مجله علمی پژوهشی «راداور»
سال چهارم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵؛ ص ۶۸-۵۷

آشکارسازی نظارت نشده تغییرات از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه SAR مبتنی بر بهبود تئوری سطوح هم‌تراز

آرمین مقیمی[1*]، صفا خزایی[2]، حمید عبادی[3]
۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ۲- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)
۳- دانشیار، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
(دریافت: ۹۴/۰۸/۲۸؛ پذیرش: ۹۵/۲/۲۷)

چکیده

در پژوهش حاضر چارچوبی جهت آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات، با استفاده از تصاویر چندزمانه SAR با به‌کارگیری اطلاعات متنی و مبتنی بر ادغام خوشه‌بندی و مدل سطوح هم‌تراز ارائه شده است. با به‌کارگیری اطلاعات متنی، همبستگی مکانی بین پیکسل‌ها در نظر گرفته شد و همچنین به‌منظور معرفی خودکار تغییرات از روش پیشنهادی مبتنی بر ادغام خوشه‌بندی گوستافسون-کسل (GKC) و مدل سطوح هم‌تراز استفاده شد. استفاده از روش خوشه‌بندی موجب تولید منحنی اولیه با حداقل زمان همگرایی برای مدل سطوح هم‌تراز گردید و همچنین استفاده از مدل سطوح هم‌تراز موجب افزایش دقت تولید نقشه تغییرات با استفاده از فرآیند تکراری شد. جهت ارزیابی کارایی، روش پیشنهادی با تعدادی از روش‌های ارائه‌شده در مقالات پیشین مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که نرخ خطای کل روش پیشنهادی نسبت به این روش‌ها کاهش یافته است. نتایج حاصل، مؤید قابلیت بالای روش پیشنهادی جهت آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات تصاویر چندزمانه SAR است.

واژگان کلیدی

آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات، اطلاعات متنی، تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه SAR، خوشه‌بندی، مدل سطوح هم‌تراز

۱. مقدمه

آشکارسازی تغییرات عوارض سطح زمین، می‌تواند درک عمیقی از رابطه منطقی بین انسان و محیط زیست و تاثیرات متقابل آن‌ها بر یکدیگر را ایجاد کند تا با نظارت بر زمین، منابع آن به صورت بهینه بهره برداری شود. امروزه، جمع‌آوری داده‌های مکانی و طیفی به طور متناوب از پدیده‌های زمینی با استفاده از تصاویر اخذ شده توسط سنجنده‌ها در سامانه‌های سنجش از دوری، مهمترین منبع اطلاعاتی در زمینه آشکارسازی تغییرات در اختیار بشر قرار داده است. فرآیند تشخیص اختلافات در وضعیت یک عارضه یا پدیده با مشاهده آن در زمان‌های مختلف از تصاویر ماهواره‌ای را آشکارسازی تغییرات[1] می‌گویند [۱]. آشکارسازی تغییرات در سنجش از دور به دو روش نظارت‌شده و نظارت‌نشده صورت می‌گیرد. در تکنیک‌های نظارت‌شده یک سری نمونه آموزشی[2] برای یادگیری کلاس‌ها نیاز است. به‌طور کلی روش‌های نظارت‌شده براساس دانش موجود از نواحی تصاویر کار می‌کنند؛ به این معنا که این روش‌ها جهت یادگیری هر یک از کلاس‌ها به نمونه‌های آموزشی[3] از آن کلاس‌ها نیازمند هستند. در روش‌های آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات، نیازی به نمونه‌های آموزشی نیست [۲, ۳]. در واقع استفاده از این روش‌ها، مربوط به زمانی است که حصول نقشه باینری تغییرات که تنها محل تغییرات را نشان می‌دهد کافی بوده و نیازی به استخراج نقشه ماهیت تغییرات نیست. بنابراین این روش‌ها دارای سرعت بالایی در تولید نتایج هستند و نیازمند هزینه محاسباتی و اطلاعات کمتری نسبت به روش‌های نظارت شده می‌باشند. از جمله محدودیت آن‌ها می‌توان به حساسیت بالای این روش‌ها به شرایط حاکم بر تصویربرداری اشاره کرد. در مقایسه با تصاویر ماهواره‌ای نوری[4]، از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه SAR[5]، کمتر در زمینه آشکارسازی تغییرات استفاده شده است [۲].

ماهیت پیچیده تشکیل تصاویر SAR باعث شده که نتایج حاصل از روش‌های آشکارسازی تغییرات با این تصاویر، به شدت

* رایانامه نویسنده پاسخگو: armin.moghimi@yahoo.com
[1] Change Detection
[2] Trainings Data
[3] Training data
[4] Optical satellite images
[5] Synthetic Aperture RADAR

Archive of SID
www.SID.ir

به پیش‌پردازش‌های اولیه و به خصوص کاهش اثر نویز اسپیکل[1] وابسته باشد [۳]. با توجه به محدوده طیفی که امواج راداری در آن قرار دارند تصاویر حاصل از سنجنده‌های راداری کمتر تحت تأثیر اثرات اتمسفری و شرایط روشنایی خورشید[2] هستند؛ بنابراین تصاویر SAR برای نظارت بر مناطقی که از نظر آب و هوایی بارانی و ابری هستند، دارای قابلیت و کارایی بالایی می‌باشند[۵].

۱-۱. پیشینه تحقیق

براساس مقالات [۴و ۵] آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات از سه‌مرحله اصلی شامل پیش‌پردازش (تصحیح هندسی و رادیومتریکی)، تولید شاخص تغییرات و تهیه نقشه باینری تغییرات با استفاده از توابع تصمیم‌گیری[3] تشکیل شده است. اکثر روش‌های آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات براساس بهبود روش‌های تولید شاخص تغییرات توسعه یافته‌اند [۶]. در واقع تولید شاخص تغییرات مناسب نقش موثری در تولید با دقت نقشه باینری تغییرات دارد. معمولاً در جهت تولید نقشه باینری تغییرات از شاخص تغییرات، از توابع تصمیم‌گیری مبتنی بر روش‌های حد آستانه‌گذاری و خوشه‌بندی استفاده می‌شود. Bruzzone و Prieto دو روش اتوماتیک حد آستانه‌گذاری در جهت آشکارسازی نظارت نشده تغییرات ارائه کردند [۷]. اولین روش شامل انتخاب اتوماتیک حد آستانه براساس کمینه کردن احتمال خطای کل آشکارسازی تغییرات با فرض مستقل در نظر گرفتن پیکسل‌های تغییریافته و تغییرنیافته از یکدیگر بود. دومین روش انتخاب حد آستانه براساس آنالیز اطلاعات متنی و مکانی نظیر اطلاعات همسایگی هر پیکسل مبتنی بر زنجیره مخفی مارکوف (MRF[4]) بود. از جمله محدودیت این روش‌ها وابستگی آن‌ها به دانش اولیه راجع به توزیع آماری مناطق تغییریافته و تغییرنیافته در شاخص تغییرات است [۷]. Celik جهت شناسایی تغییرات نظارت‌نشده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از روشی مبتنی بر تبدیل PCA و روش خوشه‌بندی K-Means با k=2 استفاده شده است. بردارهای ویژه فضا به‌وسیله تبدیل PCA در بلوک‌های بدون پوشش h*h از شاخص تغییرات جمع‌آوری شده است. استفاده از تبدیل PCA موجب کاهش نویز تصویر اختلاف می‌شود اما این تبدیل زمانی می‌تواند نتایج خوبی را در بر داشته باشد که بین ویژگی‌های تصویر وابستگی خطی وجود داشته باشد و همچنین عملکرد این روش به‌شدت به مقادیر مختلف پارامتر h وابسته است. [۸]. Mishra و همکارانش جهت شناسایی تغییرات نظارت‌نشده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از آنالیز بردار تغییرات (CVA)، روش‌های خوشه‌بندی فازی و اطلاعات مکانی استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که خوشه‌بندی‌های فازی در محدوده‌هایی که خوشه‌های تغییریافته و تغییرنیافته دارای همپوشانی هستند، بهتر از روش‌های سخت خوشه‌بندی عمل می‌کنند [۵]. با این‌که عملکرد خوشه‌بندی‌های فازی با ورودی اطلاعات متنی مکانی در شناسایی تغییرات مناسب بوده اما با توجه به نتایج این روش‌ها، هنوز نویزی عمل کرده و نیاز به بهبود دارند. L.Paul و همکارانش رویکرد جدیدی بر مبنای تلفیق شاخص‌های تغییرات به‌منظور پایش با استفاده از خوشه‌بندی C میانگین فازی[5] (FCM) ارائه دادند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از تلفیق[6] شاخص‌های تغییرات موجب افزایش دقت در تولید نقشه تغییرات می‌شود [۹]. محدودیت اصلی این روش در عدم استفاده از اطلاعات متنی در جهت شناسایی تغییرات بوده است. به طور کلی در اکثر تحقیقات بیان‌شده جهت تولید شاخص تغییرات مقادیر هر پیکسل به‌صورت مستقل در نظر گرفته شده است و ارتباط مکانی بین آن‌ها را در نظر گرفته نشده که این مسئله در نهایت، باعث کاهش دقت و صحت تولید نقشه تغییرات می‌شود. از طرفی برتری روش‌های خوشه‌بندی نسبت به حد آستانه‌گذاری در عدم نیاز به تعیین حد آستانه بهینه است. همچنین در شناسایی تغییرات نظارت‌نشده بر مبنای روش‌های خوشه‌بندی، برخلاف روش‌های حد آستانه‌گذاری پارامتریک که از هیستوگرام توزیع درجات خاکستری تصویر اختلاف جهت تعیین حدآستانه بهینه استفاده می‌کنند، هیچ‌گونه توزیع خاصی برای درجات خاکستری تصویر اختلاف در نظر نمی‌گیرند.

اخیراً روش‌های موثری در زمینه آشکارسازی نظارت نشده تغییرات بر مبنای بخش‌بندی شاخص تغییرات با استفاده از مدل منحنی فعال ارائه شده است که نسبت به سایر روش‌ها دارای عملکرد برتری است [۱۰و ۱۱]. Bazi و همکارانش، از بخش‌بندی چندمقیاسه همراه با تئوری سطوح هم‌تراز در جهت آشکارسازی نظارت نشده تغییرات از داده‌های سنجش از دوری استفاده شد. در مرحله اول نقشه باینری تغییرات به وسیله بخش‌بندی چندمقیاسه تولید می‌شود و در مرحله دوم نتایج این بخش‌بندی طی یک فرآیندی تکراری در دو مقیاس و دو جهت، پایین نمونه‌برداری می‌شود [۱۰]. عدم شناسایی تغییرات بر روی تصاویری که قدرت تفکیک مکانی خود را به دلیل فرآیند پایین نمونه‌برداری از دست داده‌اند از جمله مشکلات این روش است. همچنین تنظیم پارامتر قطر مربع‌های استفاده شده به عنوان منحنی اولیه نیاز به مهارت کاربر و دانش اولیه از منطقه مورد

[1] Speckle Noise
[2] Sunlight condition
[3] Discriminate function
[4] Markov Random Field
[5] Fuzzy C mean
[6] Fusion

Archive of SID
www.SID.ir

مطالعه است. Celik و Ma، روشی نوین در جهت آشکارسازی نظارت نشده تغییرات بر مبنای UDWT[1] و مدل منحنی فعال ارائه شده است. در مرحله اول جهت تولید تصویر اختلاف مقاوم در برابر نویز از UDWT استفاده شده است. در مرحله دوم نقشه باینری تغییرات که معرف مناطق تغییریافته و تغییرنیافته است از بخش‌بندی چندمقیاسه تصویر اختلاف با استفاده از مدل منحنی فعال ناحیه مبنا غیرپارامتریک بدست می‌آید. نتایج حاصل از این روش در برابر با سایر روش‌ها دارای برتری می‌باشد [۱۱]. وابستگی مدل منحنی فعال به منحنی اولیه و وابستگی این مدل به پارامترهای ورودی از جمله محدودیت‌های این روش می‌باشد. همچنین تنظیم پارامتر قطر دوایر استفاده شده در این تحقیق به عنوان منحنی اولیه نیاز به مهارت کاربر و دانش اولیه از منطقه مورد مطالعه است. همچنین در این تحقیق‌ها تنها از اطلاعات شدت تصویر به عنوان ورودی استفاده شده است و اطلاعات متنی تصاویر در نظر گرفته نشده است.

یک روش آشکارسازی نظارت نشده تغییرات مناسب باید دارای ویژگی‌های نظیر ۱) مقاومت بالا در برابر نویز 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، باشد [۱۱]. از این رو در این تحقیق، روشی مبتنی بر ادغام خوشه‌بندی و سطوح هم‌تراز، پیشنهاد گردیده است. در این روش جهت تولید شاخص تغییرات بهینه از تلفیق به روش DWT، استفاده می‌شود. جهت تولید نقشه باینری تغییرات از شاخص تغییرات تولید شده در مرحله قبل، ابتدا منحنی اولیه سطوح هم‌تراز با استفاده از خوشه‌بندی K-means تولید شده تا مدل سطوح هم‌تراز در فرآیندی تکرارای 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 سطوح هم‌تراز در شناسایی تغییرات شده است.

در این تحقیق در بخش دوم، توضیح مختصری درباره استخراج اطلاعات متنی و تولید شاخص تغییرات با استفاده از تلفیق به روش DWT و مفاهیم تئوری مربوط به مدل سطوح هم‌تراز داده می‌شود و مجموعه داده‌های مورد استفاده و معیارهای ارزیابی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش سوم، روش پیشنهادی در این تحقیق در جهت آشکارسازی نظارت نشده تغییرات مورد توصیف قرار می‌گیرد. در بخش چهارم نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی و سایر روش‌ها بر روی داده مورد نظر ارائه گردیده و در نهایت در بخش پنجم به نتیجه‌گیری و پیشنهادات این تحقیق پرداخته می‌شود.

[1] Undecimated Discrete Wavelet Transform

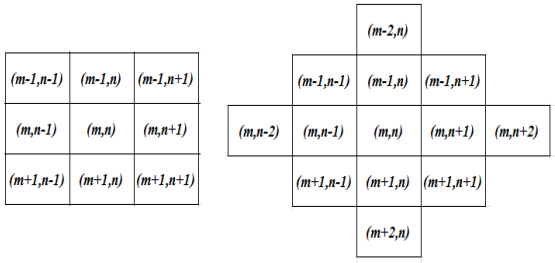
۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. استخراج اطلاعات متنی

به‌دلیل آن‌که معمولاً هر یک از پیکسل‌های تصویری متأثر از رفتار چندین پدیده می‌باشد، استفاده از اطلاعات متنی به شناسایی آن پدیده در تصاویر ماهواره‌ای کمک می‌کند. برای بدست آوردن اطلاعات متنی از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه، از N^d به عنوان پنجره‌ای که اطلاعات همسایگی اطراف پیکسل را به‌عنوان مقدار جدید پیکسل اختیار می‌کند استفاده می‌شود و $N^d(m,n)$ به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود [۵].

$$N^d(m,n) = \{(m,n) + (i,j), \quad (i,j) \in N^d\} \quad (۱)$$

که در آن n و m سطر و ستون ماتریس N^d؛ و i و j شمارنده سطر و ستون برای به‌دست آوردن مقدار پیکسل‌های همسایه و d بیانگر ترم N برای به‌دست آوردن اطلاعات متنی است [۵]. شکل ۱ نمونه‌ای از اطلاعات متنی براساس ترم N^2 و N^3 را نشان می‌دهد.



الف ب

شکل ۱. پنجره‌های به‌دست آوردن اطلاعات متنی برای پیکسل به‌ترتیب: الف) N^2 و ب) N^3

۲-۲. تولید شاخص تغییرات

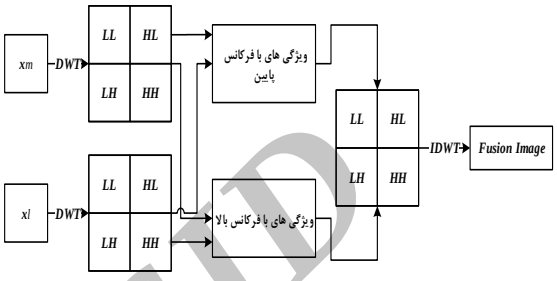
معمولاً برای تولید شاخص تغییرات در تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه SAR به دلیل وجود نویز اسپیکل از نسبت میانگین و لگاریتم استفاده می‌شود. با استفاده از نسبت لگاریتم نویز اسپیکل به نویزهای جمع‌شونده تبدیل می‌شود [۹]. نسبت میانگین در مقابل با نویز اسپیکل مقاوم می‌باشد [۱۲]. محدودیت اصلی تولید شاخص تغییرات به روش نسبت لگاریتم، کاهش نیمی از هیستوگرام شدت تصاویر SAR است. اما این روش توانایی بالایی در تشخیص تغییرات از تصاویر SAR دارد. بالعکس شاخص تغییرات حاصل از نسبت میانگین تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه SAR دارای قابلیت بالایی در تشخیص عدم تغییرات از تصاویر SAR می‌باشد. شاخص تغییرات حاصل از روش نسبت میانگین و لگاریتم در روابط ۲ و ۳ معرفی شده است [۹].

$$X_m = 1 - \min\left(\frac{\mu_1}{\mu_2}, \frac{\mu_2}{\mu_1}\right) \quad (۲)$$

$$X_l = \left|\log\frac{X_2}{X_1}\right| = |\log(X_2) - \log(X_1)| \quad (۳)$$

Archive of SID
www.SID.ir

از آنجایی‌که شاخص تغییرات بهینه، باید توانایی بالایی در تولید اطلاعات مربوط به تغییرات و عدم تغییرات داشته باشد، بنابراین از تلفیق شاخص‌های تغییرات حاصل از نسبت میانگین و لگاریتم به وسیله تبدیل موجک گسسته[1] (DWT) استفاده می‌شود [۱۳]. شکل ۲ روند کلی تلفیق تصاویر اختلاف با استفاده از تکنیک‌های نسبت لگاریتم و میانگین را با استفاده از DWT نشان می‌دهد.



شکل ۳. روند کلی تلفیق تصاویر اختلاف به روش نسبت لگاریتم و میانگین

۲-۳. مدل سطوح هم‌تراز

مدل سطوح هم‌تراز اولین بار توسط Osher و Sethian در سال ۱۹۸۸ معرفی گردید [۱۴]. این مدل جهت مدل‌سازی حرکت پوسته‌ها، رشد بلورها و حرکت منحنی در علومی مانند دینامیک سیلات و ماشین بینایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ایده اصلی این مدل 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 باتصویر اصلی است که مقدار هر پیکسل آن برابر با کوتاه‌ترین فاصله آن پیکسل از منحنی C می‌باشد. سطح هم‌تراز صفر[2] C(t) به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۱۵و ۱۶].

$$\begin{cases} \varphi(t,x,y) < 0 & (x,y)\ is\ inside\ \ C(t) \\ \varphi(t,x,y) = 0 & (x,y)\ is\ at\ \ C(t) \\ \varphi(t,x,y) > 0 & (x,y)\ is\ outside\ \ C(t) \end{cases} \quad (۴)$$

که در رابطه فوق $\varphi(t,x,y)$ موقعیت پیکسل در لحظه t نسبت به منحنی C در تصویر می‌باشد. با توجه به رابطه ۸ تابع سطوح هم‌تراز φ به‌وسیله معادله زیر به‌دست می‌آید که به آن معادله سطوح هم‌تراز می‌گویند [۱۷].

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\varphi}{\partial t} + F|\nabla\varphi| \\ \varphi(0,x,y) = \varphi_0(x,y) \end{cases} \quad (۵)$$

که در رابطه فوق، $\varphi_0(x,y)$ موقعیت منحنی اولیه[3] و تابع F، تابع سرعت[4] نامیده می‌شود. تغییر سطوح هم‌تراز بدون مقداردهی اولیه از رابطه ۶ به‌دست می‌آید [۱۷].

[1] Discrete wavelength transformation
[2] Zero level set
[3] Initial contour
[4] speed function

$$E(\varphi) = \mu P(\varphi) + \varepsilon_{g,\lambda,\nu}(\varphi) \quad (۶)$$

که در روابط فوق μ پارامتری مثبت و کنترل‌کننده اثر جبران تغییر تابع φ نسبت به تابع فاصله sing است، $\varepsilon_{g,\lambda,\nu}(\varphi)$، تابع انرژی خارجی است که حرکت منحنی اولیه φ را کنترل می‌کند و $P(\varphi)$ انرژی داخلی[5] است که از روابط و به‌دست می‌آید [۱۷].

$$\varepsilon_{g,\lambda,\nu}(\varphi) = \lambda\mathcal{L}_g(\varphi) + \nu\mathcal{A}_g(\varphi) \quad (۷)$$

$$P(\varphi) = \int_\Omega \frac{1}{2}(|\nabla\varphi| - 1)^2 dxdy \quad (۸)$$

که تابع $P(\varphi)$، نشان‌دهنده چگونگی بسته شدن تابع φ نسبت به تابع فاصله sing در فضای $\Omega \subset R^2$ می‌باشد. همچنین در رابطه $\varepsilon_{g,\lambda,\nu}(\varphi)$، λ بیانگر ضریب طول منحنی برای تنظیم نرمی و $\mathcal{L}_g(\varphi)$ و $\mathcal{A}_g(\varphi)$ به‌ترتیب طول و مساحت منحنی می‌باشند [۱۷].

$$\mathcal{L}_g(\varphi) = \int_\Omega g\delta(\varphi)|\nabla\varphi|dxdy \quad (۹)$$

$$\mathcal{A}_g(\varphi) = \int_\Omega gH(-\varphi)dxdy \quad (۱۰)$$

در رابطه فوق δ تابع ضربه[6] و H تابع هویساید[7] می‌باشد. در ادامه بایستی معادله تغییرات تابع φ نسبت به زمان، به‌گونه‌ای محاسبه گردد که تابع انرژی فوق کمینه گردد. به عبارت دیگر هدف یافتن معادله‌ای است که مطابق با آن معادله تابع φ در یک فرآیند تکراری به‌نحوی تغییر پیدا نماید که تغییرات آن باعث کمینه شدن تابع انرژی فوق الذکر گردد [۱۷].

$$\frac{\partial E}{\partial t} = -\frac{\partial\varphi}{\partial t} \quad (۱۱)$$

بنابراین:

$$\frac{\partial\varphi}{\partial t} = \mu\underbrace{\left[\Delta\varphi - \mathrm{div}\left(\frac{\nabla\varphi}{|\nabla\varphi|}\right)\right]}_{\zeta(\varphi)} + \lambda\underbrace{\delta(\varphi)\mathrm{div}\left(g\frac{\nabla\varphi}{|\nabla\varphi|}\right) + \nu g\delta(\varphi)}_{\xi(g,\varphi)} \quad (۱۲)$$

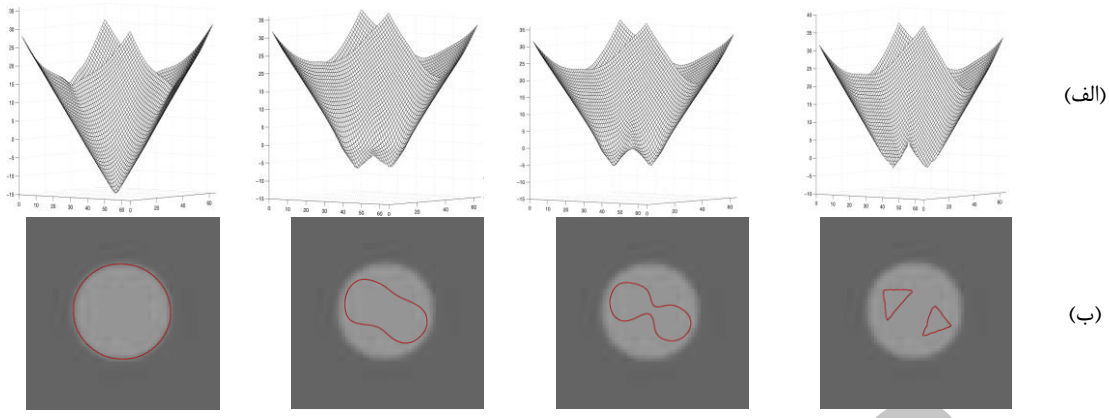
که در رابطه (۱۲) ترم اول را با تابع $\zeta(\varphi)$ که بیان‌گر اثر جبران تابع φ از تابع فاصله *sing* و ترم دوم را با تابع $\xi(g,\varphi)$ که بیان‌گر اطلاعات گرادیان می‌باشد، نشان می‌دهند [۱۷]. در نهایت طی یک فرآیند تکراری تابع φ^{n+1} از رابطه ۱۳ به‌دست می‌آید [۱۶و ۱۷].

$$\varphi^{n+1}(t,x,y) = \varphi^n(x,y) + \tau[\mu\,\zeta(\varphi)^n + \lambda\xi(g,\varphi)^n] \quad (۱۳)$$

در رابطه فوق φ^n و φ^{n+1} برابر با مقدار تابع φ در مراحل n و n+1 و τ بیانگر مرحله زمانی که نرخ تغییرات تابع φ را مشخص می‌کند و $\zeta(\varphi)$ و $\xi(g,\varphi)$ در رابطه ۲۰ و ۲۱ معرفی شده‌اند. شکل ۳ ارزیابی تابع سطح هم‌تراز φ و منحنی سطح هم‌تراز متناظر با آن را نشان می‌دهد.

[5] internal energy
[6] Dirac function
[7] Heaviside function

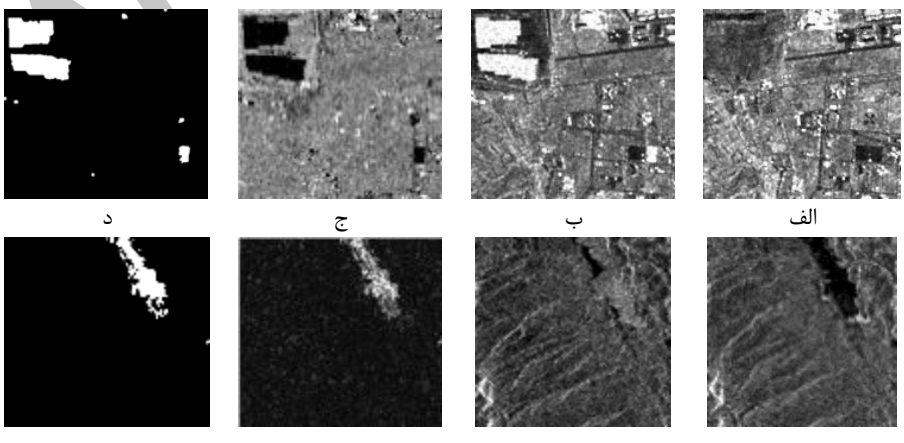
Archive of SID
www.SID.ir



شکل۵. تخمین منحنی اولیه مدل سطوح هم‌تراز الف) تخمین تابع $\phi(x,y)$ ب) منحنی اولیه متناظر با تابع $\phi(x,y)$ در ستون الف [۱۷]

۲-۴. داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

مجموعه داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل دو مجموعه تصویر چندزمانه SAR می‌باشد. مجموعه اول تصاویر 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، ازسنجنده TerraSAR-X با ابعاد ۵۷۰*۵۳۰ پیکسل است. این تصاویر با پلاریزاسیون VV اخذ گردیده‌اند. چون تصاویر از قبل زمین مرجع بودند نیاز به تصحیح هندسی نبود. به منظور تصحیح رادیومتریک از فیلتر کوآن[1] به‌دلیل حفظ لبه‌ها و عوارض شارپ در حین عملیات فیلترینگ استفاده شد. همچنین با توجه به معیار ارزیابی ENL[2] که بزرگی آن، بیانگر میزان جدایی مقادیر از نویز اسپیکل می‌باشد، از ابعاد ۱۱*۱۱ برای فیلتر کوآن استفاده شد. 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 تصاویر ورودی به صورت دستی تهیه گردیده است. دومین مجموعه داده مورد استفاده شامل دو تصویر چندزمانه SAR اخذشده به‌وسیله ماهواره ESAERS2 از منطقه‌ای در سانفرانسیسکو در تاریخ ۱۰ آگوست ۲۰۰۳ و ۱۶ می ۲۰۰۴ می‌باشد. این تصاویر از قبل تصحیح هندسی و رادیومتریکی شده‌اند. قدرت تفکیک مکانی این تصاویر ۲۵ متر می‌باشد. بخشی از این تصاویر با ابعاد ۴۰۰*۴۰۰ پیکسل به‌عنوان منطقه مورد ارزیابی در نظر گرفته شده است. جهت ارزیابی کمی تاثیرات روش پیشنهادی، یک نقشه مرجع که براساس تصاویر ورودی به صورت دستی تهیه گردیده است. در شکل ۴ دو مجموعه تصویر چندزمانه SAR، نقشه مرجع و شاخص تغییرات مربوط به آن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۴. تصاویر TerraSAR-X مربوط به الف) سال ۲۰۱۱ ب) سال ۲۰۱۲ ج) شاخص تغییرات تولیدی د) نقشه ارزیابی تغییرات نظارت‌نشده (مناطق سفید رنگ بیانگر مناطق تغییریافته و مناطق سیاه رنگ بیانگر مناطق تغییرنیافته)، تصاویرESA ERS2 مربوط به ه) سال ۲۰۰۳، و) سال ۲۰۰۴، ح) شاخص تغییرات تولیدی ز) نقشه ارزیابی تغییرات نظارت نشده (مناطق سفید رنگ بیانگر مناطق تغییریافته و مناطق سیاه رنگ بیانگر مناطق تغییرنیافته)

[1] kuan
[2] equivalent number of looks

Archive of SID
www.SID.ir

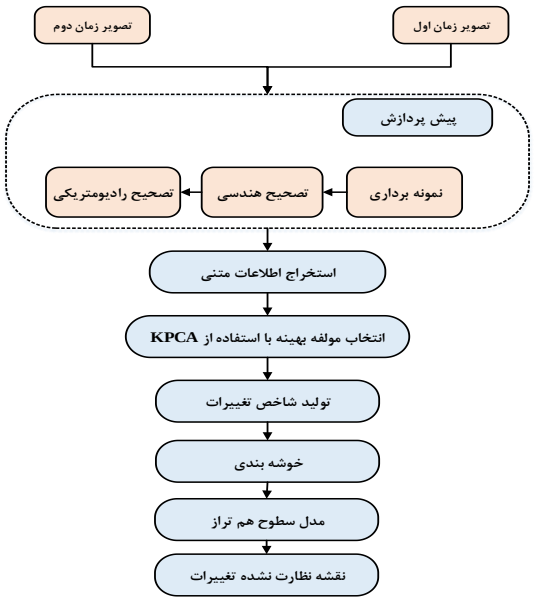
۲-۵. معیارهای ارزیابی آشکارسازی تغییرات

در این تحقیق جهت ارزیابی کمی نتایج حاصل از آشکارسازی نظارت نشده تغییرات با نقشه مرجع مقایسه گردید. در این راستا از سه معیار، نرخ هشدار اشتباه (P_{FA})، نرخ هشدار خطا (P_{MA}) و نرخ خطای کل (P_{OE}) استفاده گردید. نرخ هشدار اشتباه (P_{FA})، از تقسیم مقدار هشدار اشتباه[1] (FA) (پیکسل‌های تغییرنیافته‌ای که به غلط به عنوان پیکسل‌های تغییر انتخاب گردیده‌اند) بر N_1 (تعداد پیکسل‌های تغییرنیافته در نقشه مرجع) بدست می‌آید و از رابطه $P_{FA} = (FA/N_1) \times 100$ محاسبه می‌شود. نرخ هشدار خطا (P_{MA}) از تقسیم مقدار هشدار خطا[2] (MA) (تعداد پیکسل‌های تغییر که به غلط به عنوان پیکسل‌های تغییرنیافته انتخاب گردیده‌اند) بر N_0 (تعداد پیکسل‌های تغییریافته در نقشه مرجع) بدست می‌آید و از رابطه $P_{MA} = (MA/N_0) \times 100$ محاسبه می‌شود. نرخ خطای کل (P_{OE}) از تقسیم مقدار خطای کل[3] (OE) (تعداد کل پیکسل‌هایی که به غلط برچسب‌دهی شده‌اند که از رابطه ($FA + MA$) محاسبه می‌شود) بر مجموع کل پیکسل‌های تغییرنیافته که از رابطه ($N_0 + N1$) محاسبه می‌گردد، به‌دست می‌آید و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$P_{OE} = (FA + MA / N_0 + N1) \times 100$$

۳. روش پیشنهادی در جهت آشکارسازی نظارت نشده تغییرات

در این قسمت جزئیات روش پیشنهادی جهت آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه SAR ارائه می‌شود. شکل ۵مراحل روش پیشنهادی برای این منظور را نشان می‌دهد. داده‌ها شامل دو تصویر ماهواره‌ای SAR مربوط به دو زمان مختلف می‌باشد. مطابق شکل ۵ پیش‌پردازش داده‌ها شامل نمونه‌برداری، ت صحیح هندسی و تصحیح رادیومتریکی می‌باشد. در مرحله بعد به منظور در نظر گرفتن همبستگی مکانی هر یک از پیکسل‌ها، اطلاعات متنی استخراج می‌شود و به همراه اطلاعات شدت هر یک از تصاویر وارد مرحله انتخاب ویژگی می‌شود. زمانی که داده‌ها دارای ساختار پیچیده‌ای باشند، استفاده از یک زیر فضای خطی نظیر روش PCA فاقد اعتبار می‌باشد [۱۸و ۱۹]. برای حل این مشکل از حقه کرنل به منظور تعمیم غیرخطی تبدیل PCA استفاده شد؛ بنابراین به منظور انتخاب مؤلفه‌های بهینه از KPCA استفاده می‌شود؛ سپس شاخص تغییرات با استفاده از تلفیق به روش DWT از سایر شاخص‌های تغییرات تولید می‌شود. در مرحله بعد به‌منظور تولید منحنی اولیه برای مدل سطوح هم‌تراز شاخص تغییرات تولیدی، خوشه‌بندی می‌شود و در نهایت با اعمال مدل سطوح هم‌تراز، نقشه تغییرات تولید می‌شود.



شکل ۵. مراحل روش پیشنهادی جهت پایش آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات

۳-۱. تولید منحنی اولیه سطوح هم‌تراز با استفاده از خوشه‌بندی

همان‌طور که بیان شد، برای تولید منحنی اولیه، پس از تولید شاخص تغییرات، این شاخص خوشه‌بندی می‌شود. مشکلی که در تعیین تغییرات وجود دارد، همپوشانی بین مناطق تغییریافته و تغییرنیافته است. الگوریتم خوشه‌بندی گوستاوسون و کسل (GKC) یک تکنیک قدرتمند در خوشه‌بندی می‌باشد و ویژگی اصلی این روش مطابقت فاصله نمونه‌های ورودی تا مراکز خوشه‌ها براساس تخمین ماتریس کواریانس خوشه‌ها می‌باشد [۲۰و ۲۱]. بنابراین در این تحقیق از این خوشه‌بندی برای تولید منحنی اولیه برای مدل سطوح هم‌تراز استفاده شد. نتایج حاصل از این خوشه‌بندی با تعداد خوشه‌های دو، به عنوان منحنی اولیه وارد مدل سطوح هم‌تراز می‌شود و نقشه نظارت نشده تغییرات پس از تکرار مناسب سطوح هم‌تراز تولید می‌شود. از جمله مزایای استفاده از سطوح هم‌تراز افزایش پایداری محاسباتی با کاهش حجم محاسبات و قابلیت ردیابی تغییرات توپولوژیکی و استقلال از منحنی اولیه است به‌گونه‌ای که می‌تواند از محدوده تصادفی باینری $\varphi_0(x,y)$ به عنوان منحنی اولیه شروع کند [۱۷].

$$\varphi_0(x,y) = -4\varepsilon(0.5 - B_k) \qquad (۱۴)$$

در رابطه فوق ε یک مقدار تنظیم‌کننده‌ی ثابت برای تابع

[1] False Alarm
[2] Miss Alarm
[3] Overall Error

Archive of SID
www.SID.ir

ضربه می‌باشد و تابع ضربه به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۵].

$$\delta_\varepsilon(x) = \begin{cases} 0, & |x| > \varepsilon \\ \frac{1}{2}\left[1+\cos\left(\frac{\pi x}{\varepsilon}\right)\right], & |x| \le \varepsilon \end{cases} \quad (۱۵)$$

و B_k یک تصویر باینری می‌باشد که از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$B_k = R_k \ge b_0 \quad (۱۶)$$

جایی که b_0 یک حد آستانه در جهت تولید تصویر باینری B_k می‌باشد. φ_0 به عنوان سطح اولیه همتراز از خوشه‌بندی GKC به‌دست می‌آید.

۴. نتایج تجربی و بحث

جهت پیاده‌سازی روش پیشنهادی، از نرم‌افزار MATLAB 2013b و PCI Geomatica 2012 و Envi 4.8 استفاده شده است. دیگر قسمت‌های روش پیشنهادی مطابق با جزئیات بیان شده در بخش قبل، برنامه‌نویسی شده است.

۴-۱. تنظیم پارامترها

در این تحقیق، m به‌عنوان توان فازی‌ساز در خوشه‌بندی GKC برابر با مقدار عمومی دو در نظر گرفته شد. مقادیر پارامترهای مدل سطوح هم‌تراز با توجه به تحقیق [۱۷] برابر با λ=۰/۵، τ=۰/۵، υ=۱/۵، μ=۰/۰۴ در نظر گرفته شد. مطابق با مراحل روش پیشنهادی، اطلاعات متنی از سطح تصویر با توجه به ترم انتخابی استخراج گردید و پس از اضافه شدن این ویژگی‌ها به هر یک از تصاویر زمان اول و دوم مجموعه تصاویر مورد استفاده، به دلیل امکان وجود وابستگی میان ویژگی‌ها و اطلاعات تصاویر، تبدیل KPCA بر روی مجموع آن‌ها با هسته کرنل مولتی کوادراتیک اعمال گردید و مولفه‌ی اول این تبدیل به عنوان نماینده هر یک از تصاویر زمان اول و دوم وارد مرحله تولید تصویر اختلاف گردید. جهت بررسی تأثیر استفاده از اطلاعات متنی، با استفاده از روش آشکارسازی تغییرات ارائه شده در این مقاله، از ترم‌های اطلاعات متنی N^1 تا N^3 به ازای هر یک از تصاویر TerraSAR-X و ESA ERS2 استفاده شد و نتایج حاصل از آن‌ها در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱. عملکرد آشکارسازی تغییرات با استفاده از ترم‌های اطلاعات متنی N^1 تا N^3 برای داده‌های TerraSAR-x

روش	نرخ خطای کل (P_{OE})	نرخ هشدار اشتباه (P_{FA})	نرخ هشدار خطا (P_{MA})
N^1(فاقد اطلاعات متنی)	۱/۷۴	۱/۷۱	۲/۱۶
N^2	۱/۷۲	۱/۶۸	۲/۳۱
N^3	۱/۶۵	۱/۶۰	۲/۳۸

جدول ۲. عملکرد آشکارسازی تغییرات با استفاده از ترم‌های اطلاعات متنی N^1 تا N^3 برای داده‌های ESA ERS2

روش	نرخ خطای کل (P_{OE})	نرخ هشدار اشتباه (P_{FA})	نرخ هشدار خطا (P_{MA})
N^1(فاقد اطلاعات متنی)	۰/۲۴	۲/۷۳	۰/۱۴
N^2	۰/۲۲	۲/۵۲	۰/۱۴
N^3	۰/۱۵	۱/۶۱	۰/۱۰

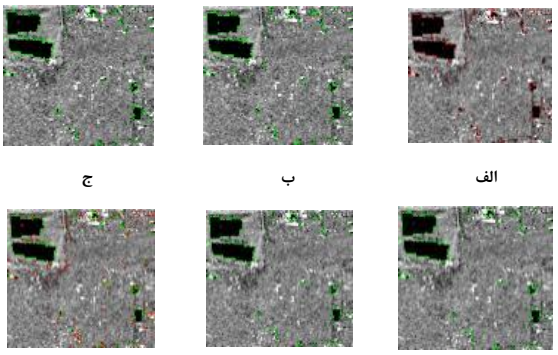
با توجه به جدول‌های ۱ و ۲، افزایش ترم اطلاعات متنی باعث کاهش نرخ خطای کل نسبت به عدم استفاده از اطلاعات متنی به ازای هر یک از داده‌های ورودی شده است. به ازای هر یک از مجموعه تصاویر TerraSAR-X و ESA ERS2، اطلاعات متنی به کار گرفته شده باعث کاهش نرخ هشدار اشتباه گردیده است به این معنا که با افزایش ترم اطلاعات متنی تعداد پیکسل‌های عدم تغییر که به غلط انتخاب گردیده‌اند کاهش پیدا کرده است البته این کاهش با افزایش نرخ هشدار خطا در تصاویر TerraSAR-X همراه بوده است؛ چرا که تعداد پیکسل‌های که به غلط به عنوان تغییرنیافته انتخاب گردیده‌اند افزایش یافته است؛ اما این افزایش با افزایش ترم اطلاعات متنی در مقابل با کاهش نرخ هشدار اشتباه قابل چشم‌پوشی است؛ بنابراین در این تحقیق ترم N^3 به عنوان ترم منتخب اطلاعات متنی برای هر یک از مجموعه تصاویر مورد استفاده در این تحقیق، به کار گرفته شد. جهت بررسی انتخاب بهترین تکرار جهت رسیدن به منحنی بهینه از تکرار صفر (منحنی اولیه حاصل از خوشه‌بندی GKC) تا تکرار ۵۰ با فاصله ۱۰تایی استفاده گردید. جدول ۳ و شکل ۶ نتایج به‌دست‌آمده از این تکرارها در جهت رسیدن به منحنی بهینه را برای مجموعه تصاویر TerraSAR-X نشان می‌دهد.

جدول ۳. عملکرد آشکارسازی نظارت نشده تغییرات با استفاده از روش پیشنهادی با تکرارهای مختلف برای برای داده‌های TerraSAR-x

تکرار	نرخ خطای کل (P_{OE})	نرخ هشدار اشتباه (P_{FA})	نرخ هشدار خطا (P_{MA})	زمان اجرا
t=۰	۱/۶۵	۱/۶۰	۲/۳۸	۱ s
t=۱۰	۱/۲۵	۱/۲۳	۱/۵۲	۱/۵ s
t=۲۰	۱/۰۹	۱/۱۰	۰/۹۴	۲ s
t=۳۰	۱/۰۳	۱/۰۵	۰/۷۳	۲/۴۳ s
t=۴۰	۱	۱/۰۲	۰/۷۲	۲/۹۷ s
t=۵۰	۱	۱/۰۳	۰/۷۱	۳/۰۲ s

Archive of SID

www.SID.ir

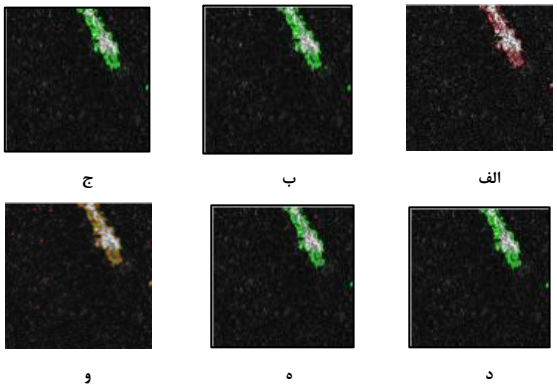


شکل ۶. تکرار سطوح هم‌تراز به ازای پارامترهای λ=۰/۵، τ=۰/۵، υ=۱/۵، μ=۰/۰۴ و تکرار الف) ۰=T، ب) ۱۰=T، ج) ۲۰=T، د) ۳۰=T، ه) ۴۰=T، و) نحوه بهبود منحنی اولیه پس از تکرار چهلم سطوح هم‌تراز مجموعه تصاویر ورودی TerraSAR-X

مطابق با جدول ۳ نرخ خطای کل، نرخ هشدار خطا و اشتباه با افزایش تکرار سطوح هم‌تراز به‌ازای مجموعه تصاویر TerraSAR-X کاهش یافته است. در حقیقت با افزایش تکرار سطوح هم‌تراز منحنی اولیه بهبود یافته و مناطق تغییریافته و تغییرنیافته را با خطای کمتری تشخیص داده است. با افزایش تعداد تکرار سطوح هم‌تراز، از تکرار ۴۰ به بعد منحنی همگرا شده و میزان خطا تغییر محسوسی نکرده است. کمترین میزان خطای کل، نرخ هشدار خطا و اشتباه مربوط به تکرار ۴۰ و ۵۰ بوده و بیشترین میزان این خطاها مربوط به منحنی بدست آمده از تکرار اول سطوح هم‌تراز می‌باشد. مطابق شکل ۶، با افزایش تعداد تکرار سطوح هم‌تراز منحنی اولیه با کیفیت بهتری تولید شده و به نویزهای موجود در تصویر اختلاف همگرا نشده است و به خوبی به محدوده تغییرات را در بر گرفته اند. نتایج حاصل از تنظیم پارامتر T برای مجموعه تصاویر ESA ERS2 در جدول ۴ و شکل ۷ آورده شده است.

جدول ۴. عملکرد آشکارسازی نظارت نشده تغییرات با استفاده از روش پیشنهادی با تکرارهای مختلف برای برای داده‌های ESA ERS2

تکرار	نرخ خطای کل (P_{OE})	نرخ هشدار اشتباه (P_{FA})	نرخ هشدار خطا (P_{MA})	زمان اجرا
t=۰	۰/۱۵	۱/۶۱	۰/۱۰	۰/۹۳ s
t=۱۰	۰/۰۹	۱/۰۲	۰/۰۵	۱/۳۳ s
t=۲۰	۰/۲۹	۳/۸۴	۰/۱۵	۱/۵۴ s
t=۳۰	۰/۶۴	۸/۹۲	۰/۳۴	۱/۸۶ s
t=۴۰	۰/۷۲	۱۰/۰۰	۰/۳۷	۲/۰۱ s
t=۵۰	۰/۷۲	۹/۹۹	۰/۳۸	۲/۲۶ s



شکل ۷. تکرار سطوح هم‌تراز به ازای پارامترهای λ=۰/۵، τ=۰/۵، υ=۱/۵، μ=۰/۰۴ و تکرار الف) ۰=T، ب) ۱۰=T، ج) ۲۰=T، د) ۳۰=T، ه) ۴۰=T، و) نحوه بهبود منحنی اولیه پس از تکرار دهم سطوح هم‌تراز به ازای مجموعه تصاویر ورودی ESA ERS2

با توجه به جدول ۴، منحنی نهایی حاصل از T=۱۰، با نرخ خطای کلی ۰/۰۹، برای مجموعه تصاویر ورودیESA ERS2 دارای بیشترین دقت در آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات با استفاده از روش پیشنهادی نسبت به سایر مقادیر پارامتر T می‌باشد. در این مجموعه تصاویر، با افزایش مقدار T=۱۰ تا T=۵۰ مقدار نرخ خطای کلی افزایش یافته است. با توجه به شکل ۷ از نظر کیفی با افزایش مقدار پارامتر T، با اینکه میزان نویز که سبب به وجود آمدن تغییرات کاذب در سطح تصاویر می‌گردند، کاهش می‌یابد اما منحنی نهایی وارد محدوده تغییرات شده و قسمتی از محدوده تغییرات از دست رفته و به عنوان مناطق تغییریافته شناسایی می‌شود. لازم بذکر است که افزایش تکرارها مسلماً باعث افزایش زمان همگرایی می‌شود؛ اما این افزایش زمان ناچیز بوده و در مقابل با افزایش دقت قابل چشم‌پوشی است.

۴-۲. ارزیابی نتایج

در ادامه جهت ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی (GKCLSM) در آشکارسازی نظارت نشده تغییرات، نتایج حاصل از این روش با نتایج حاصل از روش‌های حدآستانه‌گذاری آتسو[1] (OT)، خوشه‌بندی‌های FCM، GKC، شبکه عصبی رقابتی[2](KC)، الگوریتم حداکثرسازی امید ریاضی[3] (EM)، روش زنجیره تصادفی مارکوف[4] (MRF) و مدل منحنی فعال ناحیه مبنای غیرپارامتریک Chan–Vese[5] در تولید نقشه تغییرات نظارت نشده مقایسه گردید. نتایج کمی و کیفی آشکارسازی نظارت نشده تغییرات با استفاده از روش‌های مذکور، برای مجموعه تصاویر ورودی TerraSAR_X در جدول ۵ آورده شده‌اند و همچنین در

[1] Otsu thresholding
[2] Kohonen Artificial Neural Networks
[3] Expectation-Maximization Algorithm
[4] Markov random field
[5] Chan–Vese model

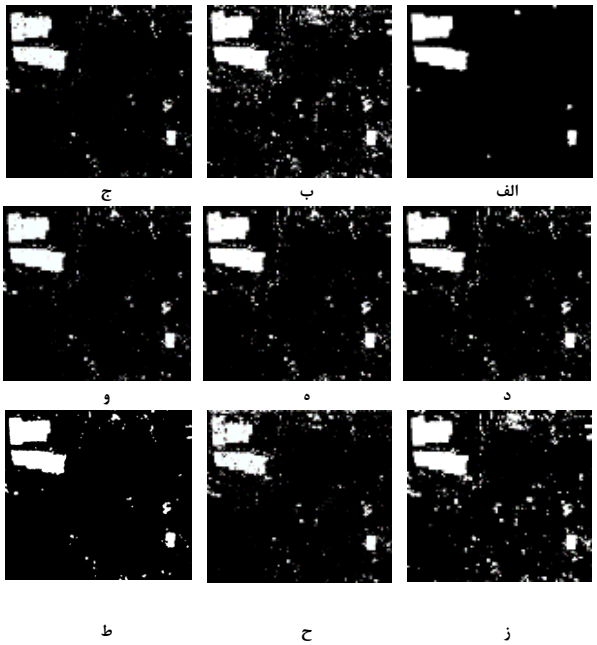
Archive of SID
www.SID.ir

شکل ۸ نشان داده شده‌اند.

جدول ۵. عملکرد آشکارسازی نظارت نشده تغییرات با استفاده از روش‌های الگوریتم حداکثرسازی امید ریاضی (EM)، حدآستانه‌گذاری آتسو (OT)، خوشه‌بندی‌های FCM و GKC، شبکه عصبی رقابتی (KC)، زنجیره تصادفی مارکوف (MRF)، منحنی فعال غیرپارامتریک (*Chan–Vese*) و روش پیشنهادی (LSMGKC) با استفاده از مجموعه تصاویر ورودی TerraSAR-x

روش	نرخ خطای کل (P_{OE})	نرخ هشدار اشتباه (P_{FA})	نرخ هشدار خطا (P_{MA})
EM	۵/۴۶	۵/۷۸	۰/۸۸
OT	۱/۶۲	۱/۳۶	۵/۴۷
FCM	۲/۷۸	۲/۹۰	۱/۰۷
GKC	۲/۷۰	۲/۸۹	۱/۰۹
KC	۱/۹۰	۱/۸۴	۲/۸۱
MRF	۵/۲۳	۰/۲۷	۵/۵۷
Chan–Vese	۳/۲۲	۲/۸۷	۸/۳۲
GKCLSM	۱	۱/۰۲	۰/۷۲

مطابق با جدول ۵ روش پیشنهادی (LSMGKC) با نرخ خطای کل ۱٪، دارای بیشترین دقت شناسایی تغییرات نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد. در درجه دوم روش حدآستانه‌گذاری Otsu با نرخ خطای کل ۱/۶۲٪، دارای نرخ خطای کل کمتری نسبت به سایر روش‌ها است ولی میزان بالای نرخ هشدار خطا در این روش ناشی از تشخیص بیشتر مناطق به صورت تغییرنیافته است که موجب کاهش نرخ هشدار اشتباه در این روش شده است. روش‌های خوشه‌بندی GKC و FCM از نظر نرخ خطای کل، میزان نرخ هشدار اشتباه و خطا دارای اختلاف اندکی با یکدیگر هستند که علت این امر را می‌توان در ماهیت یکسان این دو روش و عدم تاثیرگذاری کوارایانس خوشه‌ها در خوشه‌بندی GKC دانست. روش شبکه عصبی رقابتی (KC) دارای دقت مناسب‌تری نسبت به روش‌های خوشه‌بندی FCM و GKC در شناسایی تغییرات نظارت نشده است. علت این امر را می‌توان درماهیت خود سازمان‌یافته این شبکه عصبی نسبت به این خوشه‌بندی‌ها دانست. روش مدل منحنی غیرفعال غیرپارامتریک Chan–Vese دارای نتایج نسبتاً ضعیفی بوده است. علت این امر را می‌توان همگرایی برخی از منحنی‌های اولیه این مدل به نویزهای موجود در تصویر دانست. ضعیف‌ترین نتایج نسبت به سایر روش‌ها مربوط به الگوریتم EM و MRF می‌باشد و علت این امر را می‌توان در فرض نرمال بودن توزیع هیستوگرام درجات خاکستری شاخص تغییرات مورد نظر در این دو روش دانست که باعث شده بیشتر مناطق به صورت مناطق تغییریافته تشخیص داده شوند. با توجه به جدول ۵ نرخ خطای کل روش پیشنهادی (LSMGKC) نسبت به روش‌های الگوریتم EM، حدآستانه‌گذاری Otsu، روش‌های خوشه‌بندی FCM، GKC، KC، مدل Chan–Vese و مدل MRF به میزان ۴/۴۶، ۰/۶۲، ۱/۷۸، ۱/۷۰، ۰/۹۰، ۴/۲۳ و ۲/۲۲ برابر کاهش یافته است.



شکل ۸. الف) نقشه ارزیابی تغییرات نظارت نشده، نقشه نظارت نشده تغییرات با استفاده از روش‌های ب) الگوریتم EM ، ج) حدآستانه‌گذاری Otsu، د) خوشه‌بندی FCM، ه) خوشه‌بندی GKC، و) خوشه‌بندی شبکه عصبی رقابتی (KC)، ز) زنجیره مخفی مارکوف (MRF)، ح) مدل Chan–Vese، ط) نقشه تغییرات نظارت نشده با استفاده از روش پیشنهادی (مناطق سفید رنگ بیانگر مناطق تغییریافته و مناطق سیاه رنگ بیانگر مناطق تغییرنیافته)

مطابق با جدول ۵ روش پیشنهادی (LSMGKC) با نرخ خطای کل ۱٪، دارای بیشترین دقت شناسایی تغییرات نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد. در درجه دوم روش حدآستانه‌گذاری Otsu با نرخ خطای کل ۱/۶۲٪، دارای نرخ خطای کل کمتری نسبت به سایر روش‌ها است ولی میزان بالای نرخ هشدار خطا در این روش ناشی از تشخیص بیشتر مناطق به صورت تغییرنیافته است که موجب کاهش نرخ هشدار اشتباه در این روش شده است. روش‌های خوشه‌بندی GKC و FCM از نظر نرخ خطای کل، میزان نرخ هشدار اشتباه و خطا دارای اختلاف اندکی با یکدیگر هستند که علت این امر را می‌توان در ماهیت یکسان این دو روش و عدم تاثیرگذاری کوارایانس خوشه‌ها در خوشه‌بندی GKC دانست. روش شبکه عصبی رقابتی (KC) دارای دقت مناسب‌تری نسبت به روش‌های خوشه‌بندی FCM و GKC در شناسایی تغییرات نظارت نشده است. علت این امر را می‌توان درماهیت خود سازمان‌یافته این شبکه عصبی نسبت به این خوشه‌بندی‌ها دانست. روش مدل منحنی غیرفعال غیرپارامتریک Chan–Vese دارای نتایج نسبتاً ضعیفی بوده است. علت این امر را می‌توان

Archive of SID

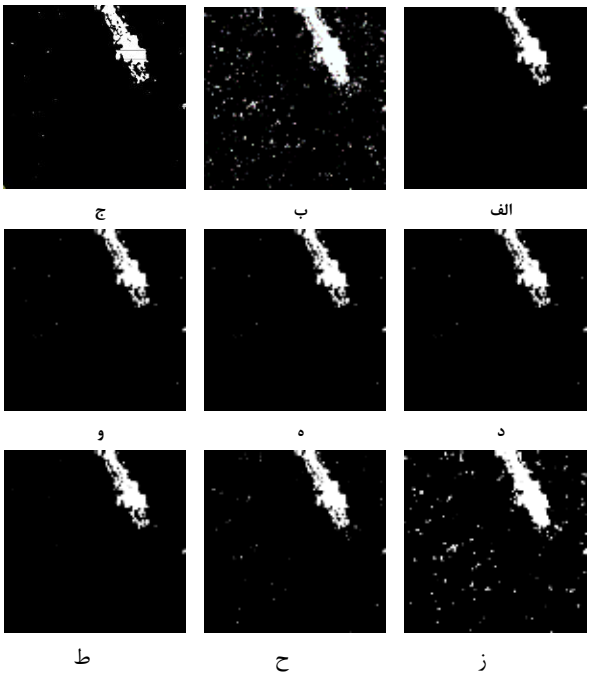
www.SID.ir

همگرایی برخی از منحنی‌های اولیه این مدل به نویزهای موجود در تصویر دانست. ضعیف‌ترین نتایج نسبت به سایر روش‌ها مربوط به الگوریتم EM و MRF می‌باشد و علت این امر را می‌توان در فرض نرمال بودن توزیع هیستوگرام درجات خاکستری شاخص تغییرات مورد نظر در این دو روش دانست که باعث شده بیشتر مناطق به صورت مناطق تغییریافته تشخیص داده شوند. با توجه به جدول ۵ نرخ خطای کل روش پیشنهادی (LSMGKC) نسبت به روش‌های الگوریتم EM، حدآستانه‌گذاری Otsu، روش‌های خوشه‌بندی FCM، GKC، KC، مدل Chan–Vese و مدل MRF به میزان ۴/۴۶، ۰/۶۲، ۱/۷۸، ۱/۷۰، ۰/۹۰، ۴/۲۳ و ۲/۲۲ برابر کاهش یافته است.

با توجه به شکل ۸ روش پیشنهادی دارای نویز کمتری در تشخیص تغییرات نسبت به سایر روش‌ها بوده و همچنین پیش زمینه بهتری از مناطق تغییرکرده و تغییرنکرده در مقایسه با سایر روش‌ها ارائه داده است. همچنین میزان نویزهایی که به عنوان تغییرات شناسایی شده است در نقشه تغییرات حاصل از الگوریتم EM، مدل‌های MRF و Chan–Vese محسوس‌تر می‌باشد. ضعف روش حدآستانه‌گذاری Otsu در تشخیص بیشتر مناطق به صورت تغییرنیافته است به طوری که در مقایسه با نقشه ارزیابی تغییرات، برخی از مناطق تغییریافته به عنوان تغییر نیافته تشخیص داده شده‌اند. نتایج کمی و کیفی آشکارسازی نظارت نشده تغییرات با استفاده از روش‌های مذکور، برای مجموعه تصاویر ورودی ERS2 ESA در جدول ۶ آورده شده‌اند و همچنین در شکل ۹ نشان داده شده اند.

جدول ۶. عملکرد آشکارسازی نظارت نشده تغییرات با استفاده از روش‌های الگوریتم حداکثرسازی امید ریاضی (EM)، حدآستانه‌گذاری آتسو (OT)، خوشه‌بندی‌های FCM و GKC، شبکه عصبی رقابتی (KC)، زنجیره تصادفی مارکوف (MRF)، منحنی فعال غیرپارامتریک *(Chan–Vese)* و روش پیشنهادی (LSMGKC) با استفاده از مجموعه تصاویر ورودی TerraSAR-x

روش	نرخ خطای کل (P_{OE})	نرخ هشدار اشتباه (P_{FA})	نرخ هشدار خطا (P_{MA})
EM	۳/۴۱	۳/۵۳	۰/۱۰
OT	۰/۲۳	۰/۱۶	۲/۳۷
FCM	۰/۲۳	۰/۱۵	۲/۴۵
GKC	۰/۲۴	۰/۱۴	۲/۷۳
KC	۰/۲۳	۰/۱۵	۲/۴۰
MRF	۲/۸۴	۲/۹۳	۰/۰۲
Chan–Vese	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۴۹
GKCLSM	۰/۰۹	۱/۰۲	۰/۰۵



شکل ۹. الف) نقشه ارزیابی تغییرات نظارت نشده، نقشه نظارت نشده تغییرات با استفاده از روش‌های ب) الگوریتم EM ، ج) حدآستانه‌گذاری Otsu، د) خوشه‌بندی FCM، ه) خوشه‌بندی GKC، و) خوشه‌بندی شبکه عصبی رقابتی (KC)، ز) زنجیره مخفی مارکوف (MRF)، ح) مدل Chan– Vese، ط) نقشه تغییرات نظارت نشده با استفاده از روش پیشنهادی (مناطق سفید رنگ بیانگر مناطق تغییریافته و مناطق سیاه رنگ بیانگر مناطق تغییرنیافته)

همانند نتایج حاصل برای مجموعه داده‌های TerraSAR-X، مطابق با جدول ۶ روش پیشنهادی (LSMGKC) با نرخ خطای کل ۰/۰۹٪، دارای بیشترین دقت شناسایی تغییرات نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد. حاصل از روش‌های خوشه‌بندی GKC، FCM، شبکه عصبی رقابتی و روش حدآستانه‌گذاری Otsu، دارای اختلاف اندکی با یکدیگر هستند. علت این امر را می‌توان در تمایز بالای بین مقادیر مناطق تغییریافته و تغییرنیافته در شاخص تغییرات تولیدی در این تحقیق دانست. برای این مجموعه داده‌ها نیز، روش مدل منحنی غیرفعال غیرپارامتریک Chan–Vese به علت همگرایی برخی از منحنی‌های اولیه این مدل به نویزهای موجود در تصویر دارای نتایج نسبتاً ضعیفی بوده است. همچنین بدلیل فرض نرمال بودن توزیع مقادیر شاخص تغییرات در روش‌های EM و MRF ضعیف‌ترین نتایج نسبت به سایر روش‌ها برای این روش‌ها حاصل شد. با توجه به جدول ۷ نرخ خطای کل روش پیشنهادی (LSMGKC) نسبت به روش‌های الگوریتم EM، حدآستانه‌گذاری Otsu، روش‌های خوشه‌بندی FCM، GKC، KC، مدل Chan–Vese و مدل MRF به میزان ۳۶/۸۹، ۱/۵۵، ۱/۵۵، ۱/۶۶، ۱/۵۵، ۳۰/۵۵ و ۷/۴۴ برابر

Archive of SID
www.SID.ir

کاهش یافته است. با توجه به شکل ۹ روش پیشنهادی نسبت به نویز مقاوم بوده و به خوبی توانسته است مناطق تغییریافته را تشخیص دهد. نقشه نظارت نشده تغییرات حاصل از الگوریتم EM، مدل‌های MRF بشدت نویزی بوده و نقشه تغییرات نظارت نشده تغییرات به ازای مدل Chan–Vese نسبتاً نویزی می‌باشد.

۵. نتیجه‌گیری

نقشه تغییرات نظارت‌نشده یکی از مهمترین منابع اطلاعاتی لازم برای سامانه اطلاعات مکانی و مدیریت شهری می‌باشد به طوری که می‌تواند به عنوان یک اصل کلی برای بروزرسانی نقشه‌ها و همچنین به عنوان یک لایه ورودی در سامانه اطلاعات مکانی به کار رود. همچنین در طراحی و برنامه‌ریزی شهری، نقشه رشد و توسعه شهر یکی از منابع مطالعاتی مهم قبل از طرح‌ریزی می‌باشد. هدف از این مقاله ارائه یک روش با کارایی و سرعت بالا بر مبنای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه SAR با بکارگیری اطلاعات متنی و ادغام خوشه‌بندی GKC و مدل منحنی سطوح هم‌تراز بوده است که با کمک آن بتوان با اتوماسیون بالا و دقت قابل قبول به نقشه تغییرات نظارت نشده رسید. استفاده از روش خوشه‌بندی GKC علاوه بر بالابردن اتوماسیون تولید منحنی اولیه جهت مدل سطوح هم‌تراز، زمانی که خوشه‌های تغییر و عدم تغییر با یکدیگر همپوشانی دارند عملکرد قوی در تفکیک‌پذیری خوشه‌ها دارد. روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها در تشخیص تغییرات نظارت نشده دارای نرخ خطای کل، نرخ هشدار اشتباه و نرخ هشدار خطای کمتری می‌باشد. مزیت اصلی روش پیشنهادی، اتوماسیون و دقت بالای آن در بین روش‌های بدون نظارت آنالیز و پایش اتوماتیک تغییرات می‌باشد و همچنین تولید منحنی اولیه در کمترین زمان ممکن است.

به منظور اجرای مقالات و مطالعات بعدی، پیشنهاد می‌گردد که روش ارائه شده در این مقاله با روش‌های دانش مبنا و شیءگرای نظارت شده مقایسه گردد و همچنین بهبود الگوریتم سطوح هم‌تراز می‌تواند در آشکارسازی تغییرات نظارت نشده مفید واقع گردد. بکارگیری الگوریتم‌های فرابتکاری در زمینه تنظیم پارامترهای الگوریتم سطوح هم‌تراز در تشخیص تغییرات می‌تواند گزینه خوبی برای تحقیقات آینده باشد.

۶. مراجع

[1] 1A. Singh, "Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data, " International journal of remote sensing, vol. 10, pp. 989-1003, 1989.

[2] ۲F. Wu, C. Wang, H. Zhang, and B. Zhang, "Change detection and analysis with radarsat-1 SAR image," in Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International, pp. 2601-2604, 2007.

[3] 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.

[4] A. Ghosh, N. S. Mishra, and S. Ghosh, "Fuzzy clustering algorithms for unsupervised change detection in remote sensing images," Information Sciences, vol. 181, pp. 699-715, 2011.

[5] S. Ghosh, N. S. Mishra, and A. Ghosh, "Unsupervised change detection of remotely sensed images using fuzzy clustering," in Advances in Pattern Recognition, 2009 ICAPR'09, Seventh International Conference on, pp. 385-388, 2009.

[6] T. Celik, "A Bayesian approach to unsupervised multiscale change detection in synthetic aperture radar images," Signal processing, vol. 90, pp. 1471-1485, 2010.

[7] L. Bruzzone and D. F. Prieto, "Automatic analysis of the difference image for unsupervised change detection," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 38, pp. 1171-1182, 2000.

[8] Y. Bazi, L. Bruzzone, and F. Melgani, "An unsupervised approach based on the generalized Gaussian model to automatic change detection in multitemporal SAR images," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 43, pp. 874-887, 2005.

[9] 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, 2013.

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

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

[12] M. Gong, Y. Cao, and Q. Wu, "A neighborhood-based ratio approach for change detection in SAR images," Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, vol. 9, pp. 307-311, 2012.

[13] L. J. Chipman, T. M. Orr, and L. N. Graham, "Wavelets and image fusion," in SPIE's 1995 International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation, 1995, pp. 208-219.

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

Archive of SID

www.SID.ir

[15] S. Osher and R .P. Fedkiw, "Level set methods: an overview and some recent results," Journal of Computational physics, vol. 169, pp. 463-502, 2001.

[16] T. Chan and W. Zhu, "Level set based shape prior segmentation," in Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on, pp. 1164-1170, 2005.

[17] 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, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on, 2005, pp. 430-436.

[18] M. Ding, Z. Tian, Z. Jin, M. Xu, and C. Cao, "Registration using robust kernel principal component for object-based change detection," Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, vol. 7, pp. 761-765, 2010.

[19] L. Cao, K. Chua, W. Chong, H. Lee, and Q. Gu, "A comparison of PCA, KPCA and ICA for dimensionality reduction in support vector machine," Neurocomputing, vol. 55, pp. 321-336, 2003.

[20] R. Babuška, "Fuzzy Modeling for Control Kluwer Academic Publishers," Boston, MA, USA, 1998.

[21] D. Gustafson and W. Kessel, "Fuzzy clustering with a fuzzy covariance matrix," in 1978 IEEE conference on decision and control including the 17th symposium on adaptive processes, pp. 761-766, 1978.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of "Radar"
Vol. 4, No. 1, 2016 (Serial No. 11)

Unsupervised Change Detection Using Multi-temporal SAR Images Based on Improvement of Level Set Methods

R. Moghimi*, S. Khazai, H. Ebadi
Imam Hossein University
(Received: 19/11/2015, Accepted: 16/05/2016)

Archive of SID

Abstract

In this research, a framework is presented for the unsupervised change detection using Multi-temporal SAR images based on integration of Clustering and Level Set Methods. Spatial correlation between pixels is considered by using contextual information. Furthermore, in the proposed method integration of Gustafson-Kessel clustering techniques (GKC) and Level Set Methods are used for change detection. Using clustering techniques has caused production of the initial curve for LSM with a minimum convergence time and, as a result, use of LSM Leads to increasing the accuracy of change map using the iterative process. In order to evaluate the performance of the proposed method, this method is compared with some other existing state-of-the-art methods. The results show that the total error rate of the proposed method has been reduced compared to these methods. Results show the high capability of the proposed method in the unsupervised change detection of multi-temporal satellite SAR images.

Keywords Unsupervised Change Detection, Contextual Information, Multitemporal SAR Images, Clustering, Level Set Methods.

Corresponding author E-mail: armin.moghimi@yahoo.com

www.SID.ir