دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هفدهم، شماره‌ی ۶۰
زمستان ۱۳۹۶، صفحات ۱۴۷-۱۳۱

*رحیم کاظمی[۱]
امیر کرم[۲]
امیر صفاری[۳]
جهانگیر پرهمت[٤]

مدل‌سازی تغییر شکل منحنی تداوم جریان در حوضه کرخه

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۹/۰٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰٤/۱۲

چکیده

مدل‌سازی تغییر شکل منحنی تداوم جریان، یکی از موضوعات مهم در هیدرولوژی بوده و ابزار مناسبی برای تحلیل هیدرولوژیکی حوضه است. در این پژوهش تعداد ۲۲ ایستگاه با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های آبی (۱۳۷۸-۱۳۵۳) انتخاب شد. با استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تعیین موقعیت ایستگاه‌ها، محدوده مورد پژوهش مشخص و پارامترهای اولیه حوضه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، استخراج شد. واحدهای سنگ‌شناسی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی رقومی شده، با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استخراج و مساحت تحت پوشش هر واحد در هر حوضه محاسبه گردید. منحنی تداوم‌جریان با استفاده از داده‌های روزانه جریان، ترسیم و با استفاده از کد نویسی در محیط برنامه نویسی MATLAB شیب آخرین نقطه عطف منحنی محاسبه و درصد عدم تجاوز معادل آن بر روی محور افقی منحنی تداوم جریان، به‌عنوان شاخص تغییر شکل منحنی انتخاب شد. تحلیل عاملی با استفاده از ۱۲ پارامتر انجام و همگن‌بندی با عوامل موثر صورت گرفت. سپس روابط رگرسیونی شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان، با پارامترهای هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی و هندسی حوضه‌ها در سطوح معنی‌داری کم‌تر از یک درصد

*۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی. (نویسنده مسئول). E-mail: ra_hkazemi@yahoo.com
۲- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.
۳- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.
٤- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

تعیین شد. نتایج آزمون تحلیل عاملی نشان داد که کلیه متغیرها در قالب چهار عامل طبقه‌بندی می‌شوند که در مجموع در برگیرنده ۷٤/٤۷ درصد از واریانس داده‌ها می‌باشند. عوامل ارتفاع متوسط، بارش متوسط سالیانه، چگالی زهکشی و شاخص جریان پایه در قالب عامل اول، عامل زمین‌شناسی در عامل دوم، مساحت حوضه و طول رودخانه اصلی در عامل سوم و ضریب جریان در عامل چهارم، به‌عنوان مؤثرترین پارامترها شناخته شدند. نتایج تحلیل شیب منحنی نشان داد که میزان صدک‌های منحنی، معادل آخرین نقطه‌عطف، در حوضه‌های منطقه پژوهش، بین Q_8 تا Q_{60} متغییر است.

کلید واژه‌ها: شاخص تغییرشکل، تحلیل‌عاملی، مناطق همگن، سازند کارستی، شیب منحنی تداوم جریان.

مقدمه

مدیریت پایدار منابع آب، نیازمند داده‌های مناسب است که ما را در توسعه استراتژی مدیریت کمی و کیفی منابع آب یاری کند. در دهه‌های اخیر، رشد سریع جمعیت، منجر به افزایش نیاز به آب و در نتیجه، کمبود آن در بخش‌های آب شرب، کشاورزی و صنعت گردیده است. متعاقباً کمبود داده‌های مناسب در حوضه‌های مربوط به مطالعات منابع آب، منجر به عدم قطعیت در بخش‌های مربوط به مدیریت این کمبود می‌شود. توجه به این مشکل منجر به نام‌گذاری دهه (۲۰۱۲-۲۰۰۳) به پیش‌بینی در حوضه‌های آبخیز فاقد آمار، توسط انجمن بین‌المللی هیدرولوژی شد. این ابتکار با هدف قانونمند کردن و اجرای برنامه‌های علمی مناسب، برای درگیر کردن جوامع علمی در روندی جهت‌دار برای دست‌یابی به پیشرفت‌های عمده برای پیش‌بینی در حوضه‌های فاقد آمار صورت گرفت (Chahoki et al., 2013: 252). منحنی تداوم جریان یکی از روش‌های ارزنده برای تحلیل هیدرولوژیکی است که همه اطلاعات مفید مربوط به جریان‌های کم تا سیلابی را نمایش می‌دهد. این منحنی، صدک‌هایی را که یک جریان روزانه یا ماهانه (یا دیگر گام‌های زمانی) در یک دوره تاریخی برای یک حوضه خاص، از مقداری مشخص تجاوز می‌کند را ارائه می‌دهد. این منحنی از رسم تجمعی دبی رودخانه نسبت به زمان و یا بر حسب احتمال وقوع به‌دست می‌آید و مکرراً برای مقایسه رژیم جریان حوضه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل منحنی نیز انعکاسی از تاثیر پارامترهای آب‌وهوایی و فیزیوگرافی بر جریان رودخانه و پاسخ هیدرولوژیکی حوضه است (Alizadeh, 2007: 807). شکل منحنی تداوم جریان، در بخش فوقانی و انتهایی آن اهمیت ویژه‌ای در ارزیابی رژیم حاکم بر رودخانه و مشخصه‌های ذاتی حوضه دارد. بخش فوقانی، انعکاسی از رژیم جریان سیلابی حاکم بر حوضه است، در حالی که بخش انتهایی آن نماینده مشخصه‌های ذاتی حوضه برای تامین جریان پایه و تداوم جریان در زمان‌های کم آبی می‌باشد (Vogel, 1994: 485). در دو دهه اخیر تحقیقات متعددی در گرایش‌های مختلف هیدرولوژی و علوم وابسته با استفاده از منحنی تداوم جریان به انجام رسیده است. از جمله می‌توان به تحقیقات (Reed et al 1999: 237) در ارتباط با تولید انرژی برق آبی و طراحی سامانه‌های آبی اشاره کرد. تحقیقات مرتبط با مدیریت آلودگی در

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

رودخانه و رسوب‌گذاری و فرسایش با استفاده از تجزیه‌وتحلیل منحنی تداوم‌جریان، به‌وسیله محققان مختلفی مانند Cordova and Gonzalez (1997: 57) و Richards (1982: 350) مورد استفاده قرار گرفته است. از دیگر موارد کاربرد این منحنی، استفاده آن در برنامه‌ریزی منابع آب، از جمله تامین آب شرب، کشاورزی، پرورش ماهی و تحقیقات مرتبط با حفاظت از اکوسیستم است (Blumenfeld, 2009: 7; Dario et al, 2013: 314; Hisdal et al, 2004: 139; Lee et al, 2013: 1107). منحنی تداوم جریان برای کالیبراسیون مدل‌های هیدرولوژیکی به‌وسیله Westerberg et al, (2011: 2205) مورد آزمون قرار گرفته و نتایج مناسبی در خصوص مرتفع کردن مشکلات ناشی از عدم قطعیت داده‌ها و تفاوت حساسیت به اندازه داده‌های مورد استفاده، ارائه شده است. در بسیاری از مطالعات کاربردی منابع طبیعی و عمرانی، به پیش‌بینی منحنی تداوم جریان برای حوضه‌های فاقد آمار یا حوضه‌های با آمار ناقص نیاز داریم. این امر اغلب توسط توسعه مدل‌های منطقه‌ای منحنی تداوم جریان میسر شده است (Castellarin et al, 2013: 135; Castellarin, 2014: 179). مرور منابع، رهیافت‌های مختلفی را برای حل این مشکل پیشنهاد می‌کنند. این مطالعات به‌صورت تجربی است و عمدتاً به دو دسته گرافیکی و آماری قابل تقسیم هستند. روش‌های گرافیکی، بر روی تاثیر مشخصه‌های فیزیوگرافیک و آب‌وهوایی بر شکل منحنی تداوم جریان تمرکز دارند. این روش‌ها پارامترهای متعدد فیزیوگرافیکی و اقلیمی را در شکل منحنی موثر دانسته‌اند که از جمله می‌توان به نتایج تحقیقات Holmes et al (2002: 721) اشاره کرد که نقش خاک و زمین‌شناسی را بر شکل منحنی موثر دانسته است، همچنین نقش تغییرات پوشش‌گیاهی در تغییر شکل منحنی تداوم جریان به‌وسیله Lane et al (2005: 253) به اثبات رسیده است. تاثیر تغییرات کاربری اراضی و پوشش‌گیاهی، بر رژیم جریان و در نهایت بر روی شکل منحنی تداوم جریان به وسیله‌ی تحقیقات Zheng et al (2007: 886) در حوضه رود زرد در چین به اثبات رسیده است. روش‌های گرافیکی، منحنی‌های تجربی را برای حوضه‌های دارای آمار استاندارد می‌کنند و برای مناطق همگن هیدرولوژیکی در حوضه های فاقد آمار به کار می‌برند در صورتی‌که روش‌های آماری بر روی توزیع‌های آماری، برای برازش به منحنی تداوم جریان و ارتباط این برازش‌ها به مشخصه‌های فیزیکی حوضه متمرکز هستند. این دسته از مطالعات مبتنی بر توابع احتمالاتی و منطقه‌بندی پارامترهای توزیع فراوانی است (Kjeldsen et al, 2000; 285; Mohamoud, 2008: 706) بعضی دیگر از مطالعات آماری از یک عبارت ریاضی برای نمایش منحنی و منطقه‌بندی پارامترهای آن استفاده می‌کنند (Castellarin et al, 2007: 937; Ganora et al, 2009: 10418; Mendicino and Senatore, 2013: 19; Franchini and Suppo, 1996: 199; Pugliese et al., 2014: 3801). در روش‌های آماری، توزیع‌های متعددی برای برازش به شکل منحنی تداوم جریان به‌کار برده شده است، که از جمله آن‌ها، توزیع‌های احتمالاتی به‌کار رفته مانند توزیع لوگ‌نرمال، گاما، بتا و توزیع لجستیک می‌باشد (Castellarina, 2004: 953; Lee et al, 2013:1107). اگر چه هر دو روش گرافیکی و آماری، تاثیر پارامترهای فیزیوگرافیکی و اقلیمی را در شکل منحنی تداوم جریان در نقاط مختلف دنیا به اثبات رسانیده‌اند، اما تعمیم نتایج از نقطه‌ای به نقطه دیگر به‌دلیل تنوع عوامل تاثیرگذار، مفید نخواهد بود. در خصوص استفاده از منحنی تداوم جریان در تحقیقات داخل کشور می‌توان به پهنه‌بندی جریان‌های حداقلی و

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

تهیه نقشه پهنه‌بندی خشکسالی هیدرولوژیک که به‌وسیله‌ی Shamaee–Zadeh and Soltani (2011: 231) در حوضه آبخیز کارون شمالی مورد پژوهش قرار گرفته اشاره کرد. پژوهش مشابهی نیز توسط Eslamian et al (2012: 1) برای ناحیه‌بندی شاخص‌های جریان کم و تعیین دوره‌ای خشکسالی در حوضه کرخه با استفاده از منحنی تداوم‌جریان انجام شده است. رابطه متغیرهای مورفومتریک، اقلیمی و فیزیوگرافی حوضه با دبی‌های متناظر با منحنی تداوم جریان در ۲۵ ایستگاه حوضه آبخیز ارومیه توسط Zinanlo (2003: 1) بررسی و روابط منطقه‌ای مربوطه ارائه شد. در مدل‌های نامبرده، درجه حرارت سالیانه، مساحت، ارتفاع، تراکم زهکشی، بارندگی و شاخص نفوذپذیری در همه معادلات وارد شده است. چاهوکی و همکاران (۲۰۱۳: ۲۵۱) مدل‌سازی منطقه‌ای منحنی تداوم جریان با استفاده از یازده متغیر مستقل فیزیوگرافی و اقلیمی وشاخص‌های دبی $Q_{۵}$، $Q_{۱۰}$، $Q_{۲۰}$، $Q_{۳۰}$، $Q_{۴۰}$، $Q_{۵۰}$، $Q_{۶۰}$، $Q_{۷۰}$، $Q_{۸۰}$، و $Q_{۹۰}$، به‌عنوان متغیر وابسته، در حوضه های آبخیز استان‌های یزد، مرکزی و سمنان، به روش رگرسیون چند متغیره غیرخطی توسط Chahoki et al (2013: 251) انجام شد و مناسب‌ترین مدل‌ها با ضریب تبیین و NSE بیش‌تر از ۰/۸۰ را معرفی نمودند.

وضعیت جریان‌های سطحی رودخانه با استفاده از شاخص جدیدی به نام شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی-زیست محیطی توسط Eslami and Shokohi (2013: 125) مورد تحلیل قرار گرفت. شاخص مذکور در واقع مبتنی بر قابلیت‌های مهم منحنی تداوم‌جریان با ویژگی‌های سادگی، قابل فهم و استفاده از داده‌های قابل دسترس تاریخی می باشد. در این پژوهش شاخص‌های Q_{50} تا Q_{70} به‌عنوان آستانه ورود به شرایط خشک‌سالی هیدرولوژیکی معرفی شده است. در نتیجه آن شدت وقوع خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی با توجه به سایر شاخص‌های تداوم جریان (Q_{70} تا Q_{95}) در رودخانه‌های مورد پژوهش طبقه‌بندی شده‌اند. شکل منحنی تداوم‌جریان به علت تأثیرات عوامل مختلف مانند کاربری اراضی، خاک، آب‌وهوا، پوشش، توپوگرافی و زمین‌شناسی از نظر زمانی و مکانی متغیر است. مطالعه چگونگی روابط بین پارامترهای فیزیکی و هیدرولوژیکی حوضه با شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان در یک منطقه همگن از نظر هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی، موجب دست‌یابی به اطلاعاتی برای تفسیر دقیق‌تر منحنی تداوم‌جریان و استفاده در مدیریت بهینه منابع‌آب حوضه خواهد شد (Vogel and Fennessey, 1994: 485; Vogel and Fennessey, 1995: 1030).

با توجه به بررسی منابع انجام شده، در این تحقیق درصد عدم تجاوز معادل آخرین نقطه عطف منحنی تداوم جریان که در آن شیب منحنی برابر صفر می‌باشد، به‌عنوان شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان در نظر گرفته شد. برآورد این شاخص در حوضه های فاقد آمار، امکان شناخت بازه‌ای از منحنی تداوم جریان که نماینده جریان کمینه است را ایجاد می‌کند. این شاخص می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای تفسیر هیدرولوژیکی حوضه های فاقد آمار برای کارشناسان منابع آب و علوم وابسته استفاده شود. با بررسی‌های به‌عمل آمده در رابطه با مدل‌سازی شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان و استخراج روابط منطقه‌ای این شاخص در سطح کشور پژوهش مستقلی مشاهده نشد. هدف از این پژوهش، برآورد روابط منطقه‌ای شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان و تعیین عوامل مهم تاثیرگذار

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

زمین‌شناسی، مورفومتری و اقلیمی در تغییر شکل منحنی تداوم جریان است. نتایج این پژوهش برآورد بازه احتمالاتی بخش انتهایی منحنی تداوم جریان را که معرف جریان‌های کمینه است را برای حوضه‌های فاقد آمار منطقه مورد تحقیق میسر می‌سازد.

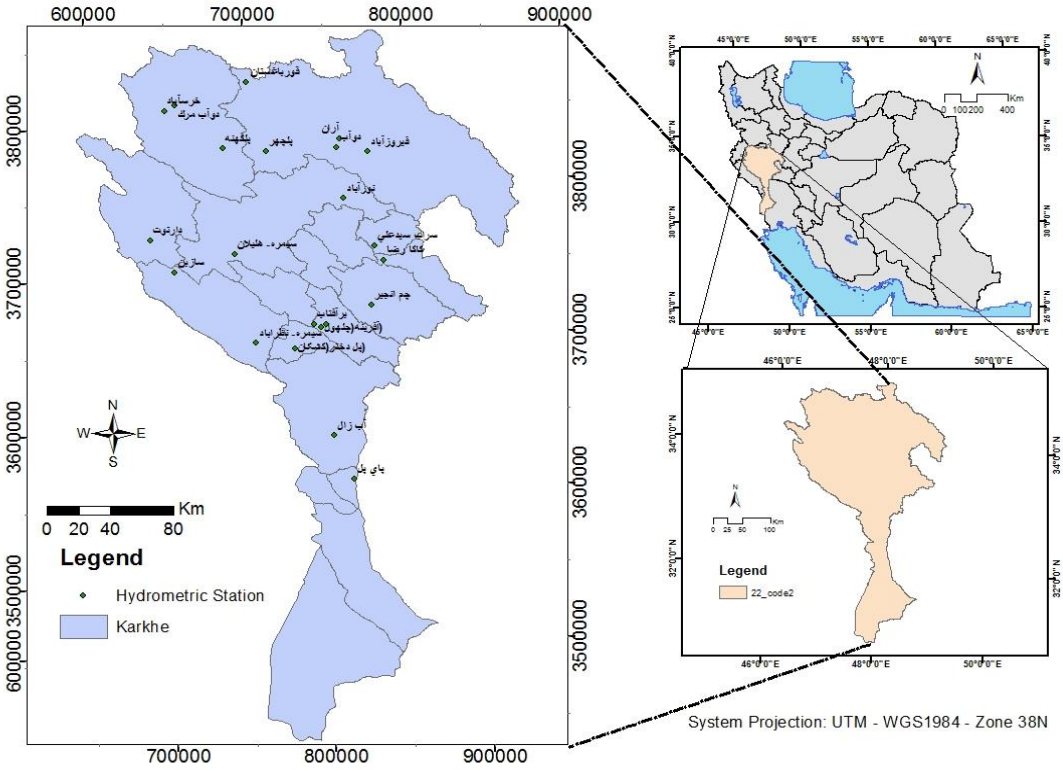
مواد و روش‌ها

ویژگی‌ها و موقعیت منطقه پژوهش

محدوده این پژوهش شامل تعداد ۲۲ زیرحوضه واقع در حوضه کرخه است که بین عرض جغرافیایی َ۴۹، ْ۳۰ تا َ۰۴، ْ۳۴ شمالی و طول جغرافیایی َ۰۶، ْ۴۶ تا َ۱۰، ْ۴۹ شرقی واقع شده است (شکل ۱). حوضه رودخانه کرخه یکی از رودخانه‌های رتبه دوم کشور است و مساحت آن برابر با ۵۱۸۰۶ کیلومتر مربع است که ۳/۲ درصد از مساحت ایران را شامل می‌شود (Porhemmat et al, 2011: 20).

زیر حوضه‌های اصلی کرخه شامل سیمره، کشکان و زیر حوضه میانی منتهی به سد کرخه می‌باشد. منطقه مورد پژوهش متأثر از آب‌وهوای خشک، نیمه خشک، مرطوب و نیمه‌مرطوب است. در مجموع ۴۵/۱ درصد از منطقه مورد پژوهش دارای اقلیم خشک، ۲۸ درصد نیمه‌خشک و ۲۶/۹ درصد مرطوب و نیمه‌مرطوب می‌باشد. حداکثر بارش سالیانه در دوره آماری مورد پژوهش به میزان ۵۵۶ میلی‌متر متعلق به حوضه کشکان و حداقل آن مربوط به حوضه کرخه در پای پل با ۴۵۳ میلی‌متر است. سازندهای سخت کربناته دارای گسترش مناسب می‌باشند و حدود ۴۸ درصد سطح منطقه مورد پژوهش را پوشش می‌دهند. حداکثر پوشش سطحی سازندهای کربناته کارستی متعلق به حوضه‌های کاکا رضا و آب‌زال با پوشش سطحی ۴۵ درصد و حداقل آن مربوط به حوضه فیروزآباد با پوشش دو درصد می‌باشد. سازندهای سخت غیرکربناته عمدتاً شامل سنگ‌های دگرگونی زون سنندج-سیرجان، ولکانیک‌ها و توف‌های همراه، شیست‌های همدان، سازندهای متعلق به گروه بنگستان، گورپی و امیران، بختیاری، پابده، شهبازان، تله زنگ، کشکان و گروه فارس است و به‌طور متوسط ۳۲ درصد پوشش سطحی منطقه پژوهش را تشکیل داده‌اند. در این خصوص حداکثر پوشش سطحی آن در حوضه فیروز آباد با ۵۷ درصد پوشش سطحی است. سازندهای دوران چهارم عمدتاً شامل نهشته‌های آبرفتی، پادگانه‌های آبرفتی، مخروط‌افکنه‌ها و رسوبات رودخانه‌ای است. ویژگی‌های پایه حوضه‌های مورد پژوهش در (جدول ۱) ارائه شده است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]



شکل ۱: منطقه مورد پژوهش

تعداد ۲۲ ایستگاه با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های آبی (۱۳۷۸-۱۳۵۳) انتخاب شد. با استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تعیین موقعیت ایستگاه‌ها، محدوده مورد پژوهش مشخص و پارامترهای اولیه حوضه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، استخراج شد. واحدهای سنگ‌شناسی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی رقومی شده، با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و بر اساس نظرات کارشناسی به دو طبقه عمده سازندهای کارستی و قابل نفوذ و سازندهای غیر قابل نفوذ تقسیم و مساحت تحت پوشش هر واحد در هر حوضه محاسبه گردید. منحنی تداوم‌جریان با استفاده از داده‌های روزانه جریان، ترسیم و با استفاده از کد نویسی در محیط برنامه‌نویسی MATLAB شیب آخرین نقطه عطف منحنی محاسبه و درصد عدم تجاوز معادل آن بر روی محور افقی منحنی تداوم جریان، به‌عنوان شاخص تغییر شکل منحنی انتخاب شد. تحلیل عاملی به منظور انتخاب مهم‌ترین عوامل موثر بر تغییر شکل منحنی انجام و همگن‌بندی بر اساس عوامل انتخابی صورت گرفت. سپس روابط رگرسیونی شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان، با پارامترهای هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی و هندسی حوضه‌ها در سطوح معنی‌داری کم‌تر از یک درصد تعیین گردیدند. سرانجام تحلیل و تفسیر عوامل موثر بر تغییر شکل انجام شد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

جدول ۱- مشخصه‌های حوضه‌های مورد پژوهش

ایستگاه هیدرومتری	کد ایستگاه	مساحت (km^2)	ارتفاع متوسط(m)	شیب متوسط حوضه (٪)	طول رودخانه اصلی(km)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
فیروزآباد	۲۱-۱۰۹	۸۶۹	۱۹۵۲	۱۷/۳	۴۸/۹	۳۴°-۲۱´	۴۸°-۰۷´
آران	۲۱-۱۱۳	۲۲۹۸	۱۷۸۰	۱۵/۵	۶۱/۴	۳۴°-۲۵´	۴۷°-۵۵´
دوآب	۲۱-۱۱۵	۸۰۲۶	۱۸۹۵	۱۵/۱	۱۲۱/۸	۳۴°-۲۲´	۴۷°-۵۴´
پل‌چهر	۲۱-۱۲۷	۱۰۲۰۸	۱۸۹۱	۱۷/۳	۱۶۱/۷	۳۴°-۱۹´	۴۷°-۲۵´
خرس‌آباد	۲۱-۱۳۱	۱۴۳۴	۱۵۲۷	۸/۷	۷۷/۸	۳۴°-۳۱´	۴۶°-۴۳´
دوآب مرک	۲۱-۱۳۳	۱۲۹۴	۱۵۴۴	۱۳/۷	۴۶	۳۴°-۳۳´	۴۶°-۴۶´
پل‌کهنه	۲۱-۱۴۱	۵۰۴۱	۱۵۶۷	۱۴/۲	۸۱/۵	۳۴°-۱۹´	۴۷°-۰۷
قورباغستان	۲۱-۱۴۳	۵۳۰۹	۱۵۶۲	۱۴/۱	۹۵	۳۴°-۴۳´	۴۷°-۱۵´
نورآباد	۲۱-۱۴۵	۶۲۱	۲۰۴۳	۱۶/۸	۳۴/۱	۳۴°-۰۴´	۴۷°-۵۸´
سیمره- هلیلان	۲۱-۱۴۷	۱۹۹۷۷	۱۷۵۲	۱۷/۵	۱۸۱/۷	۳۳°-۴۲´	۴۷°-۱۵´
دارتوت	۲۱-۱۵۷	۲۶۵۷	۱۵۵۱	۱۷/۶۱	۸۳	۳۳°-۴۵´	۴۶°-۴۰´
سازبن	۲۱-۱۵۹	۲۶۱۲۸	۱۳۶۵	۲۰	۹۲۲۳/۶	۳۳°-۳۴´	۴۶°-۵۱´
کاکا رضا	۲۱-۱۶۹	۱۱۳۰	۲۰۲۷	۲۴/۱	۷۱/۸	۳۳°-۴۳´	۴۸°-۱۶´
سراب سیدعلی	۲۱-۱۷۱	۷۸۶	۲۱۰۴	۲۷/۴	۲۶/۸	۳۳°-۴۸´	۴۸°-۱۳´
چم انجیر	۲۱-۱۷۵	۱۶۳۰	۱۶۵۰	۲۰/۵	۵۱/۶	۳۳°-۲۷´	۴۸°-۱۳´
آفرینه (کشکان)	۲۱-۱۷۷	۶۸۴۲	۱۷۱۸	۲۳/۴	۸۶/۳	۳۳°-۱۹´	۴۷°-۵۴´
آفرینه(چلهول)	۲۱-۱۷۹	۸۰۸	۱۶۴۷	۲۳/۷	۵۴/۴	۳۳°-۱۸´	۴۷°-۵۲´
برآفتاب	۲۱-۱۸۱	۱۱۳۶	۱۳۷۳	۹/۳	۳۱۸/۳۵	۳۳°-۱۹´	۴۷°-۴۹´
پل دختر(کشکان)	۲۱-۱۸۳	۹۲۶۷	۱۶۳۲	۲۲/۴	۱۱۱/۵	۳۳°-۱۰´	۴۷°-۴۳´
آب زال	۲۱-۱۸۹	۶۰۰	۱۴۰۵	۳۴/۳	۴۱/۴	۳۲°-۴۰´	۴۸°-۰۴´
پای پل	۲۱-۱۹۱	۴۲۱۹۱	۱۵۴۴	۱۹/۲۷	۳۱۲	۳۲°-۲۵´	۴۸°-۰۹´
سیمره- نظراباد	۲۱-۴۱۱	۲۸۲۸۱	۱۶۳۰	۱۳/۱	۲۰۶/۸	۳۳°-۱۱´	۴۷°-۲۶´

به منظور شناسایی عوامل تاثیرگذار بر تغییر شکل منحنی تداوم جریان، تجزیه‌وتحلیل عاملی برای ۱۲ متغیر مستقل فیزیوگرافی و زمین‌شناسی در ۲۲ حوضه منتخب به روش تجزیهٔ مؤلفه‌های اصلی (PCA)[5] به‌کار برده شد. هدف از تجزیهٔ مؤلفه‌های اصلی آن است که واریانس موجود در داده‌های چندمتغیره را به مؤلفه‌هایی تجزیه کند که اولین مؤلفه ضمن حفظ استقلال و عدم همبستگی با دیگر مؤلفه‌ها تا حد ممکن، علت بیش‌ترین واریانس موجود در داده‌ها باشد. دومین مؤلفه علت بیش‌ترین واریانس ممکن بعد از مؤلفهٔ اول و الی آخر باشد. متغیرهای مورد استفاده شامل ویژگی‌های مختلف حوضه، از جمله مساحت، طول رودخانه اصلی، ارتفاع متوسط، شیب حوضه، درصد

5- Principal Component Analysis

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

پوشش سازندهای نفوذپذیر و کارستی، درصد پوشش سازندهای نفوذناپذیر، طول حوضه، چگالی زهکشی، شاخص جریان پایه، ضریب جریان، بارش متوسط سالیانه و درصد عدم‌تجاوز منحنی برابر با آخرین نقطه عطف منحنی می‌باشند. دوران محورهای عاملی به روش واریماکس[۶] انجام شد. سپس، ماتریس امتیازات عاملی ایستگاه‌ها استخراج گردید. برای خارج کردن متغیرهای غیرضروری، از ماتریس همبستگی آنتی‌ایمیج[۷] استفاده شد. متغیر طول حوضه به دلیل پایین بودن آماره کفایت اندازه نمونه (MSA[۸]) و پایین بود مقادیر استخراجی و متغیر شیب حوضه به‌دلیل همبستگی شدید داخلی حذف شدند. پس از انتخاب متغیرهای ضروری، تجزیه عاملی براساس این متغیرها صورت گرفته و عوامل مستقل مشخص شد. سپس روابط بین عامل وابسته شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان (Q_{DI})[۹] با سایر عوامل مستقل، با استفاده از روش رگرسیونی (رابطه ۱) مورد بررسی قرار گرفت.

$$Q_{DI} = aLi + bMr + cHc + d$$ رابطه (۱)

که در آن پارامترهای Li: عامل زمین‌شناسی، Mr: عامل مورفومتری، Hc: عامل هیدرواقلیمی و پارامترهای d, a, b, c ضرایب ثابت رابطه می‌باشند.

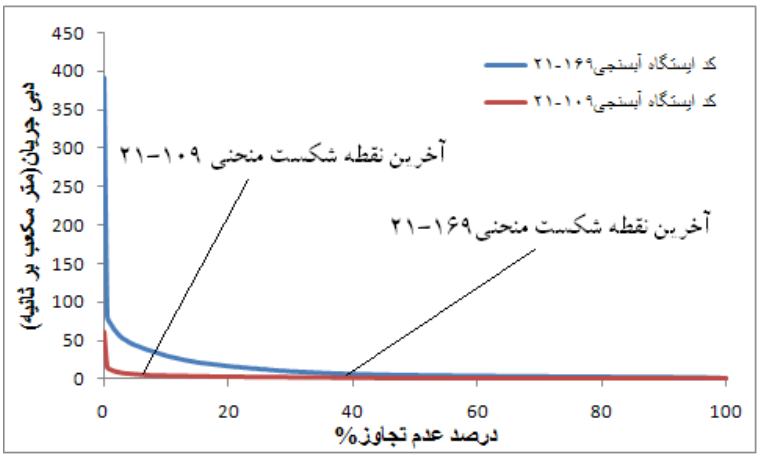
یافته‌ها و بحث

به‌منظور تامین شرایط نتیجه‌گیری منطقی و تحلیل متناسب با واقعیت‌های موجود، همگن‌بندی حوضه‌ها با استفاده از عوامل انتخابی انجام و دو منطقه همگن از نظر پارامترهای هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی و هندسی انتخاب شد. مقادیر درصد عدم‌تجاوز در محل اولین و آخرین نقطه‌عطف منحنی تداوم جریان، در کل دوره مورد مطالعه، به‌عنوان شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به گستردگی، تنوع و پیچیدگی فرآیندهای هیدرولوژیکی، تحلیل عوامل موثر بر تغییر شکل منحنی تداوم جریان، داده‌ها و اطلاعات زیادی را طلب می‌کند. از این رو دستیابی به شاخصی با ویژگی‌های به‌کارگیری داده‌های مشاهداتی، سهولت برآورد و برخورداری از اعتبار کافی که قابلیت پیش‌بینی و تحلیل منحنی تداوم جریان را نیز داشته باشد، مورد نیاز و ارزشمند است. روش ارائه شده در این پژوهش، بر استفاده از داده‌های زمین‌شناسی، فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی برای پیش‌بینی و تحلیل بخش انتهایی منحنی تداوم جریان به عنوان یکی از روش‌های تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی و جریان‌های کم، پایه‌ریزی شده است. درصد عدم تجاوز معادل اولین نقطه عطف منحنی در تمامی حوضه‌ها در محدوده صدک‌های Q_1 تا Q_5 واقع شده است. این نتیجه که نشان دهنده دبی سیلابی و قابلیت تخلیه اولیه و سریع رواناب سطحی می‌باشد، قابل انتظار است. آخرین نقطه عطف منحنی در محلی است که شیب منحنی برابر صفر می‌شود. این

6- Varimax Rotation
7- Anti-image
8- Measure of Sampling Adequacy
9- Deformation Index

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

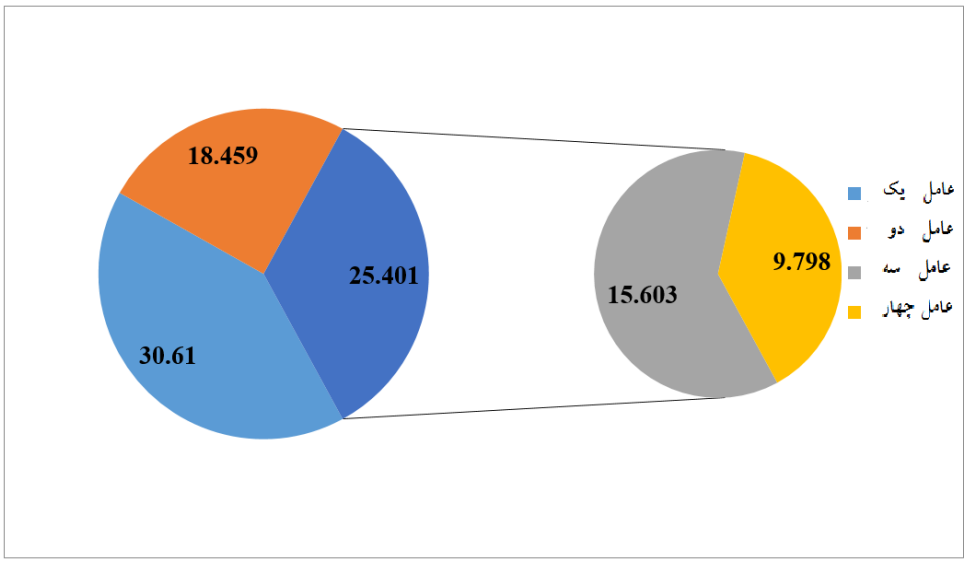
بخش از منحنی که نمایانگر چگونگی مشارکت آب‌های زیرسطحی در آب‌های سطحی است، برای تحلیل و تفسیر منابع آب زیرسطحی، تحلیل شرایط کم آبی و مدیریت منابع آب حوضه اهمیت دارد. میزان صدک‌های منحنی، معادل آخرین نقطه عطف، در حوضه‌های منطقه پژوهش، بین Q_8 تا Q_{60} متغییر است. این بدین معنی است که شکل منحنی تداوم جریان در منطقه پژوهش، متاثر از عوامل هندسی، هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی است (شکل ۲). همچنین نشانگر این است که بخشی از منحنی تداوم جریان که معرف شرایط خشک و جریان‌های کمینه می‌باشد، بسیار متغیر است و بیانگر طولانی بودن بازه احتمالاتی مشارکت جریان‌های زیرسطحی در تامین جریان رودخانه‌ها در حوضه‌های مورد پژوهش است. نظر به این‌که بخش انتهایی منحنی تداوم جریان، به‌عنوان معرف جریان‌های کمینه تفسیر می‌شود، بنابراین، روابط رگرسیونی، بین پارامترهای موثر بر شکل منحنی تداوم‌جریان، با درصد عدم تجاوز در محل آخرین نقطه عطف منحنی، منجر به دستیابی به اطلاعاتی برای پیش‌بینی بازه احتمالاتی مربوط به مشارکت آب‌های زیرسطحی در جریان رودخانه می‌شود که قابل استفاده در تفسیر بخش انتهایی منحنی است و در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب حوضه کاربرد دارد.



شکل ۲: منحنی تداوم جریان دو حوضه با مشخصات هندسی وهیدرولوژیکی مختلف

در فرآیند تحلیل عاملی، در نتیجه بررسی ماتریس همبستگی و جدول اشتراک استخراجی، متغیر طول حوضه و شیب به دلیل همبستگی شدید داخلی با برخی عوامل و همچنین به علت اینکه مقدار اشتراک استخراجی آن کم‌تر از ۰/۵ بود از فرآیند تحلیل عاملی حذف گردید. آزمون تحلیل عاملی نشان داد که کلیه متغیرها در قالب چهار عامل طبقه‌بندی می‌شوند که در مجموع در برگیرنده ۷٤/٤۷ درصد از واریانس داده‌ها می‌باشند (شکل ۳). عوامل ارتفاع متوسط، بارش متوسط سالیانه، چگالی زهکشی و شاخص جریان پایه در قالب عامل اول، درصد پوشش سازندهای نفوذپذیر و درصد پوشش سازندهای نفوذ ناپذیر در عامل دوم. مساحت حوضه و طول رودخانه اصلی در عامل سوم و ضریب جریان در عامل چهارم، به‌عنوان مؤثرترین پارامترها شناخته شدند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]



شکل ۳: کل واریانس تبیین شده به ازای هر یک از متغیرهای چهارگانه

یکی از روش‌هایی که می‌توان به‌وسیله آن آمار جریان را به سایر حوضه‌ها تعمیم داد، تعیین همگنی حوضه‌های آبخیز می‌باشد. در این پژوهش به‌منظور همگن‌بندی مناطق مورد نظر، از تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی استفاده گردید. تحلیل خوشه‌ای به‌عنوان نوعی تحلیل چندمتغیره، ابزاری آماری است که در آن داده‌ها و مشاهدات بر اساس متغیرهای تعیین شده به‌وسیله محقق طبقه‌بندی می‌شوند. در این روش حوضه‌ها از نظر خصوصیات فیزیکی دو به دو با هم مقایسه می‌شوند و باید از مقیاس‌های کمی استفاده کرد تا بتوان بیش‌ترین شباهت یا کم‌ترین فاصله بین داده‌ها و مشاهدات را اندازه‌گیری نمود.

در روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی به خوشه‌های نهایی بر اساس میزان عمومیت آن‌ها ساختاری سلسله مراتبی، نسبت داده می‌شود. روش کار تکنیک‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی معمولاً بر اساس الگوریتم‌های حریصانه و بهینگی مرحله‌ای است. روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی براساس ساختار سلسله مراتبی تولیدی توسط آن‌ها معمولا به دو دستهٔ زیر تقسیم می‌شوند:

بالا به پایین یا تقسیم کننده: در این روش ابتدا تمام داده‌ها به عنوان یک خوشه در نظر گرفته می‌شوند و سپس در طی یک فرآیند تکراری در هر مرحله داده‌هایی که شباهت کم‌تری به هم دارند به خوشه‌های مجزایی شکسته می‌شوند و این روال تا رسیدن به خوشه‌هایی که دارای یک عضو هستند ادامه پیدا می‌کند.

پایین به بالا یا متراکم شونده: در این روش ابتدا هر داده‌ها به‌عنوان خوشه‌ای مجزا در نظر گرفته می‌شود و در طی فرآیندی تکراری در هر مرحله خوشه‌هایی که شباهت بیش‌تری با یکدیگر دارند با هم ترکیب می‌شوند تا در نهایت یک خوشه و یا تعداد مشخصی خوشه حاصل شود.

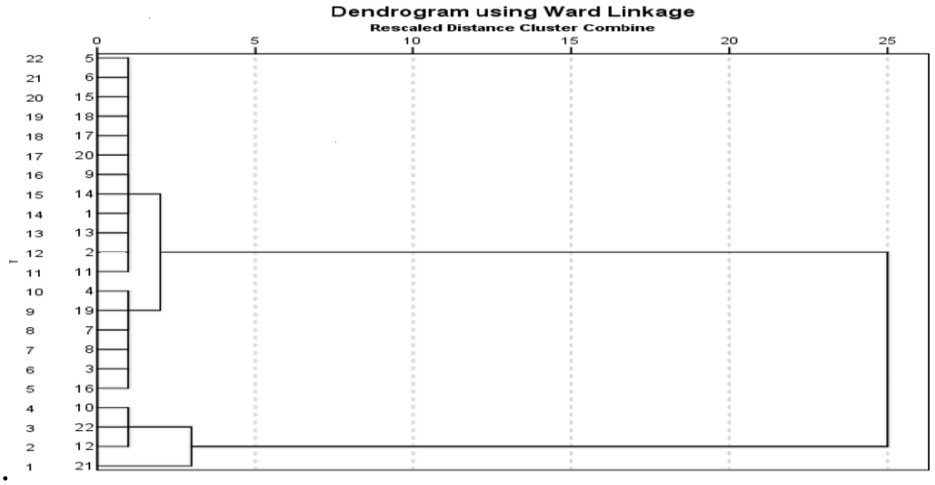
انواع مختلف الگوریتم‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی وجود دارد که تفاوت اصلی در بین تمام این روش‌ها به نحوهٔ محاسبهٔ شباهت بین خوشه‌ها مربوط می‌شود. در این پژوهش از خوشه‌بندی سلسله مراتبی به روش وارد استفاده شده

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

است. این روش برای کاهش تلفات ناشی داده‌های دور افتاده از معیاری جدید برای محاسبهٔ عدم شباهت بین خوشه‌ها استفاده می‌کند. مجموع مربعات تفاضل هر داده از یک خوشه با بردار میانگین آن خوشه به‌عنوان معیاری برای سنجش یک خوشهٔ استفاده می‌شود و با توجه به این‌که این روش کم‌ترین واریانس را در یافتن خوشه‌ها دخیل می‌کند و همچنین اطلاعات بیش‌تر و دقیق‌تری تولید می‌کنند برای تحلیل داده‌های با جزئیات بیش‌تر انتخاب شده است.

بررسی همگنی زیرحوضه‌ها براساس عوامل مستقل در روش تحلیل خوشه‌ای وارد[10] نشان داد که در فاصله اقلیدسی بین صفر تا پنج و همچنین صفر تا ۲۵ دو گروه همگن وجود دارد. (شکل ٤) نمودار خوشه‌ای زیرحوضه‌های همگن را در فواصل اقلیدسی مختلف و (جدول ۲) حوضه‌های واقع در هر یک از مناطق همگن را نشان می‌دهد.

جهت اعتباریابی گروه‌ها، روش تابع تشخیص مورد استفاده قرار گرفت و بعد از چهار بار تعویض گروه‌ها بر مبنای ارزیابی مدل، میزان دقت مدل برابر ۱۰۰ درصد گردید.

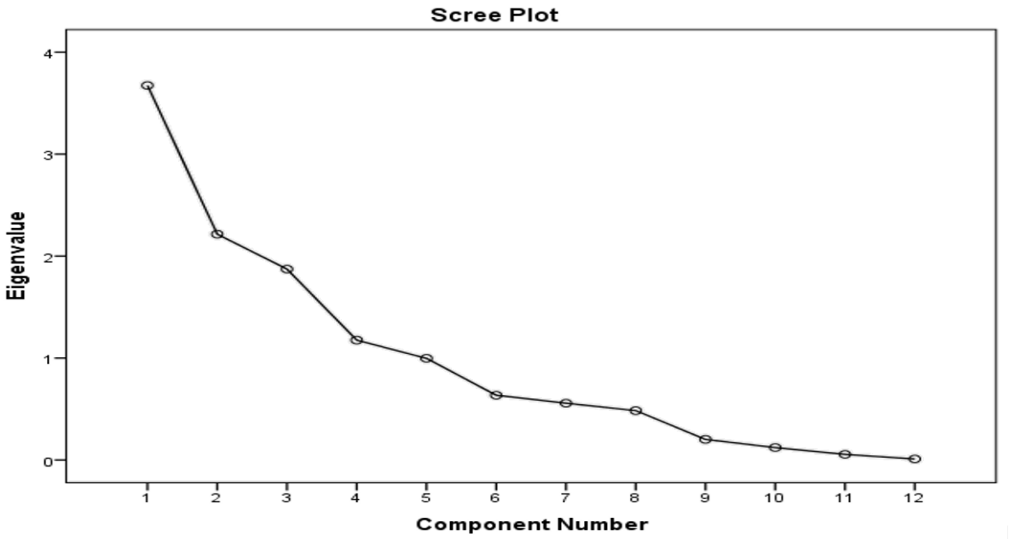


شکل٤: نمودار خوشه‌ای زیرحوضه های همگن براساس عوامل مستقل

تصویر گرافیکی مقادیر ویژه در هر یک از عامل‌های استخراج شده در (شکل ۵) نمایش داده شده است. هسته هر تجزیه مولفه اصلی شامل بردارهای ویژه و مقادیر ویژه است. بردارهای ویژه مجموعه‌ای از نمره‌ها است که هر کدام ارائه دهندهٔ وزن هر یک از متغیرهای اولیه بر روی هر مؤلفه می‌باشد. نمره‌های بردار ویژه بین ۱+ ، صفر تا ۱- تغییر می‌کند. برای هر مؤلفه، هر چه نمره به ۱+ یا ۱- نزدیک‌تر باشد، یعنی هر چه از صفر دورتر باشد، آن متغیر، بر حسب وزن دادن به آن مؤلفه، مهم‌تر خواهد بود. همان‌طور که مشخص است، مقدار واریانس توجیه شده (مقدار ویژه[11]) با استخراج عامل‌های چهارم به بعد سریعاً افت می‌کند.

10- Ward Method
11- Eigenvalue

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]



شکل ۵: مقادیر ویژه عامل‌های استخراج شده

جدول ۲- زیر حوضه‌های انتخابی واقع در هر یک از خوشه‌ها

شماره خوشه	نام ایستگاه
۱	فیروزآباد، آران، دوآب، پلچهر، خرسآباد، دوآب مرک، پلکهنه، قورباغستان، نورآباد، دارتوت، کاکا رضا، سراب سیدعلی، چم انجیر، آفرینه (کشکان)، آفرینه(چلهول)، برآفتاب، پل دختر(کشکان)، آب زال.
۲	سیمره (هلیلان) ، سازبن، پای پل، سیمره (نظراباد)

- روابط رگرسیونی برآورد شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان

روابط استخراجی با دخالت زیرحوضه های هر منطقه، نشان داد که مقادیر شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان در برابر پارامترهای هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی و هندسی حوضه، همبستگی معنی‌داری را در سطح کم‌تر از ۱ درصد دارد که به صورت مدل‌های رگرسیونی چند متغیره با استفاده از روش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و مناسب‌ترین مدل که به روش Backward استخراج شده است در (جدول ۳) ارائه شده است.

جدول ۳- روابط برای زیر حوضه‌های خوشه یک و دو

منطقه همگن	رابطه
یک	$Q_{DI}= (0.006)\times A- (0.185) \times RL + (0.007) \times H- (4.624) \times PE+ 407.638$
دو	$Q_{DI}= (0.008) \times A- (0.351) \times RL + (0.435) \times Rc- (8.139)\ PE+ (0.048\times P) + 806.205$

پارامترهای مورد استفاده در روابط فوق: A: مساحت حوضه، H: ارتفاع متوسط حوضه، PE: درصد پوشش سطحی سازند های نفوذ پذیر، RL: طول رودخانه اصلی، P: بارش سالیانه، Rc: ضریب رواناب.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

با توجه به بررسی‌های انجام گرفته در اغلب تحقیقات، از ویژگی‌های مورفومتری حوضه و عوامل هیدرواقلیمی به‌عنوان عوامل مؤثر بر تغییر شکل منحنی تداوم جریان، استفاده شده است. در این تحقیق علاوه بر موارد فوق، ضریب جریان، شاخص جریان پایه و عامل زمین‌شناسی با دیدگاه تأثیر بر منابع آب سطحی، رطوبت خاک و تاثیر بر روی تداوم جریان کمینه، مد نظر قرار گرفته است. همچنین روابط استخراجی برای آخرین نقطه عطف منحنی، قابلیت پیش‌بینی بازه انتهایی منحنی را که یک ابزار مناسب برای تحلیل جریان کمینه می‌باشد را فراهم کرده است. نتایج تجزیه و تحلیل عاملی نشان داد که چهار عامل مستقل موثر بر شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان، ۷٤/٤۷ درصد از واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند. این به آن معناست که حدود ۱۵/۵۳درصد از کل واریانس قابل تبیین نیست، که با بررسی متغیرهای اضافی در زمینه ویژگی‌های اقلیمی و غیراقلیمی، قابل افزایش است. وزن درصد تغییرات عوامل بارش، چگالی زهکشی، ارتفاع متوسط و شاخص جریان پایه با مقدار ویژه ۳/٦۷ در درجه اول تاثیرگذاری قرار دارد که در این میان بیش‌ترین سهم به شاخص جریان پایه مربوط است. همراهی پارامترهای بارش، چگالی زهکشی و ارتفاع متوسط به‌عنوان عامل اول تاثیرگذاری بر بخش انتهایی منحنی، دارای ارزش تفسیری مهمی است. این پارامترها وضعیت زهکشی حوضه را نمایندگی می‌کنند و عامل تامین تداوم جریان در زمان های کم آبی هستند. درصد پوشش سازندهای کارستی و نفوذ پذیر و سازندهای نفوذ ناپذیر با مقدار ویژه ۲/۲۱۵ به تنهایی در عامل دوم تاثیرگذاری بر روی شکل منحنی تداوم جریان قرار دارند. در این میان سهم سازندهای کارستی به علت درصد پوشش زیاد و همچنین به دلیل ماهیت و پتانسیل ذاتی این سازندها برای تشکیل منابع آب زیرزمینی، در مرتبه اول اهمیت قرار دارد و دارای تاثیر مثبت در تامین تداوم پایدار جریان کمینه در فصول کم آبی است. میزان تأثیرگذاری بالای عامل زمین‌شناسی، بیانگر اهمیت سازندها و همچنین نوع تفکیک و تجمیع واحدهای زمین‌شناسی براساس رفتارهای هیدروژئولوژیکی است. در منطقه مورد تحقیق، سطوح تحت پوشش سازندهای کربناته به دلیل پتانسیل بالای کارست شدگی، تاثیر زیادی در تامین تداوم جریان و شکل دادن به بخش انتهایی منحنی تداوم جریان دارد. مساحت حوضه و طول رودخانه اصلی با مقدار ویژه ۱/۸۷ در مرتبه سوم اهمیت و به‌عنوان عامل سوم ایفای نقش دارند و ضریب جریان به تنهایی با مقدار ویژه ۱/۱۷ در مرتبه چهارم تاثیرگذاری قرار دارند. ضریب جریان به طور غیرمستقیم شرایط زهکشی حوضه را انعکاس می‌دهد و از این منظر قابلیت تفسیر شرایط هیدرولوژیکی حوضه را دارد. این شاخص، با توجه به این که حاصل اندر کنش و خروجی مجموعه‌ای از پارامترهای موثر بر جریان‌های سطحی و زیرسطحی است، نیز اهمیت منحصر به فرد دارد. سه روش آماری، پارامتری و گرافیکی توسط Castellarina (2004: 953) به‌منظور آنالیز منطقه‌ای منحنی تداوم جریان مقایسه شده و هر سه روش را مناسب ارزیابی کردند. این محققان برای منطقه‌ای کردن منحنی تداوم جریان، برای دوره آماری موجود، برای ۵۱ حوضه آبخیز در ایتالیا از دبی‌هایی با احتمال ۳۰ ، ۷۰ ، ۹۰ و ۹۵ به‌عنوان متغیر وابسته و از عامل‌های مساحت، طول آبراهه اصلی، میانگین بارندگی سالانه، و اختلاف ارتفاع حوزهٔ آبخیز به‌عنوان متغیر مستقل در مدل‌سازی منحنی تداوم جریان استفاده کردند. این در حالی است که در پژوهش حاضر، از درصد عدم تجاوز، متناظر نقطه شیب صفر بروی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

منحنی برای مدل‌سازی استفاده شده است. با استفاده از نتایج پژوهش Eslami and Shokohi (2013: 125) می‌توان دریافت که منحنی تداوم جریان از همه مشخصات یک روش پایه برای تحلیل خشک‌سالی هیدرولوژیکی برخودار است و قابلیت تعیین و تفسیر دوره ورود به خشکسالی و تعیین دوره خشکسالی خفیف تا شدید را دارا است. در بسیاری از مطالعات انجام شده برای منطقه‌بندی منحنی تداوم جریان از جمله نتایج تحقیقات منتشر شده توسط Zinanlo (2003: 1); Castellarin et al (2007); Ganora et al (2009: 10418); Shamaee– Zadeh and Soltani (2011: 23); Eslamian et al (2012: 1); Mendicino and Senatore (2013: 19) برای مدل‌سازی منحنی تداوم جریان ازدبی‌های با احتمال ۸۵، ۹۰ و ۹۵ به عنوان شاخص ورود به شرایط کم‌آبی استفاده کرده‌اند. در حالی که در این پژوهش از شیب آخرین نقطه عطف منحنی و درصد عدم تجاوز معادل آن بر روی محور افقی منحنی تداوم جریان، به‌عنوان شاخص تغییر شکل منحنی و تعیین محدوده مربوط به مشارکت جریان‌های زیرسطحی در جریان رودخانه و شرایط کم آبی استفاده شده است. این روش امکان تعیین دقیق‌تر عوامل موثر در تغییر شکل منحنی تداوم جریان و همچنین تعیین محدوده مربوط به مشارکت جریان‌های زیرسطحی در جریان رودخانه را میسر می‌کند.

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های انجام گرفته در اغلب تحقیقات، از ویژگی‌های مورفومتری حوضه و عوامل هیدرواقلیمی به عنوان عوامل مؤثر بر شکل منحنی تداوم جریان، استفاده شده است. در این تحقیق علاوه بر موارد فوق، از شاخص جریان پایه و ضریب جریان حوضه به‌عنوان نماینده وضعیت نفوذ در حوضه استفاده شده است. در ضمن عامل زمین‌شناسی از دیدگاه تأثیر آن بر منابع آب، طبقه‌بندی و مد نظر قرار گرفته است. همچنین استفاده از درصد عدم تجاوز در آخرین نقطه عطف منحنی به‌عنوان شاخص تغییر شکل منحنی، قابلیت مدل‌سازی چگونگی تغییر شکل منحنی را میسر ساخته است. نتایج تجزیه‌وتحلیل عاملی نشان داد که عوامل مستقل موثر بر شاخص‌های منحنی تداوم جریان، چهار عامل است که ۷٤/٤۷ درصد از واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند. این به آن معناست که حدود ۵۳/ ۱۵درصد از کل واریانس قابل تبیین نیست که با بررسی متغیرهای اضافی در زمینه ویژگی‌های اقلیمی و غیراقلیمی، قابل افزایش است. عوامل ارتفاع متوسط، بارش متوسط سالیانه، چگالی زهکشی و شاخص جریان پایه در قالب عامل اول، عامل زمین شناسی در عامل دوم، مساحت حوضه و طول رودخانه اصلی در عامل سوم و ضریب جریان در عامل چهارم، به‌عنوان مؤثرترین پارامترها شناخته شدند. نتایج تحلیل شیب منحنی نشان داد که میزان صدک‌های منحنی، معادل آخرین نقطه عطف، در حوضه‌های منطقه پژوهش، بین Q_8 تا Q_{60} متغییر است.

جمع‌بندی کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که به دلیل تاثیر متقابل متغیرها بر همدیگر و بر روی شکل منحنی تداوم جریان و همچنین چند متغیره بودن تاثیرگذاری‌ها، تفسیرها فقط در غالب تحلیل‌های چند متغیره امکان طرح دارد. از این روی در تحلیل چند متغیره به دلیل خنثی شدن تاثیرات عوامل توسط همدیگر، بسیاری از عوامل موثر، در ابتدای تحلیل عاملی نمایان می‌شوند، ولی نشانی از آن‌ها در روابط رگرسیونی به‌عنوان خروجی تحلیل دیده

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

نمی‌شود. لذا مقتضی است ملاحظات دقیق‌تری در انجام قضاوت‌های مربوط به نقش کنترل‌کنندگی عوامل بر روی شکل منحنی تداوم جریان با توسعه داده‌های مورد استفاده صورت پذیرد.

تقدیر و تشکر
این پژوهش با استفاده از حمایت‌های پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است که از همراهی و مساعدت مسئولان محترم پژوهشکده تشکر می‌نماییم.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

References

- Alizadeh, A., (2007), "***Principal of applied hydrology***", Mashhad :Emamreza University. [In Persian].
- Blumenfeld, S., Lu, C., Christophersen, T., Coates, D., (2009), "***Water, wetlands and forests. A review of ecological, economic and policy linkages. In Secretariat of the Convention on Biological Diversity and Secretariat of the Ramsar Convention on Wetlands***", Montreal and Gland. CBD Technical Series No. 47.38 pp.
- Castellarina, A. G., Galeatib, L., Brandimartea, L., Montanaria, A., Brath, A., (2004), "Regional flow-duration curves: reliability for ungauged basins", ***Advances in Water Resources***, 27: 953–965.
- Castellarin, A., Camorani, G., Brath, A., (2007), "Predicting annual and long-term flow-duration curves in ungauged basins", ***Advances in Water Resources***, 30: 937–953.
- Castellarin, A., Botter, G., Hughes, D. A., Ouarda, T. B. M. J., Parajka, J., (2013), "***Prediction of flow duration curves in ungauged basins", chap. 7, in: Runoff prediction in ungauged basins: synthesis across processes***, ***places and scales***, Cambridge: Cambridge University Press.
- Castellarin, A., (2014), "Regional prediction of flow-duration curves using a three-dimensional Kriging", ***Journal of Hydrology***, 513: 179-191.
- Chahoki, A., Salajeghe, A., Mahdavi, M., Khaligi-Sigarodi, SH., sadi, S., (2013), "Regional modeling of flow duration curve at ungauged catchments of arid region, Case study: Central of Iran", ***Journal of range and watershed management***, 66 (2):251-265. [In Persian].
- Cordova, J. R., Gonzalez, M., (1997), "Sediment yield in small watersheds based on stream flow and suspended sediment discharge measurements", ***Soil Technology***, 11: 57-65.
- Dario, P., Noto, L. V., Viola, F., (2013), "Eco hydrological modelling of flow duration curve in Mediterranean river basins", ***Advances in Water Resources***, 52: 314–327.
- Eslami, A. R., Shokohi, A., (2013), "Analysis of river flow, using hydrological and environmental index", ***Journal of Watershed Engineering and management***, 5 (2): 125-133. [In Persian].
- Eslamian, S. S., Ghasemi, M., Gerdefaramarzi, S., (2012), "Computation and regionalization of low flow indices and determination of hydrological drought durations in karkhe watershed", ***Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources***, 16 (59): 1-15. [In Persian].
- Franchini, M., Suppo, M., (1996), "Regional analysis of flow duration curves for a limestone region", ***Journal of Water Resources management***, 10: 199 -218.
- Ganora, D., Claps, P., Laio, F., Viglione, A., (2009), "An approach to estimate nonparametric flow duration curves in ungauged basins", ***Journal of Water Resources Research***, 45 (10): 1-10
- Hisdal, H., Tallaksen, L. M., Clausen, M. B., Peters, E., Gus- tard, A., (2004), "Hydrological drought characteristics, in: Hydrological drougth–processes and estimation methods for streamflow and groundwater", ***Developments in Water Science***, 48: 139-198.
- Holmes, M. G. R., Young, A. R., Gustard, A., Grew, R., (2002), "A region of influence approach to predicting flow duration curves within ungauged catchments", ***Hydrology and Earth System Sciences***, 6: 721-731.
- Kjeldsen, T. R., Lundorf, A., Rosbjerg, D., (2000), "Use of a two component exponential distribution in partial duration modeling of hydrological droughts in Zimbabwean rivers", ***Hydrology and Earth System Sciences***, 45: 285-298.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

- Lane, P. N. J., Best, A. E., Hickel, K., Zhang, L., (2005), "The response of flow duration curves to afforestation", ***Journal of Hydrology***, 310: 253- 265.
- Lee, S., Kim, J., Hur, J. W., (2013), "Assessment of ecological flow rate by flow duration and environmental management class in the Geum River, Korea", ***Environmental Earth Sciences***, 68 (4): 1107-1118.
- Mendicino, G., Senatore, A., (2013), "Evaluation of parametric and statistical approaches for the regionalization of flow duration curves in intermittent regimes", ***Journal of Hydrology***, 480: 19-32.
- Mohamoud, Y. M., (2008), "Prediction of daily flow duration curves and stream flow for ungauged catchments using regional flow duration curves", ***Hydrological Sciences Journal***, 53 (4): 706-724.
- Porhemmat, J., Kazemi, R., Ghermezcheshme, B., (2011), "***Regional analysis of water yield and runoff coefficient in Karkhe Basin***", Final report of research project, Soil conservation and watershed management institute of Iran, Registration Number: 90. 627. [In Persian].
- Pugliese, A., Castellarin, A., Brath A., (2014), "Geostatistical prediction of flow–duration curves in an index-flow framework ", ***Hydrology and Earth System Sciences***, 18: 3801–3816.
- Reed, D. W., Jakob, D., Robson, A. J., Faulkner, D. S., Stewart, E. J., (1999), "Regional frequency analysis: A new vocabulary", International Association of Hydrological Sciences (IAHS) publication: Wallingford, UK.
- Richards, K. S., (1982), "***Rivers: form and process in alluvial channels***", London: Methuen; 358pp.
- Shamaee–Zadeh, M., Soltani, S., (2011), "Regional analysis of low flow in North Karoon basin", ***Journal of Science and Technology of Agriculture and Resources***, 18 (70): 231-242. [in Persian].
- Vogel, R. M., Fennessey, N. M., (1994), "Flow-duration curves. i: new interpretation and confidence intervals", ***Journal of the American Water Resources Association,***120: 485–504.
- Vogel., R. M., Fennessey, N. M., (1995), "Flow-duration curves ii: a review of applications in water resources planning", ***Journal of the American Water Resources Association,*** 31: 1029–1039.
- Westerberg, I. K., Guerrero, J. L., Younger, P. M., Beven, K. J., Seibert, J., Halldin, S., Xu, C. Y., (2011), "Calibration of hydrological models using flow-duration curves", ***Hydrology and Earth System Sciences***, 15 (7): 2205-2227.
-Zinanlo, A., (2003), "Low flow and duration curve analysis aiming at predicting runoff from ungauged catchments", ***Master of Science Thesis,*** University of Twente, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
- Zheng., H., Zhang, L., Liu, C., Shao, Q., Fukushima, Y., (2007), "Changes in stream flow regime in headwater catchments of the Yellow River basin since the 1950s", ***Hydrological Process***, 21 (7): 886-893.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]