پژوهش و فناوری محیط‌زیست، ۱۴۰۲،(۱۴)۸، ۱۱۱-۹۳

پژوهشکده محیط زیست

پژوهش و فناوری محیط زیست

وبگاه نشریه: www.journal.eri.acecr.ir

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۳۰۶۰

بررسی تغییرات کاربری اراضی و روند تحولات شاخص‌های هیدرومورفولوژیکی بر روی مساحت و حجم پهنه آبی دریاچه اوان براساس سری‌های زمانی داده‌های لندست

مرتضی کریمی[۱]، هادی مدبری[۲*]، بابک رازدار[۱]

۱- پژوهشگر گروه پایش منابع آب پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی

۲- استادیار گروه پایش منابع آب پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۲/۱۱

دسترسی آنلاین:
۱۴۰۳/۰۲/۱۳

کلید واژه‌ها:
پهنه آبی تالاب،
سنجش از دور،
شاخص‌های هیدرولوژیکی،
دریاچه اوان

چکیده

یکی از مهمترین رویکردهای حفظ و احیاء تالاب‌ها، شناسایی تغییرات محیط‌زیستی از گذشته تاکنون و تدوین برنامه مدیریت جامع و یکپارچه برای کنترل این تغییرات و تصمیم‌سازی برای ارائه راهکار به‌منظور بهبود وضعیت این اکوسیستم‌های پرارزش است. دریاچه اوان به‌عنوان یکی از چشم‌اندازهای زیبا و گردشگری در منطقه شکار ممنوع الموت شرقی قزوین دارای زیستگاه‌های بارز کوهستانی و انواع گونه‌های حیات وحش است. در این تحقیق روند تغییرات رخ داده در دریاچه اوان و کاربری اراضی در واحد هیدرولوژیکی منتهی به آن در یک دوره زمانی ۳۰ ساله با استفاده از سنجش از دور شناسایی و روند تغییرات آن‌ها به‌صورت کمی به‌دست آمد. سپس تأثیر شاخص‌های هیدرومورفولوژیکی مرتبط با دریاچه بر روی مساحت و حجم دریاچه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین مساحت پهنه آبی دریاچه اوان بر اساس شاخص MNDWI در طول ۸ سال گذشته ۸/۱۵ هکتار بوده و براساس رگرسیون‌های تک متغیره، رژیم هیدرولوژیکی آن به‌طور عمده با دو فاکتور مهم بارش و تبخیر ارتباط دارد. به‌طوری که با افزایش مقدار بارندگی و مساحت و حجم پهنه آبی نیز افزایش یافته است. پارامتر تبخیر نیز روند منطقی را در طول سال‌های آماری از خود نشان داد به‌طوری‌که مساحت و حجم پهنه آبی دریاچه با افزایش تبخیر از سطح آزاد آب کاهش یافته است. همچنین، نتایج رگرسیون چندمتغیره بین حجم آب دریاچه و مؤلفه‌های بارندگی و تبخیر نشان داد که حجم دریاچه با بارندگی همبستگی بیشتری دارد، اما در مقابل تبخیر با شیب یا نرخ بیشتری تغییر می‌کند.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: modaberi8@gmail.com

Journal of Environmental Research and Technology

journal homepage: www.journal.eri.acecr.ir

Environmental Research institute

Online ISSN: 3060-2676

Investigating land use changes and trends of hydro morphological indicators on the area and volume of the Ovan Lake's water zone based on the time series of Landsat data

Morteza karimi[1], Hadi Modaberi[2*], Babak Razdar[1]

1- Department of Water Resources Monitoring, Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Environmental Institute, Rasht, Iran
2- Assistant Professor, Department of Water Resources Monitoring, Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Environmental Research Institute, Rasht, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
16/03/2024
Accepted:
30/04/2024
Available online:
02/05/2024

Keywords:
Wetland water area,
Remote sensing,
Hydrological indicators,
Ovan Lake

Abstract

One of the most important approaches to preserve and restore wetlands, is identifying environmental changes from past to present and developing an integrated management plan to control these changes and decision-making to provide solutions for improving the condition of these valuable ecosystems. Ovan Lake, as one of the beautiful and touristic landscapes in the forbidden hunting area of Eastern Qazvin, has distinct mountain habitats and various species of wildlife. By employing remote sensing techniques for a 30-year period, the process of changes and land use in the hydrological unit leading to Ovan Lake were identified and the trend of their changes was obtained quantitatively in this research. Then, the effect of the related hydromorphological indicators on the area and volume of the lake was investigated. The results showed that, according to the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), the average area of the lake water zone was 8.15 hectares over the past eight years and based on univariate regressions, its hydrological regime is mainly related to two important factors of precipitation and evaporation. According to the univariate regressions demonstrate a significant relationship between the lake's hydrological regime and precipitation/evaporation rates. The evaporation parameter also showed a logical trend during the statistical years, so that the area and volume of the water zone of the lake has decreased by the increase of evaporation from the free surface of the water. Also, the results of multivariate regression between lake water volume and rainfall and evaporation components showed that the lake volume is more correlated with rainfall. But in contrast, evaporation changes with a greater slope or rate.

* Corresponding author E-mail address: modaberi8@gmail.com

مقدمه

تالاب‌ها به‌عنوان یکی از مفیدترین و پرچالش‌ترین بخش‌های اکوسیستم‌های طبیعی به شمار می‌روند. این زیستگاه‌های حیاتی و متنوع از جمله نظام‌های حیات‌بخشی هستند که جایگزین ندارند و خدمات متنوعی را در اختیار جوامع محلی قرار می‌دهند. کارکردها یا به‌عبارت بهتر سرویس و خدمات تالاب‌ها برای جوامع انسانی بسیار گسترده می‌باشند. این کارکردها شامل برداشت مستقیم آب از تالاب، تأمین علوفه دام، صیادی، شکار، حمل و نقل، ارزش‌های فرهنگی و تاریخی خاص، برداشت گیاهان برای مصارف مختلف، گردشگری و تفرج و غیره می‌باشد (مدبری و شکوهی، ۱۳۹۹). علی‌رغم این که تالاب‌ها خدمات و منافع زیادی برای مردم ارائه می‌دهند و تلاش زیادی برای حفاظت آن‌ها صورت می‌گیرد، اما به طور پیوسته تحت فشارهای مختلف قرار دارند (مدبری و شکوهی، ۱۳۹۸). در سال‌های اخیر به‌دلایل مختلفی مانند تغییرات اقلیمی، کمبود آب و تعارضات انسانی بی‌شمار، این اکوسیستم‌های حیاتی با خطرات جدی مواجه شده‌اند (Lima-Quispe et al., 2021). تغییرات کاربری زمین، واژه‌ای توصیف‌کننده از نوع رفتار انسان‌ها با طبیعت، ازجمله نگرانی‌های اصلی محیط‌زیست نسبت به تالاب‌ها به شمار می‌رود. ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی فرآیندی است که به ایجاد درک صحیح از نحوه تعامل انسان و محیط‌زیست منجر می‌شود. تغییرات کاربری یکی از فاکتورهای مهم در تغییر جریان هیدرولوژیکی، فرسایش حوضه و انهدام تنوع زیستی است لذا می‌توان با اطلاع از روند تغییرات کاربری اراضی در راستای هدایت اکوسیستم به سمت تعادل قدم برداشت (حقیقی و همکاران، ۱۴۰۲). یکی دیگر از مهمترین عوامل موثر بر ساختار و عملکرد و توزیع تالاب‌ها، به ویژه در قرن اخیر، تغییرات اقلیمی بوده که البته تاثیر آن در تالاب‌های مختلف، متفاوت است. روند رشد گرم‌شدن کره زمین و برهم‌خوردن توازن اکوسیستم‌ها، آینده این ذخایر ارزشمند آبی را با چالش‌های بسیاری روبرو کرده است (Wang et al., 2020; Salimi et al., 2021). روش‌های مختلفی برای پایش تالاب‌ها وجود دارد. استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای یکی از ابزارهای مناسب به منظور آشکارسازی تغییرات شاخص‌های اکولوژیکی در اکوسیستم‌های تالابی به صورت پیوسته است (Manandhar et al., 2018). استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور (تصاویر ماهواره‌ای - عکس‌های هوایی) باتوجه به ویژگی‌هایی مانند دید وسیع، یکپارچه، استفاده از قسمت‌های مختلف طیف انرژی الکترومغناطیس برای ثبت خصوصیات پدیده‌ها، پوشش تکراری و امکان به‌کارگیری سخت‌افزارها و نرم‌افزارها موجب شده که در دنیا با استقبال خاصی روبه‌رو باشد که یکی از کاربردهای مهم تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای، تهیه نقشه کاربری اراضی است (Ballanti et al., 2018). استفاده از تکنیک سنجش از دور در مطالعات مربوط به پایش اکوسیستم‌های آبی به ویژه تالاب‌ها در سراسر دنیا پیشینه طولانی داشته و در کشور ما نیز در سال‌های اخیر مطالعات موفقیت‌آمیزی با این رویکرد انجام شده است.

محمدی و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به آشکارسازی تغییرات پوشش سرزمین تالاب میقان با استفاده از تکنیک سنجش از دور پرداختند. در این پژوهش از پردازش و تفسیر تصاویر زمین مرجع ماهواره Landsat سنجنده‌های ETM+ و OLI 8 TRIS استفاده شد. نتایج آشکارسازی تغییرات نشان داد که مساحت این تالاب و میزان پوشش گیاهی آن با گذشت زمان تا سال ۲۰۱۸ به ترتیب کاهشی در حدود ۳۲ و ۶۴ درصد داشته است. در همین دوره زمانی، مساحت زمین‌های بایر و کشتزارها به ترتیب ۶ و ۲۳ درصد افزایش داشته است. همچنین، نتایج مطالعه نشان داد که تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای به کمک ابزار سنجش از دور می‌تواند به‌طور مؤثری روند تغییرات مساحت تالاب، زمین‌های بایر، کشتزاها و پوشش گیاهی تالاب را در بازه‌های زمانی مورد مطالعه به‌خوبی نشان دهد. طبقه‌بندی پوشش گیاهی تالاب انزلی بر اساس شاخص تالابی به کمک طبقه‌بندی شیءگرای تصاویر ماهواره‌ای توسط حقیقی و همکاران (۱۴۰۰) در ۱۰ کلاس پوششی به انجام رسید. این

طبقه‌بندی با استفاده از نمونه‌برداری زمینی، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و طبقه‌بندی شیءگرا تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ در سال ۱۳۹۸ در تلفیق با تصویر ماهواره سنتینل ۲ انجام شد و پراکنش گروه‌های گیاهان اجباری و اختیاری تالاب در حاشیه پهنه‌های آبی و خشکی تالاب تعیین شد. در مطالعه .Azareh et al (2021) به تشخیص و پیش‌بینی تخریب دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو در استان فارس با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین و داده‌های سنجش‌از دور در سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲، ۲۰۱۸ و ۲۰۳۰ پرداختند و روند تغییرات کاربری اراضی و سیمای سرزمین برای سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی شد. نتایج حاکی از تخریب قابل‌توجه مراتع و جنگل‌ها به دلیل تبدیل به کشاورزی و ساخت‌وساز و روند کاهشی بدنه آبی دریاچه‌ها و تبدیل آنها به دریاچه‌های نمک و اراضی نمک است. افزایش زمین‌های کشاورزی و استفاده بی‌رویه از چاه‌های آب زیرزمینی در بالادست دریاچه‌ها می‌تواند یکی از دلایل این کاهش باشد. بررسی تغییرات پهنه آبی دریاچه آب شیرین Poyang در چین با استفاده از ماهواره لندست نشان داد که در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ این تالاب فاقد پوشش گیاهی بود، اما در طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ حدود ۳۰ درصد از تالاب دارای پوشش گیاهی و تغییرات محسوسی در پهنه آبی تالاب و سطح آب تالاب مشخص شد. بر اساس تجزیه و تحلیل بلندمدت هیدرولوژیکی و داده‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه نتیجه شد که اگرچه بارش در طول این دوره ثابت مانده اما سطح آب دریاچه به طور قابل توجهی کاهش یافته است که دلیل آن نیز اثرات فعالیت‌های انسانی به خصوص احداث سد بر روی ورودی دریاچه بود (Feng et al., 2019).

به منظور بررسی عوامل تأثیرگذار بر خشکیدگی تالاب گاوخونی و فرایند تغییرات رخداده در سطح با استفاده از تکنیک-های دورسنجی و شبکه عصبی مورد بررسی قرار گرفت. سری زمانی تغییرات مساحت پهنه آبی تالاب بر اساس شاخص MNDWI محاسبه شده و بر اساس بهترین مدل برازش یافته شبکه عصبی مصنوعی (MLP4) مهم‌ترین عوامل تدثیرگذار بر تغییرات سطح تالاب به ترتیب دبی جریان‌های ورودی به تالاب، تبخیر، افت تراز سطح ایستابی، درجه حرارت و بارندگی گزارش شد (ولی و همکاران، ۱۳۹۵). در مطالعه دیگری تغییرات وسعت تالاب کافتر در استان فارس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به صورت سری زمانی ۳۰ ساله محاسبه شد و در مقابل سری زمانی بارندگی به کمک رگرسیون خطی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از ضریب همبستگی ۰/۹۱ بین این دو متغیر بود که ضمن فراهم آوردن اطلاعات دقیق در مورد پاسخ تالاب به تغییرات اقلیمی و انسانی می‌توان از این نتایج برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی جهت حفظ تالاب بهره برد (نوری کمری و همکاران، ۱۳۹۸). ارزیابی و مدلسازی تغییرات فیزیکی تالاب ارژن با استفاده از طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای به روش NDVI و پارامترهای اقلیمی نشان داد که در بین پارامترهای آب و هوایی مورد بررسی پارامتر بارش با ضریب همبستگی حدود ۰/۵۳ و تبخیر و تعرق پتانسیل با ضریب همبستگی حدود ۰/۴۳- همبستگی بیشتری با تغییرات مساحت دریاچه داشتند. همچنین بر اساس مدل برازش داده‌شده و پیش‌نگری پارامترهای اقلیمی، وضعیت دریاچه در سال‌های آینده تحت سناریوهای اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت (زندی و همکاران، ۱۴۰۱).

مطالعات دیگری از این دست نیز موجود است که به علت پیمودن مسیری متفاوت از آنچه که پژوهش حاضر می‌پیماید از ذکر آن‌ها خودداری می‌شود. بررسی مرور منابع و مفاهیم تحقیق نشان داد که آشکارسازی تغییرات با کمک تصاویر ماهواره‌ای یکی از نیازهای اساسی در مدیریت و ارزیابی منابع طبیعی است. به دلیل افزایش جمعیت و به تبع آن نیازهای فزاینده در خصوص تأمین مسکن، زمین‌های کشاورزی، توسعه گردشگری روستایی و همچنین عدم وجود برنامه‌های حفاظتی و مدیریتی مناسب، دریاچه اوان از وضعیت شکننده‌ای برخوردار است لذا در تحقیق حاضر با استفاده از کاربرد سنجش از دور در بررسی سری زمانی تغییرات شاخص‌های هیدرومورفولوژیکی پهنه آبی، ارتباط بین مؤلفه‌های هیدرولوژیکی حوضه با شاخص‌های

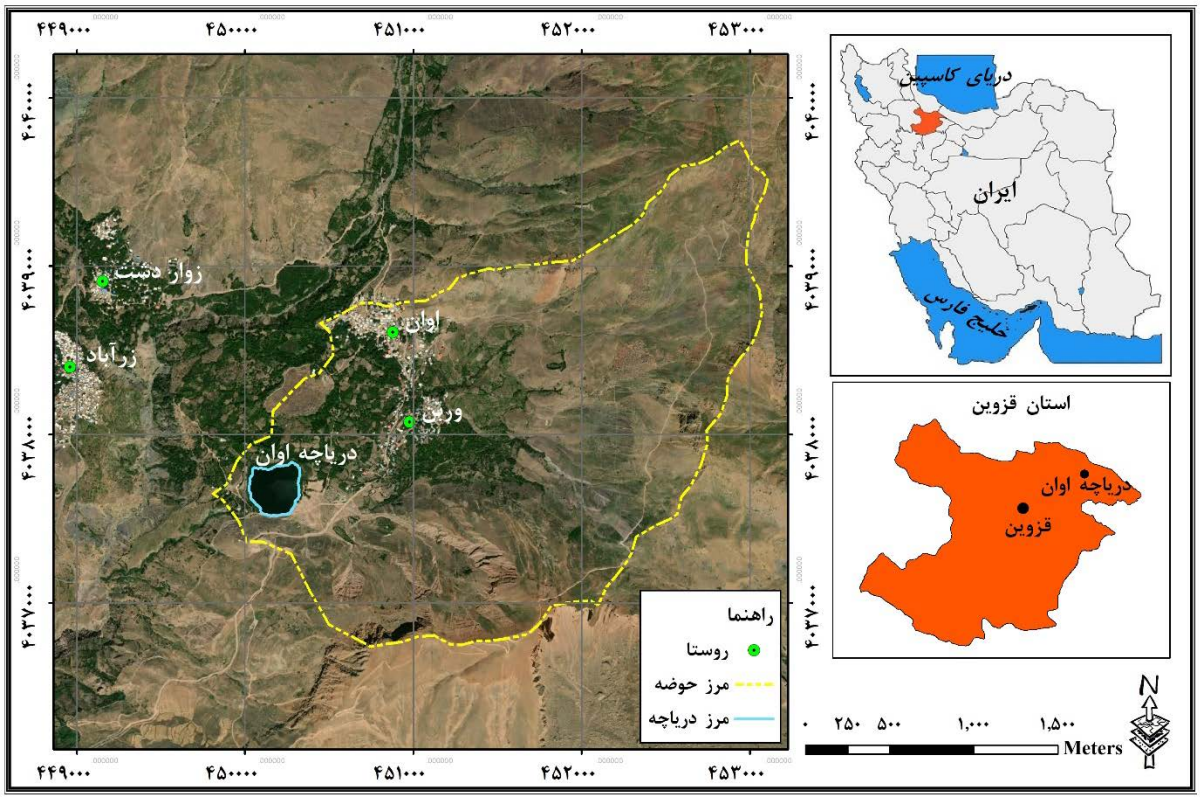
هیدرومورفولوژیکی حوضه تعیین شده است که می‌توان از آن بدون نیاز به صرف هزینه و زمان به عنوان روش جایگزین پایش و اندازه‌گیری میدانی به کار برد و جهت پیش‌بینی آینده از آن استفاده نمود. به طوری که با توجه به اثرات انسانی و تغییرات اقلیمی شامل وقایع حدی خشکسالی و سیلاب بر مولفه‌های بیلان منابع آب یک پهنه آبی، می‌توان پیش‌بینی مناسبی از پاسخ شاخص‌های هیدرومورفولوژیکی پهنه آبی تحت سناریوهای مختلف را جهت برنامه‌ریزی، طرح و اجرای راهکارهای مدیریتی ارائه کرد.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر به منظور رسیدن به اهداف تعیین‌شده، از تصاویر ماهواره‌ای سری لندست (Landsat) در بازه زمانی سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ میلادی به همراه داده‌های هندسی دریاچه و نمونه‌های تعلیمی برداشت‌شده برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. همچنین داده‌های هیدرولوژیکی همچون بارندگی و تبخیر اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه هواشناسی معلم‌کلایه و باغ‌کلایه مورد استفاده قرار گرفت. به طور کلی روش انجام کار در سه گام انجام شده است. در گام اول، کاربری اراضی در محدوده حریم دریاچه اوان در وضع موجود آشکارسازی گردید. در گام دوم به بررسی روند تغییرات رخداده طی دوره بلندمدت در حوضه دریاچه اوان پرداخته شد. برای رسیدن به این هدف، تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبریز دریاچه اوان در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ میلادی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در گام سوم، شرایط هیدرومورفولوژی دریاچه به لحاظ تأثیر مستقیم آن بر مرز و خصوصیات فیزیکی تالاب با استفاده از ابزارهای مختلفی همچون تصاویر ماهواره‌ای و پردازش آن‌ها، نقشه‌برداری و عمق‌سنجی بستر و حاشیه دریاچه، نرم‌افزارهای تخصصی، بازدیدهای میدانی متعدد از وضعیت دریاچه و عوارض موجود، جمع‌آوری اطلاعات از افراد بومی و متخصص بررسی شد. در این مرحله مساحت دریاچه اوان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای در حالت وضع موجود و دامنه حداقل و حداکثر آن محاسبه گردید. سپس روند تغییرات مساحت پهنه آبی در طول سالیان گذشته بررسی شد و به کمک منحنی سطح-حجم-ارتفاع دریاچه، تراز و حجم متناظر نیز به دست آمد. سپس به بررسی ارتباط بین حجم دریاچه و مؤلفه‌های هیدرولوژیکی حوضه از طریق رگرسیون‌های تک و دو متغیره پرداخته شد.

محدوده مورد مطالعه

دریاچه اوان در نیمه شمالی الموت، در دامنه کوه خشچال، در فاصله ۷۵ کیلومتری قزوین و در میان چهار روستای اوان، وربن، زواردشت و زرآباد شهر قزوین قرار دارد. موقعیت جغرافیایی دریاچه ″۵۸-′۲۸-°۳۶ طول شمالی و ″۳۶-′۲۶-°۵۰ درجه شرقی می‌باشد (شکل ۱). دریاچه اوان از نوع دریاچه آب شیرین است و در منطقه حفاظت‌شده الموت و همچنین منطقه تیراندازی و شکارممنوع الموت شرقی قرار دارد. تالابی کوچک با عمق بیش از شش متر که شامل پهنه آبی وسیع و نواری کم‌عرض از گیاه بن در آب نی به عنوان شاخص‌ترین گیاه آبزی و زیستگاه امن برای آشیانه‌سازی پرندگان و زادآوری سایر مهره‌داران، در حاشیه‌ها است (کاظمی‌راد و مدبری، ۱۴۰۲).



شکل (۱) موقعیت دریاچه اوان، حوضه آبریز و محدوده بستر آن

بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه و پهنه آبی دریاچه

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در تحقیقات قبلی و بارز بودن قابلیت استفاده از تصاویر ماهواره لندست در بررسی روند تغییرات مساحت تالاب‌ها و دریاچه‌ها، تصاویر سنجنده‌های TM و ETM+ و OLI به ترتیب از ماهواره‌های لندست ۵، ۷ و ۸ از طریق پایگاه USGS در محدوده‌ی مکانی و زمانی موردنظر تهیه و مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی در سطح حوضه در طی ۳۰ سال گذشته، از تصاویر مربوط به ماهواره لندست ۵ در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۵ و تصویر مربوط به ماهواره لندست ۸ در سال ۲۰۲۰ انتخاب شدند. همچنین، برای بررسی روند تغییرات مساحت پهنه آبی دریاچه اوان، با توجه به وسعت کم این دریاچه، تنها از تصاویر سنجنده OLI که دارای قدرت تفکیک مکانی بیشتر نسبت به سایر سنجنده‌های سری لندست می‌باشد، استفاده شد. لذا تصاویر مربوط به فصل تابستان در سال‌های ۲۰۱۳ (شروع مأموریت ماهواره لندست ۸) تا ۲۰۲۰ انتخاب گردید تا بتوان مساحت پهنه آبی دریاچه را در شرایط هواشناسی و هیدرولوژیکی یکسان در انتهای هر سال آبی به دست آورد (جدول ۱).

پیش از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، ابتدا تصحیحات و فرآیندهای اولیه و پایه مانند تصحیح اتمسفریک و رادیومتریک به‌عنوان پیش‌پردازش توسط نرم‌افزار انجام شد. پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای اولین تصحیح انجام‌شده بر این تصاویر تبدیل مقادیر دیجیتال نامبر به مقادیر بازتابش بود. پس از اعمال تصحیح رادیومتریک روی تصاویر، مقادیر مربوط به هر پیکسل از حالت خام خارج‌شده و به مقدار انرژی بازتابیده شده از هر پدیده تبدیل شد که برای مقایسه تصاویر مربوط به زمان‌های مختلف، معیار مناسب‌تری بود. در مرحله بعد که اصلی‌ترین قسمت پردازش‌ها و تحلیل‌های تصاویر ماهواره‌ای در آن انجام می‌شود انتخاب روش طبقه‌بندی و تفسیر تصاویر بود. روش‌های بسیاری برای تشخیص پهنه‌های آبی توسط تصاویر ماهواره‌ای

جدول (۱) مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

ردیف	تاریخ	ماهواره	سنجنده	قدرت تفکیک مکانی (m)
۱	۱۹۹۰/۰۶/۱۱	لندست ۵	TM	۶۰
۲	۲۰۰۵/۰۶/۱۶			
۳	۲۰۱۳/۰۶/۱۹			
۴	۲۰۱۴/۰۶/۰۶			
۵	۲۰۱۵/۰۶/۲۵			
۶	۲۰۱۶/۰۶/۲۷	لندست ۸	OLI	۱۵ و ۳۰
۷	۲۰۱۷/۰۶/۳۰			
۸	۲۰۱۸/۰۶/۱۷			
۹	۲۰۱۹/۰۶/۲۰			
۱۰	۲۰۲۰/۰۶/۲۲			

وجود دارد. ازجمله این روش‌ها می‌تواند به روش‌های جداسازی شاخص‌های تک‌بانده و چندبانده ، طبقه‌بندی چند طیفی و طبقه‌بندی نظارت‌شده و نظارت‌نشده اشاره کرد (Forkuor et al., 2017). در سنجش‌ازدور با در نظر گرفتن دو پارامتر، اول معیار طبقه‌بندی که بازتابندگی در باندهای مختلف است و دیگری تعداد کلاس‌های طبقه‌بندی، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای انجام می‌شود. در مطالعه حاضر به منظور بررسی کاربری اراضی در سطح حوضه آبریز دریاچه اوان از روش نظارت‌شده‌ی درست‌نمایی بیشینه (Maximum Likelihood) استفاده شد. پس از جمع‌آوری تعداد ۲۴۰ نمونه تعلیمی از طریق برداشت میدانی و تصاویر گوگل‌ارث، ۵ کلاس کاربری مشخص شد. ۷۰ درصد نقاط به عنوان نمونه‌های آموزشی و ۳۰ درصد آن‌ها برای صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین کاربری‌های موجود در حاشیه‌ی تالاب که امکان کلاس‌بندی و تفکیک دقیق آن‌ها از طریق تصاویر ماهواره‌ای وجود نداشت، با استفاده از بازدیدهای میدانی و تصاویر گوگل ارث به عنوان اطلاعات جزئی‌تر جهت بررسی وضع موجود تالاب (سال ۲۰۲۰) تعیین شدند. یکی از روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، استفاده از شاخص‌های تک‌بانده یا چندبانده است. در این روش‌ها با توجه به تفاوت ویژگی‌های طیفی هر پدیده در باندهای مختلف و نسبت به پدیده‌های دیگر، از چند باند استفاده می‌شود و تفاوت‌های پدیده موردنظر را نسبت به سایر پدیده‌ها بزرگ‌نمایی می‌کند و به‌این‌ترتیب تصویر جدیدی که نشان‌دهنده پدیده‌های مختلف و به شکل مجزاتر است، حاصل می‌شود (مباشری، ۱۳۹۳). ازجمله شاخص‌های تک‌بانده می‌تواند به قابلیت تشخیص خوب دریاچه‌ها و برکه‌ها در باند مادون‌قرمز میانی در تصاویر ماهواره لندست ۵ با دقت ۹۵٪ اشاره کرد (Johnston and Barson, 1993). اما ضعف این روش در تشخیص مناسب رودخانه‌های باریک سبب گسترش شاخص‌های دیگری برای تشخیص پهنه‌های آبی شد که ازجمله این پژوهش‌ها می‌تواند به ارائه شاخص نرمال شده تفاوت آب (NDWI) توسط مک‌فیترز در سال ۱۹۹۶ اشاره کرد (McFeeters, 1996).

ازآنجاکه این شاخص در مرتفع کردن نویزهای رسیده از سطح زمین و تأثیر آن‌ها بر پهنه آبی کمی ضعیف عمل کرد و نتایج اغلب با اختلالات بازتابش طیفی گیاهی مخلوط می‌شد، شاخص اصلاح‌شده NDWI ارائه شد که به دلیل استفاده از باند مادون‌قرمز طول‌موج بلند، نویزهای ایجادشده در NDWI را از بین می‌برد (Xu, 2006). این شاخص در جداسازی پهنه آبی نتایج بهتری را ارائه می‌دهد (Soti et al., 2009). در استفاده از روش جداسازی با استفاده از شاخص‌های تشخیص پهنه آبی، NDWI و MNDWI، از بازتابش رسیده به سنجنده و تفاوت میزان بازتاب برای هر عارضه در طیف‌ها یا باندهای مختلف

استفاده می‌شود. بازتاب پهنه آبی در طول‌موج سبز بیشینه و در طول‌موج مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز متوسط کمینه خواهد شد و این در حالی است که بازتاب گیاهان و سطح زمین در طول‌موج مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز متوسط، بالا است. شاخص MNDWI که از رابطه زیر به دست می‌آید، برای هر پیکسل مقداری بین صفر و یک ارائه می‌کند و با توجه به توضیحات ارائه‌شده در بالا مقادیر مثبت آن به‌عنوان آب و مقادیر منفی به‌عنوان پهنه غیرآبی قابل‌تشخیص خواهد بود.

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR}$$

رابطه (۱)

در این رابطه Green نشان‌دهنده باند طیفی سبز است که بالاترین بازتاب را برای آب دارد و SWIR باند مادون‌قرمز طول موج کوتاه می‌باشد. در مقایسه با NDWI، کنتراست بین آب و زمین‌های ساخته‌شده MNDWI به دلیل افزایش ارزش ویژگی آب و کاهش ارزش زمین‌های ساخته‌شده از مثبت به منفی، به میزان قابل‌توجهی افزایش یافته است. در ماهواره لندست ۸ باندهای B3 و B6 به ترتیب برابر با باند سبز و مادون قرمز هستند (اصغری و همکاران، ۱۳۹۹). دو مؤلفه صحت کلی (overall accuracy) و ضریب کاپا از کاربردی‌ترین روش‌ها در سنجش اعتبار نتایج می‌باشند. صحت کلی بیانگر میزان اعتبار نتایج تولیدشده توسط روش‌های طبقه‌بندی هستند که در نتایج استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای میزان حداقل ۸۵ درصد آن قابل قبول است (Banko, 1998).

$$OA = \frac{1}{N} \sum Pii$$

رابطه (۲)

در این رابطه، OA دقت کلی، N تعداد پیکسل‌های آزمایشی، ΣPii جمع قطر اصلی ماتریس خطا می‌باشد. ضریب کاپا (Kc) نیز توافق واقعی بین داده‌های مرجع و طبقه‌بندی استفاده شده در مقابل احتمال توافق بین مرجع و موارد تصادفی است (Banko, 1998). ضریب کاپا نیز بر اساس رابطه ۳ محاسبه می‌گردد؛ که P0 درستی مشاهده‌شده (مجموعه اعداد قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده) و Pc توافق تصادفی (Chance Agreement) یا مورد انتظار است.

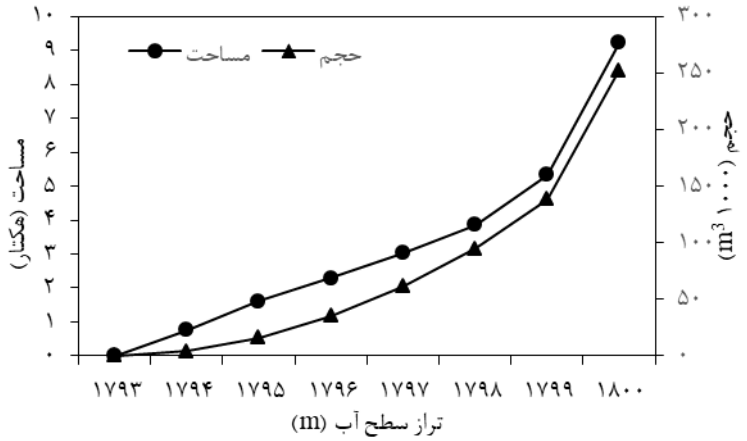
$$KAPPA = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} \times 100$$

رابطه (۳)

بررسی عوامل هیدرومورفولوژیکی دریاچه

مهمترین عوامل و پارامترهای هیدرومورفولوژیکی مورد بررسی در حوضه آبریز دریاچه اوان عبارتند از: بارش، تبخیر از سطح آزاد آب، تراز سطح آب، مساحت و حجم مخزن دریاچه. از آن جایی که در تالاب اوان، ایستگاه هواشناسی موجود نمی‌باشد، با بررسی ایستگاه‌های موجود در منطقه موردمطالعه، نزدیک‌ترین ایستگاه که می‌تواند تا حدود زیادی معرف داده‌های محدوده طرح باشد، ایستگاه معلم کلایه به‌عنوان ایستگاه معرف انتخاب شد. از آنجایی که برای مطالعات هواشناسی حداقل یک دوره ۳۰ سالـه نیاز است لذا دوره آماری ۳۰ ساله منطبق بر بخش بررسی تغییرات کاربری اراضی در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه آمار هواشناسی ایستگاه معلم کلایه از سال ۱۳۷۹ موجود است، پس از بررسی موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی منطقه، ایستگاه هواشناسی باغ کلایه به دلیل فاصله مناسب نسبت به ایستگاه معلم کلایه، یکی بودن عرض جغرافیایی و هم‌اقلیمی دو ایستگاه به‌منظور تکمیل اطلاعات ایستگاه معلم کلایه در دوره آماری ۳۰ ساله از سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۹۹-۱۳۹۸ انتخاب شد. شکل ۲، منحنی سطح، حجم و ارتفاع دریاچه اوان را نشان می‌دهد. برای تهیه منحنی یاد شده، با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و نقشه DEM دریاچه اوان که از اطلاعات هیدروگرافی دریاچه تولید شده است، رابطه‌ی بین سطح، حجم و تراز آب این تالاب در محیط GIS محاسبه شد. مخزن دریاچه اوان به‌گونه‌ای است که تا تراز ۱۸۰۰ متر، مساحت پهنه آبی به ۹/۲ هکتار و

حداکثر عمق آن به حدود ۷/۵ متر می‌رسد. از تراز ۱۷۹۹ تا ۱۸۰۰ متر، به دلیل اینکه از شدت شیب در نزدیکی ساحل دریاچه مقداری کاسته می‌شود، به ازای ۱ متر تغییر تراز آب، حجم و مساحت بیشتری از تالاب تغییر می‌کند.



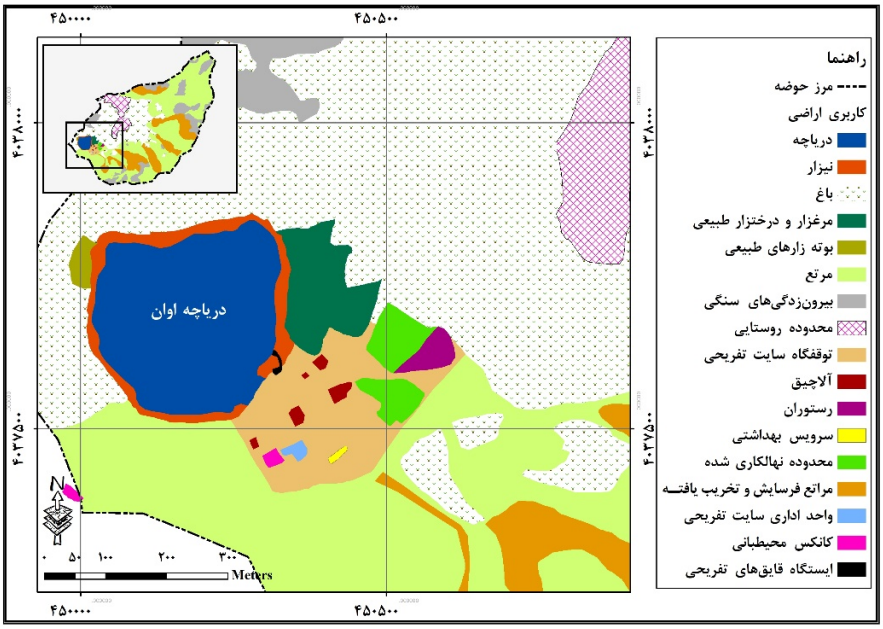
شکل(۲) منحنی‌های سطح-حجم-ارتفاع دریاچه اوان

یافته‌های پژوهش

بررسی کاربری اراضی حاشیه دریاچه اوان در وضع موجود و نقش آنها در معیشت جوامع محلی

نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز منتهی به دریاچه اوان، از طریق سنجش از دور و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای به همراه پایش میدانی در حاشیه دریاچه و همچنین اطلاعات و نقشه‌های موجود تهیه شد. شکل ۳ نقشه کاربری اراضی در محدوده دریاچه اوان را نشان می‌دهد. کاربری‌های موجود در منطقه شامل مراتع طبیعی، باغات، مراتع تخریب‌یافته، بیرون‌زدگی‌های سنگی، محدوده روستایی و سایر کاربری‌های جزئی بود. بیشترین سهم کاربری‌ها مربوط به مراتع طبیعی حوضه با سطح پوشش ۴۵ درصد و پس از آن باغات روستایی با وسعت ۲۱ درصد، مراتع تخریب یافته با وسعت ۱۴ درصد، بیرون‌زدگی‌های سنگی با وسعت ۱۱ درصد، اراضی روستایی ۵ درصد و دریاچه ۱/۶۷ درصد می‌باشند. سطح پوشش بقیه کاربری‌های جزئی در حاشیه دریاچه، هرکدام کمتر از ۱ درصد وسعت حوضه را پوشش می‌دهند. کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه اوان نقش مستقیمی بر روی امرارمعاش و ساختار اقتصادی اجتماعی جوامع روستایی هم‌جوار و مرتبط با آن دارد. بدیهی است استمرار برداشت ناپایدار منابع از محدوده با توجه به نوع منطقه، آسیب جبران‌ناپذیری را متوجه این دریاچه می‌نماید و برای اقتصاد حاشیه‌نشینان یک تهدید جدی محسوب می‌شود. رویکرد مدیریتی باید به نحوی باشد که ضمن حفظ جوامع روستایی، میزان وابستگی مردم بومی به منابع تالاب نیز به شکل منطقی و خردمندانه دنبال شود. تشریح وضعیت موجود دریاچه اوان نشان داد که وجود منابع قابل‌قبول آب، وجود پوشش گیاهی غنی و درختان متعدد و سایه‌دار در شمال شرق و غرب دریاچه، چشم‌اندازهای بسیار در جهات مختلف از درون و برون اوان، تپه بایر شمال دریاچه، شیب ملایم اراضی شرقی دریاچه، همچنین تابستان‌های معتدل و نسبتاً خنک، وجود جاذبه‌های تاریخی بسیار در نزدیکی اوان، وجود حیات‌وحش غنی، وجود چشم‌اندازهای زیبا از مناظر متفاوت به‌دلیل خصوصیات مورفولوژیکی منطقه سبب شده است که حاشیه‌نشینان تالاب بتوانند علاوه بر فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری به کارهای گردشگری و حتی صنایع‌دستی روی بیاورند. شکار غیرمجاز، با توجه به توانایی بالقوه دریاچه اوان در پذیرا بودن پرندگان مهاجر، نقش مکمل درآمدی را برای ساکنین هم‌جوار دریاچه داشته است. صید ماهی به‌طور غیرمجاز روش دیگری از بهره‌برداری ناصحیح از تالاب است. در کنار ارتباط مستقیم اقتصادی مردم محلی با دریاچه، بررسی

بهره‌مندی غیرمستقیم مردم نشان می‌دهد که حضور گردشگر ولو بدون طرح و برنامه‌ی مدون و صحیح توانسته در اشتغال جامعه‌ی بومی از طریق فروش تولیدات روستایی مؤثر باشد.



شکل (۳) کاربری اراضی حاشیه دریاچه اوان

تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبریز دریاچه اوان در طی دوره بلندمدت

در این مرحله، با توجه به پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ میلادی، تغییرات کاربری اراضی در حوضه دریاچه اوان مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۲ نتایج صحت‌سنجی طبقه‌بندی تصاویر موردنظر به روش حداکثر درست‌نمایی (Maximum Likelihood) ارائه شده است. مقادیر ضریب کاپا و دقت کلی محاسبه شده حاکی از دقت مناسب طبقه‌بندی تصاویر می‌باشد. جدول ۳ تغییرات مساحت کاربری اراضی حوضه دریاچه اوان در ۳۰ سال گذشته را

جدول (۲) نتایج صحت‌سنجی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در حوضه آبریز دریاچه اوان به روش حداکثر درست‌نمایی

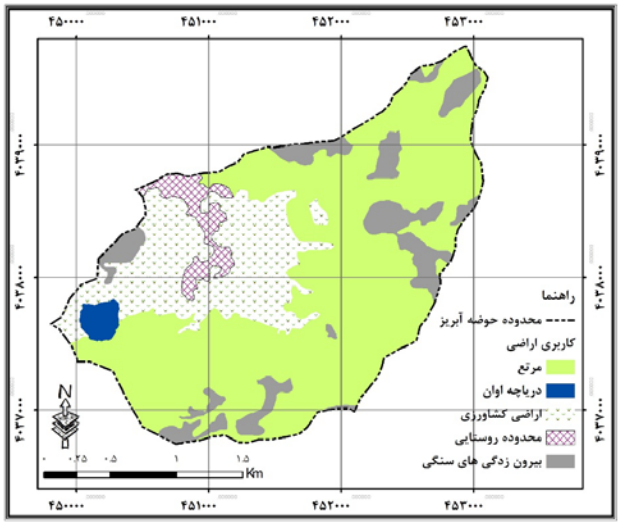
تصویر ماهواره‌ای	سال	دقت کلی (٪)	ضریب کاپا
لندست ۵	۱۹۹۰	۹۶/۲	۰/۹۵
لندست ۵	۲۰۰۵	۹۵/۹	۰/۹۶
لندست ۸	۲۰۲۰	۹۸	۰/۹۷

جدول (۳) تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبریز دریاچه اوان در طی ۳۰ سال گذشته

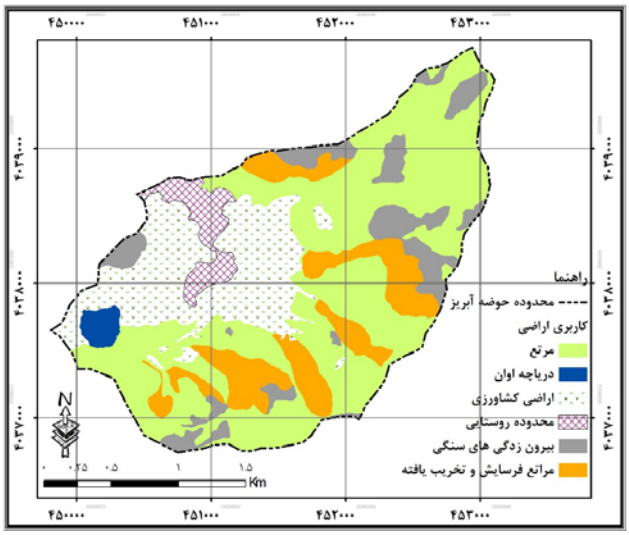
کاربری اراضی	مساحت (هکتار)		
	۱۹۹۰	۲۰۰۵	۲۰۲۰
مرتع	۳۴۳/۴	۲۹۵/۸	۲۵۷/۵
کشاورزی	۱۱۷/۴	۱۱۵/۵	۱۱۶/۹
مراتع تخریب یافته	-	۴۶/۵	۷۶/۸
پوشش سنگی	۶۱/۸	۶۱/۸	۶۱/۸
محدوده روستایی	۲۰	۲۲/۹	۲۹/۶

نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در طی ۳۰ سال گذشته حدود ۲۵ درصد از مراتع به دلیل فرسایش و تخریب و توسعه محدوده روستایی از بین رفته است. اما مساحت اراضی کشاورزی تغییر محسوسی نداشته است زیرا با توجه به موقعیت حوضه منتهی به دریاچه اوان و ویژگی‌های مورفولوژیکی و ریخت‌شناسی و هیدرولوژیکی منطقه، امکان توسعه چشمگیر کشاورزی وجود ندارد. اما در پی ساخت‌وساز و افزایش جمعیت، محدوده روستایی نزدیک به ۱۰ هکتار افزایش یافته است.

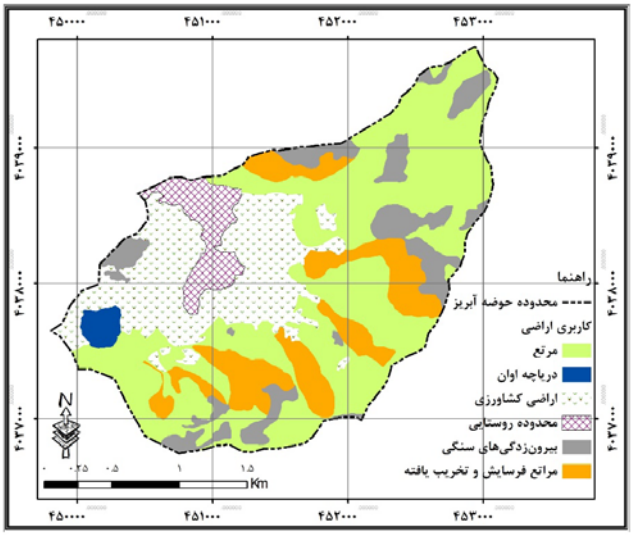
اشکال (۴)، (۵) و (۶) نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز منتهی به دریاچه اوان را در سال‌های مختلف نشان می‌دهد. همانطور که از این اشکال مشخص است، در سال‌های اخیر به دلیل وجود ظرفیت و توسعه گردشگری، خدمات رفاهی و تفریحی در حاشیه دریاچه اوان گسترش یافته است. حضور جمعیتی بالغ بر ۳۵۰۰ تا ۴۰۰۰ نفر در سال همچنان که می‌تواند سبب رونق بیشتر فعالیت‌های اقتصادی جوامع محلی گردد اما در صورت عدم توجه به مسئولیت‌های متقابل، جوامع محلی و گردشگران می‌تواند سبب بروز آسیب به دریاچه شود. یکی دیگر از مسائل مهم در دریاچه اوان، عدم رعایت حریم قانونی دریاچه است. اگرچه حریم کمی و کیفی دریاچه به واسطه مصوبه دفتر فنی استانداری قزوین و همچنین نامه امور آب منطقه‌ای قزوین به مقدار ۱۵۰ متر مشخص شده است اما این حریم توسط جامعه محلی و ذینفعان رعایت نشده است به‌طوریکه حریم تالاب اوان از گذشته به‌عنوان بخشی از زمین‌های روستاهای اوان و وربن توسط اهالی کشت شده است و حتی بخش‌هایی که امروز به کاربری گردشگری اختصاص داده شده، پیش از این در مالکیت اهالی و تحت کشت بوده است. طبق موارد قانونی موجود، هرگونه ساخت‌وساز در این حریم ممنوع است و کشاورزی در این حریم متناسب با دستورالعمل‌های مربوطه صورت می‌گیرد اما عدم وجود شیوه‌نامه کشاورزی در حریم دریاچه سبب شده تا زهکش‌های کشاورزی انواع کودها و سم‌ها را به داخل دریاچه می‌آورند. این کودها باعث پرغذایی یا اوتریفیکاسیون در دریاچه شده و درنتیجه رشد گیاهان آبزی را به همراه دارد و تعادل اکولوژیکی دریاچه برهم می‌خورد. یکی دیگر از موارد مهم در بحث تغییر کاربری اراضی، حضور افراد غیربومی است که با خرید زمین و ساختن ویلا از محیط، بهره فراغتی می‌برند. حضور ویلانشین‌های غریبه و غیربومی سبب تغییرات بافت اجتماعی روستاهای حاشیه دریاچه شده و با توجه به شرایط کوهستانی و محدودیت زمین در منطقه به سوداگری مسکن و از همه مهم‌تر تغییر کاربری زمین‌ها دامن می‌زند. ساخت‌وسازهای نامتوازن و ناهمخوان با بافت روستایی سبب اغتشاش بصری و برهم‌خوردن بافت روستا منجر شده و در سطحی کلانتر این موضوع می‌تواند به با توجه به نزدیکی روستاها، یکپارچه شدن آن‌ها و شکل‌گیری واحدهای نسبتاً بزرگ جمعیتی با مسائل پیچیده‌تری مانند تفاوت فرهنگی منجر شود.



شکل(۴) نقشه کاربری اراضی حوضه دریاچه اوان در سال ۱۹۹۰



شکل(۵) نقشه کاربری اراضی حوضه دریاچه اوان در سال ۲۰۰۵

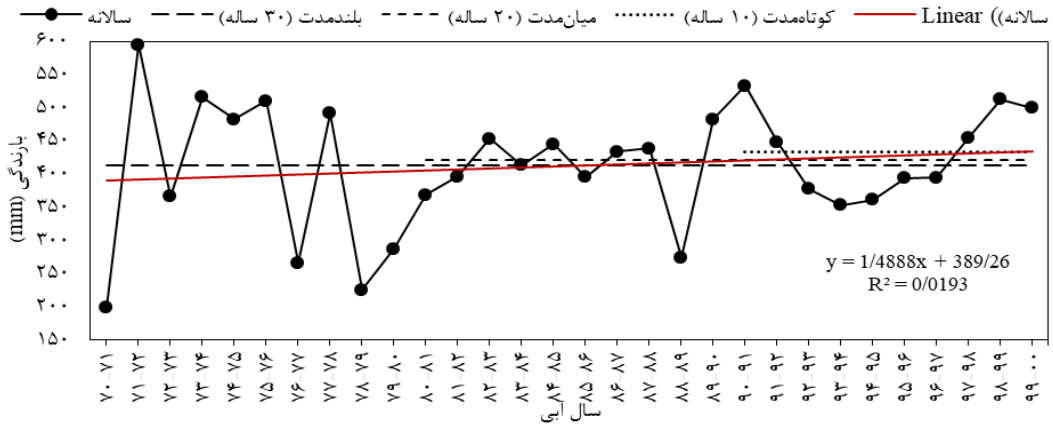


شکل (۶) نقشه کاربری اراضی حوضه دریاچه اوان در سال ۲۰۲۰

بررسی بارش و تبخیر از سطح آزاد آب به عنوان مهمترین فاکتورهای هیدرومورفولوژیکی دریاچه اوان

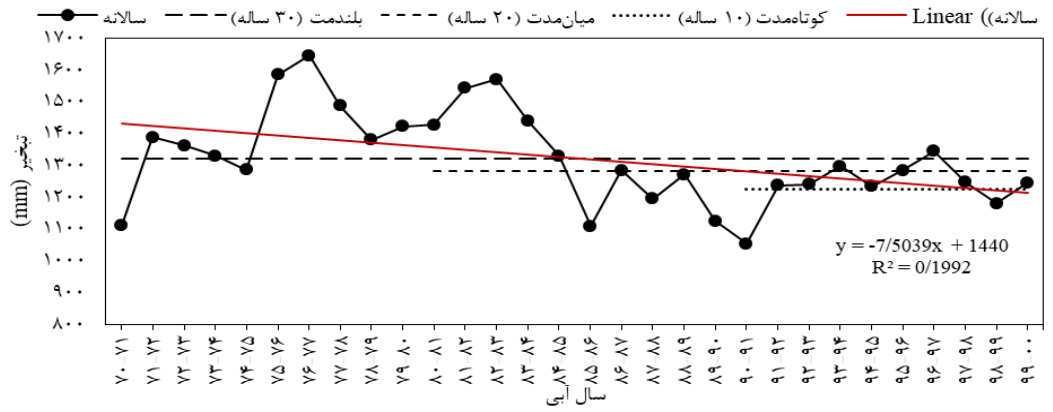
بارش یکی از مهمترین فاکتورهای هیدرومورفولوژیکی دریاچه اوان است که آگاهی از مقادیر آن نقش بسزایی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب جهت حفظ این اکوسیستم با ارزش دارد. مطابق شکل (۷) بیشترین بارندگی در این ایستگاه مربوط به سال آبی ۷۲-۷۱ با مقدار ۵۹۵/۱ میلی‌متر و کمترین میزان آن مربوط به سال آبی ۷۱-۷۰ با مقدار ۱۹۹/۶ میلی‌متر است. همچنین میانگین‌های بلندمدت (دوره آماری ۳۰ ساله)، میان‌مدت (دوره آماری ۲۰ سال اخیر) و کوتاه‌مدت (دوره آماری ۱۰ سال اخیر) بارندگی در این ایستگاه به ترتیب برابر با ۴۱۲/۳، ۴۲۱/۵ و ۴۳۲/۹ میلی‌متر می‌باشد که نشان‌دهنده روند افزایشی بارش در سال‌های اخیر است. افزایش یا کاهش مقدار بارندگی در دوره کوتاه‌مدت نسبت به دوره بلندمدت ناشی از اثرات تغییر اقلیم و مقادیر حدی بارش می‌باشد که در سال‌های اخیر نیز آثار آن در قالب جاری شدن سیلاب‌های متعدد و یا بروز خشکسالی در منطقه نمایان شده است. با توجه به منحنی‌های هم‌باران ترسیم‌شده در محیط GIS، مقدار بارندگی سالانه در

واحد هیدرولوژیک منتهی به دریاچه اوان حدوداً بین ۴۰۰ میلی‌متر در بالادست تا ۳۹۰ میلی‌متر در پایین‌دست این واحد هیدرولوژیکی رخ می‌دهد.



شکل(۷) مقایسه بارندگی سالانه و میانگین آن در طی دوره‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت در ایستگاه معلم‌کلایه

تبخیر از سطح آب عامل مهم دیگری است که بر روی مساحت دریاچه اوان تأثیر زیادی دارد لذا با توجه به اهمیت این شاخص در زیست‌بوم‌هایی همچون دریاچه اوان، محاسبه دقیق مقادیر آن می‌تواند منتهی به تصمیمات آگاهانه در مورد حفاظت، توسعه و مدیریت حوضه آبریز دریاچه گردد. با توجه به عدم وجود اطلاعات کافی از پارامتر تبخیر در ایستگاه معلم کلایه، به همین دلیل به‌منظور بررسی این پارامتر از اطلاعات ۳۰ ساله ایستگاه تبخیر سنجی مجاور (باغ کلایه) استفاده شده است. مطابق شکل (۸) بیشترین مقدار تبخیر از تشت سالانه در ایستگاه باغ کلایه به مقدار ۱۶۴۶/۹میلی‌متر و کمترین مقدار آن ۱۰۵۴/۶ میلی‌متر می‌باشد. میانگین تبخیر سالانه در دوره‌های بلندمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت به ترتیب برابر با ۱۳۲۳/۷، ۱۲۸۴/۷ و ۱۲۲۷/۹ میلی‌متر به دست آمد. مقدار تبخیر از تشت تبخیر کلاس A بیشترین وابستگی را به دمای هوا دارد درنتیجه با مقایسه میانگین دمای درازمدت می‌توان دریافت که در دوره‌ای که مقدار دما بالا است (فصل تابستان)، بیشترین میزان تبخیر از تشت صورت می‌گیرد. با توجه به منحنی‌های هم‌تبخیر ترسیم‌شده در محیط GIS، مقدار تبخیر سالانه در واحد هیدرولوژیک منتهی به دریاچه اوان حدوداً بین ۱۳۵۵ میلی‌متر در بالادست تا ۱۳۸۵ میلی‌متر در پایین‌دست این واحد هیدرولوژیکی رخ می‌دهد.



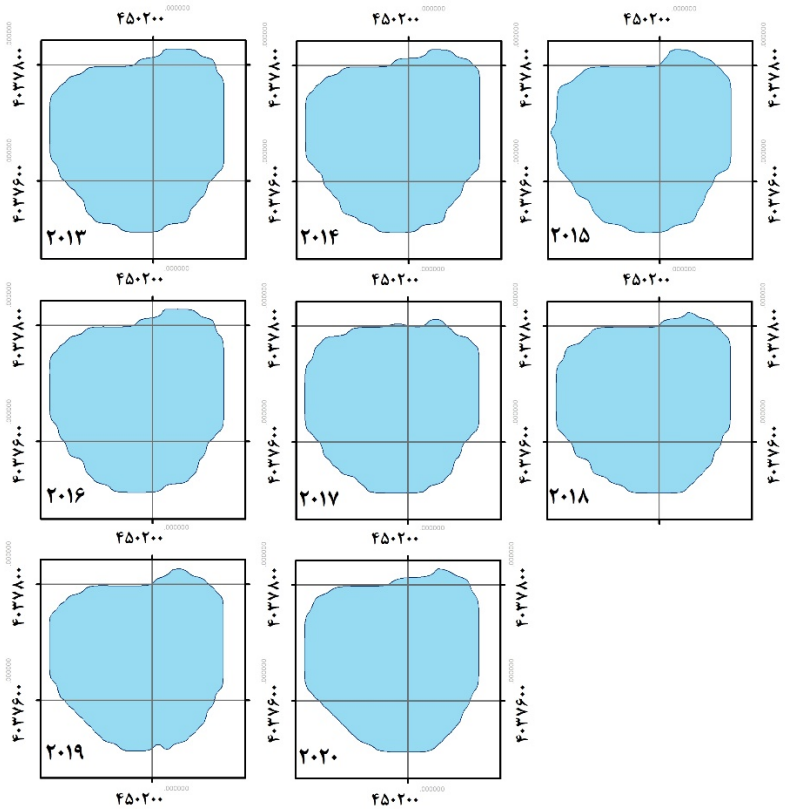
شکل(۸) مقایسه تبخیر سالانه و میانگین آن در طی دوره‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت در ایستگاه باغ‌کلایه

تعیین روند تغییرات مساحت پهنه آبی و حجم دریاچه اوان براساس نتایج پردازش تصاویر ماهواره‌ای

نتایج صحت‌سنجی طبقه‌بندی پهنه آبی دریاچه اوان در جدول (۴) نشان‌دهنده کارآیی و دقت مناسب شاخص MNDWI در شناسایی پهنه‌های آبی می‌باشد. پهنه آبی دریاچه اوان براساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از شاخص MNDWI در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۳ (۱۳۹۹-۱۳۹۲) در شکل (۹) ارائه شده است. نتایج نشان داد که مساحت پهنه آبی دریاچه در طول ۸ سال در حالت میانگین ۸/۱۵ هکتار است. کمترین مقدار مساحت دریاچه در سال ۲۰۱۷ به مقدار ۸/۰۵ هکتار و بیشترین مقدار مساحت دریاچه در سال ۲۰۲۰ به مقدار ۸/۴۸ هکتار محاسبه شد.

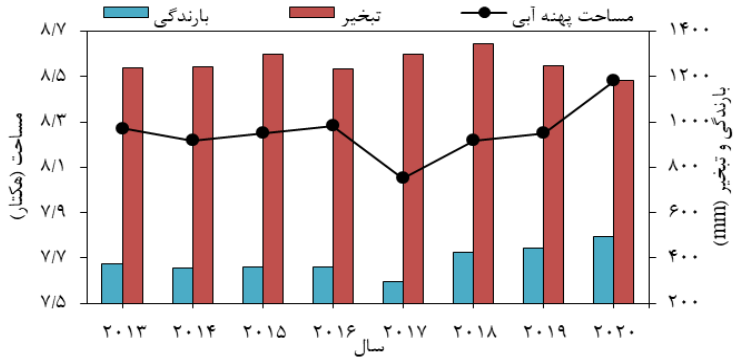
جدول (۴) صحت‌سنجی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به روش شاخص MNDWI

تصویر ماهواره‌ای	سال	دقت کلی (٪)	ضریب کاپا
لندست ۸	۲۰۱۳	۹۸/۳	۰/۹۸
	۲۰۱۴	۹۹/۰	۰/۹۸
	۲۰۱۵	۹۸/۷	۰/۹۷
	۲۰۱۶	۹۸/۵	۰/۹۷
	۲۰۱۷	۹۹/۱	۰/۹۸
	۲۰۱۸	۹۹/۰	۰/۹۸
	۲۰۱۹	۹۹/۲۵	۰/۹۹
	۲۰۲۰	۹۹/۳	۰/۹۹



شکل(۹) مساحت پهنه آبی دریاچه اوان بر اساس طبقه‌بندی به روش شاخص MNDWI

برای اینکه بتوان انتظار داشت اکوسیستم‌های آبی در حد مطلوب حفظ شوند باید چهره طبیعی رژیم هیدرولوژیکی آن‌ها نیز در درازمدت بدون تغییر باقی بماند. رژیم هیدرولوژیکی دریاچه اوان که تأثیر مستقیمی بر روی مساحت و حجم دریاچه دارد به‌طور عمده با دو فاکتور مهم بارش و تبخیر ارتباط دارد. در این بخش به ارتباط بین این دو فاکتور و اثرات تغییرات سالانه آن‌ها بر روی مساحت و حجم تالاب پرداخته شد. شکل (۱۰)، روند تغییرات مساحت پهنه آبی تالاب از سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ را در مقایسه با پارامترهای بارش و تبخیر نشان می‌دهد. پارامتر تبخیر با میانگین ۱۲۶۰ و انحراف معیار ۵۰ روند منطقی را در طول سال‌های آماری از خود نشان داد بطوری‌که تأثیرتغییرات تبخیر از سطح آزاد آب بر روی فاکتور مساحت پهنه آبی تالاب کم است. اما مقایسه تغییرات مساحت نسبت به مقدار بارندگی در هرسال نشان داد که مساحت پهنه آبی دریاچه تحت تأثیر مقدار بارندگی تغییر کرده به‌طوری که از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ مقدار بارندگی و مساحت پهنه آبی تغییر محسوسی نداشته اما در سال ۲۰۱۷ با کاهش مقدار بارندگی، مساحت دریاچه نیز کاهش یافته و سپس تا سال ۲۰۲۰ با افزایش بارندگی مساحت پهنه آبی نیز افزایش یافته است.

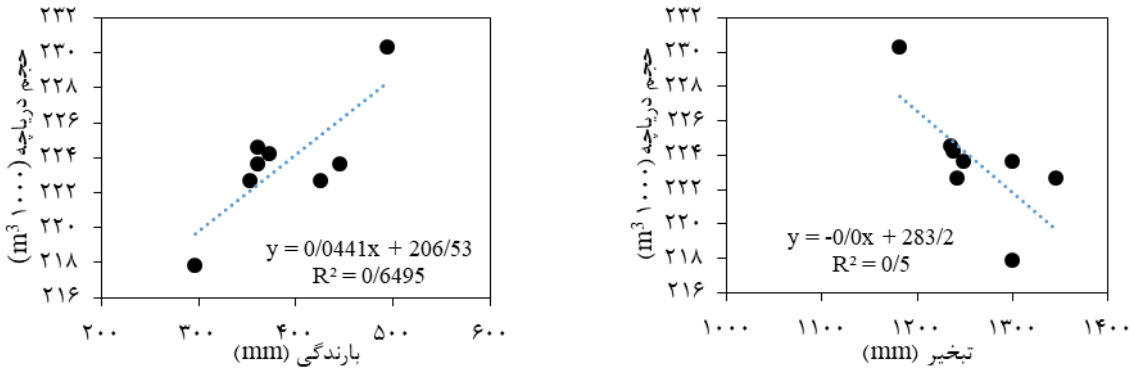


شکل(۱۰) تغییرات مساحت پهنه آبی دریاچه اوان در مقابل تغییرات بارندگی و تبخیر

در مرحله دوم ارتباط بین تغییرات حجم دریاچه با فاکتورهای بارش و تبخیر بررسی شد. به‌منظور برآورد تغییرات حجم و ارتفاع سطح آب دریاچه اوان، از روابط سطح-حجم-ارتفاع مخزن دریاچه استفاده شد درنتیجه با دردست داشتن مقادیر مساحت دریاچه، حجم و تراز سطح آب منطبق با آن محاسبه و در جدول (۵) ارائه شد. به منظور بررسی تأثیر مقادیر بارش و تبخیر بر حجم دریاچه، ابتدا از مفهوم رگرسیون خطی استفاده شد. نتایج نشان داد که حجم دریاچه با بارندگی همبستگی بیشتری نسبت به تبخیر دارد اما حجم دریاچه تحت تأثیر تبخیر با شیب یا نرخ بیشتری تغییر می‌کند. شکل (۱۱)، ارتباط بین این فاکتورها را با حجم دریاچه نشان می‌دهد.

جدول(۵) مساحت پهنه آبی دریاچه اوان و حجم و تراز سطح آب متناظر با آن

سال	مساحت پهنه آبی (هکتار)	تراز سطح آب (متر)	حجم آب (۱۰۰۰ مترمکعب)
۲۰۱۳	۸/۲۷	۱۷۹۹/۷۶	۲۲۴/۲۳
۲۰۱۴	۸/۲۲	۱۷۹۹/۷۴	۲۲۲/۶۳
۲۰۱۵	۸/۲۵	۱۷۹۹/۷۵	۲۲۳/۵۹
۲۰۱۶	۸/۲۸	۱۷۹۹/۷۶	۲۲۴/۵۵
۲۰۱۷	۸/۰۵	۱۷۹۹/۷۰	۲۱۷/۸۴
۲۰۱۸	۸/۲۲	۱۷۹۹/۷۴	۲۲۲/۶۳
۲۰۱۹	۸/۲۵	۱۷۹۹/۷۵	۲۲۳/۵۹
۲۰۲۰	۸/۴۸	۱۷۹۹/۸۱	۲۳۰/۳۱



شکل(۱۱) رگرسیون خطی بین حجم دریاچه و مؤلفه‌های بارندگی و تبخیر

در مرحله دوم، با درنظرگرفتن فرض اساسی پویایی سیستم‌های منابع آب و اینکه هریک از عوامل سیستم بر روی دیگری تاثیر دارد لذا از مفهوم رگرسیوم دومتغیره نیز استفاده شد. از آنجایی که حجم تالاب به صورت همزمان تحت تأثیر بارندگی و تبخیر تغییر می‌کند لذا تغییرات حجم دریاچه (V) نسبت به بارندگی (P) و تبخیر (E) از طریق رگرسیون دو متغیره و با استفاده از نرم‌افزار Minitab بررسی شد و معادله رگرسیون مربوطه مطابق با رابطه ۴ به دست آمد:

$$V = 249.1 + 0.0341 * P - 0.0307 * E$$

رابطه (۴)

جدول آنالیز واریانس (ANOVA) رگرسیون دو متغیره در جدول (۶) ارائه شده شده است. تغییر در سطوح مختلف متغیرهای مستقل نشان داد که از آنجایی که مقدار احتمال برای متغیرهای P کمتر از ۵ درصد می‌باشد لذا این متغیر تأثیر معنی‌داری بر روی متغیر V دارد. اما متغیر E اثر معنی‌داری بر روی متغیر V ندارد. به طور کلی اثر متقابل دو متغیر P و E بر روی متغیر مستقل V معنی‌دار بوده و با توجه به مقدار آماره F، مدل اعمال شده می‌تواند به طور معنی‌داری متغیر وابسته یعنی حجم دریاچه را با ضریب تعیین ۰/۸۳ و ضریب تعیین تعدیل‌شده ۰/۷۶ پیش‌بینی کند.

جدول(۶) جدول آنالیز واریانس (ANOVA) رگرسیون دو متغیره

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات تعدیل‌شده (Adj SS)	میانگین مربعات تعدیل‌شده (Adj MS)	آماره F	آماره P
رگرسیون	۲	۶۷/۳۱	۳۳/۶۵۷	۱۲/۰۱	۰/۰۱۲
P	۱	۲۶/۶۶	۲۶/۶۶۲	۹/۵۱	۰/۰۲۷
E	۱	۱۴/۴۹	۱۴/۴۹۵	۵/۱۷	۰/۰۷۲
خطا	۵	۱۴/۰۱	۲/۸۰۲		
کل	۷	۸۱/۳۳			

بحث و نتیجه گیری

دریاچه اوان یکی از دریاچه‌های طبیعی ایران بوده که به سبب چشم‌انداز تماشایی از شهرت زیادی برخوردار است. تشریح وضعیت موجود دریاچه از نظر کاربری اراضی نشان داد که وجود منابع قابل‌قبول آب، وجود پوشش گیاهی و حیات وحش غنی و درختان متعدد و سایه‌دار در شمال شرق و غرب دریاچه و چشم‌اندازهای بسیار در جهات مختلف بخصوص تپه بایر در شمال

دریاچه، و از طرف دیگر تابستان‌های معتدل و نسبتاً خنک، وجود جاذبه‌های تاریخی بسیار در نزدیکی اوان، و از همه مهمتر وجود چشم‌اندازهای زیبا از مناظر متفاوت به دلیل خصوصیات ژئومورفولوژیکی منطقه سبب شده است که حاشیه‌نشینان تالاب بتوانند علاوه بر فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری به کارهای گردشگری و حتی صنایع‌دستی روی بیاورند. به‌منظور حفظ چنین اکوسیستم‌های حساس با توجه به ارزش‌های زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی آن‌ها و توجه به نقش کلیدی تغییرات کاربری اراضی و شرایط هیدرولوژیکی در کارکردهای وابسته به این اکوسیستم‌های آبی، ضروری است تا پایش مستمر از این زیست‌بوم‌های طبیعی صورت پذیرد تا ذیمدخلان و مدیران مربوطه بتوانند با آگاهی و دانش کافی، برنامه‌ریزی درستی در راستای حفظ این منطقه ارزشمند داشته باشند. یکی از راه‌های مهم برای رصد و پایش چنین مناطقی استفاده از فناوری سنجش از دور است. در این تحقیق ابتدا کاربری اراضی در محدوده حریم دریاچه اوان در وضع موجود از طریق سنجش از دور و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای به همراه پایش میدانی در حاشیه دریاچه و جمع‌آوری اطلاعات و نقشه‌های موجود، تهیه شد و سهم هریک از کاربری‌ها مشخص گردید. سپس روند تغییرات رخداده طی دوره بلندمدت در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ میلادی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفت به‌طوری‌که در طی ۳۰ سال گذشته حدود ۲۵ درصد از مراتع به دلیل فرسایش و تخریب و توسعه محدوده روستایی از بین رفته است. اما مساحت اراضی کشاورزی تغییر محسوسی نداشته است. از طرفی در پی ساخت‌وساز و افزایش جمعیت، محدوده روستایی نزدیک به ۱۰ هکتار افزایش یافته است. در مرحله بعد مقادیر بارش و تبخیر از سطح آزاد آب به عنوان مهمترین فاکتورهای هیدرومورفولوژیکی دریاچه اوان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در انتها با تعیین روند تغییرات مساحت پهنه آبی و حجم دریاچه اوان براساس نتایج پردازش تصاویر ماهواره‌ای به نحوه ارتباط این تغییرات با شرایط هیدرومورفولوژیکی دریاچه پرداخته شد. نکته قابل ذکر این است که نتایج به دست آمده از شاخص آبی در این تحقیق نشان داد که شاخص MNDWI دارای قابلیت خوبی در استخراج مناطق آبی تالاب است که این نتایج با تحقیقات Feyisa et al. (2014) در ارائهٔ راه‌کارهای جدید در نقشه‌برداری سطوح و پهنه‌های آبی با تصاویر ماهوارهٔ لندست ۵ سنجندهٔ TM منتشر گردید همخوانی دارد، آنها با استفاده از روش AWEI دقت تفکیک سطوح آبی از خشکی را بر اساس نتایج حاصل از روش‌های طبقه‌بندی Maximum Likelihood و شاخص MNDWI مقایسه و دقت روش شاخص برداشت اتوماتیک آب را بیشتر از سایرین و معنادار گزارش دادند. در مطالعه حقیقی و همکاران (۱۴۰۲) نیز با استفاده از شاخص آبی MNDWI به شناسایی تغییرات پهنه آبی تالاب انزلی طی دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۸ پرداخته شد و سطوح آبی با دقت مناسبی استخراج شدند. بررسی روند تغییرات مساحت پهنه آبی تالاب در مقایسه با پارامترهای بارش و تبخیر نشان داد که تغییرات تبخیر از سطح آزاد آب تأثیر عکس بر روی فاکتور مساحت پهنه آبی تالاب دارد که در مقایسه با بارندگی که به طور مستقیم باعث افزایش یا کاهش مساحت و حجم تالاب می‌شود، با اندکی اختلاف در شیب خط رگرسیون، تقریباً شدت اثر یکسان اما در خلاف جهت هم دارند. بر اساس مطالعات مختلف، به دلیل ارتباط نزدیک شاخص‌های هیدرومورفولوژیکی تالاب‌ها با مقادیر بارندگی و رواناب‌های سطحی، مؤلفه بارندگی یکی از مهمترین عوامل تغییر ساختار و عملکرد تالاب‌ها هستند (Rebelo et al., 2009; Wu et al., 2014). علاوه بر این، تبخیر به عنوان یکی از عوامل مهم در چرخه هیدرولوژی و تعیین‌کننده معادلات انرژی در سطح زمین و توازن آب محسوب می‌شود که نقش چشمگیری در بیلان منابع آب به خصوص اکوسیستم‌های آبی ایفا می‌کند (Su et al., 2006).

در بخش دیگر به منظور تاثیر همزمان بارندگی و تبخیر بر روی حجم تالاب و نوع ارتباط بین این عوامل از تکنیک رگرسیون دو متغیره استفاده شد و معادله رگرسیون مربوطه نیز به دست آمد. نتایج حاصل از مدل براساس جدول آنالیز

واریانس نشان داد که مدل تعریف شده بر حسب پارامترهای بارندگی و تبخیر، می‌تواند حجم دریاچه را با دقت بیشتری نسبت به رگرسیون تک متغیره پیش‌بینی کند. لذا پایش تغییرات رخداده در شاخص‌های هیدرومورفولوژیکی تالاب‌ها و دریاچه‌ها و بررسی رابطه آن با تغییرات رخداده در مؤلفه‌هایی همچون بارندگی و تبخیر می‌تواند با ارائه پیش‌بینی‌هایی از آینده تحت سناریوهای اقلیمی و مدیریتی مختلف، نقش مهمی در کارایی و موفقیت برنامه‌های حفاظت و احیاء این اکوسیستم‌های ارزشمند داشته باشد.

منابع

حقیقی خمامی, مریم, تجدد, محمد جواد, روانبخش, مکرم, جمالزاد فلاح, فریبرز. (۱۴۰۰). طبقه بندی پوشش گیاهی بر اساس شاخص تالابی با استفاده از طبقه بندی شئ‌گرا تصاویر ماهواره ای (مطالعه موردی: تالاب انزلی). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی,۳ (۱۲): ۱۷-۱.

حقیقی خمامی، مریم، بنیاد, امیراسلام, و پناهنده, محمد. (۱۴۰۲). ارزیابی پهنه‌های تالاب انزلی بر اساس سری‌های زمانی داده‌های Landsat و شاخص MNDWI. تحقیقات آب و خاک ایران, ۵۴(۱), ۱۹۲-۱۷۳.

زندی, رحمان, نصیری, ابوذر, خسرویان, مریم, و زارعی, مهدی. (۱۴۰۱). ارزیابی و مدلسازی تغییرات فیزیکی تالاب ارژن در رابطه با پارامترهای اقلیمی با استفاده از سنجش از دور. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک, ۱۳(۴۹): ۱-۱۷.

صغری 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، ۲۰(۵۸): ۷۰-۳۵.

کاظمی راد, لادن, و مدبری,هادی. (۱۴۰۲). ارزیابی پارامترهای اقلیمی دریاچه اوان تحت تاثیر تغییر اقلیم. مطالعات علوم محیط زیست, ۸(۳), ۶۹۴۲-۶۹۳۶.

مباشری، محمدرضا (۱۳۹۳). *مبانی فیزیک در سنجش از دور و فناوری ماهواره*. تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

محمدی, علیرضا, الماسیه, کامران, و نیری, دانیال. (۱۴۰۰). آشکارسازی تغییرات پوشش سرزمین تالاب میقان با استفاده از تکنیک سنجش از دور. فصلنامه محیط زیست جانوری, ۱۳(۳): ۴۱۲-۴۰۵.

مدبری,هادی, و شکوهی, علیرضا. (۱۳۹۸). تعیین نیاز زیست محیطی تالاب انزلی با استفاده از روش‌های اکوهیدرولوژیکی. تحقیقات منابع آب ایران, ۱۵(۳): ۱۰۴-۹۱.

مدبری,هادی, و شکوهی, علیرضا. (۱۳۹۹). ارزیابی اقتصادی تأثیرات کاهش حقابهٔ تالاب انزلی بر خدمات اکولوژیکی مؤثر بر معیشت و درآمد جوامع محلی. اکوهیدرولوژی, ۷(۲): ۴۹۶-۴۸۱.

نوری کمری, اکرم, دانه کار, افشین, و بذرافشان, جواد. (۱۳۹۸). بررسی رابطه میان تغییرات گستره تالاب و رواناب سطحی حوزه آبریز. پژوهش‌های محیط زیست, ۱۰(۱۹): ۱۲۸-۱۱۷.

ولی, عباسعلی, ابراهیمی, زهره, خسروشاهی, محمد, و قضاوی, رضا. (۱۴۰۱). تعیین میزان اهمیت تأثیر پارامترهای متعدد هیدرواقلیمی بر خشکیدگی تالاب گاوخونی با به‌کارگیری شبکهٔ عصبی مصنوعی و داده‌های سنجش از دور. مهندسی اکوسیستم بیابان, ۵(۱۲): ۹۴-۷۹.

Azareh, A., Sardooi, E.R., Gholami, H., Mosavi, A.H., Shahdadi, A., & Barkhori, S. (2021). Detection and prediction of lake degradation using landscape metrics and remote sensing dataset. *Environ Sci Pollution* Res 28, 27283–27298.

Ballanti, L., Byrd, B., Woo, I., & Ellings, C. (2017). Remote sensing for wetland mapping and historical change detection at the Nisqually River Delta. *Sustainability*. 9(11): 1-32.

Banko, G. (1998). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data and of methodsincluding remote sensing data in forest inventory. *IIASAI, International Institue for Applied Systems Analysis*, A-2361.

Feng, L., Han, X., Hu, C., & Chen, X. (2016). Four decades of wetland changes of the largest freshwater lake in China: Possible linkage to the Three Gorges Dam? *Remote Sensing of Environment*, 176: 43-55.

Feyisa, GL., 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.

Forkuor, G., Conrad, C., Thiel, M., Zoungrana, B., & Tondoh, J. (2017). Multiscale Remote Sensing to Map the Spatial Distribution and Extent of Cropland in the Sudanian Savanna of West Africa. *Remote Sens*, 9, 839.

Johnston, R. & Barson, M. (1993). Remote-sensing of Australian wetlands — an evaluation of Landsat Tm data for inventory and classification. *AUST J MAR FRESH*. RES, 44, 235–252.

Lima-Quispe, N., Escobar, M., Albertus, J., Wickel, M., & Purkey, D. (2021). Untangling the effects of climate variability and irrigation management on water levels in Lakes Titicaca and Poop´o. *Journal of Hydrology, Regional Studies*, 37,100927.

Manandhar, S., Dev, S., Lee, Y. H., Winkler, S., & Meng, Y.S. (2018). Systematic study of weather variables for rainfall detection. *IGARSS 2018- IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 3027- 3030

McFeeters S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing Letters*, 17(7), 1425-1432.

Rebelo, L. M., Finlayson, C. M. and Nagabhatla, N. 2009. Remote sensing and GIS for wetland inventory, mapping and change analysis. Journal of environmental management. 90(7): 2144-2153.

Salimi, Sh., Almuktar, S. A.A.A.N., & Scholz, M. (2021). Impact of climate change on wetland ecosystems: A critical review of experimental wetlands. *Journal of Environmental Management*, 286, 112160.

Soti, V., Tran, A., Bailly, S., Puech, C., Seen, D., Begue, A. (2009). Assessing optical earth observation systems for mapping and monitoring temporary ponds in arid areas. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geo inf.* 11 (5), 344–351.

Su, H., Wood, R., Wojcik, M. and McCabe. (2006). Sensitivity Analysis of Regional Scale Evaporation Predictions to the Forcing Data, American Geophysical Union. Fall Meeting 2007.

Wang, L., Diao, C., Xian, G., Yin, D., Lu, Y., Zou, S., & Erickson, T.A. (2020). A summary of the special issue on remote sensing of land change science with Google Earth Engine. *Remote Sens. Environ*. 248, 112002.

Wu, S., Kuschk, P., Brix, H., Vymazal, J. and Dong, R. 2014. Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: a nitrogen and organic matter targeted review. *Water research*. 57: 40-55.

Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033.