

مقاله پژوهشی

ارزیابی تکنیک‌های تغییرات پوشش گیاهی / کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و

GIS (مطالعه موردی: حوضه گرگانرود)

صالح آرخی^{۱*}، اسمعیل شاهکویی^۲، بهنام عطا^۳

۱. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان

۲. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان

۳. کارشناسی‌ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۰ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲)

Evaluation of Vegetation/Land Use Change Techniques Using Satellite Images and GIS
(Case Study: Gorganrood Basin)Saleh Arekhi^{1*}, Esmail Shakooei², Behnam Ata³

1. Assistant Professor, Department of Geography, Golestan University

2. Assistant Professor, Department of Geography, Golestan University

3. M.A. in Geography and Urban Planning, Ferdowsi University of Mashhad

(Received: 01/Aug/2021)

Accepted: 12/Jan/2022)

Abstract

Due to human activities, the face of the earth is always changing. For the optimal management of natural areas, it is necessary to know the trend and amount of changes in vegetation/land use. Estimating these changes is very important. The purpose of the present research is to monitor land cover changes using satellite images in the Gorganrood watershed in Golestan province. The images of TM sensor in 1987, ETM+ sensor in 2000 and OLI sensor in 2019 were processed and analyzed. After performing geometric and atmospheric corrections, monitoring and classification of images using six change monitoring techniques in Gorganrood basin with an area of 8020 square kilometers were analyzed and the changes occurred in this basin in two time periods, from 1987 to 2000 and 2000 to 2019 was investigated. Change monitoring techniques include red band difference, infrared band difference, PCA difference and standardized PCA difference, change vector analysis and comparison after classification. Statistical methods have been used to determine the threshold. After determining the change threshold, the areas with decreasing, increasing and unaffected changes have been identified. In order to evaluate the accuracy of change monitoring techniques, after the ground impressions obtained through field visits, Google Earth satellite images and aerial photos, the manufacturer's accuracy, the user's accuracy, the total accuracy and the Kappa coefficient were used. The results showed that the standardized PCA1 method had the highest total accuracy and kappa coefficient in both periods. The values of these two parameters are equal to 96.5% and 94% for the first period and 91.5% and 86% for the second period respectively. PCA1 method with overall accuracy and Kappa coefficient equal to 84.5% and 74% for the first period and 89% and 82% for the second period after standardized PCA1 method has the highest level of accuracy among other methods. On the other hand, the near-infrared band difference method had the lowest total accuracy and kappa coefficient in both periods compared to other methods. The results also show that between 1987 and 2019, agricultural lands (rainfed) had the most positive changes. The extension of these lands has mostly been at the price of loss of pastures (due to higher fertility). In the space of 32 years, pastures have also undergone changes and transformations, and the decreasing changes in them can be attributed to the plowing of pastures and their allocation to agriculture.

Keywords: Land Use/Vegetation, Change Monitoring, Principal Component Analysis, Change Vector Analysis, Gorganrood.

*Corresponding Author: Saleh Arekhi

E-mail: S.arekhi@gu.ac.ir

چکیده

بر اثر فعالیت‌های انسانی، چهره زمین همواره دست‌خوش تغییر می‌شود. از این رو برای مدیریت بهینه مناطق طبیعی، آگاهی از روند و میزان تغییرات پوشش گیاهی/کاربری اراضی ضروری است و برآورد این تغییرات اهمیت به‌سزایی دارد. هدف از انجام این پژوهش، پایش تغییرات پوشش اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان است. در این تحقیق، تصاویر سنجنده TM سال ۱۳۶۶، سنجنده ETM+ سال ۱۳۷۹ و سنجنده OLI سال ۱۳۹۸ مورد پردازش و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور، بعد از انجام تصحیحات هندسی و اتمسفریک، پایش و طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از شش تکنیک پایش تغییر در حوضه گرگانرود با مساحت ۸۰۲۰ کیلومتر مربع آنالیز شده و تغییرات رخ داده در این حوضه در دو دوره زمانی، از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۹ و ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸ بررسی شد. تکنیک‌های پایش تغییر مورد استفاده در این مطالعه شامل تفاضل باند قرمز، تفاضل باند مادون قرمز، تفاضل PCA و تفاضل PCA استاندارد شده، آنالیز برداری تغییر و مقایسه پس از طبقه‌بندی بوده‌اند. جهت تعیین آستانه از روش‌های آماری استفاده شده است. پس از تعیین آستانه تغییر، مناطق دارای تغییرات کاهش، افزایش و بدون تغییر مشخص شده است. جهت ارزیابی دقت تکنیک‌های پایش تغییر، پس از برداشت‌های زمینی که از طریق بازدید میدانی، تصاویر ماهواره‌ای گوگل‌ارت و عکس‌های هوایی به دست آمد، از دقت تولیدکننده دقت استفاده‌کننده، دقت کل و ضریب کاپا استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مشخص شد روش PCA1 استاندارد شده در هر دو دوره بیشترین دقت کل و ضریب کاپا را داشته است. مقادیر این دو پارامتر به ترتیب برای دوره اول برابر با ۹۶/۵ درصد و ۹۴ درصد و برای دوره دوم برابر با ۹۱/۵ درصد و ۸۶ درصد به دست آمده است. روش PCA1 با دقت کلی و ضریب کاپا برابر با ۸۴/۵ درصد و ۷۴ درصد برای دوره اول و ۸۹ درصد و ۸۲ درصد برای دوره دوم بعد از روش PCA1 استاندارد شده، بیشترین میزان دقت را بین سایر روش‌ها داشته است. در حالی که روش تفاضل باند مادون قرمز نزدیک، در هر دو دوره از کمترین دقت کل و ضریب کاپا نسبت به سایر روش‌ها برخوردار بوده است. بررسی نتایج به دست آمده در این مطالعه به خوبی نشان می‌دهد که در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۸، اراضی کشاورزی (دیم) بیشترین تغییرات مثبت را داشته‌اند. اضافه شدن این اراضی اکثراً به قیمت از دست رفتن مراتع بوده است (به دلیل حاصلخیزی بالاتر). همچنین، در این فاصله زمانی ۳۲ ساله، مرتع نیز دچار تغییر و تحول شده‌اند که تغییرات کاهش در آن‌ها را می‌توان به دلیل شخم مراتع و اختصاص آن‌ها به کشاورزی دانست.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی / پوشش گیاهی، پایش تغییر، آنالیز مؤلفه

اصلی، آنالیز برداری تغییر، گرگانرود.

نویسنده مسئول: صالح آرخی

مقدمه

این تغییرات به دلیل تأثیر در نتیجه آشکارسازی، اقدامی مهم و اساسی است؛ زیرا که روش انتخاب شده جهت بازیابی و کشف تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در نتایج به دست آمده و تفسیر و تحلیل آن‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارد.

پژوهشگران زیادی به مطالعه روش‌های مختلف آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی/ پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور پرداخته‌اند. پرکاش و گوپتا^۱ (۱۹۹۸) 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. گویرگوس و همکاران^۲ (۱۹۹۶)، آنالیز مؤلفه اصلی استاندارد شده و استاندارد نشده، تفاضل تصویر و نسبت‌گیری تصویر را مقایسه کردند. آن‌ها دریافتند که تجزیه مؤلفه اصلی استاندارد شده قابلیت شناسایی بهتر تغییرات نسبت به سایر روش‌ها را دارد. مطالعات دیگری نیز صورت گرفته که نتایج آن‌ها نشان می‌دهد، آنالیز مؤلفه اصلی استاندارد شده در پایش تغییر نسبت به آنالیز مؤلفه اصلی غیر استاندارد قابل اطمینان‌تر است (سینگ و هریسون^۳، ۱۹۸۵؛ فانگ و لدرو^۴، ۱۹۸۸؛ اکلونده و سینگ^۵، ۱۹۹۳؛ سونار^۶ (۱۹۹۸) روش‌های تفاضل تصویر، آنالیز مؤلفه اصلی و مقایسه پس از طبقه‌بندی را برای پایش تغییر در پوشش زمین در منطقه اکتیلی استانبول ترکیه مقایسه کرده و دریافتند که روش‌های آنالیز مؤلفه اصلی و مقایسه پس از طبقه‌بندی نسبت به تغییرات، تفاوت‌های برجسته‌ای دارند. در عین حال هر کدام از روش‌های مورد استفاده برخی مزیت‌ها با توجه به محتوای اطلاعات یا قابلیت تفسیر دارند. شفیعی (۲۰۰۴)، در پژوهشی در دشت قزوین از روش‌های تفاضل تصاویر، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، طبقه‌بندی تصویر 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

در قرن بیست و یکم تهدیدات ناشی از تغییرات آب‌وهوایی و سایر تغییرات جهانی محیط‌زیست، همچنان یکی از موانع پیشرفت انسان در دستیابی به اهداف توسعه پایدار است. محرک‌های اصلی این تغییرات شامل شهرنشینی سریع، افزایش جمعیت و سایر فعالیت‌ها از جمله جنگل‌زدایی، باعث از دست رفتن تنوع زیستی شده و اثرات مخربی بر اکوسیستم آبی و خاکی کره زمین گذاشته است (Wang et al, 2020: 3925). تغییر کاربری و پوشش زمین، تغییر در پوشش سطحی ناشی از فعالیت‌های انسان بر روی کره زمین و محیط‌زیست است که اثرات بسیار قابل توجهی را در پی داشته است. در این میان مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین نقش به‌سزایی در تصمیم‌گیری‌ها و درک روند تغییرات و برون‌یابی‌های آینده‌نگرانه دارد (Hamad et al, 2018: 3421). تغییرات پوشش زمین نتیجه برهم‌کنش عوامل مختلفی است که امروزه این تغییرات در مدیریت منابع، توسعه پایدار و محیط‌زیست، برای مدیران و برنامه‌ریزان که درگیر مسائل توسعه پایدار شهری و محیطی هستند به یکی از نگرانی‌های اساسی تبدیل شده است. این تغییرات، نگرانی روزافزونی را ایجاد کرده است؛ چرا که بخش بزرگی از این تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی، خصوصاً شهرنشینی در نواحی کمتر توسعه یافته است (Mohamed & Worku, 2020: 100545). بر همین اساس مدل‌سازی کاربری و پوشش سطح زمین و شناخت تغییرات برای تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان در توسعه جوامع، برنامه‌های میان‌مدت و بلندمدت در جهت مقابله با بحران‌های محیط‌زیست یا سایر موضوعات مربوط به توسعه پایدار مدیریت منابع ضروری است.

آشکارسازی تغییرات عبارت است از کاربرد مجموعه داده‌های چند زمانه با هدف تشخیص پهنه‌هایی که کاربری آن‌ها در فواصل مختلف تصویربرداری تغییراتی داشته‌اند (رسولی، ۱۳۸۷: ۸۰۶). این تغییرات ممکن است ناشی از تغییرات پوشش در کوتاه‌مدت مانند برف و یا سیلاب، تغییرات کاربری چون توسعه شهری و یا تبدیل اراضی کشاورزی به کاربری‌های مسکونی و صنعتی باشد. به علت مزیت کسب داده‌های تکراری، دید سینوپتیک و فرمت رقمی مناسب برای پردازش کامپیوتری، داده‌های سنجش از دور به مهم‌ترین منابع داده‌ای برای کاربردهای مختلف پایش تغییر در طی دهه‌های گذشته تبدیل شده‌اند. انتخاب روش و الگوریتم مناسب برای بازیابی و کشف

1. Parkash and Gupta
2. Guirguis and et al
3. Singh and Harrison
4. Fung and Ledrew
5. Eklandh and Singh
6. Sunar

کاربری اراضی در محدوده سالم در جنوب هند نمودند و بیان داشتند که بیشترین تغییرات در مرکز محدوده مطالعاتی رخ داده و سناریوی توسعه اجتماعی-اقتصادی این منطقه که تأثیرگذار بر منابع آب و منابع معدنی است، عامل این تغییرات می باشد. مادوراپروم و همکاران^۶ (۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های دورسنجی و روش طبقه‌بندی نظارت شده در دوره زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۱ به مطالعه شناسایی تغییرات کاربری اراضی در حوضه پیستن کریک در داکوتای شمالی پرداخته و بیان می‌دارد که داده‌های دورسنجی الگوی تغییرات پوشش زمین را به صورت رقمی درآورده و می‌تواند به عنوان یک ورودی ضروری در سیاست‌های مدیریت اراضی لحاظ شود. جین و همکاران^۷ (۲۰۱۷) به منظور به روزرسانی اطلاعات کاربری اراضی ملی منطقه آلاسکا، تغییرات کاربری اراضی را در این منطقه طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ و با استفاده از تصاویر ماهواره لندست آشکارسازی نمودند. در این میان شاخص‌های گوناگونی نظیر NDWI، شاخص آشکارسازی سایه و شاخص یخ و برف محاسبه، نقشه پوشش گیاهی منطقه به روش حداکثر احتمال طبقه‌بندی شد و به روش تسلدکپ تغییرات طی سال‌های مذکور آشکارسازی شد. نتایج نشان داد دقت کل در تعیین مناطق با تغییرات و بدون تغییرات در حدود ۹۰ درصد بوده است که این مقدار در نقشه‌های به روزرسانی شده سال ۲۰۱۱ به ۸۶ درصد رسیده است. بنابراین با توجه به دقت مناسب روش پیشنهادی از آن برای کل منطقه آلاسکا و به روزرسانی نقشه‌های پوشش گیاهی استفاده شده است.

ارخی و همکاران (۲۰۱۳) برای پایش تغییرات منطقه بیابانی دهلران از شش تکنیک پایش تغییر تفاضل تصاویر، آنالیز مولفه‌های اصلی، تفاضل شاخص پوشش گیاهی، آنالیز مولفه‌های متعارف، تفاضل تسلدکپ و روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده کردند و بر اساس نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی دریافتند که روش تفاضل باند مادون قرمز با دقت ۹۰/۵ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۱ بیشترین دقت را از بین این تکنیک‌ها داشته است. علیخاه‌اصل و همکاران (۲۰۱۴) به ارزیابی روش‌های مختلف بهبود استخراج اطلاعات از داده‌های سنجش از دور پرداخته‌اند. آنها در این تحقیق، روش‌های آنالیز مؤلفه مستقل، تسلدکپ، شاخص نرمال شده تفاضل

مشخص می‌شود. 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 (قاسمیان‌یزدی و غیاثوند، ۱۳۷۸: ۷). سپهری و لیو^۱ (۲۰۰۶) 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 تکنیک‌ها، تکنیک‌های تفاضل تصویر و آنالیز برداری تغییرات در تهیه نقشه مناطق تغییر یافته-تعیین‌یافته تحت تأثیر سیل بیشترین دقت را داشته است. بربروگلو و آکین^۲ (۲۰۰۹) تکنیک‌های تفریق تصویر، نسبت-گیری تصویر، رگرسیون تصویر و آنالیز خطی تغییر را برای ارزیابی تغییر کاربری/پوشش اراضی در شرق مدیترانه مقایسه نمودند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که آنالیز بردار تغییر، دقیق‌ترین مدل برای بررسی تغییر کاربری/پوشش اراضی در شرق مدیترانه است و تکنیک نسبت‌گیری تصویر، کمترین دقت را بین سایر روش‌ها داشت. در این مطالعه روند تغییرات کاربری اراضی نیز بررسی گردید. جبار و ژو^۳ (۲۰۱۱) با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی به پایش تغییرات اکومحیطی استان بصره در جنوب عراق در دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۰۳ پرداخته و فرایندهای بیابان‌زایی، شوری، شهرنشینی، تخریب پوشش گیاهی و نابودی تالاب‌ها را به عنوان عوامل تخریب اکومحیطی منطقه شناسایی نمودند. ال‌رواشده^۴ (۲۰۱۲) مطالعات محیطی مناطق شرق اردن با استفاده از تصاویر لندست در دوره ۱۹۸۳-۲۰۰۴ به بررسی پایش تغییرات براساس شاخص NDVI پرداخت و بیان داشت که کارایی این روش در شناسایی تغییرات مناطق تخریب شده به واسطه افزایش شوری در نتیجه پمپاژ بی‌رویه آب‌های زیرزمینی مفید می‌باشد. آرولبالاجی و گروگنانام^۵ (۲۰۱۴) با استفاده از سنجش از دور در یک دوره زمانی ۱۶ ساله اقدام به پایش تغییر

1. Sepehry and Liu
2. Berberoglu and Akin
3. Jabbar and Zhou
4. Al Rawashdeh
5. Arulbalaji and Gurugnanam

6. Madurapperuma and et al
7. Jin

پوشش گیاهی و طبقه‌بندی نظارت شده را با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج کار آنها نشان داد که استفاده از الگوریتم مؤلفه مستقل موجب افزایش صحت نقشه‌های خروجی می‌شود.

موسوی و همکاران (۱۳۹۴) در دوره زمانی ۳۸ ساله و با استفاده از سنجنده‌های TM، MSS، ETM⁺ و OLI، تغییرات کاربری حوضه ابرکوه را به کمک الگوریتم‌های تسلدکپ و تحلیل مؤلفه مینا مورد ارزیابی و پایش قرار دادند. نتایج طبقه‌بندی حاکی از بازسازی هفت نوع کاربری است که سال ۲۰۱۴ با مقادیر ضریب ۸۲ درصد و دقت کل ۰/۷۶ بالاترین دقت را داشت. میرمحمدصادقی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از سه تصویر ۲۰۰۲، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ ماهواره لندست با سه روش (تفاضل تصویر، تفاضل شاخص پوشش و تفاضل تسلدکپ) به آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی و پهنه آبی تالاب‌های چغاخور و سولگان پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد، روش تسلدکپ با دقت کل و ضریب کاپای ۸۸/۳۴ و ۰/۸۳ نسبت به دو روش دیگر توانسته است تغییرات را به خوبی آشکارسازی کند. بررسی‌های انجام‌شده تاکنون یک روش منحصر به فرد برای تمام موارد را نشان نمی‌دهند. انتخاب یک روش مناسب پایش تغییر به دانش تحلیل‌گر در زمینه روش‌های پایش تغییر و مهارت در به کار بردن داده‌های سنجش از دور، داده‌های تصویری مورد استفاده و مشخصات منطقه مورد مطالعه دارد. 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.

خیرخواه‌زرکش و حسین‌زاده (۱۳۹۵) به آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در شهر اردبیل با استفاده از تکنولوژی RS و GIS پرداختند. این تحقیق نشان داد که داده‌های دورکاوی توانایی بالایی در استخراج نقشه کاربری اراضی و ارزیابی تغییرات کاربری دارند. طاهری و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی و پایش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره لندست برای شهر شاندیز پرداخته‌اند که نتایج تحقیق نشان می‌دهد در طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۸ مساحت کاربری‌های محدوده‌های ساخته شده و اراضی بایر به شدت افزایش یافته و از مساحت کاربری‌های باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی و مراتع کاسته شده است و مساحت کاربری‌ها در افق ۱۴۰۰ به نسبت سال ۱۳۹۴ نیز همین گونه خواهد بود.

روش‌های پایش تغییر به دو دسته پایش‌پدازش و

پس‌پدازش تقسیم می‌شوند. روش‌های پایش‌پدازش فقط قادرند تغییرات رخ داده در منطقه را در سطح پیکسل (به سه صورت کاهشی، افزایشی و بدون تغییر) نشان دهند و قادر نیستند نوع و ماهیت تغییر را نشان دهند. در صورتی که روش‌های پس‌پدازش، قادرند هم نوع و هم ماهیت تغییر را نشان دهند، بنابراین در این مطالعه از هر دو روش استفاده شده است. بنابراین، ضرورت دارد برای پایش تغییرات از هر دو روش استفاده شود.

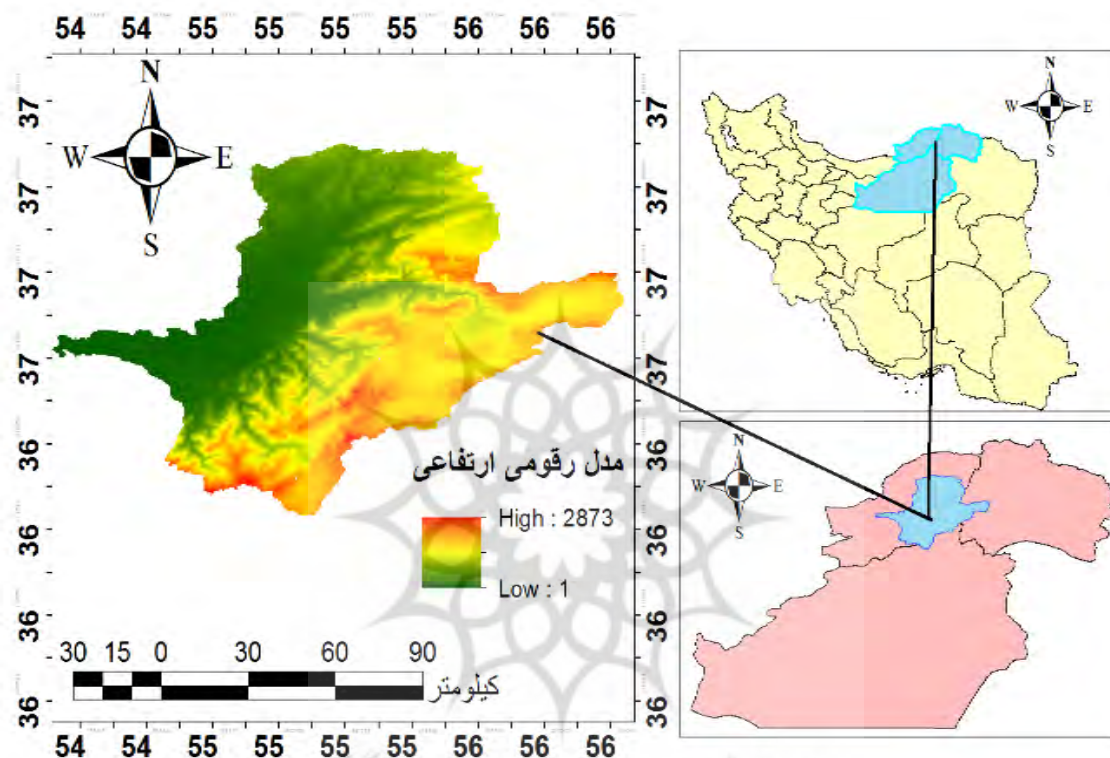
در طی چند دهه اخیر، تغییر پوشش زمین تحت اثر عوامل محیطی و انسانی سبب بروز اثرات جدی بر محیط‌زیست، اقتصاد و اجتماع شده است. در استان گلستان خصوصاً حوضه آبخیز گرگانرود نیز عرصه‌های جنگلی، مرتعی و طبیعی وسیعی بدون رعایت اصول اکولوژیکی و علمی به زیر کشت محصولات زراعی رفته یا در جهت مقاصد خاص مورد بهره‌برداری قرار گرفته و تبدیل به سایر کاربری‌ها شده‌اند، درحالی‌که بسیاری از این اراضی استعداد کاربری به صورت زراعت را دارا نبوده و استعداد فرسایشی بالایی دارند. همچنین این تغییرات باعث تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و کیفیت ذاتی و پویایی آن گشته و توانایی طبیعی خاک در انجام وظایف خود را کاهش خواهد داد که در نتیجه این امر شاهد فرسایش خاک به ویژه در اراضی شیب‌دار و ایجاد سیلاب‌های ویرانگر خواهیم بود. لذا داشتن آگاهی از نوع و نحوه استفاده از پوشش زمین و تغییرات احتمالی آن در طی زمان که از موارد مهم جهت برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در کشور خواهد بود، لازم و ضروری است (Mosaedi et al, 2007:171). هدف از این مطالعه، بررسی شش روش آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی/پوشش گیاهی و تعیین بهترین آن‌ها در منطقه مطالعه شده با استفاده از تصاویر ماهواره لندست در دوره زمانی ۱۳۶۶-۱۳۹۸ است.

داده‌ها و روش کار

حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان در شمال شرقی ایران قرار دارد. تیپ غالب کاربری اراضی موجود در محدوده مورد مطالعه از نوع جنگل‌های هیرکانی، زراعت دیم، مراتع و اراضی کشاورزی آبی است. حوضه آبخیز مورد مطالعه در مختصات جغرافیایی ۴۹°۴۴'۳۶" تا ۳۶°۴۷'۳۷" عرض شمالی و ۳۳°۴۳'۵۴" تا ۲۷°۲۷'۵۶" طول شرقی قرار دارد. در محدوده مورد مطالعه، تغییرات عمده کاربری اراضی از جنگل به زراعت و

طبیعی در منطقه است، حوضه آبخیز گرگانرود با مساحت ۸۰۲۰ کیلومترمربع به منظور بررسی آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست مورد مطالعه قرار گرفت. شکل ۱، موقعیت حوضه آبخیز گرگانرود در کشور و استان گلستان را نشان می‌دهد.

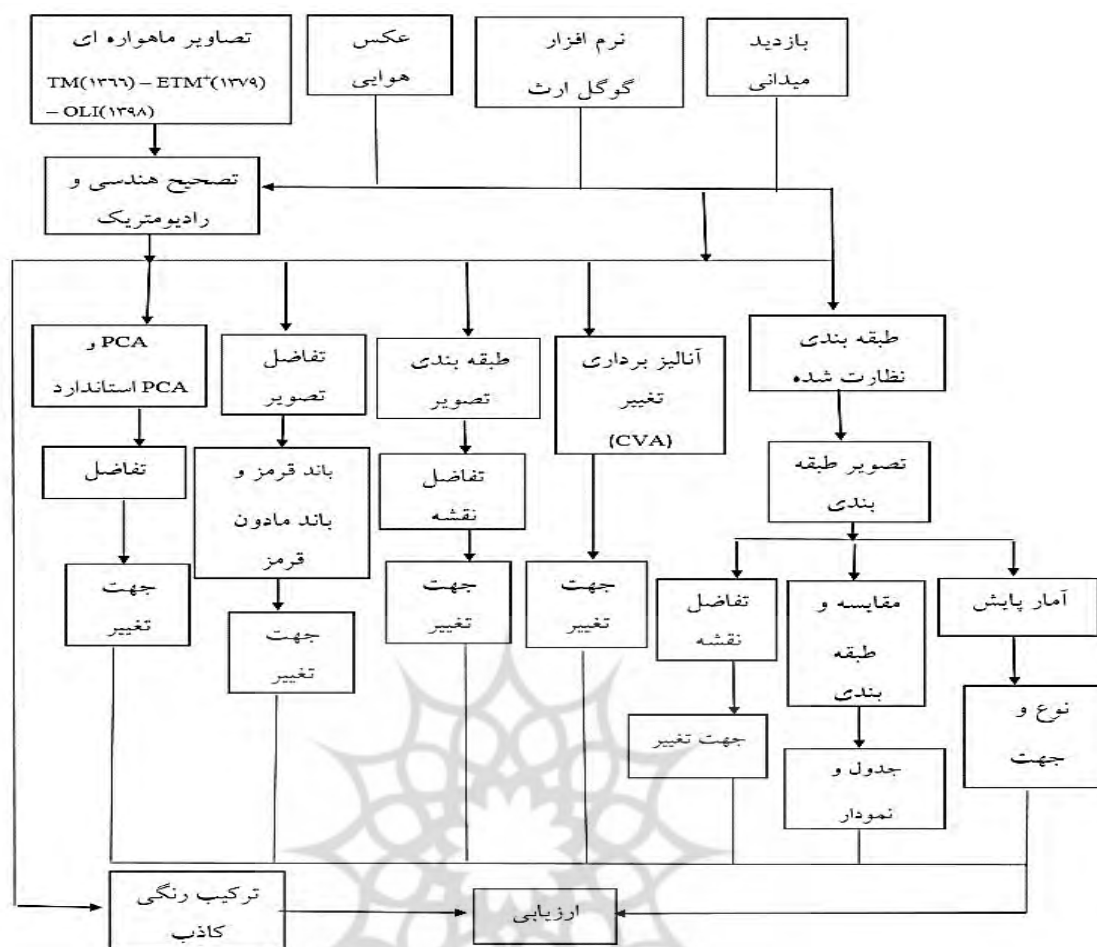
مناطق مسکونی و صنعتی بسیار چشمگیر بوده است؛ بنابراین این حوضه تحت تأثیر ترکیبی از تغییرات انسانی و طبیعی قرار گرفته که منجر به اهمیت این موضوع در بررسی راهکارهای مدیریتی برای جلوگیری از بروز بحران می‌شود. به دلیل وقایع سیلاب رخ داده در منطقه و پدیده تغییر کاربری اراضی در این حوضه که به عنوان عامل اصلی این پدیده



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان

عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای گوگل‌ارت و نمونه‌برداری زمینی جهت ارزیابی دقت و نرم‌افزارهای ENVI 5.0، IDRISI Selva و ArcGIS 10.3 جهت ارزیابی روند تغییرات و مشاهدات تغییرات کاربری اراضی استفاده شد. شکل ۲، نمودار جریانی مراحل تحقیق را نشان می‌دهد.

برای آشکارسازی تغییرات و استخراج نقشه‌های پوشش / کاربری اراضی، از داده‌های ماهواره‌ای TM، به تاریخ ۱۳۶۶/۳/۲۳، ETM⁺، به تاریخ ۱۳۷۹/۳/۴ و OLI به تاریخ ۱۳۹۸/۳/۸ (مسیر ۱۶۲، ردیف ۳۴- هر سه تصویر مشابه) استفاده شد. در ضمن، نقشه توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح برای بستن مرز حوضه مطالعاتی، GPS جهت تعیین مختصات نقاط نمونه‌برداری،



شکل ۲. مراحل کلی تحقیق

تحقیق پیش‌رو در چند مرحله انجام شده است که در ادامه به تشریح مراحل تحقیق پرداخته شده است:

مرحله اول: تصحیح هندسی

برای تصحیح هندسی، از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش استفاده شد. در این مرحله اقدام به اعمال تصحیحات هندسی بر روی تصاویر انجام گرفت و تصویر سنجنده OLI سال ۱۳۹۸ با استفاده از روش تصویر-کتور، زمین مرجع شد. برای این کار از ۳۷ نقطه کنترل زمینی با پراکنش مناسب و در تقاطع جاده‌ها، آبراهه‌ها استفاده شد تا مدل ریاضی که برای پیدا کردن ضرایب مجهول در معادله مورد استفاده قرار می‌گیرد، خطای کمتری داشته باشد. برای تبدیل مختصات تصویر تصحیح‌شده به تصویر تصحیح‌نشده از تابع درجه اول و برای نمونه‌گیری مجدد ارزش پیکسل‌های

تصویر تصحیح نشده از روش نزدیکترین همسایه استفاده و در نهایت سنجنده OLI با خطای RMSE معادل ۰/۳۴ زمین مرجع شد. در ضمن، تصحیح هندسی تصویر TM سال ۱۳۶۶ و ETM⁺ سال ۱۳۷۹ به روش تصویر به تصویر انجام شد. بدین منظور تصویر ۱۳۹۸ بعد از تصحیح هندسی به عنوان مبنا در نظر گرفته شد. ابتدا نقاط کنترل انتخاب شدند، سپس نقاطی که دارای خطای زیادی بودند از جدول مربوط حذف و در نهایت با حذف ۹ و ۷ نقطه کنترل زمینی، تصویر TM با ۳۲ و تصویر ETM⁺ با ۳۹ نقطه کنترل با خطای معادل ۰/۳۳ و ۰/۳۵ تصحیح شدند. به منظور تعیین تغییرات علاوه بر هم مختصات بودن تصاویر، باید ابعاد پیکسل‌های آنها نیز یکسان باشد که در این تحقیق اندازه همه پیکسل‌ها ۲۸/۵ متر است.

مرحله دوم: تصحیح رادیومتریک

تصحیح رادیومتریک زمانی انجام می‌گیرد که از تصاویر چند زمانه یعنی تصاویری که مربوط به فصول یا سال‌های مختلف و 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 (McCoy, 2005: 46). در مقابل تصحیحات رادیومتریک نسبی با هدف کاهش متغیرهای اتمسفریک و غیره منتظره در میان تصاویر چندزمانه صورت می‌گیرد. یکی از روش‌های تصحیح رادیومتریک نسبی، کاهش تیرگی پدیده^۱ است. در حالت ایده‌آل پدیده‌های تیره رنگ دارای تابش صفر در همه طول موج‌ها هستند. 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 جهت 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 (Jensen, 2007: 28). در این مطالعه نیز از این روش جهت تصحیح رادیومتریک تصاویر استفاده شده است.

مرحله سوم: اجرای روش‌های مختلف آشکارسازی تغییرات

بعد از انجام تصحیحات فوق بر روی تصاویر، تکنیک‌های مختلفی جهت آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی/ کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفت که به شرح این روش‌ها پرداخته می‌شود:

تفاضل تصویر

در این روش بر اساس رابطه ۱، ارزش‌های رقومی تصویر در تاریخ دوم از ارزش‌های رقومی تصویر در تاریخ اول کم می‌شود. این فرایند به صورت پیکسل به پیکسل است

(رابطه ۱).

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

در رابطه فوق، X ارزش پیکسل، t_1 تاریخ اول، t_2 تاریخ دوم است. نتیجه این روش تولید تصویری است که در آن مقادیر مثبت و منفی نشان دهنده مناطق تغییر یافته (به ترتیب افزایشی و کاهش) و مقدار صفر نشان دهنده عدم تغییر بین دو تاریخ است (Correa et al, 2018: 24).

آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)

PCA برای حذف اطلاعات زائد در داده‌های ماهواره‌ای کاربرد فراوانی دارد (نوری، ۱۳۸۳: ۱۲۸). تصور کنید که داده‌های چندزمانه در حد بالایی با هم همبستگی داشته باشند، در این صورت اطلاعات تغییر می‌تواند در اجزای جدید مشخص شود. دو طریق برای پایش تغییر به شیوه PCA وجود دارد:

۱- تصاویر دو یا چند زمان را در یک فایل ساده قرار داده، 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 گردد (فتحتی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۲).

PCA استاندارد شده

در آنالیز مؤلفه اصلی استاندارد شده، تابع استاندارد کردن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$f = \sqrt{\sum_{j=1}^c (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

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

$$S_{cxc} = A_{cxt}^t \times A_{cxc} \quad \text{رابطه ۳}$$

اعضای قطری، واریانس هر باند و اعضا غیرقطری، کواریانس همه ترکیبات دوتایی امکان‌پذیر از باندها است. مرحله بعد شامل محاسبه مقدار ویژه و بردار ویژه ماتریس S_{cxc} است. مقدار ویژه (λ_j) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$|S_{cxc} - \lambda_j I_{cxc}| = 0 \quad \text{رابطه ۴}$$

که در رابطه فوق I ماتریس یکه و || علامت دترمینال می‌باشد. برای هر ماتریس cxc مثل S یک مقدار ویژه وجود دارد. همچنین با هر مقدار ویژه یک بردار ویژه مرتبط است که

بهترین نمونه‌های تعلیمی بوده است. انتخاب نمونه‌های تعلیمی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین‌کننده درجه تعمیم قواعد طبقه‌بندی به نمونه‌های نامشخص است. برای این منظور در حوضه مورد مطالعه به فراخور سهم هر طبقه تعداد مناسبی نمونه تعلیمی به طور تصادفی با استفاده از بررسی‌های میدانی، تصاویر گوگل‌ارث و تصاویر رنگی مرکب انتخاب گردیدند و سپس طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان صورت گرفت. به منظور حذف پیکسل‌های منفرد و پراکنده در سطح تصویر طبقه‌بندی شده و همچنین به دست آوردن تصویر مطلوب و با وضوح بیشتر، از فیلتر مد در اندازه ۷×۷ پیکسل استفاده شد.

با توجه به اطلاعات به دست آمده از عملیات صحرایی و با بهره‌گیری از قابلیت سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی نقشه واقعیت زمینی با شش کلاس تهیه شد.

تعیین آستانه

در این مطالعه از روش آماری که براساس انتخاب یک انحراف معیار مناسب از میانگین، استفاده شد. برای اینکه وزن اعداد با هر واحدی ثابت شود، از روش استاندارد کردن استفاده می‌شود. برای استاندارد کردن (نرمال‌سازی) داده‌ها از رابطه زیر استفاده شد (رابطه ۶):

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \quad \text{رابطه ۶}$$

در رابطه فوق، X_i 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 1 ± 5 ، 1 ± 10 و... بررسی شد و بهترین آستانه برای تعیین مناطق تغییر (افزایشی و کاهش) بدون تغییر مشخص شد.

ارزیابی دقت نقشه‌ها

برآورد دقت برای درک نتایج به دست آمده و به کار بردن این نتایج برای تصمیم‌گیری بسیار مهم هستند. معمول‌ترین پارامترهایی برآورد دقت شامل، دقت کل^۲، دقت تولیدکننده^۳، دقت کاربر^۴ و ضریب کاپا^۵ هستند (علوی‌پناه، ۱۳۸۴: ۴۷۸). از

برداری غیرخطی (U_j) با شرط $S_{\text{exc}} U_j = \lambda_j U_j$ است. این شرط را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$|S_{\text{exc}} - \lambda_j I_{\text{exc}}| U_j = 0 \quad \text{رابطه ۵}$$

با حل سیستم معادلات خطی ارائه شده در رابطه ۶ بردارهای ویژه متناظر با مقادیر ویژه محاسبه می‌شود. همچنین بردارهای ویژه استاندارد می‌شوند بطوریکه مجموع مربعات آن‌ها مساوی یک شود.

آنالیز برداری تغییر (CVA)

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 π بعدی محاسبه می‌شود.

روش مقایسه پس از طبقه‌بندی

به منظور ایجاد نقشه‌ای که نشان دهنده موقعیت مکانی تغییرات کاربری اراضی در دوره زمانی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۸ باشد، از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده شد. در این روش تصاویر چند زمانه به صورت مجزا به نقشه‌های موضوعی، طبقه‌بندی شده و سپس روش‌هایی از قبیل مقایسه طبقه‌بندی، تفاضل نقشه و آمار تعیین تغییرات^۱ جهت پایش تغییر استفاده می‌شود. روش مقایسه پس از طبقه‌بندی جزء روش‌های پس‌پردازش است (Alagu Raja et al, : 39, 2013).

طبقه‌بندی و تهیه نقشه پوشش زمینی

انتخاب نمونه‌های تعلیمی مورد نیاز برای طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف در منطقه با شناخت از منطقه و با استفاده از اطلاعات جنبی و استفاده از تصاویر رنگی مرکب ۴،۳،۲ (RGB) برای تصاویر TM و ETM⁺ و ۵،۴،۳ (RGB) برای تصویر OLI صورت گرفت. انتخاب این تصاویر رنگی مرکب صرفاً جهت شناسایی کلاس‌های مورد نظر و انتخاب

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

1. Change detection statistics

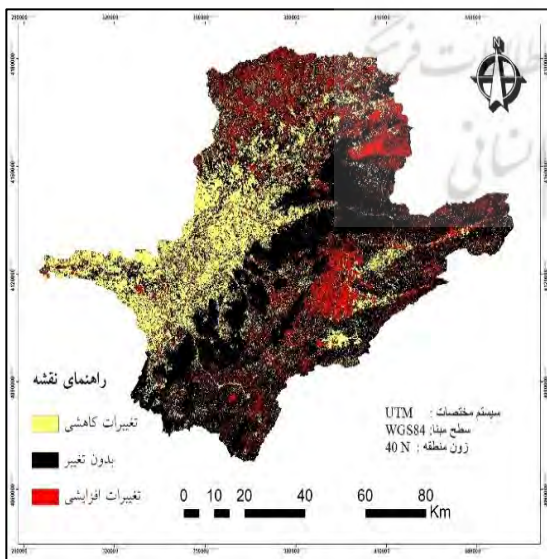
$n_1 =$ تعداد پیکسل‌های کلاس a در نتیجه طبقه‌بندی در این مطالعه جهت تعیین نقاط واقعیت زمینی از برداشت زمینی، تصاویر ماهواره‌ای گوگل‌ارث، عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ و نظرات کارشناسی استفاده شده است.

شرح و تفسیر نتایج

جهت پایش تغییرات کاربری اراضی/ پوشش گیاهی در طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۹ و ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸ در حوضه مورد مطالعه از ۶ تکنیک پایش تغییر استفاده شد. در این مطالعه 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، مناطق دارای تغییرات (تغییرات کاهشی، افزایشی) و بدون تغییر مشخص شده است.

تفاضل تصویر

در این مطالعه با توجه به معنی‌دار بودن اختلاف تصاویر دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک نسبت به سایر باندها نتایج به دست آمده از این دو باند جهت تعیین تغییرات مورد استفاده قرار گرفت (اشکال ۵، ۶، ۷ و ۸). بررسی نقشه‌های به دست آمده از این روش نشان داده است که تفاضل باند قرمز هم مناطق دارای تغییرات کاهشی و افزایشی و تفاضل باند مادون قرمز نزدیک مناطق دارای تغییرات افزایشی را بهتر مشخص ساخته است.



شکل ۵. نقشه پایش تغییر- تفاضل باند قرمز (۱۳۶۶ تا ۱۳۷۹)

نظر تئوری احتمالات، دقت کل نمی‌تواند معیار خوبی برای ارزیابی نتایج طبقه‌بندی باشد، چرا که در این شاخص نقش شانس قابل توجه است. دقت کل از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها طبق رابطه زیر به دست می‌آید (Pontius and 2011: 4418) (Millones,

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad (7)$$

در این رابطه

OA = دقت کل

$N =$ تعداد پیکسل‌های آزمایشی

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

به دلیل ایرادات وارد بر دقت کل، غالباً در کارهای اجرایی که مقایسه دقت طبقه‌بندی مورد توجه است، از شاخص کاپا استفاده می‌شود، زیرا شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مد نظر قرار می‌دهد. شاخص کاپا از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Pontius et al, 2011: 54):

$$\text{رابطه (۸)} \quad Kappa = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \times 100$$

که در رابطه بالا

$P_o =$ درستی مشاهده شده

$P_c =$ توافق مورد انتظار

دقت تولیدکننده، احتمال اینکه یک پیکسل در تصویر کلاس-بندی 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، است که از روابط زیر محاسبه می‌شود (اسلام‌بنیاد و حاجی قادری، ۱۳۸۶).

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

و

$$UA = \frac{ta}{n_1} \times 100 \quad (10)$$

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

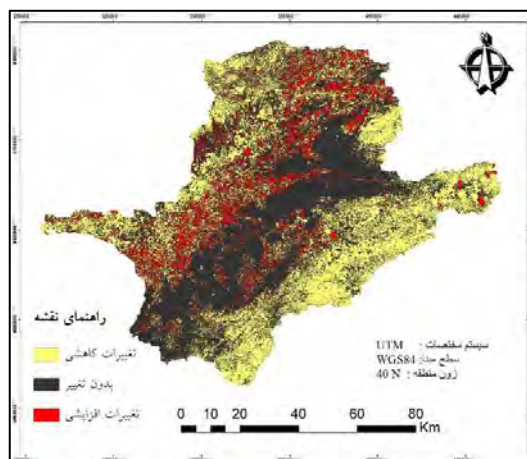
$UA =$ درصد دقت کلاس a برای دقت کاربر

تجزیه مؤلفه‌های اصلی

در این مطالعه ابتدا PCA و PCA استاندارد شده هر تاریخ جداگانه محاسبه شده است. در جدول‌های ۱ و ۲، درصد واریانس مؤلفه‌های مختلف PCA و PCA استاندارد شده ارائه شده است.

جدول ۱. درصد واریانس مؤلفه‌های مختلف PCA

	PCA ₁	PC A ₂	PC A ₃	PC A ₄	PC A ₅	PCA ₆
۱۳۶۶	۹۶/۸۷	۲/۴۳	۰/۵۱	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۰۴
۱۳۷۹	۵۷/۸۵	۳۸/۱۳	۲/۵۴	۱/۲۵	۰/۲۰	۰/۰۰
۱۳۹۸	۹۵/۲۷	۳/۱۸	۰/۴۵	۰/۲۰	۰/۱	۰/۰۲۴



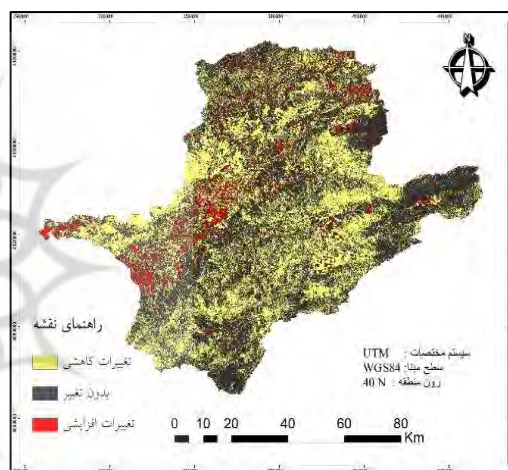
شکل ۶. نقشه پایش تغییر- تفاضل باند قرمز

جدول ۲. درصد واریانس مؤلفه‌های مختلف PCA استاندارد شده

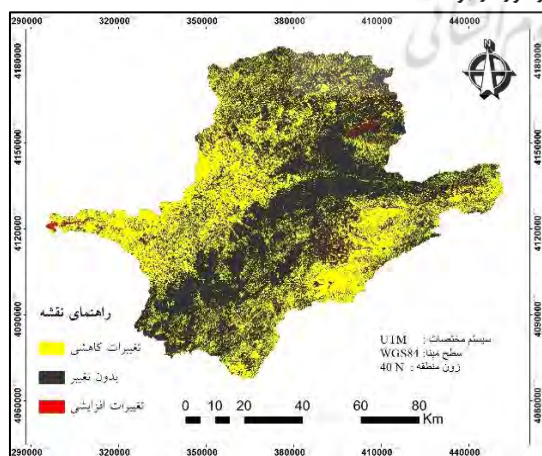
با توجه به اینکه بیشترین اطلاعات در هر سه سنجنده در

	PC A ₁	PC A ₂	PC A ₃	PC A ₄	PC A ₅	PCA ₆
۱۳۶۶	۹۶/۴۰	۲/۹۴	۰/۴۶	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۰۸
۱۳۷۹	۹۶/۲۶	۳/۲۷	۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۰۱
۱۳۹۸	۹۴/۹۷	۳/۵۰	۰/۴۱	۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۰۲۹

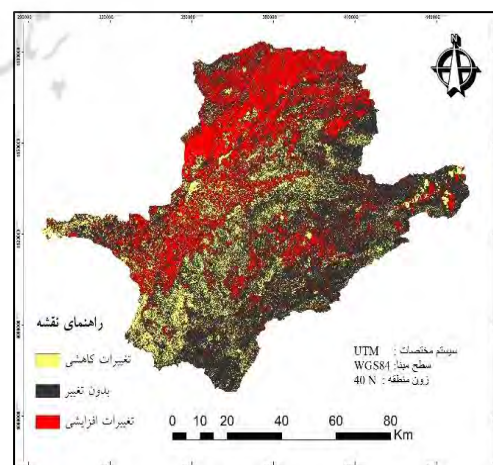
مؤلفه اول ذخیره شده است، به همین دلیل مؤلفه‌های اول در این مطالعه جهت پایش تغییر مورد استفاده قرار گرفتند. سپس PCA₁ تاریخ دوم و سوم به ترتیب از PCA₁ اول تاریخ اول و دوم تفریق شده است (اشکال ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲). بررسی نقشه‌های به دست آمده از این روش نشان داده است که روش تفاضل PCA₁ استاندارد شده نسبت به تفاضل PCA₁ استاندارد نشده از دقت بالاتری در تفکیک کلاس‌های تغییر برخوردار بوده است.



شکل ۷. نقشه پایش تغییر- تفاضل باند مادون قرمز (۱۳۶۶ تا ۱۳۷۹)



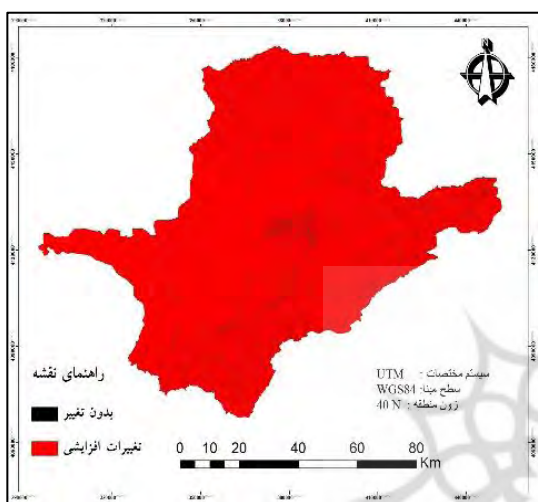
شکل ۹. نقشه پایش تغییر-تفاضل PCA₁ (۱۳۶۶ تا ۱۳۷۹)



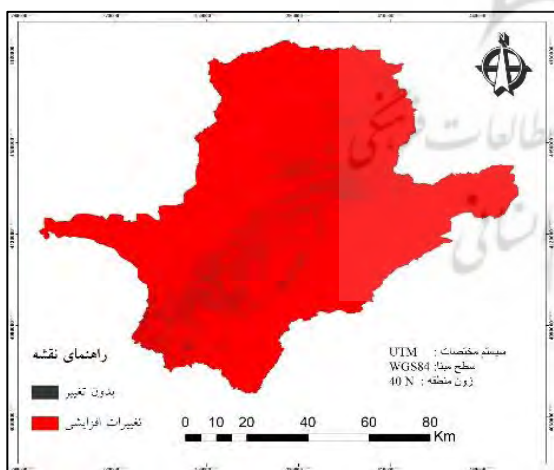
شکل ۸. نقشه پایش تغییر- تفاضل باند مادون قرمز (۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸)

آنالیز برداری تغییر

این روش می‌تواند تمام تغییرات بزرگتر از آستانه‌های شناسایی - شده را پایش کند و می‌تواند اطلاعات جزئی تغییر را فراهم نماید. در این مطالعه از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک جهت پایش تغییر با استفاده از آنالیز برداری تغییر استفاده شده است (اشکال ۱۳ و ۱۴). این روش بزرگی تغییرات کاهش و افزایشی رخ داده در منطقه مطالعه شده را نمایان کرده است.



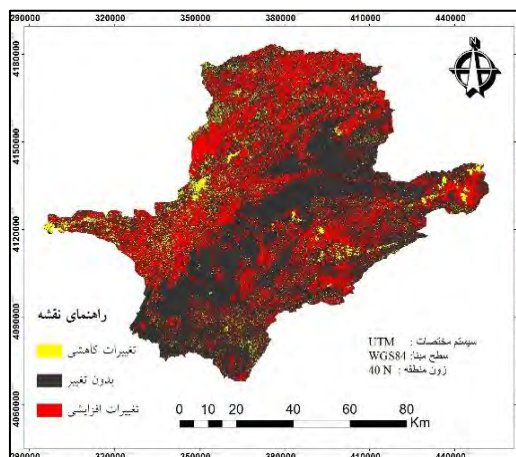
شکل ۱۳. آنالیز برداری تغییر - جهت تغییر (۱۳۶۶ تا ۱۳۷۹)



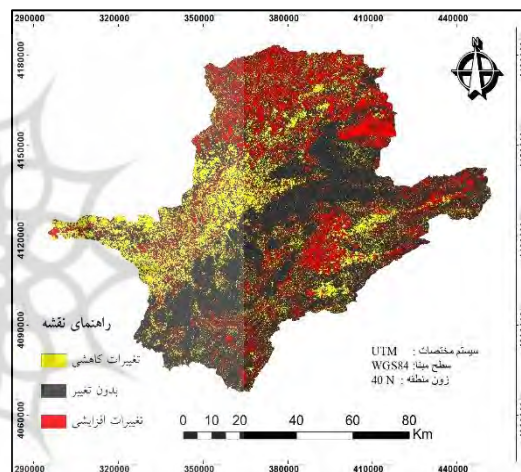
شکل ۱۴. آنالیز برداری تغییر - جهت تغییر (۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸)

روش مقایسه پس از طبقه‌بندی

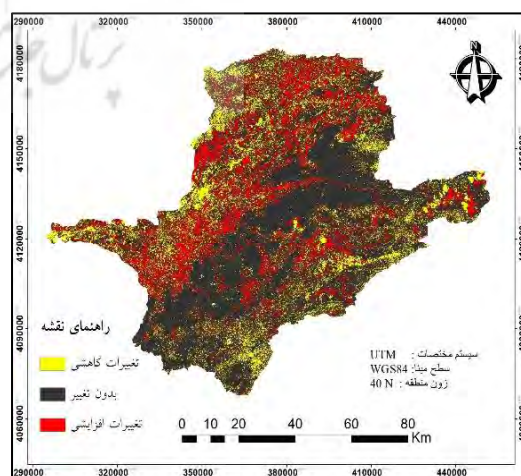
جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، کلاس‌های کاربری اراضی / پوشش گیاهی در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۸ در



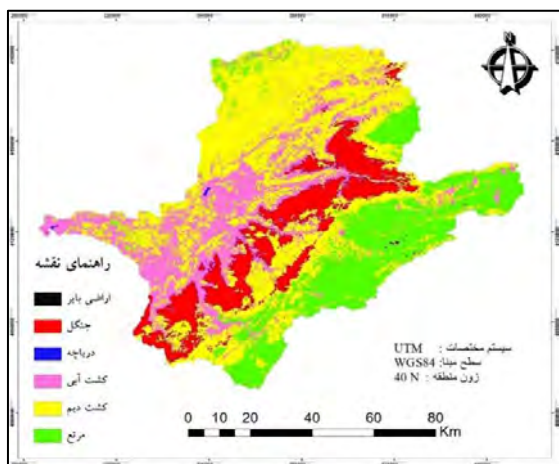
شکل ۱۰. نقشه پایش تغییر - تفاضل PCA_1 (۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸)



شکل ۱۱. نقشه پایش تغییر - تفاضل استاندارد PCA_1 (۱۳۶۶ تا ۱۳۷۹)



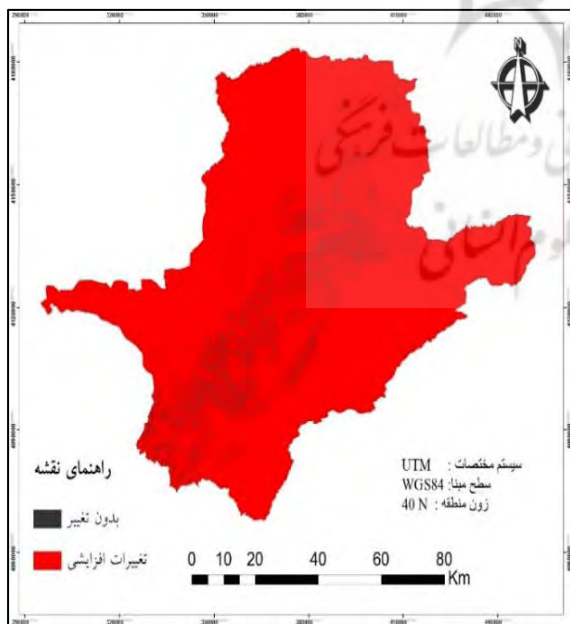
شکل ۱۲. نقشه پایش تغییر - تفاضل استاندارد PAC_1 (۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸)



شکل ۱۷. نقشه طبقه‌بندی نظارت شده (۱۳۹۸)

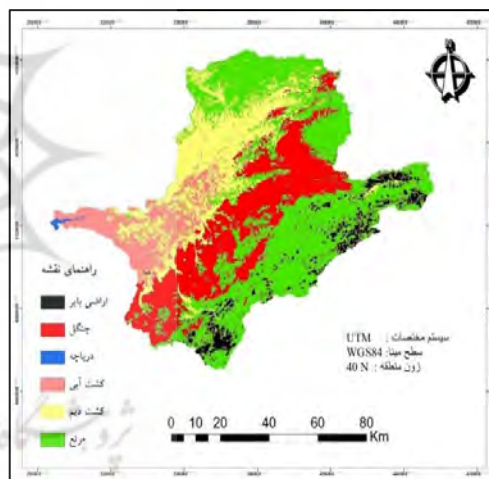
روش تفاضل نقشه

یکی از نتایج حاصل از نقشه‌های طبقه‌بندی نظارت شده در سه تاریخ ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۸، تعیین تغییرات کاربری اراضی/پوشش گیاهی با استفاده از روش تفاضل نقشه است. بدین صورت که نقشه‌های کاربری اراضی/پوشش گیاهی حاصل از طبقه‌بندی نظارت شده در تاریخ دوم از نقشه کاربری اراضی/پوشش گیاهی در تاریخ اول تفریق می‌شود. نتایج حاصل از این روش جهت تفکیک کلاس‌های تغییر در اشکال ۱۸ و ۱۹ ارائه شده است.

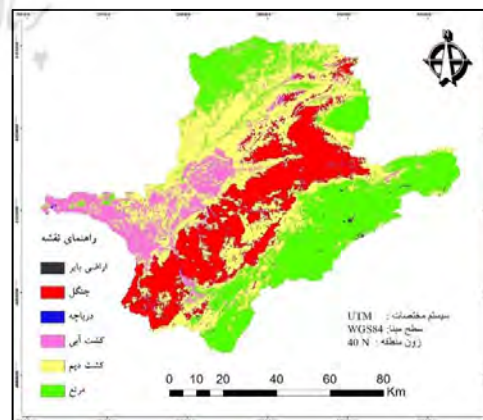


شکل ۱۹. نقشه پایش تغییر- تفاضل دو نقشه طبقه‌بندی شده مربوط به سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۹

شش کلاس شامل دریاچه، جنگل، مرتع، کشت آبی، کشت دیم و اراضی بایر تعیین و سپس نمونه‌های آموزشی از سطح منطقه با استفاده از تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای، عکس-های هوایی، نرم‌افزار Google Earth و بازدید میدانی جمع‌آوری شد. در مرحله بعد با استفاده از ویژگی‌های تصاویر، طبقه‌بندی به صورت نظارت‌شده و با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و کرنل شعاعی با توجه به دقت بالاتر آن، انجام شد و نقشه‌های پوشش اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۸ تهیه شد (اشکال ۱۵، ۱۶ و ۱۷). پس از تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی با استفاده از عکس‌های هوایی، نرم‌افزار Google Earth و انجام عملیات میدانی و نمونه‌برداری تصادفی با استفاده از GPS از سطح منطقه مورد مطالعه، پارامترهای آماری ارزیابی دقت که شامل ماتریس خطا، دقت تولیدکننده و دقت استفاده‌کننده برای هر کدام از نقشه‌ها تولید شد.

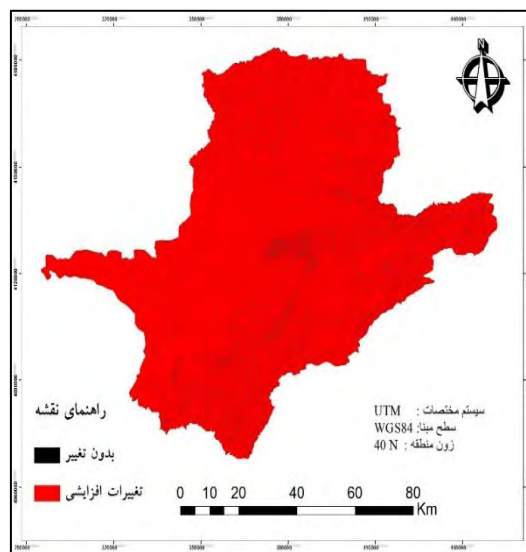


شکل ۱۵. نقشه طبقه‌بندی نظارت شده (۱۳۶۶)



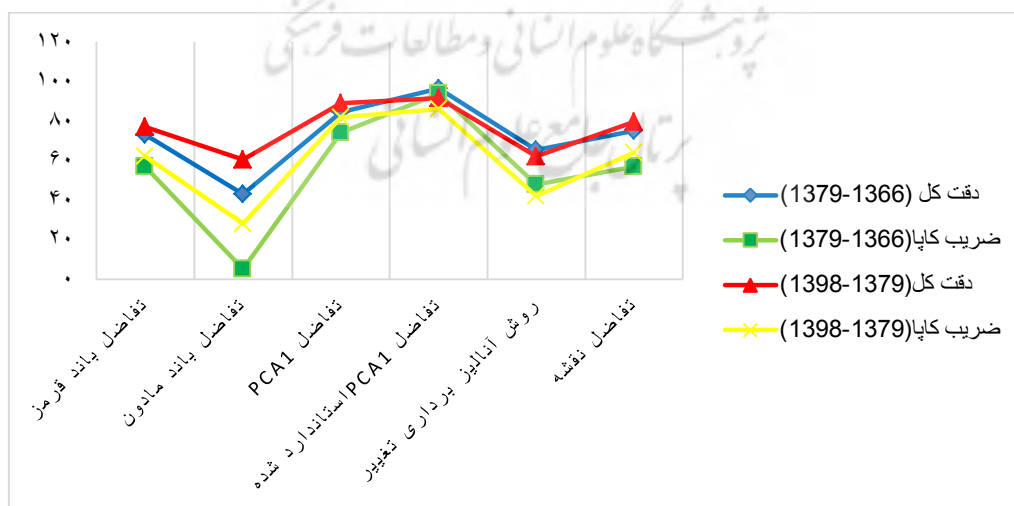
شکل ۱۶. نقشه طبقه‌بندی نظارت شده (۱۳۷۹)

مورد استفاده در این مطالعه داشته است. بعد از روش PCA_1 استاندارد شده، روش تفاضل PCA_1 بیشترین دقت را داشته است. کمترین دقت تولیدکننده در دوره اول و دوم در کلاس تغییرات کاهشی مربوط به روش‌های آنالیز برداری تغییر و تفاضل نقشه است. دقت استفاده کننده به دست‌آمده برای کلاس تغییرات افزایشی حاصل از تکنیک‌های مورد بررسی در این تحقیق در هر دو دوره نشان داده که اکثر روش‌ها غیر از روش تفاضل مادون قرمز نزدیک از دقت بالایی جهت تفکیک این کلاس برخوردار بوده‌اند. در حالی که دو روش PCA_1 و PCA_1 استاندارد شده بیشترین دقت را در هر دو دوره داشته‌اند. شکل ۲۰، میزان دقت کل و ضریب کاپا را برای روش‌های مختلف پایش تغییر بر حسب درصد را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است روش PCA_1 استاندارد شده در هر دو دوره بیشترین دقت کل و ضریب کاپا را داراست. روش PCA_1 با دقت کلی و ضریب کاپا برابر با ۸۴/۵٪ و ۷۴٪ برای دوره اول و ۸۹٪ و ۸۲٪ برای دوره دوم، بعد از روش PCA_1 استاندارد شده بیشترین میزان دقت را بین سایر روش‌ها داشته است، در حالی که روش تفاضل باند مادون قرمز نزدیک در هر دو دوره از کمترین دقت کل و ضریب کاپا نسبت به سایر روش‌ها برخوردار بوده است. با توجه به نتایج بالا با مقایسه تکنیک‌های مختلف ملاحظه می‌نماییم که به ترتیب روش‌های PCA_1 استاندارد شده و PCA_1 دقیق‌ترین روش‌ها بوده‌اند.



شکل ۱۹. نقشه پایش تغییر- تفاضل دو نقشه طبقه‌بندی شده مربوط به سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۸

ارزیابی دقت تکنیک‌های استفاده شده در این مطالعه به واسطه مطالعات میدانی صورت گرفت. در نهایت تولیدکننده دقت استفاده کننده، دقت کل و ضریب کاپا محاسبه شد که نتایج آن در شکل ۲۰ ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از جداول فوق می‌توان بیان کرد که در دو دوره مورد بررسی در این تحقیق میزان دقت تولیدکننده در هر سه کلاس تغییر کاهشی، بدون تغییر و افزایشی روش PCA_1 استاندارد شده بیشترین دقت را نسبت به تکنیک‌های دیگر



شکل ۲۰. دقت کل و ضریب کاپا برای تکنیک‌های مختلف پایش تغییر

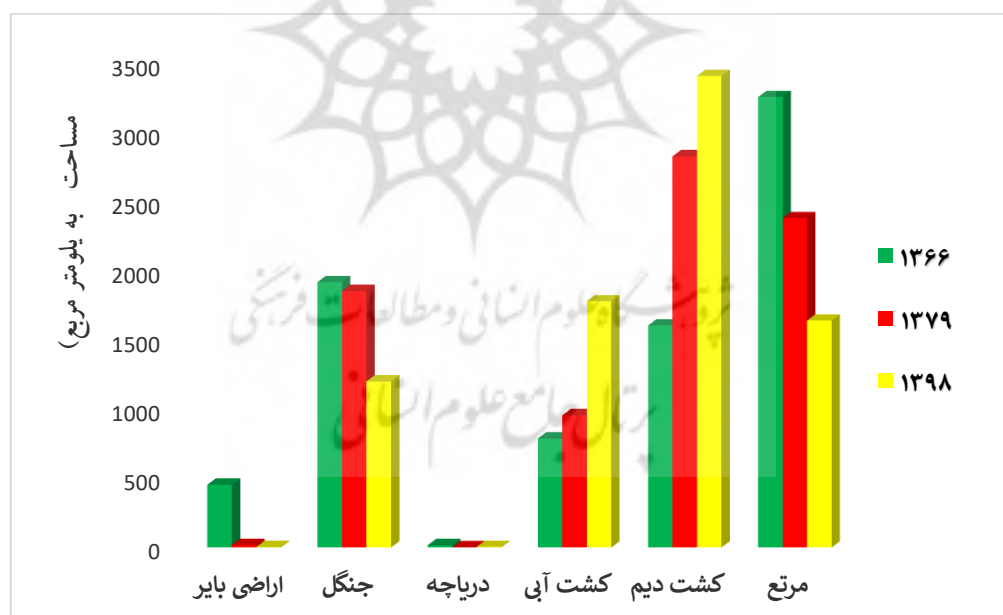
مقایسه طبقه‌بندی

پس از تهیه نقشه کاربری اراضی/ پوشش گیاهی سه تاریخ، مساحت شش کلاس پوشش اراضی به دست آمد. جدول ۳ سطح هر کدام از کاربری/ پوشش گیاهی اراضی را در این سه تاریخ نشان می‌دهد. جهت مقایسه بهتر تغییرات رخ داده در این سه سال، شکل ۲۱ ترسیم شده است.

با توجه به اینکه یکی از اهداف مطالعه مشخص نمودن نوع تغییرات کاربری و پوشش اراضی است روش مقایسه پس از طبقه‌بندی امکان بررسی نوع و میزان تغییرات را نیز فراهم می‌آورد. نتایج حاصل از این روش در ادامه ارائه شده است:

جدول ۳. مساحت کلاس‌های پوشش اراضی در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۶۶ و ۱۳۹۸ (بر حسب درصد و کیلومتر مربع)

کلاس	سال ۱۳۶۶		سال ۱۳۷۹		سال ۱۳۹۸	
	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد
اراضی بایر	۴۵۳/۲۷	۵/۶۵	۱۸/۸۰	۰/۲۳	۴/۲۹	۰/۰۵
جنگل	۱۹۱۵/۱۶	۲۳/۸۷	۱۸۵۰/۶۸	۲۳/۰۷	۱۱۹۹/۱۰	۱۴/۹۵
دریاچه	۱۷/۱۱	۰/۲۱	۱/۷۰	۰/۰۲	۴/۵۳	۰/۰۵
کشت آبی	۷۸۷/۱۵	۹/۸۱	۹۵۵/۳۹	۱۱/۹۱	۱۷۷۷/۲۰	۲۲/۱۵
کشت دیم	۱۶۰۲/۲۱	۱۹/۹۷	۲۸۱۹/۲۷	۳۵/۱۵	۳۳۹۶/۹۷	۴۲/۳۵
مرتع	۳۲۴۵/۴۳	۴۰/۴۶	۲۳۷۴/۴۲	۲۹/۶۰	۱۶۳۸/۲۳	۲۰/۴۲



شکل ۲۱. مساحت کلاس‌های پوشش اراضی در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۸

تعیین تغییرات رخ داده در هر کلاس نسبت به کلاس دیگر وجود دارد. شکل ۲۲، نقشه حاصل از قطع دادن دو نقشه طبقه‌بندی شده در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۹ است. این نقشه

آمار پایش تغییر

در این روش کلاس‌های دو نقشه طبقه‌بندی شده یک به یک با هم مقایسه می‌شود. در نتیجه با استفاده از این روش امکان

مختلف نقشه کاربری اراضی/ پوشش گیاهی سال ۱۳۷۹ را نسبت به کلاس‌های مختلف کاربری اراضی/ پوشش گیاهی سال ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. نتایج این شکل در جدول ۵ ارائه شده است. در دوره دوم، بیشترین تغییرات مثبت (افزایش) در کلاس جنگل و بیشترین تغییرات منفی (کاهش) در مناطق تحت کشت دیم رخ داده است که بیانگر تغییر در شیوه کشت طی این سال‌ها است.

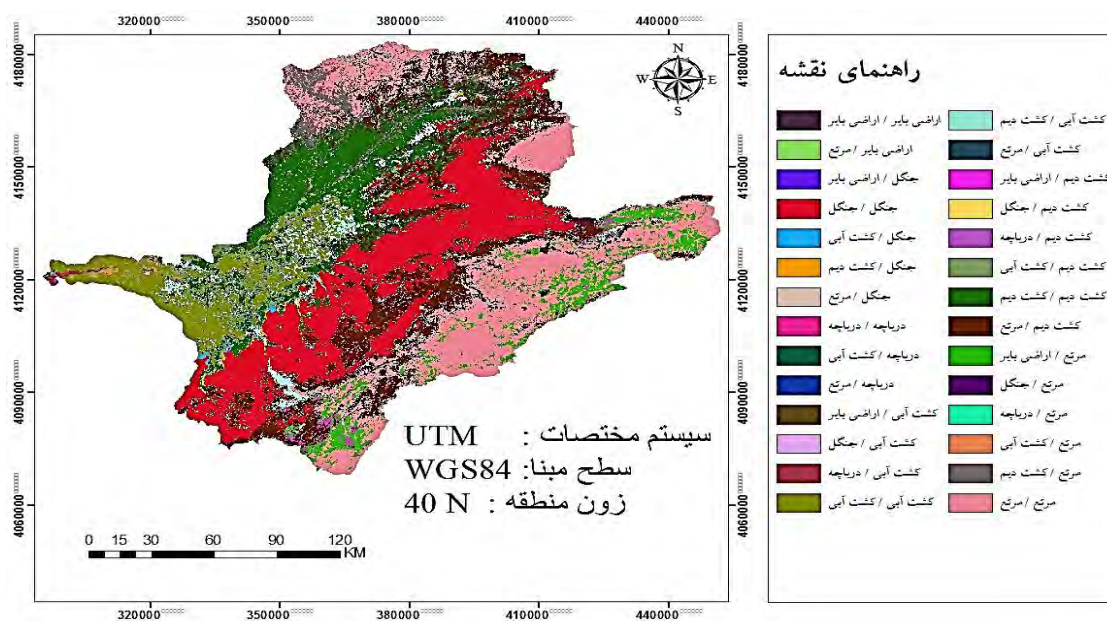
تغییرات کلاس‌های مختلف نقشه کاربری اراضی/پوشش گیاهی سال ۱۹۸۷ را نسبت به کلاس‌های مختلف کاربری اراضی/ پوشش گیاهی سال ۱۳۷۹ نشان می‌دهد. نتایج این شکل در جدول ۴ ارائه شده است. بیشترین تغییرات مثبت (افزایش) در کلاس جنگل به دلیل جنگل‌کاری و بیشترین تغییرات منفی (کاهش) در کشت دیم بوده است. شکل ۲۳، نقشه حاصل از قطع دادن دو نقشه طبقه‌بندی شده در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۸ است. این نقشه تغییرات کلاس‌های

جدول ۴. نتایج آمار پایش تغییرات در کلاس‌های پوشش اراضی طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۹

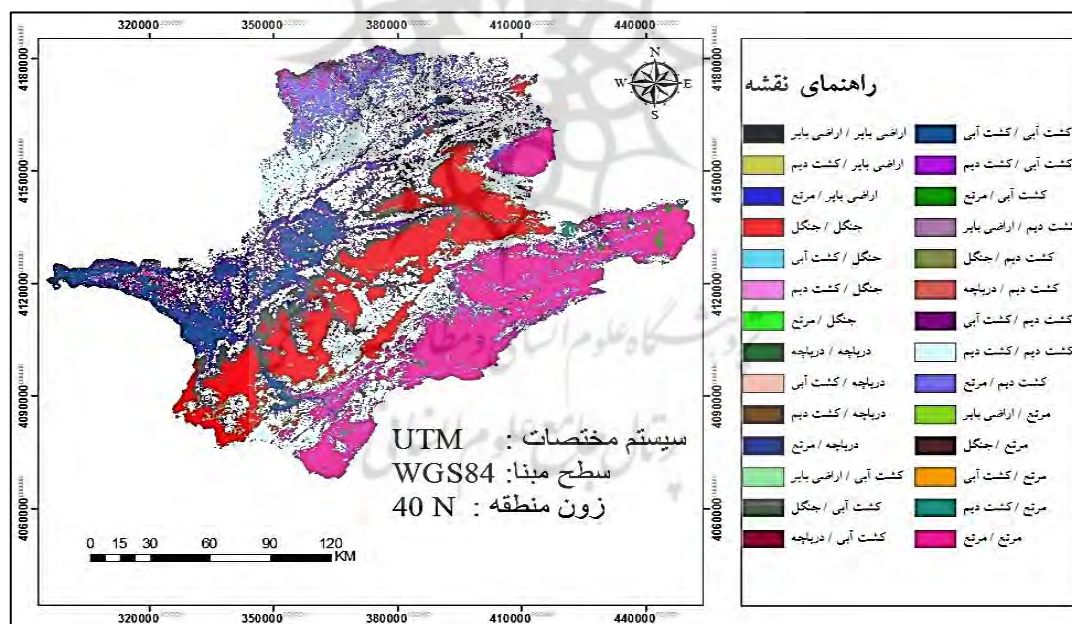
عنوان	اراضی بایر	جنگل	دریاچه	کشت آبی	کشت دیم	مرتج
اراضی بایر	۰/۰۰۰۹	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۰۲
جنگل	۰	۰/۰۹۷۷	۰	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۲
دریاچه	۰	۰	۰/۰۰۰۱	۰	۰	۰
کشت آبی	۰	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۷	۰/۰۳۰۳	۰/۰۱۷۲	۰,۰۰۳۷
کشت دیم	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۶۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۱۰	۰/۰۵۶۷	۰/۶۳۵۹
مرتج	۰/۰۲۱۳۰	۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۳۰۰	۰/۰۱۲۲	۰/۰۹۶۱
کل کلاس	۰/۰۲۵۰۰	۰/۱۰۵۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۴۳۴	۰/۰۸۸۲	۰/۷۳۷۰
تغییرات کلاس	۱۰۰	۳۷/۷۹	۲۷/۲۸	۴۲/۶۹	۳۳/۴۱	۳۱/۱
تفاضل نقشه	۱۰۰	۲۷/۴۴	۵/۱۲	-۰/۷	۷۶/۲۹	-۸/۰۶

جدول ۵. نتایج آمار پایش تغییرات در کلاس‌های پوشش اراضی طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸

عنوان	اراضی بایر	جنگل	دریاچه	کشت آبی	کشت دیم	مرتج
اراضی بایر	۰/۰۰۰۱	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۰۱
جنگل	۰	۰/۰۶۵۹	۰	۰	۰,۰۰۰۱	۰
دریاچه	۰	۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰	۰
کشت آبی	۰	۰/۰۲۵۹	۰	۰/۰۴۰۸	۰/۰۲۶۰	۰/۰۰۵۲
کشت دیم	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۰۱	۰/۲۰	۰/۰۱۱۲۰	۰/۶۸۲۵	۰/۰۴۱۴
مرتج	۰/۰۰۰۸	۰	۰	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۴۹	۰/۰۸۴۱
کل کلاس	۰/۰۰۱۰	۰/۱۰۱۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۵۲۷	۰/۷۱۳۵	۰/۱۳۰۸
تغییرات کلاس	۰/۰۰۹	۰/۰۳۶	۰	۰/۰۱۱۹۰	۰/۰۳۱	۰/۰۴۶۷
تفاضل نقشه	۱۰۰	۲۷/۴۴	۵/۱۲	-۰/۷	۷۶/۲۹	-۸/۰۶



شکل ۲۲. نقشه حاصل از قطع دادن نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۹



شکل ۲۳. نقشه حاصل از قطع دادن نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۸

بحث و نتیجه‌گیری

این داده‌ها با توجه به پیشرفت‌های روزافزون قابلیت‌های طیفی و مکانی آن‌ها است. همچنین بررسی این داده‌ها در شرایط محیطی با تنوع کاربری‌ها و پوشش گیاهی ضروری بنظر می‌رسد. تصحیحات هندسی و اتمسفریک تصاویر چند زمانه پیش-

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به عنوان 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 که مهم است، بررسی قابلیت

مقایسه و آزمایش می‌شود. این نظر توسط ویرگ و کینگ (۲۰۰۶) و بربروگلو و آکین (۲۰۰۹) تأیید شده است که بیان می‌نماید انتخاب روش مناسب جهت بررسی پایش تغییرات وابسته به کاربرد (نوع محیط، عوارض موردنظر) و میزان جزئیات تصویر دارد، پس می‌توان نتیجه گرفت که روش پایش تغییر بهینه‌ای وجود ندارد و در عمل روش‌های مختلف برای هر ناحیه مورد مقایسه قرار گرفته و دقیق‌ترین روش تعیین می‌شود.

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌توان اطلاعات کاربری اراضی مربوط به گذشته و حال را استخراج و با سایر داده‌ها و اطلاعات نقشه‌ای تلفیق نمود، به خصوص با استفاده از روش‌های مقایسه پس از طبقه‌بندی و ترکیب دوتایی نقشه‌های کاربری حاصل، می‌توان به تعیین روند تغییرات و ارزیابی اثر توسعه کاربری‌ها بر سایر کاربری‌ها اقدام نمود. جهت بررسی نوع و ماهیت تغییرات از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده شد. در این مطالعه، ماشین بردار پشتیبان (SVM) تابع پایه شعاعی (با توجه به عملکرد بالاتر) برای طبقه‌بندی کاربری اراضی حوضه گرگانرود در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۸ مورد استفاده قرار گرفته است. بررسی آمار و نتایج به دست آمده در این مطالعه از طریق طبقه‌بندی نظارت شده به خوبی نشان می‌دهد که در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۸ اراضی کشاورزی (دیم) بیشترین تغییرات مثبت را داشته‌اند. اضافه شدن این اراضی اکثراً به قیمت از دست رفتن مراتع بوده است (به دلیل حاصلخیزی بالاتر). همچنین، در این فاصله زمانی ۳۲ ساله، مرتع نیز دچار تغییر و تحول شده‌اند که تغییرات کاهشی در آن‌ها را می‌توان به دلیل شخم مراتع و اختصاص آن‌ها به کشاورزی دانست.

منابع

ارخی، صالح و فتحی‌زاده، حسن (۱۳۹۲). مقایسه روش‌های مختلف آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در منطقه بیابانی دهلران استان ایلام. *نشریه مهندسی اکوسیستم‌های بیابان*، ۱(۲)، ۸۰-۶۵.

اسلام‌بنیاد، امیر و حاجی‌قادری، طه (۱۳۸۶). تهیه نقشه جنگل‌های طبیعی استان زنجان با استفاده از داده‌های سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست ۷. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۱(۴۲)، ۶۳۸-۶۲۷.

خیرخواه‌زرکش، میرمسعود و حسین‌زاده، فرهاد (۱۳۹۹). آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی شهر اردبیل با استفاده

نیاز یک پروژه پایش تغییر است. شاخص‌های اصلی برای اجرای موفقیت‌آمیز پایش تغییر، انتخاب تاریخ‌های مناسب کسب تصویر و استفاده از روش‌های پایش تغییر دقیق است. شناسایی یک روش پایش تغییر مناسب برای منطقه مورد مطالعه جهت تولید نتایج خوب پایش تغییر مهم است. در این مطالعه پس از اعمال تصحیحات هندسی و رادیومتریک، تکنیک‌های مختلف پایش تغییر به کار گرفته شد. در مرحله بعد جهت تعیین آستانه تغییرات در روش‌هایی که نیازمند تعیین آستانه هستند، از روش آماری استفاده شد و بر این اساس مشخص شده که آستانه تغییر در منطقه مورد مطالعه با ± 1 انحراف از میانگین قرار داشته است. سپس کلاس‌های تغییر با توجه به آستانه به دست آمده تعیین شد و در نهایت دقت تکنیک‌های مختلف پایش تغییر ارزیابی شد. ارزیابی دقت تکنیک‌های پایش تغییر در حوضه گرگانرود نشان داد که روش PCA₁ استاندارد شده در هر دو دوره بیشترین دقت کل و ضریب کاپا را دارا است. مقادیر این دو پارامتر به ترتیب برای دوره اول برابر با ۹۶/۵ درصد و ۹۴ درصد و برای دوره دوم برابر با ۹۱/۵ درصد و ۸۶ درصد به دست آمده است. روش PCA₁ با دقت کلی و ضریب کاپا برابر با ۸۴/۵ درصد و ۷۴ درصد برای دوره اول و ۸۹ درصد و ۸۲ درصد برای دوره دوم بعد از روش PCA₁ استاندارد شده بیشترین میزان دقت را بین سایر روش‌ها داشته است، در حالی که روش تفاضل باند مادون قرمز نزدیک در هر دو دوره از کمترین دقت کل و ضریب کاپا نسبت به سایر روش‌ها برخوردار بوده‌اند. نتایج بدست آمده در این تحقیق موافق نتایج به دست آمده توسط سونار (۱۹۸۸)، کولینز و ودکوک (۱۹۹۶) و سپهری و جان‌لیو (۲۰۰۶) و برخلاف نتیجه به دست آمده توسط پراکاش و گوپتا (۱۹۹۸)، ارخی و فتحی‌زاد (۲۰۱۳) و میرمحمدصادقی و همکاران (۱۳۹۷) است.

اگرچه مطالعات زیادی در ارتباط با کاربردهای پایش تغییر اجرا شده و روش‌های مختلف پایش تغییر آزمایش شده، اما هنوز این سؤال که کدام روش برای یک منطقه خاص بهتر است، بدون پاسخ مانده است. بررسی انجام‌شده تاکنون یک روش منحصر به فرد برای تمام موارد نشان نمی‌دهند. انتخاب یک روش مناسب پایش تغییر به دانش تحلیل‌گر در زمینه روش‌های پایش تغییر و مهارت در به کار بردن داده‌های سنجنش از دور، داده‌های تصویری مورد استفاده و مشخصات منطقه مورد مطالعه دارد. 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

- از تکنولوژی RS و GIS. نشریه پایداری توسعه و محیط زیست، ۱(۳)، ۴۵-۵۳.
- رسولی، علی اکبر (۱۳۸۷). مبانی سنجش از دور کاربردی با تاکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای. تبریز: انتشارات دانشگاه تبریز.
- شفیعی، محمد (۱۳۸۳). کاربرد فناوری سنجش از دور در ارزیابی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی دشت قزوین. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
- طاهری، فروزان، رهنما، محمد رحیم، خوارزمی، امید علی و خاکپور، براتعلی (۱۳۹۷). بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چند زمانه شهر شاندریز (طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۹۴)، نشریه جغرافیا و توسعه، ۱۶(۵۰)، ۱۴۲-۱۲۷.
- علوی‌پناه، سید کاظم (۱۳۸۴). کاربرد سنجش از دور در علوم زمین. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- فتحی‌زاده، حسن، آرخی، صالح و تازه، مهدی (۱۳۹۲). بررسی روش‌های مختلف آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. دو فصلنامه علمی- پژوهشی خشک‌بوم، ۳(۱)، ۶۸-۵۶.
- Al Rawashdeh, S.B. (2012). Assessment of Change Detection Method Based on Normalized Vegetation Index in Environmental Studies. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 10(2), 89-97.
- Alagu Raja, R.A., Vetrivel, A., Kumar, S, Maithani, S., & Abhai Kumar, V. (2013). Wavelet based post classification change detection technique for urban growth monitoring. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*, 41(1), 35-43.
- Alikhah-Asl, M., Elham, F., & Mohammad, N. (2014). Evaluation of different enhancement remote sensing techniques. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 3(1), 33-37.
- Arulbalaji, P., & Gurugnanam, B. (2014). Geospatial Science for 16 Years of Variation in Land Use/Land Cover Practice Assessment around Salem District, South India. *Journal of Geosciences and Geomatics*, 2(1), 17-20.
- Berberoglu, S., & Akin, A. (2009). Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11, 46-53.
- Collins, J.B., & Woodcock, C.E. (1996). An assessment of several linear change detection techniques for mapping forest mortality using multitemporal Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, 56, 66-77.
- Correa, Y., Bovolo, F., & Bruzzone, L. (2018). An approach for unsupervised change detection in multitemporal VHR images acquired by different multispectral sensors. *Remote Sensing Researches*, 10(4), 18-29.
- Eklundh, L., & Singh, A. (1993). A comparative analysis of standardized and unstandardized principal

- component analysis in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 1359–1370.
- 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.
- Guirguis, S.K., Hassan, H.M., EL-RAEY, M. E., & Hussan, M.M.A. (1996). Technical note. Multitemporal change of Lake Brullus, Egypt, from 1983 to 1991. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 2915–2921.
- Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018). Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios. *Sustainability*, 10(10), 3421.
- Jabbar, M.T., & Zhou, X. (2011). Eco-environmental change detection by using remote sensing and GIS techniques: a case study Basrah province, south part of Iraq. *Journal of Environmental Earth Sciences*, DOI 10.1007/s12665-011-0964-5.
- Jensen, J.R. (2009). Remote sensing of the environment: An earth resource perspective 2/e. Pearson Education India.
- Jin, S., Yang, L., Zhu, Z., & Homer, C. (2017). A land cover change detection and classification protocol for updating Alaska NLCD 2001 to 2011. *Remote Sensing of Environment Journal*, 195(2), 44-55.
- Joyce, A.T., Ivey, J.H., & Burns, G.S. (1980). The Use of Landsat MSS Data for Detecting Land Use Changes in Forestland. 14th International Symposium Remote Sensing of Environment. Ann Arbor. Michigan. 12pp.
- Madurapperuma, B., Rozario, P., Oduor, P., & Kotchman, L. (2015). Land-use and land-cover change detection in Pipestem Creek watershed, North Dakota. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 5(3), 416-426.
- Mas, J.F. (1999). Monitoring Land-Cover Changes: A Comparison of Change Detection Techniques. *International Journal Remote Sensing*, 20(1), 139-152.
- McCoy, R.M. (2005). Field Methods in Remote Sensing. The Guildford Press, New York, London, 41-54.
- Mohamed, A., & Worku, H. (2020). Simulating urban land use and cover dynamics using cellular automata and Markov chain approach in Addis Ababa and the surrounding. *Urban Climate*, 31, 100545.
- 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.
- Parker, D.C., Manson, S.M., Janssen, M.A., Hoffmann, M.J., & Deadman, P. (2003). Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. *Annals of the Association of American Geographers*, 93(2), 314-337.
- Pontius, J.R.G., & Millones, M. (2011). Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 32(15), 4407-4429.
- Pontius, J.R.G., Peethambaram, S., & Castella, J.C. (2011). Comparison of three maps at multiple resolutions: a case study of land change simulation in Cho Don District, Vietnam. *Annals of the Association of American Geographers*, 101(1), 45-62.
- Sepehry, A., & Gang-Jun, L. (2006). Flood induced land cove change detection using multitemporal ETM+

- imagery. Proceedings of the 2nd Workshop of the EARSeL SIG on Land Use and Land Cover, 399-406.
- Sepehry, A., & Liu, G. (2006). 'Flood Induced land cover change detection using multitemporal ETM⁺ 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, 399-406 (Center for Remote Sensing of Land Surfaces).
- Singh, A., & Harrison, A. (1985). Standardized principal components. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 883-896.
- Singh, A. (1989). Digital change detection techniques using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 989-1003.
- Sunar, F. (1998). An analysis of changes in a multi-date data set: a case study in the Ikitelli area, Istanbul, Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 19, 225-235.
- Sundarakumar, K., Harika, M., Begum, S.A., Yamini, S., & Balakrishna, K. (2012). Land Use and Land Cover Change Detection and Urban Sprawl Analysis of Vijayawada City Using a Landsat Data. *Engineering Science & Technology*, 4, 170-178.
- Virk, R., & King, D. (2006). Comparison of Techniques for Forest Change Mapping Using Landsat Data in Karnataka, India. *Geocarto International*, 21(4), 49-57.
- Wang, S.W., Gebru, B.M., Lamchin, M., Kayastha, R.B., & Lee, W.K. (2020). Land use and land cover change detection and prediction in the Kathmandu district of Nepal using remote sensing and GIS. *Sustainability*, 12(9), 3925.