نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال پنجم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۶

Vol.5, No.1, Spring 2017

۲۱-۳۷

آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات از تصاویر چندزمانه SAR مبتنی بر ادغام خوشه‌بندی و مدل منحنی فعال

آرمین مقیمی*[۱]، صفا خزائی[۲]، حمید عبادی[۳]

۱- کارشناس ارشد فتوگرامتری، دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

۲- استادیار، مرکز تحقیقات عمران و سازندگی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۳- دانشیار، دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی و عضو قطب علمی سیستم اطلاعات جغرافیایی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۰۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۱۲

چکیده

در این تحقیق روشی جهت آشکارسازی نظارت‌نشده‌ی تغییرات در تصاویر چندزمانه SAR مبتنی بر ادغام خوشه‌بندی و مدل منحنی فعال ارائه‌شده است. در این روش، با استفاده از فیلتر گابور، در مقیاس و در جهات مختلف، اطلاعات بافتی تصویر استخراج می‌گردد و جهت کاهش وابستگی میان ویژگی‌های استخراجی و اطلاعات تصاویر، از آنالیز مؤلفه اصلی با هسته کرنل (KPCA) استفاده می‌شود. همچنین، برای تولید تصویر اختلاف از تبدیل موجک گسسته و به‌منظور تولید منحنی اولیه برای مدل منحنی فعال از خوشه‌بندی گوستافسون کِسل (GKC) استفاده می‌شود. در نهایت از مدل منحنی فعال ناحیه مبنای غیر پارامتریک برای تولید نقشه تغییرات، مبتنی بر مناطق تغییریافته و تغییرنیافته، استفاده می‌شود. جهت ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی دو مجموعه تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه با قدرت تفکیک مکانی بالا از سنجنده TerraSAR-x در نظر گرفته‌شده است. نتایج تجربی آشکارسازی تغییرات نشان می‌دهد که برای مجموعه داده اول میزان نرخ خطای کلِ روش پیشنهادی نسبت به مدل چان وِس(Chan–Vese)، روش زنجیره تصادفی مارکوف (MRF) و ادغام زنجیره مخفی تصادفی مارکوف و بیشینه‌سازی امید ریاضی (EMHMRF) به ترتیب ۴/۹۵ درصد، ۳/۳۰ درصد و ۳/۳۴ درصد کاهش‌یافته است و برای مجموعه داده دوم میزان نرخ خطای کل روش پیشنهادی نسبت به مدل Chan–Vese، روش MRF و EMMRF به ترتیب ۲/۵۶ درصد، ۱/۸۶ درصد و ۱/۸۷ درصد کاهش‌یافته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش خوشه‌بندی GKC موجب تولید منحنی اولیه با حداقل زمان همگرایی برای مدل منحنی فعال گشته و استفاده از مدل منحنی فعال موجب افزایش دقت تولید نقشه تغییرات با استفاده از فرآیندی تکراری شده است.

کلید واژه‌ها: تصاویر چندزمانه راداری، فیلتر گابور، خوشه‌بندی GKC، مدل منحنی فعال،SAR

* نویسنده مکاتبه کننده: آرمین مقیمی، آدرس پستی: ایران، تهران، خیابان ولیعصر،بالاتر از میدان ونک، تقاطع میرداماد، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک

تلفن: ۰۹۱۰۹۲۶۱۱۳۳

Email : moghimi.armin@gmail.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]

۱- مقدمه

آشکارسازی تغییرات یکی از کاربردهای مهم سنجش‌ازدور است، که در آن به پردازش و معرفی اختلاف بین مناطق مختلف در تصاویر هوایی و ماهواره‌ای چند زمانه می‌پردازند[۱]. آشکارسازی تغییرات در سنجش‌ازدور به دو روش نظارت‌شده و نظارت‌نشده صورت می‌گیرد [۲، ۳]. روش‌های نظارت‌نشده، برخلاف روش‌های نظارت‌شده، جهت یادگیری کلاس‌ها نیاز به نمونه‌های آموزشی[۱] ندارند [۴]. استفاده از آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات، مربوط به زمانی است که حصول نقشه دودویی تغییرات که تنها محل تغییرات را نشان می‌دهد کافی بوده و نیازی به استخراج نقشه ماهیت تغییرات[۲] نیست. آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات، حساسیت بالایی به شرایط حاکم بر تصویربرداری دارند و نرمالیزاسیون رادیومتریکی[۳] از مراحل اجتناب‌ناپذیر در آن‌ها می‌باشد. سرعت بالا و هزینه محاسباتی کم از جمله خصوصیات این روش‌ها است.

آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات از سه مرحله اصلی تشکیل‌شده است. مرحله اول پیش‌پردازش، مرحله دوم تولید تصویر اختلاف[۴] و مرحله سوم شامل تولید نقشه دودویی[۵] تغییرات با استفاده از الگوریتم‌های تصمیم‌گیری است [۵]. اکثر روش‌های آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات براساس بهبود روش‌های تولید تصویر اختلاف و الگوریتم‌های تصمیم‌گیری است [۲]. کِلیک[۶] [۲]، جهت آشکارسازی تغییرات نظارت‌نشده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از روشی مبتنی بر تبدیل آنالیز مولفه اصلی[۷] (PCA) و روش خوشه‌بندی K-Means با k=۲ استفاده نمود. استفاده از تبدیل PCA موجب کاهش نوفه تصویر اختلاف می‌شود و در نهایت نقشه دودویی تغییرات با کیفیت بالاتری تعیین می‌شود. این تبدیل زمانی می‌تواند نتایج خوبی را در بر داشته باشد که بین ویژگی‌های تصویر وابستگی خطی وجود داشته باشد. وُلپی[۸] و همکارانش [۶] جهت آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از روشی مبتنی بر آنالیز بردار تغییرات و روش خوشه‌بندی کرنلی استفاده نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که استفاده از تبدیل خوشه‌بندی کرنلی نسبت به استفاده از خوشه‌بندی ساده و روش‌های مبتنی بر حدآستانه‌گذاری موجب کاهش نوفه در تولید نقشه تغییرات می‌شود. تعیین نوع کرنل، خود وابسته به داده‌های ورودی جهت آشکارسازی تغییرات است و ممکن است با تغییر داده‌ها نوع کرنل نیز تغییر کند. همچنین تعیین پارامترهای مناسب کرنل برای این روش‌ها خود از جمله چالش‌های مهم این روش‌ها است. مقیمی و همکارانش [۷]، جهت آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات تصاویر راداری، از روشی مبتنی بر ادغام خوشه‌بندی c میانگین فازی[۹] (FCM) و زنجیره مخفی تصادفی مارکوف به کمک الگوریتم ژنتیک[۱۰] استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که استفاده از الگوریتم ژنتیک، موجب انتخاب بهینه پارامتر فازی ساز در خوشه‌بندی FCM می‌شود و استفاده از زنجیره مخفی تصادفی مارکوف موجب بهبود نتایج کلی آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات با در نظر گرفتن اطلاعات مکانی می‌شود. وابستگی این روش به پارامتر اثر همسایگی و نیاز به دانش اولیه از توزیع داده‌ها در تصویر اختلاف از جمله محدودیت‌های این روش می‌باشد. قنبری و همکارانش [۸]، یک روش نظارت‌نشده جهت آشکارسازی تغییرات

[1] Training samples
[2] "From to" change map
[3] Radiometric normalization
[4] Difference image
[5] Binary
[6] Celik
[7] Principal component analysis
[8] Volpi
[9] Fuzzy c-means
[10] Genetic algorithm

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]

با استفاده از تصاویر پلاریمتری رادار با روزنه ترکیبی مبتنی بر الگوریتم حد آستانه‌گذاری کمینه خطا ارائه کردند. نیاز به تابع توزیع مناسب و همپوشانی بین مناطق تغییریافته و تغییرنیافته از جمله مواردی است که باید در آشکارسازی تغییرات با استفاده از الگوریتم حد آستانه گذاری کمینه خطا در نظر گرفته شوند. اخیراً روش‌های موثری در زمینه آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات بر مبنای بخش‌بندی[1] تصویر اختلاف با استفاده از مدل منحنی فعال ارائه‌شده است که نسبت به سایر روش‌ها دارای عملکرد بهتری است [۹، ۱۰]. بازِی[2] و همکارانش [۹] از بخش‌بندی چندمقیاسه[3] در جهت آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات از داده‌های سنجش‌ازدوری استفاده نمونه. در فرآیند بخش‌بندی چند مقیاسه، تصویر اختلاف با استفاده از فرآیندی تکراری در دو مقیاس و دو جهت، پایین نمونه‌برداری[4] می‌شود؛ بنابراین در مرحله اول نقشه دودویی تغییرات به‌وسیله بخش‌بندی چندمقیاسه تولید می‌شود و در مرحله دوم نتایج بخش‌بندی با فاکتور دو و در دو جهت تغییرمقیاس داده و به‌عنوان بخش‌بندی اولیه جهت برآوردی از آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات برای قدرت تفکیک مکانی بهتر بکار می‌رود. این فرآیند تا زمانی ادامه می‌یابد که بخش‌بندی نهایی از نظر حد تفکیک مکانی با حد تفکیک مکانی تصویر اختلاف یکسان گردد. عدم آشکارسازی تغییراتی که پشتیبانی مکانی خود را ازدست‌داده‌اند به دلیل فرآیند پایین نمونه‌برداری ازجمله مشکلات این روش است.

سِلیک [۱۰] روشی نوین در جهت آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات بر مبنای تبدیل موجک گسسته بدون کاهش اطلاعات[5] (UDWT) و مدل منحنی فعال را ارائه کرد. در این روش، در مرحله اول جهت تولید تصویر اختلاف مقاوم در برابر نوفه از UDWT استفاده‌شده است. در مرحله دوم نقشه دودویی تغییرات که معرف مناطق تغییریافته و تغییرنیافته است از بخش‌بندی چندمقیاسه تصویر اختلاف[6] با استفاده از مدل منحنی فعال ناحیه مبنا غیر پارامتریک به‌دست می‌آید. نتایج حاصل از این روش در برابر با سایر روش‌ها دارای برتری می‌باشد. وابستگی مدل منحنی فعال به منحنی اولیه و وابستگی این مدل‌ها به پارامترهای ورودی از جمله محدودیت‌های این روش می‌باشد. محدودیت دیگر این روش‌ها زمان‌بر بودن فرآیند همگرایی منحنی به محدوده تغییرات است. همچنین تاثیر استفاده از اطلاعات بافتی به‌عنوان ورودی الگوریتم آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات در این روش‌ها در نظر گرفته نشده است.

استفاده از صرفاً اطلاعات تصویری جهت آشکارسازی تغییرات مناطق یکنواخت در تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی پایین و متوسط، منجر به نتایج خوبی می‌شود؛ اما در زمان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا و دارای مناطق غیرهمگون، استفاده از صرفاً اطلاعات تصویر مناسب نمی‌باشد [۱۱]. هرچه حد تشخیص مکانی تصاویر افزایش یابد، ممکن است صحت آشکارسازی تغییرات کاهش یابد. علت این امر را می‌توان در افزایش کلاس‌های تغییرات مختلف و درنتیجه افزایش پراکندگی این کلاس‌ها دانست. از این رو در این تحقیق به دلیل امکان وجود مناطق تغییریافته با بافت‌های مختلف فیلتر گابور[7] جهت استخراج اطلاعات بافتی تصاویر ورودی، استفاده‌شده است. سرعت و تنوع بالای تولید اطلاعات بافتی نسبت به سایر روش‌ها موجب استفاده از این فیلتر در جهت استخراج اطلاعات بافتی نسبت به سایر

[1] Segmentation
[2] Bazi
[3] Multiresolution segmentation
[4] Down sampling
[5] Undecimated Discrete Wavelet Transformation
[6] Diffrence image
[7] Gabor

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]

روش‌ها شد.

در این روش جهت تولید تصویر اختلاف بهینه و مقاوم در برابر نوفه از تلفیق به روش تبدیل موجک گسسته[1] (DWT) استفاده شد. علت استفاده از تلفیق تصاویر اختلاف حاصل از الگوریتم‌های مختلف، بهره‌برداری از مزایای هر یک از آن‌ها در قالب یک تصویر اختلاف است. جهت تولید نقشه دودویی تغییرات از روی تصویر اختلاف تولیدشده در مرحله قبل ابتدا منحنی اولیه مدل منحنی فعال[2] با استفاده از خوشه‌بندی گوستافسون کسل[3] (GKC) تولید شده تا مدل منحنی فعال در فرآیندی تکراری بتواند مرز صحیحی از تغییرات را تشخیص دهد. در حقیقت استفاده از مقدار اولیه نزدیک به جواب نهایی موجب افزایش سرعت و دقت همگرایی مدل منحنی فعال در آشکارسازی تغییرات شده است.

در ادامه، در بخش دوم ابتدا توضیح مختصری درباره فیلتر گابور، تولید تصویر اختلاف با استفاده از روش تبدیل موجک گسسته (DWT) می‌شود. سپس مفاهیم تئوری مربوط به خوشه‌بندی GKC و منحنی فعال غیر پارامتریک ناحیه مبنا ارائه می‌شود. همچنین در این بخش مجموعه داده‌های مورداستفاده در این تحقیق، و معیارهای ارزیابی کمی و کیفی جهت بررسی عملکرد روش‌های آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات ارائه می‌شود. در بخش سوم، الگوریتم پیشنهادی در جهت آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات تشریح می‌گردد. در بخش چهارم به ارائه نتایج تجربی حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی و سایر روش‌ها بر روی مجموعه داده‌های مورداستفاده، پرداخته می‌شود. در بخش پایانی (پنجم) نیز نتایج و پیشنهادات این تحقیق ارائه می‌شوند.

۲- مواد و روش‌ها

در ادامه به معرفی روش‌ها و مدل‌های مورداستفاده و همچنین داده‌های ورودی این تحقیق پرداخته‌شده است.

۲-۱- فیلتر گابور

فیلتر گابور برای اولین بار برای آشکارسازی سیگنال اصلی از سیگنال نوفه ارائه شد [۱۲]. پس از آن توابع گسترش‌یافته‌ی گابور برای تصاویر دوبعدی مطرح شد. با توجه به خصوصیاتی نظیر سادگی و امکان انتخاب جهت و فرکانس در استخراج اطلاعات تصویر، از این فیلتر های در زمینه های مختلف پردازش تصویر و ماشین بینایی استفاده می‌شود [۱۲]. فیلتر گابور حاصل مدولاسیون تابع سینوسی مختلط و گاوسی می‌باشد. تابع دوبعدی گابور و تبدیل فوریه به‌صورت روابط (۱و ۲) معرفی گردیده‌اند [۱۳].

رابطه (۱)

$$g(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_x}exp\left(\frac{-1}{2}\left(\frac{x^2}{{\sigma_x}^2}+\frac{y^2}{{\sigma_y}^2}\right)+2\pi jw\right)$$

رابطه (۲)

$$G(u,v)=exp\left(\frac{-1}{2}\left(\frac{(u-W)}{{\sigma_u}^2}\right)+\frac{v^2}{{\sigma_v}^2}\right)$$

رابطه (۳)

$$\sigma_u=\frac{1}{2\pi\sigma_x}\quad,\ \sigma_v=\frac{1}{2\pi\sigma_y}$$

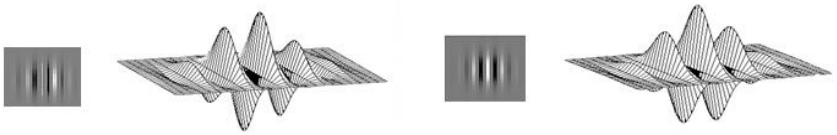
به‌طوری‌که، W بیانگر فرکانس تابع سینوسی، σ_x و σ_y بیانگر انحراف معیار در جهت x و y در حوزه مکان می‌باشد و σ_u و σ_v بیانگر انحراف معیار در جهت u و v در حوزه فرکانس می‌باشد. شکل (۱) نمونه‌ای از قسمت حقیقی و موهومی فیلتر گابور را نشان می‌دهد.

به‌طورکلی برای انتخاب پارامترهای فیلترهای گابور از دو روش نظارت‌شده و نظارت‌نشده استفاده می‌شود. در روش نظارت‌شده، با استفاده از مجموعه از پارامترها، به روش آزمون و خطا برای یافتن فیلتر بهینه برای یک مسئله خاص استفاده می‌شود، در حالی که در روش بدون نظارت، از یک بانک فیلتر که در حوزه فرکانس

[1] Discrete Wavelet Transformation
[2] Active Contour model
[3] Gustafson kesel clustering

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]

گسترده شده است، استفاده می‌گردد [۱۳].
در این تحقیق از بانک فیلتر که درجه افزونگی پایینی را شامل می‌شود در جهت تولید ویژگی‌های بافتی استفاده شد. اگر g(x,y) به‌عنوان موجک اساسی گابور در نظر گرفته شود، آنگاه بانک فیلترهای گابور از طریق انبساط و دوران موجک گابور g(x,y) از روابط (۴) تا (۷) به‌دست می‌آید [۱۲].



الف ب

شکل ۱ : الف: قسمت حقیقی، ب: قسمت موهومی فیلتر گابور

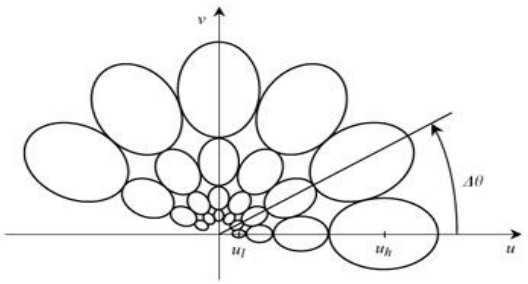
رابطه (۴) $g_{mn}(x,y) = aG(x',y')$

رابطه (۵) $x' = a^{-m}(xCos\theta + ySin\theta)$

رابطه (۶) $y' = a^{-m}(-xSin\theta + yCos\theta)$

رابطه (۷) $\theta = \frac{n\pi}{K}$

در روابط فوق، n بیانگر تعداد دوران‌های لازم، m بیانگر تعداد مقیاس لازم، θ بیانگر جهت دوران و K تعداد کل جهت‌ها است. ضریب a^{-m} به این منظور به‌کاررفته است که از استقلال انرژی نسبت به پارامتر m اطمینان حاصل شود. برای طراحی فیلتر باید پوش منحنی‌های نصف توان منحنی‌های پاسخ فیلتر در طیف فرکانس نظیر شکل (۲) با یکدیگر تماس داشته باشند.



شکل ۲ : منحنی‌های نشان‌دهنده دامنه نیم پیک پاسخ فیلتر گابور

۲-۲- تولید تصویر اختلاف با تبدیل DWT

به‌دلیل وجود نوفه اسپیکل[1] در تصاویر SAR، جهت تولید تصویر اختلاف در این تصاویر از تلفیق تصاویر اختلاف حاصل از نسبت لگاریتم[2] (X_{d_1}) و نسبت میانگین[3] (X_{d_2}) به روش DWT استفاده می‌شود. تصاویر اختلاف نسبت لگاریتم و نسبت میانگین از روابط (۸و ۹) به‌دست می‌آیند [۱۴].

رابطه (۸) $X_{d_1} = \left|\log\frac{X_2}{X_1}\right| = |\log(X_2) - \log(X_1)|$

رابطه (۹) $X_{d_2} = 1 - \min(\frac{\mu_1}{\mu_2}, \frac{\mu_2}{\mu_1})$

که در رابطه فوق μ_1 و μ_2 میانگین مقادیر پنجره‌ای با ابعاد مشخص حول هر یک از پیکسل‌های تصاویر ورودی X_1 و X_2 است. با استفاده از نسبت لگاریتم نوفه اسپیکل به نوفه‌های جمع‌شونده[4] تبدیل می‌شود [۱۴]. نسبت میانگین در مقابل با نوفه اسپیکل مقاوم می‌باشد. از آنجایی که تصویر اختلاف بهینه، باید توانایی بالایی در تولید اطلاعات مربوط به تغییرات و عدم تغییرات داشته باشد، این تصویر می‌تواند از تلفیق تصاویر اختلاف دیگر به‌دست آید. تلفیق تصویر تکنیکی برای ترکیب اطلاعات چندین تصویر، جهت دستیابی به تصویری با اطلاعات بیشتر می‌باشد [۱۴]. DWT یک روش چندمقیاسی است که می‌تواند به‌خوبی تصاویر با قدرت تفکیک‌های متفاوت را مدیریت کند [۱۴]. DWT امکان تجزیه تصاویر اختلاف را به‌صورت ضرایب مختلفی که حاوی اطلاعات هستند، فراهم می‌آورد. این تبدیل شامل فیلترینگ و

[1] Speckle noise

[2] Log-ratio
[3] Mean-ratio
[4] Additive noise

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]

نمونه‌برداری[1] هر یک از تصاویر اختلاف با استفاده از فیلتر پایین‌گذر[2] و بالاگذر[3] می‌باشد، که در نتیجه این عملیات LL، LH، HL و HH که به آن‌ها ضرایب موجک[4] نیز گفته می‌شود، در اولین سطح تجزیه تولید می‌شود [۱۵]. پس از اینکه ضرایب به‌درستی ترکیب شدند و اطلاعات موجود در تصاویر مرجع جمع‌آوری شدند، تصویر تلفیق شده با استفاده از تبدیل موجک گسسته معکوس[5] (IDWT) به‌دست می‌آید و در آن تمامی اطلاعات تصاویر اختلاف با روش‌های موردنظر، موجود است. شکل (۳) روند کلی تلفیق تصاویر اختلاف X_{d_1} و X_{d_1} را با استفاده از DWT نشان می‌دهد.

۲-۳- خوشه‌بندی گستافسون کسل[6] (GKC)

برای تولید منحنی اولیه، پس از تولید شاخص تغییرات، تصویر فوق خوشه‌بندی می‌شود. مشکلی که در تعیین تغییرات وجود دارد، همپوشانی بین مناطق تغییریافته و تغییرنیافته است. ویژگی اصلی این روش مطابقت فاصله نمونه‌های ورودی تا مراکز خوشه‌ها بر اساس تخمین ماتریس کواریانس خوشه‌ها می‌باشد. در این الگوریتم تعداد خوشه‌ها (c) از قبل مشخص‌شده است. تابع هدفی که برای این الگوریتم تعریف‌شده است به‌صورت رابطه (۱۰) می‌باشد [۱۶, ۱۷].

$$J = \sum_{i=1}^{C} \sum_{j=1}^{n} (\mu_{ik}^{m})\, D_{ij}^{2} \qquad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در این تابع هدف، μ_{ik} بیانگر درجه تعلق نمونه ورودی i ام به خوشه k می‌باشد و m عدد فازی ساز می‌باشد. فاصله D_{ij} از رابطه (۱۱) به‌دست می‌آید [۱۷].

$$D_{ij} = \sqrt{(x_j - c_i)^t A_i (x_j - c_i)} \qquad \text{رابطه (۱۱)}$$

به‌طوری‌که، ماتریس A از رابطه (۱۲) به‌دست می‌آید [۱۷].

$$A_i = [\rho_i |(F_i)|]^{\frac{1}{\eta}} F_i^{-1} \qquad \text{رابطه (۱۲)}$$

به‌طوری‌که، ρ_i یک پیش تعریف ثابت برای کنترل شکل خوشه i ام می‌باشد و η بیانگر ابعاد نمونه ورودی (باندهای تصویر ماهواره‌ای) می‌باشد، |.| معرف دترمینان و Fi ماتریس کواریانس برای هر خوشه می‌باشد که به‌صورت رابطه (۱۳) بیان می‌شود [۱۷].

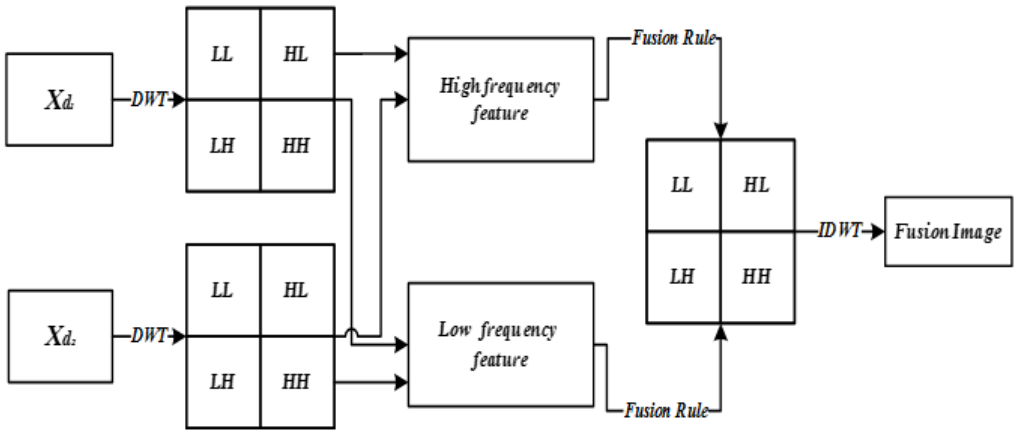
$$F_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} (\mu_{ik}^{m})(x_j - c_i)^t Ai (x_j - c_i)}{\sum_{j=1}^{n} (\mu_{ik}^{m})} \qquad \text{رابطه (۱۳)}$$

۲-۴- مدل منحنی فعال

مدل منحنی‌های فعال، اولین بار توسط Kass و همکارانش در سال ۱۹۸۸ معرفی گردید و به مدل اسنِیک[7] مشهور گردید[۱۸،۱۹،۲۰]. این مدل‌ها، منحنی‌های تعریف‌شده در فضای تصویر می‌باشند که هدف آن‌ها شناسایی محدوده عوارض موجود در تصویر است. با تعریف یک تابع انرژی برای منحنی و کمینه‌سازی این تابع، منحنی به سمت لبه عوارض موجود در تصویر حرکت نموده و زمانی که منحنی به‌لبه عارضه هدف منطبق می‌گردد، تابع انرژی نیز به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد [۱۸،۲۰]. منحنی‌های فعال جزء روش‌های پرکاربرد در علوم مختلف از جمله مهندسی پزشکی، ماشین بینایی، رباتیک، فتوگرامتری و سنجش‌ازدور است. تحقیقات بعدی روی این مدل باعث گردید که دسته‌بندی‌هایی روی آن صورت گرفته و منحنی‌های فعال با عنوانی کلی برای تمامی مدل‌های مبتنی بر این روش تبدیل گردند. به‌طور کلی منحنی‌های فعال به دو دسته لبه مبنا و ناحیه مبنا تقسیم می‌شوند که هر کدام از آن‌ها خود دارای دو نوع پارامتریک و غیر پارامتریک هستند [۱۹].

[1] Resampling
[2] Low frequency filter
[3] High frequency filter
[4] Wavelet Coefficients
[5] Inverse Discrete wavelet transform
[6] Gustafson kesel clustering
[7] Snake

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]



شکل ۳ : روند کلی تلفیق تصاویر اختلاف با استفاده از تبدیل DWT

در بسیاری از داده‌ها عوارض دارای لبه واضح نبوده و مهم‌ترین مشخصه‌ای که این عوارض را از یکدیگر تفکیک می‌نماید، تفاوت درجات خاکستری عوارض مختلف و همگن بودن مقادیر پیکسل‌های داخلی آن‌ها می‌باشد. جهت شناسایی و استخراج این عوارض مدل‌های لبه مبنا جوابگو نبوده و با مشکل مواجه است. به این دلیل اولین مدل از توابع ناحیه مبنای غیر پارامتریک، توسط چان و وِس[1] در سال ۲۰۰۱ معرفی گردید [۱۶]. اگر $\boldsymbol{X}: \boldsymbol{\Omega} \rightarrow \mathbb{R}$، تصویر اختلافی است که شامل دو ناحیه همگون $\boldsymbol{\Omega_1}$ و $\boldsymbol{\Omega_2}$ است به‌طوری‌که $\boldsymbol{\Omega} = \boldsymbol{\Omega_1} \cup \boldsymbol{\Omega_2}$. هدف از الگوریتم چان و وِس پیدا کردن منحنی است که بتواند تصویر اختلاف را به دو ناحیه $\boldsymbol{\Omega_1}$ و $\boldsymbol{\Omega_2}$ تقسیم کند. تابع انرژی مدلچان و وِس از رابطه (۱۴) به‌دست می‌آید [۹، ۱۰ و ۱۸].

رابطه (۱۴)

$$E(C, c_1, c_2) = \lambda_1 \int_{\Omega_1} (X - c_1)^2 \, dxdy + \lambda_2 \int_{\Omega_2} (X - c_2)^2 \, dxdy + \mu\big(Length(\boldsymbol{C})\big)$$

در رابطه (۱۴)، پارامترهای λ_1 و λ_2 مقادیر ثابت و مثبت بوده و جهت تنظیم اثر نواحی Ω_1 و Ω_2 تعریف شده‌اند. همچنین μ پارامتر ثابت و مثبت در تنظیم طول منحنی C می‌باشد. c_1 و c_2 به ترتیب مقدار میانگین مقادیر پیکسلی تصویر برای نواحی Ω_1 و Ω_2 است. بعد از معرفی تابع انرژی مدل، لازم است که این معادله کمینه شده و معادله حرکت منحنی به‌دست‌آید [۱۶]. جهت نمایش منحنی C، کمینه‌سازی و اجرای این مدل از تئوری سطح هم‌تراز استفاده می‌شود. ایده اصلی سطوح هم‌تراز نمایش یک منحنی توسط یک تابع غیرپارامتریک مانند ϕ است که بیانگر فاصله اقلیدسی هر نقطه تا منحنی C می‌باشد بر این اساس ϕ یک تصویر هم‌اندازه با تصویر اصلی است که مقدار هر پیکسل آن برابر با کوتاهترین فاصله آن پیکسل از منحنی C می‌باشد. سطح هم‌تراز صفر[2] C(t) به‌صورت رابطه (۱۵) تعریف می‌شود [۱۹،۲۰].

رابطه (۱۵)

$$\begin{cases} \phi(t,x,y) < 0 & (x,y)\ is\ in\ \ \Omega_1 \\ \phi(t,x,y) = 0 & (x,y)\ is\ on\ \ C \\ \phi(t,x,y) > 0 & (x,y)\ is\ in\ \ \Omega_2 \end{cases}$$

به‌طوری‌که، $\phi(\mathrm{t,x,y})$ موقعیت پیکسل در لحظه t نسبت به منحنی C در تصویر است. جهت بیان تابع انرژی مدل Chan-Vese بر اساس تئوری سطح همتراز از دو تابع مشهور δ تابع ضربه[3] و H تابع هویساید[4] استفاده شد [۱۰، ۱۸].

[1] Chan and Vese

[2] Zero level set
[3] Dirac function
[4] Heaviside function

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]

رابطه (۱۶)

$$E(\phi,c_1,c_2)=\int_{\Omega}(\lambda_1(X-c_1)^2(1-H(\phi(x,y)))+\lambda_2(X-c_2)^2H\big(\phi(x,y)\big)+\mu\delta(\phi(x,y)\big|\nabla H\big(\phi(x,y)\big)\big|)$$

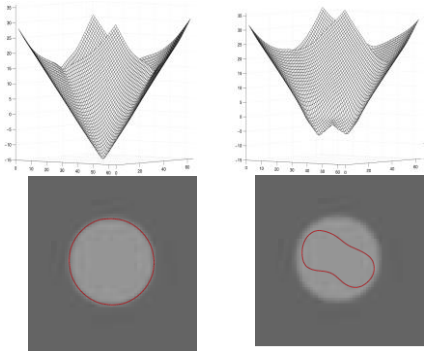
با توجه به رابطه (۱۶)، هدف کمینه کردن تابع $\boldsymbol{E(\phi,c_1,c_2)}$ نسبت به $\boldsymbol{\phi}$ می‌باشد. بر این اساس با در نظر گرفتن معادله اولر-لاگرانژ که از معادله (۱۷) به‌دست می‌آید تابع انرژی کمینه می‌شود [۹، ۱۰، ۱۸].

رابطه (۱۷)
$$\frac{\delta\phi}{\delta t}=\delta_\varepsilon(\phi)\left[\mu div\left(\frac{\nabla\phi}{|\nabla\phi|}\right)-(X(x,y)-c_1)^2+(X(x,y)-c_2)^2\right]$$

در نهایت طی یک فرآیند تکراری تابع $\boldsymbol{\varphi^{n+1}}$ از رابطه (۱۸) به‌دست می‌آید [۹، ۱۰، ۱۸].

رابطه (۱۸)
$$\phi^{n+1}=\phi^n-\Delta t\frac{\delta E}{\delta\phi}(\phi^{n-1},{c_1}^n,{c_2}^n)$$

به‌طوری‌که، Δt بیانگر مرحله زمانی است که نرخ تغییرات تابع ϕ را مشخص می‌کند. شکل (۴) ارزیابی تابع ϕ و منحنی متناظر با آن را نشان می‌دهد.



شکل ۴ : تخمین منحنی اولیه مدل سطوح هم‌تراز الف) تخمین تابع $\phi(x,y)$ ب) منحنی اولیه متناظر با تابع $\phi(x,y)$ در ردیف الف [۲۱].

۲-۵- مجموعه داده‌های مورد استفاده

مجموعه داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل دو مجموعه تصویر چندزمانه SAR از دریاچه چیتگر واقع در منطقه ۲۲ تهران می‌باشد. تصویر زمان اول مربوط به ۷ جولای سال ۲۰۱۱ و تصویر زمان دوم مربوط به ۱۵ مِی سال ۲۰۱۲، از سنجنده TerraSAR-X است. این تصاویر به‌صورت تک پلاریزه[1] و با پلاریزاسیون VV اخذ گردیده‌اند. ابعاد مجموعه اول و مجموعه دوم این تصویر به ترتیب ۵۷۰*۵۳۰ و ۹۰۰*۹۰۰ پیکسل می‌باشد. قدرت تفکیک مکانی این تصاویر حدود دو متر می‌باشد که جهت یکسان‌سازی اندازه پیکسل‌های دو تصویر هر یک از آن‌ها توسط روش نزدیک‌ترین همسایه به قدرت تفکیک مکانی سه متر نمونه‌برداری شدند. جهت ارزیابی کمی تاثیرات روش پیشنهادی، نقشه مرجع براساس تفسیر بصری دو تصویر و طبقه‌بندی نظارت‌شده تصویر اختلاف با داده‌های آموزشی مربوط به کلاس تغییر و عدم‌تغییر که با توجه به تصاویر آرشیو گوگِل اِرث[2] و تفسیر بصری توسط عامل خبره از سطح تصویر جمع‌آوری شدند، تهیه گردیده است. همچنین در جهت پیاده‌سازی روش پیشنهادی و سایر روش‌ها به‌منظور آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات، از اطلاعات شدت تصاویر SAR استفاده شد. شکل (۵) دو مجموعه تصویر چند زمانه SAR و نقشه مرجع مربوط به آن‌ها را نشان می‌دهد.

۲-۶- معیارهای ارزیابی آشکارسازی تغییرات

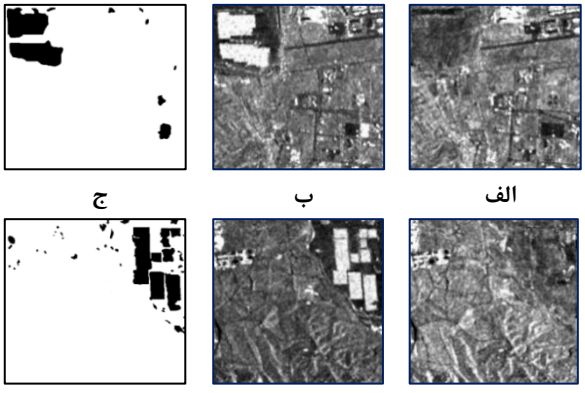
در این تحقیق جهت ارزیابی کمی نتایج حاصل از آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات از سه معیار، هشدار اشتباه[3] (FA) (پیکسل‌های عدم‌تغییر که به‌غلط به‌عنوان پیکسل‌های تغییر انتخاب گردیده‌اند) نرخ هشدار اشتباه را با P_{FA} نمایش می‌دهند که به درصد حساب می‌شود و

[1] Single Look

[2] Google Earth
[3] False Alarm

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]

از رابطه $P_{FA} = (FA/N_1) \times 100\%$ به‌دست می‌آید به‌طوری‌که N_1 بیانگر تعداد پیکسل‌های تغییر نکرده در نقشه مرجع می‌باشد. هشدار خطا[1] (MA) (تعداد پیکسل‌های تغییر که به‌غلط به‌عنوان پیکسل‌های عدم‌تغییر انتخاب گردیده‌اند) استفاده شد. نرخ هشدار خطا را با P_{MA} نمایش می‌دهند که به درصد حساب می‌شود و از رابطه $P_{MA} = (MA/N_0) \times 100\%$ به‌دست می‌آید به‌طوری‌که N_0 بیانگر تعداد پیکسل‌های تغییریافته در نقشه مرجع می‌باشد. خطای کل[2] (OE) (تعداد کل پیکسل‌هایی که به‌غلط برچسب‌دهی شده‌اند) در حقیقت این خطا بیانگر مجموع پیکسل‌هایی می‌باشد که به اشتباه تغییریافته و تغییرنیافته تشخیص داده‌شده‌اند. نرخ خطای کل را با P_{OE} نمایش می‌دهند که به درصد حساب می‌شود و از رابطه $P_{MA} = (FA + MA/N_0 + N1) \times 100\%$ به‌دست می‌آید.



الف ب ج

د ه و

شکل ۵ : مجموعه اول از تصاویر SAR از سنجنده TerraSAR-X مورد استفاده مربوط به الف) ۷ جولای سال ۲۰۱۱ ب) ۱۵ مِی سال ۲۰۱۲، ج) نقشه مرجع. مجموعه دوم از تصاویر SAR از سنجنده TerraSAR-X مورد استفاده مربوط به د) ۷ جولای سال ۲۰۱۱ ه) ۱۵ مِی سال ۲۰۱۲، و) نقشه مرجع.

[1] Miss Alarm
[2] Overall Error

۳- روش پیشنهادی آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات

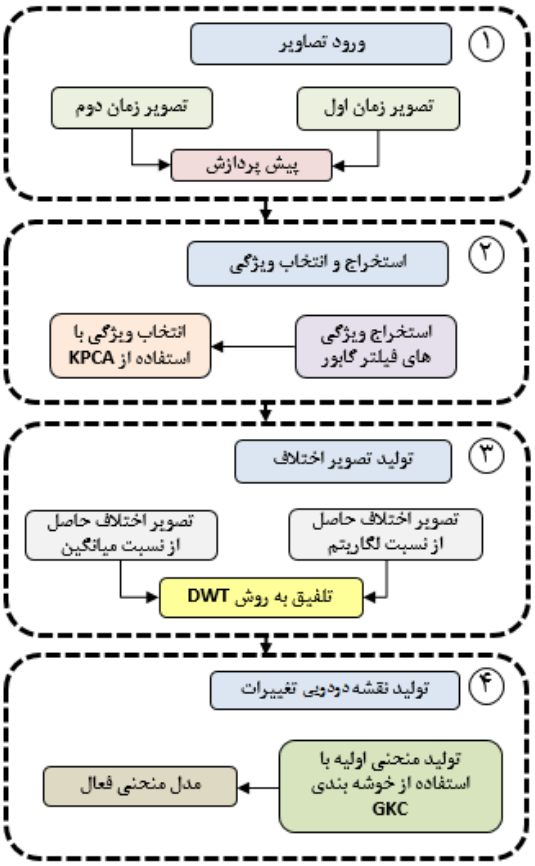
شکل (۶) مراحل روش پیشنهادی برای این منظور را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، روش پیشنهادی از چهار مرحله اصلی تشکیل‌شده است. در مرحله اول، داده‌ها که شامل دو تصویر SAR مربوط به دو زمان مختلف می‌باشد مورد پیش‌پردازش قرار می‌گیرد. در مرحله دوم ویژگی‌های فیلتر گابور از هر یک از تصاویر چندزمانه SAR استخراج می‌گردد و به‌منظور رفع وابستگی بین آن‌ها و اطلاعات تصویری KPCA بر روی مجموع آن‌ها اعمال می‌گردد. در مرحله سوم، تصویر اختلاف بهینه با استفاده از تلفیق تصاویر اختلاف نسبت میانگین و لگاریتم به روش DWT تولید می‌شود. در مرحله چهارم به‌منظور تولید نقشه دودویی تغییرات، ابتدا منحنی اولیه برای مدل منحنی فعال توسط روش خوشه‌بندی GKC تولید می‌شود و درنهایت با استفاده از مدل منحنی فعال با استفاده از منحنی اولیه از پیش تعریف‌شده تصویر اختلاف به ناحیه تغییریافته و تغییرنیافته بخش‌بندی می‌شوند و نقشه دودویی تغییرات تولید می‌شود.

در این تحقیق از ادغام خوشه‌بندی GKC با مدل منحنی فعال در جهت آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات و تولید نقشه تغییرات استفاده‌شده است. لازم به است که نتیجه خوشه‌بندی GKC با تعداد خوشه برابر با دو، که اشاره به مناطق تغییریافته و تغییرنیافته دارد به‌عنوان منحنی اولیه ($\boldsymbol{\varphi_0}$) استفاده می‌شود [۲۱].

$$\varphi_0(x,y) = -4\varepsilon(0.5 - B_k) \qquad \text{رابطه (۱۹)}$$

در رابطه فوق ε یک مقدار تنظیم‌کننده‌ی ثابت برای تابع ضربه (استفاده از یک تابع نرم‌تر نسبت به تابع ضربه مرسوم) می‌باشد و تابع ضربه به‌صورت رابطه (۲۰) تعریف می‌شود [۲۱].

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]



شکل ۶ : مراحل روش پیشنهادی جهت آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات

رابطه (۲۰)

$$\delta_\varepsilon(x)=\begin{cases}0, & |x|>\varepsilon\\ \frac{1}{2\varepsilon}\left[1+\cos\left(\frac{\pi x}{\varepsilon}\right)\right], & |x|\le \varepsilon\end{cases}$$

همچنین، $\boldsymbol{B_k}$ یک تصویر دودویی می‌باشد که از رابطه (۲۱) به‌دست می‌آید.

رابطه (۲۱) $B_k = R_k \ge b_0$

در رابطه بالا، $\boldsymbol{b_0}$ یک حدآستانه در جهت تولید تصویر دودویی $\boldsymbol{B_k}$ می‌باشد.

۴- نتایج و بحث

در این بخش در مورد تنظیم پارامترها و همچنین ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده بحث می‌شود.

۴-۱- تنظیم پارامترها

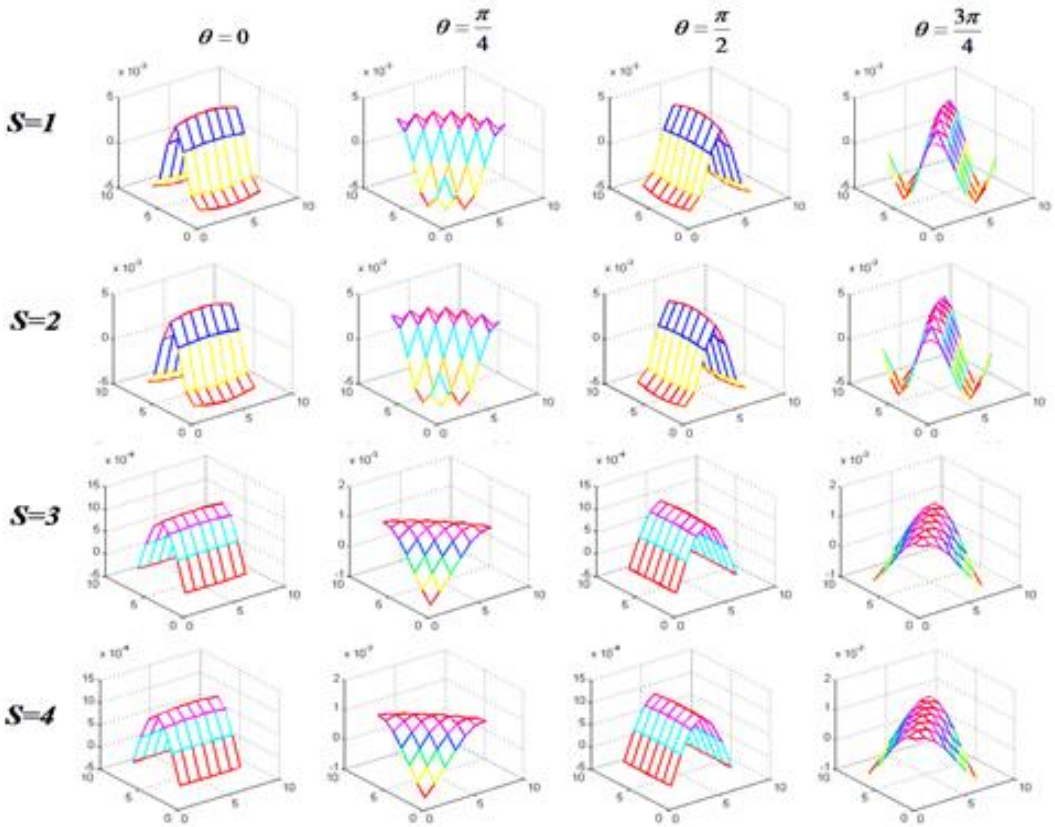
ویژگی‌های بافتی حاصل از فیلترهای گابور با پارامتر مقیاس S=۴ و به ازای کانال پلاریزسیون تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه SAR در چهار جهت θ=۰، θ=π/۴، θ=π/۲ و θ=۳π/۴ استخراج گردید. بنابراین به ازای مقیاس و جهات استخراج ویژگی برای هر یک از تصاویر ۱۶ ویژگی تولید شد. شکل (۷) بانک فیلتر اعمال‌شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

پس از اضافه نمودن ویژگی‌های استخراجی به تصویر به‌دلیل امکان وجود وابستگی میان ویژگی‌ها و اطلاعات تصویر، تبدیل KPCA بر روی مجموع آن‌ها با کرنل مولتی کوادراتیک اعمال گردید و مولفه‌ی اول تبدیل به‌عنوان نماینده هر تصویر وارد مرحله تولید تصویر اختلاف گردید. در این تحقیق، در روش پیشنهادی، تعداد خوشه‌ها در خوشه‌بندی K-Means را برابر با ۲ در نظر گرفته شد که معرف مناطق تغییریافته و تغییرنیافته است. پارامترهای مدل سطوح هم‌تراز با توجه به تحقیق [۲۰] برابر با λ=۰/۵، τ=۰/۵، ω=۱/۵، μ=۰/۰۴ تنظیم گردید. در تنظیم پارامتر بیشترین تکرار مدل منحنی فعال T جهت رسیدن به منحنی بهینه برای تولید نقشه دودویی تغییرات، از سطح صفر T=۰ که همان منحنی اولیه به‌دست‌آمده از خوشه‌بندی GKC است تا سطح T=۵ روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی تکرار منحنی را برای مجموعه اول از تصاویر ورودی SAR در جدول (۱) و در شکل (۸) ارائه‌شده‌اند.

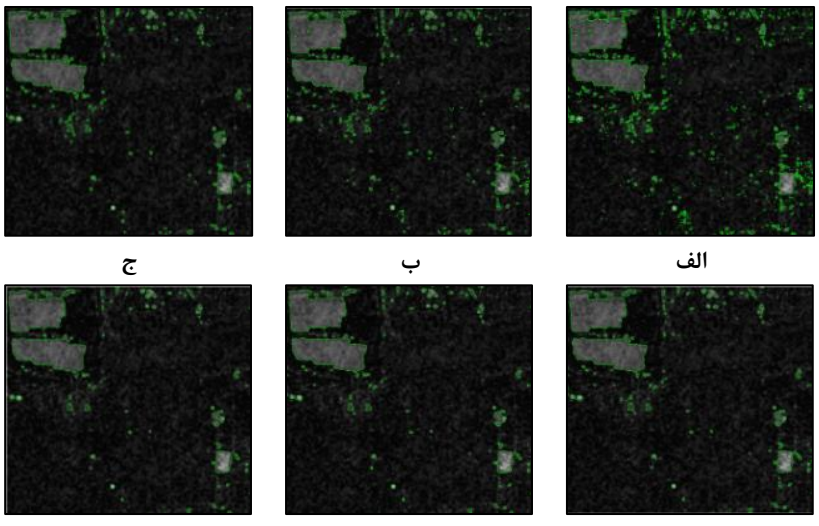
مطابق با جدول (۱)، با استفاده از مجموعه داده‌های اول SAR، نرخ خطای کل، نرخ هشدار خطا و اشتباه با افزایش تکرار سطوح هم‌تراز کاهش‌یافته است. در حقیقت با افزایش تکرار سطوح هم‌تراز منحنی اولیه بهبود یافته و مناطق تغییریافته و تغییرنیافته را با خطای کمتری تشخیص داده است. منحنی نهایی حاصل از T=5، با نرخ خطای کل ۱/۱۰ درصد، دارای بیشترین دقت در آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات نسبت به سایر مقادیر پارامتر T می‌باشد. بر اساس شکل (۸) با افزایش تکرار سطوح هم‌تراز، میزان نوفه به‌شدت در تصاویر کاهش می‌یابد و منحنی نهایی به‌خوبی به مرز مناطق تغییریافته همگرا می‌شود. نتایج حاصل از

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]

بررسی تکرار منحنـی را بـرای مجموعـه دوم از تصـاویر ورودی SAR در جدول (۲) آورده شده و در شـکل (۹) نشان داده‌شده‌اند.



شکل ۷ : کتابخانه‌ای از توابع گابور با چهار مقیاس و چهار دوران



الف ب ج

د ه و

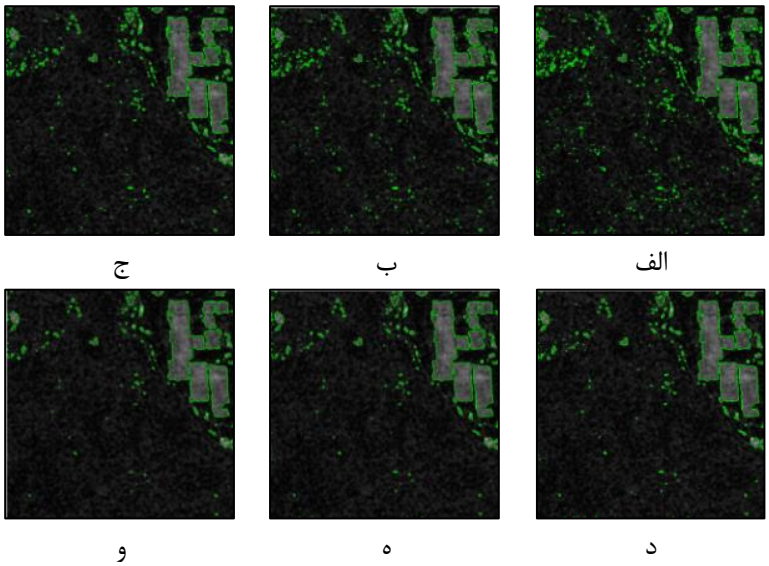
شکل ۸ : تکرار مدل منحنی فعال به ازای پارامتر الف) t=۰ ب)t=۱ ج) t=۲ د) t=۳ ه) t=۴ و) t=۵ برای مجموعه داده‌های اول SAR

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]

جدول ۱ : عملکرد آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات با استفاده از روش پیشنهادی در تکرارهای مختلف با استفاده از مجموعه اول تصاویر چند زمانه SAR

تعداد تکرار	نرخ هشدار خطا		نرخ هشدار اشتباه		نرخ خطای کل	
	پیکسل	P_{FA}	پیکسل	P_{MA}	پیکسل	P_{OE}
(T=0)	۹۷۶	۴٫۵۲	۷۰۴۶	۲٫۶۱	۸۰۲۲	۲٫۷۵
(T=1)	۹۱۱	۴٫۲۲	۵۸۳۵	۲٫۱۶	۶۷۴۶	۲٫۳۲
(T=2)	۸۱۵	۳٫۷۷	۴۷۴۲	۱٫۷۶	۵۵۵۷	۱٫۹۱
(T=3)	۷۲۸	۳٫۳۷	۳۵۳۷	۱٫۳۱	۴۲۶۵	۱٫۴۶
(T=4)	۶۷۱	۳٫۱۱	۲۹۳۵	۱٫۰۹	۳۶۰۶	۱٫۲۴
(T=5)	۶۴۶	۲٫۹۹	۲۵۵۵	۰٫۹۵	۳۲۰۱	۱٫۱



شکل ۹ : تکرار مدل منحنی فعال به ازای پارامتر الف) t=۰ ب)t=۱ ج) t=۲ د) t=۳ ه) t=۴ و) t=۵ برای مجموعه داده‌های دوم SAR

جدول ۲ : عملکرد آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات با استفاده از روش پیشنهادی در تکرارهای مختلف با استفاده از مجموعه دوم تصاویر چندزمانه SAR

تعداد تکرار	نرخ هشدار خطا		نرخ هشدار اشتباه		نرخ خطای کل	
	پیکسل	P_{FA}	پیکسل	P_{MA}	پیکسل	P_{OE}
(T=0)	۳۷۷۵	۵٫۴۴	۱۰۲۱۴	۱٫۴۱	۱۳۹۸۹	۱٫۷۷
(T=1)	۳۴۶۶	۴٫۹۹	۸۲۵۷	۱٫۱۴	۱۱۷۲۳	۱٫۴۸
(T=2)	۳۱۱۴	۴٫۴۹	۶۱۸۴	۰٫۸۶	۹۲۹۸	۱٫۱۷
(T=3)	۳۱۱۹	۴٫۴۹	۴۵۳۰	۰٫۶۳	7649	۰٫۹۷
(T=4)	۳۰۱۴	۴٫۳۴	۳۶۲۰	۰٫۵۰	۶۶۳۴	۰٫۸۴
(T=5)	**۲۹۷۵**	**۴٫۲۹**	**۳۰۸۴**	**۰٫۴۳**	**۶۰۵۹**	**۰٫۷۶**

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]

همانند نتایج حاصل از مجموعه تصاویر اول SAR، مطابق با جدول (۲)، منحنی نهایی حاصل از T=5، با نرخ خطای کل ۰/۷۶ درصد، دارای بیشترین دقت در آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات با مجموعه دوم تصاویر SAR نسبت به سایر مقادیر پارامتر T است. مطابق شکل (۹) با افزایش تکرارها، میزان نوفه به‌شدت در تصاویر کاهش می‌یابد و منحنی نهایی مدل منحنی فعال بهبود یافته و به سمت مرز نهایی مناطق تغییریافته واقعی حرکت کرده و به‌بهترین صورت به محدوده تغییرات همگرا می‌شود.

لازم به ذکر است که افزایش تکرارها مسلماً باعث افزایش زمان همگرایی و تولید نقشه تغییرات با استفاده از این روش می‌شود؛ اما این افزایش زمان ناچیز بوده و در مقابل با افزایش دقت قابل چشم‌پوشی است.

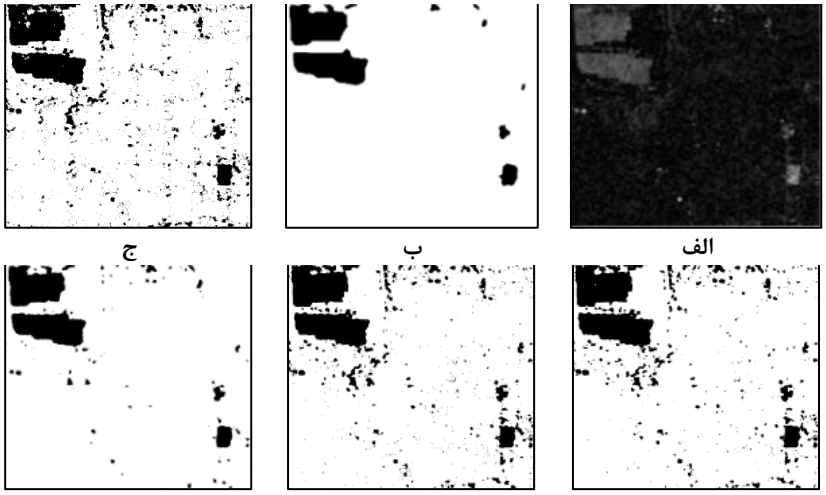
۴-۲- ارزیابی نتایج

جهت ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی (GKCLSM) در آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات، کارایی این روش با روش‌های مبتنی بر ادغام زنجیره مخفی تصادفی مارکوف[1] و بیشینه‌سازی امید ریاضی[2] (EMHMRF)، زنجیره تصادفی مارکوف[3] (MRF) و مدل منحنی فعال چان وِس (Chan–Vese) مقایسه شده است. مدل Chan–Vese اولین مدل ناحیه مبنای غیر پارامتریک محسوب می‌گردد و بعد از آن تقریباً تمامی مدل‌های معرفی‌شده از این نوع به نحوی توسعه‌یافته این مدل محسوب می‌گردند. روش MRF، روشی است که از اطلاعات مکانی- متنی جهت آنالیز تصویر اختلاف استفاده می‌کند. همچنین ادغام الگوریتم بیشینه‌سازی امید ریاضی (EM) و زنجیره مخفی تصادفی مارکوف (HMRF) علاوه بر استفاده از اطلاعات متنی، از فرآیندی تکراری توسط الگوریتم EM جهت برآورد پارامترهای اولیه جهت روش HMRF استفاده می‌کند. نتایج کمی و کیفی آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات با استفاده از روش‌های مختلف برای مجموعه تصاویر اول SAR در جدول (۳) و در شکل (۱۰) آورده شده‌اند.

با توجه به جدول (۲) در درجه اول، روش GKCLSM (روش پیشنهادی) با نرخ خطای کل ۱/۱ درصد، دارای بالاترین دقت آشکارسازی تغییرات نظارت‌نشده نسبت به سایر روش‌ها است. مدل Chan–Vese با نرخ خطای کل ۶/۰۵ درصد دارای ضعیف‌ترین نتایج نسبت به سایر روش‌ها است. میزان نرخ خطای کل روش پیشنهادی GKCLSM نسبت به مدل Chan–Vese، روش MRF و EMMRF به ترتیب ۴/۹۵ درصد، ۳/۳۰ درصد و ۳/۳۴ درصد کاهش‌یافته است. مطابق شکل (۱۰) نقشه دودویی حاصل از مدل Chan–Vese بشدت نوفهی بوده و همچنین نتایج حاصل از روش EMHMRF و MRF نیز تقریباً نوفه‌ای بوده است اما میزان نوفه به دلیل استفاده از اطلاعات مکانی در بطن این روش‌ها کمتر از مدل Chan–Vese است. درنهایت روش‌های پیشنهادی GKCLSM نسبت به نوفه مقاوم‌تر از سایر روش‌ها می‌باشند. نتایج کمی و کیفی آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات با استفاده از روش‌های مختلف برای مجموعه دوم تصاویر ورودی SAR در جدول (۳) و در شکل (۱۱) آورده شده‌اند.

[1] Hidden Markov random field
[2] Expectation Maximization
[3] Markov Random Field

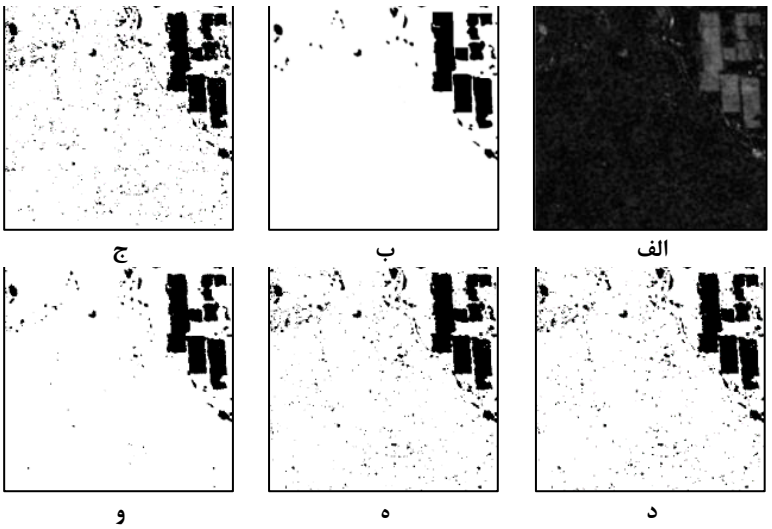
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]



شکل ۱۰ : الف) تصویر اختلاف حاصل از تلفیق به روش DWT، ب) نقشه دودویی تغییرات مرجع. نقشه دودویی تغییرات تولید شده توسط ج) روش Chan–Vese، د) روش EMHMRF، ه) روش MRF، و) GKCLSM (روش پیشنهادی). به ازای مجموعه اول تصاویر ورودی SAR

جدول ۳ : ارزیابی عملکرد روش‌های آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات با استفاده از مجموعه اول از تصاویر ورودی SAR

روش	نرخ هشدار خطا		نرخ هشدار اشتباه		نرخ خطای کل	
	پیکسل	P_{FA}	پیکسل	P_{MA}	پیکسل	P_{OE}
Chan-Vese	۹۲۶	۴٫۲۹	۱۶۶۷۹	۶٫۱۹	۱۷۶۰۵	۶٫۰۵
EMHMRF	۳۳۲	۱٫۵۴	۱۲۶۱۱	۴٫۶۸	۱۲۹۴۳	۴٫۴۴
MRF	۳۲۹	۱٫۵۲	۱۲۴۹۳	۴٫۶۳	۱۲۸۲۲	۴٫۴۰
GKCLSM	۶۴۶	۲٫۹۹	۲۵۵۵	۰٫۹۵	۳۲۰۱	۱٫۱



شکل ۱۱ : الف) تصویر اختلاف حاصل از تلفیق به روش DWT، ب) نقشه دودویی تغییرات مرجع. نقشه دودویی تغییرات تولیدشده توسط ج) روش Chan–Vese، د) روش EMHMRF، ه) روش MRF، و) GKCLSM (روش پیشنهادی). به ازای مجموعه دوم تصاویر ورودی SAR

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]

جدول ۴ : ارزیابی عملکرد روش‌های آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات با استفاده از مجموعه اول از تصاویر ورودی SAR

روش	نرخ هشدار خطا		نرخ هشدار اشتباه		نرخ خطای کل	
	پیکسل	P_{FA}	پیکسل	P_{MA}	پیکسل	P_{OE}
Chan-Vese	۳۴۲۸	۴٫۹۴	۲۲۹۰۴	۳٫۱۷	۲۶۳۳۲	۳٫۳۲
EMHMRF	۱۳۳۰	۱٫۹۲	۱۹۵۳۰	۲٫۷۰	۲۰۸۶۰	۲٫۶۳
MRF	۱۰۹۱	۱٫۵۷	۱۹۶۳۷	۲٫۷۲	۲۰۷۲۸	۲٫۶۲
GKCLSM	۲۹۷۵	۴٫۲۹	۳۰۸۴	۰٫۴۳	۶۰۵۹	۰٫۷۶

مطابق نتایج حاصل از مجموعه اول داده‌های SAR، با توجه به جدول (۳) در درجه اول، روش GKCLSM (روش پیشنهادی) با نرخ خطای کل ۰/۷۶ درصد، دارای بالاترین دقت آشکارسازی تغییرات نظارت‌نشده نسبت به سایر روش‌ها است. مدل Chan–Vese با نرخ خطای کل ۳/۳۲ درصد دارای ضعیف‌ترین نتایج نسبت به سایر روش‌ها است. میزان نرخ خطای کل روش پیشنهادی GKCLSM نسبت به مدل Chan–Vese، روش MRF و EMMRF به ترتیب ۲/۵۶ درصد، ۱/۸۶ درصد و ۱/۸۷ درصد کاهش‌یافته است. مطابق شکل (۱۱) نقشه دودویی حاصل از مدل Chan–Vese بشدت نوفه‌ای بوده و همچنین نتایج حاصل از روش EMHMRF و MRF نیز تقریباً نوفه‌ای بوده است. نتایج حاصل از روش پیشنهادی در مقایسه با نقشه مرجع نوفه کمتری را نسبت به سایر روش‌ها دارد.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، روشی نوین در زمینه آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات بر اساس ادغام خوشه‌بندی GKC و مدل منحنی فعال ارائه شد. استفاده از تبدیل DWT در جهت تلفیق تصاویر اختلاف نسبت لگاریتم و نسبت میانگین، موجب تولید تصویر اختلافی بهینه و مقاوم نسبت به نویز شده است. همچنین استفاده از تلفیق تصاویر اختلاف حاصل از روش‌های مختلف، با استفاده از این تبدیل موجب بهره‌برداری از مزایای هر یک از تصاویر اختلاف در قالب یک تصویر اختلاف شده است. تولید منحنی اولیه با استفاده از خوشه‌بندی GKC، باعث شده که مدل منحنی فعال بتواند در فرآیندی تکراری مرز صحیحی از تغییرات را تشخیص دهد. در حقیقت استفاده از مقدار اولیه نزدیک به جواب نهایی موجب افزایش سرعت و دقت همگرایی مدل منحنی فعال در شناسایی تغییرات شده است. همچنین استفاده از اطلاعات بافت فیلتر گابور، موجب تولید تصاویری با آماره‌های ساده از درجات خاکستری شده است که مستقیماً به‌عنوان ویژگی بافت مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ضمن چون این فیلتر از آماره‌هایی در قالب پنجره برای تولید بافت استفاده می‌کند، در نتیجه، از نرخ خطای کمتری در محلی‌سازی ناحیه‌ای برخوردار است. همچنین استفاده از اطلاعات بافتی حاصل از این فیلتر موجب افزایش دقت آشکارسازی تغییرات نسبت به استفاده از اطلاعات خام تصویر شده است.

جهت بررسی عملکرد روش پیشنهادی در آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات و از آن‌جا که یک روش مناسب جهت آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات باید عمومیت داشته باشد از دو مجموعه تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه SAR استفاده شد. در روش پیشنهادی جهت دستیابی به منحنی بهینه در مدل سطوح هم‌تراز، نیاز به تنظیم پارامتر T (تعداد تکرار مدل منحنی فعال) است. افزایش تعداد تکرار سطوح هم‌تراز موجب کاهش نوفه در نقشه دودویی تغییرات نهایی به ازای هر یک از داده‌های ورودی می‌شود و منحنی نهایی به‌خوبی محدوده مناطق تغییریافته را آشکار می‌سازد.

نتایج حاصل از ارزیابی کمی و کیفی روش پیشنهادی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]

در هر یک از دو مجموعه تصاویر مورد استفاده از منطقه مورد مطالعه در این تحقیق نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با نرخ خطای ۱/۱ درصد و ۰/۷۶ درصد به‌ترتیب برای مجموعه داده‌های ورودی اول و دوم SAR دارای کمترین نرخ خطای کل نسبت به روش‌های EMHMRF، MRF و Chan–Vese است و قابلیت بالایی در آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات و تفکیک مناطق تغییریافته و تغییرنیافته دارد به این معنا که پیش‌زمینه بهتری از مناطق تغییریافته ارائه می‌کند. نتایج آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات شامل قطبیت VV بوده است و طبیعتاً وجود سایر قطبیت‌ها موجب افزایش دقت شناسایی تغییرات و همچنین آشکارسازی تغییرات در قطبیت‌های دیگر می‌شود. در اصل وجود قطبیت‌های دیگر در کنار قطبیت VV، به‌عنوان نوعی اطلاعات موجب افزایش دقت آشکارسازی تغییرات می‌شود.

با توجه به اینکه دقت نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات وابسته به عواملی نظیر توان تفکیک مکانی، دقت هندسی و رادیومتریکی، پیچیدگی رفتار پدیده‌ها در منطقه مورد مطالعه و الگوریتم و روش مورد استفاده می‌باشد؛ روش پیشنهادی دارای ویژگی‌های نظیر ۱) مقاومت بالا در برابر نوفه ۲) قابلیت تشخیص مرز صحیحی از محدودیت تغییرات ۳) مستقل از فرض اولیه در زمینه نوع توزیع داده‌های تصویر اختلاف و ۴) پیچیدگی و حجم محاسباتی کم، می‌باشد. اما مهم‌ترین چالش در روش پیشنهادی تنظیم پارامترهای منحنی است. بنابراین در این جهت پیشنهاد می‌شود که از الگوریتم‌های جستجوی محلی که از یک راه‌حل به راه‌حل دیگر در فضایی از راه‌حل‌های پیش رو (فضای جستجو) با استفاده از تغییرات محدود حرکت می‌کنند تا به یک راه‌حل بهینه دست یابند استفاده شود و نتایج حاصل از آن با نتایج حاصل از روش پیشنهادی در این تحقیق مقایسه گردد.

مراجع

[1] A. Singh, “Digital change detection techniques using remotely-sensed data”, International journal of remote sensing, Vol. 10, pp. 989-1003, 1989.

[2] T. Celik, “Unsupervised Change Detection in Satellite Images Using Principal Component Analysis And-Means Clustering”, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 6, pp. 772-776, 2009.

[3] N.S. Mishra, S.Ghosh, and A.Ghosh, “Fuzzy clustering algorithms incorporating local information for change detection in remotely sensed images”, Applied Soft Computing, Vol. 12, pp. 2683-2692, 2012.

[4] A. Moghimi, H. Ebadi, and V. Sadeghi, “Review of Change Detection Methods from Multitempolar Satellite Images by Pixel-Based and Object-Based Approach”, Geospatial Engineering Journal (GEJ), Vol. 7(2), pp. 99-110, 2016, (Persian).

[5] S.Ghosh, S.Patra, and A.Ghosh, “An unsupervised context-sensitive change detection technique based on modified self-organizing feature map neural network”, International Journal of Approximate Reasoning, Vol. 50(1), pp. 37-50, 2009.

[6] M.Volpi, G. Camps-Valls, and M.Kanevski, “Unsupervised change detection with kernels”, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 9(6), pp. 1026-1030, 2012.

[7] A. Moghimi, H. Ebadi, and V. Sadeghi, “Unsupervised Change Detection from Multitemporal SAR images using clustering based on genetic algorithm and hidden markov random field model”, The 1st National Conference on Geospatial Information Technology, 19, 20 Jan 2016, (Persian).

[8] M. Ghanbari, V. Akbari, A. A. Abkar, M. R. Sahebi. “Minimum-Error Thresholding for Unsupervised Change Detection in Multilook Polarimetric SAR Images”,

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]

Journal of Geomatics Science and Technology (JGST). Vol.5 (2), pp. 17-29, 2015, (Persian).

[9] Y.Bazi, F.Melgani, and H.D. Al-Sharari, "Unsupervised change detection in multispectral remotely sensed imagery with level set methods", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 48(8), pp. 3178-3187, 2010.

[10] T.Celik and K.K. Ma, "Multitemporal image change detection using undecimated discrete wavelet transform and active contours", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 49(2), pp. 706-716, 2011.

[11] S.Kabir, D.He, M.Sanusi, and W.Wan Hussina, "Texture analysis of IKONOS satellite imagery for urban land use and land cover classification", the imaging Science Journal, Vol. 58, pp. 163-170, 2010.

[12] J.G. Daugman, "Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters", Journal of the Optical Society of America, 1985, 1160-1169.

[13] M. Haghighat, S. Zonouz, and M.Abdel-Mottaleb, "Identification using Encrypted Biometrics in Computer Analysis of Images and Patterns", Springer, pp. 440-448, 2013.

[14] L.Paul and D.P. Ramamoorthy, "Synthetic Aperture Radar Image Change Detection Using Fuzzy C-Means Clustering Algorithm", International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 2 (2), pp. 76-86, 2013.

[15] S. Nikolov, P. Hill, D. Bull, N.Canagarajah, "Wavelets for image fusion. Wavelets in signal and image analysis", Springer, pp. 213-241, 2001.

[16] D.E. Gustafson and W.C. Kessel, "Fuzzy clustering with a fuzzy covariance matrix", In the 17th Symposium on Adaptive Processes, pp. 761-766, 1978.

[17] R. Babuka, P. Van der Veen, and U. Kaymak, "Improved covariance estimation for Gustafson-Kessel clustering", In proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp. 1081-1085, 2002.

[18] T. F. Chan and L. Vese, "Active contours without edges", IEEE transactions on Image processing, Vol. 10(2), pp. 266-277, 2001.

[19] S. Osher and J. A. Sethian, "Fronts propagating with curvature-dependent speed: algorithms based on Hamilton-Jacobi formulations", Journal of computational physics, Vol. 79(1), pp. 12-49, 1988.

[20] K. Michael, A. Witkin, and D. Terzopoulos. "Snakes: Active contour models." International journal of computer vision, Vol. 1(4), pp. 321-331, 1988.

[21] C. Li, C.Xu, C.Gui, and M. D. Fox, "Level set evolution without re-initialization: a new variational formulation", In Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Computer Society Conference, pp. 430-436, 2005.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.5, No.1, Spring 2017

Unsupervised Change Detection in Multitempolar SAR Images Based on Integration of Clustering and Active Contour Model

Moghimi A.[1*], Khazai S.[2], Ebadi H.[3]

1- Master of Science in Photogrammetry, Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N.Toosi University of Technology
2- Assistant Professor, Civil Engineering Research Center, Imam Hussein Comprehensive University
3- Associate Professor, Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N.Toosi University of Technology and Member of the Center of Excellence in Geographic Information System

Abstract

In this study, a method for unsupervised change detection in multi-temporal SAR images has been presented based on integrating clustering and active contour model. In this method, texture information is extracted by using Gabor filter in different scales and directions. KPCA transformation is also applied to reduce the dependency between the extracted features and image information. Moreover, Discrete Wavelet Transformation (DWT) and Gustafson-Kessel clustering (GKC) methods are used respectively to generate the difference image and the initial contour for the active contour model. In the final step, the region-based non-parametric active contour model is used for producing the change image containing changed and unchanged regions. For performance evaluation of the proposed method, two sets of high resolution multi-temporal TerraSAR-X images are considered. Experimental results of unsupervised change detection method show that, the total error rate of the proposed approach for the first data set are decreased respectively to 4.95%, 3.30% and 3.34% compared to that of the Chan-Vese, MRF and EMMRF methods and for the second data set, the total error rate of the proposed method are decreased to 2.56%, 1.86% and 1.87 As well. Moreover, the results showed that the use of GKC method leads to production of the initial curve with minimal convergence time for the active contour model. Also, the use of active contour model improves the accuracy of change map creation using a repititive process.

Key words: Multi-temporal SAR images, Gabor filtering, Gustafson-Kessel clustering (GKC), Active contour model.

Correspondence Address: Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Faculty of Geodesy & Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology, No. 1346, Vali-Asr Street, Mirdamad Cross, Tehran, IRAN
Tel : +98 9109261133
Email : moghimi.armin@gmail.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.5.1.21]