

## بررسی و ارائه روابط منطقه‌ای شاخص‌های منحنی تداوم جریان، در مناطق نیمه‌خشک

رحیم کاظمی<sup>۱\*</sup>، جهانگیر پرهت<sup>۲</sup> و فرود شریفی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران و <sup>۲،۳</sup>استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۹

### چکیده

منحنی تداوم جریان نشان دهنده رابطه فراوانی وقوع دبی است و به‌عنوان پیش‌نیاز، برای طرح‌های مدیریت منابع آب مورد نیاز است. در این پژوهش، با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی، تعداد ۴۷ ایستگاه با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۹۰ در منطقه نیمه‌خشک کشور انتخاب شد. با استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تعیین موقعیت ایستگاه‌ها، محدوده مورد پژوهش مشخص و ۱۱ پارامتر فیزیوگرافی موثر بر منحنی تداوم جریان شامل ارتفاع متوسط، مساحت حوضه، ضریب گراویلیوس، شیب حوضه و طول رودخانه اصلی و پارامترهای هیدرولوژیکی شامل بارش سالانه، شاخص جریان پایه، ضریب افت هیدروگراف جریان، شماره منحنی، نفوذپذیری و تعداد روزهای بارانی، برای هر حوضه استخراج شد. سپس منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های روزانه جریان، ترسیم و شاخص‌های آن استخراج شدند. سپس تجزیه عاملی انجام و عوامل مستقل تاثیرگذار بر منحنی تداوم جریان مشخص شد. سرانجام همگن‌بندی بر اساس عوامل مستقل موثر انجام و روابط رگرسیونی شاخص‌های منحنی در هر منطقه همگن استخراج شد. به‌منظور بررسی صحت و دقت مدل‌ها در مناطق همگن از روش‌های آزمون استقلال خطا-ها، بررسی توزیع نرمال خطاها و ایستگاه‌های شاهد استفاده شد. نتایج نشان داد که عوامل انتخاب شده برای تحلیل عاملی در منطقه اقلیمی نیمه‌خشک ۷۵/۸۷۵ درصد، واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند. شش پارامتر بارش، شماره منحنی، شیب، تعداد روزهای بارانی، نفوذپذیری و مساحت موثرترین پارامترها شناخته شدند. نتایج بررسی دقت مدل‌ها با استفاده از ایستگاه‌های شاهد نشان داد که خطای نسبی روابط ارائه شده در منطقه همگن یک ۰/۱۷، منطقه دو ۲/۱۷، منطقه سه ۱/۵۳ و منطقه چهار ۱/۹۴ درصد می‌باشد. توزیع نرمال خطاها، ضریب تعیین بیشتر از ۰/۹۰ و ضریب دوربین واتسن بین ۱/۵ تا ۲/۵ و معیار کارایی نش-ساتکلیف نزدیک "یک" بیانگر قابلیت اعتماد به روابط رگرسیونی ارائه شده برای برآورد شاخص‌های منحنی تداوم جریان در حوضه‌های فاقد آمار در مناطق نیمه‌خشک کشور است.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل منطقه‌ای، توزیع نرمال، حوضه‌های فاقد آمار، مدل منطقه‌ای، مدیریت منابع آب

### مقدمه

افزایش جمعیت و پیشرفت فناوری و نیاز روزافزون به آب، مشکل کمبود آب جدی بوده، برای مقابله با این مشکل باید منابع آب به شیوه مناسبی مدیریت شوند.

مدیریت پایدار منابع آب، یک شرط اساسی برای توسعه اجتماعی و اقتصادی محسوب می‌شود. با

استفاده در واسنجی مدل‌های هیدرولوژیکی است که به‌وسیله Westerberg و همکاران (۲۰۱۱) و Costa و همکاران (۲۰۱۴) مورد آزمون قرار گرفته، نتایج مناسبی در خصوص مرتفع کردن مشکلات ناشی از عدم قطعیت داده‌ها و تفاوت حساسیت به اندازه داده‌های مورد استفاده، ارائه شده است. در دو دهه گذشته، مطالعات متعددی در خصوص پیش‌بینی منحنی تداوم جریان از طریق منطقه‌ای کردن شاخص‌های منحنی تداوم جریان به انجام رسیده است که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. متداول ترین روش برای منطقه‌ای کردن در هیدرولوژی رگرسیون دو یا چند متغیره است. تحلیل رگرسیون چند متغیره روشی مفید برای توسعه عوامل مورد نظر در منطقه‌ای کردن حوضه‌های فاقد آمار است. محققانی مانند Merz و Blöschl (۲۰۰۴)، Mohamoud (۲۰۰۸) و Sauquet (۲۰۱۱) از روش رگرسیون چند متغیره برای تحلیل منطقه‌ای و برآورد شاخص‌های هیدرولوژیکی و منحنی تداوم جریان، در حوضه‌های فاقد آمار استفاده کرده‌اند. رویکرد احتمالی برای تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان به‌وسیله Singh و همکاران (۲۰۰۱) در هیمالیا استفاده شد. ایشان دریافته‌اند که بین خصوصیات حوزه آبخیز (توپوگرافی و زمین‌شناسی) و منحنی تداوم جریان و جریان کمینه رابطه قوی وجود دارد. روش‌های احتمالی، پارامتری و گرافیکی به‌وسیله Castellarin و همکاران (۲۰۱۳) برای تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان استفاده شده است. این تحقیق در ۵۱ حوزه آبخیز در شرق ایتالیا انجام شده، متغیرهای مساحت، طول کانال، درصد نفوذپذیری، بیشینه و کمینه ارتفاع، متوسط دمای سالانه، متوسط بارندگی سالانه و تبخیر و تعرق مهمترین عوامل در تعیین منحنی تداوم جریان تشخیص داده شدند. ترکیب پارامترهای نفوذپذیری، شیب، مساحت، ارتفاع و بارش متوسط سالانه، در ۷۲ حوضه با طول داده ۵۰ ساله در آمریکا، به‌وسیله Yaşar و Baykan (۲۰۱۳) برای مدل‌سازی و پیش‌بینی منحنی تداوم جریان مورد استفاده قرار گرفت و مدل‌های برآورد با متوسط ۲۷ تا ۳۷ درصد خطای نسبی را ارائه دادند. روش‌های آماری و رگرسیون چند متغیره برای تحلیل منطقه‌ای منحنی

از سوی دیگر، کمبود داده‌های مناسب در حوضه مربوط به مطالعات منابع آب، مانع مهمی برای مدیریت بهینه منابع می‌باشد. توجه به این مشکل، منجر به نامگذاری دهه ۲۰۱۲-۲۰۰۳ به پیش‌بینی در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار، به‌وسیله 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 (Zare Chahouki و همکاران، ۲۰۱۳). منحنی تداوم جریان، عمومی‌ترین ابزار برآورد جریان در دسترس و یکی از مناسب‌ترین روش‌های نمایش پاسخ هیدرولوژیک حوضه است و کاربردهای مختلفی در مدیریت منابع آب حوضه دارد. منحنی تداوم جریان، درصد جریان روزانه، ماهانه یا دیگر گام‌های زمانی مربوط به یک دوره تاریخی رودخانه معینی را بیان می‌کند. این منحنی از رسم تجمعی دبی رودخانه نسبت به زمان و یا بر حسب احتمال وقوع به‌دست می‌آید و به‌طور مکرر برای مقایسه رژیم جریان حوضه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (Alizadeh, ۲۰۰۷). تاریخچه مطالعه جامع بر روی منحنی تداوم جریان به مطالعات سارسی<sup>۱</sup> در سال ۱۹۵۹ میلادی، بر می‌گردد (Smakhtin, ۲۰۰۱). امروزه استفاده از این منحنی در گرایش‌های مختلف هیدرولوژی و علوم وابسته فراگیر شده است که از جمله می‌توان به پژوهش‌های (Bailey و Bass, ۲۰۰۹؛ Rojanamon و همکاران، ۲۰۰۹؛ Liucci و همکاران، ۲۰۱۴؛ Reichl و همکاران، ۲۰۱۷؛ Swain و Patra, ۲۰۱۷) در ارتباط با تولید انرژی برق آبی، طراحی و مکان‌یابی سامانه‌های آبی و برآورد جریان روزانه رودخانه اشاره کرد. از دیگر موارد کاربرد این منحنی، استفاده آن در برنامه‌ریزی منابع آب، از جمله تأمین آب شرب، کشاورزی، پرورش ماهی و پژوهش-های مرتبط با حفاظت از اکوسیستم است (Hisdal و همکاران، ۲۰۰۴؛ Blumenfeld و همکاران، ۲۰۰۹؛ Lee و همکاران، ۲۰۱۳؛ Dario و همکاران، ۲۰۱۳). یکی دیگر از موارد کاربرد منحنی تداوم جریان،

<sup>۱</sup> Searcy

جدیدی به نام شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی - زیست محیطی به‌وسیله Eslami و Shokohi (۲۰۱۳) مورد تحلیل قرار گرفته است. شاخص مذکور در واقع مبتنی بر قابلیت‌های مهم منحنی تداوم جریان با ویژگی‌های سادگی، قابل فهم و استفاده از داده‌های قابل دسترس تاریخی می‌باشد. 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. مدل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان حوزه‌های آبخیز بدون آمار مناطق خشک ایران مرکزی با استفاده از ۱۱ متغیر فیزیوگرافی و اقلیمی در ۱۱ حوضه منتخب به‌وسیله Zare Chahouki و همکاران (۲۰۱۳)، تعیین و با ضریب تبیین حدود ۰/۸۰ ارائه شده است. تاثیر پارامترهای هندسی و هیدرولوژیکی حوضه بر روی بخش انتهایی منحنی تداوم جریان در تعدادی از حوضه‌های ناحیه خزری به‌وسیله Kazemi و Ghiasi (۲۰۱۶) مورد بررسی قرار گرفت. ایشان روابط رگرسیونی مربوطه را ارائه و روش جدیدی برای مدل‌سازی بخش انتهایی منحنی و تحلیل هیدرولوژیکی شرایط کم آبی حوضه معرفی کردند. تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان در حوزه آبخیز دریاچه نمک با استفاده از ۱۸ متغیر و در ۳۳ ایستگاه آبسنجی به‌وسیله Khosrobeygi-Bozcheloei و Vafakhah (۲۰۱۷) انجام شده است. نتایج ایشان طول آبراهه اصلی را به‌عنوان مهمترین پارامتر تاثیرگذار نشان داد. عوامل مؤثر بر شکل منحنی تداوم جریان در اقلیم‌های مختلف ایران به‌وسیله Kazemi و همکاران (۲۰۱۸) بررسی و مهمترین عوامل تاثیرگذار در هر اقلیم را معرفی شده است. اکثر تحقیقات انجام شده در این موضوع، تاثیر پارامترهای فیزیوگرافیکی و اقلیمی را در منحنی تداوم جریان و در نقاط مختلف دنیا به اثبات رسانیده‌اند، اما تعمیم نتایج از نقطه‌ای به نقطه دیگر به‌دلیل تنوع عوامل تاثیرگذار، مفید نخواهد بود (Cheng و همکاران، ۲۰۱۲). لذا هدف از این پژوهش، تعیین روابط منطقه‌ای شاخص‌های منحنی تداوم جریان در مناطق نیمه‌خشک کشور و بررسی

تداوم جریان به‌وسیله Pugliese و همکاران (۲۰۱۶) در ۱۸۲ حوضه در جنوب شرق آمریکا مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت و نتایج ایشان نشان داد که هر دو روش نتایج مشابهی را در برآورد و پیش‌بینی منحنی تداوم جریان از خود نشان می‌دهند. ترکیب‌های متعدد پارامترهای مختلف فیزیوگرافی و اقلیمی برای ارائه روابط رگرسیونی منحنی تداوم جریان با عوامل منطقه‌ای به‌وسیله Lee و همکاران (۲۰۱۶) در ۱۶ حوضه مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج ایشان نشان داد که مناسب‌ترین ترکیب پارامترها برای پیش‌بینی منحنی تداوم جریان، مساحت، شماره منحنی و بارش متوسط سالانه حوضه می‌باشد. روش‌های هوش مصنوعی و شبکه عصبی برای پیش‌بینی منحنی تداوم جریان به‌وسیله Atieh و همکاران (۲۰۱۷) در ۱۷۱ حوضه واقع در شمال آمریکا مورد استفاده قرار گرفت و دقت برآورد با ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹۰ را گزارش کردند. روش نرمال‌سازی در برآورد منحنی تداوم جریان در ۱۰۹ حوضه کشور ترکیه به‌وسیله Burgan و Aksoy (۲۰۱۸) مورد استفاده قرار گرفت. در خصوص استفاده از شاخص‌های تداوم جریان در تحقیقات داخل کشور می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. رابطه متغیرهای مورفومتریک اقلیمی و فیزیوگرافی حوضه را با دبی‌های متناظر با منحنی تداوم جریان در حوضه واقع در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه به‌وسیله Zeynalı (۲۰۰۳) بررسی و روابط مربوطه ارائه شده است. نتایج ایشان نشان داد که دبی‌های منحنی تداوم جریان با هشت متغیر تراکم زهکشی، مساحت آبخیز، کمینه ارتفاع آبخیز، درجه حرارت، اندیس پوشش برف، متوسط ارتفاع، نفوذپذیری و متوسط بارش سالانه نسبت به سایر پارامترها از همبستگی بیشتری برخوردار است. پهنه‌بندی جریان‌های کمینه و تهیه نقشه پهنه‌بندی خشک‌سالی هیدرولوژیک، در حوزه آبخیز کارون شمالی به‌وسیله Shamaeezadeh و همکاران (۲۰۱۱) مورد اشاره قرار گرفته است. پژوهش مشابهی نیز به‌وسیله Eslamian و همکاران (۲۰۱۲) برای ناحیه‌بندی شاخص‌های جریان کم و تعیین دوره‌های خشک‌سالی در حوضه کرخه با استفاده از منحنی تداوم جریان انجام شده است. وضعیت جریان‌های سطحی رودخانه با استفاده از شاخص

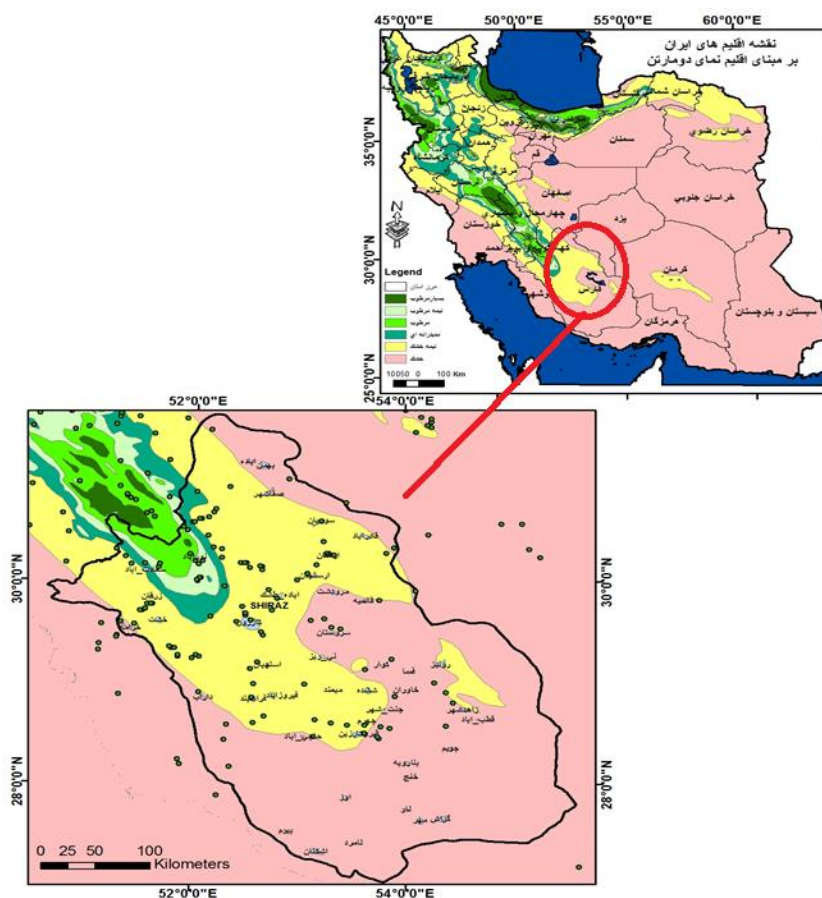
استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تعیین موقعیت ایستگاه‌ها، محدوده مورد پژوهش مشخص و ۱۱ پارامتر فیزیوگرافی موثر بر منحنی تداوم جریان شامل ارتفاع متوسط، مساحت حوضه، ضریب گراولوس، شیب حوضه و طول رودخانه اصلی و پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی شامل بارش سالانه، شاخص جریان پایه (به روش فیلتر رقومی برگشتی دو پارامتره Boughton, ۱۹۹۸)، ضریب افت هیدروگراف جریان، شماره منحنی، نفوذپذیری (با استفاده از دبل رینگ و تکنیک‌های تعمیم) و تعداد روزهای بارانی، برای هر حوضه محاسبه شد. سپس منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های روزانه جریان، ترسیم و درصدهای عدم تجاوز  $Q_2$ ،  $Q_5$ ،  $Q_{10}$ ،  $Q_{15}$ ،  $Q_{20}$ ،  $Q_{50}$ ،  $Q_{75}$ ،  $Q_{80}$  و  $Q_{90}$  محاسبه شد. تحلیل عاملی به منظور انتخاب مهمترین عوامل موثر بر شاخص‌های منحنی تداوم جریان انجام و همگن‌بندی به روش وارد و بر اساس عوامل موثر انتخابی انجام شد.

امکان افزایش دقت مدل‌های رگرسیونی مناطق نیمه‌خشک با استفاده از ترکیب جدید پارامترهای شماره منحنی، نفوذپذیری و تعداد روزهای بارانی، به‌منظور استفاده در مدیریت منابع آب می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** منطقه مورد پژوهش در منطقه اقلیمی نیمه‌خشک کشور، (شکل ۱) واقع شده است که شامل ۴۷ حوضه واقع در محدوده استان فارس، می‌باشد. کد ایستگاه‌های آبرسانی مورد پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

**روش پژوهش:** ابتدا نقشه مناطق اقلیمی کشور (Sharifi, ۲۰۱۶) با نقشه مرز حوضه‌های رتبه چهار تقاطع داده شده و حوضه‌های واقع در منطقه اقلیمی نیمه‌خشک تفکیک شد. سپس با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های آبرسانی واقع در منطقه نیمه‌خشک، تعداد ۴۷ ایستگاه با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۵۵ انتخاب شد. با



شکل ۱- منطقه مورد پژوهش

جدول ۱- مشخصات عمومی حوضه‌های مورد پژوهش

کد حوضه	رودخانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع متوسط (متر)	کد حوضه	رودخانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع متوسط (متر)
۲۴۲۶۱	فهلپان فهلیان	۵۱/۳	۳۰/۳	۱۶۲۹	۴۳۱۳۲۱	سیونداز	۵۲/۸	۲۹/۹	۲۰۳۴
۲۴۲۶۲	فهلپان	۵۱/۴	۳۰/۲	۱۳۹۹	۴۳۱۳۲۳	سرپنیران	۵۳/۵	۳۰/۰	۲۲۲۲
۲۵۲۲۴	شکستیان	۵۱/۵	۲۹/۷	۱۲۵۴	۴۳۱۳۲۴	سیوند	۵۳/۲	۳۰/۱	۲۵۸۸
۲۵۲۲۵	شاپور	۵۱/۵	۲۹/۷	۱۳۳۱	۴۳۱۳۲۵	عیاقلو	۵۳/۲	۳۰/۵	۲۶۹۹
۲۵۲۳۳	دالکی	۵۱/۹	۲۹/۲	۱۶۵۴	۴۳۱۳۲۶	شادکام	۵۲/۹	۳۰/۵	۲۷۶۹
۲۵۲۳۴	فراشبند	۵۱/۹	۲۹/۲	۱۵۰۶	۴۳۱۳۳۱	دشمن‌زیاری	۵۲/۸	۲۹/۹	۲۲۸۹
۲۵۲۳۵	جره	۵۲/۰	۲۹/۳	۱۸۷۸	۴۳۱۳۳۲	دشمن‌زیاری	۵۲/۸	۲۹/۸	۲۲۰۵
۲۵۲۳۷	پریشان	۵۱/۸	۲۹/۵	۱۱۴۷	۴۳۱۳۳۳	دشمن	۵۲/۶	۳۰/۲	۲۳۹۲
۲۶۱۳۴	فیروزآباد	۵۲/۷	۲۸/۷	۱۸۹۷	۴۳۱۳۴۱	کر	۵۲/۳	۳۰/۳	۲۳۴۳
۲۶۱۳۵	فیروزآباد بالا	۵۲/۵	۲۸/۹	۲۰۶۲	۴۳۱۳۴۲	کر	۵۲/۳	۳۰/۳	۲۴۸۷
۲۶۱۳۶	حنیفقان	۵۲/۵	۲۹/۲	۲۳۲۴	۴۳۱۳۵۱	شور و شیرین	۵۲/۰	۳۰/۶	۲۵۸۹
۲۶۱۶۱	شورچهرم	۵۳/۲	۲۸/۶	۱۶۷۳	۴۳۱۳۵۲	کر	۵۲/۰	۳۰/۶	۲۴۳۶
۲۶۱۶۲	شور قطب‌آباد	۵۳/۶	۲۸/۶	۱۶۹۰	۴۳۱۳۶۱	کال‌شان‌نشین	۵۲/۱	۳۰/۶	۲۴۸۵
۲۶۱۶۳	چهرم	۵۳/۶	۲۸/۶	۱۷۲۹	۴۳۱۳۶۲	آب بالنگان	۵۲/۱	۳۰/۶	۲۶۴۶
۲۶۱۶۵۱	فسا	۵۳/۸	۲۸/۸	۱۸۶۷	۴۳۱۳۷	بسته بکان	۵۲/۳	۳۰/۴	۲۵۸۳
۲۶۱۶۶۱	جعفری	۵۳/۸	۲۸/۸	۱۹۲۵	۴۳۲۱۱	پل فسا	۵۲/۷	۲۹/۵	۲۰۷۴
۲۶۱۷۱۱	پایاب سیمکان	۵۳/۲	۲۸/۶	۱۶۸۵	۴۳۲۱۲	پل فسا	۵۲/۷	۲۹/۴	۲۰۵۲
۲۶۱۷۱۲	سراب سیمکان	۵۲/۸	۲۸/۸	۲۰۵۵	۴۳۲۱۳	باباحاجی کوار	۵۲/۶	۲۹/۵	۲۰۵۴
۲۶۱۷۲	پایاب قره آغاج	۵۳/۲	۲۸/۷	۱۷۵۳	۴۳۲۱۴	کوار مهار لو	۵۲/۶	۲۹/۴	۱۹۵۹
۲۶۱۷۳	قره آغاج خفر	۵۳/۳	۲۸/۹	۱۹۲۹	۴۳۲۲	نظرآباد	۵۳/۰	۲۹/۳	۲۰۵۶
۲۶۱۷۴	قره آغاج کوار	۵۲/۹	۲۹/۱	۱۹۸۴	۴۳۲۳	گشنگان	۵۲/۹	۲۹/۵	۱۷۸۶
۲۶۱۷۵	قره آغاج	۵۲/۶	۲۹/۲	۲۳۰۴	۴۳۲۴	گشنگان	۵۲/۸	۲۹/۴	۱۵۳۹
۲۶۱۷۶	زاخرد	۵۲/۲	۳۰/۷	۲۲۱۵	۴۴۲۴۲۲	سراب چاهک	۵۴/۴	۲۸/۹	۲۲۶۵
۴۳۱۱۱۳	جمال‌آباد	۵۳/۰	۳۰/۰	۲۲۳۵	-----	-----	-----	-----	-----

واریماکس<sup>۲</sup> که روش مناسب و استاندارد برای ساده کردن ساختار عامل‌ها و به بیشینه رساندن رابطه همبستگی بین متغیرها می‌باشد، دوران یافت. با توجه به این که ۱۱ متغیر فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی برای حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه، واحدهای متفاوتی داشتند، متغیرهای مورد نظر، به‌صورت استاندارد شده مورد تحلیل قرار گرفتند. سپس با استفاده از روش مدل رگرسیونی، ماتریس امتیازات عاملی استخراج شد. برای تعیین متغیرهایی که خروج آن‌ها از مدل تجزیه عاملی به روند بهتر شدن کیفیت تجزیه عاملی کمک می‌کند، از ماتریس همبستگی آنتی ایمج<sup>۳</sup> و آماره کفایت اندازه داده‌ها (MSA)<sup>۴</sup> استفاده شد. پس از انتخاب متغیرهای مهم، تجزیه عاملی بر اساس این متغیرها صورت گرفته، مهمترین پارامترها به‌عنوان

سپس روابط رگرسیونی شاخص‌های منحنی تداوم جریان با پارامترهای هیدرولوژیکی و هندسی حوضه‌ها در سطوح معنی‌دار کمتر از یک درصد تعیین شد. پس از آن دقت مدل‌های استخراج شده با استفاده از ایستگاه‌های شاهد محاسبه شد. همچنین، مدل‌های استخراج شده پس از بررسی میزان دقت و نیز خطای برآوردی آن‌ها، بر اساس معیارهای ضریب همبستگی و معیار کارایی نش-ساتکلیف و بررسی اعتبار مدل‌ها به روش‌های آزمون استقلال خطاها و بررسی نرمال بودن توزیع خطاها انجام شد. سرانجام به لحاظ آماری با توجه به سطوح معنی‌داری کمتر از یک درصد مناسب‌ترین مدل‌ها انتخاب شدند.

**تجزیه و تحلیل عاملی:** در این پژوهش، روش تجزیه و تحلیل عاملی به روش (PCA)<sup>۱</sup> با استفاده از نرم‌افزار SPSS به‌کار برده شد. محورهای عاملی با روش

<sup>۲</sup> Varimax rotation<sup>۳</sup> Anti-image<sup>۴</sup> Measure of Sampling Adequacy<sup>۱</sup> Principal Component Analysis

معیار ارزیابی مدل: خطای میانگین مربعات ( $MSE^1$ ) و ضریب کارایی نش-ساتکلیف ( $NSE^2$ ) دو معیاری هستند که برای ارزیابی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. معیار  $NSE$  اولین بار به وسیله Nash و Sutcliffe (۱۹۷۰) به کار گرفته شد.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_{s,t} - X_{0,t})^2 \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (X_{s,t} - X_{0,t})^2}{\sum_{t=1}^n (X_{0,t} - \mu_0)^2} = 1 - \frac{MSE}{\sigma_0^2} \quad (3)$$

که در آن،  $X_{s,t}$  مقادیر برآورد شده و  $X_{0,t}$  مقادیر مشاهداتی،  $n$  تعداد نمونه‌ها،  $\mu$  میانگین و  $\sigma_0^2$  واریانس داده‌های مشاهداتی هستند. خطای متوسط  $MSE$  به واحد متغیرهای پیش‌بینی وابسته است و از صفر شروع می‌شود، در حالی که  $NSE$  بدون بعد است و به یک ختم می‌شود (از منفی بی‌نهایت تا "یک"، به طوری که عدد "یک" مربوط به مدلی است که کاملاً با واقعیت مطابقت دارد). در این پژوهش برای ارزیابی مدل تعداد نه حوضه به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد.

### نتایج و بحث

نتایج تقاطع نقشه‌های مرز حوضه‌ها با نقشه اقلیمی مناطق نیمه‌خشک، نشان داد که حدود ۲۳/۷۵ درصد، از حوزه‌های آبخیز رتبه چهار کشور در این منطقه اقلیمی واقع شده‌اند. همچنین، حوضه‌های واقع در این منطقه اقلیمی در شمال شرق، غرب و شمال غرب کشور پراکنده و در بخش‌هایی از استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی، گلستان، فارس، مرکزی، همدان، قزوین، زنجان، آذربایجان شرقی و غربی، ایلام، لرستان و کرمانشاه گسترش دارند. وسعت و تعداد حوضه‌های واقع در این اقلیم، پژوهش بر روی شاخص‌های منحنی تداوم جریان در این منطقه را حائز اهمیت می‌کند. منحنی تداوم جریان حوزه‌های آبخیز منتخب با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های آبسنجی استخراج شد. شاخص‌های مستخرج از منحنی تداوم جریان برای هر یک از حوزه‌های آبخیز در جدول ۲ ارائه شده است.

عوامل مستقل مشخص و مورد تحلیل قرار گرفت. سپس روابط بین عامل وابسته شاخص منحنی تداوم جریان ( $Q_{FDC}$ ) با سایر عوامل مستقل، با استفاده از روش رگرسیونی رابطه (۱) مورد بررسی قرار گرفت.

$$Q_{FDC} = aMr + bHc + C \quad (1)$$

که در آن،  $Mr$  عامل مورفومتری،  $Hc$  عامل هیدرواقلمی و پارامترهای  $a$  و  $b$  و ضرایب ثابت  $C$  و  $c$  ضرایب ثابت رابطه هستند.

**بررسی اعتبار مدل‌ها:** انجام هر مدل رگرسیونی، مستلزم فرضیاتی از قبیل مستقل بودن خطاها از یکدیگر، نرمال بودن توزیع خطاها و پایین بودن میزان هم‌خطی بین متغیرهای مستقل است و تا زمانی که این مفروضات برقرار نباشد، اعتبار رگرسیون خدشه‌دار خواهد بود.

**آزمون استقلال خطاها:** خطا عبارت است از تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده. برای بررسی استقلال خطاها از همدیگر، از آزمون دوربین-واتسون استفاده شد. اگر همبستگی بین خطاها به  $P$  نشان داده شود، در این صورت آماره دوربین-واتسون به کمک رابطه  $DW = 2(1 - P)$  محاسبه می‌شود.

اگر  $P=0$  آنگاه مقدار آماره  $DW=2$  خواهد بود که نشانه عدم همبستگی خطاها است.

اگر  $P=1$  باشد، آنگاه آماره  $DW=0$  خواهد بود که نشان می‌دهد، خطاها دارای خود همبستگی مثبت هستند.

اگر  $P=-1$  باشد، آنگاه مقدار آماره  $DW=4$  خواهد بود که نشانه همبستگی منفی بین خطاها است.

از آنجایی که فرض  $H_0$  بر عدم همبستگی بین خطاها تأکید دارد، چنانچه این آماره در بازه  $1/5$  تا  $2/5$  قرار گیرد، فرض  $H_0$  پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت فرض  $H_0$  رد می‌شود، یعنی بین خطاها همبستگی وجود دارد.

**بررسی نرمال بودن خطاها:** به‌منظور بررسی نرمال بودن خطاها، مقادیر استاندارد خطاها محاسبه و نمودار توزیع داده‌ها و نمودار نرمال آن‌ها رسم شد. توجه به میزان میانگین و انحراف معیار خطاها برای بررسی اعتبار روابط لازم است.

<sup>1</sup> Mean Squared Error

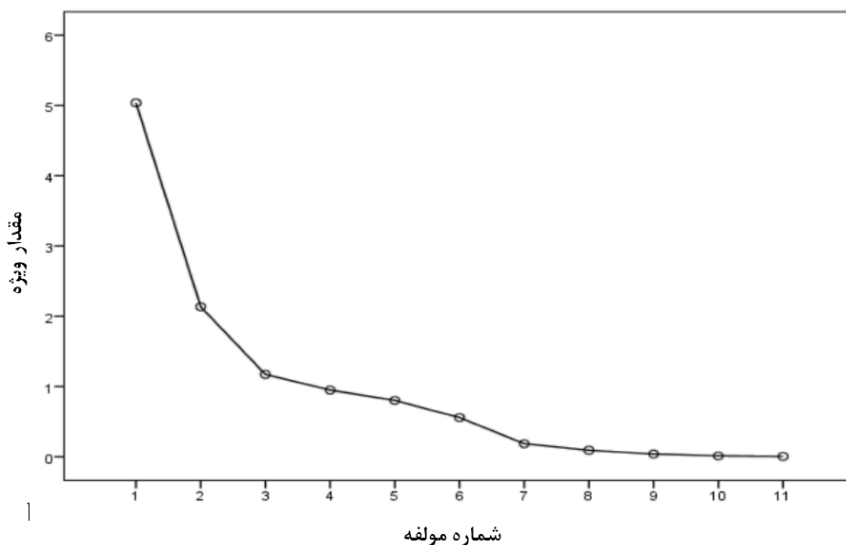
<sup>2</sup> Nash-Sutcliffe Efficiency

جدول ۲- دبی‌های حاصل از منحنی تداوم جریان با احتمال وقوع مشخص (متر مکعب بر ثانیه)

Q <sub>90</sub>	Q <sub>80</sub>	Q <sub>75</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>2</sub>	
۲۷/۱	۲۳/۸	۵۲/۰	۴۱/۰	۴۷/۲	۹۵/۷	۹۴/۵	۹۲/۴	۲۴۲۶۱
۲۴/۸	۲۳/۵	۳۸/۰	۵۲/۰	۴۶/۰	۹۵/۷	۹۴/۰	۹۲/۳	۲۴۲۶۲
۳۶/۱	۲۹/۷	۲۵/۹	۳۲/۳	۵۷/۴	۸۷/۴	۸۸/۵	۸۶/۹	۲۵۲۲۴
۳۷/۳	۲۹/۰	۲۶/۴	۳۱/۳	۵۴/۷	۸۴/۴	۸۵/۳	۸۵/۵	۲۵۲۲۵
۴۳/۶	۳۴/۵	۳۰/۶	۴۱/۳	۷۱/۰	۹۸/۰	۹۶/۶	۹۶/۲	۲۵۲۳۳
۴۲/۰	۳۰/۸	۲۹/۵	۳۵/۹	۶۹/۶	۹۴/۲	۹۳/۴	۹۵/۸	۲۵۲۳۴
۳۳/۰	۲۶/۹	۲۴/۹	۳۲/۹	۵۸/۱	۷۸/۱	۷۵/۱	۷۴/۴	۲۵۲۳۵
۳۸/۸	۲۵/۷	۲۴/۴	۳۰/۵	۶۳/۴	۷۶/۹	۷۶/۶	۷۵/۵	۲۵۲۳۷
۴۴/۱	۳۳/۲	۳۶/۳	۴۵/۲	۶۸/۸	۹۳/۱	۹۳/۵	۹۷/۴	۲۶۱۳۴
۳۴/۳	۳۰/۱	۲۸/۴	۳۵/۶	۶۴/۰	۸۹/۶	۸۵/۱	۸۸/۲	۲۶۱۳۵
۳۶/۸	۳۰/۵	۲۴/۶	۳۷/۹	۶۴/۳	۹۴/۲	۹۰/۷	۹۳/۹	۲۶۱۳۶
۴۰/۰	۳۶/۵	۳۴/۵	۹۵/۹	۹۴/۷	۹۴/۹	۹۴/۸	۹۴/۹	۲۶۱۶۱
۴۸/۷	۴۱/۳	۳۸/۵	۴۸/۸	۷۹/۶	۹۳/۷	۹۷/۱	۹۳/۵	۲۶۱۶۲
۵۴/۴	۴۵/۲	۴۸/۷	۵۸/۷	۸۶/۶	۹۳/۱	۹۵/۵	۹۶/۶	۲۶۱۶۳
۴۴/۹	۳۸/۰	۳۳/۶	۴۶/۹	۷۹/۰	۹۷/۵	۹۵/۶	۹۶/۳	۲۶۱۶۵۱
۵۶/۶	۵۵/۵	۴۷/۱	۶۷/۱	۹۳/۷	۹۴/۵	۹۷/۳	۹۳/۲	۲۶۱۶۶۱
۴۲/۴	۳۴/۳	۲۹/۷	۴۲/۹	۷۶/۰	۹۴/۳	۹۲/۰	۹۳/۸	۲۶۱۷۱۱
۴۳/۵	۳۶/۹	۳۱/۰	۴۷/۲	۸۰/۲	۹۵/۶	۹۵/۵	۹۵/۵	۲۶۱۷۱۲
۶۵/۲	۵۳/۴	۵۲/۱	۵۸/۵	۸۳/۳	۹۷/۹	۹۳/۴	۹۶/۹	۲۶۱۷۲
۳۹/۸	۳۴/۴	۳۶/۷	۴۵/۲	۷۸/۴	۹۷/۵	۹۴/۲	۹۳/۹	۲۶۱۷۳
۳۳/۸	۲۹/۷	۳۰/۲	۳۷/۹	۶۹/۸	۹۵/۱	۹۰/۸	۹۲/۵	۲۶۱۷۴
۳۶/۳	۲۸/۴	۲۷/۰	۳۵/۶	۶۵/۶	۹۴/۹	۹۲/۷	۹۴/۷	۲۶۱۷۵
۴۰/۰	۳۶/۱	۳۵/۴	۴۸/۹	۸۰/۹	۹۶/۲	۹۵/۸	۹۵/۷	۲۶۱۷۶
۳۴/۷	۳۱/۶	۳۰/۷	۳۵/۹	۵۶/۳	۸۳/۶	۷۹/۶	۸۰/۵	۴۳۱۱۱۳
۴۷/۲	۴۰/۶	۳۸/۰	۴۳/۸	۷۲/۱	۹۷/۵	۹۳/۵	۹۷/۳	۴۳۱۳۲۱
۳۵/۵	۳۲/۳	۳۱/۲	۳۶/۴	۵۷/۸	۸۵/۷	۸۱/۹	۸۲/۹	۴۳۱۳۲۳
۴۲/۹	۴۰/۷	۳۷/۴	۴۵/۶	۷۴/۹	۹۶/۱	۹۳/۶	۹۴/۲	۴۳۱۳۲۴
۳۵/۳	۳۶/۰	۳۴/۶	۳۸/۲	۶۰/۴	۹۵/۰	۹۳/۰	۹۲/۵	۴۳۱۳۲۵
۴۲/۵	۴۴/۲	۴۴/۴	۴۳/۰	۷۳/۶	۹۶/۱	۹۵/۱	۹۵/۶	۴۳۱۳۲۶
۳۷/۹	۳۴/۰	۳۴/۷	۳۹/۳	۶۴/۴	۹۲/۰	۹۰/۴	۹۰/۰	۴۳۱۳۳۱
۳۹/۳	۳۵/۴	۳۱/۶	۳۶/۴	۶۵/۴	۹۴/۹	۹۶/۷	۹۳/۵	۴۳۱۳۳۲
۴۰/۷	۳۷/۱	۳۳/۸	۴۱/۳	۶۸/۴	۹۷/۰	۹۶/۲	۹۵/۴	۴۳۱۳۳۳
۳۰/۰	۲۷/۹	۲۶/۸	۳۲/۹	۵۴/۲	۸۶/۸	۸۳/۰	۸۴/۰	۴۳۱۳۴۱
۳۱/۷	۲۹/۳	۲۸/۸	۳۳/۰	۵۲/۹	۹۰/۱	۸۷/۴	۸۷/۸	۴۳۱۳۴۲
۲۹/۵	۲۹/۸	۲۸/۷	۳۱/۳	۴۷/۴	۸۸/۱	۸۴/۷	۸۶/۲	۴۳۱۳۵۱
۲۹/۶	۳۰/۰	۲۹/۲	۳۳/۲	۴۸/۴	۸۱/۶	۷۷/۵	۷۸/۱	۴۳۱۳۵۲
۳۱/۴	۳۳/۴	۳۲/۳	۳۵/۹	۵۱/۳	۸۹/۳	۸۵/۴	۸۶/۵	۴۳۱۳۶۱
۳۵/۵	۳۵/۸	۳۴/۳	۳۸/۱	۶۰/۵	۹۴/۵	۹۲/۳	۹۲/۹	۴۳۱۳۶۲
۳۲/۷	۳۱/۷	۳۱/۳	۳۵/۲	۵۳/۶	۸۲/۹	۷۹/۰	۷۹/۷	۴۳۱۳۷
۳۲/۳	۲۹/۵	۳۰/۰	۳۴/۳	۶۰/۱	۹۵/۴	۹۳/۷	۹۳/۷	۴۳۲۱۱
۳۵/۸	۳۱/۵	۳۰/۹	۳۵/۸	۴۰/۰	۹۷/۲	۹۶/۲	۹۴/۷	۴۳۲۱۲
۳۶/۵	۳۲/۲	۳۰/۸	۳۶/۷	۵۹/۰	۸۵/۸	۸۱/۹	۸۲/۹	۴۳۲۱۳
۳۵/۷	۳۰/۸	۲۹/۶	۳۵/۷	۵۶/۹	۸۱/۸	۷۷/۴	۷۸/۵	۴۳۲۱۴
۳۹/۱	۳۴/۹	۳۲/۶	۳۸/۹	۶۵/۰	۹۴/۱	۹۱/۵	۹۲/۵	۴۳۲۲
۳۲/۹	۲۷/۱	۲۹/۷	۳۲/۷	۵۰/۴	۷۰/۹	۶۵/۶	۶۶/۶	۴۳۲۳
۳۷/۱	۲۹/۳	۲۸/۰	۳۵/۳	۵۷/۴	۷۸/۵	۷۳/۶	۷۴/۸	۴۳۲۴
۴۱/۸	۳۹/۹	۴۲/۵	۵۱/۲	۷۶/۸	۹۰/۳	۸۹/۳	۸۸/۹	۴۴۲۴۲۲

شد. تصویر گرافیکی مقادیر ویژه در هر یک از عامل-های استخراج شده در شکل ۲ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشخص است، مقدار واریانس توجیه شده (مقدار ویژه) با استخراج عامل‌های سوم به بعد، سریعاً افت می‌کند.

در نتیجه فرایند تجزیه و تحلیل عاملی و پس از بررسی ماتریس همبستگی و جدول اشتراک استخراجی، پارامتر ضریب شکل به دلیل پایین بودن اشتراک استخراجی (۰/۲۳۳) و همبستگی شدید داخلی با برخی عوامل از فرایند تحلیل عاملی حذف



شکل ۲- نمودار تغییرات مقادیر ویژه در ارتباط با عامل‌های استخراج شده

بالای تأثیرگذاری به‌عنوان موثرترین پارامترها شناخته شدند. وزن درصد تغییرات عوامل شماره منحنی، بارش، ضریب افت منحنی هیدروگراف، شاخص جریان پایه و تعداد روزهای بارانی با مقدار ویژه پنج، در مرتبه اول تأثیرگذاری قرار دارند. پارامترهای عامل اول شامل بارش، تعداد روزهای بارانی و شماره منحنی از طریق تأمین ورودی سامانه حوزه آبخیز و تسهیل در انتقال ورودی به رودخانه، بر روی تداوم جریان تأثیرگذار هستند. همراهی پارامترهای نفوذپذیری و شیب در قالب عامل دوم با مقدار ویژه ۲/۲ و وزن تأثیرگذاری برابر نشان‌دهنده ارتباط ذاتی شیب با نفوذپذیری در حوضه‌های کوهستانی منطقه نیمه‌خشک کشور می‌باشد. جانمایی پارامترهای فیزیوگرافی حوضه شامل ارتفاع متوسط حوضه، مساحت حوضه و طول رودخانه اصلی در عامل سوم با وزن تأثیرگذاری کمتر از سایر پارامترها، بیانگر تأثیر کمتر عوامل فیزیکی حوضه نسبت به عوامل هیدرولوژیکی، در تأمین و تداوم جریان رودخانه‌ها در مناطق نیمه‌خشک کشور است. برای همگن‌بندی

در این منطقه عوامل موثر بر شاخص‌های منحنی تداوم جریان در قالب سه دسته طبقه‌بندی شدند که ۷۵/۸۷ درصد از واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند (جدول ۳).

جدول ۳- مقادیر واریانس توضیح داده شده در آزمون تحلیل عاملی

عامل	درصد از واریانس	درصد واریانس تجمعی
۱	۴۵/۷۹	۴۵/۷۹
۲	۱۹/۴۲	۶۵/۲۱
۳	۱۰/۶۶	۷۵/۸۷

پارامترهای شماره منحنی، بارش، ضریب افت منحنی هیدروگراف، شاخص جریان پایه و تعداد روزهای بارانی در قالب عامل اول قرار گرفتند. پارامترهای نفوذپذیری و شیب در قالب عامل دوم قرار گرفتند و پارامترهای ارتفاع متوسط حوضه، مساحت حوضه و طول رودخانه اصلی در قالب عامل سوم دسته‌بندی شدند. از میان پارامترهای تحلیل شده، شش پارامتر بارش، شماره منحنی، شیب، تعداد روزهای بارانی، نفوذپذیری و مساحت به دلیل وزن



گروه همگن تقسیم شدند (شکل ۳). برای اعتباریابی گروه‌های همگن، روش تابع تشخیص مورد استفاده قرار گرفت و بعد از چهار بار تعویض گروه‌ها بر مبنای ارزیابی مدل، میزان دقت مدل برابر ۱۰۰ درصد شد. جدول ۵ حوضه‌های واقع در هر یک از مناطق همگن را نشان می‌دهد.

مناطق موردنظر، از تحلیل خوشه‌ای و روش وارد با استفاده از پارامترهای انتخابی استفاده شد. برخی مشخصه‌های آماری متغیرهای مستقل انتخابی در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به دندروگرام استخراج شده و بر اساس فاصله اقلیدوسی بین صفر تا پنج، حوضه‌ها به چهار

جدول ۴- متوسط، کمینه و بیشینه عوامل مستقل روابط منطقه‌ای منحنی تداوم جریان در مناطق همگن

آماره	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	شیب متوسط حوضه (درصد)	بارش متوسط سالانه (میلی‌متر)	شماره منحنی	نفوذپذیری متوسط	تعداد روز بارانی
متوسط	۸۴۹/۱۴	۱۷/۴۸	۳۸۰/۹۵	۶۵/۹۰	۹۱/۰۲	۳۳/۸۸
کمینه	۱۶۲/۸۸	۲/۰۰	۱۵۸/۵۸	۵۰/۹۳	۹۷/۹۸	۵۵/۴۷
بیشینه	۲۹۰۵/۲۰	۲۵/۴۵	۷۵۱/۵۷	۷۹/۹۳	۷۰/۹۴	۲۳/۵۴

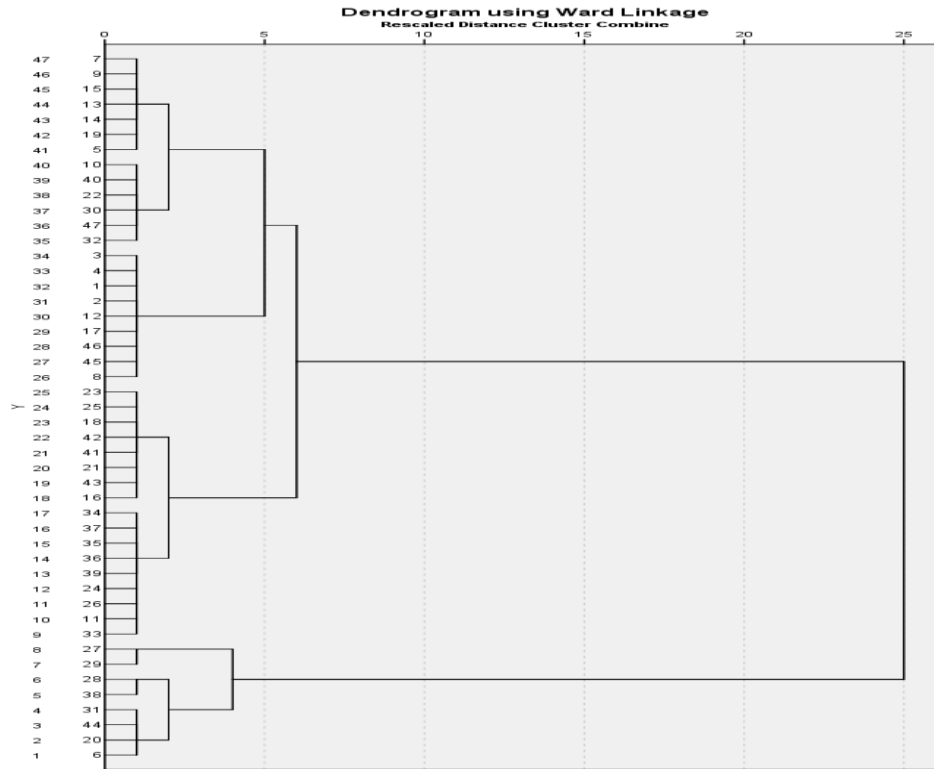
جدول ۵- حوضه‌های انتخابی واقع در هر یک از خوشه‌ها

منطقه همگن	کد ایستگاه‌های آبسنجی
منطقه یک	۴۴۴۲۲-۴۳۱۳۳۱-۲۶۱۷۵-۴۳۲۱۱-۲۶۱۳۵-۲۵۲۲۳-۲۶۱۷۲-۲۶۱۶۳-۲۶۱۶۲-۲۶۱۶۵۱-۲۶۱۳۴-۲۵۲۳۵-۴۳۱۳۳۳
منطقه دو	۲۵۲۳۷-۴۳۲۳۳-۴۳۲۴۴-۲۶۱۷۱۱-۲۶۱۶۱-۲۵۲۲۵-۲۵۲۲۴-۲۴۲۶۲-۲۴۲۶۱-
منطقه سه	۴۳۱۳۵۲-۴۳۱۳۵۱-۴۳۱۳۴۲-۲۶۱۶۶۱-۲۶۱۷۴-۴۳۲۱۴-۴۳۲۱۳-۴۳۲۱۲-۲۶۱۷۱۲-۴۳۱۳۲۱-۲۶۱۷۶-۴۳۱۳۴۱-۲۶۱۳۶-۴۳۱۳۲۱-۴۳۱۱۱۳-۴۳۱۳۱-۴۳۱۳۶۱
منطقه چهار	۲۵۲۳۴-۲۶۱۷۳-۴۳۲۲۲-۴۳۱۳۳۲-۴۳۱۳۶۲-۴۳۱۳۲۶-۴۳۱۳۲۵-۴۳۱۳۲۴

استفاده شد. جدول ۱۰، خلاصه اجرای آزمون دوربین-واتسون را نشان می‌دهد. این خروجی‌ها، آماره برآوردی به‌وسیله رگرسیون، خطاها (باقی‌مانده)، مقادیر برآوردی استاندارد شده و خطای (باقی‌مانده) استاندارد شده را نشان می‌دهد. میانگین مقدار آماره دوربین-واتسون برای کلیه شاخص‌ها در این پژوهش در فاصله ۱/۵ تا ۲/۵ قرار دارد که اعتبار استفاده از مدل‌ها را تأیید می‌کند. با مقایسه نمودار توزیع فراوانی خطاها و نمودار توزیع نرمال، مشاهده شد که توزیع خطاها برای تمامی شاخص‌ها تقریباً نرمال است. همچنین، مقدار میانگین بسیار کوچک (نزدیک به صفر) و انحراف معیار آن نیز تقریباً یک است. شکل ۴، به‌عنوان نمونه، نمودار توزیع خطاها برای شاخص  $Q_{90}$  را نشان می‌دهد.

**روابط رگرسیونی برآورد شاخص‌های منحنی تداوم جریان:** روابط استخراجی با دخالت زیرحوضه‌های هر منطقه، نشان داد که مقادیر شاخص‌ها در برابر پارامترهای هیدرولوژیکی و هندسی حوضه، همبستگی معنی‌داری را در سطح کمتر از یک درصد دارد که به‌صورت مدل‌های رگرسیونی چند متغیره با استفاده از روش گام به گام<sup>۱</sup> در جداول ۶ تا ۹ ارائه شده است. پارامترهای مورد استفاده در روابط مربوطه،  $Aahlg$  مساحت،  $S$  شیب متوسط حوضه،  $P$  بارش متوسط سالانه،  $CN$  شماره منحنی،  $IR$  نفوذپذیری متوسط حوضه،  $NR$  متوسط تعداد روزهای بارانی سال در دوره مطالعه هستند. برای بررسی اعتبار استفاده از رگرسیون‌ها از روش آزمون استقلال خطاها و بررسی نرمال بودن خطاها

<sup>1</sup> Stepwise



شکل ۳- نمودار خوشه‌ای بر اساس عوامل مستقل

جدول ۶- روابط برای منطقه همگن یک

روابط	ضریب تعیین	خطای نسبی (درصد)	نشان سائکلیف
$Q_2 = A \times (-0.001) + \%S \times 0.177 + P \times 0.007 + CN \times 1.083 + IR \times 0.495 + NR \times (-0.478) - 16.306$	۰/۹۵	۰/۰۲	۰/۹۸۷
$Q_5 = A \times (-0.001) + \%S \times 0.025 + P \times 0.011 + CN \times 0.962 + IR \times 0.476 + NR \times (-0.369) - 9.215$	۰/۸۹	۰/۰۵	۰/۹۸
$Q_{10} = A \times (-2.247 \times 10^{-5}) + \%S \times (-0.002) + CN \times (-0.002) + IR \times 1 + NR \times (-0.002) - 0.162$	۰/۹۱	۰/۰۴	۰/۹۹
$Q_{15} = A \times (-0.006) + \%S \times 0.021 + P \times 0.003 + CN \times 0.025 + IR \times 0.859 + NR \times 0.138 + 10.138$	۰/۸۸	۰/۰۳۶	۰/۹۹
$Q_{20} = A \times 0.008 + \%S \times (-0.502) + P \times (-0.013) + CN \times 1.624 + IR \times (-0.809) + NR \times (-0.0055) + 41.691$	۰/۷۹	۰/۱۱	۰/۹۶
$Q_{50} = A \times 0.004 + \%S(-0.125) + P \times (-0.022) + CN \times 1.293 + IR \times (-0.694) + NR \times 0.099 + 21.125$	۰/۵۷	۰/۲۰	۰/۸۹
$Q_{75} = A \times 0.001 + \%S \times 0.145 + P \times 0.013 + CN \times 0.896 + IR \times (-0.707) + NR \times 0.740 + 4.730$	۰/۴۴	۰/۲۳	۰/۸۲
$Q_{80} = A \times 2.243 \times 10^{-5} + \%S \times 0.001 + CN \times 0.004 + IR \times 0.002 + NR \times 0.993 - 0.176$	۰/۹۹	۰/۲۷	۰/۹۹
$Q_{90} = A \times (-0.005) + \%S \times 0.331 + P \times (-0.025) + CN \times 0.361 + IR \times 0.149 + NR \times 0.632 - 12.735$	۰/۷۴	۰/۶۱	۰/۹۳

جدول ۷- روابط برای منطقه همگن دو

روابط	ضریب تعیین	خطای نسبی (درصد)	نشان سائکلیف
$Q_2 = A \times 0.011 + \%S \times 0.057 + P \times (-0.022) + CN \times 0.366 + IR \times 0.793 + NR \times (-0.544) + 12.652$	۰/۷۷	۰/۰۴	۰/۸۲
$Q_5 = A \times 0.017 + \%S \times (-0.030) + P \times (-0.019) + CN \times 1.003 + IR \times 0.419 + NR \times (-1.169) + 21.369$	۰/۵۱	۰/۰۶	۰/۸۸
$Q_{10} = A \times 5.643 \times 10^{-6} + \%S \times (-0.002) + P \times 0.0001 + CN \times 0.005 + IR \times 1.002 + NR \times (-0.019) + 0.3$	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۹۱
$Q_{15} = A \times (-0.011) + \%S \times (-0.077) + P \times 0.020 + CN \times (-0.711) + IR \times 1.097 + NR \times 1.619 - 14.118$	۰/۶۳	۰/۰۶	۰/۹۹
$Q_{20} = A \times (-0.012) + \%S \times 0.048 + P \times (-0.024) + CN \times 3.052 + IR \times (-1.087) + NR \times (-1.028) + 11.625$	۰/۷۹	۰/۰۹	۰/۹۲
$Q_{50} = A \times (-0.020) + \%S \times (-0.099) + P \times 0.388 + CN \times 8.411 + IR \times (-7.010) + NR \times 5.933 - 204.953$	۰/۷۲	۱۵/۳	۰/۹۳
$Q_{75} = A \times (-0.012) + \%S \times (-0.189) + P \times 0.001 + CN \times 0.471 + IR \times 0.775 + NR \times (-1.671) - 7.962$	۰/۶۷	۳/۵	۰/۹۶
$Q_{80} = A \times 1.541 \times 10^{-5} + \%S \times 0.003 + P \times 0.0001 + CN \times (-0.004) + IR \times 0.001 + NR \times 0.996 + 0.269$	۰/۹۳	۰/۰۰۲	۱
$Q_{90} = A \times 0.006 + \%S \times (-0.010) + P \times (-0.087) + CN \times (0.145) + IR \times 0.591 + NR \times (-1.370) + 69.373$	۰/۷۳	۰/۵۱	۰/۹۷

جدول ۸- روابط برای منطقه همگن سه

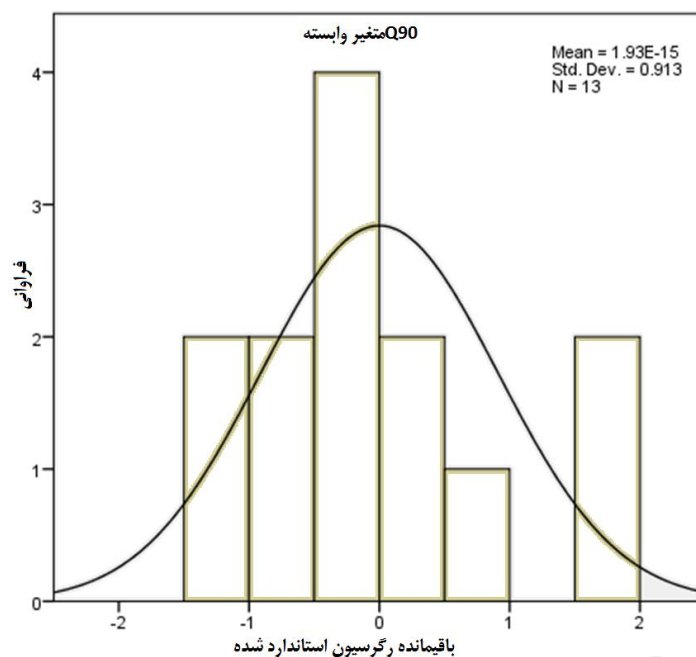
روابط	ضریب تعیین	خطای نسبی (درصد)	نشان سائکلیف
$Q_2 = A \times (-0.003) + \%S \times 0.003 + P \times 0.017 + CN \times 0.471 + IR \times 0.851 + NR \times (-0.092) - 20.924$	۰/۹۴	۰/۰۲	۰/۹۹
$Q_5 = A \times 0.004 + \%S \times (-0.054) + P \times (-0.006) + CN \times 0.1 + IR \times 1.045 + NR \times 0.094 - 15.003$	۰/۹۵	۰/۰۳۲	۰/۹۷
$Q_{10} = A \times 0.0001 + \%S \times (-8.218 \times 10^{-5}) + P \times 0.001 + CN \times 0.015 + IR \times 0.994 + NR \times (-0.003) - 0.449$	۰/۹۹	۰/۰۰۴	۰/۹۵
$Q_{15} = A \times 0.003 + \%S \times 0.056 + P \times (-0.029) + CN \times 0.267 + IR \times 0.507 + NR \times (-0.230) + 43.567$	۰/۷۵	۰/۰۳۱	۰/۹۹
$Q_{20} = A \times 0.003 + \%S(-0.101) + P \times 0.063 + CN \times 6.871 + IR \times (-3.947) + NR \times (-1.936) + 16.854$	۰/۸۶	۰/۱۱	۰/۹۷
$Q_{50} = A \times 0.004 + \%S(-0.136) + P \times (-0.001) + CN \times 1.623 + IR \times (-0.842) + NR \times 0.221 + 4.287$	۰/۶۲	۱۰/۷	۰/۹۲
$Q_{75} = A \times 0.001 + \%S(-0.106) + P \times (-0.023) + CN \times (-0.833) + IR \times 0.482 + NR \times 0.974 + 19.178$	۰/۴۴	۰/۳۵	۰/۷۳
$Q_{80} = A \times 1.844 \times 10^{-5} + \%S \times 0.0001 + P \times 0.0001 + CN \times 0.20 + IR \times (-0.013) + NR \times 0.991 + 0.049$	۰/۹۶	۲/۵	۰/۲۰
$Q_{90} = A \times (-0.007) + \%S \times 0.165 + P \times (-0.011) + CN \times 0.586 + IR(-0.208) + NR \times 0.447 + 7.398$	۰/۶۶	۰/۱۰	۰/۹۱

جدول ۹- روابط برای منطقه همگن چهار

روابط	ضریب تعیین	ضریب همبستگی	ضریب تعیین
$Q_2 = A \times (-0.005) + \%S \times (-1.192) + P \times (-0.038) + CN \times 1.430 + IR \times (-2.652) + NR \times (-0.185) + 218.856$	۰/۵۰	۱۰/۲۳	۰/۹۳
$Q_5 = A \times (-0.006) + \%S \times (-1.155) + P \times 0.012 + CN \times 2.231 + IR \times (-1.130) + NR \times 0.1 + 74.348$	۰/۹۰	۰/۱۸	۰/۹۸
$Q_{10} = A \times 0.0001 + \%S \times (-0.019) + P \times 0.0001 + CN \times 0.018 + IR \times 1 + NR \times (-0.002) - 0.646$	۰/۹۹	۰/۰۰۲	۰/۹۶
$Q_{15} = A \times (-0.004) + \%S \times (-0.454) + P \times 0.018 + CN \times 2.745 + IR \times (-2.652) + NR \times (-0.185) + 174.801$	۰/۴۲	۰/۲۰	۰/۹۸
$Q_{20} = A \times 0.003 + \%S \times 0.733 + P \times (-0.043) + CN \times 1.267 + IR \times 1.603 + NR \times (-0.573) - 156.887$	۰/۵۲	۴/۱۸	۰/۵۴
$Q_{50} = A \times 0.011 + \%S \times 2.069 + P \times 0.019 + CN \times (-2.577) + IR \times 4.688 + NR \times 0.039 - 302.791$	۰/۶۲	۰/۵۰	۰/۹۲
$Q_{75} = A \times (-0.01) + \%S \times (-1.220) + P \times (-0.074) + CN \times 0.842 + IR \times (-0.791) + NR \times 1.127 + 83.671$	۰/۸۵	۲/۰۲	۰/۴۶
$Q_{80} = A \times 2.302 \times 10^{-5} + \%S \times (-0.009) + P \times 0.0001 + CN \times 0.014 + IR \times (-0.013) + NR \times 1 + 0.265$	۰/۹۹	۰/۰۰۳	۰/۹۹
$Q_{90} = A \times 0.002 + \%S \times 0.168 + P \times (-0.017) + CN \times 1.347 + IR \times (-1.602) + NR \times (-0.256) + 106.541$	۰/۸۱	۰/۱۵	۰/۹۹

جدول ۱۰- خلاصه اجرای آزمون دوربین-واتسون

مدل منطقه همگن	ضریب همبستگی	ضریب تعیین	ضریب تعیین تعدیل شده	خطای برآورد استاندارد مدل	ضریب دوربین-واتسون
منطقه یک	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۵	۱/۳۴	۲/۰۱
منطقه دو	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۸۸	۲/۶۶	۲/۳۹
منطقه سه	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۱/۱۸	۱/۸۸
منطقه چهار	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۲	۰/۸۳	۱/۷۲



شکل ۴- نمونه‌ای از توزیع فراوانی خطاها در مدل‌های استخراجی

نمایان شدند. برای بررسی میزان خطای نسبی روابط مناطق همگن، مقادیر مربوط به پارامترهای "نه" حوضه واقع در خارج از منطقه همگن به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. سپس با اجرای رابطه مربوطه برای پارامترهای شاهد، در مجموع متوسط میزان خطای برآوردی برای روابط شاخص‌های منطقه همگن یک به‌میزان ۰/۱۷ درصد به‌دست آمد. به همین روش با در نظر گرفتن ایستگاه شاهد برای منطقه دو، میزان خطای روابط شاخص‌های منطقه دو به میزان ۲/۱۷ درصد، منطقه سه به میزان ۱/۵۳ و برای منطقه چهار ۱/۹۴ درصد به‌دست آمد. نتایج بررسی کارایی مدل‌های استخراجی با استفاده از معیار کارایی نش-ساتکلیف، با توجه به مقادیر مندرج در جدول ۶ تا ۹ نشان داد که در بیشتر مدل‌ها این معیار نزدیک به "یک" است که نمایانگر کارایی و قابلیت استفاده از این مدل‌ها در پیش‌بینی مقادیر شاخص‌های تداوم جریان در حوضه‌های فاقد آمار منطقه پژوهش می‌باشد. جمع‌بندی کلی نتایج آزمون تحلیل عاملی از یک‌سو و مشخصه‌های آزمون‌های آماری و میزان دقت مدل‌های برآوردی از سوی دیگر، مؤید میزان اهمیت و تأثیر ترکیب تعداد روزهای بارانی، شماره منحنی حوضه و نفوذپذیری متوسط حوضه در افزایش دقت برآورد شاخص‌های منحنی تداوم جریان در منطقه پژوهش و علاوه بر آن قابلیت و کارایی مناسب مدل‌های استخراجی در این پژوهش است.

#### تشکر و قدردانی

این پژوهش مستخرج از بخشی از نتایج طرح تحقیقاتی با عنوان ارزیابی پارامترهای هیدرولوژیکی است که در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. بدین وسیله از همراهی و مساعدت مسئولین محترم پژوهشکده تشکر می‌شود.

در بسیاری از مطالعات، در خصوص منطقه‌ای کردن منحنی تداوم جریان از جمله پژوهش‌های انجام شده به‌وسیله Zare Chahouki و همکاران (۲۰۱۳) و Khosrobeygi-Bozcheloei و Vafakhah (۲۰۱۷) از مشخصه‌های هندسی حوضه مانند مساحت، طول رودخانه اصلی، ارتفاع، شیب و مشخصه‌های هیدرولوژیکی مانند متوسط بارش و جریان استفاده شده است که متوسط ضریب نش-ساتکلیف روابط ارائه شده به‌وسیله ایشان ۰/۹۰ و متوسط ضریب تبیین ۰/۷۹ گزارش شده است. همچنین، استفاده از ترکیب نفوذپذیری، مساحت، شیب و بارش، به‌وسیله Yaşar و Baykan (۲۰۱۳) منجر به ارائه روابطی با خطای نسبی ۲۷ تا ۳۷ درصد شده است. به‌کاربردن ترکیب مساحت، طول آبراه اصلی، بارش، شیب و کاربری به‌وسیله Shahnavaaz و همکاران (۲۰۱۵) نیز منجر به ارائه مدل‌هایی با دقت مناسب و ضریب نش-ساتکلیف متوسط ۸۸/۸ در ۱۸ حوزه آبخیز دریاچه نمک شده است، همچنین، ایشان برای افزایش دقت برآورد در مناطق خشک و نیمه‌خشک، توصیه به استفاده از شماره منحنی و نفوذپذیری در پژوهش‌های آینده کرده‌اند. در حالی که در این پژوهش، علاوه بر آن مشخصه‌ها، از ترکیب مولفه‌های تعداد روزهای بارانی، شماره منحنی حوضه و نفوذپذیری متوسط حوضه نیز استفاده شده است. دلیل استفاده از این متغیرها این است که این مولفه‌ها شرایط لازم و تدریجی برای نفوذ آب باران و مشارکت تدریجی جریانات زیرسطحی در جریان رودخانه را فراهم و تداوم جریان رودخانه را تأمین می‌کنند، لذا می‌توانند به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده‌های مناسب برای افزایش دقت برآورد شاخص‌های تداوم جریان در نظر گرفته شوند. همان‌طور که خروجی تحلیل عاملی نشان داد، این عوامل جزء عوامل موثر و پیش‌بینی‌کننده نیز

#### منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, A. 2007. Principal of applied hydrology. 14th Edition, Emamreza University, Mashhad, Iran, 807 pages (in Persian).
2. Atieh, M., G. Taylor, A.M. Sattar and B. Gharabaghi. 2017. Prediction of flow duration curves for ungauged basins. Journal of Hydrology, 545: 383-394.
3. Bailey, T.P. and R.B. Bass. 2009. Hydroelectric feasibility study: an assessment of the feasibility of generating electric power using urban storm water in Oregon City. Oregon Institute of Technology.

4. Blumenfeld, S., C. Lu, T. Christophersen and D. Coates. 2009. Water, wetlands and forests: a review of ecological, economic and policy linkages. Secretariat of the Convention on Biological Diversity and Secretariat of the Ramsar Convention on Wetlands, Montreal and Gland. CBD Technical Series No. 47, 38 pages.
5. Boughton, W.C. 1988. Partitioning streamflow by computer. *Australian Civil Engineering Transactions*, 5: 285-291.
6. Burgan, H.I. and H. Aksoy. 2018. Annual flow duration curve model for ungauged basins. *Hydrology Research*, 49(5): 1684-1695.
7. Castellarin, A., G. Botter, D.A. Hughes, S. Liu, T.B.M. Ouarda, J. Parajka and R.M. Vogel. 2013. Prediction of flow duration curves in ungauged basins. *Runoff Prediction in Ungauged Basins: Synthesis Across Processes, Places and Scales*. University Press, Cambridge, 135-162.
8. Cheng, L., M. Yaeger, A. Viglione, E. Coopersmith, S. Ye and M. Sivapalan. 2012. Exploring the physical controls of regional patterns of flow duration curves, Part 1: Insights from statistical analyses. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16: 4435-4446.
9. Costa, V., W. Fernandez and M. Naghettini. 2014. Regional models of flow-duration curves of perennial and intermittent streams and their use for calibrating the parameters of a rainfall-runoff model. *Hydrological Sciences Journal*, 59(2): 262-277.
10. Dario, P., L.V. Noto and F. Viola. 2013. Eco hydrological modelling of flow duration curve in Mediterranean river basins. *Advances in Water Resources*, 52: 314-327.
11. Eslami, A.R. and A. Shokohi. 2013. Analysis of river flow, using hydrological and environmental index. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 5(2): 125-133 (in Persian).
12. Eslamian, S.S., M. Ghasemi and S. Soltani Gerdefaramarzi. 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, Water and Soil Science*, 59: 1-14 (in Persian).
13. Hisdal, H., L.M. Tallaksen, M.B. Clausen, E. Peters and A. Gus-tard. 2004. Hydrological drought characteristics, in: *Hydrological drought, processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. Edited by: Tallaksen, L.M. and Van Lanen, H.A.J., *Developments in Water Science*, Elsevier Science, 48: 139-198.
14. Kazemi, R. and N.G. Ghiasi. 2016. Investigation of the role of physiographical and hydrological parameters on the shape of flow duration curve, case study: Khazar Region. *Journal of Watershed Management Research*, 7(14): 119-127 (in Persian).
15. Kazemi, R., J. Porhemmat and F. Sharifi. 2018. Investigation and determination of factors affecting the shape of the flow duration curve in different climates of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(1): 85-105 (in Persian).
16. Khosrobeygi-Bozcheloei, S. and M. Vafakhah. 2017. Regional analysis of flow duration curve in Namak Lake Basin, Iran. *Journal of Watershed Management Research*, 7(14): 236-228 (in Persian).
17. Lee, S., J. Kim and J.W. Hur. 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.
18. Lee, T.H., M.H. Lee and J. Yi. 2016. Development of regional regression model for estimating flow duration curves in ungauged basins. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 36(3): 427-437.
19. Liucci, L., D. Valigi and S. Casadei. 2014. A new application of Flow Duration Curve (FDC) in designing run-of-river power plants. *Water Resources Management*, 28(3): 881-895.
20. Merz, B. and G. Blöschl. 2004. Regionalization of catchment model parameters. *Journal of Hydrology*, 287: 95-123.
21. Mohamoud, Y.M. 2008. Prediction of daily flow duration curves and streamflow for ungauged catchments using regional flow duration curves. *Hydrological Sciences Journal*, 53(4): 706-724.
22. Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models. 1. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10: 282-290.
23. Pugliese, A., W.H. Farmer, A. Castellarin, S.A. Archfield and R.M. Vogel. 2016. Regional flow duration curves: geostatistical techniques versus multivariate regression. *Advances in Water Resources*, 96: 11-22.
24. Reichl, F. and J. Hack. 2017. Derivation of flow duration curves to estimate hydropower generation potential in data-scarce regions. *Water*, 9(8): 572-593.
25. Rojanamon, P., T. Chaisomphob and T. Bureekul. 2009. Application of geographical information system to site selection of small run-of-river hydropower project by considering engineering/economic/environmental criteria and social impact. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 2336-2348.

26. Sauquet, E. and C. Catalogne. 2011. Comparison of catchment grouping methods for flow duration curve estimation at ungauged sites in France. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(8): 2421-2443.
27. Sharifi, F. 2016. Assessment of Hydrological parameters in different regions of Iran. Final Report of Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, 117 pages (in Persian).
28. Shahnavaaz, Y., S.F. Mosavi, A. Malekiyan, J. Dastorani and M. Samiee. 2015. Regional analysis of flow duration curve for ungauged sub-basins, case study: Salt Lake Basin, Iran. *Iran Water Research Journal*, 9(3): 18:27-35 (in Persian).
29. Shamaeezadeh, M. and S. Soltani. 2011. Regional analysis of low flow in north Karoon Basin. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Resources, Water and Soil Science*, 18(70): 231-242. (in Persian).
30. Singh, R.D., S.K. Mishra and H. Chowdhary. 2001. Regional flow-duration models for large number of ungauged Himalayan catchments for planning microhydro projects. *Journal of Hydrologic Engineering*, 6(4): 310-316.
31. Smakhtin, V.U. 2001. Low-flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, Elsevier, 240: 147-186.
32. Swain, J.B. and K.C. Patra. 2017. Stream flow estimation in ungauged catchments using regionalization techniques. *Journal of Hydrology*, 554: 420-433.
33. Westerberg, I.K., J.L. Guerrero, P.M. Younger, K.J. Beven, J. Seibert, S. Halldin, J.E. Freer and C.Y. Xu. 2011. Calibration of hydrological models using flow-duration curves. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15: 2205-2227.
34. Yaşar, M. and N.O. Baykan. 2013. Prediction of flow duration curves for ungauged basins with Quasi-Newton method. *Journal of Water Resource and Protection*, 5(01): 97-110.
35. Zare Chahouki, A., A. Salajegheh, M. Mahdavi, S. Khalighi and S. Asadi. 2013. Regional flow duration curve in arid regions for ungauged basins, case study: central Iran. *Journal of Range and Watershed Management (Iranian Journal of Natural Resources)*, 66(2): 251-265 (in Persian).
36. Zeynalı, A.O. 2003. Estimated flow duration curve for the ungauged basin. In: *Proceedings of 1st National Conference on Hydropower Plants, Tehran* (in Persian).

## Investigating and presenting regional relationships of flow duration curve indices in semi-arid regions

Rahim Kazemi<sup>\*1</sup>, Jahangir Porhemmat<sup>2</sup> and Forood Sharifi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran and <sup>2 and 3</sup> Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 20 December 2017

Accepted: 10 March 2019

### Abstract

The Flow Duration Curve (FDC) is a classical method used to graphically represent the relationship between the frequency and magnitude of stream flow and is required as a prerequisite for water resources management projects. In this study, by analyzing daily data of hydrodynamic stations, 47 stations with the appropriate statistics and the common period between 1976 and 2011 was selected in a semi-arid region of the country. Using a topographic map with a scale of 1: 50000 and determining the position of the stations, the study area was determined and 11 physiographic parameters influencing the flow duration curve including: average height, basin area, gravilill coefficient, basin slope, main river length and hydrological parameters including annual rainfall, Base flow index, hydrograph recession constant, curve number, permeability and the number of rainy days were extracted for each basin. The flow duration curve indices were then extracted using daily flow data. Then factor analysis was performed and independent factors influencing the flow duration curve were determined. Finally, homogeneity was performed based on independent main factors and the regression relations of the curve indices were extracted in each homogeneous region. In order to investigate the validity and accuracy of the models in homogeneous regions, error-independent test methods, normal distribution of errors and control stations were used. The results showed that the selected factors for factor analysis in semi-arid climatic zone (75.875 percent) of the variance of data were explained. The six parameters of precipitation, curve number, slope, rainy days, permeability and area were known as the most effective parameters. The results of the accuracy assessment of the models using the control stations showed that the relative error of the relations presented in the homogeneous region was 0.17, 2.17, 2.73, 1.53 and 1.94, respectively. The normal distribution of errors, the coefficient of determination of more than 0.90 and the Durbin Watson coefficient between 1.5 to 2.5 also Nash-Sutcliff near "one" indicate the reliability of the regression relations presented for estimating the flow duration curve indices in the ungaged catchments in semi-arid areas of the country.

**Keywords:** Normal distribution, Regional analysis, Regional models, Ungaged catchments, Water resources management

---

\* Corresponding Author: ra\_hkazemi@yahoo.com