



سنجش از دور

GIS ایران



سال دوم، شماره یکم، بهار ۱۳۸۹
Vol.2, No.1, Spring 2010

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

۳۷-۵۰

ارزیابی دقت مکانی و زمانی تصاویر سنجنده MODIS در شناسایی نقاط آتش‌سوزی

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

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

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۹/۲۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۳/۲۴

چکیده

در پژوهش حاضر دقت مکانی و زمانی سنجنده MODIS مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. برای دستیابی به این هدف از آتش‌های کشف‌شده قبلی این سنجنده بهره گرفته شد و با تعیین بیضی خطا برای این نقاط، دقت آن ارزیابی و برآورد گردید. به این منظور تعداد ۵۱۲۷ نقطه آتش‌سوزی مربوط به ۲۰ چاه نفت که به طور دائم در طول سال در حال سوختن هستند، مورد مطالعه قرار گرفت. ابتدا مختصات جغرافیایی نقاط انتخاب شده با دقت بالا تعیین گردید. سپس مختصات نقاط آتش‌سوزی آشکار شده به وسیله سنجنده MODIS در محدوده نقاط فوق برای سال ۲۰۰۸ استخراج شد و برای هر دو داده جمع‌آوری شده فوق shape file تهیه گردید. سپس اقدام به محاسبه انحراف استاندارد و تعیین بیضی خطا برای تمام نقاط آتش‌سوزی - به‌طور مجزا - گردید. نتایج نشان می‌دهد که میانگین انحراف استاندارد این نقاط برابر ۶۴۴/۴۰ متر است. همچنین با محاسبه مقدار میانگین RMSE برای مختصات مرکز بیضی برازش داده شده بر مجموعه نقاط آتش‌سوزی کشف شده و مختصات دقیق زمینی همان نقاط، برابر ۱۶۱/۶۴ متر است. میانگین زاویه چرخش بیضی انحراف استاندارد نیز برابر ۷۴ درجه است، که نشان‌دهنده کشیدگی نقاط در جهت عمود بر حرکت ماهواره (scan) است. به بیان دیگر دقت نقاط آتش‌های آشکار شده در جهت حرکت ماهواره (Track) بیشتر است. علاوه بر این، بیشترین آشکارسازی در ساعت ۱۸ الی ۱۹ و کمترین آشکارسازی در ساعت ۹ الی ۱۰ صبح به وقت گرینویچ اتفاق می‌افتد. همچنین با بررسی ماهیانه آتش‌های ثبت شده به‌وسیله سنجنده MODIS مشخص گردید که بیشترین آشکارسازی مربوط به نیمه اول سال یعنی ماه‌های فروردین تا مهر است.

کلیدواژه‌ها: آتش‌سوزی، دقت مکانی و زمانی، بیضی انحراف استاندارد، چاه‌های نفت، MODIS.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر، بالاتر از میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، تلفن: ۸۸۷۷۵۵۵

۱- مقدمه

از روش‌های امروزی و کارآمد در آشکارسازی آتش‌سوزی‌ها در مناطق مختلف جهان، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. از جمله تصاویر قابل استفاده در این زمینه می‌توان به تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS اشاره کرد. این سنجنده که برای اولین بار بر روی ماهواره Terra نصب شده است، در دسامبر سال ۱۹۹۹ به وسیله ناسا به فضا پرتاب گردید. مدار گردش این ماهواره به دور زمین نزدیک قطبی است و زمان عبور آن از استوا به وقت محلی ساعت ۱۰:۳۰ صبح و به صورت نزولی است. دومین سنجنده MODIS که بر روی ماهواره Aqua نصب گردید در تاریخ ۴ مه سال ۲۰۰۲ به فضا فرستاده شد. این دو سنجنده می‌توانند روزانه چهار بار از هر منطقه بر روی سطح زمین تصویربرداری کنند (Kaufman et al., 2003). سنجنده MODIS دارای تعدادی باندهای مناسب برای نظارت و پایش آتش‌سوزی در مناطق مختلف جهان در محدوده باندهای طیفی حدود ۴ و ۱۱ میکرومتر و با توان تفکیک مکانی ۱ کیلومتر است (Gigolo et al., 2003)، زیرا این باندها کاربردهای فراوانی در تشخیص منابع حرارتی از قبیل آتش‌سوزی دارند (Alavipanah, 2006).

Justice et al. (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 به وسیله پژوهشگران مختلفی مانند: Kaufman et al. (2003) و Jeffrey & Movaghathi et al. (2008) و Gilglio (2005) و Kaufman et al. (1998) صورت گرفته و روش‌های آنها منجر به دستیابی به الگوریتم‌های بهینه کشف آتش با دقت بهتری در مقیاس جهانی و منطقه‌ای شده است.

تیم علمی MODIS الگوریتم‌های مختلفی را به منظور بهره‌برداری از داده‌های سری زمانی دریافت شده به وسیله این سنجنده ارائه کرده است (Wolfe et al., 2002). استفاده و به‌کارگیری این داده‌ها در علوم مختلف منابع زمینی در خصوص کشف تغییرات با استفاده از الگوریتم‌های چندزمانه، به دقت هندسی مناسب نیاز است (Justice et al., 1998; Roy, 2000). مطالعات انجام شده به وسیله Flynn et al. (2002) بر روی یکی از آتش‌های چاه نفت در خلیج فارس که برای سه روز متوالی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS صورت گرفته است، نشان می‌دهد که دقت مکانی آتش‌های کشف شده بین ۳ تا ۵ کیلومتر در طول و بین ۱۰۰ تا ۶۰۰ متر در عرض است.

تیم علمی مطالعات زمینی MODIS از ابتدا برای دستیابی به دقت‌های ۱۵۰ متر و حتی با هدف دستیابی به دقت ۵۰ متر تلاش کرده است (Nishihama et al., 1997). به همین منظور تا کنون الگوریتم‌های مختلفی به منظور دستیابی به چنین دقت‌هایی ارائه گردیده است. براساس گزارش، مشاهدات انجام شده در مورد اهداف ثابت زمینی با دمای بالا - نظیر چاه‌های نفت در حال سوختن - نشان داده است که سنجنده MODIS ممکن است دقت‌های مکانی در حد ۲۰۰ متر هم ارائه کند (Flynn et al., 2002). البته با توجه به شرایط مختلف سنجنده و اعوجاجات همراه آن و نیز انحنا و برجستگی‌های سطح زمین، دستیابی به دقت‌های در این حد - یعنی در حد زیر پیکسل - در بسیاری از مناطق به دشواری امکان‌پذیر خواهد بود. لذا به منظور استفاده از این تصاویر، نیاز به ارزیابی دقت هندسی آن است. در ادامه ضمن معرفی منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده، روش انجام مطالعه و نظریه تحقیق بیان گردیده و سپس به تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی ۲۰ نقطه آتش‌سوزی چاه‌های نفت که به وسیله سنجنده MODIS آشکار گردیده است، پرداخته می‌شود.

۲- داده‌های مورد استفاده و منطقه مورد مطالعه

در مطالعه حاضر از تعداد ۵۱۲۷ نقطه آتش‌سوزی کشف شده به وسیله سنجنده MODIS مربوط به سال ۲۰۰۸ در ایران استفاده گردید؛ که از این تعداد ۲۸۸۵ نقطه مربوط به سنجنده Terra و ۲۲۴۲ نقطه مربوط به سنجنده Aque است. این داده‌ها اکثراً مربوط به ۲۰ نقطه آتش‌های دائمی چاه‌های نفت جنوب و جنوبی غربی ایران است. به منظور جلوگیری از هرگونه تداخل آتش‌های گیاهی با آتش‌های دائمی، نقاط آتش‌سوزی طوری انتخاب گردیدند که در محدوده به شعاع ۳ کیلومتر اطراف آنها هیچ‌گونه پوشش گیاهی وجود نداشته باشد. مختصات دقیق نقاط آتش‌های دائمی نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای quick bird استخراج گردید. سپس از کلیه داده‌های تهیه شده، فایل‌های برداری با فرمت shape file تهیه گردید. سیستم تصویر در نظر گرفته شده برای این داده‌ها سیستم تصویر لامبرت است.

۳- روش انجام مطالعه

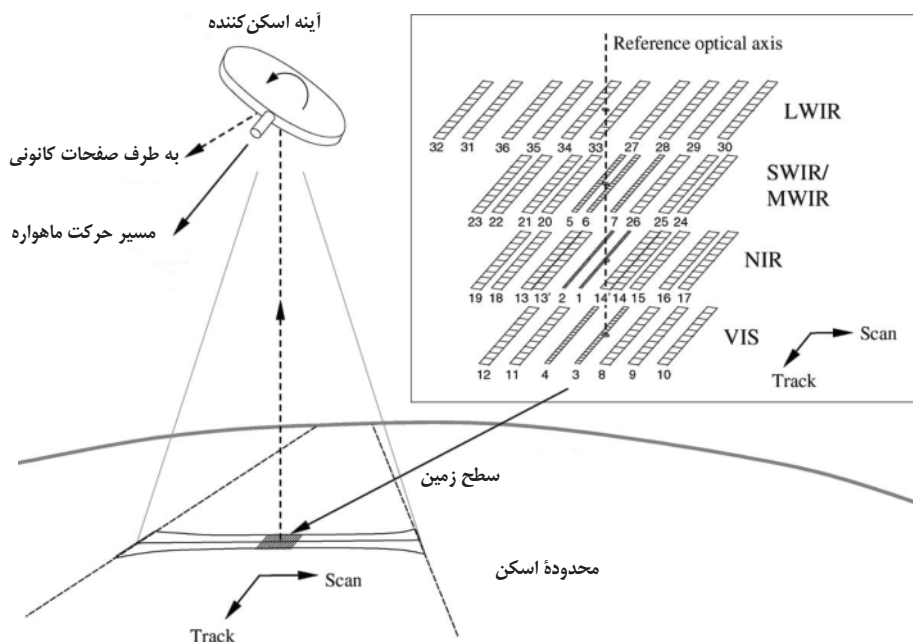
در مطالعه حاضر، نحوه توزیع مکانی نقاط آتش‌سوزی ثبت شده به وسیله سنجنده MODIS مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. ابتدا مختصات جغرافیایی نقاط انتخاب شده با دقت بالا تعیین گردید. سپس مختصات نقاط آتش‌سوزی آشکار شده به وسیله این سنجنده در محدوده نقاط مذکور برای سال ۲۰۰۸ ایران استخراج گردیدند. برای هر دو داده جمع‌آوری شده فوق Shape file تهیه گردید. سپس انحراف استاندارد و تعیین بیضی خطا برای تمام نقاط آتش‌سوزی به‌طور مجزا محاسبه شد.

برای دستیابی به نحوه و چگونگی توزیع این نقاط از بیضی انحراف استاندارد استفاده گردیده است. در ادامه، ضمن بررسی ویژگی‌های هندسی سنجنده MODIS، توزیع نقاط و فاصله استاندارد مکانی، بیضی انحراف استاندارد مکانی و نحوه محاسبه آن مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

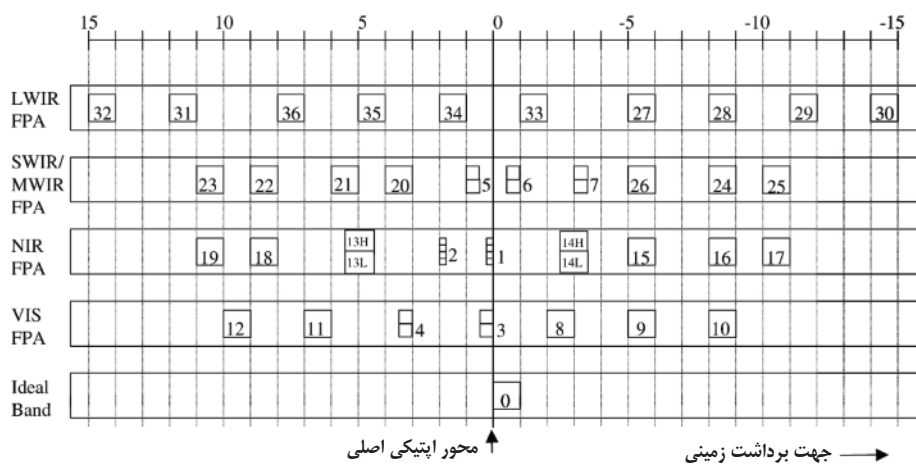
۳-۱- ویژگی‌های هندسی سنجنده MODIS

سنجنده MODIS که بر روی ماهواره Terra و Aqua نصب گردیده، در ارتفاع ۷۰۵ کیلومتری از سطح زمین بر روی یک مدار نزدیک قطبی با زاویه میل ۹۸/۲ دقیقه در حال تصویربرداری از سطح زمین است. این سنجنده که به‌صورت ویسک بروم تصویربرداری می‌کند، آینه‌هایی دارد که می‌تواند تا ± 55 درجه از هر طرف چرخش کند و به این ترتیب پوشش جهانی را با دوره زمانی ۲ روزه فراهم می‌آورد (Wolfe, 2002; Roy, 2000). سنجنده MODIS دارای ۳۶ باند طیفی با توان تفکیک رادیومتری ۱۲ بیت است، که محدوده طیفی مرئی تا مادون حرارتی را پوشش می‌دهد و در هر می‌گیرد. ۲۹ باند آن با توان تفکیک مکانی یک کیلومتر در نادر، ۵ باند، ۵۰۰ متر و ۲ باند، ۲۵۰ متر است. این سنجنده در هر باند دارای ۱۰ ردیف آشکارساز یک کیلومتری، ۲۰ ردیف ۵۰۰ متری و ۴۰ ردیف ۲۵۰ متری است، به‌طوری‌که در هر خط اسکن ۱۳۵۴ مشاهده یک کیلومتری ۲۷۰۸، ۵۰۰ متری و ۵۴۱۶، ۲۵۰ متری صورت می‌گیرد. آشکارسازهای MODIS به‌صورت گروهی بر روی چهار صفحه کانونی مادون قرمز دور، مادون قرمز کوتاه و میانی، مادون قرمز نزدیک و مرئی واقع شدند. این آشکارسازها بر روی صفحه کانونی در جهت زاویه اسکن واقع شده‌اند (شکل ۱ و ۲).

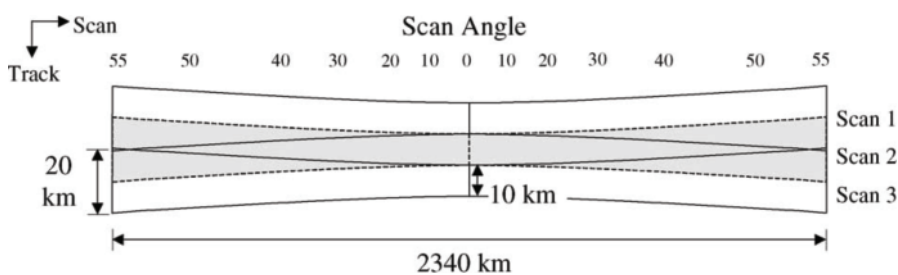
شکل ۳ سه صحنه برداشت نمونه پوشش متوالی به‌وسیله سنجنده MODIS از سطح زمین را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود عرض هر کدام از این برداشت‌ها به‌خاطر هندسه MODIS و انحنای زیاد سطح زمین تقریباً به ۲۳۴۰ کیلومتر می‌رسد. سرعت زاویه آینه (۲/۱۲۷ رادیان بر ثانیه) و سرعت حرکت ماهواره به طرف جلو (۷/۵ کیلومتر بر ثانیه) چنین شکلی را ایجاد می‌کند، به‌طوری‌که در نادر در جهت مسیر برداشت، لبه‌های یک اسکن با لبه‌های اسکن بعدی هم‌پوشانی می‌یابد.



شکل ۱. نحوه تصویربرداری سنجنده MODIS از سطح زمین به روش Whiskbroom



شکل ۲. موقعیت آشکارسازهای سنجنده MODIS با توجه به محور اپتیکی اصلی

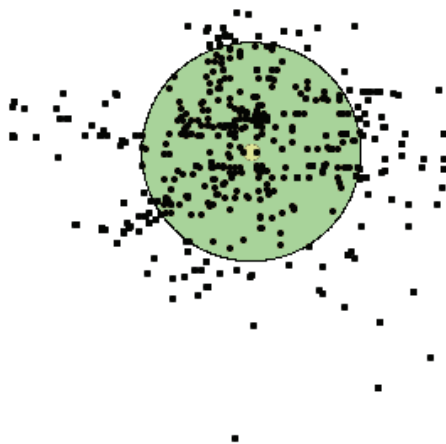


شکل ۳. تصویربرداری سنجنده MODIS برای سه برداشت متوالی و نمایش اثر Bowe-tie، ناحیه خاکستری محدوده برداشت شماره ۲ را نشان می‌دهد.

گرفته شده دارد. فاصله استاندارد توزیع یک نقطه با استفاده از رابطه (۲) تعیین می‌شود (Arc GIS User Guid):

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه x_i, y_i مختصات نقطه I و \bar{x}, \bar{y} مرکز میانگین توزیع نقاط و n تعداد کل نقاط در توزیع را نشان می‌دهد.



شکل ۴. فاصله استاندارد مکانی (عارضه دایره‌ای پلیگونی که شعاع آن برابر انحراف استاندارد مقادیر توصیفی داده‌ها و مرکز آن منطبق با میانگین مقادیر داده‌هاست).

۳-۴- بیضی انحراف استاندارد

اگر چه دایره فاصله استاندارد، ابزاری مناسب برای نشان دادن کشیدگی مکانی مجموعه‌ای از نقاط است، اما ممکن است مجموعه موقعیت‌های نقاط از نظر پدیده‌های جغرافیایی دارای انحراف جهت‌دار باشند. در این صورت دایره فاصله استاندارد، نمی‌تواند انحراف جهت‌دار فرایند را نشان دهد، لذا از بیضی انحراف استاندارد^۳ استفاده می‌شود. این بیضی می‌تواند انحراف

این مقدار در اسکن‌های بعدی سبب می‌شود که در فاصله ۲۴ درجه خارج از نادیر ۱۰ درصد پوشش مشترک به دست آید و در انتهای زاویه برداشت این پوشش به ۵۰ درصد می‌رسد. پدیده مذکور، bow tie نامیده می‌شود و در سنجنده‌های دیگری نظیر NOAA نیز دیده می‌شود (Schowengerdt, 1997).

۳-۲- پراکندگی توزیع نقاط

همان‌طور که داده‌های آماری انحراف استاندارد توضیح یا پراکندگی مقادیر عددی را مورد بررسی قرار می‌دهد، فواصل استاندارد^۱ یا بیضی‌های استاندارد^۲ برای توصیف پراکندگی نقاط در اطراف مرکز میانگین به کار برده می‌شوند. این دو پارامتر ابزار مفیدی برای طرح موضوع پراکندگی نقاط به شمار می‌آیند. هر چه پراکندگی مجموعه نقاط در اطراف مرکز میانگین بیشتر باشد، به همان اندازه فاصله استاندارد طویل‌تر و بیضی استاندارد بزرگ‌تر است.

در یک مجموعه داده‌های آماری، انحراف استاندارد از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

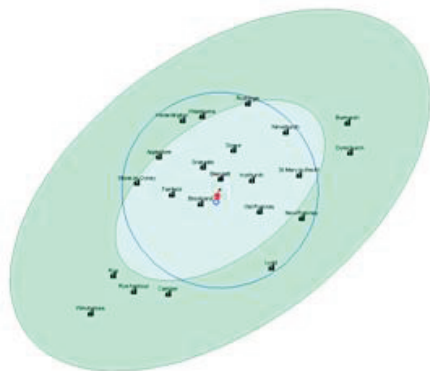
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در اینجا \bar{X} میانگین کلیه داده‌ها، n تعداد داده‌ها و S انحراف استاندارد است.

۳-۳- فاصله استاندارد مکانی

فاصله استاندارد مکانی مشابه انحراف استاندارد در آمار کلاسیک است. انحراف استاندارد مشخص می‌کند که مشاهدات تا چه حد از میانگین انحراف دارند. فاصله استاندارد در توزیع، به بررسی انحراف نقاط از مرکز میانگین می‌پردازد (شکل ۴). انحراف استاندارد، برحسب واحدهای مقادیر مشاهده‌ای بیان می‌شود، درحالی‌که فاصله استاندارد برحسب واحدهای فاصله‌اند، که بستگی به سیستم مختصات و سیستم تصویر به کار

1. Standard Distance
2. Standard Ellipse
3. Standard Deviational Ellipse



شکل ۵. نمایش دایره و بیضی‌های فاصله استاندارد برای داده‌های مکانی

مقدار $\tan(\theta)$ می‌تواند مثبت یا منفی باشد. چنانچه تانژانت مثبت باشد، محور طویل‌تر محور Y است که در جهت عقربه‌های ساعت به سمت شمال چرخش کرده است. چنانچه تانژانت منفی باشد گفته می‌شود که عکس تانژانت عدد منفی، زاویه منفی خواهد بود (نظیر -x)، و به عبارتی چرخش در خلاف جهت عقربه‌های ساعت است.

۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها

همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، در این مطالعه به منظور ارزیابی دقت هندسی تصاویر MODIS در شناسایی نقاط آتش‌سوزی، تعداد ۲۰ نقطه آتش‌سوزی چاه‌های نفت که به طور دائم در طول سال در حال سوختن هستند، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت (شکل ۶). تعداد کل نقاط آتش‌سوزی آشکار شده در سال ۲۰۰۸ به وسیله این سنجنده برابر ۵۱۲۷ مورد است، که از این تعداد ۲۲۴۲ مورد مربوط به سنجنده Aqua و ۲۸۸۵ مورد مربوط به سنجنده Terra بوده است. همچنین از تعداد ۱۲۰۰ مورد آتش‌های آشکار شده در موقعیت نادیر، ۴۹۷ مورد مربوط به سنجنده Aqua و ۵۵۱ مورد مربوط به سنجنده Terra است. با ارائه آمار مذکور

جهت‌دار توزیع نقاط را به خوبی نشان دهد (شکل ۵). در توصیف بیضی انحراف استاندارد سه جزء وجود دارد: زاویه چرخش^۱، انحراف در طول محور اصلی (محوری که بزرگ‌تر است) و انحراف در طول محور فرعی (محوری که کوچک‌تر است). چنانچه مجموعه نقاط دارای انحراف جهت‌دار باشند، بنابراین جهتی با حداکثر کشیدگی نقاط وجود دارد، عمود بر این جهت، جهتی است که دارای کمترین کشیدگی نقاط است. دو محور در سیستم مختصات کارتزین همان محورهای x و y هستند و زاویه چرخش با توجه به جهات جغرافیایی توزیع نقاط دارای مقدار معینی است. زاویه چرخش زاویه بین شمال و محور چرخشی y در جهت گردش عقربه‌های ساعت است - محور چرخشی Y می‌تواند اصلی و فرعی باشد.

زاویه چرخش بیضی انحراف استاندارد را می‌توان طبق رابطه (۳) محاسبه کرد (Lee, 2000).

$$\text{tag}\theta = \frac{A+B}{C} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$A = \left(\sum_{i=1}^n \bar{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \bar{y}_i^2 \right)$$

$$B = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \bar{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \bar{y}_i^2 \right) + 4 \left(\sum_{i=1}^n \bar{x}_i \bar{y}_i \right)}$$

$$C = 2 \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \bar{y}_i$$

که \bar{X}_i و \bar{Y}_i انحراف مختصات x و y از مرکز میانگین هستند.

همچنین انحراف استاندارد برای محورهای x و y به صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود (Lee, 2000).

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x}_i \cos \theta - \bar{y}_i \sin \theta)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

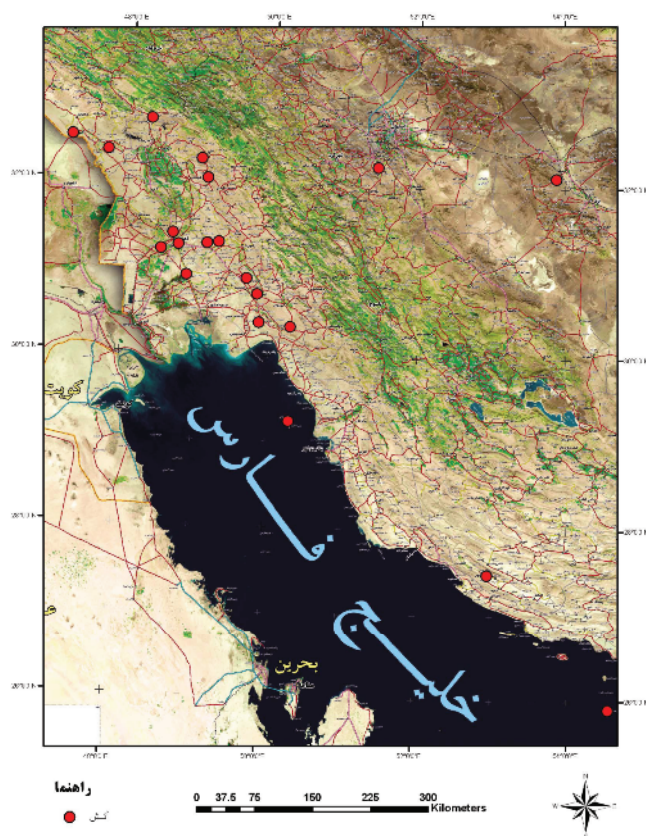
$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x}_i \sin \theta - \bar{y}_i \cos \theta)^2}{n}}$$

1. The Angle of Rotation

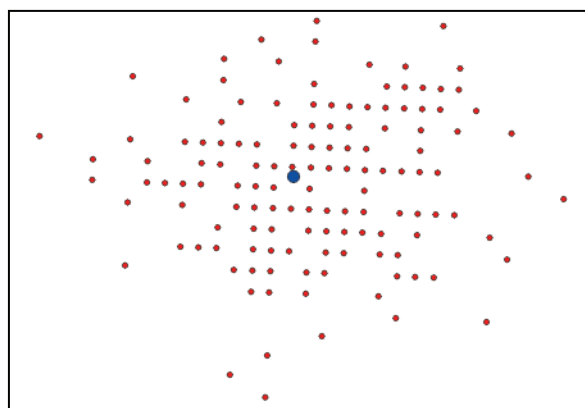
ارزیابی دقت مکانی و زمانی تصاویر سنجنده MODIS در شناسایی نقاط آتش‌سوزی

آشکار شده به وسیله سنجنده MODIS در محدوده نقاط مذکور برای سال ۲۰۰۸ استخراج گردید (شکل ۷). سپس برای هر دو داده جمع‌آوری شده فوق shape file تهیه گردید.

مشخص می‌شود که ماهواره Terra آتش‌های بیشتری را در مقایسه با ماهواره Aqua آشکار می‌سازد. ابتدا مختصات جغرافیایی واقعی این نقاط بر روی زمین با دقت بالا تعیین شد، سپس مختصات نقاط آتش‌سوزی



شکل ۶. موقعیت نقاط آتش‌سوزی انتخابی بر روی نقشه ایران



شکل ۷. نقاط آتش‌سوزی کشف‌شده به وسیله سنجنده MODIS در اطراف یکی از چاه‌های نفت

جدول ۱. نقاط آتش‌سوزی کشف شده به‌وسیله سنجنده MODIS در اطراف چاه‌های نفت و RMS این نقاط برای سال ۲۰۰۸

شماره نقاط	تعداد نقاط آتش ثبت شده در اطراف هر چاه نفت در سال	RMS نقاط آتش‌سوزی (متر)
۱	۱۳۶	۵۵۳/۴۳
۲	۴۵۷	۸۱۷/۵۰
۳	۱۶۵	۵۳۸/۷۱
۴	۸۳	۴۶۸/۶۰
۵	۱۷۱	۵۶۴/۸۵
۶	۷۰	۵۴۶/۳۳
۷	۲۰۶	۵۹۸/۹۲
۸	۶۳۰	۸۵۷/۱۵
۹	۱۴۲	۶۱۱/۳۹
۱۰	۲۶	۴۶۴/۸۰
۱۱	۱۲۱۵	۹۳۰/۷۲
۱۲	۶۲	۶۷۱/۷۱
۱۳	۱۳۵	۶۳۰/۱۵
۱۴	۱۹۹	۶۱۴/۸۸
۱۵	۳۴۵	۹۰۱/۰۹
۱۶	۴۴	۶۸۹/۷۸
۱۷	۱۴۹	۵۲۸/۴۷
۱۸	۵۷۴	۶۴۵/۹۴
۱۹	۱۴	۶۴۶/۵۱
۲۰	۳۰۴	۶۰۷/۰۴
جمع	۵۱۲۷	میانگین ۶۴۴/۴۰

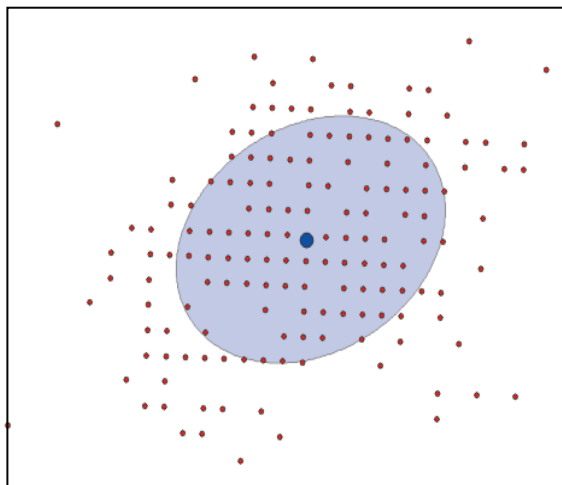
کدام از بیضی‌ها استخراج شد. مقدار میانگین RMSE بین مختصات مرکز بیضی برازش داده شده بر مجموعه نقاط آتش‌سوزی کشف‌شده اطراف هر نقطه آتش دائم با مختصات دقیق همان نقاط آتش‌سوزی استخراج شده برابر ۱۶۱/۶۴ متر است. همچنین میانگین زاویه چرخش بیضی انحراف استاندارد برابر ۷۴ درجه است، که نشان‌دهنده کشیدگی نقاط در جهت عمود بر حرکت ماهواره (scan) یعنی در جهت شرقی - غربی است. به بیان دیگر، نقاط آتش‌های آشکار شده در جهت حرکت ماهواره (Track) بیشتر است.

به‌منظور ارزیابی دقت نقاط آتش‌های آشکار شده به‌وسیله سنجنده MODIS مقدار RMSE برای تمام نقاط آتش‌سوزی محاسبه گردید (جدول ۱). میانگین RMSE این نقاط برابر ۶۴۴/۴۰ متر است. همان‌گونه که ذکر شد برای تمام آتش‌های آشکار شده در اطراف هر چاه نفت، بیضی انحراف استاندارد محاسبه گردید (جدول ۲). شکل ۸ بیضی انحراف استاندارد و نقاط آتش‌سوزی کشف‌شده به‌وسیله سنجنده MODIS در اطراف یکی از چاه‌های نفت در جنوب ایران را نشان می‌دهد. سپس مختصات مراکز هر

ارزیابی دقت مکانی و زمانی تصاویر سنجنده MODIS در شناسایی نقاط آتش سوزی

جدول ۲. مشخصات پارامترهای بیضی خطا برای نقاط آتش سوزی کشف شده

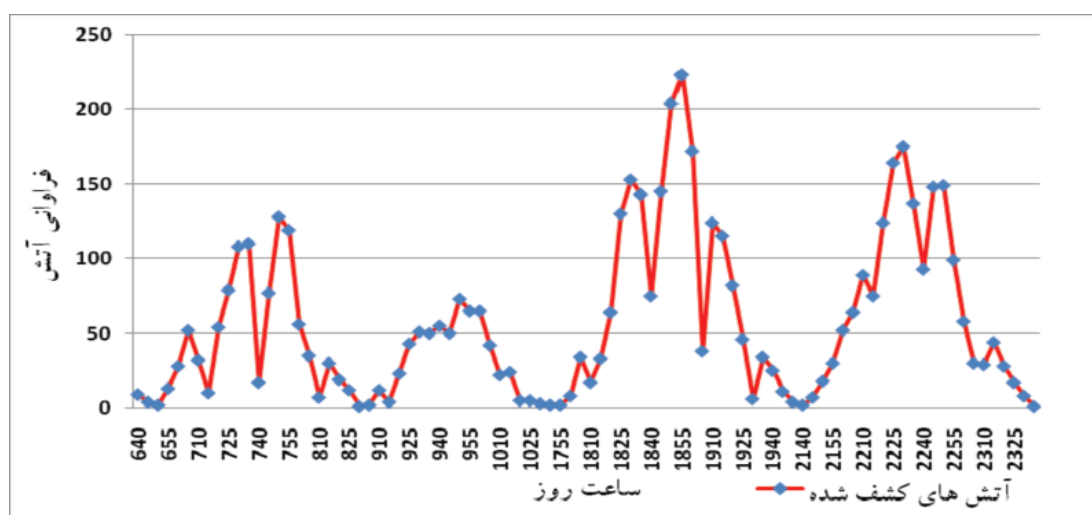
ردیف	X واقعی نقطه آتش	Y واقعی نقطه آتش	x مرکز بیضی	y مرکز بیضی	x فاصله استاندارد	y فاصله استاندارد	زاویه چرخش بیضی (درجه)
۱	۴۵۳۰۲۰۳	۳۰۹۳۳۳۰۶	۴۵۳۰۲۰۲	۳۰۹۳۲۲۹۲	۴۶۳/۰۱۶۳	۶۲۷/۰۹۱۷	۷۱/۱۱
۲	۴۵۳۷۸۳۶	۳۰۹۰۷۳۰۰	۴۵۳۷۸۸۵	۳۰۹۰۷۳۱۸	۵۸۹/۳۵۸۲	۹۹۰/۴۲۲۳	۸۱/۳۵
۳	۴۴۹۱۷۲۹	۳۰۸۳۶۶۳۷	۴۴۹۱۸۰۰	۳۰۸۳۶۶۴۴	۴۷۰/۰۶۰۶	۵۸۸/۱۰۴۳	۶۰/۵۳
۴	۴۴۷۶۲۹۲	۳۰۸۱۶۳۴۰	۴۴۷۶۲۸۰	۳۰۸۱۶۲۴۴	۴۱۷/۳۶۵۸	۴۹۱/۰۳۴۱	۲۳/۳۸
۵	۴۵۳۶۰۷۱	۳۰۸۲۲۶۶۳	۴۵۳۵۹۰۰	۳۰۸۲۲۷۴۱	۴۴۰/۰۳۳۴	۶۰۸/۴۱۶	۶۸/۷۴
۶	۴۵۵۱۴۶۶	۳۰۸۲۴۲۰۵	۴۵۵۱۵۲۴	۳۰۸۲۴۲۳۹	۴۱۰/۲۳۸۶	۶۴۱/۱۶۵۹	۷۵/۳۰
۷	۴۵۰۸۹۸۱	۳۰۷۸۲۰۱۲	۴۵۰۹۰۴۸	۳۰۷۸۲۱۰۷	۴۶۷/۲۹۸۴	۶۸۹/۵۰۲۴	۸۲/۹۲
۸	۴۸۹۷۶۸۲	۳۰۳۸۹۴۲۷	۴۸۹۷۸۴۶	۳۰۳۸۹۲۶۴	۶۱۶/۴۸۳	۹۹۰/۱۲۴۸	۸۸/۱۴
۹	۴۳۶۲۶۶۶	۳۰۹۶۵۷۴۳	۴۳۶۲۹۷۸	۳۰۹۶۵۷۳۵	۴۵۰/۴۲۶۴	۵۸۷/۳۶۳۸	۶۰/۹۳
۱۰	۴۴۶۵۹۰۵	۳۰۹۸۴۹۴۴	۴۴۶۵۸۹۹	۳۰۹۸۴۸۳۵	۳۸۸/۲۶۳۹	۴۹۰/۷۶۰۸	۴۷/۲۴
۱۱	۴۴۰۸۸۶۲	۳۰۹۴۶۰۱۹	۴۴۰۸۷۹۷	۳۰۹۴۶۱۳۱	۶۸۵/۱۱۲۹	۱۱۰۸/۰۶۴	۸۷/۸۷
۱۲	۴۴۹۸۹۲۴	۳۰۸۲۱۶۹۳	۴۴۹۸۹۵۷	۳۰۸۲۱۶۶۶	۷۶۹/۷۹۹۱	۵۴۰/۰۰۱۷	۹۳/۱۳
۱۳	۴۵۸۶۹۰۵	۳۰۷۷۶۱۱۱	۴۵۸۷۰۱۰	۳۰۷۷۶۰۰۶	۴۶۵/۹۱۵۱	۷۲۵/۹۳۵۱	۷۷/۱۲
۱۴	۴۶۰۰۳۵۷	۳۰۷۵۵۵۷۹	۴۶۰۰۴۴۷	۳۰۷۵۵۵۴۰	۵۳۵/۰۵۵۳	۶۶۸/۴۰۸۸	۷۸/۶۰
۱۵	۴۶۴۳۵۶۷	۳۰۷۱۲۷۰۳	۴۶۴۳۷۰۶	۳۰۷۱۲۷۲۰	۱۱۰۸/۸۲۳	۵۹۲/۸۰۰۵	۹۴/۲۹
۱۶	۴۶۴۰۵۴۱	۳۰۵۹۰۳۹۲	۴۶۴۰۷۴۹	۳۰۵۹۰۳۵۳	۵۲۹/۱۸۲۵	۷۴۸/۷۸۴۲	۷۷/۱۴
۱۷	۵۰۵۳۷۶۶	۳۰۲۱۴۶۲۳	۵۰۵۳۹۳۹	۳۰۲۱۴۷۹۵	۳۴۸/۰۹۵۱	۵۶۱/۳۳۱۲	۷۳/۱۹
۱۸	۴۷۵۷۸۳۷	۳۰۹۱۸۹۱۱	۴۷۵۷۹۴۰	۳۰۹۱۸۹۱۲	۵۲۶/۰۸۸۲	۷۳۱/۵۷۶۷	۸۷/۷۲
۱۹	۴۹۸۸۶۸۳	۳۰۹۰۳۱۳۹	۴۹۸۸۵۵۵	۳۰۹۰۲۸۸۹	۶۹۸/۸۶۸۱	۴۹۷/۹۲۴۲	۹۴/۹۵
۲۰	۵۶۰۲۴۴۷	۳۰۷۱۸۸۲۰	۵۶۰۲۴۶۶	۳۰۷۱۸۸۲۶	۵۰۴/۲۲۱۵	۶۹۲/۴۸۱	۶۵/۴۶



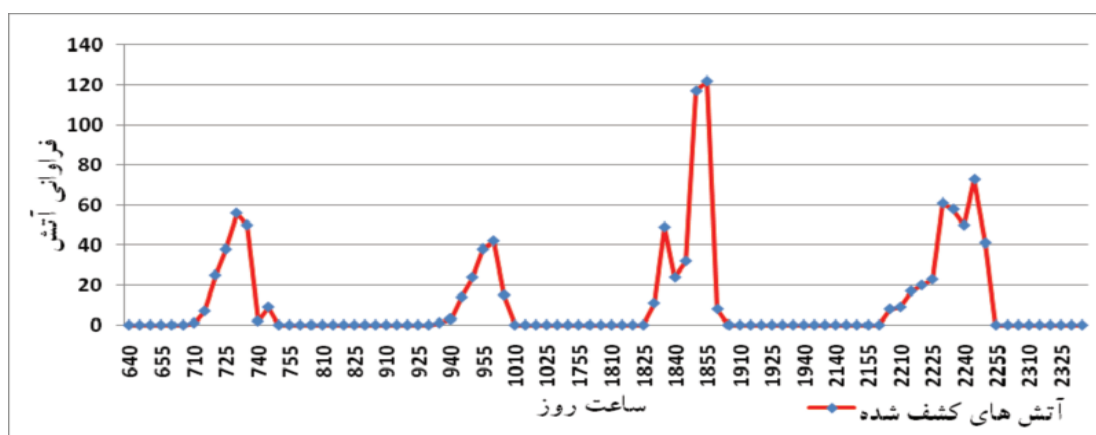
شکل ۸. بیضی انحراف استاندارد و نقاط آتش سوزی کشف شده به وسیله سنجنده MODIS در اطراف یکی از چاه‌های نفت در جنوب ایران، نقطه مرکز بیضی مکان واقعی آتش را نشان می‌دهد.

۹ الی ۱۰ صبح مصادف با ساعات اوج گرما در طول روز در این مناطق است، در نتیجه کنتراست حرارتی بین نقاط آتش‌سوزی و محیط اطراف کاهش می‌یابد و امکان کشف آتش‌ها کم می‌شود. ولی در ساعات شب به دلیل کاهش دمای هوا و افزایش کنتراست، آتش‌های بیشتری به‌وسیله این سنجنده آشکار می‌گردد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که برحسب زمان روز، دقت آشکارسازی آتش‌ها به‌وسیله MODIS نیز تغییر می‌کند.

همان‌گونه که از شکل‌های ۹ و ۱۰ مشخص می‌گردد، سنجنده MODIS که بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua نصب گردیده است، روزانه در ۴ نوبت آتش‌های منطقه مورد مطالعه را ثبت می‌کنند، که این برداشت دوبار در صبح و دو بار در بعد از ظهر و شب صورت می‌گیرد. بیشترین آشکارسازی در ساعت ۱۸ الی ۱۹ و کمترین آشکارسازی در ساعت ۹ الی ۱۰ صبح به وقت گرینویچ اتفاق می‌افتد. دلیل این امر آن است که ساعت



شکل ۹. آتش‌های کشف شده به‌وسیله سنجنده MODIS در سال ۲۰۰۸ برای تمام گذرهای ماهواره از روی نقطه حریق برحسب ساعات روز



شکل ۱۰. آتش‌های کشف شده به‌وسیله سنجنده MODIS در سال ۲۰۰۸ برای گذرهای نادر از روی نقطه حریق برحسب ساعات روز

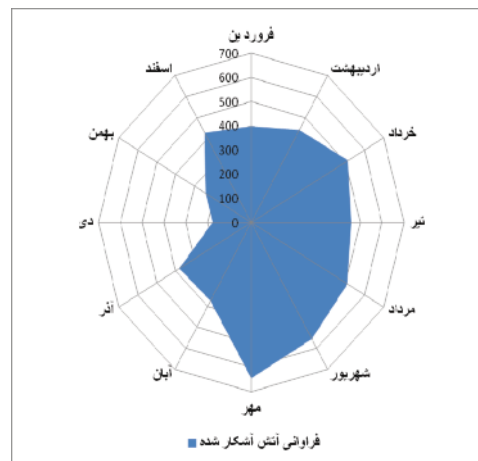
همچنین برحسب فصول سال، در فصل تابستان بیشترین فراوانی و در فصل زمستان کمترین فراوانی ثبت آتش‌ها صورت می‌گیرد (شکل ۱۲) و می‌توان گفت که میزان شناسایی برحسب ماه‌ها و فصول سال نیز تغییر می‌یابد.

۵- نتیجه‌گیری

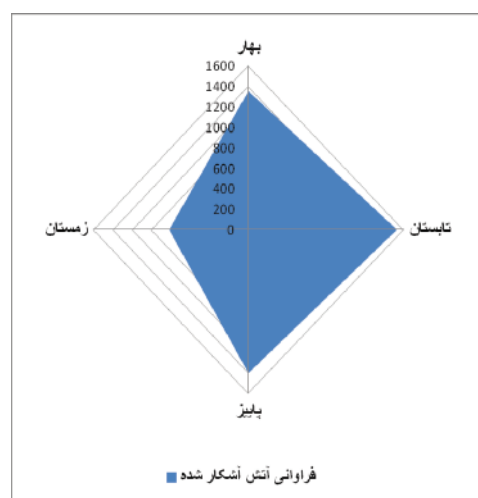
مطالعه حاضر با محاسبه بیضی انحراف استاندارد برای ۵۱۲۷ مورد نقاط آتش‌سوزی آشکار شده برای ۲۰ آتش‌چاه نفت در مناطق جنوبی ایران نشان داد که میانگین انحراف استاندارد این نقاط برابر $644/40$ متر است. همچنین با محاسبه مقدار میانگین RMSE برای مختصات مرکز بیضی برازش داده شده بر مجموعه نقاط آتش‌سوزی کشف شده و مختصات دقیق زمینی همان نقاط، برابر $161/64$ متر است. میانگین زاویه چرخش بیضی انحراف استاندارد برابر 74 درجه است که نشان از کشیدگی نقاط در جهت عمود بر حرکت ماهواره (scan) یعنی در جهت شرقی - غربی دارد. به بیان دیگر، دقت نقاط آتش‌های آشکار شده در جهت حرکت ماهواره (Track) بیشتر است.

مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از مطالعات انجام شده به‌وسیله Flynn et al. (2002) که بر روی یکی از آتش‌های چاه نفت در خلیج فارس با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS صورت گرفت و نشان داد که دقت مکانی آتش‌های کشف شده بین ۳ تا ۵ کیلومتر در طول و بین ۱۰۰ تا ۶۰۰ متر در عرض بوده، بیانگر این مطلب است که در هر دو مطالعه دقت‌ها در جهت Track بیشتر است. نکته در خور توجه این است که مطالعه حاضر بر روی تعداد زیادی از نقاط آتش‌سوزی (۲۰ نقطه) انجام شده است که با توجه به اینکه تعداد نمونه‌ها زیادتر بوده نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتری در مقایسه با مطالعه انجام شده به‌وسیله Flynn حاصل گردیده است.

همچنین با بررسی زمانی آتش‌های ثبت‌شده به‌وسیله سنجنده MODIS مشخص گردید که بیشترین آنها مربوط به نیمه اول سال؛ یعنی ماه‌های فروردین تا مهر است (شکل ۱۱)، که دلیل عمده آن کاهش میزان ابرناکی و یا عدم پوشش ابر بر فراز این مناطق است. به‌طوری که آتش‌های مورد مطالعه در معرض دید سنجنده قرار می‌گیرند، ولی در نیمه دوم سال به دلیل وجود پوشش‌های ابری جبهه‌های غربی و سیلکون‌های مدیترانه که معمولاً این مناطق را در بر می‌گیرند، امکان رؤیت آتش چاه‌های نفت به‌وسیله ماهواره‌ها وجود ندارد و فراوانی کشف آنها کمتر است.



شکل ۱۱. آتش‌های کشف شده به‌وسیله سنجنده MODIS در سال ۲۰۰۸ برحسب ماه



شکل ۱۲. آتش‌های کشف شده به‌وسیله سنجنده MODIS در سال ۲۰۰۸ برحسب فصل

۶- منابع

- Alavipanah, S.K., 2006, **Thermal Remote Sensing and Its Applications in Geosciences**, Tehran University publication.
- Flynn, L., Wringht, R., Gabriel, H., Harris, A., Pilger, E., 2002, **A Global Thermal Alert System using MODIS**, Vol. 1, No. 1, pp.37-69.
- Giglio, L., Descloitres, J., Christopher, O., kaufmam, Y.J., 2003, **AN Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS**, Remote sensing of Environment, Vol. 87, pp. 273-282.
- Jeffrey, T., Giglio, L., 2005, **Validation of MODIS Active Fire Detection Products Derived from Two Algorithms**, Earth interactions, Vol. 9, pp. 1.
- Justice, C.O., Giglio, L., 2002, **The MODIS Fire Products**, Remote sensing of Environment, Vol. 83, pp. 244-262.
- Kaufman, Y. J., Justice, C., Flynn, L., Kendall, J., prins, E., Giglio, L., WORD, D.E., Menzel P. and Setzer. A., 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.

تعداد کل نقاط آتش‌سوزی آشکارشده چاه‌های نفت در سال ۲۰۰۸ به‌وسیله این سنجنده، برابر ۵۱۲۷ مورد است که از این تعداد ۲۲۴۲ مورد مربوط به سنجنده Aqua و ۲۸۸۵ مورد مربوط به سنجنده Terra بوده است.

همچنین از تعداد ۱۲۰۰ مورد آتش‌های آشکار شده در موقعیت نادیر، ۴۹۷ مورد مربوط به سنجنده Aqua و ۵۵۱ مورد مربوط به سنجنده Terra است. با ارائه آمار فوق مشخص می‌شود که ماهواره Terra آتش‌های بیشتری را در مقایسه با ماهواره Aqua آشکار می‌سازد - که مشخص ساختن دلایل آن نیاز به بررسی و مطالعه بیشتر در این زمینه دارد که می‌تواند به عنوان موضوع تحقیق در مطالعات آتی مدنظر قرار گیرد. لذا پیشنهاد می‌گردد در مواقعی که به دقت‌های بالاتری نیاز است، از تصاویر ماهواره Terra استفاده گردد. همچنین با توجه به اینکه دقت آشکارسازی هر دو ماهواره در جهت Track بیشتر از جهت Scan است، توصیه می‌شود در این گونه از مطالعات این موضوع نیز مدنظر قرار گیرد.

علاوه بر این، بیشترین آشکارسازی در ساعت ۱۸ الی ۱۹ و کمترین آشکارسازی در ساعت ۹ الی ۱۰ صبح به وقت گرینویچ اتفاق می‌افتد. دلیل این امر آن است که ساعت ۹ الی ۱۰ صبح مصادف با ساعات اوج گرما در طول روز در این مناطق است. همچنین با بررسی ماهیانه آتش‌های ثبت‌شده به‌وسیله سنجنده MODIS مشخص گردید که بیشترین آشکارسازی مربوط به نیمه اول سال یعنی ماه‌های فروردین تا مهر و کمترین آن مربوط به فصل زمستان است، که دلیل عمده آن افزایش تعداد روزهای ابری در فصل زمستان و مخفی ماندن آتش‌ها از دید سنجنده MODIS است.

- Lee, J., 2001, and Wong, W.S., **Statistical Analysis with Arcview GIS**, U.S.A, pp. 70-75. On line accessed on Jan 18th 2010, <http://modis.gsfc.nasa.gov/>
- 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.
- Nishihama, M., Wolfe, R. E., Solomon, D., Patt, F.S., Blanchette, J., Fleig, A. J. & Masuoka, E., 1997, **MODIS Level 1A Earth Location Algorithm Theoretical Basis Document Version 3.0**, SDST-092, Lab. Terrestrial Phys. Greenbelt, MD: NASA Goddard Space Flight Center.
- Roy, D.P., 2000, **The Impact of Misregistration Upon Composited Wide Field of View Satellite Data and Implications for Change Detection**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 38, pp. 2017-2032.
- Schowengerdt, R.A., 1997, **Remote Sensing Models and Methods for Image Processing**, San Diego: Academic Press, pp. 100-109.
- Wolfe, R.E., Nishihama, M., Fleig, A.J., Kuyper, J.A., Roy, D.P., Storey J.C. and Patt, F.S., 2002, **Achieving Sub-pixel Geolocation Accuracy in Support of MODIS Land Science**, Remote Sensing of Environment, Vol. 83, pp. 31-49.