



مرکز تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی

بررسی تغییرات زمانی سطح دریاچه مهارلو با استفاده از تصویرهای ماهواره و عوامل مؤثر بر آن

ساره عاجی^۱، شهره دیداری^{۲*}

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲ - استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

دریاچه مهارلو در استان فارس یکی از دریاچه‌های آب شور ایران است که در فاصله ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز است و از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای این منطقه اهمیت زیادی دارد. از این رو، بررسی روند تغییرات سطح این دریاچه در دوره زمانی بلندمدت به منظور تصمیم‌گیری‌های صحیح به وسیله مدیران اهمیت ویژه‌ای دارد؛ بر این اساس در این پژوهش تغییرات زمانی سطح آب دریاچه مهارلو بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش شده آبخیز مهارلو بود. با استفاده از داده‌های ماهواره لندست در طول دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۸۶ مساحت دریاچه در هر تصویر تعیین شد. سپس، روند تغییرات سطح دریاچه در این دوره با استفاده از آزمون من کاندال بررسی شد. افزون بر این، عامل‌های مؤثر بر تغییرات سطح دریاچه همچون تغییرات بارندگی، آب‌دهی ورودی به دریاچه، تراز سطح آب زیرزمینی، جمعیت و مساحت پوشش گیاهی آبخیز در این دوره آماری ارزیابی شد.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که روند تغییرات مساحت دریاچه مهارلو در دوره مطالعه شده معنی‌دار و کاهش (۳km²/year) بود. نقطه تغییر زمانی، ماه سپتامبر ۲۰۰۷ بود و از این تاریخ به بعد کاهش شدیدی در سطح دریاچه رخ داد. همچنین، نتایج بررسی تغییرات بارش نشان داد که روند اندازه‌ی بارش منفی و بی‌معنی بود؛ هر چند که روند تغییرات آب‌دهی ورودی به دریاچه

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sh.didari@shirazu.ac.ir

استناد: عاجی، س.، دیداری، ش. ۱۴۰۳. بررسی تغییرات زمانی سطح دریاچه مهارلو با استفاده از تصویرهای ماهواره و عامل‌های مؤثر بر آن. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۳): ۱۹-۳۴.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.363213.1549

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره ۳۷، شماره ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۴۴، پاییز ۱۴۰۳، صفحه‌های ۱۹ تا ۳۴.

© نویسنده‌گان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



و تبخیر، منفی و معنی‌دار بود. روند تغییرات جمعیت و پوشش گیاهی افزایشی و معنی‌دار بود. همچنین، نتایج این پژوهش نشان داد که روند تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی در این محدوده منفی و معنی‌دار بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که روند تغییرات سطح دریاچه مهارلو به شدت کاهش یافته است. بررسی عوامل تأثیرگذار روی سطح دریاچه نیز نشان داد هیچ‌گونه روند معنی‌داری در اندازه بارش در آبخیز به‌عنوان یکی از تأمین‌کننده‌های اصلی آب ورودی به دریاچه، رخ نداده است. هرچند روند تغییرات بارش معنی‌دار نبود و روند تبخیر هم کاهش یافته بود، اما روند جمعیت و پوشش گیاهی در آبخیز افزایشی بود که ناگزیر نیاز به تأمین آب بیشتر در این محدوده است. این موضوع منجر به افزایش بی‌رویه برداشت از منابع آب زیرزمینی و جریان‌های سطحی شده است. به این دلیل، روند سطح تراز آب زیرزمینی و آب‌دهی ورودی به دریاچه، کاهش یافته و معنی‌دار بود. افزون بر این، اثر متقابل این عوامل منجر به روند منفی تغییرات سطح دریاچه شد. بنابراین، با توجه به اهمیت دریاچه مهارلو در آبخیز و به‌منظور جلوگیری از کاهش سطح دریاچه، مدیران باید توجه زیادی به اجرای برنامه‌ریزی‌های پایداری سرزمین داشته باشند.

واژگان کلیدی: آزمون روند من‌کندال، دریاچه مهارلو، گوگل ارث انجین، لندست

مقدمه

آمارهای بلندمدت مشکل است. در سال‌های اخیر، معرفی موتور گوگل ارث انجین²، به‌عنوان یک پلتفرم محاسبه‌ای، به کاربران این امکان را می‌دهد تا تجزیه و تحلیل‌های جغرافیایی را در زیرساخت‌های گوگل انجام دهند. این سامانه اطلاعاتی در کمترین زمان ممکن می‌تواند بسیاری از اطلاعات منابع زمینی از جمله پیکره‌های آبی را استخراج و از نظر مکانی و زمانی تحلیل کند.

دریاچه مهارلو در استان فارس یکی از دریاچه‌های آب‌شور ایران است که در ۱۰ کیلومتری جنوب‌شرقی شیراز و در غرب دریاچه بختگان است. آب این دریاچه بسیار شور است، به‌شکلی که در فصل‌های خشک یکی از کانسارهای بزرگ نمک ایران به‌شمار می‌آید (فروغی و ابراهیم‌پور ۲۰۲۱). در سال‌های اخیر سطح آب این دریاچه کاهش یافته است. پژوهشگران پرشماری (سمیعی و همکاران ۲۰۱۷، کاظمی و همکاران ۲۰۱۶، جوادی‌پور و همکاران ۲۰۱۶، مظفری و نارنگی‌فرد ۲۰۱۵)، تغییرات سطح آب دریاچه مهارلو را بررسی و گزارش کرده‌اند که روند تغییرات سطح آب دریاچه کاهش یافته است. گفتنی است که همه این پژوهشگران برای بررسی روند تغییرات دریاچه از تعداد محدودی تصویرهای ماهواره‌ای برای تعمیم به کل دوره آماری استفاده کردند و با این اقدام ممکن است روند به درستی بررسی نشده باشد. از این‌رو، در این پژوهش با استفاده از تمام تصویرهای ماهواره لندست در بازه زمانی ۳۵ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۰)، تلاش شد تا بررسی روند تغییرات سطح دریاچه با دقت زیاد بررسی شود. همچنین عوامل مؤثر بر تغییرات سطح دریاچه از جمله بارندگی، تغییرات سطح ایستابی چاه‌های پیرامون دریاچه، تغییرات پوشش گیاهی آبخیز و جمعیت بررسی شد.

دریاها و دریاچه‌های فصلی و دائمی از مهم‌ترین منابع تأمین آب در جهان هستند. عامل‌های بسیاری سبب کاهش مساحت بسیاری از تالاب‌های در سراسر جهان شده است. از جمله این عوامل می‌توان به افزایش جمعیت، استفاده از آب در بالادست، سدسازی، انحراف آب، بیابان‌زایی، تغییرات آب و هوایی و سیاست‌های نادرست تخصیص آب اشاره کرد (وینتر و همکاران ۲۰۰۱، گارسیا و سیفارد ۲۰۰۱). از این‌رو، در سراسر دنیا پژوهش‌های بسیاری در زمینه بررسی تغییرات پهنه آبی کره زمین انجام شده است (سومیا و همکاران ۲۰۲۰، کیائو و همکاران ۲۰۱۹، وانگ و همکاران ۲۰۱۹). برای اجرای این پژوهش‌ها، نیاز به شناسایی پهنه آبی است. یکی از روش‌های متداول تعیین پهنه‌های آبی، استخراج سطح آب با استفاده از شاخص‌های محاسبه‌شده بر اساس داده‌های چند طیفی ماهواره‌ای و در نظر گرفتن یک حد آستانه برای شاخص‌های مزبور است. این روش‌ها در مقایسه با روش‌های طبقه‌بندی ساده‌تر است و دقت کافی دارند. (خسروی و همکاران ۲۰۱۹). شاخص‌های گوناگونی برای تشخیص پهنه‌های آبی پیشنهاد شده است و پژوهشگران بسیاری عملکرد آن‌ها را در مناطق مختلف ارزیابی کرده‌اند. یکی از شاخص‌های استفاده‌شده در بسیاری از این پژوهش‌ها، شاخص بهنجارسازی شده آب¹ NDWI است که عملکرد مناسبی دارد (ونگ و همکاران ۲۰۱۸، پکل و همکاران ۲۰۱۶، سارپ و اوزچلیک ۲۰۱۷).

یکی از چالش‌های بررسی روند تغییرات سطح دریاچه‌ها، دسترسی به تصویرها با دوره آماری کافی است. ماهواره لندست می‌تواند با تهیه تصویرهای با دوره آماری بلندمدت امکان بررسی روند تغییرات دریاچه‌ها را فراهم آورد. هر چند که بررسی حجم زیاد این تصویرها و پردازش آن‌ها در دوره

1 - Normalized Difference Water Index

2- Google Earth Engine (GEE)

مواد و روش ها

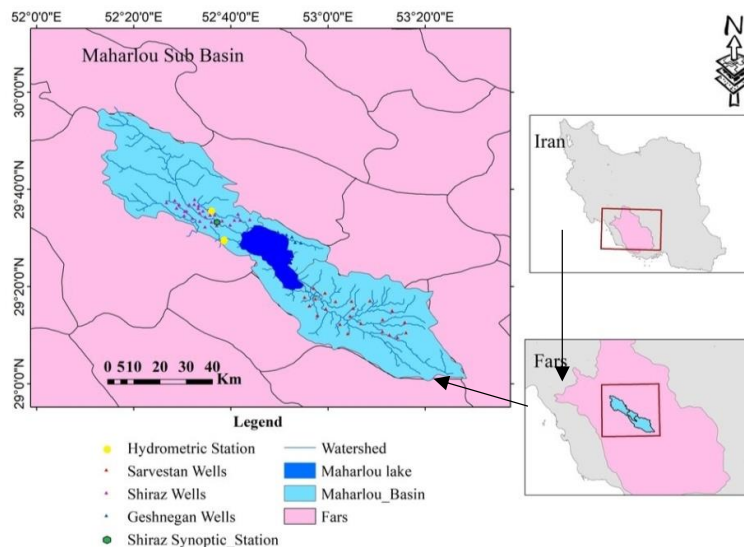
منطقه مطالعه شده

دریاچه مهارلو میان طول های جغرافیایی $36^{\circ} 52'$ و $37^{\circ} 37'$ طول شرقی و عرض های جغرافیایی $29^{\circ} 12'$ و $29^{\circ} 36'$ شمالی محدود شده است. طول این دریاچه ۲۸ کیلومتر، پهنای آن ۱۵ - ۱۰ کیلومتر است. مساحت این دریاچه ۲۷۵ کیلومترمربع است که شامل دریاچه فعلی، پوشش نمکی و پوشش گلی است (کاظمی و همکاران ۲۰۱۹). سه رود فصلی نظرآباد، چناراهدار و رود خشک، دریاچه مهارلو را تغذیه می کنند (سمیعی و همکاران ۲۰۱۷). گفتنی است نمی توان این دریاچه را به دلیل تداوم نداشتن تغذیه و تبخیر بسیار زیاد ناشی از کم ژرف بودن و گستردگی سطح، یک دریاچه دائمی به شمار آورد. در سال های کم باران به دلیل کمبود سیلاب های سطحی و زه آب های دشت، اندازه آب دریاچه به شدت کاهش یافته است و گاهی این وضعیت به خشکی دریاچه منجر می شود. میانگین سطح دریاچه ۱۷۵ کیلومترمربع است و بیشترین سطح آب آن نیز ۲۵۰ کیلومترمربع است. همچنین میانگین ژرفای آن ۰/۵۵ متر است که و ژرف ترین بخش آن ۳ متر است (قهرودی و همکاران ۲۰۱۲).

داده های اندازه گیری شده

ایستگاه همدید شیراز با عرض جغرافیایی $20^{\circ} 43'$ و 52°

طول جغرافیایی $13^{\circ} 50'$ نزدیک ترین ایستگاه به دریاچه مهارلو است. از این رو، داده های بارش و تبخیر این ایستگاه در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ بررسی شد. همچنین، برای پایش تغییرات سطح آب زیرزمینی در بلندمدت، میانگین وزنی ماهانه سطح چاه های مشاهده ای پیرامون دریاچه به تفکیک در هر زیرآبخیز، از سازمان آب منطقه ای استان فارس تهیه و بررسی شد. موقعیت چاه های هر آبخیز در شکل ۱ و اطلاعات تکمیلی آن ها در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین، برای بررسی تغییرات بارندگی پیرامون دریاچه از داده های ایستگاه همدید شیراز استفاده شد. برای بررسی تغییرات جمعیت در این آبخیز از آمار جمعیتی شهرستان های شیراز و سروستان در سال های ۱۳۶۵-۱۳۹۵ که از سرشماری عمومی نفوس در پایگاه مرکز آمار ایران به دست آمده بود، استفاده شد (درگاه ملی آمار ایران ۲۰۲۱). همچنین، برای تعیین اندازه آب دهی رود های منتهی به دریاچه، از داده های آب دهی اندازه گیری شده در ایستگاه های آب سنجی اقبال آباد و پل فسا که به ترتیب روی رود های خشک و چناراهدار در زیرآبخیز شیراز هستند، استفاده شد. گفتنی است که داده های ماهانه این ایستگاه ها به ترتیب در ماه های مهر ۱۳۷۸ تا شهریور ۱۳۹۹ در ایستگاه اقبال آباد و در ماه های مهر ۱۳۶۶ تا شهریور ۱۳۹۹ در ایستگاه پل فسا در دسترس بود. موقعیت این ایستگاه ها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخیز مهارلو، ایستگاه های آب سنجی و چاه های مشاهده ای آن.

Figure 1- Geographical Location and Hydrometric Stations and Piezometric Wells of Maharlou Basin.

جدول ۱- تعداد و طول دوره آماری چاه‌های مشاهده‌ای آبخیز مهارلو.

Table1- The number and length of the statistical period of piezometric wells in the Maharlou.

Sub-Basin	Number of Well	Period
Shiraz	29	Mar1993-Sep2020
Geshnegan	5	Aug2010-Sep2020
Sarvestan	24	Mar1991-Sep2020

اطلاعات تصویهای استفاده‌شده در این پژوهش در جدول ۲ نشان‌داده شده است. در این پژوهش از داده‌های بازتاب سطحی^۵ SR تصویهای لندست از مسیر ۱۶۲ و ۱۶۳ ردیف ۴۰ و ۳۹ استفاده شد. گفتنی است بر اساس نتایج پژوهش‌های مانسینو و همکاران (۲۰۲۰) و از آنجایی که خطای راه‌راه‌شدگی لندست ۷ اثر معنی‌داری در محاسبه شاخص‌های استفاده‌شده در این پژوهش نداشت، به این دلیل تصحیحی انجام نشد.

داده‌های سنجش از دور ماهواره لندست

ماهواره لندست دستاورد مشترک سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا^۳ USGS و اداره ملی هوا و فضا NASA^۴ است. در این پژوهش از ماهواره‌های لندست گروه ۵، ۷ و ۸ استفاده شد. ماهواره لندست زمین را در بلندی ۷۰۵ کیلومتر در یک مسیر ۱۸۵ کیلومتری طی می‌کند و از شمال به جنوب از سطح آفتابی زمین در یک مدار همگام با آفتاب حرکت می‌کند و هر ۱۶ روز یک‌بار، هر نقطه از زمین را پوشش می‌دهد.

جدول ۲- داده‌های استفاده‌شده ماهواره لندست در این پژوهش.

Table2- Landsat Satellite data used in this research.

Period	LANDSAT 5		LANDSAT 7	LANDSAT 8
	Mar 1984 - May 2013		Jan 1999 - Dec 2020	Apr 2013 - Dec 2020
Resolution (Day)	16		16	16
Resolution (m)	30		30	30
Sensor	TM		+ETM	OLI/TIRS
Band and Wave Length (μm)	Green	B ₂ : 0.52-0.6	B ₂ : 0.52-0.6	B ₃ : 0.533-0.590
	NIR	B ₄ : 0.77-0.9	B ₄ : 0.77-0.9	B ₅ : 0.851-0.879
	Red	B ₃ : 0.63-0.69	B ₃ : 0.63-0.69	B ₄ : 0.63-0.69
Image Number	170		320	345
Sum			835	

سرانجام اندازه‌هایی که بیشترین دقت را در هر گروه داشتند به‌عنوان مبنای عمل برای جداسازی پهنه آبی دریاچه استفاده شدند. حد آستانه نهایی بر اساس تفاوت طول موج باندها در گروه‌های مختلف لندست تعیین شد. در لندست گروه ۵ و ۷ حد آستانه نهایی ۰/۰۵۵ و در لندست گروه ۸ این اندازه ۰/۰۶ تعیین شد. سپس، کدی برای جداسازی سطح آب دریاچه و محاسبه مساحت آن در هر تصویر با حاصل ضرب مساحت هر پیکسل در تعداد پیکسل‌های بزرگ‌تر از حد آستانه نوشته شد و در سامانه پردازشگر GEE اجرا شد. به این ترتیب گروه زمانی ۳۵ ساله برای تغییرات سطح دریاچه به‌دست آمد. افزون بر این، عامل‌های مؤثر بر سطح آب دریاچه شامل روند زمانی بارش و جریان‌های ورودی به رود به‌عنوان منابع اصلی تأمین آب دریاچه، سطح تراز آب زیرزمینی، تغییرات پوشش گیاهی در منطقه، جمعیت و تبخیر که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم روی سطح دریاچه مؤثرند، ارزیابی شدند.

روش پژوهش

به‌منظور تعیین تغییرات زمانی مساحت دریاچه از شاخص NDWI و باندهای سبز و مادون‌قرمز تصویهای ماهواره لندست استفاده شد و سطح دریاچه در هر تصویر با استفاده از آستانه‌گذاری روی اندازه شاخص محاسبه‌شده، تعیین شد (جاو ۱۹۹۶).

$$NDWI = \frac{\rho_{GREEN} - \rho_{NIR}}{\rho_{GREEN} + \rho_{NIR}} \quad (1)$$

ρ_{GREEN} و ρ_{NIR} : به ترتیب باندهای سبز و مادون‌قرمز در ماهواره لندست است. به منظور تعیین حد آستانه NDWI برای جداسازی پهنه آبی در هر گروه لندست یک تصویر مینا در نظر گرفته شد. سپس از آن تعدادی نمونه از طبقه‌های آب و غیر آب برداشت شد. سرانجام با استفاده از روش طبقه‌بندی نزدیکترین همسایه، با تغییر در حد آستانه و تعیین ماتریس خطا، برای هر حد آستانه‌گذاری سنج‌های دقت (کاپا و دقت کلی) برآورد شد.

3 - United States Geological Survey

4 - National Aeronautics and Space Administration

5 - Surface Reflectance

در سال در بازه زمانی ۲۰۲۰-۱۹۸۶ است. پس از انجام آزمون پتیت و بررسی نقطه تغییر نمودار سری زمانی، مشاهده شد که این نقطه در تاریخ سپتامبر سال ۲۰۰۷ رخ داده است. همچنین، بررسی روند تغییرات در قبل و بعد از نقطه تغییر نشان داد که یک کاهش بسیار شدید در مساحت دریاچه بعد از نقطه تغییر رخ داده است. هر چند که شیب نمودار بعد از نقطه تغییر به شکل افزایشی بود اما این نرخ افزایش شیب نسبت به دوره قبل از نقطه تغییر ۰/۲ برابر شده بود که در شکل ۲ نشان داده شده است. افزایش شیب در سال‌های ۱۹۸۶ تا سپتامبر ۲۰۰۷ به اندازه ۰/۵۶ کیلومتر مربع در سال بود و در سال‌های ۲۰۰۷ تا پایان ۲۰۲۰ به اندازه ۰/۰۹۶ کیلومتر مربع در سال بود.

دلیل افزایش شیب بعد از نقطه تغییر در دریاچه را می‌توان به اثر ورود پساب تصفیه‌شده شهر شیراز بعد از تأسیس تصفیه خانه دانست که تقریباً به شکل پیوسته آب وارد دریاچه می‌شود؛ هرچند این موضوع به دلیل نبود ایستگاه آب‌سنجی بعد از مکان تصفیه‌خانه، امکان بررسی نداشت و برای تأیید آن باید از داده‌های آب‌دهی خروجی تصفیه‌خانه شیراز استفاده شود. از آنجایی که در سال ۲۰۰۷ تغییر ویژه‌ای مانند ساخت سد در شرایط آبخیز ایجاد نشده است، می‌توان دلیل رخداد مزبور را مجموعه عامل‌های مؤثر بر سطح دریاچه دانست که اثر متقابل آن‌ها در این زمان معنی‌دار شد. نتایج پژوهش محمدزاده‌هابیلی و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی روند زمانی رود شاپور با این یافته‌ها هماهنگی دارد. این پژوهشگران نیز گزارش کردند که در نقطه تغییر آب‌دهی رود شاپور در سال ۲۰۰۶ کاهش ناگهانی مشاهده شده است.

عامل‌های گوناگونی می‌تواند در رخداد این روند نزولی مؤثر باشد. یکی از این عامل‌ها کاهش ورودی‌ها در اثر کاهش بارش است. به‌منظور بررسی این فرضیه روند بارش به‌دست‌آمده از داده‌های ماهانه و سالانه ایستگاه همدید شیراز ارزیابی شد. نتایج این ارزیابی نشان داد که هر چند در هر دو مقیاس سالانه و ماهانه روند کاهشی بود، اما این روند با استفاده از آزمون من‌کندال با ضریب اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار نشد. بنابراین، نمی‌توان گفت که کاهش بارش عامل مؤثری بر روند کاهشی سطح دریاچه است (شکل ۳).

یکی از عامل‌های اثرگذار بر تغییرات سطح دریاچه، می‌تواند جریان‌های ورودی به آن باشد. نتایج بررسی تغییرات آب‌دهی رودهای ورودی به دریاچه در ایستگاه‌های آب‌سنجی با استفاده از آزمون من‌کندال نشان داد روند اندازه آب‌دهی در ایستگاه‌های آب‌سنجی پل فسا و اقبال‌آباد معنی‌دار و کاهشی بود (شکل ۴). بنابراین، نبود روند معنی‌دار در بارش ایستگاه همدید شیراز، نشان‌دهنده کاهش ورودی به دریاچه به دلیل افزایش

پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از مصرف‌کنندگان آب مطرح است و چگونگی تغییرات آن می‌تواند در تحلیل نتایج مؤثر باشد. از این رو، برای تعیین تغییرات پوشش گیاهی منطقه (آبخیز مهارلو شامل زیرآبخیزهای شیراز، گشنگان و سروستان)، از شاخص بهنجارسازی‌شده پوشش گیاهی $NDVI$ استفاده شد و سطح پوشش گیاهی در هر تصویر با حد آستانه ۰/۲ تعیین شد (الدوسکی ۲۰۱۳).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (2)$$

به‌منظور بررسی روند تغییرات زمانی از آزمون ناپارامتریمن کندال استفاده شد (کندال ۱۹۹۵). همچنین، در شرایط معنی‌داری روند تغییرات زمانی، نقطه تغییر روند^۷ با استفاده از روش ناپارامتری پتیت^۸ ارزیابی شد (پتیت ۱۹۷۹). رابطه میان سطح تراز آب زیرزمینی و مساحت دریاچه با استفاده از محاسبه ضریب تعیین (R^2)، میانگین انحراف خطا (MBE)، میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) و میانگین مجذور مربعات خطای بهنجارسازی‌شده (NRMSE) تعیین شد (رابطه‌های ۳ تا ۵).

$$MBE = \frac{\sum(X_i - Y_i)}{n} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{Y}_i} \quad (5)$$

نتایج و بحث

مساحت محاسبه‌شده دریاچه بر اساس حد آستانه بهینه شاخص NDWI بر حسب کیلومتر مربع در شکل ۲ نشان داده شده است. برای بررسی روند دوره آماری از آزمون من‌کندال در سطح معنی‌داری ۹۵٪ استفاده شد. نتایج تحلیل تغییرات مساحت دریاچه مهارلو بیانگر کاهش سطح دریاچه در بازه سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ بود. نتایج این پژوهش نشان داد که روند تغییرات سطح دریاچه بسیار شدید ($P_{value} \leq 0/05$) و کاهشی است. کاظمی و همکاران (۲۰۱۹) روند تغییرات سطح دریاچه را در ماه‌های فروردین و شهریور سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۰ و ۱۳۹۲ بررسی کردند. این پژوهشگران گزارش کردند که سطح دریاچه در شهریورماه و فروردین‌ماه به ترتیب ۸۲٪ و ۲۰٪ کاهش داشت. در پژوهش دیگری جوادپور و شاد (۲۰۱۶) در بازه زمانی ۱۰ ساله کاهش سطح آب دریاچه مهارلو را گزارش دادند. شکل ۲، بیانگر شیب تغییرات سطح دریاچه مهارلو به اندازه ۳ کیلومتر مربع

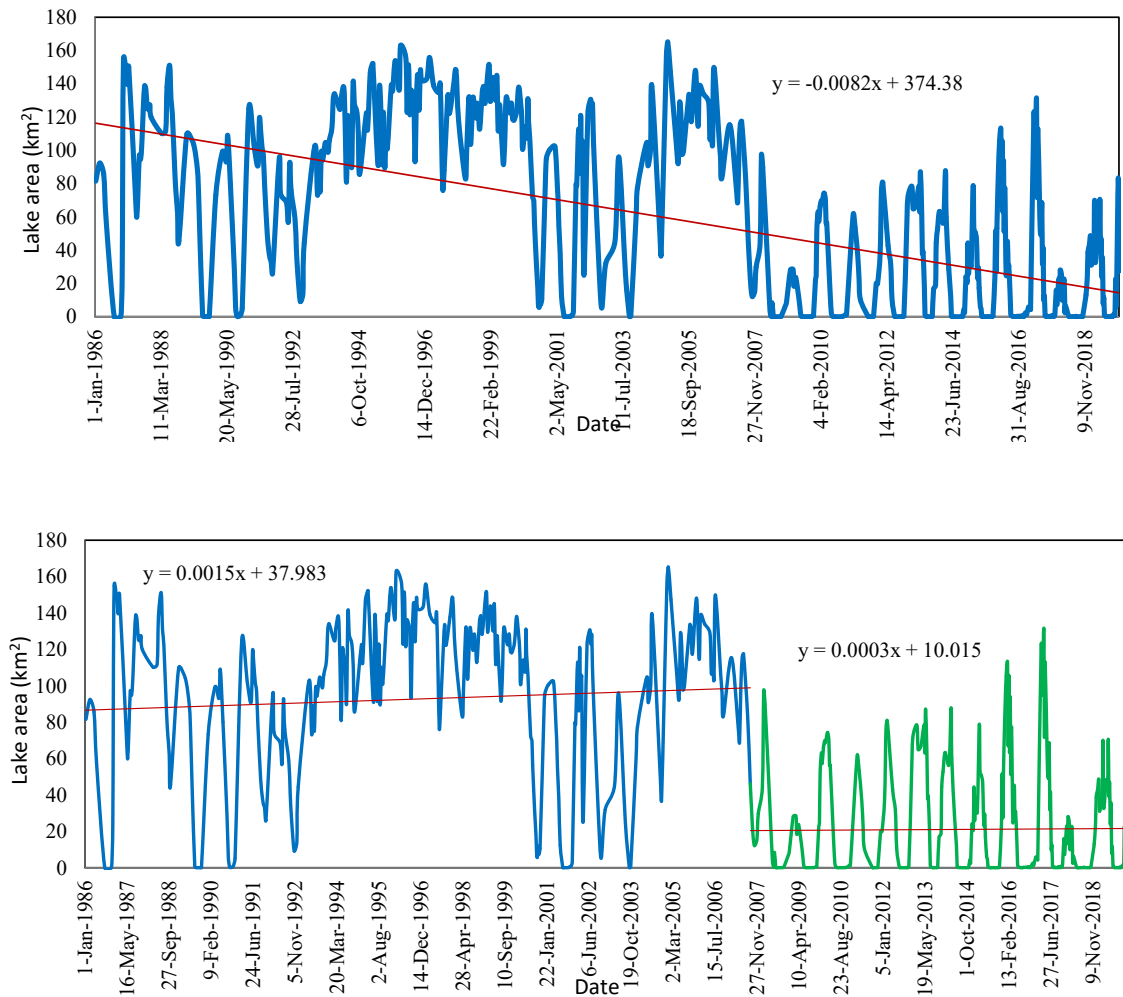
6- Normalized Difference Vegetation Index

7 - Change Point

8 - Pettitt

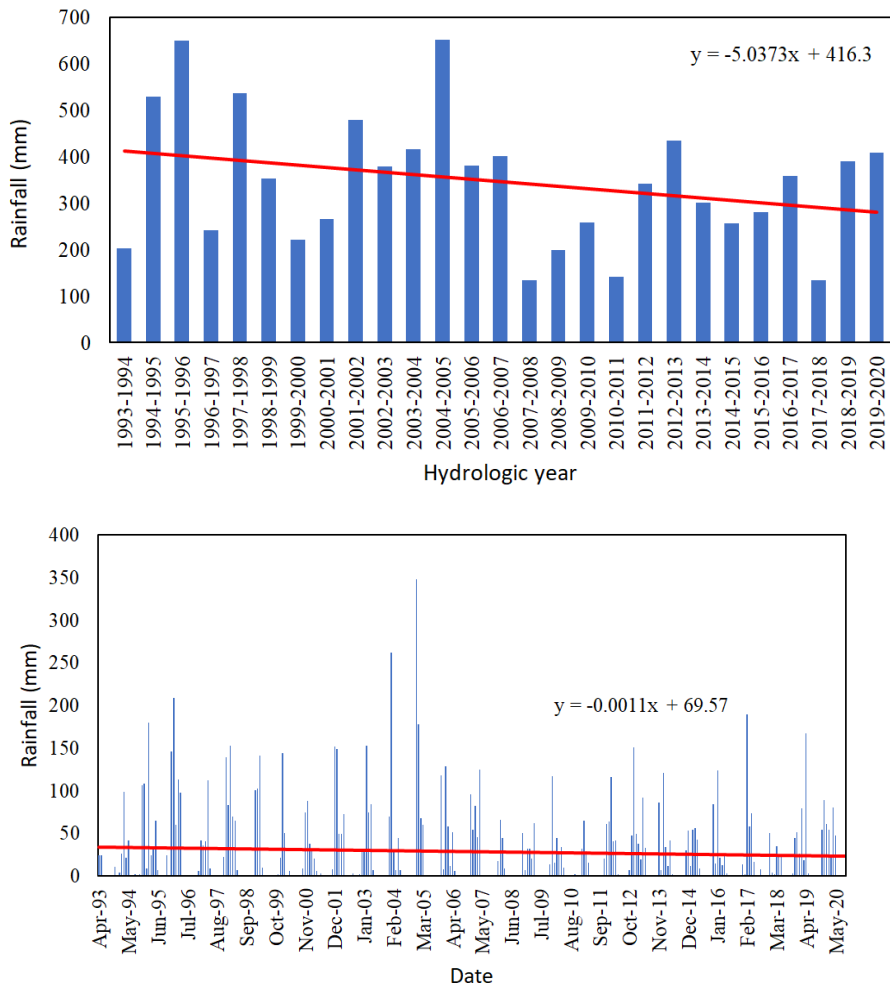
تغییرات پوشش گیاهی در آبخیز نیز به عنوان یک کاربری آبربر می تواند بر منابع آبی موجود در آبخیز اثرگذار باشد. از این رو، تغییرات پوشش گیاهی در آبخیز بررسی شد و مساحت آن در کل آبخیز با استفاده از شاخص NDVI در طول دوره آماری در هر تصویر استخراج شد. نتایج تغییرات زمانی پوشش گیاهی آبخیز مهارلو در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج بیانگر افزایش معنی دار سطح پوشش گیاهی بود.

برداشت در بالادست آن بود. یکی دیگر از سنجه های مؤثر بر تغییرات سطح آب دریاچه، می تواند اندازه تبخیر از سطح دریاچه باشد. از این رو، روند تغییرات سالانه تبخیر در ایستگاه همدید شیراز که نزدیک ترین ایستگاه به دریاچه مهارلو بود، بررسی شد. نتایج این بررسی بیانگر کاهش تبخیر سالانه این ایستگاه با نرخ ۱۸/۴۷ میلی متر در سال در بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۲۰ بود (P-Value $\leq 0/05$) (شکل ۵).



شکل ۲- تغییرات زمانی مساحت دریاچه مهارلو و نقطه تغییر آن.

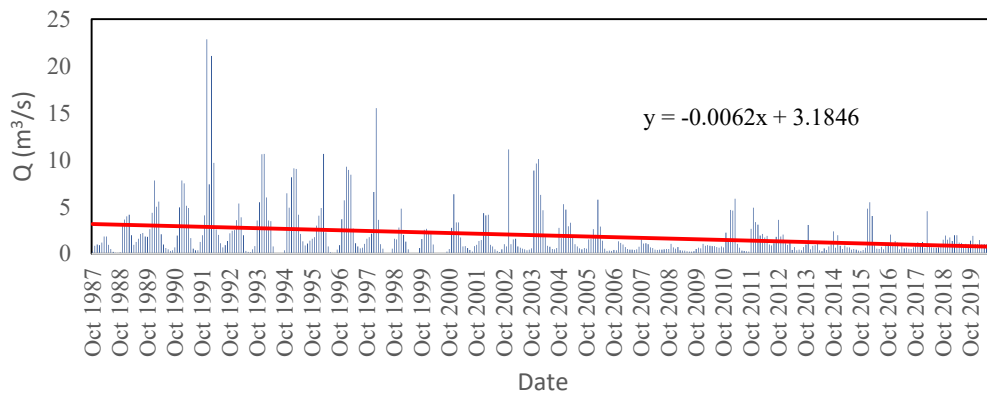
Figure 2- Time series of changes in the area of Maharlou Lake and its change point.



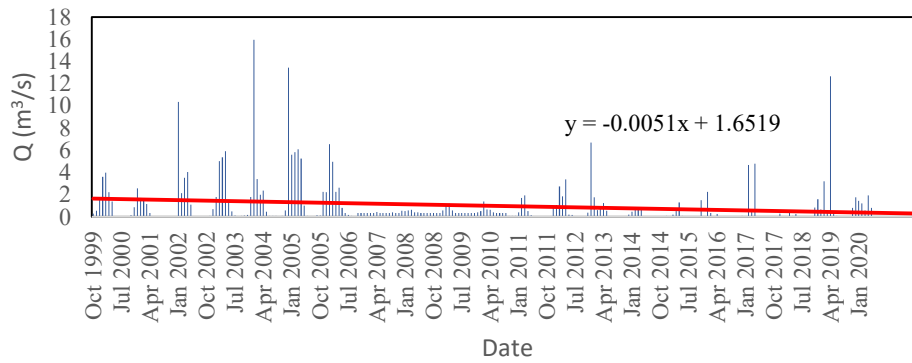
شکل ۳- تغییرات زمانی و روند تغییرات بارندگی در زیر آبخیز شیراز در بازه سال‌های (۱۹۹۳-۲۰۲۰) در مقیاس سالانه (بالا) و مقیاس ماهانه (پایین).

Figure3- Time series and trend of rainfall changes in the Shiraz Sub-basin in the period of (1993-2020) on an annual scale (top) and on a monthly scale (bottom).

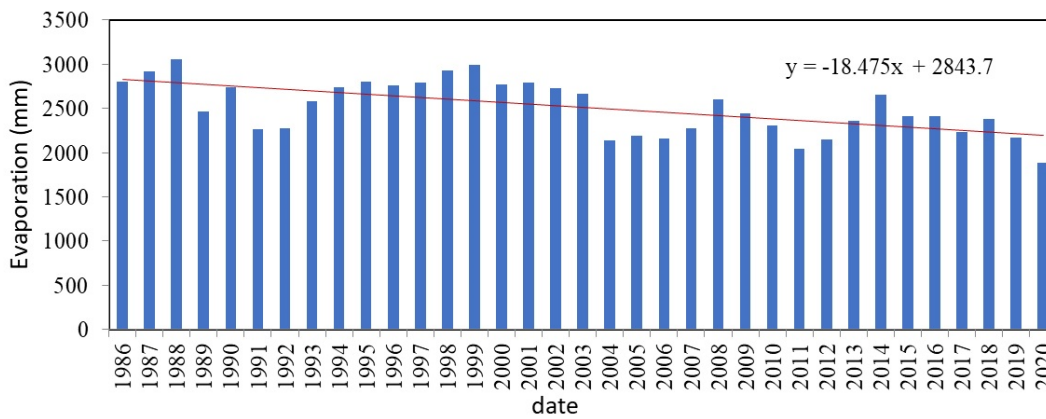
Fasa Bridge



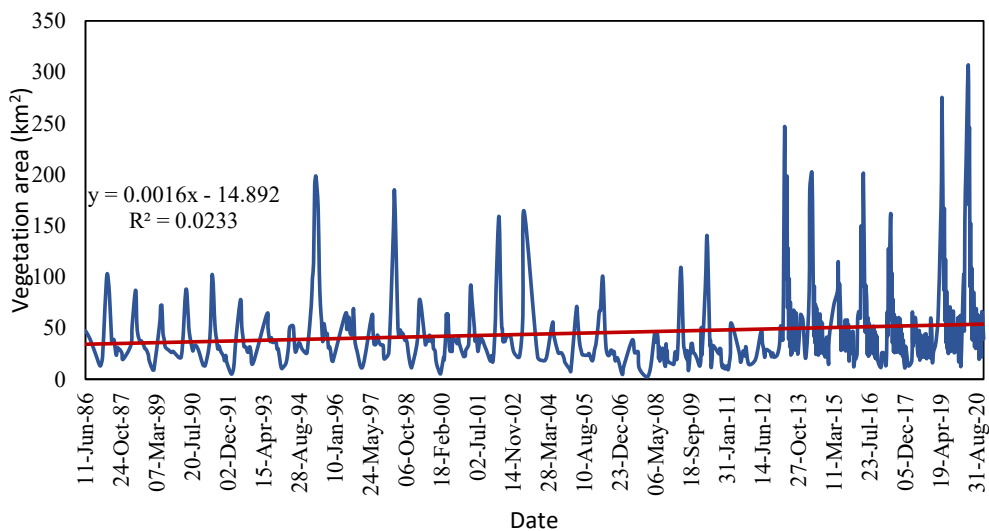
Iqbal Abad



شکل ۴- تغییرات زمانی اندازه آبدهی ایستگاه های آبسنجی پل فسا (بالا) و اقبال آباد (پایین).
Figure6- Time series of streamflow changes at hydrometric stations of Fasa Bridge (top) and Iqbal Abad (bottom).



شکل ۵- تغییرات زمانی تبخیر سالانه در ایستگاه همدید شیراز.
Figure 5- Time series of evaporation at Shiraz synoptic station.



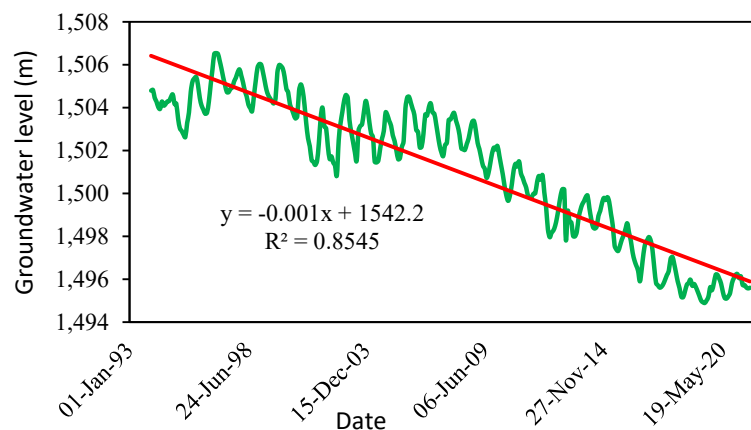
شکل ۶- تغییرات زمانی پوشش گیاهی آبخیز مهارلو.
Figure6- Time series of changes in the area of vegetation and its change point.

شد و بر این اساس می‌توان گفت که در زیرآبخیز شیراز نقطه تغییر تراز آب زیرزمینی در فوریه سال ۲۰۰۹ رخ داده است. هر دو دوره روند تغییرات تراز سطح ایستابی کاهش بود، اما کاهش شیب نمودار مربوطه بعد از نقطه تغییر ۳/۷۵ برابر شده است.

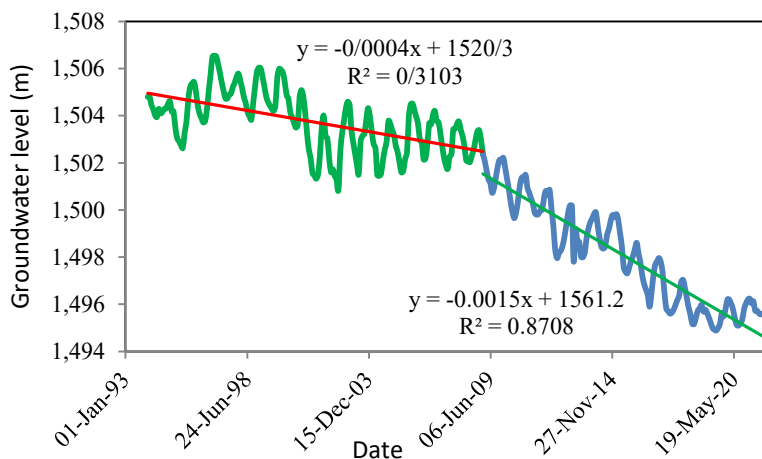
در زیرآبخیز سروستان نقطه تغییر در ماه می سال ۲۰۰۷ رخ داده است. در این زیرآبخیز نیز روند تغییرات زمانی در قبل و بعد از نقطه تغییر کاهش بود. همچنین در این زیرآبخیز کاهش شیب نمودار مربوطه بعد از نقطه تغییر ۲ برابر شده است. سرانجام در زیرآبخیز گشنگان نقطه تغییر در ماه فوریه سال ۲۰۱۵ رخ داده است و کاهش روند تغییرات زمانی سطح تراز ایستابی بعد از نقطه تغییر ۰/۸۵ برابر شده است. بر این اساس می‌توان دو عامل کاهش شیب بعد از نقطه تغییر در زیرآبخیز گشنگان که محل دریاچه است را یکی تغذیه آب زیرزمینی در این ناحیه به وسیله خود دریاچه و دیگری ورود پساب تصفیه شده شهر شیراز به این زیرآبخیز دانست. افزون بر این، به دلیل یکسان نبودن تعداد سال‌های آماری در هر زیرآبخیز، نقاط تغییر آن‌ها با یکدیگر

در سال‌های گذشته با توجه به اینکه سطح تراز آب در بخش‌های جنوبی و جنوب‌شرقی شهر شیراز بالا بوده است، همواره به عنوان یکی از منابع تغذیه‌کننده دریاچه مهارلو به‌شمار می‌رفته است (احمدی و همکاران ۲۰۱۹). در سال‌های اخیر، دسترسی و بهره‌برداری آسان از منابع آب‌های زیرزمینی باعث افزایش قابل‌توجه اندازه برداشت از این منابع شده است. با توجه به محدودیت منابع آب سطحی، برداشت از منابع آب زیرزمینی بیش از حد مجاز بوده است و بر منابع آب سطحی تأثیر چشم‌گیری داشته است. از این‌رو، تغییرات تراز آب زیرزمینی می‌تواند منجر به تغییرات سطح دریاچه شود. به‌منظور بررسی این موضوع نخست تغییرات زمانی تراز آب زیرزمینی به‌دست‌آمده از میانگین وزنی چاه‌های مشاهده‌ای در هر زیرآبخیز بررسی شد. نتایج در هر یک از زیرآبخیزهای دریاچه مهارلو در شکل ۷ نشان‌داده شده است. داده‌ها با استفاده از آزمون من-کندال ارزیابی شد و مشاهده شد که روند در تمام زیرآبخیزها در سطح اطمینان ۹۵٪ منفی و معنی‌دار بود. همچنین با استفاده از آزمون پتیت نقطه تغییر تراز آب زیرزمینی در زیرآبخیزهای مهارلو مشخص

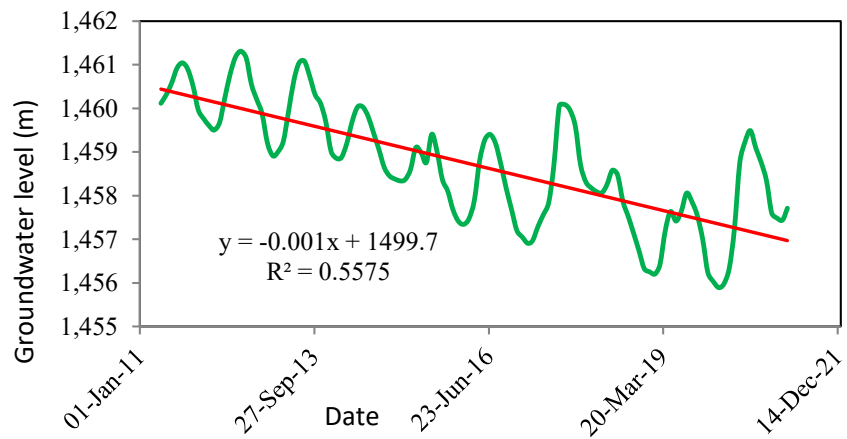
a₁



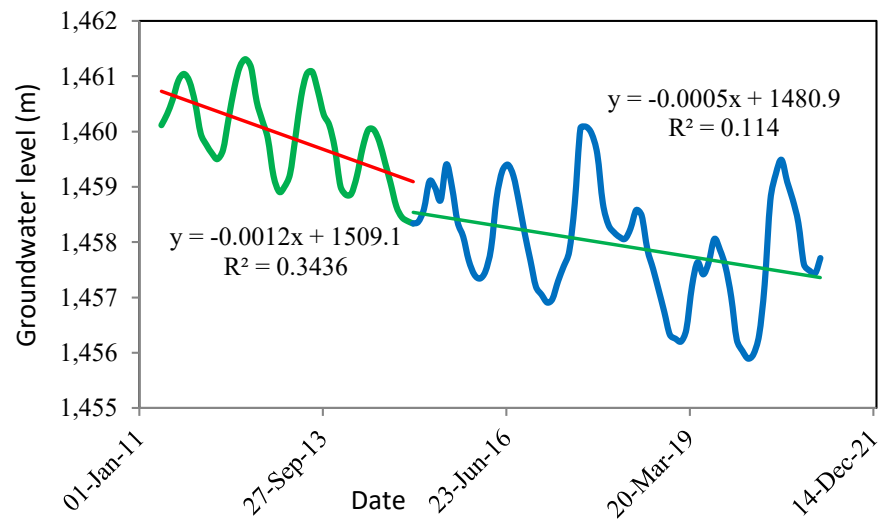
a₂



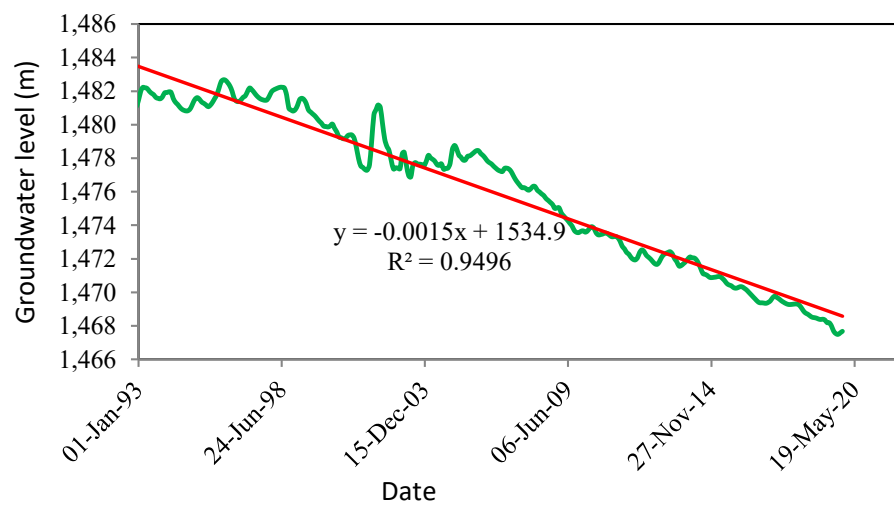
b1

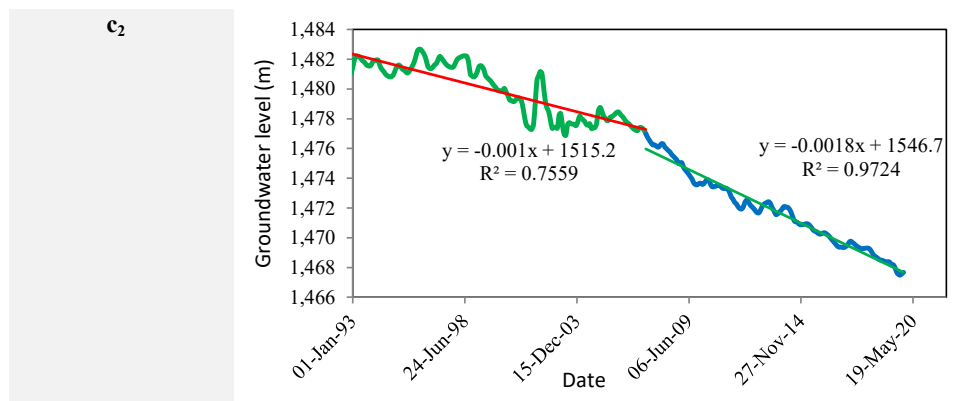


b2



c1





شکل ۷ - تغییرات زمانی و روند تغییرات سطح ایستابی در کل دوره آماری (زیروندهای با شماره ۱)، قبل و بعد از نقطه تغییر در زیرآبخیز شیراز (a)، زیرآبخیز گشنگان (b) و زیرآبخیز سروستان (c) (زیروندهای با شماره ۲).

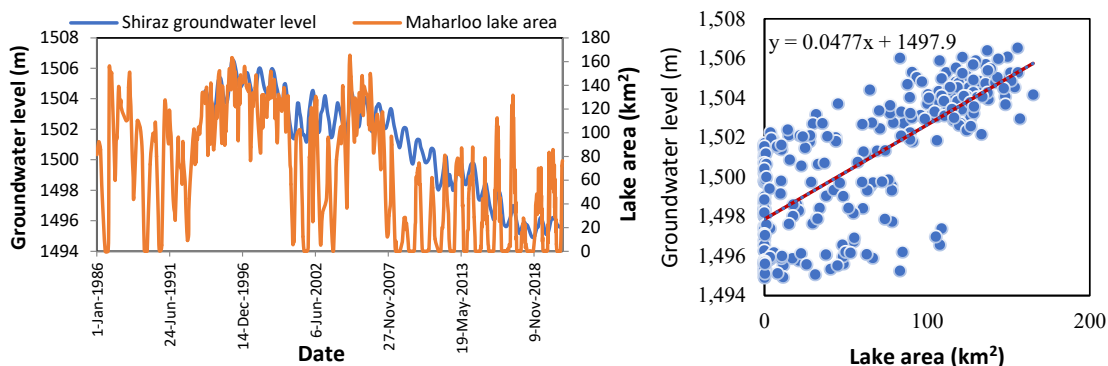
Figure 7- Time series and trend of water level changes in the entire statistical period (Underneath 1), before and after the change point in Shiraz Basin (a), Geshengan Basin (b) and in Sarvestan Basin (c) (Underneath 2).

داد که افزایش پوشش گیاهی منطقه و محدودیت جریان‌های ورودی به دریاچه منجر به روند کاهشی سطح دریاچه مهارلو شد. نتایج این پژوهشگران با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است.

برداشت بیش از تغذیه در زیرآبخیز شیراز دلیل مهم کاهش سطح آب زیرزمینی است. نوشادی و احدی (۲۰۲۰) در دوره آماری ۱۳۷۲-۱۳۹۶ مشاهده کردند هرچند که روند شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد شده معنی‌دار نبود، در شاخص آب زیرزمینی، خشک‌سالی آب-شناختی حادی مشاهده شد. این یافته با نتایج پژوهش‌های ابوزکی و همکاران (۲۰۱۹)؛ رحیم‌زاده و انتظاری (۲۰۱۹)؛ ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۲) در بسیاری از آبخیزهای مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، هم‌راستا است. رابطه میان کاهش ژرفای سطح ایستابی و اثر آن بر سطح دریاچه در زیرآبخیز شیراز در یک نمودار در مقابل هم رسم شد (شکل ۸).

قابل مقایسه نبودند و تحلیلی هم روی این موضوع انجام نشد. در دهه‌های گذشته با استفاده از نتایج سرشماری ۱۹۸۶-۲۰۱۶، اثر جمعیت بر کاهش روند سطح آب دریاچه بررسی شده است. در این پژوهش نتایج بررسی اثر جمعیت نشان داد که افزایش جمعیت در شهر شیراز بسیار شدید و از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۱۶ جمعیت ۸/۵ برابر شده است.

بنابراین، از یک‌سو افزایش جمعیت منطقه و از سوی دیگر محدودیت منابع آب در دسترس و همچنین افزایش پوشش گیاهی منطقه، تأمین نیاز آبی منجر به افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی شده است. نتایج پژوهش مزیدی و نارنگی‌فرد (۲۰۱۵) نشان داد که افزایش جمعیت منجر به تغییر کاربری زمین‌ها و کاهش نفوذ آب در مناطق شهری شد و این موضوع سبب شد تا تغذیه آب‌های زیرزمینی از راه نفوذ عمقی با مشکل مواجه شود. کاظمی و همکاران (۲۰۱۸) نیز عامل‌های اقلیمی مؤثر بر تغییرات دریاچه مهارلو را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان



شکل ۸ - مقایسه تغییرات زمانی سطح دریاچه مهارلو و سطح آب زیرزمینی در زیرآبخیز شیراز (چپ)، رابطه خطی میان آنها (راست).

Figure 8- Comparison of surface area and piezometric level in Shiraz Basin (Left), trend line of them (Right).

جدول ۳- سنجه‌های ارزیابی آماری رابطه خطی میان سطح آب دریاچه و سطح آب زیرزمینی.

Table3- Statistical parameters of surface area and piezometric level.

Statistic parameters		Shiraz sub basin
MBE(m)		0.041
RMSE(m)		2.25
NRMSE(%)		1.5
R ²		0.74
P-Value	Intercept	0
	Slope	2.1e-48

سامانه GEE انجام شد. افزون بر این، عامل‌های مؤثر بر روند تغییرات سطح دریاچه نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که روند تغییرات سطح دریاچه معنی‌دار و کاهشی بود و در سال‌های اخیر این روند به شدت کاهش یافته است. بررسی عامل‌های مؤثر بر سطح دریاچه نشان داد که روند اندازه بارش در آبخیز به‌عنوان تأمین‌کننده اصلی آب ورودی به دریاچه، معنی‌دار نبود.

روند جریان‌های ورودی به دریاچه در هر دو ایستگاه آب‌سنجی قبل از دریاچه کاهشی بود. این یافته بیانگر استفاده از جریان‌های آب سطحی در بالادست است. افزون بر این، بررسی‌ها نشان داد که افزایش جمعیت و افزایش پوشش گیاهی در آبخیز به دلیل نبودن منابع آب سطحی، منجر به افزایش چشم‌گیر برداشت از منابع آب زیرزمینی شده است. همچنین، کاهش تغذیه آب زیرزمینی به دلیل تغییر کاربری زمین‌ها و افزایش بی‌رویه استفاده از منابع آب زیرزمینی سبب کاهش شدید سطح ایستابی در آبخیز شد. رابطه میان کاهش سطح دریاچه و تراز آب زیرزمینی یک رابطه خطی و مستقیم بود به شکلی که کاهش سطح تراز آب زیرزمینی منجر به کاهش سطح دریاچه نیز شد. این یافته را می‌توان به دلیل نقش تغذیه‌کنندگی دریاچه برای آب زیرزمینی دانست. از این رو، ادامه این روند می‌تواند مشکلات بسیاری در زیرآبخیز شهر شیراز به وجود آورد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در این آبخیز مدیران تصمیم‌گیرنده با انجام اقدام‌های مؤثر در تعادل بخشی وضعیت آبخوان از خسارت‌های ناشی از کاهش سطح آب زیرزمینی و سطح دریاچه بکاهند.

بررسی روند تغییرات سطح دریاچه و سطح آب زیرزمینی نشان داد که رابطه خطی میان این دو عامل قوی و معنی‌دار ($NRMSE < 5\%$) بود و براساس سنجه‌های آماری ارائه شده در جدول ۳ و شکل ۸ این رابطه کاملاً به شکل همگون در حال تغییر است (جامیسون و همکاران ۱۹۹۱). این یافته‌ها بیانگر آن است که کاهش سطح آب زیرزمینی اثر مستقیمی بر سطح دریاچه دارد. به بیان دیگر برداشت‌های بی‌رویه، سبب کاهش شدید سطح آب زیرزمینی شده است، و از آنجایی که دریاچه نقش تغذیه‌کننده آب زیرزمینی را دارد باعث کاهش سطح دریاچه نیز می‌شود. هرچند که به دلیل نبودن تطابق میان منابع تغذیه‌کننده آب زیرزمینی و برداشت‌های بیش از حد مجاز، بیلان نهایی آبخوان همچنان منفی بود و تغذیه به وسیله دریاچه نیز کمکی به بهبود شرایط نکرده. این یافته با افزایش شوری آب‌چاه‌های پیرامون دریاچه که در پژوهش‌های پرشماری به آن اشاره شده است، کاملاً همخوانی دارد (جهان‌شاهی و زارع ۲۰۱۶، سامانی و همکاران ۲۰۲۰).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش با هدف بررسی تغییرات بلندمدت (۱۹۸۶-۲۰۲۰) سطح دریاچه شور مهارلو در نزدیکی شهر شیراز انجام شد. از این رو، از تصویرهای ماهواره لندست که دقت مکانی زیادی (۳۰ متر) داشتند، استفاده شد. سپس، از شاخص NDWI برای جداسازی پهنه‌های آبی استفاده شد. پردازش‌ها نیز در بستر

فهرست منابع

- Abou Zaki N, Torabi Haghghi AM, Rossi P, Tourian M, Kløve B. 2019. Monitoring ground water storage depletion using gravity recovery and climate experiment (GRACE) data in Bakhtegan Catchmen. *Iran Water*, 11(7):1456. <https://doi.org/10.3390/w11071456>
- Ahmadi M, Zarghami M, Hasanzadeh Y. 2019. Dynamic model to evaluate the water supply problems of green space in Shiraz. *Water Resources Engineering*, 11(39): 101-114 (In Persian).
- Ebrahimi A, Nazemosadat S, Motamedvaziri B, Ahmadi H. 2021. Land use-land cover change and its relationships with the groundwater table and the Plants' Altitudinal Zones: A case study of Arsanjan County, Iran. *Iranian Journal of Science and Technology. Transactions of Civil Engineering*, 45(3):1891-1907. <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00482-x>
- Al-Doski J, Mansor SB, Shafri HZ. NDVI differencing and post-classification to detect vegetation changes in Halabja City, Iraq. *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics*. 2013 Jul;1(2):01-10.
- Foroughi F, Ebrahimpour R. 2020. Heavy metals investigation and the potential risk assessment in the salt of Maharlou Lake and Korsia mine. *Journal of Water and Soil Science*, 52(2):361-377. (In Persian).
- Gao BC. 1996. NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space.-Remote sensing of environment. 58(3):257-266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Ghahroodi M, Lashgari H, Hosseini Z. 2012. Comparative study of climate changes and geomorphologic evolution in Maharlou. *Arid Regions Geographic Studies*, 1(3): 21-36. (In Persian)
- Jahanshahi R, Zare M. 2016. Hydro chemical investigations for delineating salt-water intrusion into the coastal aquifer of Maharlou Lake, Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 121(2016), 16-29. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.05.014>
- Jamieson P, Porter J, Wilson D. 1991. A test of the computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*, 27(4): 337-350. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(91\)90040-3](https://doi.org/10.1016/0378-4290(91)90040-3).
- Javadpour N, Shad R. 2016. Evaluation of the methods of detecting changes in the shorelines of Maharlou Lake using remote sensing data. In the 10th Symposium on Advances in Science and Technology (10thSASTech) Mashhad (2016). (In Persian).
- Kazemi M, Naji S, Feiznia S, Khosravi H. 2019. Revealing the changes in the level of Maharlou Lake and the land use around it during the period of 2002-2015. *Journal of Range and Watershed Management*, 72(3):831-842. (In Persian).
- Kendall M. 1948. Rank correlation methods. Griffin.
- Mancino G, Ferrara A, Padula A, Nolè, A. 2020. Cross-comparison between Landsat 8 (OLI) and Landsat 7 (ETM+) derived vegetation indices in a Mediterranean environment. *Remote Sensing*, 12(2), 291. <https://doi.org/10.3390/rs12020291>.
- Mazidi A, Narengifard M. 2016. Impact of urban development and Landuse changes on the climate of the city of Shiraz and Fasa. *Journal Of Geographical Sciences*, 16(40):131-154. (In Persian). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09505-0>
- Mozafari Gh, Narangifard M. 2015. The effects of changing level of Maharlou Lake on humidity and temperature level of Shiraz City. *Geography and Territorial Spatial Ar-*

- rangement, 5(14):215-230. (In Persian).
- Noshadi M, Ahadi A. 2020. Analyzing piezometers' behavior to determine the lag time of the rainfall effects on the groundwater level fluctuations in the Alluvial Plain of Shiraz by Using SPI and GRI Indices. *Journal of Water and Soil Science*, 4(23): 299-312. (In Persian).
- Pekel JF, Cottam A, Gorelick N, Belward A. 2016. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633):418-422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- Pettitt A. 1979. A nonparametric approach to the change point problem. *Journal of the royal statistical society: Series C (Applied Statistics)*, 28(2): 126-135. <https://doi.org/10.2307/2346729>
- Qiao B, Zhu L, Yang R. 2019. Temporal-spatial differences in lake water storage changes and their links to climate change throughout the Tibetan Plateau. *Remote Sensing of Environment*, 222(2019) :232-243. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.037>.
- Rahimzadegan M, Entezari S. 2019. Performance of the gravity recovery and climate experiment (GRACE) method in monitoring groundwater-level changes in local-scale study regions within Iran. *Hydrogeology Journal*, 27(7): 2497-2509. <https://doi.org/10.1007/s10040-019-02007-x>
- Saghafian B, KhanAhmadiBafghi H, DaneshkarArašteh P. 2021. Forecasting the area of the Bakhtegan and Tashk Lake using remote sensing and climatic factors. *Iran-Water Resources Research*, 17(1): 151-165. (In Persian).
- Samani S, Bouštani F, Irajizadeh, M. 2020. Application of reverse geochemical model and hydro geochemical methods to investigate the salinity source of Sarvestan Aquifer. *Hydrogeology*, 5(1): 16-33. (In Persian).
- Samiei M, Ghazavi R, Pakparvar M, Vali A. 2017. The effect of climate change on Maharlou Lake level change using satellite image processing. *RS and GIS for Natural Resources*, 8(1):1-18. (In Persian).
- Sarp G, Ozcelik M. 2017. Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey. *Journal of Taibah University for Science*, 11(3): 381-391. <https://doi.org/10.1016/j.jtusc.2016.04.005>
- Statistical Center of Iran. 2021. Population census. Available at <https://www.amar.org.ir> (accessed 10 Aug 2021).
- Sumiya E, Dorjsuren B, Yan D, Dorligjav S, Wang H, Enkhbold A, Weng B, Qin T, Wang K, Gerelmaa T, Dambaravjaa O. 2020. Changes in water surface area of the lake in the Steppe Region of Mongolia: A case study of Ugii Nuur Lake, Central Mongolia. *Water*, 12(5):1470 –1488.
- TaieSemiromi M, Fatehi Marj A, Mirnia S. 2012. Evaluating effects of artificial recharge on temporal and spatial distribution of hydrogeological droughts using Piezometric State Index (Case study: Garbaygan Plain, Fars Province).-*Iran-Water Resources Research*, 8(1): 86-89.
- Wang Y, Ma J, Xiao X, Wang X, Dai S, Zhao B. 2019. Long-term dynamic of Poyang Lake surface water: A mapping work based on the Google Earth Engine cloud platform. *Remote Sensing*, 11(3): 313-334. <https://doi.org/10.3390/rs11030313>.



Satellite-Based Analysis of Maharlou Lake's Surface Area Trends and Influencing Factors

Sare Aji¹ , Shohreh Didari^{2*} 

1- M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Maharlou Lake in Fars Province is one of the saline lakes of Iran, located 10 kilometers southeast of Shiraz. It holds significant economic, social, and environmental importance for the region. Therefore, assessing the long-term changes in the lake's surface area is crucial for making informed decisions by managers. In this context, the present study investigates the temporal changes in the water surface area of Maharlou Lake.

Materials and Methods

The study area was the Maharlou Watershed. The lake's surface area was determined for each satellite image using Landsat data over the period from 1986 to 2020. Then, the trend in the lake's surface area changes during this period was analyzed using the Mann-Kendall test. Additionally, factors influencing the lake's surface area changes, such as precipitation changes, inflow to the lake, groundwater level, population, and vegetation cover area within the watershed, were evaluated during this period.

Results and Discussion

The results of this study showed that the trend in the surface area of Maharlou Lake during the study period was significant and decreasing (3km²/year). The change point in the time series occurred in September 2007, after which a sharp decline in the lake's surface area was observed. Furthermore,

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: sh.didari@shirazu.ac.ir

Citation: Aaji, S., Didari, Sh. 2024. Satellite-Based Analysis of Maharlou Lake's Surface Area Trends and Influencing Factors. 2024. Watershed Management Research. 37(3):19-34.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.363213.1549

Received: 16 August 2023, **Received in revised form:** 25 September 2023, **Accepted:** 21 December 2023

Published online: 22 September 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.3, Ser. No: 144, Autumn 2024, pp.19-34.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center ©Author(s)



the results of the precipitation analysis indicated that the trend in precipitation was negative but not significant. However, the trends in the inflow to the lake and evaporation were both negative and significant. The trends in population growth and vegetation cover were found to be increasing and significant. Additionally, the study's findings showed that the groundwater level trend in this area was negative and significant.

Conclusion and Suggestions

The results of this study indicated that the surface area of Maharlou Lake has significantly decreased. The analysis of the factors affecting the lake's surface area showed no significant trend in the precipitation within the watershed, which is one of the primary contributors to the inflow to the lake. Although the trend in precipitation was not significant and the evaporation trend was also decreasing, the increasing trends in population and vegetation cover within the watershed inevitably demand more water in this region. This situation has led to excessive extraction from groundwater resources and surface flows. Consequently, the trends in groundwater levels and inflow to the lake were both decreasing and significant. Moreover, the interplay of these factors has resulted in a negative trend in the lake's surface area. Therefore, given the importance of Maharlou Lake within the watershed and to prevent further reductions in the lake's surface area, managers must pay close attention to implementing sustainable land management plans.

Keywords: Google earth engine (GEE), land sat, Maharlou Lake, MANN-Kendall test