت این جنگل‌ها به‌خصوص در مقابل عوامل تخریب، که یکی از آنها آتش‌سوزی‌های فصلی است، از دغدغه‌های مهم مدیران بخش منابع طبیعی است. اهمیت این مسئله، با توجه به وضعیت تجدید حیات ضعیف در منطقه دوچندان می‌شود. بنابراین، با توجه به برگشت‌پذیری بسیار دشوار این جنگل‌ها بعد از آتش‌سوزی، ضرورت شناسایی و هشدار به موقع آتش‌ها مطرح

می‌شود. تصاویر ماهواره‌ای از ابزارهای مهم و مؤثر در شناسایی آتش فعال در دنیا هستند [۵]، اما هنوز در کشور ایران به این منظور استفاده نمی‌شوند. امتیازهایی از قبیل هزینه کم، اخذ مداوم، امکان پردازش، و بهبود تصاویر، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای را در مقایسه با روش‌های سنتی ارجح کرده است.

بر اساس فرمول پلانک^۱ و قانون جابه‌جایی وین^۲ و با استفاده از تحقیقات آزمایشگاهی مشخص شده است که طول موج‌های بین ۳ تا ۵ و ۱۱ میکرومتر، برای شناسایی آتش‌ها در جنگل مناسب‌اند [۶، ۷]. تلاش‌های متخصصان برای شناسایی آتش از اواخر دهه ۱۹۷۰ آغاز شده است [۸]. ماهواره‌های هواشناسی نظیر NOAA^۳، GOES^۴، و DMSP^۵ بی‌اینکه در هنگام پرتاب باندی برای شناسایی آتش در سنجنده‌های آن‌ها گنجانده شود، به دلیل داشتن باند حرارتی در محدوده طیفی ۳ تا ۵ میکرومتر سال‌ها به این منظور استفاده شدند. دوزیر پایه‌گذار تئوری کشف آتش بر اساس قانون جابه‌جایی وین بود. او مدلی برای شناسایی مناطقی با حرارت بالا توسعه داد. این مدل بر این اساس بود که اگر قسمتی از یک عنصر تفکیک زمینی^۶ گرم‌تر از قسمت‌های دیگر آن باشد، آن قسمت بازتابش بیشتری در طول موج ۳/۷۵ میکرومتر در مقایسه با طول موج ۱۱ میکرومتر نشان می‌دهد [۹]. فلانین و همکاران روش حد آستانه [۱۰] و همچنین لی و تگ روش آزمون زمینه‌ای [۱۱] را بر پایه تصاویر سنجنده AVHRR^۷ توسعه دادند.

طراحی سنجنده MODIS^۸ و نصب آن در

1. Planck Function
2. Wien's Displacement Law
3. National Oceanic and Atmospheric Administration
4. Geostationary Operational Environmental Satellites
5. Defense Meteorological Satellite Program
6. Ground Resolution Element
7. Advanced Very High Resolution Radiometer
8. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

ثبت شود و همچنین فراوانی مواد سوختی موجب تولید دود زیادی می‌شود. آن‌ها، با توجه به اینکه الگوریتم جهانی کشف آتش قادر به کشف آتش‌های سرد و کوچک به‌خصوص در تصاویر با زاویه برداشت زیاد نیست، الگوریتم بهبودیافته^۱ را پیشنهاد کردند [۱۵]. هابیبکر و همکاران به بررسی درصد آتش‌های شناسایی‌شده به کمک تصاویر سنجنده MODIS در امریکا پرداختند. آن‌ها آتش‌هایی با مساحت بیشتر از ۱۸ هکتار را برای مطالعه انتخاب و با استفاده هم‌زمان از تصاویر Aqua و Terra توانستند ۸۲ درصد از آتش‌های مورد مطالعه را شناسایی کنند [۱۶]. لیو و یونگ‌مینگ الگوریتمی را برای شناسایی آتش به کمک تصاویر ماهواره‌ای MODIS پیشنهاد کردند و در قسمت‌هایی از چین و روسیه آزمودند و نتیجه گرفتند که این الگوریتم برای شناسایی آتش‌هایی با دمای زیاد و همچنین آتش‌هایی با دمای کم ولی همراه با دود زیاد مناسب است [۱۷]. امرای و همکاران قابلیت داده‌های سنجنده‌های MSG-SEVIRI و MODIS را برای شناسایی آتش در افریقا بررسی کردند و نتیجه گرفتند که این تصاویر می‌توانند به‌عنوان تکمیل‌کننده یکدیگر در شناسایی آتش عمل کنند [۱۸]. بوو و همکاران به بررسی حدود آستانه برای شناسایی آتش به کمک داده‌های MODIS پرداختند و نتیجه گرفتند که تغییر حد آستانه برای باند حرارتی ۲۱ بر روی نتایج شناسایی آتش تأثیرگذار است [۱۹].

در ایران پایش منابع طبیعی برای شناسایی آتش به کمک تصاویر ماهواره‌ای انجام نمی‌شود و مطالعه در این زمینه نیز سابقه چندانی ندارد. موقتی و همکاران سه الگوریتم جهانی، بهبودیافته، و Graph-based را در ۵ مورد آتش‌سوزی رخ داده در استان کرمانشاه برای شناسایی آتش مقایسه کردند و نتیجه

ماهواره Terra در سال ۱۹۹۹ نقطه عطفی در زمینه شناسایی آتش محسوب می‌شود. در این سنجنده طبق تجارب و تحقیق‌های گذشته باندهایی در طول موج‌های ۳/۹۶ میکرومتر و ۱۱ میکرومتر گنجانده شد تا برای شناسایی آتش استفاده شود. متعاقب ماهواره Terra، ماهواره Aqua نیز با سنجنده MODIS در سال ۲۰۰۲ به فضا پرتاب شد. زمان تصویربرداری ماهواره‌های Terra و Aqua از خط استوا به ترتیب ۱۰:۳۰ و ۱۳:۳۰ در روز و ۲۲:۳۰ و ۰۱:۳۰ در شب به وقت محلی در هنگام تصویربرداری است. این ویژگی سبب افزایش قدرت تفکیک زمانی تصاویر سنجنده MODIS شد که امتیاز بسیار مهمی در شناسایی آتش محسوب می‌شود.

نسخه ۳ الگوریتم جهانی کشف آتش را کافمن و همکاران بر اساس تصاویر سنجنده MODIS نوشتند [۱۲]. در راستای بهبود این الگوریتم، گیگلیو و همکاران نسخه ۴ آن را با استفاده از روش آزمون زمینه‌ای توسعه دادند [۱۳]. از این روش امروزه برای شناسایی آتش در سطح جهانی بر اساس تصاویر سنجنده MODIS استفاده می‌شود. گیگلیو نسخه ۵ این الگوریتم را با همان روش و فقط با اندکی بهبود توسعه داد [۱۴]. روش آزمون زمینه‌ای در مقایسه با روش‌های قبلی بسیار بهتر و منعطف‌تر است و تعداد هشدارهای اشتباه در این روش کاهش یافته است. این روش برای استفاده در تمام جهان طراحی شده است و بنابراین ممکن است در بسیاری از کاربردهای محلی ضعف‌هایی داشته باشد. بر همین اساس تحقیقاتی نیز در زمینه توسعه الگوریتم‌های محلی کشف آتش انجام شده است.

وانگ و همکاران تحقیقاتی را برای بهبود امکان شناسایی آتش در جنگل‌های جنوب شرق امریکا انجام دادند. در این جنگل‌ها تاج پوشش بسته، باعث می‌شود که حرارت کمتری در هنگام آتش در تصاویر

بررسی قابلیت تصاویر سنجنده MODIS و همچنین الگوریتم جهانی کشف آتش برای شناسایی آتش در ناحیه ریشی زاگرس است.

منطقه مورد مطالعه و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه و داده‌های میدانی

جنگل‌های اطراف شهرستان مریوان در استان کردستان برای انجام این مطالعه انتخاب شد. ۲۰ مورد از آتش‌هایی که از اوایل خردادماه تا اواخر شهریورماه سال ۱۳۸۹ در این ناحیه گزارش شده بود، انتخاب و اطلاعات مربوط به آن‌ها از جمله زمان شروع و پایان آتش‌سوزی، مساحت، و مختصات یک نقطه در داخل مناطق سوخته دریافت شد. بر اساس این مختصات نقشه نقطه‌ای آتش‌سوزی‌ها تهیه شد. در شکل ۱ نقشه موقعیت آتش‌سوزی‌ها و در جدول ۱ مشخصه‌های آن‌ها ارائه شده است.

داده‌های مورد استفاده

تصاویر سنجنده MODIS از دو ماهواره Terra و Aqua در این مطالعه استفاده شد. این سنجنده در ۳۶ باند طیفی در طول موج‌های ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر و با تفکیک‌های مکانی ۲۵۰ (۲ باند)، ۵۰۰ (۵ باند)، و ۱۰۰۰ (۲۹ باند) متر فعال است. تمامی گذرهای تصاویر سنجنده MODIS از روز آتش‌سوزی و روزهای قبل و بعد از آتش‌سوزی، که منطقه مریوان را شامل می‌شد، دریافت و پردازش شد. تصاویر ماهواره Terra از سازمان فضایی ایران و تصاویر ماهواره Aqua از پرتابل مکانی^۲ سیستم مشاهدات زمینی^۳ دریافت شد. در جدول ۱ تعداد تصاویر پردازش‌شده برای هر مورد آتش درج شده است. در این تحقیق در مجموع ۱۴۷ گذر از ماهواره Terra و ۱۴۹ گذر از ماهواره Aqua پردازش شدند.

گرفتند که الگوریتم جهانی کشف آتش از دو الگوریتم دیگر نتایج بهتری ارائه می‌دهد [۲۰]. موقتی و همکاران یک الگوریتم عامل پایه^۱ را برای شناسایی آتش در جنگل با استفاده از تصاویر MODIS در سطح محلی پیشنهاد دادند و آن را در این مقیاس مناسب دانستند [۲۱]. اردکانی و همکاران به بررسی کشف آتش به کمک الگوریتم بهبودیافته در نخلستان‌های شهر خور از توابع شهرستان ناین در استان اصفهان پرداختند و پیشنهاد کردند که برای شرایط محلی متفاوت حد آستانه مناسب تعریف شود. آن‌ها حد آستانه ۲۹۳ درجه کلون را به جای حد آستانه ۳۱۰ درجه کلون (حد آستانه استاندارد الگوریتم جهانی کشف آتش) برای مشخص کردن سلول‌های دارای پتانسیل آتش استفاده و پیشنهاد کردند که با توجه به شرایط متفاوت آب و هوایی در کشور حدود آستانه‌های متفاوتی برای مناطق مختلف استفاده شود و تحقیقات بیشتری در این زمینه صورت گیرد [۲۲]. رحیم‌زادگان و همکاران آشکارسازی ماهواره‌ای آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی را با الگوریتم جهانی بررسی کردند [۲۳]. پورشکوری و همکاران کارایی تصاویر سنجنده MODIS و الگوریتم جهانی کشف آتش را بررسی کردند. آن‌ها از آتش‌سوزی رخ داده در تیرماه ۱۳۹۰ در پارک ملی گلستان استفاده کردند و نتیجه گرفتند که تصاویر سنجنده MODIS پتانسیل بالقوه خوبی برای شناسایی آتش‌های فعال در جنگل‌های شمال دارند [۲۴].

از آنجا که هر ساله آتش‌سوزی‌های زیادی در جنگل‌های غرب کشور رخ می‌دهد، ضرورت دارد که با تحقیقاتی، ابتدا کارایی تصاویر سنجنده MODIS و همچنین الگوریتم‌های موجود، در این جنگل‌ها بررسی شود تا در صورت مناسب‌بودن برای پایش استفاده شود و در صورت نیاز، الگوریتمی متناسب با شرایط این مناطق توسعه داده شود. هدف این مطالعه

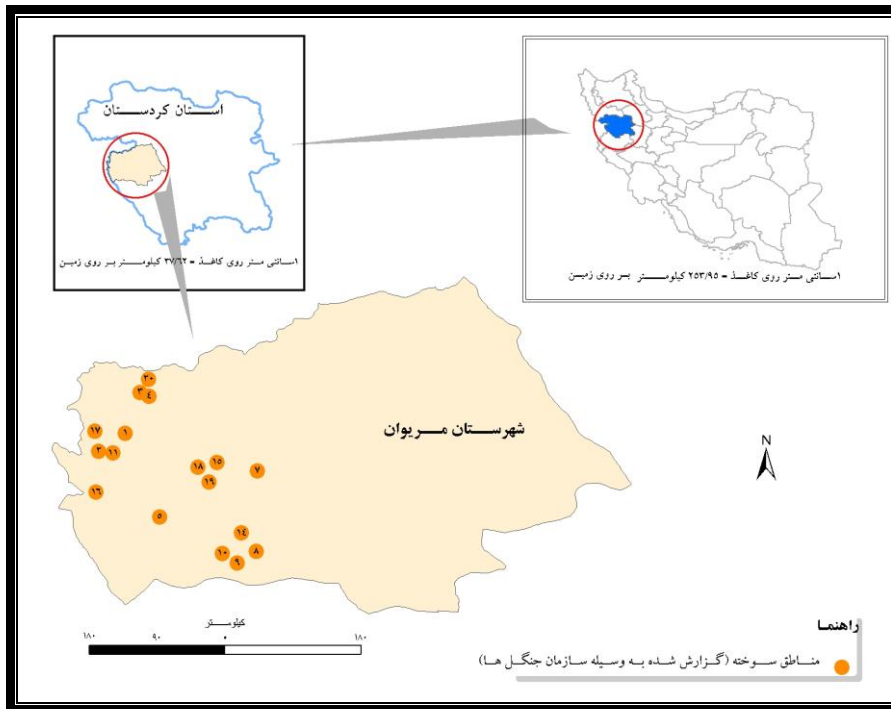
2. Geoportal

3. Earth Observation System

1. Agent-based

جدول ۱. مشخصه‌های مناطق سوخته و تعداد تصاویر پردازش شده برای هر مورد آتش‌سوزی مورد مطالعه و نتیجه پردازش‌ها

ردیف	نام محل	زمان شروع	زمان پایان	مساحت (ha)	کاربری محل	تعداد تصاویر پردازش شده		نتیجه پردازش برای شناسایی آتش (-): عدم شناسایی آتش
						Aqua	Terra	
۱	کانی میران	۱۳۸۹/۰۴/۱۳	۱۳۸۹/۰۴/۱۳	۶	جنگل	۷	۶	-
۲	مرانه	۱۳۸۹/۰۳/۲۳	۱۳۸۹/۰۳/۲۳	۹	جنگل	۷	۷	-
۳	کیکن	۱۳۸۹/۰۳/۲۳	۱۳۸۹/۰۳/۲۴	۷	جنگل	۸	۸	شناسایی به کمک تصویر ماهواره Terra، ۲۴ خرداد ۱۳۸۹، ساعت ۱۱:۵۰
۴	ونچی	۱۳۸۹/۰۳/۲۳	۱۳۸۹/۰۳/۲۴	۸	جنگل	۸	۸	شناسایی به کمک تصویر ماهواره Terra، ۲۴ خرداد ۱۳۸۹، ساعت ۱۱:۵۰
۵	نی	۱۳۸۹/۰۴/۲۸	۱۳۸۹/۰۴/۲۸	۴	جنگل	۹	۷	-
۶	عصرآباد	۱۳۸۹/۰۵/۰۴	۱۳۸۹/۰۵/۰۴	۶	جنگل	۶	۹	-
۷	عصرآباد	۱۳۸۹/۰۵/۰۹	۱۳۸۹/۰۵/۰۹	۶	جنگل	۷	۷	-
۸	ثرمار	۱۳۸۹/۰۵/۱۰	۱۳۸۹/۰۵/۱۰	۷۵	جنگل	۸	۷	شناسایی به کمک تصویر ماهواره Terra، ۱۰ مرداد ۱۳۸۹، ساعت ۲۲:۴۰
۹	ذلکه	۱۳۸۹/۰۵/۱۰	۱۳۸۹/۰۵/۱۰	۲۵	جنگل	۸	۷	شناسایی به کمک تصویر ماهواره Terra، ۱۰ مرداد ۱۳۸۹، ساعت ۲۲:۴۰
۱۰	درگاه پشخان	۱۳۸۹/۰۵/۱۰	۱۳۸۹/۰۵/۱۰	۲۰	جنگل	۸	۷	شناسایی به کمک تصویر ماهواره Terra، ۱۰ مرداد ۱۳۸۹، ساعت ۲۲:۴۰
۱۱	لیو	۱۳۸۹/۰۵/۱۱	۱۳۸۹/۰۵/۱۱	۴	جنگل	۹	۸	-
۱۲	مرانه	۱۳۸۹/۰۵/۱۱	۱۳۸۹/۰۵/۱۱	۸	جنگل	۹	۸	-
۱۳	چاوک	۱۳۸۹/۰۵/۲۴	۱۳۸۹/۰۵/۲۴	۶	جنگل	۷	۶	-
۱۴	بالک	۱۳۸۹/۰۵/۲۸	۱۳۸۹/۰۵/۲۸	۷	جنگل	۸	۷	شناسایی به کمک تصویر ماهواره Aqua، ۲۸ مرداد ۱۳۸۹، ساعت ۱۳:۴۵
۱۵	سلسی سفلی	۱۳۸۹/۰۶/۰۳	۱۳۸۹/۰۶/۰۳	۱۲	جنگل	۶	۱۰	-
۱۶	دولایی	۱۳۸۹/۰۶/۱۸	۱۳۸۹/۰۶/۱۸	۳/۵	جنگل	۶	۷	-
۱۷	باشماق	۱۳۸۹/۰۶/۲۲	۱۳۸۹/۰۶/۲۲	۳/۵	جنگل	۷	۸	-
۱۸	چاوک	۱۳۸۹/۰۶/۲۷	۱۳۸۹/۰۶/۲۷	۱۰	جنگل	۶	۷	-
۱۹	موسک	۱۳۸۹/۰۶/۲۷	۱۳۸۹/۰۶/۲۷	۱۱	جنگل	۶	۷	-
۲۰	میرگه دریش	۱۳۸۹/۰۴/۰۷	۱۳۸۹/۰۴/۰۷	۳	جنگل	۹	۶	-



شکل ۱. موقعیت مناطق سوخته در شهرستان مریوان که به‌عنوان واقعیت زمینی در این تحقیق استفاده شده است.

روش تحقیق

پایه‌ای برای بسیاری از تجزیه و تحلیل‌ها هستند. در الگوریتم جهانی کشف آتش داده‌های سطح L1B استفاده می‌شوند. داده‌های ماهواره Aqua با فرمت HDF در سطح L1B و داده‌های ماهواره Terra با فرمت PDS دریافت شد. داده‌های Terra در محیط نرم‌افزاری IMAPP مورد تصحیحات اولیه قرار گرفتند. ابتدا این داده‌ها از حالت فشرده خارج و به سطح L1A تبدیل و بعد کالیبره و تصحیح هندسی می‌شوند تا داده‌های سطح L1B حاصل شوند. تصحیح هندسی به روش پارامتری و با استفاده از اطلاعات مداری، دورسنجی^۱، و مدل رقومی زمین انجام می‌شود. داده‌های سنجنده MODIS باندهای حرارتی و انعکاسی دارند که کالیبراسیون آن‌ها با دو الگوریتم و مجموعه ضرایب جداگانه انجام می‌شود. نتایج کالیبراسیون در ۴ فایل با پیشوند MOD02 ذخیره می‌شود. یک فایل برای هر یک از مجموعه باندها با اندازه تفکیک‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر و یک فایل نیز که حاوی اطلاعات دورسنجی و

ابتدا تصاویر برای تجزیه و تحلیل به کمک الگوریتم جهانی کشف آتش نسخه ۴ [۱۳] پردازش شدند و سپس این الگوریتم روی تصاویر اجرا شد و سلول‌های آتش شناسایی شدند. سلول‌های شناسایی شده با نقشه واقعیت زمینی مقایسه و تحلیل شدند. هنگام تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، سلول‌هایی نیز به‌عنوان آتش روی تصاویر شناسایی شدند که قبلاً به‌عنوان آتش گزارش نشده بودند. این سلول‌ها به کمک نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای موجود بررسی شدند.

پردازش تصاویر

تصاویر سنجنده MODIS در هنگام اخذ دارای فرمت PDS هستند. در این فرمت تمامی باندها و اطلاعات دیگر به‌صورت فشرده در یک فایل قرار دارند. برای استفاده از این تصاویر لازم است که در سطوح سیستمی تصحیح شوند تا به سطوح استاندارد L1A و L1B تبدیل شوند. سطوح L1A و L1B محصولات

1. Telemetry

استفاده در الگوریتم، در جدول ۲ درج شده است. K درجه حرارت بر اساس واحد کلوین است.

۲. شناسایی سلول‌های دارای پتانسیل آتش: در

تصاویر روز و شب به ترتیب با روابط ۳ و ۴ سلول‌های دارای پتانسیل آتش شناسایی می‌شوند.

$$T4 > 310K \text{ and } \Delta T > 10K \text{ and } \rho < 0.86 < 0.3 \quad (۳)$$

$$T4 > 305K \text{ and } \Delta T > 10K \quad (۴)$$

در این رابطه‌ها، $\Delta T = T4 - T11$ است. بعد از شناسایی سلول‌های دارای پتانسیل آتش، باقی سلول‌ها غیر آتش خواهند بود.

۳. آزمون حد آستانه مطلق: آزمون حد آستانه مطلق

بر روی سلول‌های دارای پتانسیل آتش انجام می‌شود. در صورت احراز شرایط این آزمون سلول‌ها آتش محسوب می‌شوند. آزمون حد آستانه مطلق برای تصاویر روز و شب به ترتیب با روابط ۵ و ۶ انجام می‌شوند.

$$T4 > 360K \quad (۵)$$

$$T4 > 320K \text{ and Solar Zenith Angle } \geq 85^\circ \quad (۶)$$

همچنین داده‌های مورد استفاده در کالیبراسیون است تشکیل می‌شود. تصاویر سطح LIB برای استفاده در الگوریتم جهانی کشف آتش مناسب‌اند. این تصاویر با کمک الگوریتم جهانی کشف آتش تجزیه و تحلیل و سلول‌های آتش شناسایی شده در هر تصویر با واقعیت زمینی مقایسه شدند.

الگوریتم جهانی کشف آتش (نسخه ۴)

در این تحقیق از روش آزمون زمینه‌ای (رابطه‌های ۸-۱) [۱۳] استفاده شد. مراحل انجام این الگوریتم به صورت خلاصه به شرح زیر است.

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 ۱ و ۲ انجام می‌شود.

$$(\rho < 0.65 + \rho < 0.86 > 0.9) \text{ or } (T12 < 265K) \text{ or } (\rho < 0.65 + \rho < 0.86 > 0.7 \text{ and } T12 < 285K) \quad (۱)$$

$$T12 < 265K \quad (۲)$$

اجزای این رابطه‌ها به همراه باندهای مورد

جدول ۲. باندهای سنجنده MODIS مورد استفاده در الگوریتم جهانی کشف آتش [۱۳]

شماره باند	طول موج وسط باند (میکرومتر)	هدف از استفاده	علامت باند در الگوریتم	کمیت مورد استفاده
۱	۰/۶۵	جلوگیری از هشدار اشتباه بر اثر نور خورشید و سواحل، ماسک ابر	$\rho < 0.65$	DN
۲	۰/۸۶	جلوگیری از هشدار اشتباه بر اثر نور خورشید و سواحل، ماسک ابر	$\rho < 0.86$	DN
۷	۲/۱	جلوگیری از هشدار اشتباه بر اثر نور خورشید و سواحل و درخشش سطح زمین‌های لخت	$\rho < 2.1$	DN
۲۱	۴	کشف آتش	T4	درجه حرارت روشنایی استخراج شده از DN
۲۲	۴	کشف آتش	T4	درجه حرارت روشنایی استخراج شده از DN
۳۱	۱۱	کشف آتش و ماسک ابر	T11	درجه حرارت روشنایی استخراج شده از DN
۳۲	۱۲	ماسک ابر	T12	درجه حرارت روشنایی استخراج شده از DN

روز انعکاس زیاد دارند و می‌توانند باعث طبقه‌بندی پیکسل به آتش شده باشند، کمیت اطمینان محاسبه می‌شود. زیادبودن دما باعث افزایش اطمینان، ولی تعداد زیاد پیکسل‌های ابر و آب سبب کاهش اطمینان می‌شود. بر این اساس روش محاسبه میزان اطمینان در گذرهای روز و شب متفاوت است [۱۳]. کمیت اطمینان را نمی‌توان معیاری برای بیان صحت دانست و تنها راهنمایی برای کاربر جهت تحلیل بهتر فرایند تجزیه و تحلیل است.

نتایج و بحث

با تجزیه و تحلیل تصاویر سنجنده MODIS با استفاده از الگوریتم جهانی کشف آتش ۶ مورد از ۲۰ مورد آتش‌های گزارش شده از سوی سازمان جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری کشور در بازه زمانی سه ماهه در محدوده شهرستان مریوان شناسایی شد (شکل ۲ و جدول ۱). آتش‌های هم‌زمان مناطق کیکن و ونچی با تصاویر ساعت ۱۱:۵۰ ماهواره Terra، آتش‌های هم‌زمان مناطق ثرمار، ذلکه، و درگاه پشخان با تصویر ساعت ۲۲:۴۰ ماهواره Terra و آتش منطقه بالک با تصویر ساعت ۱۳:۴۵ ماهواره Aqua در تاریخ‌های مربوطه شناسایی شدند. در جدول ۳ مشخصه‌های آتش‌های شناسایی شده از جمله درجه حرارت روشنایی در باندهای ۲۱ و ۳۱ و درصد اطمینان کشف آتش درج شده است. علاوه بر سلول‌های آتش شناسایی شده، چهار سلول آتش دیگر نیز بر روی تصاویر شناسایی شد که در بین آتش‌های گزارش شده موجود نبود (شکل ۲). با تعیین موقعیت این چهار سلول بر روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ مشخص شد که این نقاط در مناطق شهری قرار دارند.

۴. **آزمون زمینه:** این آزمون بر روی سلول‌هایی که دارای پتانسیل آتش‌اند و حائز شرایط آزمون حد آستانه مطلق نشدند، انجام می‌شود. در این آزمون پنجره‌ای با مرکزیت سلول دارای پتانسیل آتش بر روی سلول‌های پیرامون آن که معتبر باشد (سلول‌هایی که جزء کلاسه ابر و آب نباشند؛ روی زمین باشند و ارزش آن در تصویر اصلی از بین نرفته باشد) تشکیل و برای محاسبه پارامترهایی برای آزمون زمینه استفاده می‌شود. پنجره با اندازه 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 و میانگین انحراف مطلق^۱ برای باندهای ۲۱، ۳۱، و ΔT در پنجره مربوط محاسبه و آزمون انجام می‌شود.

۵. **رد هشدارهای اشتباه:** بازتابش نور خورشید از محیط‌های آبی، خاک‌های خیس^۲، ابرهای سیروس، و در مواردی نادر از خاک‌های لخت و همچنین مناطق بیابانی و سواحل دریا در روز می‌تواند موجب هشدار اشتباه شوند. این مرحله بر اساس مدل ارائه شده گیگیو و همکاران [۱۳] انجام می‌شود.

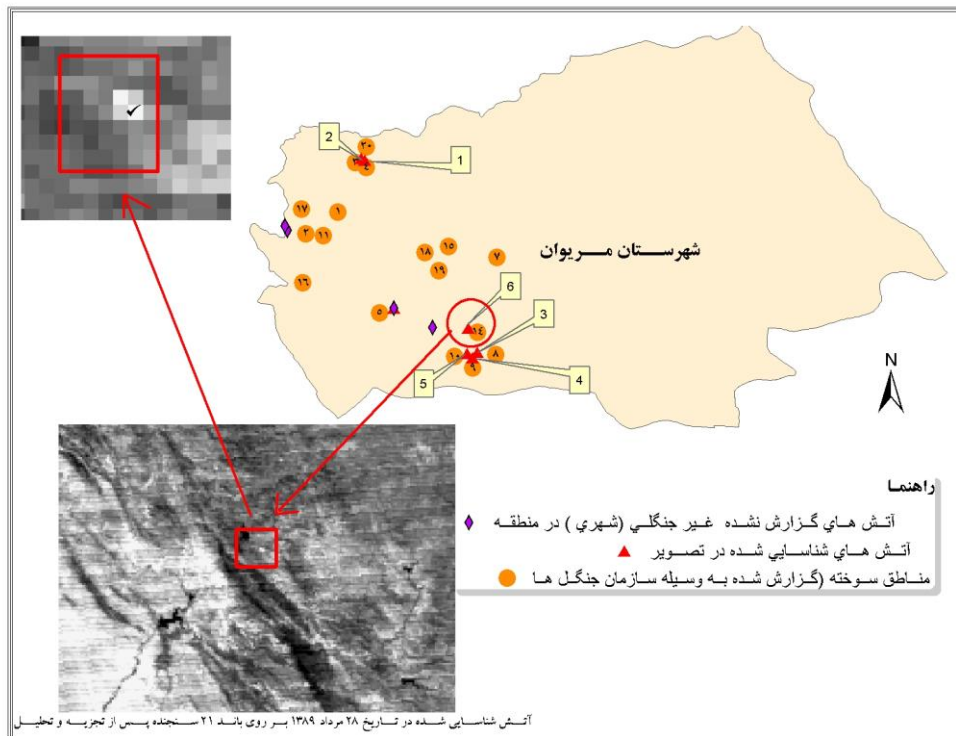
۶. طبقه‌بندی نهایی و محاسبه درصد اطمینان:

بر اساس پردازش‌های انجام شده در مراحل قبل، پیکسل‌های تصویر به کلاسه‌های آتش، غیرآتش، بدون داده^۳، ابر، آب، و ناشناخته طبقه‌بندی و در نهایت میزان اطمینان (confidence) برای یکایک پیکسل‌های آتش شناسایی شده محاسبه شد. از آنجا که یک پیکسل با دماهای مختلفی می‌تواند به‌عنوان پیکسل آتش شناسایی شود و از سویی دیگر پیکسل‌های ابر و آب محیط مجاور نیز، که در گذر

1. Mean Absolute Deviation
2. Wet Soils
3. Missing Data

جدول ۳. مشخصه‌های آتش‌های شناسایی شده به کمک تصاویر سنجنده MODIS

ردیف	ماهواره	اسم محل	تاریخ تصویربرداری	زمان تصویربرداری	ساعت تصویربرداری به وقت ایران	درجه حرارت روشنایی باند	درجه حرارت روشنایی باند ۳۱ به کلوین	اطمینان آتش به درصد
۱	Terra	کیکن	۱۳۸۹/۰۳/۲۴	روز	۱۱:۵۰	۳۳۱/۵۶	۳۱۳/۲۰	۷۹
۲	Terra	ونچی	۱۳۸۹/۰۳/۲۴	روز	۱۱:۵۰	۳۳۰/۱۴	۳۱۳/۴۰	۷۲
۳	Terra	ثرمار	۱۳۸۹/۰۵/۱۰	شب	۲۲:۴۰	۳۱۲/۱۲	۲۹۵/۰۳	۷۸
۴	Terra	ذلکه	۱۳۸۹/۰۵/۱۰	شب	۲۲:۴۰	۳۰۶/۵۷	۲۹۵/۴۷	۴۷
۵	Terra	درگاه پشخان	۱۳۸۹/۰۵/۱۰	شب	۲۲:۴۰	۳۰۶/۳۴	۲۹۵/۴۱	۴۴
۶	Aqua	بالک	۱۳۸۹/۰۵/۲۸	روز	۱۳:۴۵	۳۴۲/۵۵	۳۲۳/۸۰	۹۱



شکل ۲. موقعیت آتش‌های شناسایی شده بر اساس تصاویر MODIS و موقعیت یک آتش‌سوزی (منطقه بالک) بر روی تصویر با بزرگ‌نمایی

گذر ماهواره Terra در این منطقه حرارت آتش‌ها به اندازه‌ای بوده که در تصاویر ماهواره‌ای شناسایی شود. همان‌طور که در قسمت روش تشریح شد، اساس شناسایی آتش‌ها حرارت است و در زمان اخذ هر گذری هرچه میزان شدت آتش‌سوزی بیشتر باشد،

۵ مورد از آتش‌ها به کمک تصاویر ماهواره Terra و یک مورد با تصاویر ماهواره Aqua شناسایی شدند. خصوصیات تصاویر سنجنده MODIS در این دو ماهواره کاملاً یکسان است و تنها تفاوت آن‌ها در زمان اخذ گذر است. به نظر می‌رسد که در زمان اخذ

شناسایی آتش است [۱۲]. از آنجا که الگوریتم جهانی کشف آتش بر اساس حرارت تولیدشده به وسیله آتش‌ها توسعه یافته است [۱۳]، بنابراین، آتش‌هایی که در هنگام اخذ گذر حرارت کمتری دارند، قابلیت شناسایی کمی به کمک این الگوریتم دارند. محققان دیگری نیز در تحقیق‌های خود موارد مشابهی داشته‌اند و نتیجه‌گیری کرده‌اند که چه‌بسا آتش‌های شناسایی‌نشده ناشی از حرارت پایین آن‌ها باشد [۱۶، ۱۷].

از دیگر عوامل مؤثر در عدم شناسایی آتش‌ها، می‌توان به پوشش ابر [۱۳، ۱۶، ۱۷]، وسعت کم آتش [۱۵، ۱۶]، شدت کم آتش [۱۵، ۱۶]، و تاج پوشش بسته جنگل [۱۵، ۱۶] اشاره کرد. جنگل‌های غرب دارای تاج پوشش بسته نیستند، ولی سه عامل دیگر می‌تواند در عدم شناسایی آتش‌ها در این منطقه مؤثر باشد و عامل مساحت تأثیر کمتری در عدم شناسایی آتش‌ها دارد، چون در این جنگل‌ها در مساحت کم نیز حرارت بالایی تولید می‌شود؛ اما این موضوع نسبی است، زیرا هر قدر اندازه آتش بزرگ‌تر باشد حرارت و مدت زمان سوختن بیشتر خواهد بود که خود شانس شناسایی را بالا می‌برد. بر خلاف جنگل‌های شمال، ناحیه ریشی زاگرس تابستانی گرم و خشک دارد و آتش در این جنگل‌ها با سرعت گسترش می‌یابد و مواد سوختنی به دلیل رطوبت پایین آن سریع‌تر می‌سوزند. بنابراین، اگر گذری در هنگام سوختن منطقه‌ای با مواد سوختنی زیاد و خشک اخذ شود به دلیل حرارت زیاد امکان شناسایی آن بسیار زیاد خواهد بود.

جهانی‌بودن الگوریتم کشف آتش مورد استفاده در تحقیق نیز می‌تواند یکی دیگر از دلایل عدم شناسایی برخی از آتش‌های مورد مطالعه باشد. بنابراین، چه‌بسا که پس از ادامه تحقیقات در این زمینه، ضرورت بازبینی و اصلاح الگوریتم، متناسب با ویژگی‌های منطقه مطرح شود. محققان دیگری نیز به این جمع‌بندی رسیده‌اند [۱۵، ۲۱].

احتمال شناسایی آن بیشتر است. در تحقیق گزارش شده بر خلاف نتایج این تحقیق تصاویر ماهواره Aqua تعداد بیشتری آتش شناسایی کردند [۱۶]. آن‌ها با توجه به منطقه مورد مطالعه خود نتیجه‌گیری کردند که اکثر آتش‌ها در هنگام ظهر (زمان اخذ گذر اول Aqua) به بیشترین مقدار حرارت خود می‌رسند.

آتش‌های شناسایی‌شده مساحتی بین ۷ تا ۷۵ هکتار داشتند (جدول ۱). با توجه به اندازه تفکیک مکانی باندهای حرارتی سنجنده MODIS، 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 سنجنده MODIS قابلیت شناسایی آتش‌هایی با اندازه زیر یک سلول را نیز دارند. محققان دیگری نیز در تحقیقات خود به مطلب اخیر اشاره کرده‌اند [۹، ۱۹]. در این تحقیق، برخی آتش‌ها با تصاویر روز و برخی از آتش‌ها با تصاویر شب شناسایی شدند (جدول ۳). شناسایی آتش‌ها در هنگام شب از مزیت‌های مهم پایش محسوب می‌شود. چه‌بسا بسیاری از آتش‌ها که در شب هنگام رخ می‌دهند قبل از مشاهده و گزارش از سوی انسان، به کمک تصاویر ماهواره‌ای شناسایی شوند. هیچ موردی از آتش‌ها در تصاویر پیاپی روز و شب در یک شبانه‌روز شناسایی نشدند. این امر می‌تواند به دلیل خاموش شدن آتش یا نداشتن حرارت کافی در زمان دریافت گذر بعدی باشد.

مساحت آتش‌های شناسایی‌نشده در این تحقیق بین ۳/۵ تا ۱۲ هکتار بودند (جدول ۱). از آنجا که آتش‌هایی با مساحت ۷ و ۸ هکتار نیز در تصویر شناسایی شدند، بنابراین، مساحت اندک نمی‌تواند تنها دلیل شناسایی‌نشدن آن‌ها باشد. معمولاً حرارت کم آتش در هنگام اخذ گذر از مهم‌ترین عوامل عدم

آینده می‌توان روش‌های دیگر را آزمود یا الگوریتم جهانی را متناسب با شرایط منطقه بهبود بخشید تا نتایج بهتری کسب شود.

پایش حریق در منابع طبیعی بر اساس تصاویر ماهواره‌ای از اواخر دهه ۱۹۷۰ شروع شده است، اما هنوز در کشور ایران عملی نشده است. بنابراین، با توجه به قابل دسترس و رایگان بودن تصاویر سنجنده MODIS، تعداد زیاد حریق در جنگل‌های زاگرس، وجود روش‌های کشف آتش و امکان بهبود آن‌ها، و جلوگیری از خسارت‌های زیاد، پیشنهاد می‌شود که پایش جنگل‌های غرب از هم‌اکنون به کمک تصاویر سنجنده MODIS و الگوریتم جهانی کشف آتش انجام شود و در مراحل بعدی با توجه به شرایط منطقه، الگوریتم بهبود یابد یا الگوریتم جدیدی توسعه داده شود.

وجود دو ماهواره در مدار و اخذ تصاویر با توان تفکیک زمانی زیاد امتیاز مهمی در راستای کشف به‌هنگام آتش است. بنابراین، بسیاری از محققان استفاده هم‌زمان این تصاویر را توصیه کرده‌اند [۱۶]. همچنین، برخی محققان از تصاویر ماهواره زمین‌آهنگ - که تفکیک زمانی بسیار مناسبی دارند - استفاده کرده‌اند و این امر را از مزیت‌های بسیار ارزشمند در شناسایی آتش دانسته‌اند [۱۸].

نتیجه‌گیری

نتایج شناسایی آتش با تصاویر سنجنده MODIS گویای این مطلب است که تصاویر سنجنده MODIS پتانسیل بالقوه برای شناسایی آتش در جنگل‌های غرب کشور را دارند، اما با استفاده از الگوریتم جهانی فقط ۳۰ درصد از آتش‌ها شناسایی شدند که درصد پایینی است. با توجه به گستردگی منطقه و تعداد آتش‌سوزی‌ها، می‌توان گفت همین مقدار از پتانسیل و نسبت نیز می‌تواند باعث کاهش خسارت‌ها در ناحیه رویشی زاگرس شود. البته در مطالعات تکمیلی

References

- [1]. <http://mellatonline.net/index.php/component/content/article/77-gozaresh/5833-1390-05-05-04-32-43> (05/12/2012).
- [2]. <http://mellatonline.net/index.php/component/content/article/77-gozaresh/5833-1390-05-05-04-32-43> (05/12/2012).
- [3]. <http://old.isna.ir/ISNA/NewsView.aspx?ID=News-1690845> (05/12/2012).
- [4]. Jazirehi, M.D. (2005). Forest Protection, University of Tehran Press, Tehran.
- [5]. Justice, C.O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J. T., Roy, D., Descloitreset, J., Alleaumed. S., Petitcoline, F., and Kaufman, Y. (2002). The MODIS fire products. Remote Sensing of Environment, 83(1): 244–262.
- [6]. Alavipanah, S. K. (2008). Thermal Remote Sensing, University of Tehran Press, Tehran.
- [7]. Robinson, J.M. (1991). Fire from space: Global fire evaluation using infrared remote sensing. International Journal of Remote Sensing, 12(1): 3-24.
- [8]. Croft, T.A. (1978). Nighttime Images of the Earth from Space. Scientific America, 2(1): 68-79.
- [9]. Dozier, J. (1981). A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution. Remote Sensing of Environment, 11(1): 221-229.
- [10]. Flannigan, M.D., and Vonder Haar, T.H. (1986). Forest fire monitoring using NOAA satellite AVHRR. Canadian Journal of Forest Research, 16(5): 975–982.
- [11]. Lee, T.F., and Tag, P.M. (1990). Improved Detection of Hotspots using the AVHRR 3.7- μ m Channel. Bulletin of the American Meteorological Society, 71(12): 1722-1730.
- [12]. Kaufman, Y.J., Kleidman, R.G., and King, M.D. (1998). SCAR-B fires in the tropics: Properties and Fire Detection Based on MODIS Data. Remote sensing from EOS-MODIS. Journal of Geophysical Research, 103(31): 955-968.
- [13]. Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O., and Kaufman, Y.J. (2003). An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. Remote Sensing of Environment, 87(2): 273–282.
- [14]. Giglio, L. (2010). MODIS Collection 5 Active Fire Product User's Guide Version 2.4, Science Systems and Applications, Inc, University of Maryland press, Maryland.
- [15]. Wang, W., Qu, J.J., Hao, X., Liu, Y., and Sommers, W.T. (2007). An improved algorithm for small and cool fire detection using MODIS data: A preliminary study in the southeastern United States. Remote Sensing of Environment, 108(2): 163-170.
- [16]. Hawbaker, T.J., Radeloff, V.C., Syphard, A.D., Zhu, Z., and Stewart, S.I. (2008). Detection rates of the MODIS active fire product in the United States. Remote Sensing of Environment, 112(5): 2656-2664.
- [17]. Liu, s., and Yongming, Z. (2010). An Enhanced algorithm for Forest Fire Detection Based on MODIS data. 2010 International Conference on Optoelectronics and Image Processing. Dec. 11-12 Haiko, China, pp.200-203.
- [18]. Amraoui, M., DaCamara, C.C., and Pereira, J.M.C. (2010). Detection and monitoring of African vegetation fires using MSG-SEVIRI imagery. Remote Sensing of Environment: 114(5): 1038-1052.
- [19]. Bowo, E.C., fearns. P., and McAtee. B. (2012). Analysing Threshold Value in Fire Detection Algorithm Using MODIS Data. Aceh International Journal of Science and Technology, 1(2): 54-59.
- [20]. Movaghathi, S., Samadzadegan, F., and Azizi, A. (2008). A comparative study of three algorithms for forest fire detection in IRAN. In: The International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Jul.3-11, Beijing, China, pp. 379-382.

- [21]. Movaghati, S., Samadzadegan, F., and Azizi, A. (2009). An Agent-Based Approach for Regional Forest Fire Detection using MODIS Data. *Journal of Applied Sciences*, 9(20). 3672-3681.
- [22]. Ardakani, A.S., Valadan Zoej. M., Mansourian. A., and Mohammadzadeh, A. (2009). Spectral analysis of Fire to detection and estimate the extent of fire affected areas using satellite imagery. *Iranian Remote Sensing & GIS*, 1(3): 65-80.
- [23]. Rahimzadegan, M., Zohari, M., Tayefi Fiejani, M., Taghizadeh, N., Saberi, N., Alimohamadi, S., Tavakoli, A., and Akbrian. M. (2011). Satellite fire detection in natural resources by MODIS imagery. The 1th International Conference on Wildfire in Natural Resources Lands. Oct.26-28 Gorgan, Iran.
- [24]. Pourshakouri. F., Darvishsefat, A.A., Samadzadegan, F., and Selyari. J. (2011). Investigation of active fire detection using MODIS images (case study: Golestan National park). The 1th International Conference on Wildfire in Natural Resources Lands. Oct.26-28 Gorgan, Iran.