



Estimating changes in water level and Vegetation cover in Shadegan Wetland using remote sensing

Samad Khosravi Yeganeh^{*1}, Amir Hossein Ghaffari Moghadam²

1. Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Lorestan University, Lorestan, Iran.
2. Department of Inorganic Chemistry, Faculty of Basic Sciences, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Received: 21 February 2025/ Revised: 28 February 2025/ Accepted: 07 March 2025

<https://doi.org/10.22034/arwe.2025.2053974.1035>

Abstract

Wetlands are among the areas on the surface of the earth whose life and dynamics depend on the presence of water, this dependence is so great that they react to fluctuations and changes in water levels in the shortest possible time. The aim is to investigate and reveal changes in NDVI and NDWI in Shadegan Wetland using remote sensing. In this regard, using Landsat images in the period (1972-2020) in June, we investigated and revealed changes (decrease and increase) in NDVI and NDWI and estimated the water level in the wetland catchment area in hectares. After obtaining images from the site <https://glovis.usgs.gov>, the images were processed and the water cover area was calculated using ENVI and GIS software. In one year, we witnessed an increase in the wetland water level, this increase was repeated only in the next two or three years, and after that, we were faced with a decrease in the wetland water level. In 1975 to 1978, more than fifty percent of the wetland surface was covered by water, but in 1980, the water surface coverage decreased to 15 percent. The decrease and increase in the wetland water level changes in the following year, and its changes from year to year are large. Based on the results obtained, it was determined that in the catchment area of the wetland, the water available in this wetland fluctuates greatly. In the 23-year period under study, the water available in this section is less than 50 percent. The water availability in the wetland has an uncertain trend that does not follow a specific order. Since water is considered the most important life-giving element in wetlands, this high irregularity or severe fluctuation in water availability can be considered a serious threat to the life of the Shadegan wetland ecosystem.

Keywords: Landsat sensor, NDVI, NDWI, Satellite images, Shadegan Wetland.



برآورد تغییرات سطح آب و پوشش گیاهی در تالاب شادگان با استفاده از سنجش از دور

صمد خسروی یگانه^{۱*}، امیرحسین غفاری مقدم^۲

۱. گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.
۲. گروه شیمی معدنی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران.

دریافت: ۰۳ اسفند ماه ۱۴۰۳ / اصلاحات: ۱۰ اسفند ماه ۱۴۰۳ / پذیرش: ۱۷ اسفند ماه ۱۴۰۳

<https://doi.org/10.22034/arwe.2025.2053974.1035>

چکیده

تالاب‌ها از جمله مناطقی در سطح کره زمین به شمار می‌روند که حیات و پویایی آنها به وجود آب وابسته است، این وابستگی به قدری زیاد است که در کمترین زمان به نوسان و تغییر میزان آب واکنش نشان می‌دهند. هدف بررسی و آشکار سازی تغییرات NDVI و NDWI در تالاب شادگان با استفاده از روش سنجش از دور است. در این راستا با استفاده از تصاویر لندست در دوره زمانی (۲۰۲۰-۱۹۷۲) در ماه ژوئن به بررسی و آشکار سازی تغییرات (کاهش سطح و افزایش سطح) NDVI و NDWI و برآورد سطح آب موجود در بخش آبیگر تالاب بر حسب هکتار پرداخته شده است. پس از اخذ تصاویر از سایت <https://glovis.usgs.gov> با نرم افزار های ENVI و GIS تصاویر پردازش و مساحت پوشش آب محاسبه شده است. در یک که سال شاهد افزایش سطح آب تالاب بودیم، این افزایش فقط در دو یا سه سال بعد تکرار شده و بعد از آن با کاهش سطح آب تالاب مواجهه بودیم. در سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۷۸ بیش از پنجاه درصد سطح تالاب از آب پوشیده شده اما در سال ۱۹۸۰ میزان پوشش سطح آب به ۱۵ درصد کاهش رسیده است. کاهش و افزایش یافتن سطح آب تالاب در یک سال بعد دچار تغییر می‌گردد و تغییرات سال به سال آن زیاد است. براساس نتایج حاصل شده مشخص گردید که در بخش آبیگر تالاب، آب موجودی در این تالاب دارای نوسان زیادی است. در دوره‌ی مورد مطالعه ۲۳ سال آب موجود در این بخش کمتر از ۵۰ درصد است. موجودی آب در تالاب دارای روندی نامشخص که از نظم خاصی تبعیت نمی‌کند. از آنجا که آب مهم ترین عنصر حیات بخش در تالابها محسوب می‌شود، بنابراین این بی نظمی زیاد یا نوسان شدید در موجودی آب، می‌تواند خطر جدی برای حیات اکوسیستم تالاب شادگان تلقی شود.

کلمات کلیدی: تالاب شادگان، تصاویر ماهواره‌ای، سنجنده لندست، شاخص NDVI، شاخص NDWI.

مقدمه

براساس شرایط هیدرولوژیکی، درجه رطوبت و خیس، متغیر مهمی در تعاریف تالابهاست. در واقع تالابها از زمین های اطراف خود مرطوب تر هستند. صرف نظر از چگونگی تعریف تالابها همه ی آنها ویژگی های هیدرولوژیکی خاک و پوشش گیاهی یکسانی را به اشتراک می گذارند. فراتر از این شباهت، به طور کلی تالابها تنوع گسترده ای از لحاظ اندازه، پیچیدگی، ویژگی ها و فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی را نشان می دهند (Cowardin, 1979; Mitsch & Gosselink, 2015). حتی در یک اقلیم مشابه هیچ تالابی شبیه تالاب دیگر نیست و روند شکل گیری و گسترش یک تالاب با تالاب دیگر متفاوت است، لذا طبقه بندی تالابها به ویژه برای برنامه ریزی تالابها و حوضه ی آبریز آنها، ارزیابی تنوع زیستی، ارزیابی کارکرد های تالاب، ارزیابی اثرات تغییرات و تخریب تالابها و امکان سنجی بازسازی و احیای تالابها بسیار مهم است (Tiner, 2017). تعلق تالابها به هر طبقه نشان دهنده ی ویژگی های خاص ساختاری و کارکردی آنهاست که خدمات اکوسیستمی متعددی را فراهم می کنند. خدمات اکوسیستمی دارایی های طبیعی هستند (Barbier, 2011) و در رفاه اجتماعی و فرهنگی بشر نقش دارند و ارزش اقتصادی بسیاری دارند. مفهوم خدمات اکوسیستمی وابسته به زمان و مکان است، یعنی عرضه و تقاضای خدمات مرتبط با واحدهای مکانی و دوره های زمانی مشخص است. تالابها به مثابه زیر ساخت ها و شبکه هایی از اکوسیستم های طبیعی عمل می کنند که انواعی از خدمات اکوسیستمی را فراهم می کنند (Krchnak et al., 2011). در مناطق خشک و نیمه خشک که با الگوهای بارشی فصلی، متمایز می شوند، دسترسی به آب دورن تالابها می توانند اهمیت ویژه ای داشته باشند. چرخه آب محلی و جهانی به شدت به تالابها وابسته اند، بدون تالابها، چرخه ی آب، چرخه کربن و چرخه مواد مغذی به طور زیان باری تغییر خواهند کرد با این حال سیاست و تصمیم گیری ها، این تعاملات و وابستگی ها به تالابها را به اندازه کافی در نظر نمی گیرند. از آنجا که کشور ایران به طور کلی کشوری کم آب و زیر سلطه ی مناطق خشک و یا نیمه خشک است، تالابها مکان با ارزشی هستند که منجر به حفظ اقلیم محلی و تنوع گونه های زیستی می شوند. با گسترش تقاضای انسانی برای منابع آبی فشار بر تالابها اجتناب ناپذیر شده است. در واقع، تغییر در اجزای چرخه ی هیدرولوژیکی تالابها از طریق حذف، توقف و یا تغییر در رژیم جریان آبی آنها می تواند اثرات منفی قابل توجهی بر حیات اکوسیستم ها تالابی داشته باشد که این موضوع، پژوهش در باره ی تالابها را دو چندان می کند. تخریب و از بین رفتن تالابها و خدمات اکوسیستمی آنها با توجه به شرایط کشور، اثرات اجتماعی و اقتصادی زیادی (مانند افزایش ریسک وقوع سیلاب، کاهش کیفیت و کمیت آب و هم چنین اثر نامطلوبی بر سلامت هویت فرهنگی و معیشت) را به دنبال دارد. به تازگی در پی ارزیابی اکوسیستم هزاره^۱ در سال ۲۰۰۵ که بر منافع به دست آمده از وجود روند مثبت میان رفاه انسان و حفظ تالابها تاکید داشته، پیچیدگی تعاملات میان مردم و تالابها بیش از پیش مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در واقع مفاهیم خدمات اکوسیستمی به مثابه رهیافتی برای تجزیه و تحلیل شرایط اکوسیستم های شناخته شده و شامل روش ها و رویکردهای متعددی است که سه مفهوم اصلی اجزاء فیزیکی و زیستی اکوسیستم (ساختار)، کارکرد و تعامل بین این اجزاء (فرآیند یا کارکرد) سهم منجر شده به رفاه انسانی از اکوسیستم (منافع حاصل از خدمات) را با هم ارتباط می دهند (Danley & Widmark, 2016). تالاب شادگان یکی از تالابهای ثبت شده در کنوانسیون رامسر است. متأسفانه این تالاب به واسطه فعالیت های توسعه ای پیرامون آن با تهدیدهای جدی روبه رو شده است. برداشت بی رویه از منابع آب تالاب و تخلیه زباله های شهری دورن محدوده ی آن در کنار تکه تکه کردن تالاب برای احداث جاده ها، ایجاد ایستگاه های تقویت فشار برق و گاز و لوله گذاری نفت و غیره در نابودی تالاب نقش دارند. رویکردهای مختلفی برای ارزیابی کارکردها و خدمات اکوسیستمی تالابها در سطح جهان اتخاذ شده است که عبارت اند از: کمی سازی اثرات تغییر کاربری بر خدمات اکوسیستمی تالاب به منظور اجتناب، به حداقل رساندن و جبران اثرات منفی (Hanson et al., 2008., Zorrilla-Miras, 2014)، رتبه بندی خدمات هیدرولوژیکی و اکولوژیکی با بهره گیری از روش های مشارکتی با جوامع محلی (Rongoei, 2013)، ارزیابی های مبتنی بر نظرات کارشناسی یا ارزیابی توصیفی در مورد ظرفیت بالقوه عرضه خدمات اکوسیستمی (Burkhard, 2009; Burkhard, 2012)، ارزش گذاری اقتصادی خدمات اکوسیستمی تالابها با ترکیب روش های مبتنی بر بازار و انتقال ارزش، رویکرد ارزیابی سریع شاخص محور مانند روش WET-Health (Beuel et al., 2016)، تدوین چارچوب ها و مدل های مفهومی (مدل آبشار خدمات اکوسیستمی^۲ Haies-)

مدل مدیریت مبتنی بر اکوسیستم - نیروی محرکه، فشار، وضعیت، خدمت اکوسیستمی، پاسخ^۱ (Young, 2010; Potschin, 2010)، ارزیابی یکپارچه خدمات و ارزش های تالاب (De Groot et al., 2008)، پروتکل ارزیابی خدمات اکوسیستمی تالاب^۲ (Adamus et al., 2016)، ترکیب داده های سنجش از دوری و آماری برای شناسایی تغییرات فضایی - زمانی خدمات اکوسیستم تالاب (Sun et al., 2016)، استفاده از ابزارهای مدل سازی مانند ارزش گذاری یکپارچه خدمات اکوسیستمی و تعاملات آنها^۳ و مدل هوش مصنوعی برای خدمات اکوسیستم^۴ این رویکردها به طور انفرادی و یا ترکیبی مورد استفاده قرار می گیرند. سیستم های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) ابزار مناسبی برای نظارت و پیش روند تغییرات تالابها هستند (Emadi et al., 2010). در طول دو دهه گذشته کاربرد متنوع داده های سنجش از دور در زمینه ارزیابی، توسعه پیدا کرده است. (Rogan et al., 2002 & Healey et al., 2005) از این داده ها برای اندازه گیری های کمی و کیفی تغییرات پوشش زمین استفاده می گردد (Seto et al., 2002). ویژگی کاربری اراضی و پوشش زمین می تواند با آشکارسازی دیجیتالی تغییرات به وسیله تصاویر حرارتی ماهواره ای مشخص شود (Coppin et al., 2004). این کار برای شناسایی تنوع و گوناگونی بین دو یا تعداد بیشتری از اطلاعات مفید خواهد بود (Partow, 2001). از جمله تحقیقاتی که در سال های اخیر در زمینه خشکسالی تالاب شادگان انجام گرفته می توان به پژوهش درگاهیان و همکاران اشاره نمود. در گاهیان و همکاران در سال ۱۳۹۹ در پژوهشی به بررسی تغییرات مساحت آب تالاب شادگان با استفاده از تصاویر سنجنده لندست و داده های هیدرولوژی پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که با وجودی که در حوضه آبریز تالاب فراوانی، تداوم و بزرگی خشکسالی در دهه گذشته نسبت به سایر دهه ها افزایش داشته، مساحت آب تالاب روند افزایشی داشته است که پس از تجزیه و تحلیل آمار هیدرولوژی مشخص گردید که افزایش مساحت سطح آب تالاب ناشی از افزایش زه آب نیشکر ورودی به این تالاب است. از جمله تفاوت های این تحقیق با سایر پژوهش های انجام گرفته می توان به این موارد اشاره نمود. دوره مورد مطالعه ۵۰ ساله، استفاده از تصاویر چند ماهواره، برآورد تغییرات افزایشی و کاهش سطح آب و پوشش گیاهی تالاب بر حسب هکتار و مقایسه آن با سال بعد از آن، استخراج خشک ترین و پر آب ترین زمان تالاب در دوره مورد مطالعه بوده است. در این پژوهش سعی شده است، با استفاده از روش سنجش از دور و با استفاده از تصاویر سنجنده لندست در یک دوره زمانی بلند مدت (تقریباً ۵۰ ساله) پوشش آب هر سال تالاب شادگان و نیز تغییرات NDVI^۵ و NDMI^۶ بر حسب هکتار برآورد شود.

مواد و روش ها

به منظور پایش و برآورد تغییرات پوشش گیاهی و پوشش آبی در سطح تالاب شادگان از روش سنجش از دور استفاده شده است. در پردازش تصاویر برای کاهش خطا و برآورد دقیق تغییرات در سطح تالاب شادگان، کل تالاب به طور یکپارچه در نظر گرفته شده و از تقسیم آن به دو بخش آبرگیر و حاشیه اجتناب شده است. بدین منظور ابتدا تصاویر ماهواره ای تالاب از سنجنده لندست از سایت glovis^۷ اخذ شد. یکی از دلایل انتخاب سنجنده لندست از بین دیگر سنجنده ها این است که این سنجنده نسبت به دیگر سنجنده ها دارای طول آماری بیشتری برای پایش پدیده های زمینی است. در این پژوهش دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۲۰-۱۹۷۲) و پایه زمانی ماه ژوئن می باشد. نام سنجنده هایی که تصاویر ماهواره ای از آنها اخذ شده و در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته اند به شرح زیر هستند:

Landsat 1-5 MSS^۸ C1 Level-1 (1972-1992), Landsat 4-5 TM^۹ C1 Level-1 (1992-2003) Landsat 7 ETM^{۱۰} C1 Level-1 (2003-2013), Landsat 8 OLI/TIRS^{۱۱} C1 level-1 (2013-2020) ماه ژوئن از این نظر به عنوان پایه زمانی سنجش تالاب انتخاب شده است که تقریباً اواخر سال آبی در ایران محسوب می شود. سال آبی در ایران از مهرماه آغاز و در شهریور به پایان می رسد. برای پایش

1. Ecosystem Based Management - Driver, Pressure, State, Ecosystem Service, Response, (EBM-DPSER)

2. Wetland Ecosystem Protocol (WESP)

3. Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trad-offs (In VEST)

4. Artificial Intelligence for Ecosystem Services (ARIES)

5. Normalized Difference Vegetation Index

6. Normalized Difference Moisture Index (NDMI)

7. <https://glovis.usgs.gov>

8. Multispectral Scanner

9. Thematic Mapper

10. Enhanced Thematic Mapper

11. Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor

پردازش، پردازش تصاویر ماهواره ای و برآورد تغییرات و هم چنین محاسبه های مهم ترین شاخص ها در تالابها از دو نرم افزار Arc Map و ENVI استفاده شده است. ابتدا تصاویر سنجنده لندست ۱ نیاز به موزیک شدن داشتند که این کار با استفاده از نرم افزار Arc map انجام شد. برای استفاده از تصاویر سنجنده لندست ۷ نیاز بود که خطای SLC^1 رفع شود. دستگاه اسکن اصلاح خطوط در لندست ۷ مکانیزی است که برای تصحیح اسکن اولیه توسط آینه در لندست ۷ طراحی شده است. این دستگاه در سال ۲۰۰۳ دچار آسیب شد به همین علت لندست ۷ حدود ۲۲ درصد اطلاعات خود را در هر تصویر از دست داد. با استفاده از افزونه Gap Fill در محیط نرم افزار ENVI خطای SLC (راه راه شدگی تصاویر) برطرف شد. برای اطمینان از رفع خطای موجود از تناسب درجات خاکستری موجود در تصویر استفاده گردید. به علت وجود تشابه های طیفی بین اراضی تالابی و سایر انواع پوشش اراضی و حتی بین انواع مختلف تالابها، انتخاب روش طبقه بندی بسیار دشوار است. معمول ترین روش طبقه بندی مورد استفاده در تولید نقشه های تالابها طبقه بندی نظارت نشده یا خوشه ای بوده از میان روش های مختلف آن روش حداکثر احتمال متداول تر است. به منظور دست یابی به نقشه دقیق مرز آبی و خشکی تالاب شادگان از شاخص (NDMI) استفاده شده که در اشکال آمده است. در انتخاب نقاط مورد بررسی تلاش شده است تا از هر یک از انواع پوشش های موجود در سطح تالاب شادگان (آب، پوشش گیاهی و پوشش خاکی) که در پردازش تصاویر ماهواره ای شناسایی شده اند، برداشت زمینی صورت بگیرد. شاخص هایی که در این تحقیق محاسبه شده است که نتایج این محاسبه با استفاده از جداول و اشکال بیان شده عبارتند از: شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی یا $NDVI^2$ و شاخص تفاوت نرمال شده رطوبت یا $NDMI^3$ که از فرمول های زیر محاسبه می گردند:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

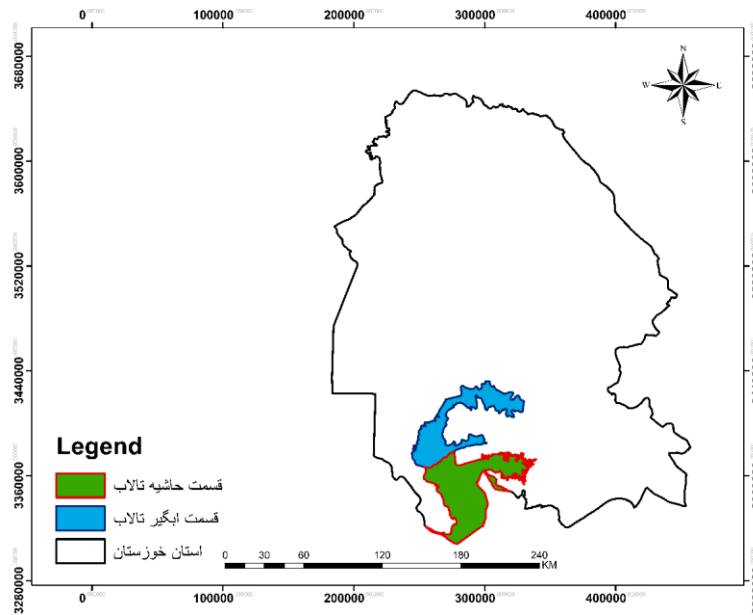
$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (2)$$

که در آن، NIR مربوط به باند مادون قرمز نزدیک، R باند قرمز و $SWIR^4$ باند مادون قرمز موج کوتاه می باشد. در این تحقیق برای پایش تغییرات پوشش آبی و پوشش گیاهی در بخش شمالی تالاب که قسمت آبیگیر تالاب شادگان با مساحت هکتار است، از تصاویر سنجنده لندست در یک دوره ۴۸ ساله استفاده شده است. بدین منظور ابتدا تصاویر سنجنده Landsat 2,3 موزاییک بندی گردید. در مرحله بعد برای استفاده از Data سنجنده Landsat 7 خطای سنجنش رفع شد. سپس نرم افزار ENVI جهت محاسبه و برآورد تغییرات پوشش گیاهی $NDVI$ و پوشش آبی $NDWI$ استفاده شد. سرانجام برای محاسبه این تغییرات بر حسب هکتار، نرم افزار GIS مورد استفاده قرار گرفته است.

منطقه مورد مطالعه

تالاب شادگان با بیش از ۵۰۰ هزار هکتار در انتهای جنوب غربی ایران و در مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. تالاب شادگان بزرگ ترین تالاب ایران و چهارمین تالاب از ۱۳۲۸ تالاب ثبت شده در فهرست معاهده رامسر و نیز وسیع ترین تالاب ساحلی ایران است.

1. Scan Line Corrector
2. Normalized Difference Vegetation Index
3. Normalized Difference Moisture Index
4. Short-Wave Infrared



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه
Figure-1 Study area

صحت‌سنجی تصاویر ماهواره‌ای

در این تحقیق به دلیل اینکه آمار و تصاویری به صورت زمینی جهت بررسی تغییرات تالاب‌ها در دسترس نیست از دو نوع تصاویر سنجنده (ترا و آکوا) جهت تشخیص سطح آب و پوشش گیاهی استفاده شده است. تصاویر از نظر زمانی به گونه‌ای انتخاب شده است که بیشترین تمایز از نظر پوشش آب و گیاهی وجود داشته باشد. تصاویر در ماه آوریل ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ مورد بررسی قرار گرفته است. سال ۲۰۱۹ به دلیل وقوع سیل در این حوضه و پوشش گسترده آب برای تمایز تصاویر انتخاب شده است.

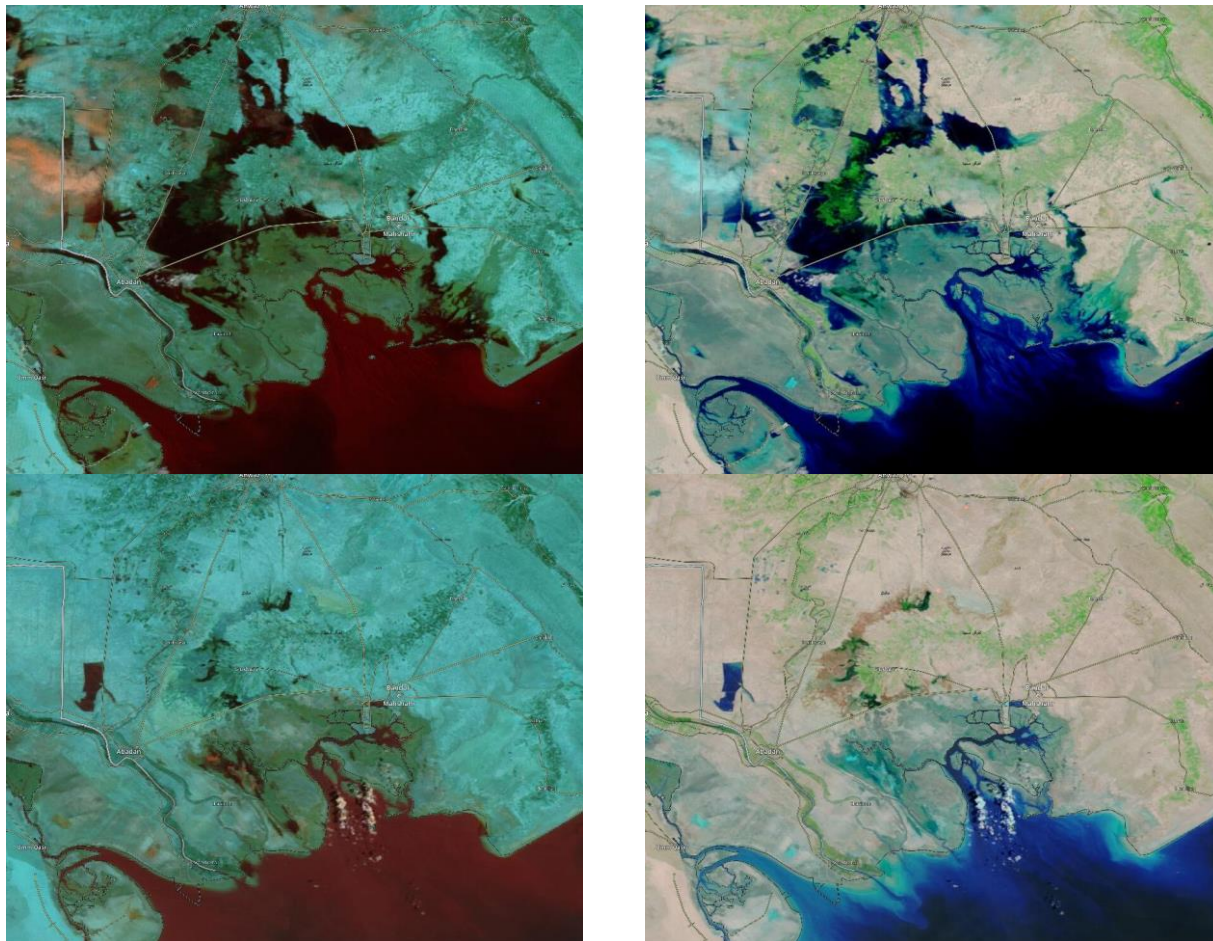
رنگ غلط: قرمز = باند ۷، سبز = باند ۲، آبی = باند ۱

این ترکیب برای تشخیص پدیده‌های سوختگی از پوشش گیاهی طبیعی کم یا خاک لخت و افزایش سیل مفید است. همچنین می‌توان از این ترکیب برای تشخیص برف و یخ از ابر استفاده کرد. برف و یخ در قسمت مرئی طیف (باند ۱) بسیار منعکس کننده هستند و در باندهای ۲ (نزدیک مادون قرمز) و ۷ (مادون قرمز موج کوتاه جاذب هستند. یخ و برف ضخیم به رنگ آبی آسمانی واضح به نظر می‌رسند، در حالی که کریستال‌های یخ کوچک در ابرهای سطح بالا نیز آبی رنگ و ابرهای آب سفید به نظر می‌رسند. تصاویر انعکاسی تصحیح شده MODIS فقط به صورت تصاویر نزدیک به زمان واقعی در دسترس هستند. وضوح سنسور ۵۰۰ متر و ۲۵۰ متر است (باندهای ۱ و ۲ دارای وضوح سنسور ۲۵۰ متر، باندهای ۳ تا ۷ دارای وضوح سنسور ۵۰۰ متر و باندهای ۸ - ۳۶ کیلومتر هستند. باند ۱ برای وضوح باند ۳، ۴، ۶ و ۷ استفاده می‌شود)، وضوح تصویر روزانه ۲۵۰ است. پوشش گیاهی در مادون قرمز نزدیک (باند ۲) بسیار بازتابنده است، و در باند ۱ و باند ۷ جاذب است. اختصاص دادن آن نوار به رنگ سبز به این معنی است که حتی کوچکترین نشانه‌ای از پوشش گیاهی به رنگ سبز روشن در تصویر ظاهر می‌شود. خاک به طور طبیعی برهنه، مانند یک بیابان، در تمام نوارهای استفاده شده در این تصویر منعکس می‌شود، اما بیشتر در SWIR (باند ۷، قرمز) و بنابراین خاک اغلب دارای رنگ صورتی است. آب مایع روی زمین بسیار تیره به نظر می‌رسد زیرا در رنگ قرمز و SWIR جذب می‌شود. رسوبات موجود در آب به رنگ آبی تیره به نظر می‌رسند. یخ و برف به صورت فیروزه‌ای روشن ظاهر می‌شوند. ابرهای متشکل از قطرات کوچک آب، نور را به طور مساوی در هر دو قسمت مرئی و SWIR پراکنده می‌کنند و سفید به نظر می‌رسند. این ابرها معمولاً پایین‌تر از زمین و گرم‌تر هستند (مطابق شکل ۲)

بازتاب تصحیح شده MODIS در مقابل بازتاب سطحی MODIS

الگوریتم بازتاب تصحیح شده MODIS از داده‌های سطح ۱ MODIS B (درخشش‌های کالیبره شده و جغرافیایی) استفاده می‌کند. این یک محصول استاندارد و با کیفیت علمی نیست. هدف این الگوریتم ارائه تصاویر طبیعی با حذف اثرات جوی ناخالص، مانند پراکندگی رایلی، از باندهای قابل مشاهده MODIS 1-7 است. این الگوریتم توسط تیم اصلی واکنش سریع MODIS برای رفع نیازهای جامعه نظارت

بر آتش که می خواهند دود ببینند، توسعه داده شده است. بازتاب تصحیح شده دود را واضح تر از محصول استاندارد سطحی بازتاب نشان می دهد. در مقابل، محصول MODIS Land Surface Reflectance (MOD09) یک الگوریتم تصحیح جوی کامل تر است که شامل تصحیح آئروسول است و برای استخراج ویژگی های سطح زمین طراحی شده است. در شرایط جوی شفاف، محصول بازتاب تصحیح شده بسیار شبیه به محصول MOD09 است، یک تفاوت اضافی این است که محصول Land Surface Reflectance فقط برای محاسبه بازتاب روی سطوح زمین تنظیم شده است.



شکل ۲. تصاویر سنجنده مودیس در سال های ۲۰۱۹ و ۲۰۰۰

Fig 2- MODIS sensor images in 2000 and 2019

رنگ کاذب: قرمز = باند ۳، سبز = باند ۶، آبی = باند ۷

این ترکیب برای نقشه برف و یخ استفاده می شود. برف و یخ در قسمت مرئی طیف (باند ۳) بسیار بازتابنده هستند و در باندهای ۶ و ۷ مادون قرمز کوتاه یا (SWIR) بسیار جاذب هستند. این ترکیب نواری برای تشخیص آب مایع از آب یخ زده خوب است، به عنوان مثال، ابرهای روی برف، ابر یخ در مقابل ابر آب. یا سیل ناشی از پوشش گیاهی متراکم. این ترکیب باند فقط برای MODIS (Terra) موجود است، زیرا ۷۰٪ از حسگرهای باند ۶ در ابزار MODIS در ماهواره Aqua مدت کوتاهی پس از پرتاب از کار افتادند. از آنجایی که تنها نور مرئی استفاده شده در این تصاویر (باند ۳) به رنگ قرمز اختصاص داده شده است، برف و یخ قرمز روشن به نظر می رسند. هر چه یخ بیشتر باشد، جذب در نوارهای SWIR قوی تر و رنگ قرمز بیشتر است. در این تحقیق جهت اثبات وضع تالاب دو نوع تصاویر سنجنده مادیس مورد استفاده قرار گرفت. تصویر با رنگ طبیعی و رنگ کاذب به طور جداگانه نمایش داده است که به خوبی نشان دهنده شرایط و صحت سنجی وضع تالاب است. از طرفی تصاویر سنجنده لندست که به عنوان تصاویر اصلی مورد استفاده قرار گرفته، خود از ویژگی زمین مرجع برخوردار هستند که دقت و صحت شرایط پوشش زمینی را با دقت زیاد نشان داده است.

نتایج و بحث

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار های ENVI و GIS و داده های سنجنده لندست تغییرات شاخص های NDVI و NDWI بر حسب هکتار به صورت کاهش و افزایش سطح در این تالاب محاسبه شده و در جداول ذکر شده است. سپس با از استفاده از نرم افزار ENVI تصاویر تالاب کلاس بندی شده و سطح پوشش گیاهی و آبی آن بر حسب هکتار و درصد محاسبه شد که مشخص شد که سال ۱۹۸۶ به عنوان مرطوب ترین سال و سال ۲۰۰۰ به عنوان خشک ترین سال هم از نظر پوشش گیاهی و هم پوشش آبی است. در مرطوب ترین و خشک ترین سال محاسبه شده است که این محاسبات شاخص ها با استفاده از ترسیم شکل نشان داده شده است. با توجه به یافته های تحقیق مشخص گردید که بی نظمی زیادی از نظر میزان و سطح پوشش آب وجود داشته است به طوری سال ۱۹۷۷ که نزدیک به دوسوم تالاب پر از آب بوده اما در سال بعد یعنی سال ۱۹۷۸ میزان آب این تالاب با کاهش شدیدی مواجهه بوده و درصد آن به ۱۵ درصد کاهش داشته است. در دوره های منتهی به سال ۲۰۰۰ کاهش شدیدی در سطح پوشش آب در تالاب به وقوع پیوسته و بیشترین میزان و شدت خشکی تالاب در دوره مطالعاتی یعنی ژوئن ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ بوده است که با توجه به وضعیت طبیعی و ذاتی یک تالاب، این وضعیت بسیار خشک و استثنایی برای یک تالاب محسوب می شود. با هدف درک و تفسیر بهتر نتایج و ارتباط میزان سطح آب با سطح پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه، تالاب شادگان به دو قسمت آبیگیر و حاشیه تالاب تقسیم شده است و نتایج هر قسمت به طور جداگانه در جدول ها آمده است. از لحاظ جغرافیایی و موقعیت تالاب می توان گفت آب ورودی به این تالاب از استان های شمالی تر تالاب سرچشمه گرفته و آب آن تامین می شود، به تبع این موضوع میزان آب موجودی در سطح تالاب به عوامل و مسائل طبیعی و انسانی مرتبط است.

جدول ۱. سطح پوشش آبی تالاب شادگان بر حسب هکتار

Table 1. Water cover area of Shadegan Wetland In hectares

سال	مساحت(هکتار)	درصد	سال	مساحت(هکتار)	درصد
1972	45039.6	26	1998	112952.2	66
1973	17650.8	10	1999	57744.9	34
1975	95258.52	56	2000	3909.69	2
1976	75296.52	44	2001	5461.02	3
1977	81366.48	48	2003	32461.29	19
1978	125368.6	74	2004	104604.8	62
1980	25698.24	15	2005	99680.58	59
1981	81617.04	48	2006	115611.9	68
1982	98865	58	2007	105835.1	62
1984	7076.16	4	2008	35450.55	21
1985	91459.26	54	2009	33481.17	20
1986	127965.4	75	2010	45143.28	27
1987	102947.8	61	2011	45502.74	27
1988	86812.56	51	2013	85038.93	50
1989	82117.8	48	2014	71186.31	42
1990	64744.47	38	2015	53626.23	32
1991	94347.9	56	2016	63468.36	37
1993	124336.3	73	2017	54044.55	32
1994	24479.82	14	2018	46513.26	27
1995	126707.4	75	2019	125383.4	74
1996	128363.1	76	2020	83276.64	49
1997	82458.9	49			

جدول ۲. تغییرات پوشش آبی قسمت آبخیز تالاب شادگان بر حسب هکتار

Table 3- Changes in water cover of Shadegan Wetland catchment area In hectares

سال	افزایش	درصد	کاهش	درصد
1972-1973	17346.24	10	4249.08	2
1973-1975	12992.04	8	127154.88	75
1975-1976	3763.08	2	10357.2	6
1978-1980	47174.4	28	50736.24	30
1980-1981	8011.8	5	153144.72	90
1981-1982	1048.88	1	3336.12	2
1982-1984	21301.92	1	20540.16	1
1985-1986	71916.75	42	70.38	0
1986-1987	435.69	0	84798.36	50
1987-1988	7393.77	4	39566.07	23
1988-1989	11741.67	7	18132.84	11
1989-1990	5710.95	3	7185.15	4
1990-1991	46056.33	27	1396.8	1
1991-1992	20916.27	12	68659.83	40
1992-1993	20176.29	12	34598.34	20
1993-1994	51212.52	30	3078.54	2
1994-1995	11046.06	6	41178.06	24
1995-1996	435.69	0	84798.36	50
1996-1997	17497.89	10	25736.76	15
1997-1998	7781.31	5	18369	11
1998-1999	48738.6	29	6517.53	4
1999-2000	445.23	0	20923.65	12
2000-2001	12430.08	7	15482.7	77
2003-2004	20797.2	12	1545.93	1
2004-2005	8701.29	5	6387.93	4
2005-2006	8226.81	5	27833.58	2
2006-2007	7534.89	4	7908.93	5
2007-2008	9782.28	6	19570.77	12
2008-2009	2233.53	1	3149.55	2
2009-2010	4488.75	3	2550.96	15
2010-2011	5522.4	0	4359.6	3
2013-2014	8539.56	1	3096.09	18
2014-2015	11445.21	7	7357.23	4
2015-2016	4102.02	2	264.78	2
2016-2017	9718.02	6	5599.8	3
2017-2018	808.92	0	1829.43	1
2018-2019	67278.69	40	714.15	0
2019-2020	114.12	0	39751.65	6

مطابق جدول ۳ که تغییرات سطح پوشش گیاهی تالاب شادگان را بر حسب هکتار و درصد تغییرات نشان می دهد، می توان گفت در دوره مطالعاتی سال هایی با درصد صفر تا ۴۰ درصد افزایش در پوشش گیاهی وجود داشته است. کمترین سطح افزایشی سطح پوشش گیاهی طی سال های ۱۹۸۵-۱۹۸۶ و سال های ۱۹۷۳-۱۹۷۲، ۲۰۰۰-۱۹۹۹، ۲۰۱۸-۲۰۱۷ و ۲۰۱۸-۲۰۱۹ است. با نگاهی کلی به

تغییرات سطح پوشش گیاهی می‌توان گفت در سال‌هایی که وضع پوشش آب در تالاب از ثبات بیشتری برخوردار بوده و در سال و یا سال‌های بعد از آن سطح پوشش گیاهی کمترین تغییر و کاهش را داشته، که این نشانه ارتباط و پیوستگی میزان پوشش آب با پوشش گیاهی در این تالاب است.

جدول ۳. تغییرات سطح پوشش گیاهی تالاب شادگان بر حسب هکتار
Table 2. Changes in the vegetation cover of Shadegan Wetland In hectares

سال	افزایش	درصد	کاهش	درصد
1972-1973	936.72	1	16001.28	9
1973-1975	54891	32	9309.24	5
1975-1976	8127.72	5	9843.84	6
1978-1980	45696.96	27	49745.16	29
1980-1981	84031.92	49	6221.2	4
1981-1982	4621.68	3	10389.96	6
1982-1984	17531.28	10	57833.28	34
1985-1986	542.16	0	63907.38	38
1986-1987	74804.31	44	1474.56	1
1987-1988	32210.28	19	8619.21	5
1988-1989	21933.99	13	4320	25
1989-1990	9216.18	5	12839.31	8
1990-1991	3549.69	21	44421.12	26
1991-1992	29947.95	18	21921.93	13
1992-1993	29804.4	18	37631.07	22
1993-1994	8995.32	5	37974.69	6
1994-1995	49365.72	6	9627.57	6
1995-1996	22040.91	13	15214.59	9
1996-1997	14063.94	8	21493.89	13
1997-1998	15680.61	9	30790.17	2
1998-1999	4879.89	3	41519.16	24
1999-2000	1959.3	1	424.35	0
2000-2001	17010.45	10	7508.52	0
2003-2004	32979.78	19	12440.03	18
2004-2005	6275.52	4	10940.67	6
2005-2006	18304.47	11	8376.21	0
2006-2007	7381.44	4	10219.77	6
2007-2008	14618.61	9	35596.8	21
2008-2009	3417.66	2	1352.97	1
2009-2010	4591.53	3	6220.8	4
2010-2011	4332.33	3	5472.9	3
2013-2014	5670.72	3	4747.95	28
2014-2015	4791.69	3	12354.57	7
2015-2016	3837.6	2	2923.47	2
2016-2017	4185.81	2	10321.74	6
2017-2018	1767.42	1	894.24	1
2018-2019	1178.01	1	62705.16	37
2019-2020	38549.97	23	150.39	0

جدول ۴. تغییرات پوشش گیاهی حاشیه تالاب شادگان بر حسب هکتار
Table 4- Changes in vegetation cover on the edge of Shadegan Wetland In hectares

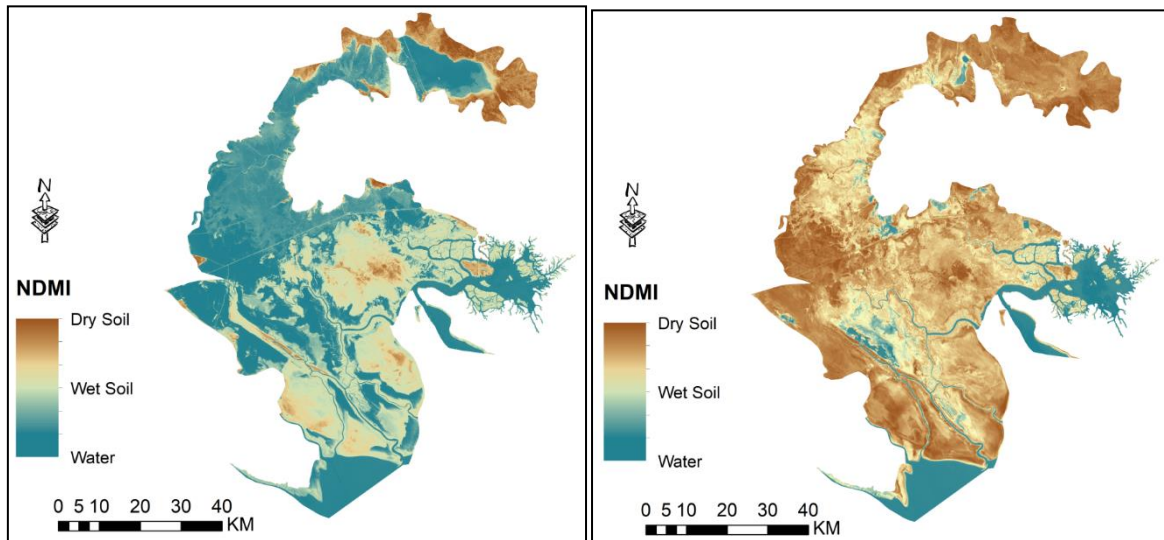
سال	افزایش	درصد	کاهش	درصد
1972-1973	23871.3	8	4709.23	2
1973-1975	24922.08	8	3401.64	1
1975-1976	2532.1	1	3651.59	1
1978-1980	1829.89	1	2011.4	1
1980-1981	1956.99	1	1043.28	0
1981-1982	23477.76	8	49785.48	16
1982-1984	1018.44	0	4544.6	2
1985-1986	4758.03	2	48736.92	16
1986-1987	9244.98	3	1722.96	1
1987-1988	3648.6	1	22734.45	7
1988-1989	2720.16	1	51.12	0
1989-1990	11908.26	4	10023.31	3
1990-1991	14114.88	5	39852.15	13
1991-1992	5343.12	2	27020.34	9
1992-1993	18046.16	6	2474.37	1
1993-1994	743.76	0	12634.01	4
1994-1995	8793.72	3	12436.56	4
1995-1996	10588.23	3	27453.33	9
1996-1997	22571.46	7	1671.56	1
1997-1998	1620.9	1	9990.43	3
1998-1999	470.88	0	4718.97	2
1999-2000	4854.96	2	812.75	0
2000-2001	12200.13	4	38257.98	12
2003-2004	15234.21	5	36740.34	12
2004-2005	6174.63	2	23976.18	8
2005-2006	25685.55	1	8730.45	3
2006-2007	45177.84	15	12914.01	4
2007-2008	16721.01	5	44905.05	15
2008-2009	23750.28	8	3363.57	1
2009-2010	6327	2	21523.14	7
2010-2011	10427.67	3	6168.42	2
2013-2014	8736.3	3	8661.87	3
2014-2015	4954.23	2	30117.42	10
2015-2016	4804.29	2	5238	2
2016-2017	3762.09	1	3104.19	1
2017-2018	6249.96	2	9792.9	3
2018-2019	22490.64	7	128621.6	42
2019-2020	56979	18	28680.21	9

جدول ۵. مجموع تغییرات پوشش آبی حاشیه تالاب شادگان بر حسب هکتار

Table 5 - Total changes in water cover on the edge of Shadegan Wetland In hectares

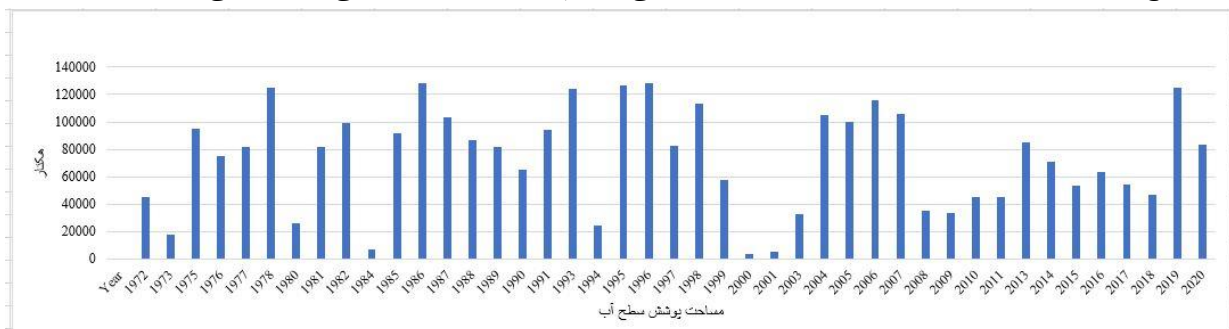
سال	افزایش	درصد	کاهش	درصد
1972-1973	2400.23	1	3420.1	1
1973-1975	129.6	0	3590.38	1
1975-1976	28248.84	9	2440.11	1
1978-1980	2530.11	1	3694.76	1
1980-1981	4450.9	1	25400.19	8
1981-1982	6771.24	2	29351.16	10
1982-1984	10222.92	3	3989.16	10
1985-1986	119225.45	39	29594.07	10
1986-1987	24290.01	8	1474.38	0
1987-1988	24700.95	8	34947.63	11
1988-1989	44772.68	14	15481.36	5
1989-1990	2143.62	1	16831.08	5
1990-1991	2578.68	1	5380.56	2
1991-1992	18240.57	6	119332.77	39
1992-1993	882.18	0	18699.12	6
1993-1994	20964.42	7	3449.7	1
1994-1995	12004.92	4	4497.39	1
1995-1996	31876.92	10	47660.06	15
1996-1997	679.05	0	3999.24	1
1997-1998	48732.69	16	7782.48	3
1998-1999	20958.93	7	2.7	0
1999-2000	1676.77	1	7616.16	2
2000-2001	3781.92	1	12964.5	4
2003-2004	35204.31	13	17415.54	6
2004-2005	39494.88	3	6231.51	2
2005-2006	8316.27	3	52972.11	17
2006-2007	10521.18	7	48556.71	16
2007-2008	23029.74	5	22913.64	7
2008-2009	16557.66	7	22800.24	7
2009-2010	21776.4	2	8795.97	3
2010-2011	5464.98	4	12122.01	4
2013-2014	12965.31	8	8370.09	3
2014-2015	25038.36	2	7980.48	3
2015-2016	7500.78	2	455.94	0
2016-2017	4722.03	3	5804.91	2
2017-2018	9929.7	36	8019.27	3
2018-2019	110826.8	0	990.18	0
2019-2020	161.01		61518.15	20

جهت مطالعه بهتر و تجزیه و تحلیل آن تالاب شادگان را در دو قسمت آبیگر تالاب و حاشیه تالاب در نظر گرفته شده است. براساس شکل ۲ که Normalized Difference Moisture Index (NDMI) را نشان می دهد، بیشترین رطوبت در سال ۱۹۹۶ و خشک ترین سال در دوره مورد مطالعه در ژوئن ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ اتفاق افتاده است.



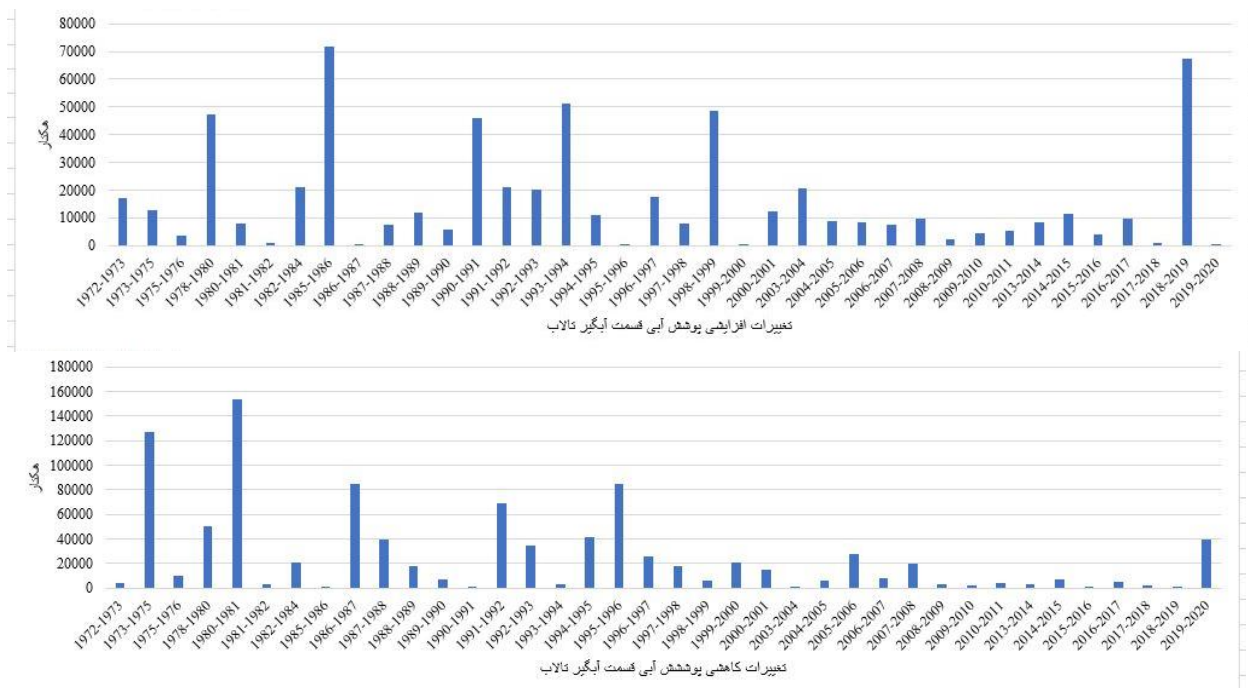
شکل ۳. شاخص NDMI در تالاب شادگان سال ۲۰۰۰ (سمت راست) خشک ترین و سمت چپ سال ۱۹۹۶ مرطوب ترین سال
Fig3- NDMI index in Shadegan Wetland in 2000 (right side) the driest year and 1996 (left side) the wettest year

در این تحقیق ماه ژوئن به عنوان زمان پایه برای پایش تغییرات تالاب در نظر گرفته شده است. ماه ژوئن تقریباً در پایان سال آبی در قسمت های جنوب و جنوب غربی است. مطابق شکل ۳ که به صورت نمودار ترسیم شده است، ملاحظه می شود تغییرات زیادی در سطح آب تالاب شادگان وجود داشته است به طوری که در سال ۱۹۷۲ که ابتدای زمان مورد مطالعه در این تحقیق است در این نوشتار جهت بررسی، نمایش بهتر تغییرات و تجزیه و تحلیل آنها شاخص پوشش آب و پوشش گیاهی در سطح تالاب شادگان، میزان این شاخص نسبت به سال قبل از آن محاسبه و به صورت نمودار نشان داده شده است، به طور مثال تغییرات هر یک از شاخص ها دو سال نسبت به هم در همان بازه زمانی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. در دوره مطالعاتی فقط ۶ سال در ماه ژوئن بیش از ۱۲۰ هزار هکتار آب در سطح تالاب وجود داشته است که با توجه به محدوده زمانی مورد پژوهش، دوره ی کوتاهی محسوب می شود.



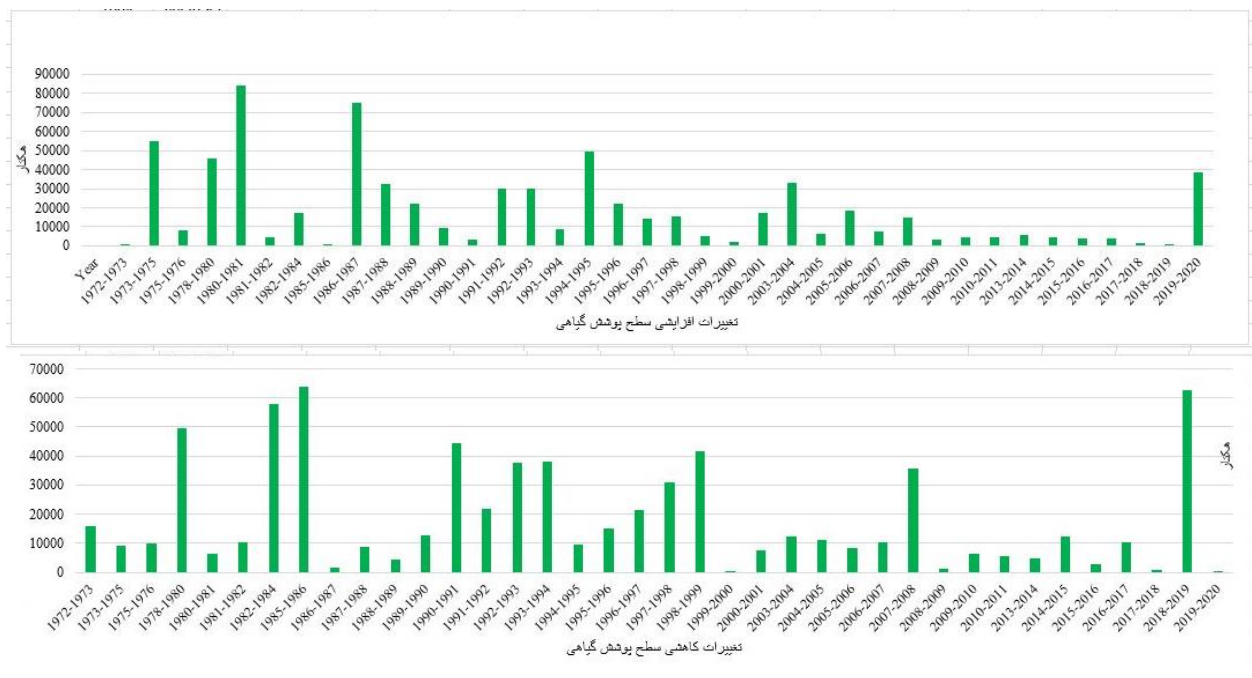
شکل ۴. مساحت پوشش سطح آب در تالاب شادگان در دوره مورد مطالعه
Fig 4. Water surface coverage area in Shadegan Wetland during the study period

براساس محاسبات انجام گرفته مشخص گردید که تغییرات سطح آب در تالاب شادگان دارای دو وضع است. چنانچه از ابتدای دوره مطالعاتی تا سال ۲۰۰۰ را دوره اول و از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ دوره دوم نظر گرفته شود، می توان استنباط نمود که در دوره اول تغییرات افزایشی بیشتری نسبت به دوره دوم در سطح آب تالاب وجود داشته است. اما تغییرات کاهش سطح آب در این تالاب در دوره دوم با کاهش زیادی مواجهه بوده است. سال های ۱۹۹۶ و ۲۰۱۹ بیشترین سطح آب در تالاب مشاهده شده به نسبت به مدت مورد مطالعه زمان کوتاهی محسوب می شود و نشان دهنده شرایط خشک برای یک تالاب به شمار می رود.



شکل ۵. تغییرات افزایشی و کاهش سطح آب در قسمت آبیگیر تالاب شادگان
 Fig 5: Increase and decrease in water level changes in the Shadegan Wetland catchment area

طبق شکل ۴ که نمودار تغییرات کاهش و افزایشی سطح پوشش گیاهی در تالاب شادگان را نشان می‌دهد، شاهد تغییرات نسبتاً زیادی در سطح پوشش گیاهی این تالاب هستیم. بیشترین افزایش در سطح پوشش گیاهی طی سال‌های ۱۹۸۰-۱۹۸۱ و ۱۹۸۵-۱۹۸۶ بوده است. در مقابل سال‌های زیادی در دوره مورد مطالعه کمترین روند افزایشی در پوشش گیاهی تالاب به ثبت رسیده است. به عبارت دیگر از ۱۹۹۷-۱۹۹۸ شاهد کاهش و یا به نوعی یک روند مشخص در سطح پوشش گیاهی بودیم.



شکل ۶. تغییرات کاهش و افزایش شاخص پوشش گیاهی در سطح تالاب شادگان
 Fig 6- Decreased and increased changes in the vegetation cover index at the Shadegan Wetland level.

نتیجه گیری

در این مطالعه دوره مطالعاتی از ابتدای سال ثبت تصاویر توسط سنجنده لندست در نظر گرفته شده است تا یک دوره ۵۰ ساله از تغییرات تالاب شادگان از طریق سنجش از دور مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. از آنجا که بررسی علل و عوامل دخیل و موثر در بی نظمی میزان آب این تالاب به بررسی و مطالعات دیگری نیاز است، لذا این موضوعات در این تحقیق بررسی نشده است. به طور کلی می توان علل موثر در نوسان و تغییرات آب ای تالاب را به دو دسته علل نسبت داد. یکی از عوامل تغییرات اقلیمی و کاهش شدید بارش و دیگر عوامل انسانی را در نظر گرفت. می توان گفت روند مشخصی در تغییرات سطح آب تالاب شادگان وجود نداشته و بی نظمی زیاد در تغییرات میزان آب به چشم می خورد. در دوره مطالعه بر حسب محاسبات انجام گرفته، مشخص گردید که چنانچه در یک سال شاهد افزایش سطح آب تالاب بودیم، این افزایش فقط در دو یا سه سال بعد تکرار شده و بعد از آن با کاهش سطح آب تالاب مواجهه بودیم. به عنوان نمونه می توان می گفت در سال ۱۹۷۵ تا سال ۱۹۷۸ بیش از پنجاه درصد سطح تالاب از آب پوشیده شده اما در سال ۱۹۸۰ میزان پوشش سطح آب به ۱۵ درصد کاهش رسیده است. با نگاهی به وضعیت سطح آب این تالاب می توان گفت کاهش و افزایش یافتن سطح آب تالاب در یک سال بعد دچار تغییر می گردد و تغییرات سال به سال آن زیاد است. در طول دوره ی مورد مطالعه طی ۲۳ سال آب موجود در این بخش کمتر از ۵۰ درصد است. موجودی آب در تالاب دارای روندی نامشخص که از نظم خاصی تبعیت نمی کند. از آنجا که آب مهم ترین عنصر حیات بخش در تالابها محسوب می شود، بنابراین این بی نظمی زیاد یا نوسان شدید در موجودی آب، می تواند خطر جدی برای حیات اکوسیستم تالاب شادگان تلقی شود.

منابع

- Barbier, E. B. (2011). Wetlands as natural assets. *Hydrological Sciences Journal*, 56(8), 1360-1373.
- Beuel, S., Alvarez, M., Amler, E., Behn, K., Kotze, D., Kreye, C.,... & Becker, M. (2016). A rapid assessment of anthropogenic disturbances in East African wetlands. *Ecological Indicators*, 67, 684-692.
- Brinson, M. M. (1993). A hydrogeomorphic classification for wetlands (p. 79). Vicksburg, MS, USA: US Army Engineer Waterways Experiment Station.
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W. (2009). Landscapes' capacities to provide ecosystem services-A concept for land-cover based assessments. *Landscape online*, 15-15.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., & Müller, F. (2012). Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological indicators*, 21, 17-29.
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E. (2004). Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International journal of remote sensing*, 25(9), 1565-1596.
- Cowardin, L. M. (1994). *Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the US*. Diane Publishing.
- Danley, B., & Widmark, C. (2016). Evaluating conceptual definitions of ecosystem services and their implications. *Ecological Economics*, 126, 132-138.
- De Groot, R., Brander, L., Van Der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L.,... & Van Beukering, P. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem services*, 1(1), 50-61.
- Emadi, M., Baghernejad, M., Pakparvar, M., & Kowsar, S. A. (2010). An approach for land suitability evaluation using geostatistics, remote sensing, and geographic information system in arid and semiarid ecosystems. *Environmental monitoring and assessment*, 164, 501-511.
- Gao, B. C. (1995, June). Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. In *Imaging spectrometry* (Vol. 2480, pp. 225-236). SPIE.
- Hanson, A., Swanson, L., Ewing, D., Grabas, G., Meyer, S., Ross, L.,... & Kirkby, J. (2008). Wetland ecological functions assessment: An overview of approaches. *Canadian Wildlife Service Technical Report Series*, 16(2), 123-125.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1-2), 195-213.
- Huete, A. (1988). A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens Environ*, 25, 295-300.
- Kelble, C. R., Loomis, D. K., Lovelace, S., Nuttle, W. K., Ortner, P. B., Fletcher, P.,... & Boyer, J. N. (2013). The EBM-DPSER conceptual model: integrating ecosystem services into the DPSIR framework. *PloS one*, 8(8), e70766.
- Kotze, D. C., Ellery, W. N., Macfarlane, D. M., & Jewitt, G. P. W. (2012). A rapid assessment method for coupling anthropogenic stressors and wetland ecological condition. *Ecological Indicators*, 13(1), 284-293.
- Krchnak, K. M., Smith, D. M., & Deutz, A. (2011, December). Putting nature in the nexus: investing in natural infrastructure to advance water-energy-food security. In *Bonn 2011 Conference: The Water, Energy, and Food Security Nexus—Solutions for the Green Economy*. Background Papers for the Stakeholder Engagement process.
- Partow, H. (2001). *The Mesopotamian marshlands: demise of an ecosystem*. Unep.

- Rahimi, L., Malekmohammadi, B., & Yavari, A. R. (2019). The ecosystem services assessment of wetlands based on the classification of hydrological-ecological structures and functions (case study: Shadegan wetland). *Geography and Environmental Sustainability*, 9(1), 51-72.
- Rogan, J., Franklin, J., & Roberts, D. A. (2002). A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. *Remote sensing of environment*, 80(1), 143-156.
- Rongoei, P. J. K., Kipkemboi, J., Okeyo-Owuor, J. B., & Van Dam, A. A. (2013). Ecosystem services and drivers of change in Nyando floodplain wetland, Kenya. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7(5), 274-291.
- Seto, K. C., Woodcock, C. E., Song, C., Huang, X., Lu, J., & Kaufmann, R. K. (2002). Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM. *International journal of remote sensing*, 23(10), 1985-2004.
- Sharma, B., Rasul, G., & Chettri, N. (2015). The economic value of wetland ecosystem services: Evidence from the Koshi Tappu Wildlife Reserve, Nepal. *Ecosystem Services*, 12, 84-93.
- Smith, R. D., Ammann, A. P., Bartoldus, C. C., & Brinson, M. M. (1995). An approach for assessing wetland functions using hydrogeomorphic classification, reference wetlands, and functional indices.
- Sun TengTeng, S. T., Lin WenPeng, L. W., Chen GuangSheng, C. G., Guo PuPu, G. P., & Zeng Ying, Z. Y. (2016). Wetland ecosystem health assessment through integrating remote sensing and inventory data with an assessment model for the Hangzhou Bay, China.
- Tiner, R. W. (2016). *Wetland indicators: A guide to wetland formation, identification, delineation, classification, and mapping*. CRC press.
- Zorrilla-Miras, P., Palomo, I., Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B., Lomas, P. L., & 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.