Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2018.257124.667905 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۲، خرداد و تیر ۱۳۹۸ (ص ۴۴۷-۴۳۷)

# The Role of Average Discharge Variations of Urmia Lake Rivers on Water Level Drop of the Lake

**HESSARI BEHZAD*[1], ZEINALZADEH KAMRAN[2]**
1. Assistant Professor, Agricultural Faculty, Urmia Lake Research Institute, Urmia University, Urmia, Iran
2. Associate Professor, Agricultural Faculty, Urmia Lake Research Institute, Urmia University, Urmia, Iran
(Received: May. 13, 2018- Revised: July. 4, 2018- Accepted: Aug. 21, 2018)

## ABSTRACT

Due to the importance of trend study of rivers discharges, in this paper, the trend of average discharge variations of the rivers in Urmia Lake basin was analyzed. Investigating the role of discharge changes, entering to the lake on lake's surface reduction was another goal of this study. For this purpose, the recorded data of 65 hydrometric stations (during 1978-2011) were analyzed. Non-parametric Mann-Kendall method considering autocorrelation effect was used for trend analysis in this paper. On the basis of the obtained results, discharge time series was significant at 95% confidence level in more than half of the stations (41 stations) having autocorrelation with 1-year lag. Also, more than half of the stations (58 stations) had a descending trend and this trend was significant at 95% confidence level in 38 stations. The average volume of surface water entering the lake have been reached from 4654 MCM in years before 1995 (the starting year of drying) to 2134 MCM in years after 1995. The time series of surface water entering the Urmia Lake had a decreasing trend and on the basis of t-student, the difference between average discharges during the two periods (after and before 1995) was significant at 95% confidence level. The results of this study shows a reduction in the surface waters across the whole basin area discharging to the Urmia Lake during the years after 1995 and the role of this phenomenon on the lake's water level fall. This emphasizes that the proper management of water resources in different consumption sectors including agriculture should be considered due to climatological governing situations.

**Keywords:** Trend analysis, Urmia Lake Basin, Average discharge, Mann Kendall.

*Corresponding Author's Email: b.hessari@urmia.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID



# نقش تغییرات آبدهی متوسط رودخانه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه در افت سطح آب دریاچه

**بهزاد حصاری[۱]، کامران زینال‌زاده[۲]**

۱. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۳- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۴/۱۳- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۵/۳۰)

## چکیده

با توجه به اهمیت مطالعه‌ی روند دبی رودخانه‌ها، در این تحقیق، روند تغییرات دبی متوسط رودخانه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نقش تغییرات دبی ورودی به دریاچه بر کاهش سطح آب دریاچه هدف دیگر تحقیق حاضر است. بدین‌منظور، آمار و اطلاعات مربوط به ۶۵ ایستگاه هیدرومتری (بین سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۵۷) مورد تحلیل قرار گرفت. آزمون ناپارامتری من‌کندال با در نظر گرفتن اثر خودهمبستگی برای بررسی روند در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نتایج، سری زمانی دبی در بیش از نیمی از ایستگاه‌ها (۴۱ ایستگاه) دارای خودهمبستگی با تاخیر یکساله در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین بیش از نیمی از ایستگاه‌ها (۵۸ ایستگاه) دارای روند کاهشی بوده و این روند کاهشی در ۳۸ ایستگاه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود. مقدار مجموع آب سطحی ورودی به دریاچه‌ی ارومیه نیز از ۴۶۵۴ میلیون مترمکعب در سال‌های قبل از ۱۳۷۴ (سال شروع خشک شدن دریاچه) به ۲۱۳۴ میلیون مترمکعب در سال‌های بعد از ۱۳۷۴ رسیده است. سری زمانی آب سطحی ورودی به دریاچه ارومیه دارای روند کاهشی بوده و براساس نتایج آزمون t استیودنت اختلاف در میانگین دو دوره طی بازه زمانی قبل و بعد از سال ۱۳۷۴ در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده‌ی کاهش آب‌های سطحی در سراسر حوضه و ورودی به دریاچه‌ی ارومیه در سال‌های بعد از ۱۳۷۴ و نقش این کاهش در افت سطح آب دریاچه ارومیه می‌باشد و بر ضرورت مدیریت صحیح منابع آب و مصارف در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی با توجه به شرایط حاکم اقلیمی تاکید دارد.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل روند، حوضه آبریز دریاچه ارومیه، دبی متوسط، من‌کندال.

## مقدمه

دریاچه‌ی ارومیه یکی از مهم‌ترین و ارزشمندترین زیست‌بوم‌های آبی ایران، بزرگ‌ترین دریاچه‌ی داخلی ایران و دومین دریاچه‌ی آب شور دنیا است و به دلیل اهمیت زیست‌محیطی به‌عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره در مجامع جهانی به ثبت رسیده و مورد حمایت بین‌المللی قرار گرفته است (Anonymous 2010). این دریاچه با مساحت تقریبی ۵۰۰۰ کیلومترمربع در بالاترین تراز، بزرگترین دریاچه داخلی ایران و دومین دریاچه بزرگ شور دنیا می‌باشد (Hassanzadeh *et al*. 2012; Shadkam *et al*. 2016). دریاچه‌ی ارومیه مقصد نهایی مجموعه‌ای از رودخانه‌های شمال غرب است که اهمیت بسیاری در بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی این منطقه دارد. در سال‌های اخیر روند نزولی تراز دریاچه‌ی ارومیه نگران‌کننده و مشکل‌ساز شده است. از آنجایی که حجم و تراز پیکره‌های آبی تابع عوامل بیلان و متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی مؤثر بر آن است، تحلیل روند سری زمانی این متغیرها در بررسی علل افت تراز پیکره‌ها ضرورت دارد.

روند، یکی از اصلی‌ترین عوامل ناایستایی است که تأثیر آن، تغییر تدریجی در سری زمانی می‌باشد و عوامل مختلفی از درون و خارج سیستم می‌تواند آن را سبب گردد. آزمون‌های مختلفی برای تشخیص روند در سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی وجود دارد. این آزمون‌ها به دو دسته‌ی پارامتری و ناپارامتری تقسیم‌بندی می‌شوند. روش‌های پارامتری نسبت به روش‌های ناپارامتری توان بیشتری در تعیین روند دارند، اما در روش‌های پارامتری فرضیاتی نظیر نرمال بودن، ایستایی و مستقل بودن داده‌ها از هم وجود دارد و ممکن است این فرضیات برای متغیرهای هیدرولوژیک صادق نباشد. برخلاف روش‌های پارامتری، روش‌های ناپارامتری همانند من‌کندال[۱]

* نویسنده مسئول: b_hessari@yahoo.com

1. Mann–Kendall

www.SID.ir

Archive of SID


(Kendall, 1975; Mann, 1945) و اسپیرمن‌رائو[1] نیازی به مفروضات مذکور ندارند (Zhang *et al*., 2001)، به‌همین دلیل آزمون‌های پارامتری بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند (Rosmann *et al*., 2016؛ Shadmani *et al*., 2012). بر اساس نتایج به‌دست آمده، توان دو آزمون برای تشخیص روند مشابه می‌باشد (Yue *et al*. 2002a).

بررسی منابع نشان می‌دهد که محققان بسیاری در مطالعات خود به بررسی روند متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی در طی سال‌های اخیر پرداخته‌اند. برخی از این مطالعات مربوط به بررسی روند تغییرات متغیرها در غرب و شمال‌غرب کشور خصوصا حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه بوده است. در مطالعه‌ای، روند تبخیر-تعرق پتانسیل در سه مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه در ۲۰ ایستگاه هواشناسی واقع در نیمه‌ی غربی کشور طی بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۶۶ مورد بررسی قرار گرفت (Tabari *et al*., 2011). نتایج این تحقیق نشان داد که سری‌های سالانه ۷۰ درصد از ایستگاه‌ها، روند افزایشی داشتند. در مطالعه ایشان، فصول تابستان و زمستان از روند صعودی بیشتری برخوردار بوده و روند افزایشی در تبخیر-تعرق در اکثر ماه‌ها در مقیاس ماهانه وجود داشت. Dinpashoh *et al*. (2011)، تبخیر-تعرق گیاه مرجع را در غرب کشور مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که میزان تبخیر-تعرق ماهانه افزایش یافته است. Fathian and Morid (2012) روند متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیک را در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه تا سال ۱۳۸۶ مورد بررسی قرار دادند. نتایج ۱۱ ایستگاه دماسنجی، ۳۵ ایستگاه باران‌سنجی و ۳۵ ایستگاه آب‌سنجی در مطالعه ایشان نشان داد که دما دارای روند افزایشی بوده اما روند سالانه و فصلی بارندگی و دبی در اکثر ایستگاه‌های واقع در سطح حوضه کاهشی بود. Delju *et al*. (2013) تغییرات سالانه پارامترهایی نظیر دمای خشک، بارش، تعداد روزهای بارانی و برفی و دمای حداقل و حداکثر را مورد ارزیابی قرار دادند. ایشان نتیجه گرفتند که در طی بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۶۴، دما در حدود ۰/۸ درجه افزایش و بارش در حدود نه درصد کاهش یافته و دوره‌های خشکسالی در دهه آخر بازه موردمطالعه با شدت بیشتری به‌وقوع پیوسته است. در مطالعه‌ای، اثر تغییرات بارش و دما بر روند جریان رودخانه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفت (Farokhnia and Morid, 2014). نتایج مربوط به ۲۵ ایستگاه هیدرومتری تا سال ۱۳۸۸ نشان داد که دبی در حوضه‌ی موردمطالعه دارای روند کاهشی بوده است. همچنین نتایج نشان‌دهنده تاثیر کم روند پارامترهایی نظیر دما و بارش بر تغییرات کاهش دبی در حوضه‌ی موردمطالعه بوده است. Amirataee and Zeinalzadeh (2016)، روند پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی را در دشت ارومیه موردمطالعه قرار دادند. ایشان از آمار ۱۰ ایستگاه پیزومتری و ۱۲ ایستگاه سنجش کیفیت استفاده نمودند. نتایج مطالعه مذکور نشان‌دهنده‌ی روند کاهشی تراز آب زیرزمینی در اکثر ایستگاه‌های پیزومتری واقع در دشت موردمطالعه بود. Salehi Bavil *et al*. (2017)، روند تغییرات فراوانی بارندگی روزانه را در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه بررسی نمودند. ایشان از آمار ۶۰ ایستگاه واقع در حوضه‌ی مذکور طی بازه زمانی ۲۰۱۱-۱۹۸۱ استفاده نمودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، روند فراوانی بارندگی‌های با مقدار کم (کمتر از پنج میلی‌متر) افزایشی و روند فراوانی بارندگی‌های با مقدار زیاد (بیشتر از ۱۵ میلی‌متر) کاهشی بود. Pirnia *et al*. (2017) برای ارزیابی کیفیت آب سطحی توسط آزمون من‌کندال رودخانه هراز از داده‌های کیفی طی دوره آماری ۱۳۹۴-۱۳۷۰ استفاده نمودند. نتایج بررسی مذکور نشان داد که بیشتر سری‌های زمانی مربوط به کیفیت آب در رودخانه‌ی هراز دارای روند افزایشی معنی‌دار بودند که نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب این رودخانه می‌باشد. Khorooshi *et al*. (2017) برای تجزیه و تحلیل تغییرات سلامت رودخانه از آمار دبی روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه‌های استان اردبیل طی دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۶۷ و آزمون من‌کندال استفاده نمودند. نتایج این مطالعه روند کاهشی معنی‌دار سلامت رودخانه در ۱۳ ایستگاه از ۲۴ ایستگاه مورد بررسی را نشان داد.

در اغلب مطالعات صورت گرفته برای ارزیابی روند تغییرات سری‌های زمانی، از روش‌های متداول آزمون‌های ناپارامتریک من‌کندال و یا اسپیرمن‌رائو استفاده شده و اثر خودهمبستگی در سری‌های زمانی منظور نشده است. خودهمبستگی موجود در سری‌های زمانی در روند سری‌های زمانی تاثیرگذار بوده و می‌تواند نتایج روند را تغییر دهد (Yue and Wang, 2002; Khaliq *et al*., 2009). بنابراین برای ارائه نتایج صحیح از تحلیل روند سری‌های زمانی موردمطالعه، توجه به مقادیر خودهمبستگی و حذف اثر آن از اهمیت بالایی برخوردار است. مطالعه این ضریب محدود به تحقیقات اندکی از قبیل Ahani *et al*. (2012)، Daneshvar Vousoughi *et al*. (2013) و Amirataee and Zeinalzadeh (2016) می‌شود.

تغییرات سطح تراز هر دریاچه‌ای تابع مقدار نوسانات منبع تغذیه (آب ورودی) و میزان تغییرات مقدار آب خروجی از آن (مقدار تخلیه) می‌باشد که شرایط اقلیمی و عوامل طبیعی به-

1. Spearman's Rho

www.SID.ir

Archive of SID



همراه عوامل انسانی در این امر دخیل‌اند. دریاچه‌ی ارومیه نیز از این اصل مستثنی نبوده و نوسانات متوسط دبی آب ورودی از طریق رودخانه‌ها به این دریاچه، یکی از عوامل مهم تغییرات سطح تراز آن می‌باشد. مرور منابع نشان می‌دهد که علی‌رغم اهمیت و نقش تغییرات دبی آب ورودی به دریاچه ارومیه در کاهش سطح آن، تحقیقی مبنی بر بررسی نقش تغییرات دبی متوسط رودخانه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه در افت سطح آب دریاچه که هدف اصلی پژوهش حاضر می‌باشد، صورت نگرفته است. لازم به‌ذکر است که وجود نتایج مربوط به تغییرات ورودی به دریاچه‌ی ارومیه، تعداد زیاد ایستگاه‌های مورد بررسی و در نظر گرفتن تاثیر ضریب خودهمبستگی در روند پارامترها بر اهمیت مطالعه حاضر نسبت به سایر مطالعات صورت گرفته در این زمینه می‌افزاید.

## مواد و روش‌ها

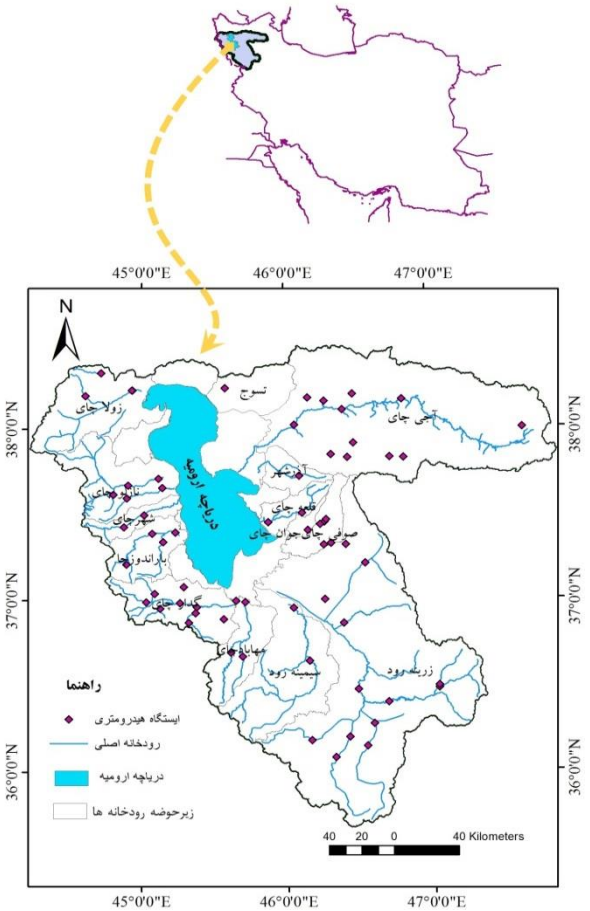
### منطقه موردمطالعه

حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه با وسعتی در حدود ۵۲۰۰۰ کیلومترمربع در شمال غرب ایران در حدفاصل بخش‌های شمالی رشته‌کوه‌های زاگرس و دامنه‌های جنوبی سهند و نیز دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند، بین مختصات جغرافیایی ′۱۴ °۴۴ تا ′۵۳ °۴۷ طول شرقی و ′۴۰ °۳۵ تا ′۲۰ °۳۸ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). مساحت این حوضه نسبت به‌کل سطح کشور حدود ۳/۱۵ درصد و منابع آب سطحی آن حدود هفت درصد از کل منابع آب کشور است. دریاچه‌ی ارومیه که پهناورترین دریاچه‌ی داخلی کشور محسوب می‌شود، در پست‌ترین اراضی واقع میان دو استان آذربایجان شرقی و غربی و میان دو گسل تبریز در شمال و زرینه‌رود در جنوب قرار گرفته است. در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه تعداد زیادی رودخانه‌های بزرگ و کوچک جریان داشته که طول آن‌ها از ۲۰ کیلومتر در مسیل‌های شمال دریاچه تا ۲۶۰ کیلومتر مربوط به آجی‌چای متغیر می‌باشد.

در این پژوهش، تغییرات دبی متوسط و لحظه‌ای ۱۴ رودخانه‌ی واقع در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه شامل زولاچای، شهرچای، نازلوچای، باراندوزچای، گدارچای، مهابادچای، زرینه‌رود، سیمینه‌رود، صوفی‌چای، جوان‌چای، قلعه-چای، آذرشهر، آجی‌چای و تسوج موردمطالعه قرار گرفته است. بدین‌منظور آمار و اطلاعات متوسط دبی ماهانه‌ی ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در سطح حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه از سازمان تحقیقات منابع آب ایران (تماب) دریافت گردید. این اطلاعات شامل آمار دبی ۱۶۶ ایستگاه هیدرومتری در سطح حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه با آمارهای پراکنده از سال ۱۳۲۸ تا ۱۳۹۳ بودند. با حذف ایستگاه‌های دارای اطلاعات کم، تعداد ۶۵ ایستگاه هیدرومتری که دارای اطلاعات منسجم‌تر بودند، برای بررسی روند در طول دوره ۱۳۹۰-۱۳۵۷، انتخاب شدند. شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در زیرحوضه هر رودخانه را نشان می‌دهد.

### تحلیل روند

به‌منظور آشکارسازی تغییرات از دیدگاه آماری، روش‌های خاصی به‌کار گرفته می‌شود. هدف از آزمون روند، بررسی وجود سیر افزایشی یا کاهشی در سری زمانی داده‌ها است که با استفاده از روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک قابل انجام است. برای روش‌های پارامتریک وجود فرضیاتی مانند نرمال بودن، ایستایی و استقلال داده‌ها لازم است. ازآنجایی‌که سری‌های هیدرولوژیکی معمولاً چنین شرایطی ندارند و دارای داده‌های بریده هستند، لذا روش‌های ناپارامتریک کاربرد بیشتری دارند (Mirabbasi Najafabadi and Dinpashoh, 2010). از روش‌های متداول برای تعیین روند می‌توان روش ناپارامتری من‌کندال[1] را نام برد.




**شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های هیدرومتری موردمطالعه**

1. Mann-Kendall

www.SID.ir

Archive of SID


**آزمون من‌کندال:** آزمون ناپارامتری من‌کندال که توسط Mann (1945) مطرح و توسط Kendall (1975) تکمیل شده است، بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار می‌باشد. مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از رتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرهاست که به دلیل وجود چنین خاصیتی، می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد و نیازی نیست که داده‌ها در قالب توزیع خاصی درآیند. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای این روش است (Xu and Singh, 2004). روابط (۱) تا (۴) مراحل محاسبه‌ی آماره این آزمون را نشان می‌دهند.

$$S=\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N}\mathrm{sgn}(x_j-x_i) \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

$$\mathrm{sgn}(x_j-x_i)=\begin{cases}+1 & if\,(x_j-x_i)\rangle 0\\ 0 & if\,(x_j-x_i)=0\\ -1 & if\,(x_j-x_i)\langle 0\end{cases} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

(رابطه ۳)

$$Var(S)=\frac{1}{18}[N(N-1)(2N+5)-\sum_{i=1}^{m}t_i(t_i-1)(2t_i+5)]$$

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & if\ S\rangle 0\\ 0 & if\ S=0\\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & if\ S\langle 0\end{cases} \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

که در آن، $x_i$ و $x_j$ به ترتیب داده‌های متوالی در سال i و j، N طول دوره‌ی آماری، sgn(xj-xi) تابع علامت، Var(S) واریانس آماره S که دارای میانگین صفر بوده و به ازای $n\geq 8$ دارای توزیع نرمال می باشد، $t_i$ تعداد داده‌ی یکسان در دسته iام، m تعداد سری‌هایی که در آنها حداقل یک داده‌ی تکراری وجود دارد و Z آماره آزمون می‌باشد. مقدار منفی Z بیانگر روند کاهشی و مقدار مثبت آن نشان‌دهنده روند افزایشی درسری داده‌ها می‌باشد. با توجه به سطح معنی‌داری ۹۵ درصد، اگر |Z|> ۱/۹۶ باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار است (Yue *et al.*, 2002a؛ Shadmani *et al.*, 2012). لازم به‌ذکر است که برای کاربرد صحیح آزمون من‌کندال، خودهمبستگی موجود در داده‌ها باید حذف گردند (Shadmani *et al.*, 2012). یکی از روش‌های حذف اثر خودهمبستگی، روش پیش‌سفیدکردن[1] می‌باشد که توسط Yue *et al.* (2002b) پیشنهاد شده است. افراد بسیاری همچون Shadmani *et al.* (2012) و Gao *et al.* (2017) از این روش در مطالعات خود بهره جسته‌اند.

**بررسی تغییرات میانگین دبی**

برای بررسی نقش تغییرات دبی در کاهش سطح آب دریاچه ارومیه، سال ۱۳۷۴ مصادف با خشک شدن دریاچه‌ی ارومیه به‌عنوان سال مبنا در نظر گرفته شد. با این کار سری زمانی دبی در هر ایستگاه به دو دسته قبل و بعد از سال ۱۳۷۴ تقسیم شد. برای مقایسه میانگین دو سری به‌دست آمده برای هر ایستگاه از آزمون t استیودنت استفاده شد. مراحل محاسبه آماره‌ی آزمون اشاره شده در ذیل به‌تفصیل ارائه شده است.

**آزمون t استیودنت[2]:** t استیودنت یک روش پارامتری است و آزمون می‌کند که آیا میانگین دو قسمت از یک سری آماری متفاوت هستند یا نه. این آزمون فرض می‌کند که آمار به‌طور نرمال توزیع شده‌اند. آماره‌ی آزمون مذکور در رابطه (۵) ارائه شده است. لازم به‌ذکر است که مقادیر بحرانی این آزمون از جدول احتمالی t استیودنت به‌دست می‌آید.

$$t=\frac{\left|\bar{x}-\bar{y}\right|}{S\sqrt{\frac{2}{n}}} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

$$S^2=\frac{(S_1^2+S_2^2)}{2} \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

که در آن، مقادیر $\bar{x}$ و $\bar{y}$ به‌ترتیب میانگین دوره قبل و بعد از سال ۱۳۷۴ و m و n تعداد مشاهدات هر دوره است. مقدار S نیز انحراف معیار نمونه (مشاهدات m و n توأمان) می‌باشد.

## نتایج و بحث

**تغییرات دبی متوسط در حوضه آبریز دریاچه ارومیه**

سری زمانی دبی متوسط ماهانه در ایستگاه ساری‌قمیش که دارای بیشترین مقدار دبی در بین ایستگاه‌های موردمطالعه بود، در شکل (۲) ارئه شده است. مقدار دبی متوسط در این ایستگاه بیش از ۴۵ متر مکعب بر ثانیه در طی بازه زمانی موردمطالعه می‌باشد. نتایج این شکل نشان می‌دهد که تغییرات دبی در این ایستگاه کاهشی است.

برای تعیین مقادیر صحیح روند، مشخص نمودن مقدار ضریب خودهمبستگی داده‌های موردمطالعه ضروری است. در این پژوهش، برای تعیین روند داده‌های دارای خودهمبستگی با

1. Trend-Free Pre-Whitening (TFPW) approach

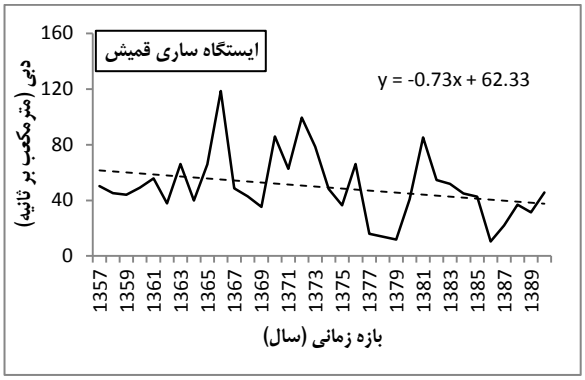
2. Student's Test

www.SID.ir

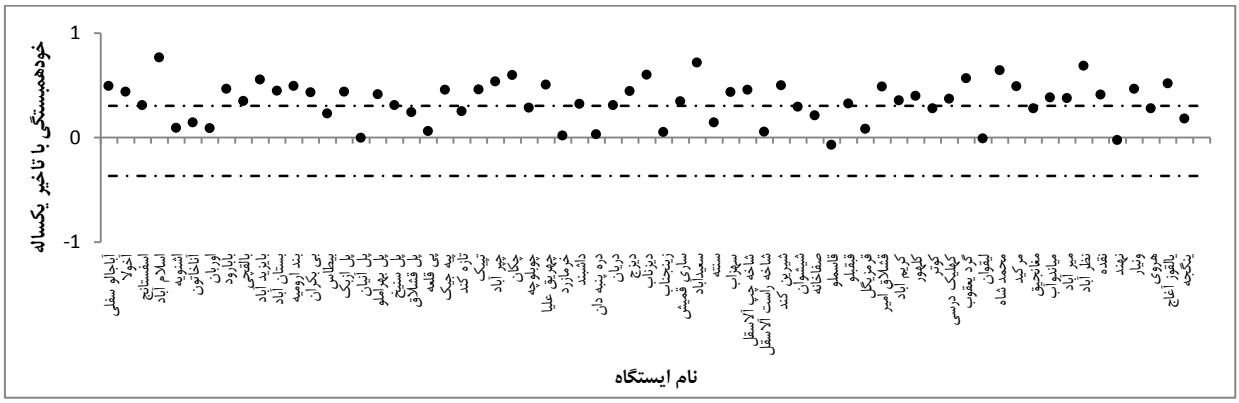
Archive of SID



تاخیر یکساله معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ابتدا توسط روش پیش‌سفیدکردن، اثر خودهمبستگی از داده‌ها حذف شده و سپس آزمون من‌کندال برای تعیین روند مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۳) مقدار این ضریب را برای مقادیر متوسط ماهانه در ایستگاه‌های موردمطالعه ارائه می‌دهد. بر اساس نتایج شکل (۳)، دبی اکثر ایستگاه‌ها (۴۱ ایستگاه) دارای خودهمبستگی با تاخیر یکساله معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد در سری زمانی خود بوده و بر این اساس، برای اکثر ایستگاه‌ها قبل از کاربرد آزمون من‌کندال برای تعیین مقدار روند، از روش پیش سفیدکردن برای حذف اثر خودهمبستگی از داده‌ها استفاده شد.




**شکل ۲. سری زمانی مقادیر دبی متوسط در چهار ایستگاه با حداکثر دبی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه**




**شکل ۳. مقادیر ضریب خودهمبستگی داخلی با تاخیر یکساله در ایستگاه‌های موردمطالعه**

درصد ایستگاه‌های دارای روند کاهشی یا افزایشی محاسبه شده بر اساس روش من‌کندال در شکل (۴) ارائه شده است. با توجه به شکل (۴)، ۵۲ ایستگاه دارای روند کاهشی و ۱۲ ایستگاه دارای روند افزایشی می‌باشند. روند کاهشی مربوط به ۳۸ ایستگاه و روند افزایشی مربوط به سه ایستگاه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. روند مقدار دبی متوسط در ایستگاه قاسملو صفر می‌باشد.

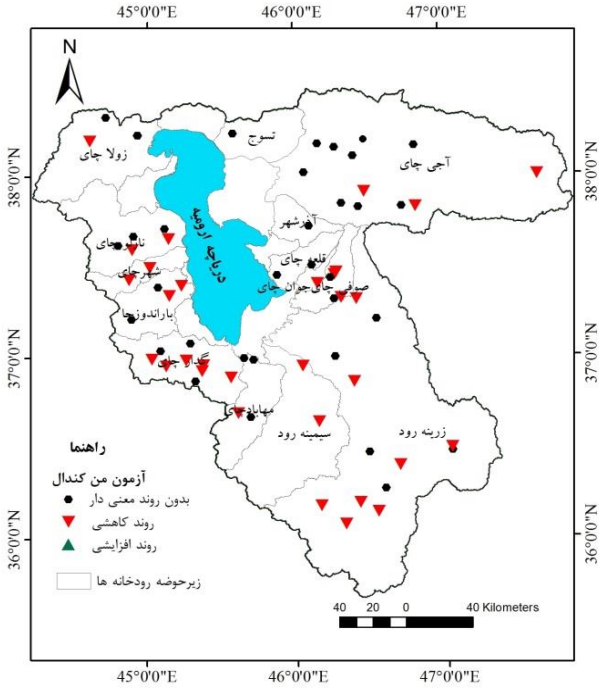
**شکل ۴. درصد ایستگاه‌های دارای روند کاهشی یا افزایشی در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه**

توزیع مکانی مقدار روند ایستگاه‌های موردمطالعه در شکل (۵) ارائه شده است. با توجه به نتایج شکل مذکور، روند دبی در اکثر ایستگاه‌های واقع در شمال‌شرقی حوضه معنی‌دار نمی‌باشد، اما این روند در دبی ایستگاه‌های واقع در رودخانه‌های مهم همانند زرینه‌رود واقع در جنوب حوضه کاهشی بوده که نشان-دهنده‌ی کاهش میزان ورودی به دریاچه سد بوکان و دریاچه‌ی ارومیه می‌باشد.

نتایج دو شکل (۴) و (۵) نشان‌دهنده‌ی روند کاهشی مقدار دبی متوسط در اکثر ایستگاه‌های موردمطالعه در سطح حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه می‌باشد. نتایج مطالعه‌ی حاضر مبنی بر کاهشی بودن روند تغییرات مقدار دبی متوسط در سطح حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه با نتایج Fathian and Morid (2012) و Farokhnia and Morid (2014) همخوانی دارد. این روند کاهشی می‌تواند روی تغییر رویه کشاورزان برای تامین آب از منابع دیگر موثر باشد. زیرا با کاهش مقدار آب سطحی، کشاورزان به‌ناچار اقدام به حفاری چاه و استخراج آب زیرزمینی برای آبیاری محصولات خود نموده‌اند. این امر منجر به کاهش ذخایر آب زیرزمینی و تخلیه آبخوان‌ها شده است. از سوی دیگر، کاهش مقدار دبی مربوط به آب‌های سطحی، کاهش آب ورودی به دریاچه ارومیه را در پی داشته است.

www.SID.ir

Archive of SID

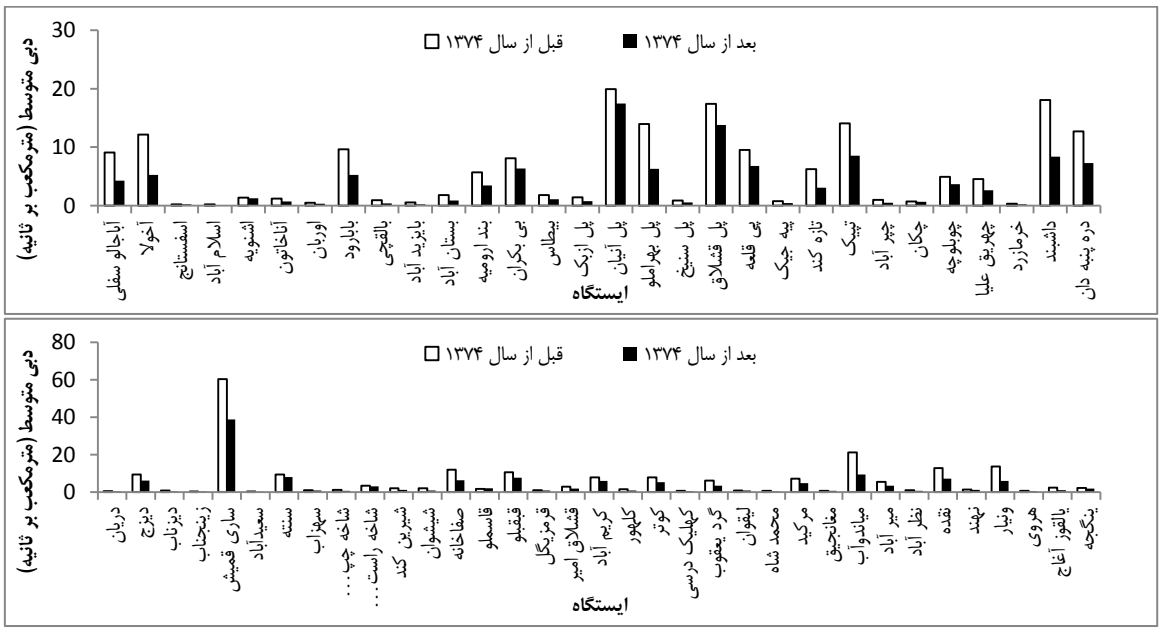

**شکل ۵. توزیع مکانی روند مقدار دبی متوسط در ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه**

### تغییرات دبی ورودی به دریاچه ارومیه

مرور منابع نشان می‌دهد که دریاچه‌ی ارومیه در حال خشک شدن است و این خشکی از سال ۱۳۷۴ به‌صورت چشمگیری آغاز شده است. بنابراین با در نظر گرفتن سال ۱۳۷۴ به‌عنوان سال مبنا، تغییرات مقدار متوسط دبی ایستگاه‌ها در سال‌های قبل و بعد از ۱۳۷۴ مورد ارزیابی قرار گرفت. مقدار متوسط دبی ایستگاه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه قبل و بعد از سال ۱۳۷۴ در شکل (۶) ارائه شده است. بر اساس نتایج شکل (۶)، در همه‌ی ایستگاه‌های موردمطالعه جز قاسملو، مقدار میانگین دبی در بازه‌ی زمانی بعد از سال ۱۳۷۴ نسبت به قبل آن کاهش یافته است. همانطور که قبلا اشاره شد روند مقدار دبی متوسط در ایستگاه قاسملو صفر می‌باشد.

برای کمی نمودن نتایج شکل (۶) از آماره t استیودنت استفاده شد. نتایج این آماره در جدول (۱) ارائه شده است. بر اساس نتایج این جدول، میانگین دو دوره‌ی قبل و بعد از سال ۱۳۷۴ در ۴۷ ایستگاه (۷۲/۳ درصد) دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. نتایج جدول (۱) برای ایستگاه‌های مورد مطالعه و مقدار متوسط آماره t (۲/۸) در جدول مذکور نشان می‌دهد که به‌طور متوسط، مقدار میانگین دبی در طی سال‌های قبل و بعد از ۱۳۷۴ در اکثر ایستگاه‌های حوضه‌ی آبریز دارای اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد خواهند بود.

علاوه بر این، برای بررسی تغییرات دبی تخلیه به دریاچه‌ی ارومیه، اطلاعات دبی ایستگاه‌های هیدرومتری که در نزدیکی رودخانه‌های ورودی به دریاچه‌ی ارومیه هستند، به‌طور مجزا مورد بررسی قرار گرفت. نمودار باکس پلات (از پایین: مینیمم، ۲۵ درصد، ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ماکزیمم) تغییرات سری زمانی دبی متوسط در ایستگاه‌های منتهی به دریاچه در شکل (۷) ارائه شده است. بر اساس نتایج شکل (۷)، بیشترین دبی ورودی به دریاچه طی بازه زمانی ۱۳۷۶-۱۳۶۲ بوده و بعد از این سال‌ها کاهش در دبی ورودی اتفاق افتاده است. کمترین حجم ورودی به دریاچه طی بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۷۷ بوده و در سال‌های آتی نیز آب ورودی به دریاچه نسبت به سال‌های اولیه‌ی دوره‌ی مطالعاتی کاهش یافته است.




**شکل ۶. مقدار متوسط دبی ایستگاه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه قبل و بعد از سال ۱۳۷۴**

www.SID.ir

Archive of SID

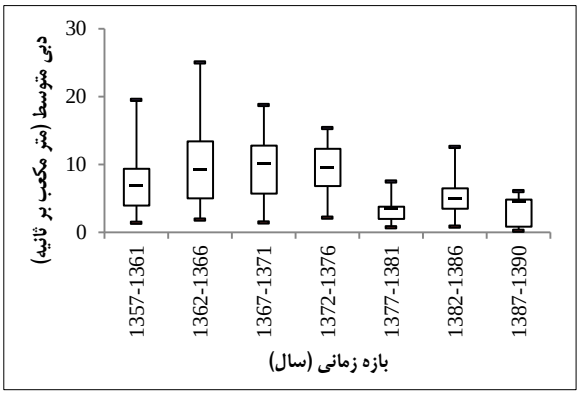


**جدول ۱. نتایج مقایسه میانگین دو دوره‌ی قبل و بعد از خشک شدن دریاچه بر اساس آزمون t استیودنت**

| ایستگاه | مقدار آماره | ایستگاه | مقدار آماره | ایستگاه | مقدار آماره |
|---|---|---|---|---|---|
| آباجالو سفلی | ۳/۱* | تپیک | ۳/۰* | قبقبلو | ۲/۱* |
| آخولا | ۴/۰* | چپر آباد | ۳/۹* | قرمزیگل | ۱/۱ |
| اسفستانج | ۰/۷ | چکان | ۰/۴ | قشلاق امیر | ۳/۴* |
| اسلام آباد | ۳/۹* | چوبلوچه | ۱/۹ | کریم آباد | ۲/۴* |
| اشنویه | ۰/۳ | چهریق علیا | ۳/۶* | کلهور | ۲/۹* |
| آناخاتون | ۲/۹* | خرمازرد | ۱/۸ | کوتر | ۲/۸* |
| اوربان | ۲/۴* | داشبند | ۴/۲* | کهلیک درسی | ۱/۷ |
| بابارود | ۳/۷* | دره پنبه دان | ۲/۶* | گرد یعقوب | ۲/۷* |
| بالقچی | ۳/۴* | دریان | ۱/۹ | لیقوان | ۱/۲ |
| بایزید آباد | ۴/۹* | دیزج | ۳/۳* | محمد شاه | ۴/۲* |
| بستان آباد | ۴/۷* | دیزناب | ۴/۷* | مرکید | ۲/۵* |
| بند ارومیه | ۳/۱* | زینجناب | ۰/۵ | مغانجیق | ۱/۳ |
| بی بکران | ۲/۱* | ساری قمیش | ۲/۹* | میاندوآب | ۴/۲* |
| بیطاس | ۲/۷* | سعیدآباد | ۶/۵* | میر آباد | ۳/۴* |
| پل ازبک | ۳/۱* | سنته | ۱/۱ | نظر آباد | ۴/۴* |
| پل آنیان | ۰/۷ | سهزاب | ۲/۸* | نقده | ۴/۲* |
| پل بهراملو | ۴/۴* | شاخه چپ آلاسقل | ۳/۰* | نهند | ۱/۱ |
| پل سنیخ | ۳/۴* | شاخه راست آلاسقل | ۰/۷ | ونیار | ۵/۳* |
| پل قشلاق | ۱/۷ | شیرین کند | ۳/۲* | هروی | ۳/۴* |
| پی قلعه | ۲/۸* | شیشوان | ۲/۶* | یالقوز آغاج | ۳/۱* |
| پیه جیک | ۴/۵* | صفاخانه | ۳/۶* | ینگجه | ۱/۱ |
| تازه کند | ۳/۳* | قاسملو | ۰/۳ | متوسط | ۲/۸* |

*: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

متوسط حجم آب ورودی به دریاچه ارومیه در ایستگاه‌های منتهی به دریاچه در شکل (۸) ارائه شده است. بر اساس این شکل، ایستگاه نظام‌آباد و در مرتبه دوم، ایستگاه میاندوآب، حداکثر حجم آب ورودی به دریاچه ارومیه را داشته‌اند.




**شکل ۷. تغییرات دبی متوسط نسبت به زمان در ایستگاه‌های منتهی به دریاچه‌ی ارومیه**

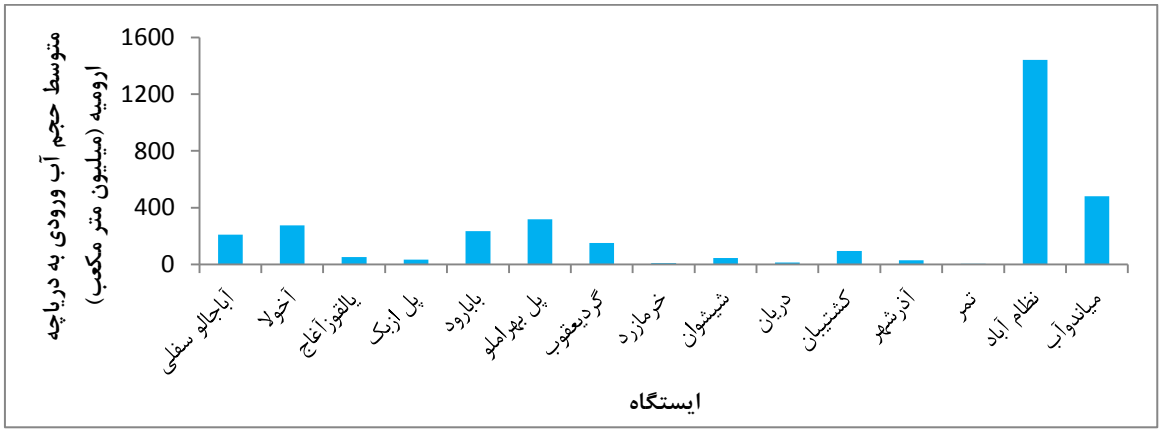
سری زمانی مجموع حجم آب سطحی ورودی به دریاچه برحسب میلیون متر مکعب برای بازه‌ی زمانی ۱۳۹۰-۱۳۵۷ در شکل (۹) ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، در سال‌های بعد از ۱۳۷۴ (سال شروع خشک شدن دریاچه ارومیه)، حجم آب سطحی ورودی به دریاچه نسبت به سال‌های قبل از ۱۳۷۴ به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. به‌طوری‌که مقدار حجم ورودی به دریاچه از ۴۶۵۴ میلیون‌متر مکعب در سال‌های قبل از ۱۳۷۴ به ۲۱۳۴ میلیون‌مترمکعب در سال‌های بعد از ۱۳۷۴ رسیده است. روند کاهشی سری زمانی آب سطحی ورودی به دریاچه‌ی ارومیه کاملا مشهود بوده و بر-اساس نتایج آزمون t استیودنت، اختلاف در میانگین دو دوره طی بازه زمانی قبل و بعد از سال ۱۳۷۴ در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. لازم به‌ذکر است، افزایش اراضی کشاورزی و به‌تبع آن افزایش آب مصرفی در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه (Hesami and Amini, 2016) به‌همراه تغییر اقلیم اتفاق افتاده در منطقه (کاهش بارش و افزایش دما (Fathian *et al.*, 2016)) باعث کاهش ورودی‌ها به دریاچه ارومیه شده است. همچنین در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، نه-تنها میزان بارش کاهش یافته بلکه روند فراوانی بارش‌های نیز تغییر یافته است. بر اساس نتایج Salehi Bavil *et al.* (2017)، روند فراوانی بارندگی‌های با مقدار زیاد (بیشتر از ۱۵ میلی‌متر)

www.SID.ir

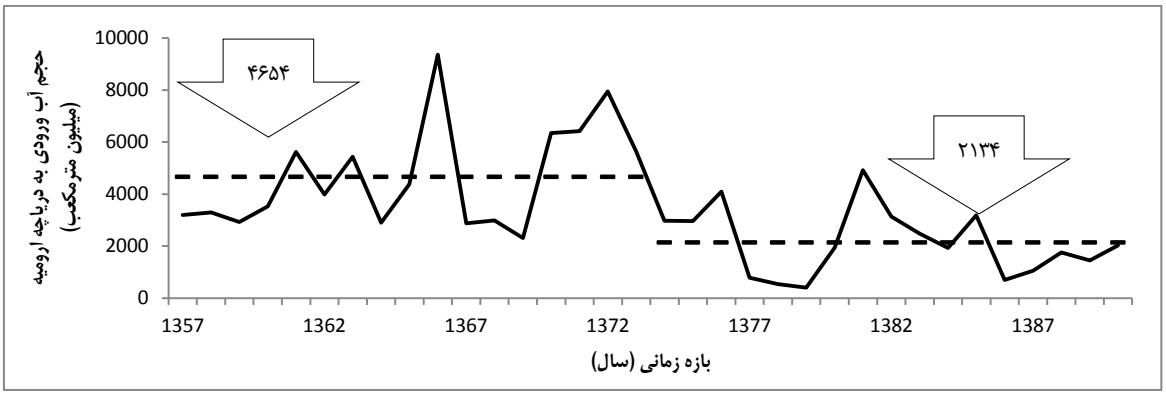
Archive of SID


کاهشی و بالعکس روند فراوانی بارندگی‌های با مقدار کم (کمتر از پنج میلی‌متر) افزایشی بوده است. همچنین باید اشاره داشت که در برخی از حوضه‌های موردمطالعه، سد وجود داشته و کاربرد آب تنظیمی این سازه برای فعالیت‌های انسانی، به‌خصوص در بخش کشاورزی با افزایش سطح زیر کشت بدون کنترل و مدیریت مناسب، بر بحران منطقه افزوده است. بر اساس نتایج Hassanzadeh *et al.* (2012)، تغییرات جریانات ناشی از تغییرات آب و هوایی و استفاده بیش از حد از منابع آب سطحی (با ۶۵ درصد تاثیر) عامل اصلی در کاهش سطح آب دریاچه ارومیه می‌باشد. ایشان ۲۵ درصد مشکلات دریاچه ارومیه را مربوط به ساخت چهار سد مخزنی بزرگ نهند، علویان، مهاباد و بوکان (شهید کاظمی) گزارش نموده‌اند. همچنین، کاهش بارندگی در سال‌های اخیر (با ۱۰ درصد تاثیر) از عوامل بعدی در کاهش سطح آب دریاچه معرفی شد. شکل (۱۰) آب قابل تنظیم تجمعی در پشت سدهای حوضه را نشان می‌دهد.

لازم به‌ذکر است که در شکل مذکور، افزایش ارتفاع سد شهید کاظمی بوکان در سال ۱۳۸۴ و تغییر حجم نرمال (از ۶۵۰ به ۲۳۲ میلیون متر مکعب) و حجم آب قابل تنظیم تجمعی (از ۶۰۵ به ۴۲۵ میلیون متر مکعب) سد مذکور نسبت به سال ۱۳۵۰ لحاظ گردیده است. بر اساس نتایج شکل (۱۰) که مطابق با نتایج Shadkam *et al.* (2016) می‌باشد، از سال ۱۳۷۴ (سال شروع خشکسالی دریاچه) به بعد، آب قابل تنظیم تجمعی مخازن حوضه افزایش یافته است. این امر نشان‌دهنده مهار آب‌های سطحی توسط سدهای ساخته شده در سطح حوضه و کاربرد آن برای مصارف مختلف از جمله کشاورزی می‌باشد. به‌عبارت دیگر بر اساس نتایج شکل مذکور، با گسترش سدسازی و اطمینان از وجود آب در منطقه، اراضی کشاورزی توسعه یافته و بخشی از آب‌های سطحی مهار شده توسط مخازن صرف آبیاری محصولات کشت شده گشته‌اند.




**شکل ۸. متوسط حجم آب ورودی به دریاچه ارومیه در ایستگاه‌های منتهی به دریاچه**

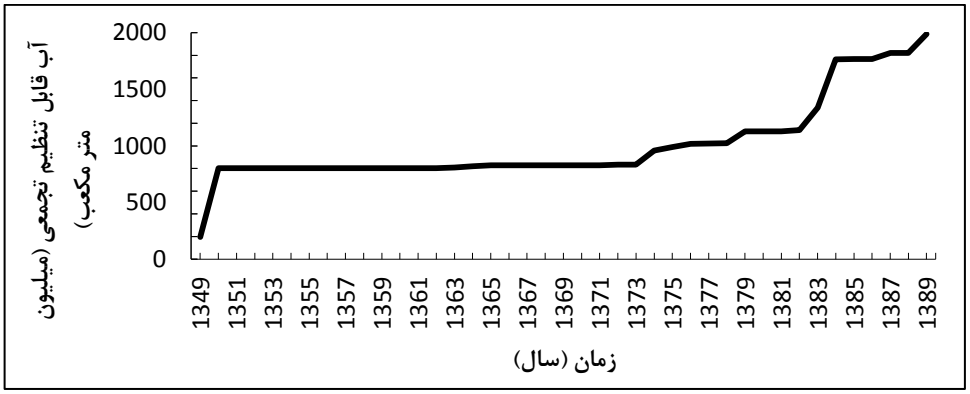



**شکل ۹. آب سطحی ورودی به دریاچه‌ی ارومیه از رودخانه‌های مجاور در دوره‌ی مطالعاتی (۱۳۹۰-۱۳۵۷)**

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ۱۰. آب قابل تنظیم تجمعی مخازن (سدهای در دست بهره‌برداری) حوضه آبریز دریاچه ارومیه**

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه روند دبی ثبت‌شده در ۶۵ ایستگاه هیدرومتری موردمطالعه قرار گرفته و نقش آن در کاهش سطح آب دریاچه‌ی ارومیه بررسی شد. نتایج بررسی تغییرات دبی‌ها در رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه حاکی از کاهش شدید دبی متوسط ورودی رودخانه‌ها به دریاچه‌ی ارومیه بود. از جمله دلایل کاهش دبی متوسط در حوضه آبریز دریاچه وجود ۴۱ سد (Shadkam *et al.* 2016)، رفتار و فعالیت‌های انسانی در توسعه کشاورزی اعم از تبدیل اراضی ملی به اراضی کشاورزی (Kamali and Jalili 2015)، توسعه اراضی آبی در دیم‌زارها و کاهش ضریب جریان و ایجاد استخرهای ذخیره‌ی آب کشاورزی در بالادست رودخانه‌ها را نام برد. این بیان با توجه به نتایج Farokhnia and Morid (2014) قابل توجیه است. ایشان گزارش دادند که نقش عوامل غیراقلیمی و دخالت‌های انسانی در کاهش دبی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در مقایسه با روند عواملی همانند بارش و دما غالب‌تر است. در کنار کاهش روند بارش، بر اساس نتایج Salehi Bavil *et al.* (2017)، تغییر روند فراوانی این پارامتر هیدرولوژیکی نیز از عوامل موثر در کاهش سطح آب دریاچه بوده است. برای پایداری سیستم آبی دریاچه‌ی ارومیه علاوه بر حجم آب ورودی، پیشنهاد می‌گردد که نقش تغییرات سیلاب-های حدی ورودی به دریاچه مورد بررسی قرار گیرد. زیرا ورود سیلاب‌های حدی به دریاچه باعث می‌گردد تا آب به پیکره رسیده و اثر خودپالایی در منطقه داشته باشد که لازمه آن مدیریت بهره‌برداری صحیح از سدهای حوضه است.

## سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی شماره ۱۰/۲۰۷ مصوبه سال ۱۳۹۴ دانشگاه ارومیه، پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه بوده و بدین‌وسیله از زحمات حامیان مالی و معنوی طرح قدردانی می‌گردد.

## REFERENCES

Ahani, H., Kherad, M., Kousari, M. R., Roosmalen, L. V., Aryanfar, R. and Hosseini S.M. (2012). Non-parametric trend analysis of the aridity index for three large arid and semi-arid basins in Iran. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 112(3-4), 553-564.

Amirataee, B. and Zeinalzadeh, K. (2016). Trends analysis of quantitative and qualitative changes in groundwater with considering the autocorrelation coefficients in west of Lake Urmia, Iran. *Journal of Environmental Earth Sciences* 75(371), 1-10.

Anonymous 2010. Integrated management plan for Lake Urmia Basin. Prepared in cooperation with Governmental Organizations, NGOs and Local Communities of Lake Urmia Basin.

Daneshvar Vousoughi, F., Dinpashoh, Y., Aalami, M. T. and Jhajharia D. (2013). Trend analysis of groundwater using non-parametric methods (case study: Ardabil plain). *Journal of Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27, 547–559.

Delju, A. H., Ceylan, A., Piguet, E. and Rebetez, M. (2013). Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 111, 285-296.

Dinpashoh, Y., Jhajharia, D., Fakheri Fard, A., Singh, V.P. & Kahya, E. (2011). Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology*, 39, 422-433.

Farokhnia, A. and Morid S. (2014). Assessment of the effects of temperature and precipitation variations on the trend of river flows in Urmia Lake Watershed. *Journal of Water and Wastewater*, 3, 86-97. (In Farsi)

Fathian, F. and Morid S. (2012). Trend Analysis of Meteorological and Hydrological Variables in Urmia Lake Basin by use of Non-parametric Methods. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 3(43), 259-269. (In Farsi)

Fathian, F., Dehghan, Z., Bazrkar, M. H. and Eslamian, S. (2016) Trends in hydrological and climatic variables affected by four variations of

www.SID.ir

Archive of SID


the Mann-Kendall approach in Urmia Lake basin, Iran. *Journal of Hydrological Sciences*, 61(5), 892-904.

Gao, Z., He, J., Dong, K. and Li, X. (2017). Trends in reference evapotranspiration and their causative factors in the West Liao River basin, China. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 106-117.

Hassanzadeh, E., Zarghami, M. and Hassanzadeh Y. (2012). Determining the Main Factors in Declining the Urmia Lake Level by Using System Dynamics Modeling. *Journal of Water Resources Management*, 26, 129–145.

Hesami, A. and Amini, A. (2016). Changes in irrigated land and agricultural water use in the Lake Urmia basin. *Journal of Lake and Reservoir Management*, 32, 288-296.

Kamali, M. and Jalili S. Y. 2015. Investigation of landuse changes in Urmia Lake basin using remotely sensed images. Sharif University of Thechnology, Remote Sensing Research Center.

Kendall, M.G. (1975). Rank Correlation Methods, fourth ed. Charles Griffin, London.

Khaliq, M. N., Ouarda, T. B. M. J. and Gachon, P. (2009). Identification of temporal trends in annual and seasonal low flows occurring in Canadian rivers: The effect of short- and long-term persistence. *Journal of Hydrology*, 369, 183–197.

Khorooshi S; Mostafazadeh R; Esmali Ouri A; Raoof M. (2017). Spatiotemporal assessment of the hydrologic river health index variations in Ardabil Province Watersheds. *Journal of ECO Hydrology*, 4(2), 379-393. (In Farsi)

Mann, H.B. (1945). Non-parametric test against trend. *Journal of Econometrica*, 13, 245-259.

Mirabbasi Najafabadi, R. and Dinpashoh Y. (2010). Trend analysis of streamflow across the North West of Iran in recent three decades. *Journal of Water and Soil*, 24(4), 757-768. (In Farsi)

Pirnia, A., Solaimani, K., Habibnejad roshan, M. and Besalatpour A. (2017). Investigating the contribution of climate variability and land use change in water quality changes of Haraz River (Mazandaran Province). *Journal of ECO Hydrology*, 4(4), 1151-1163. (In Farsi)

Rosmann, T., Domínguez, E. and Chavarro, J. (2016). Comparing trends in hydrometeorological average and extreme data sets around the world at different time scales. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 5, 200-212.

Salehi Bavil, S., Zeinalzadeh, K. and Hessari, B. (2017). The changes in the frequency of daily precipitation in Urmia Lake basin, Iran. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 1-10.

Shadkam, S., Ludwig, F., Oel, P., Kirmit, C. and Kabat, P. (2016). Impacts of climate change and water resources development on the declining inflow into Iran's Urmia Lake. *Journal of Great Lakes Research*, 42, 942-952.

Shadmani, M., Marofi, S. and Roknian, M. (2012). Trend analysis in reference evapotranspiration using Mann-Kendall and Spearman's Rho tests in arid regions of Iran. *Journal of Water Resources Management*, 26, 211-224.

Tabari, H., Marofi, S., Aeini, A., Talaee, P. H. and Mohammadi, K. (2011). Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 128-136.

Xu, C. Y., and Singh, V .P. (2004). Review on regional water resources assessment models under stationary and changing climate. *Journal of Water Resource Management*, 18, 591-612.

Yue, S., Pilon, P. and Cavadias, G. (2002a). Power of the Mann-Kendall and Spearman's tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of hydrology*, 259, 254-271.

Yue, S., and Wang, C.Y. (2002). The influence of serial correlation on the Mann–Whitney test for detecting a shift in median. *Journal of Advances in Water Resources*, 25, 325–333.

Yue, S., Pilon, P., Phinney, B. and Cavadias, G. (2002b). The influence of autocorrelationon the ability to detect trend in hydrological series. *Journal of Hydrological Processes*, 16, 1807-1829.

Zhang, X., Harvey, K. D., Hogg, W. D. and Yuzyk, R. (2001). Trends in Canadian streamflow. *Journal of Water Resources Research*, 37(4), 987-998.

www.SID.ir