نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال ششم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۷

Vol.6, No.2, Summer 2018

۲۳-۴۱

این مقاله در اولین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی به‌عنوان مقاله برگزیده انتخاب شده است که پس از تکمیل، داوری مجدد و اخذ پذیرش در این شماره از نشریه به چاپ می‌رسد.

پایش تغییرات از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه با بکارگیری الگوریتم شناسایی تغییرات چند متغیره با وزن‌دهی تکراری (IR-MAD) و طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM)

آرمین مقیمی[1*]، حمید عبادی[2]، وحید صادقی[3]

۱- کارشناس ارشد فتوگرامتری، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

۲- استاد گروه فتوگرامتری و سنجش از دور دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

۳- استادیار گروه نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۳۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۰۴

چکیده

پایش تغییرات کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه، یکی از مهمترین کاربردهای سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی است. در پژوهش حاضر چارچوبی برای پایش تغییرات از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه با به‌کارگیری الگوریتم شناسایی تغییرات چند متغیره با وزن‌دهی تکراری (IR-MAD) و طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM) ارائه شده است. در این مطالعه، پایش تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست با یک فاصله زمانی ۱۸ ساله، برای جزیره شاهی و قسمتی از حوزه غربی دریاچه ارومیه پیاده‌سازی گردیده است. روش پیشنهادی دارای دو مرحله اصلی در پایش تغییرات می‌باشد. در مرحله اول، مؤلفه‌های شدت تغییرات به‌صورت اتوماتیک با استفاده از تبدیل IR-MAD مشخص می‌گردند. در ادامه، مؤلفه‌های بهینه با اعمال آنالیز مؤلفه اصلی با هسته کرنل (KPCA) بر مؤلفه‌های شدت تغییرات انتخاب می‌شوند. در مرحله دوم، جهت تهیه نقشه ماهیت تغییرات، مؤلفه‌های بهینه ترکیب‌شده با استفاده از روش SVM طبقه‌بندی می‌شوند. به‌منظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی در جهت پایش تغییرات، این روش با روش‌های متداول ترکیب طیفی-زمانی و مقایسه پس از طبقه‌بندی مقایسه گردید. ارزیابی نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی موجب بهبود دقت کلی به میزان ٪۴٫۸۹ و ٪۴٫۳۹ به ترتیب نسبت به روش‌های آنالیز ترکیبی طیفی-زمانی و مقایسه پس از طبقه‌بندی شده است.

کلید واژه‌ها: پایش تغییرات، تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه، الگوریتم شناسایی تغییرات چند متغیره با وزن‌دهی تکراری (IR-MAD)، طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان(SVM).

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران- خیابان ولیعصر- تقاطع میرداماد- روبروی ساختمان اسکان

تلفن: ۰۹۱۰۹۲۶۱۱۳۳

Email : moghimi.armin@gmail.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

۱- مقدمه

پایش تغییرات زمین یکی از کاربردهای فتوگرامتری و سنجش از دور است که در آن با پردازش تصاویر هوایی و ماهواره‌ای چندزمانه، تغییرات در یک منطقه جغرافیایی ثابت کشف و معرفی می‌شود [۱ و ۲]. هدف از پایش تغییرات، مقایسه دو عارضه یا مکان مشابه آن‌ها در زمان‌های متفاوت و کنترل تمام تفاوت‌های ناشی از تغییرات در مقادیر و حالات آن‌ها می‌باشد [۱]. در کاربردهای سنجش از دور به هرگونه تغییر در مؤلفه‌های سطح با نرخ‌های مختلف، تغییرات گفته می‌شود [۳]. در این بین تغییرات کاربری زمین[1] از اهمیت خاصی برخوردار است؛ چرا که از آن‌ها در کاربردهای مختلفی نظیر جنگلداری، ارزیابی خسارت، پایش حوادث و بلایای طبیعی، مدیریت و برنامه‌ریزی شهری و بروزرسانی پایگاه داده استفاده می‌شود. پایش تغییرات به آنالیز و تحلیل مناطق بزرگی از زمین و همچنین استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویری پیشرفته نیاز دارد. آنچه موجب توسعه سنجش از دور در زمینه پایش تغییرات شده، نظارت بر زمین و بهره‌برداری بهینه از منابع آن می‌باشد. با توجه به تغییر رفتار طیفی عوارض پس از گذشت زمان، استفاده از داده‌های سنجش از دوری در پایش تغییرات می‌تواند امری مؤثر باشد. البته بعضی فاکتورها نظیر شرایط اتمسفری، روشنایی، زوایای دید و رطوبت خاک باعث به وجود آمدن تغییرات در داده‌های سنجش از دوری می‌شود ولی این عوامل قابل جداسازی و کاهش از روی خصوصیات طیفی این تصاویر است [۲، ۳ و ۴].

پایش تغییرات یک منطقه در یک یا چندین بازه زمانی معین با استفاده از داده‌های سنجش از دوری از نظر برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت آن منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است [۵]. بهبود تکنیک‌ها و روش‌های مختلف آنالیز و پایش تغییرات از گذشته تا به امروز، وابسته به شرایط و نیازها وجود داشته است؛ بنابراین انتخاب روش‌ها و یا الگوریتم‌های پایش تغییرات کار ساده‌ای نیست [۶]. یک روش مناسب در زمینه پایش تغییرات باید شامل اطلاعاتی نظیر مناطق تغییریافته و نرخ تغییرات، توزیع مکانی ماهیت تغییرات، خط سیر تغییرات پوشش کاربری اراضی و ارزیابی نتایج حاصل از شناسایی تغییرات باشد [۶]. معمولاً با توجه به ماهیت پردازش داده‌ها، پایش تغییرات در سنجش از دور به دو روش نظارت‌شده و نظارت‌نشده صورت می‌گیرد [۷]. در پایش تغییرات کاربری اراضی معمولاً از روش‌های نظارت‌شده استفاده می‌شود. براساس مطالعاتی که در زمینه پایش نظارت‌شده تغییرات صورت گرفته است، این روش‌ها مبتنی بر تکنیک‌های طبقه‌بندی بوده و نقشه تغییرات حاصل از این روش‌ها، به‌صورت نقشه ماهیت تغییرات است که اشاره به تغییرات "از" کلاس "به" کلاس دیگر[2] دارد. در واقع، مهمترین مزیت استفاده از این روش‌ها در مقایسه با روش‌های نظارت‌نشده، ارائه ماتریس تغییرات می‌باشد. روش مقایسه پس از طبقه‌بندی[3] و روش آنالیز ترکیبی طیفی- زمانی[4] از جمله متداولترین روش‌ها در پایش نظارت‌شده تغییرات هستند که در آن‌ها از مجموعه‌ای از نمونه‌های آموزشی وابسته به نوع روش، استفاده می‌شود. کوچکترین اشتباه در تعیین نمونه‌های آموزشی موجب دگرگونی و ایجاد خطا در نتایج پایش تغییرات کاربری اراضی با این روش‌ها می‌شود. تحقیقات زیادی در زمینه پایش تغییرات با استفاده از روش‌های مقایسه پس از طبقه‌بندی و آنالیز ترکیبی طیفی – زمانی انجام شده است که در ادامه به معرفی تعدادی از آن‌ها پرداخته‌می‌شود.

آرگانی در سال ۲۰۰۶، در جهت پایش تغییرات کاربری

[1] Land Use

[2] From to

[3] Post classification comparison.

[4] Analysis of the spectral–temporal combined

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

اراضی شهر کرج از ترکیب آنالیز طیفی و روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده کرد. او در جهت آنالیز پایش تغییرات از تصاویر ماهواره‌ای لندست با فاصله زمانی ۱۳ ساله استفاده کرد [۵]. لیونِتا و همکارانش در سال ۲۰۰۶ در جهت پایش تغییرات کاربری اراضی از روش ترکیبی آنالیز طیفی- زمانی استفاده کردند. آن‌ها در جهت پایش تغییرات از ترکیب داده‌های شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی[1] (NDVI) استخراج شده از تصاویر چندزمانه سنجنده مودیس[2] به فاصله ۱۶ روز استفاده کردند [۸]. سَرمَدی در سال ۲۰۱۱ در جهت پایش گسترش شهری از روش آنالیز ترکیب طیفی- زمانی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی[3] استفاده کرد. در این راستا او از دو مجموعه تصاویر دو زمانه متعلق به قسمتی از شهر تهران و شهر آمل استفاده کرد [۹]. سِری واستاوا[4] و همکارانش در سال ۲۰۱۲ جهت پایش تغییرات کاربری اراضی شهر والنات کِریک[5] از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده کردند. در این راستا آن‌ها از تصاویر چندزمانه ماهواره‌ی لندست ۷ بهره بردند [۱۰]. کافِی[6] و همکارانش در سال ۲۰۱۴، از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی در جهت پایش تغییرات کاربری اراضی شهر باوچی[7] در نیجریه استفاده کردند. آن‌ها از تصاویر چندزمانه ماهواره‌ی لندست ۷ (ای تی ام +)[8] و لندست ۸ با فاصله زمانی ۱۰ ساله بهره بردند [۱۱]. مقیمی در سال ۲۰۱۵، در جهت پایش تغییرات کاربری اراضی قسمتی از شهرک آزادشهر در منطقه ۲۲ شهرداری تهران از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده کرد. او از تلفیق اطلاعات طیفی و بافتی تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه ژئوآی[9] و کوئیک برد[10] در جهت پایش تغییرات بهره جست [۲].

در روش پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از آنالیز ترکیبی طیفی- زمانی، در نظر گرفتن مجموعه‌ای از نمونه‌های آموزشی برای کلاس‌های مربوط به تغییرات کاربری اراضی مشکل است و معمولاً نتایج حاصل از این روش را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین در این روش به‌دلیل استفاده از داده‌های پشته شده[11] و تأثیرگذاری تغییرات ناشی از خواص طیفی پوشش زمین، مرحله نرمالیزاسیون نسبی تصاویر (تصحیح رادیومتریک) اجتناب‌ناپذیر است. روش مقایسه پس از طبقه‌بندی به‌دلیل استفاده از نمونه‌های آموزشی جداگانه برای هر یک از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه، مستقل از نرمالیزاسیون نسبی است؛ اما باید به این نکته توجه داشت که فرآیند طبقه‌بندی جداگانه هر یک از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه، موجب افزایش حجم محاسبات و در نتیجه زمان تولید نقشه ماهیت تغییرات می‌شود. همچنین وابسته بودن دقت نهایی پایش تغییرات مبتنی بر مقایسه پس از طبقه‌بندی به دقت طبقه‌بندی هر یک از تصاویر از جمله دیگر محدودیت‌های این روش می‌باشد. با توجه به اهمیت نظارت مستمر بر عوارض سطح زمین و تغییرات احتمالی رخ داده در آن‌ها، پایش تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه یکی از موضوعات فعال و جاری در زمینه سنجش از دور می‌باشد که هنوز نیازمند مطالعات بیشتر و بررسی‌های دقیق‌تر نتایج حاصل از الگوریتم‌های گذشته و پیدایش روش‌های نوین می‌باشد. در این تحقیق قصد داریم با به‌کارگیری الگوریتم شناسایی تغییرات چند متغیره با وزن‌دهی تکراری[12] (IR-MAD) و طبقه‌بندی ماشین بردار

[1] Normalized Difference Vegetation Index
[2] MODIS
[3] Artificial neural networks
[4] Srivastava
[5] Walnut Creek
[6] Kafi
[7] Bauchi
[8] Landsat 7 (ETM+)
[9] GeoEye
[10] QuickBird
[11] Stacked data
[12] Iteratively Reweighted Multivariate Alteration

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

پشتیبان[1] (SVM)، رویکرد متفاوتی را در پایش تغییرات کاربری اراضی ارائه دهیم که علاوه بر داشتن دقت مناسب در پایش تغییرات، مسئله نرمالیزاسیون رادیومتریک نسبی تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه را در بطن روش حل کند.

تحقیق حاضر از شش بخش تشکیل شده است. در بخش دوم توضیح مختصری راجع به روش‌های پایش نظارت‌شده تغییرات ارائه می‌شود. در بخش سوم روش پیشنهادی و مبانی تئوری آن تشریح می‌شود. در بخش چهارم داده‌های مورد استفاده و منطقه مورد مطالعه معرفی می‌گردد. در بخش پنجم به ارزیابی کمی و کیفی نتایج پرداخته می‌شود و در نهایت در بخش ششم نتیجه‌گیری حاصل از پیاده‌سازی روش پیشنهادی ارائه می‌شود.

۲- روش‌های پایش نظارت‌شده تغییرات

اولین گام در شناخت بهتر روش‌ها و الگوریتم‌های پایش نظارت‌شده تغییرات، پرداختن به مبانی و مفاهیم آن‌ها است. در ادامه با هدف ایجاد درک عمیق از پایش تغییرات، مروری کلی بر مفاهیم و روش‌های متداول پایش نظارت‌شده تغییرات نظیر روش‌های مقایسه پس از طبقه‌بندی و آنالیز ترکیبی طیفی- زمانی، صورت گردیده است.

۲-۱- روش مقایسه پس از طبقه‌بندی

روش مقایسه پس از طبقه‌بندی یکی از متداول‌ترین روش‌های پایش تغییرات نظارت شده می‌باشد که اطلاعات مربوط به ماهیت تغییرات را ارائه می‌دهد [۱۲و ۱۳]. در این روش ابتدا، تصاویر ماهواره‌ای دو زمانه به‌صورت جداگانه طبقه‌بندی و نقشه کاربری اراضی مربوط به آن‌ها تولید می‌شود. مرحله بعدی هم‌پوشانی و مقایسه پیکسل به پیکسل این دو نقشه خروجی است. نتیجه این مقایسه پیکسل مبنا در نقشه ماهیت تغییرات، به‌صورت اطلاعات تغییر نمایش داده می‌شود [۵]. به‌دلیل طبقه‌بندی مجزای دو تصویر و وجود نمونه‌های آموزشی جداگانه برای هر یک از تصاویر، نرمالیزاسیون رادیومتریک نسبی امری غیر ضروری در این روش است [۲].

۲-۲- روش آنالیز ترکیبی طیفی- زمانی

در این روش کلیه تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه، در قالب یک مجموعه داده وارد الگوریتم پایش تغییرات می‌شود. در واقع، این روش از تصاویر دو یا چندزمانه پشته‌شده در کنار نمونه‌های آموزشی دو یا چندزمانه استفاده می‌کند. منظور از نمونه‌های آموزشی چندزمانه این است که برای هر پیکسل یک برچسب کلاس تغییرات (به‌عنوان مثال کلاس تغییرات اراضی بایر به شهری) در نظر گرفته می‌شود. سپس با استفاده از روش‌های رایج طبقه‌بندی، تصویر پشته شده حاصل، طبقه‌بندی می‌شود. این رویکرد در مقایسه با روش مقایسه پس از طبقه‌بندی، از خطای تجمعی مربوط به طبقه‌بندی جداگانه تصاویر، مستقل است. همچنین سادگی پیاده‌سازی و زمان محاسباتی کم از دیگر مزایای این روش می‌باشد [۶].

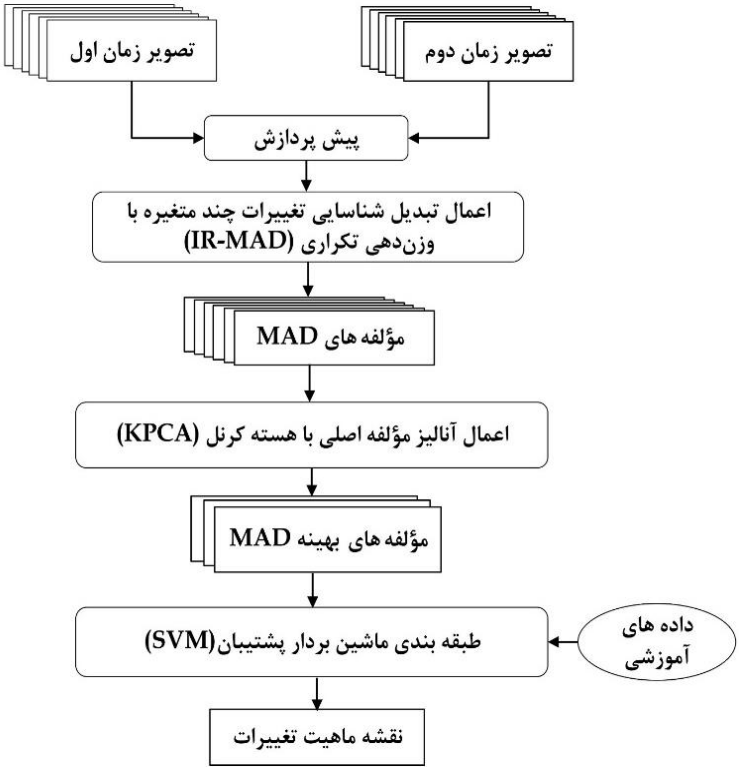
۳- روش پیشنهادی و مبانی تحقیق

در این قسمت جزئیات روش پیشنهادی جهت پایش تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای دو زمانه ارائه می‌شود. شکل (۱) مراحل روش پیشنهادی برای این منظور را نشان می‌دهد. داده‌ها شامل دو تصویر ماهواره‌ای مربوط به دو زمان مختلف از یک منطقه جغرافیایی یکسان می‌باشد. مطابق شکل روش پیشنهادی از سه مرحله اصلی تشکیل شده است. مرحله اول شامل پیش پردازش می‌باشد. در این مرحله تصاویر از لحاظ مکانی ثبت هندسی می‌شوند تا جابه‌جایی موقعیت پیکسل‌های تصاویر دو زمانه، نتایج نهایی پایش تغییرات را تحت تاثیر قرار ندهد. در مرحله دوم به منظور تولید شدت تغییرات صرف نظر از ماهیت تغییرات از تبدیل IR-MAD استفاده می‌شود.

Detection
[1] Support Vector Machine

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

سپس جهت کاهش نویز و استخراج مولفه‌های مناسب از آنالیز مولفه اصلی با هسته کرنل (KPCA) استفاده می‌شود. در نهایت نقشه ماهیت تغییرات با استفاده از طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان (SVM) و براساس نمونه‌های آموزشی مربوط به کلاس‌های تغییرات کاربری اراضی به‌دست می‌آید. در ادامه به توضیح هر یک از مراحل روش پیشنهادی در جهت شناسایی تغییراتپرداخته می‌شود.



شکل ۱: فلوچارت روش پیشنهادی در جهت پایش تغییرات

۳-۱- الگوریتم شناسایی تغییرات چند متغیره با وزن‌دهی تکرار (IR-MAD)

نیلسِن[1] در سال ۱۹۹۸، روش تبدیل MAD را به‌عنوان یک روش کارآمد در پایش تغییرات تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه کرد [۱۴]. این تبدیل کاملاً مستقل از تبدیل خطی بین پیکسل‌های متناظر در تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه است [۱۴ و ۱۵]. همچنین این تبدیل، مجموعه‌ای از تصاویر اختلاف را که دو به دو با یکدیگر متعامد هستند، متناظر با باندهای طیفی تصاویر ماهواره‌ای ورودی تولید می‌کند [۱۴و ۱۵].

به‌طور کلی، این تبدیل براساس تجزیه و تحلیل ضرایب همبستگی میان تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه عمل می‌کند؛ به این معنی که اختلاف ضرایب همبستگی خطی بین دو مجموعه داده را به‌گونه‌ای به‌دست آورده که بیشترین همبستگی بیانگر اولین آنالیز ضریب همبستگی استاندارد[2] (CCA) باشد [۱۴، ۱۵ و ۱۶]. برای تشریح این تکنیک، فرض می‌شود که دو تصویر زمان اول و دوم مربوط به یک منطقه ثابت شامل $\vec{X} = (X_1, X_2, \dots, X_N)$ و $\vec{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_N)$، (N بیانگر تعداد باندهای طیفی

[1] Nielsen

[2] Standard Canonical Correlation Analysis

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

هر یک از تصاویر) که در آن‌ها توزیع درجات خاکستری نرمال فرض شده، موجود است. می‌توان هر یک از این تصاویر را به‌صورت ترکیب خطی از درجات خاکستری تمامی باند های طیفی مربوط با آن تصاویر، نشان داد. با توجه به این نکته، ترکیب خطی هر یک از تصاویر ماهواره‌ای به‌صورت رابطه (۱ و ۲) بیان می‌شود [۱۵،۱۶ و۱۷]

رابطه (۱) $\vec{U} = \vec{a}^T.\vec{X}$

رابطه (۲) $\vec{V} = \vec{b}^T.\vec{Y}$

به‌طوری‌که، بردارهای a و b بیانگر ضرایب تبدیل تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه بصورت ترکیب‌های خطی U و V می‌باشند و در این روابط به‌عنوان مجهول هستند [۱۵و ۱۶]. نیلسِن و همکارانش در سال ۱۹۹۸ برای به‌دست آوردن این مجهولات، استفاده از ضرایب CCA را پیشنهاد کردند [۱۸]. فرض شده است که بردار U و V نسبت به یکدیگر دارای همبستگی مثبت هستند [۱۵و ۱۶]. بنابراین، تعیین اختلاف بین ترکیب‌های خطی تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه با بیشترین واریانس به مانند تعیین ترکیب‌های خطی می‌باشد که دارای کمترین همبستگی مثبت است [۱۴و ۱۵]. این آنالیز شامل ترکیب خطی هر یک از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه است که به جای استفاده از رفتار طیفی پیکسل‌ها از ارتباط متقابل آن‌ها یا ضرایب همبستگی میان آن‌ها استفاده می‌کند [۱۶و ۱۹]. بزرگترین ضریب همبستگی متقابل بین هر یک از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه به نام اولین متغیر متعارف[1] (CV) انتخاب می‌شود و متغیرهای بعدی نیز به همین ترتیب انتخاب می‌گردند [۱۹]. در حقیقت بردار a و b باید به گونه‌ای تعیین شوند که واریانس اختلاف بردار U و V دارای بیشترین مقدار شود [۱۵و ۱۹]. برای به‌دست آوردن این مجهولات باید از تعمیم مسئله به مقادیر ویژه استفاده شود [۱۵]

رابطه (۳) $\sum_{xy}\sum_{yy}^{-1}\sum_{yx}^{T}\vec{a} = \rho^2\sum_{xx}\vec{a}$

رابطه (۴) $\sum_{yx}\sum_{xx}^{-1}\sum_{xy}^{T}\vec{b} = \rho^2\sum_{yy}\vec{b}$

به‌طوری‌که

رابطه (۵) $\sum_{yx} = \sum_{xy}$

رابطه (۶) $\rho = corr(U_i, V_i) \quad i = 1,2,\dots,N$

که در روابط فوق، $\sum_{xy}$ بیانگر ماتریس کواریانس بین تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه X و Y، $\sum_{xx}$ و $\sum_{yy}$ ماتریس کواریانس تصویر X و Y، ρ بیانگر ضریب همبستگی و N تعداد باندهای طیفی می‌باشد. بنابراین زوج مرتب (U_1,V_1) دارای بیشترین همبستگی می‌باشد و زوج مرتب (U_2,V_2) دارای بیشترین همبستگی بعدی می‌باشد که کاملا مستقل از (U_1,V_1) است [۱۵]. به هر یک از این زوج مرتب‌ها مولفه‌های تبدیل[2] MAD می‌گویند و به تصویر اختلاف حاصل از این مولفه‌ها، تبدیل MAD می‌گویند که به‌صورت رابطه (۷) بیان شده است [۱۵, ۱۶و ۱۹].

رابطه (۷) $M_i = U_{N-i+1} - V_{N-i+1}$

رابطه (۸) $Cov(M_i, M_j) = 0 \quad i \neq j$

رابطه (۹) $Var(M_i) = \sigma_{M_i}^2 = 2(1-\rho_{N-i+1})$

تمامی اطلاعات مربوط به تغییرات با آنالیز تصویر MAD به‌دست می‌آید [۱۶]. مولفه‌های تبدیل MAD دارای بیشترین واریانس در شدت هر یک از پیکسل‌ها هستند [۱۵]. بررسی و شناسایی تغییرات از تصاویر ماهواره‌ای، با استفاده از مولفه‌های تبدیل MAD بسیار ساده‌تر نسبت به دیگر روش‌ها می‌باشد [۱۸]. علاوه بر این به دلیل استفاده از ترکیب خطی تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و انتقال تصاویر به فضایی دیگر اطلاعات پایه به‌دست آمده از تصویر اختلاف تبدیل MAD نسبت به شرایط اتمسفری و نویز آماری[3]، تصویری ناهمبسته می‌باشد [۱۵]. به‌همین دلیل به‌عنوان روشی در پایش تغییرات به‌کار رود که نرمالیزاسیون نسبی در بطن آن نهفته است؛ به‌عبارت

[1] Canonical Varieties

[2] MAD Components

[3] Statistical Noise

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

دیگر هنگام استفاده از این روش نیازی به مرحله نرمالیزاسیون نسبی نیست [۱۵و ۱۶]. روش تبدیل IR-MAD طی یک فرآیند تکراری برای شناسایی و بررسی تغییرات رخ داده در داده‌های چند متغیره به‌کار می‌رود [۱۵, ۱۶و ۱۹]. به‌دلیل تکراری بودن فرآیند این تبدیل شناسایی تغییرات به‌وسیله آن با دقت بهتری نسبت به تبدیل MAD صورت می‌گیرد. برای تشریح این روش می توان گفت Z به‌عنوان مجموع مربعات مولفه‌های استاندارد تبدیل MAD از رابطه (۱۰) به‌دست می‌آید [۱۵و ۱۹].

$$Z = \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{M_i}{\sigma_{M_i}}\right)^2 \qquad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در رابطه فوق σ_{M_i} در رابطه (۹) و M_i نیز در رابطه (۶) معرفی شدند. پیکسل‌های تغییر نیافته نسبت به یکدیگر ناهمبسته هستند و دارای توزیع نرمال[1] می‌باشند؛ بنابراین آن‌ها را می‌توان به‌وسیله توزیع کای- اسکوئر[2] با N درجه آزادی تخمین زد (توابع توزیع، $P_{\chi^2,N}$) [۱۵و ۱۹]. برای هر تکرار، مشاهدات Z (برگرفته از مشاهدات Z) می‌توانند به‌وسیله توزیع کای-اسکوئر وزن‌دهی شوند [۱۵و ۱۹].

$$P_r(no\ change) = 1 - P_{\chi^2,N} \qquad \text{رابطه (۱۱)}$$

در رابطه فوق پارامتر P_r بیانگر این مطلب می‌باشد که اگر احتمال قرار گرفتن نمونه z در توزیع کای- اسکوئر بزرگ و بزرگ‌تر باشد به‌ازای نمونه‌های z با مقادیر کوچک، احتمال رخداد تغییرات کمتر است [۱۵و ۱۹]. تکرار تبدیل MAD تا زمانی ادامه دارد که ضرایب CCA تغییر نکنند [۱۹].

۳-۲- تبدیل آنالیز مولفه اصلی با هسته کرنل[3] (KPCA)

زمانی که داده‌ها دارای ساختار پیچیده‌ای باشند و به‌صورت خطی تفکیک‌پذیر نباشند، استفاده از یک زیر فضای خطی نظیر روش تبدیل آنالیز مؤلفه اصلی[4] (PCA) فاقد اعتبار می‌باشد [۲۰ و ۲۱]. برای حل این مشکل از حقه کرنل به‌منظور تعمیم غیرخطی تبدیل PCA استفاده شد و در واقع روش مرسوم PCA در فضایی با ابعاد بزرگتر نیز قابل استفاده شد [۲۲]. شکل (۲)، ایده اصلی استفاده از KPCA با هسته کرنل غیرخطی را نشان می‌دهد.

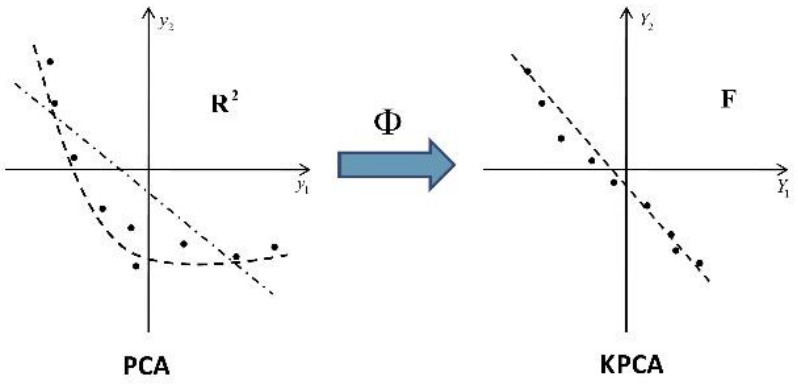
جهت تشریح شکل (۲)، اگر فرض شود که رابطه $y = (y_1, y_2)^T \in \mathbb{R}^2$، یک متغیر تصادفی غیرگوسی باشد آنگاه y_1 و y_2 می‌توانند در فضای $\mathbb{R}^2$، دارای رابطه غیرخطی با یکدیگر باشند. در این مورد، روش مرسوم PCA جهت تفکیک نمونه‌ها سعی در برازش یک صفحه خطی دارد که بتواند خطای بازسازی (مربع فاصله بین داده‌های اصلی و منحنی تخمین‌زده شده) را حداقل کند (شکل(۲)، سمت چپ) [۲۳]. اکنون، تابع ϕ به‌عنوان یک نگاشت غیرخطی جهت مرتبط‌سازی فضای ویژگی ورودی $\mathbb{R}^2$ به فضای ویژگی جدید F در نظر گرفته می‌شود. بنابراین داده‌هایی که در فضای ویژگی ورودی $\mathbb{R}^2$ دارای ارتباط غیرخطی بودند به کمک تابع ϕ به فضای ویژگی جدید F که در آن داده‌ها دارای ارتباط خطی هستند، انتقال پیدا می‌کنند (شکل (۲)، سمت راست) [۲۳].

براساس آنچه بیان شد، تکنیک اصلی KPCA، محاسبه تبدیل PCA در فضای نگاشت‌یافته توسط یک تابع نگاشت غیرخطی نظیر ϕ است. داده‌های نگاشت یافته $\phi(y_1), \phi(y_2), \dots, \phi(y_N)$ را در فضای ویژگی جدید F با میانگین $\bar{\phi} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\phi(y_i)$ در نظر می‌گیریم که در آن N بیانگر تعداد متغیرهای تصادفی در فضای ویژگی ورودی $\mathbb{R}^{M}$ و M بیانگر ابعاد فضای ویژگی ورودی است. با فرض این‌که داده‌های نگاشت‌یافته در فضای ویژگی جدید دارای میانگین صفر هستند داریم [۲۳]:

$$\tilde{\phi} = \phi(y) - \bar{\phi} \qquad \text{رابطه (۱۲)}$$

[1] Normal distribution
[2] Chi-square distribution
[3] Kernel Principal Component Analysis
[4] Principal Component Analysis

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]



شکل ۲: ایده اصلی استفاده از KPCA با هسته کرنل غیرخطی [۲۳]

ماتریس کوواریانس داده‌های نگاشت‌یافته در فضای ویژگی جدید، از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که این ماتریس یک ماتریس $N_F \times N_F$ می‌باشد که N_F بیانگر ابعاد فضای ویژگی جدید است [۲۳].

رابطه (۱۳) $C = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \tilde{\phi}(y_i)\tilde{\phi}(y_i)^T$

معادله مقدار ویژه برای ماتریس کوواریانس با استفاده از قضیه لاگرانژ به‌صورت رابطه (۱۴) می‌باشد [۲۳].

رابطه (۱۴) $CV = \lambda V$

بطوریکه، λ مقدار ویژه و V بردار ویژه ماتریس کوواریانس داده‌های نگاشت‌یافته در فضای ویژگی جدید می‌باشد. با جایگذاری رابطه (۱۳) در رابطه (۱۴) به رابطه (۱۵) می‌رسیم [۲۳].

رابطه (۱۵) $\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \tilde{\phi}(y_i)(\tilde{\phi}(y_i)^T V) = \lambda V$

به‌طوری‌که، بردار ویژه ماتریس کوواریانس از رابطه (۱۶) محاسبه می‌گردد [۲۳].

رابطه (۱۶) $V = \sum_{j=1}^{N} \alpha_j \tilde{\phi}(y_j)$

که در رابطه فوق α_j، به‌عنوان ضریب مقیاس j ام در نگاشت غیرخطی $\phi(y_j)$ ضرب می‌گردد. اکنون با جایگزینی معادل V در رابطه (۱۵) و ضرب $\phi(y_i)$ در طرفین این معادله، به رابطه (۱۷) می‌رسیم. [۲۳].

رابطه (۱۷) $\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} \alpha_j \sum_{k=1}^{N} \left(\tilde{\phi}(y_i).\tilde{\phi}(y_k)\right)\left(\tilde{\phi}(y_k).\tilde{\phi}(y_j)\right) = \lambda \sum_{j=1}^{N} \alpha_j \left(\tilde{\phi}(y_i).\tilde{\phi}(y_j)\right)$

با تعریف تابع کرنل $\tilde{K}: \tilde{k}(y_i, y_j) = \left(\tilde{\phi}(y_i).\tilde{\phi}(y_j)\right)$، معادله (۱۷) بصورت روابط (۱۸ و ۱۹) بیان می‌گردند [۲۳].

رابطه (۱۸) $\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} \alpha_j \sum_{k=1}^{N} \tilde{k}(y_i, y_k)\,\tilde{k}(y_k, y_j) = \lambda \sum_{j=1}^{N} \alpha_j \tilde{k}(y_i, y_j)$

رابطه (۱۹) $\tilde{K}^2 \alpha_j = \lambda N \tilde{K} \alpha_j$

به‌طوریکه، α_j بردارهای ستونی $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_j$ را مشخص می‌نماید. رابطه (۱۹) معادل با مسئله مقدار ویژه کرنل است که به‌صورت رابطه (۲۰) بیان می‌گردد [۲۳].

رابطه (۲۰) $\tilde{K}\alpha_j = \lambda N \alpha_j$

در معادلات فوق می‌توان از $\tilde{V}$ به‌عنوان بردار ویژه نرمال‌شده ماتریس کوواریانس به جای V استفاده کرد که از رابطه (۲۱) محاسبه گردد [۲۳].

رابطه (۲۱)

$$\tilde{V}_i = \sum_{j=1}^{N} \tilde{\alpha}_{ij} \tilde{\phi}(y_j), \qquad \tilde{\alpha}_{ij} = \frac{\alpha_j}{\sqrt{\lambda_i}}$$

در ابتدا فرض گردید که داده‌های نگاشت‌یافته در فضای ویژگی جدید دارای میانگین صفر هستند. در نظر گرفتن این فرض در فضای ویژگی ورودی آسان می‌باشد، اما در فضای ویژگی جدید F مشکل است و به سادگی نمی‌توان مرکز مشاهدات

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

نگاشت شده به فضایی با ابعاد بالا را محاسبه نمود. اما با استفاده از رابطه اصلاح شده زیر برای KPCA این امر محقق می‌گردد [۲۲و ۲۳].

$$\widetilde{K} = \mathrm{K} - 1_N\mathrm{K} - \mathrm{K}1_N + 1_N K 1_N \qquad \text{رابطه (۲۲)}$$

بطوریکه، $(1_N)_{ij} = \frac{1}{N}$ می‌باشد. کرنل‌های مختلفی نظیر چندجمله‌ای‌ها[1]، گوسین[2]، کوادراتیک[3] و .... می‌توانند به‌عنوان کرنل اصلی در KPCA به‌کار گرفته شوند [۲۲و ۲۳].

۳-۳- طبقه‌بندی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان (SVM)

طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM) اولین بار در سال ۱۹۶۳ میلادی توسط وَپنِیک[4] به‌عنوان طبقه‌بندی کننده‌ی خطی ارائه گردید [۲۴]. این روش به‌جای استفاده از پارامترهای آماری از پارامترهای هندسی کلاس‌ها استفاده می‌کند؛ بنابراین جزو دسته طبقه‌بندی کننده‌های غیر پارامتریک است. فرض کنید n نمونه آموزشی موجود می‌باشد که هر یک با (x_i , y_i) نشان داده می‌شود، x_i بردار ویژگی n بعدی و $y_i \in \{1, -1\}$ برچسب آن می‌باشد. ایده اصلی SVM یافتن فرا صفحه بهینه برای جداکردن دو کلاس با برچسب ۱ و ۱- با بیشترین حاشیه جداسازی است. در صورتی که داده‌ها بصورت خطی جدا پذیر نباشد، داده‌ها با کرنلی غیرخطی به فضای با ابعاد بالاتر منتقل می‌شود و فرا صفحه بهینه در آن فضا تعیین می‌شود. معادله این فرا صفحه به‌عنوان مرز تصمیم‌گیری به‌صورت رابطه (۲۳) می‌باشد [۲۵].

$$w^t\phi(x) + b = 0 \qquad \text{رابطه (۲۳)}$$

در رابطه فوق، معادله x نقطه‌ای بر روی فرا صفحه، w برداری عمود بر فرا صفحه، b برداری جهت اندازه‌گیری فاصله فرا صفحه تا مبدأ و ϕ کرنلی برای انتقال داده به فضای با ابعاد بالاتر است. بیشینه نمودن حاشیه بین دو کلاس معادل کمینه کردن اندازه w می‌باشد که منجر به حل مسئله کمینه‌سازی مقید می‌شود که از رابطه (۲۴) محاسبه می‌گردد [۲۴].

$$min\left(\frac{\|w\|^2}{2} + C\sum_{i=1}^{n}\xi_i\right) \qquad \text{رابطه (۲۴)}$$

$$Subjectto: y_i(W^T\phi(x_i) + b) \geq 1 - \xi_i\ ,\ \ \xi_i \geq 0;\ \forall i$$

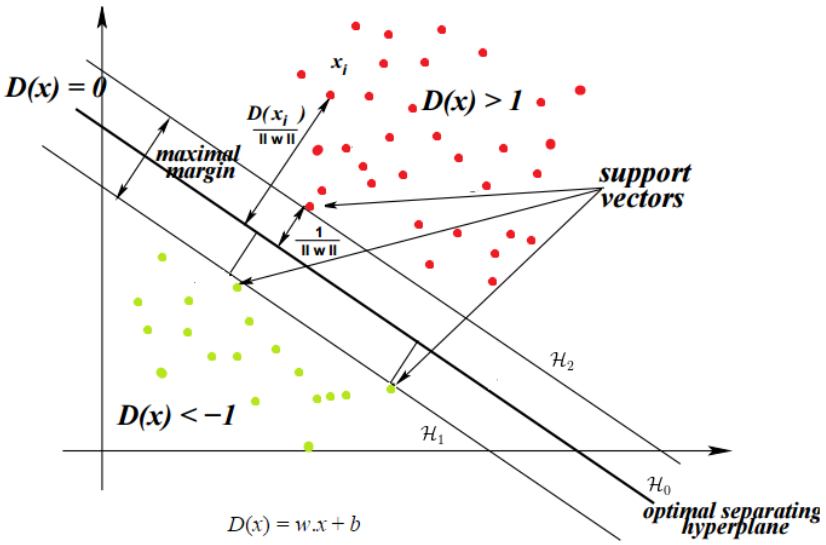
که در رابطه فوق C ترم تنظیم کننده و ضریبی برای ایجاد تعادل بین نقاط خطادار از نمونه آموزشی و سایر نقاط است و به‌منظور در نظر گرفتن نویز موجود در داده‌ها و تداخل بین نمونه‌های آموزشی، از متغیر ξ_i استفاده می‌شود که درجه طبقه‌بندی اشتباه داده x_i را اندازه‌گیری می‌کند. شکل (۳) طبقه‌بندی داده‌هایی که به‌صورت خطی جدا پذیر نیستند را نشان می‌دهد [۲۵]. بنابراین تابع تصمیم‌گیری بهینه با حل مسئله مقید (۲۴) طبق رابطه (۲۵) محاسبه می‌شود. همچنین جدول (۱) بیانگر برخی از کرنل‌های متداول در این طبقه‌بندی می‌باشد [۲۵].

$$f(x) = \sum_{i=1}^{nsv}\alpha_i y_i \phi(x_i)\phi(x) + b \qquad \text{رابطه (۲۵)}$$

در این رابطه α_i ضرایب لاگرانژ است که در پروسه بهینه‌سازی محاسبه می‌شود، nsv بردارهای پشتیبان هستند که ضریب لاگرانژ متناظر آن‌ها بزرگ‌تر از صفر است. این داده‌های آموزشی، نزدیک‌ترین نمونه‌ها به فرا صفحه هستند.

[1] Polynomial
[2] Gaussian
[3] Quadratic
[4] Vapnik

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]



شکل ۳: فرا صفحه بهینه در صورت عدم تفکیک‌پذیری داده‌ها

جدول ۱: کرنل‌های متداول مورد استفاده در طبقه‌بندی SVM [۲]

کرنل چندجمله‌ای(همگن)	$K(x,x') = (x,x')^d$
کرنل چندجمله‌ای(غیر همگن)	$K(x,x') = (xx'+1)^d$
کرنل تابع پایه شعاعی(RBF)	$K(x,x') = \exp(-\gamma\|x-x'\|^d) \quad \gamma > 0$
کرنل سیگموئید	$K(x,x') = \tanh(\kappa xx' + c) \quad c < 0, \kappa < 0$

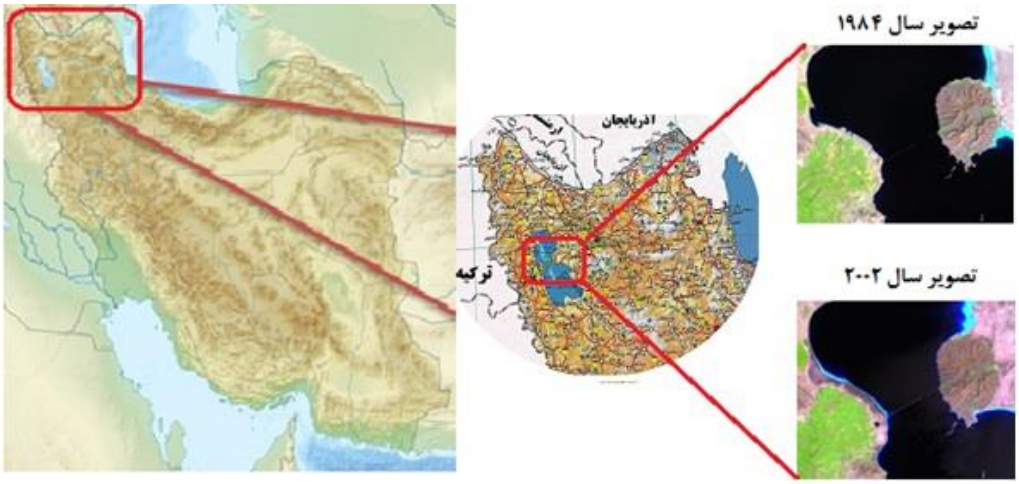
برای استفاده از SVM در حالت چند کلاسه دو استراتژی یک در برابر بقیه[1] (OAA) و یک در برابر یک[2] (OAO) وجود دارد. در روش یک در برابر یک، برای هر زوج کلاس ممکن، از یک SVM باینری استفاده می‌شود، بنابراین برای C کلاس $C(C-1)/2$ طبقه‌بندی کننده‌ی باینری خواهیم داشت. در روش یک در برابر بقیه، هر SVM، داده‌های یک کلاس را از داده‌های کلاس دیگر جدا می‌کند. در این روش برای هر C کلاس C طبقه‌بندی کننده‌ی باینری خواهیم داشت. در هر دو روش برچسب نهایی داده از طریق روش رأی‌گیری حداکثر[3] تعیین می‌شود [۲۶].

۴- داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه، جزیره شاهی در حوزه شرقی دریاچه ارومیه و قسمتی از حوزه غربی دریاچه ارومیه می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی ′۲۲ °۴۵ تا ′۳۹ °۴۵ طول شرقی و ′۳۹ °۴۵ و ′۳۹ °۴۵ عرض شمالی قرار دارد. در جهت پایش تغییرات در بازه زمانی سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۲ از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده گردید. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای دو زمانه لندست ۵ و ۷ با ابعاد ۱۵۰۰×۱۸۰۸ پیکسل استفاده شد. قدرت تفکیک مکانی هر یک از باندهای تصاویر برابر با ۳۰ متر می‌باشد به جز باند ۶ که دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۲۰ متر است. جهت حصول نتایج بهتر در پایش تغییرات کاربری اراضی، از باند ۶ صرف نظر شد. در شکل (۴) موقعیت منطقه مورد مطالعه، به‌همراه ترکیب رنگی کاذب (۴،۳،۲) تصاویر دو زمانه مورد آنالیز، ملاحظه می‌شود.

[1] One Against All
[2] One Against One
[3] Majority voting

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]



شکل ۴: تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال ۱۹۸۴ و ۲۰۰۲ به همراه ترکیب رنگی کاذب (۴،۳،۲)، از جزیره شاهی و قسمتی از حوزه غربی دریاچه ارومیه و موقعیت آن در ایران

۵- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

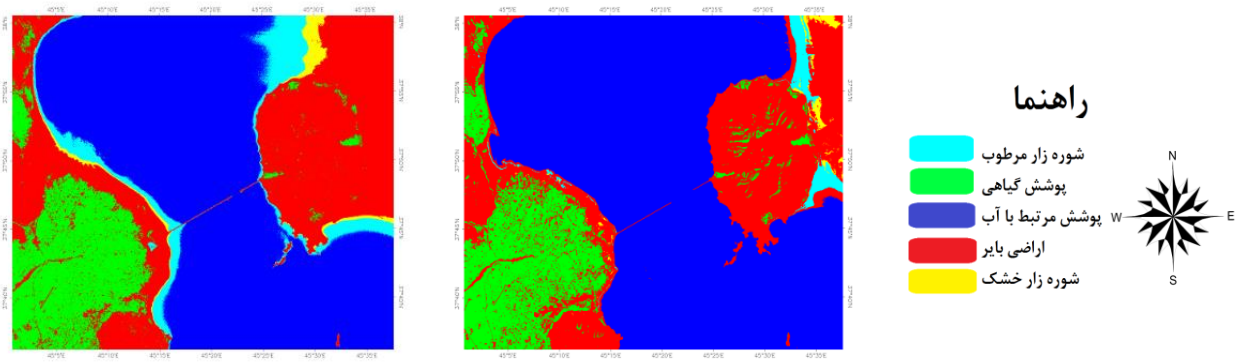
جهت پیاده‌سازی روش پیشنهادی، از نرم‌افزار MATLAB 2013b و Envi 4.7 استفاده شده است. در این بخش جزئیات پیاده‌سازی و نتایج حاصله، بیان شده و مورد بحث قرار می‌گیرد. جهت ارزیابی نتایج از معیارهای کمی نظیر دقت کلی، ضریب کاپا، دقت تولید کننده و کاربر استفاده شد. در این تحقیق، تصاویر ماهواره‌ای دو زمانه از منطقه مطالعاتی، با دقت کمتر از ۰/۵ پیکسل نسبت به یکدیگر هم‌مرجع شدند. جهت بررسی عملکرد روش پیشنهادی در پایش تغییرات کاربری اراضی این روش با روش‌های متداول پایش تغییرات نظیر مقایسه پس از طبقه‌بندی و روش طیفی-زمانی مقایسه گردید. در هر یک از روش‌های پایش تغییرات، از طبقه‌بندی SVM با کرنل تابع شعاعی استفاده شد. مقدار پارامترهای این کرنل در هر یک از روش‌ها با استفاده از روش جستجوی شبکه‌ای به‌دست آمد. در روش مقایسه پس از طبقه‌بندی جهت تهیه نقشه کاربری اراضی مربوط به هر یک از سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۰، تصاویر دو زمانه مربوطه طبقه‌بندی شدند. در این روش کلاس‌های کاربری اراضی از منطقه مورد مطالعه شامل پوشش آبی، پوشش گیاهی، شوره‌زار خشک، شوره‌زار مرطوب و اراضی بایر می‌باشد. میانگین تعداد نمونه‌های آموزشی و ارزیابی که توسط عامل خبره برای هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی از سطح تصاویر دو زمانه استخراج شده است در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲: کلاس‌های کاربری اراضی و میانگین تعداد نمونه‌های جمع آوری‌شده از سطح تصویر به‌عنوان نمونه‌های آموزشی و ارزیابی روش مقایسه پس از طبقه‌بندی (در واحد پیکسل)

کلاس کاربری اراضی	مناطق شامل شده	تعداد نمونه آموزشی	تعداد نمونه ارزیابی
پوشش آبی	آب دریاچه	۲۰۳	۵۳۶
پوشش گیاهی	پوشش گیاهی تنک (فضای سبز)، پوشش گیاهی کم تراکم (پارک)، پوشش گیاهی متراکم (جنگل)	۱۹۵	۵۱۵
شوره‌زار خشک	اراضی پوشیده از مواد نمکی خشک	۱۵۶	۴۷۳
شوره‌زار مرطوب	اراضی دارای نمک مرطوب در حاشیه‌های دریاچه	۱۶۳	۴۶۱
اراضی بایر	زمین‌های بلااستفاده و کوهستانی	۱۷۴	۵۳۳

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

در جدول (۳) نتایج طبقه‌بندی SVM را برای هر یک از تصاویر متعلق به سال‌های ۱۹۸۴و ۲۰۰۲ آورده شده‌است. همچنین، شکل (۵) نقشه کاربری اراضی تولید شده مربوط به سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۲ را نشان می‌دهد.



الف ب

شکل ۵: نقشه کاربری اراضی تولید شده توسط روش طبقه‌بندی SVM مربوط به الف) سال ۱۹۸۴، ب) سال ۲۰۰۲

جدول ۳: معیارهای ارزیابی دقت تولید نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۲ با استفاده از روش SVM (به درصد)

سال طبقه‌بندی	دقت کلی	ضریب کاپا	دقت کاربر " شوره‌زار مرطوب "	دقت تولیدکننده " شوره‌زار مرطوب "	دقت کاربر " شوره‌زار خشک "	دقت تولیدکننده " شوره‌زار خشک "	دقت کاربر " پوشش آبی "	دقت تولیدکننده " پوشش آبی "	دقت کاربر " پوشش گیاهی "	دقت تولیدکننده " پوشش گیاهی "	دقت کاربر " اراضی بایر "	دقت تولیدکننده " اراضی بایر "
۱۹۸۴	۷۷/۵۴	۷۱/۸۶	۶۳/۵۲	۵۳/۹۰	۱۰۰	۶۸/۶۶	۱۰۰	۹۳/۲۳	۷۸/۰۳	۹۲/۷۹	۵۹/۱۶	۷۷/۸۲
۲۰۰۲	۸۹/۷۵	۸۷/۱۶	۸۳/۳۷	۸۹/۰۱	۱۰۰	۸۹/۹۲	۹۰/۱۱	۸۴/۹۵	۹۱/۱۲	۹۴/۵۴	۸۵/۹۲	۹۰/۰۴

پس از تهیه نقشه کاربری اراضی تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۲ از منطقه مورد مطالعه، هر یک از آن‌ها پیکسل به پیکسل با یکدیگر مقایسه شده و نقشه ماهیت تغییرات با استفاده از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی تولید می‌شود. جهت تولید نقشه ماهیت تغییرات با استفاده از روش‌های آنالیز ترکیبی طیفی-زمانی و روش پیشنهادی نیاز به داده‌های آموزشی مربوط به تغییرات کاربری اراضی است. همچنین در جهت ارزیابی عملکرد هر یک از سه روش پایش تغییرات مورد استفاده در این تحقیق، نیاز به داده‌های ارزیابی مربوط به تغییرات کاربری اراضی است. با توجه به نقشه‌های موجود و تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای دو زمانه مورد استفاده در این تحقیق، شش کلاس تغییر کاربری و یک کلاس مربوط به اراضی تغییر نیافته برای هر یک از روش‌های آنالیز ترکیبی طیفی- زمانی و روش پیشنهادی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

در نظر گرفته شد. کلاس‌های تغییر پوشش کاربری اراضی شامل کلاس‌های اراضی بایر به پوشش گیاهی، پوشش آبی به اراضی بایر، پوشش آبی به شوره‌زار مرطوب، پوشش آبی به شوره‌زار خشک، شوره‌زار خشک به اراضی بایر، شوره‌زار مرطوب به اراضی بایر و مناطق تغییرنیافته بودند. تعداد نمونه‌های آموزشی برای هر یک از کلاس‌های تغییر کاربری اراضی برای روش‌های آنالیز ترکیبی طیفی-زمانی و روش پیشنهادی و تعداد نمونه‌های ارزیابی برای هر یک از کلاس‌های تغییر کاربری اراضی برای هر یک از سه روش پایش تغییرات نظارت‌شده در جدول (۴) آورده شده است. این داده‌ها توسط عامل خبره و با تفسیر بصری از سطح تصاویر دو زمانه استخراج شده است.

در روش آنالیز ترکیبی طیفی- زمانی نقشه ماهیت تغییرات با اعمال طبقه‌بندی SVM بر تصاویر ماهواره‌ای پشته شده سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۲ به‌دست می‌آید. در روش پیشنهادی ابتدا تبدیل IR-MAD بر روی تصاویر ماهواره‌ای دو زمانه سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۲ اعمال شده و مؤلفه‌های MAD تولید می‌شوند. شکل (۶) مؤلفه‌های MAD به ازای هر یک از باندهای طیفی را نشان می‌دهد.

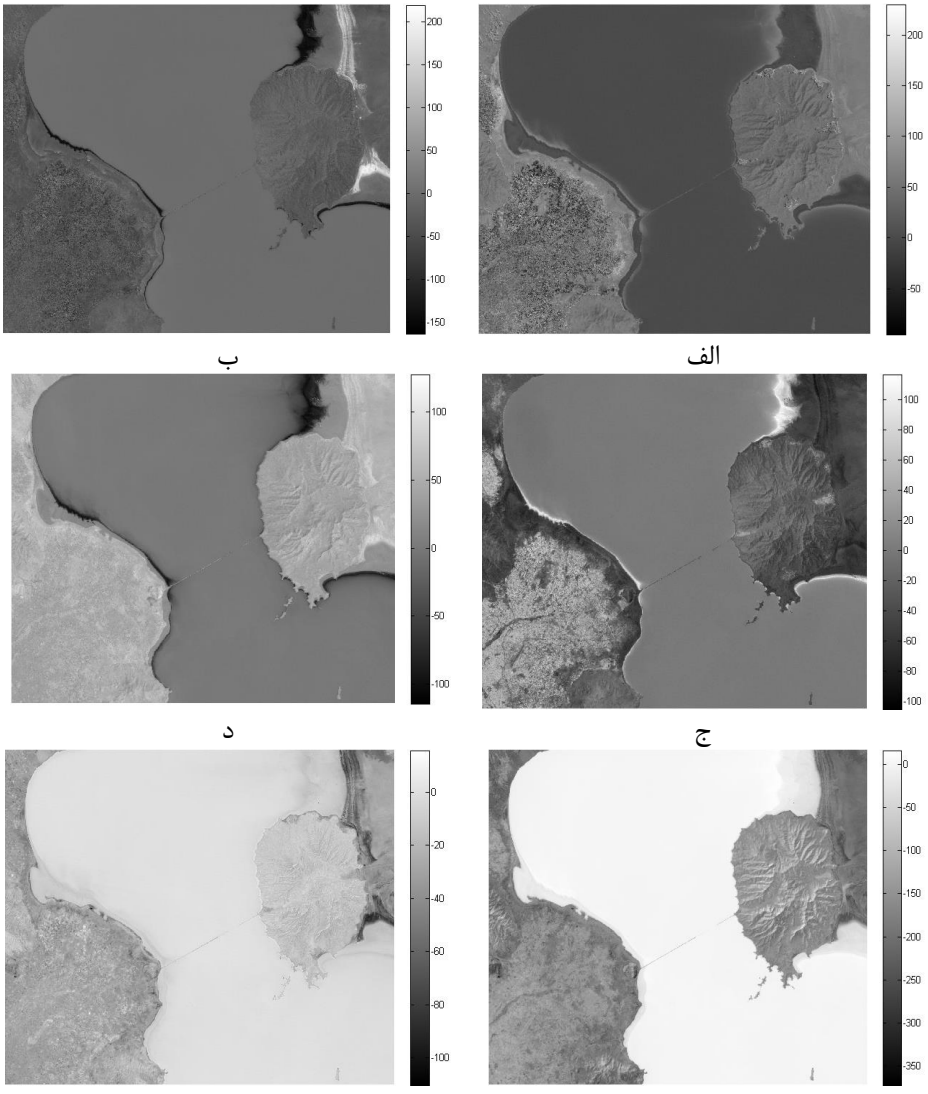
با توجه به شکل (۶)، هر یک از مؤلفه‌های تبدیل MAD، حاوی اطلاعات و بیانگر نوعی از تغییرات می‌باشد که بصورت بصری قابل تفسیر هستند. به‌عنوان مثال، مؤلفه اول، اطلاعاتی در خصوص تغییرات کاربری از پوشش آبی به شوره‌زار مرطوب و خشک می‌دهد. مؤلفه دوم، اطلاعاتی در خصوص تغییر کاربری از اراضی بایر به شوره‌زار خشک می‌دهد. مؤلفه سوم، اطلاعاتی در خصوص تغییر کاربری از آب دریاچه به شوره‌زار مرطوب را نشان می‌دهد. مؤلفه‌های چهارم، پنجم و ششم به‌طور کلی نشان‌دهنده‌ی همین تغییرات با شدت کمتر می‌باشد ولی در این مؤلفه‌ها مناطق تغییرنیافته نسبت به مناطق تغییریافته بارزتر هستند و بالعکس در مؤلفه‌های اول تا سوم مناطق تغییریافته بارزتر از مناطق تغییرنیافته هستند. به‌منظور استخراج اطلاعات مناسب‌تر، کاهش ابعاد داده ورودی و همچنین کاهش حجم محاسبات از KPCA، با کرنل مولتی کوادراتیک استفاده شد و سه مؤلفه اول KPCA به‌عنوان مؤلفه‌های حاوی اطلاعات انتخاب گردیدند. شکل (۷) نمودار سه بعدی مقادیر شدت پیکسل‌های هر یک از سه مؤلفه KPCA و تصویر ترکیب این سه مؤلفه را نشان می‌دهد.

جدول ۴: تعداد نمونه‌های آموزشی و ارزیابی مربوط به کلاس‌های تغییر کاربری اراضی (در واحد پیکسل)

کلاس تغییر کاربری اراضی	تعداد نمونه آموزشی	تعداد نمونه ارزیابی
اراضی بایر/پوشش گیاهی	۲۳۱	۱۰۲۶
پوشش گیاهی/ اراضی بایر	۱۹۷	۹۸۳
پوشش آبی/اراضی بایر	۲۰۳	۱۱۱۶
پوشش آبی / شوره‌زار خشک	۱۷۵	۹۶۴
شوره‌زار خشک/ اراضی بایر	۲۱۸	۱۰۰۴
شوره‌زار مرطوب/ شوره‌زار خشک	۱۸۲	۹۴۳
اراضی تغییرنیافته	۲۰۰	۹۹۲

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

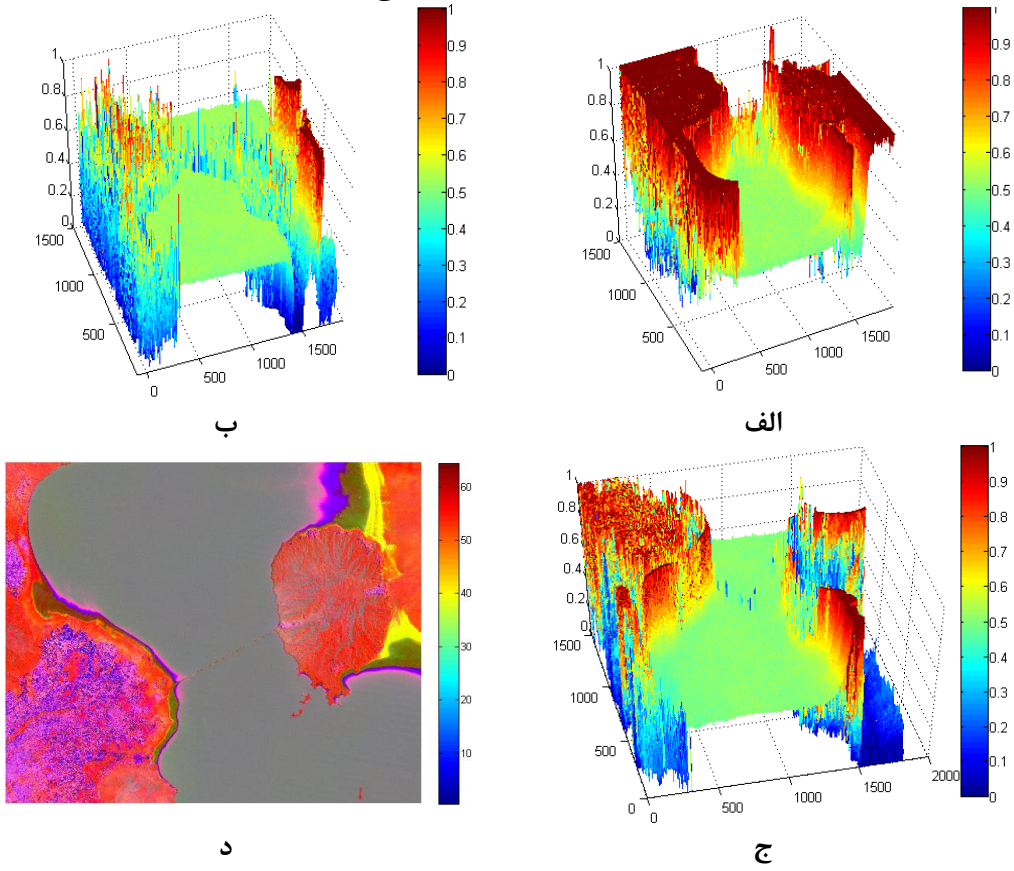


شکل ۶: مؤلفه‌های MAD الف) مؤلفه اول (MAD1)، ب) مؤلفه دوم (MAD2)، ج) مؤلفه سوم (MAD3) د)مؤلفه چهارم (MAD4)، ه)مؤلفه پنجم (MAD5)، و) مؤلفه ششم(MAD6)

شکل (۷) نشان می‌دهد که مؤلفه اول KPCA به خوبی توانسته است مناطق تغییرنیافته را نشان دهد. مؤلفه دوم و سوم KPCA، به خوبی تغییرات رخ داده در منطقه را بارز کرده است؛ به‌طوری‌که با ترکیب این مؤلفه‌ها با یکدیگر، انواع مناطق تغییریافته و تغییرنیافته به خوبی از یکدیگر تفکیک شده‌اند (رجوع به شکل (۷ -د)) . در این مرحله از روش پیشنهادی تنها شدت تغییرات مشخص شده و ماهیت تغییرات مشخص نیست. جهت تهیه نقشه ماهیت تغییرات در روش پیشنهادی، ترکیب هر سه مؤلفه KPCA با استفاده از روش SVM و به کمک داده‌های آموزشی مربوط به تغییرات کاربری اراضی (رجوع به جدول (۴)) طبقه‌بندی می‌شود. در جهت بررسی عملکرد روش پیشنهادی و هر یک از روش‌های مقایسه پس از طبقه‌بندی و آنالیز ترکیبی طیفی-زمانی از داده‌های ارزیابی مربوط به تغییرات کاربری اراضی (رجوع به جدول (۴)) استفاده شد. جدول (۵) نتایج ارزیابی دقت این روش‌ها را در پایش تغییرات کاربری

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

اراضی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. همچنین شکل (۸) نقشه ماهیت تغییرات حاصل از هر یک از روش‌های پایش تغییرات مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

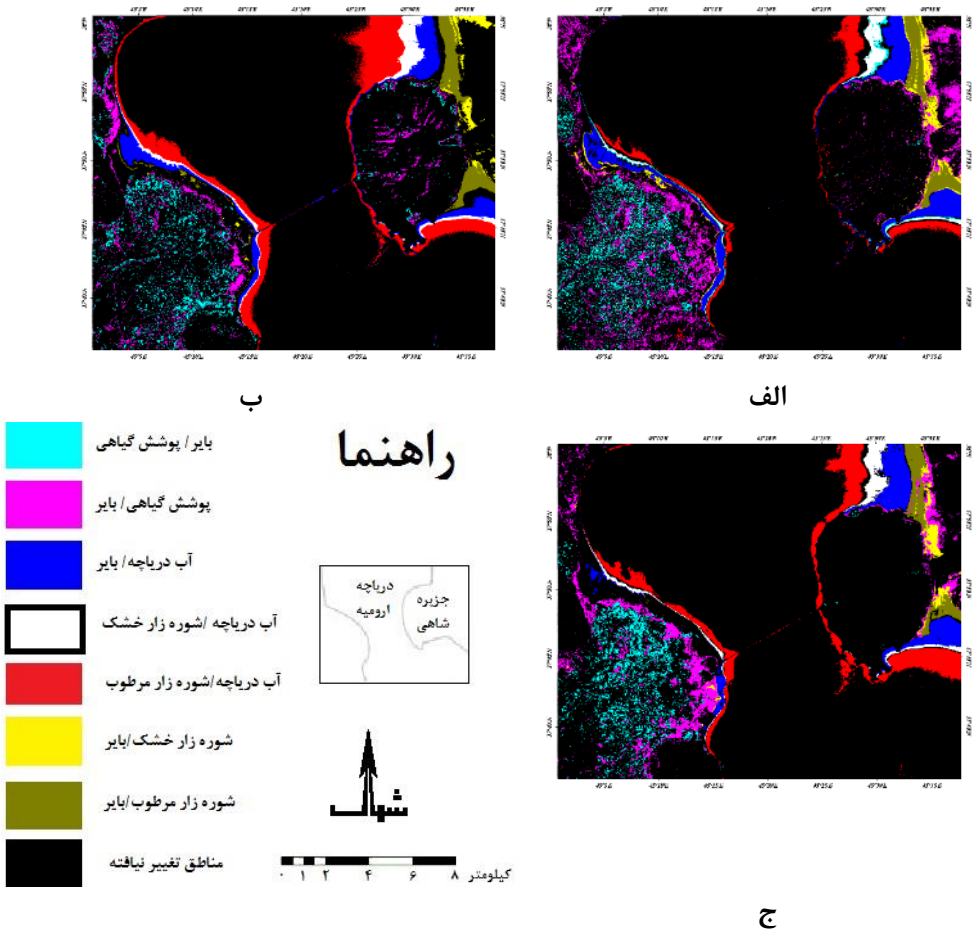


شکل۷: نمودار سه بعدی الف) مؤلفه اول KPCA، ب) مؤلفه دوم KPCA، ج) مؤلفه سوم KPCA، د) ترکیب رنگی سه مؤلفه KPCA

جدول ۵: معیارها ارزیابی دقت تولید نقشه ماهیت تغییرات به روش پیشنهادی، روش مقایسه پس از طبقه‌بندی و روش آنالیز ترکیبی طیفی- زمانی (به درصد)

روش پایش تغییرات	دقت کلی	ضریب کاپا	دقت تولیدکننده "تغییرنیافته"	دقت تولیدکننده "شوره‌زار مرطوب/ شوره‌زار خشک"	دقت تولیدکننده "شوره‌زار خشک/ اراضی بایر"	دقت تولیدکننده "شوره‌زار مرطوب"	دقت تولیدکننده "شوره‌زار خشک"	دقت تولیدکننده "پوشش آبی/اراضی بایر"	دقت تولیدکننده "پوشش گیاهی/ اراضی بایر"	دقت تولیدکننده "اراضی بایر/پوشش گیاهی"
روش پیشنهادی	۹۰/۶۴	۸۳/۲۳	۹۷/۴۱	۹۷/۵۳	۸۱/۷۸	۹۴/۰۵	۷۸/۸۷	۷۴/۱۴	۷۱/۶۵	۴۶/۴۹
مقایسه پس از طبقه‌بندی	۸۶/۲۵	۷۶/۲۲	۹۱/۲۲	۹۴/۴۰	۵۷/۴۹	۱۰۰	۹۹/۲۲	۷۰/۸۲	۶۷/۹۱	۴۸/۳۵
آنالیز ترکیبی طیفی- زمانی	۸۵/۷۵	۷۲/۹۶	۹۸/۹۴	۸۲/۹۴	۳۱/۹۵	۹۹/۹۱	۹۵/۵۲	۲۳/۹۴	۸۱/۴۶	۵۶/۵۸

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]



شکل۸: نقشه ماهیت تغییرات حاصل از روش الف)پیشنهادی، ب)مقایسه پس از طبقه‌بندی ج)آنالیز ترکیبی طیفی- زمانی

مطابق با جدول (۵) روش پیشنهادی دارای بالاترین دقت کلی و ضریب کاپا در پایش ماهیت تغییرات نسبت به روش‌های مقایسه پس از طبقه‌بندی و آنالیز ترکیبی طیفی-زمانی است. دقت کلی و ضریب کاپای روش پیشنهادی نسبت به روش مقایسه پس از طبقه‌بندی به میزان ٪۴٫۳۹ و ٪۷٫۰۱ و نسبت به روش آنالیز ترکیبی طیفی-زمانی به میزان ٪۴٫۸۹ و ٪۱۰٫۲۷ افزایش داشته است. روش آنالیز ترکیبی طیفی-زمانی و روش پیشنهادی دارای دقت بالاتری نسبت به روش مقایسه پس از طبقه‌بندی در تشخیص مناطق تغییرنیافته هستند. با اینکه روش آنالیز ترکیبی طیفی-زمانی در تشخیص کلاس تغییر کاربری اراضی بایر به پوشش گیاهی داری دقت به مراتب بالاتری نسبت به سایر روش‌ها است اما هر سه روش در تشخیص این کلاس دارای دقت پایین و نتایج ضعیف هستند. در تشخیص کلاس‌های تغییر کاربری پوشش آبی به اراضی بایر و شوره‌زار خشک به اراضی بایر، روش آنالیز ترکیبی طیفی-زمانی دارای نتایج بسیار ضعیفی است. در تشخیص سایر کلاس‌های تغییر کاربری اراضی، روش پیشنهادی به‌طور میانگین نسبت به روش مقایسه پس از طبقه‌بندی و آنالیز ترکیب طیفی-زمانی دارای عملکرد مناسبتر و دقت بالاتری است.

با توجه به شکل (۸)، روش پیشنهادی به‌دلیل استفاده از ترکیب خطی از داده‌ها و انتقال داده‌ها به فضای دیگر در تولید مؤلفه‌های MAD، مستقل از شرایط اتمسفری و نویز آماری بوده که موجب به‌وجود آمدن تغییرات کاذب در نقشه ماهیت تغییرات می‌شوند. روش پیشنهادی برخلاف روش مقایسه پس از

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

طبقه‌بندی و روش آنالیز ترکیبی طیفی- زمانی در تشخیص کلاس تغییر کاربری پوشش آبی به شوره‌زار مرطوب دارای عملکرد بسیار مناسبی بوده است.

۵- نتیجه‌گیری

نقشه ماهیت تغییرات یکی از مهمترین منابع اطلاعاتی برای متخصصان سیستم اطلاعات مکانی، سنجش از دور، مدیریت منابع طبیعی، محیط زیست و سایر علوم مرتبط با زمین است که می‌تواند به‌عنوان یک لایه اطلاعاتی مهم در سیستم اطلاعات مکانی جهت بروزرسانی نقشه‌ها به‌کار رود. پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه، می‌تواند به‌عنوان اولین گام در بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر روی منطقه مورد مطالعه، مورد استفاده قرار گیرد. در واقع نقشه ماهیت تغییرات کاربری اراضی می‌تواند به‌عنوان مبنای اصلی تصمیم‌گیری‌ها در حوزه‌های مختلف مدیریت شهری و منابع طبیعی به‌کار گرفته شود. روش‌های گوناگونی در جهت تولید نقشه ماهیت تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه توسعه داده شده‌اند. در این مقاله چهارچوبی جهت پایش تغییرات کاربری اراضی با به‌کارگیری الگوریتم شناسایی تغییرات چند متغیره با وزن‌دهی تکراری (IR-MAD) و طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM) ارائه شده است. استفاده از ترکیب خطی داده‌های چندزمانه در بطن روش IR-MAD، موجب کاهش اثر نویز آماری و شرایط اتمسفری در خروجی نهایی روش پیشنهادی می‌شود. همچنین استفاده از ترکیب مؤلفه‌های MAD به‌عنوان مبنای طبقه‌بندی ضمن کاهش پیچیدگی محاسباتی سبب افزایش دقت نهایی پایش تغییرات می‌شود. علت این امر را می‌توان در مشخص بودن شدت تغییرات در مؤلفه‌های MAD دانست. جهت ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی این روش با روش‌های متداول پایش تغییرات نظیر مقایسه پس از طبقه‌بندی و آنالیز ترکیبی طیفی- زمانی مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که دقت کلی روش پیشنهادی در مقایسه با روش مقایسه پس از طبقه‌بندی و آنالیز ترکیبی طیفی- زمانی به ترتیب ۴٫۳۹٪ و ۴٫۸۹٪ افزایش یافته است. بنابراین روش پیشنهادی دارای قابلیت بالایی در تعیین شدت و ماهیت تغییرات است. پیاده‌سازی روش پیشنهادی در منطقه جزیره شاهی در حوزه شرقی دریاچه ارومیه و بخش از حوزه غربی این دریاچه، نشان می‌دهد مساحت زیادی از مناطق آبی، بایر و پوشش گیاهی در زمان بین ۱۹۸۴ و ۲۰۰۲ به شوره‌زار خشک و مرطوب تبدیل شده است که نیاز است در برنامه‌ریزی‌های آتی منابع طبیعی کشور مورد توجه قرار گیرد.

مراجع

[1] A. Singh, "Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data", International journal of remote sensing, Vol. 10(6), pp. 989-1003, 1989.

[2] A. Moghimi, "Integrating textural and spectral information from satellite images for change detection in urban areas using direct and post classification comparison methods", M.Sc. Thesis in Civil-Surveying Engineering In Photogrammetry, K.N Toosi University of Technology Faculty of Geodesy and Geomatics, 2015, (Persian).

[3] M. Hussain, D. Chen, A. Cheng, H. Wei, and D. Stanley, "Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 80, pp. 91-106, 2013.

[4] D. Lu, P. Mausel, M. Batistella, and E. Moran, " Land - cover binary change detection methods for use in the moist tropical region of the Amazon: a comparative study" , International Journal of Remote Sensing, vol. 26, pp. 101-114, 2005.

[5] M. Argany, "Urban change detection using

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

satellite images by means of spectral mixture analysis", M.Sc. Thesis in Civil-Surveying Engineering In Remote Sensing, University of Tehran, Department of Surveying and Geomatics Engineering, 2006, (Persian).

[6] D. Lu, P. Mausel, E. Brondizio and E. Moran, "Change detection techniques", International journal of remote sensing, Vol. 25(12), pp. 2365-2401, 2004.

[7] A. Moghimi, S. Khazai and H. Ebadi, "Unsupervised change detection using multitemporal SAR images based on improvement of Level Set Methods", Journal of Radar, Vol. 4(1), pp. 57-68, 2016, (Persian).

[8] R. Lunetta, J. Knight, J. Ediriwickrema, J. Lyon, and L. Worthy, "Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data", Remote sensing of environment, Vol. 105, pp. 142-154, 2006.

[9] F. Sarmadi, "Urban growth monitoring using remote sensing and GIS analysis", M.Sc. Thesis in Civil-Surveying Engineering In Remote sensing, K.N Toosi University of Technology Faculty of Geodesy and Geomatics, 2011, (Persian).

[10] P. Srivastava, D. Han, M. Rico-Ramirez, M. Bray, and T. Islam, "Selection of classification techniques for land use/land cover change investigation", Advances in Space Research, Vol. 50, pp. 1250-1265, 2012.

[11] K. Kafi, H. Shafri, and A. Shariff, "An analysis of LULC change detection using remotely sensed data; A Case study of Bauchi City", in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 20 (1), pp. 012056, 2014.

[12] M. Bouziani, K. Goïta, and D. He, "Automatic change detection of buildings in urban environment from very high spatial resolution images using existing geo data base and prior knowledge", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 65, pp. 143-153, 2010.

[13] J. Jensen, D. Cowen, J. Althausen, S. Narumalani, and O. Weather bee, "An evaluation of the Coast-Watch change detection protocol in South Carolina", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 59 pp. 1039-1044, 1993.

[14] M. Canty, A. Nielsen, and M. Schmidt, "Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery", Remote Sensing of Environment, Vol. 91(3), pp. 441-451, 2004.

[15] M. Canty, A. Nielsen, "Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation", Remote Sensing of Environment, Vol. 112(3), pp. 1025-1036, 2008.

[16] A. Moghimi, H. Ebadi, and V. Sadeghi, "Automatic radiometric Normalization of Multi-Temporal Satellite Image based on IR-MAD Transformation and Artificial Neural Network", Journal of Geomatics Science and Technology, Vol. 4(4), pp. 209-222, 2015 (Persian).

[17] C. Broncano, C. Pinilla, R. Crespo, and A. Castillo, "Relative radiometric normalization of multitemporal images", International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence, Vol. 1(3), pp. 5-19 2010.

[18] A. Nielsen, K. Conradsen, and J. Simpson, "Multivariate alteration detection (MAD) and MAF postprocessing in multispectral, bitemporal image data: New approaches to change detection studies", Remote Sensing of Environment, Vol. 64(1), pp. 1-9, 1998.

[19] A. Nielsen, "The regularized iteratively reweighted MAD method for change detection in multi-and hyperspectral data", Image Processing, IEEE Transactions, Vol. 16(2), pp. 463-78, 2007.

[20] Q. Wang, K. Boyer, "The active geometric shape model: A new robust deformable shape model and its applications", Computer Vision and Image Understanding, Vol. 116(12), pp. 1178-94, 2012.

[21] A. Moghimi, H. Ebadi, and V. Sadeghi,

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

"Automatic Urban Change detection by Integration of Markova random filed and Artificial Neural Network", presented at the Geomatic Nationality Conference, Tehran, 2015 (Persian).

[22] L. Cao, K. Chua, K. Chong, H. Lee, and Q. Gu, "A comparison of PCA, KPCA and ICA for dimensionality reduction in support vector machine", Neurocomputing, Vol. 55(1), pp. 321-36, 2003.

[23] X. Ma and N. Zabaras, "Kernel principal component analysis for stochastic input model generation", Journal of Computational Physics, Vol. 230, pp. 7311-7331, 2011.

[24] V. Vapnik, "The nature of statistical learning theory", New York: Springer Science & Business Media, 2013.

[25] C. Burges, "A tutorial on support vector machines for pattern recognition", Data mining and knowledge discovery, Vol. 2(2), pp. 121-67, 1998.

[26] M. Salehi, Y. Maghsudi, and M. Sahebi, "Improving the Urban Area Classification Using Radar Polarimetric Data and Multi-objective Optimization Methods", Journal of Radar. Vol. 1(2), pp. 45-56, 2014 (Persian).

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.6, No.2, Summer 2018

Changes Monitoring in multitemporal satellite images using Iteratively Reweighted multivariate alteration detection (IR-MAD) algorithm and support vector machine (SVM) classification

Armin Moghimi [*1], Hamid Ebadi [2], Vahid Sadeghi [3]

1- MS.c in photogrammetry, Department of Geodesy and Geomatics Eng, K.N.Toosi University of Technology
2- Professor, Photogrammetry and Remote Sensing Department, Faculty of Geodesy and Geomatics Eng, K.N.Toosi University of Technology
3- Assistant Professor, Surveying Eng. Department, Faculty of Civil Eng, Tabriz University

Abstract

Monitoring Land use changes is one of the important applications of remote sensing and geographic information system. In this study, a framework for change monitoring in multitemporal satellite images is presented by Iteratively Reweighted multivariate alteration detection (IR-MAD) algorithm and support vector machine (SVM) classification. In this study, the change detection analysis has been done using multitemporal Landsat satellite images with 18 years time interval of Shahi Island and a part of the western region of Lake Urmia. The proposed method has two main steps in change monitoring. In the first step, components of change intensities are determined automatically by IR-MAD transformation. In the following, optimized components are selected by applying the kernel principal component analysis (KPCA) on components of change intensities. In the next step, for generating the content of change map, The combination of optimal components is classified by SVM method. For the evaluation performance of the proposed method, in change monitoring, this method was compared with conventional methods such as analysis of the spectral–temporal combination and post classification comparison. The experimental results show that the overall accuracy of the proposed method increased 4.89% and 4.39% compared to that of the spectral-temporal Combination and post classification comparison, respectively.

Key words: Change monitoring, multitemporal satellite images, reweighted multivariate repeated (IR-MAD) change detection algorithm, support vector machine (SVM) classification

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.29252/jgit.6.2.23]

Correspondence Address Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology, No. 1346, Vali-Asr Street, Mirdamad Cross, Tehran, Iran. Postal Code: 1996715433
Tel : (+98 21) 88770218. Fax: (+98 21) 88786213.
Email : moghimi.armin@gmail.com