نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره2، جلد 11، خرداد - تیر 1396، ص. 239-229

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 11, Jun.-Jul. 2017, p. 229-239

مقایسه الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک در واسنجی پارامتر ضریب ذخیره آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک

حمزه نور[1*] و سمیه فضلی[2]

تاریخ دریافت: 1395/4/15 تاریخ پذیرش: 1395/12/23

چکیده

ارزیابی آب‌نمود حوزه آبخیز پیش‌نیاز طرح‌ریزی برنامه‌های مدیریت صحیح منابع آب و خاک در سطح آبخیز می‌باشد. بنابراین شبیه‌سازی آب‌نمود در آبخیزهای فاقد آمار برای طراحی سازه‌های کنترل سیل، تعیین محدوده‌های سیل‌خیز و مدیریت آبخیز از مسایل مهم در هیدرولوژی می‌باشد. روش آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک به‌عنوان یک روش مهم و کاربردی در زمینه برآورد آب‌نمود سیل حوزه‌های آبخیز فاقد آمار شناخته می‌شود با این حال کارایی و دقت شبیه‌سازی آن به‌شدت تحت تاثیر برآورد مقدار عددی پارامتر ضریب ذخیره (K) می‌باشد. این درحالی است که تحقیقات اندکی در زمینه برآورد این پارامتر از طریق استفاده روش های بهینه سازی گزارش شده است. بنابراین تحقیق حاضر با هدف تعیین مقدار بهینه پارامتر ضریب ذخیره با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک و مقایسه نتایج آن با روش معمول ترسیمی طرح‌ریزی شد. بدین‌منظور حوزه آبخیز تمر با مساحت 1515 کیلومتر مربع واقع در استان گلستان انتخاب گردید. پس از جمع آوری اطلاعات فیزیوگرافی و داده های بارش و رواناب در 8 واقعه متناظر، مدل زمان مساحت کلارک اجرا و آب‌نمود سیل، شبیه‌سازی شد. نتایج تحقیق نشان داد که الگوریتم اجتماع ذرات مورد استفاده در شبیه‌سازی آب‌نمود با ضریب کارایی 0/64 نسبت به 0/60 و 0/52 به‌ترتیب در روش‌های الگوریتم ژنتیک و ترسیمی از دقت بالاتری برخوردار است. هم‌چنین نتایج دلالت بر شبیه‌سازی خوب مولفه‌های آب‌نمود سیلاب توسط مدل کلارک دارد.

واژه‌های کلیدی: آب‌نمود واحد لحظه‌ای، الگوریتم بهینه‌سازی، تخمین پارامتر مدل، مدل‌سازی معکوس

مقدمه

شبیه‌سازی و تحلیل واکنش یک حوزه آبخیز به بارندگی در قالب آب‌نمود، یکی از بخش های مهم علم هیدرولوژی است که کاربرد فراوانی در طرح‌های آبخیزداری و کنترل سیل دارد. از این رو تلاش طولانی برای شناخت عوامل موثر برآن و در نهایت مدل‌سازی آب‌نمود وجود دارد (Zhao et al., 1995; Al-Smadi., 1998; Saghafian et al., 2002; Noorbakhsh et al., 2005). باید توجه داشت که برنامه‌ریزی و مدیریت آبخیز نیازمند داشتن آمار و اطلاعات در زمینه کمیت و تغییرات زمانی رواناب تولیدی در آبخیز و به‌صورت آب‌نمود می‌باشد. این درحالی است که کمبود این اطلاعات در اکثر نقاط کشور به علت بالا بودن هزینه ساخت و نگهداری ایستگاه هیدرومتری مشاهده می‌شود (صادقی و دهقانی، 1385؛ نساجیان‌زواره و همکاران، 1389).

در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار، تهیه آب‌نمود و استخراج مشخصات سیلاب با استفاده از مدل‌های مبتنی بر خصوصیات و ویژگی‌های حوزه آبخیز، مناسب به‌نظر می‌رسد (علیزاده، 1385). در این راستا استفاده صحیح از تئوری مربوط به آب‌نمود واحد لحظه‌ای با مفهوم رواناب سطحی حاصل از یک واحد بارش مازاد آنی در حوزه آبخیز به‌واسطه کفایت اطلاعات مربوط به خصوصیات قابل دسترس فیزیوگرافی حوزه در تهیه آن بسیار کاراست (کابلی و همکاران، 1388، مصطفی‌زاده و همکاران، 1388؛ Wang., 1991; Mohan and Loucks., 1995; Subramanya., 2000). بر اساس سوابق می‌توان اذعان نمود که روش آب نمود واحد لحظه‌ای یک روش مناسب و کاربردی برای تخمین سیلاب در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار سیل مطرح است مشروط بر آن‌که پارامترهای مورد نیاز آن با دقت مناسب تعیین شوند (اسدی و همکاران، 1389؛ Sabol., 1988; Dong., 2007; Ahmad., et al., 2009).

مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک بر نمودار زمان-مساحت استوار بوده و در این روش بارش مازاد به عنوان ورودی و آب نمود جریان به‌عنوان خروجی سامانه محسوب می‌شود. در روش کلارک

1 - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، نور، ایران
2- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
(* - نویسنده مسئول: (Email: Noorhamze@gmail.com

فرض بر این است که هر قطره آب یک فاصله مشخص را قبل از این‌که به خروجی حوزه آبخیز برسد طی می‌کند و بنابراین زمان پیمایش از مناطق مختلف حوزه آبخیز باید مورد توجّه قرار گیرد. هم‌چنین با افزایش مقدار آب ورودی از نقاط مختلف به آبراهه اصلی، حجم ذخیره کانال افزایش یافته و باعث افزایش دبی می‌گردد. فرض اول را تاثیر جابجایی و فرض دوم را تاثیر ذخیره می‌نامند (Al-Smadi., 1998; Kumar et al., 2007).

پژوهش‌های متعددی کارایی این مدل در برآورد مولفه‌های سیلاب شامل دبی و زمان تا اوج و حجم سیلاب را مورد بررسی قرار داده‌اند (مصطفی‌زاده و همکاران، 1388؛ اسدی و همکاران، 1389؛ Bourletsikas et al., 2006). نتایج این پژوهش‌ها نشان داده است که انتخاب مقدار مناسب برای پارامترهای مدل کلارک در تخمین‌های آن، اثر بسیار زیادی خواهد داشت و لزوم استفاده از روش‌های گوناگون را به‌منظور انتخاب بهترین جواب ممکنه در فضای قابل قبول دوچندان می‌نماید (صفوی، 1385؛ اسدی و همکاران، 1389؛ Subramanya., 2000; Ahmad et al., 2009). در این راستا استفاده از روش‌های مختلفی مانند ترسیمی، لینزلی، جانستن-کراس و اینتن و استفاده از روش‌های بهینه‌سازی برای تخمین پارامتر ضریب ذخیره مدل کلارک در ایران و سایر نقاط جهان مدنظر قرار گرفته است. در این زمینه سئونگ و همکاران پس از برآورد منطقه‌ای پارامترهای مدل کلارک آن را در آبخیزهایی داده‌های مشاهداتی محدود در آبخیز رودخانه وی در کشور کره‌جنوبی ارزیابی نمودند و صحت نتایج مدل یاد شده را مورد تایید قرار دادند (Seong et al., 2008). صادقی و دهقانی (1385) در پژوهش دیگری روش‌های تجربی تعیین ضریب ذخیره در مدل کلارک را با یکدیگر مقایسه نمودند. اسدی و همکاران (1389) نیز ارزیابی روش‌های تجربی تخمین ضریب ذخیره آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک در شبیه‌سازی آب‌نمود واحد سیل را مدنظر قرار دادند. در نهایت احمد و همکاران با هدف توسعه مدل کلارک در آبخیز کاها در کشور پاکستان، پس از تهیه نمودار زمان - مساحت و محاسبه ضریب ذخیره با استفاده از روش بهینه‌سازی، مدل یاد شده را با استفاده از 4 رویداد بارش اعتبارسنجی نمودند و نتیجه گرفتند که ابعاد آب‌نمود شبیه‌سازی شده به دقت محاسبه هر دو پارامتر ضریب ذخیره و زمان تمرکز بستگی دارد (Ahmad et al., 2009).

بررسی پژوهش‌های پیشین نشان داد که بهینه‌سازی پارامترهای سایر روش‌های تهیه آب‌نمود واحد مورد توجه بوده است. به‌گونه‌ای‌که نوجوان و اکبرپور (1389) با استفاده از الگوریتم‌های SA و ژنتیک اقدام به‌شبیه‌سازی آب‌نمود واحد در حوزه کامه نمودند. نتایج ایشان دلالت بر برتری روش بهینه‌سازی SA در تهیه آب‌نمود واحد داشته است. حسینی و همکاران تخمین پارامترهای مدل مفهومی ناش با استفاده از روش‌های الگوریتم ژنتیک و حداقل مربعات معمولی را مدنظر قرار دادند. ایشان برای این منظور 7 واقعه بارش در آبخیز Heng-Chi تایوان را انتخاب نمودند. نتایج حاصل از معیارهای نکویی برازش در مورد نتایج هر دو مدل نشان داد که مدل الگوریتم ژنتیک قادر به بهبود معیار ضریب کارآیی و کاهش ضریب تغییرات و خطای دبی اوج مدل نسبت به روش دیگر می‌باشد (al et Hosseini., 2006). دونگ نیز از الگوریتم ژنتیک به‌منظور تخمین پارامترهای آب‌نمود واحد لحظه‌ای ناش استفاده نمود و نتایج را با روش‌های گشتاور و تجربی مورد مقایسه قرار داد. نتایج نشان داد که خطای مطلق آب‌نمود شبیه‌سازی شده در روش الگوریتم ژنتیک، گشتاور و روش تجربی به‌ترتیب 25، 63 و 45 برآورد شد که نشان دهنده برتری روش الگوریتم ژنتیک در برآورد پارامترهای مدل ناش داشته است (Dong., 2007). احمد و همکاران با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی اقدام به تخمین پارامترهای مدل آب‌نمود نش در آبخیز کاها در پاکستان نمودند. ایشان برای این منظور دو تابع هدف شامل حداقل نمودن خطا و حداکثر نمودن ضریب کارایی نش ساتکلیف را مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان دهنده دقت مناسب آب‌نمود برآوردی داشته است (Ahmad et al., 2009). در نهایت بررسی سوابق در زمینه بهینه سازی پارامترهای سایر مدل های هیدرولوژیک نشان می‌دهد که الگوریتم های فراابتکاری مانند الگوریتم کلونی زنبور عسل (وفاخواه و همکاران، 1393)، الگوریتم ژنتیک (Chen and Yang., 2007; Wang et al., 2009; Vafakhah et al., 2015) و الگوریتم ازدحام ذرات (گرمه‌ای و همکاران، 1394؛ Chu and Chang., 2009) در این زمینه کارا می‌باشند. با این حال استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک و تجمع ذرات در تعیین مقدار پارامترها و ارزیابی تاثیرگذاری آن بر نتایج مدل کلارک کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است.

در مجموع بر اساس سوابق مورد بررسی می‌توان بیان نمود که روش آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک یک روش مناسب و کاربردی برای تخمین آب‌نمود در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار سیل مطرح است. از طرفی تعیین مقدار مناسب پارامتر ضریب ذخیره آبخیز در این مدل مشکل می‌باشد. در این رابطه کاربردهای موفق الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری شامل الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی پارامترهای سایر مدل‌های هیدرولوژیک، ضرورت انجام تحقیق در خصوص واسنجی خودکار مدل کلارک با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی را توجیه می‌نماید. بنابراین هدف اصلی این تحقیق استفاده از الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات در واسنجی مدل آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک و مقایسه نتایج آن‌ها با روش ترسیمی در تخمین پارامتر ضریب ذخیره آبخیز می‌باشد. از سوی دیگر بررسی کارایی مدل کلارک در شبیه‌سازی اجزای مختلف آب‌نمودهای سیلاب از اهداف جانبی این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

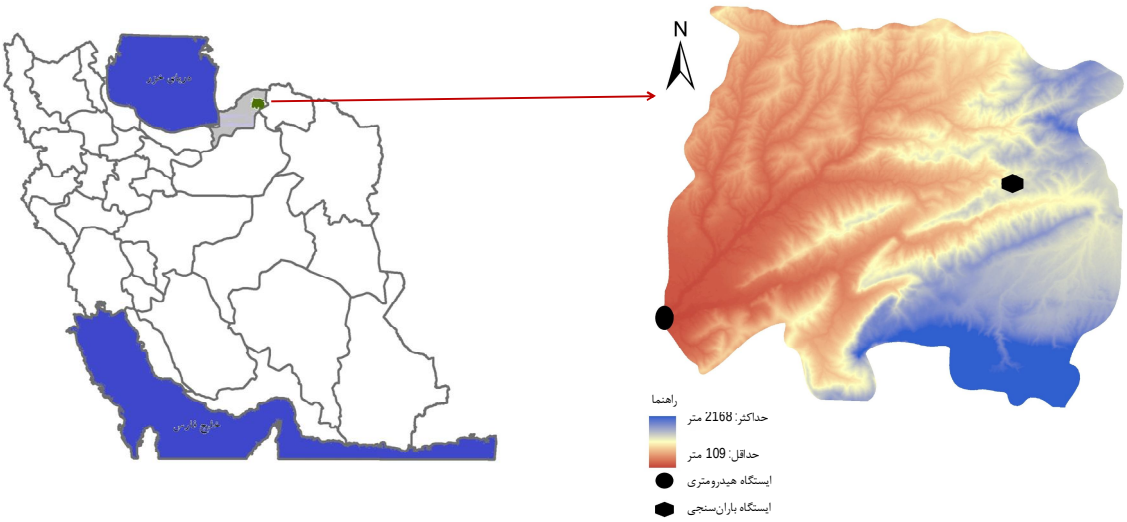
خصوصیات منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز تمر یکی از زیر حوضه های گرگان رود در شرق استان گلستان می‌باشد. این آبخیز با مساحت 1515 کیلومترمربع در محدوده‌ی جغرافیایی ´30 °55 تا ´05 °56 طول شرقی و ´25 °37 تا ´48 °37 عرض شمالی واقع شده است (شکل 1). حداقل و حداکثر ارتفاع حوزه تمر به‌ترتیب 109 و 2098 متر مربوط به سد گلستان 2 و منطقه خوش ییلاق می‌باشد. دمای متوسط منطقه بر اساس آمار 34 ساله ایستگاه‌های باران‌سنجی برابر 17/43 درجه سانتی‌گراد و بارش متوسط آن 460 میلی‌متر است. کاربری عمده منطقه را به‌ترتیب اراضی مرتعی، دیم و جنگلی به خود اختصاص داده است. در این تحقیق داده‌های دبی ساعتی ایستگاه آب‌سنجی تمر واقع در خروجی آبخیز و نیز داده‌های باران‌نگار ایستگاه‌های گلیداغ واقع در منطقه مورد مطالعه از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان اخذ و استفاده شده است.

مشخصات سیلاب‌های گذشته

مشخصات باران‌نمودهای ایستگاه باران‌نگاری و نیز آب‌نمودهای ایستگاه آب‌سنجی رودخانه استخراج در جدول 1 ارایه شده است. بر اساس اطلاعات و مقادیر ارایه شده در جدول 1 می‌توان مشاهده نمود که بارش و سیلاب هایی با ویژگی‌های مختلف در داده‌های مشاهداتی وجود دارد که برای مقاصد مدل‌سازی مناسب می‌باشد.

تحلیل مشخصات وقایع ثبت شده در حوزه آبخیز تمر نشان داد که میانگین مدت و مقدار بارش رگبارهای مطالعاتی به‌ترتیب برابر 3/2 ساعت و 9/1 میلی‌متر می‌باشد. هم‌چنین میانگین مقادیر دبی اوج آب‌نمودهای مشاهداتی برابر 12 مترمکعب بر ثانیه و زمان تا اوج آب‌نمود برابر 10 ساعت بوده است.



شکل 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان گلستان

جدول 1- برخی از مشخصات رویدادهای بارش انتخابی و آب‌نمودهای متناظر آن‌ها در آبخیز تمر

ردیف	تاریخ رویداد	مدت بارش موثر (ساعت)	میزان بارش (میلی‌متر)	متوسط تلفات (میلی‌متر در ساعت)	دبی اوج (مترمکعب در ثانیه)	حجم سیلاب (هزار مترمکعب)	مدت تداوم (ساعت)	زمان تا اوج (ساعت)
1	1385/07/06	2	5/13	4/53	9/50	291	26	9
2	1385/08/06	3	11/29	3/70	73/37	1323	13	7
3	1385/08/17	4	21/02	3/02	55/3	1089	19	12
4	1385/12/19	3	0/33	0/22	1/2	38	19	9
5	1385/12/25	6	12/20	1/33	8/1	277	21	13
6	1386/01/07	7	7/31	1/26	6/8	201	24	11
7	1386/01/09	12	11/93	1/21	6/2	215	21	14
8	1386/01/14	4	12/42	1/67	8/1	208	15	7

مدل آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک

در پژوهش حاضر به منظور تهیه آب نمود سیل آبخیز تمر از مدل کلارک بر اساس منحنی‌های زمان- مساحت و روندیابی جریان از یک مخزن خطی استفاده شد (صفوی، 1385؛ Noorbakhsh et al., 2005). بدین‌منظور در ابتدا حوزه آبخیز مورد مطالعه بر اساس خطوط هم‌زمان تمرکز به سطوح مختلف تقسیم شد. برای تقسیم- بندی حوزه آبخیز به‌تعداد بخش‌های مناسب (n) از زمان بهینه پیشنهادی برای آب نمود واحد یعنی 0/2 تا 0/33 زمان تاخیر حوزه آبخیز و نیم‌رخ طولی آبراهه اصلی حوزه آبخیز استفاده گردید (Subramanya., 2000).

برای محاسبه زمان تاخیر آبخیز (T_l) از رابطه 1 و با در اختیار داشتن طول آبراهه اصلی (L)، نمایه نگهداشت آب (S) که از شماره منحنی بدست می‌آید و شیب متوسط حوزه (Y) استفاده شد.

$$T_l = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900 \times (Y)^{0.5}} \quad (1)$$

هم‌چنین زمان تمرکز حوزه آبخیز (T_C) با استفاده از رابطه 2 محاسبه شد.

$$T_L = 0/6\ T_C \quad (2)$$

به این منظور مقادیر شماره منحنی از نقشه کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیک و شرایط رطوبت پیشین خاک استخراج گردید و مقدار آن به‌صورت وزنی برابر 69 به دست آمد. بنابراین زمان تاخیر، تمرکز حوزه آبخیز و مقدار فاصله بین خطوط هم‌زمان تمرکز (Δt_c) به‌ترتیب 11/8، 19/70 و 4 ساعت محاسبه شد.

در ادامه، طول آبراهه متناسب با تعداد بخش‌های لازم تقسیم شده و با امتداد دادن نقطه مربوطه در روی محور طولی آبراهه، ارتفاع متناظر با آن قرائت و روی نقشه توپوگرافی منتقل شد. در نهایت نقشه خطوط هم‌زمان تمرکز و بخش‌های مربوطه تهیه گردید (Subramanya., 2000). سپس مساحت مناطق محصور بین دو خط هم‌زمان تمرکز با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 9.2 تعیین و منحنی زمان- مساحت ترسیم شد. در ادامه با استفاده از رابطه 3 نمودار زمان- مساحت به‌جریان ورودی به مخزن فرضی در انتهای حوزه آبخیز تبدیل شد (صفوی، 1385؛ علیزاده، 1385؛ Subramanya., 2000).

$$I_i = 2.78\frac{A_i}{\Delta t_c} \quad (3)$$

که در آن I_i دبی ورودی در هر دوره زمانی (مترمکعب بر ثانیه)، A_i مساحت شرکت کننده در انتهای دوره زمانی (کیلومترمربع) و Δt_c دوره زمانی مبنای IUH (ساعت) می‌باشند. سپس روندیابی جریان مذکور با استفاده از معادله ماسکینگام (رابطه 4) انجام و عرض‌های IUH به‌دست آمدند (صفوی، 1385).

$$Q_2 = \frac{\Delta t_c}{K+0.5\Delta t_c} I_1 + \frac{K-0.5\Delta t_c}{K+0.5\Delta t_c} Q_1 \quad (4)$$

که در آن Δt_c زمان تمرکز هر بخش هم‌زمان تمرکز (ساعت)، I_1 و Q_1 به‌ترتیب جریان ورودی و خروجی اولیه و Q_2 جریان خروجی بعد از زمان Δt_c (مترمکعب بر ثانیه) می‌باشند. پارامتر K ضریب ذخیره حوزه آبخیز (ساعت) می‌باشد.

در ادامه برای به‌دست آوردن آب نمودهای مصنوعی رگبارها از تبدیل آب‌نمود واحد لحظه‌ای به آب‌نمود واحد از رابطه 5 استفاده شد (Subramanya., 2000).

$$(T\text{-h UH})_t = 1/2\ [(IUH)_t + (IUH)_{t+T}] \quad (5)$$

که در آن $(T\text{-h UH})_t$ عرض‌های آب‌نمود واحد T ساعته در زمان t و $(IUH)_t$ و $(IUH)_{t+T}$ به‌ترتیب عرض‌های IUH در زمان t و T ساعت تاخیر می‌باشند. در نهایت برای تهیه آب‌نمود مستقیم مشاهداتی از تبدیل T-h UH به آب‌نمود مستقیم از بارش موثر استفاده شد. تعیین بارش موثر به عنوان ورودی دینامیک مدل هیدرولوژیک ضروری است. برای مشخص نمودن بارش موثر از شاخص فی و در نظر گرفتن ارتفاع رواناب مستقیم استفاده گردید (مصطفی‌زاده و همکاران، 1388؛ Ahmad, et al., 2009). برای تفکیک دبی پایه از آب‌نمودهای جریان روش فیلتر عددی برگشتی (رابطه 6) استفاده شد (Aksoy et al., 2009).

$$q_t = \alpha q_{t-1} + (1+\alpha/2)(Q_t - Q_{t-1}) \quad (6)$$

که در آن، q جریان فیلتر شده، Q کل جریان هیدروگراف و α پارامتر فیلتر می‌باشد که مقدار آن در فاصله 0/95 تا 0/90 متغیر بوده و بهترین مقدار آن 0/925 می‌باشد.

پارامتر اصلی مدل آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک ضریب ذخیره حوزه آبخیز (K) می‌باشد که در پژوهش حاضر با استفاده از روش ترسیمی، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تجمع ذرات مقدار آن مشخص گردد.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک (GA) از فرآیندهای مهم تکامل طبیعی شامل انتخاب، جهش و تقاطع به‌منظور رسیدن به پاسخ یا پاسخ‌های بهینه استفاده می‌کند. این الگوریتم بر جمعیتی از جواب‌های بالقوه عمل کرده و با به کارگیری بقای اصلح، گزینه برتر را ارایه می‌دهد (یقینی و اخوان کاظم‌زاده، 1390). هر مسئله بهینه‌سازی در الگوریتم ژنتیک دارای تعدادی کروموزوم است که هر کروموزوم نماینده یک فرد می‌باشد. در الگوریتم‌های ژنتیک، هر کروموزوم نشان دهنده یک نقطه در فضای جستجو و یک راه‌حل ممکن برای مسئله مورد نظر است.

مجموعه ای از کروموزوم‌ها یک جمعیت را تشکیل می‌دهند. نقش جمعیت نگهداری جواب های مناسب است (یقینی و اخوان کاظم‌زاده، 1390).

الگوریتم ژنتیک برای حل یک مسئله در ابتدا K نقطه از مجموعه فضای جستجو را به‌طور تصادفی انتخاب می‌کند. این مجموعه، جمعیت اولیه را تشکیل می‌دهد. هر فرد x از این جمعیت بر اساس مشخصات ژن‌های تشکیل دهنده آن، دارای مقدار برازندگی معینی است که درجه مطلوبیت آن فرد را تعیین می‌کند. این الگوریتم تکاملی در طی نسل‌های متوالی به‌طور تدریجی تکامل پیدا می‌کند. در طول نسل ها، هدف بهبود برازندگی افراد است. به‌طور کلی حرکت از نسلی به نسل دیگر طی چهار فاز انتخاب، تولید نسل، ارزیابی برازندگی و جایگزینی صورت می‌گیرد (یقینی و اخوان کاظم‌زاده، 1390).

الگوریتم ازدحام ذرات

بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) برای حل مسایل بهینه‌سازی غیرخطی با متغیرهای پیوسته ایجاد شده است. علاوه بر این، بر خلاف روش‌های تکاملی دیگر مانند الگوریتم ژنتیک، PSO می‌تواند با یک برنامه ساده‌تر پیاده‌سازی شود. این قابلیت PSO یکی از مزیت‌های آن در مقایسه با دیگر روش‌های بهینه‌سازی است (یقینی و اخوان کاظم‌زاده، 1390). اصول الگوریتم اجتماع ذرات بر این اساس می‌باشد که افراد هر گروه از دو نوع اطلاعات در فرایند تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند: اول تجربه خودشان و دوم تجربه‌های افراد دیگر (یقینی و اخوان کاظم‌زاده، 1390).

الگوریتم PSO در ابتدا با یک مجموعه جواب‌های تصادفی(Swarm) شروع می‌شود. هر عضو این مجموعه، ذره (particle) نامیده می‌شود. هدایت ذرات به این صورت انجام می‌گیرد که تمامی ذرات بهترین موقعیتی را که طی فرایند جستجو کسب کرده‌اند تحت عنوان P_{best} ، در حافظه خود ذخیره می‌کنند. از طرفی بهترین موقعیتی که تا هر مرحله توسط تمامی ذرات به دست آمده است نیز تحت عنوان G_{best} حفظ می‌شود. در این الگوریتم تمامی ذرات بر اساس یک میانگین وزنی با مولفه‌های تصادفی به سمت جواب‌های بهتر یعنی P_{best} و G_{best} حرکت می‌کنند تا در نهایت به نقطه واحدی همگرا شوند.

در الگوریتم اجتماع ذرات برای هر ذره دو بردار وجود دارد. یکی از بردارها نشان دهنده موقعیت P_{ij} و دیگری دلالت بر سرعت ذره V_{ij}می‌باشد. اگر بعد مسئله بهینه‌سازی n فرض شود، این دو بردار در هر تکرار از رابطه‌های 7 و 8 محاسبه می‌شوند.

$$V_{ij}(t)= Wv_{ij}(t-1) + c_1\, rand_1 \times (Pbest_{ij} - P_{ij}(t-1)) + c_2\, rand_2 \times (Gbest_j - P_{ij}(t-1)) \quad (7)$$

$$P_{ij}(t) = P_{ij}(t-1) + V_{ij}(t) \quad (8)$$

در این روابط W وزن اینرسی، C_1 و C_2 ضرایب یادگیری شتاب بوده که C_1 را پارامتر شناختی و C_2 را پارامتر اجتماعی می‌گویند. $Pbest_j$ نشان‌دهنده بهترین موقعیت برای ذره i و $Gbest_j$ بیان‌گر بهترین ذره میان کل جمعیت تا تکرار t است. اندیس j بعد بردار مورد نظر را نشان می‌دهد.

طرف راست رابطه 7 دارای سه جمله است. اولین جمله سرعت قبلی عامل است. جملات دوم و سوم برای تغییر سرعت عامل است. بدون جملات دوم و سوم، عامل پرواز کردن را در جهت قبلی خود ادامه خواهد داد تا به مرز برخورد کند. عامل سعی می‌کند ناحیه‌های جدید را جستجو کند و بنابراین، اولین جمله با تنوع در روند جستجو متناظر است. به عبارت دیگر، بدون جمله اول، سرعت پرواز کردن عامل تنها با استفاده از موقعیت فعلی و بهترین موقعیت آن در گذشته تعیین می شود.

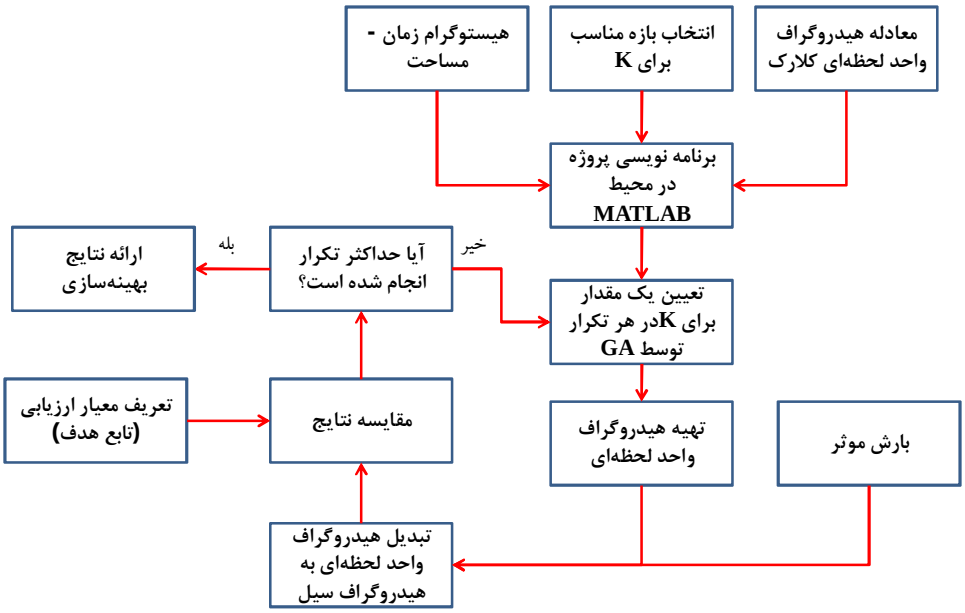
تعیین مقدار ضریب ذخیره با استفاده از GA و PSO

با توجه به اهمیت انتخاب تابع هدف، شاخص ارزیابی حداقل مربعات به‌عنوان تابع هدف تعریف گردید (گرمه‌ای و همکاران، 1394؛ Hosseini et al., 2006; Ahmad et al., 2010). به‌منظور تعیین مقدار عددی پارامتر ضریب ذخیره از GA و PSO در نرم افزار Matlab استفاده شد. در این مرحله با انتخاب بازه مناسب برای پارامتر مدنظر و انتخاب یک عدد در هر اجرا (عدد انتخاب شده در بازه تعریف شده می‌باشد) و هم‌چنین تعیین پارامترهای GA شامل نرخ جهش (0/02)، نرخ تقاطع (0/8) و تعداد نسل (200) مدل اجرا گردید. در PSO نیز تعداد ذرات اولیه الگوریتم 20 عدد و حداکثر تعداد تکرار الگوریتم برابر 200 در نظر گرفته شده است. دامنه مناسب هر پارامترها در الگوریتم‌های GA و PSO با توجه به سوابق پژوهش تعیین و مقدار مناسب آن‌ها به‌روش سعی و خطا به‌دست آمد(Wang., 1991; Hosseini et al., 2006; Dong., 2007; Ahmad et al., 2010).

در شکل 2 روش انتخاب مقدار بهینه برای پارامتر ضریب ذخیره با استفاده از GA ارایه شده است. مراحل یاد شده برای الگوریتم PSO نیز مشابه می‌باشد.

همچنین نتایج حاصل از این روش‌ها با رویکرد معمول در برآورد پارامتر ضریب ذخیره با کمک روش ترسیمی (رابطه 9) به‌دلیل سهولت استفاده و عملکرد بهتر در مقایسه با سایر شیوه‌ها (صادقی و دهقانی، 1385؛ اسدی و همکاران، 1389) مورد مقایسه قرار گرفت.

$$K = \frac{\Delta t}{ln\left[\frac{Q_0}{Q_t}\right]} \quad (9)$$



شکل 2- نمودار جریانی رویکرد بهینه‌سازی به‌وسیله GA به منظور تعیین پارامتر ضریب ذخیره

که در آن دبی در آغاز مقطع زمانی (Q_0)، دبی بعد از یک پایه زمانی لگاریتمی (Q_t) و مقطع زمانی (t) به ترتیب برحسب مترمکعب بر ثانیه، مترمکعب بر ثانیه و ساعت می‌باشند (صفوی، 1385؛ Subramanya., 2000).

در نهایت نتایج هر دو روش تعیین پارامتر ضریب ذخیره در شبیه‌سازی آب‌نمود سیل‌های منتخب با استفاده از ضریب کارایی (رابطه 10) و خطای نسبی (رابطه 11) در تعیین دبی و زمان تا اوج مورد مقایسه قرار گرفتند.

$$CE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{n}\left(Obs_i - Sim_i\right)^2}{\sum_{t=1}^{n}\left(Obs_i - \overline{Obs}\right)^2} \quad (10)$$

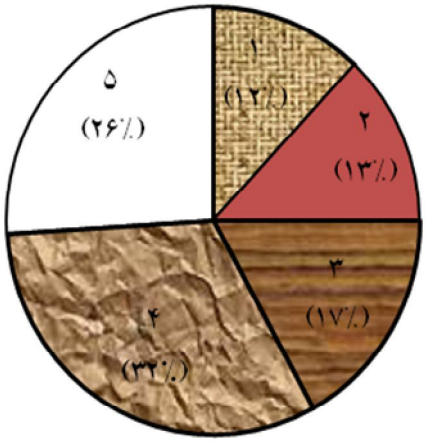
$$RE(\%) = 100 \times \left|\left(Obs_i - Sim_i\right)/\left(Obs_i\right)\right| \quad (11)$$

نتایج و بحث

نتایج تحلیل آب‌نمودها، روش تهیه هیستوگرام زمان-مساحت، واسنجی پارامتر مدل کلارک، شبیه‌سازی آب‌نمود و هم‌چنین ارزیابی کارایی مدل کلارک در برآورد مولفه‌های مختلف آب‌نمود در این بخش ارایه شده است.

منحنی زمان- مساحت

همان‌گونه که در روش پژوهش ذکر شد، نقشه خطوط هم‌زمان تمرکز و هیستوگرام زمان- مساحت با روش پروفیل طولی تهیه و نتایج آن‌ها در شکل 3 ارایه شده است. در این راستا حداکثر زمان پیمایش بین دو خط هم‌زمان تمرکز 4 ساعت در نظر گرفته و کل حوزه آبخیز مذکور به 5 قسمت با زمان پیمایش مساوی تقسیم شد. در نهایت مساحت هر بخش هم‌زمان تمرکز در محیط GIS محاسبه گردید.



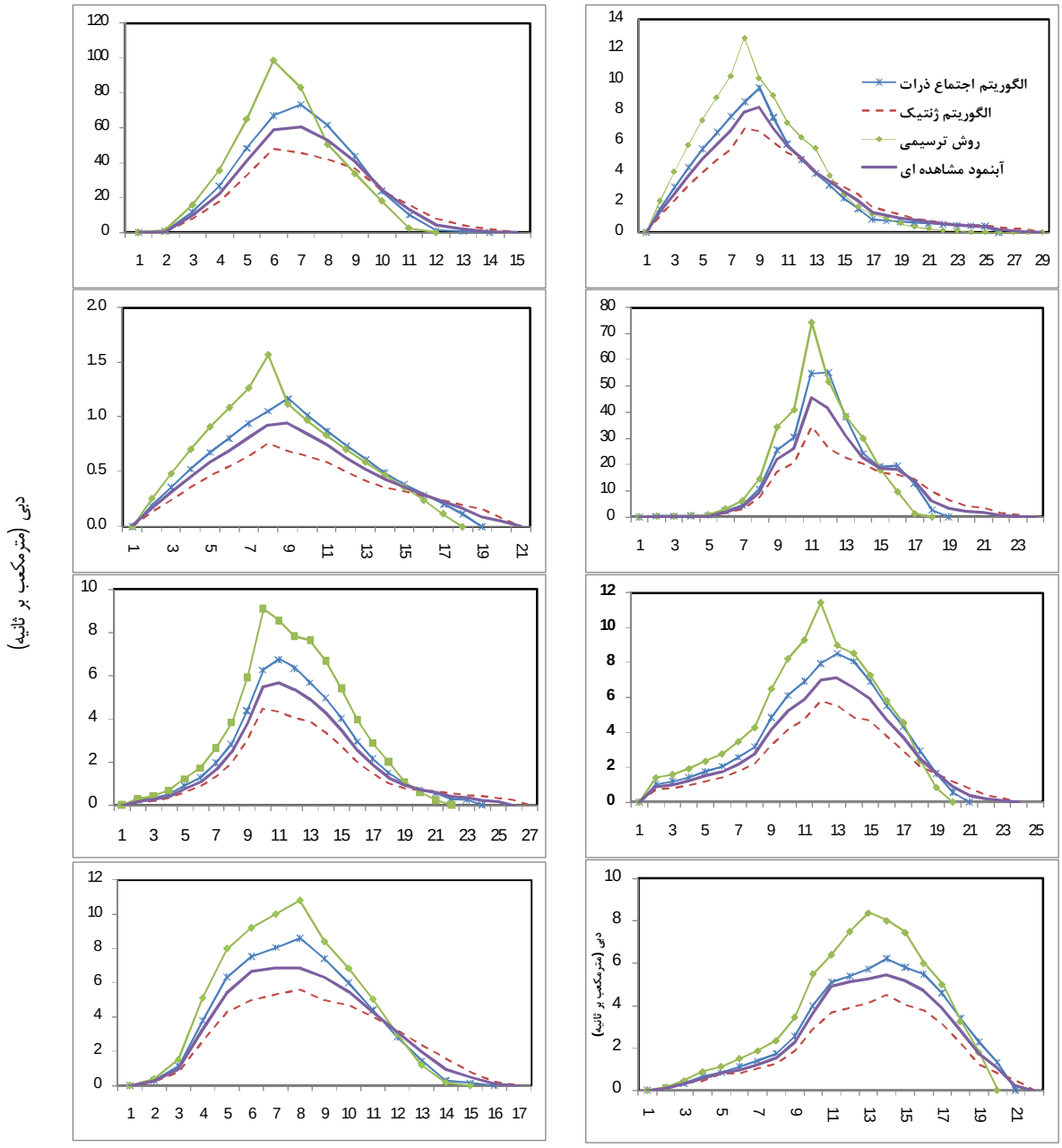
شکل 3- درصد مساحت مناطق هم‌زمان تمرکز
(اعداد به‌ترتیب نشان دهنده مناطق هم‌زمان تمرکز و درصد مساحت آن‌ها است)

در ادامه با استفاده از رابطه 4 منحنی زمان - مساحت، در هر پایه زمانی Δtc، به دبی جریان تبدیل شد. همان‌طور که ذکر گردید در روش کلارک، اثر جابه‌جایی توسط منحنی زمان- مساحت در نظر گرفته می‌شود و برای تاثیر ذخیره حوزه آبخیز، روندیابی جریان از یک

مخزن فرضی صورت می‌گیرد. همچنین بر اساس زمان پیمایش بین خطوط همزمان تمرکز میزان Δtc چهار ساعت در نظر گرفته شد.

نتایج واسنجی پارامتر ضریب ذخیره

در این قسمت بر اساس روش ارایه شده در روش پژوهش اقدام به واسنجی پارامتر ضریب ذخیره با استفاده از GA و PSO و مقایسه نتایج با روش معمول ترسیمی شد. لازم به توضیح است در هر دو روش بهینه‌سازی مورد استفاده در این پژوهش از نمایش اعداد پیوسته استفاده شد.



شکل 4- آب‌نمودهای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با استفاده از روش‌های مختلف تعیین ضریب ذخیره روش کلارک

جدول 2- نتایج ارزیابی آب‌نمود شبیه‌سازی شده حاصل از روش ترسیمی، GA و PSO

شماره آب‌نمود	ضریب کارایی		
	الگوریتم ژنتیک	الگوریتم ازدحام ذرات	روش ترسیمی
1	0/72	0/78	0/66
2	0/65	0/69	0/59
3	0/78	0/79	0/69
4	0/45	0/51	0/26
5	0/63	0/65	0/58
6	0/42	0/48	0/37
7	0/68	0/70	0/60
8	0/45	0/48	0/35

در نهایت به‌منظور امکان مقایسه بهتر دو روش GA و PSO در بهینه نمودن مقدار ضریب ذخیره، جمعیت و تعداد تکرار در هر دو روش برابر در نظر گرفته شد و حداکثر تولید نسل جدید نیز 200 مدنظر قرار گرفت. در شکل 4 نتایج شبیه‌سازی آب‌نمود سیلاب‌های منتخب در سه روش تخمین ضریب ذخیره مدل کلارک نشان داده شده است. هم‌چنین نتایج معیارهای ارزیابی مدل برای روش‌های PSO، GA و ترسیمی در تخمین ضریب ذخیره به ترتیب در جدول 2 ارایه شده است.

نتایج ارایه شده در جدول 2 به‌خوبی دلالت بر دقت مناسب آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک در شبیه‌سازی آب‌نمودهای حوزه آبخیز تمر با متوسط ضریب کارایی 64، 60 و 52 درصد به‌ترتیب مربوط به برآورد پارامتر ضریب ذخیره به وسیله روش‌های PSO، GA و ترسیمی دارد. نتایج حاصل به‌خوبی کارایی و دقت مدل کلارک را نشان می‌دهد که منطبق با پژوهش‌های پیشین در ایران (صادقی و دهقانی، 1385؛ اسدی و همکاران، 1389) و سایر نقاط جهان (Sabol., 1988; Kumar et al., 2007; Ahmad et al., 2009) می‌باشد. بنابراین باید اذعان کرد که در مطالعه اخیر کارایی مدل کلارک در مجموع و در هر سه روش تعیین ضریب ذخیره مناسب می باشد، در این راستا با افزایش مساحت حوزه آبخیز انتظار نتایج بهتری از مدل کلارک متصور می‌باشد، به‌گونه‌ای‌که در پژوهش مصطفی‌زاده و همکاران (1388) در آبخیز جعفرآباد با مساحت حدود 110 کیلومترمربع نتایج خوبی گزارش نشد در حالی‌که صادقی و دهقانی (1385) و احمد و همکاران (Ahmad et al 2009) در بررسی‌های خود در آبخیزهای بزرگ‌تر و تقریبا هم‌اندازه آبخیز تمر به نتایج مناسبی دست یافته‌اند.

دقت در میانگین ضریب کارایی به‌روشنی نشان دهنده تفاوت کارایی آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک با توجه به روش مورد استفاده در تخمین پارامتر ضریب ذخیره می‌باشد. به‌گونه‌ای استفاده از روش بهینه‌سازی PSO منجر به حداکثر دقت در شبیه‌سازی آب‌نمودهای آبخیز تمر شده است حال آن‌که تخمین این پارامتر از طریق روش ترسیمی دارای حداقل دقت در شبیه‌سازی آب‌نمودها بوده است. به گفته صادقی و دهقانی (1385)، شکوهی و ثقفیان (1385) و کومار و همکاران (Kumar et al 2007) بخشی از دقت در برآورد آب‌نمود جریان، به روش مورد استفاده در تعیین پارامترهای ورودی مدل وابسته است. از سوی دیگر می‌توان بیان نمود برتری روش‌های بهینه‌سازی فرااکتشافی الگوریتم ژنتیک نسبت به روش‌های تجربی در برآورد پارامترهای مدل آب‌نمود نش توسط حسینی و همکاران (Hosseini et., al 2006) نیز گزارش شده است. هم‌چنین برتری روش PSO نسبت به GA در تعیین مقدار پارامتر ضریب ذخیره و شبیه‌سازی آب‌نمود می‌تواند در برتری روش مذکور در بهینه‌سازی مسائل پیوسته نسبت به GA باشد. به گونه‌ای که GA در بهینه‌سازی‌های گسسته و PSO در بهینه‌سازی‌های پیوسته دارای دقت بیش‌تری می‌باشند. از سوی دیگر سادگی محاسبات در کنار سرعت بیش‌تر این الگوریتم نسبت به GA در رسیدن به پاسخ‌های بهینه از مزایای PSO می‌باشد (گرمه‌ای و همکاران، 1394).

در یک مقایسه کیفی از نتایج به‌دست آمده در شکل 4 می‌توان دریافت که آب‌نمودهای حاصل از کاربرد مدل کلارک با استفاده از روش ترسیمی در محاسبه ضریب ذخیره، دبی اوج بیش‌تری را نسبت به آب‌نمود مشاهده‌ای برآورد نموده است حال آن‌که آب‌نمودهای شبیه‌سازی شده با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی در تعیین مقدار پارامتر ضریب ذخیره، دارای دبی اوج کم‌تری نسبت به مقادیر مشاهده‌ای داشته‌اند. با این حال نتایج ارایه شده در جدول 4 دلالت بر شبیه‌سازی خوب آب‌نمودها در هر سه روش مورد استفاده در این پژوهش دارد.

هم‌چنین زمان تا اوج شبیه‌سازی شده توسط روش کلارک با استفاده از سه روش تعیین پارامتر ضریب ذخیره دارای تفاوت‌هایی می‌باشند. به‌گونه‌ای که در روش ترسیمی اوج آب‌نمودها زودتر از مقدار واقعی و مشاهده‌ای شبیه‌سازی شدند. از سوی دیگر زمان تا اوج شبیه‌سازی شده آب‌نمود کلارک در روش‌های PSO و GA برای بهینه نمودن مقدار ضریب ذخیره دیرتر از مقدار مشاهده‌ای شبیه‌سازی

شده‌اند. هم‌چنین بر پایه بررسی شکل 4 می‌توان دریافت که مدل در برآورد زمان تا اوج موفق‌تر از سایر پارامترها بوده که با تاکیدات بورتک‌سیکای و همکاران (Bourletsikas et., al 2006) مبنی بر توانایی رضایت بخش‌تر مدل زمان - مساحت در شبیه‌سازی شاخه بالارونده آب‌نمود در یونان موافقت دارد.

نتیجه‌گیری

به‌منظور نیل به اهداف از پیش تعیین شده در پژوهش حاضر، ابتدا نقشه هم‌زمان تمرکز و هیستوگرام زمان -مساحت آبخیز تمر تهیه و سپس با استفاده از روش‌های تجربی و بهینه‌سازی مقدار پارامتر ضریب ذخیره مدل آب‌نمود لحظه‌ای کلارک تعیین گردید. با در نظر گرفتن هیستوگرام بارش موثر، آب‌نمود رواناب مستقیم برای رگبارهای انتخابی، شبیه سازی شد، در ادامه دقت نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت.

با استفاده از نتایج به‌دست آمده طی پژوهش حاضر می‌توان جمع‌بندی نمود که مدل کلارک در شبیه‌سازی آب‌نمود واحد سیلاب در حوزه آبخیز تمر در استان گلستان به‌طور کلی از کارآیی بالا برخوردار بوده و در صورت تخمین صحیح پارامتر ضریب ذخیره آبخیز، دقت آن به مراتب افزایش خواهد یافت. هم‌چنین بر اساس نتایج پژوهش می‌توان بیان نمود که دقت نتایج مدل کلارک به محاسبه ضریب ذخیره آبخیز به‌عنوان پارامترهای ورودی وابسته است، بنابراین محاسبه دقیق این پارامتر می‌تواند درستی نتایج مدل یاد شده را بهبود بخشد.

منابع

اسدی،ه.، مرادی،ح.ر.، تلوری،ع.ر.، صادقی،س.ح.ر. 1389. ارزیابی روش‌های تخمین ضریب ذخیره آب نمود واحد لحظه‌ای کلارک در شبیه‌سازی آب نمود واحد سیل. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 14 .53: 41-50.

شکوهی ع.ر.، ثقفیان،ب. 1385. مقایسه روش‌های استخراج خطوط هم‌زمان پیمایش برای استفاده در روش روندیابی زمان-مساحت. فصل‌نامه تحقیقات منابع آب ایران. 3.2: 50-39.

صادقی.، س.ح.ر.، دهقانی .،م. 1385 . دقت روش‌های تخمین ضریب ذخیره آبنمود واحد لحظه‌ای در بازسازی آبنمود واحد مطالعه موردی: حوزه آبخیز بازفت. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی 3: 152-160.

صفوی،م.ر. 1385. هیدرولوژی مهندسی، انتشارات ارکان.

علیزاده،ا. 1385. اصول هیدرولوژی کاربردی . انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد.

کابلی،ح.، آخوندعلی،ع.م. 1388. ارزیابی روش‌های تلفات باران در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل (مطالعه موردی : حوضه آبریز کسیلیان). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 23 .3: 98-109.

گرمه‌ای،ر.، فریدحسینی،ع.ر.، هاشمی‌نیا،س.م.، حجتی،ع. 1394. واسنجی و اعتباریابی پارامترهای مدل HEC-HMS با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) رویکرد تک هدفه. آب و خاک. 3.29: 615-626.

مصطفی‌زاده،ر.، بهرمند،ع.ر.، سعدالدین،ا. 1388. شبیه‌سازی هیدروگراف رواناب مستقیم با مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک (مطالعه موردی :آبخیز جعفرآباد استان گلستان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. 3.16: 105-122.

نساجیان زواره،ح.، وفاخواه،م.، تلوری،ع.ر. 1389. تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب در بخشی از حوزه آبخیز مرکزی. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. 11.4: 52-49.

نوجوان،م.، اکبرپور،ا. 1389. طرح بهینه هیدروگراف واحد با استفاده از الگوریتم های SA و ژنتیک و مقایسه نتایج آن‌ها با یکدیگر (مطالعه موردی: حوضه آبریز کامه). فصل‌نامه زمین‌شناسی ایران. 14.4: 31-23.

وفاخواه،م.، دستورانی،ع.، مقدم‌نیا،ع.ر. 1393. بهینه‌سازی پارامترهای مدل ماسکینگام غیرخطی با استفاده از الگوریتم کلونی زنبورعسل. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک .3.21: 253-267.

یقینی،م.، اخوان کاظم‌زاده،م. 1390. الگوریتم‌های بهینه‌سازی فرا-ابتکاری. انتشارات جهاد دانشگاهی، 448 ص.

Ahmad,M.M., Ghumman,A.R., Ahmad,S., Hashmi,H.N. 2010. Estimation of a unique pair of Nash model parameters: an optimization approach. Water resources management. 24.12: 2971-2989.

Ahmad,M.M., Ghumman,A.R., Ahmad,S. 2009. Estimation of Clark's instantaneous unit hydrograph parameters and development of direct surface runoff hydrograph. Water resources management. 23.12: 2417-2435.

Aksoy,H., Kurt,I., Eris,E. 2009. Filtered smoothed minima base-flow separation method. Hydrology. 372:94-101.

Al-Smadi,M. 1998. Incorporating spatial and temporal variation of watershed response in a GIS-based hydrologic model. M.Sc. Thesis in Biological Systems Engineering, Virginia, Blacksburg, 148p.

Bourletsikas,A., Baltas,E and Mimikou,M. 2006. Rainfall - runoff modeling for an experimental watershed of Western Greece using extended time-

114.1:103-111.

Saghafian,B., Julien.P.Y., Rajaie,H. 2002. Runoff hydrograph simulation based on time variable isochrone technique. Journal of Hydrology. 261:193-203.

Seong,K.W., Ball,J.E., Lee,Y.K. 2008. Application of a regionalized Clark IUH model with limited hydrologic data availability. Hydrological Processes. 22: 3651-3660.

Singh,V.P. 1988. Hydrologic Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Subramanya,K. 2000: Engineering Hydrology. 2nd edition, New Delhi, India, 391pp.

Vafakhah,M., Dastorani,A., Moghaddam nia,A. 2015. Optimal Parameter Estimation for Nonlinear Muskingum Model based on Artificial Bee Colony Algorithm. Ecopersia. 3.1: 847-865.

Wang,Q.J. 1991. The genetic algorithm and its application to calibrating conceptual rainfall-runoff models. Water Resources Researches. 27. 9: 2467-2471.

Wang,W., Xu,Z., Qiu,L., Xu,D. 2009. Hybrid chaotic genetic algorithms for optimal parameter estimation of Muskingum flood routing model, P 215-218. In: Proceeding of International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, Sanya, Hainan, China.

Zhao,B., Tung,Y.K., Yang,J.C. 1995. Estimation of unit hydrograph by ridge least squares method. Journal Irrigation and Drainage Engineering. 121.3:253-259.

area method and GIS. Journal of Spatial Hydrology. 6.1: 93-104.

Chen,J., Yang,X. 2007. Optimal parameter estimation for Muskingum model based on Gray-encoded accelerating genetic algorithm. Communality Nonlinear Science Numerical Simulation. 12: 849-858.

Chu,H.J., Chang,L.Ch. 2009. Applying particle swarm optimization to parameter estimation of the nonlinear Muskingum model. Journal of Hydrologic Engineering. 9: 1024-1027.

Dong,S.H. 2007. Genetic algorithm based parameter estimation of Nash model. Journal of Water Resource Management. 22 .4:525-533.

Hosseini,S.M., Zahraie,B., Hourfar,A. 2006. Parameter Estimation of Nash Conceptual Model Using Genetic Algorithm and Ordinary Least Square Methods, Iran-Water Resources Research. 2.2: 10-12.

Kumar,R., Chatterjee,C., Singh,R.D., Lohani,A.K., Kumar,S. 2007. Runoff estimation for an ungauged catchment using geomorphological instantaneous unit hydrograph (GIUH) models. Hydrological Processes. 21:1829-1840.

Mohan,S., Loucks,D.P. 1995. Genetic algorithms for estimating model parameters. Proc. 22 Annu. Integrated Water Resources Planning for the 21st Century, p 460-463.

Noorbakhsh,M.E., Rahnama,M.B., Montazeri,S. 2005: Estimation of Instantaneous Unit Hydrograph with Clark`s Method Using GIS Techniques. Journal of Applied Sciences. 5 3: 455-458

Sabol,G.V. 1988. Clark unit hydrograph and R-parameter estimation. Hydraulic Engineering.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 11, Jun.-Jul. 2017, p. 229-239

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره2، جلد 11، خرداد - تیر 1396، ص. 239-229

Comparison of PSO and GA in Calibration of Clark's IUH Storage Coefficient

H. Noor[1*], **S. Fazli**[2]

Recived: Jul.05, 2016 Accepted: Mar.13, 2017

Abstract

Evaluation of watershed hydrograph is prerequisites for the appropriate design of soil and water resources management programs in the watershed. Therefore, in ungauged watershed, simulation of storm water hydrograph is important for designing flood control measures, determining flood-plain boundaries and watershed management plan. The Clark method is one of the most applicable techniques for simulation direct hydrograph whose efficacy depends upon the accuracy in estimating storage coefficient. However, very limited studies have been conducted to using optimization method for Clark parameter estimation. Therefore, this study is focused on parameter estimation methods of GA and PSO for estimating the k parameter (storage coefficient of Clark model) and compare with graphical method. The Tamar watershed located in Golestan Province with 1515 km2 selected for this purpose. After collected physiographic, rainfall and runoff data for eight storms, the Clark's time-area model was employed for simulation of flow hydrograph and routed to the watershed outlet. The results of study revealed that the Clark's IUH resulted from PSO optimization method for estimation storage coefficient (K) has better performance with efficiency coefficient of 0.64 than GA and graphical method (efficiency coefficient of 0.60 and 0.52, respectively). The results also, showed that Clark IUH model predicted all hydrograph component with good accuracy.

Key Words: Inverse Modeling, IUH, Optimization Algorithm, Parameter Estimation

1 , 2- Young researchers and elite club, Islamic Azad University, Nour Branch, , Nour, Iran and Soil Conservation and Watershed Management Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, AREEO, Mashhad, Iran
(*-Corresponding Author: Hamzeh Noor, E-mail: Noorhamze@gmail.com)