

دو دهه پایش تالاب مهارلو

با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در گوگل ارث انجین

شاهین جعفری^۱

سعید حمزه^۲

هادی عبدالعظیمی^۳

سارا عطارچی^۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵

چکیده

پایش تالاب‌ها با استفاده از روش‌های سنتی، زمان‌بر و مستلزم هزینه‌ی زیاد است. امروزه به‌منظور پایش و مدیریت تالاب‌ها، از دورسنجی ماهواره‌ای و قابلیت‌های گوگل ارث انجین استفاده می‌گردد. در این پژوهش سعی شد طی دو دهه‌ی اخیر از تصاویر ماهواره‌ی لندست، تی.آر.ام.ام، مادیس و گریس در حوضه‌ی آبریز گشنگان که تالاب مهارلو نیز در آن واقع شده، به‌منظور ارزیابی تغییرات وسعت آب تالاب و برخی از عوامل احتمالی تأثیرگذار بر آن استفاده شود. میانگین مساحت آب تالاب منتج از AWEI_shadow در پنج ساله‌ی اول، دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب مقادیر ۲۰۰/۴۱، ۱۶۲/۶۵، ۱۳۷/۸۲ و ۱۱۷/۸۱ کیلومتر مربع را نتیجه داد که به کاهش ۳۷/۷۶، ۲۴/۸۳ و ۲۰ کیلومتر مربع در این بازه‌های زمانی اشاره داشت. پوشش گیاهی حوضه مستخرج از NDVI در سال ۲۰۰۰، ۲۸۲ هکتار نتیجه گردید و در سال ۲۰۱۹ این مقدار به ۳۹۰ هکتار افزایش یافت. ارزیابی داده‌های گریس نشان داد که از سال ۲۰۰۸ به بعد، تمامی مقادیر تراز آب زیرزمینی، منفی است. نتایج آزمون من-کندال دلالت بر آن داشت که تغییرات توده‌های آبی، پوشش گیاهی، میزان بارش و تراز آب زیرزمینی به‌ترتیب دارای روند کاهشی، افزایشی، افزایشی و کاهشی بوده است و در رابطه با مقادیر تبخیر-تعرق، روندی مشاهده نشد. به‌نظر می‌رسد در حوضه‌ی مورد مطالعه، افزایش وسعت پوشش گیاهی و متعاقب آن برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی به مرور زمان بر روند کاهشی وسعت توده‌های آبی تالاب تأثیر گذاشته است. پیشنهاد می‌گردد به‌منظور مدیریت بهینه‌ی این تالاب و جلوگیری از خشک شدن آن، حد بستر و حریم تالاب، با استفاده از سایر شاخص‌های دورسنجی آبی تعیین گردد. همچنین، پیشنهاد می‌شود روش‌های مصرف آب و الگوی کشت در نواحی اطراف این تالاب، مورد بازبینی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: گوگل ارث انجین، تالاب مهارلو، لندست، تی.آر.ام.ام، گریس و مادیس

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران Shahin.jafari75@ut.ac.ir

۲- دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) Saeid.hamzeh@ut.ac.ir

۳- استادیار گروه سنجش از دور و GIS، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز hadiabdolazimi@gmail.com

۴- استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران satarchi@ut.ac.ir

۱- مقدمه

پرداخته‌اند (مهدوی و همکاران، ۲۰۱۷). (Henderson and Lewis, 2008) نیز در اثر علمی خود به فواید و نواقص کارهای انجام شده بر روی تالاب‌ها با استفاده از تصاویر رادار پرداختند (مهدوی و همکاران، ۲۰۱۷). در پژوهشی (Adam et al., 2010) به پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی طبقه‌بندی تالاب‌ها و شناسایی خصوصیات طیفی پوشش‌های گیاهی آن‌ها با استفاده از تصاویر چندطیفی و فراطیفی اشاره نمودند. (Dronova, 2015) در پژوهشی دیگر به استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا در شناسایی تالاب‌ها پرداخت. (Gallant, 2015) به مرور کارهای انجام شده بر روی تالاب‌ها پرداخته که در آن به بررسی روش‌های طبقه‌بندی تالاب‌ها و چالش‌های موجود اشاره نموده است. (Brisco, 2015) در مطالعات خود به بررسی روش‌های دورسنجی رادار با روزه‌ی مجازی برای تهیه‌ی نقشه و پایش سطوح آبی تالاب‌ها اقدام نمود. اخیراً از فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای در سامانه‌ی گوگل ارث انجین به منظور مطالعه‌ی تالاب‌ها در چندین پژوهش استفاده شده است. (Amani et al., 2019) به منظور مطالعه‌ی تالاب‌های کشور کانادا، از پردازش تصاویر لندست ۸ در سامانه‌ی گوگل ارث انجین بهره گرفتند. (Wang et al., 2020) تالاب‌های چین را با استفاده از سری زمانی لندست و در سامانه‌ی گوگل ارث انجین با استفاده از شاخص‌های آب مطالعه کردند. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹) شاخص‌های مختلف آب (NDWI¹, MNDWI², WRI³, AWEI⁴_sh و AWEI⁴_nsh) را برای مطالعه رودخانه‌ی گاماسیاب کرمانشاه مورد ارزیابی قرار دادند. این پژوهشگران، AWEI⁴_sh را به‌عنوان بهترین شاخص از بین شاخص‌های استفاده شده معرفی نمودند. پارامترهای مختلفی اعم از تغییرات اقلیمی و مداخلات انسانی در روند تغییرات تالاب‌ها و از آن جمله نوسانات وسعت آب آن‌ها تأثیرگذارند، پارامترهایی نظیر مقدار تبخیر- تعرق، میزان بارش، پوشش گیاهی و تراز آب

تالاب‌ها خدمات بسیار زیادی را برای محیط‌زیست فراهم می‌سازند که از آن جمله می‌توان به مواردی نظیر تصفیه آب، جلوگیری از مخاطرات طبیعی، حفاظت آب و خاک و مدیریت خطوط ساحلی اشاره نمود. بدیهی است حفاظت از این سیستم‌های پیچیده‌ی اکولوژیک و مراقبت از آن‌ها می‌تواند نقش بسزایی در منافع زیست‌محیطی، اقتصادی و تفرجگاهی هر منطقه و محیط‌های پیرامونی آن‌ها داشته باشد. تالاب‌ها دستخوش تغییرند و در این رابطه فعالیت‌های بشر و همچنین تغییرات زیست‌محیطی و اقلیمی، بر روند تغییرات آن‌ها تأثیرگذار است. از این رو پایش این منابع، یکی از مهم‌ترین گام‌ها در راستای مدیریت بهینه‌ی اکوسیستم‌های آبی و حفاظت از محیط‌زیست می‌باشد. در دهه‌های گذشته مطالعات زیادی در رابطه با تغییرات وسعت تالاب‌ها، مورفولوژی و همچنین اکولوژی آن‌ها انجام شده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های (George et al., 2007, Awange et al., 2008, Hampton et al., 2008, Feng et al., 2012, Klein et al., 2014) اشاره نمود. آشکارسازی و پایش توده‌های آبی به منظور ارزیابی عوامل تأثیرگذار، در گذشته، حال و آینده بسیار حائز اهمیت هستند، لذا اطلاعات ناشی از اینگونه تحقیقات در اتخاذ تدابیری برای آینده و تصمیم‌گیری براساس مدیریت پایدار منابع آبی و خاکی ضروری است. در یک دهه‌ی گذشته، استفاده از فناوری دورسنجی و به‌ویژه دورسنجی ماهواره‌ای به منظور تشخیص چنین تغییراتی در طی زمان، توجه محققان مختلف را در سرتاسر دنیا به خود جلب نموده است. پژوهش‌های مختلفی در رابطه با طبقه‌بندی و چالش‌های دورسنجی تالاب تاکنون انجام شده است. از آن‌جمله می‌توان به مقاله‌ی (Ozesmi and Bauer, 2002) اشاره نمود که به استفاده از سنجنده‌های مختلف در پایش و تهیه‌ی نقشه‌ی تالاب‌ها پرداخته است. این پژوهشگران در مطالعات خود به توضیح روش‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت‌شده و نظارت‌نشده و همچنین تفسیر عکس‌های هوایی برای مطالعه‌ی تالاب‌ها

1- Normalized Difference Water Index (NDWI)

2- Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)

3- Water Ratio Index (WRI)

4- Automated Water Extraction Index (AWEI)

گرس برداختند که نتایج نشان از کاهش آب زیرزمینی در مناطق مورد مطالعه داشت. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۱)، دماوندی و همکاران (۱۳۹۵) و آذره و همکاران (۱۳۹۷) به مطالعه تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از NDVI^۲ داده‌های مادیس پرداختند. سامانه‌ی گوگل ارث انجین این قابلیت را دارد که ضمن تهیه‌ی نقشه‌های پوشش گیاهی در کوتاه‌ترین زمان ممکن، نمودار تغییرات آن‌ها را نیز ارائه دهد. خشک شدن تالاب‌ها می‌تواند منجر به آلودگی‌های زیست‌محیطی بسیار زیادی برای شهرها و روستاهای پیرامون این تالاب‌ها شود، همچنین بر جزایر حرارتی شهرها تأثیر بسزایی داشته باشد. بررسی منابع حاکی از آن است که امروزه در اکثر نقاط دنیا از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های سنجش از دور به منظور مطالعه و پایش تالاب‌ها استفاده می‌نمایند در حالی که تا به حال پژوهشی مبنی بر پایش همزمان مقادیر وسعت آب برای تالاب مهارلو و ارزیابی روند تغییرات پارمترهای تبخیر-تعرق، پوشش گیاهی، میزان بارش و تراز آب زیرزمینی در محیط پیرامون آن با استفاده از فناوری‌های دورسنجی انجام نشده است.

در حال حاضر چندین تالاب در استان فارس خشک شده‌اند که از آن جمله می‌توان به تالاب‌های پریشان، طشک و بختگان اشاره نمود. برای آنکه تالاب مهارلو نیز به این سرنوشت دچار نگردد و با توجه به اثرات زیست‌محیطی‌ای که این تالاب می‌تواند بر شهر شیراز و همچنین شهرها و روستاهای مجاور بگذارد، و همچنین جاذبه‌های گردشگری منحصر به فرد این تالاب، در پژوهش پیش‌رو سعی بر آن است طی دو دهه‌ی اخیر (از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹) از سری ماهواره‌های لندست (پایش مساحت آب)، TRMM (پایش بارندگی)، MODIS^۳ (پایش پوشش گیاهی و تبخیر-تعرق) و GRACE^۴ (پایش آب زیرزمینی) به منظور مطالعه‌ی تغییرات این تالاب و محیط پیرامونی آن در سامانه‌ی گوگل ارث انجین استفاده گردد.

زیرزمینی. امروزه پژوهشگران به منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌های میدانی، از فناوری‌های دورسنجی در اکثر مطالعات محیطی استفاده می‌نمایند. مرادی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ی ای با استفاده از پروداکت سنجنده مادیس (Mod16A2) ماهواره ترا با دوره زمانی هشت روزه و دقت مکانی یک کیلومتر طی دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ میلادی به ارزیابی محصول تبخیر - تعرق پتانسیل پرداختند. در این مطالعه مقادیر تبخیر - تعرق حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در مقایسه با روش زمینی در اکثر ایستگاه‌ها کمتر برآورد گردیده اما همبستگی بالایی با داده‌های ایستگاه‌های تبخیر - تعرق داشت. احمدی و نارنگی فرد (۱۳۹۲) در مطالعه‌ی ای با استفاده از داده‌های TRMM^۱ و روش‌های زمین آمار کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله، توزیع مکانی مقادیر میانگین بارش سالانه و فصلی را بررسی نمودند. نیازی و همکاران (۱۳۹۷) به آنالیز مکانی - زمانی دقت داده‌های ماهواره‌ای TRMM برای برآورد شدت خشکسالی مبتنی بر بارش پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که شدت خشکسالی برآورد شده به وسیله داده‌های TRMM در انطباق با نقشه شدت خشکسالی حاصل از داده‌های بارش و داده‌های رطوبت زمینی از بیشترین ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۷۱ و همچنین کمترین خطای برآوردی برخوردار بوده است. کاظم‌زاده و اکبری (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای به تحلیل دقت مکانی تصاویر ماهواره TRMM در برآورد شاخص خشکسالی هواشناسی در ایران پرداختند. در این مطالعه به این نتیجه رسیدند که در بیشتر مناطق کشور، شاخص خشکسالی برآوردی از TRMM با محاسبات ایستگاه‌های زمینی تطابق قابل قبولی داشته است و با واسنجی داده‌های TRMM با ایستگاه‌های زمینی، می‌توان از آن برای پایش خشکسالی در مناطق فاقد ایستگاه استفاده کرد. اشرف‌زاده افشار و همکاران (۱۳۹۴)، فرجی و همکاران (۱۳۹۵) و انتظاری و رحیم‌زادگان (۱۳۹۶) به ارزیابی آب‌های زیرزمینی با استفاده از داده‌های ثقل سنجی

2- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

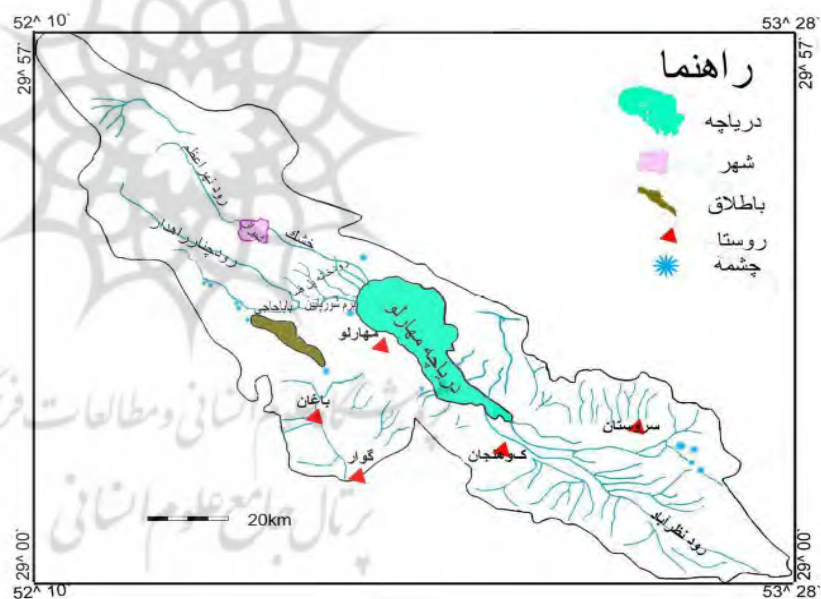
3- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

4- Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE)

1- Tropical Rainfall Misurment Mission (TRMM)



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه
 مورد مطالعه (لندست ۸)



نگاره ۲: نقشه آبنگاری منطقه مورد
 مطالعه
 (فیاضی و همکاران، ۱۳۸۶)

تالاب مهارلو در یک فرونشست ناودیسی مانند، شکل گرفته که گسل سروستان از آن می‌گذرد (قهرودی‌تالی و همکاران، ۱۳۹۰). حدود ۱۰ چشمه اصلی و تعدادی چشمه کوچک در حاشیه تالاب وجود دارد که اغلب در بخش غربی آن دیده می‌شوند. جهت جریان آب زیرزمینی در دشت آبرفتی شیراز به سمت این تالاب است (فیاضی و همکاران، ۱۳۸۶). در نگاره ۱ موقعیت جغرافیایی تالاب مهارلو ارائه شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

تالاب مهارلو در استان فارس و در حوضه‌ی گشنگان (۴۲۶ کیلومتر مربع) واقع شده است. این تالاب در فاصله هفت کیلومتری جنوب‌شرق شهر شیراز بین ۲۹ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی و بین ۵۲ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۸ دقیقه طول جغرافیایی قرار دارد (نگاره ۱).

جدول ۱: مشخصات داده‌های مورد استفاده

| پوشش گیاهی | سطح آب های زیرزمینی | تبخیر - تعرق | بارش | محاسبه شاخص | ماهواره |
|------------|---------------------|--------------|-----------|-----------------|------------|
| MODIS | GRACE | MODIS | TRMM | Landsat 7 and 8 | ماهواره |
| ۲۰۰۰-۲۰۲۰ | ۲۰۰۲-۲۰۱۷ | ۲۰۰۱-۲۰۲۰ | ۲۰۰۰-۲۰۲۰ | ۲۰۰۰-۲۰۲۰ | بازه زمانی |

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

$$AWEI_{nsh} = 4 \times (\rho_{band2} - \rho_{band5}) - (0.25 \times \rho_{band} + 2.75 \times \rho_{band7})$$

رابطه (۱)

$$AWEI_{sh} = \rho_{band1} + 2.5 \times \rho_{band2} - 1.5 \times (\rho_{band4} + \rho_{band5}) - 0.25 \times \rho_{band7}$$

رابطه (۲)

با استفاده از ۱۶۳ تصویر گریس در سامانه‌ی گوگل ارث انجین، نمودار نوسانات سطح آب زیرزمینی برای تحلیل‌های بعدی تهیه شد. به‌منظور برآورد تبخیر-تعرق و ترسیم نمودار تغییرات آن در سامانه‌ی گوگل ارث انجین، از پروداکت‌های مادیس (Mod16A2) و ۸۷۳ تصویر استفاده شد. روش‌های زیادی در رابطه با محاسبه تبخیر - تعرق گیاه مرجع موجود است که هر کدام از این روش‌ها به دلیل ماهیتشان متفاوت هستند. در سال ۱۹۹۸ فائو (نشریه ۵۶) روش ترکیبی پنمن مانیت را به‌عنوان روش استاندارد تبخیر - تعرق گیاه مرجع معرفی کرد که برای محاسبه تبخیر - تعرق پتانسیل گیاه مرجع از رابطه (۳) استفاده شده است (Allen et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_v (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_v)}$$

رابطه (۳)

$$ET_{o-h} = 0.0023 (T_{mean} + 17.8) (T_{max} - T_{min})^{0.5} R_a$$

رابطه (۴)

به‌منظور تولید نقشه‌ی پوشش گیاهی (شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده)^۳ و ارزیابی تغییرات آن در حوضه‌ی

در این پژوهش به‌منظور استخراج پهنه‌ی آبی در سامانه‌ی گوگل ارث انجین، از تصاویر لندست ۷ و ۸، دستیابی به مقادیر بارش از تصاویر TRMM، محاسبه‌ی تبخیر-تعرق و پوشش گیاهی از پروداکت‌های مادیس و برای استخراج تغییرات سطح آب های زیرزمینی از داده‌های GRACE استفاده شد. گوگل ارث انجین این امکان را برای کاربران فراهم می‌سازد که بتوانند تمامی داده‌های لندست را در آن فراخوانی نمایند. به این منظور از ۲۷۷ تصویر لندست ۷ و ۸ تصحیح شده^۱ و دارای پوشش ابری کمتر از ۱۰ درصد و با ردیف گذر ۱۶۲ و ۴۰ استفاده گردید که نیاز به تصحیحات اتمسفری و هندسی نداشت. برای به‌دست آوردن نقشه تغییرات کاربری اراضی از تصاویر لندست ۵ و ۸ برای سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ استفاده شد. به‌منظور استخراج پهنه‌ی آبی، از شاخص استخراج خودکار آب^۲ که توسط فیزیا و همکاران (۲۰۱۴) ارائه شده است، استفاده گردید. شاخص استخراج خودکار آب می‌تواند آشکارسازی و بارزسازی آب از سایر پدیده‌ها را با اعمال ضرایب مختلف انجام دهد. این شاخص را می‌توان برای تشخیص آب از غیر آب تحت شرایط محیطی مختلف نیز استفاده کرد (Feyisa et al., 2014). معادلات این شاخص به شرح ذیل است (رابطه‌های ۱ و ۲) که در آن از اطلاعات پنج باند استفاده شده است. منظور از Blue، SWIR2، NIR، SWIR1، Green از سبز، مادون قرمز موج کوتاه ۱، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز موج کوتاه ۲ و آبی می‌باشد.

1- USGS Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1

2- Automated Water Extraction Index (AWEI)

3- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

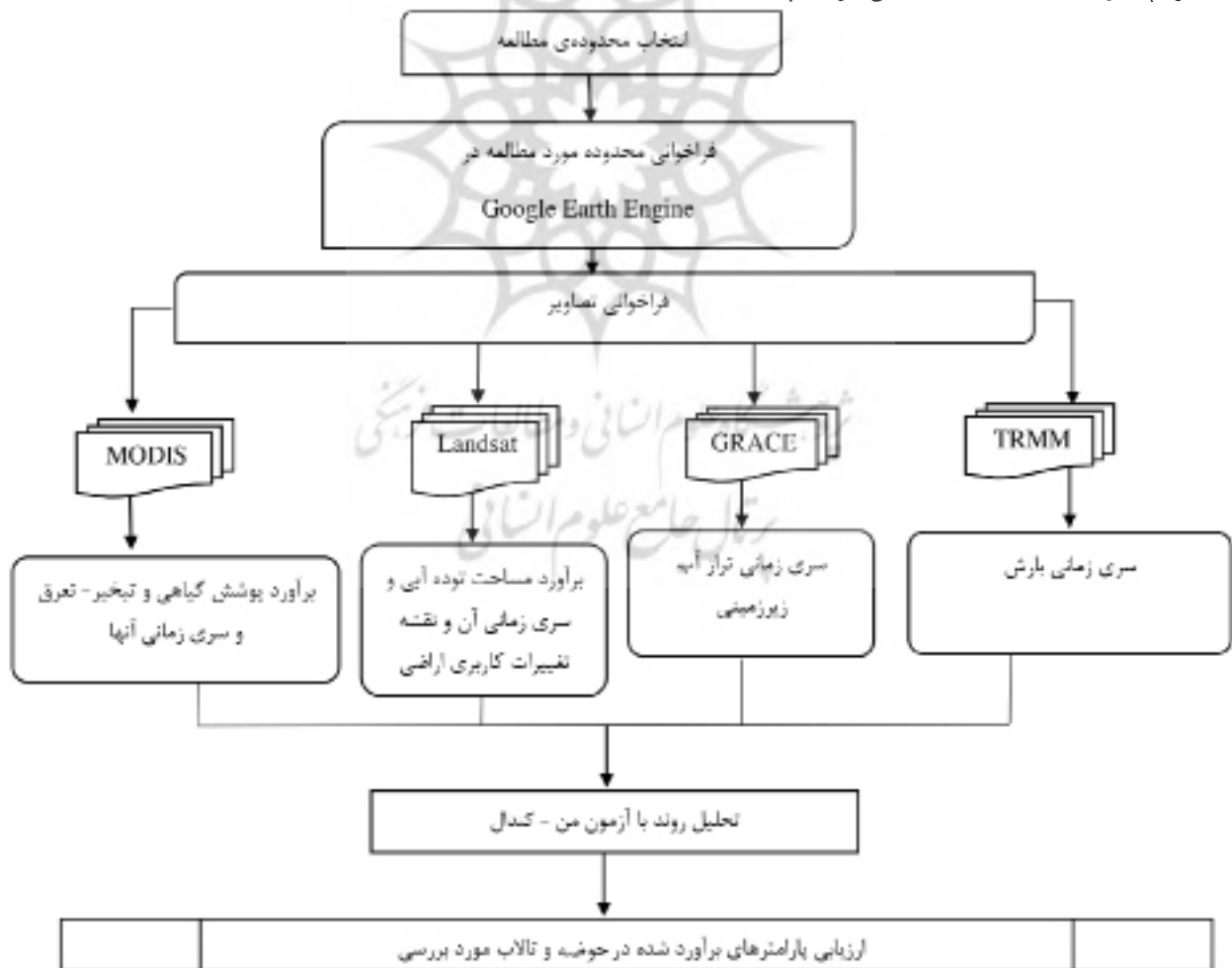
شد. این روش طبقه‌بندی، یک طبقه‌بندی‌کننده دودویی (کشاورز و قاسمیان یزدی، ۱۳۸۴)، نظارت شده و غیرپارامتریک است (Mountrakis et al., 2011) که اولین بار توسط وینیک در سال ۱۹۹۸ معرفی شد (Borges, 1998).

در این روش طبقه‌بندی یک صفحه فرضی به نام ابرصفحه ایجاد می‌شود تا از این طریق در فضایی که چندین بعد دارد، کلاس‌های مختلف را از یکدیگر جدا می‌کند و خوشه‌های دارای کمترین اختلاف را به یک کلاس واحد تعلق می‌دهد. برای این خوشه‌ها حداکثر حاشیه بین کلاس‌های مختلف هم باید برقرار باشد (عطارجی، ۱۳۹۸). بعد از انجام طبقه‌بندی، نیاز است تا نتایج، صحت‌سنجی شود. برای این امر، از ماتریس خطا استفاده شده است. این ماتریس از مقایسه

مورد بررسی، از ۴۵۷ تصویر ماهواره مادیس (MOD13A2) استفاده گردید. در این پژوهش از ۲۴۰ تصویر داده‌های تی.آر.ام.ام ماهیانه (3B43V7) برای برآورد مقادیر بارش و ترسیم نمودار تغییرات بارش استفاده گردید. پس از تهیه نقشه‌ها و نمودارهای مربوط به تغییرات مساحت آب تالاب، مقدار بارش، تبخیر- تعرق، سطح آب زیرزمینی و پوشش گیاهی، از آزمون من- کندال به منظور ارزیابی روند تغییرات کاهشی یا افزایشی، بهره گرفته شد. در نگاره ۳ مراحل انجام پژوهش ارائه شده است.

طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان

در این مطالعه، برای اینکه تغییرات کاربری اراضی استخراج شود، از طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان استفاده



نگاره ۳: مراحل انجام پژوهش

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
 دو دهه پایش تالاب مهارلو با استفاده از داده‌های ... / ۱۵۹

معادل ۶۹/۵۴ درصد اختلاف وسعت این دو سال می‌باشد. در سال ۲۰۰۹ نیز مقدار مساحت به عدد ۶۶/۶۷ کیلومتر مربع تنزل پیدا کرده است. مقایسه‌ی عددی سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ نیز نشان می‌دهد که ۹۱/۱۷ کیلومتر مربع از مساحت توده‌ی آب تالاب کاسته شده که معادل ۴۲ درصد کاهش است. همچنین اختلاف عددی میانگین ده ساله‌ی اول و دوم وسعت آب تالاب، دلالت بر تفاوت مساحت ۵۳/۷۲ کیلومتر مربعی (درصد اختلاف معادل ۲۹/۶۰ درصد) دارد. از آنجایی که مقدار p-value محاسبه شده (< 0.001)، کمتر از سطح آلفای معنی‌داری است (۰/۰۵) لذا وجود روند در داده‌های میانگین سالانه‌ی مساحت توده‌ی آب تالاب مشاهده شد. مقدار آماره‌ی من-کندال (Kendall's tau) نیز دلالت بر روند کاهشی این داده‌ها داشت (فتوحی و همکاران، ۱۳۹۳، کاظمی و همکاران، ۱۳۹۱) (جدول ۲). در نگاره ۴ نمودار تغییرات مساحت توده‌های آبی تالاب، نشان داده شده است.

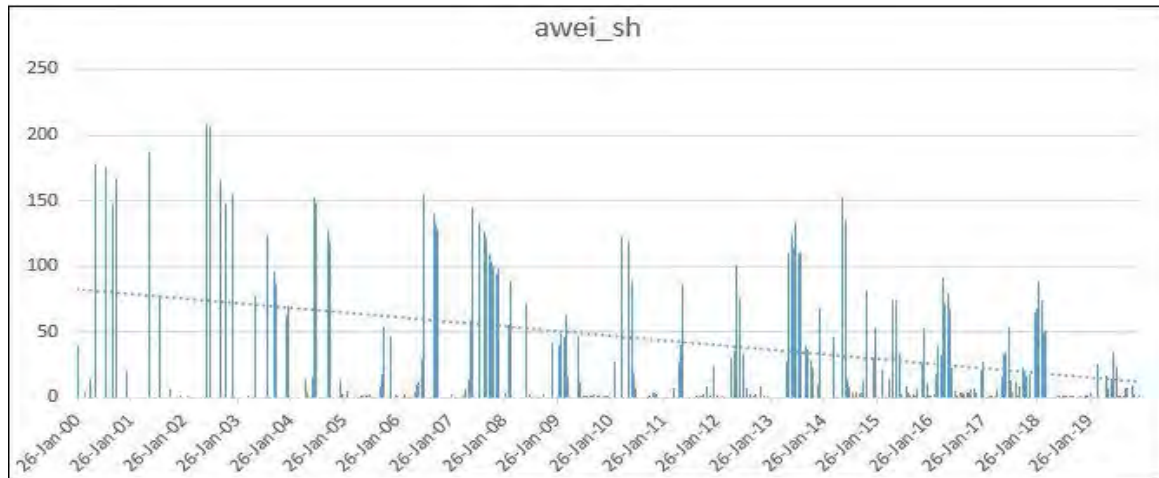
خروجی طبقه‌بندی با کمک نمونه‌های اعتبارسنجی به‌دست می‌آید (عطارجی، ۱۳۹۱).

۳- نتایج و بحث

در این پژوهش از شاخص استخراج خودکار آب به‌منظور بارزسازی، شناسایی و برآورد مساحت توده‌های آبی (جدول ۲) حوضه‌ی مورد مطالعه استفاده گردید. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود بیشترین مساحت توده‌ی آبی مربوط به سال ۲۰۰۶ (۲۱۶/۷۶ کیلومتر مربع) و کمترین آن به سال ۲۰۱۸ (۶۶ کیلومتر مربع) تعلق دارد. در سال ۲۰۰۰ که اولین سال مورد مطالعه است مقدار وسعت توده‌ی آبی تالاب، ۲۱۶/۵۲ کیلومتر مربع بوده که مقداری تقریباً نزدیک به سال ۲۰۰۶ دارد. همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است در سال ۲۰۱۸ این مقدار به ۶۶ کیلومتر مربع کاهش یافته، یعنی ۱۵۰/۷۲ کیلومتر مربع که

جدول ۲: پارامترهای برآورد شده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در حوضه‌ی مورد مطالعه، بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹

| سال | مساحت توده آبی (km ²) | مساحت پوشش گیاهی (ha) | سطح آب زیرزمینی (cm) | تبخیر - تعرق (kg/m ² /8day) | بارش (mm/h) |
|------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|--|-------------|
| ۲۰۰۰ | ۲۱۶/۷۲ | ۲۸۲ | | | ۰/۰۴ |
| ۲۰۰۱ | ۱۸۲/۵۳ | ۲۸۰ | | ۱/۶۷ | ۰/۰۳ |
| ۲۰۰۲ | ۲۰۶/۵۲ | ۲۵۴ | ۱/۶۷ | ۲/۳۱ | ۰/۰۵ |
| ۲۰۰۳ | ۱۹۱/۴۶ | ۲۰۷ | ۱/۲۵ | ۲/۳۷ | ۰/۰۶ |
| ۲۰۰۴ | ۲۰۴/۸۲ | ۲۵۹ | ۳/۳۶ | ۲/۴۳ | ۰/۰۸ |
| ۲۰۰۵ | ۱۹۱/۴۶ | ۲۹۱ | ۵/۹۷ | ۲/۵۸ | ۰/۰۶ |
| ۲۰۰۶ | ۲۱۶/۷۶ | ۱۷۲ | ۳/۸۱ | ۲/۳۸ | ۰/۰۹ |
| ۲۰۰۷ | ۱۹۵/۹۶ | ۱۷۹ | ۰/۸۸ | ۲/۲۵ | ۰/۰۷ |
| ۲۰۰۸ | ۱۴۲/۴۱ | ۲۰۶ | -۴/۶۲ | ۱/۸۴ | ۰/۰۶ |
| ۲۰۰۹ | ۶۶/۶۷ | ۲۰۴ | -۶/۹۵ | ۱/۹۱ | ۰/۱۷ |
| ۲۰۱۰ | ۱۳۶/۲۱ | ۲۸۸ | -۸/۲۱ | ۱/۳۵ | ۰/۰۵ |
| ۲۰۱۱ | ۹۲/۶۴ | ۲۸۲ | -۸ | ۱/۹۹ | ۰/۰۷ |
| ۲۰۱۲ | ۱۴۳/۶۵ | ۳۴۱ | -۱۰/۱۲ | ۲/۳۳ | ۰/۰۷ |
| ۲۰۱۳ | ۱۷۲/۲۲ | ۴۰۶ | -۹/۳۳ | ۲/۱ | ۰/۰۹ |
| ۲۰۱۴ | ۱۴۴/۳۷ | ۳۹۲ | -۹/۰۸ | ۲/۰۷ | ۰/۰۷ |
| ۲۰۱۵ | ۱۳۷/۸۳ | ۳۷۲ | -۱۰/۳۶ | ۱/۹۴ | ۰/۰۸ |
| ۲۰۱۶ | ۱۱۸/۸۵ | ۳۷۶ | -۱۰/۵ | ۱/۷۱ | ۰/۰۸ |
| ۲۰۱۷ | ۱۴۰/۷۷ | ۴۳۷ | -۱۰/۱۹ | ۲/۰۱ | ۰/۱۲ |
| ۲۰۱۸ | ۶۶ | ۳۷۲ | | ۱/۷۲ | ۰/۰۸ |
| ۲۰۱۹ | ۱۳۵/۵۵ | ۳۹۰ | -۱۰/۸۶ | ۲/۶۲ | ۰/۱ |



نگاره ۴: نمودار تغییرات مساحت توده‌های آبی تالاب بین سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۰۰

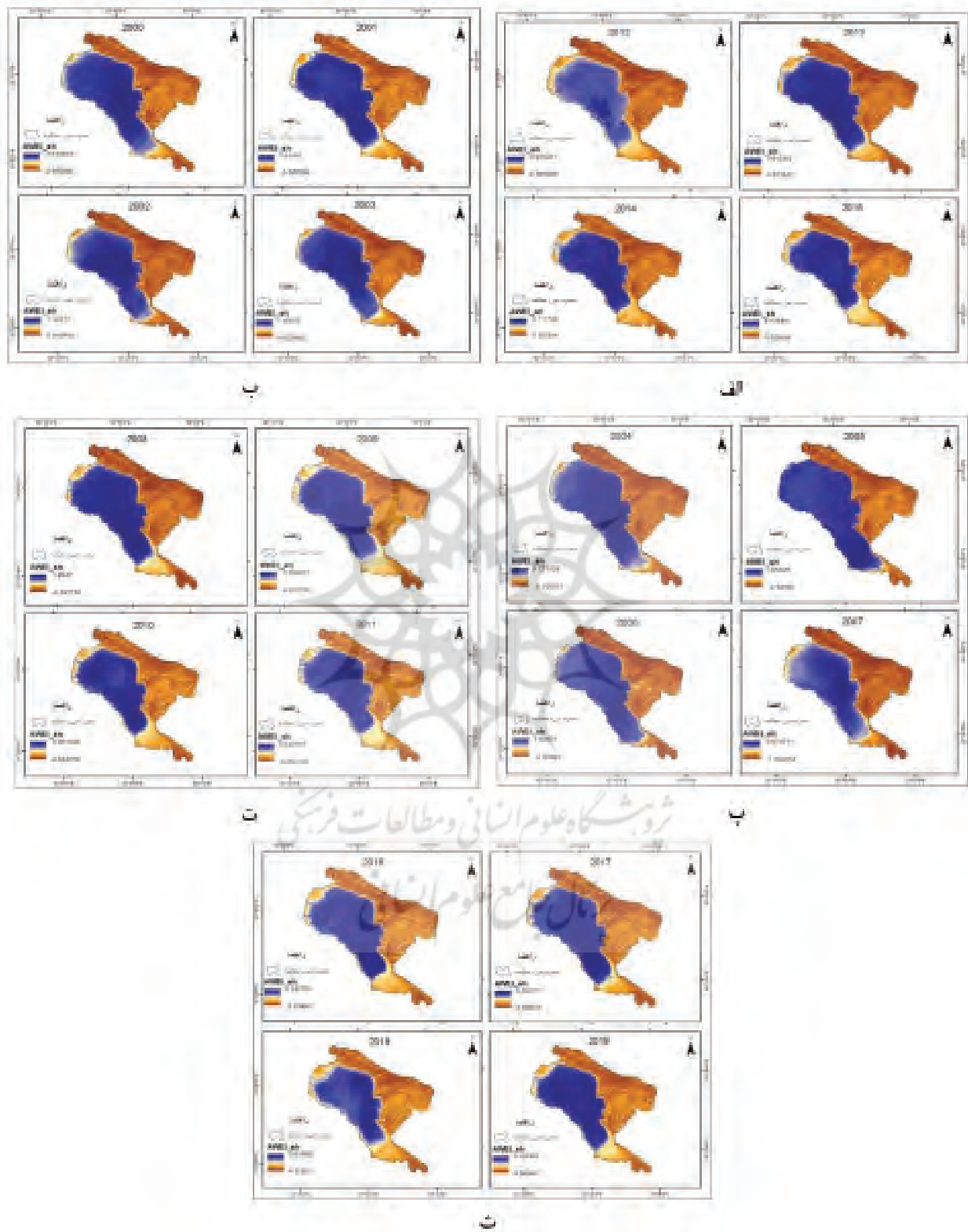
که نتایج تغییرات آن در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۰۰ در نگاره (۶) نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود بیشترین مساحت پوشش گیاهی مربوط به سال ۲۰۱۷ (۴۳۷ هکتار) و کمترین آن به سال ۲۰۰۶ (۱۷۲ هکتار) تعلق دارد. در سال ۲۰۰۰ که اولین سال مورد مطالعه است مقدار مساحت پوشش گیاهی حوضه، ۲۸۲ هکتار بوده که در سال ۲۰۱۹ این مقدار به ۳۹۰ هکتار افزایش یافته است. از آنجایی که مقدار p-value محاسبه شده کمتر از سطح آلفای معنی‌داری (۰/۰۵) است (۰/۰۰۰/۱) لذا وجود روند در داده‌های مساحت پوشش گیاهی حوضه مشاهده شد. مقدار آماره‌ی من- کندال دلالت بر روند افزایشی این داده‌ها داشت (جدول ۲). در نگاره ۶، نمودار تغییرات مساحت پوشش گیاهی حوضه نشان داده شده است.

فعالیت‌های کشاورزی اطراف تالاب‌ها به مرور زمان منجر به افت سطح آب زیرزمینی پیرامون آن‌ها می‌گردد و همین موضوع به مرور زمان می‌تواند یکی از دلایل کاهش وسعت توده‌های آبی باشد. نتایج پژوهش Zhang و همکاران (۲۰۱۱) بر روی پایش تالاب هانشیقیاو^۱ در چین نیز نشان داد که طی شانزده سال، مساحت تالاب در اثر تبدیل آن به اراضی زراعی، جنگل و علفزار کاهش یافته است. این پژوهشگران از NDVI شانزده روزه‌ی مادیس به‌منظور شناسایی توده‌ی آبی و پوشش گیاهی استفاده کرده بودند.

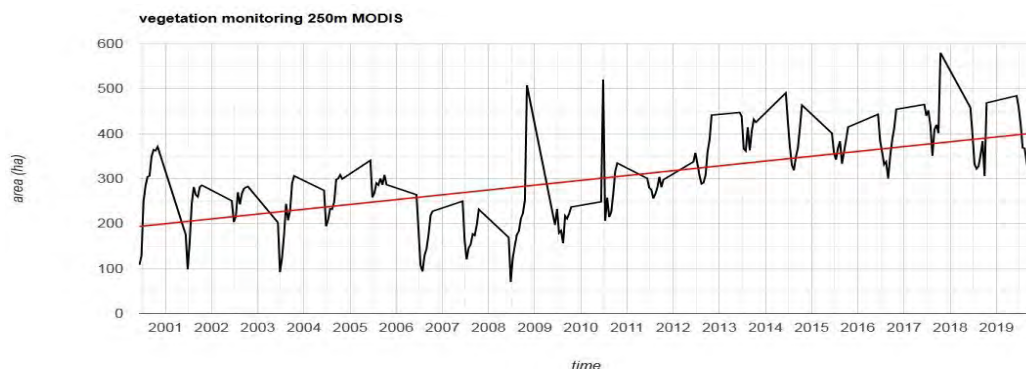
جدول ۳: مقادیر آماره‌های استخراج شده از آزمون من - کندال

| پارامتر | Kendall's tau | p-value |
|------------------|---------------|---------|
| مساحت توده‌ی آب | -۰/۲ | <۰۰۰۰/۱ |
| مساحت پوشش گیاهی | ۰/۴۵ | <۰۰۰۰/۱ |
| سطح آب زیرزمینی | -۰/۶ | <۰۰۰۰/۱ |
| تبخیر - تفرق | -۰/۰۲ | ۰/۳۶ |
| بارش | ۰/۱۷ | <۰۰۰۰/۱ |

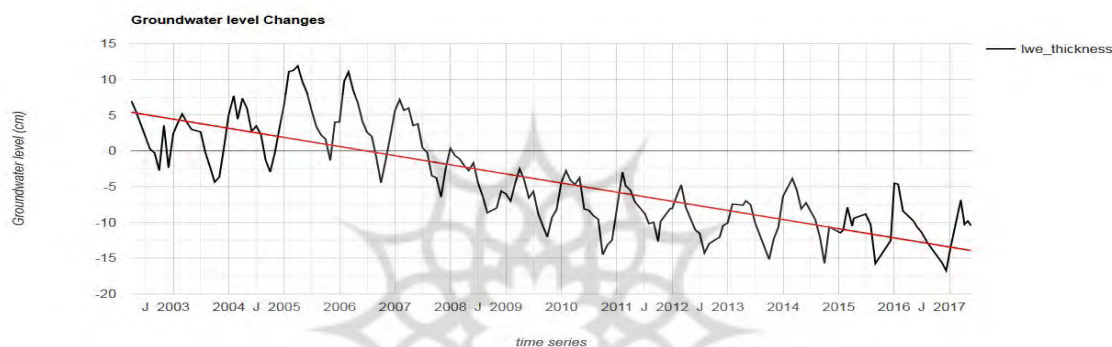
در این پژوهش، مقادیر عددی AWEI_sh در سال‌های مختلف، بین -۰/۹۸ تا ۱/۸۱ متغیر بود. نقشه‌های منتج از این شاخص در نگاره ۵ نشان داده شده است. همانطور که در این نگاره نیز مشهود است، وسعت توده‌ی آبی تالاب بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ با تغییراتی همراه بوده است. در رابطه با کاهش وسعت تالاب‌ها در گذر زمان، موسی‌زاده و همکاران (۲۰۱۵) نیز با مطالعه‌ی مشابهی که بر روی تغییرات تالاب انزلی انجام دادند به معضل تغییر کاربری اراضی اطراف تالاب به اراضی کشاورزی و شهری طی ۳۸ سال بررسی شده اشاره نمودند. در این رابطه باید به این نکته توجه داشت که در راستای برنامه‌ریزی پایدار و مدیریت منابع آبی و بهره‌وری مناسب از اراضی نیاز است نرخ و نوع تغییر کاربری مشخص گردد. در پژوهش حاضر از داده‌های مادیس به‌منظور محاسبه‌ی NDVI استفاده گردید



نگاره ۵: نقشه‌ی توده‌های آبی تالاب مهارلو بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹



نگاره ۶: نمودار میانگین تغییرات مساحت پوشش گیاهی حوضه، بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹

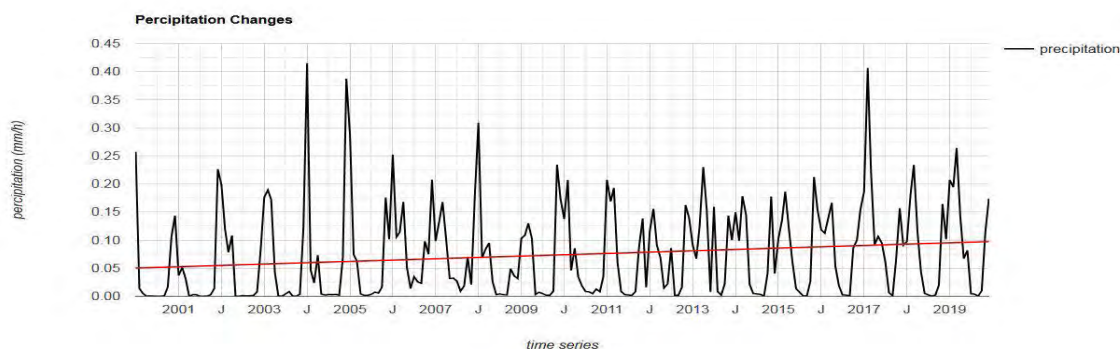


نگاره ۷: نمودار میانگین تغییرات تراز آب زیرزمینی حوضه در سال‌های مورد مطالعه

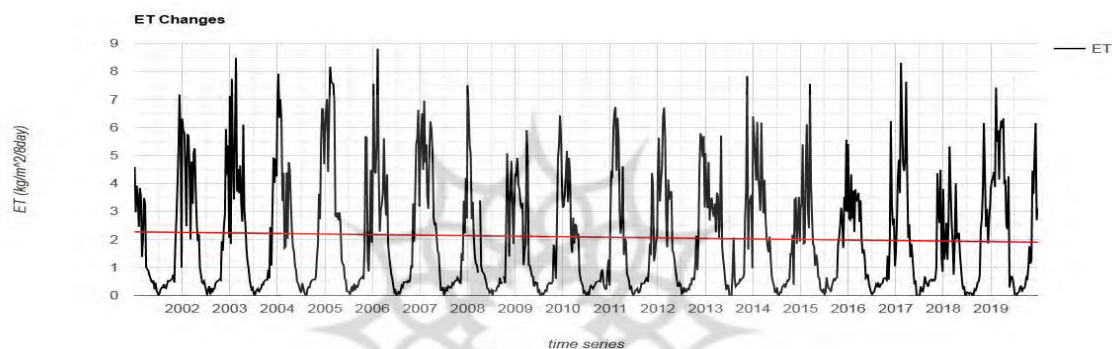
در داده‌های تراز آب زیرزمینی حوضه مشاهده شد. مقدار آماره‌ی من- کندال ($-0/6$) نیز دلالت بر روند کاهشی این داده‌ها داشت (جدول ۳). در نگاره ۷، سری زمانی داده‌های تراز آب زیرزمینی حوضه نشان داده شده است.

در حوضه مورد مطالعه، مقدار آماره‌ی من- کندال برای پارامتر بارش $0/17$ و برای تبخیر- تعرق $0/02$ - نتیجه شد. در نگاره ۸ الف و ۸ ب، به ترتیب سری زمانی پارامترهای بارش و تبخیر نشان داده شده است. با توجه به مقدار آماره‌ی من- کندال ($-0/6$) در رابطه با پارامتر سطح آب زیرزمینی و روند افزایشی NDVI، به نظر می‌رسد، برداشت آب از سفره‌های آب زیرزمینی حوضه به منظور کشاورزی، به مرور زمان بر منفی شدن روند وسعت توده‌های آبی تالاب مهارلو تأثیر گذاشته است (نیمی از چاه‌ها فاقد مجوز می‌باشند). در پژوهشی که توسط خسروی (۱۳۹۷) در حوضه‌ی گلپایگان صورت گرفت به موضوع خشک‌شدگی تالاب شور اشاره گردیده است. محققین این پژوهش بیان

در پژوهش حاضر نیز پوشش گیاهی از یک روند افزایشی در حوضه‌ی مورد مطالعه برخوردار بود. پوشش‌های زراعی و باغی پیرامون تالاب‌ها منجر به برداشت بی‌رویه‌ی آب‌های زیرزمینی شده که به مرور زمان این مسئله از مساحت آب تالاب‌ها می‌کاهد. بنابراین ارزیابی بیلان آبی، یکی از اصول بسیار مهم در رابطه با تصمیم‌گیری در سطح حوضه به لحاظ مدیریت منابع آب، کشاورزی و احداث جنگل است. به منظور ارزیابی نقش سطح آب زیرزمینی در کاهش وسعت توده‌ی آبی حوضه‌ی مورد مطالعه، داده‌های سطح آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی گریس محاسبه گردید (جدول ۲). همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود از سال ۲۰۰۸ به بعد، تمامی مقادیر تراز آب زیرزمینی، منفی شده است و مقدار عددی $-10/86$ سانتیمتر در سال ۲۰۱۹ نشان از افت تراز آب در حوضه مورد مطالعه دارد. از آنجایی که مقدار p-value محاسبه شده کمتر از سطح آلفای معنی‌داری ($0/05$) است ($<0/0001$) لذا وجود روند



الف



ب

نگاره ۸: نمودار تغییرات مقادیر بارش (الف) و تبخیر-تعرق (ب) در حوضه‌ی مورد مطالعه، طی دو دهه‌ی اخیر داشتند که در محدوده‌ی این تالاب ۴۲ روستا وجود دارد و الگوی معیشتی اهالی آن، کشاورزی و دامداری است که هر دو بر تالاب و آب زیرزمینی به شدت تأثیر گذاشته‌اند. این پژوهشگران دلیل این معضل را وجود بیش از ۲۰۰ چاه دانسته‌اند که آب زیرزمینی محدوده‌ی تالاب را برای مصارف کشاورزی برداشت می‌کنند.

در این پژوهش همچنین به این موضوع اشاره شده است که خشک شدن این تالاب به‌عنوان مهم‌ترین کانون ریزگرد منطقه‌ی مورد مطالعه تلقی می‌گردد. در اطراف تالاب مهارلو نیز اراضی زراعی و باغی وجود دارد که می‌تواند در افت سطح آب زیرزمینی و به تبع آن کاهش مساحت توده‌ی آب تالاب اثر بسزایی داشته باشند. بنابراین تغییرات کاربری اراضی و همچنین پوشش زمین، اثرات معنی داری بر روی فرآیندهای هیدرولوژیکی نظیر تبخیر-تعرق، رطوبت

خاک^۲ و تغذیه‌ی آب زیرزمینی^۳ می‌گذارد. گسترش کشت و کارها، جریان‌های هیدروژئولوژیکی را کاهش می‌دهد و به‌منظور استفاده‌های بعدی ممکن است دسترسی به آب و کیفیت آن را دچار مشکل سازد (Chemura et al., 2020).

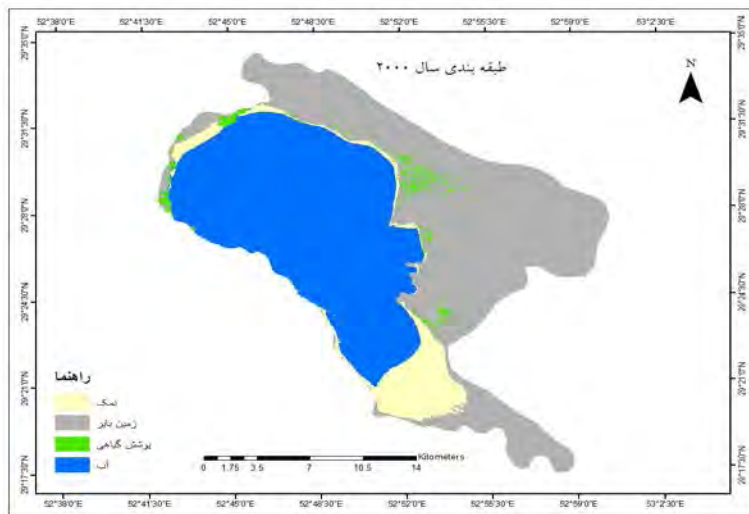
Chemura و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود نشان دادند که تبدیل علفزار به کشت و کار، عملکرد آبی را کاهش خواهد داد. در این رابطه محققین دیگری نیز به اثرات مشابه تغییر کاربری پوشش گیاهی بر روی فرآیندهای دینامیکی حوضه اشاره نموده‌اند (Mittinen et al., 2016; Le Maître et al., 2014).

پارامتر تبخیر-تعرق یک فاکتور بسیار مهم در چرخه‌ی هیدرولوژیکی است که اثرات متقابل اتمسفر و اکوسیستم‌های سطحی، متأثر از این ویژگی می‌باشد. در پژوهشی که توسط Eagleson (۲۰۰۲) انجام گرفت، نتایج حاکی از آن بود که

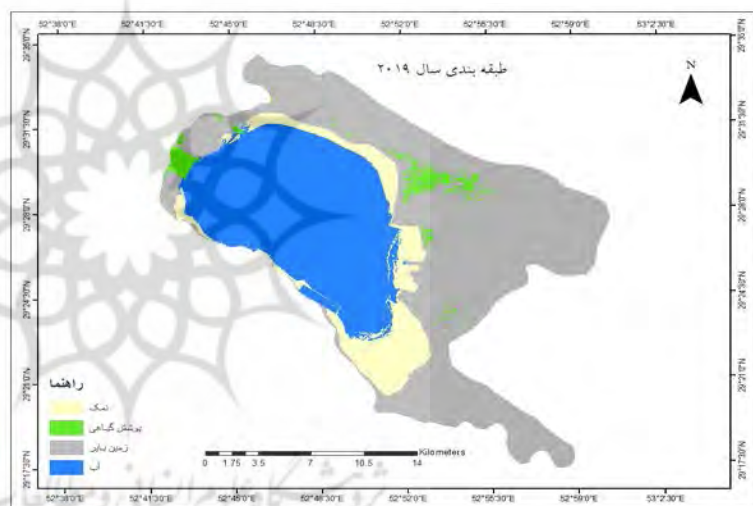
2- Soil Moisture

3- Ground Water Recharge

1- Evapotranspiration (ET)



نگاره ۹: نقشه طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان
 برای سال ۲۰۰۰



نگاره ۱۰: نقشه طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان
 برای سال ۲۰۱۹

با استفاده از جدول ماتریس خطا، برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹، محاسبه گردید که نتایج آن (به ترتیب ۹۹/۷۸ و ۹۹/۹۶ درصد) دلالت بر صحت قابل قبول بود (جدول ۵)

جدول ۴: مساحت کلاس‌های مورد نظر برای منطقه مورد مطالعه (km²)

| سال ۲۰۱۹ | سال ۲۰۰۰ | کلاس‌ها |
|----------|----------|------------|
| ۱۴۲ | ۱۸۶ | آب |
| ۱۰ | ۷ | پوشش گیاهی |
| ۴۵ | ۳۴ | نمک |
| ۲۲۹ | ۱۹۹ | مناطق بایر |

در پوشش علفزار، رطوبت خاک از طریق تبخیر- تعرق کاهش یافت. این موضوع باعث شد آب کمتری برای تغذیه سفره‌ی آب وجود داشته باشد که در پی آن، سطح سفره‌ی آب پایین افتاد. در پژوهش حاضر، نتایج آزمون من- کندال در رابطه با پارامتر بارش دلالت بر روند افزایشی داشت و برای پارامتر تبخیر- تعرق، روندی مشاهده نگردید.

براساس طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان مشخص شد که مقدار مساحت‌های کاربری در اطراف تالاب مهارلو دستخوش تغییراتی شده است (نگاره ۹ و ۱۰).

مساحت تغییرات کاربری پوشش حوضه‌ی مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. همچنین صحت نتایج نیز

جدول ۵: ماتریس خطای طبقه‌بندی لندست ۵ و ۸ برای سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۰۰

| سال | نوع کاربری | آب | پوشش گیاهی | نمک | مناطق بایر | جمع |
|------|------------|------------|------------|------|------------|------|
| ۲۰۰۰ | آب | ۳۰۴۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۳۰۴۱ |
| | پوشش گیاهی | ۰ | ۹۸ | ۰ | ۰ | ۹۸ |
| | نمک | ۵ | ۰ | ۲۷۰ | ۰ | ۲۷۵ |
| | مناطق بایر | ۰ | ۵ | ۰ | ۱۲۳۶ | ۱۲۴۱ |
| | صحت کلی | ۹۹/۷۸ درصد | | | | |
| ۲۰۱۹ | آب | ۷۹۰۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۷۹۰۶ |
| | پوشش گیاهی | ۰ | ۶۰۸ | ۰ | ۰ | ۶۰۸ |
| | نمک | ۰ | ۰ | ۱۰۶۴ | ۰ | ۱۰۶۴ |
| | مناطق بایر | ۰ | ۸ | ۰ | ۱۵۵۲ | ۱۵۶۰ |
| | صحت کلی | ۹۹/۹۶ درصد | | | | |

۴- نتیجه گیری

بدیهی است مدیریت کاربری‌های کشاورزی و جنگل در راستای عدم افزایش آن‌ها، می‌تواند منجر به بهبود تعادل آب در حوضه‌های آبریز گردد. اختلاف عددی میانگین ده ساله‌ی اول و دوم مساحت پوشش گیاهی حوضه (۲۳۳/۴ هکتار در مقابل ۳۶۵/۶ هکتار)، دلالت بر تفاوت مساحت ۱۳۲/۲ هکتار (درصد اختلاف تقریباً ۳۶/۱۶ درصد) داشت. نتایج آزمون من-کنندال نشان داد، تغییرات توده‌های آبی، پوشش گیاهی، میزان بارش و تراز آب زیرزمینی به ترتیب دارای روند کاهشی، افزایشی، افزایشی و کاهشی بوده است و در رابطه با مقادیر تبخیر-تعرق، روندی مشاهده نشد. به نظر می‌رسد در حوضه‌ی مورد مطالعه، گسترش اراضی کشاورزی و متعاقب آن برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی، به مرور زمان بر روند کاهشی وسعت توده‌های آبی این تالاب تأثیر گذاشته است. لذا با توجه به اهمیت بسیار زیاد تالاب مهارلو به دلیل مجاورت آن با شهر شیراز و اهمیت زیست‌محیطی و جاذبه‌های گردشگری آن، پیشنهاد می‌گردد به منظور مدیریت هر چه بهتر این تالاب و جلوگیری از خشک‌شدن آن، حد بستر دریاچه و حریم تالاب در پژوهش‌های آتی توسط سازمان‌های مسئول (سازمان حفاظت از محیط‌زیست و سازمان آب) و تحت نظارت پژوهشگران عرصه‌های سنجش از دوری مشخص گردد. همچنین، پیشنهاد می‌شود روش‌های مصرف آب و الگوی کشت در نواحی اطراف این تالاب، توسط سازمان کشاورزی مورد بازبینی قرار گیرد.

یکی از روش‌های مهم و مقرون به صرفه در راستای پایش تالاب‌ها، بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و روش‌ها و تکنیک‌های سنجش از دور است که در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌های لندست، مادیس، گریس و تی.آر.ام به منظور پایش توده‌های آبی، پوشش گیاهی، تراز آب زیرزمینی و بارش حوضه‌ی آبریز گشنگان که تالاب مهارلو در آن واقع شده است، استفاده گردید.

نتایج پایش توده‌های آبی در حوضه‌ی مورد مطالعه نشان داد که تغییرات میانگین سالانه‌ی مساحت توده‌ی آب تالاب از الگوی کاهشی پیروی می‌کند. بررسی میانگین مساحت آب تالاب در پنج ساله‌ی اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب مقادیر ۲۰۰/۴۱، ۱۶۲/۶۵، ۱۳۷/۸۲ و ۱۱۷/۸۱ کیلومتر مربع را نتیجه داد که به کاهش ۳۷/۷۶، ۲۴/۸۳ و ۲۰ کیلومتر مربع در این بازه‌ی زمانی اشاره داشت. این کاهش، خطری جدی برای سکونتگاه‌های انسانی پیرامون تالاب تلقی گشته و به مرور زمان می‌تواند با خطراتی بسیار جدی همراه باشد. جابه‌جایی مواد بستر تالاب توسط باد در برخی از فصول می‌تواند موجب پراکنش گرد و غبار و مواد آلاینده گردد که این موضوع نیز قطعاً بروز مشکلات تنفسی را برای ساکنین اطراف تالاب و شهرهای پیرامونی در طی زمان به وجود خواهد آورد. همچنین بر جزایر حرارتی شهرستان‌های شیراز و سروستان در آینده‌ای نه چندان دور تأثیرگذار خواهد بود.

منابع و مأخذ

- ۱- آذره، رفیعی ساردوئی، برخورداری؛ علی، الهام، سعید. ۱۳۹۷. بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI و تصاویر سنجنده MODIS، نهمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، مؤسسه آموزش عالی مهرالوند، تهران، ایران.
- ۲- احمدی، نارنگی فرد؛ محمود، مهدی. ۱۳۹۱. ارزیابی پهنه‌های بارشی با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM در استان فارس، پژوهش‌های دانش زمین، سال سوم، شماره ۱۱، صفحات ۲۸ - ۴۴.
- ۳- اشرف‌زاده افشار، جودکی، شریفی؛ علی، غلامرضا، محمدعلی. ۱۳۹۵. ارزیابی منابع آب‌های زیرزمینی ایران با استفاده از داده‌های ماهواره ثقل‌سنجی GRACE، نشریه علمی - پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره پنجم، شماره ۴، صفحه ۷۳ - ۸۴.
- ۴- اصغری سراسکانرود، جلیلیان، پیروزی نژاد، مدد، یادگاری؛ صیاد، روح‌اله، نوشین، عقیل، 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.
- ۵- انتظاری، رحیم‌زادگان؛ سیداردلان، دکترمجید. ۱۳۹۶. بررسی تغییرات آب‌های زیرزمینی با استفاده از داده‌های ماهواره GRACE، چهارمین کنفرانس بین‌المللی فناوری‌های نوین در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، مهر ماه ۹۶، تهران، ایران.
- ۶- خسروی، اعظمی، رجایی، متولی؛ یونس، جابر، مسیح، علیرضا. ۱۳۹۷. بررسی روند تغییرات و نوسانات بارش در تالاب شور گلپایگان، مطالعات علوم محیط‌زیست، دوره سوم، شماره چهارم، صفحه ۸۶۱-۸۵۱.
- ۷- دماوندی، رحیمی، یزدانی، نوروزی؛ علی‌اکبر، محمد، محمدرضا، علی‌اکبر. ۱۳۹۵. پایش مکانی خشکسالی کشاورزی از طریق سری‌های زمانی شاخص‌های NDVI و LST داده‌های MODIS (مطالعه موردی: استان مرکزی)، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره ۲۵، شماره ۹۹، صفحه ۱۱۵-۱۲۶.
- ۸- رضایی مقدم، ولی‌زاده کامران، رستم‌زاده، رضایی؛ محمد، خلیل، هاشم، علی. ۱۳۹۱. ارزیابی کارایی داده‌های سنجنده‌ی MODIS در برآورد خشکسالی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه)، جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۵، صفحه ۳۷-۵۲.
- ۹- عطارچی، سارا. ۱۳۹۸. کارایی شاخص‌های راداری در استخراج سطوح نفوذناپذیر شهری با استفاده از تصویر رادار تمام پلاریمتریک، پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، دوره ۷، شماره ۴، صفحات ۸۳۷ - ۸۵۴.
- ۱۰- فتوحی، مصباح، صدری؛ صمد، سیدحمید، سعیده. ۱۳۹۳. شناسایی و تحلیل ماتریس ریسک خشک شدن تالاب مهارلو و پیامدهای آن بر محیط، اکوبیولوژی تالاب (تالاب)، دوره ۶، شماره ۲۰، صفحات ۵۴-۴۳.
- ۱۱- فرجی، کاویانی، اشرف‌زاده؛ زهره، عباس، افشین. ۱۳۹۶. ارزیابی داده‌های ماهواره GRACE در برآورد تغییرات سطح آب زیرزمینی در استان قزوین، اکوهیدرولوژی، دوره ۴، شماره ۲، صفحه ۴۷۶ - ۴۶۳.
- ۱۲- فیاضی، نخعی، لک؛ فرج‌اله، محمد، راضیه. ۱۳۸۶. پیشنهاد تغییرات جزئی در نمودار تکامل شورابه، ارائه شده توسط آگوستر و هاردی با بررسی شورابه دریاچه مهارلو، علوم زمین، سال شانزدهم، شماره ۶۳، صفحات ۱۰-۱.
- ۱۳- قهرودی‌تالی، لشگری، حسینی؛ منیژه، حسن، زهرا سادات. ۱۳۹۰. شناسایی پهنه‌های رسوبی ناشی از تحولات اقلیمی در پلایای مهارلو با بکارگیری تکنیک PCA و شاخص OIF، نشریه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال اول، شماره ۳، صفحات ۳۶-۲۱.
- ۱۴- کاظم‌زاده، اکبری؛ مجید، جواد. ۱۳۹۸. تحلیل دقت مکانی تصاویر ماهواره TRMM در برآورد شاخص خشکسالی هواشناسی، مطالعه موردی: کشور ایران، نشریه علمی - پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۱۱،

source optical satellite imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 144, 119-136.

23- Amani, M., Mahdavi, S., Afshar, M., Brisco, B., Huang, W., Mohammad Javad Mirzadeh, S., . . . Hopkinson, C. (2019). Canadian wetland inventory using Google Earth engine: the first map and preliminary results. *Remote Sensing*, 11(7), 842.

24- Awange, J. L., Sharifi, M. A., Ogonda, G., Wickert, J., Grafarend, E. W., & Omulo, M. A. (2008). The falling Lake Victoria water level: GRACE, TRIMM and CHAMP satellite analysis of the lake basin. *Water Resources Management*, 22(7), 775-796.

25- Brisco, B. (2015). Mapping and monitoring surface water and wetlands with synthetic aperture radar. *Remote Sensing of Wetlands: Applications and Advances*, 119-136.

26- Burges, C. J. (1998). A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data mining and knowledge discovery*, 2(2), 121-167.

27- Chemura, A., Rwasoka, D., Mutanga, O., Dube, T., & Mushore, T. (2020). The impact of land-use/land cover changes on water balance of the heterogeneous Buzi sub-catchment, Zimbabwe. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100292.

28- Dronova, I. (2015). Object-based image analysis in wetland research: A review. *Remote Sensing*, 7(5), 6380-6413.

29- Eagleson, P. S. (2005). *Ecohydrology: Darwinian expression of vegetation form and function*: Cambridge University Press.

30- Feng, L., Hu, C., Chen, X., Cai, X., Tian, L., & Gan, W. (2012). Assessment of inundation changes of Poyang Lake using MODIS observations between 2000 and 2010. *Remote Sensing of Environment*, 121, 80-92.

31- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23-35.

32- Gallant, A. L. (2015). *The challenges of remote monitoring of wetlands: Multidisciplinary Digital Publishing Institute*.

33- George, G., Hurley, M., & Hewitt, D. (2007). The impact of climate change on the physical characteristics

شماره ۴، صفحات ۹۰۳ - ۹۱۶.

۱۵- کاظمی، فیض‌نیا، خسروی، ناجی، مصباح؛ محسن، سادات، حسن، صادق، حمید. ۱۳۹۸. بررسی تغییرات سطح دریاچه مهارلو و کاربری اراضی حاشیه آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۱۱، شماره ۴، صفحات ۱۱۳۰-۱۱۳۹.

۱۶- کشاورز، قاسمیان یزدی؛ احمد، محمدحسین. ۱۳۸۴. یک الگوریتم سریع مبتنی بر ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی تصاویر ابرطیفی با استفاده از همبستگی مکانی، مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، دوره ۳، شماره ۱، صفحات ۳۷ - ۴۴.

۱۷- مرادی، کمالی، وظیفه‌دوست؛ فرزانه، غلامعلی، مجید. ۱۳۹۴. ارزیابی محصول تبخیر - تعرق پتانسیل از سنجنده MODIS با استفاده از آمار ایستگاه‌های همدیدی در استان زنجان، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال ششم، شماره بیست و سوم و بیست و چهارم، صفحه ۳۹ - ۴۸.

۱۸- نیازی، طالبی، مختاری، وظیفه‌دوست؛ یعقوب، علی، محمدحسین، مجید. ۱۳۹۷. آنالیز مکانی - زمانی دقت داده‌های ماهواره‌ای TRMM برای برآورد شدت خشک سالی مبتنی بر بارش در محدوده ایران مرکزی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، صفحات ۶۹-۵۸.

19- Adam, E., Mutanga, O., & Rugege, D. (2010). Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review. *Wetlands Ecology and Management*, 18(3), 281-296.

20- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56*. Fao, Rome, 300(9), D05109.

21- Allen, R., Bastiaanssen, W., Wright, J., Morse, A., Tasumi, M., & Trezza, R. (2002). Evapotranspiration from satellite images for water management and hydrologic balances. Paper presented at the Proceedings of the 2002 ICID conference, Montreal, Canada.

22- Amani, M., Salehi, B., Mahdavi, S., & Brisco, B. (2018). Spectral analysis of wetlands using multi-

China using time series Landsat images in 2018 and Google Earth Engine. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 163, 312-326.

44- Wu, Q., Lane, C. R., Li, X., Zhao, K., Zhou, Y., Clinton, N., . . . Lang, M. W. (2019). Integrating LiDAR data and multi-temporal aerial imagery to map wetland inundation dynamics using Google Earth Engine. Remote Sensing of Environment, 228, 1-13.

45- Zhang, W., Yao, L., Li, H., Sun, D., & Zhou, L. (2011). Research on land use change in Beijing Hanshiqiao Wetland Nature Reserve using remote sensing and GIS. Procedia Environmental Sciences, 10, 583-588.

of the larger lakes in the English Lake District. Freshwater Biology, 52(9), 1647-1666.

34- Hampton, S. E., Izmet'eva, L. R., Moore, M. V., Katz, S. L., Dennis, B., & Silow, E. A. (2008). Sixty years of environmental change in the world's largest freshwater lake-Lake Baikal, Siberia. Global Change Biology, 14(8), 1947-1958.

35- Henderson, F. M., & Lewis, A. J. (2008). Radar detection of wetland ecosystems: a review. International Journal of Remote Sensing, 29(20), 5809-5835.

36- Klein, I., Dietz, A. J., Gessner, U., Galayeva, A., Myrzakhmetov, A., & Kuenzer, C. (2014). Evaluation of seasonal water body extents in Central Asia over the past 27 years derived from medium-resolution remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 26, 335-349.

37- Le Maitre, D. C., Kotzee, I. M., & O'Farrell, P. J. (2014). Impacts of land-cover change on the water flow regulation ecosystem service: Invasive alien plants, fire and their policy implications. Land Use Policy, 36, 171-181.

38- Mahdavi, S., Salehi, B., Granger, J., Amani, M., Brisco, B., & Huang, W. (2018). Remote sensing for wetland classification: A comprehensive review. GIScience & Remote Sensing, 55(5), 623-658.

39- Miettinen, J., Shi, C., & Liew, S. C. (2016). Land cover distribution in the peatlands of Peninsular Malaysia, Sumatra and Borneo in 2015 with changes since 1990. Global Ecology and Conservation, 6, 67-78.

40- Mountrakis, G., Im, J., & Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66(3), 247-259.

41- Mousazadeh, R., Ghaffarzadeh, H., Nouri, J., Gharagozlou, A., & Farahpour, M. (2015). Land use change detection and impact assessment in Anzali international coastal wetland using multi-temporal satellite images. Environmental monitoring and assessment, 187(12), 776.

42- Ozemi, S., & Bauer, M. (2002). Satellite Remote Sensing of Wetlands, Wetlands Ecology and Management.

43- Wang, X., Xiao, X., Zou, Z., Hou, L., Qin, Y., Dong, J., . . . Chen, Y. (2020). Mapping coastal wetlands of