

بومی سازی الگوریتم بویان جهت شناسایی آتش سوزی جنگل ها از تصاویر ماهواره ای سنجنده مادیس

امید آذری^۱، علی محمدزاده^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه فتوگرامتری، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۰۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۱۰

چکیده

وقوع آتش سوزی از جمله پدیده هایی است که همه ساله خسارات زیاد و جبران ناپذیری بر جنگل ها و منابع طبیعی اقصی نقاط جهان از جمله ایران وارد می کند و موجب نابودی هزاران هکتار از جنگل ها و پوشش های گیاهی می شود. باتوجه به احتمال زیاد وقوع آتش سوزی در اکثر مناطق جهان، نظارت کامل و مداوم روی این پدیده طبیعی، مهم و ضروری است. استفاده از فناوری سنجش از دور راهکاری مناسب برای شناسایی و مدیریت آتش سوزی هاست. در این پژوهش، توسعه و بهبود الگوریتم بویان و مقایسه آن با برخی الگوریتم های آشکارسازی آتش با استفاده از تصاویر سنجنده مادیس مدنظر است. به این منظور علاوه بر الگوریتم توسعه یافته، الگوریتم های بویان در سال ۲۰۰۷، لینگلی وانگ در سال ۲۰۰۸ و جینگ وانگ در سال ۲۰۱۱ برای منطقه جنگلی استان گلستان بومی سازی و پیاده سازی شده اند. برای ارزیابی نتایج به دست آمده از الگوریتم های مذکور، از ماتریس ابهام و داده های زمینی اخذ شده از سازمان جنگل ها و منابع طبیعی استان گلستان استفاده شده است. همچنین نرخ شناسایی آتش، مقدار آلام اشتباه و ضریب کاپا برای هر الگوریتم محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده اند که مقدار نرخ شناسایی آتش برای الگوریتم های بویان، لینگلی وانگ، جینگ وانگ و الگوریتم توسعه یافته به ترتیب ۷۸/۹۵، ۵۳/۸۴، ۴۶/۱۵ و ۷۲/۲۲ درصد و مقدار ضریب کاپا نیز به ترتیب ۸۱/۰۲، ۳۲/۳۷، ۲۸/۳۷ و ۸۱/۱۱ درصد بدست آمد که نشان از برتری عملکرد الگوریتم توسعه یافته در منطقه مطالعاتی دارد.

کلید واژه ها : آتش سوزی جنگل، الگوریتم شناسایی آتش، بهبود الگوریتم، سنجنده مادیس.

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران، خیابان ولی عصر، بالاتر از میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

تلفن: ۰۹۱۲۴۷۵۲۹۶۱

Email: almoh2@gmail.com

۱- مقدمه

هرساله بسته به شرایط محیطی و دخالت‌های انسانی، آتش‌سوزی‌های زیادی در عرصه‌های منابع طبیعی کشور از جمله جنگل‌های شمال ایران رخ می‌دهد که موجب خسارت‌های زیاد به این منابع و نابودی آن‌ها می‌شود. بسته به امکانات موجود در کشور هرساله اقداماتی برای کنترل و مدیریت اطفاء حریق انجام می‌شود.

کاهش رطوبت نسبی هوا، دسترسی آسان به مواد سوختنی و عوامل انسانی از مهمترین دلایل آتش‌سوزی جنگل‌ها می‌باشد. در فصل زمستان، خشک شدن شاخ و برگ گیاهان به دلیل سرمای زیاد و خشکسالی و در فصل پاییز نیز برگ‌های خشکی که سطح زمین را پوشانده است؛ مواد سوختنی را تشکیل می‌دهند که احتمال آتش‌سوزی را افزایش می‌دهند.

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در زمینه شناسایی، نظارت و بررسی آتش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و علم سنجش‌ازدور در ایران و جهان توسط پژوهشگران مختلفی انجام شده‌است. کافمن و همکارانش برای آشکارسازی آتش، نسخه سه الگوریتم جهانی را نوشتند [۱]. بعدها گیگلیو و همکارانش در سال ۲۰۰۳ این الگوریتم را با استفاده از روش آزمون زمینه بهبود داده و با نام الگوریتم جهانی نسخه چهار توسعه دادند که از این روش امروزه برای شناسایی آتش در سطح جهانی بر پایه تصاویر سنجنده مادیس استفاده می‌شود؛ اگرچه ممکن است این روش در بسیاری از کاربردهای محلی ضعیف بوده و نیاز به بومی‌سازی داشته باشد [۲]. وانگ و همکارانش در سال ۲۰۰۵ مطالعاتی را برای بهبود امکان شناسایی آتش در جنگل‌های جنوب شرق آمریکا انجام دادند [۳]. البته به دلیل تراکم زیاد تاج پوشش این جنگل‌ها، حرارتی که تصاویر مادیس در حین آتش‌سوزی ثبت کرده‌اند، پایین است و چون الگوریتم جهانی قادر به کشف این آتش‌های سرد و کوچک نیست تصمیم به ارائه الگوریتم بهبود یافته گرفتند. بویان در سال ۲۰۰۷ الگوریتمی گراف‌مبنا را

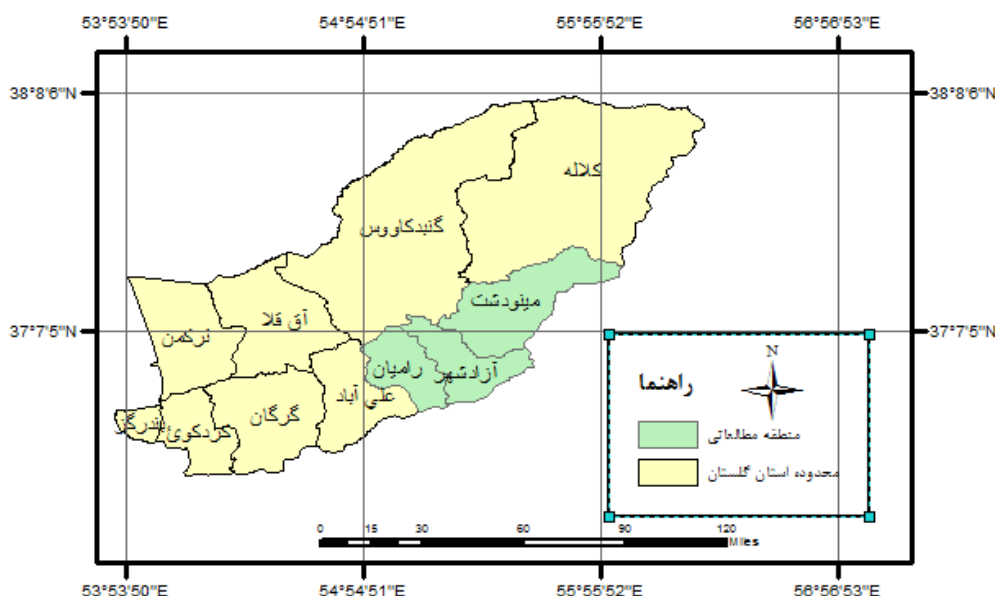
برای شناسایی آتش‌سوزی جنگل ارائه کرد. در سال ۲۰۰۸ لینگلی وانگ بر اساس یکسری شاخص‌ها الگوریتمی برای آشکارسازی آتش پیشنهاد داد. در ایران نیز مطالعات و تحقیقات زیادی در این حوزه انجام شده است که از جمله می‌توان به پژوهش موقتی و همکاران اشاره کرد که در آن عملکرد سه الگوریتم جهانی و بهبود یافته و گراف پایه را در پنج مورد آتش-سوزی کرمانشاه باهم مقایسه کرده که نتیجه آن برتری الگوریتم جهانی بوده‌است که در نتیجه این پژوهش، موقتی و همکاران یک الگوریتم عامل پایه^۱ را برای کشف آتش در جنگل با استفاده از تصویر مادیس در سطح و مقیاس ملی پیشنهاد دادند [۴]. اردکانی و همکاران نیز در منطقه خور از توابع شهرستان نائین در استان اصفهان الگوریتم جهانی را برای کشف آتش بکار بردند و توصیه کردند برای شرایط جوی متفاوت حد آستانه مناسب تعریف شود [۵]؛ به همین منظور آنها حد آستانه ۲۹۳ درجه کلون را بجای حد آستانه ۳۱۰ درجه کلون برای شناسایی سلول‌های دارای پتانسیل آتش پیشنهاد کردند.

به دلیل وقوع آتش‌سوزی‌های زیاد در جنگل‌های شمال، ضرورت دارد که با مطالعه و تحقیقاتی ابتدا کارایی تصاویر سنجنده مادیس و الگوریتم‌های مختلف را در این جنگل‌ها مورد ارزیابی قرار داد تا در صورت مناسب بودن، برای پایش استفاده شوند و در صورت امکان و نیاز بتوان الگوریتمی متناسب با شرایط جوی این منطقه توسعه داد. در ادامه ابتدا مروری بر تعدادی از الگوریتم‌های شناسایی آتش خواهد شد و سپس توسعه الگوریتم بویان را که به‌منظور کاهش آلارم اشتباه و عملکرد بهتر، بهبود داده شده معرفی و با الگوریتم‌های ذکر شده مقایسه می‌شود.

¹ Agent-base

شده‌اند که در شکل (۱) نمایش داده شده است. در جدول (۱) مشخصات تصویر مورد استفاده آورده شده است.

۲- منطقه مورد مطالعه و داده‌های استفاده شده
جنگل‌های شهرستان‌های آزادشهر، رامیان و مینودشت واقع در استان گلستان برای انجام این تحقیق انتخاب



شکل ۱: محدوده منطقه مطالعاتی

جدول ۱: مشخصات تصویر مورد استفاده

زمان	تاریخ	ماهواره	تصویر
۷:۳۰	12/12/2010	Terra	MOD021KM.A2010346

تصویر استفاده شده در تحقیق دارای داده‌های کالیبره شده از سطح زمین است که تصحیحات اتمسفری روی آن انجام شده است. تصحیح هندسی تصویر در نرم‌افزار ENVI صورت گرفته که بدین منظور با استفاده از پارامترهای تصحیح هندسی بدست آمده از نقاط کنترل زمینی موجود در هدر^۳ تصویر و متد مثلث‌بندی و روش نمونه‌برداری نزدیکترین همسایه، تصویر تصحیح شده است. برای ارزیابی نتایج این پژوهش نیز از داده‌های

در این منطقه از استان گلستان در روز یکشنبه به تاریخ ۲۱ آذر ماه ۱۳۸۹، ۱۳ مورد آتش‌سوزی از سوی سازمان جنگل‌ها و مراتع استان گلستان گزارش شده است. به همین منظور برای پیاده‌سازی این تحقیق از تصویر ماهواره ترا^۱ سنجنده مادیس در تاریخ مورد نظر استفاده شده‌است که از سایت ناسا^۲ اخذ شده‌است. مشخصات این تصویر خام در جدول (۱) آمده‌است.

¹ Terra

² <https://ladsweb.nascom.nasa.gov>

³ Header

زمینی اخذ شده از سازمان جنگل‌ها و مراتع استان گلستان که از محدوده آتش‌سوزی‌ها گرفته شده‌اند؛ استفاده می‌کنیم.

۳- مروری بر روش‌های مختلف شناسایی آتش

همانطور که اشاره شد در این تحقیق سه الگوریتم شناسایی آتش ارائه شده توسط لینگلی وانگ، جینگ وانگ و بویان پیاده‌سازی شده و مورد تحقیق و بررسی قرار خواهند گرفت که توضیح هریک از الگوریتم‌ها در ادامه آمده‌است.

۳-۱- الگوریتم لینگلی وانگ

در این الگوریتم که توسط لینگلی وانگ و همکاران در سال ۲۰۰۸ ارائه شد از تعدادی از شاخص‌ها برای کشف و شناسایی آتش استفاده شده است [۶]. در این الگوریتم از دو شاخص میزان خشکی چندطیفی نرمال شده ($NMDI^1$) و شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده^۲ برای شناسایی آتش استفاده شده است.

با ترکیب کردن اطلاعات دو کانال مادون قرمز نزدیک^۳ (NIR) و مادون قرمز طول موج کوتاه^۴ ($SWIR$) تصویر مادپس، شاخص $NMDI$ که شاخص مناسبی برای سنجش میزان خشکی خاک و گیاه است به دست می‌آید. برای خاک و مناطق فاقد گیاه، مقدار بالای شاخص $NMDI$ حاکی از افزایش شدت خشکی در این مناطق است، در حالی که در مناطق با پوشش گیاهی انبوه، مقادیر پایین این شاخص نشان از شدت خشکی دارد.

شکل (۲) فلوچارت کلی الگوریتم را نشان می‌دهد، که در ادامه به توضیح مرحله به مرحله آن می‌پردازیم. برای تولید ماسک آب و حذف پیکسل‌های آب از تصویر، ابتدا از تصویر مورد نظر در محیط نرم افزار ArcGIS از پهنه دریای خزر و پهنه‌های آبی موجود در منطقه، یک لایه آبی تهیه کرده و در محیط ENVI

استفاده می‌کنیم. سپس پیکسل‌های ابر را باید از تصویر حذف کرد، برای این امر از روش ارائه شده توسط گیگلیو در سال ۲۰۰۳ استفاده می‌شود. طبق این روش پیکسل‌هایی که رابطه (۱) در آن‌ها صادق باشد به کلاس ابر تعلق دارند [۲]، که در این رابطه R_1 و R_2 مربوط به باندهای انعکاسی ۱ و ۲ می‌باشند و T_{12} بیانگر درجه حرارت روشنایی باند ۳۲ است.

در مرحله بعدی الگوریتم، بعد از حذف پیکسل‌های آب و ابر از تصویر، برای پیکسل‌های باقی مانده با توجه به رابطه (۲) و با استفاده از باندهای ۱ و ۲ شاخص پوشش گیاهی $NDVI$ را محاسبه می‌کنیم.

هرچقدر شاخص پوشش گیاهی بیشتر باشد نشان‌دهنده تراکم زیاد جنگل و گیاه است.

شاخص پوشش گیاهی برای جداسازی جنگل از زمین استفاده می‌شود که برای این منطقه حد آستانه ۰/۴ در نظر گرفته شده است؛ یعنی پیکسل‌هایی که مقدار $NDVI$ برای آن‌ها بیشتر از ۰/۴ است، به کلاس جنگل تعلق دارند.

بعد از این مراحل میزان خشکی پیکسل‌هایی که دارای $NDVI$ بیشتر از ۰/۴ هستند بررسی می‌شوند، لذا برای این پیکسل‌ها مقدار شاخص $NMDI$ را از رابطه (۳) به دست می‌آوریم. R_2 و R_6 و R_7 به ترتیب در این رابطه باندهای انعکاسی ۲، ۶ و ۷ با طول موج‌های ۰/۸۶، ۱/۶۴ و ۲/۱۳ میکرومتر هستند.

شاخص $NMDI$ برای تفسیر وضعیت رطوبت پیکسل‌های کلاس گیاه استفاده می‌شود که مقادیر پایین این شاخص نشان از بالا رفتن میزان خشکی گیاهان است. در مناطق آتش‌گرفته میزان شاخص $NMDI$ برای گیاهان در زمان سوختن در حدود ۰/۲ است، که با بومی‌سازی، حد آستانه برای این منطقه مقدار ۰/۵۷ است که در مرحله آخر پیکسل‌هایی که رابطه (۴) در آن‌ها صدق می‌کند به کلاس آتش تعلق دارند.

¹ Normalized Multi-band Drought Index ($NMDI$)

² Normalized Difference Vegetation Index ($NDVI$)

³ Near-Infrared

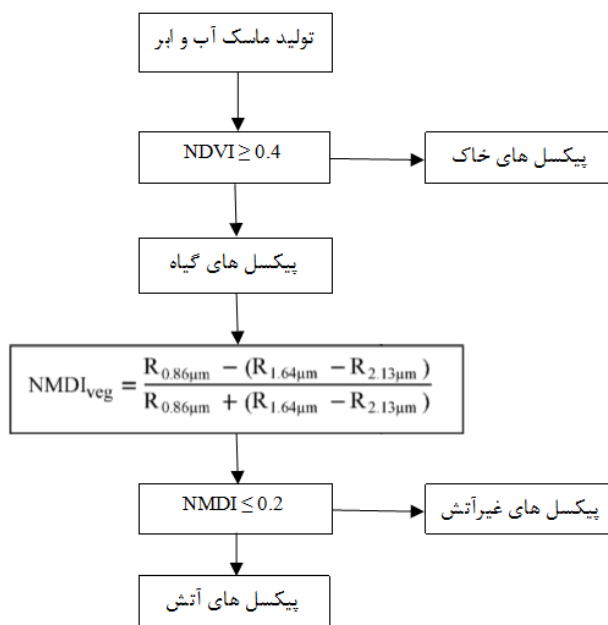
⁴ Short-Wave Infrared

رابطه (۱) $(R_1 + R_2) > 0.9 \text{ or } (T_{12} < 265 \text{ K}) \text{ or } (R_1 + R_2 > 0.7 \text{ and } T_{12} < 285 \text{ K})$

رابطه (۲) $NDVI = \frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1}$

رابطه (۳) $NMDI = \frac{R_2 - (R_6 - R_7)}{R_2 + (R_6 - R_7)}$

رابطه (۴) $NMDI \leq 0.57$



شکل ۲: فلوچارت شناسایی آتش به روش لینگی وانگ [۶]

۳-۲- الگوریتم جینگ وانگ

این الگوریتم که توسط جینگ وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ ارائه شده است به شناسایی پیکسل‌های دود ناشی از آتش‌سوزی جنگل‌ها پرداخته است [۷]. برای تشریح الگوریتم ابتدا نیاز است مواردی را در رابطه با خصوصیات طیفی باندهای سنجنده مادیس و یکسری مطالعات وانگ بیان کنیم.

به دلیل انعکاس طیفی بالا و درجه حرارت روشنایی پایین هواویز (ابر، دود، غبار و ...)، در باندهای مرئی و مادون قرمز هواویز^۱ و سطوح زیر ابر تفاوت‌هایی وجود دارد. به دلیل وجود طبقه‌بندی‌های مختلف در سطح زمین، بازتابندگی در باندهای با طول موج کوتاه، متغیر است یعنی عددی بین ۰/۵۸ - ۰/۶۸ میکرومتر؛ در حالی

^۱ Aerosol

که کمترین بازتابندگی برای گیاهان است و بعد از آن برای آب و خاک، و بیشترین بازتابندگی برای کلاس شهر می‌باشد. بازتابندگی ابر که با ضخامت و ارتفاع در ارتباط بوده و متغیر می‌باشد بیشتر از بازتابندگی سطح زمین است. بازتابندگی سطح زمین در باندهای مرئی سنجنده مادیس پایین است و در حدود ۰/۶۴۵ میکرومتر می‌باشد، در حالی که بازتابندگی هواویز بالا است؛ به همین منظور باند ۱ مادیس برای شناسایی دود و ابر ترجیح داده شده است. ژئی و همکارانش برای آنالیز طیفی کاراکترهای دود از سنسور چندطیفی استفاده کردند. آن‌ها از هشت اندازه‌گیری در هشت باند مختلف به طول موج‌های ۰/۴۴۷، ۰/۵۴۹، ۰/۶، ۰/۶۵۱، ۰/۷۵۲، ۰/۸۵۴، ۱/۰۴۴ و ۱/۲۴۵ استفاده کردند [۸]. این مطالعه نشان داد که دود در باند با طول موج کوتاه بازتاب قوی

باند ۲۶ با میانگین طول موج ۱/۳۸ میکرومتر، پنجره طیفی بخار آب است که دارای جذب رطوبت می‌باشد و معمولاً در مانیتورینگ ابرهای مرتفع استفاده می‌شود و به ابرهای تکه‌ای نازک حساس است.

اختلاف درجه حرارت روشنایی باندهای ۳/۷ و ۱۱ میکرومتر نیز به دلیل شفافیت بالای رطوبت و تأثیر ضعیف آن در طول موج ۳/۷ میکرومتر، برای جداسازی دود و ابر مناسب است. تابش از سطح در باندهای ۸/۶، ۱۱ و ۱۲ میکرومتر تفاوت اندکی دارد در حالی که جذب رطوبت در آنها تفاوت زیادی دارد و با توجه به اینکه اجزای اصلی دود را جامدات و اجزای اصلی ابر را مایعات تشکیل داده‌اند و همچنین به دلایل ذکر شده در بالا، برای جداسازی دود از ابر، استفاده از مقادیر باندهای زیر در این الگوریتم پیشنهاد می‌شود:

(۱) باند انعکاسی ۲۶ (B26)

(۲) درجه حرارت روشنایی باند ۱۱ میکرومتر (BT11)

(۳) اختلاف درجه حرارت روشنایی باندهای ۳/۷

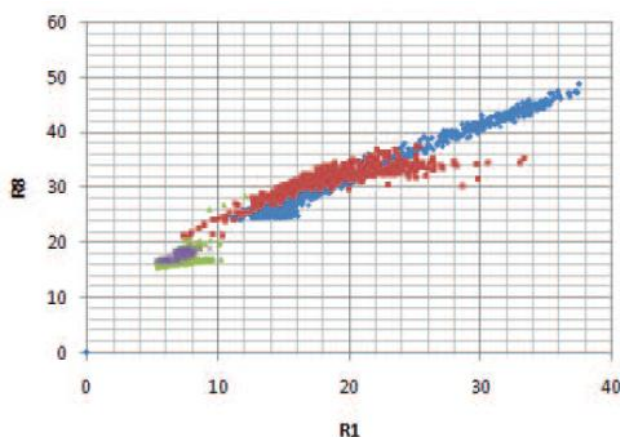
میکرومتر و ۱۲ میکرومتر (BT3.7 - BT12)

در جدول (۲) لیست باندهای مورد استفاده در الگوریتم وانگ آورده شده است.

دارد، به همین منظور باند ۸ مادیس برای شناسایی دود قابل استفاده است زیرا کوتاهترین طول موج را در مادیس دارد.

شکل (۳) یک فضای ویژگی دو بعدی را نشان می‌دهد که وانگ در مطالعات خود از آن استفاده کرده است. در این فضا که مقادیر باند ۱ سنجنده مادیس روی محور X و مقادیر باند ۸ این سنجنده روی محور Y قرار گرفته‌اند، موقعیت نسبی دود، ابر، سطح زمین و آب نمایش داده شده است. مطالعه روی این فضای ویژگی و موقعیت این چهار عنصر در این فضا، باعث شده است که وانگ به این نتیجه برسد که می‌توان پیکسل‌های هواویز (دود، ابر و ...) را با استفاده از روش خوشه‌بندی K -means شناسایی کرد.

هواویز به‌طور کلی از دود و گردوغبار و ابر تشکیل شده است، بنابراین در فرآیند شناسایی دود، وجود ابر مزاحمت ایجاد می‌کند؛ پس نیاز است که پیکسل‌های ابر را از تصویر حذف کنیم. به همین منظور درجه حرارت روشنایی باند، ۱۱ میکرومتر و اختلاف درجه حرارت روشنایی باندهای ۳/۷ و ۱۱ میکرومتر و همچنین ۲۶ انعکاسی برای جداسازی دود از ابر در هواویز مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۳: فضای ویژگی دوبعدی الگوریتم وانگ [۷]

جدول ۲: لیست باندهای مورد استفاده در الگوریتم وانگ

شماره باند	محدوده طول موج (μm)
۱	۰.۶۲۰-۰.۶۷۰
۸	۰.۴۰۵-۰.۴۲۰
۲۰	۳.۶۰۰-۳.۸۴۰
۲۶	۱.۳۶۰-۱.۳۹۰
۳۱	۱۰.۷۸۰-۱۱.۲۸۰
۳۲	۱۱.۷۷۰-۱۲.۲۷۰

حرارت روشنایی باند ۱۱ میکرومتر، B26 باند انعکاسی ۲۶، BT3.7 و BT12 نیز به ترتیب درجه حرارت روشنایی باندهای ۳۷ و ۱۲ میکرومتر است. در رابطه (۵)، وانگ با ترسیم نمودار پراکندگی (یکبار نمودار پراکندگی بین باندهای ۲۶ و BT11 و بار دیگر نمودار پراکندگی بین مقادیر BT12 - BT3.7 و 11)، حدآستانه‌ها را بدست آورده است. به همین منظور حدآستانه‌های مورد استفاده در این منطقه با ترسیم نمودارهای پراکندگی به صورت رابطه (۶) است. آن دسته از پیکسل‌هایی که رابطه (۶) در آنها صادق باشد به کلاس دود تعلق می‌گیرند. در این مرحله نوبت به این می‌رسد که از بین این پیکسل‌ها، پیکسل‌های آتش را جدا کنیم که برای این منظور ابتدا شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده این پیکسل‌ها را بدست آورده و با اعمال حد آستانه مناسب، پیکسل‌های آتش را شناسایی می‌کنیم (رابطه (۷)).

$$T11 \geq 278 K \ \& \ B26 \leq 0.4 \ \& \ BT3.7 - BT12 \leq$$

$$BT11 \geq 268 K \ \& \ B26 \leq 0.2 \ \& \ BT3.7 - BT12 \leq$$

$$NDVI \leq 0.4$$

شکل (۴) فلوچارت الگوریتم شناسایی آتش‌سوزی وانگ را نشان می‌دهد که در ادامه به توضیح مراحل آن می‌پردازیم.

برای پیاده‌سازی و اجرای الگوریتم شناسایی آتش وانگ پس از پیش‌پردازش‌های اولیه، ابتدا پهنه آبی دریای خزر را به وسیله لایه وکتور تهیه شده در نرم‌افزار ArcGIS و به کمک نرم‌افزار ENVI به صورت ماسک آبی درآورده و از تصویر اصلی جدا می‌کنیم.

بنا به دلایل ذکر شده در قبل، در مرحله اول الگوریتم به وسیله روش خوشه‌بندی K-means ابتدا در یک فضای ویژگی دوبعدی که باندهای آن باندهای ۱ و ۸ سنجنده مادیس است؛ تصویر را به چهار دسته کلاس هواویز، گیاهان، آب و زمین کلاس‌بندی می‌کنیم.

همانطور که گفته شد هواویز شامل ذرات دود و ابر می‌باشد که برای جداسازی این دو کلاس از هم از رابطه (۵) استفاده می‌کنیم. در این رابطه BT11 درجه

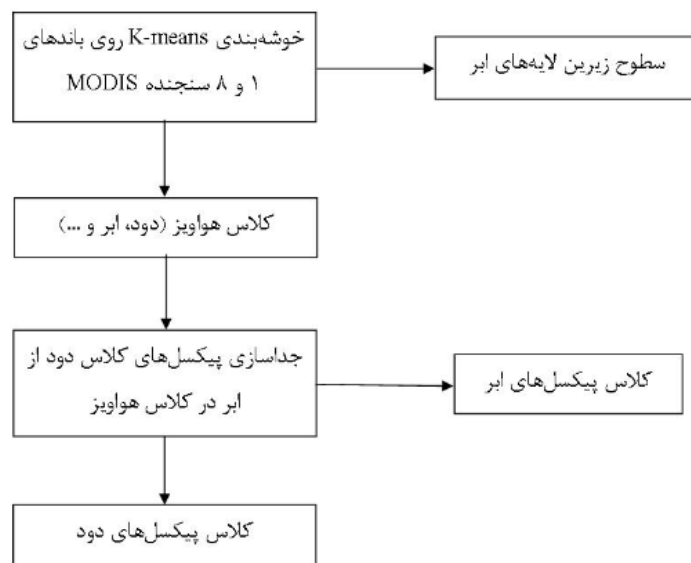
رابطه (۵)

$$15 K$$

رابطه (۶)

$$5 K$$

رابطه (۷)



شکل ۴: فلوچارت الگوریتم شناسایی آتش جینگ وانگ [۷].

۳-۳- الگوریتم بویان

این الگوریتم که در سال ۲۰۰۵ توسط یانگ جی بویان و همکاران ارائه شد از روشی گراف‌مبنا مبتنی بر فضای داخلی^۱ به منظور شناسایی آتش استفاده می‌کند [۹]. *Spatial Outliers* در تصاویر سنجش از دوری مقادیر پیکسل‌هایی را نشان می‌دهد که به طور قابل ملاحظه‌ای با پیکسل‌های مجاورشان متفاوت هستند. این روش می‌تواند در آشکارسازی پیکسل‌های آتش از تصاویر سنجش از دور مورد استفاده قرار گیرد.

شیوع آتش در یک منطقه تغییرات سریعی را در درجه حرارت روشنایی پیکسل‌های مربوطه نسبت به محیط پیرامون ایجاد می‌کند، بنابراین پیکسل‌های آتش به صورت پروسه‌ای برای پیدا کردن *Spatial Outliers* که بی‌ثباتی محلی را بازتاب می‌دهند، یا نسبت به مقادیر پیکسل‌های همسایه‌شان دارای شدت هستند، در می‌آید.

در ادامه لیست باندهای استفاده شده در این الگوریتم در جدول شماره (۳) آمده است.

¹ *Spatial Outliers*

شکل (۵) نشانگر فلوچارت الگوریتم بویان می‌باشد. در ادامه به توضیح مراحل الگوریتم بویان می‌پردازیم. (۱) تولید ماسک آب؛ در ابتدای تمامی الگوریتم‌های کشف آتش نیاز است که ماسک آب از تصویر ایجاد شود، تا پهنه آبی دریای خزر از زمین خشک جدا شود. در این الگوریتم نیز به همان روشی که در الگوریتم گیگلیو توضیح داده شده است ماسک آب تولید شده و به تصویر مورد نظر اعمال می‌شود. (۲) تعیین پیکسل‌های دارای پتانسیل آتش؛ پیکسل‌های غیر آتش مانند پیکسل‌های ابر می‌توانند مشکلات جدی را در آشکارسازی آتش ایجاد کنند؛ بنابراین شناسایی و حذف اینگونه پیکسل‌ها در پردازش الگوریتم مهم و ضروری می‌باشد. به طور کلی ابرها در باندهای ۴ و ۱۲ میکرومتر دارای مقادیر انعکاسی کمتری نسبت به سطح زمین می‌باشند. در این الگوریتم با اعمال دو رابطه (۸) و (۹) پیکسل‌های غیر آتش حذف می‌شوند و پیکسل‌هایی که این دو شرط در آنها صدق کند به عنوان پیکسل‌های دارای پتانسیل آتش در مرحله بعدی بررسی می‌شوند. به این منظور پنجره‌ای به ابعاد ۱۵*۱۵ حول تمامی پیکسل‌های موجود در تصویر ایجاد می‌شود و متوسط انعکاس

در این رابطه $E(x)$ میانگین مقادیر y در همسایگی نقطه، m شیب خط رگرسیون، $f(x)$ میانگین مقادیر x در همسایگی نقطه و b عرض از مبدأ خط رگرسیون می‌باشد.

حال با محاسبه میانگین پراکندگی خطای ε (μ_ε) و انحراف معیار خطای ε (σ_ε) و با استفاده از تست باقیمانده استاندارد، طبق رابطه (۱۱) نقاط آتش‌سوزی آشکار می‌شوند.

پیکسل‌هایی با باقیمانده استاندارد بزرگتر از θ و یا کوچکتر از $-\theta$ به عنوان پیکسل‌های آتش کلاس‌بندی می‌شوند.

در شکل (۶) نمودار پراکندگی معمولی نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود نقاط a ، b و c به عنوان نقطه آتش در نظر گرفته می‌شود [۹].

همچنین مقدار θ در تست باقیمانده استاندارد با توجه به درجه حرارت باند ۴ میکرومتر در منطقه و بعد از اعمال الگوریتم بر روی تصویر به صورت سعی و خطا، به منظور بومی‌سازی و آشکارسازی نقاط صحیح آتش برای منطقه مطالعاتی به میزان ۵ در نظر گرفته شد.

طیفی باندهای ۴ و ۱۲ میکرومتر در این پنجره‌ها و همچنین در کل تصویر محاسبه می‌شود.

در رابطه (۸) R_{12} و R_4 به ترتیب انعکاس طیفی باندهای ۴ و ۱۲ میکرومتر در پیکسل مورد بررسی، $\overline{R_4}$ و $\overline{R_{12}}$ متوسط انعکاسی طیفی باندهای ۴ و ۱۲ میکرومتر در کل تصویر و $\overline{R_{4w}}$ و $\overline{R_{12w}}$ نمایانگر متوسط انعکاس طیفی باندهای ۴ و ۱۲ میکرومتر در پنجره محلی می‌باشند.

۳) شناسایی نقاط آتش؛ در این الگوریتم از روش نمودار پراکندگی معمولی (*Ordinary Scatter plot*) برای شناسایی نقاط آتش استفاده شده است؛ زیرا روش نمودار موران برای این کار جواب نمی‌دهد.

در نمودار پراکندگی معمولی، مقادیر درجه حرارت روشنایی باند ۴ میکرومتر بر روی محور X و میانگین مقادیر روشنایی باند ۴ میکرومتر برای پیکسل‌های همسایه واقع شده در یک پنجره 15×15 حول پیکسل مرکزی بر روی محور Y قرار می‌گیرند. سپس خط رگرسیون کمترین مربعات به منظور شناسایی پیکسل‌های آتش بر روی این نقاط برازش داده می‌شود. حال میزان خطای ε نقاط از خط رگرسیون با استفاده از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$R_4 > \max(\overline{R_4}, \overline{R_{4w}}) \quad \text{and} \quad R_{12} > \max(\overline{R_{12}}, \overline{R_{12w}}) \quad \text{رابطه (۸)}$$

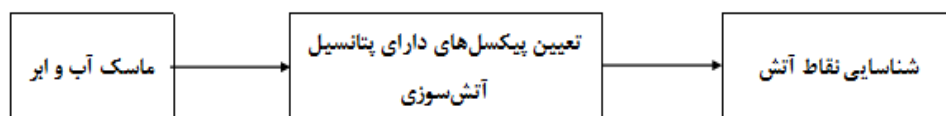
$$(T_{12} - T_4) > 8K \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$\varepsilon = E(x) - (m * f(x) + b) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

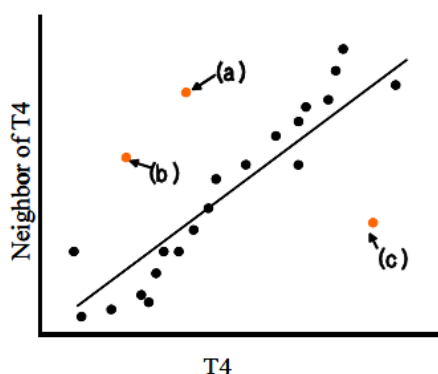
$$S_\varepsilon = |(\varepsilon - \mu_\varepsilon) / \sigma_\varepsilon| > \theta \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

جدول ۳: لیست باندهای مورد استفاده در الگوریتم بویان

شماره باند	محدوده طول موج (μm)
۲۱	۳/۹۳۰-۳/۹۸۹
۲۲	۳/۹۳۰-۳/۹۸۹
۳۱	۱۰/۷۸۰-۱۱/۲۸۰
۳۲	۱۱/۷۷۰-۱۲/۲۷۰



شکل ۵: مراحل پیاده سازی الگوریتم بویان



شکل ۶: نمودار پراکندگی معمولی [۹]

۴- الگوریتم توسعه یافته بویان

در روش پیشنهادی که توسعه یافته الگوریتم بویان است به صورت شکل (۷) عمل می‌کنیم.

روش بهبود یافته شامل دو فاز است:

فاز اول) الگوریتم بویان

فاز دوم) انجام آزمون زمین



شکل ۷: فلوچارت الگوریتم توسعه یافته

- $\overline{T_{22}}$: میانگین درجه حرارت باند ۲۲ برای پیکسل‌های همسایه معتبر درون پنجره
- δ_{22} : میانگین انحراف معیار مطلق درجه حرارت باند ۲۲ برای پیکسل‌های معتبر پنجره
- $\overline{T_{31}}$: میانگین درجه حرارت باند ۳۱ برای پیکسل‌های همسایه معتبر درون پنجره
- δ_{31} : میانگین انحراف معیار مطلق درجه حرارت باند ۳۱ برای پیکسل‌های معتبر پنجره
- $\overline{\Delta T}$: میانگین درجه حرارت حاصل از تفاوت باندهای ۲۲ و ۳۱ برای پیکسل‌های معتبر درون پنجره

در ادامه الگوریتم بویان، پس از مشخص شدن پیکسل‌های آتش، برای بهبود دقت الگوریتم و حذف آلامر اشتباه از نتایج، پنجره‌ای با ابعاد متغیر از ۵*۵ تا ۲۱*۲۱ به مرکزیت پیکسل‌های آتش شناسایی شده، به‌طوری که حداقل ۸ پیکسل معتبر همسایه درون پنجره باشد؛ تشکیل می‌شود. پیکسل‌های معتبر پیکسل‌هایی هستند که دارای مقادیر قابل استفاده باشند، حاوی آب و ابر نبوده و پیکسل دارای پتانسیل آتش نباشند. درون این پنجره تشکیل شده پارامترهای آماری زیر را محاسبه می‌کنیم.

۵- نتایج

به منظور ارزیابی دقت الگوریتم‌های مطرح شده در این پژوهش، از مشاهدات زمینی اخذ شده از سازمان جنگل‌ها استفاده شده است و با استفاده از آن برای تمامی این الگوریتم‌ها ماتریس ابهام مطابق جدول (۴) تشکیل و سپس دقت کلی، نرخ شناسایی آتش، نرخ آلام اشتباه و ضریب کاپا برای هر کدام طبق روابط (۱۶) تا (۱۹) محاسبه شده است.

• $\delta_{\Delta T}$: میانگین انحراف معیار مطلق درجه حرارت حاصل از تفاوت باندهای ۲۲ و ۳۱ برای پیکسل‌های معتبر درون پنجره به این ترتیب پیکسل‌هایی که چهار رابطه (۱۲) تا (۱۵) در آنها صادق باشد به عنوان پیکسل نهایی آتش در نظر گرفته می‌شود.

$$T_{21} > 316 K \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$\Delta T > \overline{\Delta T} + 3.5\delta_{\Delta T} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$\Delta T > \overline{\Delta T} + 6 K \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$T_{22} > \overline{T_{22}} + 0.5\delta_{22} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

جدول ۴: ماتریس ابهام

الگوریتم شناسایی آتش		
محصول آتش	آتش	غیر آتش
آتش	a	b
غیر آتش	c	d

$$\text{Overall accuracy}^1 = \frac{a+d}{a+b+c+d} \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$\text{Fire detection rate}^2 = \frac{a}{a+b} \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$\text{False alarm rate}^3 = \frac{c}{c+d} \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})} \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

در رابطه (۱۹)، k ضریب کاپا، N تعداد کل پیکسل‌های مورد بررسی در ماتریس، r تعداد سطرهای ماتریس، x_{ii} مقدار عددی سطر و ستون i ام، x_{+i} جمع کل سطر i ام و x_{i+} جمع کل ستون i ام ماتریس ابهام هستند.

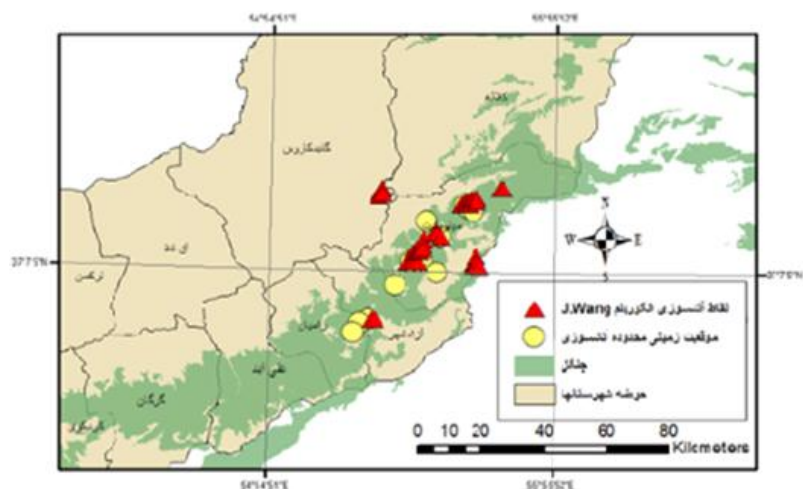
شکل (۸) تا (۱۱) خروجی الگوریتم‌ها را به صورت نقشه آتش نمایش می‌دهد.

در ماتریس ابهام و روابط (۱۶) تا (۱۸)، پارامتر a نشانگر تعداد پیکسل‌های آتشی است که الگوریتم مورد نظر به درستی آنها را کشف کرده است، پارامتر b تعداد پیکسل‌های آتشی است که الگوریتم قادر به شناسایی آنها نبوده است، پارامتر c نیز مربوط به پیکسل‌هایی است که الگوریتم به اشتباه آنها را در کلاس آتش قرار داده است و در نهایت پارامتر d تعداد کل پیکسل‌های غیر آتشی است که بررسی شده و به درستی به کلاس غیر آتش تعلق گرفته‌اند.

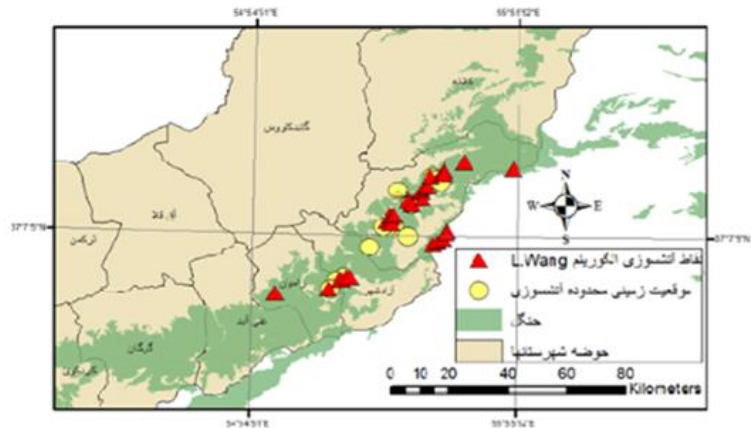
^۱ دقت کلی

^۲ نرخ شناسایی آتش

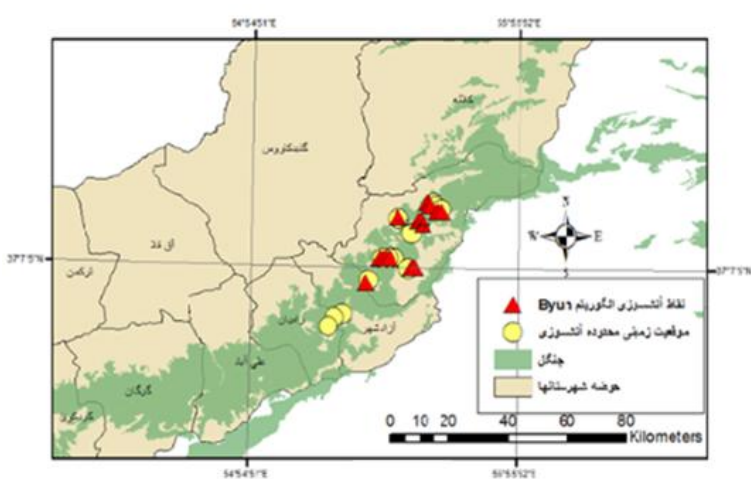
^۳ نرخ آلام اشتباه



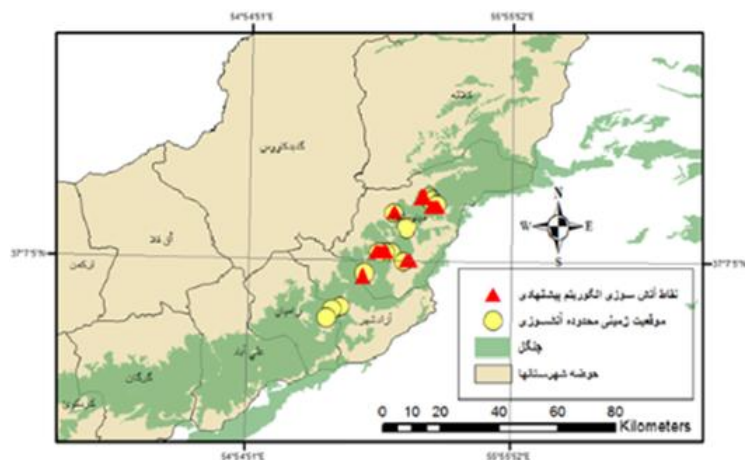
شکل ۸: خروجی الگوریتم جینگ وانگ



شکل ۹: خروجی الگوریتم لینگلی وانگ



شکل ۱۰: خروجی الگوریتم بویان



شکل ۱۱: خروجی الگوریتم توسعه یافته

مقادیر ماتریس ابهام نیز در جدول (۵) آورده شده است که در نهایت باتوجه به مقادیر این جدول، تمامی نتایج و پارامترهای ارزیابی برای هر یک از الگوریتم‌ها پس از محاسبه در جدول (۶) نمایش داده شده‌است.

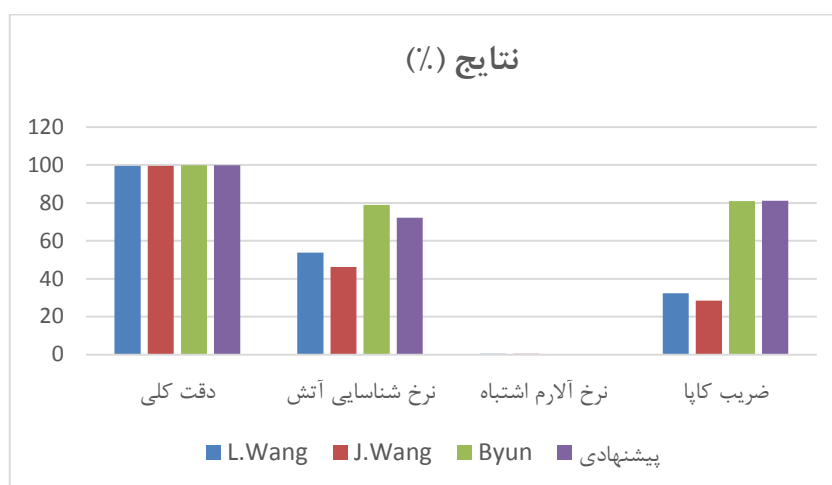
به منظور ارزیابی و بررسی بهتر و راحت‌تر نتایج به‌صورت نمودار در شکل (۱۲) نمایش داده شده است.

جدول ۵: مقادیر ماتریس ابهام

الگوریتم	پارامتر a	پارامتر b	پارامتر c	پارامتر d
لینگلی وانگ	۷	۶	۲۳	۶۵۶۴
جینگ وانگ	۶	۷	۲۳	۶۵۶۴
بویان	۱۵	۴	۳	۶۵۷۸
پیشنهادی	۱۳	۵	۱	۶۵۸۱

جدول ۶: نتایج الگوریتم‌ها

الگوریتم	دقت کلی (%)	نرخ شناسایی آتش (%)	نرخ آلارم اشتباه (%)	ضریب کاپا (%)
لینگلی وانگ	۹۹٫۵۶	۵۳٫۸۴	۰٫۳۵	۳۲٫۳۷
جینگ وانگ	۹۹٫۵۴	۴۶٫۱۵	۰٫۳۵	۲۸٫۳۷
بویان	۹۹٫۸۹	۷۸٫۹۵	۰٫۰۴	۸۱٫۰۱
پیشنهادی	۹۹٫۹۱	۷۲٫۲۲	۰٫۰۱	۸۱٫۱۱



شکل ۱۲: نمودار نتایج

پیداست میزان اشتباه الگوریتم به مراتب بالا است. در این روش نرخ شناسایی آتش ۵۳/۸۴ درصد و ضریب کاپا ۳۲/۳۷ درصد بدست آمده است.

الگوریتم جینگ وانگ یک الگوریتم کشف دود ناشی از آتش سوزی جنگل می باشد که بعد از کشف دود به شناسایی پیکسل های آتش می پردازد. این الگوریتم از تعداد سیزده آتش سوزی اتفاق افتاده در منطقه توانست هفت مورد آنها را به درستی تشخیص دهد و تعداد بیست و یک مورد آتش سوزی را به اشتباه مشخص کند.

در الگوریتم بویان که از نمودار پراکندگی معمولی آن برای کشف آتش استفاده شده بود مقدار عددی θ را برای منطقه از ۴ به ۵ تغییر دادیم تا نتایج بدست آمده از الگوریتم دارای دقت بالا و آلام های اشتباه کمتری باشد. با این حال از بین آتش های رخ داده تعداد نه آتش سوزی را به درستی کشف کرده و چهار مورد را از دست داده و تنها سه پیکسل را به اشتباه به عنوان آتش شناسایی کرده است.

دو الگوریتم بویان و الگوریتم پیشنهادی به مراتب از دو الگوریتم دیگر، قدرت شناسایی بهتر آتش و دقت بالاتری دارند. در مقایسه این دو الگوریتم با هم، در نگاه اول متوجه بالا بودن نرخ شناسایی آتش در الگوریتم بویان می شویم اما با این وجود با بررسی بیشتر متوجه

باتوجه به جدول (۶) و نتایج بدست آمده از الگوریتم های لینگلی وانگ، جینگ وانگ و بویان و بررسی و مقایسه عملکردشان روی مناطق جنگلی استان گلستان می توان به این نتیجه رسید که الگوریتم گراف مبنای ارائه شده توسط بویان با نرخ شناسایی بالا با مقدار ۷۸/۹۵ درصد در این مناطق عملکردی بهتری داشته است، بنابراین استفاده از این الگوریتم را برای این ناحیه توصیه می کنیم. همانور که از شکل (۷) نیز پیداست الگوریتم های لینگلی وانگ و جینگ وانگ برخلاف الگوریتم بویان دارای آلام های اشتباه زیادی هستند که باعث ناکارآمدی آنها شده است.

در پیاده سازی الگوریتم لینگلی وانگ، نتایج اولیه نشان داد که مقدار حد آستانه ۰/۲ که برای الگوریتم در نظر گرفته اند برای شناسایی آتش سوزی، در این منطقه باعث بالا رفتن نویز و آلام های اشتباه زیادی می شود؛ در نتیجه با روش سعی و خطا این مقدار برای حد آستانه، ۰/۵۷ شد. در منطقه مورد مطالعه سیزده مورد آتش سوزی گزارش شده است که این الگوریتم توانسته است از ۳۲ پیکسلی که به عنوان آتش شناسایی کرده؛ نه مورد را بطور صحیح شناسایی کند و تعداد ۲۰ پیکسل به اشتباه به عنوان آتش مشخص شده است، هم چنین چهار مورد آتش سوزی هم شناسایی نشده و از دست رفته است. همان طور که از نتایج این الگوریتم

بویان بهترین عملکرد را داشت و سپس آن را با اضافه کردن مرحله آزمون زمینه توسعه دادیم. در بخش نتیجه‌گیری ضریب کاپا برای تمام الگوریتم‌ها بدست آمد که مقدار این ضریب بین صفر تا یک متغیر است و به صورت درصد بین می‌شود و براساس مقالات موجود دسته‌بندی قدرت ضریب کاپا به قرار جدول (۷) است.

با توجه به جدول (۷) که مقدار ضریب کاپا را دسته‌بندی می‌کند و نشان‌دهنده قدرت ضریب کاپا در تعیین میزان توافق بین داوران است به این نتیجه می‌رسیم که دو الگوریتم بویان و الگوریتم پیشنهادی دارای عملکردی عالی هستند.

بالا بودن ضریب کاپا و دقت کلی الگوریتم توسعه یافته می‌شویم و هم‌چنین پایین بودن آلامر اشتباه الگوریتم پیشنهادی نشان از بهبود الگوریتم بویان در منطقه مطالعاتی است.

۶- بحث و پیشنهادات

در این تحقیق سعی شد که با استفاده از تصویر ماهواره‌ای سنجنده مادیس برخی الگوریتم‌های آشکارسازی آتش روی جنگل‌های استان گلستان بومی‌سازی و پیاده‌سازی شوند و نتایج آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرند تا الگوریتم مناسب را شناسایی کرده و در صورت امکان آن را بهبود داد که در نهایت الگوریتم

جدول ۷: قدرت مقادیر مختلف ضریب کاپا در تعیین میزان توافق بین داوران [۱۰]

قدرت توافق	مقدار آماره کاپا
ضعیف	کمتر از صفر
کم	۰-۰/۲
پایین‌تر از متوسط	۰/۲۱-۰/۴
متوسط	۰/۴۱-۰/۶
خوب	۰/۶۱-۰/۸
عالی	۰/۸۱-۱

آتش از شدت حرارت کافی برخوردار نباشد و شرایط الگوریتم را از نظر حد آستانه نداشته و شناسایی نشود. (۴) تاج پوشش بسته و تراکم جنگل؛ ممکن است تراکم جنگل و تاج درختان به قدری زیاد و متراکم باشد که از رسیدن حرارت آتش پای درختان به سنجنده جلوگیری کند.

(۵) زاویه تصویربرداری و عدم عبور ماهواره در زمان آتش‌سوزی از منطقه؛ درموردی نیز امکان دارد به دلیل تصویربرداری در دو زمان روز و شب، سنجنده در زمان آتش‌سوزی از منطقه مورد نظر عبور نکرده و تصویربرداری صورت نگرفته باشد که این امر نیز موجب عدم شناسایی آتش‌سوزی می‌شود.

عوامل ذکرشده در بالا می‌تواند در جنگل‌های شمال باعث شناسایی نشدن آتش در تصویر شوند. هم‌چنین

با توجه به شکل خروجی الگوریتم‌ها، ملاحظه می‌شود که برخی موارد آتش‌سوزی شناسایی نشده است که این امر می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد. ازجمله این دلایل می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

(۱) پوشش ابر در منطقه؛ وجود ابر در محدوده آتش‌سوزی یکی از عواملی است که از آشکارسازی آتش جلوگیری می‌کند که ضروری است ابر را از تصویر حذف کنیم.

(۲) اندازه و وسعت کم آتش؛ ممکن است آتش‌سوزی که در منطقه موردنظر رخ داده است از نظر ابعاد و مساحت کوچک بوده و الگوریتم‌های به کار گرفته‌شده به این آتش‌سوزی‌ها حساس نباشند و نتوانند شناسایی کنند.

(۳) شدت و حرارت کم آتش؛ در بعضی موارد ممکن است که به دلیل شرایط جوی و آب و هوایی منطقه،

۷) پارامترهای مختلفی از قبیل دما، رطوبت و میزان گرد و غبار در جو وجود دارند که می‌تواند نتایج الگوریتم‌ها را تحت تأثیر خود قرار دهد و در دقت آن‌ها مؤثر باشد که می‌تواند در تحقیقات و مطالعات آینده مورد استفاده و ارزیابی قرار گیرند.

۸) در برخی الگوریتم‌های شناسایی آتش از دود برای پتانسیل‌یابی پیکسل‌ها برای کشف آتش استفاده شده است که می‌توان تأثیر سرعت و جهت وزش باد در آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داد؛ زیرا این پارامتر در جهت پخش و حرکت دود ناشی از آتش‌سوزی بسیار مؤثر است.

ممکن است آتش قبل از تصویربرداری سنجنده رخ داده باشد و تا زمان تصویربرداری به اتمام رسیده باشد که این امر نیز می‌تواند در عدم شناسایی آتش مؤثر باشد. در پایان این تحقیق برخی نکات و مسائل را برای مطالعات و تحقیقات تکمیلی آینده می‌توان پیشنهاد کرد که به برخی از آن‌ها در ادامه اشاره می‌کنیم:

۶) می‌توان با پیاده‌سازی و بومی‌سازی الگوریتم‌های مختلف در مناطق مختلف ایران و ارزیابی و مقایسه آن‌ها به الگوریتمی بهتر و مناسب‌تر دست یافت که در صورت امکان آن‌ها را بهبود بخشید.

مراجع

- [1] Kaufman, Y.J., et al., "Potential global fire monitoring from EOS-MODIS". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 1998. 103(D24): p. 32215-32238.
- [2] Giglio, L., et al., "An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS". *Remote sensing of environment*, 2003. 87(2): p. 273-282.
- [3] Wang, W., et al., "An improved algorithm for small and cool fire detection using MODIS data: A preliminary study in the southeastern United States". *Remote sensing of Environment*, 2007. 108(2): p. 163-170.
- [4] Movaghati, S., F. Samadzadegan, and A. Azizi, "A comparative study of three algorithms for forest fire detection in Iran". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Jul, 2008: p. 3-11.
- [5] Ardakani, A.S., Valadan Zoej, M.J., Mansourian, A. and Mohammadzadeh, A., "Spectral analysis of fire to detection and estimate the extent of fire affected areas using satellite imagery". *Iranian Remote Sensing and GIS*, 2009. 1.
- [6] Wang, L., J.J. Qu, and X. Hao, "Forest fire detection using the normalized multi-band drought index (NMDI) with satellite measurements". *Agricultural and forest meteorology*, 2008. 148(11): p. 1767-1776.
- [7] Wang, J., et al. "A new algorithm for Forest fire smoke detection based on MODIS data in Heilongjiang province". in *Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE)*, 2011 International Conference on. 2011. IEEE.
- [8] Xie, Y., et al. Smoke plume detecting using MODIS measurements in eastern United States. in *EastFIRE Conference Proceedings*. 2005.
- [9] Byun, Y.G., et al. Evaluation of graph-based analysis for forest fire detections. in *Proceedings of world academy of science, engineering and technology*. 2005.
- [10] Gwet, K.L., *The definitive guide to measuring extent of agreement among multiple raters*. 2010, Gaithersburg (MD): Advanced Analytics, LLC.



Localization Boyan algorithm to detect forest fires from MODIS sensor images

Omid Azari¹, Ali Mohammadzadeh^{2*}

1- M.Sc. of photogrammetry, Faculty of geodesy and geomatic, K.N.Toosi University of technology

2- Associate Professor at photogrammetry and remote sensing department, K.N.Toosi University of technology

Abstract

Of phenomena which much damage and irreparable import to forests and natural resources is the fire that each year, more than 100 fires occur in Iran and thousands of hectares of trees and plants eliminates. Given that fire risk is high in most parts of the world, full and continuous monitoring on this natural phenomenon, is essential. Use remote sensing is a way to identify and manage fire. Ahead goal in the study, development and improvement, Byun algorithm and compare it with some fire detection algorithms using the MODIS sensor images. Therefore, in addition to the developed algorithm, algorithms Byun in 2007, Lingli Wang in 2008 and Jing Wang in 2011 for the forest area in Golestan Province is localized and implemented. To evaluate the results, the matrix ambiguity and ground data collected from the forests and natural resources in Golestan province has been used that for each algorithm, fire detection rate, false alarm rate and Kappa statistics were calculated and compared which Fire detection rate for Byun algorithms, Ling Wang, Jing Wang and development algorithm by 78.95, 53.84, 46.15 and 72.22 percent respectively and kappa coefficient, 81.02, 32.37, 28.37 and 81.11 percent have been achieved which shows the superiority of the algorithm is developed in the study area.

Key words: Forest fire, Fire detection algorithm, improved algorithm, MODIS sensor.