

محاسبه و ناحیه‌بندی شاخص‌های جریان کم و تعیین دوره‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کرخه)

سید سعید اسلامیان، محسن قاسمی و سمیه سلطانی گردفرامری*^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۹/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۲/۲۴)

چکیده

در این تحقیق به منظور بررسی وضعیت جریان‌های کم در حوضه آبخیز کرخه از پنج شاخص جریان کم رودخانه‌ای شامل $Q_{7.10}$ ، $Q_{7.20}$ ، $Q_{10.30}$ ، $Q_{3.4}$ و Q_{95} استفاده شد و آمار دبی روزانه ۱۲ ایستگاه هیدرومتری این حوضه در طول دوره آماری سال‌های ۴۶-۱۳۴۵ تا ۸۱-۱۳۸۰ مورد استفاده قرار گرفت. همگنی داده‌های دبی از طریق آزمون توالی بررسی شد. مقادیر شاخص Q_{95} با ترسیم منحنی‌های تداوم جریان مشخص شد و چهار شاخص $Q_{7.10}$ ، $Q_{7.20}$ ، $Q_{10.30}$ ، $Q_{3.4}$ به کمک تحلیل فراوانی جریان‌های کم ۴، ۷ و ۳۰ روزه محاسبه گردید. پس از محاسبه شاخص‌ها، دوره‌های جریان کم در ایستگاه‌های مختلف مشخص شد. ناحیه‌بندی شاخص‌ها نیز به کمک روش کریجینگ صورت گرفت. نتایج نشان داد که شاخص‌های $Q_{3.4}$ و Q_{95} نسبت به بقیه شاخص‌های جریان کم مقادیر کمتری دارند و هرچه دوره بازگشت افزایش یابد، مقدار شاخص جریان کم کاهش می‌یابد. براساس نقشه‌های ناحیه‌بندی شاخص‌های جریان کم، بیشترین مقدار شاخص‌های جریان کم در نواحی مرکزی و جنوبی حوضه می‌باشد و هرچه به سمت شمال حوضه حرکت شود از مقدار این شاخص‌ها کاسته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که سال‌های وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیک در ایستگاه‌های مختلف حوضه آبخیز کرخه یکسان نیست، ولی در سال‌های ۴۶-۱۳۴۵، ۷۸-۱۳۷۷، ۷۹-۱۳۷۸، ۸۰-۱۳۷۹ و ۸۱-۱۳۸۰ در بیشتر ایستگاه‌ها خشک‌سالی هیدرولوژیک اتفاق افتاده است، به طوری که در این سال‌ها به ترتیب در ۶۷، ۹۲، ۸۴، ۷۵ و ۵۹ درصد ایستگاه‌ها خشک‌سالی هیدرولوژیک اتفاق افتاده است.

واژه‌های کلیدی: جریان کم، ناحیه‌بندی، کرخه، خشک‌سالی هیدرولوژیک، تحلیل فراوانی

۱. به ترتیب دانشیار، کارشناس ارشد و دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: soltani@ag.iut.ac.ir

مقدمه

یکی از مسائل مهم و اساسی در کشور که اهمیت زیادی دارد، بهره‌برداری آب و جلوگیری از اتلاف آن است. حصول اطمینان از شرایط خشک‌سالی و جریان‌های کم برای اهداف برنامه‌ریزی منابع آب، اقتصادی کردن پروژه‌های آبی که در مسیر رودخانه‌ها احداث می‌شود، حمایت از سکونت حیات وحش، تولید برق آبی، حفظ محیط زیست، مدیریت کیفی آب، مدیریت آب‌های زیرزمینی، آبرسانی شهری و غیره ضروری است (۱). خشک‌سالی‌ها مشکلات زیادی را در زمینه‌های اقتصادی و اجتماعی به وجود می‌آورد که در بخش کشاورزی مهم‌ترین اثر آن کاهش تولید محصولات زراعی است (۱). در بحث جریان‌های کم، آگاهی از مفهوم این جریان‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد. تعدادی از کارشناسان هیدرولوژی جریان کم را معادل جریانی که در فصل خشک سال در رودخانه‌ها اتفاق می‌افتد، در نظر می‌گیرند (۴). در واژه‌نامه بین‌المللی هیدرولوژی در سال ۱۹۷۴ جریان کم به عنوان جریانی از آب رودخانه که در دوره خشک آب و هوایی تداوم دارد، تعریف شده است. این تعریف تفاوتی بین جریان‌های کم و خشک‌سالی قائل نمی‌شود، در صورتی که خشک‌سالی با جریان کم تفاوت دارد. جریان‌های کم پدیده‌هایی فصلی هستند ولی خشک‌سالی پدیده‌ای است که در نتیجه کاهش بارندگی نرمال در یک دوره طولانی از زمان اتفاق می‌افتد.

خشک‌سالی‌ها شامل جریان‌های کم می‌شوند، ولی یک جریان کم فصلی پیوسته لزوماً در زمان یک خشک‌سالی ادامه نمی‌یابد (۱۰). مطالعات زیادی در مورد جریان‌های کم در سراسر دنیا صورت گرفته است. ریلی و کروول با به کارگیری همبستگی بین شاخص $Q_{v,10}$ و جریان پایه، به محاسبه شاخص $Q_{v,10}$ پرداختند. نتایج نشان داد که در ایالات متحده همبستگی رگرسیونی این شاخص با جریان پایه یک روش مفید برای تخمین جریان‌های کم در بسیاری از ایستگاه‌ها می‌باشد (۸). لاه و بلوسچل برای تخمین شاخص Q_{95} در حوضه‌های دارای آمار و حوضه‌های فاقد آمار اتریش روشی

را ارائه دادند. روش آنها شامل ۵ مرحله بود و در نهایت نقشه‌های منطقه‌ای Q_{95} را برای زیرحوضه‌های مورد نظر در اتریش ارائه دادند (۴). نیاداس طی مطالعه‌ای به تخمین منطقه‌ای منحنی تداوم جریان در حوضه‌های کوچک فاقد آمار در شرق و شمال شرق یونان پرداخت. در این تحقیق داده‌های منطقه‌ای جریان با داده‌های واقعی جریان به منظور ساخت منحنی تداوم جریان روزانه ترکیب شد (۵). پاتل در مطالعه‌ای در انگلستان به ارزیابی روش‌های تخمین جریان کم برای حوضه‌های فاقد آمار پرداخت. روش مورد استفاده او در این تحقیق مدل رگرسیونی بود و از شاخص‌های سطح حوضه، شاخص جریان پایه، میانگین بارندگی سالانه، Q_{10} و Q_{95} استفاده کرد. نتایج نشان داد که این روش نسبت به روش‌های دیگر ساده و سریع‌تر است (۶).

اسماختین و تولوز طی تحقیقی به بررسی روابط بین خصوصیات جریان کم در رودخانه‌های آفریقای جنوبی پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که تعداد زیادی از شاخص‌های جریان کم با یکدیگر همبستگی زیادی دارند و بنابراین یک شاخص جریان کم را می‌توان بدون محاسبه از همبستگی رگرسیونی با شاخص‌های دیگر به دست آورد. آنها در این تحقیق شاخص‌های مختلف جریان کم را امتحان کردند و از آمار دبی روزانه ۲۰۰ ایستگاه هیدرومتری استفاده کردند. شاخص‌های کاربردی در این مطالعه $Q_{v,10}$ ، $Q_{v,5}$ ، $Q_{v,2}$ و $Q_{v,0.2}$ می‌باشند (۹). اسلامیان و همکاران برای برآورد جریان کم ۷ روزه با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ سال در حوضه آبخیز مازندران از روش رگرسیون چند متغیره براساس عوامل فیزیوگرافی حوضه استفاده کرده و نتیجه گرفتند که این روش برای ۱۸ حوضه همگن تشخیص داده شده در منطقه و برای دوره‌های بازگشت ذکر شده دارای دقت مناسبی است (۱). نصرتی و همکاران مقادیر شاخص $Q_{v,10}$ را در سطح حوضه آبخیز کرخه پهنه‌بندی کردند. نتایج نشان داد که مقادیر جریان کم در حالت تولید داده‌ها، کاهش و خشک‌سالی در کل منطقه گسترش یافته است (۳). تحقیقات انجام شده در مورد

آبخیز کرخه، ۱۲ ایستگاه که دارای شرایط بالا بودند، انتخاب گردیدند. داده‌های مورد نیاز در این تحقیق شامل آمار دبی روزانه ایستگاه‌های مختلف در سطح حوضه است که از سازمان تحقیقات منابع آب ایران تهیه گردید. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ آمده است. دوره آماری ۳۶ ساله بین سال‌های آبی ۱۳۴۵-۴۶ تا ۱۳۸۰-۸۱ در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.

شاخص‌های جریان کم آبی

شاخص‌های منحنی تداوم جریان

منحنی تداوم جریان (Flow Duration Curve (FDC)) یکی از مفیدترین روش‌های نمایشی محدوده کاملی از دبی‌های جریان کم تا جریان‌های سیلابی است. منحنی تداوم جریان رابطه بین مقدار دبی معین و درصد زمانی که این دبی برابر یا از حد معینی تجاوز می‌کند، را نشان می‌دهد شکل و تفسیر عمومی هر منحنی تداوم جریان بستگی به مشخصات هیدرومتری و دوره آماری دارد (۸). از کاربردهای فراوان منحنی تداوم جریان در کارهای مهندسی، مدیریت منابع آب، تولید و تأمین آب، طرح و برنامه‌ریزی‌های آبیاری و مدیریت کیفی و کمی آب، تولید برق و بررسی افزایش جریان‌های کمی می‌باشد. شکل منحنی تداوم جریان، شاخصی از شرایط هیدرولوژیک حوضه آبخیز است. اگر شیب بخش جریان کم منحنی تداوم جریان کوچک باشد جریان کم پایدار بوده و شیب تندتر بیانگر جریان پایه متغیر و کم است (۸). جریان‌های در محدوده ۹۹-۷۰ درصد احتمال تجاوز، معمولاً به طور وسیعی در جریان‌های کم مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعضی مثال‌های شاخص جریان عبارتند از: دبی‌های جریان ۱ یا n روزه با احتمال تجاوز ۷۵، ۹۰ و ۹۵ درصد. طولانی‌ترین دوره ثبت شده از روزهای پی در پی جریان صفر به عنوان شاخصی از خشکی شدید می‌باشد. منحنی تداوم جریان توزیع جریان را بدون توجه به تناوب رخداد آن مشخص می‌کند. مشخصات فیزیوگرافی یک عامل مهم و اثرگذار بر شکل کلی منحنی‌ها می‌باشد. اندازه حوضه و

شاخص‌های جریان کم، اهمیت این شاخص‌ها را نشان می‌دهد و همچنین بیانگر این نکته است که جریان‌های کم نیز مانند سیلاب‌ها مورد توجه محققین است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه

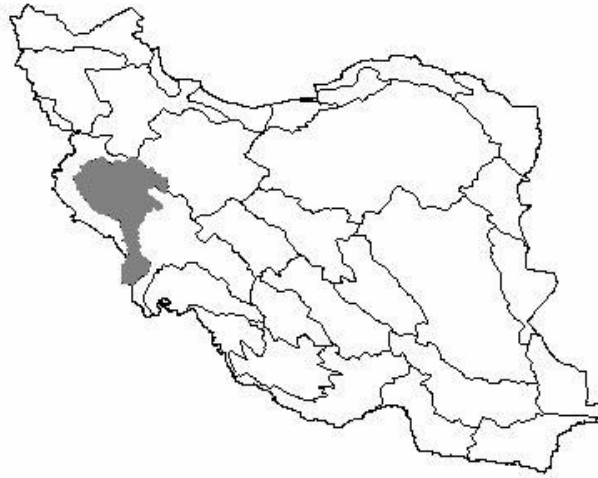
حوضه آبخیز رودخانه کرخه در غرب کشور ایران، در مناطق میانی و جنوبی کوه‌های زاگرس قرار دارد. این حوضه از نظر تقسیم‌بندی سازمان تحقیقات منابع آب ایران شماره ۲۱ و به ۴ زیر حوضه تقسیم شده است. حوضه کرخه از نظر مشخصات جغرافیایی بین ۴۶ درجه و ۵ دقیقه الی ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۸ دقیقه الی ۳۴ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی قرار گرفته است. مساحت این حوضه در داخل ایران ۵۰۷۶۸ کیلومتر مربع می‌باشد که حدود ۳۳۶۷۴ کیلومتر مربع آن را کوهپایه و حدود ۱۷۵۹۴ کیلومتر مربع آن را دشت‌ها تشکیل داده است. شکل ۱ موقعیت این حوضه را در ایران نشان می‌دهد (۲).

داده‌های مورد استفاده

در تحلیل فراوانی هر چه دوره آماری ایستگاه‌ها بیشتر باشد، دقت نتایج بیشتر خواهد شد. بنابراین حتی‌الامکان با توجه به موارد زیر ایستگاه‌های هیدرومتری مناسب انتخاب شدند:

۱. در بالادست ایستگاه زمین زراعی کمتر باشد. یا به عبارت دیگر در دوره‌های خشک‌سالی آب مورد استفاده زمین‌های زراعی قرار نگیرد.
۲. بند یا سد انحرافی یا هر گونه سازه ذخیره‌ای دیگر در مسیر جریان نباشد.
۳. دارای دوره آماری مناسب (بیش از ۱۰ سال) باشد.
۴. دارای آمار دبی روزانه باشد.

هم‌چنین جریان در محل ایستگاه‌ها باید دائمی باشد، یعنی رودخانه‌های مورد نظر فصلی نباشد. زیرا در این صورت جریان کم سالانه صفر خواهد شد و اگر تعداد این مقادیر صفر جریان کم زیاد شود، تحلیل فراوانی آن با مشکلاتی همراه است. با توجه به موارد فوق از بین ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز کرخه در ایران

جدول ۱. ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده در تحقیق

ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
آران	۱۴۸۸	۴۷° ۵۵'	۳۴° ۲۴'
آفرینه	۱۵۹۲	۴۷° ۵۴'	۳۳° ۱۹'
چم انجیر	۱۵۰۰	۴۸° ۱۵'	۳۳° ۲۶'
دوآب مرک	۱۴۳۳	۴۶° ۴۷'	۳۴° ۳۳'
قره باغستان	۱۴۶۰	۴۷° ۱۵'	۳۴° ۱۴'
جلوگیر	۱۳۶۶	۴۷° ۴۸'	۳۲° ۵۸'
کاکا رضا	۱۸۶۲	۴۸° ۱۶'	۳۳° ۴۳'
پای پل	۱۳۳۸	۴۸° ۰۹'	۳۲° ۲۵'
پل چهر	۱۶۷۷	۴۷° ۲۵'	۳۴° ۲۰'
پل دختر	۱۴۶۸	۴۷° ۴۳'	۳۲° ۰۹'
پل کهنه	۱۴۶۷	۴۷° ۰۷'	۳۴° ۲۱'
سراب سید علی	۱۹۰۰	۴۸° ۱۲'	۳۳° ۴۷'

دوره‌های بازگشت مختلف استفاده کرد. مهم‌ترین شاخص‌های جریان کم که از منحنی تداوم جریان به دست می‌آیند، عبارت‌اند از: Q_{95} ، Q_{90} و Q_{75} . به طور مثال شاخص Q_{95} دبی است که ۹۵ درصد دوره آماری دبی‌ها بزرگ‌تر از آن هستند.

خصوصیات فیزیوگرافی و خصوصیات اقلیمی روی این منحنی تأثیر فراوانی دارد (۸). این شاخص‌ها توالی جریان حداقل را نشان نمی‌دهند. به منظور بررسی مقدار و توالی جریان حداقل می‌توان از شاخص‌های سری‌های جریان حداقل سالانه با

شاخص‌های سری جریان حداقل سالانه

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 یک سال، با دوره بازگشت معین تعریف می‌شوند. یعنی جریان کم d روزه (با تداوم d روزه) در یک سال، کمترین مقدار میانگین‌های متحرک d روزه جریان‌های روزانه در آن سال است (۱۰). از مهم‌ترین شاخص‌های سری حداقل جریان سالانه می‌توان به شاخص‌های $Q_{V,10}$ ، $Q_{V,20}$ و $Q_{10,30}$ اشاره کرد. به طور مثال شاخص $Q_{V,10}$ عبارتست از کمترین میانگین دبی ۷ روزه در سال با دوره بازگشت ۱۰ سال. شاخص‌های انتخاب شده شاخص‌هایی هستند که نسبت به سایر شاخص‌های جریان کم اهمیت بیشتری دارند و بیشتر استفاده قرار می‌شوند.

کریجینگ

تخمین زمین آماری امکان به دست آوردن مقدار یک کمیت در نقطه‌ای با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگر با مختصات معلوم، فراهم می‌سازد. بهترین تخمین‌گر زمین آماری از نام d جی. کریگ گرفته شده است. او اولین کسی بود که ارتباط فضایی را به کار برد و بهترین تخمین‌زن نا اریب را در ارزیابی ذخایر معدنی استفاده کرد. کریجینگ به عنوان بهترین تخمین‌زن نا اریب خطی شناخته می‌شود و از مهم‌ترین ویژگی‌های آن می‌توان به امکان دست‌یابی به خطای مرتبط با هر تخمین اشاره کرد. کریجینگ یک تخمین‌گر نا اریب با کمترین واریانس تخمین است. شرط نا اریب بودن در دیگر روش‌های تخمین مانند روش چند ضلعی، عکس فاصله و عکس مجذور فاصله نیز اعمال می‌شود ولی ویژگی کریجینگ در آن است که ضرایب λ_i را به گونه‌ای تعیین می‌کند که در عین نا اریب بودن، واریانس تخمین نیز حداقل باشد. بنابراین کریجینگ، همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز می‌زند و به این ترتیب نه فقط می‌توان مقدار متوسط خطاها را محاسبه کرد بلکه می‌توان توزیع خطاها (واریانس تخمین) را در کل

محدوده مورد بررسی به دست آورد. با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد کریجینگ می‌توان قسمت‌هایی که در آنجا خطا بالا بوده و برای کاهش آن به داده بیشتری نیاز است را مشخص کرد و تحت پوشش لازم قرار داد. تخمین‌گر کریجینگ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad [1]$$

که در آن Z^* تخمین مقدار متغیر Z در نقطه x_0 ، λ_i وزن‌های آماری اختصاص یافته به مقادیر Z در نقاط x_i و n تعداد نمونه به کار رفته در کریجینگ است. بهترین تخمین خطی زمانی انجام می‌شود که تخمین نا اریب باشد و کمترین واریانس را داشته باشد و کریجینگ هر دو ویژگی را دارد. شرط نا اریب بودن تخمین این است که مجموع وزن‌های آماری اختصاص یافته برابر یک باشند:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad [2]$$

کریجینگ انواع مختلفی دارد. براساس حجم پایه تخمین به کریجینگ نقطه‌ای و قطعه‌ای قابل تقسیم است و از جهت روش تخمین خطی و غیرخطی به کریجینگ عمومی و کریجینگ ناپیوسته قابل تقسیم است.

نتایج و بحث

در این تحقیق از بین شاخص‌های جریان کم پنج شاخص $Q_{V,10}$ ، $Q_{20,7}$ ، $Q_{10,30}$ ، $Q_{2,3}$ و Q_{95} که نسبت به بقیه شاخص‌های جریان کم کاربرد بیشتری دارند، انتخاب شد. قبل از اقدام به تحلیل داده‌ها لازم است که از کیفیت داده‌ها و هم‌چنین کامل بودن سری داده‌ها اطمینان حاصل نمود. بدون ارزیابی صحیح داده‌ها، انجام تحلیل‌های آماری نتایج قابل اطمینانی به دست نمی‌آید. به منظور بررسی همگنی داده‌های بارندگی روش آزمون توالی روی آمار دبی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این آزمون در جدول ۲ نشان داده شده است و براساس این جدول، داده‌های دبی روزانه در ایستگاه‌های منتخب در سطح ۹۵ درصد همگن هستند.

جدول ۲. نتایج آزمون همگنی روی داده‌های دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری

ایستگاه	مقادیر Z	معنی‌داری
آفرینه	-۰/۴۳۸	۰/۶۶۲
آران	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰
چم انجیر	-۱/۱۶۹	۰/۲۴۳
دوآب مرک	۰/۶۹۶	۰/۴۸۶
قره باغستان	۰/۵۲۸	۰/۵۹۸
جلوگیر	-۰/۴۳۸	۰/۶۶۲
کاکارضا	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰
پای پل	-۰/۴۳۸	۰/۶۶۲
پل چهر	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰
پل دختر	-۰/۴۹	۰/۶۲۴
پل کهنه	۱/۵۶۴	۰/۱۱۸
سراب سید علی	-۰/۵۰۷	۰/۶۱۲

تعیین شاخص Q_{۹۵}

از بین شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق شاخص Q_{۹۵} از منحنی تداوم جریان به دست می‌آید و بقیه شاخص‌ها به کمک تحلیل فراوانی محاسبه می‌شوند. به منظور محاسبه این شاخص برای کل ایستگاه‌های هیدرومتری انتخابی در منطقه مورد مطالعه، ابتدا آمار دبی روزانه به صورت نزولی مرتب شد. سپس درصد زمان تجاوز از دبی‌های موجود محاسبه شد، بدین ترتیب که بیشترین دبی روزانه مشاهده شده در کل دوره آماری کمترین درصد زمان تجاوز را به خود اختصاص می‌دهد و کمترین دبی مشاهده شده در کل دوره آماری بیشترین درصد زمان تجاوز (۱۰۰٪) را به خود اختصاص می‌دهد. در مرحله بعد با قرار دادن درصد زمان‌های تجاوز محاسبه شده در مقابل دبی‌های مربوطه، منحنی‌های تداوم جریان برای همه ایستگاه‌ها ترسیم گردید. شکل ۲ منحنی FDC ایستگاه آفرینه را برای مثال نشان می‌دهد. در آخرین مرحله از روی منحنی‌های FDC مقادیر شاخص Q_{۹۵} مشخص شد. جدول ۳ مقادیر شاخص Q_{۹۵} را در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد.

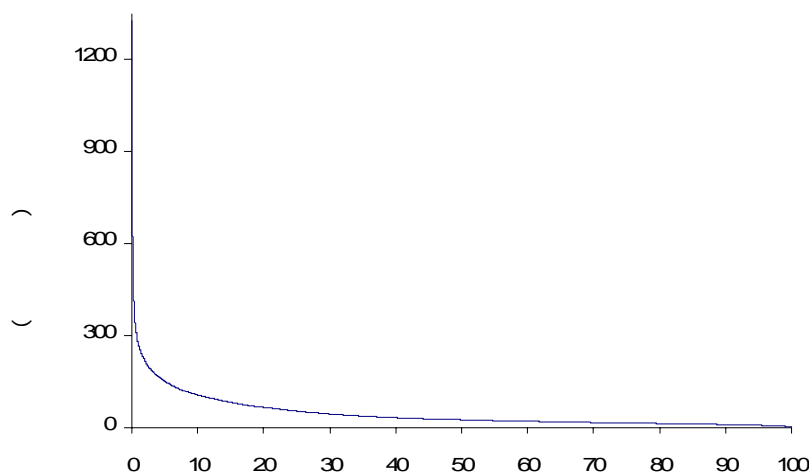
شاخص‌های Q_{۴.۳} و Q_{۳۰.۱۰}، Q_{۷.۲۰}، Q_{۷.۱۰}

به منظور محاسبه شاخص‌های Q_{۴.۳}، Q_{۳۰.۱۰}، Q_{۷.۲۰}، Q_{۷.۱۰} ابتدا

میانگین‌های متحرک ۴، ۷ و ۳۰ روزه محاسبه شد. به منظور محاسبه میانگین‌های متحرک ابتدا آمار دبی روزانه در ایستگاه‌های مختلف به شکل ستونی و پشت سر هم در نرم‌افزار EXCEL مرتب شد. سپس برای هر سال میانگین‌های متحرک محاسبه گردید. در نهایت برای هر سال کمترین میانگین متحرک به عنوان جریان کم در آن سال در نظر گرفته شد. برای مثال در ایستگاه آفرینه، (جدول ۴) کمترین مقدار میانگین متحرک ۴ روزه در سال ۶۰-۱۳۵۹، ۱۴/۱۲۷ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که در واقع همان جریان کم ۴ روزه این ایستگاه در این سال است. جریان کم ۷ و ۳۰ روزه در این سال به ترتیب ۱۴/۲۳۵ و ۱۴/۴۸۱ مترمکعب بر ثانیه به دست آمد. بدین ترتیب برای تمام ایستگاه‌ها سری‌های زمانی سالانه جریان کم محاسبه شد.

انتخاب توزیع مناسب منطقه‌ای

در این تحقیق توزیعی که در مجموع بهترین برازش را بر ایستگاه‌های منطقه داشت به عنوان توزیع مناسب منطقه‌ای انتخاب شده است. به این منظور به کمک نرم‌افزارهای HYFA و Flood Frequency Analysis، هفت توزیع شامل: نرمال، لوگ نرمال دو پارامتری، لوگ نرمال سه پارامتری، گاما، پیرسون



شکل ۲. منحنی تداوم جریان در ایستگاه آفرینه

جدول ۳. مقادیر شاخص Q_{95} در ایستگاه‌های مختلف (مترمکعب بر ثانیه)

ایستگاه	آفرینه	آران	چم انجیر	دو آب	قره	جلوگیر	کاکا	پای	پل	پل	پل	سراب سید
Q_{95}	۷/۹	۰/۰۳	۳/۳۸	۰/۳۲	۱/۵	۲۱/۷	۱/۳۱	۳۵/۸	۰/۹۶	۹/۵	۲/۱	۲/۵

محاسبه شد. براساس امتیازهای محاسبه شده طبق هر دو روش کای مربع و کلموگروف-اسمیرنوف امتیازهای توزیع نرمال نسبت به سایر توزیع‌ها برتری دارد. نتایج این محاسبات در جدول‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. به این ترتیب در تحقیق حاضر توزیع نرمال به عنوان مناسب‌ترین توزیع منطقه‌ای انتخاب شد. بدین ترتیب با برازش توزیع نرمال بر داده‌های جریان کم ۴، ۷ و ۳۰ روزه در ایستگاه‌های مختلف شاخص‌های $Q_{7,10}$ ، $Q_{7,20}$ ، $Q_{30,10}$ و $Q_{30,3}$ محاسبه شدند.

تحلیل فراوانی جریان کم

در این مرحله توزیع نرمال که به عنوان توزیع مناسب منطقه‌ای برگزیده شده بر داده‌های جریان کم سالانه ۴، ۷ و ۳۰ روزه برازش داده شد و پس از برآورد پارامترهای توزیع، مقدار جریان کم برای دوره‌های بازگشت مورد نظر محاسبه شد.

نوع III، لوگ پیرسون نوع III و حد نهایی نوع I بر داده‌های سری زمانی جریان کم سالانه ۴، ۷ و ۳۰ روزه ایستگاه‌های منتخب، برازش داده شد. برای تعیین بهترین برازش از دو روش آزمون کای مربع و آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. بدین منظور پارامترهای مورد نیاز این دو روش برای توزیع‌های مختلف به کمک نرم‌افزار Flood Frequency Analysis محاسبه شد و سپس برای هر ایستگاه با مقایسه مقادیر این پارامترها با یکدیگر برای توزیع‌های مختلف سه توزیعی که بهترین برازش را داشتند، مشخص شد. پس از مشخص شدن سه توزیع برتر برای هر ایستگاه، برای مشخص کردن بهترین توزیع منطقه‌ای از روش امتیازدهی استفاده شد. به این ترتیب که در هر ایستگاه برای توزیع برتر سه امتیاز، دو امتیاز برای توزیع دوم و یک امتیاز برای توزیع سوم در نظر گرفته شد. در نتیجه برای کل ایستگاه‌ها امتیاز هر توزیع برای جریان‌های کم ۴، ۷ و ۳۰ روزه

جدول ۴. نحوه محاسبه جریان‌های کم ۴، ۷ و ۳۰ روزه (مترمکعب بر ثانیه) در سال ۶۰-۱۳۵۹ در ایستگاه آفرینه

روز	دبی متوسط روزانه	میانگین متحرک ۴ روزه	میانگین متحرک ۷ روزه	میانگین متحرک ۳۰ روزه
۱	۱۹/۵۲			
۲	۱۹/۵۶			
۳	۱۹/۵۲			
۴	۱۹/۵۲	۱۹/۵۳		
۵	۲۰/۵۶	۱۹/۷۹		
۶	۲۰/۶۷	۲۰/۰۶۷		
۷	۲۰/۵۶	۲۰/۳۲۷	۱۹/۹۸۷	
۸	۲۰/۵۶	۲۰/۵۸۷	۲۰/۱۳۵	
۹	۲۰/۵۶	۲۰/۵۸۷	۲۰/۲۷۸	
۱۰	۲۰/۵۶	۲۰/۵۶	۲۰/۴۲۷	
۱۱	۲۰/۵۶	۲۰/۵۶	۲۰/۵۷۵	
۱۲	۲۰/۵۶	۲۰/۵۶	۲۰/۵۷۵	
۱۳	۲۰/۵۶	۲۰/۵۶	۲۰/۵۶	
.
.
.
.
.
۳۵۸	۱۵/۳۹	۱۵/۳۷۷	۱۵/۳۸۲	۱۴/۹۱۷
۳۵۹	۱۵/۳۹	۱۵/۳۹	۱۵/۳۸۲	۱۴/۹۵۰
۳۶۰	۱۵/۳۹	۱۵/۳۹	۱۵/۳۸۲	۱۴/۹۸۴
۳۶۱	۱۵/۳۹	۱۵/۳۹	۱۵/۳۸۲	۱۵/۰۱۸
۳۶۲	۱۴/۳۸	۱۵/۱۳۷	۱۵/۲۴۵	۱۵/۰۱۸
۳۶۳	۱۴/۳۸	۱۴/۸۸۵	۱۵/۱۰۱	۱۵/۰۱۸
۳۶۴	۱۴/۳۸	۱۴/۶۳۲۵	۱۴/۹۵۷	۱۴/۹۸۴
۳۶۵	۱۶	۱۴/۷۸۵	۱۵/۰۴۴	۱۵/۰۳۸
جریان کم سالانه		۱۴/۱۲۷	۱۴/۲۳۵	۱۴/۴۸۱

دارا می‌باشد. در ضمن اجرای برنامه نوع مرتب کردن داده‌ها پرسیده می‌شود، اگر ترتیب نزولی یا کاهشی انتخاب شود تحلیل فراوانی رویدادهای کم با استفاده از توزیع حد نهایی نوع یک انجام می‌گیرد ولی در صورتی که ترتیب صعودی یا افزایشی انتخاب شود برنامه هفت توزیع نرمال، لوگ نرمال ۲ پارامتری، لوگ نرمال ۳ پارامتری، گاما، پیرسون نوع III، لوگ

بیشتر نرم‌افزارهای موجود فقط به منظور تحلیل فراوانی رویدادهای حداکثر مانند سیل طراحی شده‌اند و نرم‌افزارهای HYFA، PANKPLOT، TR، SMADA از آن جمله‌اند. از بین این نرم‌افزارها به وسیله نرم‌افزار HYFA امکان محاسبه فراوانی جریان‌های کم وجود دارد که این نرم‌افزار هم فقط توانایی تحلیل فراوانی جریان کم با توزیع حد نهایی نوع یک را

جدول ۵. امتیازهای محاسبه شده برای توزیع‌های گوناگون در منطقه مورد مطالعه (روش کای مربع)

جریان کم	پیرسون نوع ۳	لوگ نرمال ۳ پارامتری	حد نهایی نوع ۱	نرمال	لوگ نرمال ۲ پارامتری	گاما	لوگ پیرسون نوع ۳
۴ روزه	۱۵	۶	۱	۲۰	۱۰	۱۴	۶
۷ روزه	۱۱	۹	۷	۱۹	۱۰	۱۰	۶
۳۰ روزه	۱۱	۹	۱۲	۱۸	۵	۱۰	۷

جدول ۶. امتیازهای محاسبه شده برای توزیع‌های گوناگون در منطقه مورد مطالعه (روش کلموگروف-اسمیرنوف)

جریان کم	پیرسون نوع ۳	لوگ نرمال ۳ پارامتری	حد نهایی نوع ۱	نرمال	لوگ نرمال ۲ پارامتری	گاما	لوگ پیرسون نوع ۳
۴ روزه	۱۵	۷	۵	۱۹	۷	۱۲	۷
۷ روزه	۱۲	۹	۵	۱۸	۱۱	۱۱	۶
۳۰ روزه	۱۰	۸	۵	۲۳	۷	۱۳	۶

مختلف جریان رودخانه‌ای کمتر از مقادیر این شاخص‌ها بوده است، مشخص گردید. پس از تحلیل فراوانی جریان‌های کم ۴، ۷ و ۳۰ روزه در ایستگاه‌های مختلف و انتخاب توزیع نرمال به عنوان توزیع مناسب منطقه‌ای، با برازش این توزیع بر داده‌های جریان کم شاخص‌های $Q_{۲۰.۷}$ ، $Q_{۷.۱۰}$ ، $Q_{۲۰.۳}$ و $Q_{۱۰.۳۰}$ مشخص گردیدند که مقادیر این شاخص‌ها در جدول ۷ نشان داده شده است. مقادیر شاخص‌های جریان کم به دست آمده نشان می‌دهد که بر خلاف سیلاب که با افزایش دوره بازگشت دبی افزایش می‌یابد، در جریان‌های کم با افزایش دوره بازگشت دبی کاهش می‌یابد. به عنوان مثال شاخص $Q_{۷.۱۰}$ بزرگ‌تر از شاخص $Q_{۲۰.۷}$ می‌باشد. در بین شاخص‌های جریان کم مورد استفاده در این تحقیق دو شاخص $Q_{۹۵}$ و $Q_{۲.۳}$ نسبت به سایر شاخص‌ها مقادیر بیشتری دارند و مقادیر شاخص $Q_{۲۰.۷}$ کمتر از بقیه شاخص‌هاست.

پیرسون نوع III و حد نهایی نوع یک را پیش روی کاربر قرار می‌دهد. در این حالت تحلیل فراوانی رویدادهای حداکثر مانند سیل انجام می‌شود یعنی مقدار متغیر با افزایش دوره بازگشت افزایش می‌یابد، ولی برای تحلیل فراوانی رویدادهای کم مانند جریان کم نیز می‌توان از ترتیب صعودی استفاده کرد. به این ترتیب که داده‌های جریان کم به برنامه داده می‌شود ولی در قسمت نتایج به به جای استفاده از دوره بازگشت به احتمال‌ها توجه می‌شود. در رویدادهای حداکثر احتمال تجاوز و عدم تجاوز مطرح هستند، ولی برای رویدادهای کم می‌توان از احتمال کمتر شدن و احتمال کمتر نشدن استفاده کرد. در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار HYFA به روش فوق جریان‌های کم با دوره بازگشت‌های مورد نظر محاسبه شدند. پس از محاسبه شاخص‌های جریان کم، دوره‌هایی که در ایستگاه‌های

جدول ۷. شاخص‌های جریان کم در ایستگاه‌های هیدرومتری بر حسب مترمکعب بر ثانیه

ایستگاه	Q _{۳.۴}	Q _{۱۰.۳۰}	Q _{۲۰.۷}	Q _{۷.۱۰}
آفرینه	۸/۲۷۹	۵/۵۴۵	۴/۱۲۹	۵/۳۹۸
آران	۰/۰۵۷	۰/۰۳۵	۰/۰۱۵	۰/۰۲۳
چم انجیر	۲/۹۹۷	۲/۴۱۲	۱/۸۵۷	۲/۲۱۷
دو آب مرک	۰/۵۱۶	۰/۲۲۲	۰/۰۳۹	۰/۱۳۲
قره باغستان	۱/۸۱۵	۰/۸۹۶	۰/۲۵۳	۰/۷۴۳
جلوگیر	۲۳/۸۳۵	۱۳/۶۱۳	۸/۶۷۸	۱۳/۲۷۸
کاکا رضا	۱/۲۷۴	۰/۸۷۹	۰/۶۲۲	۰/۸۵
پای پل	۳۱/۷۳۲	۲۱/۱۸۹	۱۵/۲۸۴	۲۰/۲۱۱
پل چهر	۱/۰۶۸	۰/۳۵۸	۰/۰۲۶	۰/۰۸۲
پل دختر	۱۰/۱۰۵	۷/۲۱۱	۵/۱۵۴	۶/۷
پل کهنه	۱/۷۸۱	۱/۱۴۶	۱/۱۴۳	۱/۱۸۹
سراب سید علی	۲/۷۰۹	۲/۰۵۶	۱/۶۱۹	۱/۹۸۵

ناحیه‌بندی شاخص‌های جریان کم

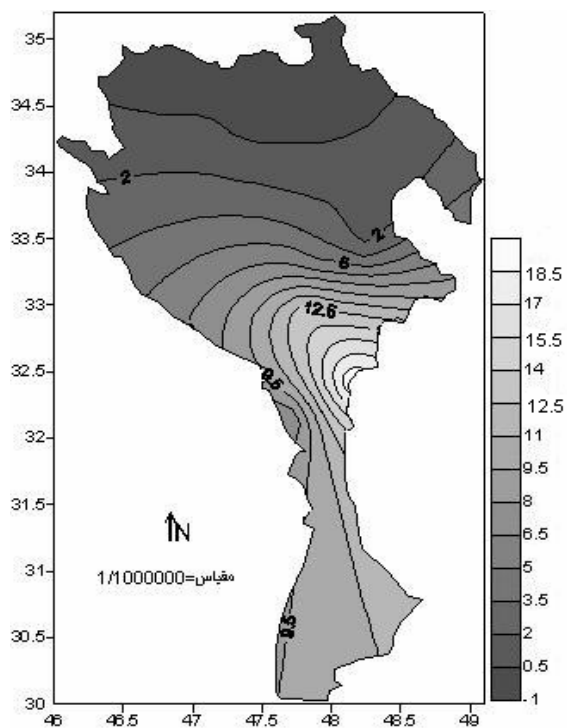
میان‌یابی روشی برای تخمین مقادیر نامعلوم با استفاده از مقادیر معلوم در نقاط هم‌جوار است. در این قسمت سعی شد شاخص‌های محاسبه شده به کمک روش میان‌یابی در سطح حوضه آبخیز کرخه ناحیه‌بندی شوند. به منظور ناحیه‌بندی شاخص‌ها ابتدا مقادیر شاخص‌ها به همراه طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها در worksheet نرم‌افزار SURFER8 ذخیره گردید. سپس با استفاده از روش کریجینگ ناحیه‌بندی صورت گرفت. ناحیه‌بندی شاخص‌ها شامل شاخص‌های جریان کم Q_{۷.۱۰}، Q_{۲۰.۷} و Q_{۱۰.۳۰}، Q_{۹۵} و Q_{۴.۳} در حوضه مورد نظر است. شکل‌های ۳ تا ۷ نقشه‌های ناحیه‌بندی شاخص‌های منتخب جریان کم را در سطح حوضه آبخیز کرخه نشان می‌دهند.

طول و عرض جغرافیایی روی نقشه‌ها مشخص می‌باشند. ستون‌های کنار نقشه‌ها تغییرات مقادیر شاخص‌ها را براساس تغییر رنگ نشان می‌دهند. براساس این نقشه‌ها تغییرات مقدار شاخص‌ها در سطح حوضه روند یکسانی را نشان می‌دهد.

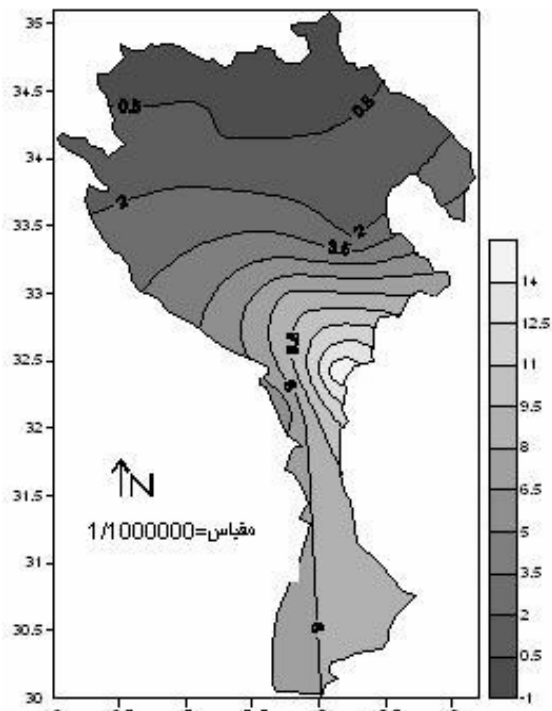
به‌طوری که با حرکت از شرق حوضه به سمت غرب آن از مقدار شاخص‌های جریان کم کاسته می‌شود. کمترین مقادیر شاخص‌های جریان کم در ناحیه شمال حوضه اتفاق افتاده است و بیشترین مقادیر این شاخص‌ها مربوط به نواحی مرکزی حوضه است. هم‌چنین با حرکت به سمت مرکز حوضه تغییرات شاخص‌ها بیشتر می‌باشد. به نظر می‌رسد که علت کاهش شاخص‌های جریان کم از جنوب به شمال حوضه این است که رودخانه‌ها از شمال حوضه سرچشمه می‌گیرند و با حرکت به سمت جنوب حوضه بر دبی آنها افزوده می‌شود.

تعیین دوره‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک

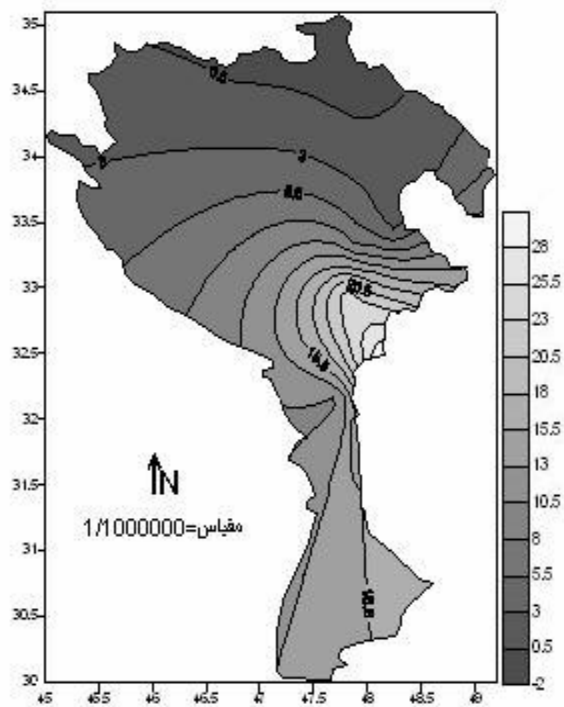
پس از تعیین شاخص‌های جریان کم لازم است که دوره‌هایی که در ایستگاه‌های مختلف خشک‌سالی هیدرولوژیک اتفاق افتاده، مشخص شوند. منظور از خشک‌سالی هیدرولوژیک در این تحقیق خشک‌سالی جریان رودخانه‌ای می‌باشد. آستانه‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک معمولاً به کمک شاخص‌های جریان کم مشخص می‌شوند و می‌توان از شاخص‌های کم به دست



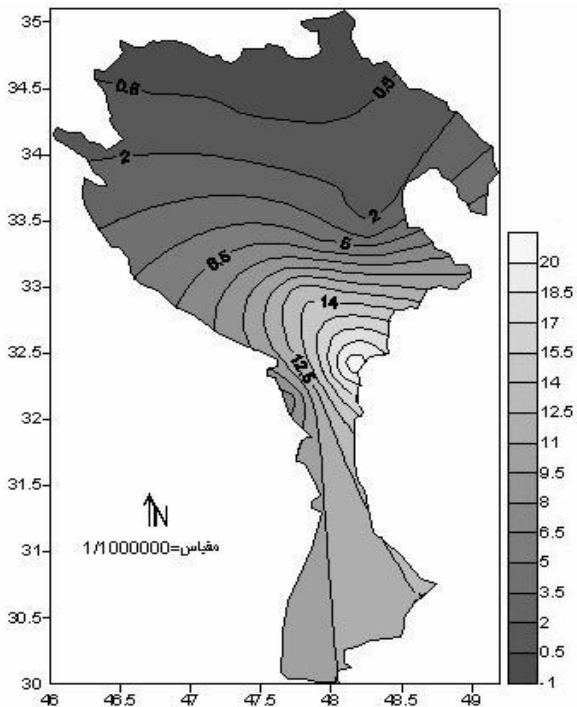
شکل ۴. نقشه ناحیه‌بندی شاخص $Q_{2.7}$



شکل ۳. نقشه ناحیه‌بندی شاخص $Q_{7.10}$



Q



شکل ۵. نقشه ناحیه‌بندی شاخص $Q_{3.10}$

جدول ۸. سال اتفاق خشک‌سالی هیدرولوژیک در ایستگاه‌های مختلف

آران	آفرینه	چم انجیر	قره باغستان	جلوگیر	کاکارضا
۱۳۴۸-۴۹	۱۳۴۵-۴۶	۱۳۴۵-۴۶	۱۳۵۵-۵۶	۱۳۴۵-۴۶	۱۳۴۵-۴۶
۱۳۵۱-۵۲	۱۳۶۲-۶۳	۱۳۴۸-۴۹	۱۳۷۲-۷۳	۱۳۶۷-۶۸	۱۳۴۸-۴۹
۱۳۶۹-۷۰	۱۳۶۹-۷۰	۱۳۶۲-۶۳	۱۳۷۵-۷۶	۱۳۷۷-۷۸	۱۳۵۶-۵۷
۱۳۷۱-۷۲	۱۳۷۷-۷۸	۱۳۶۸-۶۹	۱۳۷۷-۷۸	۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۷-۷۸
۱۳۷۵-۷۶	۱۳۷۸-۷۹	۱۳۶۹-۷۰	۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۹-۸۰	۱۳۷۸-۷۹
۱۳۷۶-۷۷	۱۳۷۹-۸۰	۱۳۷۸-۷۹		۱۳۸۰-۸۱	۱۳۷۹-۸۰
۱۳۷۷-۷۸	۱۳۸۰-۸۱	۱۳۷۹-۸۰			
۱۳۷۸-۷۹					
۱۳۷۹-۸۰					
۱۳۸۰-۸۱					

ادامه جدول ۸. سال اتفاق خشک‌سالی هیدرولوژیک در ایستگاه‌های مختلف

پل کهنه	پل چهر	پل دختر	پای پل	دوآب مرک	سراب سید علی
۱۳۴۵-۴۶	۱۳۴۵-۴۶	۱۳۴۵-۴۶	۱۳۴۵-۴۶	۱۳۵۵-۵۶	۱۳۶۲-۶۳
۱۳۵۵-۵۶	۱۳۵۶-۵۷	۱۳۶۹-۷۰	۱۳۶۷-۶۸	۱۳۷۵-۷۶	۱۳۶۹-۷۰
۱۳۶۷-۶۸	۱۳۶۹-۷۰	۱۳۷۷-۷۸	۱۳۷۵-۷۶	۱۳۷۷-۷۸	۱۳۷۷-۷۸
۱۳۷۲-۷۳	۱۳۷۷-۷۸	۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۷-۷۸	۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۸-۷۹
۱۳۷۳-۷۴	۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۹-۸۰		۱۳۷۹-۸۰	۱۳۷۹-۸۰
۱۳۷۵-۷۶	۱۳۷۹-۸۰	۱۳۸۰-۸۱		۱۳۸۰-۸۱	۱۳۸۰-۸۱
۱۳۷۶-۷۷	۱۳۸۰-۸۱				
۱۳۷۷-۷۸					

یکسان نیست، ولی در سال‌های ۱۳۴۵-۴۶، ۱۳۷۷-۷۸، ۱۳۷۸-۷۹، ۱۳۷۹-۸۰ و ۱۳۸۰-۸۱ در بیشتر ایستگاه‌ها خشک‌سالی هیدرولوژیک اتفاق افتاده است، به طوری که در این سال‌ها به ترتیب در ۶۷، ۹۲، ۸۴، ۷۵ و ۵۹ درصد ایستگاه‌ها خشک‌سالی هیدرولوژیک اتفاق افتاده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور بررسی وضعیت جریان‌های کم در حوضه آبخیز کرخه از پنج شاخص جریان کم رودخانه‌ای شامل $Q_{10.30}$ ، $Q_{20.7}$ ، $Q_{4.3}$ و Q_{95} استفاده شد و آمار دبی

آمده از منحنی تداوم جریان به عنوان آستانه خشک‌سالی هیدرولوژیک استفاده کرد. در این تحقیق شاخص Q_{95} به عنوان آستانه خشک‌سالی هیدرولوژیک انتخاب شد. سپس برای همه ایستگاه‌ها، منحنی تغییرات دبی روزانه در مقابل زمان ترسیم شد و آستانه‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک نیز روی این نمودارها ترسیم شد و در نهایت زمان‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک در ایستگاه‌های مختلف مشخص شد. جدول ۸ سال اتفاق خشک‌سالی هیدرولوژیک در ایستگاه‌های مختلف را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که سال‌های وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیک در ایستگاه‌های مختلف حوضه آبخیز کرخه

کریجینگ صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد که سال‌های وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیک در ایستگاه‌های مختلف حوضه آبخیز کرخه یکسان نیست، ولی در سال‌های ۱۳۴۵-۴۶، ۱۳۷۷-۷۸، ۱۳۷۸-۷۹، ۱۳۷۹-۸۰ و ۱۳۸۰-۸۱ در بیشتر ایستگاه‌ها خشک‌سالی هیدرولوژیک اتفاق افتاده است، به طوری که در این سال‌ها به ترتیب در ۶۷، ۹۲، ۸۴، ۷۵ و ۵۹ درصد ایستگاه‌ها خشک‌سالی هیدرولوژیک اتفاق افتاده است.

روزانه ۱۲ ایستگاه هیدرومتری این حوضه در طول دوره آماری سال‌های ۴۶-۱۳۴۵ تا ۸۱-۱۳۸۰ مورد استفاده قرار گرفت. بعد از بررسی همگن بودن داده‌های دبی از طریق آزمون توالی مقادیر شاخص Q_{95} با ترسیم منحنی‌های تداوم جریان مشخص گردید و چهار شاخص $Q_{7.10}$ ، $Q_{2.7}$ و $Q_{1.3}$ و $Q_{0.3}$ به کمک تحلیل فراوانی جریان‌های کم ۴، ۷ و ۳۰ روزه محاسبه گردید. پس از محاسبه شاخص‌ها، دوره‌های جریان کم در ایستگاه‌های مختلف مشخص شد. ناحیه‌بندی شاخص‌ها نیز به کمک روش

منابع مورد استفاده

۱. اسلامیان، س.، ع. زارعی و ا. ابریشم‌چی. ۱۳۸۳. بررسی برآورد منطقه‌ای جریان‌های کم رودخانه‌های حوضه آبریز مازندران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۸(۱): ۲۷-۳۸.
۲. بیابانکی، م. ۱۳۸۳. تحلیل جریان کم با استفاده از روش هیبرید در حوضه آبریز کرخه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. نصرتی، ک.، س. اسلامیان و ا. شهبازی. ۱۳۸۳. بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشک‌سالی هیدرولوژیک. مجله کشاورزی ۶(۱): ۴۹-۵۶.
4. Lahha, G. and G. Bloschl. 2007. A national low flow estimation procedure for Austria. J. Hydrol. Sci. 52(4): 625-644.
5. Niadas, I. A. 2005. Regional flow duration curve estimation in small ungauged catchments using instantaneous flow measurements and a censored data approach. J. Hydrol. 314(1-4): 48-66.
6. Patel, J. A. 2007. Evaluation of low flow estimation techniques for ungauged catchments. Water and Environ. J. 21: 41-46.
7. Pyrcce, R. 2004. Hydrological low flow indices and their uses. Watershed Science Center. Report No 4. 33 P.
8. Reilly, C.F. and C. N. Kroll. 2003. Estimation of 7-day, 10-year low-streamflow statistics using baseflow correlation. Water Resour. Res. 39(9): 1-10.
9. Smakhtin, V. Y. and M. Toulouse. 1998. Relationships between low flow characteristics of South African streams. Water SA. 24(2): 107-112.
10. Smakhtin, V.U. 2001. Low flow hydrology: A review. J. Hydrol. 240: 147-186.

Computation and Regionalization of Low Flow Indices and Determination of Hydrological Drought Durations in Karkhe Watershed

S. S. Eslamian, M. Ghasemi and S. Soltani Gerdefaramarzi^{1*}

(Received : Dec. 13-2009 ; Accepted : May 14-2011)

Abstract

In this study, in order to determine low flow conditions in Karkhe watershed, 5 indices of $Q_{7,10}$, $Q_{7,20}$, $Q_{30,10}$, $Q_{4,3}$ and Q_{95} were used for analyzing 12 hydrometric station data in the years of 1345-46 to 1380-81. Discharge data homogeneity was performed by Run Test. The Q_{95} index was determined by flow duration curve (FDC) and other indices were determined using 4, 7 and 30-day low flow frequency analysis. After calculating the indices, periods of low flows were determined. The indices were regionalized by Kriging method. The results showed that for the most stations, low stream flows happened in the years of 1345-46, 1377-78, 1378-79, 1379-80 and 1380-81 and the percentages of stations having low flows in these years were 68, 92, 84, 75 and 59, respectively. According to the regional maps of low flows in Karkhe watershed, maximum low flows are located in central and southern areas and all of the mentioned indices decrease from south to the north of this watershed.

Keywords: Low flow, Regionalization, Karkhe, Hydrologic drought, Frequency analysis.

1. Assoc. Prof., MSc. and PhD. Student of Water Eng., Respectively, College of Agric., Isf. Univ. Technol., Isfahan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: soltani@ag.iut.ac.ir