

## بهینه‌سازی سیستم استهلاک انرژی سرریزهای متوالی در سدهای بلند با استفاده از الگوریتم ژنتیک

محمد هادی افشار

استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت، تلفن: ۰۲۱-۷۳۹۱۳۱۵۹، پست الکترونیکی: [mhafshar@iust.ac.ir](mailto:mhafshar@iust.ac.ir)

محسن دارائی خواه

کارشناس ارشد مهندسی آب، دانشگاه علم و صنعت، تلفن: ۰۹۱۲-۳۰۶۰۷۲۷، پست الکترونیکی:

[mdaraeikhah@civileng.iust.ac.ir](mailto:mdaraeikhah@civileng.iust.ac.ir)

### چکیده:

در این مقاله عملکرد الگوریتم ژنتیک در طراحی بهینه سرریزهای متوالی مورد بررسی قرار گرفته است. الگوریتم ژنتیک در زمره روشهای جستجوی فراکاشی است که تکامل طبیعی موجودات را الگو قرار می‌دهد. هدف از این تحقیق، یافتن مقادیر ارتفاع و طولی از سرریزهای متوالی است که ضمن ارضاء کلیه قیود هیدرولیکی و توپوگرافی مساله، منجر به کمترین مقدار هزینه ساخت گردد. کارائی مدل بهینه سازی ارایه شده، با مقایسه نتایج حاصل از روش سنتی معرفی شده توسط ویتال و پوری، مورد آزمایش قرار گرفته است.

**کلمات واژه:** الگوریتم ژنتیک، برازندگی، انتخاب، آمیزش، جهش، سیستم سرریزهای متوالی

### ۱-مقدمه

گاهی به دلیل وضعیت توپوگرافی محل احداث سد و عدم امکان استفاده از سایر روش های استهلاک انرژی، استفاده از چند سرریز و حوضچه آرامش متوالی که در بدنه جانبی دره محل احداث سد جاسازی می شود، باعث می شود تا در سدهای بلند، انرژی جنبشی جریان در پای شوت از حد معقولی تجاوز ننموده و بتوان نسبت به استهلاک انرژی با اطمینان کافی اقدام نمود. بدین منظور روشی برای اولین بار توسط ویتال و پوری<sup>۱</sup> [۱] ارائه گردید. اصول بهینه سازی که لازمه یک بررسی کامل و حل مساله با روش های کامل تر و انعطاف پذیرتر است، در روش فوق رعایت نشده است. بدین منظور در این مقاله از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک برای طراحی بهینه سیستم سرریزهای متوالی استفاده شده است و در پایان نتایج حاصل از طراحی این دو روش برای یک مطالعه موردی مورد مقایسه قرار گرفته است. این مقاله در ۴

<sup>1</sup> Vittal and Porey

بخش تنظیم گردیده است. ابتدا مفاهیم الگوریتم ژنتیک بیان می گردد. سپس مدل بهینه سازی سیستم سرریزهای متوالی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه می شود. مطالعه موردی و نتایج نیز دو بخش آخر را تشکیل می دهند.

## ۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک رهیافتی است که تکامل طبیعی موجودات را الگو قرار می دهد. اساسی ترین اصل تکامل، وراثت است. هر نسل، خصوصیات نسل قبلی را به ارث می برد و به نسل بعد انتقال می دهد. این انتقال خصوصیات از نسلی به نسل بعد توسط ژنها صورت می گیرد. جهانی که در آن زندگی می کنیم دائماً در حال تغییر است. برای بقا در این سیستم پویا، افراد باید توانایی داشته باشند که خود را با محیط، سازگار کنند. سازگاری تعیین می کند که آن موجود چه مقدار زنده خواهد ماند و چقدر شانس دارد تا ژنهای خود را به نسل بعد انتقال دهد. مبتکر الگوریتم ژنتیک « جان هلند» [۲] با الهام گرفتن از ویژگیهای تئوری تکامل، الگوریتم جستجویی ابداع کرد که در این الگوریتم از همان اصولی که طبیعت فرایند تکامل را روی نمادهای ژنی انجام می دهد، برای تکامل جوابهای مربوط به حل های یک مساله بهینه سازی استفاده می کند. در نخستین مرحله الگوریتم ژنتیک، جمعیتی از کروموزومها به تعداد معین و بطور تصادفی تولید می شوند. هر کروموزوم بیانگر یک جواب از فضای جستجو است و فرد نام دارد. مجموعه این افراد، جمعیت یا نسل فعلی نام دارند. به هر شخص، برازندگی بر اساس مقدار تعیین شده توسط تابع هدف تعلق می گیرد. از این مقدار برای هدایت فرایند انتخاب به سمت اشخاص مناسب تر استفاده می گردد. افراد با برازندگی بالا نسبت به کل جمعیت، احتمال بیشتری برای انتخاب شدن برای تولید مثل دارند و در مقابل، اشخاص با برازندگی کمتر احتمال انتخاب کمتری دارند. پس از تعیین مقدار برازندگی اعضای جمعیت، می توان آنها را با احتمالی متناظر با برازندگی نسبی شان انتخاب کرد و برای تولید نسل بعد ترکیب نمود. در مرحله بعد نوبت به اعمال عملگرهای آمیزش و جهش می رسد. سپس در صورت لزوم رشته های اشخاص جمعیت، کدگشایی شده و تابع هدف ارزیابی می شود و مقدار برازندگی هر فرد تعیین می گردد و اشخاص مطابق با مقدار برازندگی برای جفت گیری انتخاب می شوند و فرایند به همین ترتیب تا تولید نسل بعد ادامه می یابد. [۳]

### ۲-۱- عملگرهای الگوریتم ژنتیک:

الگوریتم ژنتیک دارای سه عملگر اصلی می باشد که عبارتند از:

۱. عملگر انتخاب ۲. عملگر آمیزش ۳. عملگر جهش

#### ۲-۱-۱- عملگر انتخاب

عملگر انتخاب، اعضاء لازم جهت والد شدن برای نسل آینده را تعیین می کند. طبیعی است که اعضایی که دارای مقدار برازندگی بالائی می باشند، از احتمال بیشتری برای تولید مثل برخوردارند.

#### ۲-۱-۲- عملگر آمیزش

عملگر اصلی GA برای تولید کروموزوم جدید، عملگر آمیزش است. عملگر آمیزش، فرد جدیدی را تولید می کند که

برخی ژنهای هر دو والدین را داراست. عملکرد آمیزش در حقیقت مشابه همان اتفاقی است که در طبیعت می افتد. به این ترتیب که ژنهای دو کروموزوم والد مبادله می شود تا دو کروموزوم جدید به نام کروموزوم فرزند ایجاد شود. به جهت تغییراتی که روی کروموزوم های والد در نتیجه تبادل ژنها صورت می گیرد، کروموزومهای فرزند دارای خصوصیات ژنتیکی مشترکی با والدین می باشند.

### ۳-۱-۲- عملگر جهش

در تکامل طبیعی، جهش یک فرایند تصادفی است که یک ژن را با ژن دیگر برای تولید یک ساختار ژنتیک جدید تعویض می کند. در واقع عمل جهش مکانیسمی است که در اثر آن، یک تغییر غیر سازمان یافته و کاملاً تصادفی به یک رشته داده می شود. وجود این عملگر از آن جهت حائز اهمیت است که عملگر آمیزش با وجود آنکه کروموزوم های متفاوت با کروموزوم های والد ایجاد می کند، اما در عین حال کروموزوم های فرزند دارای ژنهای مشترکی از هر دو والد می باشند. درحالیکه عملگر جهش، مشخصه هایی را که در جمعیت والدین وجود ندارد، ایجاد می کند.

### ۳- مدل بهینه سازی سیستم سرریزهای متوالی

عناصر تشکیل دهنده مدل ریاضی طرح بهینه سیستم سرریزهای متوالی در ذیل بیان می گردد.

#### ۳-۱- مجموعه ای از متغیرهای تصمیم گیری:

متغیرهایی هستند که طراح می تواند آزادانه آنها را کنترل نماید و نقش مهمی در کارایی سیستم موثرند. مجموعه متغیرهای تصمیم گیری در این مساله عبارتند از :

$$x = (L_i, P_i) \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

$P_i$  ارتفاع و  $L_i$  طول پله  $i$  ام می باشد.  $N$  نیز تعداد حوضچه های آرامش تعریف می شود.

#### ۳-۲- تابع هدف:

تابع هدف کمیتی است که کارایی خط مشی اقتصادی طرح را اندازه گیری می کند که آن را به صورت تابعی از متغیرهای تصمیم گیری بیان می کنیم.

$$\text{Minimize } f = \sum_{i=1}^N (f_1(P_i, l_i) + f_2(P_i, l_i)) \quad (2)$$

که در آن  $f$  هزینه کل ساخت سرریز است که تابعی از متغیرهای تصمیم و هزینه بتن ریزی ( $f_1$ ) و خاکبرداری ( $f_2$ ) می باشد.

#### ۳-۳- محدودیتهای سیستم

به طور کلی سیستم دارای دو نوع محدودیت می باشد که در زیر بصورت توابع ریاضی تعریف می شوند:

الف) محدودیتهای ناشی از توپوگرافی

$$H_0 - \sum_{i=1}^N (P_i - \Delta z(i)) - \Delta z_r = 0 \quad (3)$$

(۴)

$$L_a = \sum_{i=1}^N (L(i) + x(i))$$

ب) محدودیت‌های هیدرولیکی

سرریزهای متوالی تحت شرایط خاص بازدهی مناسب را خواهند داشت. از این رو متغیرهای هندسی را در بازه ای که بازدهی حداکثر سرریزهای متوالی در آن به اثبات رسیده، محدود می کنیم:

حداکثر و حداقل ارتفاع پله:

$$P_{\min} \leq P_i \leq P_{\max} \quad (۵)$$

$P_{\min}$ ,  $P_{\max}$  حداکثر و حداقل ارتفاع مجاز پله ها می باشند و با استفاده از مقادیر حداکثر و حداقل عدد فرود جریان در حوضچه آرامش بدست می آیند. آزمایشات [۴] نشان می دهد که با محدود کردن عدد فرود به مقادیر ۹ و ۴,۵، پرش پایداری حاصل می شود و سطح آب پایین دست نسبتاً هموار است.

$$P_{\max} = \frac{q_d^{\frac{2}{3}}}{g^{\frac{1}{3}}} \left( \frac{1}{2} Fr_{1\max}^{\frac{4}{3}} + Fr_{1\max}^{\frac{-2}{3}} - \frac{1}{2^{\frac{1}{3}} C^{\frac{2}{3}}} \right) \quad (۶)$$

$$P_{\min} = \frac{q_d^{\frac{2}{3}}}{g^{\frac{1}{3}}} \left( \frac{1}{2} Fr_{1\min}^{\frac{4}{3}} + Fr_{1\min}^{\frac{-2}{3}} - \frac{1}{2^{\frac{1}{3}} C^{\frac{2}{3}}} \right) \quad (۷)$$

حداقل طول حوضچه های آرامش:

$$l_i \geq l_{i,\min} \quad (۸)$$

$l_{\min}$  حداقل طول مجاز حوضچه آرامش است و از معادله ۱۳ بدست می آید.

$$l_{i,\min} = 1.455 h_{0D} \left( \frac{P_i}{h_{0d}} \right)^{1.85} + 6(y_{2,i} - y_{1,i}) \quad (۹)$$

پارامترهای موجود در معاله فوق از روابط زیر بدست می آیند :

$$h_{0D} = \left( \frac{q_d}{C\sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (۱۰)$$

$$y_{1,i} = \left( \frac{q_d}{\frac{1}{g^2 Fr_{1i}}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (11)$$

$$y_{2,i} = \frac{y_{1,i}}{2} \left( \sqrt{1 + 8 Fr_{1i}^2} - 1 \right) \quad (12)$$

$y_{1,2}$  و  $y_{i,1}$  به ترتیب عمق جریان قبل از پرش و عمق جریان بعد از پرش می باشند.

#### ۴- مطالعه موردی

در این بخش هم روش V-P هم روش ژنتیک برای طراحی سرریز سد تهری استفاده و نتایج با هم مقایسه گردیده است. سد تهری بر روی رود گنگ در هند واقع شده است. محل احداث سرریز در قسمت راست سد بوده و جلوتر از محور سد واقع شده است. عرض کلی تاج سرریز اصلی این سد ۹۵ متر می باشد. تراز راس سرریز اصلی ۸۱۸ متر می باشد. دبی طرح ۱۱۰۰۰ متر مکعب در ثانیه و طول تاج سرریز ۸۰ متر، تراز بستر رودخانه در پایین دست ۶۰۰ متر، جمع ارتفاع سقوط جریان ۲۱۸ متر و عمق پایاب رودخانه برای سیلاب طرح ۲۹,۲۰ متر و طول موجود از تاج ابتدائی تا خروجی ۷۷۸ متر می باشد.

با در نظر گرفتن شرایط محل احداث سد و محدودیت های مساله، تنها دو حالت  $N=3$ ,  $N=4$  قابل اجرا می باشد. لازم به ذکر است که در این تحقیق، هزینه بتن ریزی و خاکبرداری در هر متر مکعب به ترتیب ۱۸۰۰۰۰ و ۲۳۱۰۰ منظور شده است. مدل برای تعداد ۵۰۰۰۰ Function Evaluation و به ازای جمعیت ها و تکرارهای مختلف، ۱۰ بار اجرا شده است. با افزایش تعداد Function Evaluation، کیفیت جوابها بهبود پیدا می کند ولی باید توجه داشت که هزینه محاسباتی نیز افزایش می یابد. بنابراین باید در هر مساله ای با توجه به هزینه محاسباتی قابل قبول، نسبت به انتخاب مناسب Function Evaluation اقدام نمود. همچنین زمان اجرای هر مدل به ازای جمعیت های مختلف آورده شده است. این زمان با کامپیوتری با این مشخصات بدست آمده است: Pentium 4, 3.08 GHz, 1.00 GB of RAM. در ادامه در قالب جداولی، نتایج حاصل با نتایج روش ویتال و پوری مورد مقایسه قرار گرفته اند و مقایسه شماتیکی نیز بین طراحی ها صورت گرفته است.



جدول ۱: نتایج محاسبات برای حالت  $N=3, N=4$

Population	Iteration	Maximum	Minimum	Average	Standard deviation	Time of one run (sec)
N=3						
25	2000	1180.7	1086.2	1132.7	31.7	37
50	1000	1176.5	1115.1	1144.5	19.1	35
100	500	1145.7	1088.7	1121.1	19.5	36
125	400	1118.1	1061.2	1090.1	20.4	37
150	334	1115.4	1076.4	1098.3	12.2	35
200	250	1068.1	1015.6	1049.3	14.9	36
N=4						
25	2000	1038.5	960.9	988.1	25.9	49
50	1000	1023.3	970.3	977.6	28.9	45
100	500	1012.3	947.7	980.9	27.9	45
125	400	1018.1	950.5	970.1	27.3	47
150	334	1080.6	938.9	980.6	39.1	45
200	250	1107.2	930.2	973.7	31.7	48

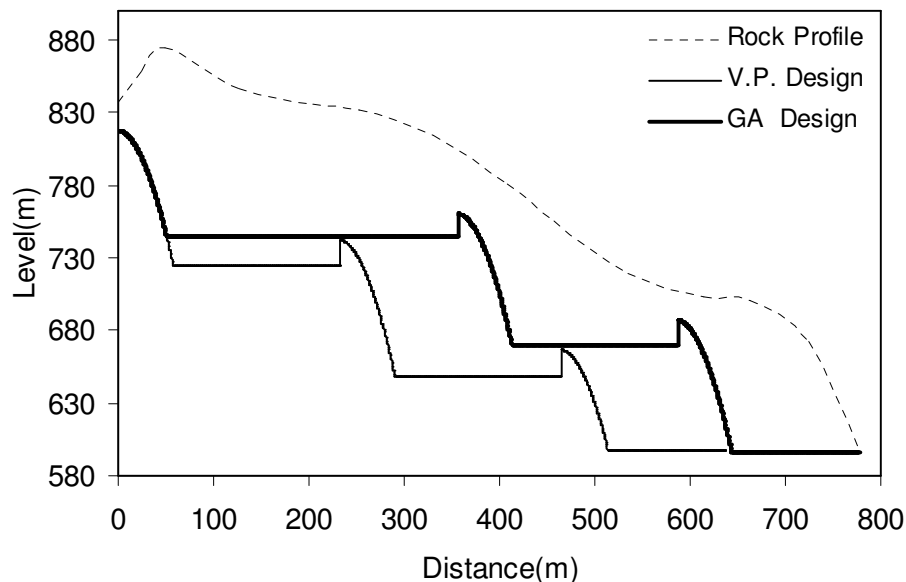
جدول ۲: نتایج اجرای مدل GA

Cascade No	P		L		XP		$\Delta z$	
	GA	V.P.	GA	V.P.	GA	V.P.	GA	V.P.
N=3								
1	83.29	93.55	308.82	175.39	54.54	58.15	16.90	17.80
2	82.38	93.55	169.17	175.39	54.21	58.15	16.81	17.80
3	87.96	66.87	134.48	125.04	56.17	46.19	0	0
N=4								
1	57.83	65.57	152.12	156.61	44.78	48.06	14.36	15.25
2	35.05	65.57	132.55	156.61	34.16	48.06	11.29	15.25
3	91.60	65.57	173.92	156.61	57.42	48.06	17.60	15.25
4	78.68	66.87	129.40	125.04	52.88	49.16	0	0

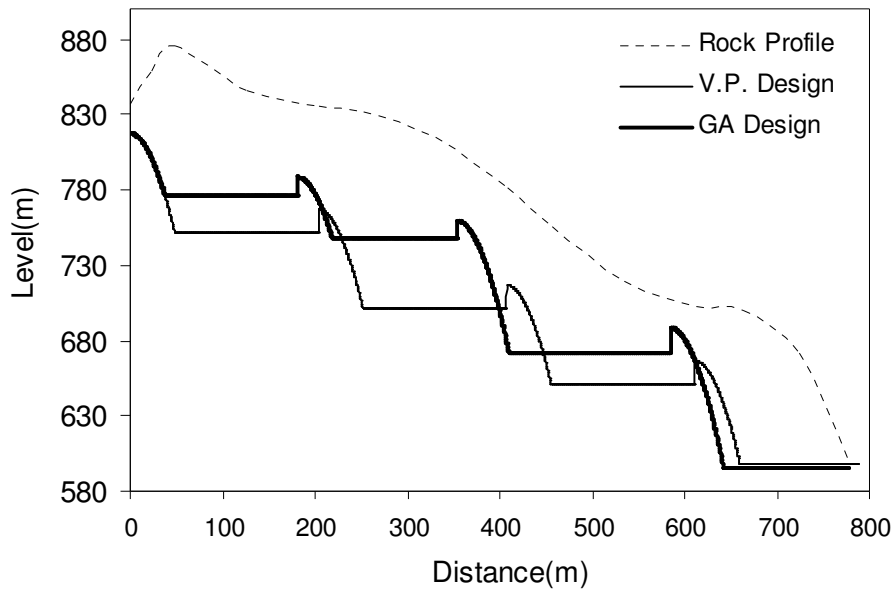
جدول ۳: واحد هزینه طراحی به روش V.P. , GA

N	GA×10 <sup>6</sup>	V.P. ×10 <sup>6</sup>
3	1015	1194
4	950	1094

جدول ۱ نتایج حاصل از دو روش V.P. , GA را به ترتیب برای N=3 و N=4 با هم مقایسه می کند. جدول ۲ نیز نتایج اجرای مدل برای جمعیت‌های مختلف جوابها را در هر نسل نمایش می دهد. همانطور که مشاهده می شود، بهترین جواب در جمعیت ۲۰۰ برای N=3 و N=4 حاصل شده است. لازم به ذکر است که اعداد مربوط به مقادیر ماکزیمم، مینیمم، میانگین و انحراف از معیار تابع هدف، بر حسب میلیون می باشند. همانطوری که از جدول ۳ مشاهده می شود GA نتایج بهتری نسبت به V-P در هر دو حالت تولید کرده است، بطوریکه باعث صرفه جوئی به ترتیب ۱۵ و ۱۳ درصدی برای حالات N=3 و N=4, شده است.



شکل ۱: مقایسه بین طراحی V.P., GA برای N=3



شکل ۲: مقایسه بین طراحی  $V.P$ ,  $GA$ , برای  $N=4$

شکل های ۱ و ۲ به طور شماتیک جوابهای روشهای  $V.P$ ,  $GA$  را با هم مقایسه می کند. همانطوریکه مشاهده می شود در هر دو حالت الگوریتم ژنتیک منجر به انتخاب طرح بهینه شده است.

### ۵- نتیجه گیری

الگوریتم بهینه سازی ژنتیک برای طراحی بهینه سیستم سرریزهای متوالی بکار گرفته شد و نتایج آن با نتایج حاصل از روش ویتال و پوری مقایسه گردید. ضعف عمده روش ویتال و پوری، عدم امکان ایجاد تنوع در حالت های ارتفاع سرریز و طول حوضچه های آرامش است. زیرا صرفاً بر اساس غیر دادن قانونمند مشخصات سرریز و حوضچه ها است که می توان مساله را بهینه کرد. نتایج بدست آمده حاکی از توانایی مدل ارائه شده در حل مسائل بهینه سازی می باشد.

### مراجع

- 1-Vittal, N.and Porey, P.D (1987) "Design Of Cascade Stilling Basins For High Dam Spillways"ASCE, journal of Hydraulic Division, ASCE, 113(9), 225-237
- 2- Holland, J. "Adaptation in natural and artificial systems" MIT Press, Cambridge Mass, 1975
- 3-Goldberg, D.E "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning" Addison-Wesley Publishing Co., 1987



ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران  
دانشگاه شهرکرد - ۱۵-۱۳ شهریور ۱۳۸۶



---

4-U.S.Burea of Reclamation (1985) “Hydraulic design of stilling basins and bucket energy dissipaters”  
Engineering Monograph No.25 U.S. Dep. of Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colo