

تجزیه و تحلیل زمانی و مکانی جریان حداقل در حوزه آبخیز کرخه

سعید جهانبخش^۱، بهروز ساری صراف^۲، عبدالمحمد غفوری روزبهانی^۳ و سیما رحیمی بندرآبادی^{۴*}
^۱استاد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز، ^۲دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و ^۳دانشجوی دکتری، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز و در حال حاضر مربی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۲۵

چکیده

خشکسالی هیدرولوژیک از روش‌های مختلف قابل بررسی می‌باشد. یکی از راه‌های متداول، استفاده از شاخص‌های جریان حداقل است. در این مطالعه به منظور بررسی ماهیت، تعیین مناطق همگن، استخراج روابط منطقه‌ای و همچنین، بررسی روند جریان حداقل حوزه آبخیز کرخه، از داده‌های ۱۳ ایستگاه هیدرومتری در دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۶۰ استفاده شد. پس از کنترل کمی و کیفی و بازسازی داده‌ها، با استفاده از منحنی‌های تداوم جریان شاخص‌های Q_{75} ، Q_{90} و Q_{95} و با تحلیل فراوانی جریان کم ۱۰ و ۳۰ روزه شاخص‌های $Q_{10,5}$ ، $Q_{10,50}$ ، $Q_{10,100}$ ، $Q_{30,5}$ ، $Q_{30,50}$ و $Q_{30,100}$ و چند شاخص دیگر استخراج شد. سپس به کمک برخی عوامل فیزیوگرافی، اقلیمی، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی به تجزیه و تحلیل منطقه‌ای این شاخص‌ها پرداخته شد. برای این منظور از روش تحلیل خوشه‌ای مرتبه‌ای و رگرسیون گام به گام استفاده شد. در نهایت نیز سری زمانی شاخص‌ها از لحاظ وجود روند ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد که از بین شاخص‌های محاسبه شده $Q_{10,100}$ و Q_{95} کمترین مقدار را دارند که با افزایش دوره بازگشت مقادیر این شاخص‌ها کاهش می‌یابد. از طرف دیگر سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۹۹، ۲۰۰۰-۱۹۹۹ و ۲۰۰۱-۲۰۰۰ در اکثر ایستگاه‌ها شدیدترین و طولانی‌ترین خشکسالی‌ها را تجربه کرده‌اند. بررسی توزیع مکانی شاخص‌ها نیز بیانگر وضعیت بهتر قسمت‌های جنوب شرقی حوضه نسبت به مناطق شمالی و جنوبی حوضه از نظر خشکی می‌باشد. نتایج آنالیز خوشه‌ای منطقه را به دو واحد همگن تقسیم کرد که در هر یک از این واحدها و در کل منطقه روابط منطقه‌ای با سطح معنی‌داری ۰/۰۱ استخراج شد که بررسی این روابط نشان می‌دهد که در منطقه یک عامل ارتفاع، در منطقه دو تراکم زهکشی و در کل منطقه عامل مساحت و تراکم زهکشی بیشترین تاثیر را دارند. از طرف دیگر طبق آماره اسپیرمن و من کندال جریان حداقل در سرشاخه‌های حوضه دارای روند منفی طی دوره آماری می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: شاخص جریان حداقل، تحلیل منطقه‌ای، خشکسالی هیدرولوژیک، حوضه کرخه، روند

مقدمه

هستند (Pyrce، ۲۰۰۴، Tharme، ۲۰۰۳). در ایالات متحده از شاخص جریان حداقل به صورت حداقل ۱۰ روزه سالانه در طی دوره بازگشت ۱۰ سال به منظور بررسی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیک و همچنین،

شاخص‌های جریان حداقل به طور گسترده به منظور برنامه‌ریزی برای توسعه منابع آب استفاده می‌شود و یک روش مناسب برای بررسی حدود جریان

بررسی حدود جریان در مناطق مختلف استفاده شده است (Hisdal و همکاران، ۲۰۰۴). Awass در سال ۲۰۰۹، در تحقیقی با استفاده از شاخص‌های جریان حداقل در حوضه‌های فاقد آمار در یکی از رودخانه کشور اتیوپی به بررسی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیک پرداخت.

Fleig (۲۰۰۴) برای بررسی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیک از شاخص‌های جریان حداقل ۱۰ روزه با دوره بازگشت‌های مختلف و همچنین، از شاخص‌های به‌دست آمده از منحنی‌های تداوم جریان از جمله Q_{50} ، Q_{70} و Q_{95} استفاده کرد. وی در تحقیق خود بیان می‌کند که استفاده از منحنی‌های تداوم جریان روش مناسبی برای مقایسه وضعیت جریان در مناطق مختلف با اقلیم‌های متفاوت می‌باشد. Lahha و Bloschl (۲۰۰۷) روشی را برای تخمین شاخص Q_{95} در حوضه‌های دارای آمار و فاقد آمار اتریش ارائه کردند. آن‌ها برای تخمین این شاخص از روش‌های مختلفی استفاده کردند تا بتوانند بهترین روش را برای تخمین این شاخص ارائه دهند. آن‌ها برای افزایش صحت روش تخمین این شاخص، از اطلاعات مختلف شامل آمار کوتاه مدت و طولانی مدت جریان و همچنین، ویژگی‌های حوضه استفاده کردند. آن‌ها در نهایت نقشه‌های منطقه‌ای Q_{95} را برای زیرحوضه‌های مورد بررسی در کشور اتریش ارائه دادند.

Smakhtin (۱۹۹۸) طی تحقیقی نشان داد که روش‌های متفاوتی برای تخمین شاخص‌های جریان کم وجود دارد. از جمله این روش‌ها می‌توان تکنیک شبیه‌سازی بارش-رواناب، منحنی‌های تداوم جریان و استفاده از داده‌های جریان ماهانه تولید شده اشاره کرد. وی برای نشان دادن قابلیت کاربرد این روش‌ها، از این تکنیک‌ها برای تخمین شاخص‌های جریان کم در چندین حوزه آبخیز در آفریقای جنوبی استفاده کرد.

Samiee و همکاران (۲۰۰۶)، به آنالیز منطقه‌ای جریان‌های کم در حوزه‌های آبخیز استان تهران پرداختند. آن‌ها مقادیر دبی حداقل ۳۰ روزه را در ایستگاه‌های منتخب محاسبه و مقادیر جریان کم با دوره بازگشت‌های مختلف را محاسبه کردند. در این تحقیق، تحلیل منطقه‌ای به روش رگرسیون چندگانه و شاخص جریان کم صورت گرفت و در نهایت پس از مقایسه این دو روش مشخص شد که روش رگرسیون چند متغیره دقیق‌تر از روش شاخص جریان کم است.

Sarhadi و همکاران (۲۰۰۷)، برای تحلیل فراوانی منطقه‌ای مقادیر جریان کم در منطقه جیرفت از روش گشتاورهای خطی استفاده کردند. نتایج نشان داد که توزیع پیرسون تیپ سه بهترین توزیع منطقه‌ای می‌باشد و سپس مقادیر دبی با دوره بازگشت‌های مختلف را برآورد کردند و در نهایت با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره، مساحت حوضه به‌عنوان پارامتر اصلی برای برآورد جریان کم با دوره بازگشت‌های مختلف در حوضه‌های فاقد آمار مشخص شد.

Smakhtin و همکاران (۱۹۹۵) به محاسبه شاخص‌های جریان کم از داده‌های دبی روزانه به‌دست آمده از حدود ۲۴۰ ایستگاه هیدرومتری در جنوب آفریقا پرداختند. آن‌ها نقشه‌هایی ارائه کردند که الگوی کلی توزیع مکانی این شاخص‌ها را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. آن‌ها از شاخص‌های جریان کم به‌دست آمده از منحنی‌های تداوم جریان و شاخص‌های جریان کم به‌دست آمده از تحلیل فراوانی و با دوره بازگشت‌های مختلف استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که رژیم‌های جریان کم تغییرات مکانی زیادی دارند و این شاخص‌ها شدیداً به عوامل فیزیوگرافی حوضه وابسته‌اند. Smakhtin و Toulouse (۱۹۹۸) رابطه‌ای را بین شاخص‌های جریان به‌دست آمده از منحنی تداوم جریان و چند شاخص جریان کم دیگر به‌دست آوردند. آن‌ها از شاخص‌های Q_{95} ، Q_{90} ،

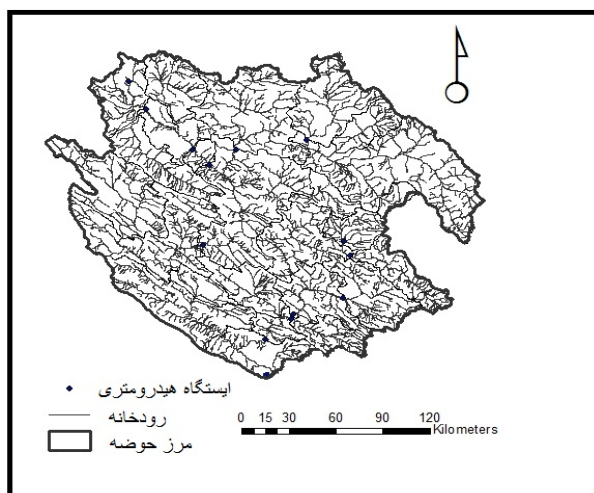
بررسی حدود جریان در مناطق مختلف استفاده شده است (Hisdal و همکاران، ۲۰۰۴). Awass در سال ۲۰۰۹، در تحقیقی با استفاده از شاخص‌های جریان حداقل در حوضه‌های فاقد آمار در یکی از رودخانه کشور اتیوپی به بررسی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیک پرداخت.

Smakhtin و همکاران (۱۹۹۵) به محاسبه شاخص‌های جریان کم از داده‌های دبی روزانه به‌دست آمده از حدود ۲۴۰ ایستگاه هیدرومتری در جنوب آفریقا پرداختند. آن‌ها نقشه‌هایی ارائه کردند که الگوی کلی توزیع مکانی این شاخص‌ها را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. آن‌ها از شاخص‌های جریان کم به‌دست آمده از منحنی‌های تداوم جریان و شاخص‌های جریان کم به‌دست آمده از تحلیل فراوانی و با دوره بازگشت‌های مختلف استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که رژیم‌های جریان کم تغییرات مکانی زیادی دارند و این شاخص‌ها شدیداً به عوامل فیزیوگرافی حوضه وابسته‌اند. Smakhtin و Toulouse (۱۹۹۸) رابطه‌ای را بین شاخص‌های جریان به‌دست آمده از منحنی تداوم جریان و چند شاخص جریان کم دیگر به‌دست آوردند. آن‌ها از شاخص‌های Q_{95} ، Q_{90} ،

جریان‌های هوای غربی وارد کشور می‌شوند، بخش اصلی بارندگی‌های این منطقه را در آخر پاییز و فصل زمستان تامین می‌کند. در مناطق کوهستانی نیز ممکن است، جریان‌های همرفتی موجب بروز بارندگی در فصل بهار و ابتدای تابستان شوند. میانگین بارندگی این منطقه ۵۳۹ میلی‌متر بوده و دامنه آن از ۳۱۰ میلی‌متر تا ۷۰۰ میلی‌متر در تغییر می‌باشد.

به منظور محاسبه شاخص‌های جریان حداقل، نیاز به آمار طولانی مدت دبی در حوزه آبخیز مورد نظر است. بدین منظور ۱۳ ایستگاه هیدرومتری که دارای آمار ۴۱ ساله (از سال ۱۹۶۱-۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱-۲۰۰۰) بود، انتخاب شد (شکل ۱).

مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده نیز در جدول ۱ ارائه شده است. سپس داده‌های دبی مورد آنالیزهای کمی و کیفی قرار گرفتند و اصلاحات لازم صورت گرفت. داده‌های مفقود به روش میانبایی و رگرسیون بازسازی شدند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و به تفکیک حوضه‌های داخلی

آزمون و خطا اعتبار این دو روش را مورد بررسی قرار دادند.

با توجه به مطالعات انجام شده، در این مقاله به بررسی جریان حداقل حوضه کرخه و بررسی تغییرات شدت و مدت آن طی دوره آماری، استخراج دوره‌های خشکسالی جریان رودخانه، تحلیل منطقه‌ای جریان حداقل و همچنین، بررسی روند آن در این حوضه پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز کرخه تا بالادست سد کرخه می‌باشد که بین طوهای جغرافیایی $46^{\circ} 45'$ تا $49^{\circ} 19'$ و عرض‌های $32^{\circ} 32'$ تا $35^{\circ} 35'$ با مساحتی حدود ۴۲۵۴۲ کیلومتر مربع قرار گرفته است (شکل ۱). حوضه مورد مطالعه دارای دامنه ارتفاعی بین ۸۳ و ۳۵۹۸ متر می‌باشد. جبهه‌های مدیریت‌های که در ارتباط با



بیشتر از آن مقدار است، می‌باشد. برای این منظور داده‌های دبی مربوط به هر ایستگاه به صورت نزولی مرتب کرده و احتمال وقوع تجربی آن‌ها محاسبه می‌شود. سپس این دو پارامتر روی نمودار رسم می‌شوند. در این تحقیق سه شاخص Q_{95} و Q_{90} و Q_{75} از منحنی‌های تداوم استخراج شده است.

دسته دوم شاخص‌های سری جریان حداقل سالانه هستند که از تحلیل فراوانی به دست می‌آیند (Durrans و Tomic، ۲۰۰۱، Rifai و همکاران،

شاخص‌های جریان حداقل: شاخص‌های جریان کم به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول شامل شاخص‌هایی هستند که از منحنی تداوم جریان استخراج می‌شوند (Pyrc، ۲۰۰۴). منحنی تداوم جریان نشان‌دهنده ویژگی‌های هیدرولوژیکی و برای مقایسه پاسخ و رفتار هیدرولوژیکی حوزه آبخیز بسیار مفید است (Yilmaz و همکاران، ۲۰۰۸). این منحنی به اشکال مختلف ترسیم می‌شود و نشان‌دهنده رابطه بین مقادیر دبی و درصد زمانی که این دبی مساوی یا

داده شدند. با مقایسه پارامترهای توزیع و با روش امتیازدهی بهترین تابع توزیع تعیین شد. در این تحقیق از شاخص‌های جریان کم ۱۰ و ۳۰ روزه با دوره بازگشت‌های مختلف استفاده شده است که به صورت Qd,T معرفی شده است، به طوری که d به دوره تداوم به روز و T به دوره بازگشت اشاره می‌کند.

۲۰۰۰). جریان کم n روزه در یک سال، کمترین مقدار میانگین متحرک n روزه جریان‌های روزانه در آن سال است که لازم است، مناسب‌ترین تابع توزیع به آن برازش داده شود. به این منظور سری‌های زمانی جریان حداقل با توزیع‌های نرمال، لوگ نرمال، لوگ نرمال سه پارامتری، گامبل، پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ سه و تابع حد نهایی تعمیم یافته برازش

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده در تحقیق

ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
آران غرب	۱۴۴۰	۴۷/۹۲°	۳۴/۴۲°
پل چهر	۱۲۸۰	۴۷/۴۳°	۳۴/۳۵°
دو آب مرگ	۱۳۱۰	۴۶/۷۸°	۳۴/۵۵°
پل کهنه	۱۲۸۴	۴۷/۱۳°	۳۴/۳۲°
قور باغستان	۱۰۰۰	۴۷/۲۵°	۳۳/۲۳°
هلیلان (سیمره)	۱۰۰۰	۴۷/۲۵°	۳۳/۷۵°
کاکا رضا	۱۵۳۰	۴۸/۲۷°	۳۳/۷۲°
دو آب سید علی	۱۵۲۰	۴۸/۲۲°	۳۳/۸۰°
چم انجیر	۱۱۴۰	۴۸/۲۳°	۳۳/۴۵°
آفرینه (کشکان)	۸۲۰	۴۷/۹۰°	۳۳/۳۳°
آفرینه (چلهول)	۸۰۰	۴۷/۹۲°	۳۳/۳۰°
پل دختر (کشکان)	۶۵۰	۴۷/۷۲°	۳۳/۱۷°
روان سر (نهر اصلی)	۱۳۴۳	۴۶/۶۵°	۳۴/۷۲°

گروه‌ها بر اساس فرایند تجمعی یا تقسیمی تشکیل می‌شوند. پس از تعیین فاصله که معمولاً به یکی از روش‌های اقلیدسی، مربع اقلیدسی و چند روش شناخته شده دیگر اندازه‌گیری می‌شود. گروه‌های همگن با یکی از روش‌های نزدیک‌ترین همسایه، ارتباط بین گروه‌ها، دورترین همسایه، میان و Ward's استخراج می‌شود. برای آزمون صحت گروه‌بندی نیز از روش تحلیل تابع تشخیص^۱ استفاده شد. از این روش زمانی که تعداد و اعضا گروه‌ها مشخص باشد، برای پیش‌بینی صحت گروه‌ها استفاده می‌شود (Stockburger, ۱۹۹۸).

بعد از این مرحله در هر یک از این گروه‌ها روابط همبستگی با موثرترین عوامل استخراج می‌شود. برای

تحلیل منطقه‌ای جریان: با توجه به ناکافی بودن داده‌های هیدرومتری در بسیاری از مناطق تحلیل منطقه‌ای روش مناسبی برای تعمیم ویژگی‌های هیدرومتری و از جمله جریان حداقل برای حوضه‌های بالادست این ایستگاه‌ها با کمک ایستگاه‌های دارای آمار می‌باشد. استفاده از تحلیل منطقه‌ای بر این فرض استوار است که حوضه‌ها به لحاظ آب و هوایی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، توپوگرافی، پوشش گیاهی و خاک دارای عکس‌العمل مشابهی می‌باشند. لذا برای این کار لازم است، مناطق همگن شناسایی شود. برای این منظور از روش خوشه‌بندی سلسه مراتبی استفاده شده است. در این روش داده‌ها به گروه‌هایی تقسیم می‌شوند که در آن‌ها تغییرات داخل گروهی به حداقل و تغییرات بین گروهی به حداکثر برسد. طبقه‌بندی با محاسبه فاصله هر فرد از سایر افراد شروع و سپس

^۱ Discriminate Function Analysis

نتایج و بحث

برای بررسی ویژگی‌های جریان حداقل در حوضه کرخه ابتدا منحنی تداوم جریان برای هر یک از ایستگاه‌ها رسم شد. شکل ۲ برای نمونه منحنی تداوم جریان را در ایستگاه پل چهر نشان می‌دهد. سپس از منحنی‌های تداوم جریان سه شاخص Q_{75} ، Q_{90} و Q_{95} محاسبه شد (جدول ۲). بررسی شاخص‌ها نشان می‌دهد که شاخص Q_{95} کمترین مقدار را دارد. ضمن این‌که مقدار این شاخص‌ها در ایستگاه‌هایی که در مرکز و جنوب حوضه واقع شده‌اند، بیشتر از ایستگاه‌های واقع در شمال حوضه می‌باشد. به‌عنوان مثال ایستگاه‌های آران غرب و روان‌سر که در قسمت شمالی حوضه واقع شده‌اند، کمترین مقدار این شاخص (به‌ترتیب برابر $0/04$ و $0/03$ متر مکعب بر ثانیه) را دارا می‌باشند و این بدان معنا است که در این مناطق شرایط خشک‌تری نسبت به سایر مناطق حوضه برقرار بوده است.

بیشترین مقدار این شاخص‌ها در ایستگاه‌هایی نظیر هلیلیان (سیمره)، آفرینه (کشکان) و پل دختر (کشکان) (به‌ترتیب برابر $4/73$ ، $8/13$ و $9/7$ متر مکعب بر ثانیه) بوده که نشان‌دهنده شرایط مطلوب‌تر این ایستگاه‌ها می‌باشد. لازم به ذکر است که در مواردی مانند ایستگاه‌های آفرینه (کشکان) و آفرینه (چلهول) با وجود نزدیکی ایستگاه‌ها به هم، مقادیر شاخص‌ها در ایستگاه آفرینه (کشکان) بسیار بیشتر از ایستگاه آفرینه (چلهول) (برابر $0/63$) است که علت آن می‌تواند قرارگیری ایستگاه آفرینه (کشکان) در محل تقاطع دو رودخانه و نبودن ایستگاه آفرینه (چلهول) بر روی رودخانه اصلی باشد.

برای مقایسه مکانی جریان حداقل از دبی حداقل ویژه (مقدار دبی حداقل تقسیم بر مساحت حوضه بالادست ایستگاه) استفاده شد (جدول ۲). نقشه تغییرات مکانی این نمایه با دوره بازگشت ۹۰ ساله در شکل ۳ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، این نمایه بین $0/0005$ تا $0/002$ متر مکعب بر ثانیه بر کیلومتر مربع تغییر می‌کند. مقدار دبی حداقل در قسمت‌های شمالی کمتر (خشک‌تر) و در قسمت‌های شرقی منطقه مقدار خشکی جریان کمتر از سایر نقاط می‌باشد. در مورد دبی‌های حداقل

این منظور از روش رگرسیون گام‌به‌گام^۱ استفاده شد. در روش گام‌به‌گام اولین متغیر مستقل بر اساس بالاترین ضریب همبستگی صفر مرتبه با متغیر وابسته وارد تحلیل می‌شود. از آن پس سایر متغیرهای پیش بین بر حسب ضریب همبستگی تفکیکی (جزئی) و نیمه‌تفکیکی (نیمه‌جزئی) در تحلیل وارد می‌شود. در این روش پس از ورود هر متغیر جدید ضریب همبستگی نیمه تفکیکی یا تفکیکی تمام متغیرهایی که قبلاً در معادله وارد شده‌اند، به‌عنوان آخرین متغیر ورودی مورد بازبینی قرار می‌گیرد و چنانچه با ورود متغیر جدید معنی‌داری خود را از دست داده باشد، از معادله خارج می‌شود. لازم به ذکر است که برای ارزیابی مدل‌ها از ضریب تعیین (R^2) و خطای استاندارد برآورد (Se) و همچنین، قدر مطلق خطا (MAE)^۲ کمک گرفته شد.

ارزیابی روند: ضریب همبستگی شاخصی است ریاضی که جهت و مقدار رابطه بین دو متغیر را توصیف می‌کند. اگر دو متغیر دارای مقیاس نسبتی و گسسته باشند، از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده می‌شود. در معادله به‌کار رفته در این تحلیل (x_1 و y_1) ... (x_n و y_n) یک نمونه تصادفی از توزیع دو بعدی می‌باشد، رتبه x_i با R_i و رتبه y_i با s_i نشان داده شده است. بنابراین ضریب همبستگی به‌صورت زیر مورد استفاده قرار گرفته است (n ، تعداد داده‌ها می‌باشد).

$$R_S = 1 - \frac{6 \sum D_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad D_i = R_i - S_i \quad (1)$$

آزمون من کندال بر اساس آزمون آماره S که به‌صورت زیر بیان شده است، می‌باشد.

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

که در آن، x_j مقدار داده‌های متوالی و n طول دوره آماری می‌باشد. $\text{sgn}(\theta)$ نیز به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\text{Sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{اگر } \theta > 0 \\ 0 & \text{اگر } \theta = 0 \\ -1 & \text{اگر } \theta < 0 \end{cases} \quad (3)$$

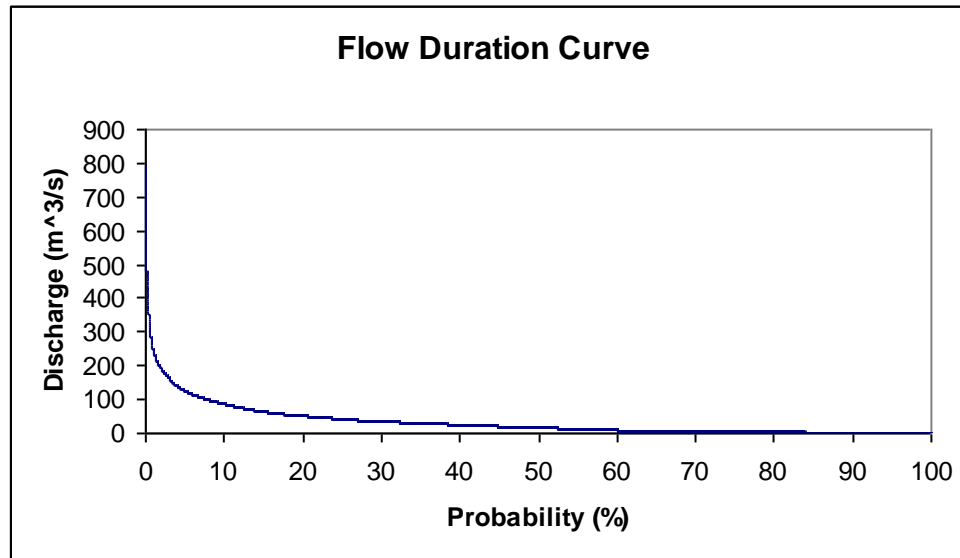
¹ Stepwise

² Mean Absolute Error (MAE)

سه و تابع حد نهایی تعمیم یافته به داده‌ها برازش داده شدند. با مقایسه پارامترهای توزیع به کمک روش امتیازدهی، توزیع لوگ پیرسون تیپ سه به‌عنوان بهترین توزیع انتخاب شد. لذا مقادیر شاخص‌های حداقل ۱۰ روزه و ۳۰ روزه با دوره بازگشت‌های مختلف با کمک تابع توزی انتخاب شده محاسبه شد.

با دوره بازگشت‌های ۷۵ و ۹۵ نیز روند تا حدودی مشابه می‌باشد.

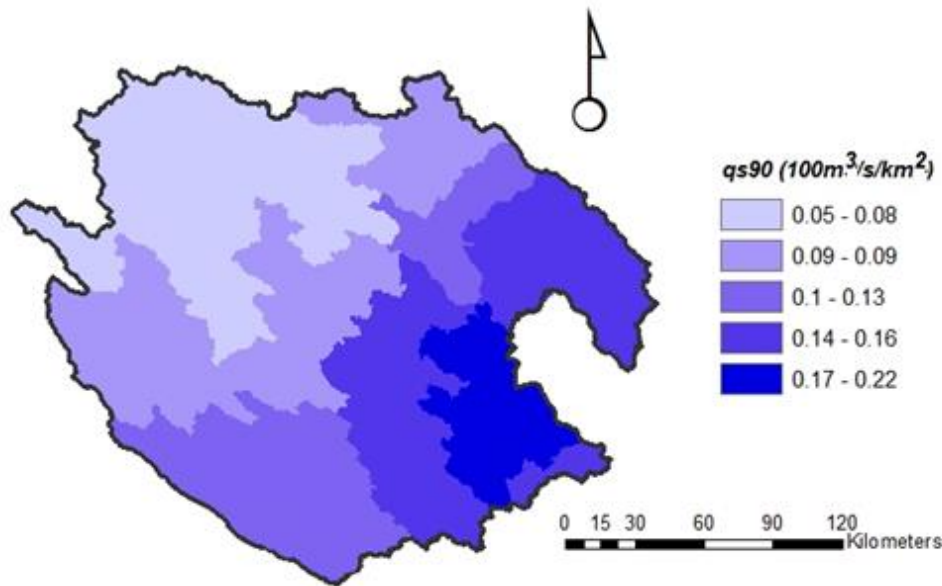
برای بررسی شاخص‌های دیگر جریان حداقل پس از استخراج سری جریان‌های حداقل ۱۰ و ۳۰ روزه، به منظور انتخاب مناسب‌ترین توزیع منطبق بر این سری‌ها، توزیع‌های نرمال، لوگ نرمال، لوگ نرمال سه پارامتری، گامبل، پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ



شکل ۲- منحنی تداوم جریان در ایستگاه پل چهر

جدول ۲- مقادیر سه شاخص Q_{95} ، Q_{90} و Q_{75} در ایستگاه‌های مورد بررسی (مترمکعب بر ثانیه)

کد	ایستگاه	Q_{75}	Q_{90}	Q_{95}	qs75	qs90	qs95
۲۱-۱۱۳	آران غرب	۰/۳۲	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۱۳۹۳	۰/۰۰۴۳۵۲	۰/۰۰۱۷۴۱
۲۱-۱۲۷	پل چهر	۴/۶۵	۲	۱/۳	۰/۰۴۲۷۹	۰/۰۱۸۴۰۴	۰/۰۱۱۹۶۲
۲۱-۱۳۳	دو آب مرگ	۱/۶	۰/۸۸	۰/۵۱	۰/۱۲۸۵۴	۰/۰۷۰۶۹۷	۰/۰۴۰۹۷۲
۲۱-۱۴۱	پل کهنه	۴/۷۴	۲/۲۵	۱/۹	۰/۰۹۴۲۶۵	۰/۰۴۴۷۴۶	۰/۰۳۷۷۸۶
۲۱-۱۴۳	قره باغستان	۵	۲/۵	۱/۶۶	۰/۰۹۴۱۱۱	۰/۰۴۷۰۵۶	۰/۰۳۱۲۴۵
۲۱-۱۴۷	هلیلان (سیمره)	۱۳/۵	۷/۰۸	۴/۷۳	۰/۰۶۵۲۷	۰/۰۳۴۲	۰/۰۲۲۸۴۸
۲۱-۱۶۹	کاکا رضا	۲/۶	۱/۸	۱/۴۲	۰/۲۲۷۰۷۴	۰/۱۵۷۲۰۵	۰/۱۲۴۰۱۷
۲۱-۱۷۱	دو آب سید علی	۴/۲۸	۳/۱۲	۲/۷	۰/۵۵۱۱۴۳	۰/۴۰۱۷۶۸	۰/۳۴۷۶۸۴
۲۱-۱۷۵	چم انجیر	۴/۸۸	۳/۷	۳/۳۱	۰/۲۹۸۳۳۷	۰/۲۲۶۱۹۸	۰/۲۰۲۲۳۴
۲۱-۱۷۷	افریته (کشکان)	۱۵	۱۰	۸/۱۳	۰/۲۲۰۴۹۴	۰/۱۴۶۹۹۶	۰/۱۱۹۵۰۸
۲۱-۱۷۹	آفرینه (چلهول)	۱/۲	۰/۸۳	۰/۶۳	۰/۱۴۶۷۱۷	۰/۱۰۱۴۷۹	۰/۰۷۷۰۲۶
۲۱-۱۸۳	پل دختر (کشکان)	۱۷/۶	۱۲	۹/۷	۰/۱۹۰۵۷	۰/۱۲۹۹۳۱	۰/۱۰۵۰۲۸
۲۱-۳۹۳	روان سر	۰/۵۳	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۱۶۶۸۱	۰/۰۴۷۲۱	۰/۰۰۹۴۴۲



شکل ۳- توزیع مکانی شاخص دبی حداقل در واحد سطح

ایستگاه‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است. در جدول ۴ زمان شدیدترین خشکسالی‌ها (کمترین مقادیر شاخص‌ها در دوره زمانی ۴۱ ساله) در هر ایستگاه ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۹۹، ۲۰۰۰-۱۹۹۹ و ۲۰۰۰-۲۰۰۱ در اکثر ایستگاه‌ها شدیدترین خشکسالی‌ها اتفاق افتاده است.

برای تعیین طول دوره‌های جریان حداقل در ایستگاه‌های مختلف نیز میانگین‌های متحرک ۱۰ و ۳۰ روزه با شاخص Q90، مقایسه شد تا تعداد روزهایی که در هر سال مقدار دبی از مقدار شاخص Q90 کمتر است به دست آید (Smakhtin, ۲۰۰۱، Rivera-Ramire و همکاران، ۲۰۰۲). شکل ۶ بیانگر تعداد روزهای است که هر ایستگاه در هر سال تحت تأثیر خشکی بوده است.

بررسی نمودارها نشان می‌دهد که طول دوره خشک در ایستگاه‌های مختلف و در سال‌های مختلف یکسان نمی‌باشد. جدول ۵ به ترتیب پنج سالی که هر ایستگاه بیشترین طول دوره خشک را تجربه نموده است، نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج در سه دوره ۱۹۹۸-۱۹۹۹، ۲۰۰۰-۱۹۹۹، ۲۰۰۰-۲۰۰۱ و ۱۹۹۰-۱۹۹۱ در اکثر ایستگاه‌ها طولانی‌ترین دوره خشک ثبت شده است.

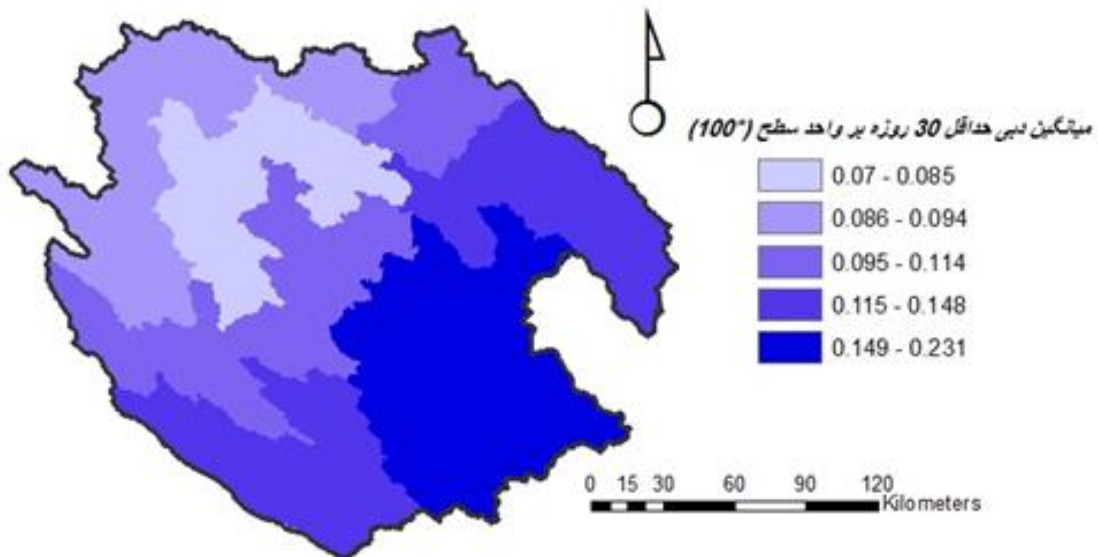
نتایج بررسی شاخص‌ها نشان می‌دهد که از بین این شاخص‌ها، شاخص $Q_{10,100}$ کمترین مقدار را دارد (جدول ۳). در مورد این شاخص‌ها نیز کمترین مقدار در ایستگاه‌های واقع در شمال حوضه و بیشترین آن‌ها در مرکز و جنوب حوضه به دست آمده است. لذا برای مقایسه مکانی شدت خشکسالی در حوضه از نمایه میانگین سری جریان‌های حداقل ۱۰ و ۳۰ روزه در واحد سطح استفاده شد. شکل ۴ توزیع مکانی این نمایه را برای میانگین سری جریان حداقل ۱۰ روزه در واحد سطح نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، خشکی‌های شدید مانند شاخص‌های منحنی تداوم جریان در قسمت‌های شمالی و مناطق با خشکی کمتر در قسمت‌های شرقی حوضه قرار دارند.

به منظور بررسی چگونگی تغییرات زمانی شدت خشکسالی هیدرولوژیک، نمودار سری‌های زمانی سالانه جریان کم ۱۰ و ۳۰ روزه هر یک از ایستگاه نسبت به سال وقوعشان ترسیم شد. شکل ۵ به عنوان نمونه نمودار تغییرات زمانی سالانه شاخص‌ها را برای ایستگاه چم انجیر نشان می‌دهد. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که شدت خشکسالی‌های اتفاق افتاده در هر ایستگاه و زمان وقوع شدیدترین خشکسالی‌ها در

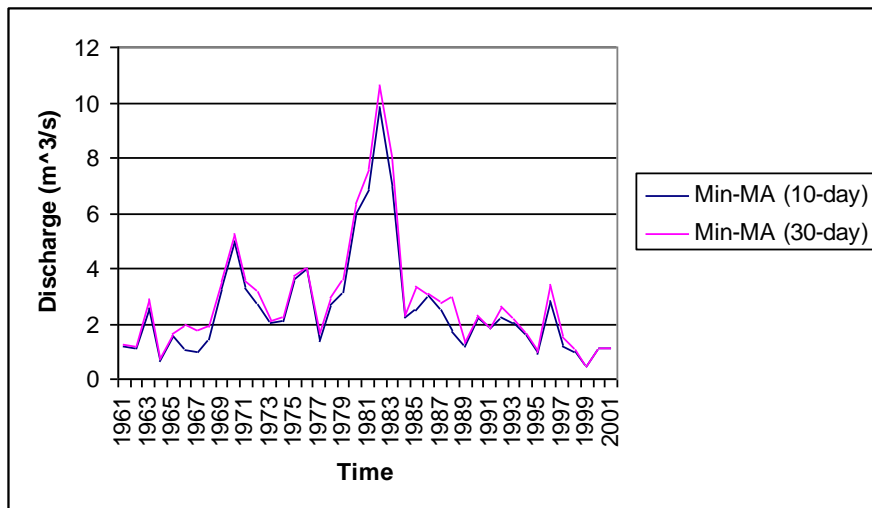
جدول ۳- مقادیر شاخص‌های سری‌های جریان حداقل سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی (مترمکعب بر ثانیه)

ایستگاه	آران غرب	پل چهر	دو آب مرگ	پل کهنه	قره باغستان	هولیان (سیمره)
Q _{10,5}	۰/۰۲۸۵	۰/۷۵۱	۰/۳۶۳	۱/۰۷	۱/۲۷	۳/۷۷
Q _{10,10}	۰/۰۱۴۶	۰/۴۴۹	۰/۲۳۶	۰/۷۴۶	۰/۸۸۶	۲/۶
Q _{10,20}	۰/۰۰۷۸۸	۰/۲۷۹	۰/۱۵۹	۰/۵۴۵	۰/۶۴۱	۱/۸۴
Q _{10,50}	۰/۰۰۳۶۴	۰/۱۵۴	۰/۰۹۸	۰/۳۷۷	۰/۴۳۲	۱/۱۹
Q _{10,100}	۰/۰۰۲۰۸	۰/۱	۰/۰۶۹	۰/۲۹۳	۰/۳۲۵	۰/۸۶۲
Q _{30,5}	۰/۰۴۰۴	۰/۹۷۱	۰/۴۵	۱/۲۶	۱/۴۵	۴/۳۴
Q _{30,10}	۰/۰۲۱۷	۰/۵۹	۰/۲۸۳	۰/۸۹۴	۱/۰۲	۳
Q _{30,20}	۰/۰۱۲۲	۰/۳۶۹	۰/۱۸۳	۰/۶۶۷	۰/۷۳۵	۲/۱۵
Q _{30,50}	۰/۰۰۶۰	۰/۲۰۵	۰/۱۰۵	۰/۴۷۴	۰/۴۹۳	۱/۴۱
Q _{30,100}	۰/۰۰۳۶	۰/۱۳۳	۰/۰۷۰	۰/۳۷۵	۰/۳۷	۱/۰۳

ایستگاه	کاکا رضا	دو آب	چم انجیر	آفرینه	چلهول	پل دختر	روان سر
Q _{10,5}	۱/۱۶	۲/۴۳	۲/۷۵	۷/۱	۰/۴۹۳	۸/۶۷	۰/۰۱۲۸
Q _{10,10}	۰/۹۸۸	۲/۰۸	۲/۳۵	۵/۷۹	۰/۳۷	۷/۱۳	۰/۰۰۳۷
Q _{10,20}	۰/۸۶۱	۱/۸۲	۲/۰۴	۴/۸۱	۰/۲۸۵	۵/۹۷	۰/۰۰۱۲
Q _{10,50}	۰/۷۳۳	۱/۵۴	۱/۷۱	۳/۸۳	۰/۲۰۶	۴/۸۱	۰/۰۰۰۳
Q _{10,100}	۰/۶۵۶	۱/۳۸	۱/۵۱	۳/۲۶	۰/۱۶۳	۴/۱۲	۰/۰۰۰۰۹
Q _{30,5}	۱/۲۷	۲/۶۵	۳/۰۴	۷/۵۷	۰/۶۳	۹/۳۷	۰/۰۳۰۲
Q _{30,10}	۱/۰۷	۲/۲۶	۲/۶۴	۶/۱۵	۰/۴۹۴	۷/۵۷	۰/۰۱۰۵
Q _{30,20}	۰/۹۱۷	۱/۹۵	۲/۳۳	۵/۰۹	۰/۳۹۸	۶/۲۲	۰/۰۰۳۸
Q _{30,50}	۰/۷۶۳	۱/۶۴	۲	۴/۰۳	۰/۳۰۶	۴/۸۶	۰/۰۰۱۰
Q _{30,100}	۰/۶۷۱	۱/۴۵	۱/۸	۳/۴۱	۰/۲۵۴	۴/۰۷	۰/۰۰۰۴



شکل ۴- توزیع مکانی سری جریان حداقل ۳۰ روزه در واحد سطح



شکل ۵- تغییرات زمانی سری‌های زمانی سالانه جریان کم در ایستگاه چم انجیر

جدول ۴- سال‌های وقوع شدیدترین خشکسالی‌ها در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در حوزه آبخیز کرخه

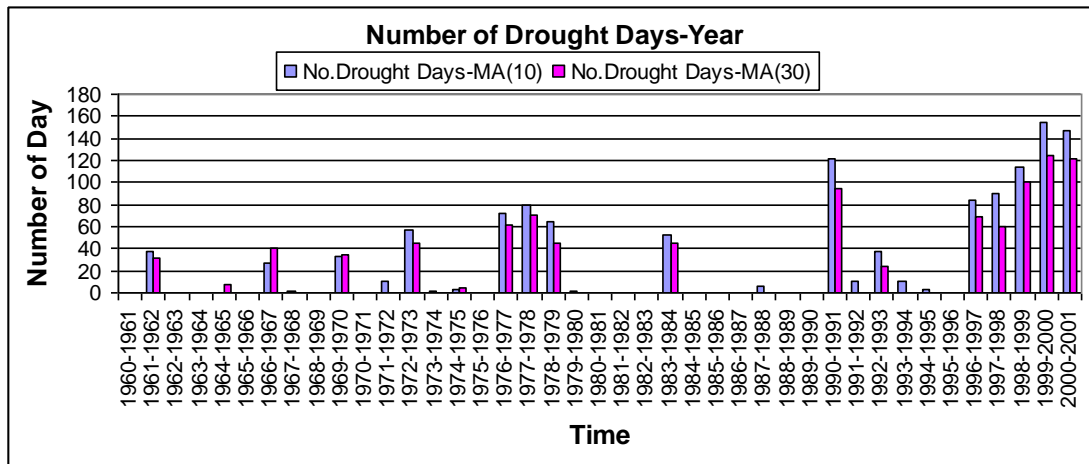
هولیان (سیمره)	قور باغستان	پل کهنه	دو آب مرگ	پل چپر	آران غرب
۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۹۸-۱۹۹۹	۲۰۰۰-۲۰۰۱	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۹۸-۱۹۹۹
۱۹۹۸-۱۹۹۹	۲۰۰۰-۲۰۰۱	۱۹۶۳-۱۹۶۴	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۲۰۰۱	۱۹۹۹-۲۰۰۰
۲۰۰۰-۲۰۰۱	۱۹۹۸-۱۹۹۹	۱۹۹۴-۱۹۹۵	۱۹۹۸-۱۹۹۹	۱۹۹۸-۱۹۹۹	۲۰۰۰-۲۰۰۱
۱۹۶۶-۱۹۶۷	۱۹۹۶-۱۹۹۷	۱۹۹۷-۱۹۹۸	۱۹۷۶-۱۹۷۷	۱۹۹۰-۱۹۹۱	۱۹۸۳-۱۹۸۴
۱۹۸۳-۱۹۸۴	۱۹۷۶-۱۹۷۷	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۹۲-۱۹۹۳	۱۹۶۶-۱۹۶۷	۱۹۹۷-۱۹۹۸
کاکا رضا	دو آب	چم انجیر	آفرینه	چلهول	پل دختر
۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۲۰۰۱	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۹۹-۲۰۰۰
۱۹۹۸-۱۹۹۹	۲۰۰۰-۲۰۰۱	۱۹۹۰-۱۹۹۱	۲۰۰۰-۲۰۰۱	۱۹۶۶-۱۹۶۷	۲۰۰۰-۲۰۰۱
۲۰۰۰-۲۰۰۱	۱۹۹۸-۱۹۹۹	۱۹۸۳-۱۹۸۴	۱۹۹۸-۱۹۹۹	۲۰۰۰-۲۰۰۱	۱۹۹۸-۱۹۹۹
۱۹۶۷-۱۹۶۸	۱۹۹۰-۱۹۹۱	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۹۰-۱۹۹۱	۱۹۹۸-۱۹۹۹	۱۹۹۰-۱۹۹۱
۱۹۷۰-۱۹۷۱	۱۹۸۳-۱۹۸۴	۱۹۶۱-۱۹۶۲	۱۹۶۶-۱۹۶۷	۱۹۶۳-۱۹۶۴	۱۹۶۶-۱۹۶۷
۱۹۸۹-۱۹۹۰	۱۹۸۸-۱۹۸۹	۱۹۹۰-۱۹۹۱	۱۹۸۲-۱۹۸۳	۱۹۹۲-۱۹۹۳	۱۹۸۹-۱۹۹۰

قدم به قدم (به جهت استفاده از عواملی که دارای همبستگی بیشتری می‌باشند) روابط منطقه‌ای هر یک از شاخص‌ها استخراج شد (جدول ۶).

همان‌طور که در جدول نیز مشخص است، متغیرهای مستقل برای هر یک از مناطق و شاخص‌ها متفاوت می‌باشد، به طوری که روابط رگرسیونی با کمک متغیرهایی که بیشترین ارتباط را با شاخص‌ها در هر یک از مناطق دارند، توسعه داده شده است. لازم به ذکر است که برای ارزیابی مدل‌ها در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ از ضریب تعیین (R^2) و خطای استاندارد برآورد (Se) کمک گرفته شد. از طرف دیگر مقدار MAE نیز برای هر یک از گروه‌ها و کل منطقه استخراج شد که مقادیر آن در مقایسه با میانگین مقادیر شاخص‌ها

به‌منظور انجام تجزیه و تحلیل منطقه‌ای جریان حداقل شاخص‌های Q90 و دبی‌های حداقل ۱۰ روزه با دوره بازگشت‌های دو، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به‌عنوان متغیرهای وابسته مدنظر قرار گرفتند. از بین عوامل مختلف فیزیوگرافی، اقلیمی، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی نیز عواملی مانند طول رودخانه اصلی، متوسط ارتفاع حوضه، طول حوضه، شیب حوضه، مساحت حوضه، تراکم زهکشی، میانگین شاخص پوشش گیاهی NDVI و میانگین بارش به‌عنوان عامل‌های موثر بر جریان حداقل منطقه به‌کار گرفته شد. برای تعیین مناطق همگن، تحلیل خوشه‌ای مرتبه‌ای وارد بر روی این عوامل اجرا شد که بر این اساس حوضه به دو گروه همگن تقسیم‌بندی شد (شکل ۷). سپس در هر یک از این گروه‌ها و در کل منطقه با کمک رگرسیون

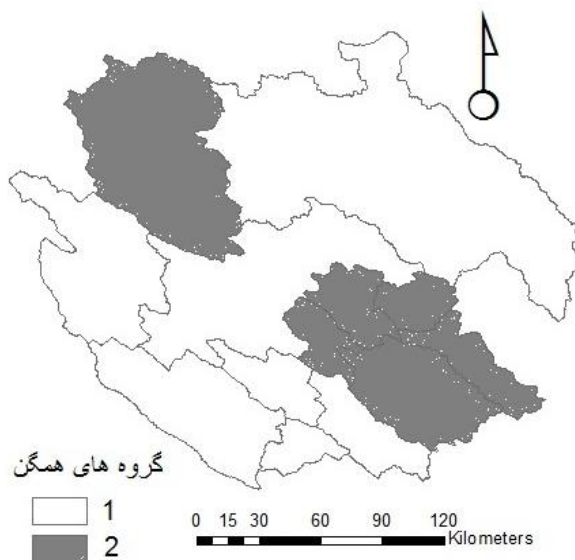
نشان‌دهنده رضایتمندی برآورد مدل‌ها بعد از همگن‌سازی منطقه می‌باشد.



شکل ۶- طول دوره خشکسالی در ایستگاه آران غرب

جدول ۵- سال‌های وقوع طولانی‌ترین دوره‌های خشکسالی در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در حوزه آبخیز کرخه

آران غرب	پل چهر	دو آب مرگ	پل کهنه	قور باغستان	هولیان (سیمره)	
۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۲۰۰۱	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۲۰۰۱	
۲۰۰۰-۲۰۰۱	۱۹۹۰-۱۹۹۱	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۲۰۰۱	۲۰۰۰-۲۰۰۱	۱۹۹۹-۲۰۰۰	
۱۹۹۸-۱۹۹۹	۱۹۷۷-۱۹۷۸	۱۹۹۸-۱۹۹۹	۱۹۹۸-۱۹۹۹	۱۹۹۸-۱۹۹۹	۱۹۹۸-۱۹۹۹	
۱۹۹۰-۱۹۹۱	۱۹۷۶-۱۹۷۷	۱۹۷۶-۱۹۷۷	۱۹۶۱-۱۹۶۲	۱۹۶۰-۱۹۶۱	۱۹۸۳-۱۹۸۴	
۱۹۷۷-۱۹۷۸	۱۹۶۶-۱۹۶۷	۱۹۸۳-۱۹۸۴	۱۹۹۰-۱۹۹۱	۱۹۷۶-۱۹۷۷	۱۹۹۰-۱۹۹۱	
روان سر	پل دختر	چلهول	آفرینه	چم انجیر	دو آب	کاکا رضا
۱۹۹۰-۱۹۹۱	۲۰۰۰-۲۰۰۱	۲۰۰۰-۲۰۰۱	۲۰۰۰-۲۰۰۱	۲۰۰۰-۲۰۰۱	۲۰۰۰-۲۰۰۱	۲۰۰۰-۲۰۰۱
۱۹۹۲-۱۹۹۳	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۹۸-۱۹۹۹	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۹۸-۱۹۹۹	۱۹۹۹-۲۰۰۰
۱۹۹۳-۱۹۹۴	۱۹۹۸-۱۹۹۹	۱۹۹۸-۱۹۹۹	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۶۳-۱۹۶۴	۱۹۹۹-۲۰۰۰	۱۹۹۸-۱۹۹۹
۱۹۸۹-۱۹۹۰	۱۹۶۳-۱۹۶۴	۱۹۶۳-۱۹۶۴	۱۹۶۳-۱۹۶۴	۱۹۶۱-۱۹۶۲	۱۹۶۳-۱۹۶۴	۱۹۶۶-۱۹۶۷
۱۹۹۴-۱۹۹۵	۱۹۸۳-۱۹۸۴	۱۹۶۹-۱۹۷۰	۱۹۶۶-۱۹۶۷	۱۹۶۶-۱۹۶۷	۱۹۹۰-۱۹۹۱	۱۹۷۷-۱۹۷۸



شکل ۷- نقشه مناطق همگن هیدرولوژیکی

جدول ۶- روابط منطقه‌ای شاخص‌های جریان حداقل در منطقه مورد پژوهش

شاخص جریان	گروه	مدل	R ²	Se	MAE
Q ₉₀	۱	$Q = 82.4 - 0.04 \times ELE$	۰/۹۹	۰/۸۷	۴/۳
	۲	$Q = 51.9 - 75.3 \times Dd + 0.003 \times L + 0.8 \times S - 0.1 \times LB - 35.8 \times NDVI - 0.02 \times R$	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۵/۰
Q _{10,20}	کل منطقه	$Q = 22.9 - 0.004 \times A - 50.6 \times Dd + 0.01 \times ELE + 0.15 \times L - 0.1 \times LB - 24 \times NDVI$	۰/۹۹	۰/۴۹	۷/۵
	۱	$Q = 13.8 + 0.017 \times R - 0.01 \times ELE$	۰/۹۹	۰/۰۳	۱/۸
Q _{10,50}	۲	$Q = 34.2 - 49.8 \times Dd + 0.001 \times L + 0.5 \times S - 0.07 \times LB - 23.9 \times NDVI - 0.01 \times R$	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۶
	کل منطقه	$Q = 19 - 0.002 \times A - 29.5 \times Dd + 0.01 \times L + 0.3 \times S - 0.05 \times LB - 12.9 \times NDVI - 0.01 \times R$	۰/۹۹	۰/۴۵	۵/۹
Q _{10,50}	۱	$Q = 11.66 + 0.013 \times R - 0.01 \times ELE$	۰/۹۹	۰/۰۱۰	۱/۳
	۲	$Q = 29.9 - 43.4 \times Dd + 0.001 \times L + 0.45 \times S - 0.06 \times LB - 20.8 \times NDVI - 0.01 \times R$	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۳
Q _{10,100}	کل منطقه	$Q = 12.5 - 0.002 \times A - 27.2 \times Dd + 0.005 \times ELE + 0.01 \times L - 0.06 \times LB - 14.4 \times NDVI$	۰/۹۹	۰/۳۴۰	۸/۴
	۱	$Q = -0.84 + 0.37 \times R - 42.1 \times Dd$	۰/۹۹	۰/۱۴۰	۰/۱
Q _{10,100}	۲	$Q = 27.1 - 39.2 \times Dd + 0.001 \times L + 0.4 \times S - 0.05 \times LB - 18.8 \times NDVI - 0.01 \times R$	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۱
	کل منطقه	$Q = 11.2 - 0.002 \times A - 24.4 \times Dd + 0.004 \times ELE + 0.005 \times L - 0.05 \times LB - 13.1 \times NDVI$	۰/۹۹	۰/۳۰۰	۱/۱

R بارندگی، S شیب حوضه، L طول آبراهه اصلی، LB طول حوضه، ELE ارتفاع متوسط حوضه، NDVI شاخص پوشش گیاهی، A سطح حوضه، Dd تراکم زهکشی و Q دبی

آماري معنی‌دار می‌باشد. در مورد ایستگاه روان‌سر (نهر اصلی) به دلیل این‌که این ایستگاه در ابتدای یک سرشاخه قرار گرفته، مقدار دبی تنها متأثر از همین شاخه رودخانه بوده و بنابراین تغییراتی که در طی زمان به هر دلیلی رخ داده، فرصت جبران به‌وسیله شاخه‌های دیگری از رودخانه که مناطق دیگری را زهکشی می‌کنند، نداشته است. در مورد ایستگاه آران غرب و دو آب مرگ نیز این ایستگاه‌ها در شمال حوضه و در سرشاخه‌ها قرار دارند و از مناطق کمتری از حوضه تأثیر می‌گیرند. در مجموع ایستگاه‌هایی که در شمال حوضه هستند، از مناطق کمتری از حوضه تأثیر می‌گیرند و این باعث می‌شود که در مقیاس‌های زمانی کوچک‌تر تغییراتی در آمار آن‌ها ایجاد شود. اما در همین ایستگاه‌ها وقتی میانگین‌های ۳۰ روزه با یکدیگر قیاس می‌شوند، توزیع آن‌ها متقارن‌تر شده و احتمال وجود ترند در آن‌ها کمتر می‌شود، مگر این‌که تغییرات بسیار شدید باشد. به‌نحوی که تقارن میانگین‌های ۳۰ روزه نیز به هم خورده و در سری‌های

بررسی روابط استخراج شده نشان می‌دهد که در منطقه یک عوامل کمتری با شاخص‌ها همبستگی دارند و برای اکثر شاخص‌ها ارتفاع حوضه عامل تأثیرگذار بوده است. این در حالی است که در روابط استخراج شده برای منطقه دو و کل منطقه عوامل بیشتری سهم می‌باشند. به‌طوری‌که عامل تراکم زهکشی بیشترین همبستگی را با شاخص‌ها در منطقه دو و برای کل منطقه ابتدا مساحت و سپس تراکم زهکشی بیشترین تأثیر را دارند، هر چند بقیه عوامل نیز موثر می‌باشند. به منظور بررسی وجود روند در شدت جریان‌های حداقل طی دوره آماری از آزمون‌های آماری من‌کنندال و اسپیرمن بر روی سری دبی‌های حداقل ۱۰ و ۳۰ روزه استفاده شد. جدول‌های ۷ و ۸ نتایج این بررسی‌ها را نشان می‌دهند.

همان‌طور که در جدول نیز مشخص است، همه ایستگاه‌ها روند منفی را نشان می‌دهند. هر چند روند فقط در تعدادی از ایستگاه‌های سرشاخه از لحاظ

زمانی ۳۰ روزه نیز ترند ایجاد شود که در مورد این دو ایستگاه بدین صورت نبوده است و تنها در سری زمانی ۱۰ روزه ترند مشاهده می‌شود. ولی در ایستگاه چم انجیر در سری زمانی ۳۰ روزه ترند مشاهده می‌شود.

جدول ۷- مقادیر آماره من کندال در ایستگاه‌های مورد بررسی در حوزه آبخیز کرخه

ایستگاه	آران غرب	پل چهر	دو آب مرگ	پل کهنه	قور باغستان	هلیلان
آماره کندال (سری زمانی ۱۰ روزه)	-۲/۵*	-۰/۵۰۵	-۱/۹۸*	-۱/۱۵	-۱/۱۱	-۰/۸۵۴
آماره کندال (سری زمانی ۳۰ روزه)	-۱/۷۷	-۰/۳۷۱	-۰/۹۴۳	-۱/۱۸	-۰/۶۹۶	-۰/۶۱۸
ایستگاه	کاکا رضا	دو آب	چم انجیر	آفرینه	چلهول	پل دختر
آماره کندال (سری زمانی ۱۰ روزه)	-۱/۲	-۱/۲۴	-۱/۸۳	-۰/۷۳	-۱/۰۳	-۰/۶۷۴
آماره کندال (سری زمانی ۳۰ روزه)	-۱/۱۶	-۱/۴۲	-۲/۲۸*	-۱/۲۴	-۰/۹۸۸	-۱/۶۱

* رد فرض صفر (وجود روند)

جدول ۸- مقادیر آماره اسپیرمن در ایستگاه‌های مورد بررسی در حوزه آبخیز کرخه

ایستگاه	آران غرب	پل چهر	دو آب مرگ	پل کهنه	قور باغستان	هلیلان
آماره اسپیرمن (سری زمانی ۱۰ روزه)	-۰/۳۸۲*	-۰/۱۰۹	-۰/۳۰۱	-۰/۱۶۳	-۰/۱۸۶	-۰/۱۴۷
آماره اسپیرمن (سری زمانی ۳۰ روزه)	-۰/۲۷۸	-۰/۰۶۶	-۰/۱۴۳	-۰/۲۰۱	-۰/۱۳۹	-۰/۱۱۴
ایستگاه	کاکا رضا	دو آب	چم انجیر	آفرینه	چلهول	پل دختر
آماره اسپیرمن (سری زمانی ۱۰ روزه)	۰/۱۷۱	-۰/۱۶۵	-۰/۲۶۲	-۰/۰۸۲	-۰/۱۴۶	-۰/۰۹۲
آماره اسپیرمن (سری زمانی ۳۰ روزه)	۰/۱۸۲	-۰/۱۹۷	-۰/۳۱۷*	-۰/۱۵۲	-۰/۱۶۳	-۰/۲۰۲

* رد فرض صفر (وجود روند)

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به منظور بررسی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیک حوزه آبخیز کرخه، از روش شاخص‌های جریان کم استفاده شد. در این بررسی از آمار روزانه ۱۳ ایستگاه هیدرومتری واقع در حوزه آبخیز کرخه در دوره زمانی ۲۰۰۱-۱۹۶۱ استفاده شد. در این تحقیق ماهیت شاخص‌های Q_{75} ، Q_{90} و Q_{95} از منحنی‌های تداوم جریان و چند شاخص دیگر مانند $Q_{10,5}$ ، $Q_{10,100}$ ، $Q_{10,50}$ ، $Q_{30,5}$ و $Q_{30,100}$ از تحلیل فراوانی جریان‌های کم ۱۰ روزه و ۳۰ روزه بررسی و آنالیز منطقه‌ای شدند. همچنین روند شاخص‌های جریان حداقل نیز مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که:

لذا می‌توان گفت که هر چه یک رودخانه تحت تأثیر رودخانه‌ها و مناطق بیشتری از حوضه باشد، چنانچه تغییرات در میزان دبی پایدار باشد، در آمار دبی روند ایجاد می‌شود و در بازه‌های زمانی کوتاه این تغییرات به‌وسیله سایر شاخه‌ها فرصت جبران دارد. از طرف دیگر شاید فعالیت‌های انسانی انجام شده در داخل حوضه نظیر ساختن بند و سد نیز بتواند روند را تحت تأثیر قرار بدهد. لذا در مجموع می‌توان گفت که روند در سری‌های زمانی جریان حداقل در حوضه وجود دارد که می‌تواند تحت تأثیر تغییرات اقلیمی باشد. هر چند این تغییرات شدت زیادی نداشته تا بتواند همه حوضه را تحت تأثیر قرار دهد.

- واحد همگن تقسیم می‌کند.
- بررسی روابط منطقه‌ای بیانگر بهبود برآورد مدل‌ها در مناطق همگن نسبت به کل منطقه می‌باشد.
- روابط منطقه‌ای نشان داد که در منطقه همگن یک عامل تاثیرگذار بر شاخص‌های جریان ارتفاع می‌باشد، در حالی که در منطقه دو تراکم زهکشی و در کل منطقه مساحت تاثیر بیشتری دارند.
- بررسی روند سری زمانی ۱۰ و ۳۰ روزه جریان حداقل نشان می‌دهد که در برخی ایستگاه‌ها روند کاهنده وجود دارد که منطقه را به سمت خشکی بیشتر می‌کشاند.
- در سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۹۹، ۲۰۰۰-۱۹۹۹ و ۲۰۰۱-۲۰۰۰ در اکثر ایستگاه‌ها شدیدترین خشکسالی‌ها اتفاق افتاده است.
- در سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۹۹، ۲۰۰۰-۱۹۹۹، ۲۰۰۱-۲۰۰۰ و ۱۹۹۰-۱۹۹۱ در اکثر ایستگاه‌ها طولانی‌ترین دوره‌های خشکسالی رخ داده است.
- بررسی توزیع مکانی شاخص‌ها بیانگر خشک‌تر بودن قسمت‌های شمالی حوضه نسبت به شرق و جنوب حوضه می‌باشد.
- نتایج تحلیل خوشه‌بندی منطقه را بر اساس شاخص‌های جریان حداقل و عوامل اقلیمی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی به دو

منابع مورد استفاده

1. Durrans, S.R. and S. Tomic. 2001. Comparison of parametric tail estimators for low-flow frequency analysis. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(5): 1203- 1214.
2. Fleig, A. 2004. Hydrological drought—a comparative study using daily discharge series from around the world. *Der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.*
3. Hisdal, H., B. Clausen, A. Gustard, E. Peters and L.M. Tallaksen. 2004. *Developments in Water Science*, 48. Amsterdam, Elsevier Science B.V., in press.
4. Lahha, G. and G. Bloschl. 2007. A national low flow estimation procedure for Austria. *International Journal of Hydrology Science*, 52(4): 625- 644.
5. Nosrati, K., S. Eslamian and A. Shahbazi. 2004. Investigation of effect of climate change on hydrological drought. *Journal of Agriculture*, 6(1): 49-56 (in Persian).
6. Pyrce, R. 2004. Hydrological low flow indices and their uses. Report of Watershed Science Center, 33 Pages.
7. Rifai, H.S., S.M. Brock, K.B. Ensor and P.B. Bedient. 2000. Determination of low flow characteristics for Texas streams. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 126(5): 310-319.
8. Rivera-Ramirez, H.D., G.S. Warner and F.N. Scatena. 2002. Prediction of master recession curves and base flow recessions in the Luquillo mountains of Puerto Rico. *Journal of the American Water Resources Association*, 38: 693-704.
9. Sarhadi, A., S. Soltani and R. Modarres. 2007. Regional low flow frequency distribution in Jiroft area by L-moments. *Iranian Water Research Journal*, 2(3): 45-54 (in Persian).
10. Samiee, M., M. Mahdavi and B. Saghafian. 2006. Regional analysis of hydrological drought in Tehran watersheds. *Iranian Journal of Natural Resources*, 59(1): 27-40 (in Persian).
11. Smakhtin, V.U., D.A. Watkins and D.A. Hughes. 1995. Preliminary analysis of low-flow characteristics of South African rivers. *Water SA*, 21: 201-210.
12. Smakhtin, V.U. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology Science*, 240: 147-186.
13. Smakhtin, V.Y. 1998. Generation of natural flow sequences in regulated rivers. *Regulated Rivers: Research and Management*, 15: 311-323.
14. Smakhtin, V.Y. and M. Toulouse. 1998. Relationships between low flow characteristics of South African streams. *Water SA*, 24(2): 107-112.
15. Tharme, R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Application*, 19(5-6): 397-441.
16. Yilmaz, K.K., H.V. Gupta and T. Wagener. 2008. A process-based diagnostic approach to model evaluation: application to the NWS distributed hydrologic model. *Water Resources Research*, 44: 94-114.