

## بررسی الگوی زمانی و مکانی خشکسالی های هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان

طیب رضی<sup>۱</sup>، پیمان دانش کار آراسته<sup>۲</sup> و بهرام تقفیان<sup>۳</sup>

### چکیده

خشکسالی از پدیده های خزنده محیطی است که خسارت های زیادی را بر منطقه تحت تأثیر تحمیل می کند. این پدیده به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشکی مانند استان سیستان و بلوچستان که از شکنندگی بیشتری برخوردارند، نمود بیشتری دارد. در این مقاله، دوره های خشک در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از شاخص SPI (Standardized Precipitation Index) در مقیاس زمانی سه و شش ماهه و بر مبنای دوره آماری ۱۹۶۵-۲۰۰۰ بررسی گردید. شدت و تداوم دوره های خشک برای هر دو مقیاس زمانی تعیین و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتیجه این بررسی نشان داد که با افزایش تداوم از تعداد رخداد های خشکسالی کاسته می شود و فراوان ترین وقایع خشکسالی در تداوم های یک تا سه ماهه روی می دهد. انجام تحلیل خوشه ای بر روی سری زمانی SPI سه و شش ماهه حاکی از امکان طبقه بندی استان به نواحی همگن شمالی و جنوبی است. نتیجه بررسی همچنین نشان می دهد که تغییرات زمانی سری های SPI در سطح استان از عرض جغرافیایی پیروی می نمایند و ایستگاه های شمالی و جنوبی استان دارای الگوهای متفاوتی می باشند. در ناحیه جنوبی تداوم خشکسالی ها کمتر از سایر نواحی استان بوده و دوره های خشک به سرعت با دوره های تر و نرمال جایگزین می شوند، در حالی که در ناحیه شمالی تداوم دوره های خشک بیشتر بوده که خود سبب می گردد که خشکسالی ها اثرات نامطلوب بیشتری در پی داشته باشند.

کلید واژه ها: خشکسالی هواشناسی، سیستان و بلوچستان، شاخص SPI

### مقدمه

حد نرمال می باشد. کاهش رطوبت خاک و کاهش آبهای سطحی و زیرزمینی از پیامدهای بعدی کاهش بارندگی است. بر این اساس، ویلهایت و گلانتز<sup>۴</sup> (۱۷)، خشکسالی ها را به چهار دسته خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژی و اقتصادی-اجتماعی طبقه بندی نمودند. خشکسالی هواشناسی زمانی روی می دهد که بارندگی سالانه و یا هر بازه زمانی معین (مثلاً ماهانه یا فصلی) کمتر از میانگین درازمدت آن باشد. ادامه خشکسالی هواشناسی به مدت طولانی سبب بروز خشکسالی هیدرولوژی می شود که در این نوع خشکسالی، سطح آب رودخانه ها، مخازن آب، دریاچه ها و آبهای زیرزمینی به پائین تر از میانگین دراز مدت

خشکسالی یکی از پدیده های خزنده محیطی است که به آرامی خود را بر یک منطقه جغرافیایی چیره کرده و ممکن است چندین ماه تا چندین سال به طول بیانجامد و خسارت های زیادی برجای گذارد. تغییر و انحراف در الگوهای آب و هوایی عامل اصلی ایجاد خشکسالی ها به شمار می روند. همه مناطق دنیا به طور موقت، اما نامنظم از تکرار شرایط خشکسالی رنج می برند، اما این وضعیت در مناطقی که از نظر اقلیمی به طور نامنظم توسط سامانه های مختلف آب و هوایی تحت تأثیر قرار می گیرند، بیشتر مشاهده می شود (۱). نمود اصلی پیدایش خشکسالی، کاهش بارندگی به پائین تر از

۱- مری پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران،

(tayebrazi@scwmri.ac.ir)

۲- استادیار دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۳- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران

4- Wilhite & Glantz

تاریخ دریافت: ۸۴/۶/۱۴

تاریخ پذیرش: ۸۶/۲/۳۱

بقیه متغیرها است. از این رو بارندگی به تنهایی بیش از ۸۰ درصد تغییرات این گونه شاخص ها را توجیه می کند (۵). به همین علت، در بسیاری از کشورهای دنیا از شاخص هایی استفاده می شود که تنها از متغیر بارندگی (که در دسترس ترین متغیر اقلیمی است) بهره می برند. شاخص درصد از نرمال<sup>۴</sup> (۱۸) و BMDI<sup>۵</sup> (۲)، دهک ها<sup>۶</sup> (۳) و SPI (۸ و ۹) شاخص هایی هستند که تنها بر مبنای استفاده از متغیر بارندگی استوارند. شاخص SPI به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج، به عنوان مناسب ترین شاخص برای تحلیل خشکسالی به ویژه تحلیل های مکانی شناخته می شود (۴). با استفاده از این شاخص می توان تغییرات زمانی و مکانی بارندگی، دوره های خشک و تر و نیز ویژگی های خشکسالی ها و ترسالی ها را برای ایستگاه های مورد مطالعه تعیین نمود. محاسبه این شاخص نسبتاً ساده بوده و نتایج آن از قابلیت اعتماد بالایی به ویژه برای مطالعات منابع آب برخوردار است. ویژگی های SPI این امکان را می دهد تا وضعیت منابع آب را برای دوره ها و تناوب های کوتاه مدت که در کشاورزی و مطالعه رطوبت قابل دسترس گیاه مناسب است و نیز مقیاس های زمانی بلند مدت که در مطالعه جریان های رودخانه ای و مخازن آب زیرزمینی دارای اهمیت است، مورد مطالعه قرار داد (۷). از ویژگی های دیگر این شاخص آن است که همزمان می توان از آن در مطالعه ترسالی ها نیز استفاده به عمل آورد.

با توجه به شرایط ویژه استان سیستان و بلوچستان (از دیدگاه اقلیم شناسی)، محرومیت

افت می کند. خشکسالی کشاورزی نیز زمانی آغاز می شود که مقدار رطوبت موجود در محیط ریشه گیاه به حدی کاهش یابد که موجب پژمردگی و در نهایت کاهش محصولات کشاورزی گردد. از این رو بخش کشاورزی اولین بخش از فعالیت های انسانی است که تحت تأثیر خشکسالی قرار می گیرد (۶) و معیار تعریف خشکسالی اقتصادی- اجتماعی بر مبنای عرضه و تقاضای آب استوار است. هر گاه میزان تقاضای آب برای تولید برخی کالاهای اقتصادی بیشتر از عرضه آب شود، خشکسالی اقتصادی- اجتماعی روی می دهد. افزایش جمعیت و یا افزایش مصرف سرانه آب در کنار کاهش بارندگی و وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژی از عوامل بروز خشکسالی اقتصادی- اجتماعی است (۱۶).

شدت، تداوم، گستره و فراوانی از ویژگی های خشکسالی به شمار می روند که با استفاده از شاخص های خشکسالی تعیین می گردند. شاخص های خشکسالی بر مبنای یک یا چند متغیر اقلیمی محاسبه می شوند. شاخص های خشکسالی PDSI<sup>۱</sup> (۱۰)، CMI<sup>۲</sup> (۱۱) و SWSI<sup>۳</sup> (۱۵) که بر مبنای متغیرهای مختلف اقلیمی و هیدرولوژی محاسبه می گردند، از معروف ترین شاخص های خشکسالی به شمار می روند که بیشتر در آمریکا مورد استفاده قرار می گیرند. برای محاسبه این شاخص ها، متغیرهای مختلفی مورد نیاز است که در همه جا اندازه گیری نمی شود. به همین دلیل، کاربرد این دسته از شاخص ها تنها به برخی کشورهای توسعه یافته محدود می شود که دارای شبکه های سازمان یافته و با سابقه اقلیم شناسی می باشند. بررسی های انجام شده نشان می دهد که وزن بارندگی در این گونه شاخص ها بیش از

4 - Percent of Normal

5 - Bhalme and Mooley Drought Index

6 - Deciles

1- Palmer Drought Severity Index

2- Crop Moisture Index

3 - Surface Water Supply Index

سامانه های مدیترانه ای هستند که در فصول سرد سال در بستر بادهای غربی به این منطقه وارد می شوند. ترکیب سامانه های مختلف در فصول سرد سال باعث می شود که بارندگی های این منطقه از سالی به سال دیگر متفاوت باشد و از ضریب تغییرات بالائی برخوردار گردد. سامانه های مدیترانه ای زمانی به سیستان و بلوچستان می رسند که از نظر مقدار رطوبت دچار فرسودگی شده و توان کافی برای ایجاد بارش در این استان را ندارند و بارندگی اندکی را سبب می شوند. به همین علت، میزان بارندگی سالانه ایستگاه های این استان در اغلب سالها کمتر از ۱۰۰ میلی متر ثبت شده است.

## ۲- داده های مورد استفاده

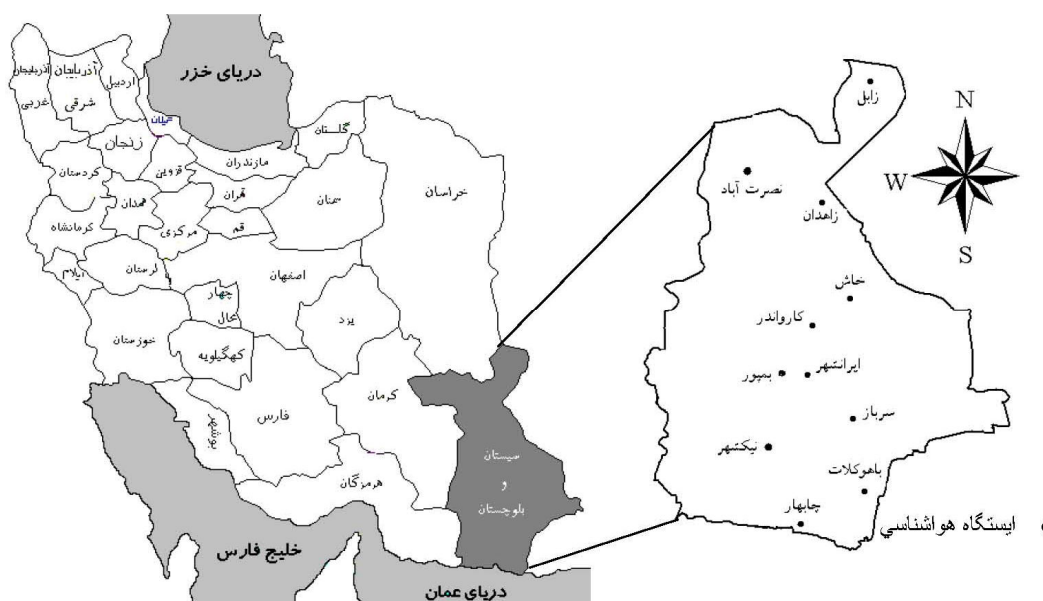
در این پژوهش از داده های بارندگی ماهانه ۱۱ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی استان سیستان و بلوچستان با طول دوره آماری ۳۶ ساله (۲۰۰۰-۱۹۶۵ میلادی برابر با ۱۳۷۹/۸۰-۱۳۴۴/۴۵ خورشیدی) استفاده به عمل آمد. داده های بارندگی ایستگاه های مورد مطالعه از نظر همگنی، استقلال و تصادفی بودن مورد ارزیابی قرار گرفت و سری های مشکوک با استفاده از داده های ایستگاه های مینا اصلاح گردید. همگنی داده ها با استفاده از روش منحنی جرم مضاعف<sup>۱</sup> و روش ناپارامتری من-ویتنی<sup>۲</sup> و تصادفی بودن و استقلال داده ها نیز به ترتیب با استفاده از آزمون دنباله ها<sup>۳</sup> و آزمون ناپارامتری اسپیرمن<sup>۴</sup> مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بررسی مشخص گردید که بیشتر ایستگاه ها با ایستگاه های مینا (زاهدان و میانگین اقلیمی منطقه) همگن می باشند. شکستگی های جزئی در منحنی جرم مضاعف برخی ایستگاه ها مثل نیکشهر و خاش با استفاده از روند تغییرات ایستگاه های مینا اصلاح گردید. استقلال و تصادفی بودن داده ها در

منطقه و ضرورت پرداختن به مباحث توسعه اقتصادی- اجتماعی در منطقه و نقش حیاتی آب به عنوان مهم ترین زیرساخت توسعه و فعالیت های عمرانی و آبادانی، شناسایی ویژگی های خشکسالی در سطح منطقه و پیش بینی آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است. رضیئی و همکاران (۱) با بهره گیری از نمایه Z اقدام به ساخت منحنی های شدت-مدت- فراوانی خشکسالی در این استان نمودند و احتمال دوره های خشک، تر و نرمال و نیز احتمال ماندگاری آنها را با استفاده از مدل زنجیره مارکف پیش بینی نمودند. به دنبال تکمیل این گونه مطالعات در سطح استان، مقاله حاضر در پی آن است تا ویژگی های دوره های خشکسالی و الگوی تغییرات زمانی و مکانی آن را در سطح استان با استفاده از شاخص SPI در مقیاس های زمانی سه و شش ماهه مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد.

## ۱- موقعیت جغرافیایی و اقلیمی منطقه

استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرقی ایران و در محدوده ۲۴°۵۵' تا ۳۱°۲۸' عرض شمالی و ۵۸°۴۰' تا ۶۳°۱۶' طول شرقی قرار دارد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و ایستگاه های مستقر در آن را نشان می دهد. این استان به علت قرار گرفتن در عرض جغرافیایی پائین، از آب و هوایی گرم و خشک برخوردار است و در بیش از نیمی از سال تحت تسلط سامانه پر فشار جنب حاره قرار دارد. همین عامل، باعث گرم و خشک شدن هوا می شود. بنابراین، در فصول گرم سال امکان بارندگی در این منطقه وجود ندارد. تنها هنگامی که سامانه پرفشار جنب حاره از سطح زمین ارتفاع پیدا کند و سامانه های موسمی نیز از گسترش زیادی برخوردار گردند، امکان بارندگی های مناسب در ماه های گرم سال فراهم می شود. اما این پدیده کمتر اتفاق می افتد و به همین دلیل، ضریب تغییرات بارندگی این ماه ها بسیار بالا است. منشاء اصلی بارندگی های جنوب شرق ایران، عمدتاً

1- Double Mass Curve  
2- Mann-Whitney  
3- Run Test  
4- Spearman ρ Test



شکل ۱- موقعیت استان سیستان و بلوچستان در کشور و پراکنش ایستگاههای هواشناسی در آن

با استفاده از احتمال معادل آن به توزیع نرمال که دارای میانگین صفر و انحراف از معیار یک می باشد، تبدیل می گردد. از این رو، مقدار SPI محاسبه شده به واحد انحراف از معیار بیان می گردد (۴). نتایج تحقیقات بسیاری از دانشمندان و محققان نشان می دهد که مناسب ترین توابع توزیع احتمال برای برازش داده های بارندگی ماهانه، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، توابع خانواده گاما می باشند. از این رو محاسبه این نمایه شامل برازش تابع توزیع احتمال گاما به توزیع فراوانی مقادیر بارندگی یک ایستگاه می باشد. سپس، پارامترهای مربوط به این تابع برای هر مقیاس زمانی دلخواه و هر ماه سال برآورد می گردد. در نهایت تابع توزیع تجمعی مربوطه محاسبه و به یک تابع توزیع تجمعی نرمال برای محاسبه SPI تبدیل می گردد. به منظور تفسیر نتایج و امکان مقایسه مکانی مقادیر SPI، مک کی و همکاران (۸ و ۹) طبقه بندی جدول (۱) را برای تعیین شدت خشکسالی و ترسالی ارائه نموده اند. از آنجایی که مقادیر SPI تولید شده

همه ایستگاه ها نیز به تأیید رسید. داده های گم شده (در مقیاس ماهانه) در همه ایستگاه ها با استفاده از روش همبستگی بازسازی گردید. همچنین، با توجه به ضریب همبستگی بالا بین داده های بارندگی ایستگاه های منطقه، طول دوره آماری ایستگاه کارواندر به مدت یک سال افزایش و به دوره مشترک ۲۰۰۰-۱۹۶۵ تطویل داده شد.

### ۳- روش پژوهش

شاخص SPI در سال ۱۹۹۳ با هدف پایش و تعریف ویژگی های خشکسالی (ترسالی) به وسیله مک کی و همکاران<sup>۱</sup> (۸ و ۹) ارائه گردید. محاسبه شاخص SPI برای یک دوره معین در یک ایستگاه نیازمند وجود داده های ماهانه بارندگی برای یک دوره آماری حداقل ۳۰ ساله می باشد. برای محاسبه شاخص SPI ابتدا تابع توزیع احتمال<sup>۲</sup> داده ها با برازش یک تابع احتمال مناسب بر کل داده ها تعیین می گردد. سپس تابع توزیع تجمعی<sup>۳</sup> داده ها

1- McKee *et al.*

2- Probability Distribution Function

3- Cumulative Distribution Function

## جدول (۱) طبقه بندی مقادیر SPI (۸)

SPI	گروه
۲- و کمتر	خشکسالی بسیار شدید
۱/۵۰- تا ۱/۹۹-	خشکسالی شدید
۱/۴۹- تا ۱/۰۰-	خشکسالی
۰/۹۹- تا ۰/۰۰-	نزدیک به نرمال
۱/۰۰- تا ۱/۴۹-	خشکسالی
۱/۵۰- تا ۱/۹۹-	خشکسالی شدید
۲ و بالاتر	ترسالی بسیار شدید

دهد. از این رو در یک منطقه ممکن است همه ایستگاه ها کمبود بارندگی و یا خشکسالی را تجربه نکنند. این گونه خشکسالی ها را خشکسالی های محلی و غیر فراگیر می نامند. خشکسالی های محلی اغلب تداوم کوتاهی داشته و تأثیرات منفی دراز مدت ندارند. اما رویدادهای بحرانی و تأثیرگذار رویدادهایی هستند که گستره وسیعی از یک منطقه را تحت تأثیر قرار می دهند. بنابراین، خشکسالی فراگیر یا منطقه ای، تابعی از منطقه تحت تأثیر خشکسالی است. هرگاه مجموع مساحت منطقه تحت تأثیر خشکسالی از یک آستانه معین فراتر رود، خشکسالی منطقه ای یا فراگیر روی داده است. برای تعریف و تعیین خشکسالی های فراگیر اغلب از آستانه های ۳۰ و ۵۰ درصد استفاده می شود. از این رو به خشکسالی هایی که ۳۰ و یا ۵۰ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه را فراگیرد، خشکسالی فراگیر گفته می شود (۱۲، ۱۳ و ۱۴). همچنین، یک خشکسالی فراگیر را می توان براساس تداوم آن (مدت زمانی که خشکسالی مساحتی برابر و یا بیش از آستانه انتخابی را تحت تأثیر قرار دهد) و یا مجموع کمبود منطقه ای (مجموع کمبودها در یک ایستگاه معین ضرب در مساحت تحت تأثیر آن ایستگاه) بیان نمود (۱۲). به منظور شناسایی الگوی مکانی و مناطق مستعد خشکسالی استان،

به طور نسبتاً کاملی با توزیع نرمال برازش دارد، می توان تصور کرد که این مقادیر در ۹۸ درصد موارد در درون یک انحراف از معیار و در ۹۹ درصد از موارد در درون سه انحراف از معیار قرار دارند. بر اساس این طبقه بندی، یک خشکسالی بسیار شدید با مقدار SPI کوچکتر از ۲- در هر ۱۰۰ سال، دو یا سه بار روی خواهد داد. از این رو، شاخص SPI می تواند دوره بازگشت یک خشکسالی (ترسالی) که در مطالعات و طراحی های لازم در مدیریت منابع آب بسیار ارزشمند می باشد را نیز بیان نماید (۴).

به منظور بررسی پدیده خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان، سری زمانی شاخص SPI سه و شش ماهه برای ایستگاه های مورد مطالعه محاسبه گردید. با توجه به گسترش این استان در عرض جغرافیایی و تحت تأثیر بودن ایستگاه های مختلف از سامانه های مدیترانه ای و موسمی، طبیعی است که روند تغییرات بارندگی و سری های زمانی SPI در این استان متفاوت باشد. از این رو، سری های زمانی SPI سه و شش ماهه ایستگاه های مورد مطالعه با استفاده از روش تحلیل خوشه ای به شیوه Ward دسته بندی گردیدند. در مناطق آب و هوایی مدیترانه ای چون مناطق شرقی و مرکزی ایران تغییرات زمانی و مکانی بارندگی زیاد است و بارندگی ها به صورت محلی روی می

را می توان در سه منطقه همگن شمالی، میانی و جنوبی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

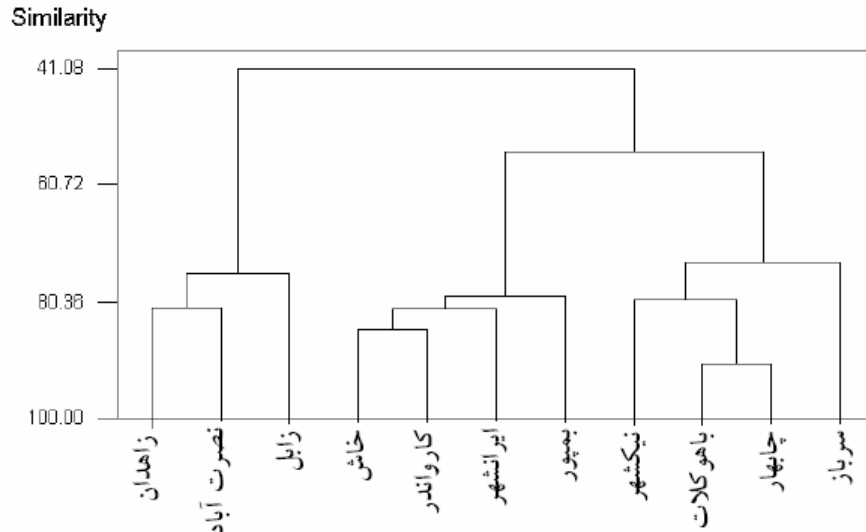
سری زمانی SPI سه ماهه در مناطق سه گانه استان در شکل (۳ الف تا ج) نشان می دهد که تغییرات شاخص SPI در ایستگاه های هر یک از این مناطق از روند یکسانی پیروی نموده و دوره های خشک و تر در آنها به طور همزمان روی داده است. تنها تفاوت موجود میان آنها در مقدار و شدت شاخص می باشد. شکل (۴ الف و ب) نیز سری های زمانی SPI شش ماهه را نشان می دهند. با این تفاوت که در مقیاس زمانی شش ماهه، تحلیل خوشه ای منجر به دو ناحیه همگن شمالی-مرکزی و جنوبی گردید.

خشکسالی های مهم از نظر شدت و تداوم مورد بررسی قرار گرفت.

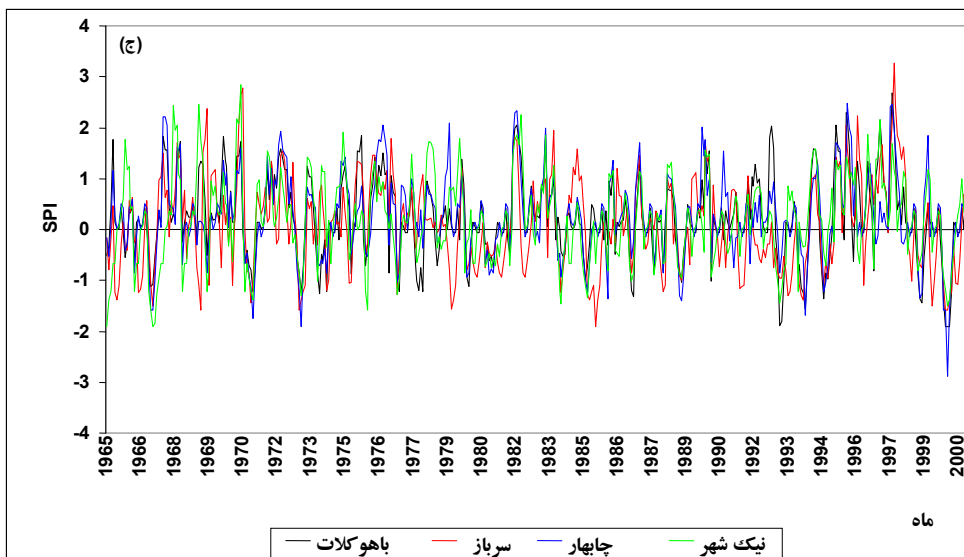
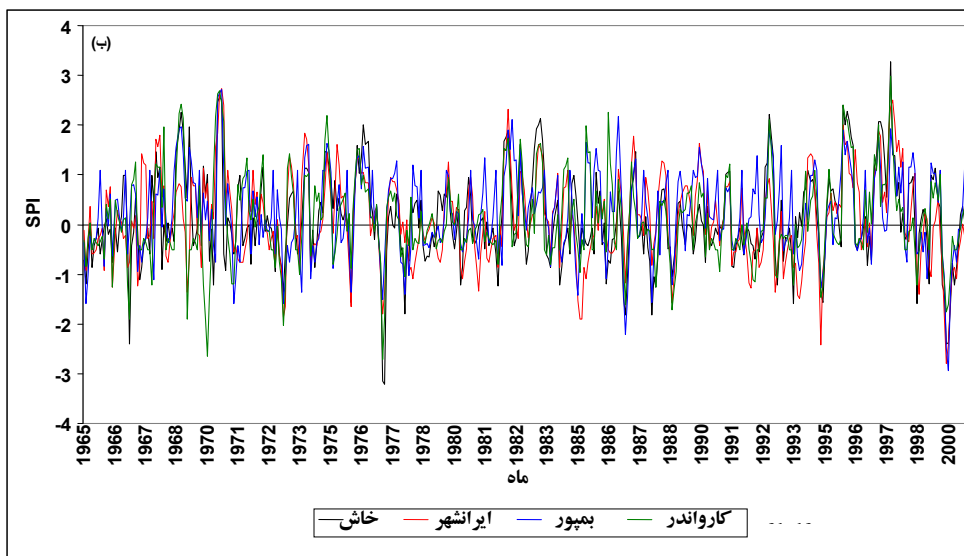
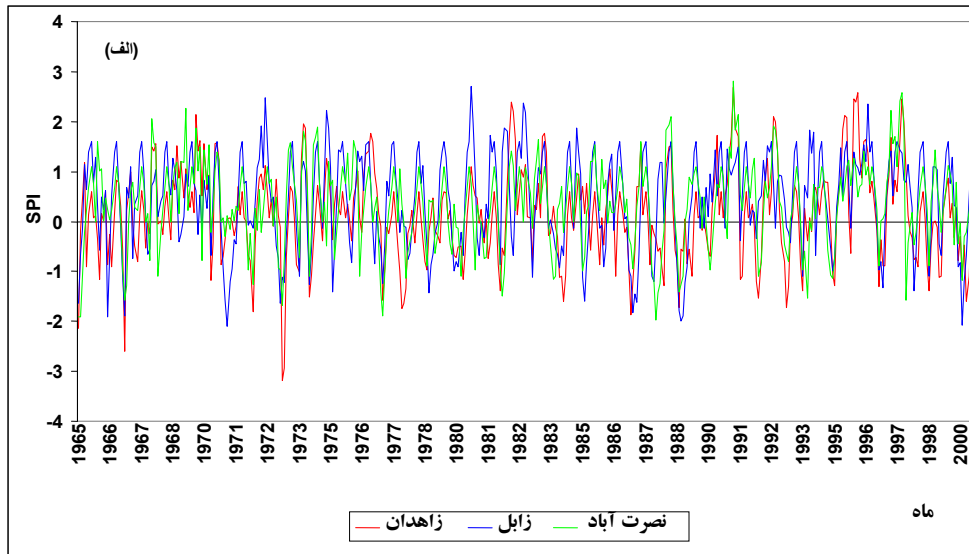
### نتایج

#### ۱- الگوی زمانی سری های زمانی SPI

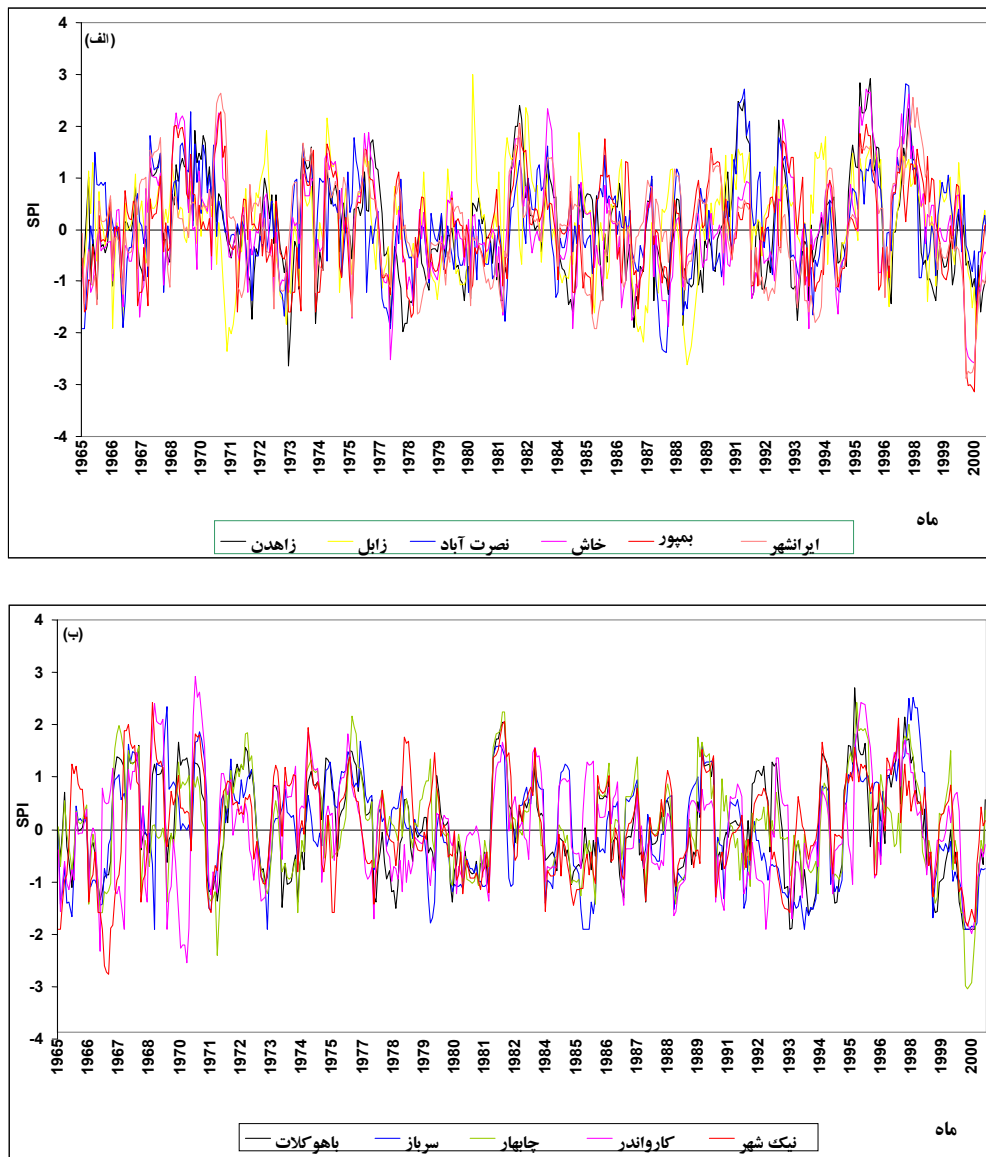
پس از ساخت سری های زمانی SPI در مقیاس زمانی سه و شش ماهه، اقدام به همگن بندی ایستگاه ها در سطح استان گردید. به عنوان نمونه، تحلیل خوشه ای بر روی سری زمانی SPI سه ماهه در شکل (۲) ارائه شده است. همان گونه که در شکل (۲) دیده می شود، می توان رفتار و روند تغییرات سری های زمانی SPI سه ماهه در سطح استان را به سه دسته متفاوت طبقه بندی نمود. این شکل نشان می دهد که تغییرات سری زمانی SPI سه ماهه در منطقه، از عرض جغرافیایی پیروی می کند. تغییرات بارندگی و سری زمانی SPI در استان



شکل ۲- خوشه بندی سری های زمانی SPI سه ماهه ایستگاه های مورد مطالعه



شکل ۳- تغییرات سری زمانی SPI سه ماهه در استان سیستان و بلوچستان، الف) ایستگاه های شمالی، ب) ایستگاه های مرکزی و ج) ایستگاه های جنوبی



شکل ۴- تغییرات سری زمانی SPI شش ماهه در استان سیستان و بلوچستان، الف) ایستگاه های شمالی و مرکزی و ب) ایستگاه های جنوبی

منطقه در مقیاس های زمانی سه و شش ماهه نشان می دهند. با توجه به این جداول مشاهده می شود که در همه ایستگاه ها با افزایش تداوم، از تعداد خشکسالی ها کاسته می شود. در همه ایستگاه ها، فراوان ترین رویدادهای خشکسالی در تداوم های ۱ تا ۳ ماهه روی می دهد. مجموع تعداد رویدادهای خشکسالی ایستگاه های منطقه در مقیاس زمانی سه ماهه بین ۳۲ (باهوکلات و چابهار) تا ۵۲ (کارواندر) در طول دوره آماری در تغییر می باشد.

## ۲- ویژگی های خشکسالی در استان

شدت و تداوم، دو ویژگی اصلی خشکسالی به شمار می روند. درجه سختی یا میزان تأثیرگذاری یک خشکسالی بر اساس این ویژگی ها تعریف می گردد. هر چه شدت (میانگین انحراف شاخص خشکسالی در طول دوره خشکسالی) و تداوم یک خشکسالی بیشتر باشد، تأثیرات منفی بیشتری در پی خواهد داشت. جداول (۲ و ۳) تعداد رویدادهای خشکسالی با تداوم های مختلف را در ایستگاه های



رویدادها در مقیاس زمانی سه ماهه در مجموع بیشتر از مقیاس زمانی شش ماهه است. به عبارت دیگر، با افزایش مقیاس زمانی از تعداد رویدادها کاسته شده و به تداوم آنها افزوده می شود.

مجموع تعداد رویداد های خشکسالی ایستگاه های منطقه در مقیاس زمانی شش ماهه از حداقل ۲۵ (سرباز) تا حداکثر ۴۷ مورد (بمپور) در نوسان است. مقایسه این دو جدول نشان می دهد که تعداد

**جدول ۲- تعداد رویدادهای خشکسالی منطقه در مقیاس زمانی سه ماهه**

مجموع	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	ایستگاه/ تداوم (ماه)
۳۸			۲	۲	۱	۶	۱۱	۱۶	زابل
۴۶				۲	۴	۷	۱۵	۱۸	زاهدان
۴۶	۱	۱	۱	۱	۷	۱۰	۶	۱۹	سرباز
۳۵			۱		۲	۶	۷	۱۹	نصرت آباد
۴۰	۱		۲	۲	۲	۷	۹	۱۷	نیک شهر
۵۱				۱	۲	۶	۱۱	۳۱	خاش
۵۲				۲	۳	۹	۱۳	۲۵	کارواندر
۴۲	۱		۱	۱	۴	۱۲	۷	۱۶	ایران شهر
۳۲			۱		۵	۵	۳	۱۸	چابهار
۴۹			۱			۵	۹	۳۴	بمپور
۳۲			۲	۲	۵	۳	۴	۱۶	باهو کلات

**جدول ۳- تعداد رویدادهای خشکسالی منطقه در مقیاس زمانی شش ماهه**

مجموع	۲۴	۱۹	۱۶	۱۳	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	ایستگاه/ تداوم (ماه)
۴۰							۲	۳	۲	۱		۱	۴	۱۰	۱۷	زابل
۴۵				۱		۲	۲		۴	۳	۳	۳	۲	۱۲	۱۶	زاهدان
۲۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱			۱	۲	۲	۲	۲	۳	۸	سرباز
۴۲								۱	۱	۴	۱	۲	۸	۵	۲۰	نصرت آباد
۴۰				۲		۲	۱	۱	۲	۲	۱	۳	۹	۱۷	نیک شهر	
۴۹								۱	۲	۳	۱	۱	۱۲	۸	۲۱	خاش
۴۲					۱	۱	۴	۴	۴	۳	۴	۳	۸	۱۴	کارواندر	
۳۶			۱	۱	۱	۲				۲	۴	۲	۲	۸	۱۳	ایران شهر
۳۷					۱	۱	۲	۶				۱	۷	۱۹	چابهار	
۴۷					۱				۲	۶	۳	۵	۱۱	۱۹	بمپور	
۴۱			۱			۳	۴	۱	۳	۲	۳	۷	۱۷	باهو کلات		

### ۳- توزیع مکانی خشکسالی های استان سیستان و بلوچستان

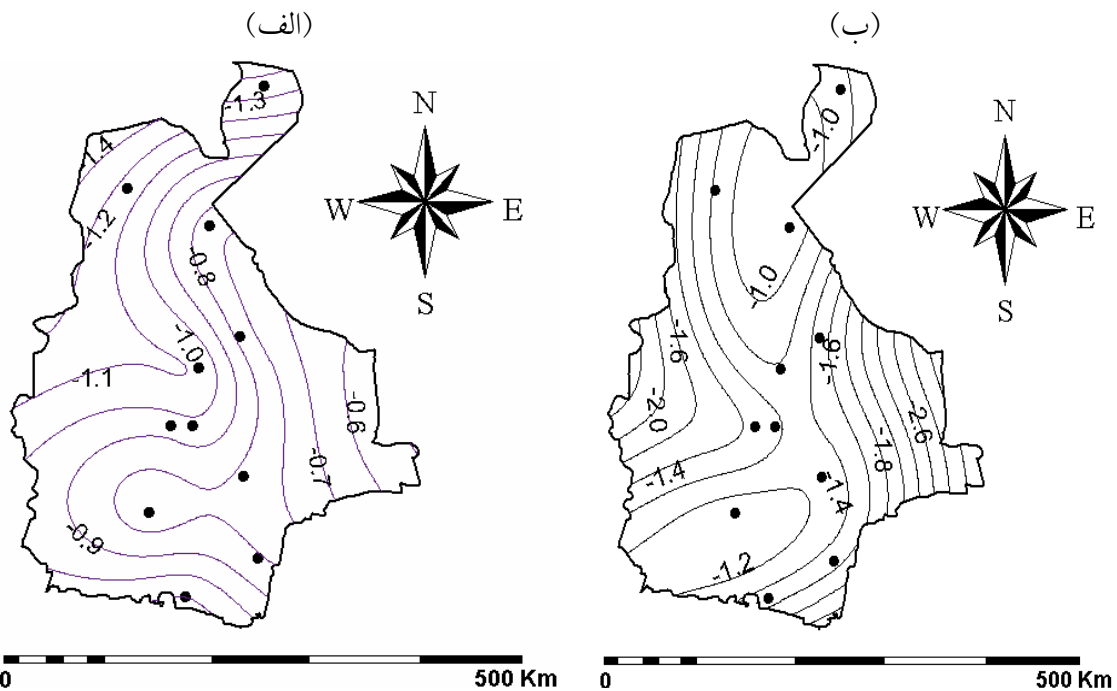
به منظور شناسایی الگوی مکانی خشکسالی در سطح استان، خشکسالی های مهم از نظر شدت و تداوم در مقیاس زمانی سه و شش ماهه مورد بررسی قرار گرفت که در اینجا به جهت اختصار تنها تغییرات مکانی شدت خشکسالی در سطح منطقه برای چند رویداد مهم ارائه گردیده است. شکل (۵) توزیع مکانی میانگین شدت خشکسالی دو رویداد مهم را در مقیاس زمانی سه ماهه نشان می دهد. از میان دوره های خشکسالی بدست آمده با SPI شش ماهه، دو رویداد مهم سالهای ۱۹۷۱ و ۲۰۰۰ در شکل (۶) ارائه شده است.

#### بحث

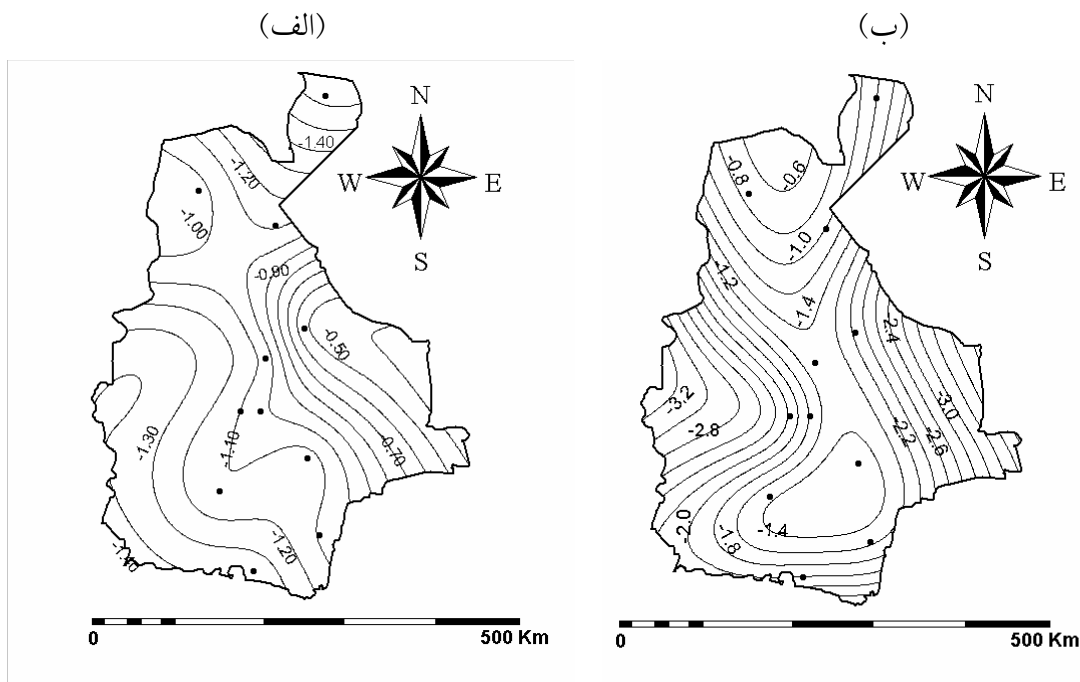
بررسی سری های زمانی SPI در مقیاس زمانی سه ماهه نشان می دهد که تغییرات شاخص زیاد بوده و به سرعت از شرایط تر به خشک و یا از شرایط خشک به تر تغییر می یابد. دلیل این موضوع حساسیت زیاد شاخص SPI به بارندگی در مقیاس های زمانی کوتاه مدت می باشد. به همین علت، هرگاه مقدار بارندگی از میانگین درازمدت بیشتر (کمتر) شود، شاخص به سرعت واکنش نشان داده و به سمت مثبت (منفی) گرایش پیدا می کند. این مسئله در مقیاس های زمانی بلند مدت آهنگ کندتری به خود می گیرد. به طوری که در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه و بالاتر وقوع بارندگی در یک ماه معین نمی تواند تغییر زیادی در روند شاخص ایجاد کند. شکل (۳ الف تا ج) نشان می دهد که دوره های خشک و تر به سرعت جای خود را با یکدیگر عوض می کنند. به عبارت دیگر، تداوم دوره های تر بر اثر نبود و یا کمبود بارش در یک ماه معین و یا تداوم دوره های خشک بر اثر وقوع بارندگی در یک ماه معین گسیخته می گردد. از سوی دیگر، کمبود بارش در تابستان در مناطق خشک و نیمه خشک

ایران یک امر طبیعی است. به همین خاطر سری زمانی SPI سه ماهه وضعیت ایستگاه ها را در این ماه ها، نرمال نشان می دهد. این دوره های نرمال نیز می توانند تداوم دوره های خشک و تر را بگسلند. به همین سبب در این مقیاس زمانی، تداوم دوره های خشک و تر اغلب کمتر از ۱۰ ماه می باشد. در مقابل، سری های زمانی SPI شش ماهه که مجموع بارندگی شش ماهه را با میانگین درازمدت آن مورد مقایسه قرار می دهند، حساسیت کمتری به وقوع بارندگی های کم اهمیت نشان می دهند و نوسان کمتری دارند. در این مقیاس زمانی، دوره های خشک و یا تر بهتر خود را نشان می دهند. به همین علت، این مقیاس ها برای مطالعه خشکسالی های هواشناسی و هیدرولوژیکی در مناطق خشک و نیمه خشک مناسب تر می باشند.

مقایسه الگو و روند تغییرات SPI سه ماهه در استان نشان می دهد که ایستگاه های شمالی و مرکزی استان با این که از نظر زمان وقوع دوره های خشک و تر با یکدیگر متفاوت می باشند، اما از نظر دامنه تغییرات شاخص SPI با یکدیگر تا حدودی همانند هستند. در این دو منطقه، شدت دوره های خشک و تر قابل توجه می باشد در حالی که دوره های خشک و تر در منطقه جنوبی با شدت کمتری روی می دهند. در مقیاس زمانی شش ماهه، الگوی ایستگاه های شمالی و مرکزی استان به حدی به یکدیگر نزدیک می شوند که می توان آنها را در یک گروه قرار داد. الگوی میانگین این ایستگاه ها نشان می دهد که از سال ۱۹۶۵ تا ۱۹۶۸ منطقه در وضعیت نرمال و خشک ملایم به سر برده است. از سال ۱۹۷۱ تا ۱۹۷۳ نیز یک دوره نرمال تا خشک ملایم حاکم بوده است. از ۱۹۷۷ تا ۱۹۸۲، منطقه پنج دوره ناپیوسته خشکسالی را که با دوره های نرمال از هم گسسته شده اند را تجربه کرده است.



شکل ۵- توزیع مکانی میانگین شدت خشکسالی در رویداد الف (۱۹۸۹ و ب) ۲۰۰۰ (مقیاس سه ماهه)



شکل ۶- توزیع مکانی میانگین شدت خشکسالی در رویداد الف (۱۹۷۱ و ب) ۲۰۰۰ (مقیاس شش ماهه)

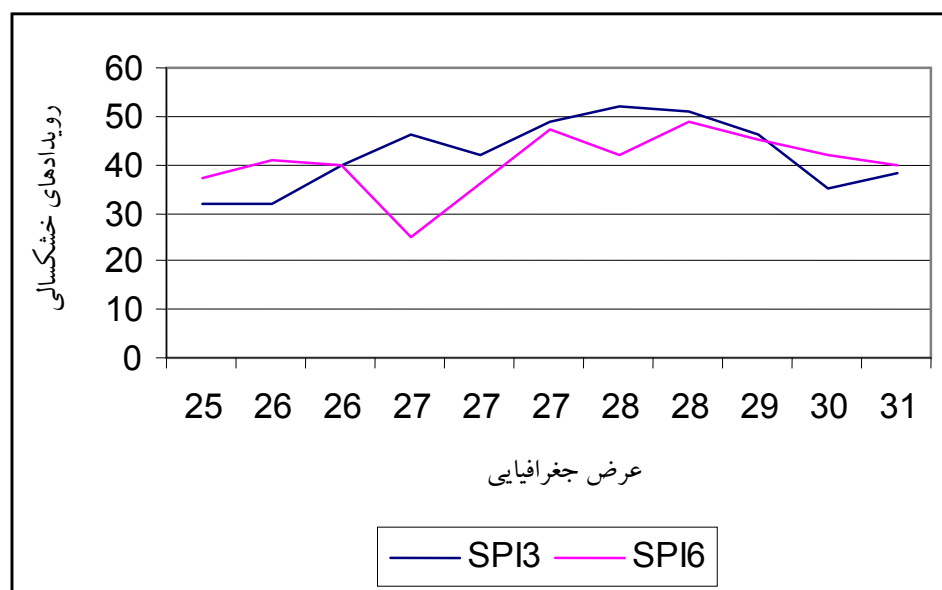
۱۹۹۸ که یک سال نرمال به شمار می آید، سال های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ از سال های بسیار خشک ناحیه شمالی و مرکزی استان به شمار می رود.

در سالهای ۱۹۸۴ تا ۱۹۸۹ نیز سه دوره ناپیوسته خشک و در سالهای ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۵، دو دوره ناپیوسته خشک حاکم بوده است. پس از سال

فرار از تله خشکسالی در آنها پائین تر از بقیه ایستگاه ها می باشد. بررسی ها نشان می دهد که ویژگی های پدیده خشکسالی در استان تا حدودی از عرض جغرافیایی پیروی می کند. شکل (۷) نشان می دهد که تعداد رویدادهای خشکسالی رخ داده در استان با عرض جغرافیایی ارتباط دارد، هرچند نمی توان یک ارتباط خطی معنی دار برای این پدیده ترسیم نمود. اما روند عمومی حاکی از آن است که با افزایش عرض جغرافیایی بر تعداد رویدادهای خشکسالی در استان افزوده می شود. در این شکل دیده می شود که تعداد رویدادهای خشکسالی در هر دو مقیاس زمانی سه و شش ماهه از جنوب به شمال، رو به افزایش است و در ایستگاه های مرکزی استان به بالاترین تعداد می رسد. همچنین از نظر تغییرات مکانی تداوم رویدادهای خشکسالی نیز نمی توان روندی را معرفی کرد. با توجه به جدول (۳) ملاحظه می شود که در برخی ایستگاه های جنوبی رویدادهای ۱۶ ماهه و بیشتر نیز به وقوع پیوسته است، در حالی که در ایستگاه های شمالی این چنین نبوده است.

الگوی میانگین سری زمانی SPI شش ماهه ناحیه جنوبی استان نشان می دهد که دوره های خشک روی داده در این ناحیه از استان نیز از نظر زمانی با دوره های مشابه در ناحیه شمالی و مرکزی استان هماهنگی و همزمانی دارند. با این تفاوت که در ناحیه جنوبی، تداوم خشکسالی ها بسیار کمتر از بخش شمالی است. در این ناحیه، دوره های خشک زودتر جای خود را به دوره های تر داده اند، در حالی که در ناحیه شمالی دوره های خشک دارای تداوم بیشتر بوده، معمولاً پیش یا پس از یک دوره نرمال قرار می گیرند که این مسئله باعث می گردد که تأثیرات شدیدتری داشته باشند.

جدول (۲) نشان می دهد که رویدادهای با تداوم ۷ تا ۸ ماهه تنها ۴ مورد مشاهده شده است. در حالی که در مقیاس زمانی شش ماهه رویدادهای با تداوم ۲۴ ماهه نیز قابل مشاهده است. با توجه به جداول (۲ و ۳) ملاحظه می گردد که تداوم رویدادهای خشکسالی در ایستگاه های سرباز و ایرانشهر بیشتر از بقیه ایستگاه ها می باشد. به عبارت دیگر، در این ایستگاه ها خشکسالی ها از پایداری و دوام بیشتری برخوردار می باشند و شانس



شکل ۷- روند تغییرات تعداد رویدادهای خشکسالی با عرض جغرافیایی

بندی می گردد، شدت خشکسالی در حاشیه های شرقی، جنوبی و غربی استان به حداکثر رسیده است و از شدت خشکسالی به سمت شمال کاسته شده است. بیشترین تداوم این خشکسالی با ۱۶ و ۱۳ ماه به ترتیب در سرباز و ایرانشهر و کمترین آن با هفت ماه در زابل روی داده است.

### نتیجه گیری

در این تحقیق نشان داده شد که می توان رفتار و روند تغییرات سری های زمانی SPI سه ماهه در سطح استان را به سه ناحیه شمالی، مرکزی و جنوبی طبقه بندی نمود. در مقیاس زمانی شش ماهه، تحلیل خوشه ای منجر به دو ناحیه همگن شمالی- مرکزی و جنوبی گردید. همچنین نشان داده شد که در همه ایستگاه ها با افزایش تداوم از تعداد خشکسالی ها کاسته می شود و فراوان ترین رویدادهای خشکسالی در استان در تداوم های ۱ تا ۳ ماهه روی می دهد. تعداد رویدادهای خشکسالی در مقیاس زمانی سه ماهه بیشتر از مقیاس زمانی شش ماهه است و با افزایش مقیاس زمانی از تعداد رویدادها کاسته شده و به تداوم آنها افزوده می شود. تحقیق حاضر همچنین نشان داد که الگوی زمانی سری های SPI در سطح استان از عرض جغرافیائی پیروی می نمایند و ایستگاه های شمالی و جنوبی استان از نظر تغییرات زمانی نمایه SPI دارای الگوهای متفاوتی می باشند. در ناحیه جنوبی تداوم خشکسالی ها کمتر از سایر نواحی استان بوده و دوره های خشک به سرعت با دوره های تر و نرمال جایگزین می شوند، در حالی که در ناحیه شمالی دوره های خشک از تداوم و ماندگاری بیشتری برخوردار می باشند که این پایداری و ماندگاری سبب می گردد که خشکسالی ها اثرات نامطلوب و زیانبارتری در پی داشته باشند. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که در سطح استان سیستان و بلوچستان با افزایش عرض جغرافیائی بر فراوانی

شکل (۵ الف) تغییرات میانگین شدت نمایه SPI سه ماهه را در دوره خشک ۱۹۸۹ را نمایش می دهد. در این دوره شدت خشکسالی از شمال به جنوب کمتر شده و بیشترین شدت خشکسالی در دشت زابل و شهرستان نصرت آباد روی داده است. با توجه به جدول (۲) ملاحظه می شود که تداوم این خشکسالی نیز از شمال به جنوب روندی کاهشی داشته است (نقشه ارائه نشده است). بیشترین مدت خشکسالی در این دوره با تداوم ۵ و ۶ ماه در زابل و زاهدان و کمترین آن با تداوم ۲ و ۳ ماه در ایستگاه های جنوبی استان روی داده است. در خشکسالی سال ۲۰۰۰ (شکل ۵ ب) وضعیت برعکس شده است. در این دوره، شدت خشکسالی در شمال استان کمتر (خشکسالی ضعیف) و به سمت جنوب، جنوب غربی و جنوب شرقی بر شدت خشکسالی افزوده شده است. در این دوره، خط هم ارزش ۲/۷- (براساس طبقه بندی جدول ۱) از جنوب و شرق استان عبور کرده که بیانگر وقوع یک دوره خشکسالی بسیار شدید با دوره بازگشت ۱۰۰ سال می باشد. تداوم این دوره خشکسالی نیز با همین روند از جنوب به شمال کاهش پیدا می کند. بیشترین تداوم این دوره در ایرانشهر به مدت نه ماه و کمترین آن در نصرت آباد و زابل به مدت سه و چهار ماه روی داده است. شکل (۶ الف) توزیع مکانی خشکسالی سال ۱۹۷۱ را نشان می دهد. این رویداد که یک خشکسالی متوسط به شمار می رود در شمال، غرب و جنوب استان از شدت بیشتری برخوردار بوده و به سمت شرق از شدت آن کاسته می شود. مقدار SPI در شرق استان نشان می دهد که در این دوره، این بخش از منطقه در وضعیت نرمال تا خشکسالی ضعیف بسر برده است. بیشترین تداوم این خشکسالی نیز با ۸ و ۹ ماه به ترتیب در زاهدان و زابل و حداقل آن با دو ماه در باهوکلالت و بمپور روی داده است. در خشکسالی ۲۰۰۰ (شکل ۶ ب) که در گروه خشکسالی های بسیار شدید طبقه

رویدادهای خشکسالی و پایداری و تداوم آنها افزوده می شود.

### منابع

۱. رضیئی. ط، ثقفیان. ب. و شکوهی، ع.ر. ۱۳۸۲. پیش بینی شدت- تداوم- فراوانی خشکسالی با استفاده از روش های احتمالاتی و سری های زمانی (مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان). مجله بیابان، جلد ۸ شماره ۲، صص ۲۹۲-۳۱۰.
2. Bhalme, H. N. and Mooley, D. A. 1980. Large-scale drought/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review*, 108: 1197-1211.
3. Gibbs, W. J. and Maher, J. V. 1967. Rainfall deciles as drought indicators. *Bureau of Meteorology Bulletin No. 48*, Commonwealth of Australia, Melbourne.
4. Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A. and Vanyarkho, O. V. 1999. Monitoring the 1996 drought using the Standardized precipitation Index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(3): 429- 437.
5. Keyantash, J. and Dracup, J. A. 2003. The Quantification of drought: An evaluation of drought indices. *American meteorological society*, August 2002, 1167-1180.
6. Kumar. V. and Panu, U. 1997. Predictive assessment of severity of agricultural droughts based on agro-climatic factors. *JAWRA*, 33(6): 1255-1264.
7. Lloyd-Hughes, B. and Saunders, M. A. 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22: 1571-1592.
8. McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Preprints, 8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA, 179-184.
9. McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. *Preprints, 9th Conference on Applied Climatology*, 15-20 January, Dallas, TX, 233-236.
10. Palmer, W. C. 1965. *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C., U.S.A, 58 p.
11. Palmer, W. C. 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new Crop Moisture Index. *Weatherwise*, 21: 156-161.
12. Paulo A. A., Coelho C., Pereira L. S., 2003. Drought Class Transition Analysis through Markov and Loglinear Models. In: J. M. Tarjuelo, F. M. de Santa Olalla, L. S. Pereira (Eds.) *Envirowater 2003. Land and Water Use Planning and Management (Proceedings 6th Inter-Regional Conference on Environment-Water, Albacete, Sep. 2003)*, CREA – Univ. Castilla-La Mancha, Albacete, pp. 35-36, artigo A-098 no CD-ROM.

13. Rossi, G., Benedini, M., Tsakiris, G., and Giakoumakis, S. (1992) On Regional Drought Estimation and Analysis, *Water Resources Management* 6: 249-27
14. Santos, M. J and Henriques, R. 1999. Analysis of European annual precipitation series, ARIDE Technical Report nr.3 INAG, 38 P.
15. Shafer, B. A. and Dezman, L. E. 1982. Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. *Proceedings of the Western Snow Conference*, 164-175.
16. Wilhite, D. A. 1997, *Improving Drought Management in the West, The role of mitigation and preparedness*. Washington, DC, U. S. A, National Technical Information Service, p. 46.
17. Wilhite, D. A. and Glantz, M. H. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10: 111-120.
18. Willeke, G., Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. and Guttman, N. B. 1994. *The national drought atlas*. Institute for Water Resources Report 94-NDS-4, U.S. Army Corps of Engineers.