

## Spatiotemporal variation of meteorological drought, Case study: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad

Homa Razmkhah<sup>\*1</sup>, Eshagh Rostami<sup>2</sup>, Amin Rostami Ravari<sup>1</sup>, Alireza Fararouie<sup>1</sup>

1- Assistant professor, Department of Water Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran

2- M Sc. Graduated, Department of Water Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran

\* Corresponding author: Homa Razmkhah@gmail.com

(Received: 14 November 2022

Revised: 16 December 2022

Accepted: 04 January 2023)

### Extended Abstract

**Introduction:** Monitoring meteorological drought, as the base of other droughts, is of paramount importance in water resources management. Kohgiluyeh and Boyer Ahmad geographical location is in the western south of Iran. Since Karoun, Maroun and Zohreh, as three important rivers, originate in the upstream of this province, assessment of drought seems to be necessary for the region. This study aims to evaluate the spatial and temporal variation of meteorological drought of the province using Standard Precipitation Index (SPI) index.

**Materials and methods:** To do this, SPI of 1, 3, 9, 12, 24, and 48-month timescale intervals for each station was calculated. Then statistical properties of SPI with different intervals were computed and time series of the SPIs in all of the stations were prepared and visualized. Finally, spatial maps of the SPIs were prepared and evaluated.

**Results and Discussion:** Assessment of statistical properties of SPI in different intervals showed that in all of the 14 stations, wet and dry periods have happened, in such a way that their occurrence was frequent in a short period of time. The location (stations) of the most severe drought and wet periods with different intervals was also determined. Results showed that not only drought trend is different in the stations, but also at one station differs in various time scales. The spatial map of province drought showed that 1, 3 and 6-month drought intensity in western regions of the province is lower than the eastern regions. The intensity of drought in western regions, and drought extent, increases as SPI time scale varies from low to high. In most of the stations, frequency and intensity of droughts decrease with time scale increasing. In the evaluated duration, 1 and 3-month drought intensity is decreasing, 9 and 12 months is increasing, and 24 and 48-month droughts are going to initiated. Short-time drought assessment (1, 3, 6 and 9 months) showed that in the Darshahi, Chitab, and Ghalea Reaisy stations, deeper short times drought events have occurred. Long-time drought (12, 24 and 48 months) assessment showed continuous and long drought events in the region.

**Conclusions:** Kohgiluyeh and Boyer Ahmad is affected by short and long-time meteorological drought in different regions, which could be an alarm for Karoun, Maroun and Zohreh rivers stakeholders. Spatial SPI maps with different intervals could be used for forecasting meteorological drought for the agriculture uses, and also livestock and industrial location selection.

**Keywords:** Meteorological drought, Spatial map, SPI index.

**Citation:** Razmkhah, H., Rostami, E., Rostami Ravari, A., & Fararouie, A. (2023). Spatiotemporal variation of meteorological drought, Case study: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad. *Integrated Watershed Management*, 2 (4), 17-35. doi: 10.22034/iwm.2023.1972373.1049

#### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



## بررسی تغییرات زمانی و مکانی خشک‌سالی هواشناسی،

### مطالعه موردی: استان کهگیلویه و بویر احمد

هما رزمخواه<sup>۱\*</sup>، اسحاق رستمی<sup>۲</sup>، امین رستمی راوری<sup>۱</sup>، علیرضا فراروی<sup>۱</sup>

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

۲- دانش‌آموخته گروه علوم و مهندسی آب، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

\*نویسنده مسئول: Homarazmkhah@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۳

#### چکیده

پایش خشک‌سالی هواشناسی که اساس همه خشک‌سالی‌ها است، دارای اهمیت زیادی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب است. استان کهگیلویه و بویر احمد در جنوب غربی ایران واقع است. با توجه به وجود سرشاخه‌های سه رودخانه مهم کشور همچون کارون، مارون و زهره در این استان، بررسی خشک‌سالی در این منطقه امری ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور ابتدا شاخص‌های SPI یک، سه، شش، نه، دوازده، بیست‌و‌چهار و چهل‌وهشت ماهه خشک‌سالی استان محاسبه شد. سپس سری زمانی شاخص‌ها و نقشه‌های پهنه‌بندی بررسی گردید. خصوصیات آماری SPI نشان داد که در هر ۱۴ ایستگاه، دوره‌های خشک و مرطوب به وقوع پیوسته، به طوری که در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت وقوع خشک‌سالی و ترسالی متناوب بوده است. همچنین محل (ایستگاه‌های) وقوع شدیدترین و طولانی‌ترین خشک‌سالی و ترسالی‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف تعیین گردید. نتایج نشان داد که روند تغییرات خشک‌سالی نه تنها در مناطق مختلف، بلکه در یک ایستگاه نیز در مقیاس‌های زمانی مختلف متفاوت است. نقشه پهنه‌بندی خشک‌سالی استان نشان داد که با افزایش مقیاس زمانی SPI وسعت خشک‌سالی شدید، بیشتر می‌شود. شدت خشک‌سالی‌های ۱، ۳ و ۶ ماهه در مناطق غربی استان کمتر و در نیمه شرقی بیشتر است. با افزایش مقیاس در قسمت‌های غربی نیز شدت‌های خشک‌سالی بیشتری مشاهده می‌شود. در غالب ایستگاه‌ها با افزایش مقیاس زمانی، از فراوانی وقوع و شدت خشک‌سالی و ترسالی‌ها کاسته می‌شود. در بازه زمانی موردبررسی باگذشت زمان شدت خشک‌سالی‌های ۱ و ۳ ماهه کاهش و شدت و ۹ و ۱۲ ماهه افزایش یافته است. خشک‌سالی‌های ۲۴ و ۴۸ ماهه نیز رو به آغاز است. تحلیل کلی کوتاه‌مدت خشک‌سالی (۱، ۳، ۶ و ۹ ماهه) نشان داد که در ایستگاه‌های پرباران دارشاهی، چیتاب و قلعه رئیسی خشک‌سالی‌های کوتاه‌مدت عمیق‌تری رخ داده است. در تحلیل خشک‌سالی بلندمدت (۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) نتایج دال بر وقوع خشک‌سالی‌های ممتد است که اعلام هشدار برای بهره‌برداران رودخانه‌ها است. از نقشه‌های پهنه‌بندی SPI در بازه‌های زمانی مختلف می‌توان جهت برنامه‌ریزی تأمین آب کشاورزی، همچنین انتخاب مکان مناسب برای تأسیس دامداری و دیگر صنایع کوچک و بزرگ در منطقه بهره برد.

واژه‌های کلیدی: خشک‌سالی، شاخص استاندارد بارش SPI، نقشه پهنه‌بندی مکانی.

استناد: رزمخواه، ه.، رستمی، ا.، رستمی راوری، ا.؛ و فراروی، ع. (۱۴۰۱). بررسی تغییرات زمانی و مکانی خشک‌سالی هواشناسی، مطالعه موردی: استان کهگیلویه و بویر احمد. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۲(۴)، ۳۵-۱۷.

#### حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به صورت آزاد در وبسایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

## مقدمه

خشک‌سالی وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دما است که در هر اقلیمی ممکن است رخ دهد. خشک‌سالی به‌عنوان پدیده‌ای خزنده توصیف می‌شود و برخلاف سیل و بارندگی، توصیف زمانی و مکانی آن بسیار مشکل است. خشک‌سالی در میان بلایای طبیعی از جمله وقایعی است که جهانی شکل گرفته و منطقه‌ای عمل می‌کند. غالباً سرمایه‌گذاری برای شناسایی و پایش آن، جز در کشورهای پیشرفته به‌طور محدود و در مواقع وقوع انجام گرفته و با ریزش اولین بارش پس از خشکی به فراموشی سپرده می‌شود (Matalas, 1991).

شاخص بارش استاندارد<sup>۱</sup> SPI یکی از شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی است که در سال ۱۹۹۳ توسط McKee و همکاران به‌منظور تعریف و پایش خشک‌سالی و تعیین کمبود بارش برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه توسعه داده شد. مرکز ملی تعدیل خشک‌سالی ایالت متحده به‌منظور پایش خشک‌سالی و شرایط ذخیره رطوبت خاک از شاخص بارش استاندارد شده استفاده می‌نمایند. تداوم و شدت دو ویژگی اولیه و بزرگی ویژگی ثانویه خشک‌سالی است. نحوه تعیین خصوصیات خشک‌سالی در Razmkhah (۲۰۱۶) آورده شده است. Farajzadeh (۱۹۹۷) با استفاده از شاخص در صد نرمال به بررسی ویژگی‌های عمومی دوره‌های خشک‌سالی کشور پرداخت. نتایج نشان داد که وقایع با حداکثر فراوانی، از گستردگی بیشتری برخوردارند و هرچه از بخش‌های جنوبی و مرکزی کشور فاصله گرفته می‌شود از شدت دوره‌های خشک‌سالی کاسته می‌گردد. در پرتقال به‌منظور تحلیل خشک‌سالی‌ها نقشه‌های پهنه‌بندی خشک‌سالی و منحنی‌های شدت، مساحت و فراوانی خشک‌سالی ترسیم شد (Henriques)

(Santos, 1999). در تحقیق دیگری رابطه فراوانی و تداوم خشک‌سالی‌های اروپا در مقیاس‌های زمانی مختلف مطالعه و نتیجه حاصله مبنی بر آن بود که در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت فراوانی خشک‌سالی و در مقیاس زمانی درازمدت تداوم خشک‌سالی‌ها بیشتر است (Benjamin & Saunders, 2002).

Zarea Abyaneh و همکاران (۲۰۰۴) روند خشک‌سالی هواشناسی سالیانه و فصلی همدان را با شاخص‌های آستانه ۶۰٪، درصد نرمال، استاندارد بارش، انحراف از میانگین، کلاسه‌بندی دامنه بارش و دهک‌ها بررسی نمودند. نتایج نشان داد که خشک‌سالی به‌صورت سالیانه و گاهی فصلی رخ داده است. محققان دیگری برای پیش‌بینی خشک‌سالی از مدل‌های احتمالاتی خطی مانند ARIMA, SARIMA سری زمانی شاخص بارش استاندارد شده SPI استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل‌های آماری نتایج خوبی از نظر پیش‌بینی کوتاه‌مدت خشک‌سالی (تا ۲ ماه) دارد (Mishra & Desai, 2005). در بررسی خشک‌سالی آب زیرزمینی در استرالیا محققین نشان دادند که غالباً بین شاخص SPI و سطح آب زیرزمینی ارتباط قوی وجود دارد (Khan *et al.*, 2008). Razmkhah و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آماری در استان فارس پرداختند. ارزیابی ۶ مدل کریجینگ برازش داده‌شده، مدل گوسی کریجینگ را دامنه ۲۰۰ کیلومتر را به‌عنوان بهترین الگو جهت درون‌یابی میانگین بارش سالانه شناخت.

Razmkhah و Saghafian (۲۰۱۱) به بررسی خشک‌سالی در استان فارس با استفاده از SPI پرداختند. نتایج نشان داد که در اکثر نقاط استان وضعیت خشک‌سالی متوسط تا شدید بوده، در قسمت‌های

1. Standardized Precipitation Index (SPI)

افزایش و کاهش مدت و حجم خشک‌سالی بود. Razmkhah (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر حدود آستانه ۷۰ و ۹۰٪ بر منحنی SDF خشک‌سالی هیدرولوژیک حاصله پرداخت. نتایج بیانگر یکسان بودن روند افزایش و کاهش مدت و حجم خشک‌سالی‌ها در هر دو آستانه بود، هرچند خصوصیات خشک‌سالی محاسبه‌شده در آستانه‌ها متفاوت بود.

Mesbahzadeh و Soleimani Sardoo (۲۰۱۸) به بررسی روند زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیک و هواشناسی با استفاده از SPI و شاخص جریان‌ات رودخانه‌ای SDI در حوزه کرخه پرداختند. نتایج نشان داد وقوع خشک‌سالی در منطقه، اثر خود را با تأخیر ۱ تا ۲ ماه بر آب سطحی نشان داد.

Subedi و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی روش‌های زمین‌آمار جهت آنالیز تغییرات زمانی و مکانی خشک‌سالی در شرق تگزاس پرداختند. IDW و کریجینگ مناسب‌ترین مدل‌ها شناخته شدند. Zandifar و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی روند زمانی و مکانی خشک‌سالی آب زیرزمینی حوزه زهره-جراحی با شاخص‌های SDI و GRI پرداختند. نتایج نشانگر وجود همبستگی بین SDI و GRI در بیشتر محدوده‌های مطالعاتی بود. غالباً تأثیر خشک‌سالی هیدرولوژیک بر آب زیرزمینی با تأخیر زمانی ۶ ماه تا ۱ سال صورت می‌گیرد. Janbozorgi و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تغییرات زمانی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژی با SPI و SDI در مقیاس ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه پرداختند. نتایج نشان داد در سال‌های اخیر شدت خشک‌سالی‌ها افزایش یافته است.

Keshtkar و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی تکنیک‌های درون‌یابی IDW، کریجینگ و Splin و

مرکزی شدت بیشتری دارد؛ لذا قسمت‌های مرکزی نسبت به سایر بخش‌ها در معرض آسیب‌پذیری بیشتری قرار دارد. Moradi و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی مشخصه‌های شدت، مدت، فراوانی و وسعت خشک‌سالی هواشناسی در استان فارس پرداختند. به این منظور شاخص SPI سه، شش، دوازده، بیست‌و‌چهار و چهل‌وهشت ماهه در ۲۶ ایستگاه بررسی شد. نتایج نشان داد که شدیدترین خشک‌سالی در ایستگاه گروون و طولانی‌ترین آن در پل‌خان رخ داده است. دو مشخصه استمرار و فراوانی در دو ایستگاه دارشاهی و جهرم رخ داده است. همچنین خشک‌سالی در جنوب استان شدیدتر و طولانی‌تر از سایر نقاط است.

Razmkhah و Safi (۲۰۱۲) به تحلیل خشک‌سالی‌های هیدرولوژیک رودخانه کر پرداختند. بدین منظور آمار ۳۱ ساله بررسی، حد آستانه تئوری ران برابر با ۷۵٪ دبی میانگین لحاظ و خصوصیات دوره‌های خشک‌سالی استخراج گردید. Zamani و همکاران (۲۰۱۲) به پهنه‌بندی خشک‌سالی در استان فارس با استفاده از روش‌های کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و عکس فاصله و شاخص‌های خشک‌سالی ناهنجاری بارش و دهک بارش پرداخت. نتایج نشان داد که در پهنه‌بندی با شاخص دهک بارش، روش کریجینگ معمولی مناسب‌ترین روش درون‌یابی است. Beheshtirad (۲۰۱۵) به بررسی تغییرات مکانی خشک‌سالی با روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و معکوس فاصله و شاخص توزیع استاندارد در استان کرمان پرداخت. نتایج روش کریجینگ را مناسب‌ترین روش درون‌یابی شناخت. مطالعات بسیاری نیز به بررسی خصوصیات خشک‌سالی از جمله مقدار، شدت و مدت آن با استفاده از تئوری چندمتغیره، منحنی‌های SDF پرداخته‌اند. به‌طور نمونه Razmkhah (۲۰۱۶) به تهیه منحنی‌های SDF خشک‌سالی هیدرولوژیکی حوزه آبریز رودزرد با استفاده از تئوری ران پرداخت. نتایج نشانگر یکسان بودن روند

به توزیع نرمال تبدیل می‌شود، به طوری که میانگین SPI برای دوره و منطقه مورد نظر صفر شود. در این شرایط مقادیر مثبت SPI بالاتر از میانه و مقادیر منفی SPI پایین‌تر از میانه داده‌های بارندگی خواهد بود. چون SPI نرمالیزه شده است طبقه‌بندی خشک‌سالی و ترسالی از نظر بازه تقسیم‌بندی متقارن است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال برای برازش داده‌های بارندگی، تابع توزیع گاما است (Mostafazadeh *et al.*, 2015). از این رو نخستین مرحله محاسبه شاخص SPI برازش تابع توزیع احتمال گاما به داده‌های بارندگی ایستگاه است. سپس پارامترهای تابع توزیع برای مقیاس زمانی دلخواه برآورد می‌گردد. در نهایت تابع توزیع تجمعی مربوطه محاسبه و به یک تابع توزیع تجمعی نرمال جهت محاسبه SPI تبدیل می‌گردد. تابع توزیع گامای دو پارامتری به صورت رابطه ۱ است (Mckee *et al.*, 1993):

$$g(x) = \frac{1}{\beta \alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, \quad x > 0 \quad (1)$$

که در آن  $\alpha$  پارامتر شکل،  $\beta$  پارامتر مقیاس،  $x > 0$  مقدار بارش در مقیاس زمانی مشخص و  $\alpha$  تابع گاما است. تابع گاما به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

تابع توزیع گاما دارای چولگی به راست بوده و حد پایینی آن صفر است. این توزیع بسیار شبیه توزیع فراوانی بارش است. پس از برازش تابع گاما بر داده‌های ایستگاه مورد مطالعه، احتمال تجمعی برای هر رویداد بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف به صورت رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$G(X) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta \alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (3)$$

از آنجایی که تابع توزیع گاما در نقطه صفر تعریف نشده و مقادیر بارش ممکن است شامل داده صفر نیز باشند،

RBF<sup>۱</sup> به منظور آنالیز شدت خشک‌سالی در حوزه دریاچه نمک پرداختند. RBF و کریجینگ مناسب‌ترین روش‌ها برای درون‌یابی SPI شناخته شدند.

با توجه به این که شاخص خشک‌سالی هواشناسی SPI در غالب تحقیقات به عنوان شاخص برتر ارزیابی‌ها شناخته شده است، در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. به منظور پایش خشک‌سالی استان کهگیلویه و بویراحمد مقادیر SPI یک، سه، شش، نه، دوازده، بیست و چهار و چهل و هشت ماهه محاسبه گردید و نمودار سری زمانی هر یک ترسیم و تغییرات زمانی شاخص‌های SPI محاسبه شده تحلیل گردید. سپس نقشه پهنه‌بندی مکانی هر یک از شاخص‌ها با روش درون‌یابی زمین‌آماری کریجینگ ترسیم و تغییرات مکانی شاخص خشک‌سالی هواشناسی SPI در سطح استان مورد بررسی قرار گرفت.

## مبانی تحقیق

### شاخص استاندارد بارش

از آنجاکه کمبود بارندگی بر منابع آب‌های سطحی، زیرزمینی، رطوبت خاک و جریان رودخانه‌ها مؤثر است، از نمایه SPI جهت بررسی خشک‌سالی هواشناسی که ناشی از کمبود بارش است، استفاده گردید. این شاخص به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی و مکانی، به عنوان یکی از مناسب‌ترین شاخص‌ها برای تحلیل خشک‌سالی شناخته می‌شود (Hayes *et al.*, 1999). محاسبه SPI بر اساس آمار طولانی‌مدت بارندگی در دوره مورد نظر استوار است. ابتدا داده‌های بارندگی بر یک توزیع احتمالی برازش داده شده، سپس

رویداد دارای یک دوره زمانی است که به‌وسیله شروع و خاتمه آن تعریف می‌شود. شدت خشک‌سالی با توجه به مقادیر SPI مطابق جدول ۱ است (Mckee et al., 1995).

جدول ۱- وضعیت بارش بر اساس SPI  
Table 1- Rainfall condition based on SPI

سطح شاخص SPI	وضعیت خشک‌سالی
بالاتر از 2	ترسالی بسیار شدید
1.5-1.99	ترسالی شدید
1-1.49	ترسالی ملایم
0-0.99	نرمال
-0.99-0	خشک‌سالی ضعیف
-1.49- -1	خشک‌سالی متوسط
-1.99- -1.5	خشک‌سالی شدید
-2 و کمتر	خشک‌سالی بسیار شدید

### روش تحقیق

#### منطقه مورد مطالعه

استان کهگیلویه و بویر احمد از استان‌های پراهمیت ایران به لحاظ منابع آب، در دامنه‌های زاگرس واقع است. این استان از نظر جغرافیایی در جنوب غربی ایران و در فاصله ۹° ۳۰ تا ۳۲° ۳۱ عرض شمالی و در فاصله ۴۳° ۴۹ تا ۵۱° ۰۰ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع گردیده است. این سرزمین کوهستانی و نسبتاً مرتفع است که کوه‌های زاگرس با رشته‌های موازی سراسر شمال آن را در بر گرفته و در میان استان-های فارس در شرق، اصفهان و چهارمحال بختیاری در شمال، خوزستان در غرب و بوشهر در جنوب محدود شده است. بلندترین نقطه استان قله دنا با ارتفاع ۴۴۰۹ متر و پست‌ترین ناحیه آن بیشتر به ارتفاع ۵۰۰ متر از سطح دریا است. شکل ۱ موقعیت استان را در کشور نشان می‌دهد (Ghahremani, 2015).

لذا در این حالت احتمال تجمعی از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد:

$$H(X) = q + (1 - q)g(x) \quad (4)$$

که در آن  $q$  احتمال بارش ماهانه صفر است. در مرحله بعد احتمال تجمعی  $H(x)$  به متغیر نرمال استاندارد  $Z$  با میانگین صفر و واریانس ۱ تبدیل می‌گردد که برابر با شاخص SPI است. برای تبدیل احتمال تجمعی گاما به متغیر نرمال استاندارد از روش‌های متعددی استفاده می‌شود. در این مطالعه جهت تبدیل احتمال تجمعی به متغیر نرمال استاندارد از روش پیشنهادی Abramowitz و Stegun (۱۹۶۵) استفاده گردید (روابط ۵ و ۶):

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \quad \text{for } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (5)$$

$$Z = SPI = + \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \quad \text{for } 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (6)$$

که در آن

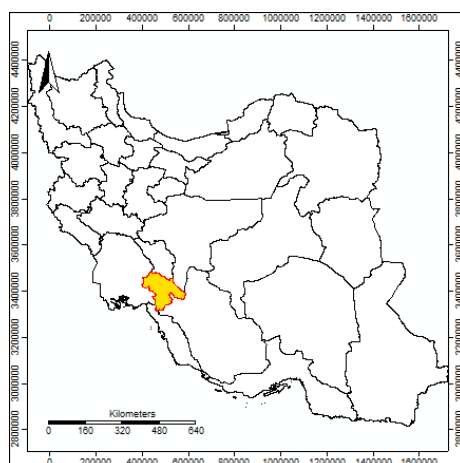
$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(H(x))^2} \right]}, \quad \text{for } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (7)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(1-H(x))^2} \right]}, \quad \text{for } 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (8)$$

در روابط فوق مقادیر زیر صادق است:

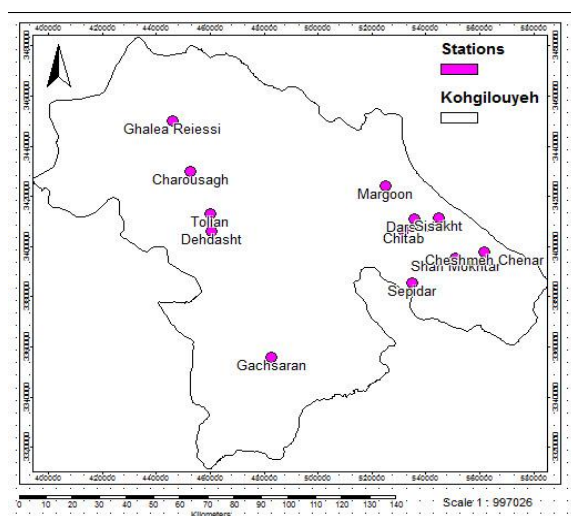
$$\begin{aligned} c_0 &= 2.515517, c_1 = 0.802853 \\ c_2 &= 0.010308, d_1 = 1.432788 \\ d_2 &= 0.189269, d_3 = 0.001308 \end{aligned}$$

خشک‌سالی زمانی به وقوع می‌پیوندد که شاخص SPI به‌طور مداوم منفی باشد و شدت آن به ۱- یا کمتر برسد و زمانی که SPI مثبت گردد، تمام می‌شود؛ بنابراین هر



شکل ۱- موقعیت استان کهگیلویه و بویراحمد در کشور

Figure 1- Location of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad province in Iran



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی در استان

Figure 2- The location of meteorological stations in the province

### مراحل انجام تحقیق

#### الف- انتخاب پایه زمانی مشترک برای ایستگاه‌ها

مشکل همیشگی در تجزیه و تحلیل آمارهای منطقه وجود تعداد سال‌های آماری متفاوت برای ایستگاه‌هاست که مربوط به تأسیس آن‌ها در سال‌های مختلف است؛ بنابراین باید پایه زمانی مشترک و مناسبی برای ایستگاه‌ها در نظر گرفت و سپس ایستگاه‌هایی که دارای سال‌های

### ایستگاه‌های مورد مطالعه و داده‌های تحقیق

برای انجام این تحقیق، داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی منطقه در کل بازه زمانی موجود، با مراجعه به سازمان هواشناسی و سازمان آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد، جمع‌آوری گردید. میانگین بارش ماهانه کل ایستگاه‌ها ۶۵/۱۱ میلی‌متر است. ایستگاه قلات با میانگین بارش ۱۱۵/۸۹ دارای بیشترین بارندگی و ایستگاه سفیدار با میانگین ۳۵/۴ کمترین بارش در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشند. بیشترین نوسان به صورت انحراف معیار (برابر با ۲۲۵/۹۷) در ایستگاه قلات و کمترین نوسان (انحراف معیار ۶۹/۲۱) در ایستگاه تولیان مشاهده شد. همچنین حدوداً ۴۹ درصد از کل بارش در ایستگاه‌های قلات، دارشاهی، گچساران، قلعه رئیسی و چیتاب به وقوع پیوسته است، هرچند سایر ایستگاه‌ها نیز به تناسب خود مقدار قابل توجهی بارش را دارا هستند. در شکل ۲ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی نمایش داده شده است.

تصادفی بودن در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی بدین معناست که داده‌ها تنها متأثر از علل طبیعی باشند. در این تحقیق از آزمون ناپارامتریک ران تست برای بررسی تصادفی بودن آمار هر ایستگاه استفاده شد.

#### • بررسی همگنی<sup>۲</sup> داده‌ها

همگنی بدین معناست که داده‌های موردنظر از یک جامعه آماری انتخاب شده باشند. برای کنترل همگنی آمار هر ایستگاه از آزمون من-ویتنی<sup>۳</sup> استفاده شد.

#### ج- بازسازی داده‌های مفقودی

به منظور بازسازی داده‌های مفقود از روش گریدفت<sup>۴</sup> استفاده شد. گریدفت یک ابزار قدرتمند مدل کردن سطح است که یک سطح را به یک سری از نقاط منظم (یا نامنظم) با مختصات  $Z(x,y)$  برازش می‌دهد.

د- محاسبه شاخص SPI در بازه‌های زمانی مختلف

ز- محاسبه خصوصیات آماری شاخص SPI در

بازه‌های زمانی مختلف در هر ایستگاه

ه- تهیه نقشه‌های تغییرات مکانی شاخص SPI

محاسبه شده در بازه‌های زمانی مختلف

ی- بررسی تغییرات زمانی شاخص SPI در بازه‌های

زمانی مختلف

#### نتایج

خصوصیات آماری SPI ایستگاه‌ها در مقیاس‌های

زمانی مختلف

به منظور پایش خشک‌سالی ابتدا شاخص SPI محاسبه گردید. به این منظور ابتدا میانگین متحرک‌های ۱،۳،۶،۹،۱۲،۲۴،۴۸ ماهه هر ایستگاه محاسبه گردید. سپس بر سری‌های میانگین متحرک هر ایستگاه توزیع

فاقد آمار هستند را تکمیل نمود. در این پژوهش سعی شد تا بازه‌ای انتخاب شود که کمترین داده مفقودی را داشته باشد و تا حد ممکن از خطای بازسازی داده‌ها پرهیز شود (Rostami, 2013). به این دلیل شروع پایه زمانی برای همه ایستگاه‌ها مهر سال ۱۳۷۸ و پایان آن برای همه ایستگاه‌ها آذرماه سال ۱۳۸۸ انتخاب شد.

#### ب- آزمون‌های آماری برای بررسی صحت و سقم آمار

با وجود استانداردهای قرائت و ثبت داده‌های هیدرولوژی، قبل از تحلیل داده‌ها نیاز به کنترل یا اصلاح آن‌هاست تا از کیفیت و همچنین کامل بودن سری آماری اطمینان حاصل گردد. بدین منظور، از منحنی‌های جرم مضاعف و آزمون‌های ناپارامتریک استفاده می‌شود. این آزمون‌ها شامل چهار مرحله ذیل می‌باشند (Rostami, 2013).

#### • بررسی استقلال داده‌ها

دو واقعه می‌تواند مستقل فرض گردد اگر احتمال رخداد هر کدام از آن‌ها در رخداد واقعه دیگر غیر مؤثر باشد. در این تحقیق از آزمون ناپارامتریک اسپیرمن برای بررسی استقلال داده‌ها استفاده شد.

#### • بررسی روند در داده‌ها

روند زمانی هنگامی وجود دارد که بین آمارهای موجود و زمان یک ارتباط معنی‌دار، اعم از مثبت یا منفی وجود داشته باشد. روند یا عدم ثبات<sup>۱</sup> معمولاً در اثر فعالیت‌های بشری همانند تغییر کاربری اراضی یا تغییرات آب و هوایی ایجاد می‌شود. در این تحقیق از آزمون ناپارامتریک اسپیرمن برای بررسی وجود روند در آمار استفاده شد (Rostami, 2013).

#### • بررسی تصادفی بودن داده‌ها

2. Homogeneity  
3. Mann-Whitney  
4. Grid Fit

1. Non-stationarity



پیوسته است. بیشترین تعداد ترسالی‌های بسیار شدید در کلیه مقیاس‌های زمانی، در ایستگاه سپیدار رخ داده است. بیشترین فراوانی رخداد ترسالی‌های شدید ۱ ماهه در ایستگاه قلات، ۳ ماهه در سپیدار و چیتاب، ۶ ماهه در سپیدار و ۹ ماهه در دارشاهی، شاه مختار، تولیان و مارگون مشاهده می‌شود. ترسالی‌های شدید ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها رخ نداده است. بیشترین فراوانی شرایط بارش نرمال ۱ و ۳ ماهه در ایستگاه مارگون، ۶ ماهه در گچساران، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه در قلات و ۴۸ ماهه در گچساران، چاروساق، تولیان و مارگون مشاهده می‌شود.

گاما برازش داده شده، پارامترهای توزیع به دست آمد و شاخص SPI محاسبه گردید. جداول ۲ تا ۹ خصوصیات آماری SPI محاسبه شده ۱،۳،۶،۹،۱۲،۲۴،۴۸ ماهه ایستگاه‌های موردبررسی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود خشک‌سالی‌های خیلی شدید در کلیه مقیاس‌های زمانی در ایستگاه‌های تل چغا، قلعه رئیسی، چیتاب، تولیان، دارشاهی، چشمه چنار و قلات با فراوانی بسیار به وقوع پیوسته است. خشک‌سالی‌های شدید در مقیاس‌های زمانی ۱ و ۳ ماهه تنها در ایستگاه سی سخت رخ داده، ولی با افزایش مقیاس زمانی در ایستگاه‌های دیگر نیز با فراوانی بالا به چشم می‌خورد. طولانی‌ترین دوره خشک‌سالی بسیار شدید در کلیه مقیاس‌های زمانی به ترتیب در ایستگاه‌های دارشاهی و چیتاب به وقوع

جدول ۲- خصوصیات آماری ۱ ماهه ایستگاه‌ها

Table 2- Statistical properties of SPI 1-Months of the stations

(SPI 1-Month) Station	Margoon	Talchogh	Chaleh Reessi	Chitab	Tolian	Darshahi	Sisakht	Charousa gh	Sepidar	Shah Mokhta	Dehdasht	Gachsara	Cheshme Chahar h	Chahat	min	max
min	-1.4	-2.1	-2.1	-2.5	-2.5	-2.5	-1.9	-1.3	-1.2	-1.3	-1.5	-1.3	-2.1	-2.5	-2.5	
max	2.9	2.1	2.1	2.0	2.1	2.1	2.1	2.0	2.1	2.1	2.2	2.0	2.1	1.8		2.2
ave	-0.2	-0.6	-0.6	-0.9	-0.8	-0.8	-0.5	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.6	-0.6	-0.9	-0.2
Numbe of Very Sever Wet Months	1	1	1	0	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	0	2
Number of Sever Wet Months	2	1	2	3	2	2	2	2	1	1	2	3	2	6	1	6
Number of Moderate Wet Months	11	8	11	9	8	10	10	9	10	13	8	10	10	4	4	13
Number of Normal Months	50	47	41	44	45	46	46	47	42	43	44	46	42	49	41	50
Number of Weak Drought Months	10	12	18	10	17	9	11	30	20	10	21	16	19	20	9	30
Number of Moderate Drought Months	49	0	0	0	0	0	0	34	48	55	47	47	0	1	0	55
Number of Sever Drought Months	0	0	0	0	0	0	53	0	0	0	0	0	0	0	0	53
Number of Very Sever Drought Months	0	54	50	57	50	55	0	0	0	0	0	0	49	43	0	57
Max Duration of Very sever Drought	0	6	6	7	6	8	0	0	0	0	0	0	5	4	0	8
Number of Drought Months	59	66	68	67	67	64	64	64	68	65	68	63	68	64	59	68
Number of Wet Months	14	10	14	12	11	13	13	12	13	15	11	14	13	10	10	15

جدول ۳- خصوصیات آماری SPI ۳ ماهه ایستگاه‌ها

Table 3- Statistical properties of SPI 3-Months of the stations

(SPI 3-Month) Station	Margoon	Talchoghla	Reessi Ghalea	Chitab	Tolian	Darshahi	Sisakht	Charoussegh	Sepidar	Mokhtar Shah	Dehdasht	Gachsaran	Cheshmeh Chenar	Ghalat	min	max
min	-1.4	-2.1	-2.1	-2.5	-2.5	-2.5	-1.9	-1.3	-1.2	-1.3	-1.5	-1.3	-2.1	-2.5	-2.5	
max	1.9	1.8	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.7	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.4		1.9
ave	-0.1	-0.4	-0.3	-0.5	-0.5	-0.5	-0.3	-0.1	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.4	-0.3	-0.5	-0.1
Number of Very Sever Wet Months	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Number of Sever Wet Months	3	2	2	5	3	4	3	4	5	4	4	4	3	0	0	5
Number of Moderate Wet Months	10	13	12	7	9	9	11	11	9	12	12	10	12	20	7	20
Number of Normal Months	55	45	48	51	54	47	49	48	51	47	45	53	48	40	40	55
Number of Weak Drought Months	21	21	18	19	14	26	18	33	32	26	28	25	16	29	14	33
Number of Moderate Drought Months	34	9	14	7	12	4	9	27	23	34	33	31	15	5	4	34
Number of Sever Drought Months	0	1	6	0	4	2	33	0	0	0	0	0	4	9	0	33
Number of Very Sever Drought Months	0	32	23	34	27	31	0	0	0	0	0	0	25	20	0	34
Max Duration of Very sever Drought	0	6	6	7	6	8	0	0	0	0	0	0	5	4	0	8

جدول ۴- خصوصیات آماری SPI ۶ ماهه ایستگاه‌ها

Table 4- Statistical properties of SPI 6-Months of the stations

(SPI 6-Month) Station	Margoon	Talchoghla	Ghalea Reessi	Chitab	Tolian	Darshahi	Sisakht	Charoussegh	Sepidar	Shah Mokhtar	Dehdasht	Gachsaran	Cheshmeh Chenar	Ghalat	min	max
min	-1.4	-2.1	-2.1	-2.5	-2.5	-2.5	-1.9	-1.3	-1.2	-1.3	-1.5	-1.3	-2.1	-2.4	-2.5	
max	1.8	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.6	1.7	1.7	1.5	1.4	1.6	1.3		1.8
ave	0.0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	-0.2	-0.1	-0.2	0.1
Number of Very Sever Wet Months	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Number of Sever Wet Months	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	0	2	0	0	3
Number of Moderate Wet Months	17	14	14	15	15	15	16	20	19	17	21	17	18	8	8	21
Number of Normal Months	51	44	44	44	41	41	39	44	44	46	42	58	37	54	37	58
Number of Weak Drought Months	33	35	34	35	40	36	39	36	37	36	37	34	39	44	33	44
Number of Moderate Drought Months	19	8	10	8	6	10	7	21	20	21	22	14	9	9	6	22
Number of Sever Drought Months	0	11	9	10	8	8	18	0	0	0	0	0	12	2	0	18
Number of Very Sever Drought Months	0	9	10	9	11	11	0	0	0	0	0	0	6	6	0	11
Max Duration of Very sever Drought	0	6	6	7	6	8	0	0	0	0	0	0	5	4	0	8
Number of Drought Months	53	63	63	62	65	65	66	57	57	58	59	48	66	61	48	66
Number of Wet Months	19	16	16	17	17	17	18	22	22	19	22	17	20	8	8	22

جدول ۵- خصوصیات آماری SPI ۹ ماهه ایستگاه‌ها

Table 5- Statistical properties of SPI 9-Months of the stations

(SPI 9-Month) Station	Margoon	Talchogha	Ghalea Reissi	Chitab	Tolian	Darshahi	Sisakht	Charousagh	Sepidar	Shah Mokhtar	Dehdasht	Gachsaran	Cheshmeh Chenar	Ghalat	min	max
min	-1.4	-2.1	-2.1	-2.5	-2.5	-2.5	-1.9	-1.3	-1.2	-1.3	-1.5	-1.3	-2.1	-2.5	-2.5	
max	1.7	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.6	1.2	1.3	1.5	1.1		1.7
ave	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.1
Number of Very Sever Wet Months	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Number of Sever Wet Months	5	4	4	3	5	5	0	0	4	5	0	0	0	0	0	5
Number of Moderate Wet Months	6	12	9	17	7	8	15	15	12	7	13	13	14	7	6	17
Number of Normal Months	47	44	49	32	43	40	41	50	43	52	49	47	42	62	32	62
Number of Weak Drought Months	55	38	40	49	49	50	50	45	54	41	51	53	43	30	30	55
Number of Moderate Drought Months	10	16	11	14	13	11	12	13	10	18	10	9	17	17	9	18
Number of Sever Drought Months	0	6	7	4	3	6	5	0	0	0	0	0	4	3	0	7
Number of Very Sever Drought Months	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	2	3	0	3
Max Duration of Very sever Drought	0	6	6	7	6	8	0	0	0	0	0	0	5	4	0	8
Number of Drought Months	65	63	61	71	68	70	67	58	64	59	61	63	67	54	54	71
Number of Wet Months	11	16	13	20	12	13	15	15	16	12	13	13	14	7	7	20

جدول ۶- خصوصیات آماری SPI ۱۲ ماهه ایستگاه‌ها

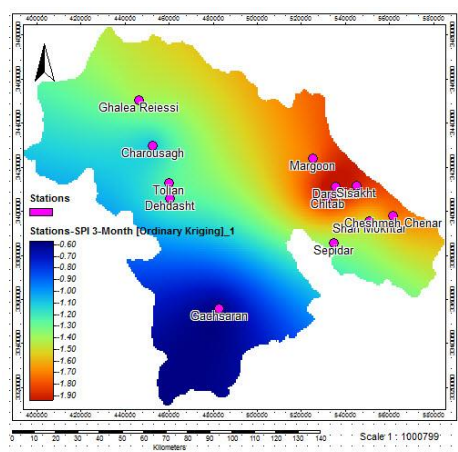
Table 6. Statistical properties of SPI 12-Months of the stations

(SPI 12-Month) Station	Margoon	Talchogha	Ghalea Reissi	Chitab	Tolian	Darshahi	Sisakht	Charousagh	Sepidar	Shah Mokhtar	Dehdasht	Gachsaran	Cheshmeh Chenar	Ghalat	min	max
min	-1.4	-2.1	-2.1	-2.5	-2.5	-2.5	-1.9	-1.3	-1.2	-1.3	-1.5	-1.3	-2.1	-2.5	-2.5	
max	1.5	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.3	1.2	1.4	1.4	1.2	1.2	1.3	0.8		1.5
ave	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.1
Number of Very Sever Wet Months	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Number of Sever Wet Months	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Number of Moderate Wet Months	12	11	8	16	11	12	9	11	15	14	4	5	10	0	0	16
Number of Normal Months	59	56	62	39	50	55	60	62	58	57	68	61	60	81	39	81
Number of Weak Drought Months	37	35	35	51	38	32	39	34	43	36	40	52	29	16	16	52
Number of Moderate Drought Months	15	9	3	4	11	16	3	16	7	16	11	4	8	20	3	20
Number of Sever Drought Months	0	8	11	9	10	3	12	0	0	0	0	0	13	2	0	13
Number of Very Sever Drought Months	0	4	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	3	3	0	4
Max Duration of Very sever Drought	0	6	6	7	6	8	0	0	0	0	0	0	5	4	0	8
Number of Drought Months	52	56	53	68	62	56	54	50	50	52	51	57	53	42	42	68
Number of Wet Months	12	11	8	16	11	12	9	11	15	14	4	5	10	0	0	16

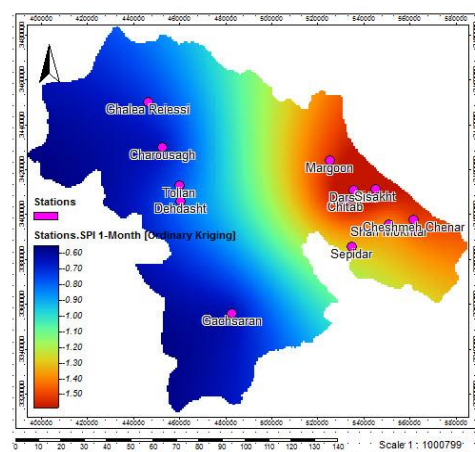


می‌یابد. خشک‌سالی ۹ ماهه در قسمت‌های غرب و شمال غرب شدیدتر است و به سمت شرق کاهش می‌یابد. خشک‌سالی ۱۲ و ۲۴ ماهه در مناطق شرق و نیمه شمالی استان شدیدتر و در جنوب خفیف‌تر است. الگوی مکانی خشک‌سالی ۴۸ ماهه تقریباً مشابه به ۹ ماهه است، اما در نیمه غربی شدیدتر است و به سمت شرق کاهش می‌یابد. خشک‌سالی هواشناسی که با توجه به بارش‌ها در بازه‌های زمانی مختلف محاسبه شده است نشانگر الگوی حاکم بر بارش در مناطق مختلف استان است. در بازه‌های زمانی ۱ تا ۹ ماه خشک‌سالی در مناطق غربی استان که به ارتفاعات زاگرس نزدیک‌تر است کمتر و در نیمه شرقی بیشتر است. با افزایش مقیاس خشک‌سالی در بازه‌های ۹ و ۴۸ ماه قسمت‌های غربی استان نیز خشک‌سالی با شدت‌های بیشتری مشاهده می‌شود که بیانگر الگوی زمانی بارش در بازه زمانی مورد بررسی، در طولانی‌مدت است.

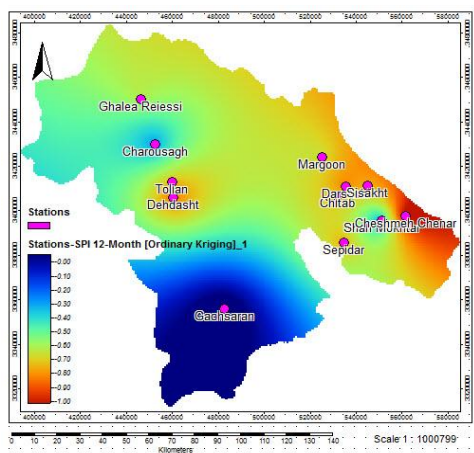
**تغییرات مکانی SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف**  
تحقیقات نشان داده که روش زمین‌آماری درون‌یابی کریجینگ یکی از بهترین روش‌ها برای تهیه نقشه پهنه‌بندی بارش (Razmkhah *et al.*, 2009) و خشک‌سالی است (Keshtkar *et al.*, 2021; Beheshtirad, 2015). شکل ۳ نقشه تغییرات مکانی SPI محاسبه‌شده در مقیاس‌های ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه استان را که با استفاده از روش کریجینگ توسط نرم‌افزار SAGA-GIS تهیه شده است، نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقیاس الگوی مکانی خشک‌سالی تا حدودی تغییر می‌کند، به‌طوری‌که وسعت خشک‌سالی شدید بیشتر می‌شود. شدت خشک‌سالی‌های ۱، ۳ و ۶ ماهه هواشناسی (SPI) در قسمت شرق و شمال شرق شدیدتر است و به سمت غرب و جنوب غرب کاهش



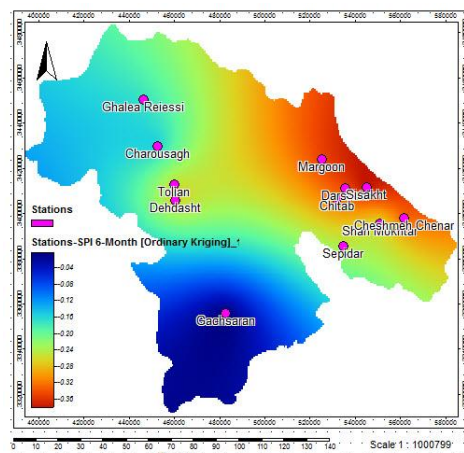
ب- SPI 3-months  
b- SPI 3-months



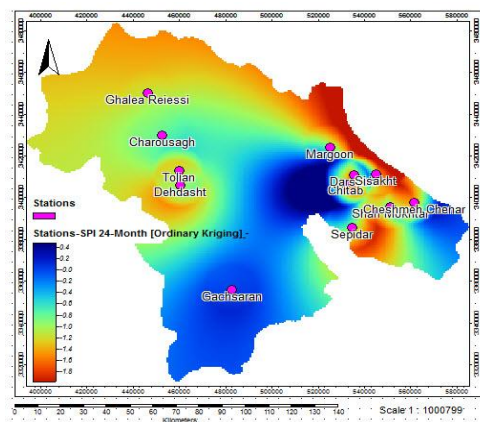
الف- SPI 1-months  
a- SPI 1-months



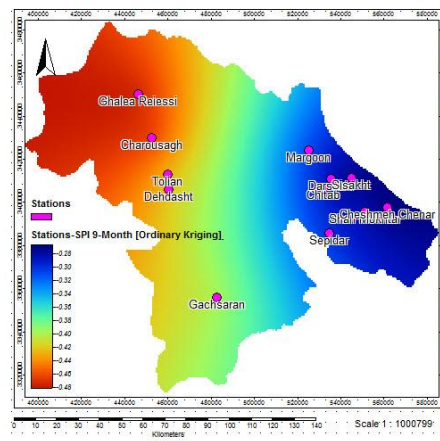
ر- SPI ۱۲ ماه  
e- SPI 12-months



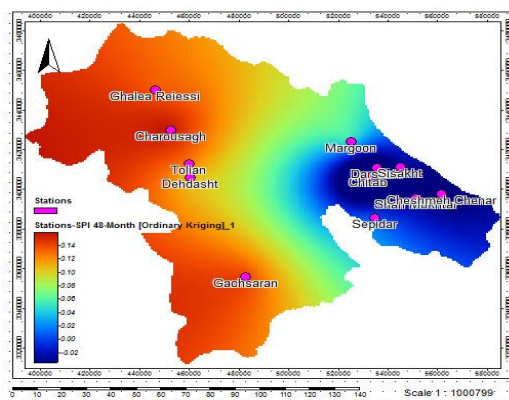
ج- SPI ۶ ماه  
c- SPI 6-months



ه- SPI ۲۴ ماه  
f- SPI 24-months



د- SPI ۹ ماه  
d- SPI 9-months



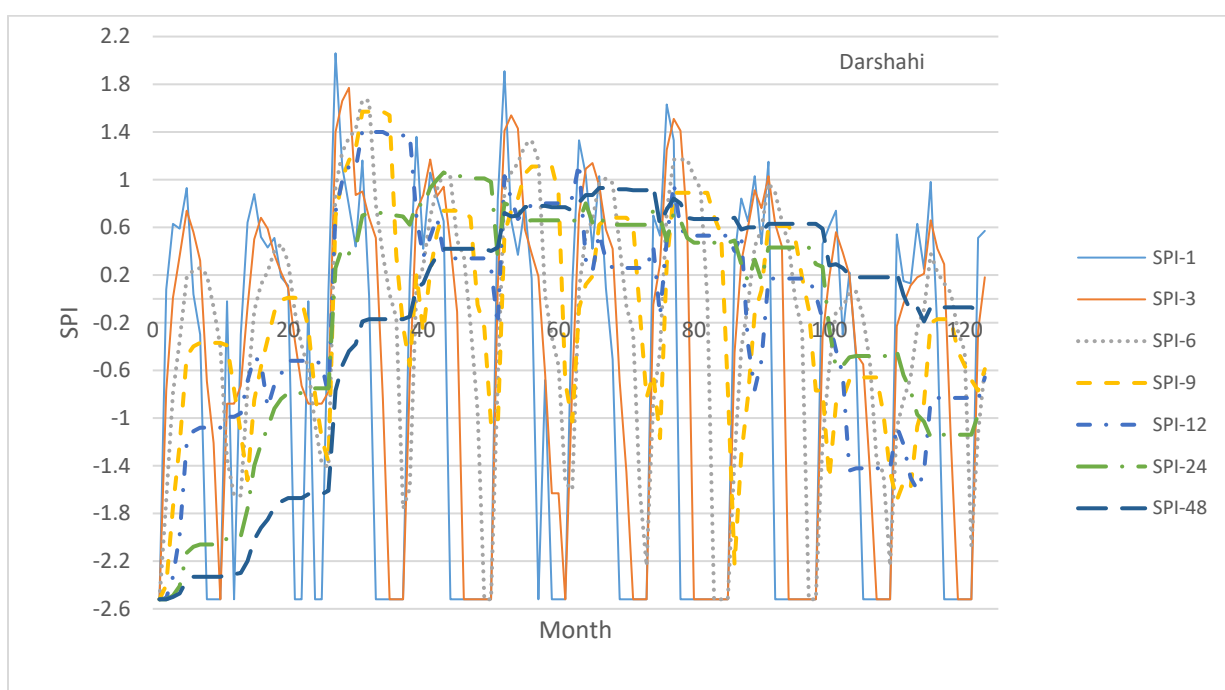
ی- SPI ۴۸ ماه  
g- SPI 48-months

شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی شاخص خشک‌سالی SPI استان  
Figure 3- Spatial variation of SPI in the province

خشک‌سالی و ترسالی‌ها کاسته می‌شود. همچنین در بازه زمانی موردبررسی با گذشت زمان در هر دو ایستگاه شدت خشک‌سالی‌های ۱ و ۳ ماهه کاهش و شدت خشک‌سالی‌های ۹ و ۱۲ ماهه افزایش یافته است. در ایستگاه دارشاهی از شدت خشک‌سالی ۶ ماهه کاسته شده است. خشک‌سالی‌های ۲۴ و ۴۸ ماهه نیز در دو ایستگاه رو به آغاز است.

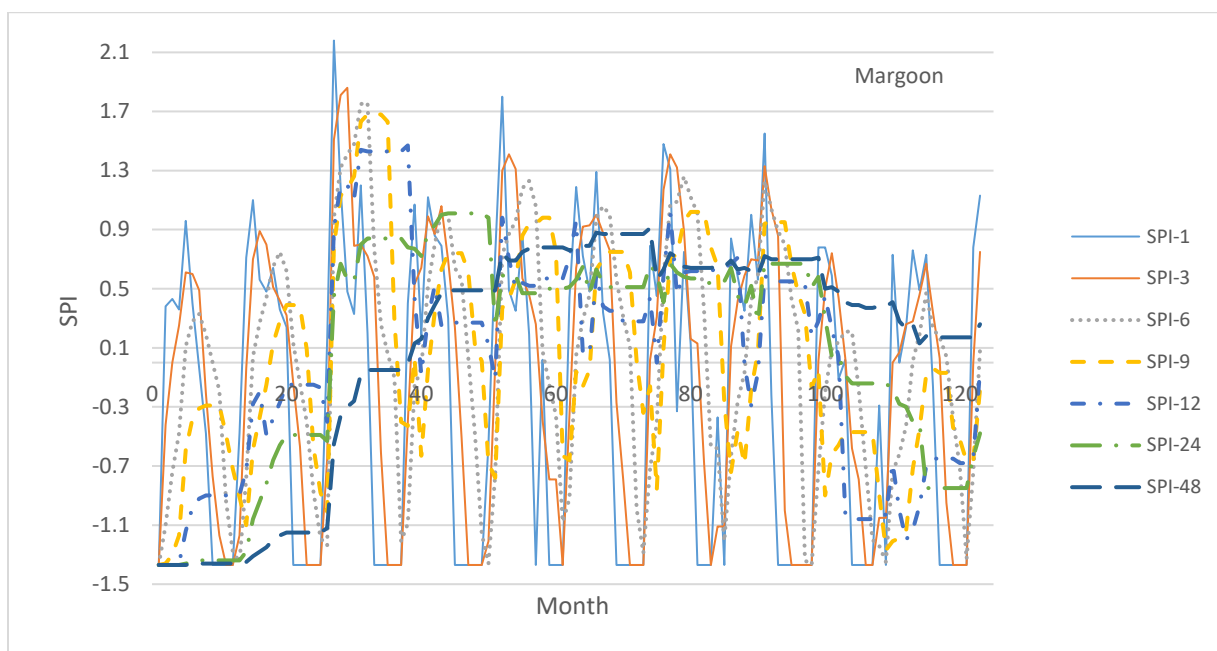
### تغییرات زمانی SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف

شکل ۴ تغییرات زمانی SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف را در ایستگاه دارشاهی (با طولانی‌ترین دوره خشک‌سالی بسیار شدید در کلیه مقیاس‌ها) و شکل ۵ تغییرات زمانی SPI را در ایستگاه مارگون (با بارش نرمال ۱ و ۳ ماهه) نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو ایستگاه با افزایش مقیاس زمانی از فراوانی وقوع و شدت



شکل ۴- تغییرات زمانی SPI در ایستگاه دارشاهی

Figure 4- Temporal variation of SPI in Darshahi station



شکل ۵- تغییرات زمانی SPI در ایستگاه مارگون

Figure 5- Temporal variation of SPI in Margoon station

### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق شاخص خشک‌سالی هواشناسی SPI در مقیاس‌های زمانی ماهانه و چندماهه متحرک محاسبه شد و سری زمانی شاخص‌های محاسبه‌شده همراه با نقشه‌های پهنه‌بندی هریک مورد بررسی قرار گرفت. بررسی خصوصیات آماری شاخص SPI نشان داد که در هر ۱۴ ایستگاه دوره‌های خشک و مرطوب به وقوع پیوسته، به طوری که در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت وقوع خشک‌سالی و ترسالی متناوب بوده است. در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها تنها وضعیت خشک‌سالی یا ترسالی حاکم نبوده است، یعنی هر ساله باید انتظار وضعیت‌های متفاوت بارش را در مناطق مختلف استان داشت. همچنین محل (ایستگاه‌های) به وقوع پیوستن شدیدترین و طولانی‌ترین خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف تعیین شد، که می‌تواند جهت تعیین نقاط بحرانی استان برای برنامه‌ریزی کشت دیم و سایر مصارف دامداری، صنعتی و شرب مورد استفاده قرار

گیرد. نرمال‌سازی با شاخص SPI امکان مقایسه و طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی و ترسالی را به وجود آورده که با نتایج Mehry و همکاران (۲۰۱۷) و Rostami (۲۰۱۳) مبنی بر توانایی SPI در طبقه‌بندی و مقایسه خشک‌سالی همخوانی دارد.

نتایج نشان داد که روند تغییرات خشک‌سالی نه تنها در مناطق مختلف استان متفاوت است، بلکه در مقیاس‌های زمانی متفاوت در یک ایستگاه نیز در مقیاس‌های زمانی مختلف متفاوت است، که با نتایج Mehry و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد. نقشه پهنه‌بندی خشک‌سالی استان نشان داد که با تغییر مقیاس SPI از کم به زیاد وسعت خشک‌سالی شدید بیشتر می‌شود. شدت خشک‌سالی‌های ۱، ۳ و ۶ ماهه هواشناسی (SPI) در قسمت شرق و شمال شرق شدیدتر است و به سمت غرب و جنوب غرب کاهش می‌یابد. خشک‌سالی ۹ ماهه در قسمت‌های غرب و شمال غرب شدیدتر است و به سمت شرق کاهش می‌یابد. خشک‌سالی ۱۲ و ۲۴ ماهه در مناطق شرق و نیمه شمالی استان شدیدتر و در جنوب



برای بهره برداران رودخانه‌های کارون، مارون و زهره است. از نقشه‌های پهنه‌بندی SPI در بازه‌های زمانی مختلف می‌توان جهت برنامه‌ریزی تأمین آب کشاورزی، همچنین انتخاب مکان مناسب برای تأسیس دامداری و دیگر صنایع کوچک و بزرگ در منطقه بهره برد.

جهت ادامه کار می‌توان به بررسی سایر شاخص‌های خشک‌سالی از جمله شاخص‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک، آب‌های زیرزمینی و کشاورزی پرداخت و نتایج آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کرد. منطقه مورد مطالعه به لحاظ منابع آب در استان و کشور دارای اهمیت ویژه‌ای است به همین دلیل توصیه می‌شود برای دستیابی به نتایج بهتر سناریوهای تغییر اقلیم در منطقه بررسی و نتایج در برنامه‌ریزی‌های بهره‌برداری از منابع آب به کار گرفته شود. این تحقیق با استفاده از اندازه‌گیری‌های زمینی انجام گرفت. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های مربوط و نحوه رفتار آن‌ها در مقایسه با شاخص‌های زمینی موضوعی است که در ادامه قابل پیشنهاد است. نهایتاً و مهم‌ترین آن، پایش خشک‌سالی فرآیندی است فرابخشی. در ایران وزارتخانه‌های نیرو، جهاد کشاورزی و کشور بخش‌هایی هستند که در مدیریت ریسک خشک‌سالی به‌طور جدی می‌توانند از این سیستم-ها استفاده جویند. برای حصول به یک سیستم پایش خشک‌سالی مطلوب، لازم است تا وزارتخانه‌های مزبور همراه با سازمان هواشناسی و دانشگاه‌ها به تعریف هماهنگی از خشک‌سالی برسند و عملیات اجرایی آن در مرکزی مورد قبول این دستگاه‌ها برای کل کشور به انجام رسد.

خفیف‌تر است. الگوی مکانی خشک‌سالی ۴۸ ماهه تقریباً مشابه به ۹ ماهه است، اما در نیمه غربی شدیدتر است و به سمت شرق کاهش می‌یابد. خشک‌سالی هواشناسی که با توجه به بارش‌ها در بازه‌های زمانی مختلف محاسبه شده است نشانگر الگوی حاکم بر بارش در مناطق مختلف استان است. در بازه‌های زمانی ۱ تا ۹ ماه خشک‌سالی در مناطق غربی استان که به ارتفاعات زاگرس نزدیک‌تر است کمتر و در نیمه شرقی بیشتر است. با افزایش مقیاس خشک‌سالی در بازه‌های ۹ و ۴۸ ماه قسمت‌های غربی استان نیز خشک‌سالی با شدت‌های بیشتری مشاهده می‌شود که بیانگر الگوی زمانی بارش در بازه زمانی مورد بررسی، در طولانی‌مدت است. با افزایش مقیاس زمانی، در قسمت‌های غربی استان نیز خشک‌سالی با شدت‌های بیشتری مشاهده می‌شود.

تغییرات زمانی SPI در مقیاس‌های مختلف نشان داد که در غالب ایستگاه‌ها با افزایش مقیاس زمانی از فراوانی وقوع و شدت خشک‌سالی و ترسالی‌ها کاسته می‌شود. همچنین در بازه زمانی مورد بررسی با گذشت زمان شدت خشک‌سالی‌های ۱ و ۳ ماهه کاهش و شدت خشک‌سالی‌های ۹ و ۱۲ ماهه افزایش یافته است. خشک‌سالی‌های ۲۴ و ۴۸ ماهه نیز رو به آغاز است. تحلیل کلی کوتاه‌مدت خشک‌سالی (خشک‌سالی‌های ۱، ۳، ۶ و ۹ ماهه) نشان داد که در ایستگاه‌های پرباران دارشاهی، چیتاب و قلعه رئیسی خشک‌سالی‌های کوتاه‌مدت عمیق‌تری رخ داده است. در تحلیل خشک‌سالی‌های بلندمدت (خشک‌سالی‌های ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) نیز نتایج دال بر وجود خشک‌سالی‌های ممتد و گاهی طولانی‌مدت خشک‌سالی است که اعلام هشدار

## Reference

Abramowitz, M. & Stegun, A. (1965). Handbook of Mathematical Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. Dover Publications, Inc, New York, USA.

Beheshtirad, M. (2015). Investigation spatial variation of drought using geostatistics methods and Z index in Kerman province. *J Irrigation and Water Engineering*, 5(20), 118-130.

- Benjamin, L. H. & Saunders, A. (2002). A drought climatology for Europe *Int. J. climatol.* 22, 1571-1592.
- Farajzadeh, M. (1997). Drought study methods. *Forest and Range*, 32, 22-28 (In Persian).
- Ghahremani, E. (2015). *Analysis of meteorological and hydrological drought in zohreh river basin*. M.S. Thesis, Water Science and Engineering, Islamic Azad University, Marvdasht branch, Marvdasht, Iran (In Persian).
- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A. & Vanyarkho, O. V. (1999). Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80, 429-438.
- Henriques, A. G. & Santos, M. J. (1999). Regional drought distribution Model. *Phys, Chem, Earth*, 24(1-2), 19-22.
- Janbozorgi, M., Hanifepour, M. & Khosravi, H. (2021). Temporal changes in meteorological-hydrological drought (case study: Guilan province). *Water and Soil Management and Modeling*, 1(2), 1-14 (In Persian).
- Keshtkar, A.R., Moazami, N. & Afzali, A. (2021). Assessment of spatial interpolation techniques for drought severity analysis in Iran's Salt Lake Basin. *Desert*, 26(1), 85-97 (In Persian).
- Khan, S., Gabriel, H.F. & Rana, T. (2008). Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables in irrigation areas, *Irrig Drainage Syst*, 159-17.
- Matalas, N. C. (1991). Drought description. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 5, 255-260.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist, J. (1993). *The Relationship of drought Frequency and Duration to Time Scales*, 8th Conference on Applied Climatology, 179-184.
- Mckee, B. T., Nolan, J. & Doesken, Kleist, J. (1995). *Drought monitoring with multiple timescales*, 9th Conference on Applied Climatology, Boston, Massachusetts.
- Mehry, S., Haji, K., Alizadeh, V. & Mostafazadeh, R. (2017). Assessment of spatial variations of meteorological drought periods severity in Kurdistan Province at different time scales. *Geographical Data*, 26(102), 151-162 (In Persian).
- Mesbahzadeh, T. & Soleimani Sardoo, F. (2018). Temporal Trend Study of Hydrological and Meteorological Drought in Karkheh Watershed. *Iran-Watershed Management Science and Engineering*, 12(40), 105-114 (In Persian).
- Mostafazadeh, R., Shahabi, M. & Zabihi, M. (2015). Analysis of meteorological drought using Triple Diagram Model in the Kurdistan Province, Iran. *Geographical Planning of Space*, 5(17), 129-140 (In Persian).
- Mishra, A.K. & Desai, V.R. (2005). Drought Forecasting Using Stochastic Models, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment (SERRA)*, 19(5), 326-339.
- Moradi, H. R., Rajabi, M. & Faragzadeh, M. (2011). Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province, Iran, *Catena* 84, 35-4.
- Razmkhah, H., Akhond Ali, A.M. & Saghafian, B. (2009). *Evaluation of yearly precipitation regional variation using Kriging geostatistical technique, case study: Fars Province*, The Second National Seminar on Drought Effects/Management, Esfahan (In Persian).
- Razmkhah, H. & Safi, Z. (2012). *Analysis of Bakhtegan basin Hydrological drought*. 4th Iran Water Resources Management Conference, Tehran, Iran (In Persian).
- Razmkhah, H. & Saghafian, B. (2011). *Assessing spatial variation of SPI 3-months, using geostatistic technique, case study: Fars Province*. 4th Iran Water Resources Management Conference, Tehran, Iran (In Persian).
- Razmkhah, H. (2016). Preparing stream flow drought severity-duration-frequency curves using threshold level method, *Arabian J. of Geosciences*, 9, 513.
- Razmkhah, H. (2017). Comparing threshold level

- methods in development of stream flow drought severity-duration-frequency curves, *Water Resources Management*, 31, 4045–406.
- Rostami, E. (2013). *Monitoring and prediction of hydrological drought in Kohgiluyeh and BoyerAhmad province, using meteorological drought indexes and Artificial Neural Networks*. M.S. Thesis, Water science and engineering, Islamic Azad University, Marvdasht branch, Marvdasht, Iran (In Persian).
- Subedi, M.R., Xi, W., Edgar, Ch. B., Rideout-Hanzak, S. & Hedquist, B.C. (2019). Assessment of geostatistical methods for spatiotemporal analysis of drought patterns in East Texas, USA. *Spatial Information Research*: 27, 11–21.
- Zamani, R., Akhondali, A.M., Solaimani, K., Ansari, F. & Allahbakhshian, P. (2012). Application of geostatistics in zone classification of drought severities (case study: Fars province). *J Watershed Management Research*, 3(6), pp. 15-29 (In Persian).
- Zandifar, S., Fijani, E., Naeimi, M. & Khosroshahi, M. (2020). Spatiotemporal variations of groundwater drought indices, Case study: Zohreh- Jarrahi watershed. *Hydrogeology*, 4(2), 180-130 (In Persian).
- Zarea Abyaneh, H., Mahboubi, A.A. & Neyshabouri, M.R. (2004). Evaluation of drought situation and its process in Hamadan region on the basis of drought statistical indexes. *Pajouhesh-va-Sazandegi*, 17(3), 2-17 (In Persian).