

پیش بینی دبی جریان سیلاب با مدل بیان ژن و برآورد هیدروگراف آن با استفاده از دو مدل گری و گاما (مطالعه موردی: حوضه آبخیز قره سو کرمانشاه)

عرفان بهرامی^۱، حسین خزیمه نژاد^۲

^۱ دانشجوی دکتری منابع آب، رشته علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران

^۲ دانشیار گروه علوم مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۳/۲۶ ، تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۲۲

چکیده

عملکرد خوب مدل های هوشمند باعث افزایش استفاده از آنها برای پیش بینی پدیده های مختلف هیدرولوژیکی شده است. لذا ضرورت دارد که کارایی مدل های توسعه داده شده در مناطق مختلف جهان با ویژگی های متفاوت اقلیمی، هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی مورد ارزیابی قرار گیرد تا بتوان در مورد کارایی آنها در مناطق مختلف اظهار نظر نمود. در پژوهش حاضر، به منظور پیش بینی دبی سیلاب حوضه از داده های منطقه در یک دوره ۱۰ ساله، با طول دوره آماری (۱۳۸۹-۱۳۹۹) و همچنین از مدل هوشمند برنامه ریزی بیان ژن استفاده شد. با بررسی معیارهای ارزیابی مدل، نتایج نشان از عملکرد خوب و دقت بالای مدل در پیش بینی دبی سیلاب بود. با استفاده از دو مدل هیدروگراف مصنوعی گری و گاما پارامترهای مهم سیلاب از جمله PEP (دبی اوج سیلاب)، PETP (زمان رسیدن به دبی اوج)، PEV (حجم جریان) و سه معیار (جذر میانگین مربع خطا، میانگین خطای مطلق و ضریب تبیین) جهت تعیین شکل هیدروگراف سیلاب مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از روش امتیاز بندی و رتبه دهی برای هریک از خطاها پرداخته شد و بهترین مدل در برآورد هریک از مشخصه های سیلاب تعیین گردید. بر اساس نتایج، مقدار دامنه های معیارهای بیان شده برای مدل گاما به ترتیب (۹/۵۰، ۱۲/۹-، ۲۰/۰۹، ۴۰/۱-، ۷۵، ۱۰۰-، ۰/۴۲، ۱/۶۶)، (۳/۲۰، ۱/۰۳ و ۰/۹۴، ۰/۸۷) بود که نشان از برتری مدل گاما نسبت به مدل گری می باشد و مدل منتخب توانست به شکل کاملاً مناسبی مشخصه های هیدروگراف سیلاب را برآورد سازد.

کلمات کلیدی: حوضه های فاقد آمار، هیدروگراف واحد، مدل سازی جریان، GEP، بارش رواناب

مقدمه

سیل از رایج ترین بلایای طبیعی است که جوامع سراسر جهان را تحت تأثیر قرار می دهد. یکی از مهم ترین مشکلات در طراحی مهندسی منابع آب، برآورد حداکثر دبی سیلاب است. طراحی در بسیاری از مطالعات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی بر اساس حجم و حداکثر دبی سیلاب صورت می گیرد. حتی در کشورهای پیشرفته نیز اطلاعات کافی برای اندازه گیری میزان بارش و سیل رایج ترین بلایای طبیعی است که جوامع سراسر جهان را تحت تأثیر قرار می دهد. یکی از مهم ترین مشکلات در طراحی سازه های آبی، مطالعات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی برآورد حداکثر حجم و دبی سیلاب است ادیب و همکاران (۲۰۱۰). با توجه به نبودن اطلاعات کافی برای اندازه گیری میزان بارش و رواناب و کمبود ایستگاه های اندازه گیری در کشورهای در حال توسعه، اهمیت مدل های هیدروگراف واحد مصنوعی در برآورد مشخصه های سیلاب رودخانه ها در حوضه های فاقد آمار مورد توجه پژوهش گران قرار گرفته است.

با توسعه سریع فن آوری های محاسباتی، در چند دهه گذشته و افزایش نیاز به پیش بینی سیل در این زمینه مدل های مختلفی در برآورد سیلاب پیشنهاد شده که مدل گاما نسبت به سایر مدل های دیگر دقیق تر بوده و کمتر مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفته است. این موضوع به خصوص در حوضه های کوچک مطرح می باشد چون به دلیل هزینه بالای ایجاد ایستگاه های اندازه گیری و نیز هزینه نگهداری آن، با مشکل عدم وجود اطلاعات و داده های سیلاب مواجه می باشند ادیب و همکاران (۲۰۱۱). با توجه به اهمیت مدل های هیدروگراف واحد مصنوعی در برآورد مشخصه های سیلاب رودخانه ها در حوضه های فاقد آمار انجام تحقیقات در این زمینه مورد توجه پژوهش گران قرار گرفته است. وارتالسکا^۱ و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از داده های اندازه گیری شده از سه سیلاب سال های اخیر به تحلیل هیدروگراف های

جریان آن پرداختند. آیتک^۲ و همکاران (۲۰۰۸) برای مدل سازی بارش - رواناب در حوضه رودخانه جونیتا در پنسیلوانیای آمریکا از دو روش شبکه عصبی مصنوعی و برنامه ریزی بیان ژن استفاده کردند. مقایسه نتایج نشان داد که روش برنامه ریزی بیان ژن در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی، عملکرد بهتری داشته است. کریمی و همکاران (۲۰۱۶) پیش بینی کوتاه و بلند مدت جریان رودخانه فلیوس در ترکیه را با استفاد از مدل ترکیبی برنامه ریزی بیان ژن - موجک مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل ترکیبی، عملکرد بهتری نسبت به مدل های ARMA، ANN و ANFIS داشته است. جها^۳ و همکاران (۲۰۱۵) با توجه به توانایی بالای مدل برنامه ریزی بیان ژن از این ابزار هم برای پیش بینی سطح آب زیرزمینی استفاده کردند. شیری و همکاران (۲۰۱۱) اشاره نمودند که برنامه ریزی بیان ژن شاخه ای از الگوریتم های تکاملی است که توانایی مدل سازی فرآیند های غیر خطی و پویا را دارد. مقایسه برنامه ریزی بیان ژن با ANFIS جهت پیش بینی کوتاه مدت نوسانات عمق آب صورت پذیرفت، نتایج نشان داد که هر دو مدل می توانند به عنوان یک ابزار دقیق برای پیش بینی نوسانات عمق آب استفاده شوند. بهرامی و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی روش های جداسازی دبی پایه و بارش مازاد نشان دادند که انتخاب ترکیب این روش ها می تواند در برآورد مشخصات سیلاب در کاربرد مدل هیدروگراف واحد مصنوعی گاما در حوضه جنگ در ایران تاثیر قابل ملاحظه ای داشته باشد. سالاری جزی و همکاران (۲۰۱۷) با کاربرد مدل توسعه داده شده شماره منحنی بدون استفاده از داده های پوشش خاک و کاربری اراضی به برآورد هیدروگراف سیلاب در حوضه فاقد آمار امامه پرداختند. در این پژوهش از معیارهای مختلف دقت برازش جهت ارزیابی چهار رویداد سیلاب استفاده کردند. با توجه به نتایج، مدل توسعه داده شده تمایل به بیش برآوردی حجم سیلاب، کم برآوردی زمان رسیدن به اوج

2 Aytak

3 Jha

1 Wartalska

سیل را برای رودخانه یانگ تسه از دریاچه دانگینگ با استفاده از توزیع گاما مورد بررسی قرار دادند. با تحلیل نتایج هیدروگراف، نتایج حاکی از برآورد دقیق مدل در برآورد PEP و PEV برای حوضه مورد مطالعه بوده است. آن^۶ و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه ای نشان داد که برخی از مدل های پیش بینی، می توانند ابزاری مناسب برای تخمین ضریب فرکانس سیل (K) بکار گرفته شوند. مدل رگرسیون متمرکز و مدل برنامه نویسی بیان ژن (GEP) از جمله مدل هایی هستند که نتایجی سریع و دقیقی را برای برآورد ضریب فرکانس سیل ارائه می دهند. رادمنش و همکاران (۲۰۲۰) به شبیه سازی هیدروگراف یک آبخوان با استفاده از سه مدل MODFLOW، GEP و ANFIS در اهواز پرداختند. نتایج نشان داد که مدل MODFLOW و مدل GEP در مدل سازی هیدروگراف آبخوان تقریباً یکسان عمل می کنند. بنابراین، در صورت کمبود داده، این شبیه ساز مدل می تواند جایگزین دقیقی برای مدل سازی های مفهومی باشد.

پاشازاده و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به مقایسه سه مدل برنامه نویسی بیان ژن، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و Muskingum در پیش بینی هیدروگراف خروجی جریان در مسیر سیلابی رودخانه قره سو پرداختند. مدل های GEP و ANN هیدروگراف های ورودی را در مراحل مختلف زمانی مورد بررسی قرار دادند. هیدروگراف خروجی به دست آمده توسط مدل GEP عملکرد عالی را در مقایسه با مدل های ورودی Muskingum و ANN در مورد برآورد هیدروگراف خروجی جریان رودخانه نشان داده است. آنسل^۷ و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به ارزیابی مدل بیان ژن در برآورد حوادث هیدرولوژیکی بارندگی پرداخت. نتایج و بررسی خطاهای مدل حاکی از عملکرد بالای مدل در شبیه سازی بود. سلگی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی عملکرد مدل برنامه ریزی بیان ژن با روش های پیش پردازش داده ها جهت مدل سازی جریان

و بیش برآوردی دبی اوج دارد و در مجموع به طور نسبی تخمین قابل پذیری از هیدروگراف سیلاب ارائه می دهد. شریفی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل توزیعی- فیزیکی به برآورد هیدروگراف سیلاب در یک حوضه در شمال ایران پرداخته و استفاده از رویکرد مدل سازی توزیعی- فیزیکی را در شرایطی که امکان واسنجی مدل فراهم نیست، توصیه کرده اند. آکانل^۴ و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی به بررسی و ارزیابی دو هیدروگراف گاما و اشنایدر در برآورد دبی اوج جریان و زمان اوج در هیدروگراف پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد هیدروگراف گاما نسبت به هیدروگراف اشنایدر تطابق خوبی در برآورد PETP و PEP داشته و یک منحنی مناسب برای شکل کلی آن فراهم می کند. موسوی و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که با توجه به دقت بالای مدل های شبیه ساز و استفاده آن در سال های گذشته نظیر هوش مصنوعی (ANN)، ماشین بردار پشتیبانی (SVM) و مدل شبیه سازی بیان ژن (GEP)، کاربرد این مدل ها برای پیش بینی سیل کوتاه مدت و هم برای بلند مدت موثر گزارش شده است. جانی زاده و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه ای، کارایی دو مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی (ANFIS) به منظور مدل سازی خصوصیات هیدروگرافی سیل برای حوضه آبخیز کاسیلیان، شمال ایران را مورد ارزیابی قرار دادند. برای این منظور، پانزده ویژگی بارندگی (هایتوگرافی) و هشت ویژگی هیدروگراف سیلاب به ترتیب متغیرهای مستقل و وابسته برای ۶۰ رویداد بارندگی-رواناب از ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۹ در نظر گرفته شدند. مدل ANFIS با روش پارتیشن بندی شبکه، عملکرد بهتری نسبت به مدل ANN در برآورد زمان دبی اوج سیلاب مشاهده شده داشته است. بنابراین، مدل ANFIS برای مدل سازی هیدروگراف سیل بر اساس ویژگی های بارندگی ارائه شده دقیق تر است. ژانگ^۵ و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش های هیدرولوژیکی، وقایع

6 onen
7 Unsal

4 Acanal
5 Zhang

این ویژگی، آن را از سایر مدل های دیگر نظیر شبکه عصبی و مصنوعی متمایز می سازد و با توجه به مطالعات صورت گرفته مشخص شد که مطالعات کمی در زمینه استفاده از مدل برنامه ریزی بیان ژن برای پیش بینی بخصوص در زمینه تخمین جریان سیلاب صورت گرفته است. یکی دیگر از کارهایی که در این مطالعه استفاده شده است مربوط به روش نوین امتیازدهی و رتبه بندی کردن می باشد که میزان تأثیر و دقت مدل ها در برآورد هیدروگراف سیلاب در یک حوضه فاقد آمار مشخص می گردد که با پژوهش های پیشین متفاوت بوده و به نظر می رسد تاکنون در سطح کشور در این زمینه مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش ها

الف- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، آبخوان حوضه آبریز قره سو به مساحت ۵۲۷۸ کیلومتر مربع و با مختصات جغرافیایی به عرض ۹-۳۴ تا ۲۹-۳۴ و طول ۳۶-۴۶ تا ۵۸-۴۶ در استان کرمانشاه و در غرب ایران واقع شده است. بیشینه و کمینه ارتفاع آن به ترتیب ۳۳۶۰ و ۱۲۷۰ متر و متوسط دمای سالانه ۱۴/۶ درجه سلسیوس است. دارای سه رودخانه اصلی مرگ، قره سو و راز آور می باشد که مهم ترین و بلند ترین آن، قره سو به طول حدود ۲۰/۷ کیلومتر که به صورت دائمی است. متوسط بارندگی سالیانه در حوضه ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی متر بوده که بسیار متغیر می باشد. حدود ۳۰٪، (۵۰ میلیون متر مکعب) از آب شرب شهر کرمانشاه از همین آبخوان تامین می گردد. شکل ۱ موقعیت حوضه را نشان می دهد.

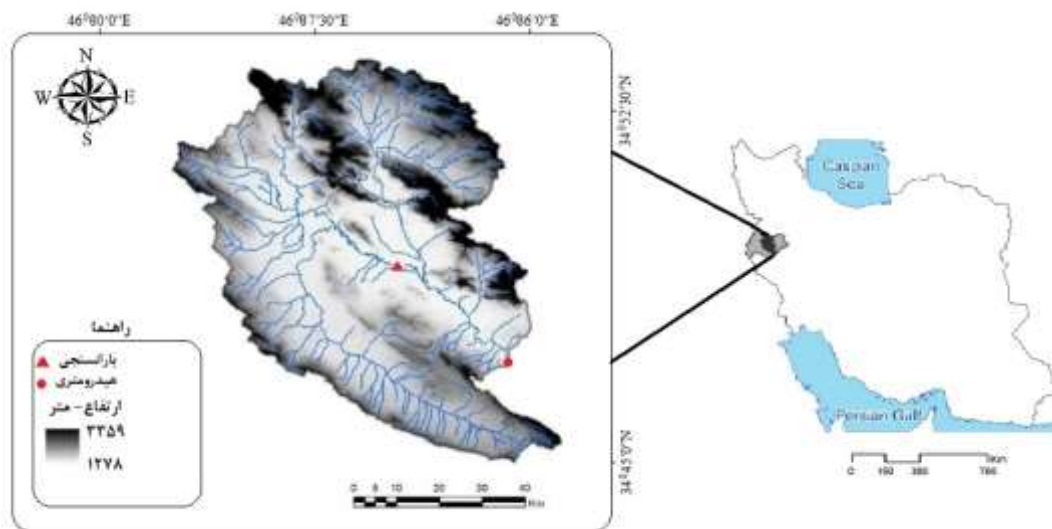
ب- آماده سازی اطلاعات

به علت این که وارد کردن داده ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت مدل می شود. از روش استاندارد سازی (نرمال سازی) داده ها استفاده شده است (راید^۸ و همکاران، ۲۰۰۴). طبق این روش هر عدد

رودخانه پرداختند. بررسی ساختارهای مختلف برای مدل برنامه ریزی بیان ژن نشان داد که عملکرد مدل در دوره روزانه خوب بوده ولی در دوره ماهانه عملکرد کاهش یافته است. زینعلی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه ای که در دشت لور اندیشک به بررسی عملکرد مدل مفهومی مادفلو و مدل شبیه ساز بیان ژن در مدل سازی هیدروگراف پرداختند. نتایج شبیه سازی شده هیدروگراف آبخوان نشان داد که هر دو مدل در شبیه سازی هیدروگراف موفق بوده اند. قبادیان و همکاران (۱۳۹۲) روندیابی سیلاب رودخانه زنگمار را با استفاده از برنامه ریزی بیان ژن و روش موج دینامیکی انجام دادند. با بررسی شش هیدروگراف سیل، بین سال های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ مدل بیان ژن نشان داد که با دقت بالا تری حجم هیدروگراف خروجی سیلاب را می تواند پیش بینی کند.

با توجه به اهمیت دشت کرمانشاه که یکی از دشت های پرآب در غرب کشور می باشد و با توجه به اینکه آب حوضه آبخیز مورد مطالعه عمدتاً جهت مصارف کشاورزی و شرب شهری و روستایی مورد استفاده قرار می گیرد، حفظ پایداری این آبخوان بسیار حائز اهمیت است. پیش بینی های سیلاب در حوضه های فاقد آمار در مهندسی منابع آب و ویژگی غیرخطی و ناپایستای سری زمانی جریان روزانه و ماهانه، استفاده از یک ابزار با دقت مناسب یکی از موضوعاتی است که همیشه مورد نظر پژوهشگران می باشد. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، در این مطالعه سعی بر آن شده است از ابزارهایی به نام هیدروگراف واحد مصنوعی گاما و گری که قابلیت خوبی در هیدرولوژی از خود نشان داده اند و همچنین قابلیت آن را دارند که با مدل های دیگر از جمله برنامه ریزی بیان ژن به صورت ترکیبی استفاده شد. با ترکیب و مقایسه این مدل ها با یکدیگر می توان هم میزان تأثیر این ابزار ها را مورد بررسی و چالش قرار داد و هم توان در جهت پیش بینی جریان سیلاب حوضه آبخیز قره سو که منبع مهمی می باشد گام مؤثری برداشت.

به بیان دیگر برنامه ریزی بیان ژن قادر به ارائه معادلات تقریبی موجود و ساختار درختی بهینه ای می باشد که



شکل ۱. نقشه حوضه قره سو و موقعیت ایستگاه های (بارسنجی و هیدرومتری)

هیدروگراف رواناب مستقیم است. در شکل ۲ روش مورد استفاده به صورت شماتیک به نمایش درآمده است.

روش فی ($\emptyset$): بارش مازاد یکی از مهم ترین عوامل موثر بر شکل هیدروگراف محسوب می گردد و عکس العمل هیدرولوژیکی هر حوضه آبخیز در قالب شاخص هایی از قبیل دبی اوج، زمان پایه و زمان تا اوج به طور مستقیم تحت تاثیر الگوی بارش مازاد مربوطه خواهد بود. به منظور تعیین ارتفاع بارش مازاد در این مطالعه از شاخص $\emptyset$ استفاده گردید. در این روش ارتفاع رواناب مستقیم به صورت R_D تعریف می شود. برای برآورد شاخص $\emptyset$ از معادله ذیل استفاده گردید (چاو، ۱۹۸۸).

$$R_D = \sum (R_M - \emptyset \Delta T) \quad (2)$$

در این معادله

R_M : بزرگترین پالس بارش (mm)

R_D : رواناب مستقیم (mm)

$\emptyset$: شاخص فی (mm/h)

M : تعداد پالس بارش مازاد است.

مقدار $\emptyset$ با انتخاب یک فاصله زمانی ΔT و تخمین تعداد فواصل M بارش که عملاً به رواناب مستقیم می پیوندد و با کم کردن $\emptyset \Delta T$ از بارش اندازه گیری

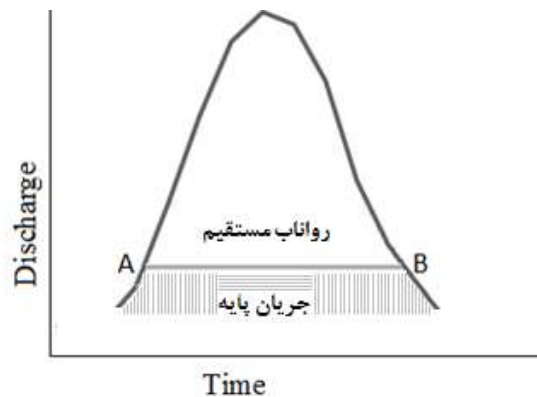
تبدیل به عددی بین صفر تا یک می شود که از رابطه زیر استفاده گردید:

$$y = 0.5 + \left(0.5 \times \left(\frac{x - \bar{x}}{x_{\max} - x_{\min}} \right) \right) \quad (1)$$

که در آن، X داده موردنظر، $\bar{X}$ میانگین داده ها، $X_{\max}$ حداکثر داده ها، $X_{\min}$ حداقل داده ها و y داده نرمال شده می باشد. ابتدا داد های روزانه از سازمان آب منطقه ای کرمانشاه دریافت شد، با توجه به این که داده ها به صورت کامل موجود بودند، بررسی داده ها فقط از نظر داده های پرت مورد بررسی قرار گرفته و مشکلات موجود برطرف گردید.

ج-برآورد جریان پایه و بارش مازاد

روش خط مستقیم: روش خط مستقیم ساده ترین روش برای جدا سازی دبی پایه است (چاو، ۱۹۸۸). در هیدروگراف رودخانه از نقطه شروع سیل، خطی مستقیم به نقطه ای که سیل خاتمه پیدا می کند رسم می شود. بخشی از هیدروگراف که بالای این خط قرار می گیرد



شکل ۲. روش مجزا کردن دبی پایه از هیدروگراف

به گام حل یک مسئله با استفاده از برنامه ریزی بیان ژن متشکل از ۵ مرحله به شرح زیر می باشد (فریا^۱، ۲۰۰۱).

۱- انتخاب مجموعه ترمینال

همان متغیرهای مستقل مسئله و متغیرهای حالت سامانه می باشد. انتخاب تابع برازش در این مرحله صورت می گیرد که معمولاً از جذر میانگین مربعات خطا استفاده می شود.

۲- انتخاب مجموعه توابع

شامل عملگرهای ریاضی، توابع آزمون و توابع بولی می باشد. عملگرهای ریاضی شامل ۱۰ عملگر ضرب، تقسیم، جمع، تفریق، جذر، لگاریتم، مجذور و غیره می باشد که سه نوع جمع، تفریق و ضرب بیشترین استفاده را دارند.

۳- شاخص اندازه گیری

دقت مدل که بر مبنای آن می توان مشخص کرد که توانایی مدل در حل یک مسئله خاص تا چه اندازه است.

۴- مولفه های کنترل

مقادیر مولفه های عددی و متغیرهای کیفی که برای کنترل اجرای برنامه استفاده می شود. تعداد داده های

شده در هر فاصله زمانی رواناب مستقیم حاصل می گردد. مدل برنامه ریزی بیان ژن (GEP): برنامه ریزی بیان ژن که در ادامه سیر تکاملی مدل های هوشمند به وجود آمده است جزء روش های الگوریتم گردشی محسوب می شود که مبنای تمامی آنها براساس نظریه تکامل داروین استوار است. همچنین در برنامه ریزی بیان ژن از عملگرهای مختلفی مانند جهش و ترکیب استفاده می شود. هدف عملگر جهش، به سازی تصادفی، داخل کروموزوم های معینی است. خصوصیت این عملگر آن است که برای جلوگیری از ایجاد افراد معیوب از نظر قواعد، برخی عملیات بدون نقص را اجرا می نماید. در این مدل از ترکیب تک نقطه ای، دو نقطه ای و ژنی استفاده می شود. از آنجایی که ترکیب دو نقطه ای قادر است نواحی کدگذاری نشده داخل کروموزوم ها را به مراتب بیشتری روشن و خاموش کند، مطلوب تر است (شعیب و همکاران، ۲۰۱۵). مزیت برنامه ریزی بیان ژن نسبت به مدل های دیگر از جمله شبکه عصبی مصنوعی این است که در برنامه ریزی بیان ژن، ابتدا ساختار (متغیرهای ورودی، هدف و مجموع توابع) تعریف شده و سپس ساختار بهینه مدل و ضرایب آن طی فرایند آموزش تعیین می شوند، در حالی که در شبکه های عصبی، ضرایب مدل در طی فرایند آموزش حاصل می شوند. همچنین این الگوریتم به طور خودکار می تواند متغیرهای ورودی که در مدل بیشترین تأثیر را دارند، انتخاب کند. فرایند گام

جدول ۱. ترکیب های مختلف مدل برنامه ریزی بیان ژن

ترکیب	ورودی	خروجی
۱	$(Q_{t-1})(P_{t-1})$	(Q_t)
۲	$(Q_{t-2})(P_{t-2}) (Q_{t-1})(P_{t-1})$	(Q_t)
۳	$(Q_{t-3})(P_{t-3}) (Q_{t-2})(P_{t-2}) (Q_{t-1})(P_{t-1})$	(Q_t)
۴	$(Q_{t-4})(P_{t-4}) (Q_{t-3})(P_{t-3}) (Q_{t-2})(P_{t-2}) (Q_{t-1})(P_{t-1})$	(Q_t)
۵	$(Q_{t-5})(P_{t-5}) (Q_{t-4})(P_{t-4}) (Q_{t-3})(P_{t-3}) (Q_{t-2})(P_{t-2}) (Q_{t-1})(P_{t-1})$	(Q_t)
۶	$(Q_{t-6})(P_{t-6}) (Q_{t-5})(P_{t-5}) (Q_{t-4})(P_{t-4}) (Q_{t-3})(P_{t-3}) (Q_{t-2})(P_{t-2}) (Q_{t-1})(P_{t-1})$	(Q_t)
۷	$(Q_{t-7})(P_{t-7}) (Q_{t-6})(P_{t-6}) (Q_{t-5})(P_{t-5}) (Q_{t-4})(P_{t-4}) (Q_{t-3})(P_{t-3}) (Q_{t-2})(P_{t-2}) (Q_{t-1})(P_{t-1})$	(Q_t)
۸	$(Q_{t-8})(P_{t-8}), (Q_{t-7})(P_{t-7}), (Q_{t-6})(P_{t-6}), (Q_{t-5})(P_{t-5}), (Q_{t-4})(P_{t-4}), (Q_{t-3})(P_{t-3}), (Q_{t-2})(P_{t-2}), (Q_{t-1})(P_{t-1})$	(Q_t)
۹	$(Q_{t-9})(P_{t-9}) (Q_{t-8})(P_{t-8}) (Q_{t-7})(P_{t-7}) (Q_{t-6})(P_{t-6}) (Q_{t-5})(P_{t-5}) (Q_{t-4})(P_{t-4}) (Q_{t-3})(P_{t-3}) (Q_{t-2})(P_{t-2}) (Q_{t-1})(P_{t-1})$	(Q_t)
۱۰	$(Q_{t-10})(P_{t-10}) (Q_{t-9})(P_{t-9}) (Q_{t-8})(P_{t-8}) (Q_{t-7})(P_{t-7}) (Q_{t-6})(P_{t-6}) (Q_{t-5})(P_{t-5}) (Q_{t-4})(P_{t-4}) (Q_{t-3})(P_{t-3}) (Q_{t-2})(P_{t-2}) (Q_{t-1})(P_{t-1})$	(Q_t)

برخی ویژگی های مهم حوضه از قبیل: طول اصلی جریان، شیب، مساحت و برخی عوامل دیگر است.

$$Q_{t/P_R} = \frac{25(Y')^q}{\Gamma(q)} (e^{-Y' t/P_R}) \left(\frac{t}{P_R}\right)^{q-1} \quad (3)$$

P_R : مدت زمان افزایش (Min)
 Q_{t/P_R} : مقدار درصد جریان در P_R به ازای هر مقدار t_{P_R}
 $\Gamma(q)$: تابع گاما که برابر $\Gamma(q-1)$

$$\Gamma(q) = q^q e^{-q} \sqrt{\frac{2\pi}{q}} \left(1 + \frac{1}{12q} + \frac{1}{288q^2} - \frac{139}{51480q^3} - \frac{571}{2488320q^4} + \dots\right) \quad (4)$$

t : زمان (Min)

q, Y : به ترتیب شکل و مقیاس پارامترها
 رابطه ای برای محاسبه Y' بیان شده است که به صورت زیر می باشد.

$$q = 1 + Y' \quad \text{یا} \quad Y' = Y P_R \quad (5)$$

گری برای بدست آوردن $P_{R/Y'}$ دو رابطه پیشنهاد کرد. رابطه اول از ویژگی های حوضه می توان مقادیر P_R و Y را بدست آورد. ضریب ذخیره $P_{R/Y'}$ با پارامتر

بخش آموزش، تعداد داده های بخش تست، تعداد کروموزوم ها، تعداد ژن ها، انتخاب تابع پیوند که با چهار گزینه جمع، تفریق، ضرب و تقسیم قابل تنظیم هستند.

۵- معیار توقف برنامه

معیاری برای حصول نتیجه و توقف اجرای برنامه می باشد، مثل میزان جمعیت تولید شده و غیره. در این مطالعه برای اجرای مدل GEP از برنامه GeneXpro Tools(v5) استفاده شده است. در این برنامه انتخاب جمعیت های اولیه که همان الگوی های ورودی می باشند، از اهمیت بالایی برخوردار است. به منظور ارزیابی قابلیت مدل، ستون های $(Q_{t-1})(P_{t-1})$ ، $(Q_{t-2})(P_{t-2})$ ، $(Q_{t-3})(P_{t-3})$ ، $(Q_{t-4})(P_{t-4})$ تا $(Q_{t-10})(P_{t-10})$ به ترتیب بارش و جریان سیلاب رودخانه در زمان های $t-1$ ، $t-2$ ، $t-3$ ، $t-4$ ، $t-5$ تا $t-10$ به عنوان ورودی و (Q_t) جریان سیلاب رودخانه در زمان t به عنوان خروجی مدل در دوره آتی در جدول ۱ در نظر گرفته شد.

د-مدل گری^{۱۱}

روش گری یک روش تعیین هیدروگراف واحد مصنوعی است، که بر پایه توزیع گاما ناقص در سال ۱۹۶۱ توسط گری توسعه پیدا نمود. در این روش نیاز به تعیین

$$\alpha = 0.5\varnothing + 5.9\varnothing^2 \quad (9)$$

با بدست آوردن α و ضرب کردن a در مقدار t_p و جایگزینی در معادله (۷)، هیدروگراف واحد طبق معادله (۱۰) برای هر مقدار حاصل می گردد.

$$Q_{atp} = Q_P a^\alpha e^{(1-\alpha)\alpha} \quad (10)$$

معیارهای ارزیابی شبیه سازی

به منظور ارزیابی شبیه سازی هیدروگراف سیلاب با استفاده از مدل هیدروگراف واحد مصنوعی می توان از معیارهای مختلفی بهره برد. در این بررسی معیارهای خطای دبی اوج (PEP)، خطا در برآورد حجم جریان (PEV)، درصد خطا در زمان رسیدن به دبی اوج (PETP)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، متوسط جذر میانگین مربع خطاها (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که در سال های اخیر معیارهای فوق در کاربردهای هیدرولوژیکی تعریف و مورد توجه قرار گرفته است. روابط مورد استفاده برای برآورد این معیارها در ذیل ارائه شده است.

$$PEP = (1 - \frac{Q_c}{Q_0}) \quad (11)$$

$$PEV = (1 - \frac{VOL_c}{VOL_0}) \quad (12)$$

$$PETP = (1 - \frac{T_c}{T_0}) \quad (13)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{oi} - Q_{ci}|}{n} \quad (14)$$

$$R^2 = \frac{(\sum(Q_{ci} - \overline{Q_{ci}})(Q_{oi} - \overline{Q_{oi}}))^2}{\sum(Q_{ci} - \overline{Q_{ci}})^2 \sum(Q_{oi} - \overline{Q_{oi}})^2} \quad (15)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{ci})^2} \quad (16)$$

در روابط فوق، Q_{oi} : مقدار مشاهده شده، Q_{ci} : مقدار برآورده شده، n : تعداد داده ها، Q_c : دبی محاسبه شده،

حوضه L/S_c رابطه مستقیم دارد، که L طول اصلی کانال برحسب (Mile)، S_c شیب متوسط کانال، که از نمودار ارتفاع نقاط در امتداد کانال رودخانه اصلی بر مسافت جریان بدست خواهد آمد.

$$\frac{P_R}{Y^*} = a \left(\frac{L}{\sqrt{S_c}} \right)^b \quad (6)$$

ه - مدل گاما^{۱۲}

به منظور محاسبه هیدروگراف واحد مصنوعی Gamma که در مقایسه با دیگر روش های موجود راحت تر و دقیق تر می باشد. این مدل با ارائه یک تقریب دقیق، روابط تجربی را برای برآورد شکل عمومی لازم برای IUH بیان می کند.

$$F(x) = \frac{x^a e^{-x/\beta}}{\beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha+1)} \quad (7)$$

پارامتر α یک عامل بدون بعد و باید بزرگتر از ۱- باشد و β یک مقیاس مثبت است. با تعیین α و β می توان مقدار اوج هیدروگراف را از معادله (۷) بدست آورد.

آرون و وایت^{۱۳} (۱۹۸۷) معادله (۷) را توسعه دادند و گذاری کردن t به جای x و بدست آوردن Q_p و t_p معادله (۸) حاصل گردید.

$$\varnothing(\alpha) = \frac{C_v A}{t_p} Q_p \quad (8)$$

Q_p : حداکثر میزان جریان.

C_v : عامل تبدیل.

A و $\varnothing$: به ترتیب شاخص بدون بعد و مساحت می باشند.

با استفاده از معادله (۸)، مقدار $\varnothing(\alpha)$ بدست خواهد آمد. و سپس مقدار α را با استفاده از معادله (۹) حاصل می گردد.

12 Gamma

13 Aron & White

Q : دبی مشاهده ای، T_c : زمان اوج محاسبه شده، T : زمان اوج مشاهده ای، Vol_c : حجم محاسبه شده، Vol : حجم مشاهده شده، Q_{ci} : میانگین مقادیر برآورد شده، Q_{oi} : میانگین مقادیر مشاهده شده.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از مدل سازی برنامه ریزی بیان ژن: در این روش انتخاب مناسب داده های ورودی به عنوان (داده های آموزشی) دارای اهمیت بالایی است زیرا با انتخاب داده های ورودی به عنوان جمعیت اولیه باعث آموزش در شکل گیری و ماهیت معادلات حاکم بر الگوهای ساختاری و افزایش دقت مدل سازی کردن برنامه بر نتایج خروجی می گردد. در این مدل ۸۰ درصد از داده ها برای آموزش و ۲۰ درصد برای مرحله آزمایش به کار برده شد. در مدل بیان ژن متغیر دبی جریان و بارندگی در سال های گذشته به عنوان ورودی های

مدل و دبی جریان در دوره آتی به عنوان خروجی مدل به کار گرفته شد. با توجه به تحقیقات پیشین تابع های جذر میانگین مربع خطا، میانگین خطای مطلق و ضریب تبیین در ارزیابی کارایی مدل GEP، انتخاب گردید. نتایج اجرای مدل GEP به ترتیب در دو بخش آموزش و آزمایش برای ورودی های مدل تعریف و نتایج اکتسابی از معیار های ارزیابی استخراج و در جدول ۲ ارائه گردید. با انتخاب مناسب داده های ورودی، ساختار اولیه مدل شکل و آموزش دیده است که دارای اهمیت بالایی می باشد بر این اساس طبق بازه آماری ده ساله انتخاب شده از منطقه، داده های وقایع روزانه بارش - رواناب که منجر به پدیده سیل در منطقه شده بودند مشخص و به عنوان ورودی مورد استفاده قرار گرفتند.

$$Q_t = f(Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}, Q_{t-5}, Q_{t-6}, Q_{t-7}, Q_{t-8}, Q_{t-9}, Q_{t-10}) \quad (8)$$

برای اجرای مدل GEP وقایع انتخابی برای هریک از ترکیب های مختلف مورد بررسی قرار گرفت در جدول

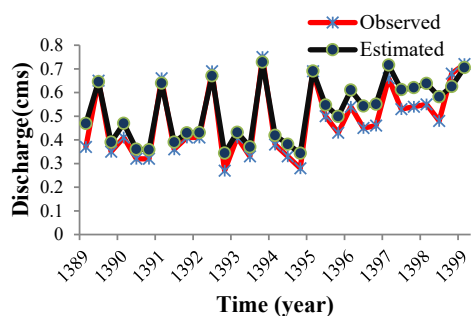
جدول ۲. نتایج بدست آمده از جریان های مختلف با مدل بیان ژن در مراحل آموزش و آزمایش در شبیه سازی سیلاب رودخانه

نام مرحله	RMSE	MAE	R ²	ترکیب
مرحله آموزش	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۹۶	
مرحله آزمایش	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۹۶	۱
مرحله آموزش	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۹۶	
مرحله آزمایش	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۹۶	۲
مرحله آموزش	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۹۷	
مرحله آزمایش	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۹۷	۳
مرحله آموزش	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۹۳	
مرحله آزمایش	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۹۳	۴
مرحله آموزش	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۹۴	
مرحله آزمایش	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۹۴	۵
مرحله آموزش	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۹۸	
مرحله آزمایش	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۹۸	۶
مرحله آموزش	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۹۷	
مرحله آزمایش	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۹۷	۷
مرحله آموزش	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۹۴	
مرحله آزمایش	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۹۴	۸
مرحله آموزش	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۹۲	
مرحله آزمایش	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۹۲	۹
مرحله آموزش	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۹۸	
مرحله آزمایش	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۹۸	۱۰

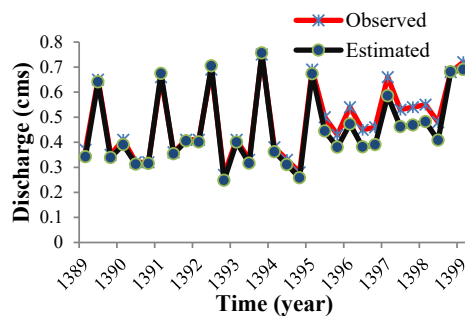
۲ ساختارها به همراه نتایج حاصل از آن‌ها ارائه گردید. در همین راستا برای بررسی دقیق تر مدل و همچنین مقایسه رویدادها با هم، از معیار های ارزیابی جذر میانگین مربع خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. بررسی معیار های خطا در جدول ۲ در برآورد دبی اوج جریان نشان می‌دهد که خطای کاملاً محدودی در برآورد مقادیر متناظر با دبی مشاهداتی توسط مدل در رویدادهای مورد بررسی در این مطالعه وجود دارد. که در دو رویداد از ۱۰ رویداد مورد بررسی مقادیر متناظر دبی محاسباتی کمی کمتر از دبی مشاهداتی بوده است که در این مورد حجم پیش بینی شده از مقدار مشاهداتی کمتر بوده و مقادیر خطا افزایش پیدا کرده است که می‌توان ناشی از کم بودن تعداد داده‌ها، کاهش تعداد داده های بخش آموزش، کاهش تعداد داده های بخش آزمایش، تغییر تعداد کروموزوم ها و تغییر در تعداد ژن ها در مدل دانست. که درمجموع نشان دهنده رفتار متعادل مدل در این مطالعه است و مقادیر ارائه شده برای این معیار ها در مدل سازی حوضه فاقد آمار کاملاً قابل پذیرش است. در این مطالعه تعداد ۵۰۰ داده در مرحله آموزش و آزمایش به گونه ای انتخاب گردید که کمینه و بیشینه داده ها در مرحله آزمایش وارد گردند. تعداد ژن ها و کروموزوم ها، به منظور اجرای مدل برنامه ریزی بیان ژن، بایستی تعیین گردند. با توجه به مطالعات زکریا (۲۰۱۰) پاسخ بهینه با انتخاب ۲ یا ۳ ژن حاصل می‌گردد. همچنین وی در مطالعاتش نشان داد که بهترین جمعیت، از ۳۰ تا ۵۰ کروموزوم تشکیل می‌شود، (زکریا، ۲۰۱۰). در برنامه ریزی بیان ژن از روابط مختلفی مانند جهش و ترکیب استفاده می‌شود. هدف این روابط، بهسازی تصادفی، داخل کروموزوم های معینی است. در این مدل از ترکیب تک نقطه ای، دو نقطه ای و ژنی استفاده می‌شود. از آنجایی که ترکیب دو نقطه ای قادر است نواحی کدگذاری نشده داخل کروموزوم ها را به مراتب بیش تری روشن و خاموش کند، مطلوبتر است. در این روش پدیده های مختلف با استفاده از مجموعه ای از توابع، معمولاً شامل توابع حسابی، جبری، هندسی و

مثلثاتی و یا توابع تعریف شده توسط کاربر هستند که می‌توانند برای تفسیر مدل مناسب باشند. لذا در پژوهش حاضر، از ۳ ژن و ۳۰ کروموزوم استفاده گردید. به این ترتیب برنامه برای هر ورودی تا زمان رسیدن به تعداد جمعیت مد نظر برابر ۱۰۰۰ انتخاب تا به نتیجه مناسب برسد که در این پژوهش تابع پیوند (+) به دلیل برتری بر دیگر توابع، برگزیده شد (امامقلی زاد، ۲۰۱۵). برای اجرای مدل GEP ساختار های مختلف برای هریک از ترکیب های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۲ ساختار ها به همراه نتایج حاصل از آن ها ارائه گردید. در همین راستا برای بررسی دقیق تر مدل از معیار های ارزیابی جذر میانگین مربع خطا، میانگین خطای مطلق و ضریب تبیین استفاده شد.

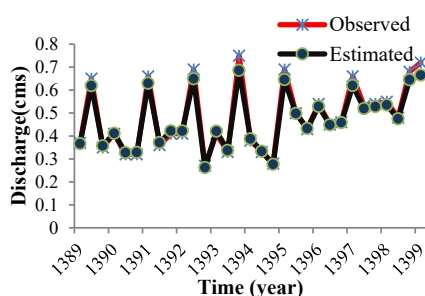
در شکل ۳ و ۴ نمونه ای از خروجی های کل بدست آمده از شبیه سازی دبی سیلاب با مقادیر مشاهداتی است. که نتایج نشان داد که با توجه به تابع های جذر میانگین مربع خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب تبیین (R^2) تحلیل و بررسی هریک از معیار ها، نشان از نتایج عالی و قوی ارائه شده مدل برنامه ریزی بیان ژن است. که موید توانایی این مدل به عنوان یک ابزار مناسب و کارآمد جهت شبیه سازی و تخمین دبی جریان رودخانه می باشد. همچنین یکی دیگر از توانمندی های GEP مقایسه و ادغام با دیگر روش های هوشمند و توانایی برقراری رابطه ضمنی بین پارامتر های ورودی و خروجی مدل است. به بیان دیگر برنامه ریزی بیان ژن قادر به ارائه معادلات تقریبی موجود و ساختار درختی بهینه می باشد که این ویژگی، آن را از سایر مدل های دیگر نظیر شبکه عصبی و مصنوعی متمایز می‌سازد. ساختار درختی کمک می‌کند که در هر مرحله جمعیت اولیه به صورت ساختار خطی ساده بیان شود و تمام تغییرات تنها بر روی ساختارهای ساده انجام گیرد، در نتیجه نیازی به ساختارهای نسبتاً پیچیده برای گسترش در هر مرحله نخواهد بود. ساختار درختی بکار برده شده در این پژوهش به عنوان نمونه ارائه می‌گردد. برای بررسی مدل مذکور تعداد ده رویداد از بازه



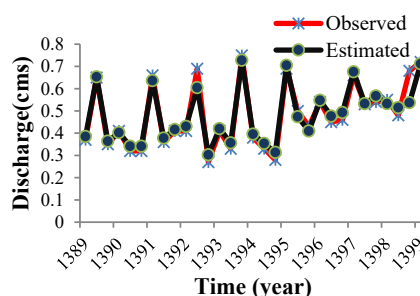
ترکیب (۲)



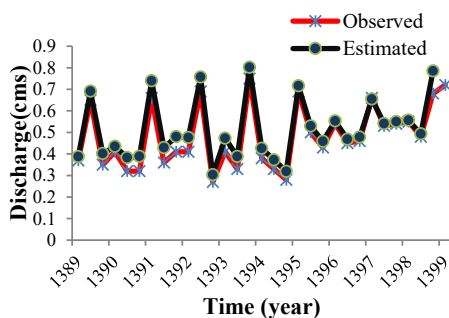
ترکیب (۱)



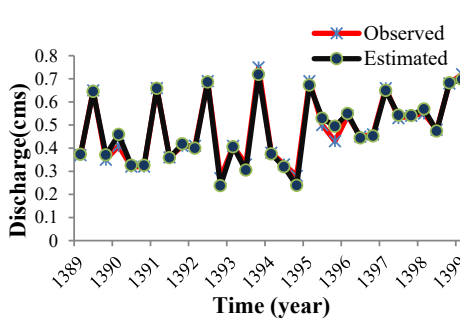
ترکیب (۴)



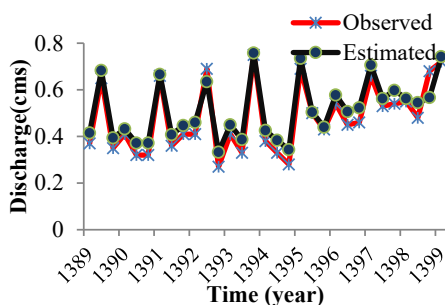
ترکیب (۳)



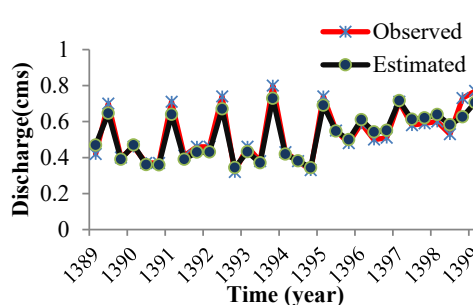
ترکیب (۶)



ترکیب (۵)

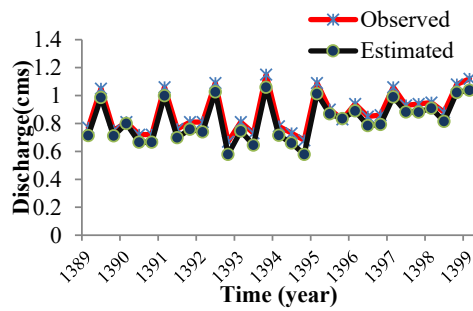


ترکیب (۸)

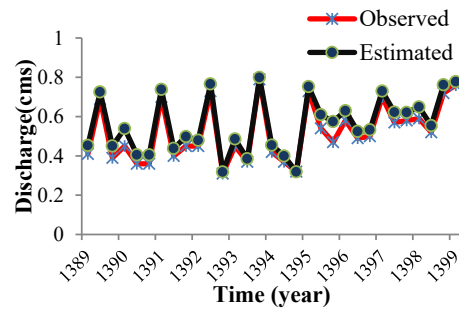


ترکیب (۷)

شکل ۳. مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی دبی جریان سیلاب در مدل GEP

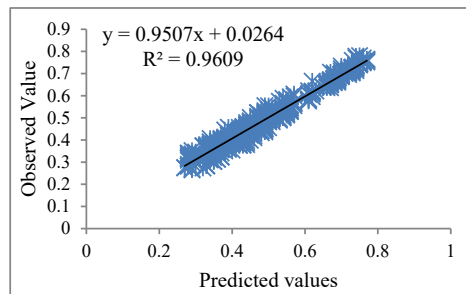


ترکیب (۱۰)

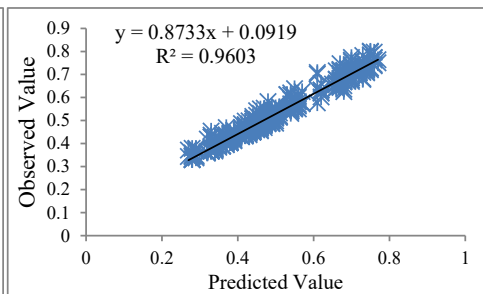


ترکیب (۹)

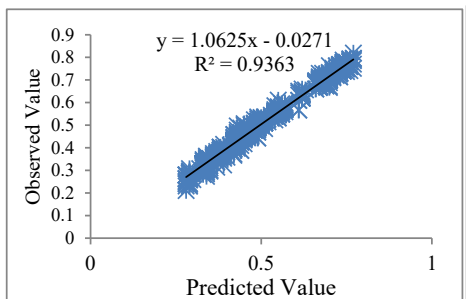
ادامه شکل ۳. مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی دبی جریان سیلاب در مدل GEP



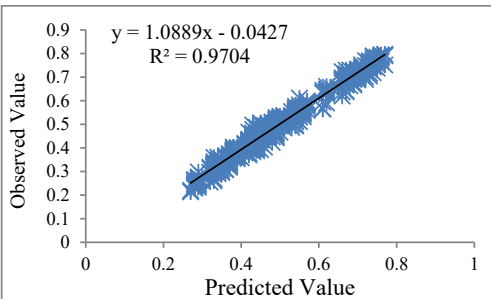
ترکیب (۲)



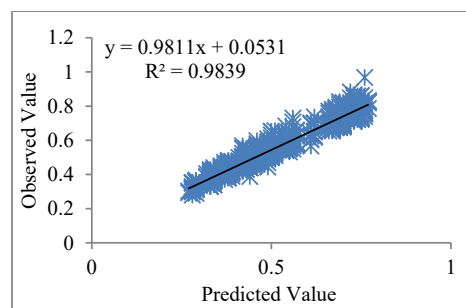
ترکیب (۱)



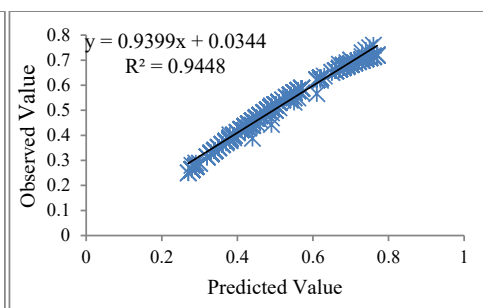
ترکیب (۴)



ترکیب (۳)

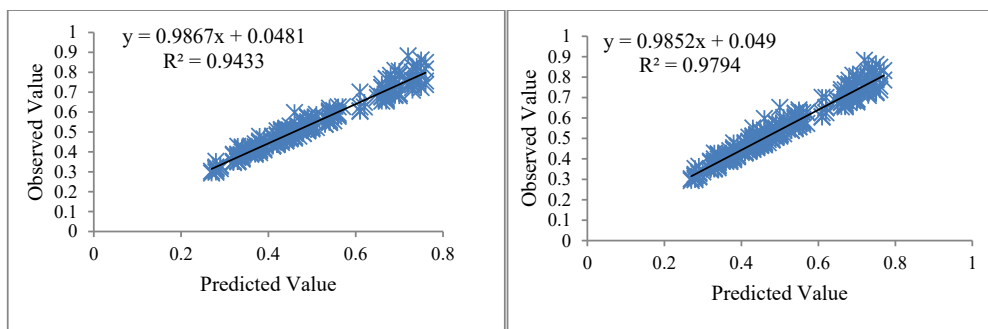


ترکیب (۶)



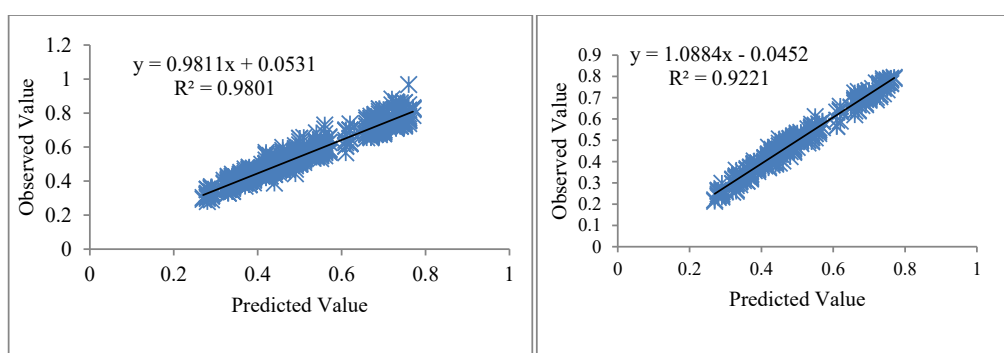
ترکیب (۵)

شکل ۴. مقادیر R^2 محاسباتی دبی جریان سیلاب در مدل GEP



ترکیب (۸)

ترکیب (۷)



ترکیب (۱۰)

ترکیب (۹)

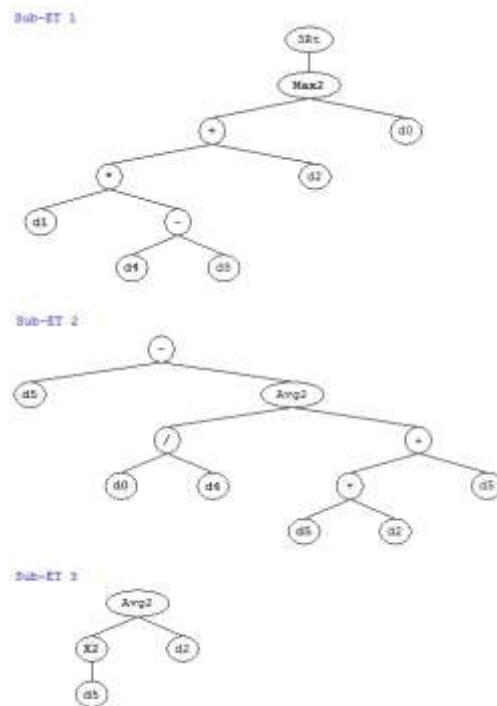
ادامه شکل ۴. مقادیر R^2 محاسباتی دبی جریان سیلاب در مدل GEP

شکل ۶ ارائه گردیده است. در شکل ۶ عبارات مورد استفاده در شکل به صورت Rainfall: مقدار بارندگی ثبت شده، ERH: مقدار بارش مازاد محاسبه شده با استفاده از روش $\emptyset$ ، Base Flow: دبی پایه جداسازی شده از رواناب، Gray Model + Base Flow: هیدروگراف سیلاب برآورد شده با استفاده از مدل گری در ترکیب با جریان پایه، Gamma Model + Base Flow: هیدروگراف سیلاب برآورد شده با استفاده از مدل گاما در ترکیب با جریان پایه، Observed Hydrograph: هیدروگراف مشاهده ای سیلاب می باشد.

همانطور که از شکل ۶ به روشنی پیداست، برای تداوم های مختلف بارندگی، مقادیر زمان پایه هیدروگراف، دبی اوج، و زمان رسیدن به اوج هیدروگراف متغیر بوده، به طوریکه هر چه تداوم بارندگی بیشتر می شود، زمان پایه هیدروگراف بیشتر، دبی اوج هیدروگراف کمتر و زمان

زمانی (۱۳۸۹ الی ۱۳۹۹) انتخاب شد. به منظور برآورد دبی جریان سیلاب از مدل بیان ژن استفاده گردید. با استفاده از روش جداسازی و برآورد رواناب، از روش خط مستقیم جهت جدا سازی دبی پایه رودخانه و تعیین بارش مازاد، وقایع انتخابی از روش $\emptyset$ به عنوان روشی مناسب جهت مدل سازی کردن هیدروگراف واحد Gray و Gamma استفاده شد، که در آخر با تعیین پارامترهای مدل هیدروگراف های مصنوعی گری و گاما برای وقایع انتخابی هیدروگراف حاصل گردید. اطلاعات مربوط به رخداد های بارش- رواناب مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۳ ارائه گردیده است.

با توجه به نتایج خروجی مدل برنامه ریزی بیان ژن در پیش بینی مقادیر دبی سیلاب، مقایسه گرافیکی مابین هیدروگراف های برآورد شده توسط دو مدل هیدروگراف واحد مصنوعی گری و گاما با هیدروگراف مشاهداتی در



شکل ۵. نمودار درختی برنامه ریزی بیان ژن

جدول ۳. مشخصه های رویداد های بارش- رواناب مورد استفاده در حوضه آبریز قره سو

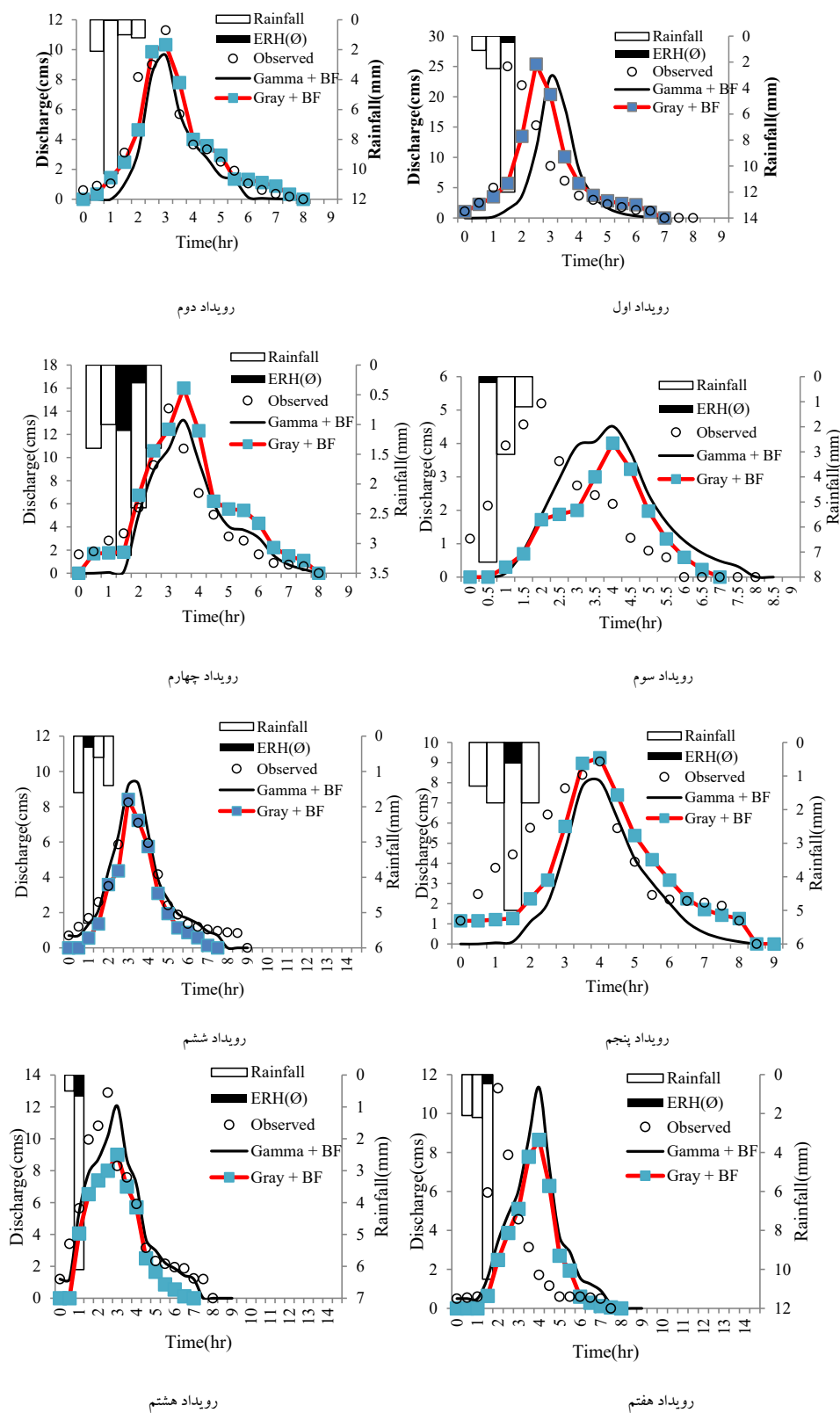
شخص $\emptyset$	تلفات بارش (mm)	تاریخ رویداد	رویداد	شخص $\emptyset$	تلفات بارش (mm)	تاریخ رویداد	رویداد
۰/۳۳	۸/۹	۱۳۹۵/۲/۱۰	۶	۰/۵	۱۵/۶	۱۳۸۹/۰۲/۰۸	۱
۰/۴۶	۱۴/۸	۱۳۹۶/۱۱/۱۱	۷	۰/۱	۱۴/۶	۱۳۹۰/۰۱/۲۹	۲
۰/۶۷	۶/۷	۱۳۹۷/۰۱/۱۶	۸	۰/۲۵	۱۱/۷	۱۳۹۲/۱۰/۱۳	۳
۰/۴	۱۱/۹	۱۳۹۸/۰۹/۲۲	۹	۱/۴۲	۹/۴	۱۳۹۳/۰۹/۱۶	۴
۰/۲۲	۹/۱	۱۳۹۹/۱۰/۱۸	۱۰	۰/۶۲	۹/۹	۱۳۹۴/۰۷/۲۰	۵

کارایی مدل ها از روش امتیاز دهی و رتبه بندی کردن خطاها پرداخته شده است. بدین صورت به منظور تعیین بهترین مدل در برآورد معیارهای اندازه گیری در بین دو مدل بهترین برآورد خطا را امتیاز ۲ و ضعیف ترین برآورد خطا را امتیاز ۱ داده شده است. با امتیازبندی تمام خطاها در وقایع انتخابی جدول ۵ حاصل شد.

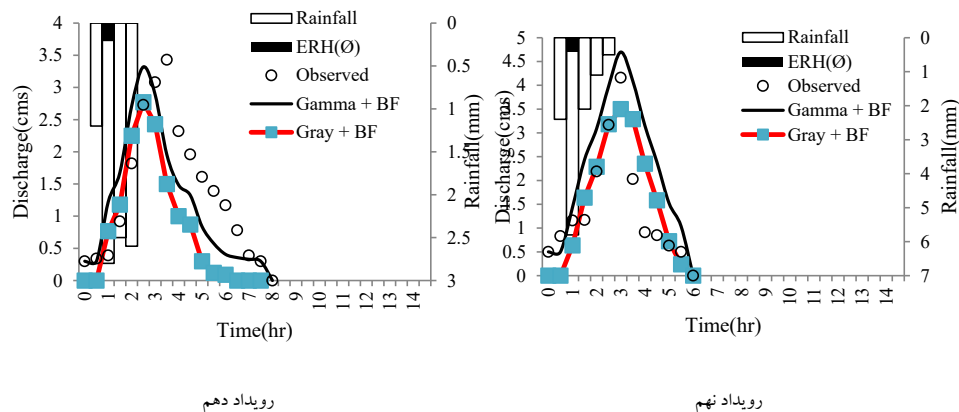
در تحلیل رویدادها ابتدا به بررسی توام معیارهای RMSE، MAE و R^2 که پارامترهایی جهت تعیین کارایی مدل در شکل هیدروگراف سیلاب هستند که بر روی شکل هیدروگراف تاثیر دارند، مشاهده می شود که

رسیدن به نقطه اوج هیدروگراف نیز بیشتر می گردد. زمان تمرکز و زمان تأخیر حوضه مستقل از تداوم بارندگی بوده و برای هر بارش، ثابت می ماند. همچنین در شکل ۶ بیانگر آن است که در اکثر رویدادهای مورد بررسی شکل هیدروگراف برآورد شده توسط مدل هیدروگراف واحد مصنوعی گاما نسبت به هیدروگراف گری در تطابق کاملاً مناسب تری با هیدروگراف سیلاب مشاهداتی قرار دارد. بعلاوه معیارهای دقت شبیه سازی در رویدادهای مختلف در جدول ۴ ارائه شده است.

در بررسی اشکال و جداول فوق به منظور تعیین بهتر



شکل ۶: هیدروگراف های مشاهداتی و شبیه سازی شده برای رویداد اول تا دهم



ادامه شکل ۶: هیدروگراف های مشاهداتی و شبیه سازی شده برای رویداد اول تا دهم

جدول ۴. معیارهای خطاها برای شبیه سازی رویدادهای مورد بررسی

Gray						Gamma					
PETP	PEV	PEP	R ²	RMSE	MAE	PETP	PEV	PEP	R ²	RMSE	MAE
۰	۱۸/۸	-۱۲	۰/۸۸	۱/۸۹	۲/۴۴	۳۷/۵	۱۰/۷۶	۲/۳۲	۰/۹۱	۱/۵۵	۱/۰۳
۵۰	۸/۷۶	۲۲/۷	۰/۸۱	۳	۱/۴۵	۵۰	۱۲/۶	۹/۵۰	۰/۹۰	۳/۲۰	۰/۶۴
۵۰	-۳۳/۸	۱۸/۴	۰/۸۳	۱/۹۰	۱/۷۵	-۱۰۰	۲۰/۰۹	-۸/۹۰	۰/۹۰	۱/۳۳	۰/۸۱
۳۳/۳	۲۰	۱۷	۰/۸۵	۳/۰۵	۲/۹۵	۵۰	-۲۴/۱	-۴/۳۵	۰/۸۸	۱/۰۵	۰/۷۰
-۱۰۰	-۲۲	-۱۶/۷	۰/۸۶	۰/۹۰	۱/۵۴	۵۰	۱۴	-۲	۰/۸۹	۱/۸۷	۱/۲۸
-۱۰۰	-۱۶	-۲۳	۰/۸۲	۰/۹۵	۱/۱۸	۷۵	-۷/۲۰	-۱۲/۸	۰/۸۷	۱/۰۳	۰/۴۲
۰	۸/۲۰	-۱۴	۰/۸۰	۱/۸۲	۱/۸۸	-۵۰	-۲۷/۶	-۰/۳۵	۰/۹۱	۲/۲۹	۱/۶۶
۵۰	۹/۴۱	۱۳	۰/۸۰	۳	۱/۲۲	۰	۴/۷۴	۶/۵۱	۰/۹۴	۱/۵۳	۰/۹۱
۳۰	-۳۹/۸	۱۸/۳	۰/۸۶	۱/۶۷	۲/۴۰	-۵۰	-۴۰/۱	-۱۲/۹	۰/۸۸	۲/۸	۰/۸۴
۵۰	۲۲	۱۸	۰/۸۹	۱/۰۹	۲/۲۲	-۱۰۰	۱۳	۳/۲۰	۰/۹۰	۲/۵	۰/۶۹

دقت در برآورد حجم سیلاب بوده است. بررسی معیار خطا در برآورد حجم سیلاب نیز بیانگر آن است که رفتار مدل هیدروگراف واحد مصنوعی گاما در بیش برآوردی و کم برآوردی حجم سیلاب در رویدادهای مورد بررسی نسبتاً متعادل است. البته باید به این نکته توجه داشت که مقادیر ارائه شده برای این معیار در مدل سازی حوضه فاقد آمار کاملاً قابل پذیرش است.

زمان رسیدن به دبی اوج PETP مقدار تخمین حدوداً یکسان بوده و هر دو مدل دقت خوبی را در برآورد زمان دبی اوج داشته اند. در مجموع با بررسی توام همه معیارهای ارزیابی، بهترین نتیجه در جهت افزایش دقت مدل Gamma است با امتیاز ۱۰۷ از کارایی بالاتری در جهت افزایش دقت شبیه سازی برخوردار بوده است. معیار

مدل Gamma با بالاترین امتیاز بهترین نتیجه را در برآورد شکل هیدروگراف محاسباتی داشته است. بررسی معیار PEP نشان می دهد که در بین ده رویداد مورد بررسی جداسازی دبی پایه مدل Gamma با امتیاز ۲۰ در اولویت اول قرار می گیرد. بررسی معیار خطا در برآورد دبی اوج نشان می دهد که به طور نسبتاً مساوی مدل هیدروگراف واحد مصنوعی گاما در برخی رویدادها به کم برآوردی و در برخی رویدادها به بیش برآوردی دبی اوج هیدروگراف سیلاب منجر شده است. البته با توجه به اعداد ارائه شده برای این معیار در جدول ۴ مقدار خطا در این زمینه کاملاً محدود می باشد. در مورد برآورد حجم سیلاب با در نظر گرفتن معیار (PEV)، مشاهده شد که مدل گاما با ۱۷ امتیاز منجر به بهترین

جدول ۵. امتیازبندی معیار های خطا برای رویدادها

	Gamma						Gray					
	PETP	PEV	PEP	R ²	RMSE	MAE	PETP	PEV	PEP	R ²	RMSE	MAE
رویداد اول	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۱
رویداد دوم	۲	۱	۲	۲	۱	۲	۲	۲	۱	۱	۲	۱
رویداد سوم	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۱
رویداد چهارم	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
رویداد پنجم	۲	۲	۲	۲	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۲	۱
رویداد ششم	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
رویداد هفتم	۱	۱	۲	۲	۱	۲	۲	۲	۱	۱	۲	۱
رویداد هشتم	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
رویداد نهم	۱	۱	۲	۲	۱	۲	۲	۲	۱	۱	۲	۱
رویداد دهم	۱	۲	۲	۲	۱	۲	۲	۱	۱	۱	۲	۱
جمع	۱۵	۱۷	۲۰	۲۰	۱۵	۲۰	۱۶	۱۳	۱۰	۱۰	۱۵	۱۰

پیش بینی دبی سیلاب رودخانه با استفاده از مدل بیان ژن و برآورد هیدروگراف واحد مصنوعی آن با استفاده از دو مدل گری و گاما در حوضه فاقد آمار می باشد. از ویژگی مدل توسعه داده شده اینست که با استفاده از داده های محدود می تواند برای برآورد هیدروگراف سیلاب مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش از ده رویداد بارش-رواناب برای مدل سازی کردن جریان سیلاب در حوضه آبریز قره سو در استان کرمانشاه استفاده شد. معیارهای ارزیابی شبیه سازی سیلاب در دو رویکرد مورد توجه قرار گرفت. در رویکرد اول $MAE, R^2, RMSE$ برای ارزیابی دقت شکل هیدروگراف و در رویکرد دوم معیارهای $PETP, PEV, PEP$ به ترتیب برای ارزیابی دقت شبیه سازی دبی اوج، حجم جریان و زمان رسیدن به دبی اوج مورد استفاده قرار گرفت. با بررسی معیارهای ارزیابی از روش امتیاز دهی، نتایج نشان داد که با ترکیب مدل برنامه ریزی بیان ژن با هیدروگراف های واحد مصنوعی گاما دقت مدل برازش یافته افزایش یافته است و مدل توسعه داده شده توانسته است به عنوان ابزار مناسبی برای مدل سازی و پیش بینی جریان حاصل گردد که می توان در کارهای مشابه مربوط به پیش بینی جریان رودخانه، از این روش استفاده نمود زیرا که این ابزارها باعث افزایش عملکرد و دقت تر شدن مدل در مدل سازی و پیش بینی می شوند. همچنین مدل هیدروگراف واحد

میانگین قدر مطلق خطا نشان می دهد که به طور متوسط خطای محدودی در برآورد مقادیر متناظر با هیدروگراف سیلاب مشاهداتی توسط مدل هیدروگراف واحد مصنوعی گری در رویدادهای مورد بررسی در این مطالعه وجود دارد. همچنین معیارهای متوسط جذر میانگین مربع خطاها و ضریب تبیین بیانگر دقت سیلاب است که هر دو این معیارها در رویدادهای مختلف نشان دهنده دقت کامل و مناسب مدل هیدروگراف واحد مصنوعی گاما برای برآورد هیدروگراف سیلاب در رویدادهای مورد بررسی در حوضه آبریز قره سو است.

با ارزیابی نتایج باید در نظر داشت که کاربرد هر مدل می تواند منجر به تاثیرات متنوعی بر روی برآورد مشخصه های رواناب سیلاب مانند شکل هیدروگراف رواناب سیلاب، دبی اوج، زمان دبی اوج و نیز حجم سیلاب گردد. بر این اساس با در نظر گرفتن هر شش معیار مورد استفاده شده برای بررسی دقت مدل، تلاش گردید تا در مجموع بهترین مدل در تعیین هیدروگراف مصنوعی در برآورد سیلاب مشخص شود.

جمع بندی

براساس مطالعات انجام شده و با توجه به نیاز کشور مبنی بر استفاده از مدل های هیدرولوژیکی ساده و مناسب جهت پیش بینی سیلاب، هدف از این پژوهش

- of soil cation exchange capacity using Genetic Expression Programming (GEP) and Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS)", *Journal of Hydrology*, 529, 1590-1600.
- Ferreira, C., 2001. Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems. *arXiv preprint cs/0102027*.
- Janizadeh, S. and Vafakhah, M., 2021. Flood hydrograph modeling using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system based on rainfall components. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(5), pp.1-14.
- Jha, M. K., & Sahoo, S. 2015. Efficacy of neural network and genetic algorithm techniques in simulating spatio-temporal fluctuations of groundwater. *Hydrological processes*, 29(5), 671-691.
- Karimi, S., Shiri, J., Kisi, O., & Shiri, A. A. 2016. Short-term and long-term streamflow prediction by using 'wavelet-gene expression' programming approach. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 22(2), 148-162.
- Mosavi, A., Ozturk, P. and Chau, K.W., 2018. Flood Prediction Using Machine Learning, Literature Review. *neural network approach. Mathematical and Computer Modelling*. 40: 7-8. 839-846.
- Onen, F. and Bagatur, T., 2017. Prediction of flood frequency factor for Gumbel distribution using regression and GEP model. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42(9), pp.3895-3906.
- Pashazadeh, A. and Javan, M., 2020. Comparison of the gene expression programming, artificial neural network (ANN), and equivalent Muskingum inflow models in the flood routing of multiple branched rivers. *Theoretical and Applied Climatology*, 139(3), pp.1349-1362.
- Radmanesh, F., Golabi, M. R., Khodabakhshi, F., Farzi, S., & Zeinali, M. 2020. Modeling aquifer hydrograph: performance review of conceptual MODFLOW and simulator models. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(5), 9.
- Riad, S., Mania, J., Bouchaou, L., and Najjar, Y. 2004. Rainfall-runoff model usingan artificial Salarijazi, M., Ghorbani, K., & Abodolhosseini, M. 2017. EStimation of Surface Runoff Hydrograph in Ungauged Basin without Land Cover and Land Use Data. *Irrigation and Water Engineering*, 7(2), 46-61.
- Sharifi, A., Salarijazi, M., & Ghorbani, K. 2017. Event-Oriented Runoff EStimation in Mountainous Basin by GSSHA Physically-Distributed Model. *Iranian journal of Ecohydrology*, 4(4), 1215-1225.
- Shiri, J., & Kişİ, Ö. 2011. Comparison of genetic programming with neuro-fuzzy systems مصنوعی گاما نسبت به مدل گری به شکل کاملاً مناسب و دقیق تری منجر به برآورد مشخصه های جریان و شکل هیدروگراف جریان سیلاب در حوضه آبریز مورد مطالعه گردید که بررسی مدل گاما در مدل سازی کردن سیلاب در سایر حوضه های فاقد آمار پیشنهاد می گردد.
- ### مراجع
- زینعلی، م.، گلایی، م.ر.، نیک سخن، م. ح. و آذری، آ.، ۱۳۹۷. بررسی عملکرد مدل مفهومی مادفلو و فرا مدل شبیه ساز بیان ژن در مدل سازی هیدروگراف معرف آبخوان (مطالعه موردی: دشت لور-اندیمشک)، *مجله هیدروژئولوژی*، سال سوم، شماره ۲، صفحات ۳۳ تا ۴۵.
- سلگی، ا.، زارعی، ج. و گلایی، م. ر.، ۱۳۹۷. بررسی عملکرد مدل برنامه ریزی بیان ژن با روش های پیش پردازش داده ها جهت مدل سازی جریان رودخانه، *مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک*، دوره ۲۴، شماره ۲، صفحات ۱۸۵ تا ۲۰۱.
- قبادیان، ر.، قربانی، م. ع. و خلج، م.، ۱۳۹۲. بررسی عملکرد روش برنامه ریزی بیان ژن در روندیابی سیلاب رودخانه زنگمار در مقایسه با روش موج دینامیکی، *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، جلد ۲۷، شماره ۳، صفحات ۵۹۲-۶۰۲.
- Acanal, N. 2021. Snyder-gamma synthetic unit hydrograph. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(4), 1-12.
- Adib, A., Salarijazi, M. and Najafpour, K., 2010. Evaluation of synthetic outlet runoff assessment models. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 14(3).
- Adib, A., Salarijazi, M., Shoostari, M.M. and Akhondali, A.M., 2011. Comparison between characteristics of geomorphoclimatic instantaneous unit hydrograph be produced by GcIUH based Clark Model and Clark IUH model. *Journal of Marine Science and Technology*, 19(2), pp.201-209.
- Aron, G., Wall, D. J., White, E. L., & Dunn, C. N. (1987). Regional Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curves For Pennsylvania 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 23(3), 479-485.
- Aytek A. and Kisi O. 2008. A genetic programming approach to suspended sediment modeling. *Journal of Hydrology* 351: 288-298
- Bahrami, E., Mohammadrezapour, O., Salarijazi, M., & Jou, P. H. 2019. Effect of base flow and rainfall excess separation on runoff hydrograph estimation using gamma model (case study: Jong catchment). *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23(3), 1420-1426.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. and Larry, W., 1988. Mays. *Applied Hydrology. International edition, MacGraw-Hill, Inc*, 149.
- Emamgholizadeh, S., Bateni, S.M., Shahsavani, D., Ashrafi, T., Ghorbani, H., 2015. "EStimation

- Wartalska, K., Kaźmierczak, B., Nowakowska, M., & Kotowski, A. 2020. Analysis of Hyetographs for Drainage System Modeling. *Water*, 12(1), 149.
- Zakaria, N.A., Azamathulla, H.Md., Chang, Ch.K., Ab.Ghani, A. 2010. "Gene Expression Programming for Total Bed Material Load estimation-a case study", *Science of the Total Environment*, 408, 5078-5085.
- Zhang, C., Ji, C., Wang, Y. and Xiao, Q., 2021. Flood Hydrograph Coincidence Analysis of the Upper Yangtze River and Dongting Lake, China.

- for predicting short-term water table depth fluctuations. *Computers & Geosciences*, 37(10), 1692-1701.
- Shoaib, M., Shamseldin, A.Y., Melville, B.W Khan, M.M. 2015. Runoff Forecasting using HybridWavelet Gene Expression Programming(WGEP) Approach. *Journal of Hydrology* 527 326-344.
- Unsal, M. and Yagci, A.E., 2020. Assessment Of Gfenetic Programing For Estimating RainfallRunoff Hydrographical Events. *feb Fresenius Environmental Buletin*, p.2778.

Predicting Flood Flow with Gene Expression Model and Estimating Hydrograph Using Gary and Gamma Models (Case study: Qarasu watershed of Kermanshah)

Erfan Bahrami^{1,*}, hossein khozaymehnezhad²

¹ Ph.D. Student of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Iran

² Associate Professor of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Iran

*Corresponding Author Email: erfanbahrami9366@gmail.com

Received: 15 June 2020, accepted: 12 September 2020

ABSTRACT

Good performance of intelligent models has increased their use in predicting different hydrological phenomena. so it is necessary to evaluate the performance of models developed in different regions of the world with different climatic, hydrological and physiographic features in order to comment on their performance in different regions. Hence, to predict the flood discharge of the basin, the data of the region have been collected for a period of 10 years with the length of the statistical period (2010-2020) using the intelligent model of gene expression planning. After analyzing the model's evaluation criteria, the results showed the good and high performance of the model in predicting flood discharge. Using both synthetic hydrograph Gary and Gamma models, the significant runoff parameters PEP (flood peak discharge error), PETP (Time to reach flood peak discharge error), and PEV (flow volume error) and three criteria (Root mean square error, mean absolute error and determination of coefficient) were evaluated to determine the shape of the flood hydrograph. Also, using the scoring and ranking method for each of the errors and the best model in estimating each of the flood characteristics was determined. based on the results, the values of the expressed domains for the gamma model are (9.50, -12.9), (20.09, -40.1), (75, -100), (0.42, 1.66), (3.20, 1.03) and (0.94, 0.87) The results showed the superiority of the gamma model Gary model and the selected model was able to appropriately estimate the characteristics of the flood hydrograph. It is also recommended to study this model in flood modeling in other ungauged watershed.

Keywords: ungauged watershed, Unit hydrograph, Flow modeling, GEP, Runoff rainfall.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Bahrami, E.; khozaymehnezhad, H. (2020). Predicting Flood Flow with Gene Expression Model and Estimating Hydrograph Using Gary and Gamma Models (Case study: Qarasu watershed of Kermanshah). *Sci.*, 3(3): 275-293

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

