

## بررسی روند متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از روش‌های غیرپارامتری

فرشاد فتحیان<sup>۱</sup> و سعید مرید<sup>۲\*</sup><sup>۱</sup> دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد، <sup>۲</sup> استاد گروه منابع آب دانشگاه تربیت مدرس  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۵/۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۳/۲۳)

## چکیده

گرمایش جهانی باعث تغییرات در سری زمانی متغیرهای هواشناسی شده است که این تغییرات همراه با مداخله جدی عوامل انسانی در طبیعت، تغییرات هیدرولوژیکی را نیز به همراه داشته است. بطوریکه می‌توان اثرات آنها را در قالب روند در سری زمانی مربوط مشاهده کرد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی و مقایسه روند تغییرات متغیرهای دما، بارندگی و دبی رودخانه‌ها بصورت ماهیانه و سالانه در سطح حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از روش‌های غیرپارامتری می‌باشد. بدین منظور چهار روش من-کندال، تایل-سن، اسپیرمن و سنس‌تی که جزو متداولترین روش‌های غیرپارامتری هستند، به کار گرفته شدند. مطالعه ۱۱ ایستگاه دماسنجی، ۳۵ ایستگاه باران‌سنجی و ۳۵ ایستگاه آب‌سنجی نشان داد که دما در سطح حوضه بطور معنی‌دار روند افزایشی دارد. اما بارندگی‌های سالانه و ماهیانه رفتارهای متفاوت را نشان دادند، بطوریکه در ۸ درصد از ایستگاه‌ها روند افزایشی و در ۱۴ درصد از ایستگاه‌ها روند کاهشی ملاحظه شد. در خصوص دبی رودخانه‌ها، ۶۰ درصد از ایستگاه‌ها به صورت سالانه و ماهیانه روند کاهشی داشته‌اند. مقایسه روش‌ها نشان داد که روش‌های من-کندال و تایل-سن درصد ایستگاه‌های معنی‌دار یکسان و روش‌های سنس‌تی و اسپیرمن به ترتیب کمترین و بیشترین روند را در ارزیابی ماهیانه ایستگاه‌ها تشخیص می‌دهند اما در ارزیابی سالیانه، روش سنس‌تی بیشترین روند را در ایستگاه‌ها نشان داد.

**واژه‌های کلیدی:** روند، متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی، روش‌های غیرپارامتری، حوضه دریاچه ارومیه.

## مقدمه

دیگری Yue & Hashino (2003) به بررسی روند بلند مدت دمای سالیانه، فصلی و ماهیانه ژاپن پرداختند. نتایج کار آنها نشان داد که دمای این کشور از سال ۱۹۰۰ تا ۱۹۹۶ بین ۰/۵۱ تا ۲/۷۷ درجه سانتی‌گراد افزایش نشان می‌دهد. برخلاف دما که معمولاً گزارشات حاکی از روند افزایشی آن است، در خصوص بارندگی نتایج رفتار آنها مختلف بوده است. به طوری که Zhang et al. (2000) نشان دادند که روند بارندگی کانادا در طول قرن بیستم، افزایشی بوده است. همچنین Partal & Kahya (2006) روند بارندگی را به طور ماهیانه و سالانه با استفاده از من-کندال و سنس‌تی در ۹۶ ایستگاه در سرتاسر کشور مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در ماه‌های ژانویه، فوریه و سپتامبر، بارندگی متوسط سالانه روند معنی‌دار کاهشی قابل مشاهده است. بررسی روند بارندگی فصلی در هند نیز با استفاده از تکنیک‌های آماری پارامتری و غیر پارامتری توسط Pal, & Al-Tabbaa (2011) به انجام رسید. نتایج نشان داد که بارندگی، روند کاهشی در فصل‌های بهار و تابستان و روند افزایشی در پاییز و زمستان داشته است. از تبعات تغییر در عوامل فوق، دگرگونی در جریان رودخانه‌ها می‌باشد. Lettenmaier et al. (1994) جریان رودخانه‌ها را در تعدادی از ایالت‌های آمریکا بررسی و اعلام نمودند که روند جریان رودخانه‌ها بطور کامل همسو با تغییرات بارندگی و دما نمی‌باشد.

روند نزولی تراز دریاچه ارومیه طی سالهای اخیر نگرانی‌های جدی محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی را به دنبال داشته است. در بررسی این پدیده لازمست تا روند متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی را که از عوامل اصلی تاثیر گذار بر این پدیده هستند را مورد بررسی قرار داد. بررسی سوابق مطالعاتی گذشته نشان می‌دهد که این موضوع در دیگر کشورها نیز مورد توجه جدی واقع شده و مختصر مطالعاتی در مورد دما، بارندگی و دبی آورده شده است. (Maugeri & Nanni (1998) در بررسی تغییرات دمای ایتالیا، روند افزایشی دمای سالانه و فصلی را طی ۲۰ سال گذشته گزارش کردند. این نتیجه با مطالعات Brunetti et al. (2000) مبنی بر روند افزایشی دمای حداقل و حداکثر روزانه ایتالیا مطابقت دارد. Stafford et al. (2000) نیز در بررسی روند دمای ۵۰ ساله‌ی آلاسکا نشان دادند که بالاترین مقدار افزایش دما در قسمت‌های داخلی آلاسکا ۲/۲ درجه سانتی‌گراد بوده است. مطالعه تغییرات روند دما در کشور کره نیز نشان داد که متوسط دمای این کشور از سال ۱۹۷۴ تا ۱۹۹۷، ۰/۹۶ درجه سانتیگراد افزایش داشته است. در تحقیق

\* نویسنده مسئول: s\_morid@hotmail.com

روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از آن است. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S:

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

که n تعداد مشاهدات سری، و  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری می‌باشند. تابع علامت نیز بصورت رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$\operatorname{Sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

- محاسبه واریانس توسط یکی از روابط (۳) یا (۴):

$$\operatorname{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad \text{if } n > 10 \quad (3)$$

$$\operatorname{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{if } n \leq 10 \quad (4)$$

در این رابطه n تعداد داده‌های مشاهده‌ای و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد.

- استخراج آماره Z:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه (۶) برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad (6)$$

که  $\alpha$  سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و  $Z_{\alpha}$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری  $\alpha$  می‌باشد. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی می‌باشد.

#### آزمون سنس‌تی

این آزمون به فرم ماتریسی  $X = (X_{11}, \dots, X_{nm})$  توسعه یافت، که n تعداد سال‌ها و m تعداد فصل‌ها است. آزمون بر مبنای آماره T تحت فرض صفر عدم وجود روند، بصورت نرمال همراه با میانگین صفر و واریانس واحد می‌باشد. در کل آزمون سنس‌تی را برای داده‌های فصلی در فرم ماتریسی بیان کردند. بنابراین مقدار T محاسبه شده یک مقدار واحدی است

در حالی که Burn & Elnur (2002) خلاف آن را برای نقاطی از کانادا ابراز داشتند. Yue et al. (2002) نیز داده‌های دبی حداکثر روزانه در ۲۰ حوضه ایالت آنتاریو کانادا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج کار آنها نشان داد که در تعداد زیادی از حوضه‌ها روند کاهشی دبی قابل ملاحظه بوده است. Kahya & Kalayci (2004) روند جریان ماهیانه ۲۶ حوضه ترکیه را با استفاده از روش‌های غیرپارامتری ارزیابی و گزارش نمودند که حوضه‌های غرب روند معنی‌دار کاهشی دبی و حوضه‌های شرقی فاقد روند بوده‌اند. بررسی جریان آبراه‌ها در ۳۱ ایستگاه اندازه‌گیری دبی (۵۰ سال داده) در هند توسط Kumar et al. (2009) در جریان‌های متوسط و کم، روند افزایشی را گزارش نمودند. Zhao et al. (2010) نیز نتایج مشابهی را در حوضه دریاچه پویانگ چین مشاهده کردند. اما از منظر روش‌شناسی از مطالعات قبل می‌توان ملاحظه نمود که روش‌های پارامتری و غیر پارامتری هر دو مورد توجه بوده‌اند. اما، در بیشتر مطالعات روش‌های غیر پارامتری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این رویکردها ضمن دارا بودن روش‌های متنوع‌تر، از پیچیدگی‌های بیشتری نیز برخوردار هستند. علاوه بر آن نیز، نتایج اکثر این مطالعات بیان می‌کند که دما در تمام مناطق دنیا روند افزایشی و دبی در اکثر مناطق روند کاهشی داشته است. اما بارش رفتار بسیار متفاوتی نشان داده است به طوری که هم روند افزایشی و هم روند کاهشی داشته است.

هدف از این تحقیق بررسی روند در سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه دریاچه ارومیه شامل دما، بارندگی، و دبی می‌باشد. همچنین نظر به اهمیت سری زمانی رودخانه‌ها و نقش آنها در برنامه‌ریزی برای حفظ دریاچه ارومیه، تحلیل روند در ایستگاه‌های آب‌سنجی بالادست (که کمتر در معرض توسعه بوده‌اند) و پائین دست همزمان مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

#### مواد و روش‌ها

همان گونه که قبلاً اشاره شد، روش‌های غیرپارامتری از کاربرد وسیع‌تری نسبت به روش‌های پارامتری برخوردار هستند. برای این تحقیق ۴ روش از آزمون روند از این طیف، برای اهداف تحقیق مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است که در ادامه به شرح مختصری از آنها ارائه می‌گردد.

#### آزمون روند من-کندال

این آزمون ابتدا توسط Mann (1945) ارایه و سپس توسط Kendall (1975) توسعه یافت. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. اثر پذیری ناچیز این

- محاسبه پارامتر  $C_\alpha$  در سطوح اعتماد مورد آزمون به کمک رابطه (۹):

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} * \sqrt{Var(S)} \quad (9)$$

که در آن  $Var(S)$  از روابط (۳) یا (۴) محاسبه شده و  $Z$  آماره توزیع نرمال استاندارد است.

- محاسبه حدود اعتماد بالا و پایین:

$$\begin{cases} M_1 = \frac{N + C_\alpha}{2} \\ M_2 = \frac{N - C_\alpha}{2} \end{cases} \quad (10)$$

برای محاسبه حدود اطمینان هر مقدار شیب محاسبه شده، مقادیر شیب از ۱ تا  $N$  مرتبه بندی شده و به ازای هر مرتبه بر طبق رابطه (۱۰) حدود بالا و پایین آن شیب محاسبه و  $M_1$  امین و  $(M_2+1)$  امین شیبها استخراج می گردند. اگر عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده قرار بگیرد بنابراین روند معنی داری بر سری زمانی دادهها وجود ندارد.

#### آزمون روند اسپیرمن

یک آزمون سریع و ساده برای تعیین وجود همبستگی بین دو دسته از سری های یکسان از مشاهدات، آزمون همبستگی مرتبه ای اسپیرمن می باشد. اگر سری  $R_i$  و  $i$  که از ۱ تا  $N$  تغییر می کند به ترتیب تاریخ وقوع در کنار هم قرار گیرند، همچنین  $Y_i$  مرتبه  $(rank)$   $R_i$  و  $X_i$  ترتیب وقوع  $R_i$  باشد، سپس ضریب همبستگی  $(r_s)$  اسپیرمن بر طبق رابطه (۱۱) به دست می آید:

$$r_s = 1 - (6 \sum d_i^2) / (N^3 - N) \quad (11)$$

تحت فرض صفر در این آزمون روندی نسبت به زمان در دادهها وجود ندارد و توزیع  $r_s$  بصورت نرمال با میانگین صفر و واریانس زیر می باشد:

$$V(r_s) = \frac{1}{n-1} \quad (12)$$

مقادیر  $P$ -value از آماره  $SR$  دادههای مشاهده شده با استفاده از تابع توزیع تجمعی نرمال برآورد می شود. آماره آزمون  $SR$  با استفاده از روابط زیر محاسبه می شوند:

$$Z_{SR} = \frac{r_s}{\sqrt{V(r_s)}} \quad (13)$$

$$P\text{-value} = 0.5 - \phi(|Z|), \quad \phi(|Z|) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{|Z|} e^{-t^2/2} dt \quad (14)$$

بر طبق روابط بالا اگر  $P\text{-value} \leq 0.05$  باشد، آنگاه سری زمانی دادههای مشاهدهای در سطح اطمینان ۵٪ آزمون دارای روند است.

که بیان کننده روند در کل ماتریس است. برای محاسبه آماره آزمون  $T$  از مراحل زیر استفاده می شود:

دادههای  $n$  سال و برای هر سال  $m$  فصل به صورت یک ماتریس با ابعاد  $n * m$  تعریف و سپس میانگینهای فصلی  $n$

سال بر طبق رابطه  $X_{.j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}$  محاسبه می شوند.

در هر فصل تمام دادههای  $n$  سال را از مقدار داده محاسبه شده میانگین فصلی هر سال کم  $(X_{ij} - X_{.j} \text{ for } i = 1, \dots, n \text{ and } j = 1, \dots, m)$  و یک

ماتریس  $n * m$  جدید با مقادیر محاسبه شده بالا ایجاد می شود.

درایه های ماتریس جدید از شماره ۱ تا  $nm$  مرتبه بندی می شوند، اگر در تعدادی دادهها مقدار آنها یکسان باشد، به طور

معمول متوسط رتبه را برای آنها در نظر می گیرند. در این صورت ماتریس رتبه  $R = (R_{11}, \dots, R_{nm})$  بصورت

$R_{ij} = rank \text{ of } (X_{ij} - X_{.j})$  میانگین رتبه های هر

سال بصورت  $R_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m R_{ij}$  محاسبه می گردد. در نهایت

آماره آزمون  $T$  مطابق زیر محاسبه می شود:

$$T = \left( \frac{12m^2}{n(n+1) \sum_{i,j} (R_{i,j} - R_{.j})^2} \right)^{1/2} * \left( \sum_{i=1}^n \left( i - \frac{n+1}{2} \right) \left( R_{i,j} - \frac{nm+1}{2} \right) \right) \quad (15)$$

اگر آماره آزمون محاسبه شده  $T=0$  باشد، دلالت بر عدم وجود روند در سری زمانی دادهها است (Cagatay Karabork, 2007).

#### آزمون تایل-سن

Sen (1968) با توسعه و بسط یک سری مطالعات آماری که Theil (1950) به انجام رسانده بود یک روش غیرپارامتری را

جهت تحلیل سری های زمانی ارائه نمود. این روش بر اساس محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت در مورد

معنی داری آن در سطوح اعتماد مختلف می باشد. مراحل کلی انجام این آزمون به شرح زیر است:

محاسبه شیب بین هر جفت داده مشاهدهای با استفاده از رابطه (۸):

$$\beta = \frac{X_t - X_s}{t - s} \quad (8)$$

که در آن،  $X_t$  و  $X_s$  به ترتیب دادههای مشاهدهای در زمان  $t$  و  $s$ ، و  $t$  یک واحد زمانی بعد از زمان  $s$  می باشد. با اعمال رابطه بالا به

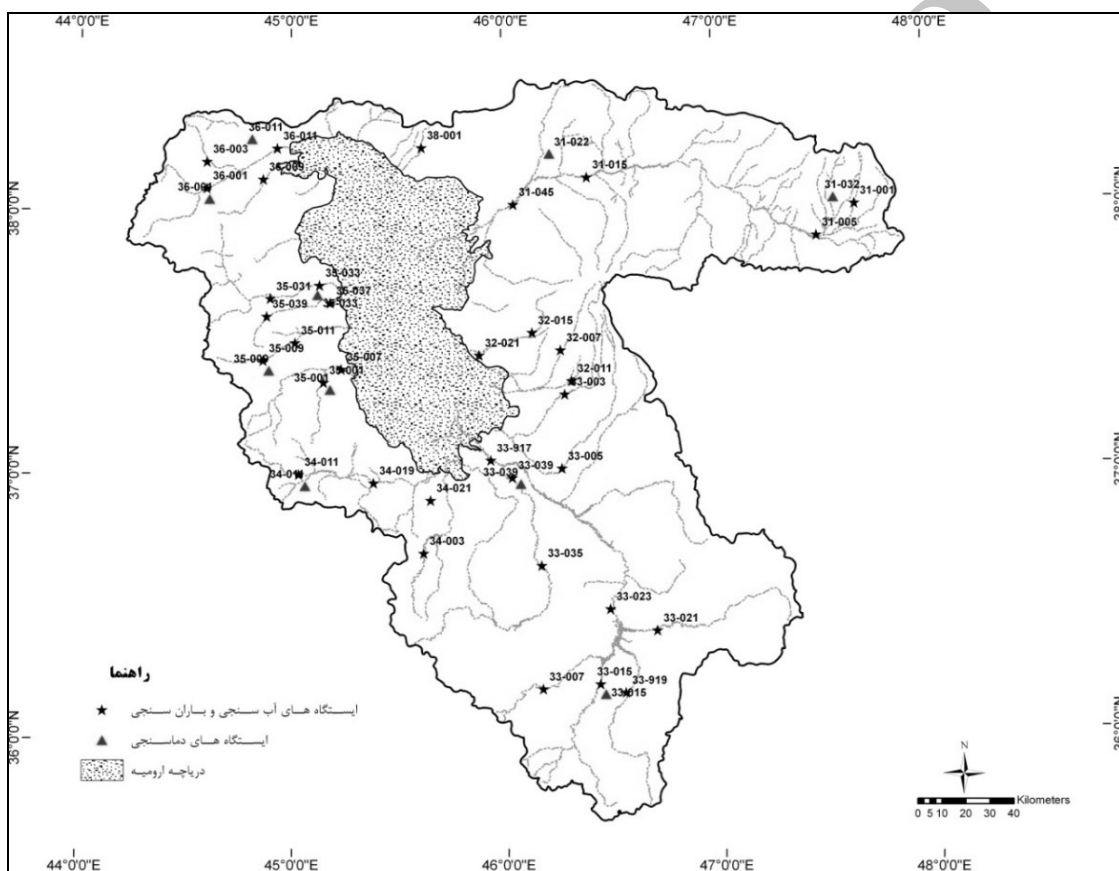
ازای  $n$  داده، تعداد  $N = n * (n-1) / 2$  سری زمانی از شیبهای محاسبه شده حاصل می گردد که میانه  $N$  آنها، شیب خط روند

$(\beta_{med})$  را بدست می دهد. مقدار مثبت  $\beta_{med}$  حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن دال بر نزولی بودن روند می باشد.

**منطقه مطالعاتی و تشریح داده‌ها**

دریاچه ارومیه در شمال‌غربی ایران بین  $37^{\circ}03'$  و  $38^{\circ}17'$  شمالی و بین  $44^{\circ}59'$  و  $45^{\circ}56'$  شرقی با طول حدود ۱۴۶ کیلومتر و عرض حداکثر برابر با ۵۸ کیلومتر، بزرگ‌ترین دریاچه ایران و یکی از دریاچه‌های بسیار شور در جهان است. این دریاچه، از نوع بسته با حداکثر عمق ۱۶ متر می‌باشد و تراز سطح آب آن بین ۱۲۷۲ و ۱۲۷۸ متر از سطح آب‌های آزاد طی ۴۰ سال اخیر متغیر بوده است. مساحت دریاچه نیز بین ۴۷۵۰ و ۶۱۰۰ کیلومترمربع متناسب با ورودی‌ها و تبخیر تغییر

می‌کند. در این حوضه تعداد زیادی رودخانه‌ها جریان داشته که طول آنها از ۲۰ کیلومتر در مسیلهای شمال دریاچه تا ۲۶۰ کیلومتر متغیر است و رودخانه‌های زیرنه رود، سیمینه رود و آجی‌چای از مهمترین آنها هستند. برای این مطالعه از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های وزارت نیرو استفاده گردید. بدین منظور ایستگاه‌هایی انتخاب شدند که از قدمت کافی برای تحلیل‌های مورد نظر برخوردار باشند و همچنین توزیع آنها نیز کل سطح حوضه را پوشش دهند. شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌ها و جدول (۱) فهرست آنها را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است ایستگاه‌های باران‌سنجی در محل ایستگاه‌های آب‌سنجی قرار دارند.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های منتخب دماسنجی، باران‌سنجی و آب‌سنجی واقع در حوضه ارومیه

**نتایج و بحث**

در این بخش تحلیل روند با به کارگیری ۴ روش من-کندل، تایل-سن، اسپیرمن و سنستی برای سری‌های زمانی بارندگی، دما و دبی در حوضه دریاچه ارومیه برای ایستگاه‌های منتخب ارائه می‌گردد. نتایج بر اساس روش‌های مورد استفاده بطور ماهیانه و سالیانه ارائه شده‌اند تا از وضعیت روند در سیستم هواشناسی و هیدرولوژی حوضه تصور دقیق‌تری ایجاد گردد.

**مقایسه روش‌ها در ارزیابی روند**

نظر به تعداد بالای ایستگاه‌ها ارائه نتایج به تفکیک ماهیانه، برای روش‌های مورد استفاده عملی نمی‌باشد. لذا در شکل (۲) به

اختصار درصد ایستگاه‌هایی که در آنها روند شناسایی شده، آورده شده است. شکل (۲-الف) نتایج را برای دما نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که در کلیه ماه‌ها، روش‌ها روند افزایشی دما را اعلام کرده‌اند. اما درصد این تغییرات از ۱۰ درصد ایستگاه‌ها در دی‌ماه تا ۷۰ درصد ایستگاه‌ها در مرداد ماه متفاوت است. بیشترین درصد ایستگاه‌ها با روند معنی‌دار افزایشی را می‌توان در ماه‌های اسفند و دوره مرداد تا مهر ملاحظه نمود. اسفند ماه دوره‌ای است که منابع آب، بواسطه کاهش نسبت ریزش‌های برفی تحت تاثیر قرار می‌گیرد و مرداد تا مهر ایامی می‌باشند که افزایش مصرف آب آبیاری در آن موثر است.

جدول ۱- فهرست ایستگاه‌های منتخب دماسنجی، باران‌سنجی و آب‌سنجی واقع در حوضه ارومیه

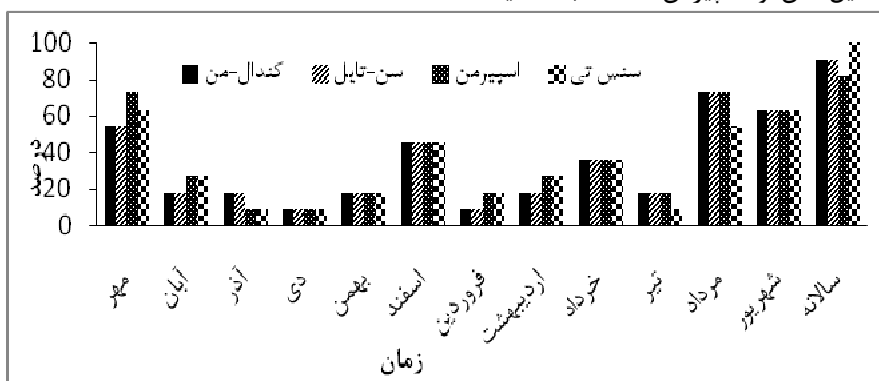
ایستگاه	حوضه آبریز کد رودخانه		دوره		طول دوره		دوره		طول دوره	
	ایستگاه	کد	آماری بارندگی	آماری بارندگی	آماری دبی	آماری دبی	آماری دما	آماری دما	آماری بارندگی	آماری بارندگی
سهباب	۳۱-۰۰۱	آغمیون چای	۱۳۵۴-۸۶	۳۳	۱۳۵۴-۸۶	۳۳	-	-	۳۳	۱۳۵۴-۸۶
سرانسر	۳۱-۰۰۵	آچی چای	۱۳۵۴-۷۵	۲۲	۱۳۵۴-۷۵	۲۲	-	-	۲۲	۱۳۵۴-۷۵
ونیار	۳۱-۰۱۵	آچی چای	۱۳۴۶-۷۵	۳۰	۱۳۴۶-۷۵	۳۰	-	-	۵۸	۱۳۲۹-۸۶
آخوله	۳۱-۰۴۵	آچی چای	۱۳۶۳-۷۷	۱۵	۱۳۶۳-۷۷	۱۵	-	-	۲۴	۱۳۶۳-۸۶
تازه کند	۳۲-۰۰۷	صوفی چای	۱۳۵۴-۸۶	۳۳	۱۳۵۴-۸۶	۳۳	-	-	۳۴	۱۳۵۳-۸۶
چکان	۳۲-۰۱۱	چکان چای	۱۳۵۲-۷۷	۲۶	۱۳۵۲-۷۷	۲۶	-	-	۳۳	۱۳۵۴-۸۶
ینگجه	۳۲-۰۱۵	قلعه چای	۱۳۶۳-۸۶	۲۴	۱۳۶۳-۸۶	۲۴	-	-	۲۴	۱۳۶۳-۸۶
شیشوان	۳۲-۰۲۱	قلعه چای	۱۳۶۳-۷۶	۱۴	۱۳۶۳-۷۶	۱۴	-	-	۲۴	۱۳۶۳-۸۶
قشلاق امیر	۳۳-۰۰۳	مردوق چای	۱۳۵۲-۸۶	۳۵	۱۳۵۲-۸۶	۳۵	-	-	۳۳	۱۳۵۴-۸۶
شیرین کند	۳۳-۰۰۵	لیلان چای	۱۳۵۱-۸۱	۳۱	۱۳۵۱-۸۱	۳۱	-	-	۳۴	۱۳۵۳-۸۶
دریان	۳۸-۰۰۱	دریان چای	۱۳۵۲-۸۶	۳۵	۱۳۵۲-۸۶	۳۵	-	-	۲۵	۱۳۶۲-۸۶
قیقلو	۳۳-۰۰۷	سقر چای	۱۳۴۹-۸۶	۳۸	۱۳۴۹-۸۶	۳۸	-	-	۲۳	۱۳۶۴-۸۶
پل آنیان	۳۳-۰۱۵	جیغانتوچای	۱۳۵۱-۸۶	۳۶	۱۳۵۱-۸۶	۳۶	۱۳۷۵-۸۶	۱۲	۲۲	۱۳۶۵-۸۶
صفا خانه	۳۳-۰۲۱	ساروق چای	۱۳۵۱-۸۶	۳۶	۱۳۵۱-۸۶	۳۶	-	-	۲۰	۱۳۶۷-۸۶
سنته	۳۳-۰۱۹	خرخره چای	۱۳۶۸-۸۶	۱۹	۱۳۶۸-۸۶	۱۹	-	-	۲۰	۱۳۶۷-۸۶
ساری قمیش	۳۳-۰۲۳	زربنه رود	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	-	-	۵۲	۱۳۳۵-۸۶
بوکان	۳۳-۰۳۵	سیمینه رود	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	۱۳۷۷-۸۶	۱۰	۵۷	۱۳۳۰-۸۶
تازه کند	۳۳-۰۳۹	سیمینه رود	۱۳۵۵-۸۶	۳۲	۱۳۵۵-۸۶	۳۲	۱۳۵۲-۸۶	۳۴	۲۲	۱۳۶۵-۸۶
نظام آباد	۳۳-۰۱۷	زربنه رود	۱۳۶۷-۸۶	۲۰	۱۳۶۷-۸۶	۲۰	-	-	۱۴	۱۳۷۳-۸۶
کوثر	۳۴-۰۰۳	مه‌باد چای	۱۳۵۰-۸۶	۳۷	۱۳۵۰-۸۶	۳۷	-	-	۲۳	۱۳۶۴-۸۶
پی قلعه	۳۴-۰۱۱	گادار چای	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	۱۳۶۱-۸۶	۲۶	۴۲	۱۳۴۵-۸۶
نقده	۳۴-۰۱۹	گادار چای	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	-	-	۴۲	۱۳۴۵-۸۶
پل بهراملو	۳۴-۰۲۱	گادار چای	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	-	-	۵۰	۱۳۳۷-۸۶
قاسملو	۳۵-۰۰۱	بالانچ چای	۱۳۴۸-۸۶	۳۹	۱۳۴۸-۸۶	۳۹	۱۳۶۲-۸۶	۲۵	۳۴	۱۳۵۳-۸۶
بابارود	۳۵-۰۰۷	باراندوز چای	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	-	-	۵۸	۱۳۲۹-۸۶
میرآباد	۳۵-۰۰۹	شهرچای	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	-۸۴	۳۳	۳۱	۱۳۵۳-۸۳
بند ارومیه	۳۵-۰۱۱	شهرچای	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	-	-	۵۸	۱۳۲۹-۸۶
گویجعلی اصلان	۳۵-۰۲۶	نازلوچای	۱۳۴۷-۸۶	۴۰	۱۳۴۷-۸۶	۴۰	-	-	۲۵	۱۳۶۲-۸۶
تیپک	۳۵-۰۳۱	نازلوچای	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	۱۳۴۶-۸۶	۴۱	-	-	۵۷	۱۳۳۰-۸۶
آباجالوسفلی	۳۵-۰۳۳	نازلوچای	۱۳۴۸-۸۶	۳۹	۱۳۴۸-۸۶	۳۹	۱۳۶۰-۸۶	۲۷	۴۳	۱۳۴۴-۸۶
کلهور	۳۵-۰۳۹	روضه چای	۱۳۵۰-۸۶	۳۷	۱۳۵۰-۸۶	۳۷	-	-	۲۲	۱۳۶۵-۸۶
چهریق علیا	۳۶-۰۰۱	زولاچای	۱۳۴۷-۸۶	۴۰	۱۳۴۷-۸۶	۴۰	۱۳۶۴-۸۶	۲۳	۲۳	۱۳۶۴-۸۶
نظر آباد	۳۶-۰۰۳	دریک چای	۱۳۵۰-۸۶	۳۷	۱۳۵۰-۸۶	۳۷	-	-	۲۱	۱۳۶۶-۸۶
تمر	۳۶-۰۰۹	خرخره چای	۱۳۵۰-۸۶	۳۷	۱۳۵۰-۸۶	۳۷	-	-	۲۸	۱۳۴۹-۸۶
بالقوز آغاج	۳۶-۰۱۱	زولاچای	۱۳۵۷-۸۶	۳۰	۱۳۵۷-۸۶	۳۰	۱۳۵۹-۸۶	۲۸	۳۳	۱۳۵۴-۸۶
سهلان	۳۱-۰۲۲	سنیخ چای	-	-	-	-	۱۳۵۲-۸۶	۳۵	-	-
میرکوه	۳۱-۰۳۲	تاجیارسراب	-	-	-	-	۱۳۵۸-۸۶	۲۹	-	-
شرفخانه	۳۸-۰۰۲	-	-	-	-	-	۱۳۴۷-۸۶	۴۰	-	-

معنی‌دار افزایشی نشان می‌دهند. در ماه‌های فروردین، مهر و بهمن نیز هم روند معنی‌دار افزایشی و هم کاهش‌ی برای ایستگاه‌ها ثبت شده است. در ادامه، شکل (۲-ج) نتایج روش‌ها را برای سری زمانی دبی رودخانه‌های حوضه نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که در کلیه ماه‌ها، دبی روند کاهش‌ی دارد.

شکل (۲-ب) نتایج درصد ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار مثبت و منفی را برای بارندگی نشان می‌دهد. روش‌ها برای ماه‌های اردیبهشت، خرداد، آذر و اسفند در ۳ تا ۲۰ درصد از ایستگاه‌ها روند معنی‌دار کاهش‌ی و در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور، آبان و دی در ۵ تا ۱۵ درصد از ایستگاه‌ها روند

ماهینه و سالیانه به مدل معرفی می‌شوند. بدین ترتیب برای هر ایستگاه ۱۳ بار برنامه اجرا می‌گردد. اما در خصوص سنس‌تی داده‌های سری زمانی ماهینه به مدل معرفی شده و مدل به تفکیک ماهینه و سالیانه نتایج را ارائه می‌دهد. بررسی خروجی-های مدل‌ها حکایت از شباهت آنها در تحلیل روند دمای حوضه دارد، اما برای بارندگی و بخصوص دبی تفاوت‌ها معنی‌دارتر است. تعداد ایستگاه‌های بارندگی با روند کاهشی، به عنوان مثال بر اساس آزمون من‌کندال ۵ و برای سنس‌تی ۷ می‌باشد و این تعداد برای دبی به ترتیب ۹ و ۲۲ هستند.

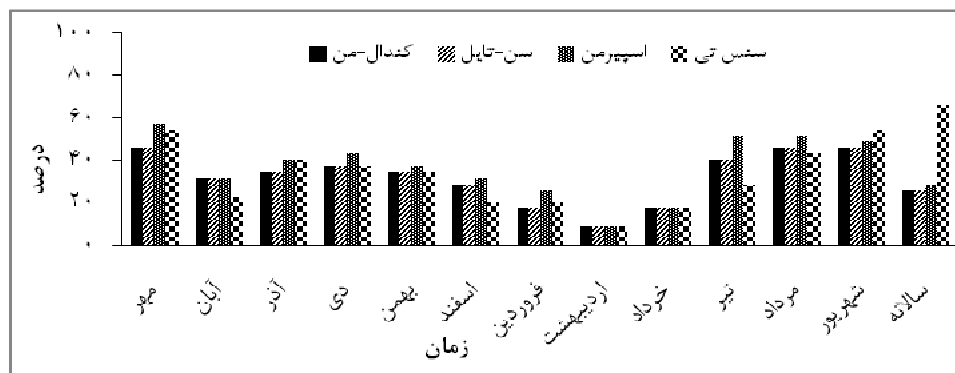
درصد این تغییرات از ۱۰ تا ۵۰ درصد به ترتیب برای ماه‌های اردیبهشت و تیر لغایت مهر متفاوت می‌باشد. مقایسه روش‌ها نشان می‌دهد که در ارزیابی ماهینه، روش‌های سنس‌تی و اسپیرمن به ترتیب کمترین و بیشترین و در ارزیابی سالانه، روش سنس‌تی بیشترین روند را در ایستگاه‌ها گزارش کرده‌اند. جدول (۲) نیز نتایج روش‌ها را به تفکیک برای تعدادی از ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که ایستگاه‌ها وضعیت یکسانی را گزارش نموده‌اند. لازم به یادآوری که نحوه ارزیابی روند در سری زمانی داده‌ها به این شکل است که برای روش‌های من-کندال، تایل سن و اسپیرمن داده‌ها به تفکیک



شکل ۲-الف. درصد ایستگاه‌های رونددار دما در سطح حوضه



شکل ۲-ب. درصد ایستگاه‌های رونددار بارندگی در سطح حوضه



شکل ۲-ج. درصد ایستگاه‌های رونددار دبی در سطح حوضه



جدول ۲. ادامه لیست برخی ایستگاه‌های رونددار دما (T)، بارندگی (R) و دبی (Q) با هر ۴ روش آماری

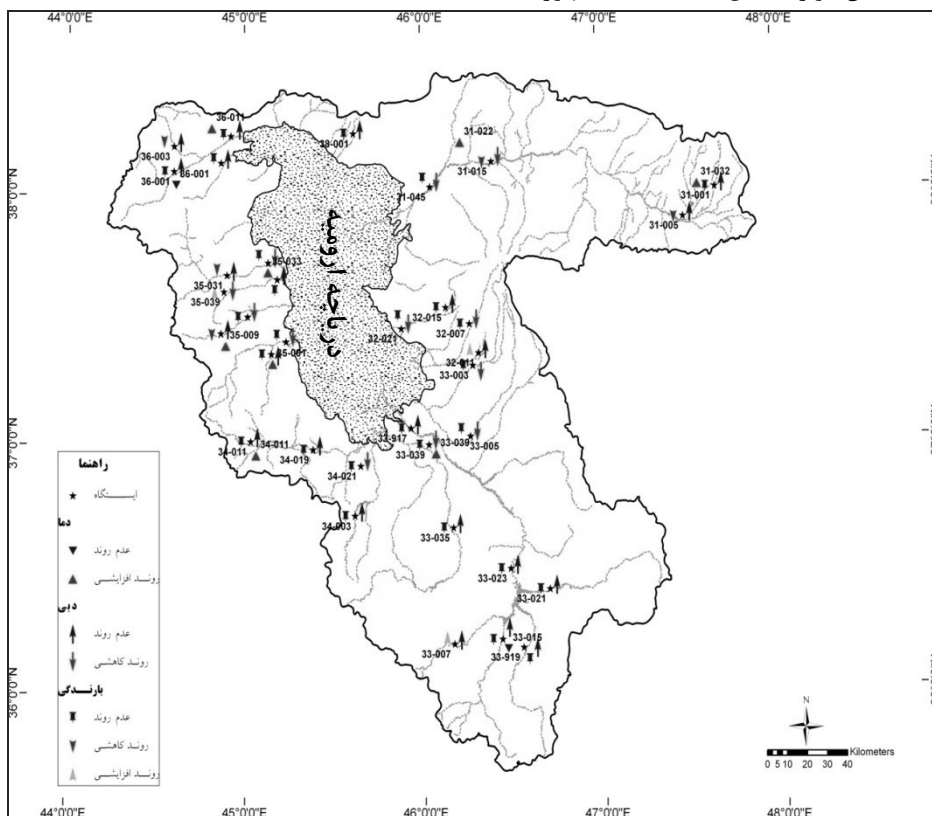
ایستگاه	اردیبهشت			خرداد			تیر			مرداد			شهریور			سالانه		
	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T
ونبار	-	۲.۱	-	-	-	-	۴	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-
آخوله	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
تازه کند	-	-	-	-	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	۳	-
چکان	-	-	-	-	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-
ینگجه	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۳	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-
شیشوان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۳	۴	-	-	-	-	-	-	-
قشلاق	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۳	-
شیرین	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲.۱	-	-	-	-	-
صفا خانه	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-
تازه کند	۲.۱	-	-	-	-	-	-	۳	۲.۱	۳	-	۲.۱	۲.۱	-	۲.۱	۲.۱	-	۲.۱
نظام آباد	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-	-	-	-
کوثر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
پی قلعه	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
نقده	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-
قاسملو	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-
بابارود	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-
میرآباد	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-	۲.۱	-	-
گویجلی	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲.۱	-	-	
آباجالوس	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲.۱	-	-	
کلهور	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
چهریق	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
نظر آباد	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
تمر	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
یالقوز	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
سهلان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

۱. من-کندال، ۲. تایل-سن، ۳. اسپیرمن و ۴. سنس تی



قبیلو و چکان هستند. اما در خصوص دبی، بر اساس روش‌های بکار رفته تا حدود ۶۰ درصد ایستگاه‌ها با روند منفی مواجه هستند و چنانچه معنی‌دار بودن آماری مد نظر قرار نگیرد، شرایط حادث‌تر شده و حدود ۸۰ درصد خروجی مدل‌ها، روند منفی را در آنها نشان می‌دهد. مانند دما، شکل (۳) روند تغییرات کاهشی دبی را در بخش شرقی و غربی دریاچه بیشتر نشان می‌دهد و در قسمت جنوبی آن تغییری معنی‌دار دبی قابل مشاهده نمی‌باشد.

**روند کلی در دما، بارندگی و دبی حوضه دریاچه ارومیه**  
جمع‌بندی کلیه روش‌ها برای بررسی وجود روند در متغیرهای دما، بارندگی و دبی حوضه در شکل (۳) ارائه شده است. شکل به خوبی نشان می‌دهد که دما در حوضه بطور معنی داری در حال افزایش است که در بخش‌های شرقی و غربی دریاچه تشدید می‌شود. نقطه قابل توجه روند کاهشی دما در ایستگاه خرخره جای می‌باشد. در خصوص بارندگی تا این حد وضعیت منفی را نشان نمی‌دهد و در تعدادی از ایستگاه‌ها روند افزایشی مشاهده شده است. این موارد شامل ایستگاه‌های کلهور،



شکل ۳. موقعیت ایستگاه‌ها و نتایج تحلیل روند دما، بارندگی و دبی

منظور ۱۱ ایستگاه دما سنجی، ۳۵ ایستگاه باران سنجی و ۳۵ ایستگاه آبنجی مورد استفاده قرار گرفت و اطلاعات آنها با استفاده از ۴ روش غیر پارامتریک در ارزیابی روند شامل: من کندال، تایل سن، اسپیرمن و سنس‌تی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج زیر از این تحقیق قابل ارائه می‌باشد:

- ۱- بطور کلی روند معنی‌دار افزایشی دما به صورت ماهیانه و سالانه در سطح حوضه قابل مشاهده است که در بخش‌های شرقی و غربی دریاچه تشدید می‌گردد.
- ۲- سری زمانی بارندگی‌ها در حوضه، رفتار یکسان دما را نشان نداد. در مقیاس ماهیانه بارندگی، هم روند افزایشی و هم کاهشی قابل ملاحظه است. ولی در مقیاس سالیانه روندها عمدتاً کاهشی می‌باشند.

**روند دبی در ایستگاه‌های بالا دست و پائین دست**  
به منظور بررسی ارتباط موقعیت ایستگاه به لحاظ بالا دست و یا پائین دست بودن و وجود روند در سری زمانی داده‌های آنها، ایستگاه‌ها دسته بندی و در جدول (۳) نشان داده شدند. جدول نشان می‌دهد که از ۱۹ ایستگاه که در بالا دست حوضه قرار دارند، تنها در ۵ مورد روند کاهشی قابل ملاحظه است، حال آنکه در ایستگاه‌های پائین دست از ۱۶ ایستگاه، در ۱۲ مورد روند کاهشی نتیجه شده است. چنین تفاوتی می‌تواند نقش عوامل انسانی را در کاهش دبی تأیید نماید.

### نتیجه‌گیری

گزارش حاضر تلاشی بود برای بررسی روند در متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه دریاچه ارومیه. بدین

جدول ۳- مقایسه روند در سری زمانی دبی رودخانه‌های در موقعیت ایستگاه‌های بالا دست و پائین دست

رودخانه	ایستگاه بالا دست	نوع روند	ایستگاه پائین دست	نوع روند
آجی چای	سهباب	بدون روند	ونیار	کاهشی
آجی چای	سرانسر	بدون روند	آخوله	کاهشی
صوفی چای	تازه کند	کاهشی	-	-
چکان چای	چکان	بدون روند	-	-
قلعه چای	ینگجه	بدون روند	شیشوان	کاهشی
مردوق چای	-	-	قشلاق امیر	کاهشی
لیلان چای	-	-	شیرین کند	کاهشی
دریان چای	-	-	دریان	بدون روند
سفر چای	قبیلو	بدون روند	-	-
جغاتو چای	پل آنیان	بدون روند	-	-
ساروق چای	صفاخانه	بدون روند	-	-
خرخره چای	سته	بدون روند	-	-
زرینه رود	ساری قمیش	بدون روند	نظام آباد	بدون روند
سیمینه رود	بوکان	بدون روند	تازه کند	کاهشی
مهاباد چای	کوثر	بدون روند	-	-
گادار چای	پی قلعه	بدون روند	نقده	کاهشی
گادار چای	-	-	بهراملو	کاهشی
بالانچ چای	قاسملو	کاهشی	-	-
باراندوز چای	-	-	بابارود	بدون روند
شهر چای	میرآباد	کاهشی	بند ارومیه	بدون روند
نازلو چای	تیپک	بدون روند	-	-
نازلو چای	-	-	گویجعی اصلان	کاهشی
نازلو چای	-	-	آباجالو سفلی	کاهشی
روضه چای	کلهور	بدون روند	-	-
زولا چای	چهریق علیا	کاهشی	یالقوز آغاج	کاهشی
دریک چای	نظر آباد	کاهشی	-	-
خرخره چای	-	-	تمر	کاهشی

می‌تواند نقش این عوامل انسانی را گویا باشد.

۵- نتایج روش‌های من-کندال، تایل-سن، اسپیرمن و سنس-تی نشان داد که در ارزیابی ماهیانه، روش‌های من-کندال و تایل-سن درصد ایستگاه‌های معنی‌دار یکسان و روش‌های سنس-تی و اسپیرمن به ترتیب کمترین و بیشترین روند را در ایستگاه‌ها گزارش نشان دادند. اما در ارزیابی سالانه، روش سنس-تی بیشترین روند را در ایستگاه‌ها نشان داد.

۳- رفتار سری زمانی دبی‌ها حکایت از روند کاهشی در ۶۰ درصد ایستگاه‌ها را دارد و چنانچه معنی‌دار بودن آماری مد نظر قرار نگیرد، حدود ۸۰ خروجی مدل‌ها روند کاهشی آن را تأیید می‌کند. همانند دما، دبی نیز نشدید روند کاهشی را در بخش شرقی و غربی دریاچه نشان می‌دهد.

۴- به منظور بررسی نقش عوامل انسانی، مقایسه ایستگاه‌های آب‌سنجی بالادست و پائین دست حوضه حکایت از افزایش ۴۸ درصدی روند در ایستگاه‌های پائین دست دارد که

## REFERENCES

- Hejam, S., Khoshkhou, Y. and Shams Aldin Vandi, R. (2008). Trend analysis of annual and seasonal precipitation some stations in central basin of Iran using non-parametric methods. *Journal of geographical research*, 64, 157-168. (In Farsi)
- Khalili, A. and Bazr Afshan, J. (2004). Trend analysis of annual, seasonal and monthly precipitation in five old stations during 116 years ago. *Journal of Biaban*, 9(1), 25-33. (In Farsi)
- Morid, S., Moghaddasi, M., Paymozd, Sh. and Ghaemi, H. (2005). Drought monitoring system plan of Tehran province. Application and basic researches plan of water resource Management Company of Iran. (In Farsi)
- Brunetti, M., Buffoni, L., Maugeri, M. and Nanni, T. (2000). Trends of minimum and maximum Daily Temperatures in Italy from 1865 to 1996. *Theor. Appl. Climatol*, 66, 49-60.
- Burn, H.B., and, Elnur, M.A.H. (2002). Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of*

- Hydrology*, 255, 107–122.
- Cagatay Karabork, M. (2007). Trends in drought patterns of Turkey. *Journal of Environment Engineering Science*, 6, 45-52.
- Chung Y.S. and Yoon, M.B. (2000). Interpretation of recent temperature and precipitation trends observed in Korea. *Theor. Appl. Climatol*, 67, 171-180.
- Kahya, E., and, Kalayci, S. (2004). Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology*, 289, 128-144.
- Kendall, M. G. (1975), Rank Correlation Methods, Oxford Univ. Press, New York.
- Kumar, S., Merwade, V., Kam, J. and Thurner, K. (2009). Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology*, 374, 171-183.
- Lettenmaier, D.P., Wood, E.F., and, Wallis, J.R. (1994). Hydroclimatological trends in the continental United States 1948–1988. *Journal of Climate*, 7, 586–607.
- Mann, H.B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend, *Econometrica*, 13, 245-259. Published by: The Econometric Society.
- Maugeri, M. and Nanni, T. (1998). Surface Air Temperature variations in Italy: Recent Trends and an update to 1993. *Theor. Appl. Climatol*, 61, 191-196.
- Pal, I., and, Al-Tabbaa, A. (2011). Assessing seasonal precipitation trends in India using parametric and non-parametric statistical techniques. *Theor Appl Climatol*, 103:1-11. DOI 10.1007/s00704-010-0277-8.
- Partal, T., and, Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkey precipitation data. *Hydrologic Processes*, 20, 2011–2026.
- Sen, P.K. (1968). Asymptotically efficient tests by the method of n rankings. *J. Roy. Statist. Soc. Ser. B*. 30.
- Stafford, J. M., Wendler, G. and Curtis, J. (2000). Temperature and Precipitation of Alaska: 50 Year trend analysis. *Theor Appl. Climatol*, 67, 33-44.
- Takeuchi, Z.X.Xu., and, Ishidaria, K., H. (2003). Monitoring Trend Step Changes in Precipitation in Japanese Precipitation. *Journal of hydrology*, 279, 144-150.
- Theil, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, Part 3. Proc Koninklijke Nederlandse Akad Wetenschappen A 53, 1397–1412.
- Van Bell, G., and, Hughes, J.P. (1984). Nonparametric tests for trend in water quality. *Water Resources Research*, 20 (1), 127–136.
- Yue, S. and Hashino, M. (2003). Temperature trends in Japan: 1900-1996. *Theor. Appl. Climatol*, 75, 15-27.
- Yue, S., Pilon, P., and Cavadias, G. (2002). Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259, 254-271.
- Zhang, X., Vincent, L.A., Hogg, W.D., and, Niitsoo, A. (2000). Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. *Atmospheric Ocean*, 38, 395–429.
- Zhao, G., Hormann, G., Fohrer, N., Zhang, Zengxin, and Zhai, J. (2010). Streamflow Trends and Climate Variability Impacts in Poyang Lake Basin, China. *Water Resour Manage*, 24: 689-706. Doi: 10.1007/s11269-009-9465-7.