

نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال دهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۱

Vol.10, No.2, Summer 2022

۳۹ - ۶۲

مقاله پژوهشی

DOR: [20.1001.1.20089635.1401.10.2.5.1](https://doi.org/10.1001.1.20089635.1401.10.2.5.1)

بررسی مقایسه‌ای شاخص‌های آب مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای به منظور پایش تغییرات سطح پهنه‌های آبی با کمک سامانه گوگل ارث انجین (مطالعه موردی: تالاب میقان اراک)

مرجان فرجی^۱، سیدباقر فاطمی نصرآبادی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی نقشه‌برداری دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان

۲- استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷

چکیده

تالاب‌ها ریست‌بوم‌های آبی پویا و پیچیده‌ای هستند که نقش مهمی در بقای گونه‌های بسیار زیادی از گیاهان و جانوران وابسته به خود ایفا می‌کنند. در این پژوهش با استفاده از شش شاخص تفاضل نرمال شده گیاه (NDVI)، تفاضل نرمال شده آب (AWEInsh, AWEIsh) و شاخص اصلاح شده تفاضل نرمال شده آب (WRI) و شاخص اتوماتیک جداسازی آب (MNDWI) به بررسی تغییرات تالاب میقان اراک در بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ پرداخته شده است. علاوه بر آن مساحت‌های پهنه‌های آبی حاصل شده توسط شاخص‌ها در دوران خشک‌سالی و ترسالی با یکدیگر مقایسه شده و همبستگی بین تصویر حاصل شده از هر شاخص تحلیل و ارزیابی شده است. با توجه به اینکه تالاب مورد مطالعه دارای عمق آب بسیار کم و حاوی آب شور است، توانایی شاخص‌های آبی در استخراج پهنه‌های آبی این تالاب مورد بررسی قرار گرفته و با نتایج طبقه‌بندی روش ماشین بردار پشتیبان مقایسه شده است. نتایج حاکی از آن است که شاخص AWEInsh در هنگام خشک‌سالی و کاهش حجم و سطح آب قادر به استخراج رضایت‌بخش و دقیق پهنه‌های آبی نمی‌باشند. شاخص‌های MNDWI و WRI با صحت کلی ۹۵,۹۷ و ۹۸,۵۲ برای تصویر دوره خشک‌سالی ۹۹,۰۴ و ۹۹,۵۷ در هنگام پر آبی تالاب بهترین شاخص‌ها برای تعیین پهنه آبی می‌باشند. به عنوان یک نتیجه کلی می‌توان گفت اطمینان کردن به نتایج یک شاخص در دوران خشک‌سالی برای بررسی پهنه‌های آبی درست نیست. از آنجایی که در بررسی‌های زمانمند ترکیبی از سال‌های کم آب و پرآب وجود دارد، لذا توصیه جدی این است که در مطالعات مشابه از چند شاخص برای بررسی پهنه‌های آبی به طور همزمان استفاده شود.

کلید واژه‌ها : تشخیص تغییرات، تالاب میقان، شاخص آب، سنجش از دور، لنdest.

* نویسنده مکاتبه کننده: دانشگاه اصفهان، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، گروه مهندسی نقشه‌برداری.

تلفن: ۰۹۸-۳۱۳۷۹۳۵۳۲۲

۱- مقدمه

تالاب‌ها با ارائه خدمات زیست‌محیطی متعدد از جمله تنظیم آب و هوای جهانی، تصفیه آب طبیعی، کاهش سیل و خشک سالی، حفاظت از فرسایش در ساحل، حفاظت از خاک، فضای تفریحی و زیبایی‌شناسی و زیستگاه حیات‌وحش از جمله با ارزش‌ترین منابع روی زمین هستند تالاب‌ها و خدماتی که آن‌ها ارائه می‌دهند تحت تأثیر مستقیم و غیرمستقیم فعالیت‌های انسانی می‌باشد که می‌تواند منجر به افزایش تغییرات و از بین رفتن تالاب شود. از ابتدای قرن بیستم، حدود دو سوم تالاب‌های جهان از بین رفته یا به شدت تغییریافته‌اند. چنین تلفاتی نه تنها منجر به کاهش مساحت در کل پوشش تالاب جهانی شده بلکه بر ارائه خدمات با ارزش تالاب به انسان و غیر انسان نیز تأثیر گذاشته است [۱]. اساس استخراج پهنه‌های آبی با استفاده از تصاویر سنجش از دوری بر مبنای جذب بالای انرژی در باند مادون‌قرمز و بازتاب انرژی در باندهای مرئی می‌باشد. تحقیقات در زمینه بررسی آب‌های سطحی با به کارگیری سنجش از دور پیش از سال ۱۹۷۰ آغاز شده است [۲ و ۳]. پس از آن مطالعات در این حوزه به تعداد قابل توجهی گسترش یافته است [۴، ۵ و ۶]. در حدود سال ۲۰۰۰، همراه با توسعه سریع ماهواره‌های سنجش از دور، چندین شاخص آب کارآمد برای شناسایی پوشش آب‌های سطحی پیشنهاد شدند. مک‌فیترز^۱ (۱۹۹۶) با استفاده از باندهای سبز و مادون‌قرمز نزدیک^۲ از یک تصویر ماهواره لندست سنجنده TM با شناسایی ویژگی آب، بنیادی‌ترین شاخص آب تحت عنوان شاخص تفاضل نرمال شده آب^۳ (NDWI) را ایجاد کرد [۷]. مک‌فیترز آستانه صفر را برای

جدازای آب با پس زمینه پیشنهاد کرد، اما هان-چیو^۴ (۲۰۰۵) خاطرنشان کرد که آستانه صفر قادر به جدا کردن آب در همه مناطق از جمله مناطق انسان ساخت نیست. به این ترتیب باند مادون‌قرمز نزدیک در شاخص NDWI را با باند مادون‌قرمز موج کوتاه^۵ جایگزین کرد و شاخص اصلاح شده تفاضل نرمال شده آب^۶ (MNDWI) را برای حل مسئله استخراج کرد [۸]. پس از آن شاخص نسبت آب^۷ (WRI) توسط شین^۸ و همکاران (۲۰۱۰) ارائه شد [۹]. با توجه به خصوصیات طیفی غالب باندهای سبز و قرمز در مقایسه با باندهای مادون‌قرمز میانی و نزدیک، شاخص WRI مقادیر بیشتر از یک را برای آب نشان می‌دهد. با این حال، هنوز هم مشکلات عمدۀ‌ای به دلیل سایه در مناطق کوهستانی وجود داشت. فیئیسا^۹ و همکاران (۲۰۱۴) شاخص استخراج خودکار آب^{۱۰} (AWEI) را برای شناسایی ویژگی‌های آب پیشنهاد کرد که دارای دو بخش AWEI_{nsh} و AWEI_{sh} می‌باشد. شاخص AWEI_{sh} اساساً برای حذف پیکسل‌های سایه و شاخص AWEI_{nsh} برای مناطقی با پس زمینه شهری طراحی شده است. علاوه بر این، بسیاری از شاخص‌های دیگر توسط مطالعات بسیاری برای سنجنده‌ها و مناطق مختلف با دقت‌های مختلف عنوان شده‌است [۹ و ۱۰]. تاکنون، سنجش از دور با تهیه تعداد عظیمی از تصاویر که سطح زمین را در طی ۴۰ سال پوشش می‌دهند، به دستیابی به اطلاعات ارزشمند کمک کرده است. با این حال، به طور سنتی، جمع‌آوری و ذخیره‌سازی و پردازش داده‌ها در مقیاس بزرگ و در چارچوب داده‌های عظیم با موانعی همراه است. علاوه بر

^۴ Han-Qiu

^۵ Short-wave infrared

^۶ Modified Normalized Difference Water Index

^۷ Water Ratio Index

^۸ Shen

^۹ Feyisa

^{۱۰} Automated Water Extraction Index

^۱ McFeeters

^۲ Near infrared

^۳ Normalized Difference Water Index

ویلامیت در اورگان آمریکا تعیین کردند. نتایج نشان داد که کاهش مساحت تالاب پس از اجرای سیاست مربوط به تالاب در منطقه کنتر شده است که این امر بیانگر اهمیت تکنیک‌های کشف تغییرات برای بررسی اثربخشی سیاست‌های تالاب و تصمیمات مدیریتی می‌باشد [۱۴]. سارپ^۶ و همکاران (۲۰۱۷) با بکارگیری از شاخص‌های طیفی آب و طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان^۷ (*SVM*) تغییرات مکانی و زمانی در دریاچه بوردور از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۱ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نیز بر کارایی شاخص *MNDWI* و روش طبقه‌بندی *SVM* تأکید داشت [۱۶]. مهدیان پری و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر لندست، شاخص‌های طیفی و طبقه‌بندی جنگل‌های تصادفی^۸ در بستر محاسبات ابری *GEE*، ۳۰ سال تغییرات را در تالاب‌های سراسر استان نیوفاندلند ارزیابی کردند. تجزیه و تحلیل کشف تغییرات نشان می‌دهد در میان طبقه‌بندی کننده‌های مختلف، طبقه‌بندی جنگل تصادفی بالاترین دقیق را نسبت به سایر روش‌ها کسب کرده است. همچنین کلاس باتلاق و باتلاق و گیاه، متداول‌ترین کلاس‌های تالاب در تمام دوره‌های زمانی می‌باشد و تالاب‌های مردابی به ترتیب کمترین کلاس‌های تالاب در تمام دوره‌های زمانی هستند [۱]. در ایران نیز با هدف بررسی تغییرات پهنه‌های آبی، پژوهش‌هایی در مناطق تالاب هور العظیم [۱۷] و تالاب پور دختر [۱۸] صورت گرفته است. متداول‌ترین ابزار بررسی پهنه‌های آبی، شاخص‌های متعددی هستند که برای این کار تهیه شده‌اند. البته لازم به ذکر است اغلب شاخص‌های ارائه شده، برای آب خالص طراحی شده‌اند و در مواقعی که تالاب حاوی آب شور یا عمق کم باشد با ضعف‌هایی رو به رو می‌باشند. اگرچه شاخص‌هایی نیز

آن با توجه به ماهیت پویای اکوسیستم تالاب‌ها، انجام نمونه برداری از پوشش گیاهی متداول، آب و خاک برای نظارت بر تغییر تالاب با گذشت زمان دشوار و وقت گیر است و نیاز به کارهای میدانی گسترده و درگیری پایدار انسان در مناطق وسیع جغرافیایی دارد [۱۱].

اخیراً با در دسترس بودن سامانه گوگل ارث انجین^۹ (*GEE*)، یک سیستم عامل محاسبات ابری یکپارچه با دسترسی به تصاویر سنجش از دوری و پردازش داده‌های علوم زمین، امکان اعمال الگوریتم‌های کشف تغییرات در مقیاس‌های بزرگ منطقه‌ای و در رزولوشن‌های مکانی و زمانی مختلف فراهم شده است. *GEE* مشکلات سرعت محاسبات را حل می‌کند و مجموعه قابل دسترسی از محصولات آماده برای کاربردهای مختلف، از جمله مجموعه تصاویر لندست^{۱۰}، مجموعه داده‌های سنتینل^{۱۱} و سایر تصاویر فراهم می‌کند. علاوه بر آن با ارائه بسترهای برنامه‌نویسی در حوزه الگوریتم‌های طبقه‌بندی کلاسیک و ابزارهای پیشرفته یادگیری ماشین در کاربردهای نظریه تهیه نقشه پوشش گیاهی [۱۲]، نقشه‌های گسترش شهری و جمعیت [۱۳]، تشخیص مرز مناطق شهری [۱۴] مورد استفاده قرار گرفته است. در حوزه بررسی آب‌های سطحی و تالاب‌ها با استفاده از *GEE* پژوهش‌های بسیاری صورت گرفته است. کائو^{۱۲} و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از *GEE*، سری زمانی از تصاویر لندست و شاخص آب *MNDWI* خط ساحلی ماهانه در مجمع‌الجزایر رُوشان چین را مورد بررسی قراردادند [۱۵]. فیکاس^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از یک سری زمانی تصاویر ماهواره لندست تغییرات و نوع تبدیل مناطق تالاب‌ها را در دشت سیل رودخانه

^۱ Google Earth Engine

^۲ Landsat

^۳ Sentinel

^۴ Cao

^۵ Fickas

استفاده شده در پژوهش پرداخته می‌شود. همچنین مبانی نظری شاخص‌های مطرح شده در این پژوهش تشریح خواهد شد.

۱-۲- منطقه مورد مطالعه

تالاب میقان با وسعتی برابر ۴۶/۵ هزار هکتار در موقعیت جغرافیایی $^{\circ}34^{\circ}49'N$ $^{\circ}33^{\circ}44'E$ عرض شمالی و $^{\circ}49^{\circ}22'N$ $^{\circ}47^{\circ}17'E$ طول شرقی بین رشته‌کوه‌های زاگرس و کوه‌های ایران مرکزی واقع شده و تمام سطح آن در استان مرکزی قرارگرفته است. موقعیت مکانی تالاب در شکل (۱) نمایش داده شده است.

در سال‌های اخیر به دلیل برداشت ماده معدنی سولفات سدیم از جزیره مرکزی تالاب و عدم برگشت باطله‌های آن به نواحی برداشت شده، این بخش از تالاب به مساحت ۲۰۰ هکتار به صورت دریاچه دائمی درآمده است و به طور کلی سطح آبگیر آن ۱۲ هزار هکتار می‌باشد. در دوره مرطوب سال و به هنگام آبگیری تالاب عمق آن بین یک تا ۱/۵ متر در نوسان است و در فصل خشک سال عموماً آب آزاد تبخیر شده و سطح تالاب در نواحی عمیقتر به صورت باطلق و در اغلب مناطق به صورت نمک زار در می‌آید. این تالاب جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک به عنوان مرفوع ترین کویر در ایران می‌باشد که دارای پوشش گیاهی شور پسند و مهم‌ترین رویشگاه گیاه قره داغ می‌باشد [۲۱]

۲-۱- داده‌های مورد استفاده

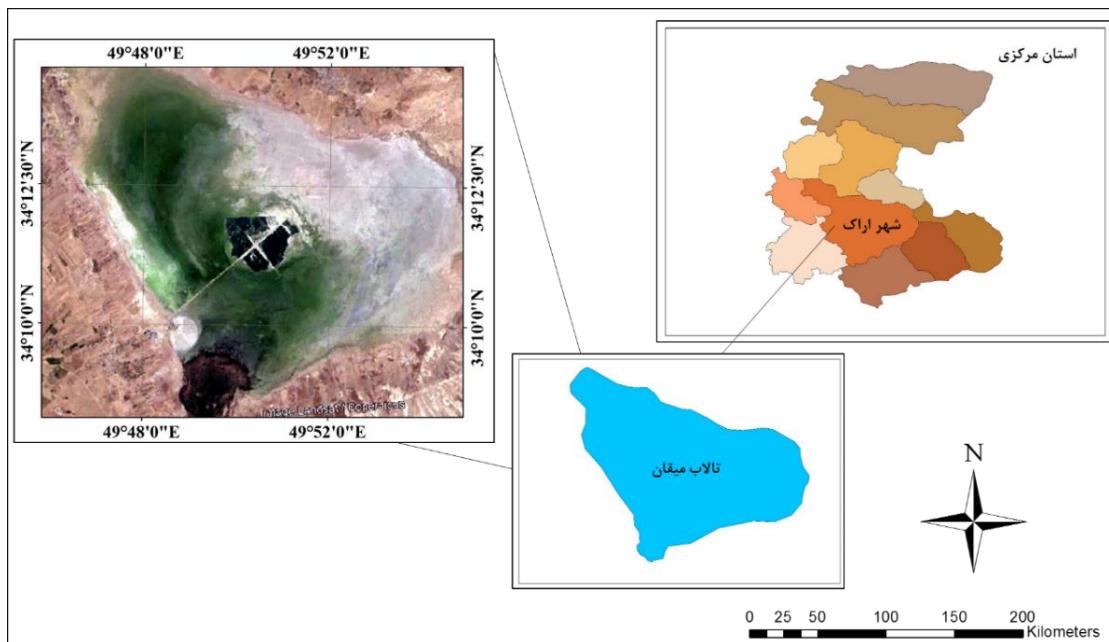
آب‌های سطحی در هر سال به طور مداوم تغییر می‌کنند، بنابراین برای به دست آوردن اطلاعات بیشتر در مورد روند تغییرات، از یک سری زمانی از تصاویر لندست ارائه شده توسط *GEE* از منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. داده‌های ماهواره لندست به دلیل رایگان و در دسترس بودن و استمرار در ثبت تصاویر در بازه زمانی ۵۰ ساله در بسیاری از پژوهش‌های تشخیص تغییرات مورد استفاده قرارگرفته است [۲۲].

برای شناسایی آب شور طراحی شده اما این شاخص‌ها به صورت ابتکاری و با تعیین ضرایب برای هر باند طراحی شده و از یک منطقه به منطقه‌ی دیگر ممکن است جواب متفاوتی داشته باشد [۱۹]. از این رو بررسی رفتار این شاخص‌ها در شرایط زمانی متفاوت که باعث ایجاد شرایط مختلف در عمق آب و میزان شوری آن می‌گردد و در نهایت انتخاب یک شاخص مناسب برای تالابی با عمق کم و آب شور و به دنبال آن یک حد آستانه مناسب، هدف اصلی این پژوهش می‌باشد. در ادامه پژوهش با استفاده از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و معیار صحت کلی دقت شاخص‌ها و روش طبقه‌بندی ارزیابی شده است.

در میان تالاب‌های ایران تالاب میقان اراک یکی از ۱۰ تالاب مهم کشور و از سرماهیه‌های زیستمحیطی استان مرکزی است که علاوه بر نقش قابل توجه در تنوع حوزه زیستی اثرات مستقیمی بر آب و هوای کلان‌شهر اراک و سلامتی شهر وندان دارد. تالاب میقان مهم‌ترین منطقه زمستان گذرانی درناهای معمولی در مرکز ایران است و همچنین زیستگاه مهم زمستان گذرانی سایر پرندگان آبزی مهاجر را فراهم می‌کند [۲۰]. تالاب میقان یکی از مهم‌ترین تالاب‌های ایران است که در سال‌های اخیر، تقریباً نیمی از آن خشک شده و علاوه بر به خطر انداختن محیط‌زیست پرندگان مهاجر، آسیب جدی دیده است. لذا مطالعه مقایسه‌ای این پژوهش روی این تالاب متمرکز شده است. در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های متعدد آب و تنظیم حد آستانه مناسب مطابق با دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی در بستر *GEE* به پایش تغییرات تالاب در طی ۳۵ سال گذشته پرداخته شده است. در نهایت رفتار شاخص‌های مورد آزمایش بررسی و گزارش شده است و همچنین صحت کلی شاخص‌ها نیز برآورده شده است.

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش به معرفی منطقه مورد مطالعه و داده‌های



شکل ۱: موقعیت مکانی تالاب میقان (زمستان ۱۳۹۹)

بررسی میزان تغییرات تالاب استفاده شده است. تصاویر اخذ شده از فضای ابری GEE به صورت تصحیح شده در بازه زمانی سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ می باشد. از میان ۴۹۶ تصویر ثبت شده در محدوده استان مرکزی ۳۷۰۰ تصویر در محدوده تالاب با پوشش ابری کمتر از ۱۵ درصد در بازه زمانی ۳۵ ساله در دسترس می باشد. جدول (۱) خلاصه مشخصات داده های استفاده شده در این پژوهش را نمایش می دهد.

در ادامه پژوهش به منظور بررسی میزان بارندگی در بازه زمانی ۳۵ ساله از محصول سنجش از دوری (CHIRPS) ایستگاهی کارگروه مخاطرات آب و هوایی^۵ (CHIRPS) استفاده شده است. داده های بارشی CHIRPS از ابتدای ژانویه ۱۹۸۱ تاکنون به صورت روزانه موجود است. محصول CHIRPS یک مجموعه داده بیش از سی سال بارندگی جهانی است و قدرت تفکیک مکانی آن در حدود ۰.۰۵ درجه آرک در مقیاس جهانی می باشد. محصول CHIRPS تنها اطلاعات خام ماهواره ای نبوده

سامانه GEE ابزاری برای پردازش مکانی با یک بستر ابری برای مطالعه و تفسیر محیط گستردگی شده است. GEE یک رابط کاربری گرافیکی مبتنی بر وب^۱ (GUI) می باشد که دسترسی به یک مجموعه ای از تصاویر سنجش از دوری و سایر مجموعه های داده را از طریق زیرساخت های محاسباتی گوگل فراهم می کند. برای زبان برنامه نویسی معروف جاوا^۲ و پایتون^۳، مجموعه های از رابطه های برنامه نویسی^۴ (API) و محیط های توسعه در دسترس هستند. این ویژگی های کلیدی، در صورت ترکیب، کاربران را قادر می سازد داده های بزرگ جغرافیایی در بازه زمانی طولانی را با روش های قدرتمند کشف، تفسیر و شبیه سازی کنند. در این پژوهش از تصاویر بازنگشتنی سطح ماهواره لندست ۵ سنجنده TM، ماهواره لندست ۷ سنجنده ETM+ و ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI با هدف

^۱ Graphical User Interface^۲ Java script^۳ Python^۴ Application Programming Interface^۵ The Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations

لازم به ذکر است که این محصول تنها برای بارندگی صفر میلی‌متر تا ۱۴۴۴/۳۴ میلی‌متر در روز اعتبار دارد [۲۳].

بلکه توسط ایستگاه‌های زمینی تلفیق شده است. محصول *CHIRPS* بیشتر برای اهداف پایش خشک‌سالی فصلی و تحلیل روند تهیه شده است.

جدول ۱: مشخصات داده‌های لندست *OLI* و *TM, ETM+*

بازه زمانی	ماهواره / سنجنده	تعداد تصاویر	طول موج (μm)	سطح ابر (%)
لندست ۵ سنجنده <i>TM</i>	۲۲۳	۱۹۸۵-۲۰۰۳	باند ۱: ۰/۴۵ - ۰/۵۲	< ۱۵
			باند ۲: ۰/۵۲ - ۰/۶۰	
			باند ۳: ۰/۶۳ - ۰/۶۹	
			باند ۴: ۰/۷۶ - ۰/۹۰	
			باند ۵: ۱/۵۵ - ۱/۷۵	
			باند ۶: ۲/۰۸ - ۲/۳۵	
			باند ۷: ۲/۰۹ - ۲/۳۵	
لندست ۷ سنجنده <i>ETM+</i>	۱۵۱	۲۰۰۳-۲۰۱۳	باند ۱: ۰/۴۵ - ۰/۵۱۵	< ۱۵
			باند ۲: ۰/۵۲۵ - ۰/۶۰۵	
			باند ۳: ۰/۶۳ - ۰/۶۹	
			باند ۴: ۰/۷۵ - ۰/۹۰	
			باند ۵: ۱/۵۵ - ۱/۷۵	
			باند ۶: ۲/۰۹ - ۲/۳۵	
			باند ۷: ۲/۰۹ - ۲/۳۵	
لندست ۸ سنجنده <i>OLI</i>	۱۲۲	۲۰۱۳-۲۰۲۰	باند ۱: ۰/۴۵ - ۰/۵۱۵	< ۱۵
			باند ۲: ۰/۵۲۵ - ۰/۶۰۵	
			باند ۳: ۰/۶۳ - ۰/۶۹	
			باند ۴: ۰/۷۵ - ۰/۹۰	
			باند ۵: ۱/۵۵ - ۱/۷۵	
			باند ۶: ۲/۰۹ - ۲/۳۵	
			باند ۷: ۲/۰۹ - ۲/۳۵	

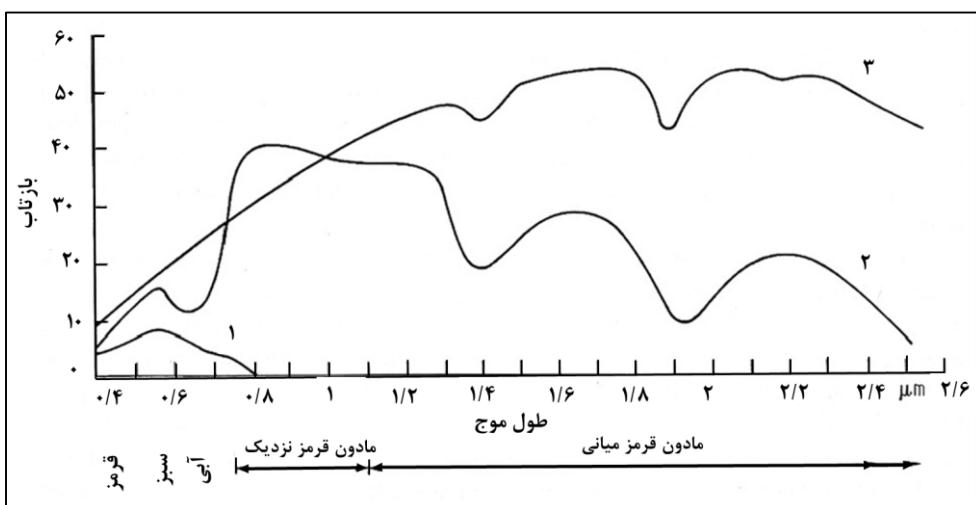
طیفی حاصل می‌شود. سپس با اعمال یک آستانه مناسب روی مقادیر شاخص، جداسازی پیکسل آب از سایر پوشش‌های زمین بر اساس ویژگی‌های طیفی انجام می‌شود. عملگرهای محاسباتی نه تنها با تقابل بازتاب بین طول موج‌های مختلف سیگنال‌های طیفی را بر جسته می‌کند، بلکه بخش بزرگی از نویزهای حاصل از تغییر وضعیت کالیبراسیون سنجنده و تغییر شرایط تابش ناشی از نور، خاک، توپوگرافی و شرایط جوی را در مناطق مختلف طول موج حذف می‌کند [۲۴]. شکل (۲) منحنی امضای طیفی آب، گیاه و خاک را نمایش می‌دهد.

۳-۲- شاخص‌های استخراج آب

اگرچه استفاده از روش‌های طبقه‌بندی به منظور استخراج پهنه‌های آبی روشی متداول و کارآمد محسوب می‌شود اما به دلیل این که تهیه داده آموزشی در یک سری زمانی از تصاویر و به دنبال آن طبقه‌بندی تصاویر در طول سری زمانی در بازه زمانی ۳۵ ساله فرایندی وقت‌گیر و در مقام اجرا بسیار سخت است؛ در این پژوهش از شاخص‌های استخراج آب استفاده شده است. مقادیر شاخص طیفی آب بیانگر یک عدد برای هر پیکسل است که از طریق یک رابطه (همانند نسبت، اختلاف و اختلاف نرمال شده) بین دو یا چند باند

انرژی الکترومغناطیس را حذف می‌کند، در حالی که اجسام غیر آب انرژی بیشتری را منعکس می‌کند. در مقابل در منحنی امضا طیفی آب باندهای آبی و سبز در مقایسه با باندهای دیگر بازتاب نسبتاً بالای دارند.

طراحی یک شاخص طیفی آب بر اساس این واقعیت است که آب در محدوده مادون قرمز نزدیک (طول موج بین $0.7\text{ }\mu\text{m}$ تا $1.3\text{ }\mu\text{m}$) و همچنین محدوده مادون قرمز میانی (طول موج بین $1.3\text{ }\mu\text{m}$ تا $3\text{ }\mu\text{m}$)



شکل ۲: منحنی امضا طیفی، (۱) آب، (۲) پوشش گیاهی، (۳) خاک [۲۵]

۲-۳-۲-شاخص اصلاح شده تفاضل نرمال شده آب (MNDWI)

شاخص *MNDWI* به عنوان یک شاخص قدرتمند در شناسایی پیکسل‌های آب ارائه شده است و به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطابق با رابطه (۲) در باند مادون قرمز میانی مقدار بازتاب آب معمولاً نزدیک به صفر می‌باشد. این موضوع اساس شاخص *MNDWI* را فراهم می‌کند. به این ترتیب مقادیر به دست آمده از سطوح آبگیر به دلیل انعکاس بالاتر آن‌ها در باند سبز، نسبت به مادون قرمز کوتاه مقادیر مثبتی *MNDWI* دارند و سطوح غیر آب دارای مقادیر منفی *MNDWI* هستند. یک مقدار حد آستانه برای *MNDWI* (به عنوان مثال، مقدار صفر) را می‌توان تنظیم کرد تا نتایج *MNDWI* را به دو کلاس آب و غیر آب تقسیم کند [۸].

$$\text{MNDWI} = \frac{\rho_{green} - \rho_{SWIR1}}{\rho_{green} + \rho_{SWIR1}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

مطابق با شکل (۲) برای آب خالص، زمانی که طول موج بیشتر از $0.74\text{ }\mu\text{m}$ باشد، تقریباً هیچ بازتابی وجود ندارد؛ بنابراین باند مادون قرمز نزدیک می‌تواند به طور کارآمد آب را از اجسام غیر آب تفکیک کند [۲۶]. در ادامه به بیان مبانی شاخص‌های استفاده شده در این پژوهش پرداخته خواهد شد.

۱-۳-۲-شاخص تفاضل نرمال شده آب (NDWI) شاخص *NDWI* برای شناسایی آب‌های سطحی در محیط تالاب و دیگر محیط‌ها، مطابق با رابطه (۱) پیشنهاد شده است. مقادیر مختلف بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک و باندهای سبز نشان‌دهنده مبنای *NDWI* می‌باشد. دامنه مقادیر این شاخص بین -1 و $+1$ می‌باشد که آب در این شاخص دارای مقادیر مثبت است [۷].

$$NDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{NIR}}{\rho_{green} + \rho_{NIR}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)، ρ_{green} و ρ_{NIR} به ترتیب بیانگر بازتابندگی باند مادون قرمز نزدیک و باند سبز می‌باشند.

حذف پیکسل های سایه و بارز سازی بیشتر پهنه های آبی ارائه شده است. نحوه محاسبات $AWEI_{nsh}$ و $AWEI_{sh}$ به صورت روابط (۳) و (۴) نمایش داده شده است. [۲۷]. در رابطه (۳)، ρ_{SWIR1} بیانگر بازتاب باند مادون قرمز موج کوتاه در محدوده موج ۱/۵ تا ۱/۷ میکرومتر و ρ_{SWIR2} بیانگر بازتاب باند مادون قرمز موج کوتاه در محدوده طول موج ۲/۱ تا ۳/۲ میکرومتر می باشد [۲۸]. شاخص $AWEI_{nsh}$ بیشتر مربوط به مناطق شهری است ولی در مقام مقایسه و ارزیابی پتانسیل های موجود، در تحقیق حاضر مورد استفاده و آزمایش قرار گرفته است.

$$AWEI_{sh} = \rho_{green} + \rho_{blue} \times 0.25 - 1.5 \times (\rho_{NIR} + \rho_{SWIR1}) - 0.25 \times \rho_{SWIR2}$$

رابطه (۳)

$$AWEI_{nsh} = 4 * (\rho_{green} - \rho_{SWIR1}) - (0.25 * \rho_{NIR} + 2.75 * \rho_{SWIR2})$$

رابطه (۴)

گیاهی را به راحتی از پس زمینه تشخیص داد.
 $NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}}$ رابطه (۶)
 در مقابل با توجه به امضای طیفی آب، بازتاب باند مادون بسیار کمتر از بازتابندگی باند قرمز می باشد؛ بنابراین توسط این شاخص آب با مقادیر منفی نمایش داده می شود [۲۹].

۳- روش تحقیق

برای استخراج پهنه های آب از تصاویر ماهواره ای، می توان از روش های مختلفی مانند شاخص های طیفی، طبقه بندی و قطعه بندی استفاده کرد. استفاده از شاخص های طیفی یکی از آسان ترین و رایج ترین روش ها برای استخراج آب از تصاویر ماهواره ای می باشد. البته تعیین مقدار حد آستانه می تواند مشکل ساز و وقت گیر باشد. در این پژوهش مطابق با جدول (۲) شاخص تفاضل نرمال شده گیاه ($NDVI$)، تفاضل نرمال شده آب ($NDWI$)، شاخص اصلاح شده تفاضل نرمال شده آب ($MNDWI$)، شاخص نسبت آب (WRI) و شاخص اتماتیک جداسازی آب ($AWEI_{sh}$, $AWEI_{nsh}$)

($AWEI$) شاخص اتماتیک جداسازی آب (۲-۳-۳). شاخص استخراج خودکار آب برای شناسایی پیکسل های آب از سایر کاربری ها توسعه یافته است. هدف اصلی $AWEI$ به حداکثر رساندن تفکیک پذیری پیکسل های آب و غیر آب با استفاده از تفاضل، جمع و اعمال ضرایب مختلف در باندها می باشد. بر این اساس، دو رابطه جداگانه برای برطرف کردن پیکسل های تیره و شناسایی سطوح آبی با دقت بالا در مناطق شهری و کوهستانی پیشنهاد شده است. به این ترتیب شاخص استخراج آب در مناطق شهری $AWEI_{nsh}$ برای تفکیک پیکسل های آبی از سطوح ساخته شده شهری و شاخص $AWEI_{sh}$ با هدف استخراج آب در مناطق سایه دار و

۴-۳-۴- شاخص نسبت آب (WRI)

از آنجا که بازتاب طیفی آب در باندهای سبز و قرمز در مقایسه با مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی غالب است شاخص WRI به صورت رابطه (۵) ارائه شده است. این شاخص تأثیر سطوح ساخته شده شهری، برف انباسته شده و سایه کوه را در مقایسه با $NDWI$ از بین می برد. به صورت پیش فرض مقادیر بیشتر از مقدار یک، بیانگر پیکسل آب می باشد [۹].

$$WRI = \frac{\rho_{green} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR1}}$$
 رابطه (۵)

۵-۳-۲- شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی^۱ (NDVI)

همان طور که در رابطه (۶) نشان داده شده است، شاخص $NDVI$ ، مبتنی بر این واقعیت است که بازتابندگی پوشش گیاهی در باند مادون قرمز نزدیک بیشتر از باند قرمز می باشد؛ بنابراین، می توان پوشش

^۱ Normalized Difference Vegetation Index

جدول(۲) مشخصات شاخص‌های استفاده شده در این پژوهش را نمایش می‌دهد.

برای استخراج آب‌های سطحی از داده‌های لندست مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول ۲ : شاخص‌های طیفی استفاده شده برای استخراج پهنه‌های آبی تالاب

نام شاخص	روابط	توضیحات	مرجع
شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی	$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$	مقادیر منفی شاخص بیانگر آب است.	[۳۰]
شاخص تفاضل نرمال شده آب	$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$	مقادیر مثبت شاخص بیانگر آب است.	[۷]
شاخص اصلاح شده تفاضل نرمال شده آب	$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR)$	مقادیر مثبت شاخص بیانگر آب است.	[۳۱]
شاخص اتوماتیک جداسازی آب	$AWEI_{nsh} = 4 \times (Green - SWIR1) - (0.25 \times NIR + 2.75 \times SWIR2)$ $AWEI_{sh} = Green + Blue \times 0.25 - 1.5 \times (NIR + SWIR1) - 0.25 \times SWIR2$	مقادیر مثبت شاخص بیانگر آب است.	[۲۷]
شاخص نسبت آب	$WRI = (Green + Red) / (NIR + MIR)$	مقادیر بزرگتر از یک در تصویر شاخص بیانگر آب است.	[۹]

برای همه تصاویر سری زمانی امری چالش‌برانگیز است. طبق بررسی‌های انجام شده مقادیر حد آستانه در زمان‌های ترسالی و خشک‌سالی متغیر می‌باشد. به همین منظور مجموعه تصاویر استفاده شده در این پژوهش به دو بخش تصاویر در سال‌های خشک و سال‌های پر آب تقسیم شده است؛ و برای هر دسته یک حد آستانه جداگانه تنظیم شده است. برای تعیین سال‌های ترسالی و خشک‌سالی از شاخص $NDWI$ استفاده شد و با کمک یک حد آستانه کلی، مساحت‌های تالاب در بازه‌ی زمانی به طور تقریبی تعیین گشت. پس از آن تصویرهای با مساحت‌های آب کمتر از ۵۰۰ هکتار، به عنوان مجموعه تصاویر با سطح آب کاهش یافته و خشک‌سالی انتخاب شده است و تصاویری که مساحت پهنه آبی تالاب بیشتر از ۵۰۰ هکتار است به عنوان تصاویر سطح آب بالا و ترسالی در یک مجموعه قرار داده شده است. سپس برای هر مجموعه مجدد شاخص‌ها اعمال شده و حد آستانه

برای تفسیر بصری از سطوح آب، باند مادون‌قرمز نزدیک معمولاً ترجیح داده می‌شود، زیرا این باند به شدت توسط آب جذب و توسط گیاهان زمینی و خاک خشک منعکس می‌شود. همچنین برای استخراج سطوح آبگیر توسط شاخص‌های آب، لازم است حد آستانه‌ای تعیین شود که مرز بین آب و سایر عوارض تصویر را مشخص کند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که حد آستانه شاخص‌ها به نوع و شرایط منطقه مورد مطالعه نیز بستگی دارد. با توجه به آزمایشات انجام شده در موارد خاص هنگامی که آب خالص نیست و عمق پهنه آبی تالاب کم است، استفاده از روش‌های اتوماتیک تعیین حد آستانه همانند روش حد آستانه گذاری اتسو (*Outso*) با جواب‌های صحیحی همراه نیستند [۳۲ و ۳۳]؛ بنابراین در این پژوهش پس از تهیه نقشه‌های باینری ایجاد شده توسط شاخص‌ها و مطابقت آن با تصویر لندست حد آستانه بهینه از طریق آزمون و خطای تعیین شده است. تعیین یک حد آستانه

بررسی تصاویر مربوطه و بررسی مقادیر شاخصها تعیین گردیده اند، برای دو مجموعه تصاویر مشاهده می‌شود. در ادامه به منظور بررسی ارتباط بین شاخص‌ها در بازه زمانی ۳۵ ساله و همچنین در دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی ضریب همبستگی بین تصاویر باینتری حاصل شده توسط شاخص‌ها محاسبه شده است. به واسطه برآورد همبستگی متقابل بین تمام شاخص‌ها می‌توان ارتباط بین شاخص‌ها را در برآورد پهنه‌های آبی در زمان‌های مختلف مورد بررسی قرار داد.

مناسب تعیین شده است. برای صحبت‌سنجی این روش و تعیین سال‌های خشک‌سالی و ترسالی از شاخص خشک‌سالی *TCI* و میانگین بارش ماهانه نیز استفاده شده است. به بیانی دیگر برای قرار دادن تصویر در مجموعه تصاویر خشک‌سالی شاخص *TCI* در آن تصویر محاسبه و بررسی شده است که مقداری کمتر از عدد ۱۰ داشته باشد و متقابلاً بارندگی در آن زمان کمتر از میزان مشخصی باشد. در جدول (۳) حد آستانه‌های مناسب که بر اساس

جدول ۳: حد آستانه بهینه شاخص‌ها

نام شاخص	حد آستانه در تصاویر خشک‌سالی	حد آستانه در تصاویر ترسالی
<i>NDVI</i>	۰,۰۰۶<-	۰,۰۶<-
<i>NDWI</i>	۰,>	۰,۰۸>
<i>MNDWI</i>	۰,۵۷>	۰,۸۱۱>
<i>AWEI_{nsh}</i>	۰,۴۳۲>	۰,۳۵۸>
<i>AWEI_{sh}</i>	۰,۲۴>	۰,۲۸>
<i>WRI</i>	۱,۸۵>	۲,۰۵>

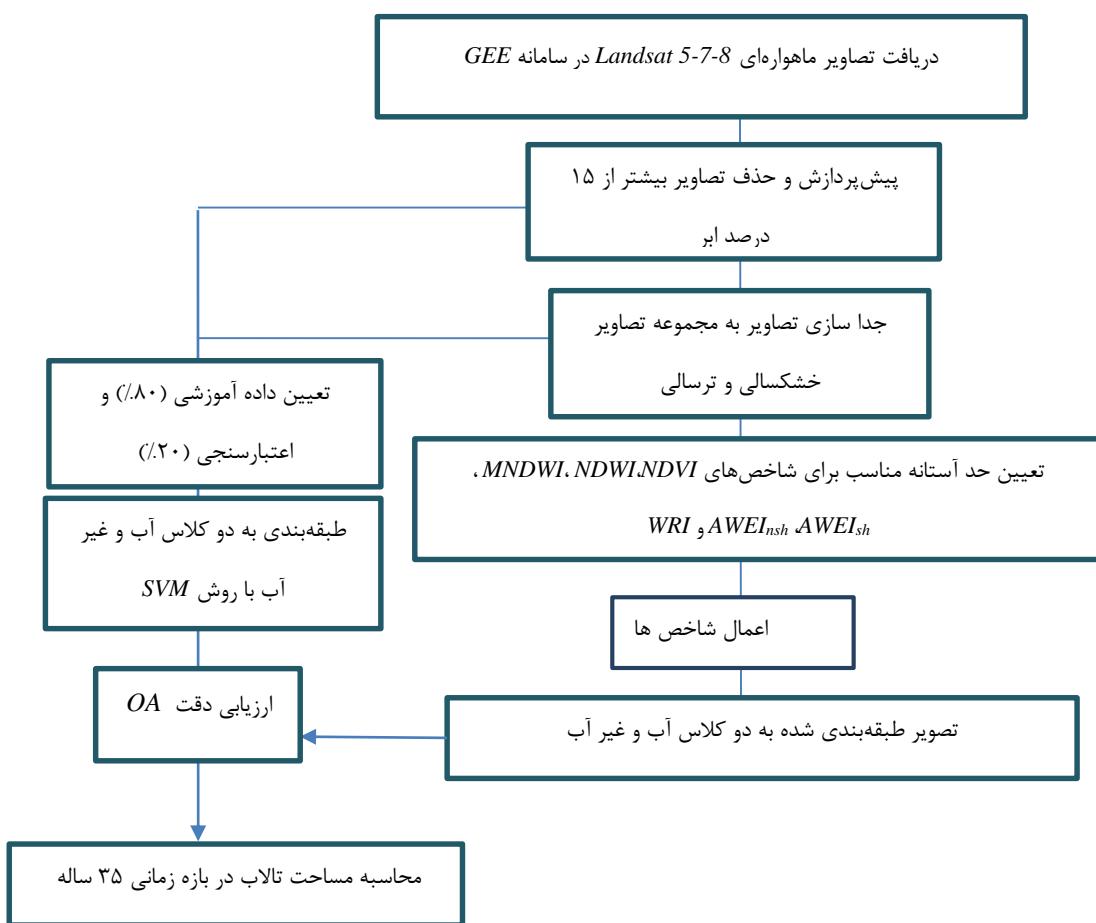
طبقه‌بندی یادگیری ماشین به صورت نظرات شده است. ایده اصلی روش تعیین یک ابر صفحه (مرز) است که داده‌های متعلق به دو کلاس را به طور بهینه از یکدیگر متمایز می‌کند. از جمله قابلیت‌های ماشین بردار پشتیبان، توانایی غلبه بر مشکل توزیع غیر خطی داده‌های آموزشی می‌باشد [۱۶]. به منظور تعیین پارامترهای بهینه، مدل طبقه‌بندی با پارامترهای نوع کرنل (شعاعی و یا خطی) به همراه ضریب گاما در مقادیر صفت‌ایک و پارامتر جرمیه جمله خطای (c) با مقادیر (۱۰، ۱۰۰، ۰,۱) آزمایش شده است تا به این ترتیب دقت مدل با پارامترهای مختلف ارزیابی شود [۳۴]. لازم به ذکر است که برای بهینه‌سازی پارامترها ابتدا مقادیر آن در یک بازه‌ی بزرگ انتخاب و پس از پیدا کردن محدوده تقریبی جواب‌ها، بازه کوچک‌تری تعیین شده است.

۳-۱- ارزیابی دقت با استفاده از طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان اعمال شاخص و آستانه گذاری و تفسیر بصری به تنهایی نمی‌تواند معیاری برای ارزیابی شاخص‌ها باشد. لذا در این پژوهش از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان نیز جهت مقایسه استفاده شده است. همچنین به دلیل حجم بالای داده در بازه زمانی ۳۵ سال، امکان استخراج پهنه آبی و محاسبه مساحت با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی برای تمام تصاویر بازه زمانی میسر نمی‌باشد. بنابراین در این پژوهش در دو تصویر از مجموعه تصاویر خشک‌سالی و ترسالی تالاب، پهنه آبی استخراج شده توسط شاخص‌ها و طبقه‌بندی *SVM* مقایسه شده است تا عملکرد شاخص‌ها در مقایسه با روش طبقه‌بندی ارزیابی شوند. ماشین بردار پشتیبان نیز از جمله الگوریتم‌های

تفسیر بصری تصاویر اصلی متعدد و تصاویر گوگل ارث می‌باشد. در این داده اعتبارسنجی از تعداد ۴۵۰ نقطه برای کلاس آب و غیر آب استفاده شده است. همچنین در این پژوهش به منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی *Overall* تصویر از معیار ارزیابی صحت کلی (*Accuracy*) استفاده شده است. صحت کلی با تقسیم مجموع درایه‌های قطر اصلی ماتریس خطاب به تعداد کل نمونه‌ها به دست می‌آید. فلوچارت مراحل انجام تحقیق در شکل (۳) مشاهده می‌شود.

در نهایت با استفاده ازتابع کرنل گوسی شعاعی (*Radial basis function*) با ضریب گاما برابر مقدار عددی 0.5 و پارامتر c برابر عدد 10 بالاترین دقت کلی حاصل شده است. همچنین پیاده‌سازی طبقه‌بندی کننده و فرایند آموزش و ارزیابی روش‌ها در سامانه *GEE* انجام پذیرفته است.

داده‌های اعتبارسنجی برای ارزیابی صحت استخراج پنهان آبی از طریق روش استفاده از شاخص‌های آب و طبقه‌بندی *SVM* شامل داده‌های واقعی اخذ شده از



شکل ۳: فلوچارت روش کار

در یک تصویر از مجموعه تصاویر خشکسالی و ترسالی پرداخته شده است. سپس به منظور بررسی عملکرد شاخص‌های استخراج آب، نتایج شاخص‌ها با یک روش طبقه‌بندی مقایسه شده است. در ادامه به تحلیل

۴- بررسی نتایج

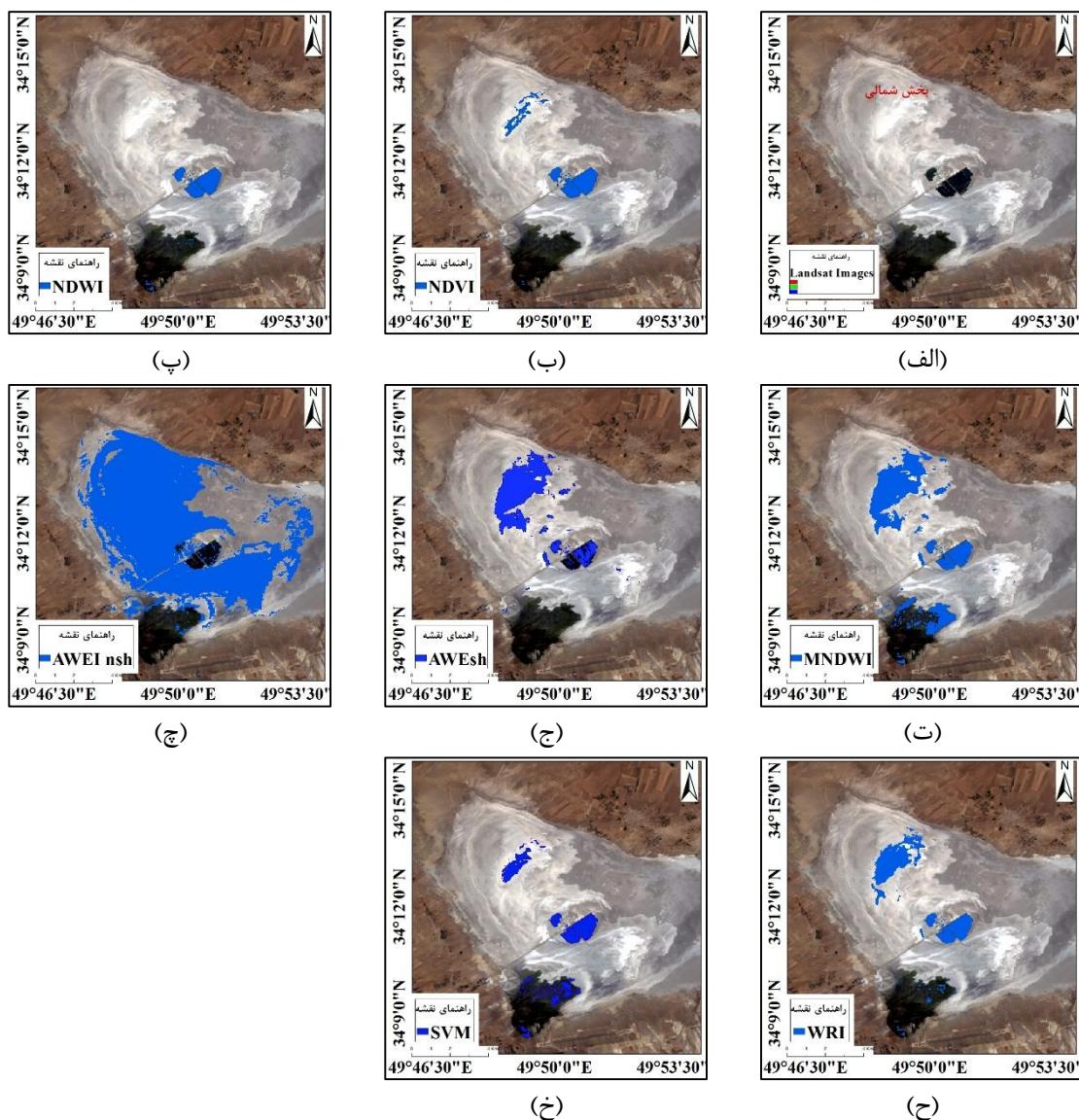
در این بخش نتایج از دیدگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ابتدا به بررسی کلی نتایج استخراج پنهان آبی به صورت بصری توسط روش‌های ذکر شده

شاخص‌های آب در جداسازی پیکسل‌های آب از پوشش‌های دیگر و مخصوصاً نمک، یک تصویر از تالاب مربوط به زمان خشکسالی در تاریخ ۲۰۱۴/۰۷/۰۸ که انتخاب شده است. نتایج اعمال شاخص‌های مختلف در شکل (۴) مشاهده می‌شود.

رفتار مقادیر شاخص‌ها و استخراج پهنه آبی در بازه زمانی ۳۵ ساله پرداخته شده است.

۱-۴- بررسی کلی

پس از اعمال شاخص‌ها و تعیین حد آستانه مناسب برای مجموعه تصاویر در زمان‌های ترسالی و خشکسالی مساحت‌های تالاب در بازه‌ی زمانی ۳۵ ساله استخراج شده است. به منظور بررسی عملکرد



شکل ۴: مقایسه نتایج اعمال شاخص‌های مختلف در استخراج پهنه آبی تالاب در وضعیت کم آبی: (الف) تصویر لندست ۸ (ترکیب رنگی باند ۴-۳-۲) در تاریخ: ۲۰۱۴/۰۷/۰۸، (ب) شاخص $NDWI$ ، (ب) شاخص $NDVI$ ، (ت) شاخص $MNDWI$ ، (ج) شاخص $AWEI_{sh}$ ، (ج) شاخص $AWESh$ ، (ح) شاخص WRI ، (ح) شاخص SVM

داشته‌اند. همچنین شاخص $AWEI_{nsh}$ ناتوان از استخراج پهنه آب به صورت کامل می‌باشد. تصویر طبقه‌بندی شده توسط SVM علاوه بر اینکه جاده‌ی منتهی بخش مرکزی به درستی متمایز شده، مرز آبی تالاب منظم‌تر استخراج شده است. به طورکلی در دوره تراسالی که سطح تالاب را آب فراگرفته اگرچه آب تالاب میقان آغشته به نمک است اما شاخص‌ها به خوبی توانسته‌اند مساحت تالاب را استخراج کنند.

۲-۴- مقایسه شاخص‌ها با نتایج طبقه‌بندی
به منظور مقایسه نتایج حدآستانه گذاری روی شاخص‌های مورد آزمون، در این پژوهش از طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیان نیز به عنوان روش مقایسه‌ای استفاده شده است. با توجه به اینکه دقت روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده به مراتب بیشتر از روش‌های مبتنی بر آستانه سازی شاخص‌ها می‌باشد، نتایج روش طبقه‌بندی می‌تواند مبنای مناسبی جهت بررسی و مقایسه قدرت و دقت روش‌های نظارت شده و شاخص‌های مورد استفاده باشد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که داده‌های اعتبارسنجی برای ارزیابی دقت روش نظارت شده طبقه‌بندی SVM و روش‌های نظارت‌نشده شاخص‌ها، کاملاً یکسان در نظر گرفته شده است. صحت کلی و مساحت‌های به دست آمده از شاخص و طبقه‌بندی در دو تصویر در دوره‌ی خشک‌سالی و تراسالی در جدول (۴) نمایش داده شده است.

بالاترین و پایین‌ترین صحت کلی مربوط به روش طبقه‌بندی SVM با صحت کلی ۹۹/۶۸ و شاخص AWE_{nsh} با صحت کلی ۵۳/۵۹ می‌باشد. همچنین دو شاخص $MNDWI$ و WRI با صحت کلی ۹۵/۷۷ و ۹۹/۰۴ و ۹۸/۵۲ برای تصویر دوره خشک‌سالی و ۹۹/۵۷ برای تصویر دوره تراسالی بهترین نتایج را به دست آورده‌اند. مساحت به دست آمده از این دو شاخص نیز بسیار نزدیک به روش طبقه‌بندی SVM می‌باشد. در دوره خشک‌سالی $NDVI$ عملکرد بهتری از $NDWI$ داشته است و در شکل (۴-پ) واضح است که

مطابق با شکل (۴-الف) عمدۀ سطح تالاب را دریاچه نمک تشکیل داده و تنها بخش مرکزی حاوی آب و در بخش شمالی حاوی کمی رطوبت می‌باشد. علاوه بر آن در قسمت‌های حاوی آب نیز پیکسل‌ها خالص نیستند و مقدار عددی $NDVI$ بالاتر از $۰/۳$ در محدوده پایین حاشیه‌ای تالاب بیانگر این است که پیکسل‌های آب، مخلوط با گیاه می‌باشند.

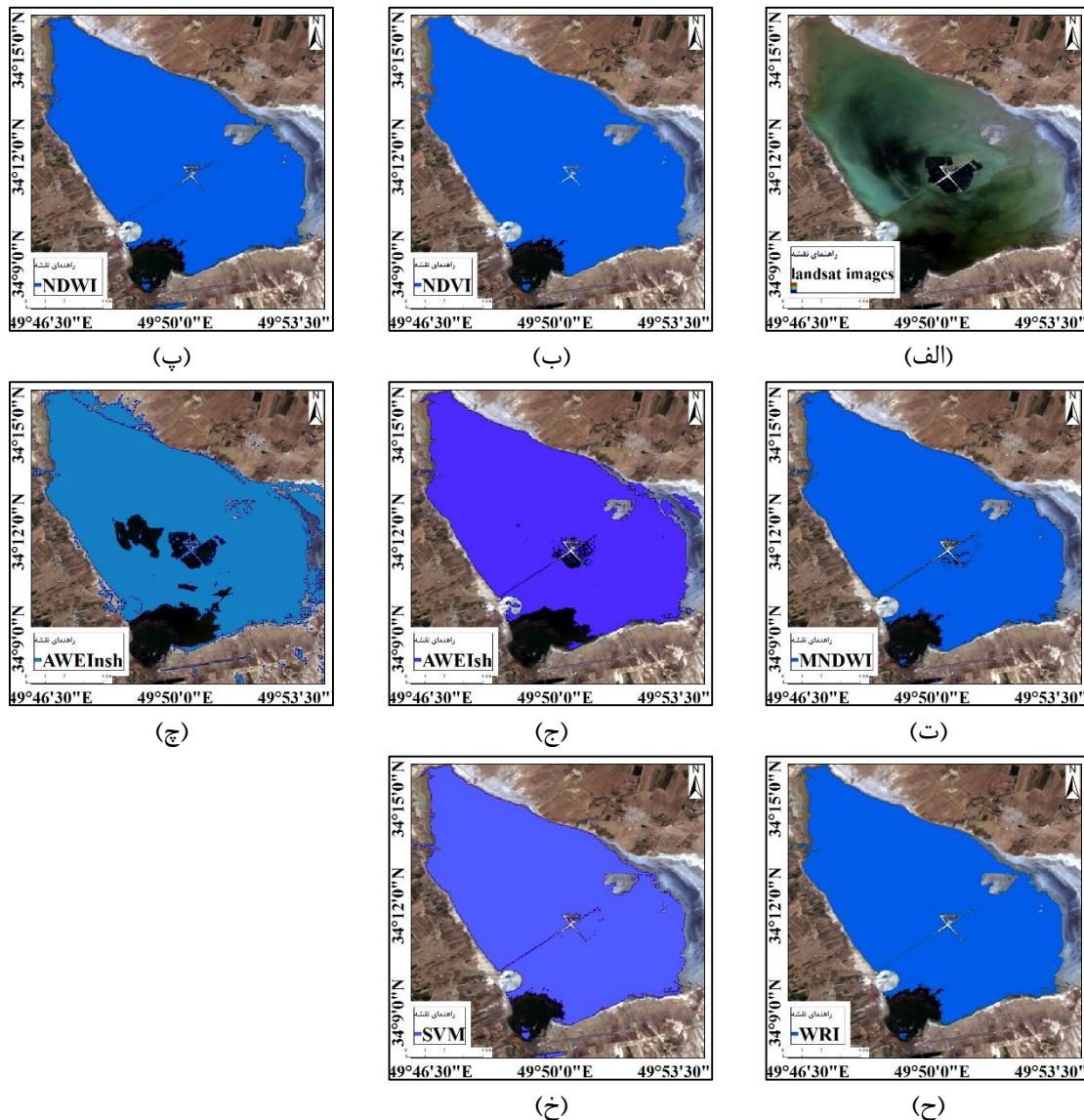
بخشی از قسمت حاشیه‌ای جنوبی توسط شاخص $MNDWI$ به عنوان پهنه آب تشخیص داده شده است. با توجه به شکل (۴) قسمت (ت) و (ح) بخش دائمی $MNDWI$ تالاب در قسمت شمال غربی توسط شاخص WRI و به درستی استخراج شده است. برخی از مناطق حاوی نمک نیز توسط شاخص $AWEI_{nsh}$ به عنوان پهنه آب تشخیص داده شده است و در این صورت مساحت پهنه آبی بیشتر از مقدار واقعی تخمین زده می‌شود. با اعمال شاخص $AWEI_{sh}$ نیز بخش‌های مرکزی کاملاً استخراج نشده است و مساحت تالاب بیشتر از روش طبقه‌بندی می‌باشد اما عملکرد بسیار بهتری از $AWEI_{nsh}$ داشته است. بررسی دیگر تصاویر در دوره خشک‌سالی حاکی از تأیید این موضوع است که در هنگام خشک بودن سطح تالاب یا آغشته بودن آب تالاب به نمک، استفاده از برخی شاخص‌ها برای تعیین مساحت تالاب مناسب نمی‌باشد و باید در انتخاب شاخص و تعیین حد آستانه مناسب دقت لازم را به عمل آورد.

به منظور ارزیابی جامع‌تر یک تصویر در تاریخ ۱۴۰۰/۰۶/۲۰ از مجموعه تصاویر در زمان تراسالی انتخاب شده و پهنه آبی تالاب به وسیله اعمال شاخص‌های ارائه شده استخراج شده است. نتایج اعمال شاخص‌ها و استخراج پهنه‌های آبی در یک تصویر در زمان تراسالی در شکل (۵) مشاهده می‌شود.

مطابق با شکل (۵) توسط شاخص $MNDWI$ و WRI و روش طبقه‌بندی به درستی جاده منتهی به قسمت مرکزی تالاب از پهنه‌ی آبی متمایز شده است. شاخص‌های $NDVI$ و $NDWI$ نیز عملکرد کاملاً مشابهی

خشکسالی نزدیک به نتایج روش طبقه‌بندی *SVM* خشکسالی نزدیک به نتایج روش طبقه‌بندی *SVM* می‌باشد.

قسمت شمالی تالاب توسط شاخص *NDWI* استخراج نشده است. صحت کلی شاخص *WRI* در دوره



شکل ۵: مقایسه نتایج اعمال شاخص‌های مختلف در استخراج پهنه آبی تالاب در وضعیت پر آبی: (الف) تصویر لندست ۸ (ترکیب رنگی باند ۲-۳-۴) در تاریخ: ۱۴۰۰/۰۶/۰۲، (ب) شاخص *NDVI*، (پ) شاخص *NDWI*، (ت) شاخص *MNDWI*، (ج) شاخص *AWEIsh*، (د) شاخص *SVM*، (ه) شاخص *WRI*، (چ) طبقه‌بندی *SVM*، (ح) طبقه‌بندی *AWEIsh*

جدول ۴: ارزیابی دقت و مساحت پهنه آبی استخراج شده

روش استخراج پهنه آبی	معیار % OA (تصویر دوره پرآبی)	مساحت (تصویر دوره پرآبی)	معیار % OA (تصویر دوره خشک‌سالی)	مساحت (تصویر دوره خشک‌سالی)
<i>SVM</i>	۹۹,۶۸	۸۵۰۰	۹۹,۰۱	۳۰۵
<i>NDVI</i> شاخص	۹۶,۱۱	۸۴۱۶	۹۵,۵۵	۲۱۹
<i>NDWI</i> شاخص	۹۶,۴۹	۸۳۶۱	۹۳,۱۰	۱۷۱
<i>MNDWI</i> شاخص	۹۹,۰۴	۸۵۶۷	۹۵,۷۷	۲۷۵
<i>AWE_{nsh}</i> شاخص	۵۳,۵۹	۹۵۰۷	۴۸,۷۶	۴۲۱۶
<i>AWE_{sh}</i> شاخص	۹۱,۷	۸۷۵۴	۸۹,۱۲	۵۳۰
<i>WRI</i> شاخص	۹۹,۵۷	۸۴۷۰	۹۸,۵۲	۲۹۸

تعیین پهنه آبگیر با دیگر شاخص‌ها یکی نیست و این شاخص رفتاری متفاوت با دیگران در منحنی‌های بیشینه و کمینه مقدار سطح آب دارند. البته در منحنی میانگین رفتار شاخص $AWEI_{nsh}$ به شاخص‌های دیگر نزدیک شده است. یکی دیگر از نکات جالب قابل مشاهده در منحنی‌های شکل (۶) شباهت رفتار شاخص *NDVI* که در اصل یک شاخص گیاهی است، به رفتار منحنی‌های شاخص‌های مخصوص آب نظیر *WRI* و *NDWI* می‌باشد. این نشان می‌دهد که در صورت تعیین درست مقدار حد آستانه، این شاخص علاوه بر تشخیص پهنه‌های مربوط به پوشش گیاهی، پهنه‌های آبی را نیز در مقایسه با شاخص‌های طراحی شده برای استخراج آب، می‌تواند تشخیص دهد. بیشینه متوسط مقدار مساحت آب در سال مطابق منحنی مقادیر میانگین در سال (شکل ۶-الف) برای همه شاخص‌ها حدود ۵۰۰۰ هکتار در سال‌های ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ به دست آمده است. در واقع میانگین‌گیری باعث می‌شود که رفتار شاخص‌ها به یکدیگر نزدیک شود و این امری است که اعداد و ارقام نیز آن را تأیید می‌کنند.

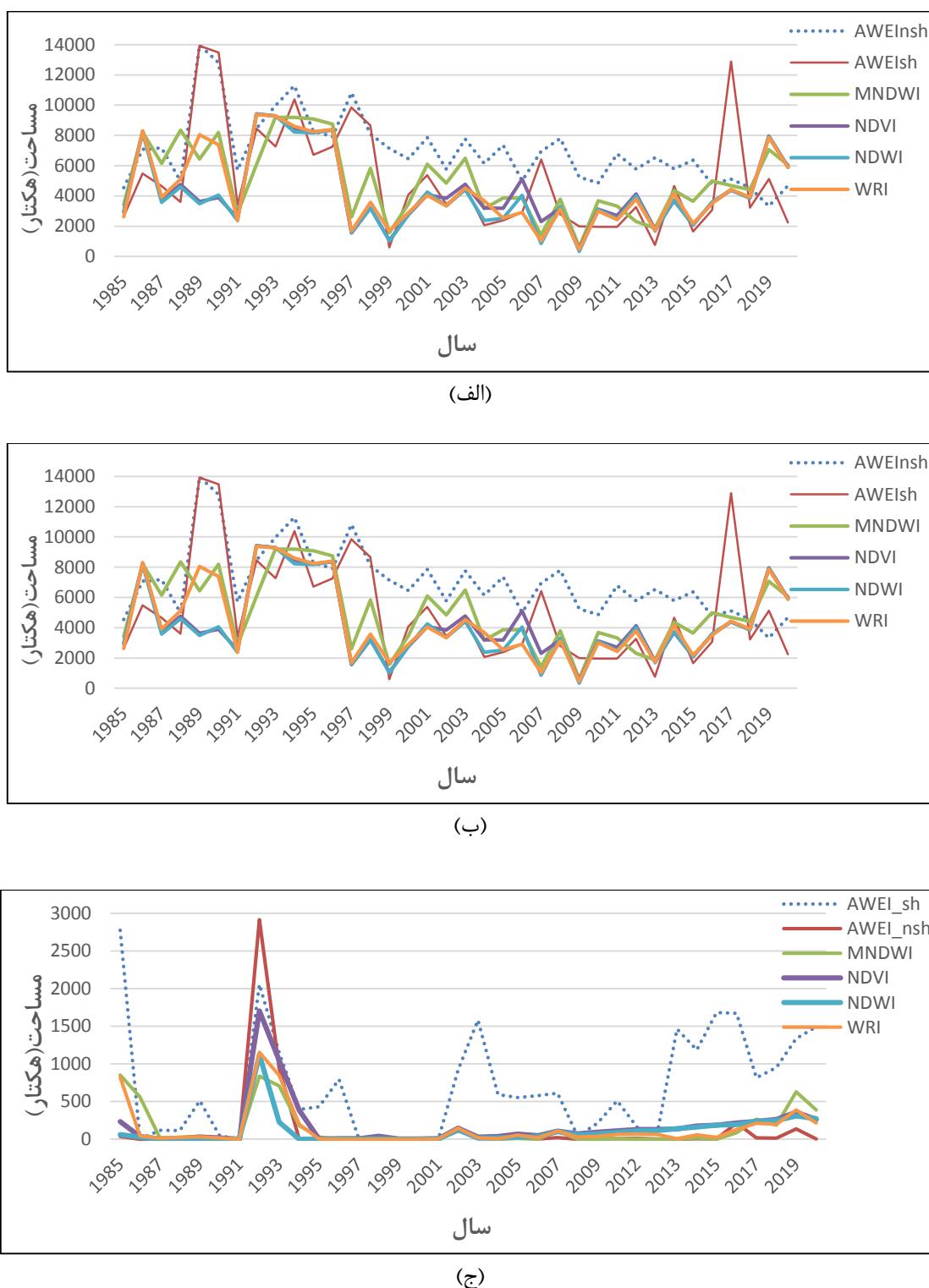
با مقایسه صحت کلی شاخص‌ها و روش طبقه‌بندی حد آستانه‌های انتخاب شده برای استخراج پهنه آبی تالاب در منطقه مورد مطالعه، مطلوب ارزیابی می‌شوند. بنابراین می‌توان مساحت‌های به دست آمده از طریق شاخص‌ها را در بازه زمانی ۳۵ ساله مورد ارزیابی و بررسی قرارداد.

۳-۴- بررسی داده‌ها در طول زمان

در این بخش به بررسی تغییرات مساحت تالاب در بازه زمانی سه دهه اخیر پرداخته می‌شود.

شکل (۶) نمودار تغییرات مساحت پهنه آبی تالاب استخراج شده توسط شاخص‌های ذکر شده طی دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ را نمایش می‌دهد. برای حذف مساحت‌های استخراج شده نادرست و نمایش بهتر روند تغییرات از میانگین مساحت‌ها در هر سال استفاده شده است ((شکل ۶-الف)). همچنین بیشترین و کمترین مساحت پهنه آبی توسط هر شاخص در هر سال نیز در شکل (۶) نمایش داده شده است.

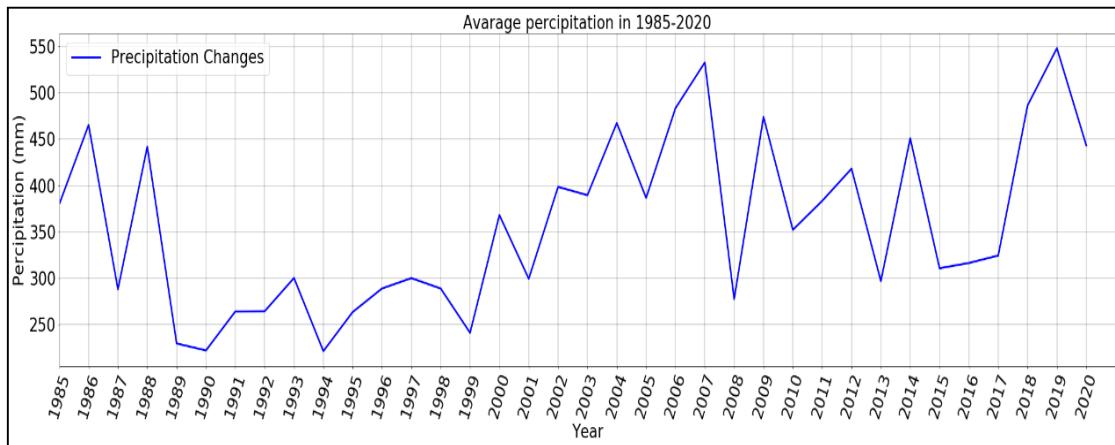
اگر مینا را کمترین مقدار سطح آب در نمودار بیشینه مقدار آب در سال (شکل ۶-ب) در نظر بگیریم، کمترین سطح آب در سال ۲۰۱۹ برای شاخص $AWEI_{sh}$ در سال ۱۹۹۹ برای شاخص $AWEI_{nsh}$ و در سال ۲۰۰۹ برای ۴ شاخص باقیمانده تشخیص داده شده است. در واقع رفتار شاخص‌های $AWEI_{nsh}$ در



شکل ۶: نمودار تغییرات مساحت تالاب در بازه‌ی زمانی سی و پنج ساله بر اساس شاخص‌های *NDWI*, *NDVI*, *WRI*, *AWEI_{sh}*, *AWEI_{nsh}* و *MNDWI*.

شاخص تشخیص آب باید محتاط بود و حتماً باید از چند شاخص به طور همزمان استفاده نمود. کمترین متوسط مقدار مساحت آب در سال ۲۰۰۹ (شکل ۶-الف) مطابق منحنی مقادیر میانگین در سال (شکل ۶-الف) کمتر از ۲۰۰ هکتار برای همه شاخص‌ها به دست آمده است. به منظور بررسی مقایسه‌ای نتایج شاخص‌های مختلف، نمودار میزان بارندگی سالیانه داده CHIRPS در شکل (۷) ارائه شده است.

شاخص $AWEI_{nsh}$ میانگین مقادیر را نیز تقریباً همیشه از دیگر شاخص‌ها بیشتر محاسبه می‌کند که این نشان از برآورد نادرست این شاخص در چنین پهنه‌هایی دارد. این در حالی است که بیشترین مقادیر مساحت آب مطابق منحنی مقادیر بیشینه در سال (شکل ۶-ب) با دو شاخص $AWEI_{sh}$ و $AWEI_{nsh}$ حدود ۱۴۰۰ هکتار و در سال ۱۹۸۹، حدود ۹۰۰ هکتار در سال ۱۹۹۲ برای ۴ شاخص دیگر به دست آمده است. این تفاوت زیاد در آمار، هشداری جدی است که در انتخاب



شکل ۷: نمودار تغییرات بارش باران در بازه زمانی سی و پنج ساله از ساله ۱۹۸۵-۲۰۲۰ (میانگین بارندگی سالیانه از ساله ۱۹۸۵-۲۰۲۰)

از سطح آب در نمودارهای شکل (۵) باشد. لذا می‌توان به این طریق نتیجه گرفت که دو شاخص $AWEI_{sh}$ و $AWEI_{nsh}$ که رفتاری متفاوت با شاخص‌های دیگر دارند مناسب برآورد مساحت آب در چنین مناطقی نیستند.

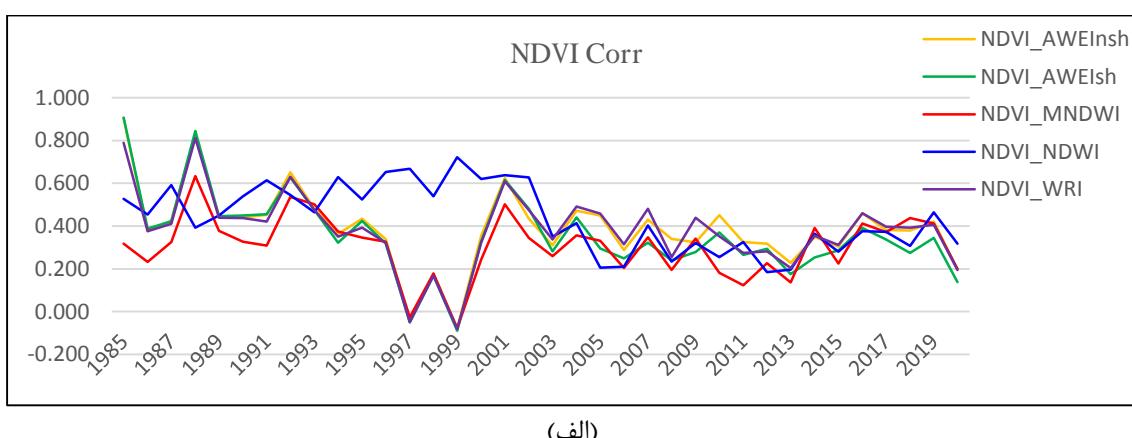
۴-۴- بررسی رابطه بین شاخص‌ها

در ادامه به منظور بررسی ارتباط بین شاخص‌ها، ضریب همبستگی دو به دوی نقشه‌های باینری به دست آمده توسط شاخص‌ها محاسبه شده است (شکل ۸). برای این کار ابتدا در هر مقطع زمانی، نقشه‌های باینری و میزان همبستگی شاخص‌ها با یکدیگر محاسبه شده است. در این نمودارها میانگین همبستگی سالیانه نتایج شاخصها نمایش داده شده است. این همبستگی‌ها نشان می‌دهند که نقشه‌های تولید شده (مساحت پهنه‌های آبی تالاب) در سال‌های مختلف توسط شاخص‌های مختلف

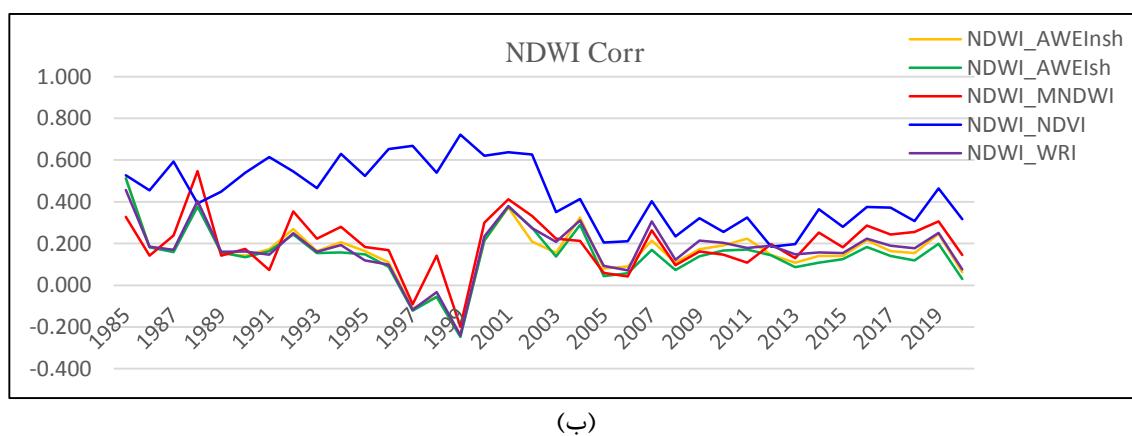
مطابق با شکل (۷) در سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۸ با کاهش بارش باران مواجه بوده‌ایم که به طبع آن مساحت آب تالاب نیز در کمترین وضعیت خود قرار داشته است. سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۰۶، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۹ نیز تالاب با افزایش بارندگی همراه بوده است که در نتیجه‌ی آن مساحت پهنه‌های آب تالاب نیز افزایش چشمگیری داشته است. بر طبق شکل (۷)، محاسبه میزان همبستگی مقدار بارش با مقادیر میانگین مساحت به دست آمده از سطح تالاب نشان داد که کمترین همبستگی را دو شاخص $AWEI_{nsh}$ و $AWEI_{sh}$ و $NDWI$ و $NDVI$ و بیشترین همبستگی را دو شاخص $CHIRPS$ و $HEMGP$ داشته‌اند. به طور کلی میزان همبستگی مساحت‌های به دست آمده با مقدار بارش پایین بود که می‌تواند به علت خطای مدل $CHIRPS$ و همچنین متوسط گیری

مقدار عددی ۰/۹۷۹ بیشترین همبستگی و نقشه‌های حاصل از شاخص‌های $NDWI$ و $AWEI_{nsh}$ با مقدار عددی ۰/۲۴۷ کمترین همبستگی را داشته‌اند. بیشترین همبستگی در سال ۱۹۹۳ که مساحت آب تالاب در حد بسیار بالایی بوده است اتفاق افتاده است؛ این در حالی است که کمترین همبستگی در سال ۱۹۹۹ که یکی از خشکترین سال‌های بازه زمانی مورد آزمایش بوده است، اتفاق افتاده است.

تا چه حد از لحاظ توزیع مکانی نیز به یکدیگر شبیه هستند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که ممکن است در برخی از مقاطع زمانی همبستگی دو به دوی نقشه‌های باینری حاصل شده توسط شاخص‌ها کاهش و یا افزایش یافته باشد اما در این بخش همبستگی بین شاخص‌ها بر مبنی متوسط سالانه ارزیابی شده است. مطابق با شکل (۸) در بازه زمانی ۳۵ ساله نقشه‌های به دست آمده از شاخص‌های $AWEI_{sh}$ و $AWEI_{nsh}$ با



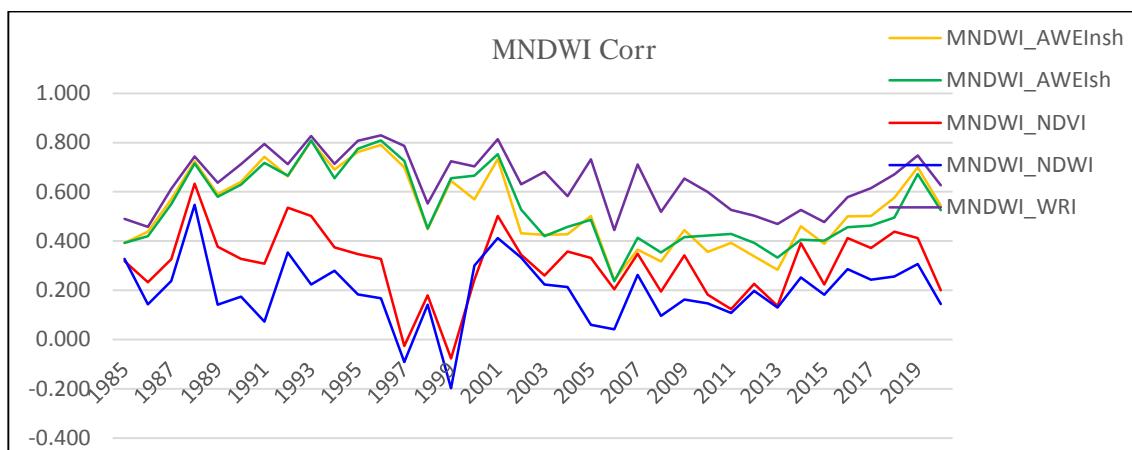
(الف)



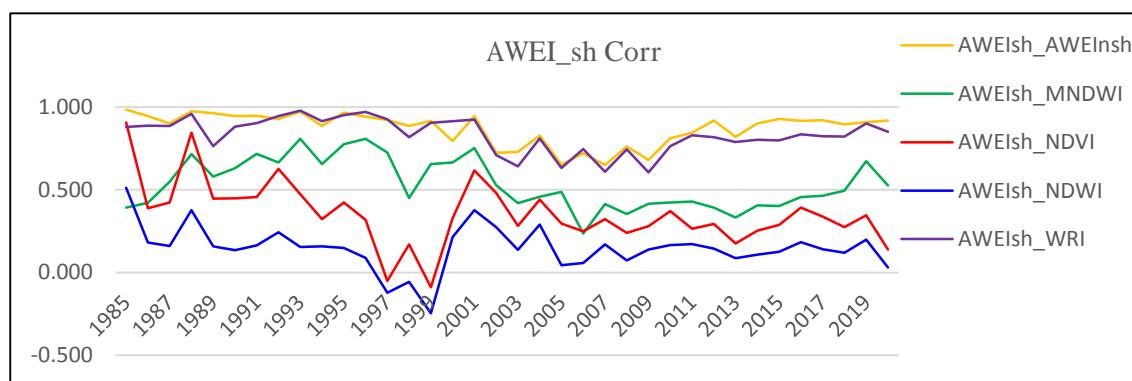
(ب)

بررسی مقایسه‌ای شاخص‌های آب مستخرج از تصاویر...

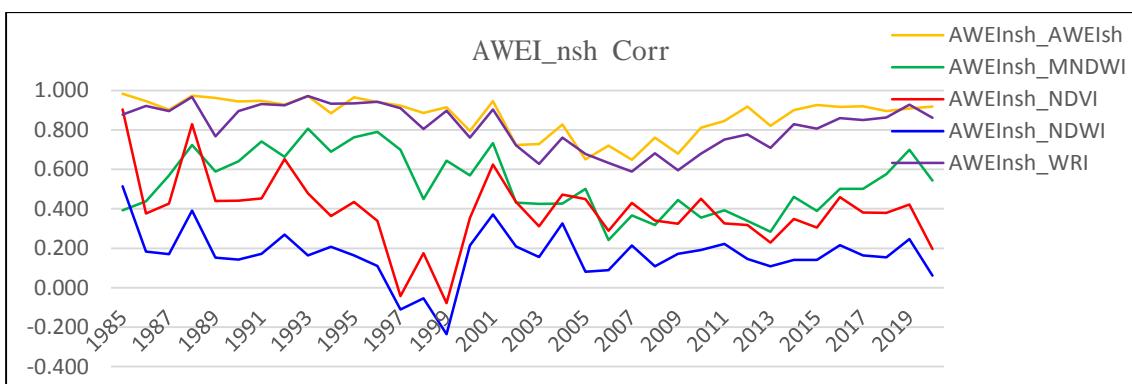
مرجان فرجی و سیدباقر قاطمی نصرآبادی



(ب)

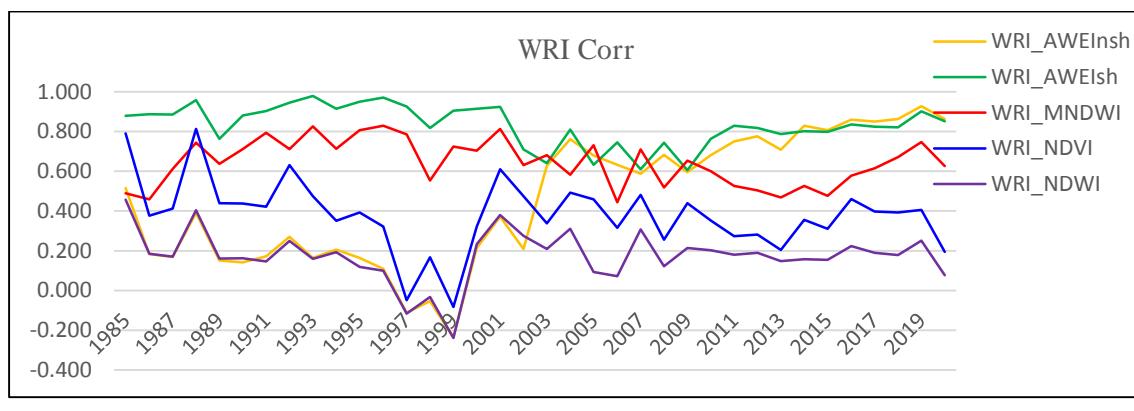


(c)



(ج)

۶۷



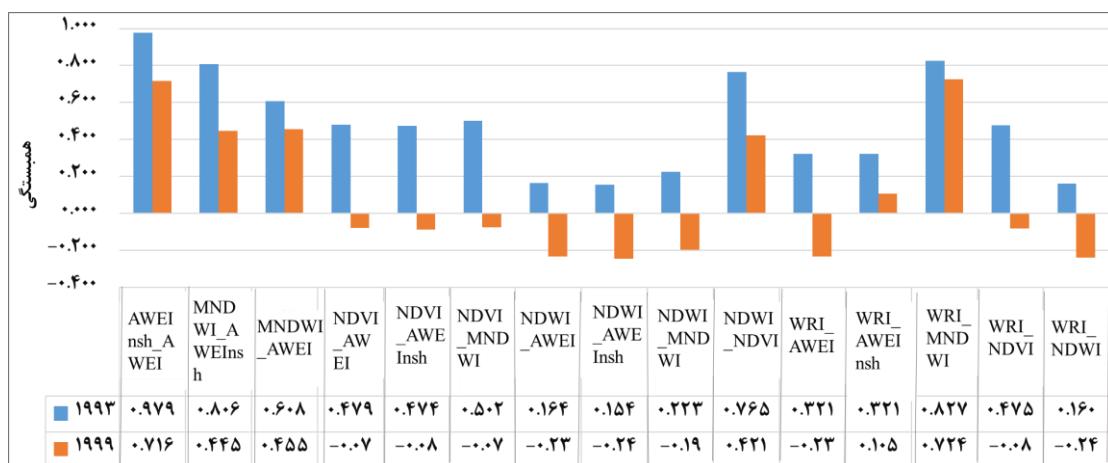
(ج)

شکل ۸: نمودار همبستگی شاخص‌های مختلف در بازه زمانی سی و پنج ساله (در نمودارها، محور افقی، سال و محور عمودی ضریب همبستگی را نشان می‌دهند). (الف) همبستگی شاخص $NDVI$ با دیگر شاخص‌ها، (ب) همبستگی شاخص $NDWI$ با دیگر شاخص‌ها، (ت) همبستگی شاخص $MNDWI$ با دیگر شاخص‌ها، (پ) همبستگی شاخص $AWEI_{sh}$ با دیگر شاخص‌ها، (ج) همبستگی شاخص WRI با دیگر شاخص‌ها

همبستگی مشاهده می‌شود در مقابل در سال ۱۹۸۸ که آن نیز خشک‌سالی بوده است همبستگی بالا رفته است. شاخص WRI همبستگی بالایی با شاخص‌های $MNDWI$ و $AWEI_{sh}$ نشان داده است و در مقابل همبستگی کمی با شاخص‌های $NDVI$ و $NDWI$ داشته است. این شاخص از اطلاعات باند $SWIR$ نیز استفاده می‌کند که عملاً در دو شاخص $NDVI$ و $NDWI$ استفاده نمی‌شود. لذا همبستگی کم نتایج آن با این شاخص‌ها طبیعی به نظر می‌آید.

به منظور بررسی تأثیر خشک‌سالی و ترسالی بر رفتار شاخص‌ها، مقدار همبستگی دو به دو شاخص‌های آب در سال‌های ۱۹۹۳ و ۱۹۹۹ که به ترتیب سال‌های اوج ترسالی و خشک‌سالی می‌باشند در شکل (۹) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است مقادیر همبستگی در سال ۱۹۹۳ (ترسالی) کاملاً مقادیر مثبت می‌باشند درحالی که مقادیر مشابه در سال ۱۹۹۹ (خشک‌سالی) عموماً مقادیر کوچک‌تر و حتی منفی نیز دارند. لذا می‌توان به‌طورکلی این نتیجه را گرفت که در اغلب اوقات با افزایش سطح آب تالاب، رفتار شاخص‌ها و نتایج آن‌ها مشابه یکدیگر می‌شود و در سال‌های خشکی و کم آبی باید نگران شاخص مورد استفاده جهت بررسی پهنه‌های آبی بود.

با توجه به شکل (الف) می‌توان دریافت که به‌طورکلی همبستگی متوسط نتایج شاخص‌ها با نتایج شاخص $NDVI$ به نسبت (دیگر نمودارها) پایین است، به‌استثنای شاخص $NDWI$ که در برخی موارد همبستگی بالاتری را در برخی سال‌ها (مخصوصاً در سال‌های خشک‌سالی) نشان داده است. البته به طور کلی رفتار کاملاً منظمی در میزان همبستگی‌های شاخص $NDVI$ مشاهده نمی‌گردد که بخشی از آن می‌تواند به علت میانگین‌گیری و تغییرات اقلیمی و در نتیجه تغییرات سطح دریاچه باشد. به عنوان مثال در سال ۱۹۸۸ که اتفاقاً خشک‌سالی بوده است همبستگی بالا با اکثر شاخص‌ها و در سال ۱۹۹۹ که آن نیز خشک‌سالی بوده است همبستگی بسیار پایین با اکثر شاخص‌ها دیده می‌شود. با این توصیف کاملاً قابل پیش‌بینی است که رفتار نمودارهای شاخص $MNDWI$ بسیار شبیه شاخص $NDVI$ باشد. شاخص WRI همبستگی پایینی با شاخص‌های $NDVI$ و $NDWI$ نشان داده است ولی با سه شاخص دیگر مخصوصاً WRI همبستگی بالایی را نشان می‌دهد. رفتار کاملاً منظمی در میزان همبستگی‌های شاخص $AWEI_{sh}$ هم دیده نمی‌شود. به عنوان نمونه در سال ۲۰۰۱ که یک سال تقریباً خشک محسوب می‌شود، یک پیک در نمودارهای



شکل ۹: نمودار همبستگی شاخص‌ها برای سال ۱۹۹۳ (ترسالی) و ۱۹۹۹ (خشک‌سالی)

اساس معیار صحت کلی روش طبقه‌بندی SVM و شاخص *WRI* به طور قابل توجهی عملکرد بهتری در مقایسه با سایر شاخص‌ها برای استخراج پهنه آبی با استفاده از داده‌های لندست داشته‌اند.

با بررسی نمودارهای میانگین مساحت هر شاخص در سال این نتیجه مشخص شد که رفتار شاخص *AWEI_{nsh}* با دیگر شاخص‌ها متفاوت است و برآورد مساحت را متفاوت با دیگر شاخص‌ها انجام می‌دهند. بررسی مقایسه‌های داده‌های بارندگی نشان داد که مساحت ارائه شده توسط پنج شاخص دیگر بیشتر با داده‌های بارندگی همخوانی و همبستگی دارند. لذا استفاده از این دو شاخص برای پهنه‌بندی مناطق آبگیر مشابه تالاب میقان توصیه نمی‌گردد.

اگرچه منابع تأمین آب تالاب را بارش‌های جوی، آب مسیل‌های ورودی از زیرحوضه‌های هشتگانه، چشمه‌های پراکنده و پساب فاضلاب تشکیل داده است اما با مقایسه نمودار میانگین بارندگی سالیانه می‌توان دریافت افزایش بارندگی تأثیر مستقیمی بر میزان آب تالاب در ۳۵ سال گذشته داشته است. به‌طورکلی در زمان‌های پرآبی تالاب، نقشه‌های استخراج شده توسط شاخص‌های *WRI*, *MNDWI*, *NDVI*, *NDWI* و *WRI_NDWI* همبستگی بالا با یکدیگر داشته‌اند؛ اما در دوره‌های

۵-نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، تالاب‌ها به عنوان منابع آب ارزشمند مؤثر بر اجزای اکوسیستم و تنوع زیستی یکی از مهم‌ترین فاکتور زیستمحیطی هستند که به خطر افتاده‌اند [۳۵]. پهنه‌بندی سطوحی آبگیر نظیر تالاب‌ها می‌تواند نتایج مستقیم خشک‌سالی را نشان دهد. برای تشخیص سطوح آبگیر در این تحقیق از شاخص‌های مطرح آب استفاده شده است. از آنجایی که تعیین آستانه مناسب برای شاخص‌های آب در مناطقی که پیکسل‌های آب خالص نیستند فرایندی بحث برانگیز است، تالاب میقان به عنوان نمونه‌ای که دارای پیچیدگی‌های متعددی از لحاظ ترکیب آب با مواد مختلف همانند سولفات‌سیدیم است در نظر گرفته شد. در این پژوهش تغییرات سطح آب تالاب میقان در بازه‌ی زمانی سی و پنج سال توسط تصاویر لندست مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور شش شاخص آبی در بازه زمانی ۳۵ سال پیاده‌سازی و نتایج آن‌ها ارزیابی شد. برای بررسی عملکرد شاخص‌ها با حد آستانه‌ی تعیین شده در مقایسه با یک روش طبقه‌بندی، از روش طبقه SVM استفاده شده است. همچنین به دلیل اینکه تفاوت‌های جزئی را نمی‌توان به صورت دستی و با تفسیر بصری تشخیص داد در این پژوهش از معیار ارزیابی صحت کلی نیز استفاده شده است. بر

مشابه یکدیگر می‌شود و در سال‌های خشکی و کم آبی باید نگران شاخص مورد استفاده جهت بررسی پهنه‌های آبی بود. به بیان دیگر اطمینان کردن به نتایج یک شاخص در دوران خشک‌سالی برای بررسی پهنه‌های آبی درست نیست و از آنجایی که در بررسی‌های زمانمند ترکیبی از سال‌های کم آب و پرآب وجود دارد، لذا توصیه جدی این است که از چند شاخص برای بررسی پهنه‌های آبی به طور همزمان استفاده شود.

خشک‌سالی هنگامی عمق تالاب کم بوده و آب تالاب آغشته به نمک است همبستگی شاخص‌ها کاهش یافته است درنتیجه اعتماد پذیری مساحت‌های استخراج شده توسط هر یک از شاخص‌ها نیز کاهش یافته است. نتایج نشان می‌دهند که میزان بارندگی تأثیر جدی روی نتایج شاخص‌ها و دقت آن‌ها می‌گذارد. می‌توان به طور کلی این نتیجه را گرفت که در اغلب اوقات با افزایش سطح آب تالاب، رفتار شاخص‌ها و نتایج آن‌ها

مراجع

- [1] M. Mahdianpari et al., "A large-scale change monitoring of wetlands using time series Landsat imagery on Google Earth Engine: a case study in Newfoundland," *GIScience & Remote Sensing*, vol. 57, no. 8, pp. 1102-1124, 2020.
- [2] R. N. Colwell, "Remote sensing of natural resources," *Scientific American*, vol. 218, no. 1, pp. 54-71, 1968.
- [3] W. G. Planet, "Some comments on reflectance measurements of wet soils," *Remote Sensing of Environment*, vol. 1, no. 2, pp. 127-129, 1970.
- [4] M. T. Chahine, "The hydrological cycle and its influence on climate," *Nature*, vol. 359, no. 6394, pp. 373-380, 1992.
- [5] R. R. Gillies and T. N. Carlson, "Thermal remote sensing of surface soil water content with partial vegetation cover for incorporation into climate models," *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 34, no. 4, pp. 745-756, 1995.
- [6] N. M. Mattikalli and K. S. Richards, "Estimation of surface water quality changes in response to land use change: application of the export coefficient model using remote sensing and geographical information system," *Journal of environmental management*, vol. 48, no. 3, pp. 263-282, 1996.
- [7] S. K. McFeeters, "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features," *International journal of remote sensing*, vol. 17, no. 7, pp. 1425-1432, 1996.
- [8] X. Han-Qiu, "A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI)," *Journal of remote sensing*, vol. 5, pp. 589-595, 2005.
- [9] L. Shen and C. Li, "Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm," in 2010 18th International Conference on Geoinformatics, 2010, pp. 1-4: IEEE.
- [10] O. E. Malahela, "Inland waterbody mapping: Towards improving discrimination and extraction of inland surface water features," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 37, no. 19, pp. 4574-4589, 2016.
- [11] C. Wang, M. Jia, N. Chen, and W. Wang, "Long-term surface water dynamics analysis based on Landsat imagery and the Google Earth Engine platform: A case study in the middle Yangtze River Basin," *Remote Sensing*, vol. 10, no. 10, p. 1635, 2018.
- [12] K. Johansen, S. Phinn, and M. Taylor, "Mapping woody vegetation clearing in Queensland, Australia from Landsat imagery using the Google Earth Engine,"

- Remote Sensing Applications: Society and Environment*, vol. 1, pp. 36-49, 2015.
- [13] G. Trianni, E. Angiuli, G. Lisini, and P. Gamba, "Human settlements from landsat data using google earth engine," in 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2014, pp. 1473-1476: IEEE.
- [14] K. C. Fickas, W. B. Cohen, and Z. Yang, "Landsat-based monitoring of annual wetland change in the Willamette Valley of Oregon, USA from 1972 to 2012," *Wetlands ecology and management*, vol. 24, no. 1, pp. 73-92.2016,
- [15] W. Cao, Y. Zhou, R. Li, and X. Li, "Mapping changes in coastlines and tidal flats in developing islands using the full time series of Landsat images," *Remote Sensing of Environment*, vol. 239, p. 111665, 2020.
- [16] G. Sarp and M. Ozcelik, "Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey," *Journal of Taibah University for Science*, vol. 11, no. 3, pp. 381-391, 2017.
- [17] S. Makrouni, G. R. Sabzghabae, S. Yousefi Khanaghah, and S. Soltanian, "Detection of land use changes in Hoor Al Azim wetland using remote sensing and geographic information system techniques," *Journal of RS and GIS for Natural Resources (Journal of RS and GIS Applied Techniques in Natural Resources Science)*, vol. 7, no. 3, pp. -, 2.016
- [18] R. Khosrawi, R. Hassanzadeh, M. Hosseiniyanizadeh, and S. Mohammadi, "Investigating water body changes using remote sensing water indices and Google Earth Engine: Case study of Poldokhtar wetlands, Lorestan province," *IRANIAN JOURNAL OF ECOHYDROLOGY*, vol. 7, no. 1 #a001084, pp. -, 2020.
- [19] F. Yousefian, M. Sahebi, M. Shokri, and M. Moradi, "a Novel Water Index (swi) for Salty Water from Landsat 8 Oli/tirs," *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 42, pp. 1097-1105, 2019.
- [20] S. M. Shariat, S. M. Moonavari, and F. Sobhani, "Environmental Risk Assessment of mining in Meyghan wetland," (in eng), *Wetland Ecobiology, Research* vol. 5, no. 2, pp. 41-52, 2013.
- [21] A. Ansari and M. H. Golabi",Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment for Desert Wetlands—A case study: Meighan Wetland, Iran," *International soil and water conservation research*, vol. 7, no. 1, pp. 64-70, 2019.
- [22] Z. Zhu, "Change detection using landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 130, pp. 370-384, 2017.
- [23] C. Funk et al., "The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes," *Scientific data*, vol. 2, no. 1, pp. 1-21, 2015.
- [24] L. Ji, L. Zhang, and B. Wylie, "Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* ,vol. 75, no. 11, pp. 1307-1317, 2009.
- [25] P. Leinenkugel, "The Combined Use of Optical and SAR Data for Large Area Impervious Surface Mapping," *University Salzburg*, 2010.
- [26] S. Ma et al., "Application of the water-related spectral reflectance indices :A review," *Ecological Indicators*, vol. 98, pp. 68-79, 2019.
- [27] G. L. Feyisa, H. Meilby, R. Fensholt, and S. R. Proud, "Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery," *Remote Sensing of Environment*, vol ,140 .pp. 23-35, 2014.
- [28] J. P. Mondejar and A. F. Tongco, "Near infrared band of Landsat 8 as water index:

- A case study around Cordova and Lapu-Lapu City, Cebu, Philippines," Sustainable Environment Research, vol. 29, no. 1, pp. 1-15, 2019.*
- [29] Z. Dong et al., "Mapping wetland areas using Landsat-derived NDVI and LSWI: A case study of West Songnen plain, Northeast China," *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, vol. 42, no. 3, pp. 569-576, 2014.
- [30] T. N. Carlson and D. A. Ripley, "On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index," *Remote sensing of Environment*, vol. 62, no. 3, pp. 241-252, 1997.
- [31] H. Xu, "Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery," *International journal of remote sensing*, vol. 27, no. 14, pp. 3025-3033, 2006.
- [32] A. Ogilvie et al., "Combining multi-sensor satellite imagery to improve long-term monitoring of temporary surface water bodies in the Senegal river floodplain," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 19, p. 3157, 2020.
- [33] L. G. d. M. Reis et al., "Uncertainties Involved in the Use of Thresholds for the Detection of Water Bodies in Multitemporal Analysis from Landsat-8 and Sentinel-2 Images," *Sensors*, vol. 21, no. 22 ,p. 7494, 2021.
- [34] A. Mohammadi and B. Khodabandehlou, "Classification and Assessment of Land Use Changes in Zanjan City Using Object-Oriented Analysis and Google Earth Engine System," *Geography and Environmental Planning*, vol. 31, no. 2, pp. 25-42, 202.0
- [35] A. Azareh, E. R. Sardooi, H. Gholami, A. Mosavi, A. Shahdadi, and S. Barkhori, "Detection and prediction of lake degradation using landscape metrics and remote sensing dataset," *Environmental Science and Pollution Research*, pp. 1-16, 2021.



Comparative analysis of remote sensing water indexes for wetland water body monitoring using Landsat images and the Google Earth Engine Platform (A Case study: Meighan Wetland, Iran)

Marjan Faraji ¹, Seyed Bagher Fatemi ^{1*}

¹- Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan

Abstract

Wetlands are dynamic and complex aquatic ecosystems that play an important role in the survival of many plant and animal species. This study modeled the spatio-temporal changes of the Arak Meighan wetland during 1985–2020 using the multi-temporal Landsat images. In doing so, the applicability of different satellite-derived indexes including NDVI, NDWI, MNDWI, AWEI_{sh}, AWEI_{nsh}, and WRI was investigated for the extraction of surface water from Landsat data. In addition, the correlation coefficient between the images extracted by the indexes is also estimated. For comparison purposes SVM classification was applied on some selected images. Because the Meighan wetland has a very shallow water depth and contains saline water, the capability of water indexes to extract surface water areas of the wetland has been investigated in this area. The results of the study indicate that climate change such as increasing rainfall has a direct relationship with changes in the surface water area of wetland extracted by various indexes in the last 35 years. Furthermore, the AWEI_{nsh} index is not able to properly and accurately extract the surface water area when there is a drought and the water depth is reduced. As an overall result, it is not recommended to rely on the results of one index to monitor surface water area during a drought period. Since there is a combination of dry and wet years in time-series analyses, it is seriously recommended that in similar studies, several indexes be used simultaneously for detecting and extracting surface water. However, classification can always be used as a robust method for water body extraction.

Key words: Change Detection, Meighan Wetland, Water Indexes, Remote Sensing, Landsat.

Correspondence Address: Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
Tel : +98-31-37935332.
Email: sb.fatemi@eng.ui.ac.ir