



## تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی با روش حد آستانه ثابت (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کرخه)

**مهشید کریمی<sup>۱</sup>, کاکا شاهدی<sup>۲</sup> و مطلب بایزیدی<sup>۳</sup>**

۱- کارشناس ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(نویسنده مسؤول: karimi\_mahshid88@yahoo.com)

۲- استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنتج

تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۶/۲۶

### چکیده

خشکسالی یکی از پدیده‌های محیطی شناخته شده است که تبعات اقتصادی اجتماعی و زیست محیطی را به دنبال دارد. بنابراین برسی و تحلیل آن برای مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر منابع آب حائز اهمیت است. تحقیق حاضر سعی دارد با تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز کرخه واقع در غرب کشور گامی در جهت مدیریت علمی و عملی خشکسالی در این حوزه بردارد. در این تحقیق با استفاده از سری زمانی داده‌های دبی روزانه ۱۳ ایستگاه هیدرومتری و روش حد آستانه ثابت، دوره‌های خشکسالی استخراج و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج بررسی‌ها نشان داد بیشترین حجم کمبود و بیشترین تداوم خشکسالی در حد آستانه ۷۰ و ۸۰ درصد در بیشتر ایستگاه‌ها بعد از سال ۱۳۷۷ رخ داده است، در نهایت توزیع های احتمالاتی مناسب برای سری‌های حداکثر سالانه حجم کمبود و تداوم خشکسالی در هر یک از ایستگاه‌ها مشخص شد. نتایج نشان داد که برای سری‌های حداکثر حجم کمبود، توزیع جانسون، بیشترین فراوانی (۳۸/۵ درصد از ایستگاه‌ها) و برای سری‌های حداکثر تداوم، توزیع نمایی دوگانه و جانسون هر یک دارای جانسون فراوانی (۲۳ درصد از ایستگاه‌ها) در بین سایر توزیع‌ها می‌باشد. در نهایت بر اساس توزیع‌های آماری مناسب، دوره بازگشت خشکسالی‌ها محاسبه گردید و امکان پیش‌بینی خشکسالی در سال‌های آینده فراهم شد.

**واژه‌های کلیدی:** خشکسالی هیدرولوژیک، حد آستانه ثابت، کرخه، حجم کمبود، تداوم خشکسالی

### مقدمه

که اگر جریان رودخانه کمتر از آن باشد، به عنوان خشکسالی هیدرولوژیکی در نظر گرفته می‌شود (۲۳). فلایگ و همکاران (۱۰) در تحقیقی با استفاده از روش حد آستانه به بررسی پارامترهای خشکسالی هیدرولوژیکی پرداختند و روش‌های مختلف ادغام‌سازی شامل معیار داخلی (IT)، فیلتر میانگین متحرک n روزه (MA) و الگوریتم پیک متولی (SPA) را ارزیابی نمودند. سپس آنالیز فراوانی را برای سری‌های حداکثر سالانه حجم کمبود و تداوم خشکسالی انجام دادند. نتایج نشان داد توزیع پارتولوژیک بهترین تناسب را برای سری‌های حداکثر سالانه حجم کمبود و تداوم خشکسالی دارا می‌باشد. میجوسکوچ-سوتینوویچ و مارسیسک (۱۸) در تحقیقی به تجزیه و تحلیل جریان حداقل در پایین دست رودخانه دروا پرداختند. آنها برای این تحقیق از داده‌های دبی روزانه ایستگاه دانجی میهولجاک طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۰۷ استفاده کردند سپس با استفاده از روش حد آستانه ۹۵ پارامترهای خشکسالی از قبیل حجم کمبود، تداوم، حداکثر حجم کمبود و حداکثر تداوم را استخراج نمودند، نتایج آنها نشان داد توزیع پیرسون در سطح اطمینان ۹۵ درصد بهترین برآش را با داده‌های جریان حداقل دارد. بایزیدی (۴) در تحقیقی به بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از روش

پدیده خشکسالی یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی است که بسیاری از کشورها را تحت تأثیر خود قرار داده و باعث بروز بسیاری از مشکلات از جمله مشکلات اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی گردیده است (۲۰). تاکنون تعاریف بسیاری از خشکسالی ارائه شده است که هر کدام دیدگاه خاصی را مدنظر قرار می‌دهد اما تا به امروز تعریفی از خشکسالی که بهطور جهانی قبل قبیل باشد ارائه نشده است و غالباً تعریف‌ها برای مناطق تحت مطالعه خاصی بیان شده‌اند. با توجه به تعاریف مختلفی که از دیده خشکسالی ارائه شده می‌توان به تعریف پالمر (۲۱) که از جامع‌ترین آنها است، اشاره کرد. وی خشکسالی را کمبود مستمر و غیرطبیعی رطوبت در یک دوره‌ی زمانی مشخص (معمولًاً یک سال) می‌داند. در این تعریف روش مستمر به تداوم حالت کمبود و واژه‌ی غیرطبیعی به انحراف شاخص موردنظر از شرایط طبیعی یا میانگین اطلاق می‌شود. خشکسالی به چهار نوع تقسیم می‌شود: هواشناسی<sup>۱</sup>، هیدرولوژیک<sup>۲</sup>، کشاورزی<sup>۳</sup> و اقتصادی اجتماعی<sup>۴</sup> (۱۴، ۱۲) که در این تحقیق خشکسالی هیدرولوژیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. متداول‌ترین تعریف کمی خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس تبیین یک حد آستانه می‌باشد

1- Meteorological Drought  
4- Social -Economic Drought

2- Hydrological Drought  
5- Generalized Pareto (GP) Distribution

3- Agricultural Drought

۱۶/۶، ۱۳/۸، ۲۲/۲، ۱۳/۸ و ۸/۳ درصد بود. مفیدی پور و همکاران (۱۹) در تحقیقی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص خشکسالی جریانات رودخانه‌ای (SDI) به بررسی رابطه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز اترک پرداختند. برای این منظور از آمار ماهانه ۲۳ ایستگاه باران‌سنجدی و ۷ ایستگاه هیدرومتری در حوزه آبخیز اترک استفاده شد. شاخص‌ها در ۶ بازه زمانی (۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد در سطح ۹۹ درصد رابطه زمانی و قوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با یکدیگر معنی‌دار است و این همبستگی در بازه ۳ ماهه حداکثر است. خشکسالی سبب کاهش جریان آبهای سطحی شده و این تأثیر در همان ماه و یا با یک ماه تأخیر و حداکثر در ایستگاه شیرآباد و در زیر حوزه دربند رخ داده است.

پایین بودن میزان بارندگی، پراکنش نامناسب آن و خشکسالی‌های به وقوع پیوسته در سال‌های اخیر مشکلات عدیده‌ایی را در زمینه آب برای بسیاری از نقاط کشور ایجاد نموده است، از جمله نقاطی که تحت تأثیر مشکل خشکسالی قرار گرفته است حوزه کرخه است، با توجه به قرارگیری حوزه کرخه در چندین استان و نقش عمده این حوزه در تأمین آب بخش پیوسته از کشور و هم‌چنین وابستگی معیشتی ساکنین حوزه (مصالحه کشاورزی)، خشکسالی‌های به وقوع پیوسته می‌تواند موجب چالش‌های اقتصادی و در نهایت بروز بحران‌های اجتماعی گردد. بنابراین مطالعه و تحلیل خشکسالی‌های بوقوع پیوسته بویژه خشکسالی هیدرولوژیکی که یکی از انواع خشکسالی‌هاست و امروزه در بخش‌های زیادی از جهان به صورت مسئله پیچیده‌ای درآمده است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

## مواد و روش‌ها

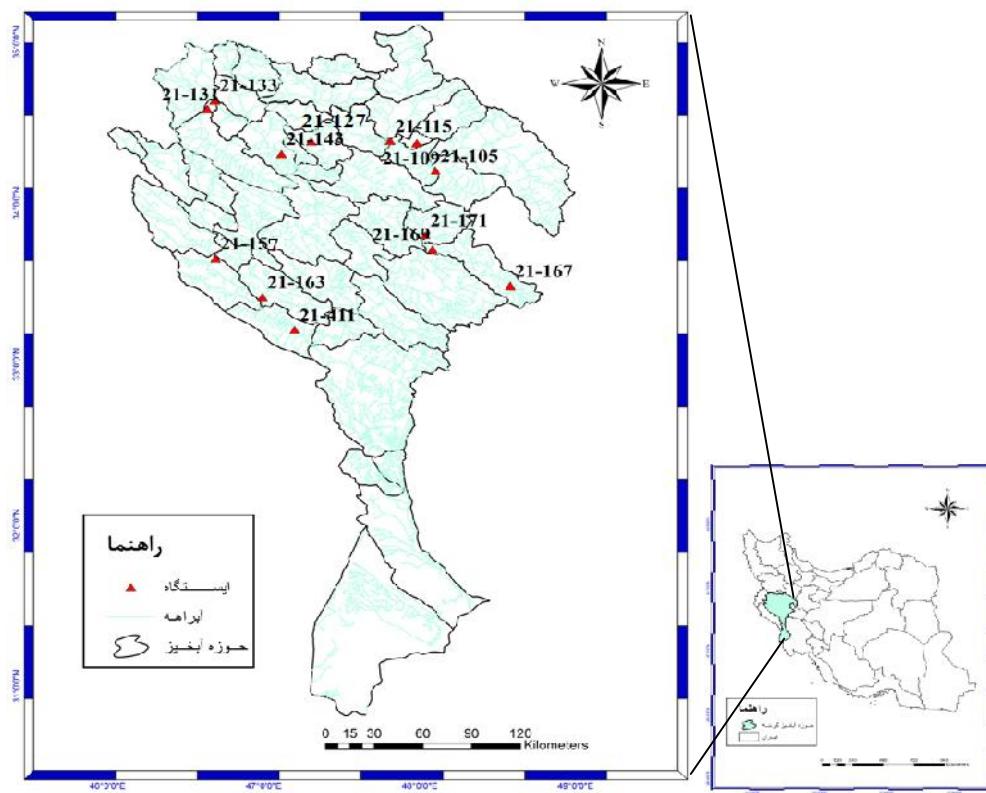
### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کرخه در غرب کشور و در مناطق میانی و جنوب غربی رشته کوه‌های زاگرس قرار دارد. این حوزه از نظر مختصات جغرافیایی در حد فاصل ۰۶ درجه شمالی و ۴۹ درجه شرقی و ۵۸ درجه شمالی واقع شده است. جهت بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های هیدرولوژیکی واقع در حوزه کرخه از شرکت مدیریت منابع آب ایران (تمام، ۱۳۹۰) اخذ گردید. با بررسی‌های صورت گرفته تعداد ۱۳ ایستگاه هیدرومتری واقع در شاخه‌های اصلی این حوزه با حداقل طول دوره

حد آستانه (در سطح ۰/۷۰) در ۵۴ ایستگاه هیدرومتری واقع در جنوب غربی ایران پرداخت. برای این آنالیز از دبی‌های روزانه استفاده شد، نتایج نشان داد شدیدترین و طولانی‌ترین خشکسالی‌ها در سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۰ رخ داده است. ون و همکاران (۲۵) در تحقیقی با استفاده از شاخص جریان استاندارد (SFI) به تعیین شدت خشکسالی هیدرولوژیکی در پایین دست رودخانه مارامبیجی<sup>۱</sup> در استرالیا پرداختند و با استفاده از مدل GAM به بررسی اثرات نظم رودخانه در خشکسالی هیدرولوژیکی و مدل‌سازی روابط بین SPI و SFI پرداختند، نتایج نشان داد که جریان منظم بالادست در کاهش شدت خشکسالی نقش دارد. یاراحمدی (۲۷) در تحقیقی به بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی حوزه آبخیز گمبرچای در استان آذربایجان شرقی پرداخت و عمده‌ترین شاخص‌های کمبود جریان را با استفاده از روش حد آستانه Q<sub>75</sub> استخراج نمود. نتایج نشان داد که سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۶ و ۲۰۰۵ به عنوان خشک‌ترین سال‌ها در منطقه مشخص شدند و با استفاده از آزمون کای مربع، توزیع پواسون و توزیع نمایی دوگانه جهت محاسبه به ترتیب برای تعداد رخدادهای خشکی و طول مدت خشکی مناسب تشخیص داده شدند و احتمال وقوع دوره‌های خشکسالی با طول مدت معین با این توزیع‌ها محاسبه شدند. بازیزدی و همکاران (۶) در تحقیقی در حوزه رودخانه کرخه، با استخراج منحنی تداوم جریان از سری زمانی داده‌های روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری دوره‌های خشکسالی هیدرولوژیکی را به روش حد آستانه ثابت استخراج و نتایج را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و در نهایت فراوانی وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی و همزمانی وقوع آن را در زیرحوزه‌های مختلف بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که بر اساس تعریف حد آستانه در بیشتر سال‌های آماری خشکسالی ولو برای دوره کوتاهی اتفاق افتاده است. طهماسبی پور و همکاران (۲۲) در تحقیقی با استفاده از آمار دبی‌های متوسط سالانه طی دوره آماری ۳۷ ساله به بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی در استان لرستان HYFA پرداختند و سپس با استفاده از نرم‌افزار توزیع های آماری مختلف را مورد آزمون قرار دادند که توزیع پیرسون تیپ سه به عنوان توزیع برتر انتخاب گردید و با مقایسه دبی جریان سالانه و محاسبه احتمال وقوع در طول دوره‌ی آماری وضعیت ترسالی و خشکسالی هر یک از ایستگاه‌ها مشخص شد. نتایج محاسبات در ایستگاه آب‌سنجدی کشکان که در خروجی منطقه مورد مطالعه قرار داشت نشان داد وقوع وضعیت‌های خیلی خشک، خشک، نیمه‌خشک، متوسط، نیمه‌مرطوب، مرطوب و خیلی مرطوب به ترتیب ۸/۳

۱- Murrumbidgee

آماری ۲۰ سال انتخاب شدند. شکل (۱) موقعیت می‌دهد.  
ایستگاهها و جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌ها را نشان



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در حوزه آبخیز کرخه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری انتخاب شده در حوزه آبخیز کرخه

ردیف	کد ایستگاه	نام ایستگاه	جهانگردی جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	مساحت آبخیز بالادست (کیلومتر مربع)	روندخانه	سال‌های دارای آمار
۱	۲۱-۱۰۵	سنگ سوراخ	۴۸°۲۳'	۳۴°۲۲'	۱۸۰۰	۳۲۰/۰	گاماسب	۱۳۴۸-۱۳۸۷
۲	۲۱-۱۰۹	فیروزآباد	۴۸°۰۷'	۳۴°۲۱'	۱۴۵۰	۸۴۵/۶	تپیسرکان	۱۳۳۳-۱۳۸۷
۳	۲۱-۱۱۵	دوآب	۴۷°۵۴'	۳۴°۲۲'	۱۴۱۰	۷۷۶۹/۳	گاماسب	۱۳۴۸-۱۳۸۷
۴	۲۱-۱۲۷	پل چهر	۴۷°۲۶'	۳۴°۲۱'	۱۲۸۰	۱۰۸۶۷/۵	گاماسب	۱۳۳۳-۱۳۸۷
۵	۲۱-۱۳۱	خرس آباد	۴۶°۴۴'	۳۴°۳۱'	۱۳۲۰	۱۴۳۲/۹	آب مرک	۱۳۵۳-۱۳۸۷
۶	۲۱-۱۳۳	دوآب مرک	۴۶°۴۷'	۳۴°۳۳'	۱۲۹۰	۱۲۴۴/۷	قره سو	۱۳۳۳-۱۳۸۷
۷	۲۱-۱۴۳	قوریاگستان	۴۷°۱۵'	۳۴°۱۴'	۱۲۳۰	۵۳۱۲/۹	قره سو	۱۳۳۵-۱۳۸۷
۸	۲۱-۱۵۷	داروت	۴۶°۴۱'	۳۳°۴۵'	۹۵۰	۲۵۸۹/۳	آب چناره	۱۳۶۷-۱۳۸۷
۹	۲۱-۱۶۳	تنگ سیاب	۴۷°۱۲'	۳۳°۲۳'	۸۸۰	۵۶۵/۰	دره زدان	۱۳۵۳-۱۳۸۷
۱۰	۲۱-۱۶۷	دهنو	۴۸°۴۷'	۳۳°۳۱'	۱۷۷۰	۲۶۵/۶	حر رود	۱۳۶۷-۱۳۸۷
۱۱	۲۱-۱۶۹	کاکارضا	۴۸°۱۶'	۳۳°۴۳'	۱۵۳۰	۱۱۴۵/۰	حر رود	۱۳۳۴-۱۳۸۷
۱۲	۲۱-۱۷۱	سراب سیدعلی	۴۸°۱۳'	۳۳°۴۸'	۱۵۲۰	۷۷۶/۶	دو آب الشتر	۱۳۳۳-۱۳۸۷
۱۳	۲۱-۴۱۱	نظرآباد (سیمر)	۴۷°۲۶'	۳۳°۱۱'	۵۳۰	۲۸۹۵۴/۳	سیمره	۱۳۶۱-۱۳۸۷

منبع: شرکت مدیریت منابع آب ایران (تماب)

روش حد آستانه پرکاربردترین روش برای تحلیل خشکسالی و کم آبی‌ها بوده به عبارتی این روش پایه و اساس تعریف مشخصات خشکسالی‌ها و کمآبی‌ها می‌باشد. جدول ۲ برخی از روش‌های مورد استفاده در داخل و خارج از کشور را در زمینه تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی نشان می‌دهد.

### روش تحقیق

در این تحقیق ابتدا به جمع‌آوری داده‌های دبی روزانه ۱۳ ایستگاه واقع شده در شاخه‌های اصلی حوزه پرداخته شد. سپس با انجام آزمون‌های آماری لازم (همگنی من- ویتنی، ران تست و رگرسیون) کنترل کیفی و اصلاح و بازسازی داده‌ها انجام گرفت.

جدول ۲- برخی از روش‌های مورد استفاده در زمینه تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی

ردیف	روش	منبع
۱	حد آستانه	لشنبی زند (۱۳۸۳)، سمیعی و همکاران (۱۳۸۵)، اسدی و همکاران (۱۳۸۸)، یاراحمدی (۱۳۸۸)، بازیزدی و ثقیفیان (۱۳۸۸)، بازیزدی و همکاران (۱۳۸۹)، بازیزدی و سی و سه مرده (۱۳۹۰)، اسلامیان و همکاران (۱۳۹۱)، تی آ او (۱۹۹۱)، جلدنس و همکاران (۲۰۰۰)، هیسدال و تلاکسن (۲۰۰۰)، هیسدال و همکاران (۲۰۰۱)، جنگتی‌زنگ و سی ون (۲۰۰۱)، هیسدال و همکاران (۲۰۰۱)، فلایگ (۲۰۰۴)، توکارسزیک و همکاران (۲۰۰۵)، سالس و همکاران (۲۰۰۵)، رادیک و میهایلوبیچ (۲۰۰۵)، فلایگ و همکاران (۲۰۰۶)، پاندی و همکاران (۲۰۰۸)، میجوسکویچ - سوتینوبیچ و مریسیک (۲۰۰۸)، استروپیک و همکاران (۲۰۰۹)، بازیزدی (۲۰۱۱)، بازیزدی و همکاران (۲۰۱۲) و وان اون و وان لان (۲۰۱۲)
۲	SDI	خرابی و همکاران (۱۳۸۹)، پاندی و همکاران (۲۰۰۸)، نلنتیس و ساکریس (۲۰۰۹)، طبری و همکاران (۲۰۱۲)
۳	EDI	قدسی و همکاران (۱۳۸۴)، نصرتی و کاظمی (۱۳۹۰)، کیم و همکاران (۲۰۰۹)
۴	شاخص ذخیره آب‌های سطحی (WSWI)	علوی‌نیا و همکاران (۱۳۸۷)، پابایی و عبده کلاهچی (۱۳۹۰)
۵	شاخص جریان استاندار (SFI)	ون و همکاران (۲۰۱۱)
۶	شاخص استاندار رواناب (SRI)	غفوریان و همکاران (۱۳۹۰)، وود و شاکلا (۲۰۰۸)
۷	شاخص جریان حداقل (MFI)	شماعی‌زاده و همکاران (۱۳۸۹)

آستانه  $Q_{\alpha}$  و  $Q_K$  به عنوان مبنای برای استخراج دوره‌های خشکسالی در نظر گرفته شد. اگر تفضیل مقادیر دبی‌های روزانه ( $Q_K$ ) و مقدار دبی مرجع (حد آستانه) منفی شود  $< 0$  ( $Q_K - Q < 0$ ) بیانگر وقوع خشکسالی است و برای تحلیل خشکسالی فقط باقی‌مانده‌های منفی مورد استفاده می‌باشند. طول توالی منفی بیانگر تداوم خشکسالی یعنی تعداد روزهایی که خشکسالی تداوم داشته است، می‌باشد. مجموع این توالی‌های منفی (دنباله از اعداد منفی بدست آمده) بزرگی یا حجم کمبود خشکسالی را نشان می‌دهد.

تمدن  $d_i$  و حجم کمبود یا بزرگی  $S_i$  به عنوان پارامترهای خشکسالی نقطه‌ای توصیه شده‌اند. با در نظر گرفتن سری زمانی دبی روزانه ( $Q_K$ ) می‌توان رابطه بین پارامترها را به صورت زیر بیان نمود:

$$D_Q = \begin{cases} Q_\alpha - Q_K & \text{if } Q_K < Q_\alpha \\ 0 & \text{if } Q_K \geq Q_\alpha \end{cases} \quad (1)$$

$$S_i = 86.4 \sum_{j=1}^{d_i} D_Q \quad (2)$$

که در آن  $D_Q$  کمبود دبی روزانه (مترمکعب بر ثانیه) و  $S_i$  برابر با حجم کمبود خشکسالی  $i$  (به ۱۰۰۰

در این روش اگر مقادیر دبی از یک حد آستانه کمتر باشد خشکسالی و یا کم‌آبی رخ می‌دهد (۳). در این روش معمولاً دوره‌های بالا و پایین (Runs) یک حد آستانه مشخص مورد بررسی قرار می‌گیرد و در واقع به این روش، روش تئوری دنباله‌ها گفته می‌شود (۱۲). در این روش اگر مقادیر دبی از یک حد آستانه کمتر باشد خشکسالی و یا کم‌آبی رخ می‌دهد (۳). در این روش معمولاً دوره‌های بالا و پایین (Runs) یک حد آستانه مشخص مورد بررسی قرار می‌گیرد و در واقع به این روش، روش تئوری دنباله‌ها گفته می‌شود (۱۲). مهم‌ترین زمینه کاربرد تحلیل‌های آستانه‌ی خشکسالی طراحی نیروگاه‌های آبی، مدیریت منابع آب، سیستم‌های تأمین آب، برنامه‌ریزی آبیاری و حفظ کیفیت آب می‌باشد. در این تحقیق سطح آستانه مناسب جهت استخراج دوره‌های خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از منحنی تداوم جریان  $(FDC)$  که نشان‌دهنده رابطه بین دبی‌های روزانه و احتمال وقوع آنها ( $P(X \geq x)$  می‌باشد، انتخاب گردید. سطح آستانه می‌تواند دبی‌هایی بین ۷۰-۹۵ درصد از منحنی تداوم جریان روزانه در نظر گرفته شود (۲۴، ۱۰، ۱) که در تحقیق پیش رو حد

$$d_{pool} = d_i + d_{i+1} + t_i \quad (3)$$

$$S_{pool} = s_i + s_{i+1} \quad (4)$$

در این تحقیق روش معیار داخلی (IC) جهت حذف خشکسالی‌های جزئی و ادغام خشکسالی‌های وابسته به کار گرفته شد که با توجه به نتایج تحقیقات فلایگ (۹) مقدار  $\alpha$ ، برابر با  $0.005$ ،  $d_{min}$  برابر با  $2$  و  $t_c$  برابر با  $5$  روز در نظر گرفته شده است. در نهایت در محیط نرم‌افزار Nizowka2003 از میان توزیع‌های احتمالاتی لوگ نرمال، ویبول، نمایی دوگانه، گاما (از نوع پیرسون تیپ ۳)، جانسون و پارتو، مناسب‌ترین توزیع جهت برآش سری‌های حداقل سالانه حجم کمبود و تداوم خشکسالی با استفاده از آزمون کای اسکویر انتخاب شد. بر اساس احتمال وقوع حاصل از توزیع احتمالاتی  $F_t(X)$ ، دوره بازگشت پارامترهای خشکسالی از رابطه زیر محاسبه شد.

$$T_X = \frac{1}{1 - F_t(X)} \quad (5)$$

### نتایج و بحث

**استخراج دوره‌های خشکسالی هیدرولوژیکی با روش حد آستانه ثابت**

پس از رسم منحنی تداوم جریان روزانه مقادیر حد آستانه  $Q_{7.0}$  و  $Q_{8.0}$  برای هر یک از ایستگاه‌ها استخراج شد و بعد از حذف خشکسالی‌های جزئی و ادغام خشکسالی‌های وابسته پارامترای حجم کمبود و تداوم خشکسالی برای هر یک از ایستگاه‌ها در طول دوره‌ی آمار در محیط نرم‌افزار Nizowka2003 استخراج گردید. جدول (۲) مجموع حجم کمبود (میلیون مترمکعب) و مجموع تداوم خشکسالی (روز) را برای مقادیر حد آستانه  $Q_{7.0}$  و  $Q_{8.0}$  در هر یک از ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در حد آستانه  $Q_{7.0}$  در دوره‌ی آماری ۱۳۳۶-۱۳۴۰ در ایستگاه‌های دارای سال‌های آماری خشکسالی هیدرولوژیکی وجود داشته است. تنها در سال‌های ۱۳۵۴، ۱۳۵۵، ۱۳۵۷، ۱۳۵۸، ۱۳۶۲ و ۱۳۶۴ در تعدادی از ایستگاه‌ها خشکسالی هیدرولوژیکی رخ نداده است. در سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۸۷ خشکسالی در اکثر ایستگاه‌ها اتفاق افتاده است (شکل ۲).

متزمکعب) و  $86/4$  ضریب تبدیل مربوط به تبدیل مقیاس زمانی می‌باشد.

با انتخاب حد آستانه مناسب، خصوصیات خشکسالی از قبیل حجم کمبود، مدت دوره خشکی و همچنین تاریخ وقوع آنها برای هر یک از ایستگاه‌ها استخراج گردید. برای استخراج این پارامترها از نرم‌افزار Nizowka 2003 که توسط ژاکوباسکی و رادزوک (۱۶) تهیه گردیده است، استفاده شد.

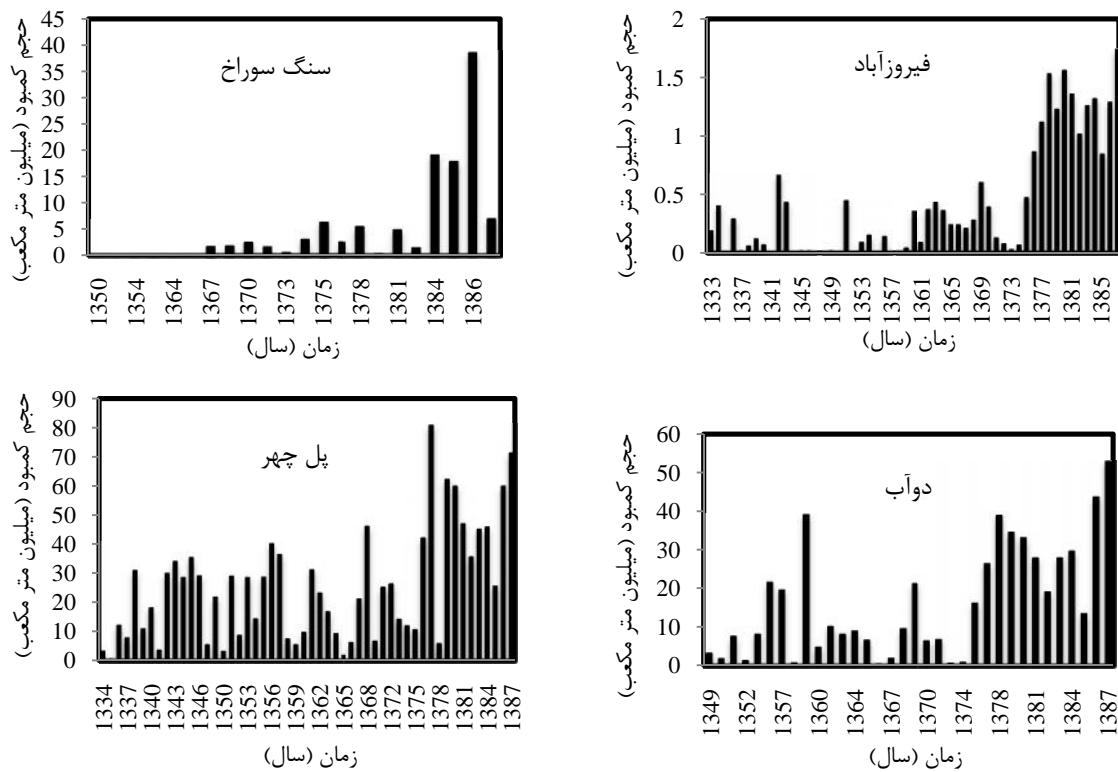
تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از سری‌های زمانی روزانه با دو مشکل مواجه می‌باشد، اول وابستگی بین خشکسالی‌ها و دیگری وجود خشکسالی‌های جزئی<sup>۱</sup> در طی یک دوره خشکی طولانی که مقدار جریان برای یک دوره زمانی کوتاه از حد آستانه انتخابی فراتر رفته و در نتیجه آن یک خشکسالی بزرگ به خشکسالی‌های کوچک و وابسته در طی یک دوره خشک طولانی تفکیک می‌گردد (۵).

جهت رفع این مشکل باید از برخی از روش‌های ادغام‌سازی<sup>۲</sup> استفاده نمود. روش‌های ادغام‌سازی شامل روش معیار داخلی<sup>۳</sup> (IC)، روش میانگین متحرک (MA) و روش الگوریتم پیک متوالی (SPA) می‌باشد (۹). در روش IC برای حذف خشکسالی‌های جزئی و ادغام خشکسالی‌های وابسته از ضرایب  $\alpha$ ،  $d_{min}$  و  $t_c$  استفاده می‌گردد. ضریب  $\alpha$  ضریبی است که برای حذف موارد خشکسالی جزئی از آن استفاده می‌شود، بدین ترتیب اگر در یک خشکسالی، حجم کمبود، کمتر از حاصل ضرب  $\alpha$  در حداقل کمبود مشاهده شده باشد (۶) حذف خواهد گردید و مقدار آن معمولاً بین  $0.005-0.01$  در نظر گرفته می‌شود.  $d_{min}$  نیز حداقل فاصله زمانی است که خشکسالی‌های جزئی با تداوم مساوی یا کمتر از آن ( $d_i \leq d_{min}$ ) حذف می‌گردد و معمولاً کمتر از  $5$  روز در نظر گرفته می‌شود (۱۰، ۹، ۷).  $t_c$  زمان بحرانی نامیده می‌شود و به نحوی که

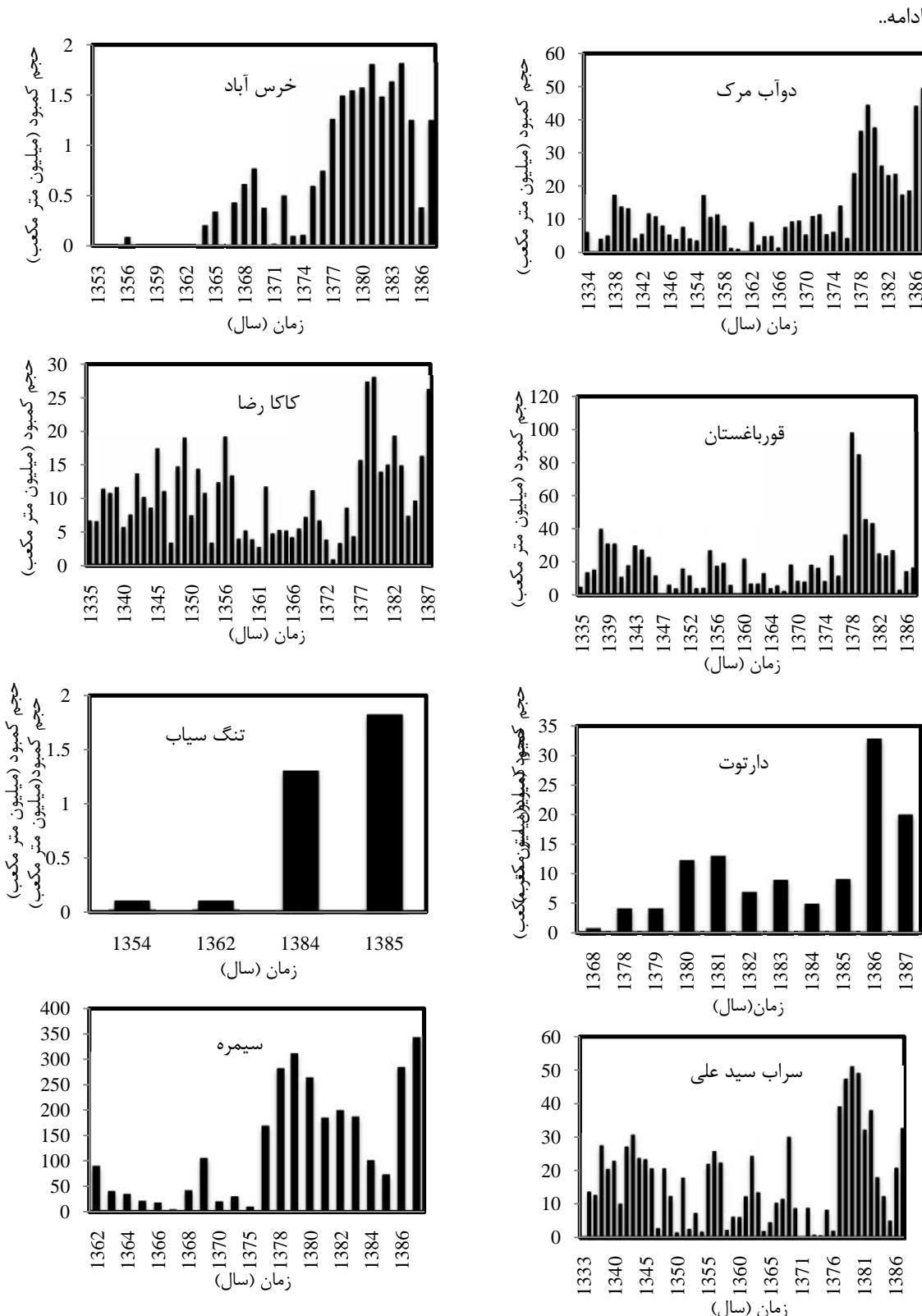
اگر دو واقعه خشکسالی وابسته با فاصله زمانی ( $t_i < t_c$ ) به‌وقوع بپیوندد با هم ادغام خواهند شد. در هر دو حالت تداوم و حجم کمبود وقایع ادغام شده (۷) به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

جدول ۳- مجموع حجم کمبود و تداوم خشکسالی در ایستگاهها

ردیف	کد	نام ایستگاه	مجموع حجم کمبود (میلیون متر مکعب)	مجموع تداوم (روز)	مجموع حجم کمبود (میلیون متر مکعب)	پارامترهای خشکسالی در حد آستانه Q <sub>7</sub>	مجموع تداوم (روز) (روز)	مجموع حجم کمبود (میلیون متر مکعب)
۱	۲۱-۱۰۵	سنگ سوراخ	۱۱۵/۷۸	۲۴۸۷	۱۱۵/۷۸	۱۱۵/۷۸	۲۴۸۷	۱۱۵/۷۸
۲	۲۱-۱۰۹	فیروزآباد	۴۰/۶	۵۵۸۹	۴۰/۶	۴۰/۶	۵۵۸۹	۴۰/۶
۳	۲۱-۱۱۵	دوآب	۵۵۱/۳۲	۴۷۷۳	۵۵۱/۳۲	۵۵۱/۳۲	۴۷۷۳	۵۵۱/۳۲
۴	۲۱-۱۲۷	پل چهر	۱۳۱۵/۹۵	۵۹۵۱	۱۳۱۵/۹۵	۱۳۱۵/۹۵	۵۹۵۱	۱۳۱۵/۹۵
۵	۲۱-۱۳۱	خرس آباد	۲۰/۱۶	۱۵۷۸	۲۰/۱۶	۲۰/۱۶	۱۵۷۸	۲۰/۱۶
۶	۲۱-۱۳۳	دوآب مرک	۶۱۸/۳۶	۷۴۴۵	۶۱۸/۳۶	۶۱۸/۳۶	۷۴۴۵	۶۱۸/۳۶
۷	۲۱-۱۴۳	قوریاگستان	۹۴۶/۵۱	۵۸۵۱	۹۴۶/۵۱	۹۴۶/۵۱	۵۸۵۱	۹۴۶/۵۱
۸	۲۱-۱۵۷	داربتوت	۱۱۴/۱۳	۱۸۶۹	۱۱۴/۱۳	۱۱۴/۱۳	۱۸۶۹	۱۱۴/۱۳
۹	۲۱-۱۶۳	تنگ سیاب	۳/۲۸	۷۹۴	۳/۲۸	۳/۲۸	۷۹۴	۳/۲۸
۱۰	۲۱-۱۶۷	دهنو	۳۱/۳۴	۲۳۴۲	۳۱/۳۴	۳۱/۳۴	۲۳۴۲	۳۱/۳۴
۱۱	۲۱-۱۶۹	کاکارضا	۵۲۶/۴۴	۷۱۲۷	۵۲۶/۴۴	۵۲۶/۴۴	۷۱۲۷	۵۲۶/۴۴
۱۲	۲۱-۱۷۱	سراب سیدعلی	۸۶۱/۰۶	۷۳۸۶	۸۶۱/۰۶	۸۶۱/۰۶	۷۳۸۶	۸۶۱/۰۶
۱۳	۲۱-۴۱۱	نظر آباد (سیمره)	۲۷۸۹/۹۴	۲۸۸۰	۲۷۸۹/۹۴	۲۷۸۹/۹۴	۲۸۸۰	۲۷۸۹/۹۴

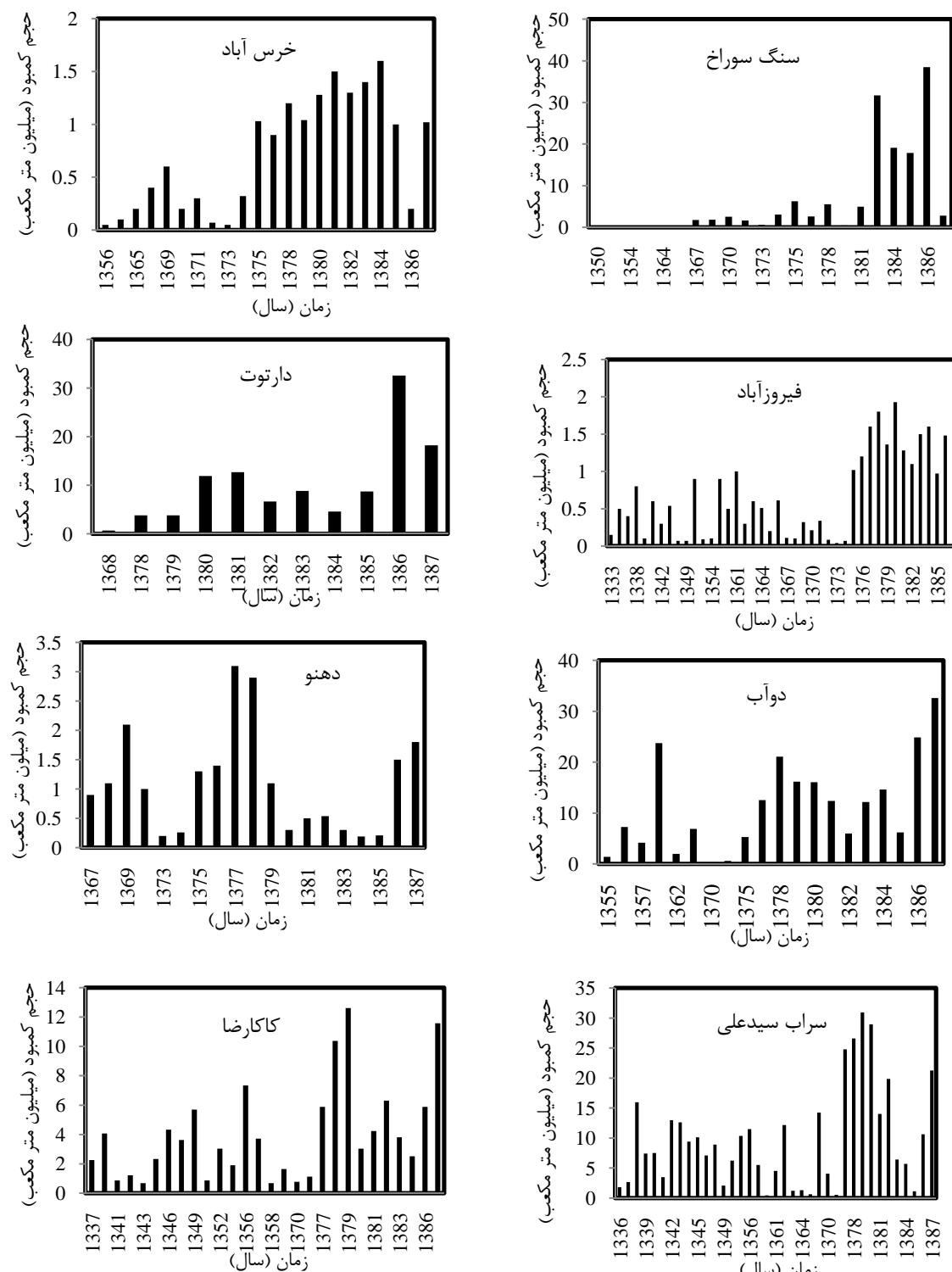


شکل ۲- حجم کمبود برای کل ایستگاهها در حد آستانه Q<sub>7</sub>

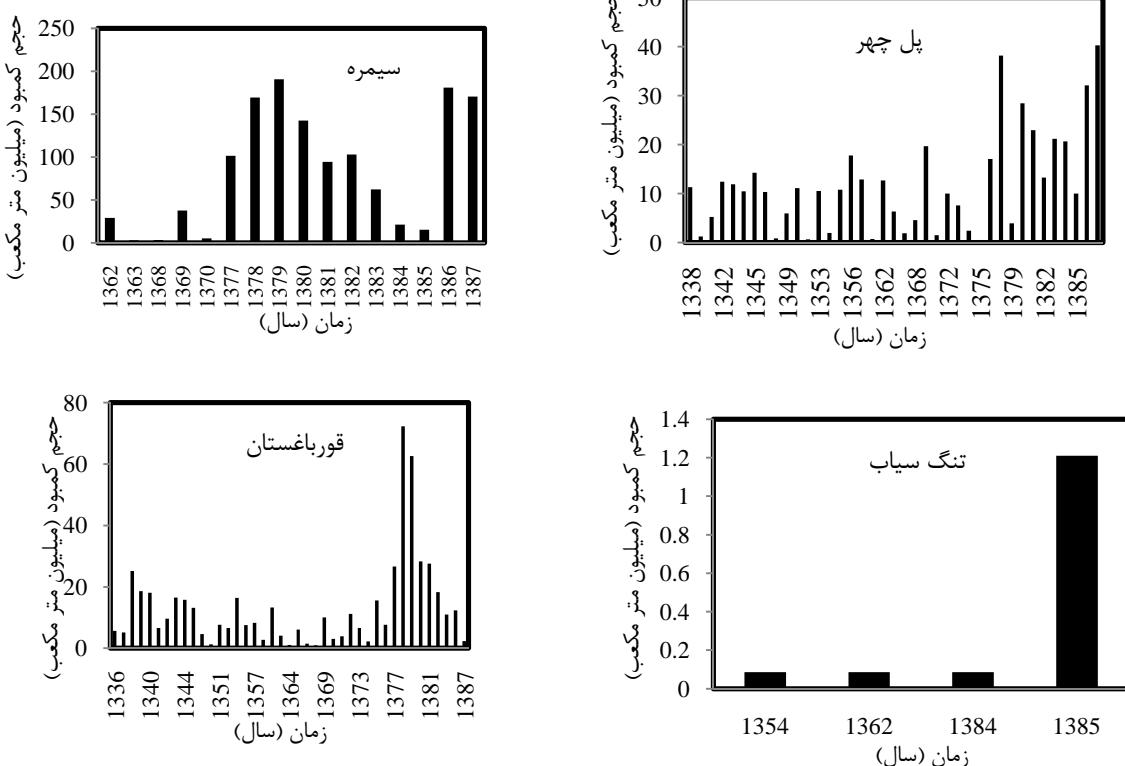


۱۳۵۸، ۱۳۶۰، ۱۳۶۱، ۱۳۶۵ و ۱۳۷۶ در اکثر ایستگاه‌ها خشکسالی هیدرولوژیکی رخ نداده است. شکل ۳ حجم کمبود در طول دوره‌ی آماری برای کل ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

نتایج نشان داد که در حد آستانه Q<sub>80</sub> در دوره‌ی آماری ۱۳۷۶-۱۳۸۷ در بیشتر ایستگاه‌های دارای سال‌های آماری خشکسالی هیدرولوژیکی اتفاق افتاده است. تنها در سال‌های ۱۳۳۵، ۱۳۴۸، ۱۳۴۹، ۱۳۵۳،

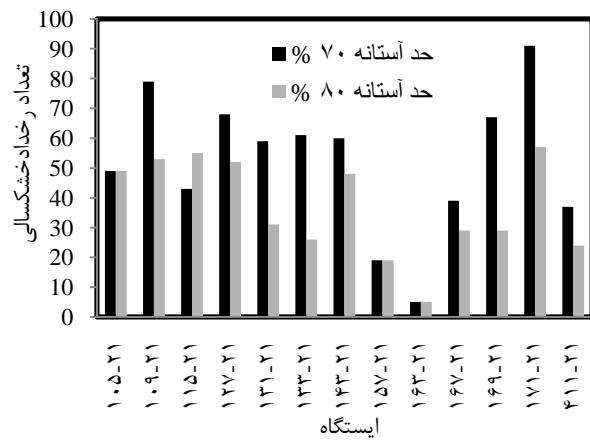


شکل ۳- حجم کمبود برای کل ایستگاه‌ها در حد آستانه Q<sub>80</sub>.



مورد است. کمترین تعداد در هر دو حد آستانه در ایستگاه ۲۱-۱۶۳ برابر با ۵ مورد می‌باشد. تعداد وقایع خشکسالی اتفاق افتاده در ایستگاه‌ها در حد آستانه Q<sub>80</sub> و Q<sub>70</sub> در شکل ۴ نشان داده است.

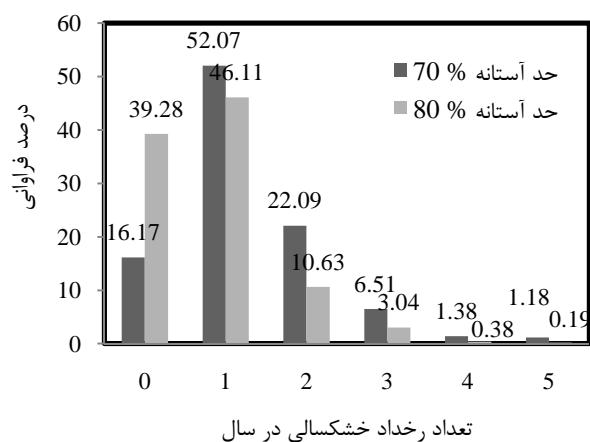
تعداد کل خشکسالی‌های اتفاق افتاده در تمام ایستگاه‌های منطقه در حد آستانه Q<sub>70</sub> و Q<sub>80</sub> به ترتیب برابر با ۶۷۷ و ۴۷۷ مورد بود که بیشترین تعداد رخداد خشکسالی در هر دو آستانه Q<sub>70</sub> و Q<sub>80</sub> مربوط به ایستگاه ۲۱-۱۷۱ می‌باشد که به ترتیب برابر با ۹۱ و ۵۷



شکل ۴- تعداد رخدادهای خشکسالی در ایستگاه‌ها برای حد آستانه Q<sub>70</sub> و Q<sub>80</sub>.

به ترتیب در ۱۶/۱۷ و ۳۹/۳ درصد موارد نیز خشکسالی وجود نداشته است. شکل ۵ فراوانی تعداد رخدادهای خشکسالی در سال را نشان می‌دهد.

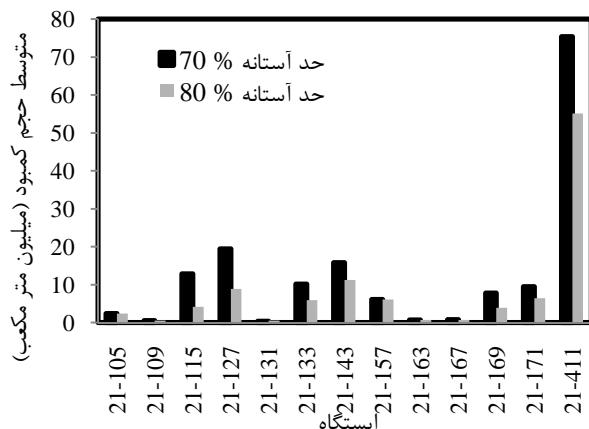
تعداد رخدادهای خشکسالی از یک تا حداقل ۶ مورد در هر سال در طول دوره‌ی آماری متغیر می‌باشد. بیشترین و کمترین فراوانی در هر دو حد آستانه مربوط به وقوع یک و ۶ رخداد در سال می‌باشد. در حد آستانه



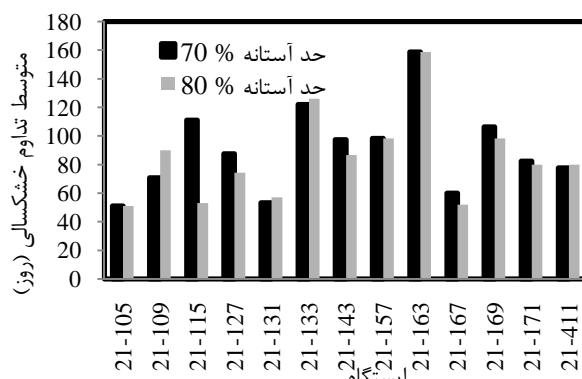
شکل ۵- فراوانی تعداد رخدادهای خشکسالی در سال در کل منطقه

مریبوط به ایستگاه ۲۱-۱۳۱ و برابر با ۰/۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. بیشترین و کمترین متوسط تداوم در حد آستانه Q<sub>70</sub> و Q<sub>80</sub> برابر با ۱۵۹ و ۵۱ روز و به ترتیب مریبوط به ایستگاه‌های ۲۱-۱۶۳ و ۲۱-۱۰۵ می‌باشد. شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب متوسط حجم کمبود و متوسط تداوم خشکسالی را در هر یک از ایستگاه‌ها نشان می‌دهد.

متوسط حجم کمبود برای کل منطقه در حد آستانه Q<sub>70</sub> و Q<sub>80</sub> به ترتیب برابر با ۱۱/۷۲ و ۷/۳۲ میلیون مترمکعب در روز و همچنین متوسط تداوم خشکسالی هیدرولوژیکی به ترتیب برابر با ۸۵ و ۷۷ روز بدست آمد. بیشترین متوسط حجم کمبود در حد آستانه Q<sub>70</sub> و Q<sub>80</sub> مریبوط به ایستگاه ۲۱-۴۱۱ و به ترتیب برابر با ۷۵/۴ و ۵۵/۱ میلیون مترمکعب و کمترین متوسط حجم کمبود



شکل ۶- متوسط حجم کمبود خشکسالی هیدرولوژیکی در ایستگاه‌ها



شکل ۷- متوسط تداوم خشکسالی هیدرولوژیکی در ایستگاه‌ها

خشکسالی در هر یک از ایستگاهها مشخص شد. جدول ۴ مناسب‌ترین توزیع احتمالاتی برای سری‌های حداکثر سالانه حجم کمبود و تداوم خشکسالی را در هر یک از ایستگاهها نشان می‌دهد.

آنالیز فراوانی پارامترهای خشکسالی هیدرولوژیکی پس از تحلیل‌های آماری در محیط نرم‌افزار Nizowka2003 توزیع‌های احتمالاتی مناسب برای سری‌های حداکثر سالانه حجم کمبود و تداوم

جدول ۴- مناسب‌ترین توزیع احتمالاتی سری‌های زمانی خشکسالی

ردیف	کد ایستگاه	نام ایستگاه	حجم کمبود	مناسب‌ترین توزیع برای سری‌های حداکثر سالانه حجم کمبود و تداوم خشکسالی	تداوم
۱	۲۱-۱۰۵	سنگ سوراخ	لوگ نرمال	پیرسون	
۲	۲۱-۱۰۹	فیروزآباد	پارتو	جانسون	
۳	۲۱-۱۱۵	دوآب	جانسون	نمایی دوگانه	
۴	۲۱-۱۲۷	پل چهر	جانسون	نمایی دوگانه	
۵	۲۱-۱۳۱	خرس آباد	پارتو	پارتو	
۶	۲۱-۱۳۳	دوآب مرک	جانسون	وبیول	
۷	۲۱-۱۴۳	قورباغستان	پیرسون	وبیول	
۸	۲۱-۱۵۷	داروت	لوگ نرمال	نمایی دوگانه	
۹	۲۱-۱۶۳	تنگ سیاب	توزیع مناسب یافت نشد	توزیع مناسب یافت نشد	
۱۰	۲۱-۱۶۷	دهنو	جانسون	پارتو	
۱۱	۲۱-۱۶۹	کاکارضا	نمایی دوگانه	جانسون	
۱۲	۲۱-۱۷۱	سراب سیدعلی	جانسون	جانسون	
۱۳	۲۱-۴۱۱	نظرآباد (سیمراه)	پیرسون	لوگ نرمال	

بعد از تعیین بهترین توزیع دوره بازگشت ۵ دوره بازگشت شدیدترین و طولانی‌ترین وقایع خشکسالی‌ها با استفاده از رابطه (۵) بدست آمد جدول خشکسالی را در ایستگاهها نشان می‌دهد.

جدول ۵- دوره بازگشت شدیدترین و طولانی‌ترین وقایع خشکسالی در ایستگاهها

ردیف	کد	نام ایستگاه	حجم کمبود (میلیون مترمکعب)	شدیدترین خشکسالی	طولانی‌ترین خشکسالی	دوره بازگشت	سال وقوع	سال وقوع	دوره بازگشت	دوره بازگشت	تداوم (روز)
۱	۲۱-۱۰۵	سنگ سوراخ	۱۶/۹۳	۱۳۸۶	۲۴۱	۳۳	۱۳۷۸	۲۴۱	۳۳	۱۳۷۸	۲۴۱
۲	۲۱-۱۰۹	فیروزآباد	۲/۸	۱۳۸۰	۲۳۵	۲۵	۱۳۸۷	۲۳۵	۳۳	۱۳۵۹	۲۳۷
۳	۲۱-۱۱۵	دوآب	۴۹/۵۱	۱۳۸۷	۱۳۸۷	۳۳	۱۳۸۷	۱۳۸۷	۳۳	۱۳۵۹	۲۳۷
۴	۲۱-۱۲۷	پل چهر	۶۲/۲۱	۱۳۷۹	۱۹۹	۵۰	۱۳۷۹	۱۹۹	۵۰	۱۳۷۹	۱۹۹
۵	۲۱-۱۳۱	خرس آباد	۱/۷۵	۱۳۸۱	۲۳۰	۳۳	۱۳۸۱	۲۳۰	۳۳	۱۳۸۰	۲۳۰
۶	۲۱-۱۳۳	دوآب مرک	۴۴/۱	۱۳۵۲	۵۹	۵۹	۱۳۸۶	۳۳۵	۵۹	۱۳۸۶	۳۳۵
۷	۲۱-۱۴۳	قورباغستان	۹۷/۱۱	۱۳۷۸	۲۹۳	۳۳	۱۳۷۸	۲۹۳	۳۳	۱۳۷۸	۲۹۳
۸	۲۱-۱۵۷	داروت	۲۲/۲۰	۱۳۸۶	۲۰۸	۲۰	۱۳۸۶	۲۰۸	۲۰	۱۳۸۰	۲۰۸
۹	۲۱-۱۶۷	دهنو	۳/۵۳	۱۳۷۸	۲۳۰	۱۴	۱۳۶۹	۲۳۰	۱۴	۱۳۶۹	۲۳۰
۱۰	۲۱-۱۶۹	کاکارضا	۲۷/۹۹	۱۳۷۹	۱۹۴	۳۳	۱۳۸۱	۱۹۴	۳۳	۱۳۸۱	۱۹۴
۱۱	۲۱-۱۷۱	سراب سیدعلی	۴۷/۹۱	۱۳۸۰	۲۲۱	۳۳	۱۳۸۱	۲۲۱	۳۳	۱۳۸۱	۲۲۱
۱۲	۲۱-۴۱۱	نظرآباد (سیمراه)	۳۰/۵۶	۱۳۷۹	۲۲۵	۲۵	۱۳۸۷	۲۲۵	۲۵	۱۳۸۷	۲۲۵

استخراج گردید و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج بدست آمده از روش حد آستانه ثابت نشان داد که در بیشتر سال‌ها در حوزه کرخه خشکسالی وجود داشته است و تنها در سال‌های معدهودی خشکسالی

در این تحقیق با استفاده از داده‌های روزانه دبی و روش حد آستانه ثابت، پارامترهای خشکسالی هیدرولوژیکی از قبیل: حجم کمبود، مدت دوره خشکی و تاریخ وقوع آن برای ۱۳ ایستگاه حوزه آبخیز کرخه

۶ رخداد در سال به ترتیب دارای بیشترین و کمترین فراوانی بودند (شکل ۵). تغییر در تعداد رخدادهای خشکسالی در هر سال بیشتر وابسته به ویژگی‌های حوزه آبخیز مانند ظرفیت مخازن طبیعی است (۱۵). بهطورکلی فراوانی وقوع رخدادها با افزایش تعداد آنها در سال کاهش یافته است که بازیزدی و همکاران (۶) نیز در تحقیق خود در حوزه آبخیز کرخه همین نتیجه را بدست آورند.

طبق نتایج بدست آمده از آنالیز فراوانی پارامترهای خشکسالی استخراج شده در حد آستانه  $Q_7$  توزیع‌های احتمالاتی مناسب برای سری‌های زمانی خشکسالی در هر یک از ایستگاه‌ها مشخص شد که برای سری‌های حداکثر حجم کمبود، توزیع جانسون با تطابق بر  $38/5$  درصد از ایستگاه‌ها و برای سری‌های حداکثر تداوم، توزیع نمایی دوگانه و جانسون با تطابق بر  $22$  درصد ایستگاه‌ها بیشترین تناسب را داشته‌اند.

همچنین نتایج نشان داد دوره بازگشت خشکسالی‌ها براساس تحلیل تداوم و تحلیل حجم کمبود در بعضی از سال‌ها متفاوت بوده ولی روند تغییرات آن مشابه یکدیگر است (جدول ۵). این بدان علت است که شدیدترین خشکسالی لزوماً طولانی‌ترین مورد نبود. در  $15/4$  درصد موارد شدیدترین خشکسالی همان طولانی‌ترین خشکسالی بوده است و در بقیه موارد تاریخ وقوع آنها با هم متفاوت می‌باشد. تنها در ایستگاه‌های که شدیدترین خشکسالی باشد رودادها یکی بود اختلاف ناچیزی براساس نوع تحلیل در دوره بازگشت‌ها مشاهده شد. که بازیزدی و همکاران (۵) نیز در تحقیق خود در حوزه‌های آبخیز جنوب غرب کشور به همین نتیجه رسیدند. خشکسالی‌هایی با شدت کمتر (حجم کمبود کمتر) دارای احتمال وقوع بالاتری می‌باشد و طبق فرمول دوره بازگشت ( $T = 1/p$ ) هر چه احتمال وقوع خشکسالی بیشتر باشد دوره بازگشت پژوهش نشان می‌دهد. بهطورکلی نتایج نشان داد که هیچ منطقه‌ای از حوزه کرخه از بروز خشکسالی هیدرولوژیکی در امان نبوده است، با توجه به برگشت‌پذیر بودن پدیده خشکسالی لازم است در برنامه‌ریزی‌های عرضه و تقاضای آب و مدیریت منابع آب به این مسئله توجه کافی مبذول گردد.

هیدرولوژیکی رخ نداده است (شکل‌های ۶ و ۷). در واقع بر اساس تعریف حد آستانه در بیشتر سال‌های آماری خشکسالی ولو برای دوره کوتاهی اتفاق افتاده است، که بازیزدی و همکاران (۶) نیز در تحقیق خود در حوزه آبخیز کرخه همین نتیجه را بدست آورند.

بیشترین و کمترین حجم کمبود به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های سیمره و تنگ سیاب بود (جدول‌های ۲ و ۳)، از آنجا که ایستگاه سیمره در پایین دست حوزه قرار گرفته است شدت بحران در آن نسبت به ایستگاه‌های ایستگاه‌های بالادست بیشتر می‌باشد. مسائلی از قبیل برداشت آب، تقاضای آب برای مصارف کشاورزی و صنعتی و ... در پایین دست حوزه‌ها بحران کم‌آبی را با شدت بیشتری نسبت به ایستگاه‌های بالادست نشان می‌دهد (۲)، آنچه که نتایج این پژوهش نشان داد.

همانطور که در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شد، بیشترین حجم کمبود در ایستگاه سنگ سوراخ در انتهای دوره‌ی آماری در سال‌های  $1382$  تا  $1386$ ، ایستگاه فیروزآباد در سال‌های  $1377-1387$ ، ایستگاه دواوب در سال‌های  $1378$ ،  $1386$  و  $1387$ ، ایستگاه پل‌چهر در سال‌های  $1378$ ،  $1380$  و  $1386$ ، ایستگاه خرس‌آباد در سال‌های  $1377$  و  $1387$ ، ایستگاه قوریاغستان در سال‌های  $1377$  و  $1379$ ، ایستگاه دارتوت  $1386$ ،  $1387$ ،  $1378$  و  $1385$ ، ایستگاه دهنو  $1377$  و  $1378$ ، ایستگاه کاکارضا در سال‌های  $1378$ ،  $1379$  و  $1387$ ، ایستگاه سراب سیدعلی در سال‌های  $1377$ ،  $1378$ ،  $1379$  و  $1380$  و  $1387$  و در نهایت ایستگاه سیمره در سال‌های  $1378$ ،  $1379$  و  $1386$  رخ داده است. بهطورکلی با بررسی ایستگاه‌ها در سال‌های دارای آمار مشخص شد که بیشترین حجم کمبود و تداوم خشکسالی در بیشتر ایستگاه‌ها بعد از سال  $1377$  رخ داده است که این دوره بحرانی‌ترین وضعیت در طول دوره آماری می‌باشد. قاسمی و همکاران (۱۱)، اسدی و همکاران (۲)، کریمی نظر و همکاران (۱۷) اسلامیان و همکاران (۸) و بازیزدی (۴) نیز در تحقیق خود این سال‌ها را در زمرة سال‌های خشک ارزیابی نمودند.

نتایج نشان داد که تعداد رخدادهای خشکسالی در طول دوره آماری در ایستگاه‌ها در روش حد آستانه ثابت از یک تا حداقل  $6$  مورد در سال متغیر بود. وقوع یک و

## منابع

- Andreadis, K.M., E.A. Clark, A.W. Wood, A.F. Hamlet and D.P. Lettenmaier. 2005. Twentieth-century drought in the conterminous United States. *Journal of Hydrometeorol.* 6: 985-1001.
- Asadi, E., R. Mirabasi, A. Malekpour, A. Fakherifard and Y. Dinpajou. 2009. Monitoring of Hydrological Drought Using the Run Theory (Case study: Aji-chai Watershed in East Part of

- ۷۱
- Azerbaijan Province). The 2<sup>nd</sup> National Conference on Drought Impacts and Management Strategies, Isfahan, 7 p. (In Persian)
3. Bonacci, O. 1993. Hydrological Identification of Drought. *Hydrological Processes*. 7: 249-262.
  4. Byzedi, M. 2011. Analysis of Hydrological Drought based on Daily Flow Series. World Academy of Science, Engineering and Technology. 50: 491-496.
  5. Byzedi, M. 2009. Analysis of Regional Hydrological Drought in South West Watersheds of Iran using Daily Data. PhD thesis, Islamic Azad University, Tehran. 161 p. (In Persian)
  6. Byzedi, M., B. Saghafian, M. Dehgani and N. Farzi. 2010. Investigation of Incidence Cognitive Water Drought in Karkheh Watershed. The 1<sup>st</sup> National Conference Applied Research of Iranian Water Resources, Kermanshah, 63-73. (In Persian)
  7. Engeland, K., H. Hisdal and A. Frigessi. 2004. Practical Extreme Value Modeling of Hydrological Floods and Droughts: A Case Study. *Extremes*, 7: 5-30.
  8. Eslamian, S.S., M. Ghasemi and S. Soltani Gerdefaramarzi. 2012. Computation and Regionalization of Low Flow Indices and Determination of Hydrological Drought Durations in Karkheh Watershed. *Journal of Sciences and Technol. Agricultural and Natural Resources. Water and Soil Sciences*, 16: 1-14. (In Persian)
  9. Fleig, A. 2004. Hydrological Drought-A Comparative Study Using Daily Discharge Series from around World. M.Sc. Thesis. Institute fur Hydrologic, University Freiburg, Germany, 144 pp.
  10. Fleig, A.K., L.M. Tallaksen, H. Hisdal and S. Demuth. 2006. A Global Evaluation of Streamflow Drought Characteristics, *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 10: 535-552.
  11. Ghasemi, M., S.S. Eslamian and S. Soltani. 2008. Monitoring and Regionalization of Meteorological Drought in Karkheh Watershed Using Standardized Precipitation Index and Precipitation Deciles. *Research of Agricultural: Water, Soil and Plant in Agricultural Sciences*, 8: 23-35. (In Persian)
  12. Hisdal, H. and L.M. Tallaksen. 2000. Drought event definition. Technical Report to the ARIDE Project, 6: 1-41.
  13. Hisdal, H., L.M. Tallaksen and A. Frigessi. 2002. Handling Non-Extreme Events in Extreme Value Modelling of Streamflow Droughts, in: FRIEND 2002-Regional Hydrology: Bridging the Gap between Research and Practice, IAHS Publ, 274: 281-288.
  14. Hisdal, H., L.M. Tallaksen and F. Randen. 2005. Regional Low Flow and Drought Frequency Analysis. *Geophysical Research Abstracts*. 7, I0838. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-10838.
  15. Hisdal, H., K. Stahl, L.M. Tallaksen and S. Demuth. 2001. Have Streamflow Droughts in Europe Become More Severe or Frequent? *International Journal of Climatology. International Journal of Climatology*, 21: 317-333.
  16. Jakobowski, W. and L. Radczuk. 2004. Estimation of Hydrological Drought Characteristics. NIZOWKA 2003, Software Manual. In: Tallaksen & van Lanen (eds) (2004) Hydrological Drought. Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Developments in Water Science, Elsevier Science, 48: 579 p.
  17. Kariminazar, M., A.R. Moghadamnia and A. Mosaedi. 2010. Investigation of Climatic Factors Affecting Drought. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 17: 145-158. (In Persian)
  18. Mijuskovic-Svetinovic, T. and S. Maricic. 2008. Low flow analysis of the lower Drava River. *Journal of Earth and Environmental Science* 4, doi: 10.1088/1755-1307/4/1/012011.
  19. Mofidipoor, N., V. Sheikh, M. Ownagh and A. Sadodin. 2012. The Analysis of relationship between Meteorological and Hydrological Droughts in Atrak Watershed. *Journal of watershed Management Research*. 5: 16-26. (In Persian)
  20. Mohseni Saravi, M., A.A. Safdari and B. Saghafian. 2004. Analysis of the intensity, duration, frequency and extent of drought in Karun Basin using Standardized Precipitation Index. *Journal of Natural Resources*, 57: 27-39. (In Persian)
  21. Palmer, W.C. 1965. Meteorological drought. Research paper, US Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, DC, 45: 58 pp.
  22. Tahmasbi Pour, N., S. Mehdi Karami, S. Peyro and E. Masrouri. 2012. Determination of regional hydrological drought based on hydrometric station data (Case study: Kashkan River, Cholhol, Cham Anjir and Alashtar Doab in Lorestan Province). 3<sup>rd</sup> International Conference on Climate Change and Dendrochronology, Sari. 1-11. (In Persian)
  23. Tallaksen, L.M. 2000. Streamflow drought frequency analysis. In: Drought and Drought Mitigation in Europe (Ed. by Vogt, J. V. and F. Somma). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 103-117.
  24. Tallaksen, L.M., H. Hisdal and H.A. J. van Lanen. 2009. Space-time modelling of catchment scale drought characteristics, *Journal of Hydrology*, 375: 363-372.
  25. Wen, L., K. Rogers, J. Ling and N. Saintilan. 2011. The Impacts of River Regulation and Water Diversion on the Hydrological Drought Characteristics in the Lower Murrumbidgee River, Australia. *Journal of Hydrology*, 405: 382-391.
  26. Yarahmadi, J. 2009. Frequency Analysis of Hydrological Drought in Gambarchay Watershed Using Model Series detail. The 2<sup>nd</sup> National Conference on Drought Impacts and Management Strategies. Isfahan, 1-7. (In Persian)

## **Analysis of Hydrological Drought using Constant Threshold Level Method (Case Study: Karkheh River Basin, Iran)**

**Mahshid Karimi<sup>1</sup>, Kaka Shahedi<sup>2</sup> and Motaleb Byzedi<sup>3</sup>**

---

1- M.Sc., Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University  
(Corresponding author: Karimi\_mahshid88@yahoo.com)

2- Assistant Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University  
3- Assistant Professor, Islamic Azad University, Sanandaj Branch

Received: November 12, 2012

Accepted: September 17, 2013

---

### **Abstract**

Drought is known as an environmental phenomenon which leads to socio-economic and environmental issues. Therefore its analysis is crucial for proper management and planning of water resources. The Karkheh River basin is one of the important water resources in Iran and that is located in western Iran. Current paper tries to take one step ahead toward scientific and practical drought management in this basin through analyzing hydrological droughts. In this research, daily discharge time series from 13 hydrometric stations were used. The constant threshold level method was applied. Then dry periods were extracted and results were analyzed. The results showed that the largest volume and longest duration of drought in threshold level of 70% mostly happened after 1998. Finally, the suitable probability distribution for the annual maximum series of duration drought and deficit volume at each station was determined. The results revealed that the Johnson distribution is suitable for maximum deficit volume series at 38.5% of stations and the Johnson and Double exponential distributions are suitable for maximum duration series at 23% of stations. Based on the suitable probability distribution, return period of droughts were also computed and the possibility of drought predictions in future was determined.

**Keywords:** Hydrological drought, Constant threshold level, Karkheh, Deficit volume, Drought duration