

بررسی روند و آنالیز نقطه‌ی شکست مقادیر بارش در حوضه‌های آبریز ایران

محمد قبائی سوق*، شرکت مدیریت منابع آب ایران

ابوالفضل مساعدی، استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد

*تلفن نویسنده اصلی: ۰۹۱۷۸۴۴۶۱۹۶، نمابر: ۰۲۱۸۸۹۳۷۲۶۰، پست الکترونیکی: Ghabaei.m63@gmail.com

چکیده

آگاهی از روند تغییرات بارش با توجه به نقش آن در چرخه‌ی هیدرولوژیکی و تاثیرپذیری سایر اجزا از نوسانات آن، نقش مهمی در پژوهش‌های تغییر اقلیم دارد. در این پژوهش روند تغییرات بارش در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه در شش حوضه‌ی آبریز اصلی و کل کشور بر اساس آزمون ناپارامتری من-کندال در یک دوره‌ی ۴۹ ساله بررسی و مقادیر نقطه‌ی شکست سری‌های بارش سالانه با استفاده از آزمون‌های آماری و روش‌های گرافیکی مورد ارزیابی قرار گرفتند. علاوه بر این به کمک آزمون من-وینتی نقطه‌ی تغییر سری‌های بارش سالانه که در آن بیشترین تفاوت معنی‌داری تغییرات بارش به وقوع پیوسته‌اند در هریک از حوضه‌های آبریز کشور مشخص شده‌اند. بر پایه‌ی نتایج بدست آمده مقادیر بارش سالانه در تمامی حوضه‌های آبریز اصلی و کل کشور دارای روند کاهشی می‌باشند هرچند روند مذکور معنی‌دار نمی‌باشد. بررسی روندهای ماهانه نیز نشان داد علیرغم وجود روندهای افزایشی در برخی از ماه‌ها این روند معنی‌دار نبوده است. این در حالی است که روندهای کاهشی مشاهده شده به ویژه در ماه‌های مرطوب سال معنی‌دار بوده‌اند. نتایج بررسی نقطه‌ی شکست سری‌های بارش سالانه نیز نشان داد که در بیشتر حوضه‌های آبریز کشور سال‌های آبی ۱۳۷۶-۷۷ و ۱۳۷۷-۷۸ به عنوان نقطه‌ی شکست (جهش) بدست آمدند.

کلید واژه‌ها: بارش، روند، نقطه جهش، حوضه‌های آبریز، ایران

۱- مقدمه

شرایط کنونی منابع آب کشور پیامد چندین دهه توسعه‌ی نامتوازن و ناپایدار در حوضه‌های آبریز کشور و برداشت بیش از حد از منابع آب تجدیدپذیر آن‌ها می‌باشد. مجموعه‌ی عوامل انسانی و طبیعی مختلف نظیر اجرای طرح‌های متعدد توسعه منابع آب، توسعه‌ی روزافزون بخش کشاورزی، بی‌توجهی به رعایت حقایق‌های زیست‌محیطی و پیکره‌های آبی همراه با نوسانات اقلیمی، کاهش بارش‌ها و متعاقب آن کاهش رواناب سطحی چنین شرایطی را ایجاد نموده است. در پژوهش‌های تغییر اقلیم، آگاهی از تغییرات درازمدت بارش با توجه به تاثیرگذاری آن بر سایر اجزای چرخه‌ی هیدرولوژیکی در سطح حوضه‌های آبریز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روند، یکی از مشخص‌ترین عواملی است که باعث ناهمگنی سری‌های اقلیمی می‌شود. وجود روند در سری‌های زمانی هیدرومتئولوژیکی ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا فعالیت‌های انسانی باشد. اثبات وجود روند در یک سری زمانی نمی‌تواند به تنهایی دلیلی قاطع بر وقوع تغییر اقلیم در یک منطقه باشد بلکه فرض رخداد را تقویت می‌نماید.

در یک دهه‌ی گذشته پژوهش‌های مختلفی پیرامون روند متغیرهای اقلیمی به‌ویژه بارش و دما و به تبع آن‌ها خشکسالی در ایران و جهان انجام شده است که در ادامه برخی از آن‌ها آورده شده‌اند: ابرقوئی و همکاران [۱] ضمن بررسی روند وقایع خشکسالی در ۴۲ ایستگاه از مناطق مختلف آب و هوایی ایران بر اساس شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و آزمون ناپارامتری من-کندال، روند معنی‌دار کاهشی در بیشتر مناطق مورد بررسی به ویژه جنوب شرق، غرب و جنوب غربی کشور را برای شاخص SPI گزارش کردند. کوثری و همکاران [۲] روند وقایع خشکسالی در مناطق مختلف

ایران را با استفاده از شاخص RDI و آزمون من-کندال در مقیاس‌های مختلف زمانی بررسی نمودند. بر اساس نتایج آن‌ها مقادیر شاخص RDI به ویژه در دوره‌های پایش بلندمدت دارای روند کاهشی می‌باشد که بیانگر افزایش وقوع خشکسالی می‌باشد. گلیان و همکاران [۳] خصوصیات خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی و روند آن‌ها در ۵ منطقه‌ی مختلف آب و هوایی ایران را از طریق شاخص خشکسالی استاندارد شده چندمتغیره^۱ (MSDI) بر مبنای داده‌های بارندگی و رطوبت خاک طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۳ بررسی نمودند. بر پایه‌ی یافته‌های آن‌ها وقایع خشکسالی در نواحی شمالی، شمال غرب و مرکز ایران دارای روند معنی‌دار می‌باشند و نواحی شمال شرق و شرق روند معنی‌داری را نشان ندادند. نتایج دشت-پاگردی و همکاران [۴] در بررسی روند ۳۰ ساله‌ی مقادیر خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف زمانی برای مناطق غربی ایران بیانگر افزایش شدت خشکسالی در این مناطق می‌باشد.

پیکارتا و همکاران [۵] روند بارش ماهانه، فصلی و سالانه و هم‌چنین وقایع خشکسالی را در ۵۰ ایستگاه در جنوب ایتالیا طی سال‌های ۱۹۲۳ تا ۲۰۰۰ با استفاده از آزمون من-کندال بررسی کردند. بر پایه‌ی نتایج آن‌ها مقدار بارش سالانه کاهشی برابر با ۱۵۶ میلی‌متر داشته است به طوری که برای ۳۰ سال اخیر این کاهش شدیدتر بوده است و مقادیر شاخص SPI از سال ۱۹۷۵ به بعد بیشتر خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید را نشان داده‌اند. بوردی و همکاران [۶] روند دوره‌های خشک و مرطوب مربوط به خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی اروپا را بر اساس شاخص SPI در مقیاس‌های ۳ و ۲۴ ماهه از طریق مدل‌های خطی و غیرخطی طی دوره‌ی ۱۹۴۹ تا ۲۰۰۹ بررسی کردند. آن‌ها روند دوره‌های خشک و مرطوب دهه‌ی آخر (۱۹۹۹ تا ۲۰۰۹) را با سال‌های ۱۹۴۹ تا ۱۹۹۹ مقایسه نمودند. بر اساس نتایج آن‌ها مساحت تحت گسترش خشکسالی در دوره‌ی خشک بر اساس شاخص SPI ۳ و ۲۴ ماهه در ۴۵ سال اول دارای روند افزایشی و در ۱۰ سال آخر دارای روند کاهشی می‌باشند این در شرایطی است که در دوره‌ی مرطوب این مساحت تحت سیطره‌ی خشکسالی روندی معکوس در ۴۵ سال اول و ۱۰ سال آخر دوره‌ی مورد بررسی دارد. میشر و چرکائور [۷] گزارش کردند که آنالیز روند خشکسالی‌های ایالت‌های الینون و ایندیانا طی سال‌های ۱۹۱۶ تا ۲۰۰۷ در شش ماهه‌ی می تا اکتبر نشان دهنده‌ی افزایش وضعیت رطوبتی به علت افزایش بارندگی‌ها بوده است. پوتوپووا و همکاران [۸] با استفاده از شاخص SPEI بر پایه‌ی آزمون‌های آزمون من-کندال و نقطه‌ی جهش پیت اقدام به تحلیل روند وقایع خشکسالی جمهوری مولداوی طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۲ پرداختند. بر پایه‌ی نتایج آن‌ها روند افزایشی خشکسالی‌ها طی ماه‌های ژوئن تا اکتبر افزایشی بوده و در مناطق جنوبی مولداوی این روند طی ماه‌های جولای تا سپتامبر در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. گودمانسون و سن‌اوراتن [۹] روند وقایع خشکسالی اروپا در دوره‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت چند ساله را از طریق شاخص SPI بررسی و ضمن تائید روند وقایع در دوره‌های یک ساله و بالاتر بیان کردند در دهه‌های گذشته روند فراوانی وقایع خشکسالی در شمال اروپا کاهش و در مناطق جنوبی اروپا افزایش یافته‌اند.

با توجه به آن‌که در بیشتر پژوهش‌های انجام شده آنالیز روند انجام شده محدود به نقاط ایستگاهی و بخشی از پهنه‌ی کشور بوده است و کمتر حوضه‌های آبریز اصلی مورد بررسی قرار گرفتند، از این‌رو در پژوهش حاضر روند داده‌های بارش در مقیاس‌های مختلف ماهانه، فصلی و سالانه در یک دوره‌آماره‌ی ۴۹ ساله (۴۸-۱۳۴۷ تا ۹۶-۱۳۹۵) در شش حوضه‌ی آبریز اصلی کشور و کل کشور با استفاده از آزمون من-کندال بررسی شده است. هم‌چنین اقدام به تعیین نقطه‌ی جهش در سری‌های بارش سالانه براساس آزمون‌های آماری و مقایسه‌ی آن‌ها با یکدیگر شده است.

¹ Multivariate Standardized Drought Index

۲- مواد و روش ها

کشور ایران با مساحت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع بین عرض‌های شمالی ۲۵ تا ۴۰ درجه و طول‌های شرقی ۴۴ تا ۶۴ درجه قرار دارد. ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه خشک جهان در زمره‌ی کشورهای با محدودیت منابع آب به شمار می‌رود. در بخش‌هایی از شمال ایران (انزلی) بارش سالیانه به ۱۸۵۰ میلی‌متر یعنی میزانی بالاتر از دو برابر متوسط جهانی بالغ می‌شود. در حالی که در بخش‌هایی از حاشیه‌ی مرکزی دشت کویر این میزان به کمتر از ۵۰ میلی‌متر می‌رسد. طبق تقسیم‌بندی‌های هیدرولوژیکی دفتر مطالعات پایه شرکت مدیریت منابع آب ایران، منابع آب کشور به شش حوضه‌ی آبریز اصلی به نام‌های دریای خزر، خلیج فارس و دریای عمان، دریاچه ارومیه، فلات مرکزی، مرزی شرق و قره-قوم تقسیم می‌شود که خود دربردارنده‌ی ۳۰ حوضه‌ی آبریز فرعی دیگر می‌باشند. در شکل ۱ موقعیت هریک از حوضه‌های آبریز اصلی در کشور نشان داده شده‌اند. در این پژوهش از داده‌های بارش ماهانه در حوضه‌های آبریز اصلی کشور طی سال‌های آبی ۴۸-۱۳۴۷ تا پایان سال آبی ۱۹۶-۱۳۹۵ (دوره ۴۹ سال آماری) که براساس روش خطوط همباران از روی مقادیر بارش‌های ثبت شده در ایستگاه‌های نبخیرسنجی تحت پوشش وزارت نیرو محاسبه شده‌اند استفاده شده است. داده‌های مذکور در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه برای هریک از ۶ حوضه‌ی آبریز اصلی و کل کشور مورد تجزیه و تحلیل روند براساس آزمون ناپارامتری من-کندال قرار گرفتند و مقادیر نقطه‌ی شکست در سری‌های سالانه نیز برای حوضه‌های آبریز اصلی و کل کشور بررسی شدند. لازم به ذکر است داده‌های مذکور برای هریک از حوضه‌های آبریز اصلی در سایت شرکت مدیریت منابع آب به نشانی <http://wrbs.wrm.ir> قابل دسترس می‌باشند.



شکل ۱- موقعیت حوضه‌های آبریز شش‌گانه در کشور ایران

مشخصات حوضه‌های آبریز اصلی کشور به همراه مقادیر آماره‌های مستخرج شده برای سری‌های سالانه بارش در جدول ۱ آورده شده‌اند. مطابق جدول مذکور، میانگین بلندمدت بارش در طول دوره‌ی آماری ۴۹ سال اخیر (منتهی به سال آبی ۹۶-۱۳۹۵) در سطح کشور برابر ۲۴۲/۳ میلی‌متر می‌باشد که بیشترین سهم بارش مربوط به حوضه‌های آبریز خلیج فارس و دریای عمان، فلات مرکزی و دریای خزر می‌باشد که به ترتیب ۳۸/۵، ۳۳/۴ و ۱۸/۴ درصد بارش کل را شامل می‌شوند. بررسی ویژگی‌های بارش در حوضه‌های آبریز اصلی کشور نشان می‌دهد حوضه‌های آبریز دریای خزر و مرزی

شرق به ترتیب با میانگین بارش بلندمدت برابر با ۴۲۱ و ۱۰۱ میلی‌متر دارای کم‌ترین (۱۳/۸ درصد) و بیشترین ضریب تغییرات (۳۵/۷ درصد) در کل کشور می‌باشد.

جدول ۱ - مشخصات حوضه‌های آبریز اصلی به همراه ویژگی‌های مقادیر بارش سالانه براساس دوره درازمدت

نام حوضه آبریز	مساحت (km ²)	مساحت (درصد)	میانگین (mm)	کمینه (mm)	بیشینه (mm)	ضریب تغییرات (درصد)	سهم از کل بارش کشور
دریای خزر	۱۷۴۶۸۴	۱۰/۶	۴۲۱/۱	۳۰۳/۱	۵۵۵/۲	۱۳/۸	۱۸/۴
خلیج فارس و دریای عمان	۴۳۲۳۹۰	۲۶/۲	۳۳۵/۳	۱۸۵/۹	۵۷۰/۱	۲۷/۴	۳۸/۵
ارومیه	۵۲۳۵۷	۳/۲	۳۳۳/۲	۱۸۹/۵	۵۴۳/۶	۲۲/۲	۴/۳
فلات مرکزی	۸۳۸۹۴۴	۵۰/۹	۱۵۹/۵	۸۵/۳	۲۳۳/۶	۲۲/۶	۳۳/۴
مرزی شرق	۱۰۴۷۸۳	۶/۴	۱۰۱/۸	۳۷/۴	۱۸۷/۶	۳۵/۷	۲/۷
قره‌قوم	۴۴۸۶۹	۲/۷	۲۱۵/۷	۱۱۱/۳	۳۵۰/۱	۲۶/۱	۲/۴
کل کشور	۱۶۴۸۰۲۷	۱۰۰	۲۴۲/۳	۱۳۸/۴	۳۴۴/۳	۲۰/۴	۱۰۰

۱-۲- آزمون تعیین روند من-کندال

روش من-کندال یک آزمون ناپارامتریک به منظور تعیین روند در داده‌های سری‌های زمانی است. این آزمون بر پایه‌ی مرتبه‌ی داده‌ها استوار است. برتری این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از مرتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر گرفتن مقدار متغیرها است که به دلیل وجود چنین خاصیتی، می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد. فرض صفر در این آزمون توزیع تصادفی داده‌ها (عدم وجود روند) است. اگر X_1, X_2, \dots, X_n بیانگر داده‌های مشاهداتی باشند و x_j و x_k داده مشاهداتی در زمان j و k باشد آن‌گاه آماره من-کندال (S) از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد [۱۰]:

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

$$\text{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{if } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{if } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (1)$$

در رابطه فوق، $\text{sign}(x)$ تابع علامت و n تعداد مشاهدات هستند. در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های بعد از خود مقایسه می‌گردد. در این مرحله می‌توان بجای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها از مرتبه داده‌ها در مجموعه مورد نظر (سری زمانی) استفاده کرد و مرتبه‌ها را به همین روش مقایسه نمود. با فرض مستقل بودن داده‌ها و توزیع یکنواخت داده‌ها، واریانس S از رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (2)$$

در رابطه فوق، n تعداد داده‌های مشاهداتی، g تعداد گره‌ها و t_p تعداد داده‌ها در p امین گره است. منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیشتر از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی تشکیل یک گره را می‌دهند و t_p تعداد این داده‌های مشابه در گره p است. به منظور تعیین معنی‌داری روند از آماره این آزمون (Z) از رابطه ۳ استفاده شده است.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

این آزمون یک آزمون دو طرفه است. بنابراین در صورتی $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ باشد، در سطح اطمینان α فرض صفر پذیرفته می شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد و روند وجود دارد.

۲-۲- آزمون های تعیین نقطه جهش

برای بررسی همگنی داده های بارش از آزمون های نرمال استاندارد (SNH)؛ دامنه ی بیشاند (BHR)^۲ و پیت (Pettitt)^۳ استفاده گردید [۱۱] که در ادامه مبانی و تعاریف مربوطه به هر آزمون آورده شده است. لازم به ذکر است در آزمون های آورده شده، Y_i مقادیر هر متغیر در سال i ام و \bar{Y} مقدار میانگین تعریف شده است.

الف) آزمون همگنی نرمال استاندارد

در آزمون SNHT، آماره ی T_y برای مقایسه ی میانگین نخستین سال های y با سال های آخر $(n-y)$ به صورت زیر تعریف شده است:

$$T_y = y\bar{z}_1 + (n-y)z_2, \quad y = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

که در آن مقادیر آماره های \bar{Z}_1 و \bar{Z}_2 از روابط زیر محاسبه می شوند:

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{y} \sum_{i=1}^y \frac{(Y_i - \bar{Y})}{s} \quad \text{and} \quad \bar{z}_2 = \frac{1}{n-y} \sum_{i=y+1}^n \frac{(Y_i - \bar{Y})}{s} \quad (5)$$

سال y زمانی که مقدار T به بیشینه مقدار برسد به عنوان سال شکست در نظر گرفته می شود. برای رد فرض صفر، آماره ی آزمون بزرگتر از مقدار بحرانی می باشد که بستگی به تعداد داده ها دارد.

$$T_0 = \max_{1 \leq y \leq n} T_y \quad (6)$$

ب) آزمون دامنه ی بیشاند

در آزمون BR مجموع جزئی تعدیل شده به صورت زیر تعریف شده است:

$$S_0^* = 0 \quad \text{and} \quad S_y^* = \sum_{i=1}^y (Y_i - \bar{Y}), \quad y = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

بر اساس آن زمانی که سری ها همگن باشند مقدار آماره ی S_y^* افزایش و در محدوده ی صفر قرار می گیرد. در این آزمون زمانی سال y به عنوان نقطه ی شکست منظور می شود که S_y^* به مقدار بیشینه (شیفت منفی) یا کمینه (شیفت مثبت) برسد. مقدار R با مقدار R/\sqrt{n} با مقادیر بحرانی ارائه شده مقایسه می شوند.

$$R = \frac{(\max_{1 \leq y \leq n} S_y^* - \min_{1 \leq y \leq n} S_y^*)}{s} \quad (8)$$

¹ Standard Normal Homogeneity

² Buishand Range

³ Pettitt

ج) آزمون Pettitt

آزمون Pettitt به منظور شناسایی جهش در مقدار میانگین داده‌ها در طول زمان و معمولاً پس از این که معنی داری روند با آزمون من-کندال در سطوح مختلف تایید شد بکار می‌رود. مقدار آماره‌ی این آزمون از رابطه‌ی ۹ برآورد می‌گردد.

$$U_{i,T} = \sum_{t=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(x_j - x_i), \quad 1 \leq t \leq T \quad (9)$$

در رابطه ۹، T طول دوره‌ی آماری و $\text{sgn}(\theta)$ مشابه روابط آزمون من-کندال می‌باشد. در این آزمون مهم‌ترین نقطه-ی معنی‌دار جهش در جایی تعیین می‌شود که مقدار $|U_{i,T}|$ برابر بیشینه گردد: $K_T = \max |U_{i,T}|$ و سطح معنی داری از رابطه‌ی ۱۰ محاسبه می‌شود.

$$p = 2 \exp \left[-6K_T^2 / (T^2 + T^3) \right] \quad (10)$$

در رابطه ۱۰، هرچه آماره‌ی p به صفر نزدیک‌تر باشد اختلاف میانگین سری قبل از جهش و بعد از جهش معنادارتر می‌شود و در سطح ۹۵ درصد به ازای مقادیر P-value کوچکتر از ۰/۰۵ معنی‌دار تلقی می‌شود [۱۲].

۳-۲- آزمون من-ویتنی

در این آزمون فرض بر این است که دو متغیر x و y دارای توزیع احتمال یکسان می‌باشند. آماره آزمون من-ویتنی (u) مطابق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$u = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \Phi(x_i, y_j) \quad (11)$$

$$\Phi(x_i, y_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_i < y_j \\ 0 & \text{elseif} \end{cases}$$

فرض صفر رد می‌شود اگر $u > u_\alpha$ باشد که در آن u_α نقطه درصد بالایی از توزیع صفر u می‌باشد.

$$u' = u - mn \quad (12)$$

در این رابطه m و n حجم نمونه است. مقادیر ممکن u و u' عبارتند از ۰، ۱ و mn, \dots, mn . بنابراین وقتی فرض صفر (H_0) صحیح است که میانگین و واریانس u و u' به ترتیب برابر با مقادیر زیر شوند [۱۳]:

$$E(u) = E(u') = mn/2 \quad (13)$$

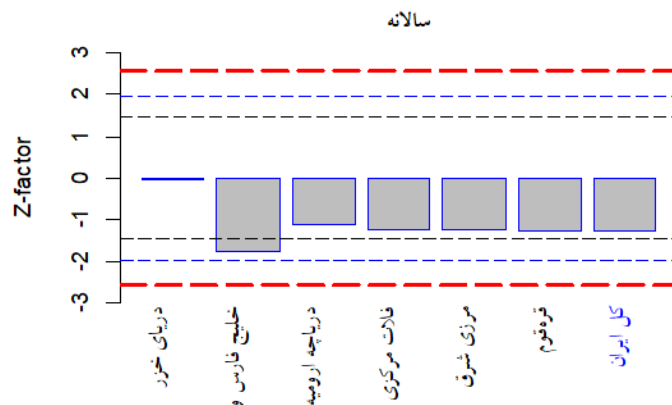
$$\text{Var}(u) = \text{Var}(u') = mn(m+n+1)/12 \quad (14)$$

۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در ابتدا با استفاده از آزمون ولد-والفویتز نسبت به بررسی استقلال داده‌های بارش ماهانه در هریک از ۶ حوضه-آبریز اصلی و بارش ماهانه در کل کشور اقدام گردید که بر اساس نتایج آن مقادیر بارش ماهانه در سطح ۹۵ درصد به جزء در ماه‌های اردیبهشت و مرداد در حوضه‌ی آبریز خلیج فارس و دریای عمان و ماه آبان در حوضه‌ی مرزی شرق و ماه مرداد در حوضه‌ی آبریز قره‌قوم در سایر ماه‌های سال آزمون استقلال داده‌ها تأیید گردید. در ادامه نتایج آنالیز روند و بررسی نقطه‌ی شکست احتمالی سری‌های بارش به تفکیک هریک از حوضه‌های آبریز اصلی و کل کشور آورده می‌شود.

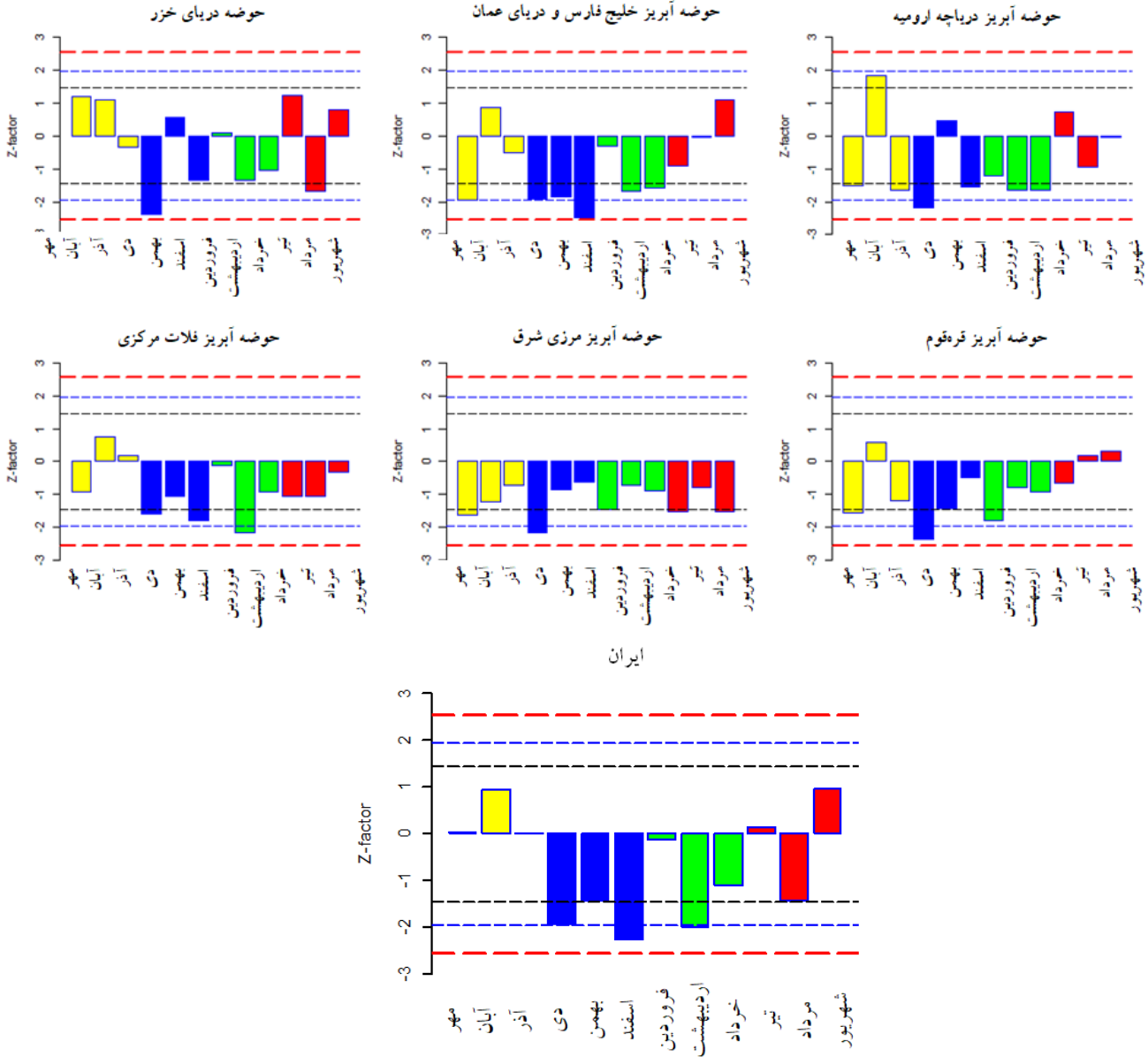
۳-۱- نتایج آنالیز روند

نتایج بررسی روند مجموع بارش سالانه در کل کشور و هریک از حوضه‌های آبریز شش گانه طی ۴۹ سال مورد بررسی در شکل ۲ آورده شده است. همان طور که مشاهده می‌گردد مقدار بارش در کل کشور ضمن داشتن روند کاهشی، در هیچ یک از سطوح معنی‌داری مورد بررسی (۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد) معنی‌دار نمی‌باشد. به طور مشابه مقادیر بدست آمده از آزمون من-کندال در تمامی حوضه‌های آبریز ایران به جز حوضه‌ی دریای خزر دارای روند کاهشی می‌باشند که در تطابق با بارش کل کشور می‌باشند و از میان آن‌ها تنها مقدار روند کاهشی مشاهده شده در حوضه‌ی آبریز خلیج فارس و دریای عمان در سطح ۹۰ درصد معنی‌دار می‌باشد. نکته قابل توجه در شکل مذکور روند کاهشی ناچیز مشاهده شده مقدار بارش در حوضه‌ی آبریز دریای خزر می‌باشد که بیانگر تغییرات ناچیز بارش سالانه و عدم وجود روند کاهشی یا افزایشی مشخص در آن می‌باشد.



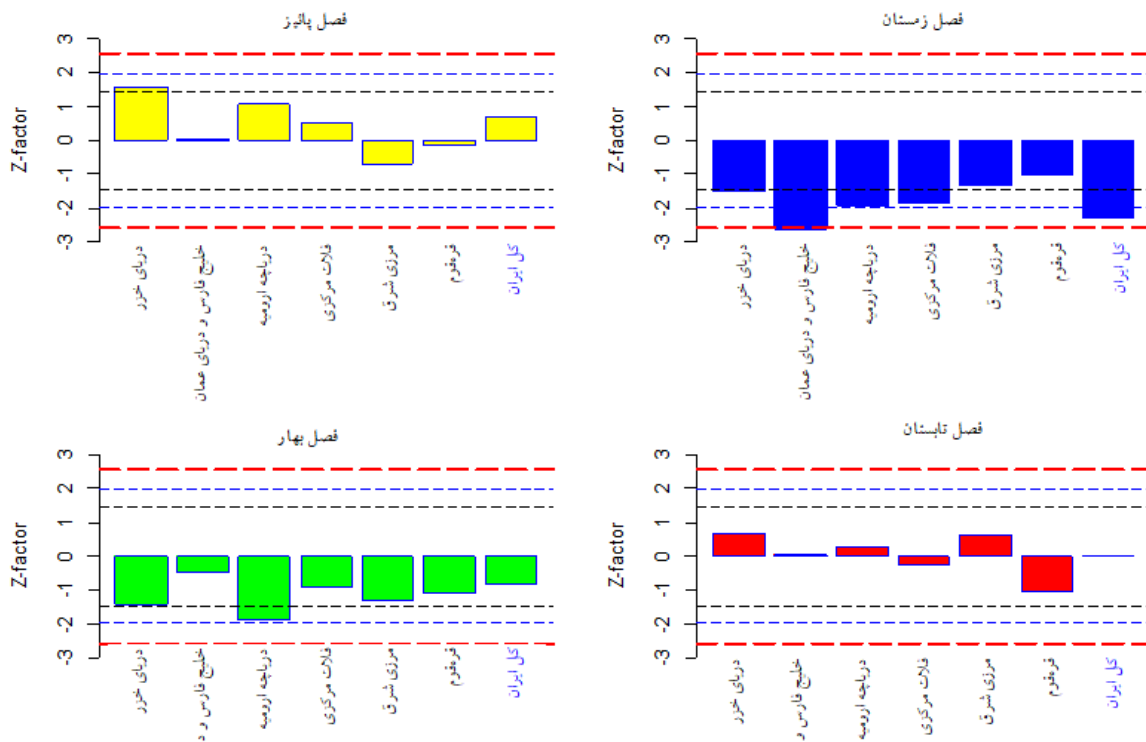
شکل ۲- تغییرات روند مقادیر مجموع بارش سالانه در کل کشور و شش حوضه‌ی آبریز اصلی

نتایج آنالیز روند مقادیر بارش ماهانه به تفکیک هریک از شش حوضه‌ی آبریز اصلی و کل کشور در شکل ۳ آورده شده است. مطابق شکل مذکور روندهای مثبت و افزایشی مقادیر بارش ماهانه بیشتر مربوط به ماه‌های مهر، آبان، بهمن و برخی از ماه‌های تابستان می‌باشند که در سطوح معنی‌داری مورد بررسی به جز ماه آبان در حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه در سایر ماه‌ها در سایر حوضه‌های آبریز اصلی کشور مقدار معنی‌داری بدست نیامده است این در حالی است که تعداد ماه‌های دارای روند کاهشی بارش بسیار بیشتر می‌باشند به طوری که در حوضه‌ی آبریز مرزی شرق تمامی ماه‌های سال دارای روند کاهشی می‌باشند که به ازای ماه‌های مهر، دی، فروردین، تیر و شهریور در سطح ۹۰ درصد معنی‌دار می‌باشند. در حوضه‌ی آبریز خلیج فارس مقادیر روند کاهشی مشاهده شده مربوط به ماه‌های فصل زمستان، مهر در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نیز بوده‌اند. بررسی روند ماهانه بارش کشور نیز نشان دهنده‌ی ماه‌های فصل زمستان و ماه‌های اردیبهشت، خرداد و مرداد می‌باشد که مقادیر کاهش ماه‌های دی، اسفند و اردیبهشت در سطح ۹۵ درصد نیز معنی‌دار می‌باشند.



شکل ۳- تغییرات روند مقادیر مجموع بارش ماهانه به تفکیک شش حوضه‌ی آبریز اصلی کشور

مقدار میانگین بلندمدت بارش در طول دوره‌ی ۴۹ سال اخیر آبی در سطح کشور برابر ۲۴۲ میلی‌متر می‌باشد که سهم بلندمدت بارش‌های فصل‌های پائیز، زمستان، بهار و تابستان از آن به ترتیب ۲۵، ۴۷، ۲۳ و ۴ درصد می‌باشد. از اینرو با توجه به اهمیت فصل‌ها و نقش آن در بارش کل کشور نتایج آزمون روند من-کندال به تفکیک فصل‌های پائیز، زمستان، بهار و تابستان در حوضه‌های ۶ گانه و کل کشور در شکل ۴ آورده شده‌اند. مطابق نتایج بدست آمده روند کلی بارش فصلی پائیز در بیشتر حوضه‌های کشور به جز مرزی شرق افزایشی بوده و برای دریای خزر در سطح ۹۰ درصد نیز معنی‌دار می‌باشد که روند افزایشی مشاهده شده برای فصل پائیز در کشور نیز از این روند تبعیت می‌کند. بیشترین روند کاهشی مشاهده شده مربوط به فصل زمستان و سپس مربوط به فصل بهار در حوضه‌های آبریز اصلی و کل کشور می‌باشد به طوری که همه‌ی آنها دارای روند کاهشی می‌باشند. روندهای کاهشی فصل زمستان با توجه به ۴۷ درصدی آن از سهم کل بارش نشانگر کاهش شدید بارش می‌باشد به طوری که این وضعیت کاهشی در حوضه‌ی آبریز خلیج فارس و دریای عمان و کل کشور در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد نیز معنی‌دار می‌باشد.



شکل ۴- تغییرات روند مقادیر بارش در کل کشور و شش حوضه‌ی آبریز اصلی کشور به تفکیک فصل‌های مختلف سال

۲-۳- نتایج بررسی نقطه شکست

در ادامه براساس آزمون‌های آماری SNH، BHR و Pettitt اقدام به تعیین نقطه‌ی احتمالی شکست در سری‌های مقادیر بارش سالانه در شش حوضه آبریز اصلی و کل کشور شده است که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده‌اند. در این آزمون‌ها وجود یک تغییر در سری زمانی را اثبات می‌نمایند و براساس آن‌ها می‌توان نقطه‌ی تغییر را مشخص نمود. مطابق نتایج بدست آمده براساس هر سه آزمون سال آبی ۷۷-۱۳۷۶ به عنوان نقطه‌ی شکست سری بارش سالانه در کل کشور و حوضه‌ی آبریز خلیج فارس و دریای عمان بدست آمده است. در حوضه مرزیز شرق نیز سال ۷۸-۱۳۷۷ به عنوان نقطه‌ی تغییر در هر سه آزمون مشخص گردید. در سایر حوضه‌ها نتایج آزمون‌های BHR و Pettitt تقریباً نسبت به نتایج آزمون SNH بهم‌نزدیک‌تر می‌باشند. روش SNH به نقاط تغییر در ابتدای دوره آماری حساسیت بیشتری دارد این در حالی است که دو روش دیگر در میانه‌های سری زمانی دارای دقت بیشتری می‌باشند.

جدول ۲- نتایج تعیین نقطه شکست در سری‌های بارش سالانه براساس آزمون‌های آماری مختلف

نام حوضه آبریز	آزمون SNH		آزمون دامنه‌ی بیشاند (BHR)		آزمون Pettitt	
	K	p-value	K	p-value	K	p-value
دریای خزر	۴۸-۱۳۴۷	۰/۲۴	۵۳-۱۳۵۲	۰/۹۹	۵۳-۱۳۵۲	۱/۶۳
خلیج فارس و دریای عمان	۷۷-۱۳۷۶	۰/۰۸	۷۷-۱۳۷۶	۰/۱۲	۷۷-۱۳۷۶	۰/۰۷
ارومیه	۴۸-۱۳۴۷	۰/۰۶	۷۴-۱۳۷۳	۰/۴۲	۷۴-۱۳۷۳	۰/۳۵
فلات مرکزی	۷۷-۱۳۷۶	۰/۳۳	۷۷-۱۳۷۶	۰/۲۷	۷۵-۱۳۷۴	۰/۲۹
مرزیز شرق	۷۸-۱۳۷۷	۰/۲۳	۷۸-۱۳۷۷	۰/۱۱	۷۸-۱۳۷۷	۰/۰۹
قره‌قوم	۶۲-۱۳۶۱	۰/۴۵	۷۷-۱۳۷۶	۰/۳۸	۷۷-۱۳۷۶	۰/۴۷
کل کشور	۷۷-۱۳۷۶	۰/۱۴	۷۷-۱۳۷۶	۰/۲۱	۷۷-۱۳۷۶	۰/۲۰

برای انجام آزمون من-ویتنی با انتخاب حداقل ۱۰ سال به عنوان به دوره‌ای که می‌تواند نشانگر نوسانات اقلیمی باشد به مقایسه‌ی سری‌های تفکیک شده بارش سالانه اقدام شد بدین منظور مقادیر بارش در سری‌های ۱۰ تا ۳۹ ساله با سری‌های ۳۹ تا ۱۰ ساله در قالب ۳۰ عمل با هم مقایسه شدند و مقادیر p-value به ازای هر عمل از طریق آماره من-ویتنی محاسبه گردید. در این آزمون در سطح ۹۵ درصد مقادیر به ازای مقادیر p-value کوچکتر از ۰/۰۵ تفاوت دو سری معنی-دار می‌باشد. برای انتخاب دوره‌ای که دارای بیشترین تفاوت باشد از مقادیر کمترین p-value ایجاد شده استفاده شده است که نتایج آن به ازای حوضه‌های آبریز اصلی و کل کشور در جدول زیر آورده شده‌اند. مطابق آن در حوضه‌های خلیج فارس و دریای عمان، ارومیه و کل کشور سال ۷۷-۱۳۷۶ به عنوان سال ایجاد بیشترین تغییر در سری بارش بدست آمد.

جدول ۳- نتایج آزمون من-ویتنی برای تعیین حداکثر اختلاف معنی‌داری تغییرات بارش سالانه

حوضه آبریز آماره	دریای خزر	خلیج فارس و دریای عمان	ارومیه	فلات مرکزی	مرزی شرق	قره‌قوم	کل کشور
p-value	۰/۵۲	۰/۰۰۷	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۴۹	۰/۰۲۸
سری‌های	تا ۴۸-۱۳۴۷	تا ۴۸-۱۳۴۷	تا ۴۸-۱۳۴۷	تا ۴۸-۱۳۴۷	تا ۴۸-۱۳۴۷	تا ۴۸-۱۳۴۷	تا ۴۸-۱۳۴۷
زمانی	تا ۸۰-۱۳۷۹	تا ۷۷-۱۳۷۶	تا ۷۷-۱۳۷۶	تا ۸۶-۱۳۸۵	تا ۷۸-۱۳۷۷	تا ۸۴-۱۳۸۳	تا ۷۷-۱۳۷۶
	تا ۸۱-۱۳۸۰	تا ۷۸-۱۳۷۷	تا ۷۸-۱۳۷۷	تا ۸۷-۱۳۸۶	تا ۷۹-۱۳۷۸	تا ۸۵-۱۳۸۴	تا ۷۸-۱۳۷۷
	(۹۶-۱۳۹۵)	(۹۶-۱۳۹۵)	(۹۶-۱۳۹۵)	(۹۶-۱۳۹۵)	(۹۶-۱۳۹۵)	(۹۶-۱۳۹۵)	(۹۶-۱۳۹۵)

۴- مراجع

- [1] Abarghouei, H. B., Zarch, M. A. A., Dastorani, M. T., Kousari, M. R., & Zarch, M. S. (2011). "The survey of climatic drought trend in Iran". *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(6), 851-863.
- [2] Kousari, M. R., Dastorani, M. T., Niazi, Y., Soheili, E., Hayatzadeh, M., & Chezgi, J. (2014). "Trend detection of drought in arid and semi-arid regions of Iran based on implementation of reconnaissance drought index (RDI) and application of non-parametrical statistical method". *Water resources management*, 28(7), 1857-1872.
- [3] Golian, S., Mazdiyasn, O., & AghaKouchak, A. (2014). "Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran". *Theoretical and Applied Climatology*, 119(3-4), 679-688.
- [4] Dashtpajardi, M. M., Kousari, M. R., Vagharfard, H., Ghonchehpour, D., Hosseini, M. E., & Ahani, H. (2015). "An investigation of drought magnitude trend during 1975-2005 in arid and semi-arid regions of Iran". *Environmental Earth Sciences*, 73(3), 1231-1244.
- [5] Piccarreta, M., Capolongo, D., & Boenzi, F. (2004). "Trend analysis of precipitation and drought in Basilicata from 1923 to 2000 within a southern Italy context". *International journal of climatology*, 24(7), 907-922.
- [6] Bordi, I., Fraedrich, K., & Sutera, A. (2009). "Observed drought and wetness trends in Europe: an update". *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(8), 1519-1530.
- [8] Potopová V, Boroneant C, Boincean B, Soukup J (2015) Impact of agricultural drought on main crop yields in the Republic of Moldova. *Int J Climatol* 36(4): 2063-2082.
- [9] Gudmundsson, L., and Seneviratne S. I. (2015). "European drought trends". *Proc. IAHS*, 369, 75-79.
- [10] Partal, T., Kahya, E. (2006). "Trend analysis in Turkish precipitation data". *Hydrol Process* 20, 2011-2026.
- [11] Doerffer, R. and Schiller, H. (2008). "Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)". Available in PDF at <https://earth.esa.int/documents/10174/1591138/ENVI30a.pdf>.
- [12] Pettitt, A.N. (1979), "A non-parametric approach to the change-point problem" *Applied Statistics* 28, 126-135.
- [13] Hollander, M., Wolfe, D.A., Chicken, E. (2013). "Nonparametric statistical methods", (3rd). *Mathematics*, pp. 848.