نشریه علمی - پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره ششم، شماره ۲، آبان ماه ۱۳۹۵

تشخیص تغییرات در تصاویر پلاریمتری SAR براساس الگوریتم بهبودیافته آب‌پخشان

مهرنوش امتی*[۱]، محمودرضا صاحبی[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
momati@mail.kntu.ac.ir

[۲]دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
sahebi@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت تیر ۱۳۹۵، تاریخ تصویب مهر ۱۳۹۵)

چکیده

عواملی هم‌چون وجود اسپکل‌ها در تصاویر SAR، وابستگی زیاد بین پیکسل‌های همسایه، احتمال رخداد تغییرات در مناطق مجاور نسبت به نقاط دور از یکدیگر و هم‌چنین دشواری دست‌یابی به نتایج موردنظر در صورت استفاده از روش‌های مبتنی بر پیکسل، ضرورت به‌کارگیری آنالیز شی‌مبنا را در بهبود دقت تشخیص تغییرات ایجاب می‌کند. هدف از این مقاله، ارائه روشی نوین در تشخیص تغییرات به‌هنگام پوشش‌های اراضی با استفاده از تصاویر پلاریمتریک SAR خواهد بود. در روش پیشنهادی ابتدا هر دو تصویر پلاریمتری اخذ شده از منطقه با استفاده از الگوریتم بهبودیافته آب‌پخشان به‌طور جداگانه قطعه‌بندی می‌شوند. سپس از میان ویژگی‌های مختلف پلاریمتری، ده ویژگی تفاضلی بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک و معیار فاصله Jeffries-Matusita انتخاب گردیده و در مرحله پایانی با درنظرگرفتن اطلاعاتی همانند تفاوت میانگین مقادیر پیکسل‌های مناطق همگن قطعه‌بندی‌شده در دو تصویر، تغییر و یا عدم تغییر قطعات با استفاده از طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان (SVM) بررسی می‌گردد. مقایسه نتایج حاصل از اجرای این الگوریتم با داده‌های مرجع، مقادیر ۹۲/۴۰ درصد و ۰/۸۵ را برای دقت طبقه‌بندی و ضریب کاپا نشان می‌دهد. این در حالی است که دقت و ضریب کاپا در روش پیکسل‌مبنا به‌ترتیب برابر با ۷۸/۶۱ درصد و ۰/۵۸ به‌دست آمده است. هم‌چنین این روش قطعه‌بندی در مقایسه با روش پیکسل مبنا توانسته است مرزهای قطعات تصویری را با درصد قابل توجهی حفظ کند.

واژگان کلیدی: تشخیص تغییرات، تصاویر پلاریمتری SAR (PolSAR)، آنالیز شی‌مبنا، الگوریتم بهبودیافته آب‌پخشان

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

به‌طورکلی شناسایی تغییرات از دیدگاه سنجش‌ازدوری را می‌توان به‌عنوان روند تعیین تفاوت‌های ایجادشده در عوارض و پدیده‌های یک منطقه از طریق آنالیز تصاویر اخذشده در زمان‌های مختلف تعریف کرد [۱]. اطلاعات حاصل از این آنالیزها به علت کاربرد آن‌ها در زمینه‌های گوناگونی همانند شناسایی تغییرات پویای پوشش زمین[۱] یا کاربری اراضی[۲]، آنالیز تغییرات جنگل یا پوشش گیاهی، بررسی مناطق کشاورزی و ارزیابی خسارت در آن‌ها، مطالعات شهری و... از اهمیت بالایی برخوردار است [۲]. ازاین‌رو با آشکارسازی تغییرات به‌صورت به‌هنگام، دقیق و درک روابط و تعاملات بین انسان‌ها و پدیده‌های طبیعی می‌توان در راستای تصمیم‌گیری بهتر در مدیریت و استفاده مؤثر از منابع گامی بزرگ برداشت [۳]. با وجود سادگی تفسیر و توسعه بسیاری از روش‌های آشکارسازی تغییرات در تصاویر اپتیک چندطیفی، این داده‌ها به‌علت وابستگی به شرایط تابشی و اتمسفری دارای محدودیت ذاتی هستند [۵- ۴]. از طرف دیگر داده‌های SAR با مستقل بودن از شرایط آب و هوایی و تابشی مختلف و هم‌چنین حساسیت پراکنش سیگنال‌های آن به پارامترهای تارگت همانند ثابت دی الکتریک، میزان زبری و ساختار (شکل، جهت‌گیری، اندازه) عوارض می‌تواند در شناسایی تغییرات به‌هنگام پوشش و یا کاربری اراضی به‌عنوان تکنیکی مفید مورد استفاده قرار گیرد [۶].

امروزه سیستم‌های کلاسیک پلاریمتری SAR با اندازه‌گیری دامنه و فاز سیگنال‌های بازگشتی از عوارض در هر چهار ترکیب خطی پلاریزاسیون‌های ارسالی و دریافتی (HH,HV,VH,VV) و امکان تشخیص انواع مکانیزم‌های پراکنش بر مبنای ثبت اطلاعات در پلاریزاسیون‌های مختلف، می‌توانند اطلاعات بیش‌تری را در آشکارسازی تغییرات نسبت به داده‌های تک‌کاناله فراهم آورند [۶].

از دیدگاه واحد آنالیز تصویر، روش‌های تشخیص تغییرات را می‌توان به دو دسته مستقل پیکسل‌مبنا و شی‌مبنا تقسیم‌بندی نمود [۷]. با وجود بسیاری از مطالعات صورت گرفته در این زمینه، تاکنون بیشتر روش‌های به‌کاررفته از نوع پیکسل‌مبنا بوده است [۸]. این روش‌ها با ایجاد هشدارهای اشتباه[۳] در نتایج آشکارسازی تغییرات به‌علت وجود اسپکل در تصاویر SAR و هم‌چنین عدم درنظرگرفتن اطلاعات مکانی و متنی[۴] دارای دو نقطه ضعف مهم هستند [۱۰-۹]. از این رو اخیرا استفاده از رویکرد شی‌مبنا در آنالیز تصاویر سنجش از دوری از جمله تصاویر پلاریمتری SAR به‌طور وسیعی افزایش یافته است [۱۱-۱۰].

هدف از پژوهش حاضر، ارائه روشی نوین در بهبود دقت تشخیص تغییرات رخ داده در منطقه با استفاده از پتانسیل بالای تصاویر پلاریمتری SAR در یک رویکرد شی‌مبنا می‌باشد. با ایجاد قطعه‌بندی بیش از حد[۵] تصویر در بسیاری از روش‌های قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا، در این پژوهش، الگوریتم قطعه‌بندی بهبودیافته آب‌پخشان (Watershed) با برچسب‌گذاری پیکسل‌های مرتبط به نواحی خاص و ایجاد یک تصویر نشانه‌گذاری شده، موجب کاهش قابل توجه قطعه‌بندی بیش از حد تصویر و به‌دنبال آن افزایش کارایی آنالیز قطعه‌بندی به‌عنوان نخستین قدم رویکرد شی‌مبنا شده‌است. از دیگر مزایای این روش قطعه‌بندی می‌توان به‌سادگی الگوریتم و سرعت بالای پیاده‌سازی آن اشاره کرد.

۲- مروری بر تحقیقات انجام شده

در مطالعات صورت‌گرفته به منظور انتخاب تکنیکی مناسب در ایجاد تصویر اختلاف به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مراحل آشکارسازی تغییرات در رویکرد پیکسل مبنا، روش‌های متفاوتی ارائه شده‌است. از نمونه روش‌های مطرح در آشکارسازی تغییرات می‌توان به‌کارگیری انواع توزیع مدل‌های آماری را نام برد. به‌طورکلی مدل‌های به کار رفته در آشکارسازی تغییرات داده‌های پلاریمتری به دو دسته مدل‌های کلاتر همگن و ناهمگن تقسیم بندی می‌شود [۱۲]. از متداول‌ترین مدل‌های همگن می‌توان به مدل توزیع ویشارت ماتریس همبستگی پلاریمتری و در مدل‌های ناهمگن به بردارهای تصادفی ثابت کروی[۶] همانند توزیع‌های K, M, W, Kummer و ... اشاره کرد[۱۴-۱۳]. با این رویکرد، Liu و همکارانش الگوریتمی را در تصاویر چندمنظر پلاریمتری SAR با استفاده از توزیع K ماتریس همبستگی پلاریمتری، تعریف یک معیار

۱ Land cover
۲ Land use

۳ False alarm
٤ Textural
٥ Over segmentation
٦ Spherically invariant random vectors

شباهت و آستانه‌گذاری کمینه خطای کیتلر و ایلینگورس[۱] (K&I) ارائه دادند [۱۲].

هم‌چنین استفاده از آماره آزمون‌های مختلف را می‌توان به‌عنوان روشی دیگر در آشکارسازی تغییرات نظارت نشده بررسی کرد. از آماره آزمون‌های به‌کاررفته در تصاویر پلاریمتری می‌توان آماره آزمون نسبت احتمال[۲]، آزمون مختلط هاتلینگ لاولی[۳] و ویشارت تصحیح یافته متقارن[۴] نام برد[۱۷-۱۵]. به‌طور نمونه در پژوهشی انجام شده توسط Ghanbari و همکاران، نقشه تغییر و عدم تغییر منطقه با ارائه فاصله ویشارت تصحیح یافته متقارن به‌منظور ارزیابی برابری بین دو ماتریس کواریانس و در نهایت اعمال الگوریتم آستانه‌گذاری حاصل گردید [۱۸]. از نقاط ضعف مشترک روش‌های ذکر شده می‌توان نیاز به انتخاب یک حد آستانه مناسب و هم‌چنین عدم امکان نوع تغییرات رخ داده در منطقه را اشاره کرد.

از این‌رو در رویکردی دیگر، آشکارسازی تغییرات می‌تواند به‌عنوان حالت خاصی از طبقه‌بندی تصاویر در نظرگرفته‌شده و ضرورت استفاده از داده‌های آموزشی را به‌منظور تعیین نوع تغییرات رخ داده در منطقه ایجاد کند[۲۰-۱۹]. براساس این دیدگاه دو رویکرد کلی مقایسه پس از طبقه‌بندی[۵] و بهبود پیش از طبقه‌بندی[۶] در [۱۹] بیان شده‌است. روش اول، نقشه تغییرات را از طریق طبقه‌بندی هر یک از تصاویر به‌طور مستقل به‌دست آورده و از این رو نتایج آن وابسته به دقت هر یک از طبقه‌بندی‌کننده‌ها می‌باشد. اما در رویکرد دوم تنها یک طبقه‌بندی بر ترکیبی از مجموعه داده‌های دو تصویر اعمال می‌شود. در مطالعات صورت گرفته تاکنون از روش‌های مختلفی به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر پلاریمتری استفاده شده است[۲۳-۲۱].

در این نمونه مطالعات انجام شده، یک نقطه ضعف مشترک تمامی روش‌های پیکسل‌مبنا را می‌توان عدم به‌کارگیری وابستگی پیکسل‌های همسایه و ارتباط مکانی آن‌ها نام برد. از این رو اخیرا استفاده از رویکرد شی‌مبنا در آنالیز تصاویر سنجش از دوری از جمله تصاویر پلاریمتری SAR به‌طور وسیعی افزایش یافته است [۲۵-۲۴].

آنالیز قطعه‌بندی[۷] به‌عنوان اولین قدم در آشکارسازی تغییرات با رویکرد شی‌مبنا شناخته می‌شود [۲۶]. تاکنون تکنیک‌های متفاوتی به‌منظور انجام این آنالیز در مطالعات پیشین به‌کارگرفته شده است که به‌طورکلی می‌توان آن‌ها را در سه گروه مرز مبنا[۸]، ناحیه‌مبنا[۹] و روش‌های ترکیبی[۱۰] تقسیم‌بندی نمود [۲۷].

روش‌های قطعه‌بندی مرزمبنا با استفاده از تغییرات ناگهانی ویژگی‌های محلی تصویر، لبه‌های موجود در تصاویر را به‌منظور جداسازی عوارض از پس‌زمینه شناسایی می‌کنند [۲۷]. نتایج مطالعات پیشین نشان‌می‌دهد که به‌کارگیری بسیاری از روش‌های گرادیان‌مبنا تشخیص لبه همانند کنی، سوبل، روبرت به‌علت حساسیت بالای آن‌ها به ماهیت ضربی اسپکل‌ها در تصاویر SAR، نتایج ضعیفی را در پی خواهند داشت [۲۹-۲۸].

از این رو برخلاف استفاده از تفاوت میانگین شدت‌های به‌دست آمده در دو طرف پیکسل مرکزی در روش‌های متداول تعیین لبه، رویکرد دیگری در تصاویر SAR توسط Touzi و همکارانش براساس نسبت میانگین شدت‌ها در اطراف پیکسل مرکزی و نرخ ثابت هشدار اشتباه[۱۱] ارائه شد [۲۸]. هم‌چنین در پژوهشی دیگر Oliver و Lombardo به منظور تشخیص لبه در تصاویر شدت SAR، از هر دو مقادیر میانگین محلی، پارامتر بافت و تست بیش‌ترین شباهت با دو معیار ماکزیمم‌سازی احتمال کل در طول پنجره و صحت تعیین موقعیت لبه استفاده کردند [۳۰].

علاوه بر تصاویر تک کاناله شدت SAR، در چندین نمونه از تحقیقات صورت گرفته، امکان شناسایی لبه‌ها در تصاویر پلاریمتری SAR نیز فراهم شده‌است. به‌طورمثال Schou و همکاران در سال ۲۰۰۰ توانستند لبه‌ها را در هر یک از پلاریزاسیون‌ها به‌طور جداگانه شناسایی نموده و سپس نتایج آن‌ها را با استفاده از عملگرهای مختلف تلفیق ترکیب کنند [۳۱]. اگرچه باید اشاره کرد که این روش، اطلاعات کامل پلاریمتری را در بر نداشته و نتایج آن نیز وابسته به انتخاب عملگر تلفیق خواهد بود [۳۱]. در پژوهشی دیگر، Jong-Sen و همکارانش با ترکیب کانال‌ها با

۱ Kittler and Illingworth minimum-error threshold
۲ Likelihood ratio test (LRT)
۳ Hotelling-Lawley trace statistics
۴ Symmetric Revised Wishart (SRW)
۵ Post classification Comparison
۶ Pre classification enhancement

۷ Segmentation
۸ Boundary-based
۹ Region-based
۱۰ Hybrid methods
۱۱ Constant false alarm rate

یکدیگر (تشکیل ویژگی span) و در نهایت اعمال عملگر مناسب بر آن، امکان شناسایی لبه‌ها را در تصاویر پلاریمتری فراهم آوردند[۳۲]. هم‌چنین Schou و همکاران در رویکرد دیگری از شناسایی لبه و به‌منظور به‌کارگیری اطلاعات کامل پلاریمتری، تست آماری نسبت احتمال ویشارت[۱] با هدف بررسی برابری یا عدم برابری میانگین‌های ماتریس کواریانس در اطراف هر پیکسل ارائه دادند [۳۳].

با وجود ارائه روش‌های بسیار قطعه‌بندی بر مبنای ناپیوستگی‌های تصویر [۳۴-۳۶]، در رویکرد دیگری قطعه‌بندی تصاویر براساس همگنی و شباهت پیکسل‌های مربوط به یک ناحیه انجام می‌گیرد. از انواع تکنیک‌های ناحیه‌مبنا می‌توان به آستانه‌گذاری، رشدناحیه‌ای[۲]، تقسیم و ادغام نواحی[۳]، خوشه‌بندی[۴] و ... اشاره کرد [۲۷]. از مزایای روش‌های ناحیه‌مبنا می‌توان کاهش مشکلات به‌کارگیری آن‌ها در تصاویر با وجود اسپکل و هم‌چنین عدم نیاز به محاسبات سنگین در مقایسه با روش‌های پیکسل‌مبنا را نام برد [۳۷]. در ادامه به چندین روش قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا به‌کار رفته در تصاویر پلاریمتری SAR اشاره می‌شود.

Cao و همکاران [۳۸] با رویکرد خوشه‌بندی و ترکیبی از چندین ویژگی پلاریمتری SAR همانند H/α/A و Span توانستند روشی نظارت نشده در قطعه‌بندی تصاویر پلاریمتری ارائه دهند. آن‌ها به‌منظور بهبود نتایج غیر واقعی حاصل از انتخاب پیش‌فرض تعداد خوشه‌ها، الگوریتمی را برای تعیین تعداد مناسب خوشه‌ها براساس ساختار درونی داده‌ها به‌کار گرفته و سپس با ادغام خوشه‌هایی با کم‌ترین فاصله توانستند عملکردی مناسب از قطعه‌بندی را ارائه دهند.

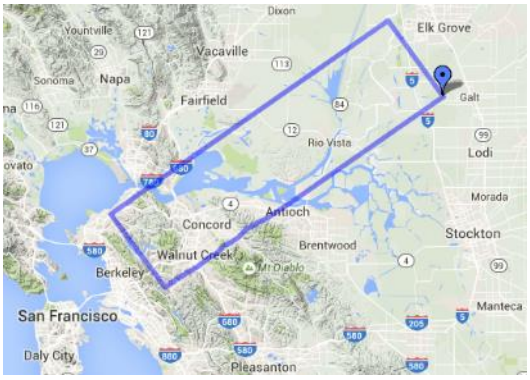
از دیگر روش‌های مطرح در قطعه‌بندی تصاویر پلاریمتری SAR براساس رشد ناحیه‌ای، می‌توان تکنیک چندمقیاسه[۵] را نام برد [۳۹]. این روش قطعه‌بندی پایین به بالا با در نظرگرفتن هر دو اطلاعات طیفی و مکانی از یک تک پیکسل شروع کرده و در یک روند تکراری نواحی مجاور را به‌یکدیگر متصل می‌کند [۴۰]. نتایج این روش قطعه‌بندی توسط ۴ پارامتر وزن لایه‌ها، فاکتور رنگ، فاکتور فشردگی و مقیاس تعیین می‌شود که معمولا مقادیر آن‌ها طی یک پروسه سعی و خطا به‌دست آمده و بسیار زمان‌بر است [۴۱,۲۵]. در نمونه‌های انجام‌شده از ویژگی‌های مختلف پلاریمتری به منظور قطعه‌بندی تصاویر استفاده شده است.

هم‌چنین در راستای بهبود عملکرد طبقه‌بندی تصاویر پلاریمتری، در روشی دیگر Zhen و همکاران توانستند قطعه‌بندی اولیه‌ای با اجرای الگوریتم آب‌پخشان[۶] بر ویژگی Span داده‌های پلاریمتری به‌دست آورند. سپس به‌منظور بهبود نتایج حاصل از قطعه‌بندی بیش از حد الگوریتم پیشنهادی، با اعمال قیود شکل و شدت توانستند نواحی را ادغام کرده و نتایج قطعه‌بندی را بهبود بخشند [۴۲].

۳- مواد و روش

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه انتخابی دلتای San-Francisco در جنوب کالیفرنیا با طول و عرض جغرافیایی 38° 26’ 5/47” N و 122° 17’ 18/42” W بوده که شامل کلاس‌های گوناگونی همچون کشاورزی، آب، شهری و زمین بایر می‌باشد. در شکل ۱ نقشه منطقه مورد مطالعه نشان داده می‌شود.



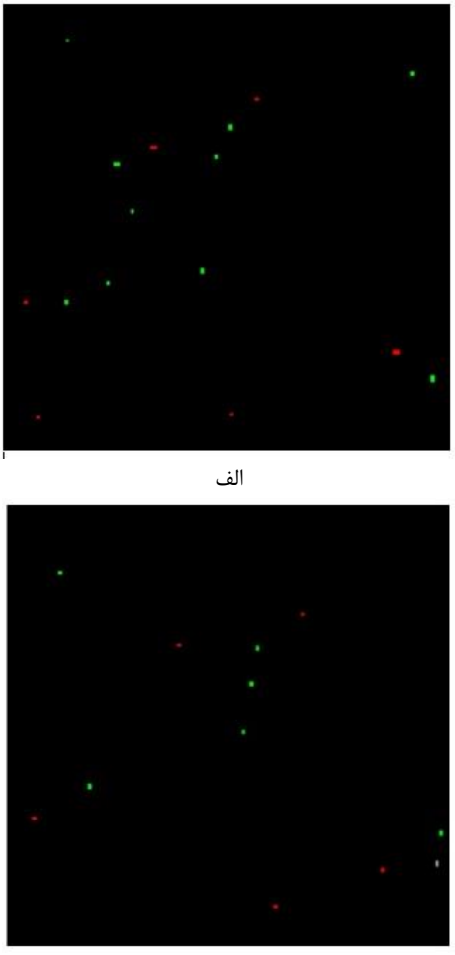
شکل ۱- نقشه منطقه مطالعاتی اخذ شده از Google map

در این پژوهش مطابق جدول ۱ تعدادی نمونه آموزشی و تست برای هر کلاس تغییریافته و تغییرنیافته درنظرگرفته شده که برای انتخاب آن از نقشه‌های موجود از منطقه مطالعاتی استفاده شده است. در شکل ۲ می‌توان نحوه توزیع پیکسل‌های آموزشی و تست دو کلاس تغییر یافته: به رنگ سبز و تغییر نیافته: به رنگ قرمز را مشاهده کرد.

۱ Wishart likelihood ratio
۲ Region growth
۳ Region splitting and merging
۴ Clustering
۵ Multi resolution
۶ Watershed

جدول۱- تعداد نمونه‌های آموزشی و تست

کلاس	تعداد پیکسل‌های آموزشی	تعداد پیکسل-های تست
تغییر یافته	۹۲۵	۵۵۴
تغییر نیافته	۵۷۶	۳۶۷
کل داده‌ها	۱۵۰۱	۹۲۱



الف

ب

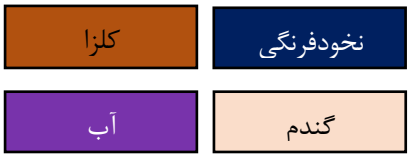
شکل۲- نحوه توزیع داده‌ها الف) داده‌های آموزشی ب) داده‌های تست

۳-۲- داده‌های مورد استفاده

به منظور ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی در آشکارسازی تغییرات، دو تصویر پلاریمتریک در دو زمان ۱۸- جولای -۲۰۰۹ و ۱۴- آگوست - ۲۰۱۴ با ابعاد ۱۰۰۰×۱۰۰۰ پیکسل از زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. این تصاویر اخذ شده به‌صورت پلاریمتری بوده و مربوط به سنجنده راداری هوابرد UAVSAR- در باند L با طول موج معادل ۲۳/۷۹ سانتی‌متر، محدوده زاویه فرود بین ۲۵-۶۵ درجه و رزولوشن مکانی ۱/۸ و ۰/۸ متر به‌ترتیب در جهت رنج و آزیموت می‌باشد. شکل ۳ ترکیب رنگی Pauli دو تصویر اخذ شده با اختصاص $|S_{hh}-S_{vv}|$ به رنگ قرمز، $|S_{hv}|$ به رنگ سبز و $|S_{hh}+S_{vv}|$ به رنگ آبی همراه با چند نمونه از کلاس‌های منطقه را نشان می‌دهد.

(الف)

(ب)



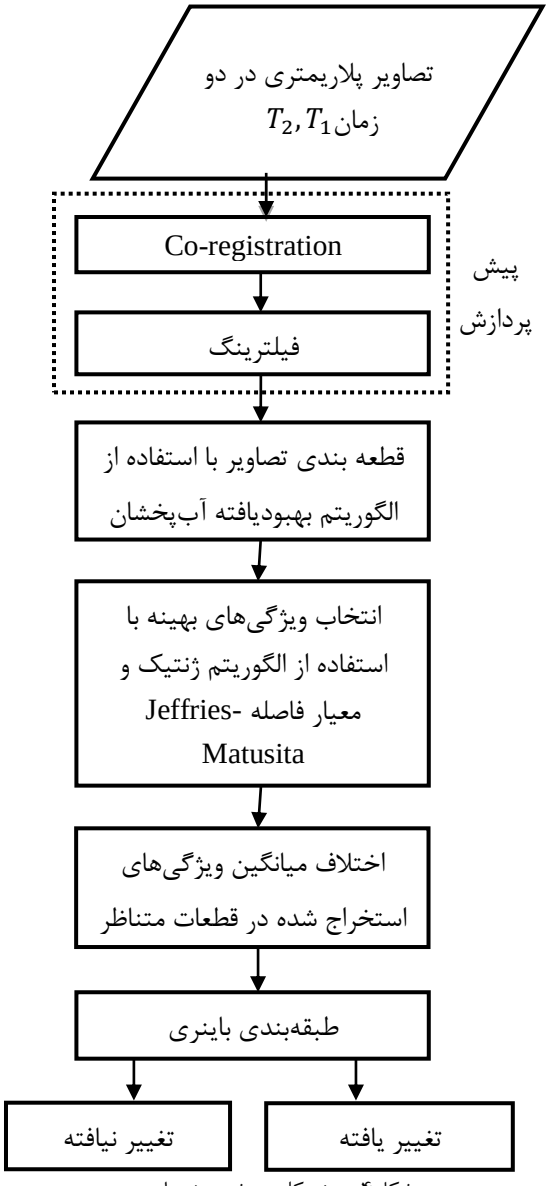
شکل۳- تصویر Pauli RGB. (الف) ۱۸- جولای-۲۰۰۹، (ب) ۱۴- آگوست-۲۰۱۴

۳-۳- روش پیشنهادی

در این پژوهش از ترکیب روش شی‌مبنا و استخراج ویژگی‌های بهینه پلاریمتری به‌منظور آشکارسازی تغییرات باینری تصاویر پلاریمتری استفاده شده است. نیاز به انتخاب پارامترهای مناسب انواع روش‌های قطعه‌بندی در فرآیند سعی و خطا و هم‌چنین ایجاد قطعات تصویری بیش از حد در بسیاری از رویکردهای متداول قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا، ارائه الگوریتمی نوین در قطعه‌بندی را به‌عنوان پیش‌نیاز اساسی رویکرد شی‌گرا ضرورت بخشید. در این روش پیشنهادی،

الگوریتم قطعه‌بندی بهبودیافته آب‌پخشان با ایجاد یک تصویر نشانه‌گذاری شده می‌تواند از قطعه‌بندی بیش از حد تصویر جلوگیری کرده و هم‌چنین با سرعت بالای پیاده‌سازی آن، کارایی آنالیز قطعه‌بندی را بهبود دهد.

در این الگوریتم پیشنهادی، ابتدا هر دو تصویر به‌منظور ایجاد قطعات تصویری با استفاده از الگوریتم بهبودیافته آب‌پخشان قطعه‌بندی می‌شوند. در مرحله دوم ویژگی‌های تفاضلی بهینه پلاریمتری با استفاده از الگوریتم ژنتیک و معیار خاتمه بالاترین فاصله Jeffries-Matusita انتخاب می‌گردد. سپس میانگین پیکسل‌های قطعات متناظر دو تصویر در ویژگی‌های بهینه به‌دست آمده و در نهایت با استفاده از تفاوت این ویژگی‌ها، تغییرات به‌صورت باینری مشخص می‌شود. شکل ۴ روند کلی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل۴- روند کلی روش پیشنهادی

۳-۳-۱- پیش‌پردازش داده‌ها

پیش‌پردازش‌های اساسی داده‌های پلاریمتری در آشکارسازی تغییرات شامل کالیبراسیون رادیومتریکی، فیلترینگ و Co-register کردن تصاویر می‌باشد. این پیش‌پردازش‌ها به منظور تصحیح هرگونه اعوجاجات ناشی از ویژگی‌ها و شرایط سیستم تصویربرداری صورت می‌گیرد. داده‌های پلاریمتری مورد استفاده در این مطالعه به فرمت GRD[۱] بوده و پردازش‌هایی هم‌چون کالیبراسیون رادیومتریکی (تبدیل مقادیر شدت به بازپراکنش سطح) با روش sigma-nought ، میانگین‌گیری داده‌ها[۲] در دو جهت رنج و آزیموت به ترتیب با مقادیر ۳ و ۱۲ و هم‌چنین تصحیح توپوگرافی بر آن‌ها اعمال شده است. البته لازم به ذکر است که منطقه مطالعاتی دارای توپوگرافی مسطح بوده و تصحیحات ناشی از خطاهای توپوگرافی ضرورتی نخواهد داشت [۴۳]. از این‌رو پیش‌پردازش‌های موردنیاز شامل فیلترینگ، Co-register کردن تصاویر خواهد بود.

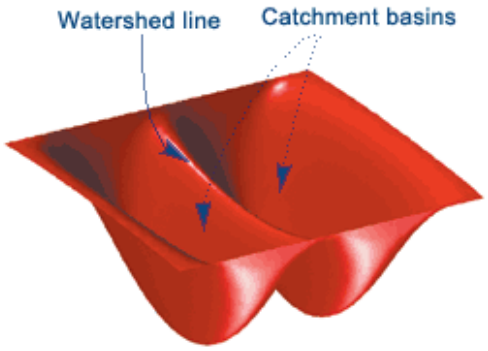
۳-۳-۲- الگوریتم قطعه‌بندی بهبود یافته آب-پخشان

پس از مرحله پیش‌پردازش، قطعه‌بندی به‌منظور تعیین قطعات تصویری و تقسیم تصاویر به مناطق همگن انجام می‌گیرد. در ایده اصلی این الگوریتم تصویر به‌صورت لایه‌های توپولوژی در نظر گرفته می‌شود که در آن مقادیر درجات خاکستری، میزان بلندی (دره و قله) را نشان داده و نواحی همگن در آن متناظر با حوزه‌های نسبتا مسطحی هستند که توسط لبه‌های شیب‌داری محصور شده‌اند.

در این الگوریتم آب‌گیری از سطح صفر (مقادیر مینیمم‌ها در درجات خاکستری) شروع شده و به تدریج نواحی همگن را پر خواهد کرد. سپس با ادامه یافتن روند آب‌گیری و بالا آمدن سطح آب (سطح ۱، ۲، ۳ و ...) به‌تدریج حوزه‌های آبریز (نواحی همگن) تشکیل می‌شود. این حوزه‌ها به‌تدریج افزایش یافته و در نهایت به‌جایی خواهد رسید که ممکن است آب دو حوزه یا ناحیه همگن مختلف با یکدیگر ادغام شوند. در این لحظه الگوریتم یک سد ایجاد کرده تا از اتصال حوزه‌های (نواحی همگن تشکیل شده) مختلف به‌یکدیگر جلوگیری کند. در

۱ Ground range projection and Multilooking
۲ Multilooking

نهایت با رسیدن سطح آب به بیش‌ترین مقدار خود، مجموعه حوزه‌های آبگیر[۱] و سد[۲]های ایجاد شده قطعه‌بندی آب‌پخشان را تشکیل می‌دهند[۴۴]. شکل ۵ سطح توپوگرافی در نظر گرفته شده در الگوریتم آب‌پخشان را نشان می‌دهد[۴۵].



شکل۵- سطح توپوگرافی در الگوریتم آب‌پخشان[۴۵]

در بیان ریاضی این الگوریتم قطعه‌بندی در ابتدا لازم است چندین پارامتر زیر تعریف گردد:

$M_1, M_2, ..., M_R$ مجموعه‌هایی شامل مختصات مینیمم‌های منطقه‌ای تصویر

$g(x,y)$ بیانگر مقدار پیکسل در مختصات (x,y)

$C(M_i)$ مختصات نقاط حوزه آبریز مرتبط با مینیمم منطقه‌ای M_i

و $T[n]$ مجموعه مختصات (s,t) با شرط $g(s,t)<n$

$$T[n]=\{(s,t)\,|\,g(s,t)<n\} \qquad (۱)$$

با تعریف این پارامترها، روند الگوریتم آب‌پخشان را می‌توان به شرح زیر بیان کرد[۴۶].

در ابتدا مینیمم و ماکزیمم مقدار $g(x,y)$ تعیین شده و سپس مختصات نقاط مینیمم این تابع به هر یک از مجموعه‌های M_i اختصاص داده می‌شود. در ادامه با شروع روند آب‌گیری از مقدار صحیح $n=\min+1$ تا $n=\max+1$، $C_n(M_i)$ به‌عنوان مجموعه حاصل از اشتراک مختصات نقاط حوزه‌های آبریز مرتبط با هر مجموعه مینیمم M_i و $T[n]$ در هر n مرحله آب-گیری می‌شود.

$$C_n(M_i)=C(M_i)\cap T[n] \qquad (۲)$$

به این ترتیب $C[n]$ معرف مجموعه حوزه‌های آبریز آب‌گیری شده در مرحله n برابر خواهد بود با:

$$C[n]=\bigcup_{i=1}^{R}C_n(M_i) \qquad (۳)$$

به‌گونه‌ای که $C[\max+1]$ در نهایت مجموع کل حوزه‌های آبریز را در بر می‌گیرد.

با پیش‌روی روند آب‌گیری در مراحل تکرار n و امکان ادغام حوزه‌هایی با برچسب غیریکسان، لازم است عملگر دیلیشن با شرایط زیر اعمال شود. این عملگر توسط المان ساختاری با ابعاد ۳×۳ و با دو شرط قرارگیری مرکز المان ساختاری در نقاط متعلق به $q\in Q[n]$ (ادغام مجموعه حوزه‌های مختلف آبریز در $T[n]$ به عنوان Q) و هم-چنین عدم اعمال این عملگر بر نقاطی با احتمال ادغام نواحی مختلف انجام می‌گیرد. به این ترتیب در هر مرحله از آب‌گیری، در نقاطی از q و با تبعیت از هر دو شرط ذکر شده می‌توان سد را تشکیل داد. پس از انجام مراحل تکرار، برای هر یک از اجزای متصل $q\in Q[n]$ سه حالت زیر وجود دارد:

- اگر $q\cap C[n-1]$ تهی باشد نشان از یک مینیمم جدید دارد.
- اگر $q\cap C[n-1]$ تنها شامل یک جز متصل از $C[n-1]$ باشد نشان‌دهنده قرارگیری q در حوزه آبریز بعضی مینیمم‌های منطقه‌ای است.
- اگر $q\cap C[n-1]$ شامل بیش از یک مولفه متصل از $C[n-1]$ باشد نشان‌دهنده وجود تمام یا بخشی لبه‌های جداکننده حوزه‌های آبریز متصل به هم می‌باشد.

به‌طور کلی به‌منظور پیاده‌سازی این الگوریتم می‌توان به سه روش تبدیل فاصله[۳]، روش گرادیان[۴] و روش کنترل‌شده مبتنی بر علامت‌گذاری[۵] اشاره کرد [۴۴]. مطابق انتظار در ابتدای روند آب‌گیری دو روش تبدیل فاصله و گرادیان، حوزه‌های آبریز بسیار کوچکی تشکیل شده و به‌این ترتیب هنگام ادغام حوزه‌هایی با برچسب یکسان نیز سدهای زیادی ایجاد خواهد شد. به این ترتیب

۱ Catchment Basin
۲ Dam

۳ Distance Transform
۴ Gradient Method
۵ Marker-Controlled

مهم‌ترین مشکل این دو روش را می‌توان قطعه‌بندی بیش از حد تصویر نام برد [۴۴].

از این‌رو به‌منظور کاهش تعداد فراوان مینیمم‌های محلی حاصل از دو روش تبدیل فاصله و گرادیان الگوریتم آب-پخشان و رفع مشکل قطعه‌بندی بیش از حد تصویر، می‌توان با وارد کردن دانش اضافی در روند قطعه‌بندی، تعداد قطعات تصویری تشکیل شده را محدود کرد[۴۶]. در واقع روش کنترل شده مبتنی بر علامت‌گذاری قطعه‌بندی آب‌پخشان با تعریف تعدادی نشانگر می‌تواند روند قطعه‌بندی تصویر را کنترل کند[۴۶]. نشانگر در واقع اجزای متصل متعلق به تصویر است که انتخاب آن می‌تواند براساس مقادیر درجات خاکستری و یا استفاده از توصیف‌گرهای پیچیده‌تری همانند اندازه، شکل، موقعیت، بافت و ... انجام شود[۴۶]. این نشانگر-ها را می‌توان به‌طور کلی در دو دسته داخلی[۱] و خارجی[۲] تقسیم‌بندی نمود. نشانگر خارجی به‌صورت دستی با کشیدن دایره متصل به عارضه موردنظر و نشانگرهای داخلی با ترکیب تکنیک‌هایی شامل آستانه‌گذاری و عملگرهای مورفولوژی به-طور اتوماتیک تعیین می‌شوند[۴۷]. براساس این تصویر نشانه‌گذاری شده، آبگیری از سطح از پیش نشانه‌گذاری شروع شده و به این ترتیب زمانی‌که دو حوزه با برچسب‌های یکسان به‌هم می‌رسند دیگر سدی ایجاد نشده و حوزه‌ها با یکدیگر ادغام می‌گردند. این روش در واقع نشانه‌گذاری برخی از پیکسل‌های تصویر بوده که به‌طور یقین متعلق به ناحیه‌های خاصی می‌باشند. براساس این تصویر نشانه‌گذاری شده، الگوریتم آب‌پخشان مشخص خواهد نمود که دیگر پیکسل‌ها متعلق به کدام یک از نواحی هستند. به طور کلی می‌توان روش فوق را به عنوان یک روش قوی و انعطاف‌پذیر برای قطعه‌بندی عوارض با خطوط بسته و هم‌چنین به‌منظور جلوگیری از قطعه‌بندی بیش از حد الگوریتم آب‌پخشان نام برد [۴۴].

۳-۳-۳- انتخاب ویژگی‌های بهینه به‌منظور تشخیص تغییرات قطعات تصویری

امکان استخراج حجم بالای اطلاعات از داده‌های پلاریمتری، مرحله انتخاب ویژگی را به‌منظور کاهش هزینه محاسباتی، جلوگیری از ایجاد پدیده هیوز و هم‌چنین بهبود عملکرد طبقه‌بندی به‌عنوان یکی از مراحل مهم در روند شناسایی تغییرات مطرح می‌کند [۴۸]. در این پژوهش، روند بهینه‌سازی در انتخاب ویژگی‌های بهینه پلاریمتری از طریق الگوریتم ژنتیک و با درنظرگرفتن معیار بالاترین فاصله Jeffries-Matusita (JM) به دست می‌آید.

(۱): الگوریتم ژنتیک یک روش جستجوی تصادفی براساس روند تکاملی بیولوژیکی می‌باشد. ویژگی مهم روند بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، قابلیت اجرای آن در فضاهای جستجوی بزرگ بدون گیر افتادن در اکسترمم‌های محلی است. از این رو به‌علت احتمال وجود چندین بهینه محلی ناشی از شباهت و وابستگی بین ویژگی‌های استخراجی از داده‌های پلاریمتری، از این الگوریتم می‌توان به‌عنوان روشی مناسب در کاربردهای گوناگونی همانند طبقه‌بندی، انتخاب ویژگی و یا تشخیص تغییرات نام برد [۴۹]. در روند بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک، روند جستجو را به‌طور تصادفی با انتخاب یک جمعیت اولیه متشکل از تعدادی کروموزوم از میان تمامی راه‌حل‌های ممکن آغاز می‌کند که هر راه حل در آن به‌صورت یک رشته از اعداد باینری به‌صورت صفر و یک نمایش داده می-شود. سپس در طول تکامل هر نسل، جمعیت در نسل جدید مطابق با مقدار شایستگی هر کروموزوم و با استفاده از عملگرهای ژنتیکی هم‌چون تقاطع[۳] و جهش[۴] ایجاد می‌گردد و تا زمان فراهم شدن معیار مورد نظر در الگوریتم ژنتیک، کل روند ذکر شده ادامه خواهد یافت [۴۹].

(۲): فاصله Jeffries-Matusita (JM) تاکنون به‌عنوان یکی از شناخته‌شده‌ترین معیارهای فاصله در انتخاب ویژگی‌های بهینه با هدف تفکیک‌پذیری بین کلاسی مورد استفاده قرار گرفته‌است [۵۰]. این معیار فاصله را می‌توان با روابط زیر تعریف نمود [۵۱]:

$$J_{h,k} = \sqrt{2(1-\exp(-B_{h,k}))} \qquad (۴)$$

$$B_{h,k} = \frac{1}{8}(M_h - M_k)^T \left(\frac{C_h + C_k}{2}\right)^{-1}(M_h - M_k) + \frac{1}{2}\ln\left(\frac{\left|\frac{C_h + C_k}{2}\right|}{\sqrt{|C_h||C_k|}}\right) \qquad (۵)$$

[۱] Internal
[۲] External
[۳] Crossover
[۴] Mutation

که h و k اندیس دو کلاس مورد نظر و M_i و C_i به‌ترتیب بیانگر میانگین و کواریانس کلاس i خواهند بود.

رابطه (۴) در بالا با فرض توزیع گوسین برای کلاس‌های مورد نظر تعریف گردیده است. این معیار با به‌دست آوردن بزرگ‌ترین مقدار در فاصله، بهترین تفکیک‌پذیری کلاسی را نتیجه خواهد داد. اگر $J_{h,k}=0$ باشد نشانگر وابستگی کامل بین دو کلاس بوده و از این رو غیر قابل تفکیک خواهند بود. در حالی‌که $J_{h,k}=\sqrt{2}$ استقلال کامل دو کلاس را نشان می‌دهد. هم‌چنین در حالتی دیگر با قرار گرفتن محدوده $J_{h,k}$ بین صفر و $\sqrt{2}$ کلاس‌ها را تا حدودی می‌توان از یکدیگر تفکیک کرد [۵۲]. از دیدگاه ریاضی، افزایش فاصله JM بین دو کلاس تا زمانی ادامه خواهد یافت که فاصله توپولوژیکی (به طور مثال فاصله بین بردار میانگین‌ها) بین آن‌ها متناظر با تفکیک‌پذیری مناسب کلاس‌ها بوده باشد [۵۳]. از این رو با توجه به شباهت آن به پدیده احتمال خطا، فاصله JM معمولا معیار مناسبی در انتخاب ویژگی‌های بهینه خواهد بود [۴۹].

۴- نتایج و بحث

۴-۱- پیش‌پردازش تصاویر

به‌منظور ارزیابی کمی عملکرد فیلترهای متداول از هر دو دیدگاه کاهش اسپکل و حفظ لبه، ابتدا در تصویر مجذور پلاریزاسیون HH حاصل از ماتریس کواریانس، دو منطقه همگن و هم‌چنین دو لبه در جهت‌های افقی و عمودی مشخص گردید. شکل ۶ دو ناحیه همگن (مستطیل‌های سبز رنگ) و دو لبه افقی و قائم (مستطیل‌های بنفش رنگ) را نشان می‌دهد. در ادامه با تعریف ۴ شاخص تعداد دیدهای معادل (ENL)[۱]، نسبت سیگنال به نویز (SNR)[۲]، شاخص حفظ لبه (ESI)[۳] در دو جهت افقی (ESI-H) و قائم (ESI-V) و انجام آنالیز آماری چندمتغیره[۴]، فیلتر Frost با پنجره ۵×۵ و فاکتور میرایی[۵] ۲ به‌عنوان بهترین فیلتر تعیین گردید. جدول ۲ و ۳ به‌ترتیب عملکرد فیلترهای مختلف را در ناحیه‌های همگن کشاورزی ، آبی و هم‌چنین حفظ لبه‌های افقی و عمودی نشان می‌دهند. پس از مرحله فیلترینگ، با انتخاب اتوماتیک ۲۰۰ نقطه کنترل در سطح تصویر و با توزیع یکنواخت در نرم افزار Nest ، co-registering تصاویر با دقت در حد یک پیکسل انجام گرفت.

جدول۲- عملکرد فیلترهای مختلف در ناحیه همگن کشاورزی و حفظ لبه‌های افقی و عمودی

فیلترها	ENL	SNR	ESI-v	ESI-h
Lee 3*3	۳/۳۷۸۹	۱۲/۴۰۵۱	۰/۳۲۲۷	۰/۳۱۸۳
Lee 5*5	۴/۲۰۰۷	۱۱/۱۵۷۱	۰/۲۰۵۷	۰/۱۸۸۷
Gamma 3*3	۳/۳۷۸۹	۱۲/۴۰۵۱	۰/۳۴۵۶	۰/۳۱۸۰
Gamma 5*5	۴/۲۰۰۷	۱۱/۱۵۷۱	۰/۲۱۷۰	۰/۱۷۱۳
Refined Lee 3*3	۵/۵۰۲۶	۱۲/۰۴۷۸	۰/۲۸۱۰	۰/۳۳۱۷
Refined Lee 5*5	۱۲/۲۳۶	۱۰/۹۳۷۷	۰/۱۸۲۲	۰/۲۱۰۷
Frost 3*3 K=2	۳/۳۵۹۳	۱۲/۶۲۵۰	۰/۳۵۶۴	۰/۳۴۷۶
Frost 3*3 K=10	۳/۱۲۰۵	۱۳/۹۸۹۰	۰/۷۰۱۸	۰/۵۰۹۱
Frost 5*5 K=2	۴/۱۷۴۰	۱۱/۳۷۰۰	۰/۳۴۶۸	۰/۲۵۴۷
Frost 5*5 K=10	۳/۸۱۳۶	۱۲/۷۱۱۳	۰/۷۵۸۸	۰/۴۳۶۸

جدول۳- عملکرد فیلترهای مختلف در ناحیه همگن آب و حفظ لبه‌های افقی و عمودی

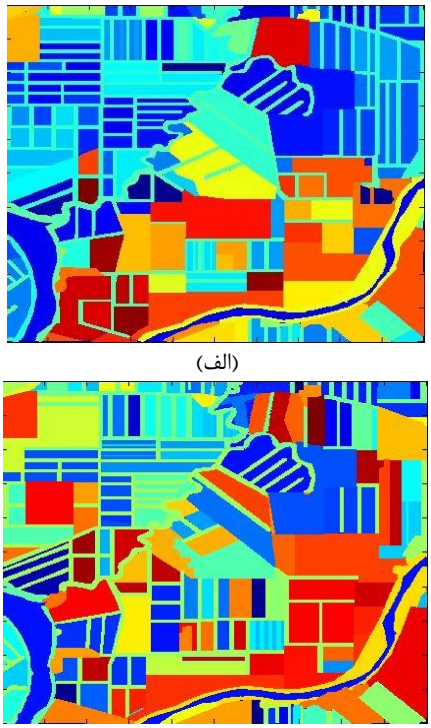
فیلترها	ENL	SNR	ESI-v	ESI-h
Lee 3*3	۷/۶۰۸۵	۱۲/۲۸۴۳	۰/۳۲۲۷	۰/۳۱۸۳
Lee 5*5	۱۴/۷۴۷۰	۱۱/۰۵۹۹	۰/۲۰۵۷	۰/۱۸۸۷
Gamma 3*3	۷/۶۲۷۸	۱۲/۲۸۷۳	۰/۳۴۵۶	۰/۳۱۸۰
Gamma 5*5	۱۴/۷۵۸۸	۱۱/۰۶۰۷	۰/۲۱۷۰	۰/۱۷۱۳
Refined Lee 3*3	۲/۴۹۵۸	۱۲/۲۰۳۴	۰/۲۸۱۰	۰/۳۳۱۷
Refined Lee 5*5	۱۰/۱۲۶۷	۱۱/۰۶۲۱	۰/۱۸۲۲	۰/۲۱۰۷
Frost 3*3 K=2	۶/۷۱۷۸	۱۲/۵۷۳۸	۰/۳۵۶۴	۰/۳۴۷۶
Frost 3*3 K=10	۲/۵۱۳۷	۱۴/۱۴۵۷	۰/۷۰۱۸	۰/۵۰۹۱
Frost 5*5 K=2	۱۰/۸۶۱۷	۱۱/۳۸۹۷	۰/۳۴۶۸	۰/۲۵۴۷
Frost 5*5 K=10	۲/۷۳۷۷	۱۲/۸۶۳۹	۰/۷۵۸۸	۰/۴۳۶۸

۱ Equivalent number of looks (ENL)
۲ Signal-to-noise ratio (SNR)
۳ Edge save index (ESI)
٤ Multivariate
٥ Damping factor

شکل۶- نمایش دو منطقه همگن و لبه‌های افقی و عمودی انتخابی

۴-۲- قطعه‌بندی تصاویر

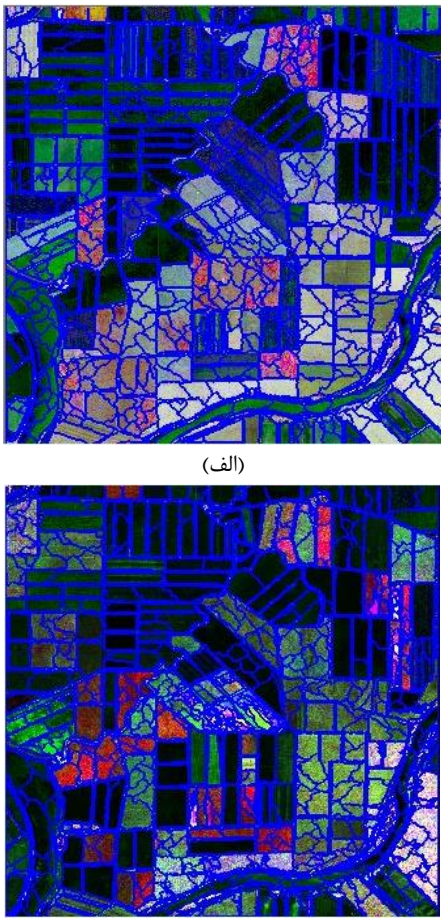
در این مرحله قطعه‌بندی هر دو تصویر پلاریمتری با استفاده از نسخه ۳ OpenCV (کتابخانه متن باز شامل الگوریتم‌های بهینه‌سازی تحلیل تصویر و ویدیو) و در محیط‌های توسعه مایکروسافت ویژوال++C انجام شده است. در روش قطعه‌بندی پیشنهادی، تصویر ترکیب رنگی حاصل از سه ویژگی تجزیه ناهمدوس VanZyl براساس مکانیزم‌های پراکنشی پایه شامل پراکنش زوج، فرد و پراکنش پراکنده به‌عنوان ورودی روش قطعه‌بندی انتخاب گردید. پس از قطعه‌بندی، در تصویر اول ۱۷۸ قطعه و در تصویر دوم ۱۶۰ قطعه حاصل شد. شکل ۷ نتایج قطعه‌بندی دو تصویر را با استفاده از این الگوریتم نشان می‌دهد. در ادامه نتایج الگوریتم قطعه‌بندی پیشنهادی با دو الگوریتم قطعه‌بندی متداول آب‌پخشان و هم‌چنین چندمقیاسه به‌عنوان یکی از مطرح‌ترین روش‌های قطعه‌بندی در نرم‌افزار eCognition Developer مقایسه شده است. در روش چندمقیاسه با سعی و خطا و انجام آزمایش‌های متعدد، پارامترهای مناسب قطعه‌بندی تصویر پلاریمتری اول با مقادیر شکل ۰/۸، فشردگی ۰/۲ و مقیاس ۳۰ و قطعه‌بندی تصویر دوم با مقادیر ۰/۷، ۰/۳ و ۳۵ به‌ترتیب برای پارامترهای شکل، فشردگی و مقیاس انتخاب شده است. شکل ۸ و ۹ به‌ترتیب نتایج قطعه‌بندی تصاویر را با الگوریتم چندمقیاسه و آب‌پخشان نشان می‌دهند.



(الف)

(ب)

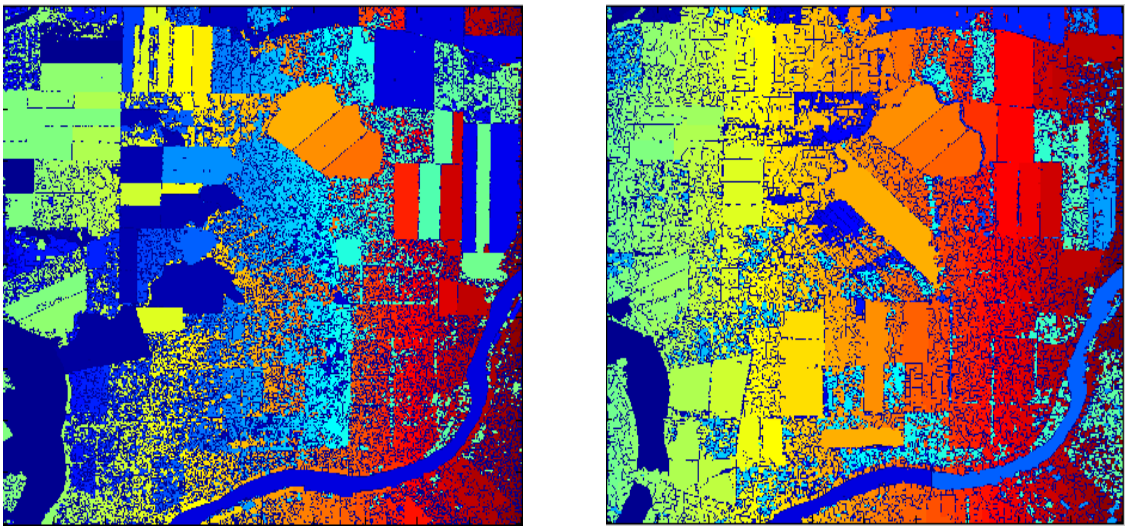
شکل۷- نتایج قطعه‌بندی. (الف) تصویر اول، (ب) تصویر دوم



(الف)

(ب)

شکل۸- نتایج قطعه‌بندی چندمقیاسه. (الف) تصویر اول، (ب) تصویر دوم



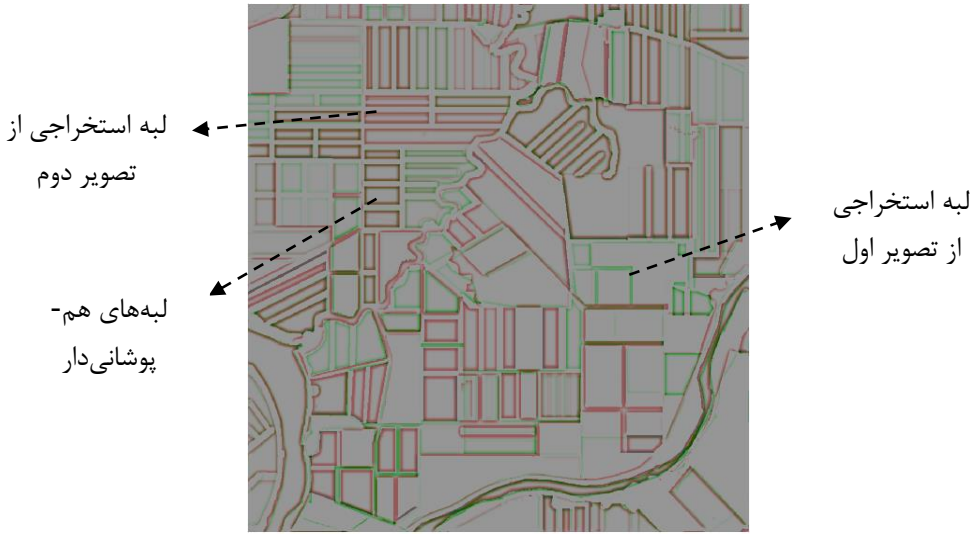
(الف) (ب)

شکل۹- نتایج قطعه‌بندی الگوریتم متداول آب‌پخشان. (الف) تصویر اول، (ب) تصویر دوم

همان‌طور که در نتایج حاصل از الگوریتم‌های متفاوت قطعه‌بندی دیده می‌شود، الگوریتم قطعه‌بندی بهبودیافته آب‌پخشان با استفاده از تصویر نشانه‌گذاری شده، توانسته از قطعه‌بندی بیش از حد تصویر جلوگیری کرده و کارایی آنالیز قطعه‌بندی را به میزان قابل توجهی افزایش دهد.

پس از قطعه‌بندی هر دو تصویر، می‌توان قطعات متناظر در تصاویر را از دو دیدگاه تغییر مرز و دیگری تغییر یا عدم تغییر هر یک از قطعات بررسی کرد. در این تحقیق، با استخراج لبه‌های هر دو تصویر قطعه‌بندی شده توسط عملگر تشخیص لبه تفاضل گوسی[1] و هم‌پوشانی آن‌ها با یکدیگر، تغییرات صورت گرفته در مرزها نمایش داده شده است. شکل ۱۰ نتایج تغییرات مرز مناطق کشاورزی در دو تصویر را نشان می‌دهد. در این شکل می‌توان لبه‌های حاصل از تصویر اول و دوم را به‌ترتیب با رنگ‌های سبز و قرمز و هم‌چنین لبه‌های هم‌پوشانی دار را مشاهده کرد.

همان‌طور که شکل ۱۰ نشان می‌دهد تغییرات در مرزها را می‌توان با هم‌پوشانی نتایج حاصل از قطعه‌بندی دو تصویر نمایش داد. اما این روش توانایی تشخیص تغییر و یا عدم تغییر در قطعات متناظر را نخواهد داشت. از این رو ارائه تکنیکی به‌منظور تشخیص قطعات تغییر یافته ضرورت می‌یابد.



شکل۱۰- تغییرات مرز ایجاد شده در منطقه

[1] Difference of Gaussian (DoG)

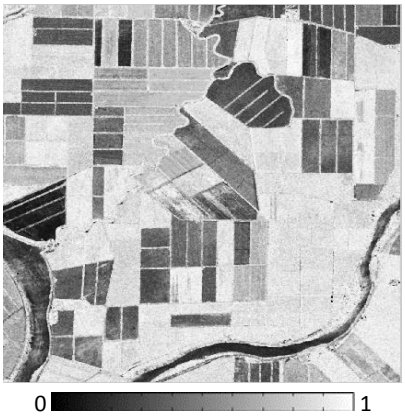
۴-۳- استخراج ویژگی‌های تفاضلی بهینه

از میان انواع مختلف ویژگی‌های تصاویر پلاریمتری، در این پژوهش ۳۴ ویژگی شامل ویژگی‌های اصلی، تجزیه و تفکیک‌کننده‌های PolSAR مطابق جدول ۴ تعیین گردید. در مرحله بعد با استخراج ویژگی‌های ذکر شده در جدول از هر دو تصویر و محاسبه تفاضل آن‌ها، الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک، در نهایت ده ویژگی تفاضلی Span، RVI، Entropy، HA، (1-H)(1-A)، $Vanzyl_{odd}$، T_{33}، T_{22}، C_{33} و C_{11} را با معیار بالاترین فاصله JM به‌منظور تفکیک‌پذیری دو کلاس تغییر یافته/ نیافته انتخاب کرد. چند نمونه از این ویژگی‌های اختلاف در شکل ۱۱ نشان داده شده است. هم‌چنین در پارامترهای اجرایی الگوریتم ژنتیک، برای جمعیت اولیه ۱۰۰ کروموزوم، احتمال تقاطع و جهش به‌ترتیب ۰/۸ و ۰/۰۵ و هم‌چنین تعداد تکرار تولید نسل مقدار ۲۰۰ در نظر گرفته شد.

در ادامه میانگین پیکسل‌های قطعات همگن حاصل از قطعه‌بندی هر تصویر در تمامی این ۱۰ ویژگی بهینه محاسبه شده و سپس تفاضل میانگین آن‌ها در قطعات متناظر دو تصویر به‌دست می‌آید. در نهایت به‌منظور تشخیص تغییرات باینری در منطقه، از طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان (SVM) با نوع کرنل RBF و مقادیر دو پارامتر C=100 و γ ۰/۱= استفاده گردید که مقادیر دقت طبقه‌بندی باینری و ضریب کاپا حاصل از آن به‌ترتیب برابر با ۹۲/۴۰ درصد و ۰/۸۵ می‌باشد.

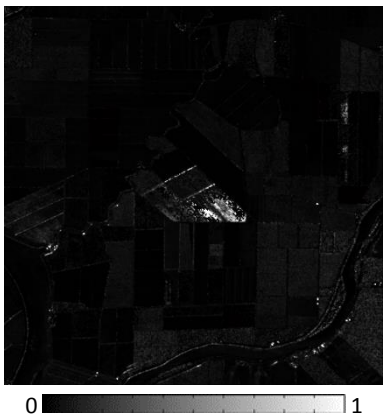
هم‌چنین این روش پیشنهادی با روش طبقه‌بندی باینری پیکسل‌مبنا حاصل از ۱۰ ویژگی تفاضلی بهینه نیز مقایسه شده است که دقت طبقه‌بندی و ضریب کاپا حاصل از این روش به‌ترتیب مقادیر ۷۸/۶۱ درصد و ۰/۵۸ به‌دست آمده است. دو جدول ۵ و ۶ به‌ترتیب ماتریس خطای حاصل از هر دو روش را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد آشکارسازی تغییرات در سطح قطعات تصویری و استفاده از تفاضل میانگین مقادیر پیکسل‌ها در ۱۰ ویژگی بهینه و در قطعات متناظر توانسته است به‌طور چشم‌گیری از ایجاد هشدارهای اشتباه در نتایج بکاهد. نتایج به‌دست آمده در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ نشان می‌دهند که ارائه الگوریتم پیشنهادی قطعه‌بندی بهبودیافته آب‌پخشان با وجود دیگر روش‌های مطرح قطعه‌بندی توانسته است علاوه بر به‌کارگیری اطلاعات مکانی، متنی و کاهش اثر اسپکل‌ها در تصاویر پلاریمتری، از قطعه‌بندی بیش از حد تصویر به‌عنوان یکی از مشکلات اساسی مطرح در نخستین مرحله آنالیز شی‌مبنا جلوگیری کرده و کارایی آنالیز قطعه‌بندی را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشد. هم‌چنین روش پیکسل‌مبنا با وجود انتخاب چهار شاخص، انجام آنالیز آماری چندمتغیره و تعیین بهترین فیلتر در کاهش اسپکل و حفظ لبه، در مقایسه با روش پیشنهادی، هم‌چنان نتایج ضعیفی را در آشکارسازی تغییرات به‌همراه داشته است. شکل ۱۲ تصویر طبقه‌بندی شده باینری به‌صورت تغییر یافته/ نیافته را حاصل از هر دو روش پیکسل‌مبنا و شی‌مبنا نشان می‌دهد.



Entropy

Rvi



Vanzyl-Odd

جدول۴- کل پارامترهای پلاریمتری استخراج شده

جدول۴- کل پارامترهای پلاریمتری استخراج شده

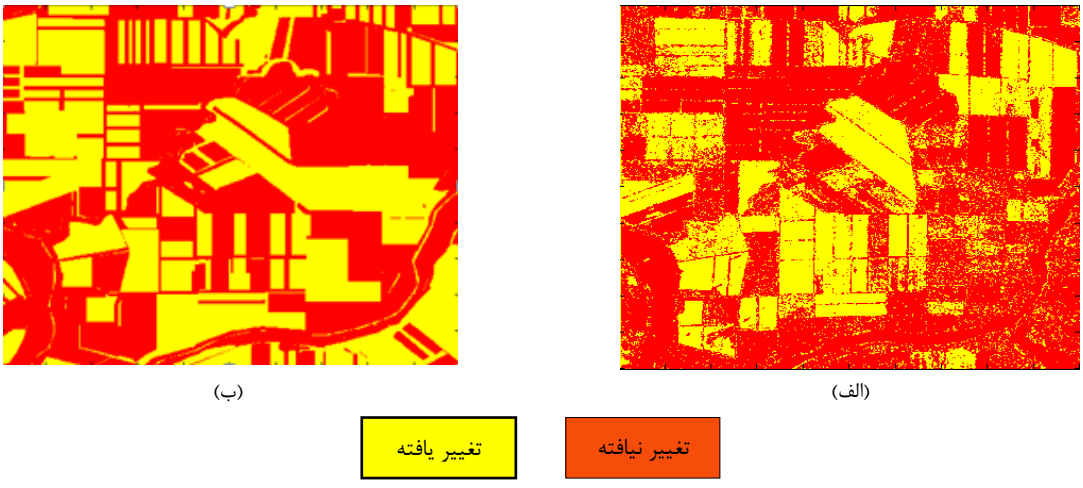
ویژگی	توصیف	نماد	تعداد
ویژگی‌های اصلی	المان‌های دامنه ماتریس همبستگی	$\|T_{11}\|,\|T_{12}\|,\|T_{13}\|,\|T_{22}\|,\|T_{23}\|,\|T_{33}\|$	۶
	المان‌های دامنه ماتریس کواریانس	$\|C_{11}\|,\|C_{12}\|,\|C_{13}\|,\|C_{22}\|,\|C_{23}\|,\|C_{33}\|$	۶
ویژگی‌های تجزیه	Freeman-Durden	Odd, Dbl, Vol	۳
	VanZyl	Odd, Dbl, Vol	۳
	Cloude Pottier	Alpha, H, A, HA,RVI, Pedestal Height, $(1-H)(1-A), 1-3p3^{1}, H(1-A)$	۹
تفکیک کننده‌های PolSAR	Span	Span	۱
	Correlation Coefficients	$CCC^{2}, Ro_{12}, Ro_{13}, Ro_{23}$	۴
	Degree of Purity	DoP	۱
	Depolarization Index	DI	۱

جدول۵- ماتریس خطای طبقه‌بندی باینری حاصل از روش پیکسل‌مبنا

	داده‌های زمینی			
	کلاس	تغییریافته	تغییرنیافته	دقت کاربر (٪)
تصویر طبقه‌بندی شده	تغییریافته	۳۸۶	۲۹	۹۳/۰۱
	تغییرنیافته	۱۶۸	۳۳۸	۶۶/۸۰
	دقت تولیدکننده (٪)	۶۹/۶۸	۹۲/۱	
دقت کلی: ۷۸/۶۱ درصد		ضریب کاپا: ۰/۵۸		

جدول۶- ماتریس خطای طبقه‌بندی باینری حاصل از روش شی‌مبنا

	داده‌های زمینی			
	کلاس	تغییریافته	تغییرنیافته	دقت کاربر (٪)
تصویر طبقه‌بندی شده	تغییریافته	۴۸۴	۰	۱۰۰
	تغییرنیافته	۷۰	۳۶۷	۸۳/۹۸
	دقت تولیدکننده (٪)	۸۷/۳۶	۱۰۰	
دقت کلی: ۹۲/۴۰ درصد		ضریب کاپا: ۰/۸۵		



شکل۱۲- (الف) روش پیکسل‌مبنا، (ب) روش پیشنهادی

۱ polarization asymmetry
۲ Circular polarization correlation coefficient

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

هدف از این پژوهش، ارائه روشی نوین در تشخیص تغییرات تصاویر PolSAR می‌باشد. در روش پیشنهادی، ترکیب روش شی‌مبنا و ویژگی‌های بهینه پلاریمتری توانسته است در مقایسه با روش پیکسل‌مبنا، نتایج آشکارسازی تغییرات را از هر دو دیدگاه تغییر مرز و تعیین قطعات تغییریافته/تغییر نیافته به‌طور قابل توجهی بهبود بخشد. از طرف دیگر به‌کارگیری الگوریتم قطعه‌بندی بهبودیافته آب‌پخشان به‌عنوان نخستین قدم آنالیز شی-مبنا، علاوه بر درنظرگرفتن اطلاعات مکانی، متنی و کاهش اثر اسپکل، به‌علت سادگی ذاتی، سرعت بالای پیاده‌سازی آن، استفاده از نشانه‌گذاری برخی از پیکسل‌های تصویر و جلوگیری از قطعه‌بندی بیش از حد تصویر توانسته است اثر بسزایی در بهبود دقت تشخیص تغییرات باینری تصاویر پلاریمتری داشته باشد. به گونه‌ای که مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی با روش پیکسل‌مبنا، نشان از افزایش ۱۳/۷۹ درصد و ۰/۲۷ در دقت طبقه‌بندی و ضریب کاپا دارد.

در ادامه در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود نتایج حاصل از اضافه‌کردن اطلاعات لبه از طریق قطعه‌بندی مرزمبنا و تلفیق آن با روش قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا بهبود یافته آب‌پخشان به‌منظور بهبود هرچه بیش‌تر عملکرد قطعه‌بندی و به‌تبع آن دست یافتن به دقت بالای آشکارسازی تغییرات بررسی و ارزیابی گردد.

مراجع

[1] A. Singh, "Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data," International Journal of Remote Sensing, vol. 10, pp. 989-1003, 1989.

[2] F. Bovolo and L. Bruzzone, "A detail-preserving scale-driven approach to change detection in multitemporal SAR images," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 43, pp. 2963-2972, 2005.

[3] D. Lu, P. Mausel, E. Brondízio, and E. Moran, "Change detection techniques," International Journal of Remote Sensing, vol. 25, pp. 2365-2401, 2004.

[4] F. Baselice, G. Ferraioli, and V. Pascazio, "Markovian Change Detection of Urban Areas Using Very High Resolution Complex SAR Images," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 11, pp. 995-999, 2014.

[5] S.-E. Park, Y. Yamaguchi, and D.-j. Kim, "Polarimetric SAR remote sensing of the 2011 Tohoku earthquake using ALOS/PALSAR," Remote Sensing of Environment, vol. 132, pp. 212-220, 2013.

[6] A. A. Nielsen, H. Skriver, and K. Conradsen, "Complex Wishart Distribution Based Analysis of Polarimetric Synthetic Aperture Radar Data," in Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images, 2007. MultiTemp 2007. International Workshop on the, 2007, pp. 1-6.

[7] M. Hussain, D. Chen, A. Cheng, H. Wei, and D. Stanley, "Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 80, pp. 91-106, 2013.

[8] X. Shi, L. Lu, S. Yang, G. Huang, and Z. Zhao, "OBJECT-ORIENTED CHANGE DETECTION BASED ON WEIGHTED POLARIMETRIC SCATTERING DIFFERENCE ON POLSAR IMAGES," ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 1, pp. 149-154, 2015.

[9] U. C. Benz, P. Hofmann, G. Willhauck, I. Lingenfelder, and M. Heynen, "Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 58, pp. 239-258, 2004.

[10] J. Inglada and G. Mercier, "A New Statistical Similarity Measure for Change Detection in Multitemporal SAR Images and Its Extension to Multiscale Change Analysis," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 45, pp. 1432-1445, 2007.

[11] Z. Qi and A.-O. Yeh, "Integrating Change Vector Analysis, Post-Classification Comparison, and Object-Oriented Image Analysis for Land Use and Land Cover Change Detection Using RADARSAT-2 Polarimetric SAR Images," in Advances in Spatial Data Handling, S. Timpf and P. Laube, Eds., ed: Springer Berlin Heidelberg, pp. 107-123, 2013.

[12] M. Liu, H. Zhang, C. Wang, and F. Wu, "Change Detection of Multilook Polarimetric SAR Images Using Heterogeneous Clutter Models," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 52, pp. 7483-7494, 2014.

[13] N. Goodman, "Statistical analysis based on a certain multivariate complex Gaussian distribution (an introduction)," The Annals of mathematical statistics, vol. 34, pp. 152-177, 1963.

[14] L. Bombrun, G. Vasile, M. Gay, and F. Totir, "Hierarchical Segmentation of Polarimetric SAR Images Using Heterogeneous Clutter Models," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 49, pp. 726-737, 2011.

[15] V. Akbari, S. N. Anfinsen, A. P. Doulgeris, and T. Eltoft, "The Hotelling-Lawley trace statistic for change detection in polarimetric SAR data under the complex Wishart distribution," in 2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS, pp. 4162-4165,2013.

[16] P. R. Kersten, J. S. Lee, and T. L. Ainsworth, "A comparison of change detection statistics in POLSAR images," in Proceedings. 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05., pp. 4836-4839, 2005.

[17] S. N. Anfinsen, R. Jenssen, and T. Eltoft, "Spectral clustering of polarimetric SAR data with Wishart-derived distance measures," in Proc. POLinSAR, 2007.

[18] M. Ghanbari, V. Akbari, A. A. Abkar, and M. R. Sahebi, "Minimum-Error Thresholding for Unsupervised Change Detection in Multilook Polarimetric SAR Images," Journal of Geomatics Science and Technology, vol. 5, pp. 17-29, 2015.

[19] G. Camps-Valls, L. Gomez-Chova, J. Munoz-Mari, J. L. Rojo-Alvarez, and M. Martinez-Ramon, "Kernel-Based Framework for Multitemporal and Multisource Remote Sensing Data Classification and Change Detection," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 46, pp. 1822-1835, 2008.

[20] C. H. Chen, Image Processing for Remote Sensing: CRC Press, 2007.

[21] O. Ahlqvist, "Extending post-classification change detection using semantic similarity metrics to overcome class heterogeneity: A study of 1992 and 2001 US National Land Cover Database changes," Remote Sensing of Environment, vol. 112, pp. 1226-1241, 2008.

[22] J.-S. Lee, M. R. Grunes, and R. Kwok, "Classification of multi-look polarimetric SAR imagery based on complex Wishart distribution," International Journal of Remote Sensing, vol. 15, pp. 2299-2311, 1994.

[23] J.-S. Lee, M. R. Grunes, and R. Kwok, "Classification of multi-look polarimetric SAR imagery based on complex Wishart distribution," International Journal of Remote Sensing, vol. 15, pp. 2299-2311, 1994.

[24] Z. Qi, A. G.-O. Yeh, X. Li, and X. Zhang, "A three-component method for timely detection of land cover changes using polarimetric SAR images," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 107, pp. 3-21, 2015.

[25] Y. Zhang, J. Zhang, X. Zhang, H. Wu, and M. Guo, "Land Cover Classification from Polarimetric SAR Data Based on Image Segmentation and Decision Trees," Canadian Journal of Remote Sensing, vol. 41, pp. 40-50, 2015.

[26] S. Nussbaum and G. Menz, Object-based image analysis and treaty verification: new approaches in remote sensing-applied to nuclear facilities in Iran: Springer Science & Business Media, 2008.

[27] Z. Li, G. Liu, D. Zhang, and Y. Xu, "Robust single-object image segmentation based on salient transition region," Pattern Recognition, vol. 52, pp. 317-331, 2016.

[28] R. Touzi, A. Lopes, and P. Bousquet, "A statistical and geometrical edge detector for SAR images," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 26, pp. 764-773, 1988.

[29] R. Fjortoft, A. Lopes, P. Marthon, and E. Cubero-Castan, "An optimal multiedge detector for SAR image segmentation," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 36, pp. 793-802, 1998.

[30] C. J. Oliver and P. Lombardo, "Simultaneous mean and texture edge detection in SAR clutter," IEE Proceedings - Radar, Sonar and Navigation, vol. 143, pp. 391-399, 1996.

[31] J. Schou, W. Dierking, and H. Skriver, "Tensor based structure estimation in multi-channel images," in Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000. Proceedings. IGARSS 2000. IEEE 2000 International, 2000, pp. 663-665 vol.2.

[32] L. Jong-Sen, M. R. Grunes, and G. d. Grandi, "Polarimetric SAR speckle filtering and its implication for classification," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 37, pp. 2363-2373, 1999.

[33] J. Schou, H. Skriver, A. A. Nielsen, and K. Conradsen, "CFAR edge detector for polarimetric SAR images," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 41, pp. 20-32, 2003.

[34] L. Grady and E. L. Schwartz, "Isoperimetric graph partitioning for image segmentation," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 28, pp. 469-475, 2006.

[35] J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-8, pp. 679-698, 1986.

[36] B. Peng, L. Zhang, and D. Zhang, "A survey of graph theoretical approaches to image segmentation," Pattern Recognition,vol.46,pp.1020-1038,2013.

[37] P. Yu, A. K. Qin, and D. A. Clausi, "Unsupervised Polarimetric SAR Image Segmentation and Classification Using Region Growing With Edge Penalty," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 50, pp. 1302-1317, 2012.

[38] F. Cao, W. Hong, Y. Wu, and E. Pottier, "An Unsupervised Segmentation With an Adaptive Number of Clusters Using the SPAN/H/α/A Space and the Complex Wishart Clustering for Fully Polarimetric SAR Data Analysis," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 45, pp. 3454-3467, 2007.

[39] A. Rezaeian, S. Homayouni, and A. Safari, "SEGMENTATION OF POLARIMETRIC SAR IMAGES USIG WAVELET TRANSFORMATION AND TEXTURE FEATURES," Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., vol. XL-1/W5, pp. 613-617, 2015.

[40] Definiens. Definiens eCognition ٨/١/٠ reference book. Munich, Germany: Definiens AG. 2010.

[41] J. Tian and D. M. Chen, "Optimization in multi-scale segmentation of high-resolution satellite images for artificial feature recognition," International Journal of Remote Sensing, vol. 28, pp. 4625-4644, 2007/10/20 2007.

[42] F. Zhen, L. Fan, C. Wang, H. Zhang, M. Liu, and B. Zhang, "AN IMPROVED SIMILARITY-CONSTRAIN REGION-BASED SEGMENTATION AND IT'S APPLICATION IN SAR IMAGE CLASSIFICATION."IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014.

[43] S. Singh and R. Talwar, "Effects of topographic corrections on MODIS sensor satellite imagery of mountainous region," in Signal Processing and Communication (ICSC), 2013 International Conference on, pp. 455-460,2013.

[44] Amandeep Kaur, Aayushi, "Image Segmentation Using Watershed Transform, "International Journal of Soft Computing and Engineering (IJDCE), Vol.4, pp.5-8,2014.

[45] Steve Eddins, MathWorks, "The Watershed Transform:Strategies for Image Segmentation," http://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/the-watershed-transform-strategies-for-image-ssegmentation.html

[46] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing: Pearson Education, 2011.

[47] Amanpreet Kaur, Ashish Verma, Ssiet, Derabassi "The marker-Based Watershed Segmentation-A Review,"International Journal of Engineering and Innovative technology (IJEIT), Vol.3, pp.171-174, 2013.

[48] M. Salehi, M. R. Sahebi, and Y. Maghsoudi, "Improving the Accuracy of Urban Land Cover Classification Using Radarsat-2 PolSAR Data," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 7, pp. 1394-1401, 2014.

[49] Y. Chen, X. Zhao, and Z. Lin, "Optimizing Subspace SVM Ensemble for Hyperspectral Imagery Classification," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 7, pp. 1295-1305, 2014.

[50] S. B. Serpico and L. Bruzzone, "A new search algorithm for feature selection in hyperspectral remote sensing images," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 39, pp. 1360-1367, 2001.

[51] D. P. Santos and J. B. Neto, "Feature selection with equalized salience measures and its application to segmentation," in Computer Graphics and Image Processing, 2007. SIBGRAPI 2007. XX Brazilian Symposium on, pp. 253-262,2007.

[52] P. R. Marpu, P. Gamba, and I. Niemeyer, "Hyperspectral data classification using an ensemble of class-dependent neural networks," in 2009 First Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing, pp. 1-4,2009.

[53] L. Bruzzone and S. B. Serpico, "A technique for feature selection in multiclass problems,"International Journal of RemoteSensing,vol.21,pp.549-563,2000