

## طراحی بهینه سیستم کنترل سیلاب عسلویه با استفاده از الگوریتم ژنتیک

مهرداد غفاری(1) - دکتر محمد هادی افشار(2) - دکتر عباس افشار(2)

(1) دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علم و صنعت ایران (mghafari\_cih@yahoo.com)

(2) هیئت علمی دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران (mhafshar@iust.ac.ir)

### چکیده:

با توجه به این که سیستم های کنترل و هدایت سیلاب بسیار گسترده و پر هزینه هستند، طراحی سیستم های با هزینه کمتر، در عین لحاظ کردن کلیه پارامترها و متغیرهای طراحی ذهن محققان را به خود مشغول کرده است. در این تحقیق ضمن بررسی تاریخچه تحقیقات و تلاش های انجام گرفته، روش های مختلف بهینه سازی مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت الگوریتم ژنتیک به عنوان روش جستجو برای طراحی بهینه این سیستم بکار گرفته شده است. مدل بهینه سازی تهیه شده، از یک شبیه ساز قوی برای تحلیل جریان غیر ماندگار در کانالهای باز استفاده می کند. شبیه ساز هیدرولیکی مورد استفاده، بلوک Transport از نرم افزار SWMM است که علاوه بر شبیه سازی و تحلیل جریان در کانالهای باز، قادر به طراحی ابعاد کانال با توجه به شیب و هیدروگراف های ورودی می باشد. همچنین با اعمال تغییراتی در این نرم افزار می توان سد و مخزن آنرا شبیه سازی نمود. تلفیق الگوریتم ژنتیک به عنوان بهینه ساز و SWMM به عنوان شبیه ساز، مجموعه ای کارآمد ایجاد کرده است که ضمن بررسی دقیق رفتار هیدرولیکی سیستم، قادر به طراحی بهینه سیستم مورد نظر است. قابلیت های بالای مدل مورد نظر با کاربرد مدل در طراحی بهینه سیستم کنترل سیلاب عسلویه و مقایسه نتایج آن با نتایج روشهای طراحی سنتی نشان داده شده است.

کلمات کلیدی: الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی، SWMM-Transport، سیستم کنترل سیلاب، سدهای تأخیری

### 1) مقدمه :

با وجود پیشرفت چشمگیر تکنولوژی، هنوز هم حوادث طبیعی از قبیل طوفان، زلزله و سیلاب، زندگی انسانها را شدیداً تحت تأثیر قرار می دهند و اثرات اجتماعی نامطلوب و خسارات اقتصادی زیادی ایجاد می کنند. عمده اثرات اجتماعی و خسارات اقتصادی، ناشی از سیلابها می باشد. بر اساس آمار منتشره در سال 1988 توسط سازمان ملل (U.N.D.R.O)، 162 سیلاب بطور میانگین بیش از 10 کشته داشته و یا یک میلیون دلار آسیب وارد کرده و 19 میلیون نفر را بی خانمان کرده است. آمار مربوط به سالهای 1986 تا 1996 نیز نشان می دهد که اثرات اجتماعی و خسارات اقتصادی ناشی از سیلاب، رو به افزایش است. [1]. با انجام اقدامات مدیریتی و ساختمانی می توان سیل را مهار نمود و یا حداقل از خسارات ناشی از آن کاست. برخی اقدامات ساختمانی که در فرایند کنترل سیلاب ممکن است انجام شوند عبارتند از احداث سد، کانال، خاکریز و ... که باید یک ارتباط منطقی بین ابعاد این سازه ها وجود داشته باشد. برای مثال در یک حوضه دارای سیل طراحی مشخص هر اندازه ارتفاع سد بیشتر باشد ابعاد کانال لازم برای هدایت آب به پایین دست کمتر خواهد شد. زیرا با زیاد شدن ارتفاع سد، حجم مخزن پشت سد افزایش یافته و زمان لازم برای سرریز شدن آن هنگام وقوع سیل افزایش می یابد. در نتیجه کانال فرصت بیشتری برای هدایت سیل ورودی به پایین دست پیدا می کند. بنابراین می توان دبی عبوری از تخلیه کننده تحتانی سد را کاهش داد که پیامد آن کاهش ابعاد کانال خواهد بود. هدف این تحقیق ارایه مدلی برای طراحی بهینه سیستم هدایت و کنترل سیلاب **مشکل از یک سد تأخیری و شبکه**

**بخش سیلاب پایین دست** میباشد. نگاهی به مقالات و تحقیقات موجود نشان می دهد که الگوریتم های بهینه سازی متفاوتی، تحت شرایط مختلف، به خدمت گرفته شده و مدل های گوناگونی ارایه شده است. در این میان تحقیق جدی با استفاده از الگوریتم ژنتیک صورت نگرفته، در حالی که این الگوریتم در حوزه های مشابه مانند طراحی شبکه آب شهری و شبکه جمع آوری آب های سطحی موفق بوده و نتایج خوبی داشته است. لذا در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک برای طراحی سیستم مورد نظر استفاده شده است. از الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی شبکه توزیع آب، جمع آوری آب های سطحی و همچنین استخراج قوانین بهره برداری از مخزن استفاده شده است. با توجه به نتایج خوبی که در این عرصه ها بدست آمده و با توجه به تشابه آنها با سیستم کنترل سیلاب، امید موفقیت در این عرصه نیز بیشتر می شود.

Wang، از الگوریتم ژنتیک<sup>1</sup> (GA) برای کالیبره کردن یک مدل مفهومی بارش - رواناب استفاده کرد [2]. Franchini برای کالیبره کردن یک مدل مفهومی بارش - رواناب، الگوریتم ژنتیک را با برنامه ریزی غیر خطی متوالی ترکیب کرد [3]. Murphy و همکارانش با استفاده از GA ساده، روشی برای بهینه کردن شبکه آب ارائه دادند [4]. Simpson و همکارانش کارآیی روش های شمارش کامل، برنامه ریزی غیرخطی (NLP) و الگوریتم ژنتیک را برای یک شبکه لوله نمونه مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که GA می تواند راه حل های قابل قبولی ارائه کند. [5]. Davidson & Golter از GA برای بهینه کردن شکل شبکه های شاخه ای مانند سیستم های توزیع آب یا گاز استفاده نمودند. [6]. GA ارتقاء یافته بوسیله Dandy و همکارانش ابداع شد و برای محاسبه هزینه بهینه شبکه لوله استفاده گردید. [7]. Ritzel و همکارانش یک مسأله آلودگی آب های زیرزمینی را با GA حل کردند. [8]. Mckinney & Lin نیز با استفاده از GA یک مدل مدیریت آب زیرزمینی را حل کرده اند. [9]. East & Hall ، GA را برای مسأله چهار مخزنی بکار برده اند. هدف آنها حداکثر سود حاصل از تولید نیرو و تأمین آب کشاورزی تحت شرایط ثابت ذخیره و آزادسازی آب از مخزن بود [10]. Fahmy و همکاران نیز از GA در سیستم منابع آب استفاده کرده و عملکرد GA را با DP مقایسه کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که الگوریتم های ژنتیک پتانسیل استفاده در سیستم های بزرگ حوضه رودخانه را دارند. [11]. Oliveira & Loucks از GA برای بررسی و ارزیابی قوانین بهره برداری از سیستم های چند مخزنی استفاده کردند و نشان دادند که GA می تواند برای مشخص کردن سیاست های بهره برداری موثر، استفاده شود. ویژگی برجسته GA در این زمینه آزادی عمل آن در تعریف و مشخص کردن سیاست های بهره برداری و ارزیابی آنهاست. [12]. سادات دربندی مدل GA-Transport را با تلفیق الگوریتم ژنتیک و بلوک Transport از شبیه ساز هیدرولیکی SWMM برای طراحی بهینه شبکه جمع آوری آب های سطحی ارائه نمود. [13]

آنچه مشخص است اینست که گزارش مکتوب و مدونی از کاربرد الگوریتم ژنتیک در طراحی بهینه سیستم کنترل سیلاب در دسترس نمی باشد. در این تحقیق جهت تهیه مدل برای طراحی بهینه سیستم کنترل سیلاب از الگوریتم ژنتیک به عنوان روش بهینه سازی استفاده شده است. همچنین برای تحلیل جریان در سیستم و برآورده ساختن نیازهای الگوریتم ژنتیک، بکارگیری یک شبیه ساز قوی که قادر به تحلیل جریان های غیر ماندگار در کانالهای باز باشد ضرورت دارد. بدین منظور بلوک Transport از شبیه ساز هیدرولیکی SWMM بکار گرفته شده است.

(2) طراحی بهینه سیستم کنترل سیلاب :

(1-2) فرمولبندی مدل :

مدل مورد نظر باید طرحی ارائه نماید که علاوه بر ارضای قیود و محدودیتهای هیدرولیکی، اجرایی و... کمترین هزینه را نیز داشته باشد. در شبکه معرفی شده، پارامترهایی که در هزینه موثرند عبارتند از :

1. ارتفاع سد
2. ابعاد کانال
3. طول شاخه ها
4. متوسط عمق خاکبرداری در هر شاخه
5. متوسط عمق خاکریزی در هر شاخه

بنابراین، با توجه به مطالب بالا تابع هزینه که جزئی از تابع هدف می باشد، بصورت زیر تعریف می شود :

$$Min \text{ Cost} = \sum_{i=1}^n f_i(b_i, d_i, \bar{Z}1_i, \bar{Z}2_i, L_i) + \sum_{j=1}^k g_j(Hd_j) \quad (1)$$

در این جا  $b_i$  = عرض کانال در شاخه  $i$  ،  $d_i$  = ارتفاع کانال در شاخه  $i$  ،  $\bar{Z}1_i$  = متوسط عمق خاکبرداری در شاخه  $i$  ،  $\bar{Z}2_i$  = متوسط عمق خاکریزی در شاخه  $i$  ،  $L_i$  = طول شاخه  $i$  ،  $Hd_j$  = ارتفاع سد  $j$  ،  $f_i(.)$  نمودار تابع هزینه شبکه کانالها و  $g_j(.)$  نمودار تابع هزینه سدها میباشد.

(2-2) قیود سیستم :

قیدها و محدودیتهایی که مدل باید ارضا نماید عبارتند از :

1. سرعت جریان در کانالها از حداقل سرعت مجاز کمتر نشود.

$$V_i \geq V_{\min} \quad , \quad \forall i \quad (2)$$

2. سرعت جریان در کانالها از حداکثر سرعت مجاز بیشتر نشود.

$$V_i \leq V_{\max} \quad , \quad \forall i \quad (3)$$

3. تراز آب در گره در شاخه پایین دست از شاخه بالا دست بیشتر نباشد.

$$h_i \geq H_i, \quad \forall i \quad (4)$$

4. شیب کانالها از شیب مجاز کمتر نشود. (شیب در همه شاخه ها باید مثبت باشد تا جریان بصورت

ثقلی صورت گیرد.)

$$S_i \geq S_{\min}, \quad \forall i \quad (5)$$

5. ارتفاع سد از حد مجاز اجرایی بیشتر نشود.

$$Hd_i \leq Hd_{\max}, \quad \forall i \quad (6)$$

6. ارتفاع خاکبرداری و خاکریزی از حد مجاز اجرایی بیشتر نشود.

$$diff1_i \leq diff1_{\max}, \quad \forall i \quad (7)$$

$$diff2_i \leq diff2_{\max}, \quad \forall i \quad (8)$$

7. ظرفیت شاخه از دبی ورودی به شاخه کمتر نشود.

$$q_i \geq Q_i, \quad \forall i \quad (9)$$

پارامترهای استفاده شده در روابط فوق عبارتند از:

$V_i$  = سرعت در شاخه  $i$  ،  $V_{\min}$  = می نیمم سرعت مجاز ،  $V_{\max}$  = ماکزیمم سرعت مجاز ،  $diff1_i$  = حداکثر عمق خاکبرداری در شاخه  $i$  ،  $diff2_i$  = حداکثر عمق خاکریزی در شاخه  $i$  ،  $diff1_{\max}$  = حداکثر عمق مجاز خاکبرداری ،  $diff2_{\max}$  = حداکثر عمق مجاز خاکریزی ،  $q_i$  = ظرفیت شاخه  $i$  ،  $Q_i$  = دبی طرح شاخه  $i$  ،  $h_j$  = تراز آب در گره  $j$  ( در شاخه بالا دست ) ،  $H_j$  = تراز آب در گره  $j$  ( در شاخه پایین دست ) .

### 3) مدل پیشنهادی:

در این قسمت به تشریح ساختار مدل پیشنهادی می پردازیم. اولین گام در الگوریتم ژنتیک انتخاب متغیرهای تصمیم و کد گذاری آنهاست. در این تحقیق برای اجتناب از افزایش ابعاد مساله بهینه سازی رقوم گره ها و سطح تخلیه کننده سدها، جزو متغیرهای تصمیم منظور شده ولی ابعاد کانال ها توسط شبیه ساز (Transport) طراحی میشوند. در اینحالت شبیه ساز علاوه بر تحلیل جریان، در صورت ناکافی بودن ظرفیت کانال ها، ابعاد کانال ها را طوری طرح می نماید تا بتواند دبی طرح را از خود عبور دهند. برای کانالها ابعاد اولیه ای در نظر گرفته می شود. شبیه ساز در هر گام زمانی، دبی خروجی از تخلیه کننده سد را با توجه به ارتفاع آب پشت سد

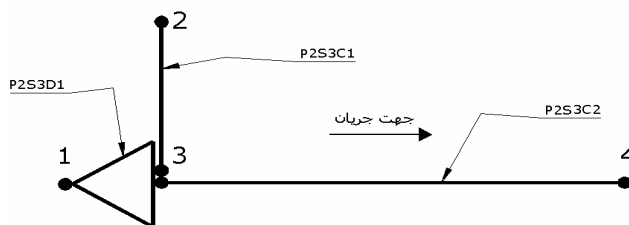
و تراز تخلیه کننده محاسبه می نماید و ابعاد کانال را برای عبور این دبی، با توجه به عمل روند و نیز شیب هر شاخه، محاسبه می نماید. این مدل را SWMM-GA می نامیم.

#### 4 ( کنترل عملکرد مدل

منطقه عسلویه به دلیل دارا بودن منابع سرشار انرژی شاهد سرمایه گذاری های عظیمی در این زمینه می باشد. لذا جهت ایجاد چتر امنیتی برای تأسیسات این منطقه طرح کنترل سیلابی در این منطقه تدوین شده و در حال اجرا می باشد. بدین منظور شرکت مشاور، این منطقه را به شش بسته و هر بسته را به چند سامانه تقسیم بندی نموده و برای هر سامانه سیستم کنترل سیلاب را طرح نموده است. لذا در این تحقیق، برای کنترل عملکرد مدل، سیستم کنترل سیلاب یکی از این سامانه ها را به وسیله مدل SWMM-GA طراحی نموده و نتایج را با طرح در حال اجرا مقایسه می نمایم. حوضه ای که برای این منظور در نظر گرفته شده است سامانه سوم از بسته دوم می باشد. بسته دوم از پنج سامانه تشکیل می شود.

#### 4-1) طراحی توسط شرکت مشاور :

طبق محاسبات مشاور، سیستم کنترل سیلاب سامانه سوم این بسته، از یک سد خاکی به ارتفاع 51/9 متر، 2 تبدیل ورودی، کانال جمعاً بطول 2228 متر و یک تبدیل خروجی تشکیل می شود. شکل (1) پلان این طرح را بصورت شماتیک نشان می دهد.



شکل (1) : پلان طرح ارائه شده توسط مشاور

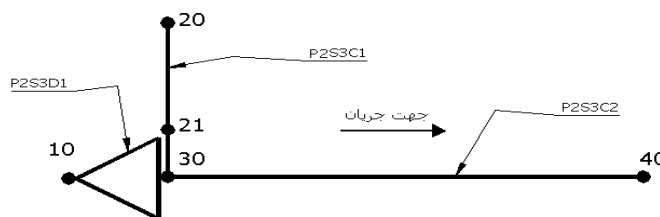
#### جدول (1) : نتایج طراحی شرکت مشاور

مشخصات کانالها				
نام کانال	ابعاد	طول	رقوم ابتدا	رقوم انتها
P <sub>2</sub> S <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	2*1/5	320	80	70
P <sub>2</sub> S <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	2/5*2	1907/6	62	2
مشخصات سدها				
نام سد	طول تاج ( m )	ارتفاع ( m )	حجم خاکریزی ( m <sup>3</sup> )	
P <sub>2</sub> S <sub>3</sub> D <sub>1</sub>	162	51/9	550000	
	6612/2		کانال	
	17743/7		شرح عملیات	
	هزینه کل اجرا (میلیون ریال)			

البته در این طرح دو شاخه P2S3C1 و P2S3C2 در نقطه 3، دقیقاً به هم متصل نمی باشند. بلکه جریان شاخه P2S3C1 از طریق یک ورودی وارد شاخه P2S3C2 می شود به گره های 1، 2 و 3 به ترتیب هیدروگرافهای سیلاب طراحی حوضه های 1، F3 و F2 وارد می شود. مشخصات این هیدروگرافها را میتوان در گزارشات مشاور یافت. مشخصات طرح ارائه شده توسط مشاور در جدول (1) آورده شده است.

#### (2-4) طراحی توسط مدل :

از آنجا که سطح منطقه دارای پستی و بلندی بوده و ناهموار می باشد بهتر است برای کمتر شدن حجم عملیات خاکی، المانهای بیشتری در نظر گرفته شود. اما مشاور در طراحی، فقط دو شاخه (P2S3C1 و P2S3C2) در نظر گرفته است. بنابراین برای اینکه بتوان نتایج مدل را با نتایج مشاور مقایسه نمود، شبکه را برای این حالت طراحی می نمایم. پلان این طرح همانند طرح ارائه شده توسط مشاور (شکل (2)) می باشد. اما برای اینکه بتوان در نقطه 3 برای دو شاخه P2S3C1 و P2S3C2، ترازهای مختلفی در نظر گرفت در مدل کردن این شبکه از یک المان اضافی استفاده می کنیم (شکل (2)).



شکل (2) : پلان طرح مدل SWMM-GA

برای این المان (المان 2130) که میان دو شاخه مذکور قرار می گیرد، طول بسیار ناچیزی در نظر گرفته می شود. همچنین در صورت تجاوز سرعت جریان در این المان از ماکزیمم سرعت مجاز، تاوان سرعت برای آن

در نظر گرفته نمی شود. بدین ترتیب این المان، نقشی شبیه Drop ایفا خواهد نمود. مشخصات المانهای در نظر گرفته شده از قبیل نوع المان ها، تراز گره های بالادست و پایین دست المان ها و طول المانها در جدول (2) مشخص شده است.

جدول (2): مشخصات المانها

نام المان	نوع المان	رقوم زمین ( m )		طول المان
		بالادست	پایین دست	
1030 (P2S3D1)	سد	150	68	-
2021 (P2S3C1)	کانال	86	72	320
2130	کانال	72	68	0/5
3040 (P2S3C2)	کانال	68	0	1907/6

به گره های 10، 20 و 30 به ترتیب هیدروگرافهای سیلاب طراحی حوضه های 1، F3 و F2 وارد می شود.

#### تعیین تابع هزینه :

با انتخاب سه نقطه از نمودار هزینه سد- ارتفاع سد که مشاور از آن برای این سامانه استفاده نموده ، رابطه درجه 2 زیر برای محاسبه هزینه سد با توجه به ارتفاع آن بدست می آید :

$$\text{هزینه ساخت سد} = 5/1 H^2 + 6/9 H \quad (10)$$

در رابطه فوق  $H$  ارتفاع سد می باشد. همچنین با استفاده از آمار و اطلاعات مشاور برای هزینه های شبکه های طراحی شده برای بسته ها و سامانه های مختلف، هزینه واحد حجم عملیات خاکبرداری، خاکریزی و عملیات بتنی بدست آمده که در جدول (3) نشان داده شده است.

جدول (3): هزینه اجرای واحد حجم عملیات

هزینه اجرای واحد حجم عملیات ( میلیون ریال )		
خاکبرداری	خاکریزی	قالببندی، آرماتوربندی و بتن
0/0124	0/0046	0/4

مشخصات شبکه طراحی شده توسط مدل، در جدول (4) نشان داده شده است.

جدول (4): نتایج طراحی مدل

مشخصات کانال ها		
نام کانال	رقوم کانال	
	گره بالادست	گره پایین دست
	ابعاد کانال ( m )	

2021 (P 2S 3C 1)	85/49	78/56	1/43/0/86
2130	78/56	62/51	0/47*0/28
3040 (P 2S 3C 2)	62/51	2/00	3/84*2/31
مشخصات سد			
نام سد	سطح مقطع تخلیه کننده ( m <sup>2</sup> )	ارتفاع سد ( m )	ماکزیمم دبی عبوری از تخلیه کننده سد ( m <sup>3</sup> /s )
1030 (P 2S 3D 1)	4/21	37/07	113/60
	هزینه اجرای سد (میلیون ریال )		7264/07
	هزینه اجرای کانالها (میلیون ریال )		6940/9
	هزینه کل (میلیون ریال )		14204/97

هزینه طرح ارائه شده توسط شرکت مشاور برای این سامانه برابر 21325/9 میلیون ریال می باشد. در صورتی که طرحی که مدل ارائه می نماید مبلغ 14204/97 میلیون ریال هزینه صرف خواهد نمود. بنابراین استفاده از مدل SWMM-GA سبب کاهش 33 درصدی در هزینه اجرای سیستم کنترل سیلاب این سامانه خواهد شد.

### 8) نتیجه گیری و پیشنهادات :

نتایج ارائه شده ما را به این باور می رساند که روش الگوریتم ژنتیک، یک روش بهینه سازی قوی و قابل تلفیق مطلوب با شبیه سازهای هیدرولیکی نظیر شبیه ساز SWMM می باشد و تلفیق ژنتیک و SWMM می تواند مدل های قوی و کارا برای طراحی بهینه سیستمهایی مشابه سیستم ارائه شده در این تحقیق بوجود آورد. در استفاده از مدلهایی که در آنها از ژنتیک به عنوان بهینه ساز استفاده می شود انتخاب مناسب پارامترهایی چون احتمال آمیزش، احتمال جهش، استفاده یا عدم استفاده از نخبه گرایی و انتخاب روش تعیین جمعیت، بستگی به نوع مغیرها ( پیوسته یا گسسته )، تعداد متغیرها و .... دارد. مقایسه نتایج حاصل از دو مدل SWMM-GA1 و SWMM-GA2 و نتایج مطلوبتر مدل دوم این نتیجه را حاصل می کند که در شرایطی که بتوان با استفاده از روابطی ( مانند روابط هیدرولیکی ) بین متغیرها ارتباط برقرار نمود، بهتراست با بکارگیری این ارتباط از تعداد متغیرهای تصمیم کاسته شود تا سرعت و دقت مدل برای دستیابی به جواب بیشتر شود. در این تحقیق، برای کاستن حجم کار، فرضها و محدودیتهایی در طراحی قائل شدیم. از جمله فرضهای صورت گرفته این است که مقاطع تعریف شده برای کانالها، منحصر به مقاطع مستطیلی شده است. در صورتی که شبیه ساز این قابلیت را دارد که اشکال مختلف هندسی از قبیل مثلث، ذوزنقه و ... را به عنوان مقطع کانال در نظر گیرد. همچنین این سیستم کنترل سیلاب فقط منحصر به سدهای تأخیری و کانال های هدایت آب شده است. در حالی که با توجه به قابلیتهای SWMM می توان بخش سیلاب را نیز در کنترل سیلاب دخیل نمود.



منابع و مراجع :

- [1] MU, RE., (1998) , Topics , Annual Review of Natural Catastrophes.
- [2] Wang Q. J. (1991). “the Genetic Algorithm and Its Application to Calibrating Conceptual Rainfall-Runoff Models”, Water Resource Research, R.,27(9), 2467-2471.
- [3] Franchini, M. (1996). “ Use of a Genetic Algorithm Combined with a Local Search Method for the Automatic Calibration of Conceptual Rainfall-Runoff Models”, J. Hydro. Sci., 41(1), pp. 21-40.
- [4] Murphy, L. J., Simpson, A. R., and Dandy G. C. (1993). “Design of a Network Using Genetic Algorithms“, Water,20, 40-42.
- [5] Simpson, A. R., Dandy G. C., and Murphy, L. J. (1994). “genetic Algorithms Compared with Other Technics for Pipe Optimization”, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 120(4), 423-443.
- [6] Davidson, J. W., and Goulter I. C. (1995). “Evolution Program for the Design of Rectilinear Branched Distribution Systems”, Journal of Computer in Civil Engineering, ASCE, 9(2), pp. 112-121.
- [7] Dandy, G. C., Simpson, A. R., and Murphy, L. J. (1996). “An Improved Genetic Algorithm for Pipe Network Optimization”, Water Resources Research, 32(2), pp. 449-458.
- [8] Ritzel, B. J., Eheart,, J. W., and Rajithan, S. (1994). “ Using Genetic Algorithms to Solve a Multiple Objective roundwater Pollution Problem”, Water Resources Research, 30(5), 1598-1603.
- [9] Mckinney, D. C., and Lin, M. D. (1994). “Genetic Algorithm Solution of Groundwater Management Models”, Water Resources Research, 30(6), pp. 1879-1906.
- [10] East, V., and Hall, M. J. (1994). “Water Resources System Optimization Using Genetic Algorithms”, Hydro informatics 94, Proc., 1st Int. Conf. on Hydro informatics, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 225-231.
- [11] Fahmy, H. S., King, J. P., Wentzel, M. W., and Seton, J. A., (1994). “Economic Optimization of River Management Using Genetic Algorithms”, Paper No. 943034, ASAE 1994 Int. Summer Meeting, American Society of Agricultural Engineers, ST Joseph, Mich.
- [12] Oliveira, R., and Loucks, D. P. (1997). “Operating Rules for Multireservior Systems”, Water Resources Research, 33(4), pp. 839-852.
- [13] سادات دربندی، احمد علی، ” طراحی بهینه شبکه جمع آوری آبهای سطحی با استفاده توأم از الگوریتم ژنتیک و ماجول SWMM-Transport “، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، 1381.