نشریه هواشناسی کشاورزی
جلد ۵، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۶، صص.۱۰-۱

Journal of Agricultural Meteorology
Vol. 5, No. 2, Autumn &Winter 2017, pp. 1-10

بررسی نقش عوامل هواشناسی و برداشت بی رویه آب‌های زیرزمینی بر کاهش سطح آب دریاچه مهارلو

محسن کاظمی[۱]، سادات فیض‌نیا[۲]، حسن خسروی[*۳]، حمید مصباح[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۳۰

چکیده

در دهه‌های اخیر، گرمایش جهانی از مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر کاهش سطح آب دریاچه‌ها و تالاب‌ها در جهان بوده است. علاوه بر عوامل اقلیمی، در سال‌های اخیر فعالیت‌های انسانی تأثیرات چشمگیری بر کاهش سطح آب و تغییر زیست بوم دریاچه‌ها و تالاب‌ها داشته‌اند. هدف از این پژوهش، بررسی روند عوامل اقلیمی (بارندگی، تبخیرتعرق) و فعالیت‌های انسانی (تغییرات جریان ورودی و سطح آب زیرزمینی اطراف دریاچه مهارلو) طی ۵ دهه اخیر با استفاده از دو آزمون من‌کندال و پتیت است. نتایج پایش تغییرات سطح آب دریاچه حاکی از کاهشی ۸۲ درصدی است. با توجه به نتایج دو آزمون من‌کندال و پتیت، بارندگی درطی سال‌های اخیر تغییرات معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ نداشته اما تبخیرتعرق پتانسیل، از سال ۱۳۶۵ روند افزایشی معنی‌داری (در سطح ۱٪) داشته است. افزایش بی‌رویه در بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و همچنین محدود کردن جریانات ورودی به دریاچه از عوامل اصلی کاهش سطح آب دریاچه مهارلو هستند. به‌نحوی که دبی جریان ورودی رودخانه خشک شیراز به دریاچه مهارلو از سال ۱۳۸۵ در سطح احتمال ۱٪ دارای روند کاهشی بوده است.

واژه‌های کلیدی: دریاچه مهارلو، آزمون من‌کندال، بارندگی، تبخیرتعرق، مدیریت آب

مقدمه

دریاچه‌ها و تالاب‌ها از جمله متنوع‌ترین زیست‌بوم‌های روی زمین هستند که در سرتاسر زمین گسترده شده و نقش مهمی در چرخه آب، کنترل سیلاب‌ها، ممانعت از فرسایش، تصفیه آب و بازچرخش مواد مغذی دارند. در سالیان اخیر با شدت یافتن نوسان اقلیم و مدیریت نامناسب آب و زمین، سطح آب تالاب‌ها و دریاچه‌ها در حال کاهش یافتن است. دریاچه مهارلو یکی از مهم‌ترین دریاچه‌های شور ایران است. روند کاهشی سطح آب این دریاچه طی سال‌های اخیر نگرانی‌های جدی زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی با توجه به محل استقرار دریاچه مهارلو در پی دارد. در بررسی این پدیده لازم است متغیرهای اقلیمی و فعالیت‌های انسانی تأثیرگذار در زمینه کاهش سطح آب دریاچه مورد بررسی قرار گیرند. بررسی سوابق مطالعاتی گذشته نشان می‌دهد که این موضوع در دیگر کشورها نیز مورد توجه واقع شده است. یکی از رویکردهای مهم در مطالعات آب زیرزمینی بررسی روند تغییرات عمق دسترسی به آب زیرزمینی در مقیاس‌های مختلف زمانی است. روش من‌کندال و آزمون پتیت (تخمین‌گر سن) از مهم‌ترین روش‌های ناپارامتریک در ارزیابی وجود روند در سری‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی هستند که به طور گسترده در آشکارسازی روند داده‌های غیرنرمال استفاده می‌شود (Pasquini et al., 2006 ; Sabouhi and Soltani, 2009). برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و آبخوان‌های ساحلی باعث افت سطح آب و کاهش آب‌دهی و پیشروی آب شور به داخل آبخوان‌ها می‌شود که این امر باعث شوری آب‌ها و آلودگی

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۲] استاد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۳] دانشیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
(*نویسنده مسئول: hakhosravi@ut.ac.ir)

[۴] کارشناس ارشد پژوهشی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

چاه‌های نزدیک به نوار ساحلی می‌گردد (Samsudin et al., 2008; Khublaryan et al., 2008). برداشت بی‌رویه از منابع آب سطحی و زیرزمینی از مهم‌ترین فعالیت‌های انسانی تأثیرگذار در کاهش سطح آب دریاچه‌ها در سراسر جهان است. از این رو در سال ۱۹۷۰ پس از احداث سد Kapshagai و استفاده شدید از آب رودخانه‌های Lli، Karata و Lepsi منجر به کاهش سطح آب دریاچه Balkhash شده است (Skotselia, 1995; Belgibayev, 2001; Kudekov, 2002). آب رودخانه اونز در سال ۱۹۱۳ با احداث یک کانال به شهر لس آنجلس منحرف شده است، این امر باعث شد این دریاچه در سال ۱۹۲۸ تقریباً خشک شود و یک حوضچه آب شور دائمی تنها قسمتی است که در پایین‌ترین بخش حوضه باقی مانده است (GBUAPCO, 2003). بررسی تغییرات زمانی تراز دریاچه‌ها در منابع مختلف نشان می‌دهد که روش‌های تحلیل سری زمانی مانند روند برای بررسی تغییرات تدریجی، تحلیل تغییر رژیم برای بررسی تغییرات ناگهانی و تحلیل طیفی برای بررسی رفتار دوره‌ای دریاچه‌ها بیشتر مد نظر بوده است. نتایج حاصل از ارزیابی روند تغییر تراز آب دریاچه Huron در ایالت میشیگان و مقایسه آن با تغییرات فصلی بارندگی، رواناب و تبخیر بیان‌گر آن است که روند تغییر تراز آب در این دریاچه، تحت تأثیر تغییر روند در بارندگی و رواناب بوده است (Argyilan and Forman, 2003). تراز دریاچه‌های بزرگ آمریکا در دوره ۱۸۶۱ تا ۲۰۰۱ نشان داد که رفتار این دریاچه‌ها در طولانی مدت با یکدیگر متفاوت بوده است. تغییرات تراز آن‌ها بازتاب تغییرات معنی‌دار بین شرایط اقلیمی در هر یک از حوضه‌ها، به خصوص بارندگی است (Changnon, 2004). نتایج بررسی‌های روند بارش کانادا با استفاده از آزمون من‌کندال در طول قرن بیستم نشان داد که بارش سالانه روند افزایشی داشته است (Zhang et al., 2000). نتایج حاصل از بررسی روند بلند مدت بارندگی سالانه ترکیه با روش من‌کندال نشان داد که یک روند کاهشی بارش در اکثر ایستگاه‌ها وجود دارد (Partal and Kucuk, 2006). الگوهای زمانی و مکانی بارش در حوضه رودخانه زرد چین در طی سال‌های ۲۰۰۶ -۱۹۶۰ مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که در بسیاری از ایستگاه‌ها، روند بارش نزولی بوده است (Liu et al., 2008). با توجه به تغییرات بارش سالانه و تعداد روزهای بارانی ماهانه و سالانه در ۲۰ ایستگاه و با استفاده از آزمون من‌کندال، هیچ نشانی از تغییر اقلیم معنی‌دار در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران وجود ندارد (Modarres and da Silva, 2007). با توجه به مطالعات انجام شده در دنیا، عوامل اقلیمی نظیر بارندگی و دما و فعالیت‌های انسانی از طریق برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و احداث موانع بر روی آب ورودی به دریاچه‌ها و تالاب‌ها، از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کاهش سطح آب دریاچه‌ها و تالاب‌ها بیان شده‌اند. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی روند تغییرات متغیرهای اقلیمی و فعالیت‌های انسانی تأثیرگذار بر کاهش سطح آب دریاچه مهارلو طی سال‌های اخیر است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

دریاچه مهارلو بین طول‌های جغرافیایی ″۴۳ ′۳۶ °۵۲ و ″۳۷ ′۰۴ °۵۳ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″۵۸ ′۱۲ °۲۹ و ″۴۳ ′۳۶ °۲۹ شمالی در جنوب شرقی شهرستان شیراز واقع است. این دریاچه واقع در ۱۰ کیلومتری شیراز، پهنای ۱۵-۱۰ km، طول ۲۸ km و وسعت km^2 ۲۷۵ دارد که متشکل از دریاچه فعلی، پوشش نمکی و پوشش گلی است. دریاچه از سمت شمال غربی به شهرستان شیراز و از سمت جنوب شرقی به دشت سروستان محدود می‌گردد (شکل ۱)، (Hatami et al., 2010). حوضه آبریز دریاچه مهارلو از نظر اقلیمی در محدوده کمربند خشک و بیابانی نیم‌کره شمالی قرار گرفته است. میانگین بارندگی حوضه از سال ۱۳۵۶-۱۳۸۹ بدون در نظر گرفتن ارتفاعات ۳۸۶ میلی‌متر و با در نظر گرفتن ارتفاعات ۵۱۰ میلی‌متر برآورد شده است (Zomorodian et al., 2012). رودخانه خشک شیراز از قسمت‌های شمالی دشت شیراز وارد این شهر شده و پس از عبور از میان شهر به سمت جنوب‌شرقی حوضه متمایل می‌گردد و به دریاچه مهارلو می‌ریزد. ایستگاه اقبال‌آباد بر روی این رودخانه قرار دارد. رودخانه بابا حاجی از ارتفاعات شمال‌غربی دشت شیراز سرچشمه گرفته و از محل پل فسا گذشته و در نزدیکی برم شور به دریاچه مهارلو می‌ریزد. ایستگاه پل فسا بر روی این رودخانه قرار دارد. رودخانه نظر آباد سروستان از ارتفاعات میان جنگل واقع در جنوب‌شرقی دریاچه مهارلو به ارتفاع ۲۸۵۰ متر از سطح دریا سرچشمه می‌گیرد پس از پیوستن چندین

انشعاب به آن از میان دشت سروستان عبور کرده و به دریاچه مهارلو می‌ریزد. طبق شکل ۲ رودخانه نظرآباد فصلی بوده و در اغلب سال خشک است (Mesbah, 2011).

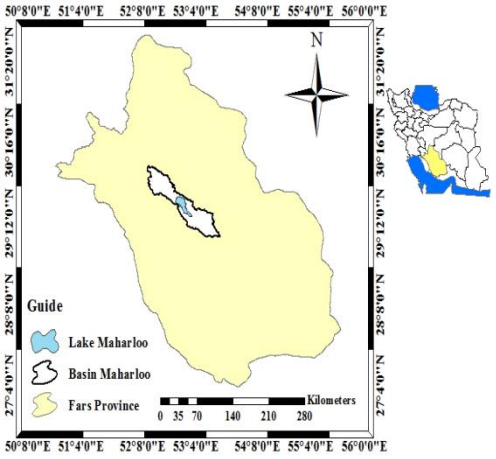

Figure 1- Location of the study area

شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

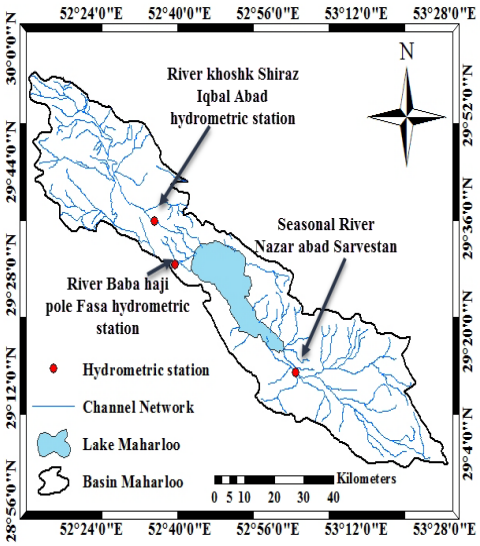

Figure 2- Location of stations and Channel Network Maharloo basin

شکل۲- موقعیت ایستگاه‌ها و شبکه آبراهه‌ای حوضه مهارلو

روش‌ها

در این پژوهش ابتدا میزان تغیرات سطح آب دریاچه مهارلو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از سال ۱۳۶۶-۱۳۹۲ تعیین شده است. با توجه به کاهش سطح آب در یک دوره ۲۶ ساله، علل خشک شدن دریاچه از دو منظر عوامل اقلیمی (بارندگی، تبخیر و تعرق پتانسیل) و عوامل انسانی (تغییرات میزان آب ورودی به دریاچه و تغییرات سطح آب زیرزمینی) بررسی گردیده است. برای بررسی روند تغییرات از آزمون من‌کندال و برای تعیین تغییر در سری زمانی از آزمون پتیت استفاده شده است. برای بررسی و تحلیل روند و تغییرات بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل از داده‌های آماری سال ۱۳۵۲-۱۳۹۲ ایستگاه هواشناسی شیراز استفاده شده است. دریاچه مهارلو از سه مسیل اصلی، رودخانه خشک شیراز، باباحاجی و نظرآباد تغذیه می‌شود. با توجه به نبود ایستگاه آب‌سنجی بر روی رودخانه نظرآباد، از داده‌های آماری دبی میانگین سالانه ایستگاه پل فسا از سال ۱۳۵۰– ۱۳۹۰و ایستگاه اقبال‌آباد از سال ۱۳۷۸–۱۳۹۰ استفاده شده است. در این پژوهش برای بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی اطراف دریاچه مهارلو، از آمار ماهانه تراز سطح آب ۳۵ حلقه چاه پیزومتری در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۲ در محدوده سفره آب زیرزمینی اطراف دریاچه مهارلو استفاده شد (شکل ۳).

تغییرات سطح آب دریاچه

برای بررسی تغییرات سطح آب دریاچه مهارلو از تصاویر ماهواره‌ای طی ماه شهریور سال‌های ۱۳۶۶-۱۳۹۲، از نرم‌افزار Envi استفاده شده است. تغییرات در آغاز پنجره‌ای از داده‌های سنجنده‌های TM به تاریخ ۱۳۶۶، ETM^{+} به ۱۳۸۱ و سنجنده OLI به تاریخ ۱۳۹۲ از ماهواره لندست مربوط به منطقه مورد مطالعه، تهیه شد. بر روی این تصاویر تصحیح‌های نظام‌یافته انجام شده است و دارای فرمت GEOTIFF هستند. سپس بررسی‌های اولیه بر روی تصاویر اعمال گردید. پیش از به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای، تجزیه و تحلیل رقومی، کیفیت آن‌ها از نظر وجود خطای هندسی، پرتوسنجی مانند راه‌راه شدگی، زیرهم قرار نگرفتن خطوط اسکن، پیکسل‌های تکراری، خطاهای اتمسفری مانند وجود لکه‌های ابر، مورد بررسی قرار داده شدند. اطلاعات دقیق‌تر تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در جدول ۱ نمایش داده شده است.

Table 1- Satellite imagery information of 1987 and 2013

جدول ۱- اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳

solar to gristyan	1987	2013
Solar Hijri Calendar	1366/06/01	1392/06/27
Satellite	Landsat4	Landsat8
Sensor	TM	OLI
Row	40	40
Pass	161	161

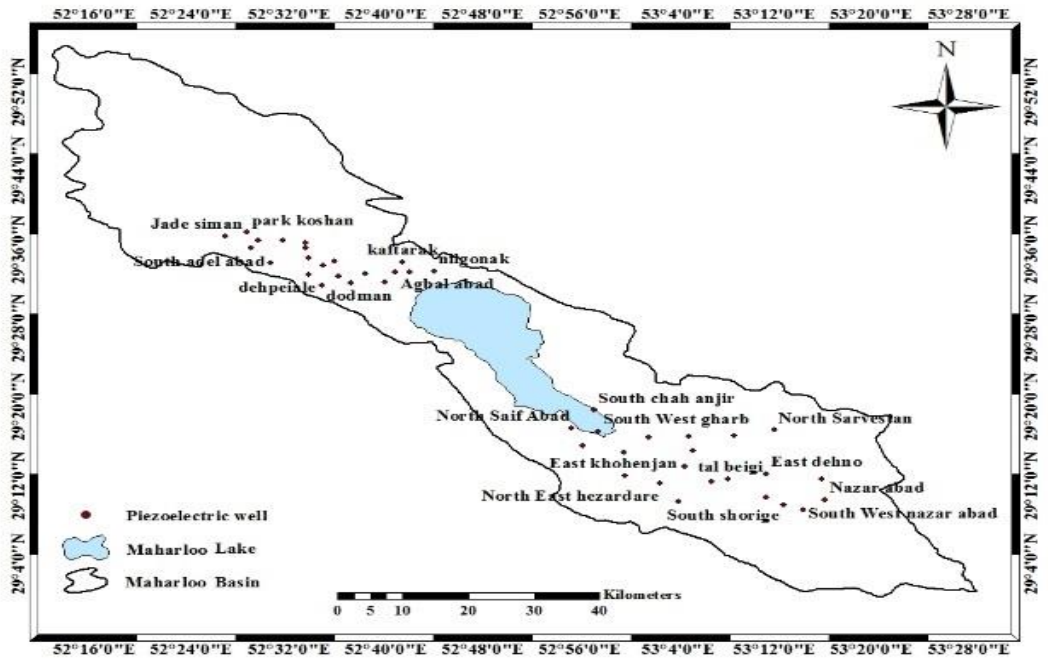

Figure 3- Location of the piezometeric wells around Maharloo Lake

شکل ۳- موقعیت چاه‌های پیزومتری اطراف دریاچه مهارلو

آزمون من‌کندال

مراحل محاسبه آماری این آزمون به این ترتیب است که ابتدا اختلاف بین تک تک مشاهدات با هم‌دیگر محاسبه شده و تابع علامت اعمال می‌شود. سپس پارامتر $U_{t,T}$ با استفاده از معادله ۱ استخراج می‌شود.

$$U_{t,T} = \sum_{i=2}^{n}\sum_{j=1}^{i-1} \mathrm{sgn}(X_i - X_j) \qquad (۱)$$

که در آن، $U_{t,T}$ آماره آزمون من کندال، x_i و x_j داده‌های متوالی، n طول سری زمانی و sgn (x_i-x_j) تابع علامت بوده که از معادله ۲ تعیین می‌شود.

$$\mathrm{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \qquad (۲)$$

E(S) میانگین و واریانس آماره با معادلات ۳ و ۴ به دست می‌آید.

$$E(S)=0 \qquad (۳)$$

$$\mathrm{var}(s)= \frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_{p=1}^{n} t_p(p)(p-1)(2p+5)}{18} \qquad (۴)$$

که t_p تعداد دنباله‌ها برای pامین مقدار وp تعداد مقادیر دنباله‌ها است. جزء دوم در فرمول فوق یک تعدیل برای دنباله یا داده‌های حساس است. آماره استاندارد شده آزمون z از معادله ۵ به دست می‌آید.

$$z = \begin{cases} \dfrac{s-1}{\sqrt{\mathrm{var}(s)}}, & \text{if } s > 1 \\ 0 & \text{if } s > 0 \\ \dfrac{s+1}{\sqrt{\mathrm{var}(s)}}, & \text{if } s > 1 \end{cases} \qquad (۵)$$

مقدار مثبت z روند افزایش و مقدار منفی z روند کاهشی سری زمانی را نشان می‌دهد. همچنین برای آزمودن روند افزایش یا کاهش یکنواخت در سطح معنی‌داری P، اگر مقدار z بزرگتر $z_{1-p/2}$ از باشد که $z_{1-p/2}$ از جدول توزیع تجمعی نرمال استاندارد به دست می‌آید و فرض صفر رد می‌شود. برای این کار، سطح معنی‌داری p= ۰/۰۱ و یا p= ۰/۰۵ به کار می‌رود.

آزمون پتیت

یکی از مهم‌ترین روش‌های آماری در تشخیص یک شیفت ناگهانی در سری زمانی، آزمون پتیت است. این آزمون به طور گسترده در تعیین زمان تغییر در سری‌های زمانی اقلیمی و هیدرولوژیک در سراسر جهان مورد استفاده قرارگرفته است (Moraes et al., 1998; Mu et al., 2007; Love et al., 2010). دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی هیدروکلیماتیک X_i را در نظر بگیرید، که (i=1, 2, 3, ..., T) باشد. زمانی آزمون‌پتیت تغییر در نقطه τ را معنی‌دار می‌داند که X_t برای (t=1, 2, 3, ….., τ) دارای تابع توزیع $F_1(x)$ و X_t برای (t= τ+1, τ+2, τ+3, …)

دارای تابع توزیع $F_2(x)$ بوده و $F_1(x) \neq F_2(x)$ باشد. این آزمون دو فرض $H_0: \tau=T$ برای عدم وجود تغییر و $H_1: \tau \neq T$ برای وجود روند را مقابل هم و آماره K_T (معادله ۶) را برای تست دو نمونه ($X_1, \ldots, X_T$ و $X_{T+1}, \ldots, X_T$) از یک جامعه در نظر می‌گیرد (Pettit, 1979).

$$K_T = \mathrm{Max}\left|U_{t,T}\right|, 1 \leq t < T \qquad (۶)$$

$$U_{t,T} = \sum_{i=2}^{n}\sum_{j=1}^{i-1} \mathrm{sgn}(X_i - X_j) \qquad (۷)$$

$$\mathrm{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \qquad (۸)$$

$$P_{OA} = 2\exp\left\{ \frac{-6K^2}{T^3 + T^2} \right\} \quad \text{for } T \to \infty \qquad (۹)$$

به طوری که P_{OA}، نقطه تغییر احتمالی را نشان می‌دهد.

معادله فائو- پنمن مانتیث

چندین روش برای برآورد تبخیرتعرق وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به پنمن، پنمن- مانتیث، هارگریوز، بلانی کریدل و تورنت وایت اشاره کرد. تحقیقات نشان داده است که روش پنمن- مانتیث (معادله ۱۰) از دیگر روش‌ها عملکرد بهتری دارد.

$$PET_{P\text{-}M} = \frac{C}{L} \times \frac{\dfrac{sR_N + C_p \rho_a (e_a - e_d)}{r_a}}{s + \gamma\left(1 + \dfrac{r_c}{r_a}\right)} \qquad (۱۰)$$

که در آن $PET_{P\text{-}M}$ تبخیرتعرق پتانسیل روزانه (میلی‌متر بر روز)، C ضریب ثابت برای برگرداندن واحدها از کیلوگرم بر متر مربع در ثانیه به میلی‌متر بر روز، R_N تشعشع خالص در سطح زمین (وات بر متر مربع)، L گرمای نهان تبخیر (ژول بر کیلوگرم)، S شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر کلوین)، C_P گرمای ویژه هوا در فشار ثابت (ژول بر کیلوگرم در کلوین)، ρ_a چگالی هوا (کیلوگرم بر مترمکعب بر روی سطح دریا)، e_d فشار بخار واقعی هوا در ارتفاع ۲ متری (کیلوپاسکال)، e_a فشار بخار اشباع در ارتفاع ۲ متری (کیلوپاسکال)، γ ثابت رطوبتی برابر (۰/۰۶۷)، r_a ایستادگی هوا (ثانیه بر متر) و r_c ایستادگی هوا در پوشش گیاهی خاص (ثانیه بر متر) است (Allen et al., 1998). در این تحقیق روش محاسبه تبخیرتعرق پتانسیل با استفاده از آمار و اطلاعات آب و هوایی، به کمک برنامه نرم‌افزار Cropwat 8 برآورد شده است. معادله پنمن- مانتیث برای محاسبه تبخیرتعرق پتانسیل یک گیاه مرجع به ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر است (De Laat, 2001).

نتایج و بحث

تغییرات سطح آب دریاچه

سطح دریاچه مهارلو دارای سه پوشش با سطوح آبی، شوره‌زار و خاک لخت و در بعضی نقاط دارای اراضی کشاورزی است. میزان سطح آب دریاچه در سال۱۳۶۶، ۹۰/۴ کیلومتر مربع بوده است (شکل ۴). به نحوی که سطح آب دریاچه در سال ۱۳۹۲ به میزان ۱۶/۴کیلومتر مربع رسیده است (شکل ۵). به طور کلی سطح آب دریاچه مهارلو از سال ۱۳۶۶ تا سال ۱۳۹۲، ۸۲ درصد کاهش یافته است.

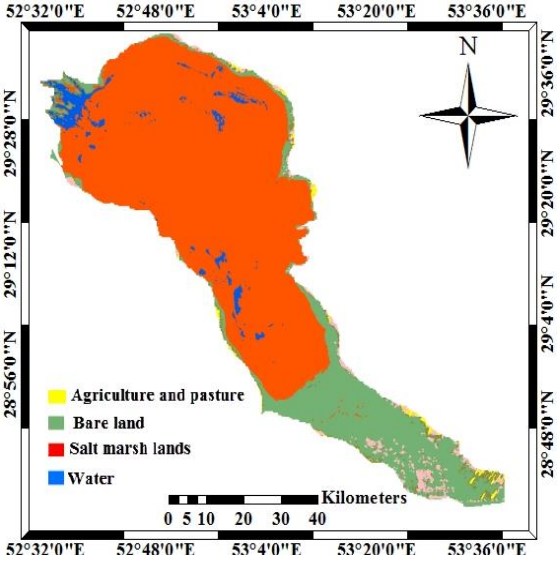

Figure 4- Map of Lake Level Changes in 1987

شکل ۴- نقشه تغییرات سطح دریاچه سال ۱۳۶۶

تغییرات متغیرهای اقلیمی

نتایج حاصل از روند تغییرات بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل سطح دریاچه مهارلو با استفاده از دو آزمون من‌کندال و پتیت در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به آماره تاو کندال حاصل از آزمون من‌کندال، روند تغییرات بارندگی در سطح احتمال۱٪، کاهش معنی‌داری نداشته است. اما روند تغییرات تبخیرتعرق پتانسیل با توجه به آماره تاو کندال به دست آمده، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده است. نتایج حاصل از آزمون پتیت به منظور بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی در جدول ۲ آورده شده است. میانگین بارش بر سطح دریاچه مهارلو طی سال‌های ۱۳۵۲- ۱۳۹۲ برابر با ۳۵۲ میلی‌متر بر سال بوده که در

این بازه زمانی، بارش سالیانه تغییرات معنی‌داری نداشته است. با توجه به شکل ۶ میزان بارندگی طی بازه زمانی نشان داده شده دارای روند تغییر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ نبوده و روند تغییرات بارش ثابت بوده است.

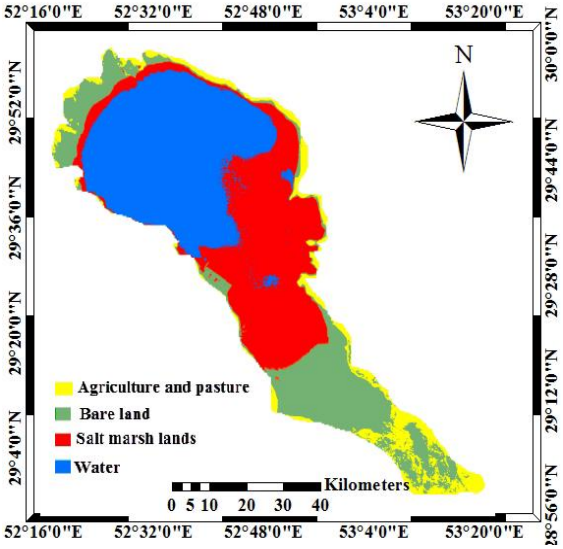

Figure 5- Map of Lake Level Changes in 2013

شکل ۵- نقشه تغییرات سطح دریاچه سال ۱۳۹۲

Table 2- Results of Mann-Kendall and Pettit Maharloo basin

جدول ۲- نتایج آزمون من‌کندال و پتیت حوضه مهارلو

Maharloo	Precipitation	ETP
Mean annual (mm year-1)	352.31	1087.68
Kendall's Tau	-0.086	0.587
p-value	0.625	0.001
Kendall test Positive Significance (%)	-	1
Pettit's	-	1365

بنابراین با توجه به نتایج حاصل از دو آزمون، میزان بارندگی در سطح احتمال ۱٪ هیچ نقطه تغییری نداشته است. در شکل ۷ روند تبخیرتعرق پتانسیل منطقه نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که تبخیرتعرق پتانسیل در سال ۱۳۶۵ دارای نقطه تغییر بوده است. به صورتی که این تغییر از سال ۱۳۶۵ در سطح احتمال ۱٪ روند افزایشی داشته است. نتایج مطالعاتی بر روی دریاچه Huron در ایالت میشیگان نشان داد که عوامل اقلیمی از جمله بارندگی مهم‌ترین عامل کاهش سطح آب دریاچه است (Argyilan and Forman, 2003). در ارزیابی تراز دریاچه‌های بزرگ آمریکا به این نتیجه رسید که تغییرات تراز سطح آب دریاچه‌ها، بازتاب تغییرات معنی‌دار بین شرایط اقلیمی در هر یک از حوضه‌ها، به خصوص بارندگی است (Changnon, 2004). با توجه به دو آزمون من‌کندال و پتیت، میزان بارندگی در نواحی دریاچه مهارلو تغییرات معنی‌داری نداشته است. لکن میزان تبخیرتعرق پتانسیل منطقه دارای نقطه تغییر بوده و روند افزایشی داشته است. بنابراین می‌توان بیان کرد که میزان بارندگی در حوضه مهارلو تأثیری در کاهش سطح آب دریاچه مهارلو نداشته و تبخیرتعرق در کاهش آن نقش چشمگیری داشته است. نتایج حاصل از روند تغییرات دبی میانگین سالانه دو ایستگاه آب‌سنجی پل فسا و ایستگاه اقبال‌آباد با استفاده از دو آزمون من‌کندال و پتیت در جدول ۳ آورده شده است. ایستگاه آب‌سنجی پل فسا بر روی رودخانه باباحاجی و ایستگاه آب‌سنجی اقبال‌آباد بر روی رودخانه خشک شیراز قرار دارد.

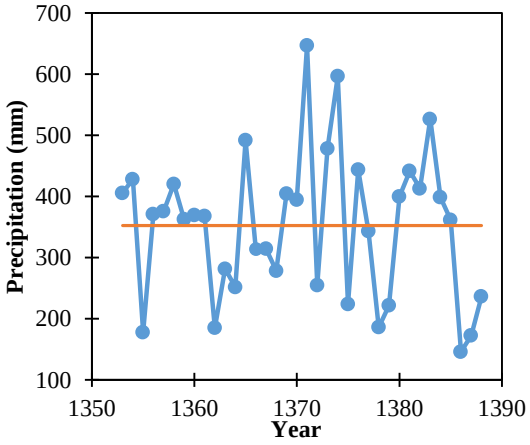

Figure 6- Trend of rainfall changes

شکل ۶– روند تغییرات بارندگی

با توجه به آماره تاو کندال حاصل از آزمون من‌کندال، روند افزایش تغییرات دبی ایستگاه پل فسا در سطح احتمال ۱٪، معنی‌دار نبوده است. اما روند تغییرات دبی ایستگاه اقبال‌آباد با توجه به آماره تاو کندال به دست آمده، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده است.

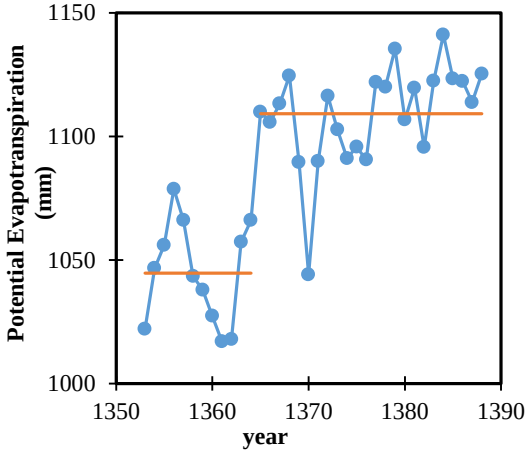

Figure 7- Trend of evapotranspiration potential changes

شکل ۷- روند تغییرات تبخیرتعرق پتانسیل

Table 3- The results of Mann-kendall and Petite test of two stations of Pole Fasa and Iqbal Abad

جدول ۳- نتایج آزمون من‌کندال و پتبت دبی دو ایستگاه پل فسا و اقبال آباد

Hydrometric station	Pole Fasa	Agbal abad
Mean annual (m^3s^{-1})	1.993	1.357
Kendall's Tau	0.088	-0.385
p-value	0.443	0.009
Kendall test Positive Significance (%)	-	1
Pettitt's	-	1385

نتایج حاصل از آزمون پتیت نشان دهنده این است که دبی ایستگاه پل فسا در سطح احتمال ۱٪ هیچ نقطه تغییری نداشته است (شکل ۸). در حالی که دبی ایستگاه اقبال‌آباد در سال ۱۳۸۵داری نقطه تغییر بوده است. به صورتی که این تغییر از سال ۱۳۸۵در سطح احتمال ۱٪ روند کاهشی داشته است (شکل ۹). تغییرات آب ورودی رودخانه پل فسا (بابا حاجی) از سال ۱۳۵۰–۱۳۹۲روند افزایشی یا کاهشی معنی‌داری درسطح احتمال ۱ درصد نداشته است. اما تغییرات آب ورودی رودخانه خشک (ایستگاه اقبال آباد) به دریاچه مهارلو در سطح احتمال ۱ درصد از سال ۱۳۷۸ –۱۳۹۲ روند کاهش داشته است. از آنجا که میزان بارندگی طی بازه زمانی۱۳۵۰- ۱۳۹۲ در حوضه مهارلو تغییرات معنی‌داری نداشته است. اما رودخانه خشک از سال ۱۳۸۵ روند آب ورودی آن به دریاچه مهارلو درسطح احتمال یک درصد کاهش معنی‌داری داشته است. می‌توان یکی از دلایل کاهش سطح آب دریاچه مهارلو از سال ۱۳۷۸- ۱۳۹۲ را به تأثیر فعالیت انسانی بر روی کاهش آب سطح ورودی از رودخانه خشک به دریاچه مهارلو دانست. سرچشمه‌های رودخانه خشک از ارتفاعات شمال غربی شهر شیراز نشأت می‌گیرد. در این نواحی روستاییان با احداث بندهای کوچک، باعث انحراف آب رودخانه جهت فعالیت‌های کشاورزی شده‌اند که این امر موجب کاهش و محدود شدن آب رودخانه به دریاچه مهارلو شده است (Mesbah, 2011). از مهم‌ترین تأثیرات فعالیت‌های انسانی بر کاهش سطح آب دریاچه‌ها در سراسر جهان می‌توان به کاهش سطح آب دریاچه بالخاش در قزاقستان بر اثر محدود کردن ورودی آب رودخانه‌ها به دریاچه و کاهش شدید سطح آب دریاچه نام برد (Skotselias, 1995; Belgibayev, 2001; Kudekov, 2002). نمونه دیگر دخالت فعالیت‌های انسان در طبیعت می‌توان به دریاچه اونز آمریکا اشاره کرد که با کاهش آب رودخانه‌های ورودی به دریاچه، بستر دریاچه اونز خشک شده است (GBUAPCD, 2003).

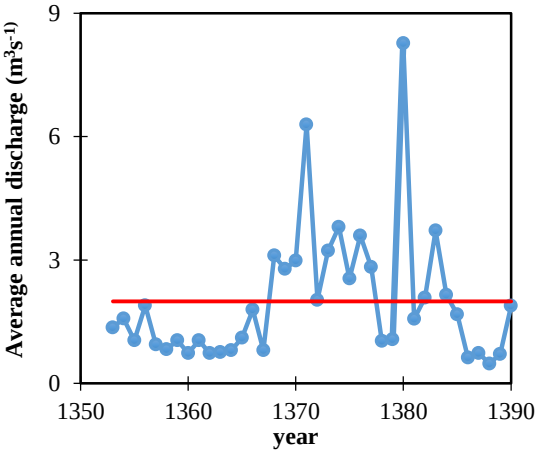

Figure 8- Trends of changes in Pole Fasa station discharge

شکل ۸ – روند تغییرات دبی ایستگاه پل فسا

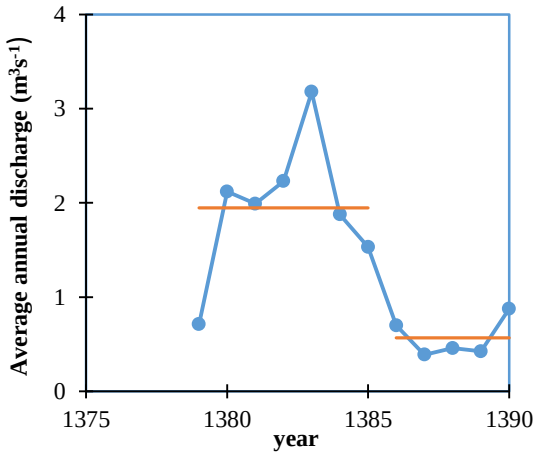

Figure 9- Trends of changes in Ighbal Abad station discharge

شکل ۹- روند تغییرات دبی ایستگاه اقبال‌آباد

آب زیرزمینی

نتایج حاصل از آزمون من‌کندال در روند تراز سطح آب زیرزمینی در جدول ۴ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که آماره تاو کندال محاسبه شده در اکثر چاه‌ها (به جز چاه‌های علامت‌گذاری شده) منفی است. با توجه مقادیر آماره تاو کندال منفی و همچنین P-value محاسبه شده، کاهش روند سطح آب زیرزمینی در سطح احتمال۱٪ معنی‌دار است. چاه پیزومتری قصر ساسان واقع در جنوب شرقی دریاچه مهارلو با توجه به مثبت بودن آماره تاو کندال تراز سطح آب آن روند افزایشی داشته است. اما با توجه به P-value به دست آمده در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نبوده است.

Table 4- Trend analysis of groundwater level by Mann-Kendall test in study basin

جدول ۴- نتایج آزمون من‌کندال جهت تحلیل روند سری زمانی ماهانه تراز سطح آب زیر زمینی حوضه آبریز مهارلو

Piezometeric well	Kendall's tau	P_value	Alpha (%)
Jade Siman	-0.535	0.001	1
Iqbal Abad	-0.293	0.001	1
Park Arghavan	-0.680	0.001	1
Park Enghelab	-0.675	0.001	1
Park Koshan	-0.546	0.001	1
Chah Anjir, South	-0.8	0.001	1
Adel Abad, South	-0.403	0.001	1
Ordogah, Southwest	-0.472	0.001	1
Ghasre Sasan, South	+0.113	0.049	1
Gharb Ghanbari, South West	-0.421	0.001	1
Nazar Abad Southwest	-0.764	0.001	1
Morad Beigi, South	-0.552	0.001	1
Kheir Abad	-0.681	0.001	1
Hospital Shaghol Beigi	-0.473	0.001	1
Dodman	-0.477	0.001	1
Dehpeiale	-0.674	0.001	1
Rah Shorije Tal Beigi	-0.731	0.001	1
River Khohenjan	-0/663	0.001	1
Stone Cutting Banian Pour	-0.689	0.001	1
Shahzade Bighom	-0.767	0.001	1
Dehno, East	-0.552	0.001	1
Sarvestan, North	-0.155	0.001	1
Khohjan, East	-0.953	0.001	1
Saif Abad, North	-0.369	0.001	1
Hezardare, Northeast	-0.638	0.001	1
Kate Gonbad, North	-0.707	0.001	1
Hassan Abad, West	-0.905	0.049	1
Feleke Allah	-0.250	0.001	1
Feleke Khaton	-0.698	0.001	1
Feleke Valiasr	-0.659	0.001	1
Ghader Abad	-0.659	0.001	1
Ghale Nou	+0.252	0.001	1
Golkhon	+0.452	0.001	1
Nazar Abad	-0.632	0.001	1
Nilgonak	-0.437	0.001	1

با توجه مثبت بودن مقادیر آماره تاو کندال محاسبه شده برای دو چاه پیزومتری قلعه‌نو و گل‌خون و همچنین P-value روند افزایشی سطح آب زیرزمینی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. بر اساس جدول ۵ تغییرات سری زمانی ماهانه سطح آب زیرزمینی با توجه به P-value محاسبه شده از آزمون پتیت در سطح احتمال ۱٪ دارای تغییرات معنی‌دار بوده است. سال جهش تغییرات (t) تراز سطح آب زیرزمینی نیز در جدول ۵ محاسبه شده است.

Table 5- Results of Pettit test for variation detection the monthly time series changes of groundwater level in Maharloo basin

جدول ۵- نتایج آزمون پتیت جهت آشکار سازی تغییرات سری زمانی ماهانه تراز سطح آب زیرزمینی حوضه آبریز مهارلو

Piezometeric well	T (Solar Year Mutation Changes)	P_value	Alpha (%)
Jade Siman	1387	0.001	1
Iqbal Abad	1389	0.001	1
Park Arghavan	1387	0.001	1
Park Enghelab	1387	0.001	1
Park Koshan	1387	0.001	1
Chah Anjir, South	1387	0.001	1
Adel Abad, South	1390	0.001	1
Ordogah, Southwest	1387	0.001	1
Ghasre Sasan, South	1384	0.001	1
Gharb Ghanbari, South West	1387	0.001	1
Nazar Abad Southwest	1387	0.001	1
Morad Beigi, South	1387	0.001	1
Kheir Abad	1387	0.001	1
Hospital Shaghol Beigi	1386	0.001	1
Dodman	1387	0.001	1
Dehpeiale	1387	0.001	1
Rah Shorije Tal Beigi	1387	0.001	1
River Khohenjan	1387	0.001	1
Stone Cutting Banian Pour	1387	0.001	1
Shahzade Bighom	1387	0.001	1
Dehno, East	1387	0.001	1
Sarvestan, North	1390	0.001	1
Khohjan, East	1387	0.001	1
Saif Abad, North	1388	0.001	1
Hezardare, Northeast	1387	0.001	1
Kate Gonbad, North	1387	0.001	1
Hassan Abad, West	1387	0.001	1
Feleke Allah	1386	0.001	1
Feleke Khaton	1387	0.001	1
Feleke Valiasr	1387	0.001	1
Ghader Abad	1387	0.001	1
Ghale Nou	1388	0.001	1
Golkhon	1388	0.001	1
Nazar Abad	1388	0.001	1
Nilgonak	1388	0.001	1

بر اساس آزمون پتیت، سال جهش تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی اطراف دریاچه مهارلو اکثراً از سال ۱۳۸۷ به بعد بوده که دارای روند کاهشی معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بوده است. با توجه به نتایج حاصل از آمار چاه‌های پیزومتری منطقه، میزان سطح آب زیرزمینی در دشت‌های اطراف دریاچه مهارلو کاهش یافته است. به صورتی که روند تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه از سال ۱۳۸۱-۱۳۹۲ در سطح احتمال ۱ درصد (اطمینان ۹۹درصد) کاهشی بوده است. نتایج حاصل از آزمون

من‌کندال در سطح احتمال ۱٪ نشان‌دهنده کاهش روند تراز سطح آب زیرزمینی اطراف دریاچه مهارلو است. اما در سه منطقه قلعه‌نو، گل‌خون و جنوب قصر ساسان، روند تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی افزایشی بوده است که در دو منطقه قلعه‌نو و گل‌خون که در شمال غربی دریاچه مهارلو و در جنوب شرقی شهر شیراز قرار دارند، افزایش روند تغییرات درسطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. با توجه به نتایج آزمون پتیت سال جهش تغییرات تراز آب را برای هر دو منطقه قلعه‌نو و گل‌خون ۱۳۸۸برآورد شده است. علت افزایش تراز سطح آب زیرزمینی در منطقه گل‌خون و قلعه‌نو را می‌توان ناشی از عبور فاضلاب شهر شیراز و حاشیه نشینان اطراف شهر از آن نواحی قلمداد کرد. اما با توجه نتایج آزمون من‌کندال افزایش روند تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی منطقه جنوب قصر ساسان در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نبوده است. سال جهش تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی منطقه جنوب قصر ساسان طی نتایج حاصل از آزمون پتیت، ۱۳۸۴ برآورد شده است. کاهش نیافتن روند تراز سطح آب زیرزمینی جنوب قصر ساسان را می‌توان به علت جریان‌های فصلی رودخانه‌ای که در نزدیکی آن وجود دارد دانست. با توجه به نتایج آزمون پتیت، سال جهش تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در سایر مناطق اطراف دریاچه مهارلو در بیشتر نقاط ۱۳۸۷-۱۳۸۸ برآورد شده است.

نتیجه‌گیری

عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی از مهم‌ترین دلایل کاهش سطح آب دریاچه‌ها و تالاب‌ها در تمام جهان هستند. دریاچه مهارلو دارای مساحتی بالغ بر ۲۷۰ کیلومترمربع است. سطح دریاچه مهارلو دارای سه پوشش با سطوح آبی، شوره‌زار و خاک لخت است. نتایج حاصل از مقایسه تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی شهریور سال ۱۳۹۲-۱۳۶۶، حاکی از کاهش سطح آب دریاچه مهارلو است. به طور کلی سطح آب دریاچه مهارلو در این بازه زمانی ۸۲ درصد کاهش یافته است. با توجه به نتایج حاصل از مطالعات اقلیمی و آب زیرزمینی با استفاده از دو آزمون من‌کندال و پتیت، روند تغییرات بارندگی بر سطح دریاچه مهارلو از سال ۱۳۵۲-۱۳۹۲ در سطح احتمال ۱ درصد تغییرات کاهشی یا افزایشی معنی‌داری نداشته است. اما روند تبخیرتعرق پتانسیل منطقه در سال ۱۳۶۵ دارای نقطه تغییر بوده است به صورتی که روند تغییرات آن در سطح احتمال ۱٪ روند افزایشی داشته است. فعالیت‌های انسانی نیز از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کاهش سطح آب دریاچه‌ها در نقاط مختلف جهان هستند. انسان‌ها از طریق برداشت آب سطحی، ایجاد موانع برروی مسیل‌های منتهی به دریاچه‌ها و برداشت بیش ازحد آب‌های زیرزمینی علاوه بر عوامل اقلیمی بر خشک شدن دریاچه‌ها تأثیرگذار هستند. رودخانه بابا حاجی و خشک شیراز از مهم‌ترین مسیل‌های ورودی به دریاچه مهارلو است. تغییرات آب ورودی رودخانه بابا حاجی به دریاچه مهارلو از سال ۱۳۵۰–۱۳۹۲ روند افزایشی یا کاهشی معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد نداشته است. اما تغییرات آب ورودی رودخانه خشک به دریاچه مهارلو در سطح احتمال ۱ درصد از سال ۱۳۷۸–۱۳۹۰ روند کاهشی داشته است. می‌توان یکی از دلایل کاهش سطح آب دریاچه مهارلو از سال ۱۳۷۸-۱۳۹۲ را به تأثیر فعالیت انسانی بر روی کاهش آب سطح ورودی از رودخانه خشک به دریاچه مهارلو دانست. در حوضه مهارلو فعالیت‌های انسانی از طریق برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی و کاهش آب سطحی ورودی از رودخانه خشک بر کاهش سطح آب دریاچه تأثیرگذار بوده است. با بررسی‌های صورت گرفته، میزان سطح آب زیرزمینی در دشت‌های اطراف کاهش یافته است. به صورتی که روند تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه از سال ۱۳۸۱-۱۳۹۲ در سطح احتمال ۱٪ کاهشی بوده است. به طوری که سال جهش تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی اطراف دریاچه مهارلو در بیشتر نقاط ۱۳۸۷-۱۳۸۸ برآورد شده است. بنابراین یکی از مهم‌ترین اثرات فعالیت انسانی در حوضه مهارلو در کاهش سطح آب دریاچه، برداشت بیش از حد آب زیرزمینی است. به طورکلی مهم‌ترین عوامل کاهش سطح آب دریاچه مهارلو با ثابت بودن روند تغییرات بارندگی و آب ورودی از رودخانه باباحاجی به دریاچه، افزایش تبخیرتعرق پتانسیل و کاهش سطح آب زیرزمینی با برداشت بیش از حد و کاهش روند تغییرات آب ورودی به دریاچه از رودخانه خشک شیراز است.

منابع

Argyilan, E. P., Forman, S. L. 2003. Lake level response to seasonal climatic variability in the Lake Michigan-Huron system from 1920 to

Moraes, J. M., Pellegrino, G. Q., Ballester, M. V., Martinelli, L. A., Victoria, R. L., Krusche, A. V. 1998. Trends in hydrological parameters of a southern Brazilian watershed and its relation to human induced changes. Water Resources Management., 12(4): 295-311.

Mu, X., Zhang, L., McVicar, T. R., Chille, B., Gau, P. 2007. Analysis of the impact of conservation measures on stream flow regime in catchments of the Loess Plateau, China. Hydrological Processes., 21(16):2124-2134.

Partal, T., Küçük, M. 2006. Long-term trend analysis using discrete wavelet components of annual precipitations measurements in Marmara region (Turkey). Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C., 31(18): 1189-1200.

Pasquini, A. I., Lecomte, K. L., Piovano, E. L., Depetris, P. J. 2006. Recent rainfall and runoff variability in central Argentina. Quaternary International., 158(1): 127-139.

Pettit, A. N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. Applied statistics, 28(2): 126-135.

sabouhi, R., Soltani, S. 2009. Analysis of the trends of climatic factors in large cities of Iran. Science and Technology of Agriculture and Resources, 12: 303-312. (In Farsi)

Samsudin, A. R., Haryono, A., Hamzah, U., Rafek, A. G. 2008. Salinity mapping of coastal groundwater aquifers using hydrogeochemical and geophysical methods: a case study from north Kelantan, Malaysia. Environmental Geology, 55(8): 1737-1743.

Skotselias, I. I. 1995. Actual hydrometeorological problems of Balkhash Lake and Pre-Balkhash region. Gidrometeoizdat, 269.

Zhang, X., Vincent, L. A., Hogg, W. D., Niitsoo, A. 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. Atmosphere-ocean, 38(3): 395-429.

Zomorodian, M., Khakpur, M., velayati, S. 2012. Analysis of Hydrogeomorphological Landforms of Maharlu Lake Basin Based on Interaction Relationships of Morphotectonic, Morphoclimatic and Hydromorphic Processes. Journal of Geography and Regional Development, 19: 202-210. (In Farsi)

1995. Journal of Great Lakes Research. 29(3): 488-500.

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

Belgibayev, M. E. 2001. Desertification some ecological problems of Southern Pre-Balkhash region. In Materials of scientific-practice conference Problems of hydrometeorology and ecology. Almaty, 242-249.

Changnon, S. A. 2004. Temporal behavior of levels of the Great Lakes and climate variability. Journal of Great Lakes Research., 30(1): 184-200.

De Laat, P. J. M. 2001. Workshop on hydrology (lecture note), UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.

Hatami, Kh., Biglu, B., happy, c. 2010. Climatic Regions of Fars Province by Factor Analysis. Journal of geographical space, 32: 48-36. (In Farsi)

Khublaryan, M. G., Frolov, A. P., Yushmanov, I. O. 2008. Seawater intrusion into coastal aquifers. Water Resources., 35(3):274.

Kudekov, T. K. 2002. Modern ecological condition of Balkhash Lake basin. Almaty., 388.

Great Basin Unified Air Pollution Control District (GBUAPCD). 2003. Owens Valley PM10 planning area demonstration of attainment site implementation plan 2003 revision. Board Order 031113-01. Bishop., Calif.

Liu, Q., Yang, Z., Cui, B. 2008. Spatial and temporal variability of annual precipitation during 1961–2006 in Yellow River Basin., China. Journal of Hydrology, 361(3): 330-338.

Love, D., Uhlenbrook, S., Twomlow, S., Zaag, P. V. D. 2010. Changing hydroclimatic and discharge patterns in the northern Limpopo Basin, Zimbabwe. Water SA., 36(3): 335-350.

Mesbah, H. 2011. Investigation of the origin of Maharloo lake deposits. Agricultural and Natural Resources Research Center, Fars Province, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 40(2): 12-46. (In Farsi)

Modarres, R., da Silva, V. D. P. R. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. Journal of arid Environments., 70(2): 344-355.

Journal of Agricultural Meteorology
Vol. 5, No. 2, Autumn &Winter 2017, pp. 1-10

نشریه هواشناسی کشاورزی
جلد ۵، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۶، صص.۱۰-۱

Investigating the role of meteorological variables and excessive groundwater withdrawal on reduction of the Lake Maharloo water level

M. Kazemi[1], S. Feiznia[2], H. Khosravi[3*], H. Mesbah[4]

Received: 30/09/2015
Accepted: 20/01/2018

Abstract

Over the last few decades, the water level appears to have declined for most of the Lakes as a consequence of global warming. Besides, in addition to climatic factors, human activities have had profound impact on lowering lakes water level and ecosystem changes. The aim of this study was trend analysis of climatic factors (rainfall and evapotranspiration) and water balance (flow and underground water withdrawal) in Maharloo Lake region during last five decades using Man Kendall and Petit Tests. The results showed a %82 decrease of Lake water level. Rainfall did not show a significant trend at %1 significance level , but there exist a significant trend for evapotranspiration which might be a major cause for observed reduction of water level. Human activities and increased consumption and withdrawal in Maharloo basin may be considered as the other major affecting factors. Such that the discharge of Khoshkrood river which flows into the lake has significantly decreased since 2006.

Keywords: Maharloo, Water management, Man-Kendall, Trend, Rainfall, Evapotranspiration

[1] M. Sc. Graduate, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
[2] Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
[3] Associate Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(*Corresponding Author Email Address: hakhosravi@ut.ac.ir)

[4] Management coach, Fars, Research Center for Agriculture and Natural Resources