

کاربرد الگوریتم‌های هوشمند در واسنجی پارامترهای توابع توزیع احتمال جهت تهیه هیدروگراف واحد

صادق صادقی طیس*^۱، ابوالفضل اکبرپور^۲، محسن پوررضا بیلندی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۸/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۲۴

چکیده

هیدروگراف واحد یکی از متداول‌ترین توابعی است که برای تبدیل بارش به رواناب استفاده می‌شود. از هیدروگراف واحد برای تعیین سیلاب ناشی از رگبارهایی با تداوم و شدت‌های مختلف استفاده می‌شود. هدف از این تحقیق کاربرد الگوریتم‌های هوشمند بهینه‌سازی ازدحام ذرات، تکامل تصادفی جوامع، ترکیب الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات و جهش ترکیبی قورباغه در ارائه یک مدل بهینه تهیه هیدروگراف واحد با استفاده از توابع توزیع احتمال است. برای این منظور، از توابع توزیع احتمال لوگ نرمال، گاما و معکوس گاوس در حوضه آبریز کامه استفاده شد. در این مدل تابع هدف، حداقل کردن مجموع مربعات اختلاف بین هیدروگراف‌های رواناب سطحی مشاهده شده و پیش‌بینی شده در واحد سطح حوضه آبریز است. هیدروگراف رواناب محاسبه شده، با استفاده از مدل پیشنهادی توسط توابع توزیع احتمال فوق تخمین زده شد. با توجه به مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی (R^2) و ضریب ناش-ساتکلیف (NS) به ترتیب برابر ۰/۰۶، ۰/۹۶ و ۰/۹۶، تابع توزیع لوگ نرمال کارایی بهتری نسبت به سایر توابع توزیع در شکل هیدروگراف بهینه داشت. این تابع توزیع در محاسبه دبی اوج، عملکرد خوبی داشت. به طوری که دبی اوج محاسبه شده تقریباً نزدیک به دبی اوج رواناب مشاهده شده بود. همچنین با توجه به نتایج سایر توابع توزیع احتمال مورد استفاده مشاهده گردید الگوریتم‌های هوشمند ازدحام ذرات و ژنتیک نتایج بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها در واسنجی توابع توزیع احتمال نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، تابع توزیع گاما، تابع توزیع لوگ-نرمال، تابع توزیع معکوس گاوس، هیدروگراف رواناب

مقدمه

استفاده می‌شود که در آن تغییرات مکانی بارش لحاظ نمی‌گردد در حالی که در مدل‌های فیزیکی این تغییرات اعمال می‌شود. در مدل‌های یکپارچه جهت تبدیل بارش به رواناب مستقیم نیاز به یک تابع ریاضی می‌باشد. هیدروگراف واحد یکی از متداول‌ترین توابعی است که برای تبدیل بارش به رواناب استفاده می‌شود و به عنوان تابع پاسخ یک واحد بارش مؤثر در یک سیستم خطی تعریف می‌گردد. هیدروگراف واحد به کمک اصول اساسی حاکم بر سیستم خطی، که همان اصل انطباق و جمع پذیری است، بارش مؤثر را به رواناب مستقیم تبدیل می‌کند.

فرضیات تئوری هیدروگراف واحد به قرار زیر توصیف می‌گردد (نجفی، ۱۳۸۱):

مدت رواناب سطحی همه رگبارهای دارای شدت یکنواخت و طول یکسان برای یک حوضه بدون توجه به تفاوت کل حجم رواناب سطحی آن‌ها ثابت است.

اگر در یک حوضه دو رگبار با شدت بارندگی یکنواخت و تداوم یکسان موجب دو حجم متفاوت رواناب گردند، پس شدت رواناب سطحی دو رگبار در زمان‌های t بعد از شروع دو رگبار نسبتی مساوی از نسبت کل احجام رواناب دو رگبار دارند.

تحلیل هیدروگراف، بخش عمده‌ای از عملیات هیدرولوژی سیل را به خود اختصاص داده است. به طور خلاصه می‌توان گفت، هیدروگراف نموداری است که در آن رفتار حوضه در مقابل بارندگی تصویر می‌گردد، لذا می‌توان از آن برای مجسم کردن وضعیت سیل‌هایی که در آینده اتفاق خواهد افتاد، استفاده نمود. یکی از هدف‌های عمده در هیدرولوژی مهندسی به کمیت درآوردن هیدروگراف است (Bender and Roberson, 1961)

برآورد رواناب مستقیم یک بارش معین یکی از مهم‌ترین مسائل هیدرولوژی بوده که از دیرباز مورد توجه هیدرولوژیست‌ها بوده است. رواناب مستقیم می‌تواند با دو نگرش سیستمی و فیزیکی برآورد شود. در نگرش سیستمی مدل بارش-رواناب، از یک مدل یکپارچه^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه بیرجند

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

* نویسنده مسئول: (Email: sadeghitabas@yahoo.com)

(H-GA&PSO^۴) و جهش ترکیبی قورباغه (SFLA^۵) از این دسته از روش‌های بهینه‌سازی می‌باشند که تاکنون در بسیاری از تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از جمله می‌توان به تحقیقات فن و همکاران، اشاره کرد که روش سیمپلکس NM^۶ را با الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات به ترتیب ترکیب کردند (Fan et al., 2006). کائو و زاهارا، یک ترکیب از الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات را برای تابع چند نمایی به کار بردند (Kao and Zahara, 2008). در این الگوریتم از الگوریتم ژنتیک شناور ارائه شده توسط ونگ و همکاران، استفاده گردید که در آن مکانیزم جهش با الگوریتم ازدحام ذرات تعیین می‌شد (Wang and Qiu, 2005). الگوریتم جهش ترکیبی قورباغه برای اولین بار در منابع آب توسط یوسف و لنسی، مورد استفاده قرار گرفت (Eusuff and Lansey, 2003). آن‌ها از این روش جهت تعیین قطر بهینه لوله‌ها در طراحی و توسعه شبکه توزیع آب شهری استفاده کردند و سپس مدل کامپیوتری اسفلنت^۷ را بر اساس این الگوریتم ارائه دادند. در این مدل از ابزار شبیه‌سازی اپنت^۸ به صورت ترکیب با مدل بهینه‌سازی الگوریتم جهش ترکیبی قورباغه استفاده شد. نتایج حاصل با نتایج روش‌های مختلف (بهینه‌سازی خطی، الگوریتم ژنتیک و غیره) مقایسه شد و نشان داد که سرعت همگرایی و عملکرد این الگوریتم نسبت به سایر روش‌ها بهتر بود. یوسف، با توسعه این الگوریتم، از آن برای حل مسایل بهینه‌سازی ترکیبی استفاده کرد و نیز آن را برای کالیبره کردن مدل آب‌های زیرزمینی و طراحی شبکه توزیع آب به کار برد (Eusuff, 2006). قادری و همکاران، واسنجی اتوماتیک یک مدل بارش-رواناب را با استفاده از الگوریتم تکامل تصادفی جوامع انجام دادند (Qaderi et al, 2006). برهانی داریان و فرهمندفر، پارامترهای یک مدل بارش-رواناب را به کمک الگوریتم‌های هوشمند جفت‌گیری زنبور عسل و الگوریتم ژنتیک واسنجی نمودند. و نتایج حاصل از دو روش بهینه‌سازی را با یکدیگر مقایسه کردند (Borhani and Farahmandfar, 2011). هدف از این تحقیق بررسی میزان کارایی الگوریتم‌های هوشمند در واسنجی پارامترهای توابع توزیع احتمال جهت تهیه هیدروگراف واحد حوضه آبریز کامه است. همچنین در این تحقیق مقایسه‌ای بین توابع توزیع احتمال به کار رفته (گاما، لوگ-نرمال، معکوس گاوس) انجام گرفت و تابع توزیع مناسب‌تر تعیین گردید.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

این تحقیق با استفاده از داده‌های حوضه آبریز کامه انجام گردید.

توزیع زمانی رواناب سطحی رگبار، مستقل از رواناب مربوطه به رگبارهای پیشین است.

تعریف هیدروگراف واحد به همراه فرضیات فوق تئوری هیدروگراف واحد نامیده می‌شود. از انواع هیدروگراف‌های واحد می‌توان به هیدروگراف واحد مصنوعی اشنایدر، هیدروگراف واحد SCS، هیدروگراف واحد مصنوعی کلارک و هیدروگراف واحد لحظه ای اشاره نمود.

اولیورا و میدمنت، جهت محاسبه رواناب از هیدروگراف توزیع مکانی استفاده نمودند و نتایج نسبتاً خوبی گرفتند. آن‌ها برای تعیین سرعت موج و ضریب پخشیدگی که در محاسبه هیدروگراف واحد توزیع مکانی نقش دارد از اطلاعات هیدروگراف مشاهداتی استفاده کردند. آن‌ها همچنین فرض عریض بودن کانال‌های جریان را مدنظر قرار دادند (Olivera and Maidment, 1999).

لیو و همکاران جهت محاسبه رواناب از هیدروگراف توزیع مکانی پیشنهاد شده توسط اولیورا و میدمنت (۱۹۹۹) استفاده کردند و نتایج قابل قبولی به دست آوردند. آن‌ها جهت تعیین سرعت جریان برای هر سلول در معادله مانینگ، شعاع هیدرولیکی را از معادله پیشنهادی مولنار و رامیرز به دست آوردند (Molnar and Ramirez, 1998). معادله پیشنهادی شعاع هیدرولیکی را بر اساس اطلاعات ثبت شده از نقاط مختلف حوضه محاسبه می‌کرد (Liu et al, 2003).

محققین مختلف روش‌های متفاوتی را با استفاده از روابط پیچیده برای به دست آوردن هیدروگراف واحد ارائه کرده‌اند که می‌توان به روش‌های تخمین پی‌درپی^۱ (Bruen et al, 1984)، روش حداقل مربعات (Bruen et al, 1984; Singh, 1976)، روش‌های بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی (Prasad et al, 1999; Singh, 1988; Mays and Taur, 1982) اشاره نمود. یکی از ضعف‌های بزرگ در مدل‌های بهینه‌سازی پیشین زمان‌بر بودن حل آن‌ها به دلیل برابر بودن تعداد مجهولات با تعداد مؤلفه‌های هیدروگراف واحد بود. بنابراین این امکان وجود داشت که در پایه‌های زمانی بزرگ‌تر به علت مجهولات زیاد در تخمین هیدروگراف واحد از داده‌های بارش-رواناب دچار مشکل باشند (Nojavan and akbarpour, 2010). با توجه به اشکالات این روش‌ها روشی دیگر برای محاسبه‌ی هیدروگراف واحد ارائه شد که در این روش برای حل مساله از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک استفاده شد (Rajib, 2004). این روش مشکلات روش‌های قبل را حل کرد و در عین حال ساده‌تر بود.

الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO^۲)، تکامل تصادفی جوامع (SCE^۳)، ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و ژنتیک

۴- Hybrid Genetic Algorithm and PSO

۵- Shuffled Frog Leaping Algorithm

۶- Nelder-Mead

۷- SFLANET

۸- EPANET

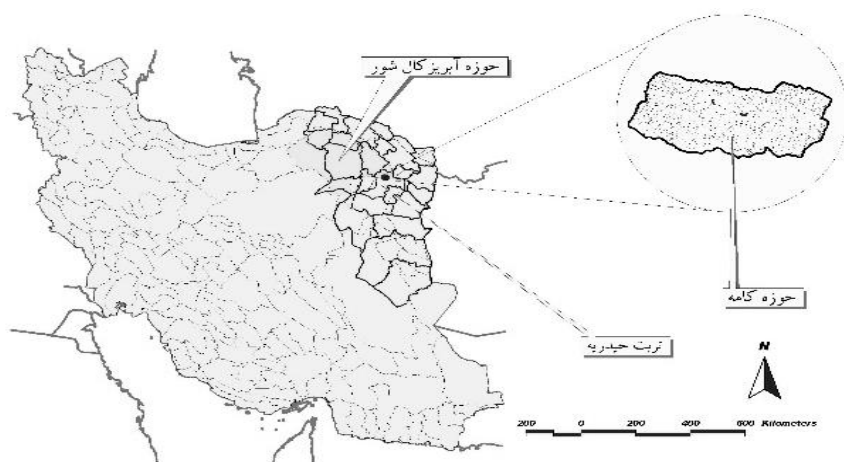
۱- Successive Approximations

۲- Particle Swarm Optimization

۳- Shuffled Complex Evolution

حوضه آبریز کامه یکی از سرشاخه‌های رودخانه کال سالار می‌باشد و در شمال شهرستان تربت حیدریه واقع شده است. این حوضه نمونه حوضه‌های آبریز کوهستانی منطقه میانی خراسان به شمار می‌رود. رودخانه کال سالار زهکش اصلی این حوضه بوده و در امتداد شمال غرب به جنوب شرق جریان دارد و جریانات سطحی را از حوضه خارج می‌نماید. این حوضه در طول جغرافیایی $32^{\circ}05' - 59^{\circ}45'$ تا $35^{\circ}30' - 47^{\circ}30'$ قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع متوسط حوضه $1952/5$ متر از سطح دریا و مساحت حوضه $52/05$ کیلومتر مربع است. این تحقیق برای حادثه بارش - رواناب در تاریخ $1377/12/10$ استفاده شد که در جدول (۱) ارائه گردیده است.

حوضه آبریز کامه یکی از سرشاخه‌های رودخانه کال سالار می‌باشد و در شمال شهرستان تربت حیدریه واقع شده است. این حوضه نمونه حوضه‌های آبریز کوهستانی منطقه میانی خراسان به شمار می‌رود. رودخانه کال سالار زهکش اصلی این حوضه بوده و در امتداد شمال غرب به جنوب شرق جریان دارد و جریانات سطحی را از حوضه خارج می‌نماید. این حوضه در طول جغرافیایی $32^{\circ}05' - 59^{\circ}45'$ تا $35^{\circ}30' - 47^{\circ}30'$ قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع متوسط حوضه $1952/5$ متر از سطح دریا و مساحت حوضه $52/05$ کیلومتر مربع است. این تحقیق برای حادثه بارش - رواناب در تاریخ $1377/12/10$ استفاده شد که در جدول (۱) ارائه گردیده است.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز کامه در ایران (Nojavan and Akbarpour, 2010)

جدول ۱- مشخصات حادثه بارش - رواناب حوضه کامه ($1377/12/10$)

دبی (mm/hr)	مقدار بارش (mm)	زمان (hr)
۰/۰	۰/۰	۰/۰
۰/۰	۲/۰	۰/۵
۰/۰	۱/۰	۱/۰
۰/۱۳۹	۲/۰	۱/۵
۰/۲۲۲	۱/۴	۲/۰
۰/۳۱۵	۱/۶	۲/۵
۰/۴۰۸۱	۱/۶	۳/۰
۰/۵۰۴۲	۴/۰	۳/۵
۰/۶۱۹۷	۲/۰	۴/۰
۰/۷۳۴۵	۲/۸	۴/۵
۰/۸۵۰۷	۲/۴	۵/۰
۰/۸۷۲۸	۰/۴	۵/۵
۰/۸۰۲۳		۶/۰
۰/۶۹۰۹		۶/۵
۰/۵۰۹۰		۷/۰
۰/۴۰۵۹		۷/۵
۰/۲۸۷۰		۸/۰
۰/۱۹۸۵		۸/۵
۰/۱۳۸۳		۹/۰
۰/۱۱۲۰		۹/۵
۰/۰۶۹۲		۱۰/۰
۰/۰۳۴۶		۱۰/۵

موقعیت جدید تعیین می‌شود. در واقع اساس کار الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات بر این اصل استوار است که در هر لحظه هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته است و بهترین مکانی که در کل همسایگی‌اش وجود دارد، تنظیم می‌کند. در محاسبات فوق، برای هر تکرار از الگوریتم با استفاده از مقادیر به‌دست آمده برای متغیرهای تصمیم مسئله، محاسبات مدل شبیه‌سازی صورت گرفته و با تعیین مقادیر بهینه آن‌ها با توجه به مقدار تابع هدف به‌دست آمده، مقادیر جدید متغیرها به‌دست آورده می‌شوند. این روند تا رسیدن به یک تعداد تکرار حداکثر و یا یکسان شدن جواب بهینه عمومی در چندین تکرار متوالی ادامه می‌یابد.

الگوریتم تکامل تصادفی جوامع (SCE)

الگوریتم تکامل تصادفی جوامع یک روش بهینه‌سازی سراسری فراذهنی است که توسط (Duan et al, 1992) ارائه شد و به سرعت به یکی از روش‌های معمول مورد استفاده در مهندسی منابع آب تبدیل شد. بر اساس این روش، یک نمونه‌برداری تصادفی از نقاط برداشت می‌شود و به یک سری جوامع تقسیم بندی می‌گردد. هر کدام از جوامع می‌توانند به تنهایی با استفاده از تکنیک‌های تکامل رقابتی بر اساس روش سیمپلکس گرادیان نزولی به سمت نقطه بهینه سراسری حرکت کنند. در پایان هر مرحله، کل مجموعه نقاط برهم‌زده می‌شود و اطلاعات آن‌ها به اشتراک گذاشته می‌گردد و جوامع جدید را تشکیل می‌دهند. تکمیل تکامل رقابتی و برهم‌زدن، این اطمینان را حاصل می‌کند که اطلاعات مجزای به‌دست آمده توسط هر جامعه با کل جوامع به اشتراک گذاشته شود. این عمل باعث می‌شود که یک جستجوی دقیق و مقاوم در فضای امکان‌پذیر انجام گیرد. بنابراین می‌توان گفت که روش تکامل تصادفی جوامع بر اساس ترکیب چهار مفهوم موفق ترکیبات تصادفی، رویکردهای قطعی دسته‌بندی، تکامل نظام‌گرایی نقاط پخش شده در فضای جوامع و تکامل رقابتی به‌وجود آمده است.

استفاده از روش قطعیت امکان استفاده مناسب از اطلاعات سطوح پاسخ برای هدایت جستجو را در الگوریتم فوق فراهم می‌کند. عناصر تصادفی، انعطاف پذیری الگوریتم را افزایش می‌دهند. انتخاب تصادفی تعداد زیاد نقاط انتخاب شده باعث کامل‌تر شدن جوامع از لحاظ دارا بودن تعداد، موقعیت، اندازه، خصوصیات و نواحی مورد علاقه می‌شود. دسته‌بندی جوامع باعث جهت‌گیری مناسب‌تر جستجو به سمت نواحی است که توسط خصوصیات جوامع قبلی مشخص شده‌اند. استفاده از روش تکامل رقابتی نظام‌گرا در جهت اطمینان از پایداری نسبی جستجو و هدایت آن در جهت ساختار تابع هدف می‌باشد. همچنین

الگوریتم‌های بهینه‌سازی

در زیر هر یک از چهار الگوریتم هوشمند به‌کار رفته در این تحقیق معرفی می‌شوند:

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)

الگوریتم ازدحام ذرات اولین بار توسط کندی و ابرهارت، ارائه گردید (Kennedy and Eberhart, 1995). این الگوریتم شبیه‌سازی یک رفتار دسته جمعی است که ایده اصلی آن از نحوه حرکت منظم و هماهنگ دسته پرندوها و ماهیان نشأت گرفته است. در الگوریتم ازدحام ذرات نیز مانند سایر تکنیک‌های محاسباتی تکاملی، از یک جمعیت که شامل راه‌حل‌های بالقوه مسئله تحت بررسی است، جهت اکتشاف در فضای جستجو استفاده می‌کند. ایده اصلی در این الگوریتم این است که در هر دسته از موجودات فوق، هر عضو می‌تواند از مشاهدات و تجربیات تمام اعضا در حین جستجو برای رسیدن به هدف سود جوید. گرچه این روش بخشی از ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک را دارا می‌باشد، اما تفاوت آن در این است که هر ذره دارای یک بردار سرعت می‌باشد که مسئول تغییر دادن موقعیت آن ذره به منظور اکتشاف در بین جواب‌های موجود است.

اگر فضای جستجو، یک فضای D بعدی باشد، موقعیت ذره i از جمعیت با بردار D بعدی $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$ ، سرعت (تغییر مکان) این ذره با بردار D بعدی $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$ ، بهترین مکان دیده شده تا به حال توسط ذره i به صورت $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$ و بهترین ذره در کل جمعیت با اندیس g نشان داده می‌شود. جمعیت ذرات مطابق با دو جمله معادله زیر به حرکت واداشته می‌شوند:

$$V_{id}^{n+1} = \omega V_{id}^n + c_1 r_1^n (p_{id}^n - x_{id}^n) + c_2 r_2^n (p_{gd}^n - x_{id}^n) \quad (1)$$

$$x_{id}^{n+1} = x_{id}^n + v_{id}^{n+1} \quad (2)$$

که در این روابط $i=1,2,\dots,N$ و $d=1,2,\dots,D$ برابر با اندازه جمعیت، n شماره تکرار، ω وزن اینرسی، c_1, c_2 دو ثابت مثبت، به نام‌های ضرایب شناخت و اجتماعی، x فاکتور انقباض (می‌توان مانند ω برای محدود کردن سرعت بکار رود) و r_1, r_2 اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت بین صفر و یک می‌باشند.

ابتدا با داشتن محدوده متغیرها (حداقل و حداکثر) به‌طور تصادفی جمعیت اولیه و حداکثر سرعت قابل قبول متغیرها با توجه به رابطه تجربی نصف تفاضل حداکثر و حداقل محاسبه می‌شود. سپس سرعت اولیه متغیرها با داشتن حداکثر سرعت مجاز به‌طور تصادفی تولید می‌گردد. بعد از مرحله اولیه، مکان و سرعت محاسبه می‌شود و

۴) بهترین موقعیت جاری و بهترین موقعیت سراسری به هنگام می‌شود.

۵) تعیین می‌شود که آیا بهترین موقعیت موضعی و سراسری تغییر می‌کند یا خیر؟ اگر تغییر کرد به مرحله ۷ رفته و در غیر این صورت ادامه می‌یابد.

۶) از آنجا که بهترین موقعیت موضعی و سراسری تغییر نمی‌کند، لازم است بر مشکل گیر کردن مساله در حداقل موضعی غلبه گردد. در این مرحله از مکانیزم جهش الگوریتم ژنتیک برای آشفته کردن ذرات استفاده می‌شود.

۷) همه ذرات به هنگام می‌گردند.

۸) مقدار برازندگی برای هر ذره محاسبه می‌گردد.

۹) اگر تعداد معین شده نسل‌ها برقرار شده است توقف کرده و در غیر این صورت به مرحله ۳ باز می‌گردد.

الگوریتم جهش ترکیبی قورباغه (SFLA)

هدف اصلی از بیان الگوریتم فوق، بیان مفهومی است که بتوان از آن در حل مسائل پیچیده‌ی بهینه‌سازی، بدون استفاده از روابط ریاضی استفاده کرد. در مورد الگوریتم جهش ترکیبی قورباغه می‌توان گفت که الگوریتم فوق ترکیبی از دو الگوریتم ژنتیک بر مبنای MA^2 و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات است. در واقع می‌توان گفت که الگوریتم جهش ترکیبی قورباغه از ترکیب مزیت‌های دو الگوریتم MA و PSO به‌وجود می‌آید.

این الگوریتم از زندگی گروهی قورباغه‌ها زمانی که به‌دنبال غذا می‌گردند الهام گرفته است. در این روش هر قورباغه بیانگر جوابی از مسئله می‌باشد. در روش مفروض جمعیت اولیه را به چند گروه مجزا تقسیم می‌کنند که تعداد قورباغه‌های موجود در همه‌ی گروه‌ها با هم برابر است. بر اساس این تقسیم‌بندی دو نوع تکنیک جستجو در این الگوریتم وجود دارد، تکنیک اول که تکنیک جستجوی محلی است و بر اساس آن قورباغه‌ها در هر گروه با تبادل اطلاعات موقعیت خود را نسبت به غذا (بهترین جواب) بهبود می‌دهند و تکنیک دوم مربوط به تبادل اطلاعات بین گروه‌ها می‌باشد، که بر اساس آن، بعد از هر جستجوی محلی در گروه‌ها، اطلاعات به‌دست آمده بین گروه‌ها با هم مقایسه می‌شود.

در روش فوق مراحل زیر طی می‌شوند

الف. تولید جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی. جمعیت اولیه متشکل از P قورباغه که در آن P راه حل می‌باشد که در اینجا به‌صورت زیر بیان می‌شود:

استفاده از استراتژی جایگزینی نقاط با ارزش کم در جامعه با هر نقطه جدید که دارای ارزش بالاتری است منجر به تجمع سریع نقاط در یک محدوده کوچک‌تر می‌شود. ترکیب مفاهیم فوق روش تکامل تصادفی جوامع را به یک روش کارا، مؤثر و مقاوم و قابل انعطاف تبدیل می‌کند.

روش تکامل تصادفی جوامع یک روش تکامل‌گرا است که از دو بخش کلی به نام SCE^۱ و CCE^۱ تشکیل شده است. یک توصیف کلی از الگوریتم روش فوق به شرح زیر ارائه می‌گردد:

الف) برداشت مجموعه تصادفی از نقاط و تقسیم‌بندی آن‌ها به تعدادی جامعه.

ب) تکامل جداگانه هر کدام از جوامع در جهت توسعه سراسری با استفاده از تکنیک تکامل رقابتی.

ج) در پایان هر مرحله، کل مجموعه‌های به‌دست آمده برهم‌زده شده و با هم ترکیب می‌شوند.

در روش تکامل تصادفی جوامع آموزش به صورت گروهی یا به صورت زیر گروه‌ها انجام می‌شود و هر کدام از اعضای گروه یک پاسخ برای مساله می‌باشند. در روش تکامل تصادفی جوامع تمام اعضای گروه تمایل به پیروی و حرکت در جهت و موقعیت رهبر گروه را دارند و این در حالی است که خود رهبر گروه نیز دارای موقعیت ثابتی نیست و در هر تکرار به موقعیت نقطه بهینه نزدیک‌تر می‌شود. جزئیات الگوریتم در مراجع متعددی مانند تحقیق (Duan et al, 1993, 1994) ارائه شده است.

ترکیب الگوریتم PSO و GA

روش‌های فرا ابتکاری مثل الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات که از تکنیک‌های محاسباتی گرفته شده است از فرآیندهای زندگی زیستی در طبیعت می‌باشند که توانایی‌های بسیاری برای به‌دست آوردن ابر فضای بهینه دارند که به طور خاص می‌توان به همگرایی سریع ازدحام ذرات اشاره نمود. همچنین می‌توان از مزیت جستجوی سراسری در الگوریتم ژنتیک و قابلیت جستجوی موضعی در الگوریتم ازدحام ذرات برای بالا بردن دقت حل مساله استفاده کرد. بنابراین یک الگوریتم مبتنی بر ترکیب الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات به نام H-GA&PSO ارائه شد. به علت توانایی در جستجو، ترکیب الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات جای کار بسیاری برای محققین دارد. جزئیات فرآیند الگوریتم به‌صورت زیر است:

۱) جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی تولید می‌گردد.

۲) مقدار برازندگی برای هر ذره محاسبه می‌گردد.

۳) ذره با برازندگی بهتر ثبت می‌شود.

جایگزین می‌گردد، و در صورتی که جواب بهبود پیدا نکرد روابط (۴) تکرار می‌گردد با این تفاوت که در حالت جدید به جای X_b در روابط فوق X_g قرار می‌گیرد. اگر با اعمال تغییر فوق باز هم در جواب بهبودی حاصل نشد، یک جواب به صورت تصادفی تولید شده و جایگزین X_w می‌شود.

به خاطر اینکه همه‌ی درایه‌های بردار X اعداد صحیح هستند، پس از هر بار اعمال روابط (۴) بایستی جواب حاصله گرد گردد.

د. مرحله‌ی ج برای تعداد مشخص تکرار ادامه می‌یابد.

ه. در این مرحله پس از بهبود موقعیت قورباغه‌ها، جمعیت جدید از بهترین جواب تا بدترین جواب مرتب می‌شود.

ی. در صورتی که شرایط توقف الگوریتم حاصل شد، الگوریتم متوقف می‌شود در غیر این صورت به مرحله‌ی ب باز گشته و سایر مراحل تکرار می‌گردد.

توابع توزیع احتمال و تهیه مدل هیدروگراف واحد

در این تحقیق یک مدل برای تبدیل توابع توزیع احتمال به هیدروگراف واحد، ارائه شده است. در این حالت، تعداد مجهولات برابر با تعداد پارامترهای توزیع احتمال می‌باشد. توابع توزیع به کار رفته در این مدل عبارتند از لوگ نرمال، گاما و معکوس گاوس.

الف) تابع توزیع گاما

مدل بهینه‌سازی هیدروگراف واحد با استفاده از تابع توزیع گاما به صورت زیر می‌باشد.

$$\text{Minimize } \sum_{n=1}^N e_n^2 \quad (5)$$

where

$$e_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1} - Q'_n \quad (6)$$

$$U_{n-m+1} = f(x), \quad (7)$$

where $x = (n - m + 1) \times \Delta t$

که در آن $f(x)$ تابع توزیع احتمال گاما می‌باشد و از رابطه (۸) بدست می‌آید. P_m مولفه‌ی m بارش اضافی، U_{n-m+1} مولفه $(n-m+1)$ ام هیدروگراف واحد و Q'_n تعداد مولفه‌های هیدروگراف واحد می‌باشد.

$$f(x) = \left[\frac{\lambda}{\Gamma(\eta)} \right] (\lambda x)^{\eta-1} \exp(-\lambda x) \quad (8)$$

و در رابطه فوق $\lambda, \eta > 0$ پارامترهای توزیع که λ پارامتر مقیاس و η پارامتر شکل می‌باشد. $\Gamma(\eta)$ تابع گاما می‌باشد که از رابطه زیر بدست می‌آید.

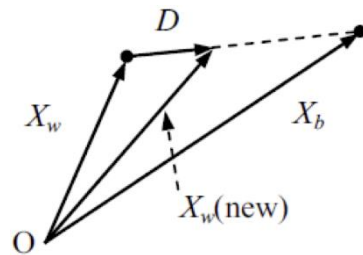
$$\text{Population} = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_p \end{bmatrix}_{(P) \times (2 \times N)} \quad (3)$$

پس از ارزیابی جمعیت اولیه بر اساس تابع هدف بایستی رتبه‌بندی جمعیت از بهترین به بدترین جواب مشخص شود.

ب. تقسیم قورباغه‌ها به m گروه، هر گروه شامل n قورباغه $P = m \times n$ است به طوری که:

تقسیم قورباغه‌ها در گروه‌ها به این صورت است که اولین قورباغه از جمعیت مرتب شده به اولین گروه می‌رود، دومین قورباغه از جمعیت مرتب شده به دومین گروه می‌رود و m امین قورباغه از جمعیت مرتب شده به m امین گروه می‌رود برای $m+1$ امین قورباغه از جمعیت مرتب شده دوباره به اولین گروه می‌رود و به همین شکل ادامه می‌یابد تا اینکه در هر یک از m گروه n قورباغه قرار گیرد.

ج. در این مرحله جستجوی محلی صورت می‌گیرد، به این شکل که در هر گروه قورباغه‌هایی با بدترین و بهترین جواب مشخص شده و به ترتیب با X_b, X_w نشان داده می‌شود، همچنین قورباغه‌ای را که در کل جمعیت^۱ دارای بهترین جواب بوده مشخص شده و با X_g نشان داده می‌شود. سپس در هر گروه موقعیت بدترین قورباغه X_w به صورت زیر اصلاح می‌گردد (شکل-۲).



شکل (۲) - نمایش جهش بدترین قورباغه به سمت بهترین قورباغه (روابط (۵))

$$D_i = rand \times (X_b - X_w) \quad (4)$$

$$X_{w(new)} = X_{w(old)} + D_i$$

$$-D_{max} \leq D_i \leq D_{max}$$

در روابط فوق (۴)، $rand$ یک عدد تصادفی بین صفر و یک می‌باشد و D_{max} هم بیانگر بیش‌ترین جابجایی که قورباغه می‌تواند داشته باشد. پس از اعمال تغییرات فوق در صورتی که قورباغه در موقعیت جدید $X_{w(new)}$ دارای پاسخ (تابع هدف) بهتری نسبت به موقعیت قبلی $X_{w(old)}$ بود، موقعیت قبلی قورباغه با موقعیت جدید

$$f(t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi Dt^3}} \exp\left[-\frac{(ct-l)^2}{4Dt}\right] \quad (۱۷)$$

در رابطه فوق C و D پارامترهای توزیع که C سرعت موج، D ضریب پخشیدگی و l طول آبراهه می‌باشد که برای رودخانه مورد نظر برابر با ۱۲/۹۵ km می‌باشد (Nojavan and Akbarpour, 2010).

- معیارهای ارزیابی و سنجش مدل

جهت ارزیابی و سنجش مدل از معیارهای ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا و ناش- ساتکلیف استفاده گردید که روابط آن‌ها در زیر آمده است:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Qo_i - Qs_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Qo_i - \overline{Qo})^2} \quad (۱۸)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Qo_i - Qs_i)^2} \quad (۱۹)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Qs_i - Qo_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Qo_i - \overline{Qo})^2} \quad (۲۰)$$

که در روابط فوق: Qo، دبی مشاهده‌ای، Qs، دبی شبیه‌سازی شده و \overline{Qo} میانگین دبی مشاهده‌ای می‌باشد.

نتایج و بحث

مدل‌های ارائه شده در این تحقیق پارامترهای توزیع‌های احتمال را با هدف کمینه کردن تفاضل بین هیدروگراف رواناب سطحی مشاهده شده و پیش‌بینی شده، بهینه می‌نمایند. تعداد مجهولات در این مدل‌ها برابر با تعداد پارامترهای توزیع احتمال می‌باشد. مقادیر بهینه محاسبه شده پارامترهای توزیع‌های مذکور توسط هریک از الگوریتم‌های هوشمند در جدول (۲) آورده شده است.

$$\Gamma(\eta) = \int_0^{\infty} x^{\eta-1} e^{-x} dx \quad (۹)$$

در رابطه (۱۰) اگر η عدد صحیح باشد، $\Gamma(\eta)$ از رابطه $\Gamma(\eta) = (\eta-1)!$ به دست می‌آید ولی اگر η عدد صحیح نباشد، تابع گاما بایستی با استفاده از انتگرال گیری عددی حل شود. در این تحقیق برای محاسبه مقدار تابع گاما از انتگرال گیری عددی سیمپسون استفاده شده است (Bender and Roberson, 1961).

ب) تابع توزیع لوگ نرمال

مدل بهینه‌سازی هیدروگراف واحد با استفاده از تابع توزیع لوگ نرمال به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Minimize } \sum_{n=1}^N e_n^2 \quad (۱۰)$$

where

$$e_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1} - Q'_n \quad (۱۱)$$

$$U_{n-m+1} = f(x), \quad (۱۲)$$

where $x = (n-m+1) \times \Delta t$

که در آن $f(x)$ تابع توزیع احتمال لوگ نرمال می‌باشد و از رابطه (۱۴) بدست می‌آید.

$$f(x) = \left(\frac{1}{x \sigma_n \sqrt{2\pi}} \right) \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu_n)^2}{2\sigma_n^2}\right] \quad (۱۳)$$

در رابطه فوق μ_n و σ_n پارامترهای توزیع می‌باشند و به عنوان پارامترهای مقیاس و شکل در نظر گرفته می‌شوند.

ج) تابع توزیع معکوس گاوس

مدل بهینه‌سازی هیدروگراف واحد با استفاده از تابع توزیع معکوس گاوس به صورت زیر می‌باشد.

$$\text{Minimize } \sum_{n=1}^N e_n^2 \quad (۱۴)$$

where

$$e_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1} - Q'_n \quad (۱۵)$$

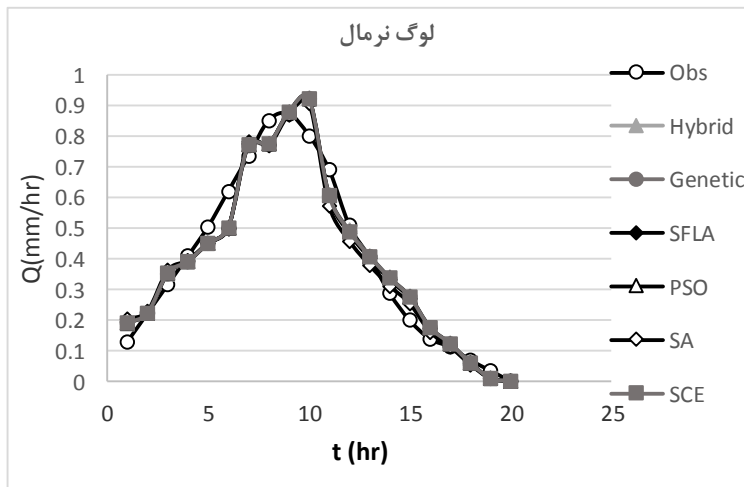
$$U_{n-m+1} = f(t) \quad (۱۶)$$

که در آن $f(t)$ تابع توزیع احتمال معکوس گاوس می‌باشد و از رابطه (۱۷) به دست می‌آید.

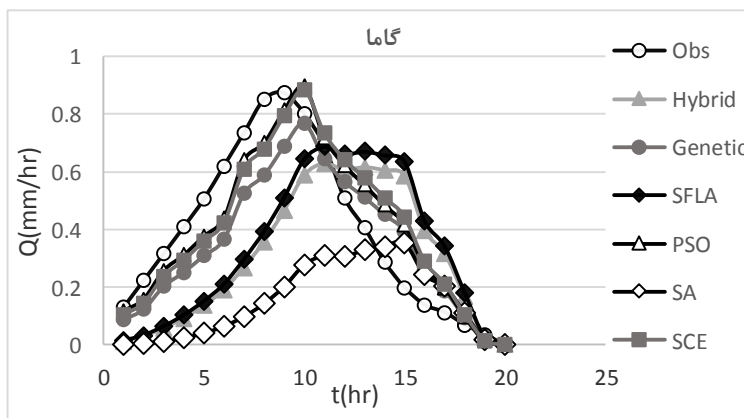
جدول ۲- مقادیر بهینه محاسبه شده پارامترهای توابع توزیع احتمال توسط هریک از الگوریتم‌های هوشمند

روش بهینه‌سازی	لوگ نرمال		گاما		معکوس گاوس	
	μ	σ	λ	η	C	D
SCE	۳/۶۷	۳/۰۷	۰/۸۳	۰/۰۱	۹/۹۷	۰/۰۱
Hybrid	۳/۶۵	۳/۰۳	۱/۸۴	۰/۰۸	۱۰/۰۰	۰/۰۱

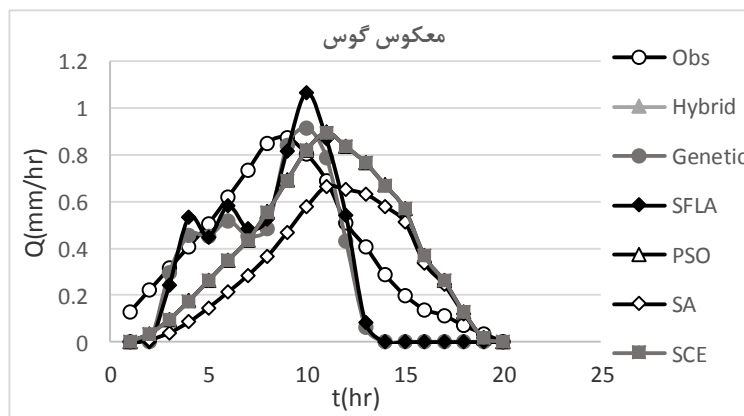
۷/۴۰	۰/۱۵	۰/۰۸	۱/۸۱	۳/۶۹	۳/۱۵	SFLA
۰/۰۱	۱۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۷۵	۳/۶۷	۳/۰۷	PSO



شکل ۳- هیدروگراف رواناب سطحی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط تابع توزیع لوگ نرمال با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند



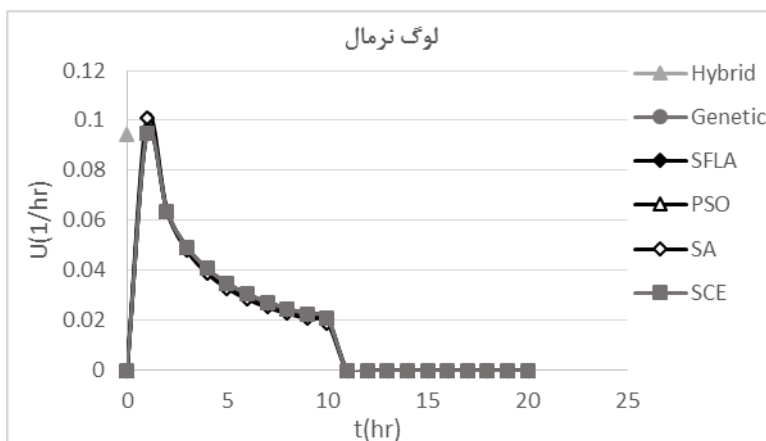
شکل ۴- هیدروگراف رواناب سطحی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط تابع توزیع گاما با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند



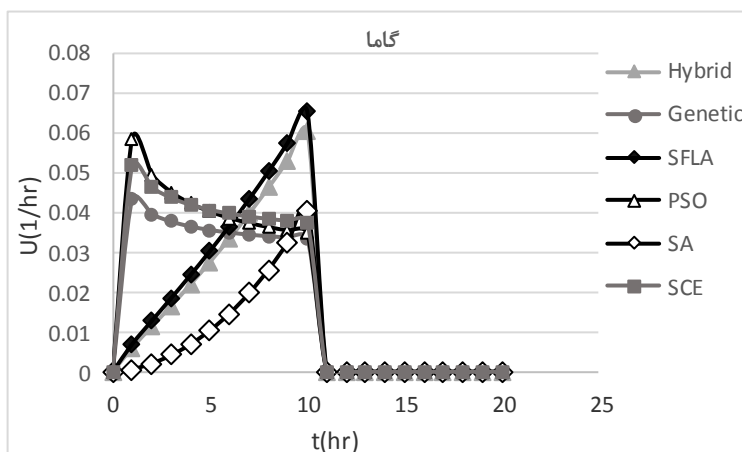
شکل ۵- هیدروگراف رواناب سطحی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط تابع توزیع معکوس گوس با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند

جدول ۳- مقایسه مقادیر هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهده شده با کمک آماره های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب ناش- ساتکلیف (NS) و ضریب همبستگی

معکوس گوس			گاما			لوگ نرمال			روش بهینه‌سازی
RMSE	NS	R ²	RMSE	NS	R ²	RMSE	NS	R ²	
۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۴۵	۰/۱۳	۰/۷۹	۰/۸۰	۰/۰۶	۰/۹۶	۰/۹۶	SCE
۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۴۵	۰/۲۹	-۰/۰۴	۰/۲۰	۰/۰۶	۰/۹۶	۰/۹۶	Hybrid
۰/۱۸	۰/۶۰	۰/۸۱	۰/۲۹	-۰/۰۳	۰/۲۱	۰/۰۶	۰/۹۶	۰/۹۶	SFLA
۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۴۵	۰/۱۱	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۰۶	۰/۹۶	۰/۹۶	PSO



شکل ۶- هیدروگراف واحد محاسبه شده توسط تابع توزیع لوگ نرمال با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند



شکل ۷- هیدروگراف واحد محاسبه شده توسط تابع توزیع گاما با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند

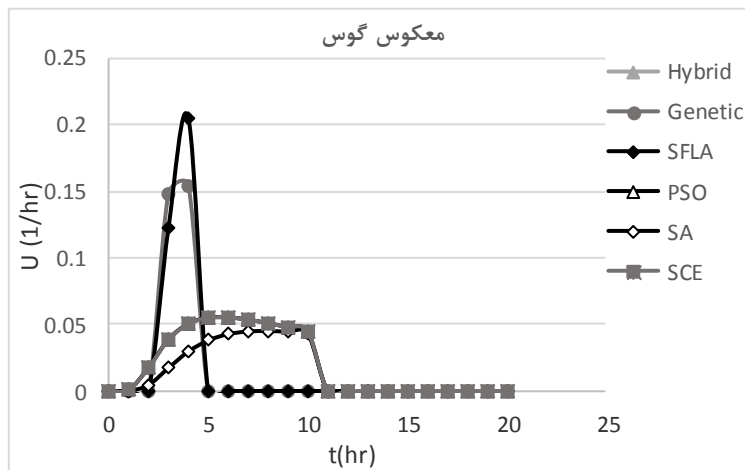
تا (۵) ارائه گردیده است.

مقایسه مقادیر هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهده شده با کمک آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی (R²) و ضریب ناش- ساتکلیف (NS) انجام گرفت. نتایج ضرایب ناش- ساتکلیف بالا در تابع توزیع احتمال لوگ نرمال نشان‌دهنده شبیه‌سازی مناسب و قابل قبول برای تابع توزیع مذکور

با به کار بردن توابع توزیع احتمال، دو مساله واحد بودن سطح زیر منحنی هیدروگراف واحد و مثبت بودن مؤلفه‌ها تأمین می‌شود. به منظور مقایسه هیدروگراف رواناب سطحی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط الگوریتم‌های هوشمند ارائه شده و نیز مقایسه با الگوریتم‌های هوشمند ارائه شده در تحقیق (Nojavan and Akbarpour, 2010) در هر یک از مدل‌های مذکور در شکل‌های (۳)

می‌باشد. سایر معیارها نیز در حد قابل قبول بوده و در جدول (۳) نشان داده شده‌اند.

همچنین به منظور مقایسه بصری هیدروگراف واحدهای محاسبه شده توسط الگوریتم‌های هوشمند، شکل‌های (۶) تا (۸) در زیر ارائه



شکل ۸- هیدروگراف واحد محاسبه شده توسط تابع توزیع معکوس گوس با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند

نتیجه گیری

در این تحقیق یک مدل بهینه هیدروگراف واحد با استفاده از توابع توزیع احتمال ارائه گردید. واسنجی پارامترهای این توابع توزیع با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی انجام گرفت. با توجه به معیارهای ارزیابی محاسبه شده، کارایی بالای تابع توزیع لوگ نرمال در طرح هیدروگراف بهینه نشان داده شد. این تابع توزیع در محاسبه دبی اوج، عملکرد خوبی داشت به طوری که دبی اوج محاسبه شده تقریباً نزدیک به دبی اوج رواناب مشاهده شده می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج این تحقیق و سایر تحقیق‌های انجام گرفته در این زمینه مشاهده شد، الگوریتم‌های هوشمند ازدحام ذرات و ژنتیک نتایج نسبتاً بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها در واسنجی پارامترهای توابع توزیع احتمال جهت تهیه هیدروگراف واحد حوضه آبریز نشان دادند. بنابراین می‌توان این مدل را جهت تخمین سریع و تقریبی هیدروگراف واحد در حوضه‌های آبریز پیشنهاد نمود.

منابع

- نجفی، م. ر. ۱۳۸۱. ترجمه سیستم‌های هیدرولوژیکی مدل‌سازی بارش-رواناب وی پی سینگ انتشارات دانشگاه تهران دو جلد ۱۰۵۶ ص
- Borhani Darian, A.R and Farahmandfar, Z. 2011. Calibration of Rainfall-runoff models using MBO algorithm. the Iranian Society of Irrigation & Water Engineering 1 (4), 60-71.
- Bender, D.L and Roberson, J.A. 1961. The use of dimensionless unit hydrograph to derive unit hydrographs for some Pacific basins. Journal of Geophysical Research. 66: 521-527.
- Bruen, M. and Dooge, J. C. I. 1984. An efficient and robust method for estimation unit hydrograph ordinates. Journal of Hydrology. 70: 1-24
- Deinger, R.A. 1969. Linear program for hydrologic analysis. Water Resources Research. 5: 1105-1109
- Duan, Q., Sorooshian, S and Gupta, V.K. 1992. Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. Water Resource Research, 28(4), PP.1015-1031.
- Duan, Q., Sorooshian, S and Gupta, V.K. 1993. Shuffled Complex Evolution approach for effective and efficient global optimization", Journal of Optimization Theory and Application, 76(3), PP.501-521 .
- Duan, Q., Sorooshian, S and Gupta, V.K. 1994. Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibration watershed models", Journal of Hydrology, 185, PP.265-284.
- Eusuff, M and Lansey, K. 2003. Optimization of Water Distribution Network Design Using the Shuffled Frog Leaping Algorithm. Journal of Water Resources Planning and Management, 129(3), 210-225
- Eusuff, M.M., Lansey, K., Pasha, F. 2006. Shuffled frog-

- Nojavan, M and Akbarpur, A. 2010. Comparison of optimal design of unit hydrograph using simulated annealing and genetic algorithm (case study: Kameh watershed), *Iranian Journal of Geology*, 4(14), pp. 23-31.
- Olivera, F and Maidment, D. 1999. Geographic information systems (GIS)-based spatially distributed model for runoff routing", *Water Resources Research*, Vol. 35, No. 4, Pages 1155-1164.
- Prasad, T.D., Gupta, R and Prakash, S. 1999. Determination of optimal loss rate Parameters and unit hydrograph. *Journal of Hydrology*, 4, 83-87.
- Qaderi, K., Mohammad Vali Samani, J., Eslami, H.R and Saghafian, B. 2006. Automatic calibration of a rainfall-runoff model using SCE optimization method, *Iran Water Resources Research*, 2(2): 39-52.
- Rajib, K.B. 2004. Optimal Design of Unit Hydrographs using probability distribution and genetic algorithms. *Journal of Indian Academy of Sciences*, 29, 499-508.
- Singh, V.P. 1988. *Hydrologic Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Singh, V.P. 1976. Unit hydrographs, A comparative study. *Journal of Water Resources Research*, 12, 381-392
- Wang, F., Qiu, Y. 2005. A modified particle swarm optimizer with roulette selection operator, *Proc. Nat. Lang. Process. Knowl. Eng. Pp.* 765-768,
- leaping algorithm: a memetic meta-heuristic for discrete optimization. *Engineerin Optimization*, vol. 38, no. 2, pp. 129-154 ,
- Fan, S.K.S., Liang, Y.C., Zahara, E. 2006. A Genetic algorithm and a particle swarm optimizer Hybridized with Nelder-Mead simplex search. *Computers & Industrial Engineering*, 50, pp. 401-425.
- Kao, Y.T., Zahara, E. 2008. A hybrid genetic algorithm and a particle swarm optimization for multimodal functions. *Applied Soft Computing*, 8 (2), pp. 849-857.
- Kennedy, J and Eberhart, R. 1995. Particle Swarm Optimization, *Proc. Of the International Conference on Neural Networks*, Perth, Australia, IEEE, Piscataway, 1995, pp. 1942-1948.
- Liu, Y.B., Gebremeskel, S., De Smedt, F., Hoffmann, L., Pfister, L. 2003. A diffusive transport approach for flow routing in GIS-based flood modelling. *Journal of Hydrology*, 283, PP. 91-106.
- Mays, L.W and Taur, C.K. 1982. Unit hydrograph via nonlinear programming. *Journal of Water Resources Research*, 18, 744-752.
- Mays, L.W and Coles, L. 1980. Optimization of unit hydrograph determination. *Journal of Hydraulic Engineering*, 106, 85-97.
- Molnar, P., Ramirez, J.A. 1998. Energy dissipation theories and optimal channel characteristics of river networks. *Water Resources Research*. 34 (7), 1809-1818.

Application Of Intelligent Algorithms In Providing Optimal Unit Hydrograph Using Probability Distribution Functions

S. Sadeghi Tabas^{*۱}, A. Akbarpour^۲, M. Pourreza Bilondi^۳

Received: Nov.6, 2013

Accepted: May.14, 2014

Abstract:

The most important steps that were taken in hydrological analysis and design Hydrograph preparation, was Unit Hydrograph concept. The Unit Hydrograph was used to determine the flood, caused by the storms of duration and different intensity. The purpose of this study was the use of intelligent algorithms to provide optimal model Unit Hydrograph using the probability distribution function. For this purpose, the log-normal probability distribution function, gamma and inverse Gaussian was used. In this model, the objective function was to minimize the Sum of squared differences between the observed and predicted runoff Hydrograph at the catchment area. Computed runoff Hydrograph estimated using the proposed model by the probability distribution function. According to the values of root mean square error (RMSE), correlation coefficient (R2) and the Nash-Sutcliffe coefficient (NS), respectively 0.06,0.96,0.96 had log-normal distribution function better performance than other distribution functions at optimized Hydrograph. This distribution function had a good performance in computing peak flow. So that the calculated peak flow was near observed runoff peak flow. Also, genetic algorithms and particle swarm intelligence showed better results than other algorithms in the calibration of probability distribution functions.

Keywords: Optimization, Gamma Distribution Function, Log-Normal Distribution Function, Inverse Gaussian Distribution Function, Runoff Hydrograph

۱- M.Sc. Student, Water Resources Engineering, University of Birjand

۲- Associate Professor of Civil Engineering., University of Birjand

۳- Assistant Professor of Water Engineering Department., University of Birjand

(*-Corresponding Author Email: sadeghitabas@yahoo.com)