

مقایسه روش‌های مختلف مدل‌سازی مولفه فروکش هیدروگراف جریان کل

ابوالحسن فتح‌آبادی^{۱*}، حامد روحانی^۲، سید مرتضی سیدیان^۳ و محمد مهدوی^۴
^{۱،۲،۳} استادیار، دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی، دانشگاه گنبد کاووس و ^۴ استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۰۴

چکیده

زمانی که ورودی حوضه، تبخیر و تعرق و برداشت از آب‌های زیرزمینی ناچیز باشد، منحنی خشکیدگی رابطه ذخیره-خروجی را برای حوضه بیان می‌کند. شناخت این رابطه می‌تواند در مسائلی از قبیل پیش‌بینی جریان‌های کمینه، مدیریت و تصمیم‌گیری منابع آب، کالیبره کردن مدل‌های هیدرولوژیکی و غیره مفید باشد. بدین منظور در این تحقیق اقدام به مدل‌سازی شاخه خشکیدگی در سه رودخانه جاجرود، طالقان و خرم‌دره شد. در ابتدا با بررسی هیدروگراف‌های سالانه در هر یک از حوضه‌ها اقدام به جداسازی شاخه خشکیدگی شد. سپس با انجام پیش پردازش‌های لازم هر یک از شاخه‌های خشکیدگی آماده برازش مدل‌های مختلف شدند. برای هر یک از شاخه‌های خشکیدگی هشت مدل مختلف برازش داده شد. نتایج نشان داد که در دو رودخانه جاجرود و طالقان روش بارنز و بعد از آن روش‌های با مخرن غیرخطی شامل دراگ، کوتانگ و ویتنبرگ عملکرد بهتری نسبت به روش‌های دیگر داشته‌اند و در رودخانه خرم‌دره روش‌های، هورتن، بارنز و دراگ به ترتیب عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها داشته‌اند. مقادیر متوسط K روش بارنز برای سه خط برازش داده شده در رودخانه جاجرود، برابر با ۰/۹۷، ۰/۹۷۵ و ۰/۹۹، در رود طالقان برابر با ۰/۹۶۷، ۰/۹۷۴ و ۰/۹۸۷ و در رودخانه خرم‌دره برابر ۰/۹۳۱، ۰/۹۴۵ و ۰/۹۷۲ به دست آمدند.

واژه‌های کلیدی: جاجرود، جریان پایه، خرم‌دره، رابطه ذخیره-خروجی، شاخه خشکیدگی جریان، طالقان

مقدمه

ذخیره و دبی مخصوص به خود می‌باشند، در نظر گرفت. تغذیه کل سیستم عمدتاً در ارتباط با بارش می‌باشد، در صورتی که ذخیره و دبی توابع پیچیده‌ای از خصوصیات حوضه می‌باشند (Hostetler و Brodie، ۲۰۰۵). در اغلب رودخانه‌ها آبخوان‌های آزاد کم عمق به‌عنوان مهمترین منبع تولید کننده آب پایه می‌باشند. به هر حال در برخی حوضه‌ها ممکن است که آبخوان‌های کم عمق عامل اصلی آب پایه نبوده و سایر ذخایر از قبیل دریاچه‌ها، برف، یخ، غارهای موجود در مناطق کارستی یا ذخایر موقتی کناره‌های رودخانه که در نتیجه بالا رفتن سطح آب در زمان

اغلب نقاط ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته‌اند. در این مناطق در طی تابستان بارش ناچیز بوده و جریان رودخانه‌ها وابسته به منابع ذخیره در حوضه می‌باشد. بنابراین، شناخت نوع و رفتار این منابع ذخیره حوضه در مدیریت منابع آب بسیار مهم و حائز اهمیت است.

جریان رودخانه ناشی از فرایندهای طبیعی و پیچیده در مقیاس حوضه آبخیز می‌باشد. به‌طور مفهومی یک حوضه آبخیز را می‌توان به‌عنوان یک سری از مخازن مرتبط به هم که هر یک دارای تغذیه،

مختلف، ۲) تعیین بهترین رابطه برای رابطه ذخیره - خروجی و آیا در حوضه‌های مورد مطالعه رابطه دبی - ذخیره خطی یا غیرخطی است.

مواد و روش‌ها

مدل‌سازی خشکیدگی جریان: یک شاخه خشکیدگی به‌عنوان قسمتی از هیدروگراف شناخته می‌شود که از پیک جریان یا از نقطه‌ای بر روی شاخه پایین‌رونده هیدروگراف که منطبق با توقف بارش می‌باشد، شروع شده و تا زمانی که دبی یا بارش افزایش یابد ادامه دارد (Clausen و Griffiths، ۱۹۹۷). برای مدل‌سازی شاخه خشکیدگی راه حل استاندارد و مدونی وجود ندارد، به‌طوری که برخی محققین آن را به‌صورت تحلیلی و برخی دیگر از آن را به‌صورت تجربی مدل‌سازی کرده‌اند (Tallaksen، ۱۹۹۵). اولین مطالعات مربوط به شاخه خشکیدگی مربوط به تحقیقات Boussinesq در سال ۱۸۷۷ می‌شود که در نهایت رابطه (۱) را به‌دست آورد.

$$Q_t = Q_0 e^{-at} \quad (1)$$

$$Q_0 = \frac{\pi}{2} K H l \frac{h_m}{L} \quad (2)$$

$$a = \frac{\pi^2 K H}{4 \phi L^2} \quad (3)$$

که در آن، Q_0 دبی شروع، Q_t دبی در زمان t ، ضریب خشکیدگی، L عرض آبخوان، H عمق آبخوان در خروجی، h_m هد هیدرولیکی اولیه در فاصله L و l طول رودخانه است (Dewandel و همکاران، ۲۰۰۳). Mailliet در سال ۱۹۰۵، منحنی خشکیدگی آبخوان را مشابه با مدل تخلیه مخزن پر که به‌وسیله یک دریچه متخلخل تخلیه می‌شود، تقریب زد که در نهایت رابطه (۱) را ارائه داد. این رابطه فقط برای قسمت انتهایی هیدروگراف که مربوط به جریان آب پایه بوده و در روی کاغذ نیمه‌لگاریتمی به‌صورت خط راست در می‌آید، قابل استفاده است (Wittenberg، ۱۹۹۹، Sujono و همکاران، ۲۰۰۴). رابطه کلی دبی و ذخیره را می‌توان به‌صورت رابطه (۴) ارائه داد.

$$Q = K S^p \quad (4)$$

که در آن، K و p ثابت‌ها هستند. اگر در رابطه (۴) مقدار p برابر با یک باشد، مقدار دبی به‌دست آمده از

سیل می‌باشد، می‌تواند باعث تغذیه آب پایه رودخانه شود. این منابع ذخیره اغلب به هم متصل بوده و خصوصیات ژئومتری و فیزیکی آن‌ها دارای تنوع فضایی بوده و بستگی به دامنه وسیعی از عوامل فیزیوگرافی که به‌عنوان خصوصیات حوضه (اندازه، شیب، شکل، جهت، تراکم زهکشی، کاربری و پوشش زمین، شرایط و خصوصیات نفوذ، نوع خاک، شرایط ژئولوژیکی و توپوگرافی) و کانال (اندازه و شکل مقطع عرضی، شیب، طول، زبری، انشعاب و تاثیر برگشت آب، شرایط ذخیره) می‌باشد، دارد (Griffiths و Clausen، ۱۹۹۷).

عامل دیگری که باعث پیچیدگی آب پایه می‌شود، تاثیر هدررفت‌های مختلف می‌باشد. در واقع هیدروگراف نشان‌دهنده توازن شبکه رودخانه بین دریافتی‌ها و هدررفت‌های رودخانه می‌باشد. که این هدررفت‌ها شامل تبخیر و تعرق از کانال رودخانه یا هر نوع سطوح آبی آزاد دیگر از قبیل دریاچه‌ها و زمین‌های مرطوب، تبخیر و تعرق گیاهان، تبخیر و تعرق مستقیم از سفره‌های زیرزمینی، نفوذ به آبخوان‌های عمیق و تر شدن دوباره کناره‌های رودخانه و رسوبات کناره می‌باشد (Hostetler و Brodie، ۲۰۰۵).

مسئله دیگر در مدل‌سازی تغییر خصوصیات خشکیدگی متناسب با زمان است. که این امر در تغییر شکل قطعات خشکیدگی هیدروگراف رودخانه نمایان می‌شود. این مسئله ممکن است به‌دلیل تغییرپذیری عواملی از قبیل توزیع فضایی بارش، ذخیره باقی‌مانده در بدنه آبی متصل به هم، رطوبت حوضه، ضخامت آبخوان اشباع یا عمق نفوذ رودخانه در داخل آبخوان باشد. همچنین، جریان پایه ممکن است، در اثر عواملی مثل بارش و تبخیر و تعرق دارای تغییرات فصلی باشند. تبخیر و تعرق بالا در طول ماه‌های گرم سال یا فصول با رشد گیاهی فعال می‌تواند به‌طور معنی‌داری باعث کاهش میزان جریان پایه شود (Brodie و Hostetler، ۲۰۰۵، Tallaksen، ۱۹۹۵).

در این تحقیق اقدام به مدل‌سازی خشکیدگی در سه ایستگاه رودک، گلینک و آران غرب شد و به‌طور خلاصه در طی تحقیق اهداف زیر پی‌گیری شد. (۱) مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف خشکیدگی و مقایسه مقادیر ضرایب به‌دست آمده به‌وسیله روابط

قشری و زیر زمینی را برای شاخه خشکیدگی در نظر گرفت. Horton (۱۹۳۳) رابطه‌ای به صورت رابطه (۷) ارائه داد که به عنوان "رابطه توانی دوپل هورتن" شناخته شده است.

$$Q_t = Q_0 e^{-at^m} \quad (7)$$

که در آن، m مقدار ثابت است (Dewandel و همکاران، ۲۰۰۳). مدل ذخیره-خروجی توانی به صورت رابطه (۸) ارائه شد (Moore، ۱۹۹۷).

$$Q_t = \frac{Q_0}{(1 + \Phi Q_0 t)} \quad (8)$$

Coutagne (۱۹۴۸) رابطه (۹) را که دبی خروجی از مخزن را به صورت غیرخطی شبیه‌سازی می‌کند، ارائه داد.

$$Q_t = Q_0 [1 + (n-1)t]^{n/(1-n)} \quad (9)$$

$$a_t = a_0 [1 + (n-1)a_0 t]^{-1} \quad (10)$$

که در آن، n ثابتی است که بستگی به ژئومتری مخزن داشته و ضریب a_t اگر $n < 1$ باشد، متناسب با زمان افزایش پیدا می‌کند و اگر $n > 1$ باشد، متناسب با زمان کاهش پیدا می‌کند (Dewandel و همکاران، ۲۰۰۳). زمانی که $n = 1$ باشد، رابطه مایلت به دست می‌آید. زمانی که n برابر با دو باشد، نشان‌دهنده آبخوانی می‌باشد که دبی دارای رژیم لایه‌ای بوده و مقطع زهکشی متناسب با میزان آب ذخیره شده در سیستم می‌باشد. در این حالت دبی متناسب با مربع هد هیدرولیکی می‌باشد (Wittenberg، ۱۹۹۹). به هر حال رابطه (۱۰) هیچ‌گونه اطلاعاتی در رابطه با پارامترهای دینامیکی حوزه آبخیز ارائه نمی‌دهد. رابطه مشابه با رابطه کوتانگ توسط (Wittenberg، ۱۹۹۹) ارائه شد که به صورت رابطه (۱۱) است.

$$Q_t = Q_0 \left[1 + \frac{(1-b)Q_0^{1-b}}{ab} t \right]^{1/(b-1)} \quad (11)$$

که رابطه معادل با دبی ذخیره به صورت $Q = aS^b$ است. در ادامه کارهای Forkasiewicz و Paloc در سال (۱۹۶۵)، Dauty در سال (۱۹۶۷) و Drogue در سال (۱۹۷۲) پیشنهاد کردند که کل هیدروگراف توسط رابطه هایپربولیک به صورت رابطه (۱۲) مدل‌سازی شود (Dewandel و همکاران، ۲۰۰۳).

رابطه معادل با دبی خروجی از یک مدل مخزن ساده خطی است (Tallaksen، ۱۹۹۵). مدل ذخیره فقط در حالتی خطی است که منحنی خشکیدگی در روی کاغذ نیمه‌لگاریتمی به صورت یک خط راست در آید. اگر p رابطه (۴) بیشتر از یک باشد، خشکیدگی معقر رو به پایین و اگر کمتر از یک باشد، به صورت معقر رو به بالا است. مقادیر کمتر از یک به ندرت اتفاق می‌افتد و در اغلب حوضه‌ها بیشتر مقادیر بالاتر از یک مشاهده می‌شود (Tallaksen، ۱۹۹۵، Wittenberg، ۱۹۹۹). در صورتی که رابطه (۴) سایر مقادیر بپذیرد (به عنوان مثال دو) معادل با مخزن غیرخطی می‌باشد. خطی بودن تابع ذخیره می‌تواند از طریق رسم هیدروگراف بر روی کاغذ نیمه‌لگاریتمی تعیین شود. در صورتی اغلب قطعات خشکیدگی در روی کاغذ نیمه‌لگاریتمی به صورت منحنی می‌باشند (Moore، ۱۹۹۷، Wittenberg، ۱۹۹۹، Brodie و Hostetler، ۲۰۰۵) که این به مفهوم غیرخطی بودن رابطه ذخیره-خروجی می‌باشد.

با توجه به آن چه بیان شده، استفاده از معادله ساده توانی نمی‌تواند به خوبی منحنی خشکیدگی را تحت دامنه وسیعی از جریان‌ها مدل‌سازی کند، بنابراین باید به دنبال روابطی بود که بتوانند منحنی خشکیدگی را به صورت غیرخطی یا به صورت مفهومی به وسیله بیش از یک مخزن که دارای زمان‌های پاسخ متفاوتی است، مدل‌سازی کنند (Tallaksen، ۱۹۹۵، Wittenberg، ۱۹۹۹). بدین منظور برای مدل‌سازی خشکیدگی با بیش از یک مخزن رابطه (۵) توسط Barnes (۱۹۳۹) ارائه شد.

$$Q_t = \sum Q_{0i} e^{-a_i t} \quad (5)$$

که فاقد یک راه حل تحلیلی است. Boussinesq (۱۹۰۳ و ۱۹۰۴) یک راه حل تحلیلی دقیق به صورت رابطه غیرخطی (۶) ارائه داد.

$$Q_t = \frac{Q_0}{(1+at)^2} \quad (6)$$

که در آن، $Q_0 = 0.862 Kl \frac{h_m^2}{L}$ و $a = \frac{1.115 h_m}{\phi L}$ و سایر پارامترها مشابه رابطه‌های بالا می‌باشند. Barnes (۱۹۳۹) منابع ذخیره رواناب سطحی، زیر

$$Q_t = \frac{Q_0}{(1+at)^n} \quad (12)$$

که در آن، n مقدار ثابت می‌باشد که عموماً بین ۱/۵ تا دو است.

منطقه مورد پژوهش: در این تحقیق منحنی خشکیدگی رودخانه‌های جاجرود در ایستگاه رودک بالادست سد لتیان، طالقان در محل ایستگاه گلینک و خرم‌دره در محل ایستگاه آران غرب مورد بررسی قرار گرفت. مساحت هر یک از این حوضه‌ها به ترتیب ۴۱۶، ۸۴۸ و ۲۳۲۰ کیلومتر مربع هستند. در این تحقیق دوره آماری از سال آبی ۱۳۳۹-۱۳۴۰ تا سال ۱۳۸۳-۱۳۸۴ مورد بررسی قرار گرفت.

انتخاب شاخه خشکیدگی: اولین مسئله در بررسی خشکیدگی جریان انتخاب شاخه خشکیدگی و قطعات خشکیدگی می‌باشد. منظور از شاخه خشکیدگی آن قسمت از هیدروگراف می‌باشد که از دبی پیک شروع می‌شود و تا زمانی که دبی افزایش یابد، ادامه پیدا می‌کند. منظور از قطعات خشکیدگی آن قسمت از شاخه خشکیدگی است که پس از پیش پردازش‌های لازم مورد تجزیه و تحلیل و برازش مدل‌های مختلف می‌شود. در این رابطه نحوه انتخاب قطعات خشکیدگی باید به گونه‌ای باشد که تاثیری در محاسبه و مقدار ضرایب خشکیدگی به دست آمده، نداشته باشند. اولین مسئله در بررسی منحنی خشکیدگی تعیین نقطه شروع و دوام خشکیدگی است. برای تعیین خشکیدگی از داده‌های دبی روش مدونی وجود ندارد. بدین منظور برای تعیین شاخه خشکیدگی در وهله اول از داده‌های دبی و بارش به‌طور هم‌زمان استفاده می‌شود.

دبی شروع در یک حوضه می‌تواند ثابت یا متغیر باشد. همچنین، برای یک دوره خشکیدگی بسته به تعداد قطعات خشکیدگی مورد بررسی می‌توان یک یا چند دبی شروع را انتخاب کرد. در حالت دبی شروع ثابت قبل از آنالیز یک مقدار دبی ثابت انتخاب می‌شود و آنالیز خشکیدگی محدود به دامنه جریان پایین‌تر از این دبی انتخابی می‌باشد. که این رویکرد می‌تواند به‌صورت تنها و یا در ارتباط با سایر محدودیت‌ها استفاده شود (Tallaksen, ۱۹۹۵). در حالت دبی شروع متغیر اغلب نقطه شروع نقطه‌ای که در آن بارش متوقف شده و یا در روی هیدروگراف دبی بعد

یک زمان معین از پیک هیدروگراف در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در این حالت دبی شروع مقدار متفاوت برای حوادث مختلف خواهد داشت. معمولاً برای کاهش تاثیر رواناب سطحی قسمت ابتدایی دوره خشکیدگی در نظر گرفته نمی‌شود. در برخی موارد قسمت انتهایی آن برای جلوگیری از تاثیر بارش‌های بعدی در نظر گرفته نمی‌شود که این تعداد روز متناسب با پاسخ حوضه می‌باشد (Tallaksen, ۱۹۹۵).

با توجه به تحقیقات قبلی تعداد روز حذف شده در این تحقیق دو روز در نظر گرفته شد. مسئله بعدی طول دوره خشکی می‌باشد که این پارامتر هم می‌تواند متغیر یا ثابت باشد. قطعه خشکیدگی تا زمانی ادامه دارد که دبی افزایش پیدا کند یا مقدار بارش بیشتر از یک آستانه مشخص شود که در این رابطه حداقل دوام خشکیدگی (فاصله زمانی بین شروع و پایان خشکیدگی) با توجه به تحقیقات قبلی ۱۰ روز در نظر گرفته شد. همان‌طور که بیان شد، قطعات خشکیدگی تا زمانی ادامه پیدا می‌کنند که دبی افزایش پیدا نکند. در این رابطه ممکن است در طی خشکیدگی دبی افزایش پیدا کند، اما بعد از آن دبی همان شیب کاهشی را داشته باشد که قبل از افزایش دبی داشته است. در این حالت این نوسانات به‌عنوان جزئی از قطعه خشکیدگی در نظر گرفته می‌شود. در هنگام انتخاب قطعات خشکیدگی بزرگ‌ترین مشکلی که با آن روبرو بوده، وجود داده‌های دبی مساوی در اواخر دوره خشکیدگی بود که این مشکل از آنجا ناشی می‌شود که در اواخر دوره خشکیدگی معمولاً دبی پایه پایین بوده و در ایستگاه هیدرومتری این تغییرات به دلیل ناچیز بودن ثبت نمی‌شوند و باعث می‌شود که داده‌های دبی در طی چند روز متوالی حتی تا یک ماه هم یک مقدار ثابت داشته باشد. شاید اگر همین داده‌ها دقیق برداشت می‌شد،

بهترین شاخص برای تعیین ضرایب خشکیدگی منابع آبخوانی در حوضه باشد. وجود داده‌های یکسان در هنگام برازش مدل‌های مختلف به‌خصوص روش بارنز که در آن به هر قسمت قطعه خشکیدگی یک منحنی برازش داده می‌شود، ایجاد مشکل می‌کند. که در این تحقیق برای حل این مسئله در زمانی که داده‌ها به‌طور متوالی چند روز دارای مقدار ثابت بودند،

نتایج و بحث

در ابتدا قطعات خشکیدگی انتخاب شد. بدین منظور بعد از ستونی کردن داده‌های دبی و رسم هیدروگراف سالیانه اقدام به تعیین و انتخاب قطعات خشکیدگی شد. با بررسی هیدروگراف سالیانه مشاهده شد، در هر سال یک منحنی خشکیدگی اصلی وجود داشته که تا پایان تابستان ادامه دارد. در این حالت منحنی خشکیدگی بیشتر مربوط به ذوب ذخایر برفی و یخچالی در حوضه می‌باشد و تا زمانی ادامه می‌یابد که دبی پایه حداقل مقدار خود را دارا می‌باشد و یکسری منحنی‌های خشکیدگی با تداوم پایین در باقی مواقع سال که ناشی از بارش‌های بزرگ می‌باشد. به‌طور نمونه در شکل ۱ هیدروگراف سالانه ایستگاه رودک در سال آبی ۷۳-۱۳۷۴ ارائه شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود، در این سال دو قطعه خشکیدگی وجود دارد، یکی خشکیدگی اصلی در پایان سال و دیگری خشکیدگی مربوط به بارش سنگین در باقی مواقع سال می‌باشد.

سایر خشکیدگی‌ها از دوام کافی (حداقل ۱۰ روز) برخوردار نبوده و یا با حذف داده‌های دو روز بعد از پیک فاقد جریان زیر قشری می‌باشند. با توجه به تاثیر آب پایه بر روی خشکیدگی جریان تصمیم بر آن شد که در هر یک از حوضه‌های مورد مطالعه خشکیدگی در دو حالت خشکیدگی اصلی و طولانی مدت و خشکیدگی‌های کوتاه مدت که ناشی از باش‌های بزرگ می‌باشد، مورد بررسی قرار گیرد. پس از تعیین قطعات خشکیدگی اقدام به برازش مدل‌های مختلف به هر یک از قطعات خشکیدگی به‌طور جداگانه و تعیین پارامترهای آن‌ها شد. در این قسمت از سولور نرم‌افزار Excel استفاده شد. در هر یک از قطعات خشکیدگی تکی علاوه بر پارامترهای ثابت مسئله دیگر دبی اولیه می‌باشد. بدین منظور پس از مرور منابع فقط در تحقیق‌های انجام شده توسط Chapman (۱۹۹۹) و (۲۰۰۳) صراحتاً بیان کردند که دبی اولیه بهینه‌سازی شده و در سایر تحقیقات انجام شده این مسئله را بیان نکرده‌اند. با توجه به این مسئله پارامترهای مدل در دو حالت، ۱- مقدار دبی شروع همان مقدار دبی مشاهداتی هیدروگراف گرفته شد و

فقط داده‌های مربوط به سه روز اول در نظر گرفته شد و قطعه خشکیدگی تا روز سوم که داده‌ها یکسان بودند، ادامه داشت. البته در مواقعی بعد از چند روز مشاهده می‌شد که دبی تغییر پیدا کرده که مسئله نیز در انتخاب قطعه خشکیدگی لحاظ می‌شد. این مسئله به‌طور نمونه در ایستگاه رودک در سال‌های آخر وجود داشت و در این ایستگاه آران غرب این مشکل کمتر مشاهده می‌شد، به‌طوری که حتی کوچک‌ترین تغییرات دبی نیز ثبت شده بود.

پس از تعیین قطعات خشکیدگی اقدام به برازش مدل‌های مختلف شد. در این رابطه در ابتدا قسمت‌های مختلف قطعات خشکیدگی تعیین (در مدل چند مخزنی) و سپس مقادیر پارامترهای مدل‌های مختلف تعیین شد. برای این منظور در ابتدا قطعات خشکیدگی در روی محور نیمه‌لگاریتمی ترسیم شد. در این حالت Moore (۱۹۹۷) بیان می‌کند، اگر منحنی خشکیدگی منطبق بر مخزن خطی باشد، در روی منحنی نیمه‌لگاریتمی می‌بایستی خطوط مستقیم موازی در آیند.

اگر منحنی خشکیدگی منطبق بر رابطه ذخیره- خروجی توانی باشد، قطعات خشکیدگی در روی منحنی Q^{-1} در مقابل زمانی می‌بایستی به‌صورت خطوط موازی در آیند و در حالت عدم وجود تغذیه و هدررفت از طریق تبخیر اگر حوضه مانند یک مخزن تکی عمل کند، کل قطعات خشکیدگی می‌باید، دارای شکل یکسانی باشند. در نهایت با حداقل کردن جمع مربعات خطا پارامترهای هر یک از مدل‌ها تعیین شد. برای مقایسه مدل‌های مختلف از معیارهای AARE (متوسط مقادیر مطلق خطای نسبی رابطه (۱۳) و RMSE (میانگین مربعات خطا رابطه (۱۴)) استفاده شد و مدل با کمترین مقادیر AARE و RMSE به‌عنوان مدل برتر انتخاب شد.

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_t^0 - Q_t^f)^2} \quad (13)$$

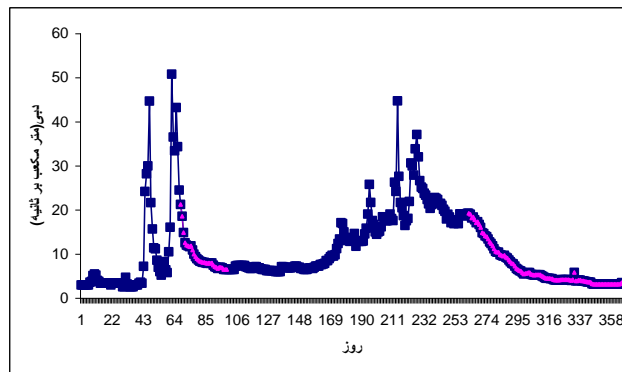
$$AARE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Q_t^0 - Q_t^f}{Q_t^0} \right| * 100 \quad (14)$$

که در آن، n تعداد داده‌ها، Q_t^0 دبی مشاهداتی و Q_t^f دبی شبیه‌سازی شده می‌باشند.

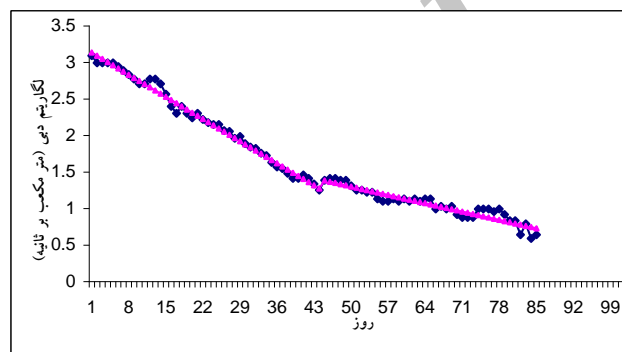
دو خط و در برخی سال‌ها سه خط راست می‌توان برازش داد، در حالی که برای خشکیدگی‌های کوتاه‌مدت دو خط قابل برازش بود. در شکل ۲ نمونه‌ای از هیدروگراف مشاهداتی در ایستگاه رودک و تعداد خطوط برازش داده شده (با استفاده از روش Barnes، ۱۹۳۷) آورده شده است.

۲- دبی شروع بهینه‌سازی شده، مورد بررسی قرار گرفت.

در ابتدا برای شناخت بهتر رفتار خشکیدگی اقدام به رسم قطعات خشکیدگی بر روی کاغذ نیمه‌لگاریتمی شد. در هر سه حوضه مورد بررسی مشاهده شد، در اغلب سال‌ها برای خشکیدگی اصلی



شکل ۱- هیدروگراف سالیانه ایستگاه رودک در سال آبی ۱۳۷۳-۱۳۷۴



شکل ۲- برازش روش بارنز سال آبی ۱۳۴۶-۴۷ ایستگاه رودک

که در آن‌ها، a و n سمت چپ پارامترهای مدل دراگ و پارامترهای سمت راست مربوط به پارامترهای مدل‌های کوتانگ و ویتنبرگ هستند. این روابط در مواقعی که تخمین پارامترهای مدل‌های مختلف با مشکل روبرو می‌شود، در برآورد پارامترها مفید واقع می‌شوند. به‌طور مثال زمانی که تعداد و مقادیر داده‌های دبی پایین می‌باشد، تخمین پارامترهای مدل ویتنبرگ با مشکل روبرو بوده، در این حالت با استفاده از روابط بالا مقادیر پارامترهای مدل ویتنبرگ تخمین زده شد.

در جدول ۱ عملکرد مدل‌های مختلف با توجه به مقادیر RMSE، AARE و جمع مربعات خطا برای حالت شاخه خشکیدگی طولانی مدت آخر سال در

در مرحله بعد اقدام به برآورد و تخمین پارامترهای مدل‌های مختلف و مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف شد. در این مرحله مشاهده شد، مدل‌های با مخزن غیرخطی شامل مدل‌های دراگ، کوتانگ و ویتنبرگ عملکرد کاملاً مشابهی داشتند که با بررسی این مدل‌ها مشاهده شد، هر یک از مدل‌های کوتانگ و ویتنبرگ را می‌توان به فرم مدل دراگ نوشت که در این حالت تبدیل پارامترهای آن به‌صورت زیر می‌باشد.

در رابطه کوتانگ:

$$n = \frac{n}{1-n} \quad a = (n-1)a_0$$

در رابطه ویتنبرگ:

$$n = \frac{1}{1-b} \quad a = \frac{(1-b)Q_0^{1-b}}{ab}$$

در این ایستگاه برای قطعات خشکیدگی طولانی مدت تعداد شاخه ۴۰ و برای قطعات خشکیدگی کوتاه‌مدت تعداد سه قطعه خشکیدگی در طول دوره آماری تشخیص داده شد. با توجه به جدول ۳ ملاحظه می‌شود، در حالت خشکیدگی طولانی مدت آخر فصل مدل بارنز بهترین عملکرد را به خود اختصاص داده است و بعد از آن به ترتیب مدل‌های دراگ و هورتن قرار دارند. بدترین عملکرد نیز مربوط به مدل مایلت و مخزن توانی می‌باشد. برای قطعات خشکیدگی کوتاه‌مدت نیز مدل بارنز و سپس هورتن و دراگ بهترین عملکرد را داشته و مدل‌های مایلت و بوزینس بدترین عملکرد را به خود اختصاص داده‌اند. مشابه همین نتایج را Moore (۱۹۹۷) در بررسی خشکیدگی حوضه South Creek واقع در جنگل تحقیقاتی دانشگاه بریتیش کلمبیا به‌دست آورد.

در جدول ۴ نتایج مربوط به عملکرد مدل‌های مختلف در ایستگاه آران غرب در حالت قطعات خشکیدگی طولانی مدت آخر فصل (به‌دلیل طولانی بودن جدول نتایج مربوط به قطعات خشکی کوتاه‌مدت آورده نشده است) آورده شده است. در این ایستگاه نیز برای خشکیدگی طولانی مدت تعداد ۳۸ و خشکیدگی کوتاه‌مدت تعداد شش قطعه خشکیدگی تشخیص داده شد. در این ایستگاه برای حالت قطعات خشکیدگی طولانی مدت (جدول ۴) مدل هورتن بهترین عملکرد را داشته و پس از آن مدل‌های بارنز و دراگ قرار داشته‌اند. برای شاخه خشکیدگی کوتاه‌مدت مدل دراگ بهترین عملکرد را داشته است و پس از آن مدل بارنز و هورتن عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته‌اند. در این ایستگاه مدل مایلت بدترین عملکرد را به خود اختصاص داده است.

ایستگاه رودک آورده شده است. در تمام جداولی که در ادامه آورده می‌شود، با توجه به عملکرد مشابه سه مدل دراگ، کوتانگ و ویتنبرگ فقط روش دراگ در مقایسات مدل‌ها وارد شده است. در این جدول رتبه یک بدین معناست که در بین تمام مدل‌ها مدل مورد نظر بهترین عملکرد را داشته است و در هر سلول منتهی به مدل و رتبه تعداد دفعاتی که مدل رتبه مورد نظر را داشته است، ذکر شده است. در ایستگاه رودک در طول دوره آماری مورد بررسی ۴۱ شاخه خشکیدگی طولانی مدت آخر فصل تشخیص داده شد. با توجه به جدول ۱ ملاحظه می‌شود که مدل Barnes (۱۹۳۹) در بین تمام مدل‌ها بهترین عملکرد را به خود اختصاص داده و بعد از این مدل دراگ عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته است. در این ایستگاه مدل مایلت و مخزن توانی بدترین عملکرد را به خود اختصاص داده‌اند.

در جدول ۲ عملکرد مدل‌های مختلف برای حالت مقادیر شاخه‌های خشکیدگی کوتاه‌مدت در ایستگاه رودک آورده شده است. در این ایستگاه تعداد پنج شاخه خشکیدگی کوتاه‌مدت در طی دوره آماری مورد بررسی تشخیص داده شد. در این حالت نیز مدل بارنز و سپس، دارگ بهترین عملکرد را داشته و مدل مایلت بدترین عملکرد را به خود اختصاص داده است. قابل ذکر است که در این قسمت برای یکی از شاخه‌های خشکیدگی روش‌های با مخزن غیرخطی (دارگ، ویتنبرگ و کوتانگ) قابل محاسبه نبود.

در جدول ۳ عملکرد مدل‌های مختلف برای قطعات خشکیدگی طولانی مدت آخر سال (به‌دلیل طولانی بودن جدول نتایج مربوط به قطعات خشکی کوتاه‌مدت آورده نشده است) در ایستگاه گلینک آورده شده است.

جدول ۱- عملکرد مدل‌های مختلف برای حالت شاخه خشکیدگی طولانی مدت آخر فصل در ایستگاه رودک

رتبه	مدل					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
مایلت	۰	۰	۰	۳	۵	۶
بارنز	۳۴	۲	۱	۳	۱	۲۶
بوزینس	۰	۰	۱۹	۱۱	۱۰	۰
هورتن	۲	۶	۱۳	۱۸	۱	۱
دراگ	۵	۳۳	۳	۰	۱	۰
مخزن توانی	۰	۱	۵	۳	۱۹	۱۰

جدول ۲- عملکرد مدل‌های مختلف برای حالت شاخه خشکیدگی کوتاه‌مدت در ایستگاه رودک

مدل	رتبه					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
مایلت	۰	۰	۰	۰	۱	۴
بارنز	۳	۰	۱	۱	۰	۰
بوزینس	۰	۰	۰	۱	۴	۰
هورتن	۱	۲	۰	۱	۰	۱
دراگ	۱	۲	۱	۰	۰	۰
مخزن توانی	۰	۱	۲	۲	۰	۰

جدول ۳- عملکرد مدل‌های مختلف برای حالت شاخه خشکیدگی طولانی‌مدت آخر فصل در ایستگاه گلینک

مدل	رتبه					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
مایلت	۰	۰	۴	۷	۱۰	۱۸
بارنز	۲۱	۵	۵	۴	۵	۱
بوزینس	۱	۲	۵	۱۹	۱۰	۱
هورتن	۹	۵	۱۸	۶	۲	۱
دراگ	۸	۲۷	۴	۱	۰	۰
مخزن توانی	۰	۰	۳	۳	۱۴	۱۶

جدول ۴- عملکرد مدل‌های مختلف برای حالت شاخه خشکیدگی طولانی‌مدت آخر فصل در ایستگاه آران غرب

مدل	رتبه					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
مایلت	۰	۰	۲	۸	۱۰	۱۸
بارنز	۱۴	۳	۹	۵	۵	۳
بوزینس	۰	۲	۱۵	۱۷	۳	۱
هورتن	۱۵	۱۰	۶	۵	۲	۱
دراگ	۹	۲۴	۴	۱	۰	۰
مخزن توانی	۰	۰	۲	۲	۲۰	۱۲

شده است. در این طی تحقیق روش‌های کوتانگ، دراگ و ویتنبرگ در برخی سال‌ها جواب نداده، به طوری که با برآورد ضرایب یک مدل توسط ضرایب به دست آورده، توسط مدل‌های دیگر و رابطه‌های بالا مقادیر منفی برای ضرایب را نتیجه داد. در صورتی که در روش روش دراگ مقدار ضریب n خیلی نزدیک به یک باشد، مقادیر پارامترهای به دست آمده توسط روش کوتانگ و ویتنبرگ خیلی پرت بوده و بنابراین از محاسبات حذف شدند.

در جدول ۵ برخی پارامترهای آماری (میانگین، کمترین، بیشترین و انحراف معیار) مقادیر ضرایب به دست آمده برای ایستگاه‌های مورد مطالعه آورده

علاوه بر نتایج مقایسه‌ای عملکرد مدل‌های مختلف نسبت به یکدیگر مسئله مهم دیگر در بررسی خشکیدگی جریان مقادیر ضرایب خشکیدگی و پارامترهای مدل‌های مختلف می‌باشد. در این رابطه ضرایب روش‌های بوزینس و مایلت دارای تفسیر فیزیکی می‌باشند و با استفاده از آن‌ها می‌توان به خصوصیات آبخوان پی برد. در حالی که روش‌های دیگر مقادیر به دست آمده آن‌ها فاقد تفسیر فیزیکی مشخصی می‌باشند و صرفاً می‌توان در مناطق مختلف آن‌ها را مقایسه کرد. در این میان بر روی ضرایب به دست آمده توسط روش بارنز توسط محققین بیشتر کار شده و مقادیر آن برای شرایط مختلف جریان ارائه

شده است. در این جدول در سطر پارامتر منظور از A1، A2 و A3 پارامترهای مدل می‌باشند که به‌عنوان مثال در مدل بارنز منظور مقادیر ضرایب برای سه خط برازش داده شده می‌باشد. در روش دراگ A1 به‌عنوان ضریب a و A2 به‌عنوان ضریب n می‌باشد. در این جدول منظور از یک مربوط به حالتی می‌باشد که برآورد پارامترها با در نظر گرفتن دبی مشاهداتی به‌عنوان دبی شروع صورت گرفته شده است و دو مربوط به حالتی است که دبی شروع بهینه شده است. با توجه به جدول ۵ ملاحظه می‌شود، اختلاف حالت‌های یک و دو در بیشتر مواقع چندان زیاد نبود و فقط در برخی موارد اختلاف بین پارامترهای برآورد شده چشمگیر است. به‌عنوان مثال در ایستگاه رودک این مسئله در مورد ضریب A1 هورتون و دراگ و ویتنبرگ و A2 روش‌های دراگ و کوتانگ مشاهده می‌شود که این اختلاف در روش‌های غیرخطی می‌تواند ناشی از آن باشد که در برخی موارد مقادیر ضرایب روش‌های غیرخطی منفی یا خیلی پرت به‌دست آمد که در محاسبات وارد نشد.

با توجه به جدول ۵ ملاحظه می‌شود، در ایستگاه رودک برای روش بارنز مقادیر متوسط K برای سه خط برازش داده شده برابر ۰/۹۷، ۰/۹۷۵ و ۰/۹۹ به‌دست آمده است که با مقایسه با مقادیر ارائه شده توسط Nathan و McMahan (۱۹۹۰) برای رواناب سریع (۰/۸-۰/۲)، زیرقشری (۰/۷-۰/۹۴) و آب پایه (۰/۹۳-۰/۹۹۵) مشاهده می‌شود که هیچیک از ضرایب به‌دست آمده در رنج رواناب سریع و زیرقشری قرار نمی‌گیرند. در ایستگاه گلینک مقادیر ضرایب برابر با ۰/۹۶۷، ۰/۹۷۴ و ۰/۹۸۷ به‌دست آمد که همانند ایستگاه رودک هیچکدام از ضرایب در دامنه رواناب سریع و زیرقشری قرار نمی‌گیرد.

با توجه به این مقادیر به‌دست آمده، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در این دو حوضه سایر مخازن تغذیه از قبیل برف و یخچال باعث ایجاد خشکیدگی جریان می‌شود. در تحقیق انجام گرفته توسط Gurnell (۱۹۹۳) نیز در بررسی خشکیدگی در مناطق یخچالی و برف‌گیر سه تا چهار خط راست به قطعات برازش دادند. در ایستگاه آران غرب مقادیر ضرایب به‌ترتیب

۰/۹۳۱، ۰/۹۴۵ و ۰/۹۷۲ به‌دست آمد که مقدار اولی آن در دامنه رواناب زیر قشری قرار می‌گیرد. با مقایسه مقادیر به‌دست آمده در مناطق کارستی و غیر کارستی مشاهده می‌شود، مقادیر ضریب خشکیدگی در مناطق غیر کارستی بالاتر بوده که این نشان‌دهنده وضعیت بهتر ذخیره در این مناطق می‌باشد. البته قابل ذکر است، از آن جایی که سه ایستگاه مورد مطالعه در یک اقلیم مشابه نبوده‌اند، ممکن است عوامل اقلیمی نیز در مقدار پارامترهای به‌دست آمده تاثیرگذار باشند. به‌طور مشابه مقادیر پارامترهای آورده شده برای جدول، برای حالت خشکیدگی‌های کوتاه‌مدت نیز محاسبه شد که به‌دلیل طولانی بودن این جدول از آوردن آن خودداری شد، ولی نتایج آن به‌طور خلاصه به شرح زیر می‌باشد.

قابل ذکر است برای حالت خشکیدگی‌های کوتاه‌مدت در هر سه ایستگاه هیچکدام از دو روش کوتانگ و ویتنبرگ جواب نداده و در برخی موارد محاسبه روش‌های دراگ و هورتون نیز با مشکل مواجه بوده، به‌طوری که در ایستگاه گلینک با توجه به این که تعداد سه قطعه خشکیدگی تشخیص داده شده بود، در حالت ۲، روش‌های دراگ و هورتون فقط یک قطعه خشکیدگی قابل محاسبه بوده، بنابراین مقدار انحراف معیار قابل محاسبه نبوده است. در هر سه ایستگاه مورد مطالعه در روش بارنز فقط دو خط راست به قطعات خشکیدگی در هنگام ترسیم آن‌ها بر روش کاغذ نیمه‌لگاریتمی قابل برازش بود.

در این قسمت مقادیر ضرایب بارنز ایستگاه رودک ۰/۹۰۱ و ۰/۹۸ به‌دست آمده که با توجه به مقادیر ارائه شده توسط Nathan و McMahan (۱۹۹۰) این مقادیر در دامنه رواناب زیرقشری و آب پایه قرار می‌گیرد. در ایستگاه گلینک مقادیر به‌دست آمده ۰/۸۴ و ۰/۹۸ می‌باشد که همانند ایستگاه رودک در دامنه رواناب قشری و آب پایه قرار می‌گیرند و در ایستگاه آران غرب نیز مقادیر ۰/۸۳۵ و ۰/۹۷۶ به‌دست آمد که در دامنه رواناب قشری و آب پایه قرار می‌گیرند. در بیشتر مواقع بین مقادیر به‌دست آمده برای حالت‌های یک و دو اختلاف زیادی وجود دارد.

جدول ۵- پارامترهای آماری ضرایب روش‌های مورد مطالعه در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای خشکیدگی طولانی مدت

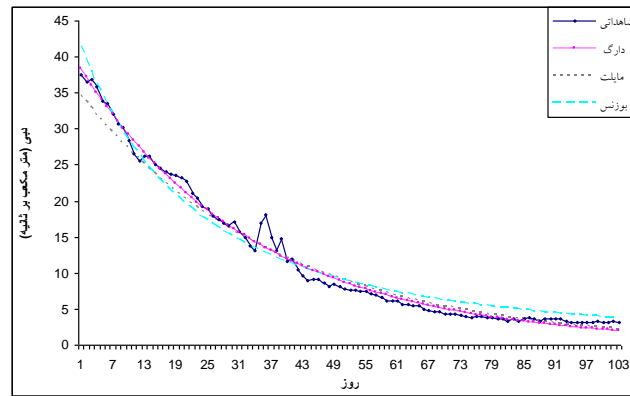
مدل	ایستگاه آران غرب			ایستگاه گلینک			ایستگاه رودک			
	پارامتر	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
۱	میانگین	-۰/۵۶	-۰/۲۸	-۰/۲۴	-۰/۲۸	-۰/۲۴	-۰/۲۴	-۰/۲۴	-۰/۲۴	-۰/۲۴
	حداقل	-۰/۱۰۹	-۰/۳۵	-۰/۳۷	-۰/۳۵	-۰/۳۷	-۰/۳۷	-۰/۳۷	-۰/۳۷	-۰/۳۷
	حداکثر	-۰/۳۴	-۰/۲۱	-۰/۱۶	-۰/۲۱	-۰/۱۶	-۰/۱۶	-۰/۱۶	-۰/۱۶	-۰/۱۶
	انحراف معیار	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
	میانگین	-۰/۵۲	-۰/۲۵	-۰/۲	-۰/۲۵	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۲
	حداقل	-۰/۱۰۶	-۰/۳۵	-۰/۳۰	-۰/۳۵	-۰/۳۰	-۰/۳۰	-۰/۳۰	-۰/۳۰	-۰/۳۰
۲	حداکثر	-۰/۲۱	-۰/۱۷	-۰/۰۷	-۰/۱۷	-۰/۰۷	-۰/۰۷	-۰/۰۷	-۰/۰۷	-۰/۰۷
	انحراف معیار	۰/۲۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴
	میانگین	-۰/۰۷۱	-۰/۲۸	-۰/۳۱	-۰/۲۸	-۰/۳۱	-۰/۳۱	-۰/۳۱	-۰/۳۱	-۰/۳۱
	حداقل	-۰/۱۲۳	-۰/۱۱۶	-۰/۶۸	-۰/۱۱۶	-۰/۶۸	-۰/۶۸	-۰/۶۸	-۰/۶۸	-۰/۶۸
	حداکثر	-۰/۰۲۴	-۰/۰۱۵	-۰/۰۲	-۰/۰۱۵	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۲
	انحراف معیار	۰/۰۲۵	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲
۱	میانگین	-۰/۰۷	-۰/۲۹	-۰/۳۲	-۰/۲۹	-۰/۳۲	-۰/۳۲	-۰/۳۲	-۰/۳۲	-۰/۳۲
	حداقل	-۰/۱۳۲	-۰/۱۲۵	-۰/۷۵	-۰/۱۲۵	-۰/۷۵	-۰/۷۵	-۰/۷۵	-۰/۷۵	-۰/۷۵
	حداکثر	-۰/۰۱۹	-۰/۰۱۳	-۰/۰۱۱	-۰/۰۱۳	-۰/۰۱۱	-۰/۰۱۱	-۰/۰۱۱	-۰/۰۱۱	-۰/۰۱۱
	انحراف معیار	۰/۰۲۷	۰/۰۲۶	۰/۰۱۴	۰/۰۲۶	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴
	میانگین	۰/۰۴۸	۰/۰۲۱	۰/۰۲۰	۰/۰۲۱	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰
	حداقل	۰/۰۲۲	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰
۲	حداکثر	۰/۰۸۷	۰/۰۳۱	۰/۰۴۵	۰/۰۳۱	۰/۰۴۵	۰/۰۳۱	۰/۰۴۵	۰/۰۳۱	۰/۰۴۵
	انحراف معیار	۰/۰۱۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶
	میانگین	۰/۰۵۵	۰/۰۲۳	۰/۰۲۱	۰/۰۲۳	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱
	حداقل	۰/۰۲۷	۰/۰۱۶	۰/۰۱۳	۰/۰۱۶	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳
	حداکثر	۰/۱۱۴	۰/۰۳۴	۰/۰۴۵	۰/۰۳۴	۰/۰۴۵	۰/۰۳۴	۰/۰۴۵	۰/۰۳۴	۰/۰۴۵
	انحراف معیار	۰/۰۲۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶
۱	میانگین	۰/۰۹۶	۰/۳۱	۰/۵۵	۰/۳۱	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵
	حداقل	۰/۰۰۴	۰/۶۳۶	۰/۵۰۶	۰/۶۳۶	۰/۵۰۶	۰/۵۰۶	۰/۵۰۶	۰/۵۰۶	۰/۵۰۶
	حداکثر	۰/۲۲۱	۱/۵۷۳	۱/۲۹۰	۱/۵۷۳	۱/۲۹۰	۱/۲۹۰	۱/۲۹۰	۱/۲۹۰	۱/۲۹۰
	انحراف معیار	۰/۰۵۷	۰/۲۰۱	۰/۱۶۵	۰/۲۰۱	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵
	میانگین	۰/۱۴۷	۰/۹۲۹	۰/۷۷۹	۰/۹۲۹	۰/۷۷۹	۰/۷۷۹	۰/۷۷۹	۰/۷۷۹	۰/۷۷۹
	حداقل	۰/۰۰۱	۰/۳۹۶	۰/۲۵۴	۰/۳۹۶	۰/۲۵۴	۰/۲۵۴	۰/۲۵۴	۰/۲۵۴	۰/۲۵۴
۲	حداکثر	۰/۷۰۶	۱/۹۲۸	۱/۴۰۴	۱/۹۲۸	۱/۴۰۴	۱/۴۰۴	۱/۴۰۴	۱/۴۰۴	۱/۴۰۴
	انحراف معیار	۰/۱۵۲	۰/۳۲۶	۰/۲۳۰	۰/۳۲۶	۰/۲۳۰	۰/۲۳۰	۰/۲۳۰	۰/۲۳۰	۰/۲۳۰
	میانگین	۰/۰۴۲	۳/۳۵۴	۳/۲۲۱	۳/۳۵۴	۳/۲۲۱	۳/۲۲۱	۳/۲۲۱	۳/۲۲۱	۳/۲۲۱
	حداقل	۰/۰۱۲	۱/۱۲۸	۰/۷۰۳	۱/۱۲۸	۰/۷۰۳	۰/۷۰۳	۰/۷۰۳	۰/۷۰۳	۰/۷۰۳
	حداکثر	۰/۱۲۸	۷/۶۶۸	۱۱/۴۱۰	۷/۶۶۸	۱۱/۴۱۰	۱۱/۴۱۰	۱۱/۴۱۰	۱۱/۴۱۰	۱۱/۴۱۰
	انحراف معیار	۰/۰۳۱	۱/۷۵۳	۲/۲۰۲	۱/۷۵۳	۲/۲۰۲	۲/۲۰۲	۲/۲۰۲	۲/۲۰۲	۲/۲۰۲
۱	میانگین	۰/۰۴۹	۱/۹۹۵	۲/۸۳۳	۱/۹۹۵	۲/۸۳۳	۲/۸۳۳	۲/۸۳۳	۲/۸۳۳	۲/۸۳۳
	حداقل	۰/۰۰۵	۱/۲۹۴	۰/۶۲۶	۱/۲۹۴	۰/۶۲۶	۰/۶۲۶	۰/۶۲۶	۰/۶۲۶	۰/۶۲۶
	حداکثر	۰/۱۴۷	۱۱/۳۷۳	۷/۵۳۶	۱۱/۳۷۳	۷/۵۳۶	۷/۵۳۶	۷/۵۳۶	۷/۵۳۶	۷/۵۳۶
	انحراف معیار	۰/۰۳۹	۲/۹۱۴	۱/۸۶۵	۲/۹۱۴	۱/۸۶۵	۱/۸۶۵	۱/۸۶۵	۱/۸۶۵	۱/۸۶۵
	میانگین	۰/۰۱۹	۳/۸۰۲	۳/۲۲۱	۳/۸۰۲	۳/۲۲۱	۳/۲۲۱	۳/۲۲۱	۳/۲۲۱	۳/۲۲۱
	حداقل	۰/۰۰۳	۱/۱۶۲	۰/۷۰۳	۱/۱۶۲	۰/۷۰۳	۰/۷۰۳	۰/۷۰۳	۰/۷۰۳	۰/۷۰۳
۲	حداکثر	۰/۰۵۵	۱۱/۴۲۰	۱۱/۴۱۰	۱۱/۴۲۰	۱۱/۴۱۰	۱۱/۴۱۰	۱۱/۴۱۰	۱۱/۴۱۰	۱۱/۴۱۰
	انحراف معیار	۰/۰۱۴	۲/۷۳۴	۲/۲۰۲	۲/۷۳۴	۲/۲۰۲	۲/۲۰۲	۲/۲۰۲	۲/۲۰۲	۲/۲۰۲
	میانگین	۰/۰۲۱	۳/۸۷۷	۲/۸۳۳	۳/۸۷۷	۲/۸۳۳	۲/۸۳۳	۲/۸۳۳	۲/۸۳۳	۲/۸۳۳
	حداقل	۰/۰۰۳	۰/۹۲۵	۰/۶۲۶	۰/۹۲۵	۰/۶۲۶	۰/۶۲۶	۰/۶۲۶	۰/۶۲۶	۰/۶۲۶
	حداکثر	۰/۰۸۵	۱۰/۱۸۱	۷/۵۳۶	۱۰/۱۸۱	۷/۵۳۶	۷/۵۳۶	۷/۵۳۶	۷/۵۳۶	۷/۵۳۶
	انحراف معیار	۰/۰۲	۲/۷۷۵	۱/۸۶۵	۲/۷۷۵	۱/۸۶۵	۱/۸۶۵	۱/۸۶۵	۱/۸۶۵	۱/۸۶۵

ادامه جدول ۵- پارامترهای آماری ضرایب روش‌های مورد مطالعه در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای خشکیدگی طولانی مدت

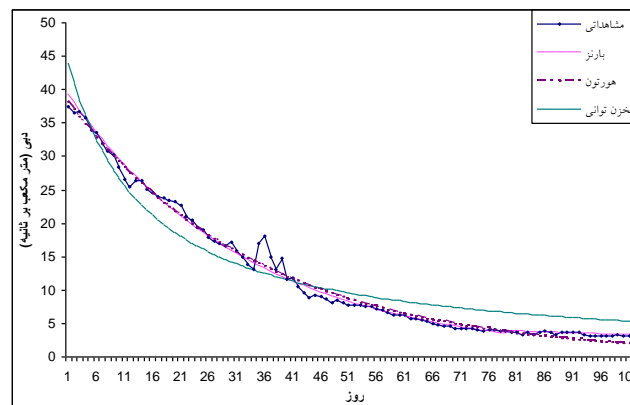
ایستگاه رودک			ایستگاه گلینک			ایستگاه آران غرب			پارامتر		
A3	A2	A1	A3	A2	A1	A3	A2	A1			
		۰/۰۰۳			۰/۰۰۲			۰/۰۱۷	میانگین	1	مخزن توانی
		۰/۰۰۱			۰/۰۰۱			۰/۰۰۳	حداقل		
		۰/۰۰۶			۰/۰۰۵			۰/۰۹۷	حداکثر		
		۰/۰۰۱			۰/۰۰۱			۰/۰۱۷	انحراف معیار		
		۰/۰۰۳			۰/۰۰۲			۰/۰۱۸	میانگین		
		۰/۰۰۱			۰/۰۰۱			۰/۰۰۳	حداقل		
		۰/۰۰۶			۰/۰۰۵			۰/۱۰۳	حداکثر		
		۰/۰۰۱			۰/۰۰۱			۰/۰۱۸	انحراف معیار		
۱/۶۵۲	۰/۰۲۲		۱/۳۸۴	۰/۰۲۷		۱/۳۵۱	۰/۰۶۰		میانگین	2	کوئتانگ
۰/۷۱۹	۰/۰۱۳		۰/۷۷۰	۰/۰۱۶		۰/۸۶۷	۰/۰۳۴		حداقل		
۴/۷۷۰	۰/۰۳۴		۲/۵۷۵	۰/۰۳۹		۳/۴۷۱	۰/۱۱۳		حداکثر		
۰/۸۴۴	۰/۰۰۵		۰/۵۰۷	۰/۰۰۶		۰/۵۴۰	۰/۰۲۰		انحراف معیار		
۱/۷۴۱	۰/۰۲۲		۱/۴۸۶	۰/۰۲۷		۱/۴۵۵	۰/۰۶۱		میانگین		
۰/۷۴۵	۰/۰۱۰		۰/۷۹۷	۰/۰۱۵		۰/۷۳۱	۰/۰۳۱		حداقل		
۴/۶۲۹	۰/۰۳۵		۳/۴۶۶	۰/۰۳۹		۴/۳۹۷	۰/۱۲۱		حداکثر		
۰/۹۱۹	۰/۰۰۵		۰/۶۲۰	۰/۰۰۶		۰/۸۲۹	۰/۰۲۳		انحراف معیار		
۰/۷۲۹	۱۵۵/۳۴۲		۰/۸۱۹	۱۱۲/۶۱۳		۰/۸۰۴	۴۵/۹۷۲		میانگین	1	ویتنبرگ
۰/۲۱۰	۱۶/۰۶۰		۰/۳۸۸	۹/۹۴۷		۰/۱۱۴	۹/۴۰۶		حداقل		
۱/۳۹۱	۶۸۶/۳۰۶		۱/۲۹۸	۴۸۲/۷۵۳		۱/۱۵۳	۴۷۴/۵۷۸		حداکثر		
۰/۲۷۲	۱۵۷/۱۵۸		۰/۲۵۵	۱۱۷/۹۱۰		۰/۲۵۹	۸۰/۶۹۵		انحراف معیار		
۰/۶۸۹	۱۷۱/۸۷۱		۰/۷۷۰	۱۳۷/۵۲۱		۰/۸۲۱	۳۹/۸۱۵		میانگین		
۰/۲۱۶	۱۷/۷۹۱		۰/۲۸۹	۱۲/۸۵۹		۰/۲۲۷	۱۰/۰۸۷		حداقل		
۱/۳۴۳	۷۴۲/۸۷۷		۱/۲۵۴	۶۵۷/۷۹۵		۱/۳۶۸	۲۳۲/۴۶۷		حداکثر		
۰/۲۵۶	۱۶۸/۹۶۴		۰/۲۳۸	۱۶۰/۵۳۴		۰/۲۷۹	۵۱/۳۴۷		انحراف معیار		

باشد. مدل مایلت نیز فقط قسمت ابتدای خشکیدگی را نتوانسته خوب مدل کند. مدل‌های دراگ (ویتنبرگ و کوئتانگ) و هورتون همانند مدل بارنز ابتدای خشکیدگی را خوب مدل‌سازی کرده‌اند، اما قسمت انتهایی خشکیدگی را نسبت به مدل بارنز و هیدروگراف مشاهداتی کم برآورد کرده‌اند، عملکرد بهتر مدل بارنز نیز مربوط به آن می‌شود، به قطعه خشکیدگی مورد نظر دو خط یکی برای قسمت ابتدایی هیدروگراف و یکی دیگر برای قسمت انتهایی هیدروگراف برازش داده است.

در شکل‌های ۳ و ۴ عملکرد مدل‌های مختلف در ایستگاه گلینک در سال آبی ۸۳-۱۳۸۲ که در آن عملکرد مدل‌ها به ترتیب عبارتند از: بارنز، دراگ (ویتنبرگ و کوئتانگ)، هورتون، مایلت، بوزینس و مخزن توانی آورده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود، عملکرد روش مخزن توانی هم در برزاش قسمت بالا و پایین قطعه خشکیدگی بسیار ضعیف بوده است. عملکرد مدل بوزینس نسبت به مدل مخزن توانی بهتر شده، اما این مدل نیز نتوانسته برزاش خوبی به قطعه خشکیدگی داشته



شکل ۳- عملکرد مدل‌های بارنز، هورتون و مخزن توانی ایستگاه در سال آبی ۸۲-۱۳۸۳



شکل ۴- عملکرد مدل‌های دراگ، مایلت و بوزینس در ایستگاه گلینک در سال آبی ۸۲-۱۳۸۳

منابع مورد استفاده

1. Brodie, R.S. and S. Hostetler. 2005. A review of technique for analyzing basflow from stream hydrographs. Proceedings of the NZHS-IAH-NZSSS 2005 Conference, Auckland, New Zealand, 28 November – 2 December.
2. Chapman, T.G. 1999. A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation. *Process Interactions in the Environment*, 13(5): 701-714.
3. Dewandel, B., P. Lachassagne, M. Bakalowicz, P.H. Weng and A. Al-Malki. 2003. Evaluation of aquifer thickness by analysing recession hydrographs. Application to the Oman ophiolite hard-rock aquifer. *Journal of Hydrology*, 274(1-4): 248-269.
4. Gurnell, A.M. 1993. How many reservoirs? An analysis of flow recessions from a glacier basin. *Journal of Glaciology*, 39(132): 409-414.
5. Griffiths, G.A. and B. Clausen. 1997. Streamflow recession in basins with multiple water storages. *Journal of Hydrology*, 190: 60-74.
6. Moore, R.D. 1997. Storage-outflow modelling of streamflow recessions, with application to a shallow-soil forested catchment. *Journal of Hydrology*, 198: 260-270.
7. Nathan, R.J. and T.A. McMahan. 1990. Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analysis. *Water Resources Research*, 26(7): 1465-1473.
8. Sujono, J., S. Shikasho and K. Hiramatsu. 2004. A comparison of techniques for hydrographic recession analysis. *Hydrological Processes*, 18: 403-413.
9. Tallaksen, L.M. 1989. Analysis of time variability in recessions. *FRIENDS in Hydrology*, 187: 85-96.
10. Tallaksen, L.M. 1995. A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology*, 165: 349-370.
11. Wittenberg, H. 1994. Nonlinear analysis of low flow recession curves. *The International Association of Hydrological Sciences (IAHS)*, 221: 61-67.

A comparison of techniques for modelling recession lamb

Aboalhasan Fathabadi^{*1}, Hamed Rouhani², Seyed Morteza Seyedian³ and Mohammad Mahdvi⁴

^{1, 2 and 3} Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Agriculture, Gonbad Kavous University, Iran and ⁴ Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

Received: 23 February 2012

Accepted: 15 March 2013

Abstract

When watershed input, evatransporation and ground water usage be limiteded, recession curve showed storage–output relationship for basin. This relationship can help us in low flow forecasting, decision and management of water resources; hydrological models calibration and etc. In this study recession curve were modelled in Taleghan, Jajrod and Khoramdare rivers. At the first by consideration of annul hydrographs, recession lamb were separated then by doing some pre-processing recession curve get prepared for fitting various models. For each recession eight models were fitted. Result showed that for Jajrod and Talaghan, Barnes, Drogue, Coutagne and Wittenberg had better application, respectively. For Khoramdare river Horton, Barnes and Drogue had better performance with compared to others models. For Barnes model average value of K coefficient for Jajrod 0.97, 0.975 and 0.99 for Taleghan 0.967, 0.974 and 0.987 and for Khoramdare river 0.931, 0.945, 0.972 were obtained.

Keywords: Base flow, Jajrod, Khoramdare, Storage–output relationship, Taleghan

* Corresponding author: fathbabadi@ut.ac.ir