



مرکز ملی باوردهای علمی و فناوری

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی

## **آشکار سازی تغییرات زمین در خشکی و نواحی ساحلی با استفاده از ادغام اطلاعات ماهواره‌ای (مطالعه موردی بخشی از سواحل جنوب کشور)**

علی جبار رشیدی ؛ استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

بهمن ساعی ؛ کارشناس ارشد پدافند غیرعامل

### **چکیده**

تشخیص تغییرات در تصاویر ماهواره‌ای، یک زمینه مهم در تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای سنجش از دور می‌باشد. این کار می‌تواند در برآورد و ارزیابی نواحی تخریب شده بر اثر تخریب حوادث طبیعی و هم چنین موارد لازم در کاربردهای نظامی، مفید باشد. از منظر پدافند غیرعامل، تشخیص تغییرات زمین، موقعی اهمیت پیدا می‌کند که بحث رعایت اصول لازم استتار، اختفا و فریب در احداث مراکز مهم و حیاتی کشور و جهت حفاظت این مراکز در زمان بهره برداری، مطرح می‌شود. تعیین راه کارهای مناسب و کارآمد در هنگام طراحی‌های مذکور، اجرای روش‌های مذکور را تسهیل خواهد نمود. با آشنایی متخصصان و طراحان پروژه‌های استتار، اختفا و فریب مراکز حیاتی و حساس با مباحث تشخیص تغییرات سطح زمین، اجرا و احداث مراکز مذکور از دید کارشناسان دشمن، به میزان قابل توجهی دور مانده و مصونیت این مراکز در زمان بهره‌برداری از این مراکز، افزایش خواهد یافت.

تشخیص تغییرات مبتنی بر چند مرحله پیش‌پردازش مانند طبقه‌بندی، تثبیت

تصویر و ادغام تصویر می‌باشد که چند تصویر قابل مقایسه را در فضای مکان تولید می‌کند. در این مقاله، ابتدا تثبیت تصویر، طبقه‌بندی تصویر، آشکارسازی تغییرات و ادغام تصاویر، شرح داده شده است. در پایان یک الگوریتم تشخیص تغییرات مبتنی بر تثبیت تصاویر ماهواره‌ای سنجش از دور، طبقه‌بندی، آشکارسازی تغییرات و ادغام اطلاعات، طراحی و پیاده‌سازی شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش ادغام دمپستر- شفر که از شواهد و فراین بیش تری از آشکارسازی‌های اولیه استفاده می‌کند، از لحاظ دقت و قابلیت اعتماد نتایج، بهتر از سایر روش‌ها می‌باشد و الگوریتم ارایه شده باعث بهبود آشکارسازی تغییرات شده است.

**کلمات کلیدی:** سنجش از دور، تصویر ماهواره‌ای، تثبیت، طبقه‌بندی، تشخیص تغییرات، ادغام اطلاعات.

#### ۱-مقدمه

روند رو به رشد فن آوری پیشرفت‌های قابل توجهی را در زمینه بهبود کیفیت تصاویر سنجنده‌های سنجش از دور<sup>۶۷</sup> ایجاد کرده است به طوری که تفکیک طیفی<sup>۶۸</sup> و فضایی<sup>۶۹</sup> این سنجنده‌ها به طور گسترده‌ای افزایش یافته است. این پیشرفت‌ها راه را برای معرفی برنامه‌های کاربردی جدید و بهره‌برداری از امکانات فراهم شده توسط سنجنده‌ها، گشوده است.

یک ایده کلی در تجزیه و تحلیل تصاویر سنجش از دور، مشخص کردن تغییرات سطح زمین می‌باشد. اهمیت این ایده، زمانی مشخص می‌شود که با استفاده از آن

<sup>67</sup> Remotely Sensed Sensors

<sup>68</sup> Spectral Resolution

<sup>69</sup> Spatial Resolution

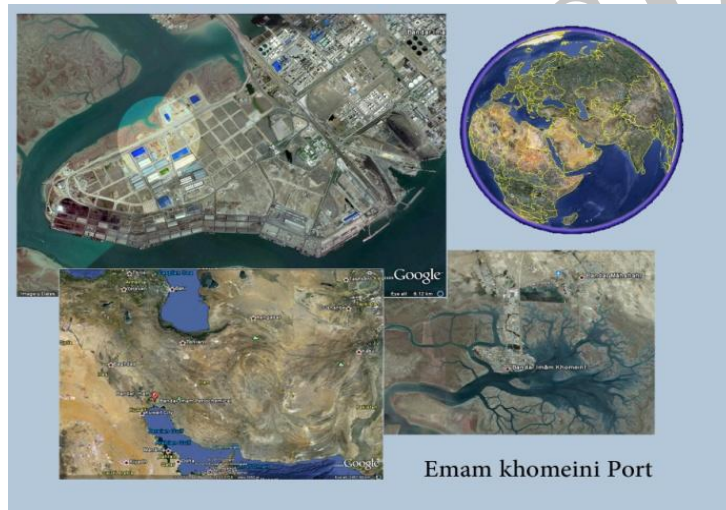
بتوانیم میزان تخریب بسیاری از حوادث طبیعی مخرب را برآورد و با تشخیص نواحی تغییر یافته، عملیات کمک رسانی و بازسازی را سرعت بخشیم. برای کشورهایی مانند ایران که تجربه تلخ زلزله در رودبار، بم، زرنده و... و جنگ تحمیلی هنوز از خاطرات آنها محو نشده است، اهمیت این موضوع ملموس‌تر است. از طرفی تشخیص تغییرات سطح زمین، کاربردهای نظامی زیادی دارد [۱] که با توجه به موقعیت جغرافیایی و استراتژیک کشور ما، تحقیق و پژوهش در این زمینه می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد.

## ۲- داده‌های مورد استفاده

مطالعات نشان داده‌اند که داشتن چند تصویر از یک منطقه در زمان‌های مختلف برای مطالعه کاربری اراضی و تغییرات به عمل آمده در پوشش گیاهی یا هر تغییر به عمل آمده دیگر، شامل ساخت و ساز یا تخریب در خشکی و یا رسوب‌گذاری و رسوب‌برداری در سواحل لازم و مفید می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، سواحل بندر امام خمینی (ره)، بخشی از سواحل جنوب کشور می‌باشد. که بندر معروف امام خمینی (ره) که قبل از انقلاب اسلامی به نام‌های بندر خورموسی و بندر شاهپور نامیده می‌شد در آن واقع است. این منطقه در جنوب غربی ایران و در جنوب استان خوزستان، بر کرانه ی خورموسی در منتهی الیه شمال غربی خلیج فارس واقع شده است. تصویری تهیه شده از گوگل<sup>۷۰</sup> جهت معرفی کلی منطقه مورد مطالعه در زیر آورده می‌شود. مختصات بندر امام خمینی (ره): ۳۰ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و ۴۹ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی می‌باشد. منطقه بندر امام، از طرف شمال به منطقه جراحی، از جنوب به خورموسی و خلیج فارس، از غرب به آبادان و از شرق به شهرستان ماهشهر محدود

<sup>70</sup> Google

می‌شود [۲]. فاصله بندر امام تا شهرستان ماهشهر ۱۵ کیلومتر، اهواز (مرکز استان) ۹۰ کیلومتر و تا تهران (پایتخت) ۱۰۰۰ کیلومتر است. اهمیت این بخش وابسته به صنایع عظیم پتروشیمی و موقعیت ممتاز بندری و اسکله‌های متعدد بوده و ورود کشتی‌های بزرگ، این منطقه را به قطب بزرگ صادرات و واردات کالای کشور با ظرفیت سالانه ۴۰٪، تبدیل کرده است. جمعیت ثابت طبق آمار سال ۱۳۸۳ هجری شمسی حدود ۸۰۰۰۰ نفر بوده و حدود ۱۷۰۰۰ نفر نیز روزانه بصورت شناور در این منطقه تردد می‌کنند.



شکل ۱ نمایی از منطقه مورد مطالعه

تصاویر ماهواره‌ای و نقشه توپوگرافی، اراضی این منطقه را به صورت یک کانون مجمع الجزایری نشان می‌دهد. این پدیده، متاثر از عوارض طبیعی مانند خورهای متعدد و زمین‌های خشک و باتلاقی و زمین‌های تحت جزرومد که از جمله مهمترین عوارض طبیعی منطقه است، می‌باشد. بندر امام، برکرانه‌ی یک دالان طبیعی آب دریا به نام

خور موسی با طولی در حدود ۹۰ کیلومترواقع است که از طریق آن به خلیج فارس وصل می‌شود و از موقعیت ویژه‌ای برخوردار است. سرزمین بندر امام، به طور عمومی و بدون استثنا مسطح بوده و دارای شیب و ارتفاع کمی نسبت به دریا است. متوسط حداکثر درجه حرارت در بندر امام(ره) مربوط به ماه‌های تیر و مرداد در حدود ۴۹ درجه سانتی گراد (در سایه) و متوسط حداقل درجه حرارت مربوط به ماه‌های دی و بهمن در حدود ۷ درجه سانتی گراد بالای صفر می‌باشد.

## ۲-۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

برای مطالعه مناطق ساحلی جنوب کشور در استان خوزستان تصاویری از ماهواره‌های آیکنوس<sup>۷۱</sup> و ژئوآی<sup>۷۲</sup> در سال‌های مختلف انتخاب شده است. اطلاعات تصاویر و زمان‌های تصویربرداری در جدول بعدی آورده شده است.

جدول ۱- اطلاعات تصاویر و زمان‌های تصویربرداری مورد استفاده در مطالعه

ردیف	نوع داده	تاریخ تصویربرداری
۱	Ikonos	2002-07-15
۲	Geo Eye	2009_07_19

<sup>71</sup> Ikonos

<sup>72</sup> Geo Eye

نمایی از دو تصویر مورد مطالعه در شکل ۲ نمایش داده شده است



شکل ۲ نمایش از دو تصویر مورد مطالعه (از راست تصاویر سال ۲۰۰۲ و ۲۰۰۹)

## ۲ ۴ - ملاحظات قبل از پیاده‌سازی آشکارسازی تغییرات

در آشکارسازی تغییرات جنبه‌های مهم به شرح زیر است [۳]:

۱ - آشکارسازی تغییرات، اگر اتفاق افتاده باشد.

۲ - شناسایی ماهیت تغییرات.

۳ - اندازه‌گیری میزان تغییرات و نواحی تغییر کرده.

۴ - ارزیابی الگوی فضایی از تغییرات.

و عواملی که در تغییرات پوشش اراضی می‌توانند اثرگذار باشند به شرح زیر

است [۴]:

۱ - شرایط آب و هوایی تغییرات طبیعی در دراز مدت.

۲ - فرایندهای ژئومورفولوژی و زیست محیطی مانند فرسایش خاک و پوشش

گیاهی.

۳ - تغییرات پوشش گیاهی و مناظر طبیعی مانند جنگل زدایی و فرسایش

زمین.

۴ - تنوع سالانه آب و هوا.

۵ - اثر گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسان.

اجرای موفقیت‌آمیز یک تجزیه و تحلیل آشکارسازی تغییرات با استفاده از سنجش از راه دور، می‌تواند با داده‌های مورد نیاز و ملاحظات دقیق از طریق سنسور، از راه دور، با رعایت ویژگی‌های زیست محیطی و با روش‌های پردازش تصویر انجام گیرد.

داده‌های از راه دور زمانی، مکانی، طیفی و رادیومتریکی، می‌توانند تاثیر قابل توجهی در موفقیت یک پروژه آشکارسازی تغییرات با استفاده از سیستم‌های سنجش از دور داشته باشند. عوامل محیطی مهم در این قضیه، شرایط جوی، میزان رطوبت خاک می‌باشد. در پیش‌پردازش برای شناسایی تغییرات، تثبیت تصویر چند زمانه و اصلاح رادیوسنجی و جوی جزو الزام‌های بسیار مهم است. اهمیت تثبیت دقیق فضایی، تصاویر چند زمانی آشکار است چرا که در صورت عدم تثبیت تصویر تا حد زیادی نتایج اشتباه در آشکارسازی تغییرات تولید خواهد شد. تبدیل اعداد دیجیتال به سطح انعکاس یا درخشندگی، یکی از شرایط لازم برای تجزیه و تحلیل کمی از تصاویر چند زمانی است. انواع مختلف روش‌ها، مانند کالیبراسیون نسبی، تفریق تیره شی ای، و شبیه‌سازی دوم سیگنال ماهواره‌ای در طیف خورشیدی برای رادیوسنجی و نرمال سازی جو و یا اصلاح آن، توسعه یافته‌اند. اگر منطقه مورد مطالعه، ناهموار و یا کوهستانی باشد، ممکن است اصلاح توپوگرافی لازم باشد. قبل از پیاده‌سازی تجزیه و تحلیل آشکارسازی تغییرات، شرایط زیر باید برقرار شود:

(۱) تثبیت و هم‌مختصات‌سازی دقیق تصاویر چند زمانی.

(۲) کالیبراسیون رادیوسنجی دقیق، اوضاع جوی و یا عادی بین تصاویر



چندزمانی.

(۳) مناطق فنولوژیک مشابه بین تصاویر چند زمانی.

(۴) مجموعه‌ای از تصاویر مشابه مکانی و طیفی، در صورت امکان.

از لحاظ تاریخی، انواع مختلفی از داده‌های سنجش از دور برای برنامه‌های کاربردی آشکارسازی تغییرات وجود دارند. اسکنر چند طیفی لندست <sup>۷۳</sup>SPOT،TM، AVHRR<sup>۷۴</sup>، رادار و عکس‌های هوایی شایع‌ترین منابع داده هستند، اما استفاده از سنجنده‌های جدید در حال گسترش است. در هنگام انتخاب داده‌های سنجش از راه دور برای کار به روش‌های آشکارسازی تغییرات، دقت در استفاده از سنسور مشابه همانند رادیوسنجی فضایی و اطلاعات مربوط به وضوح به منظور از بین بردن اثرات ناشی از منابع خارجی از قبیل زاویه خورشید، تفاوت‌های فصلی و فنولوژیک اهمیت دارد. تعیین جهت تغییرات در انتخاب مناسب تکنیک آشکارسازی تغییرات مهم است. برخی از روش‌ها مانند تفاضل تصویر به تنهایی می‌تواند در ارزیابی اطلاعات تغییرات / عدم تغییرات موثر باشند در حالی که برخی از تکنیک‌ها مانند طبقه‌بندی مقایسه‌ای ثانویه می‌تواند یک ماتریس کامل از جهت تغییرات ارائه کنند. برای توجه به هدف پژوهش، هنگامی که داده‌ها از راه دور اخذ شده و مناطق مورد مطالعه شناسایی شده‌اند انتخاب روش مناسب آشکارسازی تغییرات اهمیت قابل توجهی در تولید نتیجه آشکارسازی تغییرات با کیفیت بالا دارد.

## ۲-۳- تثبیت و هم‌مختصات سازی تصاویر

بسته به شرایط تصویربرداری می‌توانیم تبدیل‌های متفاوتی را برای دو تصویر در نظر

<sup>73</sup> Thematic Mapper

<sup>74</sup> Advanced Very High Resolution Radiometer

بگیریم [۵]. به عنوان مثال اگر تغییرات ناشی از دو عامل تغییرات جهت دوربین که منجر به چرخش تصویرها نسبت به یکدیگر می‌شود و تغییرات سطح تفکیک سنجنده تصویربرداری را که موجب تغییر اندازه دو تصویر نسبت به هم می‌شود، در نظر بگیریم می‌توانیم تابع تبدیل را با یک تابع خطی مدل کنیم. یکی از تفاوت‌های روش‌های مختلف تثبیت تصویر، به خاطر تفاوت توابع تبدیلی است که به وسیله آن‌ها تغییرات شرایط تصویربرداری را مدل می‌کنیم. یکی از نقاط کلیدی در به دست آوردن تابع تبدیل استفاده از نقاط کنترل است<sup>۷۵</sup>. نقاط کنترل، نقاطی هستند که مکان‌های فیزیکی یکسانی را در دو تصویر نشان می‌دهند. برای حل تابع تبدیل و به دست آوردن ضرایب آن به مختصات نقاط کنترلی که بیانگر نقاط متناظر در دو تصویر هستند، احتیاج داریم. بسته به درجه تابع تبدیل حداقل تعداد نقاط کنترلی لازم هم، متفاوت است. برای مثال در حالتی که تابع تبدیل ما یک تابع خطی است حداقل به دو پیکسل کنترلی روی هر کدام از تصاویر احتیاج داریم. یکی دیگر از تفاوت روش‌های تثبیت تصویر، ناشی از تفاوت الگوریتم‌هایی است که برای بدست آوردن نقاط کنترلی استفاده می‌کنیم. به طور کلی روش به دست آوردن نقاط کنترلی به دو دسته عمده تقسیم می‌شود:

۱ - روش دستی: در این روش، نقاط کنترلی به صورت دستی و با دیدن دو تصویر در کنار یکدیگر انتخاب می‌گردد، اگر چه این روش، نقاط کنترلی قابل اطمینان‌تری را بدست می‌آورد اما در کارهای تمام خودکار قابل استفاده نیست.

۲ - روش خودکار: در این روش با استفاده از الگوریتم‌های خاص و بدون دخالت ناظر انسانی، نقاط کنترلی به دست می‌آیند. این الگوریتم‌ها می‌توانند از راه

<sup>75</sup> Control Points

آشکارسازی لبه‌ها در دو تصویر و مقایسه آن‌ها و یا با آشکارسازی اشیا در دو تصویر، به دست آیند.

می‌توان از ترکیبی از روش دستی و روش خودکار مبتنی بر آشکارسازی شی ای، برای به دست آوردن نقاط کنترلی استفاده نمود و سپس با مدل کردن تابع تبدیل به صورت یک تابع خطی، دو تصویر را نسبت به یکدیگر تثبیت کرد. مدل کردن تابع تبدیل با تابع خطی، باعث سادگی محاسبات می‌شود و از طرفی تغییر شرایط تصویربرداری در نمونه‌ها را با تخمین خوبی مدل می‌کند.

### ۳- روش‌های آشکارسازی تغییرات و ادغام داده‌ها

#### ۳-۱- روش‌های آشکارسازی تغییرات

هدف آشکارسازی تغییرات، مقایسه فضایی دو مکان در زمان‌های متفاوت با کنترل تمام تغییرات ناشی از تفاوت در متغیرهایی است که اندازه‌گیری میزان تغییرات در متغیرهای مذکور، مورد بحث نیست. فرض اساسی در استفاده از داده‌های از راه دور برای آشکارسازی تغییرات، می‌تواند این باشد که تغییرات در اشیا مورد نظر در نتیجه تغییرات در میزان بازتابش و یا بافت‌های محلی که از تغییرات ایجاد شده توسط دیگر عوامل مانند تفاوت در شرایط جوی، انعکاس، زاویه دید و رطوبت خاک ناشی می‌شود، از هم جدا هستند. آشکارسازی تغییرات، تحت تاثیر محدودیت‌های مکانی، طیفی، موضوعی و زمانی قرار دارد و به دلیل تغییرات بسیاری از تکنیک‌های آشکارسازی و با وجود اهمیت و امکان استفاده و انتخاب روش و الگوریتم مناسب برای یک پروژه تحقیقاتی داده شده، آسان نیست.

### روش های آشکارسازی تغییرات به شرح زیر تقسیم بندی شده است [۶]:

- ۱ - روش های مبتنی بر عملیات جبری.
- ۲ - روش های مبتنی بر تبدیل.
- ۳ - روش های مبتنی بر طبقه بندی.
- ۴ - روش های مبتنی بر مدل های پیشرفته.
- ۵ - تفسیر بصری.
- ۶ - رویکردهای سیستم اطلاعات جغرافیایی.
- ۷- روش های دیگر.

### ۲-۳- روش های آشکارسازی تغییرات با استفاده از ادغام تصویر

در حوزه سنجش از دور، ماهواره های مشاهده گر زمین، اطلاعات تصویری را از قسمت های مختلف سطح زمین در زمان های مختلف جمع آوری می کنند. این اطلاعات دارای دقت های رادیومتری، طیفی و مکانی متفاوتی می باشند. با ادغام اطلاعات سنجنده ها، نتایج ارزشمند و مضاعفی نسبت به استفاده از یک سنجنده به دست می آید. از طرفی با ترکیب اطلاعاتی که از منابع و سنجنده های مستقل به دست می آید، می توان دقت بالاتری را به دست آورد. از سوی دیگر تکرار منابع به عنوان مکمل می تواند باعث بالا رفتن اعتماد سیستم شود [۷]. از نظر توصیفی می توان گفت ادغام کننده اطلاعات، یک سیستم با چند ورودی و یک خروجی است که ورودی آن اطلاعات حاصل از سنجنده های مختلف است که در حالت کلی، از نظر ماهیت نیز متفاوت هستند. ادغام اطلاعات در سطوح مختلف انجام می شود [۸]. سه سطح زیر، سطوح ادغام اطلاعات هستند [۹].

- ادغام در سطح سیگنال یا پیکسل<sup>۷۶</sup>

- ادغام در سطح ویژگی‌ها<sup>۷۷</sup> (عوارض)

- ادغام در سطح تصمیم<sup>۷۸</sup>

در اینجا به مباحثی اشاره داریم که این مباحث را به عنوان الگوریتم، پیاده‌سازی نماییم. روش‌های ادغام براساس میزان بهبود دقت، بهبود تصمیم‌گیری، بهبود پوشش و... مفید تعریف شده و هر کدام از روش‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشند. در ادامه، یک الگوریتم، در سطح ویژگی و سطح ادغام تصمیم برای آشکارسازی تغییرات در تصاویر ماهواره‌ای، پیشنهاد می‌گردد. با توجه به این که در تصاویر ماهواره‌ای با زمان مواجه هستیم (در زمان‌های مختلف T1 و T2، تصاویر مختلفی را از یک منطقه داریم) جهت آشکارسازی تغییرات در دو تصویر، باید نشان داده شود دو تصویر نسبت به یکدیگر چه تغییراتی دارند. شیوه عمل در آشکارسازی تغییرات، به این گونه می‌باشد که اول تصاویر را نسبت به یکدیگر، هم‌مختصات یا تثبیت می‌نمایند. در قدم دوم، ویژگی‌های مربوط به تغییرات تعیین می‌شود. با توجه به این که هر منطقه، عوارض خاصی را در خود جای داده است و تصاویر منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، بخشی از سواحل و بنادر جنوب کشور انتخاب شده است، این تصاویر نیز از عوارض خاصی برخوردار هستند که باید شناسایی شوند. از انواع تکنیک‌ها مانند میانگین‌گیری، لبه، مرز و... برای تشخیص این عوارض و ویژگی‌ها می‌توان استفاده نمود. حتی ویژگی‌های فرکانسی عوارض می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد به عنوان مثال برای تشخیص آب، سقف انبارهای دپوی کالا، ساختمان‌های اداری، محوطه‌ها و... لذا با توجه به وجود دو یا چند تصویر در دوره‌های

<sup>76</sup> Pixel level

<sup>77</sup> Feature level

<sup>78</sup> Decision level

زمانی مختلف، چند منبع اطلاعات وجود دارد. پس از هم‌مختصات شدن تصاویر، یعنی انطباق مکانی پیکسل‌ها، تصاویر قابلیت مقایسه با یکدیگر را دارند. هدف اصلی در این تحقیق، مقایسه دو تصویر، هم‌مختصات شده است. هدف آشکارسازی تغییرات، تهیه نقشه تغییرات تصاویر زمانی، در مقایسه با یکدیگر می‌باشد.

### ۳-۳- الگوریتم پیشنهادی (آشکارسازی تغییرات مبتنی بر ادغام تصمیم):

هنگامی که تصاویر چند باندهای هستند طبقه‌بندی‌ها می‌توانند روی باندهای مختلف هر تصویر انجام گیرد. در این الگوریتم، پس از هم‌مختصات نمودن تصاویر اولیه، ویژگی‌های عوارض در باندهای دو گانه، دو به دو بصورت مجزا طبقه‌بندی، انجام می‌گردند (که نمونه‌ای از آن در شکل ۳ نشان داده شده است). در طبقه‌بندی، هر تصویر می‌تواند ترکیبی از دو باند مختلف یک تصویر، طبقه‌بندی شده و نتایج خروجی طبقه‌بندی دوگانه هر تصویر دوباره و با هدف ایجاد اعتماد بیش تر با یکدیگر ادغام گردد. در این مدل، با توجه به این که در ادغام نهایی در الگوریتم ارایه شده، هم سطح ویژگی و هم سطح تصمیم مورد استفاده قرار می‌گیرد، اعتماد در نقشه تغییرات به دست آمده، بیش تر از روش معمولی را خواهد داشت که می‌تواند تشخیص تغییرات در نقشه تغییرات تصاویر با اعتماد قابل قبول تری اعلام گردد. در این الگوریتم، با توجه به این که هم در مرحله طبقه‌بندی در جفت باندهای تصاویر و هم در مرحله آشکارسازی تغییرات و هم چنین مرحله ادغام نتایج مراحل قبلی، اقدامات در سطح ویژگی، پیکسل و در سطح ادغام تصمیم انجام می‌گیرد، دقت نتایج بیش تر خواهد شد. در این الگو، بهبود طبقه‌بندی داریم. در مرحله آشکارسازی می‌توان روش‌های مختلفی را به کار گرفت که از روش‌های آشکارسازی تغییرات، روش جبری را می‌توان نام برد. در این روش، ماتریس‌های حاصل از طبقه‌بندی جفت باندهای مختلف، دو باند به دو باند ( جفت باند

تصاویر با یکدیگر) طبقه‌بندی شده و تغییرات آشکارسازی شده به شکل ماتریس های ۱، ۲ و... حاصل می‌شود که در ادغام تصمیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این الگوریتم، با توجه به این که هم در مرحله طبقه‌بندی و هم در مرحله ادغام تصمیم، کاردر سطح پیکسل، سطح ویژگی و در سطح تصمیم ادغام به صورت توأم انجام می‌گیرد، دقت نتیجه نقشه تغییرات بیشتر از روش معمول را خواهد داشت.



شکل ۳- بلوک دیاگرام تهیه نقشه تغییرات ( با طبقه‌بندی دو به دو در باندهای هر تصویر)

به عنوان مثال در نظر بگیرید در باند ۱ تصویر ورودی یک، اگر یک عارضه در نتیجه طبقه‌بندی، زمین بایر کلاس‌بندی شود و نتیجه مرحله آشکارسازی، احداث انبار کالا باشد. در باند ۲ تصویر ورودی یک، آن عارضه، انبار کالا کلاس‌بندی شده باشد که نتیجه مرحله ادغام، تخریب و تبدیل به زمین بایر شده است. نتیجه باند ۳ تصویر یک، یک انبار کالا است که انبار کالا مانده است. نتیجه مرحله آشکارسازی تغییرات کدام است باید در مرحله ادغام اطلاعات، تصمیم گرفته شود که چه تغییراتی انجام شده است؟ در الگوریتم، ویژگی عوارض جفت باندهای مشابه و غیر مشابه تصاویر، باهم ادغام می‌شوند یعنی باندهای جدیدی تولید می‌شود که بهبود ویژگی به حساب می‌آید. در باندهای تولیدی جدید، در هر باند تغییرات نسبت به باند مشابه آشکارسازی می‌شود و

خروجی این مراحل برای هر جفت باند به صورت یک ماتریس به دست می‌آید که می‌توان از این ماتریس‌ها در مرحله ادغام تصمیم نهایی برای تولید نقشه تغییرات کلی استفاده نمود. در حقیقت در الگوریتم، در دو مرحله ادغام اطلاعات انجام می‌گیرد. ادغام در سطح ویژگی‌ها و در سطح تصمیم انجام می‌شود. توجه داریم که هر کدام از این روش‌ها و الگوریتم‌ها سبب بهبود خاصی در نتیجه آشکارسازی و تشخیص تغییرات می‌شوند.

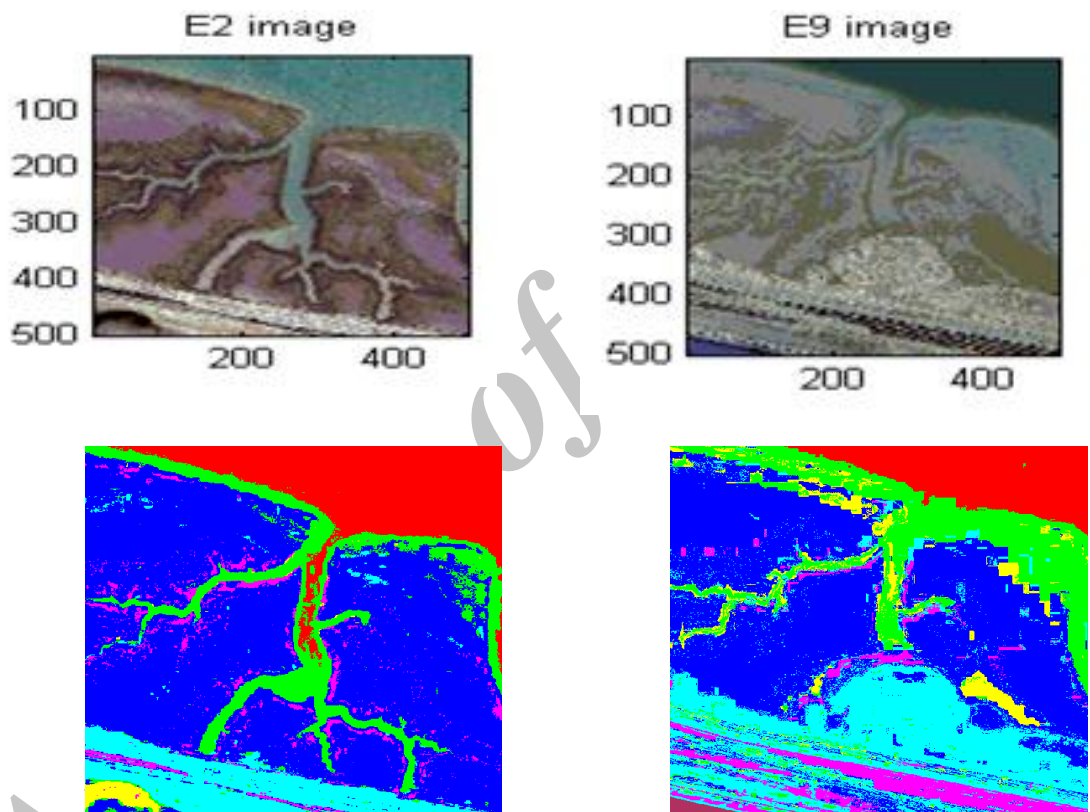
با توجه به مطالب فوق، تثبیت و هم‌مختصات‌سازی تصاویر، اولین و مهم‌ترین قدم در موضوع آشکارسازی تغییرات می‌باشد. با توجه به ماهیت ماتریسی تصاویر ماهواره‌ای، نرم افزار Matlab که به عنوان یک نرم‌افزار قوی در پردازش تصاویر ماهواره‌ای مطرح می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفته و تثبیت و هم‌مختصات‌سازی تصاویر نسبت به هم در این نرم‌افزار، انجام گرفت. به علت نیاز به کاهش حجم اطلاعات، پس از هم‌مختصات نمودن تصاویر، یک قطعه  $500 \times 500$  پیکسل‌ای از هر تصویر برش خورده و برای اجرای الگوریتم‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

با توجه به این که در الگوریتم نیاز به استخراج پوشش سطح و طبقه‌بندی ویژگی‌ها می‌باشد و در روش انتخابی، انجام طبقه‌بندی‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است، در ابتدا بهترین طبقه‌بندی کننده برای استخراج پوشش سطح در تصاویر، با تعداد کلاس تعریف شده محدود و روش‌های حداقل فاصله اقلیدسی، ماهالانوبیس و حداکثر شباهت پیاده‌سازی شده و دقت کلی آن‌ها با یکدیگر مقایسه شد و روش حداکثر شباهت، جهت استخراج پوشش سطح انتخاب گردید.

برای ارزیابی مناسب الگوریتم‌ها، بهتر آن است که نتایج به دست آمده از پیاده‌سازی الگوریتم، با نتایج واقعی تغییرات به وجود آمده در منطقه مورد مطالعه تطبیق داده شده و میزان دقت اجرای الگوریتم به این وسیله نیز سنجیده شود بنابراین، نقشه واقعی



زمین<sup>79</sup> (GTM) از منطقه مورد مطالعه جهت سنجش نتایج با واقعیات موجود، تهیه شد. تصاویر واقعی زمین با اسامی 2GTM، 9GTM نام گذاری گردید و نتیجه در شکل بعدی (شکل ۴) ارایه شده است. در شکل ۴ نمایشی از بریده انتخابی، دو تصویر مورد استفاده نیز ارایه گردیده است.



شکل ۴- تصاویر مورد مطالعه و نقشه واقعی عوارض

<sup>79</sup> Ground True Map

هفت کلاس برای استخراج پوشش سطح براساس جدول دو تعریف گردید. و پیاده‌سازی الگوریتم با دو روش ادغام شامل حداکثررای و دمپستر- شفر انجام گردید.

جدول ۲ - کلاس بندی موجود و قابل تشخیص در منطقه مورد مطالعه

شماره کلاس	کاربری کلاس	نوع کلاس
۱	آب خور و دریای عمیق	باتوجه به ساحلی بودن منطقه مورد مطالعه، بخشی از تصاویر آب خوردریا را که محل پیشروی آب داخل خشکی در مواقع جذر و مد است، نشان می‌دهد
۲	آب کم عمق و گل‌آلود	آب کم عمقی که بر اثر فعالیت‌های محوطه سازی، گل‌آلود شده و یا با رسوب پر شده است
۳	خاک ساحلی خشک	زمین پست و گلی که در مواقع مد زیر آب رفته و با جذر، بیرون از آب هستند
۴	آبگیر	آبهایی که بعلت بارندگی یا جزر و مد در محوطه جمع شده است
۵	جاده خاکی، ریل	جاده خاکی، آسفالت، ریل ( سنگ لاشه مسیر ریل راه آهن ) و محوطه خاکی
۶	کالای دیو شده و واگن	کالاهای فلزی دیو شده و واگن‌های پارک شده قطار در شانینگارد
۷	سوله، انبار و مخزن نفتی	سوله، انبار، مخزن نفتی و ساختمان های با سقف سفید و رنگ روشن

#### ۴- ارزیابی کیفیت نقشه تغییرات

ارزیابی دقت و صحت برای آشکارسازی تغییرات به خصوص با توجه به مشکلات در جمع آوری قابل اعتماد مجموعه داده‌های چندزمانی مبتنی بر کار میدانی، مشکل است. بنابراین، پژوهش‌های قبلی در آشکارسازی تغییرات نمی‌تواند تجزیه و تحلیل کمی از نتایج تحقیقات را فراهم نماید [۱۰].

به منظور ارزیابی الگوریتم‌ها و شیوه‌های انجام آشکارسازی تغییرات، روش‌ها و معیارهای مختلفی ابداع و معرفی شده است که در این جا ارزیابی دقت و عناصر ارزیابی دقت، مانند دقت تولید کننده و دقت کاربران مورد بررسی قرار گرفت. روش ابداعی برای این کار، تولید چهار ماتریس بشرح زیر بود:

بردار  $C1$  شامل تعداد پیکسل‌های هر کلاس:

$C1 = [ (1) ]$  تصویر اول تعداد پیکسل‌های کلاس ۱ در تصویر دوم تعداد پیکسل‌های کلاس ۲ در ...

بردار  $C2$  که تغییرات کلاس‌ها را نشان می‌دهد شامل:

$C2 = [ (2) ]$  کلاس ۱ نیستند (یعنی تغییرات کلاس ۱) تصویر اول که در تصویر دوم در .. .. تعداد پیکسل‌های کلاس ۱ در

بردار  $C3$  که ماتریس تغییرات کلاس‌ها را نشان می‌دهد شامل:

$$C3 = \begin{bmatrix} 0 & a_{21} & \dots \\ a_{12} & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & 0 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (3)$$

که  $a_{12}$  تعداد پیکسل‌هایی است که در تصویر اول برابر ۱ (کلاس ۱) بوده‌اند اما در تصویر دوم به کلاس ۲ تغییر کرده‌اند و...

اگر در  $C3$  بجای صفر مقادیر پیکسل‌های تغییر نکرده کلاس‌های ۱ و ۲ (یعنی  $C1-C2$ ) را قرار دهیم ماتریس  $C4$  (ماتریس تبدیل تغییرات که نشان‌دهنده تغییرات هر کلاس به کلاس‌های دیگر می‌باشد) به دست می‌آید که می‌تواند در مقایسه توانمندی‌های روش‌های آشکارسازی تغییرات، ملاک قرار گیرد، داریم:

$$S_i = \text{جمع پیکسل‌های کلاس } i \text{ در تصویر اول}$$

$$SC_i = \text{جمع ستون } i \text{ از } C3$$

$$S_i - SC_i = nC_i = \text{تعداد پیکسل‌های کلاس } i \text{ که در کلاس } i \text{ (بدون تغییر) مانده‌اند}$$

با جایگذاری  $nC_i$  در درایه  $(i,i)$  در ماتریس  $C3$  داریم:

$${}^{(۴)}C4 = \begin{bmatrix} nC_1 & a_{21} & & \\ a_{12} & nC_i & \vdots & \\ \vdots & \vdots & & nC_n \end{bmatrix}_{n \times n}$$

در روش ادغام حداکثر رای، در صورت عدم تشخیص صحیح کلاس پیکسل‌ها، کلاس آخری برای کلاس ابهام، در نظر گرفته شد. با تفاضل ماتریس تغییرات  $C3$  هر روش از ماتریس تبدیل تغییرات  $C3_{GTM}$  مشابه، می‌توان خطاهای حذفی، افزونگی، دقت تولید کننده و استفاده کننده مربوط به هر روش را به دست آورد.

$C3 - C3_{GTM}$

$$= \begin{bmatrix} 0 & a_{21} - a_{21GTM} & & \\ a_{12} - a_{12GTM} & 0 & \vdots & \\ \vdots & \vdots & & 0 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (۵)$$

در این ماتریس از نسبت مجموع اعداد مثبت با مجموع ستون‌های ماتریس  $C3_{GTM}$  خطای افزونگی و از نسبت مجموع اعداد منفی با مجموع ستون‌های ماتریس  $C3_{GTM}$  خطای حذفی و همین‌طور با استفاده از رابطه این خطاها، دقت استفاده کننده و

تولیدکننده به دست می‌آید.

با تفاضل ماتریس تبدیل تغییرات  $C4$  هر روش از ماتریس تبدیل تغییرات  $C4_{GTM}$  مشابه، می‌توان ارزیابی‌های دیگر مربوط به هر روش را به دست آورد.

$$C4 - C4_{GTM} =$$

$$= \begin{bmatrix} nC_1 - nC_{1GTM} & a_{21} - a_{21GTM} & & \\ a_{12} - a_{12GTM} & nC_i - nC_{iGTM} & \vdots & \\ \vdots & \vdots & & \\ & & nC_n - nC_{nGTM} & \end{bmatrix}_{n \times n}$$

(۶)

#### ۱-۴-۱- ارزیابی کمی

با استفاده از فرمول‌های داده شده ۱-۶ و اجرای دو روش حداکثر رای و

دمپستر- شفر داریم:

جدول ۳ آشکارسازی تغییرات (الگوریتم سوم) با روش حداکثر رای در تصاویر ۲۰۰۹ و ۲۰۰۲

بردار C <sub>1</sub> مربوط به الگوریتم سوم MVF در تصاویر E ۹۲								ردیف
ابهام	انبار	واگن	جاده و ریل	آبگیر	ساحل و محوطه	آب کم عمق و گل آلود	آب دریا	نام کلاس
۱۰۲۲۵	۸۸ ۶۴	۸۳۳۸	۲۱۹۳۷	۲۶۵۳	۱۲۹۹۱۶	۲۵۸۹۸	۴۲۱۶۹	۱
بردار C <sub>2</sub> مربوط به روش سوم MVF در تصاویر E ۹۲								
۸۹۴۹	۸۸ ۶۴	۷۶۵۱	۱۴۷۸۹	۲۵۷۵	۵۴۰۲۸	۱۹۱۲۳	۱۸۸۱۸	۱
نسبت آشکارسازی در روش سوم MVF در تصاویر E ۹۲								
۰,۵۱								
دقت کلی آشکارسازی روش سوم E ۹۲					خطای آشکارسازی روش سوم MVF			
۹۱,۷					۸,۳۰			

جدول ۴ آشکارسازی تغییرات (الگوریتم سوم) با روش دمپستر - شفر در تصاویر ۲۰۰۹ و ۲۰۰۲

بردار C <sub>1</sub> مربوط به الگوریتم سوم D_S در تصاویر E ۹۲							ردیف
انبار	واگن	جاده و ریل	آبگیر	ساحل و محوطه	آب کم عمق و گل آلود	آب دریا	نام کلاس
۰	۷۱۳۷	۲۳۱۲۸	۱۷۵۱	۱۵۰۱۲۹	۲۶۳۸۷	۴۱۴۶۸	۱
بردار C <sub>2</sub> مربوط به الگوریتم سوم D_S در تصاویر E ۹۲							
۰	۶۵۸۲	۱۳۴۵۵	۱۷۴۴	۵۳۳۱۶	۱۷۶۹۳	۱۷۶۳۰	۱
نسبت آشکارسازی در الگوریتم سوم D_S در تصاویر E ۹۲							
۰,۴۴							
دقت کلی آشکارسازی الگوریتم سوم E ۹۲				خطای آشکارسازی الگوریتم سوم D_S			
۹۳,۷۶				۶,۲۴			

جدول ۵- درصدخطا و دقت کلی آشکارسازی تغییرات پیاده‌سازی روش‌ها در الگوریتم

ردیف	روش	درصدخطای کلی آشکارسازی تغییرات	درصد دقت کلی آشکارسازی تغییرات
۱	حداکثر رای	۸,۳	۹۱,۷
۲	دمپستر - شفر	۶,۲۴	۹۳,۷۶

#### ۴-۲- ارزیابی بصری

در ارزیابی بصری و پس از استخراج پوشش سطح تصاویر انتخابی، ارزیابی فقط به صورت کیفی انجام شده و تبدیل کلاس‌ها به یکدیگر به صورت ساده‌ای قابل تفسیر است.

#### ۴-۳- یافته جدید در پیاده‌سازی الگوریتم :

در پیاده‌سازی روش مبتنی بر روش دمپستر شفر، ماتریس ضرایب *plausibility* به دست آمد.

برای محاسبه *plausibility* هر کلاس *i* و نرمالیزه کردن  $m_p$  برای کلاس *i* داریم :

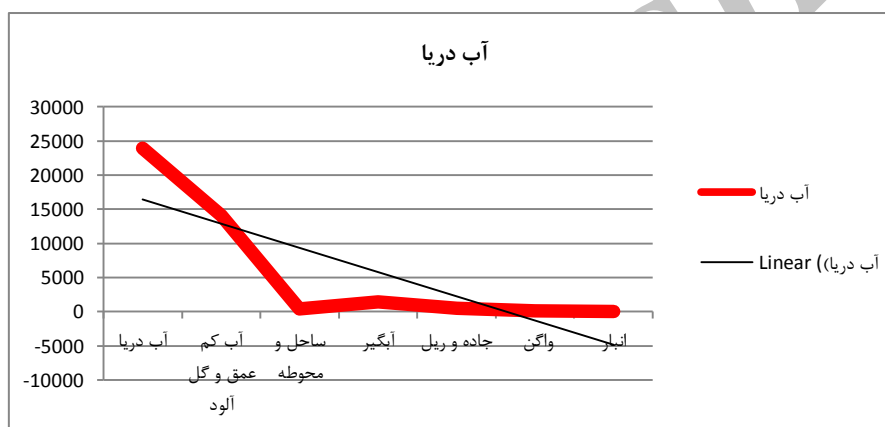
$$m_p(:, i) = \begin{bmatrix} nC1 \\ a_{1,2} \\ \vdots \\ a_{1,n} \end{bmatrix} \quad (7)$$

جهت نرمالیزه کردن  $m_p$  داریم :

$$m_{pn} = \frac{m_p(:, i)}{\sum m_p(:, i)} \quad (8)$$

به عنوان یک دستاورد این تحقیق، تشکیل ماتریس نرمالیزه  $m_p$  براساس فرمول‌های (۷) و (۸)، امکان پیش‌بینی و تعیین روند اتفاقات در دوره زمانی مورد مطالعه

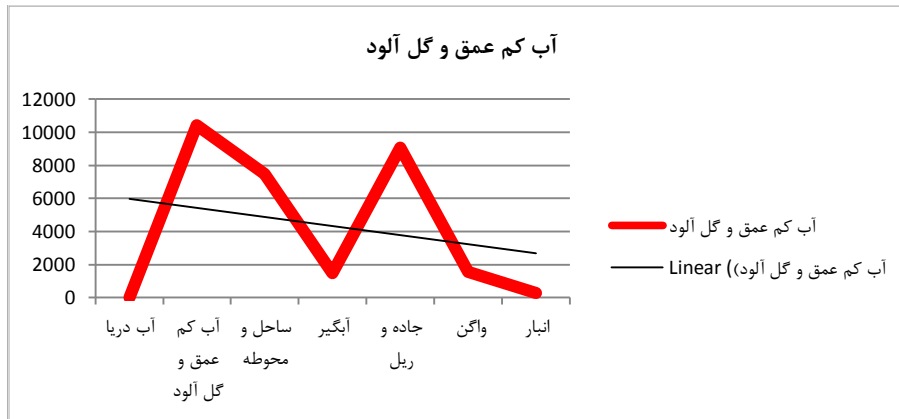
در صورت ثابت بودن شرایط محیطی و نبود اتفاقات پیش بینی نشده) را به وجود می‌آورد. به این معنی که اگر روند اتفاقات ثابت، فرض شود می‌توان اتفاق های (در تحقیق فعلی، روند تبدیل کلاس‌ها به یکدیگر در دوره زمانی مورد تحقیق) بعدی و آتی را پیش‌بینی نمود. به عنوان مثال می‌توان برای کلاس‌های هفت‌گانه تعریف شده در طبقه‌بندی تصاویر در سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۰۲ اقدام به ترسیم نمودار تغییرات زمانی نمود. در زیر چند نمونه از نمودارها آورده شده است که روند تبدیل (میل تبدیل) هر کلاس را به کلاس‌های دیگر، نمایش می‌دهد.



نمودار ۱ روند تغییرات کلاس یک عوارض (آب دریا و خور) به کلاس‌های دو و چهار

با توجه به اطلاعات میدانی موجود از منطقه مورد مطالعه، روند تبدیل آب دریا و عقب نشینی و پر شدن آب دریا و خور و میل تبدیلی کلاس یک (آب دریا) به آب کم عمق، گل‌آلود و آبگیر (کلاس دو و چهار)، تایید می‌گردد.





نمودار ۲ روند تغییرات کلاس دو عوارض (آب کم عمق و گل آلود) به کلاس‌های سه و پنج

با توجه به اطلاعات میدانی از منطقه مورد مطالعه و ساخت‌وسازهای مناطق اراضی پشتیبانی بندر امام خمینی (ره) در ده سال ۲۰۰۰ لغایت ۲۰۱۰، تبدیل آب مناطق کم‌عمق و گل‌آلود به ساحل، محوطه و احداث جاده و ریل‌سازی در این مناطق جهت بهره‌برداری از محوطه‌ها، انطباق داشته و اطلاعات نمودارها با واقعیت‌های اتفاق افتاده در منطقه، مورد تایید قرار می‌گیرد.

##### ۵- نتیجه گیری

در پیاده‌سازی الگوریتم‌های ادغام اطلاعات در این تحقیق از روش‌های رای‌گیری و روش دمپستر- شفر استفاده گردید. در نتایج نشان داده شد که روش‌های مبتنی بر ادغام تصمیم از دقت و قابلیت اعتماد بالاتری برخوردارند. روش دمپستر- شفر در آشکارسازی تغییرات به دلیل استفاده حداکثری از شواهد و قراین و مدل آن براساس داده‌های آشکارسازی اولیه، نتایج بهتری را ارائه می‌نماید. می‌توان با استفاده از الگوهای آموزش‌پذیر نظیر شبکه‌های عصبی و منطق فازی به صورت ترکیبی در پیاده‌سازی

الگوریتم‌های ادغام اطلاعات، از امتیازات این روش‌ها، برای بهبود دقت و قابلیت اعتماد نتایج بهره برد.

با توجه به استخراج ماتریس تبدیل تغییرات و تعیین میل تبدیل کلاس‌های عوارض به یکدیگر به عنوان یک دستاورد در این تحقیق، می‌توان شناسایی نوع تغییر و تخمین آینده تغییرات را با استفاده از روش‌های مبتنی بر ادغام و بهره‌گیری از روش‌های تخمین، محقق نمود.

Archive of SID

## ۷- فهرست منابع و مآخذ

- [1]. **Bishop, Peter WT Yuen & Gray.** Hyperspectral Algorithm Development for Military Applications: A Multiple Fusion Approach. Edinburgh 2006 : s.n., 3rd EMRS DTC Technical Conference – Edinburgh 2006.
- [2]. [قیم؛ دکتر بهادر؛ تاریخ هشتاد ساله بندر امام خمینی (ره)؛ 3-40-7829-964-978؛ 1389].
- [3]. **MACLEOD, R. D., CONGALTON, R. G.** A quantitative comparison of changedetection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 64, pp. 207–216. 1998.
- [4]. **LAMBIN, E. F., STRAHLER, A. H.**, Indicators of land-cover change for changevector analysis in multitemporal space at coarse spatial scales. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 15, pp. 2099-2119. 1994.
- [5]. **Barbara Zitova, Jan Flusser.** Image registration methods: a survey. 2003.
- [6]. **MORAN, D. LU & P. MAUSEL & E. BRONDI'ZIO & E.MORAN.** Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 2004.
- [7]. **Jiang Dong, Dafang Zhuang, Yaohuan Huang and Jingying Fu.** *Advances in Multi-Sensor Data Fusion: Algorithms and Applications*. ISSN 1424-8220. 2009.
- [8]. **Hong, Gang.** IMAGE FUSION, IMAGE REGISTRATION, AND RADIOMETRIC NORMALIZATION FOR HIGH RESOLUTION IMAGE PROCESSING. Canada : Geodesy and Geomatics Engineering (UNB), 2007.
- [9]. **رشیدی، علی جبار؛** ادغام تصمیم در سیستمهای سنجش از دور چند گانه؛ رساله دکتری؛ دانشکده برق، دانشگاه تربیت مدرس؛ ۱۳۸۳.

- [10]. **Oort, P.A.J. van.** Interpreting the change detection error matrix. Wageningen University, Centre for Geo-Information, The Netherlands : s.n., , Remote Sensing of Environment. 2006.

Archive of SID