

## مقایسه شاخص‌های SPI، PNPI، RAI و SIAP در تحلیل شرایط خشکسالی هواشناسی حوزه آبخیز زهره-جراحی (مقاله پژوهشی)

- ۱- پیمان باوند، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران.
- ۲- بهزاد متشفع<sup>\*</sup>، استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران.  
bmoteshaffeh@gmail.com
- ۳- ساره هاشم گلوگردی، دانش‌آموخته دوره دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲

پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵

### چکیده

خشکسالی، یک پدیده رایج آب و هواشناسی و یک خطر جهانی فراگیر است. با تغییر اقلیم، این احتمال وجود دارد که رویدادهای خشکسالی شدیدتر و مکرر شوند. بنابراین پیش مؤثر خشکسالی حیاتی است. در این مطالعه، پدیده خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص درصد از نرمال بارش (PNPI)، شاخص معیار بارش سالانه (SIAP) و شاخص ناهنجاری بارش (RAI) مورد بررسی و پیش‌قرار گرفت. به این منظور از داده‌های بارندگی شش ایستگاه باران‌سنجی موجود در حوضه، در دوره آماری ۲۵ ساله استفاده شد. به منظور بررسی روند خشکسالی هواشناسی براساس شاخص SPI از آزمون ناپارمتریک من-کندال بهره گرفته شد. سرانجام، توزیع مکانی شدیدترین مقادیر خشکسالی هواشناسی در سطح حوضه با استفاده از روش زمین‌آماري وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) در محیط ArcGIS تهیه گردید. نتایج شاخص SPI حاکی از این است که ایستگاه چرام با کمترین میزان SPI که برابر با ۳/۹۴- بود دارای شدیدترین خشکسالی هواشناسی در طول دوره مورد بررسی بوده است که مربوط به آبان ماه سال ۱۳۸۷ می‌باشد. فراوانی وقوع خشکسالی براساس این شاخص، حاکی از آن بود که در همه طبقات خشکسالی اتفاق افتاده است. همچنین روند خشکسالی براساس شاخص SPI، حاکی از تشدید خشکسالی در منطقه بوده و این روند در ایستگاه‌های سرفاریاب، امامزاده پهلوان، تنگ‌پیرزال و کوشک ضرغام‌آباد در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. شاخص PNPI نشان‌داد که فراوانی طبقه خشکسالی بسیار شدید، در منطقه بیش‌تر و بالاترین میزان آن مربوط به ایستگاه فشیان برابر با ۵۸/۳۳ درصد بوده است. براساس شاخص RAI نیز ایستگاه‌های سرفاریاب و امامزاده پهلوان با فراوانی برابر ۴۶/۴۷ درصد، دارای بالاترین فراوانی وقوع خشکسالی هواشناسی با طبقه بسیار شدید در حوزه می‌باشند. حاصل از شاخص نرمال بارش سالانه (SIAP) بیانگر وقوع خشکسالی در سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ در اغلب ایستگاه‌های حوضه می‌باشد. همچنین بیشترین دوره تداوم خشکسالی ایستگاه‌های منطقه براساس هر سه شاخص ۱ ساله بوده است. براساس نتایج بدست آمده از شاخص‌ها، خشکسالی هواشناسی در منطقه رخ داده و جهت جلوگیری از اثرات آن در آینده موضوع مدیریت منابع آب در منطقه لازم و ضروری است.

**واژگان کلیدی:** خشکسالی هواشناسی، آزمون من-کندال، تغییرات اقلیمی، حوزه آبخیز زهره-جراحی.

### مقدمه

خشکسالی در اثر تغییر در عوامل هواشناسی مانند کمبود بارندگی یا افزایش تبخیر و تعرق ایجاد می‌شود و به دلیل گرم شدن زمین و تقاضای روزافزون برای منابع آب به یکی از رایج‌ترین و پیچیده‌ترین بحران‌ها تبدیل شده است و به عنوان یک چالش عمده در راستای توسعه پایدار جوامع بشری در نظر گرفته می‌شود [۲۱، ۳۳، ۱۶]. این پدیده که از نظر تعداد وقوع، شدت، مدت، گستردگی و تلفات انسانی در رتبه اول بلایای طبیعی قرار

شاخص خوبی برای رویدادهای خشکسالی هواشناسی کوتاه‌مدت و بلندمدت استفاده شود [۲۳]. از جمله شاخص‌های مؤثر دیگر را می‌توان به شاخص‌های درصد از نرمال بارش (PNPI)<sup>۲</sup> که به اختصار شاخص درصد از نرمال (PNI) گفته می‌شود [۳۲]، شاخص معیار بارش سالانه (SIAP)<sup>۳</sup> و شاخص ناهنجاری بارش (RAI)<sup>۴</sup> [۳۱] اشاره کرد.

پژوهش‌های مختلفی در ارتباط با بررسی پدیده خشکسالی با استفاده از شاخص‌ها صوت گرفته است. کیانی‌مجد [۱۲] در پژوهشی، خشکسالی هواشناسی دشت زاهدان را با کاربرد شاخص‌های SPI، SIAP و PNI پایش و پهنه‌بندی نمودند. براساس نتایج گسترش مکانی و شدت بیشتر پهنه‌های بحرانی، در طی دوره آماری ۳۰ ساله مشخص گردید.

سبزواری [۲۷] تغییرات زمانی خشکسالی هواشناسی را در استان لرستان با استفاده از شاخص SPI و آزمون من-کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل شده نشان داد به‌طور کلی استان در سال‌های ۸۷ و ۷۸ با خشکسالی مواجه بوده است. همچنین ایستگاه‌های کوه‌دشت و نورآباد به ترتیب به‌عنوان خشک‌ترین و مرطوب‌ترین ایستگاه‌ها معرفی شدند.

موسوی‌خواه [۲۲] از شاخص‌های PNI، DI<sup>۵</sup>، SPI، ZSI<sup>۶</sup>، CZI<sup>۷</sup> و MCZI<sup>۸</sup> استفاده نموده و به ارزیابی و پایش خشکسالی هواشناسی در شهرستان سامان پرداختند. نتایج کسب شده از پژوهش نشان‌داد منحنی‌های هر سه شاخص SPI و ZSI و CZI روند مشابهی دارند و تقریباً برهم منطبق می‌باشند و همچنین روند شاخص PNI با روند این سه شاخص هماهنگ و همسو ولی کمی تند و تیزتر است.

لیو [۱۳] تحلیل مکانی و زمانی خشکسالی را در استان سیچوان کشور چین طی سال‌های ۱۹۶۷-۲۰۱۹ مورد بررسی قرار داده و در این راستا از شاخص‌های SPI و

دارد یکی از مهم‌ترین و پرهزینه‌ترین مخاطرات طبیعی است، که علاوه بر تأثیر بر بخش‌های مختلف مانند تأمین آب، انرژی، کشاورزی و به‌طور کلی اقتصاد کشورها، اثرات نامطلوب زیست‌محیطی و معضلات اجتماعی را نیز به‌همراه دارد [۶، ۲۰، ۱۶]. خشکسالی ممکن است در هر منطقه از جهان رخ دهد، ولی به دلیل رفتار نامنظم بارش و تنوع زیاد آب‌وهوا در مناطق خشک و نیمه‌خشک شدیدتر بوده و معمولاً خسارات بیشتری را در پی دارد [۳۰].

کشورهای خاورمیانه، در معرض خشکسالی‌های شدید هستند که توسعه این کشورها را در بسیاری از جنبه‌ها و بخش‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۴]. متوسط بارش سالانه در کشور ما ۲۵۰ میلی‌متر است که حدود یک‌سوم متوسط بارش جهانی است [۲۸] و در دهه گذشته شدیدترین، طولانی‌ترین و گسترده‌ترین خشکسالی را در طول ۳۰ سال تجربه کرده است [۱۰]. در حال حاضر نیز از ۲ تا ۲۰ میلیون نفر در کشور در معرض خطر زیاد تا متوسط اثرات ناشی از خشکسالی قرار دارند [۸].

انواع مختلفی از خشکسالی قابل تعریف است. خشکسالی هواشناسی به دلیل کمبود بارندگی برای مدت طولانی رخ می‌دهد و عاملی برای وقوع انواع دیگر خشکسالی می‌شود. کاهش بارندگی، افزایش دما، افزایش سرعت تبخیر و کاهش رطوبت خاک باعث وقوع خشکسالی کشاورزی و کاهش جریان آب و پهنه‌های آبی باعث خشکسالی هیدرولوژیکی می‌شود که بعداً جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی جامعه را تحت تأثیر قرار داده و باعث خشکسالی اقتصادی-اجتماعی می‌گردد [۲۳].

شاخص‌های خشکسالی، ابزار مفیدی برای پایش و ارزیابی انواع مختلف خشکسالی (خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی) است، زیرا ارتباط ناهنجاری‌های اقلیمی را به مخاطبان مختلف ارائه می‌کند. شاخص‌های متعددی براساس متغیرهای مختلف برای شناسایی و کمیت رویدادهای خشکسالی ایجاد شده است [۴].

سازمان جهانی هواشناسی، شاخص استاندارد بارش (SPI)<sup>۱</sup> را جهت بررسی رخدادهای خشکسالی توصیه می‌کند. شاخص مذکور کمبود بارش را در مقیاس‌های زمانی مختلف اندازه‌گیری می‌کند و می‌تواند به‌عنوان

<sup>۲</sup>- Annual Percent of Normal Precipitation Index

<sup>۳</sup>- Standard Index of Annual Precipitation

<sup>۴</sup>- Rainfall Anomaly Index

<sup>۵</sup>- Drought Index

<sup>۶</sup>- Z-score Index

<sup>۷</sup>- China-Z Index

<sup>۸</sup>- Modified China-Z Index

<sup>۱</sup>- Standardized Precipitation Index

بر وقوع پیاپی خشکسالی‌ها افزوده و سناریوهای اقلیمی نیز نشان‌دهنده افزایش وقوع احتمال خشکسالی در آینده می‌باشند [۱۰،۷].

بنابر آنچه گفته شد و با در نظر گرفتن عدم مطالعه خشکسالی در حوضه مورد مطالعه، پژوهش حاضر در نظر دارد از قابلیت‌های شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI، PNPI، SIAP و RAI بهره برده و شدت، مدت و وسعت خشکسالی در حوضه مورد مطالعه را بررسی و تجزیه و تحلیل نماید.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

زیرحوضه مورد مطالعه، بخشی از حوزه آبخیز زهره -جراحی به نام چورام می‌باشد (شکل ۱). حوزه آبخیز زهره -جراحی از حوزه‌های درجه دو کشور بوده که با مساحت ۴۰۷۸۷ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی ۱۷° ۴۸' تا ۱۹° ۵۲' طول شرقی و ۴۷° ۲۹' تا ۴۱° ۳۱' عرض شمالی قرار دارد و قسمتی از حوضه آبخیز خلیج فارس و دریای عمان می‌باشد. ۶۰ درصد از مساحت این حوزه در استان خوزستان و ۲۶/۸ و ۱۳/۳ درصد از آن به ترتیب در استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و فارس و بخش کوچکی نیز در استان‌های بوشهر و چهارمحال و بختیاری واقع شده است.

اقلیم، حوزه آبخیز رودخانه زهره -جراحی از محدوده بیابانی گرم تا مرطوب سرد متغیر است و مقدار بارش از شرق به غرب کاهش می‌یابد. زیرحوضه مورد مطالعه در بخش شرقی حوزه قرار دارد و ارتفاع آن از ۵۹۰ تا ۳۴۷۹ متر متغیر است [۳۴،۲۵].

### جمع‌آوری و آنالیز اولیه داده‌ها

به منظور انجام پژوهش در قدم اول، داده‌های مورد نیاز از اداره کل هواشناسی استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان جمع‌آوری شدند و پس از دریافت آمار، ابتدا از نظر همگنی و صحت داده‌ها مورد بررسی قرار گرفتند و به منظور تجزیه و تحلیل‌های بعدی اقدام به انتخاب پایه زمانی مشترک گردید. از آنجائیکه برخی از ایستگاه‌ها

SPEI و تحلیل آزمون من-کندال و رگرسیون خطی چند متغیره بهره‌بردند. یافته‌ها نشان‌داد شدت خشکسالی در مناطق غربی به تدریج در حال افزایش است و رویدادهای خشکسالی عمدتاً در فلات جنوب غربی و مناطق کوهستانی مرکزی رخ داده است.

در پژوهشی در از میر ترکیه بررسی ویژگی‌های خشکسالی با کاربرد شاخص‌های SPI، SPEI، PNI و DPI<sup>۱</sup> توسط از می [۲] صورت پذیرفت. براساس نتایج شاخص‌های ماهانه، نتایج بسیار مشابهی را برای کل منطقه نشان دادند و دهه‌های ۱۹۸۰ و ۲۰۱۰ خشکسالی شدیدتری را تجربه کردند.

خلیل [۱۱] به منظور بررسی ویژگی‌های زمانی و مکانی خشکسالی‌های هواشناسی در حوضه رودخانه‌ای در طی سال‌های ۱۹۷۱-۲۰۱۵ از شاخص RAI استفاده نمود و جهت تحلیل روند مدت، بزرگی و شدت خشکسالی از آزمون من-کندال و روش شیب سن بهره برد. نتایج روند افزایشی برای شدت خشکسالی برای هر دو مقیاس زمانی، ۶ و ۱۲ ماهه را نشان دادند.

یکی از اقدامات مهم در مطالعات خشکسالی و ترسالی در هر منطقه کاربرد شاخص‌هایی است، که براساس آن‌ها شدت و تداوم خشکسالی و ترسالی مشخص شده و سپس اثرات آن بر منابع آب منطقه مورد نظر مورد بررسی قرارگیرد. در سطوح مختلف برنامه‌ریزان نیز به کاربرد شاخص‌های خشکسالی در خلاصه‌سازی بسیاری از پارامترهای مؤثر در خشکسالی، مفید و سودمند می‌باشد [۲۲].

روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خشکسالی وجود دارد که مهم‌ترین آنها روش‌های درون‌یابی است، که از عمده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های درون‌یابی می‌توان به وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)<sup>۲</sup>، میان‌یابی چندجمله‌ای عام (GPI)<sup>۳</sup>، درون‌یابی مبتنی بر تابع پایه شعاعی (RBF)<sup>۴</sup> و کریجینگ (K)<sup>۵</sup> اشاره کرد [۵].

دو سوم مساحت کشور خشک و نیمه‌خشک بوده و نسبت به تغییر اقلیم به شدت حساس است. تغییرات اقلیمی

<sup>۱</sup> Drought propagation intensity

<sup>۲</sup> Inverse Distance Weighting

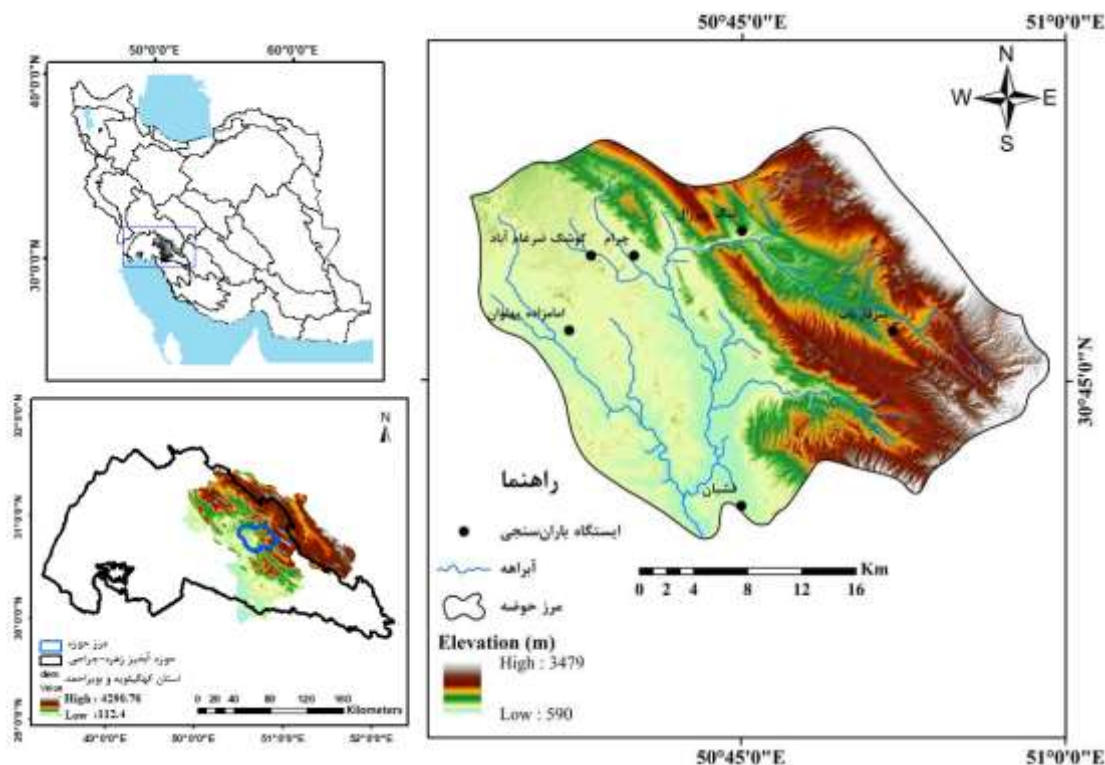
<sup>۳</sup> Global polynomial interpolation

<sup>۴</sup> Radial basis function

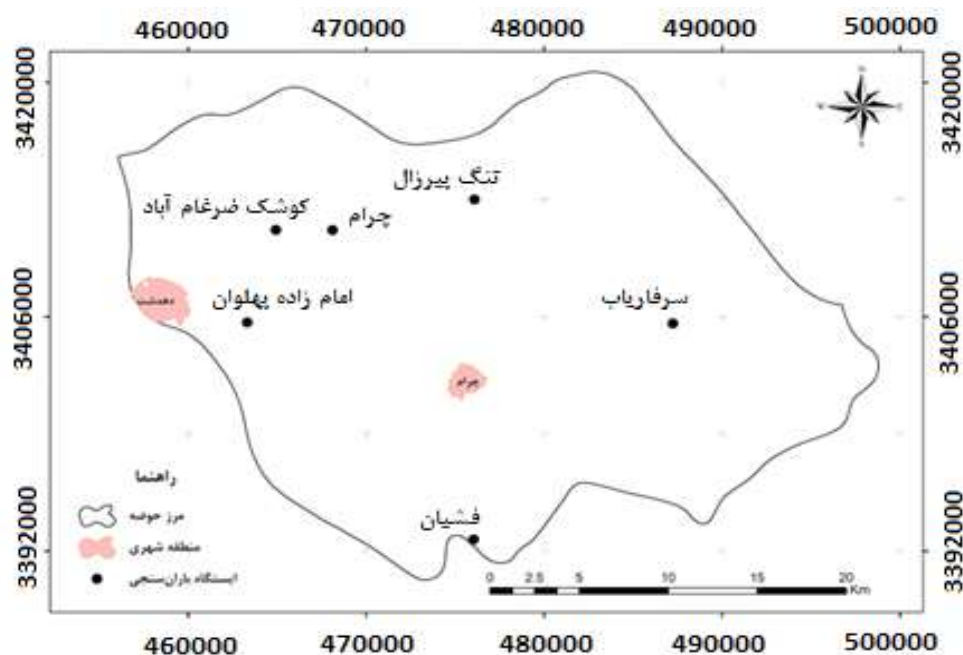
<sup>۵</sup> Kriging

شاخص‌های مورد نظر از نرم‌افزارهای DIP و M.S Excel استفاده شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد استفاده در حوضه مورد مطالعه در شکل (۲) و جدول (۱) آورده شده است.

دارای آمار ناقص یا طول دوره آماری آنها خیلی کوتاه بوده است، آنها کنار گذاشته شدند. سرانجام ایستگاه‌های چرام، سرفاریاب، امامزاده پهلوان، تنگ پیرزال، فشیان و کوشک ضرغام‌آباد با دوره آماری ۲۵ سال (۱۴۰۰-۱۳۷۵) انتخاب شدند. به منظور برآورد میزان



شکل ۱- موقعیت زیرحوضه مورد مطالعه در کشور، استان کهگیلویه و بویراحمد و حوضه آبخیز زهره-جراحی



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد استفاده در حوضه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده

| نام ایستگاه     | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | ارتفاع (متر) | سال‌های آماری مورد استفاده |
|-----------------|---------------|---------------|--------------|----------------------------|
| امامزاده پهلوان | ۳۴۰۵۲۸۲/۵۱۶   | ۴۶۳۶۳۹/۷۵۳    | ۱۰۰۰         | ۱۳۷۵-۱۴۰۰                  |
| سرفاریاب        | ۳۴۰۷۴۴۹/۵۸۹   | ۴۸۳۷۳۶/۹۸۶    | ۱۱۲۵         |                            |
| کوشک ضرغام‌آباد | ۳۴۱۰۸۲۰/۴۴۸   | ۴۶۴۶۱۴/۹۳۳    | ۸۸۵          |                            |
| تنگ‌پیرزال      | ۳۴۱۳۰۰/۰۹۶    | ۴۷۶۰۹۶/۱۷۲    | ۱۱۰۰         |                            |
| چرام            | ۳۳۹۸۶۰۲/۶۷۸   | ۴۷۴۱۴۴/۱۱۲    | ۷۰۰          |                            |
| فشیان           | ۳۳۹۶۳۸۶/۲۷    | ۴۷۴۱۴۳/۷۷۸    | ۷۰۰          |                            |

### محاسبه شاخص‌های خشکسالی

شاخص‌های مختلفی جهت بررسی خشکسالی تعریف و ارائه شده است که در پژوهش حاضر چهار شاخص SPI، RAI، PNPI و SIAP مورد بررسی قرار گرفته است:

### شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

این شاخص توسط مک‌کی [۱۵] به منظور تعریف و پایش خشکسالی ارائه شد. احساس نیاز به شناخت تأثیر کمبود بارش بر آب‌های زیرزمینی، رطوبت خاک، منابع آب سطحی، رودخانه‌ها و توده‌های برف، مک‌کی و همکاران را بر آن داشت که شاخص SPI را به منظور کمی‌سازی مقادیر تأثیر در مقیاس‌های زمانی مختلف ابداع و طراحی کنند. ویژگی این شاخص این است که به کارشناس اجازه می‌دهد تا خشکسالی‌ها و ترسالی‌های نادر را در یک مقیاس زمانی معین برای هر نقطه از جهان که آمار بارندگی مناسبی داشته باشد، تعیین و بررسی کند. این

شاخص فقط بر مبنای داده‌های بارش به کار می‌رود. نقطه قوت شاخص در اینجا است که می‌تواند برای مقیاس‌های زمانی متعدد، از یک ماه تا چندین ماه محاسبه شود. هر دوره زمانی را می‌توان برای آن در نظر گرفت، که اغلب بستگی به موارد مورد علاقه در بررسی وضعیت هیدرولوژیکی منطقه دارد [۱۵].

شاخص SPI با استفاده از رابطه (۱) قابل محاسبه است:

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{SD} \quad (1)$$

که در آن؛  $X_i$ : بارندگی در مقیاس زمانی،  $\bar{X}$ : میانگین بارندگی در مقیاس زمانی،  $SD$ : انحراف معیار بارندگی در مقیاس زمانی می‌باشد.

طبقه‌بندی حالت‌های خشکسالی هواشناسی براساس شاخص SPI به صورت جدول (۲) می‌باشد.

جدول ۲- طبقه‌بندی حالت‌های خشکسالی هواشناسی براساس شاخص SPI

| حالت | محدوده               | وضعیت خشکسالی   |
|------|----------------------|-----------------|
| ۰    | $SPI \leq -2$        | خیلی خیلی مرطوب |
| ۱    | $-1.5 \leq SPI < -2$ | خیلی مرطوب      |
| ۲    | $-1 \leq SPI < -1.5$ | مرطوب متوسط     |
| ۳    | $-0.5 \leq SPI < -1$ | نزدیک به نرمال  |
| ۴    | $-0.5 \leq SPI < -1$ | خشکسالی متوسط   |
| ۵    | $-1.5 \leq SPI < -2$ | خیلی خشک        |
| ۶    | $SPI < -2$           | خیلی خیلی خشک   |

که در روابط فوق؛  $P$ : بارندگی،  $\bar{P}$ : میانگین درازمدت بارندگی ماهانه،  $\bar{m}$ : بزرگترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی می‌باشد.

مقادیر بدست آمده از روابط بالا براساس جدول (۴) طبقه‌بندی شده و وضعیت خشکسالی مشخص می‌شود [۳۱، ۲۴].

### شاخص معیار بارش سالانه (SIAP)

اساس این شاخص نیز محاسبه انحراف داده‌های بارش از نرمال است و برای محاسبه آن ابتدا مجموع بارش‌ها در یکسال از میانگین مجموع بارش در یک دوره آماری کم‌شده و حاصل در مرحله بعد به انحراف معیار داده‌ها در دوره آماری مورد نظر تقسیم می‌شود.

بنابراین این شاخص براساس رابطه (۵) بدست می‌آید:

$$SIAP = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (5)$$

که در آن؛  $P_i$ : بارندگی سال  $i$  ام،  $\bar{P}$ : میانگین بارندگی در طول دوره آماری،  $SD$ : انحراف معیار سری بارندگی می‌باشد. طبقه‌بندی خشکسالی براساس شاخص SIAP بصورت جدول (۵) می‌باشد [۱۹، ۳].

### تعیین روند زمانی و مکانی خشکسالی

پس از محاسبه شاخص‌های خشکسالی شرح داده شده، به منظور بررسی روند خشکسالی از آزمون ناپارامتری من-کندال برای هر یک از شاخص‌ها استفاده گردید. همچنین به منظور بررسی تغییرات مکانی خشکسالی در سطح حوضه از روش درون‌یابی کریجینگ در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 بهره گرفته شد.

### نتایج و بحث

#### نتایج شدت و تداوم خشکسالی هواشناسی براساس

##### شاخص SPI

نتایج بررسی خشکسالی براساس این شاخص در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه در ایستگاه‌های موردنظر انجام شد و شدیدترین خشکسالی و تداوم آن براساس همه گام‌های زمانی ذکر شده طبق جدول (۶) به‌دست آمد:

یکی از شاخص‌های مهم جهت ارزیابی خشکسالی شاخص PNPI می‌باشد که توسط ویلیکی<sup>۱</sup> [۳۲] ارائه گردید. شاخص مذکور از جمله ساده‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌ها جهت بررسی پدیده خشکسالی به‌شمار می‌رود [۲۹].

محاسبه شاخص مذکور از تقسیم میزان بارندگی بر مقدار نرمال آن صورت پذیرفته و مقدار آن به درصد بیان می‌شود و قابل محاسبه در مقیاس‌های زمانی مختلف ماهانه، ماهانه متحرک، فصلی یا سالانه و سالانه متحرک می‌باشد. یکی از مزایای این شاخص محاسبه درصد طبیعی در یک منطقه یا فصل مؤثر می‌باشد.

رابطه (۲) محاسبه شاخص PNPI را نشان می‌دهد:

$$PNPI = \frac{P_i}{\bar{P}} \quad (2)$$

که در آن؛  $P_i$ : بارش در سال  $i$  ام و  $\bar{P}$ : میانگین درازمدت بارندگی همان ماه است. این شاخص همواره مثبت بوده و از قسمت‌های پایین محدوده به صفر و از قسمت بالا محدودیتی ندارد. طبقات مختلف شاخص PNPI نیز طبق جدول (۳) مشخص می‌گردد [۱۸، ۱۷، ۹].

### شاخص ناهنجاری بارش (RAI)

شاخص ناهنجاری بارش RAI در سال ۱۹۶۵ توسط ون‌روی<sup>۲</sup> [۳۱] ارائه شد. این شاخص بارندگی ماه یا سال معین را بر روی مقیاس خطی که از روی سری داده‌ها حاصل می‌شود ارزیابی می‌کند و دو ناهنجاری مثبت و منفی را در نظر می‌گیرد. جهت محاسبه شاخص مذکور ابتدا داده‌های بارش را به ترتیب نزولی مرتب نموده سپس میانگین ده بارش بزرگ‌تر و ده بارش کوچک‌تر محاسبه می‌شود تا به ترتیب آستانه ناهنجاری مثبت و ناهنجاری منفی مشخص شود (روابط ۳ و ۴).

الف) چنانچه ناهنجاری مثبت باشد شاخص RAI از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$RAI = 3 \left[ \frac{P - \bar{P}}{\bar{m} - \bar{P}} \right] \quad (3)$$

ب) هنگامیکه ناهنجاری منفی باشد شاخص RAI به صورت زیر بدست می‌آید:

$$RAI = -3 \left[ \frac{P - \bar{P}}{\bar{m} - \bar{P}} \right] \quad (4)$$

<sup>1</sup>-willeke

<sup>2</sup>-Van Rooy

جدول ۳- طبقات مختلف شاخص PNPI

| ردیف | عدد شاخص (درصد) | وضعیت خشکسالی |
|------|-----------------|---------------|
| ۰    | ۷۰ تا ۸۰ درصد   | ضعیف          |
| ۱    | ۵۵ تا ۷۰ درصد   | متوسط         |
| ۲    | ۴۰ تا ۵۵ درصد   | شدید          |
| ۳    | کمتر از ۴۰      | بسیار شدید    |

جدول ۴- طبقه‌بندی شدت‌های خشکسالی براساس شاخص RAI

| شدت خشکسالی        | آستانه نسبت داده شده به RAI |
|--------------------|-----------------------------|
| نزدیک نرمال        | ۰/۳ - تا ۰/۳+               |
| خشکسالی ضعیف       | ۰/۳ - تا ۱/۲-               |
| خشکسالی متوسط      | ۱/۲ - تا ۲/۱-               |
| خشکسالی شدید       | ۱/۲ - تا ۳-                 |
| خشکسالی بسیار شدید | ۳- ≤                        |

جدول ۵- طبقه‌بندی شدت‌های خشکسالی به روش شاخص SIAP

| شدت خشکسالی        | شاخص SIAP       |
|--------------------|-----------------|
| نرمال              | ۰/۲۵ - تا ۰/۲۵+ |
| خشکسالی ضعیف       | ۰/۲۵ - تا ۰/۵۲- |
| خشکسالی متوسط      | ۰/۵۲ - تا ۰/۸۴- |
| خشکسالی شدید       | ۰/۸۴ - تا ۱/۲۸- |
| خشکسالی بسیار شدید | ۱/۲۸ - کمتر از  |

جدول ۶- وضعیت خشکسالی هواشناسی براساس شاخص SPI در ایستگاه‌های مورد مطالعه

| نام ایستگاه     | مقیاس زمانی | شدیدترین مقدار SPI | شدیدترین تداوم در ماه و سال | سال‌های خشکسالی  |
|-----------------|-------------|--------------------|-----------------------------|------------------|
| چرام            | ۹ ماهه      | -۳/۹۴              | آبان ۱۳۸۷                   | ۱۳۸۷، ۱۳۸۸، ۱۳۸۹ |
| سرفاریاب        | ۲۴ ماهه     | -۲/۹۶              | بهمن ۱۳۸۷                   | ۱۳۸۷، ۱۳۸۸، ۱۳۸۹ |
| امامزاده پهلوان | ۱۸ ماهه     | -۲/۹۱              | آذر ۱۳۸۹                    | ۱۳۸۶، ۱۳۸۷       |
| تنگ‌پیرزال      | ۱۲ ماهه     | -۳/۲۶              | دی ۱۳۸۷                     | ۱۳۸۷، ۱۴۰۰       |
| فشیان           | ۹ ماهه      | -۳/۴۷              | آبان ۱۳۸۶                   | ۱۳۸۶، ۱۳۸۷       |
| کوشک ضرغام آباد | ۹ ماهه      | -۲/۸۵              | بهمن ۱۳۷۵                   | ۱۳۷۹، ۱۳۸۰، ۱۳۹۲ |

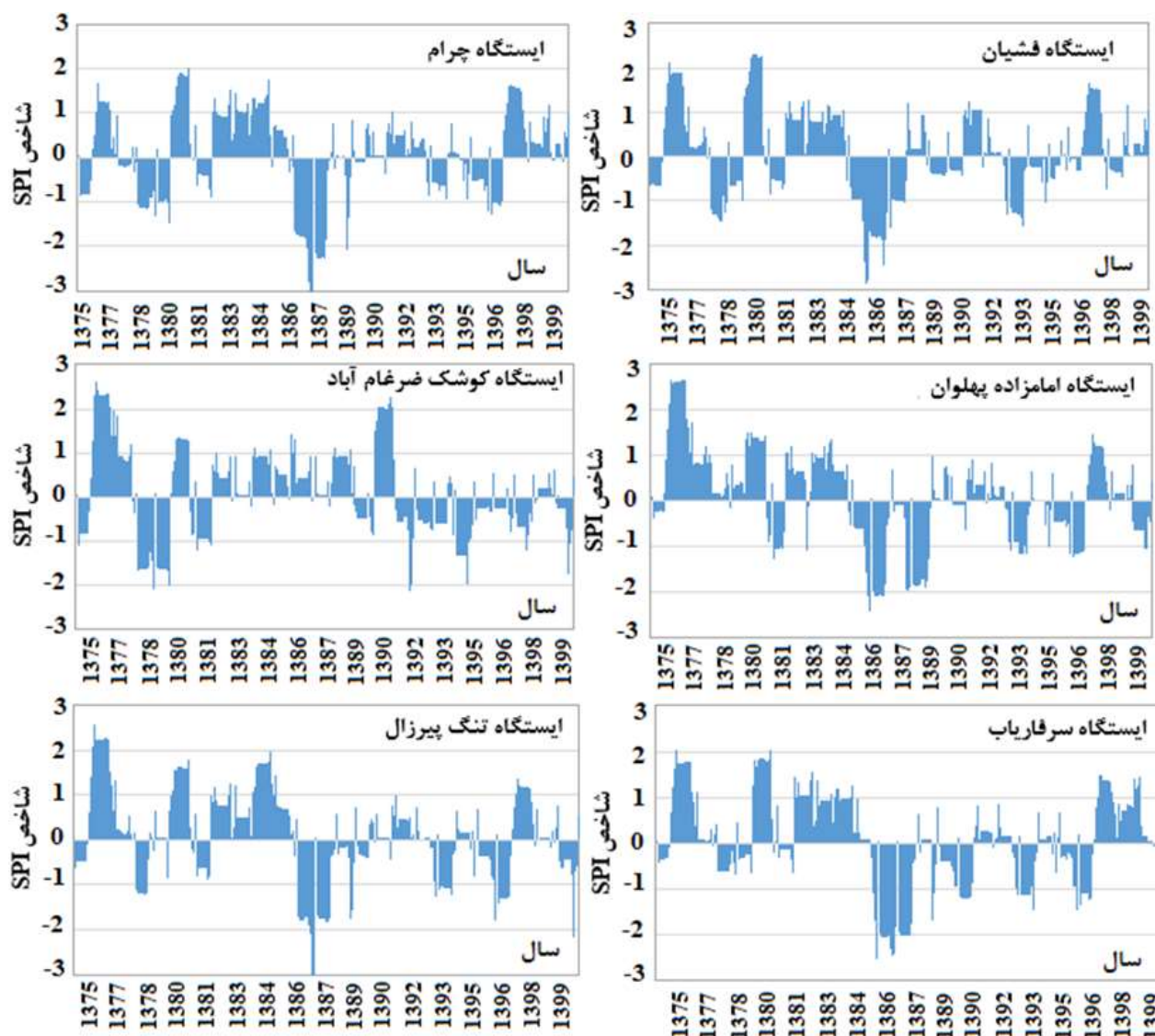
و ۳/۲۶- شدیدترین خشکسالی را در سطح حوضه مورد مطالعه تجربه کردند.

فراوانی وقوع خشکسالی براساس شاخص SPI نیز نشان داد که در همه طبقات، خشکسالی اتفاق افتاده است با توجه به اینکه مقدار این شاخص در گام‌های طولانی

براساس نتایج حاصل شده، ایستگاه چرام با کم‌ترین میزان SPI که حدود ۳/۹۴- بود دارای شدیدترین خشکسالی هواشناسی در طول دوره مورد بررسی بوده است که مربوط به آبان ماه سال ۱۳۸۷ بوده و بعد از آن ایستگاه‌های فشیان و تنگ‌پیرزال به ترتیب با مقدار ۳/۴۷-

براساس جدول (۵) همچنین مشخص شد که سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ شدیدترین خشکسالی‌ها را در منطقه تجربه کرده است. تغییرات میزان شاخص SPI در هر کدام از ایستگاه‌های حوضه در شکل (۳) آمده است.

مدت شرایط خشکسالی را بهتر منعکس می‌کند و در گام‌های زمانی کوتاه مدت وابسته به شرایط رطوبت خاک است، می‌توان بیان کرد که وقوع خشکسالی هواشناسی در این منطقه تأثیر بسزایی بر روی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌تواند داشته باشد.



شکل ۳- تغییرات شاخص SPI در بازه زمانی مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف

براساس نتایج، همه ایستگاه‌ها وقوع خشکسالی را تجربه کرده‌اند و طبقه خشکسالی خیلی خیلی شدید نیز در دو ایستگاه چرام و سرفاریاب دارای بیش‌ترین تداوم وقوع بوده است.

به‌منظور بررسی تداوم وقوع خشکسالی نیز فراوانی هر کدام از طبقات خشکسالی در مقیاس سالانه در حوضه بررسی شد که نتایج آن در جدول (۷) آمده است.

جدول ۷- فراوانی وقایع خشکسالی هواشناسی براساس شاخص SPI

| ایستگاه         | خیلی خیلی خشک | خیلی خشک | خشکسالی متوسط | نزدیک به نرمال | مرطوب متوسط | خیلی مرطوب | خیلی خیلی مرطوب |
|-----------------|---------------|----------|---------------|----------------|-------------|------------|-----------------|
| چرام            | ۱۲            | ۸        | ۲۰            | ۲۰۱            | ۴۰          | ۱۸         | ۱               |
| سرفاریاب        | ۱۴            | ۸        | ۲۶            | ۱۹۶            | ۳۵          | ۲۰         | ۲               |
| امامزاده پهلوان | ۸             | ۱۵       | ۲۶            | ۲۰۶            | ۳۲          | ۴          | ۱۰              |
| تنگ پیرزال      | ۴             | ۱۹       | ۲۴            | ۲۰۵            | ۲۰          | ۱۹         | ۱۰              |
| فشیان           | ۴             | ۱۱       | ۲۴            | ۲۰۹            | ۲۴          | ۲۰         | ۹               |
| کوشک ضرغام آباد | ۳             | ۱۷       | ۱۶            | ۲۲۲            | ۲۰          | ۴          | ۱۹              |

### نتایج وقوع خشکسالی هواشناسی براساس شاخص PNPI

نتایج فراوانی وقوع و درصد طبقات مربوط به خشکسالی به صورت زیر قابل ارائه است (جدول ۸). براساس جدول مذکور، فراوانی وقوع خشکسالی بسیار شدید در همه ایستگاه‌های مورد بررسی بالا بوده و در مقایسه با شاخص

SPI وقوع خشکسالی بسیار شدید و دارای فراوانی و تداوم بیشتری است.

### شاخص ناهنجاری بارش (RAI)

فراوانی وقوع و درصد طبقات خشکسالی براساس شاخص RAI نیز استخراج گردید که نتایج آن در جدول (۹) آمده است:

جدول ۸- فراوانی و درصد طبقات خشکسالی هواشناسی براساس شاخص PNPI در ایستگاه‌های مورد مطالعه

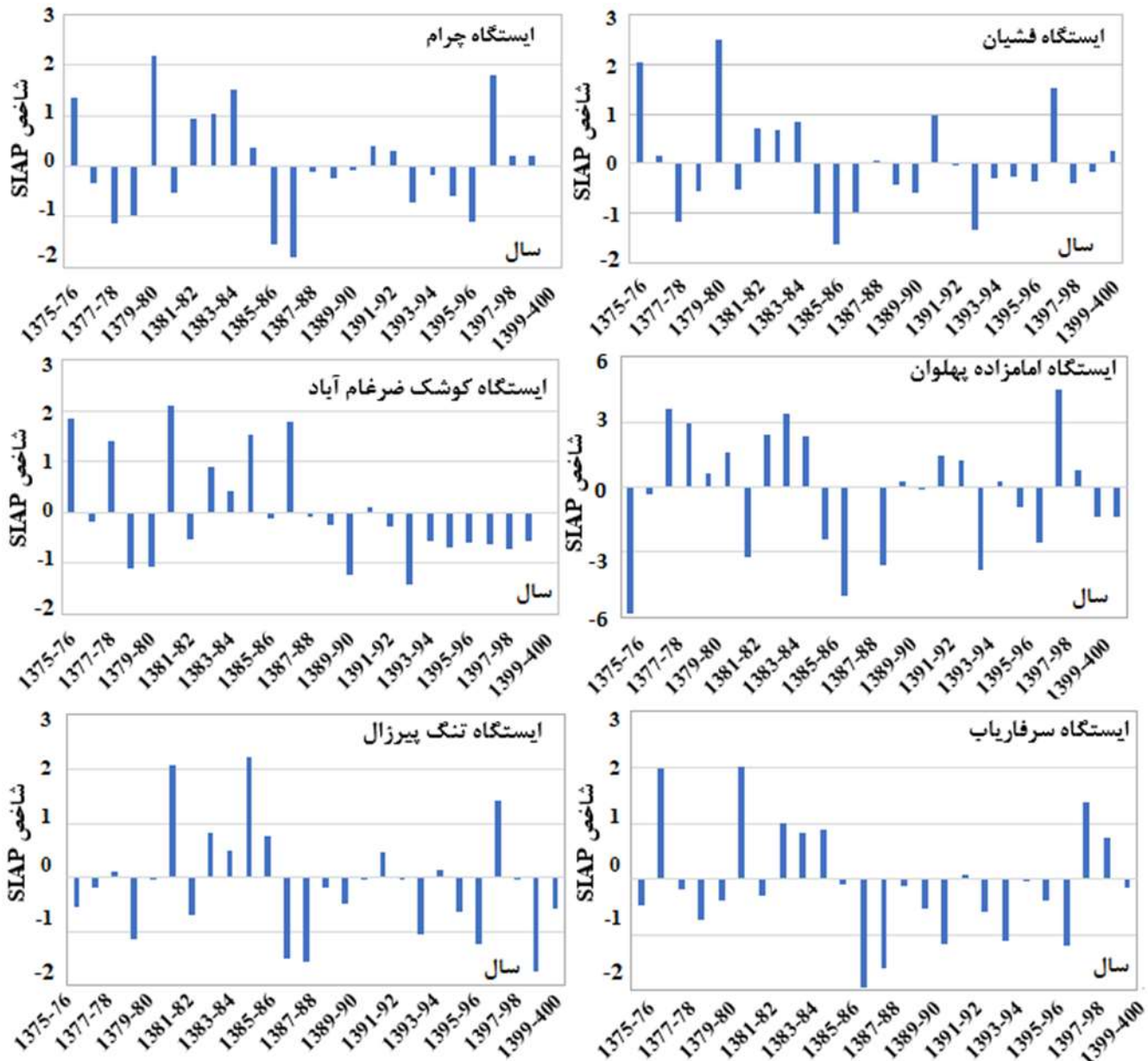
| نام ایستگاه     | نرمال   |       | ضعیف    |      | متوسط   |      | شدید    |      | بسیار شدید |       |
|-----------------|---------|-------|---------|------|---------|------|---------|------|------------|-------|
|                 | فراوانی | درصد  | فراوانی | درصد | فراوانی | درصد | فراوانی | درصد | فراوانی    | درصد  |
| چرام            | ۱۱۶     | ۳۷/۱۷ | ۴       | ۱/۲۸ | ۹       | ۲/۸۸ | ۱۰      | ۳/۲۰ | ۱۷۳        | ۵۵/۴۴ |
| سرفاریاب        | ۱۱۲     | ۳۵/۸۹ | ۸       | ۲/۵۶ | ۸       | ۲/۵۶ | ۵       | ۱/۶۰ | ۱۷۹        | ۵۷/۳۷ |
| امامزاده پهلوان | ۱۱۲     | ۳۵/۸۹ | ۶       | ۱/۹۲ | ۶       | ۱/۹۲ | ۱۱      | ۳/۵۲ | ۱۷۷        | ۵۶/۷۳ |
| تنگ پیرزال      | ۱۱۱     | ۳۵/۵۷ | ۵       | ۱/۶۰ | ۵       | ۱/۶۰ | ۱۳      | ۴/۱۶ | ۱۷۸        | ۵۷/۰۵ |
| فشیان           | ۱۱۳     | ۳۶/۲۱ | ۴       | ۱/۲۸ | ۸       | ۲/۵۶ | ۵       | ۱/۶۰ | ۱۸۲        | ۵۸/۳۳ |
| کوشک ضرغام آباد | ۱۱۳     | ۳۶/۲۱ | ۵       | ۱/۶۰ | ۹       | ۲/۸۸ | ۷       | ۲/۲۴ | ۱۷۸        | ۵۷/۰۵ |

جدول ۹- فراوانی و درصد طبقات خشکسالی هواشناسی براساس شاخص RAI در ایستگاه‌های مورد مطالعه

| نام ایستگاه     | نزدیک نرمال |       | ضعیف    |      | متوسط   |      | شدید    |       | بسیار شدید |       |
|-----------------|-------------|-------|---------|------|---------|------|---------|-------|------------|-------|
|                 | فراوانی     | درصد  | فراوانی | درصد | فراوانی | درصد | فراوانی | درصد  | فراوانی    | درصد  |
| چرام            | ۱۰۸         | ۳۴/۶۱ | ۱۶      | ۵/۱۲ | ۲۰      | ۶/۴۱ | ۳۰      | ۹/۶۱  | ۱۳۸        | ۴۴/۲۳ |
| سرفاریاب        | ۱۰۸         | ۳۴/۶۱ | ۱۹      | ۶/۰۸ | ۱۵      | ۴/۸۰ | ۲۵      | ۸/۰۱  | ۱۴۵        | ۴۶/۴۷ |
| امامزاده پهلوان | ۱۰۸         | ۳۴/۶۱ | ۱۵      | ۴/۸۰ | ۲۰      | ۶/۴۱ | ۲۴      | ۷/۶۹  | ۱۴۵        | ۴۶/۴۷ |
| تنگ پیرزال      | ۱۰۵         | ۳۳/۶۵ | ۱۴      | ۴/۴۸ | ۲۲      | ۷/۰۵ | ۳۷      | ۱۱/۸۵ | ۱۳۴        | ۴۲/۹۴ |
| فشیان           | ۱۰۵         | ۳۳/۶۵ | ۱۹      | ۶/۰۸ | ۱۴      | ۴/۴۸ | ۳۱      | ۹/۹۳  | ۱۴۳        | ۴۳/۸۳ |
| کوشک ضرغام آباد | ۱۰۷         | ۳۴/۲۹ | ۱۳      | ۴/۱۶ | ۲۶      | ۸/۳۳ | ۲۸      | ۸/۹۷  | ۱۳۸        | ۴۴/۲۳ |

**نتایج وقوع خشکسالی هواشناسی براساس شاخص SIAP**  
نتایج حاصل از محاسبه این شاخص که مبتنی بر محاسبه انحراف داده‌های بارش از نرمال آن است برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۴) آورده شده است:

نتایج شاخص RAI بیانگر آن است که وقوع خشکسالی هواشناسی با طبقه بسیار شدید در حوضه، نیز دارای فراوانی بالایی است که نتیجه پیش‌بینی این شاخص مشابه با شاخص PNPI می‌باشد. بر این اساس همه ایستگاه‌های حوضه، خشکسالی هواشناسی را در طبقات متعدد در سال‌های مختلف تجربه کرده‌اند.



شکل ۴- تغییرات شاخص SIAP در ایستگاه‌های مورد مطالعه

تغییرات زمانی خشکسالی هواشناسی و روند آن با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال در مقیاس سالانه براساس شاخص بارش استاندارد شده (SPI) مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن به شرح جدول (۱۰) است:

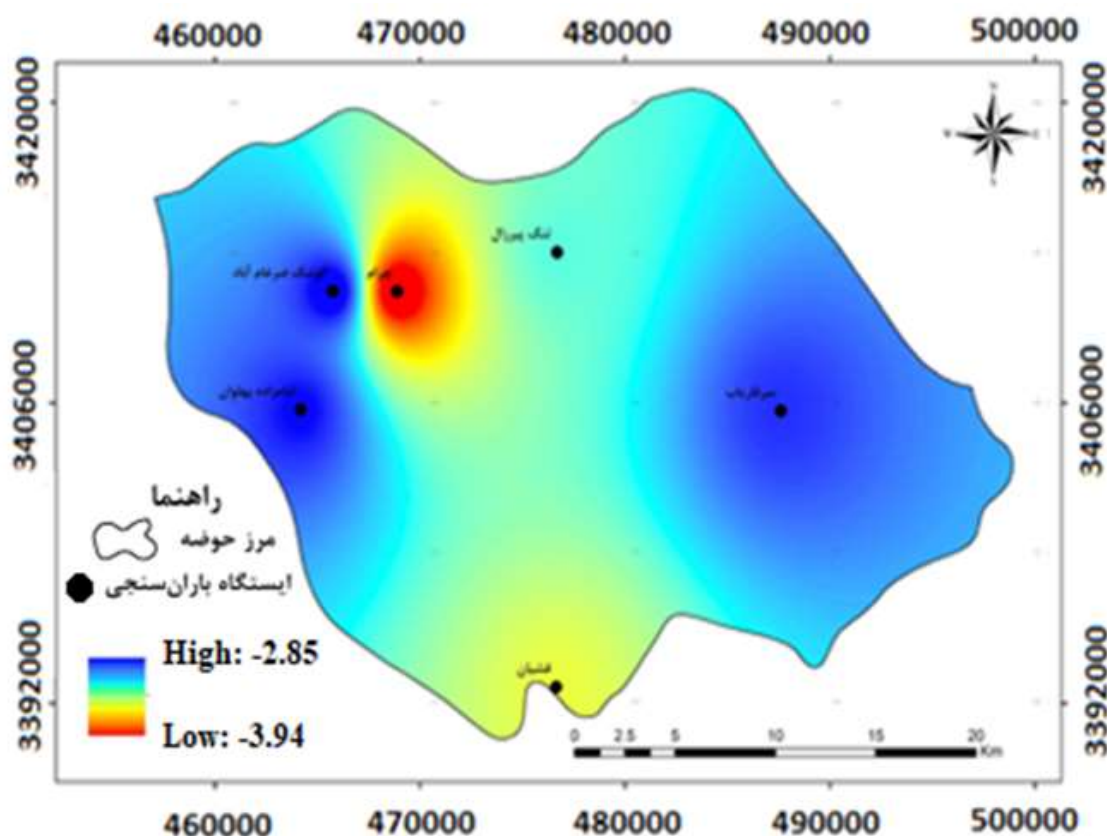
**نتایج روندیابی خشکسالی هواشناسی براساس شاخص SPI**

جدول ۱۰- نتایج روندیابی شاخص خشکسالی SPI با آزمون من- کندال

| ایستگاه |  | چرام    |  | سرفاریاب |  | امامزاده پهلوان |  | تنگ پیرزال |  | فشیان   |  | کوشک ضرغام‌آباد |  |
|---------|--|---------|--|----------|--|-----------------|--|------------|--|---------|--|-----------------|--|
| مقیاس   |  | p-value |  | Z        |  | p-value         |  | Z          |  | p-value |  | Z               |  |
| سالانه  |  | ۰/۰۰۰   |  | ۰/۰۰۰    |  | ۰/۰۰۰           |  | ۰/۰۰۰      |  | ۰/۰۰۰   |  | ۰/۰۰۰           |  |

نتایج آزمون من کندال نشان می‌دهد که روند سالانه شاخص SPI نزولی بوده و مقدار این شاخص به اعداد منفی‌تر و یا به عبارتی تشدید خشکسالی هواشناسی در حال وقوع است. همچنین براساس میزان سطح معنی‌داری روند در ایستگاه‌های سرفاریاب، امامزاده پهلوان، تنگ پیرزال و کوشک ضرغام‌آباد در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است ولی در دو ایستگاه چرام و فشیان معنی‌دار نیست. بر این اساس با گذشت زمان سطح وسیعی از منطقه تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته است و روند آن در حال افزایش است. براساس شدیدترین مقدار شاخص SPI توزیع مکانی خشکسالی نیز در محیط ArcGIS مشخص گردید (شکل ۵).

نتایج آزمون من کندال نشان می‌دهد که روند سالانه شاخص SPI نزولی بوده و مقدار این شاخص به اعداد منفی‌تر و یا به عبارتی تشدید خشکسالی هواشناسی در حال وقوع است. همچنین براساس میزان سطح معنی‌داری روند در ایستگاه‌های سرفاریاب، امامزاده پهلوان، تنگ پیرزال و کوشک ضرغام‌آباد در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است ولی در دو ایستگاه چرام و فشیان معنی‌دار نیست. بر این اساس با گذشت زمان سطح وسیعی از منطقه تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته است و روند آن در حال افزایش است. براساس شدیدترین مقدار شاخص SPI توزیع مکانی خشکسالی نیز در محیط ArcGIS مشخص گردید (شکل ۵).



شکل ۵- تغییرات توزیع مکانی وضعیت خشکسالی براساس شاخص SPI در سطح حوضه مورد مطالعه

در پایان دوره تداوم خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه براساس شاخص‌های مورد نظر محاسبه گردید. براساس جدول (۱۱) بیشترین دوره تداوم خشکسالی ایستگاه‌های منطقه براساس هر سه شاخص ۱ ساله بوده و

در این میان ایستگاه امامزاده پهلوان بیشترین دوره خشکسالی که ۸ ساله بوده را متحمل شده و در این ارتباط نتایج شاخص‌های PNPI و SAIP با هم تطابق دارند.

جدول ۱۱- دوره تداوم خشکسالی به تفکیک شاخص‌های مورد استفاده

| شاخص | ایستگاه         | ۱ ساله | ۲ ساله | ۳ ساله | ۴ ساله | ۵ ساله | ۶ ساله | ۸ ساله |
|------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PNPI | چرام            | ۸      | ۲      | -      | -      | ۱      | -      | -      |
|      | سرفاریاب        | ۷      | ۱      | ۱      | ۱      | -      | ۱      | -      |
|      | امامزاده پهلوان | ۷      | -      | -      | -      | ۱      | -      | ۱      |
|      | تنگ پیرزال      | ۶      | ۱      | ۲      | ۱      | -      | -      | -      |
|      | فشیان           | ۸      | ۲      | -      | -      | -      | -      | -      |
|      | کوشک زرغام آباد | ۵      | ۱      | ۱      | ۱      | ۱      | ۱      | -      |
| RAI  | چرام            | ۶      | ۱      | ۱      | -      | -      | -      | -      |
|      | سرفاریاب        | ۵      | ۲      | ۲      | -      | ۱      | -      | ۱      |
|      | امامزاده پهلوان | ۷      | -      | -      | ۱      | ۱      | -      | -      |
|      | تنگ پیرزال      | ۷      | ۱      | ۱      | -      | -      | ۱      | -      |
|      | فشیان           | ۶      | -      | -      | ۲      | ۱      | -      | -      |
|      | کوشک زرغام آباد | ۴      | ۱      | ۱      | ۱      | -      | ۱      | -      |
| SIAP | چرام            | ۸      | ۱      | ۲      | -      | ۱      | ۱      | -      |
|      | سرفاریاب        | ۶      | -      | -      | ۱      | ۱      | -      | -      |
|      | امامزاده پهلوان | ۵      | ۱      | ۱      | -      | -      | ۱      | ۱      |
|      | تنگ پیرزال      | ۵      | ۲      | -      | ۱      | ۱      | -      | -      |
|      | فشیان           | ۷      | -      | ۱      | -      | ۱      | ۱      | -      |
|      | کوشک زرغام آباد | ۶      | ۲      | ۱      | ۱      | -      | ۱      | -      |

### بحث و نتیجه‌گیری

پدیده خشکسالی در اثر کاهش رطوبت و میزان بارندگی به طور دوره‌ای رخ می‌دهد. با توجه به تغییرات اقلیمی در دنیا و کاهش بارندگی، رخداد خشکسالی هواشناسی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. امروزه اثرات پدیده خشکسالی بر کسی پوشیده نیست. با توجه به اینکه وقوع خشکسالی در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی در سطح وسیع‌تری رخ می‌دهد و دارای ماهیت بطئی است، تشخیص و ارزیابی آن یکی از مهمترین مسائل پیش روی پژوهشگران می‌باشد.

در این مطالعه پدیده خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص درصد از نرمال بارش (PNPI)، شاخص معیار بارش سالانه (SIAP) و شاخص ناهنجاری بارش (RAI) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

نتایج شاخص SPI بیانگر این است که سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ سال‌های بسیار خشک بوده‌اند و خشکسالی

شدیدی در این سال‌ها رخ داده است. فراوانی وقوع خشکسالی براساس شاخص مذکور نیز نشان داد که در همه طبقات، خشکسالی اتفاق افتاده است.

روند این خشکسالی براساس SPI با مقیاس سالانه براساس آزمون ناپارامتری من-کندال مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن نیز بیانگر همین موضوع بوده است. از طرفی، روند افزایشی خشکسالی در کل منطقه را می‌توان نتیجه‌گیری کرد. براساس سطح و وسعت مناطق تحت تأثیر خشکسالی هم می‌توان نتیجه‌گیری کرد که خطر وقوع خشکسالی هواشناسی در منطقه وجود دارد و موجب تأثیر مستقیم بر میزان منابع آبی و کشاورزی و مسائل اجتماعی-اقتصادی منطقه خواهد شد.

از نتایج شاخص درصد نرمال بارش PNPI نیز می‌توان نتیجه گرفت که خشکسالی هواشناسی در منطقه رخ داده و فراوانی طبقه خشکسالی بسیار شدید در حال افزایش است و درصد بالایی را به خود اختصاص داده است.

شاخص در ایستگاه‌ها متغیر بوده و در اغلب موارد در گام‌های یکساله و دوساله با تناوب با ترسالی رخ داده است. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه خشکسالی رخ داده و وقوع آن در آینده نیز دور از انتظار نیست، پیشنهاد می‌شود، به منظور مدیریت نمودن و به حداقل رساندن خسارات ناشی از خشکسالی، برنامه‌ریزی و مطالعات منطقه‌ای در زمینه نوسانات بارش و مطالعه آب‌های سطحی و زیرزمینی صورت گیرد.

همچنین با توجه به اینکه تمرکز پژوهش حاضر، در بررسی خشکسالی منطقه برمبنای استفاده و مقایسه شاخص‌های خشکسالی متکی بر پارامتر بارندگی بود، پیشنهاد می‌گردد شاخص‌های دیگر خشکسالی که در محاسبه آن‌ها علاوه بر پارامترهای بارندگی، پارامترهای دیگری نظیر تبخیر و تعرق به کار می‌روند نیز مورد ارزیابی قرار گیرند تا دیدگاه جامع‌تری نسبت به خشکسالی در حوزه مطالعاتی به دست آید.

### تقدیر و تشکر

بدین وسیله از ادارات کل هواشناسی استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان به خاطر فراهم آوردن امکان دسترسی به آمار و اطلاعات، تشکر و قدردانی می‌گردد.

### References

- [1]. Adeli, B., Moradi, H., & Keshavarz, M. (2016). Social Impacts of Short-term Droughts in Rural Areas: A Case Study of Dodangeh Sub-district, Behbahan County of Iran. *Village and Development*, 18(4), 133-151. (in Farsi). doi: 10.30490/rvt.2016.59450
- [2]. Azmi, M., Rudiger, C., & Walker, J. P. (2016). A data fusion-based drought index. *Water Resources Research*, 52(3), 2222-2239. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2675-4>
- [3]. Biabani, L., Zehtabian, G., Khosravi, H., & Hanifepour, M. (2019). Investigation of qualitative and quantitative changes of groundwater resources in Karaj Plain. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 26(1), 158-173. (in Farsi). doi: 10.22092/ijrdr.2019.119334

نتایج حاصل از شاخص ناهنجاری بارش RAI نیز حاکی از وقوع خشکسالی هواشناسی در منطقه می‌باشد. براساس این شاخص نیز درصد طبقات خشکسالی بسیار شدید در سطح منطقه دارای بیشترین مقادیر است. با توجه به اینکه این شاخص آنومالی بارش را در سطح منطقه نشان می‌دهد می‌توان نتیجه گرفت که میزان بارش در سطح منطقه به شدت در حال کاهش بوده و توزیع آن نیز تحت تأثیر تغییرات اقلیمی تغییر کرده است.

نتایج حاصل از شاخص RAI مشابه با نتایج به دست آمده از شاخص PNPI بوده و با نتایج به دست آمده از شاخص SPI متفاوت می‌باشد که این نشان‌دهنده حساسیت بیشتر دو شاخص PNPI و RAI نسبت به شاخص SPI است.

در مطالعه‌ای که توسط ملایی و گراوند [۱۹] در بررسی خشکسالی ایستگاه‌های مختلف خوزستان صورت گرفت نیز شاخص‌های SIAP و RAI به عنوان شاخص‌هایی که بیشترین حساسیت به خشکسالی را داشتند انتخاب شدند.

نتایج حاصل از شاخص نرمال بارش سالانه SIAP بیانگر وقوع خشکسالی در سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ در اغلب ایستگاه‌های حوزه می‌باشد. یک خشکسالی شدید در سال آبی ۱۳۷۶-۱۳۷۵ در ایستگاه امامزاده پهلوان نیز قابل مشاهده است. دوره‌های وقوع خشکسالی براساس این

- [4]. Caloiero, T., Veltri, S., Caloiero, P., & Frustaci, F. (2018). Drought analysis in Europe and in the Mediterranean basin using the standardized precipitation index. *Water*, 10(8), 1043. <https://doi.org/10.3390/w10081043>
- [5]. Eivazi, M., & Mosaedi, A. (2012). An Investigation on Spatial Pattern of Annual Precipitation in Golestan Province by Using Deterministic and Geostatistics Models. *Water and Soil*, 26(1), 53-64. (in Farsi).
- [6]. Ghasemi, P., Karbasi, M., Zamani Nouri, A., & Sarai Tabrizi, M. (2021). Drought monitoring and zoning in southern Alborz. *Geography and Environmental Studies*, 10, 85-98. (in Farsi). 20.1001.1.20087845.1400.10.39.6.2
- [7]. Hajivandpaydari, S., Yazdanpanah, H., & Andarzian, S. B. (2022). Investigation of

- regional effects of climate change phenomenon in the north of Khuzestan province using HadCM3 model under LARS-WG exponential comparison in the statistical period of 2030-2010 and 2050-2030. *Geography and Human Relationships*, 5(1), 299-314. (in Farsi). doi: 10.22034/GAHR.2022.330821.1669
- [8]. International Federation of Red Cross. (2021). Emergency Plan of Action (EPoA) IRAN: Droughts. Retrieved 15 October. 2024  
from://adore.ifrc.org/Download.aspx?FileId=435179
- [9]. Jahangir, M. H., Hosseindoost, M. S., & Arast, M. (2021). Assessment of drought condition in Guilan Province using the Keetch–Byram Drought Index (KBDI) in accordance with the Percent of Normal Precipitation Index (PNPI). *Water and Soil Management and Modelling*, 1(4), 57-67. (in Farsi). doi: 10.22098/mmws.2021.9407.1038
- [10]. Keshavarz, M., Karami, E., & Vanclay, F. (2013). The social experience of drought in rural Iran. *Land Use Policy*, 30(1), 120-129. doi:10.1016/j.landusepol.2012.03.003
- [11]. Khalil, A. (2022). Space-time characterization of droughts in the Mae Klong River Basin, Thailand, using rainfall anomaly index. *Water Supply*, 22(9), 7352–7374.  
<https://doi.org/10.2166/ws.2022.306>.
- [12]. Kiyani Majd, M., Nohtani, M., Dehmardeh Ghaleh No, M. R., & Shikh, Z. (2022). Zoning and Monitoring of Meteorological Drought in Arid Desert Areas using SPI, SIAP and PN indices (Case Study: Zahedan Plain. *Journal of Watershed Management Research*, 13(26), 146-162. (in Farsi). 10.52547/jwmr.13.26.146
- [13]. Liu, C., Yang, C., Yang, Q., & Wang, J. (2021). Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China. *Scientific Reports*, 11(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80527-3>
- [14]. Mahfouz, P., Mitri, G., Jazi, M., & Karam, F. (2016). Investigating the temporal variability of the Standardized Precipitation Index in Lebanon. *Climate*, 4(2), 27. <https://doi.org/10.3390/cli4020027>
- [15]. McKee, T. B., Doesken, N.J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, 8th Conference on Applied Climatology Anaheim, California.
- [16]. Mirisoliman, J. , Ownegh, M. & Barani, H. (2020). Zoning of meteorological drought risk in customary Kormanj nomadic territories of North Khorasan. *Journal of Arid Biome*, 10(1), 109-125. doi: 10.29252/aridbiom.2021.2002
- [17]. Miryaghoubzadeh, M., Khosravi, S. A., & Zabihi, M. (2019). A Review of Drought Indices and their Performance. *Journal of Water and Sustainable Development*, 6(1), 103-112. (in Farsi) .  
<https://civilica.com/doc/1242930>
- [18]. Mogholi, M. (2015). Evaluation of Interpolation Indexes in Droughts Using GIS (Case Study Larestan). *Journal of Physical Geography* 8(28), 29-42. (in Farsi). <https://civilica.com/doc/1328538>
- [19]. Molaei, M., & Gravand, P. (2018). Investigation of PN, SIAP, RAI indices in Khuzestan Province with Emphasis on Ahwaz, Abadan, Dezful and Omidieh stations. *Journal of water engineering*, 6(2), 132-143. (in Farsi). <https://www.magiran.com/p2467858>
- [20]. Moradyannasab, H. , Nafarzadegan, A. R. & Esmailpour, Y. (2023). Spatiotemporal changes of two satellite-based drought indices and their correlations with hydroclimate and vegetation variables across Iran. *Journal of Arid Biome*, 13(2), 209-225. doi: 10.29252/aridbiom.2024.21468.2008
- [21]. Moteshafeh, B., & Hashem Geloogardi, S. (2022). Assessing the Trend of Spatiotemporal Drought Changes Using Remote Sensing Time Series Data in Central Khuzestan Province. *Desert Ecosystem Engineering*, 11(35), 15-28. (in Farsi). DOI: 10.22052/deej.2022.11.35.21
- [22]. Mousavikhah, S., Shayegh, E., & Ahmadpari, H. (2020). *Journal of Science and Engineering Elites*, 5(3), 199. (in Farsi). <https://civilica.com/doc/1242930>
- [23]. Nandgude, N., Singh, T. P., Nandgude, S., & Tiwari, M. (2023). Drought Prediction:

- A Comprehensive Review of Different Drought Prediction Models and Adopted Technologies, *Sustainability*, 15, 11684. <https://doi.org/10.3390/su151511684>
- [24]. Pouralkhas Nokandeie, M., Amanjahani, V., Hazbavi, Z., & Mostafazadeh, R., (2024). Indicators of estimating and assessing the meteorological and hydrological drought characteristics. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(4), 7499-7516. (in Farsi). doi: 10.22034/jess.2022.352768.1830
- [25]. Razavizadeh, S., & Dargahian, F. (2021). Analysis of temporal and spatial relationship between meteorological and hydrological drought in Zohreh-Jarahi basin. *Iran Nature*, 6(5), 45-53. doi: 10.22092/irn.2021.353820.1341
- [26]. Razmkhah, H., Rostami, E., Rostami Ravari, A., & Fararouie, A. (2023). Spatiotemporal variation of meteorological drought, Case study: Kohgilooyeh and Boyer Ahmad. *Integrated Watershed Management*, 2(4), 17-35. (in Farsi). Doi:10.22034/iwm.2022.563458.1047
- [27]. Sabzevari, Y., Dadvand, F., & Nasrolahi, A. H. (2023). Monitoring the temporal changes of meteorological drought in areas of western Iran. *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 1(2), 62-79. (in Farsi). doi: 10.22034/nawee.2022.361453.1025
- [28]. Shakoor, A., Sharafi, H., Nakhaeei, K., & Jafari, M. (2016). Ranking drought villages with environmental perception approach in terms of rural residents using the technique MAPPAC. *Regional Planning*, 6(23), 180-190. (in Farsi). Doi:20.1001.1.22516735.1395.6.23.14.6
- [29]. Sharifi Paichoon, M., Behzadi, Z., & Mohamadi, F. (2023). Temporal-spatial evaluation of the drought process and its effects on vegetation changes in Fars province. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 13(50), 57-40. (in Farsi). doi: 10.22034/jargs.2023.375644.1000
- [30]. Suliman, A. H., Awchi, T. A., Al-Mola, M., & Shahid, S. (2020). Evaluation of remotely sensed precipitation sources for drought assessment in Semi-Arid Iraq. *Atmospheric Research*, 242, 105007. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105007>
- [31]. Van Rooy, M.P. (1965). A Rainfall anomaly index RAI independent of time and space. *Notos*, 14, 43-48. <https://sid.ir/paper/572292/en>
- [32]. Willeke, K., Lin, X.J., & Grinshpun S.A. (1998). Improved aerosol collection by combined impaction and centrifugal motion. *Aerosol Science and Technology*, 28(5), 439-456. <https://doi.org/10.1080/02786829808965536>
- [33]. Won, J., Seo, J., Lee, J., Lee, O., & Kim, S. (2021). Vegetation Drought Vulnerability Mapping Using a Copula Model of Vegetation Index and Meteorological Drought Index. *Remote Sensing*, 13(24), 5103. <https://doi.org/10.3390/rs13245103>.
- [34]. Zakerinejad, R. and Ayash, K. (2024). Analysis of Flood Risk and Influencing Factors in Zohr-Jarhari Basin in Zohre-Jarhari in Southwest of Iran using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) Approach. *Physical Geography Research*, 56(2), 51-69. doi: 10.22059/jphgr.2024.376692.1007829 (In Farsi)..

## Comparison of SPI, PNPI, RAI and SIAP Indices in Analyzing Meteorological Drought Conditions in the Zohreh-Jarrahi Watershed (Research Paper)

1- Peyman Bavand, Master of Science, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran.

2- Behzad Moteshaffeh\*: Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran.

bmoteshaffeh@gmail.com

3- Sareh Hashem Geloogardi, Ph.D. in Combating Desertification, Faculty of Natural Resources and Geoscience, University of Kashan, Kashan, Iran.

Received: 2 Dec. 2024

Accepted: 13 Feb. 2025

### Abstract

Drought is a common meteorological phenomenon and a pervasive global hazard. As our climate changes, drought events will likely become more severe and frequent. Effective drought monitoring is therefore critical. In this study, the meteorological drought phenomenon was investigated and monitored using standardized precipitation indices (SPI), Percentage of Normal Precipitation Index (PNPI), Standard Annual Precipitation Index (SIAP), and Precipitation Anomaly Index (RAI). For this purpose, the rainfall data of six rain gauge stations in the basin were used in the statistical period of 25 years. The non-parametric Mann-Kendall test was used to investigate the meteorological drought trend based on the SPI index. Finally, the spatial distribution of the most severe meteorological drought values at the basin level was prepared using the inverse distance weighting (IDW) geostatistical method in the ArcGIS environment. The results of the SPI index indicate that the Charam station, with the lowest SPI of -3.94, had the most severe meteorological drought during the study period, which was related to November 2008. The frequency of drought occurrence based on this index indicated that it occurred in all drought classes. The drought trend based on the SPI index indicated an intensification of drought in the region, and this trend was significant at the Sarfaryab, Emamzadeh Pahlevan, Tange Pirzal, and Kooshke Zarghamabad stations at a 95% confidence level. The PNPI index showed that the frequency of the very severe drought class was higher in the region, and the highest rate was related to the Feshiyan station, equal to 58.33%. Based on the RAI index, the Sarfaryab, and Emamzadeh Pahlevan stations, with a frequency of 46.47 percent, had the highest frequency of meteorological drought occurrence with the very severe class in the basin. The results of the Normal Annual Precipitation Index (SIAP) indicate the occurrence of drought in the water year 2007-2008 in most of the basin stations. Also, the longest drought period in the region based on all three indicators was 1 year for all stations. Based on the results, meteorological drought occurred in the region, and to prevent its effects in the future, water resources management is necessary.

**Keywords:** Meteorological drought, Mann-Kendall test, Climate change, Zohreh-Jarrahi Watershed.