



## Anzali Wetland Surface Area Evaluation Based on Landsat Time Series Data and NDWI Indices

Maryam Haghghi Khomami<sup>1✉</sup> | Amir Eslam Bonyad<sup>2</sup> | Mohammad Panahandeh<sup>3</sup>

1. Corresponding Author, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh sara, Iran.

E-mail: [maria\\_haghyghy@yahoo.com](mailto:maria_haghyghy@yahoo.com)

2. Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh sara, Iran. E-mail:

[bonyad@guilan.ac.ir](mailto:bonyad@guilan.ac.ir)

3. Department of Waste Processing, Environmental Research Institute, University Jihad of Gilan Province, Rasht, Iran.

E-mail: [Panahandeh@acecr.ac.ir](mailto:Panahandeh@acecr.ac.ir)

Article Info	ABSTRACT
<p><b>Article type:</b> Research Article</p> <p><b>Article history:</b></p> <p><b>Received:</b> Dec. 28, 2022</p> <p><b>Revised:</b> March. 5, 2023</p> <p><b>Accepted:</b> March. 7, 2023</p> <p><b>Published online:</b> March. 21, 2023</p> <p><b>Keywords:</b> Sea Level, MNDWI index, Google earth Engine, SVM.</p>	<p>Wetland habitats are one of the most important natural ecosystems in the world. Evaluating and managing these valuable ecosystems require accurate and up-to-date data that remote sensing makes it possible. In this study, the changes of Anzali International Wetland in Gilan province, Iran, were investigated using Landsat satellite images and the Modified Normalized Difference water index (MNDWI) in Google Earth Engine (GEE) platform during the years 1986 to 2020. To monitor waterbodies changes, two classes of water and non-water area were classified by Support Vector Machine (SVM) algorithm and MNDWI index was used to distinct the water surface areas. On the other hand, climate data including TRMM satellite data and PDSI index from TerraClimate data and Caspian Sea water level data were used to determine their effects on water level fluctuation of the wetland. The maps of SVM classification had overall accuracy more than 87% and Kappa coefficient was more than 88%. The wetland water body loss has decreased by 20% in its area according to MNDWI index maps, it has reached from 5926 hectares to 954 hectares, so that initially (until 2000) there was an upward trend and then a downward trend in the wetland water level. Also, the water level of Anzali wetland have been affected more by the sea level than the climatic factors. The results show that water indices and Google Earth Engine are efficient tools to identify the trends of water level changes of wetlands, and could provide more detailed scientific guidance to protect and manage natural resources in the studied areas.</p>
<p>Cite this article: Haghghi Khomami, M., Bonyad, A. E., &amp; Panahandeh, M. (2023). Wetland Water Surface Area Identification and Evaluation affected by climate change Based on Landsat Data and NDWI Indices. <i>Iranian Journal of Soil and Water Research</i>, 54 (1), 173-192. <a href="https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352988.669421">https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352988.669421</a></p> <p>© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.</p> <p>DOI: <a href="https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352988.669421">https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352988.669421</a></p>	



## ارزیابی پهنه‌های تالاب انزلی بر اساس سری‌های زمانی داده‌های Landsat و شاخص MNDWI

مریم حقیقی خمایی<sup>۱</sup> | امیراسلام بنیاد<sup>۲</sup> | محمد پناهنده<sup>۳</sup>۱. نویسنده مسئول، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: [maria\\_haghyghy@yahoo.com](mailto:maria_haghyghy@yahoo.com)۲. گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: [bonyad@guilan.ac.ir](mailto:bonyad@guilan.ac.ir)۳. گروه فرآوری پسماند، پژوهشکده محیط زیست، جهاد دانشگاهی گیلان، رشت، ایران. رایانامه: [Panahandeh@acecr.ac.ir](mailto:Panahandeh@acecr.ac.ir)

## چکیده

## اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

زیستگاه‌های تالابی جزء مهمترین اکوسیستم‌های طبیعی جهان بوده و بررسی روند تغییرات جهت مدیریت این زیست بوم‌های با ارزش نیازمند اطلاعات دقیق و به‌روزی است که فناوری سنجش‌ازدور این ممکن را میسر می‌سازد. در این مطالعه تغییرات تالاب بین‌المللی انزلی در استان گیلان طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و شاخص پهنه آبی در گوگل ارث انجین بررسی گردید. این بررسی با استفاده از تصاویر سنجنده TM لندست ۵، سنجنده OLI لندست ۸ و شاخص آبی MNDWI در گوگل ارث انجین، محدوده تالاب به دو کلاس آب و غیر آب طبقه‌بندی شد و داده‌های اقلیمی شامل داده‌های باران ماهواره TRMM و شاخص PDSI حاصل از داده‌های TerraClimate و داده‌های سطح تراز آب دریای خزر جهت بررسی تغییرات سطح آب تالاب استفاده شد. نقشه‌های تولید شده از طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان، دارای صحت کلی بالاتر از ۸۷ درصد و ضریب کاپا بالاتر از ۸۸ درصد بوده و بر اساس شاخص آبی مساحت پهنه‌های آبی در این دوره زمانی ۲۰ درصد کاهش یافته و از ۵۹۲۶ هکتار به ۹۵۴ هکتار رسیده است. این تغییرات در ابتدا (تا سال ۲۰۰۰) روندی صعودی و سپس نزولی در مساحت پهنه‌های آبی را مشخص نمود. همچنین بررسی فاکتورهای اقلیمی در تغییرات سطح پهنه‌های آبی، نشانگر تأثیر بیشتر سطح تراز آب دریا بر روند تراز آب تالاب است. نتایج نشان می‌دهد شاخص‌های آبی و گوگل ارث انجین ابزاری کارآمد برای شناسایی روند افزایشی و کاهش سطح آب تالاب‌ها بوده که می‌تواند برنامه‌ریزان و سیاستگذاران را در حفاظت و مدیریت منابع طبیعی در مناطق مطالعه شده یاری رسانند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱/۱

## واژه‌های کلیدی:

سطح تراز ،  
شاخص MNDWI،  
گوگل ارث انجین،  
ماشین بردار پشتیبان

استناد: حقیقی خمایی، مریم؛ بنیاد، امیراسلام؛ و پناهنده، محمد (۱۴۰۲)، ارزیابی پهنه‌های تالاب انزلی بر اساس سری‌های زمانی داده‌های Landsat و شاخص MNDWI.

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴ (۱)، ۱۹۲-۱۷۳. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352988.669421>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352988.669421>

## مقدمه

تالاب‌ها از مهم‌ترین و حساس‌ترین اکوسیستم‌های کره خاکی بوده و مأوای بخشی از غنی‌ترین تنوع زیستی روی زمین هستند. از مهم‌ترین کارکردهای تالاب می‌توان به تنظیم سطح آب‌های زیرزمینی، تعدیل میکروکلیم، بانک ژن، بهره‌مندی چندگانه اعم از استفاده از گیاهان آبی، شکار و صید پرندگان آبی و تجزیه مواد آلی اشاره کرد (Kheirollahi et al., 2013). امروزه تالاب‌ها با دامنه وسیعی از استرس‌ها مانند تغییرات اقلیمی، انحراف آب و سدسازی، افزایش فعالیت‌های کشاورزی، ورود رواناب‌های آلوده و تغییرات فیزیکی روبرو هستند (Klemas, 2011). تغییرات کاربری/ پوشش زمین، تغییرات اقلیمی، بهره‌برداری بیش از اندازه از آب‌های زیرزمینی، خشکاندن و زهکشی‌های مصنوعی تالاب و احداث طرح‌های بزرگ آبیاری از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ساختار و عملکرد و توزیع تالاب‌ها، به‌ویژه در قرن اخیر بوده که البته تأثیر آن در تالاب‌های مختلف، متفاوت است (Ghorbani et al., 2013). روند روبه‌رشد گرم‌شدن کره زمین و برهم‌خوردن توازن اکوسیستم‌ها، آینده این ذخایر ارزشمند آبی را با چالش‌های بسیاری روبرو نموده است. افزایش دما، کاهش و تغییر توزیع بارندگی، افزایش تبخیر و تعرق و افزایش سطح آب دریاها از جمله پیامدهای تغییرات اقلیمی هستند (Urkett & Kusler, 2000). تغییر اقلیم به‌عنوان تهدیدی بزرگ برای تالاب‌ها شناخته می‌شود، زیرا هیدرولوژی تالاب تغییر یافته و افزایش دما می‌تواند بیو ژئوشیمی و عملکرد یک تالاب را تا حدی تغییر دهد که برخی از خدمات مهم آن دچار آسیب شوند (Salimi et al., 2021).

پایش روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و بیوفیزیکی و بررسی ارتباط آن با تالاب‌ها و اراضی پیرامون آنها در مدیریت این اکوسیستم‌های ارزشمند مؤثر است؛ بنابراین برنامه‌ریزی برای حفاظت و توسعه تالاب‌ها نیازمند پایش و بررسی تغییرات آنها و عوامل مؤثر بر این تغییرات در طول زمان است (Lu et al., 2004; Dronova et al., 2011). از این‌رو دسترسی به داده‌های سنجش‌ازدور که اطلاعات مفیدی برای پایش و بررسی پارامترهای اقلیمی و بیوفیزیکی در بازه‌های زمانی مختلف را فراهم می‌کنند، بسیار کارآمد است (Deblauwe et al., 2016; Manandhar et al., 2018) و در چند دهه اخیر کاربرد و تنوع این داده‌ها در زمینه مطالعات اکوسیستم‌ها و منابع آبی توسعه فراوانی یافته است (Ludwig et al., 2019; Li et al., 2019). در حال حاضر داده‌های ماهواره‌ای به لحاظ ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود همانند چندزمانه بودن، چند طیفی بودن و وسعت منطقه تحت پوشش، اطلاعات مفیدی را برای مطالعه پدیده‌های دینامیکی ارائه می‌دهند. با استفاده از داده‌های چندزمانه سنجش‌ازدور با کمترین زمان و هزینه و بالاترین سرعت می‌توان نسبت به استخراج اطلاعات، خصوصیات بیوفیزیکی و کاربری‌های اراضی مناطق در مقیاس‌های مختلف اقدام نمود (Macleod & Congalton, 1998). به دلیل هزینه‌بر بودن و وقت‌گیر بودن برداشت داده‌های زمینی همچنین محدود بودن دسترسی به داده‌های ماهواره‌ای در گذشته، بیشتر مطالعات تشخیص تغییرات، معمولاً در مناطق کوچک صورت گرفته است (Hu & Dong, 2018). امروزه از منابع اطلاعاتی که در پایش زمانی تغییرات قابلیت زیادی دارد سامانه سنجش‌ازدوری تحت وب Google Earth Engine است. گوگل ارث انجین یک پلتفرم رایانش ابری است که در سال ۲۰۱۰ توسط گوگل راه‌اندازی شد (Kumar & Mutanga, 2018) این سامانه تحت وب از زیرساخت محاسباتی گوگل و مجموعه داده‌های سنجش‌ازدور که در دسترس هستند استفاده می‌کند (Gorelick et al., 2017). این سامانه، جدیدترین پلتفرم پردازش داده‌های زمین است که با فراهم آوردن امکان دسترسی آزاد کاربران به مجموعه داده‌های سنجش‌ازدور، فرایندهای تحقیقاتی علمی را تسهیل می‌کند (Amani et al., 2019) و برخلاف فرایندهای سنجش‌ازدور سنتی، (GEE) پتانسیل بالایی برای طبقه‌بندی پوشش زمین نشان داده است (Wang et al., 2020) در واقع در این سامانه کاربران نیازی به نرم‌افزار و دانلود تصاویر مختلف برای پردازش ندارند و پلتفرمی است آنلاین برای نظارت و تجزیه و تحلیل محیط (Lee et al., 2016; Gorelick et al., 2017)، و می‌تواند پردازش داده‌های بزرگ را به سرعت انجام دهد (Wang et al., 2020). بنابراین این سامانه در سال‌های اخیر توانسته بسیاری از فرایندهای پردازش تصاویر ماهواره‌ای را آسان نماید. این تحولات، همراه با استقبال روزافزون از (GEE) بسیاری از پیش‌پردازش‌ها را کاهش داده و بر دقت، صحت و جامعیت مطالعات سنجش‌ازدور افزوده است (Gorelick et al., 2017). مزیت کلیدی (GEE) ارتباط نزدیک بین داده‌ها و الگوریتم‌ها است که هر دو از طریق رابط برنامه‌نویسی برنامه (API) قابل دسترسی هستند (Arévalo et al., 2020). Hamzeh et al., (2019) در بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی تالاب شادگان با داده‌های سنجش‌ازدور در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ از شاخص NDWI و سامانه GEE جهت استخراج و بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و بیوفیزیکی منطقه مانند بارش (TRMM و CHIRPS)، دمای سطح (MOD11)، تبخیر و تعرق واقعی (MOD16) و پوشش گیاهی (MOD13) طی بازه مطالعاتی استفاده نمودند.

این سامانه علاوه بر رویکردهای مختلف نقشه‌برداری خودکار، فهرست گسترده‌ای از داده‌های عمومی از جمله مجموعه‌ای از داده‌های سنجش‌ازدور را داراست، مانند تصاویر Landsat، MODIS، داده‌های توپوگرافی، پوشش زمین، آب‌وهوا و جمعیت (Gorelick et al., 2017)، که با دسترسی به داده‌های جدید بهنگام می‌شوند. این پلتفرم در تحقیقات متعددی برای تشخیص تغییرات جنگل (Hansen et al., 2013 ; Moore & Hansen, 2020)، ردیابی زیستگاه‌ها (Joshi et al., 2016)، نقشه‌برداری زمین‌های شهری (Liu et al., 2020) و فعالیت‌های انسانی (Benz et al., 2017) مورداستفاده قرار گرفته است که نشان می‌دهد GEE در مشاهده و تجزیه و تحلیل محیطی بسیار مفید است. همچنین این سامانه ابزار کارآمد و با ارزشی برای شناسایی و پایش تغییرات تالاب‌ها در طی زمان‌های مختلف ایجاد نموده است که برای نقشه‌سازی زیستگاه‌های تالابی، تعیین تنوع زیستی آن‌ها، تغییرات کاربری اراضی تالابی و پایش مناطق تحت حفاظت به کار برده می‌شوند (Tuener et al., 2020). تحقیقات مختلفی در این زمینه صورت گرفته، (Lee & Yeh (2009) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat و Spot به پایش تغییرات پوشش گیاهی تالابی جوامع مانگرو در مصب رود دانشویی در چین پرداختند. همچنین چندین مطالعه استراتژی‌های تشخیص تغییرات را در پلت فرم GEE توسعه داده‌اند. (Hu et al., (2018) در مناطق غربی چین، رویکرد جدیدی برای ایجاد و به‌روزرسانی نقشه تغییرات زمین را از طریق ترکیب درخت طبقه‌بندی و رگرسیون (CART) و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) با پشتیبانی GEE پیشنهاد دادند. (Sidhu et al., (2018) مزایای GEE را به‌عنوان یک پلتفرم سنجش‌ازدور تحت وب برای تشخیص تغییرات پوشش زمین در مناطق شهری در سنگاپور در دو کلاس زمین‌شهری و تالابی ارزیابی نمودند و بیان داشتند که در وضعیت فعلی، GEE با ارائه دسترسی به طیف گسترده‌ای از تصاویر در یک سیستم تلفیقی، ابزاری است قدرتمند و دارای توانایی تجمیع فضایی داده‌ها در مقیاس جهانی در سطح بالا است. (Zhu et al., (2019) پایش طولانی‌مدت (۲۰۱۸-۱۹۹۸) تغییرات زمین زراعی نزدیک دریاچه دانگتینگ، چین، را با استفاده از الگوریتم LandTrendr با داده‌های سری زمانی Landsat از GEE را به انجام رساندند.

بررسی ۲۱ ساله روند تغییرات تالاب بین‌المللی هورالعظیم با استفاده از تصاویر لندست ۵ و ۷ توسط Rahimi Baluchi & Hojjati (2014)، بیان‌کننده کاهش ۱۲ درصدی مساحت تالاب و تهدید موجودیت آن به دلیل شرایط اختلال است. در بررسی تغییرات عمق تالاب بین‌المللی زیروار نیز با از تصاویر لندست در چهار دوره زمانی توسط Heydarian et al., (2016) میزان بازتاب‌های طیفی و نتایج شاخص‌های مختلف متناظر با عمق‌های اندازه‌گیری شد و در مدل‌سازی عمق با شبکه عصبی مصنوعی بکار گرفته شد. (Khosravi et al., (2020) در بررسی تغییرات تالاب‌های پلدختر ایلام در چهار دهه گذشته از تصاویر ماهواره‌ای لندست و ۷ شاخص پهنه آبی و گوگل ارث انجین استفاده نمودند. نتایج نشان داد که شاخص‌های آب و گوگل ارث انجین ابزاری مفید برای شناسایی روند افزایشی و کاهش سطح آب تالاب‌ها است. (Jahani Shakib et al., (2014) تغییرات کاربری اراضی را در سیمای سرزمین تالاب چغاخور در خصوص پارامترهای تغییر اقلیم بررسی نمودند. طبقه‌بندی تصاویر لندست با الگوریتم حداکثر احتمال و از شاخص بارش روند تغییرات اقلیم جهت تحلیل هم‌زمان تغییر کاربری و اقلیم استفاده شد. (Du et al., (2014) کارایی سه مدل NDWI را بر تصاویر لندست ۸ در حوضه رودخانه یانگ‌تسه و هواها تست کردند و نشان دادند صحت کلی شاخص MNDWI که از باندهای سبز و مادون قرمز میانی استفاده می‌کند نسبت به دو مدل دیگر کارایی بهتری دارد.

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش تالاب انزلی، از جمله تالاب‌های بین‌المللی ایران است که در سال ۱۳۵۴ در کنوانسیون رامسر به ثبت رسیده است (Zebardast & Jafari, 2011). در چند دهه اخیر، تغییرات زیادی در سطح و عمق تالاب انزلی به وجود آمده است. افزایش جمعیت و تغییرات کاربری در حوضه آبخیز انزلی، کاهش بارش و تغییرات شدید تراز آب دریای خزر از مهم‌ترین تهدیدات این تالاب است (Kharyaband & Attarchi, 2020). با در نظر گرفتن اهمیت بین‌المللی این تالاب و کارکردی که در حفظ تعادل اکولوژیک منطقه ایفا می‌کند، ضروری است تا وضعیت این تالاب مورد بررسی قرار گیرد. کاهش سطح پهنه‌های آبی تالاب، از میزان مطلوبیت آن به‌عنوان یک زیستگاه آبی می‌کاهد، همچنین تالاب را در معرض خطر خشک‌شدن قرار می‌دهد. از آنجاکه تعیین میزان سطح پهنه‌های مختلف از طریق عملیات میدانی بسیار پرهزینه بوده و اطلاعات تاریخی در این زمینه در دسترس نیست، از سنجش‌ازدور که از روش‌های کم‌هزینه در به‌دست آوردن اطلاعات وضعیت موجود و گذشته تالاب است، استفاده می‌گردد. در مطالعات صورت گرفته توسط Karyaband & Attarchi (2020) با استفاده از تصاویر لندست تغییرات عمق تالاب را در بازه ۳۰ ساله، تشریح و نتایج نشان داد 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. روند تغییرات

اقلیمی تالاب انزلی را با سری داده‌های سالانه بارندگی پارامتر دمای متوسط، دمای حداکثر و حداقل در ایستگاه انزلی طی دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۵۱) با آزمون ناپارامتری من کندال توسط Ebrahimi & Kardavani (2014) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که دمای حداکثر دارای روند منفی و دمای حداقل دارای روند مثبت و بارش سالانه هیچ‌گونه تغییر شدیدی نداشته و به‌طور کلی نتیجه گرفتند که تغییر اقلیم منطقه با تغییرات دما مطابقت بیشتری نسبت به تغییرات بارندگی دارد. (Modaberi & Shokoohi, 2019) در تعیین نیاز آبی زیست‌محیطی تالاب انزلی با استفاده از روش‌های اکو هیدرولوژیکی، وضعیت رودخانه‌های ورودی و تراز سطح دریای خزر را بررسی نمودند. آنها تراز سطح آب تالاب را متأثر از تراز سطح دریای خزر و جریان ورودی به تالاب از طریق ۹ رودخانه ورودی به آن برشمردند و عنوان نمودند که در ماه‌هایی از سال (عمدتاً فصل تابستان)، بیشترین برداشت از آب ورودی به تالاب صورت می‌گیرد و به علت افزایش دمای هوا، میزان تبخیر از سطح آب و تبخیر و تعرق از گیاهان تالابی افزایش می‌یابد.

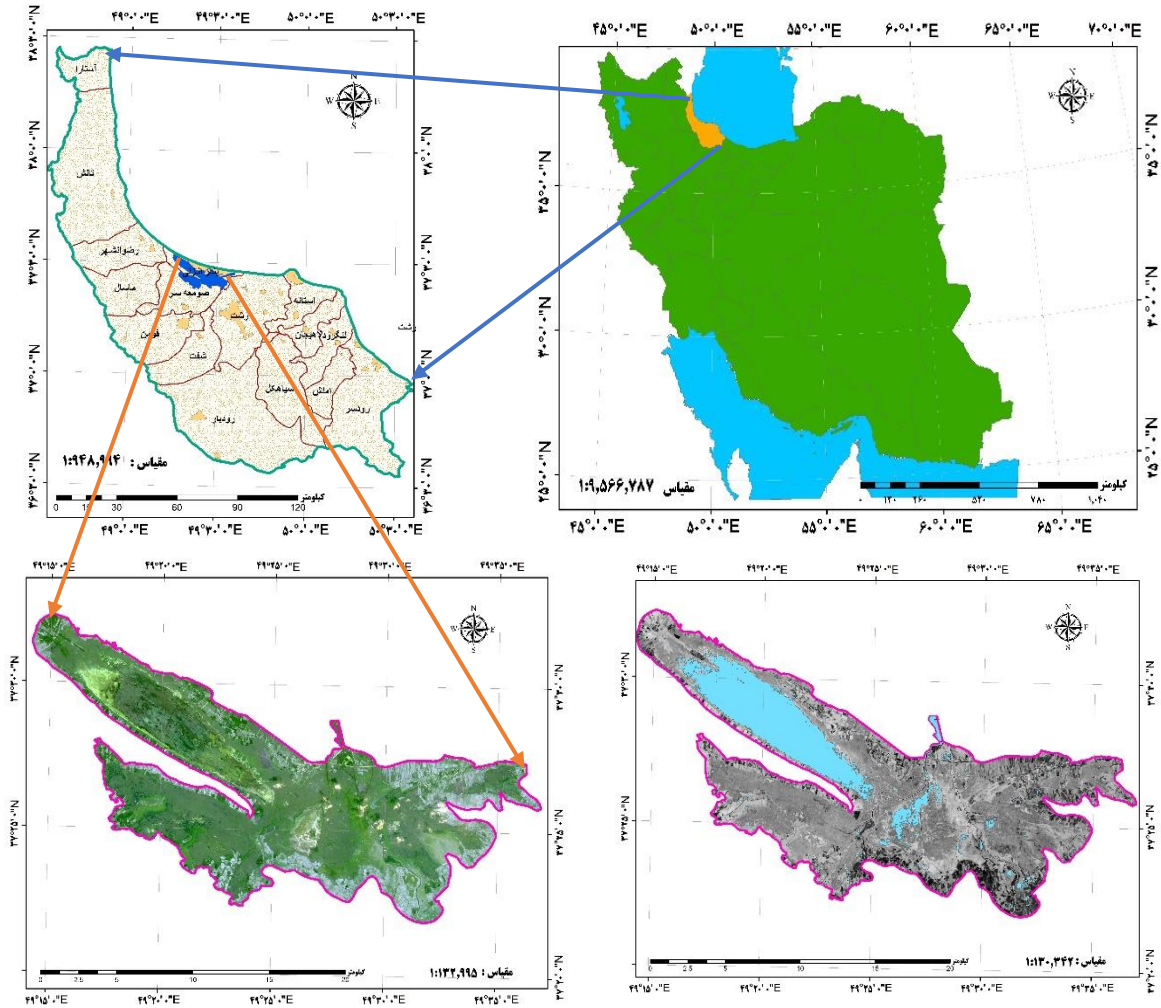
در این مطالعه با توجه به اهمیت بین‌المللی تالاب انزلی که روند خشک‌شدن در آن مشهود است (Shakeri et al., 2019; Kharyaband & Attarchi, 2020; Javaheri Hoshi et al., 2022) تغییرات سطح پهنه‌های آبی تالاب طی دوره ۳۴ ساله و نواحی مستعد خشک‌شدن آن با استفاده از سری تصاویر ماهواره‌ای لندست و گوگل ارث انجین ارزیابی شد. هدف از انجام این تحلیل، بررسی میزان کارایی تصاویر لندست و گوگل ارث انجین در تعیین سطح پهنه‌های آبی و تحلیل روند افزایشی و کاهش‌ی این سطوح بر اثر تغییرات پارامترهای اقلیمی و سطح تراز آب دریا است. به این منظور، با استفاده از تصاویر چندزمانه ماهواره لندست ۵ و ۸ طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ و تصاویر بازه زمانی مشابه در گوگل ارث انجین، داده‌های بارش ماهواره TRMM و شاخص خشکی pdsi حاصل از داده‌های TerraClimate در سامانه گوگل ارث انجین و داده‌های مربوط به سطح تراز آب دریای خزر، داده‌های سرور گوگل و مطالعات میدانی، پویایی مکانی پهنه‌های آبی تالاب انزلی مورد ارزیابی قرار گرفت. سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای نظیر لندست که آرشیو طولانی داشته و قدرت تفکیک طیفی و مکانی مناسبی در مطالعات منابع زمینی دارد، به طور گسترده در پایش محیط‌زیست مورد استفاده قرار گرفته و با تجزیه و تحلیل تصاویر چند طیفی و داده‌های گوگل ارث انجین و پردازش داده‌های بارش TRMM، می‌توان بادقت بالا مساحت مناطق آبی و تالاب‌ها را به دست آورد. با توجه به میزان تغییرات تالاب و علل ایجاد آن می‌توان مناطق مستعد خشک‌شدن را شناسایی و از روند تحلیل و از بین رفتن تالاب جلوگیری نمود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

تالاب انزلی در جنوب غربی سواحل دریای خزر در استان گیلان و در موقعیت جغرافیایی  $37^{\circ} 25'$  تا  $37^{\circ} 30'$  عرض شمالی و  $49^{\circ} 15'$  تا  $49^{\circ} 36'$  طول شرقی واقع شده و از شمال به شهرستان انزلی، از جنوب به شهرستان صومعه‌سرا، از شرق به شهرستان رشت و از غرب به کپور چال و آبکنار انزلی محدود است (شکل ۱).

میانگین سالانه دمای هوا در بندر انزلی  $16/2$  درجه سانتی‌گراد است. میانگین حداکثر سالانه دمای هوا  $19/2$  و میانگین حداقل سالانه آن  $13/2$  درجه سانتی‌گراد است. میانگین دما در سردترین ماه یعنی بهمن  $7$  درجه و در گرم‌ترین ماه یعنی تیر  $26$  درجه سانتی‌گراد است. میانگین دمای فصلی در بهار  $18/5$  درجه، در تابستان  $24/7$ ، در پاییز  $13/8$  و در زمستان  $7/7$  درجه است. میانگین سالانه رطوبت نسبی هوا در بندر انزلی  $84$  درصد است. میانگین رطوبت نسبی در زمستان  $86/7$  درصد، در بهار  $82/7$ ، در تابستان  $80$  و در پاییز  $86/7$  درصد است. مرطوب‌ترین ماه در بندر انزلی ماه اسفند با  $88$  درصد و خشک‌ترین ماه آن تیر با  $76$  درصد رطوبت نسبی است، با اختلاف رطوبت  $12$  درصد. سطح تالاب انزلی بنا بر آنچه در کنوانسیون رامسر ثبت شده است،  $150$  کیلومترمربع است. حداکثر عمق آب تالاب در بهار و در نواحی غربی تالاب به  $5/2$  متر می‌رسد که به دلیل نوسانات سطح آب دریای مازندران، این مقدار متغیر است. وسعت تالاب انزلی در فصل‌های زمستان و بهار به دلیل افزایش بارش، تا حدود  $218$  کیلومترمربع و در فصل تابستان به سبب کم‌شدن حجم ورودی آب، کمبود بارش و افزایش میزان تبخیر به  $80$  کیلومترمربع می‌رسد (Ashoori & Varasteh Moradi, 2014). 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 (Javedankherad et al. 2011). در سالیان اخیر ارتباط بخش سیاه کشیم با سایر بخش‌ها به دلیل کاهش عمق به حداقل رسیده است. مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که این کاهش ارتباط با سایر قسمت‌ها و افت تراز سطح آب، راه را برای تجاوز ساکنان حاشیه تالاب به بخش‌های مختلف سیاه کشیم و کم‌کردن پهنای تالاب در این بخش باز نموده است (Modaberi & Shokoohi, 2019).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان گیلان

### داده‌های مورد استفاده

در این بررسی از تصاویر ماهواره لندست و تصاویر گوگل ارث انجین استفاده شد و مطالعه در سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ انجام شده است. داده‌های ماهواره لندست شامل تصاویر ثبت شده از ماهواره‌های سری لندست بوده که در طی زمان انجام طرح به صورت دوره‌ای از منطقه موجود است (جدول ۱). در این مطالعه از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و سنجنده OLI لندست ۸ که در پایگاه سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) قابل دسترسی است، برای ارزیابی میزان تغییرات مساحت پهنه‌های آبی در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. بهترین زمان برداشت داده‌های ماهواره‌ای به دلیل پوشش ابر در تمامی فصول سال، ماه‌های خرداد تا مرداد بود که از تصویر با حداقل پوشش ابر استفاده شد.

جدول ۱. تصاویر ماهواره لندست

ماهواره	سنجنده	تعداد باند	Raw	زمان اخذ تصویر
لندست ۵	TM	۷	۱۶۶	۱۹۸۶/۰۵/۳۱
لندست ۵	TM	۷	۱۶۶	۱۹۹۰/۰۶/۱۱
لندست ۵	TM	۷	۱۶۶	۱۹۹۵/۰۷/۱۱
لندست ۵	TM	۷	۱۶۶	۲۰۰۰/۰۶/۰۶
لندست ۵	TM	۷	۱۶۶	۲۰۰۶/۰۸/۱۰
لندست ۵	TM	۷	۱۶۶	۲۰۱۰/۰۶/۰۲
لندست ۸	OLI	۱۱	۱۶۶	۲۰۱۵/۰۶/۱۶
لندست ۸	OLI	۱۱	۱۶۶	۲۰۲۰/۰۶/۱۳



سری دوم داده‌ها، تصاویر Google Earth Engine است که شامل ۳۶ تصویر لندست ۵ و ۸ است بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ و به صورت یک تصویر ۱۲ بانده در گوگل ارث انجین ارزیابی شده‌اند (جدول ۲)، و هر پیکسل با استفاده از یک سیستم خیره هوشمند به طبقه آب یا غیر آب طبقه‌بندی شده است. کلیه داده‌ها تحت برنامه Copernicus تولید و به صورت رایگان در اختیار است (Xia et al., 2019).

جدول ۲. تصاویر استفاده شده در گوگل ارث انجین

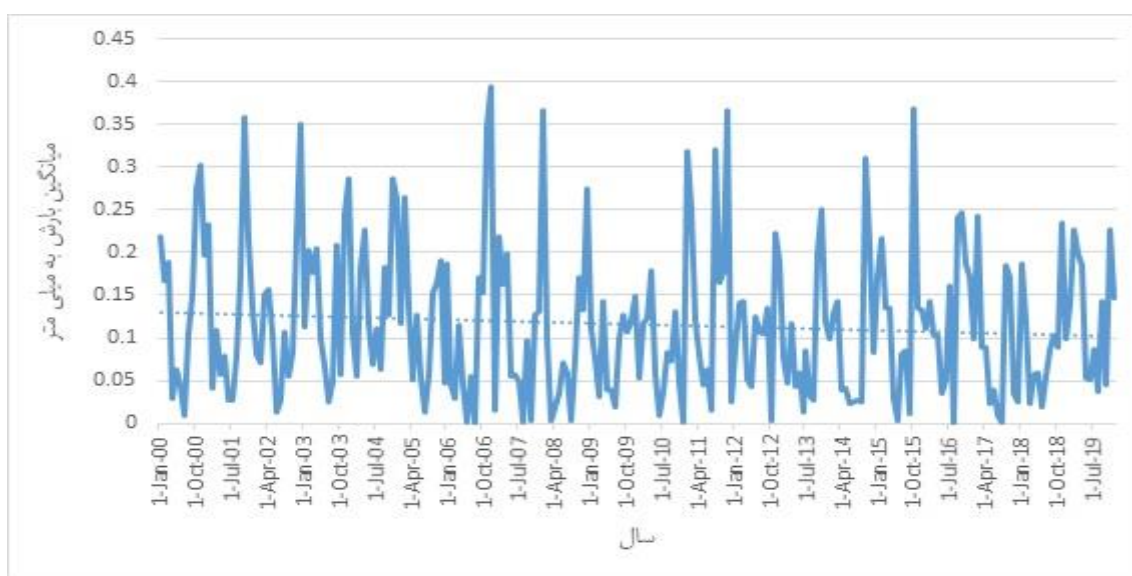
ماهواره	سنجنده	زمان اخذ تصویر
لندست ۵	TM	۲۰۱۳-۱۹۸۶
لندست ۸	OLI	۲۰۲۰-۲۰۱۴

داده‌های اقلیمی شامل داده‌های باران ماهواره TRMM<sup>۱</sup>، اولین سیستم فضایی راداری بارش است که به صورت الگوریتمی، داده‌های مایکروویو از چندین ماهواره از جمله SSMIS، SSMI، AMSU-B، MHS و AMSR-E را ادغام می‌کند، و هر کدام به صورت ترکیبی، به ابزار TRMM تبدیل می‌شوند (Wolff et al., 2005). این داده‌ها از سامانه GEE اخذ می‌شوند. انتخاب داده‌های بارش ماهانه 3B43 از بین محصولات دیگر، به این دلیل است که دقت آنها بیشتر از محصولات دیگر ارزیابی شده است (Hejazizadeh et al., 2012). داده‌های TerraClimate نیز یکی از ۱۴ محصول ماهواره‌ای اقلیم‌شناسی دانشگاه آیداهو آمریکا (داده‌های اقلیمی IDAHO) از کاربردی‌ترین مؤلفه‌های اقلیمی ماهواره‌ای در GEE بوده که مجموعه‌ای از داده‌های تعادل ماهانه آب‌وهوا در سطوح جهانی است و در بررسی شاخص خشکی PDSI<sup>۲</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول ۳. داده استفاده شده در گوگل ارث انجین

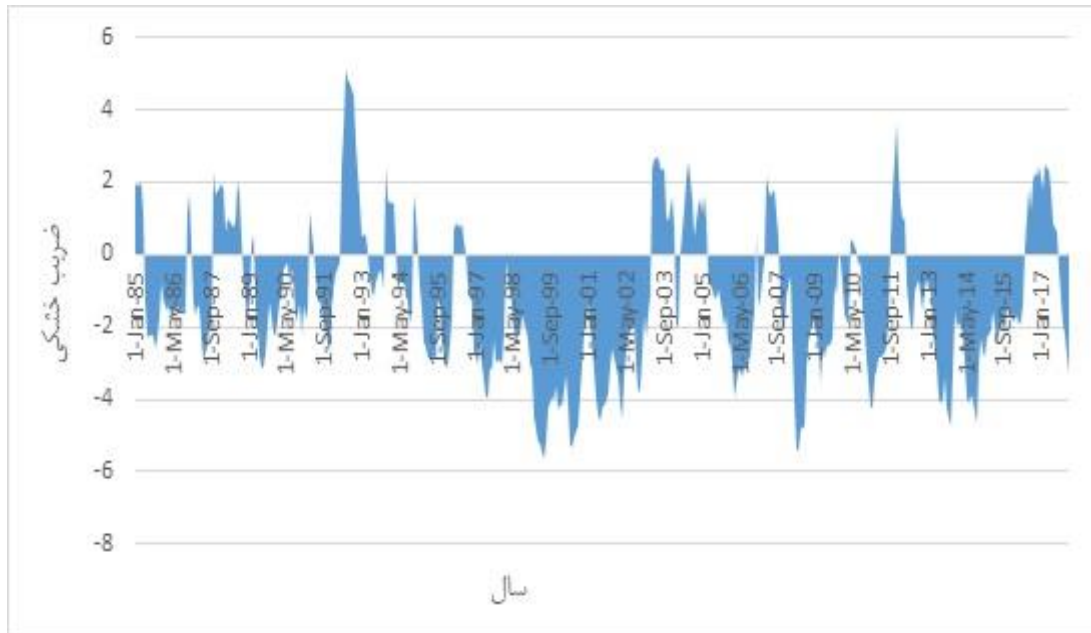
ماهواره	نوع داده	زمان گرفتن تصویر
TRMM	سری 3B43 (داده‌های مایکروویو و مادون قرمز)، بارندگی ماهانه	۲۰۱۹-۱۲-۱ الی ۱-۱-۱۹۸۶
CRU Ts4.0	داده‌های ماهانه اقلیمی و تعادل اقلیمی آب TerraClimate، در مقیاس جهانی، دانشگاه آیداهو	۲۰۲۰-۱-۱ الی ۱-۱-۱۹۸۶

نمودار میانگین بارش سالیانه بر اساس داده‌های باران به دست آمده از ماهواره TRMM در شکل ۲ و نمودار شاخص خشکی PDSI در شکل ۳ نشان داده شده است.



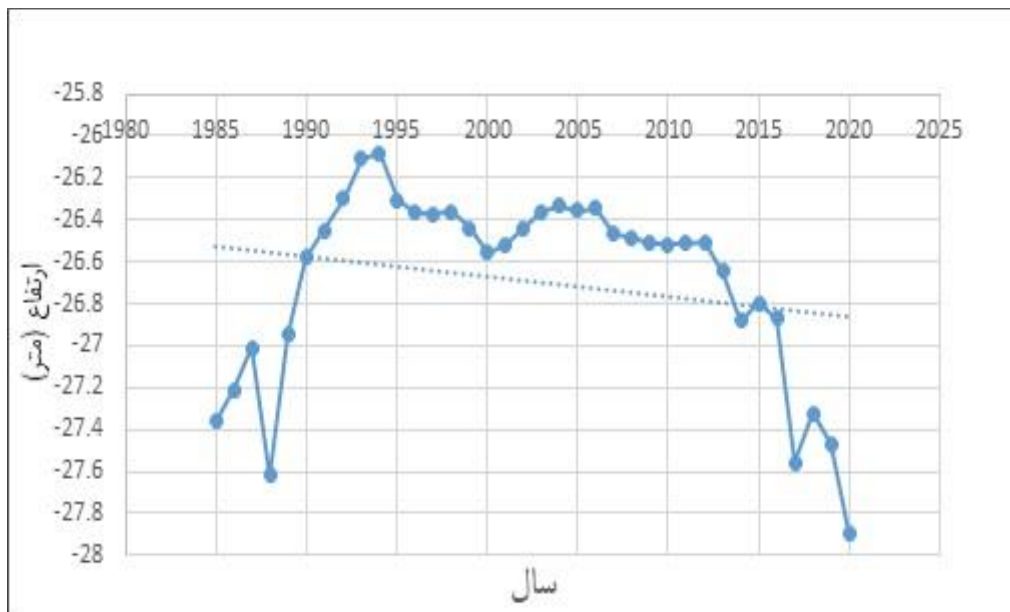
شکل ۲. نمودار میانگین بارش سالانه حوضه آبخیز تالاب بر اساس داده‌های TRMM

1. Tropical Rainfall Measuring Mission  
2. Palmer Drought Severity Index



شکل ۳. نمودار شاخص خشکی PDSI حوضه آبخیز تالاب انزلی بر اساس داده‌های TerraClimate

داده‌های دیگر مطالعه، داده‌های تراز آب دریای خزر است که در سال‌های اخیر تغییرات زیادی داشته و تالاب انزلی از روند تغییرات تراز آن متأثر بوده است. این داده‌ها از سال ۱۳۷۵ تا سال ۱۳۹۹ از سایت سازمان بنادر و دریانوردی ایران (<https://www.pmo.ir/>) تهیه شده که نمودار تغییرات سالانه آن در شکل ۴ نشان داده شده است.

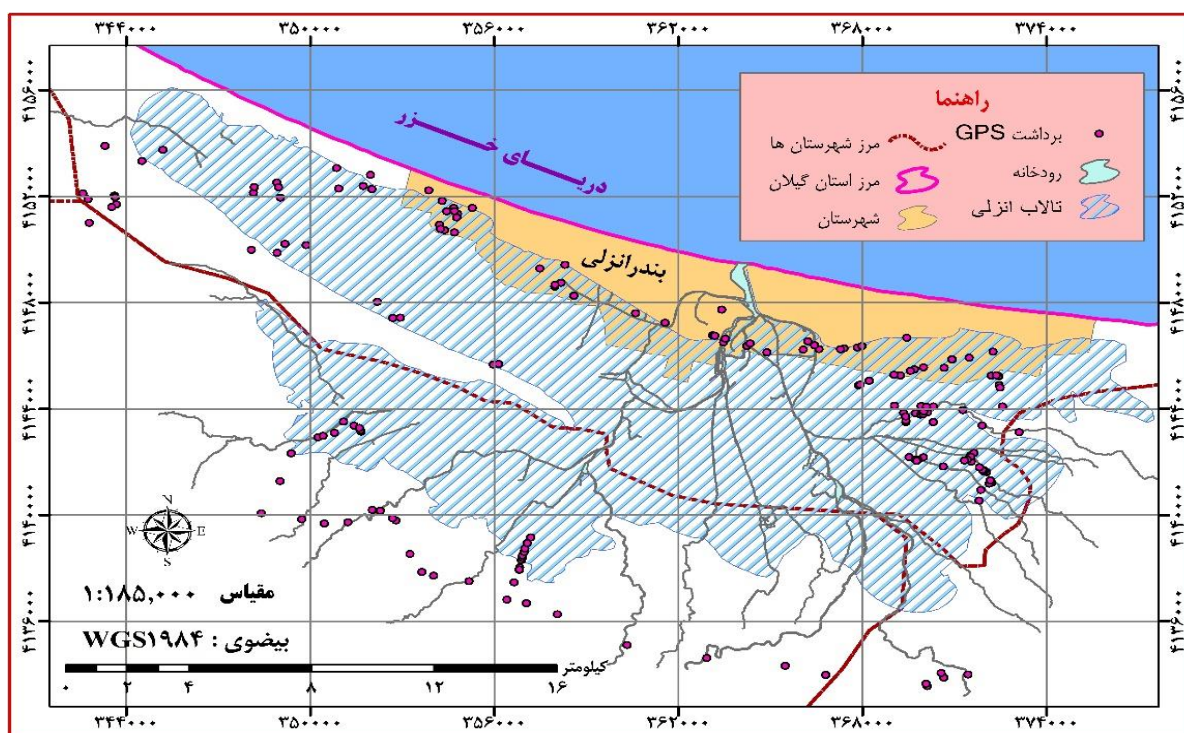


شکل ۴. نمودار سالانه سطح تراز آب دریای خزر بین سال‌های ۱۹۸۵ الی ۲۰۲۰

همچنین داده‌های مربوط به برداشت میدانی با دستگاه GPS<sup>۱</sup> و گوگل ارث<sup>۲</sup> جهت ارزیابی و صحت‌سنجی نتایج پردازش تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۵). تعداد ۱۰۲ نقطه برداشت میدانی و برداشت گوگل ارث به صورت ROI<sup>۳</sup> در نرم‌افزار ENVI 5.6 وارد شد.

1. Global positioning System  
2. Google Earth  
3. Region of Interest

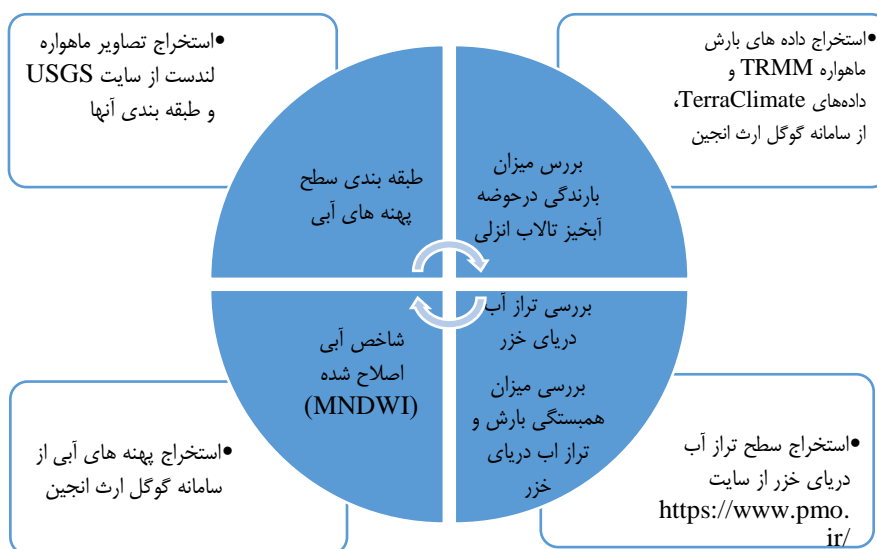




شکل ۵. برداشت نمونه‌های تعلیمی با GPS

### روش‌های پردازش اطلاعات

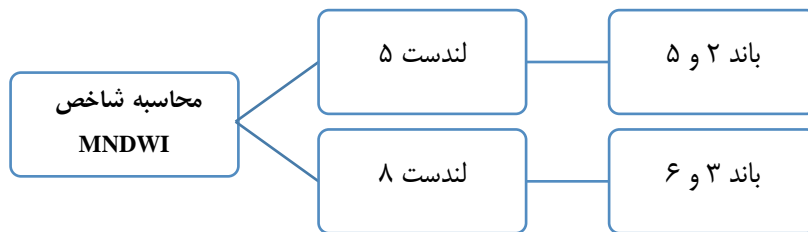
ابتدا تصاویر لندست اخذ شده، تصحیح اتمسفری و رادیومتریک شد. سپس مرز منطقه مورد مطالعه در تصاویر تصحیح شده مشخص شد. در مرحله بعد با استفاده از ROI حاصل از برداشت میدانی و برداشت گوگل ارث، طبقه‌بندی ۸ تصویر لندست ۵ و ۸ با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان SVM<sup>۱</sup> برای هر تصویر در نرم‌افزار ENVI 5.6 انجام شد. الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در چند سال اخیر به‌عنوان یک تکنیک جدید بر اساس نظریه یادگیری آماری جهت طبقه‌بندی داده‌های سنجنش از دور مورد استفاده واقع شده است (Salman Mahini & Kamyab, 2011). این الگوریتم در واقع یک طبقه‌بندی کننده دودویی و یک روش آماری غیرپارامتریک نظارت شده است (Karimi & Firozjani & Kiavarz, 2019). شکل ۶ روش انجام کار را نشان می‌دهد.



شکل ۶. مدل مفهومی روش تحقیق

### شاخص‌های آبی

شاخص‌های آبی برای به حداکثر رساندن بازتاب آب با استفاده از طول موج سبز، به حداقل رساندن بازتاب کم باند مادون قرمز نزدیک<sup>۱</sup> (NIR) با ویژگی‌های آب و بازتاب زیاد NIR توسط ویژگی‌های پوشش گیاهی و خاک طراحی شده‌اند. جایی که NIR و GREEN به ترتیب مقادیر بازتابی طیفی به دست آمده در بخش مادون قرمز نزدیک و سبز طیف الکترومغناطیسی هستند. مقادیر NDWI<sup>۲</sup> بین ۱- تا ۱+ است که مقادیر منفی یا نزدیک به صفر به معنای بدون آب است، در حالی که مقادیر نزدیک به ۱+ نشان دهنده رطوبت بسیار زیاد است (McFeeters, 1996). اما زمانی که پهنه آبی محصور در پوشش گیاهی است و تصویر NDWI اغلب با اختلالات بازتابش طیفی گیاهی مخلوط می‌شود، بررسی دقیق امضا طیفی اشکال، نشان می‌دهد که متوسط ارزش باند ۵ سنجنده TM<sup>۳</sup> که نشان دهنده تابش مادون قرمز میانی (MIR<sup>۴</sup>) است، بسیار بیشتر از باند ۲ سنجنده TM (باند سبز) است؛ بنابراین، اگر از یک باند MIR به جای باند NIR در NDWI استفاده شود، تصویر ساخته شده باید دارای مقادیر منفی باشد. بر اساس این فرض، NDWI با جایگزینی باند MIR به جای باند NIR اصلاح می‌شود (Xu, 2006). بنابراین شاخص آبی MNDWI<sup>۵</sup> در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت که از رابطه ۱ به دست می‌آید. NDWI اصلاح شده (MNDWI) را می‌توان به شرح زیر بیان کرد (شکل ۷):



شکل ۷. روش محاسبه شاخص NDWI اصلاح شده (MNDWI)

$$\text{MNDWI} = \frac{\text{Green} - \text{SWIR}}{\text{Green} + \text{SWIR}} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه Green نشان دهنده باند طیفی Green است که بالاترین بازتاب را برای آب دارد و باند مادون قرمز طول موج کوتاه<sup>۶</sup> (SWIR) بوده که در مقایسه با NDWI، کنتراست بین آب و زمین‌های ساخته شده MNDWI به دلیل افزایش ارزش ویژگی آب و کاهش ارزش زمین‌های ساخته شده از مثبت به منفی، به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. در ماهواره لندست ۵ باند (B5) برابر است با باند مادون قرمز (SWIR) و در ماهواره لندست ۸ باند (B6) برابر است با باند SWIR که از آن استفاده می‌کنیم (Asghari Sarasekanrood *et al.*, 2020).

نتایجی که از شاخص MNDWI به دست می‌آید:

مقادیر مثبت نشان دهنده آب است چرا که آب در باند MIR بیشتر از NIR جذب می‌شود. مقادیر منفی نشان دهنده عناصر و پدیده‌های انسان ساخت است؛ زیرا این پدیده‌ها در باند MIR نسبت به باند NIR انعکاس بیشتری دارند.

خاک و پوشش گیاهی دارای ارزش منفی هستند.

### اعتبارسنجی نتایج

دو مؤلفه صحت کلی (overall accuracy) و ضریب کاپا از کاربردی‌ترین روش‌ها در سنجش اعتبار نتایج هستند. روش صحت کلی به تنهایی نمی‌تواند مؤلفه مناسبی برای اعتبارسنجی محسوب گردد، لذا ضریب کاپا در مقایسه با صحت کلی دارای دقت برآورد مناسب‌تری است (Hajibigloo *et al.*, 2019). صحت کلی را می‌توان یک معیار ارزش گذاری صحت نتایج از طریق تقسیم عناصر قطر اصلی ماتریس

1. Near Infra Red
2. Normalized Difference Water Index
3. Thematic Mapper
4. Medium Infra Red
5. Modified Normalized Difference Water Index
6. Short Wave Infra Red

خطا به مجموع پیکسل‌های مرجع نامید. صحت کلی بیانگر میزان اعتبار نتایج تولیدشده توسط شاخص‌های آبی و گوگل ارث انجین هستند که در نقشه‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای میزان حداقل ۸۵ درصد آن قابل قبول است (Banko, 1998). صحت کلی بر اساس رابطه ۲ محاسبه می‌گردد:

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه،  $OA$  دقت کلی،  $N$  تعداد پیکسل‌های آزمایشی،  $\sum P_{ii}$  جمع قطر اصلی ماتریس خطا می‌باشد.

ضریب کاپا ( $Kc$ ) توافق واقعی بین داده‌های مرجع و طبقه‌بندی استفاده شده در مقابل احتمال توافق بین مرجع و موارد تصادفی است و پیکسل‌های نادرست را مدنظر قرار می‌دهد. مقدار شاخص کاپا بین صفر تا یک تغییر می‌کند که هرچه به یک نزدیک‌تر باشد میزان درستی نقشه حاصل از طبقه‌بندی به واقعیت نزدیک‌تر است و عدد یک نشان‌دهنده همسویی یا توافق صددرصد نقشه طبقه‌بندی شده با واقعیت زمینی است (Batz & Schape, 2000). این ضریب بر اساس رابطه ۳ محاسبه می‌گردد که  $P_0$  درستی مشاهده شده (مجموعه اعداد قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده) و  $P_c$  توافق تصادفی (Chance Agreement) یا مورد انتظار است.

$$KAPPA = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} \times 100 \quad \text{رابطه ۳}$$

## نتایج

به‌منظور شناسایی تغییرات پهنه‌های آبی تالاب بین‌المللی انزلی طی دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰، سطح کلیه مناطق آبی موجود در مرز تالاب روی هر تصویر به‌صورت جداگانه با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های سنجش‌ازدور بررسی گردید. ارزیابی صحت در طبقه‌بندی ۸ تصویر ماهواره لندست با محاسبه ماتریس خطا صورت گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی نشان‌دهنده این است که نقشه‌های تولیدی حاصل با صحت کلی بالاتر از ۸۷ درصد و ضریب کاپا بالاتر از ۸۸ درصد توافق خوبی در طبقه‌بندی و طبقات کاربری موجود در زمین را دارد (Landis et al., 1977).

جدول ۵. نتایج صحت سنجی طبقه‌بندی تصاویر

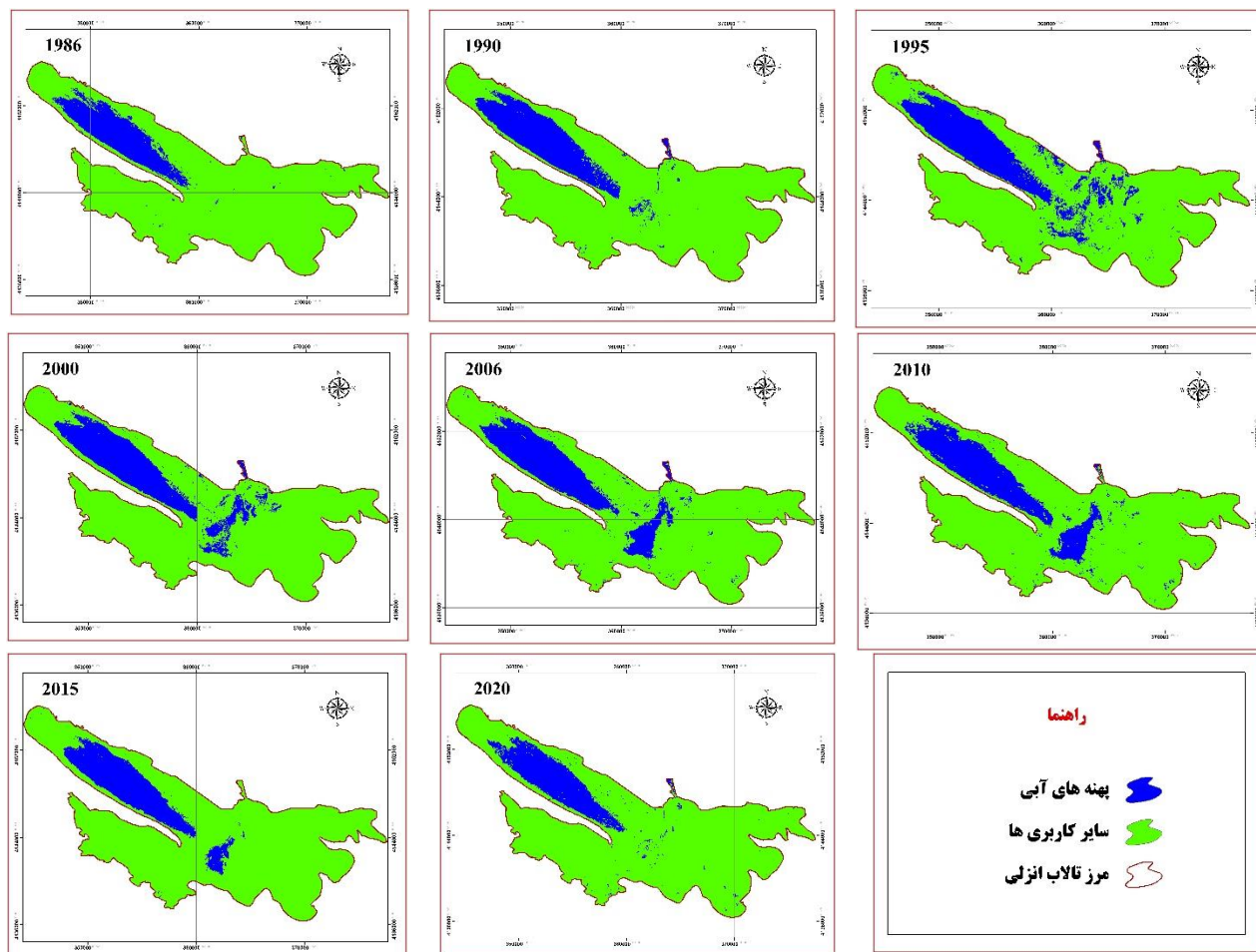
تصور لندست	ضریب کاپا	صحت کلی
۱۹۸۶	۰/۹۲	۹۰/۳۳
۱۹۹۰	۰/۸۸	۹۰/۵۴
۱۹۹۵	۰/۹۱	۸۹/۴۵
۲۰۰۰	۰/۹۲	۹۳/۸۹
۲۰۰۶	۰/۹۴	۹۲/۲۵
۲۰۱۰	۰/۸۸	۹۰/۰۱
۲۰۱۵	۰/۸۸	۹۰/۳۴
۲۰۲۰	۰/۹۰	۸۷/۹۹

جدول ۴ و شکل ۸ نیز نتایج حاصل از طبقه‌بندی به روش SVM تصاویر را در سال‌های مختلف در دو کلاس پهنه آبی و سایر کاربری‌ها نشان می‌دهد. نمودار ۹ نشان‌دهنده روندی صعودی در ابتدا و سپس نزولی در مساحت پهنه‌های آبی موجود در تالاب بین سال‌های مطالعه است که از نتایج طبقه‌بندی تصاویر به‌دست‌آمده است.

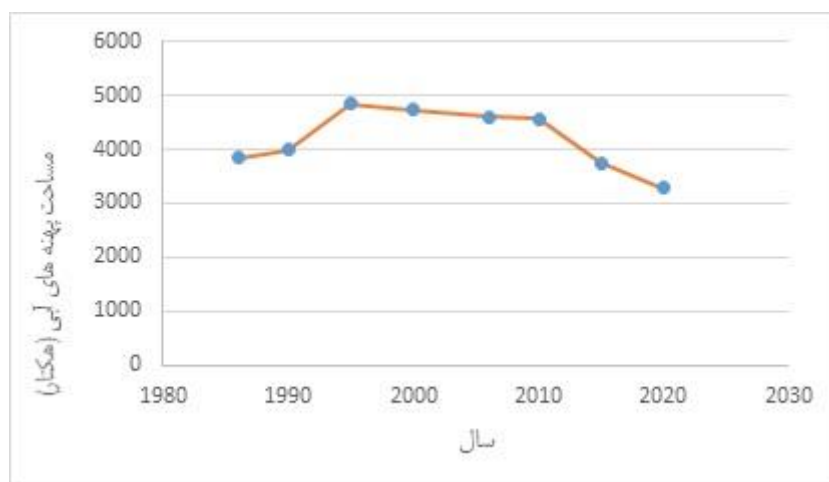
جدول ۴. نتایج طبقه‌بندی تصاویر لندست ۵ و ۸

تصویر مربوط به سال	های آبی تالاب (هکتار) مساحت پهنه	مساحت سایر کاربری‌ها (هکتار)
۲۰۲۰	۳۲۸۷/۰۷	۲۱۷۹۱/۳۴
۲۰۱۵	۳۷۵۲/۹۱	۲۱۳۲۵/۵
۲۰۱۰	۴۵۷۵/۱۵	۲۰۵۰۳/۲۶
۲۰۰۶	۴۶۱۱/۴۲	۲۰۴۶۶/۹۹
۲۰۰۰	۴۷۳۸/۴۱	۲۰۳۴۰
۱۹۹۵	۵۱۵۱/۵۱	۱۹۹۲۶/۹

۲۱۰۹۴/۵۶	۳۹۸۳/۸۵	۱۹۹۰
۲۱۰۴۴/۶۱	۴۰۳۳/۸	۱۹۸۶



شکل ۸. طبقه‌بندی تصاویر به روش بردار پشتیبان SVM



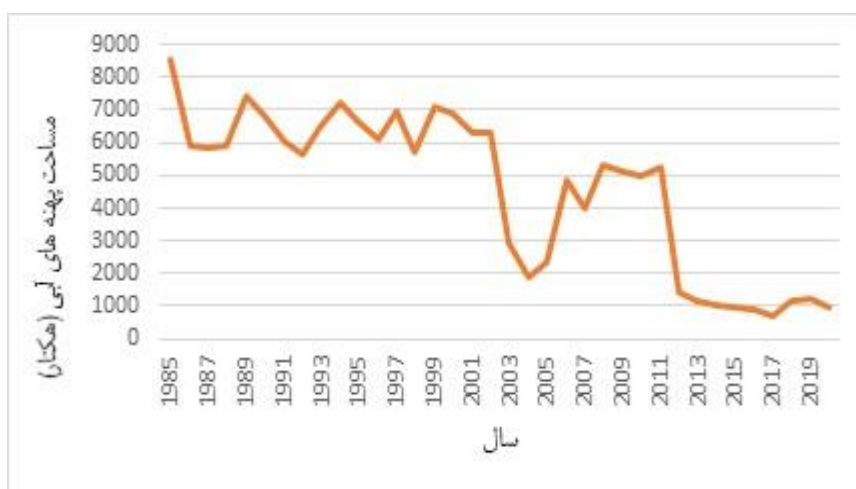
شکل ۹. نمودار تغییرات مساحت پهنه‌های آبی تالاب بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ حاصل از طبقه‌بندی تصاویر لندست

سپس جهت شناسایی تغییرات پهنه‌های آبی تالاب با استفاده از شاخص آبی طی دوره زمانی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰، سطح آب در هر تصویر زمانی به صورت جداگانه محاسبه گردید (جدول ۶). نمودار ۱۰ نشان‌دهنده روند سالانه تغییرات است که از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۱ با وجود تغییرات متوسط سالانه، سطح پهنه‌های آبی بین ۶۰۰۰ تا ۶۹۰۰ هکتار بوده و تغییرات ناگهانی در آن دیده نمی‌شود. ولی پس از سال ۲۰۰۱ سطح پهنه‌های آبی به ۴۳۰۰ هکتار تقلیل می‌یابد و روندی شکننده و نزولی را در مساحت این پهنه‌ها تا سال ۲۰۰۵ شاهد

هستیم. قابل توجه است که متوسط بارش سالانه تغییر چندانی ندارد، بنابراین کاهش سطح پهنه‌های آبی در این سال چندان متأثر از بارندگی سالانه نیست. بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷ این روند نزولی ادامه داشته و بعد از آن تا سال ۲۰۱۱ نمودار صعودی شده، میزان متوسط بارندگی سالانه نیز بر اساس شکل ۲ در سال ۲۰۰۶ افزایش یافته و تأثیر آن بر افزایش سطح آب از سال ۲۰۰۷ مشخص است. از سال ۲۰۱۱ مساحت پهنه‌های آبی نزولی بوده که این روند نزولی تا انتهای بازه زمانی مطالعه ادامه دارد. در این دوره زمانی متوسط بارش سالانه نیز از سال ۲۰۱۲ کاهش یافته است.

جدول ۶. مقایسه نتایج دو طبقه‌بندی کننده

سال اخذ تصاویر	مساحت پهنه‌های آبی در تصویر طبقه‌بندی شده لندست (هکتار)	مساحت پهنه‌های آبی در تصویر شاخص آبی MNDWI (هکتار)
۲۰۲۰	۳۲۸۷/۰۷	۹۵۴
۲۰۱۵	۳۷۵۲/۹۱	۹۴۵
۲۰۱۰	۴۵۷۵/۱۵	۴۹۹۳
۲۰۰۶	۴۶۱۱/۴۲	۴۳۵۶
۲۰۰۰	۴۷۳۸/۴۱	۶۹۳۲
۱۹۹۵	۴۸۵۱/۵۱	۶۶۳۷
۱۹۹۰	۳۹۸۳/۸۵	۶۸۴۰
۱۹۸۶	۳۸۳۳/۸	۵۹۲۶

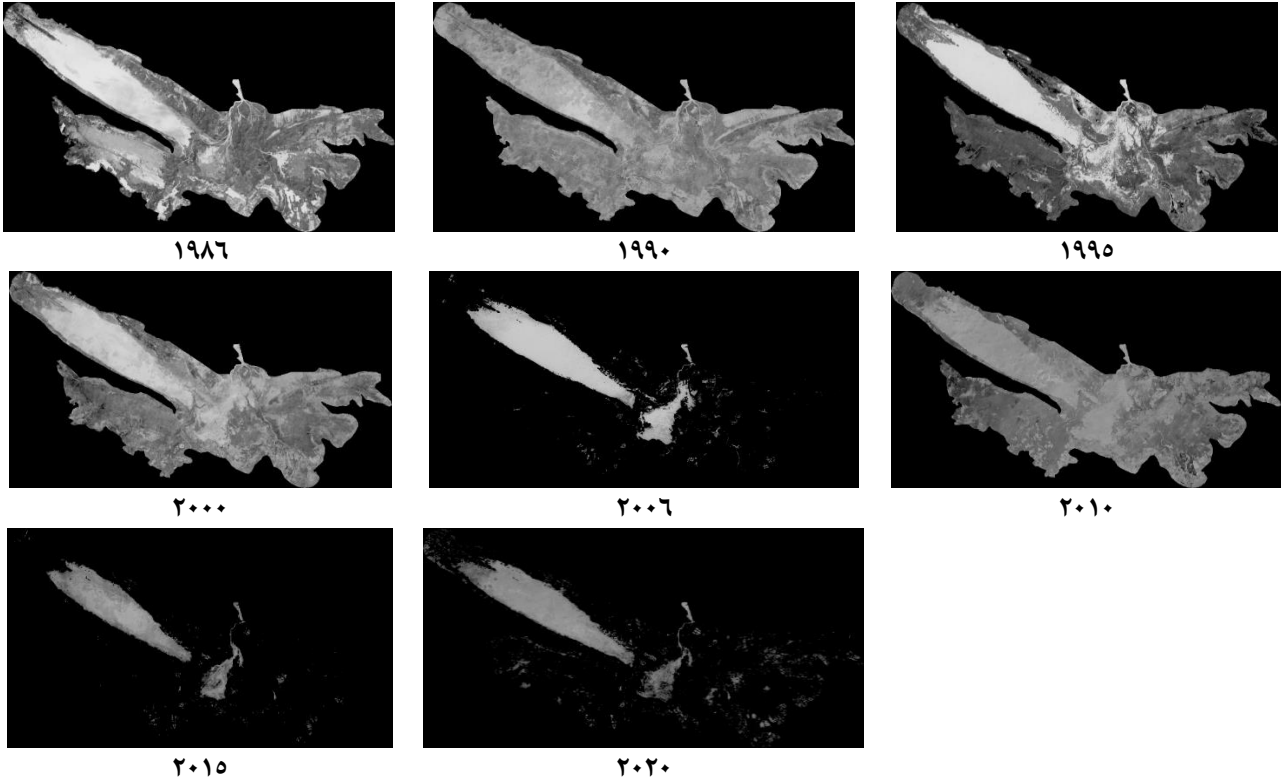


شکل ۱۰. نمودار تغییرات مساحت پهنه‌های آبی تالاب بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ حاصل شاخص آبی MNDWI

شکل ۱۲ نمودار مساحت پهنه‌های آبی تالاب و روند تغییرات به دست آمده از دو روش کار در این مطالعه را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد از آنجاکه شاخص آبی تمامی پیکسل‌های مربوط به پدیده آب را در طبقه پهنه‌های آبی قرار می‌دهد در ابتدا نسبت به طبقه‌بندی تصویر لندست داری میزان بالاتری است؛ زیرا به دلیل قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر تصاویر لندست، در طبقه‌بندی، پدیده آب کمتر تشخیص داده شده است. نمودار شاخص آبی دارای یک شکست در سال ۲۰۰۵ بوده و مساحت‌های آب را در سال‌های اخیر کمتر از طبقه‌بندی تصویر لندست برآورد می‌کند که این تفاوت همان گونه که شرح داده شد به دلیل استفاده از ۱۲ تصویر در طول سال برای محاسبه شاخص آبی است که متوسط سالیانه را نشان می‌دهد.

بررسی رگرسیون خطی حاصل از میزان بارش و شاخص خشکی با سطح پهنه‌های آبی نشان می‌دهد که رابطه بارش و مساحت پهنه‌های آبی معنی‌دار نبوده و نمودار ۱۳ نشان می‌دهد که شاخص خشکی با سطح پهنه‌های آبی تالاب ارتباط معنی‌دار مستقیمی ندارد و با تأثیر بر دبی آب ورودی تالاب از طریق رودخانه‌های منتهی به آن تأثیرگذار است. این مطلب در بررسی فاکتورهای اقلیمی در کاهش یا افزایش سطح پهنه‌های آبی تالاب نشانگر تأثیر بیشتر سطح تراز آب دریا بر روند تراز آب تالاب دارد.

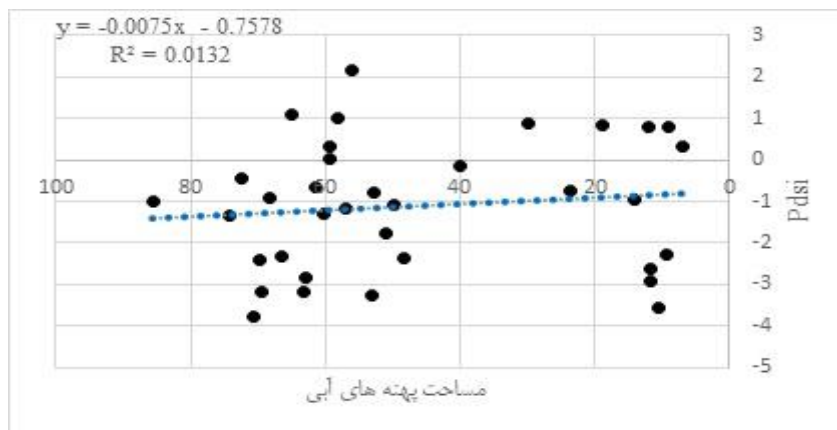




شکل ۱۱. پهنه‌های آبی تالاب بر اساس شاخص آبی MNDWI



شکل ۱۲. مقایسه مساحت پهنه‌های آبی تالاب انزلی در دو روش طبقه‌بندی تصاویر و شاخص آبی MNDWI



شکل ۱۳. نمودار برازش مساحت پهنه‌های آبی تالاب و شاخص خشکی pdsi



## بحث و نتیجه‌گیری

تالاب‌ها بخش مهمی از محیط طبیعی کشور بوده و مدیریت منابع طبیعی به‌خصوص منابع آبی در حفاظت از آنها دارای اهمیت بالایی است. به دلیل کارکردهای مهم اکوسیستم‌های تالابی در تداوم حیات وحش، تأمین آب شیرین، حفظ تعادل زیستی، جلوگیری از غرقابی شدن زمین‌های اطراف در اثر سیلاب، تغذیه سفره‌های آب‌های زیرزمینی و از بین بردن اثرات تغییرات اقلیمی، شناسایی تغییرات آن‌ها از گذشته تاکنون از ابزارهای مهم مدیریت تالاب‌ها است. بررسی روند تغییرات در تالاب‌ها جهت تدوین برنامه مدیریت محیط‌زیستی و کنترل این تغییرات به بهبود وضعیت تالاب‌ها، احیا و حفاظت از کارکردهای آن‌ها کمک می‌کند. از آنجاکه پایش مستمر این زیست‌بوم‌های طبیعی باتوجه به پراکنش آنها در سطح کشور، بسیار پرهزینه و وقت‌گیر است، استفاده از فنون سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای باتوجه به امکان دسترسی آسان و تفکیک مکانی مناسب، امکان پایش تغییرات را در دوره‌های زمانی مختلف میسر می‌سازد. همچنین این تصاویر با دید وسیعی که از منطقه می‌دهند، مدیران و کارشناسان را در بررسی تالاب و عوارض اطراف آن یاری می‌کنند. (Orimoloye et al., 2020).

عوامل تغییر در الگوی تالاب‌ها و دریاچه‌ها در سال‌های اخیر را عمدتاً شامل عوامل طبیعی (از قبیل تغییرات آب‌وهوایی) و عوامل انسانی (فعالیت‌های کشاورزی، ساخت‌وساز و قطع درختان جنگلی) برشمردند. فعالیت‌های انسانی و تخریب‌های محیط‌زیستی اثرات زیادی روی تالاب‌های طبیعی و سیستم‌های اکولوژیکی دارند. مطالعه حاضر تغییرات سطح آب و کلیه پهنه‌های آبی تالاب بین‌المللی انزلی را بر اساس مطالعه نقشه‌های سنجش‌ازدور طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ نشان داد. نتایج به‌دست‌آمده از شاخص آبی در سنجش‌ازدور نشان می‌دهد که شاخص MNDWI دارای قابلیت خوبی در استخراج مناطق آبی تالاب است، این نتایج با تحقیقات Feyisa et al. (2014) در ارائه راهکارهای جدید در نقشه‌برداری سطوح و پهنه‌های آبی با تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ سنجنده TM منتشر گردید همخوانی دارد، آنها دقت تفکیک سطوح آبی از خشکی را با روش AWEI با شاخص MNDWI و همچنین با روش Maximum Likelihood مقایسه و دقت روش شاخص برداشت اتوماتیک آب را بیشتر از سایرین و معنادار گزارش دادند. در مطالعه حاضر نیز با استفاده طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست و شاخص آبی MNDWI به شناسایی تغییرات پهنه آبی تالاب انزلی طی دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ پرداخته شد و سطوح آبی استخراج گردید. از آنجاکه تغییرات سطوح پهنه آبی عوامل مختلفی دارد که از مهم‌ترین آن‌ها عوامل اقلیمی است، در این مطالعه عامل بارندگی و خشکی مدنظر قرار گرفت. همچنین به دلیل نزدیکی با دریای خزر، و تأثیر تغییرات سطح تراز آب دریا بر تالاب انزلی، سطح تراز دریا نیز در نظر گرفته شد. بررسی تغییرات مساحت پهنه آبی تالاب نشان داد که سطح آب تالاب انزلی در دوره مطالعه به میزان ۲۰ درصد کاهش یافته و این کاهش سطح آب توسط سایر کاربری‌ها جایگزین شده است. از سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۰ مساحت پهنه‌های آبی روند افزایشی و پس از سال ۲۰۰۶ روند کاهشی داشته است که دلیل آن تجاوز به محیط تالاب، سرازیر شده رسوبات به تالاب و استفاده از آب آن جهت کشاورزی است؛ چون در این سال میزان بارندگی و تراز سطح آب دریای خزر کاهش نداشته است. علت افزایش سطح آب در سال ۲۰۱۰ به دلیل بالا آمدن سطح تراز آب دریا است باوجود اینکه میزان بارندگی افزایش نداشته و بر اساس شاخص خشکی pdsi هم از سال ۲۰۰۸ منفی بوده که نشان از خشک‌بودن منطقه دارد. پس از سال ۲۰۱۰ مجدداً روند کاهشی در سطح پهنه‌های آبی دیده می‌شود که با شیب بسیار بیشتری ادامه دارد، بارندگی‌ها کاهش یافته، سطح تراز آب دریا نیز پایین است و در کنار شاخص خشکی بالا، این روند دوراز ذهن نیست. تصرف اراضی تالابی و تبدیل آنها به باغات و زمین‌های کشاورزی (شالیزار) و ایجاد سدهای خاکی در بالادست حوضه آبخیز تالاب که میزان آب ورودی به رودخانه‌های منتهی به آن را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، از دلایل کاهش سطح پهنه‌های آبی تالاب انزلی بوده که همراه با ورود پساب‌های آلوده، کیفیت و کمیت آب تالاب را به خطر انداخته و باعث افزایش ماکروفیت‌های آبی شده است.

(Feng et al., 2016) در بررسی تغییرات چهار دهه دریاچه تالابی Poyang، بزرگ‌ترین دریاچه آب شیرین چین با استفاده از ماهواره لندست به این نتیجه رسیدند که در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ تالاب بدون پوشش گیاهی بوده؛ ولی طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ حدود ۳۰ درصد از تالاب با پوشش گیاهی پوشیده شده و تغییراتی در سطح آب آن روی داده است. همچنین با تجزیه و تحلیل بلندمدت هیدرولوژیکی و داده‌های هواشناسی منطقه به‌وضوح نشان داد که بارش محلی ثابت مانده؛ ولی سطح آب دریاچه به طور قابل‌توجهی کاهش یافته است که به دلیل توقف آب ورودی به دریاچه با احداث سد در زمان مذکور بوده است. همانند وضعیت گزارش شده برای دریاچه Poyang، سطح پهنه‌های آبی تالاب انزلی طی سال‌های مورد بررسی ابتدا افزایش یافته و بعد از آن با شیب بالایی کاهش یافته است. در دریاچه پویانگ احداث سد باعث کاهش سطح آب شده؛ اما در تالاب انزلی علت آن، بالارفتن شاخص خشکی و کاهش سطح تراز آب دریای خزر بوده است. (Khosravi et al., 2020) استفاده از شاخص‌های آب و گوگل ارث انجین را در شناسایی روند افزایشی و کاهشی سطح آب تالاب پلدختر کارآمد توصیه نمودند، این روش در تالاب انزلی نیز دارای نتایج قابل‌قبولی است. (Modaberi & Shokoohi,

(2019) در بررسی عوامل تأثیرگذار بر فاکتورهای هیدرولوژیکی تالاب، تراز سطح آب در تالاب انزلی را متأثر از تراز سطح دریای خزر و جریان ورودی از طریق ۹ رودخانه بیان نمودند و همسو با این نتایج میزان بارش و خشکی در طی سالیان مورد مطالعه به صورت غیرمستقیم و از طریق تأثیر بر ورودی آب رودخانه‌های حوضه آبخیز تالاب بر سطح پهنه‌های آبی تالاب اثرگذار است. همچنین افزایش سطح تراز آب دریا به صورت مستقیم باعث افزایش در سطح پهنه‌های آبی تالاب می‌گردد. کاهش میانگین بارش منطقه، روند افزایشی تبخیر و تعرق تالاب و آب دریا در کنار کاهش دبی آب ورودی به تالاب و افزایش سطح زمین‌های زیر کشت از جمله عوامل مؤثر در کاهش سطح تالاب انزلی بوده و باتوجه به اینکه تالاب‌ها با فعل‌وانفعالات و فرایندهای بالادست و پایین دست خود در ارتباط است، مدیریت تالاب باید در چارچوب حوضه آبریز تالاب باشد، زیرا فعالیت‌های حوضه بر تالاب اثر خواهند داشت. برای حفظ و حراست از این سرمایه ملی، تأمین حقایق تالاب، کنترل ورود آلاینده‌های کشاورزی، انسانی و صنعتی که باعث یوتروفی شدن شدید تالاب شده‌اند، همچنین جلوگیری از تصرف اراضی از طریق حریق‌های عمدی و غیرعمدی (که در سالیان اخیر بسیار اتفاق افتاده است) پیشنهاد می‌گردد. بررسی تغییرات کاربری و پوشش، اطلاعات مناسبی برای مدیریت منابع طبیعی و اکوسیستم‌های پویا فراهم می‌کند، بنابراین مناسب است که استفاده از روش‌های نوین، پیشرفته و در دسترس سنجش از دوری به منظور پایش مداوم، به هنگام و طولانی مدت، در جهت برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری مورد توجه برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران ملی و منطقه‌ای قرار گیرد.

## سپاس‌گزاری

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

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## REFERENCES

- Amani, M., Mahdavi, S., Afshar, M., Brisco, B., Huang, W., Mohammad Javad Mirzadeh, S., & Hopkinson, C. (2019). Canadian wetland inventory using Google Earth engine: the first map and preliminary results. *Remote Sensing*, 11(7), 842.
- Arévalo, P., Bullock, E. L., Woodcock, C. E. & Olausson, P. (2020). A Suite of Tools for Continuous Land Change Monitoring in Google Earth Engine. *Frontier in Climate*, 2, Article 56740.
- Asghari Sarasekanrood, S., Jalilyan, R., Pirouzinejad, N., Madadi, A., & Yadeghari, M. (2020). Evaluation of Water Extraction Indices Using Landsat Satellite Images (Case Study: Gamasiab River of Kermanshah). *Journal of Geographical Sciences*, 20(58), 53-70. (In Persian)
- Ashoori, A., & Varasteh Moradi, H. (2014). Changes in the diversity of migratory wintering waterbirds and Sub Waterbirds in Anzali International Wetland. *Wetland Eco Biology*, 6(20), 55-66. (In Persian)
- Baatz, M., & Schape, A. (2000, July). *Multiresolution Segmentation: An Optimization Approach for High Quality Multi-Scale Image Segmentation*. In: Strobl, J., Blaschke, T. and Griesbner, G., Eds., *Angewandte Geographische Informations-Verarbeitung, XII*, Wichmann Verlag, Karlsruhe, Germany, 12-23.
- Banko, G. (1998). *A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data and of methods including remote sensing data in forest inventory*. IIASAI, International Institute for Applied Systems Analysis, A-2361, Austria: Laxenburg.
- Benz, S.A., Bayer, P., & Blum, P. (2017). Identifying anthropogenic anomalies in air, surface, and groundwater temperatures in Germany. *Science of the Total Environment*, 584-585, 145-153.
- Deblauwe, V., Droissart, V., Bose, R., Sonké, B., Blach-Overgaard, A., Svenning, J.C., Wieringa, J.J., Ramesh, B.R., Stévant, T., & Couvreur, T.L.P. (2016). Remotely sensed temperature and precipitation data improve species distribution modelling in the tropics. *Global Ecology and Biogeography*, 25(4), 443-454.
- Dronova, I., Gong, P., & Wang, L. (2011). Object-based analysis and change detection of major wetland cover types and their classification uncertainty during the low water period at Poyang Lake, China. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3220-3236.
- Du, Z. Li. W., Zhou, D., Tian, L., Ling, F., & Wang, H. (2014). Analysis of Landsat-8 OLI imagery for land surface water mapping. *Remote Sensing Letters*, 5(7), 672-681.

- Ebrahimi, H., & Kardavani, P. (2014). Recognition the Climate Change in International Anzali Wetland Using Mann-Kendal Test. *Journal of wetland Eco biology*, 6(21), 59-71. (In Persian)
- Feng, L., Han, X., Hu, C., & Chen, X. (2016). Four decades of wetland changes of the largest freshwater lake in China: Possible linkage to the Three Gorges Dam? *Remote Sensing of Environment*, 176: 43-55.
- Feyisa, G.L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140: 23-35
- Ghorbani. R., Taghipour. A. A., & Mahmoudzadeh H. 2013. Analysis and Evaluation of Land Use Changes in International Wetlands of Ala-Gol, Alma- Gol & Ajay-Gol In Turkaman Sahra, Using Multi-temporal Satellite Images. *Geography And Environmental Planning*, 23(4), 167-184. (In Persian)
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Hajibigloo, M., Sheikhy, V. B., Memarian H., & Komaki, CH. B. (2019). Determination of quantity and allocation disagreement indices in selection of appropriate algorithm for land use classification in pixel and objected base in Gorgarood river basin. *Journal of RS and GIS for Natural Resurces*, 10(4), 1-20. (In Persian)
- Hamzeh, S., Sedighi, A., & Falahaty, E. (2019, November). *Investigating the Effects of of climate change on Shadegan wetland using remote sensing data*. 6th International Regional Conference on Climate Change, Tehran, Iran. (In Persian)
- Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., & Loveland, T.R. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342, 850-853.
- Hejazizadeh, Z., Alijani, B., Zeaiean, P., Karimi M., & Rafati, S. (2012). Evaluation of Satellite-based Precipitation Estimates (3B43) and Comparison with Kriging Interpolation Results. *Iranian Journal of Remote Sencing & GIS*, 4(3), 49-64. (In Persian)
- Heydarian. K., Kaboodvandpor. Sh., & Amanollahi. J. (2016). Investigating of Zarivar International Wetland Depth Changes Using Remote Sensing and Artificial Neural Network Model. *Geographic Space*, 16(53), 979-981. (In Persian)
- Hu, Y., & Dong. Y. (2018). An Automatic Approach for Land-change Detection and Land Updates Based on Integrated NDVI Timing Analysis and the CVAPS Method with GEE Support. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146: 347-359.
- Jahani Shakib, F., Malekmohammadi, B., Yavari, A. R., Sharifi, Y., & Adeli, F. (2014). Assessment of the Trends of Land Use and Climate Changes in Choghakhor Wetland Landscape Emphasizing on Environmental Impacts. *Journal of Environmental studies*, 4(3), 631-643. (In Persian)
- Javaheri Hoshi, F., Yamani, M., & Jafar biglo, M. (2022). Analysis of the Impact of Caspian Sea Fluctuations on the Stability of the Coastline of Anzali Wetland. *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*, 4(44), 35-51. (In Persian)
- Javedankherad, E., Esmaeili Sari, A., & Bahramifar, N. (2011). Investigation of Persistent Organic Pollutants Residue in Sediments of International Anzali Wetland, Iran. *Journal of Environmental studies*, 37(57), 1-10. (In Persian)
- Joshi, A.R., Dinerstein, E., Wikramanayake, E., Anderson, M.L., Olson, D., Jones, B.S., Seidensticker, J., Lumpkin, S., Hansen, M.C., & Sizer, N.C. (2016). Tracking changes and preventing loss in critical tiger habitat. *Science advance*, 2, e1501675.
- Karimi Firozjani, M., & Kiavarz, M. (2019). Investigating the Trend of Surface Biophysical Changes due to the Sungun Copper Mine Activities by Integrating Reflective and Thermal Remote Sensing Capabilities. *Physical Geography Research Quarterly*, 51(1), 51-71. (In Persian)
- Kharyaband, S., & Attarchi, S. (2020). Evaluation of Anzali Wetland Depth Changes Using Satellite Images and Meteorological Data over Thirty Years. *International Journal Of Remote Sensing & GIS*, 12(2), 73-82. (In Persian)
- Kheirollahi, M., Ghanian, M., & Farrokhy, F. (2013). Operation and Management Model based on Collaborative Mechanism of Design in Shadegan (the views of local stakeholders). *Environmental Science*, 1(11), 53-61. (In Persian)
- Khosravi, R., Hassanzadeh, R., Hossinjanizadeh, M., & Mohammadi, S. (2020). Investigating Water Body Changes Using Remote Sensing Water Indices and Google Earth Engine: Case Study of Poldokhtar Wetlands, Lorestan Province. *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 7(1), 131-146. (In Persian)
- Klemas, V. (2011). Remote sensing of wetlands: case studies comparing practical techniques. *Journal of*



- Coastal Research*, 27 (3), 418-427.
- Kumar, L., & Mutanga, O., (2018). Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, 10(10), 1509.
- Landish, J., Koch, R., & Gray G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometers*, 55, 159-174.
- Lee, J. S. H., Wich, S., Widayati, A., & Koh, L. P. (2016). Detecting industrial oil palm plantations on Landsat images with Google Earth Engine. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 4, 219–224.
- Lee, T. M., & Yeh H. Ch. (2009). Applying remote sensing techniques to monitor shifting wetland vegetation: A case study of Danshui River estuary mangrove communities, Taiwan. *Ecological Engineering*, 35(4):487-496.
- Li, N., Li, L., Lu, D., Zhang, Y., & Wu, M. (2019). Detection of coastal wetland change in China: a case study in Hangzhou Bay. *Wetlands Ecology and Management*, 27(1), 103-124.
- Liu, D., Chen, N., Zhang, X., Wang, C., & Du, W. (2020). Annual large-scale urban land mapping based on Landsat time series in Google Earth Engine and OpenStreetMap data: A case study in the middle Yangtze River basin. *ISPRS J. Photogramm*, 159, 337–351.
- Lu D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365-2401.
- Ludwig, C., Walli, A., Schleicher, C., Weichselbaum, J., & Riffler, M. (2019). A highly automated algorithm for wetland detection using multi-temporal optical satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 224, 333-351.
- Macleod, R. D., & Congalton, R. G. (1998). A Quantitative Comparison of Change-Detection Algorithms for Monitoring Eelgrass from Remotely Sensed Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64, 207-216.
- Manandhar, S., Dev, S., Lee, Y. H., Winkler, S., & Meng, Y.S. (2018, July). *Systematic study of weather variables for rainfall detection*. IGARSS 2018- IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 3027- 3030
- McFeeters S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing Letters*, 17(7), 1425-1432
- Modaberi, H., & Shokoohi, A. R. (2019). Using Eco-Hydrologic Methods in Determining Anzali Wetland Environmental Water Requirement. *Iran-Water Resources Research*, 15(3), 91-104. (In Persian)
- Moore, R., & Hansen, M. (2020). *Google Earth Engine: A new cloud-computing platform for global-scale earth observation data and analysis*. Available online: NASA/ADS.
- Orimoloye, I. R., Kalumba, A. M., Mazinyo, S. P., & 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.
- Rahimi Balouchi, L., & Hojjati, M. (2014, June). *Investigating the Effects of Climate Change on Wetland Ecosystems Using Remote Sensing*. The First Conference of Climate Change and Towards Sustainable Future, Tehran, Iran. (In Persian)
- Salimi, Sh., Almuktar, S. A.A.A.N., & Scholz, M. (2021). Impact of climate change on wetland ecosystems: A critical review of experimental wetlands. *Journal of Environmental Management*, 286, 112160.
- Salman mahini, A. R., & Kamyab, H. R. (2011). *Remote sensing and applied geographic information systems in Idrisi*, Tehran: Mehr Mahdis. (In Persian)
- Shakeri, R., Shayesteh, K., & Ghorbani, M. (2019). Assessment and prediction of land use changes in the Anzali wetland Basin, Based on Land Change Modeler (LCM). *Iranian Remote Sensing & GIS journal*, 11(2), 93-114. (In Persian)
- Sidhu, N., Pebesma, E., & Câmara, G. (2018). Using Google Earth Engine to detect land cover change: Singapore as a use case. *European Journal of Remote Sensing*, 1(1), 486-500.
- Turner, K. T., Bergh, J., Barendregt, A., Straaten, J., & Maltby, E. (2020). Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. *Ecological Economics*, 35(1):7-23
- Urkett, V., & Kusler, J. (2000). Climate change: Potential impact and interaction in wetlands of the united states. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 36 (2), 313-320. 8.
- Wang, L., Diao, C., Xian, G., Yin, D., Lu, Y., Zou, S., & Erickson, T.A. (2020). A summary of the special issue on remote sensing of land change science with Google Earth Engine. *Remote Sens. Environ.* 248, 112002.
- Wolff, D.B., Marks, D.A., Amitai, E., Silberstein, D.S., Fisher, B.L., Tokay, A., Wang, J., & Pippitt, J. L. (2005). Ground Validation for the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). *Journal of*

*Atmospheric and Oceanic Technology*, 22(4):365-380.

- Xia, H., Zhao, J., Qin, Y., Yang, J., Cui, Y., Song, H., Ma, L., Jin, N., & Meng, 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.
- Zebardast, L., & Jafari, H. (2011) Use of Remote Sensing in Monitoring the Trend of Changes of Anzali Wetland in Iran and Proposing Environmental Management Solution. *Journal of Environmental studies*, 37(57), 6457-5764. (In Persian)
- Zhu, L., Liu, X., Wu, L., Tang, Y., & Meng, Y. (2019). LongTerm Monitoring of Cropland Change near Dongting Lake, China, Using the LandTrendr Algorithm with Landsat Imagery. *Remote Sensing*, 11(10), 1234.



## Anzali Wetland Surface Area Evaluation Based on Landsat Time Series Data and NDWI Indices

### EXTENDED ABSTRACT

#### Introduction:

Wetlands play a critical role in the environment. With the impacts of climate change as one of the most important factors affecting the balance of wetlands, these natural ecosystems have suffered severe climatic and biophysical parameters which cause undergone many changes in their functions and structures. Therefore evaluating the surface water area in wetlands is a functional requirement for studying ecological and hydrological processes. The wetland restoration and management requires sufficiently frequent and high-spatial-resolution remote sensing data to represent its dynamics. This paper reviews the current status of detecting and evaluating surface water area using remote sensing data and index in Google Earth Engine (GEE).

#### Materials and Methods:

In this study, the Anzali International Wetland in Guilan province, Iran was selected as the study area and to identify the changes of the wetland, Landsat time series images and the normalized difference water index in Google Earth Engine were used. This study used the available 36 scenes Landsat TM, and OLI images in this region from 1986 to 2020 and processed the data on the (GEE) platform. Support Vector Machine (SVM) algorithms were applied to produce custom maps and two classes of water and non-water area of the wetland were classified in ENVI 5.6. The water index was used to quantify the spatiotemporal variability of the surface water area changes over the years and MNDWI maps were computed using the appropriate GEE function. Also climate data including TRMM satellite data and PDSI index from TerraClimate data and Caspian Sea water level data were used.

#### Results and Discussion:

The results outline different aspects of the spatial and temporal distribution of the wetland water surface area. The produced maps had reasonable accuracy with the Support Vector Machine (SVM) algorithms. Overall accuracies based on the algorithms used ranged between 87% and 92% and Kappa coefficient between 88% and 94%. This level of accuracy is reasonable considering the area classified in this study. The results of comparing the MNDWI index with the Landsat classification confirm that the MNDWI index more accurately monitors the details of changes. The wetland water body loss has decreased by 20% in its area according to mNDWI index maps, so that initially (until 2000) there was an upward trend and then a downward trend. This confirms the process of drying and disappearing of the water areas. Also the water level changes of the wetland have been affected by the sea level on the trend more than climatic factors.

#### Conclusions:

The analysis of changes in land use/land cover has always been a major theme in remote sensing techniques applied to Earth observation. The results demonstrated the capabilities of using the Google Earth Engine platform and water indices to characterize and identify the trends of the water level changes of wetlands with acceptable accuracy, and it is also applicable to wetland research in other regions. In particular, the approach proposed here, based on the use of SVM classification, appears to be quite effective and reliable (with an accuracy higher than 0.87) for the identification of changes in coastal wetland environment and MNDWI index in (GEE) was more accurate to provide water changes maps in the study period of time. The findings of this study underscore the relevance of GEE and Landsat composite data in evaluating and mapping coastal wetlands and could provide more detailed scientific guidance for wetland managers by quickly detecting wetland changes at a finer spatiotemporal resolution.

**Keywords:** Sea Level, MNDWI index, Google earth Engine, SVM.