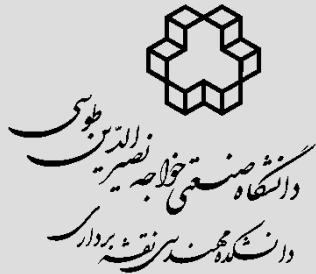


# نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی



سال هفتم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۸

Vol.7, No.4, Winter 2020

۱۹۳ - ۲۱۴

مقاله پژوهشی

## به کارگیری الگوریتم‌های آشکارسازی هدف در سری زمانی مستخرج از تصاویر چندطیفی به منظور پهنه‌بندی گیاهان دارویی (مطالعه موردی: گیاه بادام کوهی) *Sentinel-2*

ایمان شاکری<sup>۱\*</sup>، علیرضا صفری نژاد<sup>۲</sup>، مرضیه جعفری<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشگاه تفرش

۲- استادیار گروه ژئودزی و مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تفرش

۳- استادیار گروه ژئودزی و مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تفرش

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۲۵

### چکیده

امروزه گیاهان دارویی از جایگاه ویژه‌ای در اقتصاد و سلامت جامعه برخوردارند و به دلیل آنکه بخش زیادی از این گیاهان به صورت خودرو می‌باشند، بنابراین پهنه‌بندی این گیاهان با هدف بهره‌برداری بهینه از آنها، ضروری می‌باشد. راهکارهای سنتی پهنه‌بندی به دلیل دقت و سرعت کم، از کارایی لازم برخوردار نبوده و لزوم ایجاد یک روش جدید احساس می‌شود. داده‌های سنجش از دوری به دلیل در برداشتن اطلاعات طیفی، مکانی و زمانی از پدیده‌های سطح زمین، کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف از جمله آشکارسازی اهداف برخوردارند. در این مقاله از روش‌های آشکارسازی هدف شامل کمینه‌سازی مقید انزی (CEM)، فیلتر انطباقی (MF) و تخمين‌زننده اطباق همدوسی (ASMF) به منظور آشکارسازی گیاه بادام کوهی در سری زمانی تصاویر ماهواره سنتینل-۲ استفاده شده است. در این روند ابتدا به کمک یک فیلتر گذاری اولیه، عوارض نامطلوب (مناطق غیرمحتمل رویش گیاه) از سری زمانی تصاویر حذف می‌شود. سپس به کمک بهینه‌سازی فرالبتکاری، ویژگی‌های بهینه از سری زمانی به منظور کاهش بعد و افزایش دقت آشکارسازی، شناسایی نفعی از طریق تلفیق وزن‌دار نتایج کسب شده از هر نمونه آموزشی با سهم تعلق متفاوت از هدف تولید می‌گردد. ارزیابی تعمیم‌پذیری راهکار پیشنهادی به کمک ویژگی‌های بهینه انتخاب شده، در منطقه‌ای دیگر و به کمک نقشه واقعیت زمینی صورت پدیدرفت. در این بررسی از منحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC) و مساحت زیر منحنی (AUC) جهت ارزیابی نتایج استفاده شد. در مرحله بهینه‌سازی به منظور انتخاب ویژگی، شاخص AUC برای تمام روش‌های آشکارسازی مورد استفاده بیشتر از ۰.۹۹ بدست آمد. بهترین نتایج کسب شده در این فرایند به روش آشکارسازی CEM اختصاص داشت که توانست دقت‌های ۰.۹۹۳ و ۰.۸۴۶ را به ترتیب در روند بهینه‌سازی و ارزیابی مستقل کسب کند. نتایج این تحقیق از قابلیت سری زمانی تصاویر چندطیفی سنتینل-۲ به منظور آشکارسازی اهدافی همچون گیاهان دارویی حکایت دارد.

کلید واژه‌ها: آشکارسازی هدف، سنجنده فضایی سنتینل-۲، سری زمانی، پهنه بندی، بادام کوهی.

\* نویسنده مکاتبه کننده: شهرستان تفرش دانشگاه تفرش گروه ژئودزی و مهندسی نقشه‌برداری.  
تلفن: ۰۹۳۵۹۵۱۹۷۰۴

## ۱- مقدمه

زمین محسوب می‌شود. داده‌های سنجش از دوری به دلیل در برداشتن اطلاعات طیفی، مکانی و زمانی از پدیده‌های سطح زمین، کاربردهای فراوانی در حوزه‌های مختلف از جمله محیط زیست، علوم جوی، آبودگی آب، کشاورزی، زمین شناسی، پدیده‌های آتشفسانی، معدن و مدیریت منابع طبیعی برخوردارند [۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱]. در این بین، کشف و آشکارسازی هدف<sup>۱</sup>، یک رویکرد پردازشی رایج به منظور استخراج اطلاعات از داده‌های سنجش از دوری ابرطیفی محسوب می‌شود. منظور از هدف در این رویکردهای پردازشی به پدیده مکانی خاص اطلاق شده که با معلوم بودن پاسخ طیفی آن انتظار می‌رود الگوریتم‌های آشکارساز آن را در تصاویر ابرطیفی شناسایی نموده و از سایر پدیده‌ها (پس‌زمینه) جداسازی نمایند. به طور کلی در یک دسته‌بندی می‌توان روش‌های آشکارسازی هدف را به دو دسته: ۱- راهکارهای نیازمند به رفتار طیفی پس‌زمینه (<sup>۲</sup>LSU، <sup>۳</sup>NCLS، <sup>۴</sup>SCLS، <sup>۵</sup>FCLS، <sup>۶</sup>OSP) تخمین تنک<sup>۷</sup> و ... و ۲- راهکارهای بدون نیاز به طیف پس‌زمینه (<sup>۸</sup>MF، <sup>۹</sup>SAM، <sup>۱۰</sup>ACE، <sup>۱۱</sup>CEM، <sup>۱۲</sup>LCMV) و ... تفکیک نمود. تاکنون از روش‌های ذکر شده در هر دو حوزه آشکارسازی اهداف با وسعت بیش از یک پیکسل و اهداف زیرپیکسلی استفاده شده است [۱۴]. با توجه به اهمیت پهنه‌بندی گیاهان دارویی برای استفاده حداکثری و همچنین توانایی فناوری سنجش از دور در آشکارسازی اهداف، این پژوهش معطوف به شناسایی و پهنه‌بندی گیاهان دارویی به کمک فناوری

<sup>1</sup> Target Detection<sup>2</sup> Linear Spectral Unmixing<sup>3</sup> Nonnegatively Constrained Least Squares<sup>4</sup> Sum-to-one Constrained Least Squares<sup>5</sup> Fully Constrained Least Squares<sup>6</sup> Orthogonal Subspace Projection (OSP)<sup>7</sup> Sparse Representation<sup>8</sup> Matched Filtering (MF)<sup>9</sup> Spectral Angel Mapper (SAM)<sup>10</sup> Adaptive Coherence Estimator (ACE)<sup>11</sup> Constrained Energy Minimization (CEM)<sup>12</sup> Linearly Constrained Minimum Variance (LCMV)

امروزه با توسعه علوم پزشکی، گرایش به مصرف گیاهان دارویی رشد زیادی داشته است. علاوه بر مصرف این گیاهان در طب سنتی، در علوم پزشکی نوین نیز از گیاهان دارویی به عنوان مواد اولیه در ساخت داروهای مدرن نیز استفاده می‌شود [۱]. بر این اساس در کشورهای در حال توسعه و حتی صنعتی، تولید گیاهان دارویی و اقلام دارویی مشتق شده از آنها به عنوان محصولات سلامت محور و با بازده اقتصادی بالا در دستور کار فعالان اقتصادی قرار گرفته است [۲].

طیف گستره‌های از گیاهان دارویی بصورت خودرو رشد کرده که هر ساله بخش زیادی از آن به دلیل عواملی همچون: ۱- چرای دام، ۲- بهره‌برداری نادرست و بی‌رویه، ۳- عدم وجود برنامه زمانی مناسب جهت استحصال، ۴- عدم امکان شناسایی دقیق تمامی رویشگاه‌های طبیعی بصورت سنتی و ۵- دشواری دسترسی (مناطق کوهستانی و کویری) از بین می‌روند. با توجه به صرفه اقتصادی تولید گیاهان دارویی و به منظور استفاده حداکثری از این منابع با ارزش، نیاز به پهنه‌بندی این گیاهان به عنوان یک ضرورت احساس می‌شود. به طور معمول، بهره‌گیری از دانش و تجربه افراد بومی و محیط‌بانان، استفاده از روش‌های تحلیلی- آماری و همچنین بکارگیری تخصص کارشناسان منابع طبیعی، راهکارهای رایج به منظور شناسایی و به تبع آن بهره‌برداری از منابع گیاهان دارویی محسوب می‌شود [۳، ۴ و ۵]. بدیهی است که این روش‌ها به واسطه: ۱- گستردگی پهنه جغرافیایی رویشگاه، ۲- پراکندگی و تنک بودن رویش این گیاهان، ۳- صعب العبور بودن مناطق، ۴- هزینه‌های زمانی و مالی زیاد و ۵- تغییرات اقلیمی، از کارایی و دقت مناسبی برخوردار نیستند. وجود یک نقشه دقیق و بهروز از پراکندگی گیاهان دارویی می‌تواند به مدیریت، احیاء و بهره‌برداری هرچه بهتر از این منابع ارزشمند کمک کند.

امروزه فناوری سنجش از دور یکی از رایج‌ترین شیوه‌های جمع‌آوری اطلاعات سریع و مستقیم از سطح

تفاوت های محسوسی نسبت به زمان عدم بکارگیری این روش پیشنهادی را نشان داده است [۲۰]. تا به امروز بیشتر تحقیقات صورت گرفته در زمینه آشکارسازی هدف، معطوف به استفاده از این روش ها در تصاویر چندطیفی و ابرطیفی تک زمانه بوده است. با توجه به محدودیت دسترسی به تصاویر ابرطیفی با حد تفکیک مکانی بالا در کشور و همچنین در اختیار بودن رایگان تصاویر چندطیفی ماهواره ای سنتینل-۲ که از حد تفکیک مکانی متوسطی برخوردار نه استفاده از این تصاویر به منظور پنهانی گیاهان دارویی در دستور کار این تحقیق قرار گرفته است البته به واسطه حد تفکیک طیفی پایین تصاویر سنتینل-۲ در قیاس با تصاویر ابرطیفی، احتمال عدم وجود تمایز طیفی میان یک گیاه خاص با سایر گیاهان در تصاویر تک زمانه وجود خواهد داشت. بر این اساس، معیار تمایز گیاهان در این تحقیق، تفاوت در فنولوژی آنها انتخاب شده و بدین ترتیب پاسخ طیفی گیاه در طول زمان، جایگزین عدم تفکیک پذیری تصاویر تک زمانه چندطیفی شده است؛ به عبارت بهتر، به واسطه تمایز گیاهان در طول دوره رشد می توان انتظار پاسخ طیفی متفاوت در زمان های مختلف را به عنوان راهکار آشکارسازی اهداف گیاهی در سری های زمانی تصاویر سنجش از دوری در نظر گرفت.

به طور خلاصه ایده اصلی این مقاله، آشکارسازی گیاه بادام کوهی به کمک روش های آشکارسازی هدف در سری زمانی تصاویر سنتینل-۲ می باشد. برای نیل به این هدف، ابتدا فرامکعبی متخلک از سری زمانی باندها و شاخص های طیفی مستخرج از تصاویر سنتینل-۲ در بازه سال ۲۰۱۷ تولید شد. در ادامه از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک با هدف کاهش ابعاد داده و انتخاب ویژگی های بهینه استفاده شد. در نهایت، باندها و شاخص های طیفی بهینه در روند آشکارسازی گیاه دارویی بادام کوهی مورد استفاده قرار گرفت. مهم ترین جنبه های نوآورانه ای این تحقیق را می توان: ۱- آشکارسازی گیاه دارویی بادام کوهی به کمک داده های

سنجش از دور می باشد. پراکندگی بالا و ابعاد کوچک گیاهان دارویی به شکلی است که امکان ایجاد پیکسل های خالص از آن در تصویر ضعیف است. بنابراین، مساله شناسایی هدف در این تحقیق در زمرة روش های زیر پیکسلی قرار خواهد گرفت.

تا به امروز، تحقیقات متنوعی به منظور کشف و شناسایی اهداف در تصاویر سنجش از دور انجام شده است. سیدین و همکاران در سال ۲۰۱۳، به منظور کشف و شناسایی چشممه های هیدروکربن، از روش های آشکارسازی *ACE*, *CEM*, *MTMF*, *MF*, *HUD* و تصاویر ماهواره های پریون استفاده کردند [۱۵]. رحیم زادگان در سال ۲۰۱۴، به منظور آشکارسازی معادن آهن در منطقه سمنان از روش های آشکارسازی هدف استفاده کرد. او از تصاویر ماهواره استر و روش های (*SAM*, *MF*, *ACE*, *OSP*, *GLRT*, *CEM*) استفاده نمود [۱۶]. لویان و همکارش در سال ۲۰۱۵، با هدف استخراج توزیع آب های سطحی از روش آشکارسازی *CEM* و تصاویر ماهواره لندست-۸ استفاده کردند [۱۷]. کاماقچو و همکاران در سال ۲۰۱۶، یک مطالعه نسبی از روش های آشکارسازی هدف بر روی مزارع کشاورزی (نیشکر، قهوه، کاکائو، درخت پالم و مرکبات) کشور کلمبیا انجام دادند. در این راستا از الگوریتم های *ACE*, *CEM*, *MF*, *SAM*, *OSP* و تصاویر ماهواره های پریون استفاده شده است [۱۸]. یانگ و همکاران در سال ۲۰۱۸، جهت آشکارسازی محدوده آب های سطحی در مناطق شهری از تلفیق روش آشکارسازی *CEM* و شاخص های طیفی استفاده نموده اند [۱۹]. گنگ و همکاران نیز در سال ۲۰۱۸ از روش بهبود یافته *CEM* به منظور آشکارسازی اهداف در سری زمانی تصاویر ماهواره ای استفاده کردند. ضرب کرونکاگر سیگنال های زمانی هر مقطع زمانی، راهکار بهبود دقت آشکارسازی در این روش بوده که دقت های کسب شده از آن

<sup>1</sup> Mixture Tuned Matched Filter

<sup>2</sup> Generalized Likelihood Ratio Test

تهیه سبدهای دستی استفاده می‌شود. از دیگر خواص آن می‌توان به کمک در جلوگیری از وقوع سیلاب در مناطق کوهستانی، کنترل فرسایش خاک و تخریب اراضی در بسیاری از مناطق جغرافیایی با شبیه بالا اشاره داشت [۲۱].

بادام کوهی در اکثر مناطق کوهستانی خشک و نیمه خشک ایران رشد می‌کند. استان مرکزی به لحاظ قرار گرفتن در زاویه‌ی برخورد دو رشته کوه البرز و زاگرس، شرایط آب و هوایی مناسبی جهت رویش بادام کوهی دارد.

## ۲-۲- مبانی نظری آشکارسازی هدف

با توجه به محور تحقیق پیش‌رو مبنی بر بکارگیری روش‌های آشکارسازی هدف به منظور شناسایی یک گونه خاص از گیاه در سری زمانی مستخرج از تصاویر سنتینل-۲، در این بخش پس از معرفی الگوریتم‌های آشکارسازی هدف مورد استفاده، روش‌های ارزیابی عملکرد آشکارسازهای هدف تشریح شده است.

همان‌طور که در بخش مقدمه بدان اشاره شد؛ روش‌های آشکارسازی هدف در تصاویر ابرطیفی با دو رویکرد در اختیار بودن و عدم وجود اطلاعات از رفتار طیفی عناصر پس‌زمینه توسعه یافته‌اند. در این تحقیق با توجه به احتمال در دسترس نبودن رفتار طیفی- زمانی عناصر پس‌زمینه، استفاده از روش‌های آشکارسازی مبتنی بر عدم نیاز به رفتار طیفی- زمانی عناصر پس‌زمینه به عنوان محور آشکارسازی هدف انتخاب شده است. این روش‌ها بترتیب شامل: ۱- روش کمینه‌سازی مقید انرژی (*CEM*)، ۲- فیلتر انطباقی (*ASMF*)، ۳- فیلتر انطباقی تنظیم‌شده‌ی طیفی (*MF*) و ۴- تخمین‌زننده‌ی انطباق همدوسی (*ACE*) می‌باشند. سازوکار روش‌های ذکر شده از شباهت‌هایی برخوردار بوده که عملکرد هر کدام از آنها در این تحقیق مورد آزمون واقع شده است. در ادامه روابط مربوط به هر روش به همراه توضیحات مختصری از هر یک ارائه شده است.

سنجه از دوری و ۲- بکارگیری روش‌های آشکارسازی هدف در سری زمانی متشكل از باندها و شاخص‌های طیفی برشمرد.

مقاله حاضر در چهار بخش اصلی تنظیم شده است. بعد از بخش نخست به عنوان مقدمه در بخش دوم، پس از معرفی داده‌های مورد استفاده و روش‌های آشکارسازی هدف، روش پیشنهادی تشریح شده است. در بخش سوم نتایج پیاده‌سازی ارائه و در مورد آنها بحث قرار گرفته است. در نهایت بخش چهارم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات اختصاص دارد.

## ۲- مواد و روش‌ها

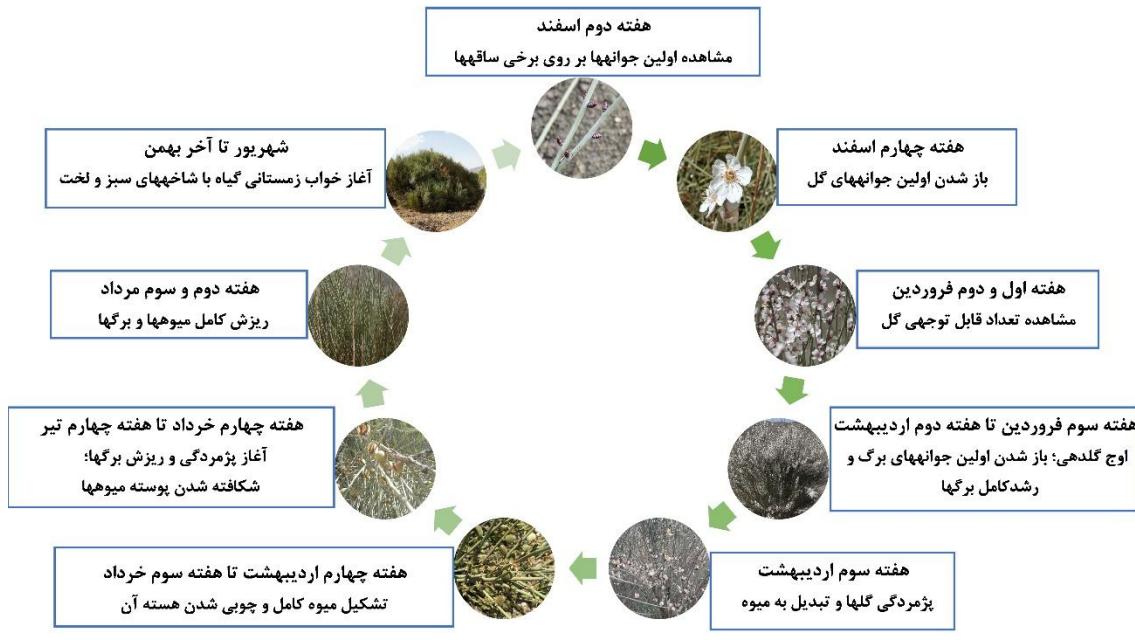
در این بخش، ابتدا گیاه بادام کوهی و فنولوژی آن معرفی شده است. مبانی نظری آشکارسازی هدف، شامل روش‌های مورد استفاده و نحوه ارزیابی عملکرد در ادامه بیان شده و بخش سوم به معرفی داده‌های مورد استفاده و پیش‌پردازش‌ها اختصاص دارد. در انتهای نیز ساختار روش پیشنهادی معرفی شده است.

## ۲-۱- گیاه دارویی بادام کوهی

بادام کوهی<sup>۱</sup> یا آلوک، درختچه‌ای خوش‌منظر است که ساقه‌های آن ایستا و سبز رنگ، برگ‌هاییش باریک و کوچک، ارتفاع ۱ تا ۱/۵ متر و قطر تاج پوششی آن به ۱ تا ۲ متر می‌رسد. این گیاه به عنوان اولین درختچه گل‌دهنده در فصل بهار با گل‌هایی درشت و سفید رنگ، مناظر بی‌بدیلی را به تماشا می‌گذارد. سطح برگ گیاه در فصل بهار زیاد است؛ اما وقتی که دانه و میوه تشکیل شود برگ‌ها به تدریج می‌ریزند ولی همچنان گیاه در طول سال سبزینگی خود را حفظ می‌نماید. شکل (۱) نمایی از گیاه بادام کوهی به همراه روند فنولوژیکی آن را نمایش می‌دهد.

میوه‌های بادام کوهی در خرداد ماه رسیده و پس از شیرین‌سازی مصرف خوارکی خواهند داشت. صمغ و روغن این گیاه در تهیه محصولات بهداشتی و غذایی کاربرد دارد. از ساقه جوان و ایستای این درختچه در

<sup>۱</sup> *Amygdalus Scoparia*



(d) از پیش مشخص بوده و این پاسخ به عنوان قید در روند برآورده  $w^{CEM}$  مورد استفاده قرار می‌گیرد.  
در رابطه (۱)،  $R$  ماتریس همبستگی تصویر ورودی و  $L$  بعد فضای ویژگی می‌باشد. با حل مسئله بهینه‌سازی رابطه (۱) بردار  $w^{CEM}$  به شکل رابطه (۲) قابل محاسبه خواهد بود [۲۲].

$$\min \{ W^{CEM^T} R_{L \times L} W^{CEM} \} \text{ subjected to } d^T W^{CEM} = 1$$

$$w^{CEM} = \frac{R_{L \times L}^{-1} d}{d^T R_{L \times L}^{-1} d}$$

### ۳) روش فیلتر انطباقی (MF)

تفاوت این روش با  $CEM$  در بکارگیری ماتریس کواریانس بجای ماتریس همبستگی تصویر ورودی و انتقال مبدأ فضای ویژگی به مرکز ثقل فضای گسترش یافته توسط تمامی نمونه‌های موجود در فضای ویژگی است [۲۴]. رابطه (۴) عملگر این روش را نشان می‌دهد.

### ۱) روش کمینه سازی مقید انرژی (CEM)

در این روش، یافتن یک بردار وزن  $w^{CEM}$  به منظور کمینه کردن مجموع مربعات پاسخ حاصل از اعمال آن به نمونه‌های طیفی (انرژی) در دستور کار قرار دارد (رابطه (۱)). پاسخ این بردار در مواجهه با طیف هدف

رابطه (۱)

رابطه (۲)

### ۲) روش کسینوس انطباقی (ACE)

در این روش، رابطه (۳) کسینوس زاویه‌ی طیفی میان نمونه‌ی مورد آزمون ( $x$ ) با طیف هدف مبنای شباهت نمونه‌ی طیفی با هدف در نظر گرفته می‌شود. در برآورده این کمیت زاویه‌ای ماتریس کواریانس ( $\Gamma$ ) تصویر بعنوان تنسور لحاظ شده است [۲۳].

$$D^{ACE}(x) = \frac{(d^T \Gamma^{-1} x)^2}{(d^T \Gamma^{-1} d)(x^T \Gamma^{-1} x)} \quad \text{رابطه (۳)}$$

می شود. به منظور ارزیابی نتایج این تحقیق از این دو معیار استفاده شده است [۳۷].

### ۳-۲- داده های مورد استفاده و پیش پردازش ها

در این بخش ابتدا منطقه مورد مطالعه معرفی شده سپس نحوه جمع آوری اطلاعات زمینی تشریح شده است. در انتهای نیز داده های مورد استفاده، پیش پردازش ها و نحوه تولید سری زمانی ارائه شده است.

### ۳-۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق محدود به پهنه دانشگاه تفرش بعنوان یکی از شهرستان های استان مرکزی بوده که از شمال به ساوه، از جنوب و غرب به اراک و از شرق به قم محدود می شود. مساحت شهر تفرش حدود ۲۷۹۲ کیلومتر مربع است. ارتفاع میانگین این شهرستان ۲۰۰۰ متر از سطح دریا و در عرض ۳۴ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی و طول ۵۰ درجه و ۱ دقیقه شرقی قرار دارد. در این شهر سالانه بطور متوسط ۲۷۰ میلیمتر نزولات جوی گزارش شده است. موقعیت جغرافیایی شهرستان تفرش و منطقه مورد مطالعه در شکل (۲) دیده می شود. محل انجام آزمون های این تحقیق سایت دانشگاه تفرش بوده که در مناطقی از آن گیاه بادام کوهی بصورت خودرو رشد می نماید. وسعت سایت دانشگاه ۱۰۰ هکتار و محل آن در طول جغرافیایی ۳۴ درجه ۴۰ دقیقه ۴۵ ثانیه و عرض جغرافیایی ۵۰ درجه ۳ دقیقه ۶ ثانیه واقع شده است. مناطق حضور بادام کوهی با تراکم بیشتر در شکل (۲) بصورت نواحی سبز رنگ مشخص شده است. هرچند که در سایر نواحی نیز این گیاه بصورت تک بوته و با وسعت کم قابل مشاهده است.

$$D^{MF}(x) = \frac{(d-\mu)^T \Gamma^{-1} (x-\mu)}{(d-\mu)^T \Gamma^{-1} (d-\mu)} \quad (4)$$

در این رابطه،  $\mu$  بردار تبیین کننده مرکز ثقل نمونه های فضای ویژگی است.

### ۴) روش فیلتر انطباقی طیفی تنظیم شده (ASMF)

این روش با هدف تقویت سیگنال های هدف و محدود کردن پیکسل های پس زمینه بر روی روش توسعه یافته است. این روش از ضرب نتیجه عملگر  $CEM$  در یک فاکتور  $A^n$  بدست می آید.

$$ASMF(x) = CEM(x).A^n \quad A = \left| \begin{array}{c} (x^T R^{-1} d) \\ (x^T R^{-1} x) \end{array} \right| \quad (5)$$

فاکتور  $A^n$  عنوان یک عامل تنظیم کننده، احتمال هدف بودن یک سیگنال را نشان می دهد، و  $n$  یک فاکتور از پیش تعریف شده بین ۰ تا ۴ بوده که می تواند جایی بین اهداف واقعی و پیکسل های آنامولی را افزایش دهد.  $CEM$  هنگامی که  $n=0$  باشد، خروجی  $ASMF$  برابر  $CEM$  استخراج شده اند؛ مجددًا تقویت می شود. اما پیکسل های غیر هدف با یک انرژی بزرگ کاهش می یابند [۲۵]. در این تحقیق مقدار  $n$  معادل ۲ انتخاب شده است.

ارزیابی عملکرد الگوریتم های آشکارسازی به دلیل ماهیت ذاتی آن، مساله ای بسیار دشوار است چرا که تشخیص آشکارسازی اغلب شامل جستجو برای یافتن تعداد کمی از پیکسل های هدف در یک صحنه بزرگ است [۲۶]. متدائل ترین روش برای ارزیابی دقت آشکارسازی، مقایسه واقعیت های زمینی با نتایج آشکارسازی است. استفاده از منحنی مشخصه عملکرد و مقدار سطح زیر این منحنی، به ترتیب به عنوان دو معیار کیفی و کمی از عملکرد آشکارساز قلمداد



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی شهرستان تفرش و منطقه مورد مطالعه

شکل (۳ - الف) مشاهده می‌شود؛ منطقه تحت پوشش داده‌ها به دو زیربخش منطقه آموزشی (کادر قرمز) و منطقه ارزیابی (کادر زرد) تفکیک شده است. از داده‌های منطقه آموزشی واقعیت زمینی متناظر با آن برای فرایند بهینه‌سازی و یافتن ویژگی‌های بهینه در فرایند آشکارسازی هدف استفاده شده و نتیجه تعمیم‌پذیری راهکار توسعه یافته در این تحقیق در منطقه‌ی ارزیابی مورد صحبت‌سنگی قرار گرفته است. در شکل (۳ - ب) محدوده دانشگاه تفرش بر روی تصویر سنتینل-۲ ارائه شده و شکل (۳ - پ) نقشه باینری واقعیت زمینی می‌باشد.

### ۲-۳-۲- تولید نقشه واقعیت زمینی

جمع آوری داده‌های واقعیت زمینی این گیاه بدليل پراکندگی بالا در مناطق وسیع امری دشوار بوده ولی با این حال در منطقه مورد مطالعه بیشتر مکان‌های متراکم رویش این گیاه، از طریق عملیات زمینی شناسایی و به کمک GPS تعیین موقعیت شد. منطقه مورد مطالعه به همراه نقشه واقعیت زمینی برای مناطق متراکم این گیاه در شکل (۳) مشاهده می‌شود. محل‌هایی که حضور این گیاه بصورت تک بوته و با وسعت انداک (کمتر از ۱/۵ مترمربع) بوده از روند تولید نقشه واقعیت زمینی حذف شده‌اند. همان‌طور که در



شکل ۳: (الف) تصویر گوگل ارث (منطقه آموزشی با کادر قرمز رنگ و منطقه آزمون با کادر زرد)، (ب) ترکیب رنگی (NIR-R-G) سنتینل-۲ در فصل بهار، (پ) تصویر باینری واقعیت زمینی مربوط به موقعیت اهداف

### ۲-۳-۳- داده‌های مورد استفاده، پیش‌پردازش‌ها و تولید سری زمانی

ماهواره سنتینل-۲ بخشی از برنامه کوپرنیک<sup>۱</sup> آژانس فضایی اتحادیه اروپا است که با هدف جمع‌آوری اطلاعات از زمین طراحی و در مدار قرار گرفته است. داده‌های این ماهواره پس از چند مرحله پیش‌پردازش و انجام تصحیحات رادیومتریکی و هندسی به صورت یک تصویر قائم از مقادیر بازتاب بالای اتمسفر<sup>۲</sup> در غالب محصول سطح IC به کاربر عرضه می‌شوند. در ادامه، کاربران قادرند با انجام تصحیحات اتمسفری بر روی این سطح، تصویری قائم با بازتاب بالای سطح زمین<sup>۳</sup> را تولید نمایند [۲۷]. حد تفکیک مکانی ۱۳ باند طیفی این سنجنده ۲۰، ۲۰ و ۶۰ متر بوده که در این تحقیق از باندهای طیفی با حد تفکیک مکانی ۱۰ متری (باندهای آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک) جهت تولید سری زمانی باندها و شاخص‌های طیفی استفاده شده است. تصاویر استفاده شده در این تحقیق مربوط به نیمه دوم سال ۲۰۱۷ میلادی بوده که قبل از بکارگیری در تولید سری زمانی از نقطه نظر وجود برف و ابر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. دلیل انتخاب نیمه دوم سال میلادی، روند متمایز فنولوژیکی گیاه بادام کوهی می‌باشد. سبزینگی موثر گیاه بادام کوهی در فصل پاییز و زمستان و همچنین روند از دست رفتن برگ‌ها و میوه‌دهی در اواخر بهار را می‌توان به عنوان جنبه‌های متمایز این گیاه در این بازه‌ی زمانی قلمداد نمود. وجود پوشش برف در زمستان و عدم تمايز فاحش طیفی بادام کوهی در فصل بهار نسبت به سایر گیاهان در باندهای طیفی مورد استفاده از تصاویر سنتینل-۲، دلایل عدم انتخاب شش ماهه نخست سال میلادی در تولید سری زمانی می‌باشند. شکل(۴) زمان اخذ داده تصویری در

<sup>۱</sup> بزرگترین برنامه جهانی برای مطالعه و بررسی زمین می‌باشد که ابتکار عمل مشترک کمیسیون اروپا و آژانس فضایی اروپا است.

<sup>۲</sup> Top-Of Atmosphere (TOA) reflectance

<sup>۳</sup> Top-Of Surface (TOS) reflectance

تولید سری زمانی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل(۴) مشهود است، مجموعه‌ای متشکل از ۱۵ تصویر در تولید سری زمانی مشارکت داشته‌اند. تصحیحات اتمسفری و توپوگرافی این تصاویر همگی در محیط نرم‌افزار اختصاصی پردازش تصاویر سنتینل (اسنپ<sup>۴</sup>) صورت پذیرفته است.

در ادامه به منظور تولید فرامکعب تصویر، علاوه بر باندهای طیفی ذکر شده، مجموعه‌ای از شاخص‌های مرتبط با خاک، آب و پوشش گیاهی تولید شده است. این اقدام با هدف غنی‌تر ساختن داده‌های اولیه و افزایش احتمال تفکیک پذیر بودن آنها در روند آشکارسازی هدف صورت پذیرفته است. در جدول (۱) شاخص‌های تولیدی از باندهای مورد استفاده از سنجنده سنتینل معرفی شده است.

در جدول (۱)، NIR باند ۸، R باند ۴، G باند ۳ و B باند ۲ در تصاویر سنتینل-۲ می‌باشند. این چهار باند و شاخص‌های تولید شده از آنها حد تفکیک مکانی معادل با ۱۰ متر را برخوردارند. بر این اساس با تولید ۱۲ شاخص معرفی شده برای هر مقطع زمانی از سری زمانی، یک مکعب داده با ۲۴۰ ویژگی و باندطیفی برای محدوده مورد مطالعه ساخته شد.

<sup>۴</sup> Sentinel Application Platform (SNAP)



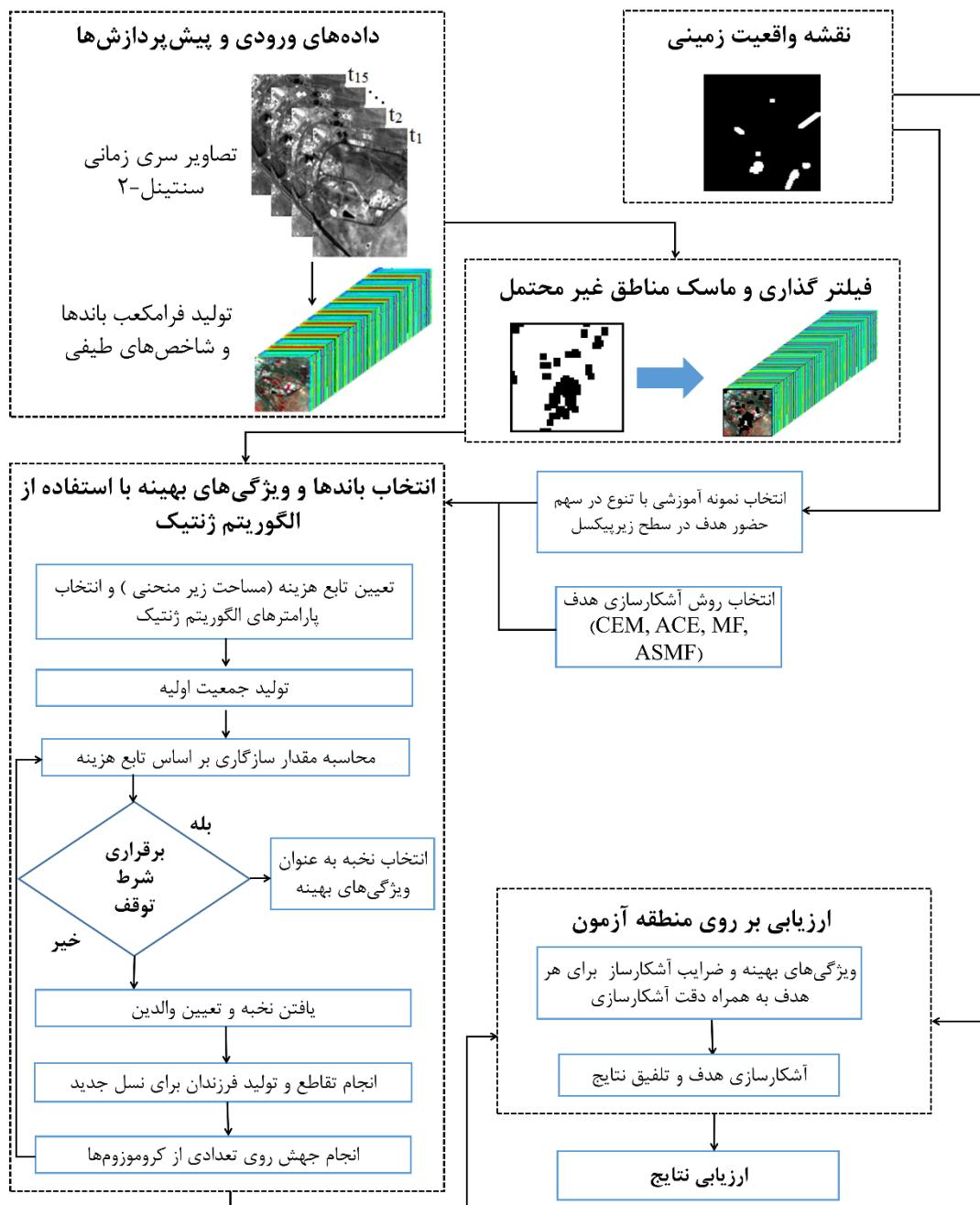
جدول ۱: شاخص های مورد استفاده در این تحقیق

| ردیف | اختصار<br>شاخص | رابطه  | نام و مرجع  |
|------|----------------|--|---|
| ۱    | <i>SAVI</i>    | $1.5 \times ((NIR - R) / (NIR + R + 0.5))$   | <i>Soil Adjusted Vegetation Index, Huete (1998)</i>                       |
| ۲    | <i>DVI</i>     | $NIR / R$  | <i>Difference Vegetation Index, Jordan (1969)</i>                         |
| ۳    | <i>PVI</i>     | $0.707 \times (NIR - R)$   | <i>Perpendicular Vegetation Index, Richardson et al. (1977)</i>           |
| ۴    | <i>WDVI</i>    | $NIR - 0.5 \times R$   | <i>Weighted Difference Vegetation Index, Clevers (1988)</i>               |
| ۵    | <i>MSAVI</i>   | $0.5 \times ((2 \times NIR + 1) - \sqrt{((2 \times NIR + 1)^2 - 8 \times (NIR - R))})$ | <i>Modified Soil Adjusted Vegetation Index, Qi et al. (1994)</i>          |
| ۶    | <i>GNDVI</i>   | $(NIR - G) / (NIR + G)$  | <i>Green Normalized Difference Vegetation Index, Buschmann, C(1993)</i>   |
| ۷    | <i>NDVI</i>    | $(NIR - R) / (NIR + R)$  | <i>Normalized Difference Vegetation Index, Rouse et al. (1974)</i>        |
| ۸    | <i>IPVI</i>    | $(NDVI + 1) / 2$   | <i>Infrared Percentage Vegetation Index, Crippen (1990)</i>               |
| ۹    | <i>BI2</i>     | $\sqrt{(R^2 + G^2 + NIR^2) / 3}$   | <i>Brightness Index, Escadafal (1989)</i>                                 |
| ۱۰   | <i>NDWI</i>    | $(G - NIR) / (G + NIR)$  | <i>Normalized Difference Water Index, Gao (1996)</i>                      |
| ۱۱   | <i>VARI</i>    | $(G - R) / (G + R)$  | <i>Visible Atmospherically Resistant Index, Gitelson, A et al. (2002)</i> |
| ۱۲   | <i>GCC</i>     | $G / (R + G + B)$  | <i>Green Chromatic Coordinate, Woebbecke, D.M et al. (1995)</i>           |

که روند آن به صورت فلوچارت شکل (۵) قابل مشاهده است.

### ۳- روش شناسی راهکار پیشنهادی

این بخش به تشریح راهکار پیشنهاد شده به منظور آشکارسازی گیاه دارویی بادام کوهی اختصاص داشته



شکل ۵: مراحل انجام تحقیق

کاهش دهد. به عبارت بهتر، تنوع بالا در کلاس‌های موجود در فضای ویژگی، اعتبار تعمیم یک ماتریس کواریانس را به عنوان نماینده رفتار آماری نمونه‌های موجود در فضای ویژگی می‌کاهد. بر این اساس، حذف و ساده‌سازی نمونه‌های موجود در فضای ویژگی با هدف افزایش اعتبار کمیت‌های آماری مستخرج از آن، می‌تواند صحت نتایج آشکارسازی هدف را بهبود دهد. با این رویکرد، در اولین گام از روش پیشنهادی، حذف مناطقی که احتمال حضور هدف (گیاه بادام کوهی) در آنها پایین بوده در دستورکار قرار گرفت. برای این منظور، رفتار طیفی و زمانی مناطق رویش گیاه مورد بررسی قرار گرفت و متناسب با آن دو قید منطقی و قابل تعمیم برای این مناطق شناسایی شد.

با توجه به حد تفکیک مکانی تصاویر مورد استفاده (۱۰ متر)، رخداد پیکسل‌های خالص از گیاه بادام کوهی از احتمال بالایی برخوردار نیست. از آنجایی که این گیاه عموماً در مناطق دشت و بایر رشد می‌کند؛ عده پوشش‌های گیاهی نواحی مجاور آن به گیاهان خودرو اعم از علف‌های هرز و بوته‌های خار اختصاص دارد. سبزینگی این گیاهان (پس‌زمینه) در طول زمان و بعد از فصل بهار به تدریج کاهش یافته و به سمت خشک شدن پیش می‌رond. ضمن اینکه با توجه به جغرافیای محل رویش این گیاهان، تراکم بالایی از آنها مورد انتظار نخواهد بود؛ بنابراین روند کاهشی در سبزینگی بین فصل بهار و زمستان و همچنین عدم رخداد سبزینگی مترافق در فصل سبز سال به عنوان قیود منطقی در جداسازی مناطق مستعد رویش انتخاب شده است. این دو قید در سری زمانی شاخص  $NDVI_{NDVI}$  رابطه (۷) اعمال شده است.

$$NDVI_i (i = \text{all times}) < 0.3 \text{ and } NDVI_{Winter} - NDVI_{Spring} < 0$$

دسامبر ۲۰۱۷ انتخاب شده است. مقدار ۰,۳ نیز در این روابط بر اساس بازه‌بندی استاندارد شاخص  $NDVI$

مطابق با شکل (۵)، روند اجرای روش پیشنهادی از سه گام اصلی تشکیل شده است. بعد از آماده‌سازی سری زمانی باندها و ویژگی‌های طیفی، در گام نخست جداسازی پهنه‌های مکانی مستعد حضور گیاه بادام کوهی و حذف سایر مناطق با احتمال رخداد پایین حضور هدف در دستورکار قرار دارد. در گام دوم با معروفی چند نمونه‌ی آموزشی از رفتار طیفی-زمانی هدف، باندها و ویژگی‌های موثر در آشکارسازی هدف از پس‌زمینه به کمک الگوریتم فراباگتاری ژنتیک به ازای هر سیگنال از هدف شناسایی می‌شوند. در گام سوم از روند اجرای این تحقیق، بعد از تعیین ویژگی‌های بهینه و برآورد ضرایب آشکارساز برای هر یک از نمونه‌های آموزشی، آشکارسازی هدف در مناطق آزمون به اجرا رسیده است. در این مرحله نیز به منظور افزایش نتایج آشکارسازی هدف، راهکاری مبتنی بر تلفیق نتایج کسب شده از هر نمونه آموزشی (ویژگی‌های بهینه و ضرایب فیلترهای انطباقی آشکارساز) پیشنهاد شده است. در ادامه هر گام از روش پیشنهادی در قالب زیربخش‌های ۱-۳، ۲-۳ و ۳-۳ به تفصیل تشریح شده است.

### ۱-۳- شناسایی مناطق مستعد حضور گیاه بادام

#### کوهی

هنگام استفاده از روش‌های آشکارسازی هدف، کاهش پیچیدگی توزیع نمونه‌های پس‌زمینه در فضای ویژگی به عنوان یکی از عوامل کسب نتایج دقیق‌تر قلمداد می‌شود [۲۸]. وجود تنوع بالا در پدیده‌های حاضر در صحنه تصویر و تمایز بالا در رفتار طیفی-زمانی آنها می‌تواند صحت و اعتبار کمیت‌های آماری پارامتریک مستخرج از نمونه‌های موجود در فضای ویژگی را

رابطه (۷)

در رابطه (۷)،  $NDVI_{Spring}$  شاخص تفاضلی گیاهی نرمال شده مربوط به تاریخ ۲ ژوئن ۲۰۱۷ از سری زمانی و  $NDVI_{winter}$  مربوط به همان شاخص در تاریخ ۱۹

جای داد. دسته نخست روش‌های استخراج ویژگی بود که از جمله می‌توان به روش‌های تحلیل مولفه اصلی<sup>۱</sup>، کمینه‌سازی کسر نویز<sup>۲</sup> و تحلیل مولفه مستقل<sup>۳</sup> اشاره نمود. در این دسته، داده‌ها از طریق مجموعه‌ای از تبدیلات خطی یا غیر خطی به فضایی با بعد کمتر انتقال یافته و به دلیل تبدیل فضای معنای فیزیکی اولیه خود را از دست می‌دهند. دسته دوم به روش‌های انتخاب ویژگی اختصاص داشته که در آن یک زیر مجموعه از ویژگی‌های اولیه انتخاب می‌گردد. بکارگیری الگوریتم ژنتیک باینری را می‌توان در زمرة روش‌های بهینه‌سازی فرا ابتكاری دانست که برای انتخاب ویژگی در تحقیقات زیادی مورد استفاده قرار گرفته است [۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۵]. در الگوریتم ژنتیک باینری، هر کروموزم متشکل از یک رشته از اعداد صفر و یک بوده که طول آن متناسب با بعد فضای ویژگی ورودی خواهد بود. حضور یا عدم حضور هر ویژگی/باند در هر کروموزم به ترتیب با مقادیر یک و صفر کدگذاری می‌شود. جدول (۲) سایر پارامترهای تنظیمی الگوریتم ژنتیک [۳۶]، بکارگرفته شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

رونده بینه‌سازی فوق به ازای تمامی نمونه‌های آموزشی تکرار شده و برای هر نمونه‌ی آموزشی ضرایب آشکارساز، ویژگی‌های بهینه و دقت کسب شده ثبت می‌گردد. در انتخاب نمونه‌های آموزشی سعی بر آن بود که تنوع در سهم حضور هدف در پیکسل‌های انتخاب شده وجود داشته باشد. در مجموع برای این بررسی سه پیکسل بعنوان رفتاری طیفی-زمانی هدف انتخاب شده و برای حصول اطمینان از وجود تنوع در سهم حضور هدف از تصاویر بزرگ‌مقیاس گوگل-ارت استفاده شده است. این نمونه‌ها به ترتیب از یک تا سه متناسب با سهم حضور گیاه درجه‌بندی و نامگذاری شده‌اند. نمونه

برای زمین‌های با پوشش گیاهی تنک در نظر گرفته شده است [۲۹].

با اعمال قیود ذکر شده در رابطه (۷) از حضور مناطقی همچون: ۱- پوشش گیاهی متراکم، ۲- مناطق پایدار و بدون تغییر در شاخص *NDVI* و ۳- مناطق آبی، به عنوان پنهان محتمل حضور گیاه بادام کوهی جلوگیری می‌شود. بدیهی است که این اقدامات صرفاً جنبه پالایشی داشته و بخش‌های زیادی از خاک توأم با پوشش گیاهی را در بر خواهد گرفت؛ اما انتظار می‌رود تا حد زیادی از پیچیدگی فضای ویژگی بواسطه کاهش در تنوع کلاس‌های واقع در صحنه تصویر کاسته شده و به تبع آن، آماره‌های مستخرج از ماتریس کواریانس یا همبستگی تولید شده از نمونه‌های باقیمانده به توزیع آماری نرمال نزدیکتر شوند. راهکارهای مشابه مطابق با این رویکرد نیز در تحقیقات گذشته گزارش شده است [۳۰].

### ۲-۳- بهینه‌سازی به منظور شناسایی ویژگی‌های موثر

با توجه به تعداد بالای باندها و ویژگی‌های مستخرج در سری زمانی تولید شده توسط تصاویر سنتیل-۲، انتخاب ویژگی‌ها و باندهای موثر به منظور کسب نتایج بهتر در روند آشکارسازی هدف ضروری خواهد بود. به عبارت بهتر وجود باندها و ویژگی‌های افزونه و همچنین عدم تمایز و تفکیک‌پذیری برخی از آنها در جداسازی هدف یا اهداف از پس‌زمینه، باعث کاهش دقت آشکارسازی خواهد شد. بنابراین به کمک اجرای الگوریتم فرابا ابتكاری ژنتیک باینری، ویژگی‌های موثر شناسایی شود [۳۱ و ۳۲]. دلیل انتخاب الگوریتم فرابا ابتكاری ژنتیک سهولت در فرایند کدگذاری باینری (بودن یا نبودن یک ویژگی) در روند تولید ژن‌های کروموزوم می‌باشد.

تاکنون روش‌های متعددی با هدف کاهش ابعاد فضای ویژگی ارائه شده که می‌توان آن را در دو دسته کلی

<sup>1</sup> Principal component analysis

<sup>2</sup> Minimum Noise Fraction

<sup>3</sup> Independent Component Analysis

بطور تقریبی بیشتر از ۶۰ درصد سهم پیکسلی آن مربوط به پس زمینه است.

آموزشی اول بیشترین سهم در حضور هدف را برخوردار بوده (بطور متوسط ۷۰ درصد) و نمونه‌ی آموزشی سوم

جدول ۲: پارامترهای الگوریتم ژنتیک طراحی شده به منظور انتخاب ویژگی

| نحوه کدگذاری کروموزوم | باينری                          |
|-----------------------|---------------------------------|
| طول کروموزوم          | ۲۵۵                             |
| تعداد جمعیت هر نسل    | ۱۰۰۰                            |
| ابعاد حوضجه تکثیر     | ۵۰۰                             |
| تابع شایستگی          | بیشینگی سطح زیر منحنی ( $AUC$ ) |
| نحوه انتخاب والدین    | انتخاب رقابتی                   |
| روش تقاطع             | دو نقطه‌ای                      |
| نرخ رقابتی تقاطع      | ۷۰٪                             |
| نرخ جهش               | ۳٪                              |
| معیار توقف            | همگرایی یا بیشینه تکرار ۱۰۰۰    |

انتخاب نمونه آموزشی  $i$  ام و  $RT_i$  نقشه پاسخ آشکارساز به ازای ضرایب بهینه یافته شده برای نمونه  $i$  ام می‌باشدند.

مطابق با رابطه (۸)، آشکارسازهای با  $AUC$  بزرگتر، نقش بیشتری را در تولید نقشه نهایی پاسخ آشکارساز ایفا می‌کنند. ایده این راهکار تلفیقی افزایش اثرپذیری نتایج آشکارسازی‌های موفق در مقایسه با نتایج ضعیفتر در تولید نتایج نهایی بوده و همچنین اینکار شرایط ایجاد هم‌افزایی میان نتایج بدست آمده را جهت تصمیم‌سازی با عدم قطعیت کمتر فراهم می‌آورد.

#### ۴- تایج و بحث

ارزیابی نتایج این تحقیق در دو سطح انجام شده است. در سطح نخست، میزان موفقیت فرایند بهینه‌سازی به کمک نقشه واقعیت زمینی مربوط به داده‌های آموزشی و سطح زیر منحنی برای هریک از روش‌های آشکارسازی هدف، مورد بررسی قرار گرفته است. سطح دوم ارزیابی، مستقل از روند بهینه‌سازی بوده که بعد از انتخاب ویژگی‌های بهینه و تولید نتایج تلفیقی، کفایت

#### ۳-۳- پیاده‌سازی در مناطق ارزیابی با رویکرد تلفیق نتایج

بعد از اجرای فرایند بهینه‌سازی، به ازای هر نمونه آموزشی، ضرایب آشکارساز، ویژگی‌های بهینه و دقت کسب شده از آن برآورد می‌شود. در ادامه به منظور اعمال نتایج کسب شده به سایر مناطق، یک رویکرد تلفیقی به اجرا رسیده است. در این رویکرد، به ازای هر نمونه آموزشی از رفتار طیفی-زمانی هدف و همچنین ویژگی‌های بهینه مرتبط با آن (با در نظر گرفتن روش آشکارساز انتخاب شده) یک نقشه‌ی پاسخ آشکارساز تولید می‌گردد. در نهایت، نتیجه نهایی پاسخ آشکارسازی ( $RT_f$ ) از طریق میانگین‌گیری وزن دار از نتایج پاسخ آشکارسازی به ازای هر یک از نمونه‌های آموزشی بصورت رابطه (۸) تولید خواهد شد.

$$RT_f = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AUC_i \times RT_i \quad (8)$$

در این رابطه،  $N$  تعداد نمونه‌های آموزشی،  $AUC_i$  سطح زیر منحنی بدست آمده در منطقه تست به ازای

<sup>۱</sup>Tournament Selection

کمی، منحنی  $ROC$  مربوط به هر یک از نقشه های پاسخ آشکارساز شکل (۶) در شکل (۷) ارائه شده است. در جدول (۳) نیز شاخص  $AUC$  مستخرج از هر یک از نمودارهای  $ROC$  شکل (۷) ارائه شده است. نتایج کمی نمودارهای  $ROC$  و مقادیر  $AUC$  نیز بهمود نتایج تلفیقی (منحنی  $ROC$  و مقادیر  $AUC$ ) برای روش های  $ASMF$ ,  $MF$ ,  $ACE$ ,  $CEM$  در شکل (۶) زمینی مرتب دانست.

و قابلیت تعمیم نتایج بدست آمده در فرایند بهینه سازی در منطقه ای آزمون مورد ارزیابی قرار گرفته است. در ادامه، ابتدا نتایج مربوط به فرایند بهینه سازی و سپس نتایج اعمال ویژگی ها بهینه آشکارساز در منطقه آزمون ارائه و مورد بحث قرار گرفته است.

#### ۴-۱- نتایج فرایند بهینه سازی

همان طور که در بخش ۲-۲ نیز بدان اشاره شد به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم های آشکارسازی هدف از دو معیار کمی منحنی  $ROC$ <sup>۱</sup> و سطح زیر این منحنی ( $AUC$ )<sup>۲</sup> استفاده شده است. نتایج آشکارسازی برای روش های  $ASMF$ ,  $MF$ ,  $ACE$ ,  $CEM$  در شکل (۶) دیده می شود.

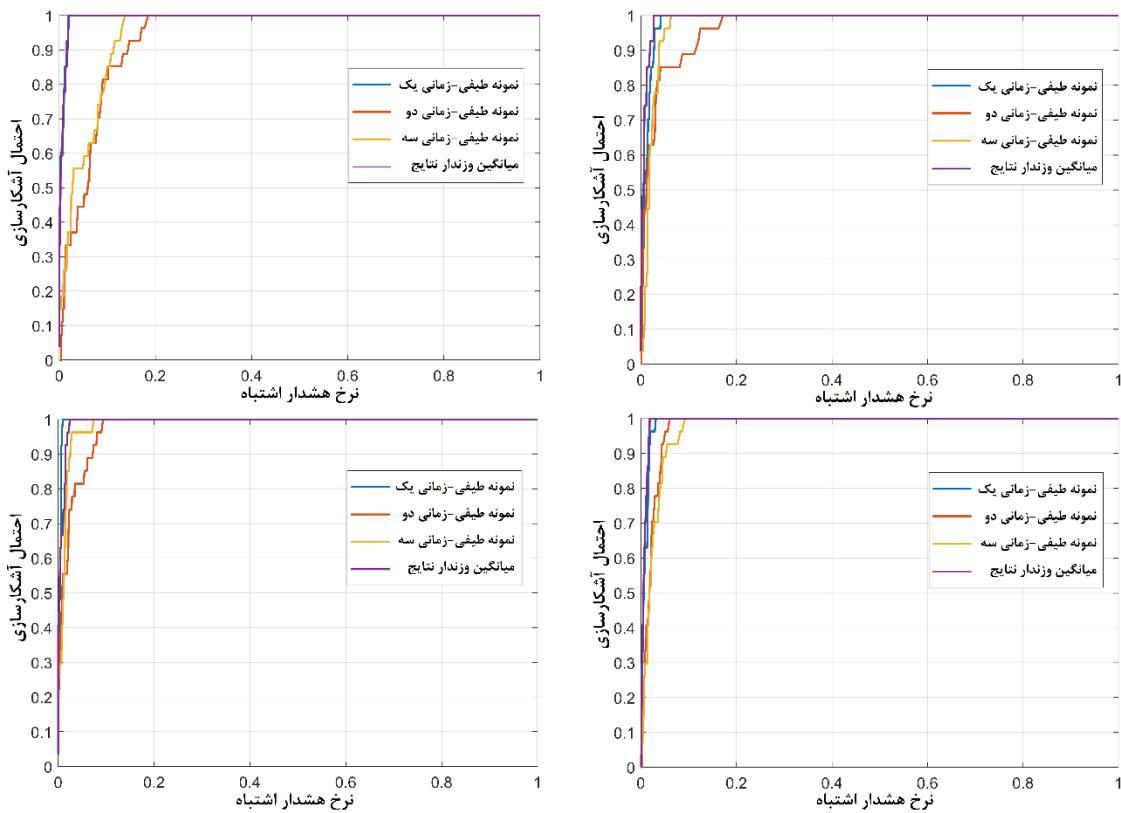
شکل (۶) متشكل از دو بخش اصلی است. در بالای این شکل ماسک مربوط به واقعیت زمینی استفاده شده در فرآیند بهینه سازی ترسیم شده است. در ادامه جدولی متشكل از چهار سطر (الگوریتم های آشکارسازی هدف) و چهار ستون (نتایج کسب شده برای ۳ نمونه آموزشی و نتایج تلفیق) رابطه (۸) ارائه شده است. با مقایسه نقشه پاسخ آشکارسازها و نقشه واقعیت زمینی، موفقیت بصری نتایج مشهود است. از سوی دیگر، نتایج بصری حاکی از موفقیت بیشتر راهکار تلفیقی در برآورد نقشه پاسخ هدف در تمامی الگوریتم های آشکارسازی است. ناگفته نماند که روش  $ACE$  در آشکارسازی سه طیف معرفی شده نسبت به دیگر روش ها عملکرد ضعیفتری را از خود نشان داده است. وجه تمایز این راهکار با سایر روش های استفاده شده در بکارگیری ماتریس کواریانس ( $\Gamma$ ) بجای ماتریس همبستگی ( $R$ ) است. بهترین نتیجه از لحظه بصری با اختلاف اندک نسبت به سایر روش ها مربوط به روش  $ASMF$  می باشد. این روش با ضرب یک فاکتور وزن دار در  $CEM$  پیکسل های هدف را محدود می کند. با این حال به منظور تامین شرایط ارزیابی

<sup>۱</sup> Receiver Operating Characteristics

<sup>۲</sup> Area Under Curve

| داده واقعیت زمینی مربوط به فرایند بهینه‌سازی |   |   |   |                          |
|--|---|---|---|--------------------------|
| نمونه‌ی آموزشی<br>روش<br>آشکارسازی           | ۱ | ۲ | ۳ | تلفیق نتایج<br>رابطه (۸) |
| CEM  |   |   |   |                          |
| ACE  |   |   |   |                          |
| MF   |   |   |   |                          |
| ASMF   |   |   |   |                          |

شکل ۶: نتایج کسب شده از فرایند آشکارسازی هدف در منطقه آموزشی بدست آمده از فرایند بهینه‌سازی



شکل ۷: نمودار ROC مربوط به بهینه سازی برای سه طیف انتخابی و میانگین نتایج جبرای روش‌های آشکارسازی معرفی شده:

(الف) CEM (ب) ACE (پ) MF (ت) ASMF

جدول ۳: شاخص AUC آشکارسازی هدف مربوط به مرحله بهینه سازی

| الگوریتم | دقت آشکارسازی طیف یک % | دقت آشکارسازی طیف دو % | دقت آشکارسازی طیف سه % | دقت آشکارسازی میانگین وزنده نتایج % |
|----------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| CEM      | ۰,۹۸۹                  | ۰,۹۷۰                  | ۰,۹۷۹                  | ۰,۹۹۳                               |
| ACE      | ۰,۹۹۴                  | ۰,۹۳۹                  | ۰,۹۵۳                  | ۰,۹۹۴                               |
| MF       | ۰,۹۹۱                  | ۰,۹۷۹                  | ۰,۹۷۵                  | ۰,۹۹۳                               |
| ASMF     | ۰,۹۹۶                  | ۰,۹۷۸                  | ۰,۹۸۷                  | ۰,۹۹۴                               |

بدست آمده از آشکارسازهای *CEM*, *MF*, *ACE* و *ASMF* در شکل (۹) ارائه شده است.

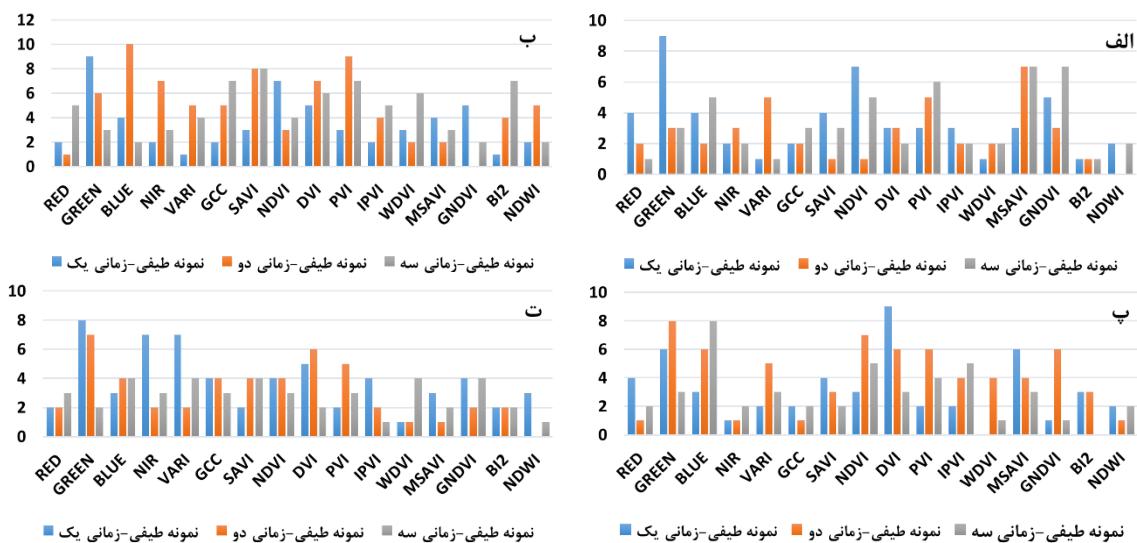
در شکل (۸) ویژگی‌های بهینه شناسایی شده به ازای نمونه‌های طیفی-زمانی هدف برای روش‌های آشکارسازی در منطقه آزمون ارائه شده است. محور افق در این نمودار، ویژگی‌هایی از سری زمانی بوده که در روند بهینه‌سازی انتخاب شده‌اند. میله‌های مرتبط با هر

در ادامه به منظور ارزیابی تعمیم‌پذیری ویژگی‌های مستخرج در روند بهینه‌سازی و همچنین ضرایب آشکارساز بدست آمده از ویژگی‌های بهینه، روند آشکارسازی با رویکرد تلفیقی در منطقه آزمون شکل (۳ - الف) پیاده‌سازی شده است. ویژگی‌های بهینه منتخب به کمک الگوریتم ژنتیک باینری در مرحله بهینه‌سازی در نمودارهای شکل (۸) و نتایج بصری

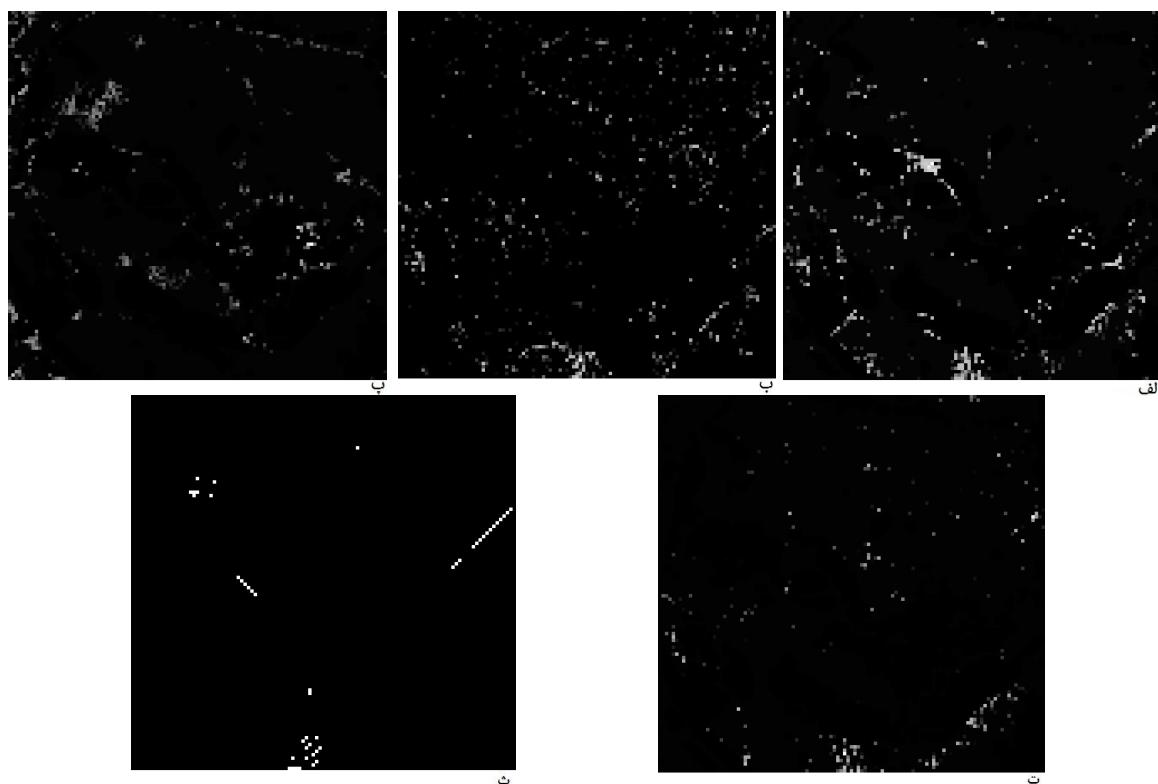
دلیل این امر را می توان به تغییر ساختار نمونه های واقع در فضای ویژگی مربوط به داده های پس زمینه مرتبط دانست. با این حال نتایج کسب شده موفقیت هایی را در آشکارسازی اهداف طیفی زیرپیکسلی در سری زمانی تصاویر سنتینل-۲ نشان می دهند. ناگفته نماند که بعد از بازدید مجدد میدانی از منطقه آزمون مشخص شد که در برخی از مناطق اکسترم م محلی در نقشه آشکارساز حضور بادام کوهی بصورت تک بوته و با وسعت کم وجود داشته که این مناطق در تولید نقشه واقعیت زمینی حضور نداشته اند. این موضوع نشان می دهد که این رویکرد توانسته اهداف زیرپیکسلی حتی با وسعت بسیار اندک نیز شناسایی نماید.

ویژگی، تعداد تکرار انتخاب آن ویژگی در سری زمانی است. هر رنگ از میله های این نمودار مربوط به یک نمونه آموزشی از رفتار زمانی-طیفی هدف می باشد. بدیهی است که مجموع میله های هم رنگ در هر نمودار برابر با تعداد ویژگی های انتخاب شده برای هر نمونه آموزشی خواهد بود. با استناد به نمودارهای ارائه شده در شکل (۸)، باند سبز و شاخص های DVI و PVI از نقش بیشتری در ایجاد تمایز میان هدف و پس زمینه برخوردار بودند و کمترین کارایی نیز مربوط به شاخص NDWI است.

همان طور که در شکل (۹) دیده می شود؛ نتایج بدست آمده در منطقه آزمون از کیفیت کمتری نسبت به داده های آموزشی در فرایند بهینه سازی برخوردارند.



شکل ۸: ویژگی های بهینه انتخاب شده به کمک الگوریتم ژنتیک باینری در مرحله بهینه سازی، الف) CEM (ب) ACE (ت) ASMF (پ) MF



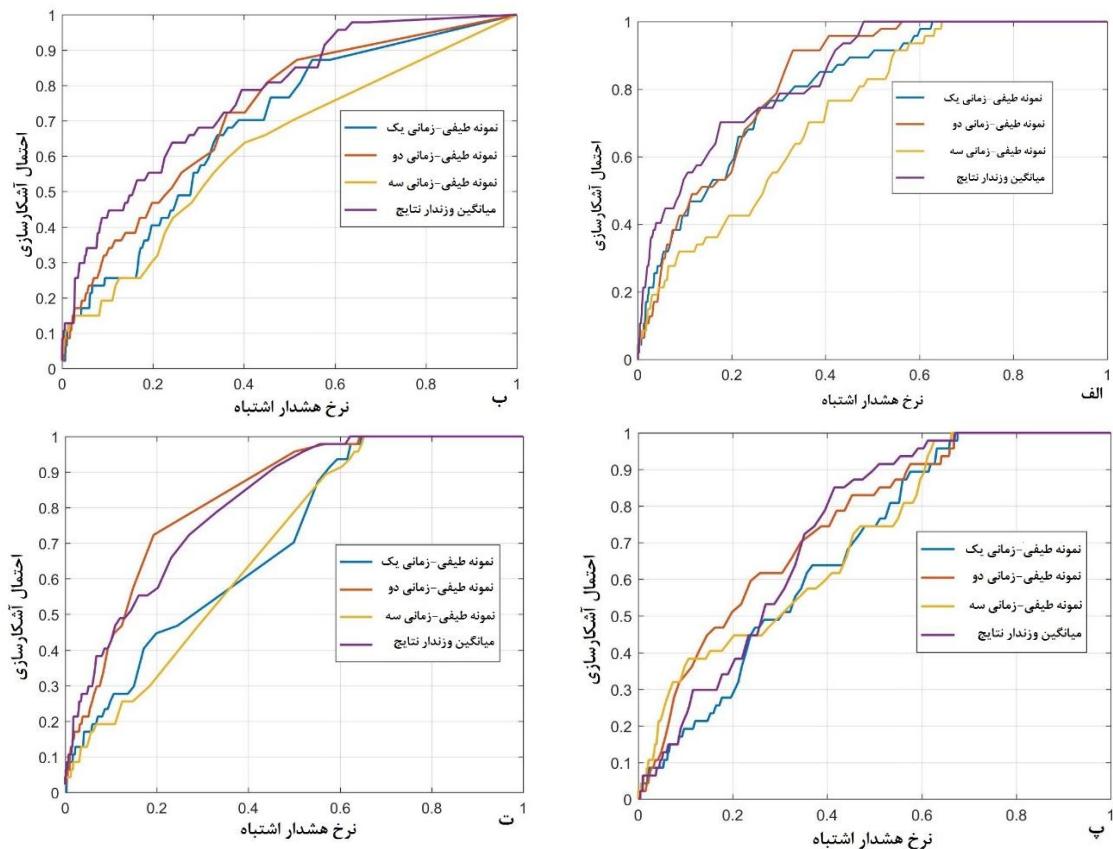
شکل ۹: تصاویر مربوط به ارزیابی نتایج با استفاده از ۴ الگوریتم آشکارسازی بر روی منطقه تست که در مشخص شده است؛  
الف) نقشه واقعیت زمینی (CEM)، ب) MF، ج) ACE، د) ASMF

یافته شده برای هر یک از اهداف آموزشی را نشان می‌دهد. شکل (۱۰) نیز نتایج روش تلفیقی را برای هر یک از روش‌های آشکارسازی نمایش می‌دهد.

ارزیابی‌های کمی در این مورد نیز مشابه با روند بهینه‌سازی در جدول (۴) و شکل (۱۰) قابل مشاهده است. جدول (۴) نتایج آشکارسازی به ازای ویژگی‌های

جدول ۴: شاخص آشکارسازی هدف مربوط به منطقه‌ی آزمون

| الگوریتم | دقت آشکارسازی طیف یک % | دقت آشکارسازی طیف دو % | دقت آشکارسازی طیف سه % | دقت آشکارسازی میانگین وزندار نتایج % |
|----------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| CEM      | ۰,۸۰۸                  | ۰,۸۳۰                  | ۰,۷۳۴                  | ۰,۸۴۶                                |
| ACE      | ۰,۶۹۰                  | ۰,۷۲۵                  | ۰,۶۲۹                  | ۰,۷۷۲                                |
| MF       | ۰,۶۸۲                  | ۰,۷۵۱                  | ۰,۷۰۶                  | ۰,۷۳۴                                |
| ASMF     | ۰,۷۰۲                  | ۰,۸۳۰                  | ۰,۶۹۰                  | ۰,۸۱۶                                |



شکل ۱۰: نمودار ROC مربوط به بهینه سازی برای سه طیف انتخابی و میانگین نتایج برای روش های آشکارسازی معرفی شده؛  
 (الف) (ب) (CEM) (MF) (ACE) (پ) (ASMF)

هدف، حاکی از موفقیت این رویکرد در پهنه‌بندی این گیاهان بود. نتایج کسب شده از روند بهینه‌سازی و به تبع آن ارزیابی تعمیم‌پذیری نتایج، گویای این موضوع بود که می‌توان با رویکردهای مشابهی اقدام به پهنه‌بندی گیاهان دارویی خودرو نمود. این مهم می‌تواند هرساله با هزینه‌های اجرایی اندکی شرایط بهره‌برداری حداکثری از این منابع گیاهی را فراهم آورد. با در نظر گرفتن تجربیات کسب شده از پیاده‌سازی‌های این تحقیق، مواردی همچون: ۱- لحاظ شدن تراکم و وسعت نسبی گیاهان هدف متناسب با حدتفکیک مکانی تصاویر سنتیل-۲، ۲- عدم رویش گیاهان هدف با اختلاط مکانی بالا با سایر سبزینگی‌ها و ۳- دسترسی به رفتار طیفی- زمانی بدست آمده از طیف‌سننجی‌های آزمایشگاهی/میدانی برای گیاهان هدف، می‌تواند بهبود نتایج آشکارسازی را بدنبال داشته باشد. گیاهان دارویی

مقایسه نتایج بدست آمده از AUC‌های جدول (۴) نشان‌دهنده قابلیت بهتر راهکار CEM تلفیقی نسبت به سایر الگوریتم‌های آشکارسازی است. این راهکار به ترتیب ۳/۸ درصد نسبت به روش ASMF تلفیقی، ۹/۶ درصد نسبت به روش ACE تلفیقی و ۱۵/۳ درصد نسبت به روش MF تلفیقی بهبود دقت کسب نموده است.

##### ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

در این تحقیق یافتن گیاه بادام کوهی با وسعت مکانی عمدتاً زیرپیکسلی در سری زمانی تصاویر ماهواره‌ی سنتیل-۲ با محوریت روش‌های آشکارسازی هدف، به اجرا رسید. در این روش از چهار آشکارساز هدف شامل ASMF، MF، CEM و ACE به منظور آشکارسازی هدف استفاده شد. ایده بکارگیری رفتار طیفی- زمانی گیاهان به عنوان سیگنال‌های مورد انتظار در روند آشکارسازی

بکاربستن روش‌های آشکارسازی نیازمند به رفتار طیفی-زمانی عناصر پس زمینه و بکارگیری روش‌های نظارت‌نشده به منظور یافتن آنها،<sup>۴</sup> ارزیابی روش‌های بهینه‌سازی سازگار با کدگذاری باینری مثل الگوریتم توده‌ذرات، کلونی مورچگان و موارد مشابه در سرعت و دقیق نتایج قابل استحصال از روش پیشنهادی و<sup>۵</sup> یافتن زمان‌های کلیدی شناسایی هر گیاه متناسب با اقلیم و فنولوژی آن و بکارگیری تصاویر و پریشگی‌های طیفی تک‌زمانه به منظور کاهش پیچیدگی‌های اجرایی اعم از فرایند جستجو به منظور یافتن باندها و پریشگی‌های بهینه، می‌باشد.

دیگری همچون: ۱- گون، ۲- شیرین‌بیان، ۳- خارشتر، ۴- انگبین و نمونه‌هایی از این دست پتانسیل بررسی و اجرای ایده‌ی بکارگرفته شده در این تحقیق را به منظور پهنه‌بندی برخوردارند.

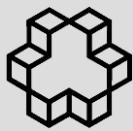
موارد دیگری که می‌تواند به عنوان محور تحقیقات آتی در این حوزه مطرح باشد شامل: ۱- بکارگیری تابع شایستگی تلفیقی در فرایند بهینه‌سازی با این هدف که پریشگی‌های بهینه‌ی مربوط به همه سینکال‌های هدف در قالب صرفاً یک بهینه‌سازی برآورد شوند، ۲- طراحی و بکارگیری ایده‌های تلفیقی کارامدتر که بتواند علاوه بر تنوع در پریشگی‌های طیفی-زمانی، تلفیق نتایج کسب شده از آشکارسازهای مختلف را شامل شود،<sup>۶</sup> ۳-

## مراجع

- [1] S. Hosseinzadeh, A. Jafarikukhdan, A. Hosseini and R. Armand, "The Application of Medicinal Plants in Traditional and Modern Medicine: A Review of *Thymus vulgaris*," *International Journal of Clinical Medicine*, vol. 6, pp. 635-642, 2015.
- [2] R. Singh, "Medicinal plants: A review," *Journal of Plant Sciences*, vol. 3, no. 1-1, pp. 50-55, 2015.
- [3] A. Ganjali and A. Khaksefidi, "Identification of some species of medicinal plants in Zabol (Sistan and Baluchestan province) and their application in traditional medicine," *Journal of Traditional Islamic Medicine and Iran*, 2015.
- [4] R. Heydari, M. Khodagholi and M. Zarean, "The zoning of plant biomass of Oriental peas (*Teucrium orientale*) in Isfahan province using multivariate statistics and geographic information system (GIS)," *Research of medicinal plants and aromatic plants of Iran*, vol. 31, no. 4, pp. 637-650, 2015.
- [5] D. Naseri, S. Hedayat and S. Shenavayi, "The zoning of medicinal plants cultivation in Arasbaran region using GIS," *The first National Conference on the Protection and Conservation of Arasbaran forests*, 2017.
- [6] S. Mubako, O. Belhaj, J. Heyman, W. Hargrove and C. Reyes, "Monitoring of Land Use/Land-Cover Changes in the Arid Transboundary Middle Rio Grande Basin Using Remote Sensing," *Remote Sensing of Water Resources in Semi-Arid Regions/Drought Areas*, vol. 10, no. 12, p. 2005, 2018.
- [7] N. Lu, "Biases and Abrupt Shifts of Monthly Precipitable Water from Terra MODIS," *Atmosphere Remote Sensing*, vol. 11, no. 11, p. 1315, 2019.
- [8] P. Liu, Y. Li, B. Liu, P. Chen and J. Xu, "Semi-Automatic Oil Spill Detection on X-Band Marine Radar Images Using Texture Analysis, Machine Learning, and Adaptive Thresholding," *Oil Spill Remote Sensing*, vol. 11, no. 7, p. 756, 2019.
- [9] T. Bai, N. Zhang, B. Mercatoris and Y. Chen, "Improving Jujube Fruit Tree Yield Estimation at the Field Scale by Assimilating a Single Landsat Remotely-Sensed LAI into the WOFOST Model," *Earth Observations and Crop Models for Sustainable Agricultural Management*, vol. 11, no. 9, p. 1119, 2019.
- [10] C. Xu, J. Fang, Y. Wen, h. Wang, G. Xu, Y. Zhao and L. Yi, "The 2018 Mw 7.5 Palu

- Earthquake: A Supershear Rupture Event Constrained by InSAR and Broadband Regional Seismograms," Applications of Sentinel Satellite for Geohazards Prevention, vol. 11, no. 11, p. 1330, 2019.*
- [11] *R. Mania, T. R. Walter , M. Belousova, A. Belousov and S. L. Senyukov, "Deformations and Morphology Changes Associated with the 2016–2017 Eruption Sequence at Bezymianny Volcano, Kamchatka," Satellite Remote Sensing for Water Resources in a Changing Climate, vol. 11, no. 11, p. 1278, 2019.*
- [12] *B. H. P. Maathuis, "Remote Sensing Based Detection of Minefields," Geocarto International, vol. 18, no. 1, pp. 51-60, 2003.*
- [13] *V. Markogianni , D. Kalivas, G. P. Petropoulos and E. Dimitriou, "An Appraisal of the Potential of Landsat 8 in Estimating Chlorophyll-a, Ammonium Concentrations and Other Water Quality Indicators," Satellite Remote Sensing for Water Resources in a Changing Climate, vol. 10, no. 7, p. 1018, 2018.*
- [14] *S. Dehnavi, Y. Maghsoudi and M. Valadanzej, "Using spectrum differentiation and combination for target detection of minerals," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 55, pp. 9-20, 2017.*
- [15] *S. A. Sayedain, M. J. Valadan zouj and Y. Maghsoudi, "Exploration of oil seepages using target detection algorithms in hyperspectral images," International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vols. XL-1/W3, 2013.*
- [16] *M. Rahimzadegan, B. Sadeghi, M. Masoumi and S. Taghizadeh Ghalehjoghi, "Application of target detection algorithms to identification of iron oxides using ASTER images: a case study in the North of Semnan province, Iran," Arab J Geosci, 2014.*
- [17] *L. Ji, X. Geng, K. Sun, Y. Zhao and P. Gong, "Target Detection Method for Water Mapping Using Landsat 8 OLI/TIRS Imagery," Water, vol. 7, pp. 794-817, 2015.*
- [18] *A. Camacho Velasco, C. Augusto Vargas García and H. Arguello Fuentes, "A comparative study of target detection algorithms in hyperspectral imagery applied to agricultural crops in Colombia," Tecnura, vol. 20, pp. 86-99, 2016.*
- [19] *X. Yang, Q. Qin, P. Grussenmeyer and M. Koehl, "Urban surface water body detection with suppressed built-up noise based on water indices from Sentinel-2 MSI imagery," Remote Sensing of Environment, vol. 219, pp. 259-270, 2018.*
- [20] *X. Genga, L. Jia and Y. Zhaoa, "Filter tensor analysis: A tool for multi-temporal remote sensing target," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 151, pp. 290-301, 2019.*
- [21] *Z. Sayadi and Thesis, "The evaluation of topography and soil characteristics on quantitative and qualitative traits (case study: Rahmat abad Abyek resvre, Ghazvin)," 2012.*
- [22] *C. Chein-I, Hyperspectral Imaging: Techniques for Spectral Detection and Classification, (Vol. 1). Springer Science & Business Media, 2003.*
- [23] *D. Manolakis and G. Shaw, "Detection algorithms for hyperspectral Imaging applications," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 19, no. 1, pp. 29-43, 2002.*
- [24] *S. M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing: Detection theory, Upper Saddle River, NJ, 1998.*
- [25] *J. Gao, B. Yang, Q. Du and B. Zhang, "Adjusted Spectral Matched Filter for Target Detection in Hyperspectral Imagery," remote sensing, vol. 7, pp. 6611-6634, 2015.*
- [26] *P. Ganapathy and J. A. Skipper, "A novel ROC approach for performance evaluation of target detection algorithms," in Defense and Security Symposium, SPIE 6566, Automatic Target Recognition XVII, 656610 (7 May 2007), Orlando, Florida,*

- United States, 2007.*
- [27] *F. Gascon, C. Bouzinac, O. Thépaut and a. E. al., "Copernicus Sentinel-2A Calibration and Products Validation Status," Remote Sensing, vol. 9, no. 6, 2017.*
- [28] *M. Pal and G. Foody, "Feature Selection for Classification of Hyperspectral Data by SVM," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, pp. 2297-2307, 2010.*
- [29] *J. R. Jensen, Remote Sensing of the Environment : An Earth Resource Perspective, Upper Saddle River, NJ, United : Pearson Education (US), 2006.*
- [30] *S. R. Soofbaf, M. R. Sahebi and B. Mojaradi, "A Sliding Window-Based Joint Sparse Representation (SWJSR) Method for Hyperspectral Anomaly Detection," Remote sensing, vol. 10, no. 3, p. 24, 2018.*
- [31] *S. Sharifi hashjin, A. Darvishi, S. khazai, F. Hatami and M. Jafari houtki, "A band selection method for sub-pixel target detection in hyperspectral images based on laboratory and field reflectance spectral comparison," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, pp. 12-19, 2016.*
- [32] *V. Sadeghi, H. Enayati and H. Ebadi, "Improved identification of changes in urban areas by selecting the optimal spectral and spatial characteristics based on the genetic algorithm.,," Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), vol. 24, pp. 135-152, 2016.*
- [33] *D. Akbari, A. Safari and S. Khazai, "The effect of feature selection using genetic algorithms on spectral-spatial classification of hyperspectral imagery," Journal of Geospatial Information Technology, vol. 3, 2015.*
- [34] *A. Salinmi, M. Ziyai, A. Amiri , M. Hosseynjani zadeh, "Evaluation of Feature Selection Method for Identifying the Best Hyperion Hyperspectral Spectrum Bands (Case Study: Identification of Porphyry Copper Mine Replacements in Dareh Zar-*
- Kerman)," Journal of Economic Geology, pp. 77-93, 2018.*
- [35] *A. Masjedi and S. Khazai, "Improving the Effectiveness of Subpixel Target Detection in Hyperspectral Images Based on Selection of Proper Attributes," Scientific and Research Journal of Surveying Science and Technology, vol. 3, pp. 203-215, 2016.*
- [36] *M. Melanie, An Introduction to Genetic Algorithms, Cambridge: MIT Press, 1996.*
- [37] *I. C. Chein, C. Shao-Shan, D. Qian, R. Hsuan, and A. Ifarragaerri, "An ROC analysis for subpixel detection," in IGARSS 2001. Scanning the Present and Resolving the Future. Proceedings. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Cat. No.01CH37217), 9-13 July 2001 2001, vol. 5, pp. 2355-2357 vol.5, doi: 10.1109/IGARSS.2001.978000.*



## ***Herbal plants zoning using target detection algorithms on time-series of Sentinel-2 multispectral images (Amygdalus Scoparia)***

*Iman Shakeri<sup>1</sup>, Alireza Safrarinezhad<sup>2\*</sup>, Marzieh Jafari<sup>3</sup>*

*1- Ms.c student of photogrammetry in Department of Geomatics, College of Engineering, University of Tafresh  
1- Assistant professor in Department of Geomatics, College of Engineering, University of Tafresh  
1- Assistant professor in Department of Geomatics, College of Engineering, University of Tafresh*

### **Abstract**

Today, medicinal plants have a special place in the economy and health of a society. Due to the natural growth of many of these products, the necessity of zoning them for optimum and optimal utilization seems necessary. Traditional zoning solutions are not efficient due to their low accuracy and speed, therefore a new approach is needed. Remote sensing data have many applications in various fields including target detection because of their spectral, spatial and temporal information of land surface phenomena. In this paper, target detection methods including Constrained Energy Minimization (CEM), Matched Filtering (MF), Adjusted Spectral Matched Filter (ASMF) and Adaptive Coherence Estimator (ACE) are used to detect Amygdalus Scoparia in Sentinel-2 satellite time series images. In this process, firstly, the filtering of undesirable effects (unlikely areas of plant growth) is eliminated from the time series of images. Then, with the help of hyper heuristic optimization, the optimal features from time-series were identified to reduce the dimension from one hand and increase the detection accuracy from the other hand. The final detection map is generated by weighting the results obtained from each training sample with a different share of the target. The generalizability of the proposed solution was evaluated using the selected optimal features elsewhere, using the ground truth map. The ROC and its sub-area (AUC) are used to evaluate the results. In the optimization phase for feature selection, the AUC index for all detection methods used was greater than 0.99. The best results in this process were obtained by the CEM detection method, which achieved the accuracy of 0.993 and 0.846 in the optimization and independent evaluation, respectively. The results of this study indicate the ability of Sentinel-2 multiplexed time series images to detect targets such as medicinal plants.

**Key words:** Target detection, Time-series, Sentinel-2, Zoning, Herbal plants, Amygdalus Scoparia.

**Correspondence Address.** Geodesy Group, Department of Surveying Engineering, College of Engineering, University of Tafresh, Tafresh, Iran.  
Tel: +98 86 36227430.  
Email: geo95.shakeri@tafreshu.ac.ir