

## بررسی وضعیت خشکسالی دشت کاشان شامل شهرستان‌های کاشان و آران و بیدگل (نوش آباد) با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI)

امیر فخرآبادی<sup>۱</sup>، دکتر علیرضا انتظاری<sup>۲</sup>، دکتر ام البنین بذرافشان<sup>۳</sup>

۱ - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، مدرس و دبیر جغرافیای آموزش و پرورش

۲ - استادیار دانشکده‌ی جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

۳ - فارغ‌التحصیل دوره دکتری تخصصی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

### چکیده

خشکسالی پدیده‌ای خزننده است، که تاثیرات زیاد و تهدید کننده ای بر زندگی انسان دارد. خشکسالی را در یک دوره زمانی با هوای نامعمول خشک که به حد کافی با فقدان آب به علت عدم تعادل هیدرولوژیک روبرو است تعریف می‌کنند. در خشکسالی چهار ویژگی عمده مورد مطالعه قرار می‌گیرد که عبارتند از شدت، مدت، فراوانی و گستره خشکسالی. هدف از این تحقیق پهنه‌بندی شدت خشکسالی در دشت کاشان می‌باشد. به این منظور، از شاخص بارش استاندارد (SPI) به عنوان شاخص منتخب جهت پایش خشکسالی در ایستگاه‌های واقع در داخل دشت با طول دوره آماری مشترک ۲۰ ساله (۱۳۶۹-۱۳۹۰) در مقیاس زمانی ۳،۶،۹،۱۲،۲۴ و ۴۸ ماهه استفاده گردید. بیشترین فراوانی خشکسالی در دوره ۲۴ ماهه و بیشترین گستره خشکسالی رخ داده در دشت از نوع حاد و بسیار شدید می‌باشد. مقادیر SPI در سال‌های خشکسالی شدید در مقیاس‌های زمانی با استفاده از تکنیک زمین‌آمار بر پهنه استان تصویر و طبقه بندی گردید. بررسی نقشه‌ها نشان می‌دهد، وسعت خشکسالی با افزایش مقیاس زمانی کاهش یافته و وضعیت خشکسالی‌ها در پهنه دشت از سمت غرب به شرق افزایش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: خشکسالی، شاخص بارش استاندارد، مقیاس زمانی، دشت کاشان، کاشان.

### مقدمه

خشکسالی از جمله ناهنجاری‌های اقلیمی است که بروز آن سبب تاثیرات زیادی در زندگی انسان و جانداران زنده است. از چهل بلای طبیعی که در کشورهای جهان وجود دارد، ۳۱ مورد آن در ایران اتفاق افتاده است که خشکسالی به دلیل گستردگی و تبعات کوتاه مدت و بلند مدت اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، از مهمترین آنها محسوب می‌شود. در سطح دشت کاشان نیز مستعد وقوع خشکسالی و سیل می‌باشد. خشکسالی بر خلاف سایر بلایا به آرامی آغاز شده، پیشروی نموده و موجب نابودی منابع می‌شود (کردوانی، ۱۳۸۱). گرچه امروزه به علت پیشرفت‌های علمی و گسترش ارتباطات و حمل و نقل، بروز آثار خشکسالی به شکل قحطی و مرگ دسته جمعی کمتر بروز می‌کند، اما آثار و تبعات دیگر ناشی از خشکسالی همچنان پا برج است (Heyes et al, 1999).

قرارگیری ایران در نواحی خشک و بیابانی سبب شده که میزان بارندگی در برخی دوره‌ها کمتر از میانگین دراز مدت سالانه باشد، به طوری که در ۱۳ سال از ۲۳ سال گذشته این حالت در کشور رخ داده است. در سطح دشت کاشان نظر به این که آب و هوای خشک و نیمه خشک حاکم می باشد، دشت مستعد وقوع خشکسالی و سیل می باشد. وقوع خشکسالی های متناوب و طولانی و نوسانات بالای آب و هوایی از عوامل اصلی کمبود آب به ویژه منابع آب سطحی است که فشار مضاعفی بر منابع آب زیرزمینی وارد می کند.

**Wilhite & Glantz (۱۹۸۵)** بیان داشتند تا اوایل دهه ۱۹۸۰ بیش از ۱۵۰ تعریف از خشکسالی در جهان وجود دارد. یکی از جامع ترین و کامل ترین تعاریف در زمینه خشکسالی توسط **Palmer (۱۹۶۵)** ارائه شده است. به عقیده وی خشکسالی عبارتست از کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی. در تعریف وی، واژه مستمر، بیانگر زمان آغاز تا پایان خشکسالی یا زمان تداوم، و واژه غیرطبیعی به انحراف یا نوسان منفی نسبت به شرایط میانگین طبیعی دلالت دارد. وجود نیازها و زمینه های کاری محققین موجب شده است که هر یک از آنها از دیدگاه خاص خود مسئله خشکسالی را مورد بررسی قرار دهند. این مطالعات را می توان در چهار طبقه عمده خشکسالی هواشناختی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی - اجتماعی تقسیم نمود. از مهمترین ویژگی های خشکسالی می توان به زمان آغاز و پایان آن، شدت، وسعت و فراوانی خشکسالی اشاره نمود. به منظور بررسی خشکسالی از ابعاد و دیدگاه های مختلف، شاخص های متنوعی ابداع شده است که اساس این شاخص ها غالباً بر مبنای سنجش انحراف مقادیر بارندگی از میانگین درازمدت طی یک دوره زمانی معین استوار است. یکی از کاراترین نمایه ها، شاخص بارش استاندارد<sup>۱</sup> (SPI) است که اولین بار توسط **McKee** و همکاران (۱۹۹۳) توسعه یافت. مرکز اقلیمی کلرادو و مرکز ملی کاهش خشکسالی ایالات متحده آمریکا از جمله مراکزی هستند که از SPI برای پایش وضعیت فعلی خشکسالی استفاده می کنند. آنها از مقیاس زمانی کوتاه مدت (۳ و ۶) ماهه برای اهداف کشاورزی و مقیاس های بلند مدت (۲۴، ۱۲ و ۴۸) ماهه برای اهداف هیدرولوژی استفاده کردند. ویژگی SPI این امکان را به تحلیل گر می دهد تا پدیده خشکسالی و همچنین ترسالی را در یک مقیاس زمانی معین و برای هر نقطه ای از دنیا تعیین نماید. **Hays** و همکاران (۱۹۹۹) به کمک شاخص بارش استاندارد به ارزیابی خشکسالی در ایالت های مختلف آمریکا پرداختند. آنها علاوه بر این شاخص از شاخص پالمر نیز استفاده نمودند. نتایج نشان داد که SPI، مناطق با پتانسیل خشکسالی را یک ماه زودتر از وقوع خشکسالی نشان می دهد. آنها این شاخص را به عنوان شاخص مناسب برای هشدار خشکسالی معرفی نمودند. **Smakhtin & Huges** در سال ۲۰۰۶ جهت تعیین خصوصیات خشکسالی هواشناسی در جنوب آسیا از شاخص SPI در محیط نرم افزار **SPATSIM** استفاده نمودند. قطره سامانی (۱۳۷۹) به بررسی روند خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری پرداخت. وی پس از بازسازی نواقص آماری ایستگاه ها، تعداد ۱۱ ایستگاه هواشناسی را برای تجزیه و تحلیل خشکسالی ها توسط شاخص دهکها و شاخص SPI انتخاب نمود. پس از بررسی های آماری مشخص شد که در سال آماری ۶۰ - ۵۹ خشکسالی شدید در این استان رخ داده و با ترسیم نقشه توزیع خشکسالی استان چهارمحال و بختیاری، مشخص گردید که شدت خشکسالی از شرق به غرب کاهش می یابد. بذرافشان (۱۳۸۱) به مطالعه تطبیقی برخی شاخص های خشکسالی هواشناسی از جمله SPI در چند نمونه

1. Standardized Precipitation Index

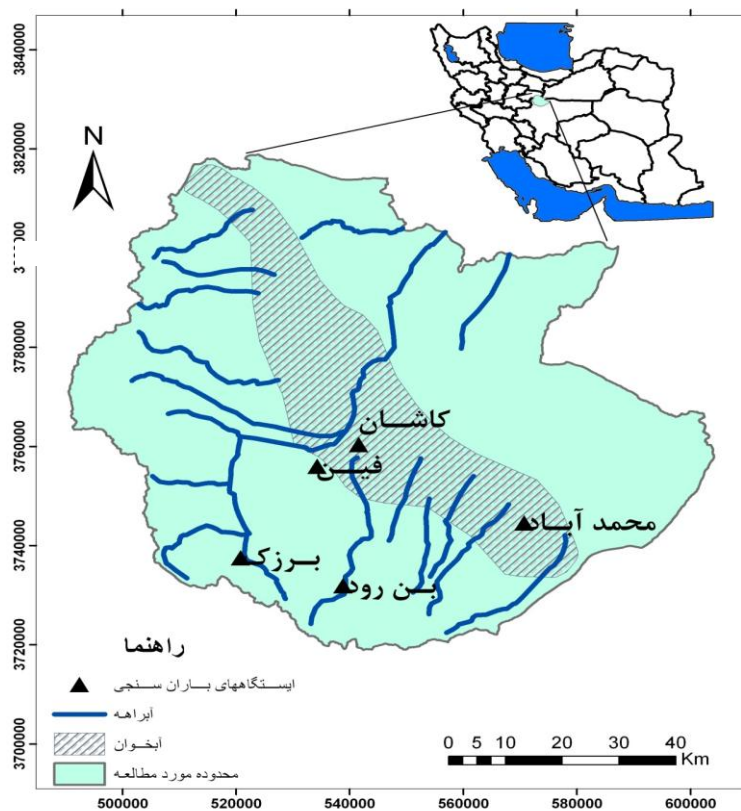
اقليمی در ايران پرداخت. وی در این مطالعه عنوان کرد که در مقیاس‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ می‌توان ایستگاه‌های متفاوت از نظر اقلیمی و سال‌های آماری را از نظر شدت خشکسالی مقایسه نمود. همچنین مشخص گردید که شاخص بارش استاندارد در مقیاس زمانی کوتاه مدت، به دلیل وجود داده‌های صفر توان پایش صحیح خشکسالی را ندارد. محسنی‌ساروی (۱۳۸۲) با کمک شاخص بارش استاندارد (SPI) به تحلیل کمی شدت، تداوم، فراوانی و گستره‌ی خشکسالی‌ها بر مبنای داده‌های بارندگی حوزه آبخیز کارون پرداخت. وی جهت بررسی خشکسالی‌ها از ۲۹ ایستگاه با دوره‌ی آماری مشترک ۲۸ ساله در سه مقیاس ۳، ۶ و ۱۲ ماهه استفاده نمود و نقشه‌ی گستره‌ی خشکسالی‌ها را در دوره‌ی مورد مطالعه در حوزه تهیه نمود. نصرتی (۱۳۸۰) با استفاده از روش شاخص درصد از نرمال و شاخص SPI به آنالیز منطقه‌ای ریسک خشکسالی در حوزه آبخیز اترک پرداخت. با استفاده از این شاخص مشخص شد که خشکسالی از جنوب شرقی حوزه آغاز و سپس کل حوزه را در بر می‌گیرد. همچنین با افزایش دوره‌ی بازگشت خشکسالی تعداد هسته‌هایی که منطقه را در بر می‌گیرد، بتدریج افزایش می‌یابد. وقوع خشکسالی‌ها در دهه‌های اخیر در این دشت سبب خسارات زیادی در بخش‌های کشاورزی، منابع آب و اقتصادی اجتماعی گردیده و وجود مناطق خشک در حاشیه بیابان و کویر مثل شهر نوش آباد و مناطق همجوار در این دشت ضرورت پایش خشکسالی را در این تحقیق قوت می‌بخشد. لذا بر مبنای مطالعات گسترده‌ای که در این زمینه در داخل و خارج کشور صورت گرفته است، از شاخص بارش استاندارد (SPI)، به عنوان یکی از مفیدترین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی ارائه شده در سالیان اخیر که قادر به برآورد وضعیت خشکسالی در دشت کاشان می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت. همچنین با کمک این روش، روش زمین آمار<sup>۷</sup> عکس فاصله و نرم افزار Arc GIS می‌توان دوره‌های خشکسالی، نمودارهای خشکسالی و نقشه‌های شدت خشکسالی را ترسیم و تجزیه و تحلیل نمود.

## مواد و روش‌ها

### - خصوصیات منطقه مورد مطالعه

دشت کاشان در دامنه کوه‌های کرکس و حاشیه کویر مرکزی ایران با وسعت ۱۴۷۴ کیلومتر مربع در طول شرقی النهار ۵۴° ۵۱' و ۵۱° ۰۵' و عرض شمالی ۴۵° ۳۳' و ۳۴° ۲۳' قرار دارد و شامل شهرهای کاشان، آران و بیدگل و نوش آباد بوده که تقریباً تمام بهره برداری از این آبخوان نیز در همین محدوده صورت می‌گیرد. دشت کاشان به صورت یک دره‌ی باریک دارای امتداد شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد که عرض این دره در حدود ۲۰ کیلومتر مربع بوده و از شمال به دشت قم، از جنوب به ارتفاعات مجاور منطقه نطنز و از غرب به ارتفاعات کرکس و از شرق به دریاچه نمک محدود می‌باشد. حداکثر ارتفاع این دشت از سطح دریا ۱۲۰۰ متر و حداقل ارتفاع آن ۸۰۰ متر در حاشیه‌ی کویر (حوالی شهر نوش آباد) می‌باشد (خراسانی زاده و همکاران، ۱۳۸۶). جدول ۱ و شکل ۱ به ترتیب موقعیت قرارگیری ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه و مشخصات هر یک از ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

<sup>7</sup>.Geostatistics



شکل (۱) نقشه‌ی موقعیت دشت کاشان و ایستگاه‌ها

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های بارانسنجی منتخب دشت کاشان

مشخصات ایستگاه‌های بارانسنجی			
شماره	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	بن رود	۵۷° ۲۵'	۳۳° ۴۳'
۲	برزک	۵۷° ۱۳'	۳۳° ۴۶'
۳	فین	۵۷° ۲۲'	۳۳° ۵۶'
۴	کاشان	۵۷° ۲۶'	۳۳° ۵۸'
۵	محمدآباد	۵۷° ۴۵'	۳۳° ۵۰'

### روش تحقیق

مراحل اجمالی تحقیق به صورت زیر می‌باشد:

- استخراج داده‌های بارندگی ماهانه و تصحیح نواقص آماری: در این تحقیق به منظور بررسی وضعیت خشکسالی در سطح دشت کاشان از آمار بارندگی ۵ ایستگاه بارانسنجی که دارای دوره‌ی آماری مشترک از سال (۱۳۷۱-۷۲) تا (۱۳۸۹-۹۰) استفاده گردید.

- تشکیل سری‌های زمانی در مقیاس  $i$  ماهه ( $i = ۱, \dots, ۶, \dots, ۱۲, \dots, ۲۴$ ): سری‌های زمانی در مقیاس‌های مورد بررسی با استفاده از نرم افزار Excel استخراج گردید.
- برازش توزیع آماری گاما بر سری‌های بارندگی حاصل از مرحله قبل و محاسبه احتمالات تجمعی توزیع گاما: سری‌های زمانی حاصل از مرحله قبل را با توزیع گاما برازش می‌دهیم.
- تغییر شکل هم احتمال توزیع تجمعی گاما به نرمال: پس از محاسبه‌ی تابع تجمعی کل، تغییر شکل هم احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z (یا SPI) با میانگین صفر و واریانس یک صورت گرفت.
- استخراج متغیر تصادفی Z یا SPI مربوط به هر مقدار بارندگی در سطوح هم‌احتمال از منحنی احتمالات تجمعی نرمال با استفاده از رابطه زیر

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD}$$

$P_i$ : مقدار بارندگی در مقیاس  $i$  ام

$\bar{P}$ : مقدار متوسط بارندگی در دوره‌ی آمار

$SD$ : انحراف معیار

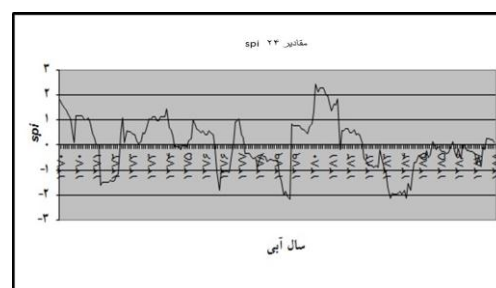
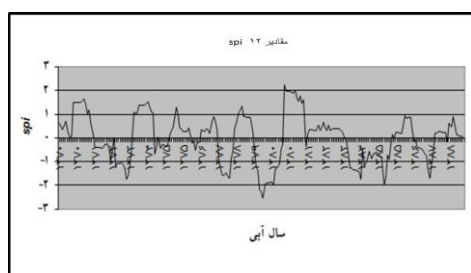
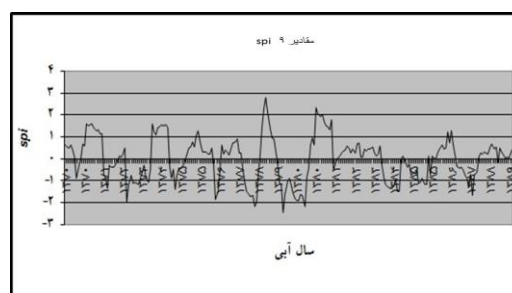
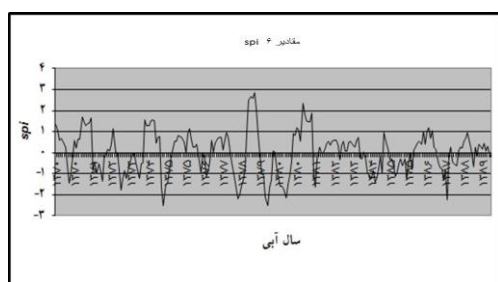
در این تحقیق با توجه به مقادیر بارندگی ماهانه، فصلی و سالانه هر یک از ایستگاه‌ها با استفاده از جدول (۲) مقادیر SPI استخراج گردید، آنگاه وضعیت خشکسالی هر دوره‌ی زمانی با استفاده از جدول مزبور تعیین گردید. برای استخراج مقادیر خشکسالی از برنامه SPI-SL-6 و نرم افزار Excel استفاده شد و برای هر ایستگاه مقدار میانگین، میانه، حداکثر و حداقل بارندگی، انحراف معیار، ضریب تغییرات و ضریب چولگی و در نهایت مقادیر خشکسالی محاسبه شد. در پایان نقشه وسعت خشکسالی، نحوه‌ی گسترش خشکسالی، وضعیت خشکسالی در هر منطقه و شدت خشکسالی با استفاده از نرم افزار Arc GIS در طی سال‌های مختلف و مقیاس مورد مطالعه تهیه گردید.

جدول (۲) طبقات شدت خشکسالی بر اساس SPI (نقل از ۱۲)

مقادیر SPI	طبقه خشکسالی
$> 2$	کاملاً مرطوب
$1/99 - 1/5$	خیلی مرطوب
$1/49 - 1$	نسبتاً مرطوب
$0/99 - 0$	مرطوب ملایم
$-0/99 - 0$	خشکسالی ملایم
$-1$ تا $-1/49$	خشکسالی متوسط
$-1/5$ تا $-1/99$	خشکسالی شدید
$< -2$	خشکسالی بسیار شدید

## نتایج

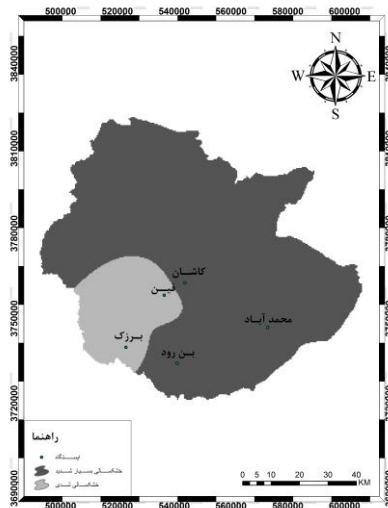
شکل (۲) نوسانات خشکسالی را در دوره‌های ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه نشان می‌دهد. شکل مذکور مبین این مطلب است، که با افزایش مقیاس زمانی مطالعه‌ی خشکسالی (یعنی ۶ ماهه تا ۲۴ ماهه)، پیوندهای با مقادیر مثبت و منفی، از نظر تعداد یا فراوانی کاهش ولی از نظر تداوم یا طول مدت خشکسالی افزایش می‌یابد. نمودار خشکسالی ۶ ماهه خشکسالی‌های شاخصی را در سال‌های ۷۵، ۸۰-۷۹ و ۸۶-۸۷ نشان می‌دهد. بزرگ‌ترین آنها ۲،۵۱- می‌باشد که نشان از خشکی حاد می‌باشد. نمودار خشکسالی در مقیاس زمانی ۹ ماهه نیز خشکسالی‌های رخ داده را، در چهار بازه‌ی زمانی، یعنی سال‌های ۷۳-۸۰، ۷۱-۸۰، ۸۵-۷۹ و ۸۶-۸۷ که شاخص‌تر است نشان می‌دهد. بالاترین عدد ثبت شده ۲،۴۵- می‌باشد. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه خشکسالی‌هایی با درجات مختلف اتفاق افتاده که بالاترین آن ۲،۵۳- می‌باشد که نشان از خشکسالی حاد می‌باشد. نکته‌ای که در این نمودار به چشم می‌خورد تداوم خشکسالی‌های حاد در ۳ ماه متوالی است که نشان از شدت خشکسالی‌های موجود دارد.



شکل (۲) نمودار خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه کاشان (نمونه) در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه (۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه)

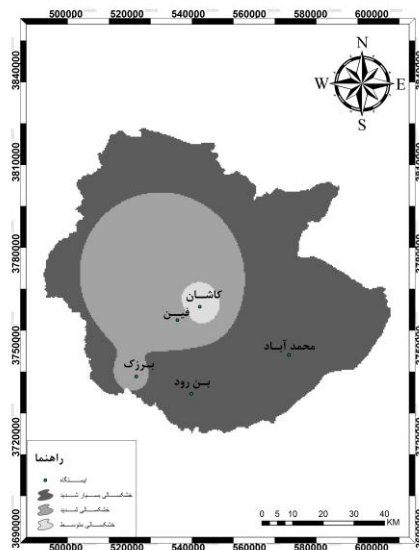
### - بررسی نقشه‌های گستره‌ی خشکسالی در دشت کاشان

با بدست آوردن مقادیر SPI در هر ایستگاه و در هر مقیاس زمانی (۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه)، نقشه مربوطه با استفاده از تکنیک نرم‌افزار Arc GIS رسم گردید. با توجه به شکل (۳) در مقیاس زمانی ۶ ماهه (از سال آبی ۱۹۷۵ به ترتیب ۶ ماه به ۶ ماه تا سال ۲۰۰۰) بیشترین وسعت خشکسالی (۹۰٪) مربوط به خشکسالی حاد، وضعیت خشکسالی بسیار شدید با شدت (۲-) می‌باشد که در مناطق نزدیک کویر همچون نوش آباد و محمد آباد این شرایط نمود بیشتری یافته تن‌ها بخش کوچکی از دشت دارای خشکسالی شدید با شدت (۱/۴۹- تا ۲-) می‌باشد.



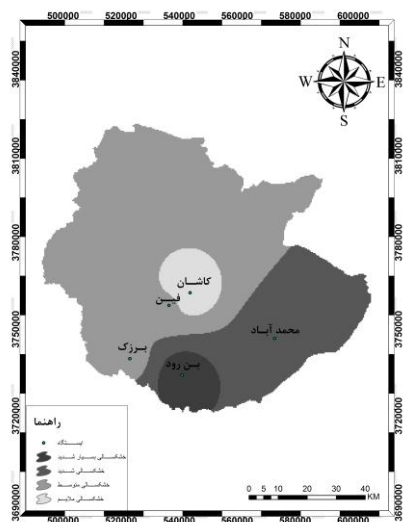
شکل (۳) نقشه وضعیت خشکسالی در مقیاس زمانی ۳ ماهه در دشت کاشان.

باتوجه به شکل (۳)، خشکسالی حاد بیشترین وسعت (بیش از ۹۰٪) را به خود اختصاص داده است. غرب در ایستگاه برزک خشکسالی از نوع شدیدرا نشان می دهد.



شکل (۴) نقشه‌ی وضعیت خشکسالی در مقیاس زمانی ۶ ماهه در دشت کاشان.

در نقشه خشکسالی ۱۲ ماهه (۱۲ ماه به ۱۲ ماه در سال آبی مورد مطالعه) شکل (۴) نیز بخش اعظمی از مساحت دشت (۸۵٪) دارای خشکسالی حاد می باشد.



شکل (۵) نقشه‌ی وضعیت خشکسالی در مقیاس زمانی ۹ ماهه در استان گلستان

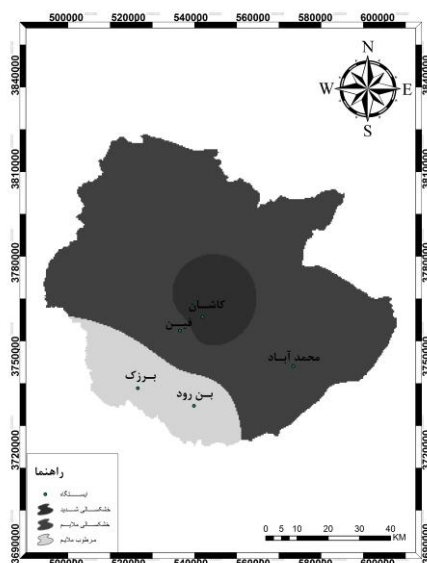


شکل (۶) نقشه‌ی وضعیت خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در دشت کاشان.



شکل (۷) نقشه‌ی وضعیت خشکسالی در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه در دشت کاشان.





شکل (۸) نقشه‌ی وضعیت خشکسالی در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه در دشت کاشان.

جدول (۳) شدیدترین مقادیر استخراج شده SPI در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه در دشت کاشان

مقیاس زمانی	۱	۳	۶	۹	۱۲	۲۴	۴۸
نام ایستگاه							
کاشان	-۱,۸۴	-۲,۷۱	-۲,۵۱	-۲,۴۵	-۲,۵۳	-۲,۱۷	-۲,۲۶
فین	-۲,۸۸	-۲,۶۸	-۲,۸۱	-۲,۱۱	-۱,۶۴	-۱,۲۱	-۱,۴۹
محمدآباد	-۱,۶۶	-۳,۰۵	-۳,۰۹	-۲,۶۶	-۲,۳۴	-۲,۵۲	-۲,۵۸
برزک	-۱,۶۵	-۲,۶	-۳,۳	-۲,۷۷	-۲,۵۴	-۲,۶	-۲,۲۳
بن رود	-۲,۹	-۲,۶۹	-۳,۴	-۲,۸۷	-۲,۵۵	-۲,۱۵	-۲,۸۳

### بحث

بطور کلی در کل آمار مورد مطالعه و در تمامی دوره‌های ۶،۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه هیچ یک از مناطق استان از بروز خشکسالی در امان نبوده است.

نتایج بدست آمده قابلیت شاخص SPI در برآورد خشکسالی در دشت کاشان را نشان می‌دهد. روند گراف‌ها و نمودارها برای هر ایستگاه و در هر سال در دشت کاشان این مورد را تأیید می‌کند، چرا که این گراف‌ها کاملاً متقارن می‌باشند و داده‌ها کاملاً نرمال هستند. این مطلب در تحقیقات مک کی و همکاران (۱۹۹۳) در ایالت کلرادو آمریکا به اثبات رسیده است. شاخص SPI بر مبنای توزیع گاما استوار است. بررسی‌ها چه در این تحقیق و چه در منابع نشان می‌دهد که بیشتر ایستگاه‌های کشور مقادیر بارش سالیانه بر توزیع گاما برازش مناسب دارند. مطالعات جاماب (۱۳۶۹)، بذرافشان (۱۳۸۱) و صفدری (۱۳۸۲) نیز این مطلب را تأیید می‌کند.

اصولاً در یک دوره‌ی بلندمدت هر قدر مقیاس زمانی مورد مطالعه کوتاه‌تر باشد شدت خشکسالی بیشتر و تداوم خشکسالی کمتر خواهد بود و هراندازه مقیاس زمانی طولانی‌تر باشد تداوم خشکسالی بیشتر خواهد بود. این حالت به ترتیب در مقیاس‌های زمانی ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه قابل مشاهده است. این نتیجه‌گیری با نتایج تحقیقات صفدری (۱۳۸۱)، بذرافشان (۱۳۸۰) و محسنی ساروی (۱۳۸۲) مطابقت می‌نماید.

## منابع

۱. بذرافشان، جواد، ۱۳۸۱، مطالعه بررسی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۴۲ صفحه.
۲. لشنی زند، مهدی، ۱۳۸۳، پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص‌های آماری در استان لرستان. اولین کنفرانس بین‌المللی مقابله با کم‌آبی و خشکسالی، ۱۱۵-۱۲۰.
۳. صفدری، علی‌اکبر، ۱۳۸۲، تحلیل شدت، تداوم، فراوانی و گستره‌ی خشکسالی به کمک داده‌های بارندگی (مطالعه‌ی موردی: حوزه آبخیز کارون). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۲۰ صفحه.
۴. کردوانی، پرویز، ۱۳۸۰، خشکسالی و راه‌های مقابله با آن در ایران، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۹۸ صفحه.
۵. قطره سامانی، س، ۱۳۷۹، بررسی روند خشکسالی در استان چهارمحال بختیاری. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مقابله با کم‌آبی و خشکسالی، کرمان، اسفند ۷۹، جلد اول، ص ۳۶-۴۳.
۶. نصرتی، کاظم، ۱۳۸۰، آنالیز منطقه‌ای ریسک خشکسالی بارندگی در برنامه‌ریزی‌های کوتاه‌مدت و درازمدت در حوزه آبخیز اترک. سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۷۰ صفحه.
۷. محسنی ساروی، م و همکاران، ۱۳۸۲، آنالیز شدت، مدت، فراوانی و گستره‌ی مکانی خشکسالی در حوزه کارون با استفاده از شاخص بارش استاندارد، مجله‌ی منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۴. صفحه ۶۰۷-۶۲۰.
8. Bordi, I. Fragio, S. Parenti, P. Speranza, A. Sutera, A., 2001. The Analysis of the Standardized Precipitation Index in the Mediterranean Area: Part 1. Department of Italian National Technical Services. Journal of the ANNALI DI GEOFISICA. 44(5): 965-198.
9. Edward, D. C., and T. B., McKee., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States and multiple time scale. Climatology Report 97-2, Dept. of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Co, 155 pp.
10. Guttman, B. N., 1999. Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. Journal of the American Water Resource Association, 34(1):113-121.
11. Hayes, M., J. Svoboda, M. D. Wilhite, D. A. and Vanyarkho, O., 1999. Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index, Bulletin of the American Meteorological Society, 80(3):429-438.
12. McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, American Meteorological Society.
13. Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought, U. S the Weather Bureau Technical Paper, 45.
14. Smakhtin, V.U., D.A. Hughes., 2006. Automated estimation and analysis of meteorological drought characteristics from monthly rainfall data. Journal of Environmental Modeling & Software, 22(6):880-890.
15. Subrahmanyam, V.P., 1967. Incidence and spread of continental drought, 24WMO/IHD Report 2, 134p.
16. Wilhite, D.A., Glantz, M., 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definition, Water International, 10(3):111-120.
17. World Meteorological Organization., 1975. Drought and agriculture, WMO Technical Note 138, WMO, Geneva, Switzerland. 150 p.

