

## بررسی خشکسالی و ترسالی ایستگاه هواشناسی اصفهان با استفاده از شاخص *SPI*

احمد مزیدی<sup>۱</sup>، کمال امیدوار<sup>۲</sup>، عاطفه ملک احمدی<sup>۳</sup>، سید سلام حسینی\*

۱-دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲-استاد اقلیم شناسی، گروه جغرافیا دانشگاه یزد، یزد، ایران

۳-دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران

۴-کارشناس ارشد اقلیم شناسی دانشگاه پیام نور مرکز سقز، کردستان.

[salam.hosaini@yahoo.com](mailto:salam.hosaini@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۵

### چکیده

خشکسالی یکی از پدیده های آب و هوایی است که در همه شرایط اقلیمی و در تمام مناطق کره ی زمین به وقوع می پیوندد. برای بیان کمی این پدیده و ارزیابی آن از شاخص های مختلفی استفاده می شود. شاخص مورد استفاده در این پژوهش برای بررسی خشکسالی و ترسالی، شاخص بارش استاندارد شده *SPI* می باشد. برای این منظور داده های بارش ماهیانه ایستگاه هواشناسی اصفهان برای یک دوره ی آماری ۲۹ ساله (۱۹۸۹-۱۹۶۱) با هدف تحلیل آماری بارش و تعیین سال های خشک و مرطوب مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهد که شدت خشکسالی های اصفهان، خشکسالی های ملایم یعنی وضعیت نرمال روزه خشکسالی سهم بیشتری را نسبت به سایر خشکسالی ها به خود اختصاص می دهند. به طور کلی در میان تمام حالت های انتقال شرطی *SPI* احتمال انتقال از حالت نرمال به خشکسالی بیشتر از سایر حالت ها است. بر اساس شاخص مورد بررسی *SPI*، اصفهان رویدادهای خشکسالی بیشتری را در مقایسه با ترسالی تجربه کرده است و اقلیم آن تمایل بیشتری برای گذر از حالت نرمال به حالت خشک داشته است.

واژگان کلیدی: خشکسالی، ترسالی، اصفهان، شاخص *SPI*.

## مقدمه

خشکسالی همانند دیگر بلاایای طبیعی، هر ساله خسارت های سنگینی بر بسیاری از کشورها وارد می کند. این در حالی است که می توان با یک برنامه ریزی دقیق و جامع، بسیاری از این خسارت ها را کاهش داد. تا سال ۱۹۹۰، تقریباً در همه کشورهای دنیا، برنامه ی جامعی برای مقابله با پدیده ی خشکسالی وجود نداشت (استیون و همکاران، ۲۰۰۳).<sup>۱</sup> با افزایش فراوانی و شدت خشکسالی ها، توجه به مدیریت ریسک برای کاهش اثرات خشکسالی در بین کشورهای مختلف افزایش پیدا کرده است. امروزه مدیریت ریسک خشکسالی در بسیاری از ایالت های آمریکا، کانادا، مکزیک، استرالیا و بسیاری از کشورهای اروپایی، جای مدیریت بحران را گرفته و به ارا در می آید. کشورهای استرالیا، چین و آفریقای جنوبی نیز مدیریت ریسک را جایگزین کرده اند. کشورهای منطقه ی مدیترانه نیز با همکاری یکدیگر، مدیریت ریسک خشکسالی را به صورت منطقه ای در دست مطالعه و بررسی دارند (هنز، ۲۰۱۴).<sup>۲</sup>

از دیرباز مطالعات اقلیمی در زمینه بلاایای طبیعی زمانی که اثرات شدیدی داشته مورد توجه بوده است ایران به دلیل قرارگیری در کمربند خشکسالی دنیای قدیم و مجاورت با پرفشار جنب حاره دارای اقلیمی خشک و نیمه خشک می باشد و در نتیجه در اکثر سال ها دچار خشکسالی های شدید شده است آیین های باران خواهی که سابقه هفت هزار ساله در ایران دارد مویید این نکته می باشد. در یکی دو قرن اخیر با گسترش صنعت و افزایش سریع جمعیت مهار آب ها به منظور تحت کنترل درآوردن آب هایی که بدون استفاده از دسترس خارج می شوند، بیشتر مورد توجه قرار گرفت حاصل این توجه گسترش علم سدسازی بود. در سال های اخیر به خصوص در کشور های پیشرفته که قسمت اعظم آب های سطحی مهار شده اند به این نتیجه رسیده اند که بهترین راه مبارزه با بحران آب استفاده بهینه از آب و جلوگیری از آلوده شدن آن است. مسلم است که بحران آب در سال هایی نمایان تر می شود که پدیده خشکسالی روی می دهد و یکی از تبعات خشکسالی به حداقل رسیدن آب رودخانه ها است. ایرانیان برای جبران کم آبی در حدود ۳۵۰۰ سال پیش اولین کسانی بودند که قنات را ابداع کردند خشکسالی سیمای موقت اقلیمی یک منطقه است و با خشکی که به وضعیت دائمی کمبود آب در یک ناحیه اطلاق میشود، متفاوت می باشد پدیده ی خشکسالی به لحاظ گستردگی، شدت، مدت و میزان آسیب رسانی، یکی از بزرگترین بلاایای طبیعی محسوب میگردد که سالانه در سراسر جهان میلیاردها دلار خسارت را به بخش های مختلف اقتصادی و اجتماعی جوامع، به ویژه بخش های کشاورزی وارد می کند. اثرات خشکسالی در وهله نخست بر بخش کشاورزی و منابع طبیعی، به دلیل وابستگی مستقیم به رطوبت ناشی از بارندگی تأثیر می گذارد و در نهایت آثارش بر منابع آب سطحی و زیرزمینی بروز می کند (Maroufi، ۲۰۰۳).<sup>۳</sup> خشکسالی حالتی نرمال و مستمر از اقلیم است. گرچه بسیاری به اشتباه آن را واقعه ای تصادفی و نادر می پندارند. این پدیده تقریباً در تمامی مناطق اقلیمی رخ می دهد، گرچه مشخصات آن از یک منطقه به

---

 3.steven

4.henz

5\_Maroufi

منطقه دیگر کاملاً تفاوت می‌کند. خشکسالی یک اختلال موقتی است و با خشکی تفاوت دارد چرا که خشکی صرفاً محدود به مناطقی با بارندگی اندک است و حالتی دائمی از اقلیم می‌باشد؛ در حالی که خشکسالی عبارت از خشکی در حد کمتر از معمول منطقه مورد نظر است. در تحقیقی با عنوان خشکسالی در ایران با استفاده از شاخص های آماری با انتخاب ۳۱ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی در دوره آماری ۳۰ ساله با محاسبه و مقایسه شاخص های مختلف آماری، شاخص درصد بارش میانگین درازمدت را به عنوان شاخص منتخب جهت بررسی ویژگی های رخداد خشکسالی به کار گرفته و در نهایت پراکندگی جغرافیایی آن در سطح کشور را مورد بررسی قرار دادند.

اصفهان دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است که شرایط بروز خشکسالی را در بیشتر سالها دارد. آمار بارش سالانه ایستگاه اصفهان نیز نشان از برتری تعداد سال های توام با خشکسالی بر سال های توام با ترسالی دارد. از این رو در این پژوهش به بررسی خشکسالی و ترسالی استان اصفهان پرداخته می‌شود.

### پیشینه تحقیق

مطالعات زیادی در زمینه پیش بینی اقلیمی با استفاده از روش های کمی در سطح جهان انجام شده است که نمونه هایی از آن به شرح زیر است:

در اروپا واید (۱۹۹۹) دوره های خشکسالی اسپانیا را با استفاده از زنجیره مارکوف بررسی نموده است و باری (۲۰۰۱) ناحیه بندی اقلیمی و بررسی خشکسالی ها و ترسالی ها و پیش اقلیمی را با استفاده از روش های مختلف مانند: شاخص خشکسالی پالمر، زنجیره مارکوف، میانگین متحرک، اتورگرسیوو آریما<sup>۳</sup> استفاده نموده است.

مارتین (۱۹۹۹) در منطقه المازورا در سواحل مدیترانه ای اسپانیا روی جهت باد و تأثیر آن در اقلیم منطقه از آزمون همگنی و مدل های پیش بینی اتورگرسیوو، آرما و آریما استفاده نموده است.

استرلا (۲۰۰۰) در ناحیه والنسیا در کشور اسپانیا در طول چهل سال دوره آماری، چهار دوره خشکسالی را تشخیص داده است.

بلوت ساس (۲۰۰۱) میانگین درجه حرارت را در سطح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتو پاسکال در لایه های مختلفی بر فراز اروپا بررسی نموده و مدل فصلی آریما را جهت پیش بینی بکار برده است.

در ایالات متحده آمریکا (کوری) بارش ایالت های آیوا، ایلی نویزو آرکانزاس را توسط روش های تجزیه و تحلیل طیفی بررسی نموده و جهت پیش بینی بارش از مدل باکس - جنکینز استفاده نموده است.

<sup>1</sup> -Vide

<sup>2</sup> - Barry

<sup>3</sup> - Autoregressive, ARIMA

<sup>4</sup> - Martin

<sup>5</sup> - Estrela

<sup>6</sup> - Bloutsos

<sup>7</sup> - Currie

مطالعات انجام شده روی ایران بسیار اندک است و نیاز به مطالعات بیشتری دارد. که نمونه هایی از آن به شرح زیر است:

نظری فر و همکاران (۱۳۹۶) پژوهشی تحت عنوان ارزیابی و پهنه بندی ریسک خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد *SPI* مطالعه موردی: حوضه ی کرخه انجام داده اند که نتایج حاصل از پژوهش نشان می دهد که نواحی پیرامونی حوضه، مخصوصاً نواحی شمال غربی، شمالی، شمال شرقی و بخش های کمی از نواحی شرقی و جنوب شرقی، مستعدترین مناطق تحت تاثیر خشکسالی هستند و با افزایش دوره های بازگشت، از میزان شدت ریسک خشکسالی کاسته می شود.

صادقی نیا و همکاران (۱۳۹۰) پژوهشی تحت عنوان برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از نمایه *SPI* و مدل زنجیره مارکف مطالعه موردی: تهران انجام داده اند که نتایج حاصل از پژوهش نشان می دهد که احتمال گذر از یک حالت معین به همان حالت محتمل تر از گذر به سایر شرایط است.

ظهیری و همکاران (۱۳۹۲) پژوهشی تحت عنوان ارزیابی پدیده های ترسالی و خشکسالی در استان خراسان با استفاده از نمایه های *PNPI, SPI, NITZCHE* که نتایج حاصل از پژوهش نشان می دهد که نواحی جنوب و جنوب غربی استان خراسان رضوی و قسمت های شمال و شمال غربی خراسان جنوبی در وضعیت خشکی شدیدتری قرار دارند. علاوه بر این مشخص گردید، در طول دوره ی آماری ۳۰ ساله، شدیدترین خشکسالی در سال ۱۳۸۷ و فراگیرترین خشکسالی در سال ۱۳۸۰ به وقوع پیوسته است.

## مواد و روش ها

در این پژوهش داده های بارش اصفهان در یک دوره ی ۲۹ ساله ۱۹۶۱-۱۹۸۹ مورد بررسی قرار گرفته است؛ جهت شناسایی دوره های خشک و بررسی آماری از نمایه استاندارد بارش *SPI* استفاده شده است و از نرم افزار اکسل ورژن ۲۰۱۶ استفاده شده است.

مک کی و همکاران (۱۹۹۳) براساس شاخص *SPI* یک رویداد خشکسالی را چنین تعریف کردند: دوره های که *SPI* دائماً منفی باشد به مقدار ۱- و کمتر برسد و زمانی پایان می پذیرد که *SPI* مثبت شود. علت اینکه مقادیر *SPI* در بازه (صفر تا ۰/۹۹-) خشکسالی ملایم در شروع خشکسالی محاسبه نمی شود می تواند وجود رطوبت از دوره تر سالی گذشته باشد. ولی در پایان خشکسالی این مقادیر *SPI* نشانگر خشکسالی خفیف است چون ذخیره رطوبت به پایان رسیده و این مقادیر کمبود رطوبت را بعد از دوره خشکسالی نشان می دهد. شاخص *SPI* یک ابزار قوی در آنالیز داده های بارندگی می باشد. هدف شاخص *SPI* اختصاص ارزشی عددی به بارندگی می باشد که بتوان نواحی با آب و هوای کاملاً متفاوت را با هم مقایسه کرد. بعنوان مثال آنچه که در نواحی حاره ای خشکسالی ایجاد می کند ممکن است همان مقدار بارندگی باشد که به عنوان «بارش سنگین» در نواحی بیابانی مورد توجه قرار می گیرد. شاخص *SPI* با مقایسه کل بارندگی تجمعی برای ایستگاه یا ناحیه ای خاص در یک فاصله زمانی مشخص بعنوان مثال سه ماه گذشته، ۶ ماه گذشته و ... با میانگین درازمدت بارندگی برای همان فاصله زمانی، در طول دوره آماری بدست می آید.

لازم به توضیح است که *SPI* یک متغیر استاندارد شده است که انحرافات بیشتر یا کمتر از میانگین را نشان می دهد و نتایج آن رای مقیاس کوتاه مدت کاملاً صحیح نیست زیرا توزیع اولیه ی بارش دارای چولگی است.

$$P = \frac{i}{n+1} * 100$$

فرمول خشکسالی

شدت خشکسالی با استفاده از شاخص *SPI* طبقه بندی می شود که به شرح زیر می باشد:

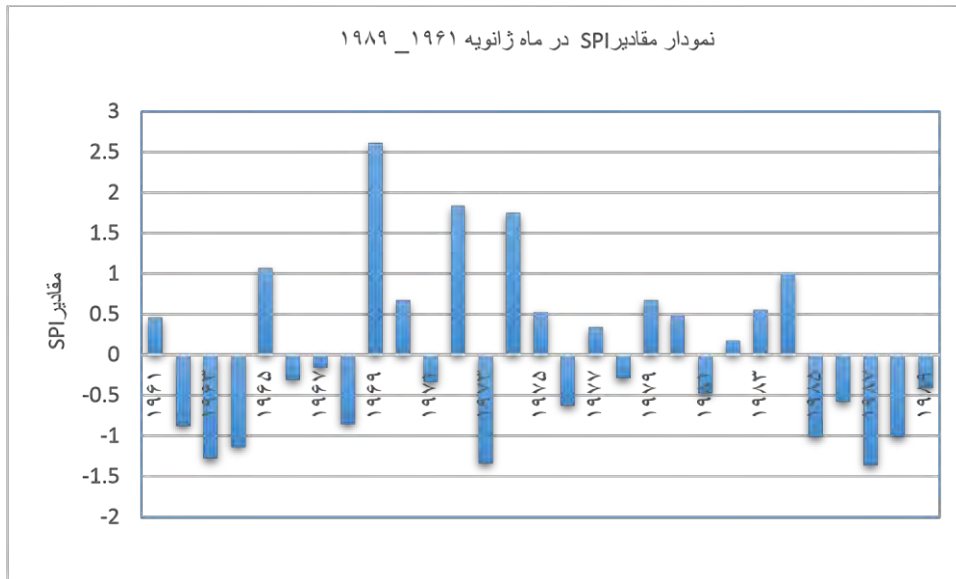
شاخص <i>SPI</i>	وضعیت
+۲ و بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
-۰/۹۹ تا ۰/۹۹	نزدیک به نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
-۲ و کمتر	خشکسالی بسیار شدید

منبع: امیدوار و همکاران، ۱۳۸۸

مقادیر *SPI* مثبت نمایانگر بارش بیشتر از مقدار بارش متوسط و مقادیر *SPI* منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار بارش متوسط میباشد. چون *SPI* نرمال است اقلیم های خشک و مرطوب را می توان به یک روش نشان داد و دوره های مرطوب را نیز می توان با استفاده شاخص *SPI* پایش کرد.

### نتایج و بحث

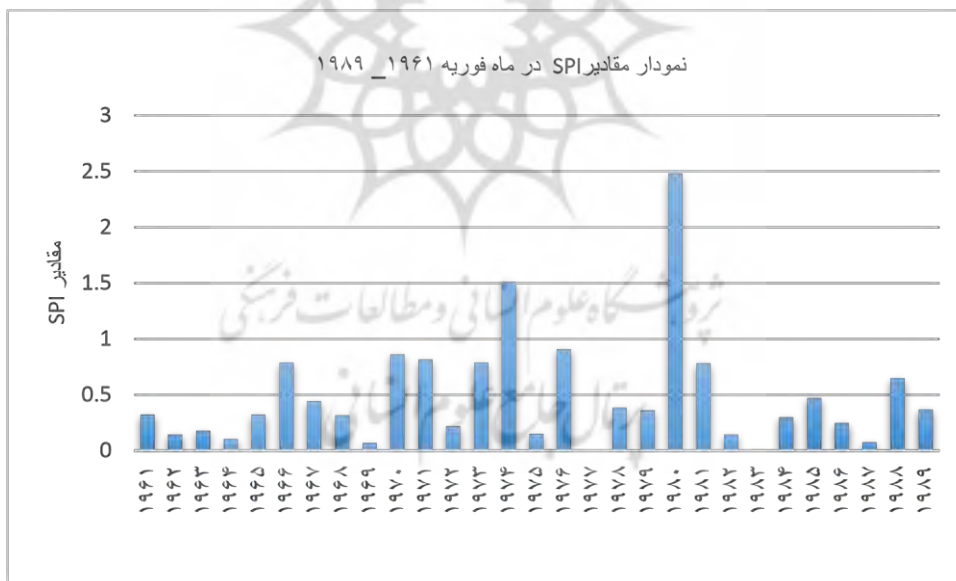
شاخص بارش استاندارد *SPI* شاخصی است که جهت تعیین کمبود بارش در مقیاس های زمانی مختلف کاربرد دارد. مقدار *SPI* مثبت بیانگر بارش بیشتر از متوسط و مقدار *SPI* منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار متوسط است. زمانی که مقدار *SPI* محاسبه شده منفی باشد، نشانه ی شروع خشکسالی است و هنگامی که این شاخص مثبت باشد پایان خشکسالی را نوید می دهد. در این پژوهش با استفاده از شاخص *SPI* برای دوره ی ۲۹ ساله ۱۹۶۱-۱۹۸۹ میزان ترسالی و خشکسالی برای هرماه به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفته است.



نمودار (۱) شاخص SPI ماه ژانویه در اصفهان طی دوره آماری (۱۹۶۱ - ۱۹۸۹)

با توجه به نمودار ۱ در ماه ژانویه نشان می دهد این ماه طی دوره آماری از نوسانات زیادی برخوردار می باشد.

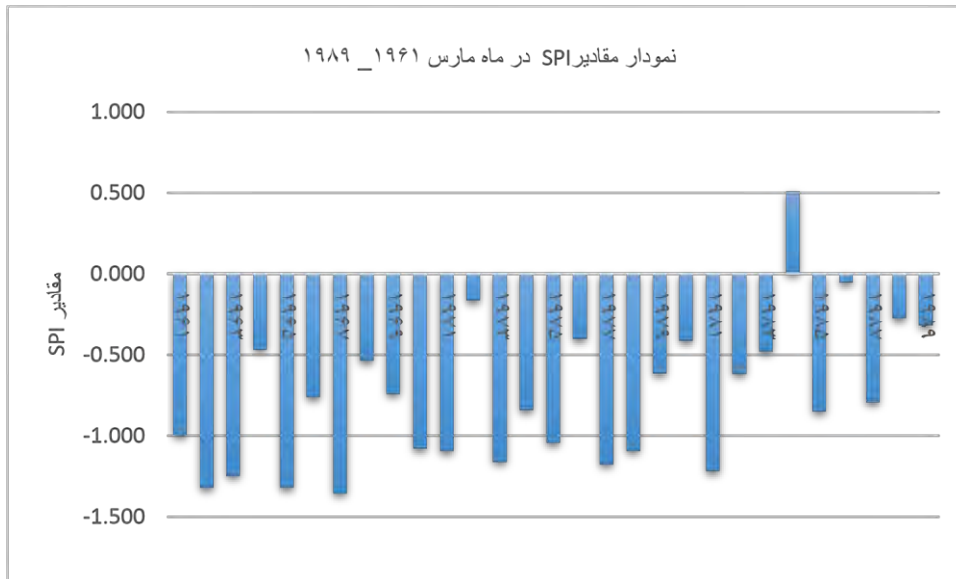
سال های ۱۹۶۹، ۱۹۷۲، ۱۹۷۴، ترسالی اتفاق افتاده است و به عنوان مرطوبترین سال ها در نظر گرفته می شود. بیشتر سالها در این ماه دارای وضعیتی نزدیک به نرمال می باشند.



نمودار (۲) شاخص SPI ماه فوریه در اصفهان طی دوره آماری (۱۹۶۱ - ۱۹۸۹)

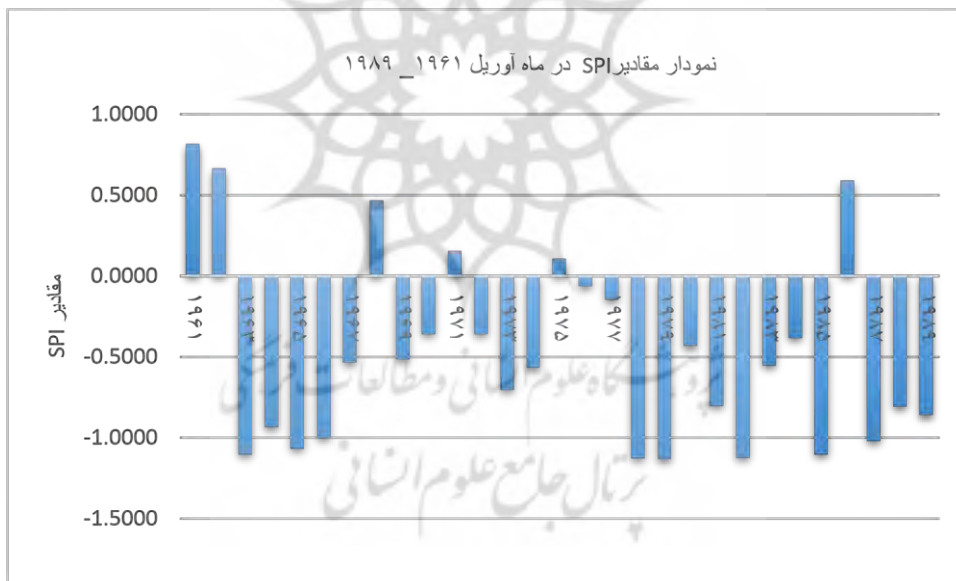
با توجه به نمودار ۲ در ماه فوریه نشان می دهد این ماه طی دوره آماری از نوسانات زیادی برخوردار می باشد.

سال های ۱۹۷۴ و ۱۹۸۰ ترسالی بسیار شدید اتفاق افتاده است و بیشتر سال ها وضعیت نزدیک به نرمال داشته اند.



نمودار (۳) شاخص SPI ماه مارس در اصفهان طی دوره آماری (۱۹۶۱-۱۹۸۹)

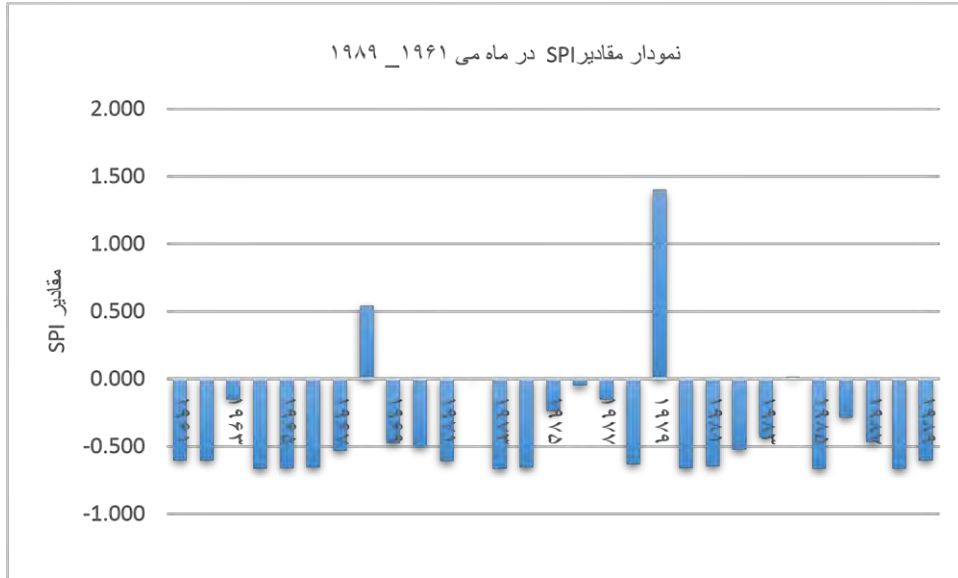
با توجه به نمودار ۳ در ماه مارس نشان می دهد که با توجه به شاخص SPI این ماه طی دوره آماری در بیشتر سالها خشکسالی اتفاق افتاده است.



نمودار (۴) شاخص SPI ماه آوریل در اصفهان طی دوره آماری (۱۹۶۱-۱۹۸۹)

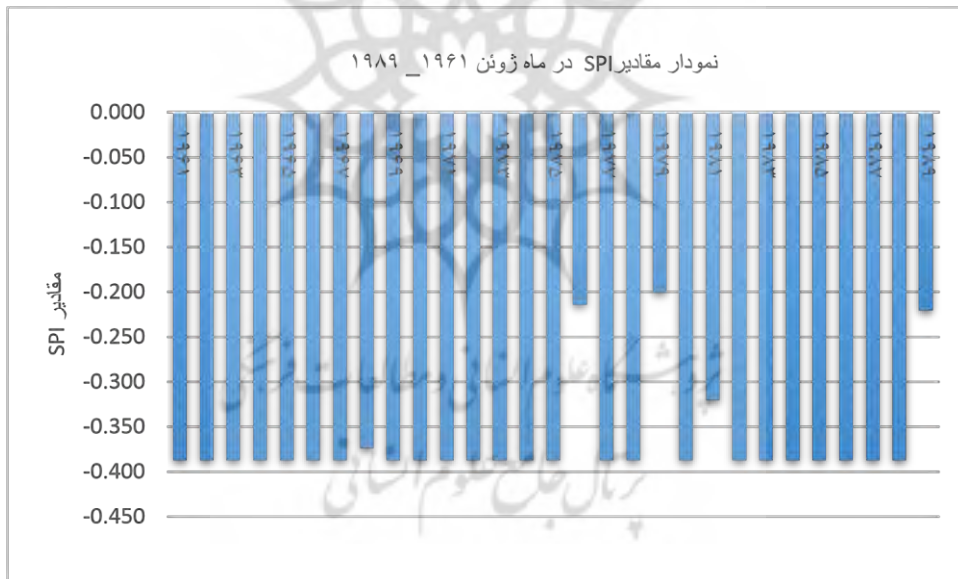
با توجه به نمودار ۴ در ماه آوریل شاخص SPI نشان می دهد که سال های ۱۹۶۱، ۱۹۶۲ و ۱۹۸۶ دارای وضعیتی نزدیک به نرمال می باشند و بیشتر سال ها در طی این دوره ی آماری خشکسالی متوسط و شدید اتفاق افتاده است.





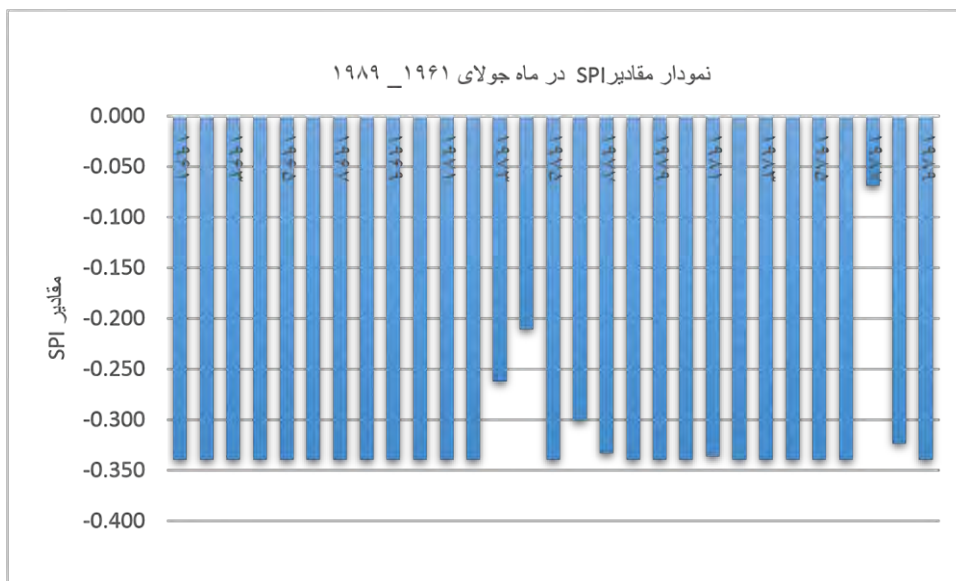
نمودار (۵) شاخص SPI ماه می در اصفهان طی دوره آماری (۱۹۶۱-۱۹۸۹)

با توجه به نمودار ۵ شاخص SPI در ماه می نشان می دهد تنها در سال ۱۹۷۹، ترسالی متوسط رخ داده است و در بیشتر سال ها طی این دوره ی آماری در این ماه خشکسالی مشاهده می شود.



نمودار (۶) شاخص SPI ماه ژوئن در اصفهان طی دوره آماری (۱۹۶۱-۱۹۸۹)

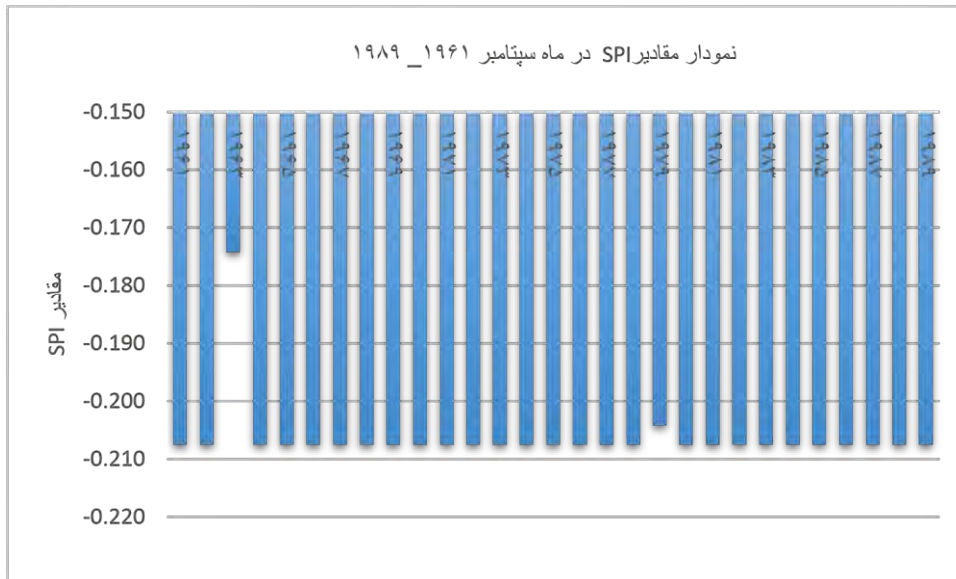




نمودار (۷) شاخص SPI ماه جولای در اصفهان طی دوره آماری (۱۹۶۱-۱۹۸۹)

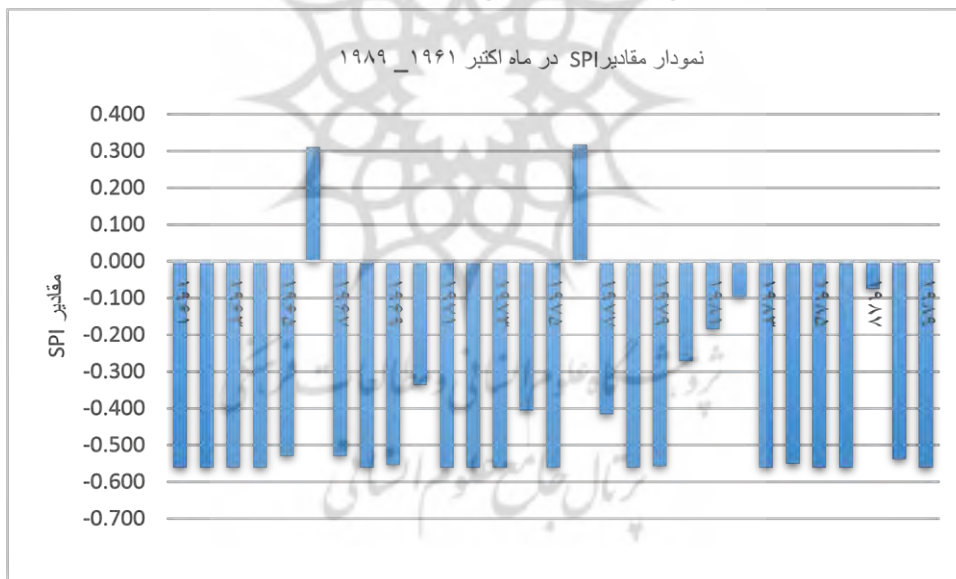


نمودار (۸) شاخص SPI ماه آگوست در اصفهان طی دوره آماری (۱۹۶۱-۱۹۸۹)



نمودار (۹) شاخص SPI ماه سپتامبر در اصفهان طی دوره آماری (۱۹۶۱-۱۹۸۹)

با توجه به نمودارهای ۶، ۷، ۸ و ۹ در ماه های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر در طی این دوره ی آماری خشکسالی مشاهده می شود و در هیچ سالی ترسالی رخ نداده است.



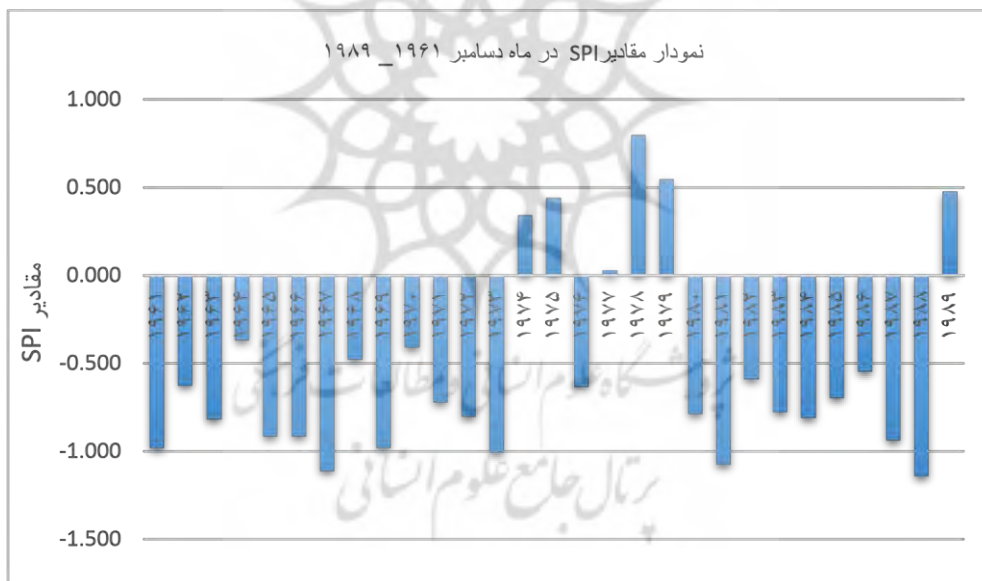
نمودار (۹) شاخص SPI ماه اکتبر در اصفهان طی دوره آماری (۱۹۶۱-۱۹۸۹)

با توجه به نمودار ۱۰ شاخص SPI در ماه اکتبر نشان می دهد در سال های ۱۹۶۶ و ۱۹۷۶، وضعیت استان نزدیک به نرمال می باشد و در بیشتر سال ها طی این دوره ی آماری در این ماه خشکسالی اتفاق افتاده است.



نمودار (۱۱) شاخص SPI ماه نوامبر در اصفهان طی دوره آماری (۱۹۶۱-۱۹۸۹)

با توجه به نمودار ۱۱ در ماه نوامبر شاخص SPI نشان می دهد فقط در سال ۱۹۷۷ وضعیت نزدیک به نرمال رخ داده است و بیشتر سال ها در طی این دوره آماری خشکسالی مشاهده می شود.



نمودار (۱۲) شاخص SPI ماه دسامبر در اصفهان طی دوره آماری (۱۹۶۱-۱۹۸۹)

با توجه به نمودار ۱۲ در ماه دسامبر شاخص SPI نشان می دهد در سال های ۱۹۷۴، ۱۹۷۵، ۱۹۷۸، ۱۹۷۹ و ۱۹۸۹ وضعیت نزدیک به نرمال اتفاق افتاده است و بیشتر سال ها در طی این دوره آماری خشکسالی مشاهده می شود.

## نتیجه گیری

به طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش را می توان به شرح زیر بیان نمود. در بررسی شدت خشکسالی های استان اصفهان مشخص شد که خشکسالی های ملایم یعنی وضعیت نرمال رو به خشکسالی سهم بیشتری را نسبت به سایر خشکسالی ها به خود اختصاص می دهند. شدیدترین خشکسالی ها در دوره ی مورد مطالعه (۱۹۸۹-۱۹۶۱) در ماه های مارس، آوریل، می، اکتبر، نوامبر، دسامبر می باشد که لازم به ذکر می باشد که در برخی از سال ها در این ماه ها ترسالی متوسط و وضعیت نزدیک به نرمال مشاهده می شود. در برخی از ماه ها در هیچ یک از سال های مورد مطالعه وضعیت نزدیک به نرمال رو به خشکسالی مشاهده می شود که این ماه ها عبارتند از جان، جولای، آگوست و سپتامبر. ماه ژانویه از نوسانات زیادی برخوردار می باشد. سال های ۱۹۶۹، ۱۹۷۲، ۱۹۷۴، ترسالی اتفاق افتاده است و به عنوان مرطوبترین سال ها در نظر گرفته می شود. بیشتر سالها در این ماه دارای وضعیتی نزدیک به نرمال می باشند و ماه فوریه نیز از نوسانات زیادی برخوردار می باشد. سال های ۱۹۷۴ و ۱۹۸۰ ترسالی بسیار شدید اتفاق افتاده است و بیشتر سال ها وضعیت نزدیک به نرمال داشته اند. به طور کلی در میان تمام حالت های انتقال شرطی *SPI* احتمال انتقال از حالت نرمال به خشکسالی بیشتر از سایر حالت ها است. بر اساس شاخص مورد بررسی *SPI* استان اصفهان رویدادهای خشکسالی بیشتری را در مقایسه با ترسالی تجربه کرده است و اقلیم آن تمایل بیشتری برای گذر از حالت نرمال به حالت خشک داشته است.

## منابع

۱. صادقی نیا، علیرضا، حجازی زاده، زهرا، حمیدیان پور، محسن، راهه، پورسربندان (۱۳۹۰)، برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از نمایه *SPI* مدل زنجیره مارکف مطالعه موردی: تهران، فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره ۴۳، پاییز ۱۳۹۲.
۲. ظهیری، عبدالرضا، شریفان، حسین، ابارشی، فرزانه، مهدی، رحیمیان (۱۳۹۳)، ارزیابی پدیده های ترسالی و خشکسالی در استان خراسان با استفاده از نمایه های (*PNPI, SPI, NITZCHE*)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۴، جلد ۸، زمستان ۱۳۹۳.
۳. فاطمی، مهران، امیدوار، کمال، نارنگی فرد، مهدی، خدا کرم، حاتمی بهمن بیگلو (۱۳۹۴)، شناخت الگوهای همدید موثر بر دوره های ترسالی و خشکسالی در ایران مرکزی، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال هشتم، شماره ۲۹، پاییز ۱۳۹۴.
۴. بنی واهب، علیرضا، بهلول، علیجانی (۱۳۸۲)، بررسی خشکسالی، ترسالی و تغییرات اقلیم منطقه بیرجند با استفاده از مدل های آماری، ۱۳۸۲.

۵. خسروی، یونس، غلامعلی، مظفری (۱۳۹۴)، آنالیز خطا در ارزیابی شاخص خشکسالی SPI با استفاده از زمین آمار مطالعه موردی: استان بوشهر، فصلنامه علمی-پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیای ایران، دوره جدید، سال چهاردهم، شماره ۴۸، بهار ۱۳۹۵.
  ۶. خوش اخلاق، فرامرز (۱۳۷۶)، بررسی الگوهای ماهانه خشکسالی و ترسالی در ایران، مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۵.
  ۷. خوش اخلاق، فرامرز (۱۳۷۷)، تحقیق در خشکسالی های فراگیر ایران با استفاده از تحلیل های سینوپتیک، رساله دکتری اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
  ۸. رضیئی، طیب، پیمان دانش کار آراسته، روحانگیز اختری و بهرام تقفیان (۱۳۸۶)، بررسی خشکسالی های هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکوف، مجله تحقیقات منابع آب ایران جلد ۳، شماره ۱، صص ۷۶-۸۶.
  ۹. عساکره، حسین (۱۳۸۰)، تجزیه و تحلیل آماری - اقلیمی، سری های زمانی دما در ایران، دانشگاه اصفهان، رساله دکتری.
  ۱۰. لشنی زند، مهران (۱۳۸۱)، بررسی اقلیم خشکسالی های ایران و راهکارهای مقابله با آن (مطالعه موردی: شش حوضه واقع در غرب و شمال غرب ایران)، پایان نامه دکتری، دانشگاه اصفهان.
  ۱۱. لشنی زند، مهران (۱۳۸۳)، بررسی شدت و فراوانی خشکسالی های اقلیمی در شش حوضه واقع در غرب و شمال غرب کشور، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی).
12. Henz, G., Turner, S., Badini, W., and Kenny J., 2004. *Historical perspective on Colorado , drought chapter, 1: 3-21*
13. Steven, M., Quiring, T., and Papakryiakou, N. *indices for the Canadian prairies. Journal of hydrological Science, 45(5): 751-769.*
14. Aleboali, A., Ghazavi, R., and Sadatinezhad S.J., 2016. *Study the effects of drought on groundwater resources using SPI index (A case study: Kashan Plain). Desert ecosystem journal, 5(10): 13-22.*
15. Mendicino, G., Alfonso, S., and Pasquale, A. *A groundwater Resources Index (GRI).2008 ,for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate, Journal of Hydrology -302282 (3):357.*
16. Tsakiris, G., Nalbantis, I., and Cavadias, G . *Regionalization of low flows based on .2011 canonical correlation analysis. Advances in water resources, 34: 865-872o*