

تحلیل روند و نقطه شکست در سری‌های فصلی شاخص خشکسالی SPI در ایران

منیره فغانی^{1*}، خلیل قربانی²، میثم سالاری جزی³

تاریخ دریافت: 1395/12/25 تاریخ پذیرش: 1396/2/13

چکیده

خشکسالی به‌عنوان کمبود بارش نسبت به میانگین بلندمدت بارش در یک دوره زمانی، می‌تواند تحت تاثیر تغییر اقلیم قرار گیرد. بررسی تغییرات خشکسالی می‌تواند ابزاری مفید برای مدیریت منابع آب باشد. در این مطالعه برای بررسی روند خشکسالی در ایران از داده‌های بارش ماهانه 119 ایستگاه هواشناسی طی دوره آماری 1390-1366 استفاده شد و بر اساس آن‌ها، شاخص شدت خشکسالی SPI در فصل‌های مختلف سال محاسبه شد. برای تحلیل روند و نقطه شکست به‌ترتیب از آزمون‌های من - کندال و پتی استفاده شد. نتایج آزمون پتی نشان داد که در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان به‌ترتیب 27.42، 35 و 16 ایستگاه دارای نقاط دارای شکست می‌باشند که به وضوح بیان می‌کند عدم در نظر گرفتن تحلیل نقطه شکست در آزمون روند می‌تواند منجر به اشتباهات غیرقابل اغماض در نتایج شود. تحلیل نتایج بررسی روند بیانگر آن است که در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به‌ترتیب در 4، 8 و 9 ایستگاه روند افزایشی و در 6، 10 و 2 ایستگاه روند کاهشی وجود دارد. به‌علاوه بررسی توزیع مکانی نشان می‌دهد که عمده ایستگاه‌هایی که شاخص SPI آن‌ها در فصول مختلف سال دارای روند می‌باشند در بخش‌های غربی کشور واقع شده‌اند به‌طوری‌که در این قسمت در فصل بهار روند کاهشی و در فصل تابستان و زمستان روند افزایشی دیده می‌شود لیکن در فصل پاییز الگوی مکانی خاصی وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: پتی، تغییر اقلیم، خشکسالی، شاخص بارش استاندارد، من - کندال

مقدمه

مطالعه به‌جز ایستگاه آذرشهر در بقیه ایستگاه‌ها فاقد روند می‌باشند. روند کاهشی بارش در دامنه شمالی البرز و غربی زاگرس (آذرخشی و همکاران، 1392)، کاهش بارش در حوضه زاینده رود (مساح بوانی و مرید، 1384) و کاهش بارش در فصل‌های زمستان و بهار و افزایش آن در فصل‌های تابستان، پاییز و نیز مقطع سالانه در شهر تبریز است. گزارش افزایش روند بارش در آرژانتین (Viglizzo et al., 1995)، استرالیا (Suppiah and Hennessy., 1998)، نیوزلند (Plummer et al., 1999) و کاهش روند بارش در روسیه (Gruza et al., 1999) و ترکیه (Turke., 1996)، آفریقا (Hess et al., 1995)، (Khorshiddoust and Ghavidel Rahimi., 2006) مطالعاتی است که در زمینه روند تغییرات بارش و تشخیص پدیده تغییر اقلیم انجام شده است. مسئله خشکسالی به‌عنوان مهم‌ترین پدیده اقلیمی، از مشکلات جهان به ویژه ایران است و به هنگام وقوع، شدیداً بر منابع آب و متعاقب آن بر کشاورزی، بهداشت، صنعت و سایر موارد زندگی اثرات منفی می‌گذارد و در مقایسه با دیگر حوادث طبیعی، خسارات اقتصادی، اجتماعی و جانی ناشی از آن از شدت و دامنه وسیع‌تری برخوردار است بنابراین تجزیه و تحلیل کامل پدیده خشکسالی نیازمند مطالعه گستره مکانی و زمانی خشکسالی می‌باشد (Sirdas and Sen., 2003). به منظور ارزیابی شدت خشکسالی نمایه‌های

افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای در قرن اخیر، عامل چالش بزرگی به نام پدیده تغییر اقلیم می‌باشد. امروزه شواهد کافی نشان می‌دهد که پدیده‌های دگرگونی اقلیم و گرمایش جهانی مشکلات جدی و گسترده‌ای را در سراسر جهان پدید آورده‌اند و بر زندگی انسان تاثیر نامطلوب گذاشته و همچنین آسیب‌های زیادی را بر زیر ساخت‌ها وارد نموده‌اند. به‌دنبال افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی، گردش عمومی جو نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد و باعث تغییراتی در مقدار، شدت، مدت و زمان وقوع بارش، تغییر دما و دیگر پارامترهای هواشناسی و به‌طور کلی تغییر اقلیم در نقاط مختلف کره زمین می‌شود. تغییر اقلیم در واقع تغییر برگشت‌ناپذیر در متوسط شرایط آب و هوایی است که در شکل‌های مختلف از قبیل کاهش یا افزایش بارش، جابجایی زمان و شدت بارش ظاهر می‌شود. رسولی و همکاران (1392) به بررسی روند بارش نیشان استان آذربایجان شرقی پرداختند و نتایج نشان داد که سری زمانی بارش‌های نیشانی در دوره مورد

1- دانش آموخته مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
2- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
3- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
* - نویسنده مسئول: (Email: monir.faghani@yahoo.com)

دما مشاهده گردید و نتایج بررسی‌های بارش دارای تفاوت‌های مکانی بوده است. عزیزی و روشنی (1387) به مطالعه تغییر اقلیم در 6 ایستگاه واقع در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من - کندال در دوره آماری 40 ساله پرداختند نتایج آن‌ها نشان از وجود روند در سری زمانی بارش‌ها در ایستگاه‌های گرگان و انزلی دارد. قربانی (1393) به منظور بررسی روند تغییرات دمای هوا در پهنه جغرافیایی ایران از آزمون من - کندال اصلاح شده و تخمین‌گر شیب سن و شیب خط روند اصلی در دو دوره زمانی 1961-1990 و 1991-2050 استفاده نمود نتایج نشان دادند که در دوره زمانی اول فقط در برخی از مناطق و در فصل‌های تابستان و زمستان و در دوره زمانی دوم در تمام مناطق و فصل‌ها روند مشاهده گردید. بسنده کردن تنها به نتایج آزمون ناپارامتری من - کندال و عدم بررسی شکست ساختاری در تحلیل داده‌ها ممکن است منجر به عدم تفسیر صحیح در تحلیل روند گردد زیرا وجود تغییرات ناگهانی (نقاط شکست) در سری زمانی بدین معنی است که میانگین، واریانس و یا هر دو آن‌ها در دو قسمت جز سری اول (سری قبل از شکست) و جز سری دوم (سری بعد از شکست) از لحاظ آماری تفاوتی معنی‌دار دارند و متعلق به دو جامعه متفاوت آماری می‌باشند. در زمینه بررسی شکست ساختاری در داده‌ها از آزمون‌های پارامتری مانند آزمون چائو و غیرپارامتری مانند آزمون پتی، بوشنه، لیباز و ... استفاده می‌شود که آزمون پتی مورد استقبال محققان متعددی قرار گرفته است و مزیت اصلی این روش، قابلیت آن در تعیین زمان وقوع تغییرات ناگهانی در سری زمانی مورد بررسی است (Kundzewicz and Robson., 2000). محققانی چون (Paturel et al., 1997; Servat et al., 1997; Perreault et al., 1999) به بررسی وجود نقاط شکست در سری‌های زمانی داده‌های هیدرولوژیکی نیز پرداخته‌اند. با بررسی پیشینه پژوهش چنین استنباط می‌شود که مطالعه جامعی روی روند خشکسالی هواشناسی فصلی در کل پهنه جغرافیایی ایران انجام نشده است و مطالعات بیش-تر به صورت موردی می‌باشد و از طرفی در غریب به اتفاق موارد به منظور تحلیل و بررسی روند تنها به آزمون‌های روند اکتفا می‌شود که عدم در نظر گرفتن نقطه شکست منجر به اشتباه فاحش در نتایج تحلیل روند خواهد شد. بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی روند تغییرات خشکسالی در مقیاس فصلی توسط دو آزمون ناپارامتری من - کندال و پتی در پهنه جغرافیایی ایران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

کشور ایران با وسعتی حدود 1648000 کیلومتر مربع و متوسط بارش سالانه 241 میلی‌متر در نیم کره شمالی و در قاره آسیا واقع شده است. این کشور بین دو نصف النهار 44 و 64 درجه شرقی و دو مدار

متعددی بر پایه کمیت بارش از جمله نمایه شدت خشکسالی پالم¹، نمایه ناهنجاری بارندگی²، نمایه دهک‌ها³، نمایه رطوبت محصول⁴، نمایه خشکسالی بالم و مولی⁵، نمایه استاندارد شده بارش سالانه، نمایه بارش استاندارد، نمایه درصد از نرمال⁶ و روش نیچه⁷ ارایه شده است (قربانی و همکاران، 1388). به منظور انتخاب مناسب‌ترین نمایه خشکسالی، با استفاده از ضریب همبستگی به این نتیجه رسیدند که نمایه‌های زوج شده (PN-RAI) و (SPI-RAI) در اکثر ایستگاه‌ها از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردارند (پیری و همکاران، 1392). از طرفی قرارگیری بخش‌های زیادی از پهنه ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان از یک سو و داشتن نقش تعیین‌کننده‌ای که نزولات جوی در تامین آب کشور برعهده دارند از سوی دیگر باعث شده که آگاهی نسبت به روند تغییرات خشکسالی از اهمیت چشمگیری برخوردار باشند. برای محاسبه روند از روش‌های پارامتری و غیرپارامتری استفاده می‌شود که از محدودیت‌های روش پارامتری، تبعیت سری از توزیع آماری خاصی بوده ولی روش‌های غیرپارامتری مستقل از توزیع آماری بر سری زمانی بوده و برای سری‌هایی که دارای کشیدگی یا چولگی زیادی می‌باشند مناسب‌تر از روش‌های پارامتری می‌باشند (Bihrat and Mehmetcik., 2003). از جمله پرکاربردترین روش‌های ناپارامتری در تحلیل روندهای یکنواخت می‌توان به روش‌های من - کندال و اسپیرمن⁸ اشاره نمود (Wang et al., 2011). (ملکی نژاد و سلیمانی مطلق، 1390) خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه چغلووندی واقع در لرستان را با استفاده از شاخص SPI و SWI محاسبه نموده و به منظور بررسی روند از آزمون من - کندال استفاده نمودند نتایج نشان دهنده افزایش شدت و تداوم خشکسالی‌ها به ویژه خشکسالی هیدرولوژیکی در سال‌های اخیر و وجود تاخیر زمانی متفاوت بین وقوع خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی آب‌های سطحی و زیرزمینی بوده است. گاندومارک با بررسی دما و بارش در یک دوره چهل و هشت ساله در حوضه زاینده رود به این نتیجه رسید که مقدار بارش و دما در این حوضه هیچ تغییر معناداری نکرده است (Gandomkar., 2011). اوسطی و همکاران (1394) روند تغییرات متغیرهای هیدرواقلمی را در ایستگاه‌هایی با آمار طولانی مدت در سراب کرخه با استفاده از روش من - کندال اصلاح شده بررسی نمودند که روند افزایشی در متغیرهای

- 1 - PDSI : Palmer Drought Severity Index
- 2 - RAI : Rainfall Anomaly Index
- 3 - DPI : Deciles of Precipitation Index
- 4 - CMI : Crop Moisture Index
- 5 - BMDI : Bahlme and Mooley Drought Index
- 6 - PNPI : Percent of Normal Precipitation Index
- 7 - Nitzche
- 8 -SR:Spearman

مختلف در انتخاب ایستگاه‌ها از جمله؛ (آمار طولانی مدت، حداقل نواقص آماری و پراکنش مناسب در منطقه) طی دوره مشترک آماری 25 سال (1390-1366) استفاده گردید. موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی در شکل 1 نشان داده شده است.

25 و 40 درجه شمالی قرار گرفته است و حدود 94/8 درصد از سطح آن در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک با ریزش‌های جوی کم و تبخیر و تعرق زیاد قرار دارد. در این پژوهش به منظور تجزیه و تحلیل روند خشکسالی در سطح کشور از داده‌های 119 ایستگاه سینوپتیک متعلق به سازمان هواشناسی کشور (با در نظر گرفتن معیارهای



شکل 1 - موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

مناسبی بر آمار بلندمدت بارندگی برازش داده شود که معمولاً توزیع گاما در نظر گرفته می‌شود سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل شود (Sonmez et al., 2005). طبقات مختلف SPI بر اساس نتایج مک کی و همکاران (Mckee et al., 1993) در جدول 1 ارائه شده است.

شاخص بارش استاندارد (SPI)

شدت و تداوم خشکسالی‌های هواشناسی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت و خشکسالی‌های هیدرولوژیک در مقیاس‌های بلندمدت توسط شاخص بارش استاندارد شده برآورد می‌شود. به منظور محاسبه شاخص بارش استاندارد (SPI) در ابتدا می‌بایست توزیع آماری

جدول 1 - طبقات مختلف SPI

مقادیر SPI	طبقه خشکسالی
> 0	بدون خشکسالی
0 تا $-0/99$	خشکسالی ملایم
-1 تا $-1/49$	خشکسالی متوسط
$-1/5$ تا $-1/99$	خشکسالی شدید
≤ -2	خشکسالی بسیار شدید

گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به کار گرفته می‌شود (Lettenmaier et al., 1994). عدم وابستگی به توزیع آماری خاص و اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی از مزایای آن می‌باشد (Turgay and Ercan., 2005). فرض صفر

آزمون ناپارامتری من - کندال (MK)

آزمون من - کندال ابتدا توسط من ارایه و سپس توسط کندال بسط و توسعه یافت (قربانی، 1393). این روش به‌طور متداول و

1- MK: Mann-Kendall

تابستان، پاییز و زمستان برای 119 ایستگاه در کل پهنه ایران محاسبه گردید. سپس از آزمون من - کندال برای تحلیل روند سری‌های فصلی در ایستگاه‌های مورد بررسی استفاده گردید (حالت اول) و بر اساس نتایج این آزمون نقشه‌هایی که سه وضعیت روند افزایشی معنی‌دار، فاقد روند و روند کاهشی معنادار را نشان می‌دهد استخراج شد. به منظور بررسی نقاط شکست در سری داده‌ها، از آزمون پتی بهره گرفته شده و نقاط شکست در سری‌های فصلی شاخص SPI در ایستگاه‌های مختلف تعیین شد. در سری‌های مورد بررسی که در آزمون پتی دارای نقطه شکست معنی‌دار آماری می‌باشند می‌باید سری به دو جز سری قبل و بعد نقطه شکست تبدیل شود. بر این اساس در سری‌هایی که در آزمون پتی وجود نقاط شکست در سطح معنی‌داری 5 درصد تعیین شد از آزمون من - کندال برای بررسی روند در جز سری دوم بهره گرفته شد (حالت دوم) و نقشه‌های روند در ایستگاه‌های مختلف در سطح کشور برای هر سری فصلی اصلاح گردید.

آزمون ناپارامتری پتی^۲ (PT)

این تست توسط پتی (Pettitt, 1979) ارائه شده است و در مکانی که در سری زمانی نقطه تغییر وجود داشته باشد، سری مورد نظر در آن مکان به دو جز سری تقسیم می‌شود. در صورت معنی‌دار شدن نقطه شکست در سری، نسبت مقادیر میانگین اجزا سری قبل و بعد از نقطه تغییر، برای ارزیابی بزرگی شکست به کار گرفته می‌شود. برای سری‌های زمانی که نقطه شکست معنی‌داری را نشان می‌دهد، آزمون روند بر روی جز سری‌ها و در صورت عدم معنی‌داری نقطه شکست آزمون روند بر روی کل سری اعمال می‌شود. آماره K در آزمون پتی طبق رابطه 5 به دست می‌آید (Salarjazi et al., 2012).

$$k = \max |u_k| \quad (5)$$

$$1 \leq K \leq N$$

u_k معادل آماره من - ویتنی است که برای آزمون دو نمونه (x_1, x_2, \dots, x_T) و $(x_{T+1}, x_{T+2}, \dots, x_N)$ از یک جمعیت یکسان به کار می‌رود که N تعداد کل داده می‌باشد و T شماره ترتیب داده‌ای است که آماره آزمون پتی به حداکثر مقدار خود رسیده است. u_k طبق رابطه 6 محاسبه می‌شود.

$$u_k = 2 \sum_{i=1}^k M_i - k(N+1) \quad (6)$$

M_i رتبه داده مشاهده i ام است. نقطه شکست در سری زمانی در نقطه‌ای روی می‌دهد که u_k به حداکثر مقدار خود می‌رسد. برای

آزمون من - کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. برای محاسبه آماره این آزمون ابتدا پارامتر S با استفاده از رابطه 1 محاسبه می‌شود.

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

که در آن n تعداد مشاهدات سری و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری هستند. تابع علامت نیز بر طبق رابطه 2 محاسبه می‌شود.

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

سپس آماره Z آزمون ناپارامتری من کندال با استفاده از رابطه 3 محاسبه می‌گردد.

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

چنانچه مقدار Z بزرگ‌تر از $1/96$ + یا کوچک‌تر از $1/96$ - باشد، سری در سطح معناداری آماری 0/95 دارای روند معنادار می‌باشد و فرض صفر (عدم وجود روند) رد می‌شود و همچنین مقدار مثبت Z روند افزایشی و مقدار منفی Z روند کاهشی سری زمانی را نشان می‌دهد (Marofi et al., 2013; Hooshmand et al., 2012). در رابطه فوق واریانس s از رابطه 4 به دست می‌آید.

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m (t(t-1)(2t+5))}{18} \quad (4)$$

که در آن m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t نیز بیانگر فراوانی داده‌هایی با ارزش یکسان است. به منظور حذف اثر همبستگی متوالی در آزمون من - کندال، قبل از اعمال آزمون من کندال بر سری داده‌ها از روش پیش سفید کردن¹ (حذف خود همبستگی) استفاده می‌شود بدین منظور ابتدا ضریب همبستگی متوالی با یک تاخیر (r_1) محاسبه می‌شود. اگر (r_1) محاسبه شده در سطح 5 درصد معنی‌دار نبود آزمون من - کندال بر روی داده‌های اصلی انجام می‌شود ولی اگر (r_1) محاسبه شده معنی‌دار بود قبل از اعمال آزمون من - کندال، سری زمانی به روش پیش سفید کردن $(x_2 - r_1 x_1, x_3 - r_1 x_2, \dots, x_n - r_1 x_{n-1})$ اصلاح می‌شود (Partial). (Kahya, 2006). در این پژوهش به منظور تحلیل خشکسالی‌های فصلی ابتدا شاخص SPI در چهار فصل بهار،

معنی‌دار بوده‌اند.

نتایج آزمون روند و نقطه شکست برای سری شاخص

خشکسالی SPI فصل بهار

به‌منظور تحلیل روند تغییرات و نوسانات خشکسالی فصل بهار، روش آزمون ناپارامتری من‌کندال بر کل سری SPI فصلی بهار اعمال گردید (حالت اول) که از 119 ایستگاه موجود، 97 ایستگاه فاقد روند، 16 ایستگاه دارای روند افزایشی و 6 ایستگاه دارای روند کاهش‌ی بوده‌اند. به‌منظور تحلیل و بررسی نقاط شکست در سری داده‌ها، آزمون ناپارامتری پتی بر همه سری‌های شاخص خشکسالی SPI فصل بهار در ایستگاه‌های مختلف اعمال گردید. نتایج آزمون پتی نشان می‌دهد که در 42 ایستگاه در سطح معنی‌داری 5 درصد، سری‌ها دارای شکست می‌باشند.

آزمون معناداری آماری نقطه تغییر مقدار محاسبه شده k با مقدار تئوری آن در سطح احتمال α طبق رابطه 7 محاسبه می‌شود (Moazed et al., 2012).

$$k_{\alpha} = \left[\frac{-\ln \alpha (N^3 + N^2)}{6} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$P \approx \exp \left[\frac{-6k^2}{N^3 + N^2} \right] \quad (8)$$

اگر P در آزمون پتی کم‌تر از سطح معناداری 5 درصد باشد فرض صفر (عدم شکست) رد می‌شود.

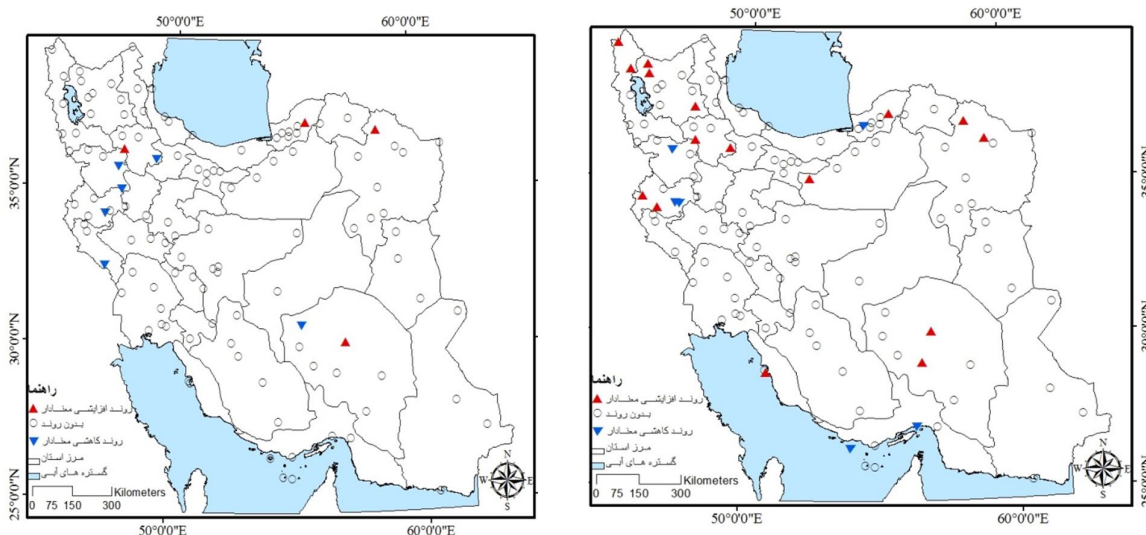
نتایج و بحث

با توجه به اهمیت آماره آزمون من - کندال و نیز مرتبه وقوع شکست در آزمون پتی، نتایج این آزمون‌ها برای هر سری فصلی شاخص SPI ارائه شد که نتایج از نظر آماری در سطح 5 درصد

جدول 2- نتایج تحلیل روند (آزمون من - کندال) و نقطه شکست (آزمون پتی) شاخص خشکسالی SPI در فصل بهار

نام ایستگاه	z (کل سری)	T	z (جز سری دوم)	نام ایستگاه	z (کل سری)	T	z (جز سری دوم)
پارس‌آباد	1/53	8*	-1/31	اسلام‌آباد	3/19*	18*	-0/38
ماکو	2/87*	16*	-1/63	کاشان	1/01	6*	-1/37
جلفا	2/97*	6*	0/76	داران	1/75	5*	-0/26
خوی	2/64*	6*	0/45	خوربیبایانک	1/39	5*	-0/46
سهند	0/91	5*	-1/33	فردوس	1/93	6*	-0/57
سراب	1/82	6*	-1/22	دزفول	1/41	5*	-0/77
مراغه	-1/78	12*	0	دهلران	0/41	5*	-2/67*
میانه	2/55*	18*	0	اصفهان	0/95	5*	-1/64
خلخال	1/26	5*	-1/61	یاسوج	0/99	5*	-1/44
تکاب	2/64*	5	-	انار	0/73	5*	-2/02*
خرم‌دره	2/46*	19*	-2/02*	کرمان	2/87*	16	-
قوچان	1/96*	5	-	زرقان	0/88	6*	-1/55
گل‌مکان	2/48*	20*	0	شهر بابک	1/94	5*	-1/41
بیجار	1/85	5*	-4/28*	بافت	2/35*	20*	-0/34
زرینه	-2/66*	15*	1/15	بوشهر دریایی	3/01*	9*	-0/88
دوشان تپه	-1/09	20*	0	بندرعباس	-2/01*	14*	-0/72
گرمسار	2/14*	18*	-0/57	میناب	1/88	18*	-0/38
خراسان	0/64	5*	-0/42	جزیره کیش	-2/65*	13*	-0/47
روانسر	1/02	5*	-1/37	بندر لنگه	1/48	20*	-1/7
زهاب	2/52*	18*	-0/38	بندرکنارک	-1/89	13*	0/47
کرمانشاه	-2/08*	12	-	مرند	3/37*	16*	-0/62
قروه	0/58	5*	-2/08*	کلاله	2/51*	11	-
گناباد	1/59	5*	-1/21	سرارود کرمانشاه	-6/78*	19*	1/22
				آق‌قلا	-2/52*	18*	-0/75

* معناداری در سطح 5 درصد



شکل 2 - وضعیت روند تغییرات زمانی شدت خشکسالی فصل بهار بر اساس شاخص SPI در ایستگاه‌های مطالعاتی، قبل از بررسی نقطه شکست (شکل سمت راست) و بعد از بررسی نقطه شکست (شکل سمت چپ).

این الگوی تغییرات مکانی جای خود را به یک الگوی روند کاهشی محدود در ایستگاه‌های غرب کشور می‌دهد.

نتایج آزمون روند و نقطه شکست برای سری شاخص خشکسالی SPI فصل تابستان

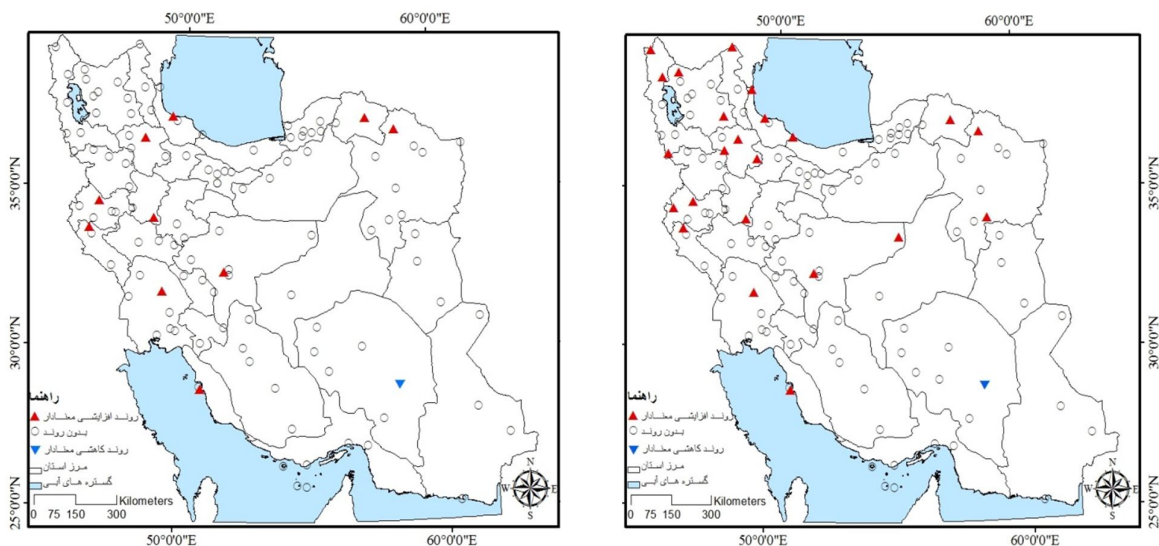
با اعمال آزمون من - کندال بر سری‌های SPI فصل تابستان در 119 ایستگاه در حالت اول یعنی در نظر گرفتن کل سری مشخص گردید در 23 ایستگاه روند افزایشی و در 1 ایستگاه روند کاهشی وجود دارد در حالی که در 95 ایستگاه باقی‌مانده روندی مشاهده نشده است. در ادامه برای بررسی پتانسیل وقوع نقاط شکست در سری داده‌های ایستگاه‌های مورد بررسی از آزمون پتی استفاده شد و نتایج این آزمون نشان داد که در 27 ایستگاه سری داده‌ها در سطح اطمینان 95 درصد، داده‌ها دارای نقطه شکست می‌باشند. بررسی نتایج آزمون روند با در نظر گرفتن کل سری در 27 ایستگاه مورد اشاره، بیانگر روند افزایشی در 13 ایستگاه و عدم روند در 14 ایستگاه دیگر است. با اعمال آزمون من - کندال در حالت دوم یعنی در نظر گرفتن جز سری دوم ایستگاه‌های مورد نظر مشخص گردید که همه 27 ایستگاه مورد بررسی فاقد روند می‌باشند. تجمع نتایج آزمون روند در دو حالت، بیانگر وجود روند افزایشی در 10 ایستگاه و روند کاهشی در 1 ایستگاه است. بررسی مکانی نتایج در شکل 3 نشان می‌دهد که در حالت کاربرد کل سری در تحلیل روند (حالت اول) در نیمه شمالی و نیمه غربی کشور تعداد قابل ملاحظه‌ای از ایستگاه‌ها روند افزایشی را نشان می‌دهند اما با اصلاح نتایج بر مبنای کاربرد آزمون پتی، الگوی قبلی با وضوح به مراتب کم‌تری برقرار می‌باشد.

بررسی نتایج آزمون من کندال اعمال شده بر کل سری (حالت اول) در این 42 ایستگاه نشان می‌دهد که در 12 ایستگاه روند افزایشی و در 5 ایستگاه روند کاهشی مشاهده می‌شود و همچنین 25 ایستگاه فاقد روند می‌باشند. در ادامه با توجه به شکسته شدن سری - های شاخص SPI فصل بهار در 42 ایستگاه آزمون من کندال بر جز سری دوم در این 42 ایستگاه اعمال شد (حالت دوم) که بر اساس نتایج در جز سری‌های دوم 5 ایستگاه دارای روند کاهشی و 37 ایستگاه فاقد روند می‌باشند. بررسی تغییر وضعیت نتایج آزمون من کندال در حالت اول و دوم بیانگر آن است که در بین 42 ایستگاه دارای نقطه شکست در 11 ایستگاه روند افزایشی به وضعیت عدم روند، در 1 ایستگاه روند افزایشی به روند کاهشی، در 4 ایستگاه وضعیت عدم روند به روند کاهشی، در 5 ایستگاه روند کاهشی به وضعیت عدم روند تغییر یافته و در 21 ایستگاه باقی‌مانده در هر دو حالت عدم روند وجود داشته است. بررسی کل ایستگاه‌ها با در نظر گرفتن نتایج آزمون روند برای جز سری دوم سری‌هایی که دارای نقطه شکست بوده‌اند و برای کل سری در سری‌هایی که نقطه شکست نداشته‌اند نشان می‌دهد که در مجموع 4 ایستگاه دارای روند افزایشی، 6 ایستگاه دارای روند کاهشی و باقی ایستگاه‌ها فاقد روند می‌باشند. توزیع مکانی نتایج آزمون روند در دو حالت یعنی قبل و بعد کاربرد آزمون نقطه شکست برای سری‌های شاخص خشکسالی SPI فصل بهار در شکل 2 ارائه شده است. همان‌طور که در شکل 2 مشخص است در حالت اول یعنی قبل کاربرد آزمون نقطه شکست تعداد قابل توجهی از ایستگاه‌ها در نیمه شمالی کشور روند افزایشی را نشان می‌دهند اما بعد از اعمال آزمون نقطه شکست و اصلاح نتایج،

جدول 3 - نتایج تحلیل روند (آزمون من - کندال) و نقطه شکست (آزمون پتی) شاخص خشکسالی SPI در فصل تابستان

نام ایستگاه	z (کل سری)	T	z (جز سری دوم)	نام ایستگاه	z (کل سری)	T	z (جز سری دوم)
پارس آباد	2/73*	*15	-0/31	روانسر	2/04*	5	-
ماکو	3/18*	*15	1/47	زهاب	2/04*	*18	0
چلغا	3/95*	*15	-0/10	همدان	2/01*	5	-
خوی	2/08*	*5	0/97	گناباد	3/18*	*5	0
سهند	1/53	*5	-0/80	اسلام‌آباد	1/89	*19	0
آستارا	2/64*	*12	-0/16	داران	1/33	*5	-0/70
ارومیه	1/51	*5	-0/67	خوربیبانک	3/49*	*15	-0/83
میانه	3/44*	*15	1/06	فردوس	1/18	*5	-0/83
خلخال	1/85	*5	0/27	اصفهان	2/15*	5	-
بندرانزلی	2/01*	15	-	مسجدسلیمان	2/17*	12	-
بجنورد	5/89*	10	-	بم	-2/53*	11	-
پیران شهر	1/91	*5	0/26	بوشهر دریایی	2/99*	6	-
سردشت	2/59*	*20	0/34	بندرعباس	0/43	*20	-0/72
تکاب	2/09*	*20	0/34	بوشهر	1/50	*20	-1/02
زنجان	2/33*	5	-	جزیره کیش	0/83	*19	-0/73
خرم‌دره	2/02*	*20	0	جزیره سیری	1/13	*19	1/22
رامسر	2/17*	*12	-0/21	ابوموسی	1/29	*16	0/12
قوچان	2/78*	5	-	بندرکنارک	0/87	*20	-0/72
بیجار	1/65	*5	-0/77	ایوان غرب	3/17*	17	-

* معناداری در سطح 5 درصد



شکل 3 - وضعیت روند تغییرات زمانی شدت خشکسالی فصل تابستان بر اساس شاخص SPI در ایستگاه‌های مطالعاتی، قبل از بررسی نقطه شکست (شکل سمت راست) و بعد از بررسی نقطه شکست (شکل سمت چپ).

شاخص خشکسالی SPI فصل پاییز، مشخص کننده وجود روند افزایشی در 26 ایستگاه، روند کاهشی در 1 ایستگاه و نیز عدم وجود روند در 92 ایستگاه دیگر است. به‌منظور بررسی احتمال وقوع نقاط

نتایج آزمون روند و نقطه شکست برای سری شاخص خشکسالی SPI فصل پاییز
نتایج اعمال آزمون ناپارامتری من کندال بر کل سری (حالت اول)

سری شاخص خشکسالی SPI فصل پاییز نشان می‌دهند اما در حالت دوم در شمال غربی کشور الگوی بیان شده مشاهده نمی‌شود و در جنوب کشور نیز الگوی افزایشی به شکل ضعیف‌تری می‌باشد.

نتایج آزمون روند و نقطه شکست برای سری شاخص خشکسالی SPI فصل زمستان

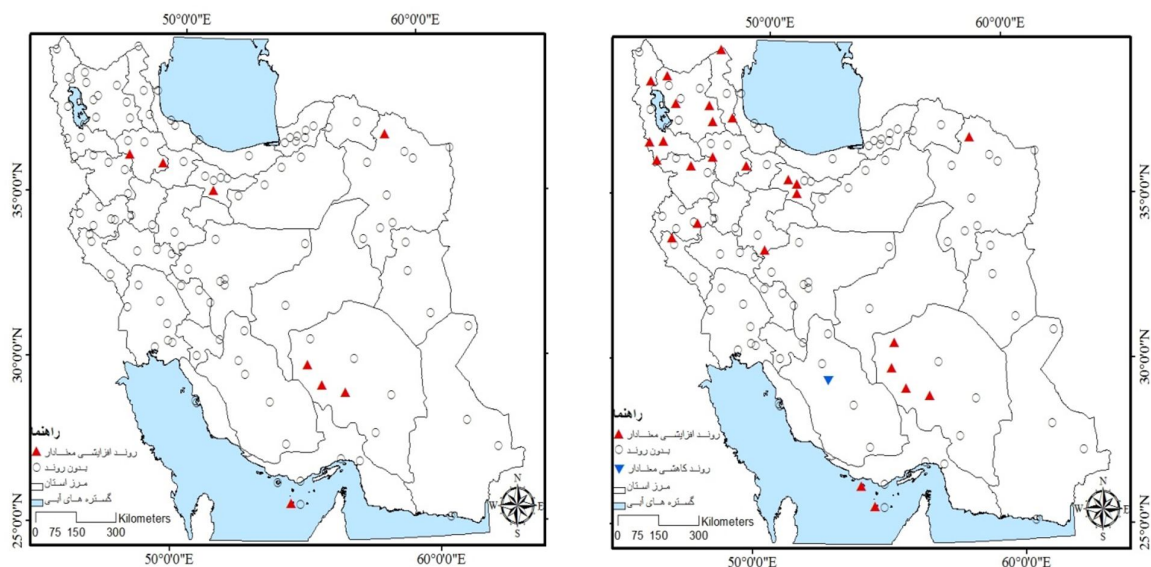
نتایج اعمال آزمون ناپارامتری من‌کندال بر سری شاخص خشکسالی SPI فصل زمستان در حالت اول بیان کننده روند افزایشی در 19 ایستگاه و عدم روند در 100 ایستگاه است. بررسی نتایج آزمون پتی نشان دهنده وجود نقطه شکست در سری شاخص خشکسالی SPI فصل زمستان در 16 ایستگاه است که ایستگاه‌های مورد اشاره در تحلیل روند در حالت اول در 11 مورد روند افزایشی داشته و در 5 مورد دیگر فاقد روند بوده‌اند. با اعمال آزمون من‌کندال بر جز سری دوم (حالت دوم) در ایستگاه‌هایی که سری داده‌های آن‌ها دارای نقطه شکست بوده است مشخص می‌شود که در 1 ایستگاه روند افزایشی در 2 ایستگاه روند کاهشی و در 13 ایستگاه عدم روند وجود دارد.

شکست در سری‌های داده‌های ایستگاه‌های مورد بررسی آزمون پتی به کار گرفته شد که نتایج این آزمون تایید کننده وجود نقطه شکست در 35 ایستگاه است. بررسی نتایج آزمون روند در حالت اول در ایستگاه‌هایی که دارای نقطه شکست بوده‌اند بیانگر آن است که در 20 ایستگاه روند افزایشی و در 1 ایستگاه روند کاهشی وجود داشته است لیکن بعد از اعمال آزمون روند من‌کندال بر جز سری دوم (حالت دوم) مشخص می‌شود که صرفاً از بین 35 ایستگاه در 2 ایستگاه روند افزایشی وجود دارد. مقایسه تغییرات نتایج تحلیل روند در دو حالت اول و دوم (قبل و بعد از اعمال آزمون پتی) نشان می‌دهد در بین 35 ایستگاه در 18 ایستگاه روند افزایشی در حالت اول به وضعیت عدم روند و 1 ایستگاه از روند کاهشی به وضعیت عدم روند تغییر وضعیت یافته و در سایر موارد تغییری حاصل نشده است. در مجموع با در نظر گرفتن همه ایستگاه‌های مورد مطالعه و هر دو حالت کاربرد آزمون روند مشخص شد که تنها در 8 ایستگاه روند افزایشی در سری شاخص خشکسالی SPI فصل پاییز مشاهده می‌شود و 111 ایستگاه باقی‌مانده فاقد روند می‌باشند. بررسی شکل 4 که ارایه کننده توزیع مکانی نتایج است نشان می‌دهد در حالت اول در شمال غربی و نیز در جنوب کشور تعدادی از ایستگاه‌ها به شکل واضح روند افزایشی در

جدول 4 - نتایج تحلیل روند (آزمون من - کندال) و نقطه شکست (آزمون پتی) شاخص خشکسالی SPI در فصل پاییز

نام ایستگاه	z (کل سری)	T	z (جز سری دوم)	نام ایستگاه	z (کل سری)	T	z (جز سری دوم)
پارس‌آباد	2/58*	9*	0	ایلام	1/67	21*	-1/04
جلفا	3/32*	17*	1/50	خرم‌آباد	1/67	21*	-1/04
خوی	3/61*	6*	1/28	دهلران	1/75	21*	0
سهند	3/91*	9*	0	کوهرنگ	0/74	21	-
سراب	2/07*	9*	-0/05	شهرکرد	-0/54	4*	1/70
میانه	2/50*	11*	0/55	یاسوج	1/91	21*	0
خلخال	1/97*	9*	-0/15	انار	2/21*	7*	0/08
رشت	-0/26	6	-	زرقان	-2/26*	6*	-0/88
پیران‌شهر	3/43*	17*	1/20	شهریابک	2/80*	17	-
سردشت	2/06*	6*	-0/18	سیرجان	2/26*	21	-
مهاباد	2/07*	7*	0/54	بافت	2/88*	16*	2/93*
تکاب	2/05*	21	-	فرودگاه بوشهر	1/39	21*	0
خرم‌دره	1/99*	12	-	میناب	1/41	20*	-1/70
شاهرود	0/83	12*	-1/02	کهنوج	1/52	18*	0/75
قوچان	2/56*	18	-	جزیره کیش	2/18*	20*	-0/34
زرینه	2/76*	20*	0/72	جزیره سیری	2/23*	10	-
کرج	2/97*	12*	0/56	ابوموسی	1/58	21*	0
دوشان‌تپه	3/17*	12*	2/13*	بشرویه	0/78	21*	0
تهران‌مهر	2/67*	12*	1/51	ایوان غرب	2/11*	20*	0/34
آبلی	1/39	12*	-0/75	خمین	2/37*	20*	-1/02
همدان	1/57	12*	0/55	درود	1/11	19*	-1/71
				کرمانشاه	2/21*	19*	-1/71

* معناداری در سطح 5 درصد



شکل 4 - وضعیت روند تغییرات زمانی شدت خشکسالی فصل پاییز بر اساس شاخص SPI در ایستگاه‌های مطالعاتی، قبل از بررسی نقطه شکست (شکل سمت راست) و بعد از بررسی نقطه شکست (شکل سمت چپ).

و آزمون پتی اعمال گردید. معاضد و همکاران به بررسی پارامترهای بارش در 12 ایستگاه هواشناسی در رودخانه کارون و دز پرداخته که در 5 سری از 48 سری آزمون پتی معنادار گردید (Moazed et al., 2012). کاندو و همکاران روند بارش سالانه در هند طی 135 سال و برای 30 ناحیه مورد بررسی قرار دادند که در نیمی از زیر بخش‌ها روند افزایشی در میزان بارش سالانه دیده شد که تنها در سه ناحیه (هارپانا، پنجاب و ساحلی کارناتاكا)، روند آماری معنادار بود (Kundu et al., 2014).

نتیجه‌گیری

مطالعات رایج در زمینه تحلیل روند بر اساس کاربرد آزمون پارامتری من‌کنندال می‌باشد. عدم در نظرگرفتن وجود ناپیوستایی در داده‌ها می‌تواند منجر به اشتباه در کاربرد و تحلیل آزمون‌های آماری شود. نتایج کاربرد آزمون پتی نشان می‌دهد که برای سری شاخص خشکسالی SPI فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب 42، 27، 35 و 16 ایستگاه دارای نقاط شکست بوده‌اند. مقایسه نتایج آزمون تحلیل روند برای سری شاخص خشکسالی SPI فصل بهار نشان می‌دهد در حالت اول در 16 ایستگاه روند افزایشی و در 6 ایستگاه روند کاهشی وجود داشته اما در حالت دوم تعداد ایستگاه‌های با روند افزایشی به 4 ایستگاه کاهش یافته لیکن تعداد ایستگاه‌های با روند کاهشی تغییری نیافته است. با مقایسه نتایج آزمون من-کنندال برای سری SPI فصل تابستان می‌توان دریافت که در حالت اول در 23 ایستگاه روند افزایشی و در 1 ایستگاه روند کاهشی وجود دارد اما

مقایسه نتایج حالت اول و دوم تحلیل روند در 16 ایستگاه که سری داده‌های آن‌ها دارای نقطه شکست بوده‌اند نشان دهنده آن است که در 9 ایستگاه روند افزایشی به وضعیت عدم روند، در 1 ایستگاه از وضعیت عدم روند به روند کاهشی و نیز در 1 ایستگاه از روند افزایشی به روند کاهشی تغییر وضعیت صورت گرفته و در 5 ایستگاه نتیجه تغییر نیافته است. بررسی نتایج در مجموع حالت‌های اول و دوم نشان می‌دهد که در 9 ایستگاه روند افزایشی، در 2 ایستگاه روند کاهشی و در 108 ایستگاه عدم روند برای سری شاخص خشکسالی SPI فصل زمستان وجود دارد. بررسی نقشه‌های مکانی نتایج آزمون روند در حالت‌های اول و دوم نشان از آن است که یک الگوی روند افزایشی در غرب کشور در حالت اول به صورت محسوس وجود دارد در حالی که با اصلاح نتایج بر اساس کاربرد آزمون نقطه شکست، الگوی بیان شده به شکل به مراتب ضعیف‌تری وجود خواهد داشت. به طور کلی عدم بررسی نقطه شکست در کنار آزمون روند منجر به تحلیل‌های نادرست در بررسی روند خواهد شد که نتایج حاصل از این پژوهش را از این بعد می‌توان با پژوهش‌های محققانی که بر روی متغیرهای بارش و دبی کار نمودند مقایسه نمود.

(Salarjazi et al, 2012) به بررسی سری‌های زمانی مشخصه‌های جریان در رودخانه کارون پرداخته‌اند و روند افزایشی در سری‌های زمانی دیده شد که با اعمال آزمون پتی، روند کاهشی در تمامی جز سری‌ها مشاهده گردید. همچنین ترابرت و کریستیان (Trabert and Christian., 2016) به بررسی دبی جریان در حوضه اولستر و فولدا در آلمان پرداختند که مشخص گردید نتیجه روند بی‌معنی است

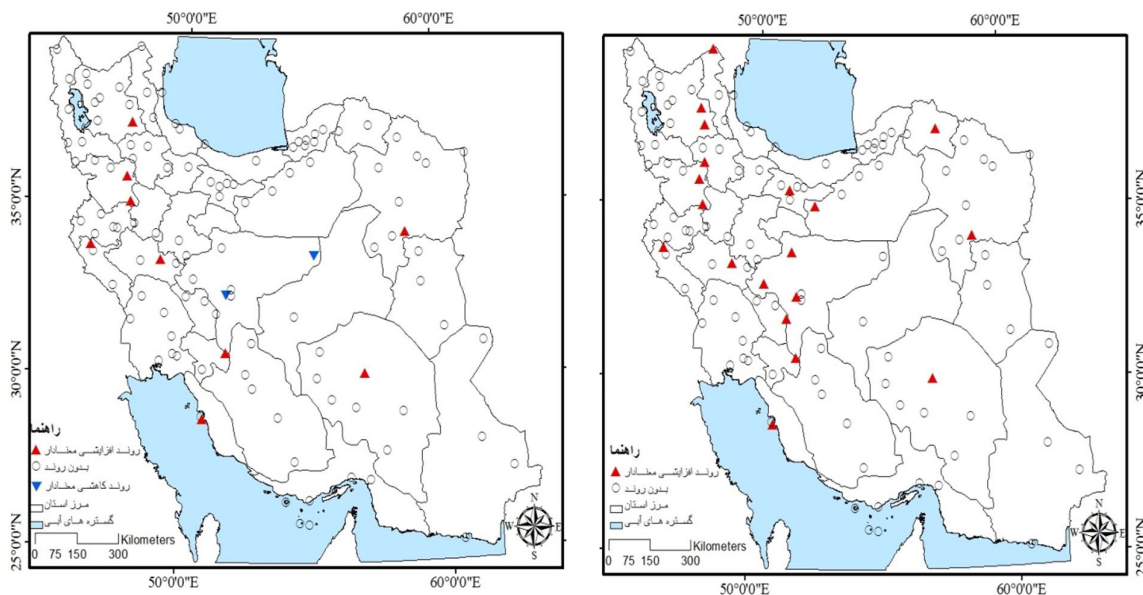
روند افزایشی وجود دارد. همچنین مقایسه نتایج برای سری شاخص خشکسالی SPI فصل زمستان بیانگر روند افزایشی در 19 ایستگاه در حالت اول و روند افزایشی و کاهش به ترتیب در 9 و 2 ایستگاه در حالت دوم است.

در حالت دوم در 10 ایستگاه روند افزایشی و در 1 ایستگاه روند کاهش دیده می‌شود. ارزیابی مقایسه‌ای نتایج بررسی روند برای سری SPI فصل پاییز بیانگر وجود روند افزایشی و کاهش به ترتیب در 26 و 1 ایستگاه در حالت اول است اما در حالت دوم تنها در 8 ایستگاه

جدول 5 - نتایج تحلیل روند (آزمون من - کندال) و نقطه شکست (آزمون پتی) شاخص خشکسالی SPI در فصل زمستان

نام ایستگاه	z (کل سری)	T	z (جز سری دوم)	نام ایستگاه	z (کل سری)	T	z (جز سری دوم)
پارس آباد	2/85*	6*	0/23	گناباد	2/29*	6	-
سراب	2/35*	7*	-0/54	کاشان	2/60*	14*	-1/07
میانه	2/50*	14*	2/05*	داران	3/50*	13*	-1/56
بجنورد	2/76*	16*	-0/18	خوربیبانک	1/92	14*	-3.05*
پیران شهر	1/72	6*	-0/04	اصفهان	2/67*	13*	-2/02*
سردشت	1/70	7*	-0/33	یاسوج	3/14*	8	-
تکاب	2/45*	14*	1/79	کرمان	2/01*	15	-
قوچان	1/64	6*	-0/53	بوشهر دریایی	2/08*	14	-
بیجار	2/66*	7	-	میناب	1/82	20*	-0/72
تهران مهر	2/29*	13*	-0/08	ایوان غرب	2/17*	14	-
گرمسار	2/50*	5*	1/45	درود	2/26*	13	-
قروه	2/75*	6	-	بروجن	2/83*	14*	-0/85

* معناداری در سطح 5 درصد



شکل 5 - وضعیت روند تغییرات زمانی شدت خشکسالی فصل زمستان بر اساس شاخص SPI در ایستگاه‌های مطالعاتی، قبل از بررسی نقطه شکست (شکل سمت راست) و بعد از بررسی نقطه شکست (شکل سمت چپ).

فصلی، روندهای افزایشی در تعداد قابل ملاحظه‌ای از ایستگاه‌ها وجود دارد اما با اعمال آزمون نقطه شکست و تصحیح نتایج مشخص می‌شود که تعداد محدودی از ایستگاه‌های مورد مطالعه در سراسر

موارد بیان شده به خوبی نشان می‌دهد که الف: عدم به کارگیری آزمون نقطه شکست منجر به خطاهای فاحش در تحلیل‌های روند می‌شود؛ در حالت اول در همه سری‌های شاخص خشکسالی SPI

28-17:4.9

- Bihrat, O., Mehmetcik, B. 2003. The Power of Statistical Tests for Trend Detection, Turkish Journal. Engineering. Environmental. Sciences. 27: 247-251.
- Gruza, G., Rankova, E., Razuvaev, V., Bulygina, O. 1999. Indicators of climate change for the Russian Federation. Climatic Change. 42: 219-242.
- Gandomkar, A. 2011. Investigating the precipitation and temperature change procedure in Zayanderood watershed, World Academy of Science, Engineering and Technology. 5: 43-47.
- Hess, T.M., Stephens, W., Maryah, U.M. 1995. Rainfall trends in the north east arid zone of Nigeria 1961-1990. Agricultural and Forest Meteorology. 74: 87-97.
- Hooshmand, A., Salarijazi, M., Bahrami, M., Zahiri, J., Soleimani, S. 2013. Assessment of pan evaporation changes in South Western Iran. African Journal of Agricultural Research. 8.16: 1449-1456.
- Khorshiddoust, M.A., Ghavidel Rahimi, Y. 2006. The Simulation of Atmospheric Carbon Dioxide Doubling Impacts on Climatic Changes in Tabriz Using Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) General Circulation Model. Journal of Environmental Studies. 32: 39. 1-10.
- Kundu, S., Khare, D., Mondal, A., Mishra, P. 2014. Long term rainfall trend analysis (1871-2011) for whole India. Climate Change and Biodiversity. Springer Japan. 45-60.
- Kundzewicz, Z.W., Robson, A.J. 2000. Detecting trend and other changes in hydrological data, World Climate Program-Data and Monitoring, Geneva. 158.
- Lettenmaier, D.P., Wood, E.F., Wallis, J.R. 1994. Hydro-climatological trends in the continental United States. Journal of Climate. 7: 586-607.
- Marofi, S., Soleymani, S., Salarijazi, M., Marofi, H. 2012. Watershed-wide trend analysis of temperature characteristics in Karun-Dez watershed, southwestern Iran. Theoretical and Applied Climatology. 110.1-2: 311-320.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scale, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, American Meteorological Society: 179-184.
- Moazed, H., Salarijazi, M., Moradzadeh, M., Soleymani, S. 2012. Changes in rainfall characteristics in Southwestern Iran. African Journal of Agricultural Research. 7.18: 2835-2843.
- Partal, T., Kahya, E. 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. Hydrological Processes. 20:2011-2026.

کشور با روند افزایشی شاخص خشکسالی SPI فصلی مواجه هستند. بررسی توزیع مکانی روند شاخص خشکسالی SPI فصلی در کشور در حالت اول نشان می‌دهد که برای فصل‌های مختلف، مناطق غربی کشور بیش از سایر مناطق با روند (افزایشی) مواجه بوده‌اند که با تصحیح نتایج در حالت دوم مشخص می‌شود که این الگو به شکل کاملاً ضعیف‌تری نسبت به حالت اول برقرار می‌باشد.

منابع

- اوسطی، خ.، سلاجقه، ع.، مهدوی، م.، کوئینگر، پ.، چپی، ک.، ملکیان، آ. 1394. تحلیل روند تغییرات جریان در رودخانه‌های سراب کرخه: شواهدی از آثار تغییر اقلیم بر سیستم‌های منابع آب، مجله منابع طبیعی و آبخیزداری ایران. 3: 659-674.
- آذرخشی، م.، فرزادمهر، ج.، اصلاح، م.، صحابی، ح. 1392. بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب و هوایی ایران، مجله منابع طبیعی ایران 6: 1-1.
- پیری، ح.، راهداری، و.، ملکی، س. 1392. ارزیابی تطبیقی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای (مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان)، مجله مهندسی منابع آب. 96: 114-111.
- رسولی، ع.ا.، جلالی، ط.، سرافروزه، ف.، اسماعیل‌پور، م. 1392. بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های نیسان و پیش‌بینی آن در استان آذربایجان شرقی. نشریه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی. 51: 171-191.
- عزیزی، ق.، روشنی، م. 1387. مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من - کندال. پژوهش‌های جغرافیایی. 13-28: 64.
- قربانی، خ. 1393. الگوی فصلی و مکانی تغییر اقلیم دمای هوا در ایران، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. 21: 257-270.
- قربانی، خ.، خلیلی، ع.، علوی‌پناه، س.ک.، نخعی‌زاده، غ.ر. 1388. مطالعه تطبیقی نمایه‌های هواشناسی خشکسالی SIAP و SPI به روش داده‌کاوی (مطالعه موردی استان کرمانشاه). نشریه آب و خاک. 3: 417-426.
- ملکی‌نژاد، ح.، سلیمانی‌مطلق، م. 1390. بررسی شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه چغلوئندی. مجله پژوهش آب ایران. 9: 61-72.
- مساح بوانی، ع.ر.، مرید، س. 1384. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی

2005. An Analysis of Spatial and Temporal Dimension of Drought Vulnerability in Turkey Using the Standardize Precipitation Index. *Natural Hazards*. 35: 243-264.
- Storch,H.V. 1995. Misuses of statistical analysis in climate research. In: Storch HV, Navarra A (eds) *Analysis of climate variability: applications of statistical techniques*. Springer, Berlin. 11-26.
- Suppiah,R and Hennessy,K. 1998. Trends in total rainfall, heavy rain events and number of dry days in Australia, 1910-1990. *International Journal of Climatology*. 10: 1141-1164.
- Turgay,P., Ercan,K. 2005. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes* published online in wiley Interscience. (www.Interscience.wiley.com).
- Turke,S.M. 1996. Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*. 16: 1057-1076.
- Trabert,A., Christian,O. 2016. Long-term trends in flood discharges of the Ulster and Upper Fulda (Germany): a statistical review. *Environmental Earth Sciences*. 75.20:1363-1376.
- Viglizzo,E.F., Roberto,Z.E., Filippin,M.C., Pordomingo,A.J. 1995. Climate variability and agroecological change in the central Pampas of Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 55: 7-16.
- Wang,W., Shao,Q., Peng,S., Zhang,Z., Xing,W., An,G., Yong,B. 2011. Spatial and temporal characteristics of changes in precipitation during 1957-2007 in the Haihe River basin, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 25.7: 881-895.
- Paturel,J.E., Servat,E., Kouame,B., Lubes,H., Quedraogo,M., Mason,J.M. 1997. Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part II: An integrated regional approach. *Journal of hydrologie*. 191:16-36.
- Perreault,L., Haché,M., Slivitsky,M., Bobée,B. 1999. Detection of changes in precipitation and runoff over eastern Canada and US using a Bayesian approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 13:201-216.
- Pettitt,A.N. 1979. A non-parametric approach to change point problem, *Applied Statistics*. 28: 126-135.
- Plummer,N., Salinger,M.J., Nicholls,N., Suppiah,R., Hennessy,K.J., Leighton,R.M., Trewin,B., Page,C.M and Lough,J.M. 1999. Changes in Climate extremes over the Australian region and New Zealand during the Twentieth century. *Climatic Change*. 42: 183-202.
- Salarijazi,M., Akhond-Ali,A.M., Adib,A., Daneshkhah,A. 2012. Trend and change-point detection for the annual stream-flow series of the Karun River at the Ahvaz hydrometric station. *African Journal of Agricultural Research*. 7.32: 4540-4552.
- Servat,E., Paturel,J.E., Lubès,H., Kouamé,B., Quedraogo,M and Mason,J.M. 1997. Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part I: detailed analysis of the phenomenon in Côte d'Ivoire. *Journal of Hydrologie*. 191: 1-15.
- Sirdas,S and Sen,Z. 2003. Spatio-temporal drought analysis in the Trakya region, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*. 48.5:809-819.
- Sonmez,F.K., Komuscu,A.U., Erkan,A and Turgu,E.

Trend and Change Point Analysis of Seasonal SPI Drought Index in Iran

M. faghani^{1*}, Kh. Ghorbani², M. salarjazi³

Received: Mar.15, 2017

Accepted: May.03, 2017

Abstract

Drought as shortage of rainfall compared to its long-term mean in a period can be affected by climate change. Evaluation of drought changes can be a useful tool for water resources management. In this study, to investigate the trend of drought in Iran, the monthly rainfall data of 119 meteorological stations in 1366-1390 are considered and SPI drought index are calculated based on these data. The Mann-Kendall and Pettitt tests are used for trend and change point analysis. Results of Pettitt test show change points for 42, 27, 35 and 16 stations in spring, summer, autumn and winter seasons respectively that demonstrates disregarding of change point analysis in trend test application can lead to non-negligible mistakes in results. The results of the trend analysis indicate that there are 4, 10, 8 and 9 increasing and 6, 1, 0 and 2 decreasing trends in stations in spring, summer, autumn and winter seasons respectively. Moreover, investigation of spatial distribution shows most of stations with trend in SPI index in different seasons are located in west region of the country so that there are decreasing trends in spring and increasing trends in summer and winter while there is no specific spatial pattern in autumn.

Keywords: Climate change, Drought, Mann-Kendall, Pettitt, Standardized Precipitations Index

1- Graduated Student of MSc of Water Resource Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2- Associate Professor of Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3 - Assistant Professor of Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

(*Corresponding Author Email: monir.faghani@yahoo.com)