

## پهنه‌بندی حوضه دریاچه ارومیه از نظر خشکسالی با روش تجزیه به عامل‌ها

مرضیه قربانی اقدم<sup>۱\*</sup> - یعقوب دین پژوه<sup>۲</sup> - احمد فاخری فرد<sup>۳</sup> - صابره دربندی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۱

### چکیده

روش‌های تحلیلی کاهش ابعاد داده‌ها مانند PCA برای درک صحیحی از عوامل مؤثر بر تغییرات اقلیمی با توجه قسمت مهمی از کل واریانس با تعداد محدودی از مولفه‌های اصلی، در برنامه‌ریزی منابع آب حائز اهمیت است. روش تجزیه به عامل‌ها در این تحقیق به عنوان تصویرکننده فضای اطلاعات روی محورهای محدود و معین استفاده شده است. هدف اصلی این مطالعه پهنه‌بندی حوضه آبریز دریاچه ارومیه از نظر خشکسالی با روش تجزیه به عامل‌ها است. آمار بارش‌های ماهانه ۳۰ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۲۰۰۹-۱۹۷۲ استفاده شد. شاخص بارش استاندارد (SPI)، برای هر یک از ایستگاه‌های منتخب در دو مقیاس ۳ و ۱۲ ماهه به کار برده شد. تجزیه به عامل‌های مربوط به داده‌های SPI برای پهنه‌بندی منطقه از نظر مشخصه‌های خشکسالی انجام گردید. همگنی نواحی به دست آمده با روش آماره S ویلتشایر بررسی شد. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی SPI سه ماهه (دوازده ماهه) نشان داد که تعداد ۵ (۶) عامل ویژه بزرگتر از یک دارند و ۶۸/۰۸ (۷۸/۸۸) درصد از واریانس کل را در مجموع توجیه می‌کند. حوضه دریاچه ارومیه با توجه به ضرایب عامل‌ها پس از چرخش در مقیاس ۳ ماهه (۱۲ ماهه) به پنج (شش) ناحیه تفکیک شد. نتایج آزمون همگنی نشان داد که نواحی به دست آمده همگن هستند.

**واژه‌های کلیدی:** مقدار ویژه، بردار ویژه، تجزیه به عامل‌ها، خشکسالی، مولفه‌های اصلی، ارومیه، SPI سه و دوازده ماهه

### مقدمه

غیر مستقیم اثرات زیان‌بخشی را بر بخش‌های مختلف اجتماع و محیط وارد می‌کند. مهم‌ترین اثر مستقیم خشکسالی تأثیر منفی آن بر کمیت و کیفیت منابع آبی منطقه درگیر خشکسالی است. با کم شدن بارندگی برای یک مدت طولانی، مراتع، جنگل‌ها، مزارع و دیگر منابع طبیعی به طور مستقیم دچار کمبود آب شده و زیان می‌بینند. منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی نیز که از ریزش‌های جوی تغذیه می‌شوند، با کمبود آب مواجه می‌شوند (۵). تحقیقات زیادی در ابعاد گوناگون خشکسالی در نقاط مختلف دنیا انجام شده است.

بوناکورسو و همکاران (۸)، تجزیه و تحلیل خشکسالی را با استفاده از شاخص SPI در خلال سال‌های ۱۹۹۶-۱۹۲۶ در جزیره سیسیلی انجام دادند. ایشان این کار را با استفاده از ۴۳ ایستگاه باران سنجی که به طور یکنواخت در تمام منطقه مورد مطالعه پراکنده شده بود انجام دادند. به منظور بررسی تغییرپذیری بلند مدت خشکسالی، تجزیه به مولفه‌های اصلی PCA را روی SPI های محاسبه شده اعمال نمودند. نتایج نشان داد که کل جزیره سیسیلی درگیر خشکسالی‌های بلند مدت از سال ۱۹۷۰ به بعد بوده است.

ساکیری و همکاران (۱۲)، ارزیابی خشکسالی منطقه‌ای را برای شناخت شدت، مدت و مساحت درگیر خشکسالی، بر پایه شاخص

پدیده خشکسالی از جمله بلایای طبیعی است که امکان پیشگیری از آن وجود ندارد. این پدیده با دیگر بلایای طبیعی از قبیل سیل، زلزله، طوفان و غیره از جنبه‌های مختلف تفاوت‌هایی دارد. نخست اینکه این پدیده به کندی شروع می‌شود و تأثیر آن بتدریج هم در زمان و هم در مکان گسترش می‌یابد. دیگر اینکه اثرات نامطلوب این پدیده در بخش‌های مختلف مانند منابع آب، کشاورزی، اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی و غیره ظاهر می‌شود و علاوه بر خود منطقه سایر نواحی اطراف را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. سوم اینکه تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه این پدیده به آسانی قابل پیش بینی نیست، به همین دلیل خشکسالی را پدیده‌ای خزنده توصیف می‌کنند. خشکسالی در زمینه‌های مختلف، هم به طور مستقیم و هم به طور

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز  
(\* - نویسنده مسئول: Email: ghorbani.aghdam@gmail.com)

۲، ۳ و ۴- به ترتیب استادیار، استاد و استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

5 - Principal Component Analysis (PCA)

6 - Standardized Precipitation Index (SPI)

پس از جمع‌آوری داده‌های بارش ایستگاه‌های موجود در استان اصفهان و حذف ایستگاه‌های دارای آمار ناقص، سری زمانی این نمایه در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه را بدست آوردند. سپس با استفاده از روش‌های زمین آمار، نقشه‌های گستره فراوانی خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه را ترسیم نمودند. نتایج نشان داد که خشکسالی‌های متوسط و شدید به طور عمده در قسمت‌های غرب استان در اطراف ایستگاه‌های داران، فریدونشهر و خشکسالی‌های بسیار شدید در بخش‌های شرق و شمال شرقی استان و غرب شهرستان اصفهان اتفاق افتاده اند.

عیوضی و همکاران (۴)، به منظور پیش‌بینی خشکسالی، از دو نوع شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP) و تابع شعاعی (RBF) استفاده نمودند. بدین منظور از داده‌های بارندگی ایستگاه نوده با دوره آماری ۴۱ ساله در حوضه آبخیز گرگان رود استفاده نمودند. ایشان وضعیت رطوبتی را با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) در دوره زمانی کوتاه مدت (۱، ۳، ۶ و ۹ ماهه) و بلند مدت (۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) محاسبه نمودند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی MLP نسبت به شبکه عصبی مصنوعی RBF با دقت بالاتری مقادیر SPI و مقادیر خشکسالی را پیش‌بینی می‌کند. همچنین مقایسه نتایج با نتایج حاصل از بکارگیری سری زمانی ARIMA نشان دهنده دقت بالای این روش می‌باشد.

محمدیان و همکاران (۶)، برای مقایسه پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های SPI، DI و PNI و پهنه‌بندی آنها در استان خراسان شمالی از داده‌های ماهانه بارندگی ایستگاه‌های متعلق به سازمان هواشناسی کشور واقع در این استان از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ استفاده نمودند. همچنین به منظور بررسی و مقایسه قابلیت‌های شاخص‌های فوق، بسته به قابلیت شاخص، شدت و مدت خشکسالی برای هر یک از ایستگاه‌ها در مقیاس سالانه محاسبه نمودند. ایشان برای بررسی وسعت خشکسالی، نقشه‌های پهنه‌بندی با روش IDW تهیه نمودند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی شدت خشکسالی طی دوره مورد مطالعه نشان داد که در سراسر استان خراسان شمالی وسیع‌ترین و شدیدترین خشکسالی‌ها به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ اتفاق افتاده است. همچنین طولانی‌ترین خشکسالی‌ها مربوط به سال‌های ۱۹۹۷-۱۹۹۴ می‌باشد که با توجه به قابلیت SPI محاسبه شده است.

در سال‌های اخیر تراز سطح آب دریاچه ارومیه بطور قابل ملاحظه‌ای افت کرده است. جهت جلوگیری از وقوع بحران آب و به تبع آن بحران‌های اجتماعی، اقتصادی و سیاسی در منطقه لازم است مطالعات گسترده‌ای در این حوضه انجام شود. یکی از این مطالعات یافتن نواحی همگن از نظر مشخصه‌های خشکسالی است.

به نظر می‌رسد پهنه‌بندی مشخصه‌های خشکسالی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه تا بحال انجام نشده است. هدف این مقاله استفاده از روش تجزیه به عامل‌ها جهت پهنه‌بندی حوضه آبریز دریاچه ارومیه

شناسایی خشکسالی (RDI)، انجام دادند. ایشان در این مطالعه، شاخص جدید شناسایی خشکسالی (RDI)، همراه با شاخص استاندارد بارش و روش دهک را پیشنهاد نمودند. شاخص (RDI)، به دلیل در نظر گرفتن بارش، پارامترهای هواشناسی و تبخیر-تعرق پتانسیل، نسبت به دیگر شاخص‌ها برتری نشان داد. شناسایی مشخصه‌های خشکسالی با استفاده از شاخص‌های مذکور در حوضه رودخانه‌های مورنو و نست در یونان در خلال سال‌های ۱۹۹۷-۱۹۶۴ انجام شد. نتایج نشان داد که بطور کلی پاسخ RDI به نوسانات بارش شبیه به SPI است ولی این شاخص برای شناسایی تغییرات محیطی حساستر و مناسبتر می‌باشد.

کاسئی و همکاران (۱۰)، مشخصه‌های خشکسالی را در حوضه رودخانه ولتا در غرب آفریقا با استفاده از اطلاعات ۵۲ ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه قرار داد. ایشان شدت خشکسالی، وسعت نواحی درگیر خشکسالی و فراوانی مربوط به تعداد خشکسالی‌ها را با استفاده از روش SPI در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ مطالعه کردند. آن‌ها نشان دادند که ناحیه مذکور در سال‌های ۱۹۶۱، ۱۹۸۳، ۱۹۹۲ و ۲۰۰۱ دچار خشکسالی شده است. در این سال‌ها بیش از ۷۵ درصد مساحت منطقه درگیر خشکسالی‌های بسیار شدید با SPI کمتر از ۲- بوده است.

کاراواتیز و همکاران (۹)، شاخص استاندارد بارش را برای خشکسالی یونان مورد استفاده قرار دادند. ایشان مهمترین هدف از این مطالعه را استفاده از یک شاخص خشکسالی، مانند SPI بیان نمودند که منجر به درک بهتری از مدت، مقدار و گسترش مکانی خشکسالی در مناطق نیمه خشک مانند یونان می‌شود. این تحقیق، کاربردی بودن شاخص SPI را برای همه مناطق یونان مورد آزمایش قرار داد. برای این منظور از داده‌های بارندگی ۴۶ ایستگاه بارندگی در خلال سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۴۷ و برای مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده نمودند. ایشان برای نمایش مکانی مقادیر SPI از نرم افزار Surfer9 بهره بردند. نتایج نشان داد که SPI قابلیت بالایی در اعلام خطر و پیش‌بینی خشکسالی دارد.

در ایران نیز مطالعات گسترده‌ای روی خشکسالی انجام شده است مثلاً، دین پڑوه (۱)، از داده‌های ۷۷ ایستگاه هواشناسی کشور در دوره آماری (۱۹۹۸-۱۹۵۶) استفاده و مشخصه‌های خشکسالی را با روش آنالیز الگوها مطالعه کرد. ایشان برای پهنه‌بندی اقلیم از روش‌های تجزیه به عامل‌ها و تجزیه خوشه‌ای بهره گرفتند که حاصل آن تشخیص ۱۰ اقلیم متمایز در سطح کشور بود. نتایج نشان داد که در ایران ۵ ناحیه بارشی کاملاً همگن و تنها یک ناحیه غیر همگن وجود دارد. همچنین نتایج حاصل از پهنه‌بندی خشکی نیز نشان داد که در ایران ۵ ناحیه خشکی متمایز وجود دارد.

سلطانی و همکاران (۳)، از نمایه بارش استاندارد شده (SPI)، به منظور پهنه‌بندی خشکسالی در استان اصفهان استفاده نمودند. ایشان

$$S = \frac{x^T x}{(n-1)} \quad (2)$$

که در آن  $X^T$  ترانهاده ماتریس  $X$  است.

در روش FA تنها  $m$  مولفه اصلی که مقدار ویژه آنها بیش از یک بودند (۱۱) در نظر گرفته شدند.

در این مطالعه مقادیر ویژه و ضرایب عامل‌ها محاسبه شدند. گرچه برای گزینش عامل‌های مهم معیارهای مختلفی وجود دارد (۷)، ولی در این مطالعه دارا بودن مقدار ویژه بزرگتر از یک که توسط بسیاری از محققین دیگر نیز بکار گرفته شده‌اند در نظر گرفته شد. پس از تعیین عامل‌های مهم چرخش ضرایب عامل‌ها با روش واریامکس نرمالیزه به عمل آمد. هدف از چرخش محورهای تغییر مکان محورهاست طوری که پس از چرخش محورها تا حد امکان از مرکز ابر نقاط بگذرند (۱۱). پس از چرخش محورها با توجه به ضرایب عامل‌های جدید، ایستگاه‌ها به گروه‌های متمایز تفکیک شدند. پس از محاسبه ضرایب عامل‌ها منحنی‌های هم رقوم ضرایب عامل‌های مهم بر روی نقشه حوضه آبریز دریاچه ارومیه رسم گردید. با توجه به نقشه منحنی‌های هم ضریب عامل اول و مشخص کردن ایستگاه‌های با ضریب بیش از ۰/۵ (از نظر قدر مطلق) یک ناحیه متمایز مشخص گردید. این کار با توجه به عامل‌های دیگر تکرار شد و در نهایت نواحی با مشخصه‌های خشکسالی مشابه از هم تفکیک شدند.

هر یک از نواحی بدست آمده با  $SPI$  های ۳ و ۱۲ ماهه، که پس از تجزیه به عامل‌ها حاصل شد با روش آزمون همگنی  $S$  ویلتشایر (۱۳)، به شرح زیر مورد آزمون واقع شدند. برای هر عامل انتخاب شده مناطقی که ضریب عامل‌های آنها بیشتر از ۰/۵ (از نظر قدر مطلق) بود از سایر نواحی جدا شدند. سپس برای آزمون همگنی مقادیر  $SPI$  مربوطه در خصوص یکایک ایستگاه‌های واقع در یک ناحیه در نظر گرفته شدند. آنگاه ضریب تغییرات ( $CV$ ) داده‌های  $SPI$  هر ایستگاه بطور جداگانه از رابطه زیر بدست آمد.

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \quad (3)$$

که در آن  $S$  و  $\bar{x}$  به ترتیب انحراف معیار و میانگین داده‌های مربوط به  $SPI$  یک ایستگاه منفرد می‌باشد.

از سری داده‌های  $SPI$  مربوط به هر ایستگاه یک داده به ترتیب از بالا حذف شده و مقدار آماری  $V_j$  از رابطه ۴ بدست آمد.

$$V_j = \frac{(n_j - 1)}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} \left[ \frac{C_{V_{n-1}}^i - \left( \sum_{l=1}^{n_j} C_{V_{n-1}}^l \right)}{n_j} \right]^2 \quad (4)$$

از نظر مشخصه‌های خشکسالی با استفاده از شاخص  $SPI$  سه و دوازده ماهه است.

## مواد و روش‌ها

دریاچه ارومیه، بزرگترین دریاچه داخلی و دایمی کشور است که در شمال غرب فلات ایران، بین دو استان آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی واقع شده است. حوضه آبریز دریاچه ارومیه بین مدار ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و نصف النهار ۴۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. اختلاف ارتفاع موجود در حوضه معادل ۲۵۷۶ متر برآورد می‌شود. این حوضه با بارش میانگین سالانه، معادل ۳۹۸ میلی‌متر، از نظر مقدار بارش در بین حوضه‌های منطقه ای ایران، مقام دوم را داراست (۲).

در این مطالعه تعداد ۳۰ ایستگاه که دارای حداقل ۳۰ سال آمار منتهی به سال ۲۰۰۹ بودند انتخاب شد. از بین ایستگاه‌ها از اطلاعات دو ایستگاه خوی و پیرانشهر که در خارج حوضه ولی در نزدیکی مرز ان قرار دارند نیز استفاده شد. بازسازی داده‌های ناقص به روش رگرسیون خطی ساده و به کمک ایستگاه همسایه که بیشترین ضریب همبستگی داده‌ها را از خود نشان داده بود انجام شد. شاخص  $SPI$  در دو مقیاس سه و دوازده ماهه برای یکایک ایستگاه‌ها محاسبه شد. برای این منظور از تابع توزیع گامای دو پارامتری استفاده گردید. پارامترهای این توزیع به روش حداکثر درست نمایی برآورد شدند. مقادیر  $SPI$  محاسبه شده برای هر ایستگاه، در مقیاس سه و دوازده ماهه بطور جداگانه، در یک ستون بصورت تاریخی در نظر گرفته شدند. سپس با نرم افزار Statistica تجزیه به عامل‌ها به منظور محاسبه مقادیر ویژه و بردارهای ویژه، انتخاب تعداد منطقی مولفه‌های اصلی، استفاده شد. برای انجام تجزیه به عامل‌ها  $(FA)$  ابتدا عمل تجزیه به مولفه‌های اصلی ( $PCA$ ) انجام شد و سپس سعی شد که متغیرها به تعداد  $P$  چنان به صورت ترکیب خطی از عامل‌ها ارائه شود که تعداد عامل‌ها بمراتب کمتر از تعداد متغیرها باشد (۱۱). اگر  $S$  ماتریس واریانس-کوواریانس داده‌ها فرض شود در تجزیه به مولفه‌های اصلی بردار ویژه مربوط به مقدار ویژه ماتریس واریانس-کوواریانس،  $S$ ، از حل معادله زیر بدست آمد:

$$|S - \lambda I| = 0 \quad (1)$$

که در آن  $I$  ماتریس واحد با ابعاد  $(P \times P)$  بوده و  $\lambda$  بردار ویژه نظیر مقدار ویژه است در این مطالعه ماتریس واریانس-کوواریانس  $S$  از رابطه زیر بدست آمد:

که در آن  $C_{V_{n-1}}^i$  مقدار CV محاسبه شده برای همان سری پس از حذف داده شماره  $n$ ام است و  $n_j$  تعداد داده‌های ایستگاه  $j$ ام است. بنابراین، مقادیر  $V_j$ ، به تعداد ایستگاه واقع در یک ناحیه متمایز از حوضه دریاچه ارومیه بطور جداگانه محاسبه شدند. آنگاه مقدار آماره  $V$  برای یک ناحیه مشخص از حوضه دریاچه ارومیه از رابطه (۵) بدست آمد که در آن  $N$  تعداد ایستگاه‌های آن ناحیه است.

جدول ۱ نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌های مقادیر SPI سه ماهه را نشان می‌دهد. به طوری که از این جدول می‌توان استنباط کرد، ۵ عامل اول بخش مهمی از واریانس کل داده های ۳۰ ایستگاه را توجیه می‌کند. به عبارت دیگر ۵ عامل اول در مجموع بیش از ۶۸ درصد واریانس داده ها را توجیه می‌کند که این عامل ها دارای مقدار ویژه بزرگتر از یک هستند. عامل اول به تنهایی نزدیک به ۴۶ درصد واریانس داده ها را توجیه می‌کند.

### نتایج و بحث

شکل ۱ نمودار صخره‌ای (Scree plot) حاصل از تجزیه به عامل‌های مقادیر SPI سه ماهه ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه را نشان می‌دهند. بطوری که از شکل ۱ می‌توان استنباط کرد، مقدار ویژه اول تا پنجم دارای مقدار بزرگتر از یک هستند. به عبارت دیگر ۵ عامل اول براساس معیار دارا بودن مقدار ویژه بزرگتر از یک به عنوان عامل های مهم تشخیص داده شدند. سایر عوامل به علت پائین بودن مقدار ویژه واریانس ناچیزی از داده‌ها را توجیه می‌کند و بنابراین عوامل ششم به بعد در این مطالعه حذف شده‌اند.

قبل از چرخش محورها عامل اول ایستگاه‌های میاندوآب، نرده، ارومیه و آشنویه که در جنوب و جنوب غربی دریاچه ارومیه قرار دارند از یک طرف و نیز ایستگاه‌های آغچه کهل و باشیزوجان از طرف دیگر، را توجیه می‌کند.

$$V = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N n_j V_j \quad (5)$$

بنابراین، با قرار دادن مقادیر  $V_j$  در رابطه بالا یک عدد منفرد برای  $V$  مربوط به یک ناحیه منفرد متشکل از ایستگاه بدست آید. همین که  $V$  بدست آمد آماره  $U_j$  از رابطه زیر محاسبه شد.

$$U_j = \frac{v}{n_j} \quad (6)$$

پس از محاسبه  $U_j$  برای ایستگاه  $j$ ام و یکایک ایستگاه‌ها (به تعداد ایستگاه در یک ناحیه منفرد)، مقادیر مربوطه در رابطه زیر قرار داده شد تا آماره  $C_{v_0}$  بدست آید که در آن  $C_{v_j}$  مقدار CV برای ایستگاه  $j$ ام است که از رابطه (۳) بدست آمد.

$$C_{v_0} = \frac{\sum_{j=1}^N \frac{C_{v_j}}{U_j}}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{U_j}} \quad (7)$$

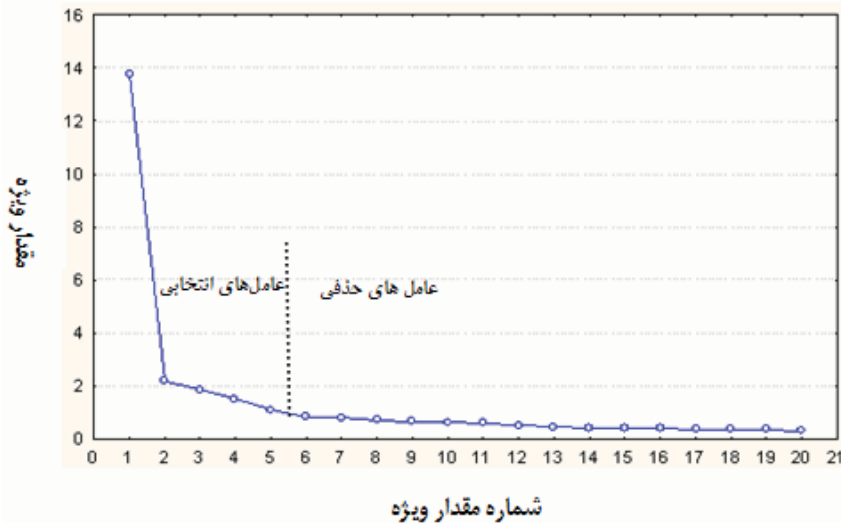
در نهایت با قرار دادن  $C_{v_0}$  در رابطه زیر مقدار آماره  $S$  برای یک ناحیه منفرد محاسبه شد.

$$S = \sum_{j=1}^N \frac{(c_{v_j} - c_{v_0})}{U_j} \quad (8)$$

آنگاه مقدار آماره  $S$  با مقدار  $X^2$  جدول با درجه آزادی  $N-1$ ، که در آن  $n$  تعداد ایستگاه‌های یک ناحیه است در سطح معنی داری

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌های مقادیر SPI سه ماهه ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه (۲۰۰۹-۱۹۷۲)

شماره عامل	مقدار ویژه قبل از چرخش	قبل از چرخش		بعد از چرخش		درصد واریانس بعد از چرخش
		درصد واریانس قبل از چرخش	درصد واریانس تجمعی قبل از چرخش	مقدار ویژه بعد از چرخش	درصد واریانس بعد از چرخش	
۱	۱۳/۷۶۸۵۸	۴۵/۸۹۵۲۸	۴۵/۸۹۵۲۸	۳/۹۲۸۲۱	۱۳/۰۹۴	۱۳/۰۹۴
۲	۲/۱۹۱۱۶	۷/۳۰۳۸۸	۵۳/۱۹۹۱۶	۶/۵۱۲۳۲	۲۱/۷۰۷	۳۴/۸۰۱
۳	۱/۸۵۴۶۷	۶/۱۸۲۲۳	۵۹/۳۸۱۳۸	۱/۸۹۷۴۵	۶/۳۲۴	۴۱/۱۲۵
۴	۱/۵۲۷۵۷	۵/۰۹۱۹۰	۶۴/۴۷۳۲۹	۵/۰۹۳۳۶	۱۶/۹۷۷	۵۸/۱۰۲
۵	۱/۰۸۴۳۷	۳/۶۱۴۵۸	۶۸/۰۸۷۸۷	۲/۹۹۵۰۱	۹/۹۸۳	۶۸/۰۸۷



شکل ۱- نمودار صخره‌ای حاصل از تجزیه به عامل‌های مقادیر SPI سه ماهه حوضه دریاچه ارومیه

اول ایستگاه‌های مهربان و قزلچه را توجیه می‌کند. عامل دوم ایستگاه‌های میان‌دوآب، خرمازرد، خوشه مهر، ملکان و مراغه را که در قسمت شرق میانی حوضه واقع اند توجیه نموده و ایستگاه‌های مذکور را در یک پهنه جای می‌دهد. عامل سوم ایستگاه‌های میرآباد واقع در غرب حوضه و سقز که در جنوب حوضه قرار دارد را توجیه می‌کند. عامل چهارم ایستگاه‌های باسمنج، چرم خواران، شبستر و زینجان را توجیه می‌کند. عامل پنجم نیز بر اساس معیار ضریب عامل ۰/۷ هیچ ایستگاهی را توجیه نمی‌نماید. بنابراین تصمیم گرفته شد که معیار ضریب عامل ۰/۷ را کاهش داده و با توجه به ضریب عامل ۰/۵ پهنه‌ها از همدیگر تفکیک شوند. به این ترتیب که با توجه به هر عامل (مثلا عامل اول)، ایستگاه‌هایی که ضریب عامل ۰/۵ یا بیشتر دارند، در یک پهنه قرار گیرند. به این ترتیب نقشه نواحی متمایز از نظر خشکسالی در حوضه تهیه شد (نشان داده نشده است). با استفاده از روش آزمون همگنی ویلتشایر (۱۹۸۶)، مقادیر آماره S ویلتشایر (جدول ۲) برای هر یک از نواحی بدست آمد. بطوریکه از جدول ۲ می‌توان نتیجه گرفت همه نواحی بدست آمده همگن هستند.

همچنین عامل اول سه ایستگاه خرمازرد، خوشه مهر و ملکان که در ناحیه جنوب شرقی دریاچه ارومیه قرار دارند را توجیه می‌کند. ضمناً ایستگاه‌های زرنق، مراغه، سراب و تبریز با عامل اول توجیه می‌شوند. عامل‌های دوم تا پنجم نیز بر اساس معیار ضریب عامل ۰/۷ هیچ ایستگاهی را توجیه نمی‌نماید. بنابراین، می‌توان استنباط کرد که برای اینکه نواحی بهتر قابل تفکیک باشند لازم است چرخش محورها انجام شود. در این مطالعه چرخش محورها بصورت متعامد با روش واریماکس نرمالایز انجام شده است.

نتایج نشان داد که پس از چرخش عامل‌ها با روش Varimax Normalize مقدار ویژه و واریانس توجیه شده توسط عامل‌های منتخب تغییر کرده است. به عنوان مثال مقدار ویژه مربوط به عامل‌های اول و دوم قبل از چرخش، ۱۳/۷ و ۲/۲ ولی بعد از چرخش ۳/۹ و ۶/۵ بود. همچنین واریانس توجیه شده برای عامل‌های اول و دوم به ترتیب ۴۵/۸ و ۷/۳ درصد بود که پس از چرخش به ۲۷/۱ و ۶/۳ تغییر یافتند. با این حال مجموع واریانس توجیه شده توسط عامل‌های منتخب (۵ عامل اول)، بدون تغییر باقی ماند. نتایج نشان داد که عامل

جدول ۲- نتایج آزمون همگنی نواحی بدست آمده از تجزیه به عامل‌ها با آماره S ویلتشایر برای داده‌های SPI سه ماهه

شماره ناحیه	تعداد ایستگاه	مقدار آماره S	درجه آزادی (N-1)	کی دو جدول با درجه آزادی (N-1) و سطح معنی داری ۰/۰۵	نتیجه
۱	۵	۵/۶۲	۴	۹/۴۹	همگن
۲	۱۰	۲/۲۴	۹	۱۶/۹۲	همگن
۳	۲	۰/۷۸	۱	۳/۸۴	همگن
۴	۷	۱/۹۲	۶	۱۴/۰۷	همگن
۵	۳	۰/۳۷	۲	۵/۹۹	همگن

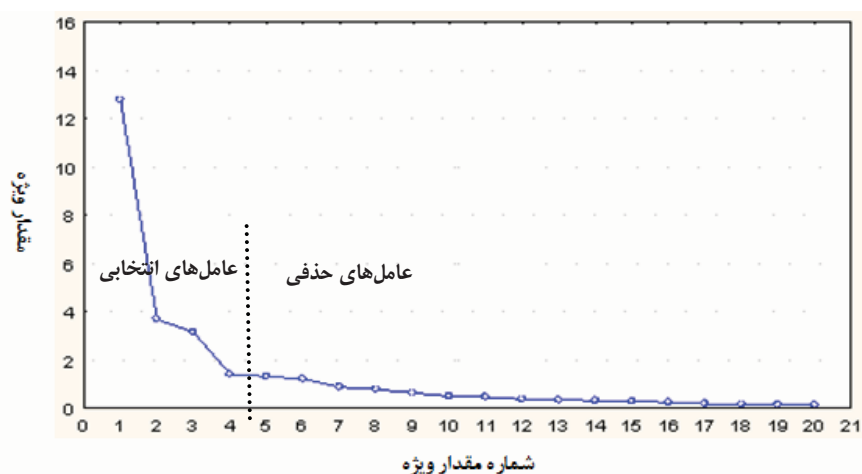
قبل از چرخش محورهای عامل اول ایستگاه‌های میاندوآب، نرده، ارومیه و اشنویه که در جنوب و جنوب غربی دریاچه ارومیه قرار دارند از یک طرف و نیز ایستگاه‌های آغچه کهل و باشیزوجان که در ناحیه ارتفاعات سهند واقع اند از طرف دیگر، را توجیه می‌کند. همچنین عامل اول سه ایستگاه خرم‌مزرده، خوشه مهر و ملکان که در ناحیه جنوب شرقی دریاچه ارومیه قرار دارند را توجیه می‌کند. ضمناً ایستگاه‌های زرنق، مراغه، سراب و تبریز با عامل اول توجیه می‌شوند. عامل‌های دوم نیز ایستگاه‌های شبستر و چرم‌خواران را توجیه می‌نماید. پس از چرخش محورها بر اساس معیار ضریب ۰/۷، عامل‌های یک تا شش هر کدام برخی از ایستگاه‌ها را در یک پهنه مجزا ساخته‌اند که دارای ویژگی SPI دوازده ماهه مشابه هستند. عامل اول با در نظر گرفتن معیار ۰/۷ تعداد ۷ ایستگاه را در یک پهنه از دیگر ایستگاه‌ها متمایز ساخته است. عامل‌های ۲، ۳ و ۴ به ترتیب، ۲، ۵ و ۲ ایستگاه را در حوضه دریاچه ارومیه از بقیه جدا کرده است.

جدول ۳ نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌های مقادیر SPI دوازده ماهه منتهی به مارس را نشان می‌دهد. به طوری که از این جدول می‌توان استنباط کرد، ۶ عامل اول بخش مهمی از واریانس کل داده‌های ۳۰ ایستگاه را توجیه می‌کند. به عبارت دیگر ۶ عامل اول در مجموع بیش از ۷۸ درصد واریانس داده‌ها را توجیه می‌کند که این عامل‌ها دارای مقدار ویژه بزرگتر از یک هستند. عامل اول به تنهایی نزدیک به ۴۳ درصد واریانس داده‌ها را توجیه می‌کند. عامل‌های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب بیش از ۱۲/۳ درصد، ۱۰/۵ درصد، و ۴/۷ درصد واریانس داده‌ها را توجیه می‌کند.

شکل ۲ نمودار صخره‌ای حاصل از تجزیه به عامل‌های مقادیر SPI دوازده ماهه ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه را نشان می‌دهند. بطوری که از شکل ۲ می‌توان استنباط کرد، مقادیر ویژه اول تا ششم دارای مقدار بزرگتر از یک هستند. به عبارت دیگر ۶ عامل اول براساس معیار دارا بودن مقدار ویژه بزرگتر از یک به عنوان عامل‌های مهم تشخیص داده شدند.

جدول ۳- نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌های مقادیر SPI دوازده ماهه ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه (۲۰۰۹-۱۹۷۲)

شماره عامل	قبل از چرخش		بعد از چرخش	
	مقدار ویژه قبل از چرخش	درصد واریانس قبل از چرخش	مقدار ویژه بعد از چرخش	درصد واریانس بعد از چرخش
۱	۱۲/۸۰۲۸	۴۲/۶۷۶۲	۷/۶۴۲۷	۲۵/۴۷۵۷
۲	۳/۷۰۲۷	۱۲/۳۴۲۶	۳/۴۷۲۲	۱۱/۵۷۴۱
۳	۳/۱۷۰۸	۱۰/۵۶۹۵	۵/۲۹۵۲	۱۷/۶۵۰۷
۴	۱/۴۲۴۸	۴/۷۴۹۵	۱/۹۶۵۳	۶/۵۴۱
۵	۱/۳۳۲۷	۴/۴۴۲۶	۲/۳۴۴۶	۷/۸۱۵۵
۶	۱/۲۳۰۶	۴/۱۰۲۱	۲/۹۴۷۶	۹/۸۲۵۵



شکل ۲- نمودار صخره‌ای حاصل از تجزیه به عامل‌های مقادیر SPI دوازده ماهه حوضه دریاچه ارومیه



جدول ۴ نتایج آزمون همگنی نواحی بدست آمده پس از تجزیه به عامل‌های مقادیر SPI های ۱۲ ماهه را با آماره S ویلتشایر نشان میدهد. بطوریکه از این جدول می‌توان استنباط کرد همه نواحی بدست آمده همگن هستند. لازم به ذکر است ناحیه ۲ که دارای ۳ ایستگاه است دارای مقدار S بزرگتر از کی دو جدول ولی نزدیک به آن می‌باشد و بنابراین، در این مطالعه این ناحیه نیز تقریباً همگن تلقی گردید. شکل ۳ نقشه همگنی نواحی بدست آمده از تجزیه به عامل‌ها برای داده‌های SPI دوازده ماهه را نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه با توجه به شاخص SPI در مقیاس‌های سه و دوازده ماهه به نواحی متمایز از هم تفکیک شد برای این کار از روش تجزیه به عامل‌ها استفاده شد.

عامل پنجم بر اساس معیار ضریب عامل ۰/۷ هیچ ایستگاهی را از بقیه متمایز نکرده است. ولی بر اساس ضریب عامل پایین‌تر مثل ۰/۵ تعداد سه ایستگاه را متمایز کرده است. و در نهایت عامل ششم بر اساس معیار ضریب عامل ۰/۷ تعداد دو ایستگاه را از بقیه متمایز کرده است.

پس از چرخش عامل‌ها با روش واریماکس نرمالایز نتایج حاصله نشان داد که عامل اول ایستگاه‌های اشنویه، نقده، میاندوآب، ملکان، خوشه‌مهر، خرمازرد و مراغه و عامل دوم نیز ایستگاه‌های شبستر و چرم خواران را توجیه می‌نماید. عامل سوم ایستگاه‌های مهربان و قزلیچه را که در قسمت شمال غرب حوضه واقع اند را به همراه مه‌باد، سعیدآباد و سراب توجیه می‌کند. عامل چهارم نیز ایستگاه‌های سقز و میرآباد را در یک پهنه جای می‌دهد. عامل پنجم نیز هیچ ایستگاهی را توجیه نمی‌کند. عامل ششم ایستگاه‌های سرای و باسمنج را توجیه نموده و در یک پهنه جای می‌دهد.

جدول ۴- نتایج آزمون همگنی S ویلتشایر برای داده‌های SPI دوازده ماهه و نواحی بدست آمده از تجزیه به عامل‌ها

شماره ناحیه	تعداد ایستگاه	مقدار آماره S	درجه آزادی (N-1)	کی دو جدول با درجه آزادی (N-1) و سطح معنی داری ۰/۰۵	نتیجه
۱	۱۲	-۰/۳	۱۱	۱۹/۶۸	همگن
۲	۳	۶/۰۲	۲	۵/۹۹	همگن
۳	۸	۰	۷	۱۴/۰۷	همگن
۴	۲	-۰/۸۳	۱	۳/۸۴	همگن
۵	۳	-۰/۲۳	۲	۵/۹۹	همگن
۶	۴	-۰/۰۱	۳	۷/۸۱	همگن



شکل ۳- نقشه همگنی نواحی بدست آمده از تجزیه به عامل‌ها برای داده‌های SPI دوازده ماهه

میان‌دوآب، پیرانشهر، ارومیه، تسوج، ملکان، خوشه مهر، خرمازرد، هریس و مراغه، عامل دوم شبستر، چرم‌خواران و زینجان، عامل سوم مهربان، قزلچه، مهاباد، سعیدآباد، سراب، خوی و تبریز، عامل چهارم سقز و میرآباد عامل پنجم زرنق و اسفهلان، عامل ششم ایستگاه‌های سرای، باسمنج، باشیزوجان و آغچه را توجیه نموده و در یک بهنه جای می‌دهد. همگنی هر ناحیه نیز با توجه به مقادیر ضریب تغییرات SPI با روش پیشنهادی ویلتشایر بررسی گردید. نتایج نشان داد که همه نواحی بدست آمده با هر یک از مقیاس‌های ۳ و ۱۲ ماهه همگن هستند. با این حال در مقیاس ۱۲ ماهه فقط یک ناحیه تقریباً همگن تشخیص داده شد.

در این مطالعه بهنه‌بندی حوضه آبریز دریاچه ارومیه بر اساس داده‌های بارش انجام شد. توصیه می‌شود با استفاده از داده‌های رواناب رودخانه‌ها و با تراز آب زیرزمینی مشخصه‌های خشکسالی هیدرولوژیکی در این حوضه در مطالعات آبی بررسی گردد.

تجزیه به عامل‌ها یک بار برای مقادیر SPI در مقیاس سه ماهه و یک مرتبه دیگر در مقیاس دوازده ماهه انجام شد.

نتایج نشان داد که در مقیاس سه ماهه (۱۲ ماهه) تعداد ۵ (۶) عامل دارای مقدار ویژه بیش از واحد بودند. بنابراین کل ناحیه به تعداد عامل‌های منتخب به نواحی مشابه از نظر مشخصه‌های خشکسالی تفکیک شد. برای امکان تفکیک بهتر محور عامل‌ها با روش وریماکس که یک روش چرخش متعامد است چرخش داده شد. برای SPI سه ماهه نتایج نشان داد که عامل اول ایستگاه‌های مهربان، مهاباد، قزلچه، سعیدآباد و سراب، عامل دوم میان‌دوآب، خرمازرد، تسوج، پیرانشهر، نقده، ارومیه، اشنویه، خوشه مهر، ملکان و مراغه، عامل سوم میرآباد و سقز، عامل چهارم باسمنج، چرم‌خواران، شبستر، پردیل، اسفهلان، آغچه و زینجان و عامل پنجم ایستگاه‌های تبریز، زرنق، هریس را توجیه می‌نماید. نتایج حاصله در مورد SPI دوازده ماهه حاکی از این بود که عامل اول ایستگاه‌های اشنویه، نقده،

## منابع

- ۱- دین پژو ی. ۱۳۸۲. بررسی خشکسالی های هواشناختی در ایران با استفاده از روش آنالیز الگوها، پایان نامه دکتری رشته مهندسی علوم و آبیاری. دانشگاه تبریز.
- ۲- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. ۱۳۸۱. فرهنگ جغرافیایی رودهای کشور (حوضه آبریز دریاچه ارومیه). انتشارات وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، ۱۳۳ ص.
- ۳- سلطانی س. و سعادت س. ۱۳۸۶. بهنه بندی خشکسالی در استان اصفهان با استفاده از نمایه استاندارد بارش، مجله علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ۱، شماره ۲، صفحه ۶۷-۶۴.
- ۴- عیوضی م، مساعدی ا. و دهقانی ا. ۱۳۸۸. مقایسه روش های مختلف پیش بینی شاخص خشک سالی SPI، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۶، شماره ۲، صفحه ۱۶۷-۱۴۵.
- ۵- کردوانی پ. ۱۳۷۵. خشکسالی و راهکارهای مقابله با آن در ایران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هفتم.
- ۶- محمدیان آ، کوهی م. و آدینه بیگی آ. ۱۳۸۹. مقایسه پایش خشک سالی با استفاده از شاخص های SPI، DI و PNI و بهنه بندی آنها (مطالعه موردی استان خراسان شمالی). مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد هفدهم، شماره اول، صفحه ۱۸۴-۱۷۷.
- ۷- مقدم م، محمدی شوطی س. و سربرزه م. ۱۳۷۳. آشنایی با روش های آماری چند متغیره، انتشارات پیشتاز علم، ۲۰۸ ص.
- 8- Bonaccors B., Bordi I., Cancelliere A., Rossi G. and Sutera A. 2003. Spatial variability of drought: An analysis of the SPI in Sicily. *Water Resources Management* 17: 273-296.
- 9- Karavitis C.A., Alexandris S., Demetrios E. T. and Athanasopoulos G. 2011. Application of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece. *Water Resources Management*, 3: 787-805
- 10- Kasei R., Diekrüger B. and Leemhuis C. 2010. Drought frequency in the Volta basin of West Africa. *Sustain. Sci.*, 589-97. Doi 10.1007/s11625-009-0101-5.
- 11- Rencher Alvin C., 1934. *Methods of Multivariate Analysis*, Second Edition, ISBN: 0-471-41889-7 (cloth). A Wiley-Interscience publication, United States of America.
- 12- Tsakiris G., Pangalou D. and Vangelis H. 2007. Regional drought dssessment based on the reconnaissance drought index (RDI). *Water Resour Manage.* 21:821-833.
- 13- Wiltshire S. E. 1986. Regional flood frequency analysis Homogeneity statistics. *Hydrological Science Journal.* 31 (3), 321-333.



## Regionalization of Urmia Lake Basin from the View of Drought Using Factor Analysis

M. Ghorbani Aghdam<sup>1\*</sup> - Y. Dinpazhuh<sup>2</sup> - A. Fakheri Fard<sup>3</sup> - S. Darbandi<sup>4</sup>

Received: 14-02-2012

Accepted: 22-07-2012

### Abstract

Having a correct view of the effective factors on climatic changes by explanation of a considerable part of the total variance in data with limited number of principal components the analytical methods of decreasing data dimensions, such as PCA are important tools in water resources planning. In this study factor analysis method as a tool for projecting the information space on the limited and specific axes, has been applied. The main aim of this study is regionalization of Urmia Lake basin from the view of drought using factor analysis. For this purpose monthly precipitation data of 30 weather stations in the period 1972-2009 were used. For each of the selected stations three and twelve months SPI value were calculated. Factor analysis conducted on SPI values to delineate the study area with respect to drought characteristics. Homogeneity of obtained regions tested using the S-statistics proposed by Wiltshire. Results of factor analysis of 3 (12) months SPI values showed that 5 (6) factors having eigen values greater than 1 accounted for 68.08 (78.88) percent of total variance. Urmia Lake basin delineated to 5 (6) distinct regions considering the eigenvectors following rotation using the 3 (12) month time scale. Results of homogeneity test indicated that all of the obtained regions were homogeneous.

**Keywords:** Eigen value, Eigen vector, Factor analysis, Drought, Principal component, Urmia, 3 and 12 months SPI

---

1- Former Msc student of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran  
(\*-corresponding Author Email: ghorbani.aghdam@gmail.com )

2,3,4-Assistant Prof., Professor and Assistant Prof. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran, respectively