ارائه یک روش جدید در بهینه‌سازی اقتصادی سیستم انحراف سد با استفاده از الگوریتم ژنتیک

رضا دهقانی[۱]، نوشین دهقانی [۲]، داریوش عباسپور[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۰۵
تاریخ پذیرش:۱۳۹۳/۰۳/۳۰

چکیده

طراحی و انتخاب نوع سیستم انحراف یک سد بستگی به شرایط توپوگرافی، نوع محل ساختگاه (به لحاظ زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی)، شرایط هیدرولیکی رودخانه، هزینه‌های پیش‌بینی شده و ... دارد. یکی از انواع متداول این سیستم‌ها استفاده از یک فرازبند به همراه یک یا چند تونل است. براساس دستورالعمل‌های طراحی و نظر محققین این امر، ابعاد سیستم انحراف باید به گونه‌ای باشد که بتواند سیل (دبی حداکثر لحظه‌ای) با دوره بازگشت معین را با ایمنی کامل از خود عبور دهد. انتخاب بهترین ابعاد یک سیستم انحراف موقت از لحاظ اقتصادی و فنی نیاز به استفاده از روشهای بهینه‌سازی دارد. طرح انحراف مسیر خوب طرحی است که با کمترین هزینه ، خسارتهای جدی و بالقوه سیل را در کارگاه در حال ساخت به حداقل برساند. در این مقاله با توضیح روش محاسبه هزینه‌های احداث سیستم انحراف که شامل هزینه‌های مربوط به حفاری، خاکریزی و احداث فرازبند و نشیب‌بند، سیستم نگهداری و ترمیم می‌باشند، از الگوریتم ژنتیک جهت محاسبه کمترین هزینه احداث سیستم انحراف با ارضاء کلیه ملاحظات طراحی معرفی می‌شود. جهت انجام بهینه‌سازی از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است و نتایج آن با نتایج مربوط به روش ضرایب لاگرانژ و سد واقعی مورد مطالعه مقایسه خواهد شد. جهت انجام شبیه‌سازی از نرم افزار MATLAB استفاده شده است. نتایج حاصله نشان داد روش های ضرایب لاگرانژ و الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی هزینه ساخت سیستم انجراف، و همچنین برای بهینه‌سازی استخراج کمترین قطر تونل و کاهش زمان احداث تونل انحراف روش شبکه عصبی عملکرد بهتری خواهد داشت.

کلمات کلیدی: الگوریتم ژنتیک و ضرایب لاگرانژ، سیستم نگهداری و ترمیم، فرازبند و نشیب‌بند، قطر تونل انحراف.

۱ . کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب- دانشگاه تبریز Reza.dehghani67@yahoo.com (نویسنده مسئول)
۲ . کارشناسی ارشد عمران-سازه هیدرولیکی- دانشگاه تهران جنوب
۳ - کارشناس ارشد مهندسی منابع آب- سازمان آب منطقه ای آذربایجان غربی

مقدمه

انحراف آب رودخانه یکی از قدیمی‌ترین فعالیتهای بشری به قدمت تمدن بشر است. یکی از مهمترین اهداف انحراف آب از رودخانه خشک نگه‌داشتن محل ساختگاه سد می‌باشد. در مرحله طراحی یک سد که در عرض یک رودخانه ساخته می‌شود، بایستی فرایند انحراف جریان از اطراف یا درون سایت عملیات اجرایی مدنظر قرار گیرد. به این ترتیب جریان رودخانه از مسیر طبیعی خود به طور موقت منحرف می‌گردد. دامنه عملیات انحراف جریان با اندازه و پتانسیل سیل تغییر خواهد کرد. در بعضی از کارگاههای سدسازی ممکن است انحراف مسیر پرهزینه و زمان‌بر و بر برنامه زمانبندی فعالیتهای ساخت و ساز تاثیر داشته باشد، در حالیکه در سایتهای دیگر ممکن است مشکلات عمده‌ای بوجود نیاید. به هر حال مسئله انحراف جریان در مورد کلیه سدها، به استثنای آنهایی که در مسیر رودخانه نیستند وجود دارد. انتخاب مناسبترین طرح کنترل جریان رودخانه در حین ساخت، اهمیت زیادی در اقتصاد سد دارد.

از آنجائی که هزینه کارهای مربوط به انحراف رودخانه در حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد هزینه ساخت کل سد است پس طراحی یک سیستم انحراف بهینه ضروری می‌باشد. هزینه کارهای مربوط به انحراف آب در میان عوامل فراوان اساسا به ابعاد تونل و میزان حمایت‌های لازم در حین و بعد از حفاری تونل و ارتفاع و ابعاد فرازبند بالادست و پایین‌دست، خصوصیات و مشخصات سنگ در محل حفر تونل و بزرگی سیلاب طراحی (Q) که تونل باید برای آن طراحی شود، بستگی دارد. قابل ذکر است از عوامل برشمرده فوق ، عواملی که بر طراحی و هزینه‌ها تاثیر بیشتری دارند قطر تونل و ارتفاع فرازبند می‌باشد. در بررسی هزینه‌های ساخت تونل و فرازبند قطر تونل فاکتور مهمی خواهد بود که برای بهینه‌سازی هزینه‌های اقتصادی باید قطر تونلی که کمترین هزینه ممکن برای ساخت سیستم انحراف را باعث می‌گردد را محاسبه کرد، با محاسبه قطر بهینه تونل می‌توان ارتفاع بهینه فرازبند را محاسبه کرد. قطر تونل با طریقه و نوع حفاری و پوشش بکار رفته در تونل رابطه مستقیمی دارد. از اینرو برای بدست آوردن یک هزینه ساخت بهینه باید هزینه‌های حفاری، خاکریزی فرازبند و نشیب بند و نگهداری و ترمیم نیز بهینه گردد.

در این مقاله نحوه محاسبه هزینه ساخت سیستم انحراف به تفکیک هر بخش از سیستم انحراف معرفی و سپس روش بهینه‌سازی لاگرانژ و الگوریتم ژنتیک توضیح داده می‌شود. از سد سلمان فارسی بعنوان سد مورد مطالعه جهت انجام شبیه‌سازی مربوط به بهینه‌سازی اقتصادی سیستم انحراف آب با استفاده از ضرایب لاگرانژ و شبکه عصبی استفاده شده است و نتایج حاصله پس از بهینه سازی با سد در حال بهره‌برداری مقایسه می‌گردند.

هزینه‌های مربوط به ساخت سیستم انحراف

هزینه ساخت سیستم انحراف شامل دو بخش هزینه خدمات طراحی و مهندسی و هزینه عملیات اجرایی احداث سیستم می‌گردد که خدمات طراحی و مهندسی توسط مهندسین مشاور و احداث سیستم انحراف توسط پیمانکاران انجام می‌شود. باتوجه به اینکه هزینه خدمات طراحی و مهندسی ، حدودا بین ۲٪ الی ۳٪ کل هزینه ساخت سیستم انحراف را شامل می‌شود، از این هزینه صرفنظر نموده و هزینه‌های مربوط به عملیات اجرایی سیستم انحراف مورد بررسی قرار می‌گیرد. هزینه ساخت سیستم انحراف آب در میان عوامل فراوان اساسا به ابعاد تونل و میزان حمایت‌های لازم در حین و بعد از حفاری تونل و ارتفاع و ابعاد فرازبند بالادست و پایین‌دست، خصوصیات و مشخصات سنگ در محل حفر تونل و بزرگی سیلاب طراحی (Q) که تونل باید برای آن طراحی شود، بستگی دارد. از اینرو هزینه مربوط به ساخت سیستم انحراف را به قسمت حفاری، احداث فرازبند و نشیب‌بند و سیستم نگهداری و ترمیم تقسیم‌بندی کرده و در ادامه روشهای محاسبه هزینه‌های فوق الذکر ارائه خواهد شد.

بنابراین جهت برآورد هزینه ساخت سیستم انحراف از فهرست بهاء معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری در رشته سدسازی در سال ۱۳۸۷ استفاده می گردد.

هزینه حفاری: عوامل موثر در تعیین هزینه‌های حفر تونل نوع وسایل و دستمزدهای مربوطه، نوع زمین یا

سنگ مورد حفاری، طول، قطر و شیب تونل، راه دسترسی به تونل، محدودیت‌های کاری از قبیل نوع ماده منفجره مصرفی، مقدار مصرف در آن در هر مرحله از انفجارمحدودیت در قابلیت بکارگیری تجهیزات و ماشین‌آلات بر حسب ابعاد تونل و شرایط زمین‌شناسی و لایه‌بندی، جنس و مقاومت لایه‌ها و ... می‌باشد. پس از در نظر گرفتن تمامی عوامل، هزینه حفر هر متر از تونل را محاسبه می‌کنند.

چنانچه از تونل انحراف با مقطع دایره‌ای استفاده گردد، هزینه حفاری تونل انحراف بصورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$C_e = P_e \times 0.785 \times L(D+2(T+T_{sh}))^2 \quad (۱)$$

C_e هزینه حفاری یک تونل انحراف به ریال، P_e هزینه حفاری برای هر مترمکعب که شامل کلیه هزینه‌های مربوط به انجام عملیات حفاری اعم از هزینه ماشین‌آلات، نیروی انسانی و ... ، T ضخامت تونل، D قطر تونل ، L طول تونل و T_{sh} ضخامت شاتکریت می‌باشد.

هزینه ساخت فرازبند و نشیب‌بند : بطور کلی فرازبند از مصالحی که براحتی در دسترس باشد ساخته می‌شود و دو نوع فرازبند با مصالح خاکی و فرازبند با مصالح سنگی از انواع متداول آن می‌باشد[۵]. هزینه ساخت فرازبند و نشیب‌بند که شامل هزینه‌های بارگیری، تهیه مصالح، مخلوط کردن مصالح و خاکریزی می‌باشد بصورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$C_{cof} = P_{cof} \times W \times (B+0.5(Z_u+Z_d)) (H_{cof}+F_B))(H_{cof}+F_B) \quad (۲)$$

$$C_{nas} = P_{nas} \times W \times (B+0.5(Z_u+Z_d)) (H_{nas}+F_B))(H_{nas}+F_B) \quad (۳)$$

C_{cof} و C_{nas} به ترتیب هزینه مربوط به ساخت فرازبند و نشیب‌بند به ریال، P_{cof} و P_{nas} به ترتیب هزینه مربوط به بارگیری، تهیه مصالح، مخلوط کردن مصالح و خاکریزی برحسب ریال بر مترمکعب ، W طول فرازبند و نشیب‌بند ، H_{cof} ارتفاع فرازبند، H_{nas} ارتفاع نشیب‌بند، F_B ارتفاع آزاد ، Z_d و Z_u شیب طرفین فرازبند و نشیب‌بند و B عرض فرازبند و نشیب‌بند می‌باشد .

هزینه سیستم نگهداری و ترمیم : در طراحی سیستم نگهدارنده تونلها، عوامل و معیارهای مختلفی را باید در نظر داشت. از جمله مهمترین معیارها حدود مجاز ابعاد، هزینه‌های احداث و نگهداری، پرداخت نهایی سطح تونل، عمر کاری تونل، ایمنی عملیاتی و نشت آب می‌باشد . از اینرو باتوجه به نوع تونل و منطقه‌ای که در آن سیستم انحراف احداث می‌گردد نوع پوشش متفاوت است. در حالت کلی سیستم نگهداری بصورت تلفیقی از عملیات راک بولت زنی، شاتکریت و یا بتن‌ریزی انجام می‌شود که هزینه‌های مربوط به انجام آن به تفکیک زیر است:

هزینه تولید شاتکریت و انجام آن در یک تونل انحراف باتوجه به فهرست بهای معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری بصورت زیر قابل محاسبه می‌باشد. قابل ذکر است در فهرست بهای شاتکریت برای شاتکریت تا ۵ سانتی‌متر یک قیمت و برای لایه‌های بعدی قیمت دیگری درنظر گرفته شده است :

$$C_{sh} = [5 \times P_{sh1} \times \pi \times D \times L] + [(T_{sh}-5)P_{sh2} \times \pi \times D \times L] + P_{sh3} \times \pi \times D \times L \quad (٤)$$

C_{sh} تولید شاتکریت و انجام آن در یک تونل انحراف به ریال، P_{sh1} هزینه اجرای لایه اول بتن‌پاشی به ازای هر سانتی‌متر ضخامت تا ۵ سانتی‌متر، P_{sh2} هزینه اجرای لایه‌های بعدی بتن‌پاشی، P_{sh3} هزینه تمیز کاری و آماده کردن سطح، T_{sh} ضخامت شاتکریت به متر می‌باشد.

هزینه مربوط به تهیه و نصب راک بولت در یک تونل انحراف شامل تهیه، تحویل و نصب باک‌بولت برای طول راک بولت ۴ متری بصورت فرمول زیر محاسبه می‌شود :

$$C_R = \frac{4 \times P_R \times \pi \times D \times L}{T_{RS}^2} \quad (٥)$$

C_R هزینه مربوط به تهیه و نصب راک بولت در یک تونل انحراف به ریال، P_R هزینه اجرای راک بولت در سنگ و T_{RS} فاصله شبکه راک بولت است .

هزینه مربوط به تهیه و اجرای عملیات بتن‌ریزی در یک تونل انحراف شامل تهیه مصالح و اجرا بتن، قالب

بندی و آرماتوربندی (درصورت استفاده از بتن مسلح) تقسیم بندی می‌شوند که این هزینه‌ها بصورت زیر محاسبه می‌شوند :

۱- هزینه تهیه و اجرا بتن در تونل انحراف که از فرمول زیر بدست می‌آید :

۲-

$$C_{con} = P_{con} \times \pi \times T \times L(D+T) \qquad (۶)$$

C_{con} هزینه مربوط به تهیه مصالح و انجام بتن‌ریزی بصورت غیر مسلح در یک تونل انحراف به ریال و P_{con} هزینه بتن برای هر مترمکعب (تولید ، تحویل و پمپ کردن در قالب‌ها) می‌باشد.

۲- هزینه قالب‌بندی در تونل انحراف با سطح مقطع دایره‌ای که بصورت زیر قابل محاسبه است :

$$C_{frame} = P_{frame} \times \pi \times D \times L \qquad (۷)$$

C_{frame} هزینه مربوط به تهیه قالب و انجام عملیات قالب‌بندی در یک تونل انحراف به ریال و P_{frame} هزینه قالب‌بندی مکانیزه بر هر مترمربع برای دیوار تونل (تولید، تحویل، سر هم کردن و حمل و نقل) می‌باشد .

۳- هزینه آرماتوربندی که بصورت زیر محاسبه می‌شود :

$$C_{rein} = P_{rein} \times 2L(\frac{\pi(D+\frac{T}{2})}{X_r}) \times 1.2 \qquad (۸)$$

C_{rein} هزینه مربوط به تهیه میلگرد و انجام عملیات آرماتوربندی در یک تونل انحراف به ریال، P_{rein} هزینه بستن شبکه فولادی برای هر مترمربع از دیواره تونل (تولید، تحویل، سرهم کردن و حمل و نقل) و X_r فاصله بین میلگردها می‌باشد.

تشکیل تابع هزینه ساخت سیستم انحراف و محدودیتهای مربوطه

عواملی که در نوع طراحی سیستم انحراف موثر بوده و با تغییر در این متغییرها مشخصات سیستم انحراف و در نتیجه هزینه ساخت آن تغییر می‌کند شامل قطر تونل، ضخامت تونل، ضخامت شاتکریت، فاصله راک‌بولتها و نوع آرماتوربندی شبکه می‌باشند. از اینرو بردار حالت شبکه بصورت زیر تشکیل می‌شود:

$$X = \begin{bmatrix} D \\ T \\ T_{sh} \\ T_{Rs} \\ X_r \end{bmatrix} \qquad (۹)$$

همچنین ارتفاع فرازبند نیز در طراحی و هزینه ساخت سیستم انحراف نیز موثر هستند اما چون فرمول زیر ارتفاع فرازبند با قطر تونل نسبت دارد و پس از محاسبه قطر مورد نیاز تونل ارتفاع فرازبند نیز محاسبه و هزینه‌های ساخت فرازبند در تابع هدف منظور خواهد شد.

$$H = ((1+K_e+\frac{124.5Ln^2}{(D/4)^2})(\frac{8}{\pi^2 g}) (\frac{Q^2}{D^4})) - LS + 0.5D \qquad (۱۰)$$

K_e مجموع ضرایب افت ورودی، اصطکاک، انحنا و خروجی، Q دبی رودخانه، n ضریب زبری مانینگ و S شیب رودخانه می‌باشند. محدودیتهای مربوط به متغییرها برای ساخت سیستم انحراف بصورت زیر می‌باشند:

$$2.5 < D < 15 \qquad 0.3 < T < 1 \qquad 0.05 < T_{sh} < 0.2$$
$$0.5 < T_{rs} < 2 \qquad 0.2 < X_r < 0.7 \qquad (۱۱)$$

براساس شرایط منطقه، نوع خاک و روش حفاری نوع سیستم نگهداری و ترمیم در تونل تغییر خواهد کرد که این تغییر باعث تغییر ضریب زبری مانینگ و ایجاد تغییر در تابع هدف و بردار متغییرها می‌گردد که در اینصورت هزینه تمام شده ساخت سیستم انحراف نیز دچار تغییر خواهد شد.

قابل ذکر است معمولا از سه سناریو مختلف جهت سیستم نگهداری تونل انحراف استفاده می‌شود که شامل پوشش شاتکریت و راک بولت، پوشش شاتکریت، راک بولت و بتن غیر مسلح و پوشش شاتکریت، راک بولت و بتن مسلح می‌باشند که در نتیجه هزینه مربوط به هر نوع پوشش متفاوت است.

سناریو ۱) استفاده از پوشش شاتکریت و راک بولت که در اینصورت تابع هزینه ساخت سیستم انحراف بصورت زیر بوده و بردار حالت شامل متغیرهای D ، T، T_{sh}و T_{rs} می‌باشد.

$$C_T = C_e + C_{cof} + C_{nas} + C_{sh} + C_R \qquad (۱۲)$$

سناریو ۲) استفاده از راک بولت، شاتکریت و بتن غیرمسلح که در اینصورت تابع هزینه ساخت سیستم انحراف بصورت زیر بوده و بردار حالت شامل متغیرهای D ، T، T_{sh}و T_{rs} می‌باشد.

$$C_T = C_e + C_{cof} + C_{nas} + C_{sh} + C_R + C_{con} + C_{frame} \qquad (۱۳)$$

سناریو ۳) استفاده از راک بولت، شاتکریت و بتن مسلح که در اینصورت تابع هزینه ساخت سیستم انحراف بصورت زیر بوده و بردار حالت شامل متغیرهای D ، T، T_{sh}و T_{rs} و X_r می‌باشد.

$$C_T = C_e + C_{cof} + C_{nas} + C_{sh} + C_R + C_{con} + C_{frame} + C_{rein} \qquad (۱۴)$$

بهینه سازی اقتصادی سیستم انحراف

پس از تشکیل و محاسبه تابع هزینه ساخت سیستم انحراف و استخراج محدودیتهای مربوطه ، چگونگی حل مسئله و جهت استخراج بهینه‌ترین خروجی ممکن از الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده می‌شود. در این مقاله جهت بهینه سازی روش جدید از روش بهینه سازی با استفاده از ضرایب لاگرانژ و شبکه عصبی استفاده می-شود که چگونگی استفاده از این الگوریتم‌ها بشرح زیر می‌باشد .

الف) بهینه‌سازی با استفاده از ضرایب لاگرانژ : جهت حل معادلات معرفی شده که یک دسته معادلات غیرخطی با قیود مساوی و نامساوی می‌باشند، از روش‌های حل برنامه‌نویسی غیرخطی(NLP) استفاده می‌شود[۹]. ابتدا معادلات موجود را بصورت معادلات زیر دسته بندی می‌کنیم.

$$\begin{aligned} &Minimize \quad f(x) \\ &Subject\ to \quad h_k(x)=0 \quad k=1,2,3,...,k \\ &\qquad\qquad g_j(x)\geq 0 \quad j=1,2,3,...,j \end{aligned} \qquad (۱۵)$$

که k تعداد معادلات مربوط به محدودیتهای مساوی و j تعداد محدودیتهای نامساوی می باشد . برای حل معادلات فوق الذکر ، باتوجه به تابع هدف و محدودیتهای موجود تابع هدف و محدودیتها با استفاده از ضرایب لاگرانژ به یک معادله بدون محدودیت بصورت زیر تبدیل خواهد شد که به آن تابع لاگرانژین می‌گوییم :

$$\nabla f(x) - \sum_{j=1}^{j} \lambda_j \nabla h_j(x) - \sum_{k=1}^{k} u_j \nabla h_k(x) = 0 \qquad (۱۶)$$
$$h_k(x)=0\ ,\ g_j(x)\geq 0\ ,\ u_j g_j(x)\geq 0\ ,\ u_j \geq 0$$

از اینرو برای حل معادلات تعریف شده ، معادله لاگرانژین مربوط به این مسئله را بصورت زیر تشکیل می‌دهیم :

$$L = C_T - \lambda(H-1.2D) - x_{\min}(X - X_{\min}) + x_{\max}(X - X_{\max}) \qquad (۱۷)$$

که L تابع لاگرانژین ، λ ضریب لاگرانژ مربوط به معادله نامساوی ، $x_{\min}$ ضرایب لاگرانژ مربوط به حداقل مقادیر متغیرها و $x_{\max}$ ضرایب لاگرانژ مربوط به حداکثر مقادیر متغیرها می‌باشد که با استفاده از روش تکرار و ارضا شدن محدودیت‌های معرفی شده مقادیر مربوط به پارامترهایی که باعث حداقل شدن هزینه ساخت سیستم انحراف می‌شوند محاسبه می‌گردد.

ب) استفاده از الگوریتم ژنتیک: الگوریتم ژنتیک GA یک تکنیک جستجو در علم کامپیوتر برای یافتن راه حل بهینه و مسائل جستجو است.الگوریتم های ژنتیک یکی از انواع الگوریتم‌های تکاملی‌اند که از علم زیست شناسی مثل وراثت، جهش، انتخاب ناگهانی، انتخاب طبیعی و ترکیب الهام گرفته شده است. عموماً راه حل‌ها به صورت ۲ تایی ۰و۱ نشان داده می‌شوند ولی روش‌های نمایش دیگری هم وجود دارد.تکامل از یک مجموعه کاملاً تصادفی از موجودیت ها شروع می‌شود و در نسل-های بعدی تکرار می‌شود.در هر نسل مناسبترین ها انتخاب می شوند نه بهترین ها.

الگوریتم‌های ژنتیکی را می‌توان یک روش بهینه‌سازی تصادفی جهت‌دار دانست که به تدریج به سمت نقطه بهینه حرکت می‌کند. در مورد ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک در مقایسه با دیگر روش‌های بهینه سازی

می‌توان گفت که الگوریتمی است که بدون داشتن هیچ گونه اطلاعی از مسئله و هیچ گونه محدودیتی بر نوع متغیرهای آن برای هر گونه مسئله ای قابل اعمال است و دارای کارآیی اثبات شده‌ای در یافتن بهینه کلی (Global Optimum) می‌باشد. توانایی این روش در حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی, است که روش‌های کلاسیک یا قابل اعمال نیستند و یا دریافتن بهینه کلی قابل اطمینان نیستند

اصول الگوریتم که الهام گرفته از سیستم‌های ژنتیکی موجودات زنده است، مبتنی بر فرآیند محاسباتی زیر می‌باشد:

ـ کد کردن هر یک از جوابهای مساله که بصورت مجموعه‌ای از متغیرها می‌باشد و بعنوان یک کروموزوم شناخته می‌شود.

ـ انتخاب تعداد مشخصی از کروموزومها در فضای کاری مساله بعنوان جمعیت اولیه

ـ محاسبهٔ تابع هدف متناظر با هر یک از کروموزومها که بعنوان برازندگی کروموزوم می‌باشد.

ـ اعمال عملگرهای ژنتیکی با احتمالهای مشخص

ـ بررسی همگرایی و تصمیم‌گیری برای ادامه و یا خاتمه الگوریتم

نتایج حاصل از بهینه‌سازی

در این بخش نتایج حاصل از انجام شبیه‌سازی با استفاده از روشهای بهینه‌سازی ضرایب لاگرانژ و الگوریتم ژنتیک ارائه خواهد شد. جهت انجام شبیه سازی از Toolbox های Optimization وGA در نرم افزار MATLAB استفاده شده است.

الف) انجام شبیه‌سازی با استفاده از ضرایب لاگرانژ : پس از تشکیل تابع هدف و باتوجه به محدودیتهای مسئله ، نتایج حاصل از شبیه سازی با استفاده از روش ضرایب لاگرانژ در سه سناریو مختلف بشرح جدول شماره ۱ است. قابل ذکر است ضریب مانینگ برای سناریو شماره ۱ ، ۲ و ۳ به ترتیب ۰/۰۲۲ ، ۰/۰۱۴ و ۰/۰۱۲ فرض شده است .

جدول ۱: پارامترهای محاسبه شده با ضرایب لاگرانژ بر حسب متر

ضریب زبری	قطر تونل	ارتفاع فرازبند	ضخامت تونل	شاتکریت	فاصله راک بولت	فاصله میلگردها
۰/۰۲۲	۱۴	۲۲/۵	۰/۵	۰/۰۵	۲	-
۰/۰۱۴	۱۲/۶	۲۰/۵	۰/۵	۰/۰۵	۲	-
۰/۰۱۲	۱۲/۲۷	۲۰	۰/۵	۰/۰۵	۲	۰/۷

همانگونه که از نتایج مشخص است ضخامت تونل ، ضخامت شاتکریت و فاصله راک بولتها در هر سه سناریو مختلف ثابت است و تغییر نکرده است و عاملی که بیشترین تاثیر را در حداقل کردن هزینه ساخت سیستم انحراف دارد قطر تونل و درنتیجه ارتفاع فرازبند می‌باشد که با کاهش ضریب مانینگ در هر سناریو قطر تونل کاهش می‌یابد.

در جدول شماره ۲ مقایسه ای بین هزینه های مربوط به احداث سیستم انحراف در سناریوهای مختلف آمده است. قیمتها براساس میلیون ریال می‌باشند:

جدول ۲: هزینه‌های اجرایی سیستم انحراف – براساس میلیون ریال

ضریب زبری	حفاری تونل	خاکریزی فرازبند و نشیب‌بند	سیستم‌نگهدا رنده	کل‌سیستما نحراف
۰/۰۲۲	۹۳۷۵	۳۶۴۷۱	۱۹۶۹	۴۷۸۱۵
۰/۰۱۴	۷۷۲۰	۳۱۴۶۳	۷۴۳۸	۴۶۶۲۱
۰/۰۱۲	۷۳۱۲	۳۰۲۲۸	۷۶۹۰	۴۵۲۳۰

باتوجه به جدول ۲ برای پوشش بتنی سیستم انحراف سد با مصالح درشت دانه بکار گرفته شده است. عرض زیاد رودخانه و طول فرازبند عمده هزینه ساخت سیستم انحراف مربوط به ساخت و خاکریزی فرازبند می‌باشد. همچنین با کاهش ضریب زبری و افزایش پوشش مربوط به تونل، هزینه احداث سیستم انحراف کاهش می‌یابد. قابل ذکر است در هر مرحله پوشش باتوجه به کم شدن قطر تونل انحراف و ارتفاع فرازبند، هزینه حفاری و خاکریزی فرازبند نیز کاهش می‌یابد لکن افزایش هزینه سیستم نگهداری تونل انحراف در هر مرحله (در مرحله استفاده از بتن مسلح و غیر مسلح) بگونه‌ای است که باعث افزایش هزینه احداث کل سیستم انحراف نمی‌گردد.

ب) انجام شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک:
در این بخش از الگوریتم ژنتیک جهت حل مساله و بهینه‌سازی اقتصادی سیستم انحراف استفاده می‌شود. در محیط الگوریتم ژنتیک نرم افزار MATLAB برای تابع تقاطع از تابع Crossoverheuristic و از Mutationadaptfeasible بر این اساس برای پاسخ‌یابی پرسش‌هایی که شمار زیادی متغیر دارند که بطور هم زمان شمار زیادی از نقاط فضای پاسخ را به کار می‌گیرد. این ویژگی، احتمال گرفتار شدن الگوریتم در نقاط بهینه‌ی محلی را تا اندازه زیادی کاهش داده و همگرایی به نقطه‌ی بهینه‌ی محلی را تضمین نمی‌کند، ولی اغلب به نقاط تقریباً بهینه همگرا می‌شود. جهت تابع تحریک استفاده شده است. جهت اطلاع بیشتر از تابع‌های فوق-الذکر به بخش help نرم‌افزارMATLAB مراجعه شود. پس از انجام شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک نتایج حاصله در خصوص قطر تونل و ارتفاع فرازبند بشرح جدول شماره ۳ می‌باشد و هزینه‌های مربوط به ساخت سیستم انحراف نیز پس از انجام شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در جدول شماره ۴ آمده است:

جدول ۳ : قطر تونل انحراف و ارتفاع فرازبند محاسبه شده با الگوریتم ژنتیک

ضریب زبری	قطر تونل (متر)	ارتفاع فرازبند (متر)
۰/۰۲۲	۱۴	۲۲/۵
۰/۰۱۴	۱۲/۶	۲۰/۵
۰/۰۱۲	۱۲/۳	۲۰

جدول ۴ : هزینه‌های اجرایی سیستم انحراف محاسبه شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک - براساس میلیون ریال

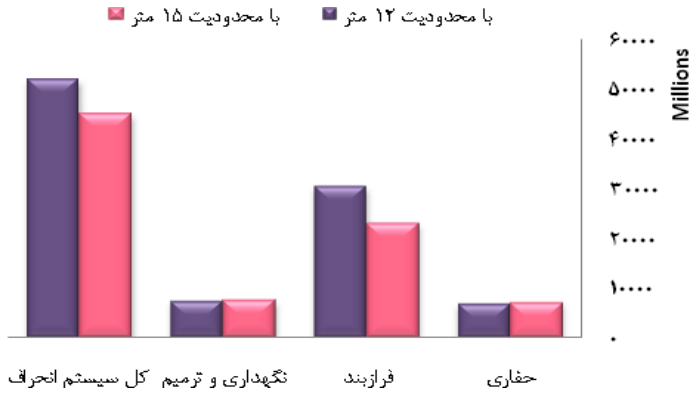
ضریب زبری	حفاری تونل	خاکریزی فرازبند و نشیب بند	سیستم‌نگهد ارنده	کل‌سیستم‌ا نحراف
۰/۰۲۲	۹۳۷۵	۳۶۴۷۱	۱۹۶۹	۴۷۸۱۶
۰/۰۱۴	۷۷۲۰	۳۱۴۶۳	۷۴۳۸	۴۶۶۰۰
۰/۰۱۲	۷۳۱۲	۳۰۲۲۸	۷۶۹۰	۴۵۲۰۰

همانگونه که مشخص است با تغییر نوع پوشش و ضریب مانینگ، قطر تونل و ارتفاع فرازبند نیز تغییر می‌کند و باتوجه به نتیجه حاصله هرچه ضریب مانینگ کمتر گردد، قطر تونل و ارتفاع فرازبندی که منجر به کمترین هزینه احداث سیستم انحراف می‌گردد کمتر می‌شود.درخصوص هزینه‌ها نیز چنانچه از جدول شماره ۴ مشخص است کاهش ضریب مانینگ باعث کاهش هزینه ساخت تونل انحراف و خاکریزی فرازبند می‌گردد و افزایش هزینه مربوط به پوشش و نگهداری سیستم را در پی دارد لکن هزینه احداث کل سیستم کاهش می‌یابد.

در پروژه‌های ساخت سیستم انحراف ممکن است محدودیتهایی در احداث سیستم بوجود آید که باعث

افزایش هزینه احداث سیستم گردد. بعنوان مثال ممکن است تکیه‌گاه بگونه‌ای باشد که نتوان قطر تونل را بدلخواه بزرگ یا کوچک کرد که در اینحالت مطمئنا هزینه احداث سیستم انحراف نیز در اثر تغییر محدودیتها تغییر خواهد کرد. چنانچه محدودیت پروژه بگونه‌ای باشد که قطر تونل را باید حداکثر ۱۲ متر درنظر گرفت، این تغییر محدودیت باعث افزایش ارتفاع فرازبند از ۲۰ متر به ۲۳ متر، افزایش هزینه ساخت فرازبند و در نتیجه افزایش هزینه کل ساخت سیستم انحراف افزایش میگردد. مقایسه هزینه‌های احداث سیستم انحراف در این دو حالت (با محدودیت حداکثر قطر تونل ۱۲متر و محدودیت حداکثر قطر تونل ۱۵متر) در شکل شماره ۳ آمده است . از نتایج مشخص است که هزینه احداث کل سیستم انحراف حدود ۱۵ درصد افزایش یافته است.

در مقایسه نتیجه بدست آمده در اینحالت بنظر می‌رسد ساخت سیستم انحراف سد سلمان فارسی نیز با این محدودیت مواجه بوده است که طراح با انتخاب قطر تونل ۱۲ متر مجبور به افزایش ارتفاع فرازبند و در نتیجه افزایش هزینه ساخت سیستم انحراف گردید که در غیراینصورت درصورت استفاده از روش جدید ارائه شده و استفاده از قطر تونل انحراف ۱۲/۲۷ متر، ساخت پروژه با صرفه‌جویی اقتصادی ۷ میلیارد ریالی مواجه می‌گردید.



شکل۱: نمودار درصد هزینه سیستم انحراف به ازای محدودیتهای موجود

ج) مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با استفاده از ضرایب لاگرانژ، الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی و سد موردمطالعه :درصورت استفاده از پوشش راک بولت، شاتکریت و بتن مسلح (سناریو۳) در مدل جدید ارائه شده ، تغییرات قطر تونل انحراف و ارتفاع فرازبند در ۴ حالت مقادیر واقعی سد مورد بهره‌برداری ، استفاده از روش ضرایب لاگرانژ ، استفاده از شبکه عصبی و استفاده از الگوریتم ژنتیک در روش جدید ارائه شده در جدول شماره ۵ با یکدیگر مقایسه می‌گردند. شبیه‌سازی با استفاده از شبکه عصبی برای سد سلمان فارسی قبلاً توسط نگارنده در پایان‌نامه کارشناسی ارشد به انجام رسیده است که در این مقاله تنها از نتایج آن استفاده می‌شود. همانگونه که از نتایج مشخص است مقادیر محاسبه شده قطر تونل انحراف و ارتفاع فرازبند در دو حالت شبیه‌سازی با استفاده از ضرایب لاگرانژ و شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک کاملا بهم شبیه می‌باشند و اختلاف حدود ۲درصدی با قطر تونل انحراف سد سلمان فارسی و حدود ۹ درصدی با ارتفاع فرازبند سد سلمان فارسی وجود دارد. اما مقادیر محاسبه شده قطر تونل انحراف و ارتفاع فرازبند در دو حالت شبیه‌سازی با استفاده از ضرایب لاگرانژ و شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک دارای اختلاف کمی با شبکه عصبی می‌باشند.

جدول ۵ : مقایسه قطر تونل انحراف و ارتفاع فرازبند در چهار حالت مختلف

عنوان	قطر تونل (متر)	ارتفاع فرازبند (متر)
مقادیر واقعی سد مورد بهره برداری	۱۲	۲۳
بهینه سازی اقتصادی با استفاده از ضرایب لاگرانژ	۱۲/۲۷	۲۰
بهینه سازی اقتصادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک	۱۲/۲۷	۲۰
بهینه سازی اقتصادی با استفاده از شبکه عصبی	۱۲/۱۵	۲۰/۸۵

با توجه به اینکه پارامترهای طراحی در دو حالت به هم شبیه می باشند در نتیجه هزینه‌های مربوط به ساخت سیستم انحراف نیز در دو حالت شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با استفاده از ضرایب لاگرانژ نیز یکسان است اما هزینه ها با استفاده از شبکه عصبی تفاوت اندکی با دو حالت قبل دارد که در جدول شماره ۶ نشان داده شده است:

جدول ۶ : مقایسه هزینه‌های ساخت سیستم انحراف درصورت استفاده از سه روش بهینه سازی- میلیون ریال

روش بهینه سازی	حفاری تونل	خاکریزی فرازبند و نشیب‌بند	اجرای سیستم پوشش	کل سیستم انحراف
بهینه سازی اقتصادی با استفاده از ضرایب لاگرانژ	۷۳۱۲	۳۰۲۲۸	۷۶۹۰	۴۵۲۰۰
بهینه سازی اقتصادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک	۷۳۱۲	۳۰۲۲۸	۷۶۹۰	۴۵۲۰۰
بهینه سازی اقتصادی با استفاده از شبکه عصبی	۷۲۲۱	۳۲۳۱۶	۷۶۳۸	۴۷۲۰۰

باتوجه به نتایج حاصله می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری نمود که چنانچه هدف از انجام بهینه‌سازی حداقل‌شدن هزینه ساخت سیستم انحراف باشد استفاده از ضرایب لاگرانژ و الگوریتم ژنتیک نتایج بهتری را ارئه خواهد نمود اما چنانچه هدف از بهینه‌سازی استخراج کمترین قطر تونل و در نتیجه کاهش زمان احداث تونل انحراف باشد استفاده از روش شبکه عصبی نتیجه بهتری خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

برخی از پارامترهای طراحی مانند طول تونل، شیب، ضرایب افتها در طراحی موثر خواهند بود اما این تاثیر در مقایسه با دبی جریان انتخابی جهت ساخت سیستم انحراف ناچیز است با این حال همانگونه که مشخص است مقدار دقیق این پارامترها در تعیین دقیق مشخصات فیزیکی و علی‌الخصوص رابطه بین قطر تونل انحراف و ارتفاع فرازبند بسیار ضروری است و مطمئناً هر تغییری در مقادیر این پارامترها نتایج شبیه‌سازی را با تغییر مواجه خواهد نمود.همانگونه که در نتایج شبیه‌سازی مشخص است درصورت تغییر نوع پوشش و

زبری سطح تونل، قطر تونل انحراف، ارتفاع فرازبند و درنتیجه هزینه بهینه ساخت سیستم انحراف دستخوش تغییرات خواهد شد.

با استفاده از روش بهینه‌سازی ضرایب لاگرانژ روش جدیدی جهت محاسبه کمترین هزینه ساخت سیستم انحراف سد ارائه گردید و در سه نوع پوشش ممکن تونل انحراف، هزینه ساخت سیستم انحراف سد سلمان فارسی بعنوان سد مورد مطالعه بهینه گردید و قطر تونل و ارتفاع فرازبندی که منجر به کمترین هزینه احداث سیستم انحراف می‌گردند محاسبه گردید. با استفاده از روش بهینه‌سازی ضرایب لاگرانژ و در سه نوع پوشش ممکن تونل انحراف، هزینه ساخت سیستم انحراف سد سلمان فارسی بهینه گردید و قطر تونل و ارتفاع فرازبندی که منجر به کمترین هزینه احداث سیستم انحراف می‌گردند محاسبه گردید. سپس با استفاده از شبکه عصبی بهینه‌سازی هزینه ساخت سیستم انحراف سد سلمان فارسی انجام و نتایج آن با نتایج حاصل از بهینه‌سازی با استفاده از روش ضرایب لاگرانژ مقایسه گردید. در مجموع مقایسه نتایج نشان داد روش های ضرایب لاگرانژ و الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی هزینه ساخت سیستم انجراف، و همچنین برای بهینه‌سازی استخراج کمترین قطر تونل و کاهش زمان احداث تونل انحراف روش شبکه عصبی عملکرد بهتری خواهد داشت.

منابع

۱- دهقانی ن.، "طراحی تونل انحراف آب با استفاده از شبکه عصبی جهت بهینه‌سازی اقتصادی سیستم انحراف"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.

2-United States Department of Interior, Bureau of Reclamation, USBR.1987. Design of Small Dams, 3rd Edition, US Government Printing Office, Washington DC, USA.

3-Iranian Committee on Large Dams, IRCOLD 2005, < http://www.wrm.or.ir/ircold>

4-U.S. Army Corps of Engineers (HQUSACE) elements. 1997. ; "Engineering and Design Tunnels and Shafts in Rock" Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers Washington DC20314-1000.

5-Franklin, J.A. .1989. "Rock Engineering" Mc Graw – Hill Publishing. Dusseault, Maurice. B.

6-King, H.W. (1939),"Handbook of Hydraulics", 3ed, Mc Graw – Hill Company, New York

7-Barton, N , B. Buen and s. Roald. 2001. Strengthening The Case for Grouting. Tunnels and Tunnelig International.

8-Fulvio Tonon, et al .2002 . "Multiobjective Optimization under Uncertainty in Tunneling: Application to the Design of Tunnel Support/ Reinforcement with case Histories", Tunneling and Underground Space Technology.

9-Cooke, J.B. 1984; "Progress in Rock fill Dams", Journal of Geotechnical Division, ASCE, Vol. 110, No.10, Paper 19206, pp. 1383-1414

10-R. Ravindran , K.M. Ragsdell , G.V. Reklaitis . 2006. " Engineering Optimization Methods and Application " , John Wiley & Sons.

11-J.Perez-Romero, C.S.Oteo. 2007. ;"Design and Optimization of the Lining of a Tunnel in the Presence of Expansive Clay Levels," Tunneling and Underground Space Technology22.

12-MATLAB software, user guide. 2009. math work Inc.

13-Yang, K., C. Shuyouand L. Xingnian. 2005. "Study on resistance coefficient incompound channels.", Acta. Mech. Sinica, 21, 353-361.

14-Cengel, Y.A. and J.M. Cimbala . 2006. "Fluid mechanics, fundamentals andapplications". Mc.Graw Hill. USA.

A New Method for Economic Optimization of Diversion System Construction

Abstract

The design and the choice of the diversion system of a dam depends on topographic conditions, the kind of constructing area (from the point of geology and geotechnical), the river hydraulic situation, forecasted expenses and etc. One of the fashionable kinds of these systems is use of a cofferdam with one or few tunnels. According to the designing instructions and the researchers' viewpoint, the selection of the diversion system dimensions must be done exactly select that it can pass flood (with maximum discharge) with a fixed return cycle and safely from itself. Choosing the best dimensions of a temporary diversion system from the economical and technical viewpoints, need to make use of optimization methods. The plan of good diverting system is plan that with the least cost, minimize the serious danger and the probable flood in the working lot, while being built. In this paper, by describing the method of calculating the costs of constructing the diversion system which includes the cost of diversion tunnel excavation, embankment and erection upstream and downstream cofferdam, maintaining and lining of diversion tunnel a new method for calculating the minimum cost of constructing the diversion system, by satisfying all designing concerns is presented. For performing the optimization, the Lagrange multiplier optimization method has been used. Its results will become compared with the real dam. The results showed that the Lagrange multiplier method and genetic algorithm to optimize the cost of construction Anjraf as well as to optimize the extraction of minimal diameter diversion tunnel construction tunnel and reduce the time of neural network will be better..

Keywords:diameter of divertion tunnel, upstream and downstream cofferdam, maintaining and linning , Lagrange multiplier optimization method