



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره ۴۷، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۴، صفحه ۵۳ تا ۶۰

Vol. 47, No. 3, Winter 2015, pp. 53-60



نشریه علمی پژوهشی امیرکبیر - مهندسی عمران و محیط زیست

AmirKabir Journal of Science & Research
Civil and Environmental Engineering
(ASJR-CEE)

استفاده از الگوریتم ژنتیک در طراحی طول مسلح کننده‌های شیروانی های خاکی مسلح

علی سنائی راد^{۱*}، مهدی جلالوندی^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اراک

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک

(دریافت: ۱۳۹۲/۶/۳۱ پذیرش: ۱۳۹۴/۹/۲۸)

چکیده

دو عامل موثر در تعیین طول مسلح کننده‌ها در شیروانی های مسلح، یکی تخمین طول تسمه در بخش واقع در محدوده فعال تا محل سطح لغزش و دیگری طول تسمه در بخش واقع شده در خارج از محدوده گسیختگی است. معمولاً تعیین سطح لغزش براساس روش رانکین می باشد و این در حالی است که تاثیر وجود مسلح کننده ها در تعیین سطح لغزش غیرقابل انکار است و نیاز به بازنگری دارد. به منظور تعیین محل سطح گسیختگی و طراحی طول مسلح کننده‌ها در شیروانی های خاکی مسلح از روش قطعات افقی با فرضیات اسپنسر استفاده شده است. در این روش توده خاک لغزیده و مسلح کننده به قطعات افقی به موازات مسلح کننده‌ها تقسیم می‌شود و نیروهای قطعه‌ای و بین قطعه‌ای وارد بر این قطعات تعیین و برای طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اثرات نیروی زلزله به صورت ضرایب شبه استاتیکی افقی و عمودی بر هر قطعه وارد می‌شوند. در این مقاله از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک (GA) به منظور تولید سطح لغزش غیر دایره‌ای شیروانی خاک مسلح با ضریب اطمینان یک استفاده شده است. از مقایسه نتایج حاصل از بهینه سازی الگوریتم ژنتیک با نتایج سایر محققین به وضوح مشاهده می‌شود که برای شیروانی های با خصوصیات هندسی، بارگذاری و مشخصات ژئوتکنیکی مشابه روش مورد استفاده در این مقاله نتایج بحرانی‌تری را بدست می‌آورد بنابراین طراحی طول مسلح کننده‌ها با روش ارائه شده قابل اطمینان‌تر است.

کلمات کلیدی:

شیروانی خاکی مسلح، بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک، سطح لغزش غیر دایره‌ای، شبه دینامیکی

۱- مقدمه

نوشته می شود. در این تحقیق تلاش شده است که حل معادلات تعادل برای محتمل ترین سطح لغزش توسط الگوریتم ژنتیک حل شود و سطح لغزش هر قطعه برای کمترین ضریب اطمینان برای سطح لغزش محتمل شناسائی شود. تولید سطح لغزش در هر قطعه افقی به روش چنگ [۹] می باشد. گرچه برای تعیین سطح لغزش بحرانی می توان از روش های متعددی علاوه بر روش، الگوریتم ژنتیک، از قبیل روش مونت کارلو، روش بهینه سازی حرکت گروهی ذرات و بسیاری از الگوریتم های بهینه سازی فرا اکتشافی دیگر نیز استفاده نمود.

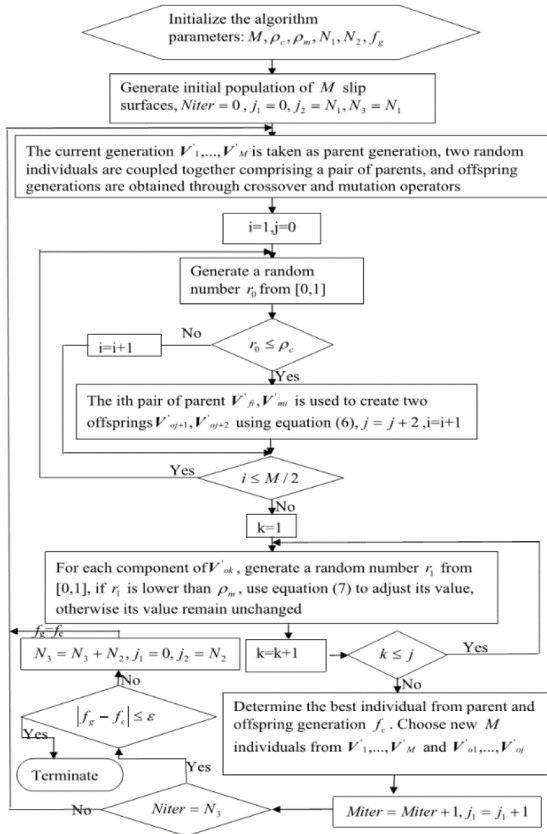
در این مقاله، بر خلاف روش های مورد استفاده توسط سایر محققین تعیین سطح لغزش و محاسبات مربوط به مسلح کننده ها بصورت همزمان انجام می گیرد. بدین منظور پس از تقسیم بندی شیروانی خاکی به تعدادی قطعات افقی، نیروهای داخلی و خارجی وارد بر هر قطعه شامل نیروی وزن، نیروهای افقی و عمودی زلزله، نیروهای بین قطعه ای و همچنین نیروی مسلح کننده نوشته می شوند. از تعادل در دو راستای عمود بر هم و ارضای تعادل لنگر تمام نیروهای وارد بر مجموع قطعات حول یک نقطه فرضی و با استفاده از الگوریتم ژنتیک سطح لغزش بهینه شناسائی و طول تسمه ها طراحی و محاسبه می شوند.

۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک به وسیله هلند [۱۰] توسعه یافت. در این الگوریتم رویکرد بهینه سازی بر پایه مفاهیم ژنتیک و تولید مثل طبیعی و سیر تکامل آفریده های زنده است که یک جواب بهینه از طریق یک سری از نسل ها استنتاج می شود. هر نسل شامل تعدادی از جواب های ممکن منحصر بفرد (ها) برای مسئله می باشد که به وسیله رمزگذاری تعریف می شود. بر اساس میزان تطبیق و ارضای قیود و ضوابط، میزان سازگاری هر فرد در میان نسل خود محاسبه می شود و در بازتولید نسل بعدی مشارکت می کند. الگوریتم با یک جمعیت اولیه با M فرد یا ژن شروع می شود و ژنهای اولیه مطلوب که از طریق میزان ارضای تابع هدف و قیود شناسائی می شوند، مجموعه این ژنهای مطلوب جامعه اولیه والدین را برای تشکیل نسل بعدی تشکیل می دهند و نسل والدین بعدی نیز به وسیله زاد و ولد با استفاده از اپراتورهای تقاطع و جهش تولید می شوند. M فرد بعدی از والدین و نسل های زاد و ولد شده با توجه به مقدار سازگاریشان باز انتخاب می شوند. فلوجارت الگوریتم ژنتیک در شکل ۱ ارائه شده است که در آن ρ_c و ρ_m احتمال تقاطع و جهش الگوریتم هستند. معمولاً مقدار ρ_c از ۰/۸ تا ۰/۹ و متغیر است در حالیکه در محدوده ۰/۰۰۱ تا ۰/۱ است. N_1 تعداد تکرارها در مرحله اول معرفی می شود در حالیکه N_2 مدت زمانی است که در آن معیار خاتمه بدست می آید تعریف می شود. اگر بهترین فرد با مقدار سازگاری f_g بعد از N_2 تکرار بدون تغییر باقی بماند الگوریتم متوقف می شود. N_{iter} متغیر بازگردانی تکرارهای کلی انجام شده به وسیله الگوریتم به حالت اولیه می باشد. J_1 و J_2 برای اجرای اپراتور جهش غیر یکنواخت استفاده می شوند. اپراتورهای تقاطع به وسیله معادله زیر ارائه می شوند.

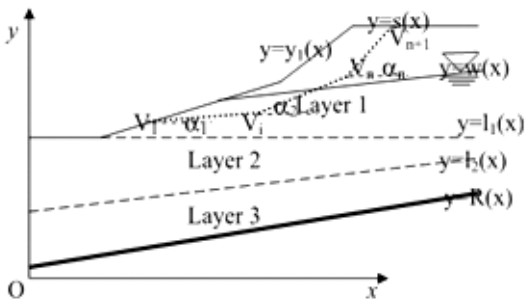
شیروانی های خاکی مسلح از جمله مسائل مهم ژئوتکنیکی هستند که در سال های اخیر به دلیل رفتار مناسب آن ها در حین زلزله توجه ویژه ای را به خود جلب کرده. به همین دلیل روش های متعددی به منظور تحلیل پایداری و همچنین طراحی شیروانی های خاکی تدوین شده است که می توان به روش تعادل حدی و همچنین روش اجزاء محدود اشاره کرد. تحقیقات انجام شده در این زمینه عبارتند از تحقیقات لینگ و همکاران [۴] که از روش تعادل حدی با در نظر گرفتن یکسری حالت های گسیختگی و تعیین بحرانی ترین آنها در هر مورد، حداکثر نیروی لازم برای حفظ پایداری شیب های خاکی مسلح را با استفاده از تئوری تعادل حدی تعیین نمودند. روش تحلیل حدی به روش حد پایین توسط میخالفسکی [۵] معرفی شده است که فرضیات و روند کلی تحلیل و طراحی را شبیه به روش لینگ و همکاران [۴] در نظر گرفته است. روش آنالیز حدی به روش حد پایین که توسط اوسیلیو و همکاران [۶] معرفی شد. این روش نیز تا حد زیادی به دو روش قبلی شبیه است و با در نظر گرفتن چند مکانیسم گسیختگی و تعیین بحرانی ترین آنها به کمک تئوری آنالیز حدی به تحلیل و در نهایت ارائه یک روند طراحی برای این سازه های خاکی پرداخته است. تحلیل شبه استاتیکی بر اساس تئوری تعادل حدی نیز توسط نوری و همکاران [۷] معرفی شد که در این روش محتمل ترین مکانیسم گسیختگی در شیب خاکی مسلح حین زلزله، در نظر گرفته شده و گوه لغزنده به یکسری قطعات افقی به موازات لایه های مسلح کننده تقسیم می شود. به دنبال آن معادلات تعادل نیروهای داخلی و خارجی وارد بر این قطعات و کل گوه گسیختگی نوشته و ارضای می شوند. بر اساس تعداد و نوع معادلات ارضای شده و همچنین فرضیات ساده کننده برای حل دستگاه معادلات، تعدادی فرمول ارائه و با استفاده از روش سعی و خطا، به حل آن پرداخته می شود. روش آنالیز حدی مرز بالا نیز توسط محمدزاده رومیانی و همکاران [۱] ارائه شد. در این روش پایداری شیروانی های خاکی مسلح با زاویه تند با استفاده از روش تحلیل حدی سینماتیکی و به کارگیری مکانیسم گسیختگی متشکل از بلوک های لایه ای مورد بررسی قرار می گیرد. شاهقلی و همکاران نیز [۲] با استفاده از روش شبه استاتیکی، پایداری لرزه ای دیوارهای حایل خاک مسلح را بررسی نمودند و با در نظر گرفتن سطح لغزش لوگ اسپیرال، فرمول بندی کاملی را تدوین کردند.

یکی از مشکلاتی که در روش های بالا باید به آن اشاره کرد اینست که در این روش ها باید قبل از طراحی، سطح لغزش فرض شود که برای تعیین سطح لغزش بحرانی قطعاً حضور تسمه های مسلح کننده تأثیرگذار هستند. با حضور تسمه ها سطح لغزش نمی تواند با توجه به فرضیات رانکین و یا سطح لغزش دایره ای ساده تعیین شود. می توان برای تولید سطح لغزش غیر دایره ای از روش قطعات افقی ارائه شده توسط لینگ و همکاران [۴] با فرضیات اسپنسر [۸] استفاده کرد. به این ترتیب که شیروانی مسطح را به یک سری قطعات افقی تقسیم می شود و برای هر قطعه معادلات تعادل نیروها و لنگر حول یک نقطه دلخواه



شکل ۱: فلوجارت الگوریتم ژنتیک [۱۰]

در این روش با در نظر گرفتن سیستم مختصات کارتزین با مبدأ Oxy که در شکل ۲ نشان داده شده است، تابع $y=y(x)$ نمودار توپوگرافی شیب را توصیف می‌کند، در حالی که خط فریاتیکی با $y=w(x)$ معرفی شده است. سطح سنگ بستر با تابع $y=R(x)$ نمایش داده می‌شود و تابع $y=I_1(x)$ به عنوان نماینده مرز بین خاک‌های مختلف معرفی شده و در نهایت سطح لغزش با استفاده از تابع $y=S(x)$ توصیف می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲: یک سطح لغزش و مقطع عرضی یک شیب [۷]

در روش قطعات افقی توده خاک لغزیده به n قطعه افقی تقسیم می‌شود، بنابراین سطح لغزش را می‌توان به وسیله $n+1$ بردار $[V_1, V_2, \dots, V_{n+1}]$ که هر کدام شامل مختصات $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_{n+1}, y_{n+1})$ می‌باشند نشان داد. بنابراین هر قطعه را می‌توان با دو بردار مجاور معرفی کرد. به طور کلی سطح لغزش بالقوه مقعر به سمت بالا می‌باشد که این فرض برای

$$\begin{cases} v_{0j+1,l} = v_{fi,l} \times r_c + (1.0 - r_c) \times v_{mi,l} \\ v_{0j+2,l} = v_{mi,l} \times r_c + (1.0 - r_c) \times v_{fi,l} \\ l = 1, 2, \dots, n+1 \end{cases} \quad (1)$$

که در آن $v_{0j+1,l}$ متوسط المان l ام بردار V_{0j+1} و $v_{0j+2,l}$ به ترتیب به وسیله معادله (۱) ارائه شده است. به طور مشابه $v_{mi,l}$ و $v_{fi,l}$ المان l ام بردار والدین مادر و پدر V_{mi} و V_{fi} نمایش داده می‌شود و $n+1$ تعداد متغیر کنترل در این مطالعه می‌باشد:

$$\begin{cases} v_{0j+1,l} = v_{0j+1,l} - (v_{0j+1,l} - v_{lmin}) \times (1.0 - j_1 / j_2)^2 \times r_m \\ r_{nd} \leq 0.5 \\ v_{0j+1,l} = v_{0j+1,l} + (v_{lmax} - v_{0j+1,l}) \times (1.0 - j_1 / j_2)^2 \times r_m \\ r_{nd} > 0.5 \end{cases} \quad (2)$$

r_{nd} و r_m اعداد تصادفی در محدوده $0-1$ هستند. v_{lmin} و v_{lmax} مرزهای بالا و پایین متغیر l ام در تابع هدف هستند. ϵ تلوئرانس حل می‌باشد و در این مورد 0.001 نظر گرفته شده است [۱۱]. برای توضیحات بیشتر و کاربرد روش GA در مباحث ژئوتکنیکی مراجعه به منابع [۱۱ و ۳] توصیه می‌شود.

۳- سطح لغزش

برای محاسبات مربوط به مسلح کننده‌ها قبل از هر چیز لازم است که بحرانی‌ترین سطح لغزش در حضور مسلح کننده‌ها را تشخیص داده شود. بنابراین باید سطوح لغزشی را که بیشترین تطابق با واقعیت را دارند تولید شود. بدین منظور و برای سهولت برنامه نویسی باید روند گام به گام برای تولید به کار گرفته شود.

سطح لغزشی که بیشترین تطابق با واقعیت را دارد عمدتاً شکل هندسی خاصی ندارد و برای تولید آن معمولاً از روش تولید سطح لغزش غیر دایره‌ای استفاده می‌شود.

در این مقاله روشی مبنی بر روش ارائه شده توسط چنگ [۹] با در نظر گرفتن فرضیات نوری و همکاران [۷] پیشنهاد شده که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. قطعات، افقی و صلب در نظر گرفته می‌شوند و نیرو شبه استاتیکی زلزله در مرکز جرم هر قطعه وارد می‌شود.

ضریب شتاب افقی زلزله به طرف خارج شیب و ضریب شتاب قائم زلزله به طرف پایین در نظر گرفته شده است. از فشار آب حفره ای صرفنظر شده است. بستر خاک در زیر تراز شیب و به اندازه کافی سخت و متراکم می‌باشد.

۳-۱- تولید سطح لغزش

در این تحقیق برای شیروانی‌های مسلح و بررسی اثر نیروهای مسلح کننده در طح لغزش از روش قطعات افقی استفاده می‌شود بنابراین برای اینکه بتوان سطح لغزش را تولید کرد لازم است که مختصات مربوط به نقاط گوشه‌ای هر کدام از قطعات را محاسبه شوند.

$$x_i = (x_{i\max} - x_{i\min}) \times \sigma_i, i = 2, \dots, n \quad (5)$$

که در رابطه فوق σ_i عددی تصادفی بین ۰ و ۱ است.

نکته دیگری که در بهینه‌سازی در نظر گرفته می‌شود این است که مقدار نیروی مربوط به مسلح کننده T_1 باید قبل از محاسبات فرض شود و از یک روند سعی و خطا که توسط الگوریتم بهینه‌سازی انجام می‌شود برای انجام محاسبات مربوط به آن استفاده شود. بنابراین متغیرهای کنترلی مربوط به بهینه‌سازی بصورت:

$$V = (x_1, \gamma, \alpha_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{n-2}, T_1)$$

خواهند بود و تابع هدف بصورت زیر تعریف می‌شود [۸]:

$$\begin{aligned} \min \quad & f(X \leftarrow V) \\ \text{s.t.} \quad & x_1 \leq x_l \leq x_u \quad x_L \leq x_{n+1} \leq x_U \\ & 0.0 < \sigma_i < 1.0 \quad i = 2, \dots, n \end{aligned} \quad (6)$$

۳-۲- روش قطعات افقی با فرضیات اسپنسر

در این روش سطح لغزش به n قطعه افقی تقسیم می‌شود. در این مقاله از روش قطعات افقی و با فرضیات اسپنسر [۷] و با حضور نیروی مسلح کننده به بررسی شیب خاکی مسلح پرداخته می‌شود که قطعه n ام مطابق شکل ۴ است [۱۲].

که در آن:

(a) وزن قطعه i مطابق رابطه ۵ بدست می‌آید:

$$w_i = \left\{ \frac{(x_{fi} - x_{si}) + (x_{f(i+1)} - x_{s(i+1)})}{2} \right\} \cdot h \cdot \bar{\gamma}_i \quad (7)$$

(b) عکس العمل کلی عمود بر کف قطعه n ام P است که ناشی از:

۱- نیروی ناشی از تنش موثر خاک

۲- نیروی $u.h.\sec\alpha$ ناشی از فشار آب حفره ای

$$P = p' + u.h.\sec\alpha \quad (8)$$

(c) نیروی بسیج شده $(S_m = S/F)$

$$S = c'.h.\sec\alpha + p'.\tan\phi' \quad (9)$$

$$S_m = c'.h.\sec\alpha / F + p'.\tan(\phi' / F) \quad (10)$$

(d) نیروی شبه استاتیکی افقی ناشی از اثر مولفه افقی زلزله $\alpha_h \cdot w$

(e) نیروی شبه استاتیکی قائم ناشی از اثر مولفه قائم زلزله $\alpha_v \cdot w$

(f) نیروی بین قطعه‌ای Z_i و Z_{i+1} با زاویه های η_i و η_{i+1} به ترتیب نسبت به قائم

(g) نیروی مسلح کننده T_j که در راستای افق بر وسط هر قطعه اعمال می‌شود.

در این روش فرض می‌شود برآیند نیروهای Z_i و Z_{i+1} برابر Q_i و با زاویه θ_i نسبت به افق است که در شکل ۴ نشان داده شده است.

همچنین در این روش از رابطه تقریبی ارائه شده توسط لینگ و همکاران [۴] برای توزیع نیروی بسیج شده در تک تک مسلح کننده ها

که بر حسب است، $\sum_{j=1}^m T_j$ استفاده شده است.

اینکه سطح لغزش از نظر سینماتیکی منطقی باشد لازم است [۸].

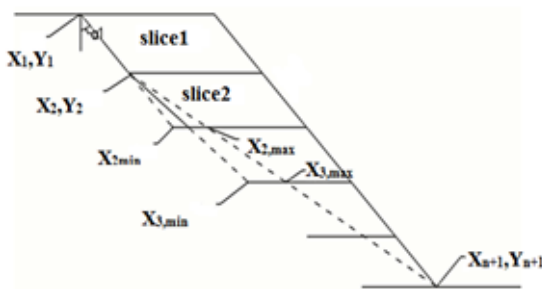
تقعر به سمت بالا به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$\alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \dots \leq \alpha_n \quad (3)$$

که α_i شیب قطعه i ام نشان داده شده در شکل ۲ می‌باشد. با توجه به توضیحات فوق هر سطح لغزش می‌تواند به وسیله بردار X که به آن متغیر کنترلی می‌گویند شناسایی شود:

$$X = [x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n, x_{n+1}, y_{n+1}]^T \quad (4)$$

مرزهای بالا و پایین برای x_3, \dots, x_n بوسیله $x_{3\min}, x_{3\max}, \dots, x_{n\min}, x_{n\max}$ مشخص می‌شوند. مرزها با استفاده



شکل ۳: روند کلی تولید سطح لغزش

از امتداد شیب قطعه قبلی و خط واصل بین آخرین نقطه بدست آمده و نقطه پایانی سطح لغزش بدست می‌آید (شکل ۳).

با استفاده از این روش، وجود آمدن هرگونه سطح لغزش نامتعارف غیرممکن خواهد بود.

مطابق روش مورد بحث برای تولید سطح لغزش ابتدا نقطه شروع سطح لغزش که در بالای شیب می‌باشد x_1 فرض می‌شود (شکل ۳). با استفاده از مختصات x_1 و هندسه شیب، مختصات مربوط به y_1 قابل محاسبه خواهد بود. حال با فرض کردن مقدار α_1 مربوط به شیب شروع سطح لغزش که از فرضیات ارائه شده توسط رانکین بدست می‌آید و معلوم بودن ارتفاع قطعات با فرض اینکه سطح لغزش به n قسمت با ارتفاع مساوی تقسیم شده است مختصات مربوط به نقاط x_2 و y_2 را می‌توان محاسبه کرد.

حال مطابق شکل ۳ از نقطه ۲ با همان شیب α_1 سطح شکست قطعه اول امتداد داده می‌شود تا در نقطه $x_{3\min}$ ، امتداد خط افقی در ارتفاع y_3 را قطع کند. بنابراین حد پایین انتخاب x_3 را نتیجه می‌دهد. در مرحله بعد خط دیگری از نقطه ۲ به انتهای شیب وصل می‌شود که محل برخورد این خط و خط افقی در ارتفاع y_3 بیانگر $x_{3\max}$ است که معرف حد بالا برای x_3 می‌باشد. با معلوم بودن حد بالا و پایین برای x_3 مقداری در این محدوده برای آن در نظر گرفته می‌شود بنابراین مختصات x_3 و y_3 در این مرحله مشخص شده است. روند مذکور تا بدست آمدن x_n و y_n ادامه می‌یابد بنابراین مطابق این روش سطح لغزش را می‌توان بصورت ریاضی بوسیله بردار نشان داد. به منظور تسهیل برنامه‌نویسی برای تولید مقادیر y_3 تا x_n رابطه زیر ارائه شده است:

$$\sum Q_i \cos \theta_i = 0 \quad (18)$$

$$\sum Q_i \sin \theta_i = 0 \quad (19)$$

همچنین باید مجموع لنگرها حول یک نقطه اختیاری مثل ($y=0$) و ($x=0$) برقرار باشد، پس:

$$\sum (M) = \sum (Q_i \cos \theta_i Y_{qi} + Q_i \sin \theta_i X_{qi}) = 0 \quad (20)$$

تقسیم نیروهای برشی بین قطعه ای بر نیروهای عمودی بین قطعه ای بصورت $\lambda.f(y'_i)$ تعریف می‌شود که نرمالایز شده مختصات y نسبت به دو انتهای سطح لغزش بین 0 تا π است.

$$y'_i = \frac{y_i - y_s}{y_e - y_s} \times \pi \quad (21)$$

$$\tan \theta_i = \lambda.f(y'_i)$$

که تابع $f(y'_i)$ مطابق روش مورگنستر [۱۳] میتواند ثابت برابر یک، سینوسی یا نیمه سینوسی باشد که با توجه به فرضیات استفاده شده در این تحقیق که مطابق روش اسپنسر می‌باشد این تابع برابر ۱ در نظر گرفته شده است.

با توجه به فرضیات فوق با حل همزمان معادلات (۱۸) و (۱۹) و (۲۰) میتوان مقادیر F و λ را بدست آورد.

برای حل همزمان ۲ تابع اگر $f(F, \lambda) = 0$ و $g(F, \lambda) = 0$ باشد، خواهیم داشت:

$$|f(F, \lambda)| + |g(F, \lambda)| = 0 \quad (22)$$

بنابراین میتوان رابطه نهایی ضریب اطمینان را بصورت زیر بازنویسی کرد:

$$\left| \sum M \right| + \left| \sum (Q_i \cos \theta_i) \right| = \left| \sum (Q_i \cos \theta_i Y_i + Q_i \sin \theta_i X_i) \right| + \left| \sum (Q_i \cos \theta_i) \right| = 0 \quad (23)$$

رابطه فوق با استفاده از سعی و خطا قابل محاسبه می‌باشد که این فرایند با استفاده از یک الگوریتم بهینه سازی انجام می‌شود.

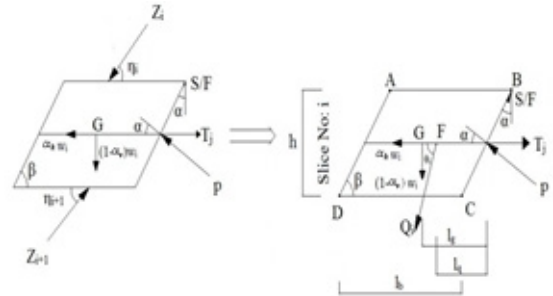
$$Q_i = \frac{\frac{c.h \sec \alpha_i}{F.S} + \frac{\tan \phi'}{F.S} \left[(1 - \alpha_v) w_i \sin \alpha_i + T_j \cos \alpha_i - u h \sec \alpha_i - \alpha_h w_i \cos \alpha_i \right] - \alpha_h w_i \sin \alpha_i - (1 - \alpha_v) w_i \cos \alpha_i + T_j \sin \alpha_i}{\cos(\frac{\pi}{2} - \alpha_i - \theta_i) + (\sin(\frac{\pi}{2} - \alpha_i - \theta_i)) \cdot \frac{\tan \phi'}{F.S}} \quad (15)$$

پس از پایان بهینه یابی، پارامتر $\frac{L_c}{H}$ برای مقایسه محاسبه می‌گردد که این پارامتر معرف طول لازم برای مسلح کننده ها است. لازم به ذکر است که طول L_c در حقیقت حداکثر فاصله افقی بین سطح گسیختگی و دیواره شیب است مجموع آن با طول مورد نیاز برای مقاومت در برابر بیرون کشیده شدن از درون خاکریز پشت سطح گسیختگی برابر کل طول مسلح کننده مورد نیاز می‌باشد. این طول با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$l_i = \frac{T_j}{2(1 - \alpha_v) \sigma_z \mu \tan \phi} \quad (24)$$

$$K = \frac{\sum_{j=1}^m T_j}{\frac{1}{2} \gamma H^2} \quad (11)$$

$$T_j = K \cdot \gamma \cdot Y_{r,j} \cdot D_{r,j} \quad (12)$$



شکل ۴: روند کلی تولید سطح لغزش

که در این روابط γ وزن مخصوص مصالح خاکریز، H ارتفاع شیب، Y_{rj} عمق لایه مسلح کننده λ م نسبت به تاج شیب، D_{rj} فاصله مسلح کننده λ م تا $\lambda-1$ م و K پارامتر بی بعدی است که لینگ و همکاران [۴] از آن برای ارائه نتایج استفاده کرده‌اند. گفتنی است که برای اولین و بالاترین لایه مسلح کننده، معرف فاصله مسلح کننده تا تاج شیب می‌باشد.

از تعادل نیروها در دو راستای موازی و عمود بر کف هر قطعه می‌توان داشت:

$$P + Q_i \sin(\frac{\pi}{2} - \alpha_i - \theta_i) - (1 - \alpha_v) \cdot w_i \cdot \sin \alpha_i + w \cdot \alpha_h \cdot \cos \alpha_i - T_j \cdot \cos \alpha_i = 0 \quad (13)$$

$$S / F - Q_i \cos(\frac{\pi}{2} - \alpha_i - \theta_i) - \alpha_h \cdot w_i \cdot \sin \alpha_i - (1 - \alpha_v) \cdot w_i \cdot \cos \alpha_i + T_j \cdot \sin \alpha_i = 0 \quad (14)$$

با جایگذاری (۹) و (۱۰) در معادله (۱۳) و (۱۴) میتوان مقدار Q_i را بصورت رابطه (۱۵) بدست آورد:

$$\text{از تعادل لنگر برای هر قطعه حول نقطه E عبارت زیر به دست می‌آید.} \quad \sum M_E = Q_i \cdot \sin \theta_i \cdot L_q + (1 - \alpha_v) \cdot w_i \cdot L_g = 0 \quad (16)$$

بنابراین پس از محاسبه Q برای هر قطعه می‌توان توسط رابطه فوق (۱۶) مقدار مربوط به L_q را محاسبه کرد که با توجه به معلوم بودن مختصات x مربوط به نقطه F میتوان مقدار x_{qi} را محاسبه کرد.

$$X_{qi} = X_{ei} + L_q \quad (17)$$

حال باید تعادل نیروها برای نیروهای عمودی و افقی برقرار باشد که با توجه به معلوم بودن Q_i و y_{qi} میتوان این تعادل را بصورت زیر نوشت:

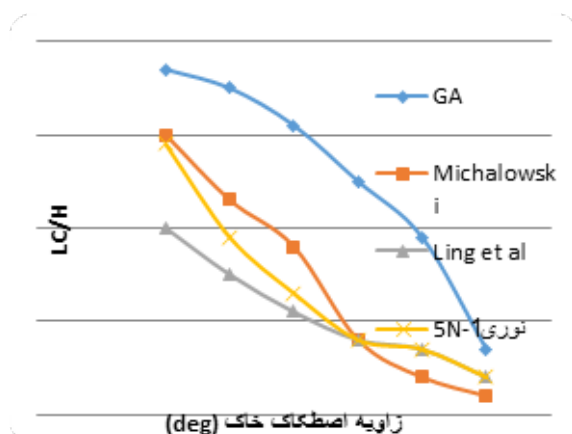
وسیله نوری و همکاران [۷] که برای مقایسه تنها روش ۵N-۱ معادله آورده شده است که در آن N تعداد لایه‌های مسلح شده است.

با استفاده از پارامترهای هندسی و ژئوتکنیکی یک شیب خاکی مفروض که مشخصات آن در جدول ۱ آمده است و نوری و همکاران از آن برای مقایسه نتایج استفاده کرده‌اند، نتایج الگوریتم ژنتیک بدست آمد و ارائه گردیده است.

نتایج بدست آمده برای پارامتر بی بعد برای ضریب شتاب افقی زلزله ۰/۲، چهار زاویه تمایل شیب، زوایای اصطکاک داخلی متداول از ۲۰ تا ۴۵ درجه برای الگوریتم ژنتیک در شکل های ۶ تا ۹ ارائه گردیده است. به دلیل تصادفی بودن پاسخ الگوریتم برای هر مدل از شیب ۲۰ بار بهینه یابی انجام شده است و بزرگترین جواب برای پارامتر بی بعد به عنوان جواب نهایی انتخاب شده است.

جدول ۱: مشخصات هندسی و ژئوتکنیکی شیب خاکی مسلح شده

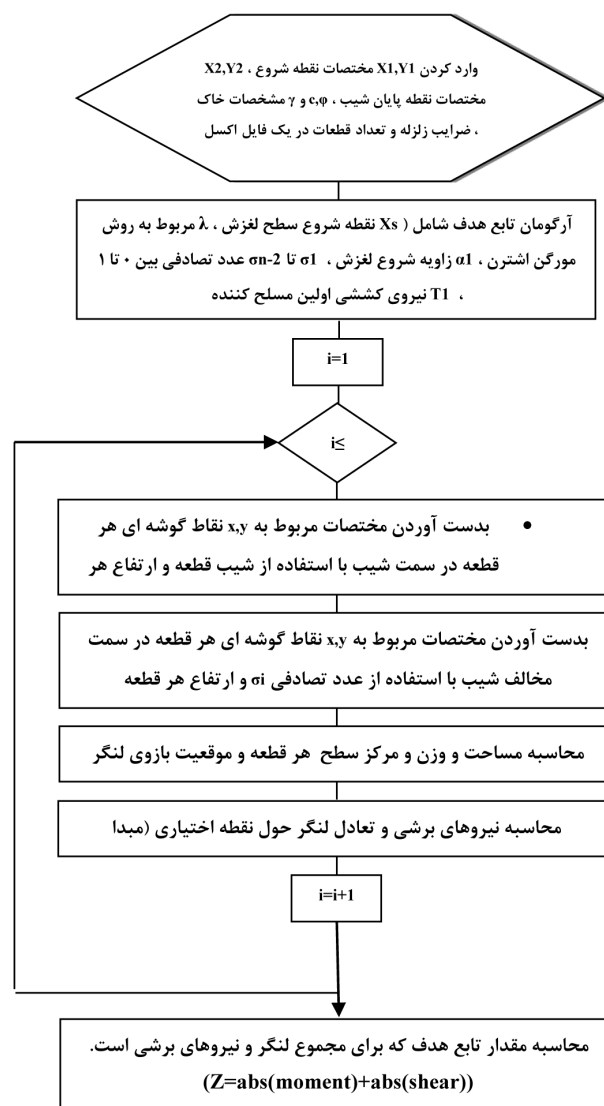
۵ m	ارتفاع شیب (H)
۹۰-۴۵°	زاویه تمایل شیب نسبت به افق (β)
۱۸ kN/m ³	وزن مخصوص خاک (γ)
۰	چسبندگی خاک (C)
۴۵-۲۰°	زاویه اصطکاک داخلی خاک (φ)
۰/۲	ضریب شتاب افقی زلزله (α _h)
۰	ضریب شتاب قائم زلزله (α _v)
۱	ضریب اطمینان (F.S)



شکل ۶: مقایسه نتایج پارامتر بی بعد برای روش های مختلف با GA

همانگونه که از نتایج ارائه شده در شکل ۶ به وضوح مشاهده می شود طول مسلح کننده لازم در همه مدل های GA نسبت به سه روش دیگر افزایش داشته است که نسبت به روش میخالفسکی [۵] کمترین افزایش معادل ۲۳ درصد بوده است. افزایش نسبی طول مورد نیاز برای تسلیح شیروانی خاکی نسبت به روش لینگ و همکاران [۴] در کمترین مورد

که در این رابطه، T_f نیروی لازم برای بیرون کشیدگی، σ_z سربار وارد بر مسلح کننده در تراز Z ، l_f طول گیرداری یا نفوذ لایه مسلح کننده در خاکریز پشت سطح گسیختگی و μ ضریب اصطکاک بین مسلح کننده و خاکریز (معمولاً بین ۰/۷ و ۱) است. در شکل ۵ فلوچارت اجرای برنامه نوشته شده در محیط برنامه متلب که در این مقاله از آن استفاده شده ارائه شده است.



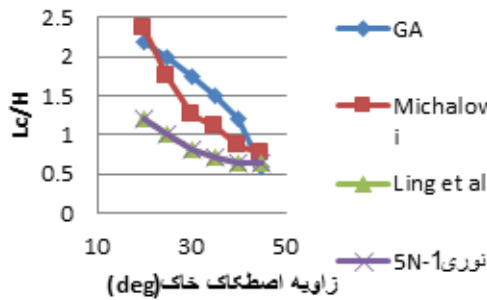
شکل ۵: فلوچارت برنامه نوشته شده در Matlab

۴- ارزیابی درستی نتایج ارائه شده

هدف از این بخش ارزیابی صحت نتایج بدست آمده از روش ارائه شده برای حل مسئله پایداری شیروانی های خاکی مسلح به روش قطعات افقی می باشد. بر این اساس سه مرجع معتبر برای مقایسه نتایج با تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفته اند که عبارتند از:

روش تعادل حدی لینگ و همکاران [۴]، روش آنالیز حدی به روش حد پایین توسط میخالفسکی [۵] و آنالیز توسعه روش قطعات افقی به

لینگ در بیشترین مورد برابر ۹۵ درصد و در کمترین مورد معادل ۴۵ درصد بوده است همچنین کاهش طول مسلح کننده مورد نیاز در زاویه اصطکاک داخلی ۴۵ درجه برابر ۱۴ درصد میباشد. در مقایسه نسبت طول مسلح کننده به ارتفاع شبروانی روش مورد استفاده در این مقاله با روش نوری ۹۵ درصد افزایش در بیشترین و ۴۳ درصد در کمترین حالت بوده است و کاهش طول مسلح کننده مورد نیاز در زاویه اصطکاک داخلی ۴۵ درجه برابر ۱۴ درصد میباشد.



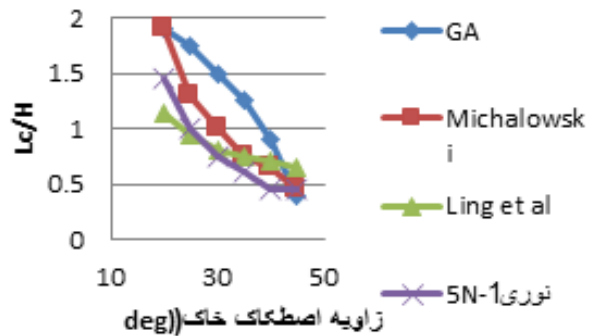
شکل ۹: مقایسه نتایج پارامتر بی بعد L_c/H برای روش های مختلف با GA ($\beta = 90^\circ, \alpha_n = 0.2$)

در گراف ارائه شده در شکل ۹ به وضوح مشاهده می شود طول مسلح کننده لازم در همه مدل ها به جز ۲ مدل افزایش داشته است که بیشترین افزایش، نسبت به روش میخالفسکی برابر ۳۵ درصد و کمترین افزایش معادل ۱۱ درصد بوده است و همچنین کاهش طول مسلح کننده مورد نیاز در زاویه اصطکاک داخلی ۲۰ درجه برابر ۱۰ درصد و نسبت به زاویه اصطکاک داخلی ۴۵ درجه معادل ۲۷ درصد بوده است. افزایش نسبی طول مورد نیاز برای تسلیح شبروانی خاکی نسبت به روش لینگ در بیشترین مورد برابر ۱۰۰ درصد و در کمترین مورد معادل ۸۵ درصد بوده است همچنین کاهش طول مسلح کننده مورد نیاز در زاویه اصطکاک داخلی ۴۵ درجه برابر ۱۰ درصد میباشد. در مقایسه نسبت طول مسلح کننده به ارتفاع شبروانی روش مورد استفاده در این مقاله با روش نوری ۱۰۰ درصد افزایش در بیشترین و ۸۵ درصد در کمترین حالت بوده است.

۵- نتیجه گیری

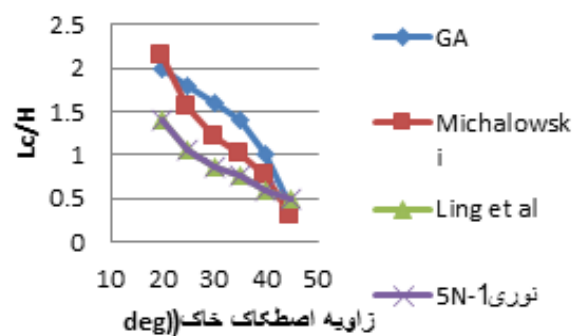
روش قطعات افقی، روشی ساده برای تحلیل دیوارها و شیب های خاکی مسلح می باشد، زیرا طی آن گوه گسیختگی به تعدادی قطعه افقی به موازات مسلح کننده ها تقسیم شده و وارد شدن نیروهای مسلح کننده ها در معادلات باعث مشکل شدن حل معادلات نمی شود. از مقایسه نتایج بدست آمده به وضوح مشاهده می شود که با افزایش زاویه شبروانی، مقدار پارامتر بی بعد L_c/H افزایش می یابد. همچنین با کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک و ضعیف شدن خاک نیاز به افزایش طول مسلح کننده ها به صورت محسوسی مشاهده می شود. با اعمال نیروهای زلزله افقی با توجه به زیاد شدن نیروهای محرک شبروانی، این

معادل ۸۵ درصد بوده است. در مقایسه نسبت طول مسلح کننده به ارتفاع شبروانی روش مورد استفاده در این مقاله با روش نوری و همکاران [۷] ۲۸ درصد در کمترین حالت بوده است.



شکل ۷: مقایسه نتایج پارامتر بی بعد برای روش های مختلف با GA

با توجه به شکل ۷ به وضوح مشاهده می شود طول مسلح کننده لازم در همه مدل های GA به جز مدل های با زاویه اصطکاک داخلی ۴۵ درجه افزایش داشته است که بیشترین افزایش، نسبت به روش میخالفسکی برابر ۵۰ درصد و کمترین افزایش معادل ۳۴ درصد بوده است. افزایش نسبی طول مورد نیاز برای تسلیح شبروانی خاکی نسبت به روش لینگ در بیشترین مورد برابر ۸۸ درصد و در کمترین مورد معادل ۴۴ درصد بوده است همچنین کاهش طول مسلح کننده مورد نیاز در زاویه اصطکاک داخلی ۴۵ درجه، برابر ۶۰ درصد میباشد. در مقایسه نسبت طول مسلح کننده به ارتفاع شبروانی روش مورد استفاده در این مقاله با روش نوری ۱۰۰ درصد افزایش در بیشترین و ۲۰ درصد در کمترین حالت بوده است و کاهش طول مسلح کننده مورد نیاز در زاویه اصطکاک داخلی ۴۵ درجه برابر ۱۲ درصد میباشد.



شکل ۸: مقایسه نتایج پارامتر بی بعد برای روش های مختلف با GA

در گراف ارائه شده در شکل ۸ به وضوح مشاهده می شود طول مسلح کننده لازم در همه مدل ها به جز ۲ مدل، افزایش داشته است که بیشترین افزایش، نسبت به روش میخالفسکی برابر ۳۳ درصد و کمترین افزایش معادل ۱۹ درصد بوده است و همچنین کاهش طول مسلح کننده مورد نیاز در زاویه اصطکاک داخلی ۲۰ درجه برابر ۷ درصد بوده است. افزایش نسبی طول مورد نیاز برای تسلیح شبروانی خاکی نسبت به روش

پارامتر بی بعد افزایش می‌یابد.

در طراحی شیروانی‌های خاکی مسلح با استفاده از روش پیشنهادی در مقاله حاضر و استفاده از الگوریتم بهینه سازی GA مشاهده شد که سطوح لغزش بحرانی بعد از سطوح لغزش بدست آمده در تحقیقات مربوط به روش‌های میخالفسکی، لینگ و همکاران و همچنین نتایج نوری و همکاران [۷] می باشد. بنابراین می‌توان بیان کرد که روش ارائه شده در مقاله حاضر نقص اصلی مطرح شده روش‌های قبل را به‌خوبی برطرف کرده و در طراحی شیروانی‌های مسلح با توجه به در نظر گرفتن ضریب اطمینان یک به نتایج آن به خوبی می‌توان اتکا کرد و بهینه‌ترین و قابل اعتمادترین شیروانی مسلح را طراحی نمود. دامنه و روند تغییرات پارامتر بی بعد نسبت به تغییرات زاویه اصطکاک داخلی خاک تقریباً یکنواخت و منظم می باشد ولی نسبت به زاویه شیب شیروانی مسلح این تغییرات افزایش می یابد .

در اکثر مدل‌های GA طول مورد نیاز جهت تسلیح شیروانی خاکی افزایش یافت ولی در زاویه اصطکاک 45° این افزایش مشاهده نشده است که این مورد نشان دهنده ضعف الگوریتم ژنتیک در تشخیص سطح لغزش بحرانی در زاویه اصطکاک 45° میباشد پیشنهاد می‌شود به دلیل توسعه الگوریتم‌های جدید فرااکتشافی و نتایج بهتر این الگوریتم‌ها در یافتن سطوح لغزش بحرانی برای یافتن طول مسلح کننده‌ها نیز از آنها استفاده و نتایج با الگوریتم ژنتیک مقایسه شود.

۶- مراجع

[۱] رومیانی، هادی محمد زاده ، فرزانه، اورنگ و عسگری، فرج الله ، " تحلیل پایداری شیروانی های خاک مسلح به روش آنالیز حدی مرز بالا"، نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری- دانشکده فنی، دوره ۴۵، شماره ۶، بهمن ماه ۱۳۹۰، از صفحه ۶۹۷ تا ۷۰۷.

[۲] شاهقلی، محسن، "تحلیل و طراحی دیوارهای خاک مسلح در برابر زلزله"، پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک خاک و مهندسی پی، گروه مهندسی عمران دانشکده فنی، ۱۳۷۸، دانشگاه تهران

[۳] سنایی راد - علی ، نساری علی "طراحی بهینه دیوارهای چال وزن بتنی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم زنبور عسل" نشریه علمی پژوهشی امیر کبیر مهندسی عمران و محیط زیست دوره چهل و پنج شماره ۲ ص ۱۰۵-۱۵ زمستان ۱۳۹۲.

[4] Ling, H.I., Leshchinsky, D., Perry, E. B, "Seismic design and performance of geosynthetic-reinforced soil structures", *Geotechnique*, vol. 47, no. 5, pp. 933-952, 1997

[5] Michalowski, R.L., "Soil reinforcement for seismic design of geotechnical structures". *Computers and Geotechnics*, vol. 23, no. 1, pp. 1-17, 1998.

[6] Ausilio, E., Conte, E. and Dente, G., "Seismic stability analysis of reinforced slopes". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 19, No. 3, pp. 159-172, 2000.

[7] Nouri, H., Fagher, A., Jones, C.J.F.P.; "Development of Horizontal Slice Method for seismic stability analysis of reinforced slopes and walls", *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 24, pp. 175-187, 2006.

[8] Spencer, E. "A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces". *Geotechnique*, vol.17, no.1, pp. 11-26, 1967.

[9] YM, Cheng. "Locations of critical failure surface and some further studies on slope stability analysis". *Comput Geotech*, vol. 30, 2003.

[10] Holland J. *Adaptation in natural and artificial systems*. University of Michigan Press, 1975.