



سجش از دور & GIS ایران



سجش از دور و GIS ایران سال پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.5, No.4, Winter 2014

۶۹-۸۸

بررسی تغییرات کاربری اراضی پایین دست سد کجکی حوضه هیرمند افغانستان با استفاده از طبقه بندی کننده بیشترین شباهت، درخت تصمیم گیری و ماشین های بردار پشتیبان

محمدرضا حاجی حسینی^۱، حمیدرضا حاجی حسینی^۱، مهران شایگان^۲، سعید مرید*^۳، جبار وطن فدا^۴، مرحوم علیرضا نجفی^۵

۱. دانشجویان کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس
۲. دانشجوی دکتری GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. استاد گروه منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس
۴. مدیرکل دفتر رودخانه های مرزی و منابع آب مشترک، وزارت نیرو
۵. رئیس گروه مطالعات و برنامه ریزی دفتر رودخانه های مرزی و منابع آب مشترک، وزارت نیرو

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۱۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۵/۲۴

چکیده

کاهش آورد رودخانه مرزی هیرمند از افغانستان به ایران از چالش های همیشگی مدیریت منابع آب در شرق کشور بوده که در سال های اخیر تشدید شده است. توسعه کشاورزی در پایین دست سد کجکی (در حوضه آبریز رودخانه هیرمند) در افغانستان و خشکسالی اخیر از دلایل کم شدن آب این رودخانه به شمار می آید. در مقاله حاضر به طور کمی به این موضوع پرداخته می شود و برای این منظور کاربری اراضی دشت هلمند افغانستان با استفاده از تصاویر ماهواره ای بررسی شده است. به خاطر اهمیت نوع الگوریتم انتخاب شده در تهیه تصاویر طبقه بندی شده، سه الگوریتم بیشترین شباهت (MLC)، درخت تصمیم گیری (DT) و ماشین های بردار پشتیبان (SVM) ارزیابی شده اند. از مشکلات عمده در انجام آزمون ها، تهیه نمونه های آموزشی از افغانستان است؛ بدین منظور از نقشه های FAO، نقشه های اطلس کاربری اراضی افغانستان، نقشه های مرکز سازمان زمین شناسی آمریکا و تصاویر Google Earth کمک گرفته شد. با توجه به تصاویر موجود، دوره ۲۰ ساله اخیر در سه تاریخ ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۱ میلادی مربوط به ماهواره لندست (TM, ETM+) در نظر گرفته شد و از هر سه روش جواب های نسبتاً مشابهی به دست آمد. نقشه های حاصل از الگوریتم های فوق با ضرب کاپا و دقت کلی ارزیابی شدند و دقت مناسبی داشتند. نتایج تغییرات کاربری اراضی نشان می دهند که مجموع کل کشت محصولات آبی در منطقه، حدود ۶۲ درصد افزایش یافته، به طوری که مقدار آن از رقم ۱۰۳ هزار هکتار در سال ۱۹۹۰، به حدود ۱۲۲ هزار هکتار در سال ۲۰۰۱ و به حدود ۱۶۷ هزار هکتار در سال ۲۰۱۱ رسید که مؤید تأثیر قطعی آن بر کاهش رواناب ورودی از رودخانه هیرمند به کشور است. با وجود نتایج نزدیک روش ها، طبقه بندی درخت تصمیم گیری کارآمدی بیشتری از لحاظ اتکالی کمتر به نمونه های آموزشی از خود نشان داد.

کلیدواژه ها: طبقه بندی کننده بیشترین شباهت، درخت تصمیم گیری، ماشین های بردار پشتیبان، تغییرات کاربری اراضی، دشت هلمند افغانستان، سد کجکی.

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دفتر مطالعات منابع آب، تلفن: ۰۲۱-۴۸۲۹۲۳۲۵

۱- مقدمه

آورد جریان رودخانه مرزی هلمند (هیرمند) به ایران طی دهه‌های اخیر، سیری کاهشی داشته و تبعات منفی آن بر منابع آب بخش کشاورزی سیستان و بر دریاچه‌های بین‌المللی هامون رو به افزایش است. افزایش سطح زیر کشت در حوضه بالادست و میانی رودخانه هیرمند در افغانستان از دلایل این کم‌آبی برشمرده می‌شود. در مقاله حاضر به بررسی این موضوع پرداخته می‌شود و برای این منظور از اطلاعات ماهواره‌ای استفاده شده است.

داده‌های ماهواره‌ای با ارائه اطلاعات بهنگام در عرصه‌های وسیع و امکان پردازش رقومی در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، ارزش بالایی دارند و از منابع اصلی در تدوین برنامه‌های توسعه به شمار می‌آیند (Shetaii et al., 2008). انتخاب الگوریتم مناسب در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی بسیار مهم است، چراکه می‌تواند به نتایج مختلفی منجر گردد. به‌طور کلی الگوریتم‌های طبقه‌بندی را می‌توان به دو گروه متداول^۱ و پیشرفته^۲ دسته‌بندی کرد (Fatemi & Rezaee, 2005). روش‌های K-Means، ISODATA یا روش میانگین‌های متغیر، بیشترین شباهت^۳ (MLC) و حداقل فاصله^۴ از الگوریتم‌های متداول محسوب می‌شوند (Mahesh and Mather, 2003). در مقابل، روش‌هایی مانند طبقه‌بندی دانش‌پایه، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، طبقه‌بندی‌های فازی (Yao et al., 2006, Richards and Jia, 2008)، درخت تصمیم‌گیری^۵ (DT) و ماشین‌های بردار پشتیبان^۶ (SVM) از تکنیک‌های پیشرفته به حساب می‌آیند (Lu and Weng, 2007, Sesnie et al., 2007). به‌روشنی نمی‌توان تعیین کرد که کدام یک از روش‌های مذکور بهتر از دیگری است، اما به‌طور کلی روش حداکثر احتمال (MLC) به‌عنوان دقیق‌ترین و رایج‌ترین الگوریتم طبقه‌بندی متداول معرفی شده است (Jensen, 2005). آرسلون^۷ و همکاران (۱۹۹۹) با استفاده از تصاویر سنجنده TM سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۹ و

اطلاعات ماهواره‌ای AVHRR در منطقه کاستاریکا، نقشه کاربری اراضی را با اعمال طبقه‌بندی نظارت‌شده براساس روش MLC تهیه کردند. شتایی و عبدی (2007) با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ نقشه کاربری اراضی حوضه سرخاب لرستان را تهیه کردند. در تحقیق مذکور تطابق هندسی با نقشه‌های رقومی توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و به‌روش نقاط کنترل زمینی با استفاده از ۱۶ نقطه و دقت ۰/۳۹ پیکسل انجام گرفت. همچنین بهترین مجموعه باندی برای طبقه‌بندی‌ها با استفاده از شاخص آماری واگرایی تعیین شد و طبقه‌بندی تصاویر به‌روش نظارت‌شده و با استفاده از الگوریتم‌های حداکثر احتمال، متوازی‌السطوح و حداقل فاصله از میانگین انجام شد. در ادامه، به برخی مطالعات که در آنها از الگوریتم گروه دوم (پیشرفته) استفاده شده است، اشاره می‌شود.

نیازی و همکاران (2010) روش MLC و شبکه عصبی مصنوعی را با استفاده از تصاویر ASTER مقایسه کردند. ارزیابی دقت این دو روش نشان داد که نتایج الگوریتم بیشترین شباهت - به‌رغم داشتن ضریب کاپای کمتر - بهتر از نتایج شبکه عصبی است. البته الگوریتم‌های پیشرفته نیز به‌دلیل عدم وابستگی به پارامترهای آماری، دارای دقت بالایی هستند. در این زمینه تحقیقات وسیعی انجام شده است که برای نمونه می‌توان به تحقیق کاندریکا و روی^۸ (۲۰۰۸) اشاره کرد. تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی منطقه اوریسای هند موضوع کار تحقیقاتی آنان بود. آنها با استفاده از تصاویر چندزمانه^۹ IRS و با روش درخت تصمیم‌گیری (DT) این نقشه‌ها را تهیه و گزارش کردند. روش

1. Conventional
2. Advanced
3. Maximum Likelihood Classifier
4. Minimum Distance Classifier
5. Decision Trees
6. Support Vector Machine
7. Arslon
8. Kandrika & Roy
9. Indian Remote Sensing Satellites

افزون بر اینها، سانتوی^۴ و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیق‌شان با استفاده از این روش، اراضی باتلاق را تفکیک کردند، که برای منطقهٔ مطالعاتی تحقیق حاضر نیز اهمیت بسیار دارد. در مقالهٔ آنان از هر دو روش SVM و MLC استفاده شد که پس از ارزیابی، روش SVM به‌عنوان الگوریتم پیشنهادی انتخاب گردید.

سرانجام اینکه هیچ‌یک از روش‌های طبقه‌بندی بر روش دیگر برتری قطعی ندارد و مشخصات فیزیکی منطقهٔ مطالعاتی، نوع توزیع داده‌های ماهواره‌ای (به‌طور مثال توزیع گوسین)، و مشخص بودن اطلاعات مقایسه‌ای می‌تواند نتایج مفیدی از هر الگوریتم طبقه‌بندی را به همراه داشته باشد (Jensen, 2005).

با توجه به آنچه مطرح شد، هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی تغییرات سطح زیر کشت در دشت هلمند (پایین دست سد کجکی در افغانستان) است، که با توجه به تحولات سیاسی در این کشور، تصاویر ماهواره‌ای با فواصل مناسبی طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۱ برای آن تهیه و بررسی شده است. این تغییرات می‌توانند بخشی از علل تغییر در آبدهی هیرمند و ورودی آن به ایران را تبیین کنند. برای این منظور و با توجه به سوابق قبلی، روش‌های MLC، SVMs و DTs برای طبقه‌بندی انتخاب و ارزیابی شدند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعاتی و داده‌های استفاده‌شده

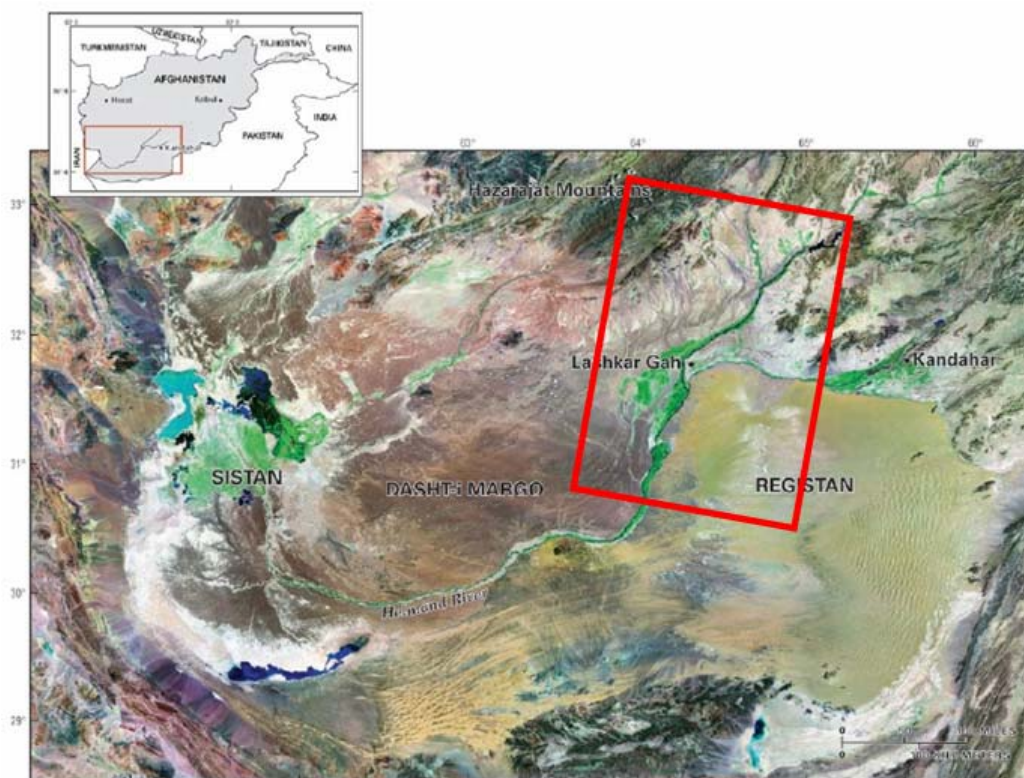
رودخانهٔ مرزی هلمند (هیرمند)، اصلی‌ترین منبع تأمین آب شرق ایران است، که تأثیر زیادی در امنیت، کشاورزی، اقتصاد و محیط‌زیست این بخش از کشور دارد. این حوضه حدود ۳۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد که ۱۰ درصد آن در ایران و بقیه در کشور افغانستان است. این رودخانه از ارتفاعات کتل اونی به

درخت تصمیم‌گیری به‌دلیل استفاده از مجموعهٔ داده‌ها در طی زمان و اطلاعات جانبی در این زمینه نتایج بهتری به‌دست داد. در این روش، نقاط تعلیمی به‌صورت مستقیم در طبقه‌بندی تأثیر ندارند و براساس فرضیات آماری نیز همین‌طور است، به‌همین دلیل سرعت محاسبات بالا می‌رود (Otukei, 2010). سسنی^۱ و همکاران (۲۰۰۸) با تلفیق تصاویر لندست TM و مدل رقومی ارتفاع (DEM)^۲ و استفاده از روش درخت تصمیم‌گیری، نقشهٔ پوشش اراضی و تغییرات آن را در محیط پیچیدهٔ جنگل‌های گرمسیری کاستاریکا بررسی کردند. نتایج کار آنها نشان داد که استفاده از متغیرهای دیگری مانند متغیرهای جغرافیایی در کنار باندهای طیفی تصاویر ماهواره‌ای، باعث افزایش صحت طبقه‌بندی می‌شود (Lu and Weng, 2007)، چراکه در این روش از نواحی تعلیمی برای طبقه‌بندی استفاده نمی‌شود و انتخاب محدودهٔ شاخص‌ها، به‌طور مستقیم در نقشهٔ خروجی تأثیر خواهد گذاشت. در این روش با توجه به محدوده‌های در نظر گرفته‌شده برای باندها، شاخص‌ها و خصوصیات توپوگرافی حوضه، در سطوح مختلف تصمیم‌گیری، طبقه‌بندی انجام می‌شود (Richard and Jia, 2006)، از این‌رو برای طبقه‌بندی در مناطقی که با کمبود داده مواجه‌اند، مناسب به‌نظر می‌رسد. اتوکی و بلاشکه^۳ (۲۰۱۰) با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM و ETM+، روش‌های درخت تصمیم‌گیری و ماشین‌های بردار پشتیبان را با الگوریتم بیشترین شباهت، برای تغییر کاربری اراضی در منطقه پالیسای کشور اوگاندا طی سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۰۱ مقایسه کردند و گزارش کردند که الگوریتم‌های طبقه‌بندی DT و SVM ضریب کاپا و دقت کلی بالایی دارند. این الگوریتم قادر به غلبه بر مشکلاتی نظیر کم‌بودن تعداد داده‌های آموزشی، توزیع غیرخطی کلاس‌ها، و زیادبودن تعداد لایه‌های استفاده‌شده در طبقه‌بندی است (Burges, C.J.C., 1998). این توانایی‌ها ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) را به گزینه‌ای مناسب برای این تحقیق تبدیل کرده است.

1. Sesnie
2. Digital Elevation Model
3. Otukei & Blaschke
4. Szantoi

در مطالعه حاضر از این داده‌ها استفاده شده است:
 ۱. تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سنجنده TM و ETM+ در تاریخ‌های ۱۹۹۰/۰۵/۲۹، ۲۰۰۱/۰۵/۰۳ و ۲۰۱۱/۰۵/۰۷، همراه با تصاویر مربوط به ماه‌های آوریل و سپتامبر؛ ۲. نقشه‌های اطلس (Watershed Atlas of Afghanistan, 2005) کاربری اراضی زیرحوضه‌های افغانستان^۱ (AIMS) مربوط به سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ میلادی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰؛ ۳. نقشه‌های پوشش اراضی سازمان خواربار جهانی (FAO, 1993) و نقشه‌های مرکز^۲ EWEM سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)؛ و ۴. تصاویر Google Earth مربوط به تاریخ ۲۰۱۱، اکتبر ۲۰۱۳ و آوریل ۲۰۰۲. داده‌های کمکی شامل لایه رقومی ارتفاع ۹۰ متری افغانستان (SRTM) و نقشه شیب منطقه نیز تهیه شد.

ارتفاع ۴۲۰۰ متر در نزدیکی کوه یغمان در ۶۰ کیلومتری غرب کابل سرچشمه می‌گیرد و بعد از طی مسافت ۱۰۵۰ کیلومتر، به دریاچه‌های تالاب بین‌المللی هامون در سیستان ایران می‌رسد. بخش علیای رودخانه و حوضه کوهستانی آن که با جمع‌آوری جریان‌های آبی کوچک و بزرگ کوه‌های هزاره‌جات که در دو شاخه اصلی آن هلمند (هیرمند) و ارغنداب جاری است، منبع اصلی تأمین‌کننده آب رودخانه به‌شمار می‌آید. منطقه مطالعاتی تحقیق حاضر، بخش میانی رودخانه در استان هلمند، پایین‌دست سد کجکی در کشور افغانستان است که حدود ۲۰۰۰۰ کیلومترمربع از حوضه مذکور را شامل می‌شود (شکل ۱). زمین‌های حاشیه رودخانه در این محدوده بیشترین مصارف آبی را از لحاظ کشت آبی به‌خود اختصاص داده‌اند، و مقاله حاضر نیز بر بررسی تغییرات کاربری این بخش تمرکز دارد.



شکل ۱. محدوده حوضه هیرمند و موقعیت منطقه مطالعاتی (داخل کادر) - تصویر لندست TM

1. Afghanistan Information Management Service (AIMS)
2. Early Warning and Environmental Monitoring Program (EWEM), <http://afghanistan.cr.usgs.gov/>

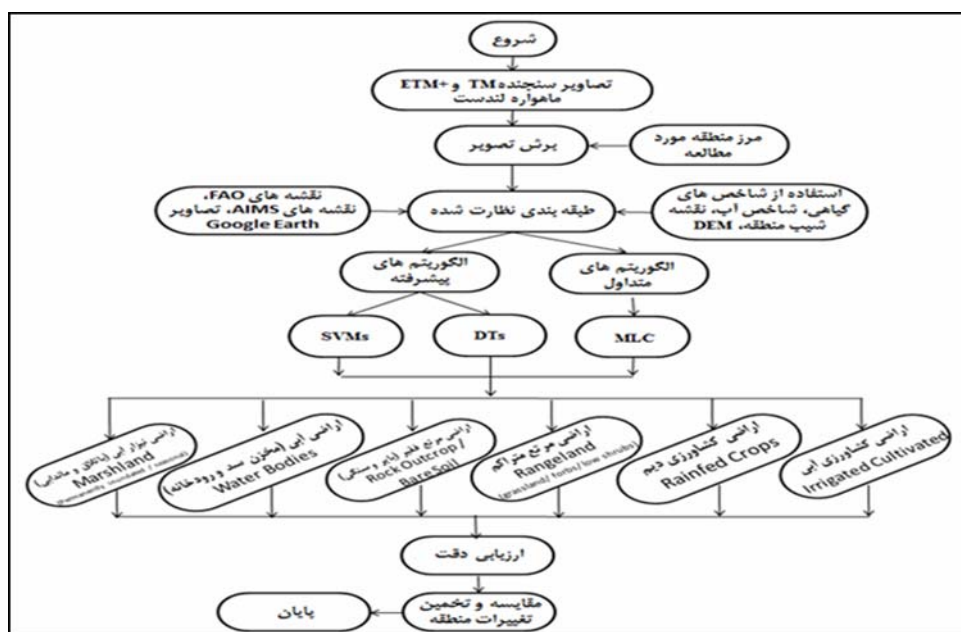
۲-۲- پردازش تصاویر ماهواره‌ای

برای آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی روی تصاویر ماهواره‌ای در سه مرحله شامل پیش پردازش، پردازش و پس پردازش عملیات پردازش انجام شد. در مرحلهٔ پیش پردازش، عملیاتی روی داده‌های خام (پیش از هرگونه پردازش بصری یا رقومی) در خصوص خطاهای رادیومتری و هندسی انجام گرفت. پس از این مرحله، طبقه بندی تصاویر انجام شد که در ادامه تشریح می شود.

۲-۳- الگوریتم های طبقه بندی تصاویر

همان گونه که اشاره شد به منظور طبقه بندی تصاویر از روش های حداکثر احتمال، درخت تصمیم گیری و

ماشین های بردار پشتیبان استفاده شد. کلاس های در نظر گرفته شده در این تحقیق بر مبنای نقشه های کاربری اراضی موجود، به شش کلاس شامل اراضی کشاورزی آبی^۱، اراضی کشاورزی دیم^۲، اراضی مرتع متراکم^۳، اراضی مرتع فقیر^۴ (بایر و سنگی)، آب^۵ و اراضی نیزار آبی^۶ (باتلاق، ماندابی) تفکیک شدند. دقت کلی روش ها با ضریب کاپا، و دقت تولید کننده و دقت استفاده کننده که از ماتریس خطای آن تولید می شود نیز ارزیابی گردید. در شکل ۲ مراحل تحقیق به صورت خلاصه ذکر شده است. در ادامه مختصری از جزئیات این الگوریتم ها و شاخص های استفاده شده در تحقیق بیان می گردد.



شکل ۲. فلوجارت مراحل کلی تحقیق برای طبقه بندی تصاویر سنجنش از دور

1. Irrigated Cultivated
2. Rainfed Crops
3. Rangeland (grassland/forbs/low shrubs)
4. Rock Outcrop/Bare Soil
5. Water Bodies
6. Marshland (Permanently inundated/seasonal)

۲-۳-۱- طبقه‌بندی‌کنندهٔ بیشترین شباهت (MLC)

این روش یکی از معروف‌ترین روش‌های آماری طبقه‌بندی به‌شمار می‌آید و در آن کلاسی به پیکسل نسبت داده می‌شود که بزرگ‌ترین احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس را داشته باشد. اجرای این روش، شامل برآورد بردارهای میانگین کلاس و ماتریس‌های کوواریانس با استفاده از الگوهای آزمایشی انتخاب‌شده از نمونه‌های مشخص هر کلاس خاص است (Richard and Jia, 2006). در طبقه‌بندی MLC فرض می‌شود که توزیع احتمال برای هر کلاس به صورت توزیع چندبعدی است که از قانون توزیع نرمال تبعیت می‌کند. در اصطلاح ریاضی این منطق را می‌توان به صورت رابطه (۱) نوشت:

رابطه (۱)

$$x \in w_i \text{ if } P(w_i | x) > P(w_j | x) \text{ for all } j \neq i$$

به این معنی که پیکسل با بردار مقادیر طیفی x به کلاس w_i تعلق خواهد داشت، اگر مقدار احتمال تعلق پیکسل به این کلاس یعنی $P(w_i | x)$ بزرگ‌تر از احتمال دیگر کلاس‌ها باشد. برای محاسبهٔ این احتمالات از قانون بیز کمک گرفته می‌شود.

۲-۳-۲- طبقه‌بندی‌کنندهٔ ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)

ماشین‌های بردار پشتیبان یکی از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شدهٔ خطی است که نخستین بار واپنیک^۱ آن را مطرح کرد و برپایهٔ نظریه یادگیری آماری^۲ بنا شده است (Osuna et al., 1997). SVM در عمل طبقه‌بندی‌کنندهٔ دودویی است که سعی دارد در مورد دو کلاس ابرصفحه‌ای ایجاد کند که فاصلهٔ هر کلاس را تا ابرصفحه حداکثر کند. داده‌های نقطه‌ای که به ابرصفحه نزدیک‌ترند، برای اندازه‌گیری این فاصله به کار می‌روند و از این‌رو بردارهای پشتیبان نام دارند. در شکل ۳ دو کلاس و بردارهای پشتیبان مربوط به آنها نشان داده شده است. فرض کنید داده‌ها از دو کلاس

تشکیل شده و کلاس‌ها درمجموع دارای $x_i (i=1, \dots, L)$ نقطهٔ آموزشی باشند که در آن بردار است. این دو کلاس با $y_i = \pm 1$ برچسب زده می‌شوند. برای محاسبهٔ مرز تصمیم‌گیری دو کلاس کاملاً جدا از هم، از روش حاشیهٔ بهینه استفاده می‌شود. در این روش مرز خطی بین دو کلاس به گونه‌ای محاسبه می‌شود که:

(۱) تمام نمونه‌های کلاس +۱ در یک طرف مرز و تمام نمونه‌های کلاس -۱ در طرف دیگر مرز واقع شوند.

(۲) مرز تصمیم‌گیری به گونه‌ای باشد که فاصلهٔ نزدیک‌ترین نمونه‌های آموزشی هر دو کلاس از یکدیگر در راستای عمود بر مرز تصمیم‌گیری تا جایی که ممکن است حداکثر شود. بنابراین، هدف درواقع حل یک مسئله دسته‌بندی دو کلاسه به صورت بهینه است. فرض کنید این دو کلاس با تابع تمایز به صورت رابطه (۲) و با فوق‌رویه با رابطه (۳) از یکدیگر تفکیک شوند:

$$f(x) = \text{sign}(w \cdot x + b) \quad \text{رابطه (۲)}$$

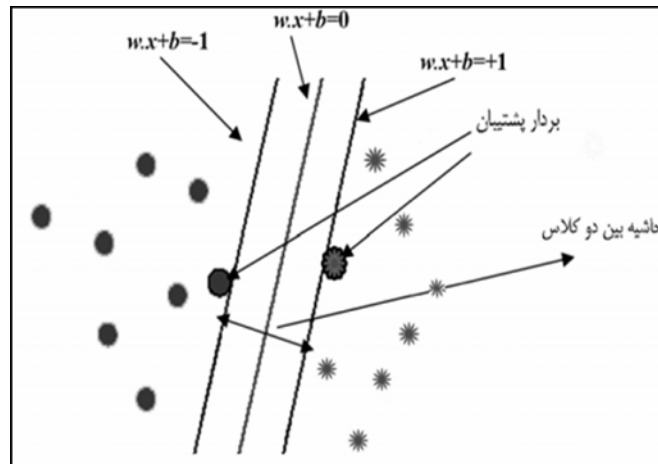
$$H: w \cdot x + b = 0 \quad \text{رابطه (۳)}$$

بردار وزن w ، عمود بر فوق‌رویه جداکننده و b ، مقدار Bias است و منظور از $w \cdot x$ حاصل ضرب داخلی است. چنانچه $\|w\|^2$ حداقل شود (رابطه ۴)، طبقه‌بندی‌کننده نیز حداقل می‌گردد:

$$\|w\| = \left(\sum_{i=1}^d w_i^2 \right)^{1/2} \quad \text{رابطه (۴)}$$

شکل (۳) ماشین بردار پشتیبانی را در حالت جدایی‌پذیر نشان می‌دهد. نخستین مرحله برای محاسبهٔ مرز تصمیم‌گیری بهینه، پیدا کردن نزدیک‌ترین نمونه‌های آموزشی دو کلاس است. در مرحلهٔ بعد، فاصلهٔ آن نقاط از هم در راستای عمود بر مرزهایی که دو کلاس را به‌طور کامل جدا می‌کنند محاسبه می‌شود. مرز تصمیم‌گیری بهینه، مرزی است که حداکثر حاشیه را داشته باشد.

1. Vapnik
2. Statistical Learning Theory



شکل ۳. مرز خطی بهینه در حالت کاملاً متمایز دو کلاس
منبع: Osuna et al., 1997

و در طبقه‌بندی‌های گوناگون، متفاوت است (Foody et al., 2006). ماشین بردار پشتیبان قادر به غلبه بر مشکلاتی نظیر کم بودن تعداد داده‌های آموزشی، توزیع غیرخطی کلاس‌ها، و زیاد بودن تعداد لایه‌های استفاده شده در طبقه‌بندی است (Burgess, C.J.C., 1998). این توانایی‌ها SVM را به گزینه‌ای مناسب برای تحقیق حاضر تبدیل کرده است.

۲-۳-۳- طبقه‌بندی کنندهٔ درخت تصمیم‌گیری (DT)

در اغلب روش‌های طبقه‌بندی تک‌مرحله‌ای، مانند روش بیشترین شباهت یا حداقل فاصله در مورد هر پیکسل فقط یک تصمیم اتخاذ می‌گردد، و در نتیجهٔ آن تصمیم، پیکسل به یکی از کلاس‌های موجود تعلق می‌گیرد. در کنار این روش‌ها، تکنیک‌های طبقه‌بندی چندمرحله‌ای هم وجود دارند، بدین ترتیب که مجموعه‌ای از تصمیمات اتخاذ می‌شوند تا پیکسل به درستی طبقه‌بندی شود. درخت تصمیم‌گیری از معمول‌ترین روش‌های طبقه‌بندی چندمرحله‌ای به‌شمار

در مورد SVM‌های خطی باید گفت که در بسیاری مواقع، مجموعه دادهٔ استفاده‌شده به صورت خطی قابل طبقه‌بندی نیست و این مسئله پیچیدگی روش SVM را در فضای داده افزایش می‌دهد. به منظور ساده‌تر کردن الگوریتم SVM‌های غیرخطی، از فضای با ابعاد بزرگ‌تر استفاده می‌شود. در این حالت، با استفاده از تابع انتقال - که هسته مرکزی^۱ نامیده می‌شود - انتقال از فضای داده به فضای با ابعاد بزرگ‌تر انجام می‌پذیرد. در این فضای جدید امکان طبقه‌بندی خطی روی داده‌ها میسر خواهد شد. هسته‌های مرکزی خطی^۲، چندجمله‌ای^۳ و تابع شعاعی^۴ (RBF) نمونه‌هایی از معروف‌ترین و پرکاربردترین هسته‌های مرکزی در تعریف SVM هستند. برای کاربردهای سنجش از دور، کرنل RBF (Van de Linden et al., 2009). میزان دقت SVM در هنگام استفاده از کرنل RBF تا حد زیادی بستگی به مقدار پارامترهای C و g دارد. ثابت C (پارامتر جریمه) توازن بین حاشیهٔ جداکننده و تعداد نمونه‌های آموزشی را که در طرف اشتباه فوق‌رویه قرار گرفته‌اند برقرار می‌کند. پارامتر g نیز عرض کرنل است. قانونی کلی برای انتخاب این پارامترها وجود ندارد و از قبل مشخص نیست. هر دو پارامتر بستگی به دامنهٔ داده‌ها و نحوهٔ توزیع آنها دارند

1. Kernel
2. Linear Kernel
3. Polynomial Kernel
4. Radial Basis Function

دلیل این امر خاصیت جذب رنگ‌دانه‌های گیاهی از جمله کلروفیل است که باعث انعکاس کمتر گیاهان در باند قرمز و انعکاس شدید آنها در بخش مادون قرمز طیف الکترومغناطیس می‌شود.

۲-۴-۱- شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی^۱ (NDVI)

این شاخص یکی از پرکاربردترین و رایج‌ترین شاخص‌های مربوط به پوشش گیاهی است که برحسب دو باند قرمز (RED) و مادون قرمز نزدیک (NIR) به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در NDVI فرض بر این است که نوع خاک ناحیه بررسی شده یکسان است، و چنانچه این فرض صادق نباشد ناهمسانی انواع خاک روی نتایج حاصل از NDVI تأثیر می‌گذارد و نتایج درستی به دست نمی‌دهد. این شاخص دارای مقادیر نرمال در دامنه بین -۱ و +۱ است که بررسی و نمایش مقادیر را به راحتی امکان پذیر می‌سازد. مقادیر مختلف NDVI می‌تواند نمایانگر پوشش‌های متفاوت باشد (Mather, 2001).

۲-۴-۲- شاخص تفاضلی نرمال شده آب^۲ (NDWI)

در این پژوهش برای جداسازی کلاس آب، از شاخص آب استفاده گردید. آب در محدوده سبز طیف الکترومغناطیس انعکاس بیشتری از محدوده مادون قرمز نزدیک دارد. بر همین اساس مک فیترز^۳ (۱۹۹۶) شاخص تفاضلی نرمال شده آب (NDWI) را به صورت رابطه (۶) ارائه کرده است. Green مقادیر باند سبز است.

$$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)} \quad \text{رابطه (۶)}$$

می‌آید. در این روش از طبقه‌بندی کننده‌های مرتبط با هم استفاده می‌شود، که هیچ کدام به تنهایی نمی‌توانند امر طبقه‌بندی را به طور کامل انجام دهند و هر مؤلفه فقط قسمتی از کار را انجام می‌دهد. DT، نمایشی از شاخه‌ها و گره‌هاست که هر گره به مجموعه‌ای از پاسخ‌های ممکن منتهی می‌گردد. سه امر مهم در طراحی روش DT در نظر گرفته می‌شود: ۱. یافتن ساختار بهینه برای شاخه‌ها، ۲. انتخاب زیرمجموعه مطلوب خصوصیات در هر گره، و ۳. انتخاب قاعده تصمیم برای استفاده در هر گره (Richards and Jia, 2006). در روش درخت تصمیم، ساختار شاخه‌ای بهینه با کمترین میزان نرخ خطا، با حداقل تعداد گره‌ها تعیین شود. همچنین باید به اشتراک کلاس‌ها و اینکه از چه تعداد شاخه و لایه استفاده می‌شود نیز به قدر کافی توجه کرد. از آنجاکه تعداد ساختارهای شاخه‌ای ممکن، حتی برای تعداد نسبتاً کمی از کلاس‌ها می‌تواند زیاد باشد، طراحی طبقه‌بندی کننده مطلوب بسیار دشوار خواهد بود. در این روش کارایی و صحت طبقه‌بندی به شدت به انتخاب شاخه‌ها بستگی دارد. برای آسان تر کردن کار طراحی شاخه‌های تصمیم‌گیری غالباً از روش دودویی استفاده می‌شود. توانایی جداسازی کلاس‌ها ضرورتاً با به کارگیری روش دودویی تضعیف نمی‌شود، چون یک درخت تصمیم‌گیری می‌تواند به شکل مناسبی به شاخه‌های دودویی معادل خودش تقسیم و تبدیل شود، بدون اینکه کاهش در دقت رخ دهد (Rounds, 1980).

۲-۴-۳- شاخص‌های استفاده شده

شاخص‌های پوشش گیاهی تبدیلات ریاضی‌ای هستند که براساس باندهای مختلف سنجنده‌ها تعریف می‌شوند و برای ارزیابی و بررسی پوشش‌های گیاهی با استفاده از داده‌های چندطیفی ماهواره‌ای به کار گرفته می‌شوند (Fatemi & Rezaee, 2005). بیشترین باندهایی که در محاسبه شاخص‌های گیاهی به کار گرفته می‌شوند در محدوده باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک قرار دارند.

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Normalized Difference Water Index
3. Mc feeters

اطلاعات جانبی شامل نقشه اطلس (Watershed Atlas of Afghanistan, 2005) کاربری اراضی زیرحوضه‌های افغانستان (AIMS) مربوط به سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ میلادی، نقشه‌های پوشش اراضی سازمان خواربار جهانی (FAO, 1993) در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و نقشه‌های مرکز Early warning سازمان زمین‌شناسی امریکا (USGS)، استفاده از تصویر رنگی مرکب ۴، ۳، ۲ (RGB)، تصاویر Google Earth، تصاویر چندزمانه از ماهواره لندست مربوط به ماه‌های آوریل و می (برای تشخیص بهتر سطوح مرتع)، تصویر مربوط به ماه سپتامبر (به‌منظور سهولت در تعیین اراضی دیم)، گزارش‌های دفتر مقابله با مواد مخدر و جرم سازمان ملل مربوط به گیاه خشخاش (UNODC^۷, 2012) و گیاه شاه‌دانه (UNODC, 2011) و همچنین پرس‌وجو از کارشناسان و افراد بومی منطقه.

در روش درخت تصمیم‌گیری، شاخه‌ها در چهار سطح تصمیم‌گیری تشکیل گردید. در شکل ۴ درخت تصمیم‌گیری تولیدشده به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی منطقه به‌صورت شماتیک نشان داده شده است. برای تفکیک کلاس‌ها در این روش با استفاده از شاخص SAVI، شاخص Brightness، باند حرارتی سنجنده^۸، و روش MLC اراضی نیز از سایر عوارض تفکیک گردید. این مناطق پوشش گیاهی بسیار متراکمی دارند که اکثراً در حاشیهٔ رودخانه هلمند (نیزار فصلی) و منطقه ناوه بارکزی (نیزار دائمی و فصلی) در غرب رود هلمند واقع‌اند.

۲-۴-۳- شاخص گیاهی تعدیل‌کنندهٔ اثر خاک^۱ (SAVI)

این شاخص گیاهی با واردکردن یک پارامتر به فرمول NDVI سعی در کاهش اثر پس‌زمینه‌های خاکی در مناطق گیاهی دارد و محاسبهٔ آن چنین است:

$$\text{SAVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R} + \text{L}} \times (\text{L} + 1) \quad (\text{Y})$$

L فاکتور تعدیل‌کنندهٔ اثر خاک است که معمولاً با سعی و خطا محاسبه می‌شود. مقدار L برای مناطق با پوشش گیاهی متوسط ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. نقطهٔ قوت این شاخص گیاهی نسبت به NDVI، حذف اثر پس‌زمینه از طریق عامل L است (Huete, 1988).

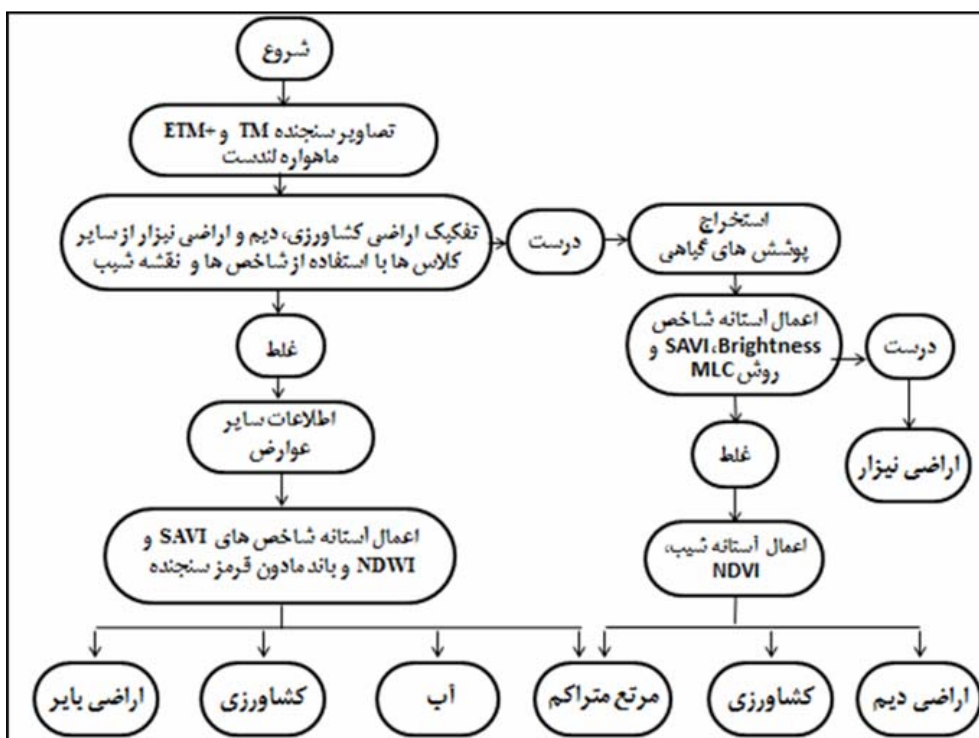
۲-۴-۴- تبدیل Tasseled Cap

این تبدیل یکی از روش‌های آنالیز پوشش گیاهی و خاک است. در این روش باندهای طیفی سنجندهٔ لندست MSS در فضای چهاربعدی جدید به چهار شاخص درخشندگی خاک^۲ (SBI)، شاخص سبزیگی پوشش گیاهی^۳ (GVI)، شاخص^۴ YVI، و^۵ NSI تبدیل می‌شود (Crist et al., 1984). در سنجندهٔ TM این تبدیل شامل درخشندگی، سبزیگی، و Third است، که دو شاخص نخست همانند لندست MSS هستند و Third نیز مربوط به خصوصیات خاک است. در سنجنده‌های سری ۷ ETM، تبدیل Tasseled Cap شامل ۶ باند خروجی است، که علاوه بر درخشندگی و سبزیگی، رطوبت^۶ نیز دارای کاربرد فراوانی است (Huang et al.).

۲-۵- طبقه‌بندی

برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در روش‌های طبقه‌بندی MLC و SVM، نمونه‌های آموزشی از سطح منطقه به‌منظور ایجاد کلاس‌های کاربری اراضی در شش کلاس در نظر گرفته شد. نمونه‌های آموزشی لازم برای طبقه‌بندی کلاس‌های گوناگون، براین اساس انتخاب شدند: شناخت کلی از منطقه و بااستفاده از

1. Soil Adjusted Vegetation Index
2. Soil Brightness Index
3. Green Vegetation Index
4. Yellow Stuff Index
5. Non-such Index
6. Wetness
7. United Nations Office on Drugs and Crime
8. Thermal



شکل ۴. درخت تصمیم گیری تولید شده برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مطالعاتی

(Lu et al., 2007) که در این مطالعه برای ارزیابی دقت نقشه ها به کار گرفته شدند. از نظر تئوری احتمالات، دقت کل نمی تواند معیار خوبی برای ارزیابی نتایج طبقه بندی باشد، زیرا در این شاخص شانس بسیار تعیین کننده است. دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل ها طبق رابطه (۸) به دست می آید (Alavipanah, 2004).

$$O.A. = \frac{\sum_{i=1}^c E_{ii}}{N} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در این رابطه O.A. دقت کلی، N تعداد پیکسل های آزمایشی و E_{ii} اعضای قطر اصلی ماتریس خطاست.

سپس با استفاده از شاخص NDVI، آستانه شیب، و تصویر ماه سپتامبر، اراضی دیم از اراضی کشاورزی تفکیک گردید. اراضی دیم اکثراً در ارتفاعات شهر نادعلی (غرب نهر بغری)، موسی قلعه و نوزاد واقع اند. در تصویر سپتامبر نیز سطح اراضی دیم بدون پوشش گیاهی و به خوبی قابل تشخیص است. به منظور تعیین کلاس آب، استفاده همزمان از شاخص آبی NDWI و باند مادون قرمز نزدیک نتایج خوبی را به همراه داشت. شاخص SAVI در کنار شاخص NDVI می تواند شاخص مناسبی برای تفکیک اراضی مرتع متراکم از اراضی بایر باشد.

۲-۶- ارزیابی دقت^۱

برای درک درستی نتایج به دست آمده و به کار بردن آنها در تصمیم گیری، برآورد دقت اهمیت بسیاری دارد. معمول ترین عامل های برآورد دقت شامل دقت کل^۲، ضریب کاپا^۳، دقت تولید کننده^۴ و دقت کاربر^۵ هستند

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

کدام از تصاویر متعلق به دو تاریخ مختلف به صورت جداگانه طبقه‌بندی و تصاویر طبقه‌بندی شده، پیکسل به پیکسل مقایسه می‌شوند. این تکنیک از نخستین تکنیک‌های آشکارسازی تغییرات به شمار می‌آید. ماتریس اشتباهات یکی از روش‌هایی است که در سه دسته ماتریس اشتباهات تک‌زمانه، ماتریس اشتباهات دوتایی تغییر/عدم تغییر و ماتریس اشتباهات نوع تغییر طبقه‌بندی می‌شود (Oort, 2007). در این روش، ماتریس اشتباهات تک‌زمانه برای به دست آوردن بهترین و بدترین دقت تخمین استفاده می‌گردد. ماتریس اشتباهات دوتایی تغییر/عدم تغییر اشتباهات طبقه‌بندی، به عنوان مکملی برای ماتریس اشتباهات تبدیل برای دقت بارزسازی تبدیلات اشتباه به کار می‌رود. در بارزسازی تغییرات به وسیله این روش می‌توان مشخص ساخت که کدام عارضه‌ای به عارضهٔ دیگر تبدیل شده است و همین امر از مزیت‌های این روش به شمار می‌آید.

۳- نتایج

۳-۱- نتایج طبقه‌بندی

نقشه‌های کاربری اراضی تولید شده با استفاده از سه الگوریتم بیان شده، در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۱ میلادی در شکل‌های ۵ تا ۷ نشان داده شده‌اند. عامل‌های آماری دقت کل، ضریب کاپا، دقت تولیدکننده و دقت استفاده‌کننده به تفکیک روش‌های مطالعاتی در جدول ۱ در هر سه سال آورده شده است. با توجه به ارزیابی صورت گرفته از محاسبهٔ ضرایب و مشخصات آماری به دست آمده، هر سه روش دقت مناسبی دارند. همان‌طور که در جدول ۱ نیز مشخص است، در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ ضریب کاپا کمتر از سال ۲۰۱۱ بوده که از دلایل اصلی آن تفکیک کلاس‌های اراضی کشاورزی از اراضی نیزار (دائمی و فصلی) است.

1. Pre-classification
2. Post-classification

به دلیل ضعف‌های شاخص دقت کلی، در کارهای اجرایی که مقایسهٔ دقت طبقه‌بندی مدنظر است غالباً از شاخص کاپا استفاده می‌شود، چون شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را در نظر می‌گیرد و مقدار آن صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند (Congalton, 1991). یکی از معروف‌ترین برآوردهای کاپا با استفاده از عناصر ماتریس خطا عبارت است از:

رابطه (۹)

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}$$

که در آن N تعداد کل پیکسل‌های واقعیت زمینی، X_{i+} مجموع عناصر سطر i ام و X_{+i} مجموع عناصر ستون i ام است.

علاوه بر دو مورد گفته شده، از مشخصه‌های آماری دقت تولیدکننده و استفاده‌کننده نیز برای ارزیابی نتایج استفاده می‌شود. دقت تولیدکننده، احتمال این است که پیکسلی که در تصویر کلاسه‌بندی شده در همان کلاس روی زمین قرار بگیرد و دقت استفاده‌کننده یا کاربر، احتمال اینکه یک کلاس مشخص در روی زمین در همان کلاس روی تصویر طبقه‌بندی شده قرار بگیرد؛ که از طریق روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌شوند (Congalton, 1991).

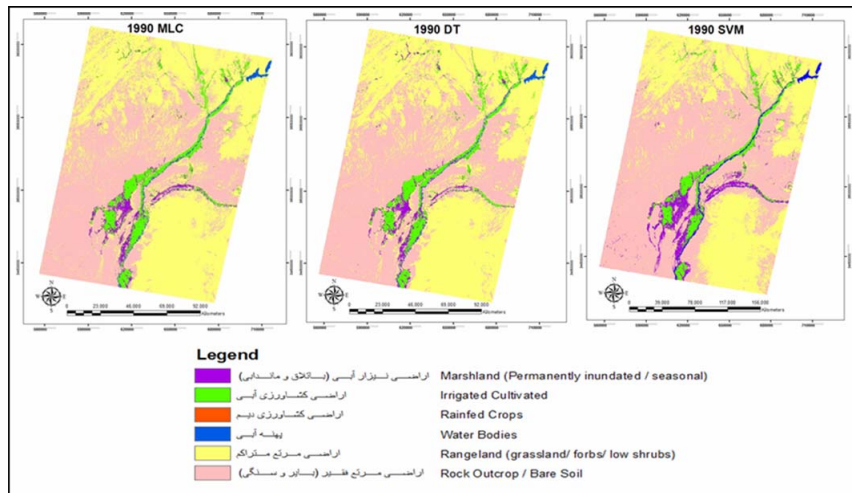
$$P.A._j = \frac{X_{jj}}{\sum_{j=1}^r X_{ij}} \times 100 \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$U.A._i = \frac{X_{ii}}{\sum_{j=1}^r X_{ij}} \times 100 \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

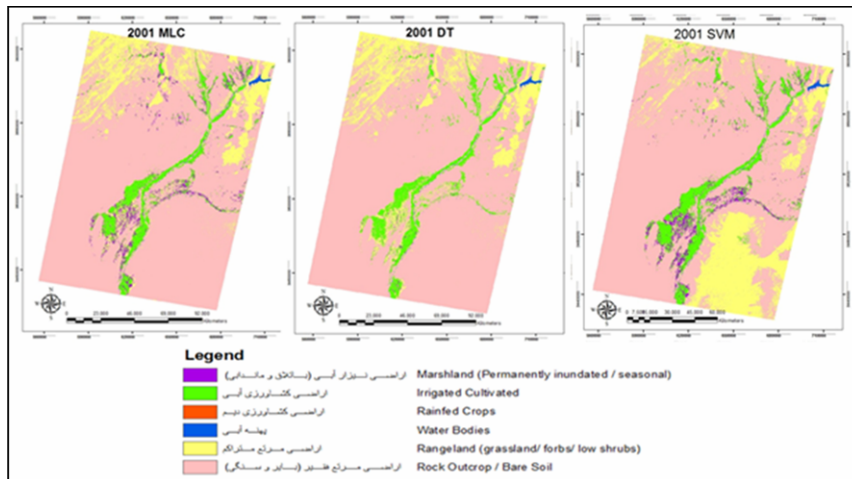
که در آنها $P.A.$ درصد دقت تولیدکننده و $U.A.$ درصد دقت کاربر را نشان می‌دهد.

۲-۷- تکنیک‌های تحلیل و کشف تغییرات

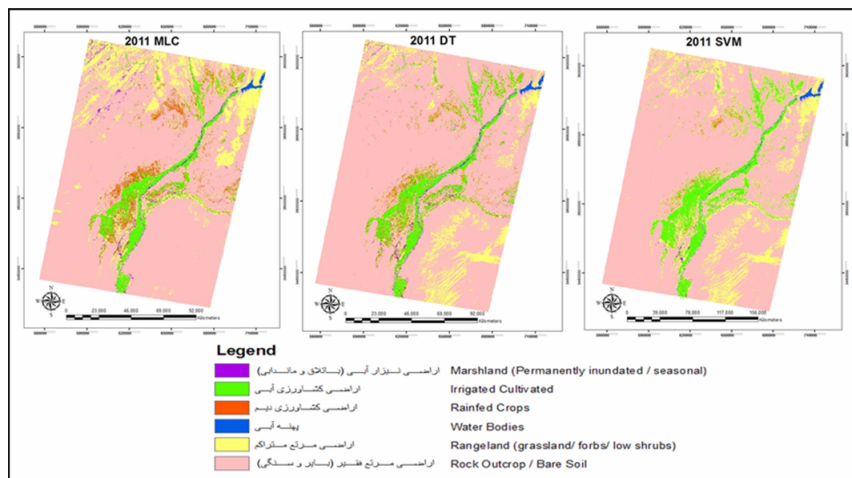
تکنیک‌های کشف تغییرات را می‌توان به دو دستهٔ بارزسازی تغییرات از قبیل طبقه‌بندی شده^۱ و بارزسازی تغییرات پس طبقه‌بندی شده^۲ تقسیم کرد؛ که بیشتر تکنیک‌ها به دستهٔ دوم تعلق دارد. در این تکنیک‌ها هر



شکل ۵. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در سال ۱۹۹۰ با استفاده از سه روش مطالعه شده



شکل ۶. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در سال ۲۰۰۱ با استفاده از سه روش مطالعه شده



شکل ۷. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در سال ۲۰۱۱ با استفاده از سه روش مطالعه شده

بررسی تغییرات کاربری اراضی پایین دست سد کجکی حوضه هیرمند افغانستان با استفاده از طبقه‌بندی کنندهٔ بیشترین شباهت، ...

جدول ۱. ارزیابی طبقه‌بندی برای نقشه‌های کاربری استخراج شده از طبقه‌بندی تصاویر لندست در سه روش مطالعه شده (برحسب درصد)

مشخصات آماری	SVM			DT			MILC		
	۲۰۱۱	۲۰۰۱	۱۹۹۰	۲۰۱۱	۲۰۰۱	۱۹۹۰	۲۰۱۱	۲۰۰۱	۱۹۹۰
دقت تولیدکننده									
اراضی نيزار آبی باتلاق، ماندابی)	۶۵/۲	۶۶/۲	۸۲/۳	۷۲/۸	۱۴/۷	۶۱/۷	۷۸/۲	۶۱/۸	۶۲/۰
اراضی کشاورزی آبی	۹۷/۵	۹۰/۵۵	۹۳/۲	۹۲/۰	۸۰/۶	۹۰/۳	۹۱/۸	۷۶/۴	۹۴/۲
اراضی کشاورزی دیم	۵۹/۳	-	-	۶۰/۰	-	-	۹۸/۰	-	-
آب	۹۷/۹	۹۹/۱	۱۰۰/۰	۹۷/۶	۹۸/۸	۹۸/۸	۹۸/۸	۹۸/۸	۹۹/۹
اراضی مرتع متراکم	۹۳/۲	۸۴/۰۴	۸۵/۷	۷۷/۵	۹۸/۳	۸۷/۲	۸۹/۰	۹۸/۴	۸۷/۴
اراضی مرتع فقیر (بایر و سنگی)	۹۸/۸	۹۹/۵	۹۰/۶	۹۹/۲	۹۵/۵	۸۶/۹	۹۵/۰	۹۵/۲	۸۵/۸
دقت کاربر									
اراضی نيزار آبی (باتلاق، ماندابی)	۸۴/۹	۸۲/۲	۸۰/۲	۴۵/۹	۵۹/۳	۷۹/۳	۳۸/۳	۴۱/۰	۸۰/۲
اراضی کشاورزی آبی	۹۲/۹	۸۴/۷	۹۰/۳	۹۹/۱	۹۳/۲	۸۶/۲	۹۹/۹	۹۶/۲	۸۶/۶
اراضی کشاورزی دیم	۸۵/۸	-	-	۱۵/۱	-	-	۲۵/۸	-	-
آب	۱۰۰/۰	۹۹/۸	۹۹/۹	۹۹/۶	۹۸/۵	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۹/۸	۹۹/۳
اراضی مرتع متراکم	۹۳/۰	۹۰/۲	۸۹/۱	۹۳/۰	۵۸/۰	۸۰/۵	۹۱/۶	۵۷/۲	۷۹/۵
اراضی مرتع فقیر (بایر و سنگی)	۹۷/۵	۹۵/۶	۹۰/۱	۹۱/۴	۷۷/۴	۸۵/۸	۹۵/۹	۹۱/۵	۸۹/۴
دقت کلی (%)	۹۵/۳	۸۹/۸	۸۸/۴	۹۱/۰	۸۲/۱	۸۳/۶	۹۲/۴	۸۳/۴	۸۴/۳
ضریب کاپا	۰/۹۳	۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۸۷	۰/۷۲	۰/۷۸	۰/۸۹	۰/۷۵	۰/۷۹

طبقه‌بندی شود. در این روش کلاس‌ها با توجه به محدودهٔ شاخص‌ها و خصوصیات توپوگرافی منطقه‌بندی شدند و انتخاب نمونه‌های واقعی تأثیری در نتایج طبقه‌بندی نداشت. ارزیابی نقشه‌های کاربری همچنین نشان می‌دهد که در تعیین کلاس اراضی نيزار روش MLC بهترین نتایج را به دست داد. در روش SVM نیز به‌رغم طولانی بودن زمان اجرای آن، نیاز کمتری به نمونه‌های آموزشی از منطقه وجود داشت. از دیگر مزیت‌های این روش می‌توان به قابلیت تفکیک کلاس اراضی نيزار (باتلاق و ماندابی) اشاره کرد که ضریب کاپای بالاتری در مقایسه با دو روش دیگر دارد. این مطلب در تحقیق زنتوی همکاران (2013) نیز بیان شده است.

با این حال مقایسهٔ نقشه‌های اراضی نيزار (دائمی و فصلی) تولیدشده در سه روش مورد مطالعه نشان می‌دهد که روش MLC تطابق بیشتری با واقعیت زمینی و نقشه‌های مرجع دارد. از مقایسهٔ نقشه‌های اراضی کشاورزی آبی تولیدشده می‌توان نتیجه گرفت که روش درخت تصمیم‌گیری عملکرد مناسبی دارد. در طبقه‌بندی کنندهٔ بیشترین شباهت، کلاس هر نمونه براساس میزان شباهت مدل آن نمونه با مدل واقعی داده‌های آن کلاس تعیین می‌شود. بنابراین، همان‌طور که پیش‌تر نیز مطرح شد، انتخاب نمونه‌ها تأثیر زیادی در نتایج داشته است. در طبقه‌بندی کنندهٔ درخت تصمیم‌گیری در مورد هر پیکسل مجموعه‌ای از تصمیم‌ها گرفته می‌شوند تا پیکسل به‌درستی

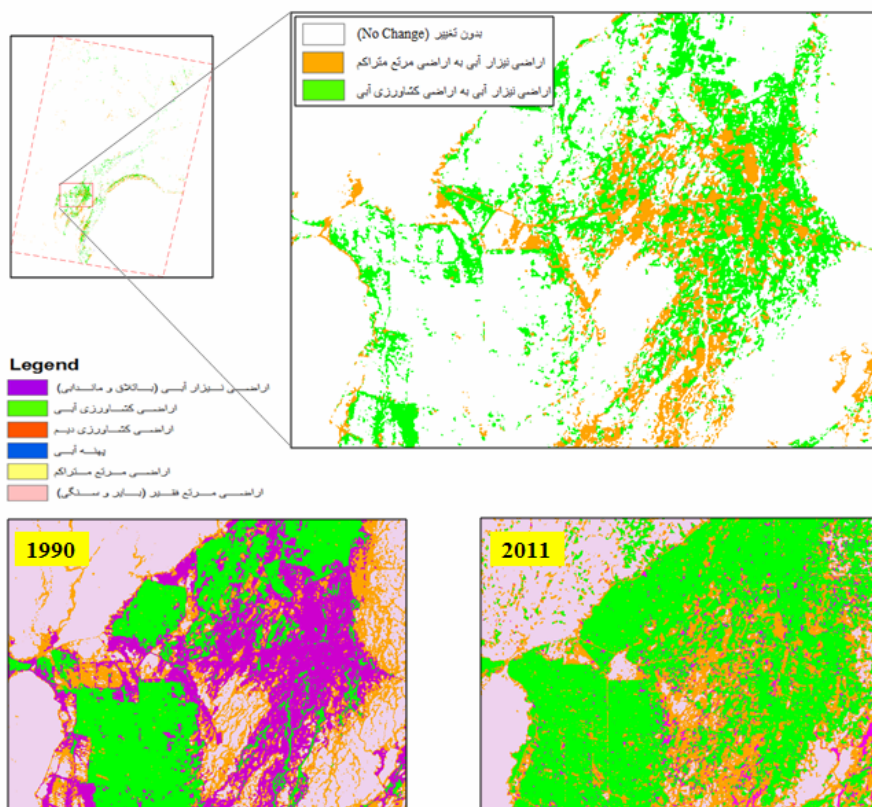
۳-۲- تغییرات کاربری اراضی منطقه مطالعاتی طی ۲۰ سال گذشته

بوده که در سال ۲۰۰۱ به حدود ۱۲۲ هزار هکتار رسیده است. این مقدار در سال ۲۰۱۱ افزایش شدیدی داشته و به ۱۶۷ هزار هکتار رسیده است. علت آن می‌تواند توسعه کشت محصولات آبی در مناطق نیزار شهر ناوه بارکزی در غرب لشکرگاه باشد که در شکل ۸ به خوبی نشان داده شده است.

مقایسه نتایج طبقه‌بندی تصاویر در دوره‌های مختلف (جدول ۲) نشان می‌دهد که سطح زیر کشت محصولات آبی در سال ۱۹۹۰ به‌طور میانگین برابر ۱۰۳ هزار هکتار

جدول ۲. مساحت پوشش اراضی به تفکیک کلاس‌ها در سه روش مطالعه‌شده

SVM			DT			MILC			مساحت پوشش اراضی (هزار هکتار)
۲۰۱۱	۲۰۰۱	۱۹۹۰	۲۰۱۱	۲۰۰۱	۱۹۹۰	۲۰۱۱	۲۰۰۱	۱۹۹۰	
۴/۲۷	۵۰/۱۹	۸۹/۸۶	۲۰/۶۶	۴/۶۲	۴۹/۷۶	۲۶/۵۴	۵۱/۰۱	۵۳/۳۸	اراضی نیزار آبی (باتلاق، ماندابی)
۱۸۳/۱۸	۱۵۴/۸۷	۱۰۰/۱۶	۱۵۰/۸۸	۱۳۲/۰۴	۱۰۵/۹۵	۱۲۷/۲۸	۱۲۲/۲۳	۱۰۸/۵۵	اراضی کشاورزی آبی
۱۳/۸۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۵۰/۱۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۷۵/۲۶	۰/۰۰	۰/۰۰	اراضی کشاورزی دیم
۹/۱۶	۵/۶۱	۱۶/۱۲	۹/۵۰	۵/۹۲	۱۳/۰۹	۸/۸۲	۵/۱۷	۱۴/۱۰	آب
۳۰۲/۱۰	۳۶۸/۰۱	۸۰۷/۱۶	۲۲۹/۳۶	۲۸۲/۱۱	۱۰۳۴/۸۸	۳۲۶/۴۶	۲۸۶/۸۰	۱۰۴۶/۵۹	اراضی مرتع متراکم
۱۶۵۴/۰۲	۱۵۸۷/۴۹	۱۱۵۲/۹۳	۱۷۰۶/۰۶	۱۷۴۱/۵۸	۹۶۲/۶۰	۱۶۰۲/۲۶	۱۷۰۰/۹۷	۹۴۳/۵۹	اراضی مرتع فقیر (بایر و سنگی)



شکل ۸. تغییر اراضی نیزار آبی (باتلاق و ماندابی) به اراضی کشاورزی آبی و مرتع متراکم طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۱ میلادی

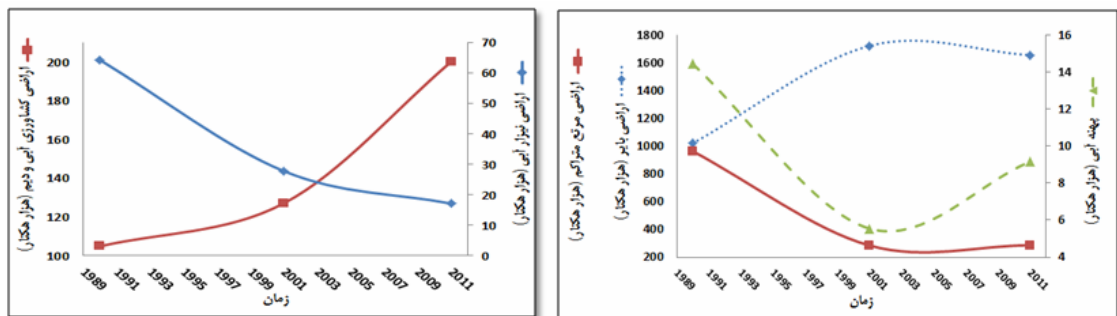
بررسی تغییرات کاربری اراضی پایین دست سد کجکی حوضه هیرمند افغانستان با استفاده از طبقه بندی کننده بیشترین شباهت، ...

سالانه آب رودخانه مرزی هیرمند به سوی سیستان، به میزان ۹۸ درصد کمتر از متوسط سالانه بود و در سال آبی ۱۳۷۹-۱۳۸۰ (۲۰۰۱-۲۰۰۰ میلادی) فقط ۴۸ میلیون مترمکعب آب به سمت سیستان جریان یافت و دریاچه هامون به طور کامل خشک شد (Hafiznia et al., 2005).

از سال ۲۰۰۱ به بعد با وجود بحران آبی ایجاد شده در منطقه، با ورود امریکایی ها به افغانستان کشت خشخاش افزایش یافت. نتایج این تحقیق افزایش ۸۰ هزار هکتاری سطح زیر کشت را طی دهه ۲۰۰۱-۲۰۱۱ نشان می دهد. نتایج این طبقه بندی با گزارش سازمان ملل نیز مطابقت دارد (UNODC, 2010)، که در آن میزان کشت خشخاش در سال ۲۰۰۱ در منطقه مطالعاتی ۸ هزار هکتار و در سال ۲۰۱۰ بیش از ۶۵ هزار هکتار گزارش شده است.

نتایج این تحقیق نشان می دهد که طی دهه ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۱ میلادی، سطح زیر کشت محصولات آبی وابسته به رودخانه هلمند (هیرمند) در منطقه پایین دست سد کجکی افغانستان، حدود ۱۸ درصد و طی دهه ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ میلادی حدود ۳۷ درصد افزایش داشته است. محاسبه سطح زیرکشت اراضی کشاورزی آبی طی ۲۰ سال اخیر نشان می دهد که مقدار آن از ۱۰۳ هزار هکتار به ۱۶۷ هزار هکتار رسیده است که افزایش ۶۲ درصدی را نشان می دهد (جدول ۳ و شکل ۱۰).

این اراضی در سال های اخیر که منطقه برای کشاورزی حاصلخیزی شده، به کشت آبی تبدیل شده است. مقایسه نتایج، افزایش ۳۲ هزار هکتاری کلاس دیم را که اکثراً در ارتفاعات شهر نادرلی (غرب نهر بغری)، موسی قلعه و نوزاد رخ داده است، نشان می دهد. نتایج طبقه بندی در هر سه روش نیز مجموع مساحت اراضی کشاورزی (آبی و دیم) را به طور میانگین ۲۰ هزار هکتار برای سال ۲۰۱۱ برآورد می کند. مقایسه تصاویر سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ آشکارا تبدیل شدن اراضی مرتع متراکم به اراضی بایر یا مرتع فقیر، و همچنین تبدیل شدن نیزارهای دائمی به فصلی را نشان می دهد، که یکی از دلایل اصلی آن کم آبی و خشکسالی در سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ است. در این دوره ۴ ساله، در منطقه وسیعی از آسیای مرکزی، ایران و افغانستان خشکسالی شدید رخ داد که از سال ۱۸۳۰ میلادی بی سابقه بود (نجفی، ۱۳۹۰). کاهش سطح آب در مخزن سد کجکی در سال ۲۰۰۱ در مقایسه با سال های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۱ که سه روش مورد مطالعه برآورد شد، مؤید کم آبی اتفاق افتاده در آن سال است. کاهش بارندگی در این دوره باعث تبدیل شدن مراتع متراکم به مراتع فقیر شد که در شکل ۹ نیز مشاهده می شود. افزون بر آن، استفاده بیش از حد از آب رودخانه هلمند برای مصارف کشاورزی در سال ۲۰۱۱ در این منطقه باعث شد که وضعیت دریاچه های تالاب بین المللی هامون به شدت بحرانی شود، به طوری که در سال ۱۳۷۹ شمسی جریان

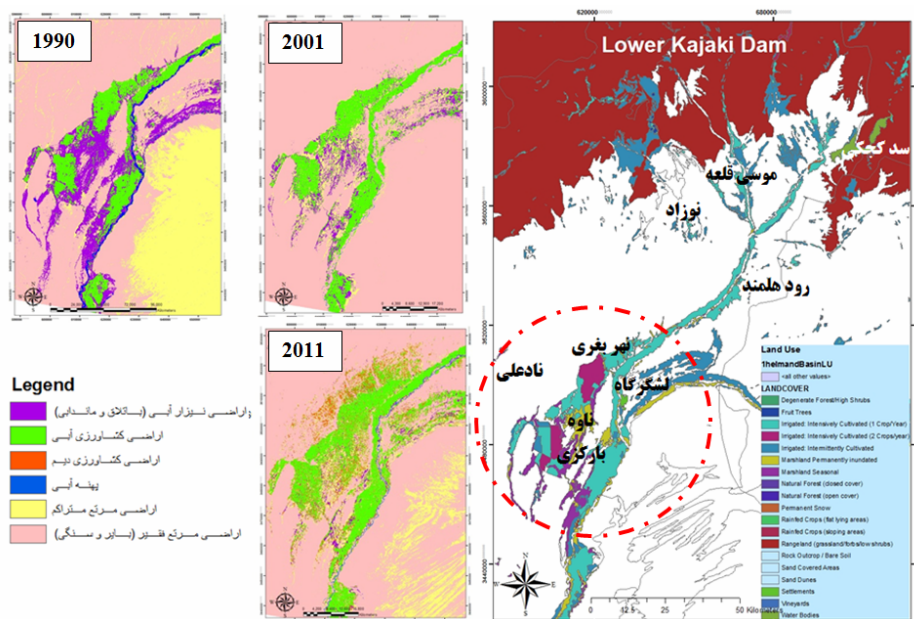


شکل ۹. مساحت پوشش اراضی به تفکیک کلاس ها طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۱ میلادی (هزار هکتار)

محمد رضا حاجی حسینی و همکاران

جدول ۳. تغییرات پوشش اراضی طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۱ میلادی

کلاس‌های کاربری اراضی	مساحت (هزار هکتار)			تغییرات سال ۲۰۱۱		تغییرات سال ۲۰۰۱		تغییرات سال ۱۹۹۰	
	۱۹۹۰	۲۰۰۱	۲۰۱۱	نسبت به ۱۹۹۰	نسبت به ۲۰۰۱	نسبت به ۱۹۹۰	نسبت به ۲۰۰۱	نسبت به ۱۹۹۰	نسبت به ۲۰۰۱
اراضی نيزار آبی (باتلاق، ماندابی) Marshland (Permanently inundated/seasonal)	۸۹/۹	۵۰/۲	۴/۳	-۴۴/۱	-۹۱/۵	-۹۵/۲			
اراضی کشاورزی آبی Irrigated Cultivated	۱۰۳/۱	۱۲۲/۲	۱۶۷/۰	۱۸/۶	۳۶/۷	۶۲/۱			
اراضی کشاورزی دیم Rainfed Crops	۰/۰	۰/۰	۳۲/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰			
اراضی کشاورزی (آبی و دیم) Irrigated	۱۰۳/۱	۱۲۲/۲	۱۹۹/۱	۳۹/۲	۶۲/۹	۹۳/۱			
آب Water Bodies	۱۴/۴	۵/۶	۹/۲	-۶۱/۴	۶۴/۵	-۳۶/۵			
اراضی مرتع متراکم Rangeland (grassland/forbs/low shrubs)	۹۶۲/۹	۳۱۲/۳	۲۸۶/۰	-۶۷/۶	-۸/۴	-۷۰/۳			
اراضی مرتع فقیر Rock Outcrop/Bare Soil	۱۰۱۹/۷	۱۶۷۶/۷	۱۶۵۴/۱	۶۴/۴	-۱/۳	۶۲/۲			
جمع کل			۲۱۶۶/۲						



شکل ۱۰. روند تغییرات سطح زیرکشت محصولات کشاورزی طی ۲۰ سال اخیر در توابع استان هلمند

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

تحقیق حاضر با هدف بررسی توسعهٔ کشاورزی در دشت هلمند افغانستان (حوضه آبریز میانی رودخانه هیرمند) و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت و برای انجام آن تصاویر مربوط به سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۱ میلادی طی فصول کشت تهیه شد و نقشهٔ کاربری اراضی با سه الگوریتم طبقه‌بندی تولید گردید. نتایج تحقیق را می‌توان به صورت زیر جمع‌بندی کرد:

- مقایسهٔ سه طبقه‌بندی کننده شامل بیشترین شباهت (MLC)، درخت تصمیم‌گیری (DT) و ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) نشان که هر سه روش تقریباً نتایج یکسانی از لحاظ ضریب کاپا و دقت کلی برای تصاویر بررسی شده، ارائه می‌کنند. سایر مشخصات آماری نظیر دقت تولیدکننده و دقت کاربر نیز که از ماتریس خطا محاسبه گردید، دارای دقت پذیرفتنی بود.

- از بین سه روش اشاره‌شده، الگوریتم درخت تصمیم‌گیری کارآمدی بیشتری از نظر ملاحظات عملیاتی برای کار با نمونه‌های آموزشی کمتر داشت. به‌طور کلی با توجه به محدودیت دسترسی به منطقه مطالعاتی، روش‌های درخت تصمیم‌گیری و ماشین‌های بردار پشتیبان که کمترین وابستگی را به اطلاعات زمینی و نمونه‌های آموزشی دارند، برای طبقه‌بندی کاربری اراضی منطقهٔ مطالعه‌شده مناسب‌ترند.

- از بررسی تغییرات سطح زیرکشت محصولات آبی طی دورهٔ بیست‌سالهٔ ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۱ با استفاده از سه الگوریتم مطرح‌شده می‌توان نتیجه گرفت که مقدار کل کشت آبی در منطقهٔ مطالعاتی در سال ۱۹۹۰ برابر ۱۰۳ هزار هکتار بود، که در سال ۲۰۰۱ به حدود ۱۲۲ هزار هکتار و در سال ۲۰۱۱ به حدود ۱۶۷ هزار هکتار رسید. همان‌طور که مشاهده می‌شود از سال ۲۰۰۱ به بعد به‌رغم خشکسالی‌ها، با شروع تحولات سیاسی اخیر در این کشور سطح

زیر کشت و به‌خصوص زراعت افزایش زیادی داشته است. طی دورهٔ ده‌سالهٔ ۲۰۰۱-۱۹۹۰ صرفاً ۱۹ هزار هکتار (۱۸ درصد) افزایش سطح زیرکشت اتفاق افتاد، درحالی‌که در دورهٔ ده‌سالهٔ ۲۰۱۱-۲۰۰۱ افزایش ۴۴ هزار هکتاری (۳۶ درصد) سطح زیر کشت مشاهده می‌شود. بنابراین طی ۲۰ سال اخیر سطح زیر کشت محصولات آبی، ۶۲ درصد افزایش یافته است. بازسازی تصاویر نیز نشان داد که بخش‌هایی از اراضی نیزار ولایت ناوله‌بارکزی که در سال ۱۹۹۰، وسعتی حدود ۱۲ هزار هکتار داشت، عمدتاً به کشت آبی تبدیل شدند.

- براساس نتایج این تحقیق می‌توان بیان کرد که دلیل عمدهٔ کاهش آورد رودخانهٔ مرزی هلمند (هیرمند) به ایران، توسعهٔ کشاورزی افغانستان در حوضهٔ آبریز میانی رودخانه هیرمند در پایین دست سد کجکی است، که تبعات منفی بر اقتصاد و محیط زیست دشت سیستان، به‌ویژه تالاب بین‌المللی هامون داشته است.

۵- منابع

آرخی، ص. و ادیب‌نژاد، م.، ۱۳۹۰، ارزیابی کارایی الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ETM+ لندست (مطالعه موردی: حوضه سد ایلام)، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۸، شماره ۳.

جعفری، ح. و همکاران، ۱۳۹۰، توسعه مدل مفهومی مبتنی بر الگوریتم Decision Tree و داده‌کاوی به منظور آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از تصاویر سنجنده TM و داده‌های کمکی، فصلنامه علوم محیطی، سال هشتم، شماره سوم.

حافظ‌نیا، م. و همکاران، ۱۳۸۵، هیدروپلیتیک هیرمند و تأثیر آن بر روابط سیاسی ایران و افغانستان، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۰، شماره ۲.

- Specific Class**, Remote Sensing of Environment 104, PP. 1-14.
- Huang, C., B. Wylie, L. Yang, C. Homer, and G. Zylstra, **Derivation of a Tasseled Cap Transformation Based on Landsat 7 At-Satellite Reflectance**, USGS EROS Data Center White Paper (<http://landcover.usgs.gov/pdf/tasseled.pdf>).
- Huete, A.R., 1988, **A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)**, Remote Sensing of Environment, 25, PP. 295-309.
- Jensen, J. R., 2005, **Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective (3rd Ed.)**, Upper Saddle River, New Jersey, Pearson Prentice Hall.
- Kandrika, S., P.S. Roy, 2008, **Land Use Land Cover Classification of Orissa Using multi-Temporal IRS-P6 Awifs Data: A Decision Tree Approach**, International Journal of Applied Earth Observation and Geo information, 10, PP. 186-193.
- Lu, D., Weng, Q., 2007, **A Survey of Image Classification Methods and Techniques for Improving Classification Performance**, International Journal of Remote Sensing, 26 (5), PP. 823-870.
- McFeeters, S.K., 1996, **The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features**, International Journal of Remote Sensing, 17, PP. 1425-1432.
- Mather P.M., 2001, **Classification Methods for Remotely Sensed Data**, First Edition, Taylor & Francis.
- علوی پناه، س.ک، ۱۳۸۴، عنوان کتاب: کاربرد سنجش از دور در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۷۸ صفحه.
- فاطمی، س.ب. و رضایی، ی.، ۱۳۸۵، مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده، ۲۶۸ صفحه.
- صمدزادگان، ف. و همکاران، ۱۳۹۰، عنوان کتاب: ادغام داده‌ها در سنجش از دور مفاهیم و روش‌ها، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۹۷ صفحه.
- نجفی، علیرضا، ۱۳۹۰، عنوان کتاب: چالش‌های محیط زیستی در تالاب فرامرزی هامون، وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران. ۵۱ صفحه.
- Arlson, T.N, and Sanchez Azofeifa, G.A., 1999, **Satellite Remote Sensing of Land Use Changes in Aground Senjose, Ostarica**, Remote Sensing of Environment, Vol. 17, PP. 247-256.
- Burges, C.J.C., 1998, **A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition**, data mining and knowledge discovery, Vol. 2, PP. 121-167.
- Congalton, R.G., 1991, **A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data**, Remote Sensing of Environment, 37(1), PP. 35-46.
- Crist, E.P. and R.C. Cicone, 1984, **Application of the Tasseled Cap Concept to Simulated Thematic Mapper Data**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 50, PP. 343-352.
- Foody, G.M., Mathur, A., Sanchez-Hernandez, c., Boyd, D.D., 2006, **Traningset Size Requirements for the Classification of a**

- Mahesh, P., Mather, P.M., 2003, **An Assessment of the Effectiveness of the Decision Tree Method for Land Cover Classification**, Remote Sensing of the Environment 86, PP. 554–565.
- Osuna, E.E., Freud, R. et al., 1997, **Support Vector Machines: Training and Applications**, A.I. Memo No. 1602, C.B.C.L. Paper No. 144, Massachusetts Institute of Technology and Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts.
- Otukei, J.R., T. Blaschke, 2010, **Land Cover Change Assessment Using Decision Trees, Support Vector Machines and Maximum Likelihood Classification Algorithms**, International Journal of Applied Earth Observation and Geo information, 12S, PP. S27–S31.
- Richards, J.A. and X. Jia, 2006, **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**, Berlin: Springer-Verlag. 4th edition.
- Rounds, E.M., 1980, **A Combined Nonparametric Approach to Feature Selection and Binary Decision Tree Design**, Pattern Recognition, 12, PP. 313–317.
- Sesnie, S.E., Paul E. Gessler, Bryan Finegan, Sirpa Thessler, 2008, **Integrating Landsat TM and SRTM DEM Derived Variables with Decision Trees for Habitat Classification and Change Detection in Complex Neotropical Environments**, Remote Sensing of Environment, 112, PP. 2145–2159.
- Shetaii, SH., Abdi, O., 2008, **Mapping of Land Use in Mountainous Regions of Zagros Using ETM+ data**, Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 57, PP. 129-138, Agricultural Sciences and Natural Resources university of Gorgan.
- Zoltan Szantoi et al., 2013, **Analyzing Fine-scale Wetland Composition Using High Resolution Imagery and Texture Features**, International Journal of Applied Earth Observation and Geo information.
- United Nation Office on Drugs and Crime (UNODC), (April 2012), Afghanistan opium survey 2012, Opium Risk Assessment for all Regions (phase 1&2).
- United Nation Office on Drugs and Crime (UNODC), (June 2011), Afghanistan cannabis survey 2010.
- UNODC World Drug Report for 2009, data available in the Report cover years from 1994 to 2008.
- Van der Linden, S., Rabe, A., Okujeni, A., Hostert, P., 2009, **Image SVM Classification, Application Manual: image SVM version 2.0**, Humboldt- Universität zu Berlin, Germany.
- Yao, X., Tham, Lg. and Dai, F.C., 2008, **Landslide Susceptibility Mapping Based on Support Vector Machine: A Case Study on Natural Slopes of Hong Kong, China**, Geomorphology 101, PP. 572–582.
- Watershed Atlas of Afghanistan, June 2005, **First Edition- Book 2 Watershed Maps Working Document for Planners**, Kabul.

