

## استخراج وسعت پهنه‌های آب سطحی دریاچه فصلی جازموریان با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور

**مجتبی سلیمانی ساردو\***

استادیار گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، ایران

**زهره ابراهیمی خوسفی**

استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، ایران

**مهدی زارعی**

استادیار مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱

### چکیده

منابع آبی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های حیات سرزمین و توسعه پایدار به شمار می‌روند. در پژوهش حاضر، بررسی تغییرات سری زمانی مساحت پهنه‌های آبی پلاهای جازموریان، به کمک داده‌های بازتابش سطحی ماهواره لندست ۸ از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ مدنظر قرار گرفت و شاخص اصلاح‌شده اختلاف آب نرمال شده (MNDWI) به‌منظور جدا کردن پهنه‌های آبی بر تصاویر موردنظر اعمال و سپس روند تغییرات مساحتی پهنه‌های آبی برآورد شد. کلیه فرایندهای مزبور و آنالیز تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزار Google Earth Engine انجام شد که یک سامانه تحت وب و متن باز جهت انجام آنالیزهای طیفی و رادیومتریک در تصاویر ماهواره‌ای است، همچنین نرم‌افزار ArcGIS 10.5 نیز به‌منظور تهیه نقشه‌های مکانی مورد استفاده قرار گرفت. یافته‌های پژوهش نشان داد که وسعت پهنه آبی دریاچه فصلی جازموریان بر اساس شاخص MNDWI حدود  $1426 \text{ Km}^2$  و بر اساس شاخص استخراج آب خودکار (AWEI)، قریب  $1512 \text{ Km}^2$  و بر اساس شاخص نسبت جذب آب (WRI) حدود  $1610 \text{ Km}^2$  تخمین زده شده است. از سوی دیگر، تحلیل تولیدات آب سطحی تصاویر لندست نشان داد که بیشترین میزان تغییرات مربوط به پهنه‌های آبی فصلی موقت و فصلی جدید بوده است، به طوری که تغییرات پهنه‌های فصلی موقت مساحتی قریب  $1145 \text{ Km}^2$  و پهنه‌های فصلی جدید سطحی حدود  $355 \text{ km}^2$  را به خود اختصاص داده است. آنگیری پلاهای جازموریان به وقوع سیلاب‌های فصلی و افزایش بارندگی‌ها در حوضه ارتباط دارد، به طوری که همبستگی بالایی ( $R^2=0/89$ ) میان بارندگی سالانه حوضه و افزایش وسعت پهنه‌های آبی حاصل از شاخص MNDWI مشاهده شده است.

**واژگان کلیدی:** پلاهای جازموریان، پهنه‌های آبی، گوگل ارث انجین، MNDWI.

## مقدمه

منابع آبی از مهم‌ترین مؤلفه‌های حیات سرزمین و توسعه پایدار به شمار می‌روند. به طوری که خشکیدگی این منابع مشکلاتی مانند فقر، مهاجرت، گردوغبار و کاهش امنیت غذایی را در پی دارد. با توجه به اهمیت موضوع، حفظ و شناسایی منابع آبی از مهم‌ترین مسائل جهانی قلمداد می‌شود. از سوی دیگر، توسعه استفاده از ماهواره‌ها، دسترسی سریع به اطلاعات زمینی را امکان‌پذیر کرده است که امکان آشکارسازی تغییرات را مهیا نموده است (بکر و همکاران ۲۰۲۰؛ خسرویان و همکاران ۱۳۹۶؛ زارعی و امامی ۱۳۹۶). در این خصوص، روش‌های آستانه<sup>۱</sup>، روش رابطه بین طیفی<sup>۲</sup>، حالت نمایی<sup>۳</sup> و درخت تصمیم<sup>۴</sup> به تدریج توسعه یافته‌اند و استفاده از روش‌های تک باندی و چند باندی مبتنی بر بازتابش سطح زمین به منظور استخراج اطلاعات آبی حائز اهمیت قرار گرفتند (هیوو و همکاران ۲۰۱۱). بدیهی است که شناسایی به موقع و دقیق تغییرات ایجاد شده منجر به تصمیم‌گیری بهتر در مدیریت آن‌ها خواهد شد (زارعی و امامی ۱۳۹۶).

تاکنون پژوهش‌های متعددی در زمینه کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در پایش تغییرات پهنه‌های آبی انجام شده است که از آن جمله: ماسوچا و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود با استفاده از تصاویر ماهواره لندست در زیمباوه، موفقیت شاخص MNDWI را در استخراج سطوح آبی سطح زمین نشان دادند. باکر و الکاوی (۲۰۲۰) در پژوهش‌های خود در اکوسیستم‌های خشک، به کمک شاخص MNDWI، بیان داشتند که وسعت آب‌های سطحی در دریاچه مصنوعی نوبریای غربی<sup>۵</sup> از ۵۹۳ تا ۸۸۳ هکتار طی سال‌های ۲۰۱۳ لغایت ۲۰۱۷ تغییر نموده است.

خسرویان و همکاران (۱۳۹۶) کارایی بالای شاخص اختلاف آب نرمال شده (NDWI<sup>۶</sup>) را در پایش تغییرات سطح آب دریاچه پریشان با استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره لندست در دوره ۲۰۰۴-۱۹۸۹ گزارش کردند. در پژوهشی دیگر، عبادی و گلزار (۱۳۹۵) تغییرات مساحت پهنه آبی و پوشش گیاهی دریاچه پریشان را از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ مورد بررسی قرار دادند و بیان داشتند که مساحت آبی دریاچه کاهش تدریجی را داشته است و اشغال بستر توسط گیاهان افزایش داشته است.

زارعی و امامی (۱۳۹۶) در بررسی تغییرات زمانی مکانی دوره تثبیت سطح آب دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ و به کمک تصاویر ماهواره لندست و ضمن استفاده از چهار شاخص نسبت آب (WRI)، شاخص اتوماتیک استخراج آب (AWEI)، شاخص اختلاف آب نرمال شده (NDWI) و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) اظهار داشتند که عملکرد شاخص اختلاف آب نرمال شده دارای کمترین خطا نسبت به سه شاخص دیگر بوده است و بیان نمودند که کاهش محسوس (۷۸ درصد) سطح آب دریاچه ارومیه در بازه ۲۰۱۴-۲۰۰۲ نسبت به سال ۲۰۰۲ رخ داده است و از ۲۰۱۴-۲۰۱۶ با افزایش ۳۳/۵۷ درصدی، به دوره تثبیت نسبی رسیده است. در همین خصوص، ژو (۲۰۰۶) در مطالعات

<sup>۱</sup> -Threshold method

<sup>۲</sup> -Inter-spectral relationship method

<sup>۳</sup> -Exponential mode

<sup>۴</sup> -Decision tree

<sup>۵</sup> - West Nubaria

<sup>۶</sup> - Normalized Difference Water Index

دورسنجی خود، شاخص اصلاح شده اختلاف آب نرمال شده (MNDWI) را بیان نمود که خطای زمینی را در استخراج نواحی آبی کاهش داده است. همچنین فیشر و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش‌های خود با استفاده از اطلاعات پنج باند طیفی ماهواره لندست به ارائه شاخص WI پرداختند که قابلیت جداسازی آب‌های سطحی از سایر عوارض زمینی را دارد.

جواک و لوئیس (۲۰۱۵) در پژوهش‌های خود بر روی استخراج سریع ویژگی‌های منابع آب در واحه‌های ساحلی قطب جنوب به کمک داده‌های با وضوح بالای ماهواره‌ای پرداختند و بیان داشتند که استفاده از شاخص NDWI اصلاح شده به کمک داده‌های باند ۸ ماهواره World View-2 به‌طور قابل توجهی در بهبود استخراج ویژگی‌های منابع آب این نواحی و درک بهتر تغییرات اقلیمی راهگشا است. گوتم و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی تغییرات پهنه‌های آبی بنگلور هند در دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ با استفاده از شاخص‌های WRI، NDWI، MNDWI، طبقه‌بندی نظارت شده و تبدیل K-T، اظهار داشتند که منابع آب سطحی در طول ۱۲ سال، کاهش چشمگیری را نشان داده است. همچنین از لحاظ بهره‌وری الگوریتم تشخیص آب، عملکرد روش طبقه‌بندی نظارت شده و شاخص WRI با شاخص MNDWI از تطابق بالاتری برخوردار بوده است. در پژوهشی دیگر، شریفی‌کیا (۱۳۸۹) در بررسی تغییرات تراز آبی دریاچه هامون با استفاده از تصاویر لندست، با مقایسه عرصه‌های آبیگیری شده در دو مقطع زمانی ۱۳۵۵ و ۱۳۸۴، کاهش مساحت دریاچه به ۳۵۷ کیلومتر مربع را گزارش نمودند. در پژوهشی دیگر، اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از تصاویر لندست به بررسی شاخص‌های استخراج آب در رودخانه گاماسیاب کرمانشاه پرداختند و اظهار داشتند که شاخص AWEI با صحت کلی ۹۹/۰۹ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۸ بهترین عملکرد را نشان داده است. ستوده پور و همکاران (۱۳۹۸) در مقایسه شاخص‌های استخراج آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل A2 در سواحل بوشهر نشان دادند که برای تصاویر لندست، شاخص اصلاح شده اختلاف آب نرمال شده (MNDWI) و شاخص دریاچه، تالاب نرمال شده (NDPI) بهترین عملکرد را داشته‌اند. همچنین برای تصاویر سنتینل A2 نیز شاخص اصلاح شده اختلاف آب نرمال شده (MNDWI) و شاخص اختلاف آب نرمال شده (NDWI) دارای بهترین نتیجه بوده‌اند.

الاسمار و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی تغییرات آب سطحی دریاچه بورولوس<sup>۱</sup> مصر با استفاده از شاخص‌های NDWI و MNDWI نشان دادند که ۴۲/۸ درصد از آب دریاچه به سبب فعالیت‌های انسانی طی سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۱ از بین رفته است که عموماً ناشی از تجاوز به حریم جنوبی رودخانه با اهداف کشاورزی و تخلیه پسماندهای کشاورزی بوده است. در همین ارتباط، حسین و نجم (۲۰۱۶) با استفاده از روش طبقه‌بندی به استخراج سطح آب دریاچه بورولوس<sup>۲</sup> از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۵ پرداختند و کاهش ۴۴/۹۷ درصدی را گزارش نمودند، در حالی که پوشش گیاهی افزایش متفاوتی را نشان داده بود که به دلیل تخلیه زباله‌های کشاورزی و پسماندهای شهری در دریاچه، بدون تصفیه مناسب، بوده است.

<sup>۱</sup> - Burullus

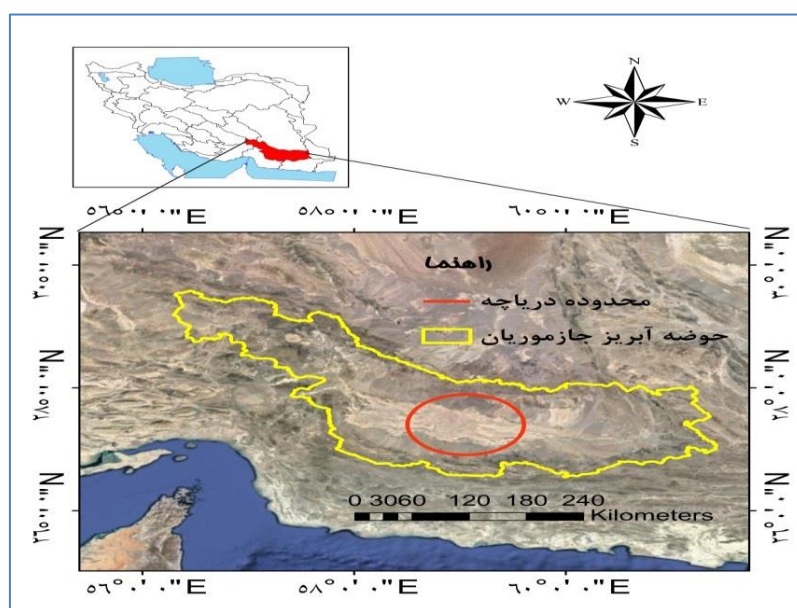
<sup>۲</sup> - Burullus

جمع‌بندی سوابق پژوهش، نشان‌دهنده اهمیت پایش منابع آب سطحی و لزوم توجه به استفاده از فناوری سنجش از دور به منظور درک بهتر تغییرات پهنه‌های آبی است. بدین منظور، ارائه و استفاده از شاخص‌هایی به منظور جدا کردن پهنه‌های آبی از تصاویر ماهواره‌ای، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران حوزه منابع آب قرار گرفته است که از دقت و اعتبار کافی برخوردارند. از این رو، در پژوهش حاضر به بررسی تغییرات سری‌های زمانی پهنه آبی پلایای جازموریان در جنوب استان کرمان، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست پرداخته شده است تا از این طریق نسبت به برآورد سطح وسعت تغییرات منابع آب سطحی نائل شویم. شایان ذکر است که با توجه به عدم انجام پژوهش‌های کافی در خصوص تغییرات پهنه‌های آبی در دریاچه جازموریان، این پژوهش در نوع خود برای اولین بار انجام شده است.

## داده‌ها و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

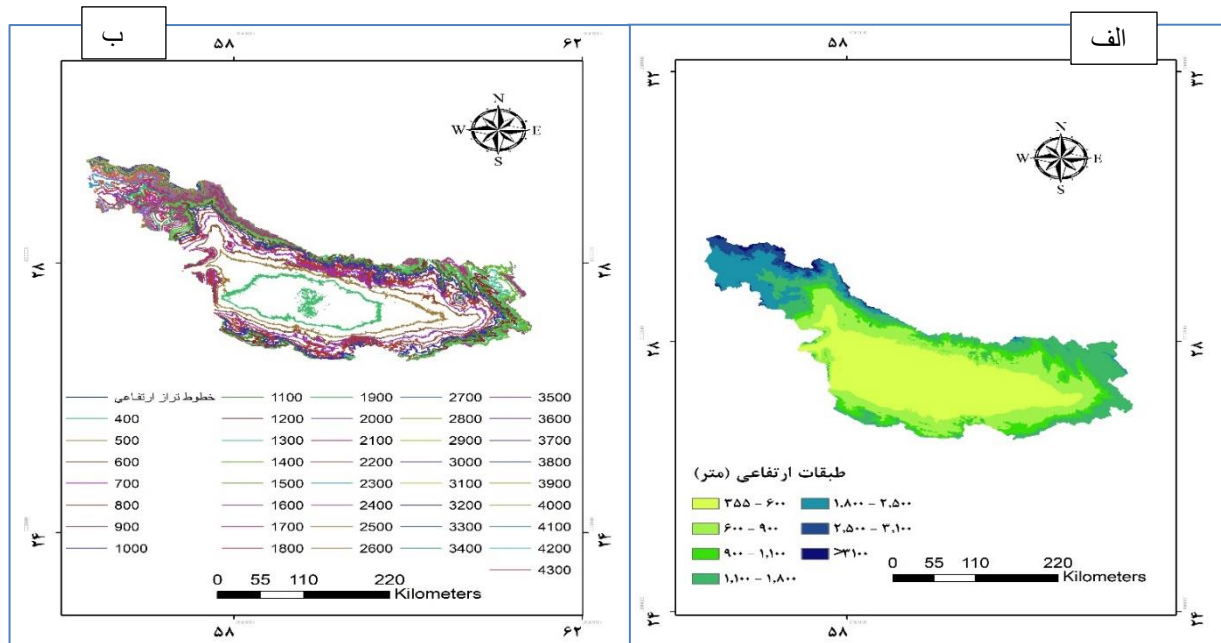
در پژوهش حاضر، منطقه مورد مطالعه پلایا یا به عبارتی دریاچه جازموریان است که به عنوان حوضه انتهایی رودهای هلیل رود و بم‌پور و در مرکز حوضه آبریز جازموریان در جنوب شرقی ایران واقع شده است. پلایای جازموریان در اقلیم خشک واقع شده و در برخی از سال‌ها به سبب وقوع بارندگی‌های سیلابی در فصل‌های زمستان و بهار آبیگری می‌شود. وجود سطوح رسی همراه با تظاهرات شوری و رخساره‌های متعدد کویری و توپوگرافی مسطح از مهم‌ترین ویژگی‌های این پلایا به شمار می‌روند (سلیمانی ساردو ۱۳۹۵) (شکل ۱). نقشه‌های هیپسومتری، توپوگرافی، هیدروگرافی و هم باران در منطقه مورد مطالعه در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است.



مأخذ: نگارندگان

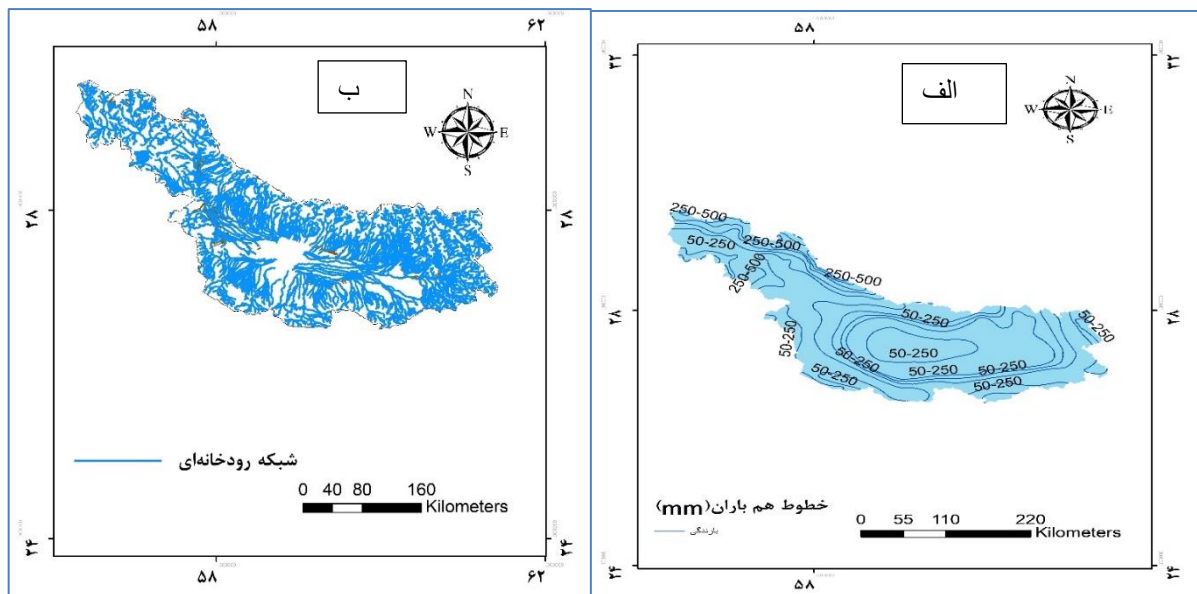
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: الف) نقشه طبقات ارتفاعی حوضه آبریز جازموریان؛ ب) نقشه توپوگرافی حوضه آبریز جازموریان



مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: الف) نقشه خطوط هم باران در منطقه مطالعاتی، ب) نقشه هیدروگرافی حوضه آبخیز جازموریان

### روش پژوهش

در این پژوهش، ابتدا تغییرات سری زمانی مساحت تالاب جازموریان، به کمک داده‌های بازتاب سطحی ماهواره لندست ۸ از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ مورد بررسی قرار گرفت. این داده‌ها از وضوح مکانی ۳۰ متر و دوره زمانی ۱۶ روزه برخوردار بوده

و فرایند تصحیح اتمسفری به‌طور اتوماتیک بر آن‌ها اعمال شده است (USGS). در این خصوص ۱۳۳ تصویر در دوره زمانی مورد مطالعه، موجود بود که پس از اعمال فیلتر حذف ابر، ۱۱۷ تصویر با پوشش ابری کمتر از ۱۵ درصد انتخاب شدند. سپس، شاخص MNDWI به‌منظور جدا کردن پهنه‌های آبی بر تصاویر موردنظر اعمال شد و نواحی پوشیده از آب با ابزار ماسک کردن جدا گردید و در نهایت روند تغییرات مساحتی پهنه‌های آبی تخمین زده شد.

شاخص اختلاف آب نرمال شده اصلاح شده (MNDWI) از شاخص‌های مناسب جهت نقشه‌برداری منابع آب است (جی و همکاران ۲۰۱۵). از آنجا که آب در محدوده مرئی تا مادون قرمز قابلیت جذب بالا و تابش پایین طیف الکترومغناطیس را از خود نشان می‌دهد، لذا با در نظر گرفتن باندهای سبز و مادون قرمز، اطلاعات مؤثری از منابع آب را می‌توان برآورد نمود. این شاخص، اصلاح شده شاخص NDWI (مک فیتز ۱۹۹۶) است که به‌منظور بررسی منابع آب، از کاربرد فراوانی در بین محققین دورسنجی برخوردار بوده که طبق رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR1}{Green + SWIR1} \quad (1)$$

که در آن، Green: باند سبز و SWIR1: باند مادون قرمز موج کوتاه است. باندهای مزبور در لندست ۸ به ترتیب معادل باندهای ۳ و ۶ در نظر گرفته شده‌اند. مقادیر مثبت این شاخص بیانگر نواحی پوشیده از آب است.

شاخص خودکار استخراج آب AWEI<sup>۲</sup> نیز به‌عنوان یکی دیگر از شاخص‌های مورد استفاده در استخراج سطوح آبی قابلیت بالایی را نشان داده است (فیسو و همکاران ۲۰۱۴) که در این پژوهش مدنظر قرار گرفت. این شاخص با رابطه ۲ معرفی شده است:

$$AWEI_{sh} = 4 \times (B3 - SWIR1) - (0.25 \times NIR + 2.75 \times SWIR2) \quad (2)$$

که در آن B3 باند سبز بوده، NIR: مادون قرمز نزدیک و SWIR بیانگر مادون قرمز موج کوتاه می‌باشد.

همچنین، شاخص نسبت آب (WRI<sup>۳</sup>) نیز به‌عنوان یکی دیگر از مهم‌ترین شاخص‌های به‌کار رفته جهت بارز سازی نواحی مرطوب به شمار می‌رود که مطابق با رابطه (۳) تعریف شده است که در آن مقادیر بالاتر از ۱ عموماً نشان‌دهنده نواحی پوشیده از آب می‌باشند (شن و همکاران ۲۰۱۰).

$$WRI = (Green + red) / (NIR + MIR) \quad (3)$$

با توجه به اینکه محدوده جغرافیایی پلائیای جازموریان در سطر ۴۱ و گذر ۱۵۸ واقع شده است، لذا کلیه عملیات‌ها بر این مشخصه تصویر اعمال گردید (جدول ۱) و شاخص‌های مزبور بر تصویر انتخابی سال ۲۰۱۷ که بیشترین میزان تغییرات پهنه آبی در آن مشهود بوده است، اعمال شدند.

همچنین به‌منظور بررسی ارتباط همبستگی بین وسعت پهنه‌های آبی با میزان بارندگی در حوضه از تولیدات بارندگی ماهانه ماهواره TRMM-3B43V7، استفاده شد (هوفمن و همکاران ۲۰۰۷). TRMM اولین ماهواره هواشناسی به‌منظور اندازه‌گیری کمی بارندگی‌های نواحی حاره و نیمه حاره‌ای قلمداد شده است (چن و همکاران ۲۰۱۱) که در این پژوهش

1 - 'Source: EC JRC/Google'

2 - Automated Water Extraction Index

3 - Water Ratio Index

مورد استفاده قرار گرفت. این نوع داده‌ها به‌عنوان جایگزین مناسبی در مناطق فاقد داده و به‌ویژه مناطقی که با محدودیت شبکه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی مواجه هستند، پیشنهاد می‌شوند.

جدول ۱: مشخصات باندی تصویر لندست مورد استفاده در پژوهش حاضر (ردیف ۴۱، گذر ۱۵۸)

سنسور/ماهواره	باند	طول موج (μm)	دقت مکانی	نام باند
Landsat 8 /OLI	۱	۰/۴۳-۰/۴۵	۳۰	آب
	۲	۰/۴۵-۰/۵۱	۳۰	سبز
	۳	۰/۵۳-۰/۵۹	۳۰	قرمز
	۴	۰/۶۴-۰/۶۷	۳۰	مادون قرمز نزدیک (NIR)
	۵	۰/۸۵-۰/۸۸	۳۰	مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR1)
	۶	۱/۵۷-۱/۶۵	۳۰	مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR2)
	۷	۲/۱۱-۲/۲۹	۳۰	پانکروماتیک
	۸	۰/۵-۰/۶۸	۱۵	سیروس
	۹	۱/۳۶-۱/۳۸	۳۰	مادون قرمز گرمایی (TIR-1)
	۱۰	۱۰/۶-۱۱/۱۹	۱۰۰	مادون قرمز گرمایی (TIR-2)
	۱۱	۱۱/۵۰-۱۲/۵۱	۱۰۰	

مآخذ: نگارندگان

از سوی دیگر، تولیدات آب سطحی ۲ تصاویر ماهواره لندست با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر و از ۱۶ مارچ ۱۹۸۴ لغایت ۱۰ اکتبر ۲۰۱۵ نیز در نظر گرفته شد<sup>۱</sup> و پایش تغییرات طی دو دوره زمانی (۱۹۸۴-۲۰۱۵) مورد آنالیز قرار گرفت، به این منظور، باند Transition مورد تجزیه و تحلیل واقع شد و اطلاعات تغییرات پهنه‌های آبی، پس از تعیین محدوده مطالعاتی و با استفاده از برنامه‌نویسی در گوگل ارث انجین<sup>۲</sup> به دست آمد (پکلم و همکاران ۲۰۱۶).

به‌منظور ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی شده، از نقاط کنترل زمینی حاصل از بازدید صحرایی، نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر گوگل ارث، استفاده شد که به‌عنوان داده‌های مرجع برای هر کاربری که به‌طور تصادفی برداشت گردیده بود، به‌منظور ارزیابی صحت و برآورد ماتریس خطا به کمک نرم‌افزار Envi 5.3 در نظر گرفته شد و صحت کلی<sup>۳</sup> و ضریب کاپا<sup>۴</sup> محاسبه شدند.

ماتریس خطای طبقه‌بندی بر اساس رابطه بین داده‌های زمینی و نتایج حاصل از طبقه‌بندی ایجاد می‌شود و متشکل از ردیف‌ها و ستون‌هایی برابر با تعداد طبقاتی است که ارزیابی صحت برای آن‌ها انجام می‌گیرد. شاخص کاپا از رابطه<sup>۴</sup> (۴) محاسبه می‌شود (یوسفی و همکاران ۱۳۹۳):

$$Kappa = \frac{P_{OO} - P_c}{1 - P_c} \times 100 \quad (4)$$

که در رابطه فوق؛ Kappa: ضریب کاپا، P<sub>OO</sub> درستی مشاهده‌شده و P<sub>c</sub> توافق مورد انتظار است.

<sup>1</sup> - EC JRC / Google

<sup>2</sup> -Google Earth Engine

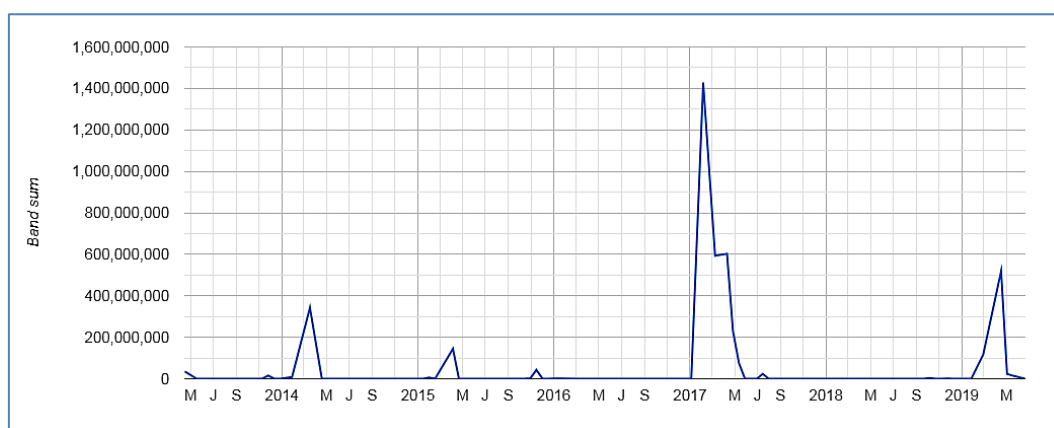
<sup>3</sup> Overall accuracy

<sup>4</sup> Kappa coefficient

در پژوهش حاضر، کلیه فرایندهای مزبور و آنالیز تصاویر ماهواره‌ای در محیط سامانه گوگل ارث انجین و همچنین نرم‌افزار ArcGIS ۱۰٫۵ انجام شد. گوگل ارث انجین، یک ابزار قدرتمند برای استخراج اطلاعات کاربردی طیفی، رادیومتریکی و مکانی از تصاویر ماهواره‌ای است که با استفاده از یک سامانه تحت وب عمل نموده و امکان پردازش‌های طیفی را بر روی پدیده‌های مختلف سطح زمین مهیا نموده است. این سامانه به‌عنوان یک سامانه متن‌باز از تصاویر ماهواره‌ای لندست، سنتینل، استر، مادیس و غیره پشتیبانی می‌نماید (احراری ۱۳۹۸).

## بحث و یافته‌ها

مطالعات متعددی مؤید استخراج مناطق آبی از روی تصاویر ماهواره‌ای است (زارعی و امامی ۱۳۹۶؛ تنگ و همکاران ۲۰۱۲) که بر اساس تجزیه و تحلیل‌های طیفی صورت می‌گیرند. روند تغییرات مساحت آبی پلایای جازموریان با استفاده از شاخص MNDWI، در شکل (۴) نشان داده شده است. نتایج تغییرات سری زمانی وسعت پهنه‌های آبی در دوره زمانی موردنظر با استفاده از تصاویر سنجنده لندست، در تاریخ ۵ فوریه سال ۲۰۱۷، بیشترین وسعت پوشیده از آب به مساحت ۱۴۲۶ کیلومترمربع را نشان داده است. صفر شدن میزان شاخص MNDWI در بیشتر سال‌ها به دلیل خشکیدگی پلایای جازموریان بوده است که فاقد آب بوده و لذا تنها زمانی شاخص مزبور کمیتی عددی و مثبت را نشان می‌دهد که بیانگر وجود آب در منطقه و وجود یک پهنه آبی است.



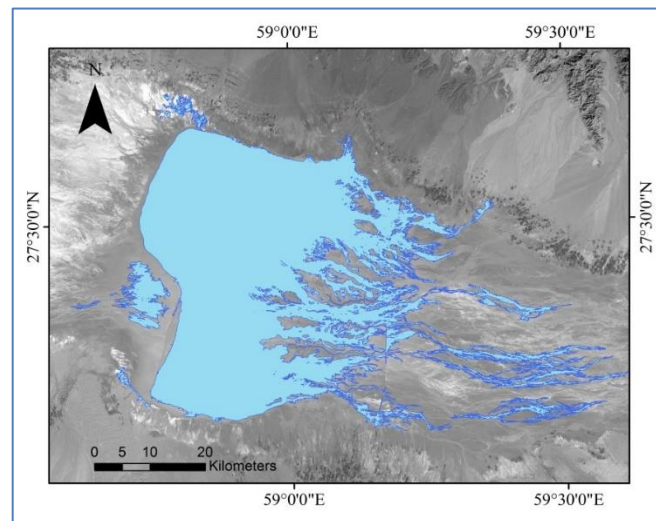
مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: تغییرات سری زمانی پهنه‌های آبی پلایای جازموریان با استفاده از شاخص MNDWI

بررسی سری زمانی تغییرات پهنه‌های آبی با استفاده از شاخص MNDWI در دریاچه جازموریان طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین، نشان داد که سطح این دریاچه عموماً در فصل زمستان و ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس پوشیده از آب بوده و در سایر ماه‌ها رو به خشکی می‌رود. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در دوره



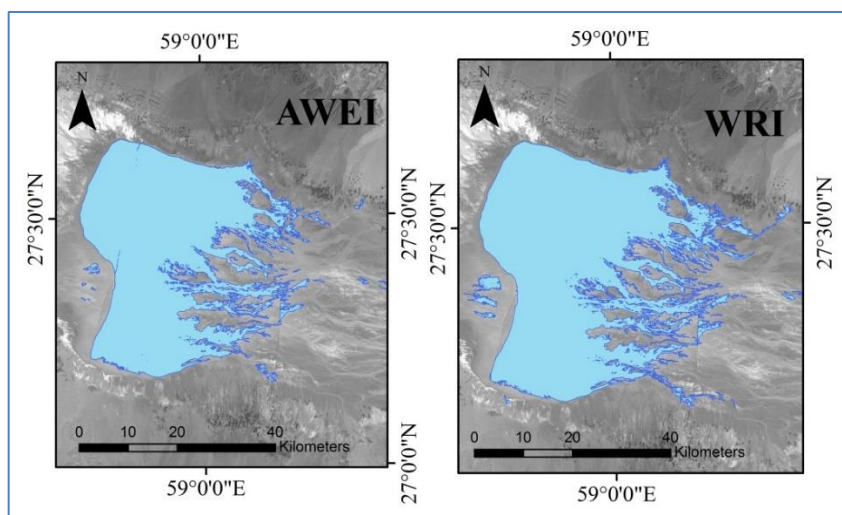
زمانی مورد بررسی در فوریه ۲۰۱۷ بیشترین مساحت دریاچه پوشیده از آب بوده است، از این رو، شاخص MNDWI بر تصویر ماهواره‌ای مربوط به تاریخ مزبور به‌طور مجزا در محیط ArcMap اعمال شد (شکل ۵).



مآخذ: نگارندگان

**شکل ۵:** استخراج پهنه‌های آبی با استفاده از شاخص MNDWI در دریاچه جازموریان

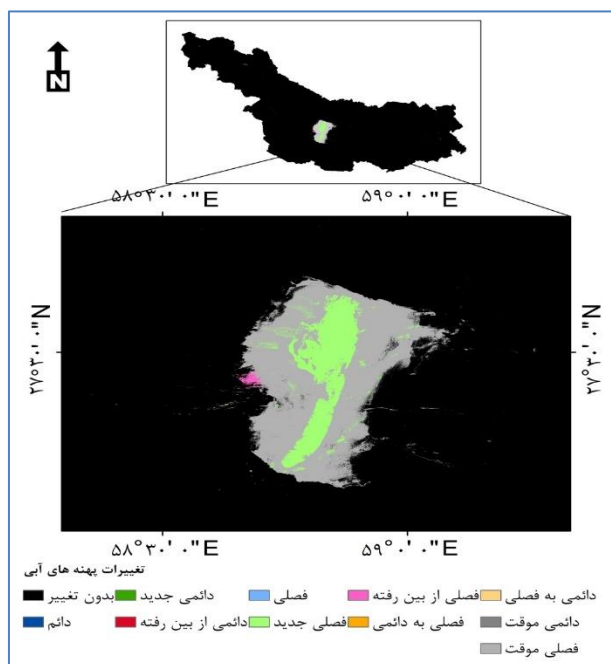
در این پژوهش از شاخص‌های غیر نرمال AWEI و WRI به‌منظور استخراج پهنه‌های آبی استفاده شده است. یافته‌های پژوهش بیانگر این است که بر اساس شاخص AWEI مساحت پهنه آبی دریاچه در تاریخ مزبور قریب ۱۵۱۲ کیلومترمربع برآورد شده است، همچنین وسعت پهنه آبی بر اساس شاخص نسبت جذب آب WRI حدود ۱۶۱۰ کیلومترمربع تخمین زده شده است. نتایج استخراج مساحت پهنه آبی در دریاچه فصلی جازموریان با استفاده از شاخص AWEI و WRI در شکل (۶) نشان داده شده است.



مآخذ: نگارندگان

**شکل ۶:** استخراج پهنه آبی با استفاده از شاخص‌های AWEI و WRI در دریاچه جازموریان

نتایج بررسی تغییرات پهنه‌های آبی حاصل از تولیدات آب سطحی ماهواره لندست<sup>۱</sup> در حوضه جازموربان نشان داد که بیشترین میزان تغییرات سطوح آبی در مرکز حوضه متمرکز شده است. همان‌طور که در شکل (۷) نشان داده شده است، بیشترین میزان تغییرات مربوط به پهنه‌های آبی "فصلی موقت" (خاکستری روشن) و "فصلی جدید" (پسته‌ای) است، به طوری که تغییرات پهنه‌های فصلی موقت مساحتی قریب  $1145 \text{ km}^2$  و پهنه‌های فصلی جدید سطحی حدود  $355 \text{ km}^2$  را به خود اختصاص داده است و پس از آن پهنه‌های "فصلی از بین رفته" که مساحتی معادل ۱۲ کیلومتر مربع را در بر گرفته است (جدول ۲).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: تغییرات پهنه‌های آبی پلاهای جازموربان طی دوره زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۵

جدول ۲: مساحت کلاس‌های آبی باند Transition در پلاهای جازموربان

کد	کلاس رنگ	نوع پهنه آبی	مساحت پهنه آبی (Km <sup>۲</sup> )
۰	سیاه	بدون تغییر	۷۷۱۸۹
۱	آبی	دائمی	-/۰۷۸۳
۲	سبز	دائمی جدید	۷/۵۱۰۵
۳	قرمز	دائمی از بین رفته	-/۰۱۳۵
۴	آبی روشن	فصلی	۱/۳۶۷۱
۵	پسته‌ای	فصلی جدید	۳۵۵/۸۲۵۸
۶	صورتی	فصلی از بین رفته	۱۲/۶۰۶۳
۷	نارنجی	پهنه‌های فصلی تبدیل شده به دائمی	-/۱۵۹۳
۸	نارنجی روشن	پهنه‌های دائمی تبدیل شده به فصلی	-/۰۱۶۲
۹	خاکستری	دائمی موقت	-/۳۰۳۳
۱۰	خاکستری روشن	فصلی موقت	۱۱۴۵/۰۸۸۹

مأخذ: نگارندگان

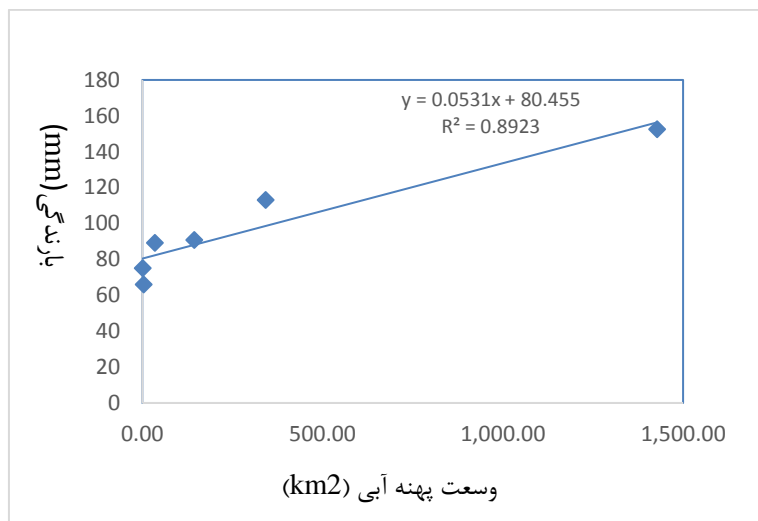
<sup>۱</sup> -JRC Global Surface Water Mapping Layers V1/ Google

آبگیری پلایای جازموریان به وقوع سیلاب‌های فصلی و افزایش بارندگی‌ها در حوضه ارتباط داشته و به این سبب، وسعت پهنه‌های آبی نیز متعاقباً تغییر می‌نماید. در این خصوص، همبستگی بین وسعت پهنه‌های آبی در حوضه جازموریان و میانگین بارندگی سالانه به کمک داده‌های ماهواره‌ای TRMM-3B43V7 از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ نشان داده شده است (شکل ۸ و جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد که همبستگی بالایی ( $R^2=0/89$ ) بین میزان بارش‌ها در حوضه و افزایش وسعت پهنه‌های آبی حاصل از شاخص MNDWI وجود دارد، به طوری که با افزایش میزان بارندگی در حوضه، وسعت پهنه‌های آبی نیز بیشتر می‌گردد.

جدول ۳: بارندگی سالیانه در حوضه آبریز جازموریان با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM

سال	TRMM
۱۹۹۸	۱۷۰
۱۹۹۹	۱۳۵
۲۰۰۰	۱۰۴
۲۰۰۱	۴۸
۲۰۰۲	۹۵
۲۰۰۳	۱۰۱
۲۰۰۴	۱۰۶
۲۰۰۵	۱۵۶
۲۰۰۶	۱۱۹
۲۰۰۷	۱۷۸
۲۰۰۸	۱۶۱
۲۰۰۹	۱۹۳
۲۰۱۰	۱۳۷
۲۰۱۱	۱۸۳
۲۰۱۲	۱۰۷
۲۰۱۳	۱۷۸
۲۰۱۴	۱۶۱
۲۰۱۵	۱۷۰
۲۰۱۶	۹۳
۲۰۱۷	۱۹۶
۲۰۱۸	۱۱۵
۲۰۱۹	۳۴۹
میانگین	۱۴۷

مأخذ: نگارندگان



مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: همبستگی میان میانگین بارندگی سالانه و وسعت پهنه‌های آبی با استفاده از شاخص MNDWI

بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش میزان بارندگی، سطح پهنه‌های آبیگیری شده نیز بیشتر می‌شود، به طوری که نواحی شمالی‌تر دریاچه، وسعت آبی بیشتری را نسبت به مناطق جنوبی آن در بر گرفته است (شکل ۴)، هرچند که با شروع تابستان و افزایش دما و تبخیر، خشک شدن مجدد آن آغاز می‌شود. ملکی و همکاران (۱۳۹۷) در تحلیل الگوی تغییرات پهنه آبی تالاب هامون نیز وضعیت مشابهی را گزارش نمودند، به طوری که ایشان گرم شدن هوا در خرداد ماه و افزایش تبخیر را دلیل تسریع خشکیدگی تالاب هامون بیان نمودند.

مک فیتز (۱۹۹۶) بیان داشت که مقادیر صفر و منفی شاخص NDWI معمولاً نشان‌دهنده پوشش گیاهی و خاک بوده و مقادیر مثبت آن معرف نواحی آبی است، از این‌رو، در منطقه مورد مطالعه، شاخص MNDWI، در برخی سال‌ها مقادیر صفر و نزدیک به صفر را نشان داده است، این امر، ناشی از خشکیدگی دریاچه در این زمان‌ها بوده که عموماً به دلیل کم‌آبی و خشکی منطقه می‌باشد.

به منظور صحت‌سنجی نتایج حاصل از برآورد پهنه‌های آبی به کمک شاخص‌های MNDWI، AWEI و WRI، با استفاده از نقاط کنترل زمینی، عملیات ارزیابی صحت با محاسبه ماتریس خطا انجام و صحت کلی<sup>۱</sup> و ضریب کاپا<sup>۲</sup> محاسبه شد. صحت قابل قبول هر یک از شاخص‌ها، نشان از دقت طبقه‌بندی نظارت شده دارد که در جدول (۴) گزارش شده است:

<sup>1</sup> Overall accuracy

<sup>2</sup> Kappa coefficient

جدول ۴: صحت کلی و ضریب کاپای نقشه‌های طبقه‌بندی شده

شاخص پهنه‌های آبی	صحت کلی (%)	ضریب کلی کاپا
MNDWI	۸۶/۲۲	۰/۸۱
WRI	۸۱/۵۵	۰/۷۵
AWEI	۸۴/۹۲	۰/۸۰

مأخذ: نگارندگان

نتایج حاصل از ارزیابی صحت نشان می‌دهد که برای تمامی شاخص‌ها، صحت کلی و کاپا بالاتر از ۰/۷۵ است که بیانگر این است که به‌طور کلی بین طبقه‌بندی و کاربری موجود در زمین، انطباق خوبی وجود دارد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که نزدیک‌ترین برآورد در ارتباط با شاخص MNDWI بوده است.

اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهش‌های خود عملکرد بهتر شاخص MNDWI را نسبت به شاخص NDWI را به عامل باندی استفاده شده نسبت داده و نزدیکی صحت کلی MNDWI به AWEI را دلیلی بر قوی بودن این شاخص بیان نمودند. همچنین بنا بر نتایج پژوهش‌های ژو (۲۰۰۶)، شاخص MNDWI در استخراج آب و کاهش و از بین بردن خطاهای حاصل از پدیده‌های غیرآبی نسبت به شاخص NDWI عملکرد بهتری داشته که این امر به‌گزینی باند مادون قرمز میانی به‌جای باند مادون قرمز نزدیک، نسبت داده شده است. لی و همکاران (۲۰۱۳) نیز در پژوهش‌های خود عملکرد مناسب شاخص MNDWI را در استخراج آب و کاهش اثرات پوشش گیاهی، خاک و عوارض انسانی گزارش نمودند که در پژوهش حاضر نیز عملکرد مناسب آن مشاهده شده است و با نتایج ستوده‌پور و همکاران (۱۳۹۸)، ژو (۲۰۰۶) و اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹) همخوانی دارد.

### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با توجه به موقتی بودن حضور آب در پلاپای جازموریان و خشکی آن در بسیاری از ماه‌های سال، امکان برآورد مساحت ثابتی از پهنه آبی، برای آن مقدر نبوده و مطابق شکل (۴) تنها می‌توان ادعان داشت که بیشترین میزان تغییرات مربوط به آب‌های فصلی موقت و فصلی جدید می‌باشد که سطحی حدود ۱۱۴۵ و ۳۵۵ کیلومترمربع را دربر گرفته است. در خشکیدگی دریاچه جازموریان، مجموعه عوامل طبیعی و انسانی دخیل می‌باشند که عامل بارندگی‌ها، افزایش دما و تبخیر و تعرق از مهم‌ترین عوامل طبیعی به‌شمار می‌روند و در بخش انسانی، افزایش بی‌رویه مصرف از منابع آبی حوضه و به‌ویژه آب زیرزمینی در منطقه است که به‌عنوان مهم‌ترین عامل در خشکیدگی آبخوان منطقه و افت تراز آبخوان ایفای نقش نموده است. عبادی و گلزار (۲۰۱۶) در بررسی‌های خود بر نقش عوامل فوق در خشکیدگی تالاب پریشان نیز تأکید نمودند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

یافته‌های پژوهش نشان داد که همبستگی بالایی بین وسعت پهنه‌های آبی و میزان بارندگی‌های حوضه وجود دارد به‌طوری که افزایش چشمگیر آب سطحی پلاپای جازموریان در سال ۲۰۱۷ ناشی از افزایش نزولات جوی و بیلان ورودی

آب دریاچه در سال مذکور بوده است. به‌طور کلی، تغییرات اصلی په‌نه‌های پلائیای جازموریان ناشی از مجموعه عواملی از قبیل بارندگی و درجه حرارت، خشک‌سالی، میزان تقاضای آب در حوضه، نحوه الگوی مصرف و میزان دبی رودخانه‌های هلیل و بم‌پور است و هرگونه تغییر در وضعیت آبی این ناحیه می‌تواند بر وضعیت زیست‌محیطی، اقتصادی-اجتماعی و امنیتی منطقه تأثیرگذار باشد. در این رابطه، از مهم‌ترین فعالیت‌های مؤثر سطوح آبی دریاچه جازموریان، می‌توان به لایروبی مسیر رودخانه‌ها، اصلاح الگوی کشت در منطقه و کنترل و جمع‌آوری آب‌های سطحی و رعایت رهاسازی حقایب زیست‌محیطی جازموریان از سد جیرفت اشاره کرد که بایستی نسبت به آن اهتمام ویژه شود. همچنین تأکید می‌شود تا در پژوهش‌های آتی به شناسایی تأثیر ویژگی‌های نوع رسوبات بستر دریاچه، میزان مواد معلق و عمق آب دریاچه در برآورد کیفی این شاخص‌ها پرداخته شود تا نتایج دقیق‌تری حاصل شود و از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالاتر استفاده گردد تا دقت اندازه‌گیری‌ها بیشتر شود.

## منابع

- ۱- احراری امیرحسین (۱۳۹۸): موتور مجازی پردازش تصاویر ماهواره‌ای، انتشارات کلید آموزش.
- ۲- اصغری سراسکانرود صیاد، جلیلیان روح اله، پیروزی نژاد نوشین، مددی عقیل، یادگاری میلاد (۱۳۹۹): ارزیابی شاخص‌های استخراج آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (مطالعه موردی: رودخانه گاماسیاب کرمانشاه). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیستم، شماره ۵۸، صص ۵۳-۷۰.
- ۳- خسرویان مریم، انتظاری علیرضا، رحمانی ابوالفضل، باعقیده محمد. (۱۳۹۶): پایش تغییرات سطح آب دریاچه پریشان با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور، هیدرو ژئومورفولوژی، دوره چهارم، شماره ۱۳، ۹۹-۱۲۰.
- ۴- زارعی ارسطو، امامی حسن (۱۳۹۶): ارائه مدلی برای پیش‌بینی دوره بهبود وضعیت سطح آب دریاچه ارومیه و ارزیابی تغییرات زمانی- مکانی دوره تثبیت آن با استفاده از سنجش از دور. نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری سال هفتم، شماره دوم، صص ۲۱۴-۲۰۱.
- ۵- ستوده پور افشین. مددی عقیل، اصغری صیاد. (۱۳۹۸): مقایسه شاخص‌های استخراج آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۲A (مطالعه موردی: سواحل بندر بوشهر)، مجله علوم و فنون دریایی.
- ۶- سلیمانی ساردو، مجتبی (۱۳۹۵): بررسی شدت خطر و ریسک بیابان‌زایی به‌منظور تدوین راهبردهای مدیریت اراضی بیابانی (مطالعه موردی: غرب پلائیای جازموریان). رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان.
- ۷- شریفی کیا، محمد. (۱۳۸۹): پایش تغییرات آبی در دریاچه هامون، مبتنی بر تحلیل سری زمانی تصاویر سنجش از دوری، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، شماره سوم، پیاپی ۶۸.
- ۸- عبادی، عباس؛ و ابراهیم گلزار. (۱۳۹۵): بررسی تغییرات کمی تالاب پریشان با استفاده از سنجش از دور. یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران.
- ۹- ملکی، سعیده. سفیانیان، علیرضا. سلطانی کوپائی، سعید. پورمنافی، سعید. شیخ‌الاسلام، فرید. (۱۳۹۷). تحلیل الگوی تغییرات په‌نه‌های آبی تالاب هامون در دوره آبیگری سالیانه و تغییرات کاربری و پوشش اراضی منطقه. تحقیقات منابع آب ایران. سال چهاردهم، شماره ۱. صص ۲۲۵-۲۱۶.

۱۰- یوسفی، صالح. تازه، مهدی. میرزایی، سمیه. مرادی، حمیدرضا. توانگر، شهلا. (۱۳۹۳): مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهرستان نور)، سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال پنجم، شماره سوم. صص ۶۷-۷۶.

- 11- Bakr, N. El-Kawy, O. (2020): Modeling The Artificial Lake-Surface Area Change In Arid Agro-Ecosystem: A Case Study In The Newly Reclaimed Area, Egypt. *Journal Of Environmental Management*. P.271.
- 12- Chen, C. Yu, Z. Li, L. Yang, C. (2011): Adaptability Evaluation Of TRMM Satellite Rainfall And Its Application In The Dongxiang River Basin, *Procedia Environmental Sciences*, 3rd International Conference On Environmental Science And Information Application Technology (ESIAT 2011), 10: Pp. 396-402.
- 13- El-Asmar, H.M. Hereher, M.E. El Kafrawy, S.B. (2013): Surface Area Change Detection Of The Burulluslagoon, North Of The Nile Delta, Egypt, Using Water Indices: A Remote Sensing Approach. *The Egyptian Journal Of Remote Sensing And Space Science*. 16(1), Pp. 119-123.
- 14- 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 Sens. Environ*. 2014, 140, Pp. 23-35.
- 15- Fisher, A. Flood, N. And Danaher, T. (2016): Comparing Landsat Water Index Methods For Automated Water Classification In Eastern Australia. *Remote Sensing Of Environment*, 175: Pp. 167-182.
- 16- Gautam, Vivek Kumar, Piyush Kumar Gaurav, P. Murugan, And M. Annadurai. (2015): Assessment Of Surface Water Dynamics In Bangalore Using WRI, NDWI, MNDWI, Supervised Classification And K-T Transformation. *Aquatic Procedia 4 (Icwrcoe)*: Pp. 739-46. [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Aqpro.2015.02.095](http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Aqpro.2015.02.095).
- 17- Hibo, Y. Zongmin, W. Hongling, Z. Yu, G. (2011): Water Body Extraction Methods Study Based On RS And GIS. 3rd International Conference On Environmental Science And Information Application Technology. *Procedia Environmental Sciences*. 10, Pp. 2619- 2624.
- 18- Hossen, H. Negm, A. (2016): Change Detection In The Water Bodies Of Burullus Lake, Northern Nile Delta, Egypt, Using RS/GIS
- 19- Huffman, G. J. Bolvin, D. T. Nelkin, E.J. Wolff, D. B. Adler, R. F. Gu, G. Hong, Y. Bowman K.P. Stocker, E.F. (2007): The TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis: Quasi-Global, Multi-Year, Combined-Sensor Precipitation Estimates At Fine Scale. *Journal Of Hydrometeorology*, 8 (1): Pp. 38-55.
- 20- Jawak, S.D. And A.J. Luis. (2015): A Rapid Extraction Of Water Body Features From Antarctic Coastal Oasis Using Very High-Resolution Satellite Remote Sensing Data. *Aquatic Procedia 4(Icwrcoe)*: 125-32. [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Aqpro.2015.02.018](http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Aqpro.2015.02.018).
- 21- Ji, L. X. Geng, K. Sun, Y. Zhao And P. Gong. (2015): Target Detection Method For Water Mapping Using Landsat 8 Oli/Tirs Imagery. *Water* 7(2): Pp. 794-817.
- 22- Li, W, Du, Z, Ling, F, Zhou, D, Wang, H, Gui, Y, Sun, B, Zhang, X. (2013): A Comparison Of Land Surface Water Mapping Using The Normalized Difference Water Index TM, ETM+ And ALI, *Remote Sensing*, 5: Pp. 5530-5549.
- 23- Masochaa, M. Dube, T. Makore, M. Shekede, M. Funani, J. (2018): Surface Water Bodies Mapping In Zimbabwe Using Landsat 8 OLI Multispectral Imagery: A Comparison Of Multiple Water Indices. *Physics And Chemistry Of The Earth, Parts A/B/C*, 106, Pp. 63-67.
- 24- 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* 17(7): Pp. 1425-32.
- 25- Pekelm, J.F. Cottam, A. Gorelick, N. S. Belward, A. (2016): High-Resolution Mapping Of Global Surface Water And Its Long-Term Changes *Nature Volume* 540, Pp. 418-422.
- 26- Shen, L. Li, C. (2010): Water Body Extraction From Landsat ETM+ Imagery Using Adaboost Algorithm. In *Proceedings Of 18th International Conference On Geoinformatics, Beijing*,

- China; Pp. 1–4.
- 27- Tang, Z. Ou, W. Dai, Y. Xin, Y. (2012): Extraction Of Water Body Based On Landsat TM5 Imagery–A Case Study In The Yangtze River, International Conference On Computer And Computing Technologies In Agriculture, Pp. 416-420.
- 28- Xu, H. (2006): Modification Of Normalized Difference Water Index (NDWI) To Enhance Open Water Features In Remotely Sensed Imagery. International Journal Of Remote Sensing 27(14): Pp. 3025–33.