

جغرافیا و توسعه شماره ۲۴ پاییز ۱۳۹۰

وصول مقاله : ۱۳۸۹/۴/۱۳

تأیید نهایی : ۱۳۸۹/۱۲/۱۸

صفحات : ۱۳۶-۱۳۱

## پایش تغییر پوشش گیاهی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در حوضه‌ی سد ایلام

یعقوب نیازی

دکتر صالح آرخی

استادیار منابع طبیعی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام / کارشناس ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد

مصطفی ادیب‌نژاد

کارشناس منابع طبیعی

### چکیده

پایش تغییر عموماً جهت ارزیابی فرآیندهای طبیعی، از قبیل اثرات بلندمدت تغییر اقلیم که ناشی از علل نجومی است و همچنین فرآیندهای کوتاه‌مدت که شامل توالی پوشش گیاهی و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی است صورت می‌گیرد. همچنین، پایش تغییر جهت ارزیابی اثرات ناشی از فعالیت‌های انسانی از قبیل جنگل-زدایی، کشاورزی و شهرسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همانگونه که تغییرات محیطی انعکاس‌دهنده‌ی وضعیت مدیریت اراضی است، روش‌های پایش تغییر می‌تواند به ارزیابی این عملیات کمک کند. در این مطالعه تصاویر سنجنده (MSS) سال ۱۹۷۶ و لندست (ETM<sup>+</sup>) سال ۲۰۰۲ با استفاده از چهار تکنیک پایش تغییر در حوضه‌ی سد ایلام با مساحت ۴۷۶/۷۵۱ کیلومتر مربع آنالیز شده‌اند. تکنیک‌های پایش تغییر مورد استفاده در این مطالعه شامل تفاضل تصویر، نسبت‌گیری تصویر، تفاضل تجزیه مؤلفه‌ی اصلی و تفاضل تجزیه‌ی مؤلفه‌ی اصلی استاندارد شده، بوده‌اند. با توجه به اینکه تکنیک‌های پایش تغییر مورد استفاده در این مطالعه نیازمند تعیین آستانه هستند جهت تعیین آستانه از روش آماری استفاده شده است و بر این اساس مشخص شده است که آستانه‌ی تغییر در منطقه‌ی مورد مطالعه با  $\pm 1$  انحراف از میانگین قرار داشته است. پس از تعیین آستانه‌ی تغییر، مناطق دارای تغییرات کاهشی، افزایشی و بدون تغییر مشخص گردیده است. جهت ارزیابی دقت تکنیک‌های پایش تغییر پس از برداشت واقعیات زمینی که از طریق بازدید میدانی و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth به دست آمد، از دقت کل و ضریب کاپا استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص گردید که روش تفاضل باند قرمز با دقت کل ۸۹ و ضریب کاپای ۰/۸۲ از بین تکنیک‌های پایش تغییر مورد استفاده در این مطالعه بیشترین دقت و روش نسبت‌گیری باند مادون قرمز نزدیک با دقت کل ۶۴/۵ و ضریب کاپای ۰/۳۴ کمترین دقت را در پایش تغییرات پوشش گیاهی منطقه‌ی مورد مطالعه داشته‌اند.

کلیدواژه‌ها: پایش تغییر، سنجش از دور، تفاضل تصویر، نسبت‌گیری تصویر، تجزیه‌ی مؤلفه‌ی اصلی، آستانه‌ی تغییر.

## مقدمه

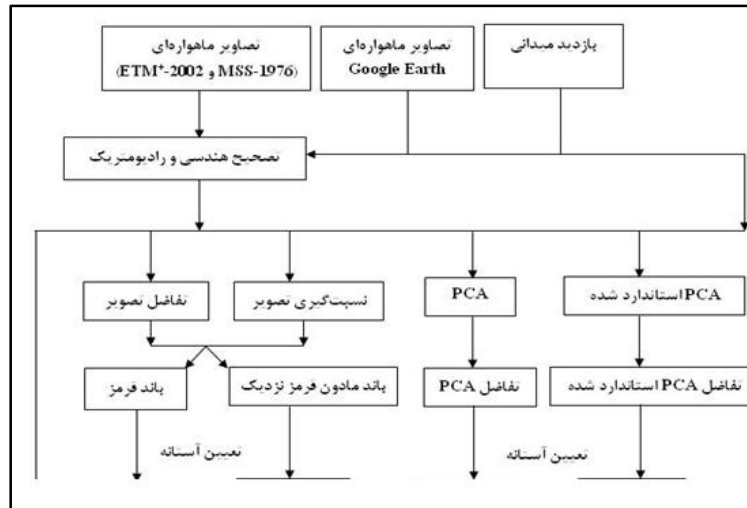
اکوسیستم‌ها به طور پیوسته در حال تغییر می‌باشند، این تغییر ممکن است ناشی از فرآیندهای طبیعی پوشش گیاهی (مثل توالی) و یا حاصل از فعالیت‌های انسانی مثل تبدیل کاربری زمین و غیره باشد. پایش تغییر فرآیند تعیین تفاوت‌ها در وضعیت یک شیء یا پدیده از طریق مشاهده‌ی آن در زمان‌های متفاوت می‌باشد (Singh, 1989: 989-1003). پایش تغییر دقیق و به هنگام عوارض سطح زمین مبنایی برای درک بهتر روابط و کنش‌های متقابل بین انسان و پدیده‌های طبیعی جهت مدیریت بهتر و استفاده‌ی بهینه از منابع است. در کل پایش تغییر شامل به‌کارگیری یک سری داده‌های چندزمانه جهت آنالیز کمی تأثیرات زمانی روی پدیده‌ها می‌باشد. به علت مزیت کسب مکرر داده‌ها، دید سینوپتیک و فرمت رقومی مناسب برای پردازش کامپیوتری، داده‌های سنجنش از دور به مهم‌ترین منابع داده‌ای برای کاربردهای مختلف پایش تغییر در طی دهه‌های گذشته تبدیل شده‌اند (Lu et al, 2004: 2366). محققان زیادی به بررسی و مطالعه روش‌های پایش تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجنش از دور پرداخته‌اند. برخی از این مطالعات و بررسی‌های صورت گرفته به شرح زیر بوده‌است: پراکاش و گوپتا (۱۹۹۸) برای پایش 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 قابل توجهی بین این روش‌ها در پایش تغییر پوشش گیاهی در این مطالعه وجود ندارد و هر روش مزایای خود را دارد. ماچونی و هاک در سال ۱۹۹۴ چندین روش پایش بی‌برگی شامل تجزیه‌ی مؤلفه‌ی اصلی، تفاضل تصویر و طبقه‌بندی تغییر و مقایسه بعد از طبقه‌بندی را بررسی کردند. آنها دریافتند طبقه‌بندی مؤلفه‌های اصلی می‌تواند به طور عمومی دقت طبقه‌بندی بالاتری نسبت به سایر روش‌ها ایجاد نماید. صحت کلی از ۶۱٪ برای روش بعد از طبقه‌بندی و ۶۳٪ برای روش PCA تا ۶۹٪ برای روش تفاضل تصویر بود. رید و لیو (۱۹۹۸) روش تفاضل تصویر، روش رگرسیون، تبدیل تسلدکپ و تبدیل مربع‌خ‌ی را برای پایش تغییر پوشش گیاهی شهری با استفاده از داده‌های TM را با هم مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که تفاضل و رگرسیون باند قرمز TM جزء بهترین روش‌ها بوده‌اند. با این حال آنها بیان کردند که روش‌ها یا باندهای انتخابی مورد استفاده به طور مطلق بر دیگر روش‌ها برتری نداشته است. مک‌لود و کونگالتون (۱۹۹۸) روش‌های مقایسه بعد از طبقه‌بندی، تفاضل تصویر و تجزیه‌ی مؤلفه‌ی اصلی را برای تعیین تغییر مرغزار با استفاده از داده‌های لندست (TM) مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که روش تفاضل تصویر به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی و تجزیه‌ی مؤلفه‌ی

اصلی با صحت کلی ۷۸٪ عملکرد بهتری داشته است. از جمله مطالعاتی که توسط محققان داخل کشور در زمینه پایش تغییرات پوشش گیاهی صورت گرفته می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: تصویری در سال ۱۳۷۷ تحقیقی در منطقه کاشان بر روی چند روش مختلف پایش تغییر انجام داد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که روش ترکیبی نسبت به دیگر روش‌های آزمایش شده در منطقه بهتر جواب داده و دارای صحت بیشتری می‌باشد. علوی‌پناه و احسانی در سال ۱۳۸۳ در تحقیقی در ارتباط با تشخیص تغییرات و بیابانزایی با استفاده از RS و GIS به این نتیجه رسیدند که داده‌های MSS، TM و ETM برای تهیه نقشه‌های پایش تغییرات مناسب هستند.

شفیعی در سال ۱۳۸۳ در تحقیقی در دشت قزوین از روش‌های تفاضل تصاویر، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و مقایسه پس از طبقه‌بندی برای تغییرات استفاده کرد. نتایج مطالعات وی نشان داد که ۱۹/۸۶ درصد از منطقه دچار تغییرات شده است. حقیقی (۱۳۸۲) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی لندست به طبقه‌بندی نظارت‌شده و روش حداکثر احتمال، تغییرات رخ داده در کلاس‌های جنگل جلگه‌ای غرب گیلان را طی دو دوره‌ی زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ را بررسی کرد و در نهایت نتیجه گرفت که کلاس‌های جنگل در منطقه‌ی مورد مطالعه معادل ۱۴۴۱/۵ هکتار کاهش یافته است. کرمی (۱۳۸۳) با داده‌های TM و ETM<sup>+</sup> در دو مقطع زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ در سطح ۶۲۹۰ هکتار واقع در شهر ایلام به بررسی روند تخریب جنگل‌های زاگرس پرداخت و بیان نمود سالیانه به طور متوسط ۶/۸ هکتار برابر با ۰/۱ درصد از سطح جنگل‌های این منطقه تخریب شده است. ایشان جاده‌سازی را مهمترین دلیل تخریب جنگل‌های منطقه مورد مطالعه خود بیان کرده است. رفیعیان و همکاران (۱۳۸۵) در تحقیقی تحت عنوان تعیین تغییرات گستره‌ی جنگل‌های شمال بین سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۰ با استفاده از تصاویر سنجنده ETM<sup>+</sup> در جنگل‌های بابل بیان کرد که در مجموع ۸/۲ درصد سطح اولیه جنگل بین سال‌های فوق از بین رفته است. هدف این مطالعه مقایسه‌ی برخی از تکنیک‌های پایش تغییر پوشش گیاهی در حوضه‌ی سد ایلام با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی سنجنده MSS سال ۱۹۷۶ و سنجنده لندست (ETM<sup>+</sup>) سال ۲۰۰۲ است.

### مواد و روش‌ها

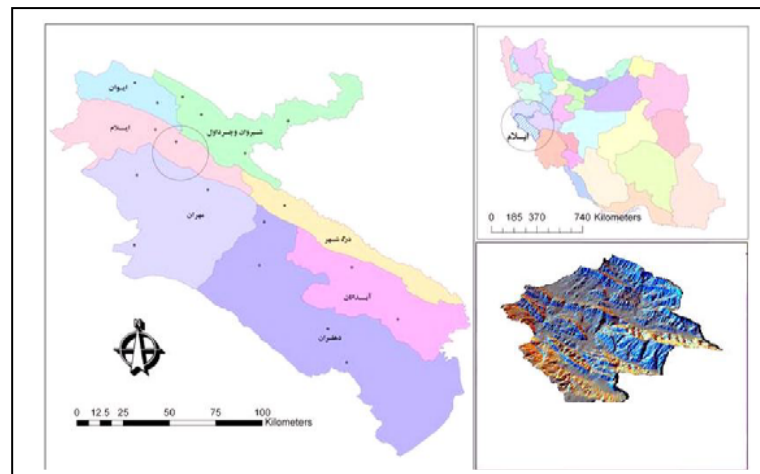
در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ی سنجنده MSS سال ۱۹۷۶/۴/۱، سنجنده ETM<sup>+</sup> سال ۲۰۰۲/۴/۱۰، عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ی گوگل ارث (Google Earth) و نرم‌افزارهای ENVI4.2، Idrisi3.2، Erdas Imaging 8.6، ArcGIS9.2 و ILWIS3.3 استفاده شده است. شکل ۱ نمودار جریانی مراحل تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمودار جریان‌ی مراحل کار  
مأخذ: نگارندگان

### موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی سد ایلام در شرق شهرستان ایلام قرار داشته و از لحاظ تقسیمات سیاسی جزء محدوده‌ی شهرستان‌های ایلام و مهران محسوب می‌شود و دارای مختصات جغرافیایی "۲۰'۳۰" تا "۴۶° ۳۹'۳۳" طول شرقی و "۳۳° ۲۳'۳۲" تا "۳۳° ۳۸'۵۱" عرض شمالی می‌باشد. مساحت حوضه برابر با ۴۷۶/۷۵۱ کیلومتر مربع برآورد شده است (شکل ۲).



شکل ۲: موقعیت کشوری و استانی منطقه‌ی مورد مطالعه  
مأخذ: نگارندگان

روش کار در تحقیق حاضر شامل مراحل زیر بوده است:

### تصحیح رادیومتریک

دو نوع تصحیح رادیومتریک وجود دارد، تصحیح رادیومتریک مطلق و تصحیح رادیومتریک نسبی (Coppin et al, 2004:1565-1596). کاهش تیرگی پدیده، یکی از روش‌های تصحیح رادیومتریک نسبی است که به طور گسترده در بسیاری از موارد به کار گرفته می‌شود (Chavez, 1996:1025-1036). در این مطالعه نیز از روش کاهش تیرگی پدیده<sup>۱</sup> که به راحتی در نرم‌افزار ENVI قابل اجراست جهت تصحیح رادیومتریک استفاده شده است. این فرآیند جهت کاهش اثرات پخش اتمسفری بر روی تصویر است.

### تصحیح هندسی

در این مرحله اقدام به اعمال تصحیحات هندسی بر روی تصاویر شد و تصاویر ماهواره‌ای MSS سال ۱۹۷۶ با استفاده از روش تصویر به تصویر از روی تصویر ETM<sup>+</sup> سال ۲۰۰۲، زمین مرجع شد. برای تبدیل مختصات تصویر تصحیح شده به تصویر تصحیح نشده از تابع درجه‌ی اول استفاده گردید و برای نمونه‌گیری مجدد ارزش پیکسل‌های تصویر تصحیح نشده از روش نزدیکترین همسایه استفاده شد و در نهایت تصویر MSS با خطای RMSE معادل ۰/۵۳ زمین مرجع گردید. در این مرحله به معرفی و نحوه‌ی اجرای تکنیک‌های به کار گرفته شده در این مطالعه جهت پایش تغییرات پوشش گیاهی می‌پردازیم:

### تفاضل تصویر<sup>۲</sup>

در این روش بر اساس رابطه‌ی ۱ ارزش‌های رقومی تصویر در تاریخ دوم از ارزش‌های رقومی تصویر در تاریخ اول کم می‌شود. این فرآیند به صورت پیکسل به پیکسل است. نتیجه‌ی این روش تولید تصویری است که در آن مقادیر مثبت و منفی نشان‌دهنده‌ی مناطق تغییر یافته و مقدار صفر نشان‌دهنده‌ی عدم تغییر بین دو تاریخ است (Singh, 1989: 989-1003).

$$Dx = x(t_2) - x(t_1) + C \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه‌ی فوق X ارزش پیکسل،  $t_1$  تاریخ اول،  $t_2$  تاریخ دوم و C، عدد ثابت است.

### نسبت‌گیری تصویر<sup>۱</sup>

در این روش پیکسلی که تغییر در آن رخ نداده نسبت یک و مناطق تغییر یافته مقادیر بزرگتر یا کمتر از یک را به خود اختصاص می‌دهند. رابطه‌ی ریاضی آن در زیر ارائه شده است (Singh, 1989: 989-1003):

$$x = x(t_1)/x(t_2) \quad \text{رابطه ۲}$$

### تجزیه‌ی مؤلفه‌های اصلی<sup>۲</sup> (PCA)

هر چه واریانس طیفی در یک تصویر بیشتر باشد، تصویر دامن‌ه اطلاعات وسیع‌تری خواهد داشت که خود گویای پدیده‌های بیشتر در تصویر است (Noori, 2004:128). در این روش PCA هر تاریخ جداگانه تهیه شد و سپس تصویر PCA ثانویه از اولیه تفریق گردید.

### PCA استاندارد شده

اولین مرحله در این روش، استاندارد کردن جدول  $X$  با جایگزینی هر درایه  $(x_{ij})$  با:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{f_i} \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه بالا،  $\bar{x}_i$  میانگین مقدار پیکسل‌های ردیف  $i$ ام و  $f_i$  تابعی است که جهت استاندارد کردن مورد استفاده قرار می‌گیرد. تابع استاندارد تعیین می‌کند که تبدیل، آنالیز مؤلفه‌ی اصلی استاندارد شده یا بدون استاندارد شده باشد. در آنالیز مؤلفه‌ی اصلی استاندارد شده، تابع استاندارد کردن از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$f = \sqrt{\sum_{j=1}^c (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \quad \text{رابطه ۴}$$

در مرحله‌ی دوم ماتریس کواریانس تصویر ( $S_{cxc}$ ) با ضرب ترانهاده  $A$  در خودش با رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$S_{cxc} = A_{cxt}^t \times A_{txc} \quad \text{رابطه ۵}$$

---

1- Image ratioing  
2- Principal component analysis (PCA)

اعضای قطری، واریانس هر باند و اعضای غیر قطری، کواریانس همه‌ی ترکیبات دوتایی امکان‌پذیر از باندها می‌باشد. مرحله‌ی بعد شامل محاسبه مقدار ویژه و بردار ویژه ماتریس  $S_{cxc}$  است. مقدار ویژه ( $\lambda_j$ ) از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$|S_{cxc} - \lambda_j I_{cxc}| = 0 \quad \text{رابطه ۶}$$

که در رابطه‌ی فوق I ماتریس یکه و علامت دترمینال می‌باشد. برای هر ماتریس CXC مثل S یک مقادیر ویژه وجود دارد. همچنین با هر مقدار ویژه یک بردار ویژه مرتبط است که برداری غیرخطی ( $u_j$ ) با شرط  $S_{cxc} u_j = \lambda_j u_j$  است. این شرط را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$|S_{cxc} - \lambda_j I_{cxc}| u_j = 0 \quad \text{رابطه ۷}$$

با حل سیستم معادلات خطی ارایه شده در رابطه ۵، بردارهای ویژه‌ی متناظر با مقادیر ویژه محاسبه می‌گردد. همچنین بردارهای ویژه استاندارد می‌شوند بطوری‌که مجموع مربعاتشان مساوی یک شود. در مرحله‌ی نهایی تبدیل (تجزیه مؤلفه‌های اصلی)، داده‌ها به صورت خطی و با استفاده از بردارهای ویژه به فضای چند بعدی تبدیل می‌شوند.

### تعیین آستانه

بسیاری از الگوریتم‌های پایش تصویر، از قبیل الگوریتم‌های موجود در دسته‌های جبر و تبدیل (از جمله تفاضل تصویر، نسبت گیری تصویر .....)، نیازمند انتخاب آستانه‌ها برای متمایز ساختن مناطق تغییر (افزایشی و کاهش‌ی) از بدون تغییر است (Fung and Ledrew, 1988: 1449-1454). معمولاً برای انتخاب آستانه‌ها از دو روش استفاده می‌شود (Yool et al, 1997: 307-314):  
 ۱- فرآیند آزمون و خطا ۲- روش آماری. در این مطالعه از روش آماری که بر اساس 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 داده‌ها از رابطه‌ی زیر استفاده گردید:

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \quad \text{رابطه ۸}$$

در رابطه‌ی فوق،  $X_i$  مقدار عددی هر پیکسل،  $\bar{X}$  میانگین پیکسل‌ها، S انحراف معیار پیکسل‌ها و Z مقدار استاندارد شده متغیر می‌باشد. در نهایت، برای تعیین بهترین آستانه،

انحراف از میانگین‌های مختلف از قبیل  $1 \pm$ ،  $1/5 \pm$ ،  $2 \pm$  و... بررسی شد و بهترین آستانه جهت تعیین مناطق تغییر و بدون تغییر (افزایشی و کاهش‌ی) مشخص گردید.

### برآورد دقت

برآورد دقت برای درک نتایج به‌دست آمده و به کار بردن این نتایج برای تصمیم‌گیری خیلی مهم هستند معمول‌ترین پارامترهایی برآورد دقت شامل، دقت کلی<sup>۱</sup>، دقت تولیدکننده<sup>۲</sup>، دقت کاربر<sup>۳</sup> و ضریب کاپا<sup>۴</sup> هستند (Lu et al, 2004: 2391). دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها طبق رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید (علوی‌پناه، ۱۳۸۴: ۳۳۲):

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad \text{رابطه ۹}$$

در این رابطه:

OA = دقت کلی      N = تعداد پیکسل‌های آزمایشی

$$\sum P_{ii} = \text{جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا}$$

به دلیل ایرادات وارده بر دقت کلی، غالباً در کارهای اجرایی که مقایسه‌ی دقت طبقه‌بندی مدنظر است از شاخص کاپا استفاده می‌شود. چون شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مدنظر قرار می‌دهد. شاخص کاپا از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود (بنیاد و حاجی قادری، ۱۳۸۶: ۶۳۸-۶۲۷):

$$Kappa = \frac{p_o - p_c}{1 - p_c} \times 100 \quad \text{رابطه ۱۰}$$

که در رابطه‌ی بالا:  $p_o$  = درستی مشاهده‌شده       $p_c$  = توافق مورد انتظار

دقت تولیدکننده، احتمال اینکه یک پیکسل در تصویر کلاسه‌بندی در همان کلاس در روی زمین قرار بگیرد و دقت کاربر، احتمال اینکه یک کلاس مشخص در روی زمین در همان کلاس بر روی تصویر طبقه‌بندی شده قرار بگیرد می‌باشد که از روابط زیر محاسبه می‌گردند (بنیاد و حاجی قادری، ۱۳۸۶: ۶۳۸-۶۲۷):

- 
- 1-Overall accuracy
  - 2-Producer's accuracy
  - 3-User's accuracy
  - 4-Kappa coefficient

$$PA = \frac{ta}{ga} \times 100 \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$UA = \frac{ta}{n_1} \times 100 \quad \text{رابطه ۱۲}$$

که در روابط فوق :

$PA$  = درصد دقت کلاس  $a$  برای دقت تولیدکننده

$ta$  = تعداد پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به عنوان 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

### نتایج

جهت پایش تغییرات پوشش گیاهی در حوضه‌ی مورد مطالعه از ۴ تکنیک پایش تغییر استفاده گردید. در روش تفاضل تصویر و نسبت‌گیری تصویر از دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک با توجه به معنی‌دار بودن نتایج آنها استفاده شده است. در این مطالعه درصد واریانس مؤلفه‌های مختلف PCA حاصل از سنجنده MSS و  $ETM^+$  محاسبه گردیده است. با توجه به اینکه بیشترین اطلاعات در هر دو سنجنده در دو مؤلفه‌ی اول ذخیره شده، به همین دلیل مؤلفه‌های اول در این مطالعه جهت پایش تغییر مورد استفاده قرار گرفتند. درصد واریانس برای مؤلفه‌ی اول PCA بدون استاندارد در دو سنجنده MSS و  $ETM^+$  به ترتیب ۹۹/۳۹ و ۹۹/۲۶ درصد بوده درحالی‌که این درصد برای مؤلفه‌ی اول PCA استاندارد شده در این دو سنجنده به ترتیب ۹۲/۵۳ و ۸۹/۹۶ درصد برآورد شده است. در مرحله‌ی بعد پس از تعیین میانگین و انحراف معیار در نقشه‌های به دست آمده از هر تکنیک پایش تغییر، این نقشه‌ها استاندارد و سپس با گرفتن آستانه‌های مختلف مشخص گردید که بهترین آستانه جهت تعیین تغییرات در منطقه‌ی مورد مطالعه با  $\pm 1$  انحراف از میانگین قرار داشته است. بر این اساس مناطق دارای تغییرات کاهشی، افزایشی و بدون تغییر مشخص شده است. سپس دقت کل، دقت تولیدکننده، دقت کاربر و ضریب کاپا برای تکنیک‌های تفاضل تصویر، نسبت‌گیری تصویر، تجزیه‌ی مؤلفه‌های اصلی و تجزیه‌ی مؤلفه‌های اصلی استاندارد شده برآورد گردیده است. داده‌های مرجع مورد استفاده جهت برآورد دقت از بازدیدهای میدانی و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth به دست آمده است. نتایج حاصل از ارزیابی دقت تکنیک‌های پایش تغییر در حوضه‌ی سد ایلام در جدول ۱ آرایه شده است

جدول ۱: ارزیابی دقت تکنیک‌های پایش تغییر در حوضه‌ی سد ایلام

داده طبقه‌بندی شده	داده مرجع			کل	دقت کاربر (%)
	تغییرات کاهشی	بدون تغییرات	تغییرات افزایشی		
تفاضل باند قرمز					
تغییرات کاهشی	۲۹	۱	۰	۳۰	۹۵
بدون تغییرات	۲۱	۹۹	۰	۱۲۰	۶۵
تغییرات افزایشی	۰	۰	۵۰	۵۰	۱۰۰
کل	۵۰	۱۰۰	۵۰	۲۰۰	
دقت تولیدکننده (%)	۵۱	۹۷	۱۰۰		
دقت کل (%)	۸۹				
ضریب کاپا	۰/۸۲				
تفاضل باند مادون قرمز نزدیک					
تغییرات کاهشی	۱۹	۲	۰	۲۱	۸۷
بدون تغییرات	۳۱	۸۸	۱۶	۱۳۵	۳۰
تغییرات افزایشی	۰	۱۰	۳۴	۴۴	۷۰
کل					
دقت تولیدکننده (%)	۵۰	۱۰۰	۵۰	۲۰۰	
دقت کل (%)	۷۰/۵۰				
ضریب کاپا	۰/۴۹				
نسبت‌گیری باند قرمز					
تغییرات کاهشی	۱۷	۰	۰	۱۷	۱۰۰
بدون تغییرات	۳۳	۱۰۰	۶	۱۳۹	۴۴
تغییرات افزایشی	۰	۰	۴۴	۴۴	۱۰۰
کل	۵۰	۱۰۰	۵۰	۲۰۰	
دقت تولیدکننده (%)	۲۸	۱۰۰	۸۵		
دقت کل (%)	۸۰/۵۰				
ضریب کاپا	۰/۶۶				

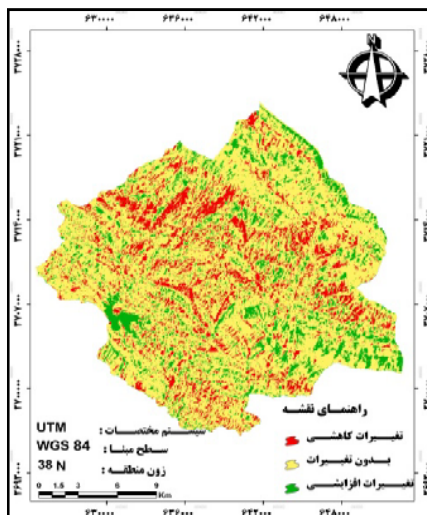
ادامه‌ی جدول ۱: ارزیابی دقت تکنیک‌های پایش تغییر در حوضه‌ی سد ایلام

داده طبقه‌بندی‌شده	داده مرجع			کل	دقت کاربر (%)
	تغییرات کاهشی	بدون تغییرات	تغییرات افزایشی		
نسبت‌گیری باند مادون قرمز نزدیک					
تغییرات کاهشی	۰	۰	۰	۰	۰
بدون تغییرات	۵۰	۱۰۰	۲۱	۱۷۱	۱۷
تغییرات افزایشی	۰	۰	۲۹	۲۹	۱۰۰
کل	۵۰	۱۰۰	۵۰	۲۰۰	
دقت تولیدکننده (%)	۰	۱۰۰	۵۱		
دقت کل (%)	۶۴/۵۰				
ضریب کاپا	۰/۳۴				
تفاضل PCI					
تغییرات کاهشی	۲۷	۰	۰	۲۷	۱۰۰
بدون تغییرات	۲۳	۹۷	۳	۱۲۳	۵۸
تغییرات افزایشی	۰	۳	۴۷	۵۰	۹۲
کل	۵۰	۱۰۰	۵۰	۲۰۰	
دقت تولیدکننده (%)	۴۷	۹۲	۹۲		
دقت کل (%)	۸۵/۵۰				
ضریب کاپا	۰/۷۶				
تفاضل PCI استاندارد شده					
تغییرات کاهشی	۲۷	۰	۰	۲۷	۱۰۰
بدون تغییرات	۳۷	۹۷	۴	۱۲۴	۴۶
تغییرات افزایشی	۰	۳	۴۶	۴۹	۹۲
کل	۵۰	۱۰۰	۵۰	۲۰۰	
دقت تولیدکننده (%)	۴۷	۹۲	۸۹		
دقت کل (%)	۸۵				
ضریب کاپا	۰/۷۵				

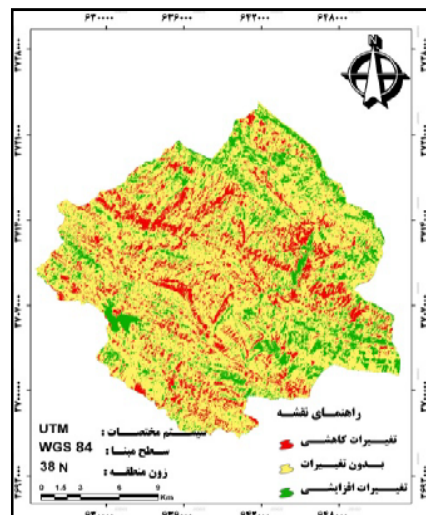
مأخذ: نگارندگان

بر اساس جدول ۱ می‌توان بیان کرد که بیشترین دقت کاربر در کلاس تغییرات کاهشی مربوط به روش‌های تفاضل باند قرمز، نسبت‌گیری باند قرمز، تفاضل PC1 و تفاضل PC1 استاندارد شده و کمترین دقت مربوط به روش نسبت‌گیری باند مادون قرمز نزدیک بوده است. در کلاس بدون تغییرات روش تفاضل باند قرمز و در کلاس تغییرات افزایشی روش‌های تفاضل باند قرمز، نسبت‌گیری باند قرمز و مادون قرمز نزدیک بیشترین دقت کاربر را داشته‌اند در حالی که روش نسبت‌گیری و تفاضل باند مادون قرمز نزدیک به ترتیب کمترین دقت را در تفکیک این دو کلاس داشته‌اند.

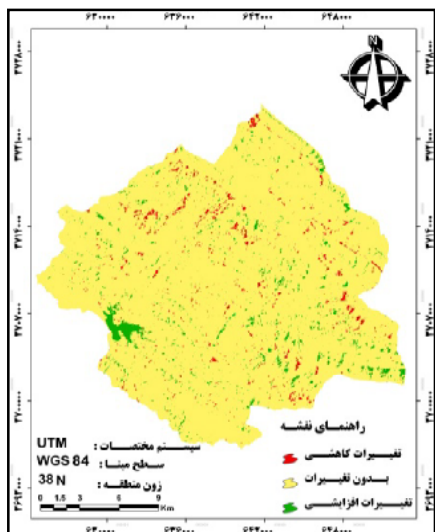
بیشترین دقت تولیدکننده در کلاس تغییرات کاهشی مربوط به روش تفاضل باند قرمز و کمترین دقت مربوط به روش نسبت‌گیری باند مادون قرمز نزدیک بوده است. اما در کلاس بدون تغییرات همه روش‌ها از دقت بالایی برخوردار بوده‌اند. در کلاس تغییرات افزایشی نیز بیشترین دقت از روش تفاضل باند قرمز به دست آمده است و سایر روش‌ها از دقت کمتری نسبت به این روش برخوردار بوده‌اند. روش تفاضل باند قرمز به ترتیب با دقت کل و ضریب کاپای ۸۹ و ۰/۸۲ بیشترین دقت و روش نسبت‌گیری باند مادون قرمز نزدیک به ترتیب با دقت کل و ضریب کاپای ۶۴/۵ و ۰/۳۴ کمترین دقت را در پایش تغییر پوشش زمین در حوضه سد ایلام داشته‌اند. نقشه‌های به دست آمده از تکنیک‌های پایش تغییر در حوضه سد ایلام در زیر ارایه شده است (اشکال ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸).



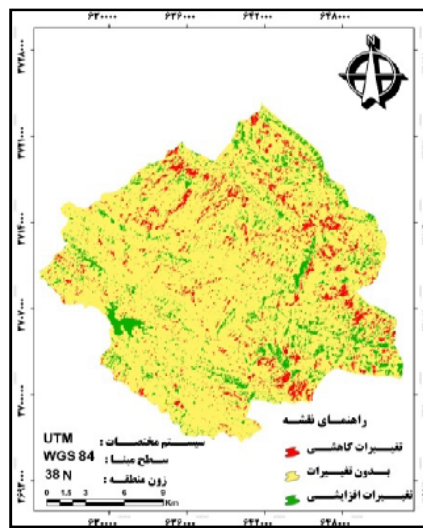
شکل ۴: نقشه‌ی تفاضل باند مادون قرمز نزدیک  
مأخذ: نگارندگان



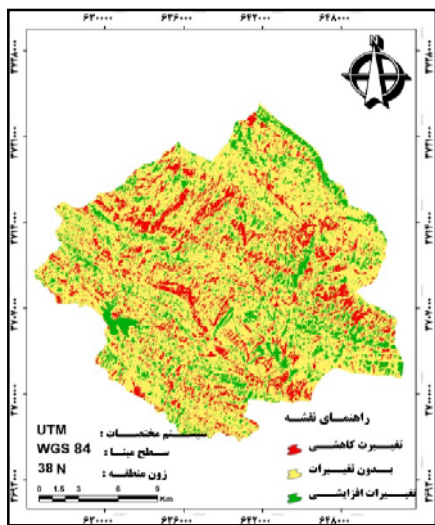
شکل ۳: نقشه‌ی تفاضل باند قرمز  
مأخذ: نگارندگان



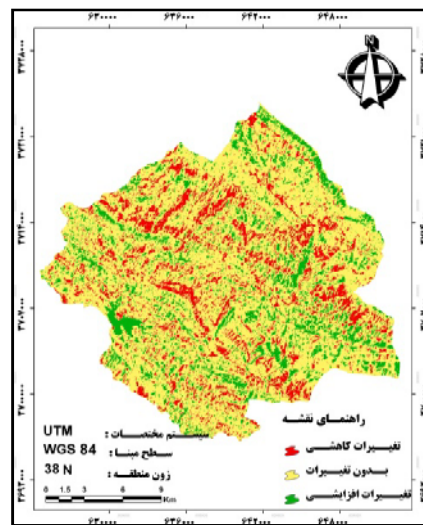
شکل ۶: نقشه‌ی نسبت‌گیری باند مادون قرمز نزدیک  
 مأخذ: نگارندگان



شکل ۵: نقشه‌ی نسبت‌گیری باند قرمز  
 مأخذ: نگارندگان



شکل ۸: نقشه‌ی تفاضل PC1 استاندارد شده  
 مأخذ: نگارندگان



شکل ۷: نقشه‌ی تفاضل PC1  
 مأخذ: نگارندگان

### نتیجه

در این مطالعه پس از اعمال تصحیحات هندسی و رادیومتریک، چهار تکنیک تفاضل تصویر، نسبت‌گیری تصویر، تفاضل تجزیه‌ی مؤلفه‌ی اصلی و تفاضل تجزیه‌ی مؤلفه‌ی اصلی استاندارد شده جهت پایش تغییر پوشش زمین در حوضه‌ی سد ایلام به کار گرفته شد. در مرحله‌ی بعد

جهت تعیین آستانه تغییرات در این روش‌ها که نیازمند تعیین آستانه هستند از روش آماری استفاده شد. بر این اساس پس از به دست آمدن نقشه‌های پایش تغییر از تکنیک‌های به کار گرفته شده در این مطالعه، این نقشه‌ها استاندارد گردید و در نهایت با گرفتن آستانه‌های مختلف مشخص گردیده که آستانه‌ی تغییر در منطقه‌ی مورد مطالعه با  $\pm 1$  انحراف از میانگین قرار داشته است. سپس کلاس‌های تغییر با توجه به آستانه به دست آمده تعیین شده است و در نهایت دقت تکنیک‌های مختلف پایش تغییر ارزیابی گردیده است. ارزیابی دقت تکنیک‌های پایش تغییر مورد استفاده در حوضه‌ی سد ایلام نشان داد که روش تفاضل باند قرمز به ترتیب با دقت کل و ضریب کاپای ۸۹ و ۰/۸۲ بیشترین دقت و روش نسبت‌گیری باند مادون قرمز نزدیک به ترتیب با دقت کل و ضریب کاپای ۶۴/۵ و ۰/۳۴ کمترین دقت را در پایش تغییر پوشش زمین در حوضه‌ی سد ایلام داشته‌اند. بر اساس نتایج روش تفاضل باند قرمز مشخص گردیده که طی سال‌های ۱۹۷۶۹ تا ۲۰۰۲ درصد کلاس‌های تغییرات کاهشی، بدون تغییرات و تغییرات افزایشی به ترتیب ۱۶، ۶۹ و ۱۵ درصد بوده است. با بررسی نتایج به دست آمده از تکنیک‌های پایش تغییر، تصاویر رنگی کاذب از دو سنجنده MSS و  $ETM^+$  در فاصله‌ی زمانی ۲۶ سال و نقشه‌های واقعیت زمینی منطقه می‌توان بیان کرد که تغییرات افزایشی بارز در حوضه مورد مطالعه شامل گسترش و توسعه‌ی باغات آبی و مناطق مسکونی در بخش میشخاص، افزایش تراکم اراضی جنگلی در قسمت‌های شمال‌شرقی و جنوب شرقی حوضه‌ی سد ایلام به دلیل تحت حفاظت قرار گرفتن این مناطق و ایجاد دریاچه به دلیل احداث سد در غرب حوضه بوده است. بخش عمده‌ای از تغییرات کاهشی در حوضه‌ی مورد مطالعه نیز مربوط به تخریب اراضی مرتعی است. ویژگی‌های اکولوژیک حوضه سبب شده که بهترین شرایط جهت دامداری و پرورش حیوانات اهلی فراهم باشد، اما عدم وجود فرصت‌های شغلی در حوضه برای جذب نیروی کار مازاد و فقر اقتصادی ساکنان حوضه سبب شده که فشار مراتع از طریق دامداری سنتی به بالاترین حد خود رسیده و کاهش سطح مراتع را به دنبال داشته باشد. در مجموع می‌توان بیان کرد که روش‌های پایش تغییر متفاوت ویژگی‌های مربوط به خود را داشته و هیچ روشی به تنهایی مناسب و قابل استفاده برای تمام موارد نمی‌باشد به خاطر سختی شناسایی یک روش مناسب، در عمل روش‌های مختلف پایش تغییر برای فراهم کردن بهترین نتیجه بر اساس ارزیابی درستی یا ارزیابی کیفی مقایسه و آزمایش می‌شود.

### منابع

- ۱- بنیاد، امیراسلام و طه حاجی‌قادری (۱۳۸۶). تهیه‌ی نقشه جنگل‌های طبیعی استان زنجان با استفاده از داده‌های سنجنده ETM<sup>+</sup> ماهواره لندست ۷، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال یازدهم. شماره چهل و دوم. ۶۳۸-۶۲۷.
- ۲- تصویری، محمد (۱۳۷۷). کاربرد اطلاعات رقومی ماهواره لندست TM در تخمین تولید پوشش گیاهی، مجله منابع طبیعی ایران. جلد ۵۰. شماره ۱. ۲۱-۳.
- ۳- حقیقی، مریم (۱۳۸۲). بررسی تخریب جنگل‌های جلگه‌ای غرب گیلان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان.
- ۴- رفیعیان، امیر؛ علی‌اصغر درویش‌صفت و محمد نمیریان (۱۳۸۵). تعیین تغییرات گستره جنگل‌های شمال کشور بین سال‌های ۷۳ تا ۸۰ با استفاده از تصاویر سنجنده ETM<sup>+</sup>. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال دهم. شماره سوم. ۲۸۶-۲۷۷.
- ۵- شفیعی، محمد (۱۳۸۳). کاربرد فن‌آوری سنجنش از دور در ارزیابی و مدلسازی تغییرات کاربری اراضی دشت قزوین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. ۱۰۹ صفحه.
- ۶- علوی‌پناه، سیدکاظم و امیرهوشنگ احسانی (۱۳۸۳). بررسی بیابان‌زایی و تغییرات اراضی پلائی دماغان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه و چندطیفی. مجله بیابان. ۹ (۱): ۱۵۰-۱۴۳.
- ۷- علوی‌پناه، سیدکاظم (۱۳۸۴). کاربرد سنجنش از دور در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۸- کرمی، فرشید (۱۳۸۳). مطالعه قابلیت داده‌های ماهواره لندست جهت تعیین تخریب در جنگل‌های زاگرس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی ساری دانشگاه مازندران.
- 9-Chavez, P.S (1996). Image-based atmospheric corrections-Revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 1025-1036.
- 10-Coppin, P, Jonckheere, I, Nackaerts, K, Muys, B, and Lambin, E(2004). Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 1565-1596.
- 11-Fung, T, and Ledrew, E (1988). The determination of optimal threshold levels for change detection using various accuracy indices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54, 1449-1454.
- 12-Lu, D, Mausel, P, Brondi'zio, E, and Moran, E (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 20 June, Vol. 25, No. 12, 2365-2407.
- 13-Ludwig, J.A and Reynolds, J.F (1988). *Statistical ecology: A primer on methods and computing* (P. 337). New York: John Wiley and Sons, Inc.

- 14-Macleod,R.D,and Congalton,R.G(1998). A quantitative comparison of changedetection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64, 207–216.
- 15-Muchoney, D.M., and Haack, B.N (1994). Change detection for monitoring forest defoliation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60, 1243–1251.
- 16-Noori,S (2004). Determination of the best vegetation indexes for assessing Mazandaran rangelands, master thesis, Tarbiat Modarres University, 128 pp.
- 17- Parkash, A, and 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.
- 18- Ridd, M.K., and Liu, J (1998). A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment. *Remote Sensing of Environment*, 63, 95–100.
- 19-Singh, A (1989). Digital change detection techniques using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 989–1003.
- 20-Yool, S.R, Makaio, M.J, and Watts, J.M (1997). Techniques for computer-assisted mapping of rangeland change. *Journal of Range Management*, 50, 307–314.