

## استفاده از گشتاورهای خطی در پیش‌بینی خشک‌سالی (مطالعه موردی: حوضه آبریز ایران مرکزی)

فاطمه برزگری<sup>۱\*</sup>، حسین ملکی نژاد<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۱/۱۶

<sup>۱</sup> -مری دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام نور یزد و دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

<sup>۲</sup> - دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [fbarzegaribanadkouki@yazdpnu.ac.ir](mailto:fbarzegaribanadkouki@yazdpnu.ac.ir)

### چکیده

اطلاع از وقوع پدیده خشک‌سالی، می‌تواند در راستای مدیریت بهتر منابع آب راه‌گشا باشد. مطالعه پدیده خشک‌سالی، بر اساس پارامترهای اندازه‌گیری شده صورت می‌گیرد. از طرفی به دلیل مواردی نظیر عدم اطمینان (یا فقدان داده) در برخی ایستگاه‌ها، تحلیل منطقه‌ای توصیه می‌شود. در این تحقیق نیز از این نظریه و روش گشتاورهای خطی در حوضه آبریز ایران مرکزی استفاده گردید. داده‌های بارش سالانه ۴۷ ایستگاه از منطقه مذکور مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین مناطق همگن، از برخی خصوصیات ایستگاه‌ها، نظیر ارتفاع از سطح دریا، متوسط بارش سالانه، بیشینه بارش ۲۴ ساعته، شاخص خشکی فصلی و شاخص بارش استاندارد استفاده شد و ایستگاه‌های منتخب، بر اساس پارامترهای ذکر شده، در محیط نرم‌افزار R به دسته‌های همگن تقسیم شدند. سپس ایستگاه‌های ناسازگار در هر یک از نواحی همگن با معیار ناسازگاری مورد بررسی قرار گرفته و حذف گردیدند. همگنی ایستگاه‌ها نیز با معیار همگنی آماره H اندازه‌گیری شد. در نهایت بر اساس شاخص‌های آماری، بهترین توزیع برای هر ناحیه تعیین گردید و بر اساس توزیع‌های منتخب، نقشه دوره بازگشت خشک‌سالی‌های مربوط به بارش‌های ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ میانگین بارش سالانه ترسیم شد. یافته‌های تحقیق بیانگر این است که احتمال وقوع خشک‌سالی‌های متوسط و شدید در مناطق شمال و غرب ایران مرکزی بیشتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل منطقه‌ای، حوضه آبریز ایران مرکزی، گشتاور خطی، مناطق همگن

## Linear Moments Application in Drought Prediction (Case Study: Central Catchment of Iran)

F Barzegari<sup>\*1</sup>, H Malekynejhad<sup>2</sup>

Received: 9 March 2013 Accepted: 5 April 2014

<sup>1</sup> Instructor, Faculty of Agriculture, Payam Noor Univ. of Yazd, and Ph.D. Student of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Univ. of Yazd, Iran

<sup>2</sup> Assoc. Prof., Faculty of Natural Resources, Univ. of Yazd, Iran

\*Corresponding Author, Email: fbarzegaribanadkouki@yazdpnu.ac.ir

### Abstract

Knowledge of drought phenomenon occurrence is useful in water resources management. Drought study is done based on some measured parameters. On the other hand, regional analysis is recommended where there is uncertain data (or data lacking) at some stations. In this research, the mentioned theory and the linear moment method were used for the Central basin of Iran. The precipitation data of 47 stations of the region were used. In order to determine homogeneous areas, we used some effective parameters of stations such as elevation, average annual precipitation, maximum 24 hours precipitation, seasonal drought index and standardized precipitation index. The study area was divided into homogeneous regions by using R software according to the mentioned parameters. Then, discordant stations were detected using the discordancy measure. The homogeneity of stations was tested using the H statistic. The best probability distribution was determined in each homogeneous area, and by using the selected distribution, drought severity maps representing 40%, 60% and 80% of mean annual precipitation were drawn. The results show that northern and western parts of the central catchment of Iran are more likely to be at risk of moderate and severe droughts.

**Keywords:** Central basin of Iran, Homogeneous regions, Linear moment, Regional analysis

تاکنون بیش از ۱۵ تعریف برای خشکسالی ارائه شده است و بیش‌تر تعاریف خشکسالی در این نکته اشتراک دارند که خشکسالی بسط یک دوره زمانی است که طی آن آب قابل‌دسترس به‌طور قابل‌توجهی پائین‌تر از حد معمول است، این دوره زمانی ممکن است هفته‌ها، ماه‌ها و حتی سال‌ها (بسته به شرایط ویژه مکانی) به‌طول انجامد (لشنی زند ۱۳۸۰). در تحقیق حاضر، تعریف پذیرفته‌شده از خشکسالی اقلیمی، دوره‌های با بارش کمتر از بارش میانگین بلندمدت سالانه می‌باشد (ست ۲۰۰۳، ویلهیت و باچانن ۲۰۰۵، نونز و همکاران ۲۰۱۱).

### مقدمه

از حدود ۴۰ بلای طبیعی موجود در جهان، ۳۱ مورد آن در کشورمان رخ می‌دهد (مدیریان ۱۳۸۵)، که یکی از این موارد پدیده خشکسالی می‌باشد. خشکسالی یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی است که به‌واسطه شدت، مدت و دوامی که دارد، دارای آثار زیان‌بار وسیعی است (ویلهیت و باچانن ۲۰۰۵). اصولاً هرچقدر گستره تحت پوشش خشکسالی بیش‌تر شود، خسارات ناشی از آن نیز وسیع‌تر خواهد بود (مقیم و گودرزی نژاد ۱۳۸۶).

بار به‌وسیله هاسکینگ و همکاران (۱۹۸۵) ارائه شد. افرادی نظیر هاسکینگ و والیس (۱۹۹۷)، لوکس و ون بیک (۲۰۰۵)، کیومارا (۲۰۰۷)، لیو و همکاران (۲۰۰۸)، کیسلی و همکاران (۲۰۱۰) و نونز و همکاران (۲۰۱۱) ضمن به‌کارگیری این تکنیک در مطالعات خود، مؤثر بودن آن را در بررسی فرآیندهای هیدرولوژیکی تأیید نمودند. البته تاکنون از تحلیل منطقه‌ای با تکنیک گشتاورهای خطی، به‌منظور بررسی فرآیند خشک‌سالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا استفاده گسترده‌ای نشده است و سابقه به‌کارگیری این تکنیک در تعیین خشک‌سالی بیشتر به مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب دنیا بازمی‌گردد (نونز و همکاران ۲۰۱۱). از جمله مطالعات انجام‌شده در این زمینه (در مناطق مرطوب و نیمه-مرطوب) می‌توان به تهیه اطلس خشکی در ایالات متحده به‌وسیله وریک (۱۹۹۵)، تهیه اطلس خشکی در نیوزیلند به‌وسیله پیرسون (۱۹۹۵)، تهیه اطلس خشکی در جنوب آلمان به‌وسیله دموس و کالس (۱۹۹۷)، بررسی خشک‌سالی در شمال غرب مکزیک توسط هالاک و واتکینز (۲۰۰۷) و در ترکیه توسط یورکلی و آنلی (۲۰۰۸) اشاره نمود. مدرس (۲۰۰۹)، به‌منظور مطالعه خشک‌سالی در مناطق نیمه‌خشک ایران از گشتاور خطی استفاده نموده است. وی به‌منظور جدا کردن مناطق همگن کوچک‌تر درون مناطق همگن از پیش تعیین‌شده، از خصوصیات تک‌نگ ایستگاه‌های موجود درون مناطق مذکور استفاده نموده است که با اصول گشتاور خطی مغایرت دارد. ویسنت سرانو (۲۰۰۶)، نیز به‌منظور محاسبه شاخص بارش استاندارد در پنسیلوانیا از تکنیک گشتاور خطی استفاده نموده است، ولی آزمون‌های مربوط به تأیید همگنی مناطق خوشه‌بندی‌شده را انجام نداده است. نونز و همکاران (۲۰۱۱)، از این تکنیک به‌منظور بررسی خشک‌سالی در منطقه شیلی استفاده نمودند و نتایج آن را در این زمینه رضایت‌بخش دانستند.

با بررسی منابع ذکرشده به‌نظر می‌رسد ضمن این‌که تحلیل منطقه‌ای در مقایسه با روش‌های تک ایستگاهی دارای محاسن و اطمینان بیشتری است، جای خالی آن در مطالعات مربوط به خشک‌سالی در مناطق

تعیین ویژگی‌های خشک‌سالی یا ترسالی در یک منطقه از نیازهای اساسی برنامه‌ریزی محیطی و اقتصادی، به‌ویژه برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب می‌باشد و در بسیاری از برنامه‌های بلندمدت لازم است که چشم‌اندازی از وضعیت آینده بارندگی و دوره‌های تر و خشک، ترسیم گردد.

به‌منظور بررسی خشک‌سالی می‌توان از روش‌هایی نظیر مدل‌های رگرسیونی، سری‌های زمانی، شبکه عصبی مصنوعی و مدل‌های احتمالاتی استفاده نمود. افرادی نظیر کومار و پانو (۱۹۹۷)، لیلح و الخطیب (۲۰۰۵) و لیو و نگرون جوارز (۲۰۰۱) در مطالعات خود از مدل رگرسیونی استفاده نمودند. سری‌های زمانی به‌وسیله میشر و دسی (۲۰۰۵)، دوردو (۲۰۱۰)، فرناندز و همکاران (۲۰۰۹) و مدرس (۲۰۰۷) در بررسی خشک‌سالی به‌کارگرفته شد. از جمله مطالعات انجام‌شده در زمینه کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در بررسی خشک‌سالی می‌توان به مطالعه میشر و دسی (۲۰۰۶) اشاره نمود.

در مورد کاربرد مدل‌های احتمالاتی در بررسی خشک‌سالی می‌توان به تحقیقات مبتنی بر زنجیره مارکف، شاخص مقایسه بارش استاندارد<sup>۱</sup> و گشتاورهای خطی اشاره نمود که دو مورد اول کاربرد گسترده‌تری داشته است، به‌عنوان مثال افرادی نظیر سلطانی و مدرس (۱۳۸۵)، جبریل و نومن (۱۹۶۲)، لوهانی و لوگاناتان (۱۹۹۷)، سن (۱۹۹۰) و پائولو و همکاران (۲۰۰۵) از زنجیره مارکف در تعیین خشک‌سالی استفاده نمودند. شاخص مقایسه بارش استاندارد نیز به‌وسیله محسنی ساروی و همکاران (۱۳۸۳)، زارع ابیانه و همکاران (۱۳۸۳)، رضیئی و همکاران (۱۳۸۶)، سلطانی و سعادت (۱۳۸۶)، علیجانی و بابایی (۱۳۸۸) و کنسلیر و همکاران (۲۰۰۷) به‌کارگرفته شد. به‌نظر می‌رسد از بین روش‌های موجود در زمینه بررسی احتمالات، تحلیل منطقه‌ای فرآیندهای هیدرولوژیکی ابزار قوی‌تری باشد. گشتاورهای خطی نیز یکی از روش‌های تحلیل منطقه‌ای می‌باشد که اولین

<sup>۱</sup> Standardized Precipitation Index (SPI)

## گردآوری داده‌ها و تعیین ایستگاه‌های با طول دوره آماری مناسب

داده‌های بارش ماهانه مربوط به ۶۰ ایستگاه سینوپتیک موجود در حوضه مطالعاتی، مورد بررسی قرار گرفت. ایستگاه‌های با دوره آماری کمتر از ۱۰ سال حذف شدند و نهایتاً ۴۷ ایستگاه برای ادامه تحقیق انتخاب شدند. طولانی‌ترین طول دوره آماری در منطقه مورد مطالعه برابر با ۵۵ سال بود و ۵۱ درصد ایستگاه‌ها دارای طول دوره آماری بیشتر از ۲۰ سال بودند که برای کفایت داده‌ها مناسب به نظر می‌رسد. تصادفی بودن داده‌ها نیز با آزمون توالی مورد بررسی قرار گرفت.

## ایجاد مناطق همگن

منطقه همگن شامل محدوده‌ای است که داده‌های ایستگاه‌های موجود در آن توسط یک توزیع احتمالاتی متداول، قابل بررسی باشند. علاوه بر این یک محدوده همگن را با معیار همگنی نیز می‌توان بررسی کرد (هاسکینگ و والیس ۱۹۹۷). به منظور تعیین مناطق همگن، از برخی خصوصیات ایستگاه‌ها، نظیر ارتفاع از سطح دریا، متوسط بارش سالانه، بیشینه بارش ۲۴ ساعته، شاخص فصلی<sup>۲</sup> و شاخص بارش استاندارد<sup>۳</sup> استفاده شد و ایستگاه‌های موجود، بر اساس پارامترهای ذکر شده، در محیط نرم‌افزار R، با استفاده از روش وارد<sup>۴</sup> به دسته‌های همگن تقسیم شدند. شاخص فصلی و شاخص بارش استاندارد عبارت‌اند از:

## شاخص فصلی

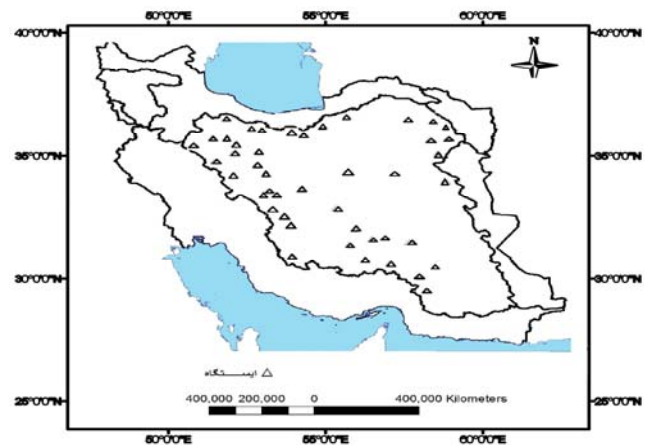
شاخص فصلی به شناسایی رژیم بارندگی بر اساس توزیع ماهانه بارش کمک می‌کند. به منظور تعیین تفاوت رژیم‌های فصلی، شاخص فصلی ( $SI$ ) (واش و لاور ۱۹۸۱)، که تابعی از میانگین بارش ماهانه و سالانه است، با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید.

خشک و نیمه‌خشک دیده می‌شود، لذا هدف این مطالعه تحلیل منطقه‌ای خشکی با تکنیک گشتاورهای خطی در حوضه آبریز ایران مرکزی است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی شامل حوضه آبریز ایران مرکزی با اقلیم نیمه‌خشک تا خشک می‌باشد (شکل ۱) که به عبارتی وسیع‌ترین حوضه آبریز ایران بوده و خود از زیر حوضه‌های فرعی شامل حوضه آبریز دریاچه نمک قم، حوضه آبریز اصفهان و سیرجان، حوضه نیریز یا بختگان، حوضه جازموریان، حوضه آبریز کویر لوت و حوضه اردستان، یزد و کرمان، تشکیل شده است. این حوضه با مساحتی بالغ بر ۸۲۸ هزار کیلومترمربع که در حدود ۵۱ درصد از مساحت کشور می‌باشد، بزرگ‌ترین حوضه آبریز کشور است. بارش متوسط این حوضه، به جز در ارتفاعات محدود آن از ۱۰ سانتی‌متر در سال تجاوز نمی‌کند. لذا مدیریت آن با توجه به شرایط خاص اقلیمی، جغرافیایی، تمرکز جمعیت، مناقشات و تمرکز قطب‌های صنعت کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز ایران مرکزی.

در انجام این تحقیق ۶ مرحله به شرح زیر دنبال

شد:

<sup>2</sup> Seasonal index

<sup>3</sup> Standardized precipitation index

<sup>4</sup> Ward

و  $\sigma_v$  میانگین و انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی شده  $V$ ، ماتریس متشکل از ضریب تغییرات خطی،  $U_i$ ، ضریب چولگی خطی و کشیدگی خطی،  $(U_i - \bar{U})$ ، ترانهاده حاصل از اختلاف ماتریس ایستگاه موردنظر و ماتریس میانگین منطقه‌ای،  $\bar{U}$  ماتریس میانگین منطقه‌ای،  $S$  ماتریس مربوط به کوواریانس (معادله ۴) و  $N$  تعداد ایستگاه‌ها می‌باشد. چنانچه مقدار  $D_i$  کوچک‌تر از ۳ باشد داده‌ها همگن می‌باشند.

#### انتخاب بهترین توزیع منطقه‌ای

به منظور انتخاب بهترین توزیع برای هر منطقه همگن، مقدار  $Z^{DIST}$  به‌ازای توزیع‌های آماری متداول شامل GLO (لاجستیک تعمیم یافته)، GEV (مقادیر حد تعمیم یافته)، GNO (نرمال تعمیم یافته)، PE3 (پیرسون تیپ III)، GPA (پارتو تعمیم یافته)، محاسبه گردید (معادله ۵) و بهترین توزیع یعنی توزیع دارای  $Z^{DIST}$  کوچک‌تر انتخاب شد.

$$Z^{DIST} = \frac{(\tau_4^{DIST} - \tau_4^R + \beta_4)}{\sigma_4} \quad [5]$$

$\tau_4^R$  کشیدگی خطی میانگین منطقه‌ای،  $\beta_4$  اریب بین داده‌های منطقه‌ای واقعی ( $\tau_4^R$ ) و منطقه‌ای شبیه‌سازی شده،  $\sigma_4$  انحراف استاندارد بین داده‌های منطقه‌ای واقعی ( $\tau_4^R$ ) و منطقه‌ای شبیه‌سازی شده است. هراندازه مقدار  $Z^{DIST}$  به صفر نزدیک‌تر باشد، توزیع مناسب‌تر است. مقدار بحرانی  $Z^{DIST}$  برابر ۱/۶۴ می‌باشد (هاسکینگ و والیس ۱۹۹۷).

#### استخراج پارامترهای توزیع منطقه‌ای مناسب و تابع چندک‌ها<sup>۵</sup>

بعد از تعیین محدوده‌های همگن و نیز برآزش توزیع آماری مناسب برای این مناطق، پارامترهای مربوط به توزیع آماری منتخب با استفاده از روش گشتاور خطی هاسکینگ و والیس به‌دست آمد. لازم به

$$SI = \frac{1}{R} \sum_{n=1}^{12} \left| \bar{x}_n - \frac{\bar{R}}{12} \right| \quad [1]$$

که در آن  $\bar{x}_n$  میانگین بارش ماه  $n$  ام و  $\bar{R}$  میانگین بارش سالانه است. از لحاظ نظری،  $SI$  می‌تواند از صفر تا ۱/۸۳ متفاوت باشد.

#### شاخص بارش استاندارد

درک این‌که بارندگی تأثیرهای مختلفی بر منابع آب دارد، منجر به تدوین و ارائه شاخص SPI توسط مک کی و همکاران (۱۹۹۵) گردید. برای محاسبه این شاخص، ابتدا با برآزش توزیع گاما بر داده‌های بارندگی ماهیانه یا مجموع بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه، تابع احتمال تجمعی آن را محاسبه نموده، سپس با انتقال احتمال تجمعی به‌دست آمده به توزیع تجمعی نرمال استاندارد شده، مقادیر شاخص SPI محاسبه می‌شود (مساعدی و قبایی سوق ۱۳۹۰).

#### بررسی ناسازگاری داده‌ها و معیار همگنی

در مرحله دوم این پژوهش، با استفاده از معادلات ۲ و ۳ که به‌ترتیب معادلات مربوط به ناسازگاری و همگنی می‌باشند (هاسکینگ و والیس ۱۹۹۷)، ایستگاه‌های ناسازگار شناسایی شد که تنها یک ایستگاه مشمول این وضعیت بود و در همین مرحله حذف گردید. همگنی نیز با استفاده از گشتاورهای خطی موردبررسی مجدد قرار گرفت (معادله ۳).

$$D_i = \frac{1}{3} (U_i - \bar{U})^T S^{-1} (U_i - \bar{U}) \quad [2]$$

$$H = \frac{v_{obs} - \mu}{\sigma_v} \quad [3]$$

$$S = (N-1)^{-1} \sum_{i=1}^N (U_i - \bar{U})(U_i - \bar{U})^T \quad [4]$$

در معادلات فوق،  $H$  معیار ناسازگاری داده‌ها است که مقدار قابل قبول آن در این تحقیق بر اساس دستورالعمل گشتاورهای خطی هاسکینگ و والیس (۱۹۹۷)، برابر و کوچک‌تر از ۲ در نظر گرفته شد.  $\mu$

<sup>5</sup> Quantile

قرار گرفتند. دلیل این امر، وجود پارامترهای منتخب جهت خوشه‌بندی است که شامل ارتفاع از سطح دریا، متوسط بارش سالانه، بیشینه بارش ۲۴ ساعته، شاخص خشکی فصلی و شاخص بارش استاندارد می‌باشد و از آنجا که تشابه ایستگاه‌ها با این پارامترها سنجیده می‌شود لذا مرز جغرافیایی ملاک قرارگیری ایستگاه‌ها در یک محدوده نمی‌باشد. در جدول ۱ خلاصه‌ای از مراحل مختلف به‌کارگیری تکنیک گشتاور خطی، شامل معیار همگنی و  $Z^{DIST}$  برای توزیع‌های مختلف آماری آمده است، توزیع‌های آماری با  $Z^{DIST}$  کمتر از ۱/۶۴ برای هر ناحیه مناسب می‌باشد که در این جدول مشخص شده است.

نمونه‌ای از برآزش توزیع‌های آماری مختلف به‌صورت نمودار در شکل ۳ نمایش داده شده است. شکل مذکور مربوط به ناحیه همگن ۱ می‌باشد که دارای چولگی خطی متوسط منطقه‌ای برابر با ۰/۱۸ و کشیدگی خطی متوسط منطقه‌ای برابر با ۰/۱۵ می‌باشد و همان‌طور که از شکل پیداست، خط مربوط به توزیع GEV، از نقطه دارای چنین مختصات عبور نموده است، لذا می‌توان این توزیع را به‌عنوان توزیع منطقه‌ای مناسب در نظر گرفت. در جدول ۲ خلاصه‌ای از پارامترهای مربوط به توزیع آماری مناسب هر منطقه ارائه شده است. پارامترهای موجود در جدول ۲ به شرح:  $XI$ ، میانگین داده‌ها،  $\alpha$  و  $\sigma$ ، انحراف معیار یا گشتاور مرکزی دوم داده‌ها،  $K$ ، کشیدگی یا گشتاور مرکزی چهارم داده‌ها،  $\mu$ ، گشتاور مرکزی یا میانگین داده‌ها،  $\gamma$ ، معیاری برای چولگی یا گشتاور مرکزی سوم داده‌ها می‌باشند. نقشه‌های هم‌دوره بازگشت تهیه شده برای بارش‌های ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ برابر میانگین منطقه‌ای در محدوده حوضه آبریز ایران مرکزی به‌ترتیب در شکل ۴ آمده است.

توضیح است که در این مرحله، روش گشتاور خطی در محیط نرم‌افزار R به‌کارگرفته شد. در مرحله بعد، مقدار چندک با دوره بازگشت معین در ایستگاه موردنظر از حاصل ضرب میانگین بارش منطقه‌ای چندک منطقه‌ای بی‌بعد با دوره بازگشت مفروض به شرح زیر به‌دست آمد (هاسکینگ و والیس ۱۹۹۷):

$$\hat{Q}_i = \hat{\mu}_i \hat{q}(F) \quad [6]$$

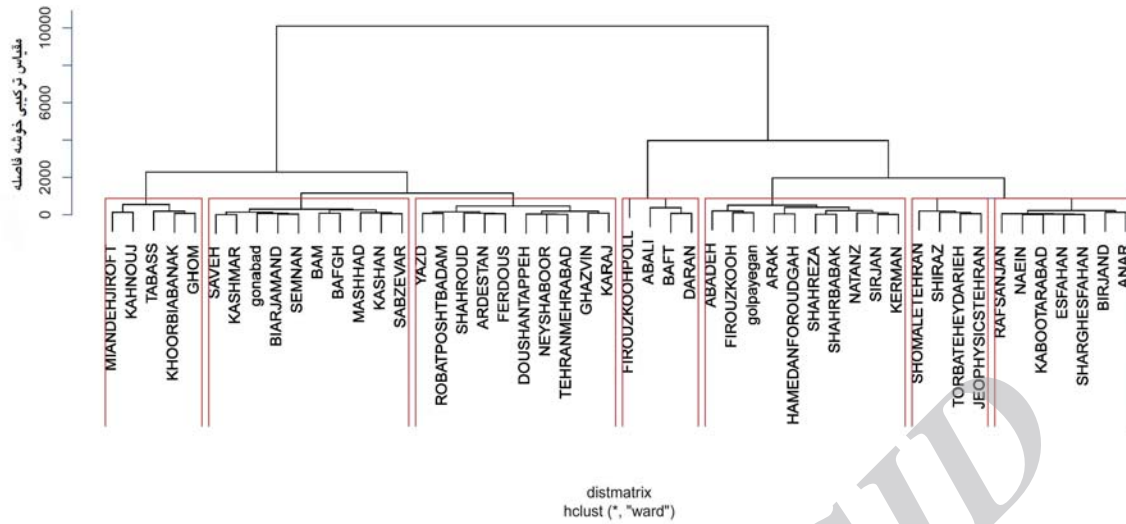
که در آن،  $\hat{Q}_i$ : مقدار چندک تخمینی،  $\hat{q}(F)$ : منحنی چندک منطقه‌ای بی‌بعد،  $F$ : احتمال تراکمی (بین صفر و یک) و  $\hat{\mu}_i$ : بارش شاخص یا میانگین بارش منطقه همگن می‌باشد.

### تعیین دوره بازگشت خشک‌سالی‌های مختلف

نقشه دوره بازگشت بارندگی‌های مختلف ابزار مهمی برای تحلیل خشک‌سالی‌ها می‌باشد. بعد از به‌دست آوردن پارامترهای مربوط به توزیع آماری منتخب ناحیه‌ای در هر ناحیه همگن و محاسبه تابع چندک‌ها، دوره بازگشت خشک‌سالی‌های مربوط به بارش‌های ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ برابر میانگین منطقه‌ای با استفاده از تابع منتخب منطقه‌ای به‌دست آمد. نرم‌افزار R جهت محاسبات مربوط به این مرحله به‌کار گرفته شد. سپس دوره بازگشت‌های به‌دست آمده در محیط نرم‌افزاری ARCGIS با روش کریجینگ معمولی درون‌یابی شد و منحنی‌های هم‌دوره بازگشت مربوط به این خشک‌سالی‌ها ترسیم گردید.

### نتایج و بحث

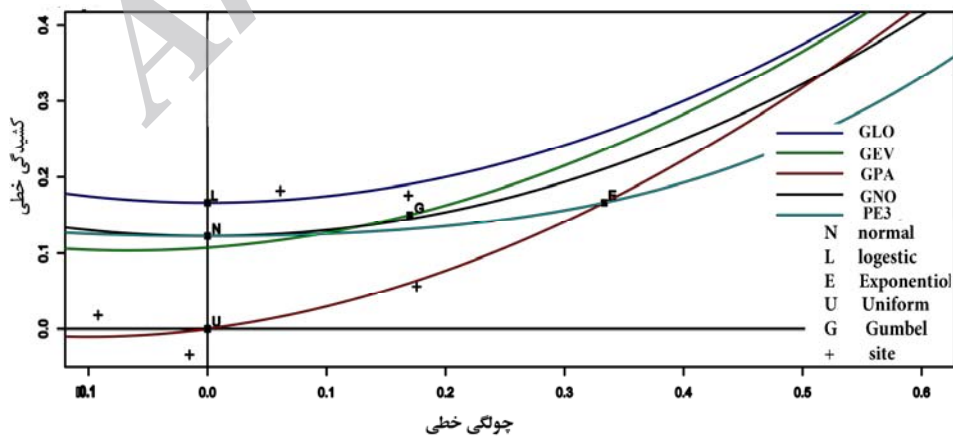
نتایج حاصل از خوشه‌بندی ایستگاه‌های موجود به‌وسیله نرم‌افزار R در شکل ۲ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ایستگاه‌های موجود به ۷ ناحیه همگن، طبقه‌بندی شدند. از طرفی، ملاک قرارگیری ایستگاه‌ها در یک خوشه ارتباطی به نزدیکی جغرافیایی آن‌ها ندارد. به‌عنوان مثال ایستگاه‌های قم، جیرفت، کهنوج، طبس، خور و بیابانک و میان‌ده جیرفت در یک خوشه



شکل ۲- نتایج خوشه‌بندی ایستگاه‌ها به وسیله روش وارد.

جدول ۱- انتخاب بهترین توزیع در هر ناحیه همگن.

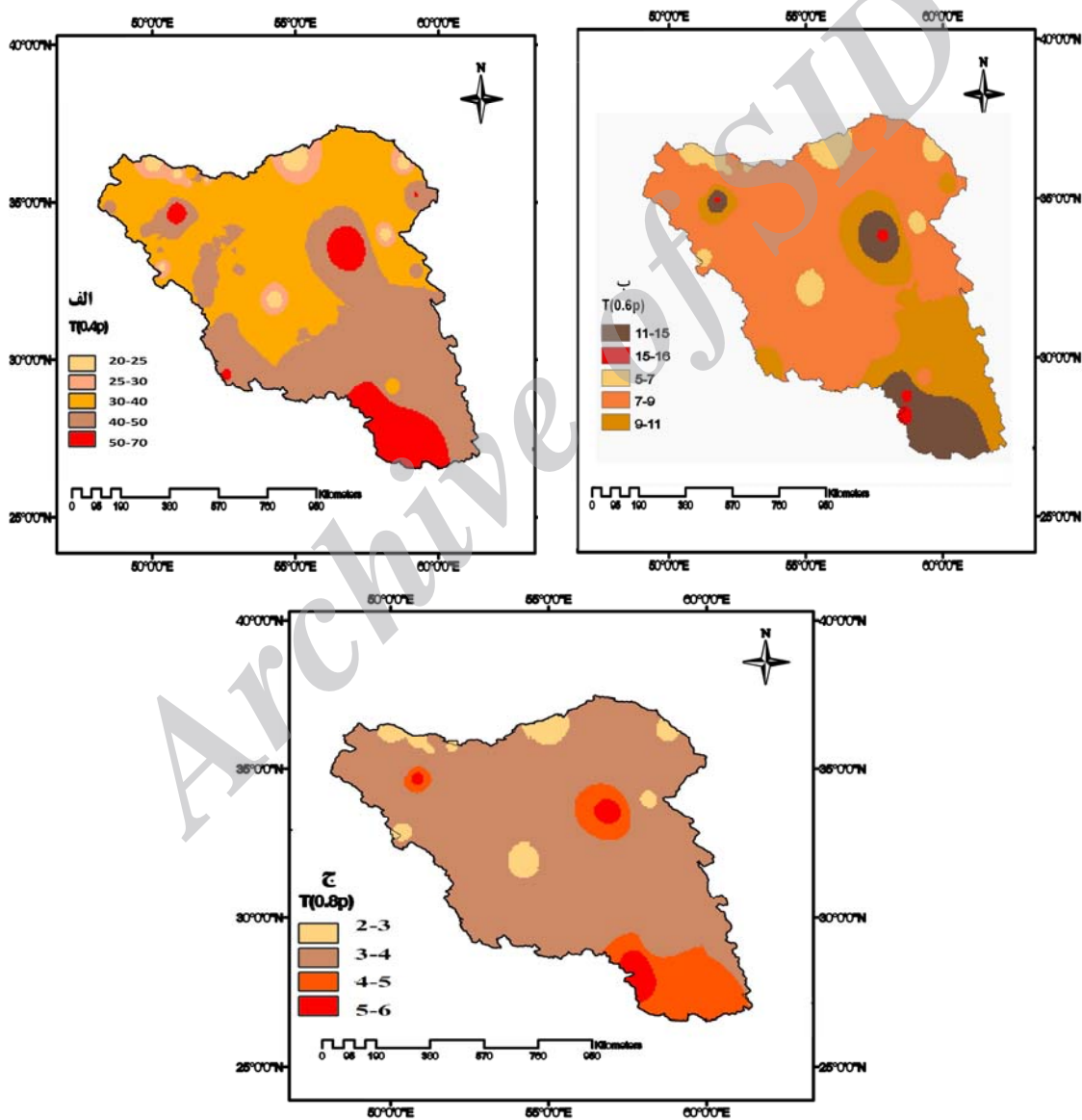
معیار $Z^{DIST}$ برای انواع توزیع‌های آماری					ناحیه همگن
GPA	PE3	GNO	GEV	GLO	
-۲/۱	۱/۰۵	۱/۱۳	۰/۹۲	۲/۴۶	۱
-۴/۲۸	۱/۶۳	۱/۸۵	۱/۵۵	۴/۴۶	۲
-۴/۰۵	۰/۹۲	-۰/۶۸	-۰/۷۲	۰/۸۸	۳
-۲/۸۲	۰/۸۵	-۰/۹۲	۰/۶۶	۲/۴۵	۴
-۴/۱۹	-۱/۰۱	-۰/۷۷	-۰/۱۸	۰/۸۲	۵
-۳/۵۶	۰/۸۹	۱/۰۹	۰/۸۹	۳/۱۵	۶
-۳/۶۰	۰/۵۲	-۰/۹۶	۱	۳/۱۷	۷



شکل ۳- برازش توزیع‌های آماری مختلف در ناحیه‌ای همگن از محدوده مطالعاتی.

جدول ۲- پارامترهای مربوط به بهترین توزیع آماری مناطق همگن.

پارامتر	ناحیه						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
XI	۰/۸۲۷	۰/۸۵۰	۰/۸۴۰	۰/۸۸۸	۰/۹۵۵	۰/۸۵۱	-
$\alpha$	۰/۳۹۱	۰/۳۲۴	۰/۳۱۷	۰/۳۰۵	۰/۳۵۵	۰/۳۱۸	-
K	۰/۱۵۵	۰/۱۳۲	۰/۰۷۹	۰/۱۶۷	۰/۲۴۷	۰/۱۳۱	-
$\mu$	-	-	-	-	-	-	۱
$\sigma$	-	-	-	-	-	-	۰/۴۳۰
$\gamma$	-	-	-	-	-	-	۰/۸۳۱



شکل ۴- سطوح هم‌رقوم بازگشت خشک‌سالی با شدت‌های ۴/۰ (شکل الف)، ۶/۰ (شکل ب) و ۸/۰ (شکل ج) برابر بارش میانگین.



دوره بازگشت‌های ۹ تا ۱۶ سال می‌باشد. دوره بازگشت خشک‌سالی‌های خفیف (۰/۸ میانگین)، بین ۲ تا ۵ سال متغیر بوده و تغییرات چندانی در سراسر حوضه مشاهده نمی‌شود (شکل ۴، ج). در تحقیق نونز و همکاران (۲۰۱۱) نیز تفاوت‌ها برای خشکی‌های شدیدتر بیش‌تر بود به‌طوری‌که در تحقیق ایشان، در مورد خشک‌سالی‌های شدید تا ۱۰ برابر اختلاف بین مناطق مختلف دیده شد. بر اساس نتایج این بررسی می‌توان گفت، هر چه محیط از نظر متوسط بارش سالانه خشک‌تر شود تغییرات خشک‌سالی تأثیر کمتری بر حوضه دارد و از طرفی این پدیده در مورد دوره‌های شدید خشکی، محسوس‌تر است، هم‌چنان‌که در نقشه هم‌دوره بازگشت خشکی مربوط به ۰/۸ میانگین بارش سالانه، اختلاف بین مناطق مرکزی و جنوب شرقی (مناطق خشک‌تر) و مناطق شمالی و شمال غربی (مناطق مرطوب‌تر)، مشهودتر است و دلیل این امر نیز نوسانات کم بارندگی در مناطق جنوبی و مرکزی و نوسانات زیادتر میانگین بارش سالانه در بخش‌های شمالی می‌باشد. البته لازم به ذکر است که مقدار ناچیز بارش در بخش‌های مرکزی باعث شده است این مناطق از درجه آسیب‌پذیری بیش‌تری برخوردار باشند و حتی درجات خفیف‌تر خشک‌سالی می‌تواند به این مناطق هم آسیب زیادی برساند. در تحقیق علیجانی و بابایی (۱۳۸۸)، سلطانی و مدرس (۱۳۸۵) نیز مناطق مرطوب‌تر دارای احتمال خشک‌سالی زیادتر بودند. در مطالعات انجام‌شده توسط وریک (۱۹۹۵)، یورکلی و آنلی (۲۰۰۸)، هالاک و واتکینز (۲۰۰۷)، دموس و کالس (۱۹۹۷) و پیرسون (۱۹۹۵)، مناطق خشک‌تر دارای احتمال وقوع خشک‌سالی شدیدتر بودند که دلیل این امر، انجام این مطالعات در مناطق مرطوب می‌باشد که قطعاً رژیم بارش و وضعیت اقلیم با مناطقی نظیر ایران متفاوت است. یافته‌های این تحقیق می‌تواند به‌عنوان

بررسی نتایج پهنه‌بندی مطابق شکل ۴ نشان می‌دهد که نیمه شمالی منطقه مورد مطالعه از نظر رخداد خشک‌سالی رفتار همگن‌تر و یکسان‌تری از خود نشان می‌دهند. به‌طور مشابه این وضعیت برای بخش‌های مرکزی و جنوبی هم قابل استنتاج است. یکی از دلایل این تشابه رفتار در خصوص پدیده خشک‌سالی، می‌تواند تأثیر متفاوت جبهه‌های رطوبتی ورودی به کشور از سمت شمال غرب (سامانه‌های مدیترانه‌ای) و جنوب غرب کشور (سامانه‌های سودانی)، بر این مناطق باشد. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که بخش‌های شمالی حوضه، بیش‌تر در معرض تهدید خشک‌سالی‌های شدید (۰/۴ بارش میانگین) قرار دارند (شکل ۴، الف). همان‌طور که از تصاویر استنباط می‌شود، دوره بازگشت خشک‌سالی‌های شدید (۰/۴ میانگین) و متوسط (۰/۶ میانگین) در مرکز و جنوب شرق حوضه طولانی‌تر است و هر چه از شمال به سمت جنوب به‌ویژه جنوب شرق پیش می‌رویم، دوره بازگشت خشک‌سالی‌ها به‌خصوص خشک‌سالی‌های شدید (۰/۴ میانگین) طولانی‌تر می‌شود. دوره بازگشت‌های بیش از ۴۰ سال، در شکل مربوط به خشک‌سالی شدید (شکل ۴، الف)، با سیاه و خاکستری تیره مشخص شده‌اند که مربوط به مناطق مرکزی و جنوبی می‌باشد. به‌بیان‌دیگر، احتمال وقوع خشک‌سالی‌های شدید در شمال، شمال شرق و شمال غرب حوضه آبریز ایران مرکزی بیش‌تر از مرکز و جنوب شرق می‌باشد. بنابراین، بخش‌های شمالی حوضه مورد تحقیق، بیش‌تر در معرض تهدید خشک‌سالی‌های شدید قرار دارند. در مورد خشک‌سالی‌های متوسط، تقریباً همان وضعیت مربوط به خشک‌سالی‌های شدید با محدوده کوچک‌تری مشاهده می‌شود، همان‌طور که از شکل مربوط به این خشک‌سالی (شکل ۴، ب) پیداست، بخش‌هایی در مرکز و حاشیه جنوب شرقی حوضه با رنگ خاکستری، خاکستری تیره و سیاه مشخص شده که مربوط به

خصوص پدیده خشک‌سالی، تأثیر متفاوت جبهه‌های رطوبتی ورودی به کشور از سمت شمال غرب و جنوب غرب کشور، بر این مناطق می‌باشد. بنابراین، بخش‌های شمالی حوضه مورد تحقیق، بیش‌تر در معرض تهدید خشک‌سالی‌های شدید قرار دارند. البته مقدار ناچیز بارش در بخش‌های مرکزی باعث شده است این مناطق از درجه آسیب‌پذیری بیشتری برخوردار باشند و حتی درجات خفیف‌تر خشک‌سالی می‌تواند به این مناطق هم آسیب زیادی برساند. مدیران و برنامه‌ریزان باید به این موارد، توجه بیش‌تری داشته باشند.

ابزاری در دست مدیران، جهت برنامه‌ریزی بهتر منابع آب به‌کار رود.

### نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان گفت، احتمال وقوع هم‌زمان خشک‌سالی‌های شدید در شمال، شمال شرق و شمال غرب حوضه آبریز ایران مرکزی بیش‌تر از مرکز و جنوب شرق می‌باشد. به عبارت دیگر نیمه شمالی حوضه مرکزی ایران از نظر رخداد خشک‌سالی رفتار یکسان‌تری از خود نشان می‌دهند. به‌طور مشابه این وضعیت برای بخش‌های مرکزی و جنوبی هم قابل استنتاج است. یکی از دلایل این رفتار همگن‌تر در

### منابع مورد استفاده

- رضیئی ط، دانش کار آراسته پ، اختری ر و ثقفیان ب، ۱۳۸۶. بررسی خشک‌سالی‌های هواشناسی (اقلیمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف. مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال ۳، شماره ۱، صفحه‌های ۲۵ تا ۳۵.
- زارع ابیانه ح و محبوبی ع، ۱۳۸۳. بررسی وضعیت خشک‌سالی و روند آن در منطقه همدان بر اساس شاخص‌های آماری خشک‌سالی. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، شماره ۶۴، صفحه‌های ۲ تا ۷.
- سلطانی س و مدرس ر، ۱۳۸۵. تحلیل فراوانی و شدت خشک‌سالی هواشناسی استان اصفهان. مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۹، شماره ۱، صفحه‌های ۱۵ تا ۲۶.
- سلطانی س و سعادت س، ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خشک‌سالی در استان اصفهان با استفاده از نمایه بارش استاندارد (SPI). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ۱، شماره ۲، صفحه‌های ۶۴ تا ۶۷.
- علیجانی ب و بابایی ا، ۱۳۸۸. تحلیل فضایی خشک‌سالی‌های کوتاه‌مدت ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، پیش‌شماره پاییز و زمستان، صفحه‌های ۱۰۹ تا ۱۲۱.
- لشنی زند م، ۱۳۸۰. واژگان خشک‌سالی. خلاصه مقاله‌های اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، ۱۸ و ۱۹ اسفند، دانشگاه زابل.
- مساعدی ا و قبایی سوق م، ۱۳۹۰. تصحیح شاخص بارش استاندارد شده (SPI) بر اساس انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۵، صفحه‌های ۱۲۰۶ تا ۱۲۱۶.
- محسنی ساروی م، صفدری ع، ثقفیان ب و مهدوی م، ۱۳۸۳. تحلیل شدت، مدت، فراوانی و گستره خشک‌سالی‌های حوزه کارون به کمک شاخص بارش استاندارد (SPI). مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۴، صفحه‌های ۶۰۷ تا ۶۲۰.
- مدیریان ر، ۱۳۸۵. گزارش بحران خشک‌سالی در خراسان رضوی. بولتن علمی پژوهشکده اقلیم‌شناسی، جلد ۶، صفحه ۴۷.

مقیمی ا و گودرزی نژاد ش، ۱۳۸۶. مخاطرات طبیعی. ترجمه انتشارات سمت تهران، صفحه ۹۲.

- Cancelliere A, Mauro GD, Bonaccorso B and Rossi G, 2007. Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index. *Water Resources Management* 21: 801-819.
- Ciumara R, 2007. L-moments for evaluation in distributed identically and no identically weibull random variables. *Proceeding Romanian Academy, Series A* 8 (3): 175-180.
- Demuth S and Külls C, 1997. Probability Aspects of analysis and regional droughts in southern Germany. *Resources*

- under increasing sustainability of water uncertainly. Pp. 97-104. In: Proceedings of Rabat Symposium SI, April. IAHS Publ. 240: 97–104.
- Durdu OF, 2010. Application of linear stochastic models for drought forecasting in the Büyük Menderes river basin, western Turkey. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 24(8): 1145–1162.
- Fernández C, Vega JA, Fonturbel T and Jiménez E, 2009. Stream flow drought time series forecasting: a case study in a small watershed in North West Spain. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 23: 1063–1070.
- Gabriel KR and Neumann J, 1962. A Markov chain model for daily rainfall occurrences at Tel Aviv. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 88 (375): 90–95.
- Hallack-Alegria M and DW Watkins, 2007. Annual and warm season drought intensity-duration-frequency analysis for Sonora, Mexico. *Journal of Climate* 20 (9): 1897–1909.
- Hosking JRM and Wallis JR, 1997. *Regional Frequency Analysis: an Approach Based on L-moments*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 224 p.
- Hosking JRM, Wallis JR and Wood EF. 1985. Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability-weighted moments. *Technometrics* 27: 251–261.
- Kumar V and Panu U, 1997. Predictive assessment of severity of agricultural droughts based on agro-climatic factors. *Journal of the American Water Resources Association* 33 (6): 1255–1264.
- Kysely J, Gaál L and Picek J, 2010. Comparison of regional and at-site approaches to modeling probabilities of heavy precipitation. *International Journal of Climatology* 31(10): 1457-1472.
- Leilah AA and Al-Khateeb SA, 2005. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. *Journal of Arid Environments* 61: 483–496.
- Liou JJ, Wu YC and Cheng KS, 2008. Establishing acceptance regions for L-moments based goodness-of-fit tests by stochastic simulation. *Journal of Hydrology* 355: 49–62.
- Liu WT and Negron-Juarez RI, 2001. ENSO drought onset prediction in northeast Brazil using NDVI. *International Journal of Remote Sensing* 22: 3483–3501.
- Lohani VK and Loganathan GV, 1997. An early warning system for drought management using the palmer drought index. *Journal of the American Water Resources Association* 33 (6): 1375–1386.
- Loucks DP and van Beek E, 2005. *Water Resources Planning and Management Systems: An Introduction to Methods, Models, and Applications*. UNESCO Press, Paris.
- McKee TB, Doesken, NJ and Kleist, J, 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Preprints, Pp. 232-2360, 9th Conference on Applied Climatology, January 15-20, Dallas, Texas.
- Mishra AK and Desai VR, 2005. Drought forecasting using stochastic models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 19: 326–339.
- Mishra AK and Desai VR, 2006. Drought forecasting using feed forward recursive neural network. *International Journal of Ecological Modeling* 198:127–138.
- Modarres R, 2007. Stream flow drought time series forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 15 (21): 223–233.
- Modarres R, 2009. Regional frequency dry spells by L-Moment analysis and multivariate analysis. *Water Resources Management* 24(10): 2365-2380.
- Nunez JH, Verbist K, Wallis JR, Schaefer MG, Morales L and Cornelis WM, 2011. Regional frequency analysis for mapping drought events in north-central Chile. *Journal of Hydrology* 405: 352–366.
- Paulo AA, Ferreira E, Coelho C and Pereira LS, 2005. Drought class transition analysis through Markov and Log linear models, an approach to early warning. *Agricultural Water Management* 77: 59–81.
- Pearson C, 1995. Regional frequency analysis of low flows in New Zealand Rivers. *Journal of Hydrology (NZ)* 33(2): 94–122.
- Sen Z, 1990. Critical drought analysis by second order Markov chain. *Journal of Hydrology* 120: 183–202.
- Seth S, 2003. Human Impacts and management issues in arid and semi-arid regions. Pp. 284-342. In: Simmers I, (Ed). *Understanding Water in a Dry Environment. Hydrological Processes in Arid and Semiarid Zones*. Chap 8. International Association of Hydro geologists. Swets and Zeitlinger B.V., Lisse, The Netherlands.
- Vicente-Serrano SM, 2006. Differences in spatial patterns of drought on different time scales: an analysis of the Iberian Peninsula. *Water Resources Management* 20: 37–60.
- Walsh RPD and Lawer DM, 1981. Rainfall seasonality: Description, spatial patterns and change through time. *Weather* 36: 201–208.
- Werick WJ, 1995. *National Study of Water Management during Drought*. IWR Report 94-NDS-12. Water Resources Center, US Army Corps of Engineers. For. Belvoir, VA.
- Wilhite D and Buchanan-Smith M, 2005. Drought as hazard: understanding the natural and social context. Pp.3-29. In: Wilhite D (Ed). *Drought and Water Crises: Chap 1. Science, Technology and Management Issues*, Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Yurekli K and Anli AS, 2008. Analyzing drought based on annual total rainfalls over Tokat province. *International Journal of Engineering Science* 2 (2): 21–26.