

بررسی خشکسالی و ترسالی حوضه ارس با استفاده از نمایه‌های مبتنی بر بارش

بهرز ساری صراف

استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر

ناهید قلی نژاد*

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز

اکرم کمانی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه غیر انتفاعی طبهرستان (چالوس)

چکیده

عدم کفایت بارش برای رشد حیات در منطقه خشک از ویژگی‌های دائمی آب و هوای منطقه خشک می‌باشد، اما کاهش غیر منتظره بارش یا بارش‌های کمتر از میانگین درازمدت در مدت معین در منطقه ای که کاملاً خشک نیست، خطرهای زیادی بوجود می‌آورد که از این پدیده تعبیر به خشکسالی می‌شود. در این مطالعه به منظور بررسی وضعیت بارش حوضه ارس، داده‌های مربوط به بارش سالانه برای ایستگاه‌های اردبیل، اهر، پارس‌آباد، ماکو، جلفا، خوی و مرند، جهت محاسبه سال‌های مرطوب و خشک با استفاده از تحلیل آماری مورد استفاده قرار گرفتند. شاخص‌های استفاده شده در این بررسی عبارت از نمایه بارش قابل اعتماد (DRI)، روش نیچه^۱، نمایه درصد از بارش نرمال (PNPI)^۲ است. یافته‌های این تحقیق منجر به تعیین وضعیت بارش و تعیین فراوانی وقوع ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه گردید. نتایج کلی نشانگر این موضوع است که در همه ایستگاه‌ها پدیده خشکسالی توأم با شدت و ضعف‌هایی حاکم می‌باشد و در اکثر ایستگاه‌ها وضعیت بارش در حالت نرمال می‌باشد. در بین روش‌های استفاده شده روش بارش قابل اعتماد با داشتن محدودیت‌های کمتر و قابلیت‌های بیشتر برای تعیین دوره‌های ترسالی و خشکسالی، بهتر از دیگر مدل‌ها تشخیص داده شد.

واژگان کلیدی: خشکسالی، حوضه ارس، نمایه بارش قابل اعتماد، نمایه درصد از بارش نرمال، روش نیچه.

مقدمه

با توجه به قرار گرفتن کشور ایران در بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی و به سبب موقع خاص جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافی، هر منطقه دارای آب و هوای

E-mail:gholinejadn@yahoo.com

* نویسنده مسئول: ۹۱۴۸۵۷۶۴۵۷

¹ - Dependable Rainfall Index (DRI)

² - Nitzche

³ -Percent of Normal Precipitation Index (PNPI)

متفاوتی می‌باشد و به دلیل کمی نزولات جوی قسمت‌های زیادی از کشور در قلمرو آب و هوای خشک قرار گرفته است (فرج زاده، ۱۳۸۴، ۱). وجود نوسانات شدید در ریزش‌های جوی یکی از مشکلات عمده بارش کشور می‌باشد و با توجه به همین نوسانات شدید، خشکسالی‌ها از جمله بلایای طبیعی هستند که در شرایط نوسان منفی یا به عبارتی کاهش بارش‌های جوی نسبت به میانگین دراز مدت رخ می‌دهند (منبع پیشین، ۳). یکی از عمده‌ترین پارامترهایی که در تعریف خشکسالی استفاده می‌گردد بارش می‌باشد.

به نظر ترنثویت تعریف خشکسالی نمی‌تواند تنها با کمبود بارش در یک منطقه تعریف شود. هیدرولوژیست‌ها خشکسالی را به عنوان دوره‌ای که با کم شدن جریان‌های سطحی و تهی شدن مخازن آب زیرزمینی همراه است تلقی می‌کنند. به عبارت دیگر دوره‌ای که در آن مقدار رطوبت و یا هر شاخص دیگر نسبت به شرایط میانگین منطقه ناهنجاری منفی داشته باشد به عنوان شرایط یا دوره خشکسالی تلقی می‌شود (منبع پیشین، ۸ و ۹).

بنا به اهمیت پدیده خشکسالی مطالعات فراوانی در این مورد صورت گرفته در زیر به چند نمونه از مطالعات صورت گرفته توسط محققین خارجی و ایرانی اشاره می‌شود.

بازوهر و الگوهانی^۱ (۱۹۹۷) با بهره‌گیری از داده‌های ۱۶ ایستگاه هواشناسی و روش گرافیکی به تعیین دوره‌های مرطوب و خشک در عربستان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در دراز مدت دوره‌های مرطوب در قسمت‌های جنوب شرقی منطقه و شرایط خشکسالی در مرکز و شرق کشور عربستان رخ می‌دهد.

استرالا^۲ و همکاران (۲۰۰۰) خشکسالی‌های رخ داده در منطقه والنسیا را با توجه به مدت و شدت و توزیع مکانی آن‌ها مورد بررسی قرار دادند. این پژوهشگران با بهره‌گیری از روش تجزیه و تحلیل تناوبی و تعیین چهار دوره خشک، به بررسی اثرات مهم اقتصادی و اجتماعی این دوره‌ها پرداختند.

هانگ^۳ و همکارانش (۲۰۰۱) با ارزیابی سه شاخص بارش استاندارد شده (SPI^۴)، نمرات استاندارد شده بارش سالیانه (ZSIAP^۵) و روش CZI^۶، مزیت و معایب هر روش را بیان کردند. مطالعات این محققین نشان می‌دهد که محاسبات شاخص‌های نمرات استاندارد شده بارش سالیانه و روش CZI نسبت به شاخص SPI ساده‌تر می‌باشد. همچنین زمانی که بارش واقعی کمتر از میانگین بارش برای یک دوره باشد، روش CZI نسبت به دو شاخص دیگر پاسخ بهتری می‌دهد.

پاشیار و میشل^۷ (۲۰۰۸) جهت تعیین نواحی خشک در مطالعه موردی کیپروس از شاخص SPI و شاخص RDI^۸ استفاده کردند. نتایج حاصل از این بررسی بیانگر این می‌باشد که هر دو شاخص به طور موثر

1-Bazuhair and Algohani

2-Estrala

3-Hong

4-Standardized Precipitation Index (SPI)

5-Z Score Index of Annual Precipitation (ZSIAP)

6-Chian – Z Index (CZI)

7-Pashiar and Michael

8-Reconnaissance Drought Index(RDI)

موثر به تحلیل شرایط خشکسالی و تعیین تاثیر خشکسالی بر بخش‌های اقتصادی می‌پردازند. همچنین تحلیل‌های آماری هر شاخص، ویژگی‌های آب و هوایی از خشکسالی هواشناسی را به طور کامل نمایان نمی‌کند. پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های DI^1 ، SPI ، EDI^2 در استان تهران در سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۳ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص DI نوسانات شدید و در مقابل SPI نوسانات کمتری نسبت به بارندگی داشت. روش EDI کاراترین شاخص برای پایش خشکسالی در این استان تشخیص داده شد (مقدسی و همکاران، ۱۳۸۳)

فرج زاده (۱۳۸۴، ۵۹ و ۷۹) با استفاده از داده‌های بارندگی ۱۵۳ ایستگاه کشور در طی دوره آماری ۱۹۶۶ تا ۱۹۹۸ به تحلیل آماری ویژگی‌های بارش کشور و بررسی خشکسالی ایستگاه‌ها پرداخت. نتایج نشان می‌دهد که به غیر از بخش‌های شمالی ایران، سایر بخش‌ها از دو دوره خشک و مرطوب برخوردار هستند. هر قدر از شمال و غرب به جنوب و شرق پیش رویم تداوم دوره خشک بیشتر می‌شود که از نظر زمانی عمدتاً در ماه‌های فصل تابستان و ماه‌های مجاور آن می‌باشد. طی مطالعه‌ای توسط علیجانی و بنی‌واهب (۱۳۸۴، ۱) ترسالی و خشکسالی و تغییرات اقلیم منطقه بیرجند با استفاده از مدل‌های آماری مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تحقیق بیانگر این بود که تداوم خشکسالی‌های ۵-۴ سال در فصل زمستان دو مورد بوده که از خشکسالی‌های شدید در این دوره حکایت دارد. از مجموع ۴۷ سال فصل زمستان، ۲۸ مورد فصل خشک و ۱۹ مورد فصل مرطوب اتفاق افتاده بود.

زاهدی و قویدل رحیمی (۱۳۸۶، ۲۱) آستانه خشکسالی و میزان بارش قابل اعتماد ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه را در سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۲ و با استفاده از روش‌های بارش قابل اعتماد، نمرات استاندارد و شاخص درصد از بارش مطالعه کردند. نتیجه این مطالعه حاکی از وقوع پدیده خشکسالی در کل ایستگاه‌هاست که با شدت و ضعف‌هایی توأم می‌باشد.

خورشید دوست و قویدل (۱۳۸۶، ۱۴۷) در بررسی ارتباط نوسان‌های گردش جوی-اقیانوس اطلس شمالی با خشکسالی‌های آذربایجان شرقی به این نتیجه رسیدند که بین بارش سالانه ایستگاه‌های تبریز، اهر و جلفا با شاخص نوسانات اطلس شمالی همبستگی منفی ضعیف و معنی داری به ویژه در ترسالی‌ها و خشکسالی‌های فراگیر وجود دارد. فرج‌زاده (۱۳۸۶) با استفاده از داده‌های بارش سالانه ۱۹ ایستگاه شمال غرب به تحلیل و تعیین خشکسالی و ترسالی در شمال غرب کشور پرداختند. نتیجه بدست آمده حاکی از وقوع خشکسالی با درجات مختلف در کلیه ایستگاه‌ها است. جهانبخش و همکاران (۱۳۸۷، ۳۷) خشکسالی زمانی و مکانی و دوره‌های خشک و مرطوب حوضه دریاچه نمک (قم) را با استفاده از داده‌های بارش طی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه منجر به طبقه بندی شدت خشکی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سه وضعیت نیمه خشک، خشک با شدت کم و خشک با شدت زیاد گردید.

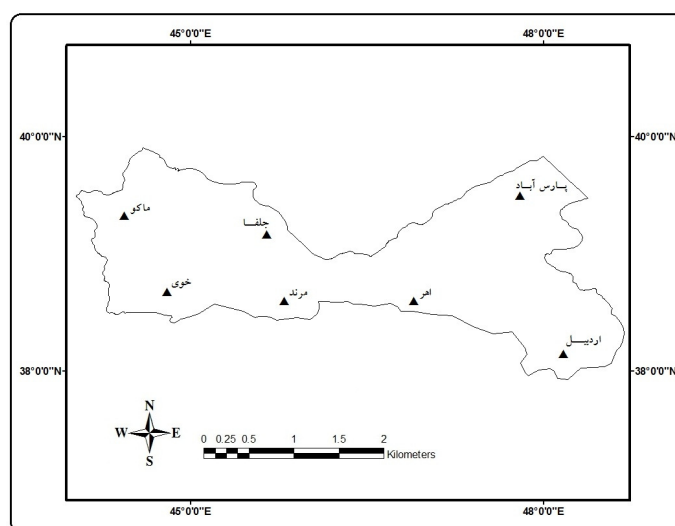
3-Deciles Index (DI)

4- Effective Drought Index (EDI)

با توجه به موارد مطرح شده و مطالعات صورت گرفته، تاکنون در این زمینه مطالعه جامع و دقیقی در مورد حوضه ارس صورت نگرفته و به این دلیل تحقیق حاضر سعی دارد که این موضوع را بررسی کند. هدف این تحقیق تجزیه و تحلیل خشکسالی و ترسالی حوضه ارس از طریق عنصر بارش سالانه و با استفاده از شاخص‌های DRI، روش نیچه و PNPI می‌باشد.

کلیات جغرافیایی منطقه

حوضه آبریز رود ارس در ایران بین مختصات جغرافیایی $03^{\circ}-44^{\circ}$ تا $41^{\circ}-48^{\circ}$ درجه طول شرقی و $37^{\circ}-47^{\circ}$ تا $46^{\circ}-39^{\circ}$ درجه عرض شمالی واقع شده است. مرتفع‌ترین نقطه در این حوضه قله سبلان با ۴۸۱۱ متر و پست‌ترین نقطه با ارتفاع ۲۰ متر در محل خروجی رودخانه ارس واقع در مرز ایران و جمهوری آذربایجان قرار دارد. این حوضه در خاک ایران دارای مساحتی حدود ۳۹۴۷۸ کیلومتر مربع که حدود ۸۱/۵ درصد آن در مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای قرار دارد و ۱۸/۵ درصد بقیه را دشت‌ها تشکیل می‌دهند. رودخانه ارس به طول ۴۳۰ کیلومتر مرز مشترک ایران جمهوری آذربایجان و ارمنستان محسوب می‌شود (مرکز مطالعات برنامه ریزی و اقتصاد کشاورزی، ۱۳۷۲). وجود ارتفاعات مختلف از یک طرف و همچنین وجود دشتهای مسطح از طرف دیگر باعث شده که برخلاف نسبتاً هم عرض بودن تمام منطقه شرایط آب و هوایی در سراسر حوضه بسیار متنوع باشد. براساس آمار بارندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه میانگین بارش کل حوضه ۲۵۸/۱۳ میلی متر می‌باشد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه و پراکنش ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه (برگرفته از سایت ایران هیدرولوژی)

مواد و روش‌ها

داده‌ها

به منظور تجزیه و تحلیل خشکسالی‌ها و ترسالی‌های حوضه ارس از آمار بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک اردبیل، اهر، پارس آباد، ماکو، جلفا، خوی و مرند با دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۳ استفاده شده است. برای

بررسی ویژگی‌های آماری بارش و ترسیم نمودارها از نرم افزار Spss17.0 و جهت ترسیم نقشه پهنه بندی از نرم افزار ArcGIS استفاده شده است. مشخصات جغرافیایی و آماری بارش ایستگاه‌های حوضه رود ارس در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی و آماری بارش در ایستگاه‌های حوضه ارس

ایستگاه	اردبیل	اهر	پارس آباد	خوی	ماکو	مرند	جلفا
عرض جغرافیایی (درجه)	۳۸/۱۵	۳۸/۲۶	۳۹/۳۹	۳۸/۳۳	۳۹/۲۰	۳۸/۲۵	۳۸/۴۵
طول جغرافیایی (درجه)	۴۸/۱۷	۴۷/۴	۴۷/۵۵	۴۴/۵۸	۴۴/۲۶	۴۵/۴۶	۴۵/۴۰
ارتفاع (متر)	۱۳۳۲	۱۳۹۰/۵	۳۱/۶	۱۱۰۳	۱۴۱۱/۳	۱۳۸۰	۷۳۶
میانگین	۲۸۳/۵	۲۹۱/۳	۲۷۱/۷	۲۵۵/۱	۲۸۶/۱	۲۳۰/۷	۱۸۸/۲
ضریب تغییرات	۲۱/۹	۱۷/۵۲	۲۱/۴	۲۷/۲	۳۱/۷	۳۰/۷	۳۱/۵
حداقل	۱۹۶/۱	۱۹۰/۷	۱۵۳	۱۶۸/۳	۱۷۹/۵	۱۰۸/۴	۹۴/۲
حداکثر	۴۰۵/۶	۴۱۱/۳	۴۰۷/۵	۴۰۲/۴	۵۰۲/۹	۳۵۵/۳	۳۰۶/۸

روش‌ها

- شاخص DR

به منظور محاسبه میزان بارش قابل اعتماد و تعیین سال‌های مرطوب و خشک، از نمایه DR به شرح زیر استفاده شده است (در معادلات زیر همگی بر واحد میلی متر محاسبه می‌شوند).

$$DR = (0.8) \times \sqrt[N]{P_1 \times P_2 \times P_3 \dots P_N} \quad \text{معادله (۱)}$$

مقیاس ارایه شده برای طبقه‌بندی شدت و تعیین کیفیت بارش از طریق نمایه DR به شرح ذیل می‌باشد.

$$NP = DR \leq P \leq GM \quad \text{معادله (۲)}$$

$$D = P < DR \quad \text{معادله (۳)}$$

$$W = P = GM > DR \quad \text{معادله (۴)}$$

DR: نمایه بارش قابل اعتماد، P: بارش سال مفروض، N: تعداد مشاهدات بارش سالیانه (طول دوره آماری)، GM: میانگین هندسی، NP: محدوده نرمال، $D = P = DR$: آستانه خشکسالی، $P < DR$: شرایط خشکسالی، $W = P = GM$: آستانه ترسالی، $P > GM$: شرایط ترسالی می‌باشند.

لی هوئر و پوپوف در سال ۱۹۹۳ هنگام بررسی بارش قاره‌ی آفریقا، مفهوم بارش قابل اعتماد را به کار بردند. این شاخص در طرح‌ها و برنامه ریزی‌های کشاورزی، مخصوصاً در مناطق خشک می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (به نقل از فرج زاده، ۱۳۸۶، ۴۴). نمایه DR جزو شاخص‌های هیدرواقليمی می‌باشد و مزیت آن در تعدیل آثار مقادیر کرانه‌ای (مقادیر حداقل و حداکثر) بارش که میانگین بلند مدت را به شدت تغییر داده و موجب گمراهی در نتایج بدست آمده می‌شوند، است (زاهدی و قویدل رحیمی، ۱۳۸۶، ۲۵).

- روش نیچه

با استفاده از داده‌های بارش سالانه ایستگاه‌ها و با معادلات نیچه اقدام به تعیین وضعیت بارش و بازساخت زمانی و مکانی ترسالی‌ها و خشکسالی‌های ایستگاه‌های حوضه ارس شده است. معادلات بکاررفته در روش نیچه به صورت زیر می‌باشد.

$$(\bar{P} - SD) \leq PI \leq (\bar{P} + SD) \quad \text{معادله (۵)}$$

$$PI \geq (\bar{P} + SD) \quad \text{معادله (۶)}$$

$$PI \leq (\bar{P} - SD) \quad \text{معادله (۷)}$$

در معادلات فوق PI : بارش سال مفروض، SD : انحراف معیار، \bar{P} : میانگین بارش می‌باشند. روش نیچه با توجه به معادلات فوق دارای یک محدوده برای بارش نرمال (معادله ۵)، محدوده ترسالی (معادله ۶) و محدوده خشکسالی (معادله ۷) می‌باشد (قویدل رحیمی، ۱۳۸۳، ۵۰).

- روش PNPI

در زیر معادله نمایه درصد از بارش درج شده است.

$$PNPI = (P_i / \bar{P}) \times 100 \quad \text{معادله (۸)}$$

در معادله فوق P_i : بارش سال مفروض، \bar{P} : میانگین بلندمدت بارش، (میلی متر) ایستگاه‌ها می‌باشند. مقیاس طبقه بندی این شاخص به شرح زیر می‌باشد.

جدول ۲: مقیاس طبقه بندی به روش PNPI

شاخص	خشکسالی	وضع نرمال	ترسالی
PNPI	کمتر از ۸۰	بین ۸۰ تا ۱۲۰ درصد	بیشتر از ۱۲۰ درصد

استفاده از شاخص PNPI یکی از ساده‌ترین روش‌های ارزیابی شدت خشکسالی است. این شاخص از تقسیم مقدار واقعی بارش بر بارش نرمال و ضرب آن در عدد ۱۰۰ بدست می‌آید (قویدل رحیمی، ۱۳۸۶، ۲۵).

نتایج

مهم‌ترین نتایج حاصل از بررسی داده‌ها (جدول ۱) به شرح زیر می‌باشد:

الف- پارس آباد دارای کمترین ارتفاع و ماکو مرتفع‌ترین ایستگاه در این حوضه می‌باشد؛

ب- از میان ایستگاه‌های مورد مطالعه کمترین میانگین بارش مربوط به ایستگاه جلفا (۱۸۸/۲ میلی‌متر) و بیشترین میانگین مربوط به اهر (۲۹۱/۳ میلی‌متر) می‌باشد؛

ج- با توجه به میانگین بارش حوضه (۲۵۸/۱۳ میلی متر) ایستگاه‌های اردبیل، پارس آباد، اهر و ماکو ایستگاه-های مرطوب و خوی، مرند و جلفا ایستگاه‌های کم بارش و خشک حوضه می‌باشند؛

د- ضریب تغییرپذیری سالانه برای همه ایستگاه‌ها مقادیر قابل توجهی را نشان می‌دهد. با تجزیه و تحلیل مقادیر حاصل از ضریب تغییرات مشخص شد که ایستگاه اهر با ضریب تغییرات ۱۷/۵ درصد در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها دارای ثبات بارندگی بیشتر و ایستگاه ماکو و جلفا با ضریب تغییرات ۳۱ درصد از بی‌ثباتی بارش برخوردار می‌باشند.

محاسبه نمایه DR و تعیین خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها

با استفاده از نمایه DR، مقادیر عددی آستانه‌ی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه شده و در جدول ۳ درج شده است. با مینا قرار دادن مقادیر آستانه، وضعیت بارش هر یک از سال‌های دوره آماری ایستگاه‌ها مشخص شد. با محاسبه نمایه DR علاوه بر این که آستانه خشکسالی و ترسالی ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند، بلکه DR بیانگر مقدار نسبتاً قابل اطمینانی از بارش که در بلند مدت می‌توان روی آن مقدار در برنامه ریزی‌ها حساب کرد، می‌باشد. در شکل ۲ فراوانی وقوع ترسالی و خشکسالی ایستگاه‌ها نشان داده شده است.

جدول ۳: مقادیر محاسبه نمایه DR و آستانه‌های خشکسالی و ترسالی برای هر یک از ایستگاه‌های حوضه ارس

ایستگاه	اردبیل	اهر	پارس آباد	خوی	ماکو	مرند	جلفا
نمایه DR	۲۲۱/۹۴	۲۲۹/۶۵	۲۱۲/۳۲	۱۹۷/۲۹	۲۱۹/۱۲	۱۷۶/۱	۱۴۳/۴۲
آستانه خشکسالی	کمتر از ۲۲۱/۹۴	کمتر از ۲۲۹/۶۵	کمتر از ۲۱۲/۳۲	کمتر از ۱۹۷/۲۹	کمتر از ۲۱۹/۱۲	کمتر از ۱۷۶/۱	کمتر از ۱۴۳/۴۲
محدوده نرمال	بین ۲۲۱/۹۴ تا ۲۷۷/۴۳	بین ۲۲۹/۶۵ تا ۲۸۷/۰۶	بین ۲۱۲/۳۲ تا ۲۶۵/۴	بین ۱۹۷/۲۹ تا ۲۴۶/۶۲	بین ۲۱۹/۱۲ تا ۲۷۳/۹۱	بین ۱۷۶/۱ تا ۲۲۰/۱۳	بین ۱۴۳/۴۲ تا ۱۷۹/۲۸
آستانه ترسالی	بیشتر از ۲۷۷/۴۳	بیشتر از ۲۸۷/۰۶	بیشتر از ۲۶۵/۴	بیشتر از ۲۴۶/۶۲	بیشتر از ۲۷۳/۹۱	بیشتر از ۲۲۰/۱۳	بیشتر از ۱۷۹/۲۸

با توجه به جدول ۴ که براساس آستانه‌های جدول ۳ بدست آمده و شکل ۲ می‌توان ویژگی‌های زمانی و فضایی اصلی ایستگاه‌های حوضه ارس را که با توجه به نمایه DR محاسبه شده‌اند به شرح زیر بیان کرد:

- از لحاظ فراوانی سال‌های مرطوب، ایستگاه پارس آباد و جلفا با ۱۰ سال ترسالی، بیشترین فراوانی سال‌های مرطوب را دارند و اهر و اردبیل با ۸ سال نرمال بیشترین سال‌های نرمال را دارا می‌باشند؛
- متوالی ترین دوره خشکسالی دو دوره مستمر در خوی در سال‌های (۱۹۸۹-۱۹۹۰) و (۱۹۹۵-۱۹۹۶)، در ماکو در سال‌های (۱۹۸۹-۱۹۹۰) و (۲۰۰۱-۲۰۰۰)، مرند در دو دوره مستمر (۱۹۹۰-۱۹۹۱) و (۲۰۰۰-۱۹۹۹) و در جلفا سه سال پیاپی (۱۹۹۶-۱۹۹۸) می‌باشد؛

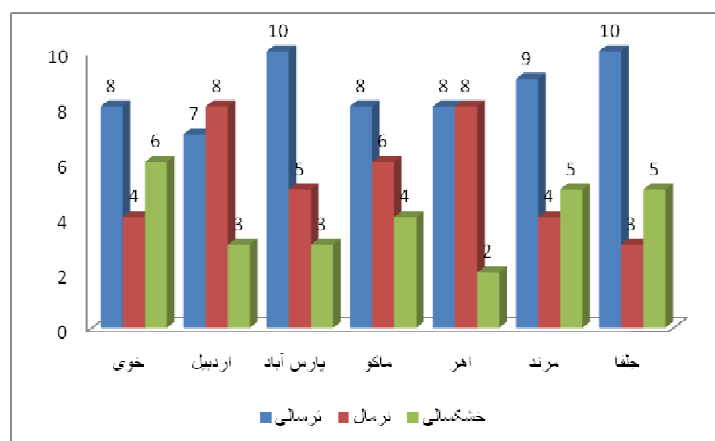
۳- از میان ایستگاه‌های مورد مطالعه، خوی با ۶ سال و اهر با ۲ سال خشکسالی به ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی سال‌های خشکسالی را دارا می‌باشند؛

۴- فراگیرترین ترسالی ایستگاه‌های حوضه ارس در سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۱، ۱۹۹۲، ۱۹۹۳، ۱۹۹۴ می‌باشد؛

۵- در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ حوضه رود ارس در شرایط مناسب‌تری می‌باشد، زیرا در این سال ایستگاه‌های اهر و اردبیل در شرایط نرمال و بقیه ایستگاه‌ها در شرایط مرطوب می‌باشند، همچنین در سال ۱۹۹۳ همه ایستگاه‌ها غیر از پارس آباد و در سال ۱۹۹۴ همه ایستگاه‌ها در وضعیت ترسالی می‌باشند.

جدول ۴: تعیین وضعیت بارش سالانه ایستگاه‌های حوضه آبریز ارس با استفاده از نمایه DR (بارش به میلی‌متر)

سال	خوی	وضعیت	اردبیل	وضعیت	پارس آباد	وضعیت	ماکو	وضعیت	اهر	وضعیت	مرند	وضعیت	جلفا	وضعیت
۱۹۸۶	۴۰۲/۴	ترسالی	۱۹۶/۱	خشکسالی	۲۵۵/۸	نرمال	۵۰۲/۹	ترسالی	۳۵۳/۴	ترسالی	۱۹۷/۲	نرمال	۲۵۱	ترسالی
۱۹۸۷	۲۵۵/۲	ترسالی	۲۲۵/۹	نرمال	۳۱۸/۵	ترسالی	۲۳۸/۱	نرمال	۲۸۰/۲	نرمال	۲۸۲/۴	ترسالی	۱۹۶/۶	ترسالی
۱۹۸۸	۳۲۲/۸	ترسالی	۳۰۴/۶	ترسالی	۲۹۵/۴	ترسالی	۳۵۳/۷	ترسالی	۳۱۰/۶	ترسالی	۱۵۱/۷	خشکسالی	۲۲۴/۲	ترسالی
۱۹۸۹	۱۹۱/۴	خشکسالی	۲۲۴/۶	نرمال	۲۵۰/۸	نرمال	۱۸۲/۹	خشکسالی	۲۹۰/۲	ترسالی	۲۱۹/۵	نرمال	۱۰۹/۸	خشکسالی
۱۹۹۰	۱۹۶/۶	خشکسالی	۲۶۸/۴	نرمال	۲۸۹	ترسالی	۱۷۹/۵	خشکسالی	۲۲۶/۳	خشکسالی	۱۴۶/۵	خشکسالی	۱۵۱/۶	نرمال
۱۹۹۱	۳۰۲/۶	ترسالی	۲۷۶	نرمال	۳۱۹/۷	ترسالی	۲۹۰/۹	ترسالی	۳۱۵/۶	ترسالی	۱۰۸/۴	خشکسالی	۱۸۳	ترسالی
۱۹۹۲	۲۲۳/۸	نرمال	۴۰۵/۶	ترسالی	۳۰۱/۲	ترسالی	۲۸۴/۳	ترسالی	۳۱۶/۱	ترسالی	۲۹۲/۳	ترسالی	۱۹۵/۹	ترسالی
۱۹۹۳	۳۳۳/۲	ترسالی	۳۹۵/۷	ترسالی	۱۸۸/۹	خشکسالی	۴۰۱/۷	ترسالی	۴۱۱/۳	ترسالی	۳۴۵/۴	ترسالی	۲۴۹/۹	ترسالی
۱۹۹۴	۳۳۰	ترسالی	۳۲۵/۶	ترسالی	۲۹۹/۴	ترسالی	۳۵۹/۹	ترسالی	۳۴۰/۲	ترسالی	۲۳۷/۷	ترسالی	۲۷۳	ترسالی
۱۹۹۵	۱۶۸/۳	خشکسالی	۲۲۲/۱	خشکسالی	۳۱۲/۲	ترسالی	۲۶۷/۳	نرمال	۲۵۱/۳	نرمال	۱۹۴/۲	نرمال	۱۵۷	نرمال
۱۹۹۶	۱۹۶/۷	خشکسالی	۲۴۵/۴	نرمال	۱۵۳	خشکسالی	۲۳۶	نرمال	۲۸۵/۵	نرمال	۲۴۸/۸	ترسالی	۹۴/۲	خشکسالی
۱۹۹۷	۲۳۸/۹	نرمال	۳۷۴/۷	ترسالی	۲۵۸/۳	نرمال	۲۲۱/۹	نرمال	۲۸۳/۵	نرمال	۱۹۹/۷	نرمال	۱۳۹/۶	خشکسالی
۱۹۹۸	۱۸۶/۸	خشکسالی	۳۲۵/۵	ترسالی	۱۸۷	خشکسالی	۲۳۲/۳	نرمال	۲۶۵	نرمال	۲۳۵/۵	ترسالی	۱۳۲	خشکسالی
۱۹۹۹	۲۳۶/۸	نرمال	۲۵۹/۴	نرمال	۲۵۰/۴	نرمال	۲۷۱/۲	نرمال	۳۳۷/۵	ترسالی	۱۷۴/۸	خشکسالی	۲۲۰/۹	ترسالی
۲۰۰۰	۲۰۷/۱	نرمال	۳۰۲/۸	ترسالی	۲۶۶/۵	ترسالی	۱۸۵/۷	خشکسالی	۲۴۳/۵	نرمال	۱۷۰/۷	خشکسالی	۱۲۹/۲	خشکسالی
۲۰۰۱	۱۷۱/۴	خشکسالی	۲۲۱/۷	خشکسالی	۲۴۴/۴	نرمال	۲۱۸/۹	خشکسالی	۱۹۰/۷	خشکسالی	۲۶۰/۵	ترسالی	۱۵۵/۴	نرمال
۲۰۰۲	۲۹۷/۴	ترسالی	۲۵۱/۸	نرمال	۲۹۳/۱	ترسالی	۲۹۳/۶	ترسالی	۲۶۸/۲	نرمال	۳۳۲/۴	ترسالی	۲۱۹/۲	ترسالی
۲۰۰۳	۳۳۲/۱	ترسالی	۲۷۷/۳	نرمال	۴۰۷/۵	ترسالی	۴۳۰/۵	ترسالی	۲۷۴/۳	نرمال	۳۵۵/۳	ترسالی	۳۰۶/۸	ترسالی



شکل ۲: توزیع فراوانی ترسالی و خشکسالی براساس شاخص DR در حوضه آبریز رود ارس

محاسبه روش نیچه و نتایج حاصل از آن

با استفاده از روش نیچه مقادیر آستانه خشکسالی و ترسالی برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه گردید که این مقادیر در جدول ۵ درج شده است. همچنین فراوانی وقوع ترسالی و خشکسالی ایستگاه‌ها در شکل ۳ ارایه شده است.

جدول ۵: مقادیر آستانه مورد محاسبه از روش نیچه برای تعیین دوره‌های نرمال، ترسالی و خشکسالی هر ایستگاه

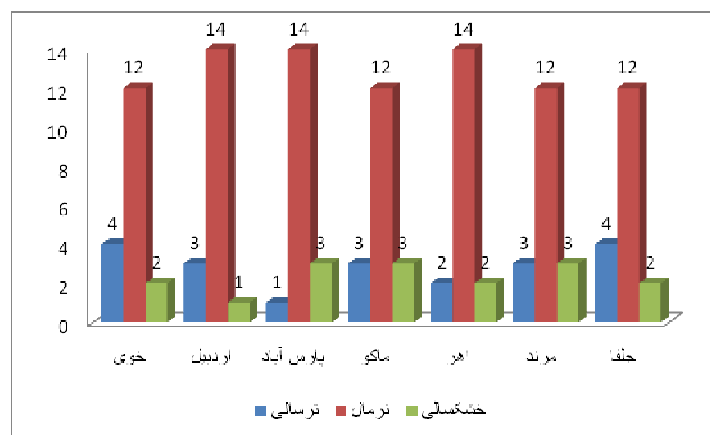
ایستگاه	اردبیل	اهر	پارس آباد	خوی	ماکو	مرند	جلفا
آستانه خشکسالی	کمتر از ۲۲۱/۴	کمتر از ۲۴۰/۲	کمتر از ۲۱۳/۴	کمتر از ۱۸۵/۷	کمتر از ۱۹۵/۳	کمتر از ۱۵۹/۸	کمتر از ۱۲۸/۹
محدوده نرمال	بین ۲۲۱/۴ تا ۳۴۵/۶	بین ۲۴۰/۲ تا ۳۴۲/۳	بین ۲۱۳/۴ تا ۳۳۰	بین ۱۸۵/۷ تا ۳۲۴/۶	بین ۱۹۵/۳ تا ۳۷۷	بین ۱۵۹/۸ تا ۳۰۱/۵	بین ۱۲۸/۹ تا ۲۴۷/۶
آستانه ترسالی	بیشتر از ۳۴۵/۶	بیشتر از ۳۴۲/۳۶	بیشتر از ۳۳۰	بیشتر از ۳۲۴/۶	بیشتر از ۳۷۷	بیشتر از ۳۰۱/۵	بیشتر از ۲۴۷/۶

با استفاده از مقادیر آستانه‌ای مندرج در جدول ۵ وضعیت ترسالی‌ها و خشکسالی‌های حوضه ارس تعیین گردید که در جدول ۶ قابل مشاهده می‌باشد. مهم ترین نتایج حاصل از جدول ۶ و شکل ۳ به صورت زیر می‌باشد:

- ۱- ایستگاه پارس‌آباد با ۱ سال مرطوب و اردبیل با ۱ سال خشکسالی کمترین تعداد سال‌های ترسالی و خشکسالی را تجربه کرده‌اند؛
- ۲- در اغلب سال‌های دوره آماری وضعیت بارش در همه ایستگاه‌ها از نظر کیفی در وضعیت نرمال بوده است؛
- ۳- خوی و جلفا با ۴ سال مرطوب بیشترین تعداد سال‌های ترسالی را به خود اختصاص داده است؛
- ۴- در سال ۱۹۹۳ حوضه در وضعیت مناسب‌تری قرار گرفته، زیرا در این سال همه‌ی ایستگاه‌ها غیر از پارس‌آباد در شرایط ترسالی قرار گرفته‌اند؛
- ۵- از خشکسالی‌های مستمر ایستگاه‌ها می‌توان به ماکو در سال‌های (۱۹۹۰-۱۹۸۹) و مرند در سال‌های (۱۹۹۱-۱۹۹۰) اشاره کرد.

جدول ۶: تعیین وضعیت بارش سالانه ایستگاه‌های حوضه آبریز ارس بر اساس روش نیچه (بارش به میلی‌متر)

سال	خوی	وضعیت	اردبیل	وضعیت	پارس آباد	وضعیت	ماکو	وضعیت	اهر	وضعیت	مرند	وضعیت	جلفا	وضعیت
۱۹۸۶	۴۰۲/۴	ترسالی	۱۹۶/۱	خشکسالی	۲۵۵/۸	نرمال	۵۰۲/۹	ترسالی	۳۵۳/۴	ترسالی	۱۹۷/۲	نرمال	۲۵۱	ترسالی
۱۹۸۷	۲۵۵/۲	نرمال	۲۲۵/۹	نرمال	۳۱۸/۵	نرمال	۲۳۸/۱	نرمال	۲۸۰/۲	نرمال	۲۸۲/۴	نرمال	۱۹۶/۶	نرمال
۱۹۸۸	۳۲۲/۸	نرمال	۳۰۴/۶	نرمال	۲۹۵/۴	نرمال	۳۵۳/۷	نرمال	۳۱۰/۶	نرمال	۱۵۱/۷	خشکسالی	۲۲۴/۲	نرمال
۱۹۸۹	۱۹۱/۴	نرمال	۲۲۴/۶	نرمال	۲۵۰/۸	نرمال	۱۸۲/۹	خشکسالی	۲۹۰/۲	نرمال	۲۱۹/۵	نرمال	۱۰۹/۸	خشکسالی
۱۹۹۰	۱۹۶/۶	نرمال	۲۶۸/۴	نرمال	۲۸۹	نرمال	۱۷۹/۵	خشکسالی	۲۲۶/۳	خشکسالی	۱۴۶/۵	خشکسالی	۱۵۱/۶	نرمال
۱۹۹۱	۳۰۲/۶	نرمال	۲۷۶	نرمال	۳۱۹/۷	نرمال	۲۹۰/۹	نرمال	۳۱۵/۶	نرمال	۱۰۸/۴	خشکسالی	۱۸۳	نرمال
۱۹۹۲	۲۲۳/۸	نرمال	۴۰۵/۶	ترسالی	۳۰۱/۲	نرمال	۲۸۴/۳	نرمال	۳۱۶/۱	نرمال	۲۹۲/۳	نرمال	۱۹۵/۹	نرمال
۱۹۹۳	۳۳۳/۲	ترسالی	۳۹۵/۷	ترسالی	۱۸۸/۹	خشکسالی	۴۰۱/۷	ترسالی	۴۱۱/۳	ترسالی	۳۴۵/۴	ترسالی	۲۴۹/۹	ترسالی
۱۹۹۴	۳۳۰	ترسالی	۳۲۵/۶	نرمال	۲۹۹/۴	نرمال	۳۵۹/۹	نرمال	۳۴۰/۲	نرمال	۲۳۷/۷	نرمال	۲۷۳	ترسالی
۱۹۹۵	۱۶۸/۳	خشکسالی	۲۲۲/۱	نرمال	۳۱۲/۲	نرمال	۲۶۷/۳	نرمال	۲۵۱/۳	نرمال	۱۹۴/۲	نرمال	۱۵۷	نرمال
۱۹۹۶	۱۹۶/۷	نرمال	۲۴۵/۴	نرمال	۱۵۳	خشکسالی	۲۳۶	نرمال	۲۸۵/۵	نرمال	۲۴۸/۸	نرمال	۹۴/۲	خشکسالی
۱۹۹۷	۲۳۸/۹	نرمال	۳۷۴/۷	ترسالی	۲۵۸/۳	نرمال	۲۲۱/۹	نرمال	۲۸۳/۵	نرمال	۱۹۹/۷	نرمال	۱۳۹/۶	نرمال
۱۹۹۸	۱۸۶/۸	نرمال	۳۲۵/۵	نرمال	۱۸۷	خشکسالی	۲۳۲/۳	نرمال	۲۶۵	نرمال	۲۳۵/۵	نرمال	۱۳۲	نرمال
۱۹۹۹	۲۳۶/۸	نرمال	۲۵۹/۴	نرمال	۲۵۰/۴	نرمال	۲۷۱/۲	نرمال	۳۳۷/۵	نرمال	۱۷۴/۸	نرمال	۲۲۰/۹	نرمال
۲۰۰۰	۲۰۷/۱	نرمال	۳۰۲/۸	نرمال	۲۶۶/۵	نرمال	۱۸۵/۷	خشکسالی	۲۴۳/۵	نرمال	۱۷۰/۷	نرمال	۱۲۹/۲	نرمال
۲۰۰۱	۱۷۱/۴	خشکسالی	۲۲۱/۷	نرمال	۲۴۴/۴	نرمال	۲۱۸/۹	نرمال	۱۹۰/۷	خشکسالی	۲۶۰/۵	نرمال	۱۵۵/۴	نرمال
۲۰۰۲	۲۹۷/۴	نرمال	۲۵۱/۸	نرمال	۲۹۳/۱	نرمال	۲۹۳/۶	نرمال	۲۶۸/۲	نرمال	۳۳۲/۴	ترسالی	۲۱۹/۲	نرمال
۲۰۰۳	۳۳۲/۱	ترسالی	۲۷۷/۳	نرمال	۴۰۷/۵	ترسالی	۴۳۰/۵	ترسالی	۲۷۴/۳	نرمال	۳۵۵/۳	ترسالی	۳۰۶/۸	ترسالی



شکل ۳: توزیع فراوانی ترسالی و خشکسالی براساس شاخص نیچه در حوضه آبریز رود ارس

بررسی شاخص PNPI و نتایج حاصل از آن

با استفاده از معادله PNPI، این شاخص برای هر یک از سال‌های دوره آماری مورد محاسبه قرار گرفت و سپس با استفاده از مقیاس طبقه بندی این روش که در جدول ۲ ارائه شده، وضعیت بارش هر سال مشخص شد که نتایج این بررسی در جدول ۷ آورده شده است. مهم ترین نتایج حاصل از این جدول به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- ایستگاه خوی و جلفا با ۶ سال بیشترین و اهر با ۲ سال کمترین تعداد سال‌های خشکسالی را دارا می‌باشند؛

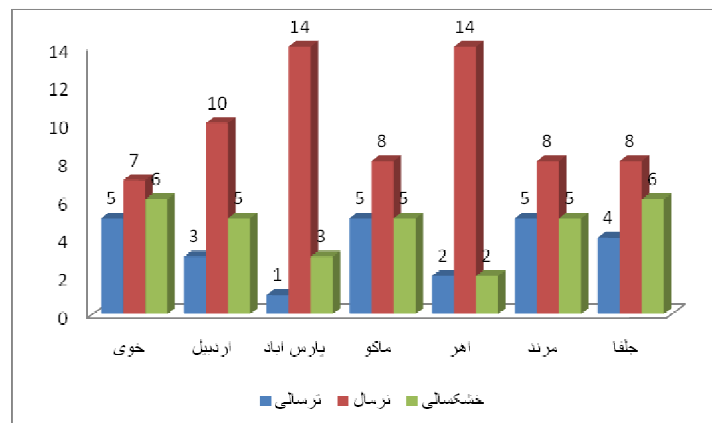
۲- از نظر سال‌های مرطوب، خوی، ماکو و مرند با ۵ سال و پارس آباد با یک سال به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد سال‌های ترسالی را دارند؛

۳- از خشکسالی‌های فراگیر حوضه می‌توان به سال ۱۹۹۰ اشاره کرد که در این سال همه ایستگاه‌ها غیر از پارس آباد و اردبیل در وضعیت خشکسالی می‌باشند؛

۴- حوضه در سال ۱۹۹۳ وضعیت مرطوبی را تجربه کرده است. در این سال همه ایستگاه‌ها غیر از پارس آباد در شرایط ترسالی بوده‌اند.

جدول ۷: تعیین وضعیت بارش سالانه ایستگاه‌های حوضه آبریز ارس بر اساس روش PNPI (بارش به میلی‌متر)

سال	خوی	وضعیت	اردبیل	وضعیت	پارس آباد	وضعیت	ماکو	وضعیت	اهر	وضعیت	مرند	وضعیت	جلفا	وضعیت
۱۹۸۶	۱۵۷/۶	ترسالی	۶۹/۱	خشکسالی	۹۴/۱	نرمال	۱۷۵/۷	ترسالی	۱۲۱/۳	ترسالی	۸۵/۴	نرمال	۱۳۳/۳	ترسالی
۱۹۸۷	۱۰۰	نرمال	۷۹/۶	خشکسالی	۱۱۷/۲	نرمال	۸۳/۱	نرمال	۹۶/۱۶	نرمال	۱۲۲/۳	ترسالی	۱۰۴/۴	نرمال
۱۹۸۸	۱۲۶/۴	ترسالی	۱۰۷/۴	نرمال	۱۰۸/۷	نرمال	۱۲۳/۵	ترسالی	۱۰۶/۶	نرمال	۶۵/۷	خشکسالی	۱۱۹	نرمال
۱۹۸۹	۷۵	خشکسالی	۷۹/۲	خشکسالی	۹۲/۳	نرمال	۶۳/۹	خشکسالی	۹۹/۶۲	نرمال	۹۵/۱	نرمال	۵۸/۳	خشکسالی
۱۹۹۰	۷۷	خشکسالی	۹۴/۶	نرمال	۱۰۶/۳	نرمال	۶۲/۷	خشکسالی	۷۷/۶۹	خشکسالی	۶۳/۴	خشکسالی	۸۰	خشکسالی
۱۹۹۱	۱۱۸/۵	نرمال	۹۷/۳	نرمال	۱۱۷/۶	نرمال	۱۰۱/۶	نرمال	۱۰۸/۳	نرمال	۴۶/۹	خشکسالی	۹۷/۱	نرمال
۱۹۹۲	۸۷/۶	نرمال	۱۴۳	ترسالی	۱۱۰/۸	نرمال	۹۹/۳	نرمال	۱۰۸/۵	نرمال	۱۲۶/۶	ترسالی	۱۰۴	نرمال
۱۹۹۳	۱۳۰/۵	ترسالی	۱۳۹/۵	ترسالی	۶۹/۵	خشکسالی	۱۴۰/۳	ترسالی	۱۴۱/۲	ترسالی	۱۴۹/۷	ترسالی	۱۳۲/۷	ترسالی
۱۹۹۴	۱۲۹/۳	ترسالی	۱۱۴/۸	نرمال	۱۱۰/۱	نرمال	۱۲۵/۷	ترسالی	۱۱۶/۸	نرمال	۱۰۳	نرمال	۱۴۴/۹	ترسالی
۱۹۹۵	۶۵/۹	خشکسالی	۷۸/۳	خشکسالی	۱۱۴/۸	نرمال	۹۳/۴	نرمال	۸۶/۲۷	نرمال	۸۴/۱	نرمال	۸۳/۳	نرمال
۱۹۹۶	۷۷	خشکسالی	۸۶/۵	نرمال	۵۶/۳	خشکسالی	۸۲/۴	نرمال	۹۸/۰۱	نرمال	۱۰۷/۸	نرمال	۵۰	خشکسالی
۱۹۹۷	۹۳/۶	نرمال	۱۳۲/۱	ترسالی	۹۵	نرمال	۷۷/۵	خشکسالی	۹۷/۳۲	نرمال	۸۶/۵	نرمال	۷۴/۱	خشکسالی
۱۹۹۸	۷۳/۲	خشکسالی	۱۱۴/۸	نرمال	۶۸/۸	خشکسالی	۸۱/۱	نرمال	۹۰/۹۷	نرمال	۱۰۲	نرمال	۷۰/۱	خشکسالی
۱۹۹۹	۹۲/۷	نرمال	۹۱/۴	نرمال	۹۲/۱	نرمال	۹۴/۷	نرمال	۱۱۵/۹	نرمال	۷۵/۷	خشکسالی	۱۱۷/۳	نرمال
۲۰۰۰	۸۱/۱	نرمال	۱۰۶/۸	نرمال	۹۸	نرمال	۶۴/۸	خشکسالی	۸۳/۵۹	نرمال	۷۳/۹	خشکسالی	۶۸/۶	خشکسالی
۲۰۰۱	۶۷/۱	خشکسالی	۷۸/۱	خشکسالی	۸۹/۹	نرمال	۷۶/۴	خشکسالی	۶۵/۴۷	خشکسالی	۱۱۲/۹	نرمال	۸۲/۵	نرمال
۲۰۰۲	۱۱۶/۵	نرمال	۸۸/۸	نرمال	۱۰۷/۸	نرمال	۱۰۲/۵	نرمال	۹۲/۰۷	نرمال	۱۴۴	ترسالی	۱۱۶/۴	نرمال
۲۰۰۳	۱۳۰/۱	ترسالی	۹۷/۸	نرمال	۱۴۹/۹	ترسالی	۱۵۰/۴	ترسالی	۹۴/۱۶	نرمال	۱۵۳/۹	ترسالی	۱۶۲/۹	ترسالی

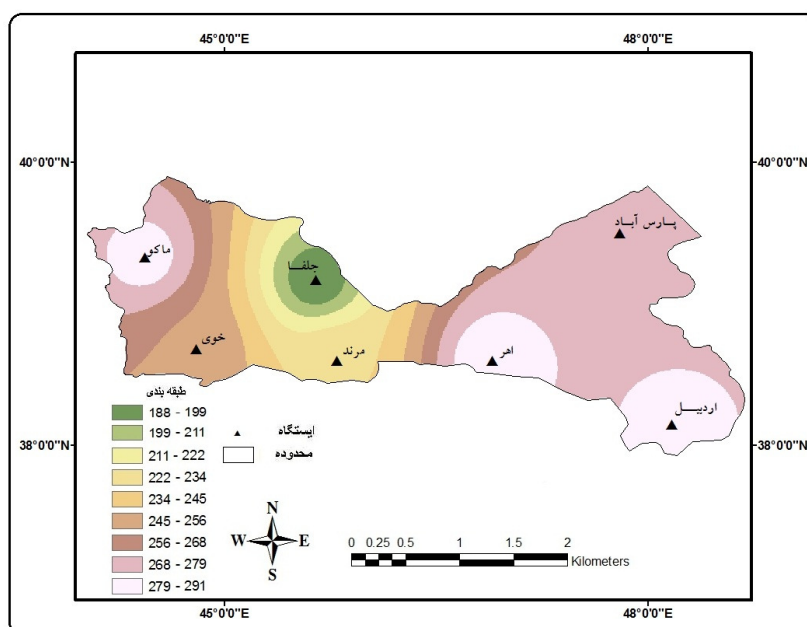


شکل ۴: توزیع فراوانی ترسالی و خشکسالی بر اساس شاخص PNPI در حوضه آبریز رود ارس

بر اساس شکل ۵ می‌توان گفت به طور کلی مرکز حوضه در معرض خطر خشکسالی می‌باشد. شدت خشکسالی در ایستگاه جلغا بیشتر از همه ایستگاه‌های دیگر و در رتبه بعدی ایستگاه مرند قرار گرفته است. هر چه از مرکز حوضه به طرف شرق و غرب حرکت کنیم، از شدت خشکسالی ایستگاه‌ها کمتر شده و به رطوبت ایستگاه‌ها افزوده می‌شود. ایستگاه پارس‌آباد دارای رتبه سوّم خشکسالی بوده و در ایستگاه‌های ماکو، خوی و اهر رطوبت به میزان زیادی افزایش یافته است.

همان طور که در شکل ۵ نیز مشاهده می‌شود، اردبیل، اهر و ماکو مرطوبترین ایستگاه‌های حوضه ارس می‌باشند. برای بررسی وضعیت متفاوت بارش اردبیل نسبت به ایستگاه‌های دیگر می‌توان گفت با این که اردبیل و پارس‌آباد، هر دو تقریباً در یک طول جغرافیایی و نزدیک به منبع رطوبتی دریای خزر قرار گرفته‌اند، ولی عاملی که باعث شده اردبیل نسبت به پارس‌آباد مرطوب‌تر باشد، ارتفاع بیشتر اردبیل (۱۳۳۲ متر) نسبت به ارتفاع پارس‌آباد (۳۱ متر) می‌باشد. همچنین نزدیکی اردبیل به منبع رطوبتی دریاچه خزر در مقایسه با بقیه ایستگاه‌ها نقش خیلی مهمی در وضعیت متفاوت بارش اردبیل دارد.

در غرب حوضه ارتفاعات غربی که از ماکو شروع شده و به صورت شمالی-جنوبی امتداد یافته است، مانع از ورود منبع رطوبتی دریای مدیترانه به مرکز حوضه شده و باعث می‌شود سهم زیادی از رطوبت در ایستگاه‌های غربی تخلیه و در نتیجه رطوبت کمتری به قسمت‌های مرکزی حوضه برسد. اما جداول ۸ و ۹ که نتایج حاصل از بررسی روش نیچه و PNPI برای ایستگاه‌ها را نشان می‌دهند بیانگر این هستند که همه ایستگاه‌ها غیر از جلغا دارای وضعیت بارشی نرمال می‌باشند.



شکل ۵: پهنه بندی خشکسالی و ترسالی حوضه آبریز ارس به روش DR

جدول ۸: نتایج حاصل از بررسی روش نیچه برای ایستگاه‌ها

ایستگاه	متوسط بارش	(P+SD)	(P-SD)	وضعیت
اردبیل	۲۸۳/۵	۲۹۵/۴۱	۲۲۰/۷۵	نرمال
اهر	۲۹۱/۳	۲۹۵/۴۱	۲۲۰/۷۵	نرمال
پارس آباد	۲۷۱/۷	۲۹۵/۴۱	۲۲۰/۷۵	نرمال
خوی	۲۵۵/۱	۲۹۵/۴۱	۲۲۰/۷۵	نرمال
ماکو	۲۸۶/۱	۲۹۵/۴۱	۲۲۰/۷۵	نرمال
مرند	۲۳۰/۷	۲۹۵/۴۱	۲۲۰/۷۵	نرمال
جلفا	۱۸۸/۲	۲۹۵/۴۱	۲۲۰/۷۵	خشکسالی
میانگین (P)	۲۵۸/۰۸			
انحراف معیار (SD)	۷۳/۳۳			

جدول ۹: نتایج حاصل از بررسی روش PNPI برای ایستگاه‌ها

ایستگاه	متوسط بارش	PNPI	وضعیت
اردبیل	۲۸۳/۵	۱۰۹/۸۴	نرمال
اهر	۲۹۱/۳	۱۱۲/۸۷	نرمال
پارس آباد	۲۷۱/۷	۱۰۵/۲۷	نرمال
خوی	۲۵۵/۱	۹۸/۸۴	نرمال
ماکو	۲۸۶/۱	۱۱۰/۸۵	نرمال
مرند	۲۳۰/۷	۸۹/۳۹	نرمال
جلفا	۱۸۸/۲	۷۲/۹۲	خشکسالی
میانگین (P)	۲۵۸/۰۸		
انحراف معیار (SD)	۷۳/۳۳		

بحث و نتیجه گیری

پدیده خشکسالی یکی از ویژگی‌های اقلیمی هر منطقه بوده و برخلاف خشکی، پدیده‌ای دائمی نمی‌باشد. خشکسالی معمولاً هم در نواحی خشک و هم در نواحی مرطوب اتفاق می‌افتد و یکی از پراسیب‌ترین بلایای طبیعی وابسته به آب و هوا می‌باشد که بر جوامع اثر می‌گذارد. از آنجایی که بروز خشکسالی همواره نقش مهمی را در زمینه منابع آب و کشاورزی منطقه ایفا می‌کند و معیشت مردم این منطقه به طور مستقیم و غیر مستقیم وابسته به کشاورزی و دامداری می‌باشد، به همین جهت شناخت و مطالعه عوامل اقلیمی می‌بایست همواره مد نظر برنامه ریزان و مسئولین قرار گیرد. هدف اصلی شاخص DR محاسبه مقدار عددی بارش قابل اطمینان برای اهداف برنامه ریزی‌های عمرانی است.

نتایج حاصله نشان داد که در روش DR وضعیت بارشی ایستگاه‌ها به نحو بهتر و با جزئیات بهتری مشخص شده و نتایج حاصل از این روش متفاوت تر از دو روش دیگر می‌باشد. نتایج روش نیچه و PNPI یکسان بوده و بیانگر این بودند که در این دو روش فقط ایستگاه جلفا دارای شرایط خشکسالی و بقیه ایستگاه‌ها دارای وضعیت نرمال بوده‌اند. به عبارتی نتایج این دو روش نشان داد که در طی دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۳ شرایط حاکم بر حوضه شرایط نرمال بوده است. بنابراین در بین مدل‌های استفاده شده در این بررسی، روش DR با داشتن قابلیت‌های بیشتر و محدودیت‌های کمتر بهتر از دیگر مدل‌ها تشخیص داده شد. بدیهی است هر قدر طول دوره آماری بیشتر شود، به همان نسبت سطح اطمینان مقادیر شاخص‌ها نیز بالاتر خواهد رفت، اما متأسفانه کمبودهای آماری مربوط به اقلیم بویژه در ایستگاه‌های تازه تأسیس شده، مانع از افزایش دقت مدل‌ها می‌شود.

با توجه به نقشه درونیابی شده روش DR، مشخص شد که خشکسالی در مرکز حوضه بیشتر از سایر قسمت‌های حوضه می‌باشد و می‌توان گفت که بارندگی حوضه از سمت غرب و شرق به طرف مرکز حوضه کاهش یافته و ایستگاه‌های شرقی و غربی دارای رطوبت بیشتری بوده و خشکسالی کمتری نسبت به ایستگاه‌های مرکزی تجربه می‌کنند. با توجه به این که بارش به عنوان مهم‌ترین نهادهی اقلیمی، از ویژگی‌ها و سرشتی بی‌ثبات و نامنظم برخوردار است و از این نظر مشکلات زیادی را برای انسان به وجود می‌آورد، لذا این توجه لازم و کافی برنامه ریزان را می‌طلبد که در جهت رفع مشکلات آبی مناطقی که دچار خشکسالی شده‌اند، بکوشند.

در پایان پیشنهاد می‌شود برای مطالعه جامع‌تر پدیده خشکسالی و ترسالی در حوضه ارس از تمامی ایستگاه‌های باران‌سنجی؛ کلیماتولوژی و سینوپتیک موجود در منطقه (و در صورت امکان از داده‌های حوضه ارس شمالی) استفاده به عمل آید.

منابع

- ۱- اسمعیل‌پور، مرضیه، (۱۳۸۶): ارزیابی بیلان آبی برای استفاده کشاورزی در حوضه جنوبی رود ارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.
- ۲- جهانبخش، سعید و تدین، معصومه و یزدانی، محمد، (۱۳۸۷): تجزیه و تحلیل زمانی و مکانی خشکسالی و تعیین دوره‌های خشک و مرطوب حوضه دریاچه نمک (قم)، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال اول شماره ۱، صص ۳۷-۵۴.
- ۳- خورشید دوست، علی محمد و قویدل رحیمی، یوسف، (۱۳۸۶): ارتباط نوسان‌های گردش جوی - اقیانوس اطلس شمالی با خشکسالی‌های آذربایجان شرقی، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صص ۱۵۶-۱۴۷.
- ۴- زاهدی قره‌آغاج، مجید و قویدل رحیمی، یوسف، (۱۳۸۶): تعیین آستانه خشکسالی و محاسبه میزان بارش قابل اعتماد ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۹، صص ۳۴-۲۱.

- ۵- عزیزی، قاسم، (۱۳۷۹): ال نینو و دوره های خشکسالی و تر سالی در ایران، مجله پژوهش های جغرافیایی، شماره ۳۸، صص ۷۱-۸۴.
- ۶- علیجانی، بهلول و کاویانی، محمد رضا، (۱۳۸۲): مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت.
- ۷- علیجانی، بهلول و بنی واهب، علیرضا، (۱۳۸۴): بررسی خشکسالی و ترسالی و پیش بینی تغییرات اقلیم منطقه بیرجند با استفاده از مدل های آماری، مجله پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۲، صص ۳۳-۴۵.
- ۸- علیزاده، امین، (۱۳۸۶): هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۹- فرج زاده، منوچهر، (۱۳۸۴): خشکسالی از مفهوم تا راهکار، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- ۱۰- فرج زاده، حسن، (۱۳۸۶): تحلیل و تعیین خشکسالی و ترسالی براساس نمایه های SPI و DRI و روش نیچه در شمال غرب، مجله رشد آموزش جغرافیا، دوره ۲۲، شماره ۱، صص ۴۱-۴۶.
- ۱۱- قویدل رحیمی، یوسف، (۱۳۸۳): کاربرد نمایه های مبتنی بر بارش در مطالعه خشکسالی ها و ترسالی ها مطالعه موردی (استان آذربایجان شرقی)، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۶۵، صص ۴۷-۵۶.
- ۱۲- کمالی، غلام علی و خزانهداری، لیلی، (۱۳۸۱): تحلیل خشکسالی اخیر مشهد با بکارگیری برخی از شاخص های خشکسالی، مجله نیوار، شماره ۴۵-۴۴، صص ۷۹-۹۳.
- ۱۳- مقدسی، مهنوش و مرید سعید ریایون اچ، قائمی، هوشنگ و محمد ولی سلمان جمال، (۱۳۸۳): پایش خشکسالی با استفاده از شاخص EDI - SPI - DI در استان تهران، تحقیقات کشاورزی.

14- Bazuhair, A. S. and Algohani, A. (1997): "Determination of Monthly Wet and Dry Periods in Saudi Arabia"3, International Journal of Climatolgy, Vol.17, Pp. 303-311.

15- Estrela, M.J., Pennarrocha, D. and Milan, M. (2000): "Multi-Annual Drought Episodes in The Mediterranean (Valencia Region) From (1950-1996)", International Journal of Climatology, Vol.20, Pp. 1599-1618.

16- Hong, W U., Hayesi, J.M., Weiss, A. and Qihu. (2001): "An Evaluation of The Standardized Precipitation Index, The China-Z Index and The Statitical Z-Score", International Journal of Climatology, Vol.21, Pp. 745-758.

17- Pashiardis, S. Michaelides, S. (2008): "Implementation of The Standardized Precipitation Index (SPI) and The Reconnaissance Drought Index (RDI) for Regional Drought Assessment: A Case Study for Cyprus", European Water, Vol.23/24, Pp. 57-65.