



## Hydroclimatology Modeling of Water Level of Urmia Lake

M. Soufi<sup>1</sup>, B. Alijani<sup>2\*</sup>, R. Borna<sup>3</sup>, and F. Asadian<sup>4</sup>

### Abstract

The main purpose of this study is to explore the factors affecting Urmia Lake water level variations. Urmia Lake water level, rainfall, temperature, river discharge, and groundwater level data were used to study the relationship between the Urmia Lake water level variations and climatic and hydrologic parameters. Urmia Lake water level data for 48 years (1965 to 2013) from 27 synoptic meteorology stations of Tabriz, Urmia, and Saqez were used for the rainfall and temperature variables. Also, for adjusting the groundwater level data, of the 1054 wells, 123 wells with complete data in the studied period were selected. The non-parametric run test was used to determine the homogeneity and randomness of the data and the probability of any trend in time series. The randomness of the variables was examined at an error probability of 0.05 and their homogeneity was assured. The Mann-Kendall test was used to study trends, leaps, and changes in the independent variables including precipitation, temperature, river discharge, and water table of wells. A review of the Mann-Kendall curves showed that the average annual temperature changes during the study period do not follow a meaningful trend. The Urmia Lake Basin Annual Precipitation Curve showed a decreasing trend in the 48 years. The review of the discharge rate variations showed that the discharge variations from 1965 to 2013 had a significant and downward trend with a leap from the beginning of the statistical period. The water table variations of observation wells followed a significant downward trend in 2006. The results of Pearson correlation test showed that there is a relatively strong correlation between the independent variables (temperature, precipitation, river discharge, and water table) and lake water level variations ( $p < 0.05$ ), indicating the validity and the robustness of the linear relationship between the water level and the extent to which this variable is affected by the independent variables.

**Keywords:** Water Levels Variations, Water Flow, Modeling, Water Level, Urmia Lake.

Received: December 13, 2019

Accepted: May 22, 2020

## مدل سازی هیدرواقليمی نوسانات تراز دریاچه ارومیه

معصومه صوفی<sup>۱</sup>، بهلول علیجانی<sup>۲\*</sup>، رضا برنا<sup>۳</sup>  
و فریده اسدیان<sup>۴</sup>

### چکیده

هدف اصلی این تحقیق بررسی عوامل مؤثر بر نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه می باشد. بدین منظور برای بررسی ارتباط نوسان های تراز آب دریاچه ارومیه با پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژی، از داده های تراز آب دریاچه، بارش، درجه حرارت، دبی رودخانه ها و سطح ایستابی آب های زیرزمینی استفاده شد. از داده های تراز آب دریاچه ارومیه برای دوره آماری ۴۸ ساله (۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲)، داده های ۲۷ ایستگاه هواشناسی برای متغیر بارش و درجه حرارت استفاده گردید. همچنین برای تنظیم داده های سطح ایستابی آب های زیرزمینی، از میان ۱۰۵۴ حلقه چاه، ۱۲۳ حلقه که در دوره آماری داده های کاملی داشتند، انتخاب شدند. برای اطلاع از همگنی و تصادفی بودن داده ها و احتمال هرگونه روند در سری های زمانی، از آزمون ناپارامتریکی ران تست استفاده شده است. تصادفی بودن متغیرها با احتمال خطای ۰/۰۵ مورد بررسی قرار گرفت و از همگن بودن آن ها اطمینان حاصل شد. برای بررسی روند، جهش و تغییر در متغیرهای مستقل بارش، درجه حرارت، دبی رودخانه و سطح ایستابی چاه ها، از آزمون آماری من- کندال استفاده شده است. بررسی نمودارهای من- کندال نشان داد که تغییرات میانگین درجه حرارت سالانه طی دوره مطالعاتی روند معناداری را دنبال نمی کند. نمودار مربوط به بارش سالانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه روند کاهشی و معناداری را در دوره آماری ۴۸ ساله نشان داد. نتایج بررسی روند تغییرات دبی نشان داد که تغییرات دبی طی سال های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲ دارای روند معنی داری بوده و با جهشی از همان ابتدای دوره آماری، روندی کاهشی را دنبال نموده است. تغییرات سطح ایستابی چاه های مشاهده ای نیز دارای روند معنی داری بوده و با جهشی در سال ۱۳۸۵، روندی کاهشی را دنبال نموده اند. نتایج آزمون ضرایب همبستگی پیرسون مشخص کرد که بین متغیرهای مستقل (درجه حرارت، بارش، دبی رودخانه و سطح ایستابی) و نوسان های سطح آب دریاچه، همبستگی نسبتاً قوی وجود دارد که اکثراً در سطح ۰/۰۵ معنادار هستند و نشان دهنده اعتبار و قدرت بالای رابطه خطی بین تراز آب و میزان تأثیرپذیری این متغیر از متغیرهای مستقل است.

**کلمات کلیدی:** نوسانات تراز دریاچه، بیلان آبی، سطح ایستابی، مدل سازی، دریاچه ارومیه.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۹/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۳/۲

1- Ph.D. Student in Climatology, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: [makkeh88@gmail.com](mailto:makkeh88@gmail.com)

2- Professor, Department of Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran. Email: [bralijani@gmail.com](mailto:bralijani@gmail.com)

3- Associate Professor of Geography, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. Email: [bornareza@yahoo.com](mailto:bornareza@yahoo.com)

4- Assistant Professor of Geography, Department of Science and Research, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: [faridehasadian@yahoo.com](mailto:faridehasadian@yahoo.com)

\*- Corresponding Author

۱- دانشجوی مقطع دکتری تخصصی آب و هواشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استاد گروه جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

۳- دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۴- استادیار گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

## ۱- مقدمه

در کشاورزی و بهره‌برداری از منابع آب، مطالعات مربوط به آن اهمیت خاصی دارد. مهم‌ترین مطالعات مرتبط با موضوع تحقیق عبارتند از:

Mirzaeizadeh et al. (2010) مطالعه‌ای را با هدف بررسی رابطه میان تغییرات پوشش اراضی با احداث سد طالقان انجام دادند. Hadian et al. (2011) تخریب پوشش گیاهی در اثر احداث سد را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در حوزه سد ملاصدرا انجام دادند. نتایج نشان داد که با ساخت سد ملاصدرا سطح بسیاری از اراضی مرتعی و کشاورزی (۷۹۱ هکتار) نابود شده و نیز میزان خاک بدون پوشش نیز در منطقه افزایش داشته است. Rahimzadeh (2011) ارزیابی اثر سدهای بزرگ در تغییر کاربری اراضی را با استفاده از سنجش از دور و GIS انجام دادند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که سد ستارخان در کل دارای دو اثر مستقیم و غیر مستقیم در محیط اطراف خود می‌باشد. Balochi et al. (2011) تغییر کاربری اراضی و اثرات احداث سد کرخه را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت بررسی کردند. نتایج حاصله نشان می‌دهد که در سال‌های پس از احداث سد نسبت به قبل از احداث آن مقدار کل آب منطقه شهری، کل پوشش گیاهی و کل خاک منطقه به ترتیب تا ۲/۵ درصد افزایش، ۲/۳۶ درصد افزایش، ۱/۴ درصد افزایش و ۰/۲ درصد کاهش نشان می‌دهد. Gholam Ali Fard et al. (2012) مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سواحل استان مازندران با استفاده از LCM در محیط GIS انجام دادند. Hadian et al. (1392) از قابلیت تصاویر ماهواره‌ای لندست در طبقه‌بندی کاربری‌ها و پوشش سرزمین به منظور بررسی تأثیر احداث سد حنا در اصفهان بر تغییرات کاربری و پوشش اراضی استفاده نمودند. Saedi et al. (2014) ارزیابی اثرات توسعه بر تغییرات کاربری اراضی و قیمت زمین در سد طالقان را انجام دادند. Abrishami (2016) پایش تغییرات کاربری اراضی و اثرات زیست محیطی احداث سد گتوند علیا با استفاده از سنجش از دور و GIS انجام دادند. Hayatzadeh et al. (2016) نظارت و ارزیابی روند تغییر کاربری اراضی حوزه آبخیز فخرآباد مهریز یزد را با استفاده از سنجش از دور انجام دادند. Hadian et al. (2016) آثار تأسیس سد باغکل بر تغییرات پوشش، کاربری اراضی را بررسی کردند. Heydarian et al. (2016) تأثیر هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه در کاهش ناگهانی تراز آب دریاچه با تکیه بر بیلان آب را بررسی کردند. Yari et al. (2017) روند تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز قره‌سو را بررسی کردند. Nouri et al. (2018) تغییرات در کاربری اراضی و خدمات اکولوژیک محدوده سد سهند را با استفاده از تکنیک سنجش از دور انجام دادند. Dehdari et al. (2018) آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی سدهای کارون ۳ و ۴ را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام دادند.

به لحاظ اهمیتی که دریاچه‌ها از جهات مختلف برای جوامع بشری دارد، پژوهشگران در مناطق مختلف دنیا به منظور حفظ و حراست از این مجموعه‌های آبی، با روش‌های مختلفی به بررسی عوامل مؤثر در نوسانات سطح این پهنه‌های آبی پرداخته‌اند. آنها ضمن بیان نقش عواملی چون ژئوفیزیک و زمین‌شناسی در بالا و پایین رفتن سطح آب دریاچه‌ها، انتقال مواد تخریبی توسط رودخانه‌ها به ویژه در دریاچه‌های کوچک و بسته، به نقش قاطع تأثیرات عناصر آب و هوایی و رژیم‌های بارندگی، در بالا و پایین رفتن سطح آب دریاچه‌ها تأکید کرده‌اند (Babaei et al., 2017).

در سال‌های اخیر کاهش قابل ملاحظه سطح آب مشکلاتی را برای محیط زیست دریاچه ارومیه و ساکنان آن به همراه داشته است. بروز این مشکلات، توجه و ارزیابی نوسان‌های سطح آب این دریاچه را با استفاده از روش‌های علمی و مناسب اجتناب‌ناپذیر می‌سازد (Hassanzadeh and Zarghami, 2011). طی دو دهه اخیر و تحت تأثیر تحولات اقلیمی کلان در شمال غرب ایران، کاهش مقدار نزولات آسمانی، تبخیر-ترقق فراوان ناشی از افزایش میانگین درجه حرارت در شمال غرب کشور به همراه دخالت عوامل انسان‌ساختی از قبیل سدسازی‌ها و جلوگیری مؤثر از برقراری توازن و تعادل طبیعی در بیلان آب دریاچه ارومیه سبب بروز زمینه‌ی یک مخاطره زیست‌محیطی جبران‌ناپذیر در شمال غرب ایران شده است. مخاطرات زیست‌محیطی متعدد در کنار نگرانی‌ها و توجهات اخیر نظام مدیریت کلان کشور به امر ممانعت از نابودی دریاچه ارومیه و نیز توجه جامعه جهانی به آن به عنوان یک میراث زیست‌محیطی، از جمله ضرورت‌های اساسی در پرداختن به چنین پژوهش‌هایی است (Basati, 2006).

ادامه روند خشک شدن دریاچه ارومیه بیش از ۱۰ میلیارد تن نمک بر جای خواهد گذاشت که به صورت گرد و غبار و طوفان بر سر مردم این ناحیه خواهد ریخت. این بحران تنها گریبان استان‌های آذربایجان را نمی‌گیرد بلکه تمامی مناطق کشور را تحت تأثیر خود قرار خواهد داد. طوفان‌های نمک علاوه بر مزارع حاشیه دریاچه، زندگی بیش از ۶ میلیون نفر در اطراف این منطقه را تهدید کرده و به گسترش بیماری‌ها و آسیب‌های جسمانی و از بین رفتن هزاران هکتار از جنگل‌های منطقه منجر خواهد شد (Hosseini and Ghaffarzadeh, 2014).

حوضه‌های آبریز یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین منابع آبی هستند که همواره مورد توجه متخصصان رشته‌های مختلف قرار گرفته است و به علت اهمیت آن در زمینه‌های اجتماعی و اقتصادی جامعه و مخصوصاً

وضعیت بارش و رواناب رودخانه‌های منتهی به دریاچه بررسی خواهد شد.

## ۲- داده‌ها و روش‌شناسی

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب ایران با مساحت ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع بین مختصات ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این حوزه در شمال غربی ایران قرار گرفته و به وسیله بخش شمالی کوه‌های زاگرس، دامنه جنوبی کوه سبلان و دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند احاطه شده است. این حوزه از سمت شمال به حوضه آبریز رودخانه ارس، از سمت شرق به حوضه آبریز رودخانه سفیدرود، از جنوب به حوضه آبریز رودخانه‌های سفیدرود و سیروان و از غرب به حوضه آبریز رودخانه زاب محدود گشته است (Basic Studies of Water Resources, 2008).

این حوضه بین استان‌های آذربایجان غربی (۴۶ درصد)، آذربایجان شرقی (۴۳ درصد) و کردستان (۱۱ درصد) قرار دارد. دریاچه ارومیه به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های آبی ایران و جهان به‌شمار می‌آید. اکوسیستم این دریاچه نمونه‌ای شاخص از یک حوضه آبریز بسته است که کلیه رواناب‌های جاری در رودخانه‌های حوضه به آن تخلیه می‌گردد. همچنین اکوسیستم فعال آن شامل دریاچه و حوضه آبریز آن است. در نتیجه مرز حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مرز دقیقی را برای مدیریت عوامل مؤثر بر دریاچه و زیستگاه‌های مهم در حوضه بوجود آورده است. حوضه آبریز دریاچه ارومیه به‌وسیله بخش شمالی کوه‌های زاگرس و دامنه‌های جنوبی کوه سبلان و نیز دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند احاطه شده است. حدود ۳۳۴۶۹ کیلومتر مربع از سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه را مناطق کوهستان (۶۵ درصد)، ۱۲۵۶۴ کیلومتر مربع آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها (۲۴ درصد) و ۵۳۲۰ کیلومتر مربع آن را نیز دریاچه ارومیه (۱۰ درصد) در بر گرفته است.

### ۲-۲- روش تحقیق

با توجه به هدف اصلی پژوهش، برای بررسی ارتباط نوسان‌های تراز آب دریاچه ارومیه با پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژی، از داده‌های تراز آب دریاچه، بارش، درجه حرارت، دبی رودخانه‌ها و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی استفاده شد. داده‌های تراز آب دریاچه ارومیه برای دوره آماری ۴۸ ساله (۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲) از مدیریت منابع آب وزرات نیرو جمع‌آوری شد.

(1999) Ackerman تأثیرات زیر ساخت سد Bakolori را در نیجریه مورد بررسی قرار دادند. سد، حجم سیلاب‌های فصل مرطوب را کاهش داد. این کاهش سیل باعث تغییر محصول از ارزن و دانه سورگوم به برنج در فصل مرطوب و کاهش قابل توجهی در مقدار کشت فصل خشک شد. (1998) Evans تغییر کاربری بر اثر احداث سدها در رودخانه مکنونگ را جهت پی بردن به اثرات زیست محیطی آن با استفاده از GIS مدل‌سازی کرد. وی به این نتیجه رسید که استفاده از سدهای بزرگ برای کشورهایی که چندان توسعه یافته نیستند، مناسب نیست. (1999) Liou et al. در مورد تغییر کاربری اراضی بر این نکته اشاره دارد که سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و علم سنجش از دور نقش بسیار مهمی در ایجاد ارتباط و تحلیل بین داده‌های حاصل از تغییر کاربری‌ها و مدیریت پایدار زمین و ارزیابی زیانباری تغییرات دارد. (2002) Teillet et al. به مطالعه تغییر کاربری‌ها و ارزیابی اثرات آن در روند کاهش آب‌های زیرزمینی می‌پردازد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که احداث سدهای بزرگ اثرات زیانباری را در میزان آب‌های زیر زمینی دشت‌ها داشته است. (2007) Lu et al. به ارزیابی اثرات سدهای بزرگ در تغییر کاربری‌ها پرداخت و در نهایت با استفاده از مدل‌های زیست‌محیطی اقدام به شناسایی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی این تغییرات در محیط اطراف نموده است. (2010) Kogan تأثیر ساخت و ساز سد را بر روی تغییرات فضایی، زمانی کاربری اراضی بررسی کردند. (2012) Wang et al. بیان کردند که پس از تکمیل پروژه‌های سد و مخزن، اثرات واقعی زیست محیطی آنها می‌تواند توسط شاخص ارزیابی زیست محیطی EIPA مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد و در نهایت با نتایج پیش‌بینی شده ارزیابی تأثیرات محیطی EIA مقایسه شود. (2015) Suriya et al. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ساخت سد را انجام دادند. (2017) Yadav تأثیر تغییر کاربری زمین و ساخت سد را بر میزان فرسایش و رسوب خاک در منطقه خاک سیاه، شمال شرقی چین بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات کاربری اراضی و همچنین افزایش تعداد سدها به تدریج باعث کاهش رسوبات حوضه گردیده است. (2016) Heim اثرات فضایی و زمانی سد داجا هاشاه را در الگوی کاربری زمین بررسی کردند. (2016) Peng et al. تغییرات کاربری اراضی حوضه پایین دست یک سد را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست بررسی کردند. (2017) Vardon تأثیرات محیطی و اقتصادی سد در جامعه غنا را بررسی کردند.

هدف نهایی این پژوهش نیز مطالعه عوامل تأثیرگذار بر نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه است. از آنجا که تغییرات تراز آب دریاچه در گام اول تابع تغییرات ورودی رودخانه‌های منتهی به آن است، در این پژوهش

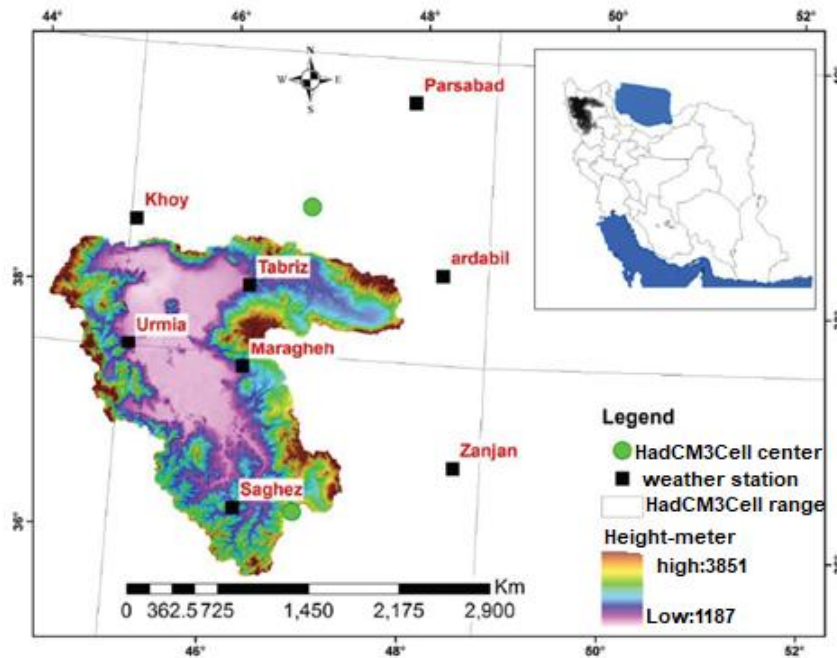


Fig. 1- Geographical location of Lake Urmia

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دریاچه ارومیه

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) - (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

در این رابطه  $x$  و  $y$  متغیرهای مستقل و وابسته هستند و  $r$  به دست آمده عددی بین  $-1$  و  $+1$  خواهد بود که هر چه به  $\pm 1$  نزدیکتر باشد، رابطه قوی تر است (Asakeh and Ashrafi, 2011).

برای انتخاب و استفاده از آزمون‌های پارامتریک و ناپارامتریک، نمودارهای توزیع فراوانی سری‌های زمانی و همچنین نمودار منحنی نرمال داده‌های مورد استفاده با روش آزمون Shapiro-Wilk و روش Kolmogorov-Smirnov ترسیم شده و مورد بررسی قرار می‌گیرند. برای استفاده از آزمون معادلات رگرسیون، پژوهشگر باید شرایط و پیش‌شرط‌هایی چون نرمال بودن داده‌ها و سنجش Durbin-Watson را در نظر داشته باشد. بدین منظور مقادیر استاندارد خطاها را محاسبه کرده و پس از آن نمودار نرمال آن‌ها ترسیم می‌شود و سپس بین دو نمودار مقایسه انجام می‌گیرد. همچنین به منظور بررسی استقلال خطاها از یکدیگر، آزمون دوربین-واتسون به کار گرفته شده و با توجه به نتایج به دست آمده و پس از بررسی آزمون‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری روی داده‌های این پژوهش، مناسب بودن استفاده از آزمون‌های پارامتری رگرسیون Multivariate Regression و آزمون‌های ناپارامتریکی Man-kendal تشخیص داده می‌شود (Bayazidi et al., 2011).

از آمار ۲۷ ایستگاه باران‌سنجی ثابت وزرات نیرو و سه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تبریز، ارومیه و سقز برای متغیر بارش در طی همان دوره آماری ۴۸ ساله استفاده گردید. داده‌های مربوط به درجه حرارت نیز از آمار ۴۸ ساله (۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲) ۴ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک ذکر شده در بالا جمع‌آوری شده است.

آمار دبی رودخانه‌های موجود در حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای ۷۱ ایستگاه هیدرومتری وزرات نیرو در تحلیل تغییرات دبی ورودی به دریاچه ارومیه به کار گرفته شد. برای تنظیم داده‌های سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، از میان ۱۰۵۴ حلقه چاه، ۱۲۳ حلقه که در دوره آماری داده‌های کاملی داشتند، انتخاب شدند.

در این پژوهش، پارامترهای درجه حرارت، بارش، سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی و دبی رودخانه‌ها به منزله متغیرهای مستقل و تراز آب دریاچه نیز به عنوان متغیر وابسته تلقی شده است. برای اطلاع از همگنی و تصادفی بودن داده‌ها و احتمال هرگونه روند در سری‌های زمانی، از آزمون ناپارامتریکی Run Test استفاده شده است. تصادفی بودن متغیرها با احتمال خطای ۰/۰۵ مورد بررسی قرار گرفت و از همگن بودن آن‌ها اطمینان حاصل شد. این آزمون نشان می‌دهد که داده‌ها در سطح ۰/۰۵ همگن هستند. در ادامه برای محاسبه میزان رابطه میان متغیرهای مستقل و وابسته، روش همبستگی Person به کار گرفته شد که روند محاسبات آن در رابطه ۱ مشاهده می‌شود.

### ۳-۱-۱- بارش

به منظور بررسی سری زمانی داده‌های بارش طی دوره آماری ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲ و میزان تأثیر آن بر نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه، از اطلاعات ۲۷ ایستگاه باران‌سنجی ثبات وزرات نیرو و سه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تبریز، ارومیه و سقز استفاده شده است.

در شکل ۲ سری زمانی بارندگی سالانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه بر اساس ایستگاه‌های به کار گرفته شده برای این متغیر نشان داده شده است. با توجه به نمودار ارائه شده، میزان بارش در سطح حوضه طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲ با کاهش قابل ملاحظه‌ای مواجه گردیده است. علاوه بر این، بررسی تغییرات تعداد روزهای بارش بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر در سطح حوضه نیز نشان می‌دهد که تعداد این روزها در دراز مدت کاهش یافته است. این خود می‌تواند یکی از دلایل کاهش رواناب در سطح حوضه باشد. بر مبنای تحلیل‌های مکانی از بارش سالانه، میانگین بارندگی سالانه حوضه بین ۲۰۰ تا بیش از ۸۵۰ میلی‌متر متغیر است. بیش‌ترین بارندگی سالانه در نواحی غربی و شمال غربی منطقه و همچنین ارتفاعات جنوبی حوضه صورت می‌گیرد. مقدار بارش در نواحی اطراف دریاچه ارومیه بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است.

در این پژوهش برای بررسی روند سری زمانی داده‌های بارش از آزمون ناپارامتریک من- کندال استفاده شده است. برای این کار با استفاده از مؤلفه‌های  $U_i$  و  $U'_i$ ، نمودار من- کندال برای متغیر بارندگی ترسیم شده و زمان، نوع جهش و تغییر به دست آمده است (شکل ۳). همان‌گونه که در شکل ۴ مشخص است، نمودار مربوط به بارش سالانه ۳۰ ایستگاه باران‌سنجی ثبات و هواشناسی سینوپتیک حوضه آبریز دریاچه ارومیه روند کاهشی و معناداری را در دوره آماری ۴۸ ساله مورد بررسی نشان می‌دهد. در سال ۱۳۴۹ مؤلفه‌های  $U_i$  و  $U'_i$  همدیگر را در داخل محدوده معنی‌دار قطع کرده‌اند که شروع یک تغییر ناگهانی را نشان می‌دهد. اما در سال ۱۳۷۶ این تلاقی در خارج از محدوده معنی‌دار بوده و روند کاهشی را در سری زمانی داده‌های بارندگی حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان می‌دهد.

### ۳-۱-۲- درجه حرارت

بررسی روند تغییرات میانگین درجه حرارت سالانه حوضه دریاچه ارومیه طی دوره آماری سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲ بر اساس داده‌های سه ایستگاه سینوپتیک ارومیه، تبریز و سقز انجام گرفت. بر اساس داده‌های این سری زمانی، تغییرات میانگین سالانه درجه حرارت بین ۹/۸ تا ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد در سه ایستگاه مورد بررسی است.

آزمون رگرسیونی یک مدل رگرسیون خطی و مکمل آزمون غیر پارامتری به صورت  $Y=a+b_1x_1+b_2x_2$  است که در این رابطه  $Y$  متغیر مورد نظر یا وابسته،  $x_1$  و  $x_2$  درجه حرارت، بارش و یا متغیرهای مستقل،  $a$  شیب خط که مقدار و جهت تغییر در متغیر وابسته را نشان می‌دهد و  $b$  عرض از مبدأ است (Basati, 2006).

آزمون نموداری من- کندال هم نیاز به توزیع فراوانی نرمال یا خطی بودن رفتار داده‌ها ندارد و در برابر مقادیر داده‌هایی که چولگی و کشیدگی زیادی دارند (به‌ویژه بارندگی) و داده‌هایی که انحراف چشمگیری در رفتار خطی دارند، بسیار قوی است و به منظور ارزیابی روند به کار می‌رود. با استفاده از آزمون آماری و گرافیکی من- کندال، جهت روند، نوع و زمان تغییر در نرم‌افزار MATLAB تعیین می‌شود که ابتدا آماره  $(t_i)$  نسبت رتبه  $i$  به رتبه‌های قبلی محاسبه شده و پس از آن، فراوانی تجمعی آماره  $(\sum t_i)$  به دست می‌آید. در ادامه امید ریاضی  $E_i$  و واریانس  $V_i$  محاسبه و شاخص من- کندال بر اساس رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$U_i = \frac{(\sum t_i - E_i)}{\sqrt{V_i}} \quad (2)$$

برای بررسی تغییرات، باید شاخص  $U'_i$  نیز تعیین شود. مقدار این شاخص پس از مشخص کردن آماره  $t_i$  و محاسبه امید ریاضی، از رابطه ۳ به دست می‌آید (Hejazizadeh and Parvin, 2009):

$$U'_i = \frac{(-\sum t'_i - E'_i)}{\sqrt{V'_i}} \quad (3)$$

زمان تغییر در یک سری زمانی، جایی است که از آن به بعد توزیع آماری دیگری بر داده‌ها حاکم شود. محل تلاقی دو نمودار  $u$  و  $u'$  بیانگر نقطه چشمگیر تغییر و وجود روند است؛ به‌طوریکه اگر خطوط مذکور در داخل محدوده بحرانی (۱/۹۶) همدیگر را قطع کنند، نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی در داده‌ها است و چنانچه در خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع کنند، بیانگر وجود روند در سری زمانی است. رفتار  $u'$  بعد از محل تلاقی وضعیت روند سری را نشان می‌دهد. عدم تلاقی دو شاخص، معرف عدم وقوع تغییر در سری زمانی است (Asakereh and Ashrafi, 2011).

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- عوامل مؤثر بر تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه

در ادامه به بررسی تغییرات هر کدام از پارامترهای مختلف اقلیمی و هیدرولوژی درجه حرارت، بارش، دبی رودخانه‌ها، تغییرات سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی و تأثیر آن‌ها بر نوسانات آب دریاچه ارومیه در طول دوره آماری ۴۸ ساله (بین سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲) پرداخته می‌شود.

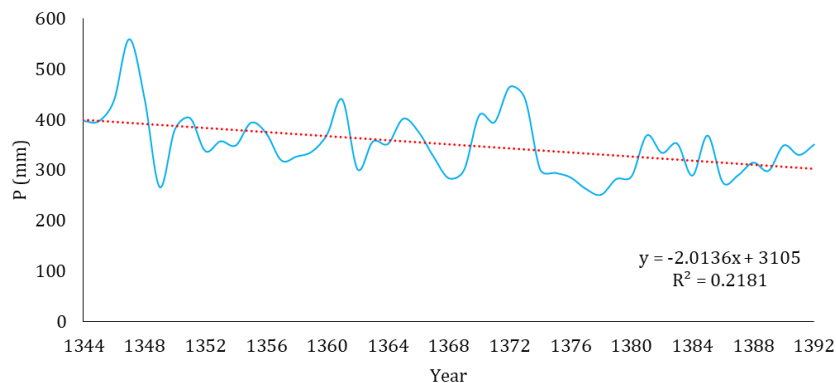


Fig. 2- Long-term series of annual rainfall changes in Urmia Lake catchment area during the years 1344 to 1392

شکل ۲- سری بلندمدت تغییرات بارندگی سالانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲

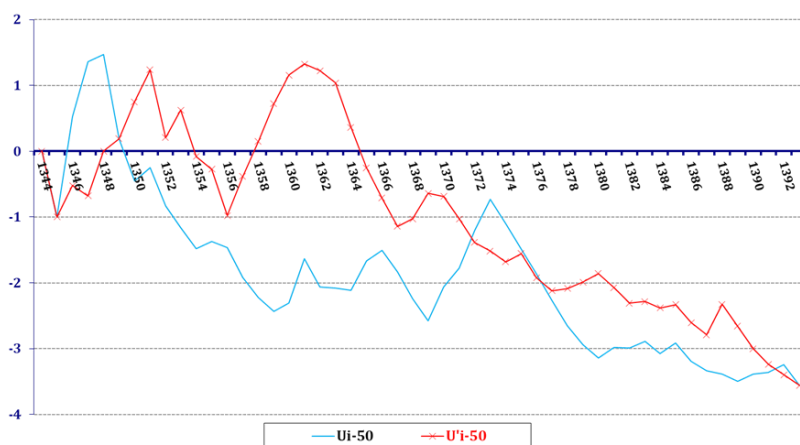


Fig. 3- My non-parametric test diagram- Kendall and  $U_i$  and  $U'_i$  component changes for rainfall data of Urmia Lake catchment stations during the years 1344 to 1392

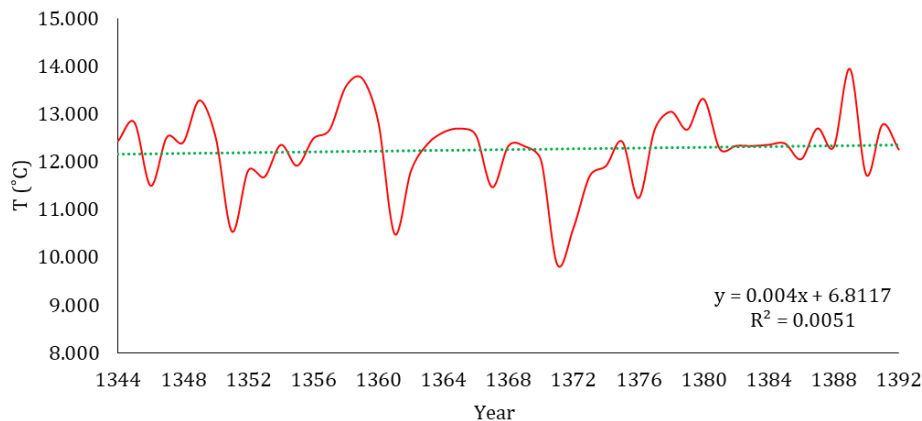
شکل ۳- نمودار آزمون ناپارامتریک من- کندال و تغییرات مؤلفه‌های  $U_i$  و  $U'_i$  برای داده‌های بارندگی ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲

تغییرات میانگین درجه حرارت سالانه در این سال‌ها روند معنی‌داری را دنبال نمی‌کند. هرچند که در سال‌های ۱۳۵۱، ۱۳۵۶، ۱۳۶۵، ۱۳۷۹، ۱۳۸۳ و ۱۳۸۹ تغییرات درجه حرارت در این سه ایستگاه دستخوش تغییرات ناگهانی شده است؛ اما این تغییرات تصادفی بوده و روندی برای آن قابل بیان نمی‌باشد.

با وجود عدم مشاهده روندی خاص در داده‌های میانگین درجه حرارت سالانه، تحلیل تغییرات درجه حرارت حداقل نشان از افزایش ۰/۱ تا ۰/۵ درجه سانتی‌گراد در حداقل درجه حرارت ایستگاه‌های محدوده حوضه دریاچه ارومیه به ازای یک دهه دارد. همچنین روند تغییرات درجه حرارت حداکثر افزایش ۰/۱ تا ۰/۳ درجه سانتی‌گرادی در حداکثر درجه حرارت ایستگاه‌های محدوده حوضه را به ازای یک دهه نشان می‌دهد.

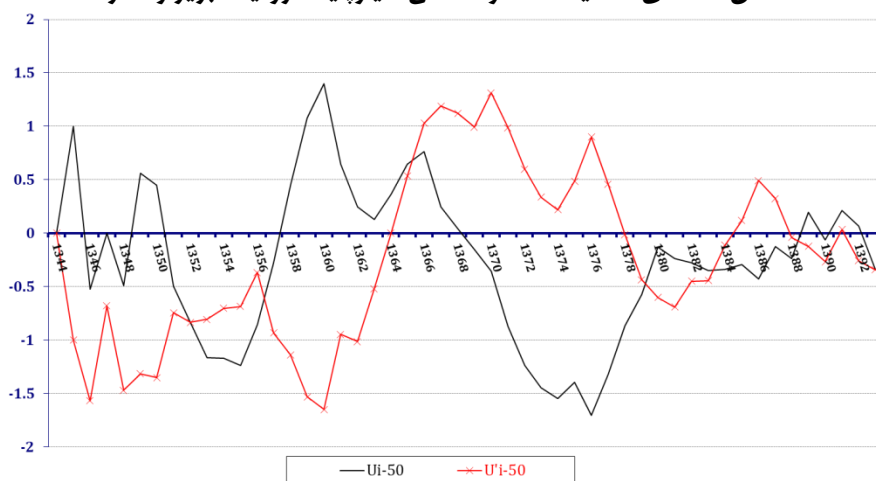
تحلیل‌های مکانی این متغیر نیز در سطح حوضه آبریز نشان می‌دهد که نواحی شمال شرق حوضه سردتر از سایر نقاط بوده و محدوده اطراف دریاچه ارومیه از میانگین درجه حرارت سالانه‌ای بین ۱۲ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد برخوردار است. با توجه به شکل ۴، نوسانات درجه حرارت در سطح حوضه و افزایش ناچیز مقادیر این متغیر را می‌توان مشاهده نمود.

بررسی روند تغییرات درجه حرارت با استفاده از آزمون آماری من- کندال بر روی داده‌های میانگین درجه حرارت سالانه سه ایستگاه فوق‌الذکر انجام شده است (شکل ۵). با توجه به نتایج این آزمون، خطوط  $U_i$  و  $U'_i$  در طول دوره آماری ۴۸ ساله در خارج از محدوده  $\pm 1/96$  همدیگر را قطع نکرده‌اند. این بدین معنی است که



**Fig. 4- Long-term series of changes in the average annual temperature of Urmia Lake catchment area during the years 1344 to 1392 based on data from three synoptic meteorological stations in Urmia, Tabriz and Saqez**  
 شکل ۴- سری بلندمدت تغییرات میانگین درجه حرارت سالانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲ بر

اساس داده‌های سه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک ارومیه، تبریز و سقز



**Fig. 5- My non-parametric test diagram- Kendall and  $U_i$  and  $U'_i$  component changes for average annual temperature data of Urmia, Tabriz and Saqez stations during the years 1344 to 1392**

شکل ۵- نمودار آزمون ناپارامتریک من- کندال و تغییرات مؤلفه‌های  $U_i$  و  $U'_i$  برای داده‌های میانگین درجه حرارت سالانه ایستگاه‌های ارومیه، تبریز و سقز طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲

جنوبی به‌ویژه زرينه‌رود از سهم قابل ملاحظه‌ای در تأمین آب دریاچه برخوردار می‌باشد.

به‌منظور تعیین میزان پتانسیل آبدهی و تغییرات درازمدت، آمار ۷۱ ایستگاه هیدرومتری برای بررسی تغییرات دبی رودخانه‌های سطح حوضه آبریز و همچنین میزان آب ورودی به دریاچه ارومیه مورد استفاده قرار گرفتند.

بنابراین مقدار تجمعی افزایش درجه حرارت حداکثر در طی ۴۸ سال برای ایستگاه‌های تبریز و ارومیه به‌ترتیب حدود ۱ و ۰/۵ بوده است. افزایش درجه حرارت حداقل و حداکثر در حوضه آبریز دریاچه ارومیه از طرفی باعث افزایش تبخیر و تعرق و بالا رفتن نیاز آبی گیاهان شده و از طرف دیگر با افزایش تبخیر از سطح دریاچه، باعث کاهش تراز آب دریاچه ارومیه می‌شود.

### ۳-۱-۳- دبی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها

نمودار تغییرات دبی ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲ در شکل ۷ آورده شده است. همان‌طور که در نمودار ملاحظه می‌گردد، میانگین مجموع منابع آب سطحی ورودی

براساس آمار آبدهی رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه، سهم رودخانه‌های ورودی از جنوب دریاچه در تأمین آب مورد نیاز آن ۶۵ درصد و سهم رودخانه آبی‌چای نیز ۱۰ درصد می‌باشد. لذا رودخانه‌های

از همان ابتدای دوره آماری، روندی کاهشی داشته است (شکل ۷).

### ۳-۱-۴- سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی

افزایش قابل ملاحظه میزان چاه‌های حفر شده نیز از جمله عوامل مؤثر بر افت قابل ملاحظه تراز آب دریاچه ارومیه بوده است. حفر حدود ۸۸۰۰۰ حلقه چاه در سطح حوضه تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر آبدهی رودخانه‌های حوضه داشته و این امر منجر به کاهش قابل ملاحظه رواناب ورودی به دریاچه گردیده است. با فرض مساحت ۱۲۵۰۰ کیلومتر مربعی برای دشت‌ها و کوهپایه‌های حوضه، یک حساب ساده نشان می‌دهد که متأسفانه به‌طور میانگین در هر کیلومتر مربع از سطح دشت‌های حوضه تعداد ۷ حلقه چاه حفر گردیده است.

به دریاچه ارومیه از ۴۹۳۹ میلیون مترمکعب تا سال ۱۳۷۵ به ۲۴۴۰ میلیون مترمکعب از سال ۱۳۷۵ به بعد کاهش یافته است. در واقع میانگین حجم منابع آب سطحی ورودی به دریاچه در دوره ۲۰ ساله اخیر در حدود ۲۵۰۰ میلیون مترمکعب کاهش داشته است. این مقدار کاهش در میزان رواناب ورودی از رودخانه‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش تراز دریاچه و همچنین کاهش حجم آب ورودی به پیکره آبی دریاچه به دلیل افزایش میزان تلفات در مسیر داشته است.

با توجه به نتایج آزمون من-کندال، خطوط  $U_i$  و  $U'_i$  در طول دوره آماری ۴۸ ساله در خارج از محدوده  $\pm 1/96$  هم‌دیگر را قطع نموده‌اند. این بدین معنی است که تغییرات دبی ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲ دارای روند معنی‌داری بوده و با جهشی

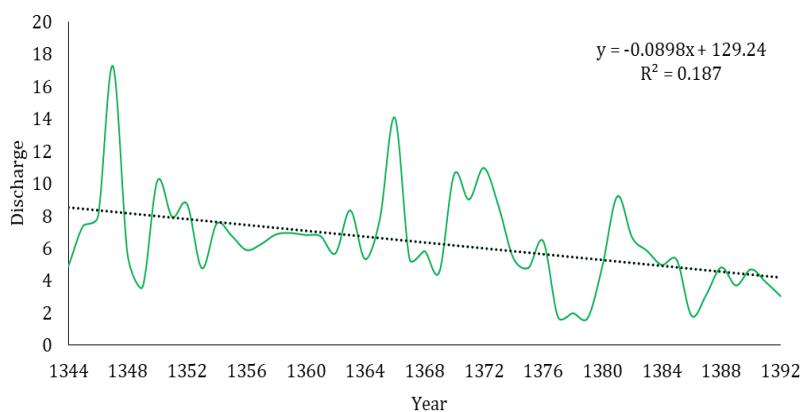


Fig. 6- Long-term series of changes in the flow of rivers in the catchment area of Lake Urmia during the years 1344 to 1392

شکل ۶- سری بلندمدت تغییرات دبی رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲

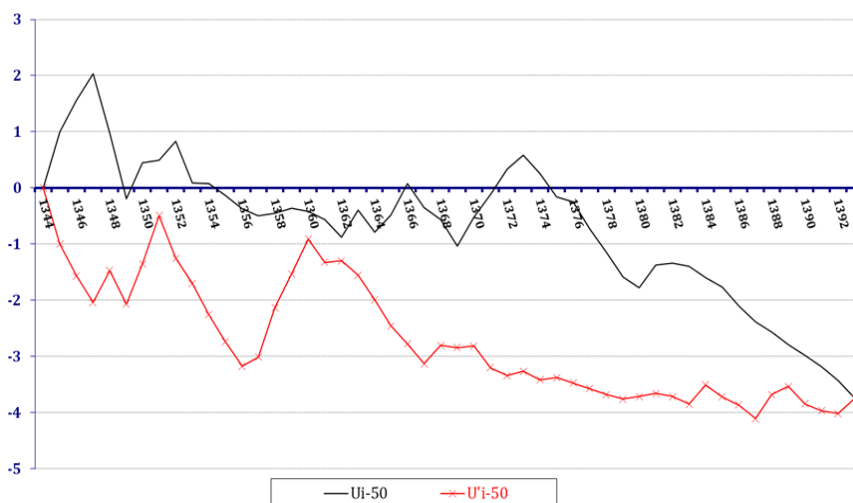


Fig. 7 - My Nonparametric Test Chart - Kendall and  $U_i$  and  $U'_i$  Component Changes Dubai Data Hydrometric Stations

شکل ۷- نمودار آزمون ناپارامتریک من-کندال و تغییرات مؤلفه‌های  $U_i$  و  $U'_i$  داده‌های دبی ایستگاه‌های هیدرومتری



کندال نشان می‌دهد که خطوط  $U_i$  و  $U_i$  در خارج از محدوده  $\pm 1/96$  همدیگر را قطع نموده‌اند. این بدین معنی است که تغییرات سطح ایستابی چاه‌های مشاهده‌ای حوضه آبریز دریاچه ارومیه دارای روند معنی‌داری بوده و با جهشی در سال ۱۳۸۵، روندی کاهشی داشته است (شکل ۱۰).

البته با توجه به عدم توزیع یکنواخت چاه‌ها در سطح حوضه، تراکم چاه‌ها در برخی از دشت‌ها مانند ارومیه، میاندوآب و تبریز بیش از این تعداد می‌باشد (شکل ۸).

بررسی روند تغییرات سطح ایستابی با استفاده از آزمون آماری من -

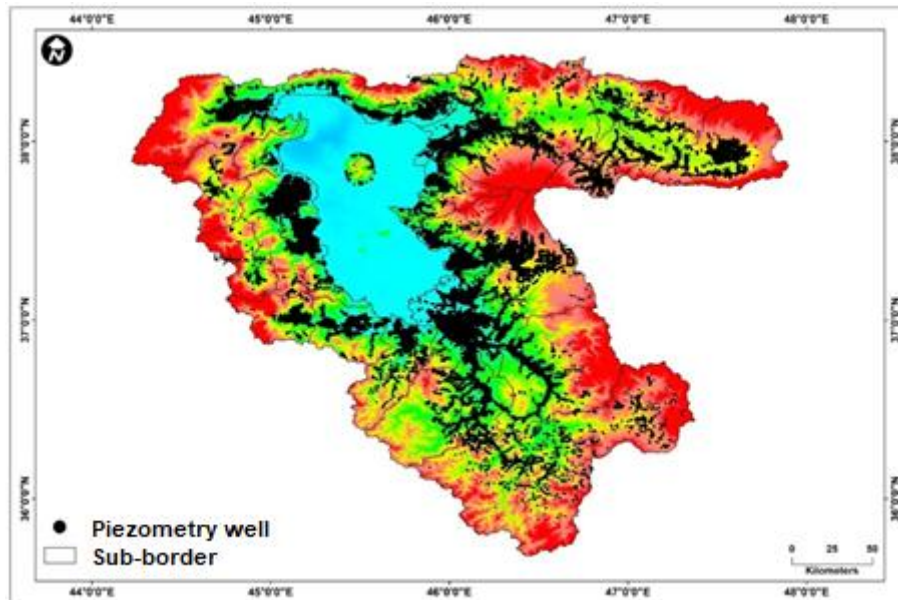


Fig. 8- Geographical location of piezometric wells scattered in Urmia Lake catchment area

شکل ۸- موقعیت جغرافیایی پراکندگی چاه‌های پیزومتری حوضه آبریز دریاچه ارومیه

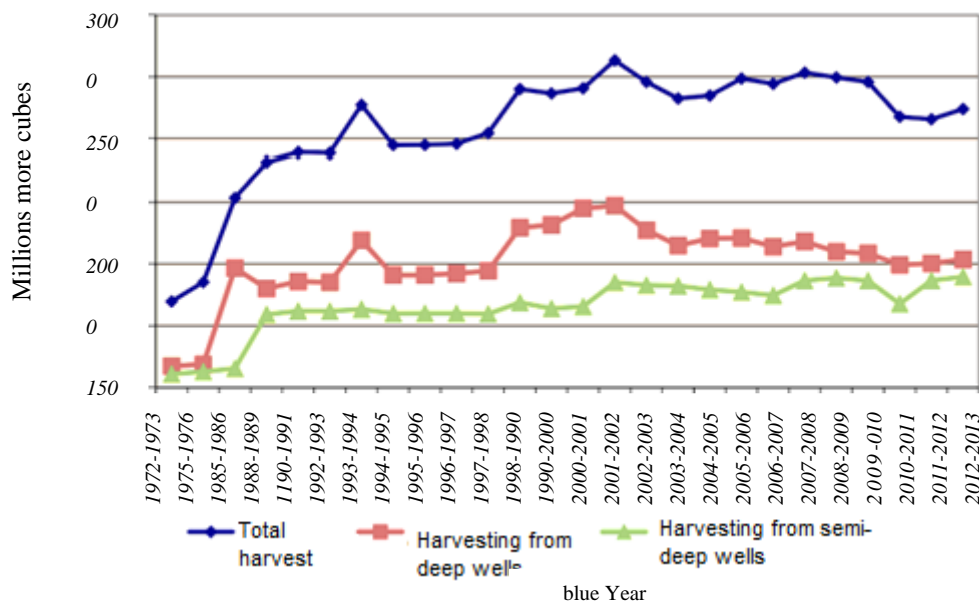


Fig. 9- The trend of changes in the amount of abstraction from groundwater resources in the catchment area of Lake Urmia in the last four decades

شکل ۹- روند تغییرات مقدار برداشت از منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در چهار دهه اخیر



Fig. 10- My nonparametric test diagram Mann-Kendall and changes in  $U_i$  and  $U'_i$  components of static surface data of observation wells

شکل ۱۰- نمودار آزمون ناپارامتریک من- کندال و تغییرات مؤلفه‌های  $U_i$  و  $U'_i$  داده‌های سطح ایستابی چاه‌های مشاهده‌ای

درجه حرارت به صورت مثبت و با ضریب همبستگی ۰/۳۳ به دست آمده است که نشان می‌دهد درجه حرارت حوضه آبریز دریاچه ارومیه در طول دوره آماری ۴۸ سال با افزایش مواجه بوده است. این در حالی است که دیگر پارامترها دارای همبستگی منفی هستند که نشان از کاهش مقادیر آن‌ها طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲ دارد. میزان این همبستگی معکوس برای پارامترهای سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، تراز آب دریاچه ارومیه، دبی رودخانه‌ها و بارندگی حوضه آبریز به ترتیب ۰/۸، -۰/۷۲، -۰/۴۲ و -۰/۳۳ محاسبه شده است. بنابراین، بیش‌ترین کاهش مقادیر مربوط به پارامترهای هیدرولوژی (سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی و دبی رودخانه‌ها) و کم‌ترین کاهش هم برای پارامتر اقلیمی بارش بوده است.

در جدول ۲ همبستگی تراز آب دریاچه ارومیه با متغیرهای مستقل نیز ارائه شده است. نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه طی دوره آماری بررسی شده، بیش‌ترین همبستگی را به ترتیب با سطح ایستابی آب زیرزمینی (۰/۷۵) و دبی رودخانه‌ها (۰/۳۳) دارد. نوسانات تراز دریاچه با بارش نیز همچون دو متغیر ذکر شده دارای همبستگی مثبت ولی ضعیف‌تر (۰/۱۵) می‌باشد.

#### ۴- مدل آماری عوامل مؤثر بر تغییرات تراز دریاچه ارومیه

مشخصات آماری پارامترهای درجه حرارت، بارش، دبی رودخانه‌ها و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در طول دوره آماری بررسی شده است (جدول ۱). از آزمون همبستگی پیرسون برای بررسی امکان یا عدم امکان ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته و تعیین شیب خط با زمان استفاده شده است. نتایج آزمون همبستگی پیرسون در جدول ۲ آورده شده است؛ همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بین متغیرهای مستقل و نوسانات سطح آب دریاچه همبستگی نسبتاً قوی وجود دارد و در سطح کمتر از ۰/۰۵ این همبستگی‌ها معنادار است که نشان‌دهنده اعتبار و قدرت بالای رابطه خطی بین آن‌ها و میزان تأثیرپذیری متغیر وابسته از متغیرهای مستقل است. شیب منفی نشان‌دهنده رابطه معکوس متغیرهای مستقل و سطح آب دریاچه در دوره آماری است و شیب مثبت رابطه مستقیم را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج آزمون همبستگی پیرسون، همه پارامترهای مستقل و وابسته در این پژوهش در سطح اطمینان بالاتر از ۹۵ درصد با دوره آماری مورد بررسی دارای همبستگی هستند. این همبستگی برای

Table 1- Descriptive statistics of independent variables and water level of Urmia Lake during the statistical period

جدول ۱- آماره‌های توصیفی متغیرهای مستقل و تراز آب دریاچه ارومیه طی دوره آماری مورد بررسی

Variable	Average	Minimum	Maximum	Variance	Skewness	variation range
Lake water level	1275	1270/7	1278	3/9	-0/8	7/3
Temperatures	12/3	9/8	13/9	0/6	-0/8	4/1
Dubai	6	1/7	14/1	6/7	0/8	12/4
Rain	338/7	250/8	464/6	2610	0/5	213/8
Water table	4/8	2/7	7/1	2/7	0/4	4/4

سایر عوامل، تقریباً ۳۰ درصد از تغییرات مشاهده شده در سطح آب دریاچه ارومیه، به کمک متغیرهای درجه حرارت و بارش توجیه شده است. به عبارت دیگر، متغیرهای مستقل رابطه خطی با متغیر وابسته (تراز آب) را نشان می‌دهند که این رابطه قدرت بالایی ندارد و نشان می‌دهد عوامل دیگری چون عوامل انسانی و هیدرولوژی (مانند برداشت از آب‌های زیرزمینی، سد سازی، تغییرات دبی رودخانه‌ها و غیره) نیز در کاهش تراز آب دریاچه دخالت دارند. در نتیجه در گام دوم باید به سراغ تعیین و ترسیم مدل پارامترهای هیدرولوژی رفت. به فرض ثابت بودن عوامل اقلیمی و در نظر گرفتن دبی و سطح ایستابی با هم، مشخص شد که حدود ۵۰ درصد از نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه، ناشی از تغییرات دبی رودخانه‌های منطقه و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی است.

### ۵- نتیجه‌گیری

برای بررسی روند، جهش و تغییر در متغیرهای مستقل بارش، درجه حرارت، دبی رودخانه و سطح ایستابی چاه‌ها، از آزمون آماری من-کندال استفاده شده است. بررسی نمودارهای من-کندال نشان داد که تغییرات میانگین درجه حرارت سالانه طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲ (دوره مطالعاتی) روند معناداری را دنبال نمی‌کند. هرچند که در سال‌های ۱۳۵۱، ۱۳۵۶، ۱۳۶۵، ۱۳۷۹، ۱۳۸۳ و ۱۳۸۹ تغییرات درجه حرارت در منطقه دستخوش تغییرات ناگهانی شده است؛ اما این تغییرات تصادفی بوده و روندی برای آن قابل انتساب نیست. نمودار مربوط به بارش سالانه ۳۰ ایستگاه باران‌سنجی ثبات و هواشناسی سینوپتیک حوضه آبریز دریاچه ارومیه روند کاهشی و معناداری را در دوره آماری ۴۸ ساله مورد بررسی نشان داد. در سال ۱۳۴۹ شروع یک تغییر ناگهانی ثبت شده است؛ اما از سال ۱۳۷۶ روند کاهشی در سری زمانی داده‌های بارندگی حوضه آبریز دریاچه ارومیه قابل مشاهده است. بررسی روند تغییرات دبی با استفاده از آزمون آماری من-کندال بر روی داده‌های دبی ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه نشان داد که تغییرات دبی طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲ دارای روند معنی‌داری بوده و با جهشی از همان ابتدای دوره آماری، روندی کاهشی را دنبال نموده است.

بنابراین، با توجه به روند کاهشی متغیرهای سطح ایستابی، دبی رودخانه‌ها و بارش در طی دوره آماری، نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه هم متأثر از آن‌ها دارای روندی کاهشی بوده است. تغییرات تراز دریاچه ارومیه تنها با متغیر درجه حرارت دارای همبستگی منفی است؛ به عبارتی با توجه به روند افزایشی درجه حرارت طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲، تحت تأثیر این روند، میزان تبخیر از سطح دریاچه نیز افزایش پیدا کرده است.

پس از اثبات رابطه و همبستگی بین متغیرها، برای تشخیص نوع رابطه از رگرسیون خطی چند متغیره استفاده شد. با توجه به این که سطح معناداری پایین‌تر از ۰/۰۵ است و نتیجه آزمون دوربین واتسون بین ۱ و ۳ (۱/۳) قرار دارد، پس می‌توان از تحلیل رگرسیونی در این پژوهش استفاده نمود. برای بررسی رابطه میان متغیرها، اقدام به رسم نمودار پراکنش یا نمودار تغییرات مقادیر دو متغیر در ارتباط با یکدیگر شد و برای تحلیل همبستگی بین سری‌های زمانی و ارتباط آن‌ها با تراز آب، نمودار پراکنش ترسیم شد. نتایج بررسی حاکی از وجود رابطه خطی بین زوج‌های مختلف متغیرها است؛ به طوری که پراکندگی نقاط در اطراف خط همبستگی دیده می‌شود و پیوند متغیرها با هم و با زمان و تراز آب کاملاً مشهود است.

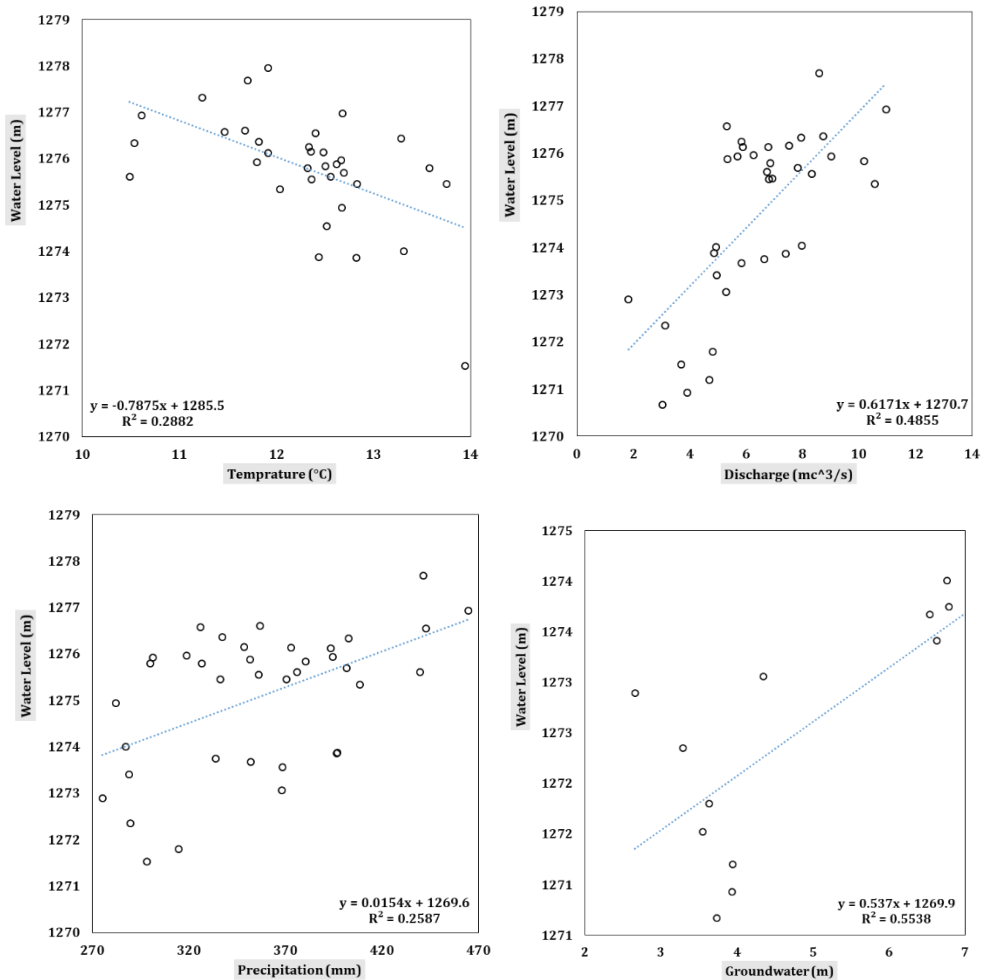
شیب خط رگرسیون در نمودار پراکندگی (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که هرچه مقدار بارش افزایش یابد، تراز آب نیز بالا می‌رود. افزایش درجه حرارت‌ها و کاهش بارندگی‌ها باعث کاهش برف، افزایش تبخیر و تعرق و در نتیجه، کاهش ورودی آب به دریاچه شده است که این روند کاهشی به میزان ۰/۱۸ متر در سال است. بنابراین، رابطه رگرسیونی تراز آب با متغیر اقلیمی درجه حرارت به صورت شیب خطی منفی است. شیب خط رگرسیون برای پارامترهای دبی رودخانه‌ها و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در مدل رگرسیون خطی چند متغیره برای توجیه نوسانات تراز آب دریاچه مثبت به دست آمده است.

جدول ۳ ضرایب تعیین معادلات رگرسیون سری‌های زمانی پارامترهای مختلف در این پژوهش را نشان می‌دهد. ضریب تعیین تحلیل رگرسیونی در این جدول نشان می‌دهد که به فرض ثابت بودن

Table 2- Results of Pearson correlation test between independent variables and water level of Urmia Lake

جدول ۲- نتایج آزمون همبستگی پیرسون بین متغیرهای مستقل و تراز آب دریاچه ارومیه

	Lake water level	Temperatures	Dubai River	Rain	Water table
Statistical period	- 0/72	0/23	-0/42	-0/33	-0/8
meaningful	0/00	0/02	0/004	0/01	0/00
Lake water level	1	- 0/28	0/33	0/15	0/75
meaningful	0/00	0/04	0-02	0/03	0/002



**Fig. 11- Distribution diagram and relationship of independent variables with Urmia Lake water level based on multivariate linear regression; According to the multivariate linear regression model, the slope of the line between the dependent variable (water level) with negative temperature and with Dubai river variables, groundwater level and rainfall in the catchment area of Lake Urmia during the statistical period studied in this The research was positive. Therefore, increasing the temperature and decreasing the flow of rivers, the water level of wells and rainfall have caused the water level of Lake Urmia to drop during the years 1344 to 1392**

شکل ۱۱- نمودار پراکنش و ارتباط متغیرهای مستقل با تراز آب دریاچه ارومیه بر اساس رگرسیون خطی چند متغیره؛ با توجه به مدل رگرسیون خطی چند متغیره، شیب خط بین متغیر وابسته (تراز آب) با درجه حرارت به صورت منفی و با متغیرهای دبی رودخانه‌ها، سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی و بارش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی دوره آماری مورد بررسی در این پژوهش به صورت مثبت به دست آمده است. بنابراین، افزایش درجه حرارت و کاهش دبی رودخانه‌ها، سطح ایستابی چاه‌ها و بارش باعث افت تراز آب دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۲ شده است.

**Table 3- Multiple linear regression models between independent variables and Urmia Lake water level fluctuations**

جدول ۳- مدل‌های رگرسیونی خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل و نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه

The dependent variable	Independent variable	Regression model	Determination coefficient
Urmia Lake level fluctuations	Rain	$y = 0.0154x + 1269.6$	0.26
	Temperatures	$y = -0.7875x + 1285.5$	0.29
	Dubai River	$y = 0.6171x + 1270.7$	0.49
	Water table	$y = 0.537x + 1269.9$	0.48

مستمر حجم آب دریاچه در اثر تبخیر و عدم ورود منابع آب کافی به دریاچه به منظور جبران و حفظ تعادل آبی به عنوان عامل اصلی خشکی دریاچه تلقی می‌گردد. اما مسأله اصلی این است که چه علل و عواملی منجر به عدم جریان آب کافی به دریاچه و همچنین افزایش میزان تبخیر از سطح آن گردیده و شرایط کنونی را برای دریاچه رقم زده است. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته در مطالعات قبلی، سه عامل اصلی مؤثر در خشکی دریاچه ارومیه شامل برداشت بیش از حد از منابع تجدیدپذیر حوضه، توسعه نامتوازن بخش کشاورزی در حوضه و تغییرات اقلیمی و استمرار خشکسالی‌ها می‌شود. در واقع این مجموعه عوامل با اثرات تشدید کنندگی بر روی یکدیگر، منجر به خشکی دریاچه ارومیه گردیده‌اند. البته عواملی همچون احداث میان‌گذر نیز می‌تواند در تشدید شرایط کنونی دریاچه نقش داشته باشد.

## ۶- مراجع

- Babaei M, Ghaderi R, Badrakhanchad A, and Azadfalah Z (2017) Identification and prioritization of factors affecting the drying of water in Lake Urmia based on the Delphi model. *Journal of Natural Geography* 10(35):101-114 (In Persian)
- Bayazidi A, Oladi B, and Abbasi N (2011) Analysis of questionnaire data with SPSS software. Tehran, Abed Publications, second edition, 127 pages (In Persian)
- Basati S (2006) Processing and zoning of average temperatures maximum and highest temperatures in Iran. Master's Thesis, Geography Majoring in Climatology, Supervisor Firooz Mojarad, Razi University of Kermanshah (In Persian)
- Hejazizadeh F and Parvin N (2009) Investigation of changes in temperature and rainfall in Tehran during the last half century. *Geography and Environmental Planning*, Preface No. 1388:43-56 (In Persian)
- Hassanzadeh A and Zarghami M (2011) Modeling the effect of surface water flow on reducing the level of Lake Urmia with the help of system dynamics. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, University of Tabriz 41(2):23-35 (In Persian)
- Hosseini Sh, Ghaffarzadeh H, Abedi Z, Shiry N (2014) Investigation of climate change phenomenon and its impacts on the use of natural lands of Gorgan River Basin. *Natural Environment (Natural Resources of Iran)* 67(1):25-39 (In Persian)
- Hayatzadeh M and Dedicated M (2016) Monitoring and evaluation of land use change process in fakhraabad watershed of Mehriz Yazd using remote sensing. *National Conference on Iranian Watershed Science and Engineering*, Volume 11 (In Persian)

تغییرات سطح ایستابی چاه‌های مشاهده‌ای نیز دارای روند معنی‌داری بوده و با جهشی در سال ۱۳۸۵، روندی کاهشی را دنبال نموده‌اند.

نتایج آزمون ضرایب همبستگی پیرسون، ارتباط خطی معناداری را بین متغیرهای مستقل و وابسته با همدیگر و نیز ارتباط این متغیرها با طول دوره آماری نشان داد. شیب خطی آزمون‌های رگرسیون خطی چند متغیره و ضرایب همبستگی پیرسون در مورد دبی، بارش و عمق آب زیرزمینی با تراز آب، منفی و برای درجه حرارت مثبت به دست آمد؛ یعنی با کاهش بارش، دبی رودخانه‌ها و عمق چاه‌های آب از یک سو و افزایش درجه حرارت از سوی دیگر، سطح آب دریاچه در طول دوره آماری کاهش داشته است. این آزمون مشخص کرد که بین متغیرهای مستقل (درجه حرارت، بارش، دبی رودخانه و سطح ایستابی) و نوسان‌های سطح آب دریاچه، همبستگی نسبتاً قوی وجود دارد که اکثراً در سطح ۰/۰۵ معنادار هستند و نشان‌دهنده اعتبار و قدرت بالای رابطه خطی بین تراز آب و میزان تأثیرپذیری این متغیر از متغیرهای مستقل است.

ضریب تعیین تحلیل رگرسیونی نشان می‌دهد که با فرض ثابت بودن سایر عوامل، کم و بیش ۳۰ درصد از تغییرات سطح آب دریاچه به کمک متغیرهای بارش و درجه حرارت توجیه می‌شود. با محاسبه مدل هیدرولوژی رگرسیونی مشخص شد که به فرض ثابت بودن عوامل اقلیمی و در نظر گرفتن تأثیر همزمان دبی و سطح ایستابی، ۴۷ درصد از نوسانات سطح آب ناشی از تغییرات دبی رودخانه‌ها و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی منطقه است. اگر تأثیر تغییرات عوامل هیدرولوژی در معادله ثابت در نظر گرفته شود، می‌توان گفت که به ازای هر میلی‌متر کاهش بارش، ۰/۱۵۴ متر تراز آب دریاچه کاهش پیدا می‌کند و به ازای هر درجه سانتی‌گراد افزایش درجه حرارت سالانه، ۰/۷۸۸ متر از تراز آب دریاچه کاسته می‌شود. به فرض ثابت بودن عوامل اقلیمی، به ازای هر واحد افزایش دبی رودخانه‌ها، ۱/۶۷۲ متر به آب دریاچه افزوده می‌شود و به ازای هر واحد افت سطح ایستابی، ۰/۸۳۷ متر از تراز آب دریاچه کاهش می‌یابد. با بررسی مدل‌های رگرسیونی می‌توان متوجه شد که تغییر در پارامترهای هیدرولوژیکی بیش‌تر از عناصر اقلیمی در نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه تأثیر دارند. همچنین افزایش درجه حرارت بیش‌تر از کاهش بارندگی در افت سطح آب دریاچه ارومیه تأثیرگذار است.

با توجه به قرارگیری دریاچه ارومیه در یک حوضه آبریز بسته، تنها عوامل بارش مستقیم و رواناب ورودی از آبراهه‌ها و رودخانه‌ها به عنوان منابع آب ورودی به دریاچه و تبخیر به عنوان خروجی از دریاچه در بیان آبی این سیستم هیدرولوژیکی به حساب می‌آید. لذا کاهش

- Evans J P, Smith R B, and Oglesby R J (1998) Middle east climate simulation and dominant precipitation processes. *International Journal of Climatology* 24:1671–1694
- Heim R R (2016) A review of twentieth-century drought indices used in United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84:1149-1165
- Kogan F N (2010) Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research* 15(11):91-100
- Liou K N (1999) *Radiation and cloud processes in the atmosphere: Theory, Observation, and Modeling*. Oxford University Press, 487 pp
- Lu D, Mausel P, and Brondi'zio E, and Moran E (2004) Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12):2365-2407
- Peng J, Zhang H, and Li Z Q (2016) Temporal and spatial variations of global deep cloud systems based on CloudSat and CALIPSO satellite observations. *Advances in Atmospheric Sciences* 31:593–603
- Suriya S and Mudgal B V (2015) Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed- a case study. *Hydrology Journal*, doi 10.1016/j.jhydrol.2011.05.008
- Teillet P M, Staenz K, and Willams D J (2000) Effects of spectral, spatial, and radiometric characteristics on remote sensing vegetation indices of forested regions. *Remote Sensing of Environment* 61:139–149
- Vardon M (2017) Preparation of the “Glossy” publication on the system of environmental-economic accounting for water. 16th Meeting of the London Group on Environmental Accounting Santiago, 25–28 October
- Wang X, Yu S, and Huang G H (2012) Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level. *Landscape Urban Plan* 66:61–74
- Yadav A K (2016) On the relationship between Iran surface temperature and northwest India summer monsoon rainfall. *International Journal of Climatology*, published online in Wiley online library, doi:10.1002/joc.4648
- Heydarian M H, Dehbandi N, and Dasi B (2016) Evaluation of the effect of each sub-basin of Urmia Lake catchment area on sudden reduction of lake water level by relying on water balance. *International Conference on Geographical Consequences and Environmental Impacts of Lake Urmia, Tabriz, Tabriz University* (In Persian)
- Dehdari S and Armand N (2018) Revealing the land use changes of Karun 3 and 4 dams using satellite images. *Journal of Rangeland and Watershed Management* 71(1):96-85 (In Persian)
- Rahimzadeh F (2011) *Statistical methods in meteorological and climatological studies*. Tehran, Seyed Baqer Hosseini Publications, first edition, 183 pages (In Persian)
- Asaker H and Ashrafi S (2011) Modeling the number of annual rainfall days based on the relative humidity and annual temperature of Zanjan. *Sepehr Magazine* 20(80):13-18 (In Persian)
- Mirzaei-Zadeh V and Mahdavi A, Kermanshahi A, and Jafarzadeh A A (1389) Application of integrated model of automatic cells and Markov chain in simulation of spatial-temporal pattern of forest cover change (Case study: Malekshahi city- Ilam province). *Ecology of Iran's Forests* 3(5):42-52 (In Persian)
- Nouri F, Visi H, and Mirzaei R (2018) Changes in land use and ecological services in Sahand Dam area using remote sensing technique. *Environmental Sciences Quarterly*, 16(1):207-224 (In Persian)
- Hadian F, Jafari R, and Yaghmaei L (2016) A study of the effects of establishing Baghkol dam on land change/land use changes. 2nd International Conference on Ecology of Landscape, Isfahan, Isfahan University of Technology (In Persian)
- Yari M, Soltani Gerdafamarzi S, Ghasemi Dastgerdi M, and Taghizadeh Mehrjardi R (2017) A study of land use change processes in a part of Qara Saveh Watershed. 8th Scientific Research Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources Management, Kerman, Iran Irrigation and Water Engineering Association (In Persian)
- Ackerman CT, Thomas AE, and Brunner GW (1999) HEC-GeoRas: Linking GIS to hydraulic analysis using ARC/INFO and HEC-RAS. *International ESRI User Conference, ESRI, Redlands*