مجله علمی ـ پژوهشی
«عمران مدرس»
دوره دهم، شماره۱، بهار ۱۳۸۹

کمینه‌سازی هزینه سرریزهای متوالی در سدهای بلند با استفاده از الگوریتم ژنتیک

محمد هادی افشار[۱]*، محسن دارائی خواه[۲]

۱- دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت

۲- کارشناس ارشد مهندسی آب، دانشگاه علم و صنعت

***تهران،صندوق پستی ۱۶۳- ۱۶۷۶۵**

mhafshar@iust.ac.ir

(دریافت مقاله: آذر ۱۳۸۶، پذیرش مقاله: اسفند ۱۳۸۷)

چکیده- در این مقاله عملکرد الگوریتم ژنتیک در طراحی بهینه سرریزهای متوالی مطالعه شده است. الگوریتم ژنتیک جزء روش‌های جستجوی فراکاوشی محسوب می‌شود که تکامل طبیعی موجودات را الگو قرار می‌دهد. هدف از این تحقیق، یافتن مقادیری برای ارتفاع و طول سرریزهای متوالی است که ضمن ارضای تمامی قیدهای هیدرولیکی و توپوگرافی مسأله، کمترین هزینه ساخت را داشته باشد. کارایی مدل بهینه‌سازی ارائه شده، با مقایسه نتایج حاصل از روش سنتی معرفی شده توسط ویتال و پوری، آزمایش شده است.

کلید واژگان: الگوریتم ژنتیک، برازندگی، انتخاب، آمیزش، جهش، سیستم سرریزهای متوالی.

۱- مقدمه

پیشرفت‌های اخیر فناوری، امکانات گسترده‌ای را برای ساخت سدهای بزرگ، مخازن و کانال‌ها به وجود آورده است. این پیشرفت‌ها امکان توسعه روش‌های طراحی و ساخت را به‌ویژه برای عبور دادن دبی‌های بالا از روی سازه هیدرولیکی، بدون وارد آمدن صدمه‌ای قابل توجه به خود سازه و همچنین محیط اطراف آن، فراهم می‌آورد. جریان از روی سرریز با سرعت زیادی عبور می‌کند و لازم است مقداری از انرژی آن به‌منظور جلوگیری از صدمه زدن به پنجه سد و اطراف آن، تلف شود. به‌طورکلی هنگامی که آب از بالای سرریزی با ارتفاع بالا به پایین سرازیر می‌شود، مقدار زیادی از انرژی پتانسیل آن به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. هرچه ارتفاع سرریز بیشتر و پایاب پایین‌تر باشد، این تبدیل انرژی شدیدتر و در نتیجه سرعت جریان بیشتر خواهد بود. این انرژی با شستن بستر رودخانه پایین‌دست و فرسایش و خالی کردن زیر پی، پایداری سد را به مخاطره می‌اندازد.تلف‌کننده‌های انرژی در پایین دست این سازه‌ها به‌کار می‌روند تا انرژی اضافی را تلف کنند و در نتیجه جریان ورودی به رودخانه آرام باشد.

روش به‌کارگیری سرریز و حوضچه آرامش منفرد، مدت‌هاست که در استهلاک انرژی جریان برای سدهای کم‌ارتفاع به‌کار می‌رود. چنانچه ارتفاع سقوط جریان کم باشد، استفاده از یک سرریز و حوضچه آرامش با روش‌های ساده محاسباتی به‌سادگی امکان‌پذیر است. اما چنانچه ارتفاع سقوط جریان زیاد باشد (مانند سدهای بلند) روش‌های معمول، کارایی خود را از دست می‌دهند. در این حالت به‌دلیل ارتفاع زیاد سقوط، سرعت جریان، افزایش زیادی می‌یابد و عدد فرود آن در پنجه پرتاب سرریز بسیار بزرگ خواهد شد. به‌علاوه ابعاد و اندازه

دیواره‌های حوضچه آرامش، بیش از حد بزرگ می‌شوند. روشی که بتواند مجموعه‌ای از سرریزها و حوضچه‌های آرامش را به‌صورت متوالی طراحی کند و توانایی محاسبه این سیستم را داشته باشد، توسط ویتال و پوری[1] در سال ۱۹۸۷ تدوین شده است [۱].

این روش مبتنی بر محاسباتی دستی است که امکان سنجش بین چند حالت معدود و انتخاب گزینه بهتر را فراهم می‌سازد. در این روش ابتدا مشخصات سرریز انتهایی تعیین می‌شود، سپس با فرض کردن رقم مشخصی برای تعداد سرریزهای قبل از انتهایی، مشخصات این سرریزها، اعم از ارتفاع سرریز و طول حوضچه آرامش محاسبه می‌شود. روش ویتال و پوری برای اولین بار برای طراحی سرریز سد تهری[2] به‌کاررفته است. این سد بر روی رودخانه بهاگیراتی[3] یکی از سرشاخه‌های رود گنگ، احداث شده که در هندوستان و در دامنه کوه‌های هیمالیا است. اصول بهینه‌سازی که لازمه بررسی کامل و حل مسأله با روش‌های کامل‌تر و انعطاف‌پذیرتر است، در روش فوق رعایت نشده. بدین‌منظور در این مقاله از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک برای طراحی بهینه سیستم سرریزهای متوالی استفاده شده و در پایان نتایج حاصل از طراحی این دو روش برای مطالعه موردی مقایسه شده است.

این مقاله در چهار بخش تنظیم شده است. ابتدا مفاهیم الگوریتم ژنتیک مرور شده و سپس مدل بهینه‌سازی سیستم سرریزهای متوالی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه می‌شود. مطالعه موردی و نتایج، دو بخش آخر را تشکیل می‌دهند.

۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک[4] رهیافتی است که تکامل طبیعی موجودات را الگو قرار می‌دهد. این روش تقلیدی از فرایند تکامل با استفاده از الگوریتم‌های کامپیوتری است.

1. Vittal and Porey
2. Tehri Dam
3. Bhagirathi
4. Genetic Algorithm (GA)

اساسی‌ترین اصل تکامل، وراثت است. هر نسل، خصوصیات نسل قبلی را به ارث می‌برد و به نسل بعدی انتقال می‌دهد. این انتقال خصوصیات از نسلی به نسل بعد توسط ژن‌ها صورت می‌گیرد. جهانی که در آن زندگی می‌کنیم به‌طور پیوسته در حال تغییر است. برای بقا در جهان پویا، افراد باید توانایی داشته باشند که خود را با محیط، سازگار کنند. سازگاری[5] تعیین می‌کند که موجود چه مقداری زنده خواهد ماند و چقدر شانس دارد که ژن‌های خود را به نسل بعدی انتقال دهد. در تکامل زیستی، فقط برنده‌ها می‌توانند در فرایند تکامل شرکت کنند. ویژگی‌های هر موجود زنده در ژن‌های آن، کدگذاری شده که در فرایند وراثت به فرزندان[6] منتقل می‌شوند. مبتکر الگوریتم ژنتیک « جان هلند»[۲] در دهه ۱۹۷۰ میلادی با الهام گرفتن از ویژگی‌های نظریهٔ تکامل، الگوریتم جستجویی را ابداع کرد که در آن از همان اصولی که طبیعت در فرایند تکامل بر روی نمادهای ژنی انجام می‌دهد، برای تکامل جواب‌های مربوط به حل‌های مسألهٔ بهینه‌سازی استفاده می‌کند. فرایند با جمعیت اولیه تصادفی از میان جواب‌های ممکن شروع می‌شود. هریک از جواب‌ها با استفاده از ساختاری رشته‌ای از بیت‌ها که مقدار کدگذاری شده متغیرهای تصمیم را در بر دارند، نشان داده می‌شود. سپس با تشکیل خانواده اولیه و ارزیابی هر یک از رشته‌ها، افراد مناسب برای تشکیل خانواده بعدی انتخاب می‌شوند. جواب‌های جدید از روی خانواده جواب‌های اولیه، با تغییر دادن ساختار رشته‌ها با استفاده از عملگرهای ژنتیک تولید می‌شوند. رشته‌های جدید با استفاده از روندی الهام گرفته از سازوکار طبیعی ژنتیک تولید و سپس مقدار برازندگی رشته‌های جدید با توجه به تابع هدف مسأله مورد نظر ارزیابی می‌شود. این روند موجب بهبود پیوسته برازندگی در خانواده حل‌ها شده و تا جایی ادامه می‌یابد که حل‌ها همگرا شوند. دو عملگر

5. Fitness
6. Offspring

مهم در الگوریتم ژنتیک وجود دارند که جواب‌ها را آشفته ساخته و مجال خروج از بهینه‌های موضعی را فراهم می‌آورند یکی آمیزش است که الگوریتم ژنتیک از آن برای تولید جواب استفاده می‌کند. دیگری عملگر جهش نام داشته و می‌تواند مقادیر جدیدی را به بیتها بدهد که در گروه والد وجود نداشته است. عملگر جهش کمک می‌کند که تنوع ژنتیک ایجاد شده و جستجو به نواحی جدید نیز وارد شود.

۱-۲- ساختار کلی الگوریتم ژنتیک

در نخستین مرحله از الگوریتم ژنتیک، جمعیتی از کروموزوم‌ها به تعدادی معین و به‌طور تصادفی تولید می‌شوند. هرکروموزوم بیانگر یک جواب از فضای جستجو است و فرد نام دارد. مجموعه این افراد، جمعیت یا نسل فعلی نام دارند. به هر فرد، برازندگی‌ای بر اساس تابع هدف تعلق می‌گیرد. از این مقدار برای هدایت فرایند انتخاب به سمت افراد مناسب‌تر استفاده می‌شود. افراد دارای برازندگی بالا نسبت به کل جمعیت، احتمال بیشتری برای انتخاب شدن برای تولید مثل در نسل بعدی دارند و در مقابل، افراد با برازندگی کمتر احتمال انتخاب کمتری دارند. پس از تعیین برازندگی اعضای جمعیت، می‌توان آنها را با احتمالی متناظر با برازندگی نسبی‌شان انتخاب و برای تولید نسل بعدی ترکیب کرد. در مرحله بعدی عملگرهای آمیزش و جهش اجرا می‌شود. سپس در صورت لزوم رشته‌های افراد جمعیت، کدگشایی و تابع هدف ارزیابی و مقدار برازندگی هر فرد تعیین می‌شود و افراد متناسب با برازندگی آنها برای جفت‌گیری و تولید نسل بعدی انتخاب می‌شوند؛ فرایند به همین ترتیب ادامه می‌یابد. الگوریتم ژنتیک هنگامی که شرطی مانند تعداد معیّن تولید نسل یا میانگین انحراف معیار عملکرد افراد جمعیت تأمین شود، به پایان می‌رسد.[۳]

۲-۲- کدگذاری و نمایش جمعیت

الگوریتم ژنتیک جستجوی خود را در میان تعدادی از جواب‌های بالقوه مساله انجام می‌دهد. رایج‌ترین شیوه نمایش رشته‌ها در الگوریتم ژنتیک، روش دودویی (باینری) است که در آن هر متغیر تصمیم به‌صورت رشته‌ای دودویی (صفر و یک) کدگذاری شده و سپس با قرارگیری آنها در کنار هم، کروموزوم شکل می‌گیرد. هرچند کدگذاری باینری، پرکاربردترین روش کدگذاری است، اما فعالیت‌هایی نیز در زمینه کدگذاری عدد صحیح یا عدد حقیقی انجام شده است. در مسائلی که روش کدگذاری باینری باعث مبهم شدن و پیچیدگی جستجو می‌شود، استفاده از روش‌هایی مانند روش عدد صحیح، شیوه‌ای ساده‌تر و مناسب‌تر برای توصیف پارامترهای مسأله است. روش دیگر کدگذاری، یعنی استفاده از مقدار حقیقی ژن، برای بهینه‌سازی توابع عددی، مناسب است.
در این روش نیازی به کدگشائی، قبل از ارزیابی تابع هدف نیست و حافظه کامپیوتری کمتری اشغال می‌شود و دیگر آنکه تقریبی که از تبدیل اعداد از حالت باینری به واقعی و به‌عکس، به اعداد تحمیل می‌شود وجود ندارد. همچنین آزادی بیشتری در استفاده از عملگرهای مختلف ژنتیکی وجود دارد.[٤]

۳-۲- عملگرهای الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک سه عملگر اصلی دارد که عبارتند از:
۱. عملگر انتخاب، ۲. عملگر آمیزش، ۳. عملگر جهش.

۱-۳-۲- عملگر انتخاب

عملگر انتخاب، اعضای موردنظر برای والد شدن در نسل آینده را تعیین می‌کند. طبیعی است که اعضایی که برازندگی بالایی دارند، احتمال بیشتری برای تولیدمثل دارند. چند روش از انواع متداول عملگر انتخاب عبارت‌اند از: روش چرخ گردان[1]، روش تورنمنت[2]، روش انتخاب یکنواخت[3].

1. Roulette Wheel Selection Method
2. Tournament Selection Method
3. Uniform Selection Method

۲-۳-۲- عملگر آمیزش

عملگر اصلی الگوریتم ژنتیک برای تولید کروموزوم جدید، عملگر آمیزش است. عملگر آمیزش، فرد جدیدی را تولید می‌کند که برخی ژن‌های هر دو والد را دارد. عملکرد آمیزش در حقیقت مشابه همانی است که در طبیعت روی می‌دهد، به این ترتیب که ژن‌های دو کروموزوم والد مبادله می‌شود تا دو کروموزوم جدید به نام کروموزوم‌های فرزند ایجاد شود. به دلیل تغییراتی که روی کروموزوم‌های والد بر اثر تبادل ژن‌ها صورت می‌گیرد، کروموزوم‌های فرزند، ویژگی‌های ژنتیکی مشترکی با دو والد خود دارد. عملگر آمیزش روی تمامی کروموزوم‌ها اعمال نمی‌شود، بلکه با احتمال مشخصی روی کروموزوم‌های انتخاب شده، اعمال می‌شود. هرچه این احتمال بیشتر باشد، به الگوریتم این اجازه داده می‌شود که فضاهای بیشتری را جستجو کرده و جواب بهینه صحیحی را به‌دست آورد. اما اگر این احتمال، بسیار زیاد باشد، زمان زیادی برای انجام محاسبات در فضاهای غیرمرزی هدر خواهد رفت. الگوریتم ژنتیک از چند نوع عملگر آمیزش استفاده می‌کند که تفاوت اصلی آنها در چگونگی تبادل ژن‌ها بین دوکروموزوم والد است. در این مقاله از عملگر آمیزش چندنقطه‌ای استفاده شده است.

۳-۳-۲- عملگر جهش

در تکامل طبیعی، جهش فرایندی تصادفی است که یک ژن را با ژن دیگری برای تولید یک ساختار ژنتیکی جدید تعویض می‌کند. در واقع جهش سازوکاری است که بر اثر آن، تغییری سازمان‌نیافته و کاملاً تصادفی در رشته ایجاد می‌شود. وجود این عملگر از این نظر مهم است که عملگر آمیزش، با وجود آنکه کروموزوم‌های متفاوت با کروموزوم‌های والد را ایجاد می‌کند، اما کروموزوم‌های فرزند دارای ژن‌های مشترکی از هر دو والد است. درحالی‌که عملگر جهش، مشخصه‌هایی را ایجاد می‌کند که در جمعیت والدین وجود ندارد.

۳- مدل بهینه‌سازی سیستم سرریزهای متوالی

عناصر تشکیل‌دهنده مدل ریاضی طرح بهینه سیستم سرریزهای متوالی در زیر ارائه شده است:

۱-۳- مجموعه‌ای از متغیرهای تصمیم‌گیری

متغیرهایی هستند که طراح می‌تواند آزادانه آنها را کنترل کند و نقش مهمی در کارایی سیستم دارند. مجموعه متغیرهای تصمیم‌گیری در این مساله عبارت‌اند از ارتفاع سرریزها P_i و طول حوضچه‌های آرامش L_i.

۲-۳-تابع هدف

تابع هدف کمیتی است که کارایی خط مشی اقتصادی طرح را اندازه‌گیری می‌کند که آن را به‌صورت تابعی از متغیرهای تصمیم‌گیری بیان می‌کنیم. هدف با توجه به ماهیت اقتصادی مسأله، به حداقل رساندن تابع هدف است. بنابراین داریم:

$$Minimize\ f=\sum_{i=1}^{N}\left(f_1(P_i,l_i)+f_2(P_i,l_i)\right) \qquad (۱)$$

که در آن f هزینه کل ساخت سرریز، تابعی از متغیرهای تصمیم وهزینه بتن‌ریزی(f_1) و خاکبرداری (f_2) است.

۳-۳- محدودیت‌های سیستم

به طور کلی سیستم دو نوع محدودیت دارد که در اینجا به‌صورت توابعی ریاضی تعریف می‌شوند.

۱-۳-۳- محدودیت‌های ناشی از توپوگرافی

$$H_0-\sum_{i=1}^{N}(P_i-\Delta z(i))-\Delta z_t=0 \qquad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{N}(L(i)+x(i))=L_a \qquad (۳)$$

که Δz_t بیشترین اختلاف ارتفاع بین تراز پایاب و عمق ثانویه جریان است که از ترسیم دو منحنی FJHC و TWRC به‌دست می‌آید. ارتفاع موردنیاز برای تاج $\Delta z\ (i)$ برای تشکیل جهش هیدرولیکی در i امین پله و در دبی طرح بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Delta z(i)=1.671\frac{q_d^{0.5}P_i}{g^{\frac{1}{4}}}-\left(\frac{q_d}{c\sqrt{2g}}\right)^{\frac{2}{3}}+0.179\frac{q_d}{g^{\frac{1}{2}}P_i^{\frac{1}{2}}},\ \Delta z(N)=0 \qquad (٤)$$

۲-۳-۳-محدودیت‌های هیدرولیکی

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

حداکثر و حداقل ارتفاع پله:

$$P_{\min} \le P_i \le P_{\max} \qquad (۵)$$

P_{max}, P_{min} حداکثر و حداقل ارتفاع مجاز پله‌ها است که با استفاده از مقادیر حداکثر و حداقل عدد فرود جریان در حوضچه آرامش به دست می‌آیند. آزمایش‌های [۵] نشان می‌دهد که با محدود ساختن عدد فرود به مقادیر ۹ و ٤.۵، پرش پایداری حاصل می‌شود و سطح آب پایین‌دست نسبتا هموار است:

$$P_{\max} = \frac{q_d^{\frac{2}{3}}}{g^{\frac{1}{3}}}\left(\frac{1}{2}Fr_{1_{\max}}^{\frac{4}{3}} + Fr_{1_{\max}}^{\frac{-2}{3}} - \frac{1}{2^{\frac{1}{3}}c^{\frac{2}{3}}}\right) \qquad (٦)$$

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

حداقل طول حوضچه‌های آرامش:

$$l_i \ge l_{i,\min} \qquad (۸)$$

$l_{i,min}$ حداقل طول مجاز حوضچه آرامش است و از معادله زیربدست می‌آید.

$$l_{i,\min} = 6\left(y_{2,i} - y_{1,i}\right) \qquad (۹)$$

پارامترهای معادله فوق از روابط زیر به‌دست می‌آیند:

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

$$y_{1,i} = \left(\frac{q_d}{g^{\frac{1}{2}}Fr_{1i}}\right)^{\frac{2}{3}} \qquad (۱۱)$$

$$y_{2,i} = \frac{y_{1,i}}{2}\left(\sqrt{1+8Fr_{1i}{}^2} - 1\right) \qquad (۱۲)$$

$y_{2,i}$ و $y_{i,1}$ به‌ترتیب عمق جریان قبل از پرش و عمق جریان بعد از پرش است.

حداقل ارتفاع پله انتهائی

$$P(N) \ge H_t + \Delta z_t \qquad (۱۳)$$

حوضچه باید به اندازه کافی عمیق باشد تا بتواند عمق مزدوج کامل (یا برای اطمینان، کمی بیشتر) در دبی حداکثر طراحی سرریز را تأمین کند. عمق پایاب بزرگتر از عمق مزدوج لازم، باعث ایجاد جهش مستغرق خواهد شد. در این حالت به‌جای اختلاط جریان بالادست و پایین‌دست و استهلاک انرژی، جت ورودی به کف حوضچه می‌رسد و با سرعت زیادی درطول حوضچه پیشروی می‌کند. محدودیت فوق تضمین می‌کند که عمق مزدوج لازم همواره بزرگتر از عمق پایاب باشد [۵].

٤- مطالعه موردی

در این بخش از ویتال و پوری و روش الگوریتم ژنتیک برای طراحی سرریز سد تهری استفاده و نتایج مقایسه شده 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 برابر ۹۵ متر است. تراز رأس سرریز اصلی برابر ۸۱۸ متر است. دبی طرح برابر ۱۱۰۰۰متر مکعب در ثانیه و طول تاج سرریز برابر ۸۰ متر، تراز بستر رودخانه در پایین دست برابر ٦۰۰ متر ، جمع ارتفاع سقوط جریان برابر ۲۱۸ متر و عمق پایاب رودخانه برای سیلاب طرح برابر ۲۹.۲۰ متر و طول موجود از تاج ابتدائی تا خروجی برابر ۷۷۸ متر است.

با در نظرگرفتن شرایط محل احداث سد و محدودیت‌های مسأله، فقط دو حالت N=4 , N=3 قابل‌اجرا است. لازم است ذکر شود که در این تحقیق، هزینه بتن‌ریزی و خاکبرداری در هر مترمکعب به‌ترتیب برابر ۱۸۰۰۰۰ و ۲۳۱۰۰ منظور شده است. مدل برای

تعداد ۵۰۰۰۰ هزینه محاسباتی و به‌ازای جمعیت‌ها و تکرارهای مختلف، ده بار اجرا شده است. با افزایش تعداد هزینه محاسباتی، کیفیت جوابها بهبود می‌یابد اما باید توجه داشت که هزینه محاسباتی نیز افزایش می‌یابد. بنابراین باید در هر مسأله‌ای با توجه به هزینه محاسباتی قابل قبول، نسبت به انتخاب مناسب هزینه محاسباتی اقدام کرد. همچنین زمان اجرای هر مدل به‌ازای جمعیت‌های مختلف آورده شده است. این زمان با کامپیوتری با این مشخصات به‌دست آمده است:

Pentium 4 , 3.08 GHz , 1.00 GB of RAM

در ادامه در قالب چند جدول، نتایج حاصل با نتایج روش ویتال و پوری مقایسه شده و مقایسه‌ای طرح‌واره‌ای نیز بین طراحی‌ها صورت گرفته است. سپس نمودارهای تحلیل حساسیت مدل نسبت به اندازه جمعیت و نمودارهای همگرایی ترسیم شده‌است.

جدول (۱) نتایج حاصل از دو روش GA, V.P. را به‌ترتیب برای N=3 و N=4 مقایسه می‌کند. جدول (۲) نیز نتایج اجرای مدل برای جمعیت‌های مختلف جواب‌ها در هر نسل نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بهترین جواب در جمعیت ۲۰۰ برای N=3 و N=4 حاصل شده است. لازم است ذکر شود که اعداد مربوط به بیشینه، کمینه، میانگین و انحراف از معیار تابع هدف، به میلیون است.

همانطوری که در جدول (۳) مشاهده می‌شود الگوریتم ژنتیک، نتایج بهتری را نسبت به روش ویتال و پوری در هر دو حالت ارائه کرده است، به‌طوری‌که باعث صرفه‌جویی به‌ترتیب ۱۵ و ۱۳ درصدی برای N=3 و N=4 شده است.

شکل‌های (۳) و (٤) به‌طور طرح‌واره‌ای، جواب‌های روش‌های GA ,V.P را با هم مقایسه می‌کند. همانطور که مشاهده می‌شود در هر دو حالت، الگوریتم ژنتیک به انتخاب طرح بهینه منجر شده است.

شکل‌های (۵) و (٦) به‌ترتیب نشان‌دهنده تغییرات تابع هدف در مقابل تغییرات اندازه جمعیت است. همان‌گونه که در بالا گفته شد و در شکل‌ها مشخص است، بهترین نتایج برای N=3 و N=4 ، در جمعیت ۲۰۰ به‌دست آمده است.

همان گونه که پیشتر گفته شد، مدل برای هر جمعیت، ده بار اجرا شده و مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین تابع هدف در هر نسل به‌دست آمده است. شکل‌های (۷) و (۸) همگرایی مدل الگوریتم ژنتیک را به‌ترتیب برای N=3 و N=4 برای بهترین جمعیت، نشان می‌دهند. اختلاف کم بین منحنی‌های بیشینه، کمینه و میانگین، بیانگر آن است که پراکندگی جواب‌های حاصل از جمعیت‌های تصادفی، زیاد نیست.

۵-نتیجه‌گیری

از آنجایی که در روش ویتال و پوری، امکان مانور زیادی برای انتخاب حالت‌های مختلف در موقعیت سرریز انتهایی و مشخصات سایر سرریزها و حوضچه‌ها وجود ندارد، بنابراین بهینه‌سازی جامع و کامل سیستم سرریزهای متوالی در روش مزبور عملی نیست. در نتیجه، استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی که ضمن رعایت موازین طراحی و ضوابط هیدرولیکی، بتوانند سیستم را از نظر مخارج و هزینه تمام شده بهینه سازند، ضروری به‌نظر می‌رسد. بهینه‌سازی سرریزها و حوضچه‌های آرامش نیازمند اقتباس‌ها و تغییراتی در روش ویتال و پوری است. اصول حاکم بر مسأله ثابت باقی می‌ماند اما از نظر ماهیت مسأله بهینه‌سازی، تغییراتی، اجتناب‌ناپذیر است؛ هرچند این تغییرات، خود در جهت تکمیل کار است. از این رو در این مقاله از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک برای طراحی بهینه سیستم سرریزهای متوالی سد تهری استفاده شده و نتایج، با روش ویتال و پوری مقایسه شده است. نتایج به‌دست آمده حاکی از توانایی مدل ارائه شده در حل مسائل بهینه‌سازی می‌باشد.

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

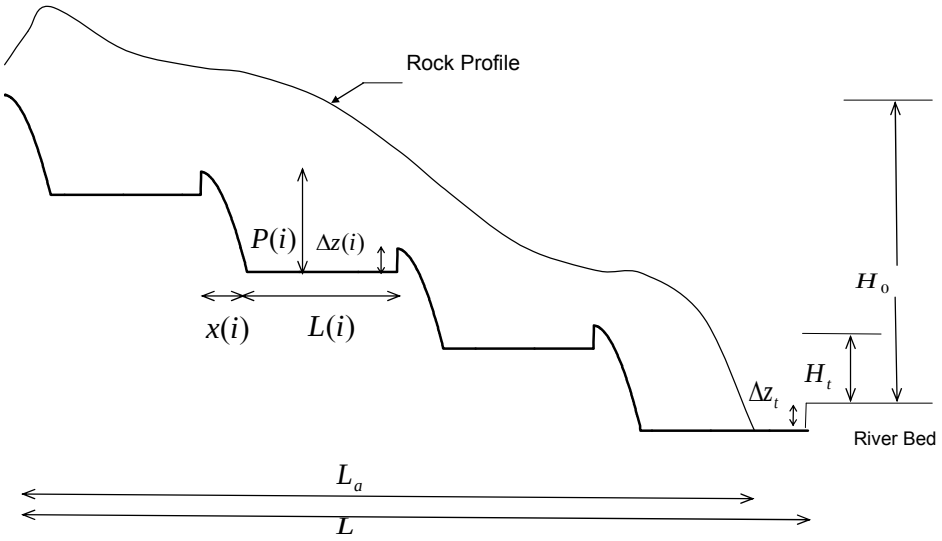
Cascade No	P		L		X		Δz	
	GA	**V.P.**	**GA**	**V.P.**	**GA**	**V.P.**	**GA**	**V.P.**
N=3								
1	83.29	93.55	308.82	175.39	54.54	58.15	16.90	17.80
2	82.38	93.55	169.17	175.39	54.21	58.15	16.81	17.80
3	87.96	66.87	134.48	125.04	56.17	46.19	0	0
N=4								
1	57.83	65.57	152.12	156.61	44.78	48.06	14.36	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

جدول۲ نتایج اجرای مدلGA

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

جدول۳ واحد هزینه طراحی به روش .GA , V.P

N	GA×10^6	V.P. ×10^6
3	1015	1194
4	950	1094



شکل ۱ مقطع طولی از سرریزهای متوالی

$P(i)$: ارتفاع سرریز i ام

$L(i)$: ارتفاع حوضچه آرامش i ام

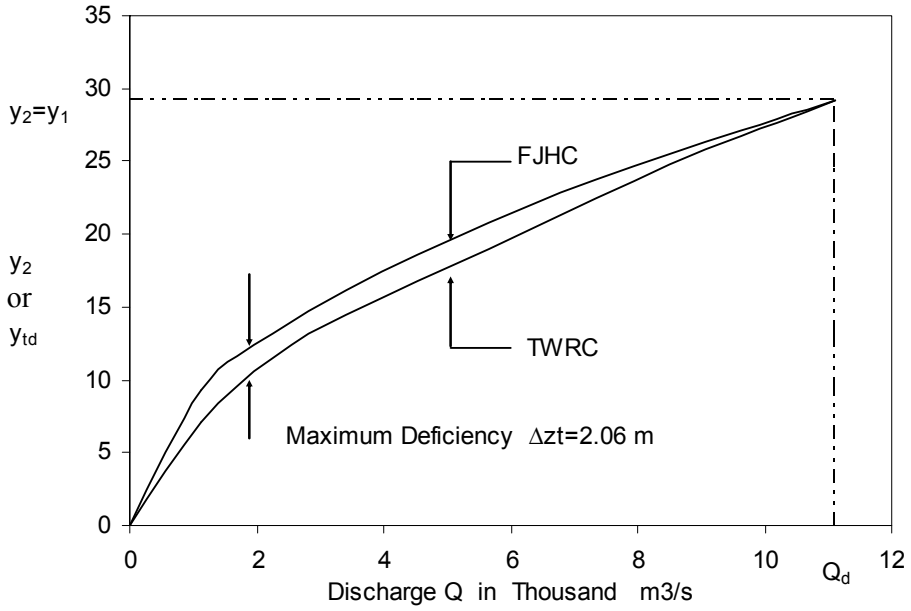
$X(i)$: طول افقی سرریز i ام

Δz: ارتفاع تاج سرریز

Δz_t : پایین‌آمدگی کف حوضچه آرامش انتهایی

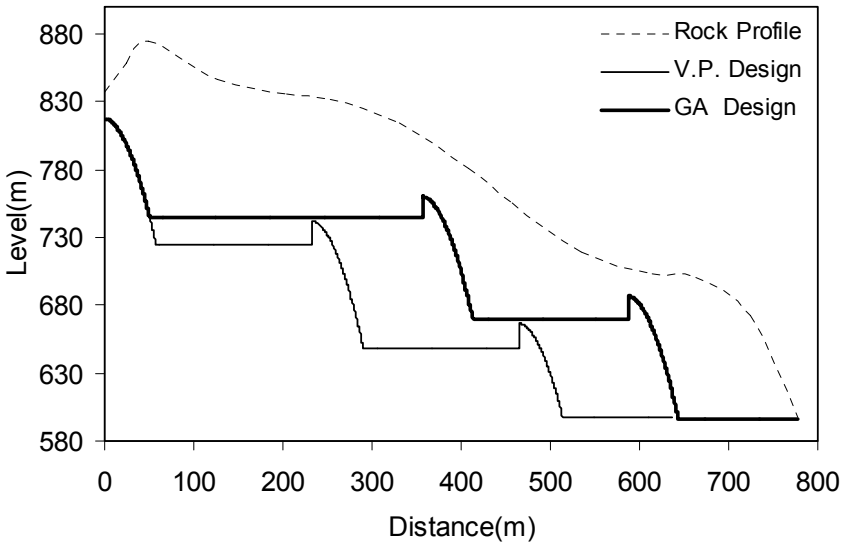
L_a : طول موجود (فاصله افقی بین تاج سرریز ابتدایی و تاج سرریز تاج انتهایی)

L : طول مورد نیاز برای جایگیری حوضچه‌ها و سرریزها

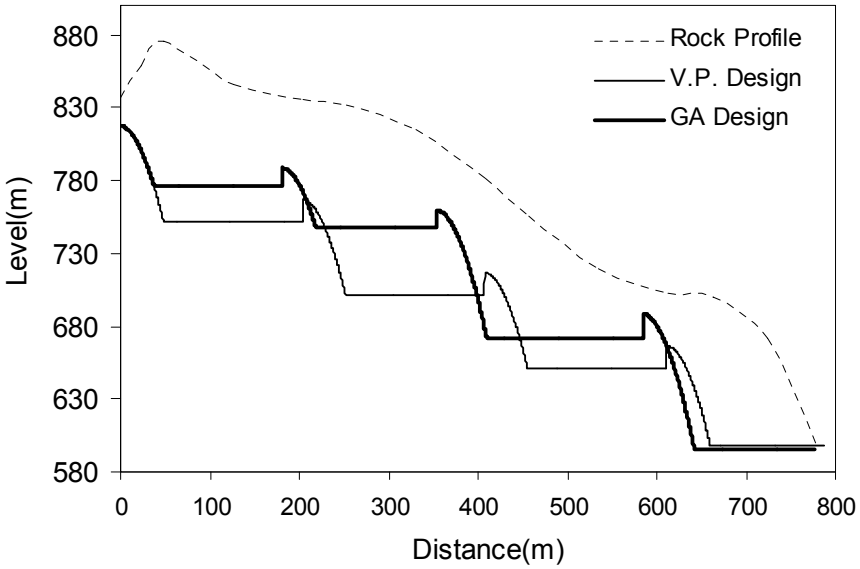


شکل ۲ مقایسه بین منحنی‌های FJHC و TWRC برای سرریز انتهایی

مقایسه شماتیک طرح‌واره‌ای GA,V.P.

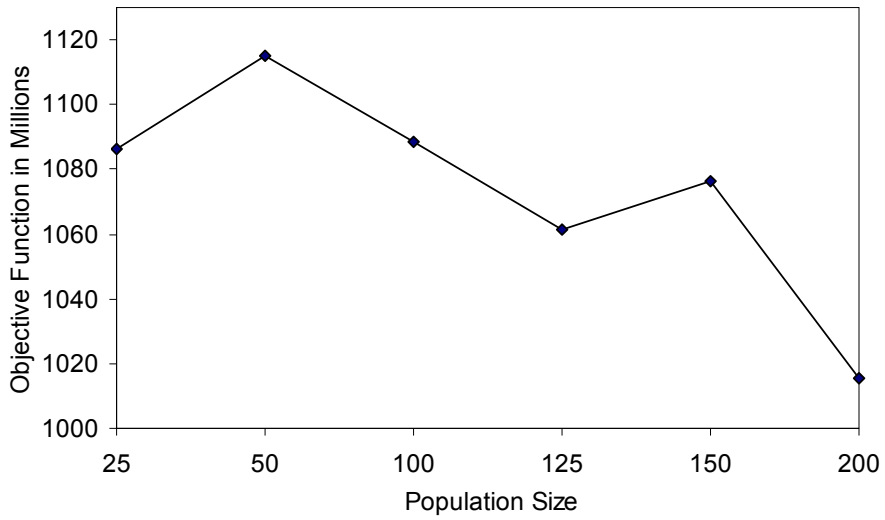


شکل۳ مقایسه بین طراحی V.P,GA برای N=3

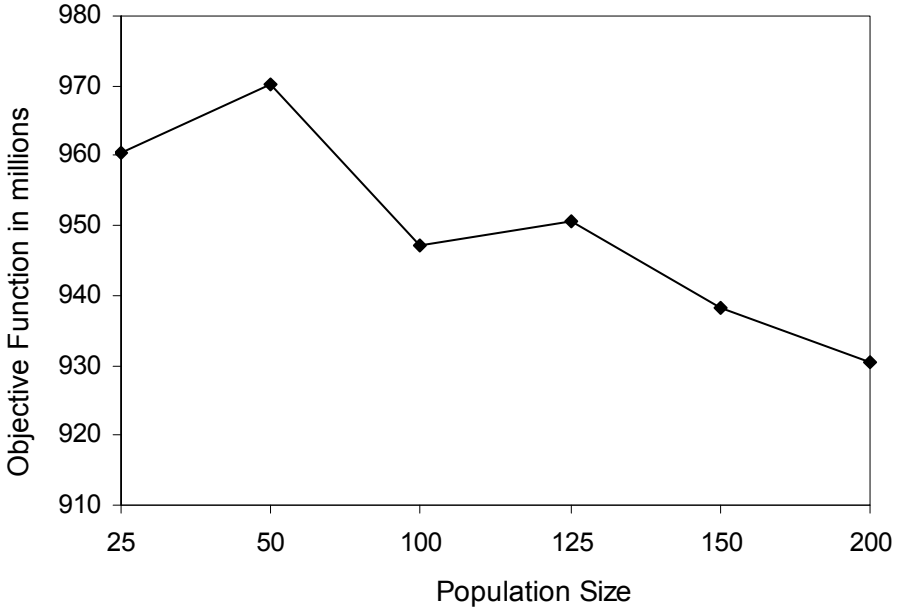


شکل٤ مقایسه طراحی V.P,GA, برای N=4

تحلیل حساسیت نسبت به اندازه جمعیت

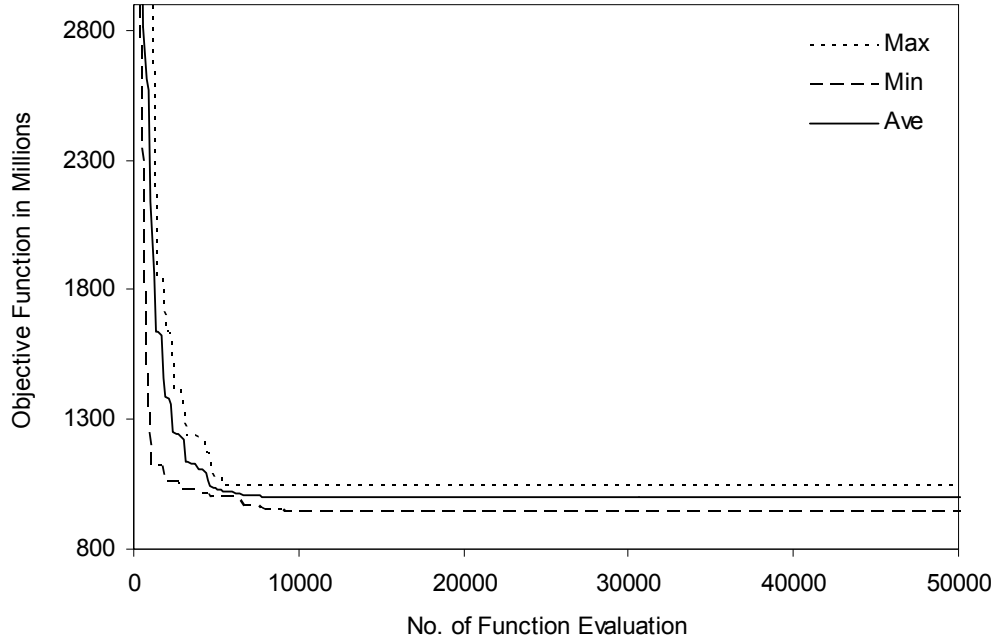


شکل۵ تاثیر اندازه جمعیت در الگوریتم ژنتیک بر تابع هدف (N=3)

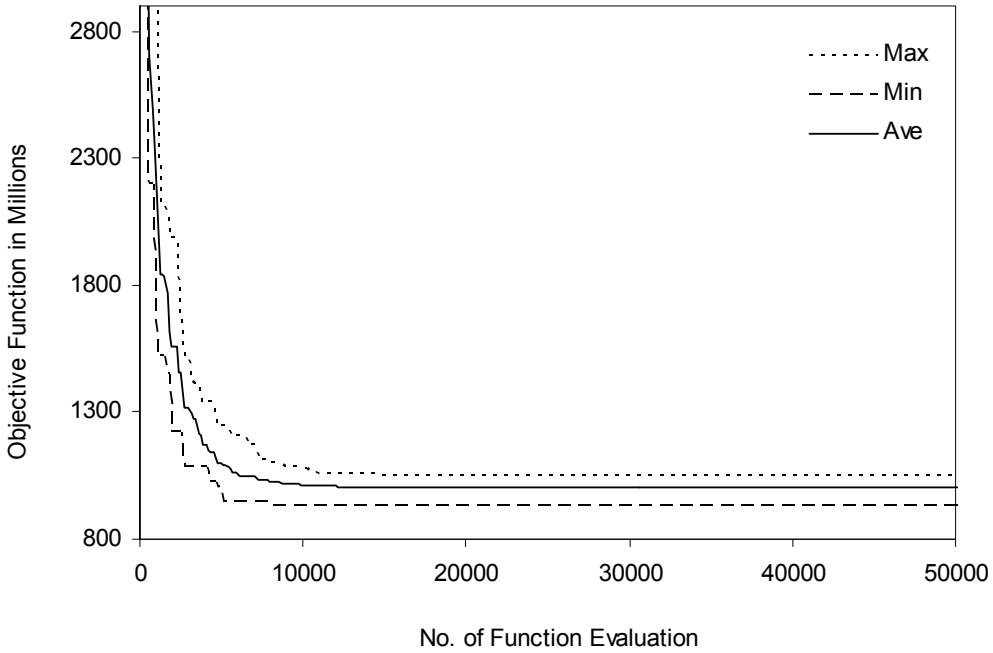


شکل٦ تاثیر اندازه جمعیت در الگوریتم ژنتیک بر تابع هدف (N=4)

نمودار همگرایی الگوریتم ژنتیک



شکل۷ نمودار همگرایی الگوریتم ژنتیک برای N=3



شکل۸ نمودار همگرایی الگوریتم ژنتیک برای N=4

۶- منابع

[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

[4] Davis L, editor ‘‘Handbook of genetic algorithm” New York: Van Nostrand Reinhold, 1991

[5] U.S.Burea of Reclamation “Hydraulic design of stilling basins and bucket energy dissipaters” Engineering Monograph No.25 U.S. Dep. of Interior, Bureau of Reclamation, Denver, 1985