Archive of SID

مجله دانش آب و خاک/ جلد 20/1 شماره 3 / سال 1389

بهینه‌سازی ابعاد هسته رسی سدهای خاکی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

مجید منتصری[1*]، اکرم دیمی نیت[2] و عباسعلی قزل سوفلو[3]

تاریخ دریافت: 87/11/12 تاریخ پذیرش : 89/5/16

1- استادیار، بخش آب، دانشگاه ارومیه
2- کارشناسی ارشد، سازه های آبی، دانشگاه ارومیه
3- استادیار، بخش عمران، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد
* مسئول مکاتبه E-mail: montaseri@hotmail.com

چکیده

با توجه به مشکلاتی که در بهینه‌سازی هم زمان اجزای بدنه سدهای خاکی پیش می‌آید توصیه می‌گردد هر کدام از اجزای سد به صورت مجزا و با توجه به تأثیر بقیه قسمت‌ها بهینه شود. در این تحقیق یک طرح هندسی بهینه شده برای هسته رسی در سدهای خاکی ارائه گردیده است. این طرح علاوه بر دارا بودن شرایط خواسته شده می بایست دارای حداقل حجم ممکن برای مصالح هسته نیز باشد. برای دستیابی به این طرح از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. این الگوریتم به صورت هوشمند در فضای مسئله به جستجوی طرح بهینه می‌پردازد. در هنگام جستجو، تعدادی قید مانند تراوش، گرادیان هیدرولیکی و ضریب اطمینان پایداری کنترل می‌شوند. برای تعیین مقدار این قیدها در طرح‌های مختلف از مدل‌های ساده و جدید استفاده شده است. این مدل‌ها با استفاده از روش رگرسیون خطی تهیه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های رگرسیونی عملکرد بسیار موفقی داشته‌اند و از طریق آنها می‌توان یک طرح بهینه کلی را برای هسته سدهای خاکی به دست آورد.

واژه‌های کلیدی : الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی، سد خاکی، مدل رگرسیونی، هسته رسی

www.SID.ir

Archive of SID

Optimization of Clay Core Dimensions in Earth Dams Using Genetic Algorithm

M Montaseri[1]*, A Deiminiat[2] and AA Ghezelsofloo[3]

Received: 31 January 2009 Accepted: 07 August 2010
[1] Assist. Prof., Water Dept., University of Urmia, Iran
[2] MSc Student, Water Structure Engin., University of Urmia, Iran
[3] Assis. Prof., Civil Dept., Islamic Azad University of Mashhad, Iran
* Coresponding author : E-mail: montaseri@hotmail.com

Abstract

Regarding to problems that may arise during optimization of all parts of an earth dam simultaneously, it is more convenient to optimize each part separately by considering the effects of other parts on it. In this research, a new program for optimal geometry design of the clay core in embankment dams was proposed. This program leads to desired design with minimum volume of core materials. A genetic algorithm was employed to fulfill the design. The algorithm, judiciously searches for optimal design within the problem space. While the algorithm searches for optimization, some constraints such as seepage, hydraulic gradient and safety factor of stability are considered. In order to determine the values of these constraints through different kinds of designs, the new simple models were used. These models were obtained by linear regression approach. The results shows that regression models have successful operations and a general optimal plan design of core can be achieved for embankment dams.

Keywords: Clay core, Embankment dam, Genetic algorithm, Optimization, Regression model.

مقدمه

سدهای خاکی از نواحی مختلفی تشکیل شده‌اند که هر کدام تاثیر زیادی بر روی عملکرد بدنه سد، پایداری آن و سایر اجزای طراحی دارند. یکی از نواحی مهم سدهای خاکی که در طراحی نظر محققین را به خود جلب می‌نماید هسته سد است. هسته در سدهای خاکی عامل مهم آب‌بندی و کنترل تراوش از بدنه سد است.از این رو انتخاب نوع مصالح و ابعاد و شکل آن از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد (کوتزنر 1997).

از آنجا که هسته به دلیل نیاز به نفوذپذیری بسیار کم الزاماً باید از مصالح ریزدانه ساخته شود، به ناچار مقاومت برشی آن کمتر از سایر قسمت های بدنه سد بوده،

www.SID.ir

Archive of SID

بنابراین از لحاظ پایداری سد هر چه هسته نازک تر باشد بهتر است. از طرف دیگر هر چه هسته سد ضخیم تر باشد، مقاومت آن در مقابل نشت آب و فرسایش داخلی بیشتر است و خطر ایجاد شکاف یا ترک حاصل از نشست غیر یکنواخت کاهش می‌یابد (سینگ و وارشنی 1995). علاوه بر اهمیت عوامل یاد شده، امروزه ملاحظات اقتصادی یکی از مهمترین عوامل در انتخاب ابعاد هندسی هسته می‌باشد و هسته‌ای مطلوب خواهد بود که ارزانترین باشد زیرا کاهش حجم هسته به عنوان قسمت ناتراوا در اقتصادی نمودن طرح کمک می‌نماید. از این رو تعیین ابعاد هندسی مناسب و بهینه‌ای که علاوه بر تامین خواسته‌ها و محدودیت‌ها دارای حداقل حجم برای مصالح بکار رفته در هسته باشد ضرورت دارد (شمسایی 1383). برای یافتن طرح بهینه هسته رسی سد های خاکی باید از یک روش بهینه‌یابی که توانایی در برگیری یک تابع هدف مرکب و تأمین قیود تعیین شده را داشته باشد استفاده نمود. هدف از این تحقیق یافتن طرح بهینه هسته سدهای خاکی با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد. الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های بهینه یابی با قدرت همگرایی بالا می‌باشد که از تئوری تکامل طبیعی داروین الهام جسته است (گلدبرگ 1989). در سال‌های اخیر الگوریتم ژنتیک جایگاه خاصی را در مباحث مختلف مهندسی سدسازی به خود اختصاص داده است. مطالعات انجام گرفته به منظور بهینه سازی هسته رسی سدهای خاکی منطقه‌ای اولین بار در سال های 1979 و 1985 توسط راسکازو و همکارانش و با استفاده از روش-های آزمون عامل کامل و تحلیل عوامل انجام گرفت (گلدین و راسکازو 1992). پس از آن مطالعاتی توسط عبدالحسین و همکاران (2007) به منظور بهینه‌سازی حجم سدهای خاکی همگن انجام گرفت، ولی تاکنون مطالعاتی بر روی بهینه‌سازی هسته رسی سدهای خاکی منطقه‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک و ارائه برنامه‌ای که حجم بهینه هسته سد خاکی را در حین حفظ پایداری سد ارائه دهد، گزارش نشده است. در اینجا از الگوریتم ژنتیک برای دستیابی به یک هندسه بهینه استفاده شده و در حین جستجوی پاسخ بهینه عواملی نظیر تراوش، گرادیان هیدرولیکی و ضریب اطمینان پایداری شیروانی‌ها به منظور حفظ پایداری سد خاکی مورد بررسی قرار می‌گیرند. به منظور تعریف این عوامل در برنامه، مدل‌های ساده جدیدی به روش رگرسیون خطی تهیه شده است.

مواد و روش ها

در این تحقیق، به منظور تهیه برنامه بهینه‌سازی از مدل‌های رگرسیونی و الگوریتم ژنتیک استفاده گردید. در ذیل هر یک از آنها به طور اختصار توضیح داده شده است.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک *(GAs)* که تحت عنوان عمومی برنامه ریزی تکاملی دسته بندی می‌شود (لابادیه 2004) با الهام از تئوری تکامل طبیعی داروین ابداع شد و مکانیزم طبیعی و ژنتیک طبیعی اساس آن را تشکیل می‌دهد. این الگوریتم با استفاده از اصل بقای اعضای قوی‌تر، تجزیه و تحلیل این اعضا و بوجود آمدن اعضای بهتر یک روش جستجو را پایه‌گذاری می کند (کلی 1999). روند جستجوی الگوریتم ژنتیک یک جستجوی هوشمندانه است و با سایر روش‌های جستجو که اساساً آنها بر مبنای تصادف است متفاوت می‌باشد. این الگوریتم با بکارگیری شیوه‌هایی از احتمالات به طور متناسب به جستجوی جواب‌هایی که

www.SID.ir

Archive of SID

نزدیک به جواب بهینه مسئله هستند حرکت کرده و تعدادی از جواب‌های بسیار نزدیک به جواب بهینه برای مساله را ارائه می‌کند. بطوریکه انتخاب جواب نهایی با توجه به شرایط مسئله به کاربر بستگی دارد. از این رو این الگوریتم برای تشخیص همزمان گزینه های حل مساله بهینه سازی چند هدفه بسیار مناسب است.

در الگوریتم ژنتیک هر یک از پاسخ‌های ممکن مساله به وسیله رشته‌های عددی در سیستم دودویی رمزگذاری می شود که هر یک از آنها یک کروموزوم نامیده می‌شوند. جمعیتی از رشته‌های عددی فوق به عنوان جمعیت اولیه در نظر گرفته شده و به صورت تصادفی ایجاد می‌گردند. مقدار کدگشایی شده این کروموزوم‌ها در محدوده مسئله امکان تعیین عملکرد برازش افراد عضو جمعیت را فراهم می‌کند که این کار توسط تابع هدف مساله که مشخص کننده برازش وکارایی هریک از اعضاء درمحدوده مساله است انجام می شود. در این راستا به هر یک از اعضای جمعیت یک مقدار برازش که برابر با مقدار آن عضو در تابع هدف است اختصاص می‌یابد. در این میان اعضایی که بیشتر تابع هدف را بهینه می‌کنند دارای مقادیر برازش بیشتری نسبت به بقیه هستند و این امر در انتخاب آنها برای جمعیت جدید موثر است. همچنین به منظور دستیابی به جواب بهینه مطلق تعدادی عملگر بر روی جمعیت اولیه اعمال می‌گردد که از این میان عملگر انتخاب به هر عضو اجازه می‌دهد تا در صورت امکان در تولید نسل بعد شرکت کنند (واردلاو و شریف 1999). شانس انتخاب هر عضو برای تولید نسل بعدی میزان برازش آن عضو است که از طریق تابع هدف تعیین می‌شود (هانکوک 1997). همچنین عملگر آمیزش اصلی ترین عملگر الگوریتم ژنتیک است که برای تولید کروموزوم‌ها یا اعضای جدید بکار می‌رود. این عملگر معمولاً روی کلیه رشته‌های انتخاب شده اعمال نمی شود بلکه با یک احتمال مشخص که احتمال بالایی است روی کروموزوم‌های انتخاب شده اعمال می‌گردد. علاوه بر عملگر انتخاب و آمیزش، برای دستیابی به بهینه کلی از عملگر جهش نیز استفاده می‌شود. در این عملگر هر ژن در هر کروموزوم در فضای انتخاب با توجه به احتمال جهش (P_m) مورد بررسی قرار می‌گیرد و در صورت کم بودن احتمال مقدار آن ژن از احتمال جهش، آن ژن دچار جهش خواهد شد. عموما تاثیر جهش روی جمعیت تنوع ژنی را به همراه دارد در حالی که عملگر آمیزش جمعیت را مجبور به همگرا شدن و پیشروی به بهینه مطلق می‌کند.

در الگوریتم‌های ژنتیک، بهترین اعضای هر نسل بدون اینکه تغییری در آنها ایجاد شود، مستقیما به نسل بعد منتقل می‌گردد که این پدیده نخبه‌گرایی نامیده می‌شود. بعد از تولید نسل جدید، در صورتی که نتایج مسئله به یکی از شرایط توقف الگوریتم برسد اجرای آن پایان می‌یابد که این شرایط می‌تواند دستیابی به یک مقدار بهینه نهایی، رسیدن به زمان معین از پیش تعریف شده و یا اجرای تعداد دفعات مشخص تولید جمعیت باشد.

مدل رگرسیونی تراوش

به منظور محاسبه تراوش از بدنه سدهای خاکی و معرفی آن به عنوان قید در طرح مسئله بهینه سازی از یک مدل رگرسیونی جدید (دیمی‌نیت 2010) استفاده گردید. این مدل بر اساس تراوش محاسبه شده از 200 مقطع سد با هندسه و مصالح فرضی مختلف و نیز تحلیل آماری بر روی 454 داده تولید شده، توسط نرم افزار *SPSS* تهیه شده است. معادله1، مدل تراوش از بدنه سدهای خاکی غیر

www.SID.ir

Archive of SID

همگن را با ضریب تعیینی برابر0/963و خطای معیار 0/0578 نشان می‌دهد. در این مدل با توجه به اینکه پوسته سد بسیار نفوذپذیرتر از هسته است در برابر هسته نادیده گرفته شده و چنان تصور شده است که هسته سد، خود سد همگن بدون زهکش افقی و پنجه سنگی می باشد (کالکانی 1989). از این رو کلیه مقادیر برای تهیه مدل تراوش بر اساس ابعاد هسته در نظر گرفته شده است (دیمی نیت 2010).

$$q / kl = 1.128 - 0.417(d / h) \qquad [1]$$

که در آن h ارتفاع سد (m)، d عرض هسته روی پی (m)، l ارتفاع آب بالادست سد (m)، k هدایت هیدرولیکی مصالح هسته ms^{-1} ، q دبی تراوش در واحد طول سد $(m^3s^{-1}m^{-1})$.

مدل گرادیان هیدرولیکی

به منظور محاسبه گرادیان هیدرولیکی و معرفی آن به عنوان قید در طرح مسئله بهینه سازی از مدل رگرسیونی استفاده گردید. این مدل نیز مانند مدل تراوش و بر اساس گرادیان هیدرولیکی مقاطع مختلف تهیه شده است. درتهیه این مدل دو فرض وجود دارد. بر اساس فرض اول، محاسبات بر روی مدل هسته به عنوان یک سد خاکی همگن انجام شده و در فرض دوم خط نشت، مستقیم در نظر گرفته شده است. معادله 2، (دیمی نیت (1387(a) مدل رگرسیونی را با ضریب تعیینی برابر 0/92 و خطای معیار 0/03 نشان می‌دهد.

[2]

$$i = 0.094 + 0.61\,(l / s)$$
$$s = (l^2 + (d \cdot l - 0.35(d - b) \cdot l)^2)^{1/2}$$

که در آن

s طول مستقیم خط نشت (m)، l ارتفاع آب بالادست سد (m)، d عرض هسته روی پی (m) و b عرض تاج هسته (m) می باشد.

مدل پایداری شیروانی‌ها

به منظور محاسبه ضریب اطمینان پایداری وجوه سد و معرفی آن به عنوان قید در طرح مسئله بهینه سازی، از مدل رگرسیونی جدیدی استفاده شده است. مدل موجود بر اساس ضرائب اطمینان پایداری محاسبه شده از 200 مقطع سد و تحلیل آماری بر روی 557 داده تولید شده، با استفاده از نرم افزار *SPSS*، تهیه شده است. معادله 3 مدل پایداری شیروانی سدهای خاکی را با ضریب تعیینی برابر 0/894 و خطای معیار 0/0836 برآورد می‌کند (دیمی نیت (1387(b).

$$F=0.612-0.29(d/x)+1.59\tan\phi'+6.29(c'/\gamma h) \qquad [3]$$

که در آن F ضریب اطمینان پایداری، x عرض سد روی پی (m)، h ارتفاع سد (m)، d عرض هسته روی پی (m)، f' ضریب اصطکاک داخلی موثر مصالح، c' چسبندگی موثر مصالح $(kgcm^{-2})$، g حداکثر دانسیته خشک مصالح (kgm^{-3}).

بهینه‌سازی هسته رسی

بدنه سدهای خاکی بعلت نوع مصالحی که در ساخت آنها استفاده می شود و نیز به منظور کنترل تراوش، حفظ پایداری و جلوگیری از نشست و ترک از نواحی مختلفی تشکیل شده‌اند. انتخاب هندسه و مصالح هر ناحیه باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر رعایت ملاحظات طراحی، از نظر

www.SID.ir

Archive of SID

ملاحظات اقتصادی نیز قابل توجیه باشد. برای جلوگیری از تراوش آب از داخل بدنه سدهای خاکی و یا کاهش مقدار آن، در صورت در دسترس بودن مصالح مناسب، عموما از یک هسته متشکل از مصالح با نفوذپذیری بسیار کم استفاده می شود که ممکن است با اشکال و هندسه مختلفی در بدنه سد قرار بگیرند (گلدین و راسکازو 1992). گاهی در عین تعیین هندسه مناسب برای هسته، بر اساس عوامل موٴثر و مهم در طراحی سد، تهیه مصالح مناسب برای این هسته با مشکل مواجه شده و یا تهیه این مصالح از لحاظ ملاحظات اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. همچنین دلایل دیگری نیز ممکن است وجود داشته باشد که ایجاب نماید مصالح کمتری مورد استفاده قرار گیرد. از این رو تهیه هندسه مناسب و بهینه‌ای که علاوه بر تامین محدودیت ها و الزامات طراحی و نیز دربرداشتن خصوصیات لازم فیزیکی و ژئوتکنیکی مصالح، توجیه اقتصادی نیز داشته باشد از اهمیت بسزائی برخوردار است. به منظور حداقل سازی حجم هسته رسی سدهای خاکی با در نظرگرفتن ملاحظات یاد شده، مدلی در محیط *MATLAB 7.1* تهیه شده است (دیمی نیت (1387(a) که با استفاده از الگوریتم ژنتیک عمل بهینه سازی را انجام می-دهد. در حین اجرای این عمل، ضریب اطمینان پایداری سد، تراوش و گرادیان هیدرولیکی مجاز که قیود مسئله هستند و با استفاده از مدل‌های رگرسیونی جدید محاسبه می-گردند، مورد بررسی قرار می‌گیرند (دیمی نیت (1387(a).

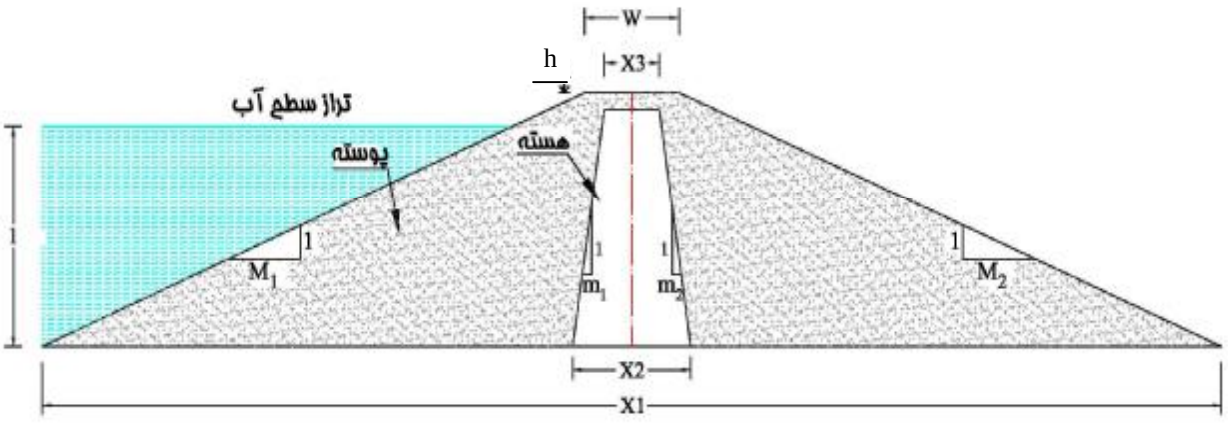
در این بخش ارائه یک روند کار در طراحی بهینه هسته رسی سدهای خاکی و تعیین مجموعه ای مناسب از عوامل متغیر در طراحی بهینه مورد نظر می‌باشد. بدین معنی که وارد کردن چه پارامترهایی و با چه مقادیری به عنوان متغیر در محاسبات، علاوه بر کم کردن حجم محاسبات و ایجاد سهولت در روند طراحی بهینه، جواب مطلوبی را نیز به دست می‌دهد. متغیرهای طراحی، توابع هدف و قیدهای موجود در طرح مسئله در ذیل ارائه شده است.

متغیرهای طراحی

به طور کلی در طراحی مقطع سدهای خاکی دو نوع متغیر دخالت دارند. اول، متغیرهای محیطی که وابسته به محل اجرای طرح می‌باشد مانند منابع قرضه و خصوصیات مصالح که در اینجا به صورت متغیرهای پارامتری در برنامه تعریف شده‌اند. دیگری متغیرهای هندسی مقطع سد که تعدادی از آنها مانند زاویه محور هسته ثابت بوده، تعدادی مانند ارتفاع سد و عرض تاج سد به عنوان متغیرهای پارامتری تعریف شده و تعدادی دیگر به عنوان متغیرهای طراحی وارد تابع هدف شده‌اند . شکل 1 مقطع طرح یک سد خاکی را نشان می دهد. بردار متغیرهای طراحی $X\{X_1, X_2, X_3\}$ شامل X_1 عرض سد روی پی، X_2 عرض هسته روی پی و X_3 عرض تاج هسته می‌باشد. همچنین h (ارتفاع کل سد (ارتفاع طراحی)، l ارتفاع آب بالادست سد و w عرض تاج سد هستند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل1- مقطع طرح یک سد خاکی.

توابع هدف

یکی از مهمترین عوامل در طراحی بهینه، چگونگی تعریف تابع هدف است. این تابع باید معرف کاملی از هدف مورد نظر باشد. عمل بهینه سازی گاهی شامل چندین تابع هدف می‌باشد. در این تحقیق از دو تابع هدف استفاده شده است. در بین مسائل بهینه‌سازی چند هدفه روش توابع وزنی (رائو 1996) برای بهینه‌سازی انتخاب شده است. اساس این روش استفاده از وزن‌هایی است که در توابع هدف ضرب شده و به صورت یک بردار وزن نرمال w_i می‌باشد. در مورد این وزن‌ها می‌توان نوشت:

$$0 \le w_i \le 1 \qquad \sum_{i=1}^{2} w_i = 1$$

وزن ها به صورت تصادفی و بر اساس اعتبار و اهمیت هر تابع هدف به آن اختصاص داده می شود. در اینجا به تابع هدف اول به علت اهمیت بیشتر و هدف اصلی بهینه-سازی وزن بیشتری تعلق می‌گیرد. انتخاب نهایی مقدار وزن‌ها پس از انجام چندین سعی و خطا و رسیدن به مجموعه جواب مناسب تر انجام می‌شود. بردار توابع هدف $F\{F_1, F_2\}$ در طراحی بهینه، به صورت زیر هستند.

حجم مصالح خاکی در واحد طول سد

در اینجا برای حداقل نمودن حجم مصالح هسته و تاثیر پارامترهای بدنه سد از تابع زیر استفاده شد. علت استفاده از این پارامترها در نظر گرفتن قید پایداری می‌باشد و این قید تابعی از پارامترهای بدنه سد است. این تابع هدف به صورت بیشینه سازی بوده که در 1- ضرب شده و به فرم کمینه سازی در آمده است.

[4]

$$F_1 = -1/2[(X_1 + w)\cdot h] + 1/2\,[(X_2 + X_3)]\cdot h]$$

که درآن F_1 حجم مصالح خاکی $(m^3 m^{-1})$، h ارتفاع سد (m) و w: عرض تاج سد (m) هستند.

میزان تراوش از بدنه سد

همانطور که قبلاً اشاره شد، گاهی به دلیل حداقل نمودن برخی قیود، آنها به عنوان تابع هدف در مسئله در نظر گرفته می‌شوند. در اینجا نیز برای حداقل نمودن میزان

www.SID.ir

Archive of SID

تراوش در حین طراحی، این قید به عنوان یک تابع هدف وارد مسئله شده است و مقدار آن با استفاده از معادله 5 محاسبه می‌شود (دیمی نیت و همکاران 2010)

$$F_2 = (1.148 - 0.417\, X_2 / h)\cdot K \cdot l \qquad [5]$$

که در آن h ارتفاع سد (m)، X_2 عرض هسته روی پی (m)، l ارتفاع آب بالادست سد (m)، k هدایت هیدرولیکی مصالح هسته (ms^{-1})، F_2 دبی تراوش در واحد طول سد $(m^3 s^{-1} m^{-1})$ است.

قیود طراحی

همانطور که قبلا اشاره شد به منظور رسیدن در الگوریتم ژنتیک به مقدار بهینه مسئله در حین اینکه یک سری پارامترها و مقادیر از حد مجاز خودشان افزایش نیابند، قیود طراحی مورد استفاده قرار می گیرد. این قیود تعیین کننده شرایط مرزی مربوط به عوامل مختلف مسئله می باشند. در اینجا به منظور حداقل نمودن توابع هدف بر اساس بردار طراحی X، بردار قیود $G\{G_1, G_2\}$ به صورت زیر تعریف شده‌اند.

الف) قید ضریب اطمینان پایداری در شرایط تراوش پایدار، که حداقل مقدار آن برای پایداری استاتیکی سدهای خاکی 1/5 می‌باشد و به صورت مدل زیر برای برنامه تعریف شده است (سازمان مهندسی ارتش آمریکا 1987).

[6]

$$F \geq 1.5 \qquad G_1 = 1.5 - F \leq 0$$
$$F = 0.612 - 0.29\,(X_2 / X_1) + 1.59 \tan(f' \cdot pi/180) + 6.295\,\hat{c}$$
$$\hat{c} = c'/gh$$

که در آن $\hat{c}$ عدد پایداری، c' چسبندگی موثر مصالح $(kgcm^{-2})$، g حداکثر دانسیته خشک صالح (kg/m^{-3}) است.

ب) قید گرادیان هیدرولیکی، که مقدار آن باید کمتر از مقدار بحرانی که در اینجا یک در نظر گرفته شده است، باشد. این قید به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$i \leq i_{cr} \qquad G_2 = i - i_{cr} \leq 0 \qquad [7]$$
$$i = -0.097 + 0.853\,(l/s)$$
$$s = l / sqrt\,(l^2 + (X_2 - 0.35\,(X_2 - X_3)\,l)^2)$$

بی بعدسازی مسئله

در مسئله بهینه‌سازی حاضر، از عمل بی بعدسازی برای سهولت دستیابی به نتایج استفاده شده است. بردار متغیرهای طراحی بی بعد x به صورت عرض سد روی پی $(x_1 = X_1/h)$ ، عرض هسته روی پی $(x_2 = X_2/h)$ و عرض تاج هسته $(x_3 = X_3/h)$ تعریف می شود (عبدالحسین و همکاران 2007). مقیاس خطی در عمل بی بعد سازی، L با واحد متر بوده و مقیاس زمان بصورت L/K تعریف می‌شود که K هدایت هیدرولیکی مصالح است. از این رو مقیاس سطح L^2 و مقیاس دبی تراوش در واحد طول سد LK می باشد. بر این اساس توابع هدف تعریف شده در قسمت‌های قبل به صورت زیر بی بعد شدند.

$$F_1 = f_1 \cdot L^2 \qquad [8]$$

f_1 : حجم مصالح خاکی بی بعد در واحد طول سد

$$F_2 = f_2 \cdot KL \qquad [9]$$

f_2 : دبی تراوش بی بعد در واحد طول سد

www.SID.ir

Archive of SID

مسئله بهینه‌سازی

مسئله بهینه‌سازی موجود، یک مسئله بهینه‌سازی مقید با پارامترهای معلوم و تحت قیود مذکور هستند که توابع هدف را به صورت زیر مینیمم می‌کند.

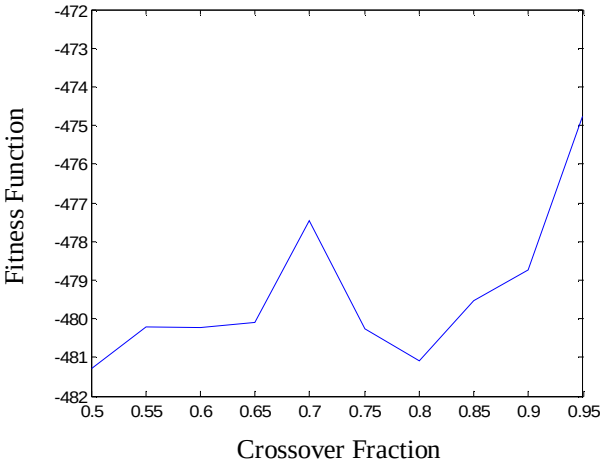
$$OF: \quad Minimize \ (F_1, F_2)$$
$$Subject\ to:$$
$$G\{G_1, G_2\}$$
$$S = \sum_{i=1}^{n} w_i F_i \qquad [10]$$
$$S = w_1 f_1 L^2 + w_2 f_2 KL$$

که در آن S: تابع صلاحیت و $w_i (i = 1, 2)$ وزن‌های توابع هدف هستند (کوناک و همکاران 2006).

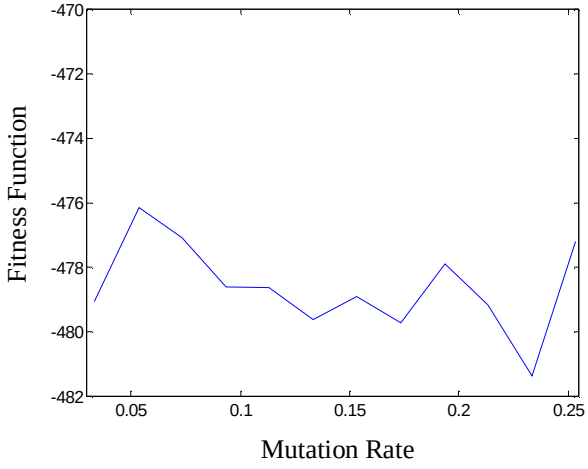
نتایج و بحث

آنالیز حساسیت مدل

به منظور تعیین بهترین پارامترها و عملگرهای الگوریتم ژنتیک برای انجام عمل بهینه سازی، آنالیز حساسیت نسبت به احتمال آمیزش، احتمال جهش و اندازه جمعیت انجام شده است. همانطور که در اشکال 2 تا 4 مشاهده می شود بهترین عملکرد الگوریتم و بهینه ترین مقدار تابع هدف با توجه به مسئله کمینه سازی برای احتمال آمیزش 0/5، احتمال جهش 0/235 و اندازه جمعیت 23 نفر بدست آمد. بنابراین برای مسئله بهینه سازی با استفاده از کدگذاری مقدار واقعی که هر کروموزوم از سه ژن تشکیل شده است، از الگوی انتخاب ردیفی، عملگر انتخاب یکنواخت تصادفی، عملگر آمیزش یکنواخت، عملگر جهش یکنواخت استفاده گردید. تحت این شرایط حداکثر تعداد نسلی که در آن تابع هدف به حداقل مقدار خود می رسد 65 نسل می‌باشد که در شکل 5 نشان داده شده است. همان طور که در اشکال زیر مشاهده می‌شود مقدار تابع صلاحیت 481/5- (علامت منفی نشان دهنده حداقل سازی) بدست آمد.



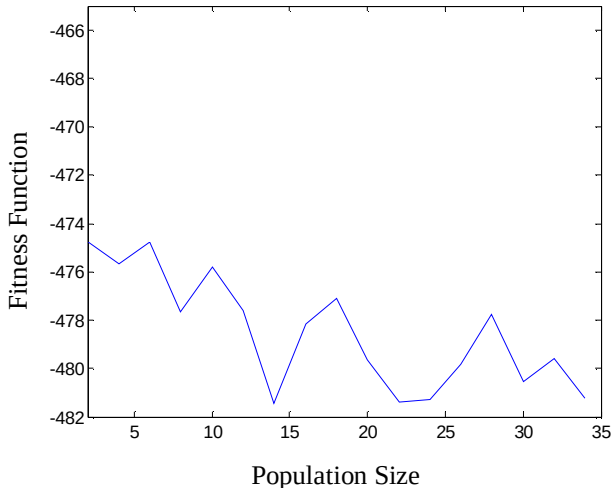
شکل2- آنالیز حساسیت نسبت به احتمال آمیزش



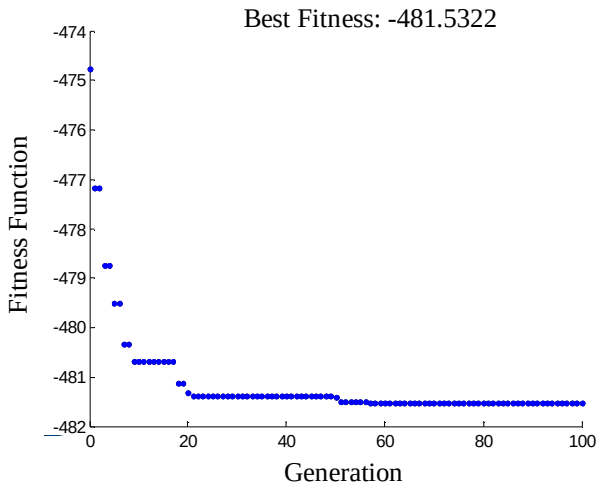
شکل3- آنالیز حساسیت نسبت به احتمال جهش

www.SID.ir

Archive of SID



شکل4- آنالیز حساسیت نسبت به اندازه جمعیت



شکل5- تغییرات بهترین جواب در نسل های متوالی اجرای **GA**

پس از انجام آنالیز حساسیت و تعیین بهترین عملکرد الگوریتم ژنتیک، برنامه بهینه سازی در محیط *MATLAB* تهیه شد که در نتیجه اجرای آن، متغیرهای طراحی بی بعد برای مقادیر $\hat{c}$, w_1 , w_2 و متغیرهای پارامتری، بهینه شده و بقیه پارامترها ثابت در نظر گرفته شدند. نتایج شامل متغیرهای طراحی بی بعد x، توابع هدف f ، قیود طراحی و مقدار حجم مصالح خاکی هسته f_c در مقطع نمونه می‌باشد.

نتایج بهینه سازی سد نمونه

در این تحقیق ابعاد بهینه هسته رسی در شرایط پایدار سد خاکی برای یک مقطع نمونه با استفاده از برنامه حاضر مورد بررسی قرار گرفت. هدف طراحی یک سد خاکی غیرهمگن با ارتفاع ($h = 20\ m$)، عرض تاج سد ($W = 7.5\ m$) و ارتفاع آب بالادست ($l = 18\ m$) می‌باشد. مشخصات مصالح بدنه سد و وزن‌های پیشنهادی توابع هدف به ترتیب در جدول 1 و 2 ارائه شده است.

جدول 1- خصوصیات مصالح سد.

پارامترها	پوسته	هسته
f'	30	20
$\gamma\ (\mathrm{kg\ m^{-3}})$	1810	1500
$\gamma_w\ (\mathrm{kg\ m^{-3}})$	10000	10000
$c'\ (\mathrm{kg\ cm^{-2}})$	0/16	0/54
c	315/36	0/31104

جدول 2- وزن های پیشنهادی.

w_2	w_1
0/1	0/9

نتایج حاصل از اجرای برنامه در جداول 3 و 4 نشان داده شده است. در جدول 3 مقادیر بی بعد و در جدول 4

www.SID.ir

Archive of SID

مقادیر واقعی طرح بهینه سد ارائه شده است. در جدول 5 ابعاد مقطع بهینه سد مشاهده می‌شود.

جدول 3- متغیرهای طراحی، توابع هدف و قیود بی بعد.

f_1	x_3	x_2	x_1
2/318	0/231	0/5036	4/99
f_c	i	f	f_2
0/3687	0/678	1/78	0/918

جدول4- ابعاد و مقادیر بهینه واقعی.

$F_1(m^3m^{-1})$	$X_3(m)$	$X_2(m)$`	$X_1(m)$
927	4/5	10	100
$F_c(m^3m^{-1})$	i	F	$F_2(m^2\,year^{-1})$
147	0/678	1/78	5/14

جدول5- ابعاد بهینه مقطع سد.

پارامترها	مقادیر
عرض تاج سد (متر)	7/5
عرض سد روی پی(متر)	100
عرض هسته در تاج (متر)	4/5
عرض هسته روی پی (متر)	10
شیب وجوه سد	1 : 2/31
شیب وجوه هسته	1 :0/145

به منظور بررسی دقت و درستی مقادیر ضریب اطمینان پایداری، گرادیان هیدرولیکی و میزان تراوش محاسبه شده از برنامه و مقایسه آن با مقادیر بدست آمده از اجرای مستقیم مدل‌های SEEP و FLAC/Slope، این کار برای چند مقطع بهینه سد با ارتفاع های 15، 20 و 25 متر انجام شده است. در جدول 6 مقادیر محاسبه شده از اجرای برنامه و مدل‌های کامپیوتری نشان داده شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر محاسبه شده از اجرای برنامه و مدل‌های کامپیوتری نسبتاً به هم نزدیک بوده و اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود ندارد.

جدول 6- نتایج برنامه بهینه سازی در MATLAB و مدل های کامپیوتری.

	برنامه یا مدل	گرادیان هیدرولیکی	مقدار تراوش (مترمربع بر سال)	ضریب اطمینان پایداری
15	برنامه *MATLAB*	0/673	3/7	1/87
	مدل کامپیوتری	0/61	4/3	1/9
20	برنامه *MATLAB*	0/678	5/14	1/78
	مدل کامپیوتری	0/63	5/9	1/85
25	برنامه *MATLAB*	0/681	6/27	1/72
	مدل کامپیوتری	0/65	6/7	1/8

نتایج بهینه‌سازی سد حصارسنگی

به منظور بررسی تأثیر بهینه سازی ابعاد هسته رسی بر روی حجم بدنه سد، حجم عملیات، هزینه‌های اجرا و نگهداری، تراکم، شرایط جوی و شرایط کلی بدنه سد، مدل بهینه‌سازی حاضر براساس اطلاعات مربوط به سد خاکی حصار سنگی بیرجند اجرا شد. این سد، یک سد خاکی با هسته رسی قائم می‌باشد. مشخصات هندسی بدنه این سد در جدول 7 ارائه شده است.

جدول7- مشخصات هندسی سد حصار سنگی

طول تاج (متر)	250
عرض تاج (متر)	6
ارتفاع سد (متر)	15
عرض فوقانی هسته (متر)	4
عرض هسته روی پی (متر)	9/8
شیب وجوه سد	1 : 2/5
شیب وجوه هسته	1 : 0/21

www.SID.ir

Archive of SID

در این مطالعه به منظور اجرای برنامه از مشخصات مصالح بدنه سد و یک سری پارامترهای معلوم مانند ارتفاع و عرض تاج سد استفاده شده است. نتایج حاصل از اجرای برنامه بهینه سازی هسته رسی برای سد حصارسنگی مطابق جدول 8 می‌باشد.

جدول8- مشخصات ابعاد بهینه بدنه سد.

عرض فوقانی هسته (متر)	3/5
عرض هسته روی پی (متر)	7/5
شیب وجوه سد	2/3
شیب وجوه هسته	0/142
عرض سد روی پی (متر)	75

همانطور که مشاهده می‌شود ابعاد هسته و پوسته سد نسبت به ابعاد قبلی کاهش یافته است، در نتیجه حجم هسته و متأثر از آن حجم پوسته نیز کاهش می‌یابد.

با توجه به اینکه توپوگرافی منطقه در طول سد یکنواخت نیست، برای محاسبه حجم هسته و پوسته، چندین مقطع در فواصل مختلف طول سد ایجاد نموده و متوسط احجام هسته و پوسته در این مقاطع به عنوان حجم هسته و پوسته کل بدنه سد در نظر گرفته شد. براساس مقاطع مختلف موجود در طول سد و ابعاد هسته سد حصار سنگی، حجم هسته 32000 متر مکعب بدست آمده بود، در حالیکه پس از تعیین ابعاد بهینه، این حجم به 25600 متر مکعب کاهش یافت که در واقع به اندازه 20 درصد از حجم اولیه آن کاهش یافته است. کاهش حجم هسته رسی باعث کاهش حجم عملیات اجرایی، کاهش عملیات تراکم، کاهش هزینه‌های اجرایی سد شده از طرفی با توجه به حساسیت اجرای هسته سد نسبت به شرایط جوی منطقه، بهتراست که عمل ساخت و تراکم هسته سریع‌تر انجام شود که این خود مستلزم کم بودن حجم هسته می‌باشد. برآورد هزینه اجرایی هسته و پوسته بدست آمده از طراحی بهینه نشان داد که مقدار هزینه‌ها نسبت به طراحی مشاور به اندازه 13 در صد کاهش یافته است.

نتیجه گیری

روش پیشنهادی حاضر در این تحقیق در کنار در نظر گرفتن جنبه‌های مناسب مسئله، قادر به طراحی بهینه هسته سد بوده و بر اساس حداقل سازی تابع وزنی چندهدفه عمل می‌نماید. این روش تلاش اضافی برای دستیابی به یک طرح بهینه را کاهش داده و منجر به کاهش صرف زمان لازم برای انجام سعی و خطا می‌شود. در این روش در حین حداقل‌سازی ابعاد و حجم هسته رسی، پایداری سد نیز بررسی گردید. با توجه به تاثیر متقابل بخش‌های مختلف یک سد بر روی یکدیگر، کاهش ابعاد هسته بر روی بخش‌های مختلف دیگر سد تاثیر گذاشته و سبب کاهش حجم آنها و هزینه‌های اجرایی است که فاکتور مهمی در انتخاب یک طرح و عملیاتی شدن آن هستند. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های رگرسیونی جدید عملکرد موفقی در تخمین مقدار تراوش، گرادیان هیدرولیکی و ضریب اطمینان پایداری سدها، تحت شرایط تراوش دائم، داشته و مدل بهینه‌سازی موجود قادر به تهیه طرح بهینه هسته رسی سدهای خاکی منطقه‌ای می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع مورد استفاده

شمسایی ا، 1383. طراحی و ساخت سد های مخزنی (سدهای خاکی- سنگریزه ای). انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

دیمی نیت ا، (a) 1387. بهینه سازی ابعاد هسته رسی تحت شرایط پایدار سدهای خاکی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه.

دیمی نیت ا، (b) 1387. تهیه مدلی برای محاسبه ضریب اطمینان پایداری سدهای خاکی غیرهمگن. صفحه 286. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه تبریز، تبریز.

Abdul Hossain IA, Kashyap D and Hariprasad KS, 2007. Seepage modeling assisted optimal design of a homogenous earth dam Journal of Irrigation and Drainage Engineering 133: 116-130.

Anonymous, 1987. Design of small dams. A Water Resources Technical Publication, US Bureau of Reclamation.

Coley DA, 1999. An introduction to genetic algorithms for scientists and engineers. World Scientific Press: 58-61.

Deiminiat A, Ghezelsofloo AA and Shojaee, H, 2010. A new method for initial estimation of seepage rate in embankment dams. Pp. 85-62 6th International Symposiums on Environmental Hydraulic. Athens, Greece.

Goldberg DE, 1989. Genetic algorithms in search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley, Reading. MA.

Goldin AL and Rasskazov LN, 1992. Design of earth dams. AA Balkema Publisher, Rotterdam, Netherlands.

Hancock PJB 1997. A Comparison of selection mechanisms, Pp.212-227 Handbook of Evolutionary Computation, New York, Ofxord University Press.

Konak A Coit DW and Smith, AE, 2006. Multi-objective optimization using genetic algorithm, Reliability Engineering and System Safety 91: 992-1007.

Kalkani EC 1989. Analyzing seepage in an earth dam, International Water Power and Dam Construction 41: 23-33.

Kutzner C 1997. Earth and Rock Fill Dams. AA Balkema Publisher, Rotterdam. Netherlands.

Labadie, J.W., 2004. Optimal operation of multi reservoir systems: state-of the-art review. J Water Resour Plann Manag 130 (2): 93-111.

www.SID.ir

Archive of SID

Singh B and Varshney RS, 1995. Engineering for Embankment Dams. AA Balkema Publisher, Rotterdam. Netherlands.

Rao SS 1996. Engineering Optimization: Theory and Practice. New Age Publisher, New Delhi. India.

Wardlaw R and Sharif M, 1999. Evaluation of genetic algorithm for optimal reservoir system operation. Journal of Water Resources Planning and Management 125: 25-33.

www.SID.ir