

## ارزیابی قابلیت شاخص استاندارد بارش در برآورد شدت خشکسالی‌ها در نواحی خشک

حمیده افشارمنش<sup>۲</sup>

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه خوارزمی

سمیه ذهاب ناظوری

دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

مهدی مدبری

عضو هیات علمی دانشکده نقشه برداری

محمد عباسی

کارشناس ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۴/۰۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۲/۱۸

### چکیده

شاخص استاندارد بارش، یکی از شاخص‌های خشکسالی است که به علت سهولت در محاسبات، مورد استفاده محققین زیادی قرار می‌گیرد. در این تحقیق و بر اساس مطالعات صورت گرفته در بیش از ۲۰ ایستگاه سینوپتیک مشخص شد که این شاخص در ارزیابی خشکسالی‌های شدید مخصوصاً در مناطق خشک دارای خطا می‌باشد. در این تحقیق به منظور نشان دادن میزان خطای شاخص استاندارد بارش (SPI) در تحلیل شدت خشکسالی در نواحی خشک، از دو ایستگاه نمونه زاهدان و اهواز (برای نشان دادن دقیق تر خطای شاخص) به عنوان ایستگاه‌های خشک و مرطوب استفاده شده است. مقادیر بارش ماهانه از ژانویه تا آوریل طی دوره آماری ۴۱ ساله (۲۰۰۵-۱۹۶۵) با شاخص استاندارد بارش محاسبه و با مقادیر انحراف از نرمال و بارش واقعی مقایسه شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که شاخص استاندارد بارش در ماه‌ها یا سال‌هایی که مقادیر بارش دارای ناهنجاری‌های شدید نسبت به مقادیر میانگین باشند دارای خطا است زیرا در سال‌های دارای بارش کم مقادیر SPI، در ایستگاه سینوپتیک زاهدان (با بارش خیلی کم) شدت خشکی را پایین تر از حد واقعی نشان می‌دهد. در نتیجه، SPI در خشک‌ترین سال‌ها در ایستگاه زاهدان در عوض نشان دادن خشکی‌های شدید، تنها بر خشکی‌های با میزان متوسط دلالت دارد. اما نتایج SPI در ایستگاه اهواز (ایستگاه مرطوب) ناهنجاری‌های کمتری را در جهات مثبت و منفی در مقایسه با ایستگاه زاهدان نشان می‌دهد. در واقع شاخص استاندارد بارش در ایستگاه‌های خشک نسبت به ایستگاه‌های مرطوب از خطای بیشتری برخوردار است و این خطا به دلیل مقادیر بارشی صفر در ایستگاه‌های خشک و خیلی خشک است زیرا مقادیر صفر در داده‌های واقعی منجر به توزیع غیر نرمال می‌گردد، با استفاده از آزمون نرمال سازی داده‌ها از روش آماری shapivo-wilk مشخص شد، عدم نرمال سازی داده‌ها می‌تواند باعث ایجاد خطا در مقادیر SPI

<sup>۱</sup> - STANDARD Precipitation INDEX

گردد. عدم نرمال سازی مقادیر SPI در دامنه مقادیر خیلی بالا و خیلی پایین SPI، می‌تواند عامل برآوردهای پایین تر از حد در خشکسالی‌ها و ترسالی‌های شدید باشد.

**کلید واژه‌ها:** شاخص استاندارد بارش (SPI)، مقادیر انحراف از نرمال، خشکسالی‌های هواشناسی، آزمون نرمال سازی

## مقدمه

تخمین نادرست از خطر خشکسالی یا نادیده گرفتن پیامدهای وابسته به خشکسالی در یک پروژه برنامه ریزی شده استراتژیک، ممکن است نه تنها نتایج مثبتی برای اکوسیستم‌های طبیعی باقیمانده از خشکسالی نداشته باشد، بلکه بر وضعیت اجتماعی و اقتصادی نیز تأثیر منفی گذارد.

شاخص‌های خشکسالی اغلب از حجم زیادی از داده‌های هواشناسی استنتاج می‌شوند که برای برنامه ریزی جهت مدیریت بحران خشکسالی به کار برده می‌شود. شاخص‌های کمی خشکسالی تنها می‌توانند به تولید آمار از داده‌های ورودی پردازند و قادر به شناخت دقیق پیچیدگی‌های رخداد‌های خشکسالی نیستند، اما می‌توانند در مدیریت بحران خشکسالی کارآمد واقع شوند.

شاخص استاندارد بارش با استفاده از داده‌های بارش واقعی در یک دوره دراز مدت بارش با استفاده از تابع توزیع احتمال گاما و تبدیل آن به توزیع نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار یک، به ارزیابی و مقایسه خشکسالی‌ها در ابعاد زمان و مکان می‌پردازد. بنابراین در SPI، مقادیر مثبت بر مقادیر بزرگ تر از میانگین بارندگی و مقادیر منفی بر مقادیر کمتر از میانگین بارندگی دلالت دارند. (مک کی، ۱۹۹۳).

نمایه SPI به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج، به عنوان مناسب ترین نمایه برای تحلیل خشکسالی به ویژه تحلیل مکانی شناخته می‌شود (هیز و همکاران، ۱۹۹۹).

تورگز<sup>۳</sup> (۱۹۹۶)، شاخص‌های مکانی و زمانی تغییرات بارش سالانه را در ترکیه مطالعه کرده است. وی روند طولانی مدت نوسانات و تغییرات سالهای خشک و مرطوب را تحلیل نموده است و مشخص کرد که در شرق ترکیه شدت و تداوم خشکسالی‌ها بیشتر از سایر نواحی می‌باشد.

هیز<sup>۴</sup> و همکارانش (۱۹۹۹)، در خصوص خشکسالی ۱۹۹۶ که تأثیر شدیدی بر جنوب ایالات متحده گذاشت از شاخص SPI استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که شاخص SPI می‌تواند خشکسالی‌های کمتر از یک ماهه را خیلی پیشرفته تر از DDSI ارزیابی کند.

پائولو<sup>۵</sup> و همکارانش (۲۰۰۱)، با استفاده از شاخص استاندارد بارش و ترکیب آن با تئوری توالی به ارزیابی ناحیه تحت تأثیر خشکسالی و دوره تداوم و شدت خشکسالی پرداختند آنها روند تغییرات شدت خشکسالی‌ها در جنوب

<sup>3</sup>Turgez.

<sup>4</sup>Hayes

<sup>5</sup>Paulo AA

پرتغال را با استفاده از مل سری‌های زمانی و زنجیره مارکف انجام دادند و مشخص کردند که آب و هوای این منطقه همواره در یکی از حالت‌های مرطوب و خشک قرار دارد.

ابدو علی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، در بررسی خشکی‌های منطقه ساحل افریقا با استفاده از SPI مشخص شد که در سال ۲۰۰۶ کل ناحیه مورد مطالعه یک فصل بسیار خشک را تجربه کرده است اما با بررسی نقشه‌های فضایی با قدرت تفکیک  $0.5 \times 0.5$  مشخص شد که در حقیقت تنها ۲۸٪ ناحیه مورد مطالعه خشکی قابل ملاحظه‌ای را تجربه کرده است و این در حال است که ۱۵٪ ناحیه مورد مطالعه از رطوبت چشمگیری برخوردار بوده است.

بداق جمالی و همکاران (۱۳۸۱)، در بررسی وضعیت خشکسالی در استان خراسان، نشان داد که در انواع خشکسالی‌هایی که در در منطقه مورد مطالعه رخ داده اند، تناقض وجود دارد. به این صورت که در بعضی سال‌ها که توأم با خشکسالی کشاورزی بوده است، از لحاظ هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه، ترسالی نشان می‌دهد. همچنین به پهنه بندی خشکسالی با استفاده از GIS پرداخت و نشان داد که بین روش کریجینگ، روش وزن دهی معکوس و درن یابی، روش درون یابی بهترین روش جهت پایش دوره‌های خشک می‌باشد.

عبادی و همکاران (۱۳۸۱)، در پایش خشکسالی به این نتیجه رسیدند که در حوضه دریاچه ارومیه، خشکسالی‌ها ابتدا به صورت سری‌های کوتاه مدت شروع می‌شوند و سپس در صورت تداوم، شرایط خشک به صورت طولانی مدت نمود پیدا می‌کند. همچنین در بررسی خشکسالی‌های هواشناسی مشخص شد که دوره‌های کوتاه مدت به تغییرات بارشی سریع پاسخ می‌دهند و در ادامه مشخص شد که ممکن است یک منطقه همگن، به طور همزمان در یک یا چند مقیاس زمانی دارای شرایط ترسالی و خشکسالی باشد.

رضایی و همکاران (۱۳۸۶)، با استفاده از مدل زنجیره مارکف رتبه اول و شاخص SPI در مقیاس سه ماهه و شش ماهه، به بررسی خشکسالی‌ها در استان سیستان و بلوچستان پرداختند و در ادامه مشخص شد که بخش مرکزی استان، بیش از ۳۰ درصد موارد در تله خشکسالی‌ها باقی می‌ماند و نسبت به سایر بخش‌های استان، در وضعیت آسیب پذیرتری قرار دارد.

معلمی و صبوح (۱۳۸۰)، شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۵، ۸ ماهه را با استفاده از داده‌های ماهانه بارش ۵ ایستگاه طی دوره آماری ۲۵ ساله (از سال ۱۹۸۳ تا ۲۰۰۷) بررسی کردند. نتایج حاکی از این است که در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ میلادی در تمام ایستگاه‌ها شرایط یکسان خشکسالی حاکم بوده است. در مقیاس ۳ ماهه خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید (با مقدار SPI بین  $-9/1$  در ایستگاه ابعلی تا  $-24/3$  در ایستگاه اصفهان) در سال ۲۰۰۰ به وقوع پیوسته است.

رضایی، بنفشه و همکاران (۱۳۹۰)، دوره‌های خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها را بر اساس نمایه‌های مبتنی بر بارش در ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه پریشان بدست آوردند.

<sup>6</sup>Abdou Alia

هدف این تحقیق بررسی قابلیت شاخص استاندارد بارش در برآورد شدت خشکسالی‌ها در نواحی خشک و تعیین میزان دقت یا خطای آن می‌باشد، تا با مقایسه مقادیر واقعی بارش و مقادیر SPI و مقادیر انحراف از نرمال و بررسی مقادیر SPI در سال‌های خشک و نرمال میزان خطای این شاخص به دست آید.

#### مواد و روش‌ها

در این تحقیق جهت بررسی قابلیت شاخص استاندارد بارش و بر اساس مطالعه این شاخص در بالغ بر ۲۰ ایستگاه سینوپتیک مشخص شد که نتایج تحقیق در سال‌های خیلی خشک یا ایستگاه‌های خشک نتایج نادرستی را نشان می‌دهد. بنابراین جهت مطالعه دقیق‌تر این روند و جلوگیری از حجم زیاد مطالب/ از دو ایستگاه سینوپتیک زاهدان (به عنوان نماینده بارشی کم) و اهواز (به عنوان نماینده بارشی زیاد) استفاده شد و برای اینکه نتایج از لحاظ منطقی قابل قبول باشد، باید ایستگاه مرطوب دارای میزان بارش سالانه یا ماهانه دو برابر نسبت به ایستگاه خشک برخوردار باشد و در عرض جغرافیایی نسبتاً یکسان قرار داشته باشند.

ایستگاه سینوپتیک زاهدان با طول جغرافیایی ۲۹ درجه ۲۸ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۶۰ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و ایستگاه سینوپتیک اهواز با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی قرار دارند.

در ایستگاه زاهدان، متوسط طولانی مدت بارش ۹۰/۶ میلیمتر در صورتی که در ایستگاه سینوپتیک اهواز متوسط طولانی مدت بارش ۲۱۳/۴ میلیمتر می‌باشد. زاهدان را می‌توان به خاطر بارش‌های کم و نوسان‌های بین سالانه زیاد به عنوان یک ناحیه مستعد خشکسالی (خشکسالی شدید) شناخت، اما اهواز به خاطر ثبات و پایداری بارش‌ها و الگوی بارشی زیاد، به عنوان ناحیه مستعد خشکسالی شناخته نمی‌شود.

بارش واقعی ماهانه، از ژانویه تا آوریل برای دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۶۵-۲۰۰۵) به عنوان ورودی به کار برده شد. بنابراین مقادیر بارشی به طور ماهانه در بازه زمانی ژانویه تا آوریل مورد استفاده قرار گرفت. زیرا فصل بارشی زمستان، تأثیر عمده‌ای بر خشک سالی‌های هواشناسی در ایران دارد و بیشترین میزان بارشی دریافتی در این فصل رخ می‌دهد.

جدول (۱) مقادیر میانگین مدت بارش در (۱۹۶۵-۲۰۰۵) را نشان می‌دهد، همانطور که می‌بینیم مقادیر بارش در ایستگاه مرطوب (اهواز) تقریباً دو برابر است.

جدول (۱): الگوی بارشی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ماه	میانگین متوسط طولانی مدت بارش (میلیمتر)	
	زاهدان	اهواز
ژانویه	۱۸	۵۶.۳۹
فوریه	۱۸.۱	۳۱.۴۸
مارس	۱۳.۲	۳۳.۴۶
آوریل	۸.۲	۱۵.۳

در این تحقیق بر پایه روش آماری سعی می‌شود تا قابلیت شاخص استاندارد بارش مورد ارزیابی قرار گیرد. بنابراین با استفاده از مقادیر انحراف از نرمال مقادیر بارش و آزمون نرمال سازی shapivo-wilk سعی می‌شود تا

در سالهای خشک و نرمال و سالهای مرطوب قابلیت این شاخص بررسی شود تا فرض اولیه یعنی خطای شاخص استاندارد بارش در برآورد شدت خشکسالی در سالهای خیلی خشک مورد آزمون قرار گیرد.

محاسبه SPI، شامل برازش تابع توزیع گاما به توزیع فراوانی مقادیر بارندگی یک ایستگاه می‌باشد. سپس پارامترهای مربوط به این تابع برای هر مقیاس زمانی دلخواه برآورد می‌گردد. در نهایت تابع توزیع تجمعی مربوطه محاسبه و به یک توزیع تجمعی نرمال جهت محاسبه SPI، تبدیل می‌گردد (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳).

جدول (۲): طبقه بندی خشک سالی بر اساس شاخص SPI (مک کی و همکاران ۱۹۹۳)

SPI	
۰ تا -۰/۹۹	خشک سالی ضعیف
-۱ تا -۱/۴۹	خشک سالی متوسط
-۱ تا -۱/۹۹	خشک سالی شدید
-۲ و کمتر	خشک سالی خیلی شدید

شاخص استاندارد بارش در مقایسه با شاخص درصدی از نرمال، می‌تواند در دوره‌های کوتاه مدت ۱ ماهه و دوره‌های بلند مدت ۴،۳،۲ ماهه به پیش بهتر خشک سالی‌ها و ترسالی‌ها پردازد.

برای بدست آوردن تغییرات بارش از میانگین براساس شاخص استاندارد بارش مراحل :

(۱) استخراج داده‌های بارندگی ماهانه؛

(۲) تشکیل سری‌های زمانی دلخواه در مقیاس (۳، ۲۴، ۱۲، ۶) ماهه؛

(۳) برازش توزیع تجمعی گاما به نرمال و

(۴) استخراج متغیر تصادفی مربوط به هر مقدار بارندگی در سطوح هم احتمال از منحنی احتمالات تجمعی نرمال، انجام شد.

تشخیص یک رخداد خشکسالی براساس شاخص استاندارد بارش؛ زمانی که SPI بطور مداوم منفی باشد و شدت آن به ارقام -۱ یا کمتر برسد اتفاق می‌افتد این رخداد زمانی که SPI به مقادیر مثبت برگردد تمام می‌شود..

$$100 \times \text{میانگین متوسط بارش} / (\text{میانگین متوسط بارش} - \text{بارش واقعی}) = \text{مقدار انحراف از نرمال}$$

اگر بارش واقعی دو برابر بارش متوسط سالیانه باشد مقدار انحراف از نرمال برابر با ۱۰۰٪ می‌شود اما اگر بارش واقعی سه برابر متوسط بارش باشد، این مقدار برابر با ۲۰۰٪ می‌شود و الی آخر... به همین ترتیب در موارد منفی اگر بارش واقعی کمتر از متوسط سالیانه بارش باشد مقادیر مقدار انحراف از نرمال به سمت درصدهای منفی پیش می‌رود.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی

نتایج این تحقیق در چهار زیر گروه ارائه می‌شوند که به طور خلاصه عبارتند از :

۱- بررسی مقایسه ای مقادیر SPI و مقادیر انحراف از نرمال و مقادیر واقعی بارش

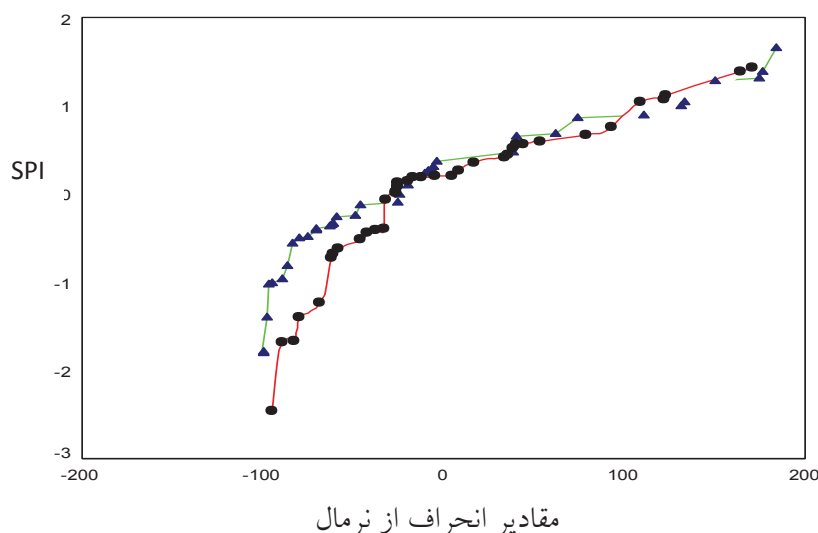
۲- بررسی مقادیر SPI در سالهای خشک و نرمال

۳- بررسی مقادیر SPI کوتاه مدت و بلند مدت

۴- نتایج آزمون نرمال سازی

در ادامه نتایج به دست آمده مورد بحث قرار خواهند گرفت تا با آزمون فرض یعنی تأیید یا رد فرضیه خطای شاخص استاندارد بارش در برآورد شدت خشکسالی در سال‌های خیلی خشک پردازیم.

۱- بررسی مقایسه ای مقادیر SPI و مقادیر انحراف از نرمال و مقادیر واقعی بارش جهت ارزیابی میزان خطای مقادیر SPI از مقادیر بارش واقعی و مقادیر انحراف از نرمال در شرایط آب وهوایی خشک و مرطوب / نمودار پراکنندگی بارش بین SPI و مقادیر انحراف از نرمال را در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس برای هر دو ایستگاه ترسیم نمودیم.



نمودار (۱): مقایسه مقادیر SPI و مقادیر انحراف از نرمال برای ماه ژانویه در ایستگاه‌های مورد مطالعه؛ ایستگاه اهواز (ستاره) و ایستگاه زاهدان (مثلث)

با توجه به این نمودار مشخص گردید که در نواحی با بارش کم، مقادیر انحراف از نرمال منفی خیلی بالا، یعنی بین ۶۰٪ تا ۸۰٪ در مقایسه با داده‌های SPI مقادیر بین ۰.۵ تا ۲-، را در بیشترین موارد نشان می‌دهد، در حالی که شدت خشکی برای ضریب تغییرات منفی ۶۰٪ تا ۸۰٪، باید مطابق SPI، ۲- تا ۳- را نشان دهد و به همین ترتیب ضریب تغییرات منفی بارش ۴۰٪ تا ۶۰٪، با مقادیر SPI ۰.۲۵- تا ۰.۵-، مطابقت می‌کند که علیرغم نشان دادن خشکسالی متوسط با استفاده از ضریب تغییرات SPI، خشکسالی‌های متوسط را نشان می‌دهد. این در حالی است که مقادیر SPI، باید بین ۰.۵- تا ۱- باشد. در مناطق خشک تنها داده‌های ضریب تغییرات منفی بارش ۱۰٪ تا ۴۰٪ با داده‌های SPI، ۰.۵- و کمتر مطابقت دارند، که هر دو خشکسالی‌های خفیف را نشان می‌دهند.

پس می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر SPI، در ایستگاه‌های با بارش کم، خشکسالی‌های خفیف را بهتر از خشک سالی‌های متوسط و شدید نشان می‌دهد. اما در نواحی با بارش زیاد مقادیر SPI، با تطابق بیشتر با داده‌های مقادیر انحراف از نرمال، نمایش بهتری از شدت خشکی‌ها را در مقایسه با نواحی با بارش کم نشان می‌دهند. بنابراین بین داده‌های مقادیر انحراف از نرمال و SPI در ناحیه بارشی مرطوب ارتباط بهتری وجود دارد. اما بین شدت خشک سالی‌ها و مقادیر SPI و مقادیر انحراف از نرمال در نواحی با بارش کم انطباق کمی وجود دارد. نتیجه اینکه، در نواحی با بارش کم مقادیر SPI، نمی‌تواند بر شدت وضعیت خشک سالی‌ها دلالت روشنی داشته باشد.

مقایسه ماههای دیگر نیز همین روند را نشان می‌داد با این تفاوت که در ماههای دیگر ترسالی‌ها شدید نیز در ایستگاه خشک دارای همین میزان خطا می‌باشند اما ایستگاه اهواز روند مطلوب تر و ارتباط بهتری را نشان می‌داد در نتیجه در ارزیابی خشک سالی‌ها و ترسالی‌ها در نواحی خشک باید با احتیاط بیشتری از شاخص استاندارد بارش استفاده کرد.

جدول (۳): خطای مقادیر SPI از مقادیر بارش واقعی و مقادیر انحراف از نرمال در ناحیه خشک

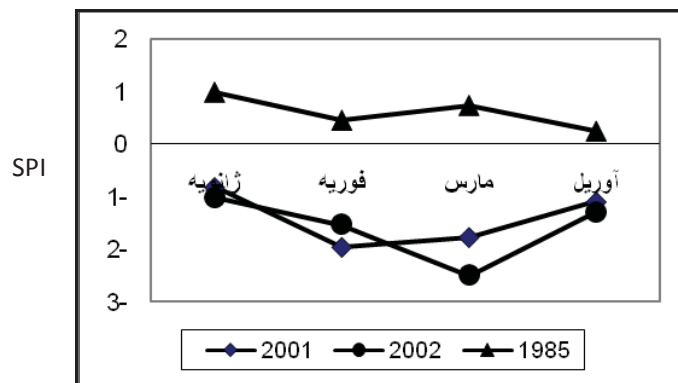
ماه	سال	بارش واقعی	مقادیر انحراف از نرمال	مقادیر شاخص استاندارد بارش
ژانویه	1967	0	-100.00	-1.8
	1987	0	-100.00	-1.78
	1989	0.4	-97.78	-1.4
	2002	0.6	-96.67	-1.02
	1975	49.5	175.00	1.31
	1991	49.7	176.11	1.39
	1996	51.1	183.89	1.66
	1974	67	272.22	2.46
فوریه	1985	0	-100.00	0.46
	2000	0.1	-99.45	-0.62
	1992	0.5	-97.24	-0.99
	1973	0.8	-95.58	0.18
	1967	47	159.67	0.27
	1969	50.9	181.22	1.41
	2005	55	203.87	1.72
	1968	72.8	302.21	1.44
مارس	2004	0	-100.00	-1.29
	1973	0.1	-95.45	0.74
	1993	0.6	-100.00	-0.02
	1990	0.9	-93.18	-0.65
	1985	29	119.70	1.23
	1996	27.3	106.82	0.82
	1982	43	225.76	-0.43
	1991	71.8	443.94	2.57

در بررسی جدول، مقادیر شاخص استاندارد بارش دارای خطا در مقایسه با مقادیر بارش واقعی و مقادیر انحراف از نرمال می‌باشند.

در ماه ژانویه ۱۹۶۷ با بارش واقعی صفر میلیمتر میزان مقادیر انحراف از نرمال برابر با پایین ترین مقدار یعنی ۱۰۰-٪ است و مقدار SPI آن ۱/۸- است، در حالیکه در ماه فوریه ۱۹۸۵ میزان بارش واقعی صفر میلی متر دارای مقادیر انحراف از نرمال، ۱۰۰-٪ و SPI، ۰/۴۶ می‌باشد و این مقادیر می‌توانند گواه روشنی در برآورد اشتباه مقادیر خشکسالی شدید در نواحی خشک بر اساس شاخص استاندارد بارش باشد.

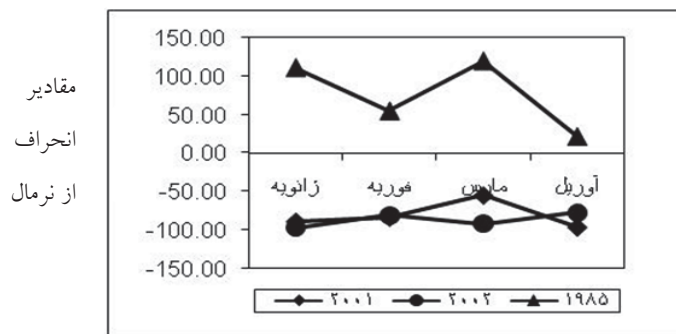
## ۲- بررسی مقادیر SPI در سالهای خشک و نرمال

در ایستگاه زاهدان سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ بدترین سال‌ها از لحاظ خشک سالی بودند و سال ۱۹۸۵ به عنوان یک سال نرمال شناخته شد.



نمودار(۲): مقایسه ای SPI سالهای خشک (۲۰۰۱ و ۲۰۰۲) و سال نرمال ۱۹۸۵

جهت درک هماهنگی بین داده‌های SPI و مقادیر مقادیر انحراف از نرمال مقایسه ای برای بررسی شدت خشک سالی‌ها در ناحیه خشک مورد مطالعه صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر SPI در خشک سالی ۲۰۰۲ دامنه اش بین ۱- تا ۲.۵- در بیشتر ماه‌ها می‌باشد. اما در خشک سالی ۲۰۰۱، SPI در کمترین مقدار خود یعنی ۰.۸۲- در ماه ژانویه و ۱.۹۷- در ماه فوریه و ۱.۷۸- در ماه مارس و ۱.۱- در ماه مارس بود که نشان می‌دهد شدت خشک سالی‌ها در سال ۲۰۰۱ کمتر از سال ۲۰۰۲ بوده است. به غیر از ماه فوریه در سال ۲۰۰۱ و ماه مارس ۲۰۰۲ که خشک سالی‌های نسبتاً شدیدی را نشان می‌دهند بقیه ماه‌ها به نسبت، کاهش چشمگیر بارش واقعی دلالت بر خشکی‌های متوسط دارند. حتی در سال نرمال که وضعیت بارش‌ها مناسب بود مقادیر SPI برابر یا کمتر از ۱ بودند که برآورد کمتری از بهبود شرایط آب هوایی در یک سال مرطوب را نشان می‌دهد.



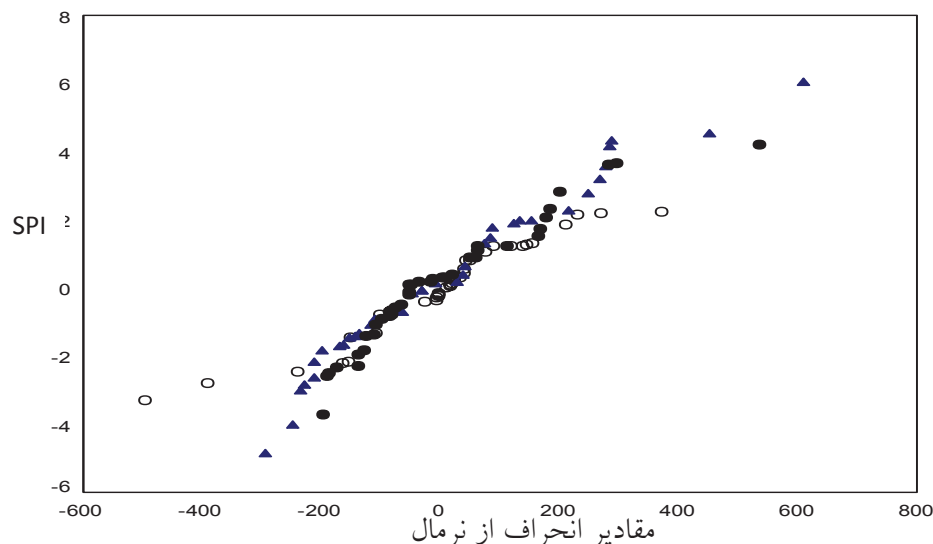
نمودار(۳): مقایسه ای مقادیر انحراف از نرمال سالهای خشک (۲۰۰۱ و ۲۰۰۲) و سال نرمال ۱۹۸۵

نمودارهای مقایسه ای مقادیر SPI و مقادیر انحراف از نرمال در خشک سالی‌های شدید ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ و سال نرمال ۱۹۸۵ روندیکسانی را نشان می‌دادند. علیرغم اینکه مقادیر مقادیر انحراف از نرمال به نسبت SPI در سالهای خشک از شدت ملایم تری برخوردارند و در سال مرطوب شاهد نوسان شدید بین ماه‌های مرطوب و ماه‌های خشک تر می‌باشیم. اما نتیجه کلی که از ارزیابی ماه‌ها در سال‌های بسیار خشک دوره آماری مورد مطالعه در ایستگاه خشک صورت گرفت، همانند مباحث قبلی شاخص استاندارد بارش SPI که توسط مک کی که برای برآورد شدت خشک سالی‌ها مطرح شد در ارزیابی خشک سالی‌های بسیار شدید دارای ابهاماتی می‌باشد و مشاهده شد که به رغم بدترین خشک سالی‌ها در ناحیه مورد مطالعه، در ارزیابی خشک سالی‌های شدید SPI به برآورد پایین تر از حد شدت خشک سالی‌ها پرداخته و آنها را به صورت خفیف تا متوسط نشان داده است.



### ۳- بررسی مقادیر SPI کوتاه مدت و بلند مدت

جهت ارزیابی خشک سالی‌های هواشناسی، یعنی مقادیر کوتاه مدت ۱ ماهه SPI نسبت مقادیر SPI در دوره‌های طولانی مدت (۲ و ۳ و ۴ ماهه) مشخص شد که شاخص استاندارد بارش در دوره‌های کوتاه مدت دارای خطا می‌باشد و دوره‌های خشکی چند ماهه را بهتر برآورد می‌کند.



نمودار(۴): طولانی مدت مقادیر SPI، مقادیر انحراف از نرمال در ایستگاه ناحیه خشک فوریه+مارس (ستاره)، فوریه+مارس+آوریل (مثلث)، ژانویه-آوریل (دایره)

مقایسه مقادیر SPI طولانی مدت در مقایسه با SPI کوتاه مدت نشان می‌دهد که مقادیر SPI کوتاه مدت یک ماهه منجر به گمراهی در ارزیابی خشک سالی‌های هواشناسی می‌شود و از آنجا که داده‌های بارشی در نواحی خشک بخاطر مقادیر صفر در بسیاری از موارد از توزیع غیر نرمال تبعیت می‌کند. بنابراین استفاده از شاخص استاندارد بارش در ارزیابی خشک سالی‌های هواشناسی یا یک ماهه همچنین ارزیابی خشک سالی‌های ماهانه باید با احتیاط بیشتری صورت گیرد.

جدول (۴): مقادیر طولانی مدت SPI در سالهای با خشک سالی شدید و سال نرمال ایستگاه ناحیه خشک (زاهدان)

سال	ژانویه+ فوریه	فوریه+ مارس	مارس+ آوریل	ژانویه+ فوریه+ مارس	فوریه+ مارس+ آوریل	ژانویه - آوریل
(نرمال) 1985	1.45	1.2	1	2.19	1.45	0.74
2001	-2.79	-3.75	1	-4.57	-4.85	0.28
2002	-2.54	-4.03	-3.79	-5.04	1.45	0.28

در ارزیابی خشک سالی‌های فصلی و خشک سالی‌های هیدرولوژی شاخص استاندارد بارش از اطمینان بهتری برخوردار است و ارتباط معنی داری بین شدت خشک سالی‌های هیدرولوژی و میزان دبی رودخانه‌ها وجود دارد (افشارمنش و برزگر، ۱۳۸۷).

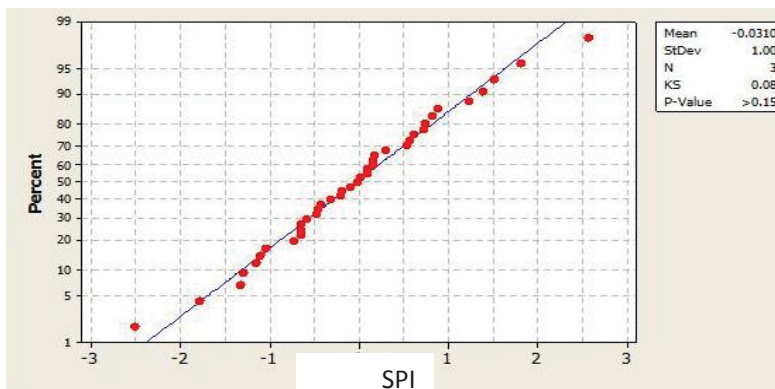
### ۴- آزمون نرمال سازی

وقوع رخداد بارشی صفر باعث توزیع غیرنرمال می‌شود که در نتیجه مقادیر SPI در نواحی بارشی کم و نامطمئن دچار خطا می‌شوند.

جدول (۵): مقادیر W-value، P-Value و مطلق میانه در ایستگاههای زاهدان و اهواز

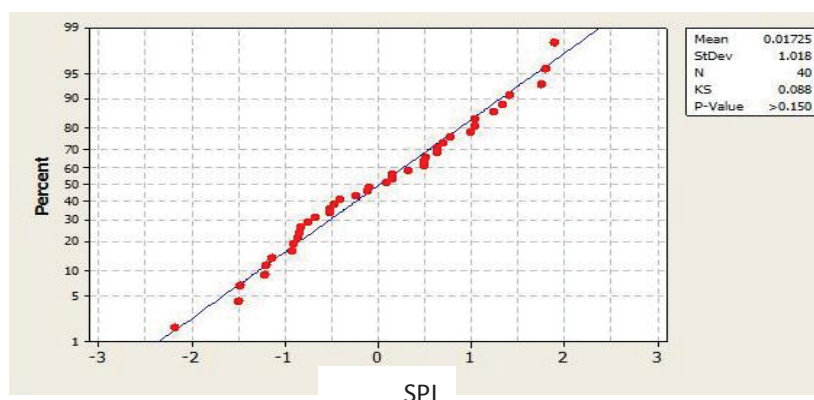
ایستگاه مورد مطالعه	پارامترهای اندازه گیری شده	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل
زاهدان	w - value	0.988	0.979	0.991	0.984
	p-value	0.943	0.667	0.988	0.853
	میانه	-0.01	-0.02	-0.02	0.01
اهواز	w- value	0.956	0.947	0.976	0.970
	p-value	0.135	0.561	0.067	0.38
	میانه	0.15	0.22	-0.1	0.19

با استفاده از آزمون نرمال سازی shapivo-wilk مقادیر p و مقادیر مطلق میانه برای تأیید و تصدیق نرمال سازی مقادیر SPI در جدول (۵) نشان داده شده است. در ایستگاه زاهدان توزیع غیر نرمال است زیرا هرگاه w-value کمتر از ۰.۹۶ باشد و p-value کمتر از ۰.۱۰ و مطلق میانه بیشتر از ۰.۰۵ باشد جامعه آماری غیرنرمال است. و ایستگاه زاهدان هرچند مقدار w-value کمتر از ۰.۹۶ نمی‌باشد اما در دو پارامتر دیگر یعنی مقادیر p-value و میانه مطلق شرط فوق دیده می‌شود و می‌توان نتیجه گرفت ایستگاه زاهدان دارای توزیع غیر نرمال و ایستگاه اهواز دارای توزیع نرمال است.



نمودار (۵): میزان احتمال توزیع نرمال مقادیر SPI در ناحیه بارشی کم (ناحیه خشک)

در نمودار تست نرمال هرچه تعداد حلقه‌ها به خط نزدیکتر و متمرکز تر باشد نشان‌دهنده نرمال بودن مقادیر ورودی می‌باشد و در نمودارهای مربوط به ماههای مورد مطالعه مقادیر SPI در ایستگاههای نماینده بارشی کم (زاهدان) و نماینده بارشی زیاد (اهواز) مشخص شد که در ایستگاه زاهدان مقادیر بین ۱ تا -۱ که بیانگر خشک سالی‌ها و ترسالی‌های خفیف تا متوسط می‌باشند مقادیر SPI از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. اما در خشک سالی‌های شدید و ترسالی‌های شدید یعنی مقادیر بالاتر از ۱ و -۱ مشخص شد که مقادیر SPI از توزیع نرمال پیروی نمی‌کند و این خود می‌تواند گواهی بر خطای شاخص استاندارد بارش در برآورد شدت خشک سالی‌های شدید در مناطق خشک باشد.



نمودار(۶): میزان احتمال توزیع نرمال مقادیر SPI در ناحیه بارشی زیاد (ناحیه مرطوب)

### نتیجه گیری

در این تحقیق سعی شد تا مشخص شود که آیا شاخص SPI به عنوان یک شاخص پایش خشک سالی از کارایی لازم جهت برآورد شدت خشک سالی‌ها در نواحی خشک برخوردار می‌باشد؛ بنابراین مقادیر SPI و بارش واقعی و مقادیر انحراف از نرمال به صورت مقایسه ای در نواحی با بارش کم و و ناحیه با بارش زیاد مورد تحلیل قرار گرفت. در نتیجه بررسی نمودارهای پراکنندگی مقادیر SPI و مقادیر انحراف از نرمال مشخص شد که شاخص استاندارد بارش در محاسبه شدت خشک سالی‌ها نسبت به میزان بارش کم، حساس می‌باشد و در برآورد مقادیر خشک سالی شدید دچار خطا می‌شود و مقادیر بارش‌های خیلی کم / خیلی زیاد با مقادیر SPI خیلی کم (مساوی یا کمتر از ۲-) و یا مقادیر SPI خیلی زیاد (مساوی یا بیشتر از ۲+) تطابق ندارد. بنابراین برآورد شاخص SPI از شرایط خشکی شدید و ترسالی شدید ناشی از بارش‌های خیلی کم و خیلی زیاد به برآوردهای پایین تر از حد نرمال منجر می‌شود. فراوانی موارد غیر بارانی باعث ایجاد توزیع غیر نرمال می‌شود و همین امر ارزیابی شدت خشک سالی‌های کوتاه مدت را با استفاده از شاخص استاندارد بارش با شکست مواجهه می‌کند. این تحقیق نشان می‌دهد که مقادیر انحراف از نرمال خشک سالی‌های شدید را در موارد زیادی به صورت شدید نشان می‌دهد این در حالی است که SPI همان خشک سالی‌های شدید را تنها به صورت متوسط یا خفیف نشان می‌دهد.

آزمون نرمال سازی مقادیر SPI مشخص کرد که عدم نرمال سازی مقادیر SPI در دامنه مقادیر خیلی بالا و خیلی پایین SPI، می‌تواند عامل برآوردهای پایین تر از حد در خشک سالی‌ها و ترسالی‌های شدید باشد.

پیشنهاد می‌شود در خصوص تاثیر توزیع گاما بر برآوردهای SPI از بارش‌های خیلی کم و خیلی زیاد، تحقیق بیشتری به عمل آید، تا معلوم شود آیا انواع دیگر توزیع‌ها مانند پیرسون و تیپ ۳ پیرسون می‌توانند این نقص شاخص استاندارد بارش را بر طرف می‌کنند یا خیر. به نظر می‌رسد همگن سازی داده‌های بارش واقعی به عنوان ورودی خام، قبل از محاسبه با شاخص SPI، کمک شایانی به رفع خطای برآوردی مقادیر SPI با استفاده از توزیع گاما نماید.

## منابع

- افشارمنش، حمیده و برزگر، صادق (۱۳۸۷)، بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی اهواز با استفاده از شاخص استاندارد بارش (SPI)، سومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، دانشکده فنی دانشگاه تهران، پوستر.
- بداق جمالی، جواد و جوان مرد، سهیلا و شیر محمدی، رضا (۱۳۸۱)، پایش و پهنه بندی خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه استاندارد شده بارش، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، زمستان ۱۳۸۱؛ ۱۷(۴) (پیاپی ۶۷): ۴-۲۱
- خسروی، محمود و اکسیری، محمد (۱۳۸۸)، بررسی ویژگی خشکسالی‌های استان خراسان جنوبی جغرافیا و توسعه، تابستان ۱۳۸۸، شماره ۷، پیاپی ۴: ۵۱-۶۸
- رضایی بنفشه، مجید، بلیانی، یداله و زینالی، بتول (۱۳۹۰)، برآورد خشکسالی‌ها و ترسالی‌های (۱۳۸۵-۱۳۶۱) براساس نمایه‌های مبتنی بر بارش برای ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه پریشان تالاب بهار؛ ۲(۷): ۱۹-۲۹.
- رضیعی، طیب و دانش کار آراسته، پیمان و اختری، روح انگیز، ثقفیان، بهرام (۱۳۸۶)، بررسی خشکسالی‌های هواشناسی (اقليمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه (SPI) و مدل زنجیره مارکف، تحقیقات منابع آب ایران، بهار ۸۶، شماره ۱ (صص ۳۵-۲۵).
- عبادی، نادر (۱۳۸۱)، خشکسالی و بررسی عوامل آب و هوایی آن در حوضه دریاچه ارومیه جهت تحلیل زمانی و مکانی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- محسنی ساروی، محسن و صفدری، علی اکبر و ثقفیان، بهرام (۱۳۸۳)، تحلیل شدت مدت فراوانی و گستره خشکسالی‌های حوزه کارون به کمک شاخص بارش استاندارد، مجله منابع طبیعی ایران، دوره: ۵۷، شماره: ۴، زمستان ۱۳۸۳، ص. ۶۰۷ تا ۶۱۹.
- معلمی، مونا؛ خداقلی، مرضیه؛ صبح، راضیه و یغمایی، لیلا (۱۳۹۰)، ارزیابی شاخص بارش استاندارد در برآورد و مقایسه خشکسالی‌های ایستگاه‌های منتخب اقلیم رویشی ایران و توران؛ هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران.
- Thierry Lebelb. 2008, The Sahelian standardized rainfall index revisited, International Journal of Climatology, DOI: 10.1002/joc.1832
- Hayes, M.J., M.D. Svoboda, D.A. Wilhite and Vanyarkho. O.V. (1999), "Monitoring the 1996 drought using the Standardized precipitation Index", Bulletin of the American Meteorological Society, 80(3): pp. 429- 437.
- Mayez, J. (1996): "Spatial and Temporal Fluctuations of Monty Rainfall in the British Isles and Variations in the Mid-Latitude Westerly Circulation". INT. J. Climatol. 16.585-596.
- McKee, T.B., N.J. Doesken, and Kleist. J. (1993), "The relationship of drought frequency and duration totime scales", Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, USA, pp. 179-184.
- McKee, T.B., N.J. Doesken, and Kleist. J. (1995), "Drought monitoring with multiple time scales", Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology, Dallas, TX, USA, pp. 233-236.
- Paulo AA, Ferreira E, Coelho C, Pereira LS. 2005. Drought class transition analysis through Markov and Log linear models, an approach to early warning. Agricultural Water Management 77:59-81.