



تعیین آستانه لغزش پایداری شیروانی و بهینه‌یابی حجم عملیات خاکریزی سد خاکی همگن با استفاده از ترکیب شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک

حمیدرضا صبا^۱، محسن کمالیان^۲، ایمان رئیسی‌زاده^{۳*}

^۱ دانشگاه تفرش، تفرش، ایران

^۲ پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

^۳ موسسه آموزش عالی آفرینش بروجرد، بروجرد، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۲۹ مهر ۱۳۹۴

بازنگری: ۲۳ آذر ۱۳۹۵

پذیرش: ۱۵ دی ۱۳۹۵

ارائه آنلاین: ۲۸ مرداد ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:

سدهای خاک
پایداری شیروانی
شبکه عصبی
الگوریتم ژنتیک (GA)
بهینه‌یابی
نرم‌افزار PLAXIS
نرم‌افزار MATLAB

چکیده: استفاده از بهینه‌سازی به کمک ترکیب شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک (GA) برای تعیین دقیق آستانه لغزش پایداری شیروانی و حجم بهینه عملیات خاکریزی سدهای خاکی با استفاده از پارامترهای حاصله از نرم‌افزار PLAXIS شاکله‌ی اصلی این مقاله را تشکیل می‌دهد. در این تحقیق ضریب پایداری شیروانی سد خاکی با شبکه عصبی تعیین و با خروجی‌های نرم‌افزار المان محدود PLAXIS مقایسه شده است. پارامترهای مورد استفاده برای تعیین این ضریب اطمینان شامل ارتفاع سد (H)، عرض تاج سد (B)، شیب دامنه سد (Θ)، زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)، وزن مخصوص خاک (γ) و چسبندگی خاک (C) می‌باشند. با مدل‌سازی شبکه عصبی و اعمال پارامترهای مذکور بعنوان ورودی، بهترین توابع در لایه‌های پنهان که کمترین خطا را در تعیین خروجی داشتند، تعیین گردید. برای آموزش و آزمون شبکه از اطلاعات بدست‌آمده از ۱۵۰ مدل سد خاکی در نرم‌افزار PLAXIS استفاده گردید. تحلیل پایداری شیروانی به منظور تعیین ضریب اطمینان در سطح لغزش مورد نظر و تعیین محتمل‌ترین فرایند گسیختگی و کمترین ضریب اطمینان مربوط به آن، انجام می‌گیرد، که کاربرد الگوریتم ژنتیک در این تحقیق، تعیین محتمل‌ترین فرایند گسیختگی آستانه لغزش (تعیین حداقل ضریب اطمینان) می‌باشد. همچنین، یکی دیگر از کاربردهای الگوریتم ژنتیک در این تحقیق، بهینه‌کردن حجم عملیات خاکریزی سد می‌باشد به گونه‌ای که، حداقل ضریب اطمینان (آستانه لغزش) حاصل شود. در این تحقیق، برای استفاده آسانتر مهندسان از ابعاد پیشنهادی، با استفاده از مشخصات مختلف خاک در خاکریز سد، برای ارتفاع‌های متفاوت تحلیل صورت گرفت و نتایج به صورت نمودارها و جداول ارائه شده، که با استفاده از این نمودارها می‌توان ابعاد و حجم بهینه خاک را بدون مراجعه مستقیم به برنامه بدست آورد.

۱- مقدمه

روش‌های بهینه‌سازی را می‌توان به دو روش محاسباتی و روش‌های غیراستدلالی (جستجوی تصادفی) دسته‌بندی کرد. معمولاً، روش‌های دقیق محاسباتی بر اساس محاسبه راه‌حل‌های بهینه با استفاده از تکنیک‌های تکراری برنامه‌ریزی خطی استوار هستند [۲ و ۱]. این روش‌ها زمانی موثرند که تعداد متغیرهای مساله کم باشد. زمانی که تعداد متغیرها افزایش می‌یابد این روش‌ها بسیار وقت‌گیر می‌شوند. برای نمونه می‌توان به تحقیق ساریباس و آرباتور اشاره کرد [۳]. در این تحقیق، از برنامه‌ریزی غیرخطی برای بهینه‌سازی، استفاده شده است. دومین دسته از روش‌های بهینه‌سازی روش‌های جستجوی تصادفی هستند که اخیراً توسعه یافته‌اند. از جمله روش‌های جدید بهینه‌سازی که امروزه در حل بسیاری از مسائل مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: الگوریتم ژنتیک (GA)، سرد شدن فلزات مذاب (SA)، کلونی مورچه و دیگر موارد [۴ و ۵] از این روش‌ها بدون توجه به نوع محاسبات، می‌توان در سطوح مختلف مهندسی استفاده کرد

[۶]. در این روش‌ها از الگوریتم‌های ساده‌ای برای محاسبات پیچیده استفاده می‌شود.

الگوریتم ژنتیک که بر پایه تئوری تکامل داروین قرار دارد اولین بار توسط هولند مطرح شد [۷]. بعد از آن گلدبرگ معرفی کامل و دقیقی از این روش ارائه داد [۸]. از اولین مطالعات در بهینه‌سازی سازه‌ها می‌توان به تحقیقات جنکینز اشاره کرد [۹]. به طور مشابه محققین دیگری از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی دیوار ساختمان‌ها استفاده کردند [۱۰-۱۳].

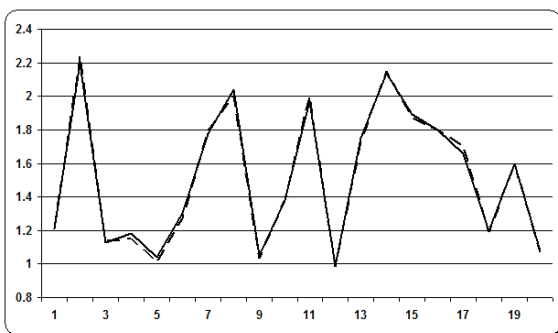
روال بهینه‌یابی در الگوریتم ژنتیک بر اساس یک روند تصادفی-هدایت شده استوار می‌باشد. این روش، بر مبنای نظریه تکامل تدریجی و ایده‌های بنیادین داروین پایه‌گذاری شده‌است. در این روش، ابتدا برای تعدادی ثابت که جمعیت نامیده می‌شود مجموعه‌ای از پارامترهای هدف بصورت اتفاقی تولید می‌شود. پس از اجرای برنامه، شبیه‌سازی عددی را که معرف انحراف معیار و یا برازش آن مجموعه از اطلاعات است را به آن عضو از جمعیت مذکور نسبت داده می‌شود. این عمل را برای تک تک اعضای ایجاد شده تکرار کرد، سپس با فراخوانی عملگرهای الگوریتم ژنتیک از جمله، عملگر تقابل، جهش و انتخاب، نسل بعد را شکل داده و این روال تا ارضای معیار

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Raeisizadeh.mnz@gmail.com

در این تحقیق از ورودی‌های زیر برای آموزش شبکه عصبی استفاده شده است. این ورودی‌ها از ارتفاع سد (H)، عرض تاج سد (B)، شیب دامنه طرفین سد، زاویه اصطکاک خاک، وزن مخصوص خاک، چسبندگی خاک (C)، تهیه شده است. برای آموزش شبکه، بردار ورودی به صورت «تصادفی» مرتب شد. این عمل کمک می‌کند تا شبکه عصبی ورودی‌ها را حفظ نکند بلکه آنها را یاد بگیرد.

در برنامه مورد استفاده، ۶ ورودی شامل مشخصات خاک و مشخصات هندسی بدنه سد و یک خروجی یعنی ضریب اطمینان وجود دارد و همانطور که گفته شد ۲۰ مدل برای آزمایش شبکه انتخاب گردید. یعنی بعد از آموزش شبکه به عنوان نتیجه کار، با ۲۰ مدل موجود شبکه آزمایش می‌شود. تا دقت عملکرد و صحت آموزش دیدن شبکه را به این طریق سنجید. بدین ترتیب با مقایسه این نتایج می‌توان به دقت شبکه پی برد. برای انجام بهتر این مقایسه، دستوری در برنامه نوشته می‌شود که درصد خطای هر ۲۰ خروجی شبکه را نسبت به خروجی معرفی شده به برنامه محاسبه کرده و مقدار حداکثر آنرا چاپ می‌کند. بدین ترتیب با تغییر پارامترهای شبکه (نوع تابع مورد استفاده، تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون هر لایه) و اجرای برنامه، شبکه آموزش می‌بیند و خروجی‌ها را محاسبه نموده و حداکثر خطای ممکن را محاسبه می‌کند. با تکرار این عمل و استفاده از توابع مختلف، بهترین حالت ممکن را که حداکثر خطای ۲ درصد در پیش‌بینی‌ها را داشت بدست آورده می‌شود. با توجه به مقدار خطا و این موضوع که خطای اعلام شده حداکثر خطای موجود در ۲۰ مدل است، آموزش شبکه قابل قبول می‌باشد. در جدول ۱، مقادیر بدست آمده از شبکه عصبی با مقادیر بدست آمده از نرم‌افزار PLAXIS با هم مقایسه شده‌اند.

همچنین مقایسه نتایج بدست آمده از شبکه و نرم‌افزار PLAXIS به صورت نمودار زیر نمایش داده شده است. نمودار خطی پر نتایج حاصل از برنامه PLAXIS و نمودار خط چین نتایج حاصل از شبکه عصبی است.



شکل ۱: مقایسه نتایج شبکه عصبی و PLAXIS

Fig 1. Comparison of the results of the neural network and Plaxis

همگرایی ادامه داده خواهد شد. بصورت متداول، سه معیار به عنوان معیار توقف شمرده می‌شود:

۱. زمان اجرای الگوریتم.
۲. تعداد نسل‌هایی که ایجاد می‌شوند.
۳. همگرایی معیار خطا.

الگوریتم ژنتیک، تکنیک جستجویی در علم رایانه برای یافتن راه‌حل تقریبی برای بهینه‌سازی و مسائل جستجو است. الگوریتم ژنتیک نوع خاصی از الگوریتم‌های تکامل است که از تکنیک‌های علم زیست‌شناسی مانند وراثت و جهش استفاده می‌کند. الگوریتم‌های ژنتیک معمولاً به عنوان یک شبیه‌ساز کامپیوتر که در آن جمعیت یک نمونه انتزاعی (کروموزوم‌ها) از نامزدهای راه‌حل یک مسأله بهینه‌سازی به راه‌حل بهتری منجر شود، پیاده‌سازی می‌شوند. به طور سنتی راه‌حل‌ها به شکل رشته‌هایی از صفر و یک بودند، اما امروزه به گونه‌های دیگری هم پیاده‌سازی شده‌اند. فرضیه با جمعیتی کاملاً تصادفی منحصر بفرود آغاز می‌شود و در نسل‌ها ادامه می‌یابد. در هر نسل، گنجایش تمام جمعیت ارزیابی می‌شود، چندین فرد منحصر در فرایندی تصادفی از نسل جاری انتخاب می‌شوند (بر اساس شایستگی‌ها) و برای شکل دادن نسل جدید، اصلاح می‌شوند (کسر یا دوباره ترکیب می‌شوند) و در تکرار بعدی الگوریتم، به نسل جاری تبدیل می‌شود.

۲- مدل‌سازی عددی اجزاء محدود در نرم‌افزار PLAXIS و استفاده از شبکه عصبی برای بهینه‌سازی سدهای خاکی

در این تحقیق تحلیل سدهای خاکی همگن به روش تحلیل تنش- کرنش غیرخطی بوسیله نرم‌افزار PLAXIS انجام شده است، در این تحقیق از ۱۵۰ مدل کامپیوتری برای آموزش شبکه استفاده شد. تحلیل دینامیکی مدل با توجه به نزدیک بودن شرایط ساختگاه با شتاب نگاشت زلزله آپلند (۱۹۹۰) و با زمان ۲۰ ثانیه صورت گرفت. المان‌های مورد استفاده از نوع المان مثلثی ۱۵ گره‌ای می‌باشند، همچنین، در هنگام مدل کردن سدها، از المان‌های واسط استفاده شده تا رفتار واقعی سازه دقیق‌تر نشان داده شود. پس از محاسبه ضرایب اطمینان، برای بهینه‌سازی خاکریز سد، با توجه به اینکه تعداد داده‌ها برای بهینه‌سازی بسیار کم می‌باشند، لذا، برای افزایش مدل‌ها، از شبکه عصبی استفاده شد. در واقع، شبکه عصبی برای یافتن ارتباط منطقی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها به کار گرفته می‌شود تا با آموزش دیدن شبکه بدون مراجعه مستقیم به نرم‌افزار PLAXIS بتوان محاسبات را انجام داد. برنامه شبکه عصبی در نرم‌افزار MATLAB نوشته شد، برای آموزش شبکه نیاز به تعدادی داده ورودی و داده خروجی می‌باشد که این کار با ۱۵۰ مدلی که در نرم‌افزار PLAXIS تحلیل شد تأمین گردید. البته از ۱۳۰ داده برای آموزش و ۲۰ داده برای آزمایش شبکه استفاده می‌شود تا صحت عملکرد شبکه را بتوان سنجید. در برنامه شبکه عصبی از نوع پرسپترون با تابع‌های مختلف تعلیم و لایه‌های مختلف، با توجه به داده‌های ورودی و خروجی استفاده شد تا به این طریق بتوان شبکه را آموزش داد [۱۴].



شکل ۲: فلوچارت ترکیب شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک برای تعیین ضریب پایداری در آستانه لغزش (Fs=1) و بهینه‌یابی حجم عملیات خاکریز سد خاکی

Fig. 2. Fig 2: Flowchart for the combination of neural networks and genetic algorithms to determine the stability coefficient at the slip threshold (Fs = 1) and optimize the volume of excavation of the earth dam

مسئله بهینه‌سازی شامل به حداقل رسیدن یک یا چند توابع هدف با در نظر گرفتن برخی قیود و شرایط مسئله می‌باشد. در ابتدای کار بهینه‌سازی، باید تابع هدف تعریف شود که در این تحقیق، تابع هدف به صورت تابع حجم عملیات خاکی به صورت زیر معرفی می‌گردد:

$$V(x) = x(1) * (x(2) + \frac{x(1)}{\tan(x(3))})$$

که در آن $x(1)$ ارتفاع سد، $x(2)$ عرض تاج سد، $x(3)$ شیب دامنه سد و $V(x)$ تابع مربوط به محاسبه حجم عملیات خاکی سد می‌باشد. جواب‌های اقتصادی، این تابع را کاهش می‌دهند و جواب‌های غیراقتصادی جریمه می‌شوند. جهت انجام این کار، تابع جریمه مناسب تعریف می‌شود. بدین صورت که برنامه تمام جواب‌های ممکن را در نظر می‌گیرد و حجم عملیات خاکی را محاسبه می‌کند و پاسخ‌هایی که دارای ضریب اطمینان کمتر از حد مجاز هستند حذف می‌گردند و از بین حالت‌هایی که ضریب اطمینان مناسب دارند، کمترین حجم به عنوان حجم بهینه انتخاب می‌شود. در این تحقیق تابع جریمه به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$f(x) = V(x) * (1 + C_p * (\max(0, FS - 1)))$$

که در آن، FS ضریب اطمینان پایداری، $V(x)$ حجم عملیات خاکی و C_p ضریب جریمه می‌باشد که یک عدد بزرگ انتخاب می‌شود. تعداد متغیرهای مسأله جهت بهینه‌سازی در این تحقیق، ۳ می‌باشد. در ابتدا بایستی دامنه تغییرات متغیرهای مسأله منظور شود. دامنه تغییرات به معنی پایین‌ترین و بالاترین تغییراتی را که متغیرها مدل شده‌اند

جدول ۱: مقایسه خروجی‌های شبکه و نرم‌افزار PLAXIS

Table 1. Comparison of Network Outputs and Plaxis Software

| ضریب اطمینان بدست آمده از نرم‌افزار PLAXIS | ضریب اطمینان بدست آمده از آزمایش |
|--|----------------------------------|
| ۱/۲۱ | ۱/۲۱ |
| ۲/۲۴ | ۲/۲ |
| ۱/۱۴ | ۱/۱۳ |
| ۱/۱۵ | ۱/۱۸ |
| ۱/۰۱ | ۱/۰۴ |
| ۱/۲۷ | ۱/۳ |
| ۱/۷۹ | ۱/۷۸ |
| ۲ | ۲/۰۴ |
| ۱/۰۳ | ۱/۰۵ |
| ۱/۳۸ | ۱/۳۸ |
| ۲ | ۱/۹۷ |
| ۰/۹۸ | ۰/۹۹ |
| ۱/۷۳ | ۱/۷۵ |
| ۲/۱۵ | ۲/۱۴ |
| ۱/۸۷ | ۱/۸۹ |
| ۱/۸ | ۱/۸ |
| ۱/۷ | ۱/۶۶ |
| ۱/۱۹ | ۱/۲ |
| ۱/۶ | ۱/۶ |
| ۱/۰۷ | ۱/۰۸ |

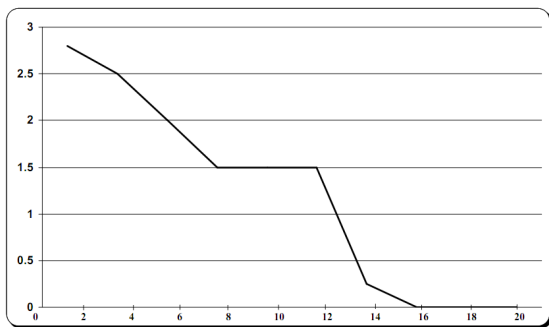
۳- نحوه عملکرد الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی سدهای خاکی

بهینه‌سازی در مهندسی به فرآیند یافتن «بهترین» مقادیر ممکن برای یک مجموعه متغیر تا ارضای قیود مختلف، مربوط می‌شود. هدف، کمیتی است که تصمیم‌گیرنده می‌خواهد آن را حداکثر یا حداقل کند. قید به کمیتی برمی‌گردد که یک محدودیت یا مانعی برای وضع توانایی‌های تکنولوژیکی سیستم را نشان می‌دهد. در این تحقیق، هدف، بهینه کردن حجم عملیات خاکی سد می‌باشد، به طوری که ضریب اطمینان در پایداری سد خاکی، کمترین مقدار که همان آستانه لغزش است حاصل شود (ضریب اطمینان FS=1).

جدول ۳: ورودی‌های سد خاکی به ازای ضریب اطمینان آستانه لغزش

Table 3. Entrance of earth dam for slip threshold confidence coefficient

| H(m) | B(m) | Θ | Φ | γ | C | FS |
|------|------|----------|--------|----------|----|----|
| ۳۷ | ۷ | ۴۴ | ۲۵ | ۲۰ | ۲۱ | ۱ |
| ۳۳ | ۷ | ۴۰ | ۲۳ | ۱۹ | ۱۶ | ۱ |
| ۲۹ | ۶ | ۴۲ | ۲۷ | ۱۹ | ۱۸ | ۱ |
| ۳۵ | ۷ | ۴۰ | ۲۳ | ۲۰ | ۱۸ | ۱ |
| ۳۲ | ۷ | ۴۱ | ۲۱ | ۲۰ | ۲۰ | ۱ |
| ۳۴ | ۷ | ۴۳ | ۲۸ | ۲۰ | ۱۶ | ۱ |
| ۳۳ | ۸ | ۴۳ | ۲۴ | ۱۸ | ۱۷ | ۱ |
| ۳۵ | ۷ | ۴۳ | ۲۹ | ۱۹ | ۱۷ | ۱ |
| ۳۴ | ۷ | ۴۴ | ۲۷ | ۱۷ | ۱۶ | ۱ |
| ۲۰ | ۶ | ۴۲ | ۲۱ | ۲۰ | ۱۵ | ۱ |
| ۲۴ | ۹ | ۴۲ | ۲۱ | ۲۰ | ۱۵ | ۱ |
| ۲۶ | ۵ | ۴۴ | ۲۶ | ۱۸ | ۱۵ | ۱ |
| ۴۰ | ۷ | ۴۲ | ۲۷ | ۱۸ | ۱۸ | ۱ |
| ۴۰ | ۶ | ۴۳ | ۲۷ | ۱۸ | ۱۹ | ۱ |
| ۲۵ | ۷ | ۴۴ | ۲۵ | ۱۹ | ۱۵ | ۱ |
| ۲۸ | ۷ | ۴۱ | ۲۲ | ۲۰ | ۱۸ | ۱ |
| ۲۷ | ۵ | ۴۱ | ۲۰ | ۱۹ | ۱۸ | ۱ |
| ۲۷ | ۵ | ۴۴ | ۲۲ | ۱۷ | ۱۹ | ۱ |
| ۳۹ | ۱۰ | ۴۱ | ۲۵ | ۱۷ | ۱۵ | ۱ |
| ۳۸ | ۱۰ | ۴۴ | ۲۶ | ۱۷ | ۱۷ | ۱ |



شکل ۳: روند بدست آمدن ضریب اطمینان آستانه لغزش (FS=1)

Fig. 3. Trend to obtain slip threshold confidence coefficient (FS = 1)

نیست بلکه این دامنه، محدوده‌ای را که عمل بهینه‌یابی باید در آن انجام شود را مشخص می‌کند.

جدول ۲: دامنه مورد استفاده برای یافتن جواب‌های بهینه

Table 2. Range used to find optimal solutions

| min | max | متغیر |
|-------|-----|---|
| ۲۰ | ۴۰ | H (m) ارتفاع سد |
| ۵ | ۱۰ | B (m) عرض تاج سد |
| ۱۸/۴۳ | ۴۵ | Θ (°) شیب دامنه سد |
| ۲۰ | ۳۵ | ϕ (°) زاویه اصطکاک خاک |
| ۱۸ | ۲۱ | وزن مخصوص خاک (kN/m ³) (γ) |
| ۱۵ | ۲۵ | چسبندگی خاک (kN/m ²) C |

هدف برنامه ژنتیک در این تحقیق، بدست آوردن ورودی‌ها در محدوده دامنه جدول بالا به طوری که ضریب اطمینان ۱ و همچنین بهینه‌ترین حجم عملیات خاکی سد با این ضریب اطمینان حاصل گردد و در پایان برای اطمینان از برنامه‌های نوشته شده، نتایج آن را در برنامه PLAXIS آزمایش می‌شود.

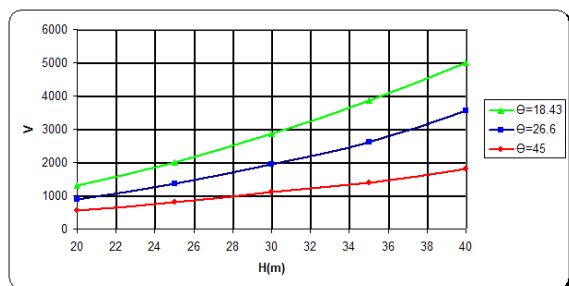
۴- بدست آوردن حداقل ضریب اطمینان پایداری سد خاکی

ابتدا قسمت اول که همان بدست آوردن حداقل ضریب اطمینان پایداری سد خاکی می‌باشد را بررسی می‌شود. لازم به ذکر می‌باشد در هر بار اجرای برنامه ژنتیک، ضریب اطمینان مورد نظر ۱ خواهد شد با این تفاوت که ورودی‌هایی که با این ضریب اطمینان حاصل می‌شود (ارتفاع سد H)، عرض تاج سد (B)، شیب دامنه سد (Θ)، زاویه اصطکاک خاکی (ϕ)، وزن مخصوص خاک (γ) و چسبندگی خاک (C) متفاوت بوده و در محدوده‌های مقادیر جدول ۲ خواهد بود. پس برای هر ضریب اطمینان (FS=1)، بیش از یک جواب صحیح وجود خواهد داشت که می‌توان گفت برای بدست آوردن این ضریب اطمینان مورد نظر، بی‌شمار ورودی حاصل خواهد شد که به علت حجم زیاد آنها، در این مقاله به صورت تصادفی تعدادی از این مقادیر در جدول ۳ آورده شده است.

۵- بهینه کردن حجم عملیات خاکی سد

هدف از ارائه این بخش تعیین پارامترهای تاثیر گذار بر بهینه کردن عملیات خاکی سد می‌باشد. بنابراین در هر قسمت به جز پارامترهای تاثیر گذار سایر پارامترها ثابت در نظر گرفته شده‌اند.

از جداول بالا می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش شیب دامنه سد (Θ) مقادیر حجم بهینه عملیات خاکی کاهش می‌یابد که این تغییرات در ارتفاعات بالاتر بیشتر است، می‌توان این تغییرات را به صورت شکل ۴ نشان داد.



شکل ۴: تغییرات مقادیر حجم بهینه عملیات خاکی سد نسبت به تغییرات ارتفاع و شیب دامنه سد (Θ)

Fig. 4. Changes in the optimal volume of soil operations in the earth's dam compared with the elevation and slope changes of the dam

۷- تغییرات مقادیر حجم بهینه عملیات خاکی سد نسبت به تغییرات ارتفاع و عرض تاج

جدول ۷: حجم عملیات خاکی بهینه حاصل شده از ثابت در نظر گرفتن Φ, γ, C و Θ برای $H=20$ و B متغیر

Table 7. The optimal soil excavation volume obtained from the constant considering Φ, γ, C and Θ for $H = 20$ and B variables

| H(m) | B(m) | Θ | Φ | γ | C | $V m^3$ |
|------|------|----------|--------|----------|----|---------|
| ۲۰ | ۵ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۵۰۰ |
| ۲۰ | ۷ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۷ | ۲۰ | ۵۴۰ |
| ۲۰ | ۱۰ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۷ | ۲۰ | ۶۰۲ |

جدول ۸: حجم عملیات خاکی بهینه حاصل شده از ثابت در نظر گرفتن Φ, γ, C و Θ برای $H=30$ و B متغیر

Table 8. The optimal soil excavation volume obtained from the constant considering Φ, γ, C and Θ for $H = 30$ and B variables

| H(m) | B(m) | Θ | Φ | γ | C | $V m^3$ |
|------|------|----------|--------|----------|----|---------|
| ۳۰ | ۵ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۱۰۵۹ |
| ۳۰ | ۷ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۱۱۱۲ |
| ۳۰ | ۱۰ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۱۲۰۳ |

۶- تغییرات مقادیر حجم بهینه عملیات خاکی سد نسبت به تغییرات ارتفاع و شیب دامنه سد (Θ)

جدول ۴: حجم عملیات خاکی بهینه حاصل شده از ثابت در نظر گرفتن Φ, γ, C و B برای $\Theta=18.43$ و H متغیر

Table 4. The optimal soil excavation volume obtained from the constant considering Φ, γ, C and B for $\Theta = 18.43$ and H variables

| H(m) | B(m) | Θ | Φ | γ | C | $V m^3$ |
|------|------|----------|--------|----------|----|---------|
| ۲۰ | ۵ | ۱۸/۴۳ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۱۳۰۰ |
| ۲۵ | ۵ | ۱۸/۴۳ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۲۰۰۰ |
| ۳۰ | ۵ | ۱۸/۴۳ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۲۸۵۲ |
| ۳۵ | ۵ | ۱۸/۴۳ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۳۸۵۱ |
| ۴۰ | ۵ | ۱۸/۴۳ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۵۰۰۵ |

جدول ۵: حجم عملیات خاکی بهینه حاصل شده از ثابت در نظر گرفتن Φ, γ, C و B برای $\Theta=26.6$ و H متغیر

Table 5. The optimal soil excavation volume obtained from the constant considering Φ, γ, C and B for $\Theta = 26.6$ and H variables

| H(m) | B(m) | Θ | Φ | γ | C | $V m^3$ |
|------|------|----------|--------|----------|----|---------|
| ۲۰ | ۵ | ۲۶/۶ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۸۹۸ |
| ۲۵ | ۵ | ۲۶/۶ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۱۳۷۳ |
| ۳۰ | ۵ | ۲۶/۶ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۱۹۴۷ |
| ۳۵ | ۵ | ۲۶/۶ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۲۶۲۱ |
| ۴۰ | ۵ | ۲۶/۶ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۳۳۹۶ |

جدول ۶: حجم عملیات خاکی بهینه حاصل شده از ثابت در نظر گرفتن Φ, γ, C و B برای $\Theta=45$ و H متغیر

Table 6. The optimal soil excavation volume obtained from the constant considering Φ, γ, C and B for $\Theta = 45$ and H variables

| H(m) | B(m) | Θ | Φ | γ | C | $V m^3$ |
|------|------|----------|--------|----------|----|---------|
| ۲۰ | ۵ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۵۰۰ |
| ۲۵ | ۵ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۷۵۰ |
| ۳۰ | ۵ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۱۰۵۰ |
| ۳۵ | ۵ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۱۴۰۰ |
| ۴۰ | ۵ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۱۸۰۰ |

جدول ۱۱: پیش بینی شبکه عصبی با خطای ۲ درصد برای ضریب پایداری آستانه لغزش

Table 11. Neural network prediction with 2% error for slip threshold stability coefficient

| H(m) | B(m) | Θ | Φ | g | C | FS |
|------|------|----------|--------|----|----|------|
| ۴۰ | ۵ | ۱۸/۴۳ | ۲۰ | ۱۷ | ۲۵ | ۱/۰۲ |
| ۲۰ | ۱۰ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۹ | ۲۵ | ۱/۰۲ |
| ۲۰ | ۱۰ | ۲۶/۶ | ۲۰ | ۲۱ | ۲۵ | ۱/۰۲ |
| ۲۰ | ۵ | ۴۵ | ۲۷ | ۱۷ | ۱۵ | ۱/۰۲ |
| ۲۰ | ۱۰ | ۴۵ | ۲۷ | ۲۱ | ۲۵ | ۱/۰۲ |

جدول ۱۲: ترکیب شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک برای استخراج ورودی‌های سد خاکی با تامین ضریب پایداری آستانه لغزش

Table 12. Neural network composition and genetic algorithm for extraction of earth dam inputs by providing slip threshold stability coefficient

| H(m) | B(m) | Θ | Φ | g | C | FS |
|------|------|----------|--------|----|----|----|
| ۲۹ | ۶ | ۴۲ | ۲۷ | ۱۹ | ۱۸ | ۱ |
| ۳۳ | ۸ | ۴۳ | ۲۴ | ۱۸ | ۱۷ | ۱ |
| ۴۰ | ۶ | ۴۳ | ۲۷ | ۱۸ | ۱۹ | ۱ |
| ۳۹ | ۱۰ | ۴۱ | ۲۵ | ۱۷ | ۱۵ | ۱ |
| ۳۲ | ۷ | ۴۱ | ۲۱ | ۲۰ | ۲۰ | ۱ |

جدول ۱۳: مراجعه مجدد به برنامه PLAXIS جهت صحت سنجی جدول شماره ۱۲

Table 13. Revising the Plaxis Program for Verifying Table 12

| H(m) | B(m) | Θ | Φ | γ | C | FS |
|------|------|----------|--------|----------|----|-------|
| ۲۹ | ۶ | ۴۲ | ۲۷ | ۱۹ | ۱۸ | ۱/۰۲ |
| ۳۳ | ۸ | ۴۳ | ۲۴ | ۱۸ | ۱۷ | ۱/۰۱۱ |
| ۴۰ | ۶ | ۴۳ | ۲۷ | ۱۸ | ۱۹ | ۱/۰۲۲ |
| ۳۹ | ۱۰ | ۴۱ | ۲۵ | ۱۷ | ۱۵ | ۱/۰۱۹ |
| ۳۲ | ۷ | ۴۱ | ۲۱ | ۲۰ | ۲۰ | ۱/۰۲۳ |

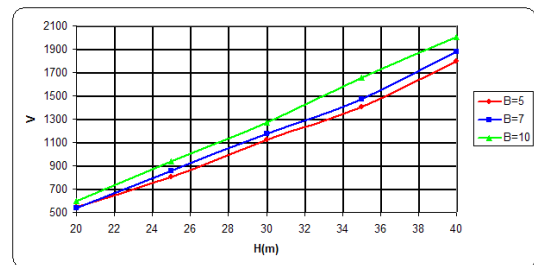
در جدول شماره ۱۳ مشاهده خواهد شد که با مراجعه مجدد به برنامه PLAXIS، مدل‌های جدید ایجاد شده دارای ضریب اطمینان آستانه لغزش با خطای ۲ درصد خواهد بود.

جدول ۹: حجم عملیات خاکی بهینه حاصل شده از ثابت در نظر گرفتن C، γ ، Φ و Θ برای H=40 و B متغیر

Table 9. The optimal soil excavation volume obtained from the constant considering Φ , γ , C and Θ for H = 40 and B variables

| H(m) | B(m) | Θ | Φ | γ | C | V m ³ |
|------|------|----------|--------|----------|----|------------------|
| ۴۰ | ۵ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۱۸۰۰ |
| ۴۰ | ۷ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۱۸۸۰ |
| ۴۰ | ۱۰ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۲۰۰۰ |

از جداول بالا می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش عرض تاج سد B(m) مقادیر حجم بهینه عملیات خاکی کاهش می‌یابد که این تغییرات در ارتفاعات بالاتر بیشتر است، می‌توان این تغییرات را به صورت شکل ۵ نشان داد.



شکل ۵: تغییرات مقادیر حجم بهینه عملیات خاکی نسبت به تغییرات ارتفاع و عرض تاج

Fig. 5. Changes in optimal volume of soil operations relative to elevation and crown elevation

۸- مقایسه نتایج حاصل شده از اجرای برنامه PLAXIS، برنامه شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک برای حالت ضریب پایداری آستانه لغزش

جدول ۱۰: مدل سازی اولیه PLAXIS برای ضریب پایداری آستانه لغزش

Table 10. Plaxis initial modeling for slip threshold stability coefficient

| H(m) | B(m) | Θ | Φ | g | C | FS |
|------|------|----------|--------|----|----|----|
| ۳۰ | ۵ | ۴۵ | ۲۷ | ۲۱ | ۲۵ | ۱ |
| ۳۰ | ۵ | ۴۵ | ۲۷ | ۱۹ | ۲۰ | ۱ |
| ۴۰ | ۵ | ۴۵ | ۳۵ | ۲۱ | ۲۰ | ۱ |
| ۲۰ | ۵ | ۴۵ | ۲۷ | ۱۹ | ۱۵ | ۱ |
| ۲۰ | ۵ | ۴۵ | ۲۰ | ۱۹ | ۲۰ | ۱ |

۹- نتیجه‌گیری

- [4] T.Jones. Artificial intelligence application programming. Hingham (MA): Charles River Media; (2003).
- [5] F.Glover, M.Laguna. Tabu search. Boston: Kluwer Academic Publishers; (1997).
- [6] V.Yepes, J.Medina. Economic heuristic optimization for heterogeneous fleet VRPHESTW. ASCE Journal of Transportation Engineering, 132(4) (2006) 303-311.
- [7] J.Holland. Adaptation in natural and artificial systems. Ann Arbor:University of Michigan Press; (1975).
- [8] D.Goldberg. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Addison- Wesley; (1989).
- [9] W.Jenkins. Plane frame optimum design environment based on genetic algorithm. ASCE Journal of Structural Engineering, 118(11) (1992) 3103-3112.
- [10] F .Gonzalez, V.Yepes, J.Alcala, M .Carrera, C .Perea. Simulated annealing optimization of walls, portal and box reinforced concrete road structures. In: Proceedings of the ninth international conference on computer aided optimum design in engineering. 80(2)(2005) 175-186.
- [11] C.Perea, I.Paya, V.Yepes, F.Gonzalez. Heuristic optimization of reinforced concrete road bridges and frames. In: Proceedings second FIB congress. 39(8) (2006) 676-688.
- [12] C.Perea, V.Yepes, J.Alcala, A.Hospitaler, F.Gonzalez-Vidosa. Heuristic optimization of reinforced concrete road bridge frames. In: Proceedings of the eighth conference on computational structures technology. (2006).
- [13] I.Paya, V.Yepes, J.Clemente, F.Gonzalez-Vidosa. Heuristic optimization of reinforced concrete building frames. Revista Internacional de Methods Num´ericos para C´alculo y Dise˜no Ingenieria. 22(3) (2006) 241-59 (in Spanish).
- [14] I.Raeisizadeh. Application of Neural Networks and Genetic Algorithms in Determination of Stability Factor and Optimization of Soil Dam Diversion Volume, Master's Thesis, Arak Azad University.(2009)(in Persian)
۱. در این تحقیق سعی شد که جداول و نمودارهایی برای بدست آوردن ضریب اطمینان و بهینه کردن حجم عملیات خاکی سد ارائه شود تا مهندسان و کاربران بتوانند بدون مراجعه به برنامه ضریب اطمینان و ابعاد بهینه سد را بدست آورند.
۲. با توجه به جداول و نمودارهای ارائه شده، ملاحظه می‌شود که پارامترهایی مانند: ارتفاع سد و عرض تاج سد و شیب دامنه سد بیشترین تاثیر را در بهینه کردن حجم عملیات خاکی سد را دارند.
۳. نتایج بدست آمده از شبکه عصبی با نتایج بدست آمده از PLAXIS مقایسه شدند و حداکثر خطا حدود ۲٪ بدست آمد.
۴. می‌توان گفت شبکه عصبی قابلیت تعیین ضریب پایداری شیروانی برای سد خاکی را داراست و می‌تواند با خطای بسیار کمی ضریب پایداری را برای مجموعه‌ای از شیب‌ها بدست آورد.
۵. با توجه به بزرگ بودن ضریب اطمینان در تعیین ضریب اطمینان پایداری شیروانی و تقریبی بودن روش‌های کلاسیک تعیین ضریب اطمینان پایداری شیروانی، می‌توان گفت که شبکه‌های عصبی دقت قابل قبول و بسیار خوبی دارند.
۶. در پایان می‌توان گفت الگوریتم ژنتیک برنامه‌ای قابل قبول جهت تعیین حداقل ضریب پایداری که همان آستانه لغزش FS=1 است، می‌باشد و قابلیت مناسب در تعیین بهینه‌ترین حجم عملیات خاکی سد را دارا می‌باشد.

مراجع

- [1] Hernandez S, Fontan A. Practical applications of designS. Hernandez, A.Fontan. Practical applications of design optimization. Southampton (UK): WIT Press; (2002).
- [2] R .Fletcher.Practical methods of optimization. Chichester: Wiley; (2001).
- [3] A .Saribas, F.Erbatur.Optimization and sensitivity of retaining structures. ASCE Journal of Geotechnical Engineering, 122(8)(1996) 649-656.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

H.R. Saba, M. Kamalian, I. Raeisizadeh, Determining impending slip of slop and optimized embankment operation volume of earth dams using a combination of neural networks and genetic algorithms (GA), *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(4) (2018) 747-754.

DOI: 10.22060/ceej.2017.11051.4965



