

## تحلیل فضایی روند خشکسالی و محاسبه میزان بارش قابل اعتماد در استان خوزستان

ماندانا امانی

دانشجوی دکتری تخصصی آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

رضا برنا<sup>۱</sup>

دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

منیژه ظهوریان

استادیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰

### چکیده

در پژوهش حاضر به منظور تعیین روند خشکسالی و محاسبه میزان بارش قابل اعتماد در خوزستان داده‌های بارش سالانه ۱۱ ایستگاه استان طی دوره زمانی ۲۵ ساله (۲۰۱۷-۱۹۹۳) انتخاب گردید. در ادامه به کمک نرم افزار SPSS ابتدا مشخصات آماری بارش ایستگاه‌ها (میانگین، میانگین هندسی، انحراف معیار، ضریب تغییرات خشکسالی و ترسالی شاخصهای سه گانه (DRI, PNPI, ZSIAP) برای تمامی ایستگاه‌ها تعیین گردید. سپس براساس آستانه‌های بارشی حاصل، سال‌های رخداد خشکسالی، نرمال و ترسالی ایستگاه‌ها برای هر یک از شاخصها محاسبه گردید. نتایج نشان داد که ضمن مقایسه مقادیر محاسباتی متناظر شاخصهای یاد شده، شاخص بارش استاندارد شده (ZSIAP) با اطمینان و قابلیت بیشتر، مناسبتر تشخیص داده شد. بررسیها آشکار نمود که با گذر از سال ۲۰۰۷ و ورود به دهه پایانی دوره آماری نه تنها شدت و تکرار خشکسالی‌ها افزایش یافته است بلکه تعدد و تنوع ایستگاه‌های دارای خشکسالی نیز بیشتر شده است به گونه‌ای که اکثر ایستگاه‌ها بویژه جنوب غربی خشکسالی‌های بیشتری را تجربه کرده‌اند. روندیابی خشکسالی با بهره‌گیری از آزمون من-کندال نشان داد که در بازه زمانی مطالعاتی، ایستگاه‌های بستان، بهبهان، شوشتر و دزفول فاقد روند بوده‌اند. ایستگاه‌های امیدیه، ایزده، مسجد سلیمان، ماهشهر، آبادان، رامهرمز، اهواز روند منفی داشته‌اند یعنی شدت خشکسالی در این مناطق افزایش یافته است.

کلمات کلیدی: استان خوزستان، خشکسالی، شاخص‌های خشکسالی، من کندال

## مقدمه

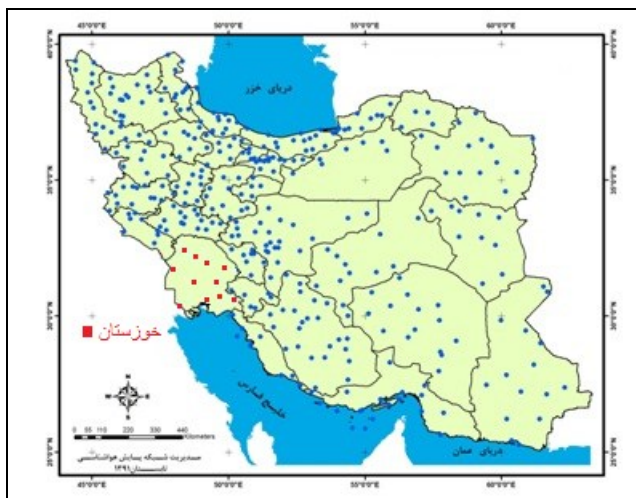
پدیده‌ی خزننده و مخرب خشکسالی در طول ادوار تاریخی خسارات فراوانی در ایران به بار آورده است. یکی از مهمترین اسناد موجود در باره‌ی خشکسالی در ایران کتیبه‌ای از داریوش در تخت جمشید است که در آن از خشکسالی به عنوان دومین معضل ایران یاد شده است (قویدل رحیمی، ۱۳۸۱: ۳۴-۲۱). شناخت ویژگی‌های طبیعی هر منطقه، خصوصاً آب و هوا می‌تواند در امر برنامه‌ریزی آمایش آن سرزمین نقش عمده‌ای ایفا نماید. در این راستا شناسایی رخداد‌های نشان‌دهنده تغییرات اقلیمی چون خشکسالی در مقیاس زمانی و مکانی جهت دستیابی به توسعه همه‌جانبه در ابعاد سلسله‌مراتبی محلی - ملی و منطقه‌ای ضروری می‌باشد. وجود توانهای محیطی، اقتصادی، کشاورزی و صنعتی (طرحهای عظیم نفت و گاز و پتروشیمی) در استان خوزستان و بهره‌برداری بهینه از آنها و نیز پیش‌بینی وقوع حوادث حدی چون سیل و خشکسالی و...، ضرورت شناخت صحیح شرایط جوی و ویژگیهای آب و هوایی مناطق مختلف استان را بویژه برای برنامه‌ریزان آشکار ساخته است.

از دیدگاه پالمر (۱۹۶۵) خشکسالی عبارت است از کمبود مستمر و غیرطبیعی رطوبت. در تعریف وی واژه مستمر بیانگر زمان آغاز تا پایان خشکسالی یا زمان تداوم آن بوده و واژه غیر طبیعی به انحراف یا نوسان منفی شاخص مورد توجه نسبت به شرایط میانگین معمول اطلاق می‌شود (بذرافشان، ۱۳۸۱، ص ۹).

(رضیئی، ۱۳۸۲: ۵۵) به پیش‌پدیده خشکسالی در ایران مرکزی با استفاده شاخص SPI در یک دوره آماری ۴۰ ساله پرداخته و نقشه‌های تولید شده تحقیق نشان می‌دهند که پدیده خشکسالی از غرب به شرق از یک روند تقریباً افزایشی پیروی نموده و در حاشیه شرقی استان یزد شدت خشکسالیها به حداکثر می‌رسد. (قویدل رحیمی، ۱۳۸۳: ۴۷) در مطالعه‌ای ویژگی‌های زمانی - مکانی دوره‌های مرطوب و خشک ایستگاه‌های آذربایجان شرقی را با استفاده از روش SPI در مقیاس زمانی یک ماه و سه ماهه مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. نامبردگان براساس نتایج حاصل از روش SPI با استفاده از کریکینگ اقدام به پهنه‌بندی ماهانه و فصلی خطر خشکسالی در استان آذربایجان شرقی نموده‌اند. (رمضانی، ۱۳۸۴: ۲۴۹) به بررسی پدیده خشکسالی با استفاده از شاخص درصد نرمال بارندگی در نواحی مرکزی گیلان پرداخته و نتایج تحقیق نشان داده مناطق ساحلی و جلگه‌ای در شرایط خشکسالی و مناطق کوهپایه و کوهستانی در شرایط ترسالی می‌باشند. (زاهدی قره آقاج و قویدل رحیمی، ۱۳۸۶: ۲۲) در تحقیق خود با استفاده نمایه بارش قابل اعتماد DRI اقدام به بررسی دوره‌های مرطوب و خشک در آذربایجان شرقی نموده‌اند و یافتند که وقوع پدیده خشکسالی در استان با شدت و ضعفهایی همراه بوده است. همچنین مدل بارش قابل اعتماد با داشتن قابلیت‌های بیشتر و محدودیتهای کمتر بهتر از دیگر مدل‌ها تشخیص داده شده است. (بیک دلی، ۱۳۸۷) در تعیین آستانه‌های خشکسالی و محاسبه میزان بارش قابل اعتماد ایستگاه‌های محدوده غرب استان گیلان نتیجه گرفته است که در دوره آماری (۱۹۸۲-۲۰۰۱) بیش از نیمی از ایستگاه‌های منطقه خشکسالی را تجربه نموده‌اند. (سیف و معروفی، ۱۳۸۸: ۲۲) به ارزیابی و تحلیل روند خشکسالی شهر شاهرود با استفاده از شاخص درصد نرمال، بارش (RAI)، شاخص (Z-Score) و شاخص دهک‌ها پرداخته و یافتند که روند بارش کلی این منطقه متغیر است و در ۲۴ سال بارش‌ها کمتر از میانگین کلی دوره می‌باشد و در ۱۹ درصد موارد با خشکسالی

بسیار شدید و شدید روبه رو خواهیم بود. (هوشمندی، ۱۳۸۸: ۴۵) به تعیین آستانه خشکسالی و بارش قابل اعتماد منطقه بهبهان با استفاده از شاخص‌های توزیع استاندارد، درصد بارش از میانگین و شاخص بارش قابل اعتماد (DRI) در بین سال‌های ۱۳۴۳ تا ۱۳۸۷ پرداخته و براین اساس یافته است که دهه ۸۷-۱۳۷۷ خشک‌ترین دهه در دوره آماری بوده و دهه ۵۵-۱۳۵۴ بالاترین درصد از لحاظ توزیع استاندارد و درصد میانگین بارش را در بر می‌گیرد. (قدرتی، ۱۳۸۹: ۳۰) سابقه خشکسالی و ترسالی‌های رشت و بندر انزلی به روش‌های مختلف در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه با استفاده از شاخص‌های بارش مؤثر روزانه ERI و نمایه استاندارد شده بارش SPI و معیار بارندگی سالانه SIAP مورد بررسی قرار داده‌اند و نتیجه گرفتند که تداوم دوره خشکسالی خفیف تا اواخر ۲۰۰۹ ادامه دارد؛ بطوری که شاخص SPI در بیشتر ماه‌ها کوچکتر از صفر می‌باشد. (اربابی سبزواری، ۱۳۸۹: ۱۰۵) در تحلیل اثر خشکسالی با روش درون یابی شاخص Z نرمال بارندگی در منطقه کاشان نتیجه گرفت که در مجموع در سه ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ شرایط منفی و نامساعد بارشی مشاهده می‌شود که شدیدترین وضعیت بارش در دوره سه ماهه بهار سال ۲۰۰۰ ثبت شده است. (عیوضی، ۱۳۹۱: ۶۵) ضمن بررسی و تعیین مناسب‌ترین نمایه خشکسالی اقلیمی در سطح استان گلستان یافت که نمایه دهک‌های بارندگی و نمایه بارش استاندارد شده هم از نظر تقارن وقوع کمینه بارندگی با دو وضعیت خشکسالی بسیار شدید و شدید و هم از نظر میانگین همبستگی و انحراف معیار نسبت به دیگر نمایه‌های مورد مطالعه بهتر بوده است. از این رو نسبت به دیگر نمایه‌ها در تعیین خشکسالی‌های هواشناسی برتر بوده است. ضمن اینکه نمایه Z-Score نیز نتایج تقریباً مشابه و همسویی با بارش استاندارد شده داشته است. از آنجا که بررسی دقیق رفتار آب و هوایی قلمروهای جغرافیایی برای دستیابی به برنامه‌ریزی مدیریت بحران حوادث طبیعی (خشکسالی، سیل و ...) ضروری است؛ در پژوهش حاضر سعی شده است با استفاده از شاخص‌های DRI، PNPI و ZSIAP، ضمن تعیین روند خشکسالی، روش‌های مناسب جهت برآورد بارش قابل اعتماد در استان خوزستان مورد بررسی قرار گیرد.

در این پژوهش به منظور تعیین روند خشکسالی و محاسبه میزان بارش قابل اعتماد در استان خوزستان، داده‌های بارش ماهانه ۱۱ ایستگاه سینوپتیک منطقه در یک دوره زمانی ۲۵ ساله (۱۹۹۳-۲۰۱۷) مورد بررسی قرار گرفت شکل (۱). در ادامه به منظور آماده سازی و تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS استفاده شد و به ترتیب مراحل زیر انجام گرفت: ۱- مشخصات آماری بارش (میانگین، میانگین هندسی، انحراف معیار، ضریب تغییرات و ...) برای تمامی ایستگاه‌های انتخابی در استان خوزستان استخراج شد. ۲- ضمن استفاده از شاخص‌های DR، PNPI و ZSIAP، ابتدا آستانه‌های خشکسالی تعریف شد سپس وضعیت آستانه‌های بارشی نرمال، خشکسالی و ترسالی شاخص‌های سه گانه برای تمامی ایستگاه‌ها طی دوره آماری تعیین گردید. ۳- در مرحله بعد مقادیر محاسباتی شاخص DR هر کدام از ایستگاه‌ها با مقادیر متناظر شاخص‌های PNPI و ZSIAP مقایسه شد. ۴- در ادامه جهت تحلیل روند خشکسالی استان از آزمون ناپارامتریک روند یابی من کندال استفاده شده است و ایستگاه‌ها و پهنه‌های هم روند شناسایی، ترسیم و تفسیر شدند.



شکل ۱- ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

## بحث

جهت تحلیل و محاسبه میزان بارش قابل اعتماد در استان خوزستان ابتدا ویژگیهای بارشی و سپس بر اساس روابط سه‌گانه (DR، DRI، PNPI و ZSIAP) زیر محاسبات کلی به شرح زیر برای ایستگاه‌های استان انجام شد. DR: نمایه بارش قابل اعتماد.

$$DR = \sqrt[N]{P_1 \times P_2 \times P_3 \times \dots \times P_N} \times (0.8) \quad \text{رابطه (۱)}$$

مقیاس ارایه شده برای طبقه‌بندی شدت و تعیین کیفیت بارش از طریق نمایه‌ی DR به شرح ذیل می‌باشند:  
 $NP = DR \leq P \leq GM$  D = P < DR W = P > GM  
 GM: ۸۰٪ ضریب ثابت معادله، P: بارش سال مفروض، N: تعداد مشاهدات بارش سالیانه (طول دوره آماری)، میانگین هندسی، NP: محدوده نرمال، D آستانه خشکسالی، W: عدد آستانه ترسالی می‌باشند.  
 نمایه درصد از بارش میانگین (PNPI)

$$PNPI = \left( P_i \times \bar{P} \right) \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

نمایه نمرات استاندارد شده‌ی بارش (SIAP)

$$SIAP = \frac{P_i - \bar{P}}{P_{sd}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در معادلات فوق  $P_i$  بارش سال مفروض،  $\bar{P}$ : میانگین بلند مدت بارش  $P_{sd}$ : انحراف معیار بارش بلند مدت (واحد میلیمتر) ایستگاه‌ها می‌باشند.

هر دو شاخص PNPI و ZSIAP دارای مقیاس طبقه‌بندی است که در این مطالعه از مقیاس طبقه‌بندی تغییر یافته و سازگار با شرایط اقلیمی ایران به شرح جدول (۱) استفاده شده است. برای قابل قیاس کردن نتایج حاصل از دو شاخص PNPI و ZSIAP با نمایه DR مقیاس طبقه‌بندی به شرح جدول (۲) در سه کلاس خشکسالی، نرمال و ترسالی تنظیم شد.

جدول ۱- مقیاس طبقه‌بندی شدت خشکسالی به روش PNPI و ZSIAP (خلیلی، بذرافشان، ۱۳۸۲: ۸۹)

شدت شاخص	نرمال	خشکسالی
PNPI	۸۰ تا ۱۲۰ درصد	خشکسالی ضعیف ۷۰ تا ۸۰ درصد
ZSIAP	+۲۵ تا -۲۵	خشکسالی متوسط ۵۵ تا ۷۰ درصد
		خشکسالی شدید ۴۰ تا ۵۵ درصد
		خشکسالی بسیار شدید کمتر از ۴۰ درصد

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

جدول ۲- مقیاس طبقه‌بندی تعدیل شده برای مقایسه‌ی خروجی شاخص‌ها با همدیگر

شاخص	وضع نرمال	ترسالی
PNPI	۱۲۰ تا ۸۰ درصد	بیش از ۱۲۰ درصد
ZSIAP	-۱/۲۸ تا +۱/۲۵	بیشتر از +۱/۲۵

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

پس از بررسی ویژگی‌های بارشی ایستگاه‌ها جدول (۳) و نیز تعیین آستانه‌های وضعیت خشکسالی ایستگاه‌ها با استفاده از شاخص DR و PNPI و ZSIAP، مقادیر عددی شاخص‌های مذکور برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه شد. در ادامه با مبنای قرار دادن مقادیر مذکور اقدام به طبقه‌بندی بارش و تعیین سال‌های مرطوب، نرمال و خشک برای هر یک از سال‌های دوره آماری ایستگاه‌ها شد. مقادیر محاسبه‌ی نمایه DIR علاوه بر اینکه آستانه‌ی خشکسالی ایستگاه‌ها محسوب می‌شوند، بیانگر مقدار نسبتاً قابل اطمینانی از بارش است که در بلند مدت می‌توان روی آن مقدار در برنامه‌ریزی‌ها حساب کرد. جهت کاهش حجم مقاله جداول ایستگاه‌های آبادان، اهواز، دزفول، بهبهان و ایذه به نمایندگی از مناطق جغرافیای استان آورده شده‌اند. جداول (۸، ۷، ۶، ۵، ۴ و ۹).

جدول ۳- مشخصات آماری بارش سالانه در ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

ایستگاه	اهواز	آبادان	ماهشهر	بهبهان	بستان	دزفول	ایذه	مسجد سلیمان	امیدیه	رامهرمز	شوشتر
متوسط بارش	۲۰۶	۱۴۷	۲۵۲/۵	۳۲۷	۱۹۵	۳۸۲	۶۲۰/۵	۳۹۹	۲۴۷	۲۸۸/۵	۲۹۲/۵
میانگین هندسی	۱۹۱	۱۳۶	۲۳۵	۳۰۹	۱۸۳	۳۶۳	۵۹۲	۳۸۰	۲۳۴	۱۰۶	۷۵/۵
دامنه بارش	۳۹۲	۱۶۳	۳۱۳	۳۷۰/۵	۲۵۸	۵۱۸	۷۵۲	۳۸۹	۲۴۵	۳۳۹	۲۸۶
کمینه بارش	۷۷	۷۳	۹۸	۱۱۲/۵	۸۹	۱۸۸	۲۹۶	۲۴۷	۱۵۶	۱۷۶	۱۵۵
بیشینه بارش	۴۶۹	۲۳۶	۴۱۱	۴۸۳	۳۴۷	۷۰۶	۱۰۴۸	۶۳۶	۴۰۱	۵۱۵	۴۴۱
انحراف معیار	۷۹/۵	۵۳	۹۰/۲	۹۳/۶	۶۸/۲	۱۲۵	۱۸۶	۱۲۱	۷۸/۸	۱۰۶	۷۵/۵
ضریب تغییرات	۳۸	۳۶	۳۶	۲۸	۳۵	۳۳	۳۰	۳۰	۳۲	۳۶/۵	۲۶

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

جدول ۴- مقایسه نتایج حاصل از کاربرد آستانه شاخص‌های مختلف برای تعیین خشکسالی‌ها سال‌های نرمال و ترسالی‌های ایستگاه دزفول

وضعیت	ZSIAP	وضعیت	DR	وضعیت	PNPI	بارش
خشکسالی	-1.02	خشکسالی	254.3	خشکسالی	66.57	1993
خشکسالی	-0.63	نرمال	303	خشکسالی	79.32	1994
خشکسالی	-0.51	نرمال	317.6	نرمال	83.14	1995
ترسالی	1.02	ترسالی	510.3	ترسالی	133.59	1996
نرمال	-0.19	نرمال	358	نرمال	93.72	1997
نرمال	0.19	ترسالی	405.3	نرمال	106.10	1998
نرمال	-0.16	نرمال	361.8	نرمال	94.71	1999
خشکسالی	-1.17	خشکسالی	234.7	خشکسالی	61.44	2000
ترسالی	1.44	ترسالی	562.2	ترسالی	147.17	2001
نرمال	0.06	ترسالی	390	نرمال	102.09	2002
خشکسالی	-0.29	نرمال	346	نرمال	90.58	2003

۱۰۲ فصلنامه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال دوازدهم، شماره اول، زمستان ۱۴۰۰

۲۰۰۴	568.1	148.72	ترسالی	568.1	ترسالی	1.48	ترسالی
۲۰۰۵	258.7	67.72	خشکسالی	258.7	خشکسالی	-0.98	خشکسالی
۲۰۰۶	452.7	118.51	نرمال	452.7	ترسالی	0.56	ترسالی
۲۰۰۷	705.7	184.74	ترسالی	705.7	ترسالی	2.58	ترسالی
۲۰۰۸	448.6	117.43	نرمال	448.6	ترسالی	0.53	ترسالی
۲۰۰۹	530.1	138.77	ترسالی	530.1	ترسالی	1.18	ترسالی
۲۰۱۰	429.7	112.49	نرمال	429.7	ترسالی	0.38	ترسالی
۲۰۱۱	295	77.23	خشکسالی	295	نرمال	-0.69	خشکسالی
۲۰۱۲	289	75.65	خشکسالی	289	خشکسالی	-0.74	خشکسالی
۲۰۱۳	257	67.28	خشکسالی	257	خشکسالی	-1.00	خشکسالی
۲۰۱۴	322	84.29	نرمال	322	نرمال	-0.48	خشکسالی
۲۰۱۵	188	49.21	خشکسالی	188	خشکسالی	-1.55	خشکسالی
۲۰۱۶	186	49.01	خشکسالی	186	خشکسالی	-1.57	خشکسالی
۲۰۱۷	179	48.97	خشکسالی	179	خشکسالی	-1.65	خشکسالی

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

جدول ۵- مقایسه نتایج حاصل از کاربرد آستانه شاخص‌های مختلف برای تعیین خشکسالی‌ها سال‌های نرمال و ترسالی‌های ایستگاه ایذه

وضعیت	ZSIAP	وضعیت	DR	وضعیت	PNPI	بارش
ترسالی	1.90	ترسالی	974.5	ترسالی	157.05	974.5
ترسالی	0.38	ترسالی	690.8	نرمال	111.33	690.8
خشکسالی	-0.67	نرمال	495.1	خشکسالی	79.79	495.1
ترسالی	2.29	ترسالی	1048.2	ترسالی	168.93	1048.2
ترسالی	0.69	ترسالی	748.6	ترسالی	120.65	748.6
خشکسالی	-0.27	نرمال	570.1	نرمال	91.88	570.1
خشکسالی	-0.28	نرمال	568.8	نرمال	91.67	568.8
نرمال	-0.11	ترسالی	600.6	نرمال	96.79	600.6
نرمال	-0.10	ترسالی	601.8	نرمال	96.99	601.8
ترسالی	0.77	ترسالی	764.6	ترسالی	123.22	764.6
خشکسالی	-0.63	نرمال	502.8	ترسالی	81.03	502.8
نرمال	0.24	ترسالی	666	نرمال	107.33	666
ترسالی	0.92	ترسالی	791.5	ترسالی	127.56	791.5
ترسالی	1.34	ترسالی	871	ترسالی	140.37	871
خشکسالی	-0.31	نرمال	563	نرمال	90.73	563
خشکسالی	-1.51	خشکسالی	339	خشکسالی	54.63	339
نرمال	0.06	ترسالی	631	نرمال	101.69	631
خشکسالی	-1.35	خشکسالی	368	خشکسالی	59.31	368
خشکسالی	-0.73	نرمال	485	خشکسالی	78.16	485
ترسالی	0.44	ترسالی	702	نرمال	113.14	702
خشکسالی	-1.09	خشکسالی	417	خشکسالی	67.20	417
نرمال	-0.24	نرمال	576	نرمال	92.83	576
خشکسالی	-1.74	خشکسالی	296	خشکسالی	47.70	296
خشکسالی	-1	نرمال	482	خشکسالی	78	482
خشکسالی	-1.35	خشکسالی	387	خشکسالی	61	387

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

جدول ۶- مقایسه نتایج حاصل از کاربرد آستانه شاخص‌های مختلف برای تعیین خشکسالی‌ها سال‌های نرمال و ترسالی‌های ایستگاه بهبهان

وضعیت	ZSIAP	وضعیت	DR	وضعیت	PNPI	بارش
خشکسالی	-0.26	نرمال	303	نرمال	92.66	303
ترسالی	0.65	ترسالی	387.6	نرمال	118.53	387.6
خشکسالی	-0.39	نرمال	290.6	ترسالی	88.87	290.6
ترسالی	0.68	ترسالی	389.9	نرمال	119.24	389.9
ترسالی	0.94	ترسالی	414.5	ترسالی	126.76	414.5
ترسالی	0.90	ترسالی	410.8	ترسالی	125.63	410.8
ترسالی	1.25	ترسالی	443.1	ترسالی	135.50	443.1
خشکسالی	-1.49	خشکسالی	188.1	خشکسالی	57.52	188.1
نرمال	0.03	ترسالی	329.6	نرمال	100.80	329.6
نرمال	-0.05	ترسالی	322.7	نرمال	98.69	322.7
خشکسالی	-0.44	نرمال	286.2	نرمال	87.52	286.2
ترسالی	1.68	ترسالی	482.9	ترسالی	147.68	482.9
نرمال	-0.11	ترسالی	316.4	نرمال	96.76	316.4
ترسالی	0.39	ترسالی	362.9	نرمال	110.98	362.9
خشکسالی	-0.28	نرمال	301.4	نرمال	92.17	301.4
خشکسالی	-2.27	خشکسالی	115.7	خشکسالی	35.38	115.7
خشکسالی	-0.35	نرمال	294.8	نرمال	90.15	294.8
خشکسالی	-2.31	خشکسالی	112.4	خشکسالی	34.37	112.4
ترسالی	0.35	ترسالی	360	نرمال	110.09	360
ترسالی	1.14	ترسالی	433	ترسالی	132.42	433
نرمال	0.17	ترسالی	343	نرمال	104.89	343
ترسالی	0.71	ترسالی	393	ترسالی	120.18	393
خشکسالی	-0.95	خشکسالی	239	خشکسالی	73.09	239
خشکسالی	-0.96	خشکسالی	237	خشکسالی	73	237
خشکسالی	-1.1	خشکسالی	230	خشکسالی	58	230

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

جدول ۷- مقایسه نتایج حاصل از کاربرد آستانه شاخص‌های مختلف برای تعیین خشکسالی‌ها سال‌های نرمال و ترسالی‌های ایستگاه اهواز

وضعیت	ZSIAP	وضعیت	DR	وضعیت	PNPI	بارش
نرمال	0.16	ترسالی	219.1	نرمال	106	219.1
ترسالی	0.27	ترسالی	228.2	نرمال	111	228.2
خشکسالی	-1.48	خشکسالی	86.4	خشکسالی	42	86.4
ترسالی	1.04	ترسالی	289.9	ترسالی	141	289.9
ترسالی	3.24	ترسالی	468.8	ترسالی	228	468.8
خشکسالی	-0.43	نرمال	170.9	نرمال	83	170.9
ترسالی	0.27	ترسالی	227.8	نرمال	111	227.8
ترسالی	0.36	ترسالی	234.8	نرمال	114	234.8
ترسالی	0.26	ترسالی	227.3	نرمال	110	227.3
خشکسالی	-0.43	نرمال	171.3	نرمال	83	171.3
نرمال	0.16	نرمال	218.8	نرمال	106	218.8
ترسالی	0.81	ترسالی	271.8	ترسالی	132	271.8
نرمال	-0.22	نرمال	188.1	نرمال	91	188.1
ترسالی	0.78	ترسالی	269.1	ترسالی	131	269.1
خشکسالی	-0.65	نرمال	153.7	خشکسالی	75	153.7

۲۰۰۸	105.1	51	خشکسالی	۱۰۵/۱	خشکسالی	-1.25	خشکسالی
۲۰۰۹	222.5	108	نرمال	۲۲۲/۵	ترسالی	0.20	نرمال
۲۰۱۰	76.8	37	خشکسالی	۷۶/۸	خشکسالی	-1.60	خشکسالی
۲۰۱۱	145	70	خشکسالی	۱۴۵	خشکسالی	-0.75	خشکسالی
۲۰۱۲	244	118	نرمال	۲۴۴	ترسالی	0.47	ترسالی
۲۰۱۳	133	65	خشکسالی	۱۳۳	خشکسالی	-0.90	خشکسالی
۲۰۱۴	217	105	نرمال	۲۱۷	ترسالی	0.14	نرمال
۲۰۱۵	170	83	نرمال	۱۷۰	نرمال	-0.44	خشکسالی
۲۰۱۶	152	75	خشکسالی	۱۵۲	خشکسالی	-0.47	خشکسالی
۲۰۱۷	68	34	خشکسالی	۶۸	خشکسالی	-1.68	خشکسالی

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

جدول ۸- مقایسه نتایج حاصل از کاربرد آستانه شاخص‌های مختلف برای تعیین خشکسالی‌ها سال‌های نرمال و ترسالی‌های ایستگاه آبادان

وضعیت	ZSIAP	وضعیت	DR	وضعیت	PNPI	بارش
ترسالی	0.6	ترسالی	177.6	نرمال	120	177.6
ترسالی	1.5	ترسالی	227.0	ترسالی	154	227.0
نرمال	0.0	ترسالی	147.0	نرمال	100	147.0
ترسالی	0.5	ترسالی	176.7	نرمال	120	176.7
ترسالی	1.6	ترسالی	236.2	ترسالی	160	236.2
خشکسالی	-1.1	خشکسالی	88.9	خشکسالی	60	88.9
ترسالی	1.5	ترسالی	228.5	ترسالی	155	228.5
نرمال	0.2	ترسالی	155.5	نرمال	105	155.5
ترسالی	0.8	ترسالی	191.3	ترسالی	130	191.3
خشکسالی	-0.6	نرمال	114.6	خشکسالی	78	114.6
خشکسالی	-0.6	نرمال	115.2	خشکسالی	78	115.2
ترسالی	1.1	ترسالی	208.0	ترسالی	141	208.0
ترسالی	0.8	ترسالی	192.0	ترسالی	130	192.0
ترسالی	0.9	ترسالی	198.0	ترسالی	134	198.0
نرمال	-0.1	ترسالی	144.1	نرمال	98	144.1
خشکسالی	-0.8	خشکسالی	102.6	خشکسالی	70	102.6
خشکسالی	-0.4	نرمال	126.6	نرمال	86	126.6
خشکسالی	-2.0	خشکسالی	36.8	خشکسالی	25	36.8
خشکسالی	-1.4	خشکسالی	73.0	خشکسالی	49	73.0
نرمال	0.0	ترسالی	147.0	نرمال	100	147.0
خشکسالی	-0.7	خشکسالی	107.0	خشکسالی	73	107.0
خشکسالی	-0.9	خشکسالی	97.0	خشکسالی	66	97.0
خشکسالی	-0.9	خشکسالی	101.0	خشکسالی	68	101.0
ترسالی	0.8	ترسالی	192	ترسالی	130	192
خشکسالی	-0.93	خشکسالی	74	خشکسالی	49	74

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸



جدول ۹- دقت و مقبولیت در برآورد بارش قابل اعتماد برای شاخصهای سه گانه بر مبنای مقادیر آستانه‌های خشکسالی

ایستگاه شاخص	اهواز	آبادان	ماهشهر	بهبهان	بستان	دزفول	ایذه	مسجد سلیمان	امیدیه	رامهرمز	شوشتر
DRI	۲۱/۷	۳۰/۴	۳۰/۴	۶۰/۸۶	۱۷/۴	۲۶	۱۷/۴	۲۶	۲۱/۷	۳۰/۴۳	۲۱/۷
ZSIAP	۳۹/۱	۴۳/۵	۴۳/۴۷	۳۹/۱۳	۴۳/۴۷	۴۷/۸۲	۳۹/۱	۴۳/۴۷	۴۷/۸۲	۴۳/۴۷	۳۴/۸
PNPI	۲۶	۳۹/۱	۴۷/۸	۱۷/۴	۳۴/۸	۳۴/۸	۲۶	۲۶	۲۶	۳۴/۸	۲۱/۷

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

بررسی نتایج حاصل از اعمال شاخص‌های سه گانه تعیین آستانه‌های خشکسالی برای ایستگاه‌های خوزستان آشکار نمود که شاخص ZSIAP مطمئن‌ترین و شاخص DIR نامطمئن‌ترین شاخص برای برآورد بارش قابل اعتماد می‌باشند. از نظر دقت برآورد شاخص PNPI در حد واسط شاخصهای DIR و ZSIAP قرار دارد. در محدوده مطالعاتی در شاخص PNPI ایستگاه ماهشهر با ۴۷/۸ درصد (با اعتمادترین) و ایستگاه بهبهان با ۱۷/۴ درصد (کم اعتمادترین) و در شاخص DIR ایستگاه بهبهان با ۶۰/۹ درصد (با اعتمادترین) و ایستگاه‌های بستان و ایذه با ۱۷/۴ درصد (کم اعتمادترین) برآورد بارشی را ارائه داده‌اند. در شاخص ZSIAP ایستگاه امیدیه با ۴۷/۸ درصد (با اعتمادترین) و ایستگاه شوشتر با ۳۴/۸ درصد (کم اعتمادترین) برآورد بارشی را ارائه داده‌اند.

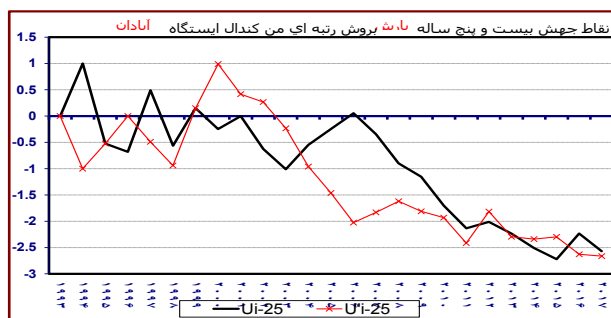
#### تحلیل روند خشکسالی در استان

در ادامه جهت تحلیل روند خشکسالی استان از آزمون ناپارامتریک روند یابی من کندال استفاده شده است و ایستگاه‌ها و پهنه‌های هم روند شناسایی، ترسیم و تفسیر شدند. جهت کاهش حجم مقاله نمودارها و تفاسیر ایستگاه‌های آبادان، اهواز، دزفول، بهبهان و ایذه به نمایندگی از مناطق جغرافیای استان آورده شده است.

بررسی نمودار گرافیکی من کندال ایستگاه آبادان طی دوره مطالعاتی نشان داد که طی سال‌های ۱۹۹۹، ۱۹۹۶، ۱۹۹۲، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ مقادیر  $iU$  و  $iU'$  همدیگر را قطع نموده‌اند و جهش یا روند را به نمایش گذاشته‌اند. آغاز این تغییرات ناگهانی و نقطه جهش از سال ۲۰۰۴ بوده است. از آنجا که دو سری خارج از محدوده بحرانی  $1/96 -$  تا  $1/96 +$  همدیگر را قطع نموده‌اند و در محدوده منفی نمودار قرار دارند سری زمانی روندی کاهشی را آشکار می‌سازد شکل (۲). بررسی نمودار گرافیکی من کندال ایستگاه اهواز آشکار نمود که طی دهه اول (۲۰۰۳-۱۹۹۳) مقادیر  $iU$  و  $iU'$  برخوردی نداشته‌اند و همدیگر را قطع نکرده‌اند. بر این اساس روند مشخصی در سری مشاهده نمی‌شود. دو سری در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۷ همدیگر را قطع نموده‌اند. آغاز تغییرات ناگهانی و نقطه جهش از سال ۲۰۰۳ بوده است. در آغاز دهه دوم و از سال ۲۰۰۴ به بعد دو سری خارج از محدوده بحرانی  $1/96 -$  تا  $1/96 +$  همدیگر را قطع نموده‌اند و در محدوده منفی نمودار قرار دارند. در مجموع سری زمانی روندی کاهشی ملایمی و محسوسی را آشکار می‌سازد شکل (۳).

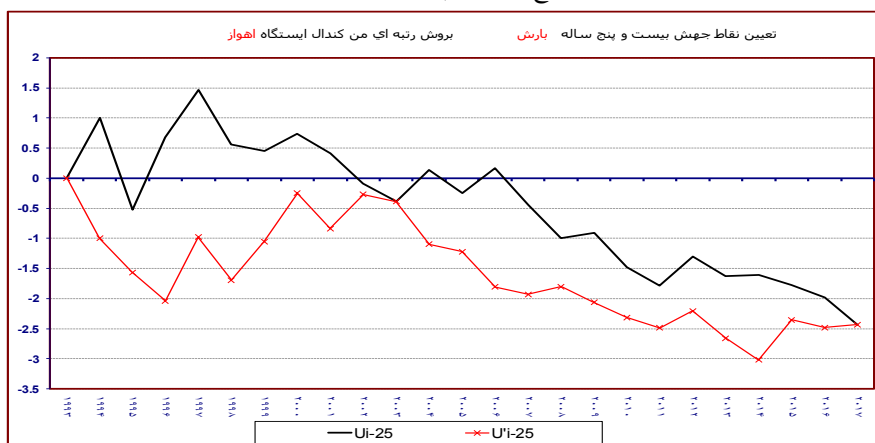
بررسی نمودار گرافیکی من کندال ایستگاه بهبهان آشکار نمود که طی دهه اول (۲۰۰۳-۱۹۹۳) مقادیر  $iU$  و  $iU'$  برخوردی نداشته‌اند و با فاصله به موازات هم در دو بخش منفی و مثبت نمودار قرار گرفته‌اند. بر این اساس روند مشخصی در سری مشاهده نمی‌شود. دو سری در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۷ همدیگر را قطع نموده‌اند. آغاز تغییرات ناگهانی و نقطه جهش از سال ۲۰۰۳ بوده است. در آغاز دهه دوم و از سال ۲۰۰۴ به بعد دو سری داخل محدوده بحرانی  $1/96 -$  تا

۱/۹۶+ هم‌دیگرا را قطع نموده‌اند. در مجموع سری زمانی روندی مشخصی را آشکار نمی‌سازد شکل (۴). بررسی نمودار گرافیکی من کندال ایستگاه دزفول طی دوره مطالعاتی نشان داد که مقادیر دو سری  $U$  و  $iU$  بدون برخورد و با فاصله هر کدام بترتیب در بازه مثبت و منفی نمودار به موازات یکدیگر قرار گرفته‌اند. بر این اساس جهش، تغییر و روند خاصی در سری بارش این ایستگاه مشاهده نمی‌شود شکل (۵). بررسی شکل (۶) آشکار نمود که نمودار گرافیکی من کندال بارش ایستگاه ایزه طی دوره مطالعاتی تغییرات متعدد و ملموسی را تجربه کرده است. مقادیر  $iU$  و  $U$  برخوردهای مکرر جهش‌های متعددی دارند و ضمن قطع نمودن یکدیگر روند مشخصی را نشان داده‌اند. از ابتدای دوره دو سری تغییرات ناگهانی و نقطه جهش مشخصی را عمدتاً در بازه منفی نمودار نشان می‌دهند. دو سری خارج از محدوده بحرانی ۱/۹۶- تا ۱/۹۶+ هم‌دیگرا را قطع نموده‌اند و در محدوده منفی نمودار قرار دارند. در مجموع سری زمانی بارش مسجد سلیمان روندی کاهشی را آشکار می‌سازد.



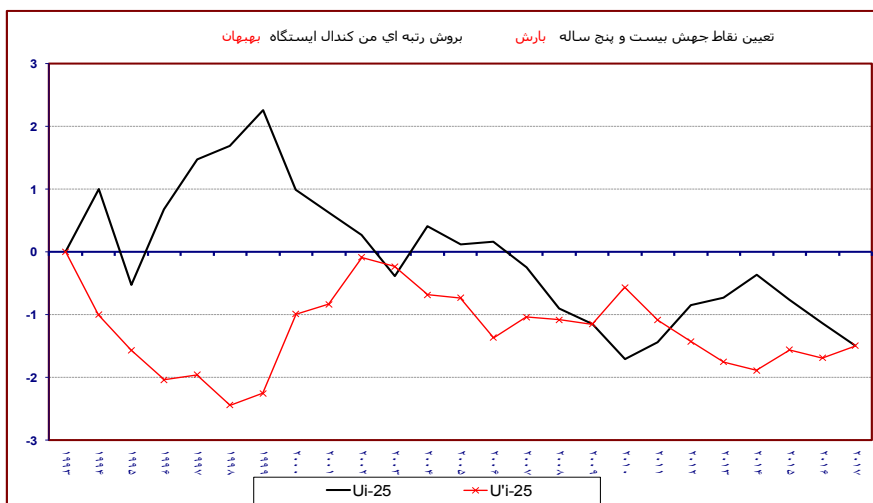
شکل ۲- نمودار من کندال سری زمانی بارش ایستگاه آبادان در دوره آماری (۱۹۹۳-۲۰۱۷)

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸



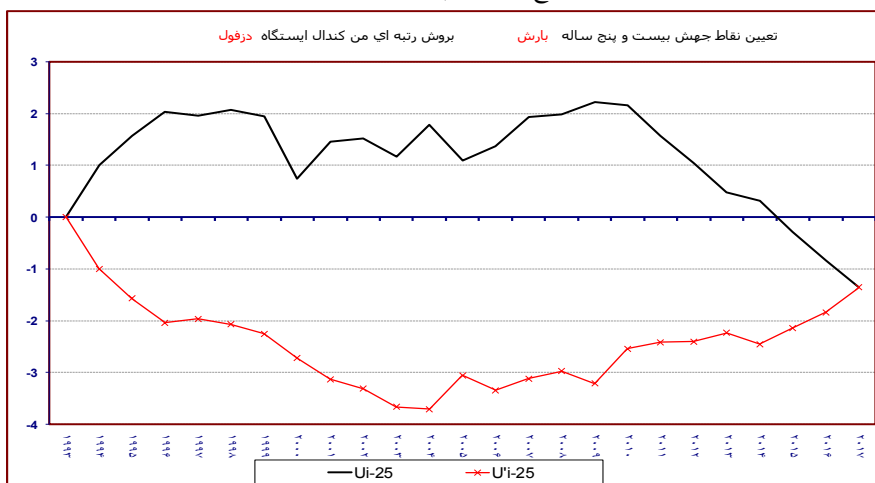
شکل ۳- نمودار من کندال سری زمانی بارش ایستگاه اهواز (۱۹۹۳-۲۰۱۷)

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸



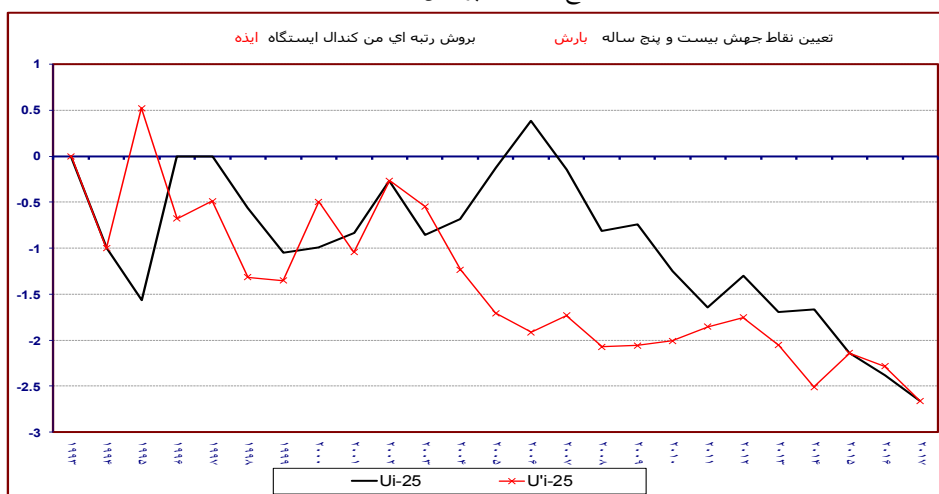
شکل ۴- نمودار من کندال سری زمانی بارش ایستگاه بهبهان (۱۹۹۳-۲۰۱۷)

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸



شکل ۵- نمودار من کندال سری زمانی بارش ایستگاه دزفول (۱۹۹۳-۲۰۱۷)

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸



شکل ۶- نمودار من کندال سری زمانی بارش ایستگاه ایذه (۱۹۹۳-۲۰۱۷)

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۸

## نتیجه‌گیری و دستاورد علمی پژوهشی

پهنه‌بندی خشکسالی استان با استفاده از شاخص‌های سه گانه ZSIAP, PNPI, DIR نشان داد که شاخص‌های مورد استفاده به عنوان ابزاری سودمند، توانایی آشکارسازی رفتار زمانی - مکانی شرایط خشکسالی استان را دارند. بررسی نتایج آشکار نمود که شاخص ZSIAP مطمئن‌ترین و شاخص DIR نامطمئن‌ترین شاخص برای برآورد بارش قابل اعتماد استان می‌باشند. از نظر دقت برآورد شاخص PNPI در حد واسط شاخص‌های DIR و ZSIAP قرار دارد. در محاسبات شاخص PNPI ایستگاه ماهشهر با اعتمادترین و ایستگاه بهبهان کم اعتمادترین و در محاسبات شاخص DIR ایستگاه بهبهان با اعتمادترین و ایستگاه‌های بستان و ایذه کم اعتمادترین برآورد بارشی را ارائه داده‌اند. در محاسبات شاخص ZSIAP ایستگاه امیدیه با اعتمادترین و ایستگاه شوشتر کم اعتمادترین (ایستگاه‌ها بوده‌اند. روندیابی خشکسالی در استان نشان داد که طی بیش از دو دهه اخیر ایستگاه‌های بستان، بهبهان، شوشتر و دزفول فاقد روند بوده‌اند. ایستگاه‌های امیدیه، ایذه، مسجد سلیمان، ماهشهر، آبادان، رامهرمز، اهواز روند منفی داشته‌اند یعنی شدت خشکسالی در این مناطق افزایش یافته است.

## منابع

- اربابی سبزواری آزاده (۱۳۸۹) تحلیل اثر خشکسالی با روش درون یابی شاخص Z نرمال بارندگی در سامانه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در منطقه کاشان جغرافیای طبیعی، صص: ۱۰۵-۱۲۴.
- بذر افشان، جواد (۱۳۸۱) مطالعه تطبیقی برخی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی.
- بیک دلی، آتوسا (۱۳۸۷) تعیین آستانه خشکسالی و محاسبه میزان بارش قابل اعتماد ایستگاه‌های محدوده غرب استان گیلان، همایش منطقه‌ای بحران آب و خشکسالی، دانشگاه آزاد رشت ۳۰ و ۳۱ اردیبهشت ۱۳۸۷.
- جهانبخش اصل، سعید و قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۱) تحلیل توزیع فضایی دوره‌های مرطوب و خشک ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه، فضای جغرافیایی، شماره ۵: صص ۲۷-۱۷.
- رضیئی، طیب و همکاران (۱۳۸۲) پایش پدیده خشکسالی در ایران مرکزی با استفاده شاخص SPI، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان، مهر و آبان ۸۲.
- رمضانی گورابی، بهمن (۱۳۸۴) بررسی پدیده خشکسالی با استفاده از شاخص درصد نرمال بارندگی در نواحی مرکزی گیلان، مجله بیابان، جلد ۱۰، شماره ۲، صص ۲۴۹-۲۵۶.
- زاهدی، مجید و قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۱) شناخت، طبقه‌بندی و پیش بینی خشکسالی با استفاده از روش سری‌های زمانی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۹: صص ۳۴.
- سیف، زهرا و معروفی، صفر (۱۳۸۸) ارزیابی و تحلیل روند خشکسالی و شاخص‌های آن در شهر شاهرود همایش ملی بحران آب در کشاورزی و منابع طبیعی.
- عیوضی معصومه، مساعدی ابوالفضل (۱۳۹۰) پایش و تحلیل مکانی خشکسالی هواشناسی در سطح استان گلستان با استفاده از روش‌های زمین آماری، مجله مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران) شماره ۶۶(۱): ۶۵-۷۸.
- قدرتی، علیرضا (۱۳۸۹) بررسی خشکسالی در استان گیلان با استفاده از نمایه استاندارد شده بارش کاربرد آن در کم آبی و کشاورزی، دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، کرمان.

Palmer, W. C., 1965: Meteorological drought. Office of Climatology, Research Paper 45, U.S. Weather Bureau, 58 pp.

WMO.,2004: Hydrological aspects of drought. Studies and Reports in Hydrology, No. 39, UNESCO-WMO, Geneva, Switzerland, 149 pp