

برآورد منحنی‌های فروکش اصلی (MRC) جریان رودخانه‌ای در ایستگاه‌های

هیدرومتری استان اردبیل

ناهیده پرچی^۱، رئوف مصطفی‌زاده^۲، اباذر اسمعیلی‌عوری^۳، رسول ایمانی^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۵/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۳۰

مقاله پژوهشی

چکیده

منحنی فروکش اصلی (MRC) مشخص‌کننده شرایط میانگین جریان پایه و نشانه‌ای از مشارکت آب زیرزمینی در جریان سطحی رودخانه است و یکی از عوامل مهم در هیدرولوژی و منابع آب است. در همین راستا، هدف از پژوهش حاضر برآورد معادلات رگرسیونی منحنی‌های فروکش اصلی جریان رودخانه‌ای در ۲۸ ایستگاه هیدرومتری استان اردبیل است. به منظور تعیین معادلات رگرسیونی منحنی فروکش اصلی از برنامه‌نویسی و ویژوال بیسیک استفاده شد. پس از محاسبه منحنی فروکش اصلی، مقادیر ضریب شیب، ثابت منحنی فروکش و ضریب تبیین برای ایستگاه‌های مطالعاتی تعیین شد. بر اساس نتایج و معادلات منحنی فروکش اصلی، مقدار میانگین ضریب تبیین رابطه رگرسیونی لگاریتمی با مقدار $0/83$ نزدیک‌ترین مقدار به معیار بوده و به‌عنوان بهترین معیار برازش مورد توجه قرار گرفت. بر اساس نتایج، ضریب شیب بیش‌تر در ایستگاه‌های بوران، فیروزآباد و مشیران به ترتیب با مقدار $2/70$ ، $2/43$ و $2/20$ که جزو رودخانه‌های دائمی به ترتیب با مقادیر دبی $17/97$ ، $2/95$ و $13/79$ متممکعب در ثانیه هستند، برآورد شد. درحالی‌که مقادیر شیب در ایستگاه‌های حاج احمد کندی، کوزه‌تپراقی و نیر به ترتیب برابر $0/09$ ، $0/05$ و $0/051$ هستند که دارای مقادیر دبی پایینی به مقدار $0/15$ ، $0/93$ و $1/22$ مترمکعب در ثانیه هستند. در خصوص مقادیر ثابت نیز ایستگاه‌های پل‌الماس، باروق و فیروزآباد دارای بیش‌ترین مقدار ثابت به ترتیب 896 ، 572 و $15/89$ هستند. ضریب تبیین معادلات لگاریتمی نشان داد که در ایستگاه‌های بالادست با تغییرات کم‌تر در دبی جریان، مقدار ضریب تبیین معادلات بالاتر است. درحالی‌که در ایستگاه‌های پرآب و پایین‌دست مقدار ضرایب تبیین معادلات کم‌تر است.

واژه‌های کلیدی: رژیم جریان رودخانه، شاخه نزولی هیدروگراف، شدت فروکش، مشارکت جریان پایه، منحنی فروکش جریان

۱- کارشناس ارشد مهندسی آبخیزداری، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
nahidparchami96@gmail.com

۲- دانش‌یار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهش‌شکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ۰۹۱۴۴۸۱۵۷۴۳
ایران raoofmostafazadeh@uma.ac.ir (نویسنده مسئول)

۳- دانش‌یار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهش‌شکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران،
esmailiouri@uma.ac.ir

۴- دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران، rasool.imani@yahoo.com

فروکش جزئی جریان آب است و شکل آن نشان‌دهنده خواص هیدرودینامیک سیستم آبخوان و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوزه آبخیز است (Bonacci, 1993). اگرچه منحنی فروکش اصلی، به دلیل میانگین حاصل از منحنی‌های فروکش جزئی ممکن است جزئیات تغییرات فروکش را به خوبی نمایش ندهد، اما تجزیه و تحلیل منحنی فروکش اصلی در اغلب موارد نقش مؤثری در پیش‌بینی کمیت جریان و برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در انواع کاربری‌های شرب، کشاورزی، صنعتی و تولید برق دارد (Tallaksen, 1995). رودخانه‌ها معمولاً در طول فصول خشک و کم باران از سفره آب زیرزمینی تغذیه می‌کنند. جریان‌های کم معمولاً ناشی از تخلیه آب زیرزمینی یا دریاچه‌ها و مرداب‌ها و یا یخچال‌ها است (Smakhtin, 2001). در همین راستا Linsely et al (1958) با مطالعه بر روی شاخه خشکیدگی هیدروگراف‌ها در نیویورک بیان داشتند که روند نزولی هیدروگراف تحت تأثیر جنس سازندهای زمین‌شناسی و مستقل از بارش است و این شیب نزولی برحسب تأثیر جریان‌های فرعی از قبیل رواناب سطحی، جریانات زیرقشری به‌صورت نزولی کاهش پیدا می‌کند و با افزایش زمان به آخرین نقطه عطف می‌رسد که نقطه شروع تغذیه جریان از منابع ذخیره زیرزمینی است. در ادامه Kienzle در سال ۲۰۰۶ در حوزه آبخیز (URBW) مرکز آلبرتا به بررسی خواص هیدرولیک از ترکیب تخلیه دریاچه و پایداری جریان با استفاده از شاخص منحنی فروکش اصلی پرداختند، نتایج ایشان نشان داد که منحنی فروکش اصلی با یک شیب ملایم، نشان‌دهنده همبستگی بین زمان و جریان است و هم‌چنین ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی، تالاب‌ها و آب‌های زیرزمینی آبشار رودخانه URBW در حالت پایدار یا غیرپایدار بارندگی واکنش نشان می‌دهد. Ruirui et al (2010) به بررسی تخمین طول دوره خشکیدگی و سرعت خشکیدگی آب زیرزمینی در حوزه آبخیز در رودخانه زرد چین پرداختند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد ضریب خشکیدگی از ۰/۷۲ تا ۰/۹۴ متغیر بوده که در مناطق لسی بیش‌ترین و در مناطق شنی کم‌ترین مقدار را داشته است

مقدمه

منحنی فروکش^۱، قسمت پایین‌رونده هیدروگراف است که بستگی به فرآیندهای زهکشی و رفتار تخلیه آب از حوضه دارد. در یک واقعه بارش- رواناب، پس از رسیدن دبی به مقدار اوج با قطع بارندگی ابتدا دبی سیلاب با شدت نسبتاً زیاد کاهش یافته اما پس از مدتی در منحنی پایین‌رونده هیدروگراف تغییر شیب یا نقطه عطف ایجاد می‌شود و دبی سیلاب با شدت کم‌تری کاهش می‌یابد. فروکش کردن سیل از این نقطه به بعد مستقل از خصوصیات بارش بوده و به وضعیت زهکشی حوضه از نظر تخلیه آب زیرزمینی، دبی پایه، رواناب‌های تأخیری و زیرسطحی و خارج شدن آب ذخیره شده در سطح حوضه بستگی دارد (دولت‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۱؛ مهدوی، ۱۳۹۲؛ مهری و همکاران، مهری و همکاران، ۱۳۹۸). بایستی اضافه شود که منحنی فروکش به شرایط آب‌های زیرزمینی، نوع کاربری اراضی، ویژگی‌های توزیع بارش، ذخیره‌سازی کانال، خصوصیات هیدرولوژیکی آبخوان و شرایط آب و هوایی بستگی دارد.

روش‌های دیگری نیز برای مقایسه پاسخ هیدرولوژیکی نسبت به متغیر بارش وجود دارد که می‌توان به چندضلعی‌های بارش و رواناب اشاره نمود (مصطفی‌زاده و مهری، ۱۳۹۸). مزیت اصلی تحلیل منحنی فروکش فراهم آوردن مجموعه‌ای از پارامترهای کمی در خصوص شرایط آبخیز است. با استفاده از ضریب فروکش و مقادیر اولیه تخلیه، مقادیر رواناب سطحی، آب زیرقشری و بخش‌های رواناب جزئی (زیررژیم‌ها^۲) می‌توانند به‌طور کامل تفسیر شوند. اما مشکل معمول در استفاده از منحنی‌های فروکش منفرد حاصل از دوره‌های زمانی محدود، توصیف فرآیند فروکش جریان به‌صورت محدود است. روش‌های مختلف ترکیب منحنی‌های جزئی به یک منحنی فروکش اصلی^۳ با طولانی‌ترین دوره و پوشش تمام دبی‌های جریان ثبت‌شده ایجاد شده است. منحنی فروکش اصلی (MRC) در هیدروگراف نشان‌دهنده میانگین مجموعه دوره‌های

۲ - Sub-regimes

3- Master Recession curve (MRC)

۱ - Recession Curve

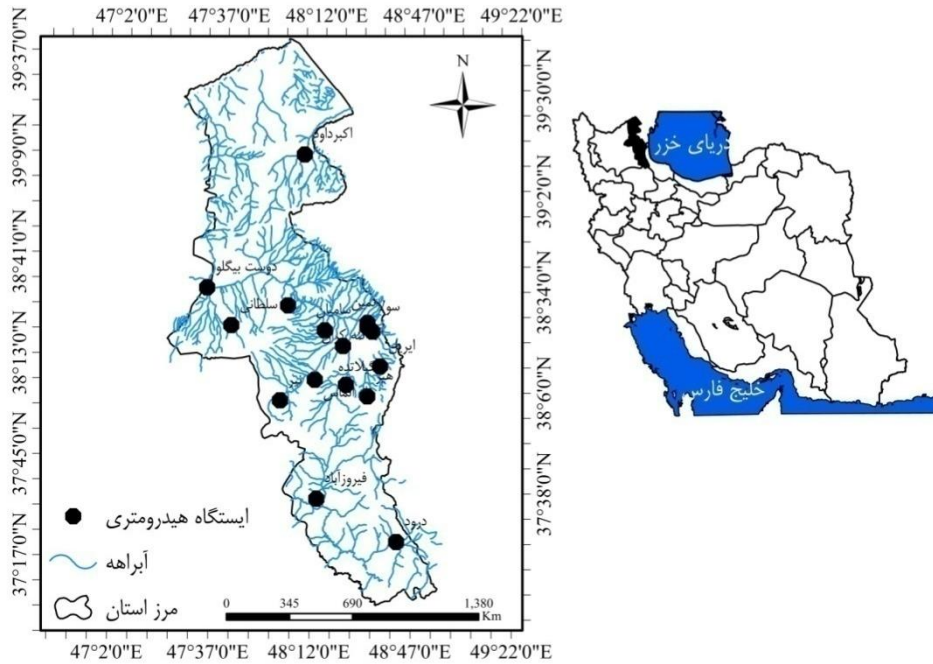
مشخص کند. فرخ‌نیا و مرید (۱۳۹۳) اثر تغییرات بارش و دما را بر روند جریان رودخانه‌های حوزه آبخیز دریاچه ارومیه با استفاده از روش‌های مختلفی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که روند کاهشی دبی در همه ایستگاه‌ها مشاهده شده و در نه ایستگاه مورد مطالعه روند معناداری در دبی‌ها وجود داشته است. از این‌رو این میزان تغییرات باعث تأثیر زیاد در میزان کاهش جریان و در نهایت خشک شدن دریاچه ارومیه شده است. در مجموع بر اساس سوابق پژوهش، می‌توان گفت که تحلیل فروکش جریان در مقیاس روزانه و ارزیابی ارتباط آن با مولفه‌های فیزیوگرافی از مواردی است که نیازمند تحقیق است و می‌تواند در مقایسه واکنش هیدرولوژی آبخیزهای مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد و همچنین، بررسی رابطه‌های رگرسیونی منحنی فروکش اصلی در مطالعات مورد توجه قرار نگرفته است، لذا هدف پژوهش حاضر برآورد معادلات رگرسیونی منحنی فروکش اصلی جریان رودخانه‌ای در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل در مقیاس روزانه است.

مواد و روش

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش استان اردبیل است که در شمال غربی فلات ایران با مختصات جغرافیایی $37^{\circ} 46'$ تا $47^{\circ} 34' 51''$ طول شرقی و $38^{\circ} 14' 33''$ تا $38^{\circ} 14' 33''$ عرض شمالی واقع شده است. استان اردبیل دارای اقلیم سردسیر کوهستانی است. متوسط بارش سالانه در غرب استان بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر، مناطق جنوبی استان ۳۵۰ میلی‌متر و مناطق شمالی استان ۲۱۰ تا ۲۴۰ میلی‌متر است (آسیابی‌هیر و همکاران، ۱۳۹۶). مقدار تبخیر و تعرق متوسط سالانه در استان اردبیل از ۶۰۰ تا ۱۷۰۰ میلی‌متر متغیر است (مطالعات طرح آمایش استان اردبیل، ۱۳۹۱). در شکل ۱ و جدول ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه ارائه شده است.

و نیز طول دوره خشکیدگی آب زیرزمینی از ۳۴ تا ۳۴۲ روز در زیرحوضه‌های مختلف، متفاوت بوده است. VanLoon et al (2014) به بررسی کنترل شدت خشکسالی هیدرولوژیکی در ۴۴ حوضه کشور اتریش با سری‌های زمانی طولانی از داده‌های هواشناسی (۵۰ ساله) و ویژگی‌های فیزیوگرافی حوزه آبخیز با استفاده از روش آستانه متغیر پرداختند، ایشان در پژوهش خود از روش‌های مختلف آماری از جمله تجزیه و تحلیل همبستگی و مدل‌های رگرسیون یک و چندمتغیره استفاده کردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که مدت زمان خشکسالی هیدرولوژیکی در رودخانه‌ها و در درجه اول مربوط به کنترل مقدار ذخیره‌سازی در رودخانه، اندازه‌گیری شاخص جریان پایه و ترکیبی از ویژگی‌های مربوط به ذخیره آب‌های زیرزمینی است. Chaffe و Carlotto (۲۰۱۹) با ارائه ابزار MRCPtool، رویکردهای مختلف تهیه منحنی فروکش اصلی را ارزیابی نمودند. روش‌های مورد آزمون شامل (۱) تفکیک جریان با روش‌های فیلتری عددی، (۲) استخراج خودکار دوره‌های فروکش، (۳) ایجاد منحنی با روش تطابق نواری، (۴) استفاده از کلاس‌های مختلف جریان در منحنی تداوم جریان، (۵) تحلیل فروکش به‌عنوان تابعی از دبی جریان، (۶) شبیه‌سازی منحنی‌های فروکش با رویکرد تحلیلی بودند. Nurkholis و همکاران (۲۰۱۹) در Jonggrangan که یک منطقه کارستی در کشور اندونزی است، از تحلیل منحنی فروکش اصلی برای درجه کارستی شدن حوزه استفاده کردند و درجه کارستی شدن منطقه را تعیین نمودند. Yang و همکاران (۲۰۱۹) با تحلیل منحنی فروکش اصلی در برآورد دبی پایه در سه حوزه آبخیز در کشور کره جنوبی به این نتیجه رسیدند که استفاده از منحنی فروکش فصلی منجر به ارائه نتایج دقیق‌تری شده است. در ایران نیز، شیرخورشیدی (۱۳۹۰) اثر تغییر اقلیم بر جریان ورودی به مخزن سد سلان در استان اردبیل را با مدل شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که به‌دلیل تغییر اقلیم، میزان رواناب ورودی به مخزن سد کاهش یافته است. تغییرات عوامل اقلیمی می‌تواند بر رفتار منحنی فروکش رودخانه‌ها مؤثر باشد، از این‌رو بررسی خصوصیات منحنی فروکش در طول زمان می‌تواند آثار تغییر یا عدم تغییر در رژیم جریان را



جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری برای تحلیل معادلات رگرسیونی منحنی فروکش اصلی در استان اردبیل

ردی ف	محدوده مطالعاتی	نام رودخانه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی ی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	دبی متوسط (مترمکعب ب برب ثانیه)	مساحت (کیلومتر مربع)
۱		بالخلوچای	پل الماس	۴۸-۱۱-۱۹	۴۸-۰۸-۱۶	۱۴۴۰	۳/۰۴	۱۰۷۰
۲		قره‌سو	سامیان	۴۸-۱۴-۴۸	۵۳-۲۲-۳۸	۱۲۹۰	۵/۶۴	۴۰۰۴
۳		نیرچای	نیر	۳۸-۵۹-۴۷	۳۸-۰۲-۰۲	۱۶۲۴	۱/۲۲	۲۵۶
۴		قره‌سو	آلادیزگه	۴۸-۳۵-۲۲	۳۸-۱۷-۰۰	۱۳۴۷	۰/۲	۲۲
۵		ویلادرق‌چای	ویلادرق	۳۸-۱۰-۳۸	۱۹-۴۸-۰۳	۱۸۰۰	۰/۰۷۲	۹۴
۶	اردبیل	شهریورچای	باروق	۴۸-۱۰-۰۶	۳۸-۱۸-۱۷	۱۴۱۰	۰/۱۸۴	۹۶
۷		یدی‌بولیک‌چای	عموقین	۴۷-۱۰-۴۰	۳۸-۱۵-۰۷	۱۳۸۵	۰/۰۱۸۹	۱۱۰
۸		آق‌چای	شمس‌آباد	۴۸-۱۵-۱۴	۳۷-۵۹-۵۳	۱۴۹۳	۰/۲۸۷	۱۲۸
۹		لای‌چای	لای	۴۷-۵۴-۰۳	۳۸-۰۷-۰۰	۲۰۶۸	۰/۱۲۲	۳۶
۱۰		نوران‌چای	آتشگاه	۴۸-۰۳-۲۳	۳۸-۱۳-۰۵	۱۷۷۳	۰/۰۱۱۴	۴۴
۱۱		نوران‌چای	نوران	۴۸-۱۱-۳۷	۵۹-۱۳-۳۸	۱۴۲۳	۰/۳۰۲	۱۲۶
۱۲		نرگس‌چای	ننه‌کران	۴۸-۳۱-۳۲	۳۸-۲۲-۱۷	۱۳۵۰	۰/۰۸۰	۴۰
۱۳		سولاچای	سولا	۴۸-۲۹-۰۴	۳۸-۲۳-۱۴	۱۳۵۲	۰/۰۱۸۴	۴۴
۱۴	نمین	سقزچی‌چای	ایرپل	۴۸-۳۴-۳۰	۳۸-۱۳-۲۳	۱۳۷۵	۰/۲۵۶	۸
۱۵		نمین‌چای	نمین	۴۸-۲۹-۰۶	۳۸-۲۵-۴۵	۱۴۵۹	۰/۰۹۲	۴۴
۱۶		هیرچای	هیر	۳۸-۱۰-۲۸	۳۸-۰۴-۵۵	۱۵۷۵	۰/۳۰۸	۱۷۸
۱۷	هیر	قوری‌چای	کوزه‌تیراقی	۴۸-۲۲-۰۱	۳۸-۰۷-۲۸	۱۳۹۴	۰/۹۳۱	۸۱۲٫۵
۱۸		بالخلوچای	گیلانده	۴۸-۲۱-۴۳	۳۸-۱۸-۱۶	۱۳۳۲	۲/۴۰	۱۶۳۸

ادامه جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری برای تحلیل معادلات رگرسیونی منحنی فروکش اصلی در استان اردبیل

۱۵۸	۰/۶۵	۱۶۵۱	۳۷-۲۴-۳۸	۴۸-۴۱-۴۸	درو	شاهرود	۱۹
۱۵۱۵	۲/۹۵	۱۱۵۳	۳۷-۳۵-۰۸	۴۸-۱۳-۳۵	فیروزآباد	فیروزآبادچای	۲۰
۵۹۰	۲/۱۱	۱۵۳۵	۳۷-۴۱-۴۵	۴۸-۲۴-۲۵	آبگرم	هروچای	۲۱
۷۳۱۱	۷/۲۸	۷۸۰	۳۸-۳۳-۰۲	۴۷-۳۲-۱۸	دوست‌بیگللو	قره‌سو	۲۲
۴۸۰۰	۲/۱۹	۱۱۱۶	۳۸-۲۹-۴۱	۴۸-۰۱-۵۸	ارباب‌کندی	قره‌سو	۲۳
۹۸	۰/۷۹۰	۱۴۲۰	۳۸-۲۳-۵۶	۴۷-۴۱-۳۹	پل‌سلطانی	خیابوچای	۲۴
۱۳۹۷۹	۱۷/۹۷	۲۴۴	۳۹-۱۷-۴۱	۴۷-۳۱-۰۸	بوران	دره‌رود	۲۵
۱۱۳۷۹	۱۳/۷۹	۷۰۵	۳۸-۴۱-۱۰	۴۷-۳۲-۰۱	مشیران	دره‌رود	۲۶
۱۵۷	۰/۱۶۶	۸۲۰	۳۹-۰۲-۱۰	۴۷-۵۶-۱۷	حاج‌احمدکندی	برزندچای	۲۷
۷۱۰	۰/۱۷۱	۳۴۴	۳۹-۱۱-۴۵	۱۹-۴۸-۰۵	اکبرداوود	ساریقمیش	۲۸

روش تحقیق

داده‌های مورد استفاده

مقادیر دبی جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری و روی رودخانه‌های اصلی اندازه‌گیری می‌شود. دبی جریان رودخانه‌ای از رواناب سطحی، جریان تأخیری و دبی پایه تغذیه می‌شود و برآیند آن‌ها در محل خروجی حوزه‌های آبخیز در رودخانه جریان می‌یابد. مقادیر دبی در مقیاس زمانی روزانه اندازه‌گیری شده و برای مطالعات منحنی فروکش اصلی جریان رودخانه‌ای، مدیریت مصارف و برنامه‌ریزی استفاده از منابع آب سطحی استفاده می‌شود. برای پژوهش حاضر، داده‌های دبی روزانه ثبت شده از سال آبی ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۴ برای ۲۸ ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه، از شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل دریافت شد و مورد استفاده قرار گرفت.

تهیه منحنی فروکش اصلی (MRC)

در پژوهش حاضر برای تهیه منحنی فروکش اصلی از افزونه ماکرو استفاده شد. روش جداسازی منحنی فروکش، توسط کریستیان پوساوی در سال ۲۰۰۶ انجام شده است. در اجرای نرم‌افزار ماکرو برای استخراج منحنی فروکش اصلی از داده‌های دبی جریان و در نرم‌افزار اکسل استفاده می‌شود. فرمت ورودی داده‌ها مطابق فرمت برنامه اکسل بوده و با توجه به تایید فرآیند محاسبات در نرم‌افزار مذکور، کاربر می‌تواند با ایجاد تغییرات جزئی در برنامه آن را برای اهداف خاص و یا محاسبه منحنی در یک دوره مشخص (کم‌آب یا پرآب) تغییر دهد. روش کامپیوتری ارائه شده در استخراج

منحنی فروکش اصلی بر پایه سه رویکرد استوار است: ۱- داده‌های فروکش از داده‌های جریان آب سطحی، بارش، تبخیر و دیگر اطلاعاتی مثل کیفیت و صحت داده‌ها، جریان آب‌های زیرزمینی به‌دست می‌آیند. ۲- منحنی فروکش برای تحلیل داده‌های پرت مناسب نیست، این فرآیند ممکن است به‌طور خودکار، داده‌ها را فیلتر کند و معیار براساس دیگر داده‌ها باشد. ۳- هم‌چنین این برنامه بر اساس برآزش بر داده‌های فروکش هم‌زمان، توانایی شناسایی مسائلی را که انجام آن توسط الگوریتم‌های کاملاً خودکار انجام نمی‌گیرد را محقق می‌سازند (Lamb and Beveen, 1997). برنامه مذکور برای تجزیه و تحلیل بخش‌های فروکش سری‌های زمانی، مانند تخلیه جریان روزانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این برنامه با استفاده از الگوریتم‌های ماکرو ساخته شده است که با استفاده از شش مدل رگرسیون خطی، لگاریتمی، نمایی، توانی، چند جمله‌ای نوع اول و چند جمله‌ای نوع دوم، منحنی فروکش جریان به‌دست می‌آید. بخش‌های منحنی فروکش پردازش می‌شوند و در نهایت با ترکیب تمام بخش‌های فروکش اصلی، مدل رگرسیون مناسب ارائه می‌شود (Nathan and MacMahon, 1992). منحنی فروکش اصلی نموداری است که از برآزش کامل میان همه داده‌های مشاهداتی جریان حاصل می‌شود. این روش شامل ترسیم دبی جریان در مقابل دبی در یک زمان دلخواه در طول دوره‌های فروکش است. با برآزش یک خط رگرسیون و شناسایی و حذف داده‌های پرت بر اساس باقی‌مانده‌ها، منحنی فروکش اصلی حوضه مشخص می‌شود. برای بررسی تغییرات منحنی



استان اردبیل بررسی شد. روابط رگرسیونی مستخرج از منحنی فروکش اصلی در جدول ۲ ارائه شده است.

فروکش اصلی، تغییرات ضرایب منحنی فروکش در طول دوره ۴۸ ساله، (۱۳۴۸ تا ۱۳۹۴) با استفاده از داده‌های دبی روزانه جریان در ۲۸ ایستگاه هیدرومتری در آبخیزهای

جدول ۲- رابطه‌های کاربردی در برنامه ماکرو برای تعیین منحنی فروکش اصلی

رابطه	نوع رابطه
$y = ax + b - 1$	خطی
$y = bx^a$	توانی
$y = be^{ax}$	نمایی
$y = a \ln x + b$	لگاریتمی
$y = ax^2 + b + c$	چند جمله‌ای نوع اول
$x = ax^2 + by + c$	چند جمله‌ای نوع دوم

ارزیابی صحت معادلات منحنی فروکش اصلی

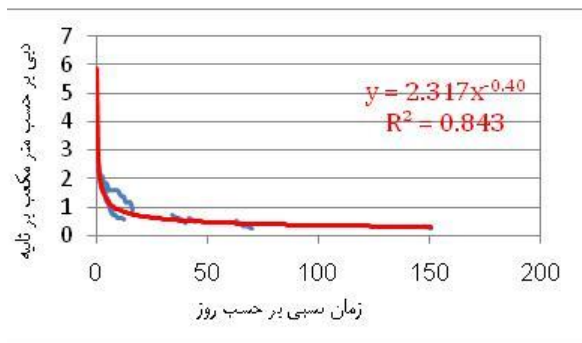
از روش‌هایی که به منظور میانگین‌گیری یا ترکیب شاخه‌های خشکیدگی جزئی به منظور یافتن افت جریان پایه مبنا در یک حوضه انجام می‌شود، روش منحنی فروکش اصلی است که یکی از متداول‌ترین روش‌های آن، شیوه همبستگی است. ضریب تبیین معیاری بدون بعد است که بهترین مقدار آن برابر یا نزدیک به یک است. در رابطه ۱ شاخص آماری ارزیابی مدل ارائه شده است (صداقت کردار و فتاحی، ۱۳۸۷).

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^K X_k Y_k}{\sqrt{\sum_{k=1}^K X_k \sum_{k=1}^K Y_k}} \quad (1)$$

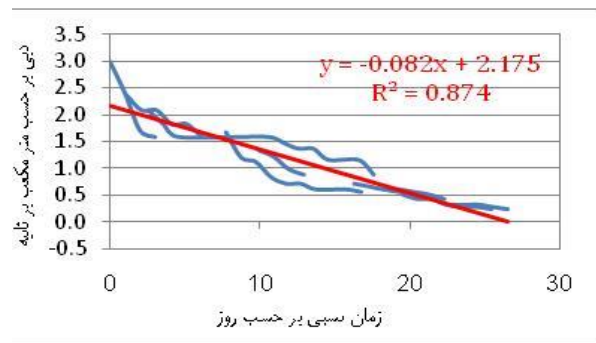
در رابطه فوق، X_k مقادیر مشاهداتی، Y_k مقادیر برآورده شده و K تعداد داده‌ها است.

نتایج و بحث

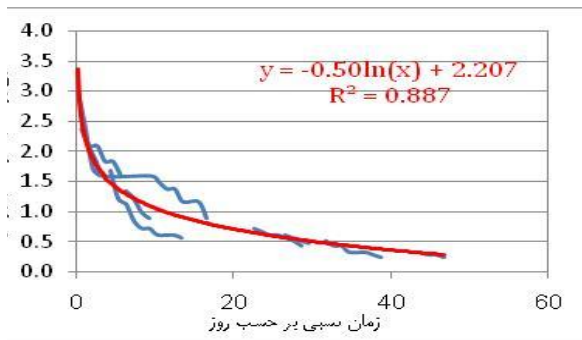
نمودارهای حاصل از رابطه‌های رگرسیونی منحنی فروکش اصلی به‌طور نمونه در ایستگاه هیدرومتری نیر در شکل ۲ ارائه شده است.



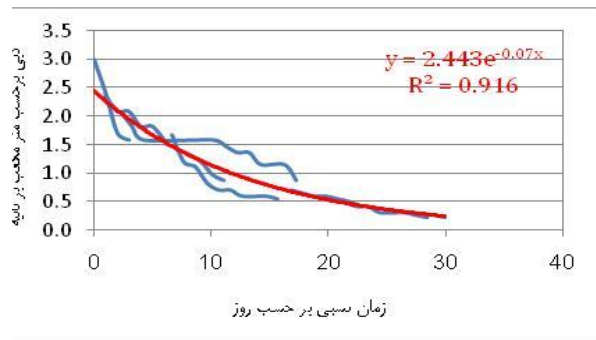
ب) معادله توانی



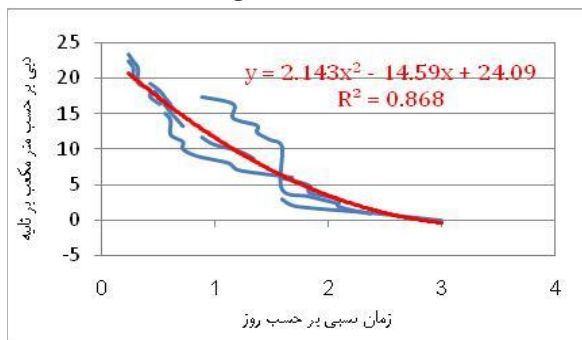
الف) معادله خطی



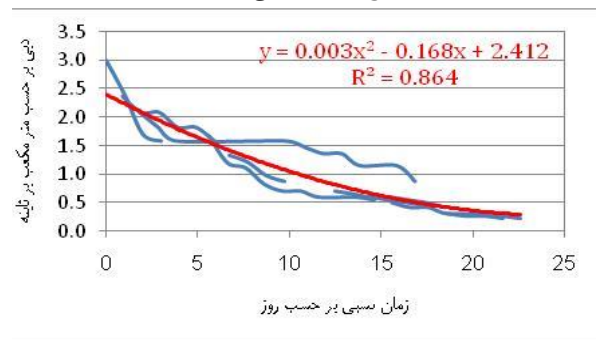
د) معادله لگاریتمی



ج) معادله نمایی



و) معادله چندجمله‌ای نوع دوم



ه) معادله چندجمله‌ای نوع اول

شکل ۲- نمونه‌ای از رابطه‌های رگرسیونی حاصل از منحنی فروکش اصلی در ایستگاه هیدرومتری نیر

دلایلی است که باعث شده است با لگاریتم‌گیری از داده‌های دبی، صحت معادله منحنی فروکش اصلی در روش لگاریتمی بیش‌تر از دیگر رابطه‌های رگرسیونی باشد. در جدول ۳ مقدار ضریب تبیین معادلات رگرسیونی منحنی فروکش اصلی ارائه شده است.

مقدار میانگین ضریب تبیین در رابطه‌های رگرسیونی (خطی، نمایی، توانی، لگاریتمی، چندجمله‌ای نوع اول و چندجمله‌ای نوع دوم) حاصل از منحنی فروکش اصلی مورد بررسی قرار گرفت. معادله لگاریتمی با عدد $0/83$ بهترین مقدار را نسبت به دیگر معادلات رگرسیون نشان داد که وجود داده‌های خیلی کم و خیلی زیاد (سیلابی) در داده‌های دبی جریان و تأثیر آن بر شکل منحنی فروکش اصلی از



جدول ۳- مقدار ضریب تبیین معادلات رگرسیونی حاصل از منحنی فروکش اصلی

ضریب تبیین	معادلات رگرسیونی
۰/۶۴	خطی
۰/۷۹	نمایی
۰/۶۹	توانی
۰/۸۳	لگاریتمی
۰/۷۹	چند جمله‌ای نوع اول
۰/۷۵	چند جمله‌ای نوع دوم

می‌توان به ماهیت غیرخطی فروکش جریان رودخانه‌ای با گذشت زمان مرتبط دانست. بعد از در نظر گرفتن رابطه لگاریتمی به‌عنوان معیار تحلیل، ضریب تبیین معادلات منحنی فروکش در ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت، ضریب تبیین، مقدار همبستگی ضرایب منحنی فروکش را نشان می‌دهد. در رابطه رگرسیونی ضریب X نشان‌دهنده زمان از شروع منحنی فروکش است. در جدول ۴ مقدار ضریب تبیین، مقدار ثابت و ضریب شیب معادلات فروکش جریان ارائه شده است.

بر اساس نتایج جدول ۳، می‌توان گفت که بعد از معادله فروکش جریان لگاریتمی، معادلات نمایی و چند جمله‌ای نوع اول، دارای ضریب تبیین بالاتری هستند. در این خصوص می‌توان گفت که ماهیت فروکش جریان رودخانه‌ای به‌گونه‌ای است که بعد از وقوع جریان‌های اوج سیلابی، شدت فروکش بیش‌تر بوده و تعداد داده‌هایی که در محدوده جریان کم هستند بسیار بیش‌تر است، لذا منحنی‌های نمایی و چندجمله‌ای برازش مناسب‌تری نشان می‌دهند. دلیل پایین بودن ضریب تبیین معادله خطی را

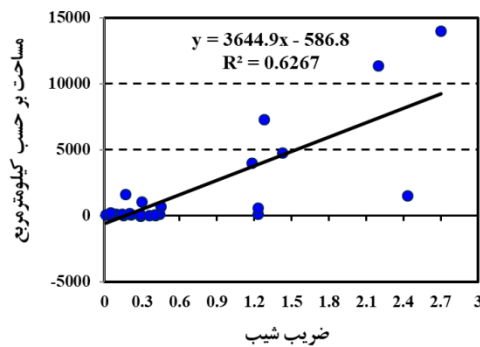
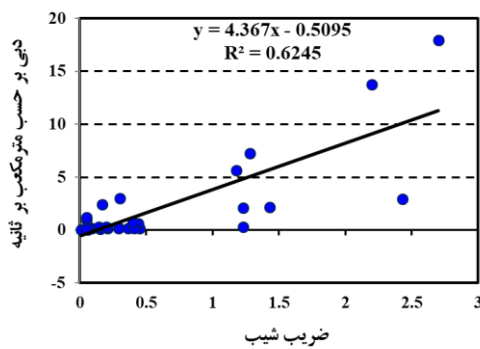
جدول (۴): مقدار ضریب تبیین معادله لگاریتمی ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه استان اردبیل سال ۱۳۹۴

نام ایستگاه	معادله لگاریتمی	ضرایب شیب	مقدار ثابت	ضرایب تبیین
پل الماس	$y = -0.30 \ln x + 896.0$	-۰/۳۰	۸۹۶	۰/۸۳۵
نوران	$y = -1.23 \ln x + 7.901$	-۱/۲۳	۷/۹۰۱	۰/۹۳۱
ایریل	$y = -0.29 \ln x + 0.898$	-۰/۲۹	۰/۸۹۸	۰/۸۷۵
فیروزآباد	$y = -2.43 \ln x + 15.89$	-۲/۴۳	۱۵/۸۹	۰/۸۵۳
باروق	$y = -0.21 \ln x + 572.0$	-۰/۲۱	۵۷۲	۰/۹۳۵
آتشگاه	$y = -0.15 \ln x + 0.638$	-۰/۱۵	۰/۶۸۳	۰/۸۹۷
ارباب‌کندی	$y = -1.43 \ln x + 4.352$	-۱/۴۳	۴/۳۵۲	۰/۸۶۶
عموقین	$y = -0.29 \ln x + 0.767$	-۰/۲۹	۰/۷۶۷	۰/۹۰۳
آلادیزگه	$y = -0.36 \ln x + 0.896$	-۰/۳۶	۰/۸۹۶	۰/۸۳۶
اکبرداوود	$y = -0.45 \ln x + 1.416$	-۰/۴۵	۱/۴۱۶	۰/۷۴۶
آبگرم	$y = -1.23 \ln x + 7.901$	-۱/۲۳	۷/۹۰۱	۰/۹۳۱
حاج احمدکندی	$y = -0.09 \ln x + 0.351$	-۰/۰۹	۰/۳۵۱	۰/۸۵۸
درو	$y = -0.44 \ln x + 2.792$	-۰/۴۴	۲/۷۹۲	۰/۹۲۱
ننه‌کران	$y = -0.06 \ln x + 0.291$	-۰/۰۶	۰/۲۹۱	۰/۷۳۵
ویلادرق	$y = -0.01 \ln x + 0.095$	-۰/۰۱	۰/۰۹۵	۰/۸۲۸
شمس‌آباد	$y = -0.14 \ln x + 0.474$	-۰/۱۴	۰/۴۷۴	۰/۹۲۰
سولا	$y = -0.41 \ln x + 1.121$	-۰/۴۱	۱/۱۲۱	۰/۷۹۴
لای	$y = -0.05 \ln x + 0.244$	-۰/۰۵	۰/۲۴۴	۰/۸۶۹
دوست‌بیگلو	$y = -1.28 \ln x + 4.359$	-۱/۲۸	۴/۳۵۹	۰/۸۱۲
پل سلطانی	$y = -0.40 \ln x + 1.582$	-۰/۴۰	۱/۵۸۲	۰/۷۴۰
سامیان	$y = -1.18 \ln x + 4.397$	-۱/۱۸	۴/۳۹۷	۰/۸۲۶
کوزه‌تپراقی	$y = -0.051 \ln x + 0.182$	-۰/۰۵	۰/۱۸۲	۰/۸۶۵
نمین	$y = -0.05 \ln x + 0.260$	-۰/۰۵	۰/۲۶۰	۰/۹۳۰
نیر	$y = -0.05 \ln x + 2.270$	-۰/۰۵	۲/۲۷۰	۰/۸۸۷
هیر	$y = -0.20 \ln x + 0.769$	-۰/۲۰	۰/۷۶۹	۰/۷۵۶
گیلانده	$y = -0.17 \ln x + 0.484$	-۰/۱۷	۰/۴۸۴	۰/۸۶۲
بوران	$y = -2.7 \ln x + 13.81$	-۲/۷	۱۳/۸۱	۰/۷۲۳
مشیران	$y = -2.20 \ln x + 8.160$	-۲/۲۰	۸/۱۶۰	۰/۸۳۷

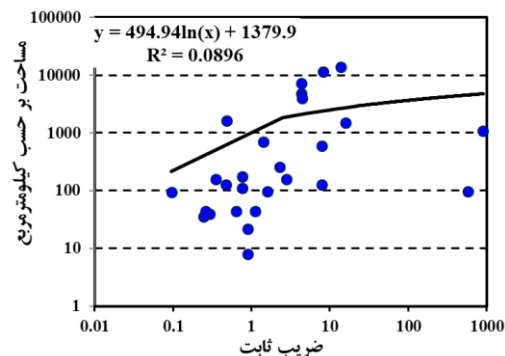
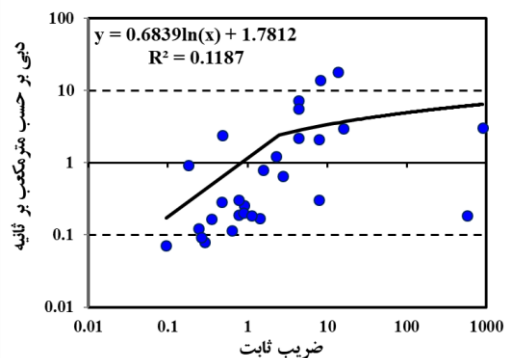
با توجه به جدول ۴، ضریب شیب بیشتر مربوط به ایستگاه‌های فیروزآباد، بوران و مشیران است که مقدار ضریب شیب آن‌ها به ترتیب با مقدار ۲/۴۳، ۲/۷۰ و ۲/۲۰ است که همگی جزو رودخانه‌های دائمی هستند و بر اساس جدول ۱ مقادیر دبی در ایستگاه‌های مذکور نیز به ترتیب برابر ۲/۹۵، ۱۷/۹۷ و ۱۳/۷۹ متر مکعب بر ثانیه است، این در حالی است که مقدار ضریب شیب ایستگاه‌های حاج‌احمدکندی، کوزه‌تپراقی و نیر به ترتیب برابر ۰/۰۹، ۰/۰۵۱ و ۰/۰۵ است که کمترین مقدار شیب را به خود اختصاص داده‌اند و مقدار دبی به ترتیب برابر ۰/۱۶، ۰/۹۳ و ۱/۲۲ متر مکعب بر ثانیه است و سطح حوضه این ایستگاه‌ها بر اساس جدول ۱ به ترتیب ۱۵۷، ۸۱۲/۵ و ۲۵۶ کیلومترمربع است که ایستگاه‌های مذکور در مناطق بالادست و با دبی متوسط کم قرار گرفته‌اند. در خصوص مقادیر ضریب شیب می‌توان گفت که مقادیر دبی حداکثر سیلابی در رودخانه‌هایی با ضریب شیب بالا، بسیار بیشتر از رودخانه‌هایی با ضریب شیب کم‌تر است. در خصوص مقادیر ثابت نیز ایستگاه‌های پل‌الماس، باروق و فیروزآباد

مقادیر دبی در ایستگاه‌های مذکور نیز به ترتیب برابر ۲/۹۵، ۱۷/۹۷ و ۱۳/۷۹ متر مکعب بر ثانیه است، این در حالی است که مقدار ضریب شیب ایستگاه‌های حاج‌احمدکندی، کوزه‌تپراقی و نیر به ترتیب برابر ۰/۰۹، ۰/۰۵۱ و ۰/۰۵ است که کمترین مقدار شیب را به خود اختصاص داده‌اند و مقدار دبی به ترتیب برابر ۰/۱۶، ۰/۹۳ و ۱/۲۲ متر مکعب بر ثانیه است و سطح حوضه این ایستگاه‌ها بر اساس جدول ۱ به ترتیب ۱۵۷، ۸۱۲/۵ و ۲۵۶ کیلومترمربع است که ایستگاه‌های مذکور در مناطق بالادست و با دبی متوسط کم قرار گرفته‌اند. در خصوص مقادیر ضریب شیب می‌توان گفت که مقادیر دبی حداکثر سیلابی در رودخانه‌هایی با ضریب شیب بالا، بسیار بیشتر از رودخانه‌هایی با ضریب شیب کم‌تر است. در خصوص مقادیر ثابت نیز ایستگاه‌های پل‌الماس، باروق و فیروزآباد

تبیین معادلات کم تر می باشد. به عبارتی در ایستگاه‌های واقع در مناطق بالادست با مساحت کم تر، مقادیر دبی جریان کم تر تحت تأثیر عوامل تأثیرگذار هم چون برداشت آب، تنظیم جریان بوده است و نیز در ایستگاه‌های بالادست، میزان افت فروکش جریان با نظم بیش تری رخ خواهد داد. در شکل ۳ ارتباط بین ضریب شیب و ثابت فروکش با مقدار متوسط دبی جریان رودخانه و مساحت ارائه شده است.



دارای بیش ترین مقدار ثابت به ترتیب ۸۹۶، ۵۷۲ و ۱۵/۸۹ هستند. همچنین ایستگاه‌های حاج احمدکندی، (۰/۳۵)، اکبرداوود (۱/۴۱۶)، دوست بیگلو (۴/۳۵۹) دارای کم ترین مقدار ضریب ثابت هستند. ضریب تبیین معادلات لگاریتمی مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز نشان می دهد که در حوزه‌های بالادست با تغییرات کم تر در دبی جریان رودخانه‌ای، مقدار ضریب تبیین معادلات بالاتر است، در حالی که در ایستگاه‌های پرآب و پایین دست مقدار ضرایب



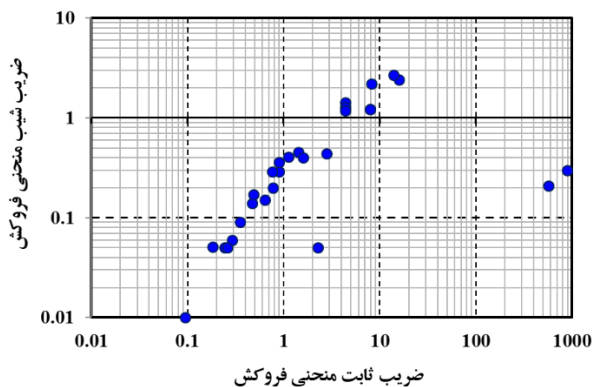
شکل (۳): ارتباط ضریب شیب و ثابت فروکش با مقدار دبی و مساحت در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

ذخیره کننده، این موارد را تحت تأثیر قرار داده است. در این راستا کاظم زاده و همکاران (۱۳۹۲) با هدف تحلیل روند جریان رودخانه‌ای با استفاده از رویکردهای آماری پارامتری و غیر پارامتری در استان اردبیل به این نتیجه رسیدند که روند کاهشی معنی دار در تمام ایستگاه‌ها وجود داشته و علت معنی دار نشدن روند کاهشی در فصل تابستان فقدان جریان آب در رودخانه‌های استان در بیش تر اوقات بوده است. همچنین مهری و همکاران (۱۳۹۶) با هدف ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی شاخص جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل با استفاده از داده‌های دبی روزانه و بارش به

با توجه به شکل ۳، ایستگاه‌هایی که دارای دبی متوسط سالانه و مساحت بیش تری می باشند، دارای ضریب شیب فروکش جریان بیش تری هستند. به عبارتی در بیش تر ایستگاه‌ها با مساحت کم، مقادیر شیب منحنی فروکش جریان در دامنه صفر تا ۰/۵ متغیر است و در ایستگاه‌هایی که مساحت بالادست آن‌ها بالاتر از ۲۰۰۰ کیلومترمربع هستند، شیب منحنی فروکش به حدود سه خواهد رسید. در حالت طبیعی رودخانه‌های اصلی و دائمی در پایین دست دارای جریان پایه بیش تری نسبت به سرشاخه‌ها و آبراهه‌های بالادست دارند، البته وجود سد و استخرهای

نتایج شکل، ارتباط چندان مشخصی میان ضرایب ثابت و مقادیر دبی و مساحت در ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده نشد.

این نتیجه رسیدند که مقدار دبی پایه در دوره‌های مختلف در برخی ایستگاه‌ها روند کاهشی و در برخی دیگر روند افزایشی داشته است که در ایستگاه‌های مورد مطالعه استان اردبیل روند کاهشی آن بیش‌تر مشهود بوده است. بر اساس



شکل (۴): رابطه میان ضریب شیب و ثابت فروکش جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

تا ۷۹ درصد است که نسبت به درصد مؤلفه‌های دیگر (دامنه مؤلفه رواناب زیرسطحی ۱۰ تا ۴۰ درصد و دامنه رواناب سطحی ۶ تا ۳۳ درصد) درصد بالایی را شامل می‌شود و بیان نمودند که تغییرات مؤلفه‌ها در طول زمان می‌تواند در شناسایی عوامل مؤثر بر واکنش حوضه مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تغییرات منحنی فروکش اصلی در حوزه‌های استان اردبیل با استفاده از سری‌های زمانی دبی روزانه جریان انجام شد و رابطه‌های رگرسیونی (خطی، نمایی، توانی، لگاریتمی، چندجمله‌ای نوع اول و چندجمله‌ای نوع دوم) تهیه شدند. یکی از مسائل مهم و اساسی در کشورهای مختلف بهره‌برداری بهینه از منابع آب و جلوگیری از اتلاف آن است. در این راستا، ارزیابی منحنی فروکش جریان رودخانه‌ای از مواردی است که می‌تواند در تحلیل شرایط خشکسالی و جریان‌های کم به‌منظور برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب، توجیه اقتصادی پروژه‌های آبی احداث شده در مسیر رودخانه‌ها، حفظ حیات آبریان، تولید انرژی برق آبی، مدیریت کیفی آب و ارزیابی تغذیه آب‌های زیرزمینی مؤثر واقع شود. رودخانه‌ها به‌عنوان منابع مهم آب سطحی در هر حوضه عمل می‌کند که درک شرایط آن در حین وقوع سیل

براساس نتایج شکل ۴، رابطه مستقیم میان ضریب شیب منحنی فروکش جریان و ضریب ثابت منحنی فروکش جریان در مقیاس لگاریتمی دوگانه وجود دارد. در رودخانه‌هایی با دبی اوج بالاتر و در نتیجه بالاتر بودن ضریب منحنی فروکش، مقادیر ثابت منحنی نیز بیش‌تر خواهد بود. قابل ذکر است که مقادیر ضریب ثابت در بیش‌تر رودخانه‌ها در دامنه عددی ۰/۱ تا حدود ۲۰ متغیر است. در این نمودار مقدار ضریب ثابت در دو ایستگاه پل‌الماس و باروق، دارای بیش‌ترین مقدار هستند، که دلیل این امر را با ثابت بودن جریان رودخانه ناشی از رهاسازی جریان رودخانه بعد از سد یامچی می‌توان مرتبط دانست. مقدار ثابت منحنی در ایستگاه ویلادرق برابر ۰/۰۹ برآورد شده است که رودخانه‌ای فصلی با متوسط دبی جریان کم است. در مجموع می‌توان گفت که در رودخانه‌هایی با مقادیر ضریب شیب بالاتر می‌توان گفت که بیش‌تر دبی جریان از جریان زیرزمینی تغذیه می‌شود، در حالی که در رودخانه‌هایی که ضریب منحنی فروکش کم‌تر است، سهم تغذیه جریان رودخانه از رواناب‌های سطحی بیش‌تر است. در این راستا، عسگری و همکاران (۱۳۹۷) با تعیین سهم مشارکت مؤلفه‌های هیدروگراف در جریان رودخانه‌ای در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل به این نتیجه رسیدند که مقادیر سهم دبی پایه به‌دست آمده در پژوهش حاضر در دامنه ۳۴



جریان پایه است. رودخانه‌های دائمی دارای جریان پایه هستند که هرچه ضریب ثابت فروکش بیش‌تر باشد، حجم آبدهی رودخانه نیز بیش‌تر خواهد بود. ارتباط میان دبی متوسط جریان و نیز مساحت آبخیزهای بالادست با مقادیر ضریب شیب منحنی فروکش جریان نیز در ایستگاه‌های مورد مطالعه با رابطه خطی و ضریب تبیین ($R^2=0.62$) از نوع مستقیم است. این در حالی است که رابطه معنی‌داری میان مقادیر دبی یا مساحت با ضریب ثابت منحنی فروکش مشاهده نشد. در مجموع می‌توان گفت که در رودخانه‌هایی با مقادیر ضریب شیب بالاتر می‌توان گفت که بیش‌تر دبی جریان از جریان زیرزمینی تغذیه می‌شود، در حالی که در رودخانه‌هایی که شیب منحنی فروکش کم‌تر است، سهم تغذیه جریان رودخانه از رواناب‌های سطحی بیش‌تر است.

و نیز شرایط کم‌آبی با استفاده از تحلیل منحنی فروکش جریان قابل ارزیابی است. منحنی فروکش اصلی، امکان برنامه‌ریزی بهتر برای استفاده بهینه از منابع آب سطحی رودخانه‌ها را فراهم می‌کند. شیب منحنی فروکش جریان در حالت کلی به عوامل مختلفی بستگی دارد، یک دسته از عواملی که در زمان کوتاه‌تری ممکن است در حوضه تغییر کند که می‌توان به ذخیره بخشی از جریان در سد، انجام عملیات آبخیزداری در منطقه، کاهش فاصله بین دو بارش و کاهش مقدار بارندگی (رطوبت قبلی کم خاک) و یا کاهش سطح آب زیرزمینی اشاره نمود. در درازمدت عواملی مانند تغییر کاربری اراضی، بهره‌برداری مفرط از آب‌های زیرزمینی نیز در درازمدت روی تغییرات شیب منحنی فروکش جریان مؤثر هستند. بیش‌تر بودن مقدار عددی ثابت، نشان‌گر بالا بودن جریان رودخانه و نیز بالا بودن

منابع

- اسکندری دامنه، ح.، غ. زهتابیان، ح. خسروی و ع. آذره. ۱۳۹۴. بررسی ارتباط زمانی و مکانی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در استان تهران، اطلاعات جغرافیایی (سپهر). دوره ۲۴، شماره ۹۶، ص ۱۲۰-۱۱۴.
- آسیابی‌هیر، ر.، م. مصطفی‌زاده، م. رئوف و ا. اسمعیلی‌عوری. ۱۳۹۶. ارزیابی چند معیاره تغییرات مکانی شاخص فقر آب در تعدادی از حوزه‌های آبخیز استان اردبیل. اکوهیدرولوژی، دوره ۴، شماره ۴، ص ۱۰۰۹-۹۹۷.
- دولت‌آبادی، ن.، ع. فریدحسینی، ک. داوری و ا. مساعدی. ۱۳۹۱. برآورد جریان پایه با استفاده از روش‌های فیلتر دیجیتالی بازگشتی و نرم‌افزار BFL-3.0 (مطالعه موردی، بخشی از حوضه مهارلو- بختگان). سومین همایش مدیریت جامع منابع آب دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ص ۱۰-۱.
- شیرخورشیدی، ر. ۱۳۹۰. بررسی اثر تغییر اقلیم بر جریان ورودی سد سبلان و شبیه‌سازی اثر آن بر بهره‌برداری از مخزن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تبریز.
- صداقت کردار، ع.، و ا. فتاحی. ۱۳۸۷. شاخص‌های پیش‌آگاهی خشکسالی در ایران. جغرافیا و توسعه، سال ۶، شماره ۱۱، ص ۷۶-۵۹.
- عسگری، ا.، ر. مصطفی‌زاده، و ا. اسمعیلی‌عوری. ۱۳۹۷. تعیین سهم مشارکت مؤلفه‌های هیدروگراف در جریان رودخانه‌ای برخی از ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل. مهندسی آبیاری و آب ایران. جلد ۸، شماره ۳۰، ص ۷۱-۵۶.
- فرخ‌نیا، ا.، س. مرید. ۱۳۹۳. ارزیابی اثر تغییرات بارش و دما بر روند جریان رودخانه‌های حوزه آبریز دریاچه ارومیه. آب و فاضلاب، شماره ۳، ص ۹۷-۸۶.
- کاظم‌زاده، م.، آ. ملکیان، و ع. رسول‌زاده. ۱۳۹۲. تحلیل روند جریان رودخانه‌ای با استفاده از رویکردهای آماری پارامتری و ناپارامتری در استان اردبیل. پژوهش‌های دانش زمین، سال ۴، شماره ۱۵، ص ۶۳-۵۱.
- مصطفی‌زاده، ر.، مه‌ری، س.، ۱۳۹۸. مقایسه تغییرات پاسخ هیدرولوژیکی آبخیزهای استان اردبیل با استفاده از چندضلعی‌های بارش-رواناب. مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۱۱، شماره ۲، ص ۳۹۱-۳۸۱.
- مطالعات طرح آمایش استان اردبیل، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اردبیل، ۱۳۹۱، ۱۵۷ ص.
- مهدوی، م. ۱۳۹۲. هیدرولوژی کاربردی (جلد دوم). انتشارات دانشگاه تهران. ۴۳۷ ص.

مهری، س.، ر. مصطفی‌زاده، ا. اسمعیلی‌عوری، و ا. قربانی. ۱۳۹۶. تغییرات زمانی و مکانی جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل، فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۳، شماره ۳، ۶۳۴ - ۶۲۳.

مهری، س.، مصطفی‌زاده، ر.، اسمعیلی‌عوری، ا.، قربانی، ا. ۱۳۹۸. مقایسه روش‌های ترسیمی و فیلترهای عددی برگشتی در تفکیک جریان پایه در تعدادی از رودخانه‌های استان اردبیل. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۶، شماره ۴، ص ۱۱۳ - ۹۵.

Bonacci, O. 1993. Karst spring hydrographs as indicators of karst aquifers. *Hydrogeological Sciences-Journal*, 38(1): 51-62.

Carlotto, T., Chaffe, P.L.B. 2019. Master Recession Curve Parameterization Tool (MRCPool): Different approaches to recession curve analysis. *Computers & Geosciences*, 132:1-8.

Kienzle, S.W. 2006. The use of the recession index as an indicator for streamflow recovery after a multi-year drought. *Water Resources Management*, 20(6): 991- 1006.

Lamb, R., K. Beven. 1997. Using interactive recession curve analysis to specify a general catchment storage model. *Hydrology and Earth system Sciences*, 1. 101-113.

Linsely, R. K., M. A. Kohler, J.L.H. Paulhus. 1958. *Hydrograph analysis*, Hydrology for Engineers. McGraw- Hill, New York.

Nathan, R.J., T.A. McMahon. 1992. Estimating low flow characteristics in ungauged catchment. *Water Resources Management*, 6(2): 85- 100.

Nurkholis, A., Adji, T.N., Haryono, E., Cahyadi, A., Waskito, W.A., Fathoni, H., Kurniawan, I.A., Agniy, R.F. 2019. Analysis of Master Recession Curve (MRC) and flood hydrograph components for karstification degree estimation in Kiskendo Cave, Jonggrangan Karst System, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 256. 1-10p.

Posavec K, Giacometti M, Materazzi M, Birk S. 2017. Method and Excel VBA Algorithm for Modeling Master Recession Curve Using Trigonometry Approach. *Ground Water*, 55(6):891-898.

Ruirui, Z., Z. Honging, L. Changming. 2010. Estimation of ground water residence time and recession rate in watershed of the loess plateau. *Journal of Geographical Sciences*, 20(2): 273- 282.

Smakhtin, V.U. 2001. Estimating continuous monthly base flow time series and their possible application in the context of the ecological reserve. *Water S.A*, 27(2): 213- 217.

Tallaksen, L.M. 1995. A review of base flow recession analysis. *Journal of Hydrology*, 165(1-4): 349- 370.

VanLoon, A., E. Tijdeman, H. Van Lanen, N. Wanders. 2014. How climate seasonality modifies drought duration and deficit. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, 119(8): 4640- 46560.

Yang, D., S. Lee., G. Lee., J. Kim., K. Lim., K. Kim. 2019. Estimation of Baseflow based on Master Recession Curves (MRCs) Considering Seasonality and Flow Condition. *Journal of Wetlands Research*. 21(1): 34- 42.



Estimating the river flow master recession curves (MRC) in river gauge stations of Ardabil Province

Nahideh Parchami¹, Raof Mostafazadeh^{2*}, Abazar Esmaliouri³, Rasool Imani⁴

Abstract

The master recession curve (MRC) provides an average characterization of baseflow amount and can be a sign of ground water contribution to the surface flow amount. The purpose of this research is to estimate the regression equations of MRC in 28 hydrometric stations of Ardabil Province. Toward this, the Visual Basic programming was used to obtain regression equations of the principal subtraction curve. After obtaining the MRC of all study river gauge stations, the slope values, the recession constant and the explanatory factor were determined. The logarithmic regression formula with the value of 0.83 was considered as the best fitness criterion. The slope coefficient of MRC in Boran, Firoozabad, and Moshiran stations were 2.70, 2.43 and 2.20, respectively, which are the perennial rivers with highest discharge value, the amount of average yearly discharge were 17.97, 2.95, and 13.79 m^3s^{-1} . While the slope of the Hajahmadkandi, Kouzehtopraghi and Nir hydrometric stations respectively were 0.09, 0.051 and 0.05, which have the smallest amount of slope and the amount of discharge respectively, equal to 0.16, 0.93 and 1.22 m^3s^{-1} . Regarding the constant values, the Polealmas, Barogh and Firoozabad stations had the highest constant values of 896, 572, and 15.89. Also, the Hajahmadkandi (0.35), Akbrdavood (1.416), Dostbeiglo (4.359) stations had the lowest constant coefficients. The results can be used to compare the studied watersheds in terms of hydrological response and baseline flow contribution in the river flow regimes.

Key words: River flow regime, Falling limb of hydrograph, Recession rate, Base flow contribution, Flow recession cuve

1- M.Sc. in Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, nahidparchami96@gmail.com

2- Associate Professor, Department of Natural Resources and member of Water Managent Research Institute, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran,

*Corresponding Author: raofmostafazadeh@uma.ac.ir

3-Associate Professor, Department of Natural Resources and member of Water Managent Research Institute, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, esmailiouri@uma.ac.ir

4- Ph. D. in Watershed Management Sciences and Engineering, Kashan University, Iran, rasool.imani@yahoo.com



Estimating the river flow master recession curves (MRC) in river gauge stations of Ardabil Province

Nahideh Parchami¹, Raof Mostafazadeh^{2*}, Abazar Esmaliouri³, Rasool Imani⁴

Extended Abstract

Objective: The master recession curve is one of the important parameters in hydrology and water resources management and utilization. The characteristics of the master recession curve explains the hydrologic response of a watershed in the flood events and low flow conditions. The master recession curve provide an average characterization of baseflow amount and can be a sign of ground water contribution to the surface flow amount. The purpose of this research is to estimate the regression equations of Master recession curves (MRCs) in 28 hydrometric stations of Ardabil province.

Methodology of research: In this study, daily data of river discharge were used from 1967 to 2015. For this purpose, the VB programming software in the Excel environment was used to obtain regression equations (linear, exponential, power, logarithmic, polynomial type, and second-order polynomials) of the principal subtraction curve. After obtaining the master recession curves of all studied river gauge stations, the slope values of and the recession constant and the explanatory factor for the studied stations were determined. Then, according to the regression formulas derived from the master recession curve, the mean value of the explanatory factor was investigated. The logarithmic regression formula with the value of 0.83 was the closest to the criterion and was considered as the best fitness criterion.

Results: The slope coefficient of master recession curve in Boran, Firoozabad, and Moshiran stations were 2.7, 2.43 and 2.20, respectively, which are the perennial rivers with highest amount of discharge amounts, the amount of average yearly discharge were 17.97, 2.95, and 13.79 cubic meters per second. While the slope of the slope of the Hajahmadkandi, kouztopragi and Nir hydrometric stations respectively were 0.09, 0.051 and 0.05, which have the smallest amount of slope and the amount of discharge respectively, equal to 0.166, 0.93 and 1.22 cubic meters per second. These river gauge stations are located in the upstream and have low average discharge values. Regarding the slope coefficients, it can be said that the flood recession rate in rivers with high slope coefficients is much lower than rivers with low slope coefficients. Regarding the constant values, the Polealmas, Barog and Firoozabad stations had the highest constant values of 896, 572, and 15.89. Also, the Hajahmadkandi, (0.35), Akbrdavood, (1.416), Dostbeiglo, (4.359) stations had the lowest constant coefficient. The coefficient of determination of the logarithmic equations for the studied stations also showed that the coefficient of determination of the equations is higher in upstream river gauge stations with lower variation in river flow, whereas in the downstream stations the amount of determination coefficients of the equations had the lowest values.

Conclusion: Based on the findings, the higher the constant numerical value indicates highest rising behavior in the river flow as well as base flow increasement. Permanent rivers had the highest constant values, since they had the larger discharge values. The relationship between the average flow rate and the area of upstream watersheds had a direct linear relationship with the values of the slope coefficient of the flow recession curve in the studied stations with the coefficient of determination 0.62. However, no significant relationship was observed between flow values or area with the constant coefficient of recession curve. In summary, the main and permanent rivers in the lower reaches had the higher constant values, which are affected by the regulated flow under the influence of reservoir dams. Analysis of the

1- M.Sc. in Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, nahidparchami96@gmail.com

2- Associate Professor, Department of Natural Resources and member of Water Managent Research Institute, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

*Corresponding Author: raofmostafazadeh@uma.ac.ir

3-Associate Professor, Department of Natural Resources and member of Water Managent Research Institute, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, esmailiouri@uma.ac.ir

4- Ph.D. in Watershed Management Sciences and Engineering, Kashan University, Iran, rasool.imani@yahoo.com



master recession curve provide a valuable tool for the hydrological drought analysis and assessment of the high and low flow spells.

The results can be used to compare the studied watersheds in terms of hydrological response and baseline flow contribution in the river flow regimes.

Key words: River flow regime, Falling limb of hydrograph, Recession rate, Base flow contribution, Flow recession curve

-The most important references

- Asgari, E., R, Mostafazadeh., A, Esmali-Ouri. 2017. Determining the Contributions of River Flow Hydrograph Components in some River Gauge Stations of Ardabil Province. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 8(30)-56-71 [In Persian]
- Carlotto, T., Chaffe, P.L.B. 2019. Master Recession Curve Parameterization Tool (MRCPtool): Different approaches to recession curve analysis. *Computers & Geosciences*, 132:1-8.
- Kienzle, S.W. 2006. The use of the recession index as an indicator for streamflow recovery after a multi-year drought. *Water Resources Management*, 20(6): 991- 1006.
- Lamb, R., and K. Beven. 1997. Using interactive recession curve analysis to specify a general catchment storage model. *Hydrology and Earth system Sciences*, 1. 101-113.
- Mehry, S., R, Mostafazadeh., A, EsmaliOuri, A, Ghorbani. 2019. Graphical and recursive digital filter techniques in the separation of base flow, A comparison in Ardabil Province rivers. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(4):95-113 [In Persian]
- Nurkholis, A., Adji, T.N., Haryono, E., Cahyadi, A., Waskito, W.A., Fathoni, H., Kurniawan, I.A., Agniy, R.F. 2019. Analysis of Master Recession Curve (MRC) and flood hydrograph components for karstification degree estimation in Kiskendo Cave, Jonggrangan Karst System, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 256. 1-10p.
- Posavec K, Giacometti M, Materazzi M, Birk S. 2017. Method and Excel VBA Algorithm for Modeling Master Recession Curve Using Trigonometry Approach. *Ground Water*, 55(6):891-898.
- Tallaksen, L. M. 1995. A review of base flow recession analysis. *Journal of Hydrology*, 165(1-4): 349-370.
- Yang, D., S. Lee., G, Lee., J, Kim., K, Lim., K, Kim. 2019. Estimation of Baseflow based on Master Recession Curves (MRCs) Considering Seasonality and Flow Condition. *Journal of Wetlands Research*. 21(1): 34-42.