فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ هفتم، شمارهٔ اول، بهار ۱۳۹۶
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK)
Quarterly, Vol. 7, No. 1 (Spring 2017)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۵

# اهمیت تحلیل روند دبی‌های پیک سالانه در سامانه‌های هشدار سیل

وحید عظیمی[۱]، نعمت حسنی[۲]، کیومرث ابراهیمی[۳] و علی عسگری[۴]

۱.دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت در سوانح طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)V.Azimi@Mail.sbu.ac.ir
۲. دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. hassaniamoozeshi@gmail.com
۳. دانشیار گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ebrahimik@ut.ac.ir
۴. دانشیار گروه مدیریت بحران و اضطرار، دانشگاه یورک، تورنتو، کانادا. asgary@yorku.ca

## چکیده

**زمینه و هدف:** تحلیل روند، یک ابزار مهم برای بدست آوردن اطلاعات قابل اعتماد آینده از وقوع سیل برای حوضه‌های آبریز است. آزمون تحلیل روند، به برنامه‌ریزی برای کاهش ریسک و پیشگیری از خطرات سیل در سامانه‌های هشدار سیل به‌عنوان یک ابزار آینده‌پژوه کمک می‌کند. هدف اصلی مقاله حاضر تحلیل روند دبی‌های پیک سالانه در حوضه آبریز جاجرود است.

**روش:** در این مقاله از اطلاعات آماری دبی پیک سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری کمرخانی، باغ تنگه، رودک، لتیان، نارون و علی‌آباد – لوراک استفاده شده است. به‌منظور تحلیل روند دبی‌های پیک سالانه از آزمون‌های من – کندال و شیب سن استفاده شد.

**یافته‌ها:** نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در همه ایستگاه‌های مطالعاتی به‌جز ایستگاه باغ تنگه روند خطی داده‌ها در طول دوره آماری مثبت است. با توجه به نتایج بدست‌آمده از آزمون‌های من – کندال و شیب سن روند افزایشی داده‌ها در ایستگاه کمرخانی در سطح ۹۵ درصد ($\alpha =$ ۰/۰۵) و در ایستگاه علی‌آباد – لوارک در سطح ۹۹/۹ درصد ($\alpha =$ ۰/۰۰۱) معنی‌دار می‌باشند.

**نتیجه‌گیری:** بررسی روند دبی پیک سالانه می‌تواند به‌عنوان یک پارامتر مؤثر در هشدار سیل، پشتیبانی سیاست‌گذاری علمی و بیمه کشاورزی استفاده شود.

**واژگان کلیدی:** تحلیل روند، آزمون روند، من - کندال، شیب سن، هشدار سیل، حوضه آبریز جاجرود.

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** عظیمی، وحید؛ حسنی، نعمت؛ ابراهیمی، کیومرث؛ عسگری، علی (بهار، ۱۳۹۶)، اهمیت تحلیل روند دبی‌های پیک سالانه در سامانه‌های هشدار سیل. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۷* (۱)، ۴۶-۵۴.

# The importance of annual peak outflow trend analysis in flood warning systems

V.Azimi[1]*, N.Hassani[2], K.Ebrahimi[3], A.Asgary[4]

1. MSc. student of Natural Disaster Management, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (Corresponding Author)Email address: V.Azimi@Mail.sbu.ac.ir
2. Associate Professor of Civil, Water and Environment Engineering Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
3. Associate Professor of Irrigation and Reclamation Engineering Department, University of Tehran, Karaj, Iran
4. Associate Professor of Disaster and Emergency Management Department, York University, Toronto, Canada

## Abstract

Background and objective: Trend analysis is an important tool to obtain reliable information about the future flooding events in watershed areas. Trend analysis tests can provide valuable information related to potential future flooding events for designing and developing the flood risk reduction measures and early warning systems. The main purpose of the present study is to apply trend analysis on the annual peak discharge in Jajrood watershed.

Methods: In the present paper, annual peak discharge data were used at hydraulic gauging stations of Kamarkhani, Bagh Tangeh, Rudak, Latian, Narvan and Ali Abad – Lavark. Mann-Kendall and Sen Slope tests were employed during the trend analyses.

Findings: the results indicate that linear trends are positive for all stations except Bagh Tangheh during the study period. According to the Mann-Kendall's and the Sen's slope tests results, increasing trend of data was significant in Kamarkhani station at level of 95% ($\alpha =$0/05) and in Aliabad - Lavarak station at the level of 99.9% ($\alpha =$ 0/001).

Conclusion: Investigating the annual peak discharge trend can be used as an effective factor for developing flood warning systems, flood related policy making, and agricultural insurance.

Keywords: Trend test, Mann-Kendall's trend test, Sen's Slope, Flood warning, Jajrood

▶**Citation (APA 6th ed.):** Azimi V, Hassani N, Ebrahimi K, Asgary A. (2017, Spring). The importance of annual peak outflow trend analysis in flood warning systems. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 7*(1), 46-54.

**مقدمه**

تجزیه و تحلیل روندها یکی از روش‌های آینده‌پژوهی است که برای سنجش کارایی سیاست‌گذاری‌ها و نمایان ساختن مشکلات آتی، مفید می‌باشد. آنالیز فراوانی هیدرولوژیکی (HFA)[1] اساس طرح‌های مهندسی هیدرولیک و مدیریت منابع آب به‌منظور پیش‌بینی رویدادهای شدید و غیر معمول است. مقدار متغیرهای هیدرولوژیکی وابسته به یک فراوانی مشخص را می‌توان با استفاده از تحلیل توزیع فروانی تخمین زد (چبانا، اوردا و دانگ، ۲۰۱۳). بطور کلی تحلیل فروانی هیدرولوژیکی دارای چهار گام اصلی می‌باشد: الف) تجزیه و تحلیل توصیفی و اکتشافی و تشخیص داده پرت. ب) بررسی فرضیات اولیه، مقادیر ثابت، متغیرهای همگن و مستقل. ج) انتخاب مدل توزیع احتمال و برآورد پارامترها. د) ارزیابی ریسک، تجزیه و تحلیل. یکی از اساسی‌ترین گام‌ها تجزیه و بررسی سری‌های ایستا و ثابت بودن یا تغییر ایستایی این سری‌ها در طول زمان طولانی به نسبت دوره زمانی در گذشته و یا تخمین آن سری در آینده می‌باشد (یه، ژو، زنگ و تی‌یاب، ۲۰۱۵). مطالعات بسیاری در زمینه بررسی تحلیل فراوانی با یک متغیر در دنیا انجام شده است. اما به بطور کلی باید مشخصه‌های مؤثر دیگر مانند حجم و بیشینه مقدار سیل را نیز در نظر گرفت. هرچند اهمیت کمتری برای پژوهش‌هایی با در نظر گرفتن چندین متغیر قائل شده‌اند.

افزایش وقوع سوانح طبیعی آب و هوایی ویرانگر یکی از آثار گرمایش جهانی است. تغییرات الگوهای بارش و فرآیندهای تشدید در چرخه هیدرولوژی حاصل از تغییرات اقلیمی، باعث افزایش ریسک سیل از طریق افزایش شدت و فراوانی سیل شده است (زومرز و سینگ، ۲۰۱۴). از این رو طراحی و ساخت سیستم‌های هشدار برای بلایای بزرگ اقلیمی و بهبود روش‌های ارزیابی ریسک بسیار ضروری می باشند (ژو و یو، ۲۰۱۲). بررسی سیل‌های با شدت‌های زیاد به طور کلی به علت وارد کردن خسارات زیاد از موضوعات قابل‌توجه علم هیدرولوژی و مدیریت بحران است (تیکن، کریبیچ، مولر و مرز، ۲۰۰۷).

هدف اصلی از آزمون روند تشخیص آن دسته از مقادیر در سری داده‌ها است که افزایش و یا کاهش قابل‌توجهی در سری را دارا می‌باشند و یا سری داده‌ها روندی تقریباً خطی داشته باشند. (وانگ، ون گلدر، ویریجلینگ و ما، ۲۰۰۵؛ استروپچوسکی، سینگ و میتوسک، ۲۰۰۱؛ خیانگ و گوا، ۲۰۰۴؛ دلگادو، آپل و مرز، ۲۰۱۰؛ آرمسترانگ، کولینز و اشنایدر، ۲۰۱۲). آنالیز روند با دو روش پارامتری و ناپارامتری انجام می‌شود. روش‌های پارامتری کارآمدتر از مدل‌های ناپارامتری می‌باشند. زیرا مدل‌های ناپارامتری، نرمالیته، ایستایی سری، مقادیر غیرمستقل را برای بیشتر سری‌های زمانی هیدرولوژیکی در نظر نمی‌گیرند (خلیلی، احمدی، دین پژوه و فاخری فرد، ۲۰۱۳) اما به دلیل سادگی به‌طور گسترده‌ای برای پارامترهای مختلف اقلیمی و هیدرولوژیکی به کار رفته است. آزمون ناپارامتری من-کندال برای بیشتر مطالعات هواشناسی و هیدرولوژیکی (ژانگ، هاروی، هاگ و یوزیک، ۲۰۰۱) ,و مهندسی هیدرولوژی (جنویوانا، کوهنوا و سابو، ۲۰۱۴) به منظور تحلیل روند داده‌ها کاربرد دارد.

شریفیان و حبیبی (۱۳۹۲) با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری کندال، تحلیل رگرسیون و نقطه عطف، دبی رودخانه‌های استان گلستان را مورد ارزیابی قرار دادند. بدین منظور از داده‌های دبی ۵ ایستگاه آب‌سنجی استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان دادند که مقادیر دبی سالانه در همه ایستگاه‌ها دارای در دو دهه اخیر دارای روند نزولی بوده است. معروفی و طبری (۱۳۹۰) به منظور بررسی روند تغییرات سالانه، فصلی و ماهانه دبی رودخانه مارون از آزمون های من-کندال، تخمین‌گر سن و تحلیل پارامتری رگرسیونی استفاده نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان دادند که دبی سالانه در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند نزولی در دو دهه اخیر بوده است.

استروپچوسکی، سینگ و میتوسک (۲۰۰۱) روند بیشینه جریان رودخانه‌های لهستان را با استفاده از ۷۰ سال داده محاسبه کردند. کاهش در مقدار میانگین و انحراف معیار با استفاده از روش درست‌نمایی بیشینه (MLM)[2] مشاهده شد. یو و پیلون (۲۰۰۲) به بررسی روند داده‌های دبی حداکثر روزانه در ۲۰ حوضه ایالت انتاریودر کانادا پرداختند. نتایج کار آنها نشان داد که در تعداد زیادی از حوضه‌ها روند کاهشی دبی قابل ملاحظه بوده است. دیکسون و

1. Hydrological Frequency Analysis

2. Maximum Likelihood Method

همکاران (۲۰۰۶)، به تحقیق بر روی وجود روند در جریان رودخانه های واقع در غرب کشور انگلیس پرداخته اند. هان (۲۰۰۷) در مطالعه روند فصلی بارندگی و دبی جریان ۳ حوضه آبریز در جنوب غرب انگلستان روند کلی افزایش حجم بارندگی و رواناب زمستانه را گزارش نمود در حالی که روند دبی‌های حداکثر لحظه‌ای نزولی بوده است. اسکونویز و جانسکوچیتز (۲۰۰۸) به روند خطی صعودی در مناطق بزرگ آلمان در طول فصل پاییز و زمستان اشاره نمودند و رخداد سیلاب‌های بزرگ را در فصل زمستان پیش‌بینی کردند. بورمن (۲۰۱۰) همبستگی بین روند بارش و دبی با تأثیرگذاری تغییرات اقلیمی و مشخصات رژیم دبی را برای بسیاری از حوضه‌های آلمان در سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ بررسی نمود. دلگدو، آپل و مرز (۲۰۱۰) با استفاده از داده‌های ۷۰ ساله از ۴ ایستگاه در حوضه رودخانه مگونگ[1] واقع در جنوب‌شرقی قاره آسیا به بررسی روند بیشینه بارش سالانه پرداختند. روش من-کندال در این پژوهش استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش چشم‌گیری در میزان سیلاب‌های شدید در طول نیم‌قرن اخیر قابل مشاهده بوده است. دین‌پژوه، جاجهاریا، فاخری فرد، سینگ و کاهیا (۲۰۱۱) به بررسی روند ماهانه و سالانه ETo در ایران پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از افزایش قابل توجه در روند تبخیر-تعرق گیاه مرجع در داده‌های ماهانه در شمال‌غربی ایران بود. ریو و هررو، پینتو گومز و پراس (۲۰۱۱) به بررسی روند دمای هوا به صورت فصلی، ماهانه و سالانه در اسپانیا پرداختند. نتایج حاکی از افزایش دما در بیش از ۶۰ درصد نقاط اسپانیا در فصل بهار و تابستان بود. همچنین تمامی ایستگاه‌ها افزایش دمای ۰/۱ تا ۰/۲ درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده بودند.

طبری و حسین‌زاده طلایی (۲۰۱۱) به بررسی روند دمای بیشینه و کمینه نقاط نیمه خشک و خشک ایران با استفاده از داده‌های ۱۹ ایستگاه سینوپتیک در طی ۳۰ سال دوره آماری، با روش من-کندال پرداختند. در این بررسی روند به صورت ماهانه، سالانه و فصلی بررسی شد. نتایج این پژوهش نشانگر افزایش ۰/۰۹ و ۰/۴۴۴ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در بیشینه و کمینه دما بود. آرمسترانگ، کولینز و اشنایدر (۲۰۱۲) داده‌های پیک بالای حد آستانه را برای یک دوره ۷۱ ساله در ایالت نیو انگلند آمریکا مورد ارزیابی قرار دادند. از تعداد ۲۳ ایستگاه، ۲۲ ایستگاه دارای روند افزایشی بود و یک تغییر هیدرواقلیمی در افزایش تعداد وقوع سیل رخ داد. روژ، ژه و کای (۲۰۱۳) از روش تحلیل روند و تشخیص گام تغییر در سری زمانی هیدرولوژیکی (بارش، جریان رودخانه) در ۱۲۱۷ مجموعه داده در ایالات متحده در طی دوره آماری ۱۹۱۰ تا ۲۰۰۹ با استفاده از آزمون من-کندال و پتیت استفاده کردند. جنویوانا، کوهنوا و سابو (۲۰۱۴) روند بیشینه دبی سالانه در حوضه رودخانه واه[2] اسلواکیا را در با استفاده از داده‌های ۵۹ ایستگاه با کمینه داده ۴۰ تا بیشینه ۱۰۹ سال بررسی نمودند. همگنی داده‌ها از طریق روش الکسوندرسون بررسی شد. روش من-کندال و AR بر روی داده‌ها اعمال شد. طبق نتایج روند افزایش و کاهش معنی‌دار در نقاط مختلف حوضه رودخانه واه مشاهده شد. خلیلی، احمدی، دین‌پژوه و فاخری‌فرد (۲۰۱۴) به بررسی روند بارش در دو دهه اخیر در سراسر ایران با استفاده از روش من-کندال پرداختند. در این پژوهش از داده‌های ۱۴۰ ایستگاه سینوپتیک در سراسر کشور ایران در طول آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ استفاده شد. ۷ ایستگاه با شرایط اقلیمی متفاوت انتخاب و روش من-کندال و اسپرمن بر روی آن‌ها انجام شد. نتایج حاکی از معنی‌داری تغییرات در روند در سه ایستگاه کبوتر آباد و اردستان استان اصفهان و بم واقع در استان کرمان در سطح ۱ و ۵ درصد بود. سایر ایستگاه‌ها دارای کاهش یا افزایش قابل توجه و معنی داری در طول سری نبودند. ترابرت و اوپ (۲۰۱۶) به بررسی روند دبی در آلستر[3] و حوضه فوقانی فولدا[4] واقع در آلمان در طول دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ و اطلاعات ۵ ایستگاه پرداختند. در این پژوهش روند خطی بر روی داده‌ها بررسی شد. نتایج حاکی از افزایش دبی در این منطقه بود اما این افزایش در سطح معنی داری صورت نپذیرفته بود.

با توجه به موارد یاد شده می‌توان نتیجه گرفت که موضوع تجزیه و تحلیل روند در فرایندهای هیدرولوژیکی از جمله دبی مهم می‌باشد. همچنین معنی‌داری ایستگاه‌های مختلف یا پارامترهای مختلف را در مطالعات گزارش کردند. لذا هدف از مقاله حاضر بررسی آزمون روند برای مقادیر پیک سالانه سیل در حوضه آبریز

1. Mekong

2. Vah

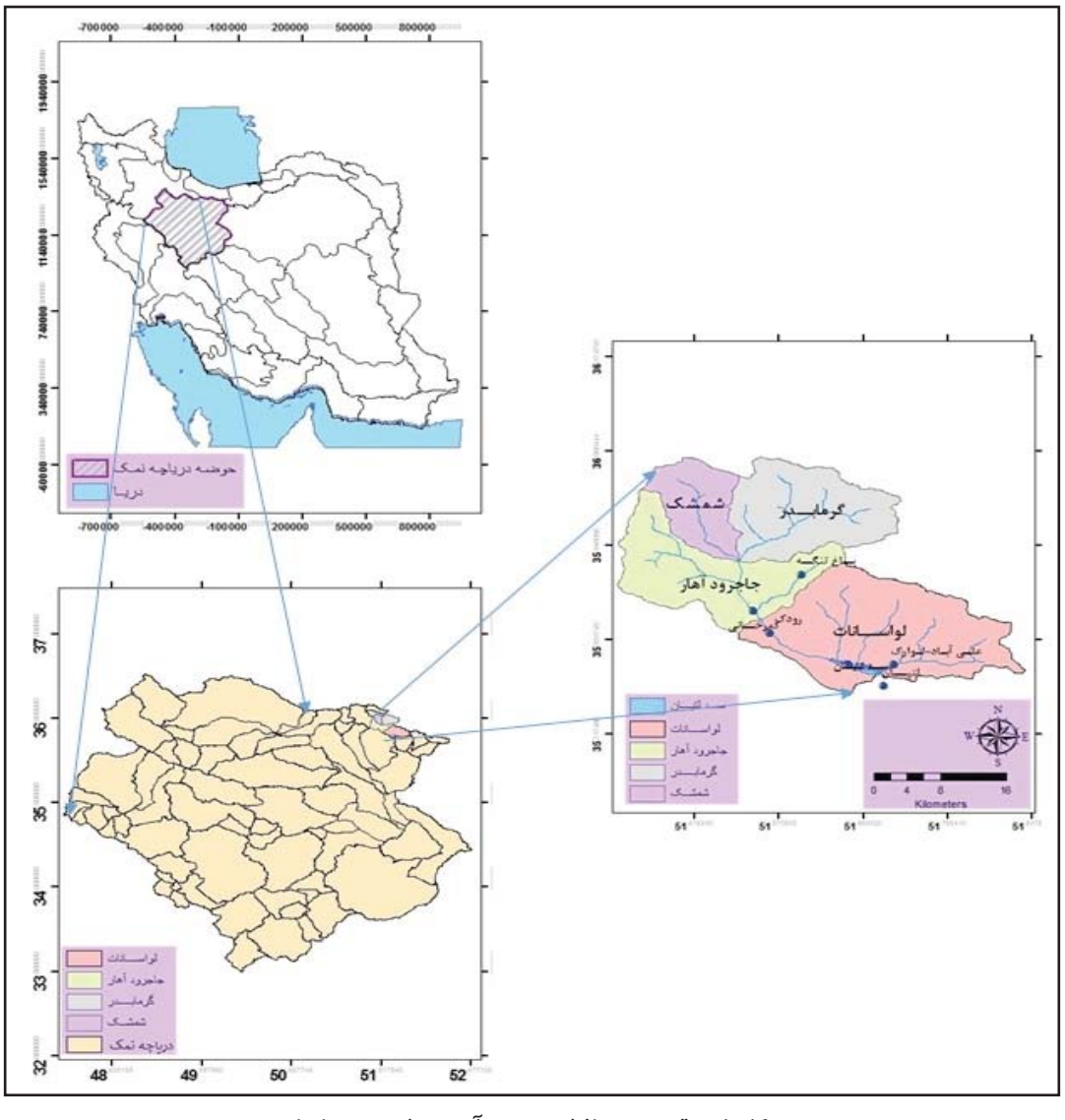
3. Ulster

4. Fulda

جاجرود است که می‌تواند در مطالعات سیلاب برای زمان آینده گامی ارزشمند به شمار آید. بر اساس فرضیات این تحقیق، بایستی مشخص شود در ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه آبریز روند سیلاب‌های پیک سالانه به چه شکلی تغییر می‌کند و معنی‌داری این تغییرات به چه صورت است. این مطالعه می‌تواند در گام قبل از حادثه برای هشدار سیل‌های آینده مورداستفاده قرار گیرد.

**محدوده مورد مطالعه**

حوضه آبریز جاجرود در شمال شرق شهر تهران واقع شده است. سد لتیان با قرار گرفتن در پایین‌دست این حوضه به‌منظور تأمین آب شرب منطقه شرق تهران، همچنین آبیاری مزارع و باغات پایین‌دست سد و تولید برق در حال بهره‌برداری است (شکل ۱). حوضه آبریز جاجرود شامل زیر حوضه‌های گرمابدر، شمشک، جاجرود آهار و لواسانات است. رودخانه اصلی این حوضه رودخانه جاجرود است. شیب متوسط رودخانه ۷/۷ درصد و اختلاف ارتفاع سرچشمه تا سد حدود ۲۷۰۰ متر است (اختلاف سطح آن تا دریاچه نمک بیش از ۳۲۰۰ متر است). دبی متوسط سالانه در ایستگاه لتیان ۶/۶۱ مترمکعب در ثانیه، حداکثر میانگین سالانه ۲۱/۸ مترمکعب در ثانیه، حداقل میانگین سالانه ۳/۲ مترمکعب در ثانیه، حداقل میانگین ماهانه در آبان ۰/۱۳ مترمکعب در ثانیه و حداکثر دبی لحظه‌ای آن (در ایستگاه رودک) ۶۰ مترمکعب در ثانیه اندازه‌گیری شده است. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در حوضه آبریز جاجرود در جدول شماره ۱ آمده است.




**شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز جاجرود در ایران**

**جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز جاجرود**

| نام ایستگاه | نام رودخانه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع |
|---|---|---|---|---|
| کمرخانی | امامه | ۵۱° ۳۲′ ۳۸″ | ۳۵° ۵۲′ ۰۱″ | ۱۸۳۹ |
| باغ تنگه | امامه | ۵۱° ۳۵′ ۴۴″ | ۳۵° ۵۴′ ۳۸″ | ۲۲۴۵ |
| رودک | جاجرود | ۵۱° ۳۳′ ۴۳″ | ۳۵° ۵۰′ ۲۸″ | ۱۷۱۴ |
| لتیان | جاجرود | ۵۱° ۴۱′ ۰۷″ | ۳۵° ۴۶′ ۳۲″ | ۱۵۳۴ |
| نارون | اشجه | ۵۱° ۳۹′ ۴۶″ | ۳۵° ۲۸′ ۳۷″ | ۱۷۵۸ |
| علی‌آباد - لوارک | لوراک | ۵۱° ۴۱′ ۵۱″ | ۳۵° ۴۸′ ۰۳″ | ۱۶۵۷ |

## روش

### آزمون من-کندال

آزمون ناپارامتری من- کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. این روش به طور متداول و گسترده ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می شود. از نقاط قوت این روش می توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی کنند اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است (کریمی جعفری و ثابت، ۱۳۹۲).

ابتدا باید آماره S برای انجام آزمون من-کندال با رابطه (۱) محاسبه شود:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \mathrm{sgn}\left(x_j - x_k\right) \quad (۱)$$

که در آن xj مقدار داده j ام، n تعداد داده‌ها و $\mathrm{sgn}(\theta)$ تابع علامت بوده که از رابطه (۲) تعیین می‌گردد:

$$\mathrm{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & f \quad (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & f \quad (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & f \quad (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

آماره S به ازای n بزرگتر یا مساوی با ۸ دارای توزیع نرمال بوده و میانگین و واریانس آن با استفاده از روابط (۳) و (۴) بدست می‌آید:

$$E(S) = 0 \quad (۳)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{m} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{8} \quad (۴)$$

که در آن ti تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام می‌باشد. آماره آزمون من-کندال یا Z از رابطه (۵) بدست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & f \quad S > 0 \\ 0 & f \quad S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & f \quad S < 0 \end{cases} \quad (۵)$$

فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می باشد. توجه به توانمندی هایی که این آزمون در آشکارسازی تغییرات رخ داده در سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی دارا می باشد، بسیار مورد توجه محققین حوزه‌های مطالعاتی تغییر اقلیم بوده است.

### تخمین‌گر شیب سن

شیب خط روند با روش تخمین‌گر سن از رابطه ناپارامتری (۶) برآورد می‌شود:

$$\beta = Median\left(\frac{x_j - x_l}{j-l}\right) \quad \forall \quad j > l \quad (۶)$$

که در آن β برآوردگر شیب خط روند و xl مقدار مشاهده l ام می‌باشد. مقادیر مثبت نشان دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی نشان دهنده روند کاهشی در سری داده‌ها می‌باشند (سن، ۱۹۶۸).

## یافته‌ها:

### توصیف آماری داده‌ها در هر ایستگاه

قبل از بررسی روند در ایستگاه‌های مورد مطالعه توصیف آماری داده‌های مورد استفاده در آن ایستگاه ارائه می‌شود. در جدول ۲ توصیف آماری داده‌ها برای ۶ ایستگاه کمرخانی، باغ تنگه، رودک، لتیان، نارون و علی‌آباد – لوارک در حوضه آبریز جاجرود ارائه شده است. این جدول شامل دوره آماری هر ایستگاه، میانگین، کمینه، بیشینه، واریانس، انحراف معیار و ضریب تغییرات داده‌های هر ایستگاه است.

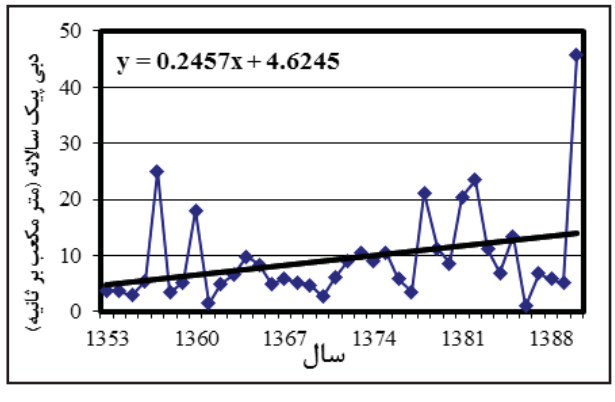
**جدول ۲: توصیف آماری ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در حوضه آبریز جاجرود**

| نام ایستگاه | دوره آماری | میانگین | کمینه | بیشینه | واریانس | انحراف از معیار | ضریب تغییرات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کمرخانی | ۳۸ | ۹/۴۱ | ۱ | ۴۵/۷۷ | ۷۲/۴۱ | ۸/۵۱ | ۰/۹۰۱ |
| باغ تنگه | ۳۸ | ۳/۸۶ | ۰/۸۵ | ۱۹/۲ | ۱۴/۵۵ | ۳/۸۱ | ۰/۹۸۹ |
| رودک | ۳۷ | ۷۱/۹۲ | ۱۷/۷ | ۲۳۸ | ۲۱۹۱/۴ | ۴۶/۸۱ | ۰/۶۵۱ |
| لتیان | ۳۵ | ۷۱/۵۸ | ۱۰/۴ | ۲۰۶/۳ | ۲۵۵۷/۹ | ۵۰/۵۷ | ۰/۷۰۷ |
| نارون | ۳۱ | ۶/۶۸ | ۱/۲۴ | ۱۵/۲۲ | ۱۹/۶۹ | ۴/۴۴ | ۰/۶۶۴ |
| علی‌آباد - لوارک | ۲۷ | ۱۶/۹۸ | ۳ | ۴۲ | ۷۱/۵۴ | ۸/۴۶ | ۰/۴۹۸ |

## نتایج آزمون نموداری

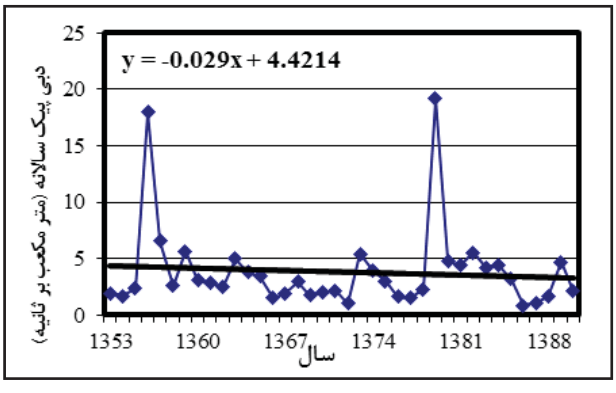
ابتدا در ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه آبریز جاجرود روند ساده خطی به صورت نموداری بررسی شد. در مطالعه روند خطی با استفاده از شیب نمودار منفی یا مثبت بودن (افزایشی یا کاهشی) روند را مشخص می‌کنند. هر چه اندازه شیب بیشتر باشد روند شدیدتر خواهد بود.

بر این اساس در ایستگاه هیدرومتری کمرخانی روند خطی داده‌ها مثبت بوده و با توجه به شیب معادله خط روند (۰/۲۴) در طول دوره آماری داده‌ها افزایش نسبی داشته‌اند. بیش‌ترین مقدار تغییرات مربوط به آخر دوره آماری است.



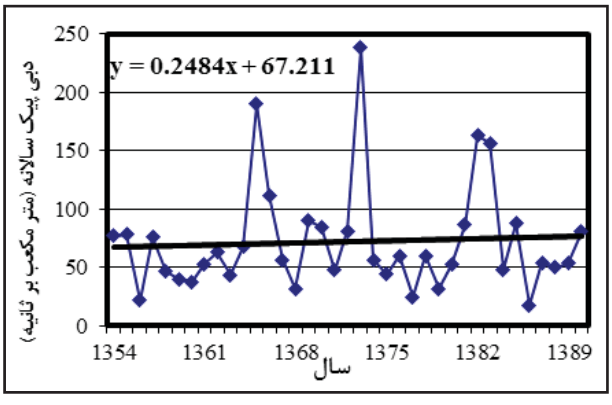

**شکل ۲: نمودار تغییرات دبی پیک سالانه ایستگاه هیدرومتری کمرخانی**

در ایستگاه هیدرومتری باغ تنگه روند خطی داده‌های دبی پیک سالانه به صورت منفی بوده و این موضوع از شیب منفی جزئی خط روند (۰/۰۲۹-) مشخص است. دبی پیک سالانه در سال‌های ۱۳۵۶ و ۱۳۷۹ جهش مثبت قابل‌توجهی نسبت به خط روند داشته است.



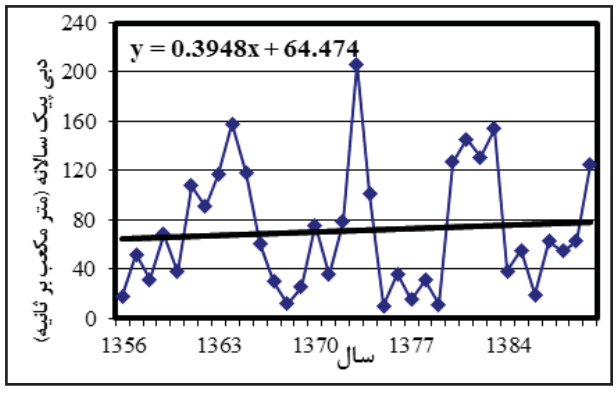

**شکل ۳: نمودار تغییرات دبی پیک سالانه ایستگاه هیدرومتری باغ تنگه**

در ایستگاه هیدرومتری رودک روند خطی داده‌ها با توجه به شیب معادله خط روند مثبت است. در این ایستگاه در سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۷۳، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ جهش مثبت چشمگیری نسبت به خط روند در میزان دبی پیک مشاهداتی صورت گرفته است.



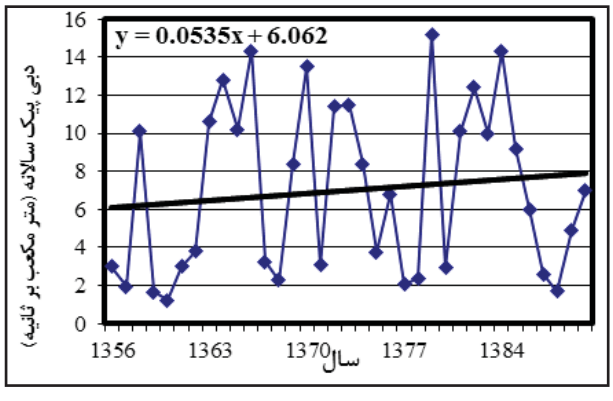

**شکل ۴: نمودار تغییرات دبی پیک سالانه ایستگاه هیدرومتری رودک**

در ایستگاه هیدرومتری لتیان روند داده‌ها نسبت به خط روند همراه با افت و خیز فراوانی است؛ اگرچه روند کلی دبی‌های پیک سالانه با توجه به شیب معادله خط روند (۰/۳۹) افزایشی است.



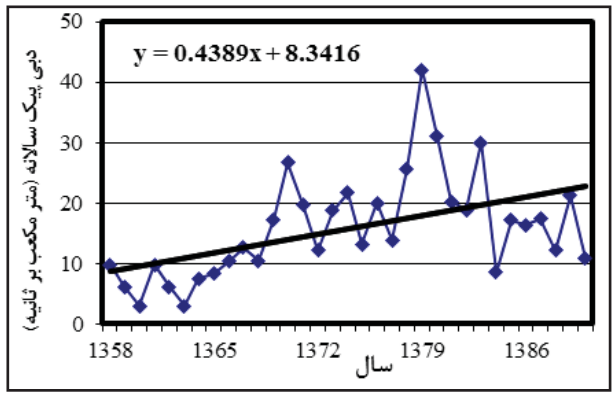

**شکل ۵: نمودار تغییرات دبی پیک سالانه ایستگاه هیدرومتری لتیان**

در ایستگاه هیدرومتری نارون تغییرات دبی پیک سالانه حول خط روند زیاد است. این ایستگاه با توجه به شیب خط روند دارای روند جزئی مثبت است.




**شکل ۶: نمودار تغییرات دبی پیک سالانه ایستگاه هیدرومتری نارون**

در ایستگاه هیدرومتری علی‌آباد – لوارک دبی‌های پیک سالانه روندی رو به رشد را داشته‌اند. این ایستگاه با توجه به شیب خط روند دارای بیش‌ترین تغییر بین ایستگاه‌های مورد مطالعه است و بیش‌ترین جهش مثبت آن مربوط به سال ۱۳۷۹ است.



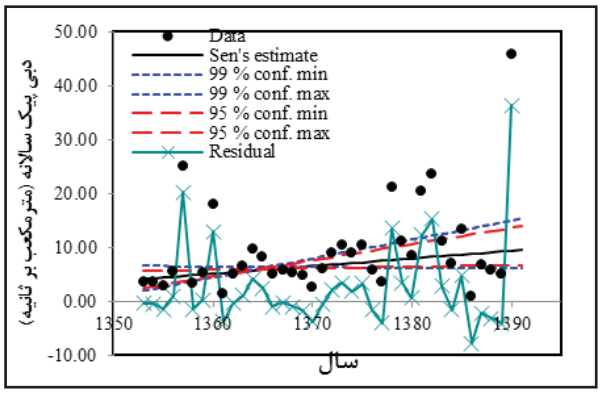

**شکل ۷: نمودار تغییرات دبی پیک سالانه ایستگاه هیدرومتری علی‌آباد – لوارک**

## نتایج آزمون من –کندال و شیب سن

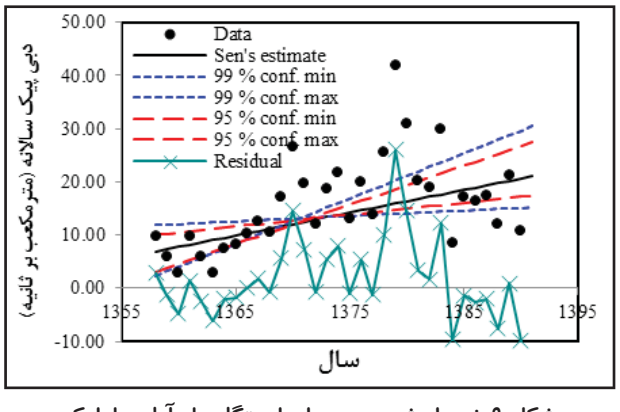
نتایج به‌دست آمده از آزمون من – کندال (Z) و شیب سن (β) نشان می‌دهد چهار ایستگاه باغ تنگه، رودک، لتیان و نارون دارای روند معنی‌دار نیستند. ایستگاه کمرخانی دارای روند معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد ($\alpha$=۰/۰۵) است. همچنین ایستگاه علی‌آباد – لوارک دارای روند معنی‌دار در سطح ۹۹/۹ درصد ($\alpha$=۰/۰۰۱) است (جدول ۳). در شکل ۸ و ۹ نمودار شیب سن به ترتیب برای ایستگاه کمرخانی و علی‌آباد لوارک ارائه شده است.

**جدول۳: نتایج حاصل از آزمون‌های روند**

| نام ایستگاه | Z | معنی‌داری | β |
|---|---|---|---|
| کمرخانی | ۲/۳۸ | * | ۰/۱۴۳ |
| باغ تنگه | -۰/۴۷ | | -۰/۰۱۳ |
| رودک | ۰/۳۵ | | ۰/۱۵۰ |
| لتیان | ۰/۶۵ | | ۰/۵۵۵ |
| نارون | ۰/۶۱ | | ۰/۰۴۵ |
| علی‌آباد - لوارک | ۳/۳۵ | *** | ۰/۴۲۹ |




**شکل ۸: نمودار شیب سن برای ایستگاه کمرخانی**




**شکل ۹: نمودار شیب سن برای ایستگاه علی‌آباد – لوارک**

نتایج بدست آمده از نمودارهای شیب سن روند افرایشی دادههای دبی پیک سالانه را نشان میدهد. همچنین در آنها حدود اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد برای خظ روند آمده است. هر چه دادهها از خط روند فاصله بگیرد مقدار اختلاف از خط روند افزایش خواهد یافت.

نتایج بدست آمده از این مقاله، نتایج پژوهشهای پیشین از جمله هان (۲۰۰۷)، آرمسترانگ، کولینز و اشنایدر (۲۰۱۲)، جنویوانا، کوهنوا و سابو (۲۰۱۴) و ترابرت و اوپ (۲۰۱۶) را تأیید میکند؛ چنانچه بسیاری از تحقیقات اخیر انجام شده در زمینه تجزیه و تحلیل روند بر روی دبی پیک سالانه و جریان با استفاده از آزمونهای آماری مختلف نشان از روند افزایش برای دادهها داشته است.

## نتیجه گیری

روندها، الگوهای تغییر در پدیدههای پراهمیت از دید پژوهشگر هستند که در طول زمان رخ میدهند. تجزیه و تحلیل روندها یکی از ابزارهای ساده و کاربردی در مطالعات آیندهپژوهی است. این مطالعه به بررسی مقادیر روند دبیهای پیک سالانه برای ایستگاههای هیدرومتری حوضه آبریز جاجرود در شمال تهران با یک دوره آماری بیشتر از ۲۵ سال پرداخته است. در بین ایستگاههای مطالعاتی ایستگاه کمرخانی در سطح ۹۵ درصد و ایستگاه علیآباد – لوراک در سطح ۹۹/۹ درصد معنیدار بوده و هر دو روند افزایشی داشتند. روند افزایشی دبی پیک برای ایستگاه هیدرومتری علیآباد – لوارک نشان از افزایش پتانسیل سیلخیزی در بالادست این ایستگاه دارد. عوامل مختلفی مانند اقلیم، اقدامات عمرانی در حوضه و مسائل آبخیزداری میتوانند در این مسئله دخیل باشند. تحقیق در این مورد نیازمند کار وسیع بر روی این بخش از حوضه در بخشهای گفته شده با رعایت همه جانبه مسائل هیدرولوژیکی و زیست محیطی است. نبود تغییرات محسوس در چهار ایستگاه با توجه به آزمون روند نشاندهنده این است که خطر سیل برای این مناطق در طول دوره مطالعاتی تغییر معنیداری نکرده است. مطالعه روند در یک حوضه برای ارائه سامانههای هشدار سیلاب، بهمنظور آگاه کردن مردم پیش از وقوع سیلاب احتمالی، برای نجات جان و مال آنها امری ضروری است. باید برنامهریزیهایی جهت کاهش خسارات ناشی از سیل انجام شود. این برنامهریزیها که همان عملیات اجرایی مدیریت بحران محسوب میشوند، در سه مرحله قبل از سیل، حین سیل و پس از سیل انجام میشوند. اگرچه این برنامهریزیها شاید نتوانند مانع بروز بارندگی شوند، ولی میتوانند پیامدهای منفی سیلاب را به کمترین حد برسانند. مطالعه بر روی دبیهای پیک سالانه بهعنوان یکی از پارامترهای بسیار مؤثر در خسارات وارده از سیل در حوضههای آبریز دارای اهمیت است. دلیل این امر آن است که بیشترین خسارات را دبیهای پیک سالانه ایجاد میکنند؛ بنابراین مطالعات روند میتواند بهعنوان سادهترین مطالعه و برنامهریزی جهت کاهش ریسک سیلهای مربوط به دبیهای پیک حوضه مورد استفاده قرار گیرند. در نهایت میتوان نتیجه گرفت که روند رو به افزایش قابلتوجه و معنیدار در ایستگاه علیآباد – لوارک در حوضه جاجرود میتواند به نقشهبرداری از مناطق خطر سیل و توسعه برنامههای مدیریت حوضه رودخانه کمک کند.

## تقدیر و تشکر

بدینوسیله از همکاری دانشگاه شهید بهشتی، دانشگاه تهران، دانشگاه یورک کانادا و شرکت مدیریت منابع آب ایران که انجام این تحقیق و تهیه مقالات مربوطه با امکانات آنها امکانپذیر شده است، تشکر و قدردانی میشود.

## منابع

### منابع فارسی

شریفیان، حسین و حبیبی، علی. (۱۳۹۲)، بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات منابع آب سطحی در بخشی از حوزه استان گلستان. اولین همایش ملی چالشهای منابع آب و کشاورزی، انجمن آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان. بازیابی از:
http://www.civilica.com/Paper-CHWRA01-CHWRA01_002.html

کریمی جعفری، مسعود و ثابت، فربد. (۱۳۹۲)، تحلیل روند عمق آب زیرزمینی با استفاده از آزمون من-کندال در دشت نجفآباد، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران. بازیابی از:
http://www.civilica.com/Paper-WRM05-WRM05_126.html

معروفی، صفر و طبری، حسین. (۱۳۹۰)، آشکارسازی روند تغییرات دبی رودخانه مارون با استفاده از روشهای پارامتری و ناپارامتری. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره دوم. بازیابی از:
http://journals.ui.ac.ir/article_17894.html

### منابع انگلیسی

Armstrong, W.H., Collins, M.J., Snyder, N.P. (2012).”Increased Frequency of Low-Magnitude Floods in New England”,

com/doi/abs/10.1080/01621459 .1968.10480934.

Strupczewski, W.G. SINGH, V.P. Mitosek H.T (2001): Non-stationary approach to at-site flood frequency modelling. III. Flood analysis of Polish rivers, Journal of Hydrology 248 (1–4): 152–167. Retrieved from: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169401003997.

Tabari, H. and P. Hosseinzadeh-Talaee.) 2011(. Analysis trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. Atmospheric Research, 79:1-10. Retrieved from: http://www.sciencedirect.com/science/article /pii/S0921818111001202.

Thieken AH, Kreibich H, Muller M, Merz B (2007) Coping with floods: preparedness, response and recovery of flood-affected presidents in Germany in (2002). Hydrolog Sci J 52(5):1016–1037. doi:10.1623/hysj.52.5.1016. Retrieved from: www.geo.uni-potsdam.de/tl_files/arbeitsgruppen/ag.../Poster_ICFR_2013.pdf

Trabert, A., Opp, c., Long-term trends in flood discharges of the Ulster and Upper Fulda (Germany): a statistical review. Environ Earth Sci: 75:1363, DOI: 10.1007/s12665-016-6169-1. Retrieved from: http://link.springer.com/article/ 10.1007/s12665-016-6169-1.

Wang W., Van Gelder P. H. A. J. M., Vrijling J. K., and Ma J. (2005). Testing and modelling autoregressive conditional heteroskedasticity of stream flow processes. Nonlinear. Processes Geophys. 12, 55–66, doi:10.5194/npg-12-55. Retrieved from: http://www.nonlin-processes-geophys.net/12/55/2005/

Xiong, L. Guo, S. (2004). Trend Test and Change–Point Detection for the Annual Discharge Series of the Yangtze River at the Yichang Hydrological Station, Hydrological Sciences Journal. 49 (1): 99 –114. Retrieved from: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1623/hysj.49.1.99.53998

Ye, L., Zhou, J.Z., Zeng, X.F. and Tayyab, M. (2015) Hydrological Mann-Kendal Multivariate Trends Analysis in the Upper Yangtze River Basin. Journal of Geoscience and Environment Protection, 3, 34-39. Retrieved from: http://www.scirp.org/journal/ PaperInformation.aspx?PaperID=62050.

Yue, S., Pilon, P. (2002). Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. Journal of Hydrology 259, 254-271. Retrieved from: http://www.sciencedirect.com /science/article/pii/ S0022169401005947.

Zhang, X., Harvey, K.D., Hogg, W.D. and Yuzyk, R., (2001). Trends in Canadian Stream flow. Water Resources Research, 37 (4): 987-99. Retrieved from: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2000WR900357/abstract

Zhou, B., Yu, L. (2012) Managing the risks and disaster of climate to advance climate change adaptation. Disaster Reduct China, 3:18–19. Retrieved from: https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf

Zommers Z., Singh, A. (eds.). (2014) Reducing Disaster: Early Warning Systems for Climate Change, DOI: 10.1007/978-94-017-8598-3_2. Retrieved from: http://www.springer.com/gp/book/9789401785976

Journal of The American Water Resources Association. 48 (2): 306–320. Retrieved from: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1752-1688.2011.00613.x/abstract

Bronstert A (1996) Anderung von Hochwasser charakteristiken im Zusammenhang mit Klimaanderungen – Stand der Forschung. PIK Report 15. Potsdam. Retrieved from: https://www.pik-potsdam.de/research/publications/pikreports

Chebana, F., Ouarda, T.B. and Duong, T.C. (2013) Testing for Multivariate Trends in Hydrologic Frequency Analysis. Journal of Hydrology, 486, 519-530. Retrieved from: http://www.sciencedirect.com/science /article/pii/S0022169413000413.

Delgado, J. M. Apel, H. Merz, B. (2010). Flood trends and variability in the Mekong River, Hydrol. Earth Syst. Sci. (14): 407–418. Retrieved from: http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/14/407/2010/

Dinpashoh, Y., Jhajharia, D., Fakheri-Fard, A., Singh, V. P. and E. Kahya. (2011). Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. Journal of Hydrology, 399: 422–433. Retrieved from:http://www.sciencedirect.com /science/article/pii/S0022169411000461

Dixon, Harry, Lawler, Damian M and Shamseldin, Assaad Y. (2006). Streamflow trends in western Britain. Geophysics Research Letter. 33, L 19406. Doi: 10.1029 /2006GL027325. Retrieved from: http://onlinelibrary. wiley.com/doi/10.1029/2006GL027325/abstract

Han, D. (2007). Seasonal rain fall and flow trends with in three catchments in south west England. In: Begum, Advances in Natural and Technological Hazards Research, 275-292. Retrieved from: http://link.springer.com/ chapter/10.1007%2F978-1-4020-4200-3_15

JenelovÁa, K., KohnovaÁa, S., Sabo, M. (2014). Detecting Trends in the Annual Maximum Discharges in the Vah River Basin, Slovakia. Acta Silv. Lign. Hung., Vol. 10, Nr. 2 (2014) 133–144. DOI: 10.2478/aslh-2014-0010. Retrieved from: https://www.degruyter.com/view/j/aslh.2014.10.issue-2/aslh-2014-0010/aslh-2014-0010.xml

Khalili, k., Ahmadi, F., Dinpashoh Y., Fakheri Fard A. (2013). Determination of Climate Changes on Streamflow Process in the West of Lake Urmia with Used to Trend and Stationarity Analysis. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research. Volume 1, Issue 10: 1220-1235. Retrieved from: http://www.academia.edu/download/41286890/khalili_et_al_2013_ijabbr.pdf

Rio, S. D. Herrero, L., Pinto-Gomes, C. and A. Peras. (2011). Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961-2006. Global and Planetary Change, 78: 65-75. Retrieved from: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818111000919

Rouge, C., Ge, Y., Cai, X. (2013). Detecting Gradual and Abrupt Changes in Hydrological Records, Advances in Water Resources (53): 33–44. Retrieved from: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309170812002552

Sen, P.K., (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall›s tau, Journal of the American Statistical Association, 63, p.1379-1389. Retrieved from: http://www.tandfonline.