

## سنجش ارتباط بین نوسانات آب زیرزمینی و مساحت پهنه‌های آبی (مطالعه موردی: تالاب ارژن-فارس)

مریم خسرویان، ابوذر نصیری، رحمان زندی، مهدی زارعی\*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۲۶

### چکیده

بررسی نوسان‌های سطح آب دریاچه‌ها به منظور حفاظت آن‌ها به لحاظ اهمیت، ماهیت و موقعیت این مجموعه‌های آبی و به‌عنوان یک میراث طبیعی در سال‌های اخیر در بین کشورها در سطح ملی و منطقه‌ای جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. نوسان‌های یادشده تأثیرات زیادی بر محیط پیرامون و از جمله تغییرات سطح آب زیرزمینی در حوضه آبخیز دریاچه‌ها داشته است. تالاب ارژن با وسعتی حدود ۲۲ کیلومتر مربع به‌عنوان یکی از دریاچه‌های آب شیرین ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف اصلی این پژوهش بررسی تغییرات سطح آب تالاب ارژن و ارتباطش با تراز آب زیرزمینی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی است؛ برای رسیدن به این هدف با استفاده از کدنویسی در سامانه گوگل ارث انجین و از طریق تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی ماهواره‌ای لندست از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸، نوسان‌های سطح آب تالاب ارژن در دوره زمانی مذکور استخراج شد. بررسی‌ها نشان‌دهنده نوسان‌های گسترده در طول بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸ است به‌طوری که از ۸/۲۲ کیلومتر مربع در سال ۱۹۸۶ به صفر کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۸ رسیده است. بیشترین تغییرات به دلیل کاهش ارتفاع آب دریاچه به‌ویژه در جنوب شرق و سواحل غربی تالاب ارژن است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین مساحت تالاب در سال ۱۹۸۹ (۱۴/۷۸ کیلومتر مربع) بوده و از سال ۲۰۱۰ کاملاً خشک شده است. برای بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی از سری زمانی منتج از داده‌های ماهواره گریس استفاده گردید که بر مبنای ضریب JPL (۸۶٪ همبستگی) مشخص شد سطح آب زیرزمینی در آبخوان ارژن سیر نزولی طی کرده و حدود ۲۰ سانتی‌متر کاهش یافته است.

**کلیدواژه‌ها:** تالاب ارژن، تغییر تراز، آب زیرزمینی، پهنه آبی، سنجش از دور.

۱. دکتری آب و هواشناسی دانشگاه حکیم سبزواری-تغییرات آب و هوایی، مرکز آموزش عالی فیروزآباد

۲. استادیار مرکز آموزش عالی فیروزآباد

۳. دانشیار دانشگاه حکیم سبزواری، مأمور به خدمت در دانشگاه چمران اهواز

۴. استادیار، مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی، دانشگاه حکیم سبزواری، m.zarei@hsu.ac.ir

نویسنده اول و نویسنده مسئول مقاله دارای جایگاه یکسان بوده و سهم برابر دارند.

\* این مقاله برگرفته از پژوهش مستقل بوده است.

## مقدمه

سیما و تجریشی برای تعیین تغییرات سطح تالاب شادگان و پایش تغییرات پوشش گیاهی آن و مساحت پهنه آبی تالاب مزبور از سنجش از دور استفاده کردند (سیما و تجریشی، ۲۰۱۳).

هاشمی تنگستانی و همکاران نیز به منظور آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش زمین پیرامون دریاچه بختگان در بازه زمانی سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۶ از سنجش از دور استفاده کردند (هاشمی تنگستانی و همکاران، ۲۰۱۳).

Kish, 2002; Coskun et al., 2002; Najafi, 2003; Trumpickas, 2009; Kurt et al., 2010; Sima et al., 2013; Duan et al., 2013; Pakparvar et al., 2014; Tourian, 2015; Singh et al., 2012; Kaichang et al., 2009; Ayenew; Guariglia et al., 2006;

در واقع هدف از انجام این پژوهش این است که با به‌کارگیری فناوری RS و GIS تغییرات به‌وجودآمده در تالاب ارژن را بررسی شود. به‌عبارتی تغییرات کرانه‌های تالاب کاهش مساحت تحت پوشش آب آن و نیز تغییرات دمای سطح زمین و سطح آب‌های زیرزمینی نیز بررسی خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

## معرفی منطقه مورد مطالعه

تالاب بین‌المللی ارژن با مساحتی در حدود ۲۲ کیلومترمربع که برحسب فصول سال و توالی ترسالی و خشکسالی متغیر است جزء دریاچه‌های آب شیرین است که در استان فارس، در ۶۰ کیلومتری جنوب غرب شهرستان شیراز، در مجاورت جاده اصلی شیراز به بوشهر و در موقعیت جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). داده‌های مورد استفاده شامل دو دسته داده‌های هواشناسی و داده‌های سنجش از دور است که در ادامه به توضیح هریک از آن‌ها پرداخته شده است.

الف. داده‌های هواشناسی: شامل داده‌های بارش، دما (میانگین، بیشینه، کمینه)، رطوبت، تبخیر و تعرق.

ب. داده‌های ماهواره‌ای: شامل تصاویر MODIS, Landsat برای محاسبه شاخص‌های آبی و دمای سطح زمین.

در این پژوهش از تصاویر ماهواره MODIS به‌عنوان تصویر با توان تفکیک زمینی پایین و توان تفکیک زمانی بالا

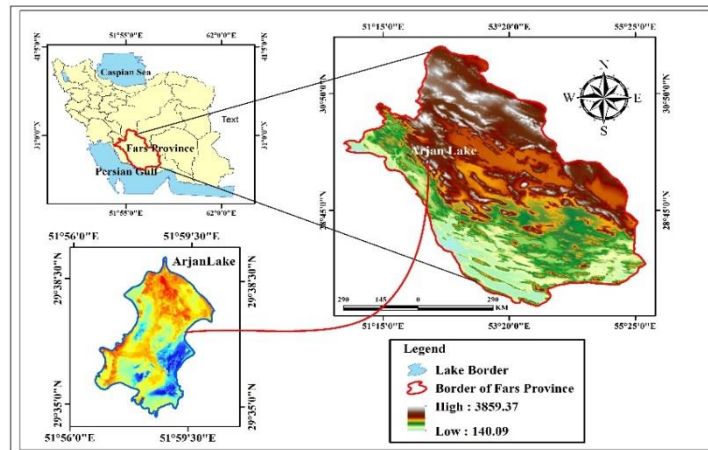
اشکال و پدیده‌های طبیعی سطح زمین خیلی سریع تغییر پیدا می‌کنند و این تغییرات در طول زندگی انسان بسیار چشمگیر است (Macleod and Congalton, 1998). نکته‌ای که اهمیت زیادی دارد این است که بتوان چنین تغییراتی را به‌دقت بررسی کرده تا فرایندهای طبیعی و انسانی به‌وجودآورنده آن‌ها را به‌خوبی شناخت. در طی چند دهه گذشته، استفاده از فناوری سنجش از دور برای تشخیص چنین تغییراتی در طی زمان، توجه محققان را به خود معطوف کرده است (Singh, 1989). مناطق ساحلی به‌ویژه محیط دریاچه‌های داخلی، به‌عنوان محیط‌های اکولوژیک مورد توجه قرار گرفته است (Jensen, 1996). پایش و ارزیابی چنین مناطقی می‌تواند به‌عنوان امر مهم در توسعه ملی و مدیریت منابع طبیعی تلقی شود. در دهه‌های گذشته، پایش مناطق ساحلی و استخراج تغییرات سطح آب در فاصله‌های زمانی مختلف به‌عنوان یک پژوهش زیربنایی مورد توجه واقع شده است، زیرا خطوط ساحلی ماهیتی دینامیکی داشته و مدیریت چنین محیط‌های اکولوژیکی حساسی نیاز به کسب اطلاعات دقیق در فواصل زمانی مختلف دارد (Upp, 1988; Dasarathy, 1991; Illesand, 1994). برای این منظور، فناوری سنجش از دور کاربرد بی‌نظیری در کسب اطلاعات از این پدیده‌ها دارد؛ زیرا تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی مزایا و امتیازهایی دارد که در دسترس بودن و تفسیر آن‌ها از مهم‌ترینشان محسوب می‌شود (Tucker, 1979).

از تصاویر لندست به‌طور گسترده‌ای برای استخراج خطوط ساحلی و نمکزار استفاده شده است (Alesheikh, 2004; Elnaggar and Noller, 2009; Rokni et al., 2014; Azabdaftari and Sunarb, 2016). در زمینه پایش تغییرات سطوح آبی در سرتاسر جهان تحقیقات زیادی انجام شده که از آن جمله می‌توان به تحقیقات زیر اشاره کرد:

سینگ و همکاران (۱۹۹۱) در انجمن تحقیق و تکنولوژی بوپال در کشور هندوستان با استفاده از سنجش از دور، به ارزیابی آب‌های سطحی و مدیریت دریاچه بوپال به‌عنوان یک روش ترکیبی پرداختند. نتایج نشان داد که از داده‌های ماهواره می‌توان برای نقشه‌برداری و پایش مخازن بزرگ آب در طی دوره‌های مختلف استفاده کرد.

پهنه‌های آبی از تصاویر لندست در بازه مورد مطالعه استفاده شد. تصاویر این سنجنده هر ۱۶ روز یک بار از هر نقطه تصویر تهیه می‌کنند که ابعاد سلول‌های آن ۳۰×۳۰ مترمربع است.

استفاده خواهد شد. تصاویر این سنجنده هر روز دو بار و با سلول‌هایی به ابعاد ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ مترمربع که برای محصولات متفاوت متغیر است، به صورت رایگان از طریق شبکه جهانی اینترنت در اختیار است. برای بررسی تغییرات فیزیکی



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure (1): Location of the study area

برای انواع مکان‌ها در سطح زمین به انجام رساند. مهم‌ترین مزیت این سامانه آن است که کاربر را قادر می‌سازد تا محاسبات خود را بر روی حجم زیادی از داده‌ها بدون نیاز به سیستم‌های پر قدرت انجام دهد.

در این پژوهش، شاخص NDWI با استفاده از کدنویسی در سامانه گوگل ارث انجین، برای سال‌های مورد مطالعه (از ۱۹۶۸ تا ۲۰۱۸) محاسبه شده است. بدین صورت که تصاویر موجود در هر سال را اخذ و مورد پردازش قرار داده و نتایج را استخراج کرده است.

محاسبه شاخص NDWI با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین با استفاده از سامانه Google Earth Engine می‌توان انواع پردازش‌های طیفی را بر روی پدیده‌های مختلف سطح زمین با داده‌های ماهواره‌ای متفاوت انجام داد. در واقع، سامانه گوگل ارث انجین یک ابزار قدرتمند سنجش از دور برای استخراج اطلاعات کاربردی از تصاویر ماهواره‌ای است. این سامانه قادر به انجام پروژه‌های متنوع از مقیاس محلی تا جهانی است. به صورت دقیق‌تر، گوگل ارث انجین قادر است تا پردازش‌هایی از توان تفکیک مکانی ۱۰ متر تا چند کیلومتر را

```

Link 1935ce58f0d8d32396bebf36a10c0e9c
* Imports (1 entry)
* var table: Table users/aminhosseinahrari/Urmia_Lake_Basin
1 Map.centerObject(table);
2
3 Map.addLayer(table);
4
5 var landsat5 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
6 .filterBounds(table)
7 .filterDate('2018-01-01', '2018-01-01')
8 .filter(ee.Filter.lessThan('CLOUD_COVER', 40));
9
10 print(landsat5);
11
12 var ndu18 = landsat5.map(function(img){
13   return img.normalizedDifference(['B1', 'B4']);
14 });
15
16 var med8 = ndu18.median().clip(table);
17 Map.addLayer(med8, {palette: ['white', 'blue']});
18
19 // .....
20
21 var landsat5 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C01/T1_SR')
22 .filterBounds(table)
23 .filterDate('1998-01-01', '1999-01-01')
24 .filter(ee.Filter.lessThan('CLOUD_COVER', 40));
25
26 print(landsat5);
27
28 var ndu15 = landsat5.map(function(img){
29   return img.normalizedDifference(['B1', 'B4']);
30 });
31
32 var med5 = ndu15.median().clip(table);
33 Map.addLayer(med5, {palette: ['white', 'blue']});
34
35
36 var landsat5 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C01/T1_SR')
37 .filterBounds(table)
38 .filterDate('1998-01-01', '1999-01-01')
39 .filter(ee.Filter.lessThan('CLOUD_COVER', 40));
40
41 print(landsat5);
42
43 var ndu15 = landsat5.map(function(img){
44   return img.normalizedDifference(['B1', 'B4']);
45 });
46
47 var med5 = ndu15.median().clip(table);
48 Map.addLayer(med5, {palette: ['white', 'blue']});
49
50 // .....
51
52 var stack = ee.Image.cat([med5, med8, diff1, diff2]);
53
54 Export.image.toDrive({
55   image: stack,
56   description: 'ndwi_stack',
57   scale: 250,
58   region: table
59 });

```

شکل (۲): کدنویسی NDWI در سامانه گوگل ارث انجین

Figure (2): NDWI coding in Google Engine system



شکل (۳): کدنویسی Grace در سامانه گوگل ارث انجین  
Figure (3): Grace coding in Google Earth Engine

$$b = \frac{\ln 2}{1 - \cos\left(\frac{r}{a}\right)} \quad (۲)$$

$$w_0 = \frac{1}{2\pi} \quad (۳)$$

$$w_1 = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{1 + e^{-2b}}{1 - e^{-2b}} - \frac{1}{b} \right) \quad (۴)$$

$$w_{n+1} = -\frac{2n + 1}{b} w_n + w_{n-1} \quad (۵)$$

در این روابط،  $\rho_{ave} = 5517 \text{ Kg/m}^3$  میانگین جرم حجمی سطحی زمین،  $kn$  عددهای لاو،  $J_{nm}$  و  $K_{nm}$  تغییر ماهانه ضریب همساز کروی و  $P_{nm}$  تابع بهنجارشده راهنماست. برای بهتر کردن برآورد میدان ثقل کره زمین می توان ضریب  $w_n$  را در معادله (۲) وارد کرد (Wahr et al., 1998). در معادله (۳) مقدار  $r$  شعاع میانگین گیری و  $a$  شعاع متوسط زمین است. پاسخ رابطه (۲) نیز ناهنجاری چگالی سطحی است و با تقسیم کردن آن بر چگالی آب نوسان ارتفاعی آب برای منطقه به دست می آید. یکی از مهم ترین مسائل بحرانی در داده های گریس این است که به دلیل زاویه میل  $5/89$  درجه ای مدار گردش این ماهواره به دور زمین، انباشتگی داده در جهت شمال جنوب و همستگی مکانی بین داده های گریس به وجود می آید (Li et al., 2018). در نقشه های جغرافیایی این همبستگی ها به صورت نوارهایی در جهت شمال جنوب پایدار می شود (Springer et al., 2017). داده های ثقل سنجی ماهواره گریس در سامانه موتور گوگل ارث (شرکت گوگل) با سه الگوریتم سازمان های  $JPL^9$ ،  $GFZ^7$  و  $CSR$  پردازش خواهد شد.

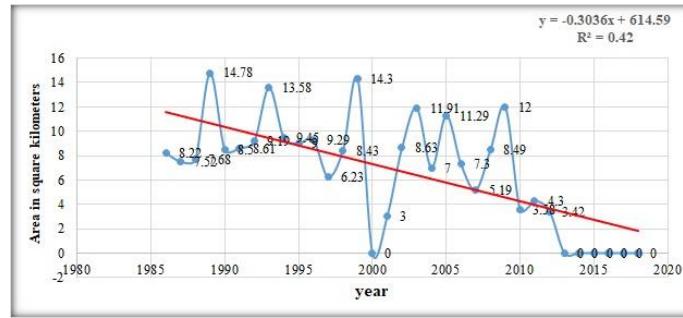
### پردازش تصاویر GRACE

برای تخمین زدن تغییر تراز آب های زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه از تصاویر ماهواره گریس استفاده شد. در سازمان NASA و DLR زوج ماهواره ثقل سنجی گریس را در ۱۷ مارچ ۲۰۰۲ از ایستگاهی در روسیه به فضا پرتاب کردند و مأموریت علمی آن در ۲۷ اکتبر ۲۰۱۷ به پایان رسید (سازمان فضایی ناسا؛ ۲۰۰۴). مأموریت گریس شامل ۲ ماهواره هم مدار در ارتفاع ۴۵۰ کیلومتری از تراز زمین و با زاویه میل  $89/5$  درجه بود. فاصله تقریبی دو ماهواره از یکدیگر تقریباً ۲۲۰ کیلومتر بود (تاپلی<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). برای اعتبارسنجی نتیجه ها و پهنه بندی تراز ایستابی آبخوان از داده های چاه های مشاهده ای محدوده مورد مطالعه استفاده شد. تغییر در توزیع جرم زمین سبب ایجاد تغییر در میدان ثقل آن می شود. برای تعیین کردن وضعیت بهینه سطح زمین و حذف کردن اثرهای آب شناسی می توان از ماهواره گریس مدل GLDAS استفاده کرد (Tajdarul et al., 2008). اثرهای آب شناسی با ترکیب کردن سنجه های خروجی مدل GLDAS تعیین و ضریب همساز کروی محاسبه می شود (Förste et al., 2013). تغییر به دست آمده از ضریب همساز ماهانه را می توان به نوسان آب تبدیل کرد (رابطه ۱).

$$\Delta\sigma(\theta, \lambda) = \frac{a \cdot \rho_{ave}}{3} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \frac{2n + 1}{1 + k_n} \cdot \bar{p}_{nm}(\cos(\theta)) \cdot (\Delta J_{nm} \cos(m\lambda) + \Delta k_{nm} \sin(m\lambda)) \quad (۱)$$

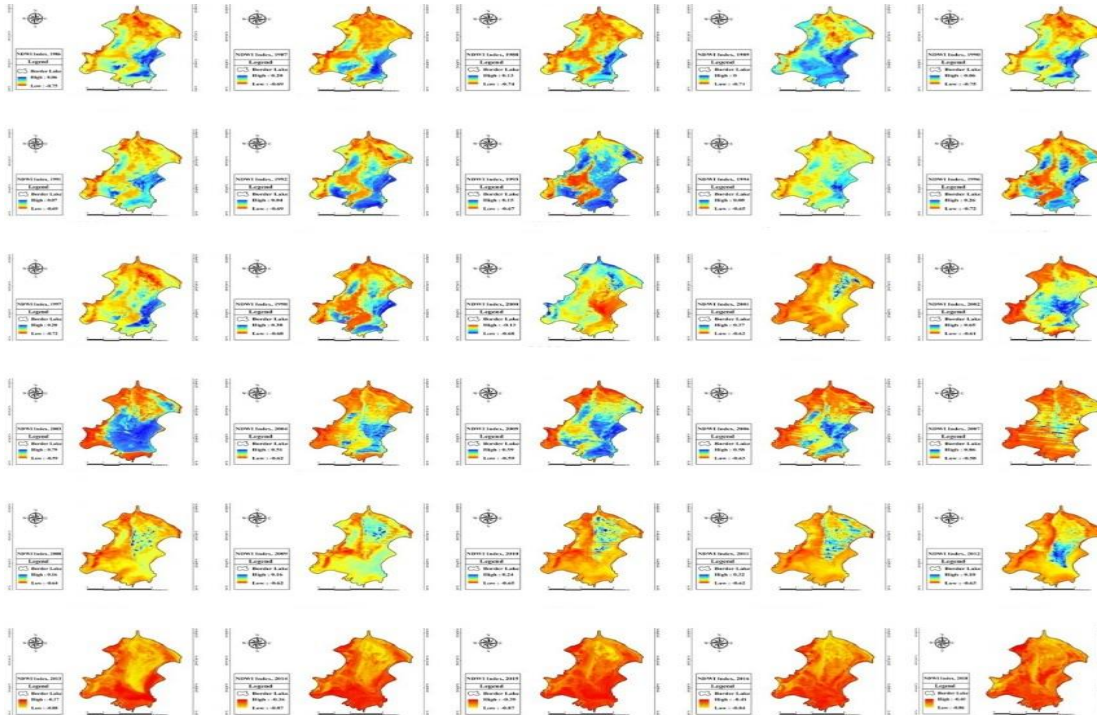
8. Geoforschungszentrum  
9. Jet Propulsion Laboratory  
1. Center for Space Research at the University of Texas

5. NASA space agency  
6. Tapley  
7. Spherical Harmonic Coefficients



شکل (۴): تغییرات مساحت تالاب ارژن طی بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۱۸

Figure (4): Changes in the area of Arjan wetland during the period 1986-2018



شکل (۵): سطح دریاچه مهارلو بر اساس شاخص NDWI طی بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۱۸

Figure (5): Maharloo Lake surface based on NDWI index during the period 1986-2018

تغییرات هیدرولوژیکی جهانی را نسبت به بقیه مدل‌ها بهتر نمایش می‌دهد. مدل گلداس پروژه مشترک بین سازمان ملی هوانوردی و فضایی (NASA) برنامه ملی کمک‌های اجتماعی (NSAP)، NOAA و مرکز پرواز فضایی گارد (GSFC) است (Rodell et al., 1999).

### بحث و نتایج

تغییرات فیزیکی تالاب ارژن طی بازه زمانی (۱۹۸۶-۲۰۱۸) دریاچه‌های استان فارس مانند دیگر دریاچه‌ها کاملاً به

### مدل هیدرولوژی گلداس و داده‌های آن

مدل‌های هیدرولوژی فراوانی وجود دارند که ذخایر آب‌های زمینی را توصیف می‌کنند که از جمله آن‌ها می‌توان به مدل سیستم تحلیل و شبیه‌سازی زمین در پوشش جهانی (GLDAS)، مرکز پیش‌بینی اقلیم (CPC)، مراکز ملی برای تخمین محیطی و مطالعات اتمسفری (NCEP/NCAR) و مدل جهانی هیدرولوژی خلأ آب (WGHM) اشاره کرد. اخیراً یک سری آنالیزها نشانگر آن است که مدل گلداس

1. Global Land Data Assimilation System
2. Climate Prediction Center
3. National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research
4. Water GAP Global Hydrology Model

5. National Aeronautics and Space Administration
6. National Social Assistance Programmer
7. Goddard Space Flight Center

می‌توان اذعان نمود که بحران اصلی آن از سال ۲۰۱۰ بوده که مساحت دریاچه تقریباً به کمتر از نصف رسیده و در نهایت از سال ۲۰۱۳ کاملاً صفر شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، بیشترین مساحت تالاب در سال ۱۹۸۹ (۱۴/۷۸ کیلومتر مربع) بوده که در همان سال، بنابر داده‌های ثبت شده در ایستگاه هواشناسی، میزان بارش ۴۸۸ میلی‌متر بوده که از بیشینه‌های بارش در طول دوره مورد مطالعه محسوب می‌شود.

بر اساس جدول (۱) نتایج به دست آمده بیشترین کاهش مساحت تالاب ارژن از سال ۲۰۰۰ میلادی بوده، که البته در این بین سال‌هایی وجود داشته که به صورت دوره‌ای مساحت تالاب افزایش یافته است. برای مثال، در سال ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵ مساحت تالاب افزایش یافته و دوباره روند نزولی خود را طی کرده (شکل ۴). تغییرات فیزیکی تالاب ارژن در بازه زمانی (۲۰۱۸-۱۹۸۶) در مقیاس زمانی سالانه تهیه و نقشه‌های مربوط به سال‌های مذکور در شکل (۱۲) نمایش داده شده است.

جدول (۱): مساحت تالاب ارژن در بازه زمانی ۲۰۱۸-۱۹۸۶

Table (1): Area of Arjan wetland in the period 1986-2018

سال	مساحت	سال	مساحت	سال	مساحت	سال	مساحت
۱۹۸۶	۸/۲۲	۲۰۰۳	۱۱/۹۹	۱۹۹۵	۹	۲۰۱۲	۳/۴۲
۱۹۸۷	۷/۵۲	۲۰۰۴	۷	۱۹۹۶	۹/۲۹	۲۰۱۳	۰
۱۹۸۸	۷/۶۸	۲۰۰۵	۱۱/۲۹	۱۹۹۷	۶/۲۳	۲۰۱۴	۰
۱۹۸۹	۱۴/۷۸	۲۰۰۶	۷/۳	۱۹۹۸	۸/۴۳	۲۰۱۵	۰
۱۹۹۰	۸/۵	۲۰۰۷	۵/۱۹	۱۹۹۹	۱۴/۳	۲۰۱۶	۰
۱۹۹۱	۸/۶۱	۲۰۰۸	۸/۴۹	۲۰۰۰	۰	۲۰۱۷	۰
۱۹۹۲	۹/۱۹	۲۰۰۹	۱۲	۲۰۰۱	۳	۲۰۱۸	۰
۱۹۹۳	۱۳/۵۸	۲۰۱۰	۳/۵۸	۲۰۰۲	۸/۶۳		
۱۹۹۴	۹/۴۵	۲۰۱۱	۴/۳				

پردازش و تغییر تراز ایستابی با داده‌های ماهواره‌ای گریس و سه الگوریتم GFZ، CSR و JPL به دست آمد (شکل ۶). بازه زمانی تغییر از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ است. همان طور که مشاهده می‌شود میزان تراز ایستابی آب‌های زیرزمینی در حال کاهش است. در صورت مقایسه با میزان آب‌های سطحی، در سال‌های اولیه که دریاچه‌های محدوده مورد مطالعه (حوضه آبریز ارژن) هنوز دچار کاهش مساحت نشده بودند، تراز آب‌های زیرزمینی نیز در سطح بالایی بوده اما پس از رو به زوال گذاشتن تالاب، تراز آب‌های زیرزمین نیز

وضعیت منابع آبی حوضه آبخیز مربوطه وابسته است. در حال حاضر تالاب ارژن در شرایط بحرانی قرار دارد و از سال ۲۰۱۳ کاملاً خشک شده است. تالاب ارژن به صورت فصلی بوده و ارتفاع آب در مواقع پرآبی به یک متر می‌رسد. در زمستان و بهار، به دلیل زیاد شدن جریان‌های سطحی و رودی به دشت و محدود بودن ظرفیت آبگذاری قسمت شرقی، مازاد آب در دشت ذخیره شده و آن را به صورت دریاچه‌ای درمی‌آورد. در فصل تابستان و اوایل پاییز، بر اثر جریان‌های سطحی و رودی به دشت و استفاده از آب چشمه، آب‌های ذخیره شده به تدریج کاهش یافته و در اواخر تابستان و پاییز منطقه کاملاً خشک می‌شود.

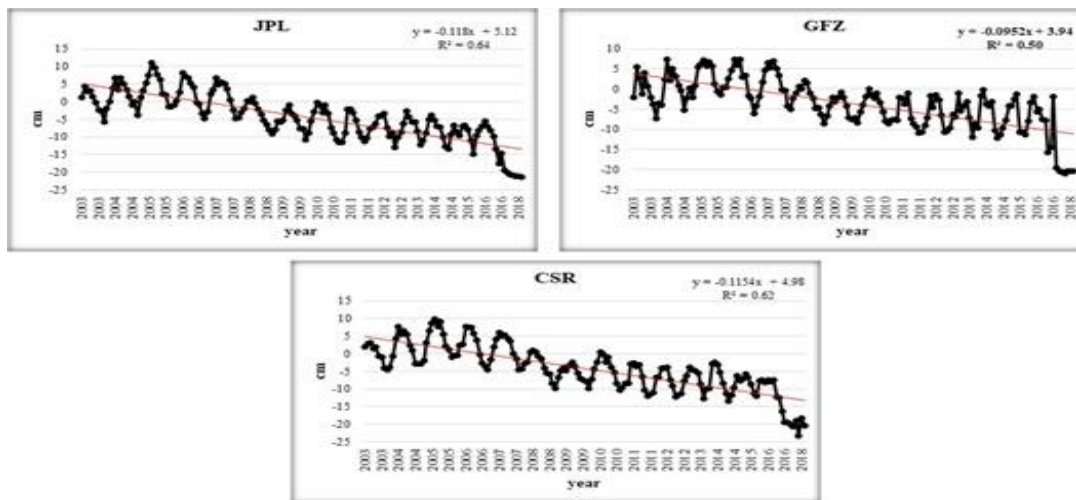
در ابتدا به بررسی مساحت تالاب ارژن در ارتباط با پارامترهای اقلیمی پرداخته شد. تغییرات مساحت تالاب ارژن در شکل (۴) و (۵) به وضوح دیده می‌شود. تالاب ارژن در طول دوره مطالعاتی (۲۰۱۸-۱۹۸۶) نوسان زیادی را داشته اما

پایش نوسان آب‌های زیرزمینی با تصاویر ماهواره‌ای گریس برای بررسی وضعیت آب‌ها زیرزمینی در آبخوان ارژن طی بازه زمانی (۲۰۱۸-۱۹۸۶)، از سری زمانی منتج از داده‌های ماهواره‌ای گریس و برای صحت‌سنجی این داده‌ها، از داده‌های چاه‌های پیژومتری استفاده شد.

داده‌های ثقل‌سنجی ماهواره‌ای گریس در سامانه گوگل ارث انجین با سه الگوریتم سازمان‌های GFZ<sup>۱</sup>، JPL<sup>۲</sup> و CSR<sup>۳</sup>

1. Geo Forschungszentrum
2. Jet Propulsion Laboratory
3. Center for Space Research at the University of Texas

سیری نزولی پیدا کرده‌اند که می‌تواند بیانگر ارتباط مستقیم میزان سطوح آبی با میزان تراز آب‌های زیرزمین باشد. بر اساس داده‌های ماهواره گریس بیشترین میزان افت آب زیرزمینی در سال ۲۰۱۸ و معادل ۲۰ سانتی‌متر و روند کلی نشان می‌دهد که میزان افت بیش از ۸ سانتی‌متر در هر سال است.



شکل (۶): نوسان سطح آب زیرزمینی حوضه آبخیز ارژن با الگوریتم‌های ماهواره گریس (a) CSR (b) GFZ (c) JPL  
 Figure (6): Groundwater fluctuation of Arjan watershed with Grace satellite algorithms a) CSR b) GFZ c) JPL

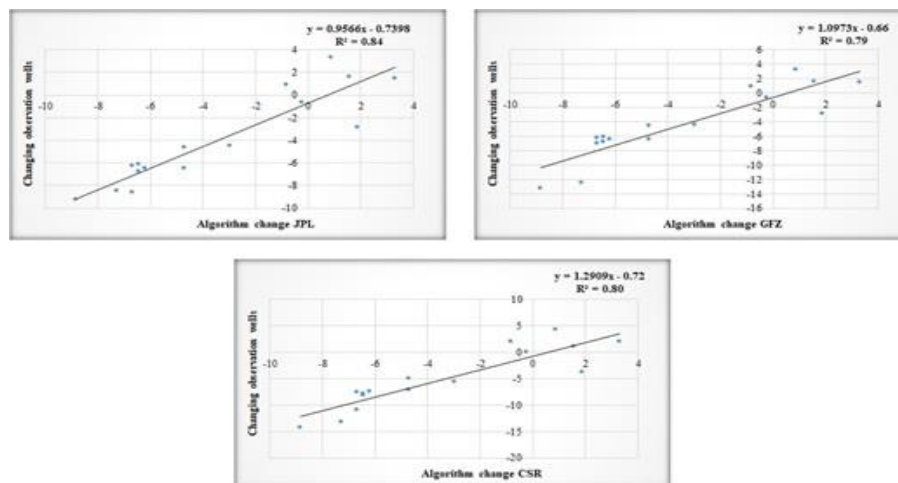
جدول (۲): پارامترهای اقلیمی در بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۱۸

Table (2): Climatic parameters in the period 1986-2018

سال	بارش	دما	تعداد روزهای بارانی	تبخیر تعرق پتانسیل	سال	بارش	دما	تعداد روزهای بارانی	تبخیر تعرق پتانسیل
۱۹۸۶	۲۷۷	۱۷/۸۹	۶۱	۲۸۵۰/۴	۲۰۰۲	۲۷۴/۲۱	۱۹/۹۵	۵۳	۲۷۱۴/۳
۱۹۸۷	۱۶۲	۱۹/۶۹	۳۵	۲۷۸۰/۷	۲۰۰۳	۲۴۵/۲۲	۲۰/۱۲	۵۱	۲۶۹۳/۲
۱۹۸۸	۴۱۰/۷۱	۱۹/۶	۳۶	۳۱۳۳/۲	۲۰۰۴	۵۶۱/۳	۱۹/۲۳	۶۰	۲۲۱۰/۸
۱۹۸۹	۴۸۸	۱۹/۰۲	۵۳	۲۵۲۴/۱	۲۰۰۵	۳۵۱/۴	۱۹/۰۳	۴۱	۲۱۳۵/۲
۱۹۹۰	۲۶۹/۷	۱۹/۷۷	۳۵	۲۶۶۰/۷	۲۰۰۶	۳۲۳/۶	۱۹/۲۱	۵۱	۲۲۴۸/۹
۱۹۹۱	۴۲۷/۶۳	۱۹/۴۴	۵۶	۲۳۳۷	۲۰۰۷	۲۶۱/۲	۱۹/۳	۳۰	۲۲۳۴/۹
۱۹۹۲	۴۱۱/۴	۱۷/۵۲	۷۴	۲۱۶۰/۴	۲۰۰۸	۱۲۷/۸۲	۱۹/۶۲	۳۹	۲۵۹۳/۷
۱۹۹۳	۳۸۱/۸۱	۱۸/۹۹	۳۶	۲۴۱۲	۲۰۰۹	۲۶۷/۴	۱۹/۵۳	۴۵	۲۴۰۴/۵
۱۹۹۴	۳۵۷/۶	۱۹/۵	۶۲	۲۷۹۶/۵	۲۰۱۰	۱۰۶/۷	۱۹/۵۲	۴۲	۲۴۴۲/۹
۱۹۹۵	۴۵۷/۷	۱۹/۱۸	۶۱	۲۸۳۳/۲	۲۰۱۱	۲۹۲/۹	۱۹/۱۳	۲۲	۲۰۶۷/۸
۱۹۹۶	۴۴۷	۱۹/۴۹	۵۸	۲۶۲۰/۹	۲۰۱۳	۳۷۳/۱	۱۸/۶	۴۱	۲۰۷۵/۹
۱۹۹۷	۳۲۳/۴۲	۱۹/۳۷	۷۶	۲۸۷۲/۵	۲۰۱۴	۲۴۸	۱۹/۱	۴۲	۲۵۶۵/۳
۱۹۹۸	۳۲۱/۶۳	۲۰/۳	۵۷	۲۸۹۷	۲۰۱۵	۲۴۸/۸	۱۹/۸۱	۳۳	۲۳۵۲/۸
۱۹۹۹	۳۲۰/۵۱	۲۰/۴۴	۳۷	۳۰۰۹/۱	۲۰۱۶	۱۶۱	۱۹/۹۳	۴۱	۲۳۹۵/۲
۲۰۰۰	۳۳۸/۲۱	۲۰/۱۲	۴۳	۲۷۷۹/۲	۲۰۱۷	۳۶۲/۳	۱۹/۵۹	۲۴	۲۱۹۱/۷
۲۰۰۱	۲۲۴/۱	۲۰/۴	۴۴	۲۷۹۲	۲۰۱۸	۱۹۶	۱۹/۸۱	۶۰	۲۴۵۸/۸

برای بررسی الگوریتم‌های داده‌شده ماهواره گریس، بین تغییر به‌دست‌آمده از داده‌های این ماهواره با هر سه الگوریتم JPL، GFZ و CSR، و چاه‌های مشاهداتی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ رگرسیون خطی اعمال شد (شکل ۷). با توجه به نتایج

موجود در جدول (۴) در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷، افزایش قبولی را به عمل آورد. ضریب همبستگی خطی بین مدل‌های سطح آب زیرزمینی در این آبخوان مشاهده شده که می‌توان در ارتباط با افزایش میزان بارش در سال‌های مذکور (جدول ۲)، و نوسانات پارامترهای اقلیمی در گذشته توجیه قابل



شکل (۷): رگرسیون خطی بین الگوریتم‌های ماهواره گریس و چاه‌های مشاهداتی

Figure (7): Linear regression between Grace satellite algorithms and observation wells

جدول (۳): ارزیابی الگوریتم‌های JPL، CSR و GFZ

Table (3): Evaluation of CSR, JPL and GFZ algorithms

معادله	سطح معنی داری	R	الگوریتم
$y = -0.118x + 5.12$	۰/۰۱	۰/۸۶	JPL
$y = -0.099x + 4.13$	۰/۰۱	۰/۸۲	GFZ
$y = -0.1154x + 4.98$	۰/۰۱	۰/۸۴	CSR

جدول (۴): تغییرات آب زیرزمینی (به سانتی‌متر) بر اساس چاه‌های مشاهداتی و الگوریتم‌های ماهواره گریس در آبخوان ارژن

Table (4): Groundwater changes (in centimeters) based on observation wells and Grace satellite algorithms in Arjan aquifer

سال	چاه مشاهداتی	CSR	JPL	GFZ	سال	چاه مشاهداتی	CSR	JPL	GFZ
۲۰۱۱	-۴/۴۲	-۷/۰۷	-۶/۵	-۶/۵۲	۲۰۰۳	-۰/۰۳	۰/۰۵	-۰/۶۹	-۰/۶۹
۲۰۱۲	-۹/۵۳	-۷/۸۵	-۶/۱۲	-۶/۱۲	۲۰۰۴	۱/۴۸	۱/۹۴	۰/۹۱	۰/۹۱
۲۰۱۳	-۴/۰۲	-۷/۴۲	-۶/۴۶	-۶/۴۶	۲۰۰۵	۱/۳۱	۴/۲۵	۳/۲۸	۳/۲۸
۲۰۱۴	-۱۱/۲۱	-۷/۵۹	-۶/۲۴	-۶/۲۴	۲۰۰۶	۶/۰۷	۱/۹۸	۱/۴۴	۱/۴۴
۲۰۱۵	-۵/۲۱	-۸/۱۸	-۶/۷۵	-۶/۷۵	۲۰۰۷	۰/۸۷	۱/۰۳	۱/۵۷	۱/۵۷
۲۰۱۶	-۶/۲۳	-۱۱	-۸/۵۹	-۷/۰۴	۲۰۰۸	-۶/۵۹	-۳/۷۹	-۲/۸۲	-۲/۸۳
۲۰۱۷	-۷/۶۸	-۱۳/۲	-۸/۴۵	-۱۲/۴۵	۲۰۰۹	-۲/۷۱	-۵/۶۱	-۴/۴۹	-۲/۴۹
۲۰۱۸	-۸/۸۱	-۱۴/۳	-۹/۲۳	-۱۳/۲۳	۲۰۱۰	-۷/۲۱	-۴/۹۷	-۴/۶۱	-۴/۶۱

را در مناطق شدیدتر نماید. مسئله خشک شدن دریاچه‌ها به‌عنوان یک مخاطره آب‌وهوایی مسئله‌ای بسیار مهم است و همان‌طور که نتایج این پژوهش نشان داد، اثرات آن بر شرایط

## نتیجه‌گیری

تغییرات آب‌وهوایی حاصل از فعالیت‌های انسانی و خشک شدن دریاچه‌های داخلی قاره‌ها می‌تواند پیامدهای تغییر اقلیم



در آبخوان ارژن حدود ۲۰ سانتی‌متر کاهش داشته است. نتایج پژوهش حاضر با نتایج کار فرجی و همکاران که به ارزیابی داده‌های ماهواره گریس در برآورد تغییرات سطح آب زیرزمینی در استان قزوین پرداختند مطابقت و همخوانی دارند. طبق نتایج حاصل از پژوهش فرجی و همکاران (۱۳۹۶) ماهواره گریس به‌عنوان ماهوارهٔ ثقل‌سنج برآورد خوبی از روند تغییرات ذخیرهٔ آب و همچنین تغییرات سطح آب زیرزمین در اختیار کاربران قرار می‌دهد.

آب‌وهوایی منطقه و حتی مناطق مجاور نیز تأثیرگذار خواهد بود. تالاب ارژن از جمله دریاچه‌های فصلی و آب شیرین ایران است که در سال‌های اخیر همسو با تغییرات آب‌وهوایی و کاهش میزان بارش، مساحت آن رو به کاهش گذاشته به‌صورتی که در سال‌های اخیر کاملاً خشک شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر، پیرو کاهش چشمگیر مساحت تالاب ارژن در بازهٔ زمانی ۱۹۸۶-۲۰۱۸، تالاب کاملاً خشک شده و همچنین سطح آب‌های زیرزمینی

## منابع

1. Alesheikh, A., Ghorbanali, A. and Talebzadeh, A., "Generation the coastline change map for Urmia Lake by TM and ETM+ imagery", In Map Asia Conference, Beijing, China, 2004.
2. Ayenew, T., 2004, Environmental Implications of Changes in the Levels of Lakes in the Ethiopian Rift Since 1970, *Regional Environmental Change* 4 (4): 192-204.
3. Azabdaftari A. and Sunarb, F., "Soil Salinity Mapping Using Multitemporal Landsat Data. ISPRS International Archives of the Photogrammetry", *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39, 2016.
4. Coskun, M. and Musaoglu, N., 2002, Investigation of Rainfall-run off Modeling of the Van Lake Catchments by Using Remote Sensing and GIS Integration, ITU, Civil Engineering Faculty, Istanbul, Turkey. Available at: <http://www.isprs.org/proceedings/xxxv/congress/comm7/papers/52.pdf>.
5. Dasarathy, V.; Nearest neighbor classification techniques; IEEE Computer Society, 1991.
6. Duan, Z. and Bastiaanssen, W.G.M. (2013). Estimating water volume variations in lakes and reservoirs from four operational satellite altimetry databases and satellite imagery data, *Remote Sensing of Environment*, Vol 134, P. 403-416.
7. Elnaggar, A. A. and Noller, J. S., "Application of remote-sensing data and decision-tree analysis to mapping salt-affected soils over large areas", *Remote Sensing*, 2 (1): 151-165, 2009.
8. Faraj, Z. Kaviani, A. and Ashrafzade, A., 2017, "Evaluation of Grace satellite data in estimation of underground water level changes in Qazvin province", *Journal of Ecology*.
9. Förste, C., Bruinsma, S., Flechtner, F., Marty, J.C., Dahle, C., Abrykosov, O., Lemoine, J.M., Neumayer, H., Barthelmes, F., Biancale R., and König, R. (2013) EIGEN-6C2—a new combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 1949 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse. In: *Geophysical Research Abstracts*, V. 15, EGU2013-4077-1, 2013, EGU General Assembly 2013.
10. Guariglia, A., Buonamassa, A., Losurdo, A., Saladino, R., Trivigno, M. L., Zaccagnino, A. and Colangelo, A., 2006. A multisource approach for coastline mapping and identification of shoreline changes, *ANNALS OF GEOPHYSICS*, 49 (1): 295-304.
11. Hashemi Tangestani, M., Beyranavnd, S. and Tayebi, M.H. (2013) Detection of change in Bkhtegan lake at time intervals from 1956 to 2007. *Journal of Mohitshenasi*, 39 (3): 189-199 (in Persian).
12. Illesand T. M. and Kiefer, P.W, Remote sensing and image interpretation, John Wiley & Sons, Inc; USA 1994.
13. Jensen J.R., Introductory digital image processing: A remote sensing perspective;e (Second Edition), Prentice-Hall, Upper Saddle River New Jersey, 316, 1996.
14. Kaichang, D., Ruijin, M., Jue, W. and Ron, L., 2009. Coastal Mapping and Change Detection Using High-Resolution IKONOS Satellite Imagery, Japan-Ohio.
15. Kish, S. A., 2002. A Remote Sensing and GIS Study of Long-Term Water Mass Balance Lake Jacson, College of Engineering Science Technology & Agriculture, Florida, U.S.A, GSA Annual Meeting, Hynes Convention Center, November 5-8.
16. Kurt, S., Karaburun, A. and Demirci, A., 2010. Coastline changes in Istanbul between 1987 and 2007. *Scientific Research and Essays*, 5 (19): 3009-3017.
17. Li, F., Wang, Z., Chao, N. and Song, Q. 2018. Assessing the Influence of the Three Gorges Dam on Hydrological Drought Using GRACE Data. *Water*. 10 (5): 669-686.
18. Macleod, R. S and R. G. Congalton; a quantitative comparison of change detection algorithms for monitoring eelegress from remotely sensed data. *Photogrammetric and Remote Sensing of Environment*, Vol. 8, 1998.
19. Najafi, A., 2003. Investigation of the Snowmelt

- Runoff Orumiyeh-region Using Modeling GIS and RAtechniques, International-Institute for Geo-information Science and Observation Enchede the Netherland.
20. Pakparvar, M., Cornelis W., Pereira, L. S., Gabriels, D., HosseiniMarandi, H., Edraki, M. and Kowsar, S. A. 2014. Remote sensing estimation of actual evapotranspiration and crop coefficients for a multiple land use arid landscape of southern Iran with limited available data. *Journal of Hydroinformatics* 16 (6): 1441-1460.
  21. Rodell, M., Famiglietti, J. S., Devereaux, J. A. et al. 1999. "Ground-based investigation of soil moisture variability within remote sensing footprints during the Southern Great Plains 1997 (SGP97) Hydrology Experiment". *Water Resources Research*, 35: 1839-1851.
  22. Rokni, K., Ahmad, A., Selamat, A. and Hazini, S., "Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery", *Remote Sensing*, 6 (5): 4173-4189, 2014.
  23. Sima, S., Ahmadalipour, A. and Tajrishy, M. 2013. Mapping surface temperature in a hyper-saline lake and investigating the effect of temperature distribution on the lake evaporation, *Remote Sensing of Environment*, Vol 136, P: 374-385.
  24. Sima, S. and Tajrishy, M., 2013. Using satellite data to extract volume-area-elevation relationships for Urmia Lake, Iran, *Journal of Great Lakes Research*, Vol 39, P: 90-99.
  25. Singh, A., 1989, Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data, *International Journal of Remote Sensing* 10 (6): 989-1003.
  26. Singh, A., Seitz, F. and Schwatke, C., 2012. Interannual water storage changes in the Aral Sea from multi-mission satellite altimetry, optical remote sensing, and GRACE satellite gravimetry, *Remote Sensing of Environment*, Vol 123, P: 187-195.
  27. Springer, A., Eicker, A., Bettge, A., Kusche, J., Hense, A. 2017. Evaluation of the Water Cycle in the European COSMO-REA6 Reanalysis Using GRACE. *Water* 9 (4): 289-313.
  28. Tajdarul, H., Syed James, S., Famiglietti, M., Rodell, J., Chen, C. and Wilson, R. 2008. Analysis of terrestrial water storage changes from GRACE and GLDAS. *WATER RESOURCES RESEARCH*. 44: 1-15.
  29. Tapley, B. D., Bettadpur, S., Watkins, M. and Reigber, C. 2004. The gravity recovery and climate experiment: Mission overview and early results. *Geophysical Research Letters*. 31 (9).
  30. Tourian, M.J., Elmi, O., Chen, Q., Evaraju, B., Roohi, Sh. and Sneeuw, N., "A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran," *Remote Sensing of Environment*, No. 156, PP. 349-360, 2015.
  31. Trumpickas, J., Brian, S., Minns, J. and Charles, K., 2009. Forecasting impacts of climate change on Great Lakes surface water temperatures, *Journal of Great Lakes Research*, Vol 35: 454-463.
  32. Tucker, C. "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation". *Remote Sensing of Environment*, Vol. 8. pp. 127-150, 1979.
  33. Upp D. L. B., Background and extensions to depth of penetration (DOP) Mapping in Shallow Coastal Waters. *Proceeding of the Symposium on remote sensing of Coastal zone, Gold Coast, Queensland, September 1988, IV.2.1-IV.2.19, 1988.*
  34. Wahr, J., Molenaar, M. and Bryan F., 1998. Time variability of the Earth's gravity field: Hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE. *JGR Solid Earth*. 103 (12): 30205-30229.

## Assessing the Relationship between Alterations in Groundwater Level and Physical Changes in Water Bodies: A Case Study of Arjan Wetland, Fars Province

Maryam, Khosravian<sup>1</sup>, Abuzar, Nasiri<sup>2</sup>, Rahman, Zandi<sup>3</sup>, Mahdi, Zarei<sup>4\*</sup>

Received: 19/01/2022

Accepted: 17/08/2022

### Extended Abstract

**Introduction:** Considering the rapid changes occurring in natural phenomena of the earth and their considerable influence on human life throughout time, it is crucially important to thoroughly examine such changes so that one can better understand the natural and human processes involved in those changes. Monitoring and assessing

1. PhD in Climatology\_ Climate Change, Firozabad Higher Education Center

2. faculty member of Firozabad Higher Education Center

3. faculty member of Chamran University of Ahvaz

4. faculty member of Hakim Sabzevari University, m.zarei@hsu.ac.ir

DOI: 10.22052/deej.2022.11.35.61

the areas where the aforementioned changes occur are considered as important steps in national development and the management of natural resources. In this regard, remote sensing technology is uniquely applicable in collecting information concerning such phenomena, taking into account various advantages of multispectral satellite imagery, including their availability and interpretability. This study, therefore, sought to investigate the changes made in Arjan wetland using RS and GIS technology. To put it more precisely, the current study examined the changes that occurred in the wetland's banks, the decline of the area covered by the wetland's water, and the changes made in the earth's surface temperature and groundwater level. Throughout the past few decades, remote sensing technology has widely been used by scholars to detect such changes over time. On the other hand, coastal areas, especially inland lakes, have received special attention as ecological environments.

**Materials and Methods:** This study used two types of data: meteorological data including precipitation, temperature (average, maximum, minimum), humidity, evaporation, and transpiration data, and remote sensing data, including the information collected from Landsat and MODIS images to calculate water indices and surface temperature. It should be noted that MODIS satellite images used in this study possessed low spatial resolution and high temporal resolution. Moreover, the NDWI was calculated for the study period (1968-2018) using coding in the google engine system. On the other hand, grace satellite imagery was used to estimate the alterations made in the groundwater level within the study area. Moreover, the data regarding the observed wells within the study area were used to validate the results and zone the aquifer's water level. To determine the optimal position of the earth's surface and remove hydrological effects, the GRACE satellite (GLDAS model) was used.

**Discussion and Results:** Like other lakes, the Fars province's lakes are completely dependent on the status of water resources in the related watershed. Having been dried up since 2013, Arjan seasonal wetland, where the water height reaches one meter during high water periods, is currently in critical condition. In winter and spring, the surplus water is stored in the surrounding plain due to the increase in the plain's surface inflows and the limited irrigation capacity in its eastern part, turning the wetland into a lake.

In this study, first, the area of Arjan wetland was examined in terms of climatic parameters. While Arjan Wetland experienced lots of fluctuations throughout the study period (1986-2018), it could be argued that its main crisis started in 2010 when the area of the lake was reduced to less than half, and finally became zero in 2013. According to the obtained results, the wetland had its largest area in 1989 (14.78 square kilometers) when, based on data recorded at the meteorological station, the precipitation rate was 488 mm, which is regarded as one of the maximum precipitation rates throughout the study period. On the other hand, the time series data collected from the GRACE satellite and validated via Piezometric well's data were used to examine the status of groundwater in the Arjan aquifer during the study period (1986-2018). The time period considered for the investigation of the changes that occurred in the aquifer was from 2003 to 2017. According to the data extracted from the GRACE satellite, the highest amount of groundwater decline occurred in 2018 by 20 cm. Also, the analysis of the general trend of changes shows that the decline rate is more than 8 cm per year.

**Conclusion:** The consequences of climate change may be exacerbated in different regions by human activities-induced changes in the climate and the drying up of inland continental lakes. As a climatic hazard, the drying up of lakes is a critical issue to be taken into account, the consequences of which, as shown in this study, will affect the climatic conditions of the region and even the surrounding areas.

Arjan wetland is an Iranian seasonal lake with fresh water whose area has been declining in recent years due to climate change and reduced precipitation rate, getting totally dried up recently. As found in this study, the wetland has completely been dried up as a result of a significant decline in its area from 1986 to 2018. It was also found that the Arjan aquifer's groundwater level has decreased by roughly 20 cm.

**Keywords:** Arjan Wetland, Level Change, Groundwater, Water Body, Remote Sensing.