



دوره ۳۲، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۲۲، بهار ۱۳۹۸، صفحات ۷۲-۶۰
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.122870.1135

پژوهش‌های آبخیزداری

نقش روزهای بارانی در پیش‌بینی منحنی تداوم جریان در اقلیم‌های مختلف ایران

رحیم کاظمی*

(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

فرود شریفی

دانشیار پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

*ایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: ra_hkazemi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۰ مرداد ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: ۲۱ اسفند ۱۳۹۷

چکیده

بهبود و توسعه‌ی پیش‌بینی‌ها در آبخیزهای بی‌آمار نیازمند شناخت مؤلفه‌های مؤثر و فهم و درک برهم‌کنش بین مؤلفه‌های مختلف و پاسخ آب‌شناسی در اقلیم‌های مختلف است. مهم‌ترین مؤلفه‌ی مؤثر بر شاخص‌های منحنی تداوم جریان، بارش و مشخصه‌های آن است. با توجه به این‌که منحنی تداوم جریان نماینده‌ی پاسخ آب‌شناختی آبخیز است، بررسی و شناخت تأثیر توزیع زمانی بارش بر آن می‌تواند به شناخت مؤلفه‌های پیش‌بینی‌کننده برای برآورد منحنی تداوم جریان در آبخیزهای بی‌آمار کمک کند. هدف از این پژوهش بررسی رابطه‌ی تعداد روزهای بارانی و شاخص‌های منحنی تداوم جریان در اقلیم‌های مختلف کشور است. آبخیزهای هر منطقه‌ی اقلیمی با استفاده از نقشه‌ی اقلیم کشور و روی هم‌گذاری آن با مرز آبخیزهای رتبه‌ی چهار تفکیک، و ۳۱۴ ایستگاه آب‌سنجی با آمار مناسب و دوره‌ی مشترک آماری (۲۰۱۱-۱۹۷۶) در شش منطقه‌ی اقلیمی انتخاب شد. منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های آبدهی روزانه با نرم‌افزار هایدرو آفیس (۲۰۱۵) ترسیم و شاخص‌های Q_{75} ، Q_{50} ، Q_{20} ، Q_{15} ، Q_{10} ، Q_5 ، Q_2 و Q_{90} استخراج شد. تعداد روزهای بارانی برای هر آبخیز محاسبه، و روابط رگرسیونی بین شاخص‌های منحنی و تعداد روزهای بارانی سال در مناطق مختلف اقلیمی استخراج و تحلیل شد. نتایج نشان داد که روابط همبستگی بین شاخص‌های بخش ابتدایی منحنی تداوم جریان با میانگین سالانه‌ی تعداد روزهای بارانی در تمامی حوزه‌های منتخب از اقلیم‌های مختلف، رابطه‌ی ضعیف و اعتمادناکردنی برای تحلیل منطقه‌ی و پیش‌بینی و برآورد است. این رابطه برای بخش انتهایی منحنی شامل شاخص‌های Q_{75} و Q_{90} رابطه‌ی قوی با ضریب تبیین مناسب است. میانگین ضریب تبیین شاخص‌های Q_{75} و Q_{90} با میانگین سالانه‌ی تعداد روزهای بارانی در آبخیزهای اقلیم‌های مختلف تقریباً برابر (۰/۶۶) است. این یافته اهمیت تعداد روزهای بارانی را به‌مانند عامل پیش‌بینی‌کننده‌ی شاخص‌های کم‌آبی مربوط به بخش انتهایی منحنی تداوم جریان در اقلیم‌های مختلف نشان می‌دهد. بنابراین پیشنهاد می‌شود از مؤلفه‌ی تعداد روزهای بارانی به‌جای عامل پیش‌بینی‌کننده برای برآورد شاخص‌های بخش انتهایی منحنی تداوم جریان استفاده شود، و استفاده‌ی از آن برای برآورد سایر شاخص‌ها توصیه نمی‌شود.

واژگان کلیدی: بارش سالانه، شاخص کم‌آبی، شاخص منحنی تداوم جریان، نقشه‌ی اقلیم، نقطه‌ی عطف

مقدمه

یکی از اساسی‌ترین مسائلی که متخصصان آب‌شناسی در دهه‌های گذشته با آن مواجه بوده‌اند، نبود فهم و درک عمیق از میزان مشارکت، مشخصه‌های آبخیز و اقلیم در جریان رودخانه بوده است (یوکو و سیواپلان ۲۰۱۱). منحنی تداوم جریان، درصد جریان روزانه، ماهانه یا دیگر گام‌های زمانی یک دوره‌ی تاریخی رودخانه را بیان می‌کند. این منحنی از رسم تجمعی آب‌دهی رودخانه در برابر زمان، یا برحسب احتمال وقوع به‌دست‌آمده می‌آید، و مکرراً برای مقایسه‌ی نظام جریان آبخیزهای مختلف به‌کار می‌رود (علیزاده ۲۰۰۷). شکل و تفسیر عمومی هر منحنی تداوم جریان بستگی به مشخصات آب‌شناختی، فیزیوگرافی، دوره‌ی آماری و مشخصه‌های آبخیز دارد. شکل منحنی تداوم جریان، شاخصی از شرایط آب‌شناسی آبخیز است، و شیب این منحنی در هر لحظه مقدار آب‌دهی را در همان لحظه نشان می‌دهد. اگر شیب بخش جریان کم منحنی تداوم جریان کوچک باشد، جریان کم پایدار، و شیب تندتر آن بیانگر جریان پایه‌ی متغیر و کم است (ژنگ و همکاران ۲۰۰۷). امروزه استفاده از این منحنی در گرایش‌های مختلف هیدرولوژی و علوم وابسته فراگیر شده است، از جمله می‌توان به تحقیقات مرتبط با مدیریت آلودگی در رودخانه و رسوب‌گذاری و فرسایش که محققان مختلفی مانند بناسیک و هجداک (۲۰۱۳) و روزبرگ (۲۰۱۵) انجام داده‌اند اشاره کرد. از دیگر موارد کاربرد این منحنی، استفاده‌ی از آن در برنامه‌ریزی منابع آب، از جمله تأمین آب شرب، کشاورزی، پرورش ماهی و تحقیقات مرتبط با حفاظت از اکوسیستم، مطالعات جریان کم و تولید انرژی برق‌آبی و طراحی سامانه‌های آبی است (عثمان و همکاران ۲۰۱۷). با این حال کاربرد این منحنی به علت نبود یا کمبود داده‌های مشاهده‌ی جریان رودخانه‌ها، محدود شده است. این مشکل معمولاً با مدل‌های پیش‌بینی و فرایندهای منطقه‌بندی شامل روش‌های آماری، فراسنجه‌ی و ترسیمی حل می‌شود (کاستلارینا و همکاران ۲۰۰۴). بهبود و توسعه‌ی پیش‌بینی‌ها در آبخیزهای بی‌آمار نیازمند فهم و درک برهم‌کنش بین مؤلفه‌های آبخیز و پاسخ آب‌شناختی در اقلیم‌های مختلف است (واگنر و همکاران ۲۰۰۷). روابطه و تابع‌های بین مؤلفه‌های جریان و ویژگی‌های آبخیز از نظر زمانی و مکانی متغیر است و به علت این تغییرات، پیش‌بینی‌های آب‌شناسی در آبخیزهای بی‌آمار با عدم قطعیت‌های زیادی همراه است (واگنر و همکاران ۲۰۱۳). بیشترین مطالعات مربوط به پیش‌بینی منحنی تداوم جریان در آبخیزهای بی‌آمار، مرتبط با استفاده از مشخصه‌های

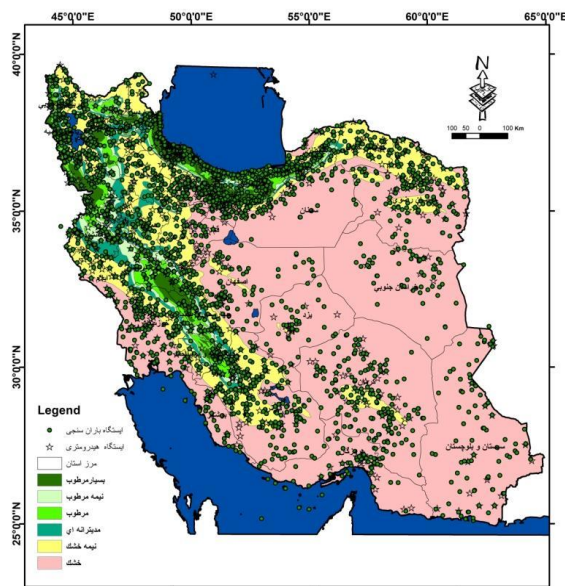
زمین‌ریخت‌شناسی، زمین‌شناسی و خاک است. از جمله‌ی این موارد می‌توان به نتایج تحقیقات نیل (۱۹۸۹) اشاره کرد که نقش خاک و زمین‌شناسی را بر شکل منحنی مؤثر دانسته و از این عوامل برای مدل‌سازی منحنی در آبخیزهای بی‌آمار استفاده کرده است. نقش تغییرات پوشش گیاهی بر منحنی تداوم جریان را لان و همکاران (۲۰۰۵) به اثبات رسانده‌اند. تحقیقات ژانگ و همکاران (۲۰۰۸) در آبخیز رود زرد در چین نشان داد که تغییرات کاربری زمین و پوشش گیاهی، می‌تواند بر نظام جریان و درنهایت شکل منحنی تداوم جریان تأثیر بگذارد. چنگ و همکاران (۲۰۱۲) با هدف کشف فراسنجه‌های تنظیم‌کننده‌ی منحنی تداوم جریان، در جست‌وجوی راهی برای کمک به منطقه بندی و پیش‌بینی آن‌ها در آبخیزهای بی‌آمار در ۱۹۷ آبخیز ایالات متحده، الگوهای منطقه‌ای منحنی تداوم جریان را با استفاده از داده‌های جریان روزانه‌ی مشاهده‌ی استخراج کردند. در مدل‌های پیش‌بینی منحنی تداوم جریان، از بارش بیشینه‌ی روزانه، شاخص جریان پایه و روزهای بی‌بارش استفاده کردند. نتایج نشان داد که نقش جریان پایه بر شکل منحنی تداوم جریان غالب است و فراسنجه‌های بارش بیشینه‌ی روزانه و روزهای بی‌بارش شکل منحنی تداوم جریان را تنظیم می‌کند. در مرور منابع مرتبط با برآورد و پیش‌بینی منحنی تداوم جریان، مهم‌ترین عامل اقلیمی به کاررفته در مدل‌ها بارش سالانه بوده، و در پژوهش‌های مختلف به کار رفته است. زارع چاهوکی و همکاران (۲۰۱۳) در مدل‌سازی منحنی تداوم جریان در مناطق نیمه خشک از متغیر بارش متوسط سالانه به علاوه‌ی ۱۰ متغیر زمین‌ریخت‌شناسی استفاده کرده‌اند. کاظمی و گیائی (۲۰۱۶) تأثیر عوامل هندسی و آب‌شناسی آبخیز را بر بخش انتهایی منحنی تداوم جریان به‌مانند نماینده‌ی جریان کم، در تعدادی از آبخیزهای ناحیه‌ی خزری بررسی کردند و روابط رگرسیونی مربوط را برای برآورد منحنی در آبخیزهای بی‌آمار نشان دادند. ایشان روش جدیدی را برای مدل‌سازی بخش انتهایی منحنی و تحلیل آب‌شناسی شرایط کم‌آبی آبخیز معرفی کردند. در تحقیقات خسرو بیگی و وفا خواه (۲۰۱۷) و کاظمی و همکاران (۲۰۱۸؛ ۲۰۱۷) برای برآورد و پیش‌بینی منحنی تداوم جریان در آبخیزهای بی‌آمار در کنار سایر عوامل زمین‌ریخت‌شناسی و آب‌شناسی از عوامل اقلیمی دما و بارش متوسط سالانه برای پیش‌بینی کردن استفاده شد. این پژوهش‌ها توجهی به توزیع زمانی بارش و تعداد روزهای بارانی برای مدل‌سازی منحنی تداوم جریان نداشتند. کوپر اسمیت و همکاران (۲۰۱۲) برای بررسی تأثیر مولفه‌های اقلیمی بر شکل منحنی تداوم جریان،

در حالی است که تاثیر برخی از فراسنجه‌ها بر تمام بخش‌های منحنی زیاد نیست، و در مدل‌های ریاضی و آماری دقیق برای تمام بخش‌های یک منحنی کاربرد ندارند. شناخت روابط بین عوامل موثر بر شاخص‌های منحنی تداوم جریان و تحلیل رفتار آن در اقلیم‌های مختلف، منجر به دست‌یابی به اطلاعاتی برای استفاده‌ی بهینه از این عوامل برای پیش‌بینی کردن منحنی تداوم جریان در آبخیزهای بی‌آمار در اقلیم‌های مختلف خواهد شد، از این رو، هدف از این پژوهش بررسی و تحلیل رابطه‌ی بین تعداد روزهای بارانی با شاخص‌های به‌دست‌آمده از منحنی تداوم جریان در اقلیم‌های مختلف کشور برای نشان‌دادن چگونگی تاثیر آن بر بخش‌های مختلف منحنی در اقلیم‌های مختلف و تبیین نقش پیش‌بینی‌کننده‌ی آن است.

مواد و روش‌ها منطقه‌ی پژوهش

برای انجام این پژوهش از ۳۱۴ ایستگاه آب‌سنجی در شش منطقه‌ی اقلیمی مختلف در آبخیزهای رتبه‌ی چهار کشور با دوره‌ی مشترک آماری (۲۰۱۱-۱۹۷۶) استفاده شد. این آبخیزها شامل ۷۴ آبخیز در اقلیم خشک، ۴۷ آبخیز در اقلیم نیمه‌خشک، ۵۶ آبخیز در اقلیم مدیترانه‌ای، ۴۵ آبخیز در اقلیم مرطوب، ۳۸ آبخیز در اقلیم نیمه‌مرطوب و ۵۴ آبخیز در اقلیم بسیارمرطوب است (شکل ۱).

۴۲۸ آبخیز را در ایالات متحده در گروه‌های اقلیمی خوشه‌بندی کردند و در مدل‌سازی پیش‌بینی منحنی تداوم جریان، از بیشینه‌ی بارش روزانه و زمان بارش استفاده کردند. نتایج نشان داد که مشخصه‌های فصلی اقلیم بیشترین نقش را در همگن‌بندی آبخیزها دارد، و زمان بارش و شاخص خشک‌سالی در درجه‌ی دوم اهمیت است. باوجود ناهمگنی بسیار زیاد اقلیمی، پستی‌وبلندی، و آب‌شناسی در سرتاسر ایالات متحده‌ی آمریکا، ۳۳۱ آبخیز از ۴۲۸ آبخیز بررسی‌شده با استفاده از این شاخص‌ها در شش گروه همگن جا داده شدند. پومو و همکاران (۲۰۱۳) برای مدل‌سازی منحنی تداوم جریان در آبخیزهای جنوب ایتالیا از مدل اکو-آب‌شناسی استفاده و مدلی را معرفی کردند که به عامل تبخیر و تعرق بسیار حساس است. در پژوهش‌های انجام‌شده‌ی کاستا و همکاران (۲۰۱۴)، پوگلیز و همکاران (۲۰۱۶)، لی و همکاران (۲۰۱۶) آتیه و همکاران (۲۰۱۷) و بورگان و آکسوی (۲۰۱۸) در کنار سایر عوامل زمین‌ریخت‌شناسی و آب‌شناسی از میانگین بارش سالانه ضرب‌در مساحت آبخیز به‌مانند شاخصی برای برآورد و پیش‌بینی منحنی تداوم جریان در آبخیزهای بی‌آمار استفاده شده است. در مدل‌های ایشان تمایزی بین روابط این شاخص با بخش‌های مختلف منحنی داده نشده است. در پژوهش‌های انجام‌شده برای دادن مدل‌های پیش‌بینی منحنی تداوم جریان در آبخیزهای بی‌آمار از فراسنجه‌های مختلف آب‌شناسی و اقلیمی بی‌درنظرگرفتن چگونگی تاثیر این فراسنجه‌ها بر بخش‌های مختلف منحنی استفاده شده است. این



شکل ۱- نقشه‌ی اقلیم منطقه‌ی بررسی‌شده بر اساس روش دومارتن.

کمینه‌ی ارتفاع ۵۴۳ متر از سطح دریا در آبخیز ۴۵۵ و بیشینه‌ی ۳۱۰۴ متر در آبخیز ۴۹۱۲۵۳، و محدوده‌ی مساحت از ۲۸۷ تا ۲۶۱۱۳ کیلومترمربع، و محدوده‌ی شیب متوسط آبخیزها از ۲۱ تا ۳۰/۹۸٪ است. در آبخیزهای منتخب منطقه‌ی نیمه‌خشک، بیشینه‌ی ارتفاع ۲۷۶۹ متر در آبخیز ۴۳۱۳۲۱ و کمینه‌ی ۱۱۴۵ متر از سطح دریا در آبخیز ۴۳۱۳۲۴، و محدوده‌ی مساحت از ۱۶۲ تا ۲۹۰۵۵ کیلومترمربع، و محدوده‌ی شیب متوسط آبخیزها از ۲ تا ۲۵٪ است. در آبخیزهای منتخب از منطقه‌ی مدیترانه‌یی، بیشینه‌ی ارتفاع ۲۷۹۷ متر در آبخیز ۴۲۱۹ و کمینه‌ی ۸۱۱ متر از سطح دریا در آبخیز ۱۵۵۱ و محدوده‌ی مساحت از ۷۳ تا ۳۴۶۱ کیلومترمربع، و محدوده‌ی شیب متوسط آبخیزها از ۱/۶۸ تا ۴۴/۵۸٪ است. نمونه‌ی مشخصات آبخیزهای پژوهش از هر منطقه‌ی اقلیمی در جدول ۱ آورده شده است.

در آبخیزهای منتخب در منطقه‌ی اقلیمی بسیار مرطوب، کمینه‌ی ارتفاع ۱۶/۵ متر از سطح دریا در آبخیز ۱۲۲۹، و بیشینه‌ی ۳۲۲۴ متر در آبخیز ۱۵۱۵، محدوده‌ی مساحت از ۴۲ تا ۲۱۲۵ کیلومترمربع، و محدوده‌ی شیب متوسط آن‌ها از ۰/۲۴ تا ۴۸/۱۲٪ است. در آبخیزهای منتخب منطقه‌ی مرطوب کمینه‌ی ارتفاع شش متر از سطح دریا در آبخیز ۲۶۲۲۱ و بیشینه‌ی ۳۰۶۷ متر در آبخیز ۱۴۲۸۴، و محدوده‌ی مساحت از ۷۹ تا ۴۱۱۶ کیلومترمربع، و محدوده‌ی شیب متوسط آبخیزها از ۰/۴ تا ۴۹/۹٪ است. در آبخیزهای منتخب منطقه‌ی نیمه‌مرطوب کمینه‌ی ارتفاع ۸۸ متر از سطح دریا در آبخیز ۱۵۴۲۱ و بیشینه‌ی ۲۸۲۳ متر در آبخیز ۲۳۲۳۲۲، و محدوده‌ی مساحت از ۱۰۸ تا ۲۳۱۶ کیلومترمربع، و محدوده‌ی شیب متوسط آبخیزها از ۱/۰۴ تا ۴۶/۸۶٪ است. در آبخیزهای منتخب منطقه‌ی خشک،

نقش روزهای بارانی در پیش‌بینی منحنی تداوم جریان...

جدول ۱- شناسه‌ی آبخیزهای پژوهش.

متوسط تعداد روزهای بارانی	نسب آبخیز (%)	طول آبراه (کیلومتر)	مساحت (کیلومتر مربع)	پیرامون (کیلومتر)	ارتفاع (متر از سطح دریا)			مختصات جغرافیایی		شناسه‌ی آبخیز	منطقه‌ی آلبومی
								X	Y		
					میانگین	پیشینه	کمینه				
۴۶	۱۸/۷۶	۹۳۳	۱۹۷۷	۳۰۵	۲۲۱۹	۲۷۴۳	۱۷۴۴	۲۸/۸۰	۵۵/۴۵	۴۴۳۲	خشک
۴۵	۹/۰۱	۵۸۶	۱۴۹۵	۱۸۵	۱۹۶۶	۲۱۳۴	۱۸۰۰	۲۹/۷۴	۵۵/۱۹	۴۴۴۱	
۴۶	۱۹/۷۷	۱۳۸۸	۳۲۰۶	۴۱۱	۲۲۰۷	۲۷۴۳	۱۷۹۴	۲۹/۷۲	۵۵/۲۵	۴۴۴۲	
۴۱	۲۰/۶۶	۱۶۴۳	۵۴۴۲	۳۸۱	۱۱۴۲	۲۱۳۴	۵۱۴	۲۷/۵۳	۵۸/۱۲	۵۴۲۱	
۴۰	۱۸/۳۷	۱۰۹۰	۳۶۶۰	۲۷۵	۱۲۸۷	۲۴۶۵	۵۳۷	۷۱۲۷	۵۸/۴۴	۴۵۴۲	
۵۲	۲۰/۱۴	۲۲۳	۵۴۷	۹۵	۵۶۹	۱۸۲۹	۰	۳۶/۵۴	۵۲/۲۱	۱۴۳۸	مرطوب
۵۲	۲/۳۲	۲۶۱	۵۶۴	۱۰۶	۱۶۳	۳۶۵	۰	۳۶/۵۶	۵۲/۴۸	۱۵۱۱	
۵۲	۳۶/۲۰	۲۴۵	۴۴۲	۱۰۶	۱۴۶۸	۳۱۲۴	۲۷۹	۳۶/۳۷	۵۲/۳۶	۱۵۱۲	
۵۲	۱۸/۲۳	۲۹۹	۴۶۹	۱۳۵	۴۸۲	۱۵۲۴	۰	۳۶/۵۷	۵۲/۵۹	۱۵۲۱	
۴۹	۲۸/۴۱	۵۱۰	۱۰۶۸	۱۸۱	۱۴۴۴	۳۳۸۷	۰	۳۶/۵۳	۵۲/۵۹	۱۵۲۲۲	
۵۳	۲۴/۲۵	۱۱۳۴	۲۸۴۱	۳۲۴	۲۱۱۳	۳۰۴۸	۱۵۰۵	۳۵/	۴۶/۸۸	۲۱۲۵	مدیترانه‌ای
۵۴	۱۵/۷۳	۳۷۲	۷۲۴	۱۴۴	۱۱۸۲	۲۴۳۸	۵۵۶	۳۴/۷۷	۴۵/۶۸	۲۱۳۱	
۶۵	۳۰/۸۲	۸۹۰	۲۵۰۰	۲۴۹	۱۸۶۹	۲۷۴۳	۱۱۳۳	۳۳/۵۴	۴۷/۹۹	۲۲۲۲۴	
۵۷	۲۵/۵۱	۴۱۰	۷۸۶	۱۵۷	۱۷۲۱	۲۷۴۳	۱۱۵۳	۳۳/۵۴	۴۷/۹۹	۲۲۲۵	
۴۶	۲۲/۵۴	۴۹۱	۱۰۴۴	۱۷۴	۱۹۹۱	۲۷۴۳	۱۴۶۴	۳۳/۸۱	۴۷/۸۴	۲۲۲۶	
۲۴	۱۸/۶۰	۴۰۴	۷۴۳	۱۵۹	۱۶۲۹	۲۴۳۸	۸۷۸	۳۰/۲۶	۵۱/۲۶	۲۴۲۶۱	نیمه‌خشک
۲۴	۲۲/۱۱	۲۸۶	۷۵۳	۱۱۲	۱۳۹۹	۲۱۴۷	۸۹۱	۳۰/۲۲	۳۶۵۱	۲۴۲۶۲	
۳۰	۱۲/۵۳	۴۰۵	۶۳۰	۱۲۰	۱۲۵۴	۱۸۲۹	۸۶۷	۲۹/۷۲	۵۱/۴۸	۲۵۲۲۴	
۲۹	۲۱/۵۴	۳۷۸	۷۰۳	۱۴۹	۱۳۳۱	۲۲۰۱	۸۵۲	۲۹/۷۱	۵۱/۴۹	۲۵۲۲۵	
۳۴	۲۱/۷۷	۶۹۶	۱۲۷۵	۲۶۰	۱۶۵۴	۲۷۴۳	۷۸۲	۲۹/۲۲	۵۱/۹۰	۲۵۲۳۳	
۴۱	۲۳/۲۸	۳۴۳	۵۶۱	۱۴۹	۲۰۱۳	۲۷۴۳	۱۱۹۰	۳۰/۱۷	۵۱/۶۴	۲۴۲۶۳	نیمه‌مرطوب
۲۴	۱۸/۶۱	۳۸۹	۸۰۴	۱۴۵	۱۹۸۰	۲۷۴۳	۱۱۹۲	۳۰/۱۸	۵۱/۶۳	۲۴۲۶۴	
۳۷	۸/۰۱	۲۷۷	۴۸۱	۱۱۹	۲۱۰۳	۲۷۴۳	۱۵۲۰	۳۰/۰۲	۵۱/۹۵	۲۴۲۶۵	
۲۶	۱۷/۵۲	۵۰۶	۹۶۶	۱۹۰	۲۳۲۴	۳۳۵۳	۱۵۱۹	۳۰/۰۲	۵۱/۹۶	۲۴۲۶۶	
۴۹	۳۷/۶۱	۱۲۷	۱۸۲	۶۹	۲۶۰۲	۳۹۶۲	۱۸۰۳	۳۵/۹۶	۵۱/۱۰	۴۱۵۲۳	
۵۱	۳۷/۰۷	۱۹۰	۲۷۴	۹۶	۱۵۰۲	۴۵۷۲	۰	۳۶/۷۵	۵۰/۹۵	۱۴۲۶	بسیار مرطوب
۶۷	۱۳/۵۷	۴۲	۵۵	۳۱	۳۰۵	۱۲۱۹	۰	۳۶/۷۱	۵۱/۰۸	۱۴۲۷۱	
۶۳	۲۴/۲۵	۱۴۲	۱۹	۷۷	۱۰۹۰	۲۷۸۷	۰	۳۶/۷۱	۵۱/۱۳	۱۴۲۷۲	
۵۳	۲۸/۹۱	۷۰	۸۳	۴۶	۷۵۷	۱۵۲۴	۱۳۸	۳۶/۶۴	۵۱/۳۶	۱۴۲۸۲	
۵۰	۲۴/۳۶	۱۰۹	۱۵۹	۶۰	۱۷۴۷	۳۵۵۶	۱۰۵۳	۳۶/۵۶	۵۱/۲۱	۱۴۲۸۳	

است (علیزاده، ۲۰۰۷ و سبحانی، ۲۰۱۳)، بنابراین، در این پژوهش برای تفکیک مناطق اقلیمی کشور برای بررسی نقش روزهای بارانی در پیش‌بینی منحنی تداوم جریان از این سیستم طبقه‌بندی اقلیمی استفاده شده است. لایه‌های رقومی خطوط هم‌باران و خطوط هم‌دما براساس داده‌های درازمدت منتهی به ۱۳۸۰، و نقطه‌های ایستگاه‌های هواشناسی با استفاده از نقشه (شرکت جاماب ۱۳۸۷) تهیه شد. میان‌یابی با روش معکوس وزنی فاصله^۲ و با کمک نقطه‌های ایستگاهی جدید در ArcGIS13 انجام، و لایه‌ی آن بر اساس رابطه‌ی ۱ تهیه، و در شش منطقه‌ی اقلیمی بر اساس ضریب‌های دوما رتن طبقه‌بندی شد (جدول ۲).

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

I = ضریب خشکی دوما رتن، P = بارندگی سالانه به میلی‌متر،
 T = دمای سالانه به سانتی‌گراد

روش پژوهش

نقشه‌ی اقلیم کشور بر اساس نظام طبقه‌بندی دوما رتن تهیه شد و با روی هم‌گذاری آن با مرز حوزه‌های آبخیز رتبه‌ی چهار، آبخیزهای هر منطقه‌ی اقلیمی تفکیک شد. سپس ۳۱۴ ایستگاه آب‌سنجی با آمار مناسب و دوره‌ی مشترک آماری (۲۰۱۱-۱۹۷۶) در شش منطقه‌ی اقلیمی انتخاب شد. منحنی تداوم جریان با استفاده از داده‌های دبی روزانه توسط نرم‌افزار هایدرو آفیس (۲۰۱۵) در دوره‌های زمانی سالانه ترسیم، و از میانگین شاخص‌های سالانه، شاخص‌های درازمدت Q_2 ، Q_5 ، Q_{10} ، Q_{15} ، Q_{20} ، Q_{25} ، Q_{30} ، Q_{35} ، Q_{40} ، Q_{45} ، Q_{50} ، Q_{55} ، Q_{60} ، Q_{65} ، Q_{70} ، Q_{75} ، Q_{80} ، Q_{85} ، Q_{90} استخراج شد. میانگین درازمدت تعداد روزهای بارانی برای هر آبخیز محاسبه، و روابط رگرسیونی بین شاخص‌های منحنی و میانگین سالانه‌ی تعداد روزهای بارانی در مناطق مختلف اقلیمی استخراج و تحلیل شد. تهیه‌ی نقشه‌ی اقلیم کشور: سیستم طبقه‌بندی اقلیمی دوما رتن برای مطالعات هیدرومتری طرح‌ریزی و توصیه شده

جدول ۲- محدوده‌ی ضریب‌های طبقه‌بندی دو مارتن.

$I < 10$	$10 < I < 19.9$	$20 < I < 23.9$	$24 < I < 27.9$	$28 < I < 34.9$	$I > 35$
خشک	نیمه‌خشک	مدیترانه‌یی	نیمه‌مرطوب	مرطوب	بسیار مرطوب

نتایج رابطه‌های رگرسیونی بین میانگین سالانه‌ی بلندمدت تعداد روزهای بارانی و شاخص‌های منحنی تداوم جریان در آبخیزهای مناطق اقلیمی کشور در جدول ۴ نشان داده شده است.

نتایج

پس از ترسیم منحنی تداوم جریان همه‌ی آبخیزها (شکل ۲)، شاخص‌های Q_2 ، Q_5 ، Q_{10} ، Q_{15} ، Q_{20} ، Q_{25} ، Q_{30} ، Q_{35} ، Q_{40} ، Q_{45} ، Q_{50} ، Q_{55} ، Q_{60} ، Q_{65} ، Q_{70} ، Q_{75} ، Q_{80} ، Q_{85} ، Q_{90} استخراج شد. جدول ۳ اندازه‌های کمینه، بیشینه و میانگین شاخص‌های آبخیزهای هر منطقه‌ی اقلیمی را نشان می‌دهد.

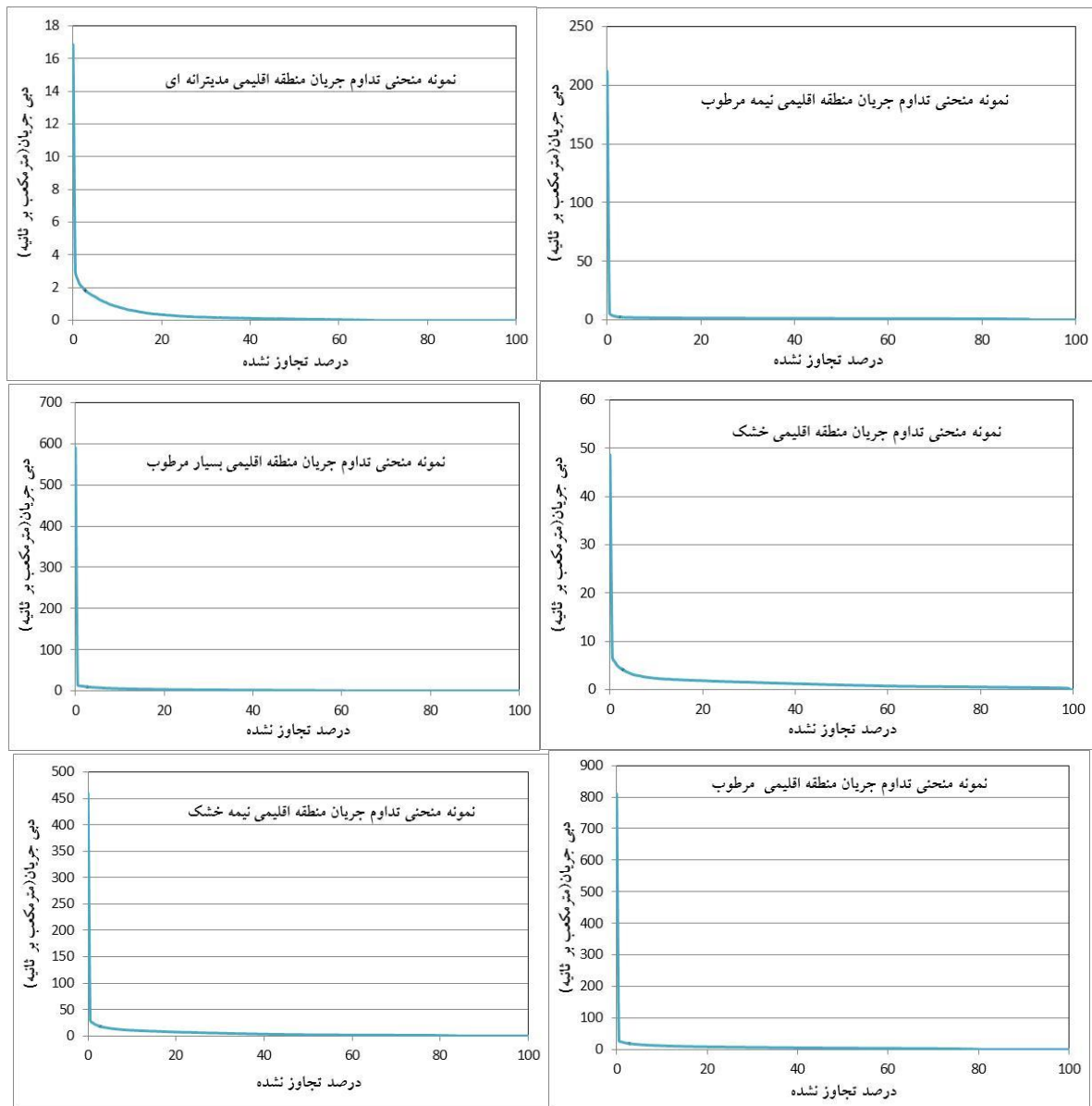
نقش روزهای بارانی در پیش‌بینی منحنی تداوم جریان...

جدول ۳- کمینه، بیشینه و میانگین شاخص‌های منحنی تداوم جریان در آبخیزهای پژوهش.

اقلیم	صک منحنی (مترمکعب بر ثانیه)	Q2	Q5	Q10	Q15	Q20	Q50	Q75	Q90
بسیار مرطوب	میانگین	۸۷	۸۳	۸۷	۸۴	۸۱	۶۰	۵۷	۴۹
	بیشینه	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	۷۳	۷۹	۶۲
	کمینه	۶۰	۳۷	۵۵	۵۴	۵۶	۳۰	۳۴	۲۲
مرطوب	میانگین	۹۰	۹۱	۹۱	۸۴	۷۶	۶۴	۶۰	۴۹
	بیشینه	۹۸	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۸۶	۷۸	۷۴
	کمینه	۵۵	۵۱	۴۰	۲۸	۳۰	۲۹	۲۶	۳۰
نیمه مرطوب	میانگین	۹۲	۹۲	۹۴	۹۰	۷۹	۶۸	۶۲	۵۰
	بیشینه	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۸۶	۸۱	۷۴
	کمینه	۵۳	۶۴	۶۳	۶۳	۳۰	۳۸	۴۱	۲۳
مدیترانه‌ای	میانگین	۸۴	۸۶	۸۷	۸۱	۷۱	۵۹	۵۶	۴۷
	بیشینه	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	۸۵	۷۶	۶۹
	کمینه	۲۷	۳۱	۳۵	۳۶	۲۶	۲۷	۲۴	۲۱
خشک	میانگین	۸۸	۸۴	۸۷	۸۷	۸۵	۵۸	۵۲	۵۰
	بیشینه	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۷۹	۸۰	۶۸
	کمینه	۵۸	۳۸	۵۲	۵۱	۵۷	۳۰	۲۳	۲۷
نیمه-خشک	میانگین	۹۰	۸۹	۹۱	۹۰	۶۵	۴۱	۳۳	۳۹
	بیشینه	۹۷	۹۷	۹۸	۹۸	۹۵	۹۶	۵۲	۶۵
	کمینه	۶۷	۶۶	۷۱	۷۵	۴۰	۳۱	۲۴	۲۵

جدول ۴- رابطه‌ی بین میانگین سالانه‌ی بلندمدت تعداد روزهای بارانی و شاخص‌های منحنی تداوم جریان در مناطق مختلف اقلیمی.

منطقه	شاخص	رابطه‌ی خطی	R ²	منطقه	شاخص	رابطه‌ی خطی	R ²
بسیار مرطوب	Q2	Y=0.5899x+55.162	۰/۳۶	مرطوب	Q2	Y=0.4981x+63.673	۰/۱۵
	Q5	Y=0.8447x+37.603	۰/۲۱		Q5	Y=0.3829x+71.031	۰/۱۰
	Q10	Y=0.4822x+60.734	۰/۱۴		Q10	Y=0.4809x+65.956	۰/۱۴
	Q15	Y=0.5977x+52.125	۰/۱۹		Q15	Y=0.8555x+39.152	۰/۲۶
	Q20	Y=0.5938x+48.948	۰/۳۱		Q20	Y=1.3108x+6.6348	۰/۴۵
	Q50	Y=6552x+24.139	۰/۳۱		Q50	Y=1.1535x+3.3998	۰/۵۹
	Q75	Y=0.6945x+19.901	۰/۶۹		Q75	Y=1.0856x+2.9772	۰/۷۴
	Q90	Y=5182x+20.781	۰/۵۲		Q90	Y=1.0998x-9.285	۰/۷۲
	Q2	Y=0.1901x+81.796	۰/۰۵		Q2	Y=0.728x+46.643	۰/۲۶
نیمه مرطوب	Q5	Y=0.1328x+84.751	۰/۰۴	مدیترانه‌ای	Q5	Y=0.7087x+49.039	۰/۲۷
	Q10	Y=0.0269x+92.152	۰/۰۰۲		Q10	Y=0.5905x+56.062	۰/۲۳
	Q15	Y=0.2194x+78.366	۰/۰۸۸		Q15	Y=0.6506x+47.238	۰/۱۹
	Q20	Y=1.4298x+2.9379	۰/۶۳		Q20	Y=0.8958x+24.643	۰/۲۶
	Q50	Y=0.8079x+24.738	۰/۴۷		Q50	Y=0.9153x+11.931	۰/۵۱
	Q75	Y=0.8616x+15.981	۰/۷۰		Q75	Y=0.9835x+4.613	۰/۸۱
	Q2	Y=0.3646x+69.011	۰/۱۷		Q2	Y=0.5598x+70.54	۰/۲۴
	Q5	Y=0.6095x+51.634	۰/۱۹		Q5	Y=0.5756x+69.58	۰/۲۴
	Q10	Y=0.4014x+66.224	۰/۱۴		Q10	Y=0.4619x+75.369	۰/۲۱
خشک	Q15	Y=0.4405x+63.954	۰/۱۷	نیمه-خشک	Q15	Y=0.5169x+72.869	۰/۳۴
	Q20	Y=0.3036x+68.044	۰/۱۵		Q20	Y=1.4561x+15.767	۰/۵۶
	Q50	Y=0.6167x+25.482	۰/۳۶		Q50	Y=1.0191x+6.9469	۰/۳۴
	Q75	Y=0.7831x+11.089	۰/۶۳		Q75	Y=0.7007x+9.5442	۰/۴۵



شکل ۲- نمونه‌یی از منحنی تداوم جریان آبخیزهای اقلیم‌های مختلف.

درازدت تعداد روزهای بارانی در محدوده‌ی ۰/۵۳ تا ۰/۶۴ است.

منطقه‌ی اقلیمی مرطوب: روی هم‌گذاری نقشه‌ی مرز آبخیزها با نقشه‌ی اقلیم نشان داد که منطقه‌ی اقلیمی مرطوب در شمال، غرب و شمال غرب کشور گسترش دارد و عمدتاً در محدوده‌ی استان‌های مازندران، کردستان، چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد است. حدود ۳/۸۷٪ از آبخیزهای رتبه‌ی چهار کشور در این اقلیم اند. رابطه‌ی بین تعداد روزهای بارانی با شاخص‌های منحنی تداوم جریان در جدول ۴ نشان داده شده است. همبستگی بین شاخص‌های بخش پربابی منحنی تداوم جریان (Q₂ تا Q₅₀) در محدوده‌ی ۰/۱ تا ۰/۵۹، و ضریب تبیین

منطقه‌ی اقلیمی بسیار مرطوب: روی هم‌گذاری نقشه‌ی مرز حوزه‌های آبخیز رتبه‌ی چهار کشور و نقشه‌ی اقلیمی در محیط رقومی نشان داد که منطقه‌ی اقلیمی بسیار مرطوب، در مناطق شمال و غرب کشور است، و مناطقی از استان‌های گیلان، مازندران، کردستان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد را پوشش داده، به طوری که تقریباً ۵/۸۰٪ از آبخیزهای کشور در این اقلیم است. رابطه‌ی بین تعداد روزهای بارانی با شاخص‌های منحنی تداوم جریان در جدول ۴ نشان داده شده است. همبستگی بین شاخص‌های بخش پربابی منحنی تداوم جریان (Q₂ تا Q₅₀) در محدوده‌ی ۰/۲۶ تا ۰/۳۱ است. و ضریب تبیین بین شاخص‌های کم‌آبی (Q₇₅ و Q₉₀) با میانگین

برای تحلیل انتخاب شد. رابطه‌ی بین تعداد روزهای بارانی با شاخص‌های منحنی تداوم جریان در جدول ۴ نشان داده شده است. همبستگی بین شاخص‌های بخش پرآبی منحنی تداوم جریان (Q₂ تا Q₅₀) در محدوده‌ی ۰/۲۱ تا ۰/۵۶ و ضریب تبیین بین شاخص‌های کم‌آبی (Q₇₅ و Q₉₀) با میانگین درازمدت تعداد روزهای بارانی در محدوده‌ی ۰/۴۵ تا ۰/۷۲ است.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی روند تغییرات میانگین‌های درازمدت شاخص‌های به‌دست‌آمده از منحنی تداوم جریان در اقلیم‌های مختلف نشان داد که اولین نقطه‌ی عطف منحنی تداوم جریان در آبخیزهای بررسی شده در تمامی اقلیم‌ها در گذر از Q₂ به Q₅ اتفاق افتاده است، که متأثر از شرایط آب‌شناسی پرآبی آبخیزها است (جدول ۳ و شکل ۲). نقطه‌ی عطف مهم دیگر که نماینده‌ی گذر از شرایط پرآبی به طبیعی است، در حفاصل Q₂₀ به Q₅₀ نمایان شده است، و شیب منحنی در نقطه‌ی شکست متناسب با منطقه‌ی اقلیمی و مشخصه‌های فیزیکی و آب‌شناسی حاکم بر آبخیزها متفاوت است. بیش‌ترین شیب در محل شکست منحنی در گذر از شرایط پرآبی به طبیعی، مربوط به منحنی‌های تداوم جریان منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک، و در مرتبه‌ی بعدی منحنی‌های منطقه‌ی بسیار مرطوب است. شرایط شیب منحنی آبخیزهای مناطق اقلیمی مرطوب، نیمه‌مرطوب و مدیترانه‌یی برابر و مشابه است. مهم‌ترین نقطه‌ی عطف منحنی که بعد از آن شرایط کم‌آبی مشاهده شد آخرین نقطه‌ی عطف است، که عموماً در گذر از Q₅₀ به Q₇₅ اتفاق می‌افتد. در خصوص منطقه‌ی بسیار مرطوب، مرطوب، نیمه‌مرطوب و مدیترانه‌یی، تغییر شیب تدریجی است و شکست عمده در گذر از Q₇₅ به Q₉₀ اتفاق افتاده است. برای منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک، آخرین نقطه‌ی عطف مهم همان محدوده‌ی گذر از شرایط پرآبی به طبیعی است و پس از آن روند تغییر شیب تدریجی است، و شاخص‌های منحنی تداوم جریان از شرایط نرمال (Q₅₀) تا کم‌آبی (Q₇₅ و Q₉₀) تفاوت فاحشی ندارند. تغییرات مکانی آخرین نقطه‌ی عطف منحنی تداوم جریان که در آن شیب منحنی تقریباً صفر است، در اقلیم‌های مختلف که برای نمونه در شکل ۲ نشان داده شده، دیده می‌شود. آخرین نقطه‌ی عطف در نمونه‌ی منحنی منطقه‌ی اقلیمی مدیترانه‌یی در احتمال تجاوزنشده‌ی Q₄₀ نمایان شده است. این مورد برای منطقه‌ی نیمه‌مرطوب در Q₂₀، منطقه‌ی بسیار مرطوب در Q₁₀، در منطقه‌ی اقلیمی نیمه‌خشک Q₃₅ و منطقه‌ی خشک در Q₈₀ است. شناخت فرآیند، تغییر مکان نقطه‌ی عطف منحنی و چگونگی تأثیرهای آن در آبخیزهای اقلیم‌های مختلف، امکان تفسیر و تحلیل شرایط و پاسخ آب‌شناسی آبخیزها را فراهم می‌کند. نمونه‌ی بی‌نظیر آن را کاظمی و همکاران (۲۰۱۸) و ژنگ و همکاران (۲۰۰۷) نیز

بین شاخص‌های کم‌آبی (Q₇₅ و Q₉₀) با میانگین درازمدت تعداد روزهای بارانی در محدوده‌ی ۰/۷۲ تا ۰/۷۴ است. منطقه‌ی اقلیمی نیمه‌مرطوب: این منطقه‌ی اقلیمی در نوار باریکی از شمال و گستره‌ی غرب کشور، و شامل بخش‌هایی از محدوده‌ی استان‌های لرستان، کردستان، کرمانشاه و مازندران است. حدود ۳/۳۴٪ از آبخیزهای رتبه‌ی چهار کشور در این منطقه اقلیمی‌اند. در این پژوهش تعداد ۳۸ آبخیز با دوره‌ی مشترک برای تحلیل به کار رفت. رابطه‌ی بین تعداد روزهای بارانی با شاخص‌های منحنی تداوم جریان در جدول ۴ نشان داده شده است. همبستگی بین شاخص‌های بخش پرآبی منحنی تداوم جریان (Q₂ تا Q₅₀) در محدوده‌ی ۰/۰۵ تا ۰/۴۷، و ضریب تبیین بین شاخص‌های کم‌آبی (Q₇₅ و Q₉₀) با میانگین درازمدت تعداد روزهای بارانی در محدوده‌ی ۰/۷۰ تا ۰/۷۶ است. منطقه‌ی اقلیمی مدیترانه‌یی: مناطق تحت پوشش این منطقه‌ی اقلیمی در گستره‌ی غرب و شمال غرب کشور در محدوده استان‌های کرمانشاه، لرستان، همدان، کردستان، آذربایجان شرقی و غربی و اردبیل، و حدود ۴/۹۳٪ از آبخیزهای رتبه‌ی چهار کشور در این اقلیم است. در این اقلیم ۵۶ آبخیز با آمار مناسب و دوره‌ی مشترک آماری انتخاب شد. رابطه‌ی بین تعداد روزهای بارانی با شاخص‌های منحنی تداوم جریان در جدول ۴ نشان داده شده است. همبستگی بین شاخص‌های بخش پرآبی منحنی تداوم جریان (Q₂ تا Q₅₀) در محدوده‌ی ۰/۲۶ تا ۰/۵۱، و ضریب تبیین بین شاخص‌های کم‌آبی (Q₇₅ و Q₉₀) با میانگین درازمدت تعداد روزهای بارانی در محدوده‌ی ۰/۶۸ تا ۰/۸۱ است. منطقه‌ی اقلیمی خشک: روی هم گذاری نقشه‌های مرز آبخیزها با نقشه‌ی اقلیم نشان داد که گستره‌ی این منطقه‌ی اقلیمی در جغرافیای کشور بیشترین است و کل مناطق مرکز، جنوب، شرق و جنوب شرق را پوشانده است. آبخیزهای واقع در این منطقه تقریباً ۵۸/۳۱٪ از آبخیزهای درجه‌ی چهار کشور را شامل می‌شود. در این منطقه‌ی اقلیمی ۷۴ آبخیز انتخاب شد. رابطه‌ی بین تعداد روزهای بارانی با شاخص‌های منحنی تداوم جریان در جدول ۴ نشان داده شده است. همبستگی بین شاخص‌های بخش پرآبی منحنی تداوم جریان (Q₂ تا Q₅₀) در محدوده‌ی ۰/۱۷ تا ۰/۳۶، و ضریب تبیین بین شاخص‌های کم‌آبی (Q₇₅ و Q₉₀) با میانگین درازمدت تعداد روزهای بارانی در محدوده‌ی ۰/۵۳ تا ۰/۶۳ است.

منطقه‌ی اقلیمی نیمه‌خشک: روی هم گذاری نقشه‌های اقلیم و آبخیزها نشان داد که این منطقه‌ی اقلیمی در گستره‌ی شمال شرق، غرب و شمال-غرب کشور و در 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٪ از آبخیزهای کشور در این اقلیم است. برای ۴۷ آبخیز آمار مناسب و دوره‌ی مشترک

کاستلارینا و همکاران (۲۰۰۴)، واگنر و همکاران (۲۰۱۳)، زارع (۲۰۱۳)، و خسرو بیگی و وفاخواه (۲۰۱۷) از روابط همبستگی عوامل انتخاب شده برای برآورد کردن تمام بخش های منحنی استفاده شده است. در حالی که نتایج این پژوهش تاکید دارد که تاثیر عوامل منتخب باید جداگانه برای بخش های مختلف منحنی ارزیابی شود و به کار رود.

روابط همبستگی بین شاخص های بخش ابتدایی و پرآبی منحنی تداوم جریان با میانگین سالانه تعداد روزهای بارانی، در تمامی آبخیزهای منتخب از اقلیم های مختلف، رابطه ی ضعیف و بی اعتمادی برای تحلیل منطقه یی و پیش بینی و برآورد است. این رابطه برای بخش انتهایی منحنی شامل شاخص های Q_{75} و Q_{90} رابطه ی قوی با ضریب تبیین مناسب است. توجه داده می شود که میانگین ضریب تبیین شاخص های Q_{75} و Q_{90} با میانگین سالانه تعداد روزهای بارانی در آبخیزهای اقلیم های مختلف تقریباً برابر و به میزان ۰/۶۶ است، که اهمیت تعداد روزهای بارانی را به مانند عامل پیش بینی کننده ی شاخص های کم آبی در بخش انتهایی منحنی تداوم جریان در اقلیم های مختلف نشان می دهد.

تقدیر و تشکر

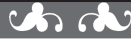
این پژوهش برآمده از بخشی از طرح تحقیقاتی ارزیابی پارامترهای هیدرولوژیکی است که در پژوهشکده ی حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. بدین وسیله از همراهی و مساعدت مسئولان محترم پژوهشکده تشکر می شود.

گزارش کرده اند، که تبعیت شکل منحنی از مشخصه های اقلیمی و زمین ریخت شناسی در تطابق با نتایج این پژوهش ها است. این تغییرات نقطه ی عطف های منحنی در اقلیم های مختلف، لزوم توجه به نقش برآورد کننده ی عوامل مؤثر و شناخت دقیق نوع عوامل مؤثر و میزان تأثیر گذاری آن ها را تأکید می کند. همان طور که از رابطه های همبستگی شاخص های منحنی تداوم جریان با متوسط سالانه ی تعداد روزهای بارانی هر آبخیز در اقلیم های مختلف برمی آید (جدول ۴)، رابطه های همبستگی در دو گروه مختلف شاخص های کم آبی مربوط به بخش انتهایی منحنی تداوم جریان، شامل شاخص های Q_{75} و Q_{90} و بخش ابتدایی منحنی که شاخص های پرآبی است جداشدنی است.

بنابراین، با توجه به این که رفتار شاخص های پرآبی از جمله Q_{20} ، Q_{15} ، Q_{10} ، Q_5 ، Q_2 به طور مستقیم متأثر از مشخصه ی شدت و مدت بارش است، رابطه ی همبستگی مناسبی با تعداد روزهای بارانی نماینده ی توزیع زمانی بارش نشان نمی دهد. میزان همبستگی بین شاخص های منحنی تداوم جریان با تعداد روزهای بارانی از شاخص های پرآبی (بخش بالایی منحنی) به سمت شاخص های کم آبی (پایین منحنی)، روند صعودی نشان می دهد و از ضریب تبیین میانگین ۰/۱۸ برای Q_2 تا ۰/۳۱ برای Q_{20} افزایش می یابد. همین روند افزایشی برای شاخص نرمال Q_{50} و شاخص کم آبی Q_{75} و Q_{90} نیز ادامه می یابد. با توجه به این که پراکندگی روزهای بارانی و توزیع آن می تواند تداوم جریان را در طول زمان در رودخانه ها تأمین کند، از دیدگاه منطقی علمی انتظار این روند افزایشی همبستگی بین شاخص ها با میانگین تعداد روزهای بارانی را داریم. در نتایج منتشر شده ی

- Alizadeh A. 2007. Principal of applied hydrology, 14rd Edn. Mashhad. Emamreza University. 807p. (In Persian).
- Atieh M, Taylor G, Sattar AM, Gharabaghi B. 2017. Prediction of flow duration curves for un gauged basins. *Journal of Hydrology*. 545: 383–394.
- Banasik K, Hejduk L. 2013. Flow duration curves for two small catchments with various records in lowland part of Poland.-*Annual Set The Environment Protection*. 15:287–300.
- Burgan HI, Aksoy H. 2018. Annual flow duration curve model for ungauged basins. *Hydrology Research*. 49(5): 1684–1695.
- Castellarina A, Galeatib G, Brandimartea L, Montanaria L, Bratha AA. 2004. Regional flow-duration curves: Reliability for ungauged basins, *Journal of Advances in Water Resources*. 27: 953–965.
- Cheng L, Yaeger M, Viglione A, Coopersmith E, Ye S, Sivapalan M. 2012. Exploring the physical controls of regional patterns of flow duration curves–Part 1: Insights from statistical analyses. *HydrologyandEarth System-Sciences*. 16 (11): 4435–4446.
- Coopersmith E, Yaeger MA, Ye S, Cheng L, Sivapalan M. 2012. Exploring the physical controls of regional patterns of flow duration curves–Part 3: A catchment classification system based on regime curve indicators. *HydrologyandEarth System-Sciences*. 16 (11): 4467–4482.
- Cošta V, Fernandez W, 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. *Hydrological Sciences Journal*. 59 (2): 262–277.
- Jamab Consulting Engineers Company, 1387, Hydrology and Climatology Data Base.
- Kazemi R. Porhemmat J, Sharifi F .2018. Investigation and determination of factors affecting the shape of the flow duration curve in different climates of Iran, *J. of Water and Soil Conservation*. 25(1): 85–105. (In Persian).
- Kazemi R, Karam A, Safari A, Porhemmat J. 2017. Modeling of flow duration curve deformation in Karkheh Basin, *Journal of Geographic Space*. 17(60):131–147. (In Persian).
- Kazemi R, Ghiasi GN. 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).
- Khosrobeygi-Bozcheloei S, Vafakhah M. 2017. Regional analysis of flow duration curve in Namak Lake Basin, Iran. *Journal of Watershed Management Research*. 7 (14):236–228. (In Persian).
- Kneale PE. 1989. Principles of hydrology (3rd edition), R. C. Ward and M. Robinson, McGraw-Hill, 1989 ISBN 0-07-707204-9.
- Lane PNJ, Best AE, Hickel K, Zhang L. 2005. The response of flow duration curves to afforestation, *Journal of Hydrology*. 310: 253– 265.
- Lee TH, LeeM H, Yi J. 2016. Development of regional regression model for estimating flow duration curves in un gauged basins. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 36(3): 427–437.
- Othman A, Khairudin WM, Othman J, Ghani MA, Saudi ASM. 2017. Water flow measuring methods in small hydropower for streams and rivers- A study. *International Journal of Applied Engineering Research*. 12(24):14484–14489.
- Pugliese A, Farmer WH, Castellarin A, Archfield SA, Vogel RM. 2016. Regional flow duration curves: Geostatistical techniques versus multivariate regression. *Advances in Water Resour-*

- es. 96: 11–22.
- Pumo D, Noto LV, Viola F. 2013. Eco hydrological modeling of flow duration curve in Mediterranean river basins. *Advances in Water Resources*. 52: 314–327.
- Rosburg TT. 2015. Flow duration curves and sediment yield estimation for urbanizing watersheds (Doctoral dissertation, Colorado State University). 80 p.
- Sobhani B, Sarraf B, Azadi Mobaraki M, Hoseyni SA. 2013. Modeling of rain fall in the west and southwest of the Caspian Sea using spatial interpolation methods in the GIS environment. *Journal of Geography and Development*. 11(30): 23–34
- Wagener T, Blöschl G, Goodrich D, Gupta H, Sivapalan M, Tachikawa Y, Troch P, 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, Savenije H, Cambridge University Press. Cambridge UK. 11–28.
- Wagener T, Sivapalan M, Troch PA, Woods R. 2007. Catchment classification and hydrologic similarity, *Geogr. Compass*. 1: 901–931.
- Yokoo Y, Sivapalan M. 2011. Towards reconstruction of the flow duration curve: development of a conceptual framework with a physical basis. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15 (9): 2805–2819.
- Zare Chahouki A, Salajegheh A, Mahdavi M, Khalighi S, Asadi S. 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).
- Zhang X, Zhang L, Zhao J, Rustomji P, Hairsine P. 2008. Responses of stream flow to changes in climate and land use/cover in the Loess Plateau, China, *Journal of Water Resource Research*. 44 (7):1–12.
- Zheng H, Zhang L, Liu C, Shao Q, Fukushima Y. 2007. Changes in stream flow regime in headwater catchments of the Yellow River basin since the 1950s. *Journal of Hydrological Process*. 21(7):886–893.



Watershed Management Research

VOL. 32, No. 1, Ser.No: 122, Spring 2019, pp. 60-72

DOI: 10.22092/wmej.2019.122870.1135

The Role of Rainy Days in Predicting the Flow Duration Curve in Different Climates of Iran

Rahim Kazemi*

(Corresponding Author)* Assistant Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

Forood Sharifi

Associate Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

*Corresponding Email: ra_hkazemi@yahoo.com

Received: 01 August 2018 Accepted: 12 March 2019

Abstract

The Improvement and development of predictions in ungauged catchments require recognizing effective factors and understanding the interactions between different components of the catchments and hydrological response in different climatic zones. The most important factors affecting the flow duration curve (FDC) indices are precipitation and its characteristics. Since the flow duration curve represents the hydrologic response of watersheds, investigating and recognizing the effect of rainfall distribution on it can help to identify predictive factors for estimating the flow duration curve in ungauged catchments. The purpose of this study was to analyze the relationships between the number of rainy days and the indices FDC in the different climate zones of the country. Catchments of each climatic region were separated using the climate map of the country and overlapping it with the four-level border map of the watershed, and 314 hydrometric stations with the common period (1976–2011) in six climatic zones were selected. Flow duration curve using daily stream flow data were extracted by the Hydro Office software (2015) and indices of Q2, Q5, Q10, Q15, Q20, Q50, Q75, and Q90 were selected. The average of rainy days for each catchment was calculated and the regression relations between the FDC indices and the average of the number of rainy days in different climatic regions were extracted and analyzed. The results showed that the correlation between the indices of the first part of FDC with the number of rainy days in all selected watersheds of climatic zones had a weak and unreliable relationship for prediction and estimation of FDC in the ungauged catchments. But the relationships for the end parts of FDC (Q75 and Q90), were strong. It is noteworthy that the average coefficient of determination for the low flow indices (Q75 and Q90) with the average annual rainy days in catchments of different climatic zones was approximately equal to 0.66. This indicates the importance of the parameter of the number of rainy days as the predictor of the low flow indices associated with the end part of the FDC in different climatic zones. Therefore, it is suggested that the number of rainy days should be used as a predictive parameter for estimating the indices of the end section of FDC; its use for estimating other indices is not recommended.

■ **Keywords:** Annual precipitation, climate map, flow duration curve index, inflection point, low flow index ■