

بررسی تغییرات مکانی - زمانی پوشش گیاهی و بدنه آبی تالاب انزلی با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور و سامانه گوگل ارث انجین

چکیده

تالاب‌ها نقش اکولوژیکی مهمی در تعادل اکوسیستم‌ها دارند. افزایش بیش‌ازحد گیاهان آبی باعث تغییرات نامطلوب مانند یوتروفی شدن تالاب، افزایش کدورت آب، باتلاقی شدن و در نهایت خشک شدن تالاب می‌شود. استفاده از سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای در سامانه گوگل ارث انجین روشی کارآمد و مفید جهت بررسی شرایط اکولوژیکی تالاب‌ها است. با توجه به اهمیت تالاب انزلی و شرایط پیچیده و استراتژیک آن، تغییرات مکانی و زمانی پوشش‌های گیاهی و بدنه آبی آن با استفاده از داده‌های سنجنده (TM)، (ETM+) و (OLI) ماهواره لندست از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ در Google Earth Engine مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات پوشش‌های گیاهی با استفاده از شاخص (NDVI) و تغییرات سطح آب آن با استفاده از شاخص (mNDWI) بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که سطح بدنه آب تالاب در طول سه دهه مطالعه ۵۵۲۰ هکتار (۲۰٪) کاهش یافته، پوشش‌های گیاهی متراکم از ۷۷۵۶ به ۵۳۵۰ هکتار و پوشش گیاهی نیمه متراکم از ۶۹۶۷ به ۱۴۱۰۰ هکتار رسیده که بر طبق نمونه‌برداری انجام شده نیز این تغییرات مورد تأیید قرار گرفت. با بررسی میزان بارندگی سالانه استان گیلان، بر اساس داده‌های باران ماهواره TRMM، مشخص شد که عامل بارندگی نقش کمتری در کاهش سطح آب تالاب دارد و به دلیل دخالت‌های انسانی از طریق ورود رسوبات رودخانه‌ای و بار آلودگی حاصل از ورود پساب‌های کشاورزی، شهری و صنعتی به داخل تالاب انزلی، همچنین کاهش میزان آب ورودی رودخانه‌های منتهی به تالاب به جهت استفاده بیش‌ازحد از آن‌ها در بالادست حوضه، سطح آب تالاب کاهش یافته و سطح پوشش‌های گیاهی نیمه متراکم افزایش یافته است.

واژگان کلیدی: شاخص (NDVI)، شاخص (NDWI)، ماهواره لندست، تالاب انزلی.

مریم حقیقی خمایی^{*۱}

امیراسلام بنیاد^۲

محمد پناهنده^۳

۱. دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.
۲. استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.
۳. استادیار پژوهشکده محیط‌زیست جهاد دانشگاهی گیلان، رشت، ایران.

*مسئول مکاتبات:

maria_haghyghy@yahoo.com

کد مقاله: ۱۴۰۱۰۳۱۰۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۰

این مقاله پژوهشی و برگرفته از رساله دکتری است.

مقدمه

یکی از بخش‌های مهم در منابع طبیعی، محیط‌زیست و گردشگری کشور، تالاب‌ها و اکوسیستم‌های طبیعی هستند که به‌عنوان سرمایه‌های ملی و طبیعی، اهمیت خاصی دارند (بیات و همکاران، ۱۳۹۴). تالاب‌ها نواحی حد واسط بین اکوسیستم‌های خشکی و آبی محسوب می‌شوند و به‌عنوان منابع، جاذب‌ها و مبدل مواد شیمیایی، زیستی و ژنتیک ارزش فراوان دارند (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۱). بیشترین اکوسیستم‌های در معرض خطر، تالاب‌ها در جهان بوده که دلایل آن پیچیده و تنها به استفاده از زمین و آب تالاب مربوط نمی‌شود بلکه مدیریت حوزه‌های بالادست و فشارهای خارجی نظیر تغییرات آب‌وهوایی و رشد جمعیت نیز تأثیرگذارند (Johnston et al., 2013). تالاب‌ها در شرایط طبیعی خود، منافع اقتصادی، محیط‌زیستی و فرهنگی زیادی به جوامع محلی از جمله حفاظت از کیفیت آب، سیل و کنترل فرسایش، زیستگاه حیات‌وحش، آبی‌پروری و فرصت‌های منحصربه‌فرد برای آموزش و تفرج فراهم می‌کنند (Ahmad and Erum, 2012). عوارض و پدیده‌های سطح زمین در طول زمان تغییر می‌یابند، تالاب‌ها و دریاچه‌ها نیز از این مقوله مستثنی نیستند و به علت دارا بودن محیطی بسته و متأثر بودن از تغییرات اقلیمی مانند کاهش بارندگی، افزایش دما و استفاده روزافزون از منابع آب سطحی در معرض تغییر قرار دارند. نظارت و پایش تغییرات در این تالاب‌ها و دریاچه‌ها



بایستی در توسعه ملی و منطقه‌ای و مدیریت منابع آب مهم تلقی گردند (غفور پور عنبران و همکاران، ۱۳۹۷). ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی فرایندی است که منجر به ایجاد درک صحیحی از نحوه تعامل انسان و محیط‌زیست می‌شود. این مسئله در مورد مناطق حساس زیستی و به‌خصوص تالاب‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است (Lambin and Geist, 2008). ارزیابی روند تغییرات در منابع و شرایط اکولوژیکی چنین مناطقی، به مدیران در اتخاذ تصمیمات موردنیاز کمک می‌کند (Wang et al., 2009)؛ زیرا امروزه تغییرات بدون برنامه کاربری اراضی به یک مشکل حاد تبدیل گردیده به‌طوری‌که عمدتاً استفاده از اراضی بدون یک برنامه‌ریزی مدون و بدون توجه به اثرات محیط‌زیستی آنها صورت می‌گیرد. کاربری اراضی و بهره‌برداری از پوشش گیاهی ثابت نبوده و اغلب در اثر فعالیت‌های انسانی دستخوش تغییر و تحول می‌شود. شناسایی و بررسی این تغییرات می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان کمک کند تا عوامل مؤثر در تغییر کاربری اراضی و پوشش گیاهی را شناسایی کرده و برای کنترل آنها برنامه‌ریزی مفید و مؤثر داشته باشند (فلاح‌تکار و حسینی، ۱۳۹۶؛ کاظمی و بیات، ۱۳۹۴؛ Gandhi et al., 2015). ارزیابی روند تغییرات پوشش گیاهی فرایندی است که منجر به ایجاد درک صحیحی از نحوه تعامل انسان و محیط‌زیست می‌شود. این مسئله در مورد مناطق حساس زیستی و به‌ویژه تالاب‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است (ممبئی و همکاران، ۱۳۹۷؛ زبردست و جعفری، ۱۳۹۰). این ارزیابی نیازمند کسب و تهیه اطلاعاتی است که روند تغییرات را در دوره‌های زمانی مشخص می‌نماید و حسگرهای سنجنش‌ازدور قادرند به‌سرعت اطلاعات طیفی گسترده‌ای از پدیده‌ها در مقیاس منطقه‌ای و حتی جهانی به دست آورند، به‌طوری‌که با مدل‌سازی و بازیابی داده‌ها می‌توان شاخص‌های مختلف اکولوژیک را به دست آورد. به‌این‌ترتیب، سنجنش‌ازدور به‌تدریج تبدیل به رویکردی ضروری برای پایش اکولوژیک، به‌ویژه در مقیاس‌های بزرگ خواهد بود (Li et al., 2022).

داده‌های ماهواره‌ای به دلیل ویژگی‌های خاص خود از جمله سطح پوشش وسیع، قابلیت تکرار و به هنگام شدن مداوم می‌توانند در تهیه نقشه‌های پوشش اراضی و مدیریت چنین مناطقی مورد استفاده قرار گیرند، (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۱). از روش‌های سنجنش‌ازدور به‌منظور پیگیری آثار وقایع و فرایندهای تغییر اقلیم، خشک‌سالی، تغییرات خط ساحلی رودها، تغییر پوشش‌های گیاهی دلتای رودخانه‌ها، تغییرات مناطق حفاظت‌شده و موارد بسیار دیگری استفاده شده است (Crabtree et al., 2009). پدیده‌های مختلف از جمله آب و گیاهان با درجه سرسبزی مختلف دارای بازتابش متفاوت هستند؛ بنابراین ثبت خصوصیات آنها توسط یک باند به‌تنهایی ممکن نیست و لذا استفاده از شاخص‌ها ضروری است (Ju and Bother, 2022). یکی از منابع اطلاعاتی که در پایش زمانی تغییرات قابلیت زیادی دارد، سامانه سنجنش‌ازدوری تحت وب، گوگل ارث انجین (GEE: Google Earth Engine) است که تمام مجموعه داده‌های ماهواره‌ای را بایگانی کرده و آنها را در موتور محاسبات ابری در قالب متن‌باز وارد کرده است (مهدوی فرد و همکاران، ۱۳۹۹). این سامانه از زیرساخت محاسباتی گوگل و مجموعه داده‌های سنجنش‌ازدور که در دسترس هستند استفاده می‌کند و بسیاری از فرایندهای پردازش تصاویر ماهواره‌ای را در سال‌های اخیر آسان نموده است (Gorelick et al., 2017)؛ و می‌تواند پارامترهایی مانند شاخص گیاهی نرمال شده یا (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) را از تصاویر ماهواره‌ای استخراج کند (Schmid, J. N. 2017). ویژگی بسیار خوب این سامانه، مجانی بودن آن، عدم نیاز به سخت‌افزار پیشرفته و گران‌قیمت و دسترسی آزاد و آنلاین به پایگاه داده‌های سازمان فضایی اروپا و آمریکا و بسیاری از پایگاه‌های اطلاعاتی دیگر است (Shelestov et al., 2017)؛ Patel et al., 2015؛ Goldblatt et al., 2016). روش‌های چند بانندی با استفاده از (GEE) با ترکیب باندهای انعکاسی برای بهبود استخراج مناطق آبی بکار می‌رود، به‌عنوان مثال از شاخص اختلاف آبی نرمال شده (NDWI: Normalized Difference Water Index) برای استخراج مناطق آبی از تصاویر لندست استفاده می‌شود (McFeeters, 1996). خسروی و همکاران (۱۳۹۹) پهنه‌های آبی در تالاب‌های شهرستان پلدختر استان لرستان را با استفاده از شاخص‌های آبی چون (AWEInsh, AWEIsh, NDWI, MNDWI, ADWI plus) Landsat Water Product و (VI, MNDWI plus VI, LSWI plus VI) گوگل ارث انجین بررسی نمودند و به نتیجه رسیدند که شاخص‌های AWEInsh و AWEIsh بهترین شاخص‌ها برای تعیین پهنه آبی بوده و شاخص‌های آب و گوگل ارث انجین را ابرازی مفید برای شناسایی روند افزایشی و کاهش سطح آب تالاب‌ها معرفی نمودند. حیدریان و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از داده‌های سنجنده OLI

ماهواره Landsat 8 تغییرات عمق تالاب زیریوار را در فصول مختلف مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که بازتاب طیفی نور قرمز ارتباط بالایی با میزان تغییرات عمق تالاب نشان داد. پوررمضان گابیه و همکاران (۱۳۹۹) در پایش تغییرات مکانی - زمانی تالاب کیاکالایه لنگرود باهدف بررسی روند تخریب آن در طی ۲۴ سال اخیر از تصاویر لندست استفاده نمودند و شاخص‌های پوشش گیاهی، آب و مناطق مسکونی را بر تصاویر اعمال داشتند. نتایج نشانگر کاهش پوشش گیاهی و سطح آب و افزایش چشمگیر مناطق مسکونی است که این موضوع احتمال بروز مخاطرات محیطی برای ساکنین را افزایش داده و باعث ازبین‌رفتن سلامت اکوسیستم غنی تالاب شده است. روند تغییرات تالاب ساحلی میانکاله نیز با رویکرد سیمای سرزمین و با استفاده از تصاویر لندست توسط دشتی و همکاران (۱۳۹۷) ارزیابی گردید که تغییرات گسترده‌ای در پهنه تالاب طی ۱۵ سال مشخص گردید. بررسی تغییرات کمی و تغییرات مساحت آبی و گیاهی تالاب پریشان نیز با استفاده از سنجش‌ازدور توسط عبادی و همکاران (۱۳۹۵) صورت گرفت و مشخص شد که بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴، محدوده آبی دریاچه به طور مراتب کاهش یافته و در مقابل پوشش گیاهی دریاچه باتوجه به خشکیدگی آن و اشغال بستر توسط گیاهان، افزایش یافته است. همچنین الگوریتمی توسط آل شیخ و همکاران (۱۳۸۴) با ترکیب دو روش آستانه‌گذاری بر روی هیستوگرام تصویر و نسبت بین باندها برای پایش خطوط ساحلی دریاچه ارومیه در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۱ که با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM و ETM طراحی شد و نشان داد مساحت دریاچه در بازه زمانی موردنظر ۱۰۴۰ کیلومتر مربع کاهش یافته است. Ekuamah و همکاران (۲۰۲۰) سلامت اکوسیستم تالاب‌های ساحلی غنا (۱۹۸۵-۲۰۱۷) را با استفاده از شاخص‌های ساختار، عملکرد و انعطاف‌پذیری، تصاویر ماهواره لندست و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP: Analytical Hierarchy process) بررسی کردند. Shen و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat TM//OLI، شاخص NDVI و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تخریب تالاب Plateau Zoige در چین را بررسی کردند. Lv و همکاران (۲۰۱۹) با مطالعه عکس‌های هوایی بیان کردند که سطح مجموعه تالاب‌های موجود در منطقه جدید Xiong واقع در شمال چین از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۱۵ به میزان ۱۳/۸۴ درصد کاهش یافته است. در این مطالعه بیان شده که مساحتی از تالاب که کاهش یافته به زمین‌های زراعی و ساخت‌وساز اختصاص یافته است. در این مطالعه نیز از دو شاخص NDVI و NDWI به ترتیب برای بررسی میزان پوشش گیاهی و تغییرات سطح آب استفاده شده است. Zhao و همکارانش (۲۰۱۰) تحقیقی در تالاب دهانه رودخانه Perel در چین را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های ETM، TM، MSS در سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۹ انجام داده‌اند و به این نتیجه رسیدند که بر اثر عوامل مختلف طبیعی و انسانی تالاب به مقدار زیادی کوچک و تکه‌تکه شده است.

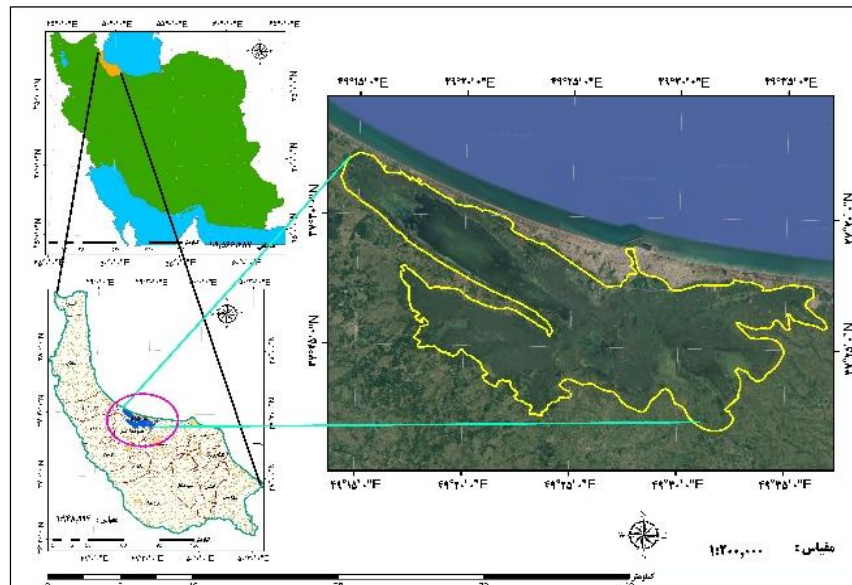
گسترش شهرها و افزایش روزافزون تراکم انسانی در کرانه‌های تالاب انزلی، فقدان وجود سیستم تصفیه فاضلاب و سرازیر شدن فاضلاب‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی از شهرهای اطراف به درون این تالاب، کاهش عمق در اثر افزایش رسوب‌گذاری در کف، موجبات نابودی تالاب انزلی را فراهم کرده است که در سال‌های اخیر روند کاهشی در مساحت پهنه آبی تالاب مشاهده می‌شود. مطالعات چندی در زمینه بررسی روند تغییرات تالاب انزلی صورت گرفته که از جمله آن‌ها حقیقی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی پوشش گیاهی تالاب انزلی بر اساس شاخص تالابی با طبقه‌بندی شیء‌گرا تصویر ماهواره سنتینل-۲ در مرداد سال ۱۳۹۸ پرداختند و نتایج نشان داد که گروه گیاهان اجباری در حاشیه پهنه‌های آبی، گروه اختیاری در حاشیه خشکی و در جنوب غربی، گروه اختیاری و اجباری با پراکنش کمتر به‌طور یکنواخت در کل تالاب و گیاهان اختیاری خشکی و اختیاری در بخش کوچکی در منطقه چوکام، شمال و شمال غرب مشاهده گردید و درصد بالای مساحت کلاس کشاورزی و نقشه شاخص (NDVI) را نشانگر خشک شدن تالاب دانستند. خاریبند و عطاری (۱۳۹۹) نیز در ارزیابی تغییرات عمق تالاب انزلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی در بازه سی‌ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۸) به این نتیجه رسیدند که تغییرات عمق تالاب، عمدتاً از تغییرات تراز آب دریای خزر متأثر شده و تغییرات بارش و دما، دلایل اصلی کاهش عمق تالاب انزلی نیستند.

باتوجه به اینکه تغییر کاربری و پوشش گیاهی در اراضی حاشیه تالاب‌ها فرایندی است پیچیده که متغیرها و عوامل مختلفی را در سطوح منطقه‌ای در برمی‌گیرد (متحدی و همکاران، ۱۳۹۸)، تأثیر بزرگ و بالقوه آن بر محیط فیزیکی موجب مخاطرات محیط‌زیست، اقتصادی و اجتماعی خواهد بود. این مهم اهمیت پژوهش‌های مرتبط را نشان داده و باتوجه به اینکه تا به امروز مطالعات زیادی در مورد پایش تغییرات پوشش گیاهی

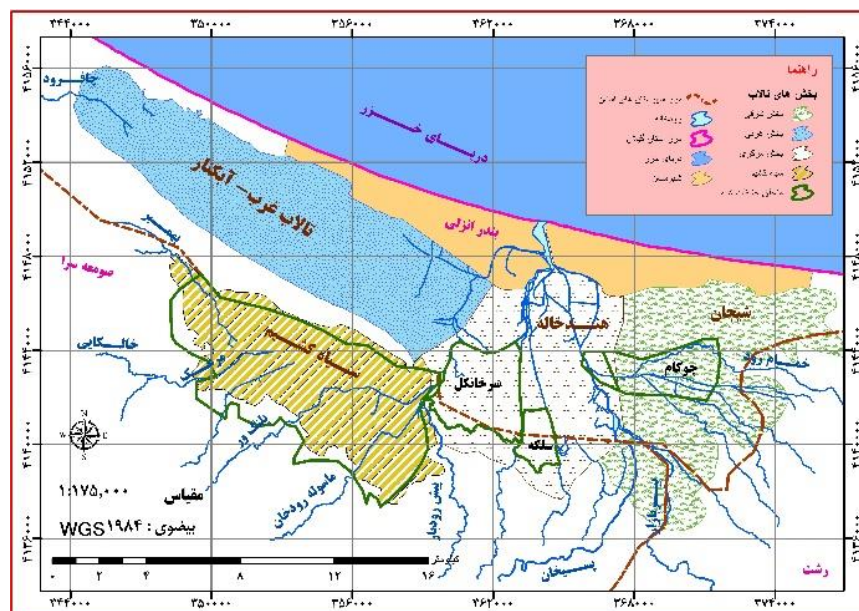
و سطوح آبی تالاب انزلی با استفاده از سنجنده‌های مختلف ماهواره‌ای (لندست) و سامانه GEE گزارش نشده است، لذا مطالعه حاضر باهدف شناسایی میزان تغییرات پوشش گیاهی و بدنه آبی تالاب، به بررسی کارایی ابزارهای مختلف گوگل ارث انجین که فرایند عملیات سنجش‌ازدور را سرعت می‌بخشند و از حجم آن‌ها می‌کاهند، پرداخته تا نتایج آن بتواند به‌عنوان ابزاری جهت مدیریت صحیح اراضی حاشیه تالاب در آینده مورد استفاده قرار گیرد. همچنین باتوجه به متن‌باز بودن سامانه GEE که کار با آن را آسان و در دسترس می‌نماید، انجام مطالعات گوناگون درزمینه بررسی کارایی ابزارهای مختلف این سامانه موردنیاز است.

مواد و روش‌ها

تالاب انزلی در فهرست تالاب‌های کنوانسیون رامسر قرار دارد و محدوده آن شامل کل تالاب انزلی، تالاب سیاه کشیم، منطقه حفاظت‌شده سلکه و سایر آب‌بندان‌ها است. این تالاب در موقعیت جغرافیایی $37^{\circ} 21' 50''$ تا $37^{\circ} 32' 23''$ عرض شمالی و $49^{\circ} 15' 3''$ تا $49^{\circ} 36' 53''$ طول شرقی قرار داشته و مساحت آن ۲۵۰۶۳ هزار هکتار است. مرز این تالاب از قسمت شرقی به دلتای سفیدرود، از بخش جنوبی و غربی به رشته‌کوه‌های البرز و از شمال به دریای خزر منتهی می‌شود. از لحاظ ارتفاعی ۲۸- تا ۳۱۰۵ متر را در برمی‌گیرد. حوضه آبخیز تالاب از نظر زمین‌شناسی (ژئومورفولوژی) شامل مناطق کوهستانی در بخش جنوبی و مناطق پست جلگه‌ای (محدوده بستر تالاب) در بخش شمالی است (که اکثر فعالیت‌های انسانی در این منطقه متمرکز است) (عاشوری و مرادی، ۱۳۹۳؛ مدبری و شکوهی، ۱۳۹۸). تفاوت میان قسمت‌های مختلف تالاب از نظر خصوصیات جغرافیایی، ویژگی آب‌وهوایی و تنوع گیاهی و جانوری، سبب تقسیم تالاب به چهار بخش شرقی، مرکزی، غربی و جنوب غربی (سیاه کشیم) شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیائی و شکل ۲ بخش‌های مختلف تالاب انزلی را نشان می‌دهد (جاودان خرد، ۱۳۹۰). درحالی‌که قسمت اعظم بخش شرقی تالاب امروزه پوشیده از گیاهان آبی بن در آب و یکی از آلوده‌ترین و کم‌عمق‌ترین محدوده‌های تالاب انزلی است، در بخش مرکزی تالاب پهنه آبی وسیعی وجود دارد و خروجی آب تالاب به دریا در محدوده این بخش قرار دارد. عمیق‌ترین بخش تالاب در بخش غربی آن قرار دارد درحالی‌که در سیاه‌کشیم به‌عنوان قدیمی‌ترین منطقه حفاظت‌شده در مجموعه تالاب انزلی، امروزه به‌جز چند پهنه آبی و رودخانه‌های جاری، بقیه سطح تالاب از گیاهان آبی بن در آب به‌ویژه نی پوشیده شده است (جاودان خرد، ۱۳۹۰).



شکل ۱: موقعیت جغرافیائی تالاب انزلی.



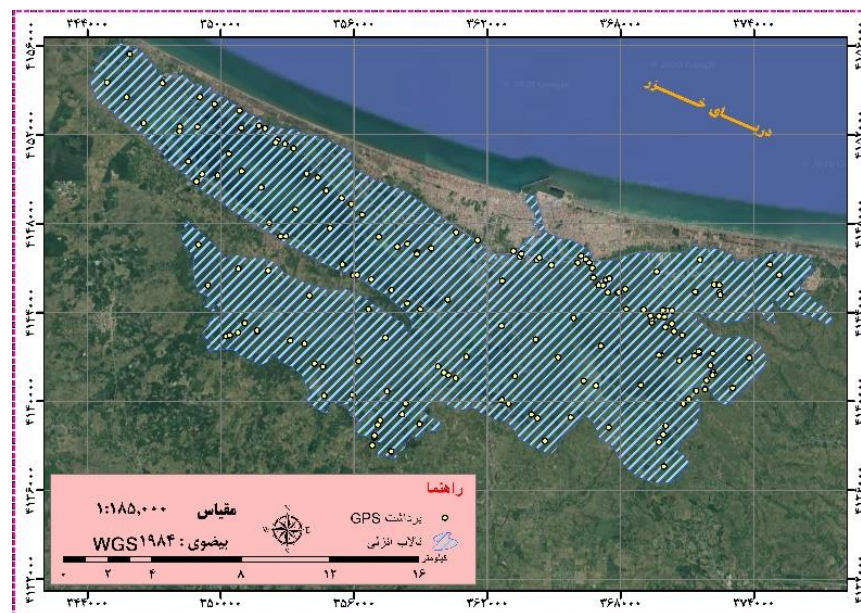
شکل ۲: بخش‌های مختلف تالاب انزلی.

در این مطالعه از داده‌های Google Earth Engine شامل تصاویر لندست ۵، ۷ و ۸ بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ استفاده شده است. سپس معادله ترکیب مقادیر حداکثر (MVC: Maximum Value Composite) روی تصاویر همراه اعمال شد، زیرا ترکیب مقادیر حداکثر باعث کاهش قابل توجه آثار اتمسفری، تأثیرات زاویه اسکن، ابرناکی و آثار زاویه زینت خورشیدی می‌شود (Holben, 1986). این مجموع داده‌ها با استفاده از معادله MVC به صورت یک تصویر واحد NDVI، NDWI و mNDWI در گوگل ارث انجین ارزیابی شدند (جدول ۱) و هر پیکسل با استفاده از یک سیستم خبره هوشمند طبقه‌بندی شد (Xia et al., 2019). تصاویر ماهواره لندست در طی زمان ۳۰ ساله مطالعه به صورت دوره‌ای از منطقه موجود است. از پرکاربردترین شاخص‌ها در بررسی پوشش گیاهی شاخص NDVI بوده که بهترین شاخص برای بررسی بازتاب و وضعیت پدیده‌های گیاهی و توزیع مکانی آن‌ها است (Zhao, 2003; Jing, 2009). همچنین از شاخص‌های NDWI و mNDWI در بررسی پهنه‌های آبی دارای بالاترین کارایی هستند (Amiri et al., 2022).

جدول ۱: تصاویر استفاده‌شده از گوگل ارث انجین.

ماهواره	سنجنده	زمان گرفتن تصویر
لندست ۵	TM	۱۹۹۰-۲۰۰۰
لندست ۷	ETM ⁺	۲۰۰۰-۲۰۱۳
لندست ۸	OLI	۲۰۱۴-۲۰۲۰

همچنین داده‌های مربوط به برداشت میدانی با دستگاه GPS و گوگل ارث (Google Earth) (شکل ۳) جهت ارزیابی و کنترل رفتار طیفی پدیده‌های مورد مطالعه در شاخص‌های شناسایی پهنه‌های آب (NDWI و mNDWI) مورد استفاده قرار گرفت (Amiri et al., 2022).



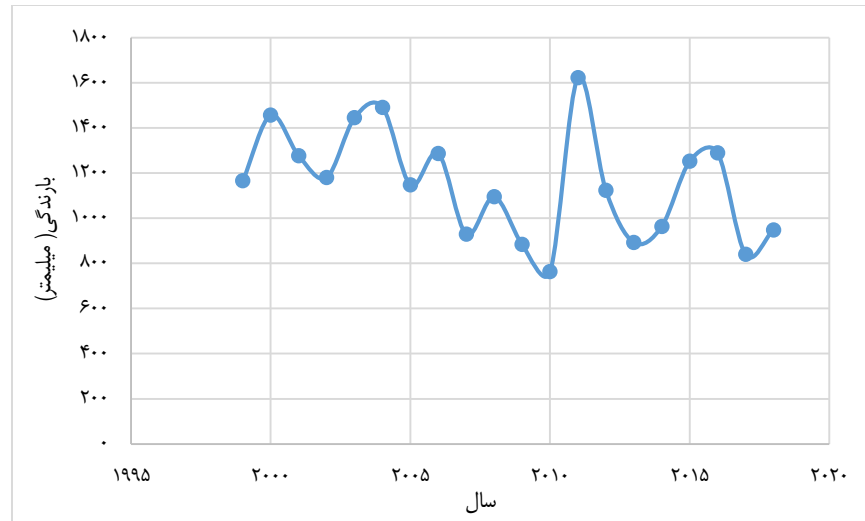
شکل ۳: برداشت میدانی از مناطق مختلف تالاب انزلی.

داده‌های اقلیمی شامل داده‌های باران ماهواره (TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission) اولین سیستم فضایی راداری بارش است که به صورت الگوریتمی، داده‌های میکروویو از چندین ماهواره از جمله SSMIS، SSMI، AMSU-B و AMSR-E را ادغام می‌کند و هرکدام به صورت ترکیبی، به ابزار TRMM تبدیل می‌شوند (Wolff *et al.*, 2005). این داده‌ها از سامانه گوگل ارث انجین اخذ می‌شوند (جدول ۲). انتخاب داده‌های بارش ماهانه ۳B۳۴ از بین محصولات دیگر، به این دلیل است که دقت آن‌ها بیشتر از محصولات دیگر ارزیابی شده است (حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۲: داده‌های اقلیمی استفاده شده در گوگل ارث انجین.

ماهواره	نوع داده	زمان گرفتن تصویر
TRMM	سری 3B43 (داده‌های میکروویو و مادون قرمز) Monthly Precipitation Estimates	۱-۱۹۹۸ الی ۱-۲۰۱۹

نمودار میانگین بارش سالیانه بر اساس داده‌های باران به دست آمده از ماهواره TRMM در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: نمودار بارندگی شهرستان انزلی.

تصاویر ماهواره‌ای لندست در سامانه گوگل ارث انجین به دو صورت قابل استفاده هستند: الف) داده‌های خام تصحیح اتمسفری شده و ب) محصولات و پروداکت‌های تولیدشده. داده‌های تصحیح‌شده این ماهواره و همچنین محصول آبی لندست برای محاسبه مساحت سطحی پوشش‌های آبی و گیاهی بسیار کاربردی بوده و با استفاده از شاخص‌های مختلف این طبقه‌بندی صورت گرفت (Wulder et al., 2019; et al., 2017; Gorelick).

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه از نوع پروداکت‌های تولیدشده هستند که دارای پیش‌پردازش‌های تصحیح اتمسفری و رادیومتری هستند و مراحل محاسبه شاخص‌های طیفی NDVI و NDWI در این سامانه به شرح ذیل است:

- ۱- مجموعه داده‌های مورد نیاز از طریق زبان جاوا اسکریپت در GEE فراخوانده می‌شوند. یکی از راه‌های ایجاد یک مجموعه داده، ارائه فهرستی از ویژگی‌ها برای منطقه مورد نظر (ROI) در گوگل ارث یا وارد کردن شیپ فایل محدوده مورد مطالعه است.
- ۲- سپس از طریق انواع فیلتر امکان، استفاده از داده‌های تصحیح اتمسفری شده (Surface Reflectance) را جهت پردازش‌های اولیه به دست می‌آوریم.

۳- محاسبه شاخص‌ها از روابط ۱، ۲ و ۳

پوشش گیاهی نور را در قسمت باند مادون قرمز نزدیک (NIR) از طیف الکترومغناطیسی منعکس و در منطقه باند قرمز جذب می‌کند. NDVI برای ایجاد یک مقدار واحد استفاده می‌کند که تقریباً منعکس کننده فعالیت فتوسنتزی در یک پیکسل است. این شاخص عددی بین ۱ و -۱ می‌شود که در آن پیکسل‌هایی با فعالیت فتوسنتزی بالا دارای NDVI بالایی هستند. این تصویر با استفاده از رابطه ۱ به دست آمده است (Khine et al., 2018).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad \text{رابطه ۱:}$$

بدین ترتیب جهت بارز سازی تغییرات پوشش گیاهی از شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) استفاده می‌شود. شاخص‌های پوشش گیاهی به‌طور گسترده به‌عنوان معیارهایی برای تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش اراضی از جمله پوشش گیاهی و فاکتورهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند (Morawitz et al., 2006; Koh et al., 2006). شاخص NDVI یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی است (Binh et al., 2005) که از طریق نسبت گیری باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک به دست می‌آید (علوی پناه، ۱۳۹۷)؛ زیرا

پوشش گیاهی نور را در قسمت باند مادون قرمز نزدیک (NIR) طیف الکترومغناطیس، منعکس و در منطقه باند قرمز جذب می‌کند. این شاخص واکنش به اعمال فتوسنتزی را به خوبی نمایش می‌دهد و ارزش بالاتر آن نشانگر پوشش گیاهی متراکم‌تر و شاداب‌تر است (Matsushita *et al.*, 2007).

مانیتورینگ NDVI می‌تواند برای تشخیص تغییرات در پوشش زمین و کاربری زمین (LUCC: Land cover/ Land Use)، ناهنجاری‌ها در فصول رشد و شناسایی مناطق خشک‌سالی و بیابان‌زایی استفاده شود. این شاخص از -۱ تا +۱ متغیر است. مقادیر ۰/۱ (شنگ، ماسه و برف) ۰/۳ (پوشش پراکنده و نیمه متراکم)، ۰/۶ (جنگل و پوشش متراکم) است و مقادیر زیر صفر نیز در طبقه آب جا داده می‌شود (Schmid, 2017). آب دارای مقدار معادل NDVI کمتری نسبت به سایر پوشش‌های سطحی است (Wang *et al.*, 2003). این شاخص برای نمایش توده حیاتی (بیوماس) پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ، تولیدات گیاهی و تفکیک پوشش گیاهی مناسب است. همچنین در بررسی تغییرات پهنه آبی، از شاخص اختلاف آبی نرمال شده (NDWI) استفاده شد. شاخص اختلاف آبی نرمال شده (NDWI) (NDWI) نخستین بار در سال ۱۹۹۶، توسط McFeeters (رابطه ۲) به منظور جداسازی عوارض آب‌های آزاد و بهبود بارز سازی آن‌ها در تصاویر رقومی سنجش‌ازدوری ارائه شده است.

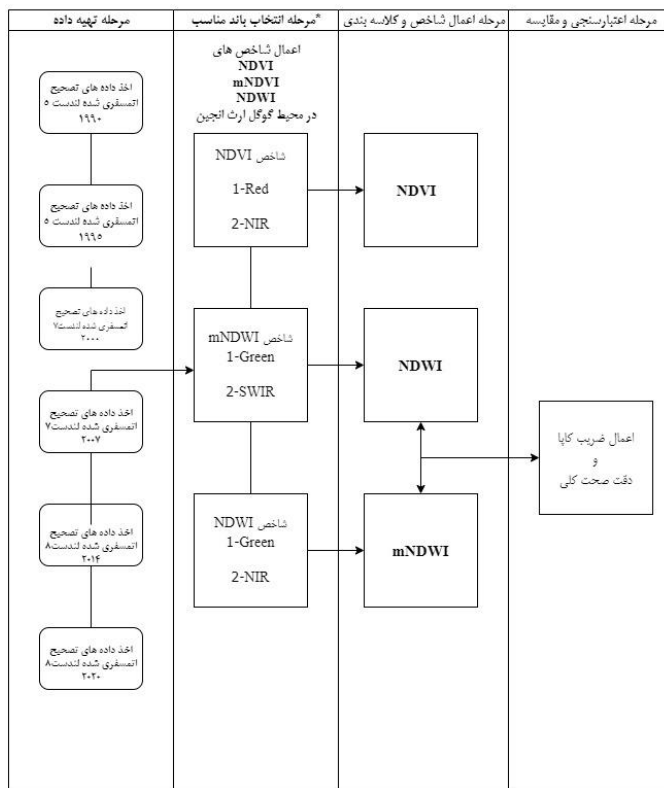
$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad \text{رابطه ۲:}$$

در باند مادون قرمز نزدیک آب جذب قوی دارد در حالی که پوشش گیاهی بازتاب قوی دارد. NDWI از طول موج‌های نور مرئی سبز و مادون قرمز به خوبی در جداسازی پهنه آبی عمل می‌کند، در حالی که عوارض خاک و پوشش گیاهی را حذف می‌کند. دامنه مقادیر NDWI بین -۱ و +۱ قرار دارند. McFeeters صفر را به عنوان آستانه در نظر گرفته است. به این صورت که اگر $NDWI < 0$ باشد نوع پوشش، آب است و اگر $NDWI > 0$ باشد، نوع پوشش، آب نیست.

در این مطالعه به دلیل اختلاط بالای پوشش گیاهی در داخل و حاشیه پهنه‌های آبی در فصول مختلف توسط گیاهان ماکروفیت (نی، لویی، لاله تالابی و ...) از شاخص تفاضل نرمال شده آبی اصلاح شده (mNDWI) جهت جداسازی پهنه آبی تالاب انزلی استفاده شده است، زیرا mNDWI یکی از بهترین شاخص‌ها برای نقشه‌برداری آب‌های سطحی است (Wang *et al.*, 2003). این شاخص به منظور بارز کردن ویژگی‌های آب در تصاویر طراحی شده است که می‌تواند به خوبی مناطق آبی مختلط با پوشش گیاهی و مناطق شهری را بارز سازی کند (Xu, 2006). این شاخص از طریق رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$mNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR} \quad \text{رابطه ۳:}$$

پس از محاسبه شاخص‌ها رفتار طیفی پدیده‌ها با استفاده از نمودار طیفی مورد بررسی قرار می‌گیرد. رفتار طیفی موجودات زنده، امروزه در سنجش‌ازدور به عنوان ابزاری مؤثر برای تشخیص، پیش‌بینی و مدیریت پوشش گیاهی و بیماری‌های گیاهی و محصولات زراعی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (El-Ghany *et al.*, 2020) نمودار طیفی برداری است دوبعدی که محور افقی آن نشان‌دهنده طول موج و محور عمودی نشان‌دهنده شدت بازتاب است (شکل ۵). رفتار طیفی عبارت است از نسبت بازتاب امواج الکترومغناطیسی در محدوده‌های طیفی مختلف. ارزیابی صحت نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌ها با استفاده از شاخص کاپا و صحت کلی بررسی گردید.

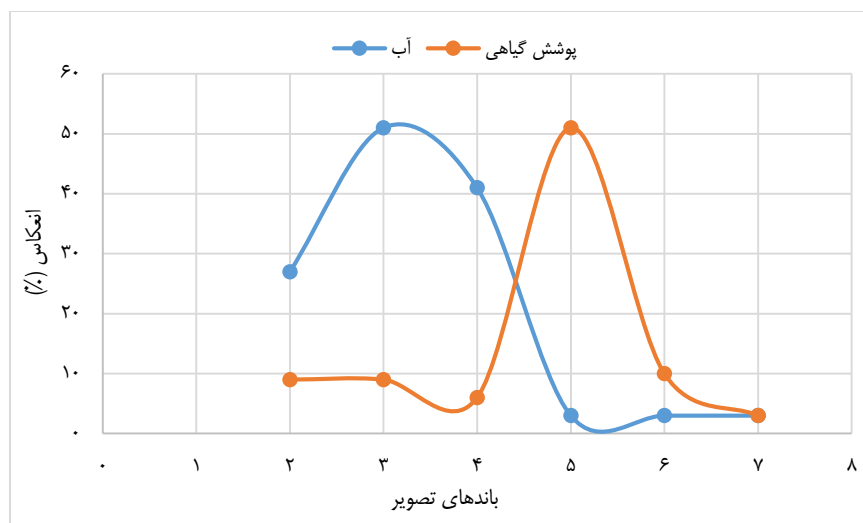


شکل ۵: چارچوب کلی روش پژوهش.

نتایج

به منظور شناسایی تغییرات پهنه‌های آبی و پوشش گیاهی تالاب طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ از شاخص‌های NDWI, NDWI, mNDWI استفاده شد. استخراج کلاسه‌های پوشش متراکم و نیمه متراکم گیاهی و پهنه‌های آبی در شکل ۸ و ۱۱ و جداول ۴ و ۵ آمده است. شکل ۴ تغییرات پوشش گیاهی را از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که به دلیل وجود پوشش گیاهی ماکروفیت در حاشیه و داخل پهنه‌های آبی در سال‌های مطالعه، شاخص NDWI در استخراج سطح آب تالاب ناتوان بوده و باند SWIR که در محاسبه شاخص mNDWI استفاده می‌شود جهت استخراج پهنه آب در این منطقه کاربرد بالاتری دارد.

در بررسی نمودار رفتار طیفی شاخص‌های استخراج‌شده در شکل ۶، شاخص NDVI مناطقی که پوشش گیاهی طبقه‌بندی‌شده، رفتار طیفی گیاه را به‌خوبی نشان داده و رفتار طیفی پدیده آب نیز در شاخص mNDWI را مطلوب مشخص می‌کند.



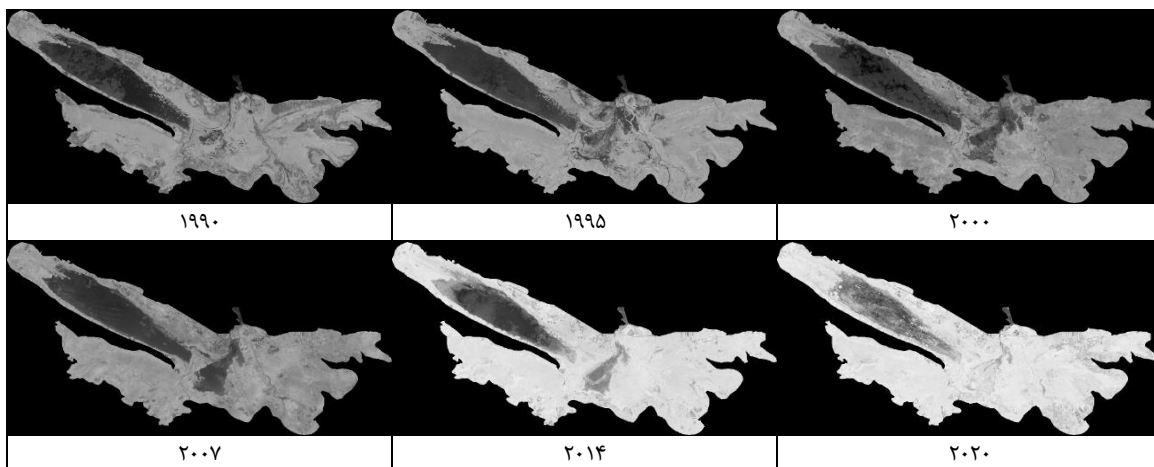
شکل ۶: بررسی رفتار طیفی پوشش گیاهی و آب در شاخص های طیفی.

بررسی شاخص گیاهی NDVI (جدول ۳) نشان می دهد که در تمام دوره های زمانی مساحت پوشش گیاهی آبی تالاب روبه افزایش بوده و این افزایش در کلاس پوشش نیمه متراکم بالاترین مقدار را داشته است. بدین ترتیب در سال ۱۹۹۰ مساحت پوشش گیاهی متراکم و نیمه متراکم به ترتیب از ۷۷۵۶ و ۶۹۶۷ هکتار در سال ۱۹۹۰ به ۵۳۵۰ و ۱۴۱۰۰ هکتار در سال ۲۰۲۰ رسیده است.

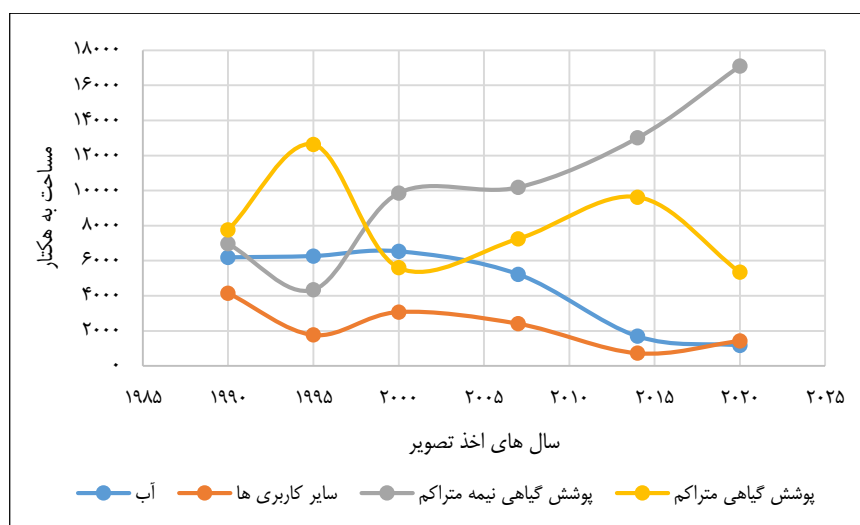
جدول ۳: مساحت (هکتار) طبقات پوشش گیاهی و آب تالاب انزلی بر اساس شاخص NDVI (۱۹۹۰-۲۰۲۰).

نوع کاربری	سال های مورد بررسی					
	۲۰۲۰	۲۰۱۴	۲۰۰۷	۲۰۰۰	۱۹۹۵	۱۹۹۰
سایر کاربری ها	۱۴۳۲	۷۳۳	۲۴۱۰	۳۰۷۴	۱۷۶۹	۴۱۵۱
پوشش آب	۱۱۸۱	۱۷۰۰	۵۲۲۷	۶۵۳۰	۶۲۶۲	۶۱۶۸
پوشش گیاهی نیمه متراکم	۱۷۱۰۰	۱۳۰۰۰	۱۰۱۷۶	۹۸۵۵	۴۳۷۹	۶۹۶۸
پوشش گیاهی متراکم	۵۳۵۰	۹۶۳۰	۷۲۵۰	۵۶۰۴	۱۲۶۵۳	۷۷۵۶
جمع کل	۲۵۰۶۳	۲۵۰۶۳	۲۵۰۶۳	۲۵۰۶۳	۲۵۰۶۳	۲۵۰۶۳

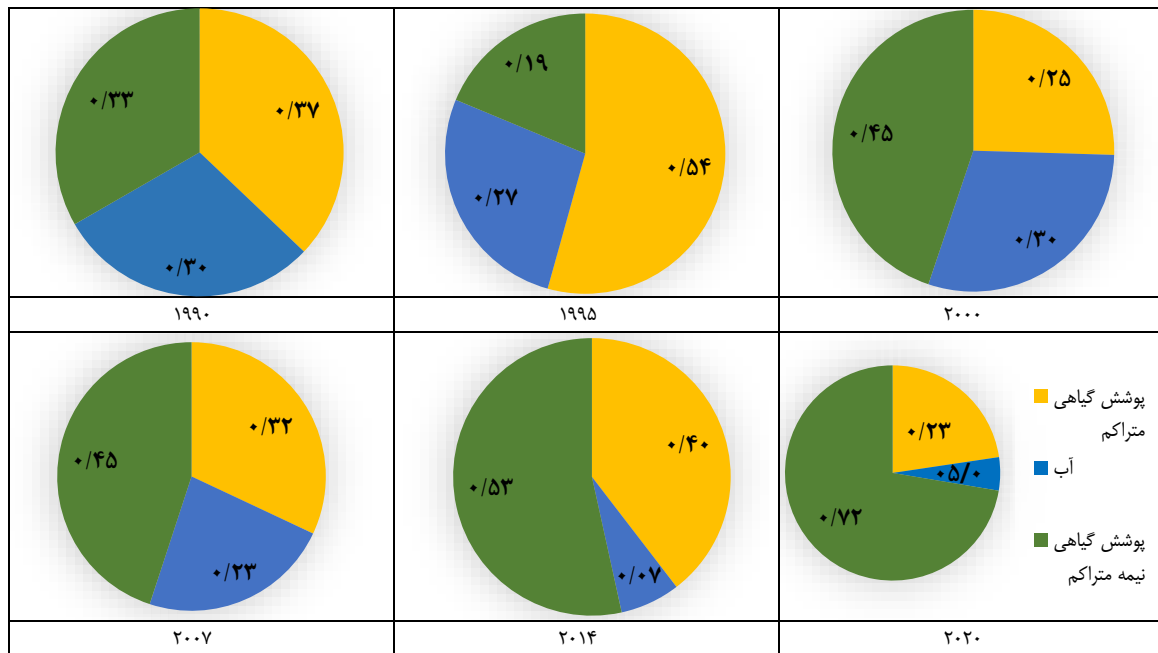
بر اساس نتایج این شاخص مناطق مرطوب و پهنه های آبی تالاب از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ کاهش چشمگیری داشته و از ۶۱۸۹ هکتار به ۱۱۸۱ هکتار رسیده است (شکل ۷). با توجه به شکل ۸ به وضوح دیده می شود که سطحی وسیعی از تالاب توسط پوشش گیاهی متراکم و نیمه متراکم پوشیده شده و مناطق مرطوب و آبی در طی زمان جای خود را به مناطق تحت پوشش گیاهان آبی و سایر پوشش های گیاهی داده است. به طور کلی همان طور که در شکل ۹ دیده می شود با گذشت زمان از میزان آب کاسته شده و به مساحت پوشش گیاهی اضافه شده است.



شکل ۷: تغییرات پوشش گیاهی و سطح آب تالاب انزلی بر اساس شاخص طیفی NDVI (۱۹۹۰ - ۲۰۲۰).



شکل ۸: نمودار تغییر مساحت پوشش گیاهی و آب تالاب انزلی بر اساس شاخص NDVI (۱۹۹۰ - ۲۰۲۰).



شکل ۹: تغییرات خالص پوشش گیاهی و بدنه آبی تالاب انزلی بر اساس شاخص NDVI (۱۹۹۰-۲۰۲۰).

همچنین نتایج حاصل از اعتبارسنجی شاخص‌های آبی (جدول ۴) نشان‌دهنده این است که شاخص mNDWI دارای صحت بالاتری بوده و در تفکیک بدنه آبی تالاب دارای عملکرد بالاتری است (امیری و همکاران، ۱۴۰۰).

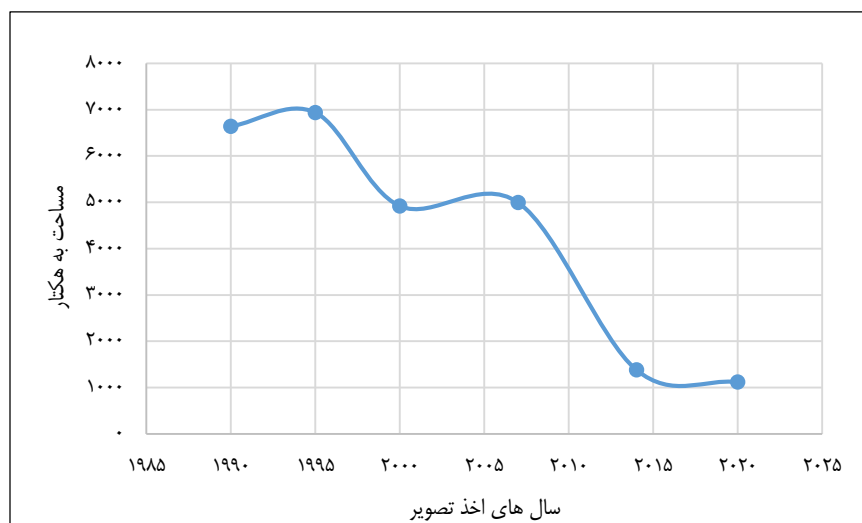
جدول ۴: ارزیابی نتایج صحت نقشه‌های تولیدی شاخص‌های آبی.

سال تصویر	شاخص NDWI		شاخص mNDWI	
	صحت کلی (%)	ضریب کاپا (%)	صحت کلی (%)	ضریب کاپا (%)
۱۹۹۰	۸۴/۵۴	۰/۸۱	۸۷/۱۲	۰/۸۱
۱۹۹۵	۶۹/۲۶	۰/۷۲	۸۵/۰۹	۰/۸۹
۲۰۰۰	۶۹/۵۴	۰/۶۷	۸۹/۰۰	۰/۸۴
۲۰۰۷	۷۱/۷۰	۰/۶۲	۹۳/۰۰	۰/۹۰
۲۰۱۴	۶۲/۳۴	۰/۶۱	۹۲/۷۲	۰/۹۰
۲۰۲۰	۷۸/۵۱	۰/۷۲	۹۲/۵۶	۰/۹۵

بر اساس نتایج شاخص mNDWI سطح طبقه آب فاقد پوشش گیاهی تالاب در طول زمان مطالعه کاهش یافته (جدول ۵) و دارای شیب زیاد تغییرات در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ (شکل ۱۰) و منطبق بر نمودار بارندگی. کاهش سطح آب در سال ۲۰۰۰ نیز کاملاً منطبق بر نمودار سطح بارش در منطقه است. ولی این روند شدید کاهشی در سطح مناطق آبی که عاری از پوشش‌های گیاهی‌اند، به دلیل دخالت‌های انسان و علی‌الخصوص افزایش حجم رسوب‌گذاری و ورود رسوبات رودخانه‌ای از بالادست حوضه آبخیز تالاب است که در کنار عواملی چون کاهش بارندگی و کاهش سطح تراز آب دریا بر میزان حجم آب تالاب اثرگذار بوده و پهنه‌های مختلف آبی را کوچک و تکه‌تکه نموده است. این روند در طی سال‌های مورد مطالعه و در کل فصول سال به‌وضوح مشاهده می‌گردد. شکل ۱۱ تصاویر طبقه‌بندی شاخص mNDWI را نشان می‌دهد.

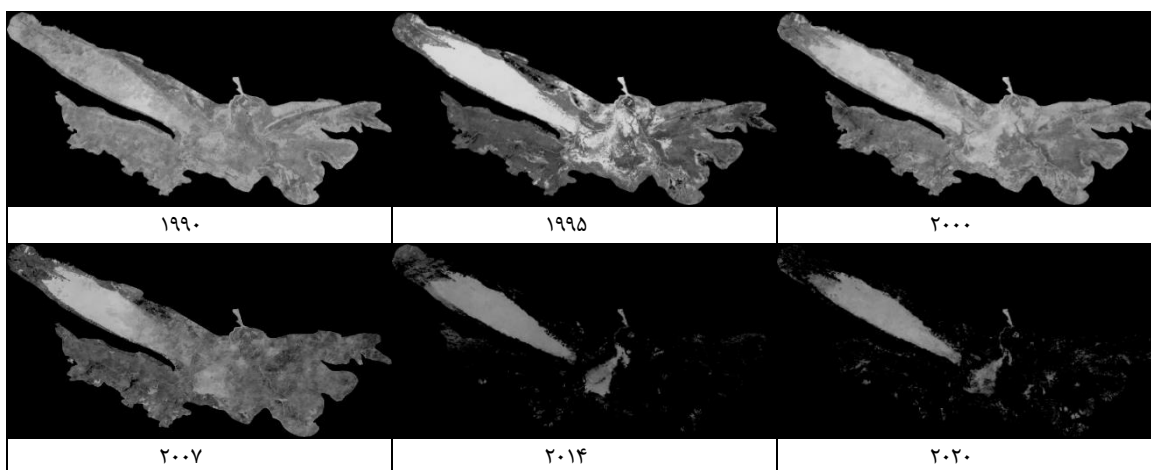
جدول ۵: مساحت (هکتار) طبقات آبی (فاقد پوشش گیاهی) تالاب انزلی بر اساس شاخص mNDWI (۱۹۹۰-۲۰۲۰).

سال‌های موردبررسی						نوع کاربری
۲۰۲۰	۲۰۱۴	۲۰۰۷	۲۰۰۰	۱۹۹۵	۱۹۹۰	
۱۱۱۷	۱۳۸۰	۴۹۹۳	۴۹۱۶	۶۹۳۲	۶۶۳۷	مناطق آب فاقد پوشش گیاهی



شکل ۱۰: نمودار تغییرات سطح آب تالاب انزلی بر اساس شاخص mNDWI (۱۹۹۰-۲۰۲۰).

همچنین با تطبیق تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات میدانی، شاخص mNDWI به‌خوبی مناطق آبی و مرطوب را تشخیص داده و مناسب این امر است، ولی شاخص NDVI در این منطقه کارایی چندانی در تشخیص سطح آب نداشته، اما با توجه به پیش‌بینی‌ها در تشخیص دادن پوشش گیاهی متراکم و نیمه متراکم مناسب است؛ بنابراین نتایج مربوط به تغییرات سطح آب به‌وسیله شاخص NDVI از داده‌ها حذف شد و این شاخص فقط جهت مطالعه گیاهان آبی و خشکی زی در حاشیه تالاب استفاده گردید.



شکل ۱۱: تغییرات سطح آب تالاب انزلی بر اساس شاخص طیفی mNDWI (۱۹۹۰-۲۰۲۰).

بحث و نتیجه‌گیری

عوامل تغییر در الگوی تالاب‌ها و دریاچه‌ها در سال‌های اخیر عمدتاً شامل عوامل طبیعی (از قبیل تغییرات آب‌وهوایی) و عوامل انسانی (فعالیت‌های کشاورزی، ساخت‌وساز و قطع درختان جنگلی) است (Orimoloye et al., 2020). فعالیت‌های انسانی و تخریب‌های محیط‌زیستی اثرات زیادی روی تالاب‌های طبیعی و سیستم‌های اکولوژیکی دارند. در این مطالعه با ارزیابی و تحلیل تغییرات پوشش گیاهی و بدنه آبی در سطح تالاب بین‌المللی انزلی، روند تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سامانه گوگل ارث انجین طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ بررسی شد. Wang و همکاران (۲۰۲۰) در شانگهای و تیانجین چین، Gxokwe و همکاران (۲۰۲۲) در Limpopo افریقای جنوبی، Amani و همکاران (۲۰۲۲) و همچنین Valenti و همکاران (۲۰۲۰) در Grate Lakes آمریکا و Zhao و همکاران (۲۰۲۳) در تالاب دیانچی چین نیز جهت بررسی روند تغییرات تالاب‌ها از تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و سامانه Google Earth Engine بهره جستند و نتایج بیانگر قابلیت‌های GEE در فراهم نمودن جدیدترین تصاویر و داده‌های کمکی جهت بررسی روند تغییرات تالاب‌ها می‌باشد. همانند این مطالعات، در ارزیابی روند تغییرات تالاب انزلی آنچه از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌ها و جداول تغییرات به دست آمد، نشان می‌دهد که در بازه زمانی موردبررسی، تغییرات مهمی در اراضی حاشیه‌ای تالاب به‌خصوص سطح آب تالاب و پوشش گیاهی منطقه اتفاق افتاده است و با استفاده از ابزارهایی که سامانه GEE در اختیار ما قرار می‌دهد می‌توان به‌خوبی و با سرعت بالا روند این تغییرات را بررسی نمود. Amani و همکاران نیز در سال ۲۰۲۱ جهت نقشه‌برداری تالاب‌ها در مقیاس بزرگ در کانادا با توجه به رویکرد هزینه، زمان و کارآمدی محاسباتی، از داده‌های لندست در سامانه GEE استفاده نمودند و به تشریح محدودیت‌ها و راه‌حل‌های موردبحث پرداختند.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده سطح آب تالاب در این دوره ۳۰ ساله به میزان ۲۰ درصد کاهش یافته است که این مقدار کاهش سطح آب توسط پوشش گیاهی نیمه متراکم با ۲۸ درصد افزایش جایگزین شده است. از سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ مقدار پوشش گیاهی نیمه متراکم با شیب بالاتری روبه افزایش است که دلیل آن ورود آلاینده‌ها به تالاب و تصرف اراضی تالابی و تبدیل آن‌ها به باغات و زمین‌های کشاورزی (شالیزار) است. از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۰ کاهش شدیدی در سطح آب تالاب دیده می‌شود که مساحت پهنه‌های آبی به ۱/۳ کاهش یافته است و این می‌تواند ناشی از مصرف آب تالاب جهت کشاورزی و باغداری به همراه احداث موج‌شکن انزلی باشد که در سطح تراز آب دریای خزر اثرگذار بوده است، همچنین میزان بارندگی‌ها از سال ۲۰۰۷ روبه کاهش بوده و اگرچه این میزان در سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۶ تغییر می‌کند؛ اما میانگین سالانه بارندگی در سایر سال‌ها کاهش یافته است. از عوامل مهم دیگر احداث سدهای خاکی در بالادست بوده که میزان آب ورودی به رودخانه‌های منتهی به تالاب را تحت تأثیر قرار داده است. استفاده بیش‌ازحد از آب این رودخانه‌های، میزان آب ورودی به حوزه پایین‌دست و تالاب را تحت تأثیر قرار داده و با تغییر کاربری اراضی طبیعی و تبدیل آن به کشاورزی و انسان‌ساخت مشکل عدم تأمین آب ورودی نیز پیش می‌آید. همچنین ورود بار آلی حاصل از پساب‌های منتقل‌شده به تالاب، باعث گسترش بیش‌ازحد گیاهان آبی‌زی ماکروفیت در پهنه‌های آبی شده است.

بر اساس نتایج کار غفور پور عنبران و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیشترین تغییر مساحت آبی تالاب انزلی طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ برابر با ۱۷/۱۱ کیلومتر مربع روی داده است و خشک شدن تالاب و کاهش عمق آن، در بخش مرکزی بیشتر از سایر بخش‌های آن قابل‌مشاهده بوده است. ایشان ورود رسوبات یعنی خاک و سنگ ناشی از تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری اراضی، وجود موج‌شکن بندر انزلی که مانع ورود آب تالاب و تخلیه رسوبات به دریا می‌شود و ورود مقادیر زیاد سم و کود شیمیایی و فاضلاب به تالاب را به‌عنوان عوامل خشک شدن تالاب و کاهش عمق آن بیان نمودند. بیات و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای MODIS مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ و شاخص NDVI در نرم‌افزار ARC GIS، مساحت آب، خاک لخت و سه‌طبقه پوشش گیاهی (ضعیف، متوسط و خوب) تالاب شادگان را در طول دوره‌ای ۱۱ ساله بررسی کردند. نتایج نشان داد که مساحت آب در دوره بررسی تقریباً یکسان بوده اما سطح پوشش گیاهی از ۰/۰۶ درصد در سال ۲۰۰۰ به ۱ درصد در سال ۲۰۱۱ رسیده است. باتوجه به مطالعه حاضر میزان افزایش پوشش گیاهی تالاب انزلی نسبت به تالاب شادگان بالاتر بوده و بنابراین رشد فزاینده آن می‌تواند در آینده برای تالاب مشکل‌ساز باشد. همانند مطالعه تالاب‌های شهری بنگلور هند توسط Brinkmann

همکاران (۲۰۲۰)، افزایش سطح پوشش گیاهی تالاب انزلی به طور معنی داری بر سطح تروفیک آن تأثیرگذار بوده و باعث کاهش تنوع سایر گونه‌های بومی تالابی می‌شود. افزایش ماکروفیت‌های آبی در اثر افزایش ورودی بار آلی از طریق رودخانه‌ها توسط Shen و همکاران به اثبات رسیده است، همچنین Fares و همکاران (2020) نیز بیان نمودند که افزایش پوشش گیاهی تالاب‌ها به صورت ماکروفیت‌های آبی در ارتباط مستقیم با ترکیبات مواد مغذی وارده شده به آن از جمله نیتрат و آمونیوم کل بوده و کنترل ورود آلودگی می‌تواند یکی از راهکارهای کنترل پوشش گیاهی تالاب‌ها باشد. بررسی تغییرات تالاب انزلی با استفاده تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که اکوسیستم تالاب بسیار حساس بوده و در ۳۰ سال اخیر، نوسانات زیادی در آن رخ داده است. به صورت کلی در سال ۲۰۲۰ از مساحت کل تالاب انزلی ۱۱۱۷ هکتار مربوط به مناطق فاقد پوشش گیاهی (سطح آب) و ۱۹۴۵۰ هکتار آن مربوط به مناطق دارای پوشش گیاهی (ماکروفیت‌های اطراف تالاب) است. به دلیل کاهش عمق، تالاب درگیر مشکلات اساسی بوده و مطالعه عمق سنجی تالاب برای مدیریت آن ضرورت دارد.

ضیایان فیروزآبادی و دارویی (۱۳۹۳) تغییرات جنوب شرق تالاب ارومیه را در دوره‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۴ با استفاده از سامانه GIS بررسی کردند و بر اساس نتایج آن‌ها وسعت تالاب در بازه زمانی ذکر شده به میزان قابل توجهی کاهش یافته و برخی از قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی و جنوب شرقی در نتیجه پس‌روی آب تبدیل به نمکزار شده است. با بررسی تصاویر ماهواره‌ای مشخص شد که با وجود کاهش سطح آب تالاب و افزایش میزان نمک و شوری، مساحت پوشش گیاهی اطراف تالاب افزایش یافته است. تغییرات سطح آب تالاب انزلی و تالاب ارومیه هم مشابه بوده است، در تالاب ارومیه با کاهش سطح آب، مساحت پوشش گیاهی افزایش یافته است که حالت طبیعی داشته است و در انزلی هم با کاهش سطح آب، پوشش گیاهی افزایش یافته است. دلیل منطقی برای این امر افزایش ماکروفیت‌های آبی بن در خاک باکم شدن سطح آب است. علاوه بر آلودگی فصلی توسط رودخانه‌های ورودی به تالاب، دلیل افزایش پوشش گیاهی متراکم و نیمه متراکم در پس از سال ۲۰۰۰ می‌تواند به دلیل افزایش پساب‌های ورودی باشد. Zorrilla-Miras و همکاران (۲۰۱۴) نیز در منطقه‌ای در جنوب غربی اسپانیا نشان دادند که با پس‌روی اکوسیستم‌های تالابی شرایط برای سایر کاربری‌های اراضی فراهم خواهد شد. همانند این مطالعه، آنچه در تحلیل تغییرات تالاب انزلی می‌توان اشاره نمود این است که علل ایجاد این تغییرات به دودسته کلی عوامل طبیعی و انسانی طبقه‌بندی می‌شوند. از عوامل طبیعی کاهش بارندگی‌های به وقوع پیوسته طی چند سال گذشته و افزایش ورود رسوبات (آلودگی معدنی) رودخانه‌ای از طریق ۹ رودخانه منتهی به تالاب از بالاست آن و عوامل انسانی که با افزایش ورود پساب خانگی، صنعتی و کشاورزی (آلودگی آلی) مواجه بوده است. این نتایج با بررسی Ekumah و همکاران (۲۰۲۰) در سه تالاب شهری در غنا مطابقت دارد، در این بررسی نیز عامل اساسی تخریب تالاب‌ها، شهرنشینی عنوان شده که عمدتاً به دلیل افزایش جمعیت انسانی و گسترش ساخته و ساز در تالاب‌ها، از بین رفتن طبقات طبیعی پوشش زمین و کاهش پوشش گیاهی اتفاق می‌افتد.

فیضی و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی تغییرات پوشش گیاهی و سطح آب دریاچه زریوار در بازه‌های زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۶ از دو شاخص NDVI و NDWI به ترتیب برای بررسی میزان پوشش گیاهی و تغییرات سطح آب استفاده نموده و به این نتیجه رسیدند که ماکروفیت‌های دریاچه در این چند سال به دلیل افزایش بار آلودگی آب و ورود آلاینده‌های حاوی فسفر و نیتروژن به دریاچه و استفاده از آب‌های زیرزمینی حاشیه دریاچه افزایش یافته‌اند. همانند این مطلب در تالاب انزلی نیز ماکروفیت‌های تالاب به دلیل افزایش بار آلودگی ورودی، گسترش یافته و موجب کاهش سطح آب تالاب شده‌اند و متغیرهایی مانند بارندگی با توجه به داشتن روند نزولی تأثیرگذار بوده؛ ولی با وجود میانگین سالانه بارندگی بالا در شهرستان‌های اطراف تالاب (۱۸۵۰ میلی‌متر در بندر انزلی، ۱۳۳۷ میلی‌متر در رشت و ۹۷۲ میلی‌متر در صومعه‌سرا) بارندگی عامل مهمی در تغییرات نمی‌باشد. در جمع‌بندی می‌توان گفت که به علت ورود رسوبات رودخانه‌ای و آلاینده‌ها به تالاب منجر به شرایط تروپی خواهد شد و پیش‌بینی باتلاقی شدن و پوشیده شدن اکثریت مساحت تالاب با ماکروفیت‌هایی مانند نی و لویی در چند سال آینده دور از انتظار نیست.

تالاب بین‌المللی انزلی جزء مهم‌ترین عناصر محیط‌زیستی استان گیلان و منطقه محسوب می‌شود که برای جوامع محلی و کل منطقه مزایای زیادی به همراه دارد، اما متأسفانه این اکوسیستم با ارزش جزء تهدیدشونده عناصر طبیعی منطقه نیز محسوب می‌شود. در این تحقیق با استفاده از ابزارهای جدید سنجش از دور (سامانه گوگل ارث انجین)، بررسی تغییرات این محیط نسبت به گذشته، دقیق‌تر و سریع‌تر صورت گرفته که با مطالعه

آن می‌توان به ارائه راهکارهایی برای جلوگیری از ادامه این روند در آینده دست‌یافت. آنچه مهم است این‌که باوجود مدیریت اعمال‌شده طی سال‌های گذشته، روند تغییرات مثبت نبوده و چالش تغییر کاربری خطر بزرگ‌تری است که این تالاب و مناطق پیرامون آن را تهدید می‌کند.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری تحت عنوان الگوی تغییرات زمانی - مکانی سیمای سرزمین تالاب انزلی با استفاده از سری زمانی داده‌های سنجش‌ازدور است که در تاریخ ۱۳۹۸/۱۱/۵ در شورای گروه جنگلداری به تصویب رسیده و با حمایت دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان انجام گرفته است.

منابع

- آل شیخ، ع.، علی محمدی، ع. و قربانعلی، ع.، ۱۳۸۴. پایش خطوط ساحلی دریاچه با استفاده از سنجش‌ازدور. نشریه علوم جغرافیایی، ۴ (۵): صفحات ۲۴-۹.
- امیری، خ.، سیدکابلی، ح. و محمودی کهن، ف.، ۱۴۰۰. مطالعه و پایش تغییرات سطح آب و تأثیر آن بر دمای سطح تالاب با استفاده از شاخص‌های NDWI، MNDWI و AWEI (مطالعه موردی: تالاب‌های شادگان و هورالعظیم). علوم و مهندسی آبیاری، ۴۴ (۴): صفحات ۷۴-۵۹.
- بیات، ر. و جعفری، س.، ۱۳۹۴. بررسی تغییرات سطح آب تالاب شادگان به کمک شاخص NDWI. اولین کنفرانس بین‌المللی گردوغبار، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- پور رمضان گابیه، ص.، جانعلی‌پور، م.، نیک‌فر، م. و عباس زاده تهرانی، ن.، ۱۳۹۹. پایش تغییرات مکانی - زمانی تالاب کیاکلایه لنگرود باهدف بررسی روند تخریب آن در طی ۲۴ سال اخیر با تصاویر سنجش‌ازدور. فصلنامه علمی - پژوهشی اکویولوژی تالاب، ۱۲ (۴۵): صفحات ۲۲-۵.
- جاودان خرد، ا.، اسماعیلی ساری، ع. و بهرامی فر، ن.، ۱۳۹۰. بررسی بقایای آفت‌کش‌های آلی پایدار در رسوبات تالاب بین‌المللی انزلی، ایران. محیط‌شناسی، ۳۷ (۵۷): صفحات ۴۴-۳۵.
- حجازی زاد، ز.، علیجانی، ب.، ضیاییان، پ.، کریمی، م. و رفعتی، س.، ۱۳۹۱. ارزیابی بارش ماهواره‌ای 3B43 و مقایسه آن با مقادیر حاصل از تکنیک درون‌یابی کریجینگ. نشریه سنجش‌ازدور و GIS ایران، ۴ (۳): صفحات ۶۴-۴۹.
- حقیقی خمایی، م.، تجدد، م. ج.، روانبخش، م. و جمالزاد، ف.، ۱۴۰۰. طبقه‌بندی پوشش گیاهی بر اساس شاخص تالابی با استفاده از طبقه‌بندی شی گرا تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: تالاب انزلی). فصلنامه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۲ (۳): پیایی ۴۴، صفحات ۱۷-۱.
- حیدریان، ک.، کیوندپور، ش. و امان‌اللهی، ج.، ۱۳۹۵. بررسی تغییرات عمق تالاب بین‌المللی زریوار با استفاده از سنجش‌ازدور و مدل شبکه عصبی مصنوعی. فصلنامه علمی - پژوهشی فضایی جغرافیایی، ۱۶ (۵۳): صفحات ۲۸۹-۲۷۱.
- خاریابند، س. و عطارچی، س.، ۱۳۹۹. ارزیابی تغییرات عمق تالاب انزلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی در بازه سی‌ساله. سنجش‌ازدور و GIS ایران، ۱۲ (۲): ۷۳-۸۲.
- خسروی، ر.، حسن‌زاده، ر.، حسین جانی زاده، م. و محمدی، ص.، ۱۳۹۹. بررسی تغییرات پهنه‌های آبی با استفاده از شاخص‌های آبی و گوگل ارث انجین (مطالعه موردی: تالاب‌های شهرستان پلدختر، استان لرستان). اکویولوژی، ۷ (۱): صفحات ۱۴۶-۱۳۱.
- دشتی، س.، سبزقبائی، غ.، جعفر زاده، ک. و بزم‌آرا بلشتی، م.، ۱۳۹۷. ارزیابی روند تغییرات تالاب ساحلی میانکاله با رویکرد آمایش سرزمین. فصلنامه علمی - پژوهشی اکویولوژی تالاب، ۱۰ (۳۸): صفحات ۲۰-۵.
- رفیعی، ی.، علوی پناه، س. ک.، ملک محمدی، ب.، رضانی مهریان، م. و، ح.، ۱۳۹۱. تهیه نقشه‌های پوشش اراضی به کمک سنجش‌ازدور با استفاده از خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری (مطالعه موردی: پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش بختگان). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان، ۲۳ (۳): صفحات ۹۳-۱۱۰.
- زبردست، ل. و جعفری، ح. ر.، ۱۳۹۰. ارزیابی روند تغییرات تالاب انزلی با استفاده از سنجش‌ازدور و ارائه راه‌حل مدیریتی. محیط‌شناسی، ۳۷ (۵۷): صفحات ۶۴-۵۷.

- ضیایان فیروزآبادی، پ. و دارویی، پ.، ۱۳۹۳. ارزیابی تغییرات جنوب شرق دریاچه ارومیه در دوره‌های زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۴ با استفاده از GIS. اولیه همایش ملی محیط‌زیست دانشگاه پیام نور، اصفهان.
- عاشوری، ع. و وارسته مرادی، ح.، ۱۳۹۳. بررسی تنوع گونه‌های پرندگان آبی و کنار آبی مهاجر زمستان گذران در تالاب بین‌المللی انزلی. فصلنامه علمی - پژوهشی اکوبیولوژی تالاب، ۶ (۲۰): صفحات ۵۵-۶۶.
- عبادی، ع. و گلزار، ا.، ۱۳۹۵. بررسی تغییرات کمی تالاب پریشان با استفاده از سنجش‌ازدور. یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، تهران، صفحات ۶۴۱-۶۳۳.
- علوی پناه، س. ک.، ۱۳۹۷. سنجش‌ازدور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین. انتشارات دانشگاه تهران، ۶۶۶ ص.
- غفور پور عنبران، پ.، صدیقی فر، ز. و حسینی، ن.، ۱۳۹۷. بررسی تغییرات سطح آب تالاب انزلی با استفاده از شاخص اختلاف آبی نرمال شده (NDWI). ششمین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی. **چند صفحه یا چه صفحاتی؟**
- فلاحکار، س. و حسینی، س. م.، ۱۳۹۶. پیش‌بینی نقاط داغ انتشار CO2 ناشی از تغییر کاربری اراضی. محیط زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)، ۷ (۱): صفحات ۱۴۸-۱۳۹.
- فیضی، ب.، احمدی فرد، ن. و عرفانیان، م.، ۱۴۰۰. بررسی تغییرات پوشش گیاهی و سطح آب دریاچه زریوار با استفاده از ماهواره لندست (satellite Landsat) در بازدهی زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۶. نشریه علمی اکوبیولوژی تالاب، ۱۳ (۴۹): صفحات ۳۴-۱۹.
- کاظمی، ر. و بیات، ر.، ۱۳۹۶. بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر شاخص‌های جریان کمینه (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان) (گزارش کوتاه علمی). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۴ (۱): صفحات ۲۹۴-۲۸۷.
- متحدی، س.، طایبان، م. ر.، تمرتاشی، ر. و اکبرلو، م.، ۱۳۹۸. بررسی تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی در محدوده تالاب بین‌المللی گمیشان. پژوهش‌های محیط‌زیست، ۱۰ (۱۹): صفحات ۱۱۶-۱۰۷.
- مدبری، ه. و شکوهی لنگرودی، ع. ر.، ۱۳۹۸. تعیین نیاز آبی تالاب انزلی بر اساس شاخص‌های اکولوژیکی-گردشگری در چارچوب IWRM. مجله تحقیقات آب‌و‌خاک، ۵۱ (۱۰): صفحات ۲۵۱۷-۲۵۰۱.
- ممینی، م.، نصرالهی، م.، کریمی، ک. و آرا، ه.، ۱۳۹۷. بررسی و مقایسه روش‌های فازی آرتمپ و حداکثر احتمال در تهیه نقشه و پایش تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: امیدیه، استان خوزستان). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۵ (۲): صفحات ۲۸۴-۲۶۲.
- مهدوی فرد، م.، شیخ قادری، س. ه. و ولیزاده کامران، خ.، ۱۳۹۹. بررسی تطبیقی عملکرد پروداکت توسعه شهری (GHSL) در سامانه گوگل ارث انجین با نقشه چند زمانه شهری (مطالعه موردی: استان تهران). چهارمین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش‌ازدور و GIS) در آمایش سرزمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، ایران. **چه صفحه ای یا چند صفحه؟**

Ahmad, S. S. and Erum, S., 2012. Remote sensing and GIS application in wetland change analysis: case study of KallarKahar. Science, Technology and Development, 31(3): 251- 259.

Amani, M., Brisco, B., Mahdavi, S., M., Ghorbanian, Moghimi, A., DeLancey, E. R., Merchant, M., Jahncke, R., Fedorchuk, L., Mui, A., Fiset, T., Kakooei, M., Ahmadi, S. A., Leblon, B. and LaRocque, A., 2021. Evaluation of the Landsat-Based Canadian Wetland Inventory Map Using Multiple Sources: Challenges of Large-Scale Wetland Classification Using Remote Sensing. IEEE Journal of Selected Topics I applied Earth Observations and Remote Sensing, 14: 32-52.

Amani, M., Kakooei, M., Ghorbanian, A., Warren, R., Mahdavi, S., Brisco, B., Moghimi, A., Bourgeau-Chavez, L., Toure, S., Paudel, A., Sulaiman, A. and Post, R., 2022. Forty Years of Wetland Status and Trends Analyses in the Great Lakes Using Landsat Archive Imagery and Google Earth Engine. Remote Sensing, 14(15): 3778.

Binh, T. N., Vromant, N., Hung, N. T., Hens, L. and Boon, E. K., 2005. Land cover changes between 1968 and 2003 in Cai Nuoc, Ca Mau peninsula, Vietnam. Environment, Development and Sustainability, 7(4): 519-536.

Brinkmann, K., Hoffmann, E. and Buerkert, A., 2020. Spatial and Temporal Dynamics of Urban Wetlands in an Indian Megacity over the Past 50 Years. Remote Sensing, 12(4): 662.

Crabtree, R., Potter, C., Mullen, R., Sheldon, J., Huang, S., Harmsen, J. and Jean, C., 2009. A modeling and spatio-temporal analysis framework for monitoring environmental change using NPP as an ecosystem indicator. Remote Sensing of Environment, 113(7): 1486-1496.

- Ekumah, B., Armah, F. A., Afrifa, E. K., Aheto, D. W., Odoi, J. O. and Afitiri A. R., 2020.** Geospatial assessment of ecosystem health of coastal urban wetlands in Ghana. *Ocean & Coastal Management*, 19: 1-10.
- El-Ghany, N. M., A, El-Aziz, S. E. A. and Marei, Sh., 2020.** A review: application of remote sensing as a promising strategy for insect pests and diseases management, *Environmental Science and Pollution Research*, 27(27): 33503-33515.
- Fares, A. L. B., Nonato, F. A. S. and Michelan, T. S., 2020.** New records of the invasive macrophyte, *Urochloa arrecta* extend its range to eastern Brazilian Amazon altered freshwater ecosystems. *Acta Amazonica*, 50(2): 133 – 137.
- Gandhi, M., Parthiban, S., Thummalu, N. and Christy, A., 2015.** NDVI: Vegetation change detection using remote sensing and GIS: A case study of Vellore District. *Procedia Computer Science*, 57: 1199-1210.
- Goldblatt, R., You, W., Hanson, G. and Khandelwal, A. K., 2016.** Detecting the boundaries of urban areas in india: A dataset for pixel-based image classification in google earth engine. *Remote Remote Sensing*, 70(9): 1053-1062.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. and Moore, R., 2017.** Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202: 18-27.
- Gxokwe, S., Dube, T. and Mazvimavi, D., 2022.** Leveraging Google Earth Engine platform to characterize and map small seasonal wetlands in the semi-arid environments of South Africa. *Science of The Total Environment*, 803, 150139.
- Holben, B. N., 1986.** Characteristics of Maximum-Value Composite Images from Temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1417– 1434.
- Jing, X., Wang, J., Huang, W., Yung Liu, L. and Wang, J., 2009.** Study on forest vegetation classification based on multi-temporal remote sensing images. *Computer and Computing Technologies in Agriculture II*, 1: 115-123.
- Johnston, R., Cools, J., Liersch, S., Morardet, S., Murgue, C., Mahieu, M., Zsuffa, I. and Uyttendaele, G., 2013.** WETwin: a structured approach to evaluating wetland management options in data-poor contexts. *Environmental Science & Policy*, 34(1): 3-17.
- Ju, Y. and Bohrer, G., 2022.** Classification of Wetland Vegetation Based on NDVI Time Series from the HLS Dataset. *Remote Sens*, 14.
- Khine, M. M., Maw, Y. Y. and Win, K. M. M., 2018.** Change analysis of indices (NDWI, NDVI, NDBI) for Mawlamyine City area using google earth engine. *J. Myanmar Acad. Arts Sci*, 16(5): 297-313.
- Koh, C. N., Lee, P. F. and Khine Lin, R. S., 2006.** Bird species richness patterns of northern Taiwan: primary productivity, human population density, and habitat heterogeneity. *Diversity and Distributions*, 12(5): 546-554.
- Lambin, E. F. and Khine Geist, H. J., 2008.** Land-use and land-cover change: local processes and global impacts. Springer Science & Business Media, 240 pp.
- Landish, J., Richard, K. and Khine, Gray, G., 1977.** The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometers*, 55: 159-174.
- Li, J., Pei, Y., Zhao, S., Xiao, R., Sang, X. and Zhang, C., 2022.** A Review of Remote Sensing for Environmental Monitoring in China. *Remote Sensing*, 12.
- Lv, J., Jiang, W., Wang, W., Wu, Z., Liu, Y., Wang, X. Khine Li, Zhuo., 2019.** Wetland Loss Identification and Evaluation Based on Landscape and Remote Sensing Indices in Xiong'an New Area. *Remote Sensing*, 11, 2834.
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y. and Khine Qiu, G., 2007.** Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. *Sensors*, 7(11): 2636-2651.
- McFeeters, S. K., 1996.** The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Jurnal of Remote Sensing Letters*, 17(7): 1425-1432.
- Morawitz, D. F., Blewett, T. M., Cohen, A. and Alberti, M., 2006.** Using NDVI to assess vegetative land cover change in central Puget Sound. *Environmental Monitoring and Assessment*, 114(1): 85- 106.

Orimoloye, I. R., Kalumba, A. M., Mazinyo, S. P. and Nel, W., 2020. Geospatial analysis of wetland dynamics: wetland depletion and biodiversity conservation of Isimangaliso Wetland, South Africa. *Journal of King Saud University-Science*, 32(1): 90-96.

Patel, N. N., Angiuli, E., Gamba, P., Gaughan, A., Lisini, G., Stevens, F. R., Tatem, A. J. and Trianni, G., 2015. Multitemporal settlement and population mapping from Landsat using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 35: 199-208.

Schmid, J. N., 2017. Using Google Earth Engine for Landsat NDVI time series analysis to indicate the present status of forest stands. Georg-August-Universität Göttingen: Basel, Switzerland.

Shelestov, A., Lavreniuk, M., Kussul, N., Novikov, A. and Skakun, S., 2017. Exploring Google Earth Engine platform for big data processing: Classification of multi-temporal satellite imagery for crop mapping. *Frontiers in Earth Science*, 5(7): 1-17.

Shen G, Yang X, Jin Y, Xu, B. and Zhou Q., 2019. Remote sensing and evaluation of the wetland ecological degradation process of the Zoige Plateau Wetland in China. *Ecological Indicators*.pp; 104: 48-58.

Shen, G., Yang, X., Jin, Y., Xu, B. and Zhou, Q., 2019. Remote sensing and evaluation of the wetland ecological degradation process of the Zoige Plateau Wetland in China. *Ecological Indicators*, 104: 48-58.

Vanessa L. Valenti, V. L., Carcelen, E. C., Lange, K., Russo, N. J. and Chapman, B., 2020. Leveraging Google Earth Engine User Interface for Semi automated Wetland Classification in the Great Lakes Basin at 10 m with Optical and Radar Geospatial Datasets. *IEEE Journal of Selected Topics I applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13: 600-6018.

Wang, Q., Watanabe, M., Hayashi, S. and Murakami, Sh., 2003. Using NOAA AVHRR data to access flood damage in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 82: 119-148.

Wang, Y., Mitchell, B. R., Nugranad-Marzilli, J., Bonyne, G., Zhou, Y. and Shriver, G., 2009. Remote sensing of land-cover change and landscape context of the National Parks: A case study of the Northeast Temperate Network. *Remote Sensing of Environment*, 113(7): 1453-1461.

Wanga, X., Xiaob, X., Zouc, Z., Houd, L., Yuanwei Qinq, Y., Donge, J., Doughtyb, R. B., Chenf, B., Zhanga, X., Cheng, Y., Jun Maa, J., Zhaoa, B. and Li, B., 2020. Mapping coastal wetlands of China using time series Landsat images in 2018 and Google Earth Engine. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 163: 312-326.

Wulder, M.A., Loveland, T. R., Roy, D. P., Crawford, C. J., Masek, J. G., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., Belward, A. S., Cohen, M. B., Dwyer, J., Erb, A., Gao, F., Griffiths, P., Helder, D., Hermosilla, T., Hipple, J. D., Hoster, P., Hughes, M. J., Huntington, J. and Zhu, Z., 2019. Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote sensing of environment*, 225: 127-147.

Xia, H., Zhao, J., Qin, Y., Yang, J., Cui, Y., Song, H., Ma, L., Jin, N. and Eng, Q., 2019. Changes in Water Surface Area during 1989–2017 in the Huai River Basin using Landsat Data and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 11(15): 1824.

Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*, 27(14): 3025-3033.

Zhao, F., Feng, S., Xie, F., Zhu, S. and Zhang, S., 2023. Extraction of long time series wetland information based on Google Earth Engine and random forest algorithm for a plateau lake basin – A case study of Dianchi Lake, Yunnan Province, China. *Ecological Indicators*, 146, 10983.

Zhao, H., Cui, B., Zhang, H., Fan, X., Zhang, Z. and Lei, X., 2010. A landscape approach for wetland change detection (1979-2009) in the Pearl River Estuary. *Procedia Environmental Sciences*, 2: 1265-1278.

Zhao, Y. S., 2003. The Remote Sensing Theory and Method of Application and Analysis, Beijing: Science Press, 374-393.

Zorrilla-Miras, P., Paloma, I., Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B., Lomas, P. L. and Montes, C., 2014. Effects of land-use change on wetland ecosystem services: A case study in the Doñana marshes (SW Spain). *Landscape and Urban Planning*, 122: 160-174.

