

## ارزیابی شاخص خشکسالی جدید (SPDI (Standardized Palmer Drought Index) در استان چهارمحال و بختیاری

فروش صنیع ثالث\*، سعید سلطانی و رضا مدرس<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۲۱)

### چکیده

برای شناسایی خشکسالی و کمی‌سازی آن، از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود. در این مقاله شاخص خشکسالی پالم استاندارد شده (SPDI) معرفی و سپس به بررسی وضعیت خشکسالی استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از این شاخص پرداخته شد. به این منظور یازده ایستگاه سینوپتیک، تبخیرسنجی و اقلیم‌شناسی انتخاب شدند. اطلاعات مورد نیاز این تحقیق شامل؛ دما و بارش در مقیاس ماهانه و اطلاعات رطوبتی خاک هستند. برای محاسبه شاخص SPDI، عامل انحراف رطوبتی در مقیاس ماهانه محاسبه شد. سپس به ساخت مقادیر تجمعی انحراف رطوبتی در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه پرداخته و بعد از آن بهترین توزیع آماری که به این سری‌ها برازش داده می‌شود (توزیع GEV) انتخاب شد. آنگاه، این مقادیر به منظور دستیابی به شاخص SPDI استاندارد شدند. نتایج نشان داد که از آنجایی که در محاسبه SPDI عامل رطوبت خاک نیز دخالت دارد نسبت به شاخص‌های دیگر برای تحلیل و پایش خشکسالی به‌ویژه خشکسالی کشاورزی معتبرتر خواهد بود. همچنین نتایج نشان داد در این استان سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ خشک‌ترین سال‌ها در بازه زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۲ میلادی هستند و فراوانی خشکسالی به‌طور کلی در نیمه غربی استان بیشتر مشاهده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شاخص پالم استاندارد شده، پایش خشکسالی، شاخص بارش استاندارد شده، رطوبت خاک، استان چهارمحال و بختیاری

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان  
\*مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: sanie\_farnoosh@yahoo.com

## مقدمه

پدیده خشکسالی از جمله حوادثی است که بخش‌های زیادی از کره زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. امروزه خشکسالی‌های زیادی با شدت‌ها و فراوانی‌های متعدد در حال وقوع هستند که بیشتر به علت افزایش تقاضا برای مصرف آب رخ می‌دهند. انسان با تمام پیشرفت‌های علمی و فنی خود هنوز نتوانسته زمان و محل وقوع خشکسالی‌های شدید را به‌طور دقیق پیش بینی کند. این حادثه با دیگر حوادث طبیعی از قبیل سیل، زلزله، طوفان و غیره بنا به عللی تفاوت دارد. نخست اینکه این پدیده به‌کندی شروع می‌شود و تأثیر آن به تدریج و در یک دوره زمانی به نسبت طولانی در بخش‌های مختلف مانند منابع آب، کشاورزی، اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و غیره ظاهر می‌شود. از سوی دیگر تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه این پدیده تا حدودی مشکل است که با توجه به این ویژگی، اغلب خشکسالی را پدیده‌ای خزنده توصیف می‌کنند (۱۲). در این میان استفاده از شاخص‌های خشکسالی و توسعه دادن آنها از موثرترین مطالعات انجام شده هستند. به‌طور خلاصه، شاخص خشکسالی که با اعداد ریاضی نشان داده می‌شود، وسیله‌ای است که با خلاصه کردن اطلاعات خشکسالی به‌صورت دوره ای، اطلاعات و شرایط رطوبتی در منطقه را نشان می‌دهد. شاخص‌های خشکسالی نمایانگر میزان بارندگی دوره مشخصی نسبت به گذشته هستند و هر شاخصی مورد استفاده خاص خود قرار می‌گیرد (۹). به‌عنوان مثال شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI: Palmer Drought Severity Index) و شاخص بارش استاندارد شده (SPI: Standardized Precipitation Index) دو شاخص برجسته در امر کمی‌سازی پدیده خشکسالی هستند. شاخص PDSI در سال ۱۹۶۵ توسط پالمر (۱۳) طراحی شد و نقطه برجسته‌ای در پیشرفت شاخص‌های خشکسالی بود که دامنه‌ای از فاکتورهای متعدد که روی خشکسالی تأثیر می‌گذارند را در نظر می‌گیرد، از جمله: بارش قبلی، ذخیره آب، رطوبت خاک، تغذیه، رواناب و تبخیر سطحی. بیش از نیم قرن پس از طراحی شاخص PDSI استفاده

گسترده‌ای از آن در سطح جهان می‌شد و به یک استاندارد برای اندازه‌گیری خشکسالی تبدیل شد (۵ و ۶). اما در سال ۱۹۸۴ آلی (۲) ساختار این شاخص را ارزیابی کرده و دریافت که برای مقایسات زمانی و مکانی گوناگون مناسب نیست چرا که به خاطر محدودیت‌هایی که در روش استانداردسازی مقادیر PDSI در موقعیت‌ها و ماه‌های مختلف اتخاذ می‌کند، در اندازه‌گیری ویژگی‌های خشکسالی و طبقه‌بندی آن به‌صورت اختیاری عمل می‌کند. ولز و همکاران (۱۶) شاخص خود، واسنجی کننده PDSI (SC-PDSI) را که برای مقایسات مکانی در اقلیم‌های متعدد مناسب بود را طراحی کردند، اما با وجود این مشکلات ناشی از طبقه‌بندی اختیاری شدت شاخص پالمر حل نشده باقی ماند و محاسبات همچنان وابسته به موقعیت و داده‌های منطقه مرجع بودند. از سوی دیگر مک کی و همکاران (۱۱) شاخص SPI را طراحی کردند که تنها عامل بارش را در محاسبات در نظر می‌گیرد. شاخص بارش استاندارد بر مبنای احتمال تجمعی بارندگی در یک ایستگاه است که پس از استخراج داده‌های بارندگی در مقیاس ماهانه طی یک دوره آماری دوره زمانی مجموع بارندگی در مقیاس‌های مورد نظر تشکیل می‌شود. این دوره زمانی بایستی با یک توزیع آماری مناسب برازش داده شود. تام دریافت توزیع گاما برای دوره‌های زمانی بارش‌های اقلیم‌شناسی بهترین برازش را دارد به‌همین دلیل مک کی و همکاران (۱۱) شاخص SPI را بر مبنای توزیع گاما قرار دادند. وایسنت سرانو (۱۵) شاخص بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI: Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) را طراحی کردند. در شاخص پیشنهادی آنها از تفاضل بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده می‌شود. پس از به‌دست آمدن مقدار فوق، سری به‌دست آمده به توزیع LLG (Log Logistic) برازش داده می‌شود. گرچه این شاخص با در نظر گرفتن عامل تبخیر و تعرق نسبت به شاخص SPI برتری دارد اما باز هم به‌درستی نمی‌تواند در برآورد خشکسالی صحیح عمل کند؛ چرا که شرایط پیشینه رطوبتی خاک را در نظر نمی‌گیرد. بنابراین در سال ۲۰۱۳ ما و

مساحت کشور را دربرمی‌گیرد. از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و نیز ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این استان از شمال و شرق با استان اصفهان، از شمال غرب با استان لرستان، از غرب با استان خوزستان و از جنوب با استان کهگیلویه و بویر احمد همسایه است. از نظر توزیع بارش در استان می‌توان گفت میزان بارش از غرب به شرق کاهش می‌یابد؛ به طوری که میانگین بارش در غرب و شمال غرب استان بین ۷۰۰ تا ۱۶۰۰ میلی‌متر و در نواحی مرکزی ۵۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر و در شرق استان به ۳۰۰ میلی‌متر می‌رسد (۳).

#### انتخاب ایستگاه‌ها

در تحلیل خشکسالی یک منطقه هر چه که دوره آماری ثبت شده برای ایستگاه‌ها بیشتر باشد، دقت نتایج بیشتر خواهد شد. نکته مهم دیگر در انتخاب ایستگاه‌ها، پراکندگی مناسب آنها در سطح استان است. با توجه به این موارد از بین ایستگاه‌های سینوپتیک، اقلیم‌شناسی و تبخیرسنجی در داخل استان چهارمحال و بختیاری، در مجموع ۱۱ ایستگاه که دارای بیشترین دوره آماری بودند، برای این پژوهش انتخاب شدند. ایستگاه‌های سینوپتیک شامل: بروجن، شهرکرد، کوهرنگ و لردگان، ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی شامل آورگان، امام قیس، پل زمانخان و دزک و ایستگاه‌های تبخیرسنجی منتخب نیز شامل: منج، دزک‌آباد و بهشت‌آباد هستند. جدول ۱ این اطلاعات را نشان می‌دهد. با بررسی‌های انجام شده در نهایت دوره آماری مشترک ۲۵ ساله از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۲ میلادی برای انجام محاسبات و تحلیل خشکسالی منطقه انتخاب شد. بازسازی نواقص آماری موجود در این ایستگاه‌ها با روش همبستگی انجام شد. همچنین آزمون همگنی داده‌ها به منظور اطمینان از کیفیت داده‌ها و همچنین کامل بودن سری داده‌ها با روش ران تست انجام شد که داده‌های تمامی ایستگاه‌ها در سطح اطمینان حداقل ۹۹ درصد قابل پذیرش بودند.

همکاران (۱۰) اقدام به طراحی شاخص جدید SPDI (Standardized Palmer Drought Index) کرده که در آن شاخص پالم را استاندارد کرده و فرایند محاسبه مشابه شاخص‌های SPI و SPEI است. در تحقیق حاضر تلاش شده است تا خشکسالی استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از شاخص SPDI تحلیل شود. گام اول در محاسبه شاخص جدید SPDI محاسبه مقدار انحراف رطوبتی (d) است. پس از آن می‌بایست مقادیر تجمعی این پارامتر را در مقیاس‌های زمانی مختلف ۱ تا ۴۸ ماهه (بسته به هدف مطالعه) محاسبه کرد.

گام بعدی انتخاب بهترین تابع توزیع تجمعی  $F(x)$  است که به مقادیر انحراف رطوبتی تجمعی برازش داده شود. پس از آن برای محاسبه شاخص SPDI، می‌بایست مقادیر استاندارد شده تابع  $F(x)$  را به دست آورد. بعد از این فرایند استانداردسازی، SPDI یک متغیر استاندارد شده خواهد بود که از توزیع نرمال تبعیت می‌کند که در آن میانگین صفر و انحراف از معیار یک هستند. واضح است که یک مقدار مشخص شاخص SPDI برای شرایط آبی مشابه در زمان‌ها و موقعیت‌های مختلف سازگار است و می‌تواند با دیگر مقادیر SPDI در زمان و مکان مقایسه شود. هدف از این مطالعه در ابتدا معرفی شاخص SPDI و سپس ارزیابی آن با استفاده از مقایسه با شاخص‌های مهم دیگر یعنی SPI و PDSI است و از آنجایی که استان چهارمحال و بختیاری مساحت کمی از کشور ایران را به خود اختصاص داده اما در حدود ۱۰ درصد از منابع آب کشور را در خود جای داده است این مطالعه در این استان صورت گرفته است (۴).

#### مواد و روش‌ها

##### معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان چهارمحال و بختیاری با وسعت ۱۶۴۲۱ کیلومتر مربع است که در جنوب غربی و در نوار کوهستانی غرب ایران قرار داشته و حدود یک درصد از

جدول ۱. موقعیت ایستگاه‌های استفاده شده در تحقیق

ارتفاع (متر)	متوسط بارش (میلی‌متر)	متوسط دما (درجه سانتی‌گراد)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نوع ایستگاه	نام ایستگاه
۲۴۱۰	۵۱۸/۵۶	۱۰/۵۷	۳۱ درجه و ۵۴ دقیقه	۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه	اقلیم‌شناسی	آورگان
۲۲۸۵	۶۰۸/۱۴	۱۱/۰۱	۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه	۵۱ درجه و ۱۸ دقیقه	اقلیم‌شناسی	امام قیس
۲۲۶۰	۲۵۴/۱۴	۱۲/۴۳	۳۱ درجه و ۵۹ دقیقه	۵۱ درجه و ۱۸ دقیقه	سینوپتیک	بروجن
۱۷۰۵	۶۱۱/۶۱	۱۴/۴۰	۳۲ درجه و ۱ دقیقه	۵۰ درجه و ۳۷ دقیقه	تبخیرسنجی	بهشت‌آباد
۱۸۸۳	۳۳۳/۷۲	۱۳/۲۸	۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه	۵۱ درجه و ۵۴ دقیقه	اقلیم‌شناسی	پل زمانخان
۲۰۵۴	۴۵۲/۵۶	۱۱/۲۲	۳۲ درجه و ۵ دقیقه	۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه	اقلیم‌شناسی	دزک
۲۲۶۱	۸۴۸/۹	۱۰/۵	۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه	۵۰ درجه و ۱۹ دقیقه	تبخیرسنجی	دزک‌آباد
۲۰۵۰	۳۲۹/۴۱	۱۱/۶	۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه	۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه	سینوپتیک	شهرکرد
۲۳۶۵	۱۳۷۱/۸۳	۹/۸۵	۳۲ درجه و ۲۷ دقیقه	۵۰ درجه و ۸ دقیقه	سینوپتیک	کوه‌رنگ
۱۶۱۱	۵۶۷/۱۷	۱۶/۲	۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه	۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه	سینوپتیک	لردگان
۱۴۵۲	۵۸۹/۹۴	۱۷/۶	۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه	۵۰ درجه و ۳۸ دقیقه	تبخیرسنجی	منج

#### شاخص PDSI

از آنجایی که این شاخص به دلیل استفاده گسترده در مطالعات خشکسالی معروف است از تشریح روش محاسبه آن صرف نظر کرده و تنها خلاصه‌ای از آن در زیر آورده خواهد شد. برای محاسبه شاخص PDSI ابتدا می‌بایست پارامترهای تبخیر و تعرق، اتلاف رطوبت، تغذیه رطوبت و رواناب در حالت واقعی و پتانسیل برآورد شوند. پس از آن با در نظر گرفتن ضرایب مربوطه بارندگی مناسب از نظر اقلیمی برای شرایط موجود (CAFEC : Climatically Appropriate For Existing Conditions Precipitation) محاسبه و با تفریق آن از بارش رخ داده در منطقه مقدار انحراف رطوبتی (d) محاسبه می‌شود. لازم به یادآوری است که مراحل گفته شده اساس محاسبه شاخص SPDI نیز هستند. در ادامه محاسبه شاخص PDSI با در نظر گرفتن ضرایبی مقادیر انحراف رطوبتی به دست آمده را برای هر منطقه و اسنجی کرده تا در نهایت بتوان شاخص PDSI را به دست آورد.

#### محاسبه انحراف رطوبتی d، با استفاده از بسته نرم‌افزاری

##### SC-PDSI :

ورودی‌های مورد نیاز این بسته نرم‌افزاری شامل موارد زیر است: آمار مربوط به بارش ایستگاه در مقیاس ماهانه، آمار مربوط به دمای ایستگاه در مقیاس ماهانه، میانگین ماهانه دما و پارامتر. این چهار مورد می‌بایست با فرمت (Notepad) مطابق نمونه زیر تهیه شوند (۱۷):

1989	-0.516	-1.125	3.785	9.526	13.300	17.000
1990	-3.000	0.000	4.000	9.000	15.000	19.000
1991	-1.000	0.000	5.000	10.000	13.000	18.000
	20.513	18.930	15.993	12.126	7.030	2.433
	20.000	21.000	18.000	12.000	8.000	3.000
	21.000	21.000	18.000	10.000	7.000	2.000

فایلی که با نام پارامتر ساخته می‌شود شامل دو عدد است؛ عدد اول می‌بایست مقدار آب قابل دسترس ( Available Water Capacity) را بیان کند و عدد دوم عرض جغرافیایی ایستگاه را نشان می‌دهد. این عدد باید به صورت اعشاری بیان شود ( نه به صورت درجه، دقیقه، ثانیه). مقدار آب قابل دسترس (AWC)

مقادیر تجمعی در مقیاس‌های زمانی مختلف تهیه شده و وارد مرحله استانداردسازی می‌شود.

### انتخاب بهترین توزیع آماری به مقادیر تجمعی انحراف رطوبتی d

برای محاسبه شاخص SPDI، باید یک توزیع آماری مناسب که بتواند به مقادیر تجمعی انحراف رطوبتی d در مقیاس‌های زمانی مختلف، به خوبی برازش داده شود، انتخاب شود.

به مقادیر تجمعی انحراف رطوبتی d، یکی از توزیع‌های سه پارامتری شامل توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته GEV (Generalized Extreme Value)، توزیع پیرسون نوع سه (Pearson type III)، توزیع لوگ لجستیک LLG و توزیع لوگ نرمال (Log-Normal) به‌عنوان بهترین توزیع با استفاده از آزمون‌ها، برازش می‌یابند (۱۰). که در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار Easy Fit توزیع‌های فوق برای برازش در مقادیر تجمعی d مورد بررسی قرار گرفتند و در نهایت به دلیل بالاتر بودن رتبه و امتیاز آماری توزیع GEV با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرونوف و آزمون آندرسون دارلینگ، این توزیع به‌عنوان بهترین توزیع برای برازش به مقادیر تجمعی انحراف رطوبتی d انتخاب شدند. توزیع GEV در بیشتر آزمون‌ها در رتبه یک قرار گرفت و سایر آزمون‌های فوق در رتبه‌های بعدی قرار می‌گرفتند.

توزیع مقدار تابع تجمعی توزیع GEV به‌صورت زیر است:

$$F(x) = \begin{cases} \exp(1 - (1 + kz)^{-1/k}) & k \neq 0 \\ \exp(-\exp(-z)) & k = 0 \end{cases} \quad (1)$$

در صورتی که:

$$z \equiv \frac{x - \mu}{\sigma}$$

پارامترهای این توزیع با استفاده از نرم‌افزار Easyfit برای تمامی سری‌های زمانی تجمعی ساخته شده انحراف رطوبتی d استخراج شد و با استفاده از نرم‌افزار Excel مقادیر انحراف رطوبتی در سطوح احتمال مختلف در این توزیع برآورد شد.

در محاسبه PDSI بسیار حائز اهمیت است، بنابراین باید دقت شود که اطلاعات صحیح در این مورد استفاده شود. به‌همین دلیل در این مطالعه از مجموعه داده‌های USDA's STATSGO استفاده شد زیرا این مقادیر بر اساس بافت خاک و ماده آلی توسط مجموعه فوق محاسبه شده است به‌همین دلیل از مجموعه داده‌های این سایت استفاده شد (۱۸).

پس از آماده‌سازی چهار فایل Notepad ورودی فوق، می‌توان برنامه را اجرا کرد. این نرم‌افزار قابلیت محاسبه تعدادی از شاخص‌های خشکسالی را دارد که یکی از آنها شاخص PDSI است. این برنامه به زبان FORTRAN نوشته شده است (۱۷). با تغییر دستورهای ورودی به آن می‌توان خروجی‌های دیگری نیز دریافت کرد که یکی از آنها می‌تواند مقادیر انحراف رطوبتی (d values) باشد. فایل خروجی Notepad مقادیر انحراف رطوبتی d، این مقادیر را به‌صورت ماهانه برای تمامی سال‌ها محاسبه می‌کند. در نهایت این فایل Notepad خروجی را در برنامه Excel ذخیره کرده تا برای انجام محاسبات بعدی مورد استفاده قرار گیرد. اقدامات فوق برای محاسبه مقادیر انحراف رطوبتی ۱۱ ایستگاه مورد نظر انجام گرفت.

### محاسبه مقادیر تجمعی انحراف رطوبتی d

پس از محاسبه مقادیر انحراف رطوبتی، می‌بایست مقادیر تجمعی آنها در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه شوند.

در ابتدا فایل Notepad خروجی بسته نرم‌افزاری SC-PDSI را به‌صورت Excel ذخیره کرده و پس از آن سری‌های زمانی منتهی به ۱۲ ماه هر سال، در نرم‌افزار Excel تهیه شد. این عمل برای تمامی ایستگاه‌ها صورت پذیرفت. برای ساخت سری زمانی سه ماهه منتهی به هر ماه، مقدار انحراف رطوبتی d هر ماه را با دو ماه قبل از خود جمع کرده و برای سایر مقیاس‌های زمانی نیز می‌بایست به‌همین شیوه عمل کرد. در این قسمت ادامه محاسبه شاخص مشابه شاخص SPI است که در آن

جدول ۲. شاخص SPDI در مقیاس ۱۲ ماهه منتهی به ماه دسامبر ایستگاه شهرکرد

سال	مقدار تجمعی انحراف رطوبتی	مقدار در توزیع GEV	SPDI
۱۹۸۸	-۱/۸۸	۰/۲۶	-۰/۶۲
۱۹۸۹	-۰/۱۴	۰/۴۲	-۰/۱۹
۱۹۹۰	-۳/۸۸	۰/۱۲	-۱/۱۳
⋮			
۲۰۱۱	-۰/۴۸	۰/۳۹	-۰/۲۷
۲۰۱۲	۲/۶۵	۰/۶۸	۰/۴۷

در جدول ۲ نمونه‌ای از محاسبه شاخص SPDI در مقیاس ۱۲ ماهه منتهی به دسامبر مربوط به ایستگاه شهرکرد، آورده شده است.

### نتایج محاسبه شاخص SPDI

با استفاده از روش‌های ذکر شده در این مقاله شاخص SPDI برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه برای یازده ایستگاه منتخب استان بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۲ میلادی محاسبه شد. برای ارزیابی، این شاخص با شاخص SC-PDSI مقایسه شد.

نتایج نشان داد که در بیشتر ایستگاه‌ها الگوی تغییرات زمانی هر دو شاخص تشابه زیادی دارد. به‌عنوان مثال شکل ۱ شاخص SPDI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه و شاخص SC-PDSI را برای ایستگاه شهرکرد و کوه‌رنگ نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود خشکسالی‌های شدید در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ رخ داده است و مرطوب‌ترین سال‌ها، ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ و ۲۰۰۶ هستند که شاخص SPDI نیز توانسته این وقایع را همانند شاخص SC-PDSI به‌خوبی نشان دهد و در واقع شاخص SPDI همبستگی بالایی با شاخص SC-PDSI دارد. نتایج بیانگر آن است که شاخص SPDI به‌دلیل اینکه شاخصی استاندارد است، حساسیت بیشتری به تغییرات شرایط رطوبتی نشان داده و به‌طور کلی دارای نوسان قابل توجهی است، به گونه‌ای که خشکسالی‌های متعدد را با شدت و مدت مختلفی نشان می‌دهد و از دقت بالاتری

تبدیل هم احتمال مقادیر تجمعی در توزیع GEV به نرمال استاندارد

برای استانداردسازی سری‌های مقادیر تجمعی انحراف رطوبتی در توزیع GEV بایستی آنها را به مقادیر هم احتمال در توزیع نرمال استاندارد تبدیل کرد که این کار با استفاده از روابط زیر طبق روش آبراموویتز و استوگان انجام شود (۱):

$$SPDI = W - \frac{a_0 + a_1 W + a_2 W^2}{1 + b_1 W + b_2 W^2 + b_3 W^3} \quad (2)$$

where  $W = \sqrt{-2 \ln(p)}$  for  $p \leq 0.5$ , and  $p = 1 - F(x)$

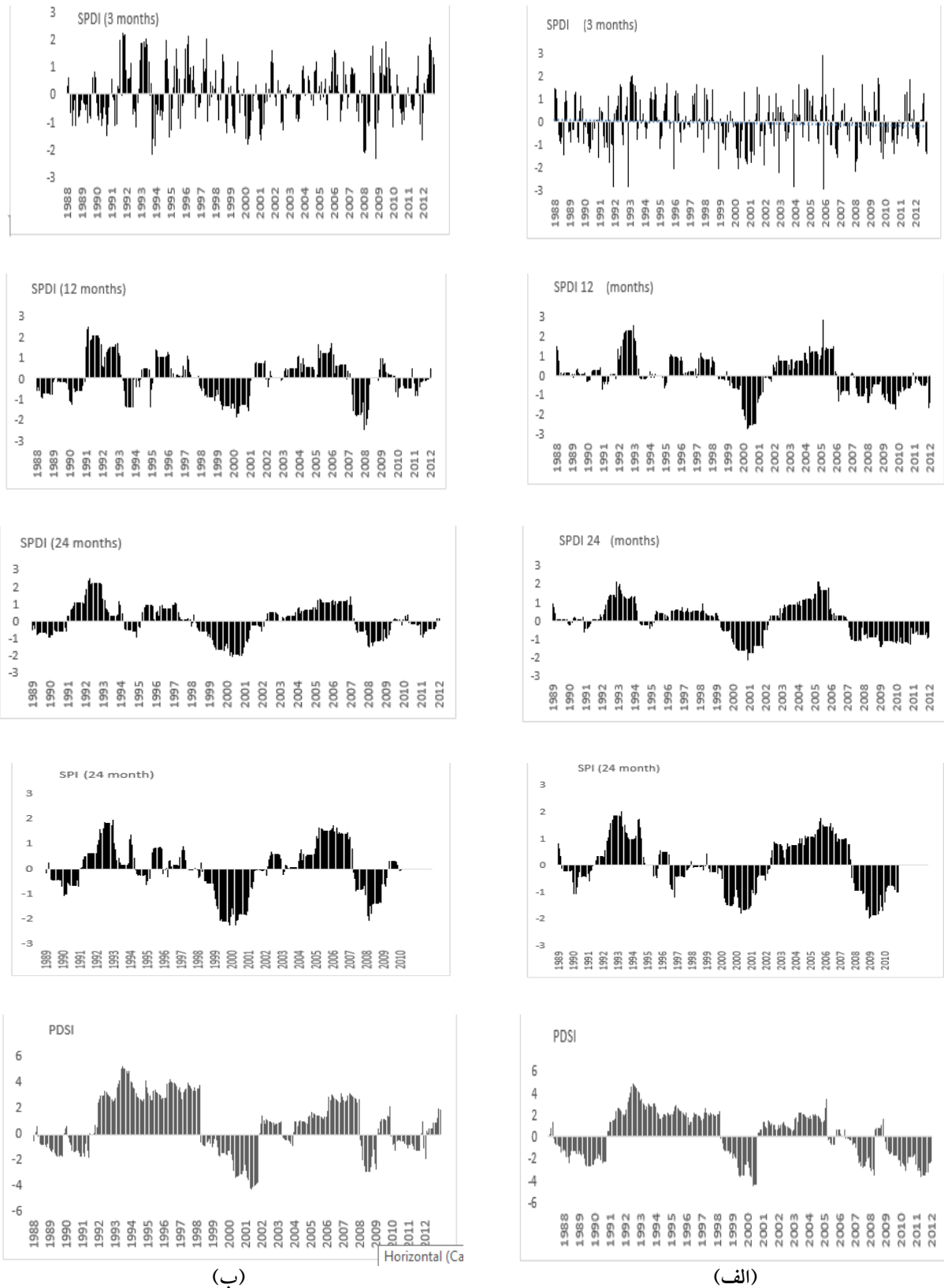
$$a_0 = 2.515517, a_1 = 0.802853, a_2 = 0.010328, \\ b_1 = 1.432788, b_2 = 0.189269 \text{ and } b_3 = 0.001308.$$

برای مقادیر بیش از ۰/۵ از مقدار  $1 - p$  استفاده می‌شود و مقدار به‌دست آمده با علامت مخالف در فرمول فوق جایگذاری می‌شود.

استانداردسازی مقادیر تجمعی توزیع GEV در نرم افزار Excel براساس روابط فوق با استفاده از دستور NORM.S.INV انجام گرفت که خروجی آن همان شاخص SPDI است.

### نتایج و بحث

پس از محاسبه مقادیر تجمعی انحراف رطوبتی، با استفاده از نرم افزار آماری Easy Fit و بر اساس آزمون‌های آماری کلموگروف اسمیرونوف و آندرسون دارلینگ توزیع GEV به‌عنوان بهترین توزیع انتخاب شد.



شکل ۱. شاخص SPDI در مقیاس ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه و شاخص SC-PDSI و SPI در ایستگاه: الف) کوهرنگ و ب) شهرکرد در بازه زمانی ۱۹۸۸-۲۰۱۲ میلادی

### نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی

گستره فراوانی نسبی خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری نقشه فراوانی نسبی خشکسالی‌ها در مقیاس ۱۲ ماهه بیشترین فراوانی را در غرب استان نشان می‌دهد. کمترین درصد خشکسالی در شمال شرق استان مشاهده می‌شود. به‌طور کلی در نیمه غربی استان فراوانی خشکسالی مشهودتر است (شکل ۲). بخش وسیعی از استان یعنی تمامی نیمه غربی، جنوب، جنوب شرقی، مرکز و قسمت کوچکی از شمال شرق استان تحت تأثیر خشکسالی بسیار شدید قرار گرفته‌اند. تنها بخش‌هایی از شرق استان کمترین فراوانی خشکسالی بسیار شدید را دارا هستند (شکل ۳).

بیشترین فراوانی خشکسالی متوسط نیز در بخش کوچکی از شمال غرب و نیز بخش‌هایی از شرق استان مشاهده می‌شود. شمال شرق، غرب و جنوب غرب استان نیز کمترین فراوانی نسبی خشکسالی متوسط را نشان می‌دهند (شکل ۴). خشکسالی شدید در بخش‌های شمال شرقی و قسمت‌هایی از شمال و شرق استان دارای بیشترین فراوانی است. جنوب، جنوب شرقی و جنوب غربی استان و همچنین بخشی از شمال غرب نیز کمترین فراوانی را دارند (شکل ۵).

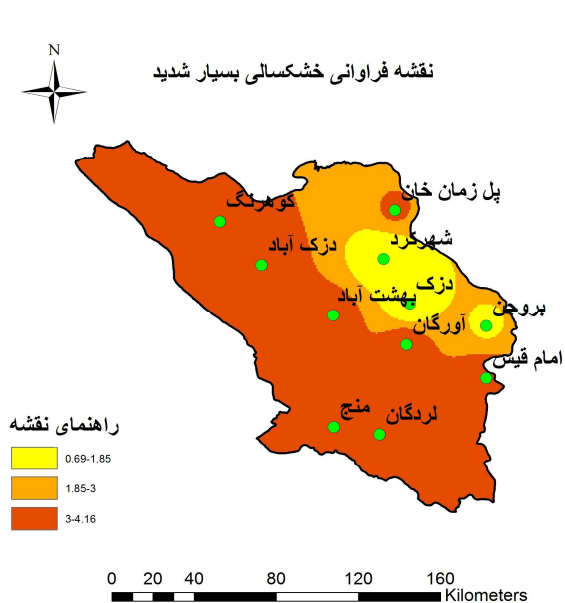
همچنین بیشترین فراوانی نسبی خشکسالی خفیف در مقیاس ۱۲ ماهه در مرکز، غرب و جنوب غرب استان مشاهده می‌شود. شمال شرقی و بخش کوچکی از جنوب شرقی و شمال غربی استان دارای کمترین میزان فراوانی خشکسالی هستند (شکل ۶).

### نتیجه‌گیری

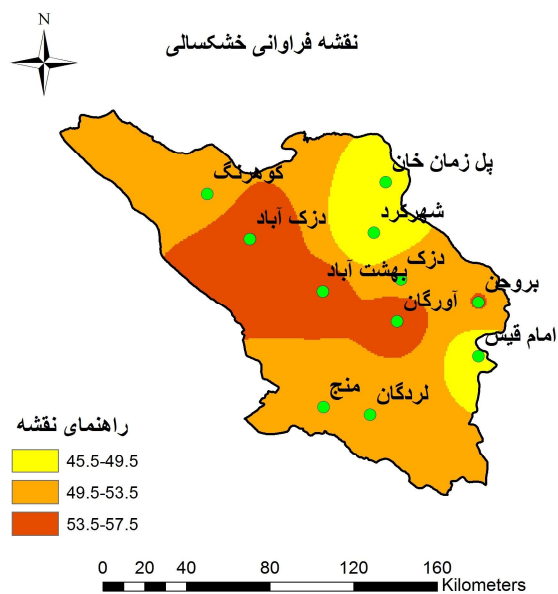
نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که از نظر فراوانی خشکسالی‌ها، بخش‌های غربی دارای قابلیت و حساسیت بالاتری نسبت به خشکسالی در مقیاس ۱۲ ماهه در مقایسه با دیگر نقاط استان هستند. نقشه‌های گستره خشکسالی‌های بسیار شدید و خفیف بیشترین فراوانی را در نیمه غربی استان دارند. نیمه شرقی استان بیشتر تحت تأثیر خشکسالی‌های شدید

برخوردار است. به‌همین دلیل این شاخص از کارایی بالایی برای انجام مقایسات و بررسی‌های گوناگون، برخوردار است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که شاخص SPDI در ارزیابی و نمایش خشکسالی بسیار قوی‌تر و انعطاف‌پذیرتر از شاخص SC-PDSI عمل می‌کند. از آنجایی که شاخص SPDI پیشینه رطوبتی خاک را در نظر می‌گیرد برای نشان دادن شرایط خشکسالی یک منطقه و به‌ویژه برای استفاده در مباحث کشاورزی و رطوبت خاک عملکرد مطلوبی خواهد داشت. همچنین به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر شاخص جدید SPDI، با شاخص SPI نیز مقایسه شد که نمودارهای زیر نتایج را به‌خوبی نشان می‌دهند. آنچه مشهود است این است که شاخص SPDI با در نظر گرفتن پیشینه رطوبتی خاک در نشان دادن شرایط ترسالی و خشکسالی در برخی موارد با شاخص SPI تفاوت دارد. چرا که شاخص SPI بدون در نظر گرفتن ذخیره رطوبت خاک خشکسالی را نشان می‌دهد و این باعث می‌شود که در بعضی موارد شدت‌های گزارش شده با این شاخص بسیار بالاتر از شاخص SPDI باشد. اما شاخص SPDI با داشتن دو ویژگی برجسته یعنی استاندارد بودن و در نظر گرفتن ذخیره رطوبتی خاک، این خشکسالی‌ها را متعادل‌تر نشان می‌دهد. همچنین به‌منظور ارزیابی بیشتر این شاخص، آن را با شاخص SPI مقایسه کرده که نتایج نشان می‌دهند هر دو شاخص SPDI و SPDI در نشان دادن دوره‌های ترسالی و خشکسالی در بازه زمانی مشخص شده از الگوی مشابهی پیروی می‌کنند اما از آنجایی که شاخص SPDI با در نظر گرفتن بارش ماه قبل و پیشینه ذخیره رطوبتی خاک تأثیر این عوامل را در بیان وضعیت ترسالی و خشکسالی منطقه وارد می‌سازد، بنابراین تفاوت‌هایی بین دو شاخص دیده می‌شود. چرا که در سال‌های پر بارشی که ذخیره رطوبتی به‌واسطه پشت سر گذاشتن یک دوره خشکسالی، کافی نیست می‌بایست وضعیت به‌سمت شرایط خشک‌تر برود و برعکس؛ که این مسئله را شاخص SPDI به خوبی نشان می‌دهد و در بیان این موضوع عملکرد مطلوب‌تری نسبت به شاخص SPI داشته است.

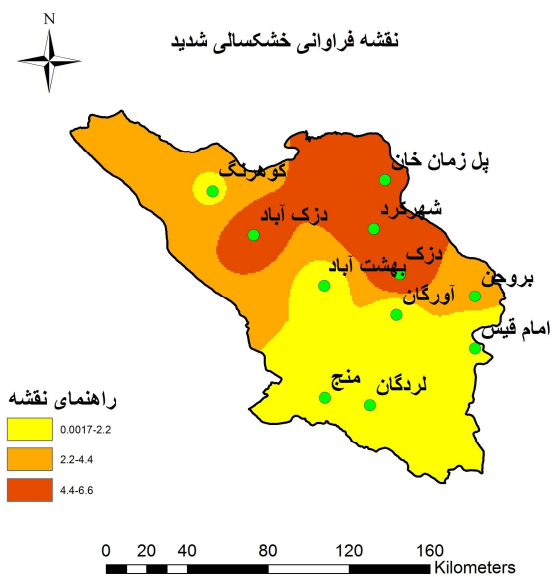




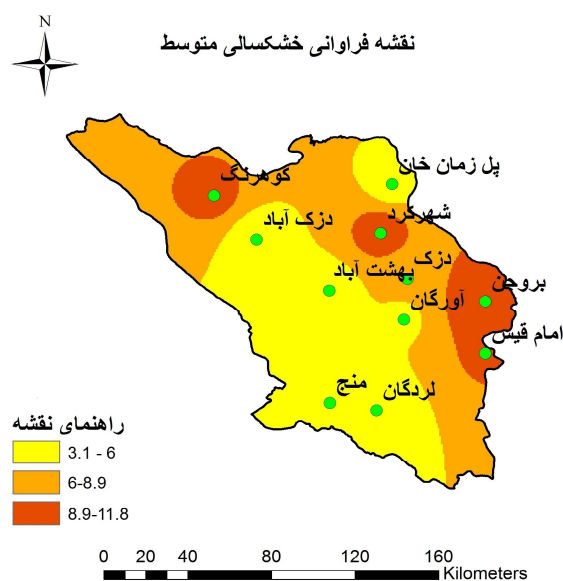
شکل ۳. نقشه فراوانی خشکسالی بسیار شدید در استان (رنگی در نسخه الکترونیکی)



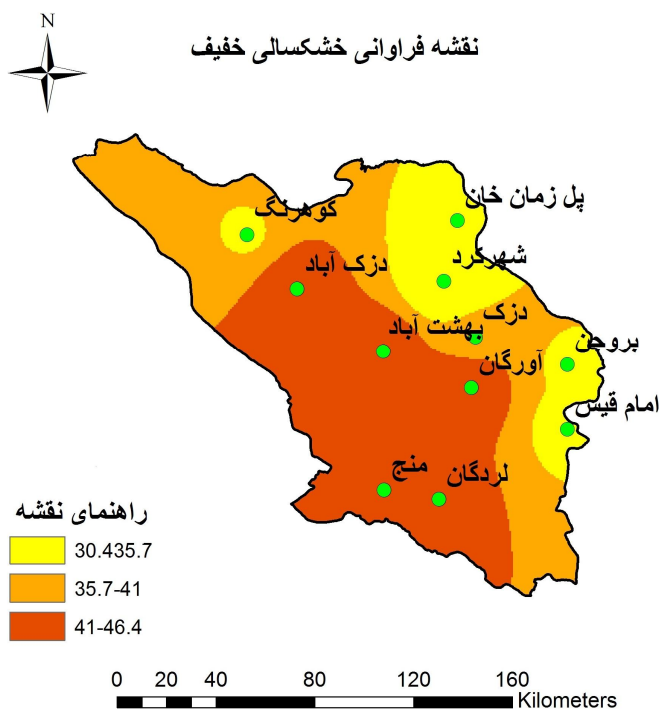
شکل ۲. نقشه فراوانی خشکسالی در استان (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۵. نقشه فراوانی خشکسالی شدید در استان (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۴. نقشه فراوانی خشکسالی متوسط در استان (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۶. نقشه فراوانی خشکسالی خفیف در استان (رنگی در نسخه الکترونیکی)

خشکسالی این استان با شاخص SPI پرداخته و نتایج نشان داد سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ از خشک‌ترین سال‌ها بوده‌اند (۶). همچنین مطالعه اسماعیلی و همکاران (۸) که به پهنه‌بندی خشکسالی استان با استفاده از همان شاخص پرداخته‌اند نشان داده که نیمه غربی استان نسبت به نیمه شرقی بیشتر در معرض خشکسالی قرار دارد. این نتایج با مطالعاتی که در قسمت‌های دیگر کشور ایران صورت گرفته‌اند، منطبق است. نظیر مطالعه آزادی و همکاران (۴) که به ارزیابی شاخص پالمر در حوزه‌های ایران مرکزی پرداختند و سال ۲۰۰۱ را به عنوان خشک‌ترین سال در یک بازه زمانی ۱۲ ساله معرفی کردند. در تحقیقی دیگر عبادی‌فر و همکاران (۷) به تحلیل ویژگی‌های خشکسالی شمال شرق ایران با استفاده از روش RDI پرداختند و نتایج تحقیقات آنها نشان داده شدیدترین خشکسالی در سال ۲۰۰۱ در یک بازه زمانی ۳۰ ساله رخ داده است.

و متوسط قرار گرفته است. با توجه به نقشه‌های به دست آمده و بررسی دقیق آنها می‌توان دریافت که شرایط استان از نظر وضعیت خشکسالی تقریباً یکنواخت است چرا که با توجه به حدود دسته‌ها، تفاوت اندکی میان حد بالا و حد پایین آنها مشاهده می‌شود. علاوه بر آن پراکندگی بارش در استان چهارمحال و بختیاری یکنواخت است؛ به غیر از ایستگاه کوه‌رنگ که بیشترین میزان بارندگی را در استان دارد، و نتایج نشان می‌دهد که این ایستگاه تحت تأثیر خشکسالی‌های بسیار شدید و متوسط قرار گرفته است. همچنین نتایج نشان داد در این استان سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ خشک‌ترین سال‌ها در بازه زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۲ میلادی هستند و فراوانی خشکسالی به طور کلی در نیمه غربی استان بیشتر مشاهده شد. این نتایج با مطالعات انجام شده بر خشکسالی ایران و به طور موردی، استان چهارمحال و بختیاری منطبق است؛ از جمله عطایی و افشاری (۳) که در سال ۱۳۹۵ به بررسی وضعیت

## منابع مورد استفاده

1. Abramowitz, M. and I. A. Stegun. 1965. Handbook of Mathematical Functions, with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. Dover Publications: New York, U.S.
2. Alley, W. M. 1984. The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23(7): 1100-1109.
3. Ataie, H. and M. Afshari. 2016. Analysis of monitoring and spatial distribution of drought in Chaharmahal and Bakhtiari province based on SPI drought index. The Second National Congress on the Development of Agricultural Sciences and Natural Resources. Golestan. Iran. (In Farsi).
4. Azadi, S. 2013. Evaluation of Palmer drought severity index in central Iran. Master thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, IR.Iran. (In Farsi).
5. Cook, E. R., D. M. Meko, D. W. Stahle and M. K. Cleaveland. 1999. Drought reconstructions for the continental United States. *Journal of Climate* 12(4): 1145-1162.
6. Dai, A., K. E. Trenberth and T. Qian . 2004. A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology* 5 :1117-1130.
7. Ebadi Far, M., T. FathollahZade and S. Mirmanavi. 2016. An analysis of drought characteristics in northeastern Iran by RDI method. Tehran. Iran. (In Farsi).
8. Esmaeeli, K., M. Khodagholi and Y. Toluie. 2015. Drought monitoring of Chaharmahal and Bakhtiari province with SPI in GIS. International Conference on Geography and Sustainable Development. Tehran. Iran. (In Farsi).
9. Hejazizadeh, Z. and S. Javizadeh. 2010. Introduction to Drought and its Indices. The Organization for Researching and Composing University Textbooks in the Humanities (SAMT). Tehran. (In Farsi).
10. Ma, M., L. Ren, F. Yuan, Sh. Jiang, Y. Liu, H. Kong and L. Gong . 2013. A new standardized Palmer drought index for hydro-meteorological use. *Hydrological Processes* 28: 5645-5661.
11. Mckee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist. 1993. Drought monitoring with multiple timescales. In: 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology, Preprints 179-184.
12. Moghaddasi, M., S. Morid, H. Ghaemi and J. M. V Samani. 2005. Daily drought monitoring, Tehran Province. *Iranian Journal of Agriculture of Science* 36(1): 51-62. (In Farsi).
13. Omidvar, Sh., L. Sedghi, Gh. Fatahi Nafchi, M. Keyhani and A. Nazemi Harandi. 2012. The Knowledge of Chaharmahal and Bakhtiari Province. Iran Textbook Publishing Company. Tehran. (In Farsi).
14. Palmer, W.C.1965. Meteorologic Drought. US Department of Commerce. Washington, D.C.
15. Vicente-Serrano, S. M., S. Begueria and J. Lopez-Moreno. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate* 23(7): 1696-1718.
16. Wells, N., S. Goddard and M. J Hayes. 2004. A self-calibrating Palmer Drought Severity Index. *Journal of Climate* 17: 2335-2351.
17. Wells, N. 2003. PDSI Users Manual, Version 2,0. University of Nebraska-Lincoln.
18. <https://www.nrcs.usda.gov>

## Evaluation of New Drought Index of SPDI (Standardized Palmer Drought Index) in Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province

F. Saniesales\*, S. Soltani and R. Modarres<sup>1</sup>

(Received: April 2-2017; Accepted: November 12-2017)

### Abstract

Several indices are used for drought identification and quantification. In this paper, the new Standardized Palmer Drought index (SPDI) was introduced and then the drought condition of Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province was studied using this index. For this study, 11 synoptic, climatology, and evaporation meteorology stations were selected. Essential information in this investigation includes monthly temperature, monthly precipitation, and soil moisture measurement. To estimate SPDI, moisture departure, was first calculated on a monthly time scale. Then, converted to cumulative moisture departure values in different time scales including 3, 6, 9, 12, and 24 months. The best statistical distribution (GEV) was then fitted to cumulative departure. These values were then standardized to have the SPDI. The results showed that, as soil moisture affects SPDI estimation, it will be more valid for analyzing and monitoring drought conditions, especially for agricultural drought. Also, the results showed that 2000, 2001, and 2008 years were the driest time in this Province from 1988 to 2012. Moreover, drought frequency was found out in the western half of the Province more than in the other parts.

**Keywords:** Standardized Palmer Drought Index, Drought monitoring, Standardized Precipitation Index, Soil moisture, Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province

---

1. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Corresponding author, Email: Sanie\_farnoosh@yahoo.com