

## بررسی روش‌های مختلف آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنجش از دور و GIS (مطالعه موردی: منطقه سرابله، استان ایلام)

صالح آرخی\*

استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه گلستان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۱۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۳/۲۵)

### چکیده

پایش تغییر برای ارزیابی تأثیرات ناشی از فعالیت‌های انسانی از قبیل جنگل‌زدایی، کشاورزی، شهرسازی و غیره استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی برای آشکارسازی تغییرات وجود دارد. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌اندست در بازه زمانی ۱۹۸۸-۲۰۰۷ استفاده شده و پنج تکنیک آشکارسازی تغییرات در منطقه سرابله استان ایلام با مساحت ۴۵۸۰۳ هکتار بررسی شده است. تکنیک‌های آشکارسازی تغییرات استفاده شده در این مطالعه شامل تفاضل تصویر، آنالیز مؤلفه‌های اصلی، تفاضل شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی، آنالیز مؤلفه‌های متعارف و تفاضل تسلدکپ (سبزی‌نگی) بوده‌اند. در این مطالعه، برای تعیین آستانه، از روش آماری استفاده شد و براساس آن مشخص شد که آستانه تغییر در فاصله  $\pm 1$  انحراف از میانگین قرار داشته است. پس از تعیین آستانه تغییر، مناطق دارای تغییرات کاهشی، افزایشی و بدون تغییر مشخص شده است. برای ارزیابی دقت تکنیک‌های آشکارسازی تغییرات، از نقشه واقعیت زمینی و بازدیدهای زمینی استفاده شد و دقت کل و ضریب کاپا برای هر کدام محاسبه شد. براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که روش تفاضل PCA2 به ترتیب با دقت کل و ضریب کاپای ۰/۹۷ و ۰/۹۵ بیشترین دقت و روش تفاضل مادون قرمز به ترتیب با دقت کل و ضریب کاپای ۰/۶۵ و ۰/۶۲ کمترین دقت را در آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی منطقه مطالعه شده داشته‌اند.

**کلیدواژگان:** آنالیز مؤلفه‌های اصلی، آنالیز مؤلفه‌های متعارف، استان ایلام، تفاضل تصویر، تفاضل تسلدکپ، تفاضل NDVI، سرابله.

## ۱. مقدمه

کاربری اراضی شامل انواع بهره‌برداری از زمین به‌منظور رفع نیازهای گوناگون انسان است. یکی از پیش‌شرط‌های اصلی برای استفاده بهینه از زمین، اطلاع از الگوهای کاربری اراضی و دانستن تغییرات هر کدام از کاربری‌ها در طول زمان است ( Feizi Zadeh et al., 2007). آشکارسازی تغییرات، فرایند تعیین تفاوت‌ها در وضعیت یا حالت یک شیء یا پدیده با مشاهده آن در زمان‌های مختلف است (Singh, 1989). امروزه تغییرات بدون برنامه کاربری اراضی به مشکل حادی تبدیل شده است و بیشتر تغییرات کاربری اراضی بدون برنامه‌ریزی مدون و توجه کافی به تأثیرات محیط زیستی آنها صورت می‌گیرد. در چهار دهه گذشته تغییرات کاربری اراضی در ایران با سرعت فزاینده در بعضی جهات نامطلوب به وقوع پیوسته است و این سبب تشدید روند تخریب اراضی شده است. از آنجاکه تغییرات در کاربری اراضی در سطوح وسیع و گسترده انجام می‌شود، بنابراین تکنولوژی سنجش از دور<sup>۲</sup> ابزار ضروری و باارزشی در ارزیابی تغییرات به‌دلیل پوشش مکرر سطح زمین است ( Lu et al., 2004). پژوهشگران زیادی به مطالعه روش‌های مختلف آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور پرداخته‌اند. Parkash و Gupta (1998) برای آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در یک منطقه استخراج معدن در هند از روش تفاضل تصویر، نسبت‌گیری تصویر و تفاضل NDVI استفاده کردند و دریافتند هیچ‌گونه تفاوت درخور توجهی بین این روش‌ها در آشکارسازی تغییر کاربری اراضی در این مطالعه وجود ندارد و هر روش مزایای خود را دارد. Petit و همکاران (2001)، روش‌های تفاضل تصویر و مقایسه پس از طبقه‌بندی و ترکیبی از این دو را برای آشکارسازی تغییر پوشش زمین در جنوب شرقی زامبیا استفاده کردند و دریافتند که روش

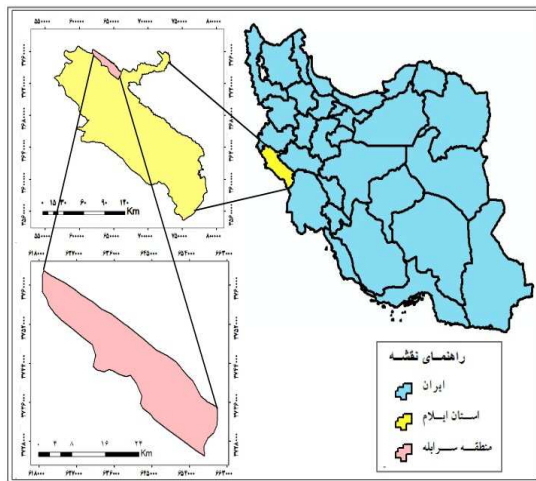
آشکارسازی تغییر هیبرید نسبت به روش‌های تفاضل تصویر و مقایسه پس از طبقه‌بندی به‌طور منفرد موفقیت بهتری داشته است. Sepehry و Liu در سال 2006؛ از تکنیک‌های مختلف تعیین تغییر شامل مقایسه بعد از طبقه‌بندی، تفاضل تصویر و تفاضل NDVI و آنالیز برداری تغییرات برای تهیه نقشه کاربری اراضی تحت تأثیر سیل استفاده کردند. نتایج مطالعات آنان نشان داد که از بین این موارد، تکنیک‌های تفاضل تصویر و آنالیز برداری تغییرات در تهیه نقشه مناطق تغییر یافته- تغییر نیافته تحت تأثیر سیل بیشترین دقت را داشته است. Sunar (1998) روش‌های تفاضل تصویر، تجزیه مؤلفه اصلی و مقایسه بعد از طبقه‌بندی را برای پایش تغییر در پوشش زمین در منطقه اکتیلی استانبول ترکیه مقایسه کرد و دریافت که روش‌های PCA و مقایسه بعد از طبقه‌بندی نتایج بهتری را ارائه داده‌اند، اما هر کدام از روش‌های استفاده شده برخی محاسن را با توجه به محتوای اطلاعات یا قابلیت تفسیر دارند. از جمله مطالعاتی که توسط پژوهشگران داخل کشور در زمینه آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی صورت گرفته است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: Ghiasvand (1988)، نقشه تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای TM به فاصله زمانی ۶ سال در منطقه جنوب تهران برای آشکارسازی تغییرات انجام داد. در این مطالعه از روش ترکیبی تحلیل مؤلفه‌های اصلی توأم با آنالیز رگرسیون استفاده شده است. نتایج نشان داد کاربرد توأم روش آنالیز رگرسیون و تحلیل مؤلفه‌های اصلی نسبت به روش تفریق و نسبت‌گیری تصاویر نتایج با صحت بالاتری به دست می‌دهد. Barkhordary و همکاران (2005) به‌منظور بررسی روند تغییرات پوشش اراضی در حوضه آبخیز سد استقلال میناب با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، از تصاویر ماهواره‌ای لندست (۱۹۷۶، ۱۹۸۸ و ۲۰۰۲) استفاده کردند. Shafie (2004) در پژوهشی در دشت قزوین از روش‌های تفاضل تصاویر، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، طبقه‌بندی تصویر

و هوای آن نسبتاً معتدل و نیمه‌مرطوب است و متوسط بارش سالانه آن ۵۰۰ میلی‌متر است. شهرستان شیروان و چرداول به مرکزیت سرابله از شمال به کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب و گیلان‌غرب، از باختر به ایوان، از جنوب به ایلام و از خاور به شهرستان کوه‌دشت محدود است (شکل ۱). کلاس‌های کاربری/پوشش زمینی انتخاب‌شده در این مطالعه و تعریف آن‌ها به شرح زیر است:

کلاس مرتع: شامل اراضی با مرتع مشجر و غیرمشجر، اراضی دارای پوشش گیاهی خودرو و فاقد جنگل

کلاس جنگل: به مناطق جنگلی‌ای گفته می‌شود که از طرف سازمان جنگل‌ها و مراتع تعریف شده است.

کلاس اراضی کشاورزی: کلیه اراضی زیر کشت به‌منظور آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی، از تصاویر سنجنده TM ماهواره‌های لندست به شماره ۳۷-۱۶۷ مربوط به سال ۱۹۸۸ و سنجنده ETM<sup>+</sup> این ماهواره در سال ۲۰۰۷ استفاده شد. زمان هر دو تصویر استفاده‌شده در فصل بهار بوده است.



شکل ۱. موقعیت کشوری و استانی منطقه مطالعه‌شده

## ۲.۲. آماده‌سازی تصاویر

برای آماده‌سازی تصاویر، تصحیح‌های هندسی و رادیومتریک بر روی تصاویر انجام گرفت. ابتدا با استفاده از نقاط کنترل زمینی (۳۵ نقطه) از نقشه‌های

و مقایسه پس از طبقه‌بندی برای آشکارسازی تغییرات استفاده کرد. نتایج مطالعات وی نشان داد که روش طبقه‌بندی و مقایسه بعد از آن بهترین روش بوده است و نوع تغییرات نیز در این روش مشخص می‌شود. نتایج مطالعات وی همچنین نشان داد که ۱۹/۸۶ درصد از منطقه دچار تغییرات شده است. برای آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر TM در منطقه جنوب تهران با فاصله زمانی شش سال از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و منطق فازی استفاده شد که در این پژوهش قاسمیان و غیاثوند از تصاویر باقی‌مانده و آنالیز رگرسیون توانستند تغییرات و عدم تغییرات کاربری اراضی را تشخیص دهند (Ghasemian & Yazdi, 1999).

روش‌های پایش تغییر به دو دسته پایش‌پردازش و پس‌پردازش تقسیم می‌شوند. روش‌های پایش‌پردازش فقط قادرند تغییرات رخ داده در منطقه را در سطح پیکسل (به سه صورت کاهش، افزایش و بدون تغییر) نشان دهند و نمی‌توانند نوع و ماهیت تغییر را نشان دهند، در صورتی که روش‌های پس‌پردازش، قادرند هم نوع و هم ماهیت تغییر را نشان دهند، بنابراین در این مطالعه از هر دو روش استفاده شده است. پس ضرورت دارد برای پایش تغییرات از هر دو روش استفاده شود. هدف از این مطالعه بررسی روش‌های مختلف آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و تعیین بهترین آن‌ها در منطقه مطالعه‌شده با استفاده از تصاویر ماهواره لندست در بازه زمانی ۱۹۹۸-۲۰۰۷ است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲. معرفی منطقه مطالعه‌شده

سرابله در ۱۱۸ کیلومتری شمال خاوری ایلام و در مسیر جاده اصلی لومار-گیلان‌غرب قرار دارد. مساحت این منطقه ۴۵۸۰۳ هکتار است که از نظر موقعیت جغرافیایی، بین ۴۶ درجه و ۳۲ دقیقه طول شمالی و ۳۳ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شرقی و در بلندی ۱۰۵۰ متری از سطح دریا قرار دارد. آب

### ۳.۲. روش‌های مختلف آشکارسازی تغییرات

#### ۱.۳.۲. تفاضل تصویر<sup>۵</sup>

در این روش براساس رابطه<sup>۱</sup> ارزش‌های رقومی تصویر در تاریخ دوم از ارزش‌های رقومی تصویر در تاریخ اول کم می‌شود. این فرایند به صورت پیکسل به پیکسل است (رابطه<sup>۱</sup>). نتیجه<sup>۱</sup> این روش تولید تصویری است که در آن مقادیر مثبت و منفی نشان‌دهنده<sup>۱</sup> مناطق تغییر یافته (به ترتیب افزایشی و کاهش) و مقدار صفر نشان‌دهنده<sup>۱</sup> عدم تغییر بین دو تاریخ است (Singh, 1989).

$$Dx = x(t_2) - x(t_1) \quad (1)$$

در رابطه<sup>۱</sup> فوق،  $x$  ارزش پیکسل،  $t_1$  تاریخ اول،  $t_2$  تاریخ دوم است. برای مثال:

تفاضل تصویر- ارزش پیکسل تاریخ دوم مثلاً  
۵۰- ارزش پیکسل تاریخ اول مثلاً ۶۰ = ۱۰-

#### ۲.۳.۲. تفاضل شاخص پوشش گیاهی<sup>۶</sup>

روش تفاضل شاخص پوشش گیاهی برای تعیین تغییر در پوشش گیاهی قابل استفاده است و می‌تواند برای بارزسازی اختلاف طیفی بین انعکاس شدید پوشش گیاهی در بخش مادون قرمز نزدیک طیف و باند جذب کلروفیل طیف (باند قرمز) استفاده شود (Singh, 1989). در این روش به صورت مجزا شاخص پوشش گیاهی مربوط به دو دوره<sup>۱</sup> متفاوت تهیه می‌شود و سپس شاخص پوشش گیاهی ثانویه از شاخص پوشش گیاهی اولیه کسر می‌شود. برای مثال:

تفاضل  $NDVI = NDVI$  تاریخ دوم (مثلاً ۰/۴-) -  
 $NDVI$  تاریخ اول (مثلاً ۰/۳-) = ۰/۱-

#### ۳.۳.۲. تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA)<sup>۷</sup>

هرچه واریانس طیفی در یک تصویر بیشتر باشد، تصویر دامنه<sup>۱</sup> اطلاعات وسیع‌تری خواهد داشت که خود گویای پدیده‌های بیشتر در تصویر است و چنین تصویری برای مطالعه مناسب است (Noori, 2004).

توپوگرافی و استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) اقدام به تصحیح هندسی تصاویر شد. خطاهای به دست آمده برای تصاویر اول و دوم برابر با ۰/۳۴ و ۰/۵۱ پیکسل بود که بسیار مطلوب است. در مرحله<sup>۱</sup> بعد با کمک روش نمونه‌برداری مجدد<sup>۱</sup> به روش نزدیک‌ترین همسایه<sup>۲</sup> تصاویر در جهت شمال توجیه و گردانده شدند. تصحیح رادیومتریک زمانی انجام می‌گیرد که از تصاویر چندزمانه<sup>۳</sup> یعنی تصاویری که مربوط به فصول یا سال‌های مختلف یا سنجنده‌های مختلف هستند، استفاده شود. دو نوع تصحیح رادیومتریک وجود دارد، تصحیح رادیومتریک مطلق و تصحیح رادیومتریک نسبی. روش تصحیح رادیومتریک مطلق نیازمند ورود داده‌های مربوط به خصوصیات اتمسفریک و کالیبراسیون سنجنده است. انجام این تصحیح در اغلب موارد و به خصوص برای داده‌های قدیمی کار بسیار سختی است (Du et al., 2002). در مقابل تصحیح رادیومتریک نسبی با هدف کاهش متغیرهای اتمسفریک و غیرمنتظره در میان تصاویر چندزمانه صورت می‌گیرد. یکی از روش‌های تصحیح رادیومتریک نسبی، کاهش تیرگی پدیده<sup>۴</sup> است. در حالت ایده‌آل پدیده‌های تیره‌نگ تابش صفر در همه<sup>۱</sup> طول موج‌ها را دارند. در این روش فرض می‌شود که در هر باند از تصویر می‌توان پیکسل‌هایی یافت که مقادیر آن‌ها صفر یا نزدیک به یک است (مثل آب). به این ترتیب اثر اتمسفری تابش انحرافی به صورت یک مقدار ثابت به پیکسل‌ها در هر باند اضافه می‌شود. به همین دلیل برای حذف خطای رادیومتریک بایستی ارزش پیکسل‌های هر باند از حداقل  $DN$  مربوط به هر باند کم شود. کاهش تیرگی پدیده یک روش ساده است که به طور گسترده در بسیاری از موارد به کار گرفته می‌شود (Chavez, 1996). در این مطالعه از این روش برای تصحیح رادیومتریک استفاده شده است که به راحتی در نرم‌افزار ENVI قابل اجراست.

1. Resampling
2. Nearest neighborhood
3. Multi Temporal images
4. Dark Object Subtraction

5. Image differencing
6. NDVI differencing
7. Principal Components Analysis

دهد، سپس PCA انجام شود و اجزای کوچک تصاویر برای اطلاعات تغییر آنالیز شود. ۲. PCA هر تاریخ جداگانه انجام شود، سپس تصویر PCA ثانویه از اولیه تفریق شود. در این مطالعه ابتدا PCA هر تاریخ جداگانه محاسبه شده است. به طوری که در جدول ۱ درصد واریانس مؤلفه‌های مختلف PCA حاصل از سنجنده TM و ETM<sup>+</sup> ارائه شده است.

مهم‌ترین فواید PCA، جمع‌آوری و مترادف ساختن اطلاعات پدیده‌های موجود در باندهای مختلف در تعدادی باند یا مؤلفه کمتر است. به عبارتی PCA برای حذف اطلاعات زائد در داده‌های ماهواره‌ای کاربرد فراوانی دارد (Noori, 2004). دو راه برای آشکارسازی تغییر به شیوه PCA وجود دارد: ۱. تصاویر دو یا چند زمان را در یک فایل ساده قرار

جدول ۱. درصد واریانس مؤلفه‌های مختلف PCA حاصل از سنجنده TM و ETM<sup>+</sup>

PCA6	PCA5	PCA4	PCA3	PCA2	PCA1	
۰/۰۰۶	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۲۸	۰/۵۷	۹۸/۹۷	(۱۹۸۸)TM
۰/۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۱۴	۹۹/۷۳	(۲۰۰۷)ETM <sup>+</sup>

واریانس درون کلاسی است.

برای به دست آوردن ماتریس تبدیل، بایستی مقادیر ویژه و بردارهای ویژه با حل معادله زیر به دست آید (رابطه ۳):

$$(\sum_A - \lambda \sum_W) D = 0 \quad (3)$$

که در رابطه بالا،  $\sum_A$  ماتریس بین کلاسی،

$\sum_W$  ماتریس درون کلاسی،  $\lambda$  ماتریس قطری

و  $D$  بردارهای ویژه است (Boyd et al., 1983). در این روش نیز CCA هر تاریخ جداگانه تهیه شد و سپس تصویر CCA ثانویه از اولیه تفریق شد.

#### ۵.۳.۲. تفاضل تسلدکپ (KT)<sup>۲</sup>

تبدیل تسلدکپ یک نوع تبدیل خطی ساده است. مبانی این روش مشابه با روش تجزیه مؤلفه اصلی است. برخلاف دیگر تبدیل‌ها، این تبدیل باید برای داده‌های هر نوع سنجنده و هر کاربردی به طور جداگانه و تجربی تعیین شود. آشکارسازی تغییر بر اساس سه جزء روشنایی، سبزی و رطوبت صورت می‌گیرد. تبدیل تسلدکپ برای داده‌های TM شامل سه عامل روشنایی، سبزی و رطوبت است، در حالی که این تبدیل برای داده‌های ETM<sup>+</sup> علاوه بر سه عامل فوق ۳ عامل دیگر نیز دارد، اما با توجه به مشترک بودن سه عامل روشنایی، سبزی و

با توجه به اینکه بیشترین اطلاعات در هر دو سنجنده در دو مؤلفه اول ذخیره شده است، به همین دلیل مؤلفه‌های اول و دوم در این مطالعه برای پایش تغییر استفاده شدند. سپس PCA اول و دوم تاریخ دوم به ترتیب از PCA اول و دوم تاریخ اول تفریق شده است.

#### ۴.۳.۲. تجزیه مؤلفه‌های متعارف (CCA)<sup>۱</sup>

CCA یک روش تبدیل است که امکان تفکیک پذیری بیشتر بین کلاس‌ها را به وسیله نمونه‌های آموزشی فراهم می‌آورد. هر مؤلفه متوالی به طور تصادفی واریانس کمتری نسبت به باندهای اصلی دارد. تجزیه مؤلفه‌های متعارفی برای استخراج ماتریس کوواریانس از نواحی آموزشی در تصویر اصلی استفاده می‌شود. تبدیل به دست آمده از این راه دارد محورهای اصلی جهت دار است که کلاس‌های آموزشی در آن به خوبی تفکیک شده‌اند (Kettenring, 1971). این تبدیل نسبت واریانس بین کلاسی و درون کلاسی را به بیشترین حد می‌رساند. این نسبت با رابطه زیر نشان داده می‌شود (رابطه ۲):

$$\frac{\partial^2_A}{\partial^2_W} \quad (2)$$

که در رابطه بالا  $\partial^2_A$  واریانس بین کلاسی و

2. Tasscap differencing

1. Canonical components analysis

(۴)

$$\text{magnitude} = \sqrt{(\text{date} \times \text{band}^1 - \text{date} \times \text{band}^2)^2 + (\text{date} \times \text{band}^2 - \text{date} \times \text{band}^1)^2}$$

۷.۳.۲. تعیین آستانه

بسیاری از الگوریتم‌های آشکارسازی تصویر، از قبیل الگوریتم‌های موجود در دسته‌های جبر و تبدیل (از جمله تفاضل تصویر،...)، نیازمند انتخاب آستانه‌ها برای متمایز ساختن مناطق تغییر (افزایشی و کاهشی) از بدون تغییر است (Fung & Ledrew, 1988). معمولاً برای انتخاب آستانه‌ها از دو روش استفاده می‌شود (Yool et al., 1997): ۱. فرایند آزمون و خطا؛ ۲. روش آماری. در این مطالعه از روش آماری که براساس انتخاب یک انحراف معیار مناسب از میانگین است، استفاده شد. برای اینکه وزن اعداد با هر واحدی ثابت شود، از روش استاندارد کردن استفاده می‌شود. برای استاندارد کردن (نرمال سازی) داده‌ها از رابطه زیر استفاده شد (رابطه ۵):

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \quad (5)$$

در رابطه فوق مقدار عددی هر پیکسل،  $\bar{X}$  میانگین پیکسل‌ها،  $S$  انحراف معیار پیکسل‌ها و  $Z$  مقدار استاندارد شده متغیر است. در نهایت، برای تعیین بهترین آستانه، انحراف از میانگین‌های مختلف از قبیل  $\pm 1$ ،  $\pm 1/5$ ،  $\pm 2$ ، و... بررسی شد و بهترین آستانه برای تعیین مناطق تغییر (افزایشی و کاهشی) و بدون تغییر مشخص شد.

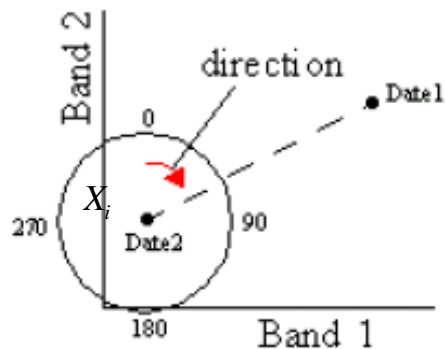
۸.۳.۲. برآورد دقت<sup>۲</sup>

برآورد دقت برای درک نتایج به دست آمده و به کار بردن این نتایج برای تصمیم‌گیری ضروری است. معمول‌ترین پارامترهایی برآورد دقت شامل، دقت کل<sup>۳</sup>، دقت تولیدکننده<sup>۴</sup>، دقت استفاده‌کننده<sup>۵</sup> و ضریب کاپا<sup>۶</sup> هستند (Lu et al., 2004). از نظر تئوری احتمالات، دقت کلی نمی‌تواند معیار خوبی

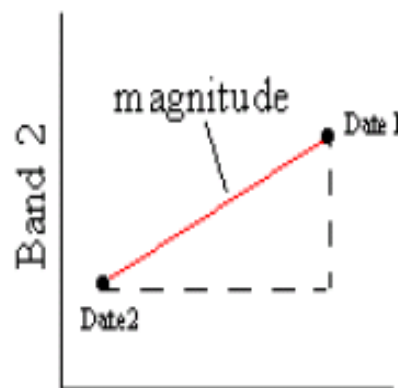
رطوبت در دو داده استفاده شده، در این پژوهش این سه عامل مبنای آشکارسازی تغییر بوده‌اند (Kauth & Thomas, 1976).

۶.۳.۲. آنالیز برداری تغییر (CVA)<sup>۱</sup>

آنالیز برداری تغییر هنگامی که دو باند تصویر (به عنوان مثال باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک) برای هر تاریخ در دسترس است، استفاده می‌شود. این روش دو نوع خروجی ایجاد می‌کند: ۱. بردار تغییر طیفی که برای تغییر از تاریخ اول تا دوم را توصیف می‌کند. ۲. بزرگی تغییر که به ازای هر پیکسل از طریق تعیین فاصله اقلیدسی بین نقاط انتهایی و به واسطه فضای تغییر  $n$  بعدی محاسبه می‌شود. شکل ۲ نمایش گرافیکی تعیین جهت تغییر و شکل ۳ نمایش گرافیکی تعیین بزرگی تغییر براساس رابطه ۴ را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمای گرافیکی از جهت تغییر



شکل ۳. نمای گرافیکی از بزرگی تغییر

2. Accuracy assessment
3. Overall accuracy
4. Producer's Accuracy
5. User's Accuracy
6. Kappa Coefficient

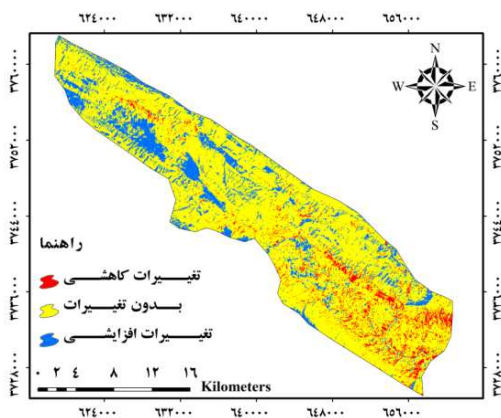
به‌منزله کلاس a  
 $ga =$  تعداد پیکسل‌های کلاس a در واقعیت زمینی  
 $UA =$  درصد دقت کلاس a برای دقت کاربر  
 $n_1 =$  تعداد پیکسل‌های کلاس a در نتیجه طبقه‌بندی

### ۳. نتایج

برای آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در حوزه مطالعه‌شده از پنج تکنیک آشکارسازی تغییر استفاده شد. در این مطالعه پس از تعیین میانگین و انحراف معیار در نقشه‌های به‌دست‌آمده از هر تکنیک آشکارسازی تغییر، این نقشه‌ها استاندارد و سپس با گرفتن آستانه‌های مختلف مشخص شد که بهترین آستانه برای تعیین تغییرات در منطقه مطالعه‌شده با  $\pm 1$  انحراف از میانگین قرار داشته است. بر این اساس مناطق دارای تغییرات کاهش، افزایش و بدون تغییر مشخص شده است. نتایج تک‌تک روش‌ها به شرح زیر است:

#### ۱.۳. تفاضل تصویر

در این مطالعه با توجه به معنادار بودن اختلاف تصاویر دو باند مادون قرمز نسبت به سایر باندها، نتایج به‌دست‌آمده از این باند برای تعیین تغییرات استفاده شده قرار گرفت (شکل ۴). بررسی نقشه به‌دست‌آمده از این روش نشان داده است که تفاضل باند قرمز مناطق دارای تغییرات افزایشی را بهتر بارز ساخته است.



شکل ۴. نقشه آشکارسازی تغییر - تفاضل باند مادون قرمز

برای ارزیابی نتایج طبقه‌بندی باشد. چراکه در این شاخص نقش شانس قابل توجه است. دقت کل از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها براساس رابطه زیر به دست می‌آید (Alavi Panah, 2005) (رابطه ۶):

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad (6)$$

در این رابطه

$OA =$  دقت کلی

$N =$  تعداد پیکسل‌های آزمایشی

$\sum P_{ii} =$  جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا  
 به دلیل ایرادهای وارده بر دقت کل، غالباً در کارهای اجرایی که مقایسه دقت طبقه‌بندی مورد توجه است، از شاخص کاپا استفاده می‌شود. چون شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مدنظر قرار می‌دهد. شاخص کاپا از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Bonyad & Haji Ghadri, 2007). (رابطه ۷):

$$Kappa = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \times 100 \quad (7)$$

که در رابطه بالا

$P_o =$  درستی مشاهده شده

$P_c =$  توافق مورد انتظار

دقت تولیدکننده احتمال اینکه یک پیکسل در تصویر کلاسه‌بندی در همان کلاس در روی زمین قرار بگیرد و دقت استفاده‌کننده، احتمال اینکه یک کلاس مشخص در روی زمین در همان کلاس بر روی تصویر طبقه‌بندی شده قرار بگیرد است که از روابط زیر محاسبه می‌شوند (Bonyad & Haji Ghadri, 2007). (رابطه‌های ۸ و ۹).

$$UA = \frac{ta}{n_1} \times 100 \quad (8)$$

و

$$PA = \frac{ta}{ga} \times 100 \quad (9)$$

که در رابطه‌های فوق

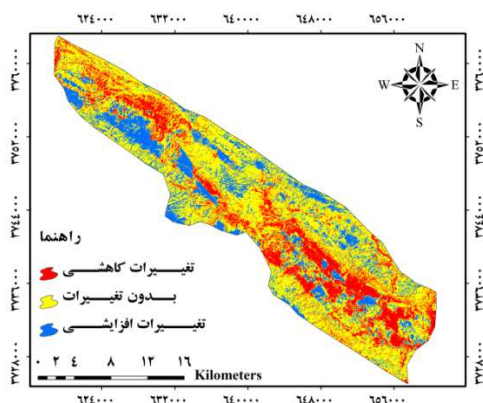
$PA =$  درصد دقت کلاس a برای دقت

تولیدکننده

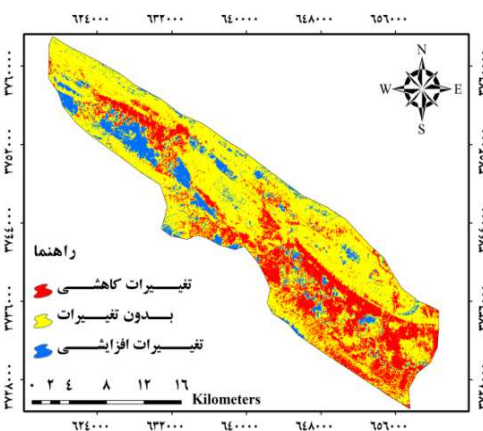
$ta =$  تعداد پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده



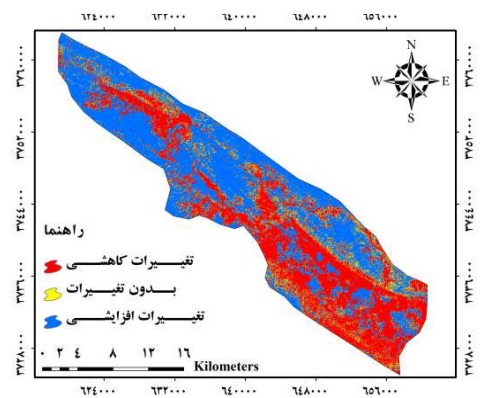
سه عامل روشنایی، سبزی و رطوبت است، با توجه به مشترک بودن ۳ عامل روشنایی، سبزی و رطوبت در دو داده استفاده شده در این پژوهش این سه عامل مبنای آشکارسازی تغییر بوده اند که نتایج حاصل از بررسی آنها نشان داده است که آشکارسازی عامل سبزیگی در دو تاریخ نتایج بهتری را برای تعیین مناطق تغییر یافته ارائه کرده است (شکل ۸).



شکل ۶. نقشهٔ تفاضل  $PCA_2$



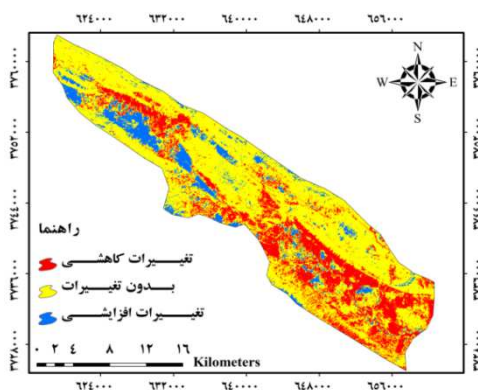
شکل ۷. نقشهٔ تفاضل  $CCA_2$



شکل ۸. نقشهٔ تفاضل تسلدکپ (سبزیگی)

### ۲.۳. تفاضل شاخص پوشش گیاهی

پس از تهیهٔ نقشهٔ شاخص پوشش گیاهی نرمال شده در دو تاریخ ۱۹۸۸ و ۲۰۰۷، نقشهٔ تفاضل شاخص پوشش گیاهی نرمال شده تهیه شده است (شکل ۵). نقشهٔ به دست آمده از این تکنیک نشان می‌دهد که این تکنیک در تفکیک کلاس بدون تغییر، به شیوهٔ خوبی عمل نکرده است و فقط مناطق در معرض تغییر (کاهش و افزایشی) را نشان داده است.



شکل ۵. نقشهٔ آشکارسازی تغییر-تفاضل شاخص پوشش گیاهی

### ۳.۳. تفاضل $PCA$ و $CCA$

در این مطالعه ابتدا  $PCA$  و  $CCA$  هر تاریخ جداگانه محاسبه شده است. با توجه به اینکه بیشترین اطلاعات در هر دو سنجنده در دو مؤلفهٔ اول ذخیره شده است، به همین دلیل مؤلفه‌های اول و دوم در این مطالعه برای آشکارسازی تغییر استفاده شدند. سپس  $PCA$  و  $CCA$  اول و دوم تاریخ دوم به ترتیب از  $PCA$  و  $CCA$  اول و دوم تاریخ اول تفریق شده است. ارزیابی نقشه‌های به دست آمده نشان داده است  $PCA_2$  و  $CCA_2$  به ترتیب با ضریب کاپای ۰/۹۵ و ۰/۹۰ در مقایسه با  $PCA_1$  و  $CCA_1$  با ضریب کاپای ۰/۲۷ و ۰/۱۸ تغییرات رخ داده در منطقه مطالعه شده را بهتر نشان داده است (شکل‌های ۶ و ۷). در ضمن،  $PCA_2$  در تفکیک مناطق تغییرات کاهش‌ی، بدون تغییرات و افزایشی، و  $CCA_2$  فقط در تفکیک مناطق بدون تغییرات بهتر عمل کرده است.

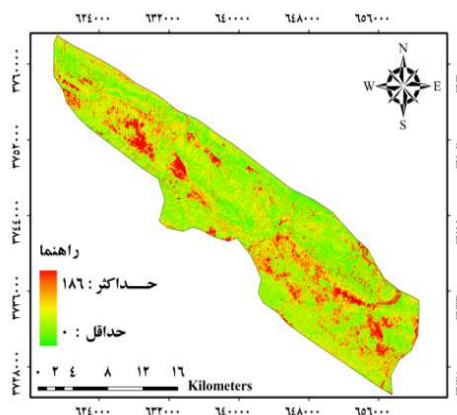
### ۴.۳. تفاضل تسلدکپ (روشنایی)

تبدیل تسلدکپ برای داده‌های  $TM$  و  $ETM^+$  شامل

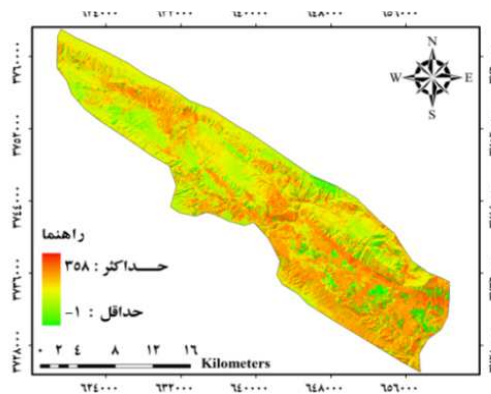


### ۵.۳. آنالیز برداری تغییر

این روش می‌تواند تمام تغییرات بزرگ‌تر از آستانه‌های شناسایی شده را پایش کند و اطلاعات جزئی تغییر را فراهم کند. در این مطالعه از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک برای پایش تغییر با استفاده از آنالیز برداری تغییر استفاده شده است (شکل‌های ۹ و ۱۰). این روش بزرگ‌ترین تغییرات کاهشی و افزایشی رخ داده در منطقه مطالعه شده را نمایان کرده است.



شکل ۹. آنالیز برداری تغییر - بزرگی تغییر



شکل ۱۰. آنالیز برداری تغییر - جهت تغییر

ارزیابی دقت تکنیک‌های استفاده شده در این مطالعه به واسطه مطالعات میدانی صورت گرفت. در نهایت دقت کل و ضریب کاپا محاسبه شد که نتایج آن در جدول‌های ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است.

بر اساس جدول‌های ۲، ۳ و ۴ می‌توان بیان کرد که بیشترین استفاده کننده در کلاس تغییرات کاهشی به ترتیب مربوط به روش‌های تفاضل باند مادون قرمز، تفاضل  $PCA_2$ ، تفاضل شاخص پوشش گیاهی، تفاضل  $CCA_2$  و کمترین دقت مربوط به روش تفاضل تسلدکپ بوده است. در کلاس بدون تغییرات، روش تفاضل باند  $PCA_2$  و در کلاس تغییرات کاهشی، تفاضل شاخص پوشش گیاهی و تفاضل  $CCA_2$  بیشترین دقت استفاده کننده را داشته‌اند در حالی که روش تفاضل تسلدکپ کمترین دقت را در تفکیک این کلاس‌ها داشته است.

بیشترین دقت تولیدکننده در کلاس تغییرات کاهشی مربوط به روش تفاضل باند مادون قرمز و کمترین دقت مربوط به روش تفاضل باند مادون قرمز بوده است. اما در کلاس بدون تغییرات همه روش‌ها به جز تفاضل تسلدکپ از دقت بالایی برخوردار بوده‌اند. نهایتاً، در کلاس تغییرات افزایشی همه روش‌ها دقت بالایی داشته‌اند. روش تفاضل  $PCA_2$  به ترتیب با دقت کل و ضریب کاپای ۰/۹۷ و ۰/۹۵ بیشترین دقت و روش تفاضل مادون قرمز به ترتیب با دقت کل و ضریب کاپای ۰/۶۵ و ۰/۶۲ کمترین دقت را در آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی منطقه مطالعه شده داشته‌اند.

جدول ۲. مشخصات آماری دقت استفاده کننده انواع روش‌های آشکارسازی تغییرات (بر حسب درصد)

روش‌ها	تغییرات کاهشی	بدون تغییرات	تغییرات افزایشی
تفاضل باند مادون قرمز	۱۰۰	۳۴	۹۴
تفاضل $PCA_2$	۹۷	۸۹	۹۹
تفاضل تسلدکپ (سبزینگی)	۷۷	۷۹	۵۷
تفاضل شاخص پوشش گیاهی	۹۷	۷۱	۱۰۰
تفاضل $CCA_2$	۹۵	۷۳	۱۰۰

جدول ۳. مشخصات آماری دقت تولیدکننده انواع روش‌های آشکارسازی تغییرات (برحسب درصد)

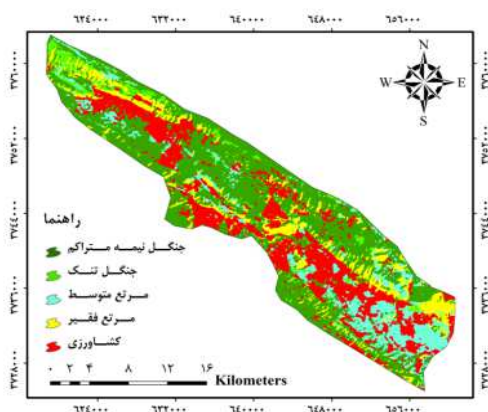
روش	تغییرات کاهشی	بدون تغییرات	تغییرات افزایشی
تفاضل باند مادون قرمز	۱۲	۹۳	۱۰۰
تفاضل PCA <sub>2</sub>	۹۱	۹۶	۹۹
تفاضل تسلدکپ (روشنایی)	۸۶	۲۱	۱۰۰
تفاضل شاخص پوشش گیاهی	۷۱	۹۶	۹۹
تفاضل CCA <sub>2</sub>	۷۳	۹۶	۹۹

جدول ۴. میزان دقت کل و ضریب کاپای انواع روش‌های آشکارسازی تغییرات (برحسب درصد)

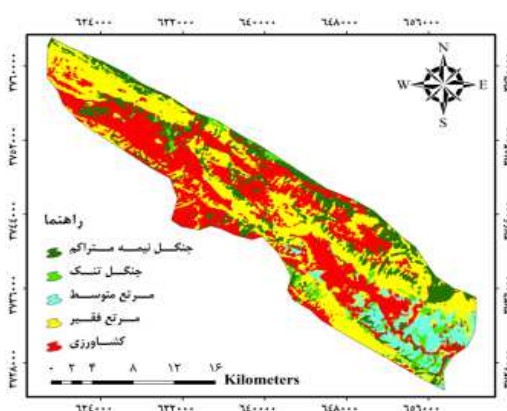
روش	ضریب کاپا	دقت کل
تفاضل باند مادون قرمز	۶۲	۶۵
تفاضل PCA <sub>2</sub>	۹۵	۹۷
تفاضل تسلدکپ (روشنایی)	۶۷	۶۹
تفاضل شاخص پوشش گیاهی	۸۹	۹۱
تفاضل CCA <sub>2</sub>	۹۰	۹۲

### ۶.۳. روش مقایسه پس از طبقه‌بندی

برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، کلاس‌های کاربری اراضی منطقه مورد نظر در ۵ کاربری اراضی (جنگل نیمه‌متراکم، جنگل تنک، مرتع متوسط، مرتع فقیر و کشاورزی) تعیین و سپس نمونه‌های آموزشی از سطح منطقه با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای، Google Earth و بازدید میدانی جمع‌آوری شد. در مرحله بعد با استفاده از ویژگی‌های تصاویر، کلاس‌های کاربری اراضی در محدوده مطالعه‌شده تعیین و طبقه‌بندی به صورت نظارت‌شده و با روش‌های طبقه‌بندی بیشترین احتمال انجام گرفت و نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال ۱۹۸۸ و ۲۰۰۷ تهیه شد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). در نهایت با انجام عملیات میدانی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و نمونه‌برداری تصادفی از سطح منطقه مطالعه‌شده، پارامترهای آماری ضریب کاپا و دقت کل به شرح جدول ۵ استخراج شد.



شکل ۱۱. نقشه طبقه‌بندی سال ۱۹۸۸



شکل ۱۲. نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۰۷

به نظر می‌رسد. ارزیابی دقت تکنیک‌های آشکارسازی تغییر در منطقه سرابله نشان داد که روش تفاضل  $PCA_2$  به ترتیب با دقت کل و ضریب کاپای ۰/۹۷ و ۰/۹۵ بیشترین دقت و روش تفاضل مادون قرمز به ترتیب با دقت کل و ضریب کاپای ۰/۶۵ و ۰/۶۲ کمترین دقت را در تفکیک کلاس‌های تغییر داشته‌اند. درصد واریانس مؤلفه اول در دو تاریخ ۱۹۸۸ و ۲۰۰۷ به ترتیب ۹۶/۷ و ۹۷/۷ درصد است. در مؤلفه اول ( $PCA_1$ )، بارهای عاملی تقریباً در همه باندها با هم برابر است که این نشان می‌دهد مؤلفه اول ارائه‌دهنده روشنایی کلی عرصه است. اما در مؤلفه دوم درصد واریانس در تاریخ ۱۹۸۸ و ۲۰۰۷ به ترتیب ۰/۵۷ و ۰/۱۴ درصد است و این مؤلفه بیشترین گرادیان پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. بیشترین بار عاملی مثبت، برای باند مادون قرمز نزدیک و بار عاملی منفی مربوط به باندهای مرئی است. به همین دلیل نتایج حاصل از تفاضل مؤلفه دوم در آشکارسازی تغییر کاربری اراضی منطقه مطالعه شده از دقت بالاتری نسبت به تفاضل مؤلفه اول برخوردار بوده است. نتایج به دست آمده در این پژوهش موافق نتایج به دست آمده توسط Sunar (1998)، Liu و Sepehry (2004) و Ghiasvand (1988)، Shafie (2004) و برخلاف نتیجه به دست آمده توسط Parkash و Gupta در سال 1998 است.

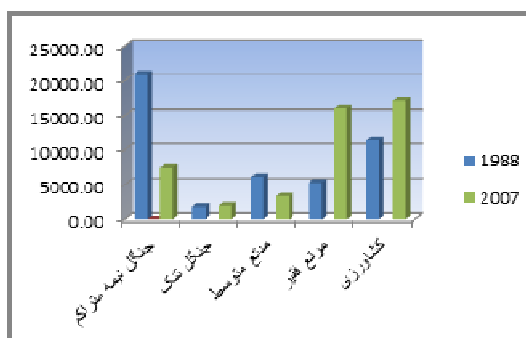
گرچه مطالعات زیادی در ارتباط با کاربردهای آشکارسازی تغییر اجرا شده و روش‌های مختلف آشکارسازی تغییر آزمایش شده است هنوز این یک روش منحصر به فرد برای تمام مناطق جهان وجود ندارد. بنابراین، ضرورت دارد این گونه مطالعات در سطوح منطقه‌ای و کوچک‌تر توسط متخصصان مختلف انجام شود تا امکان پایش تغییرات عرصه‌های طبیعی فراهم شود. از این رو مطالعات مشابه این پژوهش در مناطق مختلف جغرافیایی ضرورت دارد. در ضمن، به دلیل سختی شناسایی یک روش مناسب، در عمل روش‌های مختلف آشکارسازی تغییر برای فراهم کردن بهترین نتیجه براساس ارزیابی درستی یا ارزیابی کیفی مقایسه و آزمایش می‌شود.

جدول ۵. ارزیابی دقت طبقه‌بندی برای نقشه‌های کاربری استخراج شده در سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۰۷

سال	دقت کل %	ضریب کاپا %
۱۹۸۸	۸۱/۱۰	۹۲/۶۰
۲۰۰۷	۸۷/۳۸	۸۸/۴۲

### ۷.۳. مقایسه طبقه‌بندی

پس از تهیه نقشه کاربری اراضی سال‌های مورد نظر، ابتدا مساحت و درصد ۵ کلاس کاربری اراضی به دست آمد که نتایج حاصل از آن در شکل ۱۳ ارائه شده است. همان‌طور که از نمودار مشخص است که مساحت کاربری جنگل نیمه‌متراکم طی ۱۹ سال حدود ۱۳۶۲۷/۸۱ هکتار کاهش یافته و از طرف دیگر مساحت کاربری‌های مرتع فقیر و کشاورزی به ترتیب حدود ۱۰۷۰۹/۲۷ و ۵۵۳۵/۸۶ هکتار افزایش یافته است. از این نتایج مشخص می‌شود که روند تغییر و تخریب کاربری اراضی به صورت صعودی است.



شکل ۱۳. درصد فراوانی کلاس‌های پوشش اراضی طبقه‌بندی بیشترین احتمال سال‌های ۲۰۰۷ و ۱۹۸۸

### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به منزله یکی از منابع مهم مدیریت عرصه‌های منابع طبیعی است. استفاده و کاربرد این تصاویر در زمینه‌های مختلف می‌تواند قابلیت و محدودیت‌های این داده‌ها را مشخص کند. آنچه مهم است بررسی قابلیت این داده‌ها با توجه به پیشرفت‌های روزافزون قابلیت‌های طیفی و مکانی آن‌هاست. همچنین بررسی این داده‌ها در شرایط محیطی با تنوع کاربری‌ها و پوشش گیاهی ضروری

## REFERENCES

1. Alavi Panah, S.K., 2005. Application of remote sensing in Geosciences, Tehran University Press, 478p. (In Persian).
2. Barkhordary, J., Zareh Mehrjardi, M., Khosroshahi, M., 2005. Investigating land cover changes trend in the Minab Estagheleh dam basin using RS and GIS, Journal of soil and water conservation, S- Barkhordary, J., oil Conservation and Watershed Management Research Institute, 1(2), 59-64. (In Persian).
3. Bonyad, A.A., Haji Qadri, T., 2007. Preparing natural forest map of Zanjan Province by using of ETM<sup>+</sup> sensor data of Landsat 7, Journal of Agriculture and Natural Resources Sciences and Technologies, 10(42), 627-638. (In Persian).
4. Boyd, R., Brumfield, J.O., Campbell, W., 1983. A comparison of the usefulness of canonical analysis, principal components analysis, and band selection for extraction of features from thematic mapper simulator (TMS) data for land cover analysis. The seventh international symposium on remote sensing of environment, Ann, Arbor, Michigan, May 9-13.
5. Chavez, P.S., 1996. Image-based atmospheric corrections-Revisited and improved. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62, 1025-1036.
6. Du, Y., Teillet, P.M., Cihlar, J., 2002. Radiometric normalization of multi-temporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. Remote Sensing of Environment 82: 123-134p.
7. Feizi zadeh, B., Azizy, H., Valizadeh Cameran, Kalilel., 2007. Extracting land uses of malekan city using satellite images of LANDSAT ETM<sup>+</sup>, Amayesh Journal, Issue Three, Islamic Azad University, Malayer branch. (In Persian).
8. Fung, T., Ledrew, E., 1988. The determination of optimal threshold levels for change detection using various accuracy indices. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54, 1449-1454.
9. Ghiasvand, G., 1998. Preparing land use changes map with use of Multi-date Satellite images, M.Sc. Thesis, Faculty of Humanities, Tarbiat Modarres University, 110p. (In Persian).
10. Ghasemian Yazdi, M.J., Ghiasvand, G.Z., 1999. Changes detection in images using principal component analysis and fuzzy logic, Proceedings of national conference of geomatics, Cartographic Organization of Iran, pp. 1-14. (In Persian).
11. Kauth, R.J., Thomas, G.S., 1976. The tasseled cap - A graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University, West Lafayette, Indiana, pp. 41-51.
12. Kettenring, J.R., 1971. Canonical analysis of several sets of variables, Biometrika, 58, 433-451.
13. Lu, D., Mausel, P., Brondi'zio, E., Moran, E., 2004. Change detection techniques. International Journal of Remote Sensing, 25(12), 2365-2407.
14. Noori, S., 2004. Determination of the best vegetation indexes for assessing Mazandaran rangeland, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modarres University, 128 p. (In Persian).
15. Parkash, A., Gupta, R.P., 1998. Land-use mapping and change detection in a coal mining area-a case study in the Jharia coalfield, India. International Journal of Remote Sensing, 19, 391-410.
16. Petit, C., Scudder, T., Lambin, E., 2001. Quantifying processes of land-cover change by remote sensing: resettlement and rapid land-cover change in southeastern Zambia. International Journal of Remote Sensing, 22, 3435-3456.
17. Sepehry, A., Liu, G., 2006. 'Flood Induced land cover change detection using multitemporal ETM<sup>+</sup> imagery.', in Proceedings of the 2nd Workshop of the EARSeL SIG on Land Use and Land Cover: Application and Development, Matthias Braun (ed.), European Association of Remote Sensing Laboratories and Universität Bonn, Bonn, Germany, pp. 399-406 (Center for Remote Sensing of Land Surfaces).
18. Shafie, M., 2004. Application of remote

- sensing technology in the assessment and modeling of land use changes of Qazvin plain, M.Sc. Thesis, Tabriz University, human and social college, 109p. (In Persian).
19. Singh, A., 1989. Digital change detection techniques using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 989–1003.
20. Sunar, F., 1998. An analysis of changes in Multi-dataset, a case study in the Ikitelia area, Istanbul, Turkey, *International Journal of Remote Sensing*, 19(2), 225-235.
21. Yool, S.R., Makaio, M.J., Watts, J.M., 1997. Techniques for computer-assisted mapping of rangeland change. *Journal of Range Management*, 50, 307–314.