



## بررسی شدت، مدت و فراوانی خشکسالی های هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص

### استاندارد بارش (SPI) مطالعه موردی (استان آذربایجان شرقی)

ابوالفضل یساوول حسینی<sup>۱</sup>، فردین بوستانی<sup>۲</sup>، سید امیر شمس نیا<sup>۳</sup>، احمد فاخری فرد<sup>۴</sup>

#### چکیده

خشکسالی های مخربی که در نقاط مختلف جهان اتفاق می افتد خطر بسیار بزرگی برای کشاورزی و منابع آبی بشمار می رود و به منظور به حداقل رساندن آسیب های آن بایستی این پدیده مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. به این منظور از شاخص های خشکسالی استفاده می شود. در این تحقیق با توجه به اهمیت خشکسالی بر منابع آب، ارزیابی خشکسالی های هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SPI در ۱۱ ایستگاه استان آذربایجان شرقی در سالهای آماری ۵۸-۱۳۵۷ تا ۸۷-۱۳۸۶ انجام گرفت. نتایج نشان داد در مقیاس زمانی مورد مطالعه (۲۴ ماهه) خشکسالی های شدید دارای دوره تداوم طولانی مدت هستند و افزایش تداوم خشکسالی که ناشی از کمبود بارش سالهای ماقبل است می تواند اثرات مخربی بر منابع آب داشته باشد. همچنین فراوانی خشکسالی های شدید در طول دوره آماری بررسی و روند خشکسالی بر اساس شدت، مدت و فراوانی نیز مشخص گردید.

**کلید واژه:** خشکسالی هیدرولوژیکی، شاخص استاندارد شده بارش، آذربایجان شرقی

<sup>۱</sup> - دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت [a.yasavol.hosseini@gmail.com](mailto:a.yasavol.hosseini@gmail.com)  
<sup>۲</sup> - استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات فارس  
<sup>۳</sup> - عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، گروه مهندسی آب  
<sup>۴</sup> - دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز



## مقدمه

خشکسالی به عنوان کمبود بارندگی نسبت به مقدار متعارف یا قابل انتظار در نظر گرفته شده که وقتی زیاد به طول انجامد و از یک حد فراتر رود، برای تامین نیازها کافی نیست (۹). تاثیر اعمال مدیریت ریسک قبل از مدیریت بحران جهت کاهش اثرات خشکسالی و خسارات وارده امری اجتناب ناپذیر است که برای این منظور باید اطلاعات کامل و ارزیابی دقیقی از شدت و فراوانی این پدیده داشته باشیم. برای این منظور از شاخص های خشکسالی استفاده می نماییم. شاخص های مختلفی برای این منظور تعیین شده اند که از نظر کلی نمی توان یک شاخص را بر دیگری ترجیح داد ولی بعضی از این شاخص ها در شرایط خاص بهتر عمل می کنند که انتخاب نوع شاخص بر اساس اهداف طرح و داده های موجود انجام می گیرد. این شاخص ها بسته به نوع آن تعدادی از اطلاعات اقلیمی و هیدرولوژی مانند (دما، بارندگی، برف، جریان رودخانه، رطوبت خاک، ...) را گرفته و مقدار شاخص را به صورت یک عدد مشخص می کند که برای نتیجه گیری پژوهشگران بسیار راحت تر از داده های خام موجود می باشد و سبب سهولت تصمیم گیری برنامه ریزان می گردد. در میان ویژگی های خشکسالی، سه ویژگی شدت، مدت و فراوانی از اهمیت بیشتری برخوردار می باشند. میزان استمرار خشکسالی در یک منطقه گویای شدت خشکسالی در آن منطقه است. زمان بر شدت خشکسالی تاثیر زیادی دارد. در زمینه پایش شاخص های متعددی معرفی شده است. شاخص پالمر یکی از مهمترین شاخص هاست که برای ارزیابی در مناطقی با توپوگرافی و کاربری اراضی همگن استفاده می شود (۱۱). شاخص رطوبت محصول یکی دیگر از شاخص های مهم است که برای کنترل شرایط هفته به هفته یک گیاه کاربرد دارد (۱۲). شاخص تامین آب سطحی یکی دیگر از شاخص هاست که برای شرایط مناطق کوهستانی و ذخیره برف توصیه شده است (۱۴). شاخص استاندارد شده بارش ۵ شاخص دیگری است که به کمک آن خصوصیات مختلف خشکسالی ها در مقیاس های زمانی مختلف بررسی و از نتایج حاصله یک سیستم طبقه بندی برای تعریف شدت خشکسالی ارائه گردیده است. شاخص **SPI** می تواند کمبودهای بارندگی در دوره های مختلف را تعیین نموده و آب و هوای خشک و



تر را با روشی مشابه مشخص نماید (۱۰) مزیت عمده SPI در مقایسه با سایر شاخص های خشکسالی در این است که این شاخص هم شرایط خشکسالی در مقیاس های زمانی مختلف و هم انواع مختلفی از خشکسالی را بررسی میکند. همچنین این شاخص عکس العمل منابع مختلف استفاده کننده از آب را نسبت به کاهش بارندگی مشخص می کند (۱۳). شاخص SPI نیازی به محاسبات پیچیده ندارد و تمام پارامترهای اصلی خشکسالی اعم از: طول دوره خشکسالی، دور بازگشت، شدت و فراوانی را در نظر می گیرد (۶). این شاخص زمان شروع خشکسالی را یک ماه قبل از شاخص پالمر که به محاسبات پیچیده و اطلاعات هواشناسی بیشتری نیاز دارد، نشان می دهد (۸). در پژوهشی گروه بندی مکانی خشکسالی در اصفهان با استفاده از شاخص استاندارد بارش انجام شد و با استفاده از ۱۰ مشخصه اصلی خشکسالی و تحلیل خوشه ای این مشخصه ها، ۵ گروه مکانی خشکسالی در استان اصفهان تشخیص داده شد (۱). پهنه بندی وضعیت خشکسالی استان خراسان با استفاده از شاخص استاندارد بارش SPI انجام گرفت و نتایج تحقیق نشان داد شاخص SPI به عنوان یک ابزار مناسب جهت پایش شرایط خشکسالی در استان خراسان است و نتایج حاکی از آن بود که عمدتاً خشکسالی از جنوب خراسان شروع و به سمت شرق استان گسترش می یابد (۲). در پژوهشی خشکسالی استان فارس را با استفاده از شاخص SPI مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج تحقیق نشان داد خشکسالی های شدید دارای دوره های تداوم طولانی می باشند. از دیگر نتایج این پژوهش آن است که روند تغییرات از شدت های کم به زیاد از سمت شمال غربی استان به سمت جنوب شرقی بود (۳). با توجه به مزایای شاخص استاندارد شده به طور معمول برای خشکسالی های کوتاه مدت از مقیاس های زمانی ۳، ۶ و ۹ ماهه و برای ارزیابی خشکسالی بلند مدت که بر منابع آب تاثیر گذار هستند از مقیاس های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه استفاده می شود. شاخص استاندارد بارش در مقیاس های زمانی بزرگتر از ۲۴ ماهه، قابل اعتماد نمی باشد و این امر بخاطر این است که داده ها از نظر زمانی دچار محدودیت هستند (۷). لذا با توجه به اهمیت موضوع خشکسالی هدف از پژوهش حاضر ارزیابی خشکسالی های بلند مدت (هیدرولوژیکی) و بررسی شدت، مدت و فراوانی آن در استان آذربایجان شرقی است.

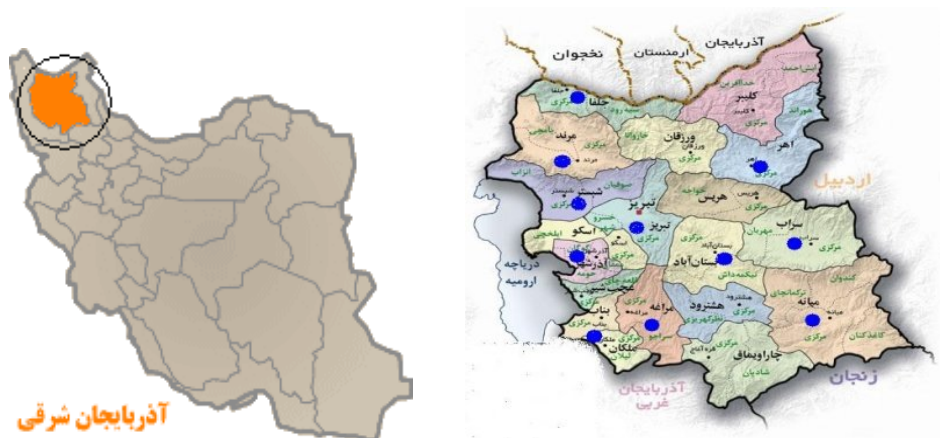


## روش کار

در این پژوهش آمار بارش ایستگاه های باران سنجی موجود در سطح منطقه مورد بررسی قرار گرفت و از ایستگاه هایی که آمار کاملتر و پراکندگی مناسبی در سطح استان داشته اند، استفاده گردید. از بین ایستگاه های موجود، ۱۱ ایستگاه با دوره آماری مشترک ۳۰ ساله (۵۸-۱۳۵۷ تا ۸۷-۱۳۸۶) و شرایط فوق انتخاب گردید. وضعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است. ابتدا داده ها از لحاظ همگنی مورد بررسی قرار گرفتند و با استفاده از روش ران تست از همگن بودن داده ها اطمینان حاصل شد و داده های مفقود نیز با روشهای آماری و کمک گرفتن از آمار ایستگاه های نزدیک بازسازی شدند. سپس از طریق نرم افزار **SPSS** مقادیر **SPI** ۲۴ ماهه برای کلیه ایستگاه های مورد مطالعه محاسبه گردید. جهت تعیین شدتهای خشکسالی طبقه بندی ارائه شده به دلیل آنکه حدوداً ۷۰ تا ۸۰ درصد داده ها را در محدوده نرمال طبقه بندی می کند و این موضوع با شرایط بارش استان و وجود خشکسالی های متعدد همخوانی ندارد، لذا با اعمال اصلاحاتی از طبقه بندی مناسب جهت ارزیابی خشکسالی استفاده شده است (جدول ۱). در این طبقه بندی وضعیت خشکسالی های حدی بهتر نشان داده می شود و مقادیر عددی  $+۰/۴۹$  تا  $-۰/۴۹$  به عنوان وضعیت نرمال در نظر گرفته می شود. در شش حوضه غرب و شمال غرب کشور از این طبقه بندی استفاده گردیده است و دلیل این امر اینگونه ذکر گردیده است که منطقه کلرادو از لحاظ اقلیمی تفاوت های قابل ملاحظه ای با محدوده موردنظر در تحقیق دارد. لذا به منظور دستیابی به طبقه بندی منطبق با شرایط اقلیمی منطقه، اقدام به بررسی آماری داده های بارش گردیده است. طبقه بندی ارائه شده که در آن **SPI**  $(-۰/۵)$ ، به عنوان آستانه وقوع خشکسالی می باشد، برای ارزیابی انتخاب گردیده تا به نحو دقیق تری، تمامی رخدادهای ماهانه خشکسالی تعیین گردد (۵). در پژوهشی در استان فارس با مقایسه طبقه بندی های مختلف شاخص **SPI**، طبقه بندی مذکور به عنوان طبقه بندی بهینه انتخاب گردید (۴). جهت ارزیابی دقیق تر شدت و تداوم خشکسالی میزان بارندگی هر سال زراعی و متوسط بلند مدت آن با شدت های بدست آمده از شاخص **SPI** مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.



همایش ملی مدیریت بحران آب  
The National Conference on Water Crisis Management  
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



شکل ۱- وضعیت جغرافیایی استان آذربایجان شرقی و ایستگاههای مورد مطالعه

جدول ۱- درجه بندی شدت های خشکسالی SPI

طبقه	مقادیر SPI
شدیداً مرطوب	$> 2$
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
مرطوب متوسط	۱ تا ۱/۴۹
مرطوب ملایم	۰/۵ تا ۰/۹۹
تقریباً نرمال	۰/۴۹- تا ۰/۴۹
خشکسالی ملایم	-۰/۹۹ تا -۰/۵
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۹۹ تا -۱/۵
خشکسالی خیلی شدید	$< -2$



## نتایج

همان گونه که ذکر گردید شاخص های استاندارد شده بارش با در نظر گرفتن مقیاس های مختلف زمانی می توانند انواع خشکسالی ها را بررسی کنند. با توجه به هدف پژوهش که بررسی خشکسالی های هیدرولوژیکی است از مقیاس زمانی ۲۴ ماهه استفاده گردیده و برای نمونه نتایج حاصل از میزان بارش سالانه و متوسط بلند مدت ایستگاه تبریز، اهر، مراغه و جلفا و نمودار تغییرات شاخص **SPI** با مقیاس زمانی ۲۴ ماهه برای هر یک از ایستگاه ها در شکل های (۲ تا ۵) نشان داده شده است. نمودار بارندگی و متوسط بلند مدت ایستگاه تبریز کاهش بارندگی با تداوم چند ساله را در سالهای زراعی ۶۱ تا ۶۵ نشان می دهد شکل (۲). اما شدیدترین کمبود بارش در سالهای زراعی ۷۷ تا ۸۱ بوده که با تداوم چند ساله نیز همراه بوده است. نمودار تغییرات **SPI** نیز که اثرگذاری کمبود بارش سالهای گذشته در شدت گرفتن خشکسالی را لحاظ می کند، این موضوع را در سالهای زراعی ۶۲ تا ۶۵ نشان می دهد. براساس طبقه بندی خشکسالی با شدت ملایم و متوسط همراه بوده است و در محدوده سالهای زراعی ۷۵ تا ۸۱ خشکسالی به وضعیت شدید نیز رسیده و با تداوم چند ساله همراه بوده است. میزان بارش در سال زراعی ۷۶ در حد نرمال بوده اما از دیدگاه هیدرولوژیکی این سال با خشکسالی ملایم روبرو بوده و این موضوع نشان می دهد با نرمال شدن بارش هم خشکسالی هیدرولوژیکی وجود داشته است. در سالهای زراعی ۸۶ و ۸۷ نیز کاهش بارندگی نسبت به متوسط بلند مدت وجود دارد و ادامه این روند در سالهای آتی می تواند به خشکسالی های هیدرولوژیکی شدیدی منتهی شود.

بررسی نمودارهای روند تغییرات شاخص **SPI** در ایستگاه مراغه نشان می دهد در محدوده سال های زراعی ۶۲ تا ۶۷ وضعیت خشکسالی در حالت نرمال و خشک ملایم بوده که دلیل آن کاهش بارندگی با دوره تداوم کم است و منجر به خشکسالی های هیدرولوژیکی شدیدی نشده است (شکل ۳). اما در سال زراعی ۶۸ تا اوایل ۷۱ خشکسالی های ملایم و متوسط وجود داشته و با تداوم چند ساله نیز همراه بوده است. در ایستگاه مراغه نیز شدیدترین خشکسالی که به وضعیت حاد



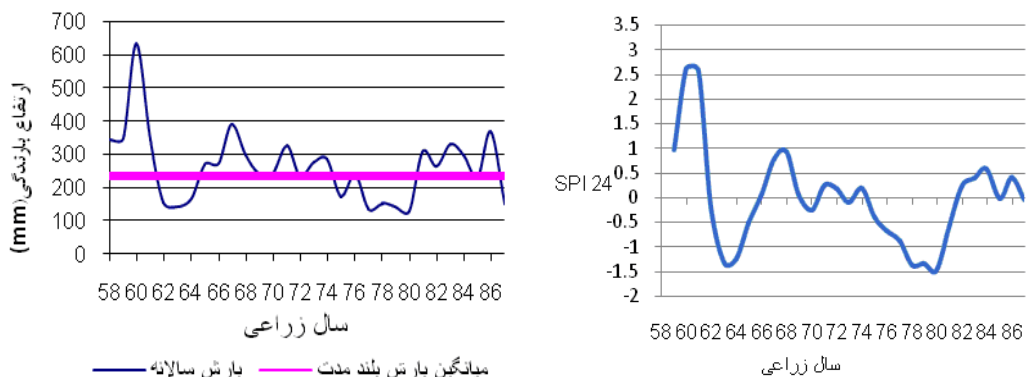
همایش ملی مدیریت بحران آب  
*The National Conference on Water Crisis Management*  
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



نیز رسیده است در سالهای زراعی ۷۵ تا ۸۱ رخ داده و دلیل آن کاهش بارندگی به صورت طولانی مدت بوده است. روند آغاز خشکسالی در سالهای زراعی ۸۶ و ۸۷ نیز در این ایستگاه وجود دارد.

بررسی نمودار روند تغییرات شاخص **SPI** در مقیاس ۲۴ ماهه و نمودار بارش سالانه و متوسط بلند مدت ایستگاه اهر (شکل ۴) وجود خشکسالی های ملایم تا متوسط با دوره تداوم کمی را در محدوده سالهای زراعی ۶۰ تا ۶۲ و ۶۳ تا ۶۵ نشان می دهد. در این ایستگاه نیز مانند سایر ایستگاهها کمبود بارش سالهای زراعی ۷۵ تا ۸۱ و وقوع خشکسالی شدید مشهود است. این خشکسالی در سالهای زراعی ۷۹ و ۸۰ به وضعیت حاد رسیده است.

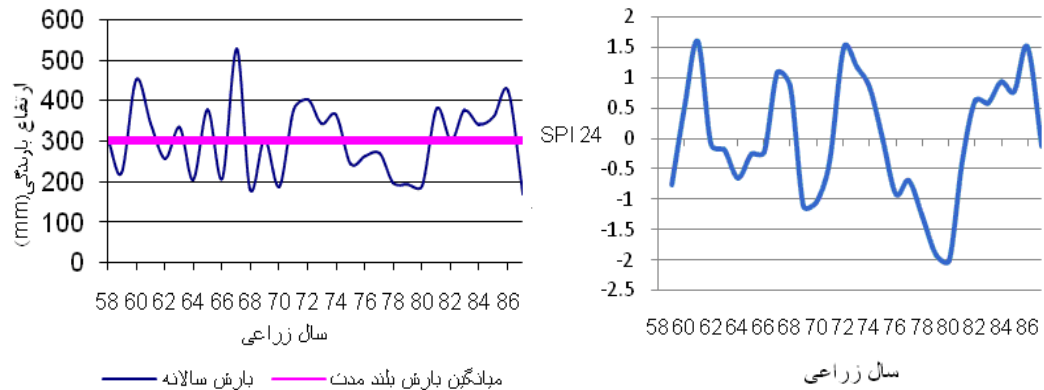
در ایستگاه جلفا که یکی از ایستگاههای مرزی آذربایجان شرقی با نخجوان است، بدلیل تاثیرات اقلیمی آن بر روی ایستگاه مذکور میزان متوسط بارش بلند مدت نسبت به سایر ایستگاهها کمتر است (شکل ۵). در این ایستگاه دوره های کمبود بارش تداوم بیشتری نسبت به سایر ایستگاهها دارند. لذا خشکسالی های هیدرولوژیکی نیز در این ایستگاه دارای دوره تداوم طولانی تر می باشد، به طوریکه دوره تداوم ۴ ساله در سالهای زراعی ۶۸ تا ۷۲ و دوره تداوم ۷ ساله خشکسالی در سالهای زراعی ۷۵ تا ۸۲ وجود داشته است.



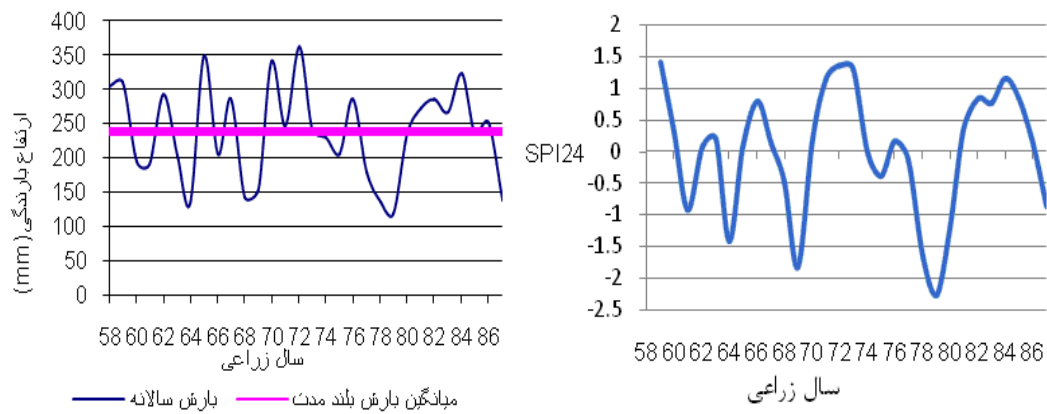
شکل ۲- تغییرات سری زمانی شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه و میزان بارندگی سالانه و متوسط بلند مدت ایستگاه تبریز



همایش ملی مدیریت بحران آب  
*The National Conference on Water Crisis Management*  
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸

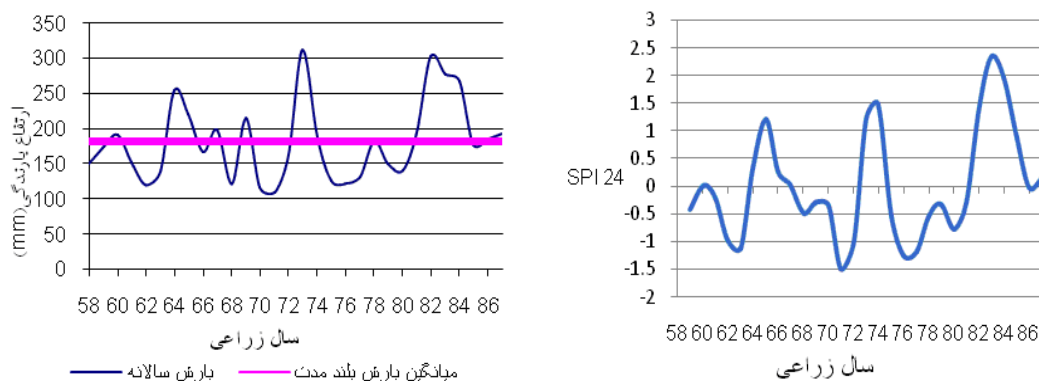


شکل ۳- تغییرات سری زمانی شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه و میزان بارندگی سالانه و متوسط بلند مدت ایستگاه مراغه



شکل ۴- تغییرات سری زمانی شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه و میزان بارندگی سالانه و متوسط بلند مدت ایستگاه اهر





شکل ۵- تغییرات سری زمانی شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه و میزان بارندگی سالانه و متوسط بلند مدت ایستگاه جلفا

## بحث و نتیجه گیری

الف- در کلیه ایستگاه های مورد مطالعه خشکسالی های شدید دارای دوره تداوم طولانی مدت هستند که دلیل اصلی آنها افزایش کمبود بارش به صورت طولانی مدت است.

ب- در کلیه ایستگاه ها شدیدترین خشکسالی هیدرولوژیکی در محدوده سال های زراعی ۷۸ تا ۸۱ رخ داده است که تاثیرات بسیار زیادی را بر کاهش منابع آب بویژه آبهای زیرزمینی به دنبال داشته است.

ج- در کلیه ایستگاه ها با گذشت زمان یک روند صعودی شدت خشکسالی وجود دارد به طوری که در دوره آماری ۳۰ ساله خشکسالی های اخیر شدت بیشتری نسبت به گذشته داشته و ادامه روند کمبود بارش در سال های زراعی ۸۸-۸۷ و ۸۹-۸۸ می تواند سبب خشکسالی های شدید هیدرولوژیکی شود.

## منابع

- ۱- اسلامیان، س.، ر. مدرس. و س. سلطانی. ۱۳۸۵. گروه بندی مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد بارش در استان اصفهان. فصلنامه آب و فاضلاب. شماره ۵۷. صفحه ۷۵-۷۲.



همایش ملی مدیریت بحران آب  
*The National Conference on Water Crisis Management*  
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



- ۲- بداق جمالی، ج.، س، جوانمرد. و ر، شیرمحمدی. ۱۳۸۱. پایش و پهنه بندی وضعیت خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه استاندارد شده بارش. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. مجله شماره ۶۷. مقاله شماره ۵۵۰. صفحه ۲۱-۴.
- ۳- پیرمادیان، ن.، س.ا. شمس نیا، ف. بوستانی، و م.ع. شاهرخ نیا. ۱۳۸۷. ارزیابی دوره ی بازگشت خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در استان فارس. مجله دانش نوین کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه. سال چهارم، شماره سیزدهم. صفحه ۲۱-۷.
- ۴- شمس نیا، س.ا.، پیرمادیان، ن. و بوستانی. ف. ۱۳۸۸. مقایسه طبقه بندی های مختلف شاخص استاندارد شده بارش (SPI) و بومی سازی آن جهت ارزیابی خشکسالی در استان فارس. کنفرانس بین المللی منابع آب. دانشگاه صنعتی شاهرود. ۲۵ تا ۲۷ مرداد ماه.
- ۵- لشنی زند، م. ۱۳۸۲. بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی های اقلیمی در شش حوضه واقع در غرب و شمال غرب کشور. مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقه ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم. اصفهان، ۲۹ مهر ماه الی ۱ آبان ماه. صفحه ۲۶۶-۲۵۷.
- ۶-Do, A. ۲۰۰۵. Regional drought analysis and mitigation using the SPI. ICID ۲۱<sup>st</sup> European Regional Conference. ۱۵-۱۹ May. Frankfurt (Order) and Slubice. Germany and Poland.
- ۷-Guttman, N.B. ۱۹۹۹. Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. Journal of American water Resources Association. ۳۵(۲): ۳۱۱-۳۲۲.
- ۸-Hayes, M., M.D. Svoboda, D.A. Wilhite, and O.V. Vanyarkho. ۱۹۹۹. Monitoring the ۱۹۹۶ drought using the standardized precipitation index. Bulletin of The Amirecan Meteorological Society. ۸۰(۳): ۴۲۹-۴۳۸.
- ۹-Knutson, C., M. Hayes, and T. Phillips. ۱۹۹۸. How to reduce drought risk. Western Drought Coordination Council. Colorado, USA. pp: ۱-۱۰.



همایش ملی مدیریت بحران آب  
*The National Conference on Water Crisis Management*  
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



- ۱۰-Mckee, T.B., N.J. Doesken, and kleist. ۱۹۹۳. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints ۸th Conference on Applied Climatology. ۱۷-۲۲ January. Anaheim, CA. pp: ۱۷۰-۱۸۴
- ۱۱-Palmer, W.C. ۱۹۶۵. Meteorological drought. U.S. Department of commerce Weather Bureau Reasearch Paper ۴۵, ۵۸pp.
- ۱۲-Palmer, W.C. ۱۹۶۸. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture Index. Weather Wise. ۲۱: ۱۵۶-۱۶۱.
- ۱۳-Serrano, S.M. and J.I. moreno. ۲۰۰۵. Hyrological response to different time scales of climatological drought: An Evaluation of the Standardized Precipitation Index in a Mountainous Mediterranean Basin. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. ۲: ۱۲۲۱-۱۲۴۶.
- ۱۴-Shafer, B.A. and L.E. Dezman. ۱۹۸۲. Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drorught conditions in snow pack runoff areas. Proceedings of The Western Snow Conference. pp: ۱۶۴-۱۷۵.