

کلید واژه‌ها: خشکسالی هیدرولوژیک، حد آستانه ثابت، مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)، حوزه سد کرج

مقدمه

یکی از انواع خشکسالی‌ها، خشکسالی هیدرولوژیک است که در ادامه خشکسالی هواشناسی و با تاخیر زمانی به وقوع می‌پیوندد. خشکسالی هیدرولوژیک از طریق کاهش میزان ذخیره آب دریاچه‌ها، پایین رفتن سطوح آب‌های زیرزمینی و کاهش دبی جریان رودخانه‌ای تشخیص داده می‌شود و معمولاً بر منطقه وسیعی تاثیر می‌گذارد [۸]. روش‌های متعددی برای تعیین خشکسالی هیدرولوژیک وجود دارد (جدول شماره ۱)

متداول‌ترین تعریف کمی خشکسالی هیدرولوژیک بر اساس تبیین یک حد آستانه می‌باشد که اگر جریان رودخانه کمتر از آن باشد به عنوان خشکسالی هیدرولوژیک در نظر گرفته می‌شود [۲۱]. میجوسکوچ - سوتینوویچ و ماریسک در تحقیقی به تجزیه و تحلیل جریان حداقل در پایین دست رودخانه دراوا 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 75Q پارامترهای خشکسالی حجم کمبود، تداوم، حداکثر حجم کمبود و حداکثر تداوم را استخراج نمودند، نتایج آنها نشان داد توزیع پیرسون در سطح اطمینان ۹۵ درصد بهترین برازش را با داده‌های جریان حداقل دارد [۱۷]. جریان حداقل یا جریان کم رودخانه‌ای یکی از شاخص‌های مورد استفاده در مطالعه خشکسالی هیدرولوژیک است. فرهنگ بین‌المللی هیدرولوژی جریان کم را به عنوان جریان آب رودخانه در طول آب و هوای خشک طولانی مدت تعریف می‌کند [۱۹]. ولی تعریف عمو می‌تر آن کمترین جریان متوسط در چند روز پیاپی از قبیل ۵،۷، ۳۰، ۶۰، ۱۸۰، ...، روزه در طول یک سال است. علت محاسبه جریان کم برای روزهای پیاپی به حداقل رساندن اثر تغییرها و نوسانات جریان است [۱ و ۲ و ۱۹]. در تخمین جریان حداقل در حوزه‌هایی با طول دوره آماری کوتاه مدت و حوزه‌های فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری جریان همواره با مشکلاتی روبرو هستیم. در تحلیل فراوانی سیلاب برای کاهش برخی از این مشکلات از روش‌های منطقه‌ای کردن تحلیل فراوانی استفاده می‌کنند و این در حالی است که در مورد تخمین جریان حداقل در حوزه‌های فاقد آمار مناسب نیز می‌توان از روش منطقه‌ای بهره برد [۷]. در تحلیل منطقه‌ای روابط یا منحنی‌هایی برای کل منطقه به دست می‌آید و با

ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از روش حد آستانه ثابت (مطالعه موردی حوزه سد کرج)

علی سلاجقه^۱، طیبه مصباح‌زاده^۲، فرشاد سلیمانی ساردو^۳ و ناهید علیپور^۴
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۲۲

چکیده

خشکسالی یک پدیده خزنده محیطی است. این پدیده موجب کمبود آب برای برخی فعالیت‌ها، گروه‌ها و محیط‌زیست می‌شود. خشکسالی بایستی در مقایسه با شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی متوسط در دراز مدت مورد ارزیابی قرار گیرد. خشکسالی هیدرولوژیک از طریق کاهش میزان ذخیره آب دریاچه‌ها، پایین رفتن سطوح آب‌های زیرزمینی و کاهش دبی جریان رودخانه‌ای تشخیص داده می‌شود و معمولاً بر منطقه وسیعی تاثیر می‌گذارد متداول‌ترین تعریف کمی خشکسالی هیدرولوژیک بر اساس تبیین یک حد آستانه می‌باشد که اگر جریان رودخانه کمتر از آن باشد به عنوان خشکسالی هیدرولوژیک در نظر گرفته می‌شود در این مطالعه از روش حد آستانه ثابت (70Q و 90Q) به منظور بررسی خشکسالی هیدرولوژیک در حوزه آبخیز سد کرج استفاده شده است نتایج نشان می‌دهد که سال ۱۳۷۷ یکی از خشک‌ترین سال‌ها در این حوزه بوده و در ایستگاه گچسر با ۲۵۵ روز تداوم خشکسالی ۲۸۴ روز و در ایستگاه گچسر با ۲۵۵ روز تداوم داشته است. نتایج نشان می‌دهد مجموع کمبود آب در آستانه 70Q در ایستگاه گچسر برابر با ۱۱/۶۸ میلیون مترمکعب، در ایستگاه کلوان برابر با ۲/۷۵ میلیون مترمکعب و همچنین در ایستگاه کرج ۴۲/۴۴ میلیون متر مکعب می‌باشد همچنین تابع مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV) بهترین برازش به پارامترهای خشکسالی را دارد. نتایج این تحقیق می‌تواند در مدیریت منابع آب منطقه و همچنین برنامه ریزی‌های لازم در جهت جلوگیری و کاهش اثرات خشکسالی منطقه موثر باشد.

۱. استاد، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، تهران
۲. نویسنده مسئول و استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، پست الکترونیک: tmesbah@alumni.ut.ac.ir
۳. عضو هیئت علمی، مربی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت
۴. دانشجوی دکتری بیابان‌زایی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

جدول (۱): برخی از روش‌های استفاده در تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی

Table 2. some of method in hydrological drought analysis

لشنی زند (۱۳۸۳)، سمیعی و همکاران (۱۳۸۵)، اسدی و همکاران (۱۳۸۸)، بایزیدی و همکاران (۱۳۸۹)، بایزیدی و سی و سه مرده (۱۳۹۰)، اسلامیان و همکاران (۱۳۹۱)، تی آلو (۱۹۹۱)، جلدسن و همکاران (۲۰۰۰)، هیسدال و تالاکسن (۲۰۰۰)، هیسدال و همکاران (۲۰۰۱)، جنگ تی زونک و سی ون (۲۰۰۱)، هیدال و همکاران (۲۰۰۱)، فلائیگ (۲۰۰۴)، توکارسزیک و همکاران (۲۰۰۵)، سالس و همکاران (۲۰۰۵)، رادیک و میهایلوویچ (۲۰۰۵)، فلائیگ و همکاران (۲۰۰۶)، پاندی و همکاران (۲۰۰۸)، استروژیک و همکاران (۲۰۰۹)، بایزیدی (۲۰۱۱)، بایزیدی و همکاران (۲۰۱۲) و وان اون و وان لاتن (۲۰۱۲)	شاخص حد آستانه Threshold Level Index
خزایی و همکاران (۱۳۸۹)، پاندی و همکاران (۲۰۰۸)، نلبتیس و ساکیریس (۲۰۰۹) و طبری و همکاران (۲۰۱۲)	شاخص SDI SDI Index
مقدسی و همکاران (۱۳۸۴)، نصرتی و کاظمی (۱۳۹۰)، کیم و همکاران (۲۰۰۹)	شاخص EDI EDI Index
علوی نیا و همکاران (۱۳۸۷) و بابایی و عبدکلاهیچی (۱۳۹۰)	شاخص ذخیره آب سطحی SWSI SWSI Index
ون و همکاران (۲۰۱۱)	شاخص جریان سطحی SFI SFI Index
غفوریان و همکاران (۱۳۹۰)، وود و شاکلا (۲۰۰۸) و شمعی زاده و همکاران (۱۳۸۹)	شاخص استاندارد رواناب SRI SRI Index

۲۰۰۳-۲۰۰۰ رخ داده است [۴]. یاراحمدی در تحقیقی به بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی حوزه آبخیز گمبرچای در استان آذربایجان شرقی پرداخت و عمده ترین شاخص‌های کمبود جریان را با استفاده از 75Q روش حد آستانه استخراج نمود. نتایج نشان داد که سال‌های ۱۹۹۶، ۱۹۸۹ 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 [۲۲]. بایزیدی و همکاران 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 [۳]. طهماسبی پور و همکاران در تحقیقی با استفاده از آمار دبی‌های متوسط سالانه طی دوره آماری ۳۷ ساله به بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی در استان لرستان پرداختند و سپس با استفاده از نرم‌افزار HYFA توزیع‌های 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 دوره‌های آماری وضعیت ترسالی و خشکسالی هر یک از ایستگاه‌ها مشخص گردید [۲۰]. مفیدی پور و همکاران در تحقیقی با استفاده از شاخص‌های (SDI) و (SPI) به بررسی رابطه خشکسالی هواشناسی

داشتن برخی از ویژگی‌های حوزه در محل‌هایی که اندازه‌گیری جریان صورت ن می‌گیرد جریان در محل مورد نظر تعیین می‌شود. بنابراین در برنامه ریزی‌های مدیریت منابع آب و مسائل زیست محیطی بایستی به تحلیل منطقه‌ای خشکسالی و جریان‌های کم رودخانه‌ای توجه ویژه مبذول داشت. برخی از شاخص‌های جریان کم از منحنی تداوم جریان استخراج می‌شوند و برخی دیگر شاخص‌های استخراجی از سری‌های زمانی هستند [۱۰] محققین دیگری با استفاده از روش حد آستانه، خشکسالی هیدرولوژیکی را در ۱۰ رودخانه زیمباوه بررسی نمودند و اعلام کردند بهترین توزیع جهت تحلیل سری‌های جزئی تداوم و حجم کمبود خشک سالی توزیع نمایی دو گانه می‌باشد [۱۶]. در پژوهشی دیگر محققین با آنالیز فراوانی و ریسک خشکسالی هیدرولوژیکی از طریق روش حد آستانه توانستند زمان وقوع خشکسالی را به صورت تصادفی برآورد نمایند که در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب کاربرد دارد [۱۳]. هیسدال در سال ۲۰۰۲ با استفاده از سری‌های تداوم جزئی (PDS) و از طریق مدل سازی مقادیر حدی (EV) نتیجه گیری نمودند که مدل سازی حجم کمبود خشک سالی هیدرولوژیک موفقیت آمیز است [۱۲]. فلائیگ و همکاران در تحقیقی با استفاده از روش حد آستانه به بررسی پارامترهای خشکسالی هیدرولوژیکی پرداختند و سپس آنالیز فراوانی را برای سری‌های حداکثر سالانه حجم کمبود و تداوم خشکسالی انجام دادند [۱۰]. بایزیدی در تحقیقی به بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از روش حد آستانه در سطح (۷۰ درصد) در ۵۴ ایستگاه هیدرومتری واقع در جنوب غربی ایران پرداخت. برای این آنالیز از دبی‌های روزانه استفاده شد، نتایج نشان داد شدیدترین و طولانی ترین خشکسالی‌ها در سالهای

تا ۳۶°۱۱'۹" واقع شده است. این حوزه در تقسیم بندی حوزه‌های آبخیز کشور زیر مجموعه حوزه‌های دریاچه نمک می‌باشد مساحت کل محدوده مورد مطالعه ۷۲۸/۸۳ کیلومتر مربع هست. ارتفاع در این حوزه از بلندترین نقطه آن در دیزین با ارتفاع ۴۳۰۷ متر تا خروجی به ارتفاع ۱۸۶۴ متر از سطح دریا متغیر است. متوسط ارتفاع حوزه با توجه به ارقام نقشه رقومی ارتفاع ۲۸۲۷ متر از سطح دریا محاسبه شده است تراکم زهکشی حوزه کرج $1/7 \text{ km}^2/\text{km}^2$ است. حوزه آبخیز سد کرج از شمال به حوضه آبخیز چالوس - هراز - طالقان رود، از غرب به حوزه آبخیز کردان، از شرق به حوزه‌های در برگیرنده رودخانه‌های منتهی به تهران و رودخانه جاجرود، محدود می‌شود. رودخانه کرج از شاخه‌های ولایت رود (گاجره)، وارنگه رود، شهرستانک، ارنگه، آزادیر، کندوان، کسپل نسا، آسارا، سپهسالار تشکیل شده است که همگی از ارتفاعات البرز سرچشمه می‌گیرند. به‌طور کلی در داخل منطقه مطالعاتی سه ایستگاه هیدرومتری گچسر، کلوان سیرا، کرج سیرا وجود دارد که فعال می‌باشند. مشخصات

و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز اترک پرداختند. برای این منظور از آمار ماهانه ۲۳ ایستگاه بارانسنجی و ۷ ایستگاه هیدرومتری در حوزه آبخیز اترک استفاده شد. نتایج نشان داد در سطح ۹۹ درصد رابطه زمانی وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با یکدیگر معنی دار است و این همبستگی در بازه ۳ ماهه حداکثر است [۱۸]. هدف از این تحقیق تحلیل و بررسی خشکسالی هیدرولوژیک در حوزه سد کرج می‌باشد در این راستا از روش حد آستانه ثابت که یکی از پرکاربردترین روش‌های تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی می‌باشد، استفاده شده است.

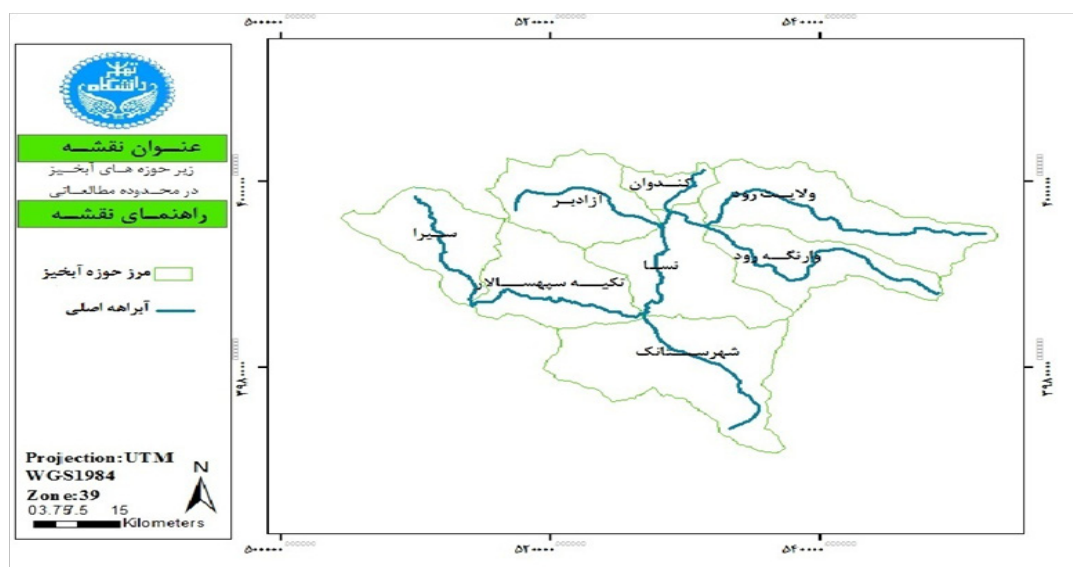
مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز بالادست سد کرج قسمتی از دامنه جنوبی ارتفاعات البرز را شامل می‌شود. در شمال غرب استان تهران و بین طول شرقی "۳۸' ۵۱" تا "۵۷' ۳۰" و عرض شمالی "۵۶' ۵۲" ۳۵°

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری در حوزه سد کرج
Table 2. hydrometric stations specifications in Karaj dam basin

طول دوره آماری (سال) (year) length period Statistical	نوع ایستگاه station	ارتفاع (متر) (m) Height	عرض width	طول length	کد code	رودخانه River	مشخصات Specifications نام ایستگاه
87-56	هیدرومتری hydrometric	2200	37-07	51-20	254-41	گاجره Gajereh	گچسر GachsaF
88-69	هیدرومتری hydrometric	1790	36-01	51-09	936-41	کلوان Kalvan	کلوان (سیرا) (Sira) Kalavan
88-60	هیدرومتری hydrometric	1790	36-02	51-09	101-41	کرج Karaj	کرج (سیرا) (Sira) Karaj



شکل ۱- حوزه آبخیز سد کرج و زیر حوزه‌های آن
Fig1. Karaj dam watershed and its sub basins

ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه در جدول ۲ آورده شده است.

روش تحقیق

بررسی همگنی داده‌های ایستگاه‌ها

در این پژوهش ابتدا اقدام به جمع‌آوری آمار دبی روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در حوزه گردید. و سپس همگنی و کیفیت داده‌های سری زمانی با آزمون‌های آماری ران تست و من-ویتی بررسی شد. سپس با استفاده از روش حد آستانه اقدام به بررسی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیک گردید.

روش حد آستانه

روش حد آستانه پرکاربردترین روش برای تحلیل خشکسالی و کم آبی‌ها بوده به عبارتی این روش پایه و اساس تعریف مشخصات خشکسالی‌ها و کم آبی‌ها می‌باشد.

در این روش اگر مقادیر دبی از یک حد آستانه کمتر باشد خشکسالی و یا کم آبی رخ میدهد. در این روش دوره‌های بالا و پایین آستانه مشخص شده مورد بررسی قرار می‌گیرند و در واقع به این روش، روش تئوری دنباله‌ها گفته می‌شود. 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 هیدرولوژیک با استفاده از منحنی تداوم جریان (FDC) که نشان‌دهنده رابطه بین دبی‌های روزانه و احتمال وقوع آنها (\geq) می‌باشد، انتخاب گردید. سطح آستانه می‌تواند دبی‌هایی از منحنی تداوم جریان روزانه بین ۷۰-۹۵ درصد در نظر گرفته شود. اگر تفاضل و مقدار دبی مرجع (حد آستانه) منفی شود ($Q_k - Q_a < 0$) بیانگر وقوع خشکسالی است و برای تحلیل خشکسالی باقی مانده‌های منفی مورد استفاد قرار می‌گیرد. طول توالی منفی بیانگر تداوم خشکسالی یعنی تعداد روزهایی است که

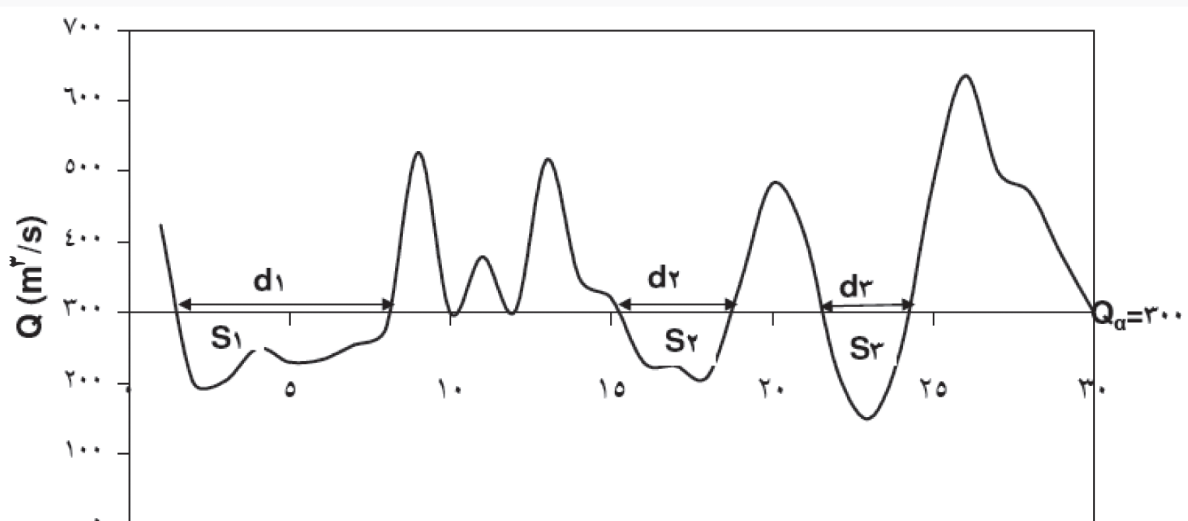
خشکسالی تداوم داشته است مجموع این توالی‌ها بزرگی یا حجم کمبود خشکسالی را نشان می‌دهد. تداوم خشکسالی (d_i) و حجم کمبود یا بزرگی (S_i) به عنوان پارامترهای خشکسالی نقطه ای در نظر گرفته شده‌اند. با در نظر گرفتن سری زمانی دبی روزانه (Q_k) می‌توان رابطه بین پارامترهای مدل را به صورت زیر بیان نمود:

$$DQ = \begin{cases} (Q_a - Q_k) & \text{if } Q_k < Q_a \\ 0 & \text{if } Q_k \geq Q_a \end{cases} \quad (1)$$

$$S_i = 86/4 \sum_{j=1}^{d_i} DQ \quad (2)$$

که در آن DQ کمبود دبی روزانه (متر مکعب بر ثانیه) و S_i برابر با حجم کمبود خشکسالی i (به ۱۰۰۰ متر مکعب) و $۸۶/۴$ ضریب تبدیل مربوط به مقیاس زمانی است شکل (۲) (۶ و ۱۴).

گام زمانی به رژیم هیدرولوژیکی منطقه تحت مطالعه بستگی دارد. با وجود این استفاده از مقیاس روزانه با دو مشکل مواجه می‌باشد، اول وابستگی بین خشکسالی‌ها و دیگری وجود خشکسالی‌های جزئی در طی یک دوره خشک طولانی است. در رابطه با مورد دوم می‌توان گفت در طول یک دوره خشکسالی دبی جریان برای یک دوره زمانی کوتاه از حد آستانه تجاوز نموده و باعث می‌شود خشکسالی به تعداد خشکسالی‌های کوچکتر و وابسته تفکیک گردد. به منظور رفع این مشکل باید از برخی روش‌های ادغام سازی استفاده نمود. روش‌های ادغام سازی به سه دسته الف- معیار داخلی (IC) ب- میانگین متحرک (MA) ج- الگوریتم دبی اوج متوالی (SPA) تقسیم می‌شوند [۸]. در روش IC برای حذف خشکسالی‌های جزئی و ادغام خشکسالی‌های وابسته از ضرایب $d_{min} \cdot \alpha$ و t_c استفاده می‌گردد. α ضریبی است که برای حذف موارد خشکسالی جزئی به کار می‌رود بدین ترتیب اگر در یک خشکسالی حجم کمبود کمتر از حاصلضرب α در حداکثر کمبود مشاهده شده باشد ($s_i < \alpha \cdot S_{max}$)



شکل ۲- بر اساس روش حد آستانه ثابت S_i حجم کمبود خشکسالی و d_i مولفه‌های تداوم

Fig 2. regard to Constant Threshold Level method ,drought deficit valium (s_i)and continuation components (d_i)

مقدار دبی است. داده‌های دبی جریان آب، به شکل منحنی تداوم جریان، به عنوان پیش‌نیاز، برای طرح‌های مدیریت منابع آب، از قبیل طراحی سدها، نیروگاه‌های برق‌آبی، اجرای عملیات آبخیزداری، ارزیابی خطر خشک سالی، و بررسی سلامت زیست‌بوم رودخانه، مورد نیاز است در این مطالعه با استفاده از روش ترسیمی و با استفاده از داده‌های روزانه و رابطه ویبول (Weibull) که به صورت زیر بیان می‌شود منحنی تداوم جریان برای هر ایستگاه ترسیم گردید.

$$\%p = \frac{m}{(n+1)} \times 100 \quad (5)$$

که در آن $\%p$: درصد احتمال تراکمی تجربی برابر یا بیشتر از داده مشخص

m: شماره ردیف داده مورد نظر

n: تعداد داده‌ها می‌باشد.

پس از رسم منحنی تداوم جریان برای هر ایستگاه که در شکل‌های (۳، ۴ و ۵) نشان داده شده است مقدار 70Q و 90Q به عنوان آستانه ثابت جهت بررسی خشکسالی هیدرولوژیک برای هر ایستگاه استخراج شد و در جدول ۳ نشان داده شده است.

در ادامه پس از محاسبه مقادیر آستانه‌های ثابت (70Q و 90Q) پارامترهای خشکسالی از قبیل تداوم خشکسالی، حجم کمبود و همچنین حداکثر تداوم خشکسالی در یک دوره آماری که به صورت روز در سال بیان می‌شود نیز محاسبه گردید و در جداول (۴ و ۵) نشان داده شده‌اند و همچنین نمودارهای مربوط به پارامترهای خشکسالی در ایستگاه‌های مطالعاتی حوزه سد کرج به منظور بررسی و تحلیل بهتر و دقیق تر در هر دو آستانه انتخابی یعنی 70Q و 90Q ترسیم گردید که در شکل‌های (۶ و ۷) نشان داده شده است.

آزمون نکویی برازش پارامترهای خشکسالی هیدرولوژیک

آزمون نکویی برازش جهت تعیین مناسب‌ترین توزیع آماری به منظور پیش بینی رفتار داده‌ها می‌باشد که در این تحقیق از نرم‌افزار EasyFit استفاده شده است.

پارامترهای خشکسالی از قبیل مجموع تداوم خشکسالی، سری

آن مورد حذف خواهد شد و مقدار آن معمولاً "بین ۰/۰۱-۰/۰۰۵" در نظر گرفته می‌شود d_{min} نیز حداقل فاصله زمانی است که خشکسالی جزئی با تداوم مساوی یا کمتر از آن ($d_i \leq d_{min}$) حذف می‌گردد و معمولاً "کمتر از ۵ روز در نظر گرفته می‌شود t_c زمان بحرانی نامیده می‌شود و به نحوی اگر دو واقعه خشکسالی وابسته با فاصله زمانی $t_i < t_c$ به وقوع بپیوندد با هم ادغام خواهند شد به جای t_c می‌تواند حجم کمبود بحرانی (sc) در نظر گرفته شود. در هر دو حالت تداوم و حجم کمبود وقایع ادغام شده (Spool و Dpool) به صورت زیر محاسبه می‌گردد [۸].

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

$$Spool = S_i + S_{i+1} \quad (4)$$

در این تحقیق جهت استخراج خشکسالی‌ها از نرم افزار NIZOWKA2003 استفاده شد به منظور حذف خشکسالی‌های کوچک و ادغام خشکسالی‌های وابسته روش معیار داخلی (IC) به کار رفت که با توجه به تحقیقات فلايگ مقدار α برابر با ۰/۰۰۵ و d_{min} برابر با ۲ و t_c برابر با ۵ روز در نظر گرفته شد و همچنین با استفاده از نرم‌افزار Easyfit بهترین تابع برازشی از میان توزیع‌های احتمالاتی به سری‌های حداکثر حجم کمبود و تداوم خشکسالی نیز رتبه‌بندی و انتخاب شد.

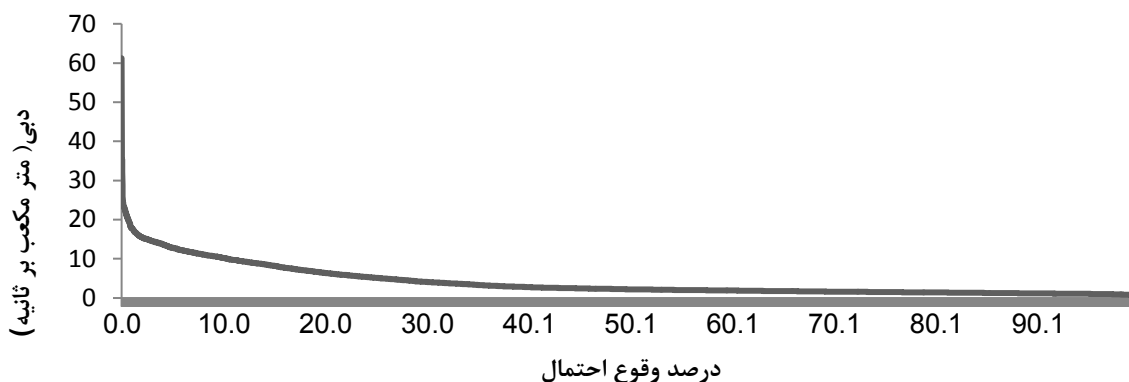
نتایج

بررسی کیفیت داده‌ها با استفاده از آزمون ران تست

قبل از اقدام به تحلیل داده‌ها لازم است که از کیفیت داده‌ها اطمینان حاصل نمود چرا که بدون ارزیابی صحیح داده‌ها، از انجام تحلیل‌های آماری نتایج قابل اطمینانی به دست نمی‌آید. لذا همگنی داده‌های سری زمانی دبی روزانه در هر ایستگاه با استفاده از آزمون ران تست بررسی شد که نتایج نشان داد که داده‌ها از همگنی قابل قبولی برخوردار هستند.

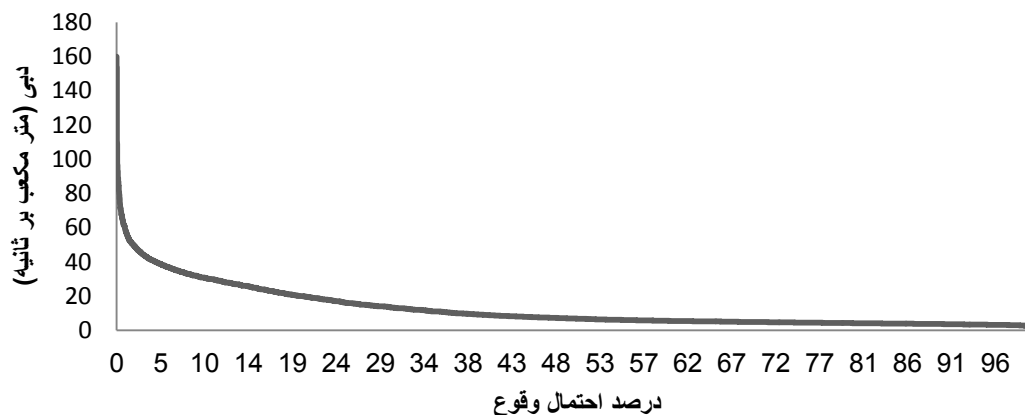
استخراج دوره‌های خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از روش آستانه ثابت

منحنی تداوم جریان (FDC) نشان‌دهنده رابطه بین فراوانی و



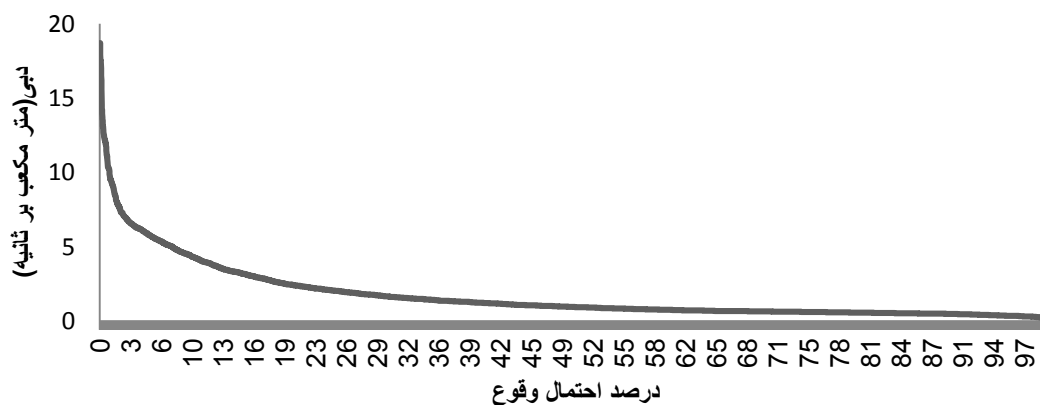
شکل ۳- منحنی تداوم جریان (FDC) در ایستگاه گچسر

Fig.3 flow continuation curve (FDC) in Gachsar station



شکل ۴- منحنی تداوم جریان (FDC) در ایستگاه کرج

Fig 4. flow continuation curve(FDC) in Karaj station



شکل ۵- منحنی تداوم جریان (FDC) در ایستگاه کلوان

Fig5. flow continuation curve (FDC) in Karaj station

جدول ۳- برآورد آستانه‌های هیدرولوژیک با استفاده از منحنی‌های تداوم جریان

Table 3. hydrological thresholds estimate using flow continuation curves

Q_{90}	Q_{70}	کد Code	رودخانه River	نام ایستگاه name Station
1.14	1.6	253-41	گاجره Gajereh	گچسر Gachsar
0.48	0.65	41-936	کلوان Kalvan	کلوان (سیرا) Kalvan (Sira)
3.7	4.9	41-101	کرج Karaj	کرج (سیرا) Karaj (Sira)

بررسی خشکسالی هیدرولوژیک نیازمند دقت محقق و بررسی آماری دقیق می‌باشد زیرا که بهره بردن از مقیاس روزانه با دو مشکل مواجه می‌باشد، اول وابستگی بین خشکسالی‌ها و دیگری وجود خشکسالی‌های جزئی در طی یک دوره خشک طولانی است. از طرفی انتخاب سطح آستانه نیز می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد زیرا با نتایج به دست آمده سطح آستانه در تداوم خشکسالی و حجم کمبود آب بسیار موثر می‌باشد بنابراین ضروری است که با بررسی‌های دقیق مقدار حد آستانه را انتخاب نمود همچنین با

حداکثر تداوم خشکسالی سالانه و تعداد دوره پیوسته خشکسالی سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه مورد تحلیل قرار گرفت و بهترین توزیع آماری با استفاده از روش‌های کلموگراف-اسمیرنوف، کایسکوئر در هر حوزه در آستانه‌های مختلف تعیین گردید (جدول ۶).

بحث و نتیجه گیری

نتایج نشان می‌دهد استفاده از داده‌های روزانه در تحلیل و

توجه به بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد در ایستگاه کرج در سطح آستانه 70Q، 34 درصد فراوانی خشکسالی می‌باشد و در سطح آستانه 90Q، 15 درصد فراوانی خشکسالی می‌باشد و در ایستگاه گچسار در سطح آستانه 70Q، 27 درصد و در آستانه 90Q، 10 درصد فراوانی خشکسالی بود با بررسی دوره‌های خشکسالی در سری‌های زمانی مشخص می‌گردد که تعداد دوره‌های خشکسالی (از گذشته تا حال) در حال کاهش هستند اما تداوم آنها در حال افزایش است به عبارتی تعدد خشکسالی‌ها کم می‌شود اما هر واقع خشکسالی مدت تداوم بیشتری دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در ایستگاه هیدرومتری گچسار سال 1377 بیشترین تداوم خشکسالی در طی سه دوره پیوسته را دارا بوده است. همچنین فراوانی یک، دو و سه دوره خشکسالی در کل سری آماری این ایستگاه بالاتر بوده که نشان از تداوم خشکسالی در هر بار وقوع را دارد و در آستانه 70Q فقط سال

آبی 1385 از شرایط نرمالی برخوردار بوده و خشکسالی مشاهده نشده است. اما در بقیه سال‌های آماری ایستگاه گچسار بین یک تا چهار دوره خشکسالی در هر سال مشاهده شده است. حداکثر تعداد دوره‌های خشک که در این ایستگاه اتفاق افتاده است 4 دوره که مجموعاً 142 روز خشکسالی تداوم داشته است و در سال 1365 نیز این حالت رخ داده است. با بررسی صورت گرفته در سطح آستانه 90Q سال 1377 دارای بیشترین تداوم خشکسالی می‌باشد و همچنین سال‌های 1368 و 1369 در هر دو آستانه جز خشک ترین سال‌ها در طول دوره آماری بوده اند. بررسی نتایج در ایستگاه هیدرومتری کرج نشان می‌دهد که بیشترین تداوم خشکسالی با 284 روز در سال 1377 در طی 5 دوره در این ایستگاه اتفاق افتاده است همچنین سال 1379 با 240 روز و سال‌های 1375 و 1368 و 1369 نیز جزء خشک ترین سال‌ها قرار داشته اند در این ایستگاه تعداد

جدول 4- محاسبه حداکثر تداوم خشکسالی در آستانه‌های مختلف در یک دوره در یک سال در حوزه سد کرج

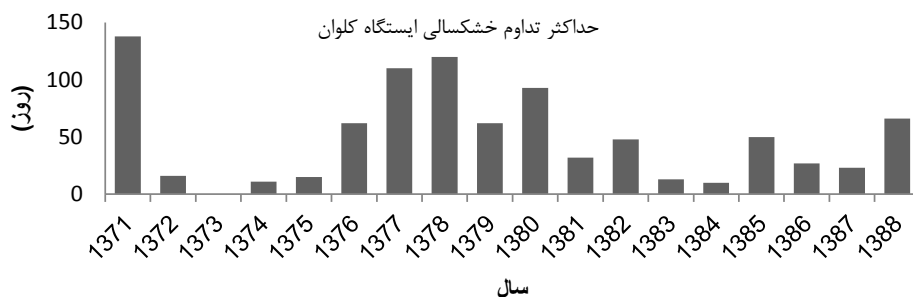
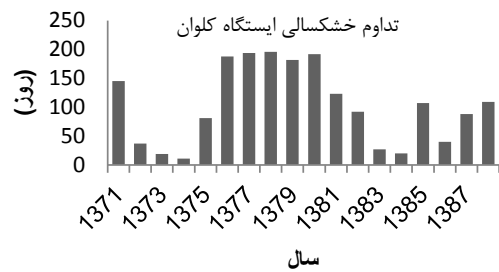
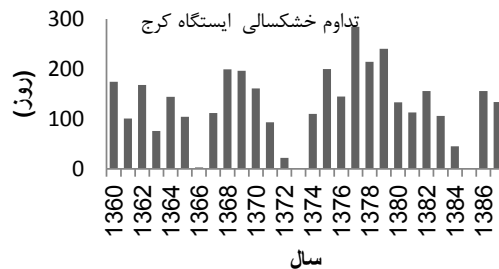
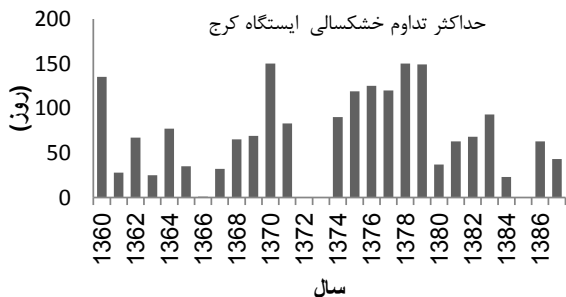
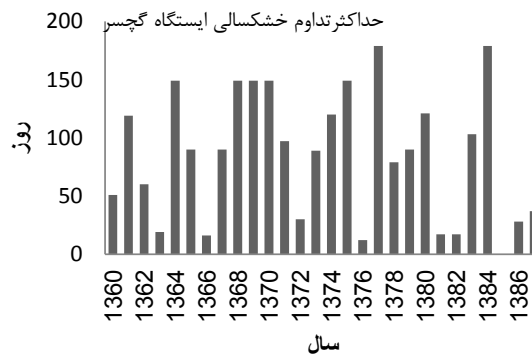
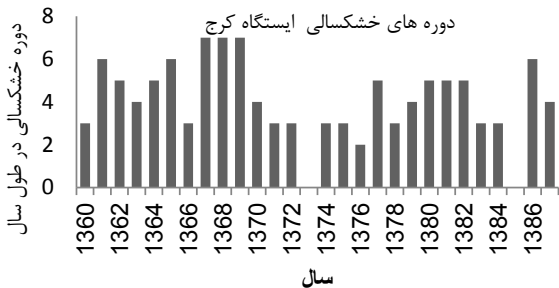
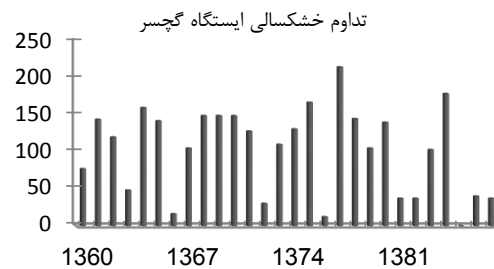
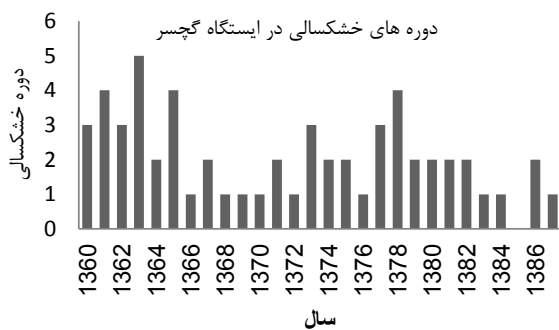
Table 4. estimate of drought continuation maximum in different thresholds in Karaj dam basin in a year

سال مورد نظر Intended year	حداکثر تداوم خشکسالی در سطح Q_{90} (روز) drought continuation maximum in Q_{90} level (day)	سال مورد نظر year Intended	حداکثر تداوم خشکسالی در سطح Q_{70} (روز) drought continuation maximum in Q_{70} level (day)	نام ایستگاه name Station
1375	152	1377	255	گچسار Gachsar
1379-1377	95-90	1378-1377	120-110	کلوان (سیرا) (Sira) Kalvan
1377	202	1377	284	کرج (سیرا) (Sira) Karaj

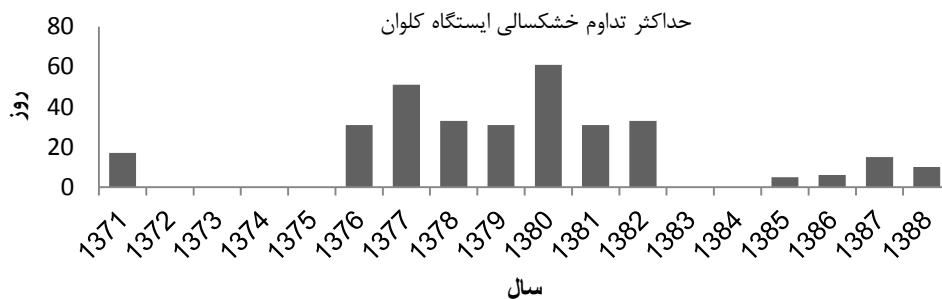
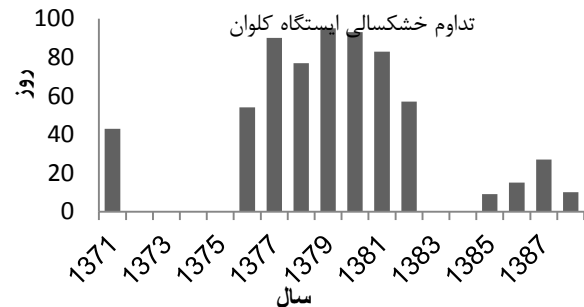
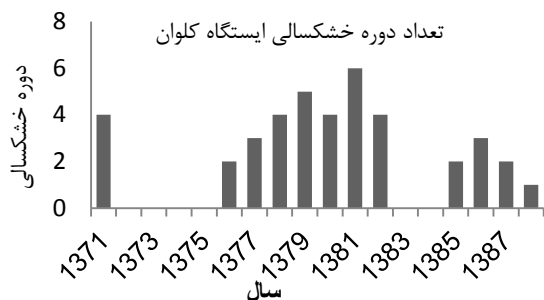
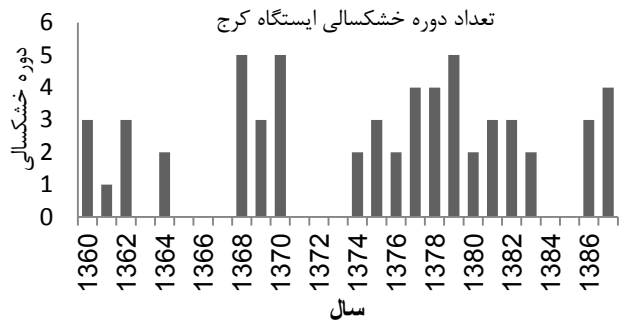
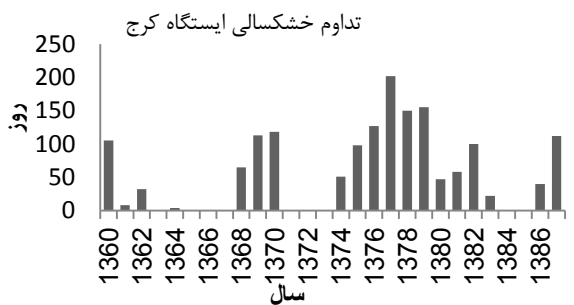
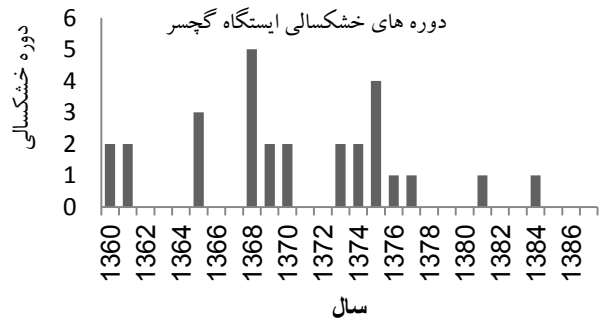
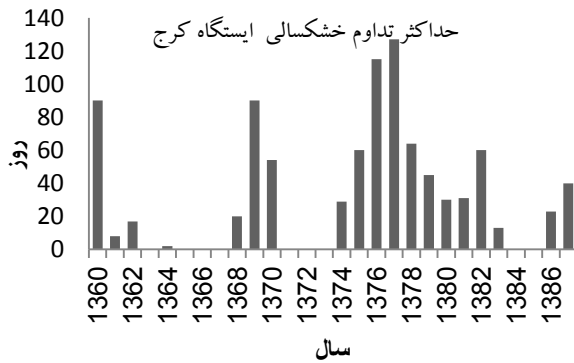
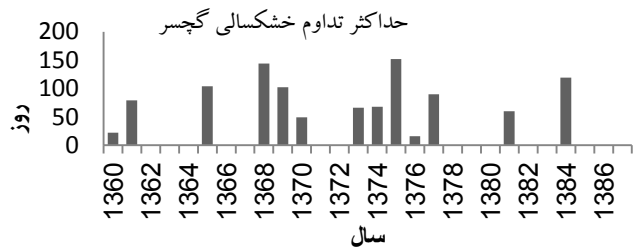
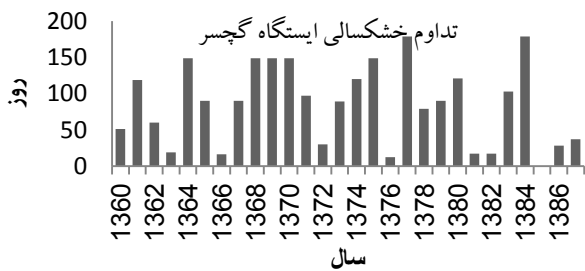
جدول 5- محاسبه تداوم خشکسالی و مجموع کمبود در آستانه‌های مختلف در ایستگاه‌های مطالعاتی در حوزه سد کرج

Table 5. estimate of drought continuation and deficit total in different thresholds in studied stations in Karaj dam basin

مجموع تداوم در آستانه Q_{90} (روز) Continuation total in Q_{90} threshold	مجموع کمبود در آستانه Q_{90} (متر مکعب) deficit total in Q_{90} threshold	مجموع تداوم در آستانه Q_{70} (روز) Continuation total in Q_{70} threshold	مجموع کمبود در آستانه Q_{70} (متر مکعب) deficit total in Q_{70} threshold	نام ایستگاه name Station
1071	174.43	2875	1168.65	گچسار Gachsar
608	70.29	1821	275.57	کلوان (سیرا) (Sira) Kalvan
1607	835.5	3589	4244.95	کرج (سیرا) (Sira) Karaj



شکل ۶- نمودار پارامترهای خشکسالی در ایستگاه‌های هیدرومتری در سطح آستانه Q_{70}
 Fig 6. The graph of drought parameters in hydrometric stations in level threshold Q_{70}



شکل ۷- نمودار پارامترهای خشکسالی در ایستگاه‌های هیدرومتری در سطح آستانه Q_{90}
 Fig 7. the graph of drought parameters in hydrometric stations in level threshold of Q_{90}

جدول ۶- آزمون نکویی برازش پارامترهای خشکسالی و انتخاب بهترین توزیع آماری

Table 6. drought parameters fitness test and select of the best statistical distribution

بهترین توزیع آماری در آستانه Q_{90}			بهترین توزیع آماری در آستانه Q_{70}			پارامترهای خشکسالی Drought parameter	نام ایستگاه name Station
The best statistical distribution in threshold of Q_{90}			The best statistical distribution in threshold of Q_{70}				
حد اکثر تداوم خشکسالی Drought continuation maximum	دوره پیوسته خشکسالی سالانه drought Yearly continuous period	مجموع تداوم خشکسالی Drought total continuation	حد اکثر تداوم خشکسالی Drought continuation maximum	دوره پیوسته خشکسالی سالانه drought Yearly period continuous	مجموع تداوم خشکسالی Drought continuation total		
مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	توزیع گاما	مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	گچسر Gachsar	
مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	کلوان (سیرا) (Sira) Kalvan	
مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)	کرج (سیرا) (Sira) Karaj	

و بایزیدی [۵] نیز در تحقیقات خود به خشکی هیدرولوژیک در این سال اشاره نمودند.

منابع

1. Asadi, E., R. Mirabasi, A. Malekpoor, A. Fakherifard and Y. Dinpajou. 2009. Monitoring of Hydrological Drought Using the Run Theory (Case study: Aji-chai Watershed in East Part of Azerbaijan Province). The 2nd National Conference on Drought Impacts and Management Strategies, Isfahan, 7 p. (In Persian).
2. Biabanaki, M. 2005. Low flow analysis using the hybrid method in watershed Karkhe. Water engineering graduate thesis. Faculty of Agriculture Isfahan University of Technology. (In Persian)
3. Byzedi, M., B. Saghafian, M. Deghani and N. Farzi. 2010. Investigation of Incidence Cognitiv Water Drought in Karkheh Watershed. The 1st National Conference Applied Research of Iranian Water Resources, Kermanshah, 63-73. (In Persian)
4. 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)

دوره‌های خشکسالی نسبت به ایستگاه‌های دیگر افزایش یافته است که گاهی به ۷ دوره در طی یک سال نیز رسیده است که نشان از نوسانات اقلیمی در منطقه دارد در این ایستگاه نیز در سال‌های ۱۳۷۳ و ۱۳۸۵ دوره خشکسالی مشاهده نشده و این سال‌ها شرایط نرمال حاکم بوده است. بیشتر خشکسالی‌های اتفاق افتاده طی سه یا پنج دوره بوده است و سال‌های با دوره‌های کمتر یا بیشتر خشکسالی کمتر مشاهده شده است به نوعی فراوانی سه و پنج دوره در سال بیشتر بوده است. همچنین در آستانه Q_{90} نیز سال ۱۳۷۷ با ۲۰۳ روز از بیشترین تداوم خشکی و با بیشترین کمبود آب در حوزه برخوردار بوده است. بررسی‌های صورت گرفته با آستانه‌های ثابت Q_{70} و Q_{90} در ایستگاه هیدرومتری کلوان نشان می‌دهد که سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ دارای بیشترین تداوم خشکسالی بوده اند در این ایستگاه تعداد دوره‌های خشکسالی به نسبت دو ایستگاه دیگر بیشتر بوده و گاهی به ۷ دوره نیز میرسد با افزایش دوره‌های خشکسالی میزان تداوم آن کمتر شده و اثر گذاری آن نیز کمتر می‌شود. همچنین استفاده از روش‌های کلموگراف-اسمیرونوف، کایسکوئر و اندرسون دارلینگ در هر ایستگاه در آستانه‌های مختلف، پارامترهای خشکسالی از تابع توزیع احتمال مقادیر حدی تعمیم یافته تبعیت کرده و این تابع دارای رتبه ۱ و بهترین برازش را به داده داشته است. ضمناً با بررسی آماری ایستگاه‌های مطالعاتی مشخص گردید که سال ۱۳۷۷ جزء بحرانی ترین سال‌های از نظر میزان کمبود آب قرار دارد که کریمی و همکاران [۱۴] و همچنین قاسمی و همکاران [۱۱]، اسدی و همکاران [۱]، کریمی نظر و همکاران [۱۵]، اسلامیان و همکاران [۹]

Summer. (In Persian)

15. 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)
16. Kjeldsen, R.T., Lundrof, A., Rosbjerg, D. 2000 Use of a twocomponen exponential distribution in partial duration modeling of hydrological drought in Zimbabwean rivers. *Hydrological science journal*, 45(2), pp. 285-298.
17. 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.
18. 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)
19. Parida BP, Kachroo RK. and DB. Shrestha.1998. Regional flood frequency analysis of Mahi-Sabarmati basin (Subzon 3-a) using index flood procedure with L-moments. *J. Water resource management* 12:1-12
20. 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). 3rd International Conference on Climate Change and Dendrochronology, Sari. 1-11. (In Persian)
21. 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
22. Yarahmadi, J. 2009. Frequency Analysis of Hydrological Drought in Gambarchay Watershed Using Model Series detail. The 2nd National Conference on Drought Impacts and Management Strategies. Isfahan, 1-7. (In Persian)
5. Byzaedi, M. 2011. Analysis of Hydrological Drought based on Daily Flow Series. *World Academy of Science. Engineering and Technology*. 50: 491-496.
6. Byazedi, M.Saghefian, B. Sedghi,H. Kave, F. 2011. Analysis of hydrological drought in karoon river basin by daily discharge data. *Watershed Management Researches Journal (Pajouhesh & Sazandegi)* No 86 pp: 52-63
7. Durran, S. R. and S. Tomic. 1996, Regionalization of low flow frequency estimates: An Albama case study, *J. American Water Resources Association* 32 (1): 23-37.
8. Eslamian, S. Zarei, A. Abrishamchi, A. 2005. Estimation of regional low flow ivers of the Caspian basin. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 8(1): 38-27.
9. Eslamian, S.S., M. Ghasemi and S. Soltani Gerdefaramarzi. 2012. Computation and Regionalization of Low Flow Indices and Determination of Hydrological Drought Durations in Karkkeh Watershed. *Journal of Sciences and Technol. Agricultural and Natural Resources. Water and Soil Sciences*, 16: 1-14. (In Persian)
10. Fleig, A. K., Tallaksen L. M., Hisdal H. and S. Demuth. 2006. A global evaluation of streamflow drought characteristics *Hydrology and Earth System Sciences. J. Hydrol. Earth Syst. Sci.* 10: 535-552
11. Ghasemi, M., S.S. Eslamian and S. Soltani. 2008. Monitoring and Regionalization of Meteorological Drought in Karkkeh 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. 2002. Regional aspects of drought. Ph.D. thesis, No.221, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Oslo, Oslo.
13. Jeng-Tzong, S., Hsieh- Wen, S. 2001. Recurrence analysis of hydrologic droughts of differing severity. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v 127(1), p 30-40
14. Karimi, M. Shahedi, K. Baiazidi, M. 2015. Analysis of Hydrological Drought using Constant Threshold Level Method (Case Study: Karkkeh River Basin, Iran) *Journal of Watershed Management Research* Vol. 6, No. 11, Spring and

Abstract

Assessment of Hydrological Drought Using Constant Threshold Level Method (Case Study: karaj Dam Basin)

A. Salajegheh¹, T. Mesbah Zade², F. Soleimani Sardoo³ and N. Alipour⁴

Received: 2017/02/17 Accepted: 2017/12/13

Drought is an insidious environmental phenomenon. This phenomenon causes water shortage for some activities, communities or environment. Drought should be compared with average climate and hydrological Conditions for Long period of time. Hydrological drought is detected by reduced water storage in lakes, underground water levels drawdown and reduced river flow and often will affect a large area. The most common definition of a hydrological drought is to define a threshold limit, such that if the river is less than that, a hydrologic drought is considered. In this study, the fixed threshold limit of Q70 was used in Karaj drainage Basin. Results showed that Q90 of year 1998 was the driest year. The results show that 1377 year was one of the driest years in this area and in Karaj station 284 days and for Gachsar station 255 days were dry. Also, the results show a total lack of water in Gachsar station Q70 threshold equal to 68/11 million cubic meters, Kalavan stations equivalent to 75.2 million cubic meters and for Karaj station equal to 44/42 million cubic. The general extreme value (GEV) best fit the parameters of the drought. The results can be used in water resources management and planning necessary to prevent or mitigate the effects of drought in the area.

Keywords: *Hydrological drought, Threshold limit, General extreme value (GEV), Karaj dam basin*

1. Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

2- Corresponding author: Assistant Professor Faculty of Natural Resources, University of Tehran. Corresponding author Email: tmesbah@alumni.ut.ac.ir

3- Academic member. Instructor, university of Jiroft.

4- MSc Student, Tehran, University of Tehran.