

تحلیل نوسانات بارش‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه با روش SMK در دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۶

فاطمه بانان فردوسی* و یعقوب دین‌پژوه^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۲)

چکیده

در این مطالعه، برای تحلیل روند بارش سالانه، از اطلاعات ۲۱ ایستگاه هواشناسی هم‌دید، واقع در حوضه دریاچه ارومیه، در یک دوره آماری مشترک ۳۰ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۵) استفاده شد. برای این منظور، از آزمون من-کندال دنباله‌ای بهره گرفته شد. تاریخ تغییر ناگهانی، در سری زمانی بارش هر ایستگاه (در صورت وجود) مشخص شد. معنی‌داری روند در هر سری و جهت تغییر آن (کاهش یا افزایش) در همه ایستگاه‌ها، در سطح پنج درصد مورد آزمون واقع شد. نتایج نشان داد که از ۲۱ ایستگاه مورد مطالعه، ۱۰ ایستگاه، روند کاهشی معنی‌دار داشتند. سه ایستگاه (سراب، بستان‌آباد و سردشت) روند افزایشی معنی‌دار داشتند. بارش‌های هشت ایستگاه نیز هیچ‌گونه روند معنی‌داری نداشتند. همچنین، بررسی تعیین نقطه شکست در بارش سالانه ایستگاه‌های منتخب نشان داد که ۵۷/۱ درصد از ایستگاه‌ها (۱۲ ایستگاه)، تغییرات ناگهانی در سری بارش سالانه داشتند. به عبارت بهتر، بیش از نیمی از ایستگاه‌های مورد مطالعه، تغییر ناگهانی در سری بارش سالانه داشتند. زمان تغییر ناگهانی بارش، در هشت ایستگاه (بناب، سراب، ارومیه، اشنویه، کهریز، میان‌آب، بوکان و سقز) در دهه وسط دوره آماری (یعنی ۲۰۰۵-۱۹۹۶)، سه ایستگاه (سردشت، نقده و تکاب) در دهه اول دوره آماری (یعنی ۱۹۹۵-۱۹۸۶) و تنها یک ایستگاه (مراغه) در دهه آخر دوره آماری (یعنی ۲۰۱۵-۲۰۰۶) رخ داده است.

واژه‌های کلیدی: آزمون من-کندال دنباله‌ای، بارش، تحلیل روند، حوضه دریاچه ارومیه

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: fh.ferdosi71@yahoo.com

مقدمه

یکی از ویژگی‌های ذاتی چرخه اتمسفری، نوسانات در مقدار متغیرهای هواشناسی هر نقطه از زمین است. تغییر رژیم بارش، علاوه بر اثرات قابل توجه زیست‌محیطی، از طریق تغییر در کمیت و کیفیت منابع آب، تأثیر غیر قابل انکاری در اقتصاد جامعه دارد. از این رو، تحلیل رژیم بارش و بررسی نوسانات احتمالی و تاریخ تغییر ناگهانی آن به لحاظ زیست‌محیطی - اقتصادی از اهمیت شایان توجهی برخوردار است (۶). این امر به ویژه در تأمین و توزیع آب مورد نیاز بخش‌های مختلف جامعه و اتخاذ تدابیر صحیح مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب نواحی خشک و نیمه‌خشک حیاتی است. به منظور تعیین روند داده‌های هواشناسی روش‌های متعددی وجود دارد. این روش‌ها در دو دسته پارامتری و ناپارامتری دسته‌بندی می‌شوند. از روش‌های پارامتری می‌توان به استفاده از برازش خط روند به داده‌های مشاهداتی (رگرسیون خطی) اشاره کرد. در این روش شیب خط روند با روش حداقل مربعات تخمین زده می‌شود و معنی‌داری آن مورد آزمون قرار می‌گیرد. در روش‌های ناپارامتری که بسیار پرکاربرد نیز هستند می‌توان به روش من-کندال (MK) اشاره کرد. اساس روش‌های ناپارامتری بر رتبه داده‌ها به جای مقدار داده‌ها استوار است. علاوه بر روش MK که تاکنون چندین بار نیز اصلاح شده است، می‌توان به روش‌های اسپیرمن و تخمین گر سن اشاره کرد. افزون بر این، روش من-کندال دنباله‌ای (SMK) برای آزمون روند، تشخیص تاریخ تغییر و معنی‌داری روند قابل استفاده است. در این روش که در این مقاله نیز از آن استفاده شده است، دو منحنی به صورت پیشرو و پسرو که با $u(t_i)$ و $u'(t_i)$ نشان داده می‌شوند، رسم می‌شوند (۲۳). مطالعات مربوط به نوسانات رژیم بارش، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران ایران و جهان بوده است که در ادامه به برخی از مهم‌ترین آنها اشاره می‌شود. افضل و همکاران (۹) با استفاده از دو روش تجزیه و تحلیل آماری CUSUM و SMK، به بررسی روند تغییرات ناگهانی بارش روزانه در ۲۸ ایستگاه اسکاتلند پرداختند. نتایج نشان داد که تاریخ تغییر ناگهانی در

بسیاری از ایستگاه‌های باران‌سنجی، بین سال‌های ۱۹۷۸-۱۹۸۵ بوده در حالی که در ایستگاه‌های واقع در غرب اسکاتلند، تاریخ دقیق تغییر، متعلق به سال ۱۹۸۰ بود است. همچنین، برخی از ایستگاه‌های واقع در شرق اسکاتلند، دارای بیش از یک تاریخ تغییر ناگهانی روند بوده‌اند. شیفته صومعه و همکاران (۲۰) با استفاده از آزمون‌های MK و SMK روند مکانی، زمانی و تعیین تاریخ تغییر بارش در ایران را با توجه به اطلاعات ۲۸ ایستگاه هم‌دید در دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۶۷ بررسی کردند. نتایج نشان داد که گرچه در طول دوره آماری ۴۰ ساله، روند منفی در بارش سالانه ۲۲ ایستگاه حاکم بود ولی این روند منفی، فقط برای سه ایستگاه در سطح پنج درصد، معنی‌دار بوده است. همچنین، تاریخ تغییر میزان بارش سالانه، در ایستگاه‌های خوی، ارومیه و تبریز به ترتیب، در سال‌های ۱۹۸۲، ۱۹۹۴ و ۱۹۸۱ بوده است. مامور رشید و همکاران (۱۴)، روند بارش ۱۳ ایستگاه حوضه اونکاپارینکا در جنوب استرالیا را با روش نسبتاً جدیدی که ترکیبی از موجک پیوسته و آزمون SMK است در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۰ بررسی کردند. نتایج نشان داد که بارش‌های سالانه در یک ایستگاه روند کاهشی و در چهار ایستگاه، روند افزایشی داشته است. باری و همکاران (۱۰) به تحلیل روند بارش (سالانه و فصلی) در شمال بنگلادش در دوره آماری ۲۰۱۳-۱۹۶۴ پرداختند. ایشان از روش SMK، برای شناسایی تاریخ تغییر روند بارش استفاده کردند. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه، باران‌های موسمی دارای روند کاهشی بود و تنها در ایستگاه رانگپور، روند افزایشی در باران‌های موسمی (به میزان ۲/۰۲ میلی‌متر در سال)، مشاهده شد. تائوتائو و همکاران (۲۴) روند بارش فصلی و سالانه را در ۴۹ ایستگاه هواشناسی در استان لیائونینگ چین در دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۶۰ تحلیل کردند. نتایج نشان داد که ۹۶ درصد ایستگاه‌ها در طول دوره آماری ۴۷ ساله، دارای روند کاهشی بارش سالانه بوده‌اند. مراپته و همکاران (۱۵) به تحلیل روند بارش و تغییرات زمانی آن در شارجه امارات متحده عربی با استفاده از داده‌های بارش‌های سالانه ۸۱ سال در دوره آماری

خشکسالی‌ها و تمایل سال‌های نرمال به خشکی است. بزرگ‌ترین خشکسالی مربوط به بازه زمانی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ با مدت دوام ۱۶ ماه و حداکثر شدت مشاهده شده ۲/۵۷- است. شمس و موسوی بایگی (۴) به بررسی نقطه شکست و روند تغییرات دامنه شبانه‌روزی دمای هوای شهر مشهد در دوره آماری (۲۰۱۰-۱۹۵۱) پرداختند. نتایج نشان داد که تغییرات شبانه‌روزی دمای هوای سالانه، روند کاهشی داشته است. نقطه شکست (تغییر ناگهانی) در این سری‌های زمانی نیز همانند سری‌های فصلی و سالانه در حوالی سال ۱۹۸۵ رخ داده است. انصاری و همکاران (۱) به بررسی روند تغییرات دما، بارش و دبی با استفاده از آزمون MK و تعیین نقاط جهش با استفاده از آزمون SMK در حوضه آبخیز رودخانه کاجو در استان سیستان و بلوچستان در یک دوره آماری ۲۰ ساله پرداختند. نتایج نشان داد که بارش و دبی جریان دارای روند نزولی بود ولی دمای هوا دارای روندی صعودی است. عرفانیان و بابایی (۵) به تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع و بارندگی پنج ایستگاه هم‌دید حوضه دریاچه ارومیه در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۶ پرداختند. نتایج نشان داد که براساس آزمون SMK در سری بارندگی، ایستگاه‌های خوی و تبریز در سال ۱۹۸۳ دارای نقطه جهش با روند نزولی هستند که این روند در ایستگاه خوی معنی‌دار است. همچنین، نقطه جهش در هیچ‌یک از نمودارهای تبخیر و تعرق معنی‌دار نیست.

هدف این مطالعه، یافتن تاریخ تغییر ناگهانی (در صورت وجود) و آزمون معنی‌داری روند بارش‌های سالانه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه (در سطح پنج درصد) با استفاده از آزمون SMK است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال‌غرب ایران است. مساحت این حوضه، حدود ۵۷۰۰۰ کیلومتر مربع است. تعداد ۲۱ ایستگاه که ۹ ایستگاه آن از استان آذربایجان شرقی، ۱۱ ایستگاه از استان آذربایجان غربی و ۱

(۱۴-۱۹۳۴) پرداختند. نتایج نشان داد که بارش سالانه در هر دهه در طول دوره آماری بین ۳ تا ۹/۴ میلی‌متر کاهش داشته است و این روند کاهشی، عمدتاً به دلیل کاهش قابل توجه بارش در فصل زمستان (به‌خصوص در طول دوره ۲۰۱۴-۱۹۷۷) صورت گرفته است. اخیراً صالحی باویل و همکاران (۱۷) به بررسی تغییرات فراوانی بارش روزانه در ۶۰ ایستگاه حوضه دریاچه ارومیه در دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۸۱ پرداختند. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها روند بارش کاهشی بوده و تاریخ تغییر ناگهانی در سال‌های ۱۹۹۶ و ۱۹۹۹، هم‌زمان با افت شدید سطح دریاچه رخ داده است. در ایران نیز مطالعات متعددی در زمینه بررسی روند بارش انجام شده است. در زمینه تحلیل نوسانات بارش در مناطق مختلف با استفاده از آزمون MK، مطالعات زیادی مانند خلیلی و بذرافشان (۱۳)، مدرس و داسیلوا (۱۶)، سهرابی و همکاران (۲۲)، شهید (۱۹) و ... انجام شده است. یکی از معایب آزمون MK، تغییر نتایج با اثر تغییر اندازه نمونه است. به بیان دیگر، برای یک دوره آماری ۵۰ ساله (مثلاً ۲۰۰۰-۱۹۵۰) روند بارش ممکن است افزایشی باشد ولی همان ایستگاه در دوره آماری ۶۰ ساله (مثلاً ۲۰۱۰-۱۹۵۰) روند بارش کاهشی نشان دهد. از این‌رو برای در نظر گرفتن تأثیر اندازه نمونه و مطالعه در مورد تاریخ تغییر روند سری‌های زمانی، از آزمون SMK استفاده شده است که مطالعات کمی در این زمینه در ایران انجام شده است. زارع ابیانه و همکاران (۳) به بررسی روند تغییرات هم‌زمان بارش و تبخیر و تعرق ۱۰ ایستگاه هم‌دید در نیمه جنوبی کشور، در دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۶۱ پرداختند. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها، روند بارش افزایشی و روند تبخیر و تعرق کاهشی بود. همچنین، نمودارهای روند من-کندال دنباله‌ای در تمامی ایستگاه‌ها شروع تغییرات ناگهانی را در حوالی سال ۱۹۶۳ نشان دادند. بهرامی و همکاران (۲) به تحلیل منحنی‌های شدت، مدت، فراوانی خشکسالی و روند تغییر بارش در شیراز با استفاده از آزمون‌های MK و SMK در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۳۶۳ پرداختند. نتایج بیانگر افزایش شدت، مدت دوام و فراوانی

افزون بر این، از این آزمون برای شناسایی و تعیین نقطه شروع روند (در یک جهت خاص) در سری‌های زمانی استفاده به آمد. با آزمون SMK نه تنها وجود روند (در سطح معنی‌داری α) برای سری مورد آزمون مشخص می‌شود، بلکه نقطه شکست (به عبارت بهتر، تاریخ دقیق تغییر ناگهانی در سری مورد نظر) نیز مشخص می‌شود. در این آزمون، فرض صفر (H_0) بیانگر عدم وجود روند و فرض مخالف صفر (H_1) بیانگر وجود روند معنی‌دار در سری زمانی مورد آزمون است. نحوه آزمون SMK به صورت گام به گام به شرح زیر انجام شد (۱۱). در گام اول، مقادیر X_i ($i=1,2,3,\dots,n$) با مقادیر X_j ($j=1,2,3,\dots,i-1$) مقایسه شد و در هر مقایسه، تعداد مواردی که در آن $X_i > X_j$ بود، شمارش و با n_i نمایش داده شد. سپس مقادیر t_i (به ازای i از یک تا n) مطابق رابطه زیر محاسبه شد:

$$t_i = \sum_{j=1}^n n_j \quad [1]$$

در گام دوم، میانگین (امید ریاضی) و واریانس t_i به شرح زیر محاسبه شد:

$$E(t_i) = \frac{i(i-1)}{4} \quad [2]$$

$$\text{Var}(t_i) = \frac{i(i-1)(i+5)}{72} \quad [3]$$

بنابراین، به ازای تعداد مشاهدات (n)، امید ریاضی و واریانس هر یک از مقادیر t_i به دست آمد.

در گام سوم، مقادیر دنباله‌ای پارامتر $u(t_i)$ (منحنی پیش‌رونده) مطابق فرمول زیر محاسبه شد:

$$u(t_i) = \frac{t_i - E(t_i)}{\sqrt{\text{Var}(t_i)}} \quad [4]$$

به طور مشابه، مقادیر پارامتر دنباله‌ای $u'(t_i)$ (منحنی پس‌رونده)، این بار، از انتها به ابتدای سری زمانی محاسبه شد، به طوری که در این مرحله، مقادیر اصلی سری‌های زمانی X_i از انتها به ابتدا مرتب شد و تمامی محاسبات مذکور، برای منحنی پیش‌رونده، در مورد این منحنی نیز تکرار شد. آنگاه منحنی‌های $u(t_i)$ و $u'(t_i)$ تابعی از زمان (سال) در یک دیاگرام رسم شد و تاریخ تغییر در روند سری مورد مطالعه، از روی دیاگرام

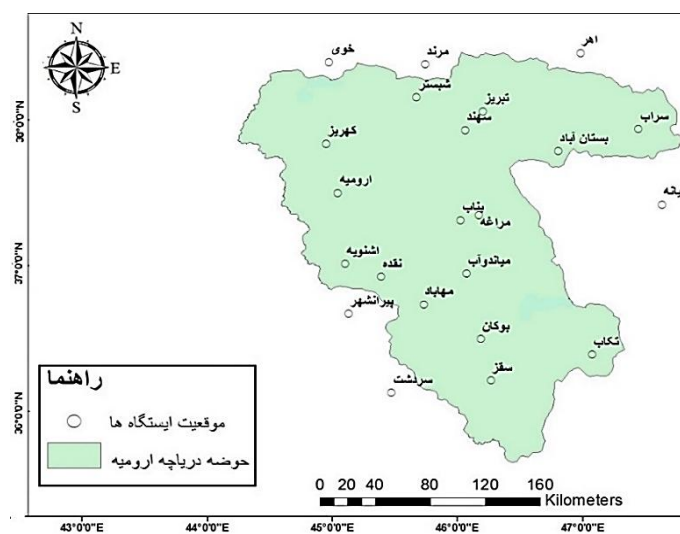
ایستگاه (سقز) از استان کردستان بود، برای مطالعه حاضر انتخاب شد. برخی از ایستگاه‌ها (مانند خوی، اهر، مرند، میانه، سردشت و پیرانشهر) در حاشیه بیرونی حوضه قرار داشته و به دلیل اهمیت زیاد اطلاعات آنها، در مطالعه گنجانده شدند. در این حوضه ثابت شده است که مقدار بارندگی به‌طور میانگین حدود ۹/۲ درصد کاهش یافته است و مقدار متوسط دمای حداکثر حدود ۰/۸ درجه سانتی‌گراد در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۴ افزایش یافته است (۱۲). یکی از معضلات مهم منطقه مذکور کاهش تراز آب دریاچه ارومیه به‌طور پیاپی در سال‌های اخیر است که به نظر می‌رسد علاوه بر ساخت سدهای متعدد و گسترش باغات و کشاورزی، تغییر اقلیم نیز در آن مؤثر است. شادکام و همکاران (۱۸) گزارش داده‌اند که دبی جریان رودخانه‌های منتهی به دریاچه بیش از ۴۰ درصد کاهش یافته است. نامبردگان توصیه کرده‌اند که طی یک طرح ملی مقدار آب آبیاری برای کشاورزی کاهش یابد تا توسعه پایدار در منطقه پا برجا باشد. جدول (۱) مشخصات جغرافیایی این ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. در این مطالعه، داده‌های بارش سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۶ از اداره کل هواشناسی استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان اخذ شد. بازسازی داده‌های گمشده با استفاده از روش رگرسیون خطی ساده (با توجه به اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه همسایه) و آزمون همگن بودن داده‌ها با استفاده از روش ران تست انجام شد و از همگن بودن داده‌ها در طول دوره آماری اطمینان حاصل شد. درصد داده‌های گمشده برای هر ایستگاه محاسبه و میانگین آن معادل ۲/۵۱ درصد بود که با روش رگرسیون خطی ساده و استفاده از داده‌های ایستگاه همسایه بازسازی به عمل آمد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب را در حوضه دریاچه ارومیه نشان می‌دهد.

آزمون من - کندال دنباله‌ای (SMK)

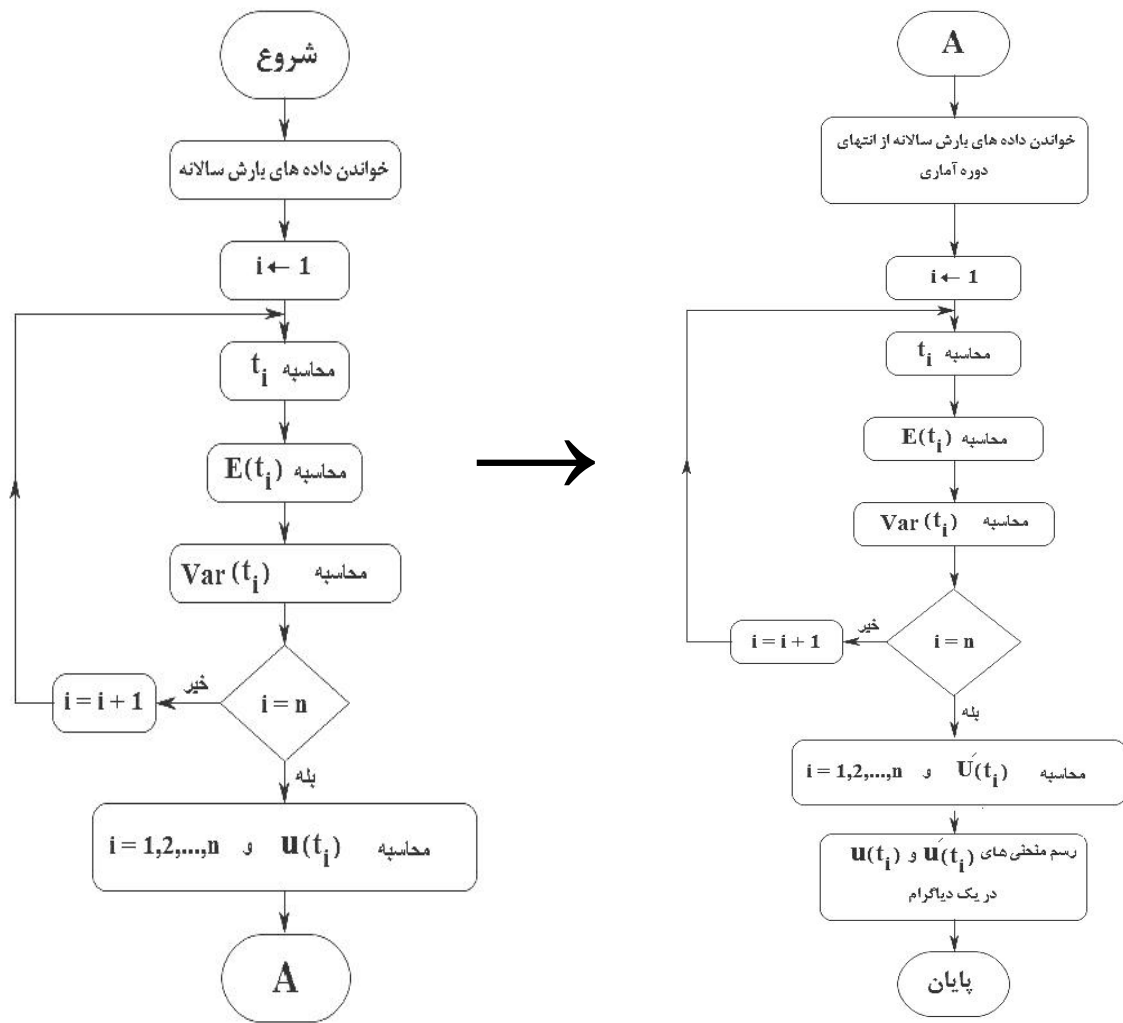
در این مطالعه، از آزمون من-کندال دنباله‌ای (۲۱) برای تعیین تاریخ تغییر جهت روند سری‌های زمانی بارش استفاده شد.

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

داده گمشده (%)	متوسط بارش سالانه (mm)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	ایستگاه	استان
۰	۲۵۰/۲۶	۴۶° ۱۵' ۰۰"	۳۸° ۰۵' ۰۰"	۱۴۵۵	تبریز	آذربایجان شرقی
۰	۲۹۰/۵۱	۴۷° ۰۴' ۰۵"	۳۸° ۲۸' ۲۰"	۱۳۶۰	اهر	
۳/۳	۲۶۸/۸۹	۴۶° ۵۲' ۰۰"	۳۷° ۴۸' ۰۰"	۱۷۴۰	بستان‌آباد	
۰	۳۰۵/۰۲	۴۵° ۴۶' ۳۱"	۳۸° ۲۴' ۳۱"	۱۳۳۴	مرند	
۰	۲۸۶/۵۷	۴۶° ۰۳' ۱۹"	۳۷° ۲۰' ۱۵"	۱۲۹۰	بناب	
۰	۲۹۳/۵۲	۴۶° ۱۲' ۱۸"	۳۷° ۲۲' ۱۸"	۱۴۷۸	مراغه	
۶/۶	۲۲۲/۷۶	۴۵° ۴۲' ۰۰"	۳۸° ۱۱' ۰۰"	۱۳۸۰	شبستر	
۳/۳	۲۲۵/۴۸	۴۶° ۰۶' ۰۰"	۳۷° ۵۷' ۱۴"	۱۶۰۰	سهند	
۳/۳	۲۴۲/۰۶	۴۷° ۳۲' ۰۸"	۳۷° ۵۶' ۱۹"	۱۶۵۰	سراب	
۰	۶۶۸/۴۴	۴۵° ۰۸' ۰۰"	۳۶° ۴۲' ۰۰"	۱۵۰۲	پیرانشهر	
۳/۳	۸۲۵/۰۵	۴۵° ۲۸' ۴۸"	۳۶° ۰۹' ۱۷"	۱۴۸۰	سردشت	
۰	۳۱۲/۷۹	۴۵° ۰۲' ۴۸"	۳۷° ۳۱' ۴۷"	۱۳۳۲	ارومیه	
۰	۲۶۷/۹۳	۴۴° ۵۸' ۲۵"	۳۸° ۲۵' ۳۹"	۱۱۴۸	خوی	
۶/۶	۴۳۶/۲۸	۴۵° ۰۶' ۱۵"	۳۷° ۰۲' ۲۹"	۱۴۱۱	اشنویه	
۰	۳۹۸/۷۱	۴۵° ۴۴' ۴۰"	۳۶° ۴۵' ۴۱"	۱۳۲۰	مهاباد	
۶/۶	۳۶۷/۲۱	۴۴° ۵۷' ۰۰"	۳۷° ۵۲' ۰۰"	۱۳۳۶	کهریز	
۳/۳	۲۷۹/۹۱	۴۶° ۰۶' ۰۰"	۳۶° ۵۷' ۰۵"	۱۳۱۴	میان‌دوآب	
۳/۳	۳۳۲/۱۲	۴۵° ۲۴' ۰۳"	۳۶° ۵۷' ۰۵"	۱۲۹۹	نقده	
۰	۳۷۰/۷۱	۴۶° ۱۲' ۳۱"	۳۶° ۳۱' ۱۳"	۱۳۵۰	بوکان	
۶/۶	۳۳۵/۳۱	۴۷° ۰۶' ۲۳"	۳۶° ۲۴' ۰۰"	۱۷۶۵	تکاب	کردستان
۶/۶	۴۵۴/۴۷	۴۶° ۱۷' ۰۰"	۳۶° ۱۴' ۰۰"	۱۴۷۶	سقز	
۲/۵۱	۳۵۴	-	-	-	-	میانگین



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های منتخب در مطالعه حاضر



شکل ۲. طرحواره مراحل محاسبه مقادیر $u(t_i)$ و $u'(t_i)$ در روش من-کنندال دنباله‌ای (SMK)

معنی داری دوباره به داخل محدوده برنگردد، روند معنی دار تلقی می‌شود. انحراف منحنی به طرف مقادیر مثبت، نشان‌دهنده روند مثبت و انحراف به طرف مقادیر منفی، بیانگر روند منفی است.

۳- بدون تغییر: اگر دو منحنی ذکر شده در داخل محدوده بحرانی، همدیگر را در یک یا چند نقطه قطع کنند، ولی از محدوده بحرانی خارج نشوند و یا هیچ نقطه تلاقی نداشته باشند، در این صورت، هیچ‌گونه تغییر ناگهانی و یا روند معنی دار در سری زمانی وجود ندارد.

روش SMK برای همه ایستگاه‌های مورد مطالعه، به‌طور جداگانه، اعمال شد و منحنی‌های $u(t_i)$ و $u'(t_i)$ و بازه

مشخص شد. نحوه تشخیص تاریخ تغییر در ادامه شرح داده شده است. شکل (۲)، طرحواره محاسبه مقادیر $u(t_i)$ و $u'(t_i)$ را با روش SMK نشان می‌دهد. پس از رسم منحنی‌های $u(t_i)$ و $u'(t_i)$ در یک دستگاه مختصات دکارتی می‌توان سه نوع متمایز از تغییرات بارش را به شرح زیر تشخیص داد:

۱- تغییرات ناگهانی: اگر محل تقاطع دو منحنی $u(t_i)$ و $u'(t_i)$ در داخل محدوده بحرانی $\pm 1/96$ (سطح معنی داری پنج درصد) باشد و منحنی $u(t_i)$ از این محدوده خارج و دوباره به داخل آن برگردد، تغییرات از نوع ناگهانی خواهد بود.

۲- روند: اگر منحنی $u(t_i)$ پس از خروج از محدوده

بحرانی در سطح پنج درصد رسم شد. برای تشخیص شروع و پایان دوره افزایشی یا کاهش‌ی بارش از مقادیر آماره‌های پیش‌رو و پس‌رو به‌طور هم‌زمان استفاده شد، به‌طوری‌که محل تقاطع منحنی‌های $u(t_i)$ و $u'(t_i)$ ، به‌عنوان شروع (یا پایان دوره) در نظر گرفته شد، ولی برای تشخیص نوع روند (افزایشی یا کاهش‌ی) و شدت روند، از آماره پیش‌رو (یا منحنی $u(t_i)$) استفاده شد. همچنین، جهت نمایش آغاز احتمالی تغییر ناگهانی در سری‌های زمانی مورد مطالعه، دوره ۳۰ ساله به سه زیر دوره ۱۰ ساله ۱۹۹۵-۱۹۸۶، ۲۰۰۵-۱۹۹۶ و ۲۰۱۵-۲۰۰۶ تقسیم و زمان تغییرات بر اساس این سه زیر دوره مشخص شد.

نتایج و بحث

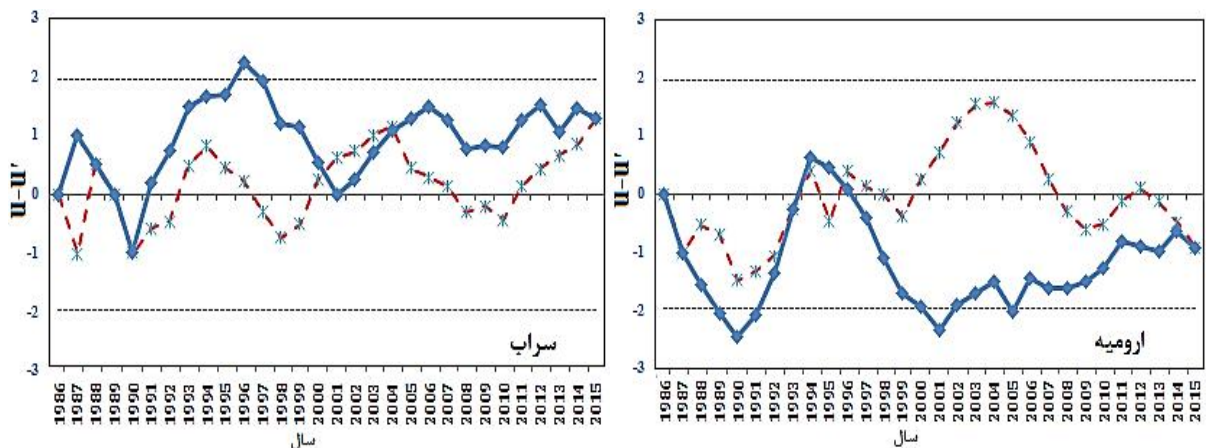
جدول (۲) نتایج حاصل از اعمال روش SMK را (به‌عنوان نمونه برای ایستگاه ارومیه) نشان می‌دهد. قابل ذکر است که جدول‌های مشابهی برای همه ایستگاه‌های مورد مطالعه تهیه شده، اما برای رعایت اختصار آورده نشده است. شکل (۳)، منحنی‌های $u(t_i)$ و $u'(t_i)$ را برای دو ایستگاه ارومیه و سراب (به‌عنوان نمونه) نشان می‌دهد. قابل ذکر است که شکل منحنی‌ها در ایستگاه‌های ارومیه، بوکان، بناب، نقده، کهریز، اشنویه، تکاب، مراغه، میاندوآب، سراب، سردشت و سقز تقریباً مشابه هم است زیرا، خطوط $u(t_i)$ و $u'(t_i)$ در داخل محدوده $\pm 1/96$ همدیگر را قطع کرده‌اند. در این شکل به‌عنوان نمونه نمودار نظیر ایستگاه‌های ارومیه و سراب نشان داده شده است. از طرفی، منحنی $u(t_i)$ از محدوده $\pm 1/96$ عبور کرده و دوباره به داخل محدوده بازگشته است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در این ایستگاه‌ها، تغییر ناگهانی بارش سالانه در محل برخورد دو منحنی وجود دارد. در ایستگاه‌های سراب و سردشت منحنی $u(t_i)$ از محدوده فوقانی $1/96$ عبور کرده است، بنابراین، روند مثبت (معنی‌دار) در سری داده‌ها موجود است که صحت این امر (به‌عنوان نمونه) با مشاهده نمودار داده‌های بارش سالانه ایستگاه سراب در شکل (۴) قابل تأیید است. همان‌گونه که در شکل (۴) دیده می‌شود، روند تغییرات

بارش سالانه سراب رو به بالا است. این در حالی است که در سایر ایستگاه‌های مذکور منحنی $u(t_i)$ از محدوده تحتانی مرز $1/96$ - عبور کرده است و روند منفی معنی‌دار در سری داده‌ها تأیید می‌شود. صحت این نتیجه (به‌عنوان نمونه) برای داده‌های بارش سالانه ایستگاه ارومیه در شکل ۵ قابل مشاهده است. از شکل (۵) می‌توان مشاهده کرد که روند تغییرات بارش سالانه ارومیه در دوره زمانی مورد مطالعه رو به پایین است. قابل ذکر است که در ایستگاه سقز منحنی $u(t_i)$ از محدوده فوقانی $1/96$ عبور کرده اما چون پس از بازگشت به داخل محدوده دارای سیر نزولی بوده است، بنابراین، داده‌های بارش سالانه این ایستگاه دارای روند منفی معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند. همچنین، در ایستگاه‌های تبریز، اهر، مرند، شبستر، سهند، پیرانشهر، خوی و مهاباد، به‌دلیل اینکه منحنی‌های $u(t_i)$ و $u'(t_i)$ هیچ برخوردی با هم ندارند و یا به‌طور کلی، منحنی‌های $u(t_i)$ از محدوده $\pm 1/96$ خارج نشده‌اند، بنابراین، بارش سالانه ایستگاه‌های مذکور در دوره آماری ۳۰ ساله مورد بررسی روند معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند. همچنین، در ایستگاه بستان‌آباد، چون منحنی $u(t_i)$ از حد فوقانی محدوده $\pm 1/96$ خارج شده و دوباره به داخل محدوده بازنگشته است، بنابراین، بارش سالانه آن دارای روند مثبت معنی‌دار (در سطح پنج درصد) است. صحت این ادعا، در شکل (۶) (نمودار داده‌های بارش سالانه ایستگاه بستان‌آباد) قابل مشاهده است.

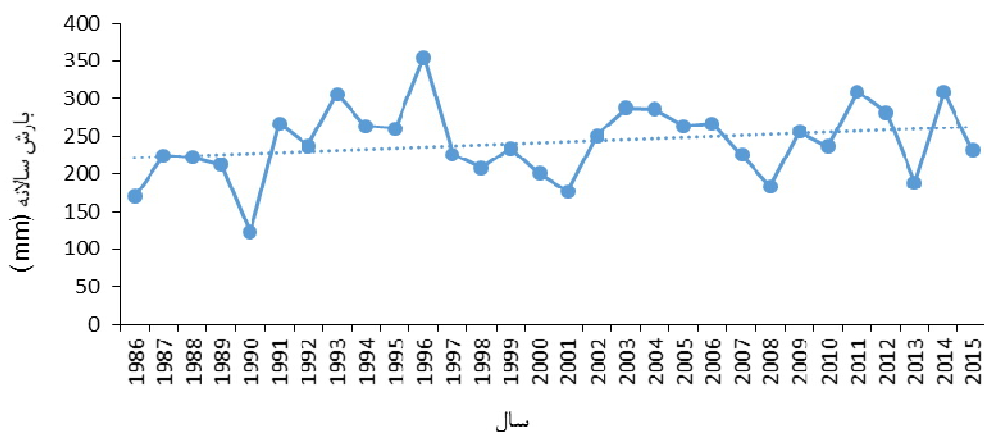
میرعباسی و دین‌پژوه (۷) در یک تحلیل مشابه با استفاده از روش MK و با سه ویرایش مختلف، روند تغییرات بارش سالانه ۱۶ ایستگاه استان‌های گیلان، اردبیل، آذربایجان‌های شرقی و غربی، زنجان، کردستان، همدان و کرمانشاه در دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۵۵ را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که در مقیاس سالانه بارش‌های شمال‌غرب ایران در اغلب ایستگاه‌ها (به‌جز آستارا، رشت و مهاباد) دارای روند نزولی هستند. ناظری تهرودی و همکاران (۸) نیز روند تغییرات ایستگاهی و منطقه‌ای بارش سالانه ۳۱ استان ایران را در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ مطالعه کرده و نشان دادند که در سه استان آذربایجان شرقی،

جدول ۲. نمونه‌ای از نتایج آزمون SMK برای میانگین بارش سالانه ایستگاه ارومیه در دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۶

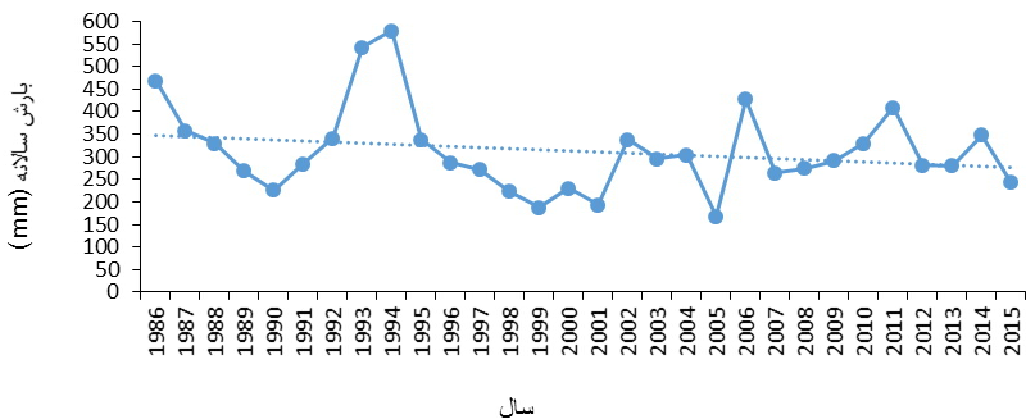
$u'(t_i)$	$Var'(t_i)$	$E'(t_i)$	فراوانی تجمعی t'_i	t'_i	$u(t_i)$	$Var(t_i)$	$E(t_i)$	فراوانی تجمعی t_i	t_i	بارش سالانه (mm)	سال	ردیف (n_i)
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۶۸/۰۳	۱۹۸۶	۱
-۱	۰/۲۵	۰/۵	۱	۱	-۱	۰/۲۵	۰/۵	۰	۰	۳۵۷/۸۴	۱۹۸۷	۲
-۰/۵۲۲	۰/۹۱۶۷	۱/۵	۲	۱	-۱/۵۶۷	۰/۹۱۶۷	۱/۵	۰	۰	۳۲۹/۵۳	۱۹۸۸	۳
-۰/۶۷۹	۲/۱۶۶۷	۳	۴	۲	-۲/۰۳۸	۲/۱۶۶۷	۳	۰	۰	۲۶۸/۴۸	۱۹۸۹	۴
-۱/۴۷	۴/۱۶۶۷	۵	۸	۴	-۲/۴۴۹	۴/۱۶۶۷	۵	۰	۰	۲۲۶/۳۱	۱۹۹۰	۵
-۱/۳۱۵	۷/۰۸۳۳	۷/۵	۱۱	۳	-۲/۰۶۷	۷/۰۸۳۳	۷/۵	۲	۲	۲۸۴/۰۸	۱۹۹۱	۶
-۱/۰۵۱	۱۱/۰۸۳	۱۰/۵	۱۴	۳	-۱/۳۵۲	۱۱/۰۸۳	۱۰/۵	۶	۴	۳۴۰/۷۸	۱۹۹۲	۷
-۰/۲۴۷	۱۶/۳۳۳	۱۴	۱۵	۱	-۰/۲۴۷	۱۶/۳۳۳	۱۴	۱۳	۷	۵۴۲/۴۴	۱۹۹۳	۸
۰/۴۱۷	۲۳	۱۸	۱۶	۱	۰/۶۲۵۵	۲۳	۱۸	۲۱	۸	۵۷۹/۶۱	۱۹۹۴	۹
-۰/۴۴۷	۳۱/۲۵	۲۲/۵	۲۵	۹	۰/۴۴۷۲	۳۱/۲۵	۲۲/۵	۲۵	۴	۳۳۷/۵۵	۱۹۹۵	۱۰
۰/۳۸۹۲	۴۱/۲۵	۲۷/۵	۲۵	۰	۰/۰۷۷۸	۴۱/۲۵	۲۷/۵	۲۸	۳	۲۸۷/۱۵	۱۹۹۶	۱۱
۰/۱۳۷۱	۵۳/۱۶۷	۳۳	۳۲	۷	-۰/۴۱۱	۵۳/۱۶۷	۳۳	۳۰	۲	۲۷۱/۲۳	۱۹۹۷	۱۲
۰	۶۷/۱۶۷	۳۹	۳۹	۷	-۱/۰۹۸	۶۷/۱۶۷	۳۹	۳۰	۰	۲۲۳/۵۶	۱۹۹۸	۱۳
-۰/۳۸۳	۸۳/۴۱۷	۴۵/۵	۴۹	۱۰	-۱/۶۹۷	۸۳/۴۱۷	۴۵/۵	۳۰	۰	۱۸۸/۲۱	۱۹۹۹	۱۴
۰/۲۴۷۴	۱۰۲/۰۸	۵۲/۵	۵۰	۱	-۱/۹۳	۱۰۲/۰۸	۵۲/۵	۳۳	۳	۲۳۰/۶۲	۲۰۰۰	۱۵
۰/۷۲۰۴	۱۲۳/۳۳	۶۰	۵۲	۲	-۲/۳۴۱	۱۲۳/۳۳	۶۰	۳۴	۱	۱۹۴/۰۹	۲۰۰۱	۱۶
۱/۲۳۵۸	۱۴۷/۳۳	۶۸	۵۳	۱	-۱/۸۹۵	۱۴۷/۳۳	۶۸	۴۵	۱۱	۳۳۸/۲۲	۲۰۰۲	۱۷
۱/۵۵۳	۱۷۴/۲۵	۷۶/۵	۵۶	۳	-۱/۷۰۴	۱۷۴/۲۵	۷۶/۵	۵۴	۹	۲۹۶	۲۰۰۳	۱۸
۱/۵۷۴۴	۲۰۴/۲۵	۸۵/۵	۶۳	۷	-۱/۵۰۴	۲۰۴/۲۵	۸۵/۵	۶۴	۱۰	۳۰۴/۵	۲۰۰۴	۱۹
۱/۳۶۲۷	۲۳۷/۵	۹۵	۷۴	۱۱	-۲/۰۱۲	۲۳۷/۵	۹۵	۶۴	۰	۱۶۷/۲۴	۲۰۰۵	۲۰
۰/۹۰۵۹	۲۷۴/۱۷	۱۰۵	۹۰	۱۶	-۱/۴۴۹	۲۷۴/۱۷	۱۰۵	۸۱	۱۷	۴۲۷/۷۳	۲۰۰۶	۲۱
۰/۲۵۳۸	۳۱۴/۴۲	۱۱۵/۵	۱۱۱	۲۱	-۱/۶۰۷	۳۱۴/۴۲	۱۱۵/۵	۸۷	۶	۲۶۴/۷۸	۲۰۰۷	۲۲
-۰/۲۹۱	۳۵۸/۴۲	۱۲۶/۵	۱۳۲	۲۱	-۱/۶۱۱	۳۵۸/۴۲	۱۲۶/۵	۹۶	۹	۲۷۳/۸۱	۲۰۰۸	۲۳
-۰/۵۹۵	۴۰۶/۳۳	۱۳۸	۱۵۰	۱۸	-۱/۴۸۸	۴۰۶/۳۳	۱۳۸	۱۰۸	۱۲	۲۹۱/۹۹	۲۰۰۹	۲۴
-۰/۵۱۴	۴۵۸/۳۳	۱۵۰	۱۶۱	۱۱	-۱/۲۶۱	۴۵۸/۳۳	۱۵۰	۱۲۳	۱۵	۳۲۹/۳۲	۲۰۱۰	۲۵
-۰/۱۱	۵۱۴/۵۸	۱۶۲/۵	۱۶۵	۴	-۰/۸۱۶	۵۱۴/۵۸	۱۶۲/۵	۱۴۴	۲۱	۴۰۹/۰۳	۲۰۱۱	۲۶
۰/۱۰۴۲	۵۷۵/۲۵	۱۷۵/۵	۱۷۳	۸	-۰/۸۹۶	۵۷۵/۲۵	۱۷۵/۵	۱۵۴	۱۰	۲۸۱/۹۵	۲۰۱۲	۲۷
-۰/۱۱۹	۶۴۰/۵	۱۸۹	۱۹۲	۱۹	-۰/۹۸۸	۶۴۰/۵	۱۸۹	۱۶۴	۱۰	۲۷۹/۵	۲۰۱۳	۲۸
-۰/۴۸۸	۷۱۰/۵	۲۰۳	۲۱۶	۲۴	-۰/۶۳۸	۷۱۰/۵	۲۰۳	۱۸۶	۲۲	۳۴۷/۴۶	۲۰۱۴	۲۹
-۰/۹۱	۷۸۵/۴۲	۲۱۷/۵	۲۴۳	۲۷	-۰/۹۱	۷۸۵/۴۲	۲۱۷/۵	۱۹۲	۶	۲۴۲/۷۳	۲۰۱۵	۳۰
			$\Sigma = 243$					$\Sigma = 192$				



شکل ۳. نمودار تغییرات $u(t_i)$ و $u'(t_i)$ بارش سالانه ایستگاه‌های ارومیه و سراب (به‌عنوان نمونه) در دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۵
توجه: منحنی $u(t_i)$ با خط ممتد و منحنی $u'(t_i)$ با خط چین و محدوده $\pm 1/96$ با نقطه چین نشان داده شده‌اند.



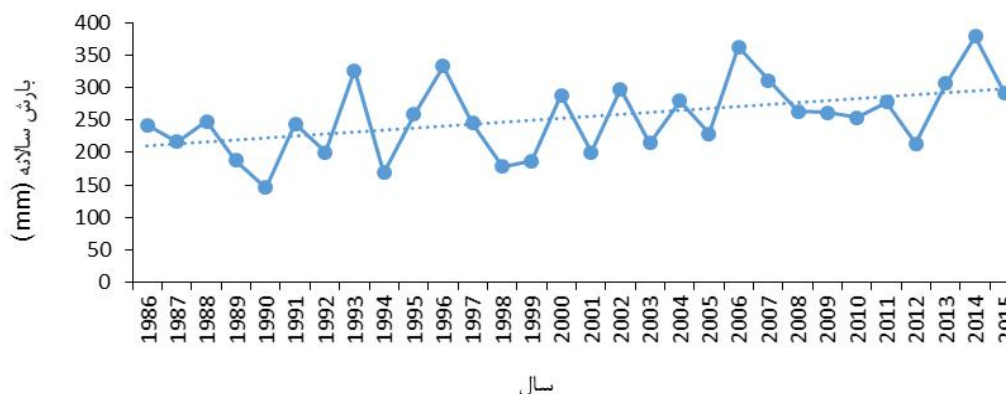
شکل ۴. نمودار تغییرات بارش سالانه ایستگاه سراب در دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۵



شکل ۵. نمودار تغییرات بارش سالانه ایستگاه ارومیه در دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۵

دریاچه ارومیه ۱۰ ایستگاه از ۲۱ ایستگاه استان‌های آذربایجان شرقی، غربی و کردستان روند کاهشی داشتند. به‌عنوان

غربی و کردستان روند کاهشی معنی‌داری (در سطح پنج درصد) وجود دارد. این در حالی است که در مطالعه حاضر در حوضه



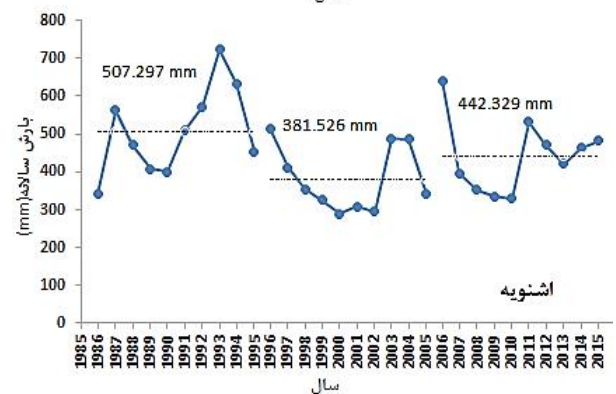
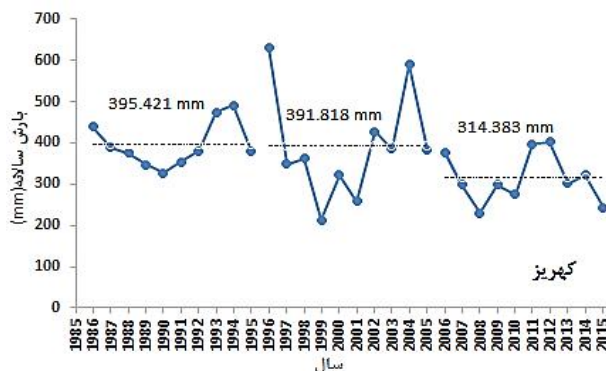
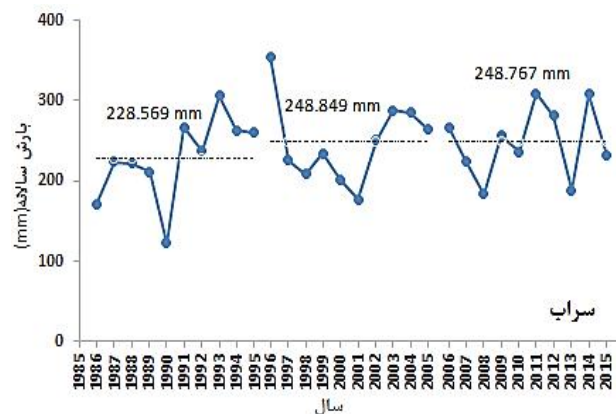
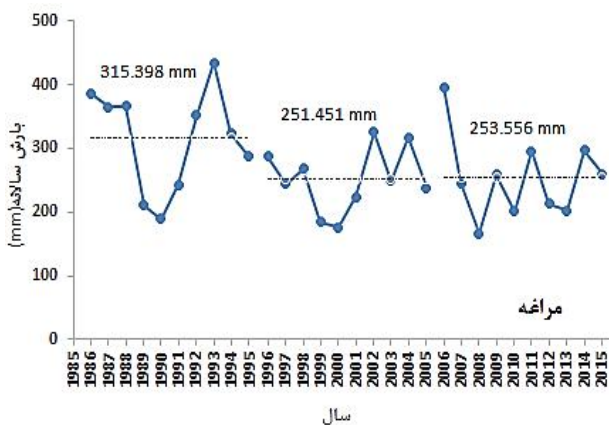
شکل ۶. نمودار تغییرات بارش سالانه ایستگاه بستان‌آباد در دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۵

سری‌های زمانی بارش سالانه در ایستگاه‌های منتخب نشان می‌دهد. نتایج حاصل از محاسبه آماره SMK برای ۲۱ سری زمانی بارش سالانه گویای این است که ۵۷/۱ درصد (۱۲ ایستگاه) ایستگاه‌های مورد مطالعه تغییرات ناگهانی در سری بارش سالانه داشتند. از طرفی، ۱۰ ایستگاه روند کاهشی معنی‌دار در سطح پنج درصد داشتند. سه ایستگاه (سراب، بستان‌آباد و سردشت) روند افزایشی معنی‌دار (در سطح پنج درصد) داشتند. ۳۸/۰۹ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه (هشت ایستگاه) نیز هیچ‌گونه روند معنی‌داری در سطح پنج درصد نداشتند. با توجه به جدول (۳)، از بین ۱۲ ایستگاهی که تغییرات بارش سالانه آن‌ها ناگهانی بوده است، تغییر ناگهانی بارش در هشت ایستگاه (به‌نام‌های بناب، سراب، ارومیه، اشنویه، کهریز، میان‌دوآب، بوکان و سقز) در دهه وسط دوره آماری ۳۰ ساله یعنی ۲۰۰۵-۱۹۹۶، سه ایستگاه (سردشت، نقده و تکاب) در دهه اول ۱۹۹۵-۱۹۸۶ و تنها یک ایستگاه (مراغه) در دهه آخر ۲۰۱۵-۲۰۰۶ رخ داده است. شکل (۷)، میانگین بارش‌های سالانه ۱۲ ایستگاهی که دارای تغییرات ناگهانی در سری بارش سالانه بودند را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مذکور از ۱۲ ایستگاهی که تغییرات ناگهانی در سری بارش سالانه داشتند، در ۱۰ ایستگاه (ارومیه، بوکان، اشنویه، کهریز، نقده، میان‌دوآب، تکاب، مراغه، بناب و سقز) مقدار بارش به سمت پایین و در دو ایستگاه (سراب و سردشت) مقدار بارش به سمت بالا، جهش ناگهانی داشتند.

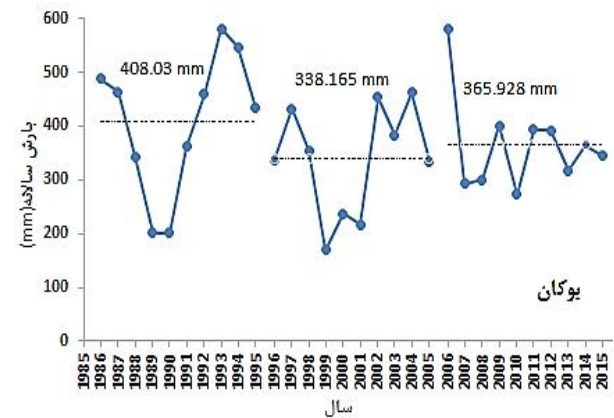
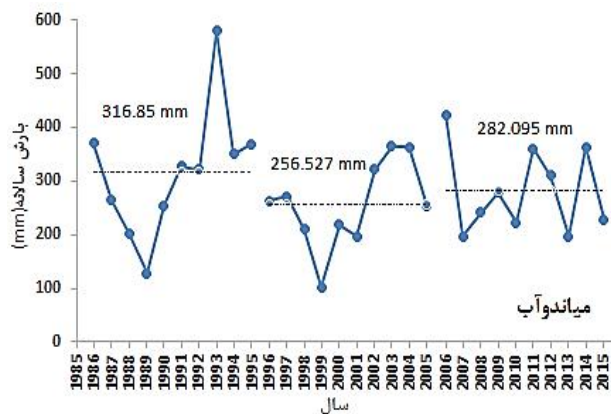
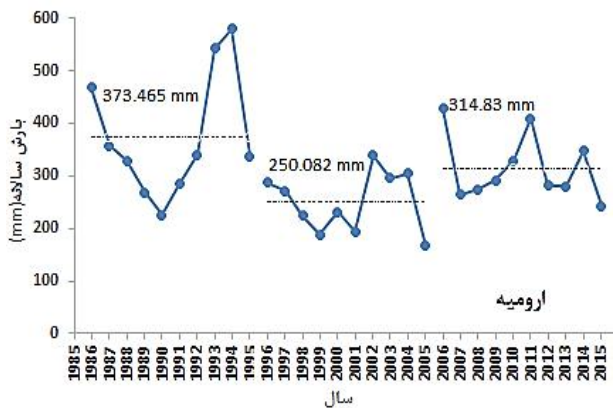
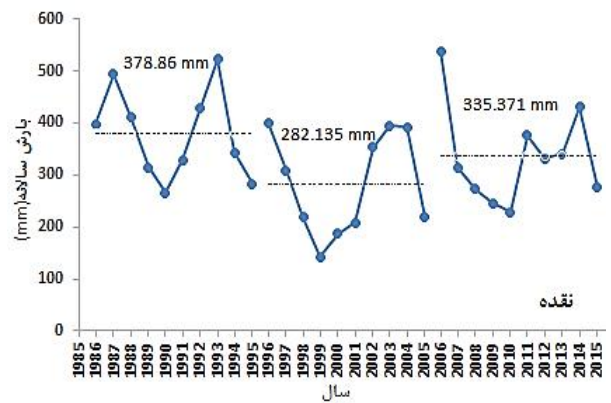
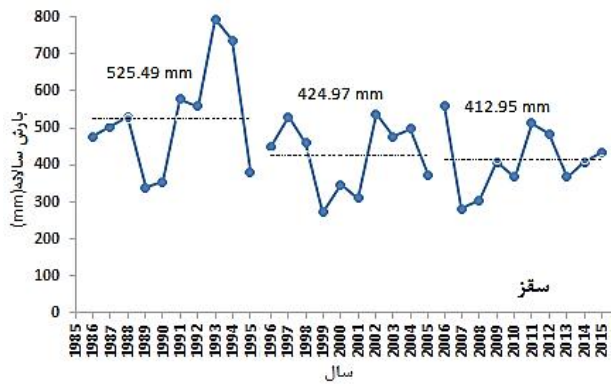
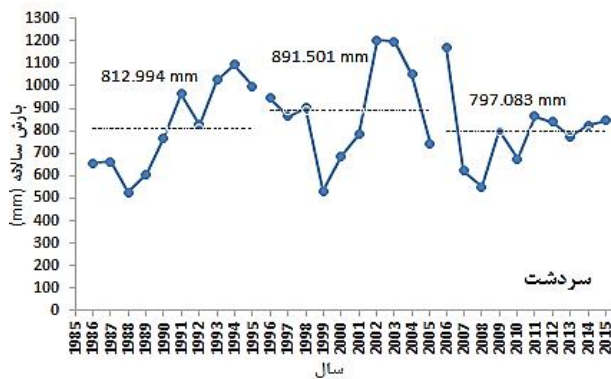
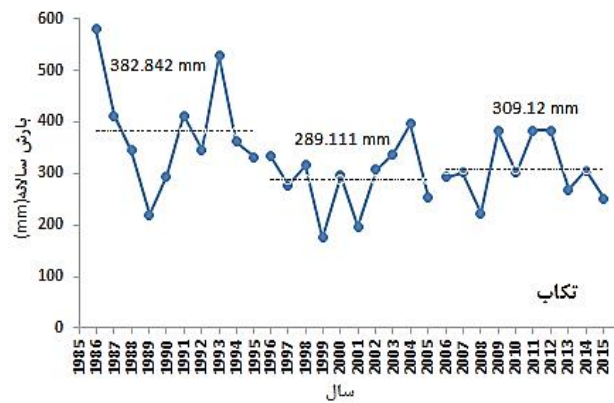
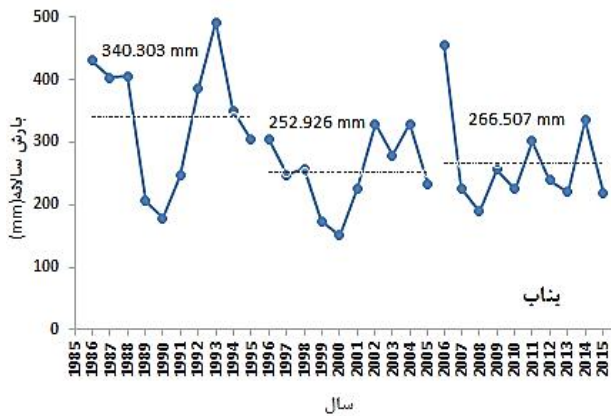
مثال میرعباسی و دین‌پژوه (۷) نشان دادند که در ایستگاه‌های ارومیه، تبریز، اهر و مراغه روند کاهشی معنی‌داری حاکم است، درحالی‌که در مطالعه ما گرچه ایستگاه‌های ارومیه و مراغه روند کاهشی معنی‌دار داشتند ولی ایستگاه‌های تبریز و اهر هیچ‌گونه روند معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) نداشتند. به‌نظر می‌رسد، علت عدم تطابق نتایج در این ایستگاه‌ها، متفاوت بودن دوره آماری انتخابی و یا روش مورد مطالعه است. گرچه طول دوره آماری مورد استفاده از مطالعه میرعباسی و دین‌پژوه (۷) طولانی و معادل با ۵۰ سال (منتهی به سال ۲۰۰۴) است، لیکن نتایج مطالعه فعلی با توجه به داده‌های جدید (منتهی به سال ۲۰۱۵) بوده و در نتیجه اختلاف در نتایج نه‌تنها به‌دلیل متفاوت بودن طول دوره آماری بلکه به‌علت وجود داده‌های متفاوت در برخی سال‌ها نیز است. بهرامی و همکاران (۲) ضمن مطالعه روند تغییرات بارش شیراز در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۳۶۳ نشان دادند که روند بارش سالانه شیراز در بازه‌های ۱۰ ساله منفی است. انصاری و همکاران (۱) نیز ضمن بررسی روند تغییرات بارش در حوضه آبخیز رودخانه کاجو در استان سیستان و بلوچستان در دوره آماری ۲۰ ساله (پس از رسم منحنی‌های $u(t_i)$ و $u'(t_i)$) نتیجه گرفتند که بارش حوضه مذکور دارای روند کاهشی است. این در حالی است که در مطالعه حاضر در حوضه دریاچه ارومیه ۱۰ ایستگاه از ۲۱ ایستگاه روند کاهشی معنی‌دار داشتند. جدول (۳)، نتایج اعمال آزمون SMK را به‌همراه نوع روند (صعودی یا نزولی) و زمان تغییر ناگهانی

جدول ۳. نتایج روش SMK به همراه نوع و تاریخ تغییر ناگهانی در سری‌های بارش سالانه ۱۹۸۶-۲۰۱۵

نام ایستگاه	نوع تغییر	زمان تغییر	نام ایستگاه	نوع تغییر	زمان تغییر
تبریز	بدون روند معنی‌دار	-	ارومیه	روند معنی‌دار کاهشی (تغییر ناگهانی)	۱۹۹۶
اهر	بدون روند معنی‌دار	-	خوی	بدون روند معنی‌دار	-
بستان‌آباد	روند معنی‌دار افزایشی	-	اشنویه	روند معنی‌دار کاهشی (تغییر ناگهانی)	۱۹۹۹
مرند	بدون روند معنی‌دار	-	مهاباد	بدون روند معنی‌دار	-
بناب	روند معنی‌دار کاهشی (تغییر ناگهانی)	۱۹۹۹	کهریز	روند معنی‌دار کاهشی (تغییر ناگهانی)	۱۹۹۶
مراغه	روند معنی‌دار کاهشی (تغییر ناگهانی)	۲۰۰۹	میاندوآب	روند معنی‌دار کاهشی (تغییر ناگهانی)	۲۰۰۰
شبستر	بدون روند معنی‌دار	-	نقده	روند معنی‌دار کاهشی (تغییر ناگهانی)	۱۹۹۰
سهند	بدون روند معنی‌دار	-	بوکان	روند معنی‌دار کاهشی (تغییر ناگهانی)	۲۰۰۰
سراب	روند معنی‌دار افزایشی (تغییر ناگهانی)	۲۰۰۰	تکاب	روند معنی‌دار کاهشی (تغییر ناگهانی)	۱۹۹۵
پیرانشهر	بدون روند معنی‌دار	-	سقز	روند معنی‌دار کاهشی (تغییر ناگهانی)	۲۰۰۰
سردشت	روند معنی‌دار افزایشی (تغییر ناگهانی)	۱۹۹۰			



شکل ۷. میانگین بارش‌های سالانه ۱۲ ایستگاه دارای تغییرات ناگهانی در سری بارش سالانه



ادامه شکل ۷.

نتیجه گیری

سردشت) روند افزایشی معنی‌دار (در سطح پنج درصد) داشتند. ۳۸/۰۹ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه (هشت ایستگاه) نیز هیچ‌گونه روند معنی‌داری (در سطح پنج درصد) نداشتند. در حالت کلی، می‌توان نتیجه گرفت که در دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۶ از بین ۲۱ ایستگاه مورد مطالعه، تعداد ۱۰ ایستگاه (معادل ۴۷/۶۲ درصد) دارای روند نزولی در سطح پنج درصد هستند. به عبارت بهتر، اکثر ایستگاه‌ها روند نزولی داشته‌اند. قابل ذکر است که این مطالعات لازم است هر پنج سال یکبار انجام شود، چون با افزایش دوره آماری نتایج بررسی نیز متفاوت خواهد بود. نتایج مطالعه فعلی در مدیریت علمی منابع آب در حوضه دریاچه ارومیه که در حال حاضر دستخوش مشکلات متعدد از نظر کمیت و کیفیت آب است، مفید است.

برای بررسی و تحلیل روند در یک سری زمانی و تعیین رفتار روند در گذر زمان و یافتن تاریخ شروع روند (افزایشی یا کاهش) استفاده از روش من-کندال دنباله‌ای مناسب است. آزمون SMK روشی مناسب برای بررسی روند در یک دوره مطالعه معین و یافتن زمان جهش یا تغییر ناگهانی در سری‌های زمانی داده‌ها است. این مطالعه، به منظور آشکارسازی هر یک از ایستگاه‌هایی که مقدار بارش سالانه آن‌ها تغییر ناگهانی داشته است، انجام شد. نتایج نشان داد که ۵۷/۱ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۲ ایستگاه) تغییرات ناگهانی در سری بارش سالانه داشتند. از طرفی، ۱۰ ایستگاه روند کاهش معنی‌دار (در سطح پنج درصد) داشتند. سه ایستگاه (سراب، بستان‌آباد و

منابع مورد استفاده

۱. انصاری، م.، نوری، غ. و ص. فتوحی. ۱۳۹۵. بررسی روند تغییرات دما، بارش و دبی با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه کاجو استان سیستان و بلوچستان)، *پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز* ۷(۱۴): ۱۵۸-۱۵۲.
۲. بهرامی، م.، م. توکل صدرآبادی و ع. زارعی. ۱۳۹۴. تحلیل شدت مدت فراوانی خشکسالی و روند تغییر بارش در شیراز، *فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب* ۶(۲۱): ۷۴-۵۹.
۳. زارع ایبانه، ح.، م. بیات ورکشی و ی. دین‌پژوه. ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات شاخص خشکی در نیمه جنوبی ایران، *مجله دانش آب و خاک* ۲۱(۲): ۹۲-۸۱.
۴. شمس، ش. و م. موسوی بایگی. ۱۳۹۵. بررسی نقطه شکست و روند تغییرات دامنه شبانه‌روزی دمای هوای شهر مشهد، *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)* ۳۰(۵): ۱۶۸۵-۱۶۷۳.
۵. عرفانیان، م. و س. بابایی حصار. ۱۳۹۵. تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع و بارندگی در تعدادی از ایستگاه‌های هم‌دید حوضه آبریز دریاچه ارومیه، *مجله پژوهش آب ایران* ۱۰(۱): ۱۶۲-۱۵۳.
۶. عساکره، ح. و ر. رزمی. ۱۳۹۰. تغییر رژیم بارش شمال غرب ایران، *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی* ۲(۷ و ۸): ۹۹-۱۱۴.
۷. میرعباسی، ر. و ی. دین‌پژوه. ۱۳۹۱. تحلیل روند تغییرات بارش‌های شمال غرب ایران در نیم‌قرن گذشته، *مجله علوم و مهندسی آبیاری* ۳۵(۴): ۷۳-۵۹.
۸. ناظری تهرودی، م.، ک. خلیلی و ف. احمدی. ۱۳۹۵. تحلیل روند تغییرات ایستگاهی و منطقه‌ای بارش نیم‌قرن اخیر کشور ایران، *نشریه آب و خاک* ۳۰(۲): ۶۵۴-۶۴۳.

9. Afzal, M., M. G. Mansell and A. S. Gagnon. 2011. Trends and variability in daily precipitation in Scotland, *Procedia Environmental Sciences* 6: 15-26.
10. Bari, S. H., M. Tauhid Ur Rahman, M. Azizul-Hoque, and M. D. Manjurul-Hussain. 2016. Analysis of seasonal and annual rainfall trends in the northern region of Bangladesh, *Atmospheric Research* 176-177: 148-158.
11. Croitoru, A. E., I. H. Holobaca, C. Lazar, F. Moldovan and A. Imbroane. 2011. Air temperature trend and the

- impact on winter wheat phenology in Romania, *Climatic Change* 10: 1007-1025.
12. Delju, A. H., A. Ceylan, E. Piguet and M. Rebetetz. 2013. Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran, *Theoretical and Applied Climatology* 111: 285-296 (In Farsi).
 13. Khalili, A. and J. Bazrafshan. 2004. A trend analysis of annual, seasonal and monthly precipitation over Iran during the last 116 years, *Desert* 9(1): 25-32 (In Farsi).
 14. Mamunur-Rashid, M., B. Simon and C. Rezaul-Kabir. 2015. Assessment of trends in point rainfall using Continuous Wavelet Transforms, *Advances in Water Resources* 82: 1-15.
 15. Merabtene, T., M. Siddique and A. Shanableh. 2016. Assessment of Seasonal and Annual Rainfall Trends and Variability in Sharjah City, UAE, Hindawi Publishing Corporation *Advances in Meteorology*. doi 10.1155/2016/6206238.
 16. Modarres, R. and V. Dasilva. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran, *Journal of Arid Environment* 70(2): 344-355 (In Farsi).
 17. Salehi Babil, S., K. Zeinalzadeh and B. Hessari. 2017. The changes in the frequency of daily precipitation in Urmia Lake basin, Iran, *Theoretical and Applied Climatology* doi 704-017-2177-7. (In Farsi).
 18. Shadkam, S., F. Ludwig, P. Van Oel, C. Kirit and P. Kabat. 2016. Impacts of climate change and water resources development on the declining inflow in to Iran's Urmia Lake, *Journal of Great Lakes Research* 42: 942-952 (In Farsi).
 19. Shahid, S. 2010. Rainfall variability and trends of wet and dry periods in Bangladesh, *International Journal of Climatology* 30: 2299-2313.
 20. Shifteh-Some'e, B., A. Ezani and H. Tabari. 2012. Spatiotemporal trends and change point of precipitation in Iran, *Atmospheric Research* 113: 1-12.
 21. Sneyers, R. 1990. On the Statistical Analysis of Series of Observations. World Meteorological Organization, Technical Note 143, Geneva, Switzerland.
 22. Sohrabi, M. M., S. Marofi, A. A. Sabziparvar and Z. Maryanaji. 2009. Investigation of existence of trend in annual precipitation of Hamedan Province using Mann-Kendall method, *Journal of Water and Soil Conservation* 16(3): 163-169 (In Farsi).
 23. Sonali, P. and N. Kumar. 2013. Review of trend detection methods and their application to detect temperature changes in India, *Journal of Hydrology* 476: 212-227.
 24. Taotao, C., X. Guimin, W. Liyod, C. Wei and C. Daocai. 2016. Trend and cycle analysis of annual and seasonal precipitation in Liaoning, China, Hindawi Publishing Corporation *Advances in Meteorology*. doi 10.1155/2016/5170563.

Analysis of Precipitation Fluctuations in the Urmia Lake Basin Using the SMK Method in the Period 1986-2015

F. Banan Ferdosi* and Y. Dinpashoh¹

(Received: June 30-2017 ; Accepted: October 24-2017)

Abstract

In this study, in order to analyze the trends of annual precipitation, the information from 21 synoptic meteorological stations located in the Urmia Lake basin in a 30-year time period (1986-2015) was used. For this purpose, the Sequential Mann-Kendall test was used. The date of sudden change (if exist) in the precipitation time series of each station was identified. Significance of the trend in each of the time series and its direction (decrease or increase) in each of the stations were tested at 0.05 level. The results showed that 10 out of the 21 stations had a significant decreasing trend. Three stations (Sarab, Bostanabad and Sardasht) had significant increasing trends. Precipitation trends of eight stations were insignificant. Also, the study of sudden breaking points in the annual rainfall time series of the selected stations revealed that about 57.143 percent of the stations (12 stations) showed a significant sudden change in their annual rainfall series. In other words, more than half of the selected stations exhibited a sudden change in their time series. The date of the sudden change of precipitation in eight stations (namely, Bonab, Sarab, Urmia, Oshnavieh, Kahrizi, Miyandoab, Bokan and Saghez) belonged to the middle part of the time series (i.e. 1996-2005). The sudden change date of three stations (namely, Sardasht, Nagade and Tekab) belonged to the first decade of time series (i.e. 1986-1995) and only the sudden change date of one station (namely, Maragheh) belonged to the last decade of time series (i.e. 2006-2015).

Keywords: Sequential Mann-Kendall Test, Precipitation, Trend Analysis, Urmia Lake Basin

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.

*: Corresponding Author, Email: fh.ferdosi71@yahoo.com