

## تحلیل و پایش خشکسالی هواشناسی منطقه سیستان و بلوچستان

حمید زارع ایبانه<sup>\*۱</sup>

[Zareabyaneh@gmail.com](mailto:Zareabyaneh@gmail.com)

علی اکبر سبزی پرور<sup>۱</sup>

صفر معروفی<sup>۱</sup>

فرشته قیامی<sup>۲</sup>

سیده شقایق میر مسعودی<sup>۲</sup>

آزاده کاظمی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۱/۷

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۱۵

### چکیده

**زمینه و هدف:** یکی از اثرات زیان آور کمبود بارش خسارت‌های ناشی از رخداد خشکسالی است. هدف از این مطالعه، بررسی فراوانی و شدت وقوع خشکسالی منطقه سیستان و بلوچستان در مقیاس سالانه و فصلی طی دوره ۴۲ ساله آماری می‌باشد.

**روش بررسی:** تحلیل خشکسالی با استفاده از پنج شاخص رایج توزیع استاندارد (ZI)، انحراف از میانگین (SDI)، درصد نرمال بارندگی (PNPI)، ناهنجاری بارندگی (RAI) و کلاسه‌بندی دامنه بارش (PC) بر روی اطلاعات و آمار بارندگی فصلی و سالیانه چهار ایستگاه سینوپتیک زاهدان، زابل، چابهار و ایرانشهر طی دوره مشترک آماری (۲۰۰۵-۱۹۶۴) صورت گرفت.

**یافته‌ها و نتایج:** نتایج نشان داد که شاخص SDI در مقایسه با روش‌های RAI، PC، ZI، PNPI در مقیاس فصلی و سالانه برآوردهای قابل قبول‌تری را ارائه داد. استان سیستان و بلوچستان بر مبنای شاخص SDI در مقیاس سالیانه و فصلی خشکسالی‌هایی را تجربه نموده است. بر این اساس، درصد خشکسالی‌های سالیانه‌ی با شدت زیاد و بسیار زیاد نسبت به خشکسالی‌های با شدت کم و متوسط کمتر بود. در مقیاس فصلی نیز شاخص SDI در فصل تابستان بطور متوسط ۴۲ درصد خشکسالی‌ها با شدت بسیار زیاد و زیاد را نشان داد در حالی که در فصل زمستان ریسک وقوع خشکسالی با شدت‌های بسیار زیاد و زیاد بطور متوسط ۱۲ درصد بود. همچنین مقادیر میانگین متحرک ۳ ساله و ۵ ساله، جهت بررسی روند و تداوم خشکسالی در مقیاس سالانه در ایستگاه‌های مذکور استخراج شد.

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا\* (مسئول مکاتبات).

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا.

۳- دانش‌آموخته سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا

**نتیجه‌گیری:** نتایج مبین این واقعیت است که خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان رو به افزایش است که بتدریج بر شدت آن نیز افزوده شده است. همچنین با عنایت به روند کاهشی بارش منطقه می‌توان انتظار رخداد خشکسالی‌های با شدت و مدت بیشتری را داشت.

**واژه‌های کلیدی:** خشکسالی هواشناسی، شاخص‌های خشکسالی، بارش، سیستان و بلوچستان.

## مقدمه

های خشکسالی است که مورد پذیرش جوامع علمی و کاربران قرار دارد (۹). دوره‌های خشک نبراسکا با استفاده از شاخص توزیع استاندارد<sup>۵</sup> به عنوان شاخصی مناسب مورد تحلیل و پایش قرار گرفت (۱۰). بنجامین<sup>۶</sup> و همکاران با مطالعه رابطه فراوانی و تداوم خشکسالی‌های اروپا در مقیاس‌های مختلف زمانی، نتیجه گرفتند که فراوانی و تداوم خشکسالی به ترتیب در کوتاه مدت و دراز مدت بیشتر بوده است (۱۱). دله‌زیوس<sup>۷</sup> و همکاران با ترسیم نقشه‌های هم‌شدت برای یونان براساس تحلیل منحنی-های شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی نتیجه گرفتند که خشکسالی در شمال یونان نسبت به جنوب شدیدتر بوده است (۱۲).

در ایران نیز بر حسب نیاز و با توجه به ویژگی‌های اقلیمی مناطق مختلف، مطالعاتی در خصوص خشکسالی انجام شده است. به عنوان نمونه نتایج یک مطالعه نشان داد فراوانی وقوع خشکسالی در مرکز و جنوب شرق کشور بیشتر است (۱۳). در مطالعه فوق احتمال ماندن نواحی مرکزی و شرقی سیستان و بلوچستان در تله خشکسالی با استفاده از مدل زنجیره مارکف مرتبه اول و نمای SPI در مقیاس ۳ و ۶ ماهه، به ترتیب بیش از ۷۰ و کمتر از ۵۰ درصد ارزیابی گردید. همچنین مشخص شد بخش مرکزی استان در ۳۰ درصد مواقع در خشکسالی بوده که از این بابت در وضعیت آسیب‌پذیرتری قرار دارد. در گزارشی دیگر بیان شد که مطالعه خشکسالی در مقیاس‌های کوتاه مدت نتایج دقیق‌تری را در مقایسه با مقیاس‌های سالیانه ارائه می‌دهد (۱۴). مرادی‌نژاد و آقارزی به منظور تحلیل رخدادهای خشکسالی در استان مرکزی، با استفاده از توزیع‌های آماری و

همان‌گونه که مازاد کنترل نشده‌ی بارش، سیل و خسارت ناشی از آن را در پی دارد، کمبود بارش نیز اثرات زیان‌باری بر بخش‌های صنعتی، کشاورزی و محیط‌های اکولوژیک دارد (۱). یکی از اثرات زیان‌آور کمبود بارش خسارت‌های ناشی از رخداد خشکسالی<sup>۱</sup> است (۲). ساده‌ترین نقطه شروع تعریف خشکسالی، به علت عدم تعریف دقیق و جامع از خشکسالی، قلمداد نمودن آن به عنوان یک رخداد نسبی و موقت هواشناسی است (۳). در این میان یکی از جامع‌ترین تعریف‌ها در مورد واژه خشکسالی تعریف پالمر<sup>۲</sup> است که خشکسالی را کاهش رطوبت مستمر و غیرطبیعی می‌داند. واژه مستمر به استمرار حالت کمبود و واژه غیرطبیعی به انحراف شاخص مورد نظر از شرایط طبیعی یا میانگین اطلاق می‌شود. به عبارت دیگر و ساده‌تر خشکسالی را می‌توان دوره‌ی زمانی دانست که در آن مقدار بارش نسبت به میانگین درازمدت آن دوره کمتر باشد (۴) و با خشکی<sup>۳</sup> به عنوان ویژگی دائمی یک منطقه بواسطه عدم کفایت مقدار بارندگی متفاوت است (۵). به اعتقاد محققین خشکسالی به شکل‌های مختلف نظیر خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی ظاهر می‌شود و در نواحی خشک و حتی مرطوب انتظار وقوع آن هست (۶ و ۷). برای بیان کمی این پدیده و ارزیابی آن در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی، از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌گردد. هانگ<sup>۴</sup> و همکاران شاخص‌های خشکسالی را در صورت ارزیابی کمی، ساده و روشن از خصوصیات اصلی خشکسالی یعنی تداوم، شدت، فراوانی و سطح درگیر مفید می‌دانند (۸). بارندگی مناسب‌ترین و قابل دسترس‌ترین پارامتر اقلیمی برای شاخص-

5 -Standard precipitation index

6 -Benjamin

7-Dalezios

1- Drought

2- Palmer

3 -Aridity

4 -Hong

تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر حاکمیت پرفشار جنب حاره، شدت بری بودن و جابجایی مسیر سیستم‌های کم فشار باران‌زای عرض‌های میانه قرار دارد که گرمای شدید و بارندگی ناچیز مهم‌ترین ویژگی‌های مشهد اقلیمی آن است (۲۳). در وضعیت هواشناسی این منطقه بادهای شدید موسمی، طوفان شن، رگبارهای سیل‌آسا، رطوبت زیاد و مه صبحگاهی پدیده‌ای قابل توجه است. این استان تابستان‌های گرم و طولانی و زمستان‌های کوتاه دارد. میزان بارندگی سالانه آن حدود ۹۰ میلی‌متر، بسیار نامنظم و دارای روند کاهشی از غرب به شرق استان است. از خصوصیات دیگر این استان وجود اختلاف و نوسان شدید دما بین زمستان و تابستان و حتی در یک شبانه‌روز می‌باشد. آمار و ارقام نشان می‌دهند هر ۱۵ سال یک بار خشکسالی و هر ۳۰ سال یک بار خشکسالی بحرانی در این ناحیه اتفاق افتاده است و یکی از بی‌سابقه‌ترین خشکسالی‌ها از نظر شدت و مدت در مهر ۱۳۷۷ بوده است (۲۴). ضمن آن که میزان بارندگی در شهرستان‌های استان در سال زراعی ۸۲ - ۸۱ نسبت به سال زراعی ۷۷ - ۷۶ کاهش چشم‌گیری داشته است (۲۴).

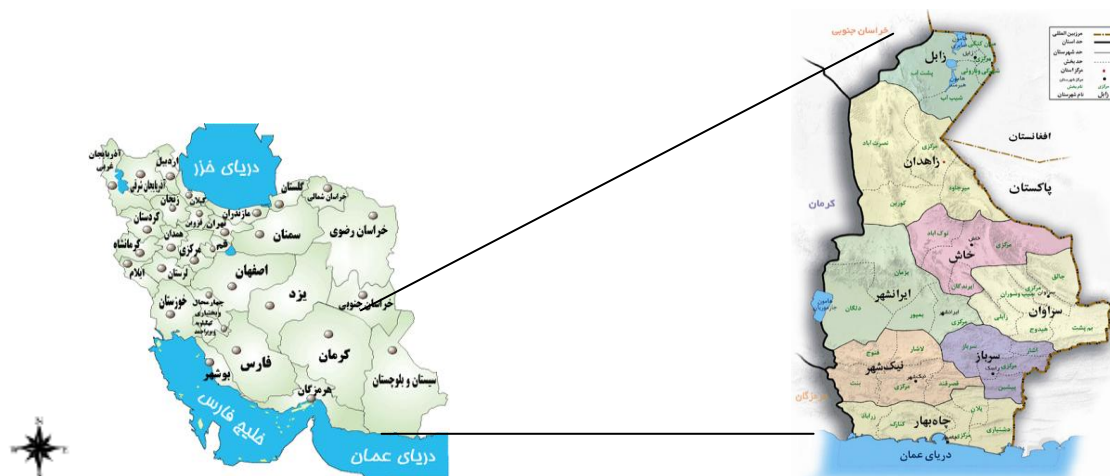
هدف از این مطالعه، بررسی فراوانی و شدت وقوع خشکسالی منطقه سیستان و بلوچستان در مقیاس سالانه و فصلی طی دوره ۴۲ ساله آماری است. با توجه به اینکه بهترین زمان برنامه‌ریزی برای خشکسالی در طول سال‌های غیرخشکسالی می‌باشد، نتایج این بررسی می‌تواند در ایجاد استراتژی مدیریت پیشگیری از خسارت و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی موجود به عنوان بخشی از عوامل ایجاد و تشدید بحران آب کاربرد داشته باشد.

#### مواد و روش‌ها

این مطالعه با استفاده از داده‌های بارش و دمای ۴ ایستگاه هواشناسی زاهدان، زابل، چابهار و ایرانشهر انجام شده که موقعیت آن‌ها در شکل ۱ ارایه شده است.

میانگین متحرک، دو دوره خشکسالی را برای منطقه مذکور نتیجه گرفتند (۱۵). خلیلی در بررسی روند طبیعی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران، شاخص معیار بارندگی سالانه را پیشنهاد نمود (۱۶). بررسی خشکسالی‌های ایران بین سال‌های ۱۳۳۵ و ۱۳۸۰ بیان‌گر آن است که بیشترین و کمترین سطح درگیر به ترتیب در سال‌های ۱۳۴۹ و ۱۳۳۹ بوده است (۱۷). در بررسی مشخصه‌های خشکسالی ایران نشان داده شد به جز مشخصه دوره تداوم، سایر ویژگی‌های خشکسالی با میانگین بلند مدت بارش رابطه مستقیم دارد (۱۸). بذرافشان با بررسی شاخص‌های خشکسالی نشان داد، از نظر بنیادی انتخاب هر یک از شاخص‌ها قویاً به هدف مطالعه و میزان دسترسی به اطلاعات مورد نیاز بستگی دارد (۱۹). نتایج فرج‌زاده در قالب شاخص درصد نرمال<sup>۱</sup> (PNPI) نشان داد شدت دوره‌های خشک در جنوب و مرکز کشور بیش از سایر بخش‌ها است (۲۰). کریمی و همکاران در بررسی خشکسالی‌های هواشناسی استان فارس، با عدم لحاظ فصل تابستان بعلت کمی بارندگی به‌عنوان فصلی جدا، خشکسالی در مقیاس سالیانه را با سه فصل بررسی نمودند (۲۱).

سیستان و بلوچستان از جمله مناطقی است که در آن رویدادهای حدی نظیر سیل و خشکسالی به وفور رخ می‌دهد. شرایط ویژه هیدرولیکی-هیدرولوژیکی و مکانی آن، خصوصیات منحصر به فردی را برای منطقه دارد. استقرار منطقه در انتهای حوضه آبریز بسته، وجود رودخانه هیرمند و دریاچه هامون، وزش بادهای صد بیست روزه موسمی هند، بارندگی ناچیز، دمای بالا، محدودیت منابع آب زیرزمینی، اشتراک منابع آب سطحی با افغانستان و عدم تسلط ایران بر سرچشمه از یک سو، سابقه تمدن باستانی و تاریخی، مرزی بودن و ملاحظات سیاسی، اقتصادی و اجتماعی آن از سوی دیگر بر حساسیت مسئله آب در آن ناحیه می‌افزاید (۲۲). همچنین منطقه با توجه به موقعیت جغرافیایی، از یک طرف تحت تأثیر جریان‌های جوی متعدد مانند: جریان بادی شبه قاره هند و به تبع آن باران‌های موسمی تابستانه اقیانوس هند است. از طرف دیگر



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

به کمک آزمون ران<sup>۵</sup> اطمینان حاصل گردید. در این تحقیق تجزیه و تحلیل داده‌ها و نتایج حاصل از آن تحت نرم‌افزارهای SPSS و EXCEL انجام شد.

در این پژوهش مطابق استانداردهای جهانی و توصیه سازمان هواشناسی جهانی که حداقل دوره آماری ۳۰ ساله را توصیه می‌نماید آمار بارش یک دوره مشترک ۴۲ ساله چهار ایستگاه سینوپتیک از سال ۱۹۶۴ تا سال ۲۰۰۵ تهیه شد. ایستگاه‌های یاد شده از نظر مکانی در کناره دریای عمان (چابهار)، غرب استان (ایران‌شهر)، مرکز استان (زاهدان) و شمال استان (زابل) در مرز کشور افغانستان استقرار دارند. جدول ۱ میانگین فصلی و سالانه پارامترهای اقلیمی دما و بارش را به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

به منظور تحلیل خشکسالی فصلی و سالانه، از پنج شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI)، معیار Z استاندارد شده<sup>۱</sup> (ZI)، کلاسه‌بندی دامنه بارش<sup>۲</sup> (PC)، انحراف از میانگین<sup>۳</sup> (SDI) و ناهنجاری بارش<sup>۴</sup> (RAI)، استفاده شد (جدول ۲) (۱۴ و ۲۵). طبقات مختلف شدت خشکسالی هر یک از شاخص‌های بکار گرفته شده در جدول ۲ درج گردیده است. برای دو ایستگاه ایران‌شهر و چابهار که دارای نواقص آماری بودند، خلاءهای آماری با استفاده از داده‌های کامل ایستگاه‌های همجوار و روش نسبت‌ها برای داده‌های بارش و روش تفاضل‌ها برای داده‌های دما، کامل گردید. از صحت و همگنی داده‌های تمامی ایستگاه‌ها

- 1- Rainfall Standard index
- 2- Classification of precipitation range
- 3- Standard Deviation Index
- 4- Rainfall Anomaly index

جدول ۱ - میانگین اقلیمی مقادیر دما و بارش در محدوده مطالعاتی

سالنامه	بهار	زمستان	پاییز	تابستان	دوره	
					عامل	ایستگاه
۲۶/۸	۲۹/۰	۲۳/۴	۲۵/۵	۲۹/۲	دما (°C)	چابهار
۱۱۴/۴	۴/۱	۶۹/۳	۳۰/۵	۷/۵	بارش (mm)	
۲۶/۷	۳۲/۴	۱۷/۷	۲۱/۹	۳۵/۴	دما (°C)	ایرانشهر
۱۱۳/۸	۱۰/۲	۶۸/۷	۱۷/۳	۱۷/۶	بارش (mm)	
۲۲	۲۸/۳	۱۲/۱	۱۵/۷	۳۱/۹	دما (°C)	زابل
۶۰/۶	۵/۳	۴۳/۴	۱۱/۹	۰/۰۱	بارش (mm)	
۱۸/۴	۲۴/۰	۱۰/۵	۱۳/۳	۲۵/۹	دما (°C)	زاهدان
۸۰/۳	۱۲/۵	۴۹/۹	۱۵/۸	۲/۱	بارش (mm)	
۲۳/۵	۲۸/۴	۱۵/۸	۱۹/۱	۳۰/۶	دما (°C)	میانگین منطقه
۹۱/۵	۸/۰	۵۷/۸	۱۸/۹	۶/۸	بارش (mm)	

جدول ۲ - طبقات مختلف شدت خشکسالی روش‌های محاسباتی (۱۴)

شدت خشکسالی	درصد نرمال بارندگی	توزیع استاندارد	کلاس‌بندی دامنه بارش	انحراف از میانگین	ناهنجاری بارندگی
ضعیف	$70 < PNPI < 80$	$-1 < ZI < 0$	$R_{min} + 0.3R < R < R_{min} + 0.4R$	$Ri/5 <  Sd  < 2Ri/5$	$-1/2 < RAI < -0.3$
متوسط	$55 < PNPI < 70$	$-2 < ZI < -1$	$R_{min} + 0.2R < R < R_{min} + 0.3R$	$2Ri/5 <  Sd  < 3Ri/5$	$-2/1 < RAI < -1/2$
نسبتاً شدید	---	---	$R_{min} + 0.1R < R < R_{min} + 0.2R$	$3Ri/5 <  Sd  < 4Ri/5$	---
شدید	$40 < PNPI < 55$	$-3 < ZI < -2$	$R < R_{min} + 0.1R$	$4Ri/5 <  Sd  < Ri$	$-3 < RAI < -2/1$
بسیار شدید	$PNPI < 40$	$ZI < -3$	$R < R_{min}$	$Ri <  Sd $	$RAI \leq -3$

$R_i$ : بارش هر سال آماری،  $R$ : متوسط بارش در هر سال آماری  $R_{min}$ : بارش حد اقل در هر سال آماری

میانگین دراز مدت آن‌ها بیان‌گر درجات مختلفی از خشکسالی می‌باشد. شاخص فوق در مناطقی با تغییرات زیاد بارش مانند هند ارزیابی‌های مناسبی داشته است (۴). در روش کلاس‌بندی بارش (PC)، مشابه روش دهک‌ها با تقسیم دامنه‌ی بارش‌ها به ۱۰ دامنه و انتخاب ۵ دامنه کمتر از میانه به عنوان خشکسالی-هایی با شدت ضعیف تا بسیار شدید می‌باشد. در شاخص انحراف از میانگین (SDI)، خشکسالی زمانی رخ می‌دهد که بارندگی سالانه یا هر بازه زمانی معین در مقایسه با انحراف

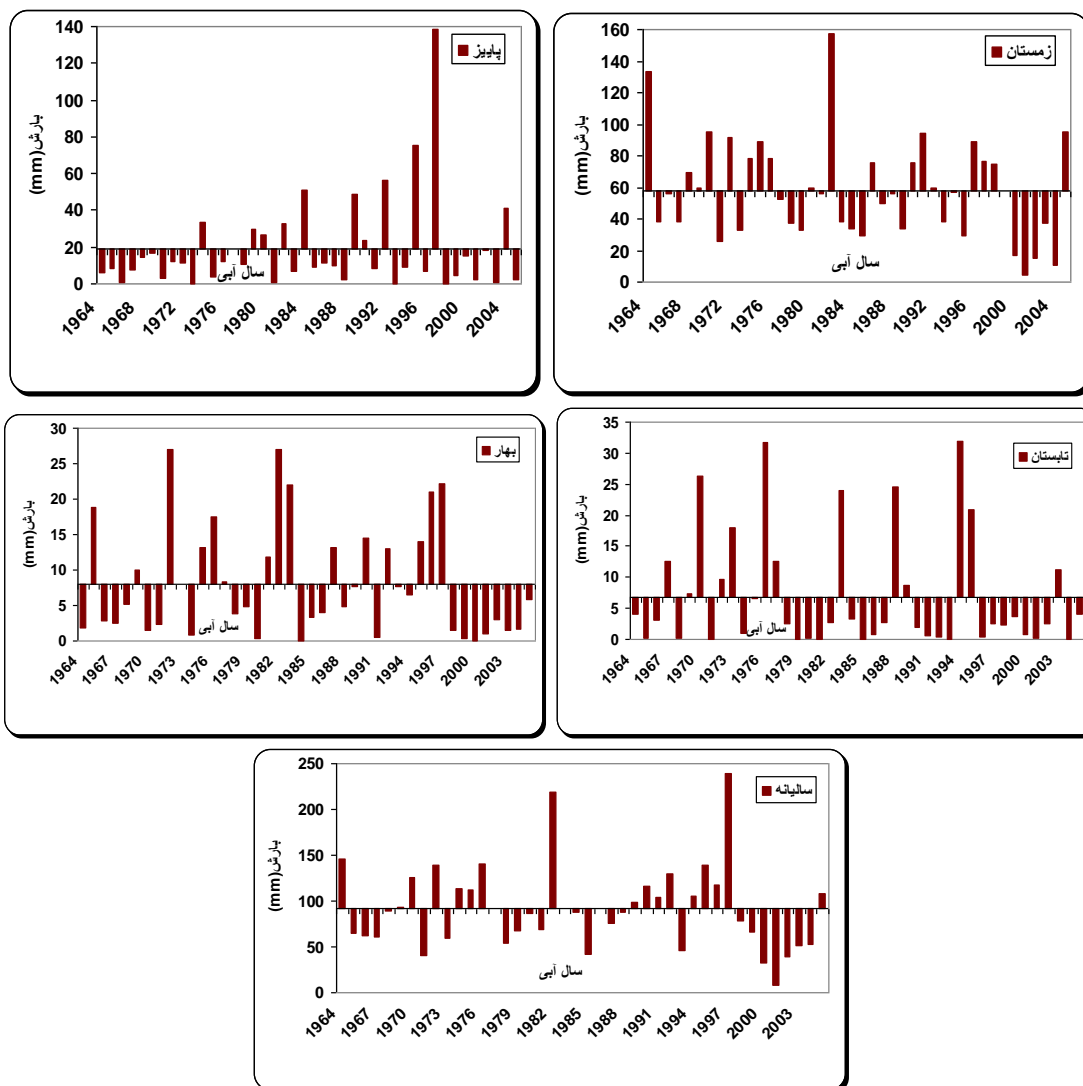
همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد اساس شاخص‌های خشکسالی غالباً بر مبنای سنجش انحراف مقادیر بارندگی از میانگین درازمدت طی یک دوره زمانی معین استوار است. بنابراین اساسی‌ترین پارامتر مورد استفاده در این شاخص‌ها، بارندگی است. با توجه به جدول ۲، شاخص PNPI از جمله شاخص‌های ساده‌ی مدنظر محققین استرالیایی است که در آن شروع خشکسالی معادل کاهش ۷۰ درصدی بارش نسبی منطقه است (۲۶). در شاخص توزیع استاندارد (ZI)، انحراف بارش‌ها از

چنین ویژگی اقلیمی و در کنار آن توصیه مدیریتی به ذخیره‌سازی آب با کاهش ۱۶۷/۹ درصدی آورد رودخانه هیرمند طی سال‌های آبی ۱۳۷۷-۷۸ تا ۱۳۸۲-۸۳ و حتی خشک شدن رودخانه در سال آبی ۱۳۸۰-۸۱ که حیات سیستان و بلوچستان به آن وابسته است قابل تأیید است (۲۳). پس از بررسی‌های اولیه، نمودارهای تغییرات مقادیر کمبود بارندگی براساس آمار و اطلاعات فصلی و سالیانه در طول دوره آماری استخراج شد. شکل ۲ مقادیر میانگین بارش چهار ایستگاه مطالعه شده را نشان می‌دهد. در این شکل مقادیر کمبود بارندگی از میانگین درازمدت آن به عنوان نشانه‌ای از آغاز خشکسالی قابل استخراج است.

معیار بارش‌های دراز مدت سنجش گردد (۴). در نمایه ناهنجاری بارندگی (RAI)، بارش‌های دوره‌ی زمانی معینی را بر روی مقیاس خطی که از روی سری داده‌ها حاصل می‌شود ارزیابی می‌کند (۲۷).

## نتایج

جدول ۱ نشان می‌دهد ناهمگونی زمانی و مکانی بارش یکی از ویژگی‌های منطقه سیستان و بلوچستان است. میانگین منطقه‌ای ریزش‌های سالانه استان سیستان و بلوچستان حدود ۹۱/۵ میلی‌متر است که در حدود ۱۷۳ درصد کمتر از میانگین ۲۵۰ میلی‌متری کشور است. این امر لزوم ذخیره‌سازی زمستانه و تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی را نشان می‌دهد.

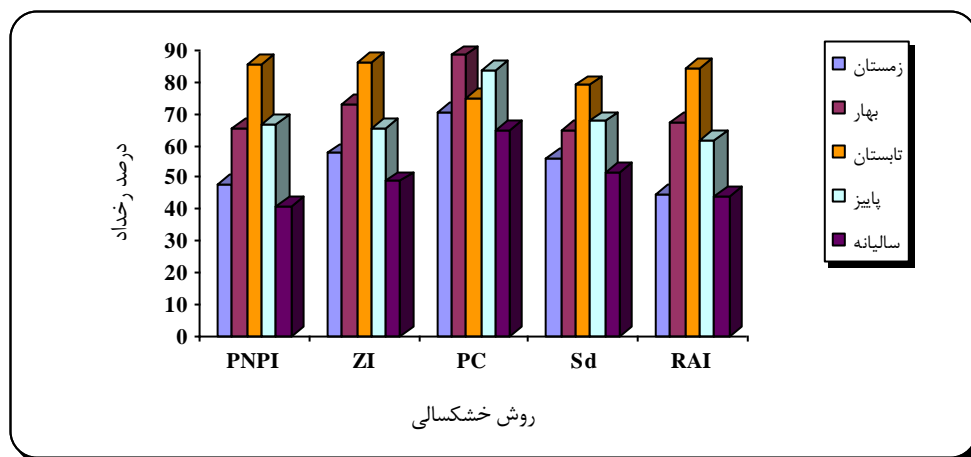


شکل ۲- میانگین بارندگی فصلی و سالیانه منطقه مطالعاتی طی سال‌های آبی (۱۹۶۴-۲۰۰۵)

براساس شکل ۳ بیشترین فراوانی خشکسالی در فصل بهار از شاخص PC و در فصل تابستان به شاخص های ZI, PNPI, Sd و RAI مربوط است. همچنین بیشترین و کمترین فراوانی وقوع خشکسالی در اکثر روش ها به ترتیب متعلق به فصول تابستان و زمستان است. مشاهده می شود که فصل تابستان همیشه در بین سایر فصل ها با خشکسالی مواجه بوده است. این مشاهده با نتایج جدول ۲ که در آن فصل تابستان از کمترین سهم بارش با دمای هوای بیشتری برخوردار بوده است همخوان است. در مقیاس سالانه نیز بیشترین و کمترین برآورد فراوانی به ترتیب با ۶۴ و ۴۱ درصد در نمایه های روش PC و PNPI مشاهده شد.

با استفاده از اطلاعات شکل ۲ در شاخص های خشکسالی، روند آن برای هر ایستگاه قابل محاسبه است. شکل ۳ درصد خشکسالی منطقه را به صورت ترکیبی از تمامی شدت های خشکسالی به تفکیک فصل و سال برای هر یک از شاخص ها نشان می دهد. شکل ۳ بیشترین درصد رخداد خشکسالی را در فصل تابستان و بهار و کمترین درصد را در فصل زمستان نشان داد. این شکل بیان گر آن است که بروز خشکسالی در منطقه با شدت های مختلفی در همه شاخص ها مشهود است. با توجه به اینکه درصد رخداد خشکسالی و مقدار بارندگی به عنوان دو متغیر وابسته به هم می باشند شکل ۲ نیز این موضوع را در دو فصل تابستان و بهار تایید می کند.

از دیگر نتایج شکل ۳ کم بودن نسبی درصد خشکسالی های سالانه در تمام روش ها در مقایسه با درصدهای فصلی است. این نتیجه بیان گر لزوم بررسی خشکسالی در مقیاس های زمانی کوتاه تر است. زیرا ممکن است یک سال خشک و یا تر شامل تعدادی فصل (ماه) خشک و یا مرطوب باشد که در مقیاس سالانه تعدیل گردد، به طوری که قابل تشخیص نباشد.



شکل ۳- درصد خشکسالی های فصلی و سالیانه منطقه

شدت خشکسالی نیز مواجه باشد (شکل ۴). به همین ترتیب فصل زمستان نیز با خشکسالی با شدت کمتری مواجه باشد. شکل ۴ بیان می دارد که تمام روش ها در فصل تابستان خشکسالی های نسبتاً شدیدتری را نسبت به فصل زمستان نشان می دهند.

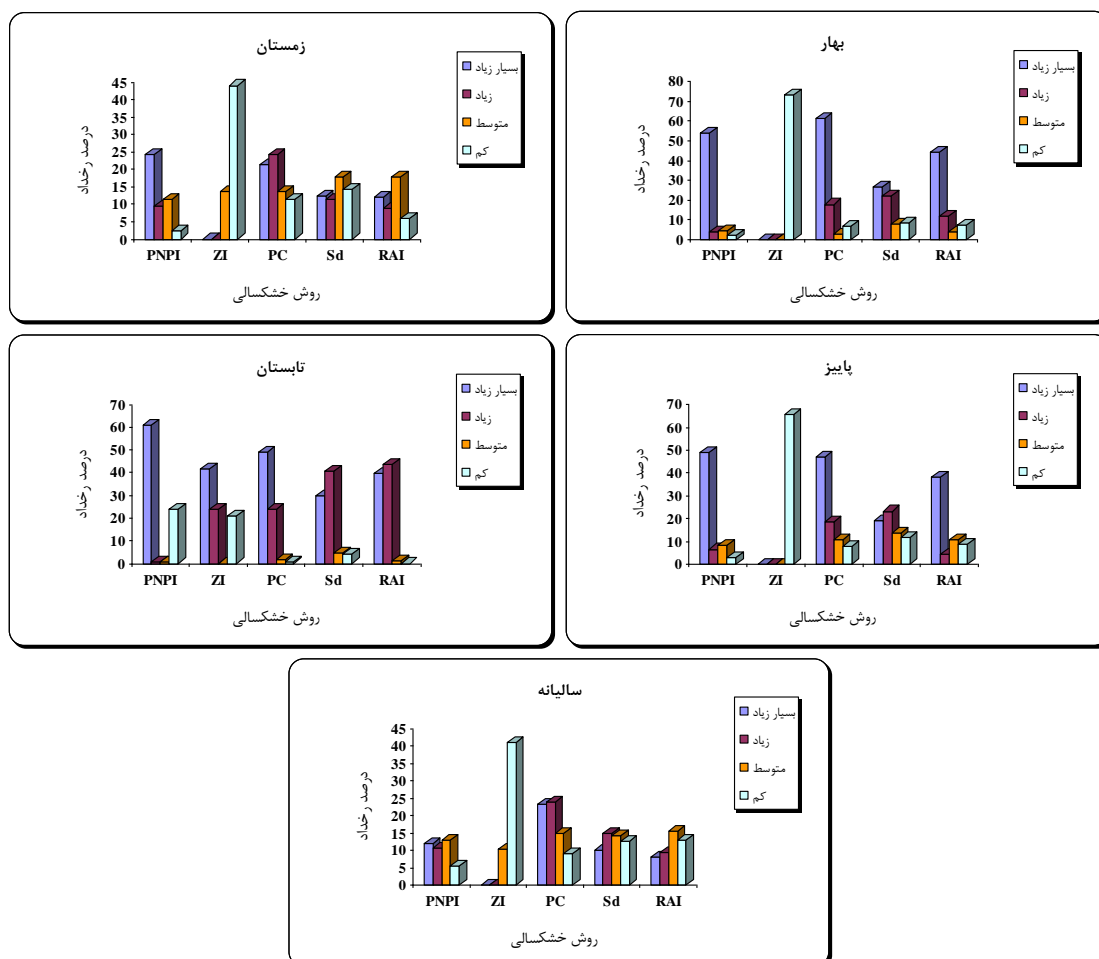
ارزش های کیفی هر پنج شاخص به تفکیک فصل و سال در نمایه ۴ ارایه شده است. طبق شکل ۴ شدت خشکسالی های مشاهده شده در کلیه روش ها و فصول با هم برابر نمی باشند. همان طور که در شکل ۳ مشاهده شد فصل تابستان علاوه بر دارا بودن بیشترین فراوانی خشکسالی می بایست با بیشترین

در ادامه بیشترین و کمترین مقادیر فراوانی خشکسالی‌ها در مقیاس فصلی و سالیانه به تفکیک هر ایستگاه در جدول ۳ آورده شد. جدول ۳ نشان می‌دهد که شاخص PC در فصل بهار از ایستگاه زابل در ۱۰۰ درصد از سال‌ها و در ۸۸ درصد از فصل تابستان ایستگاه زاهدان را با خشکسالی درگیر دانسته است. در حالی که رضی و همکاران (۱۳۸۶) بخش مرکزی را نسبت به خشکسالی حساس‌تر دانسته‌اند. به این ترتیب روش PC در مقیاس فصلی و سالیانه برای بخش مرکزی خشکسالی بیشتری را برآورد ننموده است (جدول ۳).

بر مبنای جدول ۳ مشاهده می‌شود روش PNPI در ایستگاه ایرانشهر فصل تابستان را در تمامی سال‌ها (۱۰۰)

در ادامه بیشترین و کمترین مقادیر فراوانی خشکسالی‌ها در مقیاس فصلی و سالیانه به تفکیک هر ایستگاه در جدول ۳ آورده شد. جدول ۳ نشان می‌دهد که شاخص PC در فصل بهار از ایستگاه زابل در ۱۰۰ درصد از سال‌ها و در ۸۸ درصد از فصل تابستان ایستگاه زاهدان را با خشکسالی درگیر دانسته است. در حالی که رضی و همکاران (۱۳۸۶) بخش مرکزی را نسبت به خشکسالی حساس‌تر دانسته‌اند. به این ترتیب روش PC در مقیاس فصلی و سالیانه برای بخش مرکزی خشکسالی بیشتری را برآورد ننموده است (جدول ۳).

بر مبنای جدول ۳ مشاهده می‌شود روش PNPI در ایستگاه ایرانشهر فصل تابستان را در تمامی سال‌ها (۱۰۰)



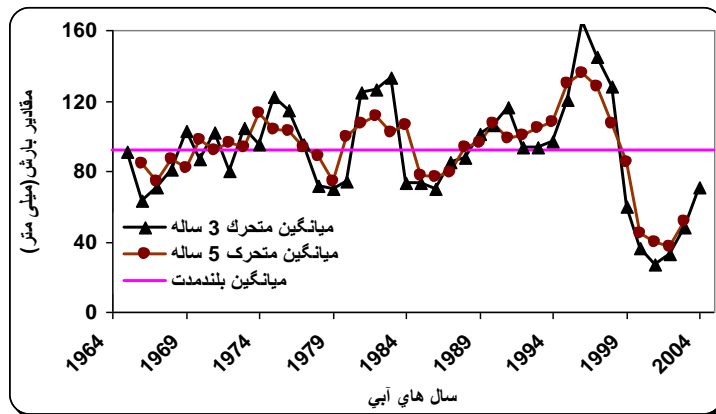
شکل ۴- درصد شدت‌های خشکسالی فصلی و سالیانه منطقه



است. این نتیجه با توجه به توزیع درصدهای بیشتر بارش‌ها در فصل زمستان (جدول ۱) منطقی به نظر می‌رسد. در مقیاس سالانه به نظر می‌رسد از درصد خشکسالی‌های زیاد و بسیار زیاد در مقایسه با خشکسالی‌های کم و متوسط کاسته شود زیرا بارش‌های سالیانه تا حدودی می‌تواند کمبودهای فصلی را جبران نمایند.

شکل ۴ وجود خشکسالی‌های با شدت بسیار زیاد کمتری را در مقیاس سالانه برای شاخص  $Sd$  نشان می‌دهد که این مطلب با مقیاس سالانه‌ی شکل ۲ نیز همخوانی دارد. به این ترتیب به نظر می‌رسد روش  $Sd$  به واسطه برآوردهای منطقی‌تر نسبت به سایر روش‌ها در اولویت اول باشد.

در شکل ۴ شاخص  $RAI$  نشان می‌دهد که در طول سال‌های آماری منطقه در سه فصل بهار، تابستان و پاییز با خشکسالی با شدت بسیار زیاد مواجه بوده است در حالی که در مقیاس سالانه بر مبنای شاخص  $RAI$  منطقه کمترین درصد رخداد خشکسالی بسیار زیاد را دارد. این نتیجه بیان‌گر آن است که برآوردهای شاخص فوق در مقیاس‌های زمانی فصلی و سالانه همخوان نمی‌باشد. به عبارت دیگر یک روش نمی‌تواند در سه فصل از تمامی سال‌های آماری خشکسالی با شدت بسیار زیاد را نشان دهد ولی در مقیاس سالیانه آن خشکسالی بسیار زیاد آن دارای کمترین درصد باشد. در خصوص روش  $Sd$  شکل ۴ نشان می‌دهد در فصل زمستان درصد رخداد خشکسالی با شدت بسیار زیاد و زیاد کمتر از خشکسالی با شدت متوسط و کم بوده



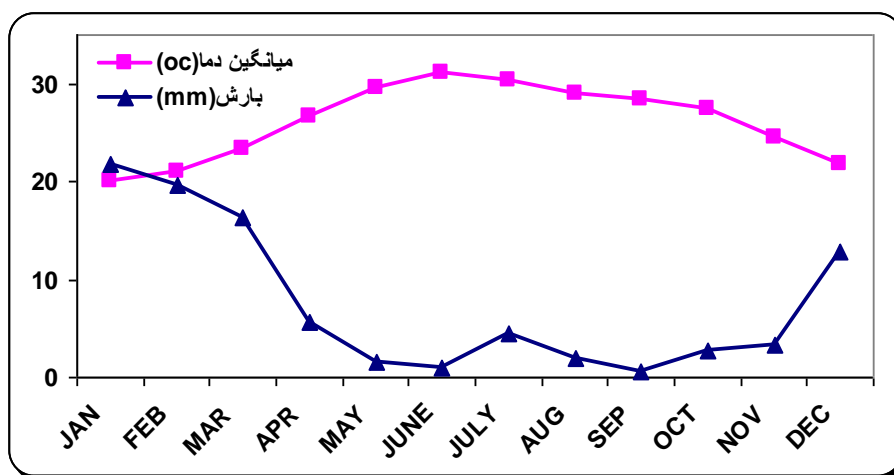
شکل ۵- میانگین متحرک ۳ ساله و ۵ ساله منطقه (۱۹۶۴-۲۰۰۵)

جدول ۳- بیشترین و کمترین فراوانی روش‌های مختلف در مقیاس فصلی و سالانه

کمترین فراوانی		بیشترین فراوانی		ایستگاه	
سالانه	فصلی	سالانه	فصلی	مقیاس زمانی	
ZI	PNPI و RAI	ZI	ZI	روش	چابهار
-	زمستان	-	بهار	دوره	
صفر	۴۵/۲	۶۲	۹۲/۲	درصد	
PNPI و ZI	RAI	PC	PNPI	روش	ایران‌شهر
-	زمستان	-	تابستان	دوره	
صفر	۴۲/۹	۵۴	۱۰۰	درصد	
ZI	PNPI و RAI	ZI	PC	روش	زابل
-	زمستان	-	بهار	دوره	
صفر	۴۲/۸	۲۸/۶	۱۰۰	درصد	
ZI	PNPI	ZI	PC	روش	زاهدان
-	زمستان	-	تابستان	دوره	
صفر	۳۸/۱	۴۵	۸۸	درصد	

طوری که محققین اشاره داشته‌اند وجود بقایای گیاهی و به تبع پوشش‌های گیاهی در جلوگیری از تماس جریان باد با خاک در جهت کاهش تبخیر عمل می‌نمایند (۲۸).

روند میانگین بارش و دمای منطقه در قالب نمودار آمبروترمیک (شکل ۶) حاکی از فزونی دما نسبت به بارش در ۱۱ ماه از سال است. در چنین شرایطی خشکی و خشکسالی در کاهش پوشش گیاهی و افزایش تبعات خشکسالی مانند تبخیر نقش دارد. به



شکل ۶- منحنی آمبروترمیک منطقه

شد که به جز ایستگاه چابهار تغییرات دما دارای روند مثبت و در سطح ۹۵٪ معنی‌داری بود (جدول ۴). مدل انتخابی مدلی خطی

با بررسی مقادیر دمای سالانه هر چهار ایستگاه در محیط نرم‌افزار SPSS با مدل رگرسیون خطی نیز نشان داده

دهد که اقلیم منطقه دارای روند افزایش دما بوده و سبب افزایش تاثیرات خشکی و خشکسالی می‌شود. به نظر می‌رسد نزدیکی ایستگاه چابهار به دریا سبب تعادل دمایی و در عدم-معنی‌داری آن نقش داشته است. خروجی نرم‌افزار SPSS (معادله خط روند) در جدول (۴) نشان داده شده است.

با فرم عمومی  $Y=ax+b$  است که در آن  $Y$  دما،  $X$  سال،  $a$  شیب معادله،  $b$  عرض از مبدا است. جدول ۴ نتایج را برای دو حالت داده‌های نرمال شده و غیرنرمال نشان می‌دهد. آزمون معنی‌داری براساس آزمون  $T_{Student}$  انجام شده است که به عنوان پیش فرض نرم‌افزار SPSS است. نتیجه فوق نشان می‌-

جدول ۴- تعداد دوره‌های خشکسالی رخ داده طی دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۶۴)

ایستگاه	Un standardized Coefficients	Sig.	$T_{Stu}$	
زابل	عرض از مبدا (a)	۲۱/۴۶۸**	۰/۰۰۰	۹۸/۵۳
	شیب (b)	۰/۰۲۶**	۰/۰۰۵	۲/۹۹
زاهدان	عرض از مبدا (a)	۱۷/۶۷۳**	۰/۰۰۰	۹۱/۹۵
	شیب (b)	۰/۰۴۲**	۰/۰۰۰	۵/۴۵
ایرانشهر	عرض از مبدا (a)	۲۶/۲۸۹**	۰/۰۰۰	۱۴۰/۴۴
	شیب (b)	۰/۰۲۱**	۰/۰۰۸	۲/۷۸
چابهار	عرض از مبدا (a)	۲۶/۱۵۹**	۰/۰۰۰	۱۶۶/۹۱
	شیب (b)	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۹۲۸*	۰/۰۹

<sup>ns</sup> عدم معنی‌داری، <sup>\*\*</sup> معنی‌داری در سطح یک درصد

### بحث و نتیجه‌گیری

واقعیت، منطقه در برخی از سال‌ها با ترسالی نیز مواجه بوده است. چنین ادعایی با توجه به شکل ۲ و در شکل ۵ هم با ترسیم میانگین‌های متحرک ۳ و ۵ ساله بارش نشان داده شده است. به این ترتیب می‌توان برآوردهای روش PC را قدری دور از واقعیت دانست. بنابراین می‌توان اظهار داشت شاخص SDI در مقایسه با روش‌های  $PNPI$ ،  $ZI$ ،  $PC$  و  $RAI$  در مقیاس فصلی و سالانه برآوردهای قابل قبول‌تری را ارائه می‌دهد.

بررسی خشکسالی با میانگین بارش‌های ۳ ماهه در مقایسه با بارش‌های سالانه نتایج متفاوتی را برای منطقه سیستان بلوچستان نشان داد. از آنجایی که بارش پارامتر محیطی مهم و تعیین کننده در فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی است لذا به نظر می‌رسد نتایج مقیاس زمانی ۳ ماهه در مدیریت بهتر و استفاده مناسب‌تر از منابع محدود بارش باشد. گواه چنین نتیجه‌ای را می‌توان در چاه نیمه‌های ناحیه سیستان دانست که سبب ذخیره بارش‌ها و جریانان زمستانه به جهت استفاده در

خشکسالی فرآیندی است که در آن تبخیر آب از سطوح خاکی و آبی افزایش می‌یابد. میزان آن تحت تاثیر شرایط جوی از جمله دمای هوا و باد دارای تغییراتی است. گرمی هوا در کنار عامل باد از جمله بادهای ۱۲۰ روزه سیستان اثرات زیان‌بار خشکسالی را مضاعف می‌سازد.

مقایسه نتایج شاخص‌های خشکسالی نشان داد، روش  $PNPI$  بیشترین درصد خشکسالی (۶۰/۷) را با بیشترین شدت (بسیار زیاد) در فصل تابستان نشان می‌دهد. روش  $ZI$  در هیچ یک از فصل‌ها فصلی هیچگاه برآوردی از خشکسالی با زیاد و بسیار زیاد نداشته است. در حالی که آمار و ارقام بیان‌گر وجود خشکسالی سالانه با شدت زیاد و بسیار زیاد در منطقه است (۲۳ و ۲۴). لذا روش  $ZI$  به دلیل برآوردهای نامناسب در مقیاس‌های فصلی و سالانه قابل حذف است. روش  $PC$  تقریباً برای تمامی سال‌ها و فصل‌ها برآوردی از خشکسالی‌های با شدت زیاد و بسیار زیاد داشته است (شکل ۴). حال آن که در

8. Hong, W and Hayes, J. 2001. An Evaluation of the standardized precipitation Index, The China- Z Index and the statistical Z-Score Int, J. Climatol, PP: 21745-758.
۹. اختری، روح‌انگیز، مهدیان، محمدحسین و مرید، سعید. ۱۳۸۵. تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی SPI و EDI در استان تهران. مجله تحقیقات منابع آب ایران. شماره ۳. ص. ۳۷-۲۷.
10. Edwards, D.C. and Mckee, T.B., 1997. Characteristics of 20 Century Droughting in the United States at Multiple Time Scales, Climatology Report, N 97-2.
11. Benjamin, L.H. and Saunders M.A. 2002. A drought climatology for Europe Int, J. Climatol. 22. PP: 1571-1592.
12. Dalezios, N.R., Loukas, A., Vasiliades, L. and Liakopoulos, E. 2000. Severity duration frequency analysis of droughts and wet periods in Greece. Hydrology Seie, 45(5): 751-768.
۱۳. رضیعی، طیب. دانش‌کارآراسته، پیمان. اختری، روح-انگیز و ثقفیان، بهرام. ۱۳۸۶. بررسی خشکسالی‌های هواشناسی (اقلیمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکوف. مجله تحقیقات منابع آب ایران. سال سوم. شماره ۱. ص. ۵-۲۵.
۱۴. زارع ابیانه، حمید. محبوبی، علی‌اکبر و نیشابوری، محمدرضا. ۱۳۸۳. بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان بر اساس شاخص‌های آماری. مجله پژوهش و سازندگی. شماره ۶۴. ص. ۷-۲.
۱۵. مرادی‌نژاد، امیر و آقارزی، حشمت‌الله. ۱۳۸۱. بررسی خشکسالی در استان مرکزی با توجه به سایر فصول سال است (۲۲). از طرف دیگر با عنایت به روند کاهشی بارش منطقه می‌توان انتظار رخداد خشکسالی‌های با شدت و مدت بیشتری را داشت.
- منابع**
۱. دانشور، محمدرضا، تلوری، عبدالرسول، توکلی، محمود و داناییان، محمدرضا. ۱۳۸۵. تحلیل دوره-های بازگشت خشکسالی، در شرق و جنوب شرق کشور. مجله نیوار. شماره ۶۲ و ۶۳. ص. ۲۱-۳۶.
۲. هدایتی دزفولی، اکرم. ۱۳۸۴. بررسی خشکسالی و روند آن در استان کهگیلویه و بویراحمد. مجله نیوار. شماره ۵۹ و ۵۸. ص. ۷۳-۹۴.
3. Olapido, E.O., 1985. A Comparative Performance Analysis of Three Meteorological Drought, Journal of Climatology, Vol 5, PP: 655-664
۴. حسینی‌ها، حسین‌علی و صالحی، زهرا. ۱۳۷۹. بررسی وضعیت خشکسالی براساس تعدادی از شاخص‌های آماری در استان زنجان. اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم‌آبی و خشکسالی. کرمان. ص. ۲۷-۱۷.
۵. سیدان، جواد. ۱۳۶۹. پدیده خشکی و جلوگیری از اثرات سوء آن. مجله نیوار. شماره ۸ تا ۵. ص. ۷۳-۶۵.
6. Wilhite, D.A. and Glantz, M.H. 1985. Understanding the drought phenomenon, the role of definition. Water International, Vol 10. PP: 111-120.
7. Dracup, J. Lee, K.S. and Paulson, E.G. 1980. On the definition of drought, water Resource Research, 16(2): 297-302.

- تحلیل داده‌های بارندگی. مجله آب و فاضلاب. شماره ۴۲. ص. ۲۵-۲۰.
۱۶. خلیلی، علی. ۱۳۷۰. گزارش‌های حوضه‌ای هواشناسی طرح جامع آب کشور. وزارت نیرو. جاماب. تهران.
۱۷. احمدی، حسن. ۱۳۸۳. بررسی عوامل مؤثر در بیابان‌زایی. مجله جنگل و مرتع. شماره ۶۲، ص. ۷۲-۶۶.
۱۸. دین‌پژوه، یعقوب. فاخری‌فرد، احمد. مقدم، محمد. میرنیا، میرکمال و جهانبخش، سعید. ۱۳۸۰. بررسی روند بارش ایران با تکیه بر مشخصه‌های خشکسالی متئورولوژیکی. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب. جلد دوم. ص. ۴۸۳-۴۶۹.
۱۹. بذرافشان، جواد. ۱۳۷۹. مطالعه طبیعی برخی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
۲۰. فرج‌زاده، منوچهر. ۱۳۷۵. خشکسالی و روش‌های مطالعه آن. مجله جنگل و مرتع. شماره ۳۲. ص. ۳۲-۲۲.
۲۱. کریمی، ولی‌الله. کامکار حقیقی، علی‌اکبر. سپاسخواه، علیرضا و خلیلی، داور. ۱۳۸۰. بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان فارس، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۵. شماره ۴. دانشگاه صنعتی اصفهان. ص. ۱۱-۱.
۲۲. دانش‌کارآراسته، پیمان. تجریشی، مسعود. میرلطیفی، مجید و ثقفیان، بهرام. ۱۳۸۴. مدل آماری برآورد از سطح مخزن چاه‌نیمه سیستان به روش بیلان حجمی. مجله پژوهش‌های سازندگی. شماره ۶۸. ص. ۱۴-۲.
۲۳. بیک‌محمدی، حسن. نوری، سیده‌هدایت‌اله و بذرافشان، جواد. ۱۳۸۴. اثرات خشکسالی‌های ۸۳-۱۳۷۷ بر اقتصاد روستایی سیستان و راهکارهای مقابله با آن. مجله جغرافیا و توسعه. ص. ۷۱-۵۳.
۲۴. بی‌نام. ۱۳۸۳. عوارض ناشی از بحران خشکسالی و فعالیت‌های انجام شده در سیستان و بلوچستان. فصل‌نامه علمی ترویجی خشکی و خشکسالی. شماره ۱۴. ص. ۴۹-۳۵.
۲۵. کاظمی، آزاده. ۱۳۸۶. ارزیابی شاخص‌های خشکی و خشکسالی در شرایط اقلیمی استان همدان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه بوعلی‌سینا. ص. ۹۹.
۲۶. خلیلی، علی و بذرافشان، جواد. ۱۳۸۲. ارزیابی کارایی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران. مجله نیوار. شماره ۴۹ و ۴۸. ص. ۹۳-۷۹.
27. Rooy, M.P. 1965. A rainfall anomaly index independent of time and space, Notes, 14, 43.
28. Swan, J.B., Eash, N.S. and Jordahl, J.L. 1994. Long-term tillage effects soil quality. Soil and Tillage Res. 32: 313-324.