

آشکارسازی تغییرات در تصاویر سنجش از دور چندزمانه با حدآستانه‌گذاری شاخص تغییرات تلفیقی مبتنی بر الگوریتم توده ذرات

وحید صادقی^{۱*}، حمید عبادی^۲، علی محمدزاده^۳، فرشید فرنود احمدی^۴

^۱ دانشجوی دکتری فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
vahid.sadeghi.1985@gmail.com

^۲ دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
(عضو قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی)
ebadi@kntu.ac.ir

^۳ استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
a_mohammadzadeh@kntu.ac.ir

^۴ استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری - دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تبریز
farshid_farnood@yahoo.com

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۳، تاریخ تصویب آذر ۱۳۹۴)

چکیده

آشکارسازی صحیح و به‌موقع تغییرات پوشش و کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین موضوعات در حوزه برنامه‌ریزی و مدیریت اراضی می‌باشد. در دهه‌های اخیر، تصاویر سنجش از دور به منابع ارزشمندی برای شناسایی تغییرات پوشش و کاربری اراضی تبدیل شده‌اند. حدآستانه‌گذاری تصویر اختلاف، از متداول‌ترین تکنیک‌های آشکارسازی تغییرات در تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه می‌باشد. نظر به اینکه تکنیک‌های متداول حدآستانه‌گذاری برای فضاهای تک‌بعدی توسعه داده شده‌اند، برای شناسایی تغییرات در فضاهای چندطیفی تصاویر سنجش از دور مناسب نیستند. یک راهکار متداول برای رفع این نقیصه، استفاده از تکنیک تلفیق داده‌ها در سطح ویژگی و/یا تصمیم‌گیری می‌باشد. تکنیک‌های متنوعی برای این منظور توسعه داده شده‌اند. هرچند مشخص نیست کدامیک از این تکنیک‌ها، نسبت به بقیه کارایی بالاتری دارد، ولی یک خصوصیت مشترک در همه آنها (بغیر از تکنیک‌های رای‌گیری و بیزین)، ماهیت تحت‌نظارت بودن آنهاست. طوری که تحلیل‌گر باید یکسری پارامترها را، به نحوی که بهترین همخوانی را با داده‌ها و کاربرد مورد نظر داشته باشد، تعیین نماید. از طرف دیگر، تکنیک‌های نظارت‌نشده‌ای که برای این منظور توسعه داده شده‌اند، عموماً منجر به صحت پایین در آشکارسازی تغییرات می‌شوند. به منظور توسعه تکنیک‌های حدآستانه‌گذاری جهت پشتیبانی تصاویر چندطیفی، یک تکنیک ساده و در عین حال کارآمد برای تلفیق داده‌ها پیشنهاد می‌شود. روش پیشنهادی مبتنی بر تلفیق شاخص‌های تغییرات (باندهای تصویر اختلاف) در یک مدل خطی می‌باشد که منجر به تشکیل یک شاخص تغییرات جدید با محتوای بالای اطلاعاتی می‌شود. وزن‌های بکار رفته در این مدل با الگوریتم توده‌ذرات (PSO) بهینه شده و سپس از تکنیک OTSU برای آشکارسازی باینری تغییرات استفاده می‌شود. روش پیشنهادی بر روی یک جفت‌تصویر دوزمانه سنجنده TM پیاده‌سازی و نتایج حاصله با تکنیک‌های رایج مقایسه شد. صحت کلی ۹۰/۶۸٪، روش پیشنهادی، در مقایسه با صحت کلی ۷۹/۰۶٪ و ۷۰/۸۱٪ حاصل از دو تکنیک متداول رای‌گیری (تلفیق در سطح تصمیم‌گیری) و صحت کلی ۸۰/۷۷٪ حاصل از الگوریتم بیزین (تلفیق در سطح ویژگی)، بیانگر قابلیت بالای روش پیشنهادی در آشکارسازی نظارت‌نشده تغییرات در تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه چندطیفی می‌باشد.

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی، از مهم‌ترین داده‌های مکانی موجود در سامانه اطلاعات مکانی^۱ هستند که مبنای بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها در حوزه برنامه‌ریزی و مدیریت اراضی می‌باشند. صحت و اعتبار آنالیزهای انجام شده بر روی داده‌های مکانی در یک سامانه اطلاعات مکانی کاملاً وابسته به صحت و اعتبار داده‌های مزبور است. از طرفی پوشش و کاربری اراضی، عموماً ماهیتی دینامیک داشته و دائماً در حال تغییر هستند. بنابراین لازم است تا تغییرات رخ داده در آنها شناسایی شوند تا همواره یک سامانه اطلاعات مکانی به‌نگام در دسترس باشد. قابلیت سنجنده‌های ماهواره‌ای برای ثبت پرتوهای تابشی یا بازتابشی از سطح عوارض در طول موجهای مختلف و امکان شناسایی بخش عمده‌ای از خصوصیات عوارض از طریق انجام آنالیزهای طیفی، امکان استفاده از این تصاویر را برای استخراج اطلاعات موضوعی فراهم می‌نماید. از سوی دیگر سنجنده‌های ماهواره‌ای قادرند به آسانی تصاویر مربوط به منطقه مورد نظر را در دوره‌های زمانی منظم اخذ و در اختیار کاربران قرار دهند. لذا استفاده از تصاویر سنجنش از دور به عنوان روش مناسبی برای آشکارسازی تغییرات مربوط به پدیده‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان نمونه می‌توان به: پایش گسترش شهرها [۳ و ۲۰]، آشکارسازی تغییرات کاربری و پوششی اراضی [۶ و ۵ و ۴]، پایش کیفیت و کمیت پوشش گیاهی منطقه [۸ و ۷]، پایش خطوط ساحلی [۱۰ و ۹]، پایش کیفیت سطح آب دریاها [۱۲ و ۱۱]، پایش آلودگی هوا و گرد و غبار معلق در هوا [۱۴ و ۱۳]، پایش یخچالهای طبیعی [۱۵] و تخمین جمعیت [۱۷ و ۱۶] اشاره نمود. با توجه به اینکه در اکثر زمینه‌های یاد شده معمولاً نیازمند آنالیز مناطق وسیع و از همه مهمتر نیازمند آنالیز سریع داده‌ها هستیم، توسعه یک روش آشکارساز تغییرات کاملاً اتوماتیک و نظارت‌نشده می‌تواند باعث تسریع و تسهیل در آنالیز داده‌ها و کاهش هزینه تولید اطلاعات شود.

تکنیک‌های آشکارسازی تغییرات مبتنی بر بارزسازی^۲ - که به تکنیک‌های نظارت‌نشده نیز معروف هستند- به الگوهای آموزشی برای شناسایی تغییرات نیاز نداشته به

همین دلیل قابلیت اتوماسیون بالایی داشته و در سالهای اخیر محبوبیت زیادی پیدا کرده اند [۲۶]. این روش‌ها عموماً مبتنی بر آنالیز تصویر اختلاف قدرمطلق هستند. در این تکنیک‌ها، در مرحله اول تصویر اختلاف قدرمطلق با استفاده از عملیات جبری روی تصاویر دو زمانه حاصل شده و سپس این تصویر مورد بررسی قرار می‌گیرد تا در نهایت یک نقشه باینری تغییرات با دو کلاس که معرف مناطق تغییر یافته و تغییر نیافته است، تهیه گردد.

حدآستانه‌گذاری تصویر اختلاف قدرمطلق به منظور تفکیک مناطق تغییر یافته و تغییر نیافته، یکی از متداول‌ترین و ساده‌ترین روش‌های آشکارسازی تغییرات مبتنی بر بارزسازی می‌باشد که به تکنیک‌های حدآستانه‌گذاری معروف هستند. از مهم‌ترین آنها می‌توان به تکنیک بیشینه‌سازی واریانس بین‌کلاسی (OTSU) [۲۱]، کمینه‌سازی جمع واریانس داخل کلاسی^۳ (MSICV) [۱۹]، مبتنی بر انترپوی [۱۹] و فیشر (Fisher) [۳۰] اشاره نمود.

تجربیات نشان داده است که تغییرات صورت گرفته در محیط معمولاً به گونه‌ای است که تغییرات مختلف در قسمت‌های متفاوتی از طول موج الکترومغناطیس قابل شناسایی است. امروزه با دسترس بودن تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه چندطیفی می‌توان تغییرات مختلف را در باندهای مختلف با بکارگیری تکنیک‌های پردازش تصویر شناسایی نمود. بررسی‌ها نشان می‌دهد، صحت نتایج آشکارسازی تغییرات در صورت بکارگیری باندهای چندطیفی نسبت به حالت بکارگیری باندهای منفرد، به مراتب بالاتر است [۳۳]. از طرفی تکنیک‌های حدآستانه‌گذاری متداول، برای فضاهایی یک‌بعدی توسعه داده شده و لذا قادر هستند تا تغییرات صورت گرفته در منطقه را در تک‌تک باندها بطور مجزا شناسایی نمایند. زمان محاسبات این روش‌ها نسبتاً بالا بوده و با افزایش ابعاد داده‌ها، هزینه محاسباتی به شدت افزایش می‌یابد. در صورتی که ابعاد فضای جستجو (تعداد باندهای اصلی یا فرعی) برابر n و دامنه درجات روشنایی قدرمطلق تصویر اختلاف قدرمطلق 2^n باشد که r بیانگر قدرت تفکیک رادیومتریکی تصاویر اصلی دو زمانه است، در این صورت تعداد جستجوی لازم برای یافتن بهترین حدآستانه $T=(2^n)^n$ خواهد بود. با فرض تصویر شش باندی با قدرت

^۱ GIS

^۲ Enhanced change detection techniques

^۳ Minimizing Sum of Inter-Class variance (MSICV)

مختلف تصویر اختلاف قدرمطلق صورت گرفته و فضای n بعدی به فضای یک بعدی تصویر می شود. در ادامه از تکنیک OTSU برای تفکیک مناطق تغییر یافته و تغییر نیافته استفاده می شود.

تکنیک پیشنهادی در تمامی مراحل، بطور اتوماتیک و نظارت نشده عمل نموده و بدون نیاز به تعامل با کاربر، اقدام به حدآستانه گذاری تصاویر چندطیفی و تولید نقشه باینری تغییرات می نماید. عدم نیاز به الگوی آموزشی و تعامل با کاربر از یک طرف و صحت بالا در آشکارسازی تغییرات از طرف دیگر، مهم ترین مزایای تکنیک پیشنهادی در مقایسه با سایر تکنیک های متداول می باشد. جزئیات روش پیشنهادی در بخش (۳) بیان خواهد شد.

ساختار مقاله حاضر به این شرح می باشد: در بخش دوم تکنیک حدآستانه گذاری تشریح می شود. تکنیک های حدآستانه گذاری یک بعدی متداول و تکنیک های تلفیق داده ها به منظور حدآستانه گذاری تصاویر چندطیفی در این بخش تشریح می شوند. در بخش سوم، روش پیشنهادی برای حدآستانه گذاری تصویر اختلاف مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی توده ذرات معرفی خواهد شد. در بخش های چهارم و پنجم نیز به ترتیب پیاده سازی و نتایج حاصله از این تحقیق ارائه شده در خاتمه و پیشنهادهای برای تحقیقات آتی بیان می شود.

۲- تکنیک حدآستانه گذاری

اگر دو تصویر زمان اول و زمان دوم اخذ شده از یک منطقه جغرافیایی را به ترتیب با دو بردار X^1 و X^2 به صورت زیر نشان دهیم:

$$\begin{aligned} X^1 &= [X_1^1, X_2^1, X_3^1, \dots, X_n^1] \\ X^2 &= [X_1^2, X_2^2, X_3^2, \dots, X_n^2] \end{aligned} \quad (1)$$

در این رابطه، n تعداد باندهای تصاویر چندزمانه می باشد. تصویر اختلاف قدرمطلق با محاسبه قدرمطلق تفاضل باندهای متناظر در تصاویر چندزمانه هم مرجع شده تولید می شود (رابطه ۲) [۲۰]:

$$X_{ADI} = [|X_1^2 - X_1^1|, |X_2^2 - X_2^1|, \dots, |X_n^2 - X_n^1|] \quad (2)$$

در ادامه هیستوگرام تصویر اختلاف قدرمطلق مورد آنالیز قرار می گیرد تا بهترین حدآستانه برای تفکیک

تفکیک رادیومتریکی ۸ بیتی، تعداد جستجو لازم برابر $T=(2^8)^6=2.8 \times 10^{14}$ می باشد که انجام یک جستجوی فراگیر برای یافتن حدآستانه بهینه در این نوع مواقع منوط به آزمودن 2.8×10^{14} حدآستانه خواهد بود که البته بنا به تجربه کاربر، امکان کاهش فضای جستجو میسر بوده ولی باز هم نیازمند هزینه محاسباتی بالایی است. برای تشخیص تغییرات چندگانه در تصاویر ماهواره ای چندزمانه با توجه به ماهیت تک بعدی تکنیک های حدآستانه گذاری، معمولاً از دو راهکار کلی زیر استفاده می شود:

در راهکار اول، تکنیک های حدآستانه گذاری از لحاظ ساختاری از یک بعد به چندبعد توسعه داده و سپس فضای جستجو کاهش داده می شود. تحقیقات نشان می دهد زمان محاسبات این روش هم چنان بالا بوده و تا به امروز تنها قادر به پشتیبانی فضاهای دوبعدی هستند [۳۰].

راهکار دوم، بهره گیری از تکنیک تلفیق داده ها در سطح ویژگی و/یا تصمیم گیری می باشد. تکنیک های متنوعی برای این منظور توسعه داده شده است [۳۴ و ۳۵]. هر چند مشخص نیست کدامیک از این تکنیک ها، نسبت به بقیه کارایی بالاتری دارد، ولی یک خصوصیت مشترک در همه آنها (بغیر از تکنیک های رای گیری و بیزین)، ماهیت تحت نظارت بودن آنهاست. طوری که تحلیل گر باید یکسری پارامترها را، به نحوی که بهترین همخوانی را با داده ها و کاربرد مورد نظر داشته باشد، تعیین نماید [۳۴]. از طرف دیگر، تکنیک های نظارت نشده ای که برای این منظور توسعه داده شده اند، عموماً منجر به صحت پایین در آشکارسازی تغییرات می شوند (به بخش ۳-۴ رجوع شود). تکنیک های توسعه داده شده برای تلفیق داده ها در سطح ویژگی و تصمیم گیری در بخش های ۲-۲ و ۳-۲ تشریح خواهد شد.

به منظور توسعه تکنیک های حدآستانه گذاری جهت پشتیبانی تصاویر چندطیفی، یک تکنیک ساده و در عین حال کارآمد برای تلفیق داده ها در سطح داده پیشنهاد می شود. روش پیشنهادی مبتنی بر تلفیق شاخص های تغییرات (باندهای تصویر اختلاف قدرمطلق) در یک مدل خطی است که منجر به تشکیل یک شاخص جدید با محتوای بالای اطلاعاتی می شود. وزن های بکار رفته در این مدل با الگوریتم توده ذرات^۱ (PSO) بهینه می شود. لذا کاهش فضای جستجو با حفظ اطلاعات طیفی باندهای

^۱ Particle swarm optimization

یک تصویر اختلاف قدرمطلق را می توان یک تابع شدت در نظر گرفت که شامل N پیکسل با درجات خاکستری ۱ تا $L-1$ می باشد. در صورتی که تعداد پیکسل هایی با درجه خاکستری i با f_i نشان دهیم، P_i احتمال درجه خاکستری i در تصویر اختلاف قدرمطلق حاصل از تصاویر مرجع و هدف به صورت زیر می باشد:

$$P_i = \frac{f_i}{N} \quad (3)$$

هدف الگوریتم پیدا کردن حدآستانه بهینه می باشد. در صورتی که این حدآستانه را با t نشان دهیم، کلاس C_0 شامل جمع احتمالات درجات خاکستری $[1, \dots, t]$ و کلاس C_1 شامل جمع احتمالات درجات خاکستری $[t+1, \dots, L-1]$ می باشد. در اینصورت توزیع احتمال درجات خاکستری دو کلاس مزبور به صورت زیر می باشد:

$$C_0 = \frac{P_1}{w_0(t)}, \frac{P_2}{w_0(t)}, \dots, \frac{P_t}{w_0(t)} \quad (4)$$

$$C_1 = \frac{P_{t+1}}{w_1(t)}, \frac{P_{t+2}}{w_1(t)}, \dots, \frac{P_{L-1}}{w_1(t)}$$

در ادامه پس از محاسبه احتمال دو کلاس تغییرنیافته و تغییر یافته ($w_0(t)$ و $w_1(t)$)، میانگین دو کلاس C_0 و C_1 (به ترتیب $\mu_0^*(t)$ و $\mu_1^*(t)$) صورت زیر برآورد می شوند:

$$\mu_0^*(t) = \sum_{i=1}^t i \frac{P_i}{w_0(t)}, \mu_1^*(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} i \frac{P_i}{w_1(t)} \quad (5)$$

$$w_0(t) = \sum_{i=1}^t P_i, \quad w_1(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} P_i$$

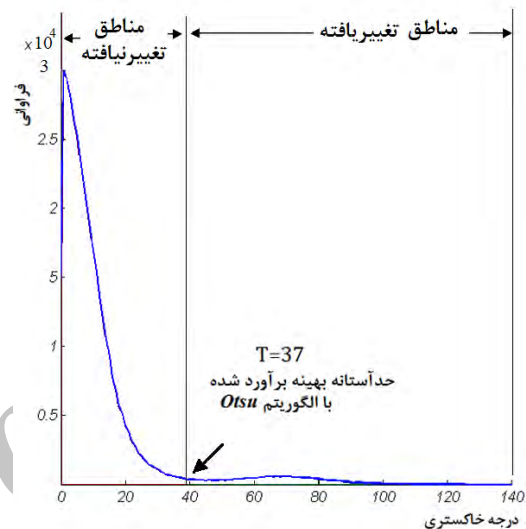
در نهایت واریانس بین کلاسی^۱ Otsu در تصویر حدآستانه گذاری شده به صورت زیر معرفی می شود [۲۳]:

$$t^* = \text{Arg MAX} \{ w_0(t) \times [\mu_0^*(t)]^2 + w_1(t) \times [\mu_1^*(t)]^2 \}, \quad 1 \leq t \leq L-1 \quad (6)$$

۲-۱-۲- حدآستانه گذاری با تابع فیشر (Fisher)

تابع تفکیک کننده خطی فیشر، اولین بار در سنجش از دور برای تصویر نمودن یک فضای چندبعدی به فضای یکبعدی (خطی) که در آن فضای یکبعدی توان تفکیک

پیکسل های تغییر یافته و تغییر نیافته تعیین شود. شکل (۱)، هیستوگرام یکی از باندهای تصویر اختلاف قدرمطلق مورد استفاده در این تحقیق را نشان می دهد که در آن دو منطقه تغییر یافته و تغییر نیافته با حدآستانه T از یکدیگر تفکیک شده اند. هدف فرآیند حدآستانه گذاری تخمین حدآستانه ایی مناسب (به عنوان نمونه $T=37$ در این هیستوگرام) است تا مناطق تغییر یافته از مناطق تغییر نیافته متمایز شوند.



شکل ۱- هیستوگرام تصویر اختلاف قدرمطلق به همراه بهترین حدآستانه تعیین شده با تکنیک حدآستانه گذاری Otsu.

در ادامه سه روش متداول و پر کاربرد حدآستانه گذاری تکبعدی Otsu، Fisher و MSICV تشریح می شود. سپس راهکارهای متداول برای حدآستانه گذاری تصاویر چندطیفی تشریح و نقاط قوت و ضعف آنها بررسی می شود.

۲-۱-۲- حدآستانه گذاری در فضای یکبعدی

۲-۱-۲-۱- حدآستانه گذاری Otsu

یکی از پرکاربردترین روشهای حدآستانه گذاری، روش Otsu می باشد که جداپذیری پیکسل های تغییر نیافته (کلاس C_0) و پیکسل های تغییر یافته (کلاس C_1) را با توجه به واریانس کلاس های مربوطه ماکزیمم می کند. بطوری که حدآستانه بهینه زمانی انتخاب می شود که جمع واریانس داخل کلاسها مینیمم شود که در واقع متناظر هست با اینکه واریانس بین کلاسها ماکزیمم شود [۲۱] و [۲۲]. در ادامه نحوه تعیین حدآستانه بهینه در این روش بیان می گردد.

^۱ Intra Class variance

در این رابطه، $\mu_0(t)$ و $\mu_1(t)$ معرف میانگین دو کلاس C_0 و C_1 طبق رابطه (۱۰) می‌باشد:

$$\mu_0(t) = \sum_{i=1}^t i \times \frac{f_i}{N_0}, \mu_1(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} i \times \frac{f_i}{N_1} \quad (10)$$

در رابطه (۱۰)، N_0 و N_1 به ترتیب معرف تعداد اعضای دو کلاس C_0 و C_1 می‌باشند که با استفاده از حدآستانه t تفکیک شده‌اند. الگوریتم MSICV دنبال حدآستانه بهینه t^* می‌گردد که واریانس داخل کلاسی σ_{SIC}^2 را طبق رابطه (۱۱) کمینه نماید:

$$t^* = \text{Arg Min}\{\sigma_{SIC}^2(t)\}, 1 \leq t \leq L-1 \quad (11)$$

۲-۲- حدآستانه‌گذاری در فضای چندبعدی

۲-۲-۱- تکنیک‌های حدآستانه‌گذاری دوبعدی

در این تکنیک‌ها ساختار الگوریتم حدآستانه‌گذاری تک‌بعدی به گونه‌ای تغییر می‌یابد تا بتواند در دو بعد عمل نمایند. با توجه به افزایش چشم‌گیر زمان محاسبات لازم است تا یکسری ساده‌سازی‌هایی برای کاهش فضای جستجو انجام‌گیرد. زمان محاسبات این روش هم‌چنان بالا بوده [۲۸ و ۳۱ و ۳۰] و از طرف دیگر در فضای بیش از دو بعد قادر به حدآستانه‌گذاری نیستند.

۲-۲-۲- استفاده از تکنیک تلفیق داده‌ها در سطح

تصمیم‌گیری - تکنیک‌های رای‌گیری

تلفیق (ادغام) در سطح تصمیم‌گیری بالاترین سطح از تلفیق می‌باشد که در آن تصمیمات اخذ شده توسط تصمیم‌گیرنده‌های مختلف یا تصمیم‌های حاصل از منابع مختلف، با استفاده از الگوریتم‌های منطقی یا آماری مناسب با یکدیگر ادغام می‌شوند. در بکارگیری این سطح از ادغام در کاربرد حدآستانه‌گذاری تصاویر چندطیفی، ابتدا حدآستانه‌گذاری تصویر در باندهای مختلف بطور جداگانه صورت می‌گیرد. سپس برای تصمیم‌گیری نهایی از تکنیک‌های مختلف تلفیق در سطح تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. تکنیک‌های متنوعی برای این منظور توسعه داده شده است. از آنجمله می‌توان به تئوری

عوارض بالاتر رود مورد استفاده قرار گرفته است [۲۸]. این تابع اخیراً برای قطعه‌بندی تصاویر مورد استفاده قرار گرفته و قابلیت بالایی را در این کاربرد نشان داده است [۲۸ و ۲۹]. تابع تفکیک‌کننده فیشر، تفکیک بین پیکسل‌های تغییرنیافته و تغییر نیافته را با توجه به واریانس داخل کلاسی و فاصله بین‌مراکز کلاس‌ها، با رابطه (۷) پیشینه می‌کند [۲۹].

$$t^* = \text{Arg MAX} \left\{ \frac{[\mu_0^*(t) - \mu_1^*(t)]^2}{w_0(t)\sigma_0^2(t) + w_1(t)\sigma_1^2(t)} \right\} \quad (7)$$

$$1 \leq t \leq L-1$$

در این رابطه $w_0(t)$ و $w_1(t)$ و $\mu_0^*(t)$ و $\mu_1^*(t)$ همان پارامترهای معرفی شده در تکنیک Otsu بوده و $\sigma_0^2(t)$ و $\sigma_1^2(t)$ نیز به ترتیب واریانس دو کلاس تغییرنیافته و کلاس تغییرنیافته متناظر با حدآستانه t می‌باشد که با رابطه (۸) برآورد می‌شود:

$$\sigma_0^2(t) = \sum_{i=0}^t (i - \mu_0^*(t))^2 P_i \quad (8)$$

$$\sigma_1^2(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} (i - \mu_1^*(t))^2 P_i$$

۲-۱-۲- حدآستانه‌گذاری مبتنی بر کمینه‌سازی

جمع واریانس داخل کلاسی (MSICV)

یکی دیگر از روشهای حدآستانه‌گذاری، کمینه‌سازی جمع واریانس داخل کلاسی در دو کلاس تغییرنیافته (کلاس C_0) و پیکسل‌های تغییرنیافته (کلاس C_1) می‌باشد که در این پژوهش بطور خلاصه با عنوان MSICV مورد استفاده قرار خواهد گرفت. بطوری که حدآستانه بهینه زمانی انتخاب می‌شود که جمع واریانس داخل کلاسها مینیمم شود. در صورتی که حدآستانه بهینه را با t نشان دهیم، جمع واریانس داخل کلاسی^۱ در تصویر حدآستانه‌گذاری شده به صورت زیر برآورد می‌شود:

$$\sigma_{SIC}^2(t) = \frac{\sum_{i=0}^t (i - \mu_0(t))^2}{N_0 - 1} + \frac{\sum_{i=t+1}^{L-1} (i - \mu_1(t))^2}{N_1 - 1} \quad (9)$$

^۱ Inter Class variance

شهودی دمپسترشافر^۱ [۳۵]، انتگرال فازی^۲ [۳۵] و تکنیک‌های رای گیری^۳ [۳۰ و ۳۲] اشاره نمود. تکنیک‌های رای گیری از متداولترین تکنیک‌های تلفیق در سطح تصمیم‌گیری می‌باشد که قابلیت پیاده‌سازی بصورت نظارت‌نشده را دارند. به عنوان نمونه، در [۳۰]، بعد از حدآستانه گذاری تصاویر در n باند طیفی و تعیین حدآستانه‌های بهینه $t_i^*, \{i=1,2,\dots,n\}$ دو کلاس تغییرنیافته و تغییریافته با شبه‌کد زیر تعیین می‌شوند:

$$\begin{aligned} & \text{For } x(i,j) \in X_{ADI} \\ & \text{if } x_1(i,j) \leq t_1^* \text{ and } x_2(i,j) \leq t_2^*, \dots, \\ & \quad \text{and } x_n(i,j) \leq t_n^* \quad (12) \\ & x(i,j) \in C_0, \text{ else } x(i,j) \in C_1 \end{aligned}$$

در [۳۲]، بعد از حدآستانه گذاری تصاویر در دو باند ۱ و ۲ و تعیین دو حدآستانه بهینه t_1^* و t_2^* دو کلاس تغییر یافته و تغییر نیافته با شبه‌کد رابطه (۱۳) تعیین می‌شوند.

$$\begin{aligned} & \text{For } x(i,j) \in X_{ADI} \\ & \text{if } x_1(i,j) \geq t_1^* \text{ and } x_2(i,j) \geq t_2^* \quad (13) \\ & x(i,j) \in C_1, \text{ else } x(i,j) \in C_0 \end{aligned}$$

در روابط (۱۲) و (۱۳)، $X_b(i,j)$ معرف درجه خاکستری پیکسل در موقعیت (i,j) در باند b ام از تصویر اختلاف قدرمطلق می‌باشد. قوانین مورد استفاده در تلفیق داده‌ها بستگی به کاربرد و ماهیت تغییرات صورت گرفته در منطقه داشته و در کل دقت حاصل از آنها برای آشکارسازی تغییرات پایین می‌باشد.

۲-۲-۳- استفاده از تکنیک تلفیق داده‌ها در سطح ویژگی- تئوری بیزین

هدف تکنیک‌های تلفیق داده‌ها در سطح ویژگی، تولید ویژگی‌هایی است که تفکیک‌پذیری بین مناطق تغییر یافته و تغییر نیافته را بیشینه نماید. در [۳۵] از تئوری مجموعه‌های فازی برای تلفیق باندهای تصویر اختلاف استفاده شده است. در این مدل‌ها لازم است تا مقادیر بهینه پارامترهای توابع عضویت بطور سعی و خطا تعیین شود. لذا این مدل‌ها برای رویکرد نظارت‌نشده در

آشکارسازی تغییرات مناسب نخواهند بود. در [۳۴] از تئوری بیزین برای تلفیق نتایج در سطح ویژگی استفاده شده است. در این تحقیق، با یکسری ترندهایی، پارامترهای توابع عضویت بطور اتوماتیک تعیین شده و لذا امکان تلفیق نتایج حاصل از حدآستانه گذاری‌های تک‌بعدی را در یک رویکرد نظارت‌نشده فراهم می‌نماید. در تحقیق حاضر از تئوری بیزین با چهارچوب ارائه شده در [۳۴] برای تلفیق داده‌ها در سطح ویژگی استفاده شد.

در این تکنیک، بعد از محاسبه میزان شباهت هر نمونه (پیکسل) به کلاسهای C_0 و C_1 با روابط (۱۴) و (۱۵):

$$F_0(X) = P(\omega_0) \cdot \prod_{i=1}^n \left\{ \frac{P(\omega_0/X_i)}{P(\omega_0)} \right\}^{\lambda_i} \quad (14)$$

$$F_1(X) = P(\omega_1) \cdot \prod_{i=1}^n \left\{ \frac{P(\omega_1/X_i)}{P(\omega_1)} \right\}^{\lambda_i} \quad (15)$$

برچسب نهایی هر پیکسل با رابطه (۱۶) تعیین می‌شود. به این نحو که، کلاس متناظر با بیشترین درجه تعلق، برچسب نهایی پیکسل مورد نظر خواهد بود. با تکرار مراحل مذکور برای تمامی پیکسل‌های تصویر، نقشه باینری نهایی تولید می‌شود.

$$F = \text{Arg MAX}\{F_t\}, \quad t \in \{0,1\} \quad (16)$$

در روابط (۱۴) و (۱۵)، $P(\omega_0)$ و $P(\omega_1)$ به ترتیب احتمال پیشین دو کلاس C_0 و C_1 بوده و $P(\omega_0/X_i)$ و $P(\omega_1/X_i)$ نیز به ترتیب احتمال وجود X_i در دو کلاس C_0 و C_1 می‌باشد. پارامتر λ_i وزن (فاکتور قابلیت اطمینان) هریک از باندهای طیفی تصویر اختلاف قدرمطلق می‌باشد ($\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, \lambda_i = \frac{1}{n}$).

برای محاسبه مقادیر $P(\omega_0/X_i)$ و $P(\omega_1/X_i)$ لازم است تا پارامترهای آماری هریک از کلاسهای C_0 و C_1 بطور مستقل در هر یک از باندهای تصویر اختلاف قدرمطلق برآورد شود. برای این منظور، ابتدا هریک از باندهای طیفی تصویر اختلاف قدرمطلق، با حدآستانه‌های برآورد شده توسط تکنیک حدآستانه گذاری تک‌بعدی، به دو کلاس تغییر یافته و تغییر نیافته دسته‌بندی شده و سپس پارامترهای آماری هریک از این کلاسها محاسبه می‌شود. در پیاده‌سازی این روش، از تکنیک حدآستانه گذاری Otsu برای تفکیک اولیه مناطق

^۱ Dempster-Shafer (D-S) evidence theory

^۲ Fuzzy Integral (FI)

^۳ Voting

در این رابطه، w_i و X_i^{ADI} به ترتیب، باند λ_m در تصویر اختلاف قدرمطلق و وزن متناظر با آن در تشکیل تک‌باند B_f تلفیقی می‌باشد که لازم است وزن‌های بهینه با الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات تعیین شود. با بکارگیری این شاخص جدید، با حفظ اطلاعات موجود در n باند طیفی، ابعاد داده از n بعد به یک بعد کاهش یافته و لذا می‌توان از تمامی روشهای حدآستانه‌گذاری توسعه داده شده بدون هیچ‌گونه تغییر در آنها، استفاده نمود.

۳-۲- الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات^۱

الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر حرکت توده ذرات (PSO)، یک روش بهینه‌سازی جمعیت مینا است که از رفتار جمعی پرندگان یا ماهی‌ها الهام گرفته شده و توسط کندی و ابره‌ارت توسعه داده شده است [۲۴، ۲۵]. فضای راه‌حل مسئله به عنوان فضای جستجو به گونه‌ای تعریف می‌شود که هر موقعیت در فضای جستجو، یک راه‌حل برای مسئله بوده و پتانسیل حل مسئله را داشته باشد. ذرات برای پیدا کردن بهترین موقعیت در فضای جستجو با هم تعامل می‌کنند تا در نهایت بر اساس تابع هزینه تعریف شده، به بهترین جواب دست یابند. در این الگوریتم هر ذره مطابق با معادلات سرعت و موقعیت، اشاره شده در روابط (۱۸) و (۱۹)، در فضای جستجو حرکت می‌کند.

$$v_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) \times v_{ij}(t) + c_1 \times r_{1j}(t) \times [pbest(t) - x_{ij}(t)] + c_2 \times r_{2j}(t) \times [gbest(t) - x_{ij}(t)] \quad (18)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_i(t+1) \quad (19)$$

در این روابط، $v_{ij}(t)$ سرعت ذره i در بعد j در گام زمانی t می‌باشد، $w_{ij}(t)$ وزن اینرسی ذره i در بعد j ام می‌باشد که ممانتوم ذره را به وسیله وزن‌دار کردن سرعت اولیه ذره کنترل می‌کند. این شاخص تنظیم‌کننده تاثیر میزان حافظه قبلی از حرکت ذره بر سرعت جدید است. $x_{ij}(t)$ موقعیت ذره i در بعد j در گام زمانی t می‌باشد. $pbest(t)$ بهترین موقعیت خود ذره را تا رسیدن به موقعیت فعلی نشان می‌دهد که به جزء شناختی معروف است. $gbest(t)$ بهترین موقعیت حاصل

تغییر یافته و تغییر نیافته در باندهای تصویر اختلاف قدرمطلق استفاده شد.

۳- الگوریتم توسعه یافته جهت حدآستانه‌گذاری تصاویر چندطیفی مبتنی بر الگوریتم توده ذرات

در این بخش، ابتدا روش پیشنهادی برای تلفیق داده‌ها و کاهش ابعاد فضای جستجو ارائه شده و سپس نحوه کار الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات بیان شده و در نهایت روش پیشنهادی برای حدآستانه‌گذاری چندبعدی تصویر اختلاف مبتنی تلفیق داده‌ها و تعیین حدآستانه بهینه با بکارگیری الگوریتم توده ذرات تشریح می‌گردد.

۳-۱- تلفیق وزن دار فضای چندطیفی

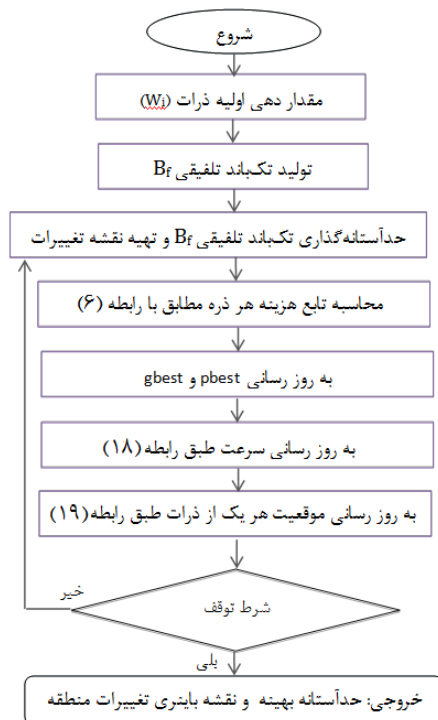
تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی امکان شناسایی انواع مختلفی از تغییرات را در کاربرد آشکارسازی تغییرات فراهم می‌آورد در مقابل روش‌های حدآستانه‌گذاری اغلب یک‌بعدی بوده و برای استفاده از آنها در فضای بیش از یک بعد لازم است تغییراتی در آنها صورت گیرد که راه‌حل‌های توسعه داده شده در این زمینه در بخش قبل تشریح شد. با توجه به اطلاعات ارزشمند تصاویر ماهواره‌ای در باندهای طیفی مختلف، همواره سعی بر آن است تا در حدامکان از تمامی باندهای طیفی تصویر استفاده شود ولی در طرف مقابل شاهد افزایش قابل توجه فضای جستجو و محاسبات تکنیک‌های حدآستانه‌گذاری هستیم. در این تکنیک یک راه‌حل ساده و در عین حال کارآمد برای تلفیق داده‌ها در سطح داده و کاهش ابعاد تصویر اختلاف قدرمطلق از n بعد به یک بعد پیشنهاد می‌گردد. روش پیشنهادی مبتنی بر تلفیق وزن‌دار باندهای مختلف تصویر اختلاف و تشکیل یک شاخص جدید تغییرات با محتوای اطلاعات بالا می‌باشد.

اگر دو تصویر زمان اول و زمان دوم اخذ شده از یک منطقه جغرافیایی را به ترتیب با دو بردار X^1 و X^2 نشان دهیم بعد از محاسبه تصویر اختلاف قدرمطلق با استفاده از رابطه (۲)، شاخص جدید تغییرات (باند تلفیقی) بصورت رابطه (۱۷) تولید می‌شود:

$$B_f = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i \times [X_i^{ADI}]^2} \quad (17)$$

^۱ Particle Swarm Optimization

تصویر با ابعاد 470×830 ، از سد خدآفرین استان آذربایجان شرقی می‌باشد که توسط سنجنده Landsat-TM5 در تاریخ‌های $2000/07/22$ و $2009/07/15$ از این منطقه اخذ شده است. شکل (۳) به ترتیب ترکیب رنگی ۴، ۳ و ۲ تصاویر مورد استفاده را نشان می‌دهد.



شکل ۲- روند الگوریتم پیشنهادی برای حدآستانه‌گذاری تصاویر چندبعدی، مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات.

۲-۴- پیاده‌سازی الگوریتم توسعه یافته

روش پیشنهادی برای حدآستانه‌گذاری اتوماتیک و نظارت‌نشده تصویر اختلاف، به همراه چندین روش متداول در این زمینه مورد پیاده‌سازی و ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اهمیت و ضرورت دو فرآیند هم‌مرجع‌سازی تصاویر چندزمانه و تصحیح رادیومتریک آنها در نتایج آشکارسازی تغییرات، معمولاً این دو مرحله به عنوان پیش‌پردازش قبل از اعمال الگوریتم‌های آشکارسازی تغییرات مبتنی بر تصاویر چندزمانه انجام می‌گیرد [۱۸]. لذا در این تحقیق بعد از هم‌مرجع‌سازی تصاویر از روش نرمالیزاسیون اتوماتیک مبتنی بر شبکه‌های عصبی [۳۶]، برای تصحیح رادیومتریک نسبی هر جفت تصویر مرجع-هدف استفاده شد. ابتدا از سه روش حدآستانه‌گذاری تک‌بعدی OTSU، Fisher و MSICV، برای حدآستانه‌گذاری تصویر اختلاف قدم‌مطلق استفاده شد.

شده توسط سایر ذرات را تا رسیدن به موقعیت فعلی نشان می‌دهد (جزء اجتماعی). c_1 و c_2 ثوابت مثبت شتاب هستند که به ترتیب برای مقیاس‌گذاری اجزاء شناختی و اجتماعی به کار می‌روند. $r_{1j}(t)$ و $r_{2j}(t)$ مقادیر تصادفی در بازه $[0,1]$ بوده که از یک توزیع یکنواخت نمونه‌برداری شده‌اند. این مقادیر تصادفی مولفه تصادفی بودن الگوریتم را تعیین می‌کنند.

۳-۳- تلفیق داده‌ها و حدآستانه‌گذاری تصویر اختلاف مبتنی بر الگوریتم توده ذرات

در مسائل بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم توده ذرات، دو جزء اساسی با نام‌های جمعیت و تابع هزینه وجود دارد. جمعیت شامل تعدادی ذره می‌باشد که هر یک از این ذرات پتانسیل حل مسئله را دارد. تابع هزینه نیز میزان مطلوبیت هر ذره را مشخص می‌کند. در مفهوم تلفیق داده‌ها و انتخاب وزن بهینه باندها در تشکیل تک‌باند تلفیقی، هر ذره در بردارنده وزن مشارکت n باند طیفی در تشکیل تصویر تلفیقی می‌باشد (رابطه ۱۷). بدین ترتیب هر ذره را می‌توان به صورت رابطه (۲۰) نمایش داد:

$$W_i = (W_{i,1}, W_{i,2}, \dots, W_{i,n}) \quad (20)$$

در این روابط $W_{i,l}$ تا $W_{i,n}$ نشان دهنده وزن باندهای طیفی l تا n در i -امین ذره برای تشکیل تک‌باند تلفیقی می‌باشد، بنابراین یک جمعیت یک تعداد از نماینده‌های وزن‌های بهینه برای تشکیل تک‌باند طیفی می‌باشد. در این تحقیق از رابطه بهینه‌سازی واریانس بین‌کلاسی OTSU (رابطه ۶) به عنوان تابع هزینه برای تعیین وزن بهینه باندهای طیفی در تشکیل تک‌باند طیفی استفاده شد. روند الگوریتم پیشنهادی جهت تلفیق باندها در سطح داده و تشکیل شاخص جدید تغییرات تک‌باندی برای حدآستانه‌گذاری تصاویر چندطیفی، مبتنی بر الگوریتم توده ذرات در شکل (۲) نشان داده شده است.

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

۴-۱- داده‌های مورد استفاده

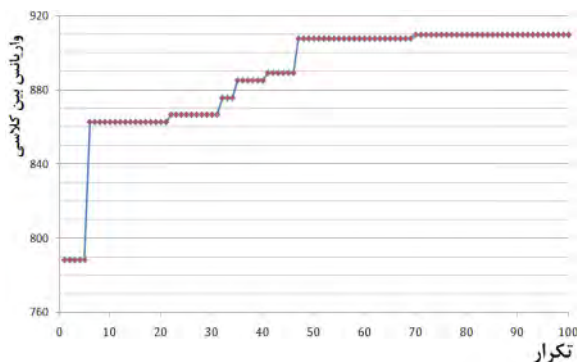
جهت ارزیابی روش پیشنهادی، از یک جفت تصویر ماهواره‌ای چندطیفی استفاده شد. تصاویر مورد استفاده دو

تعادل بین جستجوی سراسری و محلی می‌باشد. روش‌های مختلفی برای تنظیم وزن اینرسی پیشنهاد شده است از آنجمله می‌توان به تنظیم تصادفی، کاهش خطی یا غیرخطی، افزایش خطی و تنظیم فازی اشاره نمود. در این تحقیق از روش کاهش غیر خطی استفاده شد که در این روش، میزان وزن اینرسی یک ذره در تکرار i ام از رابطه (۲۲) برآورد می‌شود:

$$w_i = (w_s - w_E) \times tg \left[\frac{7}{8} \times \left(1 - \left(\frac{i}{Itrn} \right)^k \right) \right] + w_E \quad (22)$$

در این رابطه، w_s و w_E به ترتیب بیانگر وزن اینرسی در شروع و پایان نسل می‌باشد که معمولاً ۰/۴ و ۰/۴ گرفته می‌شود. پارامتر k مقدار ثابتی است که معمولاً ۰/۴ انتخاب شده و پارامترهای i و $Itrn$ ، شماره نسل (تکرار) و تعداد کل تکرار می‌باشد.

شکل (۴) روند همگرایی الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات را در برآورد وزن‌های بهینه برای تلفیق باندهای طیفی و تشکیل تک‌باند تلفیقی و جدول (۱) نیز وزن‌های بهینه برآورد شده را نشان می‌دهد.



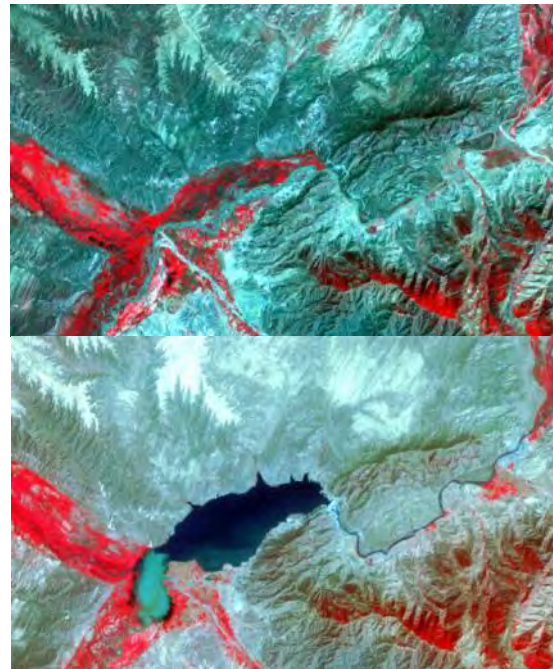
شکل ۴- روند همگرایی الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات در برآورد وزن‌های بهینه برای تلفیق باندهای طیفی و تشکیل تک‌باند طیفی.

همانطور که در این شکل مشخص است، الگوریتم بعد از طی تقریباً ۵۰ تکرار همگرا شده و مقادیر بهینه وزن‌ها برای تلفیق باندهای طیفی برآورد شد است. وزن باندهای ۳، ۴ و ۷ نسبت به وزن سایر باندها بالاتر بوده و احتمالاً نشان دهنده اهمیت باندهای نامبرده در تشخیص تغییرات رخ داده در این منطقه است.

جدول ۱- وزن‌های بهینه برآورد شده با الگوریتم توده‌ذرات به‌منظور

تلفیق باندهای طیفی و تشکیل تک‌باند تلفیقی.

| | باند ۱ | باند ۲ | باند ۳ | باند ۴ | باند ۵ | باند ۷ |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| وزن‌های | ۰/۷۹۶ | ۰/۶۷۰ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۸ | ۰/۸۹۸ |
| بهینه (W _i) | | | | | | |



شکل ۳- تصاویر دوزمانه سنجنده Landsat-TM5 از سد خدآفرین استان آذربایجان شرقی. تصویر سال ۲۰۰۰ (بالا)، تصویر سال ۲۰۰۹ (پایین).

در ادامه از روش پیشنهادی برای تلفیق داده‌ها و تشکیل شاخص جدید تغییرات تک‌باندی (تک‌باند تلفیقی) استفاده شده و در نهایت از الگوریتم حدآستانه‌گذاری یک‌بعدی OTSU برای تعیین حدآستانه بهینه به منظور تفکیک مناطق تغییر یافته و تغییر نیافته و تشکیل نقشه باینری تغییرات استفاده شد. در این کاربرد، از ۵ ذره با ۱۰۰ تکرار استفاده شده و مقادیر دو پارامتر c_1 و c_2 طوری تنظیم شد که در تکرارهای اول ذرات قادر باشند با تکیه بیشتر بر مولفه شناختی اقدام به جستجوی فراگیر فضای جستجو نموده و در دام اکستریم‌های محلی گرفتار نشوند و سپس با مرور زمان در تکرارهای بالاتر، از میزان مولفه شناختی کاسته شده و در عوض مولفه اجتماعی وزن بیشتری داشته باشند تا با این ترفند همگی ذرات با دقت بالاتر اطراف نقطه اکستریم را مورد جستجو قرار دهند. برای همین منظور مقادیر دو پارامتر c_1 و c_2 به ترتیب از توابع معرفی شده در رابطه (۲۱) استفاده شد:

$$c_1 = 2 \times \frac{Itrn - i}{Itrn} + 0.5, \quad (21)$$

$$c_2 = 2 \times \frac{i}{Itrn} + 0.5$$

در این روابط، i معرف شماره تکرار و $Itrn$ معرف تعداد کل تکرار الگوریتم بهینه‌سازی توده‌ذرات می‌باشد. نقش وزن اینرسی کنترل مولفه سرعت قبلی ذره به منظور

بعد از برآورد وزن‌های بهینه، تصویر تک‌باندی تلفیقی تولید و با الگوریتم حدآستانه گذاری OTSU به دو منطقه تغییر یافته و تغییر نیافته تفکیک و در نهایت نقشه باینری تغییرات به روش پیشنهادی تولید شد.

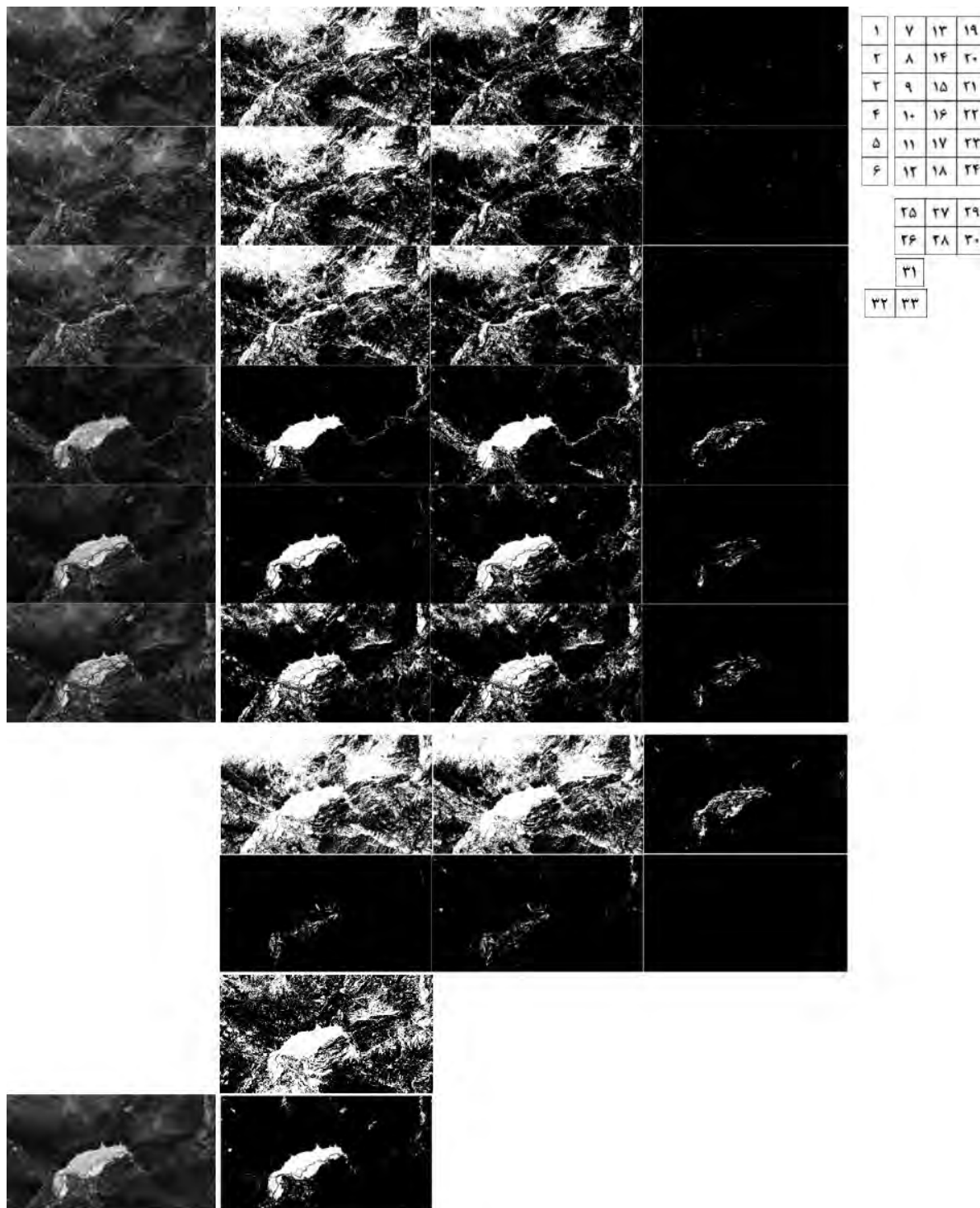
۴-۳- بحث و نتایج

شکل (۵)، تصویر اختلاف قدرمطلق ۶ بانده اصلی را به همراه نقشه‌های باینری تولید شده به سه روش الف) تلفیق در سطح تصمیم‌گیری با رابطه (۱۲) و (۱۳) و ب) تلفیق در سطح ویژگی و ج) روش پیشنهادی را به همراه نقشه باینری تولید شده توسط هر یک از سه تکنیک حدآستانه گذاری یک‌بعدی OTSU، MSICV و Fisher روی تمامی تک‌بندهای اصلی تصویر اختلاف قدرمطلق را نشان می‌دهد. در نقشه‌های باینری تغییرات مناطق تغییر یافته با رنگ سفید و مناطق تغییر نیافته با رنگ مشکی مشخص شده است. با توجه به اینکه مقایسه بصری نتایج مبتنی بر تجارب شخصی می‌باشد لذا لازم است تا از یک پارامتر ارزیابی کمی در کنار ارزیابی کیفی و مقایسه بصری نتایج استفاده شود. برای ارزیابی کمی نتایج آشکارسازی تغییرات، نقشه‌های باینری تولید شده به تمامی روش‌های نامبرده با داده‌های واقعیت زمینی مقایسه و سه پارامتر ارزیابی^۱ FA (درصد پیکسل‌های تغییر نکرده‌ای که الگوریتم آنها را اشتباهاً به عنوان تغییرات شناسایی کرده، ME^۲ (درصد پیکسل‌های تغییر کرده‌ای که الگوریتم موفق به شناسایی آنها نشده است) و خطای کلی آشکارسازی تغییرات (TE^۳) که نسبت کل پیکسل‌های اشتباه شناسایی شده به تعداد کل پیکسل‌های داده‌های ارزیابی است، برآورد شده (جدول ۲) و نتایج به صورت نمودار مقایسه‌ای در شکل (۶) ارائه گردید.

جدول ۲- صحت نتایج آشکارسازی تغییرات به روش‌های حدآستانه گذاری تک‌بعدی OTSU، MSICV و Fisher بر روی باندهای اصلی تصویر اختلاف قدرمطلق، به همراه نتایج حاصل از حدآستانه گذاری چندبعدی مبتنی بر تلفیق در سطح تصمیم‌گیری (رابطه (۱۲) و (۱۳))، در سطح ویژگی (تئوری بیزین) و نتایج حاصل از روش پیشنهادی (تلفیق در سطح داده).

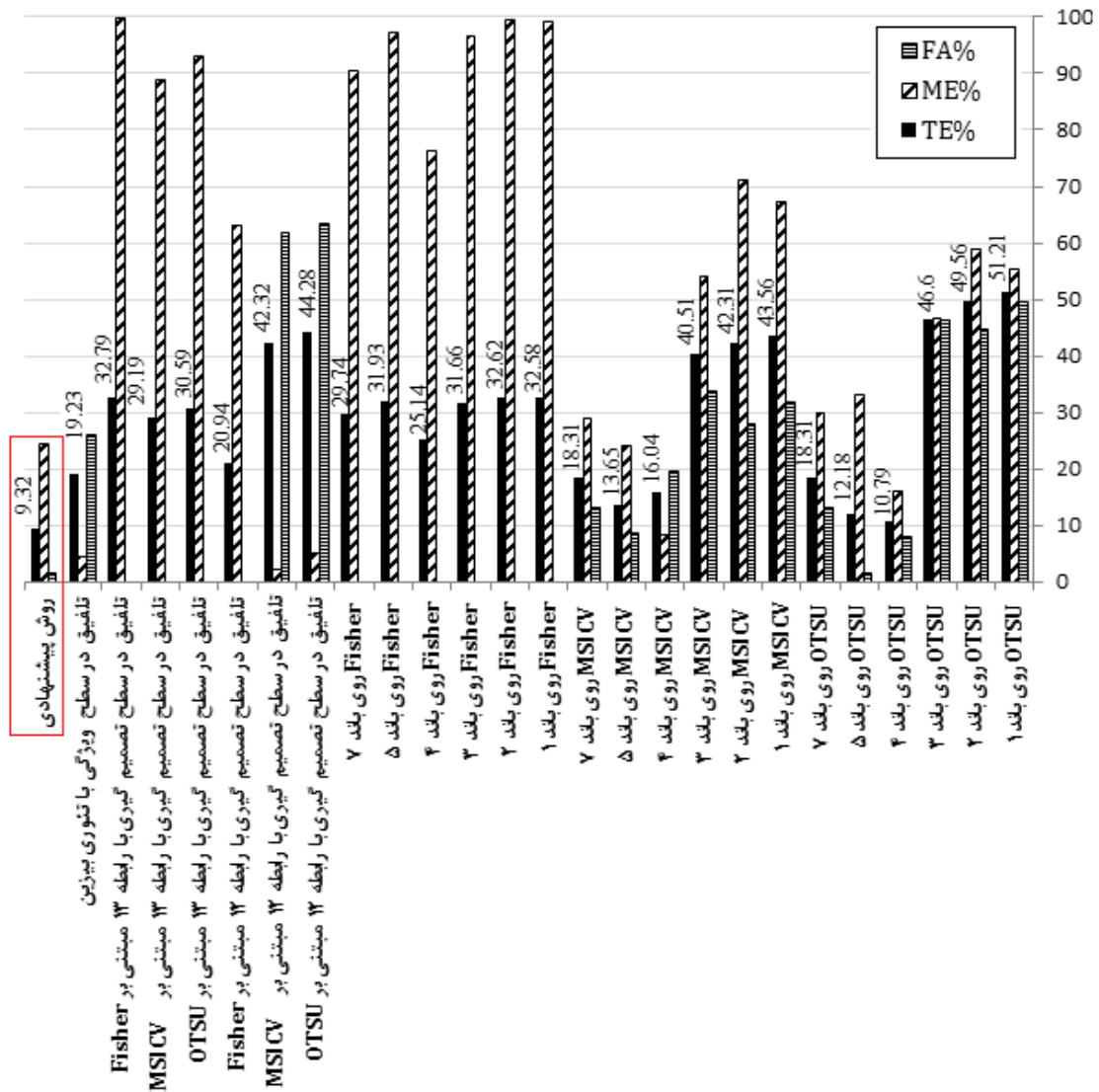
| تکنیک حدآستانه گذاری | FA% | ME% | TE% |
|---|-------------|-------------|-------------|
| OTSU روی باند ۱ | ۴۹٫۶۳ | ۵۵٫۳۶ | ۵۱٫۲۱ |
| OTSU روی باند ۲ | ۴۴٫۸۷ | ۵۸٫۸۸ | ۴۹٫۵۶ |
| OTSU روی باند ۳ | ۴۶٫۵۱ | ۴۶٫۷۱ | ۴۶٫۶ |
| OTSU روی باند ۴ | ۸٫۱۲ | ۱۶٫۱۱ | ۱۰٫۷۹ |
| OTSU روی باند ۵ | ۱٫۵ | ۳۳٫۲۱ | ۱۲٫۱۸ |
| OTSU روی باند ۷ | ۱۳٫۱۳ | ۲۹٫۷۹ | ۱۸٫۳۱ |
| MSICV روی باند ۱ | ۳۲٫۰۳ | ۶۷٫۱۸ | ۴۳٫۵۶ |
| MSICV روی باند ۲ | ۲۸٫۱۶ | ۷۱٫۳ | ۴۲٫۳۱ |
| MSICV روی باند ۳ | ۳۳٫۹۳ | ۵۳٫۹۷ | ۴۰٫۵۱ |
| MSICV روی باند ۴ | ۱۹٫۷۴ | ۸٫۴۶ | ۱۶٫۰۴ |
| MSICV روی باند ۵ | ۸٫۵۶ | ۲۴٫۰۹ | ۱۳٫۶۵ |
| MSICV روی باند ۷ | ۱۳٫۱۳ | ۲۸٫۹ | ۱۸٫۳۱ |
| Fisher روی باند ۱ | ۰ | ۹۹٫۳۴ | ۳۲٫۵۸ |
| Fisher روی باند ۲ | ۰٫۰۱ | ۹۹٫۴۲ | ۳۲٫۶۲ |
| Fisher روی باند ۳ | ۰ | ۹۶٫۵۲ | ۳۱٫۶۶ |
| Fisher روی باند ۴ | ۰٫۱۹ | ۷۶٫۲۶ | ۲۵٫۱۴ |
| Fisher روی باند ۵ | ۰ | ۹۷٫۳۵ | ۳۱٫۹۳ |
| Fisher روی باند ۷ | ۰٫۰۳ | ۹۰٫۶۲ | ۲۹٫۷۴ |
| تلفیق در سطح تصمیم‌گیری با رابطه (۱۲) مبتنی بر OTSU | ۶۳٫۳۹ | ۵٫۱۳ | ۴۴٫۲۸ |
| تلفیق در سطح تصمیم‌گیری با رابطه (۱۲) مبتنی بر MSICV | ۶۱٫۸۵ | ۲٫۳۱ | ۴۲٫۳۲ |
| تلفیق در سطح تصمیم‌گیری با رابطه (۱۲) مبتنی بر Fisher | ۰٫۳۷ | ۶۳٫۰۹ | ۲۰٫۹۴ |
| تلفیق در سطح تصمیم‌گیری با رابطه (۱۳) مبتنی بر OTSU | ۰٫۰۳ | ۹۳٫۱۹ | ۳۰٫۵۹ |
| تلفیق در سطح تصمیم‌گیری با رابطه (۱۳) مبتنی بر MSICV | ۰٫۱ | ۸۸٫۷۸ | ۲۹٫۱۹ |
| تلفیق در سطح تصمیم‌گیری با رابطه (۱۳) مبتنی بر Fisher | ۰ | ۱۰۰ | ۳۲٫۷۹ |
| تلفیق در سطح ویژگی با تئوری بیزین | ۲۵٫۹۲ | ۴٫۴۷ | ۱۹٫۲۳ |
| روش پیشنهادی | ۱٫۷۴ | ۲۴٫۴ | ۹٫۳۲ |

۱ False Alarm
۲ Missed Error
۳ Total Error



شکل ۵- تصویر اختلاف قدرمطلق چندطیفی و نقشه‌های باینری تولید شده به روشهای الف) حدآستانه‌گذاری یک‌بعدی OTSU، MSICV و Fisher روی تمامی تک‌باند‌های اصلی تصویر اختلاف قدرمطلق، ب) تلفیق در سطح تصمیم‌گیری با رابطه (۱۲) و (۱۳)، ج) تلفیق در سطح ویژگی و د) روش پیشنهادی، در نقشه‌های تغییرات، مناطق تغییر یافته با رنگ سفید و مناطق تغییر نیافته با رنگ مشکی مشخص شده است.

اشکال-۱ تا ۶، به ترتیب، تصویر اختلاف قدرمطلق در ۶ باند طیفی اصلی. اشکال ۷ تا ۱۲) نتایج حاصل از حدآستانه‌گذاری تصاویر ۱ تا ۶، به روش OTSU، اشکال-۱۳ تا ۱۸) نتایج حاصل از حدآستانه‌گذاری تصاویر ۱ تا ۶، به روش MSICV، اشکال-۱۹ تا ۲۴) نتایج حاصل از حدآستانه‌گذاری تصاویر ۱ تا ۶، به روش Fisher. اشکال-۲۵ و ۲۶) به ترتیب نقشه تغییرات نهایی تولید شده روی نقشه‌های ۷ تا ۱۲ به روش تلفیق در سطح تصمیم‌گیری با روابط (۱۲) و (۱۳)، اشکال-۲۷ و ۲۸) به ترتیب نقشه تغییرات نهایی تولید شده روی نقشه‌های ۱۳ تا ۱۸ به روش تلفیق در سطح تصمیم‌گیری با روابط (۱۲) و (۱۳) و اشکال-۲۹ و ۳۰) به ترتیب نقشه تغییرات نهایی تولید شده روی نقشه‌های ۱۹ تا ۲۴ به روش تلفیق در سطح تصمیم‌گیری با روابط (۱۲) و (۱۳). شکل-۳۱، نقشه تغییرات نهایی تولید شده روی نقشه‌های ۷ تا ۱۲ به روش تلفیق در سطح ویژگی با تئوری بی‌زین. شکل-۳۲) تصویر تک‌باند تلفیقی تولید شده به روش پیشنهادی و شکل-۳۳) نتیجه حاصل از حدآستانه‌گذاری تصویر تک‌باند تلفیقی به روش پیشنهادی.



شکل ۶- پارامترهای کمی صحت آشکارسازی تغییرات به روش‌های: حدآستانه‌گذاری تک‌بعدی OTSU، MSICV و Fisher بر روی باندهای اصلی تصویر اختلاف قدرمطلق، به همراه نتایج حاصل از حدآستانه‌گذاری چندبعدی مبتنی بر تلفیق داده‌ها در سطح تصمیم‌گیری با روابط (۱۲) و (۱۳)، تلفیق در سطح ویژگی با تئوری بیزین و نتایج حاصل از روش پیشنهادی.

بیزین (تلفیق در سطح ویژگی) و (ج) تکنیک پیشنهادی (تلفیق در سطح داده) قابل بررسی است که در ادامه تشریح می‌شود:

۴-۳-۱- بررسی اهمیت انتخاب باند طیفی مناسب در آشکارسازی تغییرات

مقایسه بصری نقشه‌های باینری تولید شده در باندهای مختلف طیفی و مقایسه کمی دقت آشکارسازی تغییرات متناظر آنها مؤید این واقعیت است که تغییرات رخ داده در سطح زمین به گونه‌ای است که این تغییرات در بخش‌های متفاوتی از طیف الکترومغناطیس و بالطبع در باندهای مختلف تصاویر چندطیفی قابل شناسایی است. بنابراین در

مهم‌ترین نتایج تحقیق حاضر را از سه منظر، ۱- بررسی اهمیت انتخاب باند طیفی مناسب در آشکارسازی تغییرات یا پتانسیل باندهای مختلف طیفی در آشکارسازی تغییرات متنوع بیوفیزیکی (که لزوم بکارگیری همزمان باندهای طیفی در آشکارسازی تغییرات را نتیجه می‌دهد)، ۲- کارایی ذاتی تکنیک‌های متداول حدآستانه‌گذاری تک‌بعدی (که دلیل انتخاب معیار OTSU به عنوان تابع هزینه کارآمد برای روش پیشنهادی می‌باشد) و نهایتاً مهم‌ترین نکته: ۳- مقایسه کارایی تکنیک پیشنهادی با سایر تکنیک‌های رایج تلفیق داده‌ها (بررسی کارایی تکنیک‌های تلفیق داده‌ها مبتنی بر روش‌های: الف) رای‌گیری (تلفیق در سطح تصمیم‌گیری)، ب) تئوری

۴-۳-۲ - بررسی کارآیی ذاتی تکنیک‌های متداول حدآستانه‌گذاری تک‌بعدی

با بررسی پارامترهای کمی مندرج در جدول (۲) و نمودار شکل (۶) مشخص می‌شود که تکنیک‌های مختلف حدآستانه‌گذاری، نتایج مختلفی را در آشکارسازی تغییرات در باندهای طیفی مشابه تولید کرده‌اند. طوری که تکنیک OTSU با کمی برتری نسبت به تکنیک MSICV، همزمان نتایج خیلی بهتری نسبت به تکنیک Fisher ارائه داده‌اند. کمترین خطای کلی آشکارسازی تغییرات (TE%) در مرتبه اول مربوط به تکنیک OTSU و سپس تکنیک‌های MSICV و Fisher بوده است. البته شایان ذکر است که خطای FA حدآستانه‌گذاری Fisher تقریباً در تمامی باندها نزدیک به صفر بوده و از این لحاظ نسبت به دو تکنیک OTSU و MSICV برتری نسبی داشته و در مقابل خطای ME بالایی (متوسط ۹۵٪ در تمامی باندها) داشته و از این لحاظ نسبت به دو روش نامبرده، تکنیک ضعیفی محسوب می‌شود و در کل خطای کلی آشکارسازی تغییرات این تکنیک مقدار بالایی است.

لازم به ذکر است هر یک از این الگوریتم‌ها در یک کاربرد خاصی می‌تواند نسبت به بقیه روش‌ها ارجحیت داشته باشد. به عنوان نمونه هرچند تکنیک Fisher برای کاربرد بررسی تغییرات پوششی و کاربری اراضی مناسب به نظر نمی‌رسد ولی همین روش ظاهراً ضعیف، احتمالاً در کاربرد نظامی که تشخیص تعداد اندکی تارگت ولی با دقت بالا (پایین بودن خطای FA) نسبت به تشخیص تعداد بالایی تارگت با دقت پایین (بالا بودن خطای ME) برتری دارد، نسبت به دو تکنیک OTSU و MSICV، تکنیک مناسب‌تری باشد.

کارآیی بالای تکنیک حدآستانه‌گذاری OTSU در مقایسه با سایر تکنیک‌های مورد بررسی، سبب شد تا معیار تفکیک‌پذیری تکنیک OTSU، در تکنیک پیشنهادی به عنوان تابع هزینه و همچنین در تکنیک تلفیق داده‌ها به روش تئوری بیزین، به عنوان تکنیک مناسب جهت محاسبه پارامترهای آماری کلاسهای تغییرات و عدم تغییرات مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۳-۳ - مقایسه کارآیی تکنیک پیشنهادی با سایر تکنیک‌های رایج تلفیق داده‌ها

همانطور که قبلاً اشاره شد، در آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر سنجنش از دور چندزمانه چندطیفی، بهتر

آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر سنجنش از دور چندزمانه چندطیفی، بهتر است از تمامی اطلاعات باندهای طیفی استفاده شود. تغییرات رخ داده در منطقه مورد مطالعه که قسمت عمده آن مربوط به احداث و آبیگری سد خدآفرین و تغییرات پوشش گیاهی منطقه است، در باندهای ۷ و ۵ و ۴ و ۷ بهتر قابل تفکیک بوده و حدآستانه‌گذاری روی این باندها نتایج بهتری را نسبت به باندهای ۱ و ۲ و ۳ فراهم کرده است. لذا یک فاکتور مهم جهت حصول نتایج رضایت‌بخش در آشکارسازی تغییرات، انتخاب باند/باندهای طیفی مناسب می‌باشد. در تکنیک‌های نظارت‌شده آشکارسازی تغییرات این مسئله به راحتی قابل حل است چرا که الگوهای آموزشی، امکان انتخاب باند/باندهای بهینه را فراهم می‌سازد. در مقابل در تکنیک‌های نظارت‌نشده این مسئله یک چالش مهم محسوب می‌شود. چرا که الگوریتم باید بطور نظارت‌نشده باند/باندهای مناسب را تعیین نماید. در تکنیک پیشنهادی این مسئله با بکارگیری همزمان اطلاعات طیفی با تشکیل شاخص تغییرات تلفیقی تک‌باندی مرتفع شده است. از طرف دیگر با مقایسه نتایج روش پیشنهادی با نتایج حدآستانه‌گذاری روی تک‌باندهای تصویر اختلاف قدرمطلق نشان می‌دهد که حدآستانه‌گذاری به روش OTSU روی باند ۴ ام، نتایج نزدیکی نسبت به روش پیشنهادی تولید کرده است. طوری که خطای کلی آشکارسازی روش پیشنهادی ۹/۳۲٪ و خطای کلی آشکارسازی با تکنیک OTSU روی باند ۴ ام ۱۰/۷۹٪ بوده و ظاهراً تکنیک پیشنهادی در این پژوهش سبب بهبود اندک نتایج شده و توجه زیادی برای استفاده از این تکنیک وجود ندارد. ولی نباید فراموش کرد که انتخاب باند بهینه که قابلیت ارائه کامل تغییرات رخ داده در منطقه را داشته باشد اولاً مستلزم داشتن دانش اولیه از منطقه و تصویر مورد استفاده بوده و ثانیاً احتمال دارد تغییرات رخ داده در یک منطقه به گونه‌ایی باشد که یک باند به تنهایی نتواند این تغییرات را ارائه نماید. به عبارت ساده‌تر، نتایج حاصل از حدآستانه‌گذاری روی تک باند، وابستگی مستقیم به نوع تغییرات رخ داده در منطقه و تصویر مورد استفاده خواهد داشت. در مقابل، روش پیشنهادی بدون هیچ گونه نیازی به دانش اولیه از اطلاعات تمامی باندهای تصویر چند طیفی استفاده نموده و با ایجاد یک تصویر فشرده تک‌باندی، قابلیت بالایی را در شناسایی اتوماتیک تغییرات نشان می‌دهد.

است از تمامی اطلاعات باندهای طیفی استفاده شود. با توجه به ماهیت تک‌بعدی تکنیک‌های حدآستانه‌گذاری، یا باید از تکنیک‌های تلفیق در سطوح داده و ویژگی استفاده نمود و یا باید نقشه‌های باینری تولید شده در باندهای مختلف طیفی را با تلفیق در سطح تصمیم‌گیری ادغام نمود. استفاده از تکنیک تلفیق داده‌ها در سطح تصمیم‌گیری با روابط (۱۲) و (۱۳) منجر به تولید نقشه تغییرات بصورت شکل‌های ۵-۲۵ تا ۵-۳۰ شده است که دقت متناظر آنها در شکل (۶) و جدول (۲) قابل مشاهده است. از طرفی بکارگیری تکنیک تلفیق داده‌ها در سطح ویژگی با تئوری بیزین نیز منجر به تولید نقشه باینری تغییرات بصورت شکل ۵-۳۱ شده که دقت متناظر با آن در شکل (۶) و جدول (۲) ارائه شده است. پیاده‌سازی تکنیک پیشنهادی منجر به تهیه شاخص تغییرات تلفیقی با محتوای اطلاعاتی بالا شده که در شکل ۵-۳۲ قابل مشاهده است. این شاخص تغییرات، تقریباً تمامی تغییرات رخ داده در منطقه (قابل رویت در باندهای مختلف طیفی) را پوشش داده است. حدآستانه‌گذاری این شاخص با تکنیک OTSU منجر به تولید نقشه باینری تغییرات نهایی شده (شکل ۵-۳۳) که تقریباً (نه تماماً) تمامی تغییرات رخ داده در منطقه در این نقشه تغییرات استخراج شده است.

مقایسه نتایج حاصل از تکنیک تلفیق داده‌ها نشان می‌دهد که روابط (۱۲) و (۱۳) نتایج مختلفی را تولید کرده است. طوری که رابطه (۱۳) با ماهیت سخت‌گیرانه خود خطای FA پایین و در مقابل خطای ME بالایی در مقایسه با رابطه (۱۲) تولید کرده است و از لحاظ دقت کلی، تلفیق با رابطه (۱۳) نسبت به تلفیق با رابطه (۱۲) خطای کمتری داشته است ((مقایسه شکل ۵-۲۵ با ۵-۲۶ و مقایسه شکل ۵-۲۷ با ۵-۲۸ و بررسی دقت متناظر آنها در شکل ۶ و جدول ۲). نتایج بررسی نشان می‌دهد در صورت استفاده از رابطه (۱۳) برای تلفیق حدآستانه‌گذاری‌های تک‌بعدی Fisher خطای ME ۱۰۰٪ بوده و خطای FA ۰٪ می‌باشد که در واقع هیچ تارگت (منطقه تغییر یافته) اشتباهی پیدا نکرده ولی در مقابل هیچ یک از نواحی تغییر یافته واقعی را تشخیص نداده است.

تکنیک تلفیق داده با تئوری بیزین چون اطلاعات تمامی باندها را با ضریب تاثیر (فاکتور قابلیت اطمینان) یکسان بکار می‌گیرد. تقریباً قادر بوده است تغییرات رخ داده در منطقه را بطور مناسب تشخیص دهد (ME پایین)

ولی در مقابل خطای FA بالایی داشته است. بطور کلی تکنیک بیزین نسبت به تکنیک‌های تلفیق در سطح تصمیم‌گیری (تکنیک‌های رای‌گیری) نتایج بهتری را تولید نموده است ولی در مقایسه با تکنیک پیشنهادی، خطای بیشتری را در آشکارسازی تغییرات بدنال داشته است.

در صورتی که تمامی روش‌ها با همدیگر مقایسه شوند، بیشترین صحت آشکارسازی تغییرات به ترتیب مربوط به: ۱- تکنیک پیشنهادی، ۲- تکنیک تلفیق در سطح ویژگی با تئوری بیزین و ۳- تکنیک‌های تلفیق در سطح تصمیم‌گیری (تکنیک‌های رای‌گیری) خواهد بود. طوری که خطای کلی آشکارسازی تغییرات به روش پیشنهادی، ۹/۳۲٪ بوده و در مقایسه با خطای کلی آشکارسازی تغییرات به روش تلفیق در سطح ویژگی با تئوری بیزین ۱۹/۲۳٪ و تلفیق در سطح تصمیم‌گیری با روابط (۱۲) و (۱۳) که در بهترین حالت به ترتیب برابر ۲۰/۹۴٪ (مبتنی بر Fisher) و ۲۹/۱۹٪ (مبتنی بر MSICV) می‌باشد، مقدار پایین‌تری است.

لازم به ذکر است علاوه بر پارامتر خطای کلی، اگر دو پارامتر FA و ME مورد بررسی قرار گیرد، مشخص خواهد شد که روش پیشنهادی در مقایسه با تکنیک تلفیق در سطح تصمیم‌گیری خطای ME خیلی پایین‌تری داشته (۲۴/۴٪ در مقابل ۶۳/۰۹٪ (با رابطه ۱۲) و ۸۸/۷۸٪ (با رابطه ۱۳)). ولی در مقایسه با تکنیک تلفیق در سطح ویژگی با تئوری بیزین، اندکی ضعیف‌تر عمل نموده است (۲۴/۴٪ در مقابل ۴۷/۴٪). در مقابل اگر پارامتر FA را بررسی نماییم. تکنیک پیشنهادی در سطح بالاتری نسبت به تکنیک بیزین قرار داشته ولی در مقایسه با تکنیک‌های تلفیق در سطح تصمیم‌گیری نتایج ضعیف‌تری را تولید نموده است. بطور کلی در صورتی که سه معیار FA, TE, ME توامان در نظر گرفته شود، مشخص خواهد شد که روش پیشنهادی در این تحقیق نسبت به تکنیک‌های حدآستانه‌گذاری چندبعدی متداول یعنی تلفیق در سطح ویژگی (تئوری بیزین) و تلفیق در سطح تصمیم‌گیری (تکنیک‌های رای‌گیری)، نتایج بهتری را تولید نموده است. دلیل بالا بودن دقت روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌های متداول مورد آزمون در این پژوهش، مربوط به استراتژی بکار رفته برای تلفیق داده‌ها می‌باشد. روش پیشنهادی با بهره‌گیری از اطلاعات تمامی باندهای طیفی با ضریب تاثیر مناسب، قابلیت این را داشته است که تقریباً انواع مختلف تغییرات صورت گرفته در منطقه را

تشخیص دهد. با توجه به اینکه الگوریتم پیشنهادی تلفیق داده‌ها را در سطح داده بطور اتوماتیک با ترکیب وزن‌دار باندهای طیفی انجام می‌دهد که وزن‌های لازم در این تلفیق، توسط الگوریتم بهینه سازی توده ذرات (PSO) برآورد می‌گردد، لذا الگوریتم برای انجام این فرآیند، به هیچ دانش اولیه‌ای از منطقه و تصاویر مورد نظر نیاز نداشته و برخلاف روش‌های تلفیق در سطح تصمیم‌گیری مختص کاربرد خاصی نیست.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بررسی‌ها نشان داد که تغییرات صورت گرفته در منطقه معمولاً به گونه‌ای است که تغییرات مختلف در قسمت‌های متفاوتی از طول موج الکترومغناطیس قابل شناسایی است لذا صحت نتایج آشکارسازی تغییرات در صورت بکارگیری باندهای چندطیفی تصاویر سنجش از دور نسبت به حالت بکارگیری باندهای مجزا، به مراتب بالاتر می‌باشد. از طرفی، تکنیک‌های متداول حدآستانه‌گذاری برای فضاهای تک‌بعدی توسعه داده شده و برای شناسایی تغییرات در فضاهای چندطیفی تصاویر سنجش از دور مناسب نیستند. یک راهکار متداول برای رفع این نقیصه، استفاده از تکنیک تلفیق داده‌ها در سطح ویژگی و/یا تصمیم‌گیری می‌باشد. از آنجمله می‌توان به تکنیک‌های رای‌گیری و بیزین با ماهیت نظارت‌نشده اشاره نمود. نتایج تحقیق حاضر بیانگر صحت پایین تکنیک‌های نامبرده می‌باشد. در مقاله حاضر، یک تکنیک ساده و در عین حال کارآمد به منظور توسعه تکنیک‌های حدآستانه‌گذاری جهت پشتیبانی تصاویر چندطیفی، پیشنهاد شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. روش پیشنهادی مبتنی بر تلفیق شاخص‌های تغییرات (باندهای تصویر اختلاف قدرمطلق) در یک مدل خطی است که منجر به تشکیل یک شاخص جدید با محتوای بالای اطلاعاتی می‌شود. وزن‌های بکار رفته در این مدل با الگوریتم

توده‌ذرات (PSO) بهینه می‌شوند. لذا کاهش فضای جستجو با حفظ اطلاعات طیفی باندهای مختلف تصویر اختلاف قدرمطلق صورت گرفته و فضای n بعدی به فضای یک‌بعدی تصویر می‌شود. در ادامه از تکنیک OTSU برای تفکیک مناطق تغییریافته و تغییرنیافته استفاده می‌شود. تکنیک پیشنهادی در تمامی مراحل، بطور اتوماتیک و نظارت‌نشده عمل نموده و بدون نیاز به تعامل با کاربر، اقدام به حدآستانه‌گذاری تصاویر چندطیفی و تولید نقشه باینری تغییرات می‌نماید. عدم نیاز به الگوی آموزشی و تعامل با کاربر از یک طرف و صحت بالا در آشکارسازی تغییرات از طرف دیگر، مهم‌ترین مزایای تکنیک پیشنهادی در مقایسه با سایر تکنیک‌های متداول می‌باشد. روش پیشنهادی به همراه چندین روش حدآستانه‌گذاری یک‌بعدی و هم‌چنین چندین روش تلفیق در سطح ویژگی (تئوری بیزین) و تصمیم‌گیری (تکنیک‌های رای‌گیری)، بر روی یک جفت تصویر دوزمانه سنجنده TM پیاده‌سازی و نتایج بصورت کیفی و کمی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله بیانگر قابلیت بالای روش پیشنهادی برای حدآستانه‌گذاری تصویر اختلاف چندباندی می‌باشد. طوری که دقت آشکارسازی تغییرات روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌های موجود، بالاتر بوده و با توجه به اینکه روش پیشنهادی بدون هیچ گونه نیازی به دانش اولیه از منطقه و تصاویر مورد استفاده، از اطلاعات تمامی باندهای تصویر چند طیفی استفاده می‌نماید، به کاربرد خاصی بستگی نداشته و می‌تواند برای آشکارسازی اتوماتیک و نظارت نشده تغییرات در تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه مورد استفاده قرار گیرد. در پایان خاطر نشان می‌گردد با توجه به اینکه نحوه ترکیب اطلاعات باندهای طیفی به منظور تولید یک تصویر فشرده تک‌باندی، مبتنی بر روابط خطی وزن‌دار می‌باشد، لذا در تحقیقات آینده ترکیب‌های متفاوت غیرخطی به منظور تولید تصویر فشرده تک‌باندی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مراجع

- [1] H., Taubenböcka, M., Wegmann, A., Roth, H., Mehla, and S., Dech, (2009) "Urbanization in India - Spatiotemporal analysis using remote sensing data", Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 33, No. 3, pp. 179-188.
- [2] M., XIE, M., FU, (2010), "The temporal dynamics of urban heat islands derived from thermal remote sensing data by local indicator of spatial association in Shenzhen, China", International Conference on Photonics and Image in Agriculture Engineering, Shanghai, CHINE.

- [3] M.L., Imhoff, P., Zhang, R.E., Wolfe, and L., Bounoua, (2010), "Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 114, No.3, pp. 504-513.
- [4] L. E., Muñoz-Villers, and J., López-Blanc,(2008) "Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico", *International Journal of Remote Sensing archive*, Vol. 29, No.1.
- [5] A.B., Brink, and H.D., Eva,(2008), "Monitoring 25 years of land cover change dynamics in Africa: A sample based remote sensing approach", *Applied Geography*, Vol. 29, No.4, pp. 501-512.
- [6] P., Serra, X., Pons and D., Saurí,(2008), "Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors", *Applied Geography*, Vol. 28, No.3, , pp. 189-209.
- [7] M.A., Wulder, S.M., Ortlepp, J.C., White, S., Maxwell, (2008),"Evaluation of Landsat-7 SLC-off image products for forest change detection", *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 34, No.2, pp. 93-99.
- [8] R.R., Pullanagari, I., Yule, W., King, D.,Dalley, R., Dynes,(2011), "The use of optical sensors to estimate Pasture Quality", *International Journal On Smart Sensing and Intelligent Systems*, Vol. 4, No. 1.
- [9] D.Amozadeh, and M.R. Kanani, (2008), "The Effect of Caspian Sea Water Fluctuations on Miankaleh Habitat Ecological Conditions Using Remote Sensing and Geographic Information System", *World Applied Sciences Journal*, Vol. 3, No. 1, pp. 34-38.
- [10] R, Gens,(2010), "remote sensing of coastlines: detection, extraction and monitoring", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 31, No. 7, pp. 1819-1836.
- [11] G., Moser, S.B., Serpico,(2009), "Automatic Parameter Optimization for Support Vector Regression for Land and Sea Surface Temperature Estimation From Remote Sensing Data", *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions*, Vol. 47, No. 3, PP. 909-921.
- [12] D.M., Le Vine, G.S.E., Lagerloef, S.E., Torrusio,(2010), "Aquarius and Remote Sensing of Sea Surface Salinity from Space", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 98, No. 5, Pp. 688-703.
- [13] R. M., Garland, H., Yang, O., Schmid, D., Rose, A., Nowak, P., Achtert, , A., Wiedensohler, N., Takegawa, K., Kita, Y., Miyazaki, Y., Kondo, M., Hu, M., Shao, L. M.,Zeng, Y. H., Zhang, M. O., Andreae, and U., P'oschl, (2008),"Aerosol optical properties in a rural environment near the mega-city Guangzhou, China: implications for regional air pollution, radiative forcing and remote sensing", *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 8, pp. 5161-5186..
- [14] V., Randall Martin,(2008), "Satellite remote sensing of surface air quality", *Atmospheric Environment*, Vol. 42, No. 34, Pp. 7823-7843.
- [15] H., Matthias, S., Reto, K., Giovanni, B., Heinz,(2008), "Temporal and spatial changes of Laika Glacier, Canadian Arctic, since 1959, inferred from satellite remote sensing and mass-balance modeling", *Journal of Glaciology*, Vol. 54, No. 188, pp. 857-866.
- [16] L., Dengsheng, W., Qihao, L., Guiying,(2006), "Residential population estimation using a remote sensing derived impervious surface approach", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, No.16, pp. 3553-3570.
- [17] L., Wanga, and C., Wu, (2010), "Population estimation using remote sensing and GIS technologies", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 31, No. 21, pp. 5569-5570.
- [18] V., Sadeghi, H., Ebadi, F., Farnood Ahmadi,(2012), " Automatic Normalization of Multi-temporal Satellite Imagery using Unchanged Pixels", *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, Vol. 3, No. 4, Winter 2012.
- [19] M., Sezgin. and B., Sankur,(2004), "Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation", *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 13, No. 1, pp. 146–165.
- [20] D., Jin-Song, W., Ke, L., Jun, and D., Yan-Hua. (2009), "Urban Land Use Change Detection Using Multisensor Satellite Images", *Pedosphere*, Vol. 19, No. 1, pp. 96–103.
- [21] N., Otsu, (1979), "A threshold selection method from gray-level histogram", *IEEE Trans. Systems Man Cybernet*, vol. 9, pp. 62-66.
- [22] P.S., Liao, T.S., Chen, P.C., Chung,(2001), "A fast algorithm for multilevel thresholding", *Journal of Information Science and Engineering*, Vol. 17, pp. 13–727.
- [23] E., Elbeltagi, T., Hegazy, D., Grierson,(2005), "Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms", *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 19, No. 1 pp. 43-53.
- [24] P., Engelbrecht, *Computational intelligence: an introduction*. Wiley online library, 2007.
- [25] J., Poli, Kennedy, and T. Blackwell, (2007), "Particle swarm optimization", *Swarm intelligence*, vol. 1, No. 1, pp. 33–57.

- [26] T., Celik,(2010), "Change Detection in Satellite Images Using a Genetic Algorithm Approach", IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS, Vol. 7, No. 2, pp.386-390.
- [27] Z.Wang, and A. C. Bovik,(2002), "A universal image quality index", Signal Processing Letters, IEEE, Vol. 9, No. 3, pp. 81–84.
- [28] Z., Ye, Z., Hu, X., Lai, H., Chen,(2012), "Image Segmentation Using Thresholding and Swarm Intelligence", Journal of software, Vol. 7, No. 5.
- [29] L., Liu, Y., Liu, Y., Lin, (2009), "An Adaptive Algorithm Based on Image Segmentation", Second International Symposium on Electronic Commerce and Security, Vol.2, pp. 78-80.
- [30] B., Zhang, K., Chen,Y., Zhou, M., Xie, H., Zhang, (2010), "Research on Change Detection in Remote Sensing Images by using 2D-Fisher Criterion Function Method", ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5–7, Vol. XXXVIII, Part 7B.
- [31] S., Abutaleb.(1989), "Automatic Thresholding of Gray-Level Pictures Using Two-Dimensional Entropy", Computer Vision Graphics Image Process, Vol. 47, pp.22-32.
- [32] S.M., Ya'allah, and M.R, Saradjian,(2005), "Automatic normalization of satellite images using unchanged pixels within urban areas", Information Fusion, Vol. 6, pp. 235–241.
- [33] J.A. Richards, and X, Jia, (2006), "Remote Sensing Digital Image Analysis", 4th Edition: Springer-Verlag, Berlin, PP.137-154.
- [34] I., Molina., et al., "Evaluation of a Change Detection Methodology by Means of Binary Thresholding Algorithms and Informational Fusion Processes". Sensors, 2012. 12(3): p. 3528-3561.
- [35] P., Du, et al., "Fusion of difference images for change detection over urban areas". Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of, 2012. 5(4): p. 1076-1086.
- [36] V., Sadeghi, H., Ebadi, F., Farnood Ahmadi,(2013), "Automatic Normalization of Multi-temporal Satellite Images using Artificial Neural Network and mathematical methods", Applied Mathematical Modelling, Vol. 37, No. 9, pp. 6437–6445.

Archive of SID