

تلفیق تصاویر راداری و طیفی به منظور شناسایی اهداف (مطالعه موردی: شناسایی سازه‌های منفرد)

مهلا کرم پور^۱، فرشید فرنود احمدی^۲، وحید صادقی^{۳*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

mahla.karampour@gmail.com

^۲ دانشیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

farnood@tabrizu.ac.ir

^۳ دانشیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

v.sadeghi@tabrizu.ac.ir

(تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۲، تاریخ تصویب: آذر ۱۴۰۲)

چکیده

شناسایی عارضه به عنوان یک هدف خاص چه بصورت ثابت و چه بصورت متحرک، یکی از چالش‌های اصلی در پردازش تصاویر است و می‌تواند در زمینه‌هایی همچون پایش، تعیین موقعیت عوارض استراتژیک، هم‌مرجع‌سازی تصاویر، تولید مدل‌های سه‌بعدی و موارد مشابه مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اینکه تصاویر ماهواره‌ای با صرف وقت و هزینه کمتری می‌توانند منطقه وسیعی را پوشش دهند، لذا عملیات شناسایی اهداف بر روی این تصاویر از اهمیت و کاربرد بیشتری برخوردار است. در تحقیق حاضر، هدف این است که با بهره‌مندی از قابلیت تصاویر رادار در شناسایی ساختارهای هندسی و قابلیت تصاویر چندطیفی در شناسایی ماهیت عوارض، روشی برای کاهش مشکلات موجود در این زمینه از جمله؛ وجود عوارضی با الگوی هندسی ضعیف، شباهت هندسی یا طیفی عوارض با یکدیگر، وجود کاندیداهای متعدد و بروز مشکل برای رسیدن به هدف واحد، محو شدن هدف به دلیل نویز بالا، طراحی و مورد ارزیابی قرار گیرد. در این الگوریتم به صورت مرحله به مرحله با آنالیز اطلاعات مستخرج از تصاویر، روند شناسایی اهداف بهبود یافته و میزان خطا کاهش می‌یابد تا جایی که در نهایت با تلفیق نتایج حاصل از پردازش تصاویر راداری و طیفی، تعداد کاندیداهای به حد قابل قبول برسد. پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی نشان داد که در تلفیق تصاویر، مواردی از جمله انتخاب هدف و منطقه مورد مطالعه تاثیر قابل توجهی در نتایج داشته و شناسایی اهداف را با چالش‌های متعددی روبرو می‌سازد. از جمله این چالش‌ها، انتخاب بهترین و کاربردی‌ترین داده‌های تصویری و ویژگی‌ها جهت شناسایی هدف و همچنین تعیین حد آستانه‌های بهینه است. همچنین در روند شناسایی هدف با تصاویر راداری مشخص گردید که هم ویژگی‌های هندسی و هم ویژگی‌های ارتفاعی مستخرج از این تصاویر، محتوای اطلاعاتی ارزشمندی دارند که برای رسیدن به نتیجه مطلوب، بایستی توانمان مورد استفاده قرار گیرند.

واژگان کلیدی: شناسایی اهداف، تصاویر چندطیفی، تصاویر پلاریمتری، SAR

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

شناسایی عوارضی خاص به عنوان اهداف تعریف شده چه به صورت ثابت و چه به صورت متحرک، یکی از اهداف اصلی در تصویربرداری می‌باشد و می‌تواند در زمینه‌هایی همچون پایش اهداف خاص، تعیین موقعیت اهداف استراتژیک، هم-مرجع‌سازی تصاویر، تولید مدل‌های سه‌بعدی و موارد مشابه مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اینکه تصاویر ماهواره‌ای با صرف وقت و هزینه کمتری می‌توانند منطقه وسیعی را پوشش دهند، لذا عملیات شناسایی اهداف بر روی این تصاویر از اهمیت و کاربرد بالایی برخوردار است [۱]، [۲].

در میان تصویری که می‌توان از آن‌ها در شناسایی اهداف خاص استفاده کرد، تصاویر ماهواره‌ای قابلیت بسیار بالایی داشته و در سال‌های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته‌اند. تصاویر ماهواره‌ای نسبت به تصاویر هوایی این مزیت را دارند که در رابطه با فرآیند اخذ آن‌ها نیاز به پرواز طراحی شده‌ای نیست و این تصاویر به صورت منظم و مداوم در زمان‌هایی از قبل تعیین شده و در مختصات‌هایی که تقریباً محل اخذ آن‌ها از نظر موقعیت ماهواره‌ای معلوم هستند در اختیار کاربر قرار می‌گیرد. لذا با استفاده از این تصاویر می‌توان عملیات شناسایی اهداف را تا حد امکان با محدودیت کمتری نسبت به تصویربرداری هوایی فراهم نمود [۳]، [۴].

تصاویر ماهواره‌ای شامل تصاویر رادار و تصاویر چندطیفی هستند که هر کدام قابلیت‌ها و همچنین محدودیت‌هایی در شناسایی عوارض دارند [۵]، [۶].

تصاویر رادار این قابلیت را دارند که در صورت هم‌مرجع‌سازی آن‌ها با دقت بالا، علاوه بر پایش اهداف خاص، شناسایی تغییرات و تعیین موقعیت اهداف استراتژیک، با تشکیل مدل ۳ بعدی و تولید اطلاعات مربوط به همدوسی، مولفه‌های مستقل دیگری را برای عملیات شناسایی هدف مهیا ساخته و ساختارهای هندسی عوارض را در این فرآیند دخیل سازند. سنجنده‌های راداری قادر هستند در شرایط جوی مختلف که تصاویر چند طیفی با مشکل مواجه می‌شوند، عملیات تصویربرداری را انجام دهند. با توجه به اینکه در این نوع تصاویر، پلاریزاسیون مربوط به اخذ تصاویر هم در اختیار کاربران قرار می‌گیرد، لذا می‌توان عوارضی را که از دیدگاه پلاریزاسیون دارای ساختارهای خاصی هستند مثل عوارضی که ساختارهای افقی یا عمودی دارند در تصاویر شناسایی کرد و این اطلاعات در رابطه با شناسایی اهداف

خاص می‌توانند به عنوان اطلاعات کلیدی مورد استفاده قرار گیرند [۴]، [۷].

اما باید توجه داشت که تصاویر رادار قابلیت تفکیک و شناسایی عوارض با ویژگی‌های هندسی و دی‌الکتریکی مشابه یا نزدیک به هم را ندارند. همچنین در استخراج عوارض از تصاویر راداری نیز مشکلات و ضعف‌هایی از جمله، پیچیدگی پس‌زمینه تصاویر، طبقه‌بندی اشتباه پیکسل‌های مرزی، وجود شبح ناشی از ابهامات آزمون، خطا در تعیین نواحی مختلف مشاهده می‌گردد. با توجه به ویژگی تصاویر راداری در فرآیند شناسایی عوارض و محدودیت آن‌ها در روند شناسایی اهداف می‌توان به سراغ تصاویر طیفی رفت تا کم و کاستی‌ها و محدودیت این تصاویر را پوشش دهد [۲]. در استفاده از تصاویر طیفی برای استخراج عوارض نیز، مواردی از جمله: نیاز به نمونه‌های آموزشی، ماهیت پیچیده تکنیک‌ها، اتکا به یکسری فرضیات از پیش تعیین شده، ضرورت بررسی پیکسل‌های همسایه، از جمله مسائلی هستند که باید مورد توجه قرار گیرد. این موارد سبب بروز محدودیت‌هایی در شناسایی هدف می‌گردد [۸-۱۰].

با توجه به نقاط ضعف و قوتی که هر یک از تصاویر چندطیفی و راداری در زمینه شناسایی اهداف دارا هستند، در سال‌های اخیر تحقیقاتی در رابطه با تلفیق این دو مجموعه داده جهت بهره‌مندی از قابلیت‌های یک مجموعه برای کاهش نقاط ضعف روش دیگر انجام شده‌است. برخی از این تحقیقات وابستگی کم داده‌های راداری به شرایط آب و هوایی را مورد توجه قرار داده و روشی جهت تلفیق داده‌های طیفی و راداری برای شناسایی موادی با خصوصیات معین در مناطقی با آب و هوای نامساعد ارائه نموده‌اند [۱۱]. با گسترش استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، تحقیقاتی هم به منظور استفاده از هر دو مجموعه داده طیفی و راداری در فرآیند آموزش و بهره‌مندی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در فرآیند شناسایی هدف انجام گرفته‌است [۱۲]. در اغلب موارد نیز تحقیقاتی به صورت عمومی به منظور بهره‌مندی از تلفیق داده‌های طیفی و راداری در کاربردهایی همچون: تولید نقشه‌های پوشش گیاهی و بازشناسی گونه‌های مختلف گیاهی [۱۳]، تولید نقشه سیلابها و تعیین محدوده‌های درگیر سیل [۱۴]، پایش هوا [۱۵] و غیره انجام شده‌است که تمرکز اصلی آن‌ها روی عوارضی با محدوده مکانی کوچک نبوده‌است.

در این تحقیق روشی مبتنی بر استخراج شاخص‌های جدید از تصاویر راداری و هرس نمودن خروجی نهایی حاصل از اعمال این شاخص‌ها توسط نتیجه حاصل از یک طبقه‌بندی نظارت نشده روی تصاویر چندطیفی، جهت شناسایی اهداف خاص ارائه شده‌است، تا با تلفیق این دو مجموعه داده سنجش از دوری، روشی ساده و کارآمد برای شناسایی اهداف در زمینه‌های کاربردی مختلف در دسترس باشد.

۲- تلفیق تصاویر سنجش از دور

تلفیق تصاویر سنجش از دور تکنیکی است که داده‌های اخذشده در زمانهای مختلف یا از منابع و حسگرهای مختلف را ترکیب می‌کند تا تصویر جدیدی با وضوح فضایی، طیفی یا زمانی بهبود یافته و یا مجموعه اطلاعاتی با محتوای بیشتر تولید شود. این فرآیند کمک می‌کند اطلاعات مفیدتری از رصدهای ماهواره‌ای، هوایی یا زمینی استخراج گردد.

تلفیق داده‌های چندزمانی به ترکیب داده‌های حسگرهای یکسان یا متفاوتی اشاره دارد که در زمان‌های مختلف، مانند روزها، فصول یا سال‌ها به دست آمده‌اند. با ادغام داده‌های چند زمانی، می‌توان تغییرات و روندهای دینامیکی پدیده‌های مشاهده‌شده را بررسی کرده و وضوح و ثبات زمانی تصویر ترکیب شده را افزایش داد. به عنوان مثال، می‌توان داده‌های نوری چندزمانی را برای نظارت بر فنولوژی و بهره‌وری محصولات کشاورزی ترکیب نمود، یا داده‌های رادار چند زمانی را برای اندازه‌گیری تغییر شکل و فرونشست زمین، ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها ترکیب کرد.

تلفیق داده‌های چند منبعی به ترکیب داده‌های انواع مختلف حسگرها، مانند حسگرهای نوری، راداری، حرارتی یا فراطیفی اشاره دارد که ویژگی‌های مختلف یک صحنه را ثبت می‌کنند. با ادغام داده‌های چندمنبعی به عنوان مکمل، می‌توان بر محدودیت‌های هر حسگر مانند پوشش ابر، وجود نویز یا محدوده طیفی غلبه کرد. برای مثال، می‌توان داده‌های نوری و راداری را برای بهبود طبقه‌بندی انواع پوشش زمین ترکیب نمود.

بسته به نوع پردازشی که در آن ادغام اتفاق می‌افتد، آن‌ها را می‌توان به سطوح مختلف شامل: تلفیق در سطح پیکسل، تلفیق در سطح ویژگی و تلفیق در سطح تصمیم‌گیری طبقه‌بندی کرد. هر سطح از ادغام، مزایا و معایب

خاص خود را دارد و انتخاب بهترین روش به مشخصات داده‌ها و اهداف برنامه بستگی دارد.

تلفیق در سطح تصمیم شامل ادغام اطلاعات در سطح بالاتری از انتزاع است، نتایج حاصل از الگوریتم‌های متعدد ترکیب می‌شوند تا یک تصمیم نهایی حاصل شود. در این روش تصاویر ورودی برای استخراج اطلاعات به صورت جداگانه پردازش می‌شوند. سپس اطلاعات به‌دست‌آمده با اعمال قوانین تصمیم‌گیری برای تقویت تفسیر ترکیب می‌شوند [۱۶].

در این تحقیق به منظور شناسایی اهداف خاص از تلفیق تصاویر چندطیفی و راداری در سطح تصمیم‌گیری استفاده شده‌است. به این ترتیب که با اعمال شاخص‌های به دست آمده در تحقیق بر روی تصاویر رادار مرحله به مرحله تعداد عوارض کاندیدا کاهش می‌یابد و در نهایت با در نظر گرفتن قیدهایی جداگانه بر روی خروجی پردازش تصاویر راداری و تصویر چندطیفی، روی هدف بودن یا نبودن پیکسل‌های باقی مانده در مرحله نهایی پردازش تصاویر راداری تصمیم‌گیری می‌شود.

۳- منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

در تحقیق حاضر، منطقه مطالعاتی جهت شناسایی هدف، حدالامکان به گونه‌ای انتخاب شده‌است که تنوع پوشش‌های سطحی زمین بالا بوده و تغییرات ارتفاعی محسوسی در آن موجود باشد تا بتوان با چالش‌های مختلف از جمله شباهت عوارض از دیدگاه ارتفاعی روبرو شد. در روند تعیین هدف، می‌توان از هر عارضه‌ای که از دیدگاه ارتفاعی و ابعاد مناسب باشد و شناسایی آن از روی تصاویر راداری امکان‌پذیر باشد، استفاده کرد (ابعاد عارضه آنقدر کوچک نباشد که بر اساس قدرت تفکیک مکانی تصاویر راداری قابل تشخیص نباشد). در تحقیق حاضر یک سوله که در شکل (۱) نمایش داده شده‌است، به عنوان یک عارضه در کلاس ساختمان انتخاب گردید. این عارضه هم ابعاد مناسبی برای رؤیت در تصاویر رادار با قدرت تفکیکی متوسط دارد و هم دارای اختلاف ارتفاعی بیش از چند متر با عوارض مجاور است که این امکان را فراهم می‌کند تا در شناسایی هدف از اطلاعات ارتفاعی آن هم استفاده شود.

برای ارزیابی و بررسی عملکرد الگوریتم آشکارسازی پیشنهادی، از تصویر ماهواره Sentinel-1A در محدوده آذربایجان شرقی/غربی (محدوده دریاچه ارومیه) در ماه مارچ

از سال ۲۰۲۰ در فرمت GRD و مد IW و به حالت Descending با پلاریزاسیون های VV و VH استفاده شده است. شکل (۲) تصویر پلاریمتریک راداری از منطقه مورد مطالعه مربوط به باند Amplitude-VH ماهواره sentinel1 از ماه مارچ سال ۲۰۲۰ است که هدف (تارگت) معرفی شده در بخش قبل در آنجا قرار دارد. با استفاده از این پلاریزاسیون ها شاخص هایی تولید شده و با آنالیز و بررسی هریک از این شاخص ها به شناسایی هدف (در اینجا تک سوله) خواهیم پرداخت.

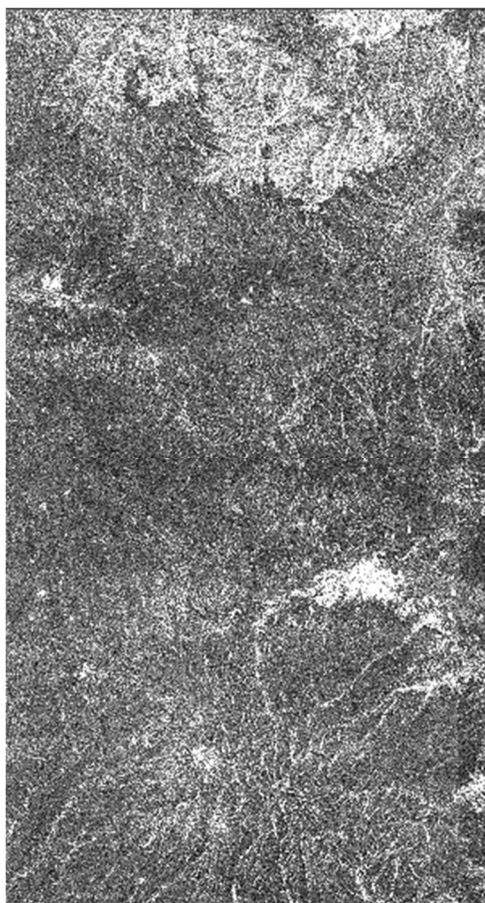


(الف)

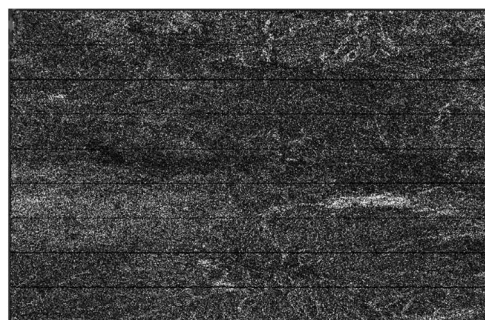


(ب)

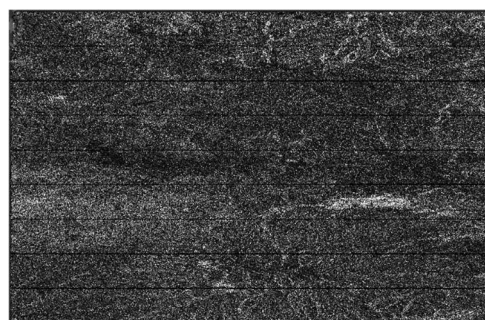
شکل ۱- الف) محدوده منطقه مورد مطالعه (محدوده دریاچه ارومیه)، ب) عارضه مد نظر جهت آشکارسازی در همان منطقه



شکل ۲- تصویر راداری ماهواره سنتینل ۱ با فرمت GRD از منطقه مورد مطالعه (Amplitude-VH)



شکل ۳- تصویر ماهواره سنتینل ۱ در ماه ژوئن از سال ۲۰۲۰ با فرمت SLC (باند Intensity-VH).



شکل ۴- تصویر ماهواره سنتینل ۱ در ماه آگوست از سال ۲۰۲۰ با فرمت SLC (باند Intensity-VH)

به منظور تهیه DEM منطقه مورد مطالعه از تداخل سنجی دو تصویر راداری sentinel1 با فرمت SLC استفاده گردید که یکی از آن ها مربوط به ماه جون سال ۲۰۲۰ بوده و دیگری مربوط به ماه آگوست از همان سال است که بیشترین شباهت و همپوشانی را نیز با همدیگر دارند. این دو تصویر در شکل های (۳) و (۴) ارائه شده اند.

۴- روش تحقیق

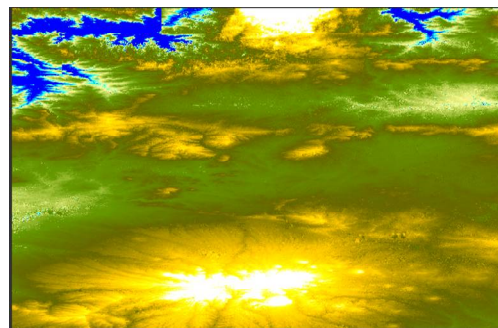
در این پژوهش، هدف طراحی و پیاده سازی الگوریتمی به منظور شناسایی اهداف خاص در تصاویر راداری و تصاویر طیفی در یک رویکرد تلفیقی است. تصاویر راداری و تصاویر طیفی هر کدام ویژگی‌ها و خصوصیات ویژه‌ای را در اختیار کاربران قرار می‌دهند که بهتر است در روند شناسایی عارضه از تمام این ویژگی‌ها استفاده شود. تصاویر راداری ویژگی‌های هندسی عوارض و تصاویر طیفی ویژگی‌های مرتبط با خواص طیفی عوارض را ارائه می‌کنند که تلفیق آن‌ها می‌تواند نتایج شناسایی اهداف در این تصاویر را بهبود بخشد. بدین منظور برای ارائه روشی بهتر و کامل‌تر، به تلفیق تصاویر راداری با تصاویر طیفی پرداخته شده است تا با ترکیب اطلاعات مستخرج از این دو نوع داده در سطح تصمیم‌گیری، حداکثر نتایج مطلوب در شناسایی عوارض حاصل شود. در شکل (۷) فلوچارت کلی الگوریتم طراحی شده برای شناسایی اهداف خاص با تلفیق تصاویر راداری و تصاویر طیفی ارائه شده است.

همانطور که در فلوچارت ملاحظه می‌شود، ابتدا به صورت جداگانه از تصاویر رادار و تصاویر چندطیفی کاندیداهای اولیه شناسایی می‌شوند و سپس فرآیند تلفیق روی نتایج اولیه صورت می‌گیرد تا نهایتاً هدف شناسایی گردد. باتوجه به اینکه فرآیند شناسایی هدف در چندین مرحله متوالی صورت گرفته است در ادامه، بطور جداگانه هر مرحله و نتایج حاصل از هریک از آن‌ها تشریح می‌گردد.

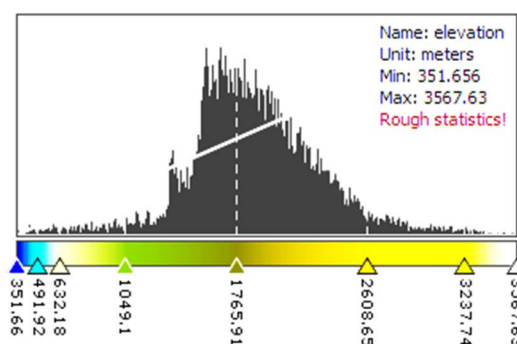
۴-۱- آشکارسازی هدف در تصاویر پلاریمتریک راداری

ابتدا از تصویر پلاریمتریک راداری ماهواره سنتینل ۱ در فرمت GRD (شکل (۲))، جهت شناسایی هدف مدنظر استفاده می‌شود. باتوجه به ابعاد بزرگ تصویر، منطقه کوچک‌تری از تصویر اصلی انتخاب می‌شود تا آنالیزها با سرعت نسبتاً بالاتری انجام گیرد. شناسایی هدف، روی پلاریزاسیون‌های موجود این تصویر (VV و VH) شروع می‌شود، با بررسی ترکیب‌هایی از این پلاریزاسیون‌ها نتایج حاصل می‌شود که مشخص می‌کند چه ترکیب‌هایی از آن‌ها سبب بارزسازی بیشتر هدف می‌شوند. در ادامه به شاخص‌هایی که در این مرحله از تحقیق از ترکیب پلاریزاسیون‌های موجود، تولید شده و بکار گرفته شده‌اند اشاره می‌شود.

با تداخل‌سنجی تصویر سنتینل ۱ معرفی شده (شکل‌های (۳) و (۴))، DEM منطقه تولید شد که در شکل (۵) نمایش داده شده است.



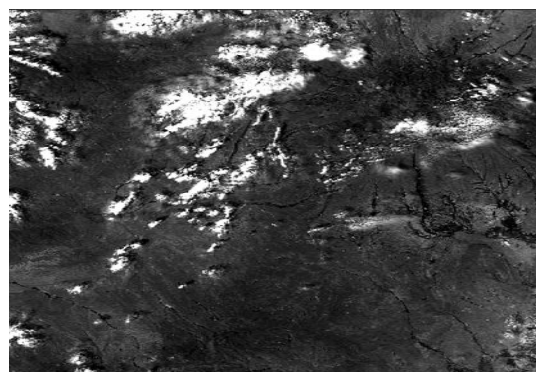
(الف)



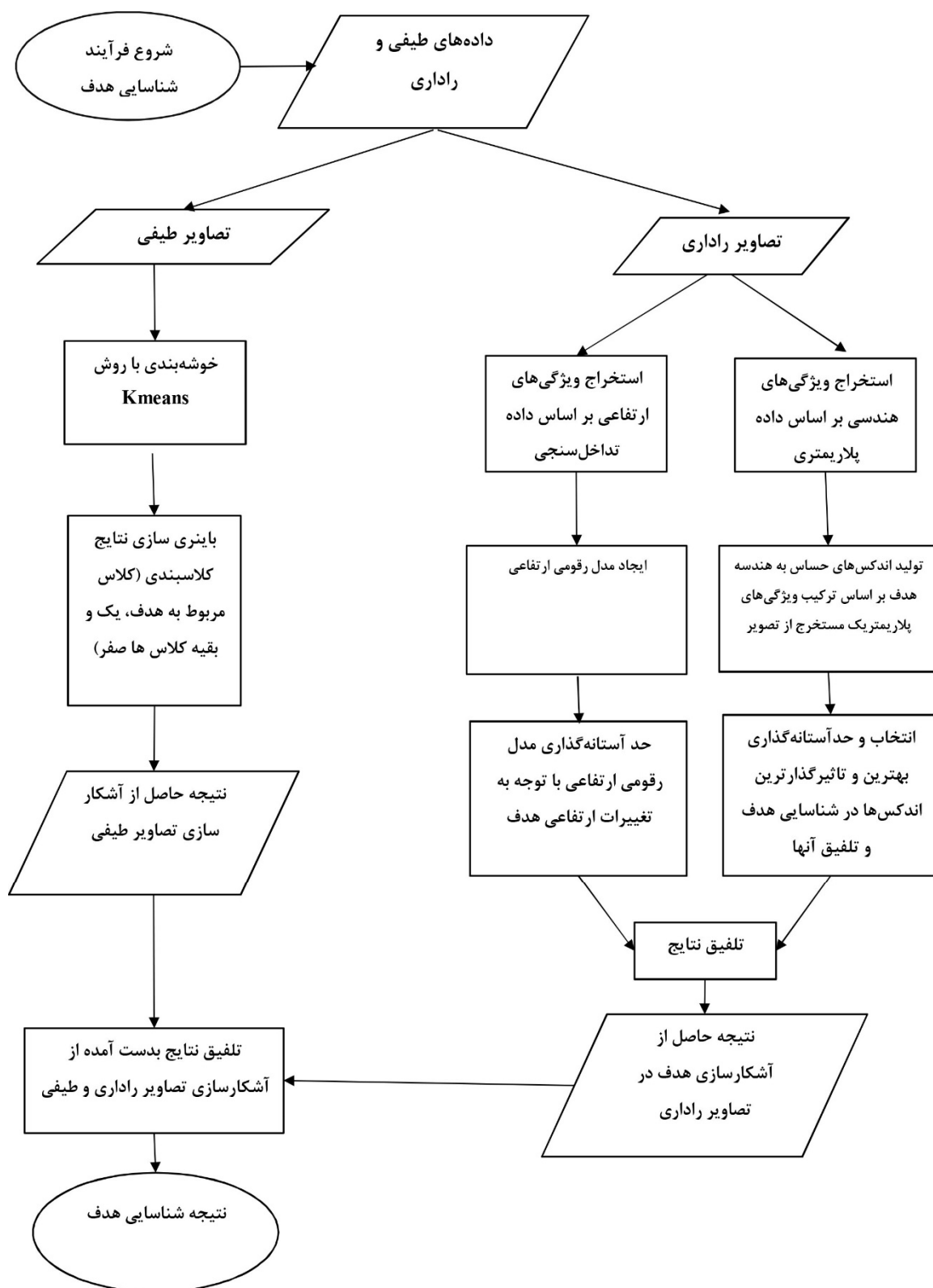
(ب)

شکل ۵- (الف) DEM منطقه مورد مطالعه حاصل از تداخل‌سنجی تصاویر سنتینل ۱، (ب) اطلاعات آماری DEM منطقه

جهت بهبود نتایج حاصل از استخراج عوارض از روی تصاویر رادار و به منظور کاهش تعداد کاندیدها که در ادامه روند آن توضیح داده خواهد شد، از تصویر ماهواره سنتینل ۲ آن منطقه که در شکل (۶) نشان داده شده است نیز، به عنوان تصویر طیفی استفاده گردید.



شکل ۶- تصویر چند طیفی ماهواره سنتینل ۲ از منطقه مورد مطالعه



شکل ۷- فلوچارت روش پیشنهادی

شاخص‌های اولیه ایجاد شده در این مرحله شامل ۱۲ مورد بود که در جدول (۱) ارائه شده‌اند. با بهره‌گیری از معادلات معرفی‌شده، شاخص‌های مورد نظر تولید گردیده و در روند شناسایی هدف موردنظر بکار گرفته شده‌اند.

جدول ۱- شاخص‌های مستخرج از تصویر رادار

Index1	Amp VH
Index2	Intn VH
Index3	Amp VV
Index4	Intn VV
Index5	(Amp VV) – (Intn VV)
Index6	(Amp VV) – (Amp VH)
Index7	(Amp VH) – (Intn VH)
Index8	(Intn VV) / (Intn VH)
Index9	(Amp VV) × (Amp VH)
Index10	(Intn VV) × (Intn VH)
Index11	(Amp VH) × (Intn VV)
Index12	((Amp VV) – (Amp VH)) / ((Amp VV) + (Amp VH))
Note: Intn: Intensity Amp: Amplitude	

• شاخص‌های منتخب

بر اساس شاخص‌های معرفی شده در قسمت قبل، تعداد زیادی هدف که بیشترشان به درستی شناسایی نشده‌اند، استخراج می‌شوند. لذا، باید شاخص‌هایی که عمومی‌تر هستند حذف شوند و فقط مواردی که اطلاعات ویژه‌ای از هدف را ارائه می‌دهند، جهت شناسایی هدف حفظ شوند. بدین منظور با آزمون‌های انجام‌شده، ۵ شاخص مفید از ۱۲ شاخصی که تولید شده‌بود، انتخاب گردید که هم به فرآیند شناسایی هدف سرعت می‌بخشد و هم باعث بارزسازی بیشتر هدف منتخب از سایر عوارض موجود در منطقه گردد. شاخص‌های منتخب در جدول (۲) معرفی شده و نمایش بصری از اعمال آن‌ها در شکل (۸) نشان داده شده‌است.

جدول ۲- شاخص‌های منتخب الگوریتم

Index1	Intn VH
Index2	Amp VH
Index3	Amp VV
Index4	(Amp VH × Intn VV)
Index5	(Amp VV – Amp VH) / (Amp VV + Amp VH)
Note: Intn: Intensity Amp: Amplitude	

• حدآستانه‌گذاری اندکس‌ها

جهت سادگی فرآیند و شناسایی هدف موردنظر بایستی حدآستانه‌هایی روی شاخص‌های مستخرج از تصاویر رادار اعمال شود، بدین صورت که برای هر شاخص یک حدآستانه پایین و یک حدآستانه بالا تعریف شود که شاخص مربوطه در این دامنه تعریف‌شده مقدار یک و در خارج از این دامنه مقدار صفر را به پیکسل‌های تصویر نسبت دهد. حدآستانه‌های اعمال‌شده روی هر شاخص در این تحقیق در جدول (۳) نمایش داده شده‌است.

این حدآستانه‌ها با آزمودن مقادیر مختلف، تعیین‌شده و در جهت شناسایی هرچه بهتر هدف روی شاخص‌ها اعمال می‌شوند. نتایج حاصل از حدآستانه‌گذاری روی شاخص‌های راداری منتخب در شکل (۹) نمایش داده شده‌اند. در ادامه شاخص‌های حدآستانه‌گذاری شده مذکور با عملگر ضرب طبق رابطه (۱) با یکدیگر تلفیق می‌گردند تا یک تصویر حاصل از اشتراک قیود (P) ایجاد شود. نتیجه این فرآیند در شکل (۱۰) نمایش داده شده‌است. تصویر P بیانگر کاندیداهای مستخرج بر اساس شاخص‌های پلاریمتری هستند.

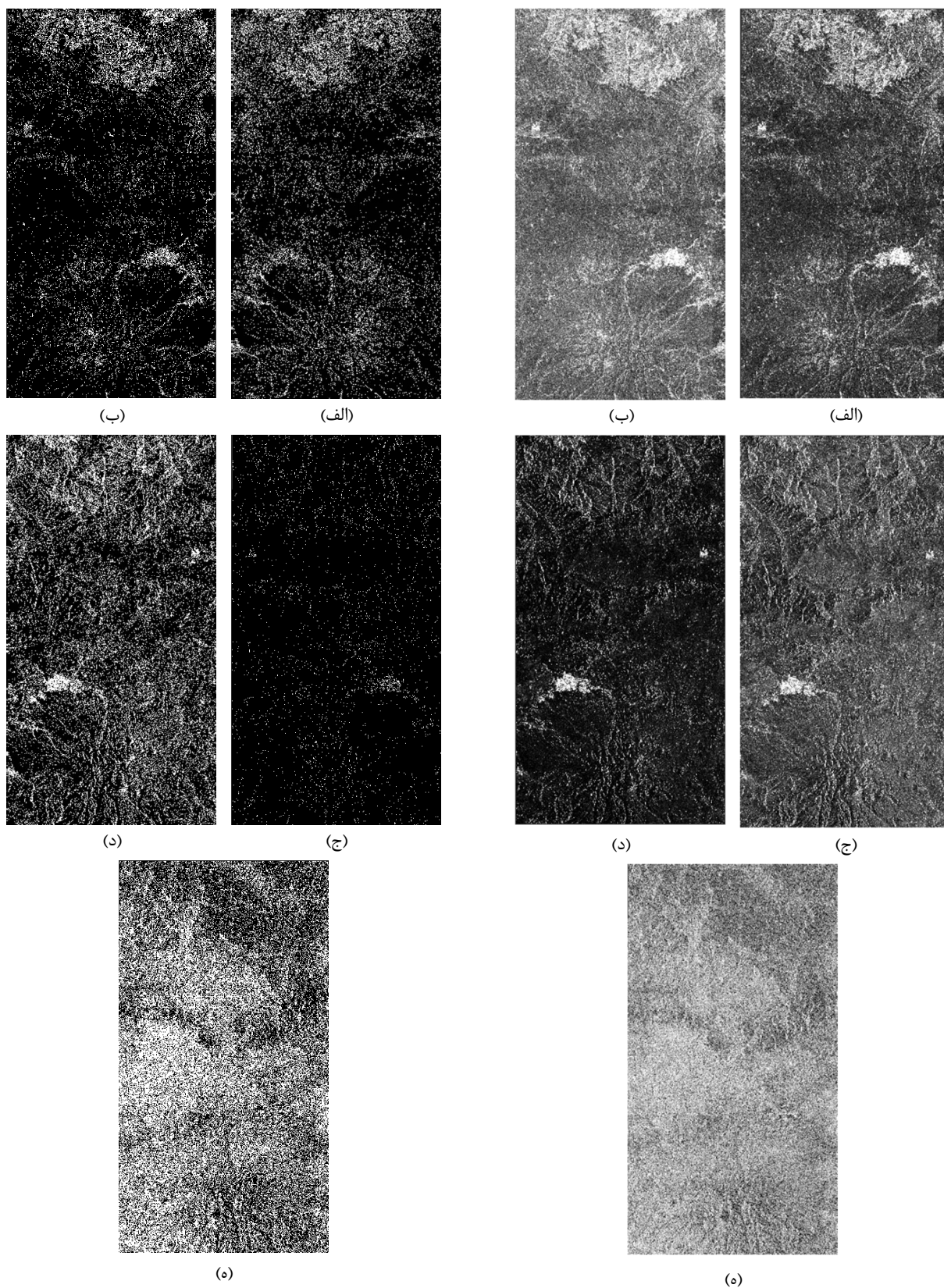
$$P = X1 \times X2 \times X3 \times X4 \times X5 \quad (1)$$

جدول ۳- حدآستانه‌گذاری اندکس‌های راداری منتخب

X1	90 ≤ Index1 ≤ 150
X2	9500 ≤ Index2 ≤ 40000
X3	400 ≤ Index3 ≤ 600
X4	3000000 ≤ Index4 ≤ 135797292
X5	0.4 ≤ Index5 ≤ 0.8

۴-۲- آشکارسازی هدف در DEM منطقه

در این مرحله از اطلاعات ارتفاعی به عنوان یک ویژگی برای شناسایی اهداف استفاده می‌شود. بدین منظور ابتدا با استفاده از دو تصویر راداری سنتینل ۱ در فرمت SLC (شکل‌های (۳) و (۴)) مدل رقومی ارتفاعی منطقه (DEM) تولید می‌شود، تا اطلاعات ارتفاعی حاصل از منطقه با اطلاعات بدست آمده از مراحل قبل تلفیق شود.



شکل ۸- نتیجه اعمال اندکس‌های منتخب در الگوریتم پیشنهادی روی تصویر راداری: الف) اندکس ۱، ب) اندکس ۲، ج) اندکس ۳، د) اندکس ۴، ه) اندکس ۵

شکل ۹- نتیجه حدآستانه‌گذاری اندکس‌های منتخب: الف) اندکس ۱، ب) اندکس ۲، ج) اندکس ۳، د) اندکس ۴، ه) اندکس ۵

مناطق مسطح و مناطقی که اختلاف ارتفاعشان با زمین اطراف زیاد نیستند، حذف می‌شوند. هدف مورد نظر به همراه سایر عوارض که تعدادشان نسبت به قبل کاهش یافته است در تصویر حدآستانه‌گذاری شده حضور خواهند داشت (شکل ۱۱). در واقع با استفاده از این ویژگی، عوارض موجود در منطقه تا حدودی هرس می‌شوند. لذا در این مرحله، اندکسی تحت عنوان اطلاعات ارتفاعی منطقه (elevation) به اندکس‌های موجود اضافه می‌شود و DEM حدآستانه‌گذاری شده بنام BDEM با رابطه (۲) تعریف می‌گردد که نمایش بصری از این محصول در شکل (۱۱) ارائه شده است.

$$BDEM = 1525 \leq \text{elevation} \leq 1535 \quad (2)$$

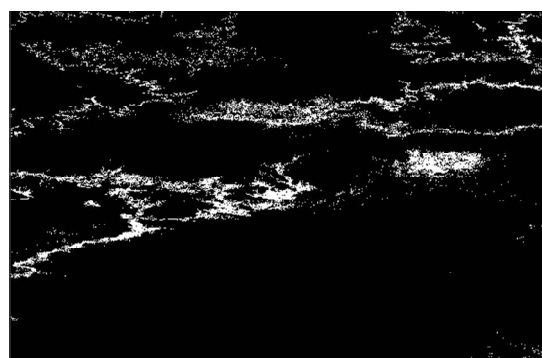
۳-۴- تلفیق نتایج حاصل از اندکس‌ها و DEM حدآستانه‌گذاری شده منطقه

در روند شناسایی هدف در دو مرحله قبلی نتایجی حاصل شد که یکی حاصل ضرب خروجی‌های حاصل از اعمال اندکس‌های حدآستانه‌گذاری شده بر روی تصویر پلاریمتریک راداری تحت عنوان "P" بود و دیگری محصولی با عنوان "BDEM" از ویژگی‌های مستخرج از DEM منطقه بود. در این مرحله با ضرب حالت هم‌مرجع شده این دو محصول، نتیجه نسبتاً مطلوبی از کاندیداهای هدف حاصل می‌شود (رابطه (۳)) که تا حد زیادی عوارض پس‌زمینه (عوارض غیرهدف) در آن حذف شده و کاندیداهای هدف کمتر شده است. نتیجه این تلفیق یک خروجی بنام R است که در شکل (۱۳) ارائه شده است. این خروجی نتیجه آنالیز تصاویر راداری است. لازم به ذکر است قبل از تولید خروجی R چنانچه تشریح شد، فرآیند هم‌مرجع‌سازی روی تصاویر "P" و "BDEM" باید صورت گیرد که نتیجه فرآیند هم‌مرجع‌سازی در شکل‌های (۱۲) و تصویر R در (۱۳) نمایش داده شده است.

$$R = P \times BDEM \quad (3)$$

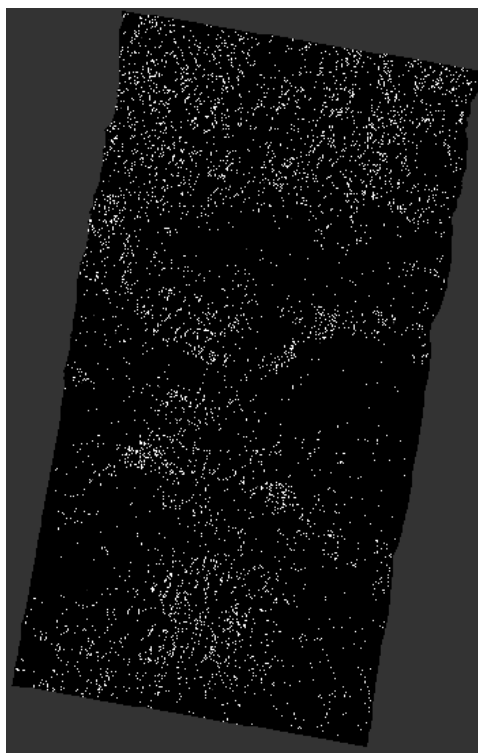


شکل ۱۰- حاصل ضرب نتیجه حاصل از حدآستانه‌گذاری بر روی اندکس‌های مرتبط با تصویر راداری

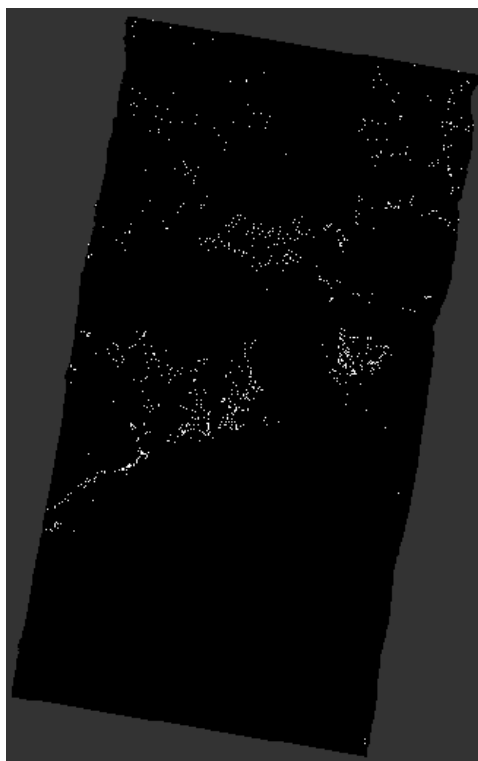


شکل ۱۱- DEM حدآستانه‌گذاری شده منطقه (BDEM)

بعد از تولید DEM منطقه، حدآستانه‌ای با توجه به ارتفاع منطقه‌ای که هدف (در مطالعه موردی: سوله) در آن قرار دارد و اختلاف ارتفاع آن با سطح زمین و عوارض موجود در منطقه تعریف می‌شود. در نتیجه این فرآیند،



(الف)



(ب)

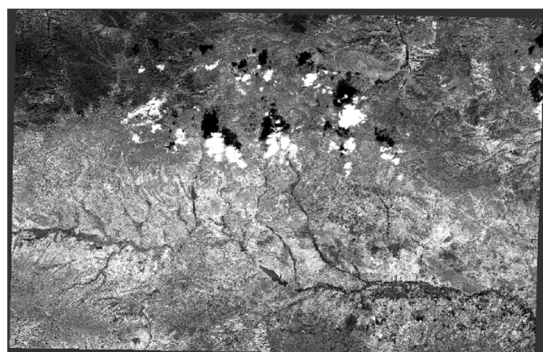
شکل ۱۲- الف) حاصلضرب خروجی‌های حاصل از اعمال اندکس‌های حدآستانه‌گذاری شده روی تصویر راداری بعد از هم‌مرجع‌سازی ب) نتیجه حاصل از حدآستانه‌گذاری DEM بعد از هم‌مرجع‌سازی



شکل ۱۳- حاصلضرب نتایج حاصل از اعمال اندکس‌ها بر روی تصویر رادار و DEM حدآستانه‌گذاری شده بعد از فرآیند هم‌مرجع‌سازی

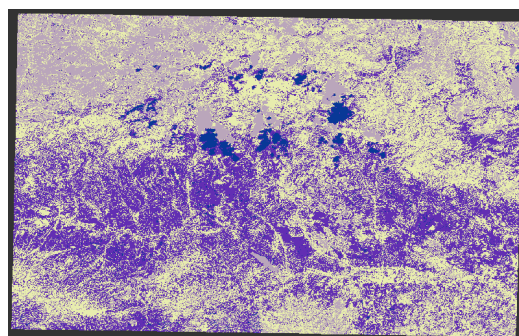
۴-۴- آشکارسازی محدوده هدف در تصویر طیفی

برای هرس کردن بیشتر کاندیداهای باقیمانده و رسیدن به نتیجه مطلوب‌تر از تصویر چندطیفی سنتینل ۲ که در شکل (۱۴) نشان داده شده‌است، استفاده گردید.



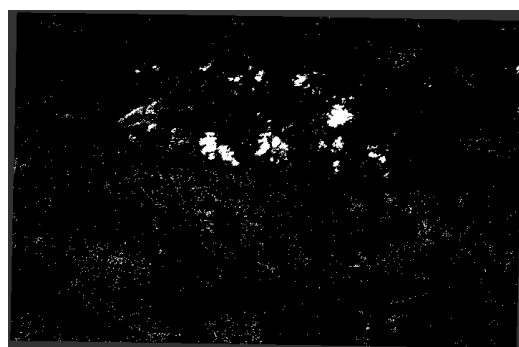
شکل ۱۴- بخشی از تصویر چند طیفی سنتینل ۲ از منطقه مورد مطالعه

تصویر مورد نظر با استفاده از روش خوشه‌بندی نظارت نشده Kmeans کلاس‌بندی (خوشه‌بندی) شد تا عوارض منطقه در چند کلاس موضوعی از یکدیگر تفکیک شوند و هدف مورد نظر در یکی از این خوشه‌ها قرار گیرد. نتیجه حاصل از خوشه‌بندی تصویر چندطیفی در شکل (۱۵) ارائه شده است. لازم به ذکر است، هر چند ماهیت خوشه‌های حاصل از Kmeans بطور دقیق مشخص نیست ولی از آنجائیکه عوارض مشابه از نظر طیفی در خوشه‌های مختلف قرار گرفته‌اند، این محصول (شکل ۱۵) در شناسایی هدف مؤثر واقع شد.



شکل ۱۵- تصویر چندطیفی کلاس‌بندی شده منطقه به روش Kmeans

در منطقه مطالعاتی، تصویر چندطیفی به ۴ کلاس تفکیک شد. خوشه‌ای که هدف در آن قرار دارد از بقیه خوشه‌ها تفکیک می‌گردد. بدین صورت که خوشه‌ای که شامل هدف است، با مقدار یک و بقیه خوشه‌ها با عدد صفر مقداردهی می‌شوند و یک تصویر باینری تهیه می‌گردد که نتیجه این فرآیند در شکل (۱۶) نشان داده شده است.



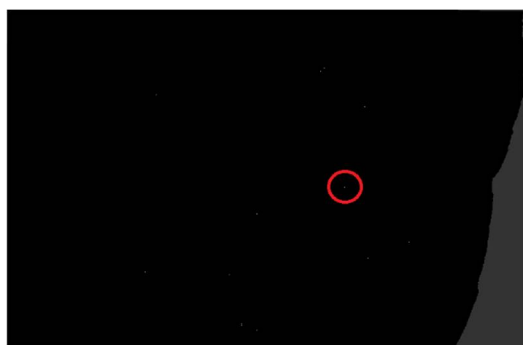
شکل ۱۶- تصویر باینری از تصویر چندطیفی خوشه‌بندی شده

۴-۵- تلفیق نتایج حاصل از تصاویر راداری و طیفی

در مراحل قبل نتایجی از آنالیز تصاویر رادار تحت عنوان "R" حاصل شد که تا حد زیادی هدف را متمایز کرده است. با استفاده از تصویر طیفی همان منطقه و کلاس‌بندی عوارض موجود و باینری‌سازی آن نتیجه دیگری تحت عنوان "Css"

حاصل شد که در روند شناسایی محدوده هدف بسیار موثر است. در این مرحله برای دستیابی به نتیجه مطلوب‌تر، تصویر R (حاصل از پردازش تصاویر راداری) و تصویر Css (حاصل از پردازش تصویر چندطیفی) با ضرب در یکدیگر، تلفیق می‌شوند تا نتیجه نهایی تحت عنوان T حاصل شود (رابطه ۴). نتیجه حاصل از این تلفیق در شکل (۱۷) ارائه شده است.

$$T = R \times Css \quad (4)$$



شکل ۱۷- حاصل ضرب نتایج حاصل از پردازش تصاویر راداری و طیفی که در آن هدف مورد نظر نشان داده شده است.

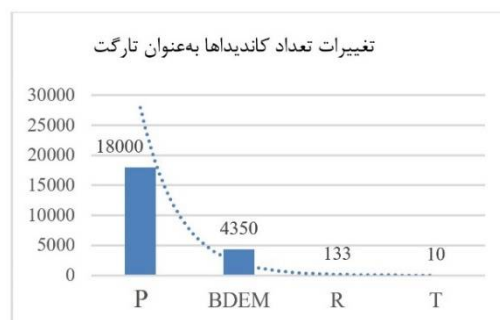
با مقایسه نتیجه حاصل از تلفیق تصاویر طیفی و راداری با نتیجه حاصل از تک تک این تصاویر (مراحل قبل) که در شکل‌های (۱۳) و (۱۶) ارائه شده است، مشاهده می‌گردد که تا حد بسیار زیادی عوارض موجود در منطقه هرس شده و هدف مورد نظر به همراه چند پیکسل دیگر که به عنوان خطا شناخته می‌شوند، استخراج شده است و نتیجه قابل قبولی در شناسایی هدف حاصل گردیده است.

۵- ارزیابی عددی روش پیشنهادی

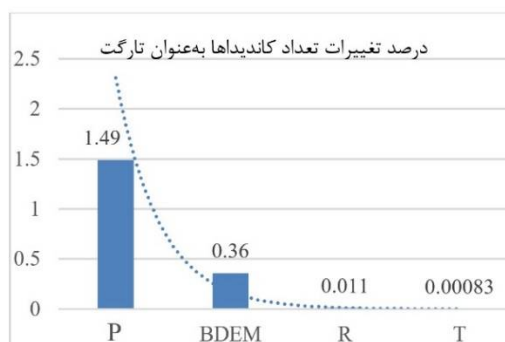
با توجه به اینکه در هر مرحله از الگوریتم پیشنهادی، شناسایی اهداف همراه با یکسری خطا است که در فرآیندهای متوالی این خطاها رفته رفته کاهش می‌یابند، لذا لازم است روند بهبود نتایج شناسایی اهداف بطور کمی مورد بررسی قرار گیرد. تعداد پیکسل‌های شناسایی شده به عنوان هدف در هر مرحله از الگوریتم پیشنهادی در شکل (۱۸) ارائه شده است تا روند افزایش قابلیت اعتمادپذیری الگوریتم در شناسایی هدف با تلفیق اطلاعات بدست آمده از هر مرحله مشخص شود. اندازه تصویر مورد استفاده 1395×866 پیکسل می‌باشد که در مجموع شامل $1,208,070$ پیکسل است. با تقسیم تعداد پیکسل‌های کاندیدا به عنوان در هر

است که خود شامل دو مرحله اصلی است. در گام اول، با تاکید بر ویژگی‌های هندسی، اندکس‌های متنوعی بر اساس اطلاعات پلاریمتریک تصاویر رادار تعریف شده و با بررسی اثرگذاری این اندکس‌ها در حذف پیکسل‌هایی که هدف نیستند، اندکس‌هایی با محتوای اطلاعاتی بالا به عنوان اندکس‌های منتخب در نظر گرفته می‌شوند و با کمک آن‌ها، گام به گام کاندیداهای قدرتمندتری استخراج می‌شوند. سپس، ویژگی‌های ارتفاعی از تصاویر راداری تولید شده و مورد تحلیل قرار می‌گیرد. تلفیق نتایج حاصل از تحلیل ویژگی‌های هندسی و ارتفاعی منجر به تولید شاخص ترکیبی می‌گردد که از نظر مفهومی، کاندیداهای مستخرج از تصویر رادار است. در مرحله دوم تصویر چندطیفی خوشه‌بندی شده و مناطقی به عنوان محدوده هدف تعیین می‌شود. در مرحله سوم، نتایج حاصل از تصاویر رادار و چندطیفی با یکدیگر تلفیق می‌شوند که در نتیجه آن، تعداد کاندیدها به میزان قابل توجهی کاهش پیدا می‌کنند. ارزیابی عددی صورت گرفته در این تحقیق، موید قابلیت بالای روش پیشنهادی در استخراج اهداف خاص با تلفیق تصاویر رادار و اپتیک است. از آنجایی که دستیابی به الگوریتم نهایی در این تحقیق بر اساس ارزیابی ترکیب‌های مختلفی از ویژگی‌های پلاریمتریک مستخرج از تصویر راداری، بررسی میزان کارایی هر شاخص تعریف شده در میزان هرس کاندیدهای نادرست و تست حدآستانه‌های متعدد برای شاخص‌های منتخب حاصل شده‌است، لذا می‌توان گفت در تلفیق تصاویر برای شناسایی هدف، مواردی از جمله انتخاب هدف و منطقه مورد مطالعه تاثیر قابل توجهی در نتایج داشته و شناسایی اهداف را با چالش‌هایی از جمله انتخاب بهترین و کاربردی‌ترین داده‌های تصویری و ویژگی‌ها جهت شناسایی هدف و همچنین تعیین حدآستانه‌های بهینه مواجه می‌سازد.

مرحله بر تعداد کل پیکسل‌های تصویر، نتایج هر مرحله بصورت کمی مورد ارزیابی قرار گرفت که نتیجه آن در شکل (۱۹) ارائه شده‌است. همانطور که مشخص است، رفته‌رفته در مراحل متوالی الگوریتم، عوارض پس‌زمینه (غیر هدف) کاهش یافته‌است که بیانگر افزایش قابلیت اعتمادپذیری نتایج است.



شکل ۱۸- ارزیابی عددی الگوریتم پیشنهادی



شکل ۱۹- ارزیابی عددی روش پیشنهادی (بصورت درصد)

۶- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر الگوریتمی کارآمد جهت شناسایی اهداف خاص با استفاده از تلفیق تصاویر راداری و طیفی طراحی شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. روش پیشنهادی در این تحقیق شامل سه مرحله اصلی است. مرحله اول مربوط به شناسایی هدف بر اساس پردازش و تحلیل تصاویر راداری

مراجع

- [۱] Wang, J., Zheng, T., Lei, P., and Bai, X. (2019). "A Hierarchical Convolution Neural Network (CNN)-Based Ship Target Detection Method in Spaceborne SAR Imagery." Remote Sensing. 11, 6, PP. 620.
- [۲] Jin, Y., Chen, Z., Fan, L., and Zhao, C. (2015). "Spectral Kurtosis-Based Method for Weak Target Detection in Sea Clutter by Microwave Coherent Radar." Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 32, 2, PP. 310-317.
- [۳] Evans, D.L., Farr, T.G., van Zyl, J.J., and Zebker, H.A. (1988). "Radar polarimetry: analysis tools and applications." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 26, 6, PP.

- [۴] Zhai, Y., Deng, W., Xu, Y., Ke, Q., Gan, J., Sun, B., Zeng, J., and Piuri, V. (2019). "Robust SAR Automatic Target Recognition Based on Transferred MS-CNN with $L^{2\sup}$ -Regularization." *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2019, PP. 9140167.
- [۵] Zhang, Y., Du, B., and Zhang, L. (2015). "A Sparse Representation-Based Binary Hypothesis Model for Target Detection in Hyperspectral Images." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 53, 3, PP. 1346-1354.
- [۶] Sun, X., Qu, Y., Gao, L., Sun, X., Qi, H., Zhang, B., and Shen, T. (2021). "Target Detection Through Tree-Structured Encoding for Hyperspectral Images." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 59, 5, PP. 4233-4249.
- [۷] Yilu, M., Li, Y., and Zhu, L. (2019). "Land Cover Classification for Polarimetric SAR Image Using Convolutional Neural Network and Superpixel." *Progress In Electromagnetics Research*. 83, PP.
- [۸] Gakhar, S. and Tiwari, K.C. (2021). "Comparative Assessment of Target-Detection Algorithms for Urban Targets Using Hyperspectral Data." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 87, 5, PP. 349-362.
- [۹] Vincent, F. and Besson, O. (2021). "Robust adaptive target detection in hyperspectral imaging." *Signal Processing*. 181, PP. 107905.
- [۱۰] Zhang, Y., Du, B., Zhang, Y., and Zhang, L. (2017). "Spatially Adaptive Sparse Representation for Target Detection in Hyperspectral Images." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 14, 11, PP. 1923-1927.
- [۱۱] Gara, T.W., Mpakairi, K.S., Nampira, T.C., Oduro Appiah, J., Muumbe, T.P., and Dube, T. (2023). "Integrating RADAR and optical imagery improve the modelling of carbon stocks in a mopane-dominated African savannah dry forest." *African Journal of Ecology*. 61, 2, PP. 320-329.
- [۱۲] Bijesh, T.V. and Narasimhamurthy, K.N. (2020). "Surface water detection and delineation using remote sensing images: a review of methods and algorithms." *Sustainable Water Resources Management*. 6, 4, PP. 68.
- [۱۳] Safari, A. and Sohrabi, H. (2020). "Integration of synthetic aperture radar and multispectral data for aboveground biomass retrieval in Zagros oak forests, Iran: an attempt on Sentinel imagery." *International Journal of Remote Sensing*. 41, 20, PP. 8069-8095.
- [۱۴] Schumann, G., Giustarini, L., Tarpanelli, A., Jarihani, B., and Martinis, S. (2023). "Flood Modeling and Prediction Using Earth Observation Data." *Surveys in Geophysics*. 44, 5, PP. 1553-1578.
- [۱۵] Jafarzadeh, H., Mahdianpari, M., Gill, E.W., Brisco, B., and Mohammadimanesh, F. (2022). "Remote Sensing and Machine Learning Tools to Support Wetland Monitoring: A Meta-Analysis of Three Decades of Research." *Remote Sensing*. 14, 23, PP. 6104.
- [۱۶] Dong, J., Dafang, Z., and Yaohuan, H., Investigation of Image Fusion for Remote Sensing Application, in *New Advances in Image Fusion*, M. Qiguang, Editor. 2013, IntechOpen: Rijeka. p. Ch. 1.