

بررسی بهینه ورودی با استفاده از آزمون گاما در مدل سازی بارش - رواناب حوضه آبخیز کارون شمالی

سید حسین روشن^۱، محمود حبیب نژاد روشن^{۲*}، کاکا شاهی^۳، یاروسلاو گرمانسکی^۴

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و

منابع طبیعی ساری

۲. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳. دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴. استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه علوم زیستی ورشو، لهستان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۴/۲۲، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۰۶/۳۱)

چکیده

یکی از فرایندهای مهم هیدرولوژیکی، مدل سازی بارش - رواناب است. هدف تحقیق حاضر، انتخاب ورودی های بهینه و ترکیب مناسب برای مدل سازی رواناب در حوضه آبخیز کارون شمالی با استفاده از آزمون گاما در نرم افزار WinGamma است. به این منظور، از داده های بارش و دبی جریان در مقیاس روزانه مربوط به سال های آماری ۱۳۷۶ - ۱۳۹۶ استفاده شد. نواقص آماری به روش همبستگی و آزمون همگنی داده ها با استفاده از ران تست انجام شد. برای تعیین تأخیرهای بارش و دبی جریان از ضرایب خودهمبستگی، خودهمبستگی جزئی و همبستگی متقاطع در محیط نرم افزار R Studio بهره گرفته شد. در نهایت، ورودی های بهینه و ترکیب مناسب با استفاده از آزمون گاما در محیط نرم افزار WinGamma به دست آمدند. نتایج این تحقیق نشان داد ۹ پارامتر ورودی بهینه شامل بارش روز جاری (P_t)، بارش با تأخیر یک روز (P_{t-1})، دو روز (P_{t-2})، سه روز (P_{t-3}) و چهار روز (P_{t-4}) و همچنین دبی روز قبل (Q_{t-1})، دبی با تأخیر دو روز (Q_{t-2})، سه روز (Q_{t-3}) و چهار روزه (Q_{t-4}) سطح معناداری در سطح اطمینان ۵ درصد داشتند که برای ایجاد ۱۳۰ ترکیب مناسب تشخیص داده شدند و بر مبنای کمترین میزان آماره گاما (Γ) برای هر زیرحوضه یک ترکیب مناسب مشخص شد. در نهایت، برای کل حوضه ورودی های بهینه شامل پارامترهای $P_t, P_{t-1}, P_{t-2}, P_{t-3}, P_{t-4}, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}$ و بهترین ترکیب به صورت $P_t, P_{t-1}, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}$ است. به طور کلی، در تمامی زیرحوضه ها و کل حوضه بارش روز جاری، بارش یک و دو روز قبل و همچنین، دبی روز قبل و دو روز قبل تأثیر زیادی بر رواناب ورودی به رودخانه حوضه دارند.

کلیدواژگان: آماره گاما، حوضه آبخیز کارون شمالی، ضریب خودهمبستگی، فرایند بارش - رواناب، WinGamma.

مقدمه

پیش‌بینی و تقاضای آب، ابزاری اساسی در مدیریت منابع آب به‌شمار می‌رود. لزوم پیش‌بینی مناسب جریان آب در رودخانه‌ها در کارهای عمرانی، ساماندهی رودخانه، طراحی و برنامه‌ریزی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و سامانه‌های هشدار سیل اهمیت زیادی دارد [۱]. پیش‌بینی جریان رودخانه در سال‌های اخیر به‌صورت مدل‌سازی بارش - رواناب مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. فرایند بارش - رواناب از اساسی‌ترین مباحث علم هیدرولوژی محسوب می‌شود و یکی از اجرای مهم چرخه هیدرولوژی است [۲]. با توجه به محدودیت منابع آب شیرین، پیش‌بینی و مدل‌سازی صحیح آن برای مدیریت منابع آب و کاهش خسارت‌های سیل ضروری است [۳-۵]. این فرایند به طور کامل پیچیده و غیرخطی است و از آنجا که عوامل و پارامترهای مؤثر بر آن تغییرات مکانی و زمانی دارند و با عدم قطعیت زیادی همراه هستند، همواره سبب ایجاد خطا در پیش‌بینی‌ها می‌شوند و مدل کردن آنها به دلیل پیچیده بودن فرایند، کار دشواری است [۶]. مدل‌های بارش - رواناب بر اساس میزان بازنمایی فرایند فیزیکی مطالعه شده، به سه دسته مدل‌های فیزیکی، مفهومی و جعبه‌سیاه تقسیم می‌شوند [۷]. برای حل مسائل دارای پیچیدگی و عدم قطعیت که در آنها در نظر گرفتن همه پارامترهای فیزیکی مؤثر مشکل است، مدل‌های جعبه‌سیاه که داده‌های ورودی را به مقادیر خروجی تبدیل می‌کنند، می‌توانند نتایج دقیق‌تری نسبت به مدل‌های فیزیکی داشته باشند. روش‌های نوین هوش مصنوعی ابزارهای مدل‌سازی جعبه‌سیاه هستند که به‌تازگی در شبیه‌سازی فرایند بارش - رواناب کاربرد فراوانی دارند [۸]. از توانایی‌های مدل‌های هوشمند می‌توان به درک درست آنها از مسائل غیرخطی و پیچیده بدون اطلاع قبلی از مدل اشاره کرد. تعیین و انتخاب مهم‌ترین و مؤثرترین پارامترهای یک تابع غیرخطی و ناشناخته در مدل‌های شبیه‌ساز یکی از مراحل مشکل‌توسعه مدل است. آزمون گاما به عنوان روش نوینی است که به این منظور در تحقیقات امروزه استفاده می‌شود [۹]. انتخاب پارامترهای ورودی بهینه به منظور افزایش دقت و کارایی مدل و کاهش هزینه‌ها و زمان مصرفی، یکی از مراحل مهم مدل‌سازی است که فناوری آزمون گاما از جمله روش‌های شناسایی این پارامترها است [۱۰]. آزمون گاما

ابزاری برای تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی غیرخطی است که با در نظر گرفتن کمترین مقدار قابل محاسبه میانگین مربعات خطا^۱ (MSE) مناسب‌ترین رابطه بین ورودی‌ها و خروجی یا خروجی‌ها در یک مجموعه داده‌های عددی را ارائه می‌کند. در واقع، با استفاده از آزمون گاما می‌توان بهینه‌ترین ترکیب ورودی‌ها و مناسب‌ترین تعداد داده‌ها که منجر به کمترین میانگین مربعات خطا در هر گونه مدل‌سازی غیرخطی پیوسته می‌شود را تعیین کرد. به بیان دیگر، طی فرایند آزمون گاما، احتمال m ورودی مطابق با خروجی y در داده‌های پایه که ترتیبی مناسب برای مدلی بهینه از y را ارائه می‌کند، ارزیابی می‌شود. با بررسی خطا در هر ترتیب ورودی‌ها، یک معیار مناسب برای قضاوت در مورد آنها فراهم می‌شود و در نهایت، ترتیبی از داده‌ها که کمترین مقدار خطا برای مدل‌سازی بهینه خروجی y دارد، به‌عنوان ترتیب بهینه ورودی‌ها استفاده می‌شود [۱۱]. برای تعیین ترکیب پارامترهای ورودی به مدل، از نرم‌افزار WinGamma استفاده می‌شود. این نرم‌افزار در اصل تمام ترکیب‌های ورودی محتمل را بررسی کرده و میزان صحت و دقت مدل‌سازی را در ترکیب‌های مختلف تعیین می‌کند [۱۲] و [۱۳]. تحقیقات مختلفی در زمینه استفاده از آزمون گاما به منظور تعیین ورودی‌های بهینه و مدل مناسب انجام شده است. از جمله شریفی و همکاران (۲۰۱۳) برای تعیین ترکیب متغیرها برای شبیه‌سازی رواناب در حوضه آبخیز امامه از آزمون گاما استفاده کردند. آنها به این منظور، از داده‌های بارندگی روزانه بدون تأخیر (P_t) و با تأخیرهای یک‌روزه (P_{t-1})، دوازده (P_{t-2}) و سه‌روزه (P_{t-3}) و جریان روزانه با تأخیر یک‌روزه (R_{t-1})، دوازده (R_{t-2})، سه‌روزه (R_{t-3}) و چهارروزه (R_{t-4}) جریان استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد شش متغیر شامل (P_t)، (P_{t-1})، (P_{t-2})، (P_{t-3})، (R_t) و (R_{t-2}) به عنوان ورودی‌های بهینه انتخاب شدند. همچنین، با استفاده از آزمون M تعداد ۱۴۰۵ داده برای بخش آموزش مدل‌سازی مناسب تشخیص داده شد [۱۴]. آخونی پورحسینی و دربندی (۲۰۱۸) برای انتخاب ترکیب بهینه متغیرهای ورودی در مدل‌سازی رواناب رودخانه صوفی‌چای با روش‌های هوش مصنوعی از آزمون گاما استفاده کردند. آنها به این منظور از داده‌های ۴۰ سال

1. Mean Square Error

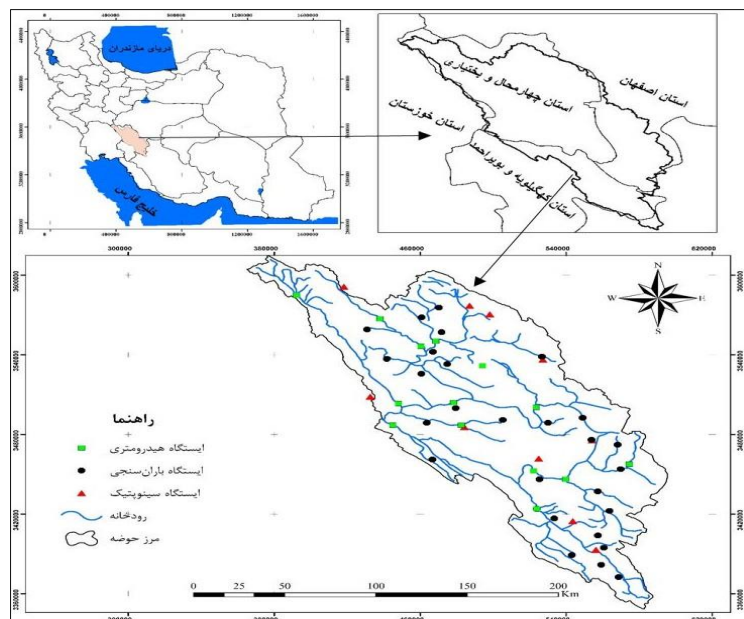
استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی است [۱۶]. با توجه به تحقیقات انجام شده، توانایی آزمون گاما در تعیین ورودی های بهینه مورد توجه بسیاری از محققان بوده است. به دلیل اینکه این مهم در حوضه آبخیز کارون شمالی انجام نگرفته است، تحقیق پیش رو تعیین ترکیب بهینه ورودی با استفاده از آزمون گاما برای شبیه سازی فرایند بارش - رواناب را در این حوضه بررسی می کند.

مواد و روش ها

منطقه مطالعه شده

حوضه آبخیز کارون شمالی یکی از حوضه های آبخیز مهم کشور در تأمین منابع آبی است که در موقعیت جغرافیایی $32^{\circ} 40'$ تا $30^{\circ} 28'$ شرقی و $51^{\circ} 47'$ تا $49^{\circ} 35'$ عرض شمالی قرار دارد. این حوضه بخشی از حوضه کارون بزرگ است و مساحتی حدود $23606/45$ کیلومتر مربع دارد که در استان های کهگیلویه و بویراحمد ($17/06$ درصد)، چهارمحال و بختیاری ($57/54$ درصد)، اصفهان ($22/34$ درصد) خوزستان ($1/70$) و بخشی از فارس ($1/36$ درصد) گستره دارد. حوضه آبخیز کارون بزرگ به دلیل توپوگرافی شدید و وجود مناطق برفگیر از پرآب ترین حوضه های آبخیز کشور محسوب می شود و در مدیریت منابع آب کشور جایگاه ویژه ای دارد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی این حوضه آبخیز را در کشورمان نشان می دهد.

رواناب متوسط ماهانه و بارندگی ماهانه به صورت شش متغیر شامل جریان با تأخیر یکروزه (Q_{t-1})، دوزوزه (Q_{t-2})، سه روزه (Q_{t-3})، چهارروزه (Q_{t-4})، پنج روزه (Q_{t-5}) و شش روزه (Q_{t-6}) به عنوان ورودی و Q_t به عنوان متغیر خروجی بهره گرفتند. نتایج آزمون گاما نشان داد رواناب رودخانه با شش تأخیر زمانی نتایج بهتری به منظور پیش بینی ارائه می دهد. شبیه سازی رواناب با استفاده از روش های هوش مصنوعی (شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان) بیانگر این است که بهترین ساختار ورودی برای پیش بینی رواناب ماه بعد، تا شش تأخیر خواهد بود [۱۵]. سینگ و همکاران (2016) به منظور مدل سازی بارش - رواناب با روش های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندگانه از آزمون گاما در محیط نرم افزار WinGamma استفاده کردند. آنها برای تعیین ورودی های بهینه و انتخاب مدل مناسب، متغیرهای بارش روزانه (R_t)، تأخیر یکروزه (R_{t-1})، دوزوزه (R_{t-2})، سه روزه (R_{t-3}) و چهارروزه (R_{t-4}) و دبی با تأخیر یکروزه (Q_{t-1})، دوزوزه (Q_{t-2})، سه روزه (Q_{t-3}) و چهارروزه (Q_{t-4}) را در نظر گرفتند. نتایج آزمون گاما نشان داد متغیرهای R_t ، R_{t-1} و Q_{t-1} مهم ترین ورودی ها در مدل سازی هستند و سپس، پارامترهای R_{t-3} ، R_{t-4} و Q_{t-4} در درجه بعدی قرار دارند. همچنین، نتایج انتخاب بهترین مدل نشان داد مدل Q_{t-1} ، R_{t-2} ، R_{t-1} ، R_t با داشتن کمترین مقدار ضریب گاما بهترین مدل در شبیه سازی فرایند بارش - رواناب با



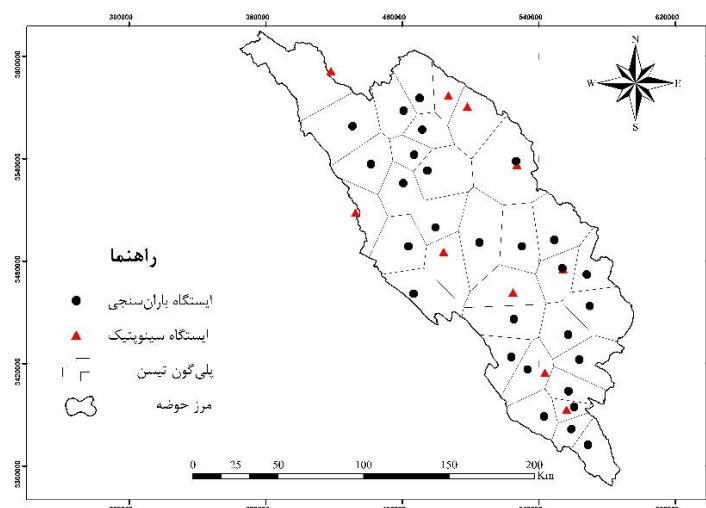
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز کارون شمالی در ایران

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	دوره آماری	رودخانه	استان
پاتاوه	۵۱° ۱۵' ۰۰"	۳۰° ۵۷' ۰۰"	۱۵۶۰	۱۳۵۱-۱۳۹۶	بشار	کهگیلویه و بویراحمد
کتنا	۵۱° ۱۵' ۳۲"	۳۱° ۱۰' ۵۴"	۱۵۵۰	۱۳۵۱-۱۳۹۶	ماربر	کهگیلویه و بویراحمد
بارز	۵۰° ۲۵' ۰۰"	۳۱° ۳۱' ۰۰"	۸۶۲	۱۳۵۸-۱۳۹۶	خرسان	چهارمحال و بختیاری
لردگان	۵۰° ۴۹' ۳۲"	۳۱° ۳۰' ۳۴"	۱۵۸۲	۱۳۵۸-۱۳۹۶	چشمه برم	چهارمحال و بختیاری
سولگان	۵۱° ۱۴' ۵۲"	۳۱° ۳۸' ۲۲"	۲۰۸۶	۱۳۵۷-۱۳۹۶	سولگان	چهارمحال و بختیاری
بیدله	۵۰° ۳۲' ۳۴"	۳۱° ۳۴' ۴۶"	۱۱۵۸	۱۳۸۰-۱۳۹۶	منج لردگان	چهارمحال و بختیاری
ارمند	۵۰° ۴۶' ۱۳"	۳۱° ۴۰' ۱۵"	۱۰۸۲	۱۳۳۵-۱۳۹۶	کارون	چهارمحال و بختیاری
کاج	۵۰° ۳۴' ۴۹"	۳۳° ۱۹' ۰۳"	۱۶۹۸	۱۳۷۹-۱۳۹۶	آب کوهرنگ	چهارمحال و بختیاری
مرغک	۵۰° ۲۷' ۱۰"	۳۱° ۳۹' ۴۹"	۹۱۳	۱۳۷۶-۱۳۹۶	بازفت	چهارمحال و بختیاری
کوه سوخته	۵۰° ۴۰' ۰۰"	۳۳° ۱۹' ۰۵"	۱۹۷۷	۱۳۷۰-۱۳۹۶	کیار	چهارمحال و بختیاری
دزک آباد	۵۰° ۱۹' ۱۸"	۳۳° ۱۴' ۵۶"	۲۱۲۲	۱۳۷۶-۱۳۹۶	بیرگان	چهارمحال و بختیاری
شهید خدري	۴۹° ۵۰' ۴۸"	۳۳° ۲۳' ۳۸"	۱۶۶۵	۱۳۷۸-۱۳۹۶	بازفت	چهارمحال و بختیاری

متناظر کردن بارش هر زیرحوضه با دبی جریان خروجی از آن، بین ایستگاه‌های مربوط به هر زیرحوضه با استفاده از روش پلی‌گون‌های تیسن سطح اثر هر ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک مشخص شد و میانگین بارندگی هر زیرحوضه با استفاده از روش بیان‌شده در نرم‌افزار ArcGIS 10.4 و Excel 2016 به دست آمد (شکل ۲). برای تعیین تعداد تأخیرها از توابع خودهمبستگی^۱، خودهمبستگی جزئی^۲ و همبستگی متقاطع^۳ بین بارش و رواناب تمام زیرحوضه‌ها و کل حوضه در محیط نرم‌افزار R Studio استفاده شد. در نهایت، به منظور تعیین ورودی‌های بهینه و انتخاب مدل مناسب از آزمون گاما در محیط نرم‌افزار WinGammaTM نسخه ۱/۹۸ استفاده شد.

در تحقیق حاضر داده‌های روزانه بارندگی و دبی جریان استفاده شد. به این منظور، داده‌های ۲۸ ایستگاه باران‌سنجی، ۹ ایستگاه سینوپتیک و ۱۲ ایستگاه هیدرومتری که طول دوره آماری مناسب (۱۳۷۶-۱۳۹۶) داشتند، انتخاب شدند (جدول ۱ و شکل ۱). داده‌های یادشده از سازمان هواشناسی و شرکت مدیریت منابع آب کشور دریافت شدند. با توجه به اینکه آمار چند ایستگاه ناقص بود، برای تکمیل نواقص آماری، از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده شد. همچنین، صحت و همگنی داده‌ها در هر ایستگاه با استفاده از آزمون ران تست بررسی شد. در ادامه، زیرحوضه‌های مربوط به هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری در نرم‌افزار ArcSWAT مشخص شد. به منظور



شکل ۲. سطح اثر ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک

1. Autocorrelation Function (ACF)
2. Partial Autocorrelation Function (PACF)
3. Cross Correlation Function (CCF)

آزمون گاما

$$\Sigma_m = \frac{1}{m} \sum_i^m |x_{N[i,k]} - y_i|^2 \quad 1 \leq k \leq p \quad (3)$$

تابع مربوطه گاما برای هر خروجی y_i متناظر با بردار ورودی در رابطه ۱ بر اساس رابطه ۴ به دست می آید:

$$Y_M = \frac{1}{2M} \sum_i^M |y_{N[i,k]} - y_i|^2 \quad 1 \leq k \leq p \quad (4)$$

که مقدار y معین برای k امین همسایه نزدیک بردار ورودی x_i در رابطه ۱ است. میزان p را می توان بین ۱۰ - ۵۰ انتخاب کرد [۱۸ و ۲۲]. با ایجاد رابطه رگرسیونی خطی رابطه ۵ حاصل می شود:

$$Y = A\sigma + \Gamma \quad (5)$$

وقتی σ به سمت صفر میل کند، مقدار آماره گاما به صورت رابطه ۶ نشان داده می شود:

$$Y_M \rightarrow VAR(r)\sigma_M \rightarrow 0 \quad (6)$$

محاسبه شیب نیز به عنوان یک پارامتر بدون بعد هم می تواند اطلاعات مفیدی در رابطه با پیچیدگی مدل ارائه کند. نسبت γ نیز بررسی شکلی را که وابسته به دامنه خروجی است، میسر می سازد و خروجی مناسب برای توابع ساده را مدل سازی می کند که به صورت رابطه ۷ محاسبه می شود.

$$V_{ratio} = \frac{\Gamma}{VAR(Y)} \quad (7)$$

$VAR(Y)$ واریانس خروجی را نشان می دهد. این نسبت به صورت نرمال بین صفر تا ۱ تغییر می کند که هرچه میزان آن به صفر نزدیک تر باشد، بیانگر برآوردی مناسب تر از خروجی Y است. در واقع $1 - |V_{ratio}|$ مشابه با ضریب تعیین R^2 است که تخمین می زند تا چه حد اطلاعات با مدل تناسب دارد [۱۳ و ۲۳]. با استفاده از آزمون M می توان تعداد داده های مورد نیاز را برای بخش آموزش تعیین کرد. آزمون M با فرض آنکه M تعداد سری مجموعه مشاهده شده از پدیده بررسی شده باشد، با استفاده از آزمون گاما می توان چگونگی تغییرات منحنی های مجانب گاما و خطای استاندارد را برای ترکیب منتخب با افزایش تعداد الگوهای ورودی M بررسی و تعداد الگوهای ورودی که مقدار این آماره ها را به حالت پایدار برای ایجاد مدل هموار می رساند، تعیین کرد. اگر فرض شود که N

آزمون گاما از جمله روش های آماری ناپارامتری است که در مجموعه ای از داده های ورودی - خروجی برآوردی از بهترین میانگین مربعات خطا روی خروجی به وسیله یک مدل هموار انجام می دهد. این آزمون نخستین بار توسط گنکار در سال ۱۹۹۷ معرفی شد [۱۷] و پس از آن، توسط تعداد زیادی از محققان همچون دورنت (۲۰۰۱)، توزی (۱۹۹۹) و انتصاری (۲۰۰۱) جزئیات آن بحث شد [۱۸-۲۰] و آزمون گاما را به عنوان ابزاری مناسب برای یافتن بهترین ترکیب از متغیرهای ورودی به مدل غیرخطی معرفی کردند. در این آزمون فرض می شود که مجموعه داده های مشاهداتی به صورت رابطه ۱ است.

$$\{(x_i - y_i), 1 \leq i \leq M\} \quad (1)$$

که در آن بردار مشاهداتی ورودی (مانند رواناب، بارش، دمای هوا با تأخیرهای مختلف و هر متغیر مؤثر دیگر)، y_i خروجی مشاهداتی (مانند میانگین دبی رواناب روزانه) و M تعداد کل مشاهدات است. از بردار x_i (در فضای m بعدی) برای مدل سازی (y_i در فضای R) استفاده می شود. بنابراین، با توجه به فرض یادشده، رابطه بین ورودی و خروجی به شرح زیر در نظر گرفته شد (رابطه ۲).

$$y = f(x) + r \quad (2)$$

که در آن f یک تابع هموار^۱ و r متغیر تصادفی نشان دهنده خطا است. فرض شد میانگین توزیعی که r از آن پیروی می کند، صفر و واریانس خطا ($Var(r)$) کران دار است. این خطا ممکن است به دلایل عدم دقت اندازه گیری ها و هموار نبودن ارتباط اساسی بین ورودی و خروجی به وجود آید [۲۱]. به این ترتیب، مدل نشان داده شده با رابطه ۲ به مدلی هموار با مشتقات جزئی مرتبه اول محدود شد. آماره گاما (Γ) واریانس بخشی از داده ها را که تابع f قادر به توجیه آن نیست، نشان می دهد. مقدار Γ بر اساس k امین همسایه نزدیک $x_{N[i,k]}$ برای هر بردار ورودی x_i است. آماره گاما از تابع دلتای مخصوص بردارهای ورودی به صورت رابطه ۳ به دست می آید:

1. Smooth Function

یافته‌ها

نتایج آماری داده‌های روزانه باران و دبی جریان برای دوره آماری ۱۳۷۶-۱۳۹۶ حوضه آبخیز کارون شمالی برای تعیین ورودی‌های بهینه و انتخاب مدل به صورت جدول ۲ قابل ارائه است.

نتایج تعیین تعداد تأخیرهای بارش و جریان با استفاده از همبستگی جزئی (ACF)، خودهمبستگی جزئی (PACF) و همبستگی متقاطع (CCF) در محیط نرم‌افزار R Studio تا ۱۰ تاخیر به صورت جدول‌های ۳-۷ قابل مشاهده است.

تعداد متغیرهای ورودی مؤثر بر خروجی مدل باشد، در این صورت، تعداد 2^N-1 حالت (ترکیب‌های مختلفی از متغیرهای ورودی) وجود دارد که می‌توان از هر یک برای تهیه مدل استفاده کرد. استفاده از همه ترکیبات ممکن برای یافتن بهترین ترکیب ورودی به مدل بسیار وقت‌گیر و خسته‌کننده است. بنابراین، در شرایطی که تعداد متغیرهای ورودی زیاد باشند، با استفاده از آزمون گاما می‌توان بهترین ترکیب از میان تمام حالت‌های ممکن را تشخیص داد [۱۴ و ۲۶].

جدول ۲. توصیفات آماری داده‌های استفاده شده

زیرحوضه	نوع داده	تعداد داده‌ها	بیشترین مقدار	کمترین مقدار	میانگین	انحراف معیار	ضریب چولگی
ارمند	بارش (P)	۷۳۰۵	۶۶/۹۳	۰	۱/۳۲	۴/۲۶	۵/۸۰۴
	دبی (Q)	۷۳۰۵	۱۳۶۸/۰۰	۱۸/۶۰	۷۱/۷۲	۷۲/۶۱	۴/۱۸۷
بارز	بارش (P)	۷۳۰۵	۶۰/۶۹	۰	۱/۵۳	۴/۶۸	۵/۶۰۷
	دبی (Q)	۷۳۰۵	۱۶۲۱/۰	۰/۳۰	۹۸/۵۸	۱۱۴/۰۸	۴/۷۸۱
بیدله	بارش (P)	۷۳۰۵	۵۴/۲۶	۰	۱/۴۰	۴/۲۶	۵/۱۴۸
	دبی (Q)	۷۳۰۵	۱۵/۸۰	۰	۱/۶۶	۱/۱۱	۲/۵۵۳
دزک آباد	بارش (P)	۷۳۰۵	۱۵۸/۰۲	۰	۳/۰۱	۹/۹۷	۵/۶۸۲
	دبی (Q)	۷۳۰۵	۴۳۰/۰۰	۰	۵/۹۸	۱۱/۷۶	۱۵/۰۱۷
کاج	بارش (P)	۷۳۰۵	۹۶/۸۰	۰	۱/۹۱	۶/۷۲	۵/۸۱۵
	دبی (Q)	۷۳۰۵	۹۶۴/۰۰	۰	۱۶/۰۵	۲۲/۸۱	۱۵/۵۴۹
کنا	بارش (P)	۷۳۰۵	۶۱/۶۷	۰	۱/۱۸	۳/۹۰	۵/۶۹۷
	دبی (Q)	۷۳۰۵	۹۲۱/۰۰	۳۷	۳۱/۲۸	۳۳/۸۹	۶/۶۵۷
کوه سوخته	بارش (P)	۷۳۰۵	۷۵/۷۳	۰	۰/۹۴	۲/۶۰	۷/۱۱۵
	دبی (Q)	۷۳۰۵	۲۵۸/۰۰	۰	۳/۶۴	۶/۴۵	۱۵/۲۴۵
لردگان	بارش (P)	۷۳۰۵	۸۰/۲۲	۰	۱/۳۲	۴/۸۸	۶/۵۵۸
	دبی (Q)	۷۳۰۵	۳/۶۴	۰/۷۴	۱/۹۴	۰/۵۳	۰/۳۵۶
مرغک	بارش (P)	۷۳۰۵	۱۱۱/۷۴	۰	۲/۳۷	۷/۴۳	۵/۳۷۴
	دبی (Q)	۷۳۰۵	۶۴۶۲۵/۰۰	۰	۵۷/۴۱	۷۵۸/۳۶	۸۴/۵۲۷
پاتاوه	بارش (P)	۷۳۰۵	۸۷/۰۶	۰	۲/۰۲	۶/۲۴	۵/۶۶۹
	دبی (Q)	۷۳۰۵	۸۴۶/۰۰	۰/۱۳	۴۰/۳۰	۶۱/۷۵	۵/۶۰۵
شهید خدري	بارش (P)	۷۳۰۵	۱۷۷/۰۰	۰	۳/۳۳	۱۱/۶۵	۵/۷۴۴
	دبی (Q)	۷۳۰۵	۱۴۶۸/۰۰	۰/۹۱	۱۶/۱۸	۳۴/۶۹	۱۴/۰۸۲
سولگان	بارش (P)	۷۳۰۵	۶۴/۴۰	۰	۰/۸۹	۳/۳۴	۶/۶۴۱
	دبی (Q)	۷۳۰۵	۲۶۰/۰۰	۰/۰۵	۱/۲۵	۵/۷۷	۲۵/۱۲۹
کل حوضه	بارش (P)	۷۳۰۵	۷۱/۳۶	۰	۱/۸۴	۵/۲۵	۵/۲۷۰
	دبی (Q)	۷۳۰۵	۹۲۲۳/۳۷	۵۹/۶۳	۲۲۹/۳۸	۷۸۷/۹۸	۷۵/۳۳۷

جدول ۳. نتایج ضرایب خود همبستگی در تأخیرهای مختلف بارش

زیرحوضه	P _{t-1}	P _{t-2}	P _{t-3}	P _{t-4}	P _{t-5}	P _{t-6}	P _{t-7}	P _{t-8}	P _{t-9}	P _{t-10}
ارمند	۰/۳۹۴	۰/۱۳۳	-۰/۰۹۱	۰/۱۰۶	-۰/۰۹۶	-۰/۰۸۴	۰/۰۸۵	-۰/۰۸۴	۰/۰۹۱	-۰/۱۲۱
بارز	۰/۴۱۹	۰/۱۷۶	-۰/۱۲۶	۰/۱۱۸	-۰/۱۰۲	-۰/۱۰۵	۰/۱۱۰	-۰/۱۲۰	۰/۱۲۲	-۰/۱۳۲
بیدله	۰/۳۳۹	۰/۱۲۰	-۰/۱۲۰	۰/۱۱۹	-۰/۱۱۴	-۰/۱۲۲	۰/۱۲۱	-۰/۱۰۵	۰/۱۰۲	-۰/۱۲۶
دزک آباد	۰/۳۶۱	۰/۱۰۲	-۰/۰۷۱	۰/۰۸۳	-۰/۰۷۲	-۰/۰۶۷	۰/۰۸۲	-۰/۰۶۹	۰/۰۷۳	-۰/۰۸۹
کاج	۰/۳۶۹	۰/۱۰۶	-۰/۰۶۹	۰/۰۸۳	-۰/۰۸۰	-۰/۰۶۶	۰/۰۷۵	-۰/۰۹۰	۰/۰۸۱	-۰/۰۷۹
کتا	۰/۴۱۶	۰/۱۷۶	-۰/۱۱۶	۰/۱۱۳	-۰/۰۹۸	-۰/۰۹۳	۰/۰۸۸	-۰/۰۹۸	۰/۱۱۰	-۰/۱۱۵
کوه سوخته	۰/۳۱۰	۰/۰۷۲	-۰/۰۵۷	-۰/۰۷۸	-۰/۰۶۸	۰/۰۶۰	۰/۰۵۲	-۰/۰۴۸	۰/۰۵۰	-۰/۰۷۴
لردگان	۰/۳۱۷	۰/۱۰۱	-۰/۰۹۱	۰/۰۹۰	-۰/۰۸۷	-۰/۰۹۸	۰/۰۹۴	-۰/۰۸۴	۰/۰۷۷	-۰/۱۰۳
مرغک	۰/۴۱۰	۰/۱۲۶	-۰/۰۹۶	۰/۰۹۹	-۰/۰۸۳	-۰/۰۷۲	۰/۰۹۰	-۰/۰۹۲	۰/۰۹۴	-۰/۱۰۶
پاتاوه	۰/۳۹۹	۰/۱۷۶	-۰/۱۳۵	۰/۱۰۸	-۰/۰۸۵	-۰/۰۹۵	۰/۱۰۴	-۰/۱۱۱	۰/۱۲۲	-۰/۱۲۲
پل شهیدخدری	۰/۳۳۵	۰/۰۹۱	-۰/۰۶۴	۰/۰۷۹	-۰/۰۶۶	-۰/۰۶۳	۰/۰۸۰	-۰/۰۵۸	۰/۰۶۱	-۰/۰۷۹
سولگان	۰/۳۳۳	۰/۱۲۳	-۰/۰۹۳	۰/۰۹۸	-۰/۰۸۷	-۰/۰۶۹	۰/۰۵۹	-۰/۰۶۵	۰/۰۶۸	-۰/۱۱۰

جدول ۴. نتایج ضرایب خود همبستگی جزئی در تأخیرهای مختلف بارش

زیرحوضه	P _{t-1}	P _{t-2}	P _{t-3}	P _{t-4}	P _{t-5}	P _{t-6}	P _{t-7}	P _{t-8}	P _{t-9}	P _{t-10}
ارمند	۰/۳۹۴	-۰/۰۲۶	۰/۰۵۶	-۰/۰۶۳	۰/۰۳۴	-۰/۰۳۳	۰/۰۳۹	-۰/۰۳۲	۰/۰۴۲	-۰/۰۷۰
بارز	۰/۴۱۹	۰/۰۰۰	-۰/۰۶۳	۰/۰۵۲	-۰/۰۳۳	-۰/۰۴۹	۰/۰۴۵	-۰/۰۵۳	۰/۰۴۶	-۰/۰۵۶
بیدله	۰/۳۳۹	۰/۰۰۶	-۰/۰۸۸	۰/۰۵۸	-۰/۰۵۷	-۰/۰۶۳	۰/۰۵۴	-۰/۰۳۵	۰/۰۳۹	-۰/۰۶۵
دزک آباد	۰/۳۶۱	-۰/۰۳۲	۰/۰۵۲	۰/۰۵۰	-۰/۰۲۷	-۰/۰۳۳	۰/۰۴۹	-۰/۰۱۹	۰/۰۳۸	-۰/۰۴۸
کاج	۰/۳۶۹	-۰/۰۳۵	۰/۰۴۸	-۰/۰۵۲	۰/۰۳۴	-۰/۰۲۵	۰/۰۴۳	-۰/۰۴۹	۰/۰۲۷	-۰/۰۳۶
کتا	۰/۴۱۶	۰/۰۰۳	۰/۰۵۱	-۰/۰۵۷	۰/۰۳۰	-۰/۰۳۸	۰/۰۳۱	-۰/۰۴۵	۰/۰۴۹	-۰/۰۴۴
کوه سوخته	۰/۳۱۰	-۰/۰۲۷	-۰/۰۴۷	-۰/۰۵۴	-۰/۰۲۹	-۰/۰۳۱	۰/۰۲۲	-۰/۰۲۱	۰/۰۲۵	-۰/۰۴۸
لردگان	۰/۳۱۷	۰/۰۰۰	۰/۰۶۶	-۰/۰۴۸	۰/۰۴۵	-۰/۰۵۷	۰/۰۴۲	-۰/۰۳۴	۰/۰۲۹	-۰/۰۶۰
مرغک	۰/۴۱۰	-۰/۰۵۰	۰/۰۷۵	-۰/۰۴۵	۰/۰۲۷	-۰/۰۲۸	۰/۰۵۲	-۰/۰۳۴	۰/۰۴۲	-۰/۰۵۱
پاتاوه	۰/۳۹۹	۰/۰۲۰	-۰/۰۶۹	۰/۰۳۵	-۰/۰۲۵	-۰/۰۵۰	۰/۰۴۶	-۰/۰۴۹	۰/۰۵۴	-۰/۰۴۵
پل شهیدخدری	۰/۳۳۵	-۰/۰۲۳	-۰/۰۴۶	-۰/۰۵۱	-۰/۰۲۴	-۰/۰۳۳	۰/۰۵۰	-۰/۰۱۱	۰/۰۳۴	-۰/۰۴۵
سولگان	۰/۳۳۳	۰/۰۱۳	۰/۰۵۵	-۰/۰۵۶	۰/۰۳۶	-۰/۰۲۳	۰/۰۲۱	-۰/۰۳۲	۰/۰۲۹	-۰/۰۷۶

جدول ۵. نتایج ضرایب خود همبستگی در تأخیرهای مختلف دبی

زیرحوضه	Q _{t-1}	Q _{t-2}	Q _{t-3}	Q _{t-4}	Q _{t-5}	Q _{t-6}	Q _{t-7}	Q _{t-8}	Q _{t-9}	Q _{t-10}
ارمند	۰/۹۱۶	۰/۸۴۱	-۰/۷۹۷	۰/۷۷۳	-۰/۷۵۴	-۰/۷۳۴	۰/۷۲۱	-۰/۷۱۰	۰/۷۰۱	-۰/۶۹۴
بارز	۰/۸۷۱	۰/۷۶۷	-۰/۷۱۵	۰/۶۶۸	-۰/۶۴۰	-۰/۶۱۴	۰/۵۷۹	-۰/۵۵۹	۰/۵۵۰	-۰/۵۳۱
بیدله	۰/۹۲۳	۰/۸۶۵	-۰/۸۲۸	۰/۸۲۲	-۰/۸۰۹	-۰/۷۹۳	۰/۷۸۲	-۰/۷۷۳	۰/۷۶۶	-۰/۷۶۱
دزک آباد	۰/۶۸۰	۰/۴۴۷	-۰/۳۴۹	۰/۳۳۳	-۰/۳۴۰	-۰/۳۰۲	۰/۲۸۱	-۰/۲۷۳	۰/۲۷۱	-۰/۲۶۹
کاج	۰/۷۹۴	۰/۶۱۲	-۰/۵۳۰	۰/۴۹۶	-۰/۴۸۰	-۰/۴۶۲	۰/۴۴۶	-۰/۴۳۳	۰/۴۲۵	-۰/۴۱۹
کتا	۰/۸۳۲	۰/۷۱۹	-۰/۶۵۵	۰/۶۱۹	-۰/۶۰۴	-۰/۵۹۴	۰/۵۸۶	-۰/۵۷۲	۰/۵۶۷	-۰/۵۶۴
کوه سوخته	۰/۸۳۶	۰/۶۴۵	-۰/۵۸۶	۰/۵۶۷	-۰/۵۶۰	-۰/۵۳۹	۰/۵۱۷	-۰/۵۰۲	۰/۴۸۸	-۰/۴۸۴
لردگان	۰/۹۷۶	۰/۹۷۱	-۰/۹۶۷	۰/۹۶۱	-۰/۹۶۵	-۰/۹۴۹	۰/۹۴۳	-۰/۹۳۸	۰/۹۳۲	-۰/۹۲۶
مرغک	۰/۰۰۸	۰/۰۱۴	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۳
پاتاوه	۰/۸۶۳	۰/۷۵۱	-۰/۶۹۸	۰/۶۳۷	-۰/۶۰۴	-۰/۵۷۴	۰/۵۴۷	-۰/۵۳۳	۰/۵۱۷	-۰/۴۹۴
پل شهیدخدری	۰/۷۰۲	۰/۵۹۲	-۰/۵۳۸	۰/۵۰۰	-۰/۴۹۵	-۰/۴۷۰	۰/۴۶۲	-۰/۴۲۰	۰/۴۱۵	-۰/۴۱۰
سولگان	۰/۶۴۷	۰/۵۷۹	-۰/۵۷۴	۰/۵۶۰	-۰/۵۴۰	-۰/۵۳۴	۰/۵۲۸	-۰/۵۲۴	۰/۵۳۰	-۰/۵۰۷

جدول ۶. نتایج ضرایب خود همبستگی جزئی در تأخیرهای مختلف دبی

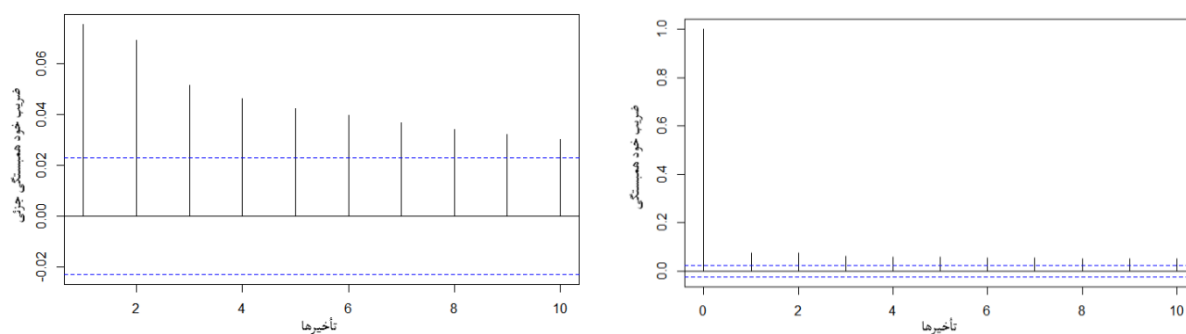
زیرحوضه	Q _{t-1}	Q _{t-2}	Q _{t-3}	Q _{t-4}	Q _{t-5}	Q _{t-6}	Q _{t-7}	Q _{t-8}	Q _{t-9}	Q _{t-10}
ارمند	۰/۹۱۶	۰/۰۱۴	-۰/۱۵۲	۰/۱۲۰	-۰/۰۷۶	-۰/۰۵۱	۰/۰۵۸	-۰/۰۵۸	۰/۰۴۷	-۰/۰۵۳
بارز	۰/۸۷۱	۰/۰۳۷	-۰/۱۶۶	۰/۰۲۷	-۰/۰۰۴	-۰/۰۳۰	-۰/۰۰۱	۰/۰۶۵	۰/۰۵۴	-۰/۰۰۴
بیدله	۰/۹۲۳	۰/۰۹۰	-۰/۱۹۷	۰/۱۱۴	-۰/۰۹۵	-۰/۰۴۳	۰/۰۶۸	-۰/۰۴۹	۰/۰۵۵	-۰/۰۵۷
دزک آباد	۰/۶۸۰	-۰/۰۳۰	۰/۱۰۴	۰/۱۱۸	-۰/۱۰۰	-۰/۰۰۲	۰/۰۶۸	-۰/۰۴۶	۰/۰۴۷	-۰/۰۳۹
کاج	۰/۷۹۴	-۰/۰۵۱	۰/۱۶۱	۰/۰۹۷	-۰/۰۹۳	-۰/۰۵۷	۰/۰۵۸	-۰/۰۵۳	۰/۰۵۱	-۰/۰۴۶
کتا	۰/۸۳۲	۰/۰۸۸	-۰/۱۱۶	۰/۱۰۹	-۰/۱۰۹	-۰/۰۸۷	۰/۰۷۱	-۰/۰۴۴	۰/۰۷۳	-۰/۰۵۸
کوه سوخته	۰/۸۳۶	-۰/۱۸۲	۰/۳۴۸	-۰/۰۰۶	۰/۱۹۲	-۰/۰۲۶	۰/۱۱۷	-۰/۰۰۶	۰/۰۶۴	-۰/۰۵۰
لردگان	۰/۹۷۶	۰/۳۸۳	-۰/۲۰۹	۰/۰۷۴	-۰/۲۶۱	-۰/۲۷۶	-۰/۰۵۹	۰/۰۲۱	۰/۰۳۵	-۰/۱۱۷
مرغک	۰/۰۰۸	۰/۰۱۳	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۳
پاتاوه	۰/۸۶۳	۰/۰۲۴	-۰/۱۷۵	-۰/۰۲۵	۰/۱۲۲	-۰/۰۰۷	۰/۰۵۸	-۰/۰۵۰	۰/۰۳۲	-۰/۰۰۱
پل شهیدخدری	۰/۷۰۲	۰/۱۹۶	-۰/۱۳۶	۰/۰۹۳	-۰/۱۲۳	-۰/۰۵۲	۰/۰۷۷	-۰/۰۱۳	۰/۰۶۱	-۰/۰۴۳
سولگان	۰/۶۴۷	۰/۲۷۵	-۰/۲۳۱	۰/۱۶۰	-۰/۱۰۸	-۰/۱۰۲	۰/۰۸۶	-۰/۰۹۹	۰/۰۷۷	-۰/۰۲۷

جدول ۷. نتایج ضرایب همبستگی متقاطع در تأخیرهای مختلف بارش و دبی

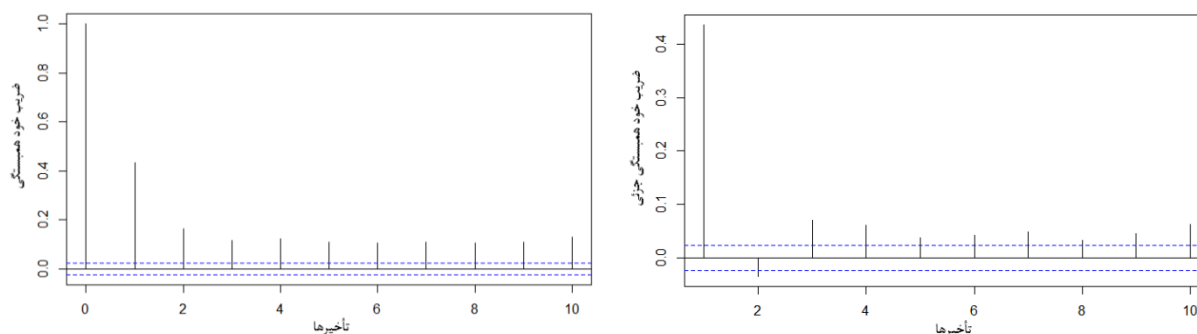
زیرحوضه	تأخیر	بدون تأخیر	یکروزه	دوروزه	سهروزه	چهارروزه	پنجروزه	ششروزه	هفتروزه	هشتروزه	نهمروزه	دهروزه
ارمند	بعد	۰/۲۴۴	۰/۱۱۰	۰/۰۶۵	۰/۰۶۱	۰/۰۵۴	۰/۰۴۷	۰/۰۳۹	۰/۰۳۹	۰/۰۴۲	۰/۰۳۹	۰/۰۳۲
	قبل	-	۰/۳۲۲	۰/۲۶۹	۰/۲۱۸	۰/۱۸۸	۰/۱۶۶	۰/۱۵۶	۰/۱۵۵	۰/۱۴۵	۰/۱۴۱	۰/۱۴۱
بارز	بعد	۰/۲۵۲	۰/۱۲۰	۰/۰۸۷	۰/۰۹۱	۰/۰۷۰	۰/۰۶۹	۰/۰۷۱	۰/۰۷۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۳	۰/۰۵۷
	قبل	-	۰/۳۱۶	۰/۲۶۴	۰/۲۴۵	۰/۲۱۲	۰/۱۸۳	۰/۱۷۱	۰/۱۶۰	۰/۱۶۰	۰/۱۶۱	۰/۱۴۳
بیدله	بعد	۰/۱۵۷	۰/۰۸۸	۰/۰۶۸	۰/۰۶۱	۰/۰۶۰	۰/۰۵۷	۰/۰۵۸	۰/۰۵۷	۰/۰۵۸	۰/۰۶۳	۰/۰۶۷
	قبل	-	۰/۱۳۸	۰/۰۹۷	۰/۰۸۲	۰/۰۸۷	۰/۰۸۰	۰/۰۶۸	۰/۰۵۹	۰/۰۵۶	۰/۰۶۱	۰/۰۶۲
دزک آباد	بعد	۰/۳۴۶	۰/۱۳۹	۰/۰۵۷	۰/۰۳۱	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	۰/۰۲۹	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱
	قبل	-	۰/۳۳۲	۰/۲۰۵	۰/۱۱۹	۰/۰۸۹	۰/۰۸۱	۰/۰۹۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۷	۰/۰۷۱	۰/۰۶۴
کاج	بعد	۰/۳۱۳	۰/۱۳۸	۰/۰۴۹	۰/۰۳۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲۰	۰/۰۲۸	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰/۰۱۳	۰/۰۱۰
	قبل	-	۰/۲۷۴	۰/۱۶۳	۰/۱۱۰	۰/۰۹۵	۰/۱۰۲	۰/۰۷۸	۰/۰۸۰	۰/۰۸۲	۰/۰۷۵	۰/۰۶۹
کتا	بعد	۰/۲۵۳	۰/۰۹۷	۰/۰۴۶	۰/۰۲۹	۰/۰۲۰	۰/۰۲۲	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲	۰/۰۰۶
	قبل	-	۰/۲۷۴	۰/۱۸۹	۰/۱۵۷	۰/۱۲۴	۰/۱۱۳	۰/۱۱۳	۰/۱۰۲	۰/۰۹۰	۰/۰۹۳	۰/۰۸۹
کوه سوخته	بعد	۰/۳۱۳	۰/۱۱۳	۰/۰۸۹	۰/۰۸۶	۰/۰۷۷	۰/۰۷۸	۰/۰۷۲	۰/۰۶۷	۰/۰۶۶	۰/۰۶۲	۰/۰۶۷
	قبل	-	۰/۴۴۰	۰/۳۰۸	۰/۲۰۹	۰/۱۸۱	۰/۱۹۱	۰/۱۶۷	۰/۱۵۹	۰/۱۴۹	۰/۱۴۱	۰/۱۴۱
لردگان	بعد	۰/۰۴۶	۰/۰۴۵	۰/۰۴۰	۰/۰۳۷	۰/۰۴۲	۰/۰۴۳	۰/۰۴۱	۰/۰۳۷	۰/۰۳۶	۰/۰۳۷	۰/۰۳۵
	قبل	-	۰/۰۴۷	۰/۰۵۱	۰/۰۵۲	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۵۹	۰/۰۶۸	۰/۰۶۲
مرغک	بعد	۰/۰۳۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵
	قبل	-	۰/۰۳۴	۰/۱۰۵	۰/۰۶۳	۰/۰۳۱	۰/۰۱۴	۰/۰۱۰	۰/۰۵۹	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱
پاتاوه	بعد	۰/۲۴۴	۰/۱۹۳	۰/۱۳۳	۰/۱۱۲	۰/۰۸۴	۰/۰۸۴	۰/۰۸۱	۰/۰۸۲	۰/۰۶۶	۰/۰۶۱	۰/۰۴۲
	قبل	-	۰/۴۹۴	۰/۳۷۴	۰/۲۳۳	۰/۲۸۵	۰/۲۴۴	۰/۲۳۶	۰/۲۳۲	۰/۲۰۳	۰/۲۱۱	۰/۱۹۸
پل	بعد	۰/۰۷۶	۰/۰۷۳	۰/۰۴۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۷	۰/۰۴۴	۰/۰۴۱	۰/۰۳۳	۰/۰۳۵	۰/۰۳۹	۰/۰۳۱
	قبل	-	۰/۱۷۲	۰/۲۳۰	۰/۳۰۵	۰/۲۷۶	۰/۱۷۲	۰/۱۴۰	۰/۱۳۳	۰/۱۳۴	۰/۱۱۴	۰/۱۰۹
شهید خدردی	بعد	۰/۰۷۱	۰/۰۲۷	۰/۰۲۰	۰/۰۱۶	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸
	قبل	-	۰/۰۳۷	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲۳	۰/۰۲۴

تأخیرهای سهروزه بیشترین تأثیر را روی دبی خروجی حوضه داشتند. بنابراین، بارش بیشتر در حوضه به صورت تأثیر بر اشباع‌شدگی، کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش رواناب خود را نشان می‌دهد. همچنین، دبی‌های با تأخیر سهروزه نشان‌دهنده اهمیت زیاد دبی پایه و همچنین، زمان تمرکز حوضه است. بر اساس جدول‌های یادشده مشخص شد که ۹ پارامتر بارش روز جاری (P_t)، با تأخیر یکروزه (P_{t-1})، دوروزه (P_{t-2})، سهروزه (P_{t-3}) و چهارروزه (P_{t-4}) و دبی روز قبل (Q_{t-1})، با تأخیر دوروزه (Q_{t-2})، سهروزه (Q_{t-3})، چهارروزه (Q_{t-4}) بیشترین تأثیر را داشتند و برای مدل‌سازی انتخاب شدند. نتایج همبستگی متقابل بارش و دبی جریان نیز در تأخیر یکروزه به‌جز در زیرحوضه‌های لردگان، مرغک و سولگان معنادار است. بنابراین، بارش با تأخیر یکروزه (P_t) به عنوان ورودی تأثیرگذار انتخاب می‌شود که در نتایج انتخاب پارامترهای بر اساس آزمون گاما نیز بیانگر همین حالت است. در تأخیر دوروزه به‌جز در زیرحوضه مرغک باقی زیرحوضه‌ها معنادارند. همبستگی متقابل بارش و دبی از تأخیر پنجروزه به بعد درصد سطح معناداری کمتر دیده می‌شود. نتایج خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی بارش و دبی و همبستگی متقاطع بین بارش و دبی برای کل حوضه کارون شمالی به صورت شکل‌های ۳ تا ۵ است.

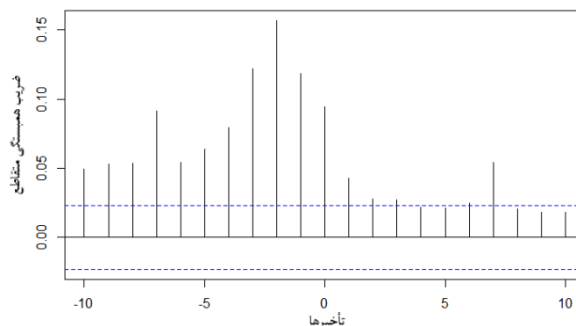
بر اساس جدول‌های ۳ تا ۷ ضریب خودهمبستگی بارش در همه تأخیرها در سطح اطمینان ۵ درصد معنادار است به‌جز در تأخیر هشتروزه بارش (P_{t-8}) در زیرحوضه کوه سوخته که عدم معناداری را نشان می‌دهد. ضریب خودهمبستگی جزئی بارش در تأخیر یکروزه (P_{t-1}) در تمامی زیرحوضه‌ها معنادار است. همچنین، در تأخیر دوروزه بارش (P_{t-2}) در همه زیرحوضه‌ها عدم معناداری درخور توجه است. در تأخیرهای سه و چهارروزه (P_{t-3} و P_{t-4}) در اغلب زیرحوضه‌ها نیز معنادار است و از تأخیر شش تا ده روزه اختلاف معناداری کمتر دیده می‌شود و اغلب زیرحوضه‌ها معنادار نیستند. از طرفی، ضریب خودهمبستگی رواناب در همه تأخیرها در همه زیرحوضه‌ها به‌جز زیرحوضه مرغک معناداری در سطح اطمینان ۵ درصد را نشان می‌دهد. ضریب خودهمبستگی جزئی در تأخیر یکروزه در همه زیرحوضه‌ها به‌جز مرغک معناداری را نشان می‌دهد. در تأخیر دوروزه فقط در زیرحوضه‌های بیدله، کتا، لردگان، پاتاوه، شهید خدردی و سولگان معنادار است و در بقیه زیرحوضه‌ها معنادار نیست. در تأخیر سهروزه به‌جز در زیرحوضه مرغک در بقیه زیرحوضه‌ها معناداری دیده می‌شود. از تأخیر شش تا ده روزه هم معناداری زیادی دیده نمی‌شود. به طور کلی، با توجه به مطالب یادشده مشخص شد که بارش تا تأخیرهای چهارروزه و دبی جریان با



شکل ۳. تأخیرهای مختلف دبی در حوضه کارون شمالی با استفاده از ضریب خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF)



شکل ۴. تأخیرهای مختلف بارش در حوضه کارون شمالی با استفاده از ضریب خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF)



شکل ۵. تأخیرهای مختلف بارش و دبی در حوضه کارون شمالی با استفاده از ضریب همبستگی متقاطع

معناداری را نشان می‌دهد. به دلیل حجم زیاد محاسبات و داده‌ها برای انتخاب پارامترهای بهینه و مدل مناسب از ضرایب خودهمبستگی، خودهمبستگی جزئی و همبستگی متقاطع تا ۵ روز تأخیر برای بارش و دبی جریان استفاده شد به طور کلی، برای هر یک از زیرحوضه‌ها و کل حوضه ۹ پارامتر در نظر گرفته شد و بر اساس بیشترین میزان آماره گاما، پارامتر مؤثر مشخص شد که نتایج تعیین ورودی بهینه با استفاده از آزمون گاما در نرم‌افزار WinGammaTM به صورت جدول ۸ درخور توجه است.

با توجه به شکل ۳ در همه تأخیرهای دبی، ضریب خودهمبستگی معنادار بوده و ضریب خودهمبستگی جزئی تا تأخیر سه‌روزه معنادار بوده و از تأخیر چهار تا ده روزه معنادار نیست. بر اساس شکل ۴ تأخیرهای مختلف بارش برای کل حوضه ضریب خودهمبستگی معناداری دارند، ولی ضریب خودهمبستگی جزئی فقط در تأخیرهای یک‌روزه، سه‌روزه، چهارروزه، دوازده‌روزه دارای سطح معنادار است، در باقی تأخیرها عدم معناداری را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی متقابل بین بارش و دبی جریان (شکل ۵) برای تأخیر هفت‌روزه معنادار است و برای تأخیرها عدم

جدول ۸. انتخاب پارامترهای مؤثر در مدل سازی بر اساس GT برای زیرحوضه‌ها

نسبت V	خطای استاندارد	شیب	ضریب گاما	ماسک	ترکیب	زیرحوضه
۰/۰۸۸۳۱۹	۰/۰۰۲۸۷۱۶	۰/۰۲۴۱۶۲	۰/۰۲۲۰۸	۰۱۱۱۱۱۱۱	P _t	ارمند
۰/۱۰۳۵۳	۰/۰۰۳۴۲۷۵	۰/۰۲۸۶۰	۰/۰۲۵۸۸	۱۰۱۱۱۱۱۱	P _{t-1}	
۰/۰۸۶۲۳۹	۰/۰۰۲۰۲۱۹	۰/۰۲۸۰۸۲	۰/۰۲۲۳۰	۱۱۱۰۱۱۱۱	P _{t-2}	
۰/۱۲۸۳	۰/۰۰۲۸۶	۰/۰۲۱۷۹	۰/۰۳۲۰۷۵	۱۱۰۱۱۱۱۱	Q _{t-1}	
۰/۰۷۰۳۸۲	۰/۰۰۳۵۶۵۱	۰/۰۴۳۵۹۸	۰/۰۲۷۵۹۵	۱۱۱۱۰۱۱۱	Q _{t-2}	
۰/۱۴۷۸۸	۰/۰۰۴۵۹۶۳	۰/۰۴۳۷۲۷	۰/۰۴۶۹۷۱	۰۱۱۱۱۱۱۱	P	بارز
۰/۱۹۶۱۳	۰/۰۰۲۶۸۷۲	۰/۰۱۳۴۱۱	۰/۰۴۹۰۳۳	۱۰۱۱۱۱۱۱	P _{t-1}	
۰/۱۷۳۰۴	۰/۰۰۲۱۶۲۳	۰/۰۲۰۷۹۱	۰/۰۴۳۲۶۰	۱۱۱۰۱۱۱۱	P _{t-2}	
۰/۲۲۶۴۲	۰/۰۰۶۶۵۸۷	۰/۰۴۰۴۷۲	۰/۰۵۶۶۰۴	۱۱۰۱۱۱۱۱	Q _{t-1}	
۰/۱۹۱۰۴	۰/۰۰۳۷۰۰	۰/۰۰۲۶۶۱	۰/۰۴۸۷۶۰	۱۱۱۱۰۱۱۱	Q _{t-2}	
۰/۱۹۵۸۲	۰/۰۰۱۹۵۴	۰/۰۰۲۸۹۴	۰/۰۴۷۹۵۵	۱۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-3}	
۰/۱۰۸۱۸	۰/۰۰۱۳۶۲۴	۰/۰۰۳۸۹۷۵	۰/۰۲۷۰۴۴	۰۱۱۱۱۱۱۱	P	بیدله
۰/۰۸۲۸۴۹	۰/۰۰۱۵۲۸۹	۰/۰۲۵۰۷	۰/۰۲۰۷۱۲	۱۰۱۱۱۱۱۱	P _{t-1}	
۰/۱۰۷۵	۰/۰۰۲۵۱۹۷	۰/۰۴۷۷۶۹	۰/۰۲۶۸۷۵	۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-1}	
۰/۴۹۵۰۳	۰/۰۱۳۹۵۳	۰/۰۴۲۸۴۹	۰/۱۲۳۷۶	۰۱۱۱۱۱۱۱	P	دزک آباد
۰/۴۹۵۵۷	۰/۰۱۵۳۲۷	۰/۰۵۶۶۹۳	۰/۱۲۳۸۹	۱۱۰۱۱۱۱۱	P _{t-2}	
۰/۴۸۵۲۳	۰/۰۱۱۰۷۵	۰/۰۰۴۶۴۵۷	۰/۱۳۳۳۱	۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-1}	
۰/۵۳۲۱۸	۰/۰۱۸۶۱۵	۰/۰۶۷۰۹۱	۰/۱۳۳۰۴	۱۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-2}	
۰/۴۲۷۱۷	۰/۰۱۲۳۳۱	۰/۰۰۴۲۶	۰/۰۰۶۷۹	۰۱۱۱۱۱۱۱	P	کاج
۰/۲۱۰۳۲	۰/۰۰۶۸۰۰۷	۰/۰۳۸۵۶۷	۰/۱۵۲۵۸	۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-1}	
۰/۱۹۸۲۲	۰/۰۰۵۰۰۷۹	۰/۰۰۸۵۹۲۸	۰/۰۴۹۵۵۶	۰۱۱۱۱۱۱۱	P	کنا
۰/۱۸۳۴۶	۰/۰۰۵۹۴۲۴	۰/۰۳۳۴۵۹	۰/۰۴۵۸۶۵	۱۰۱۱۱۱۱۱	P _{t-1}	
۰/۱۴۲۱۳	۰/۰۰۶۱۷۷۸	۰/۰۵۱۷۶۴	۰/۰۴۵۵۳۴	۱۱۰۱۱۱۱۱	P _{t-2}	
۰/۱۶۲۷۹	۰/۰۰۴۷۳۷۳	۰/۰۴۴۶۵۸	۰/۰۴۰۶۹۷	۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-1}	
۰/۱۶۸۱۶	۰/۰۰۵۹۰۰۴	۰/۰۲۲۹۲۸	۰/۰۴۲۰۴۱	۱۱۱۱۱۱۰۱	Q _{t-3}	
۰/۱۱۲۸۵	۰/۰۱۵۲۷۵	۰/۰۷۱۷۹۲	۰/۰۷۸۲۱۳	۰۱۱۱۱۱۱۱	P	کوه سوخته
۰/۲۸۸۲۳	۰/۰۱۴۷۲	۰/۰۱۵۵۹	۰/۰۷۲۰۵۹	۱۰۱۱۱۱۱۱	P _{t-1}	
۰/۰۸۹۳۳۸	۰/۰۱۷۱۹۷	۰/۰۸۵۹۷۴	۰/۰۲۲۳۳۲	۱۱۱۰۱۱۱۱	P _{t-3}	
۰/۲۸۰۸۸	۰/۰۱۱۸۴۱	۰/۰۰۸۷۰۴۱	۰/۰۷۰۲۲۱	۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-1}	
۰/۰۵۹۷۷۳	۰/۰۰۵۲۲۸۶	۰/۰۱۰۱۹۶	۰/۰۲۴۹۴۳	۱۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-2}	
۰/۰۲۶۶۳۱	۰/۰۰۰۷۲۶	۰/۰۳۲۸۳۶	۰/۰۷۶۵۷۰	۰۱۱۱۱۱۱۱	P	لردگان
۰/۰۲۷۹۳۶	۰/۰۰۰۳۴۷۷۴	۰/۰۳۰۳۰۵	۰/۰۷۶۳۸۴	۱۰۱۱۱۱۱۱	P _{t-1}	
۰/۰۲۸۰۵۳	۰/۰۰۰۵۱۰۹	۰/۰۲۹۱۳۶	۰/۰۷۵۱۳	۱۱۰۱۱۱۱۱	P _{t-2}	
۰/۰۴۰۵۹۹	۰/۰۰۰۵۴۷۲۲	۰/۰۲۷۲۲۲	۰/۰۱۰۱۵۰	۱۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-1}	
۰/۹۳۳۹۵	۰/۰۰۹۹۱۴۵	۰/۰۳۲۶۵۸	۰/۲۳۳۴۹	۰۱۱۱۱۱۱۱	P	مرغک
۰/۴۸۸۵۲	۰/۰۰۰۰۴۷۳۰	۰/۰۲۶۷۴۱	۰/۱۲۲۱۳	۱۰۱۱۱۱۱۱	P _{t-1}	
۰/۴۸۷۳۴	۰/۰۰۰۰۵۱۳۸	۰/۰۰۲۹۷۴۱	۰/۱۲۱۸۳	۱۱۰۱۱۱۱۱	P _{t-2}	
۰/۴۹۱۶۷	۰/۰۰۰۰۷۰۵۱	۰/۰۰۲۵۳۵۲	۰/۱۲۲۹۲	۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-1}	
۰/۴۹۰۹۳	۰/۰۰۰۰۳۸۶۸	۰/۰۰۲۶۹۵۹	۰/۱۲۲۷۳	۱۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-2}	
۰/۴۹۲۰۲	۰/۰۰۰۰۷۹۸۸	۰/۰۰۲۳۵۹۲	۰/۱۲۲۰۱	۱۱۱۱۱۱۰۱	Q _{t-3}	
۰/۱۲۹۰۲	۰/۰۰۲۹۰۶۷	۰/۰۴۳۷۵۵	۰/۰۳۲۲۵۶	۰۱۱۱۱۱۱۱	P	پاتاو
۰/۱۸۴۵	۰/۰۰۴۵۱۴۴	۰/۰۲۰۰۳۵	۰/۰۴۶۱۲۶	۱۰۱۱۱۱۱۱	P _{t-1}	
۰/۰۹۱۲۳۲	۰/۰۰۴۴۳۲۴	۰/۰۸۷۴۲	۰/۰۲۷۸۰۸	۱۱۰۱۱۱۱۱	P _{t-2}	
۰/۱۵۷۸۲	۰/۰۰۳۶۶۴۶	۰/۰۵۸۱۴	۰/۰۳۹۴۵۶	۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-1}	
۰/۱۰۰۹۸	۰/۰۰۲۷۱۳۸	۰/۰۷۰۳۸۸	۰/۰۲۹۲۴۵	۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-2}	
۰/۱۱۴۹۷	۰/۰۰۵۷۰۸۳	۰/۰۶۱۹۰۲	۰/۰۲۸۷۴۲	۱۱۱۱۱۱۰۱	Q _{t-3}	
۰/۴۲۶۰۳	۰/۰۱۷۰۲۸	۰/۰۱۶۲۵۱	۰/۱۱۶۵۱	۰۱۱۱۱۱۱۱	P	شهید خدری
۰/۴۱۸۵۲	۰/۰۱۲۵۴۴	۰/۰۱۶۴۸۳	۰/۱۱۴۶۳	۱۰۱۱۱۱۱۱	P _{t-1}	
۰/۴۵۷۱۸	۰/۰۱۱۲۸۸	۰/۰۰۴۵۸	۰/۱۱۴۲۹	۱۱۰۱۱۱۱۱	P _{t-2}	
۰/۵۷۳۸۲	۰/۰۲۲۷۴۵	۰/۰۲۵۲۲۵	۰/۱۴۳۴۵	۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-1}	
۰/۵۸۳۲۱	۰/۰۱۴۱۵۳	۰/۰۱۴۲۴۱	۰/۱۳۴۵۸	۱۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-2}	
۰/۳۴۰۰۶	۰/۰۳۳۴۰۵	۰/۰۱۲۰۸	۰/۰۸۵۰۲۳	۰۱۱۱۱۱۱۱	P	سولگان
۰/۲۳۸۶۳	۰/۰۲۸۸۹۱	۰/۰۶۱۷۷	۰/۰۶۹۶۵۷	۱۰۱۱۱۱۱۱	P _{t-1}	
۰/۳۴۵۷۲	۰/۰۲۹۰۳۹	۰/۰۵۸۳۹۵	۰/۰۶۸۴۲۹	۱۱۰۱۱۱۱۱	P _{t-2}	
۰/۰۷۴۶۱۱	۰/۰۲۷۴۲۹	۰/۱۷۳۲۹	۰/۰۶۸۶۵۳	۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-1}	
۰/۱۷۵۶۹	۰/۰۳۲۲۲۴	۰/۰۹۱۳۹۶	۰/۰۶۳۹۲۲	۱۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-2}	
۳/۸۱۰۲	۰/۰۴۰۹۳۵	۰/۰۸۲۷۵۷	۰/۹۵۲۵۶	۰۱۱۱۱۱۱۱	P	کل حوضه
۳/۵۹۱۷	۰/۱۲۵۲۷	۱/۲۰۱۹	۰/۸۹۷۹۲	۱۰۱۱۱۱۱۱	P _{t-1}	
۱/۶۹۱۵	۰/۰۷۹۷۳۴	۰/۲۲۲۳۱	۰/۴۲۲۸۸	۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-1}	
۰/۲۷۶۸۸	۰/۰۷۹۸۴۸	۰/۲۲۳۶۲	۰/۰۶۹۲۱۹	۱۱۱۱۱۱۰۱۱	Q _{t-2}	
۰/۹۳۷۱۳	۰/۱۳۶۰۷	۰/۰۰۰۳۲۹۳۵	۰/۲۳۴۲۸	۱۱۱۱۱۱۱۰	Q _{t-4}	

جدول ۹. انتخاب ترکیب بهینه در مدل سازی بر اساس GT

نسبت V	خطای استاندارد	شیب	ضریب گاما	ماسک	متغیرهای ترکیبی	زیرحوضه
۰/۰۶۹۸۶۶	۰/۰۰۳۱۳۷	۰/۰۹۰۵۱۸	۰/۰۱۷۴۶۶	۱۱۰۰۰۱۱۱۰	$P_t, P_{t-1}, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}$	ارمند
۰/۱۶۴۶۷	۰/۰۰۴۴۱۳۶	۰/۰۲۶۷۳۳	۰/۰۴۱۱۶۹	۱۱۰۰۰۱۱۱۰	$P_t, P_{t-1}, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}$	بارز
۰/۰۹۰۳۵۱	۰/۰۰۲۴۲۰۹	۰/۰۰۶۴۴	۰/۰۱۲۵۸۸	۱۱۰۰۰۱۰۰۰	P_t, P_{t-1}, Q_{t-1}	بیدله
۰/۳۶۶۷۱	۰/۰۱۸۲۳۴	۰/۱۲۳۸	۰/۰۹۱۶۷۸	۱۱۱۰۰۱۰۰۰	$P_t, P_{t-1}, P_{t-2}, Q_{t-1}$	دزک آباد
۰/۳۶۹۷۹	۰/۰۰۹۱۶۵۷	-۰/۳۶۸۰۷	۰/۰۷۲۴۴۸	۱۱۰۰۰۱۰۰۰	P_t, P_{t-1}, Q_{t-1}	کاج
۰/۱۳۳	۰/۰۰۴۸۰۹۷	۰/۰۰۷۶۷	۰/۰۳۳۲۵۱	۱۱۰۰۰۱۱۱۰	$P_t, P_{t-1}, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}$	کتا
۰/۰۲۲۰۹۵	۰/۰۰۹۹۲۴۸	۰/۲۸۵۰۴	۰/۰۰۵۵۲۳	۱۱۰۰۰۱۱۰۰	$P_t, P_{t-1}, Q_{t-1}, Q_{t-2}$	کوه سوخته
۰/۰۲۲۹۹۶	۰/۰۰۱۱۱۰۱	۰/۱۲۸۳۸	۰/۰۰۵۷۴۹۱	۱۱۰۰۰۱۱۰۰	$P_t, P_{t-1}, Q_{t-1}, Q_{t-2}$	لردگان
۰/۰۳۲۸۹۸	۰/۰۳۶۹۹۳	۰/۱۶۰۲۶	۰/۰۰۸۲۲۴۴	۱۱۱۱۰۱۱۱۰	$P_t, P_{t-1}, P_{t-2}, P_{t-3}, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}$	مرغک
۰/۱۲۲۶۹	۰/۰۰۴۵۵۳۸	۰/۲۱۶۷	۰/۰۳۰۶۷۲	۱۱۱۰۰۱۰۰۰	$P_t, P_{t-1}, P_{t-2}, Q_{t-1}$	پاتاوه
۰/۵۴۰۴۲	۰/۰۱۷۳۶۳	-۰/۵۵۳۲۳	۰/۱۰۵۱	۱۱۰۰۰۱۰۰۰	P_t, P_{t-1}, Q_{t-1}	شهید خدري
۰/۲۱۵۳۴	۰/۰۱۹۴۰۱	۰/۰۴۴۲۳۴	۰/۰۵۳۸۳۵	۱۱۱۰۰۱۰۰۰	$P_t, P_{t-1}, P_{t-2}, Q_{t-1}$	سولگان
-۷/۵۴۲۹	۰/۱۱۲۲۶	۹/۷۶۸۹	-۱/۸۸۵۷	۱۰۰۰۰۱۰۰۰	P_t, Q_{t-1}	کل حوضه
-۶/۳۵۰۱	۰/۰۹۰۰۳	۲/۶۴۴۳	-۱/۵۸۷۵	۱۱۰۰۰۱۱۱۰	$P_t, P_{t-1}, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}$	

داشتند. نتایج آزمون گاما نیز نشان داد بارش روز جاری (P_t)، بارش یک و دو روز قبل (P_{t-1} ، P_{t-2}) و دبی روز قبل (Q_{t-1}) و دو روز قبل (Q_{t-2}) بیشترین تأثیر بر مدل سازی را دارند که با تحقیق سینگ و همکاران (۲۰۱۶)، شریفی و همکاران (۲۰۱۳) و قادری و همکاران (۲۰۱۶) مطابق است [۱۶، ۱۴ و ۱۰]. با مشخص شدن ورودی‌های بهینه برای مدل سازی، ۱۰ ترکیب برای هر زیرحوضه و کل حوضه (در مجموع ۱۳۰ ترکیب) به صورت جداگانه ارزیابی شد. در این مطالعه مبنای انتخاب ترکیب بهینه، کمترین مقدار آماره گاما است. در حقیقت این آماره عرض از مبدأ عمودی خط رگرسیون است که واریانس خطاهای تخمین زده شده مدل ایجاد شده برای داده‌هاست. از بین ۱۳۰ ترکیب تست شده برای تمامی زیرحوضه و کل حوضه، جدول ۹ مناسب‌ترین ترکیب برای مدل سازی را برای هر یک از زیرحوضه‌ها و کل حوضه نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از WinGamma دبی روز قبل و بارش روز جاری قوی‌ترین رابطه با رواناب به جریان آمده در رودخانه را دارند. بنابراین، استفاده از این دو پارامتر که در اغلب ترکیب‌های زیرحوضه‌ها مشاهده می‌شود، می‌تواند کمک زیادی به مدل برای درک رابطه بین بارش و رواناب و روند تغییرات دبی رودخانه در حوضه مطالعه شده بکند. همچنین، با توجه به زمان‌بر بودن روش سعی و خطا در تعیین ترکیب ورودی برای یافتن بهترین مدل در تحقیقات

در اغلب حالت‌ها بارش روز جاری، بارش یک و دو روز قبل تأثیر زیادی بر خروجی دارند. همچنین، دبی روز قبل و دو روز قبل بیشترین تأثیر در دبی خروجی حوضه را دارند. با مشخص شدن پارامترهای مؤثر، اقدام به انتخاب ترکیب بهینه شد که در آن همه ۹ پارامتر در نظر گرفته شد و ۱۰ ترکیب متفاوت از آنها به وجود آمد که بر اساس آزمون گاما، بهترین ترکیب که دارای کمترین مقدار آماره گاما و کمترین مقدار خطای استاندارد بود، مشخص شد. که نتایج تعیین ترکیب مناسب به صورت جدول ۹ است.

بحث و نتیجه‌گیری

مسئله مدل کردن و شبیه‌سازی فرایند بارش و رواناب برای پیش‌بینی سیل، مسائل زیست‌محیطی و مدیریت منابع آب بسیار اهمیت دارد. انتخاب بهترین ترکیب از پارامترهای ورودی یکی از مراحل مهم مدل سازی یک فرایند است. نتایج این پژوهش بیانگر آن بود که بر اساس ضرایب خودهمبستگی، خودهمبستگی جزئی و همبستگی متقابل، ۹ پارامتر بارش روز جاری (P_t)، بارش با تأخیر یک روز (P_{t-1})، دو روز (P_{t-2})، سه روز (P_{t-3}) و چهار روز (P_{t-4}) و همچنین، دبی روز قبل (Q_{t-1})، دبی با تأخیر دو روز (Q_{t-2})، سه روز (Q_{t-3}) و چهار روزه (Q_{t-4}) دارای سطح معناداری در سطح اطمینان ۵ درصد بودند و بیشترین تأثیر را بر روی دبی خروجی حوضه

- [9]. Rezaei E, Shahidi A, Khashei Siuki A, Riahi Madvar H. Application of least squares support vector machine model for water table simulation (Case study: Ramhormoz plain). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*. 2013; 7(4): 510-520. [Persian].
- [10]. Besalatpour AA, Hajabbasi MA, Ayoubi Sh. Use of Gamma test technique for choosing the optimum input variables in modeling of soil shear strength using artificial neural networks. *Journal of Water and Soil Conservation*. 2013; 20(1): 97-114. [Persian].
- [11]. Moghaddamnia A, Ghafari Gousheh M, Piri J, Amin S, Han D. Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neurofuzzy inference system techniques. *Advanced Water Resources*. 2009; 32: 88-97.
- [12]. Jones AJ, Margetts S, Durrant P. *The winGamma User Guide*. University of Wales, Cardiff; 2001.
- [13]. Kemp SE, Wilson ID, Ware JA. A Tutorial on the Gamma Test. *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*. 2004; 6(1-2): 67-75.
- [14]. Sharifi AR, Dinpashoh Y, Fakhri-Fard A, Moghaddamnia AR. Optimum combination of variables for runoff simulation in amameh watershed using gamma test. *Soil and Water Science*. 2013; 23(4): 59-72. [Persian].
- [15]. Akhoni Pourhosseini F, Darbandi S. Sofichay river runoff modeling using support vector machine and artificial neural network. *Journal of Watershed Management Research*. 2018; 9(17): 57-66. [Persian].
- [16]. Singh VK, Kumar P, Singh BP. Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks (ANNs) and multiple linear regression (MLR) techniques. *Indian Journal of Ecology*. 2016; 43(2): 436-442.
- [17]. Koncar N. Optimisation strategies for direct inverse neurocontrol. (Doctoral dissertation, Imperial College London (University of London)); 1997.
- [18]. Durrant PJ. Win-Gamma™: A non-linear data analysis and modeling tool with applications to flood prediction. PhD Thesis, Department of Computer Science, Cardiff University, Cardiff, Wales, UK; 2001.
- [19]. Tsui APM. Smooth data modelling and stimulus-response via stabilization of neural chaos. Ph.D. thesis, Department of Computing, University of London; 1999.

گذشته، نتایج این تحقیق نشان داد با استفاده از آزمون گاما دیگر نیازی به مدل سازی با استفاده از این روش نیاز نیست و این آزمون قادر است بهینه ورودی را برای مدل سازی مشخص کند. بنابراین، پیشنهاد می شود استفاده از آزمون گاما برای تعیین ترکیب بهینه ورودی در سایر حوضه های آبخیز کشورمان انجام شود. علاوه بر آن، نتایج این تحقیق در مدل های مختلف شبیه سازی بارش - رواناب برای حوضه آبخیز مطالعه شده بررسی و ارزیابی شود.

منابع

- [1]. Haghizadeh A, Mohammadlou M, Noori F. Simulation of rainfall-runoff process using multilayer perceptron and adaptive neuro-fuzzy interface system and multiple regression (Case Study: Khorramabd Watershed). *Iranian Journal of Ecohydrology*. 2015; 2(2): 233-243. [Persian].
- [2]. Kumari P, Kumar P, Singh PV. Rainfall-runoff modelling using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Indian Journal of Ecology*. 2018; 45(2): 281-285.
- [3]. Dehghani N, Vafakhah M, Bahremand A. Rainfall-runoff modeling using artificial neural network and neuro-fuzzy inference system in kasilian watershed. *Journal of Watershed Management Research*. 2016; 7(13): 128-137. [Persian].
- [4]. Nourani V. An Emotional ANN (EANN) approach to modeling rainfall-runoff process. *Journal of Hydrology*. 2017; 544: 267-277.
- [5]. Salajegheh A, Fathabadi A, Mahdavi M. Investigation on the efficiency of neuro-fuzzy method and statistical models in simulation of rainfall-runoff process. *Journal of Range and Watershed Management*. *Iranian Journal of Natural Resources*. 2009; 62: 65-79. [Persian].
- [6]. Simonovic S P, Ahmad S. An artificial neural network model for generating hydrograph from hydro-meteorological parameters. *Journal of Hydrology*. 2005; 315: 236-251.
- [7]. Napiórkowski JJ. Application of volterra series to modeling of rainfall-runoff systems and flow in open channels. *Hydrological Sciences Journal*. 1986; 31(2): 187-203.
- [8]. Nourani V, Komasi M. A geomorphology-based ANFIS model for multi-station modeling of rainfall-runoff process. *Journal of Hydrology*. 2013; 490: 41-55.

- [20]. Entesari MR, Norouzi M, Salamat AS, Ehsani MR, Tavakoli AS. Comparison Penman- Montith with other recommended methods for calculating potential evapotranspiration (ET0) in several different regions of Iran. Eighth roceedings seminar on National Committee of Irrigation and Drainage. 2007; 237-221. [Persian].
- [21]. Varkeshi B, ZareAbyaneh H, Marufi A, Sabziparvar F, Soltani M. Simulation of reference evapotranspiration using artificial neural method and empirical methods and comparison with experimental Lysimeter data in cold semi-arid climate of Hamedan. Journal of Soil Water Conservation. 2010; 16(4): 79-100. [Persian].
- [22]. Jones AJ, Tsui A, De Oliveira AG. Neural models of arbitrary chaotic systems: Construction and the role of time delayed feedback in control and synchronization. Complexity international. 2002; 9(2002): 1-9.
- [23]. Jones AJ. New tools in non-linear modeling and prediction. Computational Management Science. 2003; 1(2): 109-149.
- [24]. Ghaderi K, Motamedvaziri B, Mahmudi P. Simulation of rainfall-runoff process using artificial neural network in kurkursar watershed, nowshahr. First international comprehensive competition conference on engineering sciences in Iran. Anzali, Iran. 2016; 1-13. [Persian].