

# روشی نوین در بهبود نتایج آشکارسازی تغییرات با تلفیق تصاویر اپتیک و رادار و بکارگیری روشی بدون نظارت و مبتنی بر الگوریتم PSO

سعید محمودی زاده<sup>۱</sup>

علی اسماعیلی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۰۴/۰۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۷/۲۹

\*\*\*\*\*

## چکیده

اطلاعات حاصل از آشکارسازی تغییرات در مناطق شهری تأثیر بسزایی در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری خواهد داشت. مناطق شهری به دلیل تنوع پدیده‌ها، انواع پوشش سطح به عنوان یک منطقه پیچیده در نظر گرفته می‌شوند که کسب اطلاعات از این مناطق همواره با چالش‌هایی روبه‌رو می‌باشد. از این رو این احتمال وجود داد که در صورت استفاده مستقل از داده‌های اپتیک و رادار در بحث آشکارسازی تغییرات، بعضی از مناطق تغییر یافته تشخیص داده نشوند یا نتایج کاذب از خود ارائه دهند. با توجه به مزیت تلفیق داده‌های اپتیک و رادار و همچنین بکارگیری روش‌های بدون نظارت در بحث آشکارسازی تغییرات، در پژوهش حاضر به توسعه روشی بدون نظارت جهت تلفیق داده‌های اپتیک و رادار با هدف تشخیص تغییرات پرداخته شد. به این منظور ویژگی‌هایی از تصاویر اپتیک و رادار استخراج و وارد الگوریتم  $C^2VA$  شد. در ادامه برای هر یک از ویژگی‌های ورودی به بخش  $C^2VA$  یک وزن با استفاده از الگوریتم PSO برآورد گردید. خروجی روش پیشنهادی تصویر تک بانندی با محتوای اطلاعاتی بالاتر خواهد بود که بعد از اعمال حد آستانه OTSU به دو کلاس تغییر یافته و بدون تغییر تفکیک می‌شود. روش پیشنهادی با دیگر روش‌های آشکارسازی تغییرات، مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش نشان دهنده کارایی و صحت بالای روش توسعه داده شده جهت تشخیص تغییرات می‌باشد به گونه‌ای که نسبت پیکسل‌های اشتباه شناسایی شده به کل پیکسل‌ها داده‌ی ارزیابی ۹/۲۱ درصد بوده که دارای پایین‌ترین مقدار است و صحت کلی طبقه‌بندی و ضریب کاپا به ترتیب با ۹۰/۷۹، ۰/۸۱۹، به عنوان بالاترین مقادیر، نسبت به دیگر روش‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آشکارسازی تغییرات، تلفیق داده‌ها، بدون نظارت،  $C^2VA$ ، OTSU.

\*\*\*\*\*

۱- کارشناس ارشد مهندسی سنجش از دور، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان saeedmahmodizadeh@gmail.com

۲- استادیار، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان (نویسنده مسئول) aliesmaeilily@kgut.ac.ir

## ۱- مقدمه

و انتخاب حد آستانه بهینه می‌باشد. عدم توجه لازم به مرحله پیش پردازش داده‌ها در فرآیند آشکارسازی تغییرات، باعث ایجاد تغییرات کاذب و کاهش صحت نتایج خواهد شد. همچنین انتخاب نامناسب حد آستانه تأثیر بسزایی در صحت نتایج خواهد داشت (Ilsever and Ünsalan, 2012). مناطق شهری به لحاظ تنوع پدیده‌ها، انواع پوشش زمین، شکل و الگو، به عنوان یک چشم انداز پیچیده شناخته شده است (Mhangara et al, 2013. Xie and Fu, 2011). به طور عمده از تصاویر نوری و رادار به طور مستقل برای بررسی تغییرات سطح زمین استفاده می‌گردد، اما با توجه به پیچیده بودن این نواحی این احتمال وجود دارد که مناطق تغییر یافته در صورت استفاده از یک سنسور تشخیص داده نشود. با توجه به اطلاعات متفاوتی که این دو سنسور از هر پدیده سطح زمین ضبط می‌کنند می‌توان آن‌ها را مکمل یکدیگر دانست و با تلفیق داده‌های این دو سنسور (رادار و چند طیفی) تشخیص مناطق تغییر یافته، بهبود پیدا کند (مناطق و همکاران، ۱۳۹۵. کریمی و همکاران، ۱۳۹۵).

شکرالهی و همکاران در پژوهشی تحت عنوان تلفیق داده‌های پلاریمتری<sup>۱</sup> SAR و ابرطیفی به منظور طبقه‌بندی پوشش زمین، با استفاده از دو روش تلفیق در سطح ویژگی و تصمیم‌گیری برای دو منبع داده‌ی RADARSAT2 و هایپریون اقدام به طبقه‌بندی منطقه‌ی شهری سانفرانسیسکو نمودند. نتایج نشان داد که در هر دو روش تلفیق، صحت طبقه‌بندی منطقه‌ی شهری مورد مطالعه نسبت به هر منبع داده به تنهایی، افزایش می‌یابد (شکرالهی و همکاران، ۱۳۹۳). Wu و همکاران جهت بررسی تغییرات مناطق شهری از روش‌های<sup>۲</sup> CVA،<sup>۳</sup> JSFA،<sup>۴</sup> IRMAD استفاده کرد، با توجه به عدم اطمینان و متفاوت بودن نتایج حاصل از این سه روش، به تلفیق خروجی این سه روش و نقشه شیء‌گرا با استفاده از تئوری DS<sup>۵</sup> پرداخت (Wu et al, 2018).

بررسی تغییرات ایجاد شده سطح زمین یکی از زمینه‌های پرکاربرد در علم سنجش از دور می‌باشد که از طریق مطالعه دو یا چند تصویر اخذ شده در زمان‌های گوناگون انجام می‌شود. اطلاعات حاصل از این‌ها به دلیل کاربردهای گوناگون در زمینه‌های مختلف از اهمیت بسزایی برخوردار هستند (Xu et al, 2000. Jet et al, 2008). با توجه به گسترش روزافزون جمعیت و مهاجرت روستاییان به مناطق شهری، بررسی و نظارت بر تغییرات شهری به منظور بررسی وضعیت گسترش فیزیکی شهر و تخریب محیط زیست و جلوگیری از روند توسعه بی‌رویه شهر، امروزه یک عمل ضروری و مهم به نظر می‌رسد (نیمروزی، ۱۳۹۱). برای پایش تغییرات شهری نیاز به اطلاعات جامع و دقیقی می‌باشد که از نتایج تحلیل آن برای برنامه‌ریزی و مدیریت شهری به منظور تصمیم‌گیری در ارائه خدمات و تسهیلات و همچنین جلوگیری از ساخت و سازهای غیرمجاز و خارج حریم تعیین شده، استفاده شود (Jantz et al, 2003). به طور کلی روش‌های پایش و آشکارسازی تغییرات را می‌توان به دو دسته نظارت شده و بدون نظارت تقسیم‌بندی کرد.

روش‌های آشکارسازی تغییرات نظارت شده بر پایه روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده بوده که نیازمند داده‌هایی جهت آموزش الگوریتم طبقه‌بندی می‌باشند. از این رو در سال‌های سپری شده بکارگیری روش‌های بدون نظارت و توسعه این روش‌ها بدلیل عدم استفاده از داده‌های آموزشی، محبوبیت بالایی پیدا کرده است. تصاویر حاصل از روش‌های بدون نظارت با استفاده از روش‌های حد آستانه‌گذاری به تصویر باینری تبدیل می‌شوند که مناطق تغییر یافته و بدون تغییر را متمایز می‌سازد (Radke et al, 2005. Sallaba, 2009. Chen et al, 2012).

لازم به ذکر است که تنها انتخاب روش مناسب آشکارسازی تغییرات نمی‌تواند صحت بالای نتایج را تضمین کند، آنچه که نسبت به انتخاب روش مناسب در تحلیل و پردازش اهمیت بسزایی دارد، مرحله پیش پردازش

1- Synthetic Aperture Radar

2- Change Vector Analysis

3- Iterative Slow Feature Analysis

4- Iteratively Reweighted Multivariate Alteration Detection

5- Dempster Shafer

تشخیص تغییرات، می‌توان استفاده تنها از داده‌های یک سنجنده که در تحقیقات گذشته مورد استفاده قرار گرفته است را به عنوان یک نقص برشمرد. همچنین روش‌های پیاده‌سازی شده در تحقیقات گذشته، جهت تلفیق داده‌های رادار و اپتیک و حد آستانه‌گذاری به منظور تشخیص تغییرات از یک سری نقص و کاستی‌هایی برخوردار هستند. به عنوان مثال در بعضی از این پژوهش‌ها از روش‌هایی استفاده شده که نیاز به وارد کردن یک سری پارامتر یا داده آموزشی (طبقه‌بندی نظارت شده) توسط اپراتور می‌باشد، که همانگونه که اشاره شد در روش‌های نظارت شده مهارت و تجربه اپراتور جهت تعیین پارامترها و جمع‌آوری داده‌های آموزشی، تأثیر بسزایی بر روی نتایج خواهد داشت. در پژوهش حاضر به منظور غلبه بر مشکلات و نقص‌های تحقیقات گذشته روشی بدون نظارت و خودکار جهت تشخیص تغییرات شهری با بکارگیری تصاویر راداری و اپتیک مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفت.

## ۲- مبانی نظری تحقیق

در این بخش به معرفی و آموزش استخراج ویژگی‌های طیفی (شاخص‌های طیفی) مورد استفاده جهت تشخیص تغییرات، روش<sup>۲</sup> NDR، روش آنالیز بردار تغییرات (CVA)، روش حد آستانه‌گذاری OTSU و تلفیق داده در سطح تصمیم‌گیری پرداخته می‌شود.

## ۲-۱- شاخص‌های طیفی

شاخص‌های طیفی حاصل یک محاسبه ریاضی بین دو یا چند باند طیفی می‌باشند که بواسطه آن پدیده مورد نظر بارزتر می‌شود (اسدی و همکاران، ۱۳۹۷). در جدول ۱ نحوه محاسبه شاخص‌های طیفی<sup>۳</sup> SAVI، NDVI،<sup>۴</sup> ARVI،<sup>۵</sup> NDBI،<sup>۶</sup> NDWI که جهت مطالعه و تشخیص در سه زمینه

2- Normalized Difference Ratio

3- Soil Adjusted Vegetation Index

4- Atmospherically Resistant Vegetation Index

5- Normalized Difference Built-up Index

6- Normalized Difference Water Index

Soufianes و همکاران در پژوهشی با عنوان پایش بیابان‌زایی در الجزیره با استفاده از تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۱، به این نتیجه دست یافتند که تصاویر رادار اطلاعات اضافی ارزشمندی به تصاویر نوری شامل زبری خاک و رطوبت را اضافه می‌کند و باعث بهبود نتایج می‌شود (Soufianes et al, 2018).

Yousif و همکاران مقاله‌ای با عنوان تلفیق تصاویر رادار و اپتیک به منظور شناسایی تغییرات به صورت نظارت نشده، ارائه نمودند. در پژوهش فوق بعد از طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش‌های k-mean و SVM<sup>۱</sup> روش‌های تلفیق در سطح تصمیم‌گیری و در سطح ویژگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که تلفیق در سطح تصمیم‌گیری دارای صحت بالاتری نسبت به سطح ویژگی می‌باشد (Yousif et al, 2017).

در سال ۲۰۱۴، Karnieli و همکاران در مقاله‌ای با عنوان (تغییرات زمانی و مکانی کاربری و پوشش زمین در کشور چین با استفاده از روش آنالیز بردار تغییرات)، به بررسی تغییرات مکانی و زمانی در محدوده صحرائی در چین پرداخت (Karnieli et al, 2014). در سال ۲۰۱۴، Mishra و همکاران در مقاله‌ای با عنوان «تلفیق داده‌های رادار و نوری به منظور تشخیص خودکار تغییر الگو»، تشخیص خودکار نوع تغییرات در منطقه شهری را عملی بسیار مهم برشمردند، اما با توجه به تنوع و پیچیده بودن الگوهای اراضی شهری این عمل چالش‌برانگیز است. با استفاده از سنسور تصویربرداری رادار و نوری می‌توان اطلاعات منحصر به فرد از سطح زمین جمع‌آوری کرد که با توجه به رابطه بین پاسخ هر یک از این دو سنسور از پدیده‌های سطح زمین امکان تشخیص نوع تغییر به صورت خودکار فراهم خواهد شد (Mishra and Susaki, 2014).

در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی در زمینه آشکارسازی تغییرات با بکارگیری تصاویر اپتیک و رادار به صورت منفرد توسط محققین این زمینه انجام شده است. با توجه به مزیت استفاده همزمان داده‌های رادار و اپتیک در بحث

1- Support Vector Machine

جدول ۱: شاخص های طیفی

شاخص	توضیحات	رفرنس
$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$	NIR مقادیر بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک و RED مقادیر بازتاب در باند قرمز می باشد.	اسدی و همکاران، ۱۳۹۷
$SAVI = \frac{(NIR-RED)(1+L)}{(NIR+RED+L)}$	L فاکتور تصحیح اثرات خاک است. مقدار L برای پوشش تنک برابر ۱ و برای پوشش متوسط برابر ۰/۵ و برای پوشش گیاهی انبوه برابر ۰/۲۵ در نظر گرفته می شود.	ایمانی و همکاران، ۱۳۹۷
$ARVI = \frac{(NIR-(2*RED-BLUE))}{(NIR+(2*RED-BLUE))}$	Blue مقادیر بازتاب در باند آبی می باشد.	Xue and Su, 2017
$NDBI = \frac{SWIR-RED}{SWIR+RED}$	SWIR مقدار بازتاب در باند مادون قرمز موج کوتاه می باشد.	Zha et al, 2010
$NDWI = \frac{GREEN-NIR}{GREEN+NIR}$	در رابطه فوق GREEN مقادیر بازتاب در باند سبز می باشد.	اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۳۹۷

علاوه بر تعیین بزرگی تغییرات (m)، جهت ( $\alpha$ ) آن ها را نیز نشان دهد (روابط ۲ و ۳). روش فوق بر روی دو تصویر قابل اعمال می باشد و در صورتی که تعداد تصاویر بیشتر از دو عدد باشند، لازم است که یکی از تصاویر به عنوان تصویر مرجع انتخاب و روش مذکور بر روی هر از تصاویر دیگر نسبت به آن تصویر اجرا شود (Malila, 1980).

$$m = \sqrt{x_{m,D}^2 + x_{n,D}^2} \quad (2)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{x_{m,D}}{x_{n,D}} \right) \quad (3)$$

در روابط فوق  $x_{m,D}$  و  $x_{n,D}$  مربوط به اختلاف باندهای n, m در دو تصویر اخذ شده در زمان های متفاوت می باشد. Bovolo تئوری روش  $C^2VA$  که توسعه یافته روش CVA می باشد را با هدف حفظ اطلاعات موجود در تمامی باندهای طیفی و بکارگیری همزمان تمامی آن ها، ارائه کرد (روابط ۴ و ۵) (Bovolo et al, 2012).

$$m = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_{diff}^2} \quad (4)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left[ \frac{1}{\sqrt{n}} \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_{diff}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{diff}^2}} \right) \right] \quad (5)$$

پوشش گیاهی، آب و مناطق مسکونی کارآمد می باشند، ارائه شده است.

## ۲-۲- آشکارسازی تغییرات با استفاده از داده های راداری

یکی از راه های کاهش اثر نویز در آشکارسازی تغییرات انتخاب اپراتور نسبت به جای تفاضل است، بخصوص در تصاویر راداری به دلیل ماهیت ضرب شونده نویز لکه ای (اسپیکل)، اپراتور نسبت، عملکرد بهتری نسبت به اپراتور تفاضل خواهد داشت (نجفی وحسنلو، ۱۳۹۷). Mishra در سال ۲۰۱۴ جهت نرمال کردن اپراتور نسبت تصاویر، از رابطه ۱ استفاده کرد. در این رابطه مقادیر پیکسل ها در بازه ۱- تا ۱+ قرار دارند و فاصله مقادیر پیکسل ها از عدد صفر نشان دهنده تغییرات است (Mishra and Susaki, 2014).

$$NDR(t1, t2) = \frac{A_{t2} - A_{t1}}{A_{t2} + A_{t1}} \quad (1)$$

در روابط فوق  $A_{t2}$  و  $A_{t1}$  بیانگر تصویری است که در زمان های  $t1$  و  $t2$  از یک منطقه جغرافیایی یکسان اخذ شده است.

## ۲-۳- روش آنالیز بردار تغییرات ( $C^2VA$ ، CVA)

روش آنالیز بردار تغییرات یکی از مطرح ترین روش ها جهت آشکارسازی تغییرات به شمار می رود که می تواند

پیکسل‌های تغییر یافته (C1) و بدون تغییر (C0) را با توجه به واریانس کلاس‌های مربوط به پیشینه می‌کند (Otsu, 1979).

یک تصویر بدست آمده از قدر مطلق اختلاف دو باند را می‌توان به عنوان یک تابع شدت در نظر گرفت که شامل N پیکسل با درجات خاکستری بین ۱ تا L-1 می‌باشد. اگر تعداد پیکسل‌هایی با درجه خاکستری i را با fi نمایش دهیم، رابطه (۶) احتمال درجه خاکستری i را در تصویر بدست آمده از قدر مطلق اختلاف دو باند نشان می‌دهد.

$$P_i = \frac{f_i}{N} \quad (6)$$

اگر حد آستانه بهینه را با t نشان دهیم، کلاس پیکسل‌های بدون تغییر C0 شامل جمع احتمالات درجه خاکستری [1, ..., t] و کلاس پیکسل‌های تغییر یافته C1 شامل جمع احتمالات درجه خاکستری [t+1, ..., L] می‌باشد. بر همین اساس توزیع احتمال درجات خاکستری دو کلاس تغییر یافته و بدون تغییر به صورت روابط ۷ و ۸ است.

$$C_0 = \frac{P_1}{W_0(t)} \cdot \frac{P_2}{W_0(t)} \cdot \frac{P_3}{W_0(t)} \cdot \dots \cdot \frac{P_t}{W_0(t)} \quad (7)$$

$$C_1 = \frac{P_{t+1}}{W_1(t)} \cdot \frac{P_{t+2}}{W_1(t)} \cdot \frac{P_{t+3}}{W_1(t)} \cdot \dots \cdot \frac{P_{L-1}}{W_1(t)} \quad (8)$$

در ادامه بعد از محاسبه احتمال دو کلاس تغییر یافته و بدون تغییر ( $w_0(t), w_1(t)$ ) با استفاده از روابط ۹ و ۱۰، از روابط ۱۱ و ۱۲ جهت برآورد میانگین دو کلاس مورد نظر استفاده می‌شود.

$$w_0(t) = \sum_{i=1}^t P_i \quad (9)$$

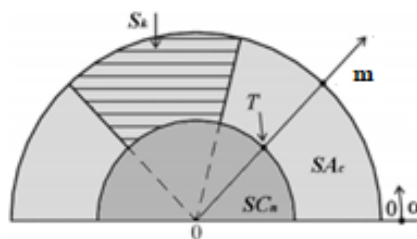
$$w_1(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} P_i \quad (10)$$

$$\mu_0(t) = \sum_{i=1}^t i \frac{P_i}{W_0(t)} \quad (11)$$

$$\mu_1(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} i \frac{P_i}{W_1(t)} \quad (12)$$

در نهایت حد آستانه بهینه در بهینه OTSO به صورت

در روابط فوق m و  $\alpha$  به ترتیب نشان دهنده بزرگی و جهت تغییرات هستند،  $x_{diff}$  بیانگر اختلاف یک باند که در زمان‌های  $t_1, t_2$  اخذ شده و  $i=[1, \dots, n]$  معرف تعداد باندهای طیفی می‌باشند. دامنه تغییرات m و  $\alpha$  را می‌توان به صورت نگاره ۱ نمایش داد. در نگاره ۱، m نشان دهنده بزرگی تغییرات می‌باشد، که با تعیین حد آستانه بهینه T، دو کلاس مناطق تغییر یافته ( $SA_c$ ) و بدون تغییر ( $SC_c$ ) مشخص می‌شوند. مناطق تغییر یافته ( $SA_c$ ) خود شامل مجموعه‌ای از انواع تغییرات می‌باشند که در بازه  $\pi$  تا جای گرفته‌اند که با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی می‌توان تغییرات را تقسیم‌بندی کرد (به عنوان مثال  $S_x$ ).



نگاره ۱: شماتیک روش آنالیز بردار تغییرات (Bovolo et al, 2012)

## ۲-۴- روش حد آستانه‌گذاری

معمولاً یکی از روش‌هایی که برای تشخیص تغییرات از تصاویر اختلاف مورد استفاده قرار می‌گیرند، روش‌های حد آستانه‌گذاری می‌باشد. برخلاف ساده بودن این روش، همواره روش‌های حد آستانه‌گذاری با دشواری‌هایی همراه است و تعیین مقدار بهینه آن به صورت سعی و خطا تعیین می‌شود. در پژوهش پیش رو برای تعیین حد آستانه بهینه برای مشخص کردن کلاس تغییر و بدون تغییر از حد آستانه اتسو استفاده شد که در ادامه این روش تشریح می‌شود.

## ۲-۴-۱- حد آستانه‌گذاری OTSU

این روش، روشی مؤثر در انتخاب خودکار آستانه بهینه با پیشینه کردن واریانس بین کلاسی و کمینه کردن واریانس داخل کلاسی پیکسل‌ها است. به عبارت دیگر جداسازی

بدون تغییر را با استفاده از شروط مندرج در روابط ۱۵

تعیین کرد (Zhang et al, 2010).

$$\text{if } x_1(i,j) \leq t_1 \ \& \ x_2(i,j) \leq t_2 \ \& \ \dots \ x_n(i,j) \leq t_n \quad (15)$$

$$x(i,j) \in C_0$$

$$\text{else } x(i,j) \in C_1$$

در رابطه فوق  $x_i(i,j)$  بیانگر اختلاف بین باندهای تصویر در زمان‌های متفاوت در n باند طیفی می‌باشد.

## ۲-۶- الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات PSO

الگوریتم PSO یک الگوریتم جستجوی جمعیت مبنای است که براساس رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان مدل شده است. در الگوریتم PSO، ذرات در فضای جستجو پخش می‌شوند. تغییر مکان ذرات در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش خودشان و همسایگان‌شان است. بنابراین موقعیت دیگر توده ذرات روی چگونگی جستجوی یک ذره اثر می‌گذارد. اساس کار PSO بر این اصل استوار است که در هر لحظه هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته است و بهترین مکانی که در کل همسایگی‌اش وجود دارد، تنظیم می‌کند (Poli et al, 2007; Engelbrecht, 2007).

به عبارت دیگر ذرات برای یافتن بهترین موقعیت در فضای جستجو باهم تعامل می‌نمایند تا در نهایت براساس تابع تعریف شده به بهترین جواب دست پیدا کنند. در این الگوریتم هر ذره مطابق با معادلات سرعت (رابطه ۱۶) و موقعیت (رابطه ۱۷) در فضای جستجو حرکت می‌کند.

$$V_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) * V_{ij}(t) + C_1 * r_1(t) * [pbest(t) - X_{ij}(t)] + C_2 * r_2(t) * [gbest(t) - X_{ij}(t)] \quad (16)$$

$$X_{ij}(t+1) = X_{ij}(t) + V_i(t+1) \quad (17)$$

در روابط فوق  $V_{ij}(t)$  سرعت ذره i در بعد j در زمان t است،  $W_{ij}(t)$  وزن اینرسی ذره i در بعد j می‌باشد که

رابطه ۱۳ معرفی می‌شود.

$$t = \text{Arg MAX}\{w_0(t) \times [\mu_0(t)]^2 + w_1(t) \times [\mu_1(t)]^2\} \quad (13)$$

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

## ۲-۵- روش‌های تلفیق داده

در پژوهش حاضر جهت تلفیق داده‌های راداری و اپتیک به منظور بهبود تشخیص تغییرات در مناطق شهری از روش‌های تلفیق در سطح تصمیم‌گیری و یک روش پیشنهادی که در بخش ۳-۳-۳ شرح داده شده است، استفاده گردید.

## ۲-۵-۱- روش تلفیق داده در سطح تصمیم‌گیری

روش رأی‌گیری یکی از پرکاربردترین روش‌های مطرح در تلفیق طبقه‌بندی‌کننده‌ها می‌باشد (and Kuncheva, 2003) (Kuncheva, 2004 Whitaker). در این روش تصمیم هر طبقه‌بندی‌کننده به عنوان یک رأی در نظر گرفته می‌شود. ساده‌ترین حالت این روش که به عنوان یک روش بدون نظارت مطرح می‌باشد، روش حداکثر رأی نام دارد.

در این روش فرض بر این است که همه طبقه‌بندی‌کننده‌ها دارای وزن و صحت یکسانی می‌باشند، از این رو تصمیم تمام طبقه‌بندی‌کننده‌ها برای یک نمونه ورودی با وزن یکسان در نظر گرفته شده و تصمیم با بیشترین رأی به عنوان کلاس برنده برای نمونه‌های ورودی معرفی خواهد شد (رابطه ۱۴). اگر  $D_i$ ،  $i=1, \dots, m$  مجموعه طبقه‌بندی‌کننده‌ها و  $w_j$ ،  $j=1, \dots, c$  تعداد کلاس‌های موجود باشد، برای هر طبقه‌بندی‌کننده، بردار c بعدی  $[d_{i1}, \dots, d_{ic}]$  در نظر گرفته می‌شود که مقادیر آن می‌توانند صفر یا یک باشند. بگونه‌ای که اگر طبقه‌بندی‌کننده مورد نظر نمونه ورودی را متعلق به کلاس مورد نظر دانست به آن مقدار یک و اگر متعلق ندانست مقدار صفر داده می‌شود.

$$\sum_{i=1}^L d_{i,k} = \max_{j=1}^L d_{i,j} \quad (14)$$

Zhang جهت تلفیق اختلاف n باند طیفی که حد آستانه

بهینه آن‌ها مشخص شده است، دو کلاس تغییر یافته و

۲) درصد پیکسل‌های تغییر نکرده‌ای که در کلاس تغییر جای گرفته (FA<sup>۲</sup>)، (۳) نسبت پیکسل‌های اشتباه شناسایی شده به کل پیکسل‌ها داده‌ی ارزیابی (TE<sup>۳</sup>)، در آشکارسازی تغییرات مرسوم می‌باشد.

جدول ۲: ماتریس خطا برای دو کلاس

	نتایج واقعی		
	T	F	
نتایج حاصل از طبقه‌بندی	T	TP	FP
	F	FN	TN

براساس ماتریس خطا، سه پارامتر TE، FA، ME و صحت کلی و ضریب کاپا با استفاده از روابط (۲۲-۱۸) قابل برآورد می‌باشند.

$$ME = \frac{FN}{TP+FN} \quad (18)$$

$$FA = \frac{FP}{FP+TN} \quad (19)$$

$$TE = \frac{FN+FP}{TP+FN+FP+TN} \quad (20)$$

$$OA = \frac{TP+TN}{TP+FN+FP+TN} \quad (21)$$

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{jj} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}} \quad (22)$$

در روابط فوق و ماتریس خطا، TP تعداد پیکسل‌هایی که به‌عنوان کلاس تغییر به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند، TN تعداد پیکسل‌هایی که به‌عنوان کلاس بدون تغییر به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند، FN تعداد پیکسل‌های تغییر کرده‌ای که به‌عنوان کلاس بدون تغییر به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند، FP تعداد پیکسل‌های تغییر نکرده‌ای که به‌عنوان کلاس تغییر به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند، می‌باشد. در رابطه ارائه شده جهت برآورد ضریب کاپا، n تعداد کل پیکسل‌های مرجع، k تعداد کلاس‌ها،  $n_{jj}$  اعضای قطری ماتریس خطا،  $n_{i+}$  مجموع عناصر سطر نام و  $n_{+i}$  مجموع عناصر ستون نام هستند.

شتاب ذره را به وسیله وزن‌دار کردن سرعت اولیه ذره کنترل می‌کند.  $X_{ij}$  موقعیت ذره i در بعد ز در زمان t می‌باشد. pbest بهترین موقعیت خود ذره و gbest بهترین موقعیت حاصل شده توسط سایر ذرات را نشان می‌دهد.  $C_1$  و  $C_2$  ثوابت مثبت شتاب هستند که جهت مقیاس‌گذاری در پارامتر pbest و gbest بکار می‌روند  $r_1(t)$  و  $r_2(t)$  مقادیر تصادفی در بازه ۰ و ۱ می‌باشد که از یک توزیع یکنواخت نمونه‌برداری شده است.

## ۲-۷- معیار ارزیابی صحت

ارزیابی نتایج طبقه‌بندی، یکی از مراحل مهم پس از فرایند طبقه‌بندی می‌باشد. یکی از بهترین روش‌ها جهت ارزیابی طبقه‌بندی استفاده از داده‌های واقعیت زمینی می‌باشد، که به اصطلاح به آن‌ها نمونه‌های تست گفته می‌شود. از نمونه‌های تست، ماتریسی به نام ماتریس خطا جهت ارزیابی طبقه‌بندی استخراج می‌شود. نمونه‌ای از ماتریس خطا برای دو کلاس (مناطق تغییر یافته و بدون تغییر) در جدول ۲ نمایش داده شده است. از مهم‌ترین پارامترهای ارزیابی طبقه‌بندی که براساس ماتریس خطا محاسبه می‌شود، می‌توان به صحت کلی (OA) و ضریب کاپا (k) اشاره کرد.

صحت کلی برآورد کلی و جامعی از صحت طبقه‌بندی می‌باشد. این پارامتر از تقسیم مجموع عناصر روی قطر اصلی ماتریس خطا به تعداد کل پیکسل‌ها به دست می‌آید. ضریب ارزیابی کاپا، یک روش چند متغیره گسسته آماری است که تفاوت بین ماتریس خطای حاصل از الگوریتم و ماتریس خطای ایده‌آل را مشخص می‌کند. محاسبه کاپا بر اساس اندازه‌گیری تفاوت بین تعداد پیکسل‌هایی که به‌درستی شناسایی شده‌اند و تعداد پیکسل‌هایی که به صورت نادرست تعیین شده‌اند انجام می‌شود. علاوه بر دو پارامتر، صحت کلی و ضریب کاپا جهت ارزیابی صحت طبقه‌بندی استفاده از سه پارامتر، (۱) درصد پیکسل‌های تغییر کرده‌ای که در کلاس بدون تغییر جای گرفته (ME<sup>۱</sup>)

2- False Alarm

3- Total Error

1- Missed Error

### ۳- مواد و روش تحقیق

#### ۳-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد کلان‌شهری در شمال شرقی ایران و مرکز استان خراسان رضوی است. این شهر در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۸ دقیقه واقع شده است (نگاره ۲. الف، ب). محدوده مورد مطالعه، منطقه‌ای در شمال غربی این شهر می‌باشد، که در بازه زمانی سال ۲۰۱۶ تا سال ۲۰۱۸ تغییرات چشم‌گیری در پوشش آن ایجاد شده است (نگاره ۲. ج، د).

#### ۳-۲- داده‌های مورد استفاده

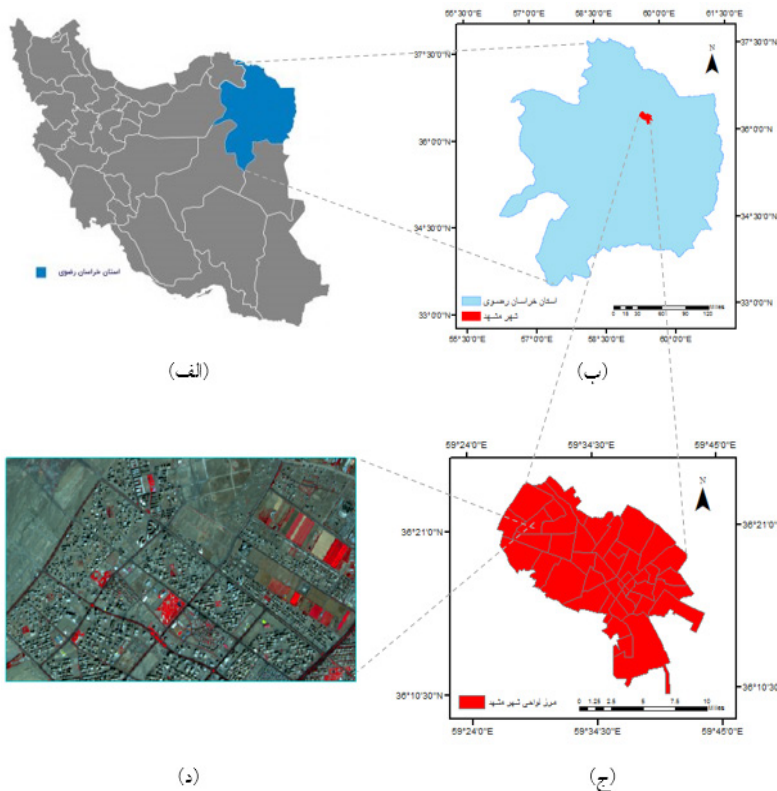
داده‌های مورد استفاده جهت ارزیابی روش پیشنهادی یک جفت تصویر چندطیفی که توسط ماهواره سنتینل ۲ در تاریخ‌های ۲۰۱۶/۹/۲۰ و ۲۰۱۸/۹/۲۰، و یک جفت تصویر SAR ماهواره سنتینل ۱ که در تاریخ‌های ۲۰۱۶/۹/۲۰ و ۲۰۱۸/۹/۲۰ از منطقه مورد مطالعه اخذ شده است، می‌باشند. باندها و قطبش‌های

بکارگرفته شده در پژوهش حاضر در جدول ۳ قید شده است.

#### ۳-۳- روش تحقیق

##### ۳-۳-۱- پیاده‌سازی روش پیشنهادی

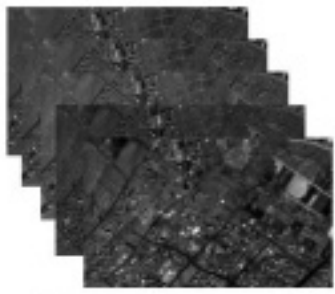
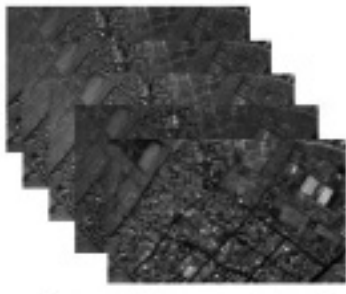
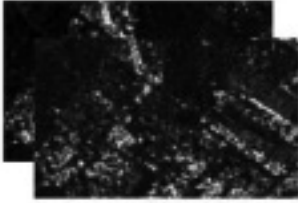
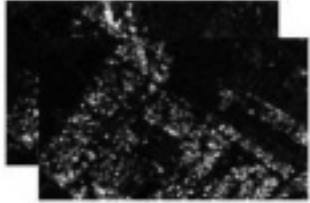
روش پیشنهادی در جهت تلفیق داده‌های راداری و اپتیک برای رسیدن به یک تصویر تک بانندی با محتوای اطلاعاتی بالاتر مورد استفاده قرار گرفت (فلوچارت ارائه شده در نگاره ۳). این روش یک راه حل کارآمد جهت تلفیق داده‌ها و کاهش ابعاد داده از  $n$  بعد به یک بعد می‌باشد. در روش پیشنهادی بعد از اعمال پیش پردازش‌های لازم بر روی داده‌های اپتیک و رادار، ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر اپتیک و رادار پیکسل به پیکسل با یکدیگر ادغام می‌شوند. جهت تلفیق این ویژگی‌ها با هدف تشخیص تغییرات، از روش  $C^2VA$  که در بخش ۲-۳ (رابطه ۴) شرح داده شد، استفاده گردید. به صورت کلی ورودی این روش به دو دسته داده‌های راداری و اپتیک تقسیم‌بندی می‌شوند. برای کاهش اثرات توپوگرافی و روشنایی تصویر و بالا بردن



نگاره ۲: (الف) کشور ایران، (ب) موقعیت استان خراسان رضوی، (ج) موقعیت شهر مشهد، (د) تصویر هوایی با ترکیب رنگی کاذب از محدوده مورد مطالعه



جدول ۳: داده‌های مورد استفاده

ماهواره	باندهای مورد استفاده	تصاویر اخذ شده در سال ۲۰۱۶	تصاویر اخذ شده در سال ۲۰۱۸
ستینل ۲	باند Blue باند Green باند Red باند NIR باند SWIR		
ستینل ۱	قطبش VV قطبش VH		

توجه به هدف پیش رو که برآورد وزن بهینه ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر اپتیک و رادار و در نهایت تلفیق این ویژگی‌ها و رسیدن به یک تصویر تک باندهای است، هر ذره در این الگوریتم شامل وزن  $n$  ویژگی استخراج شده از تصاویر می‌باشد. تابع هدف مورد استفاده جهت ارزیابی ذرات، رابطه بیشینه سازی واریانس بین کلاسی (رابطه ۱۳)، روش حد آستانه گذاری OTSU است. آستانه گذاری OTSU، در زیر گروه روش‌های آستانه گذاری مبتنی بر خوشه بندی، دسته بندی می‌شود. این متد به نوعی روشی برای بخش بندی تصویر بر اساس یافتن آستانه بهینه  $t$ ، به نحوی که تصویر را به دو کلاس مجزا (سیاه و سفید) تقسیم نماید. منظور از آستانه بهینه در اینجا، یافتن مقداری از  $t$  است که حداکثر یکنواختی را در هر دو کلاس ایجاد کند و واریانس بین دو کلاس را بیشینه سازد. با توجه به این تابع، وزن هر ویژگی به نحوی انتخاب می‌شود که واریانس بین کلاسی، دو کلاس مناطق تغییر یافته و بدون تغییر به ماکزیمم مقدار خود برسد و بهینه ترین حد آستانه برآورد شود.

در نهایت بعد از محاسبه پارامتر بزرگی تغییرات با استفاده از روش پیشنهادی (رابطه ۲۳)، از روش OTSU

امکان تشخیص و تفکیک عوارض از شاخص‌های طیفی به عنوان ورودی بخش اپتیک استفاده شد. شاخص‌های طیفی مورد استفاده که از باندهای تصاویر اخذ شده در زمان‌های  $t_1$  و  $t_2$  استخراج شده است، شامل شاخص‌های NDVI، SAVI، ARVI، NDWI، NDBI می‌باشند که جهت مطالعه و تشخیص در سه زمینه پوشش گیاهی، آب و مناطق مسکونی کارآمد می‌باشند. ورودی بخش داده‌های راداری، تصاویر نسبت نرمال شده می‌باشد که از قطبش‌های VV، VH که توسط سنجنده راداری در زمان‌های  $t_1$  و  $t_2$  اخذ شده‌اند، بدست می‌آید.

در ادامه با توجه به خصوصیات متفاوت ویژگی‌های ورودی به الگوریتم  $C^2VA$ ، برای کلیه ویژگی‌های ورودی یک وزن برآورد می‌شود. جهت برآورد وزن این ویژگی‌ها از الگوریتم توده ذرات (PSO) که در بخش ۲-۶ شرح داده شده است، استفاده گردید. جهت برآورد وزن بهینه با استفاده از الگوریتم توده ذرات دو جزء اساسی با نام‌های جمعیت و تابع هدف وجود دارد. جمعیت شامل تعدادی ذره بوده که هر کدام پتانسیل حل مسئله را دارند و تابع هدف جهت ارزیابی هر ذره مورد استفاده قرار می‌گیرد. با

اپتیک و رادار به طور مستقل، و تلفیق در سطح تصمیم گیری) استفاده شد. داده‌های واقعیت زمینی که شامل پیکسل‌های تغییر یافته و پیکسل‌های بدون تغییر می‌باشند، با مقایسه انجام شده بین داده‌های اپتیک اخذ شده در دو بازه زمانی، از سطح تصویر با پراکندگی مناسب جمع آوری شد. از ماتریس خطا که حاصل مقایسه پیکسل‌های واقعیت زمین و پیکسل‌های متناظر در خروجی روش‌های آشکار سازی تغییرات است، ۵ پارامتر: OA, K, ME, FA, TE که در بخش ۲-۷ شرح داده شد، برای کلیه روش‌های مورد استفاده در این تحقیق برآورد شد.

#### ۴- نتایج و بحث

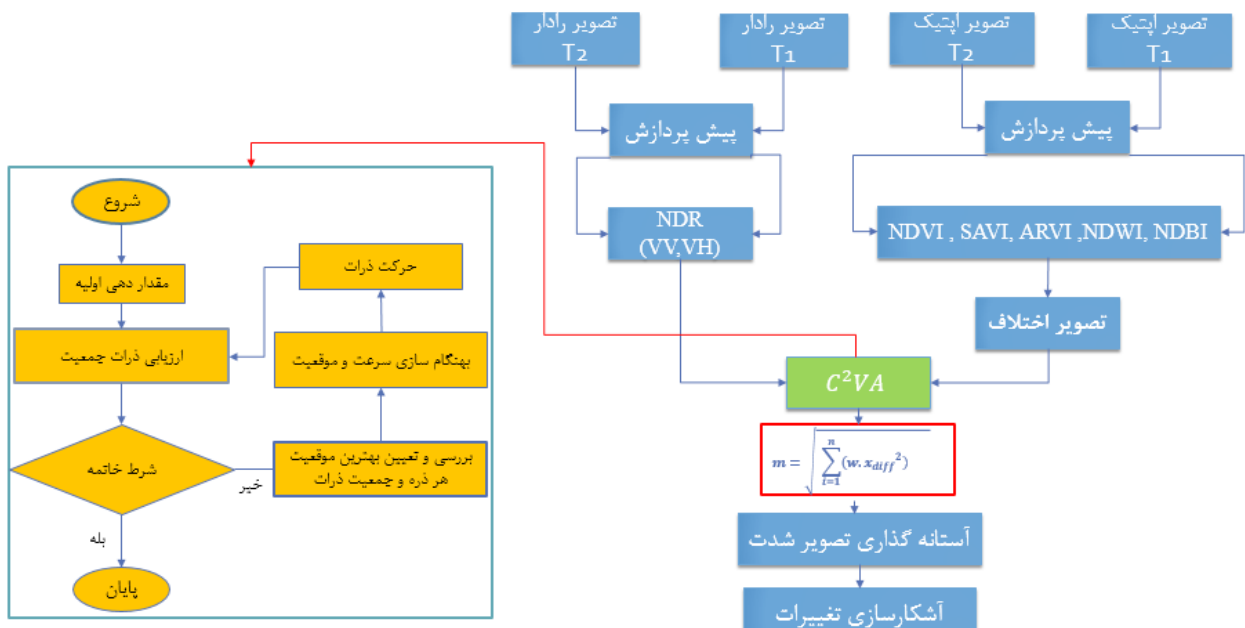
در مواقع استفاده از تصاویر ماهواره جهت آشکار سازی تغییرات و تلفیق این نوع داده‌ها، پیش پردازش این تصاویر امری مهم و ضروری است. این پیش پردازش‌ها، اغلب شامل: کاهش ابعاد تصویر، تغییر سایز پیکسل‌ها، تصحیحات هندسی و تصحیحات رادیومتریکی می‌باشند. با توجه به هم سایز بودن پیکسل‌ها در باندهای مشابه و هم مرجع بودن دو تصویر اخذ شده سنتینل ۲، از تغییر سایز

جهت آستانه‌گذاری تصویر و تفکیک آن به دو کلاس تغییر یافته و بدون تغییر به صورت نظارت نشده، استفاده شد. مراحل روش پیشنهادی در فلوجارت نگاره ۳ ارائه شده است.

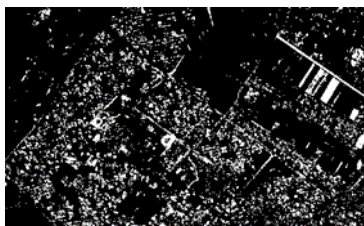
$$m = \sqrt{\sum_{i=1}^n (w \cdot x_{diff}^2)} \quad ۲۳$$

در رابطه ۲۳، m نشان دهنده بزرگی تغییرات می‌باشد،  $x_{diff}$  بیانگر اختلاف یک باند یا ویژگی حاصل از تصاویر اخذ شده در زمان‌های  $t_1$  و  $t_2$  و  $i=[1, \dots, n]$  معرف تعداد باندهای طیفی یا ویژگی‌های مورد استفاده می‌باشد. w وزن برآورد شده با استفاده از الگوریتم PSO برای تصاویر اختلاف است.

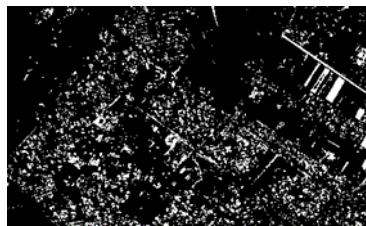
برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی آشکار سازی تغییرات، از یک سری داده واقعیت زمینی و مقایسه بین نتایج این روش با دیگر روش‌های تشخیص تغییرات بدون نظارت (اختلاف قدر مطلق باندهای طیفی، اختلاف قدر مطلق شاخص‌های طیفی، تصاویر نسبت نرمال شده حاصل از قطبش‌های راداری، روش  $C^2VA$  با بکارگیری داده‌های



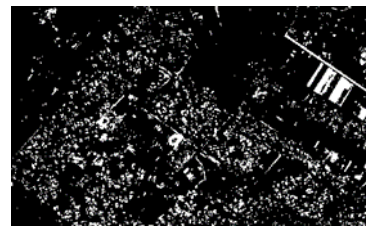
نگاره ۳. فلوجارت روش پیشنهادی



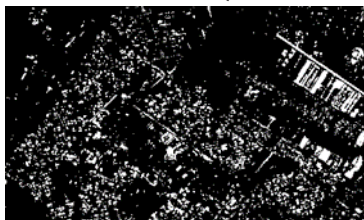
باند Blue



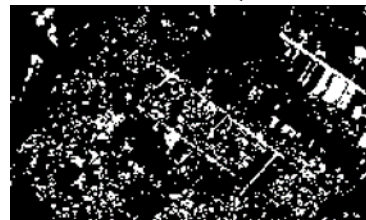
باند Green



باند Red



باند NIR



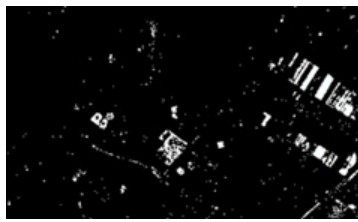
باند SWIR

#### نگاره ۴: تصاویر باینری حاصل از حد آستانه‌گذاری بر روی تصاویر اختلاف قدر مطلق باندهای طیفی

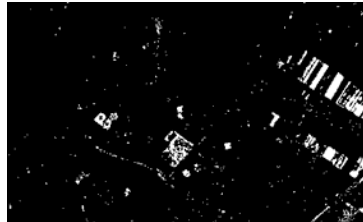
درستی بر هم منطبق شوند. در پروسه آشکارسازی تغییرات صحت منطبق بودن تصاویر مورد استفاده نسبت به یک دیگر؛ تأثیر بسزایی در دقت نتایج خروجی خواهد داشت، این موضوع در مناطق شهری به دلیل وجود عوارض متعدد دوچندان می‌شود چراکه روش‌های مورد استفاده در این پژوهش پیکسل مبنای بوده و شناسایی تغییرات بر مبنای کوچک‌ترین واحد تصویر یعنی پیکسل صورت می‌گیرد. از این جهت منطبق بودن پیکسل‌های تصاویر نسبت به یکدیگر، امر مهم و ضروری است. به‌همین منظور در این پژوهش سعی بر آن شد تا با بهترین دقت تصاویر نسبت به یک دیگر منطبق شوند تا کمترین میزان تأثیر منفی را در نتایج خروجی داشته باشند. جهت ریجستر کردن تصاویر، نقاط کنترل مناسب از قسمت‌هایی مانند گوشه‌های عوارض و تقاطع راه‌ها در سطح تصاویر انتخاب گردید و با استفاده از مدل ریاضی پلینومیال درجه ۲، با دقت بهتر از ۰/۵ پیکسل ( $Rmse < 0.5$ ) نسبت به یک دیگر هم مرجع شدند. بعد از انجام پیش پردازش‌ها لازم بر روی داده‌های اپتیک و رادار، ابتدا جهت تشخیص مناطق تغییر یافته از روش‌های متداول آشکارسازی تغییرات (اختلاف قدر مطلق باندهای طیفی، اختلاف قدر مطلق شاخص‌های طیفی، تصاویر نسبت نرمال شده حاصل از قطبش‌های راداری، روش  $C^2VA$  با

پیکسل‌ها و تصحیح هندسی این تصاویر صرف نظر شد. با توجه به استفاده همزمان باند SWIR در کنار دیگر باندها، همسان بودن رزولوشن مکانی امری ضروری است، به همین منظور با استفاده از نمونه برداری مجدد به روش درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایگی، سایز پیکسل‌های ۲۰ متری باند SWIR به ۱۰ متر کاهش پیدا کرد. در ادامه جهت تصحیح رادیومتریک از الگوریتم تطابق هیستوگرام استفاده شد. در این روش هیستوگرام تصویر هدف با استفاده از هیستوگرام تصویر مرجع طوری تغییر داده می‌شود تا خصوصیات رادیومتریکی دو تصویر مشابه، و اختلاف بین مقادیر درجه خاکستری دو تصویر کاهش پیدا کند.

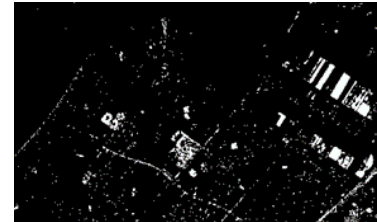
در مرحله پیش پردازش تصاویر رادار بعد از اعمال تصحیح رادیومتریکی، با استفاده از DEM منطقه، تصحیحات هندسی بر روی تصاویر اعمال شد. سپس برای حذف نویز اسپیکل از فیلتر لی با کرنل سایز ۳\*۳ استفاده شد. تصاویر راداری اخذ شده در دو تاریخ ذکر شده دارای رزولوشن مکانی یکسان می‌باشند، ولی با رزولوشن تصاویر اپتیک متفاوت بوده، لذا برای رسیدن به رزولوشن مکانی تصاویر اپتیک (۱۰ متری) از نمونه‌برداری مجدد به روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. مرحله نهایی این بخش ریجستر کردن تصاویر رادار نسبت به تصاویر اپتیک می‌باشد تا تصاویر به



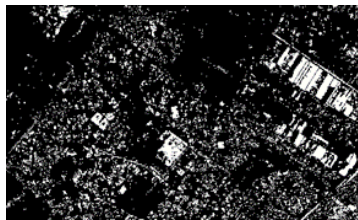
شاخص NDWI



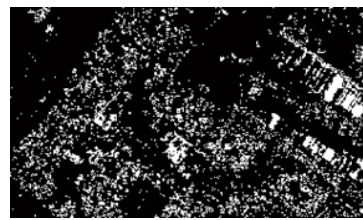
شاخص SAVI



شاخص ARVI



شاخص NDWI



شاخص SAVI

#### نگاره ۵: تصاویر باینری حاصل از حدآستانه گذاری بر روی تصاویر اختلاف شاخص های طیفی

شاخص های طیفی، صحت کلی در تشخیص تغییرات به مراتب بیشتر و تعداد پیکسل های اشتباه تشخیص داده شده کمتر خواهند شد. نتایج ارزیابی کمی این بخش (جدول ۷) و مقایسه آن ها با مقادیر ارائه شده برای تصاویر اختلاف مطلق باندهای طیفی این بحث را اثبات می کند.

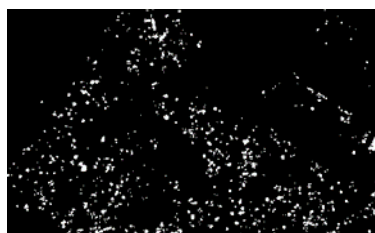
مناطق تغییر یافته ای که بوسیله روش NDR با قطبش های VH و VV مشخص شده، در نگاره ۶ نمایش داده شده است. با مقایسه نتایج ارزیابی کمی (جدول ۷) می توان پی برد که این روش که براساس تصاویر SAR پیاده سازی شده است، بخصوص برای قطبش VH، دارای صحت پایین تری در تشخیص تغییرات نسبت به تکنیک های مورد استفاده بر اساس تصاویر اپتیک می باشد.

همانطور که ذکر شد، تغییرات متفاوت پوشش سطح زمین در قسمت های مختلف طیف الکترومغناطیس قابل شناسایی هستند، از این رو استفاده و بکارگیری همزمان تمامی باندها باعث بهبود در تشخیص تغییرات خواهد شد. روش  $C^2VA$  این امکان را فراهم کرده تا از تمامی اطلاعات باندهای طیفی به صورت همزمان جهت تشخیص تغییرات استفاده شود. خروجی این روش که به صورت تصویر فشرده تک باندی است، بعد از اعمال حد آستانه به دو کلاس تغییر یافته و بدون تغییر تفکیک می شود.

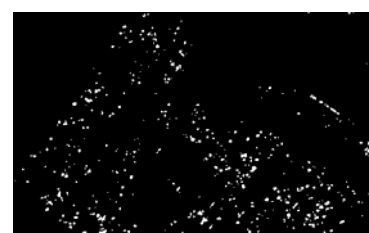
بکارگیری داده های اپتیک و رادار به طور مستقل، و تلفیق در سطح تصمیم گیری) استفاده شد. خروجی اختلاف قدر مطلق باندهای SWIRBlue, Green, Red, NIR، بعد از اعمال حدآستانه OTSU به دو کلاس تغییر یافته و بدون تغییر تفکیک شده اند (نگاره ۴). مقایسه بصری تصاویر باینری این بخش نشان دهنده این است که تغییرات رخ داده در پوشش سطح زمین، توسط طول موج متفاوت و بالطبع در باندهای مختلف تصویر چندطیفی اخذ شده توسط سنجنده اپتیک، قابل شناسایی خواهد بود. با توجه به ارزیابی کمی صورت گرفته (جدول ۷) بر روی تصاویر باینری تولید شده بر مبنای روش اختلاف قدر مطلق باندهای طیفی، تصویر باینری که از باند ۳ (Red) بدست آمده، دارای صحت بالاتری نسبت به باندهای دیگر می باشد. در این تصویر نسبت پیکسل های اشتباه شناسایی شده به کل پیکسل ها داده ی ارزیابی ۳۰ درصد است. که نسبت به سایر باندهای طیفی دارای مقادیر کمتری می باشد.

تصاویر حاصل از روش اختلاف قدر مطلق شاخص های طیفی که با استفاده از روش حد آستانه گذاری OTSU به دو کلاس تغییر یافته و بدون تغییر تفکیک شده اند در نگاره ۵ نمایش داده شده است. با توجه به کاهش نویز و تفکیک پذیری عوارض و پدیده ها در هنگام استفاده از

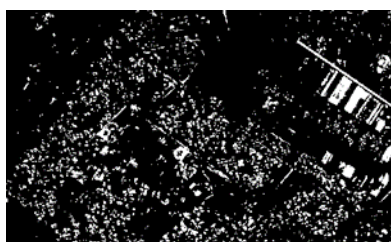
نگاره ۶: تصاویر باینری حاصل از  
حدآستانه گذاری بر روی تصاویر NDR  
حاصل از قطبش های رادار



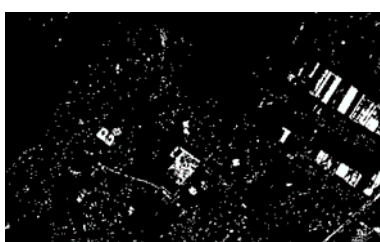
قطبش VH



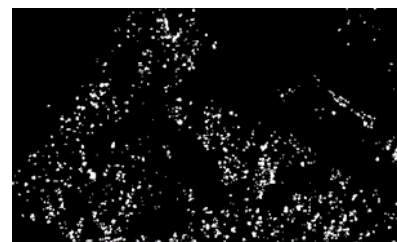
قطبش VV



الف



ب



ج

نگاره ۷: تصویر باینری حاصل از حدآستانه گذاری بر روی تصویر بزرگی تغییرات حاصل از روش  $C^2VA$  با بکارگیری:  
تمامی باندهای طیفی (الف)، تمامی شاخص های طیفی (ب)، قطبش های رادار (ج)

شده به کل پیکسل های داده ارزیابی ۱۶/۸۴ درصد می باشد، که نسبت به بعضی از روش های بکار گرفته شده کاهش چشمگیری داشته است و نشان دهنده کارایی بالای این روش در آشکارسازی تغییرات نسبت به بعضی از روش های مورد استفاده در پژوهش فوق است.

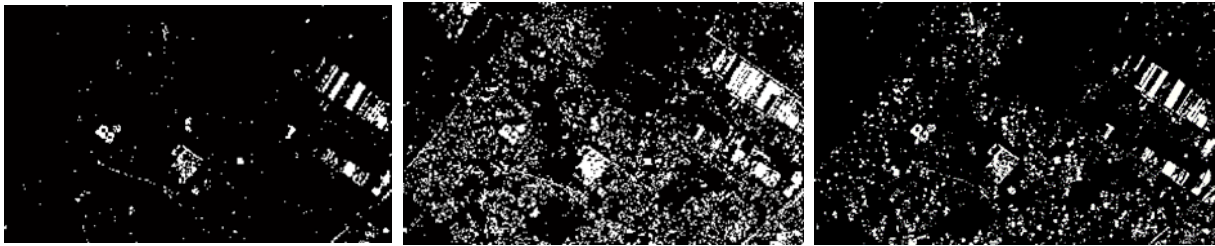
روش دوم مورد استفاده جهت تلفیق داده های اپتیک و رادار در سطح تصمیم گیری به منظور آشکارسازی تغییرات، رابطه ۱۵ ارائه شده در بخش ۲-۵ می باشد. ورودی این روش، شامل تصاویر اختلاف ۵ شاخص طیفی

(NDVI, SAVI, ARVI, NDWI, NDBI) و تصاویر اختلاف نرمال شده حاصل از قطبش های VH, VV می باشد که حد آستانه های بهینه آن ها جهت جداسازی دو کلاس تغییر یافته و بدون تغییر با استفاده از روش حد آستانه گذاری OTSU مشخص شده است. تصویر خروجی این روش در نگاره (۸- ب) نمایش داده شده است، با بررسی و مقایسه نتیجه حاصل از این روش با ورودی های این بخش، می توان نتیجه گرفت که مناطق تغییر یافته ای که در تصویر حاصله از روش فوق مشخص شده اند، حاصل اجتماع مناطق تغییر یافته ۷ تصویر ورودی می باشد. بر همین اساس صحت

تصاویر باینری نگاره ۷، مربوط به خروجی روش  $C^2VA$  با به کارگیری باندهای طیفی (نگاره ۷- الف)، شاخص های طیفی (نگاره ۷- ب)، و قطبش های VH, VV (نگاره ۷- ج) می باشد، که بعد از اعمال حد آستانه OTSU به دو کلاس تغییر یافته و بدون تغییر تفکیک شده اند. از مقایسه ی نتایج ارزیابی کمی (جدول ۷) می توان پی برد که صحت این روش نسبت به حالتی که از باندهای طیفی، شاخص های طیفی و قطبش های رادار به صورت تکی و جداگانه جهت تشخیص تغییرات استفاده می شود، بیشتر می باشد.

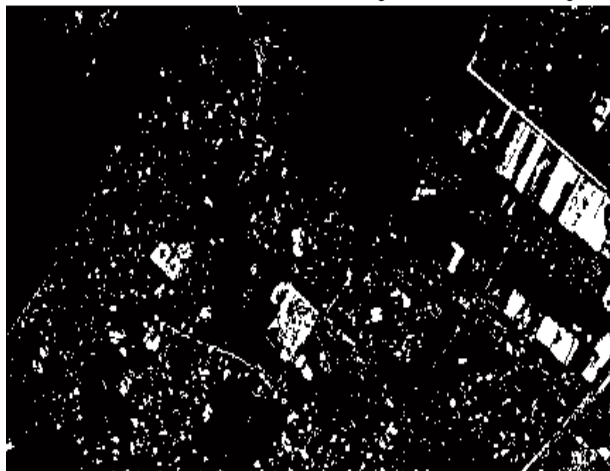
ابتدا جهت تلفیق داده های اپتیک و رادار در سطح تصمیم گیری از روش حداکثر رأی (رابطه ۱۴) استفاده گردید. تصویر خروجی این روش در نگاره (۸- الف) نمایش داده شده است. نتایج ارزیابی کمی نشان دهنده صحت بالای روش مورد استفاده در تشخیص مناطق بدون تغییر می باشد به گونه ای که پیکسل های تغییر نکرده ای که در کلاس تغییر جای گرفته اند ۲/۸۶ درصد بوده که نشان دهنده این است که فقط ۲/۸۶ درصد از پیکسل های واقعیت زمینی اشتباه در کلاس مناطق تغییر جای گرفته اند.

در روش فوق، نسبت کل پیکسل های اشتباه شناسایی



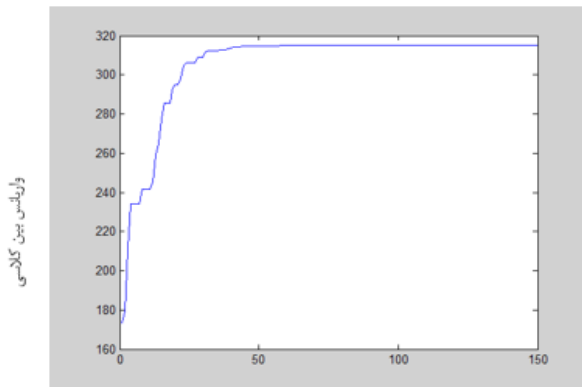
نگاره ۸: تصویر باینری حاصل از تلفیق تصاویر باینری موجود در نگاره‌های ۶ و ۵ در سطح تصمیم‌گیری: با استفاده از رابطه ۱۴ (الف) با استفاده از رابطه ۱۵ (ب) تصویر باینری حاصل از تلفیق تصاویر باینری نگاره‌های ۷-ب و ۷-ج در سطح تصمیم‌گیری با استفاده از رابطه ۱۵ (ج)

۴ درصد افزایش داشته و نسبت به روش تلفیق حداکثر رأی حدود ۱۴ درصد کاهش داشته است، که نشان‌دهنده کارایی بهتر این روش نسبت به روش تلفیق حداکثر رأی با استفاده از ۷ تصویر ورودی است. روش پیشنهادی به منظور آشکارسازی تغییرات پوشش زمین در پژوهش حاضر پیاده‌سازی و مورد ارزیابی گرفت. خروجی این روش در نگاره ۹ نمایش داده شده است. در این روش، تصویر اختلاف کلیه شاخص‌های طیفی و تصاویر نسبت نرمال شده قطبش‌های رادار به طور همزمان وارد الگوریتم  $C^2VA$  شده، و برای هر یک از این ویژگی‌ها با استفاده از الگوریتم PSO وزن برآورد شده است. خروجی این روش که به صورت تصویر تک بانندی است بعد از اعمال حد آستانه OTSU، به دو کلاس مناطق تغییر یافته و بدون تغییر تفکیک شد.



نگاره ۹: تصویر باینری حاصل از روش پیشنهادی

تشخیص مناطق تغییر یافته در روش فوق افزایش پیدا کرده است، به گونه‌ای که پیکسل‌های تغییر کرده‌ای که در کلاس بدون تغییر جای گرفته‌اند، ۱۵/۸۲ درصد بوده که نسبت به روش‌های متداول مورد استفاده در پژوهش فوق کاهش چشمگیری داشته است. از سوی دیگر این روش تلفیق بکار گرفته شده جهت تشخیص تغییرات باعث افزایش درصد پیکسل‌های تغییر نکرده‌ای که در کلاس تغییر جای گرفته‌اند، شده است. که دلیل آن اجتماع پیکسل‌های تغییر کرده تصاویر ورودی می‌باشد. از این رو جهت کاهش درصد پیکسل‌های اشتباه شناسایی شده، از تصاویر باینری تولید شده با استفاده از روش  $C^2VA$  مبتنی بر شاخص‌های طیفی و قطبش‌های رادار به عنوان داده‌های ورودی بخش اپتیک و رادار جهت تلفیق، استفاده شد. این دو تصویر با استفاده از رابطه ۱۵ با یک دیگر ادغام شدند. خروجی این روش توسط نگاره (۸ - ج) نمایش داده شده است. ارزیابی بصری این خروجی همانند قبل نشان‌دهنده اجتماع دو تصویر باینری تولید شده با استفاده از روش  $C^2VA$  با بکارگیری شاخص‌های طیفی و  $C^2VA$  با بکارگیری قطبش‌های رادار می‌باشد. با ارزیابی کمی این روش که در جدول ۷ ارائه شده است، شاهد کاهش درصد پیکسل‌های تغییر نکرده‌ای که در کلاس تغییر جای گرفته‌اند، می‌باشیم (۱۴/۰۱ نسبت به ۲۰/۳۸). درصد پیکسل‌های تغییر کرده‌ای که در کلاس بدون تغییر جای گرفته‌اند، ۱۹/۵۳ درصد بوده که نسبت به حالت قبل که از ۷ تصویر ورودی استفاده شد، حدود



تعداد تکرار

نگاره ۱۰: روند همگرایی الگوریتم PSO جهت برآورد وزن‌های بهینه

نگاره ۱۰ روند همگرایی الگوریتم PSO جهت برآورد وزن بهینه ویژگی‌ها را نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است الگوریتم بعد از تقریباً ۶۰ تکرار همگرا شده و مقادیر بهینه وزن‌ها برآورد شده است. در واقع از این تکرار به بعد، مقدار واریانس بین کلاسی ثابت و به ماکزیمم مقدار خود رسیده که برابر ۳۱۴/۹۸۰ می‌باشد. وزن‌های بهینه برآورد شده در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶: وزن‌های بهینه برآورد شده با استفاده از الگوریتم PSO

وزن برآورد شده توسط الگوریتم PSO						
NDVI	ARVI	SAVI	NDBI	NDWI	NDR_VV	NDR_VH
0.836	0.742	0.1203	0.785	0.6327	0.534	0.571

در روش پیشنهادی میزان پیکسل‌های تغییر کرده‌ای که در کلاس بدون تغییر جای گرفته‌اند ۸/۷۸ درصد بوده، که نسبت به دیگر روش‌های متداول مورد استفاده کاهش داشته است. از طرف دیگر درصد پیکسل‌های تغییر نکرده‌ای که در کلاس تغییر جای گرفته‌اند ۹/۵۵ درصد بوده، که نسبت به بعضی از روش‌های مورد استفاده اندکی افزایش و نسبت به دیگر روش‌ها کاهش چشمگیری داشته است. به طور کلی در این روش ۹/۲۱ درصد پیکسل‌ها اشتباه

با توجه به بدون نظارت بودن پژوهش پیش رو، از رابطه بیشینه سازی واریانس بین کلاسی روش حد آستانه گذاری اتسو (جدول ۴) به عنوان تابع هدف مورد استفاده جهت ارزیابی ذرات و برآورد وزن بهینه در الگوریتم PSO استفاده شد.

جدول ۴: تابع هدف مورد استفاده در الگوریتم PSO

تابع هدف
$t = ArgMax\{w_0(t) * [\mu_0(t)]^2 + w_1(t) * [\mu_1(t)]^2\}$

دیگر پارامترهای در نظر گرفته شده برای الگوریتم PSO

در جدول ۵ ارائه شده است. مقدار دو پارامتر  $\varphi_1, \varphi_2$  براساس بهینه ترین حالت برابر ۲/۰۵ در نظر گرفته شد.

جدول ۵: پارامترهای الگوریتم PSO جهت برآورد وزن‌های بهینه

شرط توقف	تعداد تکرار ۱۵۰
تعداد مجهولات	۷
تعداد ذرات	۶
حد پایین (Var Min)	۰
حد بالا (Var Max)	۱
ضریب اینرسی (W)	$W = x$ $x = \frac{2}{\varphi - 2 + \sqrt{\varphi^2 - 4 * \varphi}}$ $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ $\varphi \geq 4$ $\varphi_1, \varphi_2 > 0$
C1 (ضریب یادگیری شخصی)	$\chi * \varphi_1$
C2 (ضریب یادگیری جمعی)	$\chi * \varphi_2$
W dop	۰/۹۹
R1	عدد تصادفی با توزیع یکنواخت
R2	عدد تصادفی با توزیع یکنواخت

جدول ۷: صحت نتایج آشکارسازی تغییرات

ضریب کاپا (K)	صحت کلی طبقه بندی (OA)	شناسایی شده به کل پیکسل‌ها نسبت پیکسل‌های اشتباه داده ی ارزیابی (TE)	پیکسل‌های تغییر نکرده‌ای که در کلاس تغییر جای گرفته (FA)	پیکسل‌های تغییر کرده‌ای که در کلاس بدون تغییر جای گرفته (ME)			
۰/۲۶۷۳	۶۴/۲۹	۳۵/۷۰۱۷۵۴۴	۲۵/۶۳۶۹۴۲۶۸	۴۸/۰۴۶۸۷۵	باند Blue	باندهای طیفی	اختلاف قدرمطلق
۰/۲۵۵	۶۳/۵	۳۶/۴۹۱۲۲۸۱	۲۸/۶۶۲۴۲۰۳۸	۴۶/۰۹۳۷۵	باند Green		
۰/۳۸	۷۰	۳۰	۲۲/۱۳۳۷۵۷۹۶	۳۹/۶۴۸۴۳۷۵	باند Red		
۰/۳۵۴	۶۸/۵۹	۳۱/۴۰۳۵۰۸۸	۲۱/۱۷۸۳۴۳۹۵	۴۳/۹۴۵۳۱۲۵	باند NIR		
۰/۳۰۴۹	۶۶/۱۴	۳۳/۶۸۴۲۱۰۵	۲۳/۸۸۵۳۵۰۳۲	۴۵/۷۰۳۱۲۵	باند swir		
۰/۶۶۱۲	۸۳/۶۸	۱۶/۳۱۵۷۸۹۵	۳/۰۲۵۴۷۷۷۰۷	۳۲/۶۱۷۱۸۷۵	NDVI	شاخص‌های طیفی	
۰/۶۶۱۲	۸۳/۶۸	۱۶/۳۱۵۷۸۹۵	۳/۰۲۵۴۷۷۷۰۷	۳۲/۶۱۷۱۸۷۵	SAVI		
۰/۶۴۱۸	۸۲/۶۳	۱۷/۳۶۸۴۲۱۱	۶/۸۴۷۱۳۳۷۵۸	۳۰/۲۳۴۳۷۵	ARVI		
۰/۶۲	۸۱/۳۱۵	۱۸/۶۸۴۲۱۰۵	۱۴/۶۴۹۶۸۱۵۳	۲۳/۶۳۲۸۱۲۵	NDWI		
۰/۵۶	۷۸/۵۹	۲۱/۴۰۳۵۰۸۸	۱۹/۹۰۴۴۵۸۶	۲۳/۲۴۲۱۸۷۵	NDBI		
۰/۰۲۵	۵۳/۵۹۶۵	۴۶/۴۰۳۵۰۸۸	۴/۴۵۸۵۹۸۷۲۶	۹۷/۸۵۱۵۶۲۵	VH	NDR	
۰/۰۳۱۵	۵۵/۳۵۰۹	۴۴/۶۴۹۱۲۲۸	۱۰/۳۵۰۳۱۸۴۷	۸۶/۷۱۸۷۵	VV		
۰/۰۵۶	۵۶/۷۵	۴۳/۲۴۵۶۱۴	۶/۸۴۷۱۳۳۷۵۸	۸۷/۸۹۰۶۲۵	VH, VV	C <sup>2</sup> VA	
۰/۴۳۸	۷۲/۴۵	۲۷/۶۳۱۵۷۸۹	۲۱/۰۱۹۱۰۸۲۸	۳۵/۷۴۲۱۸۷۵	۵باند طیفی		
۰/۷۱۰۶	۸۵/۸۷۷۲	۱۴/۱۲۲۸۰۷	۶/۶۸۷۸۹۸۰۸۹	۲۳/۲۴۲۱۸۷۵	شاخص‌های طیفی		
۰/۶۴۹۸	۸۳/۱۵۷	۱۶/۸۴۲۱	۲/۸۶۶۲۴۲	۳۳/۹۸۴	سطح تصمیم‌گیری (رابطه ۱۴)	تلفیق داده‌های رادار و اپتیک	
۰/۶۳۲۶	۸۱/۶۶۳	۱۸/۳۳۳۳۳۳۳	۲۰/۳۸۲۱۶۵۶۱	۱۵/۸۲۰۳۱۲۵	سطح تصمیم‌گیری (رابطه ۱۵)		
۰/۶۶۶۶	۸۳/۵۰۸۸	۱۶/۴۹۱۲۲۸۱	۱۴/۰۱۲۷۳۸۸۵	۱۹/۵۳۱۲۵	سطح تصمیم‌گیری (رابطه ۱۵)		
۰/۸۱۴	۹۰/۷۹	۹/۲۱۰۵۲۶۳۲	۹/۵۵۴۱۴۰۱۲۷	۸/۷۸۹۰۶۲۵	روش پیشنهادی		

داده‌های رادار و اپتیک و همچنین بکارگیری روش‌های بدون نظارت در بحث تشخیص تغییرات، به توسعه روشی بدون نظارت جهت تلفیق داده‌های رادار و اپتیک با هدف تشخیص تغییرات پرداخته شد.

روش پیشنهادی به عنوان یک روش بدون نظارت جهت تلفیق داده‌های رادار و اپتیک برای رسیدن به یک تصویر تک بانندی با محتوای اطلاعاتی بالاتر و در نهایت تفکیک مناطق تغییر یافته و بدون تغییر مورد استفاده قرار گرفت.

روش **C<sup>2</sup>VA** با بکارگیری داده‌های رادار و اپتیک امکان

شناسایی شده که نسبت به روش پیشنهادی دیگر روش‌های مورد استفاده دارای پایین‌ترین مقدار است. علاوه بر این ۳ پارامتر کلی و ضریب کاپا را مورد بررسی قرار دهیم، مشخص خواهد شد که روش پیشنهادی با صحت کلی ۹۰/۷۹ و ضریب کاپا ۰/۸۱ در مقایسه با دیگر روش‌های مورد استفاده در سطح بالاتری قرار گرفته است.

##### ۵- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، با توجه به مزیت استفاده همزمان



پیکسل‌های تغییر نکرده‌ای که در کلاس تغییر جای گرفته (۳) نسبت پیکسل‌های اشتباه شناسایی شده به کل پیکسل‌ها داده ارزیابی (۴) صحت کلی طبقه‌بندی (۵) ضریب کاپا، برای کلیه روش‌های مورد استفاده در این تحقیق برآورد شد.

نتایج حاصله بیانگر قابلیت بالای روش پیشنهادی جهت آشکارسازی تغییرات با صحت بالا می‌باشند، به گونه‌ای که در روش پیشنهادی به طور کلی ۹/۲۱ درصد پیکسل‌ها اشتباه شناسایی شده که نسبت به روش پیشنهادی اول و دیگر روش‌های مورد استفاده دارای پایین‌ترین مقدار است.

#### ۶- پیشنهادات

به منظور پیشبرد نتایج پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود، علاوه بر ویژگی‌های مورد استفاده از ویژگی‌های بافت استخراج شده از ماتریس<sup>۱</sup> GLCM جهت بهبود نتایج آشکارسازی تغییرات در منطقه شهری استفاده گردد. همچنین پیشنهاد می‌شود از سایر روش‌های حد آستانه‌گذاری به منظور تفکیک مناطق تغییر یافته و بدون تغییر، استفاده شده و مورد مقایسه قرار بگیرند.

#### منابع و مأخذ

- ۱- اسدی، بنیان اول، جهان، فرید حسینی؛ سارا، محمد، محسن؛ علیرضا، ۱۳۹۷، مقایسه شاخص‌های مختلف طیفی پوشش گیاهی برای ارزیابی از دور شاخص سطح برگ گندم زمستانه در مشهد. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰ (۳)، ۹۱۳-۹۳۴.
- ۲- اصغری سراسکانرود، جلیلیان، پیروزی نژاد، مددی، یادگاری؛ صیاد، روح اله، نوشین، عقیل؛ میلاد. ۱۳۹۹، ارزیابی شاخص‌های استخراج آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (مطالعه موردی: رودخانه گاماسیاب کرمانشاه). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۰ (۵۸)، ۵۳-۷۰.
- ۳- ایمانی، ابراهیمی، قلی نژاد، طهماسبی؛ جمال، عطاءالله، بهرام؛ پژمان، ۱۳۹۷، مقایسه دو شاخص NDVI و SAVI در

تلفیق داده‌ها و همچنین کاهش ابعاد داده از فضای n بعدی را به یک بعدی امکان پذیر ساخت. ورودی این روش شامل ۲ دسته داده رادار و اپتیک می‌باشد، داده‌های اپتیک شامل ۵ شاخص طیفی (NDVI، SAVI، ARVI، NDWI و NDBI) که از تصاویر سنتینل ۲ که در دو بازه زمانی ۹/۲۰۱۶، ۹/۲۰۱۸ استخراج شده است.

داده‌های راداری شامل تصاویر نسبت نرمال شده (NDR) که از قطبش‌های VH، VV ماهواره سنتینل ۱ در دو بازه زمانی ۹/۲۰۱۶ و ۹/۲۰۱۸ بدست آمده است. در ادامه برای کلیه ویژگی‌های ورودی به بخش  $C^2VA$ ، یک وزن توسط الگوریتم توده ذرات (PSO) برآورد شد. با توجه به بدون نظارت بودن پژوهش فوق، تابع هدف مورد استفاده جهت ارزیابی ذرات، رابطه بیشینه سازی واریانس بین کلاسی روش حد آستانه‌گذاری OTSU است. با توجه به این تابع، وزن هر ویژگی به نحوی انتخاب می‌شود که واریانس بین کلاسی، دو کلاس مناطق تغییر یافته و بدون تغییر به ماکزیمم مقدار خود برسد و بهینه ترین حد آستانه برآورد شود.

در نهایت بعد از اعمال وزن‌ها بر روی ویژگی‌ها و برآورد تصویر شدت تک بانندی، دو کلاس مناطق تغییر یافته و بدون تغییر با استفاده از روش حد آستانه‌گذاری OTSU از یکدیگر تفکیک می‌شوند.

جهت ارزیابی عملکرد روش فوق در تشخیص تغییرات از یک سری داده واقعیت زمینی و مقایسه بین نتایج این روش با دیگر روش‌های تشخیص تغییرات بدون نظارت (اختلاف قدر مطلق باندهای طیفی، اختلاف قدر مطلق شاخص‌های طیفی، تصاویر نسبت نرمال شده حاصل از قطبش‌های راداری، روش  $C^2VA$  با بکارگیری داده‌های اپتیک و رادار به طور مستقل، و تلفیق در سطح تصمیم‌گیری) استفاده شد. از ماتریس خطا که حاصل مقایسه پیکسل‌های واقعیت زمین و پیکسل‌های متناظر در خروجی روش‌های آشکار سازی تغییرات است، ۵ پارامتر: (۱) درصد پیکسل‌های تغییر کرده‌ای که در کلاس بدون تغییر جای گرفته (۲) درصد

methods. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 71, 86-95.

12-Engelbrecht, P., 2007, Computational intelligence: an introduction. Wiley online library.

13-İlsever, M., & Ünsalan, C., 2012, Two-Dimensional Change Detection Methods, (No. Ed. 1), Springer, London.

14-Jantz, C.J., S.J. Goetz, A.J. Smith, and M. Shelly. 2003, Using the SLEUTH Urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on land use in the Baltimore - Washington metropolitan area, Environment and Planning.

15-Jat, M. K., Garg, P. K., Khare, D., 2008, Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. International journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 10(1), 26-43.

16-Karnieli, A.; Qin, Z.; Wu, B.; Panov, N.; Yan, F., 2004, Spatio-Temporal Dynamics of Land-Use and Land Cover in the Mu Us Sandy Land, China, Using the Change Vector Analysis Technique. Remote Sens, 9316-9339.

17-Kuncheva, L.I., Whitaker, C. J. 2003, Measures of diversity in classifier ensemble and their relationship with the ensemble accuracy, Machine Learning, 51(2), pp. 181-207.

18-Kuncheva, L., 2004, Combining Pattern Classifiers methods and algorithms, A John Wiley & Sons, INC. publication, Hoboken, New Jersey. Canada.

19-Luo, H.; Liu, C.; Wu, C.; Guo, X. 2018, Urban Change Detection Based on Dempster-Shafer Theory for Multitemporal Very High-Resolution Imagery. Remote Sens, 10, 980.

20-Malila, W. A. ,1980, Change Vector Analysis: An Approach for Detecting Forest Changes with Landsat, Proceedings, 6th Annual Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University, 326-335.

21-Mhangara, P., & Odindi, J. 2013, Potential of texture-based classification in urban landscapes using multispectral aerial photos. South African Journal of

سه جامعه گیاهی مختلف با شدت نمونه برداری متفاوت (مطالعه موردی: مراتع اطراف تالاب چغاخور چهارمحال و بختیاری). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۵(۱)، ۱۵۲-۱۶۹.

۴- شکرالهی، صاحبی، عبادی؛ مهین، محمودرضا، حمید؛ ۱۳۹۳، تلفیق داده‌های پلاریمتری SAR و ابرطیفی به منظور طبقه‌بندی پوشش زمین. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه برداری.

۵- کریمی، رنگزن، اکبری‌زاده، کابلی‌زاده؛ دانیای، کاظم، غلامرضا، مصطفی؛ ۱۳۹۵، طبقه‌بندی تجمعی اهداف با استفاده از تلفیق تصاویر SAR و اپتیک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده علوم زمین.

۶- مناطقی، ط. ولدان زوج، م. مقصودی مهرانی، ی. شناسایی تغییرات ساختمان‌ها پس از زلزله با استفاده از تلفیق تصاویر نوری و راداری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه برداری.

۷- نجفی، حسنلو؛ امیر، مهدی، ۱۳۹۷، آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر تمام قطبیده راداری و روش‌های جبری، فاصله و شباهت مینا. مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، ۱۶۳-۱۴۳.

۸- نیمروزی، نوروز. ۱۳۸۹، بررسی پیامدهای حاشیه نشینی بر نظام فرهنگی مشهد. کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت شهری مشهد، دانشگاه فردوسی، ۷۳-۸۸.

9-Abdelaziz-Azzouzi, S., Pantaleoni, V., Adda-Bentounes, H., 2018, Monitoring desertification in Biskra, Algeria using Landsat 8 and Sentinel-1A images, IEEE Access, 1-12.

10-Bovolo, F., Marchesi, S., Bruzzone, L., 2012, A framework for automatic and unsupervised detection of multiple changes in multitemporal images. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, vol. 50, no. 6, pp. 2196-2212.

11-Chen, X., Chen, J., Shi, Y., & Yamaguchi, Y., 2012, An automated approach for updating land cover maps based on integrated change detection and classification

32--Zhang, B.Chen,K. Zhou,Y. Xie,M. Zhang,H ,2010, Research on Change Detection in Remote Sensing Images by using 2D-Fisher Criterion Function Method”, ISPRS TC VII Symposium.

Science, 109, 1-8.

22-Mishra B,Susaki J , 2014, OPTICAL AND SAR DATA INTEGRATION FOR AUTOMATIC CHANGE PATTERN DETECTION, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,39-46.

23.-Otsu, N,1979, A threshold selection method from gray-level histogram”, IEEE Trans. Systems Man Cybernet, vol. 9, pp. 62-66.

24-Poli, Kennedy,j, and Blackwell, T,2007, Particle swarm optimization”, Swarm intelligence, vol. 1, No. 1, pp. 33-57.

25-Radke, R. J., Andra, S., Al-Kofahi, O.,& Roysam, B.2005, Image change detection algorithms: a systematic survey. Image Processing, IEEE Transactions on, 14(3), 294-307.

26-Sallaba, F. 2009, Potential of a Post-Classification Change Detection Analysis to Identify Land Use and Land Cover Changes. A Case Study in Northern Greece.

27-Xie, M.,& Fu, M.2011, The temporal dynamics of urban heat islands derived from thermal remote sensing data by local indicator of spatial association in Shenzhen, China. Paper presented at the International Conference on Photonics and Image in Agricultural Engineering.

28-Xu, H., Wang, X., Xiao, G.2000, A remote sensing and GIS integrated study on urbanization with its impact on arable lands: Fuqing City, Fujian Province, China. Land Degradation & Development, 11(4), 301-314.

29-Xue, J. Su, B.2017, Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications, Journal of Sensors, 2017(1), 1-17.

30-Yousif O, Ban Y, 2017, Fusion of SAR and Optical Data for Unsupervised Change Detection: A Case Study in Beijing, Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE).

31-Zha, y. Gao, j. ni, s. 2003, Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery, International Journal of Remote Sensing,24(3), 583-594.

