

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 حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان

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

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۰۷

چکیده

تالاب‌ها زیست‌بوم‌های 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 (NDWI)، شاخص اصلاح‌شده تفاضل نرمال شده آب (MNDWI)، شاخص نسبت آب (WRI) و شاخص اتوماتیک جداسازی آب (AWEInsh/AWEIsh) به بررسی تغییرات تالاب میقان اراک در بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ پرداخته شده است. علاوه بر آن مساحت‌های پهنه‌های آبی حاصل‌شده توسط شاخص‌ها در دوران خشک‌سالی و ترسالی با یکدیگر مقایسه شده و همبستگی بین تصویر حاصل‌شده 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 پهنه 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 به‌طور هم‌زمان استفاده شود.

کلید واژه‌ها: تشخیص تغییرات، تالاب میقان، شاخص آب، سنجش‌ازدور، لندست.

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

تلفن: ۰۹۸-۳۱۳۷۹۳۵۳۳۲

۱- مقدمه

تالاب‌ها با ارائه خدمات زیست‌محیطی متعدد از جمله تنظیم آب و هوای جهانی، تصفیه آب طبیعی، کاهش سیل و خشک‌سالی، حفاظت از فرسایش در ساحل، حفاظت از خاک، فضای تفریحی و زیبایی‌شناسی و زیستگاه حیات وحش 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 تغییر یافته‌اند. 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 سنجنش از دوری بر مبنای جذب بالای انرژی در باند مادون قرمز و بازتاب انرژی در باندهای مرئی می‌باشد. تحقیقات در زمینه بررسی آب‌های سطحی با به‌کارگیری سنجنش 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 سنجنش از دور، چندین شاخص آب کارآمد برای شناسایی پوشش آب‌های سطحی پیشنهاد شدند. مک‌فیترز^۱ (۱۹۹۶) با استفاده از باندهای سبز و مادون قرمز 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

جداسازی 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 مادون قرمز نزدیک در شاخص *NDWI* را با باند مادون قرمز 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 مادون قرمز میانی و نزدیک، شاخص *WRI* مقادیر بیشتر از یک را برای آب نشان می‌دهد. با این حال، هنوز هم مشکلات عمده‌ای به دلیل سایه در مناطق کوهستانی وجود داشت. فیئیسای^۹ و همکاران (۲۰۱۴) شاخص استخراج خودکار آب^{۱۰} (*AWEI*) را برای شناسایی ویژگی‌های آب پیشنهاد کرد که دارای دو بخش *AWEI_{sh}* و *AWEI_{nsh}* می‌باشد. شاخص *AWEI_{sh}* اساساً برای حذف پیکسل‌های سایه و شاخص *AWEI_{nsh}* برای مناطقی با پس‌زمینه شهری طراحی شده است. علاوه بر این، بسیاری از شاخص‌های دیگر توسط مطالعات بسیاری برای سنجنده‌ها و مناطق مختلف با دقت‌های مختلف عنوان شده است [۹ و ۱۰]. تاکنون، سنجنش 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، به‌طور 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 کندتر 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، طبقه بندی جنگل تصادفی بالاترین دقت 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 هورالعظیم [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^۱ (GEE)، یک سیستم عامل محاسبات ابری یکپارچه با دسترسی به تصاویر سنجنش 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^۲، مجموعه داده‌های سنتینل^۳ و سایر تصاویر فراهم می‌کند. علاوه بر آن با ارائه بسترهای برنامه‌نویسی در حوزه الگوریتم‌های طبقه‌بندی کلاسیک و ابزارهای پیشرفته یادگیری ماشین در کاربردهایی نظیر 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^۴ و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از GEE، سری زمانی از تصاویر لندست و شاخص آب MNDWI، خط ساحلی ماهانه در مجمع‌الجزایر ژوشان چین را مورد بررسی قرار دادند [۱۵]. فیکاس^۵ 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

^۶ Sarp

^۷ Support Vector Machine

^۸ Random Forest

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 منطقه دیگر ممکن است جواب متفاوتی داشته باشند [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 سرمایه‌های زیست‌محیطی استان مرکزی است که علاوه بر نقش قابل توجه در تنوع حوزه زیستی اثرات مستقیمی بر آب و هوای کلان‌شهر اراک و سلامتی شهروندان دارد. تالاب میقان مهم‌ترین منطقه زمستان‌گذرانی درناهای معمولی در مرکز ایران است و همچنین زیستگاه مهم زمستان‌گذرانی سایر پرندگان آبی میهان 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 محیط زیست 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 برآورد شده است.

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش به معرفی منطقه مورد مطالعه و داده‌های

استفاده شده در پژوهش پرداخته می‌شود. همچنین مبانی نظری شاخص‌های مطرح‌شده در این پژوهش تشریح خواهند شد.

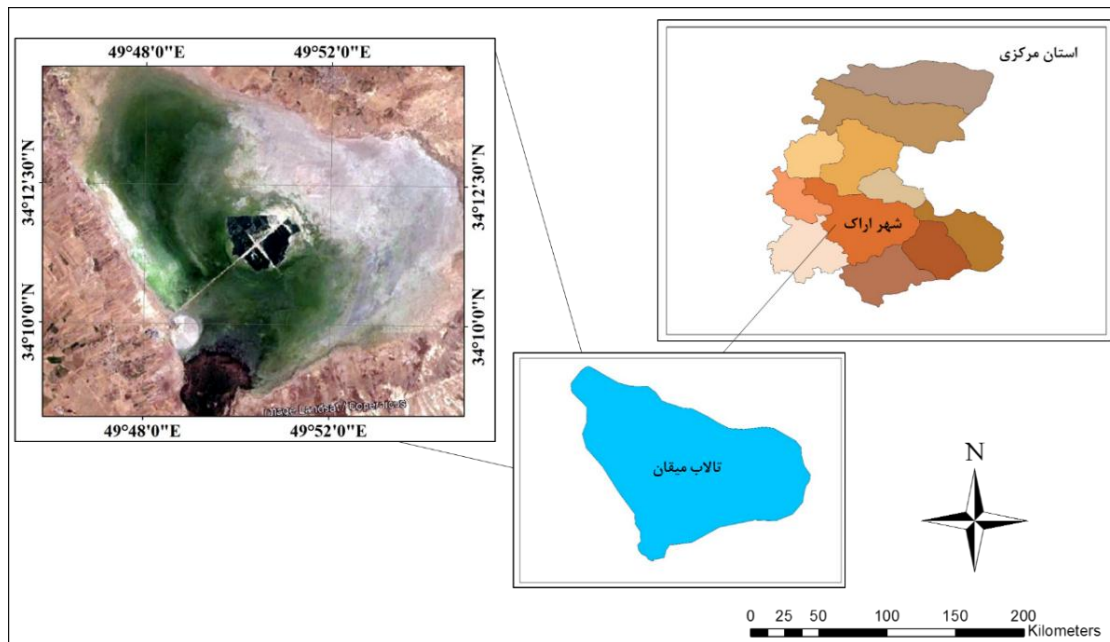
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

تالاب میقان با وسعتی برابر ۴۶٫۵ هزار هکتار در موقعیت جغرافیایی ۳۳°۴۹' تا ۳۴°۴۴' عرض شمالی و ۴۹°۲۲' تا ۵۰°۱۷' طول شرقی بین رشته‌کوه‌های زاگرس و کوه‌های ایران مرکزی واقع شده و تمام سطح آن در استان مرکزی قرار گرفته 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 برداشت‌شده، این بخش از تالاب به مساحت ۲۰۰ هکتار به صورت دریاچه دائمی درآمده است و به‌طورکلی سطح آبیگیر آن ۱۲ هزار هکتار می‌باشد. در دوره مرطوب سال و به هنگام آبیگری 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 باتلاق و در اغلب مناطق به صورت نمک زار در می‌آید. این تالاب جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک به عنوان مرتفع‌ترین کویر در ایران می‌باشد که دارای پوشش گیاهی شور پسند و مهم‌ترین رویشگاه گیاه قره داغ می‌باشد [۲۱]

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

آب‌های سطحی در هر سال به‌طور 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 قرار گرفته است [۲۲].



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 ۳۷۰۰ تصویر ثبت شده در محدوده استان مرکزی ۴۹۶ تصویر در محدوده تالاب با پوشش ابر کمتر از ۱۵ درصد در بازه زمانی ۳۵ ساله در دسترس می باشد. جدول (۱) خلاصه مشخصات داده‌های استفاده شده در این پژوهش را نمایش می دهد.

در ادامه پژوهش به منظور بررسی میزان بارندگی در بازه زمانی ۳۵ ساله از محصول سنجنش از دوری ایستگاهی کارگروه مخاطرات آب و هوایی^۵ (*CHIRPS*) استفاده شده است. داده‌های 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 ماهواره‌ای نبوده

سامانه *GEE* ابزاری برای پردازش مکانی با یک بستر ابری برای مطالعه و تفسیر محیط گسترده شده است. *GEE* یک رابط کاربری گرافیکی مبتنی بر وب^۱ (*GUI*) می باشد که دسترسی به یک مجموعه‌ای از تصاویر سنجنش از دوری و سایر مجموعه‌های داده را از طریق زیرساخت‌های محاسباتی گوگل فراهم می کند. برای زبان برنامه‌نویسی معروف مانند جاوا^۲ و پایتون^۳، مجموعه‌ای از رابط‌های برنامه‌نویسی^۴ (*API*) و محیط‌های توسعه در دسترس هستند. این ویژگی‌های کلیدی، در صورت ترکیب، کاربران را قادر می سازد داده‌های بزرگ جغرافیایی در بازه زمانی طولانی را با روش‌های قدرتمند کشف، تفسیر و شبیه‌سازی کنند.

در این پژوهش از تصاویر بازتابندگی 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

بلکه توسط ایستگاه های زمینی تلفیق شده است. محصول CHIRPS بیشتر برای اهداف پایش خشکسالی فصلی و تحلیل روند تهیه شده است. لازم به ذکر است که این محصول تنها برای بارندگی صفر میلی‌متر تا ۱۴۴۴/۳۴ میلی‌متر در روز اعتبار دارد [۲۳].

جدول ۱: مشخصات داده‌های لندست TM، ETM+ و OLI

بازه زمانی	ماهواره /سنجنده	تعداد تصاویر	طول موج (μm)	سطح ابر (%)
۱۹۸۵-۲۰۰۳	لندست ۵ سنجنده TM	۲۲۳	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 ۷: ۲/۰۸ - ۲/۳۵	
			۲۰۰۳-۲۰۱۳	
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 ۷: ۲/۰۹ - ۲/۳۵				
۲۰۱۳-۲۰۲۰	لندست ۸ سنجنده OLI	۱۲۲		باند ۱: ۰/۴۵ - ۰/۵۱۵
			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 ۷: ۲/۰۹ - ۲/۳۵	

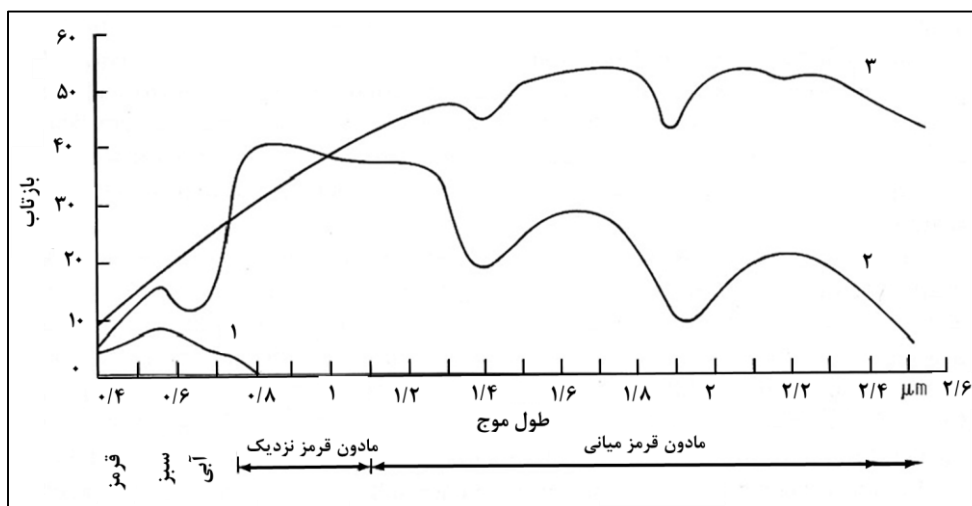
طیفی حاصل می‌شود. سپس با اعمال یک آستانه مناسب روی مقادیر شاخص، جداسازی پیکسل آب از سایر پوشش‌های زمین بر اساس ویژگی‌های طیفی انجام می‌شود. عملگرهای محاسباتی نه تنها با تقابل بازتاب بین طول موج‌های مختلف سیگنال‌های طیفی را برجسته می‌کند، بلکه بخش بزرگی از نویزهای حاصل از تغییر وضعیت کالیبراسیون سنجنده 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.

۲-۳- 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 جذب می‌کند، در حالی که اجسام غیر آب انرژی بیشتری را منعکس می‌کند. در مقابل در منحنی امضای طیفی آب باندهای آبی و سبز در مقایسه با باندهای دیگر بازتاب نسبتاً بالایی دارند.

طراحی یک شاخص طیفی آب بر اساس این واقعیت است که آب در محدوده مادون قرمز نزدیک (طول موج بین ۰/۷ تا ۱/۳ میکرومتر) و همچنین محدوده مادون قرمز میانی (طول موج بین ۱/۳ تا ۳ میکرومتر)



شکل ۲: منحنی امضای 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 آبیگر به دلیل انعکاس بالاتر آن‌ها در باند سبز، نسبت به مادون قرمز کوتاه مقادیر مثبتی 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].

$$MNDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{SWIR1}}{\rho_{green} + \rho_{SWIR1}}$$

رابطه (۲)

مطابق با شکل (۲) برای آب خالص، زمانی که طول موج بیشتر از ۰/۷۴ میکرومتر 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.

۲-۳-۱- 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 مبانی NDWI می‌باشد. دامنه مقادیر این شاخص بین ۱- و ۱+ می‌باشد که آب در این شاخص دارای مقادیر مثبت است [۷].

$$NDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{NIR}}{\rho_{green} + \rho_{NIR}} \quad (1)$$

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

حذف پیکسل‌های سایه و بارز سازی بیشتر پهنه‌های 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 پتانسیل‌های موجود، در تحقیق حاضر مورد استفاده و آزمایش قرار گرفته است.

$$AWEI_{sh} = \rho_{green} + \rho_{blue} \times 0.25 - 1.5 \times (\rho_{NIR} + \rho_{SWIR1}) - 0.25 \times \rho_{SWIR2} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$AWEI_{nsh} = 4 * (\rho_{green} - \rho_{SWIR1}) - (0.25 * \rho_{NIR} + 2.75 * \rho_{SWIR2}) \quad \text{رابطه (۴)}$$

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 پهنه‌های آب از تصاویر ماهواره‌ای می توان از روش‌های مختلفی مانند شاخص‌های طیفی، طبقه‌بندی و قطعه‌بندی استفاده کرد. استفاده از شاخص‌های طیفی یکی از آسان‌ترین و رایج‌ترین روش‌ها برای استخراج آب از تصاویر ماهواره‌ای می باشد. البته تعیین مقدار حد آستانه می تواند مشکل ساز و وقت‌گیر 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 اتوماتیک جداسازی آب ($AWEI_{sh}$, $AWEI_{nsh}$)

۲-۳-۳- شاخص اتوماتیک جداسازی آب ($AWEI$)
شاخص استخراج خودکار آب برای شناسایی پیکسل‌های آب از سایر کاربری‌ها توسعه یافته است. هدف اصلی $AWEI$ به حداکثر رساندن تفکیک پذیری پیکسل‌های 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 پیکسل‌های 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 پیکسل‌های آبی از سطوح ساخته شده شهری و شاخص $AWEI_{sh}$ با هدف استخراج آب در مناطق سایه‌دار و

۲-۳-۴- 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 انباشته 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].

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

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

همان‌طور 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

برای استخراج آب‌های سطحی از داده‌های لندست مورد بررسی قرار گرفتند. جدول (۲) مشخصات شاخص‌های استفاده شده در این پژوهش را نمایش می‌دهد.

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

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

برای همه تصاویر سری زمانی امری چالش برانگیز 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 مادون قرمز 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 آبیگر 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 خطا تعیین شده است. تعیین یک حد آستانه

بررسی تصاویر مربوطه و بررسی مقادیر شاخصها تعیین گردیده اند، برای دو مجموعه تصاویر مشاهده می شود. در ادامه به منظور بررسی ارتباط بین شاخصها در بازه زمانی ۳۵ ساله و همچنین در دوره های ترسالی و خشکسالی ضریب همبستگی بین تصاویر باینری حاصل شده توسط شاخصها محاسبه شده است. به واسطه برآورد همبستگی متقابل بین تمام شاخصها می توان ارتباط بین شاخصها را در برآورد پهنه های آبی در زمان های مختلف مورد بررسی قرار داد.

مناسب تعیین شده است. برای صحت سنجی این روش و تعیین سال های 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 آستانه های مناسب که بر اساس

جدول ۳: حد آستانه بهینه شاخصها

نام شاخص	حد آستانه در تصاویر در زمان	
	خشکسالی	زمان ترسالی
$NDVI$	$0.06 <$	$0.06 <$
$NDWI$	$0 >$	$0.08 >$
$MNDWI$	$0.57 >$	$0.811 >$
$AWEI_{nsh}$	$0.432 >$	$0.358 >$
$AWEI_{sh}$	$0.24 >$	$0.28 >$
WRI	$1.85 >$	$2.05 >$

طبقه بندی یادگیری ماشین به صورت نظارت شده است. ایده اصلی روش تعیین یک ابر صفحه (مرز) است که داده های متعلق به دو کلاس را به طور بهینه از یکدیگر متمایز می کند. از جمله قابلیت های ماشین بردار پشتیبان، توانایی غلبه بر مشکل توزیع غیر خطی داده های آموزشی می باشد [۱۶]. به منظور تعیین پارامترهای بهینه، مدل طبقه بندی با پارامترهای نوع کرنل (شعاعی و یا خطی) به همراه ضریب گاما در مقادیر صفر تا یک و پارامتر جریمه جمله خطا (c) با مقادیر (۰/۱، ۱۰، ۱۰۰) آزمایش شده است تا به این ترتیب دقت مدل با پارامترهای مختلف ارزیابی شود [۳۴]. لازم به ذکر است که برای بهینه سازی پارامترها ابتدا مقادیر آن در یک بازه ی بزرگ انتخاب و پس از پیدا کردن محدوده تقریبی جوابها، بازه کوچک تری تعیین شده است.

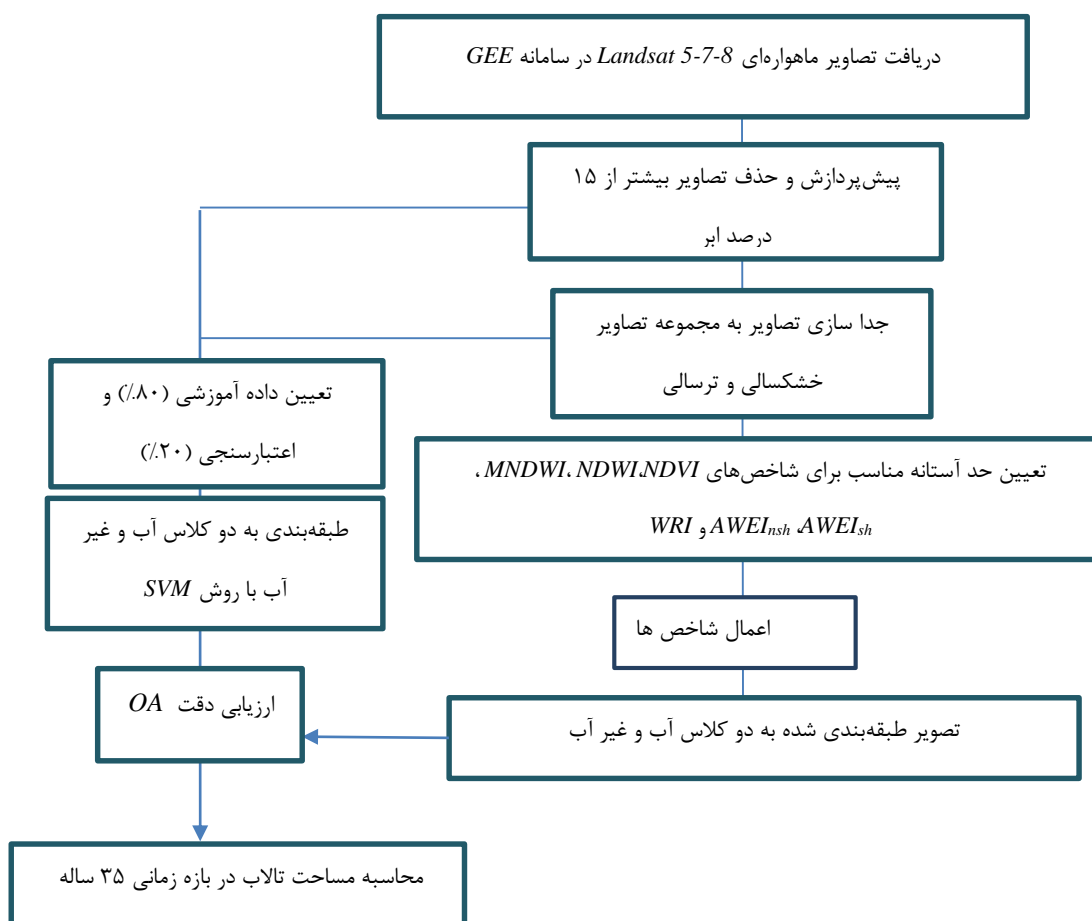
۳-۱- ارزیابی دقت با استفاده از طبقه بندی

ماشین بردار پشتیبان

اعمال شاخص و آستانه گذاری و تفسیر بصری به تنهایی نمی تواند معیاری برای ارزیابی شاخصها باشد. لذا در این پژوهش از روش طبقه بندی 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 روش های طبقه بندی برای تمام تصاویر بازه زمانی میسر نمی باشد. بنابراین در این پژوهش در دو تصویر از مجموعه تصاویر خشکسالی و ترسالی تالاب، پهنه آبی استخراج شده توسط شاخصها و طبقه بندی SVM مقایسه شده است تا عملکرد شاخصها در مقایسه با روش طبقه بندی ارزیابی شوند. ماشین بردار پشتیبان نیز از جمله الگوریتم های

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 تصویر از معیار ارزیابی صحت کلی (*Overall Accuracy*) استفاده شده است. صحت کلی با تقسیم مجموع درایه‌های قطر اصلی ماتریس خطا به تعداد کل نمونه‌ها به دست می‌آید. فلوجارت مراحل انجام تحقیق در شکل (۳) مشاهده می‌شود.

در نهایت با استفاده از تابع کرنل گوسی شعاعی (*Radial basis function*) با ضریب گاما برابر مقدار عددی ۰/۵ و پارامتر *c* برابر عدد ۱۰ 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 پهنه آبی از طریق روش استفاده از شاخص‌های آب و طبقه‌بندی *SVM* شامل داده‌های واقعی اخذ شده از



شکل ۳: فلوجارت 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

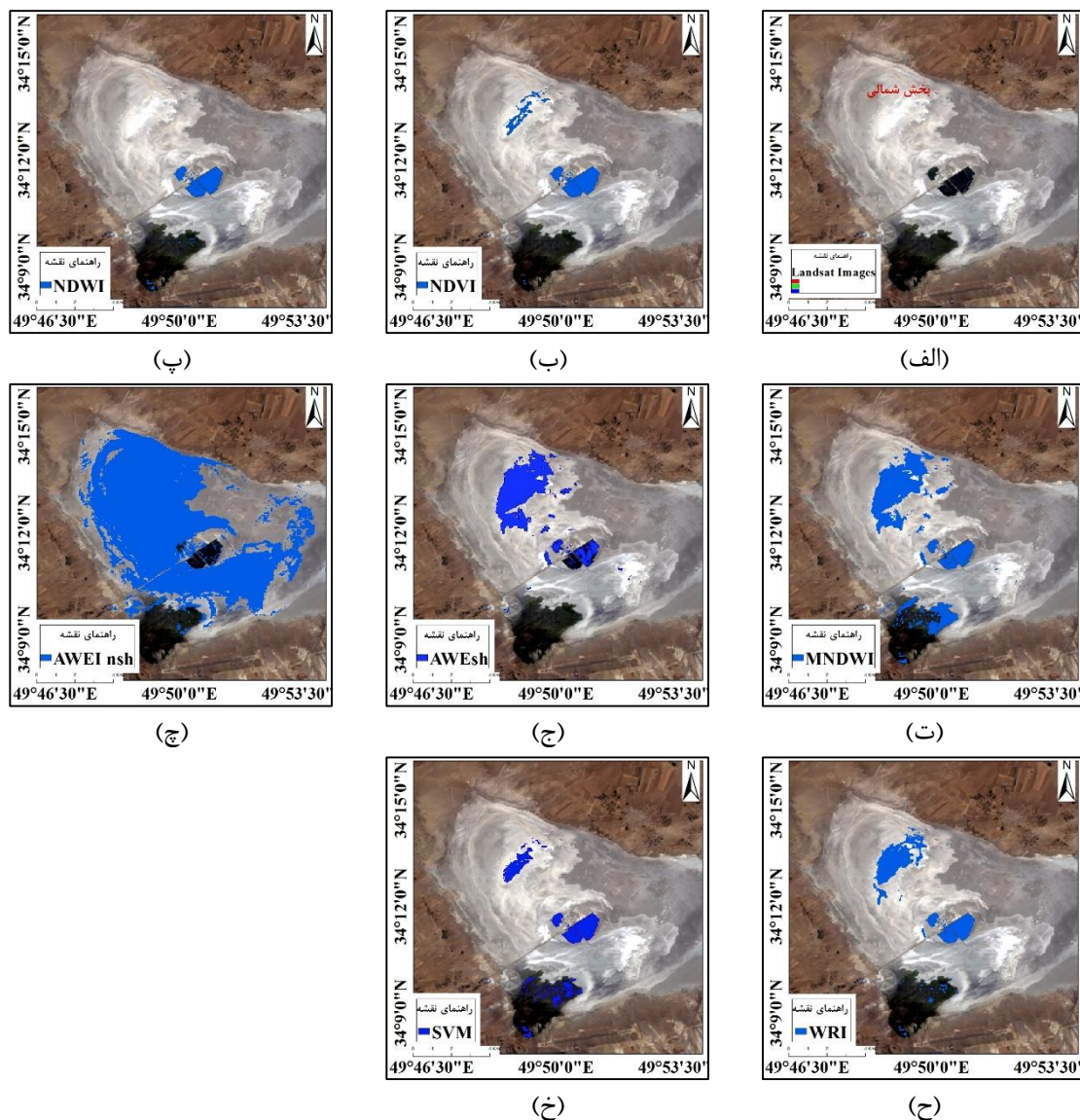
در این بخش نتایج از دیدگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ابتدا به بررسی کلی نتایج استخراج پهنه آبی به صورت بصری توسط روش‌های ذکر شده

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 تالاب در کمترین میزان آب خود قرار داشته است 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.

۴-۱- 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 NDVI، (پ) شاخص NDWI، (ت) شاخص MNDWI، (ج) شاخص AWEI_{sh}، (چ) شاخص AWEI_{nsh}، (ح) شاخص WRI، (خ) طبقه بندی 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 طور کلی در دوره ترسالی که سطح تالاب را آب فراگرفته اگرچه آب تالاب میقان آغشته به نمک است اما شاخص‌ها به خوبی توانسته‌اند مساحت تالاب را استخراج کنند.

۴-۲- مقایسه شاخص‌ها با نتایج طبقه‌بندی

به منظور مقایسه نتایج حد‌آستانه گذاری روی شاخص‌های مورد آزمون، در این پژوهش از طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان 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 نظارت نشده شاخص‌ها، کاملاً یکسان در نظر گرفته شده است. صحت کلی و مساحت‌های به دست آمده از شاخص و طبقه‌بندی در دو تصویر در دوره خشک‌سالی و ترسالی در جدول (۴) نمایش داده شده است.

بالاترین و پایین‌ترین صحت کلی مربوط به روش طبقه‌بندی SVM با صحت کلی ۹۹٫۶۸ و شاخص $AWEI_{nsh}$ با صحت کلی ۵۳٫۵۹ می‌باشد. همچنین دو شاخص $MNDWI$ و WRI با صحت کلی ۹۵٫۷۷ و ۹۸٫۵۲ برای تصویر دوره خشک‌سالی و ۹۹٫۰۴ و ۹۹٫۵۷ برای تصویر دوره ترسالی 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

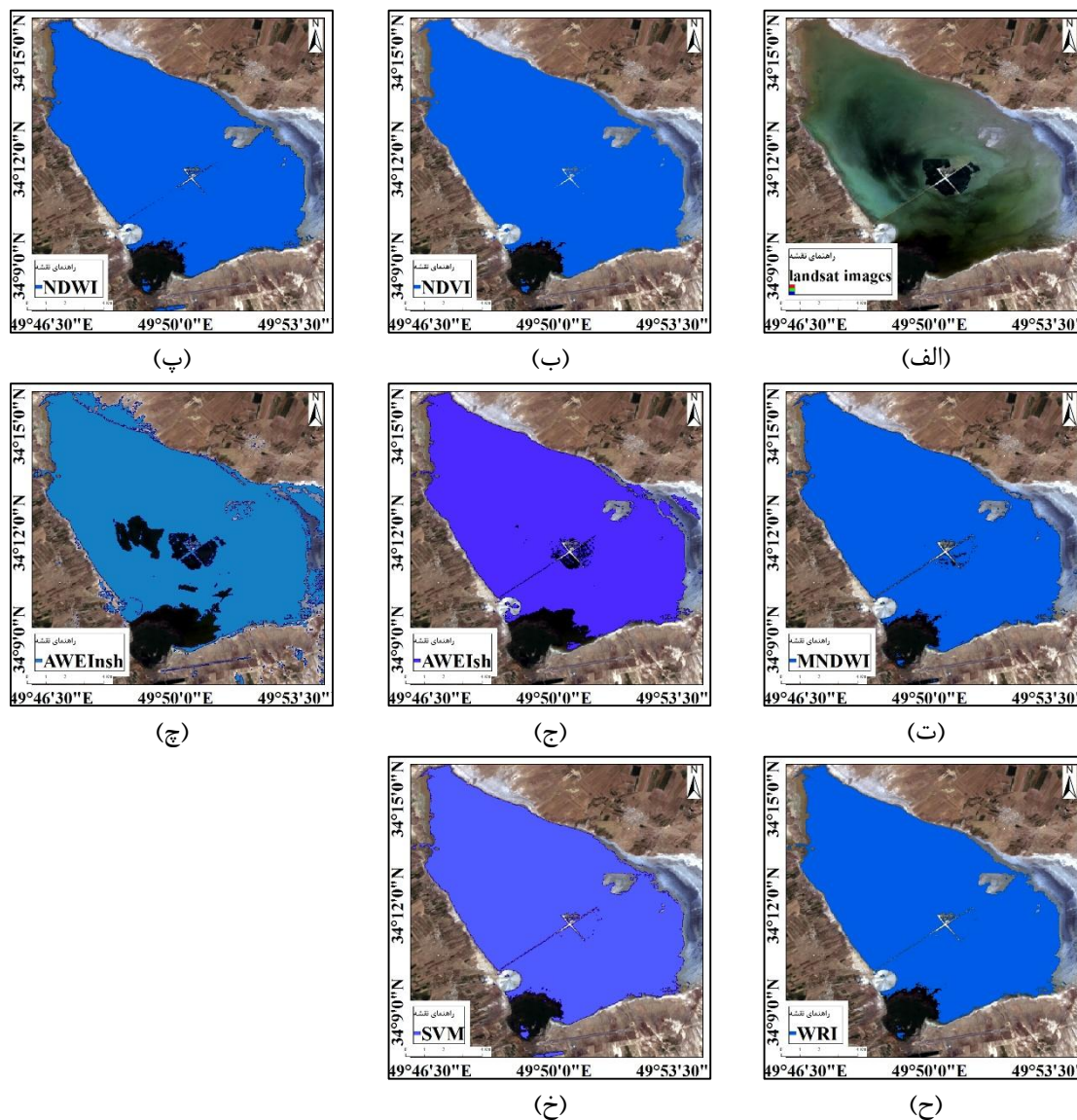
مطابق با شکل (۴-الف) عمده سطح تالاب را دریاچه نمک تشکیل داده و تنها بخش مرکزی حاوی آب و در بخش شمالی حاوی کمی رطوبت می‌باشد. علاوه بر آن در قسمت‌های حاوی آب نیز پیکسل‌ها خالص نیستند و مقدار عددی $NDVI$ بالاتر از ۰٫۳ در محدوده پایین حاشیه‌ای تالاب بیانگر این است که پیکسل‌های آب، مخلوط با گیاه می‌باشند.

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 تالاب در قسمت شمال غربی توسط شاخص $MNDWI$ و WRI 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 نمی‌باشند و باید در انتخاب شاخص و تعیین حد آستانه مناسب دقت لازم را به عمل آورد.

به منظور ارزیابی جامع‌تر یک تصویر در تاریخ ۲۰۱۹/۰۶/۰۴ از مجموعه تصاویر در زمان ترسالی 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 ترسالی 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

قسمت شمالی تالاب توسط شاخص *NDWI* استخراج شده است. صحت کلی شاخص *WRI* در دوره خشک‌سالی نزدیک به نتایج روش طبقه‌بندی *SVM* می‌باشد.



شکل ۵: مقایسه نتایج اعمال شاخص‌های مختلف در استخراج پهنه آبی تالاب در وضعیت پر آبی: (الف) تصویر لندست ۸ ترکیب رنگی باند ۴-۳-۲ در تاریخ: ۲۰۱۹/۰۶/۴، (ب) شاخص *NDVI*، (پ) شاخص *NDWI*، (ت) شاخص *MNDWI*، (ج) شاخص *AWEIsh*، (چ) شاخص *AWEInsh*، (ح) شاخص *WRI*، (خ) طبقه‌بندی *SVM*

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)
روش طبقه‌بندی SVM	۹۹٫۶۸	۸۵۰۰	۹۹٫۰۱	۳۰۵
شاخص NDVI	۹۶٫۱۱	۸۴۱۶	۹۵٫۵۵	۲۱۹
شاخص NDWI	۹۶٫۴۹	۸۳۶۱	۹۳٫۱۰	۱۷۱
شاخص MNDWI	۹۹٫۰۴	۸۵۶۷	۹۵٫۷۷	۲۷۵
شاخص AWE_{nsh}	۵۳٫۵۹	۹۵۰۷	۴۸٫۷۶	۴۲۱۶
شاخص AWE_{sh}	۹۱٫۷	۸۷۵۴	۸۹٫۱۲	۵۳۰
شاخص WRI	۹۹٫۵۷	۸۴۷۰	۹۸٫۵۲	۲۹۸

تعیین پهنه آبی 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 AWE_{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 NDWI و WRI 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.

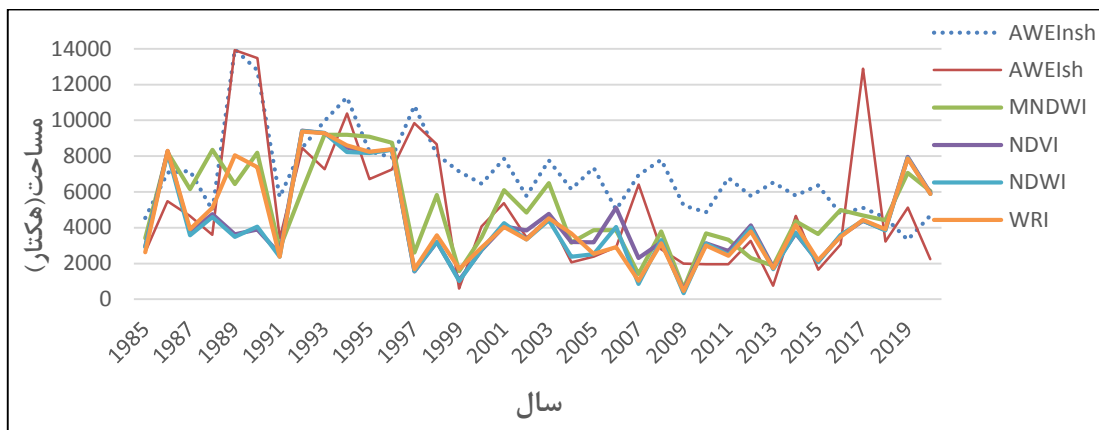
بیشینه متوسط مقدار مساحت آب در سال مطابق منحنی مقادیر میانگین در سال (شکل ۶-الف) برای همه شاخص‌ها حدود ۵۰۰۰ هکتار در سال‌های ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ به دست آمده است. در واقع میانگین‌گیری باعث می‌شود که رفتار شاخص‌ها به یکدیگر نزدیک شود و این امری است که اعداد و ارقام نیز آن را تأیید می‌کنند.

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.

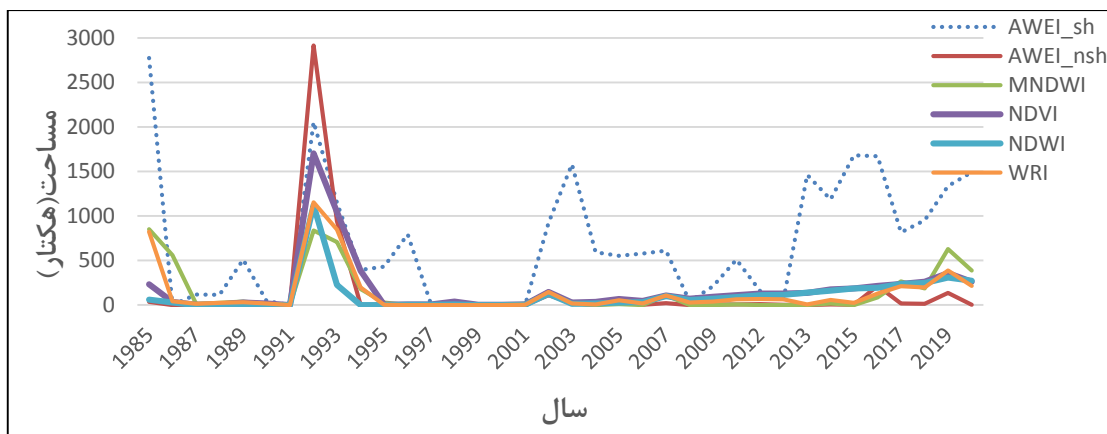
اگر مبنا را کمترین مقدار سطح آب در نمودار بیشینه مقدار آب در سال (شکل ۶-ب) در نظر بگیریم، کمترین سطح آب در سال ۲۰۱۹ برای شاخص AWE_{nsh} در سال ۱۹۹۹ برای شاخص AWE_{sh} و در سال ۲۰۰۹ برای ۴ شاخص باقیمانده تشخیص داده شده است. در واقع رفتار شاخص‌های AWE_{nsh} ،



(الف)



(ب)

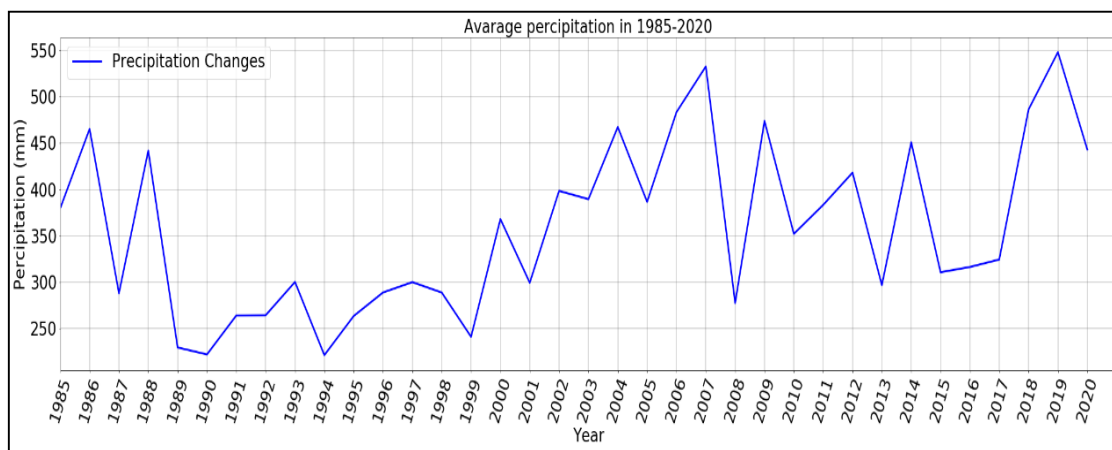


(ج)

شکل ۶: نمودار تغییرات مساحت تالاب در بازه‌ی زمانی سی و پنج ساله بر اساس شاخص‌های $NDWI$ ، $NDVI$ ، $MNDWI$ ، $AWEI_{sh}$ ، $AWEI_{nsh}$ ، WRI . (الف)، (ب) و (ج) به ترتیب میانگین، بیشینه و کمینه سطح آب در سال

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 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 مقدار مساحت آب مطابق منحنی مقادیر بیشینه در سال (شکل ۶-ب) با دو شاخص $AWEI_{sh}$ و $AWEI_{nsh}$ حدود ۱۴۰۰۰ هکتار و در سال ۱۹۸۹، حدود ۹۰۰۰ هکتار در سال ۱۹۹۲ برای ۴ شاخص دیگر به دست آمده است. این تفاوت زیاد در آمار، هشدار جدی است که در انتخاب



شکل ۷: نمودار تغییرات بارش باران در بازه زمانی سی و پنج ساله در منطقه (میانگین بارندگی سالانه از سال 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.

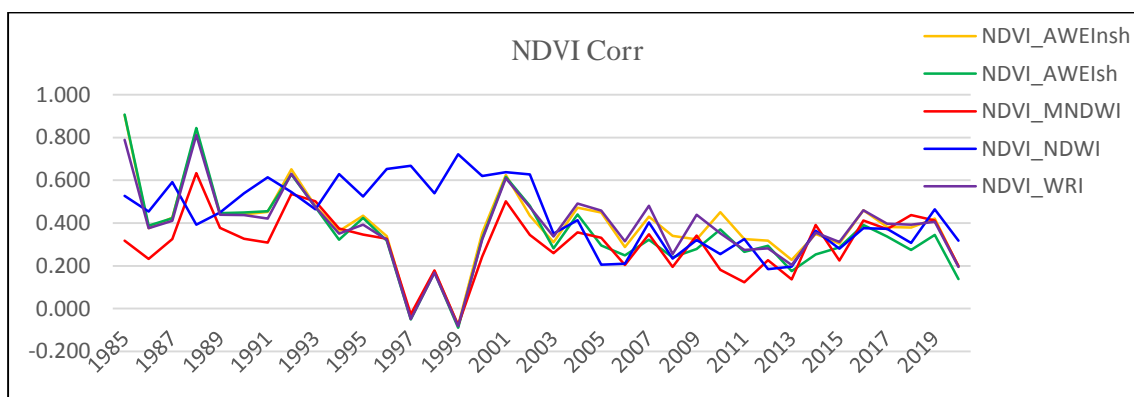
۴-۴- بررسی رابطه بین شاخص‌ها

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 پهنه آبی تالاب) در سال‌های مختلف توسط شاخص‌های مختلف

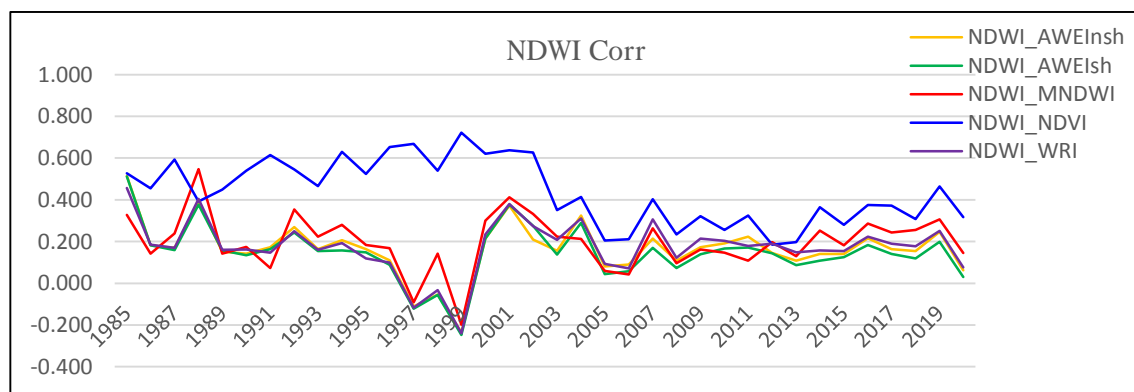
مطابق با شکل (۷) در سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۸ با کاهش بارش باران مواجه بوده‌ایم که به طبع آن مساحت آب تالاب نیز در کمترین وضعیت خود قرار داشته است. سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۰۴، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۹ نیز تالاب با افزایش بارندگی همراه بوده است که در نتیجه‌ی آن مساحت پهنه آب تالاب نیز افزایش چشمگیری داشته است. بر طبق شکل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

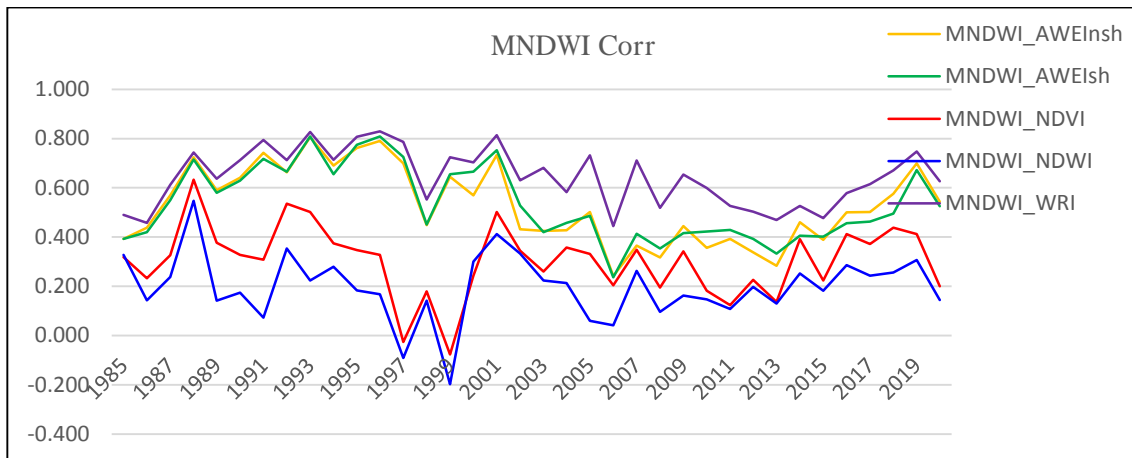
تا چه حد از لحاظ توزیع مکانی نیز به یکدیگر شبیه هستند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که ممکن است در برخی از مقاطع زمانی همبستگی دو به دوی نقشه‌های باینری حاصل شده توسط شاخص‌ها کاهش و یا افزایش یافته باشد اما در این بخش همبستگی بین شاخص‌ها بر مبنی متوسط سالانه ارزیابی شده است. مطابق با شکل (۸) در بازه زمانی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



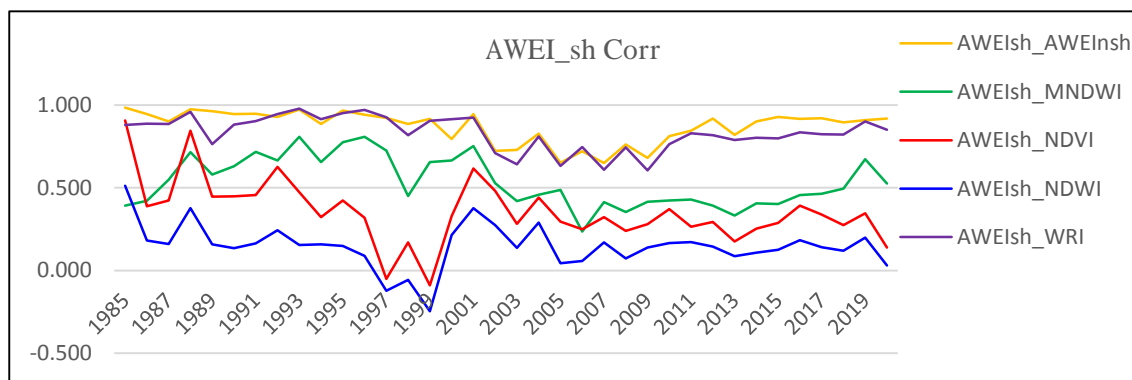
(الف)



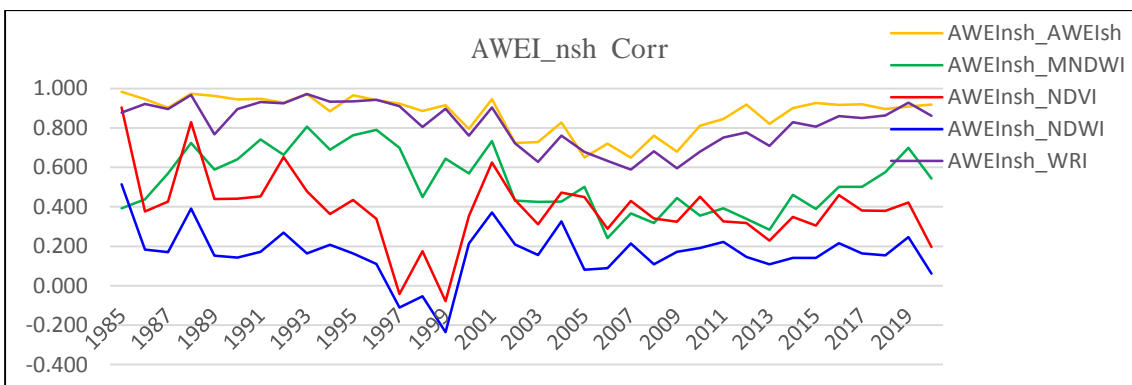
(ب)



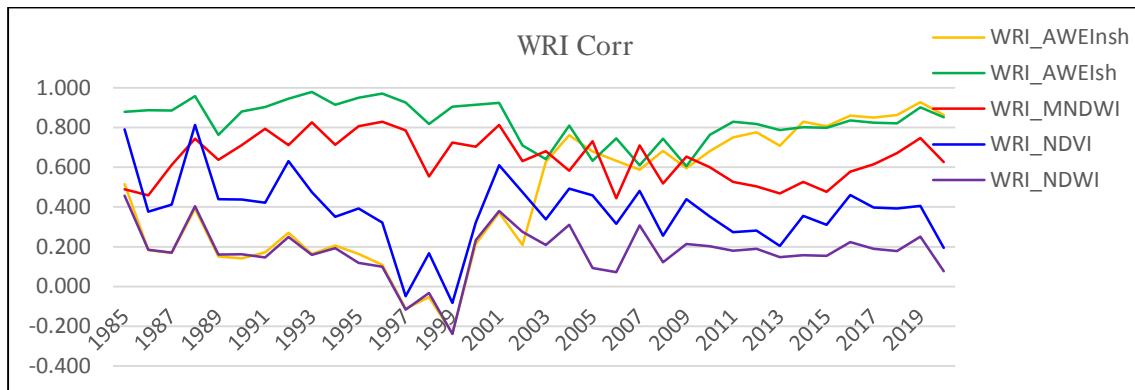
(پ)



(ت)



(ج)



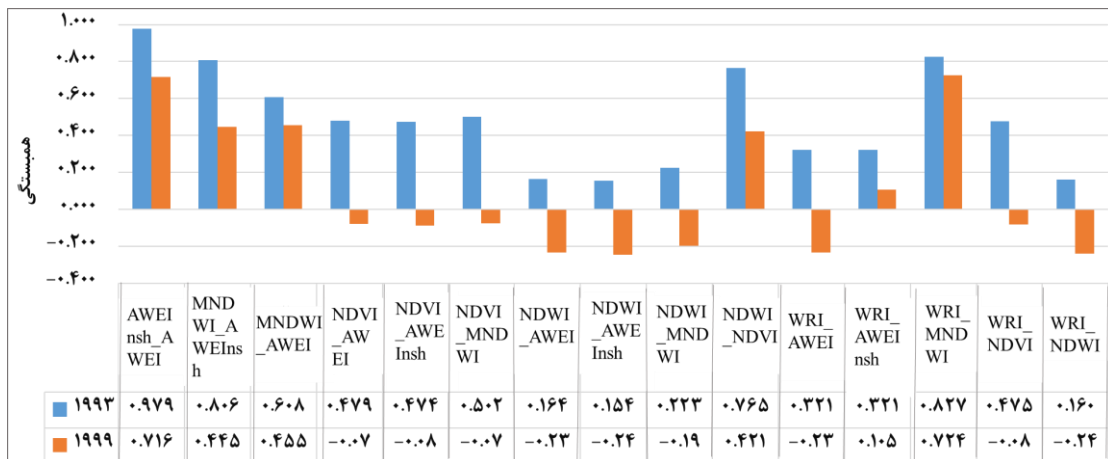
(ج)

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، (پ) همبستگی شاخص *MNDWI* با دیگر شاخص‌ها، (ت) همبستگی شاخص *AWEI_{sh}* با دیگر شاخص‌ها، (ج) همبستگی شاخص *AWEI_{nsh}* با دیگر شاخص‌ها، (چ) 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 *AWEI_{sh}* و *MNDWI* 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 در حالی که مقادیر مشابه در سال ۱۹۹۹ (خشک‌سالی) معمولاً مقادیر کوچک‌تر و حتی منفی نیز دارند. لذا می‌توان به‌طور کلی 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 (۸-الف) می‌توان دریافت که به‌طور کلی 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 به‌طور 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 *NDWI* بسیار شبیه شاخص *NDVI* باشد. شاخص *MNDWI* 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_{nsh}* 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)

۵- نتیجه‌گیری

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 مقایسه‌ای داده‌های بارندگی نشان داد که مساحت ارائه‌شده توسط پنج شاخص دیگر بیشتر با داده‌های بارندگی همخوانی و همبستگی دارند. لذا استفاده از این دو شاخص برای پهنه‌بندی مناطق آبگیر مشابه تالاب می‌تواند توصیه نمی‌گردد.

اگر چه 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 استخراج‌شده توسط شاخص‌های *NDWI*، *NDVI*، *MNDWI* و *WRI* همبستگی بالا با یکدیگر داشته‌اند؛ اما در دوره‌های

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 بحث‌برانگیز است، تالاب می‌تواند به عنوان نمونه‌ای که دارای پیچیدگی‌های متعددی از لحاظ ترکیب آب با مواد مختلف همانند سولفات سدیم است در نظر گرفته شود. در این پژوهش تغییرات سطح آب تالاب می‌تواند 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 تعیین‌شده 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 پر آب 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 در نتیجه 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 به‌طور 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. Malahlela, "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 Khanghah, 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. Hosseinjanizadeh, 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, 2020.*
- [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.