



فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹

۲۰۳-۲۱۸

ترکیب روش‌های ادغام تصاویر چندزمانه و طبقه‌بندی جهت پایش تغییرات دریاچه مهارلو در بازه زمانی پنج ساله (۲۰۱۸ - ۲۰۱۳)

حجت اله محبوبی و محسن آزادبخت*

مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷

محبوبی، ح. و م. آزادبخت. ۱۳۹۹. ترکیب روش‌های ادغام تصاویر چندزمانه و طبقه‌بندی جهت پایش تغییرات دریاچه مهارلو در بازه زمانی پنج ساله (۲۰۱۸ - ۲۰۱۳). فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۱): ۲۰۳-۲۱۸.

سابقه و هدف: در بسیاری از تحقیق‌ها برای پایش تغییرات سطح آب ابتدا تصاویر چندزمانه به طور مجزا تحلیل می‌شوند و پس از استخراج محدوده آب، این محدوده‌ها با یکدیگر مقایسه شده و میزان تغییرات مشخص می‌گردد. با وجود این، به روش‌هایی نیاز است که افزون بر دقت زیاد، شناسایی تغییرات را نیز تسهیل کنند. بنابراین، برای نیل به این هدف، در این تحقیق از روش‌های ادغام تصاویر چند زمانه و طبقه‌بندی جهت استخراج تغییرات دریاچه مهارلو بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها: پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم، از دو روش گرام - اشمیت^۱ و تبدیل مولفه‌های اصلی برای ادغام تصاویر استفاده شد و با اعمال روش‌های طبقه‌بندی بر روی تصاویر ادغام شده، مناطق تغییر یافته و بدون تغییر استخراج شدند. از روش‌های ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۲ و حداکثر احتمال (ML)^۳ برای طبقه‌بندی تصاویر ادغام شده استفاده گردید. در مرحله بعد، ترکیب این روش‌ها با یکدیگر مقایسه شده و بهترین ترکیب دوتایی استخراج گردیده است. در نهایت، روش انتخاب شده در این تحقیق با روش‌های مرسوم پایش تغییرات مقایسه شد.

نتایج و بحث: پس از مقایسه نتایج مشخص شد که دریاچه مهارلو از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ بر اساس روش گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان حدود ۱۶۳/۳ کیلومتر عقب نشینی داشته است. بمنظور ارزیابی صحت نتایج، از صحت کلی و سنجه کاپا استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده، روش گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان دارای صحت کلی ۹۹/۳۳ درصد بوده و ضریب کاپای ۰/۹۹ را داراست و دارای کمترین خطای نسبی یعنی ۳/۹۲ کیلومتر مربع می‌باشد و نسبت به روش‌های دیگر تغییرات را بهتر نشان می‌دهد و نتایج آن به واقعیت زمینی نزدیکتر است. در مرحله بعد، سطوح آب با استفاده از روش‌های مرسوم آشکارسازی تغییرات مانند روش تفاضل تصاویر، نسبت گیری باندی و تفاضل سنجه پوشش گیاهی از تصاویر استخراج شد و با نتایج حاصل از روش گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به نتایج گرفته شده، روش گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان نسبت به روش‌های دیگر دارای صحت کلی و ضریب کاپای بالاتر و در عین حال کمترین خطای نسبی می‌باشد.

نتیجه گیری: نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که روش گرام - اشمیت برای ادغام تصاویر و ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی، نتایج مطلوبی در استخراج تغییرات در تصویر داشته است. این روش می‌تواند به عنوان ابزاری موثر در پایش تغییرات مورد استفاده قرار گیرد، بویژه اینکه، ادغام تصاویر به دلیل بالا بردن قدرت تفکیک تصاویر می‌تواند در بالا بردن دقت طبقه‌بندی نیز موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: گرام - اشمیت، تبدیل مولفه‌های اصلی، ماشین بردار پشتیبان، حداکثر احتمال، آشکارسازی تغییرات.

*Corresponding Author. Email Address: m_azadbakht@sbu.ac.ir

مقدمه

تغییرات سطح دریاچه میکه در ترکیه از تصاویر لندست بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۹ استفاده کردند. برای شناسایی تغییرات ابتدا با استفاده از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال تصاویر را به صورت جداگانه طبقه‌بندی کردند و سپس با مقایسه دو تصویر تغییرات را استخراج نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS جهت استخراج تغییرات می‌تواند بسیار مفید باشد. Ghosh *et al.* (2015) تغییرات ساحلی جزیره‌هاتیا را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از سنجه تفاضل بهنجار آب اصلاح شده (MNDWI)^۱ برای استخراج سطح آب در سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ استفاده کردند. سپس این تصاویر باهم مقایسه شدند و نتایج نشان داد که شمال و غرب جزیره به دلیل پسروی آب کاهش پیدا کرده در صورتی که جنوب و شرق جزیره به دلیل رسوب گذاری در طول این مدت افزایش سطح داشته و این افزایش و کاهش سطح آب موجب تغییرات خط ساحلی در این دوره زمانی شده است. Gungor *et al.* (2010) ابتدا تصاویر ETM+^۱ و آپکونوس^{۱۱} به ترتیب مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳ را به طور مجزا طبقه‌بندی کردند و از آن برای استخراج تغییرات بزرگراه در حال ساخت در شهر ترابوزان ترکیه استفاده کردند و سپس دریافتند که با افزایش قدرت تفکیک تصویر چند طیفی ETM+ به وسیله تصویر پانکروماتیک آن از طریق ادغام تصاویر می‌توان دقت طبقه‌بندی را افزایش داده و هم مختصات‌سازی^{۱۲} را دقیق‌تر انجام داد. آن‌ها برای ادغام تصاویر از روش Trous Wavelet و برای طبقه‌بندی از روش‌های حداکثر احتمال، SAM و احتمال خطی فیشر استفاده کردند. El-Asmar *et al.* (2011) تغییرات نوار ساحلی شرق دلتای نیل را در فاصله سال‌های ۱۹۷۳ و ۲۰۰۷ و با استفاده از تصاویر لندست و اسپات مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها برای پایش تغییرات خط ساحلی از رقوم‌سازی روی صفحه نمایش و برای تغییرات سطح آب، از سنجه‌های تفاضل بهنجار آب (NDWI)^{۱۳} و تفاضل بهنجار آب اصلاح شده MNDWI استفاده کردند. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه نزدیک ۵۰ درصد خط ساحلی پسروی و ۱۳ درصد نیز پیشروی داشته است و ۳۴/۵ درصد از سطح آب کاهش

سنجش از دور به عنوان منبع ارزشمندی از اطلاعات، آشکارسازی تغییرات مناطق وسیع آب را در یک بازه زمانی طولانی ممکن می‌سازد، در حالی که استخراج این تغییرات با استفاده از مطالعات میدانی بسیار دشوار و پرهزینه می‌باشد (Giardini *et al.*, 2010). هدف از پایش تغییرات سطح یک دریاچه، تعیین مرز بین آب و خشکی است. تهیه نقشه دریاچه‌ها و ایجاد داده‌های مکانی از اهمیت بالایی در مدیریت منابع آب برخوردار است. به طور معمول تهیه نقشه دریاچه‌ها در مناطق کوچک با استفاده از روش‌های مرسوم نقشه برداری انجام می‌شود (Erener *et al.*, 2012).

در سال‌های اخیر روش‌های زیادی برای استخراج تغییرات پوشش زمین‌ها مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله این روش‌ها می‌توان به تفاضل تصاویر، تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)^۴، سنجه تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)^۵، آنالیز مولفه‌های متعارف^۶، تفاضل تسلدکپ^۷ و روش مقایسه پس از طبقه‌بندی اشاره کرد. Rokni *et al.* (2015) روش‌هایی مانند تبدیل گرام - اشمیت، IHS بهبودیافته، Wavelet-PC و HPF^۸ برای پایش تغییرات دریاچه ارومیه بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ استفاده کردند. آن‌ها سپس با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال، نواحی تغییر را استخراج کردند و در مقایسه با روش‌های مرسوم پایش تغییرات به این نتیجه رسیدند که ترکیب روش‌های گرام - اشمیت - شبکه عصبی مصنوعی و گرام - اشمیت - ماشین بردار پشتیبان در استخراج تغییرات بسیار کارآمد می‌باشند. Arkhi *et al.* (2013) برای پایش تغییرات منطقه بیابانی دهلران از شش تکنیک پایش تغییرات تفاضل تصاویر، آنالیز مولفه‌های اصلی، تفاضل سنجه پوشش گیاهی، آنالیز مولفه‌های متعارف، تفاضل تسلدکپ و روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده کردند و بر اساس نتایج به دست آمده دریافتند که روش تفاضل باند مادون قرمز بادقت ۹۰/۵ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۱ بیشترین دقت را از بین این تکنیک‌ها داشته است. Erener *et al.* (2012) برای پایش

تفکیک بالا، مانند تصاویر پانکروماتیک، انجام می‌گیرد (Gungor *et al.*, 2010). در فرآیند ادغام تصاویر، زمانی که تصاویر هم‌زمان مورد استفاده قرار می‌گیرد، نتیجه مورد انتظار، تصویر ادغام شده‌ای است که قدرت تفکیک مکانی را از تصویر پانکروماتیک^{۱۴} و محتوای طیفی را از تصویر چند طیفی می‌گیرد و زمانی که تصاویر با دو زمان مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، هدف اصلی پایش تغییرات در یک دوره زمانی می‌باشد (Zeng *et al.*, 2010). در این تحقیق، جهت پایش تغییرات سطح آب دریاچه مهارلو در یک دوره زمانی ۵ ساله، تصویر پانکروماتیک سال ۲۰۱۳ و تصویر چند طیفی سال ۲۰۱۸ باهم ادغام می‌شوند. به دلیل اینکه در باندهای مادون قرمز تفاوت بین بازتاب آب و دیگر پدیده‌ها شدید است ادغام تصاویر آب و دیگر پدیده‌ها در دو زمان مختلف پیکسل‌های جدیدی به وجود می‌آورد که با پیکسل‌های بدون تغییر سطوح آبی و یا دیگر پدیده‌ها تفاوت دارد. این پیکسل‌های متفاوت که از طریق ادغام تصاویر به وجود آمده‌اند مناطق تغییر یافته‌ای هستند که می‌توانند به وسیله روش‌های طبقه‌بندی از تصاویر استخراج گردند (Rokni *et al.*, 2015). در این تحقیق، کارایی این روش در مقایسه با روش‌های مرسوم پایش تغییرات از قبیل تفاضل تصاویر، تفاضل سنج پوشش گیاهی و روش نسبت‌گیری باندی سنجیده می‌شود.

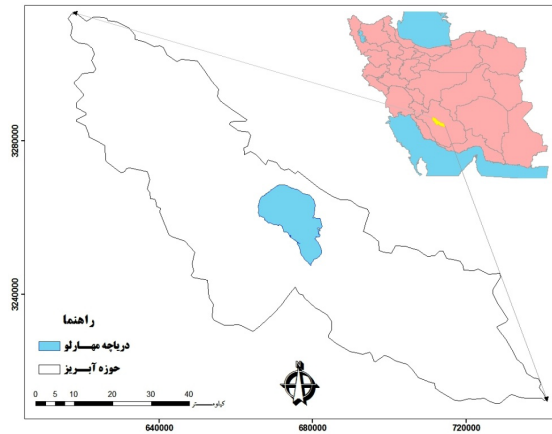
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دریاچه مهارلو یکی از دریاچه‌های آب شور ایران است که در فاصله ۱۰ کیلومتری جنوب غربی شیراز قرار گرفته است (شکل ۱). حداکثر مساحت این دریاچه در بیست سال گذشته بالغ بر ۲۵۷/۷ کیلومتر مربع و ارتفاع آن ۱۴۶۰ متر از سطح دریا می‌باشد. حدود ۱۰ چشمه اصلی و تعدادی چشمه کوچک در حاشیه دریاچه وجود دارد که بیشتر در بخش شرقی دریاچه دیده می‌شوند. جهت جریان آب زیرزمینی در دشت آبرفتی شیراز به سمت دریاچه مهارلو است. سه رودخانه فصلی نظرآباد، چنار راهدار و رودخانه خشک دریاچه مهارلو را تغذیه می‌کنند (Samiei *et al.*, 2017). میزان بارندگی در شمال و شرق حوضه

یافته است. (Thakur *et al.* (2017) برای شناسایی تغییرات منطقه ساحلی Bakkhali در هند از تصاویر سنجنده‌های TM سال ۱۹۹۰ و OLI سال ۲۰۱۶ ماهواره لندست استفاده کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که در مدت این ۲۶ سال خط ساحلی ۲۹/۳۴ درصد پسروی داشته است. (Behling *et al.* (2018) تغییرات زمانی و مکانی دو تالاب ساحلی Walvis و Sandwich در نامیبیا را با استفاده از رویکرد سری‌های زمانی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای شناسایی این تغییرات از تصاویر ماهواره لندست (سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI) بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۴ استفاده کردند و نشان دادند که در طی این ۳۰ سال پسروی و پیشروی آب از یک رابطه خطی تبعیت نمی‌کند و نوسانات بسیاری در این بازه زمانی داشته است. در این دوره، در هر دو تالاب، ساحل در بخش شمالی کمی به سمت شمال پیشروی داشته است که دلیل آن را جهت باد و جریان‌های دریایی غالب شمالی بیان کرده‌اند. (Jovivek *et al.* (2018) تغییرات سواحل جنوبی هند را با استفاده از تصاویر لندست سال‌های ۱۹۷۳، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶ مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از روش NDWI برای طبقه‌بندی خشکی و آب و از تکنیک‌های بارزسازی لبه سوبل برای استخراج خط مرزی بین خشکی و آب استفاده کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که متوسط نرخ تغییرات خط ساحلی در بین سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۶، ۱/۷۸ متر در سال بوده است، در حالی که طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۶، بین ۳/۶ تا ۱۵/۶ می‌باشد که دلیل این افزایش را تأثیر سونامی بیان کردند. در بیشتر این روش‌ها، جهت پایش تغییرات سطح آب، نقشه سطح آب در زمان‌های مختلف به صورت مستقل استخراج شده و در نهایت باهم مقایسه شده‌اند. در این تحقیق برای استخراج تغییرات سطح آب ابتدا تصاویر زمان‌های مورد نظر باهم ادغام شده و سپس جهت استخراج تغییرات از روش‌های مختلف طبقه‌بندی استفاده می‌شود.

به طور معمول تکنیک‌های ادغام تصویر بمنظور افزایش قدرت تفکیک مکانی تصاویر چندطیفی مورد استفاده قرار می‌گیرند و این کار با بهره‌گیری از تصاویر با قدرت



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Fig. 1- Map showing the location of the study area

در آوریل ۲۰۱۳ و آوریل ۲۰۱۸ می‌باشند که از وب سایت USGS گرفته شده‌اند. این تصاویر محصول تصحیح شده زمینی سطح یک هستند که با زون ۳۸ UTM^۵ و با سطح مبنای WGS - 1984 زمین مرجع شده‌اند. جدول ۱ ویژگی‌های این تصاویر و شکل ۲ گستره سطح آب دریاچه را در این دو زمان نشان می‌دهد.

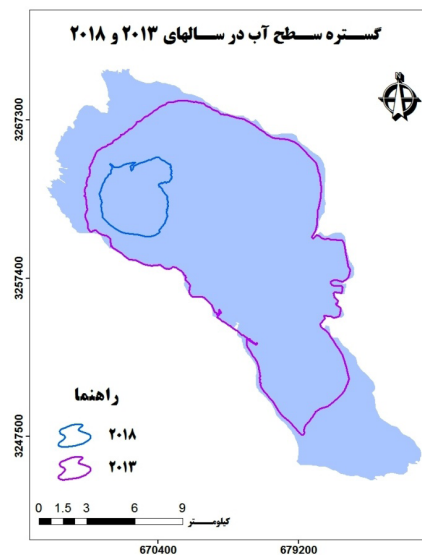
به بیش از ۵۰۰ میلی‌متر و در سمت غرب و شمال غربی به کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر و تا ۲۵۸ میلی‌متر در سروستان می‌رسد (Zomorodian *et al.*, 2012).

داده‌های مورد استفاده

داده‌های گرفته شده تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست

جدول ۱- ویژگی‌های تصاویر استفاده شده در این تحقیق
Table 1. Characteristics of images used in this research

ردیف و گذر Row and path	سنجنده Sensor	ماهواره Satellite	تاریخ شمسی Solar date	تاریخ میلادی Gregorian date	ردیف Raw
40 - 162	OLI	لندست 8	1392.01.22	2013.04.11	1
40 - 162	OLI	لندست 8	1397.01.20	2018.04.09	2



شکل ۲- گستره سطح آب دریاچه مهارلو در سال‌های مورد مطالعه
Fig. 2- Extent of Maharlu Lake in the studied years

تحقیق، از دو روش ادغام تصاویر بر مبنای روش‌های گرام - اشمیت (Laben *et al.*, 2000) و جایگزینی مولفه اصلی (Chavez *et al.*, 1991) استفاده شد.

روش جایگزینی مولفه اصلی: برای ادغام تصاویر با این روش، ابتدا تبدیل مولفه‌های اصلی بر روی تصویر چند طیفی (MS_1, MS_2, \dots, MS_n) اعمال می‌گردد. خروجی این تبدیل به صورت مجموعه (PC_1, PC_2, \dots, PC_n) بیان می‌گردد. سپس تصویر پانکروماتیک، که قبلاً هیستوگرام آن با هیستوگرام مولفه اول تبدیل (PC_1) منطبق شده است، جایگزین مولفه اول این تبدیل (PC_1) می‌شود. در نهایت جهت تشکیل تصویر ادغام شده تبدیل مولفه‌های اصلی معکوس بر روی تصویر اجرا می‌گردد (Pohl *et al.*, 2016). این روش، محدودیت روش‌های ادغام تصاویر IHS و Brovey را ندارد و می‌توان از همه باندهای سنجنده در فرآیند ادغام استفاده کرد (Klonus *et al.*, 2009).

روش تبدیل گرام - اشمیت: برای ادغام تصاویر با این روش، ابتدا یک باند پانکروماتیک (PAN^*) با استفاده از تصاویر چندطیفی (MS_1, MS_2, \dots, MS_n) شبیه‌سازی می‌شود. در مرحله بعد تبدیل گرام - اشمیت بر روی ترکیب حاصل از تصویر پانکروماتیک شبیه‌سازی شده و تصویر چند

پیش پردازش تصاویر

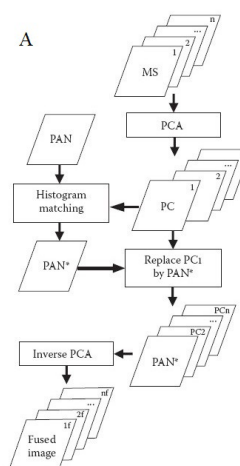
برای آماده سازی تصاویر ابتدا تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری بر روی تصاویر انجام شد. برای اعمال این تصحیحات ابتدا رادیانس تصاویر به دست آمد و سپس مقادیر بازتاب طیفی بالای اتمسفر محاسبه گردید. پس از محاسبه مقادیر بازتاب، با استفاده از روش تفریق پدیده تاریک (DOS) ^{۱۶} بازتاب سطح زمین به دست آمد. تفریق پدیده تاریک یکی از روش‌های تصحیح رادیومتریک نسبی است که به طور گسترده ای جهت کاهش اثرهای پخش اتمسفری به کار می‌رود (Chavez, 1996). برای هم‌مختصات‌سازی دو تصویر، تصویر PAN سال ۲۰۱۳ به عنوان تصویر پایه انتخاب گردید و تصویر چند طیفی سال ۲۰۱۸ بر اساس آن هم مختصات گردید. در نهایت تصویر ورودی با خطای ۰/۵۶ پیکسل هم‌مختصات شد و با استفاده از روش نزدیکترین همسایه بازنویسی شد.

ادغام تصاویر چند زمانه

پس از مرحله پیش‌پردازش تصاویر، ابتدا برای استخراج محدوده‌های تغییر یافته، تصویر چند طیفی سال ۲۰۱۸ با تصویر پانکروماتیک سال ۲۰۱۳ ادغام شد، سپس برای استخراج پیکسل‌های تغییر یافته، روش‌های طبقه‌بندی مختلفی روی تصویر به دست آمده اعمال گردید. در این



ب



الف

شکل ۳- الف) مراحل اجرای ادغام تصاویر با روش تحلیل مولفه‌های اصلی (Pohl *et al.*, 2016) و ب) تصویر ادغام شده محدوده مورد مطالعه با روش تحلیل مولفه‌های اصلی

Fig. 3- (A) Steps to implement the image fusion by the Principal Components Analysis method (Pohl *et al.*, 2016) and (B) the fused image of the study area by the Principal Components Analysis method

در بر دارد (Klonus *et al.*, 2009).

طبقه‌بندی تصاویر

در این مرحله برای استخراج تغییرات در فاصله زمانی مورد مطالعه از دو روش طبقه‌بندی نظارت شده ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال استفاده گردید.

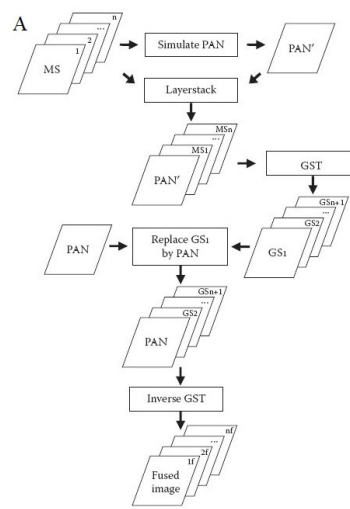
طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان (SVM):

ماشین بردار پشتیبان در واقع یک طبقه‌بندی‌کننده دودویی است، به طوری که این روش سعی دارد یک ابرصفحه ایجاد

طیفی ($PAN', MS_1, MS_2, \dots, MS_n$) اعمال می‌گردد. خروجی این تبدیل به صورت مجموعه ($GS_1, GS_2, \dots, GS_n, GS_{n+1}$) بیان می‌گردد. سپس تصویر پانکروماتیک اصلی، که قبلاً هیستوگرام آن با هیستوگرام تصویر پانکروماتیک شبیه‌سازی شده (PAN') منطبق شده است، جایگزین مولفه اول تصویر تبدیل شده (GS_1) می‌گردد. در نهایت جهت تشکیل تصویر ادغام شده تبدیل گرام - اشمیت معکوس بر روی تصویر اجرا می‌گردد (Pohl *et al.*, 2016). این روش به طور معمول برای ادغام تصاویر یک سنجنده نتایج خوبی



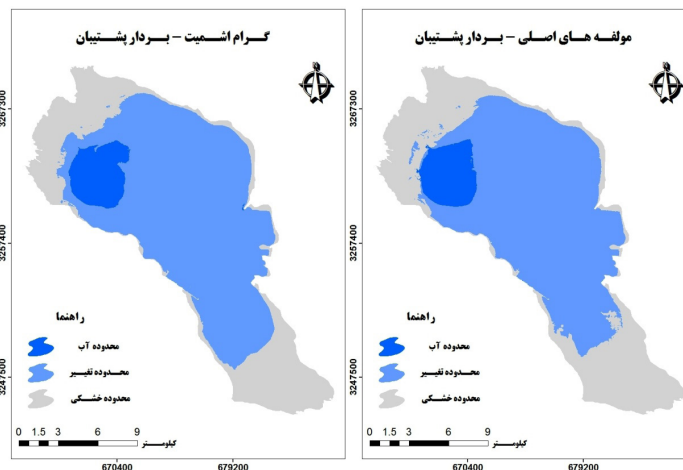
ب



الف

شکل ۴- الف) مراحل اجرای ادغام تصاویر با روش گرام - اشمیت (Pohl *et al.*, 2016) و ب) تصویر ادغام شده محدوده مورد مطالعه با روش گرام - اشمیت

Fig. 4- (A) Steps to implement the image fusion by the Gram - Schmidt method (Pohl *et al.*, 2016) and (B) the fused image of the study area by the Gram - Schmidt method



شکل ۵- نتایج طبقه‌بندی تصاویر ادغام شده با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)

Fig. 5- The classification results of fused images using Support Vector Machine (SVM) method

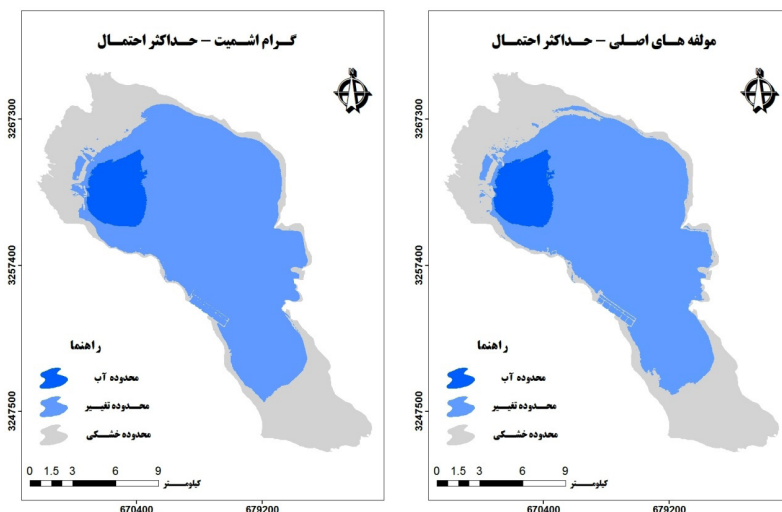
در این روش، احتمال اینکه یک پیکسل به تمامی کلاس‌ها تعلق داشته باشد، محاسبه شده و آن پیکسل در نهایت به کلاس با بیشترین احتمال تعلق می‌گیرد (Mather, 1999). در این روش فرض بر این است که نمونه‌های آموزشی از توزیع نرمال برخوردار می‌باشند. در این تحقیق بمنظور مقایسه روش‌های طبقه‌بندی نمونه‌های آموزشی جمع‌آوری شده از تصویر همان نمونه‌هایی بودند که در روش ماشین بردار پشتیبان مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج طبقه‌بندی حاصل از این روش در شکل ۶ مشاهده می‌شود.

نتایج و بحث

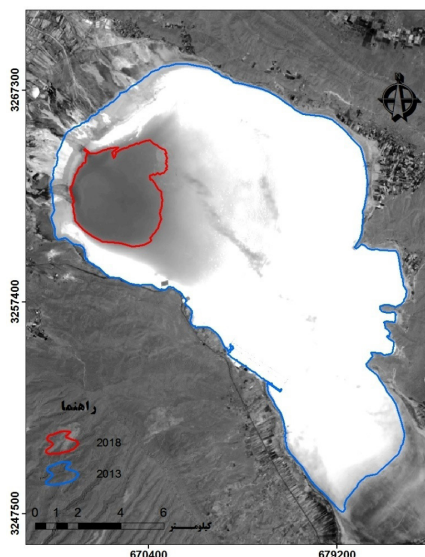
پس از اعمال روش‌های ادغام تصاویر، جهت استخراج مناطق تغییر یافته از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده ماشین بردار پشتیبان (SVM) و حداکثر احتمال (ML) استفاده شد. برای طبقه‌بندی، تصویر سه کلاس در نظر گرفته شد. کلاس محدوده خشکی که تغییرات آن مد نظر این تحقیق نبوده است و در هر دو زمان نشان دهنده نواحی غیرآبی است. کلاس مناطق تغییر یافته مناطقی را شامل می‌شود که در سال ۲۰۱۳ توسط آب دریاچه پوشانده شده بودند ولی در سال ۲۰۱۸ به دلیل کاهش سطح آب دریاچه به کلاس محدوده خشکی تبدیل شده‌اند و کلاس سوم کلاس مناطق تغییر نیافته است و مناطقی را در بر می‌گیرد که هم در سال ۲۰۱۳ و هم در سال ۲۰۱۸ از

نماید که فاصله هر کلاس را تا آن ابرصفحه حداکثر نماید. داده‌های نقطه‌ای که به ابرصفحه نزدیکتر هستند و برای اندازه‌گیری این فاصله به کار می‌روند را بردار پشتیبان می‌نامند (Vapnik, 1995). برای اجرای این روش ابتدا سه کلاس آب و ناحیه تغییر یافته و محدوده خشکی تعریف شد و نمونه‌های آموزشی هر کلاس جمع‌آوری گردید. در جمع‌آوری نمونه‌ها، پراکندگی و نسبت تعداد نمونه‌ها به مساحت کلاس‌ها در نظر گرفته شد. پس از معرفی نمونه‌ها می‌بایست کرنل انتخاب گردد که با توجه اینکه کرنل شعاعی (RBF)^{۱۷} از پارامترهای کمتری استفاده می‌کند و در مطالعات سنجش از دوری به مراتب مورد استفاده قرار گرفته است از این کرنل استفاده شد. پارامتر گاما در این کرنل عدد پیش فرض ۰/۱۴۳ در نظر گرفته شد و پارامتر جریمه^{۱۸} جهت ایجاد صحیح‌ترین مدل ۱۰۰ تعیین شد. بمنظور پردازش هر تصویر در بالاترین قدرت تفکیک مکانی، عدد صفر به پارامتر هرم^{۱۹} اختصاص داده شد و برای اینکه همه پیکسل‌ها طبقه‌بندی شوند و پیکسل طبقه‌بندی نشده‌ای باقی نماند، حد آستانه احتمال طبقه‌بندی صفر در نظر گرفته شد. نتایج این روش در شکل ۵ مشاهده می‌شود.

طبقه‌بندی کننده حداکثر احتمال: روش حداکثر احتمال از شناخته شده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های طبقه‌بندی اطلاعات در زمره روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده می‌باشد.



شکل ۶- نتایج طبقه‌بندی تصاویر ادغام شده با استفاده از روش حداکثر احتمال (ML)
 Fig. 6- The classification results of fused images using Maximum Likelihood (ML) method



شکل ۷- تغییرات سطح دریاچه در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸
Fig. 7- Lake surface changes from 2013 to 2018

جدول ۲- تغییرات سطح آب در بازه زمانی بین ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ (به کیلومتر مربع)

Table 2. Lake surface changes from 2013 to 2018 (km)

تغییرات سطح آب Surface water change	مساحت در سال ۲۰۱۸ Area in 2018	مساحت در سال ۲۰۱۳ Area in 2013	روش‌ها Methods
170.01	16.91	186.91	واقعیت زمینی Ground reality
163.34	17.24	180.58	گرام اشmitt - ماشین بردار پشتیبان Gram Schmidt - SVM
158.52	16.76	175.28	گرام اشmitt - حداکثر احتمال Gram Schmidt - ML
151.59	16.74	168.33	تحلیل مولفه‌های اصلی - حداکثر احتمال PCA - ML
151.29	17.06	168.35	تحلیل مولفه‌های اصلی - ماشین بردار پشتیبان PCA - SVM

تصویر (Lillesand *et al.*, 1999) و ترکیب رنگی ۲ و ۴ و ۷ (Xuejie, 2010) جهت استخراج محدوده‌های آبی در این دو سال استفاده شد (شکل ۷). پس از استخراج این محدوده‌ها و محاسبه مساحت آن‌ها، مدل‌های اعمال شده در این تحقیق با این محدوده‌ها مقایسه گردید و نتایج به دست آمده در جدول ۲ نمایش داده شده است.

مقایسه حاصل از نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که دریاچه مهارلو از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ در روش گرام اشmitt - ماشین بردار پشتیبان حدود ۱۶۳/۳ کیلومتر، در روش گرام اشmitt - حداکثر احتمال حدود ۱۵۸/۵ کیلومتر، براساس روش تحلیل مولفه‌های اصلی - حداکثر احتمال حدود

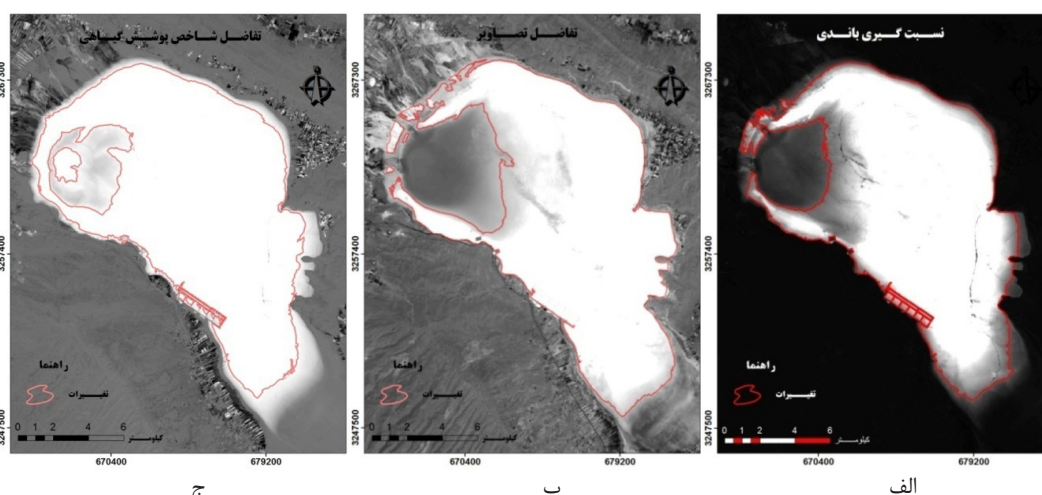
آب پوشانده شده‌اند و تغییری در آن‌ها ایجاد نشده است. با ترکیب روش‌های ادغام تصاویر و روش‌های طبقه‌بندی تصاویر چهار خروجی حاصل گردید که شامل روش‌های گرام اشmitt - ماشین بردار پشتیبان، گرام اشmitt - حداکثر احتمال، تحلیل مولفه‌های اصلی - ماشین بردار پشتیبان و تحلیل مولفه‌های اصلی - حداکثر احتمال می‌باشند. برای مقایسه این روش‌ها و نشان مدل نهایی محدوده دریاچه در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۸ مورد استفاده قرار گرفت. به دلیل اینکه در این ماه‌ها محدوده دریاچه در جایی ثبت نشده است از تصاویر ماهواره‌ای جهت ترسیم محدوده دریاچه استفاده گردید. از سنجه NDWI (McFeeters, 1996)، باند ۴ دو

جدول ۳- ارزیابی صحت روش‌های مورد مطالعه
Table 3. Accuracy assessment of the studied methods

ضریب کاپا Kappa coefficient	صحت کلی Overall accuracy	خطای نسبی (به کیلومتر مربع) Relative error (km)	خطای مطلق (به کیلومتر مربع) Absolute error (km)	روش‌ها Methods
1	100	0.00	0	واقعیت زمینی Ground reality
0.99	99.33	3.92	6.67	گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان Gram Schmidt - SVM
0.78	87.28	11.01	18.72	تحلیل مولفه‌های اصلی - ماشین بردار پشتیبان PCA - SVM
0.93	96.04	6.76	11.49	گرام اشمیت - حداکثر احتمال Gram Schmidt - ML
0.86	91.81	10.84	18.42	تحلیل مولفه‌های اصلی - حداکثر احتمال PCA - ML

پشتیبان دارای صحت کلی ۸۷/۳ و ضریب کاپای ۰/۷۸ و خطای نسبی ۱۱ کیلومتر مربع، روش گرام اشمیت - حداکثر احتمال دارای صحت کلی ۹۶/۰۴ و ضریب کاپای ۰/۹۳ و خطای نسبی ۱۱/۵ کیلومتر مربع و روش تحلیل مولفه‌های اصلی - حداکثر احتمال دارای صحت کلی ۹۱/۸ و ضریب کاپای ۰/۸۶ و خطای نسبی ۱۸/۴ کیلومتر مربع می‌باشد. با توجه به این نتایج، روش گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان با بیشترین صحت کلی و ضریب کاپای و کمترین خطای نسبی نتایج بهتری نسبت به روش‌های دیگر داشته است و نتایج آن به واقعیت زمینی نزدیکتر است.

۱۵۱/۶ کیلومتر و در روش تحلیل مولفه‌های اصلی - ماشین بردار پشتیبان حدود ۱۵۱/۳ کیلومتر عقب‌نشینی داشته است (جدول ۲). با توجه به اینکه پسروری واقعی آب در حدود ۱۷۰ کیلومتر برآورد شده است، روش گرام اشمیت - بردار پشتیبان برآورد نزدیکتری از پسروری آب داشته است. بمنظور ارزیابی صحت نتایج از صحت کلی و سنجه کاپا استفاده شد. با توجه به نتایج این ارزیابی روش گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان دارای صحت کلی ۹۹/۳ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۹ و خطای نسبی یعنی ۳/۹ کیلومتر مربع می‌باشد. روش تحلیل مولفه‌های اصلی - ماشین بردار



شکل ۸- تغییرات سطح دریاچه مهارلو با استفاده از روش الف) نسبت گیری باندها ب) تفاضل تصاویر ج) تفاضل سنجه پوشش گیاهی
Fig. 8- Maharlu Lake surface changes using (A) band ratio, (B) image differencing and (C) NDVI differencing

جدول ۴- مقایسه روش گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان با روش‌های مرسوم جهت پایش تغییرات سطح آب در بازه زمانی بین ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ (به کیلومتر مربع)

Table 4. Comparison of the Gram Schmidt-Support Vector Machine with conventional methods for monitoring water surface changes between 2013 and 2018 (km)

تغییرات سطح آب Surface water change	مساحت در سال ۲۰۱۸ Area in 2018	مساحت در سال ۲۰۱۳ Area in 2013	روش‌ها Methods
163.34	17.24	180.58	گرام اشمیت - بردار پشتیبان Gram Schmidt - SVM
150.11	-	-	نسبت گیری باندى Band ratio
146.36	-	-	تفاضل سنجه پوشش گیاهی NDVI differencing
149.52	-	-	تفاضل تصاویر Image differencing

جدول ۵- ارزیابی صحت روش گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان در مقایسه با روش‌های مرسوم پایش تغییرات
Table 5. Accuracy assessment of the Gram Schmidt-Support Vector Machine compared to conventional change detection methods

ضریب کاپا Kappa coefficient	صحت کلی Overall accuracy	خطای نسبی (به کیلومتر مربع) Relative error (km)	خطای مطلق (به کیلومتر مربع) Absolute error (km)	روش‌ها Methods
0.99	99.33	3.92	6.67	گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان Gram Schmidt - SVM
0.80	91.54	11.71	19.9	نسبت گیری باندى Band ratio
0.73	88.70	13.91	23.65	تفاضل سنجه پوشش گیاهی NDVI differencing
0.78	90.61	12.05	20.49	تفاضل تصاویر Image differencing

روش‌ها، دریاچه مهارلو از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ در روش گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان در حدود ۱۶۳/۳ کیلومتر مربع عقب‌نشینی داشته است، در حالی که در روش نسبت‌گیری باندى ۱۵۱/۱، در روش تفاضل سنجه پوشش گیاهی ۱۴۶/۴ و در روش تفاضل تصاویر ۱۴۹/۵ کیلومتر پسروی داشته است. همچنین با توجه به نتایج ارزیابی (جدول ۵)، روش گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان دارای صحت کلی ۹۹/۳ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۹ و خطای نسبی ۳/۹ کیلومتر مربع می‌باشد، در حالی که روش نسبت‌گیری باندى دارای صحت کلی ۹۱/۵ درصد، ضریب کاپای ۰/۸۰ و خطای نسبی ۱۱/۷ و روش تفاضل سنجه پوشش گیاهی دارای صحت کلی ۸۸/۷ درصد، ضریب

روش گرام اشمیت - حداکثر احتمال از نظر صحت در رده بعدی قرار دارد و روش تحلیل مولفه‌های اصلی - ماشین بردار پشتیبان با توجه به صحت پایین آن برای تحقیقات مشابه پیشنهاد نمی‌گردد. در مرحله بعد، سطوح آب با استفاده از روش‌های مرسوم آشکارسازی تغییرات مانند روش تفاضل تصاویر، نسبت‌گیری باندى و تفاضل سنجه پوشش گیاهی (شکل ۸) (Singh, 1989) از تصاویر استخراج شد و با نتایج حاصل از روش گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۴ مشاهده می‌شود. جدول‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهند که روش گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان، در مقایسه با روش‌های مرسوم، از نتایج بهتری برخوردار است. بر اساس مقایسه این

گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان حدود ۱۶۳/۳ کیلومتر مربع عقب نشینی داشته است. همچنین این روش صحت کلی ۹۹/۳ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۹ را داراست و دارای کمترین خطای نسبی یعنی ۳/۹ کیلومتر مربع می‌باشد. در مرحله بعد، روش گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان با روش‌های مرسوم آشکار سازی تغییرات مانند روش تفاضل تصاویر، نسبت گیری باندی و تفاضل سنج پوشش گیاهی مورد مقایسه قرار گرفت که براساس این مقایسه دریاچه مهارلو در فاصله زمانی مورد مطالعه در روش گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان نتایج بهتری نسبت به روش‌های دیگر داشت و نتایج آن به واقعیت نزدیکتر بود.

استفاده از روش‌های ادغام تصاویر قبل از طبقه‌بندی نشان داد که این روش‌ها می‌توانند به‌عنوان ابزاری موثر در پایش تغییرات مورد استفاده قرار گیرند، بویژه اینکه، ادغام تصاویر به دلیل بالا بردن قدرت تفکیک تصاویر می‌تواند در بالا بردن دقت طبقه‌بندی نیز موثر باشد. با توجه به این تحقیق می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده از روش‌های ادغام تصاویر و روش‌های طبقه‌بندی بویژه روش گرام - اشمیت بمنظور ادغام تصاویر و روش ماشین بردار پشتیبان جهت طبقه‌بندی می‌تواند به‌عنوان روشی قابل اتکا در بررسی تغییرات مورد استفاده قرار گیرد.

پی‌نوشت‌ها

- ¹ Gram-Schmidt
- ² Support Vector Machine (SVM)
- ³ Maximum Likelihood (ML)
- ⁴ Principal Component Analysis (PCA)
- ⁵ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
- ⁶ Canonical Component Analysis (CCA)
- ⁷ Tasseled Cap Differencing
- ⁸ High Pass Filter (HPF)
- ⁹ Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)
- ¹⁰ Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)
- ¹¹ Ikonos
- ¹² Registration
- ¹³ Normalized Difference Water Index (NDWI)
- ¹⁴ Panchromatic
- ¹⁵ Universal Transverse Mercator (UTM)
- ¹⁶ Dark Object Subtraction (DOS)
- ¹⁷ Radial Basis Function (RBF)
- ¹⁸ Penalty Parameter
- ¹⁹ Pyramid Parameter

کاپای ۰/۷۳ و خطای نسبی ۱۳/۹ و روش تفاضل تصاویر دارای صحت کلی ۹۰/۶ درصد، ضریب کاپای ۰/۷۸ و خطای نسبی ۱۲/۱ می‌باشد. با توجه به این نتایج، روش گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان با بیشترین صحت کلی و ضریب کاپا و کمترین خطای نسبی نتایج بهتری نسبت به روش‌های دیگر داشته است و نتایج آن به واقعیت نزدیکتر است. تحقیق حاضر نشان می‌دهد که در طی این ۵ سال مساحت آب دریاچه مهارلو بیش از ده برابر در زمان مشابه کاهش داشته است. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق با نتایج به‌دست آمده توسط Gungor et al. (2010) و Rokni et al. (2015) همخوانی دارد. همچنین در مقایسه با روش‌های استفاده شده توسط Arkhi et al. (2013) که در آن از روش‌های مرسوم استفاده شده، روش تفاضل تصاویر بیشترین دقت را داشته است، در این تحقیق از بین روش‌های مرسوم، روش نسبت گیری باندی نتیجه بهتری نسبت به دیگر روش‌ها دارا بوده است و این نشان می‌دهد که از بین آن‌ها نمی‌توان روش خاصی را برای همه منطقه‌ها پیشنهاد داد، در حالی که ترکیب روش‌های ادغام تصاویر و طبقه‌بندی می‌تواند در افزایش دقت استخراج تغییرات موثر باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق بمنظور پایش تغییرات سطح آب دریاچه مهارلو در دو زمان مختلف از روش‌های مختلف ادغام تصاویر و طبقه‌بندی استفاده شد. روش‌های گرام - اشمیت و تحلیل مولفه‌های اصلی بمنظور ادغام تصاویر و روش‌های ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی مورد بررسی قرار گرفتند. جهت طبقه‌بندی تصاویر از سه کلاس محدوده خشکی، محدوده تغییر و محدوده تغییر نیافته (آب) استفاده شد و بمنظور مقایسه روش‌های طبقه‌بندی، نمونه‌های آموزشی جمع‌آوری شده از تصویر برای هر دو روش یکسان در نظر گرفته شدند. چهار خروجی از اعمال این روش‌ها به‌دست آمد که شامل گرام اشمیت - ماشین بردار پشتیبان، گرام اشمیت - حداکثر احتمال، تحلیل مولفه‌های اصلی - ماشین بردار پشتیبان و تحلیل مولفه‌های اصلی - حداکثر احتمال می‌باشند. پس از مقایسه نتایج طبقه‌بندی با واقعیت زمینی مشخص شد که دریاچه مهارلو در طول دوره زمانی مورد مطالعه براساس روش

منابع

- Arkhi, S. and Fathizadeh, H., 2013. Comparison of different methods of land use change detection in desert area of dehloran, Ilam Province. *Journal of Desert Ecosystems*. 2(1), 65-80.
- Behling, R., Milewski, R. and Chabrilant, S., 2018. Spatiotemporal shoreline dynamics of Namibian coastal lagoons derived by a dense remote sensing time series approach. *International Journal of Applied Observation and Geoinformation*. 68, 262-271
- Chavez, W.J., Sides, S.C. and Anderson, J.A., 1991. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: TM & Spot Pan. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 57(3), 295- 303.
- Chavez, P.S., 1996. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 62, 1025-1036.
- El-Asmar, H.M. and Hereher, M.E., 2011. Change detection of the coastal zone east of the Nile Delta using remote sensing. *Environmental Earth Sciences*. 62, 769-777.
- Erener, A. and Yakar, M., 2012. Monitoring coastline change using remote sensing and GIS technologies. *Lecture Notes in Information Technology*. 30, 310-314.
- Ghosh, M.K., Kumar, L. and Roy, Ch., 2015. Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 101, 137-144.
- Giardino, C., Bresciani, M., Villa, P. and Martinelli, A., 2010. Application of remote sensing in water resource management: the case study of Lake Trasimeno, Italy. *Water Resources Management*. 24, 3885-3899.
- Gungor, O., Boz, Y., Gokalp, E., Comert, C. and Akar, A., 2010. Fusion of low and high resolution satellite images to monitor changes on costal zones. *Scientific Research and Essays*. 5(7), 654-662.
- Joevivek, V., Saravanan, S. and Chandrasekar, N., 2018. Assessing the shoreline trend changes in Southern tip of India. *Journal of Coastal Conservation*. 23, 283-292.
- Klonus, S. and Ehlers, M., 2009. Performance of evaluation methods in image fusion. 12th International Conference on Information Fusion, 6th-9th July, Seattle, WA, USA. pp. 1409-1416.
- Laben, C.A., Bernard, V. and Brower, W., 2000. Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening. U.S. Google Patents No. 6011875. Eastman Kodak Company.
- Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., 1999. *Remote Sensing and Image Interpretation*, 4th Edition. Wiley & Sons, USA.
- Mather, P.M., 1999. *Computer Processing of Remotely Sensed Images*. 2nd Edition. Wiley & Sons. USA.
- 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, 1425-1432.
- Pohl, C. and Van Gendern, J., 2016. *Remote Sensing Image Fusion: A Practical Guide*. CRC Press, USA.
- Rokni, K., Ahmad, A., Soleimani, K. and Hazini S., 2015. A new approach for surface water change detection: Integration of pixel level image fusion and image classification techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 34, 226-234.
- Samiei, M., Ghazavi, R., Pakparvar, M. and Vali, A.A., 2017. The effect of climate change on Maharlo lake level change using satellite image processing. *Remote Sensing and Geographic Information Systems in Natural Resources*. 8(1), 1-18.
- Singh, A., 1989. Digital change detection techniques using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*. 10, 989-1003.
- Thakur, S., Dey, D., Das, P., Ghosh, P.B. and De, T.K., 2017. Shoreline change detection using remote sensing

in the Bakkhali Coastal Region, West Bengal, India. *Indian Journal of Geosciences*. 71(4), 611-626.

Vapnik, V.N., 1995. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer Verlag, New York.

Xuejie, L. and Damen, M., 2010. Coastline change detection with satellite remote sensing for environmental management of Pearl River Estuary. *Journal of Marine Systems*. 82, S52-S61.

Zeng, Y., Zhang, J., van Genderen, J.L. and Zhang, Y., 2010. Image fusion for land cover change detection. *International Journal of Image and Data Fusion*. 1, 193-215.

Zomorodian, M., Khakpoor, M. and Velayati, S., 2012. Hydrogeomorphological landforms analysis of Maharlo Lake basin based on interaction relationships of morphotectonic, morphoclimatic and hydromorphic processes. *Geography and Regional Development*. 19, 47-70.





Environmental Sciences Vol.18/ No.1/Spring 2020

203-218

Synergy of multi-temporal image fusion and classification methods for detecting changes in Maharlu Lake over five years (2013-2018)

Hojjatollah Mahboobi and Mohsen Azadbakht*

Remote Sensing and GIS Research Center, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2018.12.29 Accepted: 2019.07.08

Mahboobi, H. and Azadbakht, M., 2020. Synergy of multi-temporal image fusion and classification methods for detecting changes in Maharlu Lake over five years (2013-2018). *Environmental Sciences*. 18(1): 203-218.

Introduction: In many studies concerning monitoring the water surface changes, multi-temporal images are separately analyzed and after extracting water boundaries in each image, these boundaries are compared and the changes are determined. Nevertheless, there is a demand for methods that can perform accurately as well as facilitating the identification of changes. Therefore, to this end, in this research synergy of multi-temporal image fusion and classification methods were investigated to detect surface water changes in Maharlu Lake between 2013 and 2018.

Material and methods: After performing the necessary pre-processing, the Gram-Schmidt (GS) and Principal Component Analysis (PCA) methods were applied to fuse images and, then, changed and unchanged areas were extracted through applying classification methods to the fused images. Support Vector Machine (SVM) and Maximum Likelihood (ML) were used to classify fused images. In the next step, combinations of these methods were compared to each other and the best pair was extracted. Finally, the selected pair was compared with conventional change detection methods.

Results and discussion: The results showed that based on the GS-SVM methods, the Maharlu Lake retreated about 163.3 km² from 2013 to 2018. For accuracy assessment of the methods, the overall accuracy and Kappa coefficient were calculated. The GS-SVM method had an overall accuracy of 99.33%, Kappa coefficient of 0.99 and a relative error of 3.92 km². This pair detected changes more accurately and the results were closer to reality. In the next step, the water surface was extracted from the images using conventional change detection methods, such as image differencing, band rationing, and NDVI differencing, and their results were compared to that of the GS-SVM. According to the results, the GS-SVM had higher overall accuracy and Kappa coefficient compared with other methods, and simultaneously, the least relative error.

*Corresponding Author. *Email Address:* m_azadbakht@sbu.ac.ir

Conclusion: The results of this study showed that a combination of the GS image fusion method and SVM classifier provides satisfactory results to extract changes from multi-temporal images. This synergy can be used as an effective tool for detecting changes, particularly since fusing images can also be effective in improving classification accuracy by enhancing the spatial resolution of images.

Keywords: Gram Schmidt (GS), Principal Component Analysis (PCA), Support Vector Machine (SVM), Maximum Likelihood (ML), Change detection.

