نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۹ شماره ۴صفحه‌های ۱۲۱ تا ۱۳۳ / سال ۱۳۹۸

بررسی روند دوره‌های خشکی سالانه با استفاده از شاخص های AMDSL ، ANDSPS و SPI

سحر بابایی حصار[۱]، رضا قضاوی[۲*]، مریم حسین خواه[۳]

تاریخ دریافت: تاریخ پذیرش:

۱-دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان
۲-دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان
۳-کارشناس ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Ghazavi@kashanu.ac.ir

چکیده

شناخت تغییرات رژیم‌های بارش در مدیریت صحیح منابع آب اهمیت بسزایی دارد. در این تحقیق، به‌منظور تحلیل وضعیت بارندگی و دوره‌های خشک سالانه، روند تغییرات شاخص SPI سالانه و نیز دو شاخص حداکثر طول دوره خشک سالانه (AMDSL) و تعداد دوره‌های خشک سالانه (ANDSPs) مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار آمار روزانه بارندگی پنج ایستگاه سینوپتیک شمال‌غرب کشور (ارومیه، تبریز، اردبیل، خوی و مراغه) که دارای آمار ۳٤ ساله (۲۰۱٤-۱۹۸۱) می‌باشند، مورد استفاده قرار گرفت. پس از بررسی همگنی و نرمال بودن داده‌ها، وجود خودهمبستگی معنی‌دار در هرکدام از سری‌ها مورد آزمون قرار گرفت و در صورت معنی‌دار بودن حذف گردید. اعمال آزمون من- کندال بر هریک از سری‌های مورد استفاده، نشان داد هر سه شاخص در اغلب ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی هستند. روند نزولی دو شاخص AMDSL و ANDSPs بیانگر بهبود وضعیت تعداد و طول دوره‌های خشک در منطقه بوده، ولی سیر کاهشی شاخص SPI حاکی از کاهش میزان بارندگی می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت که علی‌رغم کاهش میزان بارش در منطقه، پراکندگی آن در طول سال بهبود یافته است. روند کاهشی دو شاخص SPI و ANDSP در ایستگاه مراغه معنی‌دار تشخیص داده شد که آماره من- کندال (Z_m) آنها در سطح ۰/۰۵ به ترتیب ۳/٦۲۲- و ۲/٤۰۸- می‌باشد. به‌منظور شناسایی نقاط آغاز روند از تکنیک من- کندال دنباله‌ای استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده وقوع جهش‌های نزولی شاخص‌های SPI و ANDSP در ایستگاه مراغه می‌باشد. در سایر ایستگاه‌ها جهش معنی‌داری ملاحظه نشد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، آزمون من- کندال، تحلیل روند، AMDSL، ANDSP، SPI

Studying Trends in Annual Dry Periods Using the AMDSL, ANDSPs and SPI Indices

S Babaei[1], R Ghazavi[2*], M Hosseinkhah[3]

Received: Accepted:

[1] Ph.D. Student of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.
[2] Assist. Prof., Watershed Management Engineering Dept., Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.
[3] M.S in Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.
*Corresponding Author, E-mail: Ghazavi@kashanu.ac.ir

Abstract

Study of the changes in precipitation regimes is very important in proper water resources management. In this research, in order to analyze the state of precipitation and annual dry spell periods, the trends of SPI, Annual Maximum Dry Spells length and Annual Number of Dry Spell Periods indices were studied. For this purpose, daily precipitation data of five synoptic stations in northwest of Iran (Urmia, Tabriz, Ardebil, Khoy and Maragheh) having a 34-year data record (1981-2014), were used. After examining the homogeneity and normality of the data, the significance of autocorrelation in each of the time series was tested. According to outcome of Mann-Kendall test, all three indices had a decreasing trend in the most of stations. Decreasing trend in the two AMDSL and ANDSPs indices reflects improvement of spell and number of dry periods, and decreasing trend of SPI index indicates reduction of precipitation. So, we can conclude that despite of the reduction in precipitation in the region, rainfall distribution has improved over the years. Decreasing trend of the two SPI, and ANDSP indices is significant in Maragheh and Mann-Kendall test criteria (Z_m) for SPI, and ANDSP indices were -3.622 and -2.408 respectively ($P<0.05$). In order to identify the change points of the trends of series, sequential Mann-Kendall technique were used. The results indicated the occurrence of significant jump in Maragheh station.

Keywords: AMDSL, ANDSPs, Drought, Mann-Kendall test, SPI, Trend analysis

مقدمه

میزان و پراکنش نزولات جوی نقش تعیین کننده‌ای در مدیریت منابع آب هر کشور دارند. هر گونه کاهش در حجم و یا تغییر در پراکنش این نزولات می‌تواند تاثیر ناخوشایندی بر منابع آب در دسترس بگذارد. به گزارش IPCC طی دهه‌های گذشته، تغییر اقلیم موجب کاهش بارندگی‌ها در نیمکره شمالی شده است (بیوشند ۱۹۸۲). تحقیقات متعددی در زمینه بررسی میزان تاثیرپذیری مناطق مختلف از پدیده تغییر اقلیم انجام شده است که بیشتر بر محور تغییرات بارندگی متمرکز می‌باشد.

حسین‌زاده و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای روند تغییرات ماهانه، فصلی و سالانه دبی رودخانه و بارندگی را با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من- کندال[1] (MK) و سِن و آزمون پارامتری همبستگی پیرسون در حوضه آبریز گاماسیاب مورد بررسی قرار دادند. نتایج

1- Mann-Kendall

این تحقیق نشان داد که مقادیر فصلی و سالانه دبی در دوره آماری مورد مطالعه کاهش یافته است. همچنین سری زمانی بارندگی سالانه، فصول بهار و زمستان کاهش و داده‌های بارندگی فصل تابستان در منطقه مطالعاتی افزایش یافته است.

محمدی (۱۳۹۰) در تحقیقی تحلیل روند بارش سالانه ایران را طی دوره ٤٠ ساله مورد مطالعه قرار داد. بدین منظور با استفاده از روش آماری ناپارامتری MK

معنی‌داری روند میانگین بارش و با استفاده از روش برآوردکننده شیب خط سِن، میزان شیب خط روند، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در سری‌های زمانی میانگین ایستگاهی بارش ایران، روند افزایشی یا کاهشی معنی‌داری در سطوح اطمینان ۹۹ درصد و ۹۵ درصد وجود ندارد. حیدری و اسدی (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای تحلیل تغییرات سری‌های دما و بارش شیراز طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۱ را انجام دادند که نتایج کار این محققین نشان دهنده وجود روند افزایشی برای دمای متوسط سالانه بوده و این افزایش تقریباً در هر چهار فصل نیز قابل مشاهده بوده است. اما متوسط بارش سالانه بر عکس متوسط دمای سالانه، در کل یک روند کاهشی از خود نشان داده و از نظر فصول سال نیز این روند کاهشی به غیر از فصل زمستان در سایر فصول مشاهده گردید.

احمدی و همکاران (۱۳۹۵a) در تحلیل روند پارامترهای اقلیمی دوازده ایستگاه هواشناسی واقع در شمال شرق کشور، از آزمون ناپارامتری MK استفاده کردند. نتایج بدست آمده از تحقیق نامبردگان نشان داد؛ روند تغییرات زمانی ET_O سالانه در حالت افزایشی معنی‌دار است. روند تغییرات سالانه پارامترهای اقلیمی، فقط برای بارش و رطوبت نسبی ایستگاه بیرجند معنی-دار بوده است. در پارامترهای کمینه دما، بیشینه دما و ساعات آفتابی در تمام ایستگاه‌ها، شیب تغییرات فقط افزایشی و برای سرعت باد، بارش و رطوبت نسبی تغییرات شیب هم به‌صورت افزایشی و هم به‌صورت کاهشی مشاهده شده است. احمدی و همکاران (۱۳۹۵b) با استفاده از آزمون ناپامتری MK، روند بارندگی را طی نیم قرن اخیر در نیمه شمالی کشور تحلیل کردند. نتایج نشان‌دهنده روند کاهشی بارش در اغلب ایستگاه-ها بوده است. براساس تحقیق ایشان، سالانه در حدود ٤/١٩ میلی‌متر کاهش بارندگی رخ داده است. عیسی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) روند بارندگی کل کشور را طی سال‌های آماری ۱۳۸۹-۱۳٦۰ تحلیل کردند. نتایج نشان داد که در دوره‌های ۱۳۷۹-۱۳۷۷ و ۱۳۸۸ -۱۳۸٦، کل کشور با خشکسالی روبرو بوده است. مناطق شمالی و جنوبی ساحلی و همچنین مناطق مرکزی کشور نسبت به مناطق دیگر حساسیت کمتری به دوره‌های خشکی از خود نشان داده‌اند. همچنین شرق و غرب کشور که محل ورود سامانه‌های بارش‌زا است، حساسیت بیشتری به کاهش بارش و در نتیجه وقوع خشکسالی دارند.

بکر و همکاران (۲۰۰٦) به تحلیل فضایی زمانی روند بارش ماهانه ۳٦ ایستگاه واقع در حوضه یانگ‌تسه با استفاده از روش MK پرداختند. نتایج نشان‌دهنده روند مثبت معنی‌دار در بارش‌های تابستانی بوده است. اسکمیدلی و فری (۲۰۰۵) روند تغییرات متغییرهای حدی رخدادهای بارش در ۱۰۰ ایستگاه باران‌سنجی واقع در سوئیس را مورد مطالعه قراردادند. نتایج نشان دهنده افزایشی بودن دوره‌های با بارش سنگین بوده است. فیداس و همکاران (۲۰۰۷) روند سری زمانی بارش۵۰ ساله یونان را در بازه زمانی ۲۰۰۱-۱۹۵۰ مورد تحلیل قرار دادند. آنها دو روش حداقل مربعات و MK را بر روی داده‌ها اعمال کردند و به این نتیجه رسیدند که بارش سالانه و زمستانه یونان از سال۱۹۸٤ به بعد دارای روند کاهشی بوده است.

کالوئیرو و همکاران (۲۰۰۹) طی مطالعه‌ای به بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش با استفاده از روش‌های ناپارامتری MK و پارامتری تحلیل رگرسیون خطی در کالابریا (جنوب ایتالیا) پرداختند.

نتایج این تحقیق نشان‌دهنده روند کاهشی برای بارش سالانه، زمستانه و پاییزه و روند افزایشی برای بارش تابستانه می‌باشد. طبری و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات زمانی بارش در ایران پرداختند و برای این منظور داده‌های بارش ٤١ ایستگاه را در بازه زمانی ۲۰۰۵-١٩٦٦ با استفاده از آزمون‌های MK، تخمینگر سِن و رگرسیون خطی مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان دهنده روند منفی بارش سالانه در ٦٠ درصد ایستگاه‌ها می‌باشد که این روند کاهشی در هفت ایستگاه در سطوح اطمینان ۹۵ درصد و ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. توزیع مکانی روندهای بارش در این تحقیق نشان داد که اکثر روندهای منفی معنی‌دار در شمال‌غرب ایران اتفاق افتاده است. نصیری و مدرس (۲۰۰۹) روند دو شاخص AMDSL[2] و ANDSPs[3] را در منطقه خشک مرکزی کشور مورد تحلیل و بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آنها نشان دهنده عدم وجود روند معنی‌دار در منطقه مورد مطالعه بوده است.

زروآل و همکاران (٢٠١٦) با استفاده از آزمون MK روند ترکیبی پارامترهای دما و بارندگی را در الجزیره شمالی[4] ارزیابی کردند. دوره آماری مورد مطالعه توسط ایشان سال‌های ۱۹۷۲-۲۰۱۳ بوده است. نتایج تحقیق نشان‌دهنده عدم وجود روند معنی‌دار در بارندگی‌های فصلی و سالانه بوده است.

تعدد مطالعات صورت گرفته نشان‌دهندهٔ اهمیت مسئلهٔ تغییر اقلیم و به تبع آن کاهش نزولات جوی مخصوصاً درمناطق خشک و نیمه‌خشکی مانند ایران است. علاوه بر کاهش حجم بارندگی، پراکنش بارش‌ها در طول سال و دوره‌های خشک ناشی از عدم بارندگی و به‌ویژه طولی از سال که دریافت بارش صورت نمی‌گیرد نیز از دیگر عواقب پدیده تغییر اقلیم می‌باشد که کمتر مورد توجه قرار گرفته است و بیشتر مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییرات مقدار بارندگی می‌باشد. مطالعه این رخدادها در ایستگاه‌های واقع در حوضه دریاچه ارومیه به‌دلیل وضعیت بحرانی آن اهمیت دوچندان می‌یابد. در تحقیق حاضر، میزان تاثیرپذیری منطقه شمال‌غرب کشور از پدیده تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور شاخص SPI جهت بررسی خشکسالی و دو شاخص AMDSL و ANDSP برای بررسی تغییرات طول دوره‌های خشک سالانه و تعداد وقوع آنها محاسبه گردید. هدف از انجام این تحقیق، بررسی روند دوره‌های خشک و بدون بارش و روند تغییرات آنها در طول سال‌های اخیر است تا بدین وسیله تغییرات اقلیمی منطقه پایش گردد. زیرا آگاهی از طول دوره‌های خشک و تعداد آن در طول سال تاثیرات شگرفی بر منابع آب سطحی و رزمینی و نیز کشت و کار باغداران و کشاورزان دارد.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد نیاز و منطقه مورد مطالعه

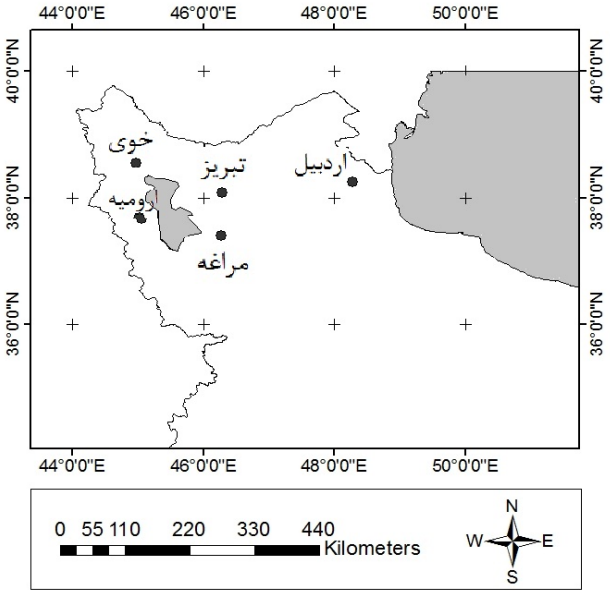
به‌منظور بررسی و تحلیل روند بارندگی در منطقه شمال‌غرب کشور طی ٣٤ سال گذشته (٢٠١٤-١٩٨١)، آمار روزانه بارندگی پنج ایستگاه همدیدی ارومیه، تبریز، خوی، اردبیل و مراغه از سازمان هواشناسی کل کشور تهیه گردید. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مذکور در شکل ۱ نشان داده شده است. از آمار بارندگی روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در استخراج دو شاخص AMDSL و ANDSPs استفاده گردید. جهت استخراج شاخص SPI از داده‌های بارندگی سالانه استفاده شد.

روش‌ها

یکی از روش‌های متداول به‌منظور تحلیل سری‌های زمانی داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آنها، با استفاده از آزمون‌های آماری می‌باشد. تحلیل سری‌های زمانی

[2] Annual maximum dry spell length
[3] Annual number of dry spell periods
[4] Northern Algeria

ابزار مناسبی است که در مدل‌سازی ریاضی، پیش‌بینی وقایع آینده، آشکارسازی روند و بررسی جهش در داده‌های اقلیمی و همچنین بازسازی داده‌های گمشده و گسترش آمار به‌کار می‌رود.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در منطقه مورد مطالعه.

روش‌های آماری فراوانی جهت تعیین معنی‌داری روند سری‌های زمانی وجود دارد. این روش‌ها در دو دسته کلی روش‌های پارامتری و ناپارامتری تقسیم‌بندی می شوند که روش‌های ناپارامتری از کاربرد نسبتاً وسیع‌تری نسبت به روش‌های پارامتری برخوردارند (زو و همکاران ۲۰۰۳). در این تحقیق از روش ناپارامتری MK (من ۱۹٤٥، کندال ۱۹۷۵) جهت تعیین روند تغییرات بارندگی استفاده شده است.

در گام اول شاخص‌های AMDSL، ANDSP و SPI استخراج و همگنی آنها با استفاده از آزمون ران تست (بارتلت ۱۹۳۷، وینر و همکاران ۱۹۷۱) بررسی شد. از آنجا که شرط استخراج شاخص SPI، نرمال بودن سری بارندگی می‌باشد، با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف نرمال بودن سری سالانه بارندگی مورد آزمون قرار گرفت و تبعیت داده‌ها از این توزیع مشخص شد. بر اساس تحقیقات به‌عمل آمده وجود خودهمبستگی معنی‌دار در سری‌های زمانی سبب ایجاد خطا در نتایج آزمون‌های ناپارامتری می‌گردد (احمدی و همکاران ۱۳۹٤). لذا در تحقیق حاضر، ابتدا ضرایب خودهمبستگی سری‌های ایجاد شده مورد بررسی قرار گرفت و از روش پیش‌سفید کردن[5] برای حذف تأثیر خودهمبستگی معنی‌دار استفاده شد (طبری و آقاجانلو ۲۰۱۲، وان استورچ ۱۹۹۵). به این ترتیب که ابتدا شیب سیل- سن[6] محاسبه و از سری حذف گردید سپس خودهمبستگی معنی‌دار حذف و مجددا شیب به مقادیر باقی مانده اضافه شد. با اعمال آزمون MK روند تغییرات شاخص‌های مورد استفاده مشخص گردید. برای تعیین زمان آغاز روند از آزمون MK دنباله‌ای[7] استفاده شد. کلیه مراحل مربوط به محاسبات تحقیق حاضر با استفاده از نرم‌افزار فرترن برنامه نویسی و انجام شده است.

آزمون همگنی

[5] Pre- whitening
[6] Theil–Sen
[7] Sequential Mann-Kendall

روش‌های مختلفی برای آزمون همگن بودن داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی معرفی شده است (بیوشند ۱۹۸۲، وایجنگارد ۲۰۰۳). روش ران تست (بارتلت ۱۹۳۷، وینر ۱۹۷۱) از فنون متداول در این زمینه می‌باشد که در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفته است. طریقه انجام محاسبات به این شکل است که ابتدا میانه سری محاسبه می‌گردد و سپس مقادیر بزرگتر از میانه با حرف H[8] و مقادیر کوچکتر با حرف T[9] مشخص می‌شود. آماره ران تست با فرمول زیر بدست می‌آید:

$$Z = \frac{R - E(R)}{\sqrt{Var(R)}} \quad [۱]$$

که در آن Z: آماره ران تست، R: تعداد کل دنباله‌ها و $Var(R)$: واریانس تعداد دنباله‌ها است که از رابطه ۲ بدست می‌آید (بردلی ۱۹۶۸).

$$Var(R) = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)} \quad [۲]$$

که در آن n تعداد داده‌ها است. $E(R)$ از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (بردلی ۱۹۶۸):

$$E(R) = \frac{2 \times H \times T}{H + T} + 1 \quad [۳]$$

در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ در صورتی که قدر مطلق آماره ران تست بزرگتر از ۱/۹۶ باشد، سری همگن و در غیر این صورت ناهمگن است (بردلی ۱۹۶۸).

شاخص *SPI*

این شاخص توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) توجه به بررسی اثرات کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک، کلاهک برفی و جریان آبراهه در ایالت کلرادو ارئه شد.

$$SPI = \frac{P_i - \overline{P}}{S} \quad [٤]$$

که در این معادله؛ P_i مقدار بارش در دوره مورد نظر، $\overline{P}$ میانگین دراز مدت بارش (در این مطالعه ۳٤ سال در نظر گرفته شده است) در مقیاس‌های سه، شش، نه و ۱۲ ماهه برای دوره مورد نظر و S انحراف معیار مقادیر بارش است. مقدار *SPI* در هر بازه زمانی، وضعیت رطوبتی به کلاس‌های مختلف تقسیم می‌شود که این کلاس‌ها از خشک‌سالی حاد تا ترسالی حاد متغیر است.

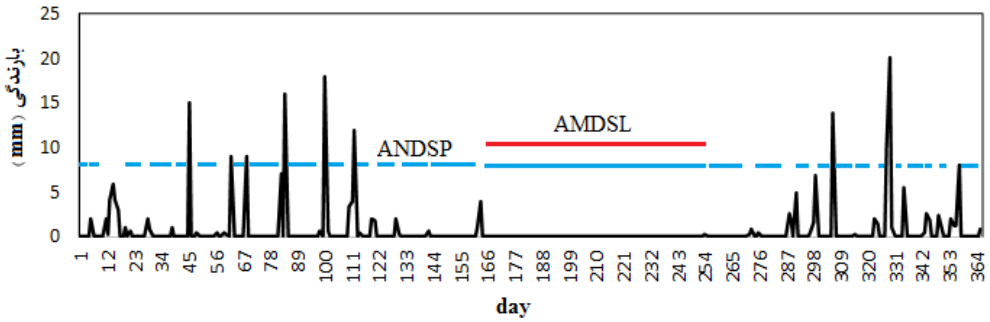
شاخص‌های AMDSL و ANDSP

شاخص AMDSL و ANDSP به ترتیب بلندترین توالی روزهای خشک سال و تعداد دوره‌های خشک سال که زنجیره‌ای از روزهای خشک است، می‌باشد (شکل ۲). منظور از روزهای خشک، روزهای فاقد بارندگی می‌باشد (نصری و مدرس ۲۰۰۹).

آزمون من- کندال (MK)

آزمون MK یکی از آزمون‌های ناپارامتری است که کاربرد زیادی در تحلیل روند متغیرهای آب و هواشناسی دارد. این آزمون ابتدا توسط من (۱۹٤٥) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۹۰) توسعه یافت. در این آزمون فرض صفر (H_0) و فرض مقابل (H_1) به ترتیب بیانگر عدم وجود روند و وجود آن در سری زمانی است. مراحل محاسبه آمارهٔ این آزمون به شرح زیر می‌باشد:

8 Head
9 Tail



شکل ۲- شاخص‌های AMDSL (بلندترین توالی روزهای خشک) و ANDSP (تعداد دوره‌های خشک).

الف) محاسبه اختلاف بین جملات سری با همدیگر و اعمال تابع علامت (*sgn*) و استخراج پارامتر S با رابطه زیر:

[٤]

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

n: تعداد جملات سری، x_j: داده j ام سری و x_k: داده k ام سری می‌باشند و تابع *sgn* نیز به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\operatorname{sgn}(x)=\begin{cases}+1 & if \quad \left(x_j-x_k\right)>0\\ 0 & if \quad \left(x_j-x_k\right)=0\\ -1 & if \quad \left(x_j-x_k\right)<0\end{cases} \qquad [٥]$$

ب) محاسبه واریانس با استفاده از رابطهٔ زیر:

[٦] اگر $n>10$:

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

[٧] اگر $n\le 10$:

$$Var(S)=\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

که در آن، *n*: تعداد داده‌های مشاهده‌ای، *m*: تعداد دنباله‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و *t*: نشان دهنده فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است.

ج) استخراج آماره Z با رابطه زیر:

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & if \quad S>0\\ 0 & if \quad S=0\\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & if \quad S<0\end{cases} \qquad [٨]$$

که در آن، Z آماره آزمون من-کندال است که برای نمونه‌های با تعداد بیش از ۳۰ کاربرد دارد. اگر قدر مطلق آماره Z در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ بزرگتر از۱/۹٦ $=Z_{0.05}$ باشد در این‌صورت فرض صفر رد شده و در واقع روند وجود داشته و معنی‌دار می‌باشد. مقدار منفی آماره Z نشان‌دهنده روند کاهشی و مقدار مثبت Z نشان دهنده روند افزایشی است (سبزی‌پروز و شادمانی ۱۳۹۰). در یک آزمون دوطرفه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که نابرابری زیر برقرار باشد:

$$|Z|\le Z_{\alpha/2} \qquad [٩]$$

روش سیل- سن

در این تحقیق، برای تعیین شیب روندها از روش ناپارامتری سیل- سن (سیل ۱۹۵۰، سن ۱۹٦۸) استفاده شد:

[۱۰]

$$\beta=Median\left[\frac{X_j-X_i}{j-i}\right],\ j>i$$

که در آن β: شیب روند و X_i و X_j به ترتیب i امین و j امین داده مشاهده‌ای است.

آزمون من- کندال دنباله‌ای

در بررسی زمان شروع روند از آزمون من- کندال دنباله‌ای (اسنیرز ۱۹۹۰) استفاده شد. رابطه آن به‌صورت زیر است:

$$u(t_j) = \frac{t_j - E(t)}{\sqrt{Var(t_j)}} \qquad [۱۱]$$

$u(t)$: عبارت است از متغیر استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف معیار یک.t_j: طول jامین گره در سری داده، $E(t)$: میانگین و $Var(t_j)$: واریانس آماره آزمون است (اسنیرز ۱۹۹۰). مقادیر $u'(t)$ نیز همانند $u(t)$ محاسبه می‌گردد با این تفاوت که سری داده‌ها عکس در نظر گرفته می‌شود. اگر دنباله $u(t)$ و $u'(t)$ به‌صورت نموداری ترسیم شود، در صورتی‌که دو نمودار در خارج از ۱/۹۶+ و ۱/۹۶- همدیگر را قطع کنند، روند معنی‌دار خواهد بود که به آن نقطه جهش (شروع روند) اطلاق می‌شود. در صورتی که u(t)>+1.96 باشد آنگاه روند افزایشی و در u(t)<-1.96، روند نزولی است. برای -1.96 < u(t) < +1.96 نمی‌توان روند معنی‌داری تصور کرد (عرفانیان و بابایی حصار ۱۳۹۵).

نتایج و بحث

به‌منظور محاسبه شاخص‌های AMDSL و ANDSPs (نصری و مدرس ۲۰۰۹) به‌ترتیب، طولانی‌ترین زنجیره متوالی روزهای خشک و تعداد بازه‌های متداوم خشک در هر سال استخراج گردید. روزهای با بارندگی بیش از ۱ میلی‌متر به عنوان روز تر و مقادیر کمتر از آن به عنوان روز خشک در نظر گرفته شد. در محاسبه نمایه *SPI*، ابتدا برقرار بودن شرط نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون کولموگروف- اسمیرنوف نشان‌دهنده نرمال بودن سری‌های زمانی بارندگی سالانه در هر سه ایستگاه است. مقدار P_Value این آزمون برای ایستگاه‌های ارومیه، تبریز، خوی، اردبیل و مراغه به‌ترتیب، برابر با ۰/٤١٦، ۰/٤٧٥، ۰/۷۲۷، ۰/٥٣٦ و ۰/٦٠٨ می‌باشد.

جدول ۱ خصوصیات توصیفی شاخص‌های منتخب را نشان می‌دهد. طولانی‌ترین دوره خشک (AMDSL) و کمترین تعداد دوره‌های خشک (ANDSP) هر دو مربوط به ایستگاه مراغه می‌باشد که به ترتیب برابر با ۱۳۳ روز و ۲٦ دوره بوده و در سال‌های ۲۰۰٦ و ۱۹۹۹رخ داده است. کوتاه‌ترین دوره خشک در ایستگاه اردبیل و در سال‌های ۱۹۹۳ و ۲۰۰۸ می‌باشد. بیشترین تعداد دوره‌های خشک سالانه نیز مربوط به همین ایستگاه است که در سال ۱۹۸۸ اتفاق افتاده است. در طی سه دهه گذشته، در مجموع ایستگاه مراغه طولانی‌ترین دوره‌های خشک، و ایستگاه اردبیل بیشترین تعداد دوره‌های خشک را در بین ایستگاه‌ها داشته‌اند. ایستگاه‌های خوی و اردبیل بیشترین مقدار شاخص *SPI* و ایستگاه مراغه کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. شکل ۳ بیشترین و کمترین مقدار شاخص‌های مذکور را برای ایستگاه‌های مورد مطالعه نمایش می‌دهد. لازم به توضیح است که در این شکل، شاخص‌های فوق صرفا در ایستگاه‌هایی ارائه شده است که کمترین و بیشترین مقدار این شاخص‌ها را دارا بوده‌اند. برای مثال در مورد شاخص ANDSP، کمترین مقدار در ایستگاه مراغه و بیشترین مقدار در ایستگاه اردبیل رخ داده است.

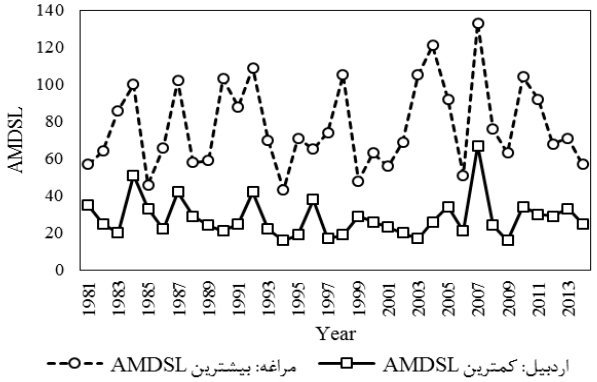
نتایج آزمون همگنی در سطح ۰/۰۵ نشان داد به‌جز دو شاخص SPI و ANDSP در ایستگاه‌های مراغه و تبریز، سایر ایستگاه‌ها، دارای داده‌های همگن می‌باشند. پس از آنکه ناهمگنی این ایستگاه‌ها برطرف شد، آزمون من-کندال بر این شاخص‌ها اعمال گردید. نتایج حاصل از اعمال آزمون MK بر شاخص SPI نشان‌دهنده وجود روند کاهشی در هر پنج ایستگاه است که به‌جز ایستگاه مراغه، در سایر ایستگاه‌ها روند معنی‌داری مشاهده

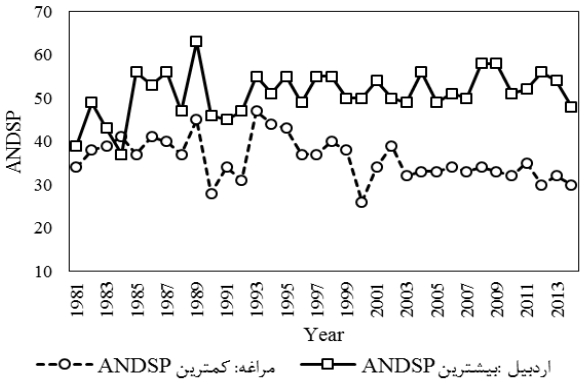
نمی‌شود. شیب سیل- سن برای این ایستگاه معادل ۱/۲٦ بدست آمده است که نشانگر نرخ کاهش بارندگی‌ها در این ایستگاه می‌باشد.

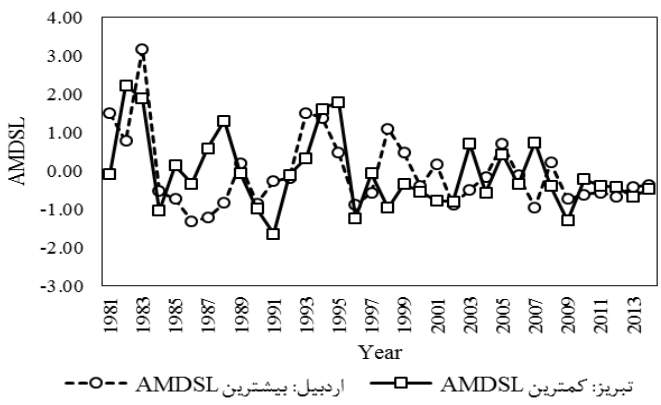
جدول ۱- خصوصیات توصیفی شاخص‌های مورد استفاده.

ایستگاه	(day) AMDSL				(period) ANDSPs				SPI	
	Max	Min	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD	Max	Min
خوی	٦٥/٠	١٨/٠	٤٣/٥	١٤/٨	٥٨/٠	٣٤/٠	٤٨/٦	٥/١	٣/١٨	١/٣٢
ارومیه	١٠٩/٠	٢٤/٠	٥٤/٢	٢١/٠	٥٧/٠	٣٧/٠	٤٦/٧	٤/٤	٢/٦٧	١/٤٨
تبریز	٨١/٠	٢٠/٠	٤٥/٠	١٧/٦	٦١/٠	٣٧/٠	٤٩/٠	٥/١	٢/٢٣	١/٥٨
مراغه	١٣٣/٠	٤٣/٠	٧٨/٢	٢٤/٠	٤٧/٠	٢٦/٠	٣٧/٢	٤/٩	١/٩٨	١/٦٢
اردبیل	٧١/٠	١٦/٠	٣١/١	١٢/٢	٦٣/٠	٣٧/٠	٥٢/٣	٥/٦	٣/١٨	١/٣٠

شاخص ANDSP نیز تنها در ایستگاه مراغه کاهش معنی‌دار (سطح ۰/۰۵) دارد و روند نزولی سایر ایستگاه‌ها معنی‌دار نمی‌باشد. علی‌رغم نزولی بودن روند شاخص AMDSL در اغلب ایستگاه‌ها، در هیچ یک از ایستگاه‌ها تغییرات معنی‌داری مشاهده نشده است. سیر نزولی شاخص‌های AMDSL و ANDSPs به معنای کاهش طول و تعداد دوره‌های خشک سالانه و کاهشی بودن شاخص SPI به معنای کاهش میزان بارندگی طی سال‌های اخیر است. به این ترتیب می‌توان گفت علی‌رغم کاهش میزان بارندگی‌ها، فواصل زمانی ریزش‌ها کوتاه‌تر و در نتیجه پراکنش آن بهتر شده است.







شکل ۳- کمترین و بیشترین مقدار شاخص‌های AMDSL، ANDSPs و SPI در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

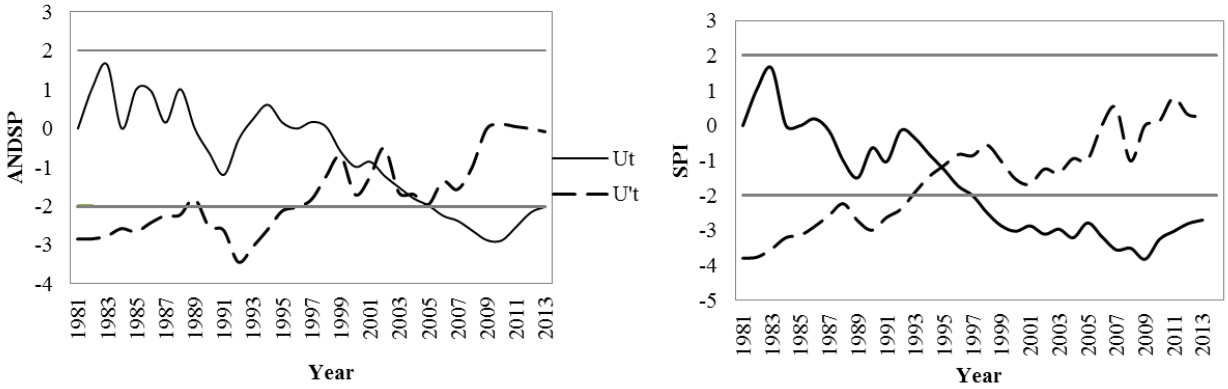
جدول ۲- آماره‌های MK و ران تست در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

ایستگاه	آماره من- کندال (Z_{mk})			آماره ران تست (Z_{rt})		
	AMDSL	ANDSPs	SPI	AMDSL	ANDSPs	SPI
خوی	-۰/٤۱	-۰/۷٦	-۱/۱۳	۰/٤۸	-۰/٦۱	-۰/۳۷
ارومیه	-۰/٤۸	-۰/۹۱	-۱/٤۲	۰/۳۸	۱/۳۳	-۱/۸۱
تبریز	-۱/۷۲	۰/٤٤	-۱/٤٤	-۰/۳٦	**۲/۷۴**	-۰/۳۲
مراغه	۱/۲۱	**-۲/۲۷**	**-۳/۷۴**	۰/۱۲	-۱/۲۷	**-۳/۴۱**
اردبیل	-۱/۰۰	۱/۷۷	-۰/٥٥	۰/٤۱	-۰/۳۸	-۱/۱۸

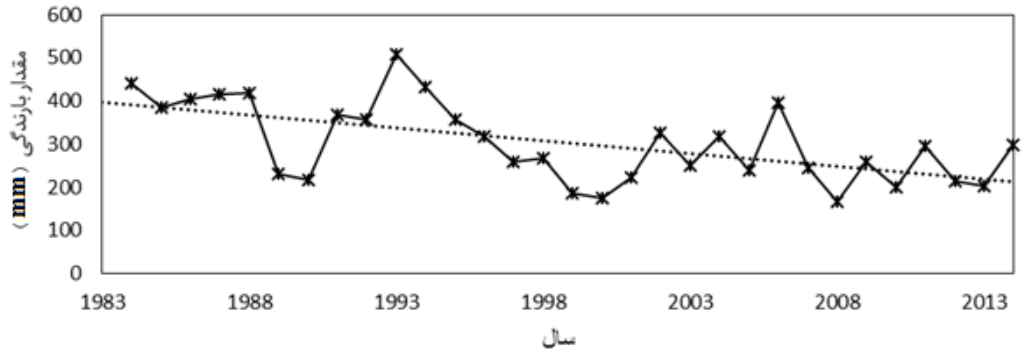
شاخص ANDSP نیز تنها در ایستگاه مراغه کاهش معنی‌دار (سطح ۰/۰۵) دارد و روند نزولی سایر ایستگاه‌ها معنی‌دار نمی‌باشد. علی‌رغم نزولی بودن روند شاخص AMDSL در اغلب ایستگاه‌ها، در هیچ یک از ایستگاه‌ها تغییرات معنی‌داری مشاهده نشده است. سیر نزولی شاخص‌های AMDSL و ANDSPs به معنای کاهش طول و تعداد دوره‌های خشک سالانه و کاهشی بودن شاخص SPI به معنای کاهش میزان بارندگی طی سال‌های اخیر است. به این ترتیب می‌توان گفت علی‌رغم کاهش میزان بارندگی‌ها، فواصل زمانی ریزش‌ها کوتاه‌تر و در نتیجه پراکنش آن بهتر شده است.

جهت شناسایی نقاط آغاز روند (جهش)، نمودارهای من- کندال دنباله‌ای ترسیم شد. بررسی رفتار تغییرات مولفه‌های u(t) و u'(t) مربوط به سری زمانی SPI نشان‌دهنده روند کاهشی در این سری می‌باشد و نتایج بدست آمده از آزمون MK را تایید می‌کند. همان‌طور که در شکل ٤ نمایش داده شده است، نمودار u(t) پس از برخورد با نمودار u'(t) به شدت به زیر خط معنی‌داری منفی (خط مشکی رنگ زیرین: Z=-1.96) نزول پیدا کرده است که نشان‌دهنده شدت روند رو به کاهش بارندگی در ایستگاه مراغه می‌باشد. نقطه تلاقی دو نمودار u(t) و u'(t) نشانگر زمان آغاز روند تغییرات است که برای شاخص SPI در ایستگاه مراغه مربوط به سال ۱۹۹٤ می‌باشد و چون محل تلاقی در داخل خطوط معنی‌داری قرار دارد لذا این جهش معنی‌دار محسوب نمی‌گردد. برای ملاحظه بصری روند کاهشی بارندگی در ایستگاه مراغه، شکل ٥ ارائه شده است.

ترسیم نمودار MK دنباله‌ای برای شاخص ANDSPs نیز نشان‌دهنده چگونگی وضعیت تغییرات این شاخص است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود نمودارهای u(t) و u'(t) پس از چند بار همگرایی، نهایتا در سال ۲۰۰٤ از یکدیگر فاصله گرفته‌اند که نمایانگر زمان آغاز روند رو به کاهش شاخص ANDSPs است و مؤید نتایج بدست آمده از آزمون MK می‌باشد. نقطه تلاقی نهایی دو نمودار دقیقاً بر خط معنی‌داری منفی منطبق شده است. عبور امتداد نمودار u(t) از خط معنی‌داری منفی حاکی از آن است که تعداد وقوع دوره‌های خشک رو به کاهش گذاشته است. هرچند نرخ نزولات جوی در این ایستگاه سیر نزولی دارد، اما کاهش تعداد دوره‌های خشک و طول این دوره‌ها می‌تواند بیانگر بهبود پراکنش بارندگی‌ها باشد.



شکل ۴. نمودارهای u(t) و u'(t): برای شاخص‌های SPI و ANDSP در ایستگاه مراغه (دارای روند کاهشی معنی‌دار).



شکل ۵- نمودار تغییرات منفی بارندگی در ایستگاه مراغه طی دوره آماری ۳۰ ساله.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، برای اولین بار روند تغییرات شاخص‌های خشکی سالانه در منطقه شمال‌غرب کشور مورد بررسی قرار گرفت. اعمال آزمون MK بر دو شاخص AMDSL و ANDSP حاکی از روند رو به کاهش طول و تعداد دوره‌های خشک سالانه است که از این میان سیر نزولی شاخص ANDSP در ایستگاه مراغه معنی‌دار تشخص داده شده است.

آماره MK معنی‌دار بودن روند نزولی شاخص AMDSL را در هیچ یک از ایستگاه‌ها اثبات نکرد. علاوه بر دو شاخص مذکور روند تغییرات شاخص SPI نیز به‌منظور بررسی نحوه تغییرات مقدار بارندگی تحلیل گردید. بر اساس یافته‌های تحقیق، روند خشکسالی در اغلب ایستگاه‌ها کاهشی است. نتایج مشابهی در پژوهش انجام شده توسط قنبرلو (۱۳۹۱) بر روی بارندگی ۳۰ ساله ایستگاه‌های استان آذربایجان غربی بدست آمده است. نتایج مطالعه عرفانیان و بابایی حصار (۱۳۹۵) نیز وجود چنین روندی را در اغلب ایستگاه‌های واقع در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه تأیید می‌نماید. بر اساس آزمون MK دنباله‌ای، نقاط جهش مربوط به تغییرات معنی‌دار در سری‌های زمانی بکار رفته، تعیین شد. تحلیل رفتار مولفه‌های u(t) و u'(t) نشان داد شاخص SPI در سال ۱۹۹٤ و شاخص ANDSP در سال ۲۰۰٤ دارای یک نقطه جهش نزولی معنی‌دار در ایستگاه مراغه هستند. به طوریکه میانگین سالیانه بارندگی طی دوره

قبل از جهش، معادل ۳۳۳ میلی‌متر و میانگین بارندگی سال‌های پس از آن ۳۱۵ میلی‌متر است. آماره آزمون MK نیز وجود چنین روندی را در ایستگاه مراغه تأیید می‌نماید (جدول ۲). در پایان پیشنهاد می‌گردد روند شاخص‌های فوق‌الذکر در تعداد بیشتری از ایستگاه‌های واقع در منطقه شمال‌غرب کشور و با بهره‌گیری از دیگر آزمون‌های تحلیل روند مانند روش اسپیرمن مورد بررسی قرار گیرد. این منطقه به‌علت بحرانی بودن وضعیت دریاچه ارومیه از الویت بیشتری برخوردار است.

این تحقیق حاصل قسمتی از نتایج طرح تحقیقاتی به شماره 95850079 می‌باشد که بوسیله دانشگاه کاشان و صندوق حمایت از پژوهشگران تامین مالی شده است. نویسندگان مقاله از دانشگاه کاشان و صندوق حمایت از پژوهشگران تقدیر و تشکر می نمایند.

منابع مورد استفاده

Ahmadi H, Fallahghalhary Gh and Shaemi A, 2016. Estimating and evaluating the trends of annual reference evapotranspiration based on influential climatic parameters in the north east of Iran. Water and Soil Science- University of Tabriz 25: 257-269. (In Persian with English abstract).

Ahmadi F, Radmanesh F and Mirabbasi Najaf Abadi R, 2015. Trend analysis of the average temperature in southern half of Iran during the recent four decades. Water and Soil Science- University of Tabriz 25: 225-211. (In Persian with English abstract).

Ahmadi F, Radmanesh F and Mirabbasi Najaf Abadi R, 2016. Trend analysis of precipitation in northern Half of Iran during the recent Half of the century. Water and Soil Science- University of Tabriz 26:207-224. (In Persian with English abstract).

Bartlett M.S, 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences 268-282.

Becker S, Gemmer M and Jiang T, 2006. Spatiotemporal analysis of precipitation trends in the Yangtze River Catchment. Stoch Environ Res Risk Assess 20: 435–444.

Buishvand T.A, 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. Journal of Hydrology 58: 11–27.

Bradley J. V, 1968. Distribution-free statistical tests. *Practice-Hall, London*.

Caloiero T, Coscarelli R, Ferrari E and Mancini M, 2009. Trend detection of annual and seasonal rainfall in Calabria (Southern Italy). International Journal of Climatology 31: 44–56.

Erfanian M and Babaei Hessar S, 2016. Trend analysis of reference evapotranspiration (ET0) and precipitation at some synoptic stations of the Lake Urmia basin. Iran Water Research 10: 143-152. (In Persian with English abstract).

Feidas H, Noulopoulou Ch, Makrogiannis T and Bora-Senta E, 2007. Trend analysis of precipitation time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955–2001. Theoretical and Applied Climatology 87: 155–177.

Ghanbarlou Z, 2012. Analysis of the trend and prediction of rainfall and discharge of Lake Urmia watershed using wavelet theory. Master Thesis, Faculty of Natural Resources, Urmia University. 89 P. (In Persian with English abstract).

Heydari A and Asadi A, 2011. Analysis of temperature and precipitation changes of Shiraz during the period of 1951-2005. Geography and Environmental Planning 22: 137-152. (In Persian with English abstract).

Hosseinzadeh talaee P, Tabari H and Marofi S, 2009. Comparison of parametric and nonparametric methods in studying the monthly, seasonal and annual trends in precipitation and discharge of Gamasiab Basin. Eighth International Conference of River Engineering. University of Shahid Chamran, Ahvaz.

Isazadeh M, Kaki M and Fakherifard A, 2016. Analysis of rainfall trend and evaluation of weather droughts of Iran using the Herbst Method. Water and Soil Science- University of Tabriz 26: 121-143. (In Persian with English abstract).

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

McKee T.B, Doesken N.J and Kleist J, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology 22: 179-183.

Mann H.B, 1945. Nonparametric tests against trend. Journal of the Econometric Society 77:245-259.

Mohammadi B, 2011. Analysis of annual rainfall of Iran. Geography and Environmental Planning 22: 95-106. (In Persian with English abstract).

Nasiri M and Modarres R, 2009. Dry spell trend analysis of Isfahan Province, Iran. International Journal of Climatology 29: 1430–1438.

Sabziparvar A.A and Shadmani M, 2011. Trends analysis of reference evapotranspiration rates by using the Mann-Kendall and Spearman tests in arid regions of Iran. Journal of Water and Soil 25:823-834. (In Persian with English abstract).

Schmidli J and Frei C, 2005. Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. International Journal of Climatology 25: 753–771.

Sen P.K, 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association 63: 1379-1389.

Sneyers R. 1990. On the statistical analysis of series of observations. World Meteorological Organization, Technical Note 143, Geneva, Switzerland.

Tabari H, Aeini A, Hosseinzadeh Talaee P and Some'e S.H, 2011. Spatial distribution and temporal variation of reference evapotranspiration in arid and semi-arid regions of Iran. Hydrological Processes 26: 500-512.

Tabari H and Aghajanloo M.B, 2012. Temporal pattern of aridity index in Iran with considering precipitation and evapotranspiration trends. International Journal of Climatology 13(2):396-409.

Theil H, 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. Nederlands Akad, Wetensch 53: 386-392.

Von Storch H, 1995. Misuses of Statistical Analysis in Climate Research. Pp 11 –26, In: Storch HV, Navarra A (eds) Analysis of Climate variability. Applications of statistical techniques. Springer, Berlin, Heidelberg.

Wijngaard J.B, Klein Tank A.M.G and Konnen G.P, 2003. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. International Journal of Climatology 23: 679–692.

Xu Z.X, Takeuchi K and Ishidaira H, 2003. Monitoring trend step changes in precipitation in Japanese Precipitation. Journal of Hydrology 279: 144-150.

Winer B.J, Donald R.B, and Kenneth M.M, 1971. Statistical Principles in Experimental Design 2. New York: McGraw-Hill.

Zeroual A, Assani A.A and Meddi M, 2016. Combined analysis of temperature and rainfall variability as they relate to climate indices in Northern Algeria over the 1972-2013. Hydrology Research. (In press).