

مطالعه تغییرات اقلیم استان آذربایجان غربی با رویکرد نجات دریاچه ارومیه

کیوان خلیلی*^۱، محمد ناظری تهرودی^۲، ندا خان محمدی^۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۸/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۰۵

^۱ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

^۳ دانشجوی دکتری منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: khalili2006@gmail.com

چکیده

جهت ارائه راهکار نجات دریاچه ارومیه ابتدا باید شرایط اقلیمی موجود و عوامل موثر بر خشکی آن مشخص شود. سپس با مدیریت عوامل مذکور نسبت به احیای آن اقدام گردد. عواملی مانند افزایش برداشت آب از حوضه آبریز دریاچه ارومیه (آب‌های سطحی و زیرزمینی)، تغییر اقلیم، احداث سد بر روی رودخانه‌های تغذیه کننده دریاچه، احداث پل میانگذر درون دریاچه می‌توانند در خشک شدن دریاچه نقش ایفا کنند. هر یک از عوامل مذکور منجر به بازخوردهای طبیعی می‌شوند که نقش آنها نیز باید در یک رویکرد سامانه‌ای در نظر گرفته شود. در این مطالعه سری‌های زمانی متغیرهای مختلف هیدرولوژیک نظیر دبی جریان، تراز سطح آب دریاچه ارومیه، دمای هوا، بارش، پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی و سطحی، تبخیر حوضه دریاچه ارومیه و همچنین روش‌های مدل‌سازی و پیش‌بینی، بررسی روند خشکسالی هیدرولوژی، خشکسالی هواشناسی و پهنه‌بندی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به طور کلی روند دبی، بارش، تبخیر و تراز سطح آب دریاچه ارومیه کاهشی و روند پارامترهای کیفی آب زیرزمینی و سطحی و حجم خشکی رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه افزایشی می‌باشد. نتایج حاصل از مدل‌سازی تراز سطح آب دریاچه ارومیه حاکی از ایجاد فرصت اقلیمی در جهت احیای دریاچه ارومیه است. در نهایت با استفاده از بررسی تمام پارامترهای کمی، کیفی، هیدرومتری و سینوپتیکی، راهکارهایی برای احیای دریاچه ارومیه پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: بررسی روند، پهنه‌بندی، تراز آب زیرزمینی، تغییر اقلیم، دریاچه ارومیه، مدل‌سازی

Climate Change Study in West Azerbaijan Province Regarding Lake Urmia Restoration

K Khalili^{*1}, M Nazeri Tahroudi², N Khanmohammadi²

Received: 25 October 2014 Accepted: 25 April 2015

¹- Assist. Prof., Water Eng. Dept., Faculty of Agric., Univ. of Urmia, Iran

²- MS.c. Student., Water Eng. Dept., Faculty of Agric., Univ. of Urmia, Iran

²- PhD. Student., Water Eng. Dept., Faculty of Agric., Univ. of Urmia, Iran

* Corresponding Author, Email : khalili2006@gmail.com

Abstract

In order to offer a way to save Lake Urmia, first the present climatic conditions and the factors that affect its drying should be identified. Then its rehabilitation may be undertaken by managing these factors. Factors like increasing water uses (surface and groundwater) from the Lake Urmia basin, climate changes, dam construction on the rivers feeding the Lake Urmia and the Causeway Bridge play role in Lake Urmia drying. Each of the mentioned factors leads to natural feedback that its role should also be considered in a systemic approach. In this study, different hydrological time series variables such as river discharge, water level of the Lake Urmia, air temperature, precipitation, quantitative and qualitative parameters of the surface and groundwater, evaporation from the Lake Urmia basin as well as the procedures of modeling and forecasting, trend analysis, hydrological drought, meteorological drought and zoning have been investigated. According to the results a decreasing trend was detected for the river discharges, precipitation, evaporation and the Lake Urmia water level series while an increasing trend was observed in the qualitative parameters of ground and surface waters and river deficiency volume series. Results obtained from the modeling of the Lake Urmia water level showed a climatological opportunity in restoration of the Lake Urmia. Finally, by studying the quantitative, qualitative, hydrometric and synoptic parameters, some solutions were presented for the Lake Urmia restoration.

Keywords: Climate change, Modeling, Trend investigation, Lake Urmia, Water table, Zoning

مقدمه

بر کاهش سطح آب دریاچه ارومیه آگاه گردید. مهم‌ترین این پارامترها دمای هوا، بارش، تبخیر، دبی جریان آب سطحی و زیرزمینی و مشخصات کیفی آنها است. در گام دوم بایستی بر اساس مدل‌ها و روش‌های پیشرفته و مطمئن از وضعیت این پارامترها در آینده و در نهایت سطح تراز آب دریاچه اطلاعاتی حاصل نمود. با نگاهی به مصارف داخل حوضه به‌ویژه وضعیت مصارف آب کشاورزی و زمین‌های زیرکشت گذشته و حال می‌توان دریافت که پتانسیل حال حاضر منابع آب به دریاچه اجازه برداشت حقایق مورد نیاز را نخواهند داد. زمانی

برای ارائه راهکار نجات دریاچه ارومیه ابتدا باید شرایط موجود آن شناسایی و عوامل موثر بر خشکی آن مشخص شود. در نهایت با مدیریت عوامل موثر بر آن و شرایط اقلیمی حال و آینده به نجات آن اقدام نمود. آنچه مشخص است مجموعه‌ای از عوامل مختلف در خشک شدن دریاچه ارومیه دخیل هستند که هرکدام ممکن است تا حدودی نقش داشته باشند. ابتدا لازم است روند تغییرات کلیه پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی شناسایی شده و از شکل و نحوه تغییر اقلیم و تاثیر آن

تهرودی و خلیلی (۱۳۹۲) جهت تخمین پارامترهای توزیع لاگ پیرسون نوع ۳ در برآورد دوره بازگشت حجم خشکی رودخانه‌های غرب دریاچه ارومیه، روش گشتاورهای میانگین متفرقه را پیشنهاد کردند. سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۹۲) کیفیت آب و روند تغییرات پارامترهای کیفی را در رودخانه چم انجیر خرم آباد طی سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۸۹ مورد بررسی قرار دادند. نتایج روندیابی پارامترهای کیفی آب (با استفاده از آزمون من کندال) نشان داد که علی‌رغم روند نزولی در مقدار اسیدیته و دبی جریان، سایر پارامترها از قبیل هدایت الکتریکی، بی‌کربنات، کلر، کلسیم، منیزیم، باقی‌مانده املاح، کل کاتیون‌ها، سختی موقت و سختی کل دارای روند صعودی و معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشند.

هدف از این مطالعه بررسی تمامی پارامترهای موجود در حوضه دریاچه ارومیه اعم از بارش، تبخیر، دما، دبی، پارامترهای کیفی آب زیرزمینی و سطحی، تراز سطح آب دریاچه ارومیه، خشکسالی‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی سطح حوضه جهت ارائه راهکارهای احیای آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه با نام سابق دریاچه رضائیه در شمال غرب ایران شده‌است. این دریاچه طبق آخرین تقسیمات کشوری، بین دو استان آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی تقسیم شده است. آب این دریاچه بسیار شور بوده و عمدتاً از رودخانه‌های زرينه‌رود، سیمینه‌رود، گادرچای، باراندوزجای، شهرچای، نازلوچای، زولاچای و تلخه‌رود تغذیه می‌شود. این حوضه با وسعتی برابر ۵۲۷۰۰ کیلومتر مربع و مساحتی معادل ۳/۲۱ درصد مساحت کل کشور، بین مدار ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و نصف النهار ۴۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. جهت بررسی تغییر و تحولات سطح حوضه از داده‌های مختلف هیدرولوژیکی به‌شرح زیر استفاده شده است.

می‌توان وضعیت هیدرولوژیکی دریاچه را به سوی بهبودی سوق داد که میزان حجم ورودی به دریاچه، از پتانسیل تبخیر از سطح آب دریاچه بیشتر باشد در غیراینصورت با بیلان منفی کاهش روزافزون سطح دریاچه مورد انتظار است. از طرفی یک راهکار ضربتی و کوتاه‌مدت در کنار راهکارهای پرهزینه و بلندمدت مانند انتقال آب بین حوضه‌ای نیاز است به‌طوری‌که بتواند ضمن قابل اجرا بودن به عنوان یک طرح سودمند عمل کند. بدین منظور که ضمن کمک به افزایش سطح دریاچه و فواید دیگر، رضایت ذینفعان را هم دربر داشته باشد. با توجه به کاهش روز به روز سطح آب دریاچه ارومیه، نگرانی‌های متعددی در مورد حیات و بقای دریاچه ارومیه شکل گرفته است. علاوه بر تصمیم‌گیری در مورد راهکارهای احیای دوباره دریاچه ارومیه، عوامل موثر در کاهش عمق این دریاچه نیز باید شناسایی و چاره‌اندیشی شود. در این تحقیق سعی شده است تمام عوامل هیدرولوژیکی، پارامترهای کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی و داده‌های هیدرومتری حوضه دریاچه ارومیه در جهت بهبود وضعیت فعلی مورد بررسی قرار گیرد. در زیر به برخی از تحقیقات انجام یافته در حوضه دریاچه ارومیه که در ارتباط با عوامل موثر در خشکی دریاچه بوده‌اند و همچنین مطالعات مشابه اشاره می‌شود.

ناظری‌تهرودی و همکاران (۲۰۱۳) کلر موجود در آب زیرزمینی حوضه دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار داده و نقشه‌های هم‌کلر را ترسیم کردند. بشارت و همکاران (۲۰۱۴) خشکسالی هیدرولوژیکی رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار دادند و حجم خشکی رودخانه‌های این حوضه را بدست آوردند. خلیلی و همکاران (۲۰۱۴a) جهت برآورد دوره بازگشت سیل در رودخانه بابلرود، توزیع‌های آماری مختلف را مورد بررسی قرار دادند. خلیلی و همکاران (۲۰۱۴b) دمای متوسط ماهانه ایستگاه سینوپتیک ارومیه را مورد بررسی قرار داده و مدل متناسب با داده‌های این منطقه را شناسایی کردند. خلیلی (۲۰۱۴) روش‌های مختلف زمین آمار را جهت درونیابی سطح آب زیرزمینی اطراف دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار داد. ناظری-

که در آن x_j مقدار داده j ام، n طول دوره آماری و $sgn(x)$ تابع علامت می باشد که به صورت زیر تعریف می گردد:

$$\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad [۲]$$

به ازای $n \geq 8$ آماره S دارای توزیع نرمال بوده و میانگین و واریانس آن به شرح زیر می باشد:

$$E(S) = 0 \quad [۳]$$

$$\operatorname{Var}(S) = \frac{n - (n-1)(2n+5) - C}{18} \quad [۴]$$

که در آن C عاملی مربوط به تصحیح واریانس است و در صورتی که داده های تکراری متوالی در سری داده ها وجود داشته باشد، عامل مذکور از رابطه زیر محاسبه شده و در واریانس اعمال می شود:

$$C = \sum_{i=1}^m t_i(t_i - 1)(2t_i - 5) \quad [۵]$$

که در آن t_i تعداد داده های یکسان در دسته i ام می باشد. در نهایت آماره آزمون من - کندال یا Z به شکل زیر محاسبه می شود (کندال ۱۹۲۸):

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad [۶]$$

فرض صفر (عدم وجود روند) به شرط صورت، H_0 رد و فرض مخالف آن یعنی وجود روند پذیرفته می شد (کندال ۱۹۲۸، من ۱۹۴۵).

بررسی حجم خشکی رودخانه

جهت استخراج داده های حجم خشکی رودخانه از روش سال میانگین (میانگین دبی) استفاده شده است. مدت دوام دوره های خشکی از سری زمانی داده های دبی روزانه ۹ ایستگاه مورد مطالعه استخراج گردید. ابتدا سال میانگین برای هر ۳۶۵ روز سال با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (ناظری تهرودی و همکاران ۱۳۹۲).

۱- سری زمانی داده های دبی رودخانه های منتهی به دریاچه ارومیه در دوره آماری ۳۰ ساله در مقیاس روزانه در دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۶۰.

۲- سری زمانی داده های تراز سطح آب دریاچه ارومیه در مقیاس های زمانی روزانه و سالانه در دوره آماری ۴۹ ساله (۱۳۹۰-۱۳۴۱).

۳- داده های حجم خشکی مستخرج از داده های دبی روزانه در مدت دوام پیوسته ۱ تا ۶۰ روزه (رابطه ۷).

۴- داده های تبخیر از تشت در سطح حوضه دریاچه ارومیه در دوره آماری ۱۳۹۱-۱۳۸۱ در مقیاس های زمانی ماهانه و سالانه.

۵- سری زمانی داده های تراز سطح آب زیرزمینی حوضه در دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۸۰ در دو مقیاس سالانه و ماهانه.

۶- سری زمانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۸۰ در دو مقیاس سالانه و ماهانه.

۷- سری زمانی داده های کیفی آب سطحی در دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۸۰ در دو مقیاس سالانه و ماهانه.

۸- سری زمانی داده های بارش و دمای ایستگاه های سینوپتیک شمال غرب کشور در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۰ (۱۳۸۹-۱۳۳۹) در دو مقیاس سالانه و ماهانه.

در این تحقیق جهت بررسی تغییر و تحولات بیلان آب حوضه دریاچه ارومیه و تغییرات اقلیمی این حوضه، از روش های آماری و مدل سازی کلاسیک به شرح زیر استفاده شده است.

بررسی روند تغییرات پارامترهای هیدرولوژیکی

جهت بررسی روند تمامی پارامترها از روش من - کندال (در مقیاس سالانه) و روش کندال فصلی (در مقیاس های فصلی و ماهانه) استفاده شده است. فرم کلاسیک آزمون من - کندال در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است. اگر تعداد داده های سری زمانی در دوره مورد بررسی n باشد، ابتدا آماره S به شرح زیر محاسبه می شود:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \operatorname{sgn}(x_j - x_k) \quad [۱]$$

شد. در این راستا ابتدا با استفاده از داده‌های دبی روزانه رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه در دوره آماری سی ساله (۱۳۹۰-۱۳۶۰)، حجم خشکی رودخانه‌های مورد بررسی در مدت دوام‌های پیوسته ۱ تا ۶۰ روزه استخراج گردید. جهت برآورد دوره بازگشت حجم خشکی رودخانه‌های مورد مطالعه، توابع توزیع آماری متناسب با داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت (خلیلی و همکاران ۲۰۱۴c، ناظری‌تهرودی و خلیلی ۱۳۹۲، خلیلی و همکاران ۲۰۱۴a).

مدلسازی و پیش‌بینی دبی جریان و سطح آب دریاچه ارومیه:

جهت مدلسازی و پیش‌بینی دبی جریان و سطح آب دریاچه ارومیه از دو مدل خطی سری زمانی و برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده شد. با در نظر گرفتن سری زمانی نرمال و استاندارد Z_t مدل میانگین متحرک خودهمبسته ARMA(p,q) به صورت زیر در نظر گرفته شد:

$$Z_t = \sum_{i=1}^p (\phi_i Z_{t-i}) - \sum_{j=1}^q (\theta_j \varepsilon_{t-j}) + \varepsilon_t \quad [9]$$

که در آن p مرتبه مدل AR و q مرتبه مدل MA و ϕ_i و θ_j ضرایب مدل می‌باشند (سالاس ۱۹۹۸).

بررسی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی

در نهایت جهت بررسی خشکسالی‌های هواشناسی استان مورد مطالعه از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی استفاده شد. همچنین جهت بررسی همگنی، تصادفی بودن و نرمال‌سازی داده‌ها در مدلسازی و پیش‌بینی‌ها به ترتیب از آزمون‌های ویلکاکسون، والد - ولفوویتس و توابع نرمال‌ساز استفاده شد (ویلکاکسون ۱۹۴۵، مندلهال و رینموث ۱۹۸۲)

نتایج و بحث

نتایج بررسی روند تغییرات تراز سطح آب دریاچه ارومیه در طی دوره آماری

با توجه به بررسی روند تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از آزمون من-کندال مشخص

$$K_i = \frac{\sum Y_{ij}}{n} \quad (i=1,2,3,\dots,365 \text{ \& } j=1,2,\dots,n) \quad [7]$$

که در آن K_i برابر با سال میانگین روز i ام، Y_{ij} برابر با دبی روز i ام در سال j ام و n برابر با تعداد سال دوره آماری است. مثلاً K_1 برابر با میانگین دبی یک مهرماه که در طول دوره آماری بدست می‌آید $\sum Y_{1j}$ برابر با مجموع دبی‌های یک مهرماه در تمام سال‌های دوره آماری فرض شد. به همین ترتیب میانگین دبی برای دوم مهر، سوم مهر، ... و ۲۹ اسفند محاسبه شد. سپس دبی روزانه از مقدار میانگین طولانی مدت همان روز کم شد. با انتخاب بیشترین حجم خشکی (منفی‌ترین) پیوسته ۱ تا ۶۰ روزه، دوام‌های خشکی ۱، ۲، ۳، ...، ۶۰، روز استخراج می‌گردد. جهت اطلاع بیشتر از آماره این روش می‌توان به بشارت و همکاران (۲۰۱۴) مراجعه کرد.

پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب

جهت بررسی و پهنه‌بندی پارامترهای کیفی از روش زمین آمار کریجینگ استفاده شد. مهم‌ترین تخمین‌گر آمار فضایی است که به افتخار یکی از پیشگامان علم زمین آمار به نام دی‌جی کریگ^۱ که یک مهندس معدن آفریقای جنوبی بوده است، کریجینگ نام گرفت. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و به صورت زیر تعریف می‌شود (قهرودی تالی ۱۳۸۱، ناظری‌تهرودی و همکاران ۲۰۱۴).

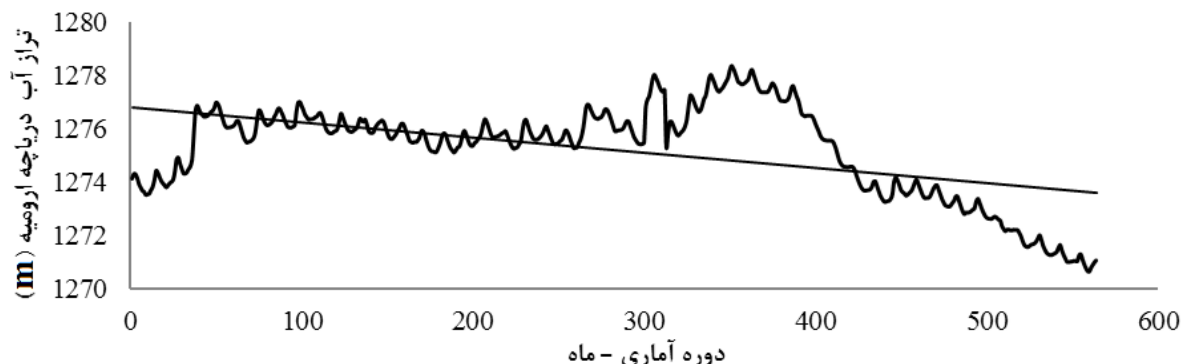
$$Z_v^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{vi} \quad [8]$$

که در آن n تعداد ایستگاه‌ها، Z_v^* پارامتر تخمینی، λ_i وزن نمونه i ام و Z_{vi} پارامتر معلوم می‌باشد (الیور و وبستر ۱۹۹۰).

بررسی توابع توزیع آماری و محاسبه دوره بازگشت حجم خشکی

جهت بررسی دوره بازگشت حجم خشکی از روش‌های آماری و توزیع‌های آماری مختلف استفاده

(از فروردین ماه ۱۳۴۱ تا فروردین ۱۳۹۰) به شرح شکل ۱ ارائه گردید. بیشترین تراز سطح آب در کل دوره آماری مورد مطالعه معادل ۱۲۷۸/۴۱ متر در خرداد ماه سال ۱۳۷۴ و کمترین آن معادل ۱۲۷۰/۳۷ متر در فروردین ماه سال ۱۳۹۰ مشاهده شده است.



شکل ۱- بررسی روند تغییرات تراز سطح آب دریاچه ارومیه در مقیاس ماهانه (عدد صفر نشان دهنده فروردین ماه ۱۳۴۱).

مشخص گردید که روند تغییرات دبی جریان در هر دو مقیاس سالانه و ماهانه، در مناطق جنوبی دریاچه ارومیه از کاهش بیشتری نسبت به سایر نقاط می باشد. که این موضوع به دلیل کاهش شدید دبی جریان در رودخانه های جنوب دریاچه (به خصوص رودخانه سیمینه رود و گادارچای) می باشد که می توان آن را در کاهش عمق دریاچه موثر دانست. همچنین با بررسی نقشه های هم ارتفاع در سطح استان، مشاهده گردید که ارتفاع و کاهش روند دبی جریان، رابطه عکس باهم دارند و در مناطق غربی دریاچه که دارای ارتفاعات بالاتری است، روند کاهش دبی در این مناطق کمتر از بقیه مناطق است.

تحلیل نتایج خشکی رودخانه های منتهی به دریاچه داده های خشکی های رودخانه ها با استفاده از روش سال میانگین (رابطه ۷) و از داده های دبی روزانه منطقه مورد مطالعه استخراج و تا مدت دوام ۶۰ روزه تصحیح و تکمیل شد. نتایج حاصل از محاسبه حجم خشکی دو رودخانه شهرچای و زرینه رود به عنوان نمونه به شرح شکل های ۳ و ۴ ارائه گردید. حجم خشکی های مورد نظر در طول مدت دوام های متفاوت، دارای تناوب خاصی است و تقریباً الگویی مشخص در تمام مدت دوامها دارد. لذا می توان روند یکی از مدت دوامها را بررسی کرد و به سایر مدت دوامها، این روند را

گردید که روند کاهشی معنی دار در مقیاس سالانه ($Z=-3.156$) و روند کاهشی شدید معنی دار در مقیاس ماهانه (به طور متوسط برای تمام ماهها $Z=-10.907$) در داده های تراز سطح آب دریاچه وجود دارد. سری زمانی تغییرات تراز سطح آب دریاچه ارومیه در مقیاس ماهانه

بررسی روند جریان رودخانه های منتهی به غرب دریاچه ارومیه

نتایج حاصل از بررسی روند متوسط دبی سالانه رودخانه های مورد مطالعه نشان داد که از بین ۱۳ رودخانه منتهی به غرب دریاچه ارومیه، ۲ رودخانه باراندوزچای، نازلوچای و شهرچای دارای روند افزایشی ضعیف در سطح اطمینان ۵ درصد می باشند. ۱۰ رودخانه دیگر دارای روند کاهشی می باشند که از این ۱۰ رودخانه، رودخانه های زرینه رود، سیمینه رود و گادارچای دارای روند کاهشی معنی دار و رودخانه های مهابادچای، روضه چای و زولاچای دارای روند کاهشی غیرمعنی دار هستند. هر ۴ رودخانه آذربایجان شرقی (آجی چای، صوفی چای، مردوق چای و لیلان چای) دارای روند کاهشی معنی دار در سری زمانی دبی جریان رودخانه بودند. همچنین نتایج نشان داد که در مقیاس سالانه، بیشترین روند کاهشی، مربوط به رودخانه سیمینه رود می باشد که این موضوع در مقیاس ماهانه نیز صادق است. در مقیاس ماهانه، روند کاهشی معنی دار در سری زمانی دبی ماهانه تمام رودخانه ها محاسبه گردید. نتایج نشان داد که هر چه مقیاس محاسبه روند کاهش یابد، تغییرات سری های زمانی دقیق تر محاسبه می گردد. با توجه به نقشه های پهنه بندی آماره Z

استفاده از آزمون من - کندال، برای تمام رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آماره من - کندال در جدول ۴ ارائه گردید.

تعمیم داد. همچنین این موضوع را می‌توان با محاسبه همبستگی بین مدت دوام‌های مختلف، بررسی کرد. بعد از انتخاب مدت دوام یک روزه حجم خشکی به‌عنوان مدت دوام نماینده سایر مدت دوام‌ها، روند این مدت دوام با

جدول ۱- نتایج بررسی روند سالانه سری زمانی دبی رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه.

رودخانه	S	Z	P
زربینه رود	-۲۹	-۰/۳۱۸	۰/۷۵۰
زولاچای	-۲۲۵	-۲/۸۱۶	۰/۰۰۴
سیمینه رود	-۲۵۰	-۴/۹۱۹	۰
شهرچای	-۲۹	-۰/۵	۰/۶۱۷
گادارچای	-۲۹۹	-۳/۰۱۴	۰/۰۰۲
مهابادچای	-۱۱۱	-۱/۸۷	۰/۰۶۱
نازلوچای	-۹۸	-۰/۶۶۸	۰/۵۰۴
باراندوزچای	-۱۱۱	-۰/۸۲۱	۰/۴۱۱
روضه‌چای	-۱۲۲	-۲/۳۹۱	۰/۰۱۶
آجی‌چای	-۷۶	-۲/۲۶۵	۰/۰۲۳
صوفی‌چای	-۱۳۷	-۲/۳۱۲	۰/۰۲۰
لیلان‌چای	-۱۱۸	-۱/۸۱۳	۰/۰۶۹
مردوق‌چای	-۱۶۹	-۲/۴۹۱	۰/۰۱۲

جدول ۲- نتایج بررسی روند فصلی سری زمانی دبی رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه.

رودخانه	S	Z	P
زربینه رود	۱۰۰	-۰/۴۱۴	۰/۷۵۳
زولاچای	-۵۸۵	-۲/۵۳۸	۰/۰۰۱
سیمینه رود	-۱۲۱۹	-۹/۴۴۴	۰
شهرچای	-۲۲۸	-۲/۰۲۵	۰/۱۷۳
گادارچای	-۱۰۹۳	-۵/۵۳۳	۰
مهابادچای	-۴۲۲	-۲/۳۵۷	۰/۰۲۴
نازلوچای	-۶۳۷	-۲/۶۶	۰/۰۸۷
باراندوزچای	-۷۹۸	-۲/۳۳۳	۰/۰۳۴
روضه‌چای	-۴۵۶	-۴/۴۹۷	۰/۰۰۵
آجی‌چای	-۲۱۳	-۲/۲۰۳	۰/۰۲۵
صوفی‌چای	-۴۴۳	-۲/۷۵۶	۰/۰۰۲
لیلان‌چای	-۴۴۵	-۲/۵۳۱	۰/۰۱۳
مردوق‌چای	-۷۳۵	-۵/۴۴۱	۰

شدت این افزایش در فصل بهار کمتر از دیگر فصول سال می‌باشد. در حوضه باراندوزچای تبخیر حوضه باراندوزچای در تمامی ماه‌ها به استثناء آبان ماه روند کاهشی نشان می‌دهد. روند سالانه نیز به شدت کاهشی است. به نظر می‌رسد در حوضه گادارچای روند افزایشی تبخیر و روند کاهشی بارش ماه‌های پاییزه باعث تشدید روند کاهشی دبی پاییزه این رودخانه

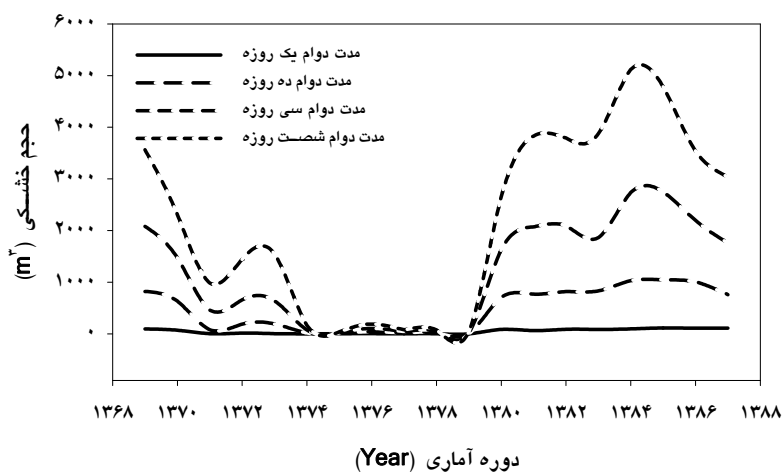
نتایج بررسی تبخیر در سطح حوضه دریاچه ارومیه شدت تبخیر در ماه‌های مختلف متفاوت است. در ماه‌های گرم تبخیر افزایش یافته و در ماه‌های سرد کاهش می‌یابد. در حوضه نازلوچای و زولاچای، تبخیر از توزیع نرمال پیروی می‌کند. بیان این نکته لازم است که پیروی از توزیع نرمال به معنی این است که داده‌های ثبت شده معرف خوبی از جامعه هستند. در حوضه شهرچای تبخیر در تمامی ماه‌ها در حال افزایش است.

تبخیر فصل تابستان و پاییز روند افزایشی دارد در مجموع نیز تبخیر در مقیاس سالانه در حال افزایش است. میزان تبخیر و تعرق سالیانه نیز در ایستگاه‌های موجود در سطح حوضه نظیر ایستگاه تبریز، ارومیه، سنندج روند افزایشی دارد. این موضوع با یافته‌های تحقیق رضوی‌راد (۱۳۹۲) مطابقت دارد.

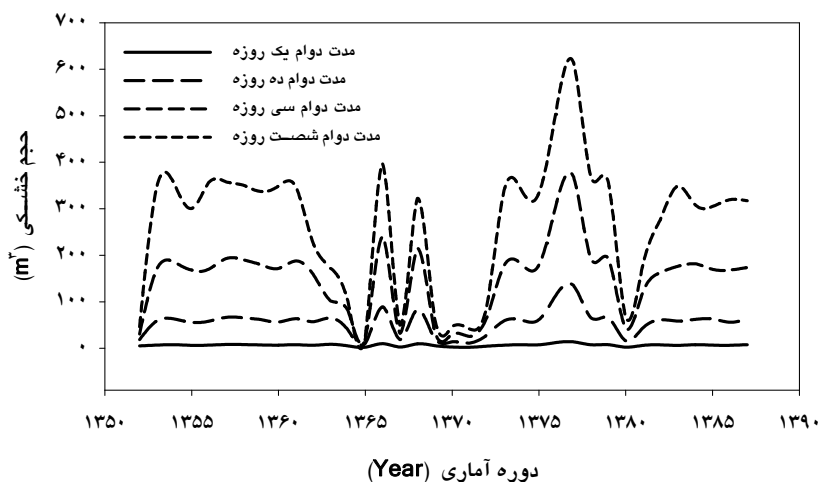
شده‌اند. در حوضه مهابادچای روند تبخیر در ماه‌های آذر، مرداد و شهریور افزایشی غیرمعنی‌دار و در سایر ماه‌های سال فاقد روند می‌باشد. در حوضه سیمینه‌رود تبخیر فصل تابستان در منطقه به شدت در حال افزایش است ولی این روند در دیگر فصول دارای شیب صعودی کمتری است. در حوضه زرینه‌رود تبخیر در ماه‌های مهر، مرداد و شهریور در حال افزایش است.

جدول ۳- نتایج بررسی روند ماهانه سری زمانی دبی رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه.

رودخانه	S	Z	P
زرینه‌رود	-۱۷۴۰	-۴/۲۰۳	۰/۷۵۳
زولاچای	-۲۴۸۵	-۹/۰۱۶	۰
سیمینه‌رود	-۲۳۰۸	-۱۳/۱۸۶	۰
شهرچای	-۸۱۱	-۴/۱۷۲	۰/۰۶۳
گادارچای	-۳۴۴۶	-۱۰/۰۶۵	۰
مهابادچای	-۱۲۶۷	-۶/۶۱۲	۰/۰۰۱
نازلوچای	-۲۰۸۷	-۵/۰۱۶	۰/۰۴۵
باراندوزچای	-۲۵۵۷	-۶/۱۷۲	۰/۰۱۲
روضه‌چای	-۱۳۴۰	-۷/۷۰۱	۰/۰۰۳
آجی‌چای	-۶۰۹	-۵/۳۰۳	۰
صوفی‌چای	-۱۳۳۵	-۶/۵۴۵	۰/۰۰۶
لیلان‌چای	-۱۲۳۸	-۵/۷۷۹	۰/۰۰۷
مردوق‌چای	-۲۰۸۰	-۸/۸۹۸	۰



شکل ۳- حجم خشکی استخراج شده رودخانه زرینه‌رود.



شکل ۴ - حجم خشکی استخراج شده رودخانه شهرچای.

جدول ۴- نتایج آزمون من - کندال (حجم خشکی یک روزه) در رودخانه‌های مورد مطالعه.

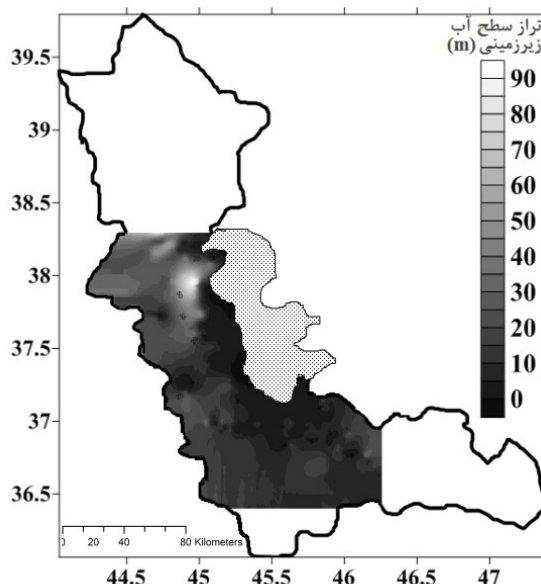
رودخانه	p value	Z	معادله روند	فرض H0
زیرینه‌رود	۰/۰۳۵	۲/۰۹۹	$Y = -7558.7 + 5.532X$	قبول
مهابادچای	۶/۹۵۲	۲/۹۸۰	$Y = -1502.1 + 1.098X$	رد
روضه‌چای	۰/۰۰۲	۲/۰۲۵	$Y = 126.86 - 0.890E-01X$	رد
گادارچای	۰/۰۰۰	۳/۶۲۵	$Y = -1058.7 + 0.7750 X$	رد
شهرچای	۰/۸۵۹	۰/۱۷۷	$Y = 2.3076 + 0.333E-02X$	قبول
نازلوچای	۰/۶۸۲	۰/۴۰۸	$Y = 5.4195 + 0.2073E-01X$	قبول
باراندوزچای	۰/۰۳۲	۲/۱۳۲	$Y = 4.4871 + 0.305E-01X$	قبول
سیمینه‌رود	۰/۰۰۴	۳/۸۵۲	$Y = -730.67 + 0.5360 X$	رد
زولاچای	۰/۰۱۱	۳/۵۳۰	$Y = -321.51 + 0.2375 X$	رد
آجی‌چای	۰/۰۰۱۴	۳/۱۹۱	$Y = -43.713 + 0.8380 X$	رد
صوفی‌چای	۰/۵۸۷	۰/۵۴۲	$Y = 4.8640 + 0.2342E-01X$	قبول
لیلان‌چای	۰/۷۲۱	۱/۷۹۹	$Y = 1.5204 + 0.6423E-01X$	قبول
مردوق‌چای	۰/۰۲۴۶	۲/۲۴۷	$Y = 0.56255 + 0.6992E-01X$	قبول

منطقه در مدل‌های ماهیانه و میانگین کل در روش‌های مختلف به صورت یکسان بدست آمد که این نتیجه نشان دهنده برازش مناسب مدل است.

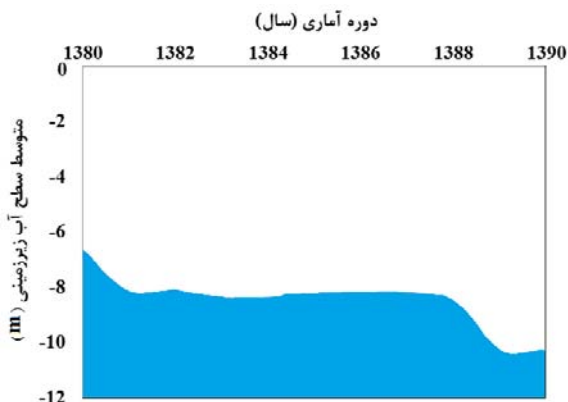
بررسی و پهنه‌بندی تغییرات سطح آب زیرزمینی سطح آب زیرزمینی اطراف دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده از منابع آبی مختلف، با استفاده از مدل‌های زمین آمار در سطح استان آذربایجان غربی پهنه‌بندی شد. سطح ایستابی منطقه مورد مطالعه از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۸ تغییر چندانی نداشته و تقریباً ثابت بوده است ولی به طور متوسط از سال ۱۳۸۸ تا سال ۱۳۹۰ کاهش داشته است (ناظری-تهرودی و خلیلی ۱۳۹۲). از آنجا که داده‌های ایستگاه-های پیژومتری در منطقه مورد مطالعه مربوط به ۶۳۴ چاه پیژومتر یکسان بود، الگوی پراکنش آب زیرزمینی

نتایج بررسی روند کیفی آب زیرزمینی

در بررسی روند تغییرات پارامترهای کیفی آب رودخانه مشخص گردید که در طی دوره آماری، روند تغییرات بیشتر پارامترها سیر صعودی دارند. نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات (آماره من - کندال) آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به شرح جدول ۵ ارائه گردید. بررسی میانگین سالانه پارامترهای EC و TDS سالانه مناطق مختلف محدوده آذربایجان غربی نشان از افزایش این پارامتر در طول دوره آماری بود. بررسی برای تمام مناطق صورت گرفت و نتایج یکسان (افزایش پارامترهای EC و TDS) برای تمام مناطق بدست آمد. همان‌طور که از نقشه‌های پراکنش EC و TDS مشخص است، پارامترهای EC و TDS در شمال غرب دریاچه ارومیه از سایر نقاط بیشتر است و هر چه از دریاچه فاصله می‌گیرد به تدریج از پارامترهای EC و TDS موجود در آب زیرزمینی کاسته می‌شود تا جایی که در مرزهای غربی و جنوبی استان آذربایجان غربی، به کمترین مقدار خود می‌رسد. پارامترهای EC و TDS موجود در آب زیرزمینی منطقه نسبت به سال‌های گذشته افزایش یافته است و این در حالی است که سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در طی دوره آماری کاهش یافته است.



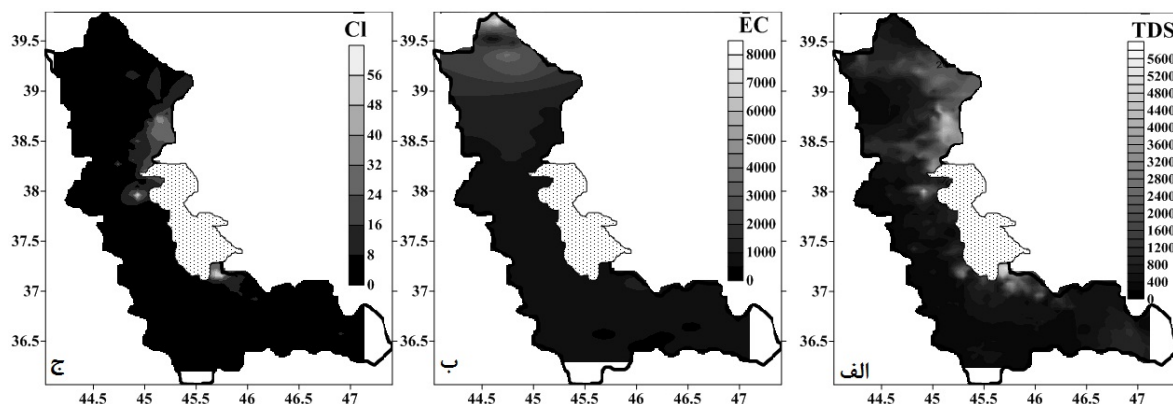
شکل ۵- تراز سطح آب زیرزمینی اطراف دریاچه ارومیه.



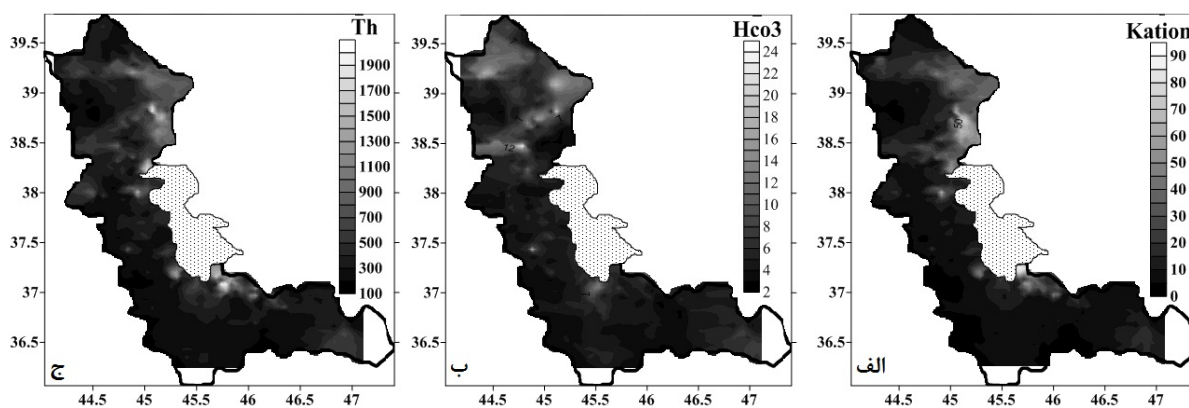
شکل ۶- تغییرات تراز سطح ایستابی کل منطقه مورد مطالعه (با در نظر گرفتن عدد صفر به عنوان سطح مرجع).

جدول ۵- نتایج بررسی روند تغییرات پارامترهای کیفی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه.

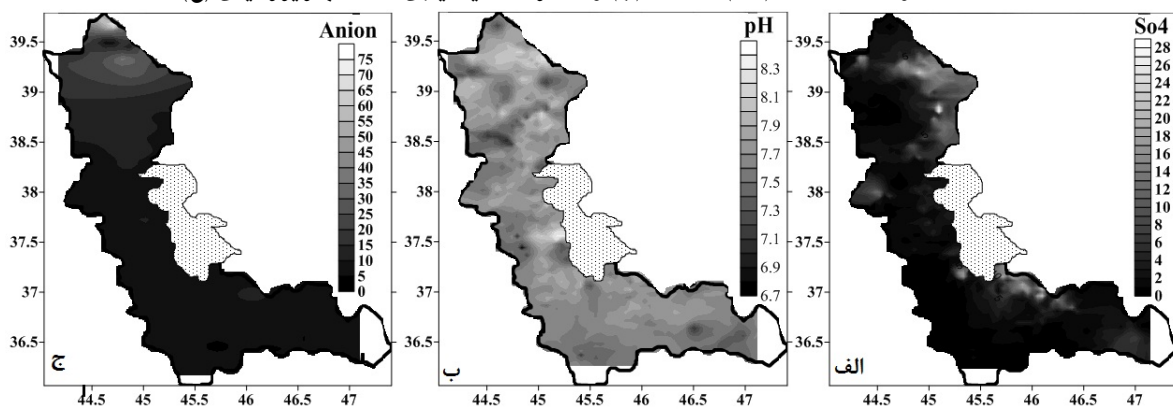
Mg	Na	SO4	pH	HCO3	SAR	Ca	Th	Cl	EC	TDS	پارامتر
											آماره
۰/۲۷۸	۰/۲۹۶	۰/۸۵۱	۰/۴۰۱	۰/۱۲۷	۰/۳۸۲	۰/۴۲۸	۰/۰۴۰	۰/۶۰۶	۰/۵۱۰	۰/۳۲۹	Z



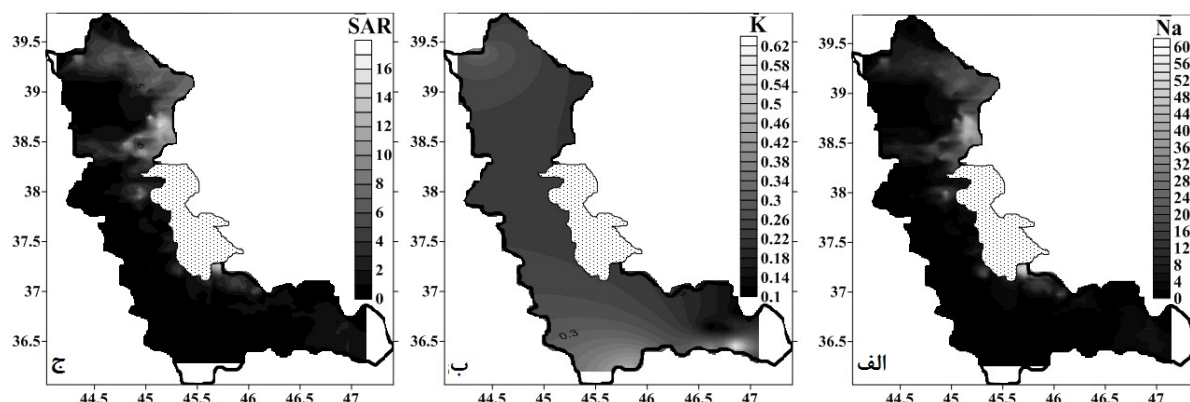
شکل ۷- مقدار TDS (الف)، EC (ب) و مقدار کلر میان‌یابی شده آب زیرزمینی (ج).



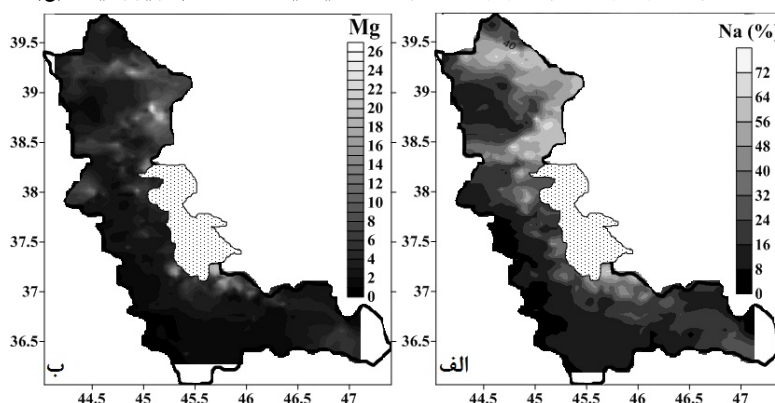
شکل ۸- متوسط Kation (الف)، HCO_3 (ب) و مقدار Th میان‌یابی شده آب زیرزمینی (ج).



شکل ۹- مقدار SO_4 (الف)، PH (ب) و متوسط Anion میان‌یابی شده آب زیرزمینی (ج).



شکل ۱۰- مقدار Na (الف)، مقدار K (ب) و مقدار SAR میان‌یابی شده آب زیرزمینی (ج).



شکل ۱۱- مقدار Mg (الف) و مقدار Na% میان‌یابی شده آب زیرزمینی (ب).

است که مطلوب نبوده و تلاش جدی کشاورزان و مسئولین را جهت کاهش مصرف آب و در نتیجه بهبود کیفیت آن می‌طلبد. بررسی نقشه‌های هم‌پراکنش پارامترها در منطقه مورد مطالعه، افزایش پارامترها را در اطراف دریاچه ارومیه خصوصاً در قسمت شمالی و جنوبی آن و شمال استان آذربایجان غربی نشان داد. در صورت افزایش چاه‌ها جهت مصارف مختلف در سطح استان و افزایش بهره‌برداری از آنها و نیز افزایش کودهای مصرفی، شاهد غیر قابل استفاده شدن آب‌های زیرزمینی و آلوده و شور شدن هر چه بیشتر آنها خواهیم بود. نقشه‌های پراکنش پارامترها در منطقه مورد مطالعه، افزایش پارامترها را در شمال استان آذربایجان غربی و شمال و جنوب دریاچه ارومیه نشان داد. همچنین نتایج مربوط به مقدار pH نیز بازی بودن آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه را نتیجه داد. افزایش پارامتر Na در شمال و جنوب دریاچه ارومیه مشهود است. افزایش این پارامتر در قسمت‌های شمالی استان

تغییرات مکانی پارامترهای مجموع آنیون‌ها، مجموع کاتیون‌ها و SO_4 ، نیز مشابه سایر پارامترهای سطح حوضه است. تجمع این پارامترهای کیفی در اطراف دریاچه ارومیه نسبت به سایر نقاط استان بیشتر بوده و با دور شدن از دریاچه، مقدار آن‌ها کاهش می‌یابد. این افزایش در شمال دریاچه به ویژه برای پارامتر کیفی SO_4 بیشتر است. گسترش مکانی دو پارامتر TH و HCO_3 نسبت به سه پارامتر اشاره شده در سطح استان بیشتر است. مقدار افزایش HCO_3 در اطراف دریاچه و شمال استان مشهود است. افزایش پارامتر TH و گسترش مکانی آن در مقایسه با سه پارامتر آنیون، کاتیون و SO_4 بیشتر و در مقایسه با پارامتر HCO_3 کمتر است. بالاترین حد مجاز سختی کل ۵۰۰ میلی گرم در لیتر است ولی عملاً آب‌هایی که سختی آنها از ۲۰۰ بیشتر باشد، برای کشاورزی مطلوب نیست. با توجه به تغییرات مکانی پارامتر TH، کمینه مقدار موجود این پارامتر در کل استان، بیشتر از ۲۰۰ میلی گرم در لیتر

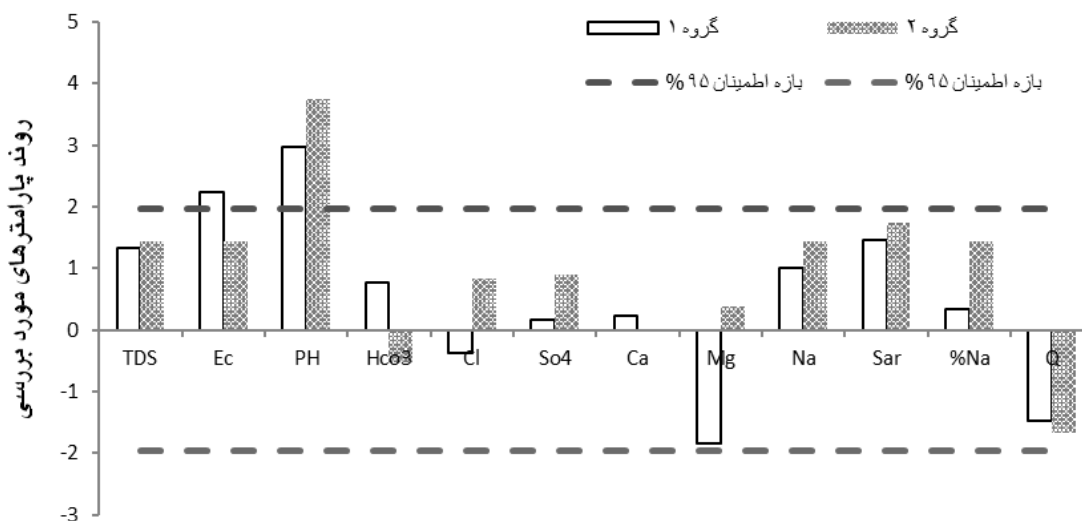
آذربایجان غربی و دریاچه ارومیه بیشتر مشاهده می‌گردد. مقدار پارامتر pH حاصل بالاتر از ۷ در کل منطقه مورد مطالعه نشان از بازی بودن آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، مخصوصاً در اطراف دریاچه دارد. برای پارامترهای SAR، K و Mg نیز پراکنش بیشتر این پارامترها در اطراف دریاچه و بیشتر در قسمت‌های جنوبی و شمالی آن مشهود است. نتایج مربوط به پارامترهای SAR، Na، K و Mg نشان داد که آب زیرزمینی در قسمت شمالی استان آذربایجان غربی و دریاچه ارومیه دارای شوری بیشتری نسبت به دیگر قسمت‌های آن می‌باشد این امر می‌تواند ناشی از برداشت بی‌رویه آب از این مناطق یا کیفیت نامناسب آب زیرزمینی ورودی به آن باشد. با بررسی روند تغییرات پارامترهای کیفی آب زیرزمینی حوضه دریاچه ارومیه مشخص گردید که در دوره آماری مورد بررسی، روند بیشتر پارامترها افزایشی بوده است. این نتایج با تحقیقات قربانیان و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت دارد.

نتایج بررسی روند کیفی آب سطحی

پارامتر کیفی TDS دارای روند افزایشی در همه رودخانه‌ها (به غیر از رودخانه شهرچای) می‌باشد. پارامتر کیفی EC نیز دارای روند افزایشی در همه رودخانه‌ها (جز رودخانه سیمینه‌رود) می‌باشد. روند افزایشی تغییرات هر دو پارامتر EC و TDS در رودخانه‌های باراندوزچای، روضه‌چای و زولاچای در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده و مقدار این روند در زولاچای بیشتر است. روند تغییرات پارامتر pH در همه ایستگاه‌ها افزایشی بوده و به غیر از رودخانه‌های زولاچای و شهرچای، مقدار آن در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار است. تغییرات این پارامتر در مهابادچای از همه بیشتر است. روند افزایشی پارامتر HCO_3 در همه رودخانه‌ها (به جز روضه‌چای، سیمینه‌رود و شهرچای) دیده شد. روند افزایشی و کاهش‌ی این پارامتر، به ترتیب، در رودخانه زولاچای و شهرچای بیشتر از دیگر رودخانه‌ها می‌باشد. در رودخانه‌های باراندوزچای، روضه‌چای، گادارچای و نازلوچای، روند تغییرات پارامتر Cl منفی بوده و در ۵ رودخانه دیگر مثبت است.

بیشترین شیب خط روند نزولی این پارامتر مربوط به گادارچای و بیشترین شیب خط روند صعودی آن مربوط به زولاچای می‌باشد. روند تغییرات پارامتر کیفی SO_4 در همه رودخانه‌ها (جز شهرچای و نازلوچای) و روند تغییرات پارامتر Ca در همه رودخانه‌ها (به جز روضه‌چای، زرینه‌رود و نازلوچای) افزایشی است. بیشینه روند کاهش‌ی و افزایشی پارامتر SO_4 به ترتیب، در رودخانه‌های نازلوچای و گادارچای و بیشینه روند کاهش‌ی و افزایشی پارامتر Ca، به ترتیب، در رودخانه‌های روضه‌چای و سیمینه‌رود، مشاهده شد. روند تغییرات پارامتر Mg در رودخانه‌های باراندوزچای، روضه‌چای و زولاچای افزایشی و در بقیه رودخانه‌ها کاهش‌ی است. روند کاهش‌ی پارامتر Mg در نازلوچای در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بوده و بیشینه روند افزایشی این پارامتر در روضه‌چای واقع شده است. روند تغییرات پارامتر Na در همه رودخانه‌ها (جز سیمینه‌رود و شهرچای) و روند تغییرات پارامترهای SAR و $\text{Na}\%$ در همه رودخانه‌ها (جز شهرچای) افزایشی است. روند افزایشی پارامتر Na در باراندوزچای و روند کاهش‌ی این پارامتر در شهرچای از همه رودخانه‌ها بیشتر است. روند افزایشی پارامترهای SAR و $\text{Na}\%$ به ترتیب، در رودخانه‌های زرینه‌رود و گادارچای بیشتر از رودخانه‌های دیگر است. روند کاهش‌ی $\text{Na}\%$ در رودخانه شهرچای در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار است. روند تغییرات دبی نیز در همه رودخانه‌ها کاهش‌ی بوده و مقدار آن در رودخانه مهابادچای در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار است.

جهت بررسی روند تغییرات روند پارامترهای کیفی آب سطحی در منطقه مورد مطالعه به دو گروه تقسیم شدند. شش رودخانه باراندوزچای، زولاچای، سیمینه‌رود، شهرچای، گادارچای و نازلوچای در گروه اول و سه رودخانه روضه‌چای، زرینه‌رود و مهابادچای در گروه دوم جای گرفتند. شکل ۱۲ متوسط روند تغییرات پارامترهای کیفی آب سطحی را در تمام رودخانه‌ها نشان می‌دهد.



پارامترهای مورد بررسی

شکل ۱۲- نتایج آزمون من کندال (Z) جهت تشخیص روند پارامترهای کیفی آب سطحی منطقه مورد مطالعه.

شاخص SPI، متعلق به سال‌های نزدیک نرمال و یا مرطوب بوده و خشکسالی در این سال‌ها دیده نشد. نتایج حاصل به معنای امکان استفاده بیشتر از آب در سال‌های آینده نبوده و مانند تحقیقات دیگر بر مبنای کاهش مصرف آب در همه بخش‌ها خصوصاً بخش کشاورزی تاکید دارد. بر اساس این نتایج، اتخاذ تصمیمات مناسب از سوی مدیران مربوطه در زمینه مدیریت منابع آب و کاهش مصرف آن امکان پذیر خواهد بود.

نتایج بررسی روند بارش و دما در حوضه دریاچه ارومیه و استان‌های همجوار

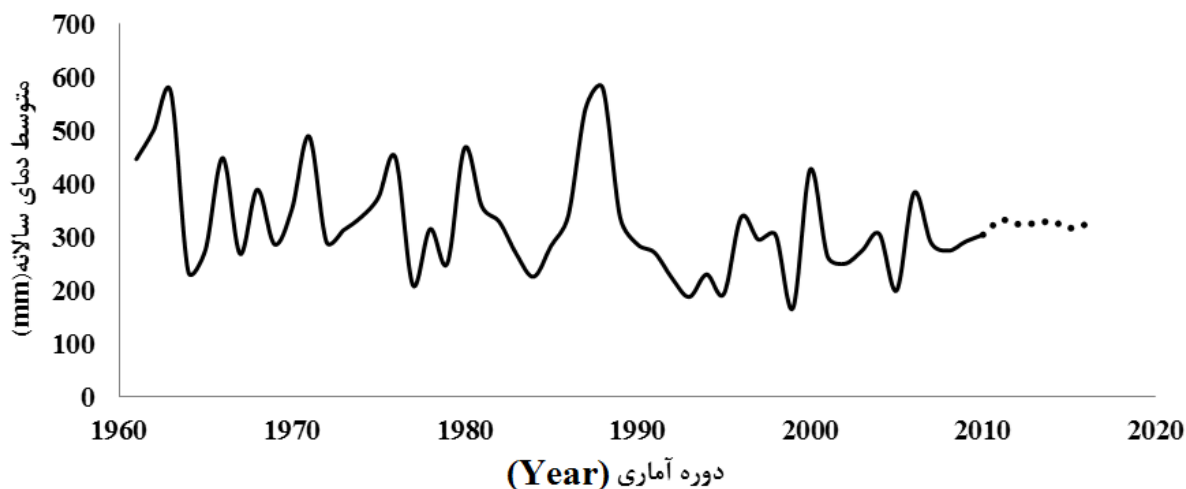
جهت بررسی تاثیرات دمای استان‌های مجاور دریاچه ارومیه بر این دریاچه و بالعکس، روند دما و بارش استان‌های مجاور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روند تغییرات دما در تمام استان‌های مجاور دریاچه ارومیه افزایشی بوده در حالی که روند تغییرات بارش در شمال استان آذربایجان غربی و جنوب غربی استان آذربایجان شرقی در طی دوره آماری افزایش خفیفی داشته است. روند افزایشی معنی‌دار دما در استان آذربایجان غربی فقط در جنوب دریاچه دیده شد. تمامی روندهای افزایشی یا کاهش‌ی بارش در حوضه دریاچه ارومیه استان‌های مجاور غیر معنی‌دار بود.

با توجه به روند نزولی دبی جریان در هر دو گروه، روند افزایشی پارامترهای کیفی که در بیشتر پارامترها قابل مشاهده است، نشان دهنده کاهش کیفیت آب سطحی با کاهش دبی آن می‌باشد. نتیجه حاصل مشابه نتیجه سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۹۲) می‌باشد. ایشان روند کاهش‌ی را برای دبی و روند افزایشی معنی‌دار را برای بیشتر پارامترهای شیمیایی نتیجه گرفتند.

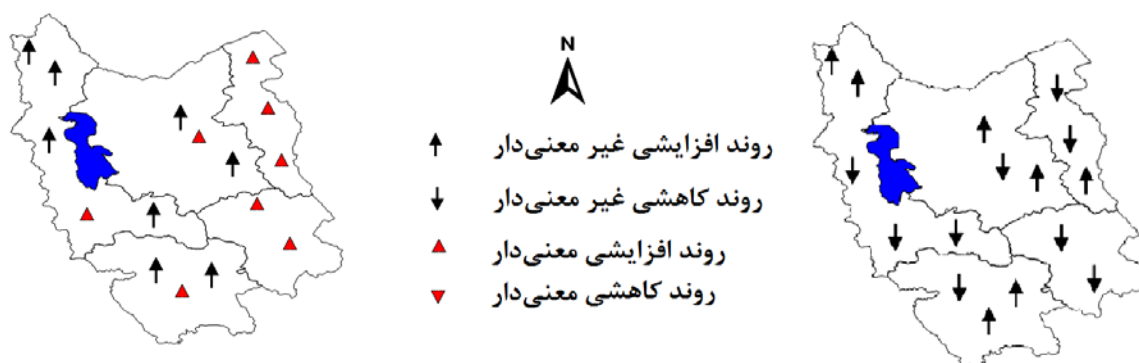
نتایج بررسی شاخص خشکسالی هواشناسی در دوره تاریخی و پیش‌بینی

با استفاده از داده‌های متوسط بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک ارومیه، شاخص‌های خشکسالی هواشناسی این منطقه استخراج گردید. سپس با استفاده از داده‌های متوسط بارش سالانه و برنامه‌ریزی ژنتیک، متوسط بارش سالانه ایستگاه مورد نظر تا سال ۲۰۱۶ (۱۳۹۵) پیش‌بینی گردید. سپس با استفاده از داده‌های تاریخی و پیش‌بینی شده، شاخص‌های خشکسالی هواشناسی آینده محاسبه گردید.

نتایج شاخص‌های PN و SPI وقوع پدیده‌های خشکسالی بیشتر را از سال‌های ۱۹۹۵ (۱۳۷۴) به بعد در ایستگاه ارومیه نشان داد. نتایج شاخص‌های PN و SPI مربوط به شش سال آینده (۲۰۱۱-۲۰۱۶ یا ۱۳۹۵-۱۳۹۰) نیز نشان داد که همه سال‌های پیش‌بینی شده بر اساس شاخص PN، متعلق به سال‌های نرمال و براساس



شکل ۱۳- داده‌های تاریخی و پیش‌بینی شده بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک ارومیه (میلی متر).

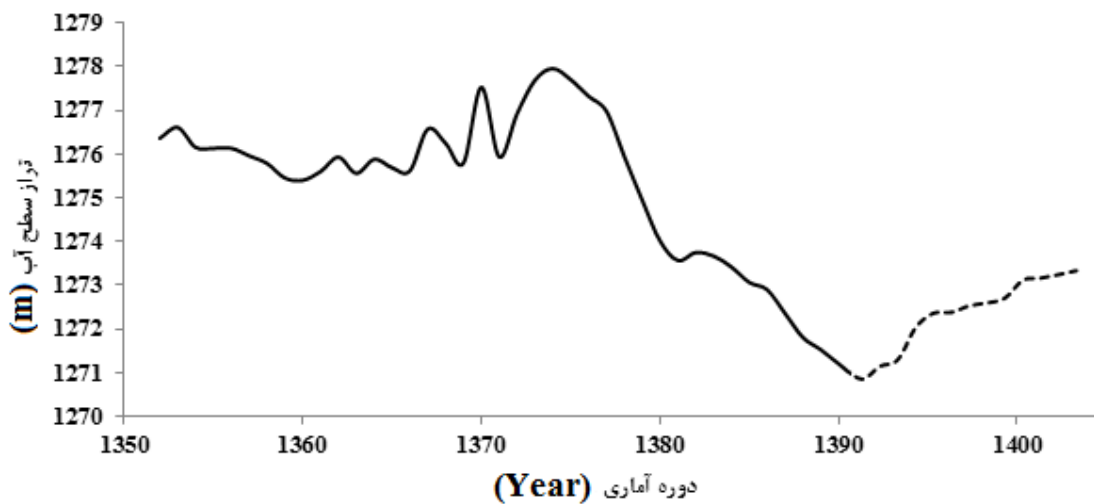


شکل ۱۴- بررسی روند تغییرات بارش در شمالغرب ایران. شکل ۱۵- بررسی روند میانگین دمای سالانه شمالغرب ایران.

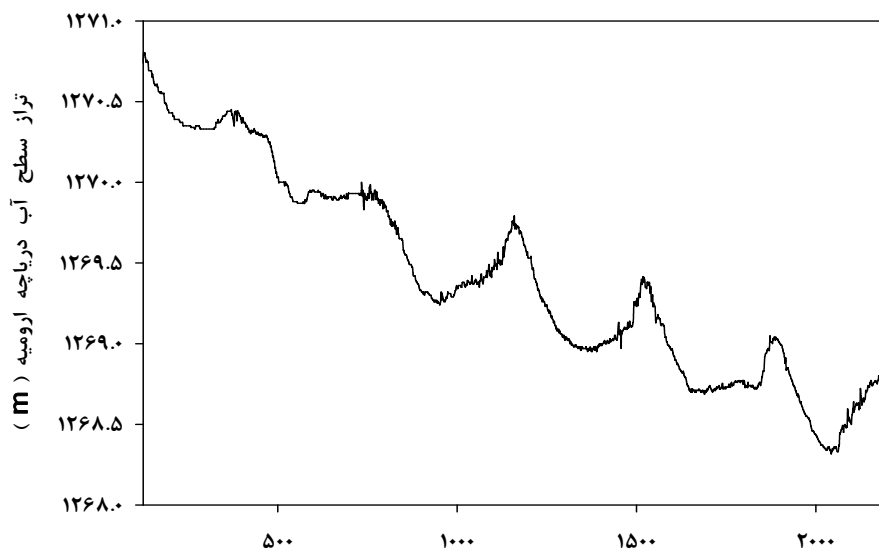
۲۹/۶۱۵ و ضریب $\theta = -0.353$ انتخاب شد و با جذر میانگین مربعات خطای برابر با ۰/۱۳۷۸ متر بررسی مدل مورد تایید واقع شد.

جهت پیش‌بینی روزانه تراز سطح آب دریاچه ارومیه از برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده شد. با استفاده از داده‌های تراز آب دریاچه ارومیه در مقیاس روزانه مدل برنامه‌ریزی ژنتیک مورد بررسی و مدل‌سازی قرار گرفت. پیش‌بینی‌های حاصل از برنامه‌ریزی ژنتیک جوابگوی مدل مورد نظر نبود و پیش‌بینی‌های بیش از ۱۵۰ روز به‌صورت خط ارائه شد. از این رو نتایج حاصل از برنامه‌ریزی ژنتیک، با استفاده از مدل‌های خطی سری زمانی ترکیب شد و نتایج به‌شرح زیر ارائه گردید.

نتایج مدل‌سازی تراز سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از مدل‌های خطی سری زمانی و برنامه‌ریزی ژنتیک با استفاده از داده‌های تراز آب دریاچه ارومیه در مقیاس سالانه، تراز سالانه سطح آب دریاچه با استفاده از مدل‌های خطی سری زمانی و خانواده آرما مورد بررسی و مدل‌سازی قرار گرفت. در این راستا روند داده‌های سالانه تراز آب دریاچه ارومیه با استفاده از روش تفاضل‌گیری حذف گردید و سپس داده‌های بدون روند، مدل‌سازی و پیش‌بینی شد. در نهایت، تفاضل از داده‌ها حذف گردید و نتایج ساده تحویل داده شد. در مورد مدل‌سازی سطح تراز آب دریاچه با استفاده از مدل‌های خطی سری زمانی، مدل برتر به ازای آکائیک کمتر، مدل $ARMA(0,1)$ به ازای معیار آکائیکه برابر با



شکل ۱۶- نتایج پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از مدل منتخب سری زمانی (داده‌های مشاهداتی (۱۳۹۰-۱۳۴۱)، داده‌های پیش‌بینی (۱۳۹۰-۱۴۰۳)).

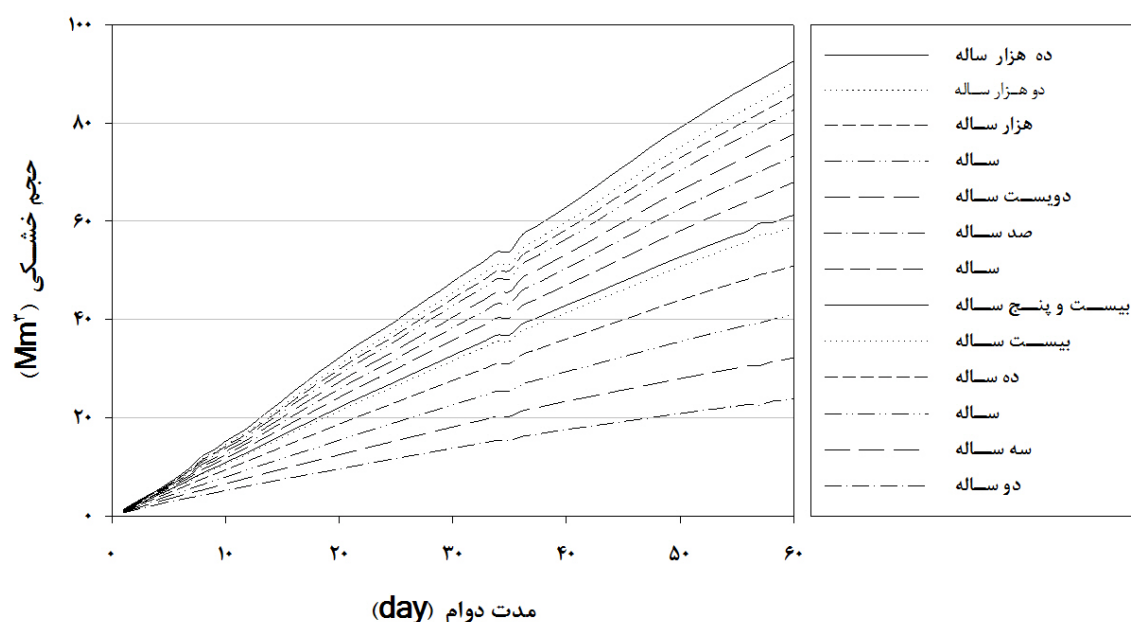


شکل ۱۷- نمودار ترکیبی مدل‌های برنامه‌ریزی ژنتیک و سری زمانی خطی تا پایان سال ۹۷ به صورت روزانه. روز- تیرماه ۹۲ تا پایان سال ۱۳۹۷

نتایج تحلیل فراوانی خشکی رودخانه

با استفاده از داده‌های روزانه ایستگاه‌های منتخب بر روی رودخانه‌های مورد مطالعه، حجم خشکی با دوام‌های مختلف براساس میانگین دراز مدت جریان محاسبه گردید. منحنی شدت - مدت و فراوانی خشکی رودخانه شهرچای به شرح شکل ۱۸ (به عنوان نمونه) ارائه گردید. جهت برآورد دوره بازگشت حجم خشکی رودخانه، توابع توزیع آماری رایج در هیدرولوژی مورد

مقایسه قرار گرفت و در نهایت تابع لاگ پیرسون نوع ۳ با توجه به آزمون کلموگروف - اسمیرنوف به عنوان تابع برتر انتخاب شد. ناظری‌تهرودی و خلیلی (۱۳۹۲) نیز در برآورد دوره بازگشت خشکی رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه، تابع توزیع برازش لاگ پیرسون نوع ۳ را از بین ۶۵ تابع توزیع، انتخاب و استفاده کردند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.



شکل ۱۸- منحنی‌های شدت-مدت و فرکانس حجم خشکی در رودخانه شهرچای ارومیه.

نتیجه‌گیری کلی

با استفاده از نتایج آزمون من - کندال، روند افزایشی غیرمعنی‌دار در داده‌های حجم خشکی رودخانه‌های شهرچای، نازلوچای و باراندوزچای حوضه دریاچه ارومیه مشاهده شد که می‌توان داده‌های حجم خشکی این رودخانه‌ها را تقریباً بدون روند در نظر گرفت. در رودخانه‌های زرینه‌رود، زولاچای، سیمینه‌رود، گادارچای و مهابادچای روند افزایشی در داده‌های حجم خشکی قابل رویت بود و تنها در ایستگاه پل ازبک رودخانه روضه‌چای، آورد حجم خشکی یک روزه دارای روند منفی بود. نتایج بررسی روند داده‌های دبی روزانه، نیز نشان دهنده روند افزایشی خفیف در داده‌های دبی

با استفاده از روش میانگین دراز مدت و تابع لاگ پیرسون نوع ۳، دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰۰۰ ساله حجم خشکی رودخانه‌های منتهی به دریاچه ارومیه محاسبه گردید و نمودارهای شدت، مدت و فراوانی حجم خشکی رودخانه‌های مذکور رسم گردید. در دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ ساله، نتایج محاسبه دوره بازگشت نشان‌دهنده حجم خشکی حدود ۹۲، ۱۲۵، ۲۲۸، ۱۵۰، ۱۱۰، ۱۷۴۲، ۹۰، ۷۷، ۶۹۰، ۲۸۰، ۶۵ و ۶۸ میلیون مترمکعب به ترتیب در رودخانه‌های شهرچای، باراندوزچای، نازلوچای، مهابادچای، روضه‌چای، گادارچای، سیمینه‌رود، زولاچای، آجی‌چای، صوفی‌چای، لیلان‌چای و مردوق‌چای بود.

سالانه رودخانه‌های شهرچای، باراندوزچای و نازلوچای بود که تقریباً می‌توان دبی این رودخانه‌ها را بدون روند معنی‌دار در نظر گرفت. روند حجم خشکی نیز در این رودخانه‌ها تقریباً بدون روند بود و می‌توان نتیجه گرفت که بدون روند بودن تغییرات حجم خشکی این رودخانه‌ها به دلیل ثابت بودن تغییرات دبی در دوره آماری بوده است. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که رودخانه‌های دارای روند افزایشی دبی متوسط سالانه، دارای روند کاهش داده‌های حجم خشکی است. با کاهش دبی سالانه در طول دوره آماری، مدت زمان آورد خشکی رودخانه (خشکی کمتر از متوسط آورد رودخانه) کاهش می‌یابد و این باعث افزایش روند حجم خشکی در طی دوره آماری می‌شود. عکس این موضوع نیز صادق است. زمان حجم خشکی رودخانه برابر با دوره پیوسته Π روزه که حجم خشکی کمتر از مقدار متوسط است. بعد از استخراج خشکی‌ها، دبی روزانه رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه به اندازه چهار سال و به‌صورت روزانه پیش‌بینی شد. با استفاده از داده‌های تاریخی و پیش‌بینی، نمودارهای شدت، مدت و فراوانی حجم خشکی رودخانه به‌روز رسانی شد. نتایج حاصل از نمودارهای به‌روز رسانی نشان از کاهش حجم خشکی رودخانه‌های نازلوچای و باراندوزچای و افزایش حجم خشکی رودخانه شهرچای بود. به‌طور مثال در نمودارهای به‌روز رسانی شده و در مدت دوام مشترک ۶۰ روزه با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال، حجم آورد خشکی در رودخانه‌های باراندوزچای و نازلوچای، به ترتیب حدود ۲۹ و ۶۲ میلیون مترمکعب کاهش و در رودخانه شهرچای حدود ۷ میلیون مترمکعب افزایش خواهد داشت. که این نتایج دلالت بر افزایش دبی رودخانه‌های باراندوزچای و نازلوچای در سال‌های آتی دارد که این مهم احتمالاً با افزایش ریزش نزولات جوی، افزایش حبابه زیست محیطی و پایین‌دست رودخانه و عوامل مساعد دیگر امکان‌پذیر خواهد بود. افزایش حجم خشکی در سال‌های آتی رودخانه شهرچای حاکی از کاهش دبی رودخانه شهرچای در سال‌های آتی دارد و لذا لازم است تمهیداتی در جهت بهبود این وضع صورت گیرد. با توجه

به کاهش حجم خشکی رودخانه‌های باراندوزچای و نازلوچای می‌توان نتیجه گرفت که در سال‌های آتی با افزایش نزولات جوی روبرو خواهیم بود و این نظریه را می‌توان برای رودخانه شهرچای نیز تعمیم داد و نتیجه‌گیری کرد که افزایش حجم خشکی رودخانه شهرچای مستقل از ریزش نزولات جوی است و به‌طور حتم عوامل غیرطبیعی مانند برداشت بی‌رویه باعث این افزایش خواهد شد. همان‌طور که از نقشه‌های پراکنش سدیم مشخص است، درصد سدیم در شمال غرب دریاچه ارومیه از سایر نقاط بیشتر است و هر چه از دریاچه فاصله می‌گیریم، به‌تدریج از درصد سدیم موجود در آب زیرزمینی کاسته می‌شود تا جایی که در مرزهای غربی و جنوبی استان آذربایجان غربی، به کمترین مقدار خود می‌رسد. درصد سدیم موجود در آب زیرزمینی منطقه نسبت به سال‌های گذشته افزایش یافته است و این در حالی است که سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در طی دوره آماری کاهش یافته است. ناظری-تهرودی و همکاران (۲۰۱۳) نیز افزایش غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های حوضه‌های دریاچه ارومیه را ناشی از کاهش سطح ایستابی منطقه مورد مطالعه معرفی کردند. با توجه به وضعیت فعلی دریاچه، میزان تبخیر از سطح و افزایش غلظت نمک دریاچه، درصد سدیم موجود در آب زیرزمینی افزایش قابل توجهی خواهد داشت و این موضوع خسارات زیست محیطی زیادی را در بر دارد و در نهایت مشکل عمده‌ای که دربر خواهد داشت، محدودیت کشت خواهد بود. نتایج پهنه‌بندی کلر نشان داد که میزان کلر موجود در آب زیرزمینی در طی ۳ سال اخیر (۱۳۸۸ الی ۱۳۹۰) افزایش چشمگیری داشته است. همچنین تراز آب زیرزمینی در طی این ۳ سال با افت ناگهانی مواجه بوده است. پراکنش میزان کلر در حوضه دریاچه ارومیه نشان داد که میزان غلظت کلر در سمت شمال‌غرب دریاچه بیشتر از سایر قسمت‌ها بوده و این امر می‌تواند تهدیدی برای ورود آب شور به آبخوان‌ها باشد که لازم است تمهیداتی در این زمینه از جمله ایجاد سد‌های زیرزمینی، تغییر گردایان هیدرولیکی و ... صورت گیرد. نتایج پهنه‌بندی پارامترهای EC و TDS

خشکسالی ضعیف در طی دوره آماری بود. همچنین نتایج حاکی از ۲ دوره خیلی مرطوب در سال‌های ۱۹۶۳ و ۱۹۷۸ (۱۳۴۲ و ۱۳۵۷) و ۶ دوره مرطوب در طی دوره آماری بود. نتایج همه شاخص‌ها تقریباً یکسان بدست آمد. نتایج بررسی شاخص MCZI حاکی از یک دوره بسیار مرطوب در سال ۱۹۶۳ (۱۳۴۲) بود. نتایج برآورد شده شاخص SPI نیز همانند دو شاخص ارائه شده، نتایج یکسان داشت. نتایج شاخص‌های PN و SPI وقوع پدیده‌های خشکسالی بیشتر را از سال‌های ۱۹۹۵ (۱۳۷۴) به بعد در ایستگاه ارومیه نشان داد. نتایج شاخص‌های PN و SPI مربوط به شش سال آینده (۲۰۱۶-۲۰۱۱ یا ۱۳۹۵-۱۳۹۰) نیز نشان داد که همه سال‌های پیش‌بینی شده بر اساس شاخص PN، جز سال‌های نرمال و بر اساس شاخص SPI، جز سال‌های نزدیک نرمال و یا مرطوب بوده و خشکسالی در این سال‌ها دیده نشد. نتایج حاصله به معنای امکان استفاده بیشتر از آب در سال‌های آینده نبوده و مانند تحقیقات دیگر همچون مرید و همکاران (۱۳۹۱) بر مبنای کاهش مصرف آب در همه بخش‌ها خصوصاً بخش کشاورزی تاکید دارد. بر اساس این نتایج، اتخاذ تصمیمات مناسب از سوی مدیران مربوطه در زمینه مدیریت علمی منابع آب و کاهش مصرف آن امکان‌پذیر خواهد بود.

نشان داد، پارامترهای TDS و EC در شمال غرب دریاچه ارومیه از سایر نقاط بیشتر است و با افزایش فاصله از دریاچه بتدریج از پارامترهای TDS و EC موجود در آب زیرزمینی کاسته می‌شود تا جایی که در مرزهای غربی و جنوبی استان آذربایجان غربی، به کمترین مقدار خود می‌رسد. پارامترهای TDS و EC موجود در آب زیرزمینی منطقه نسبت به سال‌های گذشته افزایش یافته است. سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در سال آبی ۸۹-۹۰، به صورت ماهانه برای هر دوازده ماه در سال ۹۰ و به صورت میانگین کل برای داده‌های ثبت شده هر یک از چاه‌های پیژومتر موجود در منطقه مدل‌سازی شد. از آنجا که داده‌های ایستگاه‌های پیژومتری در منطقه مورد مطالعه مربوط به ۶۳۴ چاه پیژومتر یکسان بود. نتایج بررسی شاخص‌های خشکسالی در سطح ارومیه نیز نشان داد که با توجه به گستردگی مکانی و تنوع آب و هوایی کشور ایران، استعداد وقوع خشکسالی در تمامی اقلیم‌های کشور وجود دارد اما قابلیت هر منطقه نسبت به این پدیده متفاوت است. بر این اساس ضرورت دارد تا ویژگی‌های خشکسالی مناسب منطقه‌ای پایش شود. نتایج بدست آمده از تمام شاخص‌ها به غیر از شاخص تعمیم یافته Z چینی (MCZI) نشان‌دهنده یک دوره خشکسالی شدید در سال ۲۰۰۵ (۱۳۸۴)، ۷ دوره خشکسالی متوسط و ۹

منابع مورد استفاده

- خلیلی ک و ناظری‌تهرودی م، ۱۳۹۳. بررسی و پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از مدل‌سازی سری‌های زمانی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک بم). فصل‌نامه بین‌المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه، سال ۲، شماره ۱، پیاپی ۳، صفحه‌های ۹۱ تا ۹۹.
- رضوی‌راد س، ۱۳۹۲. بررسی سری زمانی و مکانی تبخیر و تعرق حوزه دریاچه ارومیه به روش پنمن - مانتیث و GIS. صفحه‌های ۱ تا ۷. سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، ۳۰-۲۷ بهمن، دانشگاه ارومیه، ارومیه.
- سلیمانی ساردو م، ولی ع، قضاوی ر و سعیدی گراغانی ح، ۱۳۹۲. آنالیز و روندیابی پارامترهای کیفیت شیمیایی آب: مطالعه موردی رودخانه چم انجیر خرم آباد. مهندسی آبیاری و آب، سال ۳، شماره ۱۲، صفحه‌های ۹۵ تا ۱۰۶.
- قربانیان م، کلاهدوزان ع، دین‌پژوه ی و عباسپور د، ۱۳۹۲. بررسی روند تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های اطراف دریاچه ارومیه (مطالعه موردی: دشت میاندوآب). صفحه‌های ۱ تا ۹. سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی - تخصصی علوم زمین. ۳۰-۲۷ بهمن، دانشگاه ارومیه، ارومیه.

قهرودی تالی م، ۱۳۸۱. ارزیابی درون‌یابی به روش کریجینگ. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۳. صفحه‌های ۹۵ تا ۱۰۸. مرید س، مقدسی م، سلاولی تبر ا، دلاور م، حسینی صفا ح، فتحیان ف، احمدزاده ح، صاحب‌دل ش، کشاورز ا، قائمی ح، ارشد س، باقری مح و آقاعلیخانی م. ۱۳۹۱. برنامه مدیریت خشکسالی حوضه آبخیز دریاچه ارومیه. کارگروه مدیریت پایدار منابع آب و کشاورزی شورای منطقه‌ای مدیریت حوضه آبخیز دریاچه ارومیه. آذر ماه، ارومیه. ناظری تهرودی م و خللی ک، ۱۳۹۲. مقایسه روشهای زمین آمار در درونیابی سطح ایستابی (مطالعه موردی: حوضه دریاچه ارومیه). صفحه‌های ۱ تا ۱۳. اولین کنفرانس ملی الکترونیکی علوم کشاورزی و محیط زیست. ۱۵ اسفند، تهران.

ناظری تهرودی م، خللی ک و بهمنش ج، ۱۳۹۲. ارزیابی روشهای میانگین متفرقه و گشتاورها جهت برآورد پارامترهای تابع لاگ پیرسون ۳ (مطالعه موردی: رودخانه‌های حوضه‌های دریاچه ارومیه). صفحه‌های ۱ تا ۹. اولین همایش کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، ۲۰ بهمن، تهران.

Besharat S, Khalili K and Nazeri Tahrudi M, 2014. Evaluation of SAM and Moments methods for estimation of log Pearson type III parameters (Case Study: daily flow of rivers in Lake Urmia basin). *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences* 4(1): 24-32.

Kendall MG, 1938. A new measure of rank correlation. *Biometrika* 36: 81-93.

Khalili K, 2014. Comparison of geostatistical methods for interpolation groundwater level (Case study: Lake Urmia Basin). *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences* 4(1): 15-23.

Khalili K, Nazeri Tahrudi M, Abbaszadeh Afshar M and Nazeri Tahrudi Z, 2014a. Comparison different peak flow frequency distribution functions (Case Study: Babolrood River). *Journal of Middle East Applied Science and Technology* 7(2): 174-179.

Khalili K, Nazeri Tahrudi M, Abbaszadeh Afshar M and Nazeri Tahrudi Z, 2014b. Modeling monthly mean air temperature using SAMS2007 (Case Study: Urmia synoptic station). *Journal of Middle East Applied Science and Technology* 15: 578-583.

Khalili K, Besharat S, Nazeri Tahrudi M and Khanmohammadi N, 2014c. Selecting the best normalization function for annual precipitation in Iran. *Journal of Middle East Applied Science and Technology* 6(8): 224-231.

Mann HB, 1945. Nonparametric test against trend. *Econometrica* 13: 245-259.

Mendenhall W and Reinmuth J, 1982. *Statistics for Management and Economics*. Fourth Edition, Boston [Mass]: Duxbury Press.

Nazeri Tahrudi M, Khalili K, Abbaszadeh Afshar M and Nazeri Tahrudi Z, 2013. Investigation of chlorine distribution in Lake Urmia basin groundwater. *Journal of Middle East Applied Science and Technology* 6: 302-308.

Nazeri Tahrudi M, Khalili K, Nazeri Tahrudi Z and Abbaszadeh Afshar M, 2014. Mapping annual and monthly mean air temperature of Iran using geostatistical techniques. *Journal of Middle East Applied Science and Technology* 4(2): 117-123.

Oliver MA and Webster R, 1990. Kriging a method of interpolation for geographical information system. *International Journal of Geographical Information Systems* 4(3): 313-332.

Salas JD, 1998. Analysis and modeling of hydrological time series. Pp. 755-817. In: Maidment DR(ed). *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, New York.

Wilcoxon F, 1945. Individual comparison by ranking methods. *Biometrics* 1(6): 80-83.