



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره اول، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

## بررسی و تعیین عوامل مؤثر بر شکل منحنی تداوم جریان در اقلیم‌های مختلف ایران

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

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

<sup>۲</sup> دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۲۴

### چکیده

**سابقه و هدف:** بهبود و توسعه پیش‌بینی‌ها در حوضه‌های فاقد آمار نیازمند فهم و درک برهم‌کنش بین مؤلفه‌های حوضه و پاسخ هیدرولوژیک در اقلیم مختلف است. منحنی تداوم جریان، یکی از مناسب‌ترین روش‌های نمایش پاسخ هیدرولوژیک حوضه است و کاربردهای مختلفی در گرایش‌های مختلف هیدرولوژی و علوم وابسته دارد. شکل منحنی نیز انعکاسی از تأثیر پارامترهای آب و هوایی، زمین‌شناسی و فیزیوگرافی بر جریان رودخانه و پاسخ هیدرولوژیکی حوضه است. در یک دهه گذشته، مطالعات متعددی در خصوص تأثیر پارامترهای هندسی و هیدرولوژیکی حوضه بر شکل منحنی تداوم جریان، انجام شده است. عمده این مطالعات به صورت تجربی است و در دو دسته گرافیکی و آماری قرار دارد که روش گرافیکی، بر روی تأثیر مشخصه‌های فیزیوگرافیک و آب و هوایی بر شکل منحنی تداوم جریان تمرکز دارند. در صورتی که روش‌های آماری بر روی توزیع‌های آماری، برای برازش به منحنی تداوم جریان و ارتباط این برازش‌ها به مشخصه‌های فیزیکی حوضه متمرکز هستند. تحلیل عاملی عوامل مؤثر بر شکل منحنی تداوم جریان موجب دستیابی به اطلاعاتی برای مدل‌سازی منحنی تداوم جریان، تفسیر دقیق‌تر شرایط هیدرولوژیکی حوضه و استفاده در مدیریت بهینه منابع آب حوضه خواهد شد. هدف از این پژوهش، تعیین عوامل مهم تأثیرگذار هیدرو اقلیمی و مورفومتری در تغییر شکل منحنی تداوم جریان و همچنین بررسی روابط مابین آن‌ها در اقلیم مختلف کشور می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش ابتدا با تهیه نقشه اقلیم کشور و تقاطع آن با مرز حوضه‌های آبخیز رتبه چهار، حوضه‌های واقع در هر منطقه اقلیمی تفکیک شد. سپس تعداد حداقل سی ایستگاه با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۸۰ در هر منطقه اقلیمی انتخاب شد. سپس ۱۰ پارامتر هندسی و هیدرولوژیک مؤثر بر منحنی تداوم جریان شامل: ارتفاع متوسط، مساحت حوضه، ضریب گراویلوس، شیب حوضه، طول رودخانه اصلی، بارش سالانه، شاخص جریان پایه، شماره منحنی، نفوذپذیری و تعداد روزهای بارانی برای هر حوضه محاسبه شد. منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های روزانه جریان، ترسیم و با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط MATLAB شیب حد فاصل Q<sub>33</sub> تا Q<sub>66</sub> به‌عنوان شاخص شکل منحنی محاسبه شد. تجزیه عاملی انجام و عوامل مستقل تأثیرگذار بر شکل

\* مسئول مکاتبه: [ra\\_hkazemi@yahoo.com](mailto:ra_hkazemi@yahoo.com)

منحنی مشخص شد. سپس روابط رگرسیونی بین شاخص شکل منحنی و عوامل انتخابی در مناطق مختلف اقلیمی استخراج و تحلیل شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که پارامترهای عامل اول شامل: شماره منحنی، شاخص جریان پایه و تعداد روزهای بارانی در تمامی مناطق اقلیمی به‌استثنا منطقه خشک مشترک است. همچنین، عامل شماره منحنی در تمامی مناطق بالاترین وزن تأثیرگذاری را دارا بوده است. در تمامی مناطق اقلیمی به‌استثنا منطقه بسیار مرطوب، وزن تأثیرگذاری مؤلفه‌های هندسی بیش‌تر از مؤلفه‌های هیدرولوژیکی است. عوامل انتخاب شده برای تحلیل عاملی در منطقه اقلیمی مرطوب با ۸۸ درصد، بیش‌ترین و منطقه مدیترانه‌ای با ۷۲ درصد، کم‌ترین واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند. توزیع نرمال خطاها، ضریب تعیین بیش‌تر از ۰/۹۰ و ضریب دوربین واتسن بین ۱/۵ تا ۲/۵ بیانگر اعتماد به روابط رگرسیونی برای برآورد شیب منحنی تداوم جریان در مناطق فاقد آمار در اقلیم مختلف است.

**نتیجه‌گیری:** در جمع‌بندی کلی نتایج تحلیل عاملی در مناطق مختلف اقلیمی کشور مشخص شد که برخی از پارامترهای دسته‌بندی شده در قالب عامل اول شامل: شماره منحنی، شاخص جریان پایه و تعداد روزهای بارانی در تمامی مناطق اقلیمی، مشترک است. با این استثناء که در منطقه خشک پارامتر تعداد روزهای بارانی دارای وزن تأثیرگذاری کم‌تری است و در قالب عامل دوم قرار گرفته است. عامل شماره منحنی در تمامی این مناطق وزن تأثیرگذاری بیش‌تری نسبت به سایر پارامترهای موجود در عامل اول را دارد.

**واژه‌های کلیدی:** شاخص شکل منحنی تداوم جریان، مناطق اقلیمی، پارامترهای هندسی، پارامترهای هیدرولوژیکی

## مقدمه

منحنی نیز انعکاسی از تأثیر پارامترهای آب و هوایی و فیزیوگرافی بر جریان رودخانه و پاسخ هیدرولوژیکی حوزه است (۱). شکل و تفسیر عمومی هر منحنی تداوم جریان بستگی به مشخصات هیدرولوژیکی، دوره آماری و مشخصه‌های حوزه دارد. شکل منحنی تداوم جریان، شاخصی از شرایط هیدرولوژیک حوزه آبخیز است و شیب این منحنی در هر لحظه مقدار دبی را در همان لحظه نشان می‌دهد. اگر شیب بخش جریان کم منحنی تداوم جریان، کوچک باشد جریان کم پایدار بوده و شیب تندتر بیانگر جریان پایه متغیر و کم است (۳۳). قدیمی‌ترین موارد استفاده از منحنی تداوم جریان به پژوهش‌های هرشل بر می‌گردد (۶). البته امروزه استفاده از این منحنی در گرایش‌های مختلف هیدرولوژی و علوم وابسته فراگیر شده است که از جمله می‌توان به پژوهش‌های رید و همکاران (۱۹۹۹) در ارتباط با تولید انرژی برق آبی و طراحی سامانه‌های آبی اشاره کرد (۲۱). منحنی تداوم جریان

روابط و توابع بین مؤلفه‌های جریان و ویژگی‌های حوضه از نظر زمانی و مکانی متغیر است و به‌علت این تغییرات، پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی در حوضه‌های فاقد آمار با عدم قطعیت‌های بالایی همراه است (۲۸). بهبود و توسعه پیش‌بینی‌ها در حوضه‌های فاقد آمار نیازمند فهم و درک برهم‌کنش بین مؤلفه‌های حوضه و پاسخ هیدرولوژیک در اقلیم مختلف است (۲۹). منحنی تداوم جریان، 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 مکرراً برای مقایسه رژیم جریان حوضه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل

زرد در چین، نشان داد که تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی، می‌تواند بر روی رژیم جریان و در نهایت شکل منحنی تداوم جریان تأثیر بگذارد (۳۲). در روش‌های آماری، توزیع‌های متعددی برای برازش به شکل منحنی تداوم جریان به کار برده شده است، که از جمله آن‌ها، کاربرد توزیع‌های احتمالاتی به کار رفته مانند توزیع لوگ نرمال، توزیع گاما، توزیع بتا و توزیع لجستیک می‌باشد (۶، ۱۴، ۱۷ و ۲۰). اگرچه هر دو روش گرافیکی و آماری، تأثیر 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 به دلیل تنوع عوامل تأثیرگذار، مفید نخواهد بود (۷). ساویز و همکاران (۲۰۱۱) از شیب منحنی تداوم جریان به همراه شاخص جریان پایه به عنوان یک مؤلفه برای طبقه‌بندی حوضه‌ها در شرق آمریکا استفاده کردند. ایشان روابط همبستگی با ضریب  $0/67$  بین شیب منحنی تداوم جریان و شاخص جریان پایه را گزارش کردند (۲۳). برهانو و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از شکل و شیب منحنی تداوم جریان در  $208$  حوضه در کشور اتیوپی اقدام به طبقه‌بندی رژیم جریان در حوضه‌های منطقه پژوهش نمودند (۲). یوشیدو و تراچ (۲۰۱۶) طی مطالعاتی در حوضه‌های ژاپن روابط شیب منحنی تداوم جریان را با مشخصه‌های هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی در حوضه‌های با سن زمین‌شناسی مختلف مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که رابطه همبستگی بالایی بین سن زمین‌شناسی و تکامل چشم‌انداز با شکل منحنی تداوم جریان با ضریب همبستگی  $74$  درصد وجود دارد (۲۶). کاظمی و غیائی (۱۳۹۵) تأثیر پارامترهای هندسی و هیدرولوژیکی حوضه را بر روی بخش انتهایی منحنی تداوم جریان به عنوان نماینده جریان کم، در تعدادی از حوضه‌های ناحیه خزری مورد بررسی قرار دادند و روابط رگرسیونی مربوطه را ارائه کردند و روش

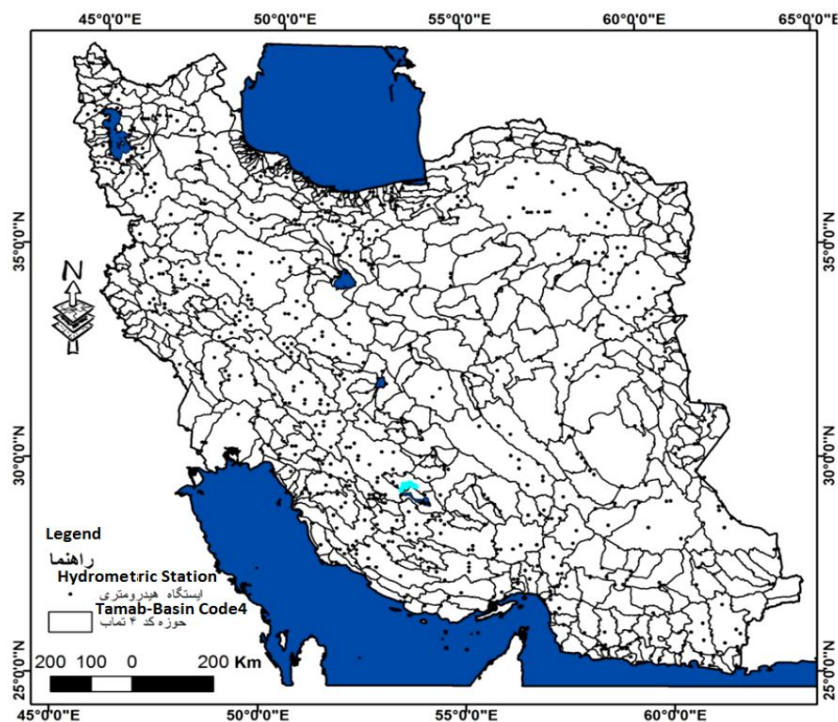
در پژوهش‌های مرتبط با مدیریت آلودگی در رودخانه و رسوبگذاری و فرسایش به وسیله پژوهشگران مختلفی مانند کردوا و گونزالس (۱۹۹۷)؛ ریچارد و براث (۱۹۸۲) نیز مورد استفاده قرار گرفته است (۸ و ۲۲). از دیگر موارد کاربرد این منحنی، استفاده آن در برنامه‌ریزی منابع آب، از جمله تامین آب شرب، کشاورزی، پرورش ماهی و پژوهش‌های مرتبط با حفاظت از اکوسیستم و مطالعات جریان کم است (۳، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۷ و ۲۴) یکی دیگر از موارد کاربردهای منحنی تداوم جریان، استفاده در کالیبراسیون مدل‌های هیدرولوژیکی است که به وسیله وستربگ و همکاران (۲۰۱۱) و کاستا و همکاران (۲۰۱۴) 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 (۹ و ۳۰). در یک دهه گذشته، مطالعات متعددی در خصوص تأثیر پارامترهای هندسی و هیدرولوژیکی حوضه بر شکل منحنی تداوم جریان، انجام شده است. عمده این مطالعات به صورت تجربی است و در دو دسته گرافیکی و آماری قرار دارد که روش گرافیکی، بر روی تأثیر مشخصه‌های فیزیوگرافیک و آب و هوایی بر شکل منحنی تداوم جریان تمرکز دارند (۴ و ۱۹). در صورتی که روش‌های آماری بر روی توزیع‌های آماری، برای برازش به منحنی تداوم جریان و ارتباط این برازش‌ها به مشخصه‌های فیزیکی حوضه متمرکز هستند (۱۸). مطالعات گرافیکی، پارامترهای متعدد فیزیوگرافیکی و اقلیمی را در شکل منحنی مؤثر دانسته‌اند که از جمله می‌توان به نتایج پژوهش‌های وارد و رایبسون (۱۹۹۰) اشاره کرد که نقش خاک و زمین‌شناسی را بر شکل منحنی مؤثر دانسته است (۲۷). همچنین نقش تغییرات پوشش گیاهی در تغییر شکل منحنی تداوم جریان به وسیله لان و همکاران (۲۰۰۵) به اثبات رسیده است (۱۶). پژوهش‌های ژانگ و همکاران (۲۰۰۸) در حوزه رود

در تغییر شکل منحنی تداوم جریان و همچنین بررسی روابط مابین آن‌ها در اقلیم مختلف کشور می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** منطقه مورد پژوهش در حوضه‌های رتبه چهار در گستره کشور ایران و در شش منطقه اقلیمی شکل ۱ شامل: ۷۴ حوضه واقع در اقلیم خشک در مرکز کشور و محدوده استان کرمان، ۴۷ حوضه واقع در اقلیم نیمه‌خشک محدوده استان فارس، تعداد ۵۶ حوضه واقع اقلیم مدیترانه‌ای در محدوده استان کرمانشاه، چهارمحال بختیاری، آذربایجان شرقی و غربی، تعداد ۴۵ حوضه واقع در اقلیم مرطوب در استان مازندران، تعداد ۳۸ حوضه واقع در اقلیم نیمه‌مرطوب در استان لرستان، چهارمحال بختیاری و کرمانشاه و تعداد ۵۴ حوضه واقع در اقلیم بسیار مرطوب استان گیلان قرار دارد. کد ایستگاه‌های آبسنجی مورد استفاده در هر منطقه اقلیمی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدیدی را برای مدل‌سازی بخش انتهایی منحنی و تحلیل هیدرولوژیکی شرایط کم‌آبی حوضه معرفی کردند (۱۵). با بررسی‌های به‌عمل آمده، به‌نظر می‌رسد در رابطه با تحلیل عاملی پارامترهای هندسی و هیدرولوژیکی مؤثر بر شکل منحنی تداوم جریان در سطح و مقیاس کشوری پژوهش کافی انجام نشده باشد. منحنی تداوم جریان به‌علت تأثیرات عوامل مختلف مانند اقلیم، کاربری اراضی، خاک، پوشش، توپوگرافی و زمین‌شناسی از نظر زمانی و مکانی متغیر است. تحلیل عاملی عوامل مؤثر بر شکل منحنی تداوم جریان و مطالعه چگونگی روابط بین پارامترهای فیزیکی و هیدرولوژیکی حوضه با شکل منحنی تداوم جریان در اقلیم مختلف کشور، موجب دستیابی به اطلاعاتی برای مدل‌سازی منحنی تداوم جریان، تفسیر دقیق‌تر شرایط هیدرولوژیکی حوضه و استفاده در مدیریت بهینه منابع آب حوضه خواهد شد. هدف از این پژوهش، تعیین عوامل مهم تأثیرگذار هیدرواقلمی و مورفومتری



شکل ۱- منطقه مورد پژوهش.

Figure 1. Study area.

جدول ۱- مشخصات حوضه‌های مورد استفاده در پژوهش.

Table 1. Basin properties used in research.

کد ایستگاه آبسنجی Hydrometric Station Code	اقلیم Climate
<p>۵۴ حوضه منتخب این منطقه اقلیمی از استان‌های گیلان، مازندران، کردستان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد. حداقل ارتفاع ۱۶۷۵ متر از سطح دریا مربوط به حوضه با کد ۱۲۲۹ و حداکثر ۳۲۲۴ متر مربوط به حوضه با کد ۱۵۱۵ و محدوده مساحت حوضه‌های مورد بررسی در این اقلیم از ۴۲ تا ۲۱۲۵ کیلومترمربع است و محدوده شیب متوسط حوضه‌ها از ۰/۲۴ تا ۴۸/۱۲ درصد است.</p> <p>54 catchments of this climate zone are from Gilan, Mazandaran, Kordistan, Chaharmahal-Bakhtiyari and Kohgiloye - Boyer-Ahmad provinces. Minimum height is 16.5 meter above sea level that is belong to catchment with 1229 code and maximum is 3224 that is belong to 1515. Area is from 42 to 2125 square kilometer and slope is from 0.24% to 48.12%.</p>	بسیار مرطوب Very Humid
<p>۴۵ حوضه منتخب این منطقه عمدتاً در محدوده استان‌های مازندران، کردستان، چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد. حداقل ارتفاع شش متر از سطح دریا مربوط به حوضه با کد ۲۶۲۲۱ و حداکثر ۳۰۶۷ متر مربوط به حوضه با کد ۱۴۲۸۴ و محدوده مساحت حوضه‌های مورد بررسی در این اقلیم از ۷۹ تا ۴۱۱۶ کیلومترمربع است و محدوده شیب متوسط حوضه‌ها از ۰/۴ تا ۴۹/۹ درصد است.</p> <p>45 catchments of this climate zone are from Mazandaran, Kordistan, Chaharmahal-Bakhtiyari and Kohgiloye - Boyer-Ahmad provinces. Minimum height is 6 meter above sea level that is belong to catchment with 26221 code and maximum is 3067 that is belong to 14284. Area is from 79 to 4116 square kilometer and slope is from 0.4% to 49.9%.</p>	مرطوب Humid
<p>۳۸ حوضه منتخب این منطقه اقلیمی از محدوده استان‌های لرستان، کردستان، کرمانشاه و مازندران می‌باشد. حداقل ارتفاع ۸۸ متر از سطح دریا مربوط به حوضه با کد ۱۵۴۲۱ و حداکثر ۲۸۲۳ متر مربوط به حوضه با کد ۲۳۲۳۲۲ و محدوده مساحت حوضه‌های مورد بررسی در این اقلیم از ۱۰۸ تا ۲۳۱۶ کیلومترمربع است و محدوده شیب متوسط حوضه‌ها از ۱/۰۴ تا ۴۶/۸۶ درصد است.</p> <p>38 catchments of this climate zone are from Lorestan, Kordistan, Kermanshah and Mazandaran, provinces. Minimum height is 88 meter above sea level that is belong to catchment with 15421 code and maximum is 2823 that is belong to 232322. Area is from 108 to 2316 square kilometer and slope is from 1.04% to 46.86%.</p>	نیمه مرطوب Semi-Humid
<p>۷۴ حوضه منتخب این منطقه اقلیمی در مناطق مرکز، جنوب، شرق و جنوب شرق کشور واقع شده است. حداقل ارتفاع ۵۴۳ متر از سطح دریا مربوط به حوضه با کد ۴۵۵ و حداکثر ۳۱۰۴ متر مربوط به حوضه با کد ۴۹۱۲۵۳ و محدوده مساحت حوضه‌های مورد بررسی در این اقلیم از ۲۸۷ تا ۲۶۱۱۳ کیلومترمربع است و محدوده شیب متوسط حوضه‌ها از ۲۱ تا ۳۰/۹۸ درصد است.</p> <p>74 catchments of this climate zone are from Center, South, East and South East provinces. Minimum height is 543 meter above sea level that is belong to catchment with 455 code and maximum is 3104 that is belong to 491253. Area is from 287 to 26113 square kilometer and slope is from 21% to 30.98%.</p>	خشک Dry
<p>۴۷ حوضه این منطقه اکثراً از منطقه استان فارس انتخاب شده است. حداکثر ارتفاع ۲۷۶۹ متر مربوط به حوضه با کد ۴۳۱۳۲۱ و حداقل ۱۱۴۵ متر از سطح دریا مربوط به حوضه با کد ۴۳۱۳۲۴ و محدوده مساحت حوضه‌های مورد بررسی در این اقلیم از ۱۶۲ تا ۲۹۰۵ کیلومترمربع است و محدوده شیب متوسط حوضه‌ها از ۲ تا ۲۵ درصد است.</p> <p>47 catchments of this climate zone are from Fars province. Minimum height is 1145 meter above sea level that is belong to catchment with 431324 code and maximum is 2769 that is belong to 431321. Area is from 162 to 2905 square kilometer and slope is from 2% to 25%.</p>	نیمه خشک Semi-Dry
<p>۵۶ حوضه این منطقه از محدوده استان‌های کرمانشاه، لرستان، همدان، کردستان، آذربایجان شرقی و غربی و اردبیل انتخاب شده است. حداکثر ارتفاع ۲۷۹۷ متر مربوط به حوضه با کد ۴۲۱۹ و حداقل ۸۱۱ متر از سطح دریا مربوط به حوضه با کد ۱۵۵۱ و محدوده مساحت حوضه‌های مورد بررسی در این اقلیم از ۷۳ تا ۳۴۶۱ کیلومترمربع است و محدوده شیب متوسط حوضه‌ها از ۱/۶۸ تا ۴۴/۵۸ درصد است.</p> <p>56 catchments of this climate zone are from Kermanshah, Lorestan, Hamedan, Kordistan, East and West Azarbayjan and Ardebil provinces. Minimum height is 811 meter above sea level that is belong to catchment with 1551 code and maximum is 2797 that is belong to 4219. Area is from 73 to 3461 square kilometer and slope is from 1.68% to 44.58%.</p>	مدیترانه‌ای Mediterranean

تهیه نقشه اقلیم کشور: با توجه به این‌که سیستم طبقه‌بندی اقلیمی "دومارتن" برای مطالعات هیدرومتری طرح‌ریزی و توصیه شده است (۱ و ۲۵). بنابراین در این پژوهش برای تعیین مناطق اقلیمی کشور به‌منظور بررسی عوامل مؤثر بر منحنی تداوم جریان از این روش استفاده شده است. بدین‌منظور ابتدا لایه‌های رقومی خطوط هم باران و خطوط هم‌دما که بر اساس داده‌های درازمدت منتهی به ۱۳۸۰ تهیه شده بود و نقاط ایستگاه‌های هواشناسی از شرکت جاماب دریافت شد. با روش معکوس وزنی فاصله<sup>۱</sup> و با کمک نقاط ایستگاهی جدید میانبایی انجام و بر اساس رابطه ۱ لایه مربوطه تهیه و در شش منطقه اقلیمی بر اساس ضرایب دو مارتن طبقه‌بندی شد (جدول ۲).

$$I = P/T + 10 \quad (1)$$

که در آن، I ضریب خشکی دومارتن، P بارندگی سالانه به میلی‌متر، T درجه حرارت سالانه به سانتی‌گراد.

**شاخص شکل منحنی تداوم جریان:** منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های روزانه ترسیم و شیب حد فاصل Q<sub>33</sub> تا Q<sub>66</sub> با استفاده از رابطه ۲ به‌عنوان نماینده شکل منحنی محاسبه شد. این قسمت از منحنی در مقیاس نیمه‌لگاریتمی به‌صورت خطی نمایان می‌شود و توسط پژوهشگران مختلفی به‌عنوان شاخص شکل منحنی مورد استفاده قرار گرفته است (یاداف و همکاران، ۲۰۰۷؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ یوشیدا و تراچ، ۲۰۱۶). شیب بالا معرف رژیم جریان متغیر و شیب‌های پایین معرف مشارکت جریان‌های زیرزمینی در جریان سطحی است (۲۶، ۳۱ و ۳۲).

روش پژوهش: ابتدا با استفاده از داده‌های بارش و دمای کل کشور نقشه مناطق اقلیمی کشور به روش دومارتن تهیه شد. سپس با تقاطع نقشه مرز حوضه‌های رتبه چهار کشور با نقشه اقلیم، حوضه‌های واقع در هر منطقه اقلیمی تفکیک شد. با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی کل کشور، تعداد ۳۱۴ ایستگاه با آمار مناسب و دوره مشترک آماری سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۸۰ انتخاب شد. با استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و فرآوری داده‌های جریان روزانه و بارش، ۱۰ پارامتر هندسی و هیدرولوژیک مؤثر بر منحنی تداوم جریان شامل: ارتفاع متوسط حوضه، مساحت حوضه، ضریب گراویلیوس، متوسط شیب حوضه بر حسب درصد و طول رودخانه اصلی و پارامترهای کلیماتولوژیکی و هیدرولوژیکی شامل متوسط بارش سالانه، شاخص جریان پایه، شماره منحنی، نفوذپذیری و تعداد روزهای بارانی، برای هر حوضه محاسبه شد. سپس منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های روزانه جریان و پس از پالایش و بازسازی آماری، ترسیم شد و با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط MATLAB شیب حد فاصل Q<sub>33</sub> تا Q<sub>66</sub> به‌عنوان شاخص شکل منحنی محاسبه شد. تجزیه عاملی انجام و عوامل مستقل تأثیرگذار بر شکل منحنی مشخص شد. سپس روابط رگرسیونی شاخص شکل منحنی تداوم جریان، با پارامترهای هیدرواقلمی و هندسی حوضه‌ها در سطوح معنی‌داری کم‌تر از یک درصد تعیین گردیدند. اعتبارسنجی روابط رگرسیونی با استفاده از آزمون استقلال خطاها، هم‌خطی و بررسی نرمال بودن توزیع خطاها بررسی شد. سرانجام تحلیل و تفسیر عوامل مؤثر بر تغییر شکل منحنی انجام شد.

جدول ۲- محدوده ضرایب طبقه‌بندی دو مارتن.

Table 2. The coefficient of Domarton climate classification.

I > 35	28 > I > 34.9	27.9 > I > 24	23.9 > I > 20	19.9 > I > 10	I < 10
بسیار مرطوب Very Humid	مرطوب Humid	نیمه مرطوب Semi Humid	مدیترانه‌ای Mediterranean	نیمه خشک Semi Dry	خشک Dry

عناصر روی قطر ماتریس همبستگی، مقادیر اندازه دقت نمونه‌گیری با نماد MSA نامیده می‌شود. این معیار که برای هر متغیر جداگانه تحلیل می‌شود، بیان می‌کند که آیا متغیر خاصی از جهت وارد شدن به مدل تجزیه عاملی صلاحیت دارد یا نه؟ مقادیر بزرگ آماره کفایت اندازه نمونه در جهت تأیید ورود متغیر به مدل، حرکت می‌کنند. پس از انتخاب متغیرهای مهم، تجزیه عاملی بر اساس این متغیرها صورت گرفته و مهم‌ترین پارامترها به‌عنوان عوامل مستقل مشخص شد. سپس روابط بین عامل وابسته شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان<sup>۵</sup>  $S_{fdc}$  سایر عوامل مستقل، با استفاده از روش رگرسیون رابطه ۳ مورد بررسی قرار گرفت.

$$S_{fdc} = a_{Hc} + b_{Mr} + c \quad (3)$$

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

بررسی اعتبار رگرسیون‌ها: انجام هر رگرسیون، مستلزم فرضیاتی مانند، 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.

$$S_{fdc} = \frac{Q_{33} - Q_{66}}{0.66 - 0.33} \quad (2)$$

که در آن،  $Q_{66}$  و  $Q_{33}$  دبی معادل درصد عدم تجاوز ۳۳٪ و ۶۶٪  $S_{fdc}$  شیب منحنی است.

تجزیه و تحلیل عاملی برای شناخت عوامل مستقل مؤثر بر شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان: در این پژوهش روش تجزیه و تحلیل عاملی به روش (PCA)<sup>۱</sup> با استفاده از نرم‌افزار SPSS برای ۱۰ متغیر فیزیوگرافی، هیدرولوژیکی و اقلیمی در حوزه‌های منتخب واقع در اقلیم مختلف به کار برده شد. متغیرهای مورد استفاده، شامل ویژگی‌های مختلف حوضه از جمله، شاخص جریان پایه، میزان نفوذپذیری، بارش، مساحت حوضه، ارتفاع متوسط حوضه، ضریب گراویلیوس، طول آبراهه اصلی، شیب متوسط حوضه، تعداد روزهای بارانی و متوسط شماره منحنی حوضه است. محورهای عاملی با روش واریماکس<sup>۲</sup> که روش مناسب و استاندارد برای ساده کردن ساختار عامل‌ها و به حداکثر رساندن رابطه همبستگی بین متغیرها می‌باشد، دوران یافت. سپس با استفاده از روش مدل رگرسیون، ماتریس امتیازات عاملی استخراج شد. برای تعیین متغیرهایی که خروجی آن‌ها از مدل تجزیه عاملی به روند بهتر شدن کیفیت تجزیه عاملی کمک می‌کند از ماتریس همبستگی آنتی‌ایمیج<sup>۳</sup> و آماره کفایت اندازه نمونه<sup>۴</sup> استفاده شد.

- 1- Principal Component Analysis
- 2- Varimax Rotation
- 3- Anti-image
- 4- Measure of Sampling Adequacy

5- Slope of flow duration curve

که مدل خوب به نظر می‌رسد، ولی دارای متغیرهای مستقل معنی‌داری نمی‌باشد.

### نتایج و بحث

نتایج اجرای روش دومارتن برای طبقه‌بندی اقلیمی کشور، در شکل ۲ ارائه شده است. همان‌گونه که از نقشه قابل رؤیت است، کشور به شش منطقه اقلیمی، مطابق با ضرایب دومارتن تقسیم شده است و توزیع منطقه‌ای و گستره هر نوع اقلیم در نقشه نشان داده شده است. از نظر میزان حوضه‌های واقع در هر منطقه اقلیمی، منطقه خشک ۵۸/۳۱ درصد، نیمه‌خشک ۲۳/۷۵ درصد، بسیار مرطوب ۵/۸۰ درصد، مدیترانه‌ای ۴/۹۳ درصد، مرطوب ۳/۸۷ درصد و نیمه‌مرطوب ۳/۳۴ درصد از حوزه‌های آبخیز مرتبه چهار را تشکیل داده‌اند. پس از ترسیم منحنی تداوم جریان، شیب حد فاصل  $Q_{33}$  تا  $Q_{66}$  به‌عنوان نماینده شیب منحنی تداوم جریان محاسبه شد. شکل ۳ نمونه‌ای از منحنی تداوم جریان شش حوضه واقع در مناطق اقلیمی مختلف را نشان می‌دهد. سایر مؤلفه‌های هیدروکلیماتولوژی و فیزیوگرافی محاسبه و برای تحلیل عاملی مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل عاملی با استفاده از ۱۰ پارامتر مؤثر بر شکل منحنی تداوم جریان به‌طور مجزا برای حوضه‌های منتخب در هر منطقه اقلیمی انجام و نتایج آن مورد تحلیل واقع شد.

منطقه اقلیمی بسیار مرطوب: نتایج حاصل از تقاطع نقشه مرز حوزه‌های آبخیز رتبه چهار کشور و نقشه اقلیمی در محیط رقومی، نشان داد که منطقه اقلیمی بسیار مرطوب، در مناطق شمال و غرب کشور واقع شده است و مناطقی از استان‌های گیلان، مازندران، کردستان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد را پوشش داده و تقریباً ۵/۸۰ درصد از

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 را به  $P$  نشان دهیم 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.

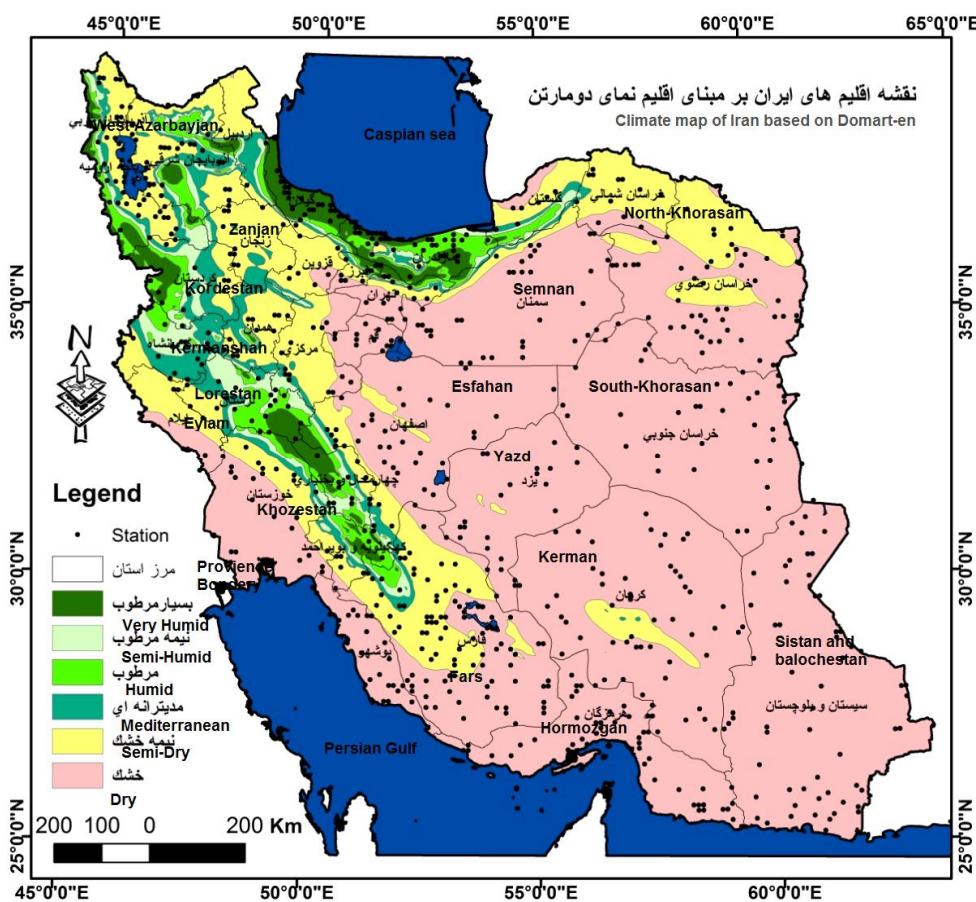
بررسی نرمال بودن خطاها: به‌منظور بررسی نرمال بودن خطاها، مقادیر استاندارد خطاها محاسبه و نمودار توزیع داده‌ها و نمودار نرمال آن‌ها رسم می‌شود. توجه به میزان میانگین و انحراف معیار خطاها برای بررسی اعتبار روابط لازم است.

آزمون هم‌خطی: هم‌خطی وضعیتی است که نشان می‌دهد یک متغیر مستقل، تابعی خطی از بین سایر متغیرهای مستقل است. اگر هم‌خطی در یک معادله رگرسیون بالا باشد، بدین معنی است که بین متغیرهای مستقل همبستگی بالایی وجود دارد و ممکن است با وجود بالا بودن ضریب تعیین، مدل دارای اعتبار بالایی نباشد. به‌عبارت دیگر با وجود آن



انجام شد. آزمون تحلیل عاملی نشان داد که پارامترهای مؤثر بر شکل منحنی تداوم جریان در این منطقه در قالب سه عامل دسته‌بندی شدند که دربرگیرنده ۷۵/۵۹ درصد از واریانس داده می‌باشد که این میزان با افزایش پارامترهای مورد بررسی قابل افزایش است (جدول ۳).

حوزه‌های آبخیز کشور در این اقلیم واقع شده است. در این منطقه به‌منظور تحلیل عاملی تعداد ۵۴ حوضه با آمار مناسب و دوره مشترک مورد آزمون قرار گرفت. در نتیجه بررسی ماتریس همبستگی و جدول اشتراک استخراجی، پارامتر ضریب گراولیوس به دلیل پایین بودن مقدار اشتراک استخراجی از فرآیند تحلیل عاملی کنار گذاشته شد. تحلیل عاملی با بقیه پارامترها



شکل ۲- نقشه اقلیم منطقه مورد پژوهش بر اساس روش دومارتن.

Figure 2. Climate zone map of study area based on Domarton method.



شکل ۳- منحنی تداوم جریان با مشخصات هندسی و هیدرولوژیکی متفاوت در مناطق اقلیمی مختلف.

Figure 3. Flow duration curve of catchments with different hydrologic and geometric characteristics.

جدول ۳- مقادیر کل درصد از واریانس توضیح داده شده در آزمون تحلیل عاملی منطقه اقلیمی بسیار مرطوب.

Table 3. Total Variance Explained in very humid climate zone.

عامل Component	درصد از واریانس % of Variance	درصد واریانس تجمعی Cumulative (%)
1	39.383	39.383
2	24.08	63.451
3	12.139	75.590

حوضه‌های رتبه چهار کشور در این اقلیم قرار گرفته‌اند که از میان آن‌ها تعداد ۴۵ حوضه با آمار مناسب و دوره مشترک مورد آزمون و تحلیل قرار گرفته است.

در نتیجه بررسی ماتریس همبستگی و جدول اشتراک استخراجی، مقدار اشتراک استخراجی هیچ تغییری کم‌تر از ۰/۵ نبود و بنابراین همه متغیرها در فرآیند تحلیل عاملی مشارکت داده شدند. آزمون تحلیل عاملی نشان داد که عوامل مؤثر بر شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان در این منطقه اقلیمی در قالب ۵ عامل طبقه‌بندی می‌شوند که در مجموع دربرگیرنده ۸۸/۸۹ درصد از واریانس داده‌ها می‌باشند (جدول ۴).

عوامل شماره منحنی، شاخص جریان پایه، نفوذپذیری و تعداد روزهای بارانی در قالب عامل اول نمایان شده‌اند که در میان آن‌ها، عامل شماره منحنی حوضه بالاترین وزن تأثیرگذاری را دارد. تأثیرگذاری زیاد عامل شماره منحنی بر شکل منحنی تداوم جریان، با توجه به این‌که شماره منحنی، وضعیت نفوذ حوضه را اطلاع می‌دهد و غیرمستقیم تأمین‌کننده شرایط تداوم جریان می‌باشد، قابل تفسیر است. جانمایی تمام عوامل هیدرولوژی در عامل اول در این منطقه اقلیمی، نشان‌دهنده این است که این عوامل بیش‌ترین تأثیر را در تغییر شکل منحنی تداوم جریان در اقلیم مرطوب را دارند. عامل بارش سالانه در دسته دوم قرار گرفت. با توجه به این‌که بارش عامل ایجاد و ورودی اصلی سیستم هیدرولوژیک می‌باشد، ولی تحلیل عاملی نشان داد که در این منطقه اقلیمی بارش به تنهایی نمی‌تواند، شاخص اصلی و اولیه تأثیرگذار بر روی شکل منحنی باشد. بلکه توزیع زمانی - مکانی بارش و شرایط نفوذ، می‌تواند در جایگاه نخست تأثیرگذاری بر شکل منحنی قرار گیرد، که در این منطقه اقلیمی، عوامل تعداد روزهای بارانی، شماره منحنی، نفوذپذیری،

پارامترهای بارش، شماره منحنی، شاخص جریان پایه، نفوذپذیری و تعداد روزهای بارانی در قالب عامل اول قرار گرفتند. بالاترین وزن تأثیرگذاری بر شیب منحنی تداوم جریان، به شماره منحنی و نفوذپذیری مربوط است که به نوعی نماینده عامل تأمین‌کننده تداوم جریان در رودخانه می‌باشند. متوسط شماره منحنی ۷۱ درحوضه‌های منطقه نشان‌دهنده پایین بودن نفوذپذیری خاک است و نشانگر پتانسیل بالای ایجاد رواناب و تأمین تداوم جریان می‌باشد. متوسط شیب منحنی تداوم جریان در این منطقه ۶۹ درصد است که همراهی شیب زیاد با شماره منحنی بالا نشان‌دهنده تغییرات زیاد جریان در مناطق بسیار مرطوب می‌باشد. نظر به این‌که شماره منحنی با نگاه به نوع گروه هیدرولوژیکی خاک منطقه، استفاده از زمین، رفتار و وضعیت هیدرولوژیکی پایه‌گذاری شده است و برای توصیف پوشش زمین و گروه هیدرولوژیکی خاک به‌کار می‌رود. بنابراین به‌طور غیرمستقیم تأثیر کاربری و پوشش خاک و نفوذپذیری را در شکل منحنی تداوم جریان توصیف می‌کند.

برخی از عوامل هندسی شامل مساحت حوضه و طول رودخانه اصلی در مرتبه دوم قرار گرفته است و نشان‌دهنده این است که عوامل هیدرولوژیکی در مناطق بسیار مرطوب دارای وزن تأثیرگذاری بیش‌تری از عوامل هندسی می‌باشند. همراهی پارامترهای ارتفاع متوسط و شیب متوسط حوضه در قالب عامل سوم نیز بیانگر تأثیرگذاری مستقل عوامل هندسی بر شکل منحنی تداوم جریان در منطقه بسیار مرطوب است.

**منطقه اقلیمی مرطوب:** خروجی نقشه حاصل از تقاطع مرز حوضه‌ها با نقشه اقلیم نشان داد که منطقه اقلیمی مرطوب در شمال، غرب و شمال‌غرب کشور گسترش دارد و عمدتاً در محدوده استان‌های مازندران، کردستان، چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد واقع شده است. حدود ۳/۸۷ درصد از

پنجم، نشان‌دهنده این است که در این منطقه اقلیمی عوامل هندسی و فیزیوگرافی وزن تأثیرگذاری کم‌تری نسبت به عوامل هیدرولوژیکی دارند. متوسط شیب منحنی تداوم جریان در حوضه‌های واقع در این منطقه ۶۸ درصد است و بالا بودن شیب نمایانگر رژیم جریان متغیر است.

شاخص جریان پایه، نماینده توزیع زمانی- مکانی عوامل تأمین‌کننده تداوم جریان هستند و تعیین‌کننده شکل منحنی و میزان شیب آن می‌باشند. جانمایی مساحت حوضه و طول رودخانه اصلی در قالب عامل سوم و همچنین ارتفاع متوسط و شیب متوسط حوضه در عامل چهارم و ضریب شکل حوضه در عامل

جدول ۴- مقادیر کل درصد از واریانس توضیح داده شده در آزمون تحلیل عاملی منطقه اقلیمی مرطوب.

Table 4. Total Variance Explained in humid climate zone.

عامل Component	درصد از واریانس % of Variance	درصد واریانس تجمعی Cumulative (%)
1	36.803	36.803
2	19.604	56.407
3	14.978	71.385
4	9.639	81.024
5	7.875	88.899

پارامترهای شماره منحنی حوضه، شاخص جریان پایه و تعداد روزهای بارانی در قالب عامل اول قرار گرفتند که مانند منطقه اقلیمی مرطوب در این منطقه نیز شماره منحنی، بالاترین وزن تأثیرگذاری را به خود اختصاص داده است. میانگین شماره منحنی حوضه‌های واقع در این منطقه ۷۵ است. این میزان بالای شماره منحنی بیانگر شرایط نامناسب نفوذپذیری حوضه‌ها و مهیا بودن شرایط برای افزایش پتانسیل تولید رواناب و تأمین تداوم جریان و تأثیر بر شکل منحنی می‌باشد. این امر با توجه به میزان ۵۹ درصدی شاخص جریان پایه و میانگین روزهای بارانی ۵۳ روز قابل انتظار است. متوسط شیب منحنی تداوم جریان برابر ۷۲ درصد است که بیانگر رژیم هیدرولوژیکی متغیر در حوضه‌های این منطقه اقلیمی است. پارامترهای مساحت حوضه، ضریب شکل حوضه و طول رودخانه اصلی در عامل دوم قرار گرفتند. در این منطقه جایگاه تأثیرگذاری عوامل هندسی حوضه

منطقه اقلیمی نیمه مرطوب: این منطقه اقلیمی در نوار باریکی از شمال و گستره غرب کشور استقرار دارد و شامل بخش‌هایی از محدوده استان‌های لرستان، کردستان، کرمانشاه و مازندران می‌باشد. حدود ۳/۳۴ درصد از حوضه‌های آبخیز رتبه چهار کشور در این منطقه اقلیمی واقع شده‌اند. در این پژوهش تعداد ۳۸ حوضه با دوره مشترک برای تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. در این منطقه نیز مانند منطقه اقلیمی مرطوب، ماتریس همبستگی و جدول اشتراک استخراجی مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به این که مقدار اشتراک استخراجی هیچ متغیری کمتر ۰/۵ نبود، همه متغیرها در فرآیند تحلیل عاملی مشارکت داده شدند. آزمون تحلیل عاملی نشان داد که عوامل موثر بر شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان در این منطقه اقلیمی در قالب ۴ عامل طبقه‌بندی می‌شوند که در مجموع دربرگیرنده ۸۴/۸۱ درصد از واریانس داده‌ها می‌باشند (جدول ۵).

نسبت به منطقه مرطوب ارتقاء یافته است. پارامترهای بارش، شیب متوسط حوضه و ارتفاع متوسط حوضه در جایگاه سوم قرار گرفتند و پارامتر نفوذپذیری حوضه به تنهایی در قالب عامل چهارم قرار گرفت.

جدول ۵- مقادیر کل درصد از واریانس توضیح داده شده در آزمون تحلیل عاملی منطقه اقلیمی نیمه مرطوب.

**Table 5. Total Variance Explained in semi humid climate zone.**

عامل Component	درصد از واریانس % of Variance	درصد واریانس تجمعی Cumulative (%)
1	39.234	39.234
2	21.448	60.682
3	14.579	75.262
4	9.550	84.812

منطقه اقلیمی مدیترانه‌ای: مناطق تحت پوشش این منطقه اقلیمی در گستره غرب و شمال غرب کشور در محدوده استان‌های کرمانشاه، لرستان، همدان، کردستان، آذربایجان شرقی و غربی و اردبیل استقرار دارند و حدود ۴/۹۳ درصد از حوضه‌های رتبه چهار کشور در این اقلیم واقع شده است. برای تحلیل عاملی در این اقلیم تعداد ۵۶ حوزه آبخیز با آمار مناسب و دوره مشترک آماری انتخاب شد. در نتیجه بررسی جدول اشتراک استخراجی، پارامترهای ارتفاع متوسط و ضریب شکل حوضه از روند تحلیل عاملی کنار گذاشته شد و تحلیل با استفاده از سایر پارامترها ادامه داده شد. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که پارامترهای مؤثر بر شکل منحنی در قالب سه دسته شکل گرفتند

که توضیح‌دهنده ۷۲/۱۸ درصد از واریانس داده‌ها می‌باشند (جدول ۶). پارامترهای تعداد روزهای بارانی، نفوذپذیری، شماره منحنی و شاخص جریان پایه در قالب عامل اول قرار گرفتند. که در این میان بالاترین وزن مربوط به شماره منحنی است. عامل بارش متوسط سالانه و طول رودخانه اصلی در قالب عامل دوم و شیب متوسط حوضه در مرتبه سوم تأثیرگذاری بر شیب منحنی تداوم جریان قرار گرفتند. جانمایی تعداد روزهای بارانی در قالب عامل اول و وزن بالاتر آن نسبت به بارش متوسط سالانه در این منطقه، نشان‌دهنده این است که در این منطقه اقلیمی تعداد روزهای بارانی نسبت به پارامتر تجمعی بارش سالانه، تأثیر بیشتری بر تامین تداوم جریان دارد.

جدول ۶- مقادیر کل درصد از واریانس توضیح داده شده در آزمون تحلیل عاملی منطقه اقلیمی مدیترانه‌ای.

**Table 6. Total Variance Explained in Mediterranean climate zone.**

عامل Component	درصد از واریانس % of Variance	درصد واریانس تجمعی Cumulative (%)
1	42.412	42.412
2	19.698	62.108
3	10.080	72.188

گرفتند که تشریح‌کننده ۷۶/۳۷۲ درصد از واریانس داده‌ها می‌باشند (جدول ۷). پارامترهای شماره منحنی، شاخص جریان پایه و نفوذپذیری در قالب عامل اول و پارامترهای ارتفاع متوسط، مساحت، طول رودخانه اصلی، میزان بارش و تعداد روزهای بارانی در قالب عامل دوم قرار گرفت. قرار گرفتن پارامترهای اصلی ایجادکننده جریان، مانند بارش سالانه و تعداد روزهای بارانی در مرتبه دوم تأثیرگذاری بر شیب منحنی تداوم جریان بیانگر این است که در این منطقه جریان‌های زیرسطحی و زیرزمینی نقش بیش‌تری در تامین جریان رودخانه‌ها دارند. میزان ۶۱ درصدی شاخص جریان پایه در این منطقه بیانگر این تفسیر است.

**منطقه اقلیمی خشک:** نتایج نقشه‌های حاصل از تقاطع مرز حوضه‌ها با نقشه اقلیم نشان داد که این منطقه اقلیمی دارای بیش‌ترین گستره در جغرافیای کشور است و کل مناطق مرکز، جنوب، شرق و جنوب‌شرق را پوشش داده است. حوضه‌های واقع در این منطقه تقریباً ۵۸/۳۱ درصد حوضه‌های آبخیز درجه چهار کشور را شامل می‌شود. برای این پژوهش تعداد ۷۴ حوضه انتخاب شد. در نتیجه بررسی جدول اشتراک استخراجی و به‌علت پایین بودن اشتراک استخراجی، پارامترهای شیب و ضریب شکل حوضه از فرآیند تحلیل عاملی کنار گذاشته شد و تحلیل با سایر پارامترها ادامه یافت. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که عوامل مؤثر بر شکل منحنی در قالب دو دسته شکل

جدول ۷- مقادیر کل درصد از واریانس توضیح داده شده در آزمون تحلیل عاملی منطقه اقلیمی خشک.

Table 7. Total Variance Explained in dry climate zone.

Component عامل	درصد از واریانس % of Variance	درصد واریانس تجمعی Cumulative (%)
1	52.140	52.140
2	24.232	76.372

حوضه‌های کشور در این اقلیم واقع شده است و تعداد ۴۷ حوضه دارای آمار مناسب و دوره مشترک برای تحلیل عاملی انتخاب شد. در این منطقه عوامل مؤثر بر شاخص تغییر شکل منحنی تداوم جریان در قالب سه دسته طبقه‌بندی شدند که ۷۵/۸۷۵ درصد از واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند (جدول ۸).

**منطقه اقلیمی نیمه‌خشک:** نتایج خروجی تقاطع نقشه‌های اقلیم و حوضه‌ها نشان داد که این منطقه اقلیمی در گستره شمال‌شرق، غرب و شمال‌غرب کشور پراکنده است و بخش‌هایی از استان‌های خراسان شمالی و رضوی، گلستان، فارس، مرکزی، همدان، قزوین، زنجان، آذربایجان شرقی و غربی، ایلام، لرستان و کرمانشاه گسترش دارد. حدود ۲۳/۷۵ درصد از

جدول ۸- مقادیر کل درصد از واریانس توضیح داده شده در آزمون تحلیل عاملی منطقه اقلیمی نیمه‌خشک.

Table 8. Total Variance Explained in semi dry climate zone.

عامل Component	درصد از واریانس % of Variance	درصد واریانس تجمعی Cumulative (%)
1	45.793	45.793
2	19.420	65.213
3	10.662	75.875

آزمون دوربین- واتسون را نشان می‌دهد. این خروجی‌ها مربوط به آماره برآوردی توسط رگرسیون، خطاها (باقی‌مانده)، مقادیر برآوردی استاندارد شده و خطای (باقی‌مانده) استاندارد شده را نشان می‌دهد. نتایج مقایسه توزیع مقادیر استاندارد شده خطاها با نمودار نرمال برای هر منطقه، نشان داد که توزیع خطاها در تمامی مناطق اقلیمی تقریباً نرمال بوده و همچنین مقدار میانگین بسیار کوچک (نزدیک به صفر) و انحراف معیار آن نیز تقریباً یک است. شکل ۴ به‌عنوان نمونه، نمودار توزیع خطاها برای منطقه اقلیمی بسار مرطوب را نشان می‌دهد. آزمون هم‌خطی نشان داد که فقط در یکی از متغیرهای مستقل (به‌دلیل پایین بودن بسیار زیاد مقادیر ویژه و بالا بودن شاخص وضعیت) بیانگر وجود مشکل در استفاده از رگرسیون مربوط به آن است. برای رفع این مشکل با بررسی فاصله انحراف معیار متغیرها از خط رگرسیون، مشخص شد که داده مربوطه نیز در فاصله کم‌تر از یک انحراف معیار از خط رگرسیون است و استفاده از آن خطای جدی در پیش‌بینی‌های مدل ایجاد نمی‌کند.

پارامترهای شماره منحنی، بارش، شاخص جریان پایه و تعداد روزهای بارانی در قالب عامل اول قرار گرفتند که عامل شماره منحنی در درجه اول تأثیرگذاری قرار دارد. پارامترهای نفوذپذیری و شیب در قالب عامل دوم و پارامترهای ارتفاع متوسط حوضه، مساحت حوضه، ضریب شکل حوضه و طول رودخانه اصلی در قالب عامل سوم جانمایی شده‌اند. که در این میان پارامتر ارتفاع، مساحت و طول رودخانه اصلی، وزن‌های تأثیرگذاری یکسان بر شکل منحنی تداوم جریان دارند. در این منطقه نسبت به منطقه خشک، به‌دلیل بارش و تعداد روزهای بارانی بیش‌تر، تأثیر مؤلفه‌های هیدرولوژیک بر شکل منحنی تداوم جریان از پارامترهای هندسی بیش‌تر است.

**روابط رگرسیونی برآورد ضریب شکل منحنی تداوم جریان:** روابط استخراجی با دخالت زیرحوضه‌های هر منطقه اقلیمی، نشان داد که مقادیر ضریب شکل منحنی تداوم جریان در برابر پارامترهای هیدرولوژیکی، اقلیمی و هندسی حوضه، همبستگی معنی‌داری در سطح کم‌تر از یک درصد دارد که به‌صورت مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره با استفاده از روش گام به گام<sup>۱</sup> در جدول ۹ ارائه شده است.

اعتبار استفاده از رگرسیون‌ها با سه روش آزمون استقلال خطاها، بررسی نرمال بودن خطاها و هم‌خطی بررسی شد. نتایج اجرای آزمون دوربین- واتسون برای مناطق مختلف نشان داد که مقدار آماره دوربین- واتسون در این پژوهش برای تمامی مناطق اقلیمی در فاصله ۱/۵ تا ۲/۵ قرار دارد و بنابراین فرض  $H_0$  برقرار است و بین خطاهای برآورد مدل‌ها همبستگی قابل‌توجهی وجود ندارد و اعتبار استفاده از مدل‌ها را تأیید می‌کند. جدول ۱۰ خلاصه اجرای

#### 1- Stepwise

جدول ۹- روابط رگرسیونی شاخص شکل منحنی تداوم جریان برای حوضه‌های واقع در مناطق اقلیمی مختلف.

Table 9. Regressions of flow duration curve index for catchments of different climate zones.

رابطه Relationship	منطقه اقلیمی Climate zone
$S_{fdc} = A \times (-0.004) + RL \times 0.013 + \%S \times 0.024 + P \times 0.001 + CN \times 0.809 + BFI \times 38.912 + IR \times 0.032 + NR \times (-0.129) + 4.325$	بسیار مرطوب Very Humid
$S_{fdc} = H \times 6.130 \times 10^{-5} + A \times 0.004 + Gc \times (-3.27) + RL \times 0.011 + \%S \times 0.012 + P \times (-0.003) + CN \times 2.57 + BFI \times (-6.665) + IR \times (-0.496) + NR \times (-0.385) - 12.356$	مرطوب Humid
$S_{fdc} = H \times (-0.001) + A \times (-0.005) + Gc \times (-3.158) + RL \times 0.016 + \%S \times 0.037 + P \times (-0.002) + CN \times 3.537 + BFI \times (-24.42) + IR \times (-0.827) + NR \times (-0.698) - 10.597$	نیمه مرطوب Semi-Humid
$S_{fdc} = RL \times (-0.002) + P \times (-0.001) + CN \times 1.99 + BFI \times 2.411 + IR \times (-0.356) + NR \times (-0.306) + 19.127$	خشک Dry
$S_{fdc} = A \times 0.006 + RL \times (-0.0161) + \%S \times 0.011 + P \times (-0.003) + CN \times 4.768 + BFI \times (-0.60.58) + IR \times (-1.55) + NR \times (-0.994) - 5.297$	نیمه خشک Semi-Dry
$S_{fdc} = H \times 0.002 + A \times (-0.007) + Gc \times (-3.42) + RL \times 0.021 + \%S \times (-0.097) + P \times (-0.003) + CN \times 2.859 + BFI \times (-20.95) + IR \times (-0.772) + NR \times (-0.443) + 1.231$	مدیترانه‌ای Mediterranean

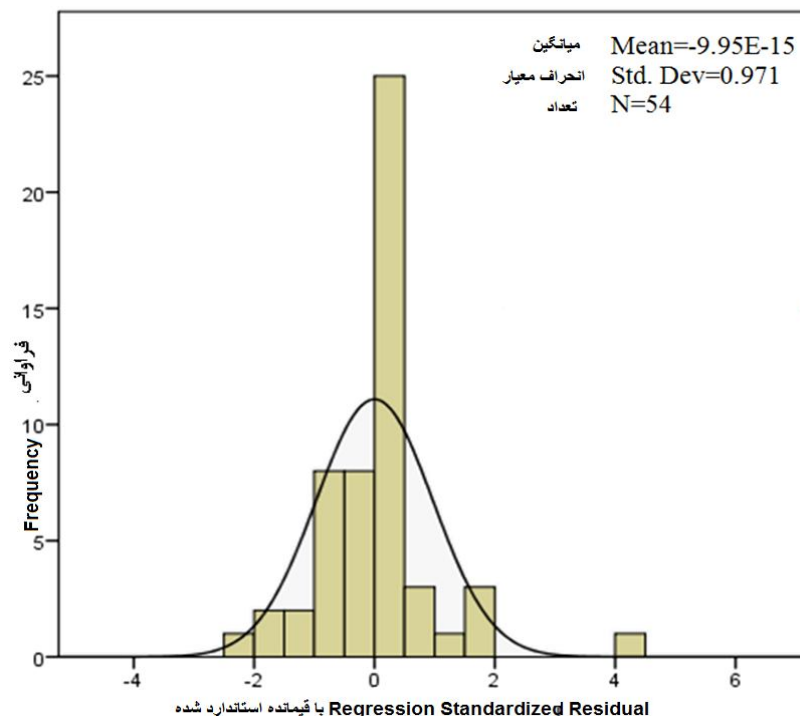
پارامترهای به کار رفته در روابط بالا عبارتند از: ( $S_{fdc}$ ) شاخص شکل منحنی تداوم جریان، (A) مساحت حوضه، (RL) طول رودخانه اصلی، (%S) شیب متوسط حوضه بر حسب درصد، (P) بارش متوسط سالانه، (CN) شماره منحنی، (BFI) شاخص جریان پایه، (IR) نفوذپذیری، (NR) تعداد روزهای بارانی، (H) ارتفاع متوسط حوضه، (Gc) ضریب گراوولیوس.

جدول ۱۰- خلاصه اجرای آزمون دوربین- واتسون.

Table 10. Summary of statistical analysis.

ضریب دوربین- واتسون Durbin-Watson coefficient	خطای برآورد استاندارد Std. Error of the Estimate	ضریب تعیین تعدیل شده Adjusted R Square	ضریب تعیین R Square	ضریب همبستگی R	منطقه اقلیمی Climate zone
1.56	1.80	0.978	0.983	0.991	بسیار مرطوب Very humid
2.36	1.32	0.989	0.992	0.996	مرطوب Humid
1.83	2.09	0.979	0.986	0.993	نیمه مرطوب Semi humid
1.52	2.13	0.962	0.967	0.983	خشک Dry
2.10	2.66	0.943	0.957	0.978	نیمه خشک Semi dry
1.64	2.52	0.973	0.978	0.989	مدیترانه‌ای Mediterranean





شکل ۴- نمونه‌ای از توزیع فراوانی خطاها در مدل‌های منطقه اقلیمی بسیار مرطوب.

Figure 4. An example of frequency distribution of errors in models of Very humid climate zone.

در قالب عامل دوم قرار گرفته است. عامل شماره منحنی در تمامی این مناطق وزن تأثیرگذاری بیش‌تری نسبت به سایر پارامترهای موجود در عامل اول را دارد. با توجه به فرآیند محاسبه شماره منحنی و عوامل مؤثر بر آن و همچنین تأثیرگذاری بر پتانسیل تولید رواناب و تأثیر بر شکل منحنی تداوم جریان، توصیه می‌شود برای تفسیر شرایط هیدرولوژیکی از روی شکل منحنی، توجه به شماره منحنی و استفاده از آن در مدل‌سازی منطقه‌ای منحنی تداوم جریان مد نظر قرار گیرد. پارامتر بارش متوسط سالانه فقط در منطقه اقلیمی بسیار مرطوب در دسته اول عوامل مؤثر نمایان شد و در سایر مناطق دارای وزن تأثیرگذاری کم‌تری است و در مرتبه دوم و سوم اهمیت قرار گرفت. بدین معنی که در سایر مناطق اقلیمی مؤلفه‌های هندسی از مؤلفه‌های هیدرولوژیکی تأثیر بیش‌تری بر روی شکل منحنی تداوم جریان دارند.

### نتیجه‌گیری

در جمع‌بندی کلی نتایج تحلیل عاملی در مناطق مختلف اقلیمی کشور مشخص شد که عوامل انتخاب شده برای تحلیل عاملی در منطقه مرطوب با ۸۸ درصد بیش‌ترین و در منطقه مدیترانه‌ای با ۷۲ درصد، کم‌ترین واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند. نرمال بودن توزیع خطاها در روابط رگرسیونی تمامی مناطق اقلیمی، ضریب تعیین بیش‌تر از ۰/۹۰ و ضریب دوربین واتسن بین ۱/۵ تا ۲/۵ بیانگر اعتماد به روابط رگرسیونی برای برآورد شیب منحنی تداوم جریان در مناطق فاقد آمار در اقلیم مختلف است.

برخی از پارامترهای دسته‌بندی‌شده در قالب عامل اول شامل: شماره منحنی، شاخص جریان پایه و تعداد روزهای بارانی در تمامی مناطق اقلیمی، مشترک است. با این استثناء که در منطقه خشک پارامتر تعداد روزهای بارانی دارای وزن تأثیرگذاری کم‌تری است و

منابع

1. Alizadeh, A. 2007. Principal of Applied Hydrology, 14<sup>th</sup> edition, Mashhad. Emamreza University Press, 807p. (In Persian)
2. Berhanu, B., Seleshi, Y., Demisse, S.S., and Melesse, A.M. 2015. Flow Regime Classification and Hydrological Characterization: A Case Study of Ethiopian Rivers. *J. Water*. 7: 3149-3165.
3. Blumenfeld, S., Lu, C., Christophersen, T., and Coates, D. 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.
4. Booker, D.J., and Snelder, T. 2012. Comparing methods for estimating flow duration curves at ungauged sites, *J. Hydrol.* 434: 78-94.
5. Brath, A., Castellarin, A., Franchini, M., and Galeati, G. 2001. Estimating the index flood using indirect methods. *Hydrological Sciences*. 46: 3. 399-418.
6. Castellarina, A., Galeati, G., Brandimarte, L., Montanaria, L., and Bratha, A.A. 2004. Regional flow-duration curves: reliability for ungauged basins, *J. Adv. Water Resour.* 27: 953-965.
7. Cheng, L., Yaeger, M., Viglione, A., Coopersmith, E., Ye, S., and Sivapalan, M. 2012. Exploring the physical controls of regional patterns of flow duration curves – Part 1: Insights from statistical analyses, *J. Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16: 4435-4446.
8. Cordova, J.R., and Gonzalez, M. 1997. Sediment yield in small watersheds based on stream flow and suspended sediment discharge measurements. *J. Soil Technol.* 11: 57-65.
9. Costa, V., Fernandez, W., and Naghettini, M. 2014. Regional models of flow-duration curves of perennial and intermittent streams and their use for calibrating the parameters of a rainfall-runoff model. *J. Hydrol. Sci.* 59: 2. 262-277.
10. Dario, P., Noto, L.V., and Viola, F. 2013. Eco hydrological modeling of flow duration curve in Mediterranean river basins. *J. Adv. Water Resour.* 52: 314-327.
11. Eslamian, S.S., Ghasemi, M., and Soltani-Gerdefaramarzi, S. 2012. Computation and Regionalization of Low Flow Indices and Determination of Hydrological Drought Durations in Karkhe Watershed. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water and Soil Science.* 16: 59. 1-14. (In Persian)
12. Eslami, A.R., and Shokohi, A. 2013. Analysis of river flow, using Hydrological and environmental index. *J. Water. Engin. Manage.* 5: 2. 125-133. (In Persian)
13. Hisdal, H., Tallaksen, L.M., Clausen, M.B., Peters, E., and Gus-tard, A. 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. Iacobellis, V. 2008. Probabilistic model for the estimation of T year flow duration curves. *Water Resources Research.* 4: 44. 1-13.
15. Kazemi, R., and Eslami, A.R. 2013. Investigation on the role of geological formation and hydrological parameter on base flow index, case study: Khazar region. *J. Water Engin. Manage.* 5: 2. 85-93. (In Persian)
16. Lane, P.N.J., Best, A.E., Hickel, K., and Zhang, L. 2005. The response of flow duration curves to afforestation. *J. Hydrol.* 310: 253-265.
17. Lee, S., Kim, J., and Hur, J.W. 2013. Assessment of ecological flow rate by flow duration and environmental management class in the Geum River, Korea. *J. Environ. Earth Sci.* 68: 4. 1107-1118.
18. Li, M., Shao, Q., Zhang, L., and Chiew, F.H.S. 2010. A new regionalization approach and its application to predict flow duration curve in ungauged basins. *J. Hydrol.* 389: 137-145.
19. Mohamoud, Y.M. 2008. Prediction of daily flow duration curves and stream flow for ungauged catchments using regional flow duration curves. *J. Hydrol. Sci.* 53: 4. 706-724.

20. Muneeppeerakul, R., Azaele, S., Botter, G., Rinaldo, A., and Rodriguez-Iturbe, I. 2010. Daily stream flow analysis based on a two-scaled gamma pulse model. *J. Water Resour. Res.* 46, W11546.
21. Reed, D.W., Jakob, D., Robinson, A.J., Faulkner, D.S., and Stewart, E.J. 1999. Regional frequency analysis: a new vocabulary. In: *Hydrological extremes: understanding, predicting, mitigating*, Proc IUGG 99 Symposium. Birmingham, IAHS. 255: 237-43.
22. Richards, K.S. 1982. *Rivers: form and process in alluvial channels*. London: Methuen Press, 358p.
23. Sawicz, K., Wagener, T., Sivapalan, M., Troch, P.A., and Carrillo, G. 2011. Catchment classification: empirical analysis of hydrologic similarity based on catchment function in the eastern USA. *J. Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15: 2895-2911.
24. Shamaee - Zadeh, M., and Soltani, S. 2011. Regional analysis of low flow in North Karoon basin. *J. Sci. Technol. Agric. Resour. Water and Soil Science.* 18: 70. 231-242. (In Persian)
25. Sobhani, B., Sarraf, B., Azadi-Mobaraki, M., and Hoseyni, S.A. 2013. Modeling of Rain fall in the West and Southwest of the Caspian Sea using spatial interpolation methods in the GIS environment. *J. Geograph. Dev.* 11: 30. 23-34. (In Persian)
26. Yoshida, T., and Troch, P.A. 2016. Convolution of volcanic catchments in Japan. *J. Hydrol. Earth Syst. Sci.* 20: 1133-1150.
27. Ward, R.C., and Robinson, M. 1990. *Principles of Hydrology*, 3<sup>rd</sup> edition, McGraw-Hill Press, 365p.
28. Wagener, T., Sivapalan, M., Troch, P.A., and Woods, R. 2007. Catchment classification and hydrologic similarity, *Geogr. Compass.* 1: 901-931.
29. Wagener, T., Blöschl, G., Goodrich, D., Gupta, H., Sivapalan, M., Tachikawa, Y., Troch, P., and Weiler, M. 2013. A synthesis framework for runoff predictions in ungauged basins, in: *chapt. 2, Runoff Predictions in Ungauged Basins*, edited by: Blöschl, G., Sivapalan, M., Wagener, T., Viglione, A., and Savenije, H., Cambridge University Press, Cambridge, UK, Pp: 11-28.
30. Westerberg, I.K., Guerrero, J.L., Younger, P.M., Beven, K.J., Seibert, J., Halldin, S., Freer, J.E., and Xu, C.Y. 2011. Calibration of hydrological models using flow-duration curves. *J. Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15: 2205-2227.
31. Yadav, M., Wagener, T., and Gupta, H. 2007. Regionalization of constraints on expected watershed response behavior for improved predictions in ungauged basins. *J. Adv. Water Resour.* 30: 1756-1774.
32. Zhang, X., Zhang, L., Zhao, J., Rustomji, P., and Hairsine, P. 2008. Responses of stream flow to changes in climate and land use/cover in the Loess Plateau, China. *J. Water Resour. Res.* 44: 1-12.
33. Zheng, H., Zhang, L., Liu, C., Shao, Q., and Fukushima, Y. 2007. Changes in stream flow regime in headwater catchments of the Yellow River basin since the 1950s. *J. Hydrol. Proc.* 21: 7. 886-893.



## **Investigation and determination of factors affecting the shape of the flow duration curve in different climates of Iran**

**\*R. Kazemi<sup>1</sup>, J. Porhemmat<sup>2</sup> and F. Sharifi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute,  
Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, <sup>2</sup>Associate Prof.,  
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research,  
Education and Extension Organization, Tehran

Received: 02/11/2017; Accepted: 02/13/2018

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Improvement and development of forecasts in ungauged catchments needs to understand the interaction between the catchments parameters and hydrological response of catchments in different climates. Flow duration curve is one of the best methods for showing the hydrological response of basins and have different application in the fields of hydrology and related sciences. The shape of flow duration curve also reflects the impact of climate parameters, geology and physiography on the flow of the river and the hydrological response of the catchment. In the past decade, several studies have been done on the impact of geometric and hydrological parameters of basins on the shape of flow duration curve. Most of these studies are empirical and classified in graphical and statistical methods. The graphical method, focus on the effect of physiographic and climatic characteristics on the shape of flow duration curve. While, the statistical methods focus on statistical distribution and correlation of the physical characteristics of the catchments. Factor analysis of parameters affecting the flow duration curve will lead to accurate modeling and interpretation of catchments hydrology. The aim of this study was to determine the most important hydro-climatic and geometric factors affecting the shape of flow duration curve and investigation of relation between them in the different climates.

**Materials and Methods:** In this study, for factor analysis of effective parameter on the shape of flow duration curve, climate maps were prepared and intersect with the layer of fourth-order watersheds and watersheds located in every climate were selected. Then at least 30 hydrometric stations with appropriate data and common period (1976-2001) in each climate zone were selected. Then 10 geometric and hydrological parameters affecting the flow duration curve including: average height, area of the watersheds, Gravelius coefficient, slope, main river length and hydro climatologically parameters including: annual rain fall, base flow index, curve number, permeability and the number of rainy days, were calculated for each basin. Flow duration curves plotted using daily flow data and the slope between Q33 to Q66 was computed as an indicator of the shape of flow duration curve, using coding in MATLAB programming environment. Factor analysis was performed and effective factors on the shape of curve were identified. The regression between the flow duration curve index and selected factors in different climate zones were extracted and analyzed.

**Results:** The results showed that the parameters of first factor including: curve number, base flow index, recession index and the number of rainy days in all climatic zones were common except dry climate zone. Also, curve Number in all the climate zones has the highest weight of influence. The weight influence of geometric parameters in all areas was higher than

---

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

hydrological parameter, except in very humid zone. The selected parameters for factor analysis in the humid zone were found the highest variance explained with 88 percent and the lowest in the Mediterranean zone with 72 percent. The normal distribution of errors, the coefficient of determination of more than 0.90 and the coefficient of Durbin Watson between (1.5-2.5) reflects the confidence on the regression equations to estimate the slope of flow duration curve in untagged catchments in different climatic zones.

**Conclusion:** Overall, the factor analysis results in different climatic zones revealed that some of the parameters classified in the first class including: curve number, base flow index and number of rainy days were common in all climatic zones. With one exception that in dry zone, the number of rainy days was less effective and placed in second class. The factor of curve number in all climate zones was more effective than other parameters.

**Keywords:** Flow duration curve shape Index, Climatic zones, Geometric parameters, Hydrologic parameters

*Arci*