



## Investigation of the Rainfall and Flow River Trend in the Great Karun Basin Using the TFPW-MK

S. Shakerian<sup>1</sup>, H. Torabi Podeh<sup>2\*</sup>, B. Shahinejad<sup>3</sup>,  
and H. Naghavi<sup>4</sup>

### Abstract

The Karun basin is one of the most important water supply sources in the country. However, no comprehensive study has been done on rainfall and river flow in this basin. According to importance of subject, in this study the trend changing of rain and river flow of the Karun basin in 74 meteorological stations and 46 hydrometric stations in three monthly, seasonal and annual periods using non-parametric mann-kendall test (TFPW-MK). The results showed that the trend of more than 82 percent of the stations on annual basis are descending and. On monthly scale, the most precipitous months of the year (Day, Bahman and Esfand) have decreasing trend, and the trend of more than 99% of stations in the month of Esfand (73 stations) having a decreasing trend. On seasonal scale, 50.5% of annual rainfall in the basin occurs in the winter. In this season trend of more than 45 percent of the stations (32 stations) in the winter season are descending trend rates in significant. Due to the decreasing trend of rainfall variation in the catchment area, the river flow should be reduced, and the results of this research confirm this point. The results showed that the trend of more than 82 percent of the stations on monthly basis are descending trend and 63 percent of the stations are descending trend rates in significant.

**Keywords:** Trend, Autocorrelation Test, Rainfall Changes, Karun Basin, TFPW-M.

Received: February 7, 2019

Accepted: August 22, 2019

## بررسی روند تغییرات بارندگی و دبی رودخانه‌های حوضه کارون بزرگ با استفاده از روش TFPW-MK

سجاد شاکریان<sup>۱</sup>، حسن ترابی پوده<sup>۲\*</sup>، بابک شاهی‌نژاد<sup>۳</sup>  
و حامد نقوی<sup>۴</sup>

### چکیده

حوضه کارون از جمله مهمترین حوضه‌های تأمین‌کننده منابع آب کشور می‌باشد با این وجود تاکنون مطالعه جامعی بر روی تغییرات بارش و دبی رودخانه‌های این حوضه انجام نشده است. نظر به اهمیت موضوع، تحقیق حاضر به بررسی روند تغییرات بارش و دبی رودخانه‌های این حوضه در ۷۴ ایستگاه هواشناسی و ۴۶ ایستگاه هیدرومتری، در سه بازه زمانی ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال (TFPW-MK) انجام گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در مقیاس سالانه، ۸۲ درصد ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی می‌باشد. در مقیاس ماهانه، پر بارش‌ترین ماه‌های سال (دی، بهمن و اسفند) دارای روند کاهشی هستند بگونه‌ای که در اسفند ماه بیش از ۹۹ درصد ایستگاه‌ها (۷۳ ایستگاه) دارای روند کاهشی بوده و در مقیاس فصلی، ۵۰/۵ درصد بارش سالانه حوضه، در زمستان به وقوع می‌پیوندد در این فصل بیش از ۴۵ درصد ایستگاه‌ها (۳۲ ایستگاه) دارای روند کاهشی معنی‌دار می‌باشد. نظر به روند کاهشی تغییرات بارندگی حوضه آبریز، روند دبی رودخانه‌ها می‌بایست کاهشی باشد که نتایج این تحقیق نیز مؤید این مطلب است و در مقیاس ماهانه، ۸۷ درصد ماه‌های سال، دارای روندی کاهشی بوده و ۶۳ درصد ماه‌ها، دارای روند کاهشی معنی‌دار هستند.

**کلمات کلیدی:** روند، آزمون خود همبستگی، تغییرات بارندگی، حوضه کارون، TFPW-MK.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۱/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۵/۳۱

1- Ph.D. Student of Hydraulic Structures, Faculty of Agriculture, University of Khoramabad, Lorestan, Iran.

2- Associated Professor of Department of Agriculture, University of Khoramabad, Lorestan, Iran. Email: [torabi\\_ha@lu.ac.ir](mailto:torabi_ha@lu.ac.ir)

3- Associated Professor of Department of Agriculture, University of Khoramabad, Lorestan, Iran.

4- Associated Professor of Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Khoramabad, Lorestan, Iran.

\*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه خرم‌آباد، لرستان، ایران.

۲- دانشیار گروه آب، دانشگاه خرم‌آباد، لرستان، ایران.

۳- دانشیار گروه آب، دانشگاه خرم‌آباد، لرستان، ایران.

۴- دانشیار گروه گروه منابع طبیعی جنگلداری، دانشگاه خرم‌آباد، لرستان، ایران.

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

Xu et al. (2003) امکان ارتباط بین تغییر اقلیم و تغییرپذیری منابع آب را در یکی از حوضه‌های چین مورد بررسی قرار دادند. آنها همچنین، وجود روند در سری‌های زمانی بلند مدت بارندگی، دما و رواناب را به وسیله آزمون MK مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که دما در این منطقه دارای روند افزایشی یکنواخت در طی ۵۳ سال گذشته می‌باشد. Yue et al. (2003) وجود روند را در ماکزیمم دبی روزانه در ۲۳ حوضه اصلی کشاورزی کانادا مورد بررسی قرار دادند. روش‌های مورد استفاده توسط آنها آزمون‌های MK و اسپیرمن بود. نتایج بررسی‌ها بیانگر آن است که نتایج این دو آزمون تا حدودی مشابه می‌باشد و هر دو آزمون نشان می‌دهند که مقادیر بیشینه جریان رودخانه دارای روندی کاهشی می‌باشد. Bonaccorso et al. (2005) وجود روند خطی و غیرخطی را برای میانگین بارندگی سالانه و بیشینه بارندگی سالانه مورد بررسی قرار دادند. آنها از آزمون MK و آزمون t استفاده نمودند. نتایج تحقیق ایشان بیانگر وجود روند افزایشی در داده‌های کوتاه مدت می‌باشد. هر چند در داده‌های بلند مدت روند کاهشی مشاهده شد. Kliment and Matouskova. (2008) تغییرات رژیم بارش و رواناب را در یکی از حوضه‌های کانادا با استفاده از روش ویلکاکسن و MK مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان‌دهنده وجود تغییرات در بارندگی و رواناب بود که نقش فعالیت‌های انسانی نیز در این تغییر بی‌تأثیر نبود. فرض اصلی مطالعات تحلیل روند با استفاده از آزمون MK مستقل بودن و عدم وجود خود همبستگی معنی‌دار در داده‌های نمونه می‌باشد. با این وجود ممکن است برخی سری‌های هیدرولوژیکی نظیر دبی جریان دارای ضریب خود همبستگی معنی‌دار باشند. بنابراین جهت حذف اثر خود همبستگی روی آزمون MK ضروری است قبل از انجام آزمون، اجزا خود همبستگی از قبیل فرآیند خود همبستگی مرتبه اول AR(1) از سری داده‌ها حذف گردد. این فرآیند اصطلاحاً پیش سفید کردن نامیده می‌شود. به منظور حذف اثر ضریب خودهمبستگی بر روی آزمون MK، Kulkarni and Von Storch. (1995) یک روش پیش سفید کردن را قبل از انجام آزمون MK ارائه کردند، که به آن PW-MK می‌گویند.

در مواردی که روند در یک سری زمانی وجود نداشته باشد، Kulkarni and Von Storch. (1995) نشان دادند که پیش سفید کردن اثر ضریب خود همبستگی را بر آزمون MK به طور موثر کاهش می‌دهد. Douglas et al. (2000) نشان دادند که روش پیش سفید کردن وان استورج می‌تواند باعث کاهش میزان روند واقعی داده‌ها می‌گردد. Yue et al. (2002) با استفاده از شبیه‌سازی نشان دادند که در صورت وجود روند و فرآیند AR(1) در یک سری زمانی روش پیش سفید کردن وان استورج بخشی از روند را حذف خواهد کرد.

تأثیر تغییر اقلیم بر روی منابع آب یک موضوع حیاتی در زندگی بشر است. هیئت بین دولتی تغییر اقلیم در گزارش جدید خود خاطر نشان می‌کند که افزایش دمای جهان که ناشی از ادامه انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد، می‌تواند ناهنجاری‌هایی را در تمام متغیرهای سیستم آب و هوایی بوجود بیاورد (IPCC, 2013). تغییرات در پارامترهای آب و هوایی مانند دما و بارش به نوبه خود می‌تواند موجب بسیاری از ناهنجاری‌ها در شرایط اقلیمی گردد. دبی رودخانه‌ها از جمله پارامترهای مهم هیدرولوژی و منابع آب است که در رابطه مستقیم با دیگر عناصر اقلیمی می‌باشد و هرگونه تغییر در عوامل اقلیمی علی‌الخصوص تغییرات بارش و دما، می‌تواند روند تغییرات دبی رودخانه‌ها را دستخوش تغییر نماید. نظر به پراکندگی نامناسب منابع آب کشور، بحران آب از مهمترین دغدغه‌ها و مشکلات کشورهای خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود. مضافاً اینکه تغییر و یا کاهش بارندگی و در نتیجه رواناب، می‌تواند اثرات زیانباری بر مسائل کشاورزی، اقتصادی و معیشتی منطقه داشته باشد. به همین دلیل، بررسی تغییرات بارش و رواناب از اولویت ویژه برخوردار است.

روش‌های مختلفی برای بررسی وجود تغییرات در سری‌های زمانی وجود دارد. روش‌های ناپارامتریک معمول‌ترین روش‌های آماری هستند که برای بررسی وجود تغییرات معنی‌دار در سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. دلیل عمده استفاده از روش‌های ناپارامتریک در مقایسه با روش‌های آماری پارامتریک این است که روش‌های ناپارامتریک برای داده‌هایی که فاقد توزیع نرمال می‌باشند (مانند بسیاری از عوامل هواشناسی و هیدرومتری) مناسبتر عمل می‌کنند.

بدلیل اینکه اکثر سری‌های هیدرولوژیکی از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند، لذا این آزمون‌ها در این زمینه از کاربرد بیشتری برخوردارند. آزمون MK، روش آماری مناسبی برای اثبات وجود روند در سری‌های هیدروکلیمایی است (Hersch et al., 1982). در سالهای اخیر بسیاری از محققین از این آزمون به عنوان بهترین گزینه جهت بررسی وجود روند یکنواخت داده‌ها استفاده نموده‌اند. مطالعات زیادی در ارتباط با تغییرات زمانی عوامل اقلیمی و هیدرولوژیکی با استفاده از روش‌های مختلف انجام گرفته که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: Kiely (1999) تغییر اقلیم در ایرلند را با استفاده از بارندگی و دبی مورد بررسی قرار داد. ایشان در این مطالعه از آزمون‌های مان ویتنی - پتی ویلکاکسن استفاده نمود. وی نشان داد که در بارندگی و دبی، روند مشابهی مشهود است که با شاخص NAO نیز ارتباط دارد.

بارندگی و دبی رودخانه‌های حوضه در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه از میان روش‌های مرسوم برای بررسی تأثیر روند تغییرات پارامترهای هیدرولوژی، روش MK-TFPW بسیار دقیق‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد، در این تحقیق از این آزمون جهت بررسی روند تغییرات داده‌های حوضه کارون استفاده شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز کارون بزرگ در جنوب غربی ایران واقع شده است. این حوضه در محدوده طول شرقی  $48^{\circ} 02'$  الی  $52^{\circ} 01'$  و محدوده عرض شمالی  $29^{\circ} 56'$  الی  $34^{\circ} 07'$  واقع شده است. مساحت این حوضه  $67257$  کیلومتر مربع می‌باشد که حدود ۵ درصد از مساحت کل ایران را شامل می‌شود. از این مساحت، ۶۷ درصد آن را مناطق کوهستانی و ۳۳ درصد مابقی را دشت‌ها تشکیل داده است. دو رودخانه اصلی حوضه کارون بزرگ، یعنی کارون و دز پس از طی مسیرهای پریپیچ و خم کوهستانی بطور جداگانه وارد دشت خوزستان شده و در محل بند قیر واقع در ۵۰ کیلومتری شمال اهواز به یکدیگر متصل می‌شوند و در نهایت به خلیج فارس می‌ریزد. شکل ۱ موقعیت قرارگیری حوضه آبریز کارون، موقعیت مکانی ایستگاه‌های بارانسنجی را محدوده مورد مطالعه، نشان می‌دهد.

بنابراین ممکن است فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند مورد قبول واقع شود و این در حالی است که روند ممکن است وجود داشته باشد. به منظور کاهش مؤثر در اثر ضریب همبستگی بر روی آزمون MK روش اصلاح شده پیش سفید کردن بدون روند (TFPW) توسط Yue et al. (2003) ارائه گردید. Hamed K and Rao (1998) روش دیگری جهت حذف اثر ضریب خود همبستگی قبل از انجام آزمون MK با انجام اصلاح در واریانس داده‌ها ارائه کردند (MK-VCA). Mirabbasi and Dinpashoh. (2010) از روش MK-VCA جهت تحلیل روند تغییرات آبدی رودخانه‌های استان لرستان غرب ایران استفاده کردند. Yue et al. (2002) با انجام مطالعات شبیه‌سازی سه روش MK-VCA، PW-MK و MK-TFPW را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که روش MK-TFPW بسیار دقیق‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد. Yue et al. (2003) با استفاده از آزمون MK و استفاده از روش  $(MK-TFPW^2)$  روند تغییرات رودخانه‌های کانادا را برای کمینه، بیشینه و میانگین دبی سالانه بررسی کردند.

حوضه کارون به دلیل در بر گرفتن بزرگترین پتانسیل آبی و همچنین وجود بیشترین و بزرگترین طرح‌های آبی کشور، از مهمترین حوضه‌های آبریز کشور می‌باشد. هدف از این تحقیق، بررسی تغییرات بارندگی و دبی رودخانه‌های حوضه کارون بزرگ، با توجه به اهمیت این حوضه از لحاظ آورد آبی کشور می‌باشد. برای این منظور، داده‌های

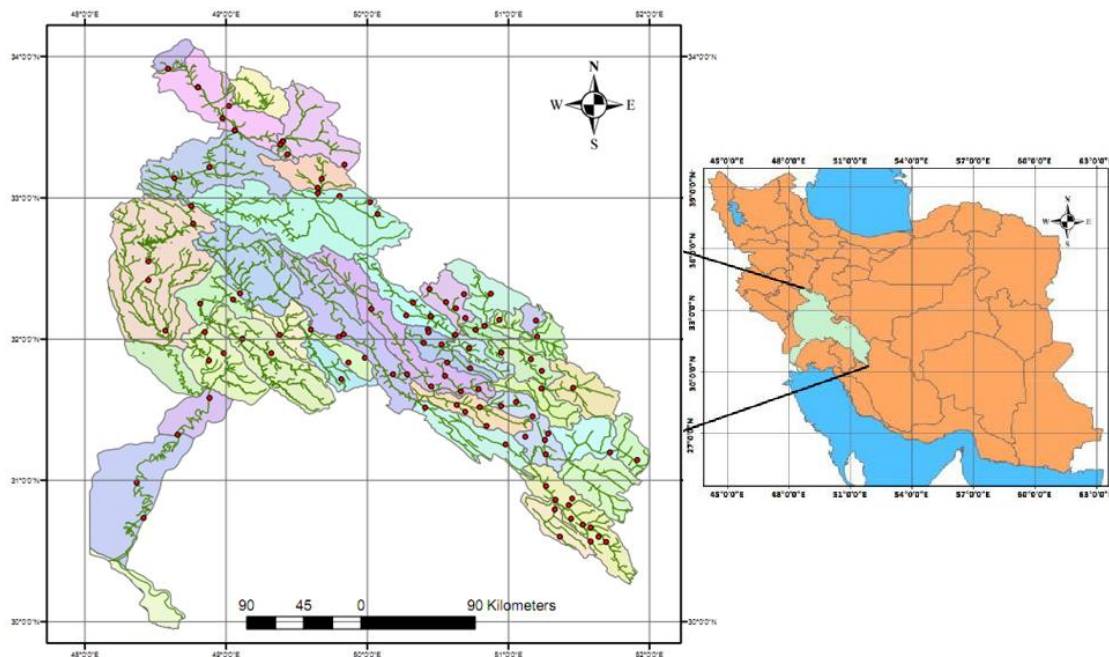


Fig. 1- Location of the study area and rain gauge stations

شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه و ایستگاه‌های بارانسنجی

**۲-۲-۲- آزمون MK بر روی سری زمانی بدون حذف ضریب خودهمبستگی (پیش سفید نشده)**

آزمون MK یکی از پرکاربرترین آزمون‌های غیرپارامتریک برای تحلیل روند داده‌ها است و از این آزمون به طور گسترده در تشخیص روند در سری‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود. فرض صفر  $H_0$  مستقل بودن و یکنواختی توزیع داده‌های نمونه  $\{X_i, i = 1 - 2 \dots - n\}$  و فرض مقابل  $H_1$  وجود یک روند یکنواخت در داده‌ها است. جهت انجام این آزمون ابتدا باید آماره  $S$  را با رابطه (۱) محاسبه نمود که در آن مقدار داده  $z$  ام،  $n$  تعداد داده‌ها و  $\text{sgn}(\theta)$  تابع علامت بوده و با رابطه (۲) قابل محاسبه است:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad (2)$$

برای  $n \geq 8$  آماره  $S$  دارای توزیع نرمال بوده و میانگین و واریانس آن از رابطه (۳) بدست می‌آید:

$$E(S) = 0 \quad \text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{m=1}^n t_m(t_m-1)(2t_m+5)}{18} \quad (3)$$

که در آن  $t_m$  تعداد داده‌های یکسان در دسته  $i$  ام می‌باشد. آماره آزمون MK یا  $Z$  با رابطه (۴) محاسبه می‌شود. احتمال آماره  $Z$  را می‌توان با استفاده از توزیع تجمعی نرمال محاسبه نمود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

**۲-۲-۳- آزمون MK بر روی سری زمانی پیش سفید شده به روش TFPW**

روش TFPW-MK جهت شناسایی روند در یک سری زمانی دارای خودهمبستگی توسط Yü et al (2003) به صورت زیر ارائه گردید: ۱- شیب روند در داده‌های نمونه با استفاده از روش  $TSA^3$  به صورت زیر برآورد می‌شود:

$$b = \text{Median} \left( \frac{X_j - X_i}{j - i} \right) \forall 1 < j \quad (5)$$

۲- اگر شیب تقریباً برابر صفر بود آنگاه دیگر نیازی به ادامه انجام آنالیز روند نیست، اما اگر مقدار آن برابر با صفر نبود، آنگاه روند به صورت خطی فرض شده و داده‌های نمونه به صورت  $X'_t = X_t - T_t = X_t - bt$  نوشته و بدون روند می‌شوند.

۳- ضریب خودهمبستگی مرتبه اول سری بدون روند  $X'_t$  با استفاده از معادله زیر برآورد می‌گردد:

داده‌های بارش ماهانه از ۷۴ ایستگاه بارانسنجی در محدوده مورد نظر با طول آماری ۳۶ سال از سال ۱۳۵۸ الی ۱۳۹۳ جمع‌آوری گردید. همچنین داده‌های جریان ماهانه از ۴۶ ایستگاه بارانسنجی در محدوده مورد نظر با طول آماری ۴۴ سال از سال ۱۳۵۰ الی ۱۳۹۳ جمع‌آوری گردید. دلیل انتخاب این ایستگاه‌ها کامل بودن داده‌ها و پراکنش مکانی قابل قبول در سراسر منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

**۲-۲- روش‌های مورد استفاده**

در این مطالعه، به منظور بررسی روند داده‌های بارندگی و دبی رودخانه‌های حوضه، طول دوره آماری با توجه به کمیت و کیفیت داده‌های ایستگاه‌های در دسترس، تعیین و در صورت نیاز، داده‌ها در دوره آماری بازسازی شدند. سپس روند تغییرات سری زمانی دبی و بارش در سه مقطع زمانی ماهانه، فصلی و سالانه برای هر یک از ایستگاه‌ها از آزمون غیرپارامتری من-کنندال (MK) و جهت تعیین شدت یا مقدار تغییرات دبی از روش تخمین گر سن استفاده شد. شرط لازم برای استفاده از این آزمون مستقل بودن داده‌ها و عدم وجود ضریب خود همبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌ها است. بنابراین در این مطالعه با استفاده از روش TFPW که در ادامه توضیح داده خواهد شد ابتدا اثر ضرایب خود همبستگی معنی‌دار از سری زمانی حذف و سپس بر روی سری زمانی بدست آمده، آزمون MK انجام می‌گیرد. این روش به اختصار روش MK-TFPW نامیده می‌شود.

**۲-۲-۱- تحلیل روند**

هدف از آزمون روند، تعیین وجود و یا عدم وجود سیر صعودی یا نزولی در سری داده‌ها است. به این دلیل که در روش‌های پارامتری فرضیاتی نظیر نرمال بودن، ایستایی و مستقل بودن متغیرها وجود دارد که این فرضیات اغلب برای متغیرهای هیدرولوژیکی اعتبار ندارد، از روش ناپارامتری MK که کاربرد بیشتری در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی دارد، می‌توان استفاده کرد. از جمله دلایل اصلی کاربرد آزمون‌های ناپارامتری عبارتند از:

- ۱) آزمون ناپارامتری برای سری‌هایی که توزیع آماری آنها نرمال نیست و یا دارای داده‌های بریده شده باشند، مناسب‌تر هستند.
- ۲) از دیگر مزایای روش‌های ناپارامتری این است که از حساسیت کمتری نسبت به مقادیر حدی برخوردار هستند.
- ۳) همچنین آزمون ناپارامتری را می‌توان برای سری‌های زمانی، بدون در نظر گرفتن خطی یا غیرخطی بودن روند به کار برد.

آزمون MK یکی از پرکاربردترین روش‌های ناپارامتری برای تحلیل روند داده‌ها است (Mirabbasi and Dinpashoh, 2010).

می‌دهد که روند بارش حوضه با توجه به داده‌های ایستگاه‌های مورد بررسی در ۳۶ سال اخیر (۱۳۵۸-۱۳۹۳) دارای روند کاهشی ( $z = -1/29$ ) به معنی کاهش بارندگی حوضه را نشان می‌دهد لیکن با توجه به میزان آماره  $Z$  این روند معنی‌دار نمی‌باشد.

شکل ۲ توزیع تغییرات روند ایستگاه‌های بارانسنجی حوضه کارون را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود کاهش بارندگی در قسمتهای جنوبی حوضه آبریز ( رنگ مایل به قرمز) شدیدتر است.

### ب) روند تغییرات فصلی

بررسی بارندگی ایستگاه‌های بارش حوضه آبریز کارون نشان می‌دهد که ۲۹/۱ درصد بارش سالیانه در فصل پاییز، ۵۰/۵ درصد بارش سالیانه در فصل زمستان، ۲۰/۱ درصد بارش سالیانه در فصل بهار و ۰/۳ درصد بارش سالیانه حوضه در فصل تابستان رخ می‌دهد. در جدول ۱ مقادیر آماره  $Z$  حوضه کارون برای سری داده‌های بارش فصلی و سالانه نشان داده شده است. در مقیاس فصلی، فصل زمستان بیشترین ایستگاه دارای روند کاهشی بوده بطوریکه در این فصل ۷۲ ایستگاه دارای روند کاهشی بوده که از این تعداد ۳۲ ایستگاه دارای روند معنی‌دار کاهشی در سطح اطمینان ۹۰٪ می‌باشد در این فصل هیچ ایستگاهی دارای روند افزایشی معنی‌دار نمی‌باشد.

فصل پاییز دارای روند افزایشی است بطوری که در این فصل ۸۵ درصد ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی (۶۳ ایستگاه) می‌باشد. در فصل بهار ۵۴ درصد ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی (۴۰ ایستگاه) می‌باشد. در فصل تابستان ۸۲ درصد ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی (۶۱ ایستگاه) می‌باشد در فصول پاییز، بهار و تابستان علی‌رغم روند افزایشی کلی لیکن هیچ ایستگاهی با روند افزایشی معنی‌دار مشاهده نگردید. فصل زمستان به علت روند ۹۷ درصدی ایستگاه‌ها، معنی‌دار بودن روند کاهشی در ۴۵ درصد ایستگاه‌ها و همچنین به علت اینکه بیش از ۵۰ درصد بارندگی حوضه کارون بزرگ در این فصل به وقوع می‌پیوندد تأثیر تغییرات روند این فصل بر روند سالیانه موجب روند کاهشی بارش سالیانه می‌گردد.

### ج) روند تغییرات ماهانه

نتایج نشان می‌دهد که پر بارش‌ترین ماه‌های سال در حوضه کارون ماه‌های دی، بهمن و اسفند می‌باشند که به ترتیب ۱۷/۲، ۱۷/۵ و ۱۵/۸ درصد بارش سالیانه در طول دوره آماری مورد بررسی حوضه کارون می‌باشد.

$$r_k = \frac{1}{n-k} \frac{\sum_{t=1}^{n-k} [X_t - E(X_t)][X_{t+k} - E(X_{t+k})]}{\sum_{t=1}^{n-k} [X_t - E(X_t)]^2} \quad (6)$$

$$E(X_t) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X_t$$

$r_1$  ضریب خودهمبستگی مرتبه ۱ داده‌های نمونه سری بدون  $X_t$  و  $E(X_t)$  میانگین داده‌های نمونه می‌باشد.

۴- پس از محاسبه ضریب خودهمبستگی با مرتبه اول، خودهمبستگی مرتبه اول AR(1) با استفاده از رابطه  $Y_t' = X_t - r_1 X_{t-1}'$  حذف می‌گردد. این روش پیش سفید کردن پس از حذف روند از سری‌ها روش پیش سفید کردن بدون روند نامیده می‌شود (TFPW). سری باقیمانده‌ها پس از انجام روش TFPW یک سری مستقل می‌باشد.

۵- روند شناخته شده  $T_t$  و سری باقیمانده‌ها  $Y_t'$  به صورت  $Y_t = Y_t' + T_t$  با هم ترکیب می‌گردد. بدیهی است که سری حاصل  $Y_t$  روند واقعی را حفظ کرده و اثر ضریب خودهمبستگی نیز حذف شده است.

۶- آزمون MK بر روی سری ترکیبی  $Y_t$  جهت برآورد روند واقعی انجام می‌گردد.

## ۳- بحث و نتایج

### ۳-۱- روند تغییرات بارندگی در حوضه کارون

#### الف) روند تغییرات در مقیاس سالیانه

در بررسی روند تغییرات بارش حوضه کارون مقادیر آماره  $Z$  برای سری داده‌های بارش فصلی و سالانه به روش TFPW در جدول ۱ نشان داده شده است. در مقیاس سالانه ۸۱ درصد ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی (۶۰ ایستگاه) می‌باشد. از ۷۴ ایستگاه، مجموعاً ۱۷ ایستگاه دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۰٪ می‌باشد. وجود روند کاهشی بیانگر کاهش بارش در ایستگاه‌های مذکور است.

شدیدترین روند کاهشی مربوط به ایستگاه مرغک با آماره ( $z = -3/01$ ) می‌باشد که در سطح اطمینان ۹۵٪ و همچنین در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار است. شیب روند این ایستگاه به روش سن تیل برابر ۷/۲ میلیمتر در سال می‌باشد.

جهت تعیین روند تغییرات بارش حوضه آبریز کارون از روش میانگین وزنی (شبکه‌بندی تیسن<sup>۴</sup>) استفاده گردید نتایج بدست آمده نشان

Table 1- the Statistic Z values for monthly, seasonal and annual rainfall data series

جدول ۱- مقادیر آماره Z برای سری داده‌های بارندگی ماهیانه، فصلی و سالانه

stations	Annual	Summer	Spring	Winter	Autumn	Shahrivar	Mordad	Tir	Khordad	Ordibehst	Farvardin	Esfand	Bahman	Day	Azar	Aban	Mehr
Sosan	-2.2	1.0	-0.4	-2.7	-0.1	1.1	-0.1	0.0	-0.5	0.1	-0.3	-2.4	-1.0	-2.1	0.0	0.1	-0.7
Barangard	-1.8	0.0	-0.7	-2.5	0.7	0.0	-0.1	0.0	-0.3	-0.5	-0.4	-2.2	-0.7	-2.0	0.4	0.9	-0.6
Abbaspor	-1.3	0.0	0.2	-2.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.0	-2.0	-0.3	-1.8	0.7	0.2	-1.0
Botvand-shor	-0.4	-0.3	0.4	-1.3	0.8	0.0	-0.3	0.0	-0.2	0.6	0.5	-2.4	-0.5	-0.1	0.7	0.6	-0.5
Shoshtar-shatit	-2.1	0.2	-0.3	-2.7	0.3	0.3	-0.1	0.0	0.1	0.2	-0.3	-2.6	-0.8	-1.9	-0.1	0.4	-1.1
Darkhazineh	-1.5	0.0	1.3	-2.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.7	-2.1	-0.6	-1.2	0.5	0.6	-0.1
Molasani	-2.8	0.3	0.4	-3.1	-0.6	0.3	0.0	0.0	-0.1	0.2	0.1	-2.7	-1.2	-2.4	0.7	-0.3	-0.4
Darkhoain	-1.9	-0.1	0.3	-2.4	0.0	-0.1	0.0	0.0	-0.5	-0.1	-0.7	-2.5	-0.6	-1.2	0.0	-0.3	-0.4
Khosroabad	-2.5	0.3	0.2	-3.0	-0.7	0.3	0.0	0.0	-0.1	0.5	0.1	-2.3	-1.1	-2.5	0.7	0.1	-0.3
Dehdez	-0.4	-0.3	0.5	-1.9	1.2	0.0	-0.3	0.0	-0.4	0.3	0.7	-1.7	-0.2	-2.8	0.6	1.5	-0.5
Kashkal	-2.2	0.2	-0.6	-2.4	0.1	0.6	-0.3	0.0	-0.7	-0.3	-0.8	-2.3	-1.0	-2.0	0.2	0.3	-0.7
Pollali	0.0	1.3	0.3	-1.2	1.3	0.9	0.7	0.0	0.4	1.1	0.4	-1.8	0.1	-0.7	1.3	1.2	-0.3
Arabhasan	-0.3	0.0	1.2	-1.7	0.7	0.0	0.0	0.0	-0.4	1.3	0.6	-2.2	-0.1	-1.1	0.4	0.7	-0.2
Zorabad	0.1	0.3	1.3	-1.2	1.0	0.3	0.0	0.0	-0.4	1.3	0.6	-1.3	0.8	-0.7	0.3	1.4	0.0
Farsiat	-1.8	0.0	-0.2	-2.4	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.4	-1.0	-0.7	-2.4	-0.5	-1.5	-0.1	-0.3	-0.7
Sarrak	-1.1	0.4	-0.3	-2.4	0.8	0.7	-0.3	0.0	-0.5	0.3	0.0	-2.0	-0.2	-2.0	0.4	1.1	-0.5
Izeh	-0.3	1.4	-0.4	-1.5	1.5	1.2	0.6	0.0	0.2	-0.3	-0.2	-2.1	0.2	-1.2	1.1	1.4	-0.2
Rekat-nalkanan	-0.6	0.8	0.4	-1.5	0.7	0.7	0.0	0.0	-0.5	0.0	0.4	-1.4	-0.1	-1.8	0.4	1.2	-0.2
Ahvaz	-1.9	-0.1	-0.9	-2.1	-0.3	-0.1	0.0	0.0	-0.5	-1.0	-0.7	-1.8	0.0	-1.5	-0.1	-0.3	-1.2
Telezang	-1.8	-0.1	0.0	-2.2	0.6	0.1	-0.2	0.0	-0.2	0.0	0.0	-2.1	-1.2	-2.2	0.1	1.2	-0.4
Dez dam	-1.3	0.3	0.4	-1.4	0.7	0.6	-0.3	0.0	0.7	0.5	-0.5	-2.1	-0.2	-0.7	0.3	1.1	-0.3
Lali	-0.7	0.5	-0.3	-1.5	1.3	0.8	-0.3	0.0	-0.5	0.3	0.0	-1.9	0.0	-0.7	1.2	0.9	0.3
Brojerd	0.2	0.0	0.6	-1.1	0.9	0.0	0.4	0.3	1.1	-0.6	0.7	-0.8	-1.4	-0.7	-0.4	2.3	-1.5
Vanaie	0.0	0.6	0.4	-0.5	0.7	0.6	0.4	0.0	1.1	-0.9	0.7	-1.1	-0.1	-0.7	-0.3	1.6	-1.3
Kamandan	-1.1	-0.1	-1.4	-1.1	1.0	0.0	0.0	0.3	0.3	-0.8	-0.8	-1.5	0.0	-0.4	0.7	1.2	-0.6
Dare takht	-1.8	0.4	-1.1	-2.5	-0.2	-0.1	0.1	1.0	-0.6	-1.0	-0.1	-3.0	-1.8	-0.6	-0.5	1.0	-1.2
Chamchit	-0.3	0.6	-0.2	-1.2	1.0	0.6	0.0	0.0	-0.3	-0.9	0.5	-1.5	-0.8	-1.3	0.4	1.2	-0.9
Keshvar-sorkhab	-1.6	0.3	-0.5	-2.4	-0.1	0.6	-0.3	0.0	-0.7	-0.8	-0.4	-2.1	-1.8	-1.5	-0.6	1.2	-2.3
Kazemabad	-0.3	0.9	0.1	-1.1	1.0	0.3	0.1	0.0	0.5	-0.7	0.8	-1.9	0.0	0.0	0.4	1.0	-1.0
Ab barik	1.0	0.7	1.8	-1.3	1.3	0.0	0.5	0.1	-0.3	1.0	1.7	-1.1	-2.2	-0.7	0.2	2.0	-1.6
Ghalyan-sakaneh	-0.5	0.7	0.6	-1.5	0.7	0.6	0.1	0.0	0.1	0.4	0.7	-0.8	-1.4	-1.2	-0.1	1.6	-1.2
Merok	-1.3	0.5	-0.1	-2.8	0.4	-0.1	0.0	0.4	-0.3	1.0	-0.4	-2.5	-1.8	-2.1	-0.9	1.7	-0.9
Dorod-tireh	-1.7	0.4	-0.7	-1.9	0.7	-0.1	0.0	-0.5	0.5	-0.9	0.1	-2.2	-0.7	-1.4	0.0	1.4	-1.3
Chamzaman	-1.2	1.3	0.3	-2.3	0.5	0.0	0.3	0.3	0.7	-0.3	0.9	-2.7	-1.3	-1.1	0.6	0.1	-0.2
Hana	-1.1	-0.5	-0.7	-1.3	0.6	-0.2	-0.6	0.0	0.2	-1.6	0.2	-2.3	-0.7	-0.8	-0.1	1.2	-1.7
Mehrgard	0.3	1.1	0.7	-0.8	1.3	0.6	0.0	0.7	0.7	-1.5	1.6	-1.6	0.2	-1.2	0.0	2.1	-1.6
Zardfahre	-1.2	1.3	-0.3	-1.1	-0.1	1.3	0.2	-0.2	0.4	-1.7	1.1	-1.5	0.2	-0.9	-0.7	0.9	-1.2
Tang zard alo	-0.8	-0.3	-0.8	-2.1	0.9	-0.1	-0.2	0.0	-0.3	-2.0	0.3	-2.1	-1.1	-1.0	-0.3	2.2	-1.7
Sibak	1.7	0.6	1.6	0.1	1.3	0.0	0.6	0.2	0.5	-0.3	1.9	-1.0	0.7	0.4	0.3	1.9	-1.6
Cheghyourt	-1.2	0.5	-0.1	-1.6	0.5	0.6	0.0	-0.1	-0.3	-1.3	0.9	-1.8	-1.0	-1.2	0.6	0.3	-1.1
Armand	-2.1	0.2	-1.5	-2.5	0.7	0.5	-0.3	0.0	0.3	-0.8	-0.8	-2.5	-0.4	-1.4	-0.2	2.0	-1.0
Abtorki	-1.6	1.1	0.3	-2.1	0.4	1.2	0.4	0.0	0.2	-0.6	1.2	-1.6	-1.7	-1.6	-0.6	1.1	-0.9
Aloni	-0.4	1.1	0.7	-1.2	1.4	1.1	0.1	0.0	0.3	-0.4	1.1	-1.6	0.1	-1.1	0.2	2.1	-0.3
Avargan	-0.6	1.7	0.5	-1.6	1.2	1.3	1.3	1.7	0.8	-1.1	1.0	-1.4	-1.2	-1.6	0.2	1.9	-0.4
Barez	-1.6	1.4	-1.4	-2.3	0.7	1.2	0.6	0.4	0.0	-0.9	-0.9	-1.4	-0.1	-1.9	0.0	1.4	-0.6
Brojen	-0.1	1.2	0.5	-0.9	0.9	1.6	-0.8	1.4	0.2	-0.7	1.0	-1.4	0.2	-1.3	0.1	1.9	-0.7
Beheshtabad	-0.6	0.3	0.6	-2.1	1.6	0.1	0.1	0.4	0.4	-0.4	1.0	-1.4	0.0	-1.7	0.7	2.2	0.3
Dezakabad	-1.0	0.0	-0.1	-1.8	1.1	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.7	0.7	-1.7	-0.1	-2.2	0.2	1.1	-0.2
Zarinderakht	-0.5	0.2	0.5	-1.4	1.1	0.5	-0.3	0.0	-0.2	-0.6	1.2	-1.8	-0.2	-1.3	0.3	1.5	-0.3
Sarkhon	-1.7	0.9	-0.2	-2.2	0.4	0.4	0.6	0.0	0.2	-0.5	0.2	-1.8	-0.8	-2.2	0.1	0.8	-0.2
Solgan	-0.7	1.0	-0.4	-1.4	0.9	0.7	0.0	0.6	0.0	-1.1	0.5	-2.3	0.1	-1.2	-0.2	1.6	-1.0
Shahrkord	-0.3	1.5	-0.5	-1.6	1.2	1.0	0.1	1.3	0.5	-0.7	0.0	-1.1	0.3	-1.4	0.6	1.9	0.1
Samsami	-1.5	1.3	-0.1	-2.5	0.0	0.3	0.7	0.0	-0.1	-0.8	0.3	-1.6	-1.0	-1.5	-0.6	1.3	-0.8
Farsan	-0.4	1.5	0.2	-1.3	1.0	1.3	0.2	0.8	0.8	-0.3	0.4	-1.6	0.1	-2.1	0.5	1.1	-0.1
Kordshami	-1.4	-0.3	-0.1	-2.5	0.8	0.0	-0.3	0.0	0.0	-0.5	0.4	-1.4	-0.6	-2.1	-0.3	1.7	-0.5
Gandoman	-0.3	1.3	0.9	-1.9	1.4	1.3	-0.4	1.2	-0.3	-0.7	1.4	-1.3	-0.5	-2.5	0.7	2.1	-0.2
Lordegan	-1.7	0.3	-0.7	-2.1	0.6	0.0	0.2	0.7	1.4	-1.7	-0.1	-2.5	-0.2	-1.0	-0.2	2.0	-0.6
Lirabi	-1.7	0.2	0.4	-2.4	0.1	0.0	0.2	0.0	0.7	-0.3	0.6	-1.7	-1.2	-1.6	-0.1	0.7	0.0
Malkhalifeh	0.9	0.2	1.7	-0.5	2.1	0.2	0.1	0.0	-0.6	0.6	1.8	0.1	-0.1	-1.3	1.1	2.4	-0.3
Morghak	-3.0	0.1	-2.1	-3.1	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	-1.5	-2.0	-2.4	-1.5	-2.5	-0.2	0.7	-1.1
Mench	-1.0	0.9	-1.1	-1.6	1.0	0.4	1.0	0.3	-0.3	-1.6	-0.4	-2.1	-0.1	-1.1	0.3	1.6	-0.8
Naghan	0.2	0.7	0.8	-1.4	1.2	0.6	0.1	0.0	-0.1	0.5	1.2	-0.6	-0.4	-1.8	0.8	1.6	0.2
Hirgan	-0.1	1.0	1.1	-1.6	1.4	0.1	0.8	0.3	0.5	0.2	1.6	-1.2	-0.2	-1.6	1.2	1.6	-0.1
Sisakht	-1.2	0.8	-1.2	-0.7	-0.3	0.4	0.3	0.2	-0.4	-1.6	-0.3	-1.6	-0.4	-0.2	-0.2	0.7	-1.2
Betari	0.0	0.3	-1.0	-0.1	0.3	-0.3	0.1	0.6	-1.1	-1.6	-0.4	-0.8	-0.1	-0.2	-0.1	1.1	-1.5
Pireshkaf	0.5	-2.5	0.3	-0.1	0.6	-1.1	-0.9	-1.9	-2.0	-1.2	1.1	-1.1	0.5	0.0	0.5	0.7	-1.9
Chitab	-0.4	0.8	0.6	-1.5	0.9	0.1	0.4	0.2	-0.2	-1.0	1.2	-1.3	-0.5	-2.0	0.5	1.3	-0.6
Sepidar	-0.3	1.2	0.1	-0.2	0.1	-1.2	0.9	0.2	-0.6	-1.5	0.5	-1.5	0.6	0.0	-0.2	0.4	-1.8
Shahmokhtar	0.1	1.6	0.0	-0.2	0.4	0.4	1.0	0.7	-1.3	-1.4	0.4	-0.8	0.2	-0.3	0.2	0.9	-1.0
Firizabad	0.2	0.4	0.8	-0.7	1.6	1.2	0.4	0.5	-0.1	-1.0	1.2	-0.8	0.3	-1.0	1.1	1.3	-0.3
Ghalat	0.3	0.9	0.7	-0.6	1.4	0.3	0.5	0.5	-0.3	-1.1	1.0	-1.1	0.7	-0.8	1.0	1.3	-0.7
Kakan	0.3	0.7	0.3	-0.5	1.4	0.7	-0.1	0.2	-0.5	-1.5	0.8	-1.2	0.4	-0.7	0.9	1.3	-0.6
Kata	-1.2	0.0	-1.9	-1.1	0.5	0.0	0.2	-0.2	-0.6	-2.2	-1.0	-1.8	0.0	-0.4	-0.1	1.0	-1.1
Karyak	-0.2	-2.0	-0.4	0.0	0.4	-1.7	-2.0	-1.7	-2.5	-1.3	0.7	-0.9	0.1	-0.2	0.3	0.9	-2.5

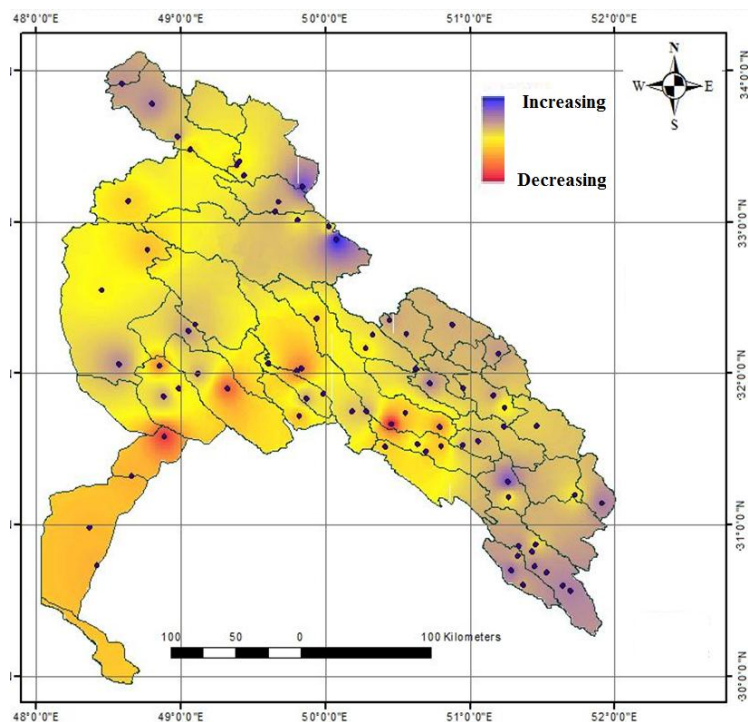


Fig. 2- Distribution of precipitation trends of the Karun basin

شکل ۲- توزیع تغییرات روند بارندگی در حوضه کارون

از ۶۳ ایستگاه مورد بررسی تنها می‌توان تحلیل روند ۴۶ ایستگاه را مدنظر قرار داد. شکل ۷ شبکه ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه‌های حوضه کارون نشان داده شده است. روند تغییرات میانگین دبی حوضه کارون در دوره ۴۴ ساله از سال ۱۳۵۰ الی ۱۳۹۳ در سه مقیاس ماهیانه، فصلی و سالانه در جدول ۲ نشان داده شده است.

#### الف) روند تغییرات در مقیاس سالانه

در مقیاس سالانه از ۴۶ ایستگاه، ۴۳ ایستگاه دارای روند کاهشی (۹۴ درصد از مجموع ایستگاه‌ها) همچنین ۳ ایستگاه دارای روند افزایشی می‌باشد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که هیچ ایستگاهی در دوره آماری مورد بررسی، دارای روند افزایشی در سطح اطمینان ۹۰٪ معنی‌دار نمی‌باشد همچنین ۳۳ ایستگاه دارای روند کاهشی معنی‌دار (۷۲ درصد از مجموع ایستگاه‌ها) در سطح اطمینان ۹۰٪ معنی‌دار می‌باشد.

#### ب) روند تغییرات فصلی

روند کلی در همه فصول کاهشی می‌باشد. در فصل پاییز، ۴۳ ایستگاه و یا به عبارتی ۹۴ درصد ایستگاه‌های حوضه دارای روند کاهشی است که از این میان ۳۱ ایستگاه دارای روندی کاهشی معنی‌دار می‌باشد.

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود در مقیاس ماهانه بیشترین تعداد ایستگاه‌ها که دارای روند کاهشی مربوط به اسفند ماه بوده، بطوری که ۹۹ درصد ایستگاه‌ها در این ماه دارای روند کاهشی (۷۳ ایستگاه) می‌باشد که از این تعداد ۳۷ ایستگاه دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۰٪ می‌باشد، دی ماه دارای روند کاهشی بطوری که ۹۷ درصد ایستگاه‌ها در این ماه دارای روند کاهشی (۷۲ ایستگاه) می‌باشند و بهمن ماه دارای روند کاهشی است، بطوری که ۷۰ درصد ایستگاه‌ها در این ماه دارای روند کاهشی (۵۲ ایستگاه) می‌باشند. بیشترین تغییرات افزایشی روند مربوط به آبان ماه می‌باشد که ۹۵ درصد ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی (۷۰ ایستگاه) می‌باشد و از این تعداد ۱۵ ایستگاه دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۰٪ می‌باشد.

#### ۳-۲- روند تغییرات دبی رودخانه‌های حوضه کارون

نظر به تاثیر سازه‌های هیدرولیکی بر تغییر روند دبی معمول رودخانه‌ها در پایین دست، جهت بررسی سری زمانی و روند تغییرات دبی، داده‌های آماری ایستگاه‌های بالادست سد‌های بزرگ حوضه کارون (کارون ۳، کارون ۴، شهید عباسپور، مسجدسلیمان، گتوند و سد دز) مورد مطالعه قرار گرفت. شکل ۳ موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه‌های حوضه کارون را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن این نکته،

Table 2- The Statistic Z values for monthly, seasonal and annual flows data series

جدول ۲- مقادیر آماره Z برای سری داده‌های دبی ماهانه، فصلی و سالانه

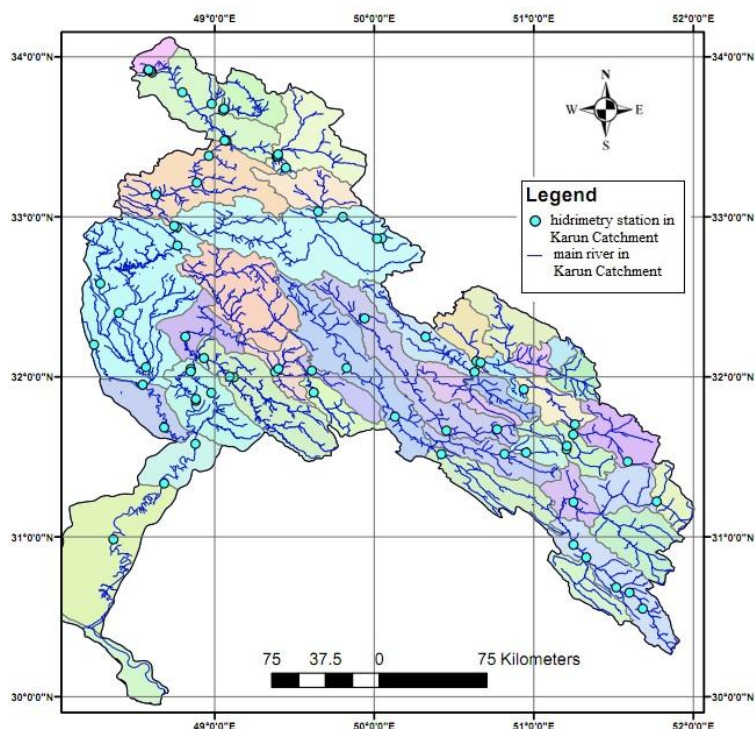
stations	Annual	Summer	Spring	Winter	Autumn	Shahrivar	Mordad	Tir	Khordad	Ordibehst	Farvardin	Esfand	Bahman	Day	Azar	Aban	Mehr
godarlender	-2.8	-3.1	-2.3	-2.2	-3.0	-3.8	-3.2	-3.0	-2.5	-1.8	-2.1	-1.2	-2.6	-3.3	-2.7	-3.2	-3.1
telezang	-3.2	-2.7	-2.7	-3.1	-2.6	-2.8	-2.7	-2.9	-3.0	-2.1	-2.8	-3.8	-2.6	-2.6	-1.6	-2.4	-3.9
tangpang sezar	-3.1	-0.8	-2.9	-3.1	-3.2	-1.3	-1.6	-0.7	-1.8	-2.2	-3.4	-3.3	-2.7	-2.9	-2.9	-2.3	-3.1
harmale	-3.8	-4.5	-2.7	-3.7	-3.1	-4.7	-4.6	-4.2	-3.7	-2.1	-3.1	-3.4	-3.5	-3.6	-2.6	-3.2	-3.6
ahvaz	-3.2	-2.8	-2.9	-3.3	-2.9	-2.4	-2.5	-2.8	-3.8	-2.6	-3.4	-3.7	-3.0	-3.2	-2.4	-2.5	-2.6
shoush	-2.0	-2.5	-1.6	-2.2	-1.5	-2.0	-2.9	-1.7	-1.1	-1.0	-2.4	-2.0	-2.1	0.2	0.0	-1.0	-2.7
abaspur	-3.3	-4.1	-2.6	-2.2	-3.1	-3.9	-4.2	-4.0	-2.9	-2.2	-2.8	-2.3	-2.2	-3.0	-2.6	-3.7	-4.1
botvand	-2.2	3.4	1.7	-4.1	-3.0	3.8	3.7	3.3	2.6	2.3	0.3	-1.6	-3.5	-4.1	-2.6	-0.9	3.9
botvandbohlo	-3.5	4.4	-0.1	-4.6	-2.3	4.3	5.0	4.4	2.8	1.3	-1.3	-2.5	-4.7	-5.1	-0.4	-0.9	2.3
tangpang bakhtiar	-3.2	-1.6	-3.4	-2.5	-1.6	-0.3	-1.1	-2.7	-3.7	-3.4	-3.4	-3.2	-2.0	-1.7	-2.2	-1.1	0.0
dashtbozorg	-4.6	-2.7	-3.2	-4.6	-3.6	-2.2	-3.1	-2.6	-2.2	-2.8	-2.7	-3.4	-4.4	-3.6	-3.0	-2.7	-2.8
zorabad	-4.2	-1.4	-4.3	-3.1	-1.0	-1.1	-1.5	-2.6	-4.2	-3.8	-3.2	-3.0	-2.8	-2.6	-0.9	-0.4	-0.3
dokohe	-4.3	-3.9	-4.2	-2.6	-2.9	-3.1	-3.8	-3.9	-4.2	-3.6	-2.8	-2.9	-2.8	-2.6	-0.9	-2.4	-2.7
kata	-1.3	-2.8	-1.0	-0.6	-1.7	-3.3	-2.9	-2.5	-2.5	-1.1	-0.4	-0.4	-0.6	-1.0	-1.3	-2.0	-2.7
dehno	-1.7	-5.1	-2.3	0.2	-1.4	-4.8	-4.5	-5.0	-3.8	-3.0	-1.1	-0.5	0.3	-0.8	-0.5	-3.5	-4.9
pataveh	-1.7	-2.8	-2.2	-0.2	-0.7	-2.9	-3.0	-3.2	-2.7	-2.2	-1.6	-1.0	0.0	-0.6	-0.2	-1.0	-1.5
betary	-1.2	-2.3	-1.5	-0.2	-0.7	-2.3	-3.0	-1.9	-1.8	-1.7	-1.5	-1.3	0.1	-0.7	-0.7	-1.1	-1.1
ghalat	-1.4	-2.8	-2.1	-0.3	-1.4	-2.4	-3.0	-2.9	-3.0	-2.4	-1.5	-0.6	-0.4	-0.7	-1.2	-2.1	-2.1
shahmokhtar	-1.2	-1.2	-2.4	0.1	1.7	0.4	-1.0	-1.8	-2.1	-2.2	-2.3	-0.2	0.5	0.4	1.8	2.0	2.5
tapechogha	-3.4	-4.2	-3.1	-2.1	-2.1	-3.5	-3.5	-3.9	-3.7	-1.9	-2.5	-3.0	-1.7	-0.2	-1.6	-1.1	-4.1
marbare	-4.1	-2.8	-3.4	-4.4	-2.7	-2.2	-3.3	-3.1	-3.2	-2.5	-3.5	-4.1	-3.9	-4.2	-3.6	-1.9	-1.7
brojerd	-3.2	-3.6	-1.3	-3.6	-2.9	-3.5	-4.0	-1.6	0.0	-1.4	-1.3	-3.6	-2.5	-2.7	-2.3	-2.8	-3.6
marvak-tireh	-2.6	0.8	-2.6	-2.3	-1.5	1.6	1.1	0.3	-0.6	-1.8	-3.2	-2.9	-1.8	-1.9	-1.5	-1.3	-0.6
marouk	-2.7	-2.3	-2.5	-2.2	-1.1	-2.3	-2.6	-2.1	-2.2	-1.6	-2.8	-2.9	-1.1	-0.9	-0.4	-0.7	-3.1
azna	-4.8	-4.4	-4.3	-3.1	-5.8	-5.3	-4.0	-4.4	-4.5	-4.2	-4.3	-3.2	-2.7	-4.6	-5.5	-5.9	-5.4
absabzeh	0.6	2.2	1.9	-0.6	0.0	2.4	2.5	1.3	1.6	2.3	1.0	-0.4	-0.8	-0.3	-0.3	0.1	0.9
biaton	-3.1	-2.6	-2.4	-2.4	-1.9	-1.8	-2.2	-2.3	-2.2	-2.0	-2.3	-2.1	-2.3	-1.7	-1.4	-2.0	-2.2
tireh-dorod	-3.5	-3.4	-3.4	-3.0	-1.8	-1.2	-2.5	-3.6	-3.5	-3.3	-3.3	-3.3	-2.3	-2.6	-1.9	-1.5	-0.2
daretakht	-1.4	-0.4	1.9	-2.7	-2.8	-1.1	0.3	-0.1	1.1	1.6	1.4	-0.8	-2.3	-3.7	-3.3	-2.4	-1.1
sarabsefid	-0.9	-0.2	-1.0	-0.2	-1.5	-1.2	0.1	-0.2	0.0	-0.4	-1.0	0.8	0.0	-0.6	-0.8	-1.8	-1.4
sorkhabkeshvar	-1.3	0.5	-2.0	-1.3	-0.5	1.0	1.9	0.0	-0.5	-0.9	-2.8	-1.6	-0.7	-1.4	-0.5	0.5	-0.1
silakhor	-3.3	-2.5	-2.3	-2.0	-3.8	-3.0	-1.2	-1.7	-2.0	-1.9	-2.3	-2.0	-0.7	-2.5	-3.4	-4.0	-4.3
kakolestan	-3.6	-2.9	-2.7	-3.2	-3.4	-2.2	-2.0	-3.3	-2.9	-2.5	-2.5	-3.2	-2.3	-3.7	-2.7	-3.6	-3.4
kamandan	-3.0	-0.6	0.5	-2.9	-3.3	-1.5	0.0	0.0	0.2	-0.2	-0.1	-1.6	-2.1	-3.5	-3.3	-3.2	-1.3
galerod vanaee	-3.6	-1.9	-1.0	-2.6	-3.7	-2.1	-1.5	-1.7	-0.8	-1.0	-0.3	-0.6	-2.5	-3.6	-3.5	-3.9	-3.2
marbare	-3.6	-2.7	-3.4	-2.8	-2.4	-1.5	-1.3	-3.4	-3.6	-3.1	-3.4	-3.0	-2.2	-2.9	-2.5	-2.5	-2.1
sepiddasht sezar	-3.1	-1.2	-2.9	-3.3	-2.4	-1.0	-1.5	-1.2	-2.0	-2.0	-3.2	-3.5	-2.3	-2.9	-2.5	-1.9	-2.4
polbardegan	-2.7	-5.0	-2.0	-2.4	-3.0	0.0	-5.1	-5.0	-3.3	-1.7	-1.2	-2.3	-2.0	-1.9	-3.0	-1.5	-1.6
polchoghondar	0.0	-1.1	-0.1	0.9	-0.7	-0.1	-0.8	-1.7	-0.5	-0.2	0.5	1.0	0.9	0.3	-0.2	-0.7	-0.1
charkhfalak	-0.5	-2.1	0.5	-0.5	-2.0	-1.7	-2.0	-2.4	-1.1	0.3	1.0	-0.4	-0.5	-1.0	-1.0	-2.6	-2.7
cheshmehlangan	-3.1	-3.2	-2.3	-3.1	-2.3	-2.9	-3.4	-3.5	-2.9	-2.1	-2.0	-2.6	-2.8	-2.4	-2.8	-1.8	-3.9
zardfahre	-3.2	-3.1	-2.7	-2.6	-2.9	-2.6	-3.2	-3.4	-2.6	-2.3	-2.2	-3.0	-2.8	-2.8	-2.7	-2.5	-3.1
armand	-2.5	-1.4	-0.7	-3.1	-3.3	-1.8	-1.5	-0.8	-0.8	-0.5	-1.5	-2.2	-3.2	-3.8	-3.4	-3.5	-3.3
polmary	0.5	-1.3	0.8	1.9	-3.8	-3.5	-1.7	-1.1	-1.1	-1.5	1.0	1.7	1.4	-1.9	-3.7	-3.4	-4.0
solgan	-1.5	-3.2	-2.0	0.7	-2.7	-4.3	-3.1	-2.8	-2.7	-2.8	-0.7	0.8	1.0	-1.3	-2.2	-2.9	-3.8
lordegan	0.3	1.8	-1.5	-0.6	2.3	2.0	1.9	1.7	-0.3	-2.0	-2.5	-1.4	0.2	1.3	1.7	2.1	2.7

ج) روند تغییرات ماهانه

نتایج بررسی تغییرات روند دبی رودخانه‌های حوضه کارون در دوره ۴۴ ساله طبق جدول ۲ نشان می‌دهد که، در مقیاس ماهانه در این حوضه ۸۷ درصد ماه‌های سال ایستگاه‌های مورد بررسی دارای روندی کاهشی بوده‌اند و همچنین ۶۳ درصد ماه‌های سال، ایستگاه‌های مورد بررسی دارای روندی کاهشی معنی‌دار (در سطح اطمینان ۹۰٪) بوده‌اند. با توجه به نتایج حاصله در دوره زمانی مورد بررسی، در هر ماه بطور متوسط ۴۰ ایستگاه دارای روند کاهشی بوده‌اند که از این میان در هر ماه بطور متوسط ۲۹ ایستگاه دارای روند کاهشی معنی‌دار (در سطح اطمینان ۹۰٪) می‌باشد.

در فصل زمستان، ۴۱ ایستگاه و یا به عبارتی ۸۹ درصد ایستگاه‌های حوضه دارای روند کاهشی است که از این میان ۳۲ ایستگاه دارای روندی کاهشی معنی‌دار می‌باشد. در فصل بهار، ۴۰ ایستگاه و یا به عبارتی ۸۷ درصد ایستگاه‌های حوضه دارای روند کاهشی است که از این میان ۳۰ ایستگاه دارای روندی کاهشی معنی‌دار می‌باشد. در فصل تابستان، ۴۰ ایستگاه و یا به عبارتی ۸۷ درصد ایستگاه‌های حوضه دارای روند کاهشی است که از این میان ۲۹ ایستگاه دارای روندی کاهشی معنی‌دار می‌باشد.





**Fig. 3- Location of hydrometric station in study area**  
**شکل ۳- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در محدوده مورد مطالعه**

نتایج بررسی تغییرات بارندگی در مقیاس فصلی نشان می‌دهد که ۲۹/۱ درصد بارش سالیانه در فصل پاییز، ۵۰/۵ درصد در فصل زمستان، ۲۰/۱ درصد در فصل بهار و ۰/۳ درصد بارش سالیانه حوضه در فصل تابستان رخ می‌دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در فصول پاییز، بهار و تابستان علی‌رغم روند افزایشی کلی لیکن هیچ ایستگاهی با روند افزایشی معنی‌دار مشاهده نگردید. فصل زمستان به علت روند کاهشی ۹۷ درصدی ایستگاه‌ها (۷۲ ایستگاه)، معنی‌دار بودن (در سطح اطمینان ۹۰٪) روند کاهشی در ۴۵ درصد ایستگاه‌ها و همچنین به علت اینکه بیش از ۵۰ درصد بارندگی حوضه کارون بزرگ در این فصل به وقوع می‌پیوندد تأثیر تغییرات روند این فصل بر روند سالیانه موجب روند کاهشی بارش سالیانه می‌گردد. تغییرات روند دبی حوضه آبریز مؤید روند کاهشی بارش حوضه کارون می‌باشد. روند کلی تغییرات دبی در همه فصول کاهشی است بطوری که در همه فصول بیش از ۴۰ ایستگاه و یا به عبارتی بیش از ۸۷ درصد ایستگاه‌های حوضه دارای روند کاهشی است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که فصل زمستان با ۳۲ ایستگاه و فصل تابستان با ۲۹ ایستگاه به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد ایستگاه دارای روندی کاهشی معنی‌دار (در سطح اطمینان ۹۰٪) می‌باشند.

تیر ماه دارای بیشترین تعداد ایستگاه‌های با روند کاهشی معنی‌دار (در سطح اطمینان ۹۰٪) است بطوری که در این ماه تعداد ۳۲ ایستگاه و یا به عبارتی ۷۰ درصد ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی معنی‌دار می‌باشد. مرداد ماه بیشترین تعداد ایستگاه‌های دارای روند افزایشی معنی‌دار (در سطح اطمینان ۹۰٪) است به طوری که در این ماه تعداد ۵ ایستگاه دارای روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

تغییرات بارندگی حوضه در مقیاس سالانه ۸۱ درصد ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی (۶۰ ایستگاه) می‌باشد. از ۷۴ ایستگاه، مجموعاً ۱۷ ایستگاه دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۰٪ می‌باشد و همچنین روند تغییرات بارش حوضه آبریز کارون با استفاده از روش میانگین وزنی (شبکه‌بندی تبسن) روند کاهشی ( $Z = -1/29$ ) به معنی کاهش بارندگی حوضه را نشان می‌دهد که کاهش بارندگی در منطق جنوبی حوضه آبریز شدیدتر است. تغییرات دبی رودخانه‌های حوضه در مقیاس سالانه نشان می‌دهد که ۹۴ درصد از مجموع ایستگاه‌های مورد مطالعه (۴۳ ایستگاه) روند کاهشی داشته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که، ۳۳ ایستگاه دارای روند کاهشی معنی‌دار (۷۲ درصد از مجموع ایستگاه‌ها) در سطح اطمینان ۹۰٪ معنی‌دار می‌باشد.

با توجه به روند کاهشی درازمدت بارندگی و دبی رودخانه‌های حوضه آبریز کارون، می‌توان انتظار داشت که این روند در سالیان آتی نیز ادامه یابد. فلذا ضروری است که ذی‌صلاحان امر، در خصوص مدیریت منابع آب این حوضه پر اهمیت، توجه ویژه‌ای به این احتمال نمایند.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1 - Pre-whitening
- 2- Trend Free Pre-Whitening Mann-Kendall
- 3-Theil-Sen approach (TSA)
- 4-Thiessen method

#### ۵- مراجع

- Bonaccorso B, Cancellier A, Rossi G (2005) Detecting trends of extreme rainfall series in Sicily. *Advanced in Geosciences* 2:7-11
- Douglas E, Vogel M, Kroll C N (2000) Trends in flood and low flows in the United States: impact of spatial correlation. *Journal of Hydrology* 240:90-105
- Ghasemi A R, Moogooei M (2017) Investigating the river flow changes in Chaharmahal & Bakhtiari Province. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (sepehr)* 102 (6) (In Persian)
- Hamed K H, Rao A R (1998) A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology* 204:182-196
- Hirsch R M, Slack J M, Smith R A (1982) Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* 18(1):107-121
- IPCC (2013) Climate change, working group I, the physical science basis. United Nations Environment Program (UNEP) and World Meteorological Organization (WMO)
- Kliment Z, Matouskova M (2008) Long term trends of rainfall and runoff regime in upper Ottawa River basin. *Soil and Water Resources* 3(3):155-167
- Kiely K (1999) Climate change in Ireland from precipitation and stream flow observations. *Advances in Water Resources* 23:141-151
- Kulkarni A, Vonstorch H (1995) Monte Carlo experiments on the effect of serial correlation on the Mann-Kendall-test of trends. *Meteor* 4:82-85
- Marofi S, tabari H (2011) Detection of Maroon River flow trends using parametric and non-parametric methods. *Jornal of Geographical Research* 101(26):125-146 (In Persian)
- Mirabbasi N i R, Dinpashoh Y (2010) Trend analysis of streamflow across the north west of Iran in recent

نتایج نشان می‌دهد که پر بارش‌ترین ماه‌های سال در حوضه کارون ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند می‌باشند که بترتیب ۱۷/۷، ۱۷/۲، ۱۷/۵ و ۱۵/۸ درصد بارش سالیانه در طول دوره آماری مورد بررسی حوضه کارون می‌باشد. بررسی تغییرات بارش ایستگاه‌های حوضه کارون نشان می‌دهد که در مقیاس ماهانه بیشترین تعداد ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی مربوط به اسفند ماه بوده بطوری که ۹۹ درصد ایستگاه‌ها در این ماه دارای روند کاهشی (۷۳ ایستگاه) می‌باشد که از این تعداد ۳۷ ایستگاه دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۰٪ می‌باشد. همچنین، روند ماه‌های دی و بهمن کاهشی است، بطوری که بترتیب ۹۷ و ۹۵ درصد ایستگاه‌ها در این ماه دارای روند کاهشی می‌باشد. نتایج بررسی تغییرات روند دبی رودخانه‌های حوضه کارون در مقیاس ماهانه در این حوضه ۸۷ درصد ماه‌های سال، دارای روندی کاهشی بوده و ۶۳ درصد ماه‌ها، دارای روندی کاهشی معنی‌دار (در سطح اطمینان ۹۰٪) بوده‌اند. باتوجه به نتایج حاصله در دوره زمانی مورد بررسی، در هر ماه بطور متوسط ۴۰ ایستگاه دارای روند کاهشی بوده، که از این میان در هر ماه بطور متوسط ۲۹ ایستگاه دارای روند کاهشی معنی‌دار (در سطح اطمینان ۹۰٪) می‌باشد.

علی‌رغم اهمیت ویژه حوضه کارون بزرگ از منظر مدیریت منابع آب تاکنون بررسی جامعی در خصوص تغییرات بارندگی و دبی رودخانه‌های این حوضه انجام نگرفته است با این وجود مطالعاتی که در بخش‌های زیر مجموعه این حوضه انجام گرفته نتایج بدست آمده را تأیید می‌کند. (2015) Torabi P and Emamgholizadeh. از روش MK-TFPW جهت تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه‌های استان لرستان استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که در ۲۰ ایستگاه از مجموع ۲۵ ایستگاه مورد بررسی قرار گرفته روند منفی معنی‌داری وجود دارد و روند جریان رودخانه‌های استان عمدتاً نزولی بوده که روند کاهش جریان در ۴۰ سال گذشته در سطح اطمینان ۹۰٪ معنی‌دار می‌باشد. (2015) Rahimi B et al. از روش اسپیرمن و ویلکاکس جهت تحلیل روند تغییرات بارش و آبدهی رودخانه‌های حوضه کرخه استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که بارش در حوضه مورد بررسی در دوره ۳۰ ساله از ۱۳۴۹ الی ۱۳۸۰ عمدتاً کاهشی بوده است. Marofi and (2011) Tabari. با بهره‌گیری از داده‌های پنج ایستگاه رودخانه مارون و با استفاده از آزمون ناپارامتری من- کندال و سن در دوره زمانی ۱۳۸۷-۱۳۶۸ به این نتیجه رسیدند که دبی سالانه همه ایستگاه‌ها، دارای روندی نزولی در دو دهه مورد بررسی بوده است. (2017) Ghasemi and Moogooei. با بررسی تغییرات دبی ۱۲ رودخانه مهم استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از آزمون ناپارامتری من- کندال دریافتند که در مقیاس فصلی و سالانه دبی در تمام رودخانه‌ها منفی می‌باشد.

- Yue S, Pilon P, Cavadias G (2002) Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho testes for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology* 259:254-271
- Yue S, Pilon P, Phinney B, Cavadias G (2002) The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Journal of Hydrology Process* 16(9):1807-1829
- Yue S, Pilon P, Phinney B (2003) Canadian streamflow trend detection: impacts of serial and crosscorrelation. *Hydrological Sciences Journal* 48(1):51-64
- three decades. *Journal of Water and Soil* 24 (4):757-768 (In Persian)
- Rahimi B S, Jahanbakhsh S, Sari Sarraf B, Ghafouri R A, Khorshiddoost A (2015) Rainfall and flow trend in Karkheh river basin. *Journal of Watershed Engineering and Management* 7:184-194 (In Persian)
- Torabi P H, Emamgholizadeh S (2015) Investigation of changes in river discharge in Lorestan Province Using TFPW-MK. *Scientific Journals Management System* 35:73-93 (In Persian)
- Xu Z X, Tkeuchi K, Ishidaria H (2003) Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation. *Journal of Hydrology* 279:144-150