

بهینه یابی شیروانی های خاکی غیر اشباع با استفاده از الگوریتم جامعه

پرندگان

فرزانه ارشادی^۱، محمدحسین باقری پور^۲

Optimization of sliding surface in unsaturated soils using "Particle Swarm Optimization"

Farzane Ershadi, Mohamadhosein Bagheripour,

Email:Er.fa_1668@yahoo.com

چکیده

بررسی مسائل مکانیک خاک برای سازه های واقع بر سطح زمین از ضروریات مهندسی عمران میباشد و بسیاری از زمین ها دارای خاک غیر اشباع میباشد، بنابراین برای تحلیل رفتار این خاکها فرضیات مکانیک خاک غیر اشباع مورد استفاده قرار میگیرد. از انجاییکه احداث خاکریزها در حین ساخت غیر اشباع است بررسی خواص این نوع خاک حائز اهمیت است. خاکهای غیر اشباع از لحاظ دانسیته، درصد رطوبت، فشارهای منفذی و مقاومت برشی با خاکهای خشک و اشباع متمایز هستند لذا در طراحی ها باید این موارد در نظر گرفته شوند. در این مقاله به بررسی پایداری شیروانیهای خاکی غیر اشباع پرداخته شده است و در این راستا از روش قطعی بیشاپ جهت تعیین پایداری و از روش بهینه یابی الگوریتم جامعه پرندگان برای تعیین بحرانی ترین حالت پایداری استفاده شده است. و بر اساس شکل هندسی شیروانی و مشخصات مکانیکی خاک آن، نسبت به مدلسازی و تحلیل در محیط برنامه نویسی متلب اقدام گردید. از نتایج خروجی حاصل از تحلیل، میتوان گفت مقاومت برشی و در نتیجه ضریب اطمینان شیروانیهای خاکی غیر اشباع بیش از حالت اشباع میباشد، البته پارامترهایی مانند نوع خاک و ساختار آن، سرعت ساخت و درصد اشباع نیز در تحلیل مهم میباشد.

کلمات کلیدی

مکانیک خاک غیر اشباع، شیروانی خاکی، بهینه یابی، الگوریتم جامعه پرندگان

۱. مقدمه

یکی از مباحث مهم در مهندسی ژئوتکنیک تحلیل پایداری شیروانیهای خاکی میباشد. از دلایل اهمیت تحلیل شیروانیهای خاکی خسارات مالی و جانی زیاد ناشی از خرابی آنها میباشد، از طرف دیگر هزینه های ساخت شیروانیهای خاکی نظیر سدها بسیار بالاست و با یک تحلیل دقیق تر میتوان هزینه ها را به طور چشمگیری کاهش داد. پایداری شیروانیهای خاکی متاثر از عوامل مختلفی از جمله خصوصیات زمین شناسی، هیدرولوژیکی، توپوگرافی، هندسه و مصالح میباشد و برای یک ارزیابی کامل لازم است کلیه این عوامل مدنظر قرار گیرد. روشهای قطعی مختلفی از جمله روش قطعه، بیشاپ، بیشاپ اصلاح شده، اسپنسر و غیره [۱] جهت تعیین پایداری شیروانیها مورد استفاده قرار میگیرد اما امروزه با پیچیده شدن مسائل مهندسی و اهمیت یافتن جوابهای بهینه در مدت زمان کوتاهتر و

^۱ دانشجو کارشناسی ارشد مکانیک خاک پی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

^۲ دانشیار بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان

عدم پاسخگویی روشهای کلاسیک ضرورت استفاده از روشهای بهینه یابی را برای محققین چندان نموده است. به همین دلیل در سالهای اخیر استفاده از الگوریتم جستجوی شهودی مانند الگوریتم وراثتی، الگوریتم کلونی مورچه ها و الگوریتم جامعه پرندگان و غیره رشد چشمگیری داشته است [۴]. در این تحقیق از روش قطعی بیشاپ جهت تعیین ضریب اطمینان و از الگوریتم جامعه پرندگان برای بهینه یابی صحیح لغزش بحرانی استفاده شده است. از موارد جدید بحث شده در رابطه با تحلیل پایداری شیروانیها، بررسی شیروانیهای خاکی غیراشباع است. با توجه به اینکه پوشش خاکی سطح زمین غالباً غیراشباع میباشد لذا بررسی خواص این نوع از خاک ضروری است. از مهمترین عوامل دخیل در خاکهای غیراشباع تغییرات فشار آب حفره ای منفی، ماتریس مکش و مقاومت برشی میباشد [۳] که مقادیر آنها در پایداری شیروانی تاثیر گذار است و در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. مقاومت برشی خاکهای غیراشباع

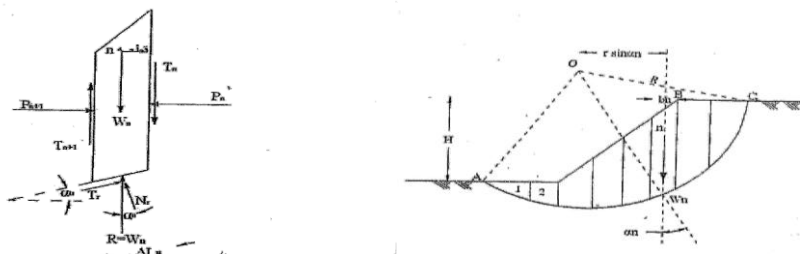
از آنجا که بررسی شیروانیهای خاکی غیراشباع به مقاومت برشی خاک مربوط میگردد لذا به طور خلاصه به نحوه محاسبه این پارامتر در حالت غیراشباع پرداخته میشود. شکل تعمیم یافته رابطه مقاومت برشی در حوزه مکانیک خاک غیراشباع به صورت زیر است.

$$\tau = c + (\sigma - u_a)Tg\phi + (u_a - u_w)Tg\phi^b \quad (1)$$

در این رابطه: چسبندگی موثر، u_a : فشار هوای حفره ای، u_w : فشار آب حفره ای، ϕ : زاویه اصطکاک داخلی خاک، ϕ^b : زاویه نشان دهنده نرخ افزایش مقاومت برشی خاک غیراشباع نسبت به ماتریس مکش در حالت گسیختگی، $(\sigma - u_a)$: تنش نرمال خالص در حالت گسیختگی، $(u_a - u_w)$: ماتریس مکش در حالت گسیختگی میباشد. رابطه (۱) توسط فردلند و همکارانش (۱۹۹۳) ارائه شده است که در آن تغییرات مقاومت برشی خاک غیراشباع بر حسب دو متغیر مستقل تنش نرمال خالص و ماتریس مکش بیان گردیده است. واضح است که اگر خاک از حالت غیراشباع به حالت اشباع در آید مقدار u_a به سمت u_w میل کرده و ماتریس مکش برابر صفر میگردد و لذا جمله آخر از طرف راست رابطه حذف شده و رابطه (۱) برای حالت اشباع به دست میاید [۳]

۳. بررسی پایداری شیروانیهای خاکی اشباع و غیراشباع

در این مقاله برای محاسبه ضریب اطمینان پایداری در برابر لغزش از روش بیشاپ اصلاح شده (۱۹۹۵) استفاده شده است. وی در اصلاحیه ای که بر روی روش معمولی قطعه انجام داد تا حدودی نیروی وارد بر سطوح جانبی قطعات را در نظر گرفت. در این روش توده خاک به تعدادی قطعه قائم تقسیم میشود که در شکل (۱) نمای کلی نیروهای وارد بر قطعه n ام نمایش داده شده است. [۶]



شکل ۱- نمای کلی و نیروهای موثر بر قطعه n در روش بیشاپ اصلاح شده

با توجه به شکل (۱) و در نظر گرفتن نیروهای وارد بر قطعه n ضریب اطمینان در حالت غیراشباع به صورت زیر به دست می آید.

$$F.S = \frac{\sum (c.b_n + (\sigma - u_a) Tg\phi + (u_a - u_w) Tg\phi^b) / m\alpha_n}{\sum (w_n \cdot \sin\alpha_n)} \quad (2)$$

که در آن c : چسبندگی، b_n : عرض قطعه، w_n : وزن قطعه، ϕ : زاویه اصطکاک داخلی خاک، ϕ^b : زاویه نشان دهنده نرخ افزایش مقاومت برشی، α_n : زاویه شیب شیروانی، $(u_a - u_w)$: ماتریس مکش، $(\sigma - u_a)$: تنش نرمال خالص میباشدند. این رابطه در حالت اشباع به شکل زیر است.

$$F.S = \frac{\sum (c.b_n + (w_n - u_n.b_n) Tg\phi) / m\alpha_n}{\sum (w_n \cdot \sin\alpha_n)} \quad (3)$$

در این رابطه فشار اب حفره ای متوسط در قاعده n ام میباشد. در روابط (۳ و ۲) $m\alpha_n$ برابر است با:

$$m\alpha_n = \cos\alpha_n \left(1 + \frac{Tg\alpha_n Tg\phi}{F.S} \right) \quad (4)$$

۱.۴ الگوریتم جامعه پرندگان

الگوریتم بهینه سازی جامعه پرندگان (PSO) یک تکنیک بهینه یابی مبتنی بر قوانین احتمال است [۵]. امروزه این الگوریتم در بسیاری از مسائل مهندسی و علوم پایه کاربرد دارد. الگوریتم جامعه پرندگان جهت بهینه سازی تابع هدف، با یک گروه از جوابهای تصادفی (ذرات) شروع به کار میکند سپس برای یافتن جواب بهینه در فضای مساله با به روز کردن نسلها به جستجو میپردازد. هر ذره بسته به طبیعت مساله چند بعدی است و با دو مقدار V_{id} و X_{id} تعریف میشوند که به ترتیب معرف وضعیت مکانی و سرعت ذره d ام از i امین ذره میباشدند. در هر مرحله از حرکت ذرات، هر ذره با دو مقدار بهترین به روز میگردد [۴]. اولین مقدار، بهترین جواب از لحاظ شایستگی است که تا کنون برای هر ذره به دست آمده است و p_best نامیده میشود. دومین مقدار، بهترین جواب از لحاظ شایستگی است که تا کنون توسط ذرات به دست آمده است، g_best نام دارد. پس از یافتن در مقدار p_best و g_best هر ذره سرعت و مکان جدید خود را طبق روابط زیر به روز میکند

$$V_{id}(t+1) = w.V_{id}(t) + C_1 \cdot \text{rand} \cdot (p_best - X_{id}) + C_2 \cdot \text{rand} \cdot (g_best - X_{id}) \quad (5)$$

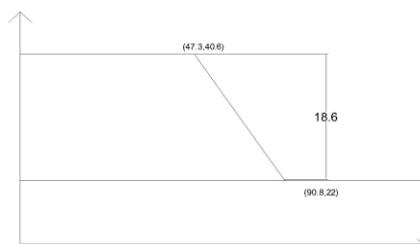
$$X_{id}(t+1) = X_{id}(t) + V_{id}(t+1) \quad (6)$$

در روابط بالا w وزن اینرسی در بازه $(0.5 - 1.0)$ ، C_1 و C_2 عوامل یادگیری (ضرائب شتاب نیز گفته میشود) در بازه $(1 - 2/5)$ و rand یک عدد تصادفی در بازه $(0 - 1)$ است [۲]. با دو رابطه بالا ذرات به سمت جواب بهینه هدایت میشوند.

۵. روش تحقیق و برآورد سطح لغزش بحرانی به کمک نرم افزار MATLAB

برنامه کامپیوتری تهیه شده در محیط نرم افزار MATLAB نوشته شده است. در این برنامه برای محاسبه ضریب اطمینان پایداری شیروانی در برابر لغزش از روش بیشاپ اصلاح شده و جهت بهینه یابی سطح لغزش از الگوریتم PSO استفاده شده است. در این برنامه تابع ضریب اطمینان به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. هدف این مقاله جستجوی کمترین ضریب اطمینان یا به عبارتی یافتن محتمل ترین سطح لغزش در شیروانیهای خاکی غیراشباع میباشد. برای تحلیل شیروانیها متغیرهای برنامه شامل مختصات مرکز دایره لغزش (X_0, Y_0) و نقطه شروع دایره لغزش در بالای شیب شیروانی میباشد. با توجه به تمهیداتی که در این برنامه به کار گرفته شده است کاربرد به راحتی میتواند اطلاعات ورودی مورد نیاز مساله را وارد نماید که این اطلاعات شامل پارامترهای PSO و مشخصات مکانیکی خاک شیروانی میباشد.

مثال ۵-۱: در این مقاله به تحلیل شیروانی خاکی ناهمگن به ارتفاع ۱۸/۶ متر واقع در سد Brich در اوکلاهای امریکا پرداخته شده است. در شکل (۲) شیروانی مورد نظر نشان داده شده است.



شکل ۲- شیروانی خاکی ناهمگن

این شیروانی از آن جهت حائز اهمیت است که مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است و به روشهای مختلف تحلیل شده است. مشخصات خاک شیروانی مورد نظر در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات مکانیکی خاک شیروانی ناهمگن

پارامترهای PSO		مشخصات خاک				
w	$C_1=C_2$	Φ^b (deg)	Φ (deg)	C(kN/m ²)	γ (kN/m ³)	
0.1	0.5	25	31	49	20	خاک لایه ۱
0.1	0.5	0	0	49	20	خاک لایه ۲

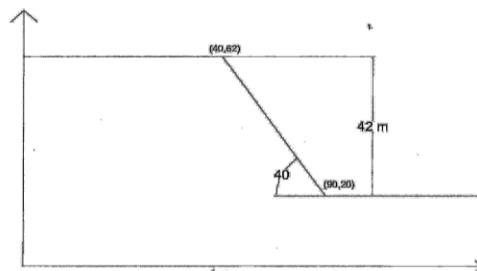
نتایج تحلیل شیروانی در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲- مقایسه نتایج تحلیل شیروانی ناهمگن

نام محقق	روش بهینه سازی	ضریب اطمینان سطح لغزش دایره ای	ضریب اطمینان سطح لغزش غیردایره ای	ملاحظات
Celestino & Duncan	تغییر مکان محلی	1.121	1.31	-
Nguyen	بازتاب سیمپلکس	1.117	-	-
Malkawi	مونت کارلو	1.05	-	-
نوبخت و کیلی	الگوریتم ژنتیک	-	0.945	-
شاهسوندی	الگوریتم ژنتیک	1.023	-	-
نظری رباطی	الگوریتم ژنتیک	0.966	-	خاک اشباع
نظری رباطی	الگوریتم ژنتیک	1.02	-	خاک غیراشباع
تحقیق حاضر	الگوریتم PSO	1.43	-	خاک غیراشباع

با توجه به جدول شماره (۲) ملاحظه میشود که ضریب اطمینان در حالت غیراشباع بیشتر از حالت اشباع است و الگوریتم PSO جواب دقیق تری نسبت به الگوریتم ژنتیک داده است. اگر در طراحی‌ها وضعیت خاک، غیراشباع در نظر گرفته شود نتایج بهتر و ایمن تری به دست خواهد آمد.

مثال ۵-۲: محل قرا گیری تراز آب زیرزمینی از پارامترهای موثر در پایداری شیروانی میباشد. برای بررسی دقیق تر این موضوع و مقایسه دو حالت اشباع و غیراشباع به بررسی شیروانی همگن با ارتفاع ۴۲ متر پرداخته شده است که در شکل (۳) نشان داده شده است.



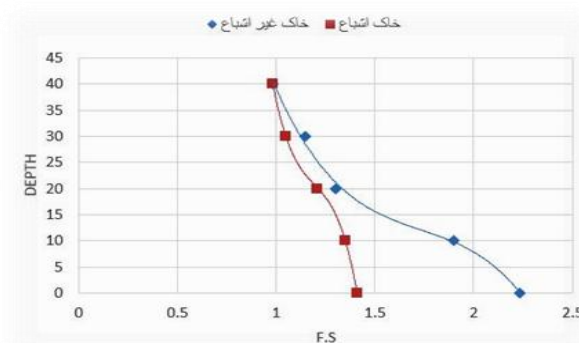
شکل ۳- شیروانی خاکی ناهمگن

مشخصات مکانیکی خاک شیروانی مورد نظر در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳- مشخصات مکانیکی خاک شیروانی ناهمگن

پارامترهای PSO		مشخصات خاک			
w	C ₁ =C ₂	Φ ^b (deg)	Φ(deg)	C(kN/m ²)	γ (kN/m ³)
0.1	0.5	12	24	19	22

شیروانی خاکی نشان داده شده در شکل (۳) تحت ترازهای مختلف آب زیرزمینی در دو حالت اشباع و غیراشباع مورد بررسی قرار گرفته و به دفعات اجرا شده است. نتایج در شکل (۴) نمایش داده شده است.



شکل ۴- تغییرات ضریب اطمینان در برابر ترازهای مختلف آب زیرزمینی در حالت اشباع و غیراشباع با توجه به شکل (۴) در ترازهای بالای آب زیرزمینی مقادیر ضریب اطمینان در حالت اشباع و غیراشباع بهم نزدیک میباشند. مطلب مهم دیگر که در این شکل قابل مشاهده است کاهش مقدار ضریب اطمینان با افزایش تراز آب زیرزمینی در هر دو حالت اشباع و غیراشباع است که این میزان کاهش در حالت غیراشباع بیشتر است. بنابراین نتیجه میشود که تعیین دقیق تراز آب زیرزمینی برای داشتن مقدار صحیح پایداری شیروانی ضروری است زیرا با تغییر اندک میزان تراز آب زیرزمینی، پایداری و ضریب اطمینان شیروانی تغییر میکند.

۶. نتیجه گیری

۱. در بررسی پایداری شیروانیهای خاکی اشباع و غیراشباع تابع هدف، ضریب اطمینان است که با استفاده از آن سطح لغزش شیروانی که باعث به وجود آمدن کمترین ضریب اطمینان میشود، به دست می آید.
۲. در این مقاله از روش الگوریتم جامعه پرندگان که یک روش بهینه یابی با تعداد سعی و خطای کم و دور از بهینه محلی میباشد استفاده گردید. با انتخاب صحیح پارامترهای لغزش شیروانی خاکی و پارامترهای الگوریتم جامعه پرندگان، سطح لغزش شیروانیهای خاکی اشباع و غیراشباع را میتوان به شکل مناسب و با دقت قابل قبولی بررسی کرد.
۳. وجود فشار هوای حفره ای و ماتریس مکش در خاک غیراشباع باعث افزایش میزان مقاومت برشی و در نتیجه ضریب اطمینان پایداری شیروانی خاکی غیراشباع بیش از حالت اشباع گردد.
۴. وجود آب زیرزمینی در هر دو حالت خاک اشباع و غیراشباع باعث کاهش ضریب اطمینان میگردد. با افزایش سطح تراز آب زیرزمینی ضریب اطمینان در هر دو حالت کم میشود اما شدت کاهش در وضعیت غیراشباع نسبت به وضعیت اشباع بیشتر است.
۵. در نظر گرفتن خاک غیراشباع نتایج دقیق تری را در برمیگیرد و به طراح برای طراحی بهینه و ضریب اطمینان دقیق تر کمک میکند.



۷. منابع و مراجع

۱. براجا، ام. داس. (۱۳۷۷)، "اصول مهندسی ژئوتکنیک"، جلد اول، ترجمه و تدوین شاپور طاحونی، موسسه انتشارات پارس آئین.
۲. جوادزاده، ع. (۱۳۸۷)، "بهینه‌یابی سطح لغزش بحرانی شیروانیهای خاکی به روش جامعه پرندگان (PSO)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
3. Fredlund, D.G. and Rahardjo, M. (1993), "Soil mechanics of unsaturated soils," John Wiley & Sons (pub).
4. Denetale, J.S. (1991), "Rapid identification of critical slip surface structure," *J. Geotech. Eng.*, Vol. 117, No. 10, pp. 1568-1569.
5. Hu, X. and Shi, Y. and Eberhart, R. (2004), "Recent advanced in particle swarm optimization," *IEEE, CEC 2004, Congress of evolutionary computation*, Vol. 1, pp. 19-23.
6. Bishop, A.W. (1995), "The use of the slip circle in stability analysis of earth slopes," *J. Geotechnic. Eng.*, London, Vol. 5, No. 1, pp. 7-17.