Archive of SID

تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۲۰/ شماره ۷۷/ زمستان ۱۳۹۸/ص ٥٦-۳۹

بهینه‌سازی طول و ارتفاع سرریز اوجی با تلفیق الگوریتم ژنتیک و مدل رگرسیون (مطالعهٔ موردی سرریز سد بالارود)

میلاد خیری قوجه‌بیگلو[1*] و علیرضا پیل‌پایه[2]

۱ و ۲- به‌ترتیب: کارشناس ارشد؛ و استادیار گروه عمران، واحد پارس‌آباد مغان، دانشگاه آزاد اسلامی، پارس‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۴/۲

چکیده

استفادهٔ بهینه از منابع آب یکی از کهن‌ترین هدف‌های بشر است. امروزه با توجه به هدف‌ها و کاربردهای چندگانهٔ سدها، به‌کارگیری تمهیدات مناسب برای بهره‌برداری از سرریزها و مخازن سدها اهمیت بالایی دارد. هدف این تحقیق دستیابی به طول و ارتفاع بهینه برای سرریز اوجی است. به‌منظور تعیین تابع هدف، تغییرات طول سرریز در محدوده ۱۰ تا ۳۰ متر و دورهٔ بازگشت سیلاب طراحی در محدودهٔ ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سال در نظر گرفته شد. با ابزار الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی در محیط نرم‌افزار MATLAB انجام شد. در این تحقیق، تأثیر طول و ارتفاع سرریز بر هزینهٔ ساخت سرریز بررسی و با استفاده از مدل رگرسیون، رابطه‌های تحلیلی برای آن ارائه شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد طول بهینه برای سرریز ۱٤/٤ متر و ارتفاع بهینه ۳۱/٤۷ متر است. به‌طورکلی طراح برای طول و ارتفاع سرریز اوجی سد بالارود، به‌ترتیب ۲۸ و ۳٤ درصد را به‌عنوان حاشیهٔ اطمینان در نظر گرفته است. انتخاب این مقادیر، هزینهٔ پروژه را به‌طور چشمگیر افزایش می‌دهد؛ که نیازمند بازنگری مهندسان در انتخاب حاشیهٔ اطمینان مناسب برای ابعاد سرریز با در نظر گرفتن جمیع مؤلفه‌هاست.

واژه‌های کلیدی

الگوریتم‌های فرا ابتکاری، تابع هزینه، حاشیهٔ اطمینان، سازه هیدرولیکی

مقدمه

سرریز در مواقعی‌که مخزن سد با توجه به گنجایش محدود خود قادر به ذخیره آب ناشی از سیلاب‌ها نباشد، آب را به‌نحو بی‌خطری به پایین‌دست سد منتقل می‌کند (Manafpour *et al.*, 2019). سرریز، توجه به حساس بودن کاری که به‌عهده دارد باید قوی، مطمئن و با راندمان بالا باشد تا هر لحظه بتواند برای بهره‌برداری آمادگی داشته باشد.

هزینهٔ ساخت سد بسیار بالاست و شکست آن می‌تواند بسیار خطرناک باشد. بیشتر شکست سدها در اثر عبور آب از روی تاج آن‌ها رخ می‌دهد که مهم‌ترین عامل آن کافی نبودن ظرفیت سرریز است. طراحی سرریزی که بتواند آب اضافی را در زمان لازم از سرریز عبور بدهد با توجه به مقدار دبی عبوری در زمان سیلاب، دارای اهمیت خاصی برای طراح است. وفاییان (Vafaeian, 2007) می‌گوید که شکست بسیاری از سدها ناشی از طراحی نادرست سرریز آن‌هاست. سرریز انواع متفاوت دارد: سیفونی، اوجی، نیلوفری، کنگره‌ای و پیانویی. بحث ما در این تحقیق مربوط به سرریز اوجی است.

* نگارندهٔ مسئول: Email: eng.miladenoor@gmail.com

http://doi: 10.22092/idser.2019.124750.1368

www.SID.ir

Archive of SID

در سال‌های اخیر، پژوهش‌ها در زمینهٔ بهبود سازهٔ سرریز در جهان گسترده بوده است. دیت و همکاران (Date *et al.*, 2017) می‌گویند سرریز اوجی به‌دلیل ویژگی‌های هیدرولیکی مناسب، یکی از محبوب‌ترین سازه‌های هیدرولیکی در مطالعات علمی است. به‌دلیل ویژگی‌های هیدرولیک مؤثر این نوع سرریز، مهندسان به‌طور گسترده‌ای از آن استفاده می‌کنند. از ویژگی‌های مناسب این نوع سرریز آبگذری مؤثر و دقت بالا در اندازه‌گیری دبی است.

به‌طورکلی سازه‌های هیدرولیکی، مثل سرریز، نیازمند دقت فوق‌العاده بالا در بهینه‌سازی و طراحی هستند. سازه‌های هیدرولیکی اغلب پیچیده‌اند و در بسیاری از موارد، طرح‌های این سازه‌ها توجه زیادی می‌طلبند تا رفتار جریان در اطراف سازه‌های هیدرولیکی و تأثیر آن‌ها در محیط را بتوان با دقت پیش‌بینی کرد (Demeke *et al.*, 2019).

کارکرد اصلی سرریز اوجی، ایجاد شرایط برای عبور مطمئن سیلاب طراحی از بالادست به پایین‌دست است. باگاتور و اونن (Bagatur & Onen, 2016) از مدل‌های برنامه‌ریزی بیان ژن[1] به‌عنوان رویکردی جایگزین برای پیش‌بینی ویژگی‌های ظاهری و ضرایب طراحی سرریز استفاده کردند و رابطه‌ای جدید برای سرریز اوجی پیشنهاد دادند. عملکرد GEP در مقایسه با مدل رگرسیون در پیش‌بینی مشخصات سرریز اوجی بسیار مناسب ارزیابی شد.

حق‌بین (Haghbin, 2015) می‌گوید با بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک چندهدفه می‌توان ابعاد هندسی سرریز را به‌طور مناسبی بهینه‌سازی کرد.

حجتی و همکاران (Hojjati *et al.*, 2016) به‌منظور افزایش راندمان سرریز، با به‌کارگیری روش بهینه‌سازی ژنتیک سعی در طراحی بهینه طول سرریز تنداب کردند. برای دستیابی به اهداف بالا، روابطی که به‌وسیلهٔ آنها برای ارتفاع معادل فشار دینامیکی بر روی جام، طول جت خروجی از جام و عمق آب‌شستگی معرفی شده است، به‌عنوان پارامترهای تابع هدف مورد استفاده قرار دادند. سپس وزن مربوط به پارامترهای تابع هدف با استفاده از اطلاعات مربوط به سرریز سد کارون سه کالیبره شد و در پایان عرض سرریز شوت به کمک الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک طراحی گردید. یافته‌ها نشان می‌دهد الگوریتم ژنتیک عملکرد مطلوبی در بهینه‌سازی طول سرریز تنداب دارد.

شجاع و همکاران (Shoja *et al.*, 2012) در تحقیقی برای بهینه‌سازی استهلاک انرژی در سرریز از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. عرض و ارتفاع پله‌ها و همچنین شیب و ارتفاع سرریز در بهینه‌سازی به‌عنوان پارامتر متغیر در نظر گرفته شد و سعی گردید روشی جامع برای طراحی بهینه سرریزها ارائه شود. بدین‌منظور یک برنامه کلی در محیط برنامه‌نویسی MATLAB نوشته شد. با بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک یک سرریز بهینه، به‌جای سرریز صاف سد مخزنی ساروق طراحی گردید. نتایج نشان داد که سرریز بهینه، منجر به افزایش استهلاک و کاهش ابعاد مستهلک‌کننده انرژی در پایین‌دست گردیده است.

چاندوانی و همکاران (Chandwani *et al.*, 2015) می‌گویند با استفاده ترکیبی از الگوریتم ژنتیک با روش‌های دیگر می‌توان با مدل‌سازی طرح سازه بتنی، کارکرد سازه سرریز را پیش‌بینی کرد که این مزیت الگوریتم ژنتیک است که نیاز به پرداختن به آزمایش‌های متعدد را کمتر می‌کند. نتایج تحقیق حاضر دارای اهمیت بالایی برای طراحان سازه سرریز است. بهینه‌سازی سرریز با استفاده از الگوریتم

1- Gene Expression Programming (GEP)

www.SID.ir

Archive of SID

ژنتیک دارای دو مزیت بزرگ برای طراح است: اول این‌که در بهینه‌سازی چندهدفه می‌توان تأثیر عوامل مختلف در طراحی را به‌طور هم‌زمان در نظر گرفت و دوم این‌که خطای محاسباتی ناشی از برآورد نادرست طراح را کاهش داد. بخش طراحی در هر پروژهٔ عمرانی نیازمند دقت فراوان است. خطای محاسباتی در برآورد طول و ارتفاع سرریز می‌تواند خطر سیلاب و شکست سد را تشدید کند و آسیب‌های مالی و جانی جبران‌ناپذیری داشته باشد.

اهداف این تحقیق شامل موارد زیر است:

- کاهش هزینهٔ اجرای پروژه ساخت سرریز.
- دستیابی به طول و ارتفاع بهینه سرریز اوجی برای سد بالارود.
- بررسی تغییرات رفتار تابع طول و ارتفاع سرریز اوجی با در نظر گرفتن دبی و ضریب آبگذری ثابت.

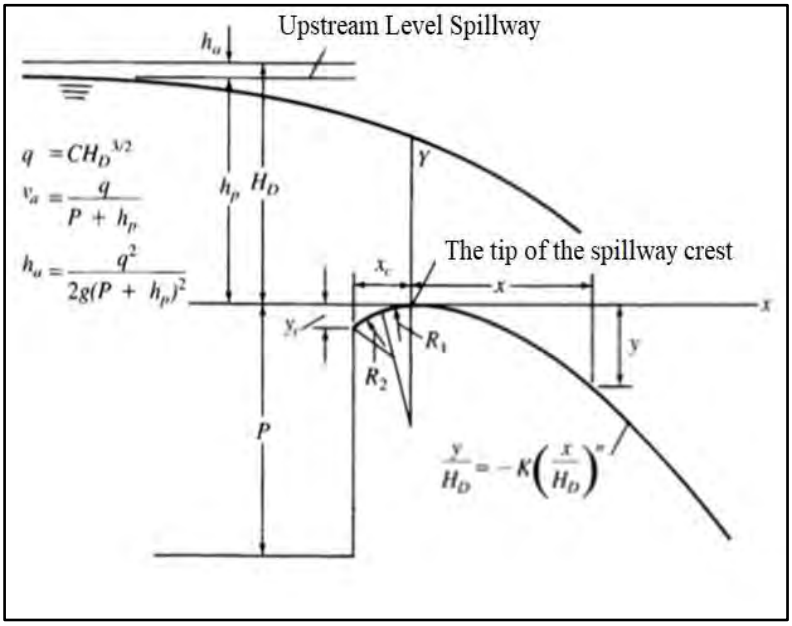
مواد و روش‌ها

برای طراحی و ساخت سرریز اوجی مؤلفه‌های متفاوتی در نظر گرفته می‌شود که برخی از آن‌ها در شکل ۱ آمده است. روابط موجود بین این مؤلفه‌ها اغلب از نتایج آزمایش‌های تجربی حاصل شده است. این روابط رایج در اواسط قرن بیستم و از سوی مؤسسات تحقیقاتی و مهندسی آمریکای شمالی ارائه شده است. برای سرریز، رابطهٔ ۱ از معروف‌ترین روابطی است که مؤلفه‌های هندسی را با دبی و بار تاج مرتبط می‌کند. دبی سرریز آزاد را می‌توان با رابطهٔ ۱ محاسبه کرد.

$$Q = CLH^{3/2} \qquad (۱)$$

که در آن،

Q= دبی (متر مکعب بر ثانیه) و C= ضریب تخلیه که وابسته به طرح هندسی سرریز، شرایط جریان بالادست و موارد دیگر است (Yang *et al.*, 2019)؛ L= طول سرریز (متر)؛ و H= هد طراحی (متر) است.



شکل ۱- مؤلفه‌های طراحی سرریز اوجی (Anon, 1987)

Fig. 1- Ogee spillway design components (Anon, 1987)

www.SID.ir

Archive of SID

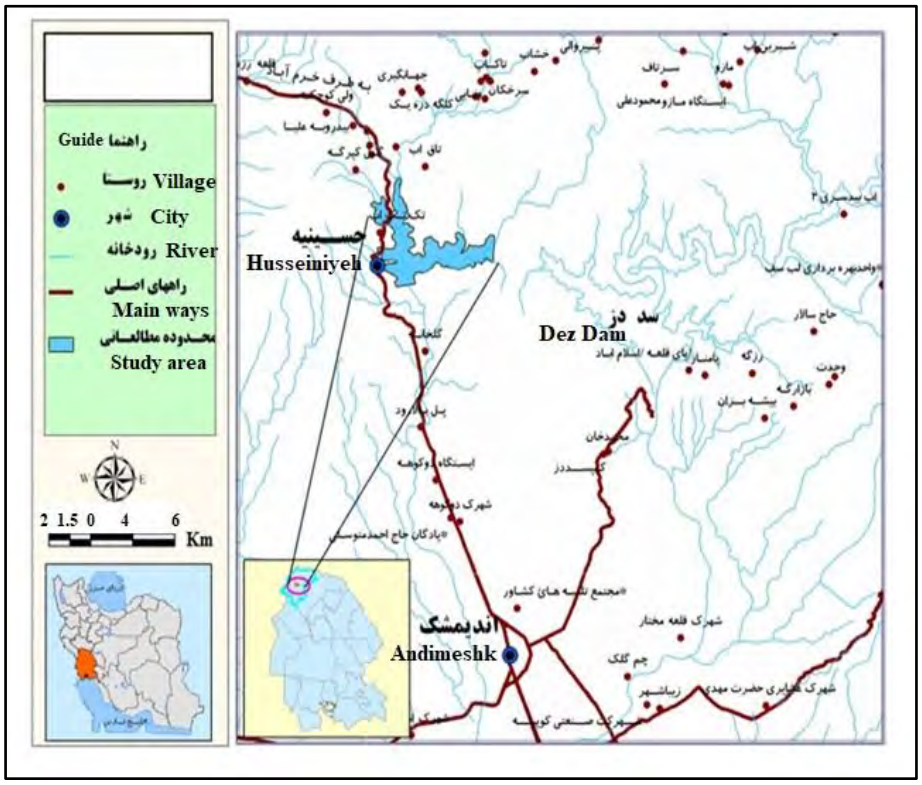
چنانچه بار روی تاج سرریز افزایش یابد، فشار روی تاج سرریز، در اثر کنده شدن تودهٔ جریان، منفی می‌شود و امکان لرزش و خوردگی را به‌وجود خواهد آورد. برعکس، چنانچه بار استاتیکی آب روی تاج سرریز کاهش یابد، تودهٔ جریان روی بدنهٔ سرریز می‌خوابد و مقداری اصطکاک اضافی به‌وجود می‌آورد که در نتیجه افت انرژی این اصطکاک افزایش می‌یابد (Beirami, 2016). برای دستیابی به هدف تحقیق (حداقل‌سازی هزینه)، تابع هدف[1] به‌صورت رابطهٔ ۲ ارائه شد (Osare, 2005).

$$F = \mathrm{Cost}_{\mathrm{spillway}} \qquad (۲)$$

که در آن،

F= تابع هدف هزینهٔ ساخت سرریز ($\mathrm{Cost}_{\mathrm{spillway}}$) (بر حسب میلیون ریال در ضریب شاخص قیمت کالا و خدمات[2] که در رابطهٔ ۶ تشریح شده است)، می‌باشد.

در تحقیق حاضر سد مخزنی بالارود به‌عنوان مطالعه موردی مورد استفاده قرار گرفت. این سد روی رودخانه بالارود، یکی از شاخه‌های رودخانهٔ دز در بخش الوار (حسینیه علیا) و بخش مرکزی اندیمشک قرار دارد. سرچشمه این رودخانه، دامنه‌های رشته‌کوه‌های گالاهور در ۸۵ کیلومتری شمال اندیمشک است. سد بالارود حد فاصل اندیمشک و حسینیه، بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و نیز عرض‌های جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۵ دقیقهٔ شمالی روی رودخانه بالارود از سرشاخه‌های رودخانه دز واقع شده است (شکل ۲).



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی سد بالارود (Jozi *et al*., 2011)

Fig. 2- Geographical location of the Ballaroud Dam (Jozi *et al*., 2011)

1- Objective Function

2- Consumer Price Index (CPI)

www.SID.ir

Archive of SID

طبق گزارش شرکت مهندسین مشاور دز آب، ظرفیت آبگذری رودخانهٔ بالارود ۸۷۰ مترمکعب در ثانیه و ماکزیمم دبی خروجی ۱۰۰۰۰ ساله و حداکثر سیلاب محتمل به‌ترتیب برابر ۱۹۵۲ و ۳۸۵۱ مترمکعب بر ثانیه است. تونل انحراف و سد مخزنی بالارود در فاصلهٔ ۲۷ کیلومتری شمال شهرستان اندیمشک است (Anon, 2013).

مشخصات سد بالارود در جدول ۱ درج شده است. سرریز سد بالارود از نوع اوجی و دبی طراحی سرریز آن ۱۹۵۲ متر مکعب بر ثانیه است.

جدول ۱- مشخصات فنی سد بالارود (Anon, 2013)

Table 1- Technical Specifications of Ballarood Dam (Anon, 2013)

Component مؤلفه	Quantity / Type مقدار / نوع
Dam type نوع سد	Earth dam with clay core vertical سد خاکی با هستهٔ قائم رسی
Dam crest length طول تاج	1070 meters
Width of dam crest عرض تاج	10 meters
Height from riverbed ارتفاع از بستر رودخانه	75.5 meters
Height from foundation ارتفاع از پی	77.5 meters
The total volume of the tank حجم کلی	131 million cubic meters
50-year-old sediment رسوبات با عمر ۵۰ سال	52.39 million cubic meters

برای بهینه‌سازی این مسئله، از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شد. ابتدا تابع هدف و قیود کدنویسی شدند، پس از آن این تابع در محیط دستور نرم‌افزار MATLAB درج و فراخوانی شد. دامنهٔ متغیرهای مسئله در قسمت Bounds زبانه الگوریتم ژنتیک نوشته شد. روند اجرای الگوریتم ژنتیک به‌گونه‌ای است که ابتدا تعدادی از جواب‌های اولیه به‌عنوان «جمیعت اولیه» در تابع هدف پیاده‌سازی می‌شوند و سپس مطابق شکل ۳ گام‌های اجرای الگوریتم تا رسیدن به جواب مطلوب تکرار می‌شود

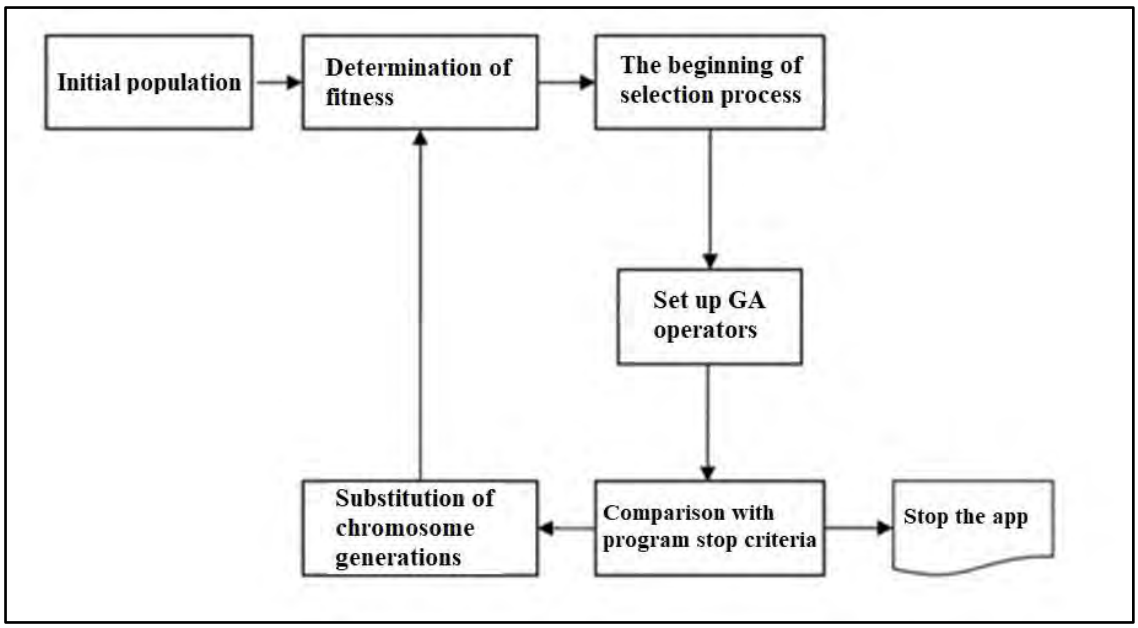
الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک بر پایهٔ تئوری تکامل داروین قرار دارد. اولین بار هالند آن را مطرح کرد (Holland, 1975). بعد از آن گلدبرگ معرفی کامل و دقیقی از این روش ارائه داد (Goldberg, 1989). مطالعات مهندسان دربارهٔ حل مسئلهٔ بار در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ میلادی به ارائهٔ اصول اولیهٔ الگوریتم در دانشگاه میشیگان آمریکا انجامید و کتابی با عنوان «سازش در دستگاه‌های طبیعی و مصنوعی» منتشر شد که مرجع اصلی در مبحث الگوریتم ژنتیک است (Holland, 1975). در الگوریتم ژنتیک ابتدا جمعیتی از پاسخ‌ها یا افراد ایجاد می‌شود. هریک از افراد، ترکیبی منحصربه‌فرد از خصوصیات را دارد. این ویژگی‌ها با یک‌رشته دودویی (ژن) نشان داده می‌شود و ژن‌ها روی «کروموزوم» ترکیب می‌شوند. ارزش هر کروموزوم در جمیعت با محدودیت‌ها و قیود مسئله مشخص می‌شود. هر فرد

www.SID.ir

Archive of SID

از جمیعت، در تابع برازندگی ارزیابی قرار می‌شود و هدف انتخاب بهترین افراد جمیعت است. با اجرای عملگر جهش روی کروموزوم‌ها و بازترکیب آن‌ها، نسلی جدید از «کروموزوم‌ها» ایجاد می‌شود که حداقل برخی از اعضای آن، نسبت به نسل قبلی، برازندگی بهتری دارند (Munroe *et al*., 2019).



شکل ۳-روند کلی اجرای الگوریتم ژنتیک (Kheiry & Pilpaye, 2018)

Fig. 3- General Process of Implementing Genetic Algorithms (Kheiry & Pilpaye, 2018)

الگوریتم ژنتیک یکی از اعضای خانوادهٔ مدل‌های محاسباتی است که از روند تکامل الهام گرفته شده است. محاسبات تکاملی به‌صورت انتزاعی از مفاهیم اساسی تکامل طبیعی در جستجو برای یافتن راه‌حل بهینه برای مسائل مختلف بهره می‌گیرد (Mehri & Salmanmahini, 2017).

تحلیل رگرسیون

در پدیده‌های طبیعی و مسائل تجربی، روش‌هایی متعدد برای تخمین یک پارامتر از روی یک یا چند متغیر وجود دارد. یکی از روش‌ها برای پیش‌بینی رفتار یک متغیر وابسته نسبت به متغیرهای مستقل، مدل رگرسیون خطی چندمتغیره است.

این روش از ساده‌ترین روش‌های تشریح شده برای برازش تابع است (Kotu & Deshpande, 2015). پژوهشگر زمانی می‌تواند از رگرسیون خطی استفاده کند که شرایط زیر برقرار باشد (Montgomery *et al*., 2012):

- میانگین (امید ریاضی) خطاها صفر باشد.
- واریانس خطاها ثابت باشد.
- بین خطاهای مدل، همبستگی وجود نداشته باشد.
- متغیر وابسته دارای توزیع نرمال باشد.
- بین متغیرهای مستقل، هم خطی وجود نداشته باشد.

در مدل رگرسیون خطی ارتباط بین متغیرهای مستقل $x(1), x(2),\ldots\ldots x(n)$ و متغیر وابسته Y به‌شرح رابطهٔ ۳ در نظر گرفته می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 \dots + a_na_x + e \qquad (۳)$$

که در آن،
a_0= عرض از مبدأ؛ $a_1, a_2 \dots a_n$ = ضریب‌های رگرسیونی (Balan *et al.*, 1995)؛ و e= میزان خطا. مدل رگرسیون چندگانه خطی در حالت N متغیری و ماتریسی به‌صورت رابطهٔ ۴ نیز نوشته می‌شود:

$$Y = X.\beta + Z \qquad (۴)$$

که در آن،
Y= بردار متغیرهای تصادفی و نمایش‌دهندهٔ داده‌های مورد انتظار متغیر وابسته است؛ X= ماتریس مربوط به متغیرهای مستقل؛ β = ماتریس ضریب‌های رگرسیون؛ و Z= بردار متغیرهای تصادفی نشان‌دهنده مؤلفهٔ خطاست (Bates & Watts, 1988). سطح معنی‌داری در این پژوهش با آماره F سنجیده شد.

ابتدا طول سرریز به‌صورت داده‌هایی گسسته از ۱ تا ۳۰ تبدیل شد و پس از آن از رابطهٔ ۱ و با فرض ضریب دبی C=3.95 (مطابق با شکل ۴) مقادیر بار کل طراحی سرریز محاسبه شد. در شکل ۴، زمانی ضریب آبگذری حداکثر خواهد بود که نسبت ارتفاع سرریز به هد طراحی برابر ۳ باشد. با توجه به این نکته برای هر بار طراحی ارتفاع معادل پیش‌بینی شد.

سرریز اوجی معمولی‌ترین و ارزان‌ترین نوع سرریز شناخته می‌شود و اهمیت خاصی برای طراحان دارد. قابلیت اصلی این سرریز، در عبور دادن مقدار زیادی آب از تاج است. در سرریز اوجی، چنانچه در یک مقطع مستطیلی جلو آب توسط سرریز لبه نازک گرفته شود، مسیر جریان S شکل خواهد شد. سرریز سد مخزنی بالارود از نوع اوجی آزاد هست.

در این تحقیق، به‌منظور تهیهٔ تابع هدف از اطلاعات مربوط به سد مخزنی بالارود استفاده شد. هزینهٔ ساخت سرریز به عوامل زیادی وابسته است؛ اما در این تحقیق با فرض ثابت بودن دیگر عوامل، فقط مؤلفه ارتفاع و طول سرریز در نظر قرار گرفته شد. سد مخزنی بالارود یک سد خاکی با هسته قائم است که روی رودخانه بالا رود احداث می‌شود. مقدار آب قابل تنظیم سالانه برای این سد ۹۶ میلیون مترمکعب پیش‌بینی می‌شود. تراز نرمال مخزن در رقوم ۳۲۹/۳ متر از سطح آزاد دریا واقع شده است (Osare, 2005). تابع هزینهٔ سرریز، به‌صورت رابطهٔ ۵ تعریف می‌شود.

$$\text{Cost(spillway)} = CPI \times 304.71 \times \exp\left(0.5\left(\frac{L-67.4}{40.72} + \left(\frac{T-11467}{17069}\right)^2\right)\right) \qquad (۵)$$

که در آن،
واحد طول سرریز "متر" و واحد دورهٔ بازگشت سیلاب "سال" است. CPI= شاخص قیمت کالا و خدمات که هر سال توسط بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران اعلام می‌شود. اعمال شاخص CPI در رابطهٔ بالا باعث می‌شود در سال‌های آینده با تغییرات ارزش پولی نیز این رابطه قابل‌استفاده باقی بماند. برای راحتی استفاده از رابطه، شاخص CPI برای زمان طراحی (سال ۱۳۸۴) در رابطهٔ ۵ جای‌گذاری شده است و فقط شاخص مقطع زمانی مورد نظر (حال یا آینده) در این رابطه اعمال می‌شود. در رابطهٔ ۵، با جایگذاری عدد شاخص هر سال و شاخص زمان

www.SID.ir

Archive of SID

طراحی (سال ۱۳۸۴) می‌توان هزینهٔ ساخت سرریز اوجی را برآورد کرد. در سال‌های آتی نیز با اعمال ضریب همان سال، این رابطه را می‌توان تعمیم داد. مقدار CPI از رابطه ۶ به‌دست می‌آید:

$$\text{ارزش ریالی مبلغ در مقطع زمانی مورد نظر} = \text{مبلغ ریالی} \times \frac{\text{عدد شاخص در مقطع زمانی مورد نظر}}{\text{شاخص عدد در مقطع زمانی مبدأ}} \quad (۶)$$

در رابطهٔ ۷ برای هر مقطع زمانی می‌توان ارزش پول را برآورد کرد. صورت و مخرج کسر به‌ترتیب شاخص CPI را برای مقصد زمانی و مبدأ زمان نشان می‌دهد. شاخص CPI را بانک مرکزی در هر سال روی وبگاه بانک قرار می‌دهد.

به‌منظور تهیهٔ تابع هزینهٔ سازه سرریز، تغییرات طول آن در محدودهٔ ۱۰ تا ۳۰ متر در نظر گرفته شد. در مدل‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک، ابتدا مؤلفهٔ طول به داده‌های گسسته تقسیم شد و اعداد صحیح از ۱۰ تا ۳۰ را در برگرفت.

تابع هدف و قیود مسئله، در نرم‌افزار MATLAB کدنویسی و هر یک از مؤلفه‌های طراحی، به زبان برنامه‌نویسی در برنامه تعریف شد. برای محاسبهٔ هزینه از زبانه gatool در MATLAB استفاده شد. طول سرریز تبدیل به داده‌های گسسته شامل اعداد صحیح از ۱۰ تا ۳۰ شد. تحلیل حساسیت مربوط به عملگرهای الگوریتم در جدول ۲ درج شده است. مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم بر اساس آزمون و خطا و تکرار الگوریتم به‌دست آمد (جدول ۳). برای بهینه‌سازی از نرم‌افزار MATLAB (نسخه ۷،۱۴،۰،۷۳۹) به‌عنوان محیط پیاده‌سازی مدل استفاده شد.

جدول ۲- تحلیل حساسیت عملگرهای الگوریتم ژنتیک

Table 2- Sensitivity analysis of genetic algorithm operator

Bit String	Double Vector					
Uniform	Feasible Population	Uniform	Constraint Dependent			
132.2076	169.0092	150.6482	149.5037	The objective function تابع هدف	5 20	Population size اندازه جمعیت Initial population جمعیت اولیه
132.2076	151.2988	151.0456	149.6164	Function value مقدار تابع	20 100	Population size اندازه جمعیت Initial population جمعیت اولیه
132.2076	149.5370	149.5082	149.5546	Function value مقدار تابع	1000 10000	Population size اندازه جمعیت Initial population جمعیت اولیه

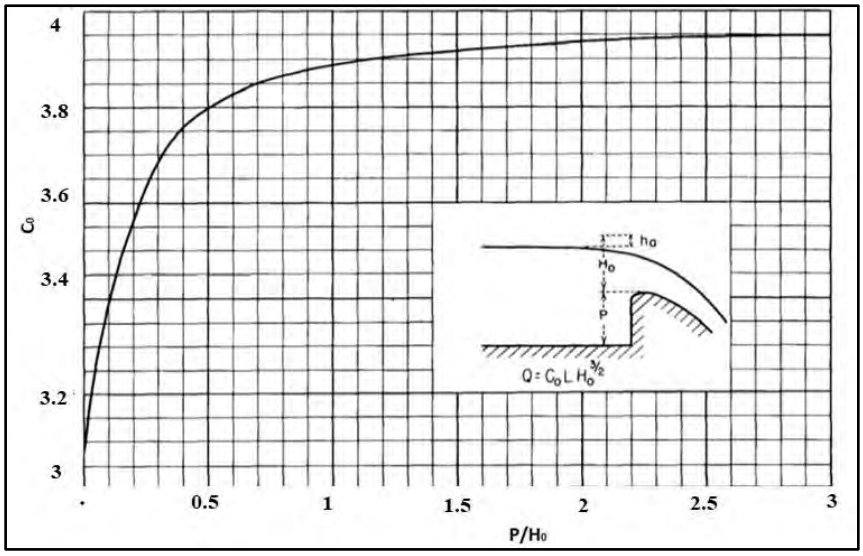
شرایط خاتمه

بعد از ذخیره شدن بهترین جواب، شرط خاتمهٔ الگوریتم بررسی می‌شود. اگر این شرط (یا شرط‌ها) برآورده شود، الگوریتم خاتمه می‌یابد و جواب نهایی

www.SID.ir

Archive of SID

ذخیره می‌شود (بهترین جواب در بین بهترین هر تکرار). در صورتی‌که شرط (یا شرایط) برقرار نشود، الگوریتم تکرار می‌شود. شرط توقف می‌تواند رسیدن به دقتی خاص، تعداد تکرارهای خاص، زمان خاص یا ترکیبی از این‌ها باشد. در این پژوهش به‌منظور ساده‌سازی، شرط توقف تعداد اجرای خاص (تولید ۱۰۰۰ نسل) در نظر گرفته شد. هر مسأله بهینه‌سازی دارای متغیرهای تصمیم‌گیری، قیدها و تابع هدف است. متغیرهای تصمیم‌گیری در تحقیق حاضر، سرریز سد بالا رود شامل ارتفاع (P)، طول (L) و دورهٔ بازگشت سیلاب (T) است. قیدهای مسئله نیز توضیح داده خواهد شد. یادآوری می‌شود مطابق با شکل ۴ برای اینکه ضریب آبگذری حداکثر را داشته باشیم باید نسبت طول به ارتفاع سرریز (P/H) حداقل برابر سه باشد. حداقل کردن هزینهٔ ساخت سرریز، هدف بهینه‌سازی است، با این فرض که طول و ارتفاع سرریز و دورهٔ بازگشت سیلاب، رابطهٔ مستقیم با هزینهٔ ساخت آن دارند.



شکل ٤ – نمودار رابطهٔ ضریب آبگذری با ارتفاع سرریز نسبت به هد طراحی (Anon, 1987)

Fig. 4- Chart hydraulic conductivity relationship with overflow height of the head design (Anon, 1987)

تعریف قیدها (محدودیت‌های مسئله)

در طراحی سرریز علاوه بر طراحی هیدرولیکی، بعضی متغیرهای اصلی یا رابطهٔ بین آن‌ها نباید از حد مجاز بیشتر باشد. به این منظور قیدهای طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این قیدها تعیین‌کننده شرایط مرزی مربوط به عوامل مختلف مسئله هستند. قیدهای مسئله به‌صورت زیر است:

$$CLH^{1.5} - Q(design) > 0$$

دبی طراحی برابر با ۱۹۵۲ مترمکعب بر ثانیه است.

- ضریب آبگذری C طبق شکل ۴ محدود شد.

$$0 \leq C \leq 3.95$$

- در بهینه‌سازی فرض شد که ضریب دبی مطابق با شکل ۴ در حالت حداکثر قرار دارد. در نقاطی از نمودار ضریب C حداکثر است که مقدار P/H حداقل برابر ۳ باشد. برای حل مسئله مقدار کمینه را برای این مقدار در نظر می‌گیریم (P/H>3).

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل حساسیت

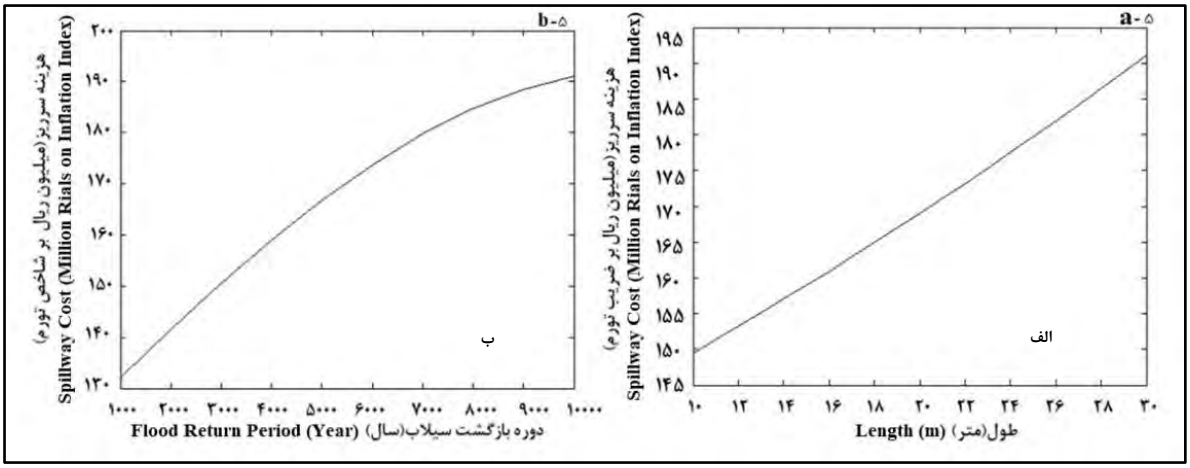
ابتدا برای تحلیل الگوریتم ژنتیک، تابع هدف در نرم‌افزار MATLAB فراخوانی و عملگرهای الگوریتم ژنتیک در آن با روش آزمون و خطا سنجیده شد که نتیجه در جدول ۲ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، حساسیت عملگر[1] با افزایش اندازهٔ جمعیت پایین است. در اجرای الگوریتم از این عملگر نیز استفاده شده است.

برای رسم نمودارها از زبانه PLOT در نرم‌افزارMATLAB استفاده شد (شکل‌های ۵-a و ۵-b).

جدول ۳- عملگرهای بهینه‌شده برای اجرای الگوریتم ژنتیک

Table 3- Optimized operators for genetic algorithm implementation

Algorithm Component عملگر الگوریتم	Type نوع	Amount مقدار
Population جمعیت	Population size اندازه جمعیت	20
Population جمعیت	Initial population جمعیت اولیه	100
Reproduction تولید	Type of population نوع جمعیت	وکتور دوبل
Reproduction تولید	The amount of elitism میزان نخبه گزینی	2
Reproduction تولید	The crossover percent درصد ادغام	50%
Type of mutation نوع جهش	Adaptive Feasible خودسازمانی ممکن	-
Crossover ادغام	Heuristic ابتکار	-
Migration مهاجرت	Fraction Ratio نسبت شکست	-
Restriction parameters پارامترهای محدودیت	Initial Penalty هدف نهایی	10%



شکل ۵- الف) نمودار هزینه ساخت سرریز و طول آن با فرض T=۱۰۰۰۰ و هزینه کمینه و ب) نمودار هزینه ساخت سرریز و دوره بازگشت آن با فرض L= ۱۰ و هزینه کمینه

Fig 5- a) Overflow cost chart and its length assuming T = 10000 and minimum cost and b) overflow cost chart and its return period assuming L = 10 and minimum cost

1- Constraint Dependent

www.SID.ir

Archive of SID

روابط تحقیق به‌ترتیب عبارتند از:

رابطۀ ۲- این تابع، صورت کلی است و در رابطۀ بعدی بسط داده می‌شود.

رابطۀ ۵- در شکل (۵-a) با فرض T=۱۰۰۰۰ سال برای سرریز، مقادیر هزینۀ سرریز نسبت به L گزارش شده است که با توجه ساختار عملیاتی و اجرایی سرریز، منطقی به نظر می‌رسد.

در شکل (۵-b) نیز با فرض طول ۱۰ متر، ارتباط بین هزینۀ ساخت سرریز با دورۀ بازگشت سیلاب بیان شده است. بیشینۀ هزینه در ساخت سرریز زمانی است که دورۀ بازگشت سیلاب برابر با ۱۰۰۰۰ سال در نظر گرفته شود (با توجه به محدودۀ T). تحلیل حساسیت رابطۀ ۵ نشان می‌دهد که با افزایش T شیب منحنی هزینه-دوره بازگشت کاهش می‌یابد. طبق شکل (۵-b) با فرض (ثابت=T) با افزایش طول، مقدار تابع هدف نیز رشد می‌کند.

نتایج و بحث

در تحقیق حاضر، پس از تعیین تابع هدف و انتخاب عملگرهای مناسب، بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام و مناسب‌ترین پاسخ به‌عنوان جواب مسئله گزارش شد و نتایج آن در جدول ۴ درج گردید. در ستون سوم، به ازای این دو متغیر هزینۀ کل ساخت سرریز برحسب میلیون ریال در ضریب CPI مشاهده می‌شود. هزینۀ سرریز با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با اعمال قیدها محاسبه شد. بین طول سرریز و بار آب کل روی آن، رابطۀ معکوس وجود دارد و نشانگر این است که با طراحی سرریز شوت و تنداب و حوضچه آرامش مناسب، می‌توان میزان H را افزایش داد و به‌دنبال آن طول سرریز را کاهش داد.

نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک در جدول ۴ درج شده است. با در نظر گرفتن بیشینه بار کل طراحی (متر) ۱۰/ ۵۰=H_d و (سال) ۱۰۰۰۰=T و با استفاده از درون‌یابی، ابعاد و هزینۀ بهینه به‌صورت زیر به‌دست آمد: طول بهینه سرریز برابر ۱۴/۴ متر و ارتفاع بهینه برابر ۳۱/۴۷ متر است، هزینۀ بهینه ساخت سرریز نیز از رابطۀ CPI×۱۵۷/۷۷ به‌دست می‌آید.

در طراحی و اجرای سرریز سد بالارود، طول برابر ۲۰ متر در نظر گرفته شده است. با بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک، این طول به ۱۴/۴ متر منتج شده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد اگر در اجرا این مقدار طول سرریز اعمال شود، از لحاظ اقتصادی می‌تواند تا ۲۸ درصد صرفه‌جویی برای اجرای پروژه به‌همراه داشته است. البته نظر طراحان داخل کشور در این‌گونه موارد مبتنی است بر اتخاذ حاشیۀ ایمنی بالا است. انتخاب طول سرریز تا ۲۸ درصد بیشتر (نسبت به داده بهینه) نشان می‌دهد که طراح میزان بالاتری را برای حاشیه ایمنی در نظر گرفته است. در پروژه‌های اجرایی کنونی کشور طبق روال گذشته سعی می‌شود ضریب ایمنی بالاتر نسبت به استاندارد جهانی استفاده شود. مقدار خروجی برای ارتفاع سرریز در این تحقیق ۳۱/۴۷ متر و مقدار عملیاتی برای ارتفاع ۴۷/۷ متر است. مقایسۀ این دو داده نشانگر تخصیص ۳۴ درصد ارتفاع بیشتر به جهت حاشیۀ اطمینان است. به‌طورکلی، طراح در مسئلۀ ارتفاع سرریز نیز حاشیۀ امن را در حد بالایی اتخاذ کرده است.

تحلیل همبستگی

برای تحلیل همبستگی، داده‌های جدول ۴ در

www.SID.ir

Archive of SID

نرم‌افزار Excel 2010 درج شد. سپس نمودارها به‌صورت شکل‌های (۶-a) و (۶-b) رسم شد. با نرم‌افزار SPSS ضریب تعیین (R^2)، مقدار *RMSE* و خطا و حدود اطمینان برای دو مدل محاسبه شد.

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن هزینهٔ کمینهٔ ساخت سرریز، رابطهٔ بین طول و لگاریتم طبیعی ارتفاع سرریز برازش مناسبی با معادلهٔ درجه یک (شکل (۶-a)) دارد. رابطهٔ منسوب به شکل (۶-a) دارای ضریب تعیین R^2=۰/۹۷۹ و بالاتر نسبت به ضریب تعیین روابط توانی و نمایی است. در این برآورد، ریشهٔ میانگین مربعات خطا (*RMSE*) ۰/۹۱۵۴ و معیار خطای پیش‌بینی ۰/۹۱۵۶ به‌دست آمد. در این مدل سطح معناداری یا *P*-Value برابر با صفر و کمتر از مقدار ۰/۰۵ است. در نتیجه، در محدودهٔ مورد مطالعه، طول و Ln(*P*) دارای رابطهٔ معنادار و معکوس هستند.

جدول ٤- نتایج بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک به‌ازای دبی طراحی ثابت

Table 4. Results of genetic algorithms for optimizing the design flow rate constant

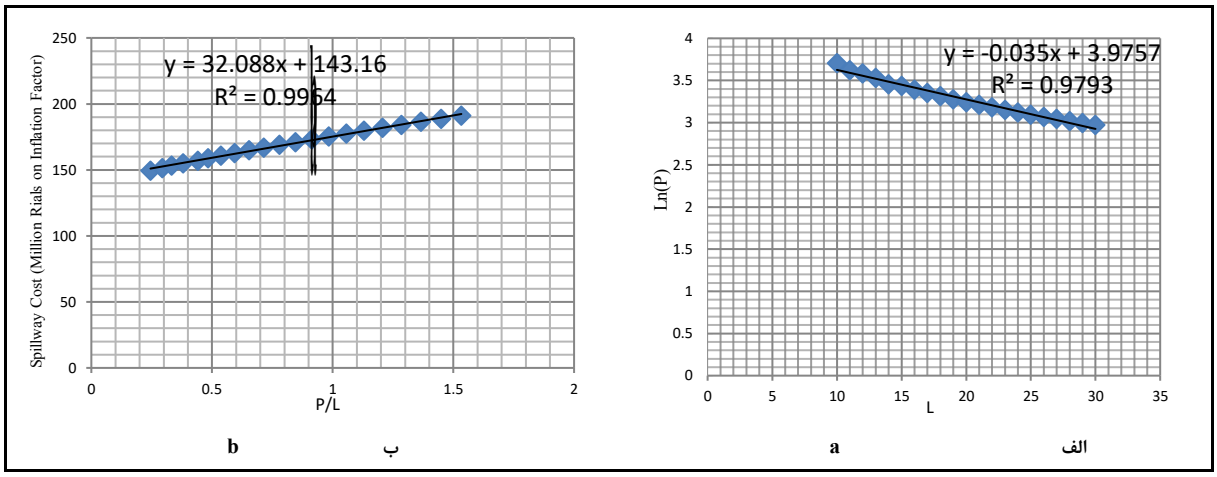
L طول سرریز	P ارتفاع سرریز	He بار طراحی	(mIRR/CPI) هزینهٔ ساخت سرریز
10	40.72	13.58	149.49
11	37.41	12.74	151.32
12	36.03	12.02	153.19
13	34.2	11.4	155.08
14	31.74	10.58	157.00
15	31.08	10.36	158.94
16	29.76	9.92	160.9
17	28.59	9.53	162.89
18	27.54	9.18	164.9
19	26.55	8.85	166.94
20	25.65	8.55	169.00
21	24.84	8.28	171.09
22	24.08	8.028	173.23
23	23.37	7.79	175.35
24	22.71	7.57	177.51
25	22.11	7.37	179.71
26	21.54	7.18	181.93
27	21	8	184.17
28	20.49	6.83	186.45
29	20.01	6.67	188.75
30	19.56	6.52	191.08

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که نسبت ارتفاع به طول سرریز (*P/L*) با هزینهٔ ساخت آن دارای رابطه از نوع درجهٔ یک است و رابطهٔ خطی دارای بیشترین ضریب تعیین (R^2=۰/۹۹۶) در بین مدل‌های خطی، نمایی و توانی است. مقدار *RMSE* برابر ۰/۰۳۱ و مقدار معیار خطای پیش‌بینی[1] برابر ۰/۰۲۴۸ به‌دست آمد. سطح معناداری برای این مدل *P*-Value=۰ ، کمتر از مقدار ۰/۰۵ ، است و در نتیجه با ثابت بودن دیگر مؤلفه‌ها مدل حاضر پیش‌بین خوبی برای متغیر هزینهٔ ساخت سرریز است.

1- Standard Error of the Estimate

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦ – الف) برازش منحنی طول (متر) با ارتفاع سرریز و ب) برازش منحنی ارتفاع بر طول با هزینه سرریز

Fig 6 - a) Curve fitting length (m) with the height of the spillway and b) on the height curve fitting with cost overruns

آزمون فرضیه رگرسیون

تفسیر معنی‌داری هر رابطه، نیازمند آزمون فرضیه است. اگر فرضیهٔ صفر رد شد، می‌توان نتیجه گرفت که رابطهٔ خطی بین دو متغیر مستقل و وابسته برقرار است. در این پژوهش، برای تفسیر مدل رگرسیون از آزمون t و برای محاسبات از نرم‌افزار SPSS16 استفاده شد. آزمون فرض نبود ارتباط خطی با شرط های نشان ارائه شده در رابطه‌های ۷ و ۸ انجام می‌شود.

$$H_0: \beta_1 = 0 \qquad (۷)$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0 \qquad (۸)$$

مدل اول: برای رابطهٔ طول و ارتفاع سرریز ($\mathrm{Ln}(P)$) و جدول استاندارد توزیع t و برای p= ۰/۰۵ رابطه‌های ۹ و ۱۰ تعریف می‌شوند.

$$t_0 = ۳۶/۴۵ ،\ -۲۹/۹۹ \qquad (۹)$$

$$t_{\alpha/2\ n-2} = ۲/۹۳ \qquad (۱۰)$$

در نتیجه داریم $|t_{\alpha/2\ n-2}| < |t_0|$ و در نتیجه فرض H_0 رد می‌شود و مدل مذکور در شکل (۶-a) رابطهٔ مناسبی برای توصیف دو متغیر طول و ($\mathrm{Ln}(P)$) است و رابطهٔ خطی (و معکوس) این مدل تایید می‌شود.

مدل دوم: برای رابطهٔ هزینه با P/L داریم، نتیجه‌گیری بر اساس رابطه‌های ۱۱ و ۱۲ انجام می‌شود.

$$t_0 = ۷۲/۱۷ ،\ -۶۰/۷۶ \qquad (۱۱)$$

$$t_{\alpha/2\ n-2} = ۲/۹۳ \qquad (۱۲)$$

در نتیجه داریم: $|t_{\alpha/2\ n-2}| < |t_0|$ و فرض H_0 رد می‌شود. در نتیجه، بین P/L و هزینهٔ سرریز رابطهٔ خطی (و مستقیم) برقرار است.

مقایسه مدل رگرسیون با ظاهر مسئله

عملیات ساخت سرریز ارتباط مستقیم با طول، ارتفاع و دورهٔ بازگشت سیلاب دارد. هزینهٔ ساخت سرریز نیز به عوامل مختلفی دیگر بستگی دارد مانند: هزینهٔ مصالح مصرفی، دستمزد کارگران، زمان اجرای پروژه، هزینهٔ حمل‌ونقل مصالح و کارگران، میزان خاک‌برداری، میزان خاک‌ریزی و بتن‌ریزی، هندسه سرریز شوت و تنداب و نوع حوضچه آرامش مناسب. در این تحقیق، با فرض ثابت بودن این هزینه‌ها در یک برههٔ زمانی مشخص، به توصیف

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه بین هزینهٔ ساخت و ابعاد سرریز پرداخته شد. روابط حاصل از مدل رگرسیون در این پژوهش به‌طور مشخص بیانگر تأثیر تغییرات ابعاد سرریز (P و $\mathrm{Ln}(P)$) با هزینهٔ ساخت سرریز است و از تأثیر دیگر عوامل صرف‌نظر شده است.

نتیجه‌گیری

هدف اول این پژوهش که کاهش هزینه بود، با اجرای بهینه‌سازی قابل دسترسی است. با توجه به اینکه طول و ارتفاع سرریز به‌ترتیب ۳۱ درصد و ۲۸ درصد مازاد بر مقدار طراحی در نظر گرفته شده است، با کاهش طول و ارتفاع سرریز، به‌میزان قابل‌توجهی در هزینه عملیات صرفه‌جویی می‌شود.

هدف دوم پژوهش که دسترسی به ابعاد بهینه سرریز است با توجه به اصول الگوریتم ژنتیک به‌طور صد در صد وصول نمی‌شود. به‌عبارتی دیگر، الگوریتم ژنتیک ابعاد بهینه را مشخص می‌کند و نه لزوماً بهترین جواب را. با توجه به این حقیقت می‌توان ابعاد بهینهٔ دیگری برای این مسئله یافت که با اضافه کردن قیدهای بیشتر در مسئله امکان‌پذیر است.

جدول ۴ رابطهٔ بین طول و ارتفاع سرریز با هزینهٔ ساخت سرریز را نشان می‌دهد. به‌طور کلی طراحی سرریز امری بسیار مهم است و با تصمیم‌گیری از بین واریانت‌های مختلفی روبه‌رو است و اقتصادی‌ترین انتخاب زمانی میسر می‌شود که رابطهٔ میان مؤلفه‌های طراحی و هزینه مشخص شود. با تعین هد طراحی در سرریز، می‌توان ارزان‌ترین گزینه را از بین واریانت های ابعاد سرریز انتخاب کرد که دارای ضریب دبی مشخص باشد اما این انتخاب لزوماً دقیق‌ترین و مناسب‌ترین جواب نمی‌تواند باشد. با گسترش تابع هدف و اِعمال قیدهای بیشتر، پاسخ نهایی نیز به مقدار بهینه نزدیک می‌شود. از یک‌سو این مسئله می‌تواند باعث انعطاف‌پذیری الگوریتم ژنتیک شود و از دیگر سو همیشه باید به نسبی بودن جواب تأکید کرد.

هدف سوم پژوهش تحلیل رابطهٔ طول و ارتفاع با هزینهٔ سرریز اوجی است. در این تحقیق، روابط جدیدی برای ارتباط هزینهٔ ساخت سرریز با P/L و همچنین رابطهٔ طول و ارتفاع سرریز ارائه شد. تحلیل رگرسیون در نرم‌افزار SPSS انجام شد. نتایج نشان می‌دهد با ضریب تعیین R^2=۰/۹۹۶، رابطهٔ خطی معنادار و مستقیم بین هزینهٔ ساخت سرریز با نسبت P/L برقرار است. با فرض دبی ثابت، رابطه‌ای جدید نیز برای ارتباط طول با ارتفاع سرریز مشخص شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با فرض ثابت بودن ضریب گذردهی و دبی طراحی، رابطهٔ خطی معنادار و معکوس با ضریب تعیین R^2 =۰/۹۷ بین طول و لگاریتم طبیعی (Ln) ارتفاع سرریز برقرار است. در تحقیق حاضر نشان داده شد افزایش سرعت محاسبات و کاهش زمان طراحی یکی از مزیت‌های تأثیرگذار الگوریتم ژنتیک است. بااین‌همه، الگوریتم ژنتیک نقاط ضعف هم دارد مانند حساسیت فوق‌العاده بالا به عملگرهای اندازهٔ جمعیت و جهش. کاهش نقاط ضعف GA و افزایش کارآیی آن، نیازمند تطابق و بهبود عملگرهای این الگوریتم در محیط MATLAB است که می‌تواند به‌دست محققان و برنامه‌نویسان در آینده محقق شود. پیشنهاد برای دانشجویان رشته‌های مرتبط با آب، مطالعه روی سود و زیان انتخاب ضرایب ایمنی بالا در پروژه‌های سدسازی کشور است تا تحلیل‌های جامعی نسبت به این موضوع مهم در اختیار مهندسان و پژوهشگران قرار داده شود.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

Anon. (1987). Design of Small Dams. 3rd Edition. *A Water Resources Technical Publication*. USBR (United States Department of Interior-Bureau of Reclamation.

Anon. (2013). *Report of early studies on the Balarood reservoir*. Dezab Engineering Consulting Company. (in Persian)

Bagatur, T., & Onen, F. (2016). Computation of design coefficients in ogee-crested spillway structure using GEP and regression models. *KSCE Journal of Civil Engineering, 20*(2), pp. 951-959.

Balan, B., Mohaghegh, S., & Ameri, S. (1995). State of art in permeability determination from well log data: Part 1- A comparative study. Model development, *SPE Technical Report* 30978:17-25.

Bates, D. M., & Watts, D. G. (1988). *Nonlinear Regression Analysis and Its Applications*. A Wiley-Interscience Publication.

Beirami, M. K. (2016). *Water Conveyance Structures*. Isfahan University of Technology. (in Persian)

Chandwani, V., Agrawal, V., & Nagar, R. (2015). Modeling slump of ready mix concrete using genetic algorithms assisted training of artificial neural networks. *Expert Systems with Application, 42*(2), pp. 885-893.

Demeke, G. K., Asfaw, D. H., & Shiferaw, Y. S. (2019). 3D hydrodynamic modelling enhances the design of tendaho dam spillway, Ethiopia. *Water, 11*(1), 82-92.

Date, V., Dey, T., & Joshi, S. (2017). Numerical modeling of flow over ogee crested spillway under Radial Gate. *Journal of Applied Mechanical Engineering, 6*(5), DOI: 10.4172/2168-9873.1000287.

Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search. Optimization and Machine Learning*. Addi-son-Wesley. Reading, MA.

Haghbin, M. (2015). Optimization of hydraulic parameters of nile flooder spillway or using genetic algorithm case study (spillway of San Luis Farbay Dam Dam) (M. Sc. Thesis) Islamic Azad University, Marvdasht Branch, Iran. (in Persian)

Hojjati, S. H., Salehi-Neishabouri, S. A., & Hojjati, H. (2016). Optimization of triangular firing angle and shot width overlay using genetic algorithm. *Modares Civil Engineering Journal*, *16*(2), pp. 1-7. (in Persian)

Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. U Michigan Press.

Jozi, S., Hosseini, S., Khayatzadeh, A., & Tabib-Shoshtary, M. (2011). Analysis of physical risks in Iranian Khuzestan Balarood dam, at step of construction using multi-attribute decision making method. *Journal of Environmental Studies*, *37*(58), pp. 25-38.

Kheiry, M., & Pilpaye, A. (2018). Application of genetic algorithm in water and civil engineering problems (M. Sc. Thesis) Islamic Azad University, Parsabad Branch, Iran. (in Persian)

Kotu, V., & Deshpande, B. (2015). Predictive Analytics and Data Mining: Concepts and Practice with RapidMiner. 1st Edition. ISBN: 978-0-12-801460-8.

www.SID.ir

Archive of SID

Manafpour, M., Ebrahimnezhadian, H., & Babazadeh, V. (2019). Numerical study of spillway sidewall convergence effects on the hydraulic characteristics of flow and probability of occurrence of cavitation phenomenon. *Journal of Water and Soil Conservation, 25*(5), pp. 109-127.

Mehri, A., & Salmanmahini, A. R. (2017). An overview of the modeling of the land. *Journal of Human and Environment. 15*(1), pp. 71-92. (in Persian)

Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis* (Vol. 821). John Wiley & Sons.

Munroe, S., Sandoval, K., Martens, D. E., Sipkema, D., & Pomponi, S. A. (2019). Genetic algorithm as an optimization tool for the development of sponge cell culture media. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Animal*, *55*(3), pp.149-158.

Osare, Z. (2005). Optimization of dam height and dimensions of spillway using genetic algorithm (M. Sc. Thesis) Faculty of Agriculture of Shiraz University, Iran. (in Persian)

Shoja, F., Salmasi, F., Farsadizadeh, D., Nazemi, A. H., & Sadraddini, A. A. (2012). Optimal design of stepped spillways for maximizing energy dissipation using genetic algorithm. *Water and Soil Science, 22*(4), 69-83. (in Persian)

Vafaeian, M. (2007). *Executive Data of Dams*. Jihad University Isfahan Industrial Zone. (in Persian)

Yang, J., Andreasson, P., Teng, P., & Xie, Q. (2019). The past and present of discharge capacity modeling for spillways a Swedish perspective. *Fluids, 4*(1), 10, https://doi.org/10.3390/fluids4010010.

www.SID.ir

Archive of SID

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.20/No.77/ Winter 2019/P: 39-56

Optimization of Height and Length of Ogee-Crested Spillway by Composing Genetic Algorithm and Regression Models (Case Study: Spillway of Balarood Dam)

M. Kheiry-Ghojeh Biglou* and A. Pilpayeh

* Corresponding Author: Graduate from Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Parsabad Moghan Branch, Parsabad, Iran. Email: eng.miladenoor@gmail.com
Received: 11 December 2015, Accepted: 5 April 2017

Extended Abstract

Introduction

The cost of dam construction is very high. A lot of dams are broken due to the water passing through dam crest. The most important factor which causes this is, insufficient spillway capacity. The aim of present study was investigating optimal height and length for Ogee-Crested spillway because such height and length minimizes the cost of spillway construction. In order to determine objective function, the spillway length variations were considered in the range of 10 to 30 m and the flood return period was estimated in the range of 1000 to 10,000 years. Optimization was done with using genetic algorithm in MATLAB software environment. In fact, the aim of this study was investigating the effect of height and length of spillway on the cost of spillway construction, therefore, Analytical relationships presented with using regression model. The main function of Ogee-Crested spillway is providing ideal conditions for passing designed flood from upstream to downstream. Bagatur & Onen in 2016, used gene expression planning (GEP) models as an alternative approach to predicting appearance features and spillway design coefficients and therefore, proposed new relationship, for Ogee-Crested spillway. It was found that GEP is much better than regression model for predicting Ogee-Crested spillway characteristics. Haghbin in 2015 proposed that using multi-objective genetic algorithm can optimize spillway geometrical dimensions. The results of this study provide the appropriate height and length for the spillway.

Methodology

The question of this research is, what is the appropriate height and length for the Ogee-Crested spillway of Ballarood Dam? In this study, the Ballarood Reservoir Dam was selected as a case study and genetic algorithm process was used for optimizing this issue. First, objective function was coded and then, this function was added to the MATLAB software. In order to provide Spillway cost function, spillway length variations were considered within the range of 10 to 30 m. In modeling with using genetic algorithm method, first, the length component was divided into discrete data which included integer numbers from 10 to 30.

www.SID.ir

Archive of SID

Keeping in view each optimization problem has its decision variables, constraints, and objective function. The decision variables of this present study, namely the Ballarood Dam spillway decision variables, included height (P), length (L), and flood return period (T). The models derived from algorithm modeled with using regression, and their meaningful level was obtained.

Results and Discussion

In this study, after determining objective function and choosing suitable operators, optimization was done with using genetic algorithm; the most appropriate response was reported as problem answer.

Considering the maximum design load (H_d = 50.50 m) and (T = 10000 years), the optimum dimensions and costs were obtained by function: The optimal spillway length and height was was found to be 14.4 m and 47.31 m respectively.

It needs to be mentioned that the designed Ballarood Dam spillway is 20 meters in length. With optimization by genetic algorithm, this length was reduced to 14.4 meters. Comparison of the results showed that if this amount of spillway had been applied during construction of the dam, it could have saved up to 28% on project implementation economically. The output value for the spillway height in this study was 31.47 m and the operational value for the height was 47.7 m. Comparison of these two data indicates 34% higher altitude allocation for the margin of confidence.

Conclusions

One of the goals of this study was reducing costs. Keeping this in mind, the operational cost for the spillway length and height respectively were 31% and 28% more than designed values, with reduction of spillway length and height, operational costs was greatly reduced. The other goal of this study was optimizing dimensions of spillway but according to the principles of genetic algorithm, we could not achieve to 100% of this goal. In the other words, the genetic algorithm determines the optimal dimensions but it does not determine the best answer. According to this fact, we can find other optimal dimensions for this problem, which is possible by adding more constraints to the problem. The genetic algorithm has some weaknesses, which include: Extremely high sensitivity to the population size and mutation operators which imposes high costs on the whole project in high reliability dam construction projects. Therefore, we recommend in future dam construction studies the scholars take into consideration the issue of benefits and costs future projects along with consideration of and also the high factor of safety in dam construction projects.

Keywords: Cost Function, Hydraulic Structure, Margin of Confidence, Supra-heuristic Algorithms

www.SID.ir