



## Evaluation of meteorological drought efficiency in assessment of drought (Case study: Fars province)

Homa Razmkhah<sup>1\*</sup> | Rouhollah Rostaie<sup>2</sup> | Alimohammad Akhondali<sup>3</sup>

1. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Water Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran. Email: [Homa.Razmkhah@iau.ac.ir](mailto:Homa.Razmkhah@iau.ac.ir)
2. Graduated Student, Department of Water Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran. Email: [rohollah.roosta@gmail.com](mailto:rohollah.roosta@gmail.com)
3. Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Water and Environment Engineering Faculty, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran. Email: [aliakh@scu.ac.ir](mailto:aliakh@scu.ac.ir)

### ARTICLE INFO

**Article type:**  
Research Article

**Article History:**  
Received May 23, 2023  
Revised August 24, 2023  
Accepted October 24, 2023  
Published online 14 February 2024

**Keywords:**  
*Z-Score Index (Z score),  
Percentage of Normal Precipitation  
Index (PNPI),  
Decades of Precipitation Index (DPI),  
Rainfall Anomaly Index (RAI),  
Standardized Precipitation Index  
(SPI).*

### ABSTRACT

Drought is a natural disaster which could be repeated, and cause damages in all climates. In Iran, drought has occurred frequently and caused water shortages in different sectors. Fars province geographical location is in the western sought of Iran. Due to the increases cities, villages, industrial and agricultural centers in this province, drought assessment is an urgent need. In this research Z score, Percentage of Normal Precipitation Index (PNPI), Decades of Precipitation Index (DPI), Rainfall Anomaly Index (RAI) and standard precipitation Index (SPI) were evaluated and and compared. Statistical analysis of precipitation showed a stable condition in Doroudzan Dam station and unstable conditions in Lar, Lamerd and Abadeh. Precipitation had a wide variation except in Shiraz, Zarghan and Doroudzan Dam stations, which verifies dominant drought climates in Fars. In order to determine the best index, minimum of rainfall and indicies correlation were used in this study. Results showed that PNPI-Z ,PNPI-SPI SPI-RAI, SPI-Z RAI-Z and PNPI-RAI indices are the most correlated ones, and DPI-SPI , DPI-RAI ,DPI-Z ,DPI-PNPI indices have week correlation. 1 and 12 months average indices showed the most correlation. The results showed that the PNPI, SPI and Z coincided with the date of minimal rainfall, and reported a severe drought in the study stations, therefore they are more efficient than the other indices to determine meteorological drought.

**Cite this article:** Razmkhah, H.; Rostaie, R. & Akhondali, A. (2024). Evaluation of meteorological drought efficiency in assessment of drought (Case study: Fars province). *ECO HYDROLOGY*. 10 (4), 575-593. Doi: [doi.org/10.22059/ije.2024.360578.1737](https://doi.org/10.22059/ije.2024.360578.1737)



© Homa Razmkhah, Rouhollah Rostaie, Alimohammad Akhondali **Publisher:** University of Tehran Press.  
DOI: <http://doi.org/10.22059/ije.2024.360578.1737>



## بررسی کارایی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی استان فارس

هما رزمخواه<sup>۱\*</sup> | روح‌الله روستایی<sup>۲</sup> | علی محمد آخوندعلی<sup>۳</sup>

۱. نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران. رایانامه: [Homa.Razmkhah@iau.ac.ir](mailto:Homa.Razmkhah@iau.ac.ir)
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران. رایانامه: [rohallah.roosta@gmail.com](mailto:rohallah.roosta@gmail.com)
۳. استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: [aliakh@scu.ac.ir](mailto:aliakh@scu.ac.ir)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

#### نوع مقاله:

پژوهشی

#### تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵

#### کلیدواژه:

شاخص خشکسالی استاندارد بارش *SPI*

عدد *Z* یا *Z-Score*

درصد نرمال بارندگی،

دهک‌های بارندگی *DPI*

ناهنجاری بارش *RAI*

خشکسالی بلایی طبیعی و قابل تکرار است که کلیه اقلیم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در ایران نیز خشکسالی بارها اتفاق افتاده و باعث کمبود آب در بخش‌های مختلف مصرف می‌شود. استان فارس در جنوب غربی ایران واقع است. با توجه به وجود مراکز جمعیت شهری و روستایی، صنعتی و اراضی کشاورزی بسیار در این استان، بررسی خشکسالی در این منطقه امری ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق شاخص‌های خشکسالی هواشناسی عدد *Z* یا *Z-Score*، درصد نرمال بارندگی *PNPI*، دهک‌های بارندگی *DPI*، ناهنجاری بارش *RAI* و *SPI* ارزیابی و مقایسه شد. تحلیل آماری بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه بیانگر ثبات بارندگی در مناطقی همچون سد درودزن و بی‌ثباتی بارش در مناطقی همچون لار و لامرد و آباد است. وضعیت بارش در استان فارس، به جز ایستگاه‌های شیراز، زرقان و سد درودزن، بسیار نامنظم و با تغییرپذیری بسیار همراه بوده، که نشان‌دهنده نوسان مقدار بارش در اقلیم خشک غالب استان است. به منظور انتخاب مناسب‌ترین نمایه از کمینه بارندگی طی دوره آماری و همبستگی بین نمایه‌ها استفاده شد. در ایستگاه‌های مورد بررسی به طور متوسط زوج شاخص‌های *PNPI-SPI*، *PNPI-Z*، *PNPI-RAI*، *SPI-Z*، *RAI-Z*، *SPI-RAI* از همبستگی بالایی برخوردارند. دیگر زوج شاخص‌های *DPI-PNPI*، *DPI-Z*، *DPI-RAI*، *DPI-SPI* همبستگی ضعیفی دارند. دوره‌های ۱ و ۱۲ ماهه به طور متوسط بالاترین ضرایب همبستگی شاخص‌ها را نشان دادند. از میان نمایه‌های ارزیابی شده، نمایه‌هایی مانند *Z*، *SPI*، *PNPI* به عنوان بهترین نمایه‌ها برای پیش‌بینی خشکسالی در شرایط اقلیمی در استان فارس معرفی می‌شوند، زیرا از لحاظ توصیف وضعیت خشکسالی به خلاف *RAI* و *DPI* بهتر از دیگر نمایه‌ها در شرایط وقوع کمینه بارش خشکسالی‌ها را پیش‌بینی کردند.

استناد: رزمخواه، هما؛ روستایی، روح‌الله و آخوندعلی، علی محمد (۱۴۰۲). بررسی کارایی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی استان فارس. *آب هیدرولوژی*، ۱۰ (۴) ۵۷۵-۵۹۳.  
DOI: <http://doi.org/10.22059/ije.2024.360578.1737>

© هما رزمخواه، روح‌الله روستایی، علی محمد آخوندعلی. ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ije.2024.360578.1737>



## ۱. مقدمه

خشکسالی وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دما است که در هر اقلیمی ممکن است رخ دهد. خشکسالی در میان بلایای طبیعی از جمله وقایعی است که جهانی شکل گرفته، منطقه‌ای عمل می‌کند [۱]. خشکسالی پدیده‌ای نیست که به طور مستقیم اندازه‌گیری شود. برای شناخت و اندازه‌گیری خشکسالی باید اثرات آن را کمی کرد و خشکسالی را ارزیابی کرد. این کمیت‌ها معمولاً براساس اندازه‌گیری‌های زمینی به دست می‌آیند. بارندگی یکی از متغیرهای اصلی و مهمی است که از آن در تعریف خشکسالی استفاده می‌شود. بر پایه کمیت بارش، شاخص یا نمایه‌های متعددی برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی ارائه شده است که می‌توان به نمایه شدت خشکسالی پالمر، نمایه ناهنجاری بارندگی، نمایه دهک‌ها، نمایه رطوبت محصول، نمایه عدد Z، نمایه استاندارد شده بارش سالانه، نمایه بارش استاندارد، نمایه درصد از نرمال و روش نیچه اشاره کرد.

در بیشتر موارد لازم است چندین شاخص به صورت هم‌زمان برای تعیین بهتر ویژگی‌های یک رویداد خشکسالی در یک منطقه استفاده شود. هیچ‌یک از شاخص‌های اصلی از نظر تمام ویژگی‌ها، نسبت به شاخص‌های دیگر برتری ندارد، اما بعضی از شاخص‌ها برای برخی مصارف مناسب‌تر از شاخص‌های دیگر است [۲].

مطالعات متعددی به ارزیابی نمایه‌های خشکسالی پرداخته‌اند. ابتدا به مروری بر برخی از تحقیقات صورت گرفته در زمینه خشکسالی در داخل کشور پرداخته می‌شود. ثنایی (۱۳۷۹) به بررسی خشکسالی و ارزیابی نمایه‌های بارش استاندارد SPI و درصد نرمال در استان خراسان پرداخت و نتیجه گرفت که آستانه‌های SPI برای تعریف وضعیت اقلیمی در خراسان دوباره باید تعریف شود [۳]. قویدل رحیمی (۱۳۸۲) به بررسی کارایی نمایه‌های مبتنی بر بارش SPI و نیچه در مطالعه خشکسالی و ترسالی در استان آذربایجان شرقی پرداختند. نتایج نشان داد SPI به علت داشتن قابلیت بیشتر و محدودیت کمتر بهتر از دیگر مدل‌هاست [۴]. خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲) به مطالعه برخی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در چند اقلیم مختلف پرداختند و به این نتیجه رسیدند که نمایه‌های دهک‌های بارندگی (DPI) و معیار بارندگی سالانه (SIAP) بهترین کاربرد را برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی در ایران دارند [۵].

وفاخواه و همکاران (۱۳۸۴) به بررسی کارایی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی برای پایش و ارزیابی خشکسالی حوضه آبخیز دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد نمایه‌های Z-Score, RAI, PNPI, DPI و SPI به ترتیب مناسب‌ترین نمایه‌های تعیین خشکسالی هواشناسی در منطقه هستند [۶]. زاهدی قره آقاج و همکاران (۱۳۸۶) به مقایسه شاخص‌های خشکسالی در ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد از میان شاخص‌های بارش قابل اعتماد، نمرات استاندارد شده بارش سالیانه و درصد بارش میانگین سالانه، مدل بارش قابل اعتماد با داشتن قابلیت‌های بیشتر و محدودیت کمتر مناسب‌تر است [۷]. اختری و همکاران (۱۳۸۵) به تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی SPI و EDI در استان تهران با استفاده از روش‌های زمین‌آماري و TPSS پرداختند. نتایج تحقیق یادشده ضمن تأیید مکانی بودن شاخص‌ها، نشان داد هر چند روش کریجینگ از دقت بیشتری برخوردار بوده است، ولی با لحاظ کردن سرعت عمل و استفاده از این نتایج در سیستم‌های پایش فعال، روش میانگین متحرک وزن دار نیز دقت کافی را دارد [۸]. در سال ۱۳۸۶ خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناختی استان تهران با استفاده از شاخص EDI و روش چانگ ارزیابی، و شاخص‌ها توسط مرید و پایمزد مورد مقایسه قرار گرفتند [۹].

در همین سال انصافی مقدم، شاخص خشکسالی اقلیمی درصد نرمال، دهک‌ها، SPI و ZSI در حوضه دریاچه نمک را ارزیابی و مناسب‌ترین شاخص را تعیین کرد. مطابق با نتایج، در انتخاب مناسب‌ترین شاخص تحلیل خشکسالی بلندمدت، شاخص SPI و دهک‌ها در جایگاه نخست قرار گرفتند [۱۰]. قربانی و همکاران (۱۳۸۸) به مطالعه تطبیقی نمایه‌های SIAP و SPI به روش داده‌کاوی در استان کرمانشاه پرداختند. به این منظور با به کار بردن قواعد انجمنی، وقوع هم‌زمانی هر یک از طبقات خشکسالی دو نمایه در مقیاس‌های زمانی فصلی، نیم‌سالانه و سالانه بررسی شد. نتایج نشان داد در هیچ‌یک از مقیاس‌های زمانی، بین طبقات خشکسالی این دو نمایه تطابق خوبی مشاهده نشد (کمتر از ۵۰ درصد) و رفتار متفاوتی از خشکسالی را نشان دادند [۱۱]. محمدیان و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از شاخص‌های SPI، DI و PNI به پهنه‌بندی خشکسالی در خراسان شمالی پرداختند [۱۲]. خسروی و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی شاخص‌های SPI و SIP، RAI، PNI در پهنه‌بندی خشکسالی ایران، با

مقایسه دو روش درون‌یابی IDW و مدل ارتفاعی رقومی DEM پرداختند و نتیجه گرفتند تحلیل درون‌یابی بدون دخالت مدل رقومی ارتفاعی DEM برای ارزیابی شدت خشکسالی مناسب‌تر است [۱۳].

پیری و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی SPI, PNI, DPI و RAI با روش تحلیل خوشه‌ای در سیستان و بلوچستان پرداختند. نتایج استفاده از نمایه‌های RAI و PNI که از نظر توصیف وضعیت خشکسالی به هم نزدیک‌اند را در منطقه توصیه کرد [۱۴]. فاضل دهکردی و همکاران (۱۳۹۵) به پایش خشکسالی با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس (MODIS) در مراتع مناطق خشک استان اصفهان پرداختند. در این تحقیق از شاخص‌های NDVI, EVI, NDMI, LST و TCI مستخرج از سنجنده مودیس و اطلاعات بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد. برای مقایسه رابطه بین شاخص‌های ماهواره‌ای و شاخص خشکسالی اقلیمی SPI و تعیین کارایی شاخص‌های ماهواره‌ای، به منظور برآورد شاخص SPI، از آمار بارندگی ماهانه نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به مراتع مورد مطالعه استفاده شد. مطابق با نتایج، شاخص خشکسالی همبستگی معناداری در سطح ۱ درصد، در بازه زمانی سه و نه ماهه با مقادیر بارندگی نشان داد. مقایسه نتایج حاصل از شاخص‌های ماهواره‌ای، با شاخص خشکسالی هواشناسی نشان داد SPI در بازه کوتاه‌مدت با شاخص‌های حرارتی و NDMI، در سطح ۱ درصد بیشترین همبستگی را نشان می‌دهد [۱۵].

پرواری (۱۳۹۷) به بررسی خشکسالی‌های کرمان با چهار شاخص SPI, TOPSIS, PNPI و Z پرداخت. مطابق با نتایج، هر یک از شاخص‌ها دوره‌های خشکسالی و ترسالی را از نظر خصوصیتی مانند فراوانی، شدت و مدت دوره‌ها، با تفاوت‌هایی نشان دادند [۱۶]. میریعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) به مرور ۸ شاخص خشکسالی و بررسی عملکرد آن‌ها پرداخته، قوت‌ها و محدودیت‌های شاخص‌ها را لیست کردند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد شاخص SPI دارای مزیت نسبی بالایی برای پایش خشکسالی است. با توجه به اینکه شاخص RDI بر مبنای بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه می‌شود، نسبت به SPI که تنها مبتنی بر بارندگی است، به متغیرها و تغییرات آب‌وهوایی حساسیت بیشتری دارد. شاخص PNPI روشی ناکارآمد برای ارزیابی خشکسالی است و پیش‌بینی خشکسالی با این شاخص، خطای زیادی به همراه دارد. شاخص CMI محدود به استفاده در فصل رشد است. همچنین نمی‌تواند مدت زمان طولانی خشکسالی را تعیین کند [۱۷]. صفریان زنگی و همکاران (۱۳۹۹) به تحلیل شاخص‌های خشکسالی CZI و بارش استاندارد SPI و پهنه‌بندی خشکسالی، در مراکز شهرهای استان اردبیل پرداختند. مقایسه دو شاخص نشان داد عملکرد آن‌ها اختلاف چندانی با هم ندارد، اما شاخص SPI بهتر از CZI می‌تواند تعداد خشکسالی‌ها را آشکار کند [۱۸].

رزمخواه و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی تطابق خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژی آب‌های سطحی و زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SPI و SWI پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد در شرایط منفی بودن مقادیر SPI، سطح آب‌های زیرزمینی افت بیشتری نشان می‌دهد. این کاهش با تأخیر زمانی همراه بوده و با افزایش مقیاس زمانی خشکسالی، تأخیر بیشتر می‌شود. بررسی روند زمانی تغییرات نشان‌دهنده تأثیر درازمدت و تجمعی خشکسالی هواشناسی بر روند نزولی آب زیرزمینی بود، هر چند برداشت از چاه‌ها نیز بی‌تأثیر نبود. آزمون من‌کنندال روند افزایشی افت تراز آب چاه‌ها را تأیید کرد. در بررسی همبستگی پارامترها، حداکثر همبستگی بارش-دبی در همان ماه و بیشترین همبستگی تراز آب زیرزمینی-بارش و تراز آب زیرزمینی-دبی با دو ماه قبل مشاهده شد، که مؤید تغذیه آب زیرزمینی توسط آب سطحی و مدت زمان لازم برای نفوذ و حرکت آب در آبخوان است [۱۹]. سعیدیان (۱۴۰۱) به مرور ۱۹ شاخص کاربردی خشکسالی پرداخت. بررسی منابع نشان داد شاخص‌های دهک‌ها، بارش استاندارد شده، پالم، شاخص گیاهی اختلاف نرمال شده، شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده و شاخص بالم و مولی از پرکاربردترین و مناسب‌ترین شاخص‌های خشکسالی هستند [۲۰].

حال اشاره‌ای به برخی تحقیقات صورت‌گرفته در خارج از کشور می‌شود. مک کی و همکاران (۱۹۹۵) با مقایسه ضرایب همبستگی دو نمایه SPI و پالم در مقیاس‌های زمانی متعدد، به این نتیجه رسیدند که این دو شاخص حداکثر همبستگی ۹۰ درصد را در مقیاس زمانی نزدیک به ۱۲ ماه، و کمترین همبستگی را در مقیاس ۲۴ ماه دارند [۲۱]. هایز (۲۰۰۰) به مقایسه نمایه‌های SPI و پالم در ایالات آمریکا پرداخته، نتیجه گرفت که SPI، مناطق با حساسیت خشکسالی را حداقل یک ماه زودتر از

نمایه پالم نشان می‌دهد [۲۲]. دوپکنی (۲۰۰۱) با بررسی نمایه‌های مختلف رطوبت محصول، SPI و پالم اصلاح شده، نشان دادند در مقیاس یک‌ماهه، SPI بهتر از نمایه پالم در ثبت شروع خشکسالی و شرایط آن عمل می‌کند و برای بررسی تأثیرات خشکسالی در مقیاس‌های زمانی کوچک تا متوسط، SPI را به عنوان بهترین شاخص گزارش کردند [۲۳]. وو و همکاران (۲۰۰۱) به ارزیابی شاخص‌های SPI، CZI و نمره Z (Z-score) در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه، برای اقلیم‌های خشک و مرطوب کشور چین پرداختند و نتیجه گرفتند که هر سه شاخص، نتایج یکسانی را برای همه مقیاس‌های زمانی به همراه دارد، ولی محاسبات مربوط به CZI و Z-score آسان‌تر از SPI است [۲۴].

لوکاس و همکاران (۲۰۰۳) به بررسی نمایه‌های Z-score، ناهنجاری بارش و SPI برای مطالعه خشکسالی هواشناسی در مقیاس‌های زمانی متفاوت در یونان پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد هر سه نمایه روند مشابهی در مقیاس ۱۲ ماهه برای تعیین خشکسالی و ترسالی داشتند. همچنین نمایه‌های فوق مطابقت خوبی با نمایه پالم (PDSI) در تعیین خشکسالی دارند [۲۵]. ناراسمهان و همکاران (۲۰۰۵) به ارزیابی شاخص SMDI و ETDI در نظارت بر خشکسالی کشاورزی پرداختند و با کاربرد شاخص‌های PDSI و SPI داده‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج استفاده از شاخص‌های یادشده را تأیید کرد. در پژوهش دیگری سه شاخص خشکسالی SPI، PDSI و DS در حوضه آبی مورد مقایسه قرار گرفت [۲۶]. اندرسون و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی شاخص‌های خشکسالی سنجش از دور با متغیرهای هیدرولوژیکی در گرجستان و ایالات متحده پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد شاخص سلامت پوشش گیاهی VHI و PDSI توانایی بیشتری در تشخیص خشکسالی در این مناطق دارند [۲۷]. ویسنت سرانو و همکاران (۲۰۱۲) به مقایسه عملکرد شاخص‌های SPI، PDSI و SPEI پرداختند و نشان دادند SPEI و SPI هر دو قابلیت بررسی خشکسالی را دارند، اما SPEI قابلیت بهتری در شناسایی اثرات خشکسالی در مقایسه با SPI دارد [۲۸]. راجسوخوار و همکاران (۲۰۱۵) به منظور ارزیابی کلیه ابعاد هواشناسی، هیدرولوژیک و کشاورزی خشکسالی، شاخص خشکسالی چندمتغیره (MDI) را ارائه کردند که در آن از داده‌های بارش، رواناب، تبخیر و تعرق و رطوبت خاک استفاده شد. از تئوری انتروپی برای تهیه شاخصی با کمترین تعداد متغیر و دربردارنده بیشترین اطلاعات استفاده شد. سپس شاخص MDI با شاخص خشکسالی پالم در کلیه مناطق اقلیمی تگزاس مقایسه شد و عملکرد مناسبی نشان داد. برای انتخاب مقیاس زمانی مناسب خشکسالی نقشه‌های مکانی مقادیر شاخص MDI در مقیاس‌های مختلف تهیه و مقایسه شد. در نهایت، MDI در بازه زمانی که بیشترین انتروپی را داشت توصیه شد، زیرا انتروپی بیشتر بیانگر محتوای اطلاعاتی بیشتر است [۲۹].

باندیوپادهای و ساها (۲۰۱۶) به مقایسه ۴ شاخص خشکسالی هواشناسی و گیاهی SPI، RFA، VCI و NAI با استفاده از داده‌های مکانی در گوجارات هندوستان پرداختند و الگوی تغییرات زمانی، مکانی شدت خشکسالی را بررسی کردند. مطابق با نتایج الگوهای خشکسالی همبستگی خوبی با میزان بارش نشان دادند. شاخص‌های RFA و NAI نیز به عنوان شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی درصد مساحت متأثر از خشکسالی هواشناسی و گیاهی در این ناحیه شناخته شدند [۳۰]. ویل و همکاران (۲۰۱۹) به مقایسه ۵ شاخص خشکسالی PDI، EDI، SPI، RDI و SPEI در حوضه نیمه‌خشک رودخانه‌ای در غرب هند پرداختند. عملکرد شاخص‌ها با توجه به معیارهایی همچون فرکانس نسبی شاخص در کلاس‌های شدت خشکسالی، پاسخ شاخص‌ها به چند واقعه بارش در یک ماه، پایداری، انعطاف‌پذیری، نمایاندن وقایع، پیچیدگی و توسعه‌پذیری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شاخص SPEI نه‌ماهه را مناسب‌ترین شاخص برای پایش شرایط خشکی در منطقه مورد مطالعه نشان داد [۳۱].

فیض و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی لزوم تهیه شاخص‌های تجمیع‌یافته ساده، کامل و مقاوم خشکسالی برای توصیف بهتر ابعاد هیدرولوژیک، کشاورزی و اقتصادی، بیان بهتر خصوصیات نظیر شدت و زمان، و تقسیم‌بندی بهتر برای مدیریت شایسته‌تر خشکسالی و کاهش ریسک مربوطه پرداختند. بررسی شاخص‌های تجمیعی نشان داد با توجه به پیچیدگی اکوسیستم‌های زمین، محققان شاخص‌های خشکسالی را برای ارزیابی و پایش شرایط خشکی اقلیم نواحی، شرایط زیست‌محیطی و تفاوت‌های تئوری، تجمیع کرده‌اند. همچنین عملکرد شاخص‌های قدیمی با شاخص‌های تجمیع‌یافته به طور گسترده مقایسه نشده است، هرچند در بسیاری از نواحی کمبود داده برای استفاده از شاخص‌های ترکیبی وجود دارد. بنابراین نیاز همه‌جانبه‌ای به ترکیب ساده شاخص‌های خشکسالی برای کاربردهای عمومی همچنان وجود دارد [۳۲]. ناییراجی و لی (۲۰۲۲) به بررسی کارایی ۱۸ شاخص

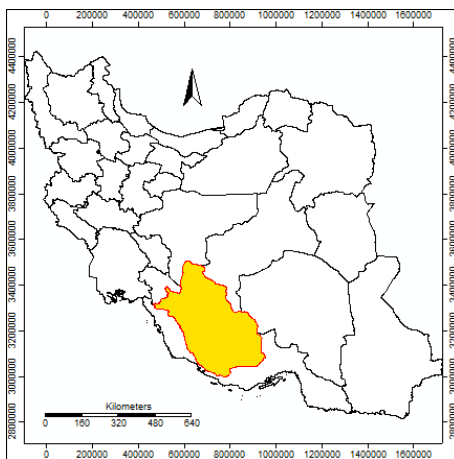
خشکسالی در ارزیابی انواع مختلف خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژی و کشاورزی، مدیریت و کاهش تأثیرات آن‌ها پرداختند. در این تحقیق خصوصیات، مزایا و محدودیت‌های شاخص‌ها و راهکارهای کاهش اثرات خشکسالی مرور و بررسی شد [۳۳].

با توجه به اینکه در بررسی خشکسالی، هر یک از شاخص‌ها ممکن است به جواب‌های متعددی مبنی بر وجود داشتن یا نداشتن خشکسالی منتج شده، هر یک برای محیط و کاربرد خاصی مناسب‌ترند، همچنین عدم یافتن تحقیق مشابه در منطقه مورد بررسی، در تحقیق حاضر نمایه‌های عدد  $Z$ ، درصد نرمال بارندگی PNPI، دهک‌های بارندگی DPI، ناهنجاری بارش RAI و SPI برای بررسی خشکسالی در استان فارس بررسی و کارایی و همبستگی آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفت.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. منطقه مورد مطالعه

استان فارس در جنوب ایران، بین مدارهای ۲۷ درجه و ۲ دقیقه و ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه و ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. شکل ۱ موقعیت استان فارس در جنوب ایران را نشان می‌دهد [۳۴]. با حرکت از سمت شمال و شمال غربی به سمت جنوب و جنوب شرقی، سه ناحیه آب‌وهوایی قابل تفکیک است. ناحیه کوهستانی شمال، شمال غرب و غرب با زمستان‌های سرد، تابستان معتدل و بارش به صورت باران و برف با میانگین سالانه ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر، ناحیه مرکزی با آب‌وهوای نسبتاً معتدل و ارتفاعی کمتر از ناحیه قبل و اقلیمی نیمه‌خشک با میانگین سالانه بارندگی ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر و ناحیه جنوب و جنوب شرقی، که به علت کاهش ارتفاع و عرض جغرافیایی و موقعیت کوه‌ها، میزان بارندگی کمتری از دو ناحیه دیگر دارد، با زمستانی معتدل و تابستان گرم است که با میانگین سالانه بارندگی در این مناطق ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر ناحیه خشک این استان را دربرمی‌گیرد.



شکل ۱. موقعیت استان فارس در جنوب ایران

### ۲.۲. شاخص بارش استاندارد شده

از آنجا که کمبود بارندگی بر منابع آب‌های سطحی، زیرزمینی، رطوبت خاک و جریان رودخانه‌ها مؤثر است، از نمایه SPI برای بررسی خشکسالی هواشناسی که ناشی از کمبود بارش است، استفاده شد. این شاخص به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی و مکانی، به عنوان یکی از شاخص‌های مناسب برای تحلیل خشکسالی شناخته می‌شود. برای محاسبه SPI ابتدا بر داده‌های بارندگی، یک توزیع احتمالی برازش داده شده، سپس به توزیع نرمال تبدیل می‌شود تا مقادیر مثبت SPI بالاتر از میانه و مقادیر منفی SPI پایین‌تر از میانه داده‌های بارندگی شود. تحقیقات نشان داده که مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال برای داده‌های بارندگی، تابع توزیع گاما است [۳۵]. از این‌رو نخستین مرحله محاسبه شاخص SPI برازش تابع توزیع احتمال گاما به داده‌های بارندگی ایستگاه است. سپس پارامترهای تابع توزیع برای

مقیاس زمانی دلخواه برآورد می‌شود. در نهایت تابع توزیع تجمعی مربوطه محاسبه و به یک تابع توزیع تجمعی نرمال برای محاسبه SPI تبدیل می‌شود. تابع توزیع گامای دو پارامتری به صورت رابطه ۱ است [۲۱]:

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

که در آن پارامتر شکل،  $\beta$  پارامتر مقیاس،  $x > 0$  مقدار بارش در مقیاس زمانی مشخص و  $\Gamma(\alpha)$  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 چولگی به راست دارد 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:

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

از آنجا که تابع توزیع گاما در نقطه صفر تعریف نشده و مقادیر بارش ممکن است شامل داده صفر نیز باشند، لذا در این حالت احتمال تجمعی از رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

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

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 می‌شود که برابر با شاخص SPI است. برای تبدیل احتمال تجمعی گاما به متغیر نرمال استاندارد از روش‌های متعددی استفاده می‌شود. در این مطالعه برای تبدیل احتمال تجمعی به متغیر نرمال استاندارد از روش آبروموویتز و استگان<sup>۱</sup> (۱۹۶۵) استفاده شد (روابط ۵-۸) [۳۶]:

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

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

که در آن

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

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

در روابط ۵-۸ مقادیر زیر صادق است:

$$c_0 = 2.515517, c_1 = 0.802853, c_2 = 0.010308, d_1 = 1.432788, d_2 = 0.189269, d_3 = 0.001308$$

خشکسالی زمانی به وقوع می‌پیوندد که شاخص SPI به طور مداوم منفی باشد و شدت آن به -۱ یا کمتر برسد و زمانی که SPI مثبت شود، تمام می‌شود. بنابراین هر رویداد دارای یک دوره زمانی است که به وسیله شروع و خاتمه آن تعریف می‌شود. طبقه‌بندی شدت خشکسالی با توجه به مقادیر SPI، مطابق Error! Reference source not found. است.

### ۳.۲. نمایه درصد نرمال بارندگی

نمایه درصد نرمال بارندگی<sup>۱</sup> (PNPI) از ساده‌ترین نمایه‌های خشکسالی است. این امر سبب شده است تا محققان زیادی، به‌خصوص محققان استرالیایی، از آن استفاده کنند. این نمایه از رابطه ۹ به دست می‌آید.

$$PNPI = \frac{P_i}{\bar{P}} * 100 \quad (9)$$

در این رابطه:  $P_i$  بارندگی ماه  $i$  و  $\bar{P}$  میانگین درازمدت بارندگی همان ماه است. این نمایه همواره مثبت بوده، از قسمت پایین محدود به صفر و از قسمت بالا از نظر تئوری محدودیتی ندارد. طبقات این نمایه در جدول ۳ درج شده است [۶].

### ۴.۲. نمایه دهک‌های بارندگی

نمایه دهک‌های بارندگی<sup>۲</sup> (DPI) اولین بار توسط گیبس و ماهر برای اجتناب از بعضی ضعف‌های روش درصد نرمال به کار گرفته شد و مشخص می‌کند که بارش یک ماه معین در چه بازه‌ای از دهک‌های متوالی سری بارندگی ماهانه یا سالانه قرار گرفته است [۵]. به منظور محاسبه دهک‌ها ابتدا داده‌های بارندگی ماهانه یا سالانه به صورت صعودی یا نزولی مرتب می‌شوند. سپس احتمال وقوع بارش یک ماه یا سال معین از رابطه ۱۰ تعیین می‌شود:

$$P_i = \frac{i}{N+1} * 100 \quad (10)$$

در این رابطه:  $P_i$  احتمال وقوع بارندگی در شماره ردیف  $i$ ام و  $N$  تعداد داده‌های بارندگی است. در این صورت بر حسب اینکه یک مقدار در چه فاصله دهکی (فاصله ۱۰ درصدی) قرار گرفته باشد، مطابق جدول ۳ یکی از درجات خشکسالی به آن نسبت داده می‌شود. طبق تعریف، دهک اول مقدار بارندگی است که از کمترین ۱۰ درصد احتمال وقوع بارش تجاوز نکند، دهک دوم، مقدار بارندگی است که از کمترین ۲۰ درصد احتمال وقوع بارش تجاوز نکند و الی آخر.

### ۵.۲. نمایه عدد Z یا عدد استاندارد Z Score

نمایه عدد Z یا عدد استاندارد (Z Score) از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$Z \text{ Score} = \frac{(P_i - \bar{P})}{S} \quad (11)$$

در این رابطه:  $P_i$  بارندگی ماهانه یا سالانه ایستگاه مورد نظر،  $\bar{P}$  میانگین و  $S$  انحراف معیار سری بارندگی است. آستانه‌های تفکیک این نمایه در جدول ۳ نشان داده شده است.

### ۶.۲. نمایه ناهنجاری بارندگی

نمایه ناهنجاری بارندگی<sup>۳</sup> (RAI) بارندگی ماه یا سال معینی را روی مقیاس خطی که از روی سری داده‌ها حاصل می‌شود ارزیابی می‌کند. مراحل محاسبه این نمایه به صورت زیر است:

محاسبه میانگین درازمدت بارندگی ماهانه ( $\bar{P}$ ) در ایستگاه مورد نظر

استخراج میانگین ۱۰ مورد از بزرگ‌ترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی ( $m$ ),

استخراج میانگین ۱۰ مورد از کمترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی ( $X$ ),

۴- مقایسه داده‌های بارندگی ماهانه ( $P$ ) با میانگین درازمدت. چنانچه  $P > \bar{P}$  باشد، آن‌گاه RAI از رابطه ۱۲ و اگر  $P < \bar{P}$  باشد،

RAI از رابطه ۱۳ تعیین می‌شود. در حالت اول، ناهنجاری مثبت و در حالت دوم، منفی است.

$$RAI = +3((P - \bar{P}) / (m - \bar{P})) \quad (12)$$

$$RAI = -3((P - \bar{P}) / (X - \bar{P})) \quad (13)$$

۵- نسبت دادن آستانه‌های +۳ و -۳ به ترتیب به میانگین ۱۰ مورد از بزرگ‌ترین مقادیر ناهنجاری‌های مثبت و ۱۰ مورد از

کوچک‌ترین مقادیر ناهنجاری منفی

1. Percent Normal Precipitation Index
2. Decades Precipitation Index
3. Rainfall Anomaly Index



۶- درنهایت، با مقیاس‌گذاری خطی روی مقادیر حاصل از نمایه ناهنجاری بارندگی، طبقات ناهنجاری با دامنه‌ای از ترسالی بسیار شدید تا خشکسالی بسیار شدید تعیین می‌شود. طبقات این نمایه در جدول ۳ آورده شده است.

## ۲.۷. ایستگاه‌های مورد مطالعه و داده‌های استفاده‌شده

از آنجا که هدف از این تحقیق، بررسی کارایی نمایه‌های خشکسالی برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی در استان فارس بود، کلیه داده‌های بارندگی روزانه ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه از سازمان هواشناسی جمع‌آوری شد و مورد بررسی قرار گرفت و ایستگاه‌هایی با داده‌های طولانی‌مدت، بیشتر از ۳۰ سال منتهی به سال ۱۳۹۴ و کمترین آمار مفقودی انتخاب شدند. داده‌های مفقود با استفاده از آمار نزدیک‌ترین ایستگاه، به روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها بازسازی شد. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعه‌شده

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)
شیراز	سینوپتیک	۵۲,۳۶	۲۹,۳۲	۱۴۸۴
فسا	سینوپتیک	۵۳,۴۱	۲۸,۵۸	۱۲۸۸
آباده	سینوپتیک	۵۲,۴۰	۳۱,۱۱	۲۰۳۰
چهرم	سینوپتیک	۵۳,۳۲	۲۸,۲۹	۱۰۸۲
زرقان	سینوپتیک	۵۲,۴۳	۲۹,۴۷	۱۵۹۶
سد درودزن	سینوپتیک	۵۲,۱۷	۳۰,۱۱	۱۶۵۰
داراب	سینوپتیک	۵۴,۱۷	۲۸,۴۷	۱۰۹۸
اقلید	سینوپتیک	۵۲,۳۸	۳۰,۵۴	۲۳۰۰
لار	سینوپتیک	۵۴,۱۷	۲۷,۴۲	۷۹۲
لامرد	سینوپتیک	۵۳,۱۲	۲۷,۲۲	۴۰۵

## ۲.۸. مراحل انجام تحقیق

### • 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 پایه زمانی مشترک ۳۰ سال ۱۳۶۴-۱۳۹۴، برای ایستگاه‌ها در نظر گرفته شد و سپس ایستگاه‌هایی که دارای داده‌های مفقود بودند، تکمیل شدند.

### • 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 شود. به این منظور، از آزمون‌های زیر استفاده شد.

### الف - بررسی تصادفی بودن داده‌ها

تصادفی بودن در سری‌های زمانی هیدرولوژیک به این معناست که داده‌ها تنها متأثر از علل طبیعی باشند. در این تحقیق از آزمون ناپارامتریک ران‌تست برای بررسی تصادفی بودن آمار هر ایستگاه استفاده شد [۱۹].

### ب- بررسی همگنی<sup>۱</sup> داده‌ها

همگنی به این معناست که داده‌های مورد نظر از یک جامعه آماری انتخاب شده باشند. برای کنترل همگنی آمار هر ایستگاه، از آزمون من-ویتنی<sup>۲</sup> توسط نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

1. Homogeneity  
2. Mann-Whitney

- محاسبه شاخص‌های  $Z$  score، PNPI، DPI، RAI، SPI در بازه‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه، توسط نرم‌افزار DIC [۱۶] و [۳۷].
- بررسی همبستگی مقادیر شاخص‌های خشکسالی در بازه‌های زمانی مختلف با استفاده از شاخص  $R^2$

### ۳. یافته‌ها

#### ۳.۱. تحلیل آماری داده‌های بارش

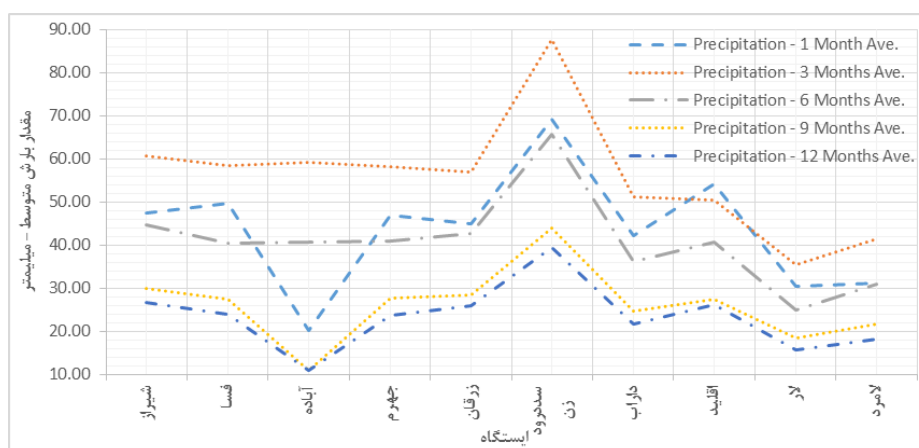
نتایج حاصل از تحلیل آماری داده‌های بارش سالانه ایستگاه‌های استان فارس (۱۳۶۴-۱۳۹۴) در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. ویژگی آماری بارش ایستگاه‌های استان فارس (دوره ۳۰ ساله)

ایستگاه	میانگین	میانه	حداکثر	حداقل	دامنه	چولگی	انحراف معیار	ضریب تغییرات
شیراز	۳۲۱٫۰۲	۳۰۴٫۸	۵۸۱	۱۰۴٫۲۲	۴۷۶٫۷۸	-۰٫۳۹	۱۱۷٫۴۸	۳۶٫۶
فسا	۲۸۵٫۵۲	۲۶۰٫۹	۵۷۸٫۵	۵۷٫۵	۵۲۱	-۰٫۶۸	۱۳۴٫۰۶	۴۷٫۰
آباده	۱۳۳٫۹۸	۱۲۳٫۷	۳۰۵	۵۰٫۵۳	۲۵۴٫۴۷	۱	۶۵٫۲۱	۴۸٫۷
چهرم	۲۸۳٫۲۵	۲۶۸٫۷	۶۷۳٫۵	۵۹٫۹	۶۱۳٫۶	-۰٫۹	۱۳۶٫۲۱	۴۸٫۱
زرقان	۳۱۱٫۰۳	۲۸۷	۵۳۹٫۴	۱۰۷	۴۳۲٫۴	-۰٫۴۳	۱۲۲٫۲۱	۳۹٫۳
سد درودزن	۴۷۲٫۶۶	۴۵۷٫۷	۸۵۴٫۵۱	۱۸۶٫۲	۶۶۸٫۳۱	-۰٫۳۲	۱۷۲٫۳۲	۳۶٫۵
داراب	۲۶۰٫۰۲	۲۳۸٫۸۳	۶۱۹٫۳۱	۵۷٫۵	۵۶۱٫۸۱	-۰٫۸۹	۱۳۳٫۴۴	۵۱٫۳
اقلید	۳۱۷٫۵۹	۲۹۵٫۹	۶۷۴٫۲	۱۲۳٫۲۵	۵۵۰٫۹۶	-۰٫۸۷	۱۳۶٫۸۲	۴۳٫۱
لار	۱۸۹٫۳۱	۱۶۴٫۶۵	۶۳۴٫۱	۲۴٫۳۱	۶۰۹٫۷۹	۲٫۰۲	۱۳۷٫۲۲	۷۲٫۵
لامرد	۲۱۸٫۵۶	۱۹۷٫۹۲	۷۳۲٫۱۲	۳۵٫۸۱	۶۹۶٫۳۱	۱٫۶۸	۱۴۸٫۱۵	۶۷٫۸

مهم‌ترین نتایج حاصل از تحلیل آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه (جدول ۲) را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- مقادیر انحراف معیار، چولگی و ضریب تغییرات بارش بیانگر ثبات بارندگی در مناطقی همچون سد درودزن و تغییرات بیشتر بارش در مناطقی همچون لار، لامرد و آباده است.
  - میانگین بارش سالانه ایستگاه‌ها برابر ۲۷۹/۲۹ میلی‌متر بوده، ایستگاه سد درودزن بیشترین و آباده کمترین بارش بلندمدت را در میان ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد.
  - ایستگاه‌های لار و لامرد بالاترین ضریب تغییرات بارندگی را دارند که نشان‌دهنده دامنه گسترده نوسان بارش در اقلیم خشک این مناطق است.
- شکل ۲ مقادیر بارش متوسط ایستگاه‌ها را در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود ایستگاه سد درودزن غالباً بیشترین بارش در بازه‌های زمانی مختلف و لار، لامرد و آباده کمترین مقدار بارش را دارند.



شکل ۲. مقادیر بارش متوسط ایستگاه‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف

### ۲.۳. بررسی شاخص‌های خشکسالی

#### ۱.۲.۳. طبقات شاخص‌های خشکسالی

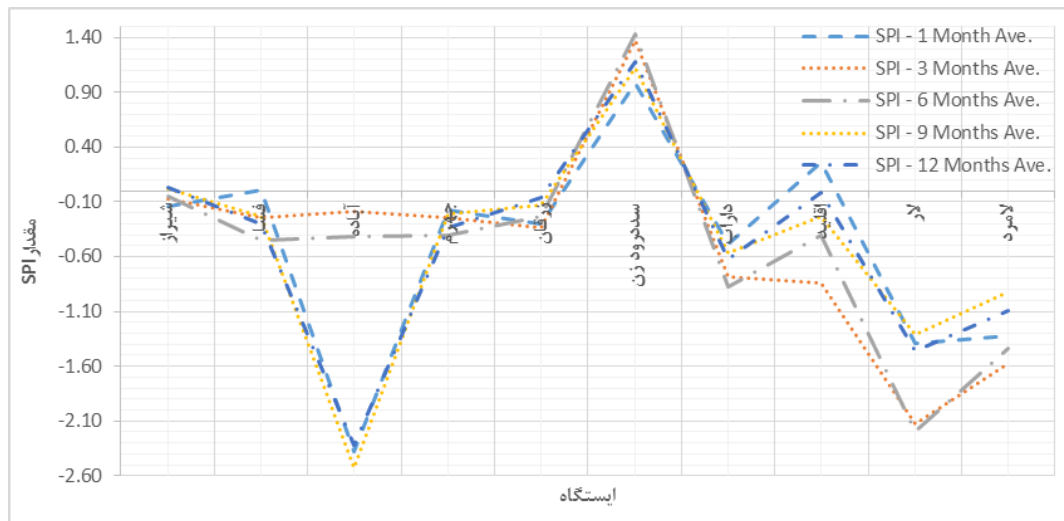
برای بررسی طبقات مختلف نمایه‌های خشکسالی در بازه‌های زمانی مختلف در استان فارس، از جدول ۳، که رتبه صفر تا ۴- برای طبقه‌بندی خشکسالی نرمال تا بسیار شدید در نظر گرفته شد، استفاده شد. به دلیل بررسی عملکرد شاخص‌ها در پیش‌بینی وضعیت‌های خشکی طبقات مرطوب غالب نمایه‌ها در جدول ۳ آورده نشده است.

جدول ۳. طبقه‌بندی شاخص‌های خشکسالی بررسی شده [۶]

طبقات خشکسالی	رتبه	نمایه درصد نرمال بارندگی (PNPI)	نمایه دهک‌های بارندگی (DPI)	نمایه ناهنجاری بارش (RAI)	نمایه نمره Z (Z-Score)	نمایه بارش استاندارد (SPI)
نرمال	۰	۸۰ تا ۱۲۰٪	۴۰ تا ۶۰٪	۰٫۳ تا ۰٫۳+	۰٫۲۵ تا ۰٫۲۵+	۱- تا ۱+
خشکسالی ضعیف	-۱	۷۰ تا ۸۰٪	۳۰ تا ۴۰٪	-۱٫۲ تا -۰٫۳	-۰٫۲۵ تا -۰٫۲۵+	-
خشکسالی متوسط	-۲	۵۵ تا ۷۰٪	۲۰ تا ۳۰٪	-۲٫۱ تا -۱٫۲	-۰٫۸۴ تا -۰٫۵۲	-۱٫۵ تا -۱
خشکسالی شدید	-۳	۴۰ تا ۵۵٪	۱۰ تا ۲۰٪	-۳ تا -۲٫۱	-۱٫۲۸ تا -۰٫۸۴	-۲ تا -۱٫۵
خشکسالی بسیار شدید	-۴	کمتر از ۴۰٪	کمتر از ۱۰٪	کمتر از -۳	کمتر از -۱٫۲۸	کمتر از -۲

#### ۲.۲.۳. بررسی تغییرات شاخص خشکسالی SPI با مقیاس‌های زمانی مختلف در استان فارس

شکل ۳ مقادیر SPI متوسط ایستگاه‌ها را در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. در ایستگاه آباده خشکسالی‌های ۱، ۹ و ۱۲ ماهه شدید و در ایستگاه‌های لار و لامرد خشکسالی ۱، ۹ و ۱۲ متوسط، و ۳ و ۶ ماهه شدید مشاهده می‌شود. ایستگاه سد درودزن نیز در وضعیت مرطوب متوسط در تمامی مقیاس‌های زمانی قرار دارد. سایر ایستگاه‌ها در کلیه مقیاس‌ها وضعیت بارش نرمال داشته‌اند. مقایسه شکل با مقادیر متوسط ماهانه بارش در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه (شکل ۲) نشان می‌دهد روال مشاهده شده در مقادیر SPI متوسط ایستگاه‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف تابع الگوی بارش است و هم‌زمان با وقوع کمینه بارندگی‌ها، خشکسالی‌های شدید نشان داده شده است.

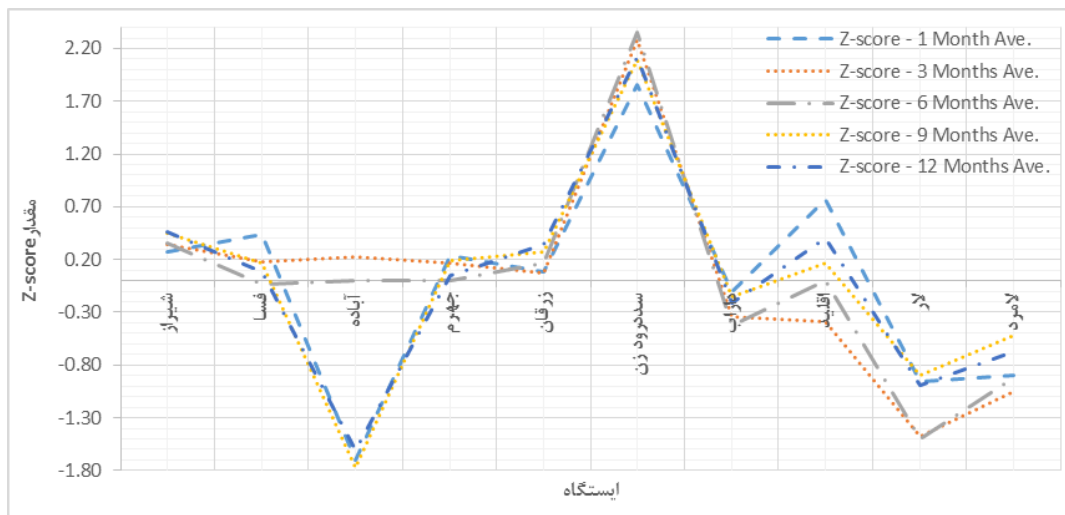


شکل ۳. مقادیر SPI متوسط ایستگاه‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف

#### ۳.۲.۳. بررسی تغییرات شاخص خشکسالی Z-score با مقیاس‌های زمانی مختلف در استان فارس

شکل ۴ مقادیر شاخص Z-score متوسط ایستگاه‌ها را در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. در ایستگاه آباده خشکسالی‌های ۱، ۹ و ۱۲ ماهه بسیار شدید و در ایستگاه‌های لار و لامرد خشکسالی ۱، ۹ و ۱۲ شدید و ۳ و ۶ ماهه بسیار شدید مشاهده می‌شود. به غیر از ایستگاه سد درودزن با بارش بالا در تمامی مقیاس‌های زمانی، سایر ایستگاه‌ها در بیشتر مقیاس‌ها

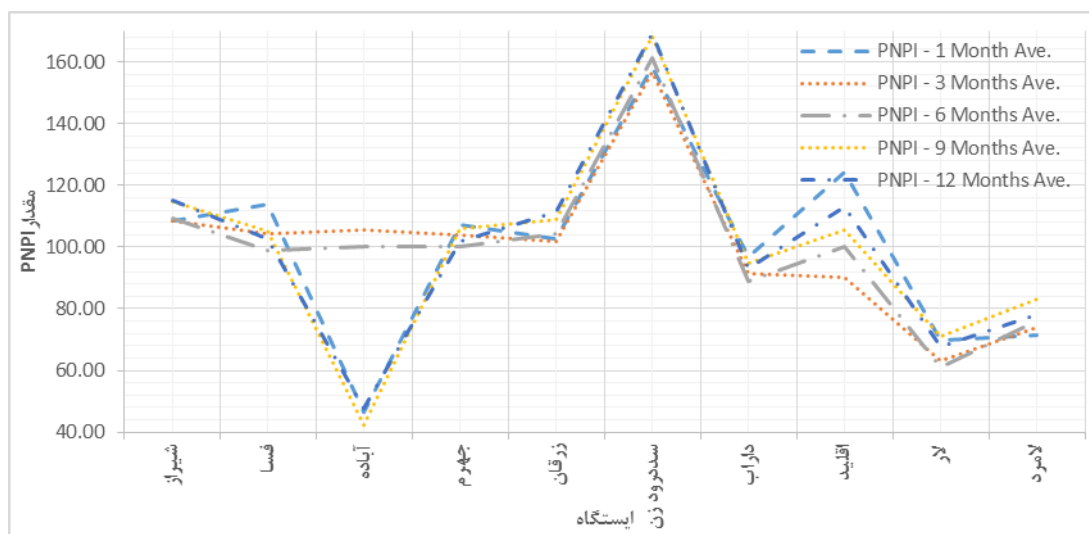
وضعیت بارش نرمال و یا خشکسالی ضعیف داشته‌اند. مقایسه شکل با مقادیر متوسط ماهانه بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف (شکل ۲) نشان می‌دهد روال مقادیر Z-score متوسط ایستگاه‌ها در مقیاس‌های زمانی تابع الگوی بارش است و هم‌زمان با وقوع کمینه بارندگی‌ها، خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید نشان داده شده است.



شکل ۴. مقادیر Z-score متوسط ایستگاه‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف

### ۴.۲.۳. بررسی تغییرات شاخص خشکسالی PNPI با مقیاس‌های زمانی مختلف در استان فارس

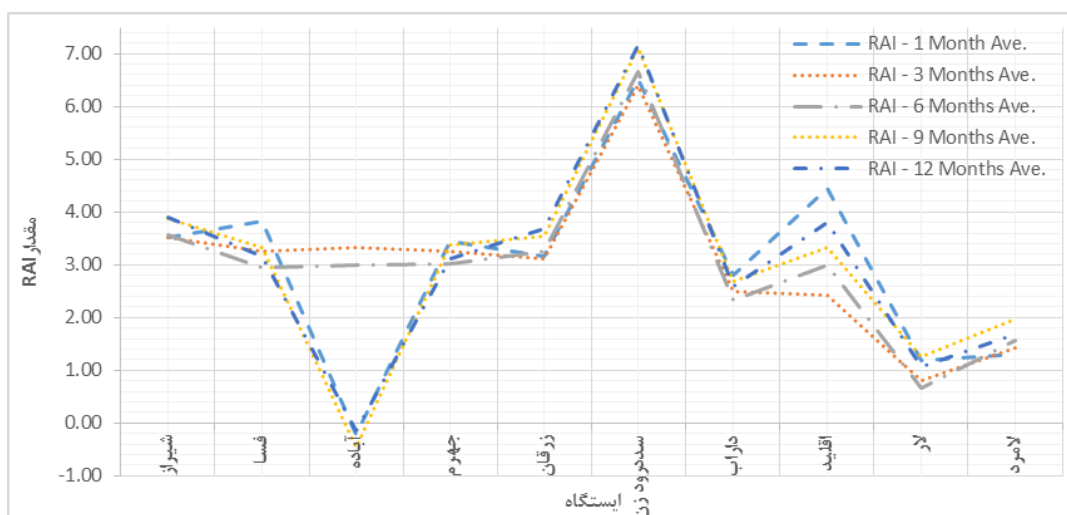
شکل ۵ مقادیر PNPI متوسط ایستگاه‌ها را در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. در ایستگاه آباده خشکسالی‌های ۱، ۹ و ۱۲ ماهه شدید، و در ایستگاه‌های لار در کلیه بازه‌ها خشکسالی متوسط و در لامرد بارش ۹ ماهه نرمال و در سایر بازه‌ها وضعیت خشکسالی ضعیف حاکم است. ایستگاه سد درودزن در کلیه بازه‌ها از بارش بالای نرمال برخوردار است. سایر ایستگاه‌ها در کلیه مقیاس‌ها وضعیت بارش نرمال داشته‌اند. مقایسه شکل با مقادیر متوسط ماهانه بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف (شکل ۲) نشان می‌دهد روال مقادیر PNPI متوسط ایستگاه‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف تابع الگوی بارش است و در برخی از ایستگاه‌ها مقارن با وقوع کمینه بارندگی‌ها خشکسالی‌های شدید نشان داده شده است.



شکل ۵. مقادیر PNPI متوسط ایستگاه‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف

### ۵.۲.۳. بررسی تغییرات شاخص خشکسالی RAI با مقیاس‌های زمانی مختلف در استان فارس

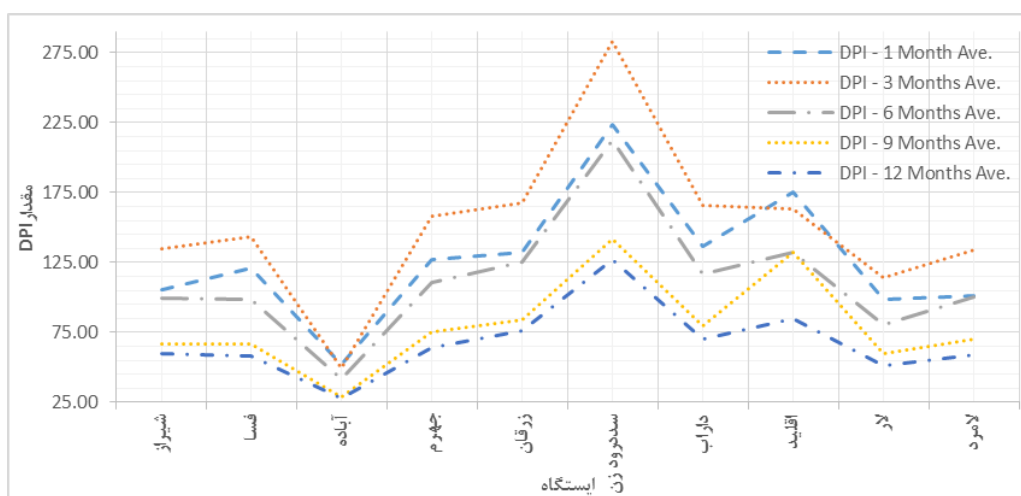
شکل ۶ مقادیر RAI متوسط ایستگاه‌ها را در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. به جز ایستگاه آباد که در بازه ۹ ماهه با خشکسالی ضعیفی روبه‌روست، سایر ایستگاه‌ها در همه بازه‌های زمانی از بارش نرمال و بالاتر برخوردارند. مقایسه شکل با مقادیر متوسط ماهانه بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف (شکل ۲) نشان می‌دهد روال مشاهده‌شده در مقادیر RAI متوسط ایستگاه‌ها در مقیاس‌های زمانی تابع الگوی بارش است، ولی این شاخص بارش‌های زیر نرمال را به درستی نشان نمی‌دهد و هم‌زمان با وقوع کمینه بارندگی‌ها، خشکسالی‌های شدید نشان داده نشده است.



شکل ۶. مقادیر RAI متوسط ایستگاه‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف

### ۶.۲.۳. بررسی تغییرات شاخص خشکسالی DPI با مقیاس‌های زمانی مختلف در استان فارس

شکل ۷ مقادیر DPI متوسط ایستگاه‌ها را در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. در ایستگاه آباد خشکسالی‌های ۹ و ۱۲ ماهه ضعیف حاکم است. بارش متوسط در سایر بازه‌های زمانی از وضعیت نرمال به بالا برخوردار است. سایر ایستگاه‌ها در کلیه بازه‌های زمانی بارش نرمال یا بیشتر دارند. مقایسه شکل با مقادیر متوسط ماهانه بارش (شکل ۲) نشان می‌دهد که روال مشاهده‌شده در مقادیر DPI متوسط ایستگاه‌ها در مقیاس‌های زمانی تابع الگوی بارش است، اما این شاخص شرایط خشکسالی را به درستی نشان نمی‌دهد و مقارن با وقوع کمینه بارندگی‌ها خشکسالی‌های شدید نشان داده نشده است.



شکل ۷. مقادیر DPI متوسط ایستگاه‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف

### ۳.۳. بررسی همبستگی مقادیر شاخص‌های خشکسالی در بازه‌های زمانی مختلف

برای بررسی همبستگی بین زوج شاخص‌های خشکسالی از ضریب همبستگی  $R^2$  استفاده شد و با استفاده از آزمون آماری، معناداری آن‌ها در سطح ۵ درصد در تمام ایستگاه‌ها تأیید شد.

#### ۳.۳.۱. ضرایب تعیین ( $R^2$ ) شاخص‌های خشکسالی ۱ ماهه

جدول ۴ ضرایب تعیین ( $R^2$ ) شاخص‌های خشکسالی ۱ ماهه را طی دوره ۳۰ ساله برای ده ایستگاه مورد بررسی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که زوج شاخص‌های PNPI-Z, SPI-Z, SPI-RAI, PNPI-RAI, SPI-RAI-Z, PNPI-RAI-Z از همبستگی بسیار بالایی (ضریب تعیین ۱) برخوردارند. دیگر زوج شاخص‌های DPI-SPI, DPI-RAI, DPI-Z, DPI-PNPI همبستگی ضعیف‌تری (ضریب تعیین ۰/۷۷) دارند.

جدول ۴. ضرایب تعیین ( $R^2$ ) شاخص‌های خشکسالی ۱ ماهه

نمایه	PNPI	SPI	DPI	RAI	Z score
PNPI	۱	*	*	*	*
SPI	۱	۱	*	*	*
DPI	۰,۷۷	۰,۷۷	۱	*	*
RAI	۱	۱	۰,۷۷	۱	*
Z score	۱	۱	۰,۷۷	۱	۱

#### ۳.۳.۲. ضرایب تعیین ( $R^2$ ) شاخص‌های خشکسالی ۳ ماهه

جدول ۵ ضرایب تعیین ( $R^2$ ) شاخص‌های خشکسالی ۳ ماهه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، زوج شاخص‌های PNPI-SPI, PNPI-Z, SPI-RAI, SPI-Z, PNPI-RAI, RAI-Z از همبستگی بالایی (ضریب بزرگ‌تر از ۰/۹۹۱) برخوردارند. شاخص‌های DPI-SPI, DPI-RAI, DPI-Z, DPI-PNPI همبستگی بسیار پایینی (ضریب کمتر از ۰/۲۵) دارند.

جدول ۵. ضرایب تعیین ( $R^2$ ) شاخص‌های خشکسالی ۳ ماهه

نمایه	PNPI	SPI	DPI	RAI	Zscore
PNPI	۱	*	*	*	*
SPI	۱	۱	*	*	*
DPI	۰,۲۲۴	۰,۲۲۴	۱	*	*
RAI	۰,۹۹۷	۰,۹۹۷	۰,۲۴۹	۱	*
Zscore	۰,۹۹۷	۰,۹۹۷	۰,۲۳۱	۰,۹۹۱	۱

#### ۳.۳.۳. ضرایب تعیین ( $R^2$ ) شاخص‌های خشکسالی ۶ ماهه

جدول ۶ ضرایب تعیین ( $R^2$ ) شاخص‌های خشکسالی ۶ ماهه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، زوج شاخص‌های PNPI-SPI, PNPI-Z, SPI-RAI, SPI-Z, PNPI-RAI, RAI-Z از همبستگی بالایی (ضریب بزرگ‌تر از ۰/۹۹۱) برخوردارند. زوج شاخص‌های DPI-SPI, DPI-RAI, DPI-Z, DPI-PNPI همبستگی پایینی (ضریب کمتر از ۰/۴۷) دارند.

جدول ۶. ضرایب تعیین ( $R^2$ ) شاخص‌های خشکسالی ۶ ماهه

نمایه	PNPI	SPI	DPI	RAI	Zscore
PNPI	۱	*	*	*	*
SPI	۰,۹۸۸	۱	*	*	*
DPI	۰,۵۲۷	۰,۴۷۲	۱	*	*
RAI	۰,۹۹۷	۰,۹۹۱	۰,۴۸۰	۱	*
Zscore	۰,۹۸۸	۱	۰,۴۷۲	۰,۹۹۱	۱

**۳.۳.۴. ضرایب تعیین (R<sup>2</sup>) شاخص‌های خشکسالی ۹ ماهه**

جدول ۷ ضرایب تعیین (R<sup>2</sup>) شاخص‌های خشکسالی ۹ ماهه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، زوج شاخص‌های PNPI-SPI, PNPI-Z, SPI-RAI, SPI-Z, Z-RAI از همبستگی بالایی (بزرگ‌تر از ۰/۹۹۷) برخوردارند. شاخص‌های DPI-PNPI, DPI-Z, DPI-RAI, DPI-SPI همبستگی پایینی (کمتر از ۰/۶۴) دارند.

جدول ۷. ضرایب تعیین (R<sup>2</sup>) شاخص‌های خشکسالی ۹ ماهه

نمایه	PNPI	SPI	DPI	RAI	Zscore
PNPI	۱	*	*	*	*
SPI	۰,۹۹۷	۱	*	*	*
DPI	۰,۶۳۶	۰,۶۰۸	۱	*	*
RAI	۰,۹۹۷	۱	۰,۶۰۸	۱	*
Zscore	۱	۰,۹۹۷	۰,۶۳۶	۰,۹۹۷	۱

**۳.۳.۵. ضرایب تعیین (R<sup>2</sup>) شاخص‌های خشکسالی ۱۲ ماهه**

جدول ۸ ضرایب تعیین (R<sup>2</sup>) شاخص‌های خشکسالی ۱۲ ماهه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج دوره یک‌ماهه عیناً برای این دوره هم تکرار شده است. این دو دوره به طور متوسط بالاترین ضرایب همبستگی شاخص‌ها را نشان دادند.

جدول ۸. ضرایب تعیین (R<sup>2</sup>) شاخص‌های خشکسالی ۱۲ ماهه

نمایه	PNPI	SPI	DPI	RAI	Zscore
PNPI	۱	*	*	*	*
SPI	۱	۱	*	*	*
DPI	۰,۷۷	۰,۷۷	۱	*	*
RAI	۱	۱	۰,۷۷	۱	*
Zscore	۱	۱	۰,۷۷	۱	۱

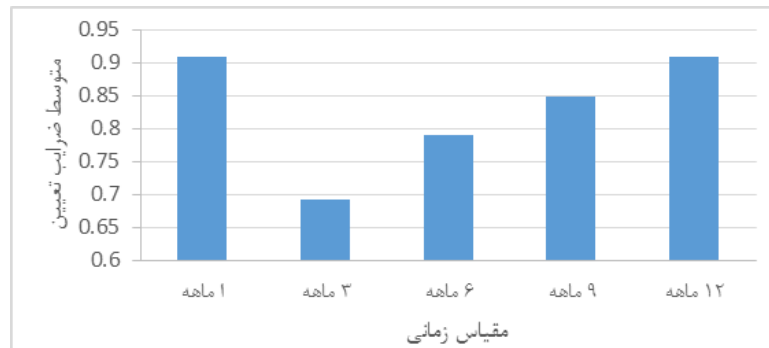
جدول ۹ خلاصه ضرایب تعیین (R<sup>2</sup>) شاخص‌های خشکسالی را در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه مشاهده می‌شود، به طور متوسط در ایستگاه‌های مورد بررسی شاخص‌های PNPI-SPI, PNPI-Z, SPI-RAI, SPI-Z, RAI-Z و PNPI-RAI از همبستگی بالایی برخوردارند. دیگر زوج شاخص‌های DPI-PNPI, DPI-Z, DPI-RAI, DPI-SPI همبستگی ضعیفی دارند. شاخص‌ها در دوره‌های ۱ و ۱۲ ماهه به طور متوسط بالاترین ضرایب همبستگی را نشان دادند.

جدول ۹. خلاصه ضرایب تعیین (R<sup>2</sup>) شاخص‌های خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف

مقیاس زمانی	RAI-Zscore	DPI-Zscore	DPI-RAI	SPI-Zscore	SPI-RAI	SPI-DPI	PNPI-Zscore	PNPI-RAI	PNPI-DPI	PNPI-SPI
۱ ماهه	۱	۰,۷۷	۰,۷۷	۱	۱	۰,۷۷	۱	۱	۰,۷۷	۱
۳ ماهه	۰,۹۹۱	۰,۲۳۱	۰,۲۴۹	۰,۹۹۷	۰,۹۹۷	۰,۲۲۴	۰,۹۹۷	۰,۹۹۷	۰,۲۲۴	۱
۶ ماهه	۰,۹۹۱	۰,۴۷۲	۰,۴۸	۱	۰,۹۹۱	۰,۴۷۲	۰,۹۸۸	۰,۹۹۷	۰,۵۲۷	۰,۹۸۸
۹ ماهه	۰,۹۹۷	۰,۶۳۶	۰,۶۰۸	۰,۹۹۷	۱	۰,۶۰۸	۱	۰,۹۹۷	۰,۶۳۶	۰,۹۹۷
۱۲ ماهه	۱	۰,۷۷	۰,۷۷	۱	۱	۰,۷۷	۱	۱	۰,۷۷	۱

همان‌گونه مشاهده می‌شود، تقریباً در تمامی مقیاس‌های زمانی، به طور متوسط شاخص‌های PNPI-SPI, PNPI-Z, SPI-RAI, PNPI-RAI, RAI-Z, SPI-Z از بیشترین همبستگی برخوردارند. دیگر شاخص‌های DPI-SPI, DPI-RAI, DPI-Z, DPI-PNPI نیز در کلیه مقیاس‌های زمانی مورد بررسی، پایین‌ترین همبستگی را نشان دادند.

شکل ۸ مقادیر متوسط ضرایب تعیین  $R^2$  شاخص‌ها در کلیه ایستگاه‌ها، در مقیاس‌های زمانی مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقیاس‌های ۱ و ۱۲ ماهه به طور متوسط، بالاترین ضرایب همبستگی شاخص‌ها و مقیاس‌های ۳ و ۶ ماهه پایین‌ترین ضرایب همبستگی شاخص‌ها را نشان می‌دهند.



شکل ۸. مقادیر متوسط ضرایب تعیین شاخص‌ها در کلیه ایستگاه‌ها، در مقیاس‌های زمانی مختلف

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

از آنجا که وقوع خشکسالی اجتناب‌ناپذیر است، در عصر حاضر که میزان و شدت وقوع خشکسالی افزایش چشمگیری داشته است، مدیریت صحیح مقابله با این بلای طبیعی و اطلاع‌رسانی صحیح و به‌موقع در هر مقیاس زمانی، امری ضروری است. پایش خشکسالی با استفاده از نمایه‌ها به عنوان یکی از مؤلفه‌های مؤثر بر سیستم پیش‌آگاهی مدیریت ریسک بلایای طبیعی، این امکان را فراهم ساخته تا بتوان مناطق صدمه‌دیده از خشکسالی را شناسایی کرد. شاخص‌های خشکسالی هواشناسی با مشخص کردن دوره‌های خشک و فراوانی وقوع آن‌ها، خشکسالی هیدرولوژیک منابع آب سطحی و زیرزمینی، و کشاورزی را نمایان ساخته، برای برآورد خسارت‌های بخش‌های مختلف کشاورزی، دامی و صنایع استان استفاده می‌شود.

مقادیر انحراف معیار، چولگی و ضریب تغییرات حاصل از تحلیل آماری بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه بیانگر ثبات بارندگی در مناطقی همچون سد درودزن و دامنه گسترده نوسان بارش در مناطقی همچون لار و لامرد و آبادیه است. ایستگاه سد درودزن بیشترین و آبادیه کمترین بارش بلندمدت را در میان ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. ضریب تغییرات بارش از ۳۶/۵ درصد برای سد درودزن تا ۷۲/۵ درصد برای لار متغیر است. با توجه به اینکه مقادیر ضریب تغییرات بارش بیشتر از ۴۰ درصد نشان‌دهنده دامنه گسترده نوسان بارش در شرایط اقلیمی خشک در محدوده‌های ایستگاه‌های مورد بررسی است، وضعیت بارش در استان فارس، به‌جز ایستگاه‌های شیراز، زرقان و سد درودزن، در سایر ایستگاه‌ها بسیار نامنظم و با دامنه نوسان گسترده‌ای همراه بوده، که نشان‌دهنده تغییرات بارش در اقلیم خشک غالب، در استان است.

همانگونه که مشاهده می‌شود، در ایستگاه‌های مورد بررسی، تقریباً در تمامی مقیاس‌های زمانی، به طور متوسط شاخص‌های PNPI-SPI

, PNPI-RAI, SPI-Z RAI-Z, SPI-Z SPI-RAI, PNPI-Z SPI-RAI, از بیشترین همبستگی برخوردارند. دیگر شاخص‌های DPI-PNPI,

DPI-Z, DPI-RAI, DPI-SPI نیز در کلیه مقیاس‌های زمانی مورد بررسی، پایین‌ترین همبستگی را نشان دادند. نتایج به‌دست‌آمده برای برخی از شاخص‌ها همسو، و برای برخی دیگر از شاخص‌ها مغایر با نتایج پژوهش وفاخواه و رجبی (۱۳۸۴) در ارزیابی کارایی نمایه‌های خشکسالی در حوضه آبریز دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو است [۶]. در این تحقیق شاخص‌های PNPI-Z, PNPI-RAI و RAI-Z همبستگی بالایی نشان دادند، اما شاخص‌های SPI-RAI, SPI-Z, SPI-SPI و PNPI-SPI از همبستگی پایینی برخوردار بودند.

در این تحقیق مقیاس‌های زمانی ۱ و ۱۲ ماهه به طور متوسط، از بالاترین ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها برخوردار بودند. مقیاس‌های ۳ و ۶ ماهه نیز پایین‌ترین ضرایب همبستگی شاخص‌ها را نشان دادند. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج تحقیق وفاخواه و رجبی (۱۳۸۴) مغایرت دارد. در این پژوهش مقادیر متوسط ضرایب همبستگی شاخص‌ها از مقیاس ۱ تا ۱۲ ماه افزایش نشان داد [۶].



از میان نمایه‌های ارزیابی شده، نمایه‌هایی مانند  $PNPI$ ,  $SPI$ ,  $Z$  به عنوان بهترین نمایه‌ها به منظور پیش‌بینی خشکسالی در شرایط اقلیمی در استان فارس معرفی می‌شوند، زیرا در کلیه مقیاس‌های زمانی از لحاظ توصیف وضعیت خشکسالی شدید (شرایط وقوع کمینه بارش)، به خلاف  $RAI$  و  $DPI$ ، خشکسالی‌ها را بهتر پیش‌بینی کردند. حجازی‌زاده و همکاران (۱۴۰۰) نیز در مقایسه شاخص‌های  $SPI$ ,  $RAI$  و  $DI$ ، در بازه زمانی ۶ و ۱۲ ماهه شاخص  $SPI$  را مناسب‌ترین شاخص، از جهت تعیین خشکسالی‌های شدید مقارن با کمینه بارندگی نشان دادند [۳۸]. بازگیر و همکاران (۱۳۹۹) نیز در مطالعه تطبیقی کارایی برخی از نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در مناطق مختلف اقلیمی ایران، نشان دادند نمایه  $SPI$  در پایش خشکسالی در تمام طبقات اقلیمی عملکرد بسیار مناسبی داشته است [۳۹]. میریعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) نیز در تحقیق خود شاخص  $SPI$  را دارای مزیت نسبی بالایی برای پایش خشکسالی نشان داد [۱۷]. سعیدیان (۱۴۰۱) نیز نشان داد شاخص  $SPI$  از پرکاربردترین و مناسب‌ترین شاخص‌های خشکسالی است [۲۰].

نمایه  $PNPI$  نیز برای تحلیل خشکسالی مناسب شناخته شد، که با نتایج تحقیق خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲) برای تحلیل خشکسالی در فلات ایران و بخش مرکزی (اقلیم‌های خشک) نیز در یک راستا است [۵]. نمایه‌های مورد بررسی دوره‌های خشکسالی و ترسالی را متفاوت نشان دادند که با نتایج پژوهش پرواری (۱۳۹۷) همخوانی دارد [۱۶]. نتیجه تحقیق حاضر به خلاف نتایج تحقیق پیری و مبارکی (۲۰۲۱) است، مبنی بر اینکه شاخص  $RAI$  خشکسالی‌های شدید را بهتر نشان می‌دهد [۴۰]. همچنین نتایج به‌دست‌آمده مغایر با نتایج میریعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۸)، مبنی بر ناکارآمد بودن شاخص  $PNPI$  برای ارزیابی خشکسالی و خطای زیاد این شاخص است [۱۷]. به‌جز شاخص  $DPI$  که شرایط خشکسالی را به‌درستی نشان نمی‌دهد و مقارن با وقوع کمینه بارندگی‌ها خشکسالی‌های شدید نشان داده نشده است، در ایستگاه آباده تغییرات شاخص ۳ و ۶ ماهه تابع الگوی بارش ۳ و ۶ ماهه بوده است.

با وجود خشکسالی‌های اخیر، عواملی همچون عدم مدیریت صحیح و مناسب و همچنین افزایش تقاضا برای آب به علت رشد جمعیت می‌تواند استان فارس را با بحران‌های اجتماعی و اقتصادی جدی تهدید کند. برای عبور از بحران‌های خشکسالی، مدیریت صحیح، ایجاد فرهنگ مصرف بهینه، برنامه‌ریزی منابع آب، به‌ویژه ذخیره آب در سال‌های پر بارش بسیار مفید خواهد بود. با توجه به تأخیر زمانی بین وقوع خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیک (منابع آب سطحی و زیرزمینی) و خشکسالی کشاورزی، می‌توان خشکسالی‌های یادشده را هم‌زمان مورد مطالعه قرار داد، تا ضمن آشکارسازی تأخیرهای زمانی، ابزار مدیریت مناسبی برای برنامه‌ریزی در بخش‌های محیط زیست، کشاورزی و منابع آب فراهم آید. برای دستیابی به نتایج بهتر توصیه می‌شود، سناریوهای تغییر اقلیم در منطقه بررسی شده و نتایج در برنامه‌ریزی‌های بهره‌برداری از منابع آب به کار گرفته شود. همچنین دیگر نمایه‌های خشکسالی با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی و داده‌های سنجش از دور برای منطقه مورد مطالعه و سایر مناطق محاسبه و نتایج مقایسه شود. با توجه به اینکه هر یک از شاخص‌های خشکسالی دارای ضعف‌هایی است، محاسبه شاخص‌های خشکسالی تجمیع‌یافته چندمتغیره، مناسب با شرایط اقلیمی خاص منطقه و مقایسه دقت برآورد شاخص‌ها در برآورد خصوصیات خشکسالی نظیر حجم، شدت، زمان شروع و خاتمه و فراوانی وقوع خشکسالی‌ها نیز پیشنهاد می‌شود.

## منابع

- [1]. Matalas NC. Drought description. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*. 2001; 5:255-260.
- [2]. Kardavani P. The drought and contrasting styles with that in Iran. Tehran University Press; 2007 [Persian].
- [3]. Sanaei Nejad SH. A review on drought methods and SPI and Normal Percent indices assessment In Khorasan Province. 1<sup>st</sup> National conference on drought mitigation and water shortage, Kerman Shahid Bahonar University. 2001 [Persian].
- [4]. Ghavidel Rahimi Y. A Study of Drought and Wet Year Assessment Models for Stations in East Azerbaijan Province. *J. Natural Environment*. 2005;58(3):517-530 [Persian].
- [5]. Khalili A, Bazrafshan J. Efficiency assessment of some meteorological indices in different climates of Iran. *Nivar*. 2003;48,49:79-93 [Persian].
- [6]. Vafakhah M, Rajabi M. Efficiency of meteorological drought indices for monitoring and assessment of drought in Bakhtegan, Tashk, and Maharlo lakes watershed. *Desert*. 2005;10(2):369-382 [Persian].
- [7]. Zahedi Ghareh Aghaj M, Ghavidel Rahimi Y. The determination of Drought threshold and computation of dependable rainfall rate for stations of Urmia lake drainage basin. *Geographical Research*. 2007;39(57):21-34 [Persian].
- [8]. Akhtari R, Mahdian MH, Morid S. Assessment of Spatial Analysis of SPI and EDI Drought Indices in Tehran Province. *Iran-Water Resources Research*. 2007;2(3):27-38 [Persian].
- [9]. Morid S, Paymzod S. Comparison of Hydrological and Meteorological Methods for Daily Drought Monitoring: A Case Study, the 1998-2000 Drought Spell of Tehran. *Iran. J. Water and Soil Sciences*. 2008;11(42):325-333 [Persian].
- [10]. Ensafi Moghadam T. An Investigation and assessment of climatological indices and determination of suitable index for climatological droughts in the Salt Lake Basin of Iran. *Iranian J of rangeland and desert research*. 2005;14(2):271-288 [Persian].
- [11]. Ghorbani Kh, Khalili A, Alavinezhad SK, Nakhazadeh Gh. Comparative Study of the Meteorological Drought Indices (SPI and SIAP) Using Data Mining Method (Case Study of Kermanshah Province). *J Water and Soil*. 2010; 24(3):417-426 [Persian].
- [12]. Mohammadian A, Kouhi M, Adineh Beygi A, Rasouli SJ, Bazrafshan B. Comparison of Monitoring of Drought Using SPI, DI and PNI and Zoning Them (Case study: Northern Khorasan Province). *J of Water and Soil Conservation*. 2011;17(1):177-184 [Persian].
- [13]. Khosravi M, Movaqqari A, Mansouri Daneshvar MR. Evaluating the PNI, RAI, SIP and SPI Indices in Mapping Drought Intensity of Iran: Comparing the Interpolation Method and Digital Elevation Model (DEM). *Geography and Environmental Sustainability*. 2012;2(4):53-70 [Persian].
- [14]. Piri H, Abbaszadeh M, Rahdari V, Maleki S. Comparative Evaluation of Four Meteorological Drought Indices using the Cluster Analysis (Case study: Sistan and Baluchestan). *Water resources Engineering*. 2013;6(17):25-36 [Persian].
- [15]. Fazel Dehkordi L, Sohrabi TS, Ghanavizbaf MH, Ghazavi R. Drought Monitoring by using of MODIS Satellite Images in Dry Lands (Case study: Isfahan Rangelands). *Geography and Environmental Planning*. 2016;27(3):177-190 [Persian].
- [16]. Parvari M. Studying the droughts in Kerman using four Indices, namely TOPSIS, SPI, PNPI and Z. *Geographical Sciences*. 2019;14(29):117-131 [Persian].
- [17]. Miryaghoubzadeh M, Khosravi SA, Zabihi M. A review of drought indices and their performance. *J Water and Sustainable Development*. 2019;6(1):103-112 [Persian].
- [18]. Safrian Zengir V, Salahi B, Maleki Meresht R, Kianian M. Analysis of Standardized Precipitation Drought Indices in the Cities of Ardebil Province. *Urban Ecology Researches*. 2020;11(1):121-136 [Persian].
- [19]. Razmkhah H, Ghahremani E, Fararouie A, Rostami Ravari A. Assessment of meteorological and hydrological drought (Case study: Zohreh river). *Integrated Watershed Management*. 2022;2(3):58-81 [Persian].
- [20]. Saeediyani H. A comprehensive overview on applied drought indicators. *Integrated Watershed Management*. 2022;2(3):1-30 [Persian].
- [21]. Mckee BT, Nolan J, Doesken Kleist J. Drought monitoring with multiple timescales. 9th Conference on Applied Climatology. Boston, Massachusetts; 1995.
- [22]. Hayes M. Drought Indices. National Drought Mitigation Center. [www.drought.unl.edu](http://www.drought.unl.edu); 2000.
- [23]. Doupigny-Girux LA. Towards characterizing and planning for drought in Vermont- PartI: A climatological perspective. *J American Water Resources Association*. 2001;37(3):505-524.
- [24]. Wu H, Hayes MJ, Weiss A, Hu Q. An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-Score. *International J Climatology*. 2001;21(6):745-758.

- [25]. Loukas A, Vasiliades L, Dalezios NR. Intercomparison of meteorological drought indices for drought assessment and monitoring in Greece. 8<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology. Lemons Island; 2003.
- [26]. Narasimhan B, Srinivasan R. Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2005;133(1):69-88.
- [27]. Anderson MC, Hain C, Wardlow B, Pimstein A, Mecikalski JR, Kustas WP. Evaluation of drought indices based on thermal remote sensing of evapotranspiration over the continental United States. *J Climate*. 2011;24(8):2025-2044.
- [28]. Vicente-Serrano SM, Beguería S, Lorenzo-Lacruz J, Camarero JJ, López-Moreno JJ, Azorin-Molina C, Sanchez-Lorenzo A. Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. *Earth Interactions*. 2012;16(10):1-27.
- [29]. Rajsekhar D, Singh VP, Mishra AK. Multivariate drought index: an information theory based approach for integrated drought assessment. *J. Hydrology*. 2015;526:164-182.
- [30]. Bandyopadhyay N, Saha AK. A comparative analysis of four drought indices using geospatial data in Gujarat, India. *Arab J. Geoscience*. 2016;9:341.
- [31]. Wable PS, Jha MK, Shekhar A. Comparison of drought indices in a semi-arid river basin of India. *Water Resources Management*. 2019; 33:75-102.
- [32]. Faiz MA, Zhang Y, Ma N, Baig F, Naz F, Niaz Y. Drought indices: aggregation is necessary or is it only the researcher's choice? *Water Supply*. 2021;21(8):3987.
- [33]. Ndayiragije JM, Li F. Effectiveness of drought indices in the assessment of different types of droughts, managing and mitigating their effects. *Climate*. 2022;10:125.
- [34]. Razmkhah H. Assessing SPI-3 months spatial variation using Kriging, case study, Fars province. *J new Approaches in Water Engineering and Environment*. 2023;1(2):25-36 [Persian].
- [35]. Razmkhah H, Rostami E, Rostami Ravari A, Fararoe A. Spatiotemporal variation of meteorological drought, Case study: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad. *Integrated Watershed Management*. 2023;2(4):17-35 [Persian].
- [36]. Abramowitz M, Stegun A. (Eds.). *Handbook of Mathematical Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*. Dover Publications; New York, USA; 1965.
- [37]. Rostaie R. Efficiency of meteorological drought indices for monitoring and assessment of drought in Fars province. M.S. Thesis. Water Science and Engineering group, Islamic Azad University, Marvdasht branch, Marvdasht, Iran [Persian].
- [38]. Hejazizadeh Z, Pajoo F, Shakiba H. Analyzing the accuracy of drought indicators and determining the best climatic indicators in southeastern Iran. *J Geography*. 2021;19(68):5-21 [Persian].
- [39]. Bazgeer S, Asadi Oskouei E, Abbasi F, Rezazadeh P, Haghghat M. Comparative study of efficiency of some meteorological drought indices in different climate regions of Iran. *Iranian J Soil and Water Research*. 2021;51(11):2751-2760 [Persian].
- [40]. Piry H, Mobaraki M. Comparison of rainfall-based drought indices with evapotranspiration-based indices in order to determine meteorological drought. *Environment and Water Engineering*. 2021;7(2):328-343.