سال ششم، شماره ۱، ۱۳۹۸، صفحات ۴۱ تا ۵۰
نشریه آب و توسعه پایدار

2019, Vol.6, No.1, Pages 41 to 50
Journal of Water and Sustainable Development

نوع مقاله: روش‌شناسی/ مطالعه موردی

Article Type: Methodology / Case Study

تحلیل روند بارش با استفاده از روش نوین Sen و مقایسه نتایج روش‌های متداول (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

سحر خزاعی[۱*]، رضا براتی[۲]، احمد قندهاری[۳]، محمدرضا صادقی فرد[۴]

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۲- دکتری مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس تهران. ۳- دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد. ٤- کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فردوس.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: s.khazaei88@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۱۰
تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۲۰

چکیده

تغییرات بارش یکی از معیارهای اصلی بررسی تغییر اقلیم است که به‌منظور تحلیل روند آن از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. هدف از انجام این پژوهش تحلیل روند داده‌های بارش ماهانه، فصلی و سالانه توسط روش نوین Sen به‌منظور بررسی روند تغییرات بارش در استان خراسان رضوی می‌باشد و در آن از داده‌های بارش ۳۰ سال اخیر ۳۹ ایستگاه باران‌سنجی واقع در سطح استان استفاده شده است. به‌منظور مقایسه تحلیل‌های روند بارش، از روش‌های من-کندال، اسپیرمن و رگرسیون نیز استفاده شد. در این مطالعه برای کمی کردن نتایج گرافیکی روش Sen، تحلیل‌های آماری پیشنهاد داده شد. نتایج تحلیل بارش با سه روش متداول نشان داد که بارش در ماه آبان در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند صعودی معنی‌دار بوده و جز در روش رگرسیون بارش سایر ماه‌ها، فصل‌ها و بارش سالانه دارای روند نیستند. به‌طورکلی بارش ماه‌های آبان، خرداد، تیر و بارش فصل‌های پاییز و تابستان دارای روند صعودی و سایر دوره‌هایی که بررسی شد دارای روند نزولی بودند. همچنین تحلیل نتایج روش Sen در دسته‌های مقادیر کم، متوسط و زیاد نشان داد که بیشترین مقدار تغییرات مربوط به بارش زمستان و کمترین تغییرات مربوط به بارش مهر ماه است. از نظر آماری نیز مانند روش رگرسیون، بارش فصل زمستان دارای روند نزولی معنی‌دار بود.

واژه‌های کلیدی: روند بارش، روش نوین Sen، من-کندال، رگرسیون خطی، اسپیرمن.

Rainfall Trend Analysis using Innovative-Şen Method and Comparison with Traditional Methods (Case Study: Khorasan Razavi Province)

S. Khazaei[1*], R. Barati[2], A. Ghandehary[3], M.R. Sadeghifard[4]

1- Ph.D. student of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. 2- Ph.D. of Civil Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. 3- Ph.D. of Irrigation and Drainage, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 4- MSc. student of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Islamic Azad University, Ferdows Branch, Ferdows, Iran.

*(Corresponding Author Email: s.khazaei88@gmail.com)

Received: 01-08-2017
Accepted: 03-11-2018

Abstract

Rainfall variations is one of the most important factors in climate change which can be analysed using different methods. This research aims to investigate the application of the innovative-Sen method for monthly, seasonal, and annual trend analysis of precipitation in Khorasan Razavi province. A series of 30 years of rainfall data from 39 rain stations of the province have been used. For the comparison purpose, Mann-Kendall, Spearman, and linear regression methods have also been considered. For quantitative evaluation of graphical results of the Sen method, a statistical analysis has been proposed. The results of traditional methods indicated that the rainfall of Aban month (October) has a significant increasing trend in confidence interval of 95%, and the rainfall of other months, seasons, and years do not show any significant trend, except for the regression method. Rainfalls of Aban (October), Khordad (May), and Tir (June) months, as well as autumn and summer seasons, have an increasing trend and other considered periods have a decreasing trend. The results of innovative-Sen method analysis in low, medium, and high values indicated that the maximum and minimum variations are related to the rainfall of winter and Mehr (September) month, respectively. Also, the statistical analysis showed a significant trend similar to the regression method only exist in the winter season of the province.

Keywords: Precipitation trend, Innovative-Sen method, Mann-Kendall, Linear regression, Spearman.

DOI: 10.22067/jwsd.v6i1.66528

مقدمه

تغییرات آب‌وهوایی و یا تغییر اقلیم یعنی هر تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت میانگین آب‌وهوایی که در بلندمدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی رخ دهد. تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار اقلیمی یک منطقه در مقایسه با رفتاری که در طول یک دوره زمانی بلندمدت از اطلاعات ثبت و مشاهده شده منطقه مورد انتظار است (علیزاده، ۱۳۹۰). تاکنون تغییر اقلیم ناشی از عوامل طبیعی بوده اما در سال‌های اخیر، علاوه‌بر عوامل طبیعی، عامل انسانی نیز به روند تغییر اقلیم کمک کرده است. آثار تغییر اقلیم در مقیاس جهانی بر روی پدیده‌های طبیعی اثبات شده است. برگزاری کنفرانس تغییر اقلیم پاریس توسط سازمان ملل با حضور ۱۹۵ کشور در سال ۲۰۱۵ به‌منظور محدود کردن افزایش دما به دو درجه در جهت مبارزه با افزایش گرمایش جهانی نشان از اهمیت بالای این موضوع دارد. پیش‌بینی روند تغییرات بارش از جنبه‌های مختلف طراحی سازه‌ها و مدیریت منابع آب اهمیت بسیار زیادی دارد. Turkes (۱۹۹۶) با کمک روش من-کندال به مطالعه توزیع زمانی و مکانی داده‌های بارش سالانه برای بررسی تغییرات آب‌وهوایی پرداخت و دریافت که در بیشتر ایستگاه‌ها روند کاهشی مشاهده می‌شود. Widmann و Schar (۱۹۹۷) با استفاده از تحلیل عاملی و تحلیل رگرسیون خطی الگوی روزانه بارش را در دوره آماری ۱۹۰۱ تا ۱۹۹۰ در سوئیس بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که بارش در زمستان در مناطق غربی و شمالی سویس دارای روند افزایشی می‌باشند. Wang و Zhou (۲۰۰۵) روند افزایشی قابل توجهی برای بارش در جنوب غربی، شمال غربی و غرب نواحی چین و روند کاهشی قابل توجهی در مرکز و شمال نواحی چین مشاهده نمودند. آن‌ها روند را با کمک ضریب رگرسیون خطی تعریف نمودند و مقدار روند را با کمک ضریب همبستگی بررسی کردند. Groisman و همکاران (۲۰۰۵) سه مدل گردش عمومی را برای بررسی روند بارش‌های حداکثر در نیمی از جهان که شامل کشورهای زیادی از جمله آمریکا می‌باشد، استفاده نمودند. بر اساس نتایج مدل‌های شبیه‌سازی کامپیوتری و تحلیل داده‌های ثبت شده، روند افزایشی برای بارش‌های حدی نتیجه‌گیری شد. Fujibe و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از تحلیل روند رگرسیون خطی به بررسی داده‌های بارش ۸۰ سال ژاپن پرداختند و افزایش روند را مشاهده نمودند. Fairbank و Douglas (۲۰۱۰) روش‌های روندیابی من-کندال و تحلیل خطی را بر بارش‌های روزانه در ۴۸ ایستگاه آمریکای شمالی با متوسط طول آماری ۸۰ سال اعمال نمودند. آن‌ها روند افزایشی در بیشتر داده‌های مشاهداتی به‌ویژه نواحی ساحل شمالی را گزارش کردند. Burn و همکاران (۲۰۱۱) روش من-کندال را به‌منظور ارزیابی روند بارش در کانادا استفاده نمودند و روند افزایشی در بیشتر موارد مشاهده شد. عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳) بررسی روند پارامترهای حدی بارش و دما را در استان خراسان رضوی در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ با روش من-کندال انجام دادند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که به‌طورکلی مقدار بارش سالانه و نیز تعداد روزهای بارانی کاهش یافته است. آذرخشی و همکاران (۱۳۹۲) روند تغییرات فصلی و سالانه بارش و دما را درسطح کشور در ۲۴ ایستگاه سینوپتیک با آمار ۲۰۰۵-۱۹۵۶ انجام دادند. از روش من-کندال و رگرسیون خطی برای نشان دادن روند استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده ترکیبی از روندهای افزایشی و کاهشی در داده‌های بارش سالانه مناطق مختلف کشور را نشان داد.

به‌منظور بررسی تحلیل روند تغییرات پارامترهای مرتبط با مهندسی آب، روش‌های مختلفی شامل تحلیل رگرسیون، روش من-کندال[1]، آزمون اسپیرمن[2]، آزمون T سِن، برنامه TRAMO/SEATS و ... در مطالعات مختلاف برای سری زمانی‌های سالانه، فصلی و ماهانه استفاده شده است (Wu و همکاران، ۲۰۰۹؛ Tabari و همکاران، ۲۰۱۱؛ Taormina و همکاران، ۲۰۱۲؛ Sun و همکاران، ۲۰۱۳). روش من-کندال برای بررسی روند داده‌هایی مناسب است که دارای توزیع یکنوا و نرمال هستند، بنابراین تغییرات فصلی یا سایر دوره‌های زمانی قابل بررسی نمی‌باشد (Kisi و Ay، ۲۰۱۴). در آزمون اسپیرمن، رتبه ضریب همبستگی اسپیرمن می‌تواند همبستگی یکنواخت داده‌های مرتبه شده را محاسبه کند و هنگامی که ارتباط میان متغیرها توسط یک تابع یکنوا مشخص باشد بررسی خواهد شد (Corder و Foreman، ۲۰۱۴). روش شیب Sen یک مدل خطی برای تخمین شیب روند استفاده می‌کند و شرط استفاده از آن این است که واریانس باقیمانده‌ها در طول زمان ثابت باشد (Helsel و Hirsch، ۲۰۰۲).

به تازگی روش نوین Sen (۲۰۱۲) به‌منظور تعیین روند داده‌ها ارائه شده است که محدود به فرضیات روش‌های گفته شده نمی‌باشد (Sen، ۲۰۱۲، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶). این روش برخلاف سایر روش‌ها به همبستگی سری داده‌ها و اندازه نمونه محدود نیست، نیاز به انجام فرآیند خاصی بر روی داده‌ها پیش از اعمال این روش نمی‌باشد و همچنین این روش توانایی بررسی داده‌هایی که توزیع نرمال و غیر نرمال دارند، را برای مقادیر کم، متوسط و بالا دارد (Sen، ۲۰۱۲). همچنین روندها به‌صورت گرافیکی بررسی خواهند شد. Tabari و Willems (۲۰۱۵) روش Sen را برای تحلیل جریان رودخانه‌ها در شمال غرب ایران به‌صورت ماهانه و سالانه برای یک دوره آماری درازمدت به‌کار بردند و نتایج آن را با روش من-کندال مقایسه کردند. پژوهش آن‌ها نشان داد کاهش در مقادیر جریان سالانه رودخانه در سه دسته کم، متوسط و زیاد روی داده است. Timbadiya و همکاران (۲۰۱۳) به‌منظور تحلیل سری زمانی سالانه جریان از روش نوین Sen در حوضه آبریز تاپیا هندوستان استفاده نمودند. با کمک روش نوین Sen، Haktanir و Citakoglu (۲۰۱۴) به بررسی روند بارش‌های حداکثر سالانه ۵ دقیقه تا ۲۴ ساعته در ۱۴ ایستگاه کشور ترکیه پرداختند. Kisi و Ay (۲۰۱۴) روش نوین Sen را به‌منظور بررسی روند تغییرات پارامترهای کیفی آب رودخانه کیلیزکماک در ترکیه استفاده نمودند. Kisi (۲۰۱۵)

برای پیش‌بینی روند تغییرات تبخیر ماهانه شش موقعیت مکانی مختلف از روش مشابهی استفاده کرد. Elouissi و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تغییرات ماهانه بارش در ۲۵ ایستگاه الجزایر، به‌صورت ایستگاه به ایستگاه و با استفاده از روش نوین Sen پرداختند. Wu و Qian (۲۰۱۶) روند تغییرات باران ماهانه و سالانه ۱۴ ایستگاه در شانژین چین را با کمک روش یاد شده بررسی نمودند.

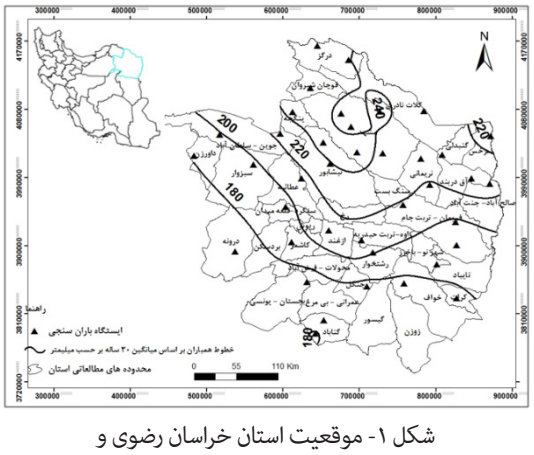
مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی به مرکز شهرستان مشهد یکی از استان‌های شمال شرق ایران است (شکل ۱). مساحت آن ۱۱۸۸۵۱ کیلومترمربع بوده که از این نظر پنجمین استان کشور است. این استان براساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد با میانگین بارندگی سالانه و میانگین درجه حرارت به‌ترتیب ۲۲۴ میلی‌متر و ۱۵/۶ درجه سانتیگراد می‌باشد (سایت هواشناسی استان خراسان رضوی، ۱۳۹۶). این استان با دارا بودن بیش از یک میلیاردمترمکعب کسری مخزن سالانه بیشترین مشکل را در آب‌های زیرزمینی داشته این درحالی است که از منابع آب‌های سطحی نیز بهره چندانی ندارد و بنابراین اهمیت بارش و الگوهای آن در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب بسیار با اهمیت است.

• آماده‌سازی داده‌ها

برای انجام این پژوهش، از آمار ماهانه بارش ۳۹ ایستگاه باران‌سنجی و تبخیرسنجی شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی استفاده شد. با استفاده از روش میانگین‌گیری تیسن، متوسط بارش برای سطح استان در ۳۰ سال اخیر (۶۵ تا ۹۴) به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه شد. آزمون همگن بودن داده‌ها از روش ران تست بررسی و تأیید شد. روند بارش در این پژوهش به کمک روش‌های من-کندال، رگرسیون، اسپیرمن و روش Sen بررسی شد. تحلیل‌های آماری نیز با نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.



شکل ۱- موقعیت استان خراسان رضوی و پراکنش ایستگاه‌های مطالعه شده

هدف از این پژوهش بررسی روند بارش سالانه، ماهانه و فصلی استان خراسان رضوی همراه با معرفی و کاربرد روش جدید Sen در دسته‌های بارش کم، متوسط و زیاد و مقایسه آن با برخی روش‌های روندیابی متداول شامل من-کندال، اسپیرمن و رگرسیون خطی است. همچنین در این پژوهش برای اولین‌بار از تحلیل‌های آماری در روش گرافیکی Sen استفاده شد.

• روش‌های تحلیل آماری

- آزمون من-کندال

آزمون غیرپارامتری من-کندال (Mann، ۱۹۴۵ و Kendall، ۱۹۷۵) به‌صورت گسترده برای ارزیابی روند در داده‌های سری زمانی پارامترهای آب و هواشناسی استفاده می‌شود. در آزمون من-کندال هر مقدار در سری زمانی، پیوسته و پشت‌سرهم با بقیه مقادیر سری زمانی مقایسه می‌شود. برای آزمون من-کندال نخست باید مقدار S را، که جمع همه شمارش‌ها را نشان می‌دهد، مشخص کرد.

$$S=\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}\operatorname{sgn}\left(x_j-x_i\right) \qquad (۱)$$

در معادله (۱) n تعداد داده‌ها، x_i و x_j به‌ترتیب مقدار داده‌ها در سری زمانی i و j و علامت تابع به‌صورت معادله (۲) محاسبه می‌شود.

$$\operatorname{sgn}\left(x_j-x_i\right)=\begin{cases}1; & \text{if} \quad x_j>x_i\\ 0; & \text{if} \quad x_j=x_i\\ -1; & \text{if} \quad x_j<x_i\end{cases} \qquad (۲)$$

مقدار Z استاندارد به‌صورت معادله (۳) محاسبه می‌شود:

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}; & \text{if} \quad S>0\\ 0 \quad\quad\quad ; & \text{if} \quad S=0\\ \dfrac{S+1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}; & \text{if} \quad S<0\end{cases} \qquad (۳)$$

در معادله (۳) مقدار انحراف معیار به‌صورت معادله (۴) محاسبه می‌شود:

$$\operatorname{Var}(S)=\frac{1}{18}n(n-1)(2n+5)-\sum_{i=1}^{P}t_i(t_i-1)(2t_i+5) \qquad (۴)$$

که در معادله (۴) t_i تعداد مقادیر مشابه برای مقدار Pام و P تعداد مقادیر مشابه در سری را نشان می‌دهند. برای تعیین روند در سطح معنی‌داری α، اگر مقدار مطلق Z از مقدار $Z_{1-\alpha/2}$ که از جدول‌های توزیع تجمعی نرمال استاندارد استخراج می‌شود بزرگتر باشد فرض صفر مبنی بر نداشتن روند رد می‌شود. در این پژوهش α=۰/۰۵ در نظر گرفته شده است.

- روش اسپیرمن

این ضریب در اویل دهه ۱۹۰۰ توسط چارلز اسپیرمن ابداع شد. در این روش آماره آزمون براساس ضریب همبستگی اسپیرمن r_{SRC} محاسبه می‌شود.

$$r_{SRC} = 1 - \left\{ 6\sum_{i-1}^{n} d_i^2 \Big/ n\left(n^2 - 1\right) \right\} \quad (۵)$$

در معادله (۵) i اندیس رتبه زمانی، n تعداد کل داده‌ها، di=RXi-RYi و RXi رتبه زمانی متغیر Xi و RYi رتبه زمانی متغیر Yi می‌باشد. فرض صفر در این روش نداشتن روند است که توسط آماره t با درجه آزادی n-2 بررسی می‌شود. برای تعیین روند در سطح معنی‌داری α اگر مقدار مطلق t، از مقدار $t_{1-\alpha/2}$ که از جدول‌های توزیع تجمعی نرمال استاندارد استخراج می‌شود بزرگتر باشد، فرض صفر مبنی بر نداشتن روند رد می‌شود (Sonali و Kumar، ۲۰۱۳). در این پژوهش α=۰/۰۵ است.

$$t_{SRC} = r_{SRC}\sqrt{\frac{(n-2)}{\left(1 - {r_{SRC}}^2\right)}} \quad (۶)$$

- روش رگرسیون

روش رگرسیون برای بررسی نوع معادله بین متغیرها می‌باشد. در این روش معادله بین متغیرها به‌صورت تابعی از متغیر وابسته که تغییرات متغیرهای مستقل را پیش‌بینی می‌کند، تعیین می‌شود. از رگرسیون برای رسیدن به دو هدف استفاده می‌شود: تعیین شکل ارتباط بین متغیرها و پیش‌بینی مقادیر متغیر وابسته از روی متغیر مستقل. پس از به‌دست‌آوردن رابطه خطی بین متغیرها فرض صفر مبنی بر عدم وجود رابطه خطی معنی‌دار بین زمان و پارامترهای هواشناسی بررسی می‌شود. در این مطالعه زمان متغیر مستقل و بارش متغیر وابسته است (آذرخشی و همکاران، ۱۳۹۲). برای این منظور معنی‌داری شیب به‌دست‌آمده برای هر خط از نظر آماری با استفاده از آماره t آزمون می‌شود. سطح معنی‌داری در این پژوهش ۵٪ است.

- روش نوین Sen

در روش Sen (Sen، ۲۰۱۲) ابتدا سری زمانی موجود به دو دسته تقسیم می‌شود. برای این منظور باید تعداد داده‌ها در هر دو دسته مساوی و هم مقیاس باشد. اعداد هر کدام از سری‌های زمانی به‌صورت افزایشی مرتب می‌شود. سپس این دو سری در مقابل هم بر روی محور مختصات رسم می‌شوند. بهتر است سری اول زمانی بر روی محور افقی و سری دوم بر روی محور عمودی رسم شود. در مرحله بعد خط ۱:۱ رسم می‌شود، اگر نقاط در بالای خط قرار گیرند روند افزایشی، در زیر خط روند کاهشی و بر روی خط، داده‌ها بدون روند خواهند بود. علاوه‌براین داده‌های توزیع شده در اطراف خط به سه دسته کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی می‌شود تا اطلاعات جزئی‌تری ارائه دهد. هر چه نقاط به خط نزدیکتر باشند مقدار روند (شیب) کوچکتر خواهد بود. در این روش محدودیتی برای داده‌ها با توزیع غیرنرمال، دوره زمانی کوتاه یا دارای همبستگی پیاپی وجود ندارد. در مواردی که اندازه نمونه محدود است به این دلیل که هر جفت داده از دو نیمه سری داده‌ها تاثیر بر دیگر نقاط ندارد، روند مرتبط با همان جفت داده بررسی خواهد شد (Sen، ۲۰۱۲). همچنین برخلاف بعضی روش‌های مرسوم، به فرضیه‌های محدودکننده و همگن کردن داده‌ها نیز نیاز ندارد.

در این پژوهش سری زمانی بارش برای ۳۰ سال بررسی شد و به دو دسته ۱۵ ساله تقسیم و به‌ترتیب افزایشی مرتب شدند. اولین سری شامل سال‌های آبی ۶۵-۶۴ تا ۷۹-۷۸ (۱۵ سال اول دوره) بر روی محور افقی در مقابل مقادیر بارش در ۱۵ سال دوم شامل سال‌های ۸۰-۷۹ تا ۹۴-۹۳ دوره بر روی محور عمودی رسم شدند. مقادیر بارش به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه با تقسیم‌بندی به سه دسته مقادیر بارش کم، متوسط و زیاد بررسی شدند. این تقسیم‌بندی با استفاده از روش دسته‌بندی K-mean (MacQueen، ۱۹۶۷) انجام گرفت. شایان ذکر است که برای نخستین‌بار ترکیب دسته‌بندی داده‌ها با روش نوین Sen در این پژوهش مد نظر قرار گرفته شده است.

نتایج و بحث

- آزمون من-کندال

نتایج بررسی روند داده‌های بارش ماهانه، فصلی و سالانه با روش من-کندال (مقادیر ضریب من-کندال و P-value) نشان می‌دهد بارش در ماه آبان در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد دارای روند صعودی است و بارش سایر ماه‌ها و فصل‌ها و همچنین بارش سالانه در این سطح اطمینان روند مشخصی ندارد. بارش ماه‌های آبان، خرداد و تیر و همچنین بارش فصل‌های پاییز و تابستان روند صعودی و سایر دوره‌ها روند نزولی دارند (جدول ۱). آذرخشی و همکاران (۱۳۹۲) روند بارش را با استفاده از روش من-کندال برای ۲۴ ایستگاه سینوپتیک در نقاط مختلف ایران بررسی کردند. نتایج آن‌ها نیز نشان داد که ترکیبی از روندهای افزایشی و کاهشی در داده‌های بارش درازمدت وجود دارد که به‌طورکلی این روندها در بیشتر ایستگاه‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبودند. همچنین روند بارش فصل تابستان در ایستگاه مشهد مثبت و معنی‌دار بود. در این پژوهش نیز روند مثبت در بارش فصل تابستان مشاهده شده است که این موضوع تأییدکننده نتایج قبلی است.

- روش اسپیرمن

نتایج روندیابی داده‌های بارش ماهانه، فصلی و سالانه با روش اسپیرمن (مقادیر ضریب اسپیرمن و P-value) مشابه روش من-کندال می‌باشد و به جز در ماه آبان سایر دوره‌ها از روند معنی‌داری تبعیت نمی‌کنند. (جدول ۱).

- رگرسیون خطی

مقدار شیب، جذر میانگین مربعات[۳] و P-value محاسبه شده از برازش خط رگرسیونی بر داده‌های بارش ماهانه، فصلی و سالانه در جدول (۱) ارائه شده است. مشابه دو روش مذکور بارش در ماه آبان دارای روند صعودی معنی‌دار است. علاوه‌برآن در روش رگرسیون (برخلاف دو روش قبلی) بارش در فصل زمستان با روند نزولی معنی‌دار (در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد) مشخص شده است. شایان ذکر است که باتوجه‌به اینکه کاهش بارش در فصل زمستان با روش‌های دیگر (جدول ۱) نیز با مقدار P=۰/۰۶ تحلیل شده است، می‌توان اظهار کرد مقدار بارش در فصل زمستان کاهش قابل توجه‌ای (معنی‌داری) داشته است. مشابه دو روش قبلی بارش ماه‌های آبان و تیر و همچنین بارش فصل‌های پاییز و تابستان روند صعودی دارد، اما برخلاف روش‌های من-کندال و اسپیرمن روند نزولی ناچیزی در بارش خرداد ماه مشاهده شد (در دو روش یاد شده روند صعودی در خرداد ماه مشاهده شد). سایر دوره‌ها نیز مشابه دو روش قبل روند نزولی داشتند.

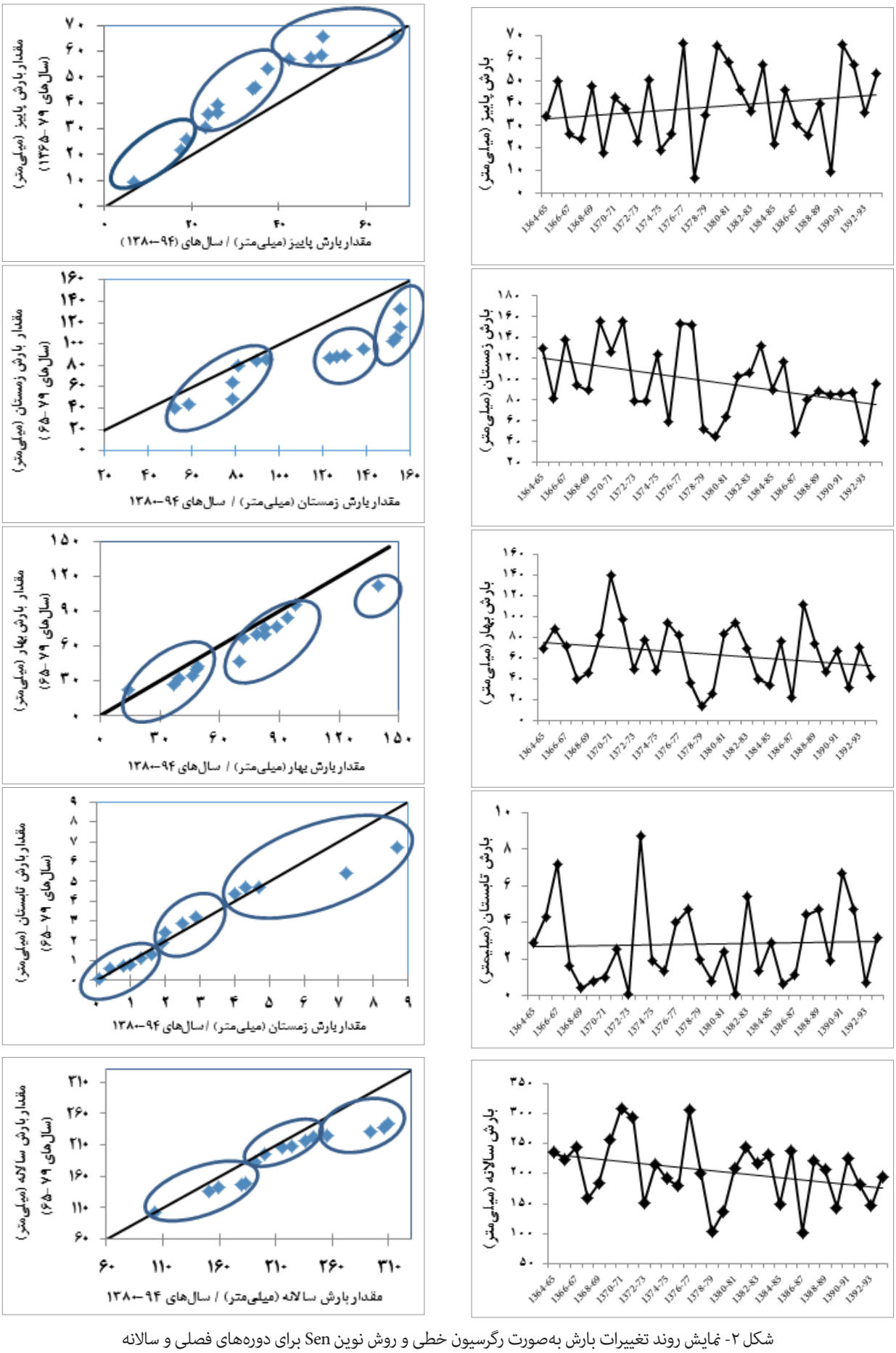
جدول ۱- خلاصه نتایج آزمون‌های من-کندال، اسپیرمن و رگرسیون

دوره بارش	روش من-کندال			روش اسپیرمن			روش رگرسیون			
	ضریب	P-value	روند	ضریب	P-value	روند	شیب	RMSE	P-value	روند
مهر	-۴۹	۰/۳۹	ندارد	-۰/۱۷	۰/۳۵	ندارد	-۰/۰۱۶	۳/۲۵	۰/۸۲	ندارد
آبان	۱۳۶	۰/۰۱۶	دارد(+)	۰/۴۷	۰/۰۰۹	دارد(+)	۰/۴۵۷	۸/۹۵	۰/۰۲	دارد(+)
آذر	-۹	۰/۸۸	ندارد	-۰/۰۳	۰/۸۶	ندارد	-۰/۰۷۷	۱۳	۰/۷۸	ندارد
پاییز	۴۶	۰/۴۲	ندارد	۰/۲	۰/۲۸	ندارد	۰/۳۶۲	۱۶/۶۴	۰/۳۱	ندارد
دی	-۸۶	۰/۱۲	ندارد	-۰/۳	۰/۱۱	ندارد	-۰/۴۱۳	۱۱/۶۴	۰/۱	ندارد
بهمن	-۶۵	۰/۲۵	ندارد	-۰/۲۳	۰/۲۲	ندارد	-۰/۵۰۴	۱۵/۹	۰/۱۴	ندارد
اسفند	-۷۶	۰/۱۸	ندارد	-۰/۲۵	۰/۱۸	ندارد	-۰/۵۹۷	۱۹/۴۸	۰/۱۶	ندارد
زمستان	-۱۰۶	۰/۰۶	ندارد	-۰/۳۵	۰/۰۶	ندارد	-۱/۵۱۴	۳۲	۰/۰۳	دارد(-)
فروردین	-۸۲	۰/۱۵	ندارد	-۰/۳۱	۰/۱	ندارد	-۰/۴۸۳	۱۷/۵	۰/۲	ندارد
اردیبهشت	-۲۹	۰/۶۲	ندارد	-۰/۰۸	۰/۶۶	ندارد	-۰/۲۲۴	۱۴/۵	۰/۴۷	ندارد
خرداد	۵۶	۰/۹	ندارد	۰/۰۰۴	۰/۹۸	ندارد	-۰/۰۸۲	۶/۱۹	۰/۵۳	ندارد
بهار	-۷۸	۰/۱۷	ندارد	-۰/۲۶	۰/۱۶	ندارد	-۰/۷۸۹	۲۸/۷	۰/۲	ندارد
تیر	۱۴	۰/۸۱	ندارد	۰/۰۵	۰/۸	ندارد	۰/۰۳۲	۱/۴	۰/۲۹	ندارد
مرداد	-۳۵	۰/۵۴	ندارد	-۰/۱۱	۰/۵۵	ندارد	-۰/۰۱	۰/۸۵	۰/۵۶	ندارد
شهریور	-۴۱	۰/۴	ندارد	-۰/۱۲	۰/۵۲	ندارد	-۰/۰۱	۱/۴۶	۰/۷۲	ندارد
تابستان	۳۱	۰/۴۷	ندارد	۰/۰۹	۰/۶۲	ندارد	۰/۰۱	۲/۲	۰/۸۳	ندارد
سالانه	-۹۲	۰/۱	ندارد	-۰/۳۳	۰/۰۷	ندارد	-۱/۹۳	۵۱/۱	۰/۰۸	ندارد

- روش نوین Sen

تحلیل تغییرات بارش به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه با روش Sen در جدول (۲) ارائه شده است. برای هر دوره مقادیر بارش در دسته‌های کم، متوسط و زیاد بر اساس روش دسته‌بندیK-mean قرار گرفته و روند کاهشی و افزایشی در این دسته‌ها نیز مشخص شده است. همچنین به‌صورت خلاصه تحلیل مربوط به این روندها در جدول مذکور ارائه شد. در این توضیحات مشخص شده که روند کاهشی و یا افزایشی با چه شیبی تغییر کرده است.

شکل (۲) برای نمونه نتایج ترسیم داده‌های بارش را با روش Sen و همچنین نحوه تغییرات در دوره زمانی ۳۰ ساله را همراه با خط رگرسیون برازش داده شده برای چند دوره منتخب نشان می‌دهد. در جایی‌که نقاط به خط یک به یک نزدیکتر هستند به معنی کمترین نوسان‌های بارش و هر چه از این خط دورتر شوند به معنی تغییرات شدیدتر می‌باشد. همچنین باتوجه‌به اینکه اعداد به‌صورت صعودی مرتب شده‌اند، نقاط زیر خط نشان‌دهنده کاهش بارش در ۱۵ سال دوم دوره (۸۰-۷۹ تا ۹۴-۹۳) نسبت به ۱۵ سال اول دوره (۶۵-۶۴ تا ۷۹-۷۸) می‌باشد و اگر بالای خط باشد نشان دهنده افزایش مقادیر بارش می‌باشد.



شکل ۲- نمایش روند تغییرات بارش به‌صورت رگرسیون خطی و روش نوین Sen برای دوره‌های فصلی و سالانه

بررسی نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار تغییرات مربوط به داده‌های بارش فصل زمستان (روند کاهشی) و کمترین تغییرات مربوط به داده‌های بارش ماه مهر است. باتوجه‌به اینکه سهم بارش‌ها در فصل زمستان حدود ۴۸ درصد از بارش کل سال می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که بارش‌ها در طی سال‌های اخیر کاهش یافته است. همچنین با مقایسه دو شکل رگرسیون و تحلیل Sen، مشاهده می‌شود که برخلاف خط رگرسیون که روند کلی تغییرات را نشان می‌دهد، روش Sen تغییرات دسته‌های کم، متوسط و زیاد را نیز ارائه می‌کند که می‌تواند در تصمیمات مرتبط با مدیریت منابع آب بسیار کارآمد باشد. باتوجه‌به اینکه به‌طور کلی در مناطق خشک بارش‌های با مقدار کم در بیشتر موارد منجر به رواناب زیادی نمی‌شوند و بارش‌های با مقدار زیاد رواناب قابل توجهی تولید می‌کنند، با استفاده از این روش می‌توان رابطه بارش-رواناب را بهتر تحلیل کرد. همچنین برای نمونه کاهش بارش‌ها در دامنه مقادیر زیاد می‌تواند تأثیر (کاهش) قابل توجهی در میزان آب ذخیره شده در پشت سدها داشته باشد.

شایان ذکر است که روش Sen می‌تواند تحلیل گرافیکی کاملی از تغییرات را بیان کند، اما تئوری مشخصی برای کمی کردن تغییرات ندارد. بر این اساس در این مطالعه برای نخستین‌بار (برای کمی‌کردن نتایج این روش) مقایسه میانگین داده‌های بارش با استفاده از آزمون t در دو دوره زمانی ۱۵ ساله (بررسی در تحلیل Sen) انجام شده است و نتایج در جدول (۲) خلاصه شده است. نتایج این بخش نشان داد که فقط مقدار بارش در فصل زمستان با روند نزولی معنی‌دار وجود دارد که در سایر روش‌ها نیز این نتیجه به‌دست‌آمده است. به‌طورکلی روندهای صعودی و نزولی به‌دست‌آمده از این روش با روش‌های دیگر مطابقت دارد. این موضوع نشان می‌دهد که روش‌های متداول می‌توانند کلیات روند را پیش‌بینی نمایند، ولی برای رسیدن به جزییات تغییر داده‌ها استفاده از روش نوین Sen بسیار کارآمد می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای بررسی روند بارش به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه در ۳۰ سال اخیر (۹۴-۶۴) از روش‌های من-کندال، اسپیرمن، رگرسیون و روش نوین Sen استفاده شده است. نتایج براساس روش‌های متداول نشان داد که میزان بارش در ماه‌های آبان، خرداد، تیر و همچنین بارش فصل‌های پاییز و تابستان روند صعودی و در سایر دوره‌ها روند نزولی داشتند. در ادامه برای درک بهتری از روند بارش از روش Sen استفاده شد. در این روش، مقادیر بارش در سه دسته کم، متوسط و زیاد بررسی شدند. روش‌های مرسوم روند کلی تغییرات را نشان می‌دهد، اما روش Sen روند تغییرات در هر دسته را ارائه می‌کند. به‌طورکلی بیشترین مقدار تغییرات مربوط به داده‌های بارش فصل زمستان و کمترین تغییرات مربوط به داده‌های بارش ماه مهر می‌باشد.

به‌طورکلی بارش‌ها در دوره‌های زمانی که بررسی شد به‌صورت محسوس در دسته زیاد، دارای شیب تغییرات بیشتری بودند. باتوجه‌به این که در مناطق خشک این‌گونه بارش‌ها سهم قابل توجهی در تولید رواناب دارند و بیشتر آن‌ها روند کاهشی داشته‌اند، می‌توان کم شدن مقدار جریان آب‌های سطحی طی سال‌های اخیر را به راحتی تفسیر نمود. شایان ذکر است که در این پژوهش برای نخستین‌بار روش Sen به‌صورت کمی و آماری نیز بررسی شد که عدم وجود روند معنی‌دار در مقادیر بارش در همه دوره‌ها به جز در فصل زمستان مشاهده شد. همچنین در مطالعات پیشین دسته‌بندی مقادیر کم، متوسط و زیاد از منظر کمی انجام شده است درحالی‌که در این مطالعه این دسته‌بندی با کمک روش‌های آماری انجام شده است.

سپاسگزاری

به این وسیله از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، دفتر مطالعات پایه منابع آب، برای تأمین داده‌ها و اطلاعات لازم جهت انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت

1- Mann-Kendall

2- Spearman

4- Root-Mean-Square Error (RMSE)

جدول ۲- خلاصه نتایج روش نوین Sen برای مقادیر بارش کم، متوسط و زیاد

دوره بارش	بارش کم*	بارش متوسط*	بارش زیاد*	t	P-value	تحلیل
مهر	-۱	-۱	۱	۰/۲۲	۰/۸۲	روند بارش در دسته مقدارهای زیاد دارای شیب تند افزایشی است و در دو دسته دیگر با شیب ملایم‌تری کاهش یافته است.
آبان	۱	۱	۰	-۱/۸۸	۰/۰۷	بارش‌ها با شیب بسیار تندی در دسته‌های کم و متوسط مشاهده شد و این تغییرات برای بارش‌های دسته زیاد محسوس نبود.
آذر	-۱	۱	۱	-۰/۷۳	۰/۵۰	بارش‌ها در دسته‌های متوسط و زیاد با شیب ملایمی افزایش و در دسته کم کاهش یافته‌اند.
پاییز	۱	۱	۱	-۱/۶۱	۰/۱۲	بارش‌های فصل پاییز در هر سه دسته افزایش یافتند و شیب تغییرات در دسته‌های بارش متوسط محسوس بود.
دی	-۱	-۱	-۱	۰/۸۹	۰/۳۸	دسته‌های بارش در این ماه کاملاً از هم متمایز هستند همه دارای شیب کاهشی تندی می‌باشند.
بهمن	-۱	-۱	-۱	۱/۷۸	۰/۰۹	در این ماه در هر سه دسته بارش‌ها کاهش یافته که در دسته بارش‌های زیاد این تغییرات با شیب تندتری صورت گرفته است.
اسفند	-۱	-۱	-۱	۱/۸۲	۰/۰۸	مشابه بهمن ماه.
زمستان	-۱	-۱	-۱	۲/۲۹	۰/۰۳**	باتوجه‌به اینکه در هر سه ماه زمستان بارش‌ها کاهش یافته، روند کاهشی محسوسی در مجموع بارش‌های این فصل در هر سه دسته مشاهده می‌شود.
فروردین	-۱	-۱	۱	۰/۴۴	۰/۶۶	بارش دسته‌های کم و متوسط با شیب کمی کاهش یافته و بارش‌های دسته زیاد نیز افزایشی با شیب ملایم داشته است.
اردیبهشت	۰	-۱	-۱	۰/۸۹	۰/۳۸	بارش دسته‌های کم تغییر محسوسی نداشته درحالی‌که در دسته‌های متوسط و زیاد کاهش با شیب کم اتفاق افتاده است.
خرداد	۱	-۱	-۱	۰/۹۵	۰/۳۵	بارش در دسته‌های متوسط و زیاد کاهش شدیدی داشته و در دسته‌های کم تغییرات آن افزایشی و با شیب کم بوده است.
بهار	-۱	-۱	-۱	۰/۹۱	۰/۳۷	بارش‌ها در هر سه دسته شیب کاهشی ملایمی داشتند.
تیر	۰	۱	۱	۱	۰/۳۱	مقدارهای کم بارش بدون روند و مقدارهای متوسط و زیاد روند افزایشی با شیب تند داشتند.
مرداد	۱	-۱	۰	۰/۹	۰/۳۸	در این ماه مقدارها در دسته کم و زیاد دارای تغییر زیادی نبودند، ولی در دسته کم مقدار بارش با شیب زیادی کاهش یافته است.
شهریور	-۱	-۱	-۱	۰/۸۳	۰/۴۱	در شهریور در هر سه دسته شاهد کاهش باران به‌ویژه در دسته بارش زیاد هستیم.
تابستان	۰	۱	-۱	۰/۲	۰/۸۴	در این فصل پراکندگی بارش‌ها به دلیل کم بودن مقدار بارش مشاهده می‌شود و به‌طورکلی در دسته مقدار کم، تغییرکم و در دسته متوسط و زیادافزایش بارش‌ها مشاهده شد.
سالانه	-۱	-۱	-۱	-۱/۴۱	۰/۱۷	در مجموع سالانه روند کاهش بارش در دسته‌های کم و متوسط دارای شیب ملایم و مقدارهای زیاد دارای شیب کاهشی محسوسی است.

*۱: روند صعودی، ۱-: روند نزولی، ۰: بدون روند

** دارای روند معنی‌دار

منابع

آذرخشی، م.، فرزادمهر، ج.، اصلاح، م. و صحابی، ح. ۱۳۹۲. بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب و هوایی ایران. نشریه منابع طبیعی ایران، ۶۶(۱):۱-۱۶.

عرفانیان، م.، انصاری، ح.، علیزاده، ا. و بنایان، م. ۱۳۹۳. بررسی تغییرات شاخص‌های حدی هواشناسی در استان خراسان رضوی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۸(۶): ۸۱۷-۸۲۵.

علیزاده، ا. ۱۳۹۰. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). چاپ ۳۱. مشهد.

Burn D.H., Mansour R., Zhang K. and Whitfield P. H. 2011. Trends and variability in extreme rainfall events in British Columbia. Canadian Water Resources Journal, 36(1): 67-82.

Corder G.W. and Foreman D.I. 2014. Nonparametric statistics: A step-by-step approach. John Wiley & Sons. Second edition. New Jersey.

Douglas E.M. and Fairbank C.A. 2010. Is precipitation in northern New England becoming more extreme? Statistical analysis of extreme rainfall in Massachusetts, New Hampshire, and Maine and updated estimates of the 100-year storm. J. Hydrol. Eng, 16(3): 203-217.

Elouissi A., Sen Z. and Habi M. 2016. Algerian rainfall innovative trend analysis and its implications to Macta watershed. Arabian J. Geosci, 9(4): 1-12.

Fujibe F., Yamazaki N., Katsuyama M. and Kobayashi K. 2005. The increasing trend of intense precipitation in Japan based on four-hourly data for a hundred years. Sola, 1: 41-44.

Groisman P.Y., Knight R.W., Easterling D.R., Karl T.R., Hegerl G.C. and Razuvaev V.N. 2005. Trends in intense precipitation in the climate record. J. Clim, 18(9): 1326-1350.

Haktanir T. and Citakoglu H. 2014. Trend, independence, stationarity, and homogeneity tests on maximum rainfall series of standard durations recorded in Turkey. Journal of Hydrologic Engineering, 19(9): 05014009.

Helsel D.R. and Hirsch R.M. 2002. Statistical methods in water resources. Techniques of water-resources investigations of the United States Geological Survey. Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation. chapter A3, U.S. Geological Survey, 522 pages.

https://www.razavimet.ir

Kendall M.G. 1975. Rank Correlation Methods. Charless Griffin, London.

Kisi O. and Ay M. 2014. Comparison of Mann–Kendall and innovative trend method for water quality parameters of the Kizilirmak River, Turkey. J. Hydrol, 513: 362-375.

Kisi O. 2015. An innovative method for trend analysis of monthly pan evaporations. J. Hydrol, 527: 1123-1129.

MacQueen J.B. 1967. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability Berkeley, University of California Press, 1: 281-297.

Mann H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. Econometrica, 13: 245–259.

Nazemosadat M.J. and Cordery I. 2000. On the relationships between Enso and winter rainfall in Iran. 26th National and 3rd International Hydrology and Water Resources Symposium, Inst. Engs., Australia, 20-23 November, Perth.

Sen Z. 2012. Innovative trend analysis methodology. J. Hydrol. Eng, 17(9): 1042-1046.

Sen Z. 2015. Innovative trend significance test and applications. Theor. Appl. Climatol, 127(3-4): 939-947.

Sen Z. 2016. Hydrological trend analysis with innovative and over-whitening procedures. Hydrological Sciences Journal, 62(2): 294-305

Sonali P. and Kumar D.N. 2013. Review of trend detection methods and their application to detect temperature changes in India. J. Hydrol., 476:212-227.

Sun C.C., Shen Z.Y., Xiong M., Ma F.B., Li Y.Y., Chen L. and Liu R.M. 2013. Trend of dissolved inorganic nitrogen at stations downstream from the Three-Gorges Dam of Yangtze River. Environ. Pollut, 180: 13-18.

Tabari H., Marofi S. and Ahmadi M. 2011. Long-term variations of water quality parameters in

Wang Y. and Zhou L. 2005. Observed trends in extreme precipitation events in China during 1961–2001 and the associated changes in large-scale circulation. Geophysical Research Letters, 32(17): L09707.

Widmann M. and Schär C. 1997. A principal component and long-term trend analysis of daily precipitation in Switzerland. Int. J. Climatol, 17(12): 1333-1356.

WMO. 1998. El-nino and the clips project. World Climate News, No 13, Jun, WMO, Switzerland.

Wu C.L., Chau K.W.and Li Y.S. 2009. Predicting monthly streamflow using data-driven models coupled with data-preprocessing techniques. Water Resources Research, 45(8): W08432.

Wu H. and Qian H. 2016. Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall and extreme values in Shaanxi, China.

the Maroon River, Iran. Environ. Monit. Assess, 177(1-4): 273-287.

Tabari H. and Willems P. 2015.Investigation of stream flow variation using an innovative trend analysis approach in north- west Iran. E-proceedings of the 36th IAHR World Congress.

Taormina R., Chau K.W. and Sethi R. 2012. Artificial neural network simulation of hourly groundwater levels in a coastal aquifer system of the Venice lagoon. Eng. Appl. Artif. Intell, 25(8): 1670-1676.

Timbadiya P.V., Mirajkar A.B., Patel P.L. and Porey P.D. 2013. Identification of trend and probability distribution for time series of annual peak flow in Tapi Basin, India. ISH J. Hydraul. Eng, 19(1): 11-20.

Turkes M. 1996. Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. Int. J. Climatol, 16(9): 1057-1076.