تحلیل توزیع فراوانی خشکسالی هیدرولوژیک
(مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی رودخانه‌ی قره‌سو)

مهندس محمدرضا خزایی **دکتر عبدالرسول تلوری**
کارشناس ارشد مهندسی عمران ـ آب دانشگاه علم و صنعت ایران
دانشیار مهندسی آب پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

دکتر ابراهیم جباری
استادیار مهندسی آب دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

با تحلیل سوابق تاریخی پدیده‌ی خشکسالی و با تکیه بر آمار و اطلاعات موجود می‌توان احتمال وقوع خشکسالی را برای مناطق مختلف برآورد نمود و با ایجاد طرح‌های مواجهه با خشکسالی مشکلات ناشی از آن را تا حد زیادی کاهش داد. در تحقیق حاضر با استفاده از آمار روزانه جریان رودخانه‌ی قره‌سو در دو ایستگاه ده‌کهنه و قورباغستان در یک دوره‌ی آماری ۴۳ ساله از شاخص سری جریان حداقل سالیانه در تحلیل توزیع فراوانی استفاده شد. به کمک توزیع لوگ‌پیرسون نوع سوم، که بهترین برازش را با داده‌های جریان حداقل داشت، سری جریان سالیانه برای تداوم‌های ۱، ۷، ۱۵ و ۳۰ روزه در سطح اطمینان ۹۵ درصد و برای دوره‌های بازگشت مختلف تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد که بده جریان حداقل روزانه برای تداوم‌های ۱ الی ۳۰ روزه در هر دو ایستگاه تغییرات چندانی نسبت به هم ندارند.

واژگان کلیدی: خشکسالی هیدرولوژیکی، جریان حداقل روزانه، تحلیل فراوانی، رودخانه قره‌سو.

مقدمه

خشکسالی هیدرولوژیکی که به مفهوم کمبود جریان آب نسبت به مقدار نرمال آن تعریف می‌شود از رویدادهای طبیعی و تکرارپذیر در هر اقلیمی است. پدیده‌ی خزنده‌ی خشکسالی (*خسروی و همکاران، ۱۳۷۹: ۴۴*) یکی از مزمن‌ترین و زیان‌بارترین بلایای

طبیعی است. آثار خشکسالی در جامعه به دلیل نقش اساسی منابع آب در برطرف کردن نیازهای انسانی در همه فعالیت‌های او بسیار روشن است. این اثرها اغلب ناشی از ناسازگاری فعالیت‌ها با محیط طبیعی است و سهم نقص طراحی و مدیریت انسان نسبت به تغییرات عوامل اقلیمی بیشتر می‌باشد *(نیل، ۱۹۹۴: ۴۲۰)*. اگرچه به عقیده‌ی برخی از محققان *(نیل، ۱۹۹۴: ۴۲۰؛ رحمانیان، ۱۳۷۹: ۶)* پیشگیری و ممانعت کامل از وقوع کمبود آب ممکن نیست لیکن با تحلیل آمار و اطلاعات موجود می‌توان وقوع آن را برای دوره‌های مختلف بازگشت برآورد نمود و با اتخاذ تدابیر مدیریتی و اجرای طرح‌های مقابله و سازش با خشکسالی تأثیرات و پیامدهای ناشی از آن را کاهش داد. از دیدگاه صاحب‌نظران تعاریف گوناگون برای کلمه‌ی خشکسالی ارایه شده است. لیکن در این زمینه تعریفی مشخص که کلیه‌ی محققان و اهل علم و فن در آن اتفاق نظر داشته باشند ارایه نشده است *(دین پژوه، ۱۳۷۲: ۹۰)* .

در یک تعریف کلی، خشکسالی عبارت است از کمبود غیر عادی بارش در دوره‌ای بلندمدت به نحوی که باعث کمبود رطوبت در خاک و سبب کاهش آب‌های جاری شود و بدین ترتیب فعالیت‌های انسانی و حیات طبیعی گیاهی و جانوری را بر هم زند. در اقلیم‌های مختلف مدت‌زمانی که لازم است از آخرین بارش بگذرد تا آب رودخانه‌ها و رطوبت خاک کاهشی محسوس پیدا کند، یکسان نیست *(براتیان، ۱۳۷۹: ۳)*.

در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک ممکن است چندین سال، مقدار بارش ناچیز باشد یا هیچ‌گونه بارشی رخ ندهد و لذا جامعه‌ی گیاهی و جانوری آن منطقه با شرایط به‌وجود آمده، سازگاری پیدا کند و عواقب ناشی از خشکسالی چندان محسوس نباشد. در صورتی که در برخی مناطق با آب و هوای مرطوب، حتی بروز فواصل کوتاه بین بارش‌ها، ممکن است مسایل جدی ناشی از کم‌آبی را فراهم سازد.

بر اساس نوع منابع و مقدار ذخایر آب موجود در منطقه نیز متغیرهای مختلفی در تعاریف خشکسالی مبنا قرار می‌گیرند. متغیر اصلی در تعریف خشکسالی ممکن است بارش، جریان رودخانه، رطوبت خاک و یا ذخایر آب حوضه باشد.

از دیگر عوامل تنوع تعاریف خشکسالی، تنوع نیازها و زمینه‌ی کاری محققان می‌باشد. از این نظر خشکسالی را می‌توان از دیدگاه‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیک، مورد بررسی قرار داد *(وفاخواه، ۱۳۷۹: ۹۳۵)*. در نتیجه تعریفی که در یک تحلیل از خشکسالی ارایه می‌شود، باید متناسب با شرایط اقلیم، نوع منابع و مقدار ذخایر آب، مصارف آب، نیازها و زمینه‌ی تحقیق محقق باشد. خشکسالی هیدرولوژیکی مربوط به‌دوره‌های زمانی است که طی آن حجم یا دبی جریان رودخانه‌ها کاهش

می‌یابد *(خسروی و همکاران، ۱۳۷۹: ۴۶)* فراوانی و شدت این پدیده غالباً در مقیاس یک حوضه‌ی آبریز رودخانه بیان می‌شود.روش‌های گوناگونی برای بررسی خشکسالی هیدرولوژیک ارایه شده است که هر یک به منظور خاص یا در منطقه‌ی معینی به‌کار گرفته شده‌اند. در مقاله‌ی حاضر ضمن بررسی مهمترین شاخص‌ها و رویش‌های مطالعه و بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی فراوانی وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه‌ی رودخانه‌ی قره‌سو در مجاورت شهر کرمانشاه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک

شاخص‌های خشکسالی همانند یک مدل، اطلاعات زیادی از نمودهای ذخایر آب را به شکل مفهومی به تصویر می‌کشند که تصمیم‌گیری با استفاده از آن‌ها بسیار کارآتر از داده‌های خام با حجم زیاد است *(هایس، ۱۹۹۹: ۲)*.

با توجه به اینکه در شرایط مختلف، تعاریف مختلفی در مورد خشکسالی ارایه شده است، شاخص‌ها و روش‌های مطالعاتی خشکسالی نیز متفاوت می‌باشد که پارامترهای متفاوتی همچون بارندگی، رطوبت خاک، جریان سطحی، مخازن زیرزمینی، خسارت‌های اقتصادی را مورد توجه قرار می‌دهند. اما هیچ کدام از شاخص‌های مهم به طور ذاتی برتر از بقیه‌ی شاخص‌ها نیست، بلکه هر کدام از آن‌ها برای کاربرد خاص خود مناسب‌تر از دیگر شاخص‌هاست *(هایس، ۱۹۹۹: ۲)*. در ادامه مهمترین شاخص‌ها و روش‌های مطالعه‌ی خشکسالی هیدرولوژیک مورد بررسی قرار می‌گیرند.

تحلیل دنباله‌ها[1] (تحلیل کمبودها)

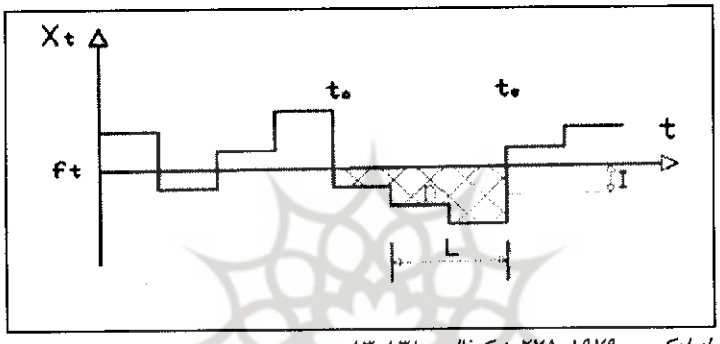
یوجویچ (۱۹۶۷) [2] بر اساس روش ران‌تیست[3] تعریف خاصی را برای خشکسالی قائل شد. منظور از ران دنباله‌ی ممتدی از متغیرهاست که مقدار آن‌ها بزرگتر یا کوچکتر از حد مشخص (مبنا) باشد. در این تعریف منظور از خشکسالی، یک رشته‌ی بدون وقفه از متغیرها است که زیرسطح مبنا قرار گرفته باشد. مطابق شکل (۱) طول دوره‌ی خشکی[4](L) و وخامت خشکسالی[5] (D) دو متغیر اصلی برای تحلیل خشکسالی در این روش می‌باشند *(رادکیوی، ۱۹۷۹: ۲۷۵- ۲۷۶ و چانگ و شن، ۱۹۹۳ :۱)* .

---

1 Analysis of run
2 Yevjevich, 1967
3 Run test
4 Duration
5 Severity

سطح مبنا می‌تواند به عنوان سطح نیاز معرفی شود و معمولاً آن را شرایط نرمال در نظر می‌گیرند. تجزیه و تحلیل کمبودها، از متداولترین روش‌های تعیین دوره‌های خشکسالی است. و این بدین جهت است که استفاده از این روش، دارای سادگی و عمومیت زیادی است *(علیزاده، ۱۳۶۸: ۸۵)* .

شکل ۱: خصوصیات خشکسالی بر اساس روش ران تست



به نقل از رادکیوی، ۱۹۷۹: ۲۷۵؛ نیک‌فال، ۱۳۸۰: ۸۳

به‌ازای سطح مبنای معین، هم طول دوره‌ی خشکسالی (L) و هم‌وخامت خشکسالی (D) از توزیع تصافی احتمالات پیروی می‌کنند *(علیزاده، ۱۳۶۸: ۵۷)*. در استفاده از تئوری دنباله‌ها اغلب عدم کفایت تعداد داده‌های در دسترس مشکل‌زا است. این مشکل ناشی از آن است که معمولاً در طول سری آماری موجود تعداد کمی واقعه‌ی خشکسالی پایین‌تر از تراز مبنا وجود دارد. تحلیل بر مبنای داده‌های با تعداد ناکافی موجب سطح ریسک بالای شکست طرح می‌شود *(چانگ و شن، ۱۹۹۳: ۲)*. در مقابله با این مشکل اغلب با توجه به همبستگی داخلی سری‌های آماری جریان رودخانه، با استفاده از روش‌های تولید مصنوعی داده، اقدام به تولید سری‌های مصنوعی جریان می‌شود. سپس با استخراج متغیرهای مدت و وخامت هر واقعه‌ی خشکسالی، به تحلیل فراوانی و پیش‌بینی خشکسالی برای دوره بازگشت‌های مختلف پرداخته می‌شود.

شاخص‌های جریان حداقل[1]

معمولاً از جریان کم رودخانه‌ها به خشکسالی هیدرولوژیک تعبیر می‌شود. دانستن مشخصات جریان کم در تعیین کفایت جریان در آبراهه، در برآورد کردن حداقل جریان

1 Low flow indices

برای دفع فاضلاب، آبرسانی شهری و صنعتی و حفظ شرایط مناسب، برای زندگی موجودات آبزی بسیار مهم است. از آنجا که اغلب همبستگی بین جریان‌های حداقل روزانه، حداقل ماهانه و میانگین رواناب سال آبی خیلی کم است *(فرجزاده، ۱۳۷۴: ۴۴)*؛ با استفاده از داده‌های پیوسته جریان، می‌توان ویژگی‌هایی از جریان کمینه را به عنوان شاخص‌های جریان حداقل انتخاب کرده که به چند مورد آن در زیر اشاره می‌شود:

- شاخص‌هایی که از منحنی تداوم جریان[1] به دست می‌آیند

با استفاده از سری داده‌های جریان یک رودخانه، می‌توان منحنی تداوم جریان را رسم نمود. در این روش، با دسته‌بندی محدوده‌هایی از مقادیر جریان، یک منحنی فراوانی وقوع دسته‌ها، مانند شکل (۲) به دست می‌آید. به کمک این منحنی می‌توان شاخص‌هایی را برای کمبود جریان انتخاب نمود *(شو، ۱۹۹۴: ۳۱۳)*.

براون و گوستارد (۱۹۷۷) با استفاده از منحنی تداوم جریان، مقدار جریانی را که بیش از ۹۵ درصد از اوقات،جریان بیش از آن باشد، به صورت شاخص $Q_{95\%}$ به عنوان معیاری برای ارزیابی شدت کم‌آبی، ارایه کردند. معمولاً برای مقایسه شدت‌کم‌آبی جریان بین سطوح حوضه‌ها،از نسبت مقادیر$Q_{95\%}$ به سطوح حوضه‌ی آبخیر مربوطه (A) یعنی$\frac{Q_{95\%}}{A}$ به عنوان ارتفاع رواناب در سطح حوضه بر حسب میلی‌متر در روز استفاده می‌شود.

این شاخص‌ها توالی جریان حداقل را نشان نمی‌دهند. به منظور بررسی مقدار و توالی جریان حداقل، می‌توان ازشاخص‌های «سری‌های جریان حداقل سالیانه» استفاده کرد.

- شاخص‌های « سری‌های جریان حداقل سالیانه»[2]

این شاخص‌ها به صورت حداقل جریان متوسط روزانه در طول یک سال و یا کمترین جریان متوسط در چند روز پیاپی از قبیل ۷، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ... روز در طول یک‌سال تعریف می‌شوند. یعنی جریان کم d روزه (با تداوم d روزه) در یک‌سال، کمترین مقدار میانگین‌های متحرک d روزه‌ی جریان‌های روزانه در آن سال است *(اسلامیان و همکاران، ۱۳۷۹: ۳۸۳)*.

ماتالاس (۱۹۶۳) جریان‌های حداقل سالیانه‌ی گزیده‌ای از رودخانه‌های بخش‌هایی از آمریکا را مورد تحلیل فراوانی قرار داد. وی نتیجه گرفت برای این گونه داده‌ها که

---

1 Flow duration curve
2 Annual minimum Series of Low Flows

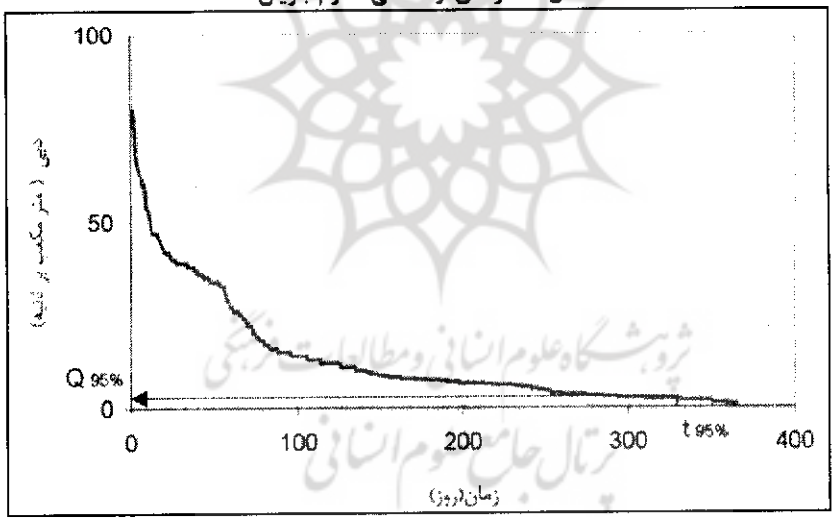
دارای شرایط حد پایین مساوی یا بزرگتر از صفر بوده و منحنی آن‌ها دارای چولگی است، توزیع حد نوع سوم، یکی از مناسب‌ترین توزیع‌هاست *(شو، ۱۹۹۴: ۳۱۴)* .

نیکس و کوندی (۱۹۷۵) با بررسی جریان‌های حداقل ۷ روزه در ۳۸ ایستگاه کانادا، توزیع حد نوع سوم را به عنوان بهترین توزیع معرفی نمودند *(وفاخواه، ۱۳۷۷: ۴۳)* .

در انگلستان پس از رویداد خشکسالی ۱۹۷۵-۱۹۷۶، در مطالعه‌ای که بر روی جریان‌های حداقل ۳۰ روزه انجام گرفت، بهترین توزیع را، توزیع لوگ نرمال معرفی نمودند *(وفاخواه، ۱۳۷۷: ۱۲۸)* .

اسلامیان و همکاران *(۱۳۷۹: ۳۸۹)* با مطالعه بر روی جریان‌های حداقل با تداوم‌های ۷، ۱۵، ۳۰، ۶۰ روزه‌ی تعدادی از ایستگاه‌های حوضه‌ی آبریز مازندران، توزیع لوگ پیرسون تیپ سوم را به عنوان بهترین توزیع جریان‌های کم منطقه‌ی مربوطه معرفی کردند.

شکل ۲: نمونه‌ای از منحنی تداوم جریان

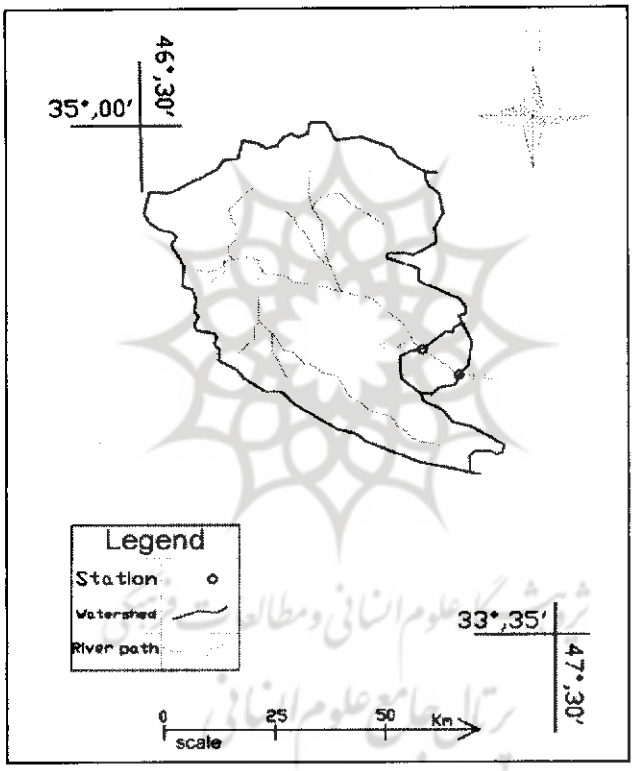


حوضه‌ی مورد مطالعه

قره‌سو رودخانه‌ای در غرب کشور اشت که از کوه‌های زاگرس سرچشمه می‌گیرد و یکی از سرشاخه‌های مهم رودخانه‌ی کرخه می‌باشد. شهرستان کرمانشاه مرکز استان کرمانشاه، در کنار رودخانه‌ی قره‌سو واقع شده است. تمام مسیر انتخاب شده رودخانه در این بررسی در داخل استان قرار دارد (شکل ۳). این رودخانه، رودخانه‌ای دائمی

است که سهم عمده‌ای را در تأمین نیازهای آبی و دفع فاضلاب مناطق مجاور خود ایفا می‌کند معمولاً آبگیری از این رودخانه، مستقیماً از جریان رودخانه صورت می‌گیرد و در آن از مخزن به منظور ذخیره‌سازی آب برای ماه‌های کم آبی، استفاده نمی‌شود. لذا در برنامه‌ریزی استفاده از آب این رودخانه، و همچنین ایجاد طرح‌های آبی، مطالعه‌ی مقادیر حداقل جریان سالیانه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

شکل ۳: موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی رودخانه‌ی قره‌سو در محل ایستگاه‌های مورد مطالعه



روش تحقیق

اگرچه در میان شاخص‌های تحلیل جریان، روش تحلیل دنباله‌ها برای برنامه‌ریزی ذخیره‌سازی آورد رودخانه، مناسب است ولی چون در رودخانه قره‌سو در استان کرمانشاه، از مخزن برای ذخیره‌سازی، استفاده نمی‌شود، بنابراین مطالعات خشکسالی این رودخانه، بر روی جریان‌های حداقل متمرکز می‌شود. به همین منظور در این

بررسی، شاخص‌های سری جریان حداقل سالیانه مورد استفاده قرار گرفته است تا در دوره‌های بازگشت مورد نظر، مقادیر جریان حداقل در تداوم‌های مختلف، پیش‌بینی شود. آمار جریان مورد استفاده در این تحقیق از مرکز تحقیقات منابع آب وزارت نیرو اخذ شده است. آمار جریان حداقل رودخانه‌ی قره‌سو در محل ایستگاه ده‌کهنه (با کد ۱۴۱-۲۱) در مجاورت شهر کرمانشاه برای یک دوره آماری ۴۳ ساله (۱۳۱۷-۱۳۳۵) از مرکز تحقیقات منابع آب وزارت نیرو اخذ گردید. همچنین به منظور تکمیل نواقص آمار این ایستگاه، اطمینان از صحت آمار و انتخاب توزیع بهینه، از آمار ایستگاه قورباغستان (با کد ۱۴۳-۲۱) نیز در طول دوره‌ی آماری مشابه استفاده شده است (جدول ۱).

برای استخراج آمار جریان‌های حداقل، از آمار سال تقویمی استفاده شده است. زیرا مقادیر حداقل جریان اغلب در اواخر تابستان و اوایل پاییز اتفاق می‌افتد و قطع یک‌سال در این زمان (مطابق سال آبی)، ممکن است موجب خطا در برآورد حداقل میانگین متحرک‌های جریان شود. با استفاده از آمارهای مذکور، مقادیر حداقل جریان یک روزه و حداقل میانگین متحرک‌های ۷، ۱۵ و ۳۰ روزه از هر سال محاسبه گردید.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

کد ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی ایستگاه	عرض جغرافیایی ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۲۱-۱۴۱	ده‌کهنه	۴۷-۰۸´	۳۴-۱۹´	۱۲۶۰
۲۱-۱۴۳	قورباغستان	۴۷-۱۵´	۳۴-۱۴´	۱۲۳۰

پس از انتخاب طول دوره‌ی آماری مشترک پایه، به منظور بازسازی نواقص آماری، از روش همبستگی بین دو ایستگاه استفاده شده است. سپس مقادیر جریان‌های حداقل با تداوم‌های مختلف از آمار روزانه‌ی جریان استخراج و توزیع‌های زمانی و ویژگی‌های آماری سری‌های جریان‌های حداقل بررسی شده است. با توجه به سوابق مطالعاتی شاخص‌های «سری‌های جریان حداقل سالیانه»، توابع توزیع نرمال، لوگ نرمال و دو پارامتری، لوگ نرمال سه پارامتری، پیرسون نوع سوم، لوگ پیرسون نوع سوم و گامبل، جهت آزمون نکویی بر ارزش، انتخاب شده‌اند. به این منظور برای مقایسه‌ی توزیع‌ها و انتخاب توزیع بهینه، از روش‌های حداقل مربعات، همبستگی و گرافیکی استفاده شده است. در این روش پیشامدهای ثبت شده با احتمال تجربی آن‌ها از رابطه‌ی ویبول محاسبه شده و با پیشامدهای محاسبه شده از توزیع مورد آزمون، با همان احتمال مقایسه شده است. سپس با به‌کارگیری بهترین توزیع احتمالاتی منطقه‌ای برای

شاخص‌های «سری‌های جریان حداقل سالیانه» مقادیر این شاخص‌ها با تداوم‌های ۱، ۷ ، ۱۵ و ۳۰ روزه در سطح اطمینان ۹۵٪ برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال در محل ایستگاه‌های مورد مطالعه، پیش‌بینی شده است.

نتایج تحقیق

ویژگی‌های آماری جریان‌های حداقل

ویژگی‌های آماری جریان‌های حداقل دو ایستگاه مورد مطالعه برای طول آماری معادل ۴۳ سال (۱۳۷۷-۱۳۴۳) در جدول (۲) آمده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود هیچ‌گونه روند تغییرات سینماتیکی در این داده‌ها دیده نمی‌شود که مؤید بر همگن و تصادفی بودن داده‌هاست.

جدول ۲: ویژگی‌های آماری جریان‌های حداقل (متر مکعب بر ثانیه) در تداوم‌های مختلف در ایستگاه‌های ده‌کهنه و قورباغستان

	قورباغستان				ده‌کهنه			
تداوم(روز)	۱۰	۷	۱۵	۳۰	۱	۷	۱۵	۳۰
میانگین	۳و۳۲	۳و۴۶	۳و۵۹	۳و۷۳	۲و۹۴	۳و۱۶	۳و۲۷	۳و۴۵
انحراف‌معیار	۱و۹۶	۱و۹۵	۲و۰۰	۲و۰۵	۲و۲۳	۲و۲۷	۲و۳۴	۲و۴۳
چولگی	۱و۰۰	۱و۰۶	۱و۰۰	۰و۸۹	۱و۲۷	۱و۱۳	۱و۱۲	۱و۱۵

توزیع آماری مناسب

نتایج برازش نکویی توزیع‌های مختلف بر داده‌های جریان حداقل مطابق جدول (۳) که با روش‌های حداقل مربعات، همبستگی و گرافیکی بررسی شده، نشان می‌دهد که بهترین توزیع برای این نوع داده‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه، توزیع لوگ پیرسون نوع سوم است.

جدول ۳: مقایسه نتایج برازش توزیع‌های مختلف بر داده‌های شاخص خشکسالی حداقل جریان

رتبه‌ی توزیع	عنوان توزیع
۱	توزیع لوگ پیرسون نوع
۲	توزیع پیرسون نوع
۳	گامای دو پارامتری
۴	توزیع لوگ نرمال ۲ پارامتری
۵	توزیع لوگ نرمال ۳ پارامتری
۶	توزیع گامبل
۷	توزیع نرمال

پیش‌بینی خشکسالی خشکسالی هیدرولوژیک در رودخانه‌ی قره‌سو

با استفاده از توزیع لوگ پیرسون نوع سوم، مقادیر «سری‌های حداقل جریان سالیانه» با تداوم‌های ۱، ۷، ۱۵ و ۳۰ روزه در سطح اطمینان ۹۵٪ برای دوره‌ی بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰،۵۰ و ۱۰۰ سال در محل ایستگاه‌های مورد مطالعه، پیش‌بینی شده است. نتایج این پیش‌بینی با حدود اطمینان ۹۵٪ در جدول (۴) ارایه شده است.

جدول ۴: نتایج پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیک در رودخانه‌ی قره‌سو در محل ایستگاه‌های ۱۴۱-۲۱ و ۱۴۳-۲۱ در سطح اطمینان ۹۵٪ با استفاده از شاخص‌های سری‌های حداقل جریان سالانه

		ایستگاه قورباغستان				ایستگاه ده‌کهنه			
دوره‌ی بازگشت	تداوم	۱	۷	۱۵	۳۰	۱	۷	۱۵	۳۰
۱۰۰	X-ST	۰،۰۰	۰،۱۷	۰،۱۸	۰،۲۰	۰،۰۰	۰،۰۰	۰،۰۰	۰،۰۰
	X	۰،۵۸	۰،۷۰	۷۲،۰	۰،۷۵	۰،۴۰	۰،۴۳	۰،۴۵	۰،۵۲
	X+tSt	۹۳،۰	۱،۰۸	۱،۱۲	۱،۱۷	۰،۶۴	۰،۶۹	۰،۷۳	۰،۸۳
	St	۰،۱۸	۰،۱۹	۰،۲۰	۰،۲۱	۰،۱۲	۰،۱۴	۰،۱۴	۰،۱۵
۵۰	X-t*St	۳۵،۰	۰،۳۹	۰،۳۹	۰،۳۸	۰،۳۶	۰،۳۴	۰،۳۴	۰،۳۷
	X	۰،۷۱	۰،۷۱	۰،۷۱	۰،۷۱	۰،۷۱	۰،۷۱	۰،۷۱	۰،۷۱
	X+t*St	۱،۰۶	۱،۰۲	۱،۰۳	۱،۰۳	۱،۰۵	۱،۰۷	۱،۰۷	۱،۰۵
	St	۰،۱۸	۰،۱۶	۰،۱۶	۰،۱۷	۰،۱۸	۰،۱۹	۰،۱۸	۰،۱۷
۲۰	X-t*St	۰،۶۰	۰،۷۳	۰،۷۶	۰،۷۸	۰،۴۱	۰،۴۴	۰،۴۶	۰،۵۴
	X	۰،۹۵	۱،۱۰	۱،۱۴	۱،۱۹	۰،۶۶	۰،۷۲	۰،۷۶	۰،۸۵
	X+t*St	۱،۳۱	۱،۱۴	۱،۵۳	۱،۶۰	۰،۹۱	۱،۰۰	۱،۰۵	۱،۱۷
	St	۰،۱۸	۰،۱۹	۰،۲۰	۰،۲۱	۰،۱۳	۰،۱۴	۰،۱۵	۰،۱۶
۱۰	X-t*St	۰،۸۷	۱،۰۲	۱،۰۶	۱،۱۰	۰،۶۰	۰،۶۵	۰،۶۸	۰،۷۸
	X	۱،۲۳	۱،۳۹	۱،۴۴	۱،۵۱	۰،۸۶	۰،۹۵	۰،۹۹	۱،۱۱
	X+t*St	۱،۵۹	۱،۷۶	۱،۸۳	۱،۹۲	۱،۱۳	۱،۲۵	۱،۳۱	۱،۴۳
	St	۰،۱۸	۰،۱۹	۰،۲۰	۰،۲۰	۰،۱۳	۰،۱۵	۰،۱۶	۰،۱۷
۵	X-t*St	۱،۲۷	۱،۴۴	۱،۴۹	۱،۵۶	۰،۸۶	۰،۹۷	۱،۰۲	۱۳،۱
	X	۱،۶۶	۱،۸۳	۱،۹۰	۱،۹۹	۱،۱۹	۱،۳۳	۱،۳۸	۱،۵۱
	X+t*St	۲،۰۶	۲،۲۳	۲،۳۲	۲،۴۳	۱،۵۱	۱،۶۸	۱،۷۵	۱،۸۹
	St	۰،۲۰	۲۰،۰	۰،۲۱	۰،۲۲	۰،۱۶	۰،۱۸	۰،۱۹	۰،۱۹
۲	X-t*St	۲،۲۸	۲،۴۵	۲،۵۵	۲،۶۷	۱،۶۸	۱،۸۸	۱،۹۵	۲،۱۱
	X	۲،۸۶	۳،۰۳	۳،۱۵	۳،۲۹	۲،۲۳	۲،۴۸	۲،۵۷	۲،۷۴
	X+t*St	۳،۴۵	۳،۶۰	۳،۷۴	۳،۹۱	۲،۷۸	۳،۰۷	۳،۱۸	۳،۳۷
	St	۰،۳۰	۰،۲۹	۰،۳۱	۰،۳۲	۰،۲۸	۰،۳۰	۰،۳۱	۰،۳۲

نتیجه‌گیری

این بررسی نشان می‌دهد که میانگین ۴۳ ساله‌ی مقدار جریان حداقل روزانه‌ی قره‌سو در ایستگاه ده‌کهنه در داخل محدوده‌ی شهرستان کرمانشاه حدود ۲/۲۳ متر مکعب در ثانیه می‌باشد. مقادیر مشابه حداقل جریان برای تداوم‌های ۷، ۱۵، ۳۰، روزه نیز به ترتیب ۲/۴۸، ۲/۵۷، ۲/۷۴ متر مکعب در ثانیه برآورد شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود مقادیر حداقل جریان رودخانه به‌عنوان شاخص بیان وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی با کم شدن احتمال وقوع، کاهش می‌یابد به‌گونه‌ای که برای دوره‌ی بازگشت صد ساله مقدار آن برای تداوم‌های۱، ۷، ۱۵،۳۰ روزه به ترتیب ۰،۴۰، ۰،۴۵، ۰،۵۲ مترمکعب در ثانیه می‌رسد که تقریباً به یک پنجم مقادیر میانگین آن‌ها می‌رسد. آنچه حائز اهمیت است عدم وجود اختلاف فاحش میان این مقادیر برای تداوم‌های مختلف می‌باشد و نشان می‌دهد که تداوم خشکسالی یک ماهه از نظر مقدار تفاوت چندانی با خشکسالی با تداوم یکروزه ندارد. بنابراین تأثیرپذیری فعالیت‌های مختلف نظیر تأمین آب شهری، کشاورزی، منابع طبیعی و غیره نسبت به تداوم خشکسالی در بروز وخامت ناشی از آن مهم می‌باشد. از این‌رو اعمال مدیریت بحران و ریسک و طرح و اجرای برنامه‌ها و عملیات سازگار با هر نوع فعالیت متناسب با مقدار و تداوم خشکسالی حائز اهمیت فراوان می‌باشد.

منابع و مآخذ

۱- اسلامیان، سیدسعید؛علیرضا زراعی و احمد ابریشم‌چی: پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیک، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم‌آبی و خشکسالی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۷۹.

۲- براتیان، علی: طبقه‌بندی عوامل هواشناسی در تعیین وقوع خشکسالی با استفاده از مدل اسکالوگرام (مطالعه موردی ایستگاه همدان)، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم‌آبی و خشکسالی، دانشگاه شهیدباهنر کرمان، ۱۳۷۹.

۳- خسروی، محمود؛ سهراب محمدنیاقرایی، ناصر جاودانی؛ سهیلا جوانمرد؛ لیلی خزانه‌داری: بررسی شاخص‌های ارزیابی شدت خشکسالی و امکان‌سنجی کاربرد شاخص شدت خشکسالی پالمر در ایران، اولین کنفرانس بین‌المللی بررسی راهکارهای مقابله با کم‌آبی و خشکسالی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۴- دبلیو کایت: تحلیل فراوانی وقایع و ریسک در هیدرولوژی، ابوالقاسم بزرگ‌نیا؛ امین‌علیزاده؛ محمود نقیب‌زاده؛ حمید خیابانی (مترجمان)، چاپ اول، مؤسسه‌ی چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، ۱۳۶۹.

۵- دین پژوه، یعقوب: بررسی و پیش‌بینی خشکسالی با توجه به توزیع بارش‌های ماهانه (در آذربایجان)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه تبریز، ۱۳۷۲.

۶-رحمانیان، داود: مقابله با خشکسالی بدون‌برنامه‌ریزی جامع میسر نیست، فصلنامه‌ی مهاب قدس، دوره‌ی جدید، شماره‌ی یازدهم، ۱۳۷۹.

۷- علیزاده، امین: مفهوم هیدرولوژی خشکسالی‌ها و روش‌های پیش‌بینی آن، مجله‌ی نیوار (دوره‌ی جدید)، بهار ۱۳۶۸.

۸- فرج‌زاده اصل، منوچهر:تحلیل و پیش‌بینی‌خشکسالی درایران، رساله‌ی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۴.

۹- نیک‌فال، محمدرضا: مدل ریاضی مدیریت خشکی در منابع آب، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۰.

۱۰- وفاخواه، مهدی؛ سیدعلی ایوب‌زاده: شناخت عوامل مؤثر در خشکسالی هیدرولوژیک به منظور کنترل آن‌ها در حوضه‌ی آبخیز دریاچه‌ی نمک، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم‌آبی و خشکسالی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۱۱- وفاخواه، مهدی: برآورد فراوانی منطقه‌ای جریان‌های حداقل رودخانه‌های فصلی (مطالعه موردی در مناطق خشک مرکزی ایران)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۷.

12- Chang fi-john and Yang- Hsiang Chin (1993) " Statistical Analysis of Extreme Hydrological Droughts" In Engineering Hydrology Edited by Y.H.Chin. Proceed.; Hydraulic. Div. ASCE, San Francisco, California.

13-Hayes, Michael (1999)"Drought Indices, "In Drought Happens, Climate Impacts Specialist, National Drought Mitigation Center, 8 pages.

14- Neil S. Grigg (1994) "Water Resources Management", McGraw Hill, 420 pades.

15- Raudkivi Arvedj, (1979) "An Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modeling", Percamon Press.

16- Show Elizabeth M (19994) "Hydrology In Practic", Working ham, Van Nostrand Reinhold.