

## **Uncertainty analysis of the drought condition of the Aspas plain drainage basin using Dempster-Shafer evidence theory method**

**Hossein Montaseri<sup>\*1</sup>, Faezeh Salmani<sup>2</sup>, Reza Khalili<sup>3</sup>**

- <sup>\*</sup>1. Assistant Professor †Department of Civil Engineering, Water Resources Management, Yasouj University
2. Graduated M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Yasouj University, Iran
3. PhD student, Department of Water and Wastewater, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran  
<sup>\*</sup>Email Address: [hmontaseri@yu.ac.ir](mailto:hmontaseri@yu.ac.ir)

<b>Article Info</b>	<b>ABSTRACT</b>
<b>Article Type:</b> Research Paper	<p>To develop drought mitigation and management plans, one of the most essential measures is the design of a drought monitoring system. For quantitative analysis of drought, having a suitable index for accurately identifying wet and dry periods is crucial. The aim of this study was to determine the uncertainty levels of various drought indices in estimating the climatic conditions of drought, normal, and wet periods in Aspas Plain. This can be beneficial for monitoring and estimating drought conditions in this plain, which is one of the most fertile plains in Fars Province. The Aspas Plain watershed is among the regions threatened by the risk of drought. Uncertainty analysis in this study was conducted using the Dempster-Shafer Theory. The Dempster-Shafer Theory is an important method for measuring and quantifying uncertainty in statistical systems. This theory was initially established by Dempster using the concept of minimum and maximum probabilities and was later formalized by Shafer as a theoretical framework. Based on the data collected from five meteorological and hydrological indices, including the Standardized Precipitation Index (SPI), Decile Index (DI), Percent of Normal Index (PN), Reconnaissance Drought Index (RDI), and Standardized Runoff Index (SDI), the climatic conditions of the study area were evaluated. According to the observed results, all indices collectively indicated the occurrence of a drought period during the time span of 2013 to 2018. However, due to the differing nature of the indices' calculations or the parameters used, varying results were obtained for other time periods, indicating the presence of uncertainty in assessing drought conditions using different indices. The results of the uncertainty analysis reveal that in estimating normal conditions at monthly, seasonal, and annual scales, the uncertainty ranged from 72% to 79%. For estimating drought conditions, the uncertainty ranged from 35% to 44%, and for wet conditions, the uncertainty ranged from 31% to 47% at the same scales.</p>
<b>Article History:</b>	
Received Date: <b>2024/12/16</b>	
Revised Date: <b>2025/01/06</b>	
Accepted Date: <b>2025/02/17</b>	
Published Date: <b>2025/08/06</b>	
<b>Keywords:</b> drought, uncertainty analysis, drought indicators, witness theory	

**Cite this article:** Hossein Montaseri , Faezeh Salmani , Reza Khalili (2025). Uncertainty analysis of the drought condition of the Aspas plain drainage basin using Dempster-Shafer evidence theory method, Journal of Environmental Sciences Studies, 10(2), Pages 10258 – 10279.

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Drought, unlike other natural disasters, develops gradually, making its onset hard to detect. Effective water management requires predictive models to monitor drought characteristics. Aspas Plain, one of the fertile plains in Fars province, faces drought threats. This study evaluates drought conditions using indices such as the Standard Precipitation Index (SPI) and Drought Intensity Index (DI). This research utilizes Dempster-Shafer evidence theory to measure and quantify the uncertainties associated with these indicators in the drought assessment process. Such analysis aids in better drought planning and response strategies.

### Materials and methods

The study focuses on Aspas Plain in northern Fars province, with data collected from meteorological stations over 36 years (1986–2021). Five drought indices, including SPI, DI, PN, RDI, and SDI, were evaluated for their drought assessment capabilities across monthly, seasonal, and annual scales. Dempster-Shafer theory, which integrates multiple sources of evidence, was used to analyze uncertainty, enabling the calculation of minimum and maximum probabilities for different drought scenarios. Data on rainfall, temperature, and surface flow were also included to enhance drought condition predictions.

### Results and discussion

The indices consistently indicated drought occurrences in Aspas Plain from 2012 to 2017. Differences in calculation methods or parameters resulted in varied drought condition assessments across time frames, highlighting the presence of uncertainty in drought predictions. The Dempster-Shafer analysis showed uncertainty levels of 72–79% for normal conditions, 35–44% for drought conditions, and 31–47% for above-normal conditions. These results reflect the complexity in using multiple indices for drought estimation and the need for robust modeling approaches.

### Conclusion

Drought indices provide valuable insights into climate trends, yet differences in data requirements and calculation methods introduce uncertainties. The high levels of uncertainty underscore the challenges of accurately forecasting drought conditions, especially on shorter time scales. The Dempster-Shafer theory proves useful for combining different indices, offering a composite view of drought risk. The findings suggest that integrating multiple indices, with Dempster-Shafer's framework, improves drought monitoring reliability and can inform water resource management strategies.



## تحلیل عدم قطعیت وضعیت خشک‌سالی حوضه آبریز دشت آسپاس با استفاده از روش نظریه شواهد دمپستر - شيفر (Dempster-Shafer)

حسین منتصری<sup>۱\*</sup>، فائزه سلمانی<sup>۲</sup>، رضا خلیلی<sup>۳</sup>

\*۱- استادیار گروه مهندسی عمران، گرایش مدیریت منابع آب دانشگاه یاسوج

۲- کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۳- دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

\*ایمیل نویسنده مسئول: hmontaseri@yu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله علمی پژوهشی	به منظور تدوین طرح‌های مقابله با خشک‌سالی و مدیریت آن، از ضروری‌ترین تمهیدات، طراحی سیستم پایش خشک‌سالی می‌باشد. برای تحلیل کمی خشک‌سالی، وجود یک شاخص مناسب برای تعیین دقیق دوره‌های تر و خشک بسیار ضروری است. هدف از انجام این پژوهش تعیین میزان عدم قطعیت شاخص‌های مختلف خشک‌سالی در تخمین شرایط اقلیمی خشک‌سالی، نرمال و ترسالی دشت آسپاس استفاده شد که می‌تواند در روند پایش و تخمین خشک‌سالی این دشت که یکی از مهم‌ترین دشت‌های حاصلخیز استان فارس است مفید واقع شود. حوضه آبریز دشت آسپاس یکی از مناطقی است که مورد تهدید خطر خشک‌سالی واقع شده است. تحلیل عدم قطعیت در این تحقیق بر اساس روش نظریه شواهد دمپستر شيفر (Dempster-Shafer) انجام می‌شود. تئوری دمپستر شيفر یک روش مهم در اندازه‌گیری و به کمیت درآوردن عدم قطعیت سیستم‌های آماری است. تئوری دمپستر شيفر با استفاده از مفهوم احتمالات حداقل و حداکثر توسط دمپستر پایه‌گذاری شد و سپس شيفر آن را به عنوان یک نظریه ارائه داد. باتوجه به اطلاعات و داده‌های جمع‌آوری شده از پنج شاخص هواشناسی و هیدرولوژی شامل شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص دهک (DI)، شاخص درصد نرمال (PN)، شاخص نسبت خشک‌سالی (RDI) و شاخص استاندارد رواناب (SDI)، ارزیابی وضعیت اقلیمی در محدوده مطالعاتی انجام شد. مطابق با نتایج مشاهده شده، کلیه شاخص‌ها به اتفاق در بازه زمانی سال ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۷ رخداد دوره خشک‌سالی را نشان داده‌اند و به دلیل ماهیت متفاوت محاسبات شاخص‌ها و یا پارامترهای بکار برده، در سایر بازه‌های زمانی نتایج متفاوتی به دست آمده است که این امر نشان‌دهنده عدم قطعیت به وجود آمده در ارزیابی وضعیت خشک‌سالی با به کارگیری شاخص‌های متفاوت است. نتایج تحلیل عدم قطعیت نشان می‌دهد در تخمین شرایط نرمال در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه عدم قطعیت ۷۲ - ۷۹ درصد و در تخمین شرایط خشک‌سالی در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه عدم قطعیت ۳۵ - ۴۴ درصد و در تخمین شرایط ترسالی در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه عدم قطعیت ۳۱ - ۴۷ درصد وجود دارد.
<b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۳/۰۹/۲۶	
<b>تاریخ بازنگری:</b> ۱۴۰۳/۱۰/۱۷	
<b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۳/۱۱/۲۹	
<b>تاریخ انتشار:</b> ۱۴۰۴/۰۵/۱۵	
<b>کلیدواژه‌ها:</b> خشک‌سالی، تحلیل عدم قطعیت، شاخص‌های خشک‌سالی، نظریه شواهد	

برخلاف اکثر رخدادهای طبیعی، خشک‌سالی رخدادی است که به‌آرامی اتفاق می‌افتد و کاملاً غیر محسوس است. آب ماده‌ای حیاتی برای ادامه زندگی است و یکی از دلایل مهم کمبود آب در مناطق مختلف پدیده خشک‌سالی است از همین رو پیش‌بینی و استفاده از مدل‌هایی که قابلیت پیش‌بینی خشک‌سالی را دارند در دهه‌های اخیر بسیار توسعه یافته و مورد توجه پژوهشگران این حوزه قرار گرفتن است. پیش‌بینی و مدل‌سازی مشخصه‌های یک خشک‌سالی مثل آغاز و تداوم آن نقش به‌سزایی در مدیریت منابع آب آن منطقه دارد. در چند دهه اخیر تحقیقات زیادی پیرامون خشک‌سالی در جهت پیش‌بینی آن و ارائه راهکاری برای جلوگیری از آن انجام شده است. نخستین اقدامات در مورد پایش خشک‌سالی با تحلیل فراوانی منطقه‌ای خشک‌سالی در مقیاس کوچک به‌وسیله ویپل<sup>۱</sup> و در سال ۱۹۹۶ آغاز شد. در زمینه مطالعات انجام‌یافته در خصوص پایش خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی، شاخص PDSI به‌عنوان اولین شاخص پرکاربرد، توجه بیشتری را به خود اختصاص داده است. هیزگر<sup>۲</sup> سال ۲۰۰۰ شاخص درصد از نرمال را موردبررسی کرد و به محاسن و معایب این شاخص اشاره کرد. ویل‌هایت و بیان<sup>۳</sup> به‌طورکلی بر شاخص‌های خشک‌سالی نقد کردند که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از این مسئله که شاخص‌های مرسوم نمی‌توانند دقیق آغاز و پایان خشک‌سالی را مشخص کند و همچنین تأثیر تجمعی بارش در پایش خشک‌سالی دیده نمی‌شود و مقیاس زمانی (ماهانه) آن‌ها مانع پایش پیوسته خشک‌سالی می‌شود و همین مسئله یکی از انگیزه‌های این مطالعه برای ارائه شاخص EDI بوده است. هونگ و وو<sup>۴</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۱ سه شاخص خشک‌سالی SPI، CZI و ZSI را در ۴ نقطه چین که شرایط خشک تا مرطوب داشتند برای ۴۸ سال آمار بارندگی (۱۹۵۱ تا ۱۹۹۸) در بازه‌های ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه ارزیابی کردند. در این مطالعه شاخص SPI مبنا قرار داده شد و سایر شاخص‌ها و عکس‌العمل آن‌ها در مهر و موم‌های خشک و تر نسبت به این شاخص بررسی گردید. نتایج تحقیق مذکور نشان می‌دهد که این شاخص‌ها قادر به پایش خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی مختلف هستند و بهبود عملکرد شاخص CZI و ZSI نسبت به شاخص SPI بدین دلیل است که تأثیر خلأ آماری برای دو شاخص نامبرده برخلاف شاخص SPI ندارد. حسنی‌ها و صالحی در سال ۱۳۷۹ وضعیت خشک‌سالی را در استان زنجان را با استفاده از شاخص‌های آماری بررسی کردند. در این مطالعه، طبق استانداردهای جهانی و توصیه سازمان هواشناسی جهانی که حداقل دوره آماری را ۳۰ سال توصیه می‌کند، آمار بارش یک دوره ۳۰ ساله ایستگاه سینوپتیک زنجان تهیه شد. ایشان پس از بررسی داده‌ها و استفاده از شاخص‌های مختلف، وضعیت خشک‌سالی را در این ایستگاه را ارزیابی کردند. شاخص‌های بکار گرفته‌شده در این تحقیق عبارت‌اند از: شاخص درصد از بارش میانگین، انحراف از میانگین، کلاسه‌بندی دامنه بارش و توزیع استاندارد نتایج تحقیق نشان داده است که شاخص درصد از بارش میانگین در حین سادگی، شاخص مطلوب و مناسبی می‌باشد و خشک‌سالی را از نظر کیفی بسیار منطقی توصیف می‌نماید. مقدم و همکاران در سال ۱۳۸۰، از سه شاخص را برای پایش خشک‌سالی در استان سیستان و بلوچستان مورد استفاده کردند که این شاخص‌ها عبارت‌اند از: شاخص استاندارد شده بارش (SPI)، شاخص دهک و درصد نرمال آن‌ها در نهایت ارتباط این سه شاخص را بررسی کردند و شاخص مناسب کاربردی در منطقه را شاخص SPI معرفی کردند. کمپس<sup>۵</sup> و همکارانش (۲۰۰۸) استفاده صرف از میزان بارندگی ماهانه و روزانه را مورد نقد قرار دادند و با بررسی درجه حرارت به تأثیر آن در خشک‌سالی تأکید کردند، آن‌ها دریافته‌اند که با افزایش درجه حرارت تقاضای آب بیشتر خواهد بود و میزان منابع آب موجود کمتر از حد معمول است و درجه حرارت یکی از شاخص‌های مؤثر خشک‌سالی است. ویسنته<sup>۶</sup> و همکارانش در اسپانیا در سال ۲۰۱۱ در پژوهشی دریافته‌اند که اثرات خشک‌سالی منابع آب در کشور اسپانیا را می‌توان با کمک دو شاخص SPI و SPEI مورد بررسی قرار داد. نتایج این بررسی اثرگذاری تبخیر و تعرق را بر خشک‌سالی سالانه اسپانیا نشان می‌داد. لادودوا<sup>۷</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۴ با استفاده از مدل‌های COMSO شاخص‌های خشک‌سالی SPI و SPEI را در دو حوزه آبخیزدار اسلوواکی مقایسه کردند و به این نتیجه دست یافتند که تبخیر و تعرق مهم‌ترین عامل خشک‌سالی این مناطق در فصل تابستان است. چوبین<sup>۸</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۲ به بررسی موردی دشت آسپاس به‌عنوان یک منطقه خشک و نیمه‌خشک پرداختند. آن‌ها با استفاده از مدل‌سازی‌های مختلف به بررسی روند تغییرات زمانی سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در یک زیست‌بوم پرداختند. تحقیقات آن‌ها نشان داد که تراز آب زیرزمینی دشت آسپاس روند منفی دارد. آن‌ها با استفاده از تست من-کندال نشان دادند که نزدیک به ۸۳ ایستگاه‌های اندازه‌گیری دارای روند منفی معنی‌دارند. ملکیان و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر خشک‌سالی هواشناسی بر آب‌های زیرزمینی دشت آسپاس پرداختند، آن‌ها دریافته‌اند که در این دشت یک‌روند نزولی بارش از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۹ حاکم بوده و پس از بررسی شاخص SPI وقوع خشک‌سالی و ترسالی پیاپی در این دشت مشخص شد. آن‌ها سپس به بررسی تأثیر این خشک‌سالی بر آب‌های زیرزمینی پرداختند و دریافته‌اند که برای مدیریت منابع آب خصوصاً منابع آب زیرزمینی نیازمند

<sup>1</sup> Whipple

<sup>2</sup> Hayes

<sup>3</sup> Wilhite and Byun

<sup>4</sup> Hung Wu

<sup>5</sup> Kempes

<sup>6</sup> Vicente

<sup>7</sup> Labudova

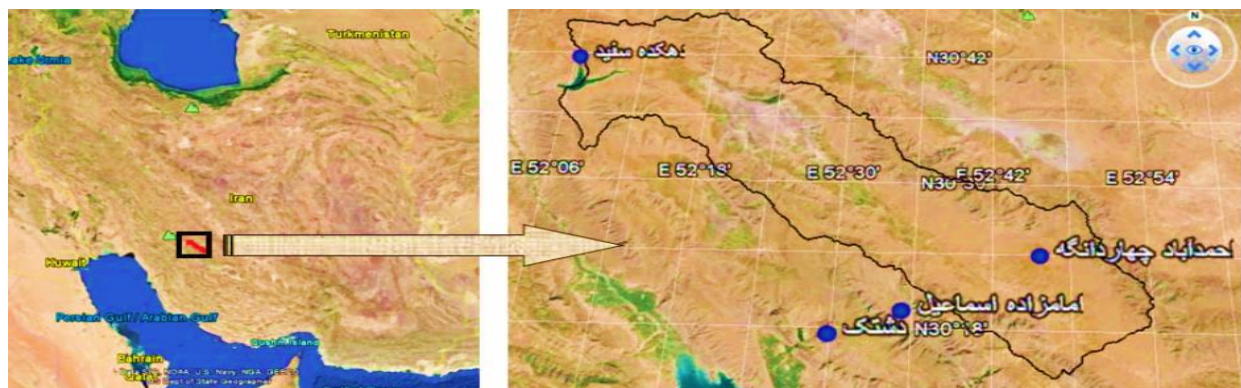
<sup>8</sup> Choubin

مدیریتی در زمینه خشک‌سالی این دشت خواهند بود. این سیستم‌ها با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی طراحی می‌گردند. اقدامات اولیه در خصوص پایش عمدتاً با تحلیل فراوانی منطقه‌ای خشک‌سالی در مقیاس کوچک آغاز شد و سپس توسط سایر پژوهشگران برای ایالت-های آمریکا که در معرض خشک‌سالی بوده‌اند به‌کاربرده شد. ناواً با استفاده از داده‌های بارش و انحراف معیار آن‌ها، شاخص پراکندگی بارش را محاسبه نمود و سپس برای نشان دادن وضعیت مکانی آن‌ها از سیستم GIS استفاده کردند. قطره سامانی روند خشک‌سالی در استان چهارمحال و بختیاری را بررسی کرد. وی از میان ایستگاه‌های فعال استان، یازده ایستگاه که دارای بیشترین دوره آماری بوده را انتخاب و برای ارزیابی روند خشک‌سالی آن از شاخص دهک‌ها استفاده نمود. عباسی از شاخص‌های شدت خشک‌سالی (نظیر شاخص درصد نرمال و استاندارد بارندگی) را برای پایش خشک‌سالی استان خوزستان در سال آبی ۸۰-۱۳۷۹ استفاده کرد. ایشان نقشه هم‌شدت خشک‌سالی را نیز بر اساس دو شاخص مذکور رسم نمود. دشت آپاس به‌عنوان یک نمونه موردی از یک منطقه خشک و نیمه‌خشک مورد تهدید خشک‌سالی که در سال‌های اخیر دچار خشک‌سالی شده است. بهره‌برداری بی‌رویه آب‌های زیرزمینی دشت آپاس و تغییرات آب‌هوایی این اقلیم و عدم بارش کافی باران و خشک‌سالی‌های پی‌درپی در سال‌های اخیر موجب افت زیادی در سطح آب زیرزمینی شده است؛ در نتیجه نقش مدیریت در این دشت می‌تواند بسیار زیاد باشد و بنابراین با بررسی تغییرات آب و هوایی، پایش خشک‌سالی و ابزار مناسب شبیه‌سازی می‌توان به ارائه مدلی مناسب برای تخمین خشک‌سالی در این دشت پرداخت؛ بنابراین دستیابی به یک مدل شبیه‌ساز باهدف پایش خشک‌سالی می‌توان به کنترل و مدیریت خشک‌سالی و برنامه‌ریزی برای جلوگیری از نابودی دشت آپاس و تبدیل شدن آن به کویر پرداخت.

## ۲- روش انجام تحقیق

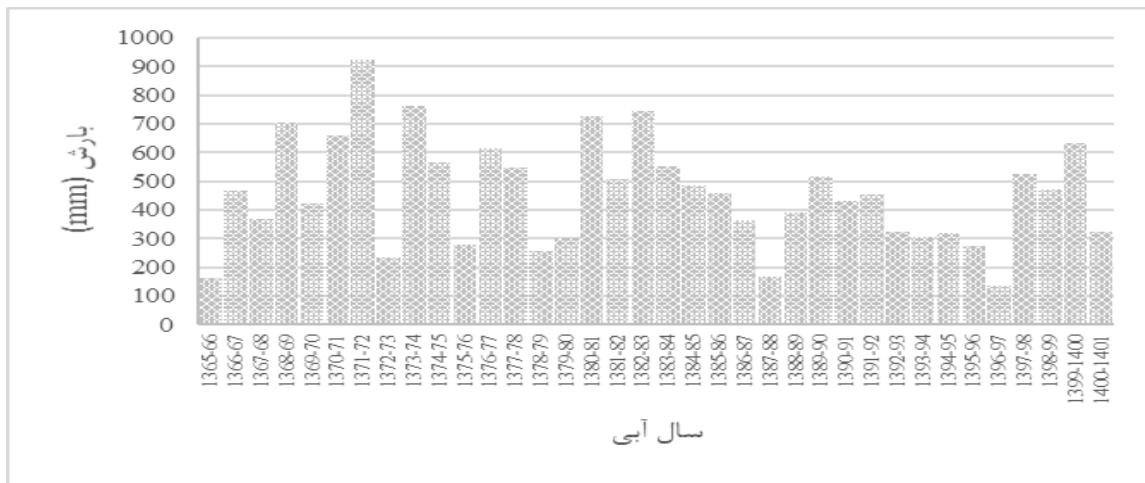
### • محدوده مورد مطالعه

دشت آپاس اقلیم مورد انتخاب برای مطالعه این پژوهش است. دشت آپاس در شمال استان فارس و در فاصله ۴۵ کیلومتری شهرستان اقلید و در حدفاصل ۳۰ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. دشت آپاس از نواحی آبخیزداری بختگان محسوب می‌شود. اقلیم و اکوسیستم این دشت جز نواحی خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و یکی از مناطقی است مورد تهدید خطر خشک‌سالی واقع شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیای محدوده مورد مطالعاتی را نشان می‌دهد.

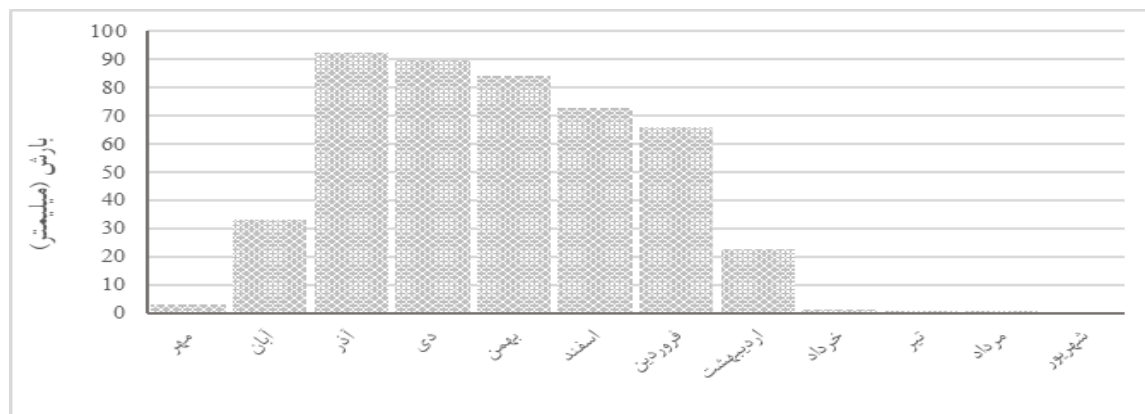


شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

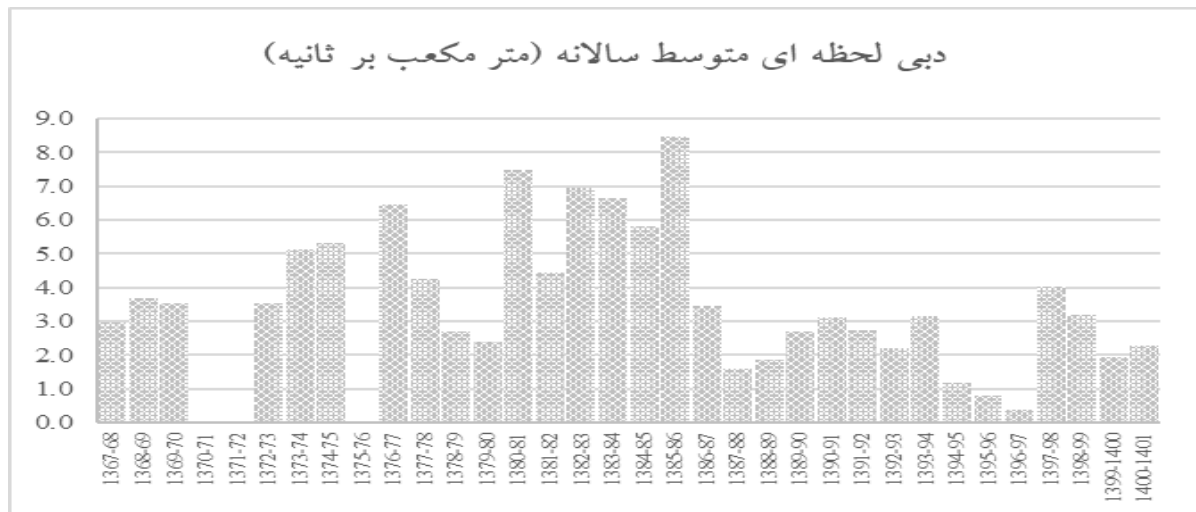
دوره آماری مورد مطالعه ۳۶ سال از سال ۱۳۶۵ الی ۱۴۰۱ می‌باشد که با توجه به آمار بارش ایستگاه باران‌سنج سده، آمار تبخیر و دمای ایستگاه تبخیرسنج سده و آمار دبی جریان سطحی ایستگاه آب‌سنجی دهکده سفید مطالعات انجام می‌یابد. بررسی ریزش‌های جوی در محدوده مطالعاتی بدین صورت است که متوسط بارش در بازه آماری مورد نظر ۴۵۵ میلی‌متر در سال می‌باشد و شکل (۲) تغییرات بارش سالیانه را نشان می‌دهد. شکل (۳) میزان متوسط بارش ماهانه حوضه آبریز مطالعاتی را نشان می‌دهد که بیشترین میزان متوسط بارش برای آذرماه با مقدار ۹۲/۱۳ میلی‌متر و کمترین مقدار متوسط بارش ۰/۲۱ میلی‌متر در شهریورماه است. در این مطالعه با توجه به اطلاعات و داده‌های در دسترس که شامل داده‌های بارش، دما، تبخیر ایستگاه سده و دبی جریان اندازه‌گیری شده در ایستگاه آب‌سنجی دهکده سفید می‌باشد (شکل ۴)، شاخص‌های پایش خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژی به‌منظور ارزیابی وضعیت خشک‌سالی بکار برده می‌شوند.



شکل ۲: سری زمانی بارش سالیانه ایستگاه سده دشت آسپاس برای بازه زمانی ۱۳۶۵-۱۴۰۱



شکل ۳: بارش متوسط ماهانه ایستگاه سده دشت آسپاس برای بازه زمانی ۱۳۶۵-۱۴۰۱



شکل ۴: دبی جریان اندازه گیری شده در ایستگاه آبسنجی دهکده سفید

در گام اول لازم است داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری شود. اطلاعات و داده‌های مورد نیاز شامل داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی می‌باشد که شامل داده‌های بارش، دما، تبخیر، دبی جریان و ... است. داده‌های جمع‌آوری شده با توجه به ماهیت موضوع پایان‌نامه بایستی حداکثر در مقیاس زمانی ماهانه باشد. علاوه بر داده‌های مورد نیاز، به منظور کسب اطلاعات لازم از حوضه آبریز مورد مطالعه، لازم است اطلاعاتی در خصوص گزارش‌ها مطالعاتی انجام شده مربوط به حوضه آبریز مورد نظر در اختیار باشد. در گام دوم مطالعات، با توجه به اطلاعات به دست آمده از حوضه آبریز مورد نظر و داده‌های جمع‌آوری شده به محاسبات شاخص-های خشک‌سالی پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است با توجه به داده-های موجود جمع‌آوری شده می‌توان تصمیم گرفت که از چه شاخص‌هایی به منظور پایش خشک‌سالی استفاده کرد. با توجه به آنکه تحلیل خشک‌سالی برای مقیاس‌های زمانی مختلف متفاوت می‌باشد، پایش خشک‌سالی برای بازه‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه انجام یافته است. به عنوان مثال چنانچه هدف بررسی دوره‌های خشک‌سالی باشد، بایستی مقیاس زمانی انتخابی سالانه باشد. در گام سوم با

توجه به نتایج به دست آمده از پایش شاخص‌های متعدد بکار گرفته شده، مشاهده می‌شود که تخمین خشک‌سالی با عدم قطعیت مواجه است. به عبارتی نتایج تخمین خشک‌سالی به طور کامل با یکدیگر همخوانی ندارند. به همین دلیل با استفاده از روش نظریه شاهد به تحلیل عدم قطعیت به وجود آمده پرداخته می‌شود. با توجه به نتایج تحلیل عدم قطعیت می‌توان تصمیم گرفت که از کدام دسته داده‌ها به منظور ساخت یک مدل کلاسه‌بندی در جهت تخمین شرایط مختلف اقلیمی یا تخمین خشک‌سالی استفاده کرد.

### • شاخص‌های پایش خشک‌سالی<sup>۱۰</sup>

از جمله مشخصات پدیده خشک‌سالی که آن را از بیشتر پدیده‌های طبیعی دیگر جدا می‌کند، زمان شروع و پایان آن است که نمی‌توان با دقت بالایی پیش‌بینی کرد؛ بنابراین تشخیصی رخداد دوره خشک‌سالی نیازمند در نظر گرفتن تمهیدات مدیریتی برای مقابله با این رویداد می‌باشد که ضرورت انجام مطالعات خشک‌سالی می‌باشد. بر پایه معیارهای متعددی، می‌توان شدت، مدت و فراوانی خشک‌سالی را با یک شاخص توصیف کرد. این شاخص‌ها مؤلفه‌های مختلف هواشناسی و هیدرولوژیکی مانند بارندگی، دما، تبخیر-تعرق و رواناب را در یک قالب یا رابطه جمع می‌کند و یک تصویر جامعی برای تصمیم‌گیری ارائه می‌دهد. با توجه به آنکه عوامل متعددی در رخداد یک دوره خشک‌سالی مؤثر هستند، شاخص‌های گوناگونی برای ارزیابی و پایش خشک‌سالی توسط محققین ارائه شده‌اند و معمولاً هر شاخص بر اساس یک پارامتر به پایش خشک‌سالی می‌پردازد؛ بنابراین به منظور پایش خشک‌سالی به صورت جامع و فراگیر، بایستی از شاخص‌های متعددی استفاده شود. شاخص‌های ارائه شده به طور معمول در این دسته‌بندی‌ها طبقه‌بندی می‌شوند: (- شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی؛ در این دسته می‌توان به شاخص‌هایی نظیر شاخص درصد نرمال (PN) شاخص دهک (DI) شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) شاخص Z چینی (CZI) و شاخص خشک‌سالی شناسایی (RDI) اشاره کرد. - شاخص‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی؛ در این دسته می‌توان به شاخص‌هایی نظیر شاخص پالمر (RHDI) و شاخص شدت خشک‌سالی آب‌های سطحی (SWSI) اشاره کرد. - شاخص‌های خشک‌سالی کشاورزی؛ در این دسته می‌توان به شاخص‌هایی نظیر شاخص شدت خشک‌سالی پالمر<sup>۱</sup> (PDSI) و شاخص رطوبت محصول (CMI) اشاره کرد). در این تحقیق با توجه به اطلاعات و داده‌های در دسترس، شاخص‌های پایش خشک‌سالی هواشناسی بکار برده می‌شود که به شرح زیر توصیف داده می‌شود.

### • شاخص بارندگی استاندارد (SPI)

داده‌های اصلی شاخص SPI را داده‌های بارندگی ماهانه ایستگاه‌های باران‌سنجی تشکیل می‌دهند. پس از اطمینان از همگن و تصادفی بودن داده‌های ماهانه، سری زمانی در بازه‌های ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ... ماهه تشکیل می‌شود و سری زمانی آن با توزیع گاما برازش داده می‌شود. طبقه‌بندی شاخص SPI برای وضعیت خشک‌سالی به شرح جدول ۱ می‌باشد که به عنوان معیار اظهار نظر برای وضعیت اقلیمی منطقه استفاده می‌شود.

جدول ۱: طبقه‌بندی شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

شاخص SPI	وضعیت خشک‌سالی	ردیف
-۳	خشک‌سالی بسیار شدید	۱
-۲/۵	خشک‌سالی شدید	۲
-۲	خشک‌سالی متوسط	۳
-۱/۵	خشک‌سالی ضعیف	۴
-۱	نزدیک به نرمال	۵
-۰/۵ < و < ۰/۵	نرمال	۶
۱	نزدیک به نرمال	۷
۱/۵	ترسالی ضعیف	۸
۲	ترسالی متوسط	۹
۲/۵	ترسالی شدید	۱۰
۳	ترسالی بسیار شدید	۱۱

<sup>1</sup> Drought index 0

<sup>1</sup> Palmer 1

<sup>1</sup> Standard Precipitation Index<sup>2</sup>

## • شاخص دهک (DI)

در روش شاخص دهک، داده‌های بارندگی برحسب دهک‌ها طبقه‌بندی شده و بر اساس توزیع نرمال به پایش خشک‌سالی پرداخته می‌شود. روند کار بدین صورت است که داده‌های بارندگی درازمدت در دهک‌هایی از توزیع نرمال طبقه‌بندی می‌شود و هریک از گروه‌های حاصل شده یک دهک نامیده می‌شود. به‌عنوان مثال دهک نخست برای مقادیر بارندگی از ده درصد وقوع بارندگی و برای دهک دوم از بیست درصد وقوع بارندگی تجاوز نکند. به همین ترتیب تا دهک دهم روند ادامه پیدا می‌کند. بازه آماری مورد استفاده برای این شاخص اغلب مقیاس ماهانه است. از معایب این شاخص، آمار طولانی داده‌های مورد نیاز می‌باشد. جدول ۲ طبقه‌بندی شاخص دهک را نشان می‌دهد.

جدول ۲: طبقه‌بندی شاخص دهک (DI)

مقدار درصد وقوع	وضعیت خشک‌سالی	شماره دهک
< ۱۰	خشک‌سالی بسیار شدید	اول
۱۰-۲۰	خشک‌سالی شدید	دوم
۲۰-۳۰	خشک‌سالی	سوم
۳۰-۴۰	تقریباً به نرمال	چهارم
۴۰-۵۰	نرمال	پنجم
۵۰-۶۰	نرمال	ششم
۶۰-۷۰	کمی مرطوب	هفتم
۷۰-۸۰	مرطوب	هشتم
۸۰-۹۰	بسیار مرطوب	نهم
> ۹۰	فوق‌العاده مرطوب	دهم

## • شاخص درصد نرمال (PN)

درصد نرمال یکی از ساده‌ترین شاخص‌های بارندگی به حساب می‌آید. استفاده از شاخص تنها برای یک منطقه یا یک فصل کاربرد دارد که به‌طور معلوم میانگین ۳۰ سال داده‌ها برای محاسبه داده نرمال در نظر گرفته می‌شود. شاخص مورد نظر برای مقیاس‌های زمانی متعدد کاربردی است که از یک ماه تا یک سال قابل استفاده است. از مزایای این شاخص عدم پیچیدگی محاسبات آن برای محاسبه بازه‌های خشک‌سالی است. از معایب این شاخص می‌توان به این موارد اشاره کرد: (-) به دلیل آنکه هیچ تبدیل آماری در توزیع بارندگی بکار گرفته نمی‌شود، اختلاف مقادیر میانه و میانگین دقت و درستی نتایج را کاهش می‌دهد. - به دلیل آنکه توزیع فصلی و سالیانه داده‌ها متفاوت است، از این شاخص نمی‌توان برای قیاس وضعیت خشک‌سالی بین فصول سال استفاده کرد. برای محاسبه شاخص درصد نرمال از رابطه زیر استفاده می‌شود. در رابطه فوق  $P_i$  نشان‌دهنده بارندگی ماه یا دوره آماری مورد نظر و  $P$  نشان‌دهنده میانگین بارش طولانی‌مدت می‌باشد. جدول ۳ طبقه‌بندی مقادیر شاخص مورد نظر را نشان می‌دهد.

$$PN = \frac{P_i}{P} \times 100 \quad (1)$$

جدول ۳: طبقه‌بندی شاخص درصد نرمال (PN)

شاخص PN	وضعیت خشک‌سالی
۷۰-۸۰ درصد	خشک‌سالی ضعیف
۵۵-۷۰ درصد	خشک‌سالی متوسط
۴۰-۵۵ درصد	خشک‌سالی شدید
کمتر از ۴۰ درصد	خشک‌سالی بسیار شدید

## • شاخص شناسایی (RDI)

این شاخص توسط ساکاریس و همکاران در سال ۲۰۰۷ ارائه شده است. ایشان بر حساس بودن شاخص معرفی شده نسبت به تغییرات آب و هوایی نسبت به سایر شاخص‌ها (نظیر شاخص SPI و DI) مدعی بوده‌اند. به دلیل عواملی از جمله تغییر اقلیم و یا کاربری اراضی، این شاخص مؤثرتر و مناسب‌تر برای پایش خشک‌سالی معرفی شده است. برای محاسبه شاخص مذکور در ابتدا مقادیر  $\alpha_0$  مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha_0 = \frac{\sum P_i}{\sum PET_i} \quad (2)$$

در رابطه فوق P مقادیر بارش، PET مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل است. سپس RDI مشابه با شاخص SPI محاسبه می‌شود. با توجه به آنکه این شاخص رفتار مشابهی نسبت به شاخص SPI دارد، تفسیر این شاخص و آستانه‌های آن مشابه با شاخص SPI می‌باشد.

## • نرم‌افزارهای محاسباتی شاخص‌های خشک‌سالی

به منظور محاسبه شاخص‌ها از نرم‌افزارهای متعددی استفاده می‌شود که در این تحقیق با توجه به شاخص‌های مطرح شده از دو نرم‌افزار به منظور محاسبه شاخص‌ها استفاده می‌شوند که عبارت‌اند از نرم‌افزار MDM<sup>1</sup> و نرم‌افزار DrinC<sup>2</sup>. نرم‌افزار MDM توانایی محاسبه شاخص‌های SPI، PN، DI، EDI، CZI، RAI و Z-score را برای مکان‌ها و بازه‌های زمانی متفاوت (ماهانه، فصلی، سالانه و ...) دارد. بر اساس داده‌های بارش که به صورت روزانه یا ماهانه در فایل Excel مهیا شده است محاسبات شاخص‌ها انجام می‌شود. DrinC نیز به عنوان یک نرم‌افزار کاربر دوست به منظور محاسبه شاخص‌های خشک‌سالی نظیر شاخص‌های SPI، RDI و SDI<sup>3</sup> استفاده می‌شود که در این نرم‌افزار به منظور محاسبه شاخص‌های هیدرولوژیکی RDI و SDI علاوه بر پارامتر بارش، مقدار جریان سطحی و تبخیر و تعرق پتانسیل به عنوان ورودی لازم است به نرم‌افزار داده شود. این نرم‌افزار این قابلیت را دارد که با وارد کردن داده‌های حداقل و حداکثر دما با استفاده از روش‌های محاسباتی تبخیر و تعرق پتانسیل، محاسبات لازم را انجام دهد.

## • تحلیل عدم قطعیت

به طور کلی، تحلیل عدم قطعیت در سه مورد سبب انجام و توسعه مطالعات و تحقیقات شده است: (توصیف عدم قطعیت پارامترهای یک سیستم، افزایش و انتشار عدم قطعیت در روند اجرای مدل‌های محاسباتی بزرگ و پیچیده، صحت سنجی و اعتبارسنجی مدل‌ها با توجه به میزان عدم قطعیت و عمومیت دادن آن‌ها). روش‌های متداول تحلیل عدم قطعیت بر مبنای روش‌های احتمالاتی یا اندازه‌گیری‌های فازی می‌باشند. نظریه بیزین در مدل‌سازی آماری هیدرولوژیکی برای اولین بار به منظور تحلیل عدم قطعیت پارامترهای مسئله توسط وود و رد ریجز-ایترب<sup>4</sup> استفاده شد و این روش به وفور برای تحلیل عدم قطعیت و پیش‌بینی مدل‌های هیدرولوژیکی آب کار برده شد. تئوری مجموعه فازی<sup>5</sup> روش نظریه شاهد دمپستر شيفر<sup>6</sup> دیگر روش‌های تحلیل عدم قطعیت می‌باشند. این روش‌ها به جای بررسی رخداد یا عدم رخداد یک واقعه، احتمال رخداد آن واقعه یا درصد وقوع آن در بازه‌های احتمالاتی را بررسی می‌کنند. این روش‌ها قادر به تحلیل و ترکیب عدم قطعیت ناشی از منابع و شواهد مختلف هستند که به تازگی کاربرد گسترده‌ای در زمینه‌های استنتاج آماری، سیستم‌های خبره، تحلیل ریسک و مطالعات هیدرولوژیکی داشته‌اند.

## • تحلیل عدم قطعیت به روش نظریه شاهد دمپستر شيفر

تحلیل عدم قطعیت در این تحقیق بر اساس روش نظریه شاهد دمپستر شيفر<sup>6</sup> انجام می‌شود. در اکثر مطالعات، تحلیل عدم قطعیت در قالب ارائه توزیع احتمالات برای یک مقدار مشخص انجام می‌شود روش نظریه شاهد تعمیمی از روش‌های احتمالاتی بیزین با اندازه‌گیری‌های فازی می‌باشد. نظریه شاهد به عنوان یک روش تحلیل عدم قطعیت بر پایه اندازه‌گیری‌های احتمالاتی ارائه شده است. آنچه به عنوان یک فرض اساسی در محاسباتی احتمالی نظریه شاهد در نظر گرفته می‌شود، احتمال وقوع  $U$  زیرمجموعه برای یک مجموعه جامع  $U$  عضوی می‌باشد. فرضیات اساسی در نظریه شاهد به این شرح می‌باشند: (-) اگر برخی از شواهد در مورد رخداد  $A$  دقیق نباشد، می‌توان مقدار عدم

<sup>1</sup> **Reconnaissance drought index**

<sup>1</sup> Meteorological Drought Monitoring

<sup>1</sup> Drought Indices Calculator 6

<sup>1</sup> Standard discharge Index 7

<sup>1</sup> Wood and Rodriguez-Iturbe 8

<sup>1</sup> Fuzzy set theory 9

<sup>2</sup> Dempster Shafer theory of evidence

<sup>2</sup> Dempster Shafer 1

قطعیت را با محاسبه حداقل و حداکثر احتمال آن واقع انجام داد. شواهد مختلف برای رخداد  $A$  قابل تحلیل است که این شواهد به صورت تصادفی به دست آمده است و نتایج به دست آمده از هر یک از شواهد می تواند دقیق یا مبهم باشد. برای درک موارد فوق، متغیر  $A_1$  فرض شود. اطلاعاتی برای این متغیر از  $n$  شاهد به صورت بازه‌ای از مقادیر  $[A_{1,i}^L, A_{1,i}^U]$  موجود است که  $A_{1,i}^L$  حد پایین بازه شاهد و  $A_{1,i}^U$  حد بالای بازه شاهد  $A_1$  می باشد. مشاهدات به دست آمده از این شاهد نشان می دهد که ممکن است مقدار واقعی  $A$  در بازه مذکور نهفته باشد. وقوع  $A$  با استفاده از نظریه شاهد توسط دو مقدار حداقل (Belief) و حداکثر احتمال (Plausibility) شرح داده می شود.  $P$  مقدار احتمال و  $PI(A_1=A)$  مقدار حداکثر احتمال برای  $A_1=A$  می باشد که با حل مسئله بهینه سازی زیر به دست می آید:

$$\begin{aligned} & \text{Find } A_{1,1}, A_{1,2}, \dots, A_{1,n} \\ & \text{maximize } P(A_1 = A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i \\ & I_i = \begin{cases} 1 & A_{1,i} = A \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3) \\ & A_{1,i} \in [A_{1,i}^L, A_{1,i}^U] \end{aligned}$$

مقدار  $PI(A_1=A)$  نشان می دهد که چه نسبتی از تعداد بازه های مشاهداتی دارای مقدار واقعی  $A$  هستند. از طرفی مقدار حداقل احتمال برای  $A_1=A$  که با  $Bel(A_1=A)$  نشان داده می شود که با حل مسئله بهینه سازی زیر به دست می آید:

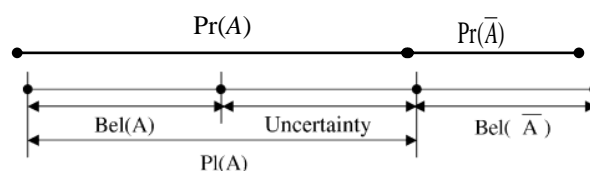
$$\begin{aligned} & \text{Find } A_{1,1}, A_{1,2}, \dots, A_{1,n} \\ & \text{minimize } P(A_1 = A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i' \\ & I_i' = \begin{cases} 1 & A_{1,i}^L = A_{1,i}^U = A \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4) \\ & A_{1,i} \in [A_{1,i}^L, A_{1,i}^U] \end{aligned}$$

با توجه به توضیحات فوق می توان مقدار حداقل و حداکثر رخداد  $A$  را به صورت روابط زیر تعریف کرد.

$$Pl(A) = \sum_{A_i | A_i \cap A \neq \emptyset} m(A_i) \quad (5)$$

$$Bel(A) = \sum_{A_i | A_i \subseteq A} m(A_i) \quad (6)$$

مقدار عدم قطعیت در نظریه شاهد بدین صورت محاسبه می شود که چنانچه مقدار حداقل رخداد  $A$  از حداکثر رخداد کسر شود میزان عدم قطعیت به دست می آید. احتمال رخداد و عدم رخداد  $A$  به ترتیب با مقدار  $P(A)$  و  $P(\bar{A})$  نشان داده می شود. چنانچه مجموع احتمال وقوع و عدم وقوع برابر یک شود  $(P(\bar{A}) + P(A) = 1)$ ، مجموع  $Bel(A)$  و  $Bel(\bar{A})$  برابر یک نخواهد شد و یا به عبارتی  $PI(A) + Bel(A) = 1$  خواهد شد. شکل (۳-۵) منطق نهفته در تحلیل عدم قطعیت با نظریه شاهد را نشان می دهد.



شکل ۵: مقایسه بررسی وقوع رویداد با توزیع احتمال و نظریه شاهد

در روش نظریه شاهد که بر اساس احتمالات به تحلیل عدم قطعیت می پردازد دو فرضیه اصلی حاکم است: (۱) تعداد منابع متعددی برای شواهد یک رخداد وجود دارد، (۲) احتمال رخداد یک واقعه یک مقدار ثابت نبوده و به صورت بازه ای از مقادیر به دست می آید. با جمع آوری شواهد منابع متعدد برای یک رخداد، پیکره ای از شواهد مهیا می شود و در نهایت برای اندازه گیری احتمال رخداد مذکور بایستی از قوانین ترکیبی زیر

استفاده کرد:- قانون ترکیب دمپستر شیفر<sup>۲۲</sup>- روش ترکیب Discount+ . - قانون ترکیب ویرایش یافته دمپستر ملقب به قانون Yager. - قانون ترکیب یکنواخت Inagaki. - قانون ترکیب مرکزی Zhang.

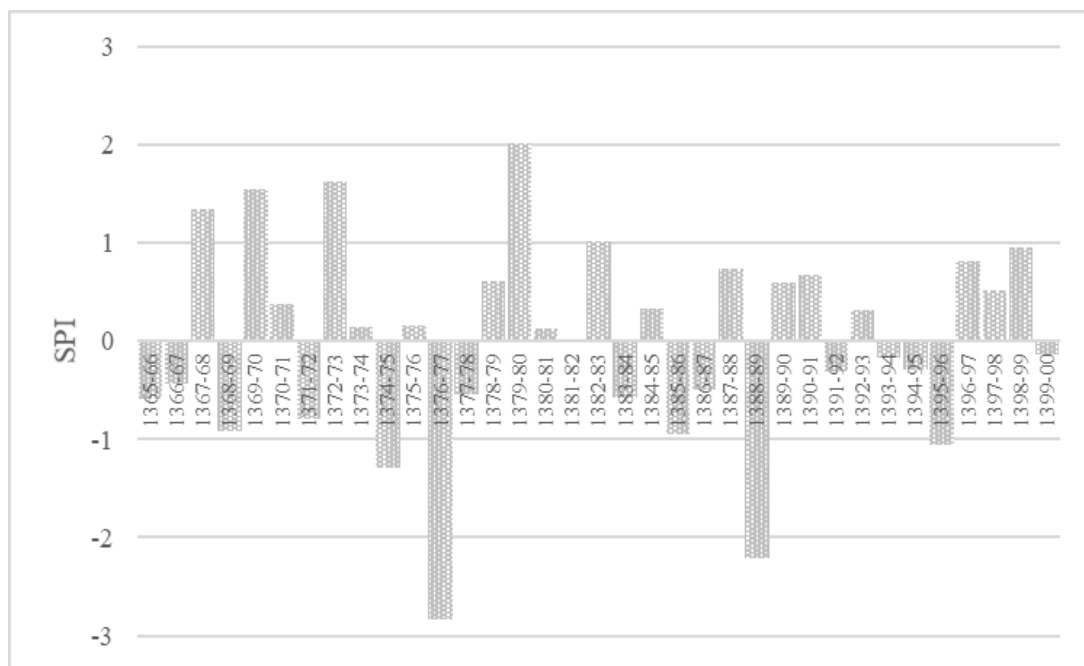
### • قانون ترکیب دمپستر شیفر

در روش نظریه شاهد، احتمال وقوع یک بازه‌ی مشخص از مقادیر بررسی می‌شود. چنانچه برای یک واقعه مانند  $A$  شواهد و اطلاعات دریافتی در قالب بازه‌هایی از مقادیر به صورت  $A_i = [x_i^L, x_i^U]$  نمایش داده شود که در هر بازه  $i$  حداقل و حداکثر مقدار مشاهده شده به ترتیب با  $x_i^L$  و  $x_i^U$  نشان داده شده باشد و درجه عضویت و یا امکان رخداد هر یک از بازه‌ها با  $m(A_i)$  نشان داده شود، امکان وقوع  $A$  توسط رابطه زیر که توسط دمپستر شیفر ارائه شده است، محاسبه می‌شود.  $A_i$  و  $A_j$  مکمل یکدیگرند.

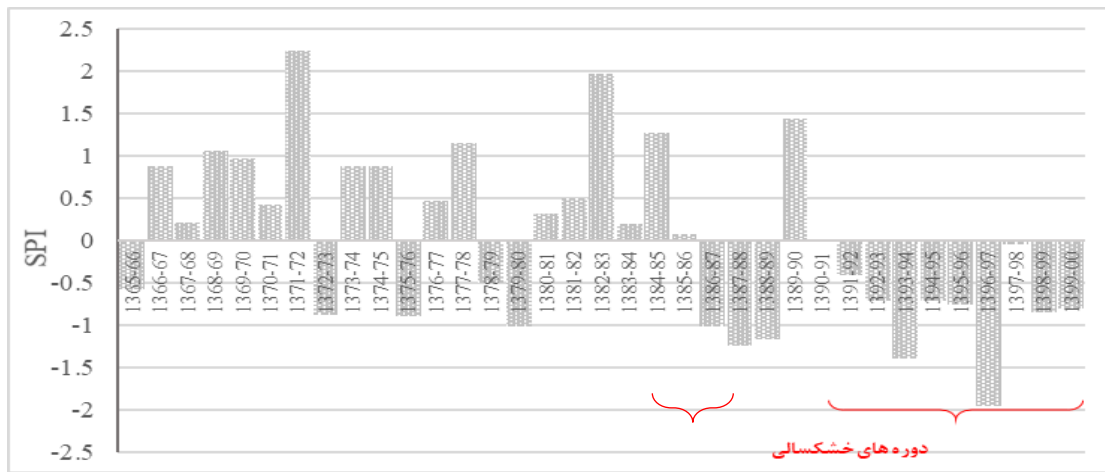
$$(Y) \quad m(A) = \frac{\sum_{A_i \cap A_j = A} m(A_i) m(A_j)}{1 - \sum_{A_i \cap A_j = \emptyset} m(A_i) m(A_j)}$$

### ۳- نتایج

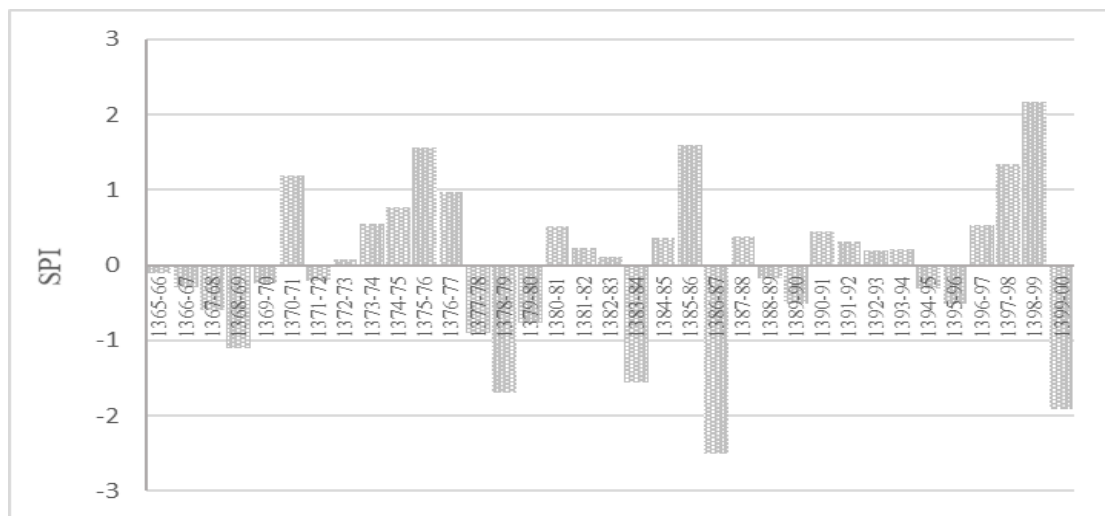
ارزیابی وضعیت خشک‌سالی با شاخص SPI برای دوره‌های فصلی و سالانه انجام یافت. طبق تعاریف، دوره خشک‌سالی زمانی رخ می‌دهد که مقدار شاخص منفی و ادامه‌دار باشد و تا مقدار بیشتر یا مساوی منفی یک برسد، آن دوره آماری یک دوره خشک‌سالی می‌باشد و پایان دوره خشک‌سالی با تغییر مقدار SPI به مقادیر مثبت رخ می‌دهد. شکل‌های (۶) تا (۸) وضعیت خشک‌سالی برای فصول پاییز، زمستان و بهار را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای فصول بهار بازه زمانی ۹۶-۱۳۹۳ و پاییز بازه‌های زمانی ۷۰-۱۳۶۵ و ۸۰-۱۳۷۷، دوره خشک‌سالی مشاهده است. همچنین برای فصل زمستان برای دوره آماری ۱۳۸۶ الی ۱۳۸۹ و برای دوره آماری ۱۳۹۱ الی ۱۳۹۷ دوره خشک‌سالی مشاهده شده است. شایان‌ذکر است، شاخص‌های پایش خشک‌سالی از جمله شاخص SPI قادر به تحلیل داده‌های صفر نمی‌باشند و بدین ترتیب پایش شاخص برای ماه‌های گرم سال که در اکثر مناطق حوضه‌های آبریز ایران بارش نزدیک به صفر می‌باشد، بی‌معنا می‌باشد؛ بنابراین به‌منظور پایش و ارزیابی دوره‌های خشک‌سالی، به‌طورمعمول ارزیابی برای دوره‌های آماری سالانه انجام می‌گیرد.



شکل ۶: تغییرات شاخص SPI فصل پاییز برای دوره آماری

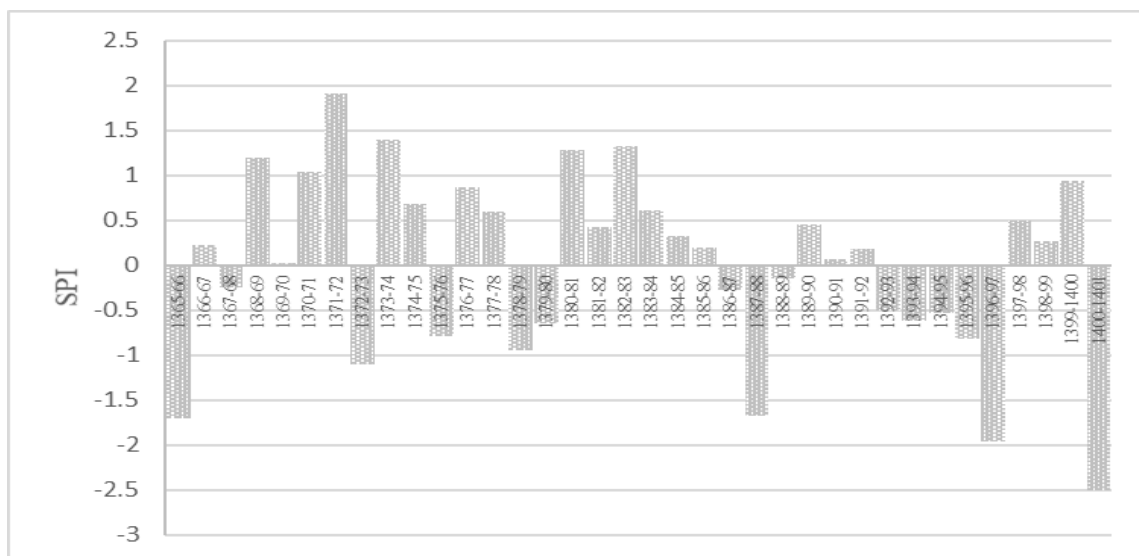


شکل ۷: تغییرات شاخص SPI فصل زمستان برای دوره آماری



شکل ۸: تغییرات شاخص SPI فصل بهار برای دوره آماری

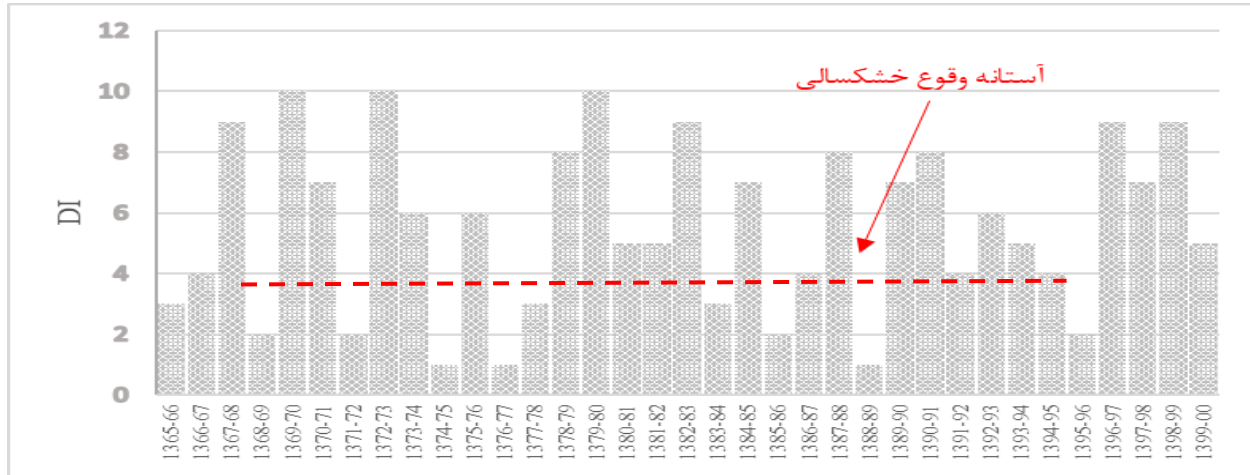
چنانچه هدف سنجش دوره‌های خشک‌سالی برای یک دوره آماری بلندمدت (به‌طور مثال ۳۵ سال) باشد، تحلیل نتایج با شاخص SPI برای بازه‌های سالیانه به شرح شکل (۹) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای دوره‌های آماری سال ۸۰-۱۳۷۸، ۸۹-۱۳۸۶ و ۹۷-۱۳۹۲ خشک‌سالی رخ داده است. کمترین مقدار شاخص برای سال آماری ۸۷-۱۳۸۶ با مقدار  $-2/14$  محاسبه شده است که نشان‌دهنده رده خشک‌سالی بسیار شدید برای سال آماری نامبرده می‌باشد. همچنین برای سال‌های آماری ۷۲-۱۳۷۰، ۷۴-۱۳۷۳ بیشترین مقادیر شاخص مشاهده شده است که نشان‌دهنده ترسالی شدید در محدوده مطالعاتی بوده است.



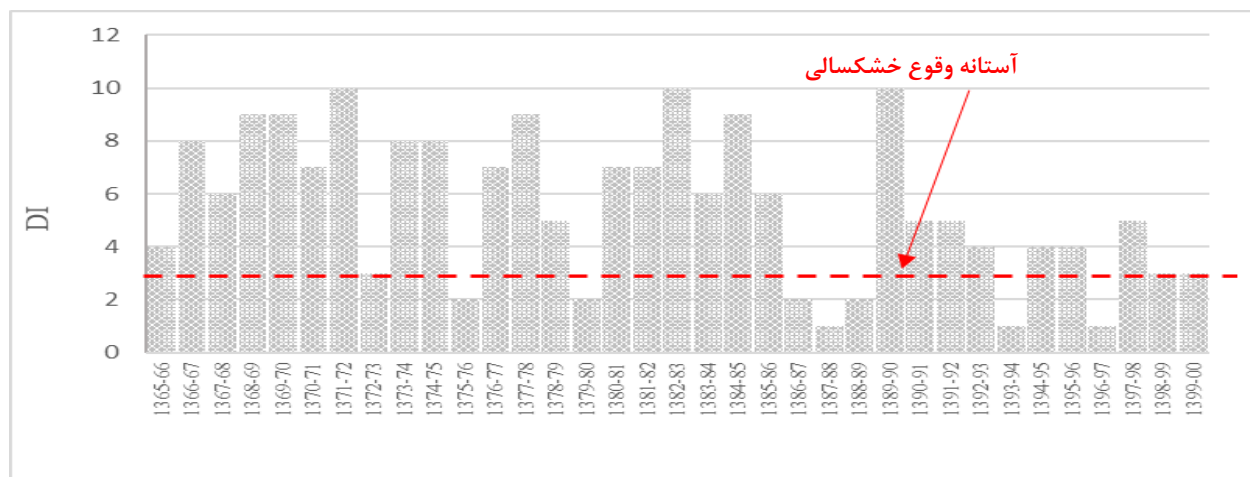
شکل ۹: تغییرات شاخص SPI سالیانه برای دوره آماری سال ۱۳۶۵ الی ۱۴۰۱

## • شاخص DI

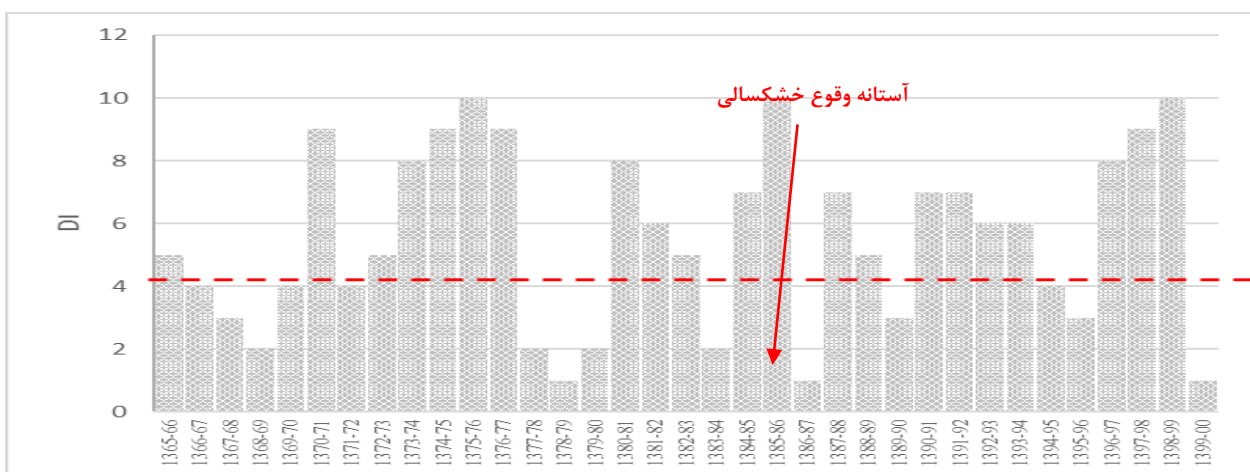
ارزیابی با شاخص دهک (DI) بدین صورت است که وقوع خشک‌سالی برای مقادیر دهک کمتر از ۴ رخ می‌دهد. با بررسی تغییرات شاخص مذکور برای فصول بارش زار، نتایج مطابق با شکل‌های (۱۰) تا (۱۲) به ترتیب برای فصول پاییز، زمستان و بهار ارائه می‌شود. مشابه با تحلیل شاخص SPI، ارزیابی خشک‌سالی با شاخص DI نیز برای ماه‌های گرم سال که در اکثر مناطق حوضه‌های آبریز ایران بارش نزدیک به صفر می‌باشد، بی‌معنا می‌باشد. به همین دلیل به منظور پایش و ارزیابی دوره‌های خشک‌سالی، به‌طور معمول ارزیابی برای دوره‌های آماری سالانه انجام می‌شود.



شکل (۱۰): تغییرات شاخص DI فصل پاییز برای دوره آماری

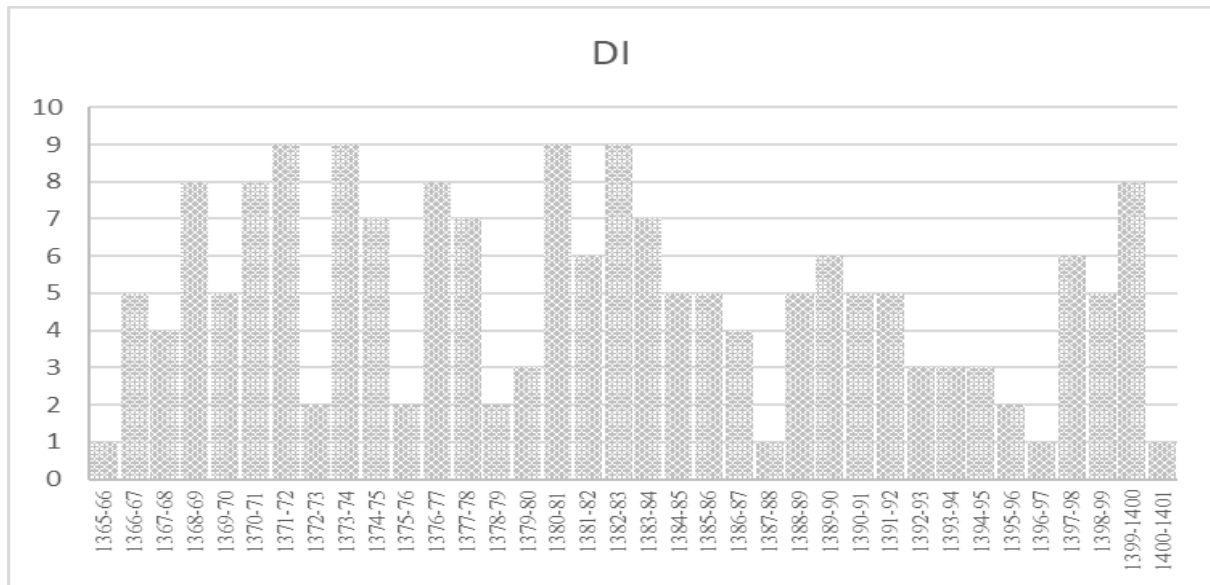


شکل (۱۱): تغییرات شاخص DI فصل زمستان برای دوره آماری



شکل (۱۲): تغییرات شاخص DI فصل بهار برای دوره آماری

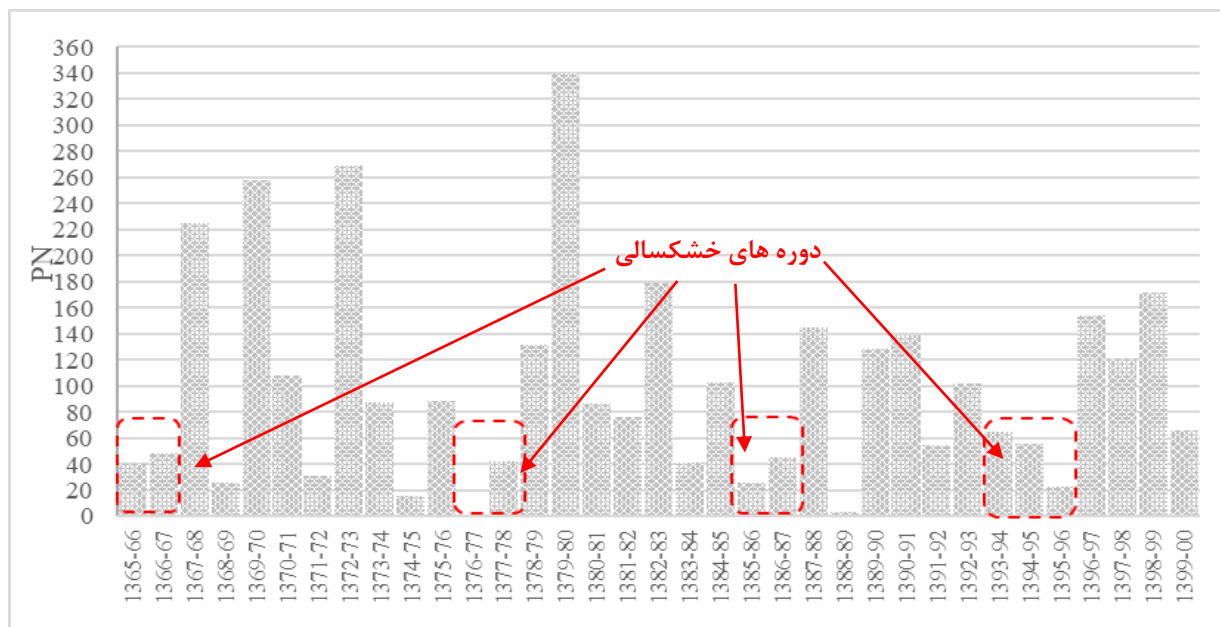
تحلیل نتایج با شاخص DI برای بازه‌های سالیانه مطابق شکل (۱۳) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای دوره‌های آماری سال ۸۹-۱۳۸۶ و ۹۷-۱۳۹۱ خشک‌سالی رخ داده است.



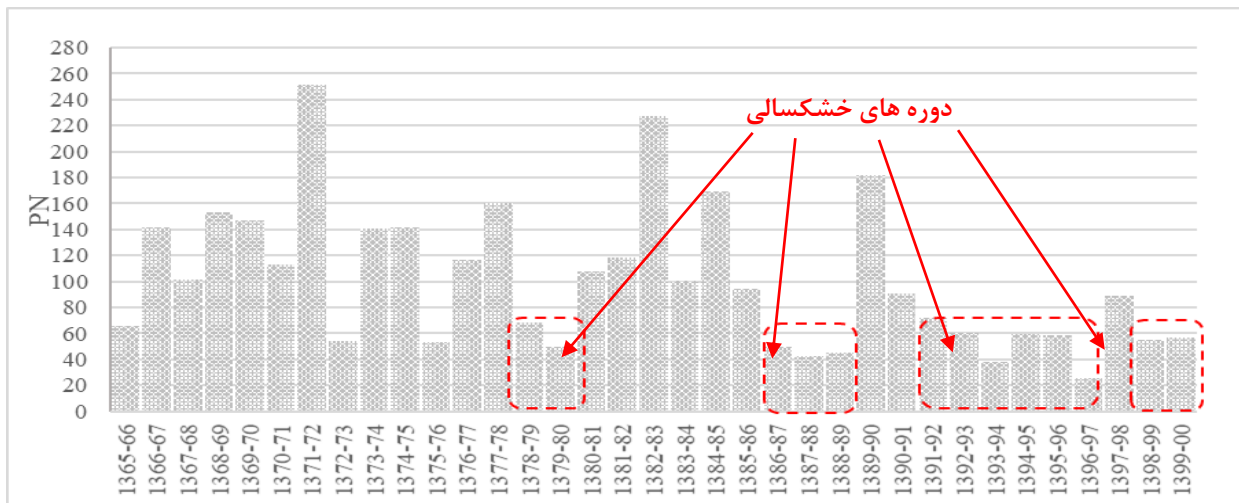
شکل ۱۳: تغییرات شاخص DI سالیانه برای دوره آماری سال ۱۳۶۵ الی ۱۴۰۱

#### • شاخص PN

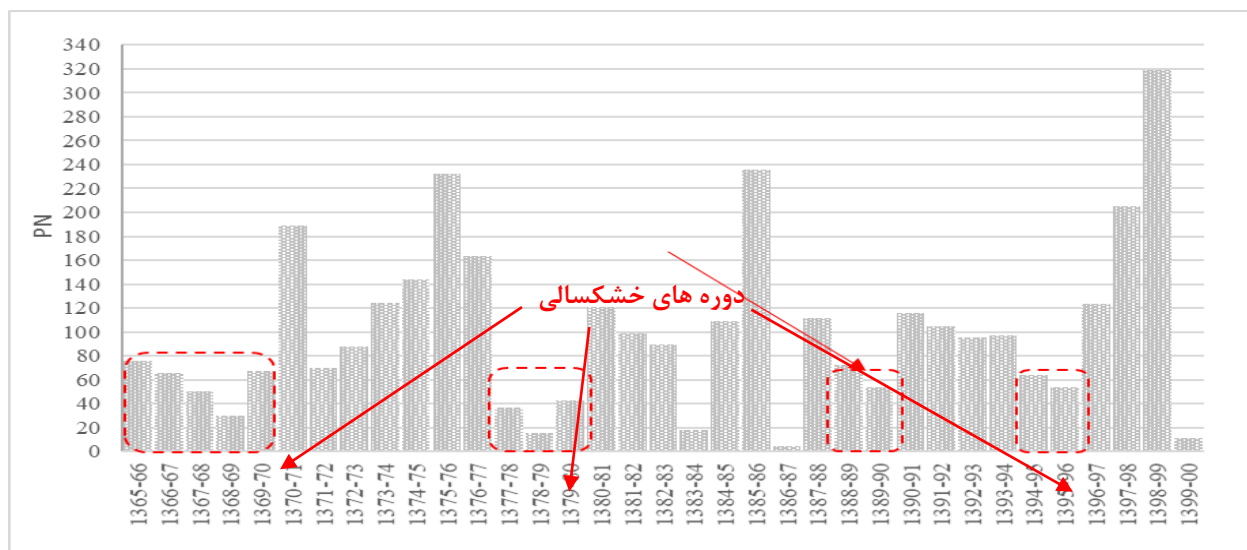
ارزیابی با شاخص درصد نرمال (PN) بدین صورت است که وقوع خشک‌سالی برای مقادیر شاخص کمتر از ۸۰ درصد رخ می‌دهد. چنانچه مقدار شاخص بیشتر از ۸۰ درصد باشد، خشک‌سالی رخ نداده است. با بررسی تغییرات شاخص مذکور برای فصول بارش ز، نتایج مطابق با شکل‌های (۱۴) تا (۱۶) به ترتیب برای فصول پاییز، زمستان و بهار ارائه می‌شود. لازم به یادآوری است، به دلیل توزیع متفاوت بارش در فصول سال امکان قیاس وضعیت خشک‌سالی بین فصول وجود ندارد. در فصل پاییز در بازه‌های آماری سال ۶۷-۱۳۶۵، ۷۸-۱۳۷۶، ۸۷-۱۳۸۵ و ۹۶-۱۳۹۳ رخ داده است. در فصل زمستان در بازه‌های آماری سال ۸۰-۱۳۷۸، ۸۹-۱۳۸۶، ۹۷-۱۳۹۱ و ۱۴۰۰-۱۳۹۸ رخ داده خشک‌سالی مشاهده شده است و برای فصل بهار در بازه‌های آماری سال ۷۰-۱۳۶۵، ۸۰-۱۳۷۷، ۹۰-۱۳۸۸ و ۹۶-۱۳۹۴ خشک‌سالی رخ داده است. مشابه با تحلیل شاخص‌های دیگر، ارزیابی خشک‌سالی با شاخص PN نیز برای ماه‌های گرم سال که در اکثر مناطق حوضه‌های آبریز ایران بارش نزدیک به صفر می‌باشد، بی‌معنا می‌باشد. به همین دلیل به منظور پایش و ارزیابی دوره‌های خشک‌سالی، به‌طور معمول ارزیابی برای دوره‌های آماری سالانه انجام می‌شود.



شکل ۱۴: تغییرات شاخص PN فصل پاییز برای دوره آماری

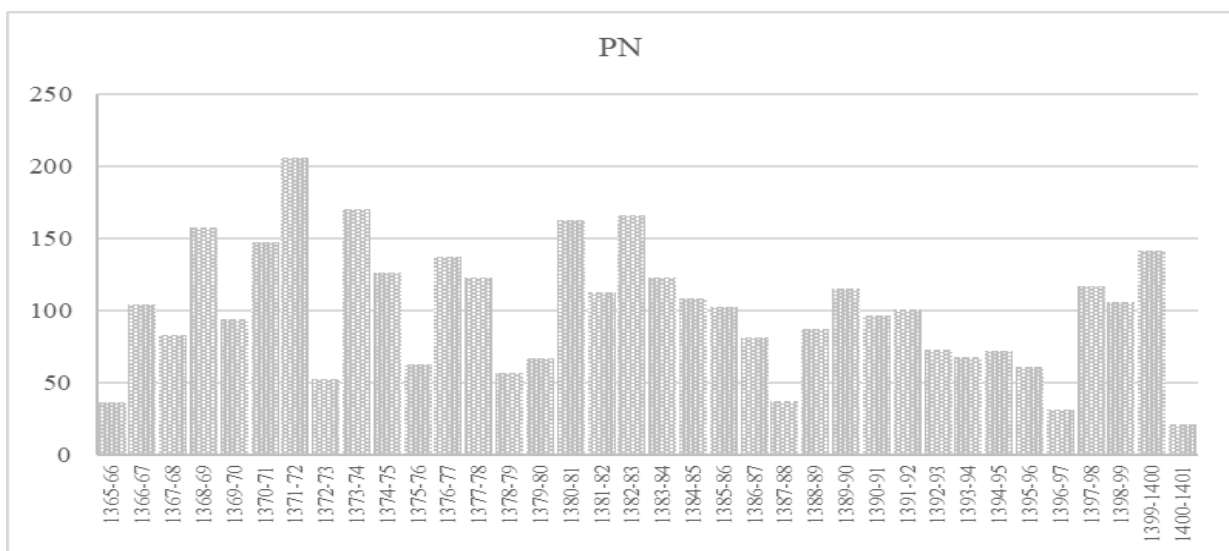


شکل ۱۵: تغییرات شاخص PN فصل زمستان برای دوره آماری



شکل ۱۶: تغییرات شاخص PN فصل بهار برای دوره آماری

نتایج با شاخص PN برای بازه‌های سالیانه مطابق شکل (۱۷) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای دوره‌های آماری سال ۸۹-۱۳۸۶ و ۹۷-۱۳۹۱ خشک‌سالی رخ داده است. همچنین برای بازه ۶۸-۱۳۶۶ و ۷۵-۱۳۶۹ وضعیت ترسالی در حوضه آبریز مطالعاتی حاکم بوده است.



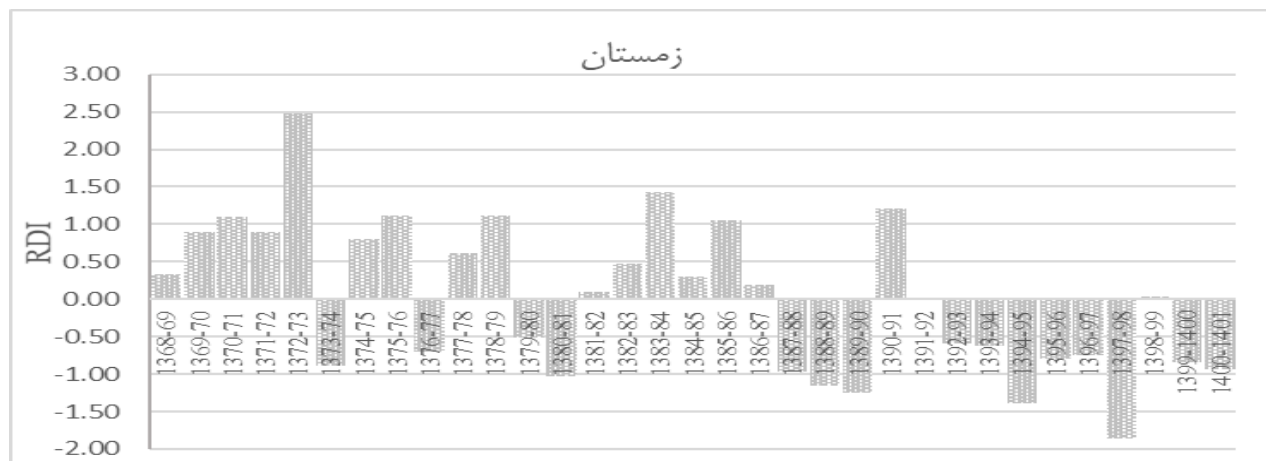
شکل ۱۷: تغییرات شاخص PN سالیانه برای دوره آماری سال ۱۳۶۵ الی ۱۴۰۱

## • شاخص RDI

شاخص هیدرولوژی RDI، علاوه بر پارامتر بارش، بر اساس پارامتر تبخیر و تعرق پتانسیل به پایش خشک‌سالی می‌پردازد. با توجه به اطلاعات دمای حداقل و حداکثر ایستگاه اندازه‌گیری، تبخیر-تعرق پتانسیل از روش هارگریوز محاسبه شده و در نهایت با استفاده از اطلاعات بارش شاخص RDI محاسبه می‌شود. در شکل‌های (۱۸) تا (۲۰) تغییرات شاخص RDI برای فصول پاییز، زمستان و بهار ارائه شده است. تفسیر نتایج شاخص RDI مشابه SPI است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده برای فصل پاییز در بازه آماری ۱۳۷۹-۷۹ و ۱۳۹۴-۹۷، برای فصل زمستان در بازه آماری ۱۳۷۸-۸۰، ۱۳۸۶-۸۹، ۱۳۹۱-۹۷، برای فصل بهار در بازه آماری ۱۳۶۷-۷۰، ۱۳۷۷-۸۰ وقوع خشک‌سالی ثبت شده است.



شکل ۱۸: تغییرات شاخص RDI فصل پاییز برای دوره آماری

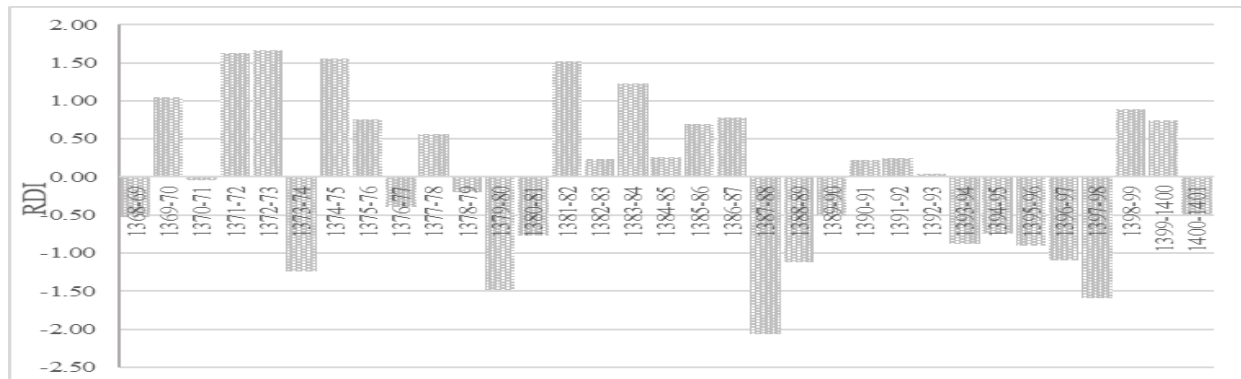


شکل ۱۹: تغییرات شاخص RDI فصل زمستان برای دوره آماری



شکل ۲۰: تغییرات شاخص RDI فصل بهار برای دوره آماری سال ۱۳۶۷ الی ۱۴۰۱

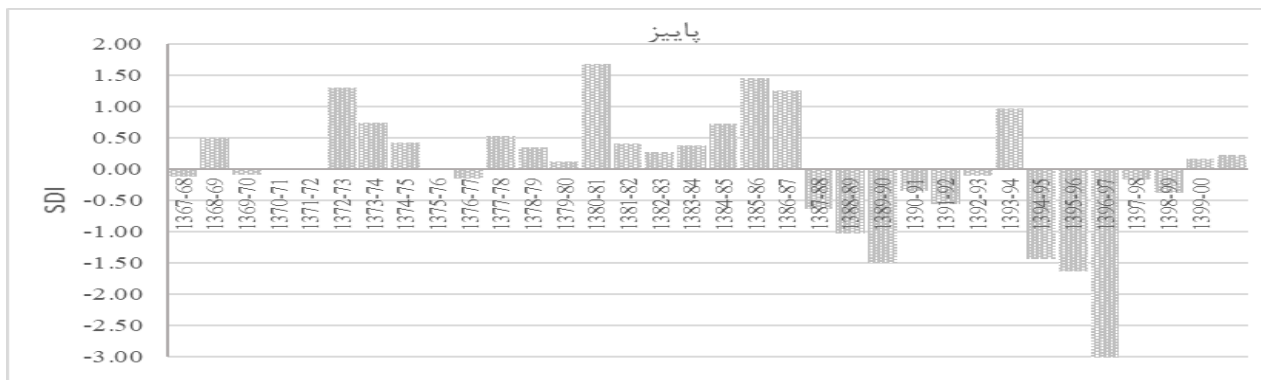
به منظور سنجش دوره‌های خشک‌سالی برای دوره آماری بلندمدت (۳۵ سال)، تحلیل نتایج با شاخص RDI برای بازه‌های سالیانه مطابق شکل (۲۱) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای دوره‌های آماری ۹۱-۱۳۸۶ و ۹۷-۱۳۹۲ خشک‌سالی رخ داده است. همچنین برای بازه ۷۲-۱۳۷۰، ۷۴-۱۳۷۳ و ۸۱-۱۳۸۰ وضعیت ترسالی شدید در حوضه آبریز مطالعاتی حاکم بوده است.



شکل ۲۱: تغییرات شاخص RDI سالیانه برای دوره آماری سال ۱۳۶۷ الی ۱۴۰۱

### • شاخص SDI

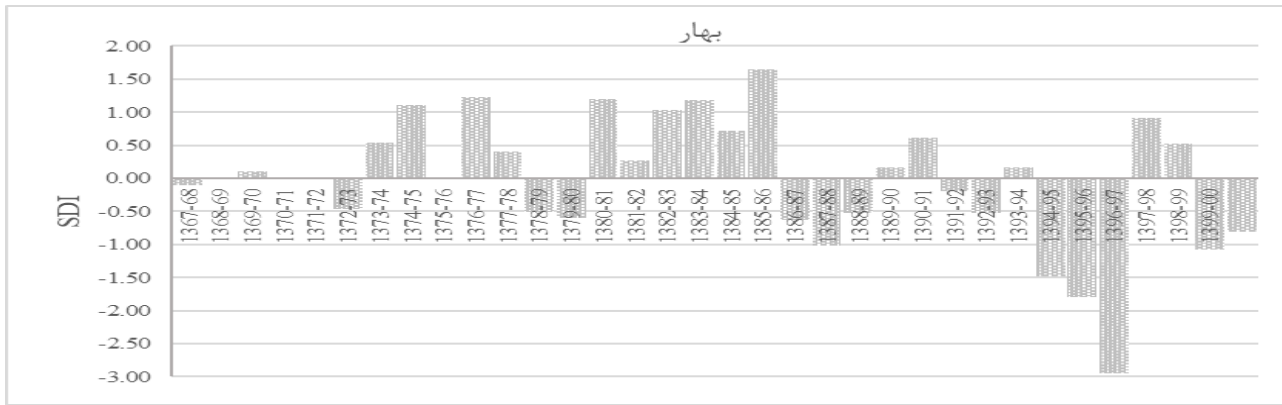
این شاخص مشابه با شاخص SPI بر مبنای دبی یا حجم جریان آب سطحی عبوری به پایش خشک‌سالی در حوضه‌های آبریز مورد مطالعه می‌پردازد. ایستگاه آب‌سنجی دهکده سفید در حوضه آبریز دشت آسپاس انتخاب شده که سری زمانی داده‌های این ایستگاه از سال آبی ۶۸-۱۳۶۷ الی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ موجود است. لازم به ذکر است این ایستگاه در سال ۷۲-۱۳۷۰ و ۷۶-۱۳۷۵ فاقد داده می‌باشد. در شکل‌های (۲۲) تا (۲۴) تغییرات شاخص SDI برای فصول پاییز، زمستان و بهار ارائه شده است. تفسیر نتایج شاخص SDI مشابه SPI است ولیکن طبقه‌بندی و مقادیر شاخص متفاوت است. با توجه به نتایج به دست آمده برای فصل پاییز در بازه آماری ۹۳-۱۳۸۷ و ۹۹-۱۳۹۴، برای فصل زمستان در بازه آماری ۸۰-۱۳۷۸، ۹۷-۱۳۸۷، ۱۴۰۰-۱۳۹۸، برای فصل بهار در بازه آماری ۸۰-۱۳۷۸، ۸۹-۱۳۸۶، ۹۳-۱۳۹۱ و ۹۷-۱۳۹۴ وقوع خشک‌سالی ثبت شده است.



شکل ۲۲: تغییرات شاخص SDI فصل پاییز برای دوره آماری سال ۱۳۶۷ الی ۱۴۰۱

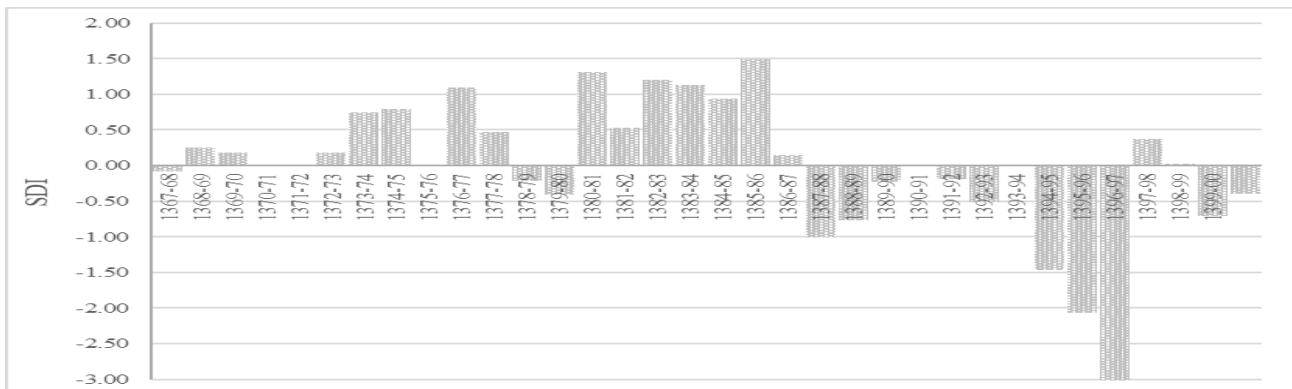


شکل ۲۳: تغییرات شاخص SDI فصل زمستان برای دوره آماری سال ۱۳۶۷ الی ۱۴۰۱



شکل ۲۴: تغییرات شاخص SDI فصل بهار برای دوره آماری سال ۱۳۶۷ تا ۱۴۰۱

به منظور سنجش دوره‌های خشک‌سالی برای دوره آماری بلندمدت (۳۵ سال)، تحلیل نتایج با شاخص SDI برای بازه‌های سالیانه مطابق شکل (۲۵) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای دوره‌های آماری ۸۰-۱۳۷۸، ۹۳-۱۳۸۷ و ۹۷-۱۳۹۴ خشک‌سالی رخ داده است.



شکل ۲۵: تغییرات شاخص SDI سالیانه برای دوره آماری سال ۱۳۶۷ تا ۱۴۰۱

#### • نتایج ارزیابی با شاخص‌های خشک‌سالی

مطابق با نتایج مشاهده‌شده، کلیه شاخص‌ها به اتفاق در بازه زمانی سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۷ رخداد دوره خشک‌سالی را نشان داده‌اند و به دلیل ماهیت متفاوت محاسبات شاخص‌ها و یا پارامترهای بکار برده، در سایر بازه‌های زمانی نتایج متفاوتی به دست آمده است که این امر نشان‌دهنده عدم قطعیت به وجود آمده در ارزیابی وضعیت خشک‌سالی با به کارگیری شاخص‌های متفاوت است. چنانچه هدف بررسی خشک‌سالی برای دوره‌های سه‌ماهه (فصلی) باشد، نتایج برای سه بازه فصلی بهار، زمستان و پاییز ارائه شده است. برای فصل بهار بازه زمانی ۶۹-۱۳۶۷ و ۸۰-۱۳۷۸، برای فصل زمستان بازه زمانی ۸۹-۱۳۸۷ و ۹۷-۱۳۹۲ و برای فصل پاییز ۹۶-۱۳۹۴ دوره‌های خشک‌سالی ثبت شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود با کوچک‌تر شدن بازه آماری (از سالیانه به فصلی) نتایج شاخص‌ها متفاوت‌تر و دارای عدم قطعیت بیشتری می‌باشند؛ بنابراین به‌طور معمول مناسب‌ترین بازه زمانی آماری برای پایش خشک‌سالی بازه بلندمدت (سالانه) می‌باشد.

#### • نتایج تحلیل عدم قطعیت با روش نظریه شاهد

در این روش، نتایج حاصل از هر شاخص خشک‌سالی به‌عنوان یک منبع شاهد در نظر گرفته شود. بدین ترتیب با توجه به استفاده از محاسبات ۵ شاخص خشک‌سالی به دست آمده، ۵ منبع شاهد برای رخداد خشک‌سالی و یا سایر شرایط اقلیمی در نظر گرفته شده است. در این پژوهش به منظور آنکه بتوان یک مقایسه منطقی بین نتایج شاخص‌ها انجام داد، طبقه‌بندی شرایط اقلیمی به سه دسته وقوع خشک‌سالی، وقوع شرایط نرمال و وقوع ترسالی دسته‌بندی شده است. درصد احتمال وقوع هر یک از سه دسته فرض شده با به کارگیری ۵ شاخص مذکور به شرح جدول (۴) ارائه می‌شود که نشان‌دهنده شواهد به دست آمده برای تحلیل در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه می‌باشند. لازم به ذکر است؛ درصد وقوع هر یک از شرایط اقلیمی بر اساس فراوانی آمار شاخص مربوطه در طول بازه زمانی می‌باشد. به‌عنوان مثال شاخص SPI در مقیاس زمانی ماهانه ۱۱ درصد مواقع را با رخداد خشک‌سالی تخمین زده است و ۷۶ درصد مواقع را با شرایط نرمال تخمین زده است. فراوانی داده‌ها بدین صورت است که برای مقیاس زمانی سالانه مجموعاً ۳۵ سال آمار و برای مقیاس زمانی فصلی مجموعاً ۱۰۵ فصل آمار (به‌غیر از فصل تابستان) و مجموعاً ۲۴۰ ماه آمار (با حذف ماه‌های غیر بارش زا) در نظر گرفته شده است. آمار مفروض شده شامل داده بارش، دما و دبی جریان می‌باشد و همان‌طور که پیش‌تر توضیح داده شد، شاخص‌ها برای زمان‌های غیر بارش زا کاربردی نیست.

جدول ۴: درصد احتمال وقوع شرایط اقلیمی در محدوده مطالعاتی با به کارگیری ۵ شاخص خشک‌سالی

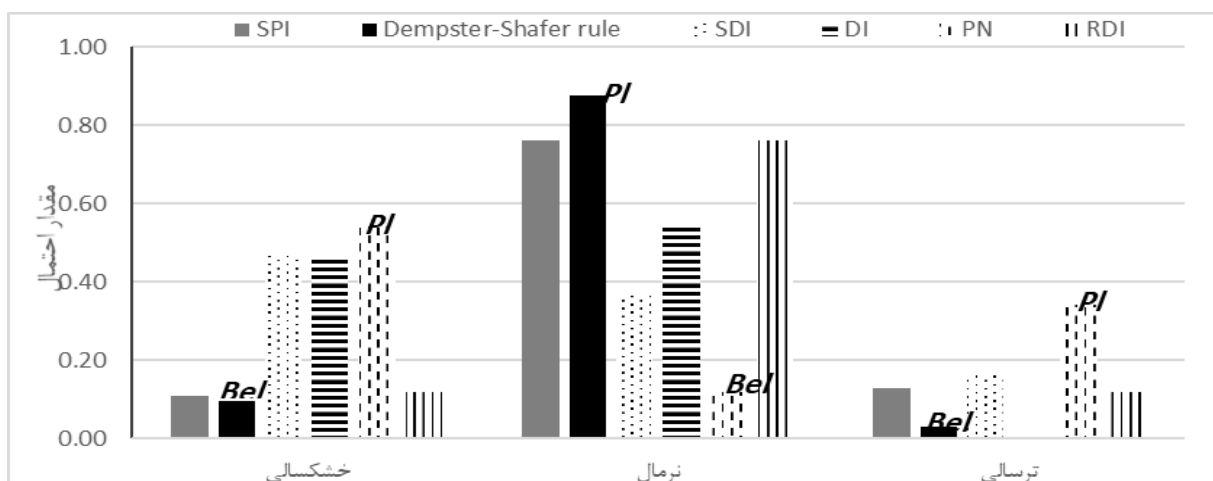
منابع شاهد	مقیاس زمانی	ماهانه			فصلی			سالانه		
		خشک‌سالی	نرمال	ترسالی	خشک‌سالی	نرمال	ترسالی	خشک‌سالی	نرمال	ترسالی
۱	SPI	۱۱	۷۶	۱۳	۱۶	۷۱	۱۳	۱۷	۶۶	۱۷
۲	SDI	۴۷	۳۷	۱۶	۴۷	۳۷	۱۶	۱۳	۷۰	۱۷
۳	DI	۴۶	۵۴	-	۴۰	۶۰	-	۴۰	۶۰	-
۴	PN	۵۴	۱۲	۳۴	۴۶	۱۲	۴۲	۳۴	۱۲	۵۴
۵	RDI	۱۲	۷۶	۱۲	۱۵	۷۲	۱۳	۱۸	۶۴	۱۸

نظریه شاهد عدم قطعیت به وجود آمده را ترکیبی از نتایج مختلف حاصله از ۵ منبع ذکر شده می‌داند که با استفاده از قانون ترکیب دمپستر-شیفر میزان رخداد هر یک از شرایط اقلیمی اندازه‌گیری می‌شود. جدول (۵) نتایج حاصل از ترکیب ۵ منبع شاهد (۵ شاخص خشک‌سالی) برای هر یک از مقیاس‌های زمانی نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن نتایج ۵ شاخص بکار گرفته شده و ترکیب نتایج آن‌ها با یکدیگر، برای مقیاس زمانی ماهانه مجموعاً ۱۰ درصد مواقع خشک‌سالی تخمین زده شده است. در حالی که این مقدار برای مقیاس‌های زمانی فصلی و سالانه به ترتیب برابر ۱۲ و ۲ درصد می‌باشد.

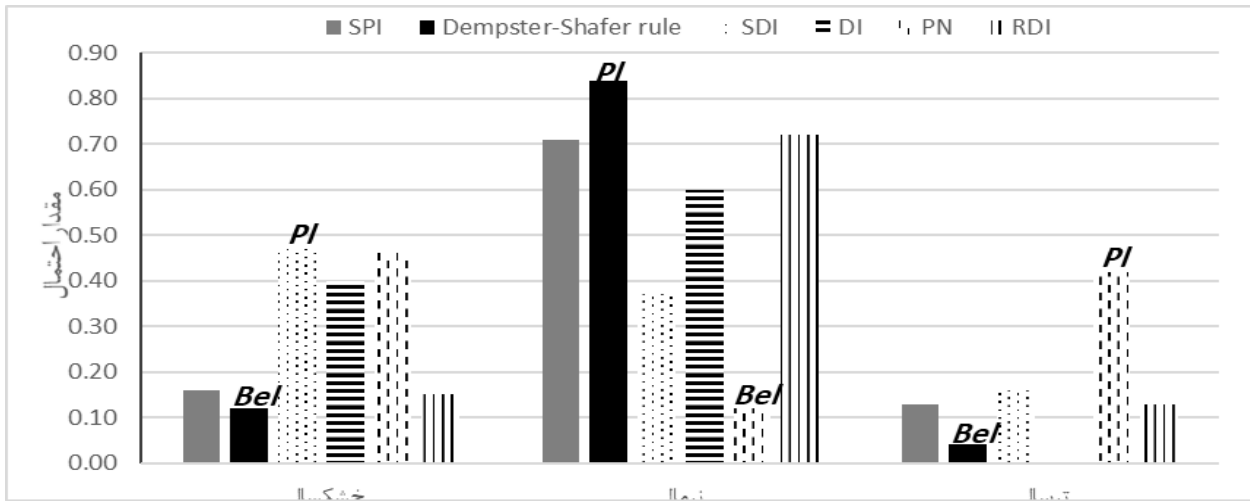
جدول ۵: درصد احتمال وقوع شرایط اقلیمی در محدوده مطالعاتی با به کارگیری ۵ شاخص خشک‌سالی

مقیاس زمانی	خشک‌سالی	نرمال	ترسالی
ماهانه	۱۰	۸۷	۳
فصلی	۱۲	۸۴	۴
سالانه	۲	۹۱	۷

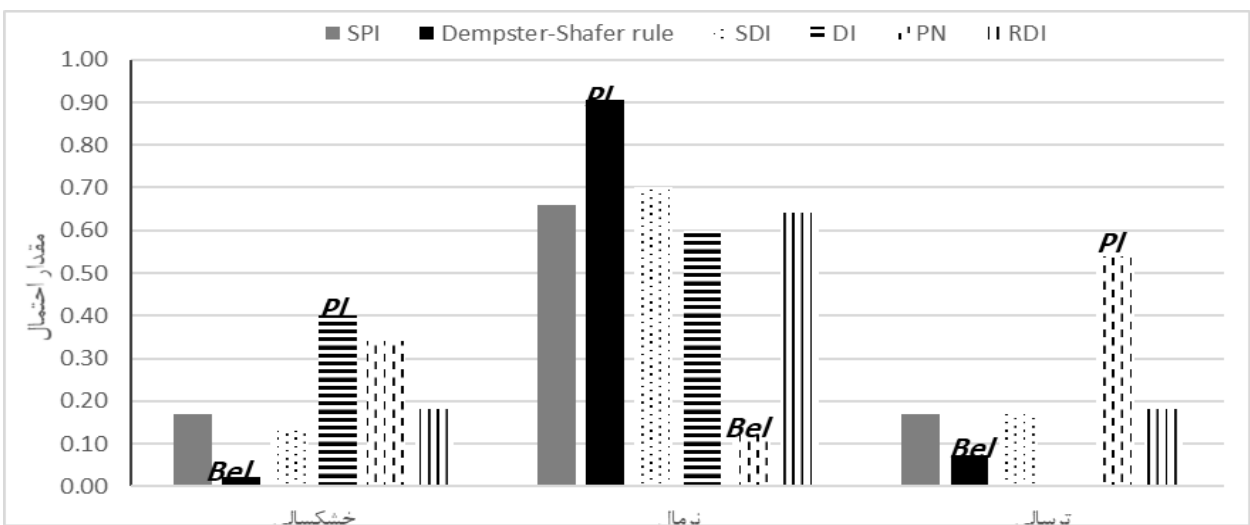
طبق تعاریف ارائه شده برای روش نظریه شاهد، وقوع یک رخداد در یک بازه احتمالاتی بررسی می‌شود که با دو مقدار حداقل و حداکثر احتمال توصیف می‌شود. در این قسمت از تحلیل نتایج عدم قطعیت، میزان عدم قطعیت به دست آمده ناشی از بکارگیری هر یک از شاخص‌ها محاسبه می‌شود. نمودار مندرج در شکل (۲۶) میزان مقادیر حداقل و حداکثر احتمال برای هر رخداد را نشان می‌دهد. مقدار حداقل (*Bel*) کمترین احتمال رخداد و مقدار حداکثر (*PL*) بیشتر احتمال رخداد را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است نتایج ارائه شده برای مقیاس زمانی ماهانه است. حداکثر مقدار و حداقل مقدار احتمال هر رویداد با توجه به نتایج به دست آمده از هر شاخص در مقایسه با نتایج قانون ترکیب دمپستر-شیفر به دست می‌آید. به همین ترتیب برای مقیاس‌های زمانی فصلی و سالانه به ترتیب، نتایج در نمودارهای مندرج در شکل‌های (۲۷) و (۲۸) نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده می‌شود که برای رخداد‌های وضعیت نرمال اقلیمی احتمال پیش‌بینی ناشی از قانون دمپستر-شیفر به عنوان حداکثر احتمال وقوع ثبت شده است که این مسئله به دلیل پیش‌بینی درصد بالای کلیه شاخص‌ها از وضعیت نرمال است ولیکن به دلیل اختلاف نظر شاخص‌ها در پیش‌بینی شرایط ترسالی و خشک‌سالی، آنچه قانون دمپستر-شیفر تخمین زده است به عنوان حداقل احتمال ثبت شده است.



شکل ۲۶: احتمال وقوع شرایط اقلیمی در محدوده مطالعاتی با به کارگیری ۵ شاخص خشک‌سالی و قانون دمپستر-شیفر-مقیاس زمانی ماهانه



شکل ۲۷: احتمال وقوع شرایط اقلیمی در محدوده مطالعاتی با به کارگیری ۵ شاخص خشکسالی و قانون دمپستر-شیفر-مقیاس زمانی فصلی



شکل ۲۸: احتمال وقوع شرایط اقلیمی در محدوده مطالعاتی با به کارگیری ۵ شاخص خشکسالی و قانون دمپستر-شیفر-مقیاس زمانی سالانه

به منظور محاسبه میزان عدم قطعیت طبق روش نظریه شاهد، مقدار اختلاف بین حداقل و حداکثر احتمال، میزان عدم قطعیت را نشان می‌دهد که به طور خلاصه نتایج برای مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در جدول (۶) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تخمین شرایط نرمال در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه نتایج با عدم قطعیت ۷۲ درصد الی ۷۹ درصد و در تخمین شرایط خشکسالی در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه نتایج با عدم قطعیت ۳۵ درصد الی ۴۴ درصد و در تخمین شرایط ترسالی در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه نتایج با عدم قطعیت ۳۱ درصد الی ۴۷ درصد به دست آمده است

جدول ۶: درصد حداقل، حداکثر احتمال و درصد عدم قطعیت در تخمین شرایط خشکسالی برای مقیاس‌های زمانی متعدد

مقیاس زمانی	شرایط اقلیمی	حداقل احتمال (Bel)	حداکثر احتمال (PL)	عدم قطعیت (%)
ماهانه	خشکسالی	۱۰	۵۴	۴۴
	نرمال	۱۲	۸۷	۷۵
	ترسالی	۳	۳۴	۳۱
فصلی	خشکسالی	۱۲	۴۷	۳۵
	نرمال	۱۲	۸۴	۷۲
	ترسالی	۴	۴۲	۳۸
سالانه	خشکسالی	۲	۴۰	۳۸
	نرمال	۱۲	۹۱	۷۹
	ترسالی	۷	۵۴	۴۷

## ۴- نتیجه گیری

بر اساس بانک اطلاعات موجود محدوده مطالعاتی (حوضه آبریز دشت آسپاس) شامل اطلاعات ماهانه باران سنجی، تبخیرسنجی و آبسنجی برای بازه ۳۵ ساله، شاخص‌های پایش خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژی نظیر شاخص SPI، DI، RDI، PN و SDI بکار گرفته شد. تخمین شرایط خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های نامبرده برای مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه استفاده شد. لازم به ذکر است شاخص‌های SPIT DI و PN از تحلیل داده‌های بارش به‌منظور تخمین شرایط اقلیمی و خشک‌سالی استفاده می‌کنند و شاخص‌های RDI و SDI از تحلیل داده‌های جریان سطحی و دما یا تبخیر به تخمین شرایط خشک‌سالی می‌پردازد. مطابق با نتایج مشاهده‌شده، کلیه شاخص‌ها به‌اتفاق در بازه زمانی سال ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۷ رخداد دوره خشک‌سالی را نشان داده‌اند و به دلیل ماهیت متفاوت محاسبات شاخص‌ها و یا پارامترهای بکار برده، در سایر بازه‌های زمانی نتایج متفاوتی به‌دست‌آمده است که این امر نشان‌دهنده عدم قطعیت به وجود آمده در ارزیابی وضعیت خشک‌سالی با به‌کارگیری شاخص‌های متفاوت است. باهدف تخمین خشک‌سالی برای دوره‌های سه‌ماهه (فصلی)، نتایج برای سه فصل بهار، زمستان و پاییز بدین‌صورت است که برای فصل بهار بازه زمانی ۶۹-۱۳۶۷ و ۸۰-۱۳۷۸، برای فصل زمستان بازه زمانی ۸۹-۱۳۸۷ و ۹۷-۱۳۹۲ و برای فصل پاییز ۹۶-۱۳۹۴ دوره‌های خشک‌سالی ثبت‌شده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تخمین خشک‌سالی با سایر شاخص‌ها، مشخص شد که نتایج به‌دست‌آمده برای برخی از دوره‌های آماری با یکدیگر همخوانی ندارند. از روش نظریه شاهد به‌منظور تحلیل عدم قطعیت ناشی از به‌کارگیری شاخص متعدد خشک‌سالی استفاده شد. به‌طوری‌که باهدف بررسی میزان عدم قطعیت در تخمین شرایط اقلیمی خشک‌سالی، نرمال و ترسالی، نتایج بدین‌صورت به دست آمد که در تخمین شرایط نرمال در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه نتایج با عدم قطعیت ۷۲ درصد الی ۷۹ درصد و در تخمین شرایط خشک‌سالی در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه نتایج با عدم قطعیت ۳۵ درصد الی ۴۴ درصد و در تخمین شرایط ترسالی در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه نتایج با عدم قطعیت ۳۱ درصد الی ۴۷ درصد به‌دست‌آمده است. این نتایج نشان‌دهنده آن است که در تخمین شرایط نرمال، شاخص‌های دارای اختلاف نظر هستند که می‌توان این مسئله را ناشی از تعریف متفاوت شرایط نرمال با استفاده از پارامترهای بکار گرفته دانست.

## منابع

- A. Malekian, B. Choubin, F. Sajedhosseini, (2016) "Time delay and impact of meteorological drought on groundwater level (case study: Aspas plain - Fars province)", 10.
- B. Choubin, A. Malekian, (2013) "The relationship between the change of the underground water level and the process of salinization (case study: Aspas plain - Fars province)", 1, 26.
- B. Choubin, A. Malekian, H. Gharehchaei, (2012) "Investigating the temporal changes of the groundwater level in a dry ecosystem (Case study: Aspas Plain)", 1, 50.
- Byun, T. R. and Wilhite, D. A. (1999) "Objective quantification of drought severity and duration." *Journal of Climate*, 12: 2747-2756.
- C. Cacciamani, A. Morgillo, S. Marchesi, V. Pavan, (2007) "Monitoring and forecasting drought on a regional scale", 62, 48.
- C. Corinna, V. Vapnik (1995) "Support-vector networks" 3, 297.
- C. Kempes, O. Myers, D. Breshears, J. Ebersole, (2008) "Comparing response of Pinus edulis treering growth to five alternate moisture indices using historic meteorological data", 72, 357.
- D. Silva. (2004) "On climate variability in northeast of Brazil", 58, 596.
- F. Ahmadi, F. Radmanesh, R. Mirabbasi Najaf Abad. (2014) "Comparison between genetic programming and support vector machine methods for daily river flow forecasting, case study", 28, 1171.
- Hayes, M. J. (2000) "What is drought?.", National Drought Mitigation Center, URL: [www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm](http://www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm).
- Hong, WU., Hayes, M. J., Welss, A. and Hu, Q. (2001) "An of evaluation the standardized
- K. Zarafshani, Investigating the psychological effects of drought on farmers in Fars province., (1384).
- Karl, T. H. R. and Knight, R. W (1985) "Atlas of monthly Palmer hydrological drought index for the contiguous united states." *Historical Climatology Series 3-7* National Climate Data Center.
- Klugman, M. R. (1978) "Drought in the upper Midwest." *Journal of Applied Meteorology*, 17: 1425-1431.
- L. Labudova, L. Schefczyk, G. Heinemann, (2014) "The comparison of the SPI and the SPEI using COSMO model data in two selected Slovakian river basins".
- M. Behzad, K. Asghari, M. Eazi, M. Pallhang, (2009) "Generalization performance of support vector machines and neural networks in runoff modeling", 36, 7629.
- Mellit, A. M. Pavan, M. Banghanem. (2013) "Least squares support vector machine for short-term prediction of meteorological time series", 111, 307.

- N, Shahbazi, A. Zahraei, B. Sadghi, H. Manshoury, M. Nasser, (2011) "Seasonality meteorological drought prediction using support vector machine", 13, 1397.
- N. Khan, Sh. Shahid, T. B. Ismail, F. Behil. (2021) "Prediction of heat waves over Pakistan using support vector machine algorithm in the context of climate change", 35, 1353.
- Nawa, K. (2000) "Drought monitoring in Zambia using meteosat and NOAA AVHRR Data", URL: <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ps3/ps304.shtm>.
- precipitation index, the China-z index and the statistical z-score.", International Journal of Climatology, 21:745-758 1.
- R. Kolachian, B. Saghafian. (2021) "Hydrological drought class early warning using support vector machines and rough sets", 390.
- Riahi, (1381) "Views and approaches of water crisis and drought phenomenon".
- S. Sahraie, Z. Moshfegh. (2013) "River Flow Prediction Using Case Study Support Vector Machine, 7th National Congress of Civil Engineering, Zahedan, Sistan and Baluchestan University".
- S. Samadianfard, E. Asadi. (2017) "Prediction of SPI drought index using support vector and multiple linear regressions", 6,16.
- S. Vicente-Serrano, S. Beguería, J.I. López-Moreno, (2011) "A multiscalar drought index sensitive to global warming", 23,1718.
- Sh.shamshirband, S. Hashemi, H. Salimi, S. Samadifard, E. Asadi. (2020) "Predicting Standardized Streamflow index for hydrological drought using machine learning models".
- Whipple, W. (1966) "Regional drought analysis.", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 92: 11-31, 1966.
- Y. Dibike, S. Velickov, D. Solomatine, M. Abbott, (2001) "Model induction with support vector machines: introduction and applications", 15 , 216.
- Zahraei, M. Nasser, (2014) "Basin scale meteorological drought forecasting using support vector machine".
- حسنی‌ها، ح. و صالحی، ز. "بررسی وضعیت خشک‌سالی بر اساس تعدادی از شاخص‌های آماری در استان رنجان"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم‌آبی و خشک‌سالی کرمان، جلد اول، صفحه ۲۷-۱۷، ۱۳۷۹.
- قطره‌سامانی، س. "بررسی روند خشک‌سالی در استان چهارمحال و بختیاری"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم‌آبی و خشک‌سالی کرمان، جلد اول، صفحه ۴۴-۳۶، ۱۳۷۹.
- مقدم، ح.، جمالی، ج.، جوانمرد، س.، مهدویان، ع. و خزانه‌داری، ل. "پایش خشک‌سالی بر اساس نمایه SPI، دهک‌ها و نرمال در استان سیستان و بلوچستان"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب زایل، جلد سوم، صفحه ۸۰-۶۹، ۱۳۸۰.