

بررسی روند دوره‌های خشکی سالانه با استفاده از شاخص‌های 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، به منظور 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 شمال غرب کشور (ارومیه، تبریز، اردبیل، خوی و مراغه) که دارای آمار ۳۴ ساله (۲۰۱۴-۱۹۸۱) می‌باشند، مورد استفاده قرار گرفت. پس از بررسی همگنی و نرمال بودن داده‌ها، وجود خودهمبستگی معنی‌دار در هر کدام از سری‌ها مورد آزمون قرار گرفت و در صورت معنی‌دار بودن حذف گردید. اعمال آزمون من-کنندال 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-کنندال (Z_m) آنها در سطح ۰/۰۵ به ترتیب ۳/۶۲۲- و ۲/۴۰۸- می‌باشد. به منظور شناسایی نقاط آغاز روند از تکنیک من-کنندال 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-کنندال، تحلیل روند، AMDSL، ANDSP، SPI

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

S Babaei¹, R Ghazavi^{2*}, M Hosseinkhah³

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

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^۱ (MK) و سن و آزمون پارامتری همبستگی پیرسون در حوضه آبریز گاماسیاب مورد بررسی قرار دادند. نتایج

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

1- Mann-Kendall

کاهش 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 نشان دهنده روند کاهش بارش در اغلب ایستگاه-ها بوده است. براساس تحقیق ایشان، سالانه در حدود ۴/۱۹ میلی متر کاهش بارندگی رخ داده است. عیسی زاده و همکاران (۱۳۹۵) روند بارندگی کل کشور را طی سال های آماری ۱۳۸۹-۱۳۶۰ تحلیل کردند. نتایج نشان داد که در دوره های ۱۳۷۹-۱۳۷۷ و ۱۳۸۸-۱۳۸۶، کل کشور با خشکسالی روبرو بوده است. مناطق شمالی و جنوبی ساحلی و همچنین مناطق مرکزی کشور نسبت به مناطق دیگر حساسیت کمتری به دوره های خشکی از خود نشان داده اند. همچنین شرق و غرب کشور که محل ورود سامانه های بارش زا است، حساسیت بیشتری به کاهش بارش و در نتیجه وقوع خشکسالی دارند.

بکر و همکاران (۲۰۰۶) به تحلیل فضایی زمانی روند بارش ماهانه ۳۶ ایستگاه واقع در حوضه یانگتسه با استفاده از روش MK پرداختند. نتایج نشان دهنده روند مثبت معنی دار در بارش های تابستانی بوده است. اسکمدلی و فری (۲۰۰۵) روند تغییرات متغیرهای حدی رخدادهای بارش در ۱۰۰ ایستگاه باران سنجی واقع در سوئیس را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان دهنده افزایش بودن دوره های بارش سنگین بوده است. فیداس و همکاران (۲۰۰۷) روند سری زمانی بارش ۵۰ ساله یونان را در بازه زمانی ۲۰۰۱-۱۹۵۰ مورد تحلیل قرار دادند. آنها دو روش حداقل مربعات و MK را بر روی داده ها اعمال کردند و به این نتیجه رسیدند که بارش سالانه و زمستانه یونان از سال ۱۹۸۴ به بعد دارای روند کاهش بوده است.

کالوئیرو و همکاران (۲۰۰۹) طی مطالعه ای به بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش با استفاده از روش های ناپامتری MK و پارامتری تحلیل رگرسیون خطی در کالابریا (جنوب ایتالیا) پرداختند.

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 داده های بارندگی فصل تابستان در منطقه مطالعاتی افزایش یافته است.

محمدی (۱۳۹۰) در تحقیق تحلیل روند بارش سالانه ایران را طی دوره ۶۰ ساله مورد مطالعه قرار داد. بدین منظور با استفاده از روش آماری ناپامتری MK معنی داری روند میانگین بارش و با استفاده از روش برآوردکننده شیب خط سن، میزان شیب خط روند، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در سری های زمانی میانگین ایستگاهی بارش ایران، روند افزایشی یا کاهش معنی داری در سطوح اطمینان ۹۹ درصد و ۹۵ درصد وجود ندارد. حیدری و اسدی (۱۳۹۰) در مطالعه ای تحلیل تغییرات سری های 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 کاهش از خود نشان داده و از نظر فصول سال نیز این روند کاهش 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 ناپامتری MK استفاده کردند. نتایج بدست آمده از تحقیق نامبردگان نشان داد؛ روند تغییرات زمانی ET_0 سالانه در حالت افزایشی معنی دار 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 ایستگاه ها، شیب تغییرات فقط افزایشی و برای سرعت باد، بارش و رطوبت نسبی تغییرات شیب هم به صورت افزایشی و هم به صورت

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 به دلیل وضعیت بحرانی آن اهمیت دوچندان می‌یابد. در تحقیق حاضر، میزان تاثیرپذیری منطقه شمال غرب 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

به منظور بررسی و تحلیل روند بارندگی در منطقه شمال غرب کشور طی ۳۴ سال گذشته (۲۰۱۴-۱۹۸۱)، 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 به منظور تحلیل سری‌های زمانی داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آنها، با استفاده از آزمون‌های آماری می‌باشد. تحلیل سری‌های زمانی

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 ۴۱ ایستگاه را در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۶۶ با استفاده از آزمون‌های MK، تخمینگر سن و رگرسیون خطی مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان دهنده روند منفی بارش سالانه در ۶۰ 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 شمال غرب 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 (۲۰۱۶) با استفاده از آزمون MK روند ترکیبی پارامترهای دما و بارندگی را در الجزیره شمالی^۴ 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 نشان‌دهنده اهمیت مسئله تغییر اقلیم و به تبع آن کاهش نزولات جوی مخصوصاً در مناطق 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

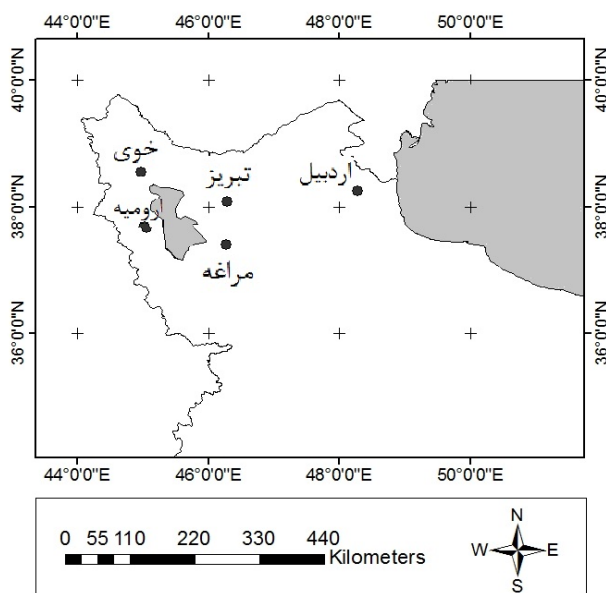
² Annual maximum dry spell length

³ Annual number of dry spell periods

⁴ Northern Algeria

داده های اقلیمی و همچنین بازسازی داده های گمشده و گسترش آمار به کار می رود.

ابزار مناسبی است که در مدل سازی ریاضی، پیش بینی وقایع آینده، آشکار سازی روند و بررسی جهش در



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

خطا در نتایج آزمون های ناپارامتری می گردد (احمدی و همکاران ۱۳۹۴). لذا در تحقیق حاضر، ابتدا ضرایب خودهمبستگی سری های ایجاد شده مورد بررسی قرار گرفت و از روش پیش سفید کردن^۵ برای حذف تأثیر خودهمبستگی معنی دار استفاده شد (طبری و آقاجانلو ۲۰۱۲، وان استورچ ۱۹۹۵). به این ترتیب که ابتدا شیب سیل- سن^۶ محاسبه و از سری حذف گردید سپس خودهمبستگی معنی دار حذف و مجدداً شیب به مقادیر باقی مانده اضافه شد. با اعمال آزمون MK روند تغییرات شاخص های مورد استفاده مشخص گردید. برای تعیین زمان آغاز روند از آزمون MK دنباله ای^۷ استفاده شد. کلیه مراحل مربوط به محاسبات تحقیق حاضر با استفاده از نرم افزار فرتن برنامه نویسی و انجام شده است.

آزمون همگنی

روش های آماری فراوانی جهت تعیین معنی داری روند سری های زمانی وجود دارد. این روش ها در دو دسته کلی روش های پارامتری و ناپارامتری تقسیم بندی می شوند که روش های ناپارامتری از کاربرد نسبتاً وسیع تری نسبت به روش های پارامتری برخوردارند (زو و همکاران ۲۰۰۳). در این تحقیق از روش ناپارامتری MK (من ۱۹۴۵، کندال ۱۹۷۵) جهت تعیین روند تغییرات بارندگی استفاده شده است.

در گام اول شاخص های 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 می باشد، با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف نرمال بودن سری سالانه بارندگی مورد آزمون قرار گرفت و تبعیت داده ها از این توزیع مشخص شد. بر اساس تحقیقات به عمل آمده وجود خودهمبستگی معنی دار در سری های زمانی سبب ایجاد

⁵ Pre-whitening

⁶ Theil-Sen

⁷ Sequential Mann-Kendall

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

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad [4]$$

که در این معادله؛ P_i مقدار بارش در دوره مورد نظر، \bar{P} میانگین دراز مدت بارش (در این مطالعه ۲۴ 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 (۱۹۴۵) 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 آماره این آزمون به شرح زیر می‌باشد:

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 T^A میانه با حرف H^A و مقادیر کوچکتر با حرف T^A مشخص می‌شود. آماره ران تست با فرمول زیر بدست می‌آید:

$$Z = \frac{R - E(R)}{\sqrt{Var(R)}} \quad [1]$$

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).

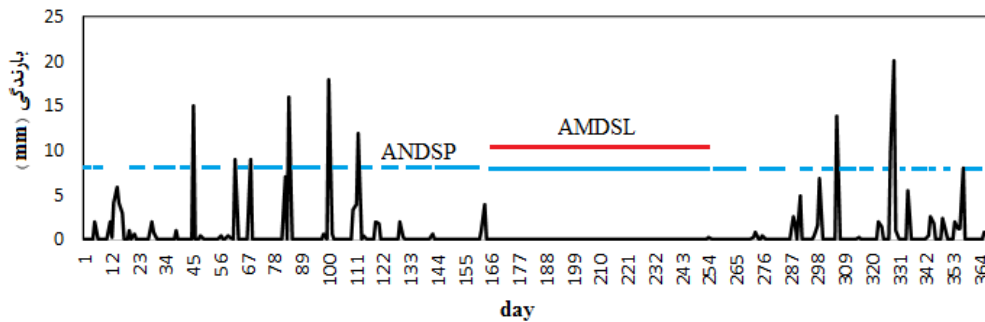
$$Var(R) = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)} \quad [2]$$

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

$$E(R) = \frac{2 \times H \times T}{H + T} + 1 \quad [3]$$

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



شکل ۲- شاخص های AMDSL (بلندترین توالی روزهای خشک) و ANDSP (تعداد دوره های خشک).

ج) استخراج آماره Z با رابطه زیر:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad [۸]$$

که در آن، Z آماره آزمون من-کندال است که برای نمونه های با تعداد بیش از ۳۰ کاربرد دارد. اگر قدر مطلق آماره Z در سطح معنی داری ۰/۰۵ بزرگتر از ۱/۹۶ باشد در این صورت فرض صفر رد شده و در واقع روند وجود داشته و معنی دار می باشد. مقدار منفی آماره Z نشان دهنده روند کاهشی و مقدار مثبت Z نشان دهنده روند افزایشی است (سبزی پروز و شادمانی ۱۳۹۰). در یک آزمون دوطرفه جهت روندیابی سری داده ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می شود که نابرابری زیر برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad [۹]$$

روش سیل-سن

در این تحقیق، برای تعیین شیب روندها از روش ناپارامتری سیل-سن (سیل ۱۹۵۰، سن ۱۹۶۸) استفاده شد:

[۱۰]

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

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

زیر:

[۴]

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

n: تعداد جملات سری، x_j داده زام سری و x_k داده k

ام سری می باشند و تابع sgn نیز به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad [۵]$$

ب) محاسبه واریانس با استفاده از رابطه زیر:

$$\text{اگر } n > 10 \quad [۶]$$

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

$$\text{اگر } n \leq 10 \quad [۷]$$

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

که در آن، n: تعداد داده های مشاهده ای، m: تعداد دنباله هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t: نشان دهنده فراوانی داده های با ارزش یکسان است.

بارندگی سالانه در هر سه ایستگاه است. مقدار P-Value این آزمون برای ایستگاه‌های ارومیه، تبریز، خوی، اردبیل و مراغه به ترتیب، برابر با ۰/۴۷۵، ۰/۷۲۷، ۰/۵۳۶ و ۰/۶۰۸ 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 ۲۶ دوره بوده و در سال‌های ۲۰۰۶ و ۱۹۹۹ رخ 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 صرفاً 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 به جز 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 به جز ایستگاه مراغه، در سایر ایستگاه‌ها روند معنی‌داری مشاهده

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 به صورت زیر است:

$$u(t_j) = \frac{t_j - E(t)}{\sqrt{Var(t_j)}} \quad [11]$$

$u(t)$: عبارت است از متغیر استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف معیار یک. t_j : طول زامین 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 $u'(t)$ به صورت نموداری ترسیم شود، در صورتی که دو نمودار در خارج از $+1/96$ و $-1/96$ 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

به منظور محاسبه شاخص‌های AMDSL و ANDSPs (نصری و مدرس ۲۰۰۹) به ترتیب، 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 ها در این ایستگاه می باشد.

نمی شود. شیب سیل- سن برای این ایستگاه معادل

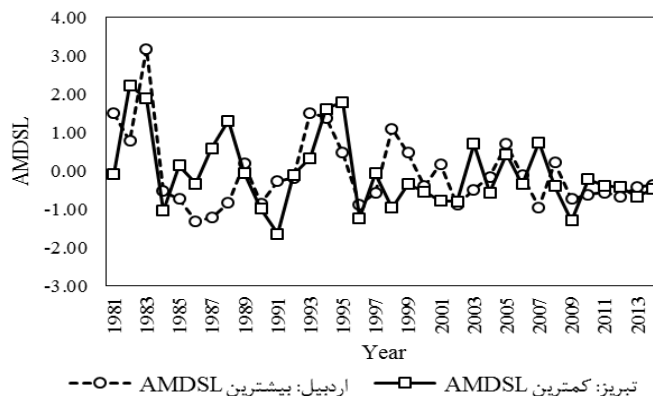
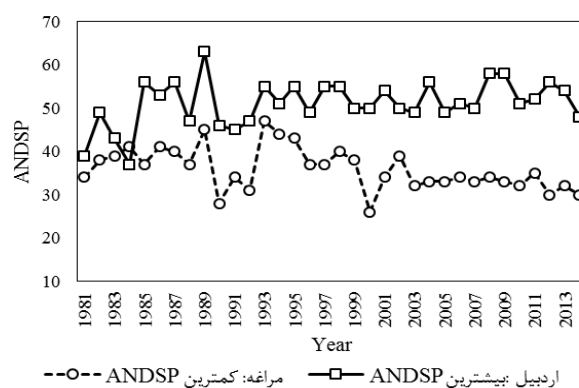
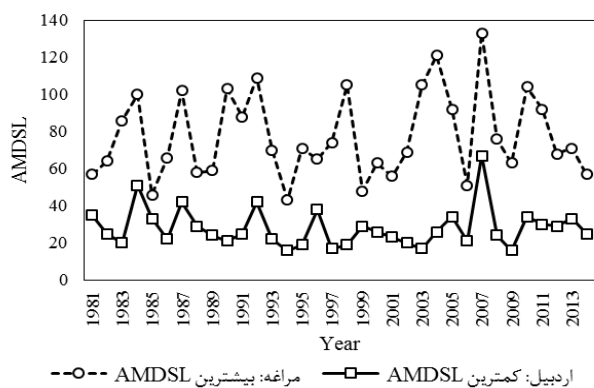
۱/۲۶ بدست آمده است که نشانگر نرخ کاهش

جدول ۱- خصوصیات توصیفی شاخص های مورد استفاده.

SPI		(period) ANDSPs				(day) AMDSL				ایستگاه
Min	Max	SD	Mean	Min	Max	SD	Mean	Min	Max	
۱/۳۲	۳/۱۸	۵/۱	۴۸/۶	۳۴/۰	۵۸/۰	۱۴/۸	۴۳/۵	۱۸/۰	۶۵/۰	خوی
۱/۴۸	۲/۶۷	۴/۴	۴۶/۷	۳۷/۰	۵۷/۰	۲۱/۰	۵۴/۲	۲۴/۰	۱۰۹/۰	ارومیه
۱/۵۸	۲/۲۳	۵/۱	۴۹/۰	۳۷/۰	۶۱/۰	۱۷/۶	۴۵/۰	۲۰/۰	۸۱/۰	تبریز
۱/۶۲	۱/۹۸	۴/۹	۳۷/۲	۲۶/۰	۴۷/۰	۲۴/۰	۷۸/۲	۴۳/۰	۱۳۳/۰	مراغه
۱/۳۰	۳/۱۸	۵/۶	۵۲/۳	۳۷/۰	۶۳/۰	۱۲/۲	۳۱/۱	۱۶/۰	۷۱/۰	اردبیل

کاهش طول و تعداد دوره های خشک سالانه و کاهش بودن شاخص SPI به معنای کاهش میزان بارندگی طی سال های اخیر است. به این ترتیب می توان گفت علی رغم کاهش میزان بارندگی ها، فواصل زمانی ریزش ها کوتاه تر و در نتیجه پراکنش آن بهتر شده است.

شاخص ANDSP نیز تنها در ایستگاه مراغه کاهش معنی دار (سطح ۰/۰۵) دارد و روند نزولی سایر ایستگاه ها معنی دار نمی باشد. علی رغم نزولی بودن روند شاخص AMDSL در اغلب ایستگاه ها، در هیچ یک از ایستگاه ها تغییرات معنی داری مشاهده نشده است. سیر نزولی شاخص های AMDSL و ANDSPs به معنای



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.

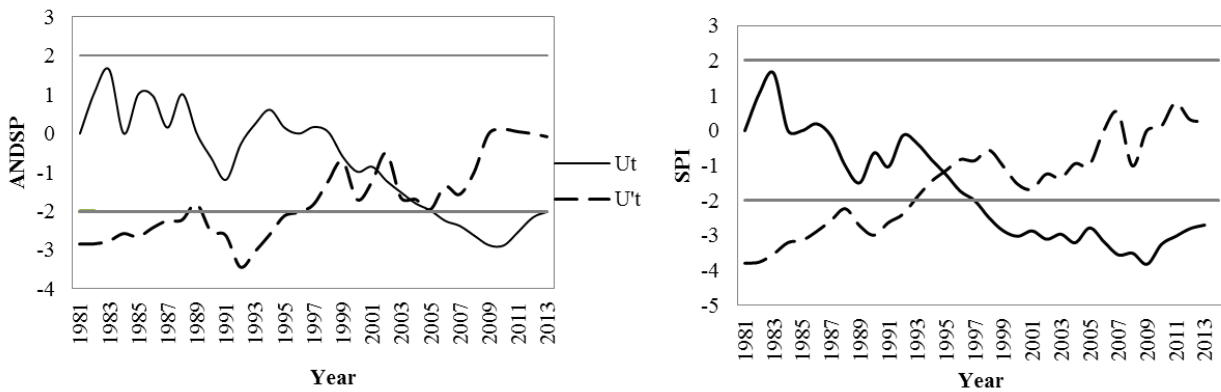
ایستگاه	آماره من- کندال (Z_{mk})			آماره ران تست (Z_{rt})		
	SPI	ANDSPs	AMDSL	SPI	ANDSPs	AMDSL
خوی	-۱/۱۳	-۰/۷۶	-۰/۴۱	-۰/۳۷	-۰/۶۱	۰/۴۸
ارومیه	-۱/۴۲	-۰/۹۱	-۰/۴۸	-۱/۸۱	۱/۳۳	۰/۳۸
تبریز	-۱/۴۴	۰/۴۴	-۱/۷۲	-۰/۳۲	۲/۷۴	-۰/۳۶
مراغه	-۳/۷۴	-۲/۲۷	۱/۲۱	-۳/۴۱	-۱/۲۷	۰/۱۲
اردبیل	-۰/۵۵	۱/۷۷	-۱/۰۰	-۱/۱۸	-۰/۳۸	۰/۴۱

$u'(t)$ نشانگر زمان آغاز روند تغییرات است که برای شاخص SPI در ایستگاه مراغه مربوط به سال ۱۹۹۴ 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 ۵ ارائه شده است.

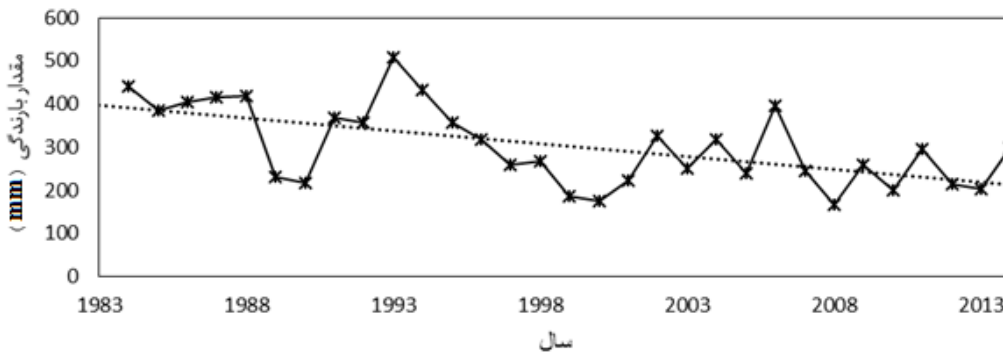
ترسیم نمودار MK دنباله‌ای برای شاخص ANDSPs نیز نشان‌دهنده چگونگی وضعیت تغییرات این شاخص است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود نمودارهای $u(t)$ و $u'(t)$ پس از چند بار همگرایی، نهایتاً در سال ۲۰۰۴ از یکدیگر فاصله گرفته‌اند که نمایانگر زمان آغاز روند رو به کاهش شاخص ANDSPs است و مؤید نتایج بدست آمده از آزمون 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.

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 ۴ 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



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 ANDSP و AMDSL 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 تشخیص 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 ۱۹۹۴ و شاخص ANDSP در سال ۲۰۰۴ دارای یک نقطه جهش نزولی معنی‌دار در ایستگاه مراغه هستند. به طوریکه میانگین سالیانه بارندگی طی دوره

وضعیت دریاچه ارومیه از الویت بیشتری برخوردار است.

این تحقیق حاصل قسمتی از نتایج طرح تحقیقاتی به شماره 95850079 می باشد 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.

قبل از جهش، معادل ۳۳۳ میلی متر و میانگین بارندگی سالهای پس از آن ۳۱۵ میلی متر است. آماره آزمون MK نیز وجود چنین روندی را در ایستگاه مراغه تأیید می نماید (جدول ۲). در پایان پیشنهاد می گردد روند شاخص های فوق الذکر در تعداد بیشتری از ایستگاه های واقع در منطقه شمال غرب کشور و با بهره گیری از دیگر آزمون های تحلیل روند مانند روش اسپیرمن مورد بررسی قرار گیرد. این منطقه به علت بحرانی بودن

منابع مورد استفاده

- Ahmadi H, Fallahghalhari 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 Hesar 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, Nouloupoulou 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 Fakhherifard 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 Talaei 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).