

## Behavioral Analysis of Micro-Climatic Regions in Central Iran Using Factor Analysis Method

Mojtaba Mobaraki <sup>1</sup>  | Morteza Mobaraki 

1- Graduated Masters Sciences in Water Science and Engineering, Department of Water Engineering, University of Zabol

2- Graduated Chemical Engineering, Technical and Professional Faculty Shahid Chamran University

### Article Info:

**Article type:**  
Research Article

**history:**  
**Received:**

2022/6/25

**Received:**

2022/9/14

**Accepted:**

2022/10/29

**Published:**

2023/1/5

### Keywords:

Drought, Droughty zoning, Drought indices, Bushehr

**A**bstract: Drought is considered one of the significant natural disasters, the frequency of which is very high, especially in the arid and semi-arid regions. Monitoring devices are necessary tools for drought management. The systems that make it possible to understand the intensity and spatial distribution of drought, which is usually estimated by using drought indices. In the present study, four indices, including RAI, SPI, PN and DI, were used to quantitatively express drought and its zoning in six meteorological stations in Bushehr province. First, the meteorological data of precipitation during the under-study period of 28 years (1989-2016) were collected from selected stations. Then, each of the indices was calculated and the severity of drought was analyzed for the under-study period. The determination coefficient ( $R^2$ ) was used to select the most appropriate index and finally, in order to investigate droughts, zoning maps were prepared using Kriging method. The results showed that in most of the stations, the pairs of indices have a high correlation with each other. Also, the zoning results indicated that drought zoning in all indices did not follow a regular trend during the studied period. According to zoning, the most severe droughts related to a period of 1989 through 1999 in Dilam, Borazjan, Chahkotah and Bushehr stations. In all stations, PN and SPI indices reflected droughts feature better than other stations, and RAI index also more properly showed very severe droughts.

**Cite this article:** Mobaraki, M., Mobaraki, M. (2023). Behavioral Analysis of Micro-Climatic Regions in Central Iran Using Factor Analysis Method. *Climate Change and Climate Disasters*, 2(3), 49-66.

© The Author(s).

**Homepage:** [cccd.znu.ac.ir](http://cccd.znu.ac.ir)

**Publisher:** University of Zanjan





## بررسی و پایش خشکسالی استان بوشهر با استفاده از شاخص های خشکسالی و سیستم

### اطلاعات جغرافیایی (GIS)

مجتبی مبارکی<sup>۱</sup> | مرتضی مبارکی<sup>۲</sup> ID

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل

۲. کارشناسی مهندسی شیمی، دانشکده فنی و حرفه ای شهید چمران اهواز

#### اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ ها:

دریافت: ۱۴۰۱/۴/۴

بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۲۳

پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۷

انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵

#### واژگان کلیدی:

خشکسالی، پهنه بندی خشکسالی، شاخص های خشکسالی، بوشهر

**چکیده:** خشکسالی یکی از بزرگترین بلایای طبیعی محسوب می شود که فراوانی آن به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار زیاد می باشد. دستگاه های پایش از ابزارهای لازم برای مدیریت خشکسالی هستند. با این سامانه ها است که می توان از شدت و توسعه مکانی خشکسالی آگاهی یافت که معمولاً با شاخص های خشکسالی این مهم به انجام می رسد. در پژوهش حاضر از شاخص های  $PN$ ,  $SPI$ ,  $RAI$  و  $DI$  برای بیان کمی خشکسالی و پهنه بندی آن در تعداد شش ایستگاه هواشناسی در سطح استان بوشهر استفاده شد. ابتدا داده های هواشناسی بارندگی در طول دوره آماری ۲۸ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۵) از ایستگاه های منتخب جمع آوری شد. سپس هر یک از شاخص ها محاسبه و شدت خشکسالی برای دوره آماری مورد بررسی قرار گرفت. برای انتخاب مناسب ترین نمایه از ضریب تعیین  $R^2$  استفاده گردید و در نهایت به منظور بررسی خشکسالی ها، نقشه های پهنه بندی با روش کریجینگ تهیه شد. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه ها زوج نمایه ها از همبستگی بالایی نسبت به هم برخوردار هستند. همچنین نتایج پهنه بندی حاکی از آن بود که پهنه بندی خشکسالی در همه شاخص ها از روند منظمی در طی دوره ی مورد مطالعه تبعیت نمی کند. طبق پهنه بندی بیشترین شدت خشکسالی ها مربوط به سال های (۱۳۶۸-۱۳۷۸) در ایستگاه های دیلم، برازجان، چاهکوتاه و بوشهر مشاهده شده است. در تمامی ایستگاه ها شاخص های  $PN$  و  $SPI$  خشکسالی ها را بهتر از دیگر ایستگاه ها نشان می دهد، و همچنین شاخص  $RAI$  نیز خشکسالی های بسیار شدید را بهتر معرفی می کند.

**استناد:** مبارکی، مجتبی، مبارکی، مرتضی، (۱۴۰۲). بررسی و پایش خشکسالی استان بوشهر با استفاده از شاخص های خشکسالی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). دگرگونی ها و مخاطرات آب و هوایی، ۲(۳)، ۴۹-۶۶

© نویسندگان

Homepage: cccd.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان.



## مقدمه

تحقیقات که در این زمینه صورت گرفته اشاره خواهد شد:

سرحدی و همکاران (۱۳۸۷: ۵۷-۵۵)، به منظور برآورد گستره تحت تأثیر خشکسالی در استان اصفهان، بارندگی سالانه ۱۲ ایستگاه مهم استان اصفهان شامل مراکز شهرستانها در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۷۳ را مورد استفاده قرار دادند. در آغاز با بهره‌گیری از آزمون روند و همگنی، مشخص شد ایستگاه اصفهان دارای روند معنی‌داری است. سپس وضعیت خشکسالی در هر سال با بهره‌گیری از چهار شاخص این بررسی همچون نشان داد که از بین شاخص‌های مختلف  $RAI^1$ ،  $DI^2$ ،  $PNPI^3$  و  $SPI^4$  محاسبه شد. نتایج این بررسی نشان داد بر پایه چهار شاخص فوق، خشکسالی در مقیاس منطقه‌ای به طور میانگین به ترتیب ۲۳، ۳۱، ۳۷ و ۵۲ درصد منطقه را فرا می‌گیرد. این بررسی همچون نشان داد که از بین شاخص‌های مختلف، تنها شاخص  $DI$  که وضعیت خشکسالی را نشان می‌دهند با طول جغرافیایی رابطه دارد. به عبارت دیگر خشکسالی با افزایش طول جغرافیایی و حرکت به سمت شرق

خشکسالی به عنوان بی‌سر و صداترین بلایای طبیعی در مقابل سیلاب به عنوان یکی از پرصداترین بلایا قرار گرفته است. این در حالی است که خطر و خسارت ناشی از خشکسالی به مراتب بیشتر از سایر بلایای طبیعی مانند سیل، طوفان، آتشفشان و حتی زلزله است. ولی به دلیلی که مشاهده تأثیر تخریبی خشکسالی نیاز به زمان به نسبت طولانی دارد، مطالعه و تحقیق و نحوه برخورد با آن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. شناخت و مطالعه پدیده خشکسالی با توجه به عوامل تأثیرگذار و دخیل در آن باعث درک و فهم بهتر این پدیده شده و راه را برای برنامه‌ریزی کوتاه مدت و بلند مدت در رابطه با برخورد، مهار و پیش‌بینی این پدیده هموار می‌سازد. از آنجایی که برای تشخیص شدت، تداوم و فرکانس خشکسالی نیاز به تعیین خشکسالی با استفاده از شاخص‌ها می‌باشد، لذا پژوهشگران همواره به دنبال استفاده از شاخص‌های مختلف جهت تعیین و پایش خشکسالی به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی هستند. در زیر به تعدادی از

استان با تناوب و شدت بیشتر رخ می-دهد. در حالی که شاخص‌های دیگر چنین رابطه‌ای را نشان نمی‌دهند. همچنین با توجه به شاخص SPI به عنوان مهم‌ترین شاخص، در دوره آماری ۳۰ ساله به طور میانگین همواره نیمی از استان اصفهان در معرض خشکسالی قرار داشته است. این موضوع اهمیت ایجاد یک نظام پایش و مدیریت منطقه‌ای را به منظور کاهش آثار خشکسالی نمایان می‌سازد. سیمانی (۱۳۹۰:۱۳۰)، بررسی و تحلیل وقوع پدیده‌های خشکسالی و ترسالی با استفاده از نمایه‌های دهک‌ها و نمایه بارش (DPI و PN) را در استان کرمان انجام داد. نتایج نشان داد نمایه دهک‌های بارندگی سالانه مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی رخداد خشکسالی بسیار شدید را در تمام ایستگاه‌های تحت مطالعه گزارش نمودند و از نظر تعیین تصویر خشکسالی بسیار شدید هواشناسی کارایی بیشتری نسبت به نمایه دیگر داشته است. در مطالعه‌ای که در سطح ایران برای ۴۸ ایستگاه انجام گرفت، خسروی و همکاران (۱۳۹۱: ۷۰-۵۳)، نشان دادند، سال ۲۰۰۱ سالی است که خشکسالی فراگیر

کشوری در دوره آماری سی ساله برای ایران به وقوع پیوسته است. این پژوهشگران با ارزیابی دو روش پهنه-بندی به روش RMSE قضاوت کردند که ارزیابی شدت خشکسالی توسط شاخص‌های PNI و RAI دقت بیشتری نسبت به سایر شاخص‌ها دارد. پیری و همکاران (۱۳۹۲: ۹۶-۱۱۴)، مطالعه تطبیقی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی را در استان سیستان و بلوچستان انجام دادند. بررسی‌ها نشان داد که شاخص‌های RAI و PN نسبت به شاخص‌های دیگر درصد بیشتری از خشکسالی را بیان می‌دارند. این در حالی است که شاخص DPI سال‌های نرمال و شاخص SPI سال‌هایی با آستانه خشکسالی ضعیف را به خوبی نشان می‌دهند. میرعباسی و همکاران (۲۰۱۳: ۳۵-۴۸)، در شمال غرب ایران با استفاده از شاخص JDI، به بررسی خشکسالی و کارایی شاخص JDI در منطقه مورد مطالعه پرداختند. برای این منظور، از داده‌های بارندگی ماهانه ۵۰ ایستگاه در طی سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۷۰ استفاده نمودند. نتایج حاکی از توانایی بهتر شاخص JDI در تشخیص زمان وقوع خشکسالی‌های طولانی مدت

نسبت به شاخص SPI می‌باشد. بهشتی‌راد و بهشتی‌راد (۱۳۹۲: ۸۹-۱۰۱)، به بررسی کارایی روش‌های پهنه‌بندی شدت خشکسالی در استان کرمان پرداختند. نتایج نشان داد که روش کریجینگ از سه روش کریجینگ، کوکریجینگ و معکوس فاصله از عملکرد مناسب‌تری برخوردار است. همچنین شدیدترین خشکسالی‌ها در سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۲، ۱۳۷۹، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۴ اتفاق افتاده است. رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۸: ۳۳۲-۳۴۰)، به پهنه‌بندی خشکسالی با شاخص‌های SPI و CZI در استان خراسان جنوبی پرداختند. طبق نتایج با بهره‌گیری از دو شاخص در طول سال آماری، خشک‌ترین سال مربوط به سال ۱۳۷۷-۱۳۷۸ و مرطوب‌ترین سال سال ۱۳۷۰-۱۳۷۱ برآورد گردید. مک‌کی و همکاران (۱۹۹۵: ۲۳۳-۲۳۶)، برای اولین بار شاخص بارش استاندارد SPI (Standardized Precipitation Index) را در ایالات کلرادو آمریکا به کار بردند. در این مطالعه مک‌کی، از مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت سه و شش ماهه به منظور اهداف کشاورزی و از مقیاس‌های زمانی بلند مدت ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه به منظور اهداف هیدرولوژی

استفاده کرد. لوکاس و همکاران (۲۰۰۳)، برای مطالعه خشکسالی‌های هواشناسی در مقیاس‌های زمانی متفاوت در کشور یونان از سه شاخص عدد  $Z$ ، ناهنجاری بارش و بارش استاندارد استفاده کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که هر سه شاخص برای مقیاس زمانی ۱۲ ماهه روند یکسانی داشته و همچنین مطابقت خوبی با شاخص پالمر (PDSI) دارد. ژو و همکاران (۲۰۱۶: ۱۰۶۸-۱۰۵۸)، از شاخص‌های SPI و شاخص بارندگی و تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI) برای پیش-بینی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در مناطق فاقد اندازه‌گیری‌های هیدرولوژیکی در مقیاس زمانی ماهانه استفاده کردند. نتایج نشان داد که پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت یک ماهه دقیق‌تر از پیش‌بینی‌های دراز مدت است. هومدی و همکاران (۲۰۱۶: ۲۱۱-۲۰۱۹)، همچنین مقایسه‌ای بین سه شاخص استاندارد SPEI، SPI و شاخص بارندگی و تبخیر-تعرق واقعی استاندارد شده (SPAEI)، برای نشان دادن روندهای خشکسالی در حوضه آبریز رودخانه چی در شمال تایلند انجام شد. این تحقیق نشان داد که توانایی

نسبت به شاخص SPI می‌باشد. بهشتی‌راد و بهشتی‌راد (۱۳۹۲: ۸۹-۱۰۱)، به بررسی کارایی روش‌های پهنه‌بندی شدت خشکسالی در استان کرمان پرداختند. نتایج نشان داد که روش کریجینگ از سه روش کریجینگ، کوکریجینگ و معکوس فاصله از عملکرد مناسب‌تری برخوردار است. همچنین شدیدترین خشکسالی‌ها در سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۲، ۱۳۷۹، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۴ اتفاق افتاده است. رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۸: ۳۳۲-۳۴۰)، به پهنه‌بندی خشکسالی با شاخص‌های SPI و CZI در استان خراسان جنوبی پرداختند. طبق نتایج با بهره‌گیری از دو شاخص در طول سال آماری، خشک‌ترین سال مربوط به سال ۱۳۷۷-۱۳۷۸ و مرطوب‌ترین سال سال ۱۳۷۰-۱۳۷۱ برآورد گردید. مک‌کی و همکاران (۱۹۹۵: ۲۳۳-۲۳۶)، برای اولین بار شاخص بارش استاندارد SPI (Standardized Precipitation Index) را در ایالات کلرادو آمریکا به کار بردند. در این مطالعه مک‌کی، از مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت سه و شش ماهه به منظور اهداف کشاورزی و از مقیاس‌های زمانی بلند مدت ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه به منظور اهداف هیدرولوژی

SPAEI و SPEI به دلیل در نظر گرفتن پارامترهای بیشتر از شاخص SPI است، که تنها بارندگی را در نظر می‌گیرد. با توجه به مطالب ذکر شده، به نظر می‌رسد تاکنون مطالعه جامعی در زمینه خشکسالی و مقایسه کارایی شاخص‌های مختلف در منطقه مورد مطالعاتی صورت نگرفته است. لذا هدف از این تحقیق، بررسی مشخصات خشکسالی و محاسبه شاخص‌های خشکسالی SPI, PN, RAI و DI و بررسی و مقایسه کارایی و دقت آنها در هر ایستگاه و همچنین پهنه‌بندی مکانی این شاخص‌ها در استان بوشهر می‌باشد. برای نخستین بار است که این نوع پژوهش در سطح استان بوشهر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

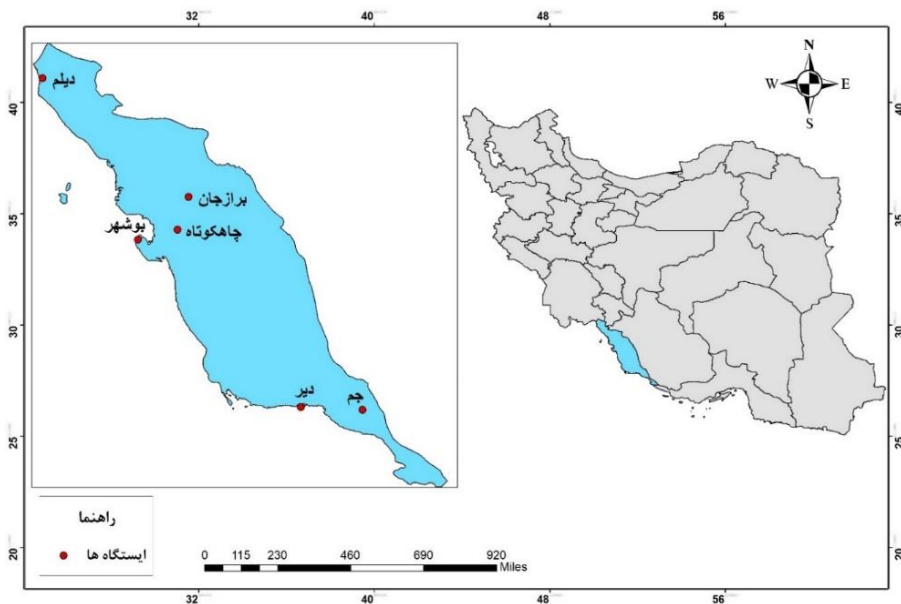
## ۱. داده‌ها و روش‌ها

### ۱.۱. منطقه مورد مطالعه

استان بوشهر با مساحتی در حدود ۲۷۶۵۳ کیلومتر مربع در جنوب غربی کشور و در فاصله ۲۷ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۷ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۰ درجه و ۸ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۸ دقیقه طول جغرافیایی واقع گردیده است. این استان از شمال به

استان خوزستان و قسمتی از کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب به خلیج فارس و قسمتی از استان هرمزگان، از شرق به استان فارس و از غرب به خلیج فارس محدود است. متوسط دمای سالانه این استان ۲۴ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالیانه آن نیز حدود ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. این استان بر اساس اقلیم بندی آمبرژه در اقلیم بیابانی گرم میانه قرار گرفته است (سازمان هواشناسی استان بوشهر). برای بررسی خشکسالی استان بوشهر از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان در طی یک دوره آماری ۲۸ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۵) استفاده شده است. در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه و موقعیت آن‌ها بیان شده است. موقعیت ایستگاه‌ها در سطح استان نیز در شکل (۱) نشان داده شده است. بر اساس آمار جمع‌آوری شده موجود از مقدار بارش ماهیانه ایستگاه‌های سینوپتیک استان بوشهر اجزاء بارش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و سپس از شاخص درصد از نرمال (PN)، دهک‌های بارندگی (DI)، بارش استاندارد (SPI) و ناهنجاری‌های بارش (RAI) برای تعیین شدت و پهنه‌بندی

خشکسالی بر مبنای داده‌های موجود  
بارندگی طی سال‌های فوق‌الذکر  
استفاده گردید.



شکل ۱: موقعیت منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

۱.۲ داده‌ها

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک

دوره آماری (سال)	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ایستگاه
۱۳۹۵-۱۳۶۸	۹	۲۸/۹۶	۵۰/۸۱	بوشهر
۱۳۹۵-۱۳۶۸	۹۱	۲۹/۲۵	۵۱/۱۶	برازجان
۱۳۹۵-۱۳۶۸	۴	۲۷/۸۳	۵۱/۹۳	دیر
۱۳۹۵-۱۳۶۸	۶۵۹	۲۷/۸۱	۵۲/۳۵	جم
۱۳۹۵-۱۳۶۸	۳/۹	۳۰/۰۵	۵۰/۱۶	دیلیم
۱۳۹۵-۱۳۶۸	۳۰	۲۹/۰۳	۵۱/۰۹	چاهکوتاه

## ۳-۱. روش ها

## شاخص های مورد بررسی

## شاخص درصد نرمال بارندگی (PN)

شاخص درصد بارش نرمال توسط (Willeke et al, 1994)، ارائه شده است. استفاده از این شاخص، یکی از ساده ترین روش های ارزیابی شدت خشکسالی است که برای بیان اولیه این پدیده مفید می باشد. شاخص PN از تقسیم مقدار واقعی بارش بر بارش نرمال و ضرب آن در عدد ۱۰۰ بدست می آید که به صورت رابطه (۱) می باشد:

$$PN = \frac{P_i}{\bar{P}} \times 100$$

که در آن،  $P_i$ : بارندگی سال  $i$  و  $\bar{P}$ : میانگین بارندگی در سال های آماری می باشد. این شاخص همواره مثبت بوده و از سمت پایین محدود به صفر و از قسمت بالا از نظر تئوری محدودیتی ندارد. طبقات مختلف این شاخص در جدول (۲) آمده است.

## شاخص ناهنجاری بارش (RAI)

این شاخص توسط (Van Rooy, 1965) ارائه شده است. این شاخص بارندگی ماه یا سال معین را بر روی

مقیاس خطی که از روی سری داده ها حاصل می شود، ارزیابی می کند. در واقع اساس این شاخص محاسبه انحراف مقادیر بارندگی از نرمال می باشد. مراحل محاسبه این شاخص به صورت زیر است:

- ۱- محاسبه میانگین دراز مدت بارندگی سالیانه ( $\bar{P}$ ) در ایستگاه مورد نظر
  - ۲- استخراج میانگین ده مورد از بزرگترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی ( $M$ )
  - ۳- استخراج میانگین ده مورد از کوچکترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی ( $X$ )
  - ۴- مقایسه داده های بارندگی سالیانه  $P$  با میانگین دراز مدت ( $\bar{P}$ )
- اگر  $P > \bar{P}$  باشد آنگاه RAI از رابطه (۲) بدست می آید:

$$RAI = \frac{3(P - \bar{P})}{(M - \bar{P})} \quad (2)$$

و اگر  $\bar{P} > P$  باشد آنگاه RAI از رابطه (۳) بدست می آید:

$$RAI = \frac{-3(P - \bar{P})}{(X - \bar{P})} \quad (3)$$

در حالت اول ناهنجاری مثبت و در حالت دوم منفی است. نسبت دادن

آستانه‌های +۳ و -۳ به ترتیب به میانگین ده مورد از بزرگ‌ترین مقادیر ناهنجاری‌های مثبت و ده مورد از کوچک‌ترین مقادیر ناهنجاری‌های منفی. نهایتاً، با مقیاس‌گذاری خطی روی مقادیر حاصل از شاخص ناهنجاری‌های بارندگی، نه طبقه ناهنجاری با دامنه‌ای از ترسالی بسیار شدید تا خشکسالی بسیار شدید تعیین می‌شود.

### شاخص دهک بارندگی (DI)

این شاخص توسط (Gibbs and Maher, 1967) برای اجتناب از بعضی از نقاط ضعف روش درصد نرمال بارندگی ارائه شد. این شاخص مشخص می‌کند که بارش یک ماه معین در چه بازه‌ای از دهک‌های متوالی سری بارندگی ماهانه یا سالانه قرار گرفته است. به منظور محاسبه دهک‌ها، ابتدا داده‌های بارش سالانه به صورت نزولی یا صعودی مرتب می‌شوند. سپس احتمال وقوع بارش یک سال معین از فرمول زیر بدست می‌آید. (فرج‌زاده اصل، ۱۳۷۵: ص ۲۲).

$$DI = \frac{i}{N+1} \times 100 \quad (5)$$

در این رابطه:

DI: احتمال وقوع بارندگی در شماره

ردیف  $i$  ام

N: تعداد داده‌های بارندگی

بر حسب اینکه یک مقدار در چه فاصله دهکی قرار گرفته باشد مطابق جدول (۲) یکی از درجات خشکسالی به آن نسبت داده می‌شود.

شاخص SPI، از بهترین و جامع‌ترین و در عین حال ساده‌ترین روش مطالعه خشکسالی و ترسالی و خصوصیات آن‌ها محسوب می‌شود. این شاخص که توسط مک‌کی، دوسکن و جان کلئست در سال ۱۹۹۳ ارائه شده است، برای مقیاس‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است و از رابطه (۴) بدست می‌آید. (وخشوری و همکاران، ۱۳۹۵).

### شاخص بارش استاندارد (SPI)

که در آن،  $P_i$ : مقدار بارش در دوره مورد نظر (mm)،  $\bar{P}$ : میانگین دراز مدت بارش برای دوره مورد نظر

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (4)$$

جدول ۲: طبقات مختلف شاخص های خشکسالی مورد بررسی

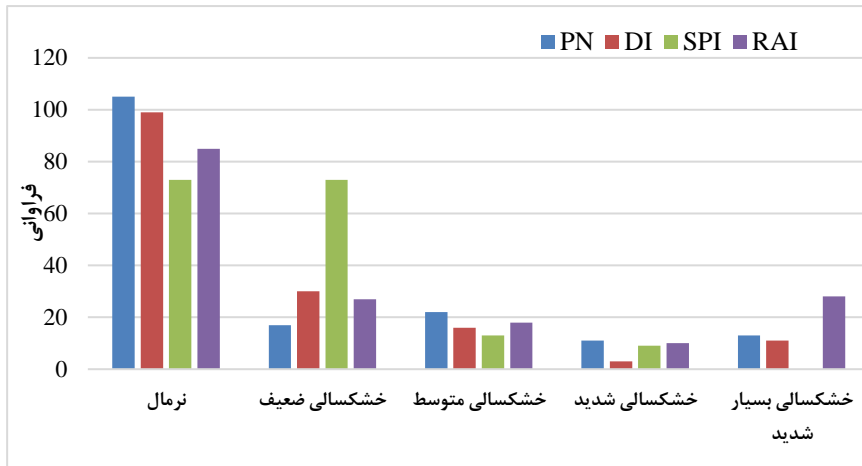
شاخص دهک ها (DI)	شاخص درصد نرمال بارندگی (PN)	شدت ناهنجاری های بارش (RAI)	شدت بارش استاندارد شده (SPI)	رتبه	طبقات شدت خشکسالی
$\geq 40\%$	$\geq 80\%$	$-0.3$ تا $+0.3$	$0$ تا $+1$	۰	نرمال
$30\%$ تا $40\%$	$70\%$ تا $80\%$	$-0.3$ تا $-1/2$	$0$ تا $-1$	۱	خشکسالی ضعیف
$20\%$ تا $30\%$	$55\%$ تا $70\%$	$-1/2$ تا $-2/1$	$-1$ تا $-1/5$	۲	خشکسالی متوسط
$10\%$ تا $20\%$	$40\%$ تا $55\%$	$-2/1$ تا $-3$	$-1/5$ تا $-2$	۳	خشکسالی شدید
کمتر از $10\%$	کمتر از $40\%$	کمتر از $-3$	کمتر از $-2$	۴	خشکسالی بسیار شدید

شاخص از ضریب همبستگی آماری استفاده گردید.

## ۲ یافته ها و نتایج

شکل ۲ فراوانی هر یک از شاخص - های  $DI$ ،  $RAI$ ،  $SPI$ ،  $PN$  را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می گردد شاخص  $PN$  وضعیت نرمال و شاخص - های  $RAI$  و  $SPI$  وضعیت خشکسالی - ها را بهتر نشان می دهند. مطابق شکل (۲)، شاخص  $SPI$ ، خشکسالی ضعیف و شاخص  $RAI$ ، خشکسالی بسیار شدید را به خوبی نشان می دهند.

برای محاسبه شاخص های  $PN$ ،  $SPI$ ،  $RAI$  و  $DI$  ابتدا داده های مربوط به بارش از سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۵ به صورت سالانه میانگین گرفته شد. سپس توسط این داده ها شاخص های  $PN$ ،  $SPI$ ،  $RAI$  و  $DI$  برای تمام ایستگاه ها محاسبه شد. بعد از محاسبه شاخص - های مورد نظر برای هر سال، این داده ها وارد نرم افزار ArcGIS شد و سپس با استفاده از روش کریجینگ، پهنه بندی خشکسالی برای دوره های ۱۰ ساله بر اساس شاخص های گفته شده انجام گرفت. در نهایت برای تعیین بهترین



شکل ۲: فراوانی خشکسالی و سال‌های نرمال به دست آمده از شاخص‌ها

نتایج ضرایب همبستگی آماری در طی دوره مطالعاتی برای ایستگاه‌های مورد نظر در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که زوج شاخص‌های PN-SPI، DI-RAI و SPI-RAI از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردار هستند و دیگر زوج شاخص‌ها از جمله شاخص DI همبستگی ضعیفی با دیگر شاخص‌ها داشته است.

نتایج ضرایب همبستگی آماری در طی دوره مطالعاتی برای ایستگاه‌های مورد نظر در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که زوج شاخص‌های PN-SPI، DI-RAI و SPI-RAI از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردار هستند و دیگر زوج شاخص‌ها از جمله شاخص DI همبستگی ضعیفی با دیگر شاخص‌ها داشته است.

جدول ۳: نتایج ضرایب تعیین ( $R^2$ ) برای شاخص‌های خشکسالی در دوره آماری

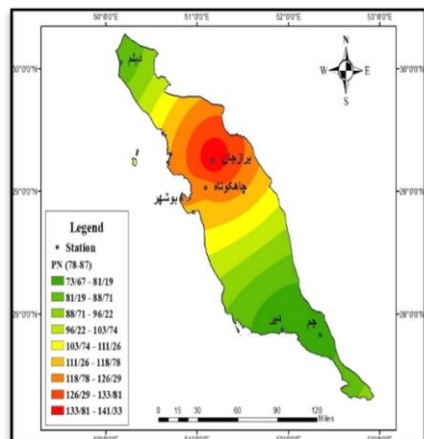
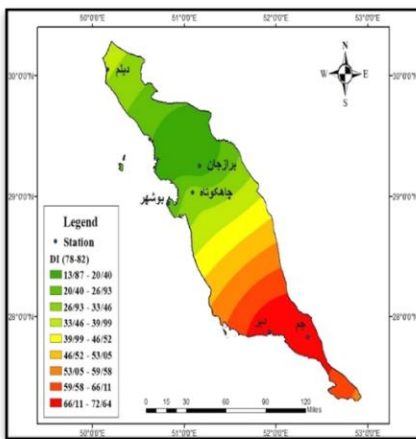
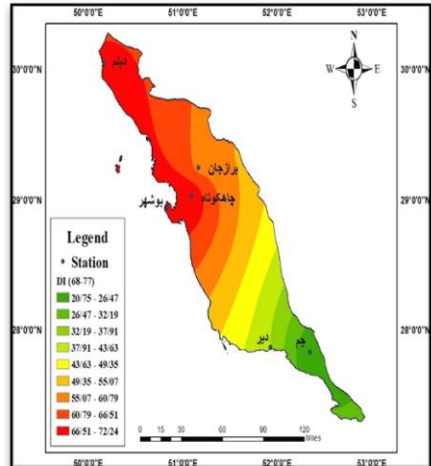
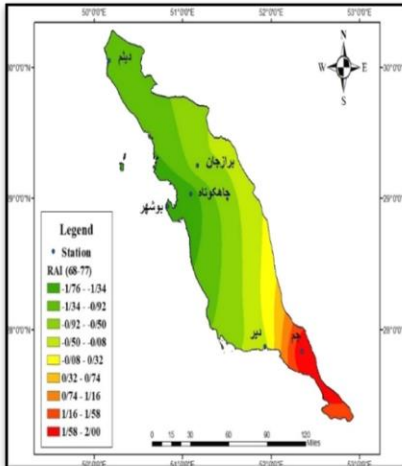
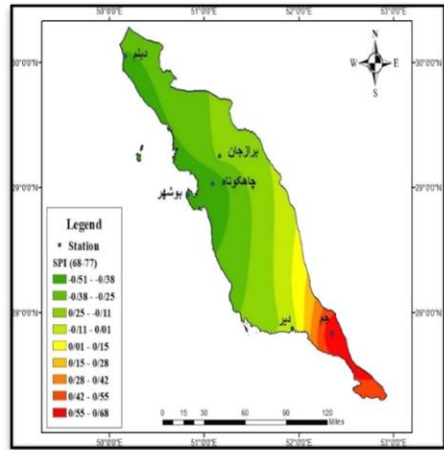
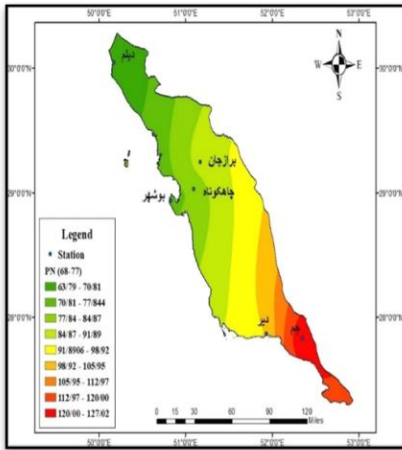
RAI	DI	SPI	PN	نماینه	ایستگاه
۰/۹۹۶۸	۰/۷۵۷۹	۱	۱	PN	
۰/۹۹۶۸	۰/۷۵۷۹	۱	۱	SPI	بوشهر
۰/۷۸۹۳	۱	۰/۷۵۷۹	۰/۷۵۷۹	DI	
۱	۰/۷۸۹۳	۰/۹۹۶۸	۰/۹۹۶۸	RAI	
۱	۰/۹۵۱۷	۱	۱	PN	
۱	۰/۹۵۱۷	۱	۱	SPI	بrazجان
۰/۹۵۱۲	۱	۰/۹۵۱۷	۰/۹۵۱۷	DI	
۱	۰/۹۵۱۲	۱	۱	RAI	
۰/۹۹۸۹	۰/۸۶۴۱	۱	۱	PN	
۰/۹۹۸۹	۰/۸۶۴۱	۱	۱	SPI	دیر
۰/۸۸۰۸	۱	۰/۸۶۴۱	۰/۸۶۴۱	DI	
۱	۰/۸۸۰۸	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۸۹	RAI	
۰/۹۹۹۸	۰/۹۵۴۲	۱	۱	PN	

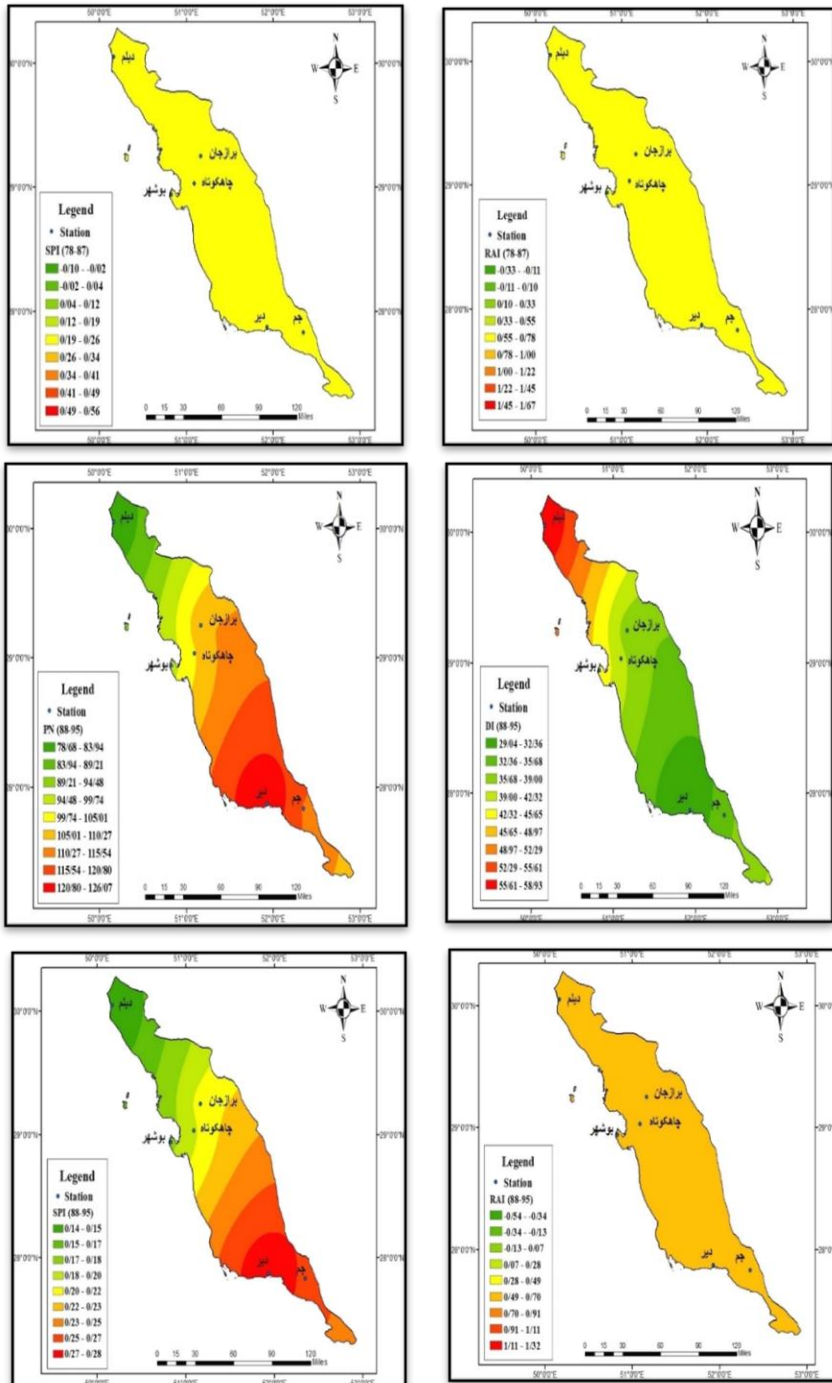
۰/۹۹۹۸	۰/۹۵۴۲	۱	۱	SPI	دیلم
۰/۹۵۴۴	۱	۰/۹۵۴۲	۰/۹۵۴۲	DI	
۱	۰/۹۵۴۴	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۸	RAI	
۰/۹۹۹۷	۰/۳۱	۱	۱	PN	
۰/۹۹۹۷	۰/۳۱	۱	۱	SPI	جم
۰/۳۱۰۹	۱	۰/۳۱	۰/۲۶۲۶	DI	
۱	۰/۳۱۰۹	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۹۷	RAI	
۰/۹۹۸۹	۰/۹۳۵۹	۱	۱	PN	
۰/۹۹۸۹	۰/۹۳۵۵	۱	۱	SPI	چاهکوتاه
۰/۹۴۳۹	۱	۰/۹۳۵۵	۰/۹۳۵۹	DI	
۱	۰/۹۴۳۹	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۸۹	RAI	

### پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از روش کریجینگ

به منظور بررسی دقت هر یک از شاخص‌ها و تحلیل مکانی خشکسالی با استفاده از نتایج حاصل از شاخص‌های مورد مطالعه، اقدام به پهنه‌بندی مکانی با استفاده از کریجینگ گردید. پهنه بندی برای سه دوره ده ساله انجام گرفت که در شکل (۳) تا (۵) نشان داده شده است. نتایج پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی  $DI$ ،  $RAI$ ،  $SPI$ ،  $PN$  در دوره‌های مورد مطالعه حاکی از آن است که تغییرات در سال‌های مختلف و در بخش‌های مختلف استان از روند منظمی تبعیت نمی‌کند. نتایج شکل (۳) نشان می‌دهد که شاخص‌های  $RAI$ ،  $SPI$ ،  $PN$  شدت خشکسالی را

در ده سال اول (۱۳۷۷-۱۳۶۸) در شهرهای دیلم، برازجان، چاهکوتاه و بوشهر شدیدتر نشان می‌دهند. اما در همین سال‌ها شاخص  $DI$  خشکسالی شدید را فقط در ایستگاه جم نشان داده است. همچنین طبق شکل (۴)، در ده ساله دوم (۱۳۸۸-۱۳۷۸)، شدت خشکسالی‌ها متوسط بوده است. در شکل (۵)، طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۸ خشکسالی به مراتب کمتر از قبل بوده و شاخص‌های  $PN$  و  $SPI$  خشکسالی را فقط در محدوده شهر دیلم نشان داده‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌های  $RAI$ ،  $SPI$ ،  $PN$  بهتر از شاخص  $DI$  خشکسالی را بیان داشته‌اند.





شکل ۳: پهنه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص‌های  $DI$  و  $RAI$ ,  $SPI$ ,  $PN$  برای دوره زمانی ۱۳۶۸-۱۳۷۷

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از اطلاعات آماری پارامترهای ایستگاه هواشناسی ۶ شهر منتخب استان بوشهر در دوره آماری ۲۸ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۵) با چهار شاخص خشکسالی RAI, SPI, PN و DI مورد بررسی قرار گرفت و سپس به پهنه‌بندی خشکسالی در استان پرداخته شد و در نهایت بهترین شاخص در ارزیابی خشکسالی در استان بوشهر تعیین شد. نتایج فراوانی شاخص‌ها نیز نشان داد که شاخص PN وضعیت نرمال و شاخص‌های SPI و PN وضعیت خشکسالی‌ها را بهتر نشان می‌دهند. همچنین شاخص RAI توانسته است بهتر از شاخص‌های دیگر خشکسالی‌های بسیار شدید را معرفی نماید. طبق پهنه‌بندی بیشترین شدت خشکسالی‌ها مربوط به سال‌های (۱۳۶۸-۱۳۷۸) در ایستگاه‌های دیلم،

برازجان، چاهکوتاه و بوشهر مشاهده شده است. همچنین تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های خشکسالی در دوره-ی مورد مطالعه، از الگوی منظمی تبعیت نمی‌کند. این نتایج با نتایج (رضیئی و همکاران، ۱۳۸۶: ۷۰-۵۳) و (صالحوند و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۵-۲۵)، که نشان می‌دهد شدت خشکسالی در زمان‌ها و مکان‌های مختلف متغیر است، همخوانی دارد. در تحقیقی دیگر نیز (پیری و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۱۴-۹۶)، نیز زوج شاخص‌های SPI-RAI, PN-RAI و RAI-PN-SPI را دارای همبستگی بالایی توصیف کردند که با تحقیق حاضر همخوانی دارد. با توجه به پهناور بودن کشور ایران و شاخص‌های زیاد خشکسالی پیشنهاد می‌شود خشکسالی در همه اقلیم‌ها و شهرها با مدل‌های مختلف محاسبه گردد و مدل‌های برتر در هر اقلیم مشخص و جهت کارهای تحقیقاتی معرفی شوند.

## ملاحظات اخلاقی

**حامی مالی:** این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان‌های تأمین مالی دریافت نکرده است.  
**تعارض منافع:** طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.  
**برگرفته از پایان نامه/رساله:** این مقاله برگرفته از پایان نامه/رساله نبوده است.

## منابع

- موردی استان خراسان جنوبی).  
 نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، ۳۳۲-۳۴۰.
- رضیئی، طیب. دانشکار آراسته، پیمان. اختری، روح‌انگیز و ثقفیان، بهرام (۱۳۸۶). بررسی خشکسالی‌های هواشناسی (اقلیمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف، مجله تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱ (۳)، ۲۵-۳۵.
- سرحدی، علی. سلطانی، سعید و مدرس، رضا (۱۳۸۸). ارزیابی و تحلیل گستره خشکسالی در استان اصفهان بر پایه چهار شاخص مهم خشکسالی، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۱ (۴)، ۵۷۰-۵۵۴.
- سیمانی، ناصر (۱۳۹۰). بررسی و تحلیل وقوع پدیده‌های خشکسالی و ترسالی با استفاده از چند نمایه مبتنی بر بارش. مطالعه موردی: استان کرمان، دومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران، اراک، دانشگاه آزاد اسلامی اراک. ص ۱۳۰.
- صالحوند، ایران، منتظری، مجید و مهدی، مومنی (۱۳۹۲). پهنه‌بندی بهشتی‌راد، مسعود و بهشتی‌راد، محبوبه (۱۳۹۲). بررسی کارایی روش‌های پهنه‌بندی شدت خشکسالی در استان کرمان، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای. دوره ۱ (۹)، ۸۹-۱۰۱.
- پیری، حلیمه. راهداری، وحید. و ملکی، سعیده (۱۳۹۲). بررسی و مقایسه کارایی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی در مدیریت خطر خشکسالی‌های استان سیستان و بلوچستان. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. دوره ۳ (۳)، ۹۶-۱۱۴.
- خسروی، محمود. موقری، علیرضا. و منصوری دانشور، محمدرضا (۱۳۹۱). ارزیابی شاخص‌های RAI، PNI، SPI و SIP برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی ایران با مقایسه دو روش درون‌یابی IDW و مدل ارتفاعی رقومی DEM. مجله جغرافیا و پایداری محیط. دوره ۲ (۴)، ۵۳-۷۰.
- رحیم‌زاده، زهرا. محمدرزاده، حسین. کاردان مقدم، حمید و هوشمند، عبدالرحیم. (۱۳۸۹). پهنه‌بندی خشکسالی با شاخص‌های SPI و CZI و استفاده از علم زمین آمار (مطالعه

- Loukas, A., L. Vasiliades and N.R. Dalezios. 2003. "Inter comparison of meteorological".
- McKee, B. Nolan, T., Doeskin, J., and Kleist, J. 1995. "Drought monitoring with multiple timescales". 9th. Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Boston Massachusetts, Pp: 233-236.
- McKee, T.B., Doesken, N.J and Kleist, J. 1993. "The relationship of drought frequency and duration to time scales". 8th conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, pp. 176-184.
- Mirabbasi, R., Anagnostou, E. N., Fakheri-Fard, A., Dinpashoh, Y., & Eslamian, S. (2013). "Analysis of meteorological drought in northwest Iran using the Joint Deficit Index". Journal of Hydrology, 492, 35-48.
- Rooy, M. and P.Van. 1965. "A rainfall anomaly index indeoendent of time and space". Notos. 14: 24-43.
- Willeke, G., Hosking, J.R.M., Wallis, J.R., and Guttman, N.B. 1994. "The خشکسالی با PNI, DI, CZI, ZSI و SPI و دنباله‌ها در شهرهای استان خوزستان در محیط GIS، فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس. دوره ۳ (۷)، ۵۲-۳۵.
- فرج‌زاده اصل، منوچهر (۱۳۷۵). خشکسالی و روش‌های مطالعه آن، مجله جنگل‌ها و مرتع، شماره ۳۲ (۲)، ۲۲-۲۹.
- وخشوری، علی. جعفرپور، زین‌العابدین و کردوانی، پرویز (۱۳۹۶). مقایسه شاخص‌های خشکسالی اقلیمی در ایستگاه‌های بارشی ایران، مجله جغرافیای طبیعی، دوره ۱۰ (۳۶)، ۸۹-۱۰۸.
- Gibbs, W.J., and Maher J.V. 1967. "Rainfall Deciles as Drought Indicators". Bureau of Meteorology Bulletin, No. 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.
- Homdee, T., K. Pongput, and S. Kanae. 2016. "A comparative performance analysis of three standardized climatic drought indices in the Chi River basin, Thailand". Agriculture and Natural Resources, 50(3): 211-219.

National Drought Atlas".  
Institute for Water Resources  
Report 94, NDS. 4, U.S.,  
Army Corp of Engineers,  
587p.

- Zhu, Y., W. Wang, V.P. Singh, and Y. Liu. 2016."Combined use of meteorological drought indices at multi-time scales for improving hydrological drought detection". Science of the Total Environment, 571: 1058-1068.