



شناسایی نظارت نشده تغییرات از تصاویر چندزمانه SAR با استفاده از خوشه‌بندی بر مبنای الگوریتم ژنتیک و مدل مخفی زنجیره تصادفی مارکوف

آرمین مقیمی^{۱*}، حمید عبادی^۲، وحید صادقی^۳

۱- کارشناس ارشد فتوگرامتری، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳- دانشجوی دکتری فتوگرامتری، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده:

در پژوهش حاضر چارچوبی برای تهیه نقشه باینری تغییرات، با بکارگیری الگوریتم ژنتیک و مدل مخفی زنجیره تصادفی مارکوف، با هدف تحلیل فرآیندهای مربوط به تغییرات ارائه شده است. از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی پارامتر m در خوشه‌بندی FCM استفاده شده است چرا که با تغییر مقدار پارامتر m ، توابع عضویت با مقادیر مختلفی برای روش‌های خوشه‌بندی FCM تولید می‌شود و از طرفی مقادیر مختلف پارامتر m منجر به نتایج مختلف این روش‌ها در شناسایی خوشه‌های مربوط به تغییرات می‌شود. جهت بهره‌برداری از اطلاعات مکانی در جهت بهبود نتایج کمی و کیفی نقشه باینری تغییرات، نتیجه حاصل از خوشه‌بندی FCM بر مبنای الگوریتم ژنتیک با استفاده از مدل مخفی زنجیره تصادفی مارکوف مجدداً برچسب‌دهی شد. جهت ارزیابی نتایج از تصاویر چندزمانه با قدرت تفکیک بالای TerraSAR-X از دریاچه در حال احداث چیتگر در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۲ استفاده شده است. جهت بررسی اثر همسایگی در تهیه نقشه باینری تغییرات از مقادیر مختلف پارامتر β در این زمینه استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش مقدار این پارامتر نقشه تغییرات با نرخ خطای کل، نرخ هشدار اشتباه و نرخ هشدار خطای کمتر بدست می‌آید. همچنین جهت ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی در جهت شناسایی نظارت نشده تغییرات، این روش با روش‌های Otsu، EM، MRF، خوشه‌بندی FCM($m=2$) مقایسه گردید. نرخ خطای کل روش پیشنهادی نسبت به روش حدآستانه‌گذاری Otsu، خوشه‌بندی FCM($m=2$) و الگوریتم EM به میزان 4.38، 4.56، 4.74 و 15.78 بهبود یافته است. نتایج حاصل مؤید قابلیت بالای روش پیشنهادی برای آشکارسازی اتوماتیک و نظارت نشده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه SAR است.

واژه‌های کلیدی: شناسایی نظارت نشده تغییرات، الگوریتم ژنتیک، تصاویر چندزمانه SAR، مدل مخفی زنجیره تصادفی مارکوف



۱- مقدمه

آشکارسازی اتوماتیک تغییرات یکی از کاربردهای مهم فتوگرامتری و سنجش از دور است، که در آن به پردازش و معرفی اختلاف بین مناطق مختلف در تصاویر هوایی و ماهواره‌ای چندزمانه می‌پردازند [۱]. شناسایی تغییرات در سنجش از دور و فتوگرامتری به دو روش نظارت‌شده و نظارت‌نشده صورت می‌گیرد. مسئله آنالیز و کشف تغییرات با استفاده از روش‌های نظارت‌نشده شناسایی تغییرات، 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. در واقع مسئله شناسایی تغییرات با استفاده از این تکنیک، یک مسئله خوشه‌بندی با دو خوشه تغییر و غیرتغییر می‌باشد. پایش اتوماتیک تغییرات در آمایش رشد و توسعه شهر نسبت به روش‌های نظارت‌شده و نیمه‌اتوماتیک و دستی به زمان و هزینه کمتر نیاز دارد و همچنین موجب کاهش شدید نقش اپراتور انسانی در پایش تغییرات می‌شود [۲]. آنچه موجب توسعه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه^۱ در زمینه آشکارسازی تغییرات^۲ می‌شود، نظارت بر زمین و بهره‌برداری بهینه از منابع آن می‌باشد. به طور کلی می‌توان گفت پایش اتوماتیک تغییرات با استفاده از داده‌های سنجش از دور، تحت تأثیر شرایط گوناگون زمانی، طیفی، مکانی، موضوعی، حد تفکیک رادیومتریکی^۳، شرایط اتمسفری^۴ و رطوبت خاک^۵ می‌باشد. در مقایسه با تصاویر ماهواره‌ای نوری^۶، از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه SAR، کمتر در زمینه‌ی پایش اتوماتیک تغییرات استفاده شده است [۳]. ماهیت پیچیده تشکیل تصاویر SAR باعث شده که نتایج حاصل از روش‌های پایش اتوماتیک تغییرات با این تصاویر، به شدت به پیش‌پردازش‌های اولیه و به خصوص کاهش اثر اسپیکل^۷ وابسته باشد [۲]. به دلیل محدوده‌ی طیفی که امواج راداری در آن قرار دارند تصاویر حاصل از سنجنده‌های راداری کمتر تحت تأثیر اثرات اتمسفری و شرایط روشنایی خورشید^۸ است [۴]. بنابراین تصاویر SAR برای نظارت بر مناطقی که از نظر آب و هوایی بارانی و ابری هستند، دارای قابلیت و کارایی بالایی می‌باشند.

ون^۹ و همکارانش در سال ۲۰۱۱ به پایش تغییرات مرکز شهر توکیو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه SAR با قدرت تفکیک مکانی بالا پرداختند و فاکتور جدیدی را بر مبنای ترکیب تصویر اختلاف و ضریب همبستگی^{۱۰} پیشنهاد دادند [۵]. مانگو^{۱۱} و همکارانش در سال ۲۰۱۲ روش جدیدی در تولید تصویر اختلاف در جهت پایش تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه SAR ارائه دادند که نسبت به روش‌های دیگر دارای دقت بالاتری در تولید نقشه تغییرات بود [۶]. پاول^{۱۲} و همکارانش در سال ۲۰۱۳ رویکرد جدیدی بر مبنای تلفیق تصاویر اختلاف به منظور پایش تغییرات از روی تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه SAR با استفاده از خوشه‌بندی C میانگین فازی^{۱۳} (FCM) ارائه دادند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از تلفیق^{۱۴} تصاویر اختلاف باعث افزایش دقت در تولید نقشه تغییرات می‌شود [۷]. در اکثر تحقیقات صورت گرفته بر مبنای شناسایی نظارت‌نشده تغییرات از خوشه‌بندی FCM جهت تولید نقشه تغییرات استفاده شده است. با توجه به این موضوع که با تغییر مقدار پارامتر m، توابع عضویت با مقادیر مختلفی برای روش‌های

¹ Multitemporal satellite image

² Change detection

³ Radiometric resolution

⁴ Atmospheric conditions

⁵ Soil moisture

⁶ Optical satellite images

⁷ Speckle

⁸ Sunlight condition

⁹ Wen

¹⁰ Correlation coefficient

¹¹ Maoguo

¹² Paul

¹³ Fuzzy C mean

¹⁴ Fusion



خوشه‌بندی FCM تولید می‌شود و از طرفی مقادیر مختلف پارامتر m منجر به نتایج مختلف این روش‌ها در شناسایی خوشه‌های مربوط به تغییرات می‌شود، روش خوشه‌بندی FCM و کلیه روش‌های خوشه‌بندی فازی مشتق از این روش به مقدار پارامتر m حساس می‌باشند و تعیین این پارامتر از جمله چالش‌های پیش‌رو در این خوشه‌بندی‌ها و روش‌های شناسایی تغییرات وابسته به این خوشه‌بندی‌ها است. بزدرک¹⁵ و همکارانش در سال ۱۹۸۴ مقدار بهینه m را بین ۱/۵ تا ۳ در نظر گرفتند. جُردن¹⁶ در سال ۱۹۹۲ پیشنهاد کردند که $m=12$ مقدار بهینه برای این پارامتر می‌باشد. دیر¹⁷ در سال ۲۰۰۳ مقدار $m=1/6$ را به عنوان مقدار مناسب جهت پیشنهاد دادند؛ اما مسئله اینجاست که چه مقداری برای پارامتر m می‌تواند به عنوان مقدار بهینه در نظر گرفته شود. در مسائلی نظیر این مورد، معمولاً از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی نظیر الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی پارامتر استفاده می‌شود. در صورت تنظیم مناسب پارامتر-های این الگوریتم‌ها می‌توان مجموعه جواب بهینه را یافت، بطوریکه در مینیمم‌های محلی همگرا نشوند [۸].

به همین دلیل در این تحقیق سعی شده است که با استفاده از روش‌های بهینه از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه SAR برای پایش اتوماتیک تغییرات استفاده شود. در روش پیشنهادی در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه با قدرت تفکیک بالای SAR به عنوان ورودی الگوریتم استفاده شده و برای تولید تصویر اختلاف از تلفیق تصاویر اختلاف با استفاده از تبدیل موجک گسسته¹⁸ (SWT)، و برای بالا بردن اتوماسیون برای تولید نقشه تغییرات از روی تصویر اختلاف از تکنیک خوشه‌بندی¹⁹ FCM بهینه‌سازی شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک استفاده شد و جهت بهره‌برداری از اطلاعات مکانی از مدل مخفی زنجیره تصادفی مارکوف استفاده شد. در ادامه مبانی روش پیشنهادی بیان شده و در بخش سوم داده‌ها و منطقه مورد مطالعه و در بخش چهارم معیارهای کمی ارزیابی نتایج بیان می‌شود سپس در بخش چهارم به ارزیابی و پیاده‌سازی نتایج پرداخته می‌شود و در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

۲- مبانی روش پیشنهادی

روش‌های آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات به طور کلی از سه مرحله اصلی تشکیل شده‌اند. مرحله اول این روش‌ها شامل پیش‌پردازش و مرحله دوم، شامل تولید تصویر اختلاف با استفاده از روش‌های گوناگون می‌باشد و در نهایت در مرحله سوم نقشه باینری تغییرات تولید می‌گردد. بیشتر روش‌های شناسایی نظارت‌نشده تغییرات براساس تولید بهینه تصویر اختلاف توسعه داده شده‌اند. در این تحقیق با الگو قرار دادن روش پاول در تولید تصویر اختلاف با استفاده از تبدیل موجک گسسته SWT سعی در بهینه کردن نتایج شناسایی نظارت‌نشده تغییرات با استفاده از مجموعه‌های خوشه‌بندی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مدل مخفی زنجیره تصادفی مارکوف شده است. شکل ۱ فلوچارت روش پیشنهادی در شناسایی نظارت‌نشده تغییرات با استفاده از روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

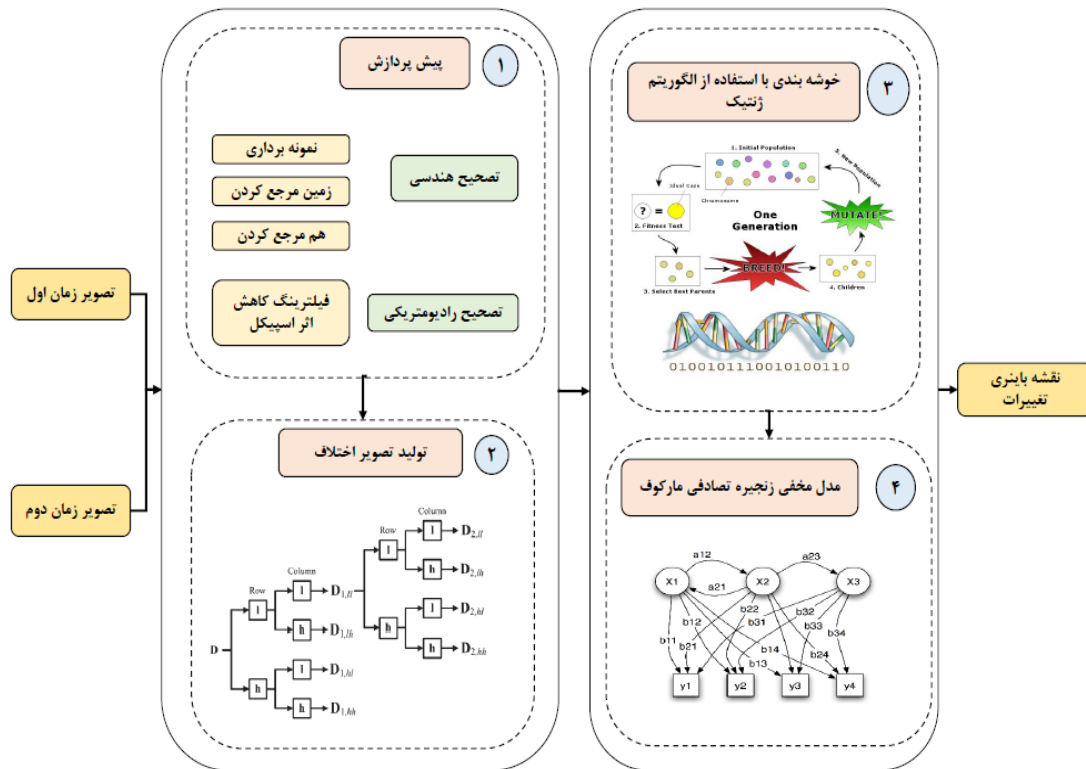
¹⁵ Bezdek

¹⁶ Jordan

¹⁷ Deer

¹⁸ Discrete wavelet transform

¹⁹ Clustering



شکل ۱- فلوجارت روش پیشنهادی در شناسایی نظارت نشده تغییرات

متطابق شکل ۱ با اعمال خوشه‌بندی بر مبنای بهینه‌سازی پارامتر آن توسط الگوریتم ژنتیک بر روی تصویر اختلاف، نقشه تغییرات اولیه حاصل شده و جهت در نظر گرفتن اطلاعات مکانی با استفاده از مدل مخفی مارکوف این نقشه تغییرات دوباره برچسب‌دهی می‌شود. در ادامه به بررسی مفاهیم به کار رفته در این روش می‌پردازیم.

۲-۱- تولید تصویر اختلاف با استفاده از تبدیل موجک ایستا (SWT)

تلفیق تصویر تکنیکی برای ترکیب اطلاعات چندین تصویر، جهت دستیابی به تصویری با اطلاعات بیشتر می‌باشد (Paul & Ramamoorthy, 2013). روش SWT یک روش چندمقیاسی است که می‌تواند به خوبی تصاویر با قدرت تفکیک‌های متفاوت را مدیریت کند (Li et al., 1995). این تبدیل شامل فیلترینگ و نمونه‌برداری^{۲۱} پایین افقی هر یک از تصاویر اختلاف با استفاده از فیلتر پایین‌گذر^{۲۲} و بالاگذر^{۲۳} می‌باشد، که در نتیجه این عملیات LL، LH، HL و HH که به آن‌ها ضرایب موجک^{۲۴} نیز گفته می‌شود را در اولین سطح تجزیه تولید می‌شود [۷]. LL یک زیرتصویر هموار شده از تصویر اختلاف و متناظر با تصویری با فرکانس پایین است و HL، LH و HH زیرتصاویر جزئیات هستند که به ترتیب تغییرات در راستای افقی، عمودی و قطری را ارائه می‌دهند. هر یک از این ضرایب می‌توانند به صورتی مناسب ترکیب شده و ضرایب جدید را بسازند. برای ترکیب این ضرایب از قواعد تلفیق استفاده می‌شود. (Nikolov et al., 2001). پس از اینکه ضرایب به درستی ترکیب شدند و اطلاعات موجود در تصاویر مرجع جمع‌آوری شدند، تصویر تلفیق شده با

20 Stationary discrete wavelength transformation

21 Resampling

22 Low frequency filter

23 High frequency filter

24 Wavelet Coefficients

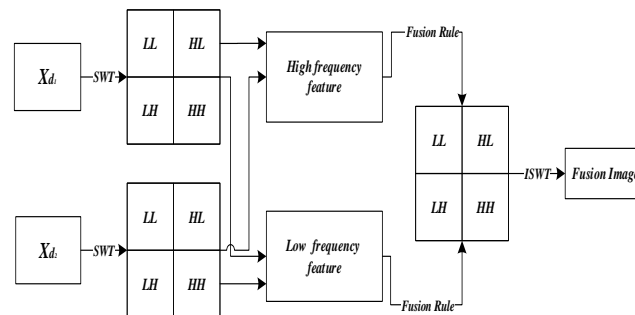


استفاده از تبدیل موجک گسسته معکوس^{۲۵} (ISWT) بدست می‌آید و در آن تمامی اطلاعات تصاویر اختلاف با روش‌های مورد نظر، موجود است. اختلاف دارای پیش‌زمینه بهتری از اطلاعات تغییرات می‌باشد. به دلیل وجود نویز اسپیکل جهت تولید X_d در تصاویر SAR از تلفیق به روش SWT تصاویر اختلاف X_{d1} حاصل از نسبت لگاریتم و X_{d2} نسبت میانگین استفاده می‌شود.

$$X_{d1} = \left| \log \frac{X_2}{X_1} \right| = |\log(X_2) - \log(X_1)| \quad (1)$$

$$X_{d2} = 1 - \min\left(\frac{\mu_1}{\mu_2}, \frac{\mu_2}{\mu_1}\right) \quad (2)$$

با استفاده از نسبت لگاریتم نویز اسپیکل به نویزهای جمع‌شونده تبدیل می‌شود [۷]. نسبت میانگین در مقابل با نویز اسپیکل مقاوم می‌باشد [۷]. 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. شکل ۲ روند کلی تلفیق تصاویر اختلاف X_{d1} و X_{d2} را با استفاده از SWT نشان می‌دهد.



شکل ۲- روند کلی تلفیق تصاویر اختلاف تولید شده توسط SWT [۷].

۲-۲- خوشه بندی FCM۲۶

به دلیل ماهیت خوشه‌بندی K میانگین^{۲۷} (K-Means) که از جمله روش‌های سخت خوشه‌بندی می‌باشد هر یک از داده‌ها دقیقاً به یک کلاس تعلق می‌گیرند، در نتیجه این خوشه‌بندی در مناطقی که دارای همپوشانی هستند دچار مشکل می‌شوند و احتمال تعلق پیکسل خالصی که تنها به یک خوشه تعلق داشته باشد بسیار کم است [۹]. برای رفع این محدودیت بزِذک در سال ۱۹۸۱ روش FCM را معرفی کرد [۱۰]. در این روش مشابه الگوریتم K-Means، تعداد خوشه‌ها از قبل مشخص شده است. بزِذک در نسخه اصلی الگوریتم از تابع μ_{ij}^m برای غیرخطی کردن تابع هدف استفاده کرده است. تابع هدفی که برای این الگوریتم تعریف شده است بصورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود [۸، ۹].

$$J = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n \mu_{ij}^m d_{ij}^2 = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n \mu_{ij}^m \|x_j - v_i\| \quad (3)$$

که در رابطه فوق m توان فازی‌ساز $m > 1$ ، x_j نمونه j ام، v_i مرکز خوشه i ام و μ_{ij} میزان تعلق نمونه j ام در خوشه i ام را نشان می‌دهد. فاصله اقلیدسی از پیکسل i به خوشه j از رابطه (۴) بدست می‌آید [۹].

25 Inverse Discrete wavelet transform

26 Fuzzy C means

27 K-Means



$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{l=1}^c (x_{il} - v_{jl})^2} \quad (4)$$

$$v_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^N \mu_{ij}^m x}{\sum_{j=1}^N \mu_{ij}^m} \quad (5)$$

$$\mu_{ij} = \frac{1}{\sum_{c=1}^p \left(\frac{d_{ij}}{d_{cj}}\right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (6)$$

۲-۲-۱- بهینه‌سازی خوشه‌بندی FCM با استفاده از الگوریتم ژنتیک

گلدنبرگ در سال ۱۹۸۹ چارچوب و قواعد حاکم بر الگوریتم ژنتیک را ارائه کرد و در سال ۱۹۹۰ همگرایی الگوریتم ژنتیک را ثابت کرد [۱۱]. این روش، بر مبنای نظریه تکامل تدریجی و ایده‌های بنیادین داروین پایه‌گذاری شده است و از جمله تکنیک‌های بهینه‌سازی براساس انتخاب و ترکیب مجدد راه‌حل‌های امیدبخش می‌باشد که در نهایت منجر به جهت‌گیری به سمت پیدا کردن جواب بهینه می‌گردد. الگوریتم‌های ژنتیک با یک سری متغیرهای کد شده یا همان رشته‌های باینری کار می‌کنند و در طی فرآیند جستجو، رشته‌های متناسب با شایستگی بالا را برمی‌گزینند [۱۱]. ساختار کلی الگوریتم ژنتیک از اجزایی نظیر کروموزوم، جمعیت و تابع شایستگی تشکیل شده‌اند. در الگوریتم‌های ژنتیک، در طی مرحله تولید مثل^{۲۸} از عملگرهای ژنتیک نظیر عملگر ادغام^{۲۹} و جهش^{۳۰} استفاده می‌شود. با تأثیر این عملگرها بر روی یک جمعیت، نسل^{۳۱} بعدی آن جمعیت تولید می‌شود [۱۱].

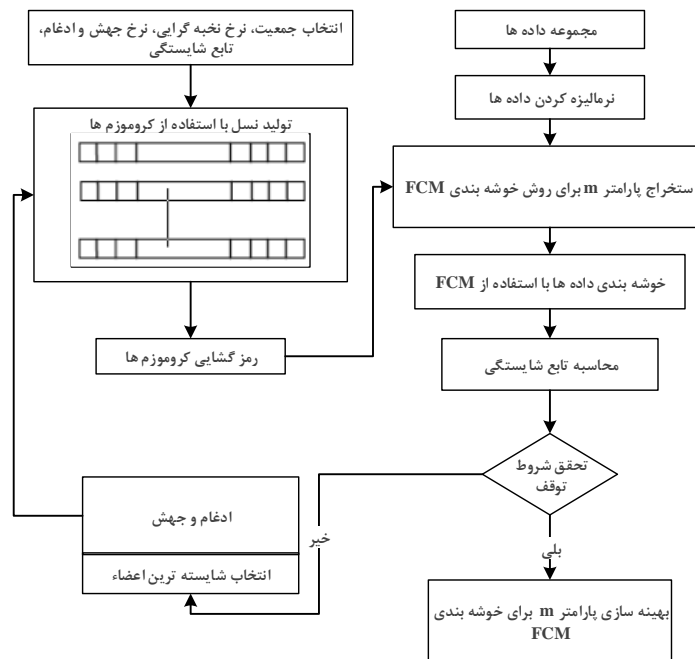
در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه تعیین پارامترهای هر یک از روش‌های خوشه‌بندی FCM با استفاده از الگوریتم ژنتیک صورت گرفته است [۱۲]. در هر یک از این تحقیقات به دلیل مجهول بودن تعداد خوشه‌ها و پارامتر m از الگوریتم ژنتیک در جهت برآورد این پارامترها استفاده شده است. در این تحقیق با توجه به مشخص بودن تعداد خوشه‌ها که برابر با دو خوشه (معادل با مناطق تغییر یافته و تغییر نیافته) می‌باشد، با استفاده از الگوریتم ژنتیک تنها به تعیین مقدار بهینه پارامتر m در جهت خوشه‌بندی FCM پرداخته شد. شکل ۳ فلوجارت الگوریتم ژنتیک جهت پیدا کردن پارامتر بهینه m برای خوشه‌بندی FCM در این تحقیق را نشان می‌دهد.

²⁸ Reproduction

²⁹ mating

³⁰ Mutation

³¹ Generation



شکل ۳- فلوچارت استفاده از الگوریتم ژنتیک در خوشه بندی FCM

مطابق شکل تابع شایستگی به ازای هر یک از افراد نخبه در هر نسل محاسبه می شود. در این تحقیق از معیار بخش-بندی خوشه ها^{۳۳} SC به عنوان تابع شایستگی استفاده شد. هر چه مقدار این معیار کمتر باشد، جدایی بین خوشه ها بیشتر و در نتیجه این مناطق به خوبی از یکدیگر تفکیک می شوند و نقشه تغییرات حاصل شده از طریق خوشه بندی دارای کیفیت و نتایج بهتری است. رابطه ۷ تابع شایستگی به کار گرفته شده در این تحقیق را نشان می دهد.

$$Fitness = SC(c) = \sum_{i=1}^c \frac{\sum_{j=1}^N (\mu_{ij})^m \|x_j - v_i\|^2}{N_i \sum_{k=1}^c \|v_k - v_i\|^2} \quad (7)$$

۳-۲- مدل زنجیره مخفی مارکوف

زنجیره مخفی مارکوف^{۳۳} بطور گسترده در مسائل بینایی ماشین و سنجش از دور و فتوگرامتری نظیر خوشه بندی، تشخیص سطح و تداخل عمق و ... مورد استفاده قرار می گیرد. یکی از روش های استفاده از اطلاعات مکانی تصویر در طبقه بندی و خوشه بندی، مفهوم میدان های تصادفی مارکوف است که از اطلاعات همسایگی برای برآورد احتمال برچسب دهی استفاده می کند [۸]. در حقیقت زنجیره مخفی مارکوف یک تصمیم گیری بر مبنای بافت است و فرض اصلی در آن، این است که اگر پیکسلی به کلاسی تعلق داشته باشد، احتمالاً توسط پیکسل های همان کلاس، احاطه شده است [۸]. در واقع با در نظر گرفتن بافت مکانی می توان به تشخیص تغییرات صحیح تر و قابل اعتمادتری دست یافت [۱۳].

روش کار بدین صورت می باشد که اگر مجموعه $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ بیانگر نمونه های تصویر مورد نظر باشد و مجموعه $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ بیانگر برچسب های مربوط به کلاس هر یک از نمونه های تصویر مورد نظر باشد آنگاه برچسب جدید مربوط به کلاس هر یک از نمونه ها از رابطه (۸) بدست می آید [۱۴].

32 Partition Index

33 Hidden Markov Random field



$$w^* = \arg \max \{p(x|w, \theta)p(w)\} \quad (۸)$$

که در رابطه فوق $p(w)$ احتمال اولیه تعلق نمونه به کلاس w است و $p(x|w, \theta)$ احتمال تعلق نمونه x به کلاس w با پارامترهای θ می‌باشد. فرض شده است که $p(w)$ دارای توزیع گیبز (Gibbs) می‌باشد و بر حسب این توزیع بصورت رابطه (۹) نشان داده می‌شود [۱۴].

$$p(w) = \frac{1}{Z} \exp(-U(x)) \quad (۹)$$

که در رابطه فوق U بیانگر تابع انرژی اولیه می‌باشد و Z نقش نرمالسازی را دارد. $p(x|w, \theta)$ را می‌توان از رابطه (۱۰) محاسبه نمود [۱۴].

$$p(x|w, \theta) = \prod_i p(x_i|w_i, \theta_i) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (۱۰)$$

فرض شده است که $p(x|w, \theta)$ دارای توزیع گوسی با میانگین μ_{w_i} و انحراف معیار σ_{w_i} است. بنابراین این احتمال بر حسب این توزیع بصورت رابطه (۱۱) محاسبه می‌گردد [۱۴].

$$p(x|w, \theta) = \prod_i p(x_i|w_i, \theta_i) = \prod_i G(x_i, \theta_i) = \frac{1}{Z'} \exp(-U(x|w)) \quad (۱۱)$$

بنابراین با توجه به رابطه (۹)، (۱۰) و (۱۱) احتمال تعلق برچسب جدید مربوط به کلاس هر یک از نمونه‌ها از رابطه (۱۲) بدست می‌آید [۱۴].

$$w^* = \arg \min \{U(x|w) + U(w)\} \quad (۱۲)$$

که برای هر یک از نمونه‌ها $U(x|w)$ و $U(w)$ بصورت روابط زیر محاسبه می‌شوند [۱۴]. (Zhang et al., 2001).

$$U(x|w) = \sum_i U(x_i|w_i, \theta_i) = \sum_i \left[\frac{(x_i - \mu_{w_i})^2}{2\sigma_{w_i}^2} + \ln \sigma_{w_i} \right] \quad (۱۳)$$

$$U(w) = \sum_{c \in C} V_c(w) \quad (۱۴)$$

که در رابطه فوق V_c بیانگر تابع پتانسیل می‌باشد که بر حسب همسایگان مورد نظر محاسبه می‌شود و C مجموعه پتانسیل‌ها می‌باشد. انتخاب نوع تابع پتانسیل و پارامترهای تابع انرژی در نتایج تأثیرگذار است. در این تحقیق برای تابع پتانسیل از تابع زیر استفاده شد [۱۴].

$$U(w) = \beta \sum_{c \in C} [1 - I_{w_i w_j}] \quad (۱۵)$$

در رابطه فوق مقدار β که اثر همسایگی را کنترل می‌کند، برابر با مقدارهای مختلف در نظر گرفته می‌شود و تابع $I_{w_i w_j}$ تابع Kroneker delta می‌باشد که در رابطه (۱۶) شده است [۱۴].

$$I_{w_i w_j} = \begin{cases} 0 & \text{if } w_i \neq w_j \\ 1 & \text{if } w_i = w_j \end{cases} \quad (۱۶)$$

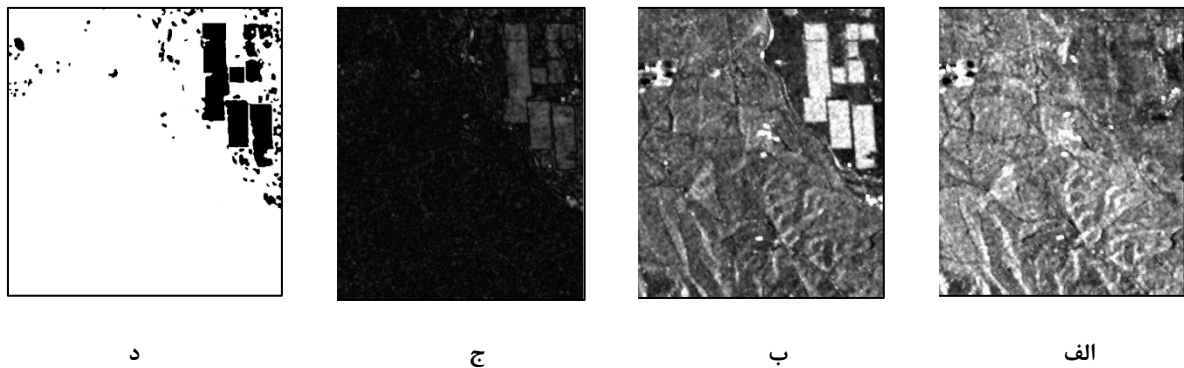
در این تحقیق جهت تعیین پارامترهای زنجیره مخفی مارکوف از الگوریتم حداکثرسازی امید ریاضی (EM) استفاده شده است. الگوریتم EM یک روش تکرارشونده است که به دنبال یافتن برآوردی با بیشترین درست‌نمایی برای



پارامترهای یک توزیع پارامتری است. این الگوریتم روش متداول برای زمان‌هایی است، که برخی از متغیرهای تصادفی پنهان هستند [۱۴].

۳- داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

تصاویر مورد استفاده در این تحقیق مربوط به بخشی از دریاچه چیتگر، واقع در منطقه ۲۲ استان تهران می‌باشند که شامل تغییراتی در حین ساخت و احداث است. منطقه غرب تهران بدلیل ساخت و سازهای فراوان هر ساله دارای تغییرات زیادی است. بررسی این تغییرات و تهیه نقشه نظارت نشده تغییرات از مناطق موجود در این ناحیه از تهران جهت به هنگام رسانی و برنامه‌ریزی‌های آتی لازم و ضروری به نظر می‌رسد. از این لحاظ در این تحقیق از تصاویر چندزمانه SAR در زمینه شناسایی تغییرات نظارت نشده تغییرات استفاده شده است. تصویر زمان اول مربوط به ۷ جولای سال ۲۰۱۱ و تصویر زمان دوم مربوط به ۱۵ می سال ۲۰۱۲، از سنجنده TerraSAR-X با قدرت تفکیک مکانی یک دو متر می‌باشد. ابعاد تصاویر مورد استفاده در این تحقیق ۹۰۰*۹۰۰ پیکسل می‌باشد. چون تصاویر از قبل زمین مرجع بودند نیاز به تصحیح هندسی نبود و تنها تصاویر به جهت یکسان‌سازی اندازه پیکسل‌ها در جهت x و y به اندازه پیکسل ۲ در ۲ متر نمونه‌برداری شدند. به منظور تصحیح رادیومتریک از فیلتر کوآن^{۳۴} بدلیل حفظ لبه‌ها و عوارض شارپ در حین عملیات فیلترینگ استفاده شد. همچنین با توجه به معیار ارزیابی ENL^{۳۵} که بزرگی آن، بیانگر میزان جدایی مقادیر از نویز اسپیکل می‌باشد، از ابعاد ۱۱*۱۱ برای فیلتر کوآن استفاده شد. در شکل ۴ تصاویر مورد استفاده و همچنین تصویر اختلاف و نقشه ارزیابی تغییرات نمایش داده شده است.



شکل ۴- تصاویر SAR بخشی از دریاچه خلیج فارس واقع در منطقه ۲۲ تهران مربوط به (الف) سال ۲۰۱۱ (ب) سال ۲۰۱۲ (ج) شاخص تغییرات تولیدی (د) نقشه ارزیابی تغییرات نظارت نشده (مناطق سفید رنگ بیانگر مناطق تغییر یافته و مناطق سیاه رنگ بیانگر مناطق تغییر نیافته)

۳-۱- معیارهای کمی و کیفی نتایج

در این تحقیق جهت ارزیابی کمی نتایج حاصل از آشکارسازی نظارت نشده تغییرات از سه معیار، هشدار اشتباه^{۳۶} (FA) (پیکسل‌های عدم تغییر که به غلط به عنوان پیکسل‌های تغییر انتخاب گردیده‌اند) نرخ هشدار اشتباه را با P_{FA} نمایش می‌دهند که به درصد حساب می‌شود و از رابطه $P_{FA} = (FA/N_1) \times 100$ بدست می‌آید بطوریکه N_1 بیانگر تعداد پیکسل‌های تغییر نکرده در نقشه مرجع می‌باشد. هشدار خطا^{۳۷} (MA) (تعداد پیکسل‌های تغییر که به غلط به عنوان پیکسل‌های عدم تغییر انتخاب گردیده‌اند) استفاده شد. نرخ هشدار خطا را با P_{MA} نمایش می‌دهند که به درصد حساب می‌شود و از رابطه $P_{MA} = (MA/N_0) \times 100$ بدست می‌آید بطوریکه N_0 بیانگر تعداد پیکسل‌های تغییر یافته در نقشه

³⁴ kuan

³⁵ equivalent number of looks

³⁶ False Alarm

³⁷ Miss Alarm



مرجع می‌باشد. خطای کل OE^{38} (تعداد کل پیکسل‌هایی که به غلط برچسب‌دهی شده‌اند) در حقیقت این خطا بیانگر مجموع پیکسل‌هایی می‌باشد که به اشتباه تغییر یافته و تغییر نیافته تشخیص داده شده‌اند. نرخ خطای کل را با P_{OE} نمایش می‌دهند که به درصد حساب می‌شود و از رابطه $P_{MA} = (FA + MA/N_0 + N1) \times 100$ بدست می‌آید.

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

در این تحقیق، ارزیابی نتایج برای هر یک از مجموعه تصاویر مورد نظر از مناطق مورد مطالعه، در دو بخش ارائه شده است. ابتدا نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی در جهت تولید نقشه باینری تغییرات به ازای مقادیر مختلف پارامتر β که بیانگر اثر همسایگی می‌باشد، ارائه داده می‌شود و اثر این پارامتر را روی عملکرد روش پیشنهادی بررسی می‌شود. در بخش بعد جهت ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی به مقایسه این روش با سایر روش‌های شناسایی نظارت نشده تغییرات می‌پردازیم. به منظور استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت تعیین پارامتر بهینه m در خوشه‌بندی FCM تعداد کروموزوم‌ها برابر ۱۱ در نظر گرفته شد. پارامترهای الگوریتم ژنتیک شامل تعداد نسل، تعداد جمعیت هر نسل، نرخ جهش، نرخ تلفیق و نرخ اعضای کوچک کننده به نسل بعد بترتیب ۵۰، ۳۰، ۰/۱، ۰/۹ و ۰/۱ برای روش خوشه‌بندی FCM در نظر گرفته شد. همچنین در جهت انتخاب والدین از روش چرخه رولت استفاده شد. همانطور که در بخش ۲-۱-۱ اشاره شد تابع شایستگی در این الگوریتم براساس معیار میزان جدایی بین خوشه‌های تغییر یافته و تغییر نیافته SC محاسبه شد.

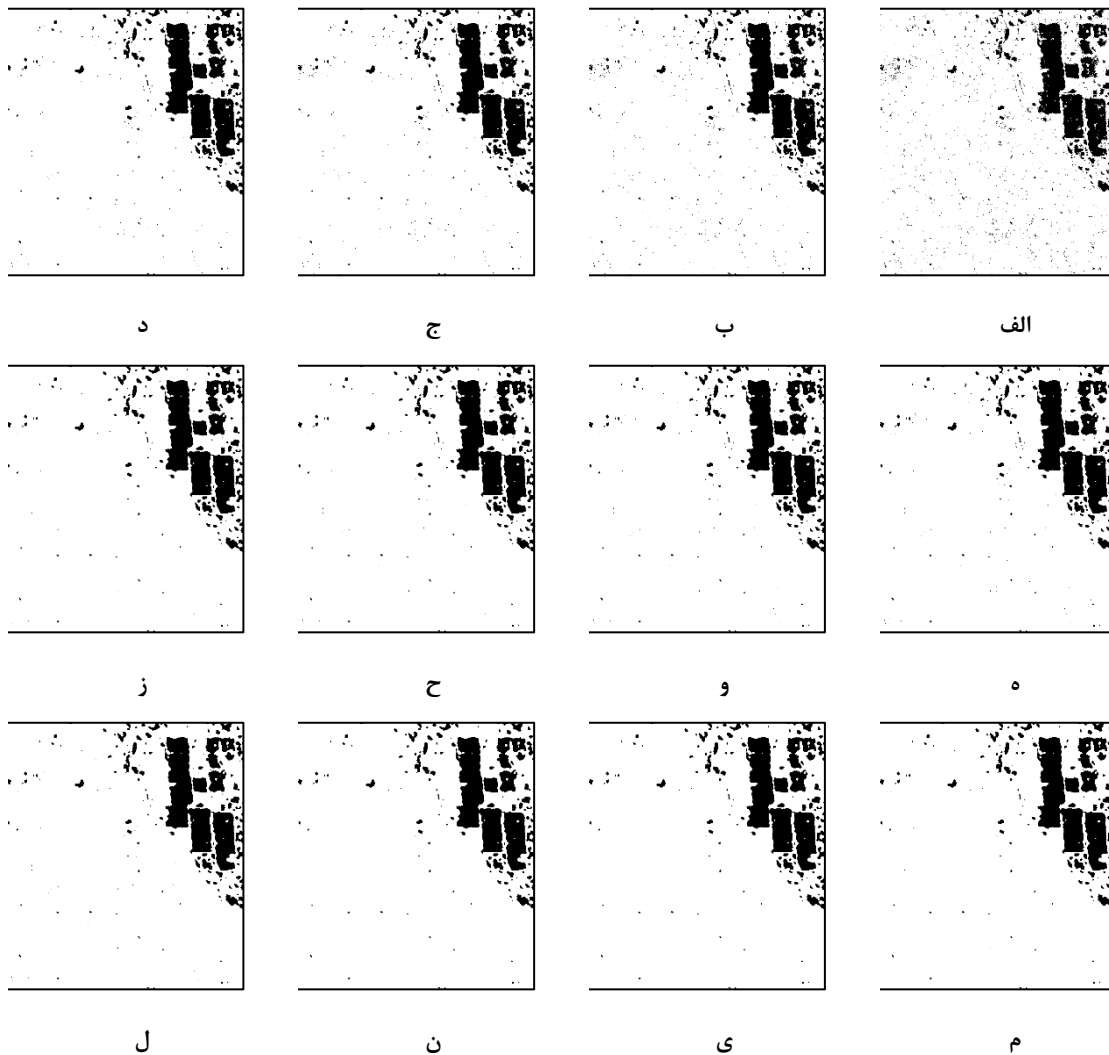
۴-۱- بررسی پارامتر همسایگی β در روش پیشنهادی

در شناسایی نظارت نشده تغییرات با استفاده از روش پیشنهادی که شامل مدل مخفی زنجیره تصادفی مارکوف نیز می‌باشد، پارامتر β دارای تاثیر زیادی در نتیجه نهایی می‌باشد. به دلیل آنکه در روش پیشنهادی برای در نظر گرفتن اطلاعات متنی- مکانی از مدل مخفی زنجیره مارکوف استفاده شده است، پارامتر β به عنوان پارامتر اثر همسایگی می‌تواند نقشه مهمی در تولید نقشه باینری تغییرات با کیفیت بالا داشته باشد؛ بنابراین این پارامتر باید به طور مناسب انتخاب شود به این دلیل در این تحقیق از مقادیر 0 تا 2.75 با فاصله 0.25 به عنوان مقدار پارامتر β استفاده شد. نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی براساس مقادیر مختلف β در جدول ۱ آمده است و نقشه باینری تغییرات حاصل از هر یک از آن‌ها در شکل ۵ آمده است.

جدول ۱- معیارهای کمی ارزیابی نتایج شناسایی نظارت نشده تغییرات با استفاده از الگوریتم پیشنهادی به ازای مقادیر مختلف

β	نرخ هشدار اشتباه		نرخ هشدار خطا		نرخ خطای کل	
	P_{MA}	پیکسل	P_{FA}	پیکسل	P_{OE}	پیکسل
0	1.64	12062	8.546	6365	2.275	18427
0.25	0.794	5842	5.331	3971	1.211	9813
0.5	0.557	4095	4.265	3177	0.898	7272
0.75	0.438	3225	3.879	2889	0.755	6114
1	0.378	2783	3.583	2669	0.673	5452
1.25	0.332	2444	3.479	2591	0.622	5035
1.5	0.302	2221	3.366	2507	0.584	4728
1.75	0.277	2036	3.363	2505	0.561	4541
2	0.263	1935	3.36	2503	0.548	4438
2.25	0.25	1842	3.356	2500	0.536	4342
2.5	0.25	1842	3.356	2500	0.536	4342
2.75	0.313	2304	3.438	2561	0.601	4865

³⁸ Overall Error



شکل ۵- نقشه باینری تغییرات حاصل از روش پیشنهادی با استفاده از مقادیر پارامتر الف ($\beta=0$ ، ب) $\beta=0.25$ ، ج) $\beta=0.5$ ، د) $\beta=0.75$ ، ه) $\beta=1$ ، و) $\beta=1.25$ ، ح) $\beta=1.5$ ، ز) $\beta=1.75$ ، م) $\beta=2$ ، ی) $\beta=2.25$ ، ن) $\beta=2.5$ ، ل) $\beta=2.75$ ، (مناطق سفید رنگ بیانگر مناطق تغییر یافته و مناطق سیاه رنگ بیانگر مناطق تغییر نیافته)

مطابق با جدول ۱، روش پیشنهادی به ازای مقدار $\beta=2.25$ ، با نرخ خطای کل 0.536 درصد دارای کمترین نرخ خطای کل و در واقع دارای بالاترین دقت شناسایی تغییرات می باشد همچنین به ازای مقدار $\beta=2.25$ نتایج حاصل از شناسایی تغییرات به روش پیشنهادی دارای کمترین نرخ هشدار خطا و نرخ هشدار اشتباه نسبت به سایر مقادیر این پارامتر می باشد. البته مقادیر مربوط به معیارهای کمی ارزیابی نتایج به ازای $\beta=2.5$ ، کاملاً با این مقادیر به ازای $\beta=2.25$ برابر بوده است. ضعیف ترین نتایج مربوط به مقادیر حاصل از β های کمتر از یک است. در واقع با افزایش مقدار پارامتر β ، اثر همسایگی بیشتر در نظر گرفته شده و موجب بهبود نتایج حاصل از شناسایی تغییرات با استفاده از روش پیشنهادی شده است. با توجه به شکل ۵، روش پیشنهادی به ازای مقادیر مختلف β ، نقشه های تغییرات با کیفیت های مختلف تولید می کند هر چه مقدار این پارامتر افزایش یابد نیز موجود در نقشه نهایی تغییرات کمتر می شود و نقشه نهایی تغییرات پیش زمینه بهتری از مناطق تغییر یافته و تغییر نیافته ارائه می کند.

۴-۲- ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی

جهت بررسی عملکرد روش پیشنهادی در شناسایی نظارت نشده تغییرات لازم است که این روش با سایر روش ها مقایسه گردد. در این تحقیق میزان بهینه پارامتر فازی ساز m ، برای خوشه بندی FCM با استفاده از الگوریتم ژنتیک

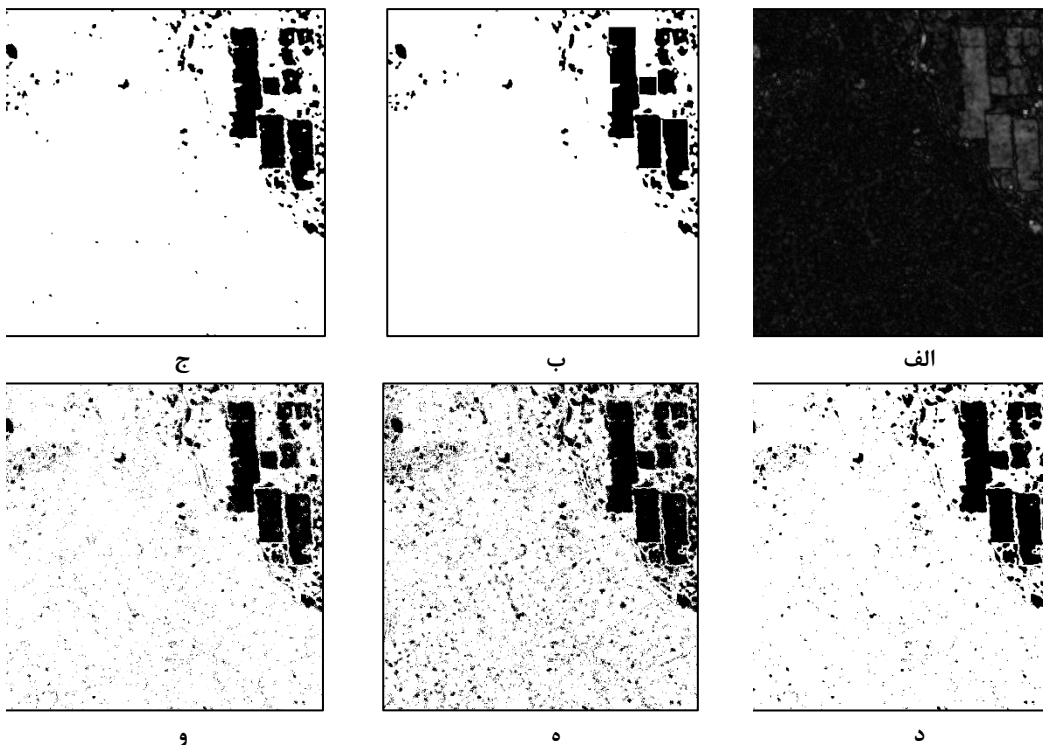


برابر با 1.21 شد. در این تحقیق از روش‌های حدآستانه‌گذاری Otsu، EM، MRF، خوشه‌بندی FCM با پارامتر معمول $m=2$ جهت مقایسه با روش پیشنهادی استفاده شد. روش Otsu، یک روش انتخاب حدآستانه بصورت مرحله به مرحله^{۳۹} می‌باشد که حدآستانه بهینه را براساس هیستوگرام تصاویر به صورت اتوماتیک استخراج می‌کند. روش EM یک روش تکرارشونده^{۴۰} است که به دنبال یافتن برآوردی با **بیشترین درست‌نمایی** برای پارامترهای یک توزیع پارامتری است. روش MRF، روشی است که از اطلاعات مکانی - متنی جهت آنالیز تصویر اختلاف استفاده می‌کند. روش MRF و EM در اجرای آشکارسازی نظارت نشده تغییرات با حداقل تنظیم پارامتر کار می‌کند. نتایج حاصل از شناسایی نظارت نشده تغییرات با استفاده از روش‌های مختلف در جدول ۲ آورده شده است. همچنین نقشه باینری حاصل از هر یک از این روش، در شکل ۶ آورده شده است.

جدول ۲- معیارهای کمی ارزیابی نتایج شناسایی نظارت نشده تغییرات با استفاده از الگوریتم پیشنهادی، روش حدآستانه-

گذار Otsu، روش MRF، EM و خوشه‌بندی FCM با مقدار معمول پارامتر $m=2$

روش	نرخ هشدار اشتباه		نرخ هشدار خطا		نرخ خطای کل	
	پیکسل P_{FA}	پیکسل	پیکسل P_{MA}	پیکسل	پیکسل P_{OE}	پیکسل
FCM(m=2)	4084	5.483	19257	2.618	23341	2.882
EM	1510	2.027	71333	9.698	72843	8.993
MRF	1513	2.031	23409	3.183	24922	3.077
Otsu	3934	5.282	20224	2.75	24158	2.982
روش پیشنهادی	2500	3.356	1842	0.25	4342	0.536



شکل ۶- الف) تصویر اختلاف حاصل از تلفیق به روش SWT، ب) نقشه باینری تغییرات ارزیابی نتایج روش‌ها، ج) نقشه باینری تغییرات روش پیشنهادی (د) نقشه باینری تغییرات MRF، ه) نقشه باینری تغییرات EM، و) نقشه باینری تغییرات Otsu. مناطق سفید رنگ بیانگر مناطق تغییر یافته و مناطق سیاه رنگ بیانگر مناطق تغییر نیافته)

³⁹ Iterative Selection Thesholding Method

⁴⁰ iterative



مطابق جدول ۲ روش پیشنهادی با نرخ خطای کل 0.53 درصد دارای کمترین خطا و بنابراین بیشترین دقت شناسایی تغییرات نظارت نشده نسبت به سایر روش‌های بکارگیری شده در این تحقیق می‌باشد. روش خوشه‌بندی $FCM(m=2)$ و حدآستانه‌گذاری Otsu دارای نرخ خطای کل تقریباً یکسانی نسبت به یکدیگر هستند اما روش خوشه‌بندی $FCM(m=2)$ اندکی در شناسایی مناطق تغییرنیافته بهتر از روش حدآستانه‌گذاری Otsu عمل کرده است به این معنی که دارای نرخ هشدار اشتباه کمتری نسبت به این روش است. روش MRF بدلیل استفاده از اطلاعات مکانی تا حدی نسبت به روش EM دقت بالاتری است. اما به نسبت دو روش خوشه‌بندی $FCM(m=2)$ و حدآستانه‌گذاری Otsu دارای دقت کمتری است. روش EM بدلیل ماهیت پارامتریک آن و حساس بودن این روش به نویز دارای ضعیف‌ترین نتایج در شناسایی تغییرات است. نرخ خطای کل روش پیشنهادی نسبت به روش حدآستانه‌گذاری Otsu، خوشه‌بندی $FCM(m=2)$ و الگوریتم EM به میزان 4.56، 4.38، 4.74 و 15.78 برابر کاهش یافته است.

با توجه به شکل ۶ از الحاظ نویزی بودن نقشه باینری تغییرات، در درجه اول روش EM، و در درجه دوم روش MRF قرار دارند. اما همانطور که ذکر شد روش MRF بدلیل استفاده از اطلاعات مکانی نسبت به روش EM نقشه باینری تغییرات با نویز کمتری را تولید می‌کند. نقشه باینری تغییرات حاصل از روش‌های روش خوشه‌بندی $FCM(m=2)$ و حدآستانه‌گذاری Otsu کمتر تحت تاثیر نویز می‌باشند اما باز هم مقدار نویز در نتایج حاصل از این دو روش قابل ملاحظه است. نقشه باینری تغییرات حاصل از روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌های بکارگیری شده در این تحقیق بسیار کمتر تحت تاثیر نویز است و دارای نتایج نزدیک‌تری به واقعیت زمینی که با استفاده از نقشه ارزیابی نتایج نشان داده شده است، می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نقشه تغییرات نظارت‌نشده یکی از مهمترین منابع اطلاعاتی لازم برای سیستم اطلاعات مکانی و مدیریت شهری می‌باشد به طوری که می‌تواند به عنوان یک اصل کلی برای برورسانی نقشه‌ها و همچنین به عنوان یک لایه ورودی در سیستم 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 استفاده از الگوریتم ژنتیک و مدل مخفی زنجیره تصادفی مارکوف است که با کمک آن بتوان با اتوماسیون بالا و دقت قابل قبول به نقشه تغییرات نظارت نشده رسید. با توجه به نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی، استفاده از الگوریتم ژنتیک موجب تثبیت و انتخاب بهترین مقدار برای پارامتر فازی‌سازی m شده است و همچنین برچسب‌دهی مجدد توسط مدل مخفی زنجیره تصادفی مارکوف موجب استفاده از اطلاعات مکانی از سطح تصویر شده است که در واقع موجب کاهش شدید نویز در سطح نقشه تغییرات شده است. نتایج حاصل از 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 نقشه تغییرات مقاوم در برابر نویز است.

مراجع

- [1] Singh A. Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. International journal of remote sensing. 1989 Jun 1; 10(6):989-1003.
- [2] A.Moghimi; Ebadi, Sadeghi, "Automatic Urban Change detection by multitemporal satellite Images in Tabriz", Geomatic Nationality Conference", 2014. (Persian)
- [3] Bazi Y, Bruzzone L, Melgani F. An unsupervised approach based on the generalized Gaussian model to automatic change detection in multitemporal SAR images. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on. 2005 Apr; 43(4):874-87.



- [4] Carincotte C, Derrode S, Bourenane S. Unsupervised change detection on SAR images using fuzzy hidden Markov chains. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. 2006 Feb; 44(2):432-41.
- [5] Liu W, Yamazaki F. Urban monitoring and change detection of central Tokyo using high-resolution X-band SAR images. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2011 IEEE International 2011 Jul 24* (pp. 2133-2136). IEEE.
- [6] Ma J, Gong M, Zhou Z. Wavelet fusion on ratio images for change detection in SAR images. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*. 2012 Nov; 9(6):1122-6.
- [7] 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, vol. 2*, 2013
- [8] A.Moghimi, "Integrating textural and spectral information from satellite images for change detection in urban areas using direct and post classification comparison methods", M.Sc. Thesis in Civil-Surveying Engineering In Photogrammetry, K.N Toosi University of Technology Faculty of Geodesy and Geomatics, 2015. (Persian)
- [9] Mather P, Tso B. *Classification methods for remotely sensed data*. CRC press; 2009 May 12.
- [10] Bezdek JC, Coray C, Gunderson R, Watson J. Detection and characterization of cluster substructure I. Linear structure: fuzzy c-lines. *SIAM Journal on Applied Mathematics*. 1981 Apr; 40(2):339-57.
- [11] Goldberg RB, Barker SJ, Perez-Grau L. Regulation of gene expression during plant embryogenesis. *Cell*. 1989 Jan 27; 56(2):149-60.
- [12] Hall LO, Özyurt IB, Bezdek JC. Clustering with a genetically optimized approach. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*. 1999 Jul; 3(2):103-12.
- [13] A.Moghimi; Ebadi, Sadeghi, "Automatic Urban Change detection by Integration of Markova random filed and Artificial Neural Network", *Geomatic Nationality Conference*", 2015. (Persian)
- [14] Zhang Y, Brady M, Smith S. Segmentation of brain MR images through a hidden Markov random field model and the expectation-maximization algorithm. *Medical Imaging, IEEE Transactions on*. 2001 Jan; 20(1):45-57.



Unsupervised Change Detection from Multitemporal SAR images using clustering based on genetic algorithm and hidden markov random field model

Moghimi, A. ^{*1}, Ebadi, H. ², Sadeghi, V. ³

1-MS.c in photogrammetry, Department of Geodesy and Geomatics Eng, K.N.Toosi University of Technology

2- Associate Professor, Photogrammetry and Remote Sensing Department, Faculty of Geodesy and Geomatics Eng, K.N.Toosi University of Technology

3- PhD student, photogrammetry an Remote Sensing Department, Faculty of Geodesy and Geomatics Eng, K.N.Toosi University of Technology

Abstract

In the present paper, Order to analyze of changes, a framework for generated binary change map, is presented using clustering based on genetic algorithm and hidden markov random field model. For optimization m parameter of FCM clustering is used Genetic algorithm; Because different values of membership functions in the FCM clustering method Obtained by changing the m value and The other hand different values of m lead to various results in the Detection of changed clusters. For enhancing from the spatial information for improvement of a quantitative and qualitative binary change map, the results of FCM based on genetic algorithms label for once again by hidden markov random field model. For assess the results was used of high resolution multitemporal images of TerraSAR-X satellite in the Chitgar Lake under construction during the period 2011 to 2012. Various amounts of β parameters were used for evaluate the effect of neighborhood in binary change map. The results show that by increasing the value of this parameter, change map obtained with lower of total error rate, false alarm rate and miss alarm rate. To evaluate performance in unsupervised change detection, this method was compared the methods of Otsu, EM, MRF, FCM (m=2). The total error rate of the proposed method is improved than the Otsu th reshoding, FCM (m = 2) clustering, MRF and EM algorithms of 4.56, 4.38, 4.74 and 15.78 percent. The results show High-performance of proposed method in unsupervised change detection with multitemporal SAR images.

Keywords: Unsupervised Change Detection, Genetic algorithm, Multitemporal SAR images, Hidden Markov random chain model

Correspondence Address: Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology, No. 1346, Vali-Asr Street, Mirdamad Cross, Tehran, Iran. Postal Code: 1996715433. Tel: (+98 21) 88770218. Fax: (+98 21) 88786213

Email: armin.moghimi@yahoo.com