

تحلیل شدت، مدت، فراوانی و گستره خشکسالی هواشناسی در حوضه آبریز بختگان

شهین تبوزاده^{۱*}، حیدر زارعی^۲ و ام البنین بذرافشان^۳

۱* - نویسنده مسئول، دانش آموخته، کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه شهید چمران اهواز shahintbz@gmail.com

۲- استادیار، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۲۶

چکیده

خشکسالی یکی از مهم‌ترین و مخرب‌ترین پدیده‌های اقلیمی است که تأثیر آن معمولاً در مقیاس منطقه‌ای اهمیت بیشتری دارد. اهمیت پدیده خشکسالی در حوضه‌ای همچون بختگان به دلیل شرایط استراتژیک منطقه، وسعت اراضی کشاورزی و وجود دریاچه‌های بختگان و طشک بارزتر می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق پایش خشکسالی، با استفاده از شاخص بارش استاندارد، تحلیل مشخصه‌های خشکسالی در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه و بررسی و تحلیل منحنی‌های تداوم- فراوانی و بزرگی- فراوانی می‌باشد. همچنین پهنه‌بندی تداوم و بزرگی خشکسالی در دوره بازگشت ۲۰ سال و تحلیل نقشه‌های بزرگترین شدت خشکسالی رخ داده در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۰-۸۹)، بررسی روند بارش و دما از دیگر اهداف این تحقیق می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که ایستگاه‌های واقع در مرکز و جنوب حوضه متحمل تداوم‌های طولانی‌تر و بزرگی خشکسالی بالاتر و درصد فراوانی شدیدتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها بوده‌اند. منحنی‌های تداوم- دوره بازگشت و بزرگی- دوره بازگشت در مقیاس‌های مورد مطالعه نشان داد که با افزایش مقیاس زمانی و افزایش دوره بازگشت در ایستگاه‌ها، تداوم و بزرگی خشکسالی افزایش می‌یابد. بررسی پهنه بندی تداوم و بزرگی خشکسالی با دوره بازگشت ۲۰ سال، نشان داد که تداوم‌های طولانی‌تر ناحیه شرقی حوضه و بزرگی‌های بالاتر ناحیه مرکزی و جنوبی حوضه را در بر می‌گیرد. بررسی پهنه بندی شدیدترین شدت خشکسالی، نشان داد که خشکسالی بسیار شدید از حوالی مرکز و جنوب حوضه وارد شده و از شمال حوضه خارج می‌گردد.

کلید واژه‌ها: خشکسالی، تداوم-فراوانی، بزرگی-فراوانی، پهنه بندی، شاخص بارش استاندارد.

Analysis of Severity, Duration, Frequency and Zoning Map of Meteorological Drought of Bakhtegan River Basin

Sh. Tabouzadeh^{1*}, H. Zarei² and O. Bazrafshan³

1* - M.Sc. Student of Water Resource Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

2- Assistant professor, Department. of Hydrology, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

3- Assistant professor, Department. of Rangr and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University

Received: 14 June 2014

Accepted: 18 October 2014

Abstract

Drought is the most important and most destructive climatic phenomena that impact is usually more important at a regional scale. This is important because the basin as Bakhtegan strategic situation of the region, the extent of farming lands and Bakhtegan - Tashk lake is obvious. The aim of this paper is drought monitoring using of standardized precipitation index and analysis of drought characteristics in timescale 3, 6, 12, 24 and 48 monthly and duration- frequency and magnitude - frequency. Also map zoning duration and magnitude drought in 20 return periods, analysis of maps drought occurred in the period of greatest intensity within the same period of 30 years (1981-2010) and precipitation and temperature trend is other objectives of this study. Result

shown continuously from 2001 onwards, the case study suffered repeated droughts have been significant and stations located in the central and southern basin, bear continuation of a longer and more severe droughts, a higher frequency than the other stations. Curves of duration – return period and magnitude - return period of the scales showed that with increasing time scale and return period on the station, duration and magnitude drought increased. Analysis of duration and magnitude map zoning with 20 years return period shown that duration longer than is eastern region and magnitude higher than is southern and central region. Study of the highest severity drought shown that very severity drought imported from central and south region and exited from north.

Keywords: Drought, Duration- frequency, Magnitude – frequency, Map zoning, Standardized precipitation index.

مقدمه

بارش استاندارد^۳ (SPI) یکی از مفیدترین و کارآمدترین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در برای بررسی و پایش خشکسالی می‌باشد. این شاخص اولین بار توسط مک‌کی و همکاران^۴ (۱۹۹۳) توسعه یافت. مرکز اقلیمی کلرادو و مرکز ملی کاهش خشکسالی ایالات متحده آمریکا از جمله مراکزی هستند که از شاخص بارش استاندارد برای پایش وضعیت فعلی خشکسالی استفاده می‌کنند. آنها از مقیاس زمانی کوتاه مدت سه و شش ماهه برای اهداف کشاورزی و مقیاس‌های بلند مدت ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای اهداف هیدرولوژی استفاده بهره می‌برند. ویژگی شاخص بارش استاندارد این امکان را به تحلیل‌گر می‌دهد تا پدیده‌ی خشکسالی و همچنین ترسالی را در یک مقیاس زمانی معین و برای هر نقطه‌ای از دنیا تعیین نماید (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۰). در مناطق مختلف جهان بطور گسترده از این شاخص استفاده شده است، هایس و همکاران^۵ (۱۹۹۹)، ویکنت سرانو و همکاران^۶ (۲۰۰۴)، هیون لی و کیم^۷ (۲۰۱۲)، کیم و همکاران^۸ (۲۰۱۳)، میچل و هیان^۹ (۲۰۱۴). با توجه به تغییرپذیری این شاخص، در مقیاس‌های کوتاه مدت به منظور اهداف کشاورزی و در مقیاس‌های بلند مدت جهت بررسی عناصر هیدرولوژی و اینکه در محاسبه آن تنها به داده‌های بارندگی نیاز است، شاخص بارش استاندارد نسبت به سایر شاخص‌های خشکسالی ترجیح داده می‌شود (کوکامو و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۱). تاکنون مطالعات متعددی در داخل و خارج کشور در زمینه پایش خشکسالی، و موضوعات مرتبط دیگر صورت گرفته است و پژوهش‌های بسیاری نیز با توجه به اهمیت موضوع در حال انجام است که در زیر به برخی از آنها اشاره خواهد شد. فاتحی مرچ و حیدریان (۱۳۹۲)، به بررسی خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی در استان

ویلهایت و گلانتز^۱ (۱۹۸۵) بیان داشتند تا اوایل دهه ۱۹۸۰ بیش از ۱۵۰ تعریف از خشکسالی در جهان وجود دارد. یکی از جامع‌ترین و کامل‌ترین تعاریف در زمینه خشکسالی توسط پالمر^۲ (۱۹۶۵) ارائه شده است به عقیده‌ی وی خشکسالی عبارت است از کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی. در تعریف وی، واژه‌ی مستمر، بیانگر زمان آغاز تا پایان خشکسالی یا زمان تداوم، و واژه‌ی غیرطبیعی به انحراف یا نوسان منفی نسبت به شرایط میانگین طبیعی دلالت دارد. وجود نیازها و زمینه‌های کاری محققین موجب شده است که هر یک از آنها از دیدگاه خاص خود مسئله‌ی خشکسالی را مورد بررسی قرار دهند. این مطالعات را می‌توان در چهار طبقه‌ی عمده‌ی خشکسالی هواشناختی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی – اجتماعی تقسیم نمود. از مهم‌ترین ویژگی‌های خشکسالی می‌توان به زمان آغاز و پایان آن، شدت، وسعت و فراوانی خشکسالی اشاره نمود. از میان حوادث طبیعی که جوامع انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، پدیده خشکسالی از نظر فراوانی، شدت، مدت و اجتماعی دراز مدت در جامعه، بیشتر از سایر بلایای طبیعی بوده است. تمایز پدیده خشکسالی با سایر بلایای طبیعی در این است که برخلاف سایر بلایا این پدیده به تدریج و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی عمل می‌کند بطوریکه اثرات آن پس از چند سال و با تأخیر بیشتری نسبت به سایر حوادث طبیعی ظاهر می‌شود (فاتحی مرچ و حیدریان، ۱۳۹۲). جلوگیری کامل از کمبود آب ممکن نیست لیکن با تحلیل سوابق تاریخی پدیده خشکسالی و با تکیه بر آمار و اطلاعات موجود می‌توان دوره بازگشت‌های خشکسالی را برای مناطق مختلف برآورد کرد و با ایجاد طرح‌های آمادگی برای پدیده خشکسالی مشکلات ناشی از خشکسالی را تا حد زیادی کاهش داد (محسنی ساروی و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به پیچیدگی پدیده خشکسالی و عوامل تأثیر گذار بر شروع و روند این پدیده، تاکنون روش‌ها و شاخص‌های گوناگونی ارائه شده که بالطبع هر یک دارای نقاط ضعف و قوتی می‌باشند. از میان شاخص‌های متداول، شاخص

- 3- Standardized Precipitation Index
- 4- Mckee *et al.*
- 5- Hyes *et al.*
- 6- Vicente Serrano *et al.*
- 7- Heon Lee and Kim
- 8- Kim *et al.*
- 9- Mitchel and Hayian
- 10- Caccamo

- 1- Wilhite and Glantz
- 2- Palmer

شمال شرق و جنوب شرق حوضه و در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، بزرگ‌ترین درصد فراوانی خشکسالی در جنوب شرقی، شمال و جنوب حوضه و طولانی‌ترین تداوم خشکسالی‌ها در جنوب شرق، شمال و غرب حوضه رخ داده است. و همچنین تحلیل منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی، شدت-بزرگی-فراوانی نشان داد که، با افزایش دوره بازگشت و مقیاس زمانی در هر ایستگاه، تداوم و بزرگی خشکسالی افزایش می‌یابد. شائو و مدرس^۱ (۲۰۰۹)، به بررسی خشکسالی هواشناسی و تحلیل منحنی‌های شدت - تداوم - فراوانی خشکسالی در دو ایستگاه آبادان و انزلی با استفاده از شاخص بارش استاندارد پرداختند. در مطالعه مذکور از توابع کاپولا برای به دست آوردن منحنی‌های شدت-تداوم - فراوانی استفاده گردید. نتایج حاکی از آن است که، با توجه به منحنی‌های شدت-تداوم - فراوانی، با افزایش تداوم خشکسالی، شدت خشکسالی با نرخ ثابتی افزایش نمی‌یابد. در ابتدا نرخ افزایش سریع می‌باشد، و همچنین نتایج نشان داد که، با دوره بازگشت و تداوم مشخص، شدت خشکسالی در ایستگاه انزلی بزرگ‌تر از شدت خشکسالی در ایستگاه آبادان می‌باشد به این دلیل که در مناطق مرطوب، نوسانات بارندگی بیشتر از مناطق خشک است. در سالیان اخیر پژوهش‌های بسیاری در رابطه با خشکسالی، در جهان توسط کیم و همکاران^۲ (۲۰۱۳)، هیون لی و کیم^۳ (۲۰۱۲)، مددگر و مرادخانی (۲۰۱۱)، دستورانی و همکاران (۲۰۱۱)، استرزیچک و همکاران^۴ (۲۰۱۰)، کسکین و سرمان^۵ (۲۰۱۰)، ویدال و واد^۶ (۲۰۰۹) و خدر و همکاران^۷ (۲۰۰۹) انجام گرفته است. اما در رابطه با تحلیل مشخصه‌های خشکسالی و مدیریت آن در حوضه آبریز بختگان تحقیقات محدودی انجام شده است. در سالیان اخیر به دلیل سوء مدیریت منابع آب و همچنین کاهش نزولات جوی و در پی آن، کاهش ورودی آب رودخانه‌های کر و سیوند به دریاچه‌های طشک و بختگان، آب دریاچه‌ها به سمت صفر میل کرده و در نهایت در چند سال گذشته کاملاً خشک شده‌اند (بی‌نام، ۱۳۸۹). با توجه به اهمیت بسیار زیاد اقتصادی و اجتماعی، زیست محیطی این دو دریاچه، بررسی خصوصیات خشکسالی هواشناسی در حوضه آبریز بختگان ضروری می‌باشد. با توجه به این که در ایران اقدامات مدیریتی که در برابر پدیده خشکسالی صورت می‌گیرد عمدتاً از نوع مدیریت بحران و آن هم اقدامات موقتی پس از وقوع خشکسالی می‌باشد. چنین اقداماتی تنها نقش تسکین دهنده دارند و باید مدیریت ریسک خشکسالی جایگزین مدیریت بحران شود که لازمه آن دستیابی به شاخصی است که توانایی تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی را داشته باشد. نتایج حاصل از این تحقیق

خوزستان پرداختند. آنها برای بررسی انواع خشکسالی‌ها از شاخص بارش استاندارد برای خشکسالی هواشناسی و از شاخص استاندارد شده جریان برای خشکسالی هیدرولوژیکی با دوره آماری مشترک ۴۲ سال و از شاخص پوشش گیاهی برای خشکسالی کشاورزی با ۲۲ سال تصاویر ماهواره‌ای موجود استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد، که براساس شاخص بارش استاندارد، فقط هشت سال، خشکسالی کل استان را فرا گرفته است، که شدیدترین خشکسالی در سال‌های ۸۷-۱۳۸۶ بوده است و همچنین یک دوره خشکسالی هیدرولوژیکی در سال‌های ۸۰-۱۳۷۸ اتفاق افتاده است که می‌تواند ناشی از خشکسالی سال ۱۳۷۸ باشد. میراکبری و گنجی (۱۳۹۱)، به تحلیل دو متغیره شدت و مدت خشکسالی هواشناسی براساس توابع کاپولا در استان کرمانشاه پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد، شدیدترین خشکسالی، در نواحی غربی این استان رخ داده است. بذرافشان و همکاران (۱۳۹۰)، به بررسی خشکسالی هواشناسی در استان گلستان پرداختند. آنها برای بررسی خشکسالی از شاخص بارش استاندارد با دوره آماری مشترک ۲۵ ساله در مقیاس‌های زمانی شش، نه، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد، که در مقیاس زمانی ۶ ماهه و ۹ ماهه بیشترین وسعت خشکسالی مربوط به خشکسالی شدید، در غرب و مرکز استان در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه بخش اعظمی از مساحت استان دارای خشکسالی بسیار شدید و در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه خشکسالی بسیار شدید در حوالی غرب استان رخ داده است. نصرتی و آذرینوند (۱۳۸۱)، به تحلیل منطقه‌ای شدت-مدت- دوره بازگشت خشکسالی در حوضه آبریز اترک پرداختند، آنها برای بررسی خشکسالی از شاخص درصد از نرمال با دوره آماری مشترک ۲۹ ساله، استفاده نمودند. و مقادیر شدت خشکسالی با دوره بازگشت‌های دو، پنج، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله، در ۱۹ ایستگاه استخراج گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که هر چه دوره بازگشت خشکسالی افزایش می‌یابد، شدت خشکسالی نیز افزایش می‌یابد. مرادی و همکاران (۲۰۱۱)، به بررسی و پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی در استان فارس پرداختند. آنها برای بررسی خشکسالی هواشناسی از شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های زمانی سه، شش، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه با دوره آماری مشترک ۳۲ ساله (۱۹۶۸-۱۹۹۹) استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که شدیدترین شدت خشکسالی در ایستگاه گوزون و طولانی‌ترین تداوم خشکسالی در ایستگاه پل خان اتفاق افتاده است. ساروی و همکاران (۲۰۰۹)، به بررسی خشکسالی هواشناسی و همچنین منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی و منحنی‌های شدت-بزرگی - فراوانی در حوضه کارون، با استفاده از شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های زمانی سه، شش و ۱۲ ماهه پرداختند. نتایج پهنه‌بندی مشخصه‌های خشکسالی نشان داد که، در مقیاس زمانی سه ماهه، بزرگ‌ترین درصد فراوانی خشکسالی در شمال شرقی و جنوب شرقی حوضه و طولانی‌ترین تداوم خشکسالی‌ها در شمال،

1 - Shiau and Modarres

2 - Kim *et al.*

3 - Heon Lee and Kim

4 - Sterzepek

5 - Keski, and Sorman

6 - Vidal and Wade

7 - Khadr

توزاده و همکاران: تحلیل شدت، مدت، فراوانی و گستره خشکسالی...

صورت ماهانه تهیه شده است و با طول دوره آماری مشترک ۳۰ ساله (۸۹-۱۳۶۰) انتخاب گردید. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه را به همراه ایستگاه‌های مربوط نشان می‌دهد.

می‌تواند در مدیریت ریسک خشکسالی حوضه مورد نظر مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

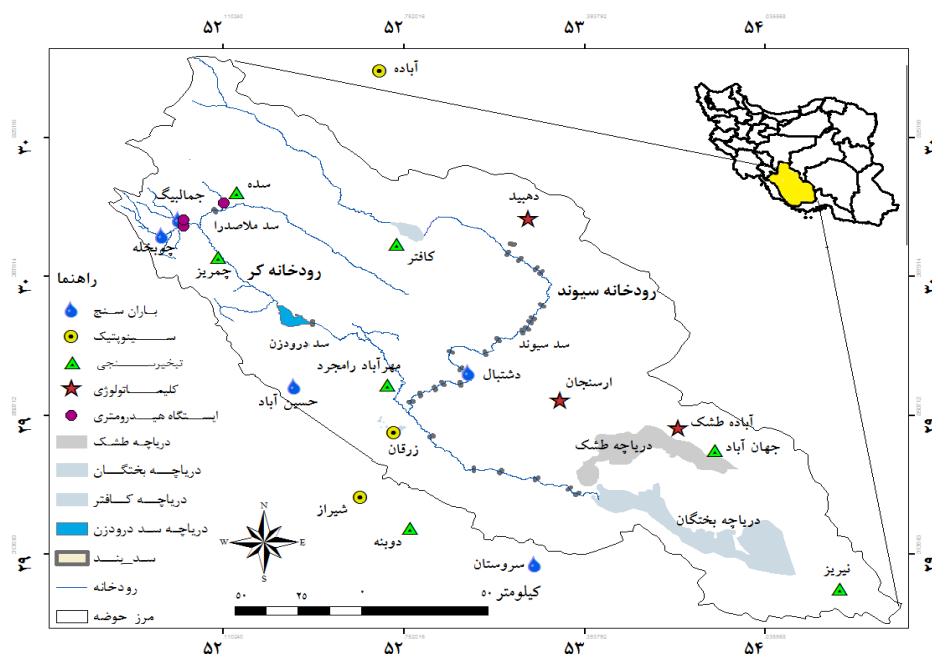
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز بختگان به مساحت، ۲۷۳۸۵ کیلومترمربع واقع در استان فارس بین ۵۱ درجه ۴۲ دقیقه تا ۵۴ درجه ۳۱ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه تا ۳۱ درجه ۱۴ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. این حوضه شامل دو رودخانه اصلی کر و سیوند و چندین شاخه فرعی است. دو دریاچه طشک و بختگان در نزدیکی غرب شهرستان نیریز و شرق شهرستان خرامه قرار دارند، که از مهم‌ترین زیستگاه‌های جانوری در سطح حوضه می‌باشند. دریاچه بختگان از نظر وسعت دومین دریاچه داخلی کشور محسوب می‌شود. در این حوضه پارامترهای هواشناسی بسیار متغیر است، به گونه‌ای که نقاط سردسیری با حداقل دمای ۲۸- درجه سانتی‌گراد در مناطق شمال و شمال‌غربی تا مناطق گرمسیری با دمای بالاتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد در نواحی جنوب و جنوب‌شرقی وجود دارد (بی‌نام، ۱۳۸۸). آمار ۱۷ ایستگاه موجود در منطقه به -

شاخص بارش استاندارد (SPI)

مراحل اجمالی محاسبه شاخص بارش استاندارد، به ترتیب زیر است:

- تشکیل سری‌های زمانی بارندگی در مقیاس زمانی i ماهه (۲۴، ۴۸، ۱۲، ۶، ۳، ۱، ...)
- برازش توزیع آماری گاما بر سری‌های بارندگی حاصل از مرحله قبل و محاسبه احتمالات تجمعی توزیع گاما
- محاسبه شاخص بارش استاندارد شامل برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی کل برای یک ایستگاه معین می‌باشد. سپس، پارامترهای $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ مربوط به تابع چگالی احتمال گاما برای هر ایستگاه، هر مقیاس زمانی (سه، شش، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماه و غیره) و برای هر ماه سال برآورد می‌شوند.



شکل ۱- نقشه موقعیت ایستگاه‌های منطقه

تابع احتمال تجمعی که در برگزیده‌ی مقادیر صفر هم باشد از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$H(X) = q + (1-q) G(X) \quad (۶)$$

که q : احتمال صفر بودن مقدار بارندگی می‌باشد. تام (۱۹۶۶) اظهار داشت اگر m تعداد داده‌های بارندگی باشد که مقدار آنها در سری زمانی معادل صفر است آنگاه، q از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$q = m/n \quad (۷)$$

تام (۱۹۶۶) از جدول تابع گامای ناقص برای تعیین احتمالات تجمعی ($G(x)$) استفاده نمود. پس از محاسبه‌ی تابع تجمعی کل، $H(x)$ ، تغییر شکل احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z (یا SPI) با میانگین صفر و واریانس یک صورت می‌گیرد. برای درک آسان تر، مراحل مذکور در شکل (۲) آورده شده است، در این شکل چگونگی تبدیل بارندگی، مقدار بارندگی ۱۲ ماهه به مقدار شاخص بارش استاندارد معادل آن با میانگین صفر و واریانس ۱ نشان داده شده است. در شکل (۲) سمت چپ، محور افقی مقادیر واقعی بارندگی مربوط به ایستگاه آباده طشک را در دوره آماری ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۹ و محور عمودی احتمالات تجمعی مقادیر بارندگی برای دوره آماری مورد نظر می‌باشد.

طبقه بندی خشکسالی هواشناسی براساس شاخص بارش استاندارد، در جدول (۱) آورده شده است. طبق تعریف ارائه شده توسط مک کی و همکاران ۱۹۹۳، بزرگی خشکسالی، مجموع مقادیر شاخص بارش استاندارد در هر مقیاس زمانی می‌باشد.

مک کی (۱۹۹۳) با استفاده از روش درست‌نمایی حداکثر برای برآورد بهینه $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ معادلات زیر را ارائه نمود:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad (۱)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{X}}{\hat{\alpha}} \quad (۲)$$

$$A = \frac{\sum L_n(x)}{n} - \frac{(\bar{X})^2}{n} \quad (۳)$$

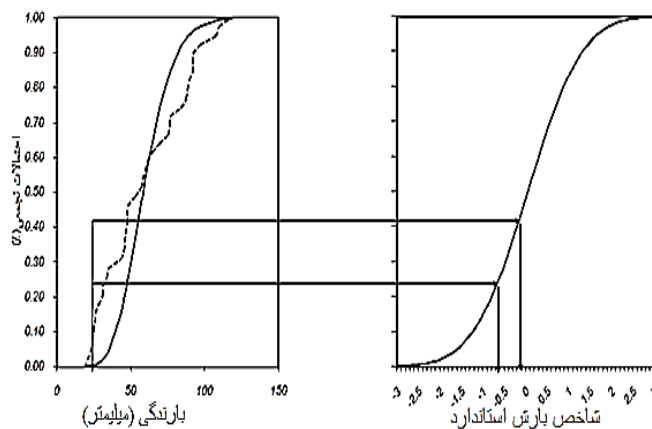
n : تعداد تعداد مشاهداتی است که در آن بارندگی روی داده است. در مرحله بعد، از پارامترهای $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ برای به دست آوردن تابع احتمال تجمعی بارندگی برای ماه مورد نظر و مقیاس زمانی معین در ایستگاه تحت بررسی استفاده می‌شود. تابع تجمعی گاما بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad (۴)$$

چنانچه $t = x / \hat{\beta}$ باشد، معادله زیر همان تابع گامای ناقص خواهد شد:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (۵)$$

چون تابع گاما برای $X = 0$ (بارندگی صفر میلی‌متر) تعریف نشده است و توزیع بارندگی ممکن است دارای مقادیر صفر باشد،



شکل ۲- تغییر شکل هم احتمالی تابع تجمعی گاما (سمت چپ) مجموع بارندگی‌های ۱۲ ماهه به تابع تجمعی نرمال (سمت راست)

جدول ۱- کلاس بندی خشکسالی براساس شاخص بارش استاندارد شده (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳)

مقادیر بارش استاندارد	کلاس خشکسالی
بیشتر از ۲	ترسالی خیلی شدید
(۱/۵) تا (۲)	ترسالی شدید
(۱) تا (۱/۵)	ترسالی متوسط
(۱) تا ۰	ترسالی ملایم
۰ تا (-۱)	خشکسالی ملایم
(-۱/۵) تا (-۱)	خشکسالی متوسط
(-۱/۵) تا (-۲)	خشکسالی شدید
کمتر از -۲	خشکسالی بسیار شدید

انواع روش های درون یابی

روش های مختلفی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات مکانی دارند، وجود دارد. در روش های مختلف، مقادیر برآوردی از مجموع حاصل ضرب یک فاکتور وزنی در مقادیر نقاط مشاهده ای به دست می آید. از روش های میان یابی فضایی مبتنی بر آمار کلاسیک، می توان روش معین عکس فاصله را نام برد. در این روش، برای پیش بینی در مکان هایی که داده های آنها اندازه گیری نشده است، از مقادیر اندازه گیری شده پیرامون محل استفاده می شود.

$$z^*(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n z(x_i) \cdot d_{ij}^{-m}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-m}} \quad (8)$$

که در رابطه بالا

$z^*(x_0)$: مقدار محاسباتی .

$z(x_i)$: مقادیر نمونه

d_{ij} : فاصله اقلیدسی هر مکان تا محل نمونه

m : عامل توان (اصطکاک فاصله) و n تعداد نقاط نمونه می باشد.

از روش های میان یابی فضایی مبتنی بر زمین آمار، می توان روش کریجینگ و کوکریجینگ را نام برد. در روش کریجینگ برای هر یک از نمونه ها وزن آماری مشخصی به گونه ای در نظر گرفته می شود که واریانس تخمین مبتنی بر آن ها حداقل باشد. در روش کریجینگ هر چقدر نمونه در فاصله دورتری قرار داشته باشد، به همان نسبت وزن آماری که به آن نسبت داده می شود، کمتر است:

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot z(x_i) \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (10)$$

این رابطه $z^*(x_0)$ ، مقدار برآورد شده در نقطه x_0 و w_i وزن $z(x_i)$ مقادیر نمونه می باشد. روش کوکریجینگ روشی است که برای برآورد استفاده می شود. این روش وقتی مفید است که دو یا چند متغیر که به هم وابسته هستند، اندازه گیری شده باشند و بتوان آن ها را با یکدیگر برآورد نمود. به بیان دیگر، با استفاده از اطلاعات مربوط به متغیرهای ثانویه در فرآیند تخمین، اقدام به کاهش هر چه بیشتر واریانس خطای تخمین متغیر اصلی می گردد. برای ارزیابی و بررسی روش های مختلف پهنه بندی از روش اعتبارسنجی متقاطع و معیارهای ارزیابی میانگین انحراف خطا (MBE)، میانگین مطلق خطا (MAE) و ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) براساس روابط زیر استفاده شد:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (SPI_{si} - SPI_{oi})}{n} \quad (11)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |SPI_{si} - SPI_{oi}|}{n} \quad (12)$$

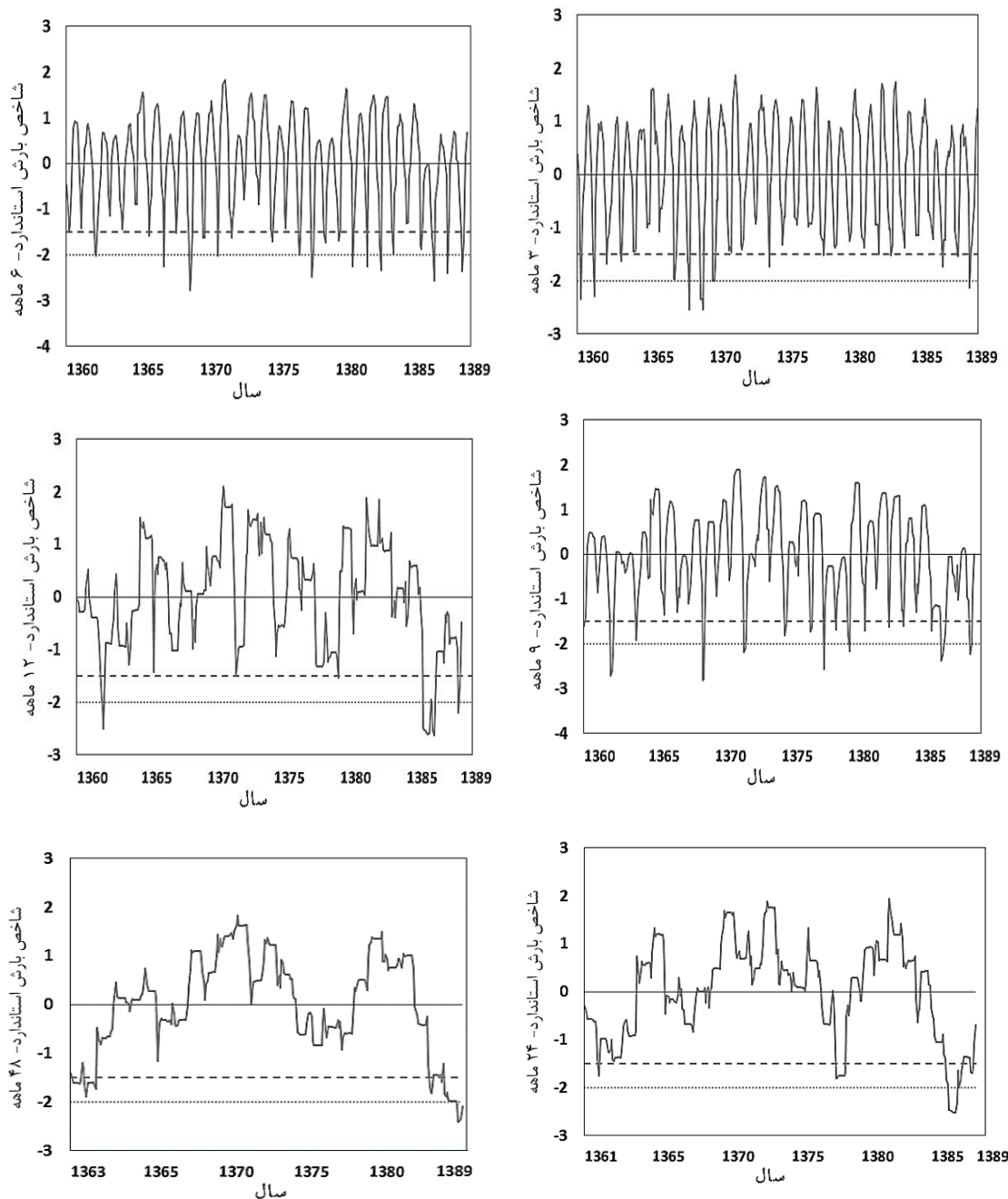
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (SPI_{si} - SPI_{oi})^2} \quad (13)$$

SPI_{si} : مقدار برآورد شده SPI

SPI_{oi} : مقدار واقعی SPI

i : اندیس مربوط به ایستگاه

n : تعداد ایستگاه می باشد (انصاری و همکاران، ۱۳۹۰). در مطالعه حاضر به منظور بررسی خشکسالی ها از شاخص بارش استاندارد، در شش مقیاس زمانی سه، شش، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه استفاده گردید. با استفاده از مقادیر حاصله در دوره بازگشت های مختلف پنج، ده، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله منحنی های تداوم- فراوانی و بزرگی- فراوانی ترسیم گردید.



شکل ۳- تغییرات زمانی شاخص بارش استاندارد در دوره زمانی ۱۳۶۰-۸۹

دهه شصت و سپس سال‌های اخیر خشکسالی‌های بسیار شدید در همه‌ی پنجره‌های زمانی به وقوع پیوسته است و از سال ۱۳۸۶ به بعد به طور مداوم حوضه مذکور دچار خشکسالی‌های معنی‌دار بوده است که این حالت به روشنی در پنجره زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه قابل مشاهده است. همچنین با افزایش مقیاس زمانی، فراوانی کلاس‌های خشکسالی‌های بسیار شدید کاهش یافته و تداوم کلاس‌های خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید افزایش می‌یابد. فراوانی خشکسالی بسیار شدید در مقیاس‌های زمانی سه، شش، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه به ترتیب یک تا چهار درصد می‌باشد.

نتایج و بحث

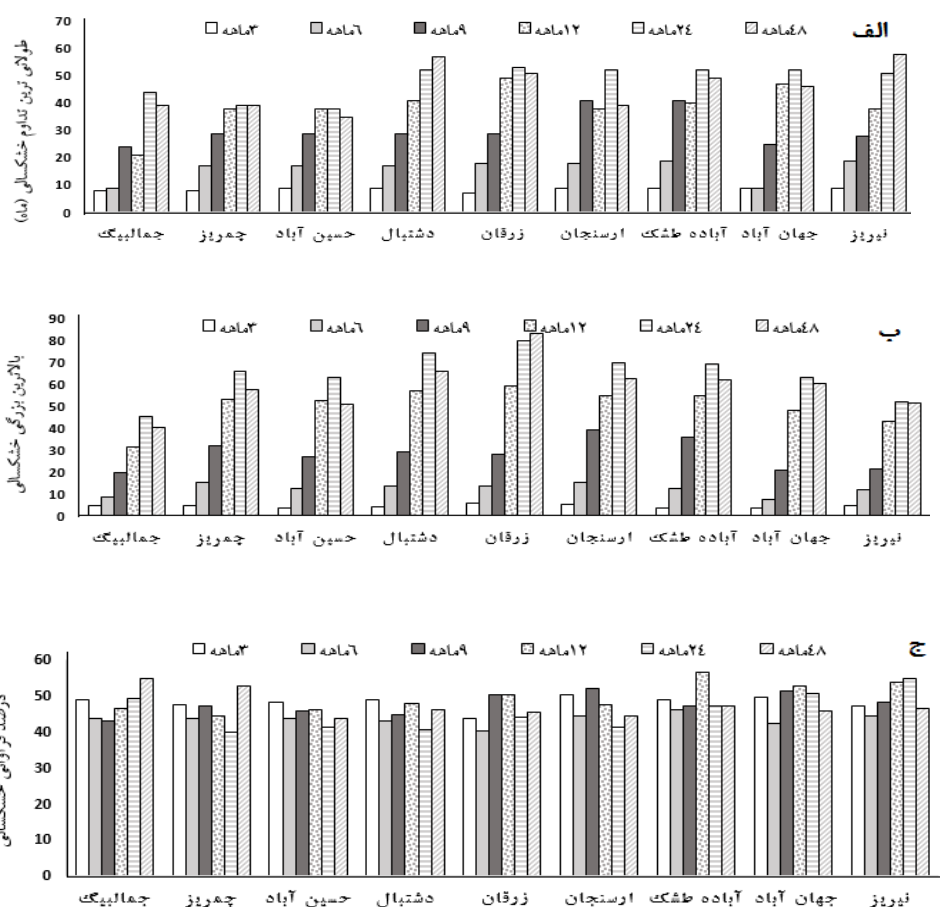
ابتدا میانگین وزنی شاخص بارش استاندارد در حوضه آبریز بختگان براساس میانگین بارندگی حوضه آبریز بختگان، در مقیاس‌های زمانی سه، شش، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه گردید. به منظور محاسبه میانگین بارندگی حوضه از روش تیسن‌بندی استفاده گردید. شکل (۳)، مقادیر میانگین وزنی شاخص بارش استاندارد در منطقه مورد مطالعه و همچنین روند خشکسالی‌ها و ترسالی‌های به وقوع پیوسته در طول دوره آماری در منطقه را نشان می‌دهد، به طوریکه می‌توان نتیجه گرفت که در

براساس نتایج، بیشترین میانگین بارندگی سالانه در حوضه آبریز مورد مطالعه بیش از ۵۰۰ میلی‌متر در سال و مربوط به نواحی شمال غربی است. این مقدار بارندگی به سمت شرق حوضه تا حد ۲۰۰ میلی‌متر در سال کاهش می‌یابد. از بررسی همزمان نقشه‌های هم باران و توپوگرافی می‌توان منطقه مورد مطالعه را به سه بخش تقسیم کرد: بخش شرقی حوضه که علی‌رغم ارتفاع زیاد (۲۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متر) متوسط بارندگی کمی (عمدتاً ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر) دارد. بخش دوم، شمال غرب حوضه را شامل می‌شود که با ارتفاع بالا (۲۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متر) متوسط بارندگی بالایی (عمدتاً ۴۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر) را نشان می‌دهد. بخش سوم نیز شامل قسمت‌های جنوب غربی است که با ارتفاع‌هایی بین ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ متر، اغلب دارای متوسط بارندگی ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر هستند (بی‌نام، ۱۳۸۸).

در جدول ۲، توضیحات مربوطه به مشخصه‌های خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف ارائه شده است.

استخراج نمودار مشخصه‌های خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه

ویژگی‌های مهم و حائز اهمیت خشکسالی در انجام طرح‌های مطالعاتی و اجرایی در منطقه بصورت نمودارها و جداولی ارائه شده است. شکل (۴)، نمودارهای بالاترین رقم بزرگی خشکسالی (مقدار تجمعی شاخص بارش استاندارد در مدت خشکسالی)، طولانی‌ترین تداوم (فاصله زمانی آغاز تا پایان خشکسالی) و درصد فراوانی خشکسالی در ایستگاه‌های واقع در حوضه آبریز بختگان در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، با افزایش مقیاس زمانی، بالاترین رقم بزرگی خشکسالی و طولانی‌ترین تداوم خشکسالی افزایش یافته به طوری که در مقیاس‌های ۲۴ و ۴۸ ماهه سه نمودار تقریباً بر هم منطبق شده اند (شکل ۴ پ). مقایسه نمودار مشخصه‌های خشکسالی در همه‌ی مقیاس‌های زمانی (شکل ۴) نشان می‌دهد که طولانی‌ترین تداوم خشکسالی و بالاترین رقم بزرگی خشکسالی مربوط به ایستگاه‌هایی است که در مرکز و جنوب حوضه واقع شده اند.



شکل ۴- نمودار مشخصه‌های خشکسالی، الف) بزرگترین تداوم خشکسالی ب) بالاترین بزرگی خشکسالی ج) درصد فراوانی خشکسالی

جدول ۲- توضیحات مربوطه به مشخصه‌های خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف

ایستگاه با طولانی‌ترین تداوم	تداوم (ماه)	ایستگاه با بالاترین بزرگی	بزرگی	مقیاس زمانی
دهبید	۱۰	زرقان	۵/۸۸	۳
آباد طشک و نیریز	۱۹	ارسنجان	۱۵/۴۵	۶
آباد طشک و ارسنجان	۴۱	ارسنجان	۳۹/۴	۹
زرقان	۴۹	زرقان	۵۹/۱۲	۱۲
زرقان	۵۳	زرقان	۷۹/۸۵	۲۴
آباد طشک	۴۹	زرقان	۸۳/۲۶	۴۸

جدول ۳- مناسب‌ترین توزیع آماری بر مشخصه‌های خشکسالی

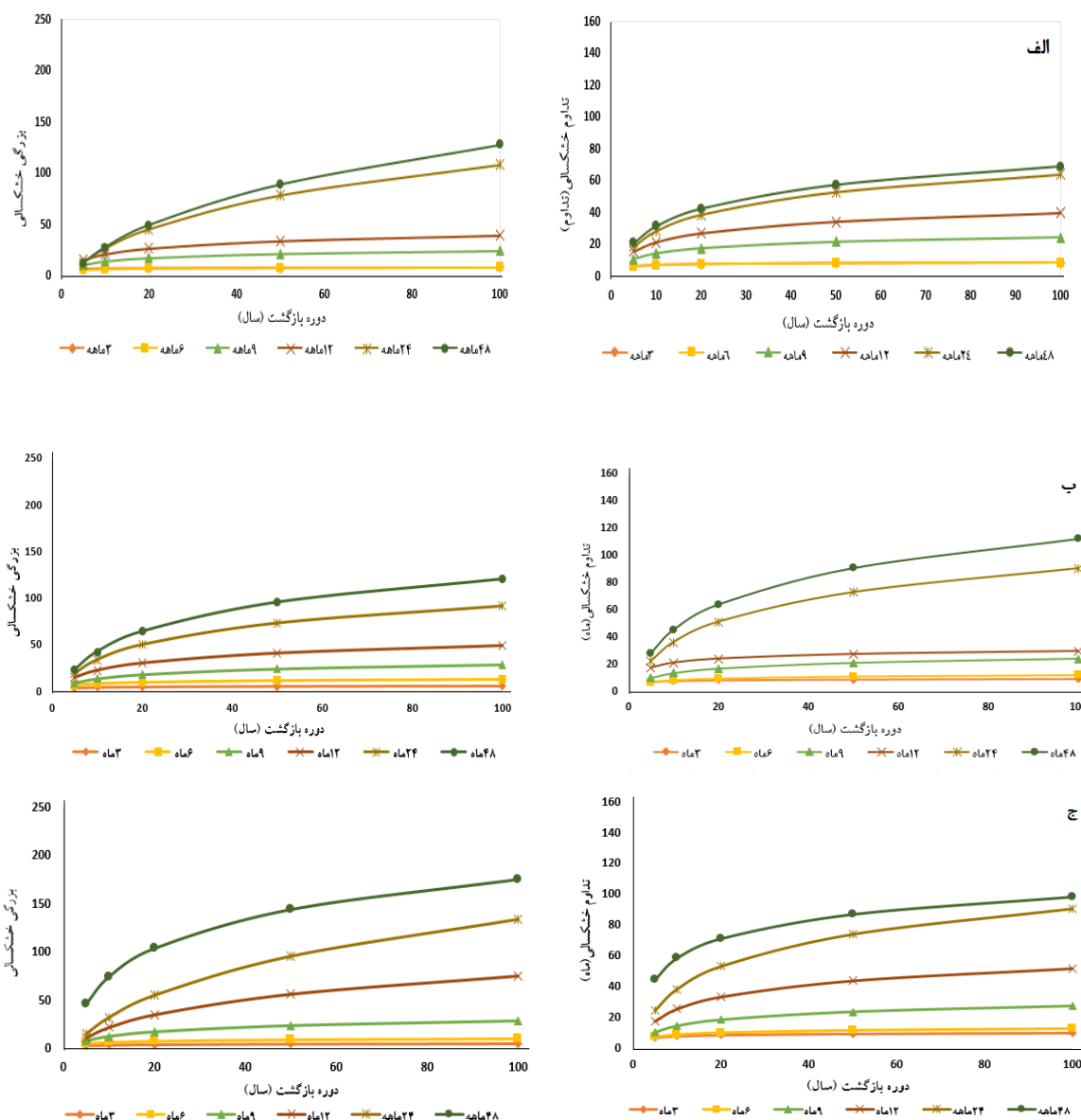
نام ایستگاه	مشخصه خشکسالی	مقیاس زمانی	۳ماه	۶ماه	۹ماه	۱۲ماه	۲۴ماه	۴۸ماه
جمالیگ			ویول	ویول	ویول	گاما	ویول	ویول
دهبید	تداوم		ویول	گاما	ویول	نرمال	ویول	ویول
حسین آباد			ویول	ویول	گاما	ویول	ویول	ویول
نیریز			ویول	گاما	ویول	ویول	ویول	ویول
جمالیگ			گاما	گاما	گاما	گاما	ویول	ویول
دهبید	بزرگی		گاما	گاما	گاما	گاما	گاما	گاما
حسین آباد			گاما	ویول	ویول	ویول	ویول	ویول
نیریز			گاما	گاما	گاما	ویول	ویول	گاما

حوضه در منطقه نیمه خشک سرد) ونیریز (جنوب حوضه در منطقه خشک سرد) در شکل (۵) آورده شده است. این ایستگاه‌ها طوری انتخاب شدند تا هر کدام معرف بخشی از اقلیم محدوده اطراف خود باشند. همان‌گونه که از منحنی‌های تداوم- دوره بازگشت و بزرگی- دوره بازگشت در مقیاس‌های مورد مطالعه مشخص است، با افزایش مقیاس زمانی و دوره بازگشت در ایستگاه‌ها، تداوم و بزرگی خشکسالی افزایش می‌یابد. بدین معنی که تداوم‌های طولانی‌تر و بزرگی‌های بالاتر احتمال وقوع کم‌تر و یا دوره بازگشت‌های طولانی‌تری دارند. و همچنین می‌توان نتیجه گرفت که تداوم‌های طولانی‌تر و بزرگی‌های بالاتر در دوره بازگشت‌های متفاوت، مربوط به ایستگاه‌های واقع شده در شرق و جنوب حوضه می‌باشد. مقایسه نتایج میانگین بارندگی محاسبه شده در دشت و ارتفاعات محدوده‌های مطالعاتی نشان می‌دهد که، کمترین مقدار بارندگی‌ها، به ترتیب مربوط به مناطق واقع در بخش جنوب شرقی حوضه، محدوده‌های نیریز، آباد طشک، جنوب دریاچه طشک، استهبان و پس از آن مربوط به محدوده‌ای مانند دهبید واقع در بخش شمال شرقی حوضه می‌باشد، در نتیجه خشکسالی‌های شدیدتر و تداوم‌های بزرگتر به ترتیب در مناطق شرق، مرکزی و جنوب حوضه مشاهده گردید.

استخراج منحنی‌های تداوم-فراوانی و بزرگی-فراوانی خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه

پس از کمی‌سازی و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد، برای درک بهتر این پدیده تحلیل‌های متعددی قابل اجراست. یک دسته از این تحلیل‌ها مربوط به تحلیل آماری مشخصه‌های خشکسالی است. برای ارزیابی آماری مشخصه‌های خشکسالی ابتدا لازم است تا رخداد‌های خشکسالی در سری‌های زمانی بارش استاندارد شناسایی شوند و سپس برای هر پدیده خشکسالی، دو مشخصه تداوم و بزرگی خشکسالی استخراج و توزیع احتمال آن‌ها مشخص شود. محققان از بین توزیع‌های نظری موجود، دو توزیع گاما و نمایی را برای بزرگی خشکسالی پیشنهاد میکنند (زنهاسستیک و سالوای، ۱۹۸۷؛ شیائو و شن ۲۰۰۱؛ بونکارسو و همکاران ۲۰۰۳)، (به نقل از نوغان‌کار و همکاران، ۱۳۹۱). در تحقیق حاضر توزیع‌های متفاوت، بر بزرگی و تداوم خشکسالی در هر یک از ایستگاه‌ها با استفاده از نرم افزار Minitab برازش داده شد (جدول ۳). نمونه‌ای از منحنی‌های تداوم-فراوانی و بزرگی-فراوانی برای ایستگاه‌های جمالیگ (شمال حوضه در منطقه نیمه مرطوب سرد) و دهبید (شرق

توزاده و همکاران: تحلیل شدت، مدت، فراوانی و گستره خشکسالی...



شکل ۵- منحنی تداوم - فراوانی و بزرگی - فراوانی مربوط به ایستگاه‌های الف) جمالیگ، ب) دهیید، ج) نیریز

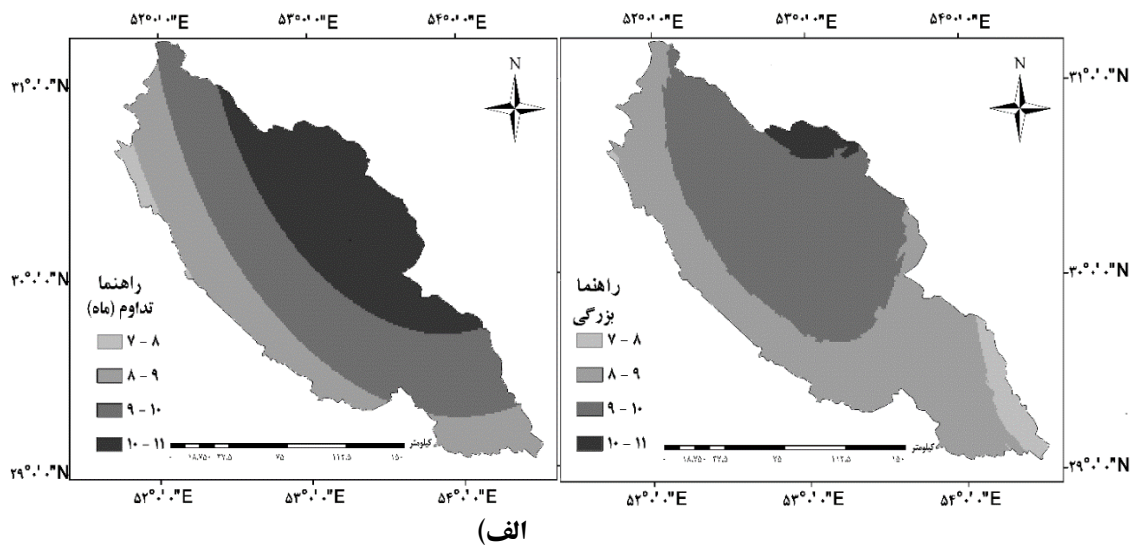
حوضه با تداوم ۱۱-۱۰ ماهه بوده که این تداوم به سمت جنوب غرب رو به کاهش است و در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در جنوب شرق حوضه خشکسالی‌هایی با تداوم طولانی تر (۲۹-۳۷ ماهه)، نسبت به سایر مناطق حوضه می‌باشد و همچنین در رابطه با بزرگی خشکسالی در مقیاس زمانی ۶ ماهه بیشترین وسعت حوضه (۴۵ درصد) دارای بزرگی (۱۰-۹) و در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه بزرگی (۳۲-۳۰) بیشترین مساحت حوضه (۵۶ درصد) را در برمی‌گیرد که هر دو تقریباً در بخش مرکزی حوضه اتفاق افتاده است.

بررسی نقشه‌های تداوم و بزرگی خشکسالی با دوره بازگشت ۲۰ سال

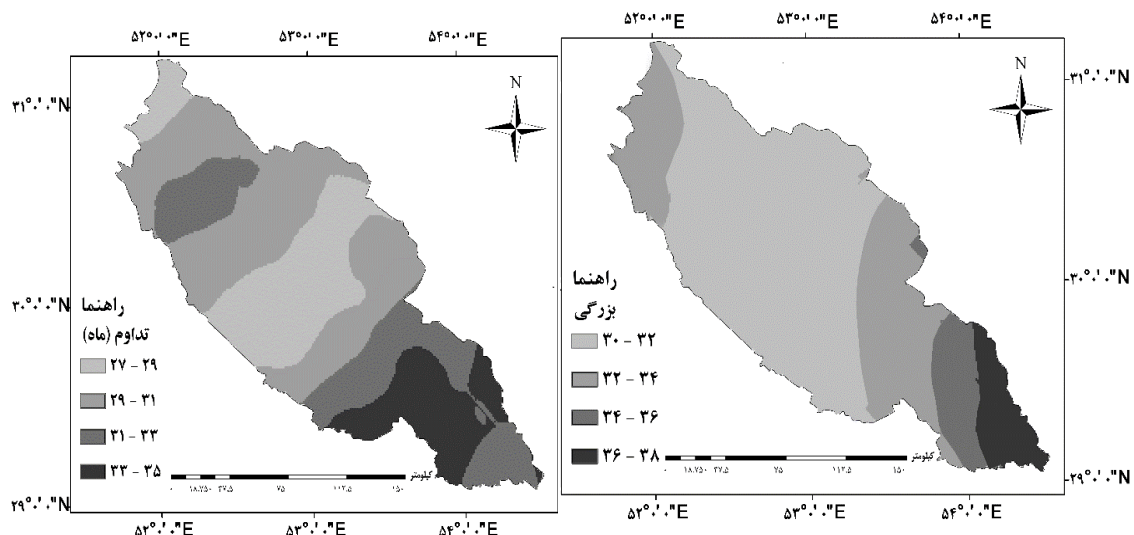
شکل (۶)، پهنه بندی تداوم و بزرگی خشکسالی در حوضه آبریز بختگان با روش کوکریجینگ (با توجه به کمترین میزان خطای روش کوکریجینگ نسبت به سایر روش‌های درونیابی) با دوره بازگشت ۲۰ سال را نشان می‌دهد که به عنوان نمونه نقشه‌های مربوط به مقیاس‌های زمانی شش و ۱۲ ماهه آورده شده است. و بیانگر این است که تداوم خشکسالی در این دوره بازگشت در مقیاس زمانی شش ماهه، در بخش‌های شرق و شمال شرق

جدول ۴- مقایسه روش‌های درون‌یابی تداوم و بزرگی خشکسالی با دوره بازگشت ۲۰ سال در مقیاس زمانی شش و ۱۲ ماهه

مقیاس زمانی ۱۲ ماهه			مقیاس زمانی شش ماهه			تداوم خشکسالی معیار ارزیابی
کوکر یجینگ	کریجینگ	معین عکس فاصله	کوکر یجینگ	کریجینگ	معین عکس فاصله	
-۰/۱۳	-۰/۱۴	-۰/۱۵	۰/۰۰۴	۰/۰۳	-۰/۰۴	MAE
۰/۰۰۱	۰/۰۹	۰/۹۹	۰/۰۷	۰/۰۸	-۰/۱۰	MBE
۳/۵۶	۳/۵۳	۳/۷۴	۰/۴۸	۰/۵۷	-۰/۸۲	RMSE
مقیاس زمانی ۱۲ ماهه			مقیاس زمانی شش ماهه			تداوم خشکسالی معیار ارزیابی
کوکر یجینگ	کریجینگ	معین عکس فاصله	کوکر یجینگ	کریجینگ	معین عکس فاصله	
۰/۰۰۱	۰/۰۷	۰/۲۴	-۰/۰۰۴	۰/۰۶	-۰/۰۳	MAE
-۰/۰۰۴	-۰/۰۹	-۰/۵۸	-۰/۱۱	-۰/۳۸	-۰/۴۶	MBE
۳/۴۰	۵/۶۷	۴/۸۳	۴	۴/۱۱	۵/۳۲	RMSE



(الف)



(ب)

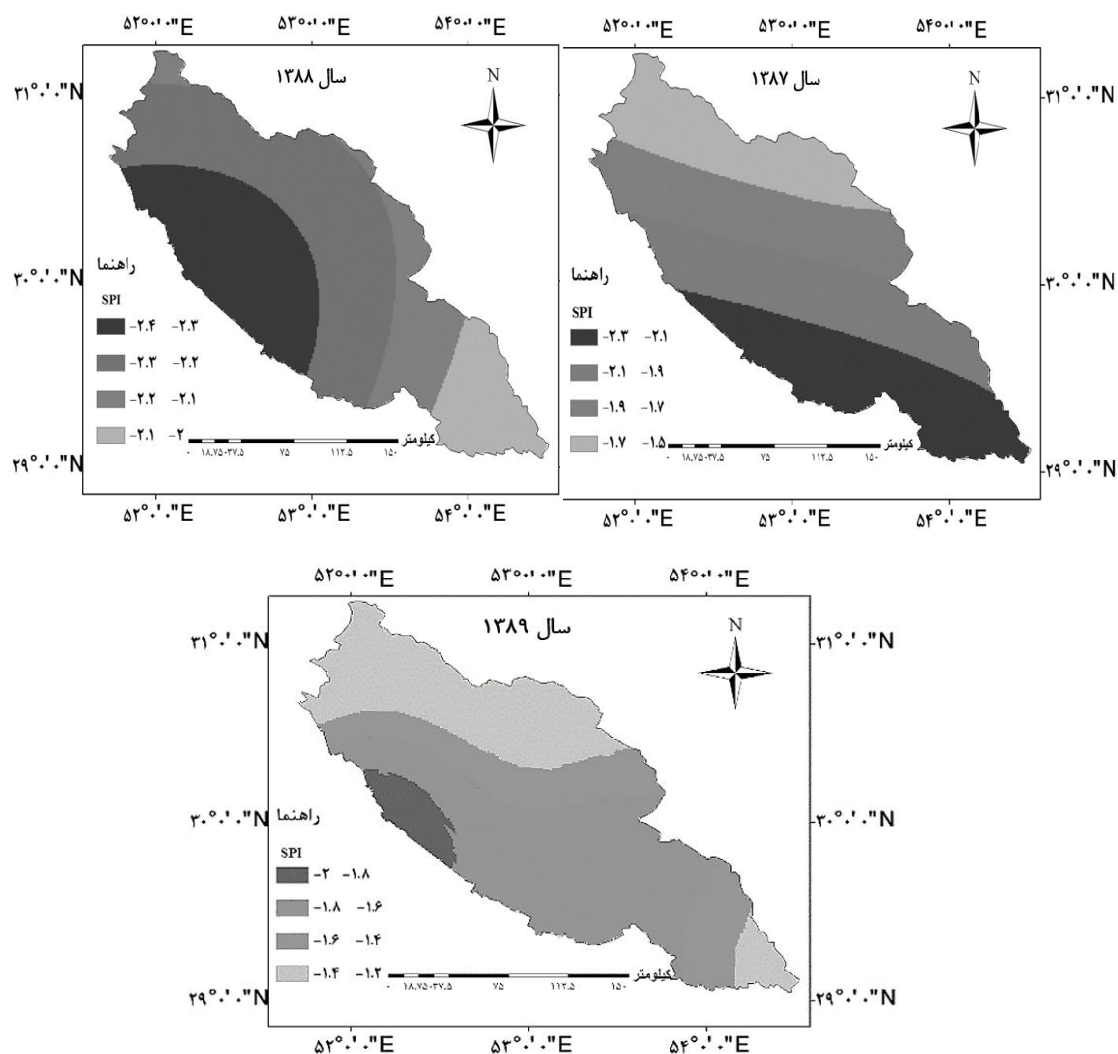
شکل ۶- پهنه بندی تداوم و بزرگی خشکسالی با دوره بازگشت ۲۰ ساله در مقیاس‌های (الف) ۶ ماهه (ب) ۱۲ ماه

خشکسالی در امان نبوده است. همچنین در سال ۱۳۸۹، خشکسالی شدید در نواحی مرکزی حوضه اتفاق افتاده است که این خشکسالی تنها بخشی از شرق حوضه، را در بر گرفت. با توجه به نقشه‌های پهنه بندی از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ مشخص است که خشکسالی بسیار شدیدی از حوالی مرکز و جنوب وارد حوضه شده و از شمال آن خارج شده است. نقشه‌های گستره خشکسالی در حوضه بختگان نشان می‌دهد که وسعت و روند تغییرات خشکسالی به ارتفاع از سطح دریا بستگی دارد و در ناحیه مرکزی حوضه، خشکسالی از شدت بالاتری برخوردار است. و به تدریج از سمت شرق به غرب حوضه، از شدت و وسعت خشکسالی کاسته می‌شود.

بررسی نقشه‌های گستره‌ی خشکسالی در حوضه آبریز بختگان

با به دست آوردن مقادیر شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های زمانی سه، شش، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه، بزرگ‌ترین شدت خشکسالی در هر ایستگاه مربوط به مقیاس زمانی ۲۴ ماهه در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ می‌باشد. با توجه به اینکه شدیدترین خشکسالی‌ها در این سال‌ها رخ داد است، نقشه‌های پهنه بندی بزرگترین شدت خشکسالی در طول دوره آماری، مربوط به مقیاس زمانی ۲۴ ماهه با روش کوکریجینگ در منطقه رسم گردید (شکل ۷).

با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی می‌توان گفت که، در سال ۱۳۸۷، خشکسالی بسیار شدید در نواحی مرکز و جنوب حوضه اتفاق افتاده بود. در سال ۱۳۸۸، خشکسالی بسیار شدید در تمامی حوضه اتفاق افتاده و هیچ یک از مناطق حوضه آبریز از وقوع این



شکل ۷- نقشه پهنه بندی بزرگ‌ترین شدت خشکسالی در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸، ۱۳۸۹

جدول ۵- نتایج حاصل از آزمون من کندال برای داده‌های بارش

نام ایستگاه	Z	نام ایستگاه	Z
جمالیگ	۰/۰۷۱	نیریز	-۰/۹۴۵
چمریز	-۰/۴۲۸	آباده	۰/۲۴۹
کافترا	-۰/۴۲۸	دوبنه	-۰/۰۳۵
دهبید	۰/۱۰۷	شیراز	-۰/۶۰۶
ارسنجان	-۰/۷۴۹	مهرآباد	۰/۱۶
چهان آباد	-۰/۵۵۳	سروستان	-۰/۷۱۳
دشتبال	-۱/۱۷	چوبخله	۰/۹۹۹
زرقان	-۰/۶۴۲	آباده طشک	-۱/۱۰

جدول ۶- نتایج حاصل از آزمون من کندال برای داده‌های دما

جهان آباد بختگان	چمریز	مهرآباد رامجرد	شیراز	زرقان	نام ایستگاه
۳/۰۲۲**	-۰/۰۷۱	۰/۴۶۵	۱/۸۳۷	۵/۲۹۹**	Z

** سطح اطمینان ۹۵٪

تحلیل روند بارش و دما در منطقه

نتایج حاصل از تحلیل روند بارش و دمای سالانه در حوضه آبریز بختگان، با استفاده از آزمون من کندال در جداول (۵) و (۶) ارائه شده است. بررسی مقادیر بارش در سطح منطقه نشان داد که میانگین بارش‌های ۳۰ ساله در منطقه ۳۴۲ میلی‌متر، بوده است که در دو سال متوالی ۸۹-۱۳۸۸ میزان بارش در ایستگاه‌های جمالیگ، ارسنجان، آباده طشک، نیریز به ترتیب ۴۴۵، ۱۹۴، ۱۴۷ و ۱۱۳/۵ میلی‌متر گزارش شده است، و همان‌طور که مسلم است ایستگاه‌های واقع در مرکز و جنوب حوضه میانگین بارندگی کمتری نسبت به میانگین بارش ۳۰ ساله در منطقه داشته‌اند. با توجه به مقدار آماره Z، در جدول (۵) روند معنی‌داری در بارندگی ایستگاه‌های حوضه آبریز بختگان مشاهده نشده است اما با توجه به جدول (۶)، روند صعودی دما در ایستگاه‌های زرقان و جهان آباد بختگان مشاهده شده است.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر با انجام مطالعاتی در زمینه خشکسالی به شناخت وسعت، تحلیل مشخصه‌های آماری و منحنی‌های تداوم- فراوانی و بزرگی-فراوانی این پدیده پرداخته شده. از بررسی نتایج مشخص شد که، در دهه شصت و سپس سال‌های اخیر خشکسالی‌های بسیار شدید در همه‌ی پنجره‌های زمانی اتفاق افتاده است. بررسی منحنی‌های تداوم- فراوانی و بزرگی- فراوانی، در منطقه نشان داد که در همه ایستگاه‌ها با افزایش مقیاس زمانی و افزایش دوره بازگشت، تداوم و بزرگی خشکسالی نیز

افزایش می‌یابد. بدین معنی که تداوم‌های طولانی‌تر و بزرگی‌های بالاتر احتمال وقوع کم‌تر و یا دوره بازگشت‌های طولانی‌تری دارند، به طوری که تداوم‌های طولانی‌تر و بزرگی‌های بالاتر در دوره بازگشت‌های متفاوت، مربوط به ایستگاه‌های واقع در شرق و جنوب حوضه می‌باشد. نقشه‌های پهنه بندی تداوم و بزرگی خشکسالی در حوضه آبریز بختگان، با دوره بازگشت ۲۰ ساله نشان می‌دهد که تداوم خشکسالی در مقیاس زمانی ۶ ماهه، مربوط به بخش‌های شرق و شمال شرق حوضه بوده و این تداوم به سمت جنوب‌غرب رو به کاهش است. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در جنوب‌شرق حوضه شاهد خشکسالی‌هایی با تداوم طولانی‌تر نسبت به سایر مناطق حوضه بودیم و در رابطه با بزرگی خشکسالی در مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه، بالاترین بزرگی خشکسالی در بخش مرکزی و جنوب حوضه اتفاق افتاده است. این امر نشان دهنده این است که در دوره بازگشت‌های بالاتر شاهد تداوم و بزرگی بالاتری در مناطق مرکزی و جنوبی حوضه خواهیم بود. با توجه به ارزش اقتصادی و اجتماعی تالاب واقع در جنوب حوضه و زمین‌های اطراف تالاب از جمله اراضی مربوط به کشت محصولاتی چون برنج، گندم، کتان و نیشکر و همچنین وجود ساکنین محلی که از طریق صیادی به امرار و معاش در تالاب می‌پردازند، لازم است مسئولین ضرورت تغییر مدیریت بحران به مدیریت ریسک را مد نظر قرار داده و با انجام اقدامات بهینه و به موقع از وقوع خسارات بیشتر در منطقه جلوگیری نمایند.

منابع

- ۱- انصاری، ح، عرفانیان، م و م. نادریان فر. ۱۳۹۰. ارزیابی مدل‌های مختلف پهنه‌بندی شدت بروز خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۸(۱): ۷۹-۵۹.
- ۲- بذرافشان، ا، محسنی ساروی، م، ملکیان، ا. و ا. معینی. ۱۳۹۰. بررسی وضعیت خشکسالی استان گلستان با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI). فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۸(۳): ۴۰۷-۳۹۵.
- ۳- بی نام. ۱۳۸۸. مطالعات بهنگام سازی اطلس منابع آب حوضه آبریز دریاچه‌های طشک-بختگان و مهارلو. شرکت سهامی آب منطقه ای فارس.
- ۴- بی نام. ۱۳۸۹. گزارش بازدید از تالاب‌های طشک و بختگان و مهارلو. شرکت مدیریت منابع آب ایران. معاونت حفاظت و بهره برداری. دفتر مهندسی رودخانه‌ها و منابع.
- ۵- فاتحی مرج، ا و ا. حیدریان. ۱۳۹۲. بررسی خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی با استفاده از GIS در استان خوزستان. نشریه علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۷(۲۳): ۳۲-۱۹.
- ۶- میراکبری، م و آ. گنجی. ۱۳۹۱. تحلیل دو متغیره مشخصه‌های شدت و مدت خشکسالی هواشناسی (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). مجله پژوهش آب ایران، ۶(۱۱): ۲۵-۱۷.
- ۷- نصرتی، ک. و ح. آذر نیوند. ۱۳۸۱. تحلیل منطقه‌ای شدت-مدت-دوره بازگشت خشکسالی با استفاده از داده‌های بارندگی (مطالعه موردی: حوضه آبریز اترک)، ۷(۱): ۶۲-۴۹.
- ۸- نوغان کار، ه، بذرافشان، ج و س. حجابی. ۱۳۹۱. تحلیل ریسک مشخصه‌های خشکسالی کشاورزی تحت شرایط اقلیم فعلی و تغییر اقلیم در اقلیم‌های مختلف ایران. مجله پژوهش آب ایران، ۶(۱۱): ۱۹۴-۱۸۵.
- 9- Caccamo, G., Chisholm, L.A. Bradstock, R.A. and Puotinen. M.L. 2011. Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 115:2626-2639.
- 10-Dastorani, M.T., MassahBavani, A.R. Poormohammadi, S and M.H. Rahimian. 2011. Assessment of potential climate change impact on drought indicators (Case study: Yazd station, Center of Iran), *Desert*, 16: 159-167.
- 11-Heon Lee J. CH and J . Kim. 2012. A multimodel assessment of the climate change effect on the drought severity- duration- frequency relationship. *Hydrological Processes*, 27 (19): 2800-2813.
- 12-Hyes, MJ ., Svoboda, MD ,Wilhite DA and o, Vanvarkho. 1999. Monitoring the drought 1996 using the standardized precipitation Index. *Bulletin of American Meteorological society*, 80(3): 429-438.
- 13-Keskin, F and A.U. Sorman, 2010. Assessment of dry and wet period severity with hydrometeorological index. *International Journal of Water Resource and Enviromental Engineering*, 12 (3): 507-518.
- 14-Khadr, M., Morgenschweis, G., and A., Schlenkhof. 2009. Analysis of Meteorological drought in the Ruhr basin by using the Standardized Precipitation Index. *Word Academy of Science, Engineering and Technology*, 12(3): 253-264.
- 15-Kim, CH.J., Park, M.J and j., Heon Lee. 2013. Analysis of climate change impact on spatial and frequency pattern of drought using a potential drought hazard mapping approach. *International Journal of Climatology*, 34 (1): 61-80.
- 16-Madadgar, SH and H. Moradkhani.2013. Drought analysis under climate change using copula. *Journal Of Hydrologic Engineering*, 18:746-759.

- 17-McKee, T.B., Doesken, N.J and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to timescale. Eight Conference on Applied Climatology. January 17-22 . Conference Location Anaheim, California.
- 18-Mitchel, P and w. Hayian. 2014. Recent drought phase in a 73-year record at two spatial scales: Implications for livestock production on rangelands in the Southwestern United States. *Agriculture and Meteorology*, 197: 40-51.
- 19-Mohsenisaravi, A., Safdari, A and A. Malekian. 2009. Intensity- duration- frequency and spatial analysis of drought using the standardized a precipitation index. *Hydrology and Earth system SciencesDiscussions*, 6(2):1347-1383.
- 20-Moradi,H.R., Rajabi,M and M. Faraghzade. 2011. Investigation of meteorological drought characteristic in Fars province Iran. *Catena*, 84: 35-46.
- 21-Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought. US Weather Bureau. 45.
- 22-Shiau, j.T and R., Modarres. 2009. copula-based drought severity– duration- frequency analysis in iran. *Meteorological Applications*, 16: 481-489.
- 23-Sterzepek, K., Yohe, G and J., Neumann. 2010. Characterizing changes in drought risk for the United State from climate change. *Environmental Research Letters*.
- 24-Vicente-Serrano, S.M., Carlos Gonzalez-Hidago, J., De Luis, M and J. Raventos. 2004. Drought pattern in the Mediterrenean area, the Valencia region (eastern spain). *Climate Research*, 26 :5-15.
- 25-Vidal, J.PH and S., Wade. 2009. A multimodel assessment of future climatological drought in the United Kingdom. *International Journal of Climatology*, 29: 2056-2071.
- 26-Wilhite, D.A and M. Glantz. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definition, *Water International*, 10(3):111-120.