



بررسی تاثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات سطح دریاچه مهارلو با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای

مسعود سمیعی^{۱*}، رضا قضاوی^۲، مجتبی پاک‌پرور^۳، عباسعلی ولی^۴

۱. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۳. استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

۴. استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۲۰ آبان ۱۳۹۵

پذیرش: ۱۵ فروردین ۱۳۹۶

دسترسی اینترنتی: ۱۰ خرداد ۱۳۹۶

واژه‌های کلیدی:

سطح آب دریاچه

مناطق خشک و نیمه‌خشک

متغیرهای اقلیمی

شاخص اختلاف آب نرمال شده

روش آستانه

دریاچه مهارلو

چکیده

برای ارزیابی مدیریت منابع آب و تغییرات محیطی منطقه‌ای، پهنه‌بندی دقیق و بررسی دینامیک دریاچه‌ها امری حیاتی است. در این پژوهش، به منظور تهیه نقشه سطح دریاچه مهارلو واقع در حاشیه شهر شیراز و تعیین تغییرات آن در دوره‌های زمانی ۱۸ ساله (۱۳۷۶-۱۳۹۴) از تصاویر ماهواره‌ای لندست در اواسط بهار استفاده شد. بدین منظور پس از انجام تصحیحات هندسی، رادیومتریک و جوی تصویرهای ماهواره‌ای، سطح آب دریاچه با استفاده از دو روش آستانه‌گذاری بر روی باند ۵ و استفاده از شاخص آبی (NDWI) برای ۱۸ سال بدست آمد. نتایج نشان داد که ضمن وجود نوعی نوسان در مقادیر مساحت دریاچه، در دراز مدت روند کلی کاهش در مساحت دریاچه وجود دارد. با ارزیابی نتایج حاصله مشخص گردید که بیشترین تغییرات در خطوط ساحلی قسمت شرقی صورت گرفته است. نوسان‌های سطح آب با تغییرات برخی از پارامترهای اقلیمی (تبخیر دی تا اردیبهشت ماه، بارش سالانه، متوسط درجه حرارت دی تا اردیبهشت ماه، متوسط درجه حرارت حداکثر دی تا اردیبهشت ماه) بررسی گردید. نتایج آزمون ضریب همبستگی پیرسون در سطح آماری ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد در مورد تبخیر ماه‌های دی تا اردیبهشت (-۰/۴۴) بارش سالانه (۰/۷۷)، درجه حرارت متوسط دی تا اردیبهشت (-۰/۲۸)، درجه حرارت حداکثر ماه‌های دی تا اردیبهشت (-۰/۵۲) است. روند افزایش و کاهش بارندگی با تغییرات سطح آب دریاچه همسان است. حداقل میزان بارش در سال‌های آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸ به ترتیب به میزان ۱۴۷ و ۱۹۲ میلی‌متر در سال بوده است که متعاقب با آن میزان سطح دریاچه در حداقل خود به ترتیب ۱۴۱۴۶ و ۱۵۰۹۵ هکتار در طی سال‌های مطالعه است. حداکثر میزان بارش در سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ به میزان ۷۴۵ میلی‌متر در سال بوده که متعاقب با آن میزان سطح دریاچه در حداکثر خود (۲۵۸۰۶ هکتار) در طی سال‌های مطالعه است. بارندگی ۵۸ درصد تغییرپذیری در سطح دریاچه را تشریح می‌کند.

*massamiee@yahoo.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

مقدمه

دریاچه‌ها به عنوان جزء ضروری از چرخه آب‌شناسی هستند که تحت تأثیر تغییرات اکوسیستم‌ها و فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است (۲۴، ۲۵ و ۳۱). کاهش سطح آب دریاچه‌ها سبب مشکلات جدی زیست‌محیطی می‌گردد (۲۵) و (۳۴). پهنه‌بندی دقیق دریاچه‌ها و دینامیک آن برای ارزیابی مدیریت منابع آب و تغییرات محیطی منطقه‌ای امری حیاتی است (۲۳، ۲۷ و ۳۰). خط جدایش بین زمین و حجم آب بعنوان خط ساحلی در نظر گرفته می‌شود. شکل خط ساحل تحت تأثیر فاکتورهایی نظیر اثرات اقلیمی، شهرسازی، آب‌شناسی، زمین‌شناسی، وقایع محیطی شدید و اثرات انسانی است (۱۲، ۳۷ و ۴۱).

مطالعات متعددی در مورد تغییرات سطح آب دریاچه‌ها و عوامل اثرگذار بر این تغییرات در سطح جهان انجام شده است. معمولاً مطالعه تغییرات با مقایسه تصاویر چند طیفی از محدوده مشابه در تاریخ‌های مختلف امکان‌پذیر است و با مجموع اطلاعات سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، اطلاعات مهمی استخراج می‌گردد (۵، ۹، ۱۹ و ۲۰). جاواک و همکاران (۲۱) مرور جامعی بر روش‌های استخراج سطح آب دریاچه با تصاویر ماهواره‌ای انجام دادند.

لی و همکاران (۲۵) تغییرات ارتفاع دریاچه و موازنه آب را در دریاچه کوینقای، غرب چین در طی دهه‌های اخیر آنالیز کردند. نتایج این محققان کاهش ۳/۳۵ متر ارتفاع آب با متوسط ۸ سانتیمتر کاهش در سال را بین سال‌های ۱۹۵۹ و ۲۰۰۰ نشان داد. در این مطالعه، تغییر در سطح آب دریاچه همبستگی مثبتی با رواناب سطحی (۰/۸۹)، بارندگی (۰/۸۱) و رابطه منفی با تبخیر (۰/۶۶-) نشان داد.

بای و همکاران (۴) تغییرات سطح چند دریاچه را در مناطق خشک و آسیای مرکزی طی ۳۰ سال مورد بررسی قرار دادند. تصاویر زمانی ۱۹۷۵، ۱۹۹۰، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۷ برای تشخیص حدود دریاچه‌ها بر اساس شاخص NDWI برای ۹ دریاچه بزرگ یکسری در مناطق مسطح و یکسری در مناطق کوهستانی، مورد استفاده و مکانیسم این تغییرات بر اساس

اطلاعات هواشناسی و آب‌شناسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سطح دریاچه‌ها از حدود ۹۰۰۰ به کمی بیش از ۴۶۰۰ کیلومتر مربع در طی ۲۰۰۷-۱۹۷۵ کاهش یافته است. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که در نواحی مسطح، دریاچه‌ها تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌اند، درحالی‌که در نواحی کوهستانی به علت تغییرات کم بارش، سطح دریاچه‌ها پایدارتر است. همچنین نتایج نشان داد که فعالیت‌های انسانی سیکل موازنه آب این مناطق را بر هم زده است.

حسن زاده و همکاران (۱۷) فاکتورهای عمده در کاهش ارتفاع آب دریاچه ارومیه را توسط مدل دینامیک سیستم تعیین کردند. بعد از اعتبار سنجی موفقیت‌آمیز مدل، نتایج نشان داد که در میان فاکتورهای پیشنهادی علاوه بر تغییرات در جریان ورودی به علت تغییر اقلیم، استفاده مازاد منابع آب ۶۵ درصد، احداث سد ۲۵ درصد و کاهش بارندگی ۱۰ درصد در کاهش سطح آب دریاچه مؤثر است.

هاشمی تنگستانی و همکاران (۲) تغییرات دریاچه بختگان در بازه زمانی ۲۰۰۷-۱۹۵۶ را مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه تأثیر بارندگی بر مساحت پهنه آب دریاچه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که تغییر کاربری و پوشش زمین پیرامون دریاچه در ارتباط با تغییر پهنه آب دریاچه است و هرگاه در یک بازه زمانی مساحت پهنه آب کاهش یابد، مساحت زمین بایر و پهنه شورزار افزایش نشان می‌دهد که بیانگر خشک شدن دریاچه است. اصغری و زمانی (۱) تغییرات سطح دریاچه ارومیه را ارزیابی کردند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که با کاهش روند نزولات آسمانی، تبخیر بیش از پیش آب دریاچه و نیز اثرات منفی ناشی از پدیده‌های انسان ساختی از قبیل ایجاد سدها، بهره‌گیری بی‌مهابا از منابع آبی سطحی و زیرسطحی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، زمینه کامل برای بروز یک بحران وسیع زیست‌محیطی- اکولوژیکی فراهم گردیده است. رژیم‌های فیزیکی و سطح دریاچه تحت تأثیر فاکتورهای انسانی و طبیعی قرار دارد. فاکتورهای اقلیمی، هیدرولوژیکی و انسانی سطح

تغییرات واضح در اقلیم منطقه‌ای و برداشت آب در مقیاس زمانی ماهانه یا حتی کمتر می‌تواند پایایی ارتفاع دریاچه را تا چند متر تغییر دهد، شناسایی تغییرات محیطی و اقلیمی در دهه‌های اخیر برای دانستن اثرات فرایندهای طبیعی و فاکتورهای انسانی بر اکوسیستم و تنظیمات هیدرولوژیکی برای پیش‌بینی ارزیابی آن‌ها در آینده نزدیک ضروری است (۳، ۲۶ و ۲۹). همان‌گونه که تحقیقات نشان می‌دهد فاکتورهای متعددی بر تغییرات سطح دریاچه‌ها مؤثر است و روش‌های مختلفی نیز توسط محققین برای استخراج سطح آب مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از انجام این تحقیق شناسایی و معرفی روش مطلوب جداسازی خط ساحلی دریاچه با سنجش از دور، بررسی تغییرات زمانی سطح آب دریاچه مهارلو و بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات سطح آب دریاچه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

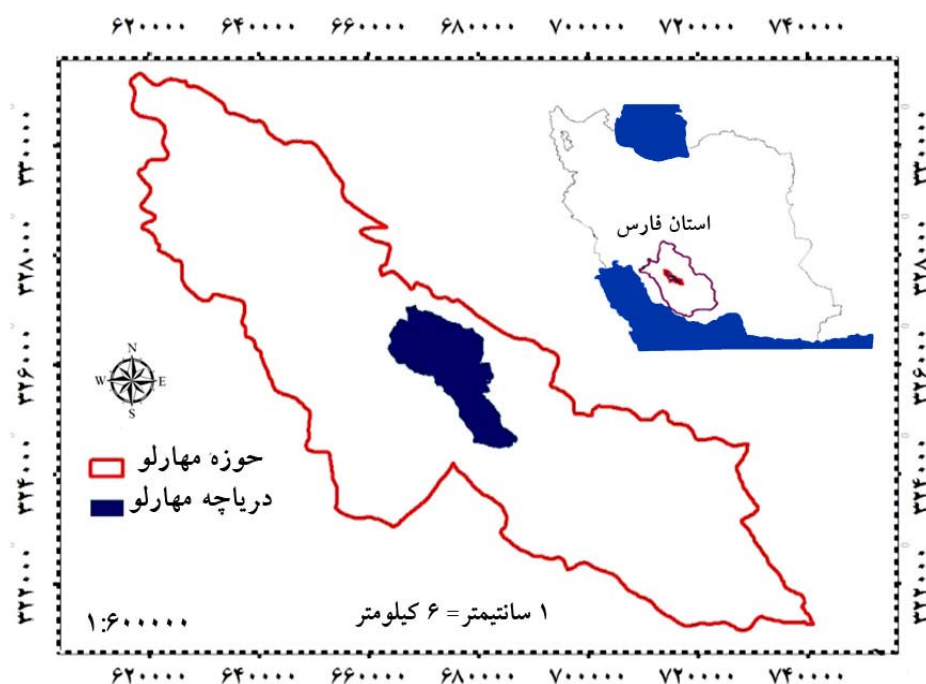
دریاچه مهارلو یکی از دریاچه‌های آب شور ایران است که در ۱۰ کیلومتری شرق شیراز در بین مختصات ۱۲' ۵۳° تا ۲۸' ۵۳° طول شرقی و ۰۱' ۲۹° تا ۵۸' ۲۹° عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). دریاچه مهارلو دارای آبی بسیار شور است و در فصل‌های خشک، یکی از کانسارهای بزرگ نمک ایران به شمار می‌آید. سه رودخانه فصلی نظرآباد، چنار راهدار و رودخانه خشک، دریاچه مهارلو را تغذیه می‌کنند. از این دریاچه برای تهیه نمک صنایع استان فارس هم استفاده می‌شود. دریاچه مهارلو به دلیل اهمیت اقلیمی، اقتصادی اکولوژیک و زیست‌محیطی از نواحی جغرافیایی قابل توجه و مطرح در ایران به شمار می‌رود.

دریاچه را به روش‌های مختلفی کنترل می‌کند (۳۶ و ۴۲). حسین و نجم (۱۸) سطح آب را برای دریاچه مانزلا در شمال شرقی دلتای نیل در مصر استخراج کردند. پنج روش حداقل فاصله، فاصله ماهابولیس، ماکزیمم لایکلیهود، طبقه‌بندی نظارت نشده و شاخص اختلاف آب نرمال شده (NDWI) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش ماکزیمم لایکلیهود بطور دقیق سطح آب دریاچه را استخراج می‌کند. عبید و همکاران (۱۰) استخراج اتوماتیک خط ساحلی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار دادند.

هوانگ و همکاران (۱۹) تغییرات سطح ۲۳ دریاچه را در فلات کوئین قات از ژانویه ۱۹۹۳ تا دسامبر ۲۰۱۴ مورد بررسی قرار دادند. نتایج محققین نشان داد که عمده تغییرات سطح دریاچه در دریاچه‌های شرقی افزایش و در قسمت غربی کاهش نشان داد و الگوی تغییرات سطح دریاچه تحت تأثیر مانسون‌ها و محل دریاچه‌ها قرار دارد. فیلیپس و همکاران (۳۲) تغییرات سطح دریاچه‌ها را در ساحل شمالی فائوم در مصر مورد بررسی قرار دادند.

حقیقی و کلو (۱۴) آنالیز حساسیت پاسخ سطح آب دریاچه به تغییرات اقلیمی و رژیم رودخانه را مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه نقش اقلیم و رژیم آب رودخانه را در کنترل رژیم‌های دریاچه با استفاده از سه دریاچه مختلف با خصوصیات مختلف هیدرولیکی (نسبت حجم-جریان ورودی، CiR) مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که سطح دریاچه در سیستم‌های CiR بالا بستگی به اقلیم دارد، در صورتی که در سیستم‌های با CiR پایین بیشتر بستگی به رژیم رودخانه دارد.

گبهارت و همکاران (۱۳) تغییرات با فراوانی بالای سطح دریاچه ایزیک-کول در قرقیزستان را که از لحاظ تکتونیکی فعال است را با اطلاعات انعکاسی لرزه‌نگاری مورد بررسی قرار دادند.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران، استان فارس

روش تحقیق

در این تحقیق جهت بررسی روند تغییرات سطح آب دریاچه مهارلو تحت تأثیر تغییرات اقلیمی از تصاویر ماهواره لندست ماه‌های بهار سال‌های ۲۰۱۵-۱۹۹۸ استفاده شد و پس از اعمال تصحیح‌های هندسی با استفاده از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰، تصحیح رادیومتری از روش Dark object و تصحیح اتمسفری از روش Quick Atmospheric Correction استفاده گردید. سپس با استفاده از روش آستانه‌گذاری و شاخص نرمال شده آب، نوار ساحلی دریاچه استخراج و با روش بصری و با ترکیب باندهی ۵۴۳ مورد بازبینی قرار گرفت. از داده‌های ایستگاه تبخیر سنجی ایستگاه دوبنه در مجاورت دریاچه، متغیرهای اقلیمی (تبخیر دی تا اردیبهشت ماه، بارش سالانه، متوسط درجه حرارت دی تا اردیبهشت ماه، متوسط درجه حرارت حداکثر دی تا اردیبهشت ماه) استخراج گردید. به منظور بررسی وجود روند در تغییرات سطح آب دریاچه و داده‌های اقلیمی از آزمون تعیین روند (من-کنسندال و سن) استفاده شد.

روش آستانه‌گذاری

نوار ساحلی می‌تواند از طریق تصاویر تک طیفی استخراج شود. بر این اساس ضریب بازتاب آب نزدیک به صفر و ضریب بازتاب اکثریت مطلق پوشش زمین، بیش از سطوح آبی خواهد بود. برای نمونه این موضوع می‌تواند از طریق نمودار مقایسه‌ای فراوانی آستانه‌ها در یکی از طیف‌های مادون قرمز نزدیک تصاویر لندست بدست آید. آزمون‌ها نشان می‌دهد که طیف مادون قرمز میانی (باند ۵) برای استخراج محل تلاقی آب به خشکی بهترین باند است. نمودار مقایسه‌ای فراوانی‌های باند ۵ (مادون قرمز میانی) معمولاً انحنای تیز مضاعفی را به خاطر انعکاس اندک آب و انعکاس بالای گیاهان نشان می‌دهد (۶). مقدار آستانه در این روش به گونه‌ای انتخاب می‌گردد تا کلیه پیکسل‌های آب و اغلب پیکسل‌های خشکی متمایز گردند.

جهت بررسی روند در داده‌های درجه حرارت، سطح آب دریاچه، تبخیر و بارندگی از آزمون من-کندال استفاده شد. این آزمون بر اساس همبستگی بین رتبه‌بندی سری‌های زمانی و شماره رتبه آن‌ها است. در این آزمون فرض بر این است که سری‌های زمانی به صورت رابطه ۲ باشد.

$$x_t = f(t_i) + \varepsilon_i \quad [2]$$

بصورتیکه $f(t)$ یک تابع افزایشی یا کاهشی یکنواخت در واحد زمان است و فرض می‌شود باقیمانده از یک توزیع مشابه با میانگین صفر است؛ بنابراین فرض می‌شود که واریانس توزیع در زمان ثابت است. فرض صفر به معنی عدم وجود روند است. در مقابل فرض مقابل یک روند افزایشی یا کاهشی یکنواختی وجود دارد. برای سری‌های زمانی کمتر از ۱۰ داده، آزمون S استفاده می‌شود و برای سری‌های زمانی بیشتر یا مساوی با ۱۰ داده، تقریب نرمال استفاده می‌شود.

از آنجاکه در این مطالعه داده‌های سری‌های زمانی بیشتر از ۱۰ می‌باشند، لذا فقط تقریب نرمال توضیح داده شده است. اگر n حداقل ۱۰ تا باشد از آزمون تقریب نرمال استفاده می‌شود. در مرحله اول $VAR(S)$ توسط رابطه ۳ محاسبه شد.

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad [3]$$

که در این رابطه؛ q (تعداد گروه‌های به هم گره‌خورده) یعنی دارای مقادیر برابر و t_p تعداد مقادیر داده‌ها در p ام گروه می‌باشند. برای محاسبه تست آماره Z از مقادیر S و $VAR(S)$ طبق رابطه‌های ۴، ۵ و ۶ استفاده گردید.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad [4]$$

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 \\ 0 \\ -1 \end{cases} \quad [5]$$

شاخص اختلاف آب نرمال شده (NDWI)

بررسی‌های متعدد انجام شده در خصوص کاربرد این شاخص برای تهیه انواع نقشه‌های پهنه‌بندی خطوط ساحلی، بررسی جریان‌های آبی و مدیریت منابع آب، نشانگر قابلیت و دقت بسیار خوب این شاخص است (۴، ۲۸، ۳۰ و ۳۳). برای محاسبه این شاخص از رابطه ۱ استفاده گردید (۲۸).

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)} \quad [1]$$

در این رابطه؛ $Green$ سبز باند ۲ و NIR مادون قرمز نزدیک باند ۴ در تصاویر ماهواره‌ای لندست است. این شاخص بر اساس سه فاکتور حداکثر بازتابندگی آب در طول موج سبز، حداقل بازتابندگی آب در باند مادون قرمز نزدیک و بازتابندگی بالای باند مادون قرمز توسط خاک و پوشش گیاهی طراحی شده است. در نتیجه آب دارای مقادیر مثبت است در حالی که پوشش گیاهی مقادیر صفر یا منفی دارند (۲۸).

آزمون‌های تعیین روند

هدف از آنالیز روند تعیین این موضوع است که نشان داده شود آیا مقادیر سری‌ها با افزایش زمان، افزایش یا کاهش منظمی می‌یابند یا خیر (۴۰). آزمون تعیین روند من-کندال یکی از آزمون‌های ناپارامتری است که بطور گسترده برای تعیین روند سری‌های زمانی استفاده می‌شود. این آزمون تابعی از رتبه‌بندی مشاهدات است، بطوریکه کمتر توسط توزیع واقعی داده‌های مشاهده‌ای و پرت تحت تأثیر قرار می‌گیرد؛ به عبارت دیگر، آزمون‌های تعیین روند پارامتری اگرچه قوی هستند ولی داده‌های مورد بررسی باید دارای توزیع نرمال بوده و به داده‌های پرت بسیار حساس می‌باشند. با توجه به اینکه سری‌های زمانی داده‌های هیدرولوژیک دارای چولگی بوده و یا ممکن است دارای داده‌های پرت باشند، بنابراین آزمون من-کندال و دیگر آزمون‌های ناپارامتری که آماره‌های آن‌ها بر اساس علامت تفاوت‌ها (مثبت یا منفی) برای شناخت روند تغییرات این سری‌ها مناسب‌تر هستند (۲۲). لذا در این مطالعه

$$Q = Q[(N+1)/2], \text{ if } \rightarrow N \rightarrow \text{Is} \rightarrow \text{odd} \quad [9]$$

$$Q = \frac{1}{2}(Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}), \text{ if } \rightarrow N \rightarrow \text{Is} \rightarrow \text{even} \quad [10]$$

در این رابطه‌ها؛ شیب تخمینی آزمون sen میانه مقادیر N

تائی Qi است. یک $100(1-\alpha)\%$ فاصله اطمینان دو طرفه در حدود تخمین شیب با این تکنیک نا پارامتریک بر اساس توزیع نرمال به دست می‌آید. در این مطالعه فاصله اطمینان‌ها در دو سطح یک و پنج درصد محاسبه گردید.

نتایج

نوسانات خطوط ساحلی

منحنی افقی نشان‌دهنده باندها و منحنی عمودی نشان‌دهنده میزان بازتاب طیف دریاچه مهارلو و عوارض اطراف آن است (شکل ۲). همان‌گونه که نشان داده شده است در مقایسه با سایر اشیاء، آب انعکاس ضعیفی را در دامنه طول موج بصری دارد. چون آب جذب بالایی در باند ۴ و ۵ (لندست ۷) دارد و این دامنه طول موج می‌تواند برای تشخیص آب از خاک، پوشش گیاهی، ساختمان‌ها و سایر عوارض زمینی مورد استفاده قرار گیرد. خاک‌های شور مناطق خشک به‌ویژه زمانی که پوسته نمکی در سطح خاک تشکیل می‌شود (پوسته سفیدرنگ نمکی) بازتاب طیفی بالایی را نشان می‌دهند. بازتاب شدید دریاچه‌های نمکی در بخش مرئی و جذب شدید آن‌ها در بخش مادون قرمز میانی طیف الکترومغناطیس است. بر اساس تحلیل شکل ۲ می‌توان دریافت که بیشترین بازتاب طیفی نمک در محدوده مرئی باند ۳ و کمترین بازتاب طیفی در محدوده مادون قرمز میانی باند ۵ است. در این تحقیق برای تعدادی از سال‌ها از باند ۵ به روش آستانه گذاری برای استخراج سطح آب استفاده گردید. در این باند هیستوگرام تصویر دارای دو بیشینه متمایز است که مقدار حد آستانه بین این دو انتخاب می‌گردد.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} \dots \text{if } \dots S > 0 \\ 0 \dots \text{if } \dots S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} \dots \text{if } \dots S < 0 \end{cases} \quad [6]$$

بطور آماری وجود روند معنی‌دار با استفاده از مقدار Z سنجیده خواهد شد. مقدار Z مثبت یا منفی نشان‌دهنده روند مثبت یا منفی است. Z آماری دارای توزیع نرمال است. برای بررسی روند مثبت یا منفی (تست دو دنباله) در سطح معنی‌دار است، اگر مقدار مطلق Z از $Z_{1-\alpha/2}$ بزرگ‌تر باشد فرض H_0 رد می‌شود. در اینجا $Z_{1-\alpha/2}$ از جداول توزیع تجمعی نرمال استاندارد به دست می‌آید. در این تحقیق از برنامه آزمون روند من کننل در نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

آزمون Sen

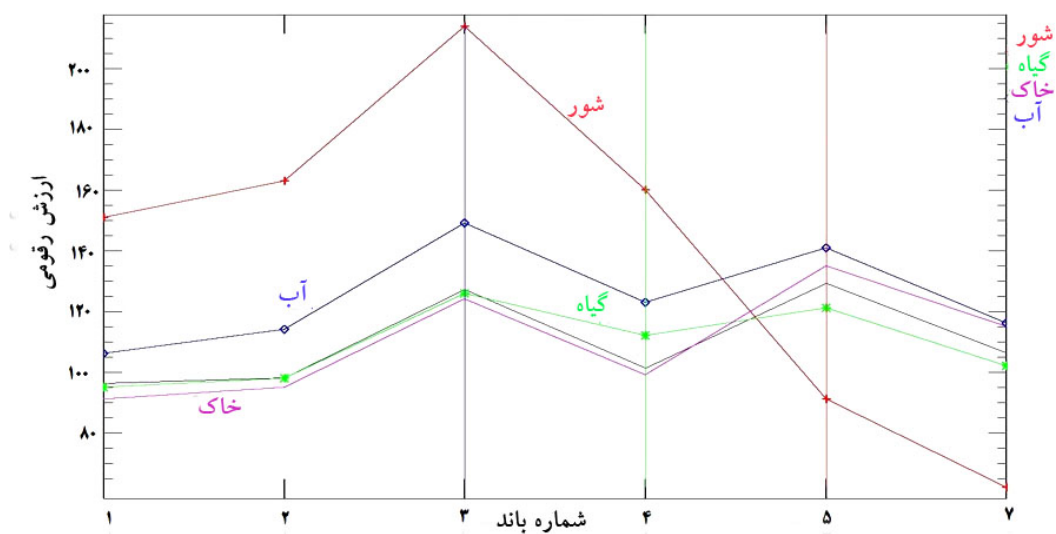
برای تخمین شیب صحیح روندی که وجود دارد (تغییر در سال)، آزمون ناپارامتری Sen استفاده گردید (۳۰). این آزمون در مواردی که روند بصورت خطی استفاده می‌شود. این آزمون از رابطه ۷ تعیین می‌گردد.

$$f(t) = Qt + B \quad [7]$$

در این رابطه؛ Q شیب و B یک عدد ثابت است. برای تخمین شیب در رابطه ۷، ابتدا باید شیب تمام مقادیر جفتی از رابطه ۸ محاسبه گردد.

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad [8]$$

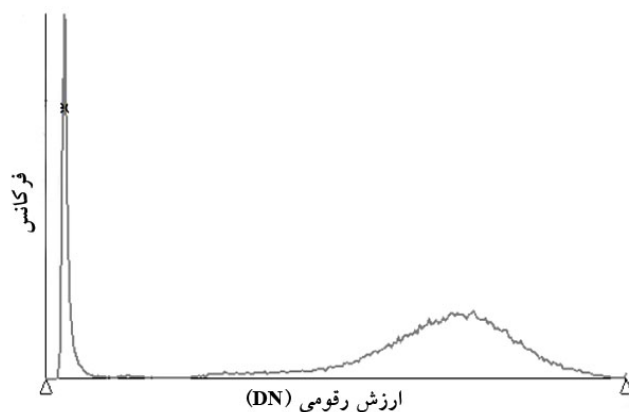
در این رابطه اگر n تا مقادیر xi در سری‌های زمانی وجود داشته باشد به تعداد $N = n(n-1)/2$ شیب تخمینی به دست می‌آید؛ که برای محاسبه شیب تخمینی در این آزمون از رابطه‌های ۹ و ۱۰ استفاده گردید.



شکل ۲. پروفیل طیفی دریاچه مهارلو و عوارض اطراف آن

آمد که پیکسل‌هایی که تحت اشغال آب هستند، کاملاً مشخص باشند. برای تعدادی از سال‌های نیز از شاخص NDWI استفاده گردید. در این روش مقادیر بالای صفر به عنوان سطح آب در نظر گرفته شد.

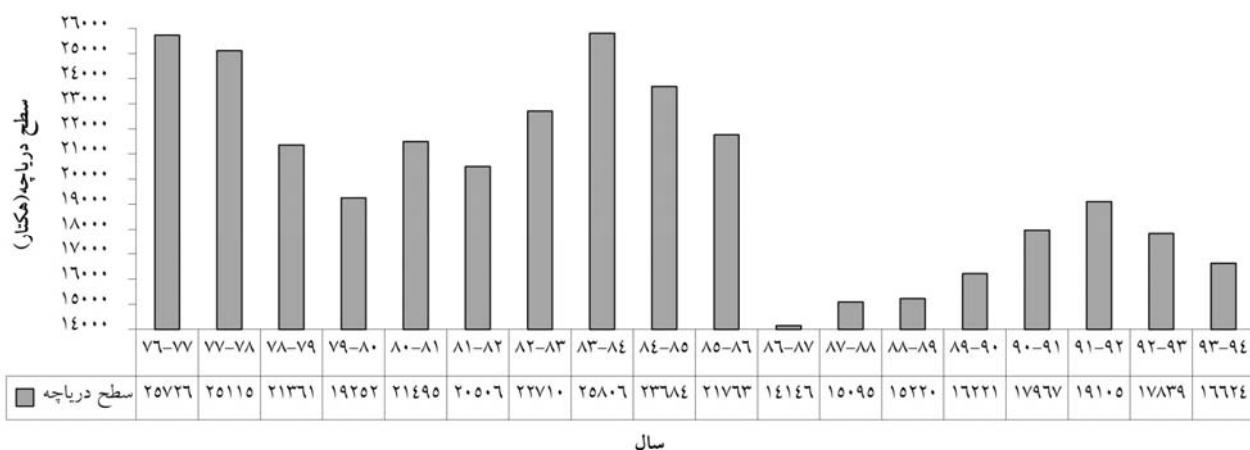
شکل ۳ هیستوگرام تصویر دریاچه مهارلو را نشان می‌دهد. آستانه‌های آب و خاک مناسب از طریق روش آزمون و خطا در مقایسه با نقشه مرجع ایجاد شده توسط تفسیر بصری با ترکیب باندهای ۵۴۳ تعیین شد. هیستوگرام اولی مربوط به پیکسل‌های آب است که در نهایت نقشه‌ای به دست خواهد



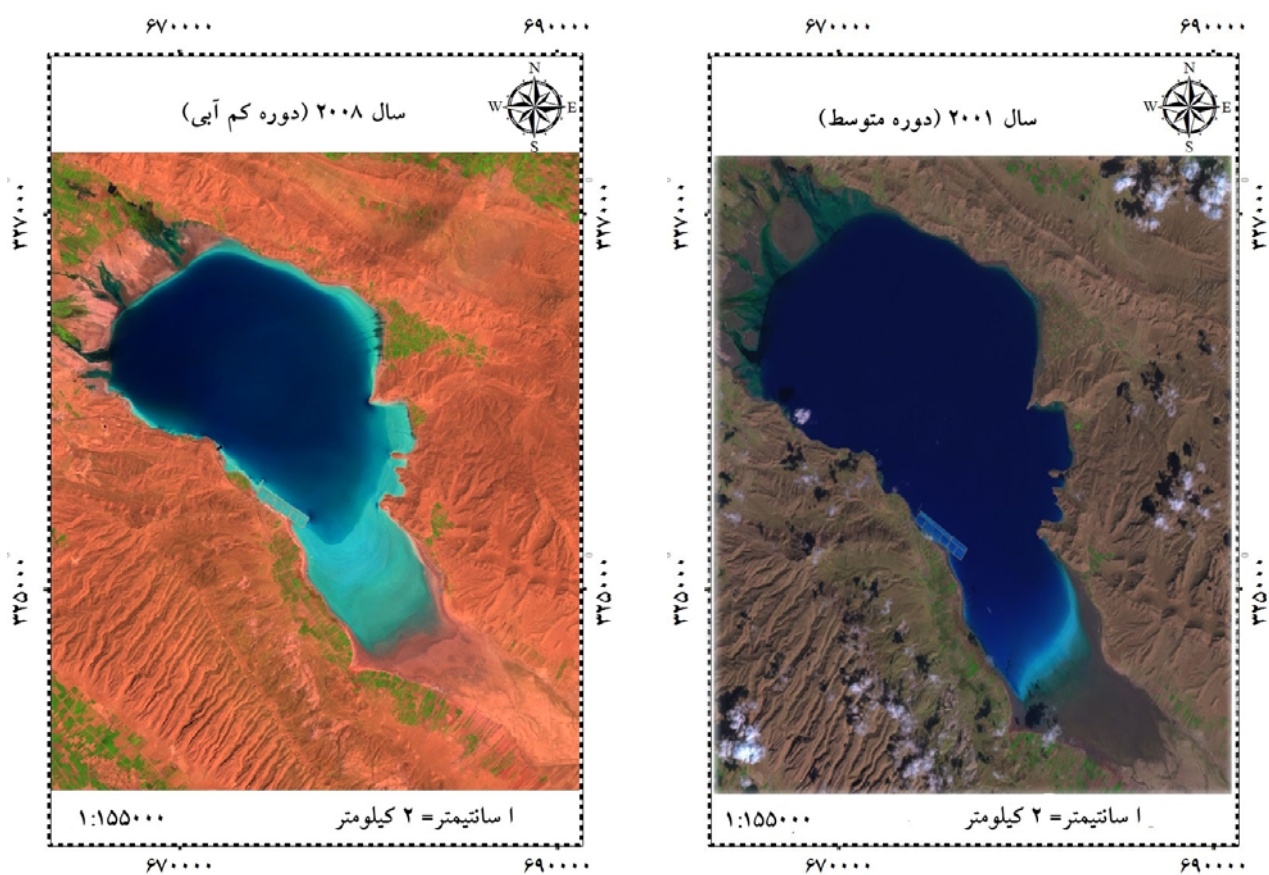
شکل ۳. هیستوگرام تصویر دریاچه مهارلو

و کم‌آبی ضمن وجود نوعی نوسان در مقادیر مساحت دریاچه در درازمدت، روند کلی کاهش در مساحت دریاچه وجود دارد (شکل ۵).

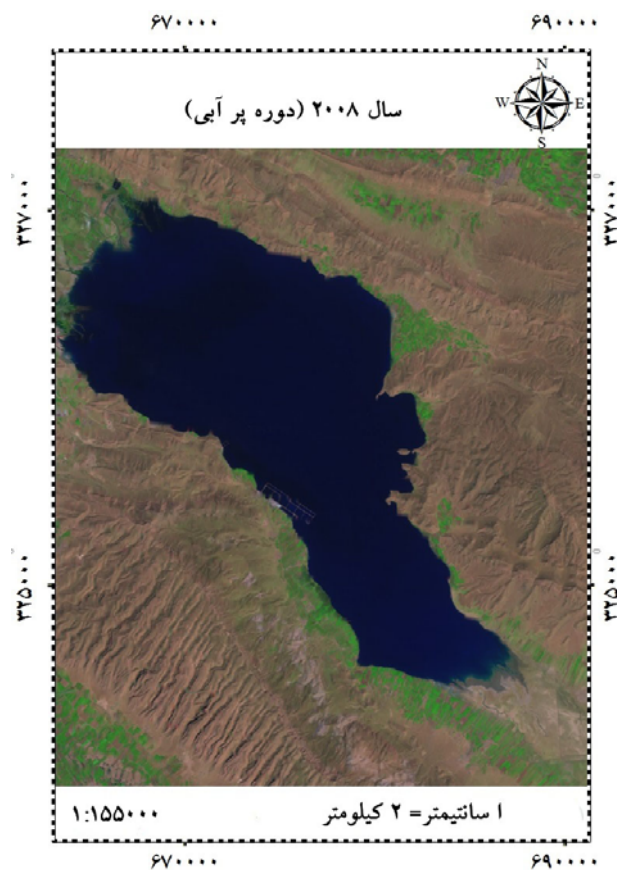
تغییرات مساحت دریاچه مهارلو در سال‌های مطالعه در شکل ۴ آورده شده است. نتایج نشان داد که سطح دریاچه مهارلو طی سال‌های ۲۰۱۵-۱۹۹۸ برای سه دوره پراپی، متوسط



شکل ۴. مساحت دریاچه مهارلو در سال‌های مطالعه



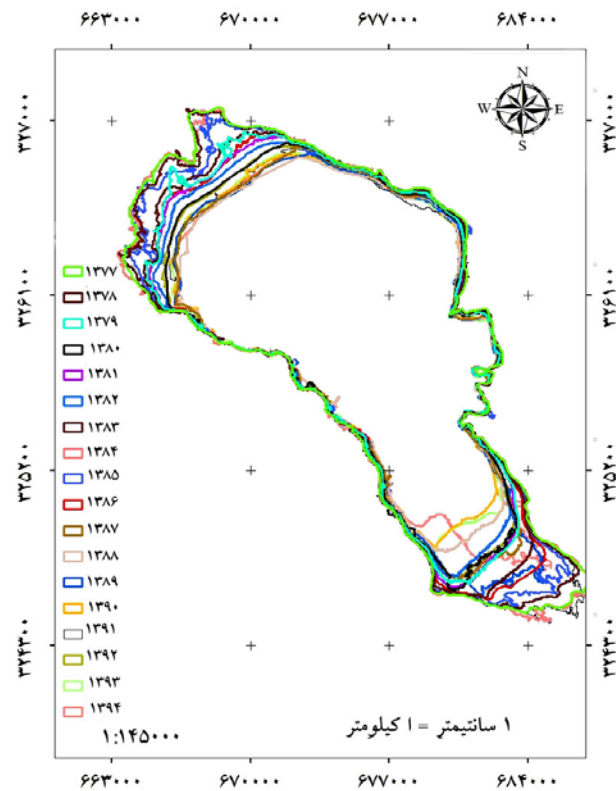
شکل ۵. سطح دریاچه مهارلو در سال‌ها دوره‌های مطالعه



ادامه شکل ۵. سطح دریاچه مهارلو در سال‌ها دوره‌های مطالعه

بارش، تبخیر، درجه حرارت حداکثر و متوسط درجه حرارت در حداقل‌های خود به ترتیب ۷/۳۶۳ میلی‌متر، ۵/۱۵ و ۳۱/۱۰ درجه سانتی‌گراد است. در سال آبی ۹۱-۹۲ علی‌رغم بارش مناسب به میزان ۴۶۹ میلی‌متر، ولی به دلیل تبخیر بالا (۵۱۲ میلی‌متر) و بالا بودن درجه حرارت حداکثر (۱۹ درجه سانتی‌گراد) و متوسط درجه حرارت (۱۲ درجه سانتی‌گراد) نسبت به دوره آماری، میزان سطح دریاچه حدود ۱۹۱۰۵ هکتار است که در این شرایط فقط ۴۱ درصد دریاچه نسبت به سال ۱۳۸۳-۱۳۸۴ آبیگری شده است. در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۹ علی‌رغم بارندگی متوسط ۳۰۶ میلی‌متر، میزان سطح دریاچه به ۱۵۲۲۰ هکتار تقلیل یافته است (۷/۱۱ درصد دریاچه نسبت به سال ۸۴-۸۳ آبیگری شده) که دلیل آن را می‌توان به بالا بودن درجه حرارت (۴۴/۲۰) در چه سانتی‌گراد درجه حرارت حداکثر و ۴۷/۱۳ درجه سانتی‌گراد متوسط درجه حرارت) و بالا بودن میزان تبخیر به میزان ۳/۵۱۵ میلی‌متر نسبت داد.

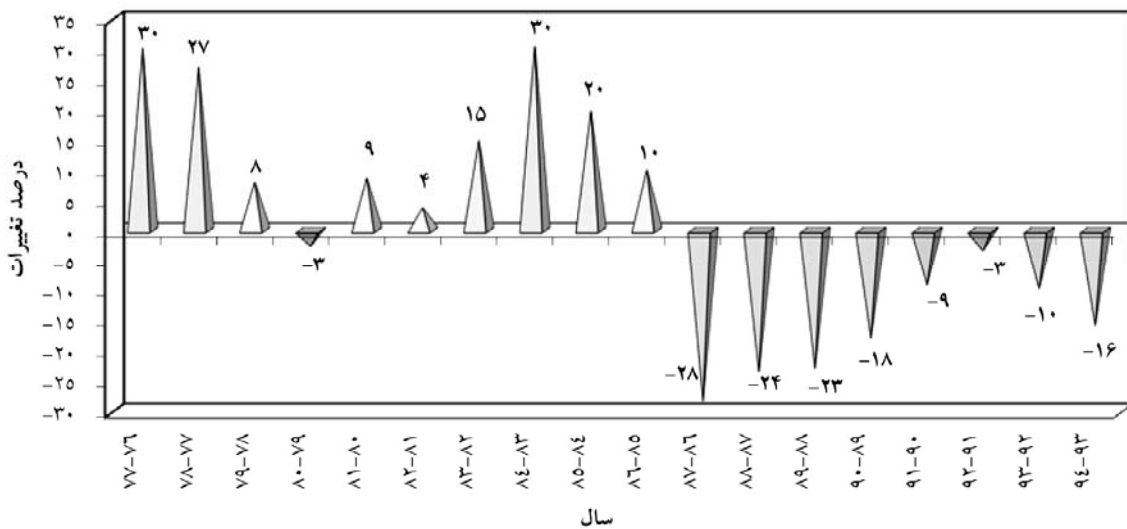
با ارزیابی نتایج حاصله مشخص گردید که خطوط ساحلی نیز در طی سال‌های مورد مطالعه دستخوش تغییرات معنی‌داری است (شکل ۶). حداقل میزان بارش در سال‌های آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸ به ترتیب به میزان ۱۴۷ و ۱۹۲ میلی‌متر در سال بوده است که متعاقب با آن میزان سطح دریاچه در حداقل خود به ترتیب ۱۴۱۴۶ و ۱۵۰۹۵ هکتار در طی سال‌های مطالعه است. حداکثر میزان بارش در سال‌های آبی ۱۳۸۳-۱۳۸۴ و ۱۳۷۶-۱۳۷۷ به ترتیب به میزان ۷۴۵ و ۵۵۳ میلی‌متر در سال بوده که متعاقب با آن میزان سطح دریاچه در حداقل خود به ترتیب ۲۵۸۰۶ و ۲۵۷۲۶ هکتار است. در سال آبی ۱۳۸۳-۱۳۸۴ که میزان سطح دریاچه در حداکثر است، علاوه بر بالا بودن میزان بارش، درجه حرارت حداکثر و متوسط درجه حرارت در حداقل‌های خود (۷/۱۵ و ۷/۱۰ درجه سانتی‌گراد) بوده است. در سال آبی ۱۳۷۶-۱۳۷۷ نیز که میزان سطح دریاچه در حداکثر است. علاوه بر بالا بودن میزان



شکل ۶. نقشه تغییر خطوط ساحلی دریاچه مهارلو در طی دوره مطالعه

۸۳ است. بیشترین تغییرها به دلیل کاهش ارتفاع آب دریاچه حادث شده است و این فرآیند به نوبه خود موجب ایجاد جابه‌جایی‌های اساسی در خطوط ساحلی، به ویژه در قسمت شرقی دریاچه مهارلو گردیده است (شکل ۷).

نتایج درصد تغییرت سطح دریاچه نسبت به شرایط متوسط در طول دوره آماری نشان می‌دهد که بیشترین درصد کاهش (۲۸- درصد) مربوط به سال آبی ۸۶-۸۷ است. بیشترین درصد افزایش (۳۰ درصد) مربوط به سال آبی ۷۷-۷۶ و ۷۶-۸۴-



شکل ۷. درصد تغییرات سطح آب دریاچه در طی دوره مطالعه

آنالیز روند

طول دوره آماری مورد مطالعه، روند تغییر بارندگی منفی بوده ولی معنی دار نیست. همچنین روند تغییرات تبخیر دی تا اردیبهشت ماه، متوسط درجه حرارت دی تا اردیبهشت ماه، متوسط درجه حرارت حداکثر دی تا اردیبهشت ماه مثبت (افزایشی) ولی معنی دار نیست (جدول ۱).

نتایج آنالیز روند داده‌های سطح آب دریاچه، بارندگی، تبخیر و درجه حرارت (متوسط و حداکثر) نشان می‌دهد که تغییرات سطح دریاچه دارای در سطح معنی داری ۰/۰۱ درصد دارای روند است. روند تغییرات مساحت، منفی (کاهش) (Q=-۴۶۷) بوده و مطابق با آزمون Z، آماره معنی دار است. در

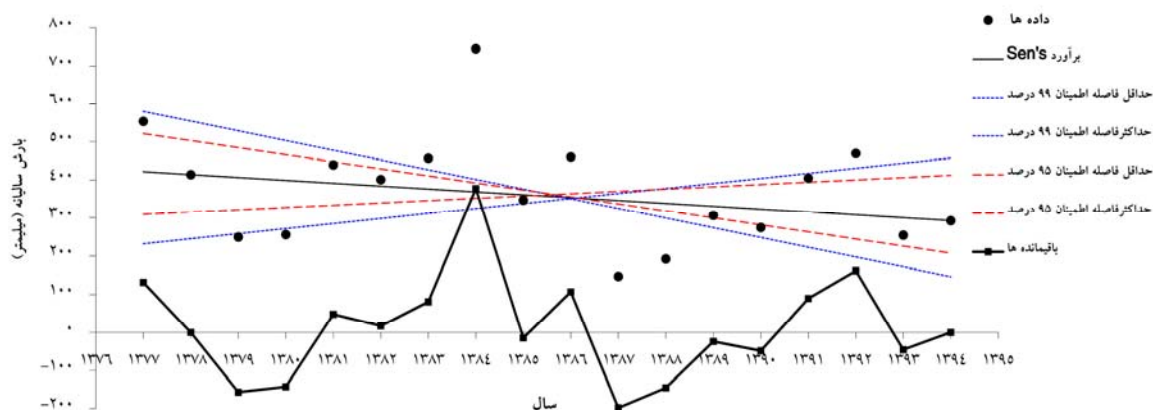
جدول ۱. نتایج آزمون من کندال و شیب Sen در متغیرهای مورد مطالعه

آزمون شیب Sen				آزمون من کندال	
B	Qmax99	Qmin99	Q	Z	سری زمانی
۲۴۵۳۸	۸۴/۰۱۶	-۹۰۸/۱۳	-۴۶۷/۲۷	-۲/۲۷*	سطح دریاچه
۴۲۱/۵۹	۱۳/۲۵۴	-۲۵/۴۸۲	-۷/۵۹۴	-۰/۷۶	بارش سالیانه
۴۱۵/۲۳	۱۰/۳۴	-۴/۶۵۵	۳/۷۸	۱/۵۲	تبخیر ماه‌های دی تا اردیبهشت
۱۶/۵۹	۰/۲۷۵	-۰/۱۳۷	۰/۰۷	۰/۷۶	درجه حرارت حداکثر ماه‌های دی تا اردیبهشت
۱۱/۰۳	۰/۱۴	-۰/۱۰۵	-۰/۰۱۳	۰/۱۵	درجه حرارت ماه‌های دی تا اردیبهشت

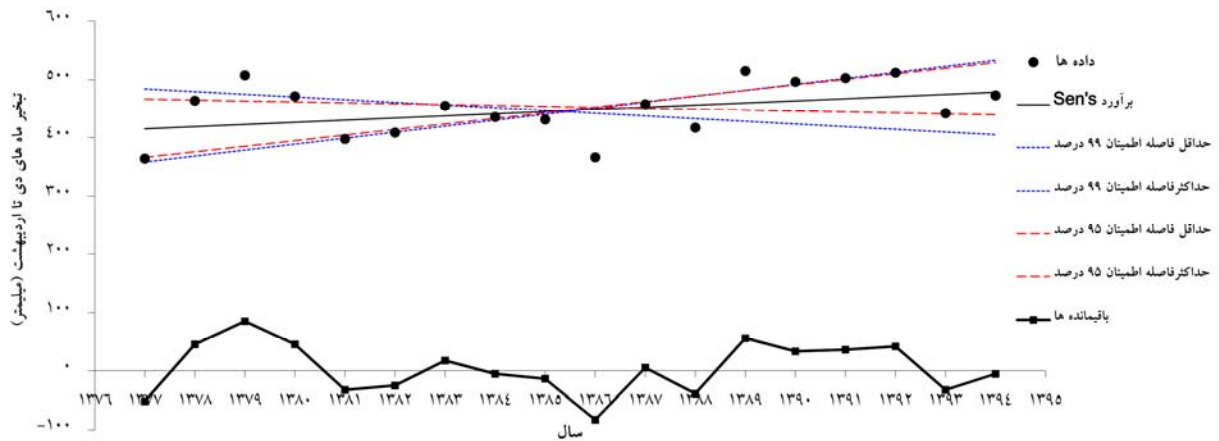
Q شیب روند، B یک عدد ثابت، Qmin99 حداقل فاصله اطمینان ۹۹ درصد، Qmax99 حداکثر فاصله اطمینان ۹۹ درصد

بطور کامل با داده‌ها همخوانی داشته باشد، یعنی همه داده‌ها روی خط رگرسیون باشد، این باقیمانده صفر است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد در طول دوره آماری روند کاهش در میزان بارندگی و سطح دریاچه و روند افزایشی در میزان تبخیر و درجه حرارت (متوسط و حداکثر) وجود دارد (شکل‌های ۸ تا ۱۱).

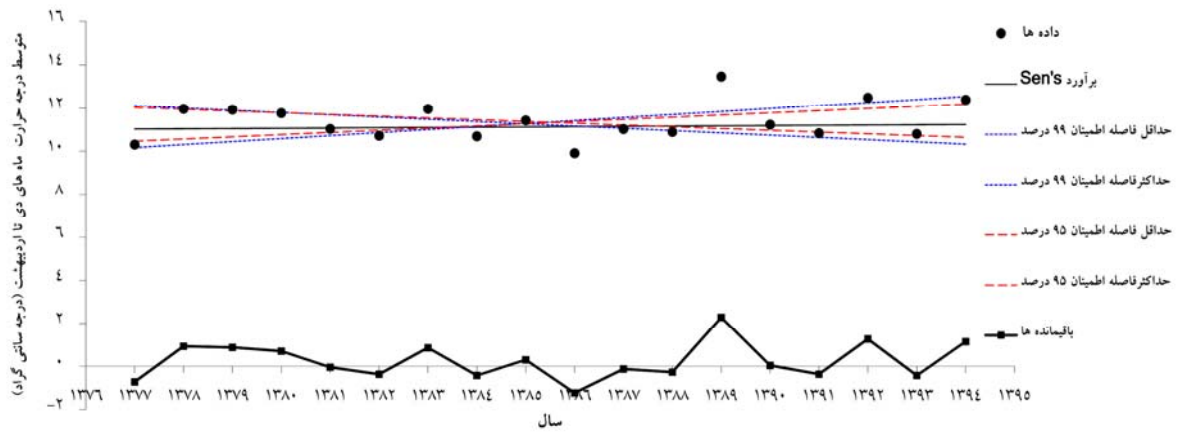
شیب تخمین Sen و حداقل و حداکثر اطمینان در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد و همچنین باقیمانده‌ها (داده منهای روند) برای متغیرهای بارش سالیانه، تبخیر، میانگین درجه حرارت و متوسط حداکثر درجه حرارت دی تا اردیبهشت ماه نشان می‌دهد که تفاوت بین متغیر وابسته تخمین زده شده توسط مدل و متغیر وابسته مشاهده شده را باقیمانده می‌گوییم. این باقیمانده‌ها خطای موجود در مدل را نشان می‌دهند. اگر مدل



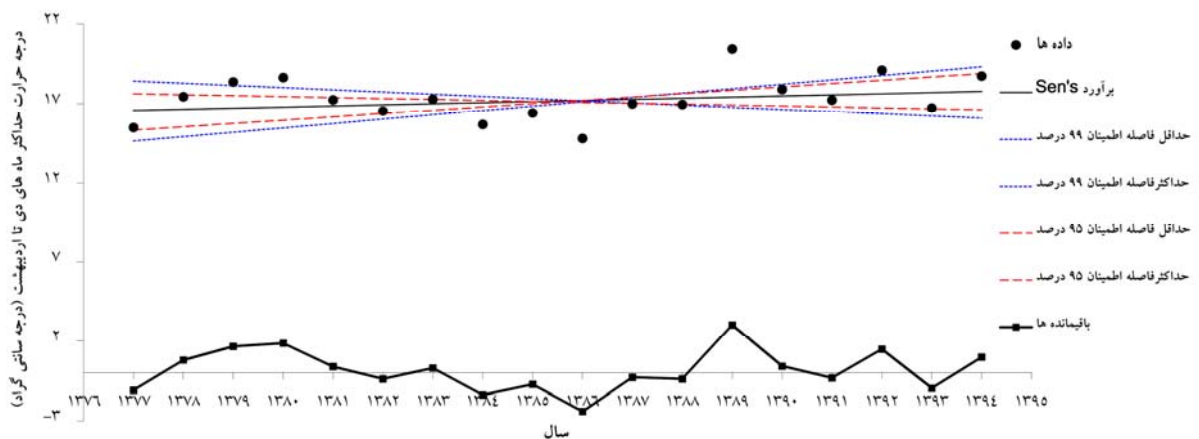
شکل ۸. سری زمانی و آماره‌های روند تغییرات بارش سالیانه



شکل ۹. سری زمانی و آماره‌های روند تغییرات تبخیر ماه‌های دی تا اردیبهشت ماه



شکل ۱۰. سری زمانی و آماره‌های روند تغییرات متوسط درجه حرارت دی تا اردیبهشت ماه



شکل ۱۱. سری زمانی و آماره‌های روند تغییرات متوسط حداکثر درجه حرارت دی تا اردیبهشت ماه

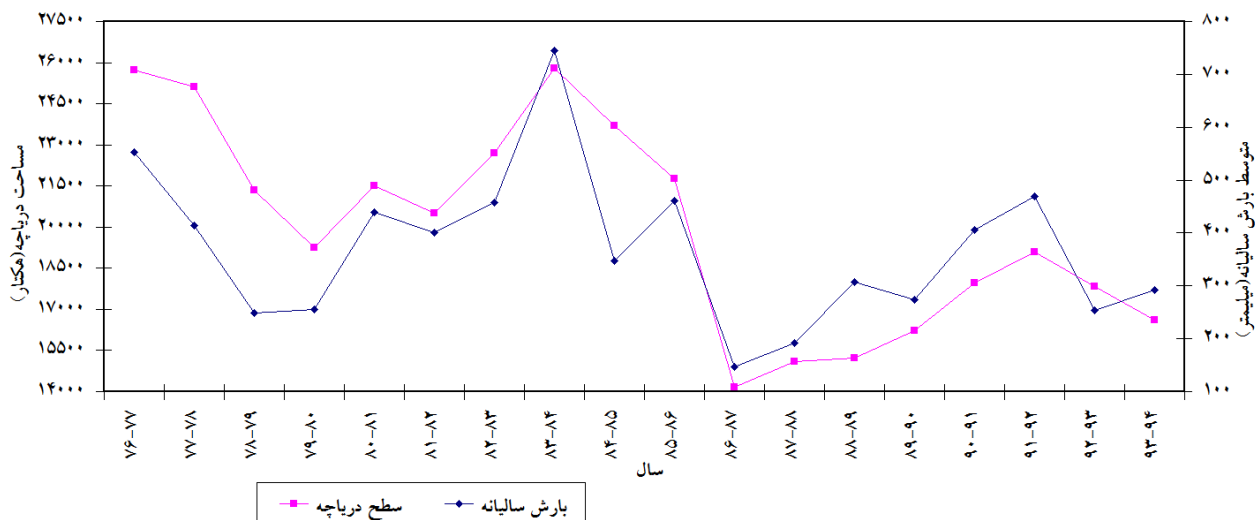
رابطه تغییرات سطح آب دریاچه با متغیرهای اقلیمی

در این مطالعه از ضریب همبستگی برای بررسی امکان یا عدم امکان ارتباط بین متغیرهای وابسته و مستقل استفاده گردید. همبستگی منفی نشان دهنده رابطه معکوس متغیرهای اقلیمی و سطح آب دریاچه در دوره آماری است و همبستگی مثبت رابطه مستقیم را نشان می‌دهد. نتایج آزمون ضریب همبستگی پیرسون در سطح آماری ۰/۰۱ نشان می‌دهد که ضریب همبستگی به دست آمده در مورد تبخیر ماه‌های دی تا اردیبهشت (-۰/۴۴) بارش سالانه (۰/۷۷)، درجه حرارت

متوسط دی تا اردیبهشت (-۰/۲۸)، درجه حرارت حداکثر ماه‌های دی تا اردیبهشت (-۰/۵۲) است. بر این اساس با افزایش تبخیر ماه‌های دی تا اردیبهشت، درجه حرارت متوسط ماه‌های دی تا اردیبهشت، متوسط درجه حرارت حداکثر ماه‌های دی تا اردیبهشت از یک سو و کاهش بارش از سوی دیگر سطح آب دریاچه کاهش می‌یابد (جدول ۲). نتایج همچنین نشان می‌دهد که روند افزایش و کاهش بارندگی با سطح دریاچه همسان است (شکل ۱۲).

جدول ۲. مقادیر ضریب همبستگی بین متغیرهای انتخابی

متغیر	متوسط بارندگی سالیانه	تبخیر و تعرق	حداکثر درجه حرارت	متوسط درجه حرارت
سطح دریاچه	۰/۷۶۵	-۰/۴۴۴	-۰/۵۱۹	-۰/۲۷۵
سطح معنی‌داری	۰/۰۱	-	۰/۰۵	-



شکل ۱۲. نمودار روند تغییرات بارش و سطح دریاچه در طول دوره آماری

بحث و نتیجه‌گیری

اطلاعات درباره توزیع مکانی سطح آزاد آب برای کاربردهای مختلف نظیر ارزیابی منابع حال حاضر و آتی منابع، مدل‌های اقلیمی، تناسب کشاورزی، دینامیک رودخانه، ارزیابی اراضی مرطوب، آنالیز آبخیز، مطالعه آب سطحی و مدیریت، پهنه‌بندی سیلاب و نظارت محیطی ضروری است (۷، ۸، ۳۹).

(۴۲). در این تحقیق سطح آب دریاچه در طی فصل اواسط بهار سال‌های ۲۰۱۵-۱۹۹۸ با استفاده از روش آستانه‌گذاری بر روی باند ۵ و شاخص NDWI استخراج گردید و با ترکیب کاذب باندهای ۵۴۳ مورد بررسی و بازبینی قرار گرفت. رکنی و همکاران (۳۳) نیز شاخص NDWI را نسبت به سایر شاخص‌ها برای استخراج سطح آب در دریاچه ارومیه

مطالعه است. بارندگی ۵۸ درصد تغییرپذیری در سطح دریاچه مهارلو را تشریح می‌کند (ضریب همبستگی برابر با ۰/۷۶۵ و ضریب تشخیص ۰/۵۸). در طول دوره آماری روند کاهشی در میزان بارندگی و سطح دریاچه و روند افزایشی در میزان تبخیر و درجه حرارت (متوسط و حداکثر) وجود دارد. میزان تبخیر و درجه حرارت ماه‌های دی تا اردیبهشت ماه در طول دوره مطالعه تقریباً ثابت است درحالی‌که بارش متغیرتر است. بنابراین تغییرات طبیعی در سطح دریاچه بیشتر متأثر از تغییر در بارندگی است تا درجه حرارت و تبخیر. کیت (۲۳) نیز تغییرات سطح دریاچه ویکتوریا را بین اکتبر ۱۹۵۹ و می ۱۹۶۷ مورد بررسی قرار داد. یافته‌های وی حاکی از این بود که تغییرات طبیعی در سطح دریاچه بیشتر از اینکه متأثر از تبخیر باشد متأثر از تغییر در بارندگی است. سوگا و همکاران (۳۸) نیز در تحقیق خود بر سطح آب دریاچه نئوسیدل بیان نمودند که متوسط سطح سالانه آب دریاچه نئوسیدل همبستگی بالایی با بارش دارد و مجموع بارش دو سال قبل نیز بطور معنی‌داری بر سطح آب دریاچه اثر می‌گذارد.

لی و همکاران (۲۵) تغییرات ارتفاع دریاچه و موازنه آب را در دریاچه کوبین قای، غرب چین در طی دهه‌های اخیر را آنالیز کردند. نتایج این محقق نشان از کاهش ۳/۳۵ متر ارتفاع آب با متوسط ۸ سانتیمتر کاهش در سال را بین ۱۹۵۹ و ۲۰۰۰ داشت. تغییر در سطح دریاچه همبستگی مثبتی با رواناب سطحی (۰/۸۹)، بارندگی (۰/۸۱) و رابطه منفی با تبخیر (۰/۶۶-) را نشان داد.

سطح آب دریاچه مهارلو نیز مانند سایر دریاچه‌های بزرگ جهان طی سال‌های مختلف دارای نوسان‌های دوره‌ای مشخص بوده است، ولی در سال‌های اخیر به دلایل مختلف سطح آب دریاچه افت داشته است. اگرچه بر اساس نتایج این مطالعه، سطح دریاچه مطابق با میزان بارش نوسان می‌یابد ولی سایر عوامل متأثر از فعالیت‌های انسان نیز می‌تواند در این تغییرات مؤثر باشد. برای تحقیقات بعدی پیشنهاد می‌گردد که اثرات پمپ آب از دریاچه برای استحصال نمک از طریق معدن نمک پتروشیمی شیراز، معدن نمک دو بنه مهارلو و معدن نمک

مناسب‌تر دانستند. هیبو و همکاران (۱۵) نیز با بررسی روش‌های استخراج آب در مخزن میون به این نتیجه رسیدند که شاخصه‌های NDWI و MNDWI هر دو قادر به استخراج اطلاعات آب بطور سریع و دقیق با استفاده از آستانه مناسب است. نتایج این تحقیق نشان داد که ضمن وجود نوعی نوسان در مقادیر مساحت دریاچه مهارلو در دراز مدت روند کلی کاهش در مساحت دریاچه وجود دارد. بیشترین تغییرها در خطوط ساحلی قسمت شرقی دریاچه مهارلو صورت گرفته است. ارنر و یاکار (۱۱) نیز با بررسی تغییرات خط ساحلی دریاچه مکه واقع در ترکیه از ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۹ دریافتند که این دریاچه دارای تغییرات روز به روز است که به علت آبیاری کشاورزی و فقدان بارش کافی در منطقه است. دریاچه مکه کاهش ۹/۷۷ درصد سطح دریاچه از ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰ و کاهش ۱۴/۵۵ درصدی از ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۶ را نشان داد. نتایج آزمون ضریب همبستگی پیرسون در تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش تبخیر ماه‌های دی تا اردیبهشت، درجه حرارت متوسط ماه‌های دی تا اردیبهشت، متوسط درجه حرارت حداکثر ماه‌های دی تا اردیبهشت از یک سو و کاهش بارش از سوی دیگر سطح آب دریاچه کاهش می‌یابد. آینو (۳) نیز با بررسی تغییرات سطح دریاچه آبیاتا در مرکز اتیوپی نشان داد که سطح دریاچه با بارش و تبخیر همبستگی دارد. ذوالجودی و دیدوار اصل (۲۳) نیز نوسانات سطح دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار داد و رابطه آن‌ها با تغییرات طولانی مدت متغیرهای هواشناسی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که سطح آب همراه با درجه حرارت و بارندگی تغییرات دوره‌ای در طی ۲۰۱۰-۱۹۶۱ دارد.

حداقل میزان بارش در این تحقیق در سال‌های آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸ به ترتیب به میزان ۱۴۷ و ۱۹۲ میلی‌متر در سال که متعاقب با آن میزان سطح دریاچه در حداقل خود به ترتیب ۱۴۱۴۶ و ۱۵۰۹۵ هکتار در طی سال‌های مطالعه است. حداکثر میزان بارش در سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ به میزان ۷۴۵ میلی‌متر در سال که متعاقب با آن میزان سطح دریاچه در حداکثر خود ۲۵۸۰۶ هکتار در طی سال‌های

- China. *Journal of Applied Remote Sensing*, 6(1): 063609-063609.
9. Durduran SS. 2010. Coastline change assessment on water reservoirs located in the Konya Basin Area, Turkey, using multitemporal landsat imagery. *Environmental Monitoring and Assessment*, 164(1): 453-461.
 10. Ebaid HM, Fawzy HED, El Shouny AF. 2015. Automatic Coastline Extraction Using Satellite Images. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 12(4): 81-86.
 11. Erener A, Yakar M. 2012. Monitoring Coastline Change Using Remote Sensing and GIS Technologies. *Lecture Notes in Information Technology*, 30: 310-314.
 12. Frazier PS, Page KJ. 2000. Water body detection and delineation with Landsat TM data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(12): 1461-1468.
 13. Gebhardt AC, Naudts L, De Mol L, Klerkx J, Abdrakhmatov K, Sobel ER, De Batist M. 2017. High-amplitude lake-level changes in tectonically active Lake Issyk-Kul (Kyrgyzstan) revealed by high-resolution seismic reflection data. *Climate of the Past*, 13(1): 73-92.
 14. Haghighi AT, Kløve B. 2015. A sensitivity analysis of lake water level response to changes in climate and river regimes. *Limnologia-Ecology and Management of Inland Waters*, 51: 118-130.
 15. Haibo Y, Zongmin W, Hongling Z, Yu G. 2011. Water body extraction methods study based on RS and GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 10: 2619-2624.
 16. Hamed KH. 2008. Trend detection in hydrologic data: the Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*, 349(3): 350-363.
 17. Hassanzadeh E, Zarghami M, Hassanzadeh Y. 2012. Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. *Water Resources Management*, 26(1): 129-145.
 18. Hossen H, Negm A. 2016. Performance of water bodies extraction techniques embedded in erdas: case study Manzala Lake, Northeast of Nile delta, EGYPT. *Nineteenth International Water Technology Conference, IWTC19. Sharm ElSheikh, 21-23 April*.
 19. Hwang C, Cheng Y-S, Han J, Kao R, Huang مروارید شیراز، پمپاژ چاه‌های اطراف دریاچه برای آبیاری و خشک شدن چشمه‌های تغذیه‌کننده دریاچه که باعث کاهش سریع سطح آب می‌گردد بررسی گردد. همچنین اثرات مقادیر دبی ورودی به دریاچه بر سطح آب دریاچه نیز از عوامل مهم است که باید مدنظر قرار گیرد. باین حال کاهش سطح دریاچه و افزایش شوری متعاقب آن در ارتباط است که این مسئله نیاز به مدیریت جامع آب در مقیاس بزرگ حوزه دارد. در صورت خشک ماندن دریاچه به‌ویژه در ماه‌های تابستان منطقه با زیان‌های جبران‌ناپذیر اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و بهداشتی روبرو خواهد شد.
- ### منابع مورد استفاده
۱. اصغری زمانی، ا.، ۱۳۹۲. ارزیابی تغییرات سطح دریاچه ارومیه به عنوان چالش عمیق زیست‌محیطی فراروی منطقه شمال غرب ایران. *فضای جغرافیایی*، ۱۳(۴۱): ۷۷-۹۱.
 ۲. هاشمی تنگستانی، م.، س. بیرانود و م. ح. طیبی. ۱۳۹۲. آشکارسازی تغییرات دریاچه بختگان فارس در بازه زمانی ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۶. *محیط‌شناسی*، ۳۹(۳): ۱۸۹-۱۹۹.
 3. Ayenew T. 2002. Recent changes in the level of Lake Abiyata, central main Ethiopian Rift. *Hydrological Sciences Journal*, 47(3): 493-503.
 4. Bai J, Chen X, Li J, Yang L, Fang H. 2011. Changes in the area of inland lakes in arid regions of central Asia during the past 30 years. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1-4): 247-256.
 5. Baumsmith JM, Leinhardt G. 1998. Middle-school students' map construction: Understanding complex spatial displays. *Journal of Geography*, 97(3): 93-107.
 6. Chen CH. 2003. *Frontiers of remote sensing information processing*. World scientific publishing Co. Singapore. 628 pp.
 7. Desmet P, Govers G. 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5): 427-433.
 8. Du Z, Linghu B, Ling F, Li W, Tian W, Wang H, Gui Y, Sun B, Zhang X. 2012. Estimating surface water area changes using time-series Landsat data in the Qingjiang River Basin,

- extraction from high resolution satellite images-an introduction, review, and comparison. *International Journal of Image Processing (IJIP)*, 3(6): 353-372.
31. Ouma YO, Tateishi R. 2006. A water index for rapid mapping of shoreline changes of five East African Rift Valley lakes: an empirical analysis using Landsat TM and ETM⁺ data. *International Journal of Remote Sensing*, 27(15): 3153-3181.
 32. Phillipps R, Holdaway S, Ramsay R, Emmitt J, Wendrich W, Linseele V. 2016. Lake level changes, lake edge basins and the paleoenvironment of the Fayum north shore, Egypt, during the early to mid-Holocene. *Open Quaternary* 2(2): 1-12.
 33. Rokni K, Ahmad A, Selamat A, Hazini S. 2014. Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery. *Remote Sensing*, 6(5): 4173-4189.
 34. Saiko TA, Zonn IS. 2000. Irrigation expansion and dynamics of desertification in the Circum-Aral region of Central Asia. *Applied Geography*, 20(4): 349-367.
 35. Sen PK. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324): 1379-1389.
 36. Sene K. 2000. Theoretical estimates for the influence of Lake Victoria on flows in the upper White Nile. *Hydrological Sciences Journal*, 45(1): 125-145.
 37. Sesli FA, Karsli F, Colkesen I, Akyol N. 2009. Monitoring the changing position of coastlines using aerial and satellite image data: an example from the eastern coast of Trabzon, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 153(1): 391-403.
 38. Soja G, Züger J, Knoflacher M, Kinner P, Soja A-M. 2013. Climate impacts on water balance of a shallow steppe lake in Eastern Austria (Lake Neusiedl). *Journal of Hydrology*, 480: 115-124.
 39. Sun F, Sun W, Chen J, Gong P. 2012. Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 33(21): 6854-6875.
 40. Wang W, Van Gelder PH, Vrijling JK. 2005. Trend and stationary analysis for streamflow processes of rivers in Western Europe in the 20th Century. IWA International Conference C-Y, Wei S-H, Wang H. 2016. Multi-Decadal Monitoring of Lake Level Changes in the Qinghai-Tibet Plateau by the TOPEX/Poseidon-Family Altimeters: Climate Implication. *Remote Sensing*, 8(6): 1-21.
 20. Jaiswal RK, Mukherjee S, Raju KD, Saxena R. 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(1): 1-10.
 21. Jawak SD, Kulkarni K, Luis AJ. 2015. A review on extraction of lakes from remotely sensed optical satellite data with a special focus on cryospheric lakes. *Advances in Remote Sensing*, 4(03): 196-213.
 22. Kelley JG, Hobgood JS, Bedford KW, Schwab DJ. 1998. Generation of three-dimensional lake model forecasts for Lake Erie. *Weather and Forecasting*, 13(3): 659-687.
 23. Kite G. 1981. Recent changes in level of Lake Victoria/Récents changements enregistrés dans le niveau du Lac Victoria. *Hydrological Sciences Journal*, 26(3): 233-243.
 24. Lehner B, Döll P. 2004. Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. *Journal of Hydrology*, 296(1): 1-22.
 25. Li X-Y, Xu H-Y, Sun Y-L, Zhang D-S, Yang Z-P. 2007. Lake-level change and water balance analysis at Lake Qinghai, west China during recent decades. *Water Resources Management*, 21(9): 1505-1516.
 26. Lioubimtseva E, Henebry GM. 2009. Climate and environmental change in arid Central Asia: Impacts, vulnerability, and adaptations. *Journal of Arid Environments*, 73(11): 963-977.
 27. López-Caloca A, Tapiá-Silva F-O, Escalante-Ramírez B. 2008. Lake Chapala change detection using time series. In: *SPIE Remote Sensing. International Society for Optics and Photonics*, pp 710405-710405-710411.
 28. Mason I, Guzkowska M, Rapley C, Street-Perrott F. 1994. The response of lake levels and areas to climatic change. *Climatic Change*, 27(2): 161-197
 29. McFeeters SK. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7): 1425-1432.
 30. Nath RK, Deb SK. 2010. Water-body area

- on Water Economics, Statistics, and Finance. Rethymno, Greece, 8–10 July,.
41. Weifeng Z, Bingfang W. 2008. Assessment of soil erosion and sediment delivery ratio using remote sensing and GIS: a case study of upstream Chaobaihe River catchment, north China. *International Journal of Sediment Research*, 23(2): 167-173.
 42. Yin X, Nicholson SE, Ba MB. 2000. On the diurnal cycle of cloudiness over Lake Victoria and its influence on evaporation from the lake. *Hydrological Sciences Journal*, 45(3): 407-424.
 43. Zoljoodi M, Didevarasl A. 2014. Water-level fluctuations of Urmia Lake: relationship with the long-term changes of meteorological variables (solutions for water-crisis management in Urmia Lake Basin). *Atmospheric and Climate Sciences*, 4(3): 358-368.



The effect of climate change on Maharlo lake level change using satellite image processing

M. Samiei ^{1*}, R. ghazavi ², M. Pakparvar ³, A. A. Vali ⁴

1. PhD. Student of Watershed Management, College of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan

2. Assoc. Prof. College of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan

3. Assis. Prof. Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education center

4. Assis. Prof. College of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 November 2016

Accepted 4 April 2017

Available online 31 May 2017

Keywords:

Lake water level

Semi-arid and arid regions

Climate variables

Normalized Difference Water Index

Threshold method

Maharlo lake

ABSTRACT

Study of the long term dynamic of the lake is crucial to evaluate regional water resources management and environmental changes. The main aim of this study was to evaluate and mapping the impact of climate change in the dynamic of the lake Maharlo located in the boundary of Shiraz city. Landsat satellite images during the past 18 years (1997-2016) in mid-spring were used to determine dynamic changes of the study lake (After geometric, radiometric and Atmospheric correction of satellite images, the annual lake level was extracted using a thresholding method on the band 5 and NDWI index. The results show that, a general reduction trend was observed in the lake area. Most of the changes were occurring in the eastern part. The correlation between water level changes of the lake with some of the climatic parameter changes (evaporation January to May, annual rainfall, average temperature January to May, the average maximum temperature January to May) was also investigated). According to Pearson correlation coefficient between the lake level and evaporation of the months of January to May, annual rainfall, the average temperature of January to May, maximum temperature of the months of January to May were -0.44, 0.77, -0.28, -0.52, respectively. A significant trend was observed between rainfall change (decrease and increase) and lake level. Minimum annual rainfalls were 147 and 192 mm in the years of 2007-2008 and 2008-2009, respectively, which minimum lake level was observed in the same years (14146 and 15095 hectares). The maximum rainfall was occurred in 2004-2005 (745 mm) when the maximum water surface was measured in the lake (25806 ha). According to the results, 58% of the variability of the lake could relate to rainfall change.

* Corresponding author e-mail address: massamiee@yahoo.com