

بررسی روند تغییرات زمانی و خصوصیات مکانی بارش و خشک سالی هواشناسی،

در غرب کشور طی چند دهه اخیر

صفر معروفی^{1*}، حسین طبری²، علی آیینی³، حسین معروفی

- 1) دانشیار، گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
- 2) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
- 3) دانش‌آموخته کارشناسی گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
- 4) دانش‌آموخته کارشناسی گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

* نویسنده مسئول مکاتبات: Smarofi@yahoo.com

تاریخ پذیرش: 90/12/03

تاریخ دریافت: 90/09/01

چکیده

خشک سالی یکی از جدی‌ترین مشکلات جوامع بشری و اکوسیستم‌ها، در نتیجه تغییرپذیری اقلیمی است. این پدیده، سالانه موجب میلیاردها دلار خسارت در سطح جهان می‌گردد و نسبت به دیگر بلاهای طبیعی، مردم بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این تحقیق، روند تغییرات سری‌های زمانی بارندگی و خشک سالی هواشناسی در ده ایستگاه واقع در غرب کشور، در دوره آماری 1355-1384 مورد بررسی قرار گرفته است. مقادیر شدت خشک سالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI)، در مقیاس زمانی 12 ماهه محاسبه گردید. همچنین تحلیل روند داده‌ها با استفاده از آزمون من-کندال و تخمین گر سن انجام شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که داده‌های بارندگی و شدت خشک سالی، دارای تغییرات زیادی نسبت به میانگین در دوره مورد مطالعه بوده‌اند. این تغییرات با افزایش خشکی به سمت شرق منطقه مورد مطالعه، فزونی یافته است. نتایج آزمون‌ها نشان داد که سری‌های زمانی بارندگی، دارای روند معنی‌دار کاهشی معنی‌دار در ایستگاه‌های سرپل ذهاب، بیجار، سنندج و سقز به ترتیب به میزان 5/03، 5/51، 6/68، 7/99 میلی‌متر در هر سال بوده است. همچنین شدت خشک سالی در ایستگاه‌های کرمانشاه، سقز، سنندج و خرم‌آباد در چهار دهه گذشته روند معنی‌دار افزایشی داشته است. نتایج بدست آمده نشان داد که تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی، حداقل یک خشک سالی بسیار شدید را در دوره مورد مطالعه تجربه نموده‌اند.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، تحلیل روند، خشک سالی هواشناسی، خصوصیات مکانی، شاخص بارش استاندارد.

مقدمه

بخش وسیعی از کشور ایران به علت قرار گرفتن در کمربند بیابانی دنیا، دارای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک است و به این دلیل بارش کمی (یک سوم بارش متوسط جهان) را دریافت می‌کند که این میزان بارش کم نیز در سال‌های مختلف دارای نوسانات شدیدی است. افزایش وقوع خشک سالی¹ و سیلاب در نواحی مختلف کشور را می‌توان از اثرات نوسانات بارش² محسوب نمود (فوبدل رحیمی 1383). خشک سالی، سالانه باعث میلیاردها دلار خسارت در سطح جهان می‌گردد (Yurekli and Kurunc, 2006). در سال‌های اخیر، خشک سالی در کشور ما نیز خسارات زیادی به بار آورده است. طبق شواهد موجود، در سال‌های اخیر، در اکثر استان‌های کشور، دولت بیش از ده‌ها میلیارد ریال جهت جبران خسارت‌ها، هزینه متحمل شده است (بری ابرقویی و همکاران 1382). به طوری که بخش اعظم بودجه عمرانی حدود 18 استان کشور، مصروف پرداخت خسارت به زارعان و دامداران شده و طرح‌های مقطعی، نظیر جیره‌بندی آب نیز به مرحله اجرا درآمده است (قهرمان و همکاران 1380).

یکی از روش‌های متداول، جهت تحلیل سری‌های زمانی داده‌های هواشناسی و بررسی وجود یا عدم وجود روند³ در آن‌ها، ناشی از تغییرات تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم⁴ یا در اثر فعالیت‌های انسانی می‌باشد (حجام و همکاران 1387). تحقیقات اندکی در زمینه بررسی وجود روند در سری‌های زمانی خشک سالی در ایران صورت گرفته است. ولی پژوهش‌های متعددی در رابطه با روند تغییرات بارندگی انجام شده است. رضیئی و ثقفیان (1383) روند خشک سالی در دشت سیستان را در دوره آماری 1960 تا 2000 مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که گرایش ایستگاه‌های منطقه، به سوی مرطوب شدن می‌باشد. کاویانی و عساکره (1384) با بررسی روند بارش سالانه اصفهان، در 103 سال اخیر نتیجه گرفتند که سری زمانی بارش سالانه، دارای روند معنی‌دار نمی‌باشد. ناظم‌السادات و همکاران (1384) با مطالعه روند تغییرات سری‌های زمانی بارش در جنوب و جنوب‌غرب کشور طی سال‌های 1951 تا 1999 نتیجه گرفتند که بارش سالانه، بعد از سال 1975 در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقایسه با قبل از این سال، افزایش یافته است. عسگری و رحیم‌زاده (1385) تغییرات ویژگی‌های بارش 34 ایستگاه سینوپتیک در دوره آماری 1951 تا 1991 را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد بارش سالیانه در برخی ایستگاه‌ها، نظیر مشهد و تهران، روند افزایشی و در برخی دیگر نظیر بندر انزلی روند کاهشی داشته است. مرادی و همکاران (1386) با استفاده از مدل رگرسیون خطی و آزمون من-کندال⁵، روند تغییرات زمانی 12 ماهه خشک سالی را در استان فارس بررسی نموده و نتیجه گرفتند که خشک سالی در مقیاس مزبور، دارای روند مثبت با شیب ملایم می‌باشد. عسگری و همکاران (1386) با تجزیه و تحلیل مقادیر حدی بارش در 27 ایستگاه سینوپتیک، (1961-1990) نشان دادند که هر سه حالت ایستا، مثبت و منفی در نمایه‌های بارش کشور قابل مشاهده است. قهرمان و تقواییان (1386) وجود روند در بارندگی سالانه ایران تا سال 2000 را با استفاده از آزمون شیب خط رگرسیون در 30 ایستگاه سینوپتیک، با طول دوره آماری برابر یا کمتر از 50 سال مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها حاکی از آن است که با در نظر گرفتن کل طول دوره آماری در سطح 95%، هفت ایستگاه روند منفی و شش ایستگاه روند مثبت داشتند.

¹ Drought

² Precipitation variability

³ Trend

⁴ Climate change

⁵ Mann-Kendall test

با تغییر طول دوره آماری به 40 سال آخر، در سطح 95%، هشت ایستگاه، روند مثبت و چهار ایستگاه روند منفی داشتند. با کاهش طول دوره آماری به 30 سال آخر، در ایستگاه‌های کمتری روند مشاهده شد.

نتایج تحقیق عساکره (1386) که تغییرات زمانی و مکانی بارندگی کشور را در طی سال‌های 1961 تا 2003 مورد بررسی قرار داد، نشان می‌دهد در حدود 51 درصد از مساحت کشور در معرض تغییرات بارش قرار دارند و این تغییرات در نواحی کوهستانی و نیز نیمه غربی، کشور رخداد بیشتری داشته است.

کتیرایی و همکاران (1386) روند بارش فصلی و سالانه را در 38 ایستگاه در دوره آماری 1960 تا 2001 مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده آن است که روند بارش کل سالانه در مناطق جنوب و جنوب‌غرب، مرکزی، شرق و شمال‌شرق، مثبت و در مناطق غرب و شمال‌غرب، شمال و جنوب‌شرق، منفی بوده است. همچنین روند بارش فصل زمستان، شبیه به روند بارش سالانه بوده و روند بارش فصل بهار در اغلب ایستگاه‌ها، کاهش و فصل پاییز افزایشی بوده است. نتایج تحقیق حجام و همکاران (1387) که به بررسی روند تغییرات فصلی و سالانه بارندگی چند ایستگاه منتخب در حوضه مرکزی ایران با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری در یک دوره آماری 29 ساله پرداختند، نشان می‌دهد برخی از ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی معنی‌دار می‌باشند. ولی با توجه به ناکافی بودن تعداد سری‌های دارای روند معنی‌دار، نسبت به سری‌های فاقد روند، نمی‌توان روند خاصی را بر بارندگی فصلی و سالانه منطقه مورد مطالعه نسبت داد. در تحقیق دیگری، طبری و همکاران (1387) روندهای درازمدت دمای هوا، بارندگی، رطوبت نسبی، سرعت باد و تبخیر-تعرق گیاه مرجع را با استفاده از آزمون من-کندال رتبه‌ای¹ در دو اقلیم سرد (نبریز و ارومیه) و گرم (زاهدان و یزد) کشور طی سال‌های 1345 تا 1384 مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که پارامترهای دما و تبخیر-تعرق گیاه مرجع، دارای روندهای افزایشی معنی‌دار و پارامترهای بارندگی و رطوبت نسبی، دارای روندهای کاهشی معنی‌دار بوده‌اند. همچنین نتایج آن‌ها بیانگر آن است که سری‌های زمانی سرعت باد، در اغلب ایستگاه‌ها، دارای روندهای کاهشی معنی‌داری در این دوره آماری 40 ساله بوده است.

Rebetez در سال 1999 روند تغییرات زمانی خشک سالی را در شمال سوئیس مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و نتیجه گرفت، خشک سالی در طول قرن بیستم بطور معنی‌دار افزایش یافته است. نتایج تحقیق da Silva در سال 2004 در منطقه نیمه‌خشک و ساحلی برزیل نشان می‌دهد در دهه‌های گذشته، فراوانی وقوع و شدت خشک سالی‌ها افزایش یافته است. مطالعه Modarres, da Silva در سال 2007 در خصوص بررسی روند در بارش ماهانه مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران نشان داد، بارش در برخی از ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی و در برخی دیگر، کاهشی بوده و این روندها در طول زمستان و بهار، معنی‌دارتر بوده است. Vicente-Serrano, Cuadrat-Prats در سال 2007 روند تغییرات شدت خشک سالی در شبه‌جزیره ایبری را طی سال‌های 1951 تا 2000 بررسی نمودند. نتایج آن‌ها حاکی از آن است که شدت خشک سالی در دوره موردنظر، دارای روند معنی‌دار افزایشی بوده است.

با توجه به اینکه تحقیقات بسیار اندکی در زمینه بررسی روند تغییرات زمانی خشک سالی صورت گرفته است، این پژوهش به منظور آشکارسازی روند تغییرات زمانی خشک سالی هواشناسی و بارندگی غرب کشور طی دوره آماری 1355 تا 1384 انجام شده است. بدین

¹ Mann-Kendall rank statistic

منظور، ابتدا شدت خشک سالی در مقیاس ۱۲ ماهه با استفاده از شاخص بارش استاندارد^۱ (SPI) محاسبه گردید. سپس با استفاده از آزمون من-کندال و تخمین گر سن^۲، روند تغییرات زمانی آن و همچنین بارندگی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. خصوصیات مکانی بارندگی و خشک سالی و سال آغاز روند نیز در این تحقیق مورد بحث قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل چهار استان همدان، کرمانشاه، کردستان و لرستان می‌باشد که در غرب ایران واقع شده‌اند (شکل ۱). منطقه موردنظر با مساحت تقریبی ۱۰۲ هزار کیلومترمربع در مختصات جغرافیایی $32^{\circ}40'$ تا $36^{\circ}28'$ عرض شمالی و $45^{\circ}24'$ تا $50^{\circ}1'$ طول شرقی واقع شده است. در این تحقیق، داده‌های بارش تعداد ۳۴ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی مورد بررسی قرار گرفت. محاسبه شاخص SPI در یک دوره معین، نیازمند وجود داده‌های بارندگی برای یک دوره آماری حداقل ۳۰ ساله می‌باشد (رضیعی و همکاران ۱۳۸۶). بنابراین از این مجموع، ۱۰ ایستگاه یافت شد که قدمت لازم برای یک دوره آماری ۳۰ ساله را دارا بودند. مشخصات جغرافیایی این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به ذکر است که قبل از انجام هر گونه محاسبه، صحت و همگنی داده‌ها توسط آزمون همگنی یا ران^۳ مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ارتفاع از سطح دریا (متر)	مختصات جغرافیایی		ایستگاه	
	عرض	طول	نوع	نام
1318/6	$34^{\circ} 21'$	$47^{\circ} 09'$	سینوپتیک	کرمانشاه
1500	$34^{\circ} 30'$	$47^{\circ} 58'$	کلیماتولوژی	کنگاور
550	$34^{\circ} 27'$	$45^{\circ} 52'$	کلیماتولوژی	سرپل ذهاب
1741/5	$34^{\circ} 52'$	$48^{\circ} 32'$	سینوپتیک	همدان
1679/7	$35^{\circ} 12'$	$48^{\circ} 43'$	سینوپتیک	نوزه
1940	$35^{\circ} 52'$	$47^{\circ} 37'$	کلیماتولوژی	بیجار
1522/8	$36^{\circ} 15'$	$46^{\circ} 16'$	سینوپتیک	سقز
1373/4	$35^{\circ} 20'$	$47^{\circ} 00'$	سینوپتیک	سنندج
1147/8	$33^{\circ} 26'$	$48^{\circ} 17'$	سینوپتیک	خرم آباد
1182	$33^{\circ} 2'$	$49^{\circ} 07'$	کلیماتولوژی	ناصرالدین

¹ Standard Precipitation Index

² Sen's slope estimator

³ Run test

در این رابطه، P_1 مقدار بارش در سال \bar{A}_m ، میانگین درازمدت بارش برای دوره آماری موردنظر و S انحراف معیار مقادیر بارش است. پس از محاسبه مقدار شاخص SPI، شدت خشک سالی با استفاده از جدول ۲ تعیین و تفسیر می‌گردد.

جدول ۲: طبقه‌بندی خشکسالی برای مقادیر SPI

مقادیر SPI	طبقه خشکسالی
>2	ترسالی بسیار شدید
1/5 تا 1/99	ترسالی شدید
1 تا 1/49	ترسالی متوسط
0/5 تا 0/99	ترسالی خفیف
0/49 تا -0/49	نرمال
-0/5 تا -0/99	خشک سالی خفیف
-1 تا -1/49	خشک سالی متوسط
-1/5 تا -1/99	خشک سالی شدید
<-2	خشک سالی بسیار شدید

آزمون‌های روند

مجموع بارش یک نقطه، در مقیاس‌های زمانی مختلف، از توزیع آماری مشخصی، پیروی نمی‌کند. بنابراین، استفاده از آزمون‌های ناپارامتری^۱ در تعیین روند تغییرات بارش، مناسب‌تر از روش‌های پارامتری است و شرط بکارگیری آن‌ها، نرمال بودن توزیع داده‌ها است. اساس کار آزمون‌های ناپارامتری، بر تفاوت بین داده‌های مشاهداتی است و لذا مستقل از توزیع آماری داده‌ها بوده و برای سری‌هایی با چولگی زیاد، مناسب می‌باشند. در این تحقیق، از سه آزمون ناپارامتری من-کندال، تخمین گر سن و من-کندال رتبه‌ای، به منظور تعیین روند تغییرات بارندگی و شدت خشک سالی استفاده شده است.

آزمون من-کندال: آزمون من-کندال یکی از متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به شمار می‌رود که تاکنون در مطالعات بسیاری بکار رفته است (Partal and Kahya, 2006, Modarres and Sarhadi, 2009, Tabari and Marofi, 2011, Jhajharia et al., 2011, Tabari et al., 2011a, 2011b; Tao et al., 2011, Tabari et al., 2011a, 2011b). در این تحقیق نیز این آزمون به منظور تشخیص هر گونه روند احتمالی در سری آماری بارندگی و شاخص SPI بکار برده شد. این آزمون، ابتدا توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۴۸ توسعه یافت (خلیلی و بذرافشان ۱۳۸۳). فرض صفر این آزمون، بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها، دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند، در سری داده‌ها می‌باشد. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر می‌باشد:

¹ Non-parametric

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت² و استخراج پارامتر S بصورت زیر:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

که n تعداد مشاهدات سری و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری هستند. تابع علامت نیز به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

ب) محاسبه واریانس توسط یکی از روابط زیر:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad \text{اگر } n > 10 \quad (4)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{اگر } n < 10 \quad (5)$$

که n تعداد داده‌های مشاهده‌ای، m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t نشان‌دهنده فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد.

ج) نهایتاً آماره Z توسط یکی از روابط زیر تعیین می‌گردد:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

در یک آزمون دوطرفه، جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر، در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad (7)$$

α سطح معنی‌داری برای آزمون و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌دار α می‌باشند که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\alpha/2$ استفاده شده است (حجام و همکاران 1387). در این تحقیق، آزمون من-کندال برای سطوح اطمینان 95% و 99% بکار گرفته شد. در صورت مثبت بودن آماره Z، روند سری داده‌ها، صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.

تخمین گر سن: این آزمون توسط Sen در سال 1968 ارائه شده و از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره می‌گیرد. از نقاط قوت این روش، می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی‌ای که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی، که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای این روش می‌باشد (حجام و همکاران، 1387). همچنین این آزمون در هنگام وجود داده‌های گمشده، به راحتی قابل استفاده می‌باشد (Bouza-Deano et al., 2008). فرض صفر این آزمون، بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد. پذیرش فرض یک و یا به عبارت دیگر رد

فرض صفر، دال بر وجود روند در سری زمانی داده‌ها می‌باشد. اساس این روش، بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت نمودن در مورد معنی‌داری شیب بدست آمده در سطوح اطمینان مختلف می‌باشد. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر می‌باشد:

الف) محاسبه شیب بین هر جفت داده مشاهده‌ای با استفاده از رابطه زیر:

$$Q = \frac{X_t - X_s}{t - s} \quad (8)$$

در این رابطه، X_t و X_s به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های t و s و t یک واحد زمانی بعد از زمان s می‌باشد. با اعمال این رابطه برای هر دو جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده بدست می‌آید که از محاسبه میانه این سری زمانی، شیب خط روند (Q_{med}) حاصل می‌آید. مقدار مثبت Q_{med} حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن نشان‌دهنده نزولی بودن روند می‌باشد.

ب) محاسبه پارامتر C_α در سطوح اطمینان مورد آزمون به کمک رابطه زیر:

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\text{var}(s)} \quad (9)$$

که در آن Z آماره توزیع نرمال استاندارد می‌باشد و در یک آزمون دو دامنه، بسته به سطوح اطمینان در نظر گرفته شده می‌تواند مقادیر مختلفی به خود بگیرد. این آماره (C_α) برای سطوح اطمینان 95 و 99 درصد به ترتیب برابر با 1/96 و 2/58 می‌باشد.

ج) محاسبه حدود اعتماد بالا و پایین (M_1 و M_2) به کمک روابط زیر:

$$\begin{cases} M_1 = \frac{N' + C_\alpha}{2} \\ M_2 = \frac{N' - C_\alpha}{2} \end{cases} \quad (10)$$

که N' تعداد شیب‌های محاسبه شده در بند الف می‌باشد.

د) مرحله نهایی آزمون سن، بررسی حدود اطمینان محاسبه شده می‌باشد. بدین صورت که از بین شیب‌های محاسبه شده توسط رابطه 8، M_1 امین و (M_2+1) امین شیب‌ها استخراج می‌گردند. در صورتی که عدد صفر، در دامنه بین دو شیب استخراج شده فوق قرار گیرد، فرض صفر پذیرفته شده و به سری زمانی مورد آزمون، نمی‌توان هیچ روندی در سطح اطمینان مورد نظر نسبت داد. در غیر این صورت، فرض صفر رد شده و حاکی از وجود یک روند معنی‌دار، در سری زمانی مورد بررسی می‌باشد (حجام و همکاران، 1387).

آزمون من-کندال رتبه‌ای: برای تعیین جهت روند و خصوصاً زمان آغاز آن، نیاز به آزمون من-کندال رتبه‌ای می‌باشد. بدین منظور معمولاً جداول خاصی تهیه می‌گردد. داده‌های آماری، به ترتیب سال در ستون اول جدول وارد و در ستون دوم، به هر از داده‌ها، یک شماره ردیف اختصاص داده می‌شود. در ستون سوم، مقادیر پارامتر مورد نظر نوشته شده و در ستون چهارم، مقادیر عددی ستون سوم، به ترتیب صعودی تنظیم می‌گردد. جهت تنظیم این جدول، مقدار آماره t به صورت زیر تعیین می‌گردد.

$$t_i = \sum_{k=1}^i n_k \quad (11)$$

آماره $u(t_i)$ نیز به وسیله رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$u(t_i) = [t_i - E(t_i)] / \sqrt{\text{Var}(t_i)} \quad (12)$$

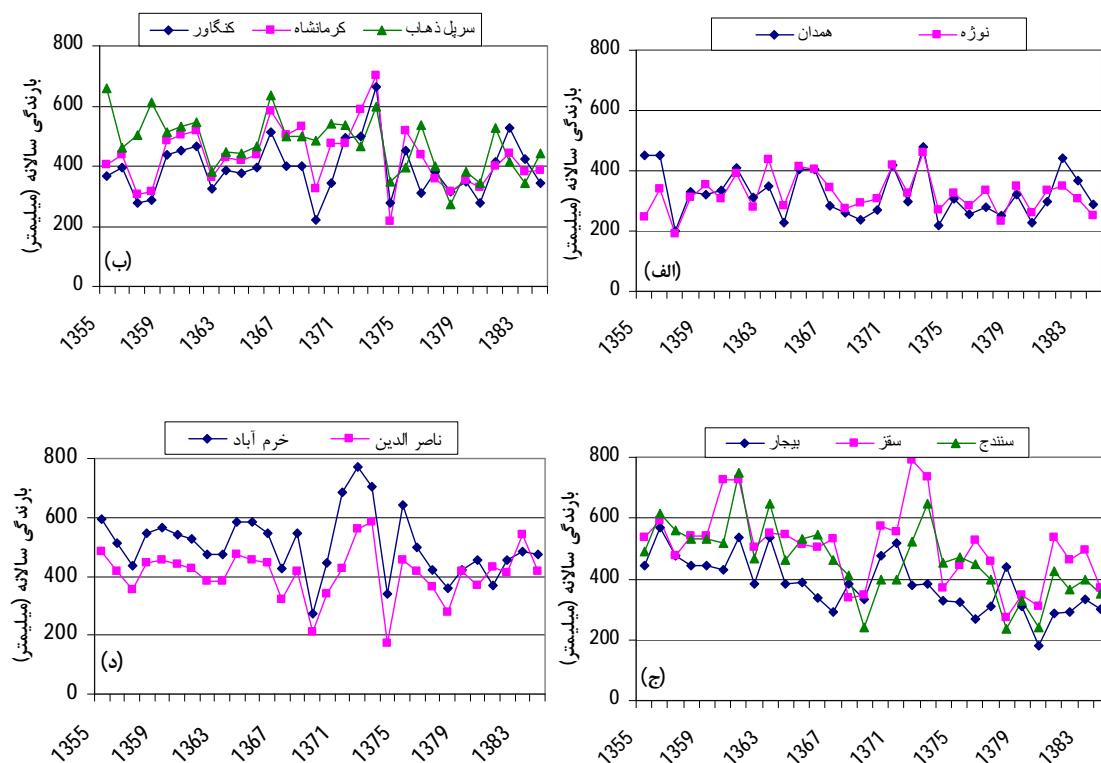
در این رابطه، E مقدار متوسط داده‌ها می‌باشد که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$E(t_i) = i(i-1)/4 \tag{13}$$

در نهایت مقدار آماره $\hat{u}(t_i)$ از روش پس‌رو³ با شروع از انتهای سری‌ها محاسبه می‌شود. پس از محاسبات فوق و ترسیم نمودارهای مربوطه، زمانی که خطوط $u(t_i)$ و $\hat{u}(t_i)$ همدیگر را قطع کرده و از نقطه آستانه در سطح معنی‌داری 5 درصد (1/96) عبور نماید، یک روند معنی‌دار آغاز می‌گردد (عزیزی و روشنی 1387). نقطه برخورد $u(t_i)$ و $\hat{u}(t_i)$ نشان دهنده سال آغاز روند می‌باشد.

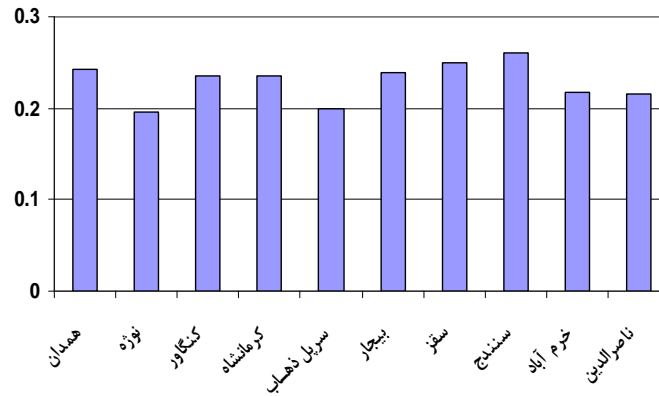
نتایج و بحث

تغییرات سالانه بارندگی، در دوره آماری 1355 تا 1384 در منطقه مورد مطالعه در شکل 2 ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌گردد، سری زمانی بارندگی، دارای نوسان زیادی نسبت به میانگین می‌باشد. بیشترین نوسان بارندگی، نسبت به میانگین درازمدت بارش‌ها در ایستگاه سنندج (با ضریب تغییرات برابر با 0/26) و کمترین نوسان، در ایستگاه نوژه (با ضریب تغییرات برابر با 0/20) مشاهده شد (شکل 3). بارندگی در استان همدان دارای کمترین ضریب تغییرات (0/22) و در استان کردستان، دارای بیشترین ضریب تغییرات (0/25) می‌باشد.



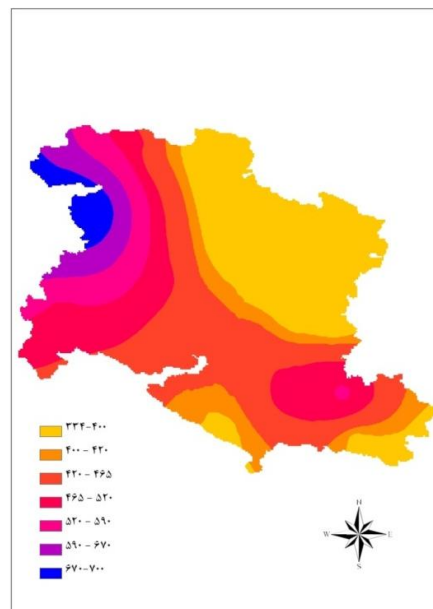
شکل 2: تغییرات سالانه بارندگی در دوره آماری 1355-1384 در منطقه مورد مطالعه:

(الف) استان همدان، (ب) استان کرمانشاه، (ج) استان کردستان و (د) استان لرستان



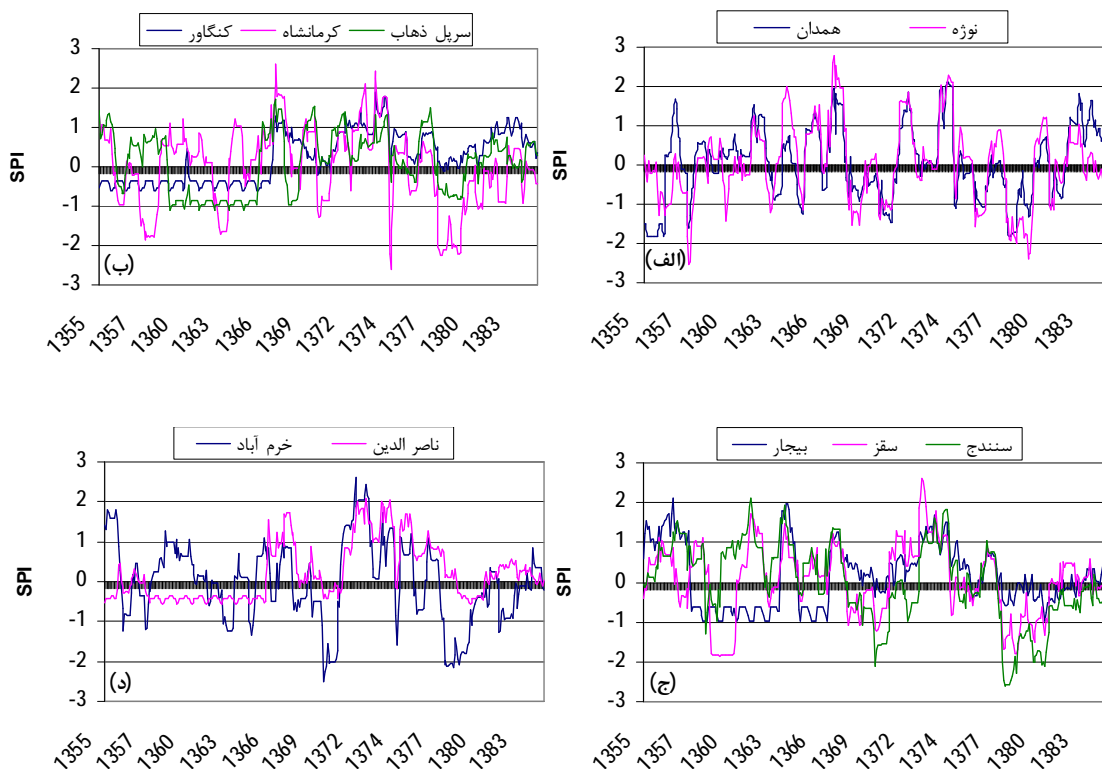
شکل ۳: هیستوگرام ضریب تغییرات بارندگی در طول دوره آماری برای ایستگاه‌های مورد مطالعه

به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی بارندگی سالانه، از روش کریجینگ^۴ در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده که نقشه خروجی در شکل ۴ ارائه شده است. متوسط بارندگی در منطقه مورد مطالعه، کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر در شرق تا بیش از ۶۰۰ میلی‌متر در غرب منطقه، متغیر بوده است. همان طور که قابل انتظار است، مقدار بارندگی، از شرق تا غرب منطقه مورد مطالعه، افزایش یافته است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که نوسانات بارندگی، نسبت به میانگین کل نیز از همین الگو پیروی کرده و به سمت غرب منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد. بدین ترتیب، افزایش میزان بارندگی، میزان تغییرپذیری آن را کاهش می‌دهد. بابائی فینی و فرج زاده (۱۳۸۱) نیز با بررسی الگوهای زمانی بارش در ایران، به رابطه قوی معکوس (ضریب همبستگی برابر با $-0/625$) بین میانگین بارندگی و ضریب تغییرات دست یافت. بدین معنی که تغییرپذیری بارندگی در مناطق پر باران کشور، بیشتر از مناطق خشک و نیمه‌خشک است.



شکل ۴: توزیع مکانی بارندگی سالانه (میلی‌متر) در منطقه مورد مطالعه

بیشترین مقدار بارندگی در دوره مورد مطالعه به مقدار 791 میلی‌متر در سال 1372 در ایستگاه سقز مشاهده شده است. همچنین کمترین مقدار بارندگی ثبت شده به مقدار 180 میلی‌متر در سال 1380 در ایستگاه بیجار مشاهده گردید. در شکل 5، تغییرات سری زمانی SPI 12 ماهه در دوره آماری 1355 تا 1384 در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. همان گونه که ملاحظه می‌گردد، تغییرات شاخص SPI در ایستگاه‌های مورد مطالعه از روند تقریباً یکسانی پیروی نموده و دوره‌های خشک و تر در آنها به طور تقریباً همزمان رخ داده است. تنها تفاوت موجود بین آنها، در مقدار و شدت شاخص می‌باشد. دوره‌های خشک و تر در ایستگاه‌های مطالعاتی به خوبی در شکل 5 قابل رؤیت است. دلیل این امر، حساسیت کمتر شاخص SPI 12 ماهه به وقوع بارندگی‌های کم اهمیت می‌باشد. به همین دلیل، شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی درازمدت، نظیر 12 ماهه برای مطالعه خشک سالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مناسب‌تر می‌باشند.



شکل 5: تغییرات سری زمانی SPI 12 ماهه در دوره آماری 1355-1384 در منطقه مورد مطالعه:

الف) استان همدان، ب) استان کرمانشاه، ج) استان کردستان و د) استان لرستان

همان طور که قبلاً اشاره شد، در صورتی که آماره‌های Z و Q_{med} مثبت باشند، روند سری داده‌ها، صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی می‌باشد. نتایج آزمون من-کندال و تخمین گر سن برای سری زمانی بارندگی و خشک سالی برای سطوح اطمینان 95 و 99 درصد در جدول‌های 3 و 4 آورده شده است. همان طور که ملاحظه می‌گردد، داده‌های بارندگی در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه به غیر

از ایستگاه کنگاور، روند کاهشی داشته است. از نه ایستگاه دارای روند کاهشی، تنها در ایستگاه‌های سرپل ذهاب، بیجار و سنندج، این روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود. همچنین در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ایستگاه سقز، دارای روند معنی‌دار کاهشی تشخیص داده شد. هرچند که بارندگی در ایستگاه‌های همدان، نوژه، خرم‌آباد و ناصرالدین در دوره آماری مورد مطالعه، کاهش یافته است، اما این روندها از نظر آماری، معنی‌دار نبوده است. روند افزایشی بارندگی در ایستگاه کنگاور، از نظر آماری معنی‌دار نبوده است. روند نزولی بارندگی سالانه در غرب کشور با نتایج بدست آمده توسط کتیرایی و همکاران (۱۳۸۶) همخوانی مطلوبی دارد.

بررسی مقادیر روندهای معنی‌دار بارندگی نشان داد که بارندگی سالانه در ایستگاه‌های سنندج، بیجار، سرپل ذهاب و سقز به ترتیب به میزان ۷/۹۹، ۶/۶۸، ۵/۵۱ و ۵/۰۳ میلی‌متر در هر سال، در دوره مورد مطالعه، کاهش یافته است. به طور کلی، بارندگی در منطقه مورد مطالعه به میزان ۳/۲۴ میلی‌متر در هر سال، کاهش یافته است. مطالعه توزیع مکانی روندهای بدست آمده، نشان از آن است که تمامی ایستگاه‌های واقع در استان کردستان، روندهای کاهشی بارندگی را از خود نشان دادند.

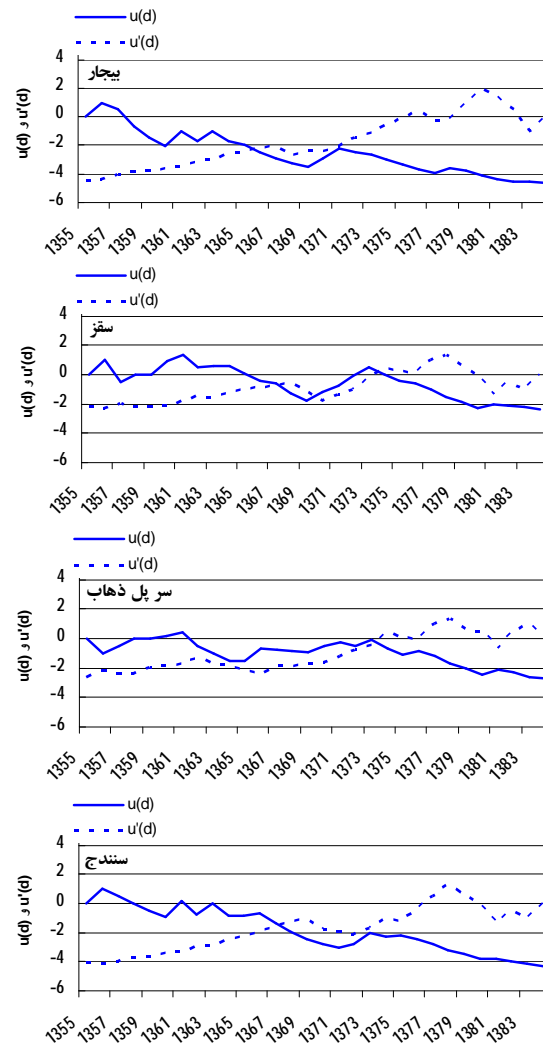
جدول ۳: نتایج آزمون‌های روند داده‌های بارندگی طی سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۴

ایستگاه	Z	Q
کرمانشاه	-0/36	-1/12
کنگاور	0/46	0/85
سرپل ذهاب	** -2/59	** -5/51
همدان	-1/12	-1/92
نوژه	-0/34	-0/50
بیجار	** -4/51	** -6/68
سقز	* -2/28	* -5/03
سنندج	** -4/19	** -7/99
خرم‌آباد	-1/50	-3/58
ناصرالدین	-0/84	-0/94

Z: آماره من-کندال، Q: آماره آزمون سین، *: معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد، **: معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

در تحقیق حاضر، از آزمون من-کندال رتبه‌ای، جهت تعیین زمان آغاز روندهای معنی‌دار استفاده شده است. بدین منظور، ابتدا نمودار من-کندال با استفاده از مؤلفه‌های u و u' برای بارندگی در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه ترسیم شد. سپس با استفاده از خصوصیات آزمون من-کندال رتبه‌ای، زمان تغییر مشخص گردید. بر اساس نمودارهای ارائه شده در شکل ۶، روند کاهشی بارندگی در ایستگاه سنندج از سال ۱۳۶۹ آغاز شده و در سال ۱۳۶۹ پس از عبور از نقطه آستانه ۱/۹۶، معنی‌دار شده است. همچنین نتایج آزمون من-کندال رتبه‌ای،

بیانگر آن است که روندهای کاهشی معنی‌دار بارندگی در ایستگاه‌های بیجار، سرپل ذهاب و سقز به ترتیب از سال‌های 1373، 1369 و 1374 آغاز شده است.



شکل 6: منحنی‌های u و u' برای بارندگی سالانه در ایستگاه‌های با روندهای معنی‌دار (1355-1384)

همانگونه که انتظار می‌رود، با کاهش بارندگی شدت، خشک سالی افزایش می‌یابد. نتایج آزمون من-کنندال برای مقادیر شاخص SPI که در جدول 4 ارائه شده است، نشان می‌دهد که در بیشتر منطقه مورد مطالعه، شدت خشک سالی در حال افزایش بوده که شیب آن در غرب منطقه، خصوصاً استان کردستان بیشتر می‌باشد. شایان ذکر است که کاهش شاخص SPI نشان‌دهنده افزایش شدت خشک سالی است. آزمون‌های روند، نشان دادند که شدت خشک سالی در ایستگاه‌های کرمانشاه، سقز، سنندج و خرم‌آباد به طور معنی‌داری در چند دهه گذشته افزایش یافته است. این در حالی است که شدت خشک سالی در ایستگاه‌های کنگاور، سرپل ذهاب و ناصرالدین به طور معنی‌داری، کاهش یافته است. روندهای SPI در دیگر ایستگاه‌های مورد مطالعه معنی‌دار نبوده است.

جدول 4: نتایج آزمون‌های روند برای سری زمانی شاخص SPI طی سال‌های 1355 تا 1384

ایستگاه	Z	Q
کرمانشاه	*-2/06	*-0/0042
کنگاور	**3/77	**0/0079
سرپل ذهاب	*1/99	*0/0035
همدان	1/29	0/0027
نوزه	0/57	0/0010
بیجار	0/92	0/0018
سقز	** -1/49	** -0/0032
سنندج	** -2/78	** -0/0063
خرم آباد	*-2/12	*-0/0040
ناصرالدین	*2/46	*0/0051

Z: آماره من-کندال، Q: آماره آزمون سن، *: معنی‌داری در سطح اطمینان 95 درصد، **: معنی‌داری در سطح اطمینان 99 درصد

مهمترین ویژگی‌های خشک سالی، در مقیاس زمانی 12 ماهه در جدول 5 ارائه شده است. کمترین مقدار SPI مشاهده شده، مربوط به اردیبهشت 1378 در ایستگاه سنندج به مقدار $-2/6$ است که بر اساس طبقه‌بندی SPI، در رده خشک سالی بسیار شدید قرار می‌گیرد. ایستگاه‌های کرمانشاه، خرم‌آباد و نوزه نیز مقادیر SPI کمتر از -2 (خشک سالی بسیار شدید) دارند. مقادیر کمینه SPI در ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیشتر در ماه‌های آبان و آذر رخ داده است. در بین تداوم‌های طولانی خشک سالی، ایستگاه بیجار با تحمل 69 ماه متوالی خشک سالی، طولانی‌ترین تداوم را از نظر طول دوره خشک سالی، به خود اختصاص داده است. ایستگاه سرپل ذهاب از این نظر در رتبه دوم قرار دارد و 56 ماه به‌طور متوالی، خشک سالی را تحمل کرده است. کمترین مقدار تداوم خشک سالی، به‌ترتیب در ایستگاه‌ها ناصرالدین و کنگاور مشاهده شده است. در مقیاس زمانی 12 ماهه، خشک سالی‌های متعددی رخ داده است که شدیدترین آن‌ها در سال‌های 1378 و 1379 می‌باشند.

نتایج آنالیز داده‌های شاخص SPI نشان داد که بیشترین خشک سالی‌ها، در دوره آماری مورد مطالعه، در استان‌های همدان، کرمانشاه و لرستان در فصل زمستان و در استان کردستان، در فصل پاییز رخ داده است. در مقیاس زمانی ماهانه، بیشترین خشک سالی‌ها در استان‌های همدان و لرستان در اسفند ماه مشاهده شده است. بیشترین خشک سالی‌ها در استان کرمانشاه و کردستان به‌ترتیب در ماه‌های دی و آبان رخ داده است.

جدول 5: ویژگی‌های خشکسالی در مقیاس زمانی 12 ماهه

ایستگاه	شدیدترین مقدار مشاهده شده			طولانی‌ترین تداوم (ماه)
	SPI	سال	ماه	
کرمانشاه	-2/59	1374	آذر	25
کنگاور	-0/62	1365	آبان	4
سرپل‌ذهاب	-1/11	1364	آبان	56
همدان	-1/81	1378	خرداد	17
نوزه	-2/39	1379	تیر	21
بیجار	-0/99	1365	آذر	69
سقز	-1/89	1379	دی	21
سنندج	-2/6	1378	اردیبهشت	47
خرم‌آباد	-2/51	1369	آذر	29
ناصرالدین	-0/55	1379	آذر	3

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، روند تغییرات زمانی و خصوصیات مکانی بارندگی و خشک سالی (شاخص SPI) در غرب کشور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که سری‌های زمانی بارندگی و شاخص SPI، دارای تغییرات زیادی بوده و خشک سالی و ترسالی به طور پیوسته در دوره آماری مطالعاتی مشاهده می‌گردید. نتایج بدست آمده از آزمون من-کندال و تخمین گر سن حاکی از آن است که سری زمانی بارندگی، دارای روند معنی‌دار کاهشی، در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه بوده است. همچنین شدت خشک سالی در ایستگاه‌های کرمانشاه، سقز، سنندج و خرم‌آباد در چهار دهه گذشته، روند معنی‌دار افزایشی داشته است. با توجه به موقعیت و نحوه پراکنش ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار، در منطقه مورد مطالعه، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که بارندگی و شدت خشک سالی در غرب منطقه مورد مطالعه، عمدتاً ایستگاه‌های واقع در استان کردستان به ترتیب، دارای روند معنی‌دار کاهشی و افزایشی است که این مسئله نیازمند توجه بیشتر مسئولان ذیربط به این منطقه می‌باشد. بررسی روند واقعی داده‌ها، نیازمند طول دوره آماری طولانی‌تری بوده و طول داده‌های 30 سال، نمی‌تواند بیان‌کننده روند واقعی داده‌ها باشد. روندهای مشاهده شده در این تحقیق، می‌تواند بخشی از یک چرخه با فرکانس کمتر از 30 سال باشد. بنابراین، بر اساس نتایج این تحقیق نمی‌توان هشدار را صادر نمود، چرا که این امر مستلزم تحلیل سری‌های زمانی طولانی‌تری است. اما نتایج این تحقیق را می‌توان در پهنه‌بندی و پیش‌بینی خشک سالی‌های آتی، طراحی و برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت منابع آب بکار برد.

با توجه به گستردگی کشور ایران و همچنین تنوع اقلیمی آن، امکان وقوع خشک سالی در تمامی مناطق کشور، خصوصاً نواحی خشک و نیمه‌خشک وجود دارد. بنابراین شناخت بیشتر این پدیده که اثرات مخربی بر منابع و بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی و منابع طبیعی،

خصوصاً منابع آب می‌گذارد، امری ضروری است و مستلزم انجام تحقیقات بیشتر است تا امکان برنامه‌ریزی‌های میان‌مدت و بلند مدت در بخش‌های مزبور فراهم آید. لذا انجام مطالعات مشابه در دیگر مناطق کشور توصیه می‌گردد.

منابع

- بابایی فینی، ا. س. و فرج زاده، م. ۱۳۸۱. الگوهای تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران. مدرس علوم انسانی، جلد ۶، شماره ۴، صفحه‌های ۵۱-۷۰.
- بداق جمالی، ج.، جوانمرد، س.، شیرمحمدی، ر. ۱۳۸۱. پایش و پهنه‌بندی وضعیت خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه استاندارد شده بارش. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، جلد ۱۷، شماره ۴، صفحه‌های ۴-۲۱.
- بری ابرقویی، ح.، بداق جمالی، ج.، توکلی، م. ۱۳۸۲. کاربرد برخی از شاخصهای آماری جهت ارزیابی شدت خشکسالی در مقیاس کشوری. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، جلد ۱۸، شماره ۲، صفحه‌های ۱۰۶-۸۶.
- رضیئی، ط. و ثقفیان، ف. ۱۳۸۳. بررسی روند خشکسالی در دشت سیستان، اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب، تهران.
- خلیلی، ع. و بذرافشان، ج. ۱۳۸۳. تحلیل روند تغییرات بارندگیهای سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته، بیابان، جلد ۹، شماره ۱، صفحه‌های ۳۳-۲۵.
- حجام، س. خوشخو، ی. و شمس‌الدین وندی، ر. ۱۳۸۷. تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری، پژوهشهای جغرافیایی، جلد ۴۰، شماره ۶۴، صفحه‌های ۱۶۸-۱۵۷.
- طبری، ح.، سبزی‌پرور، ع.ا.، معروفی، ص. ۱۳۸۷. بررسی روند تغییرات سالانه پارامترهای هواشناسی در دو اقلیم سرد و گرم ایران. پژوهش کشاورزی ۸(۱): ۱۶۱-۱۷۴.
- عساکره، ح. ۱۳۸۶. تغییرات زمانی-مکانی بارش ایران زمین طی دهه‌های اخیر، جغرافیا و توسعه، جلد ۵، شماره ۱۰، صفحه‌های ۱۶۴-۱۴۵.
- عسگری، ا. و رحیم‌زاده، ف. ۱۳۸۵. مطالعه تغییرپذیری بارش دهه‌های اخیر ایران، پژوهش‌های جغرافیایی، جلد ۳۸، شماره ۵۸، صفحه‌های ۸۰-۶۷.
- عسگری، ا. رحیم‌زاده، ف. محمدیان ن و فتاحی، ا. ۱۳۸۶. تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران، تحقیقات منابع آب ایران، جلد ۳، شماره ۳، صفحه‌های ۵۵-۴۲.
- قهرمان ن، جوانمرد س. بداقی جمالی، ج. مهدویان، ع. ر. و جاودانی خلیفه، ن. ۱۳۸۰. نگاهی به نظامهای پیش‌آگاهی خشکسالی در خاورمیانه و شمال آفریقا مطالعه موردی ایران، کنفرانس بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، زابل.
- قهرمان، ب. و تقواییان، ص. ۱۳۸۶. بررسی روند بارندگی سالانه در ایران، مجله بین‌المللی علوم و فناوری کشاورزی، جلد ۱۰، شماره ۹، صفحه‌های ۹۷-۹۳.

- قویدل رحیمی، ی. 1383. کاربرد نمایه‌های مبتنی بر بارش در مطالعه خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی)، مجله پژوهش و سازندگی، جلد 17، شماره 4، صفحه‌های 47-56.
- کاویانی، م. ر. و عساکره، ح. 1384. بررسی آماری روند بلندمدت بارش سالانه اصفهان، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی)، جلد 18، شماره 1، صفحه‌های 143-162.
- کتیرایی، پ. حجام، س. و ایران‌نژاد، پ. 1386. سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره 1960 تا 2001، مجله فیزیک زمین و فضا، جلد 33، شماره 1، صفحه‌های 67-83.
- مرادی، ح. ر. رجبی، م. و فرج‌زاده، م. 1386. تحلیل روند و خصوصیات مکانی شدت خشکسالی‌های استان فارس، فصلنامه علمی-پژوهشی مرتع و بیابان ایران، جلد 14، شماره 1، صفحه‌های 97-109.
- ناظم‌السادات، س. م. ج. سامانی، ن. و مولایی نیکو، م. 1384. تغییر اقلیم در جنوب و جنوب غرب ایران از دیدگاه مشاهدات بارش، برهمکنش با پدیده النینو نوسانات جنوبی، مجله علمی کشاورزی، جلد 28، شماره 2، صفحه‌های 81-97.
- Bouza-Deano, R., Ternero-Rodriguez, M. and Fernáandez-Espinosa, A. J., (2008).** Trend study and assessment of surface water quality in the Ebro River (Spain), *Journal of Hydrology*, 361, 227-239.
- da Silva, V.P.R. (2004).** On climate variability in northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*, 58(4), 575-596.
- Edward, D.C., Mckee, T.B. (1997).** Characteristics of 20th century drought in the United States and multiple time scales. *Climatology Report 97-2*, Department of Atmospheric sciences, Colorado state University, Fort Collins, Co., pp155.
- Jhajharia, D., Dinpashoh, Y., Kahya, E., Singh, V.P., Fakheri-Fard, A. (2011).** Trends in reference evapotranspiration in the humid region of northeast India. *Hydrological Processes*, doi: 10.1002/hyp.8140.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993).** The relationship of drought frequency and duration to time scales. Pp. 176-184. 8th conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA., USA.
- Modarres, R., da Silva V.P.R. (2007).** Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments* 70, 344–355.
- Modarres, R., Sarhadi, A. (2009).** Rainfall trends analysis of Iran in the last half of the twentieth century. *Journal of Geophysical Research*, 114, D03101, doi:10.1029/2008JD010707.
- Partal, T., Kahya, E. (2006).** Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*, 20, 2011–2026.
- Raziei, T., Saghafian, B. (Paulo) A.A., Pereira, L.S., Bordi, I., 2009.** Spatial patterns and temporal variability of drought in western Iran. *Water Resources Management*, 23, 439–455.

- Rebetez, M., 1999. Twentieth century trends in droughts in southern Switzerland. *Geophysical Research Letters* 26(6), 755-758.
- Sen, P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379-1389.
- Tabari, H., Hosseinzadeh Talaei, P. (2011) a. Recent trends of mean maximum and minimum air temperatures in the western half of Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 111, 121-131.
- Tabari, H., Hosseinzadeh Talaei, P. (2011). Analysis of trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Global and Planetary Change*, doi: 10.1016/j.gloplacha.2011.07.008.
- Tabari, H., Marofi, S. (2011). Changes of pan evaporation in the west of Iran. *Water Resources Management*, 25, 97-111.
- Tabari, H., Marofi, S., Aeni, A., Hosseinzadeh Talaei, P., Mohammadi, K. (2011). Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 128-136.
- Tabari, H., Marofi, S., Ahmadi, M. (2011). Long-term variations of water quality parameters in the Maroon River, Iran". *Environmental Monitoring and Assessment*, 177, 273-287.
- Tao, H., Gemmer, M., Bai, Y., Su, B., Mao, W. (2011). Trends of streamflow in the Tarim River Basin during the past 50 years: Human impact or climate change?. *Journal of Hydrology*, 400, 1-9.
- Yurekli, K., Kurunc, A. (2006). Simulating agricultural drought periods based on daily rainfall and crop water consumption. *Journal of Arid Environments*, 67, 629-640.