

بهینه‌سازی میل‌مهار در پایدارسازی گودبرداری با استفاده از الگوریتم ژن شناختی

علی صابری^۱، سعید غفارپور جهرمی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

(دریافت: تیر ۱۳۹۴ پذیرش: اسفند ۱۳۹۴)

چکیده

در طی دهه اخیر روش پایدارسازی شیب‌های خاکی با استفاده از مهارها مورد توجه زیادی قرار گرفته است. بهینه‌سازی مهارها در پروژه‌های گودبرداری می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌ی چشمگیری شود. این بهینه‌سازی‌ها با روش سعی و خطا انجام می‌شود و از این رو در بسیاری از موارد طرح کاملاً بهینه‌ای به دست نمی‌آید. هدف از این مطالعه بررسی پایداری شیب‌های مختلف با استفاده از الگوریتم ژن شناختی به منظور دستیابی به طول بهینه المان‌های مسلح کننده خاک با توجه به پارامترهای مختلف است. در این تحقیق یک کد رایانه‌ای طراحی شده است و در الگوریتم ژن شناختی نرم‌افزار متلب اجرا شد و میزان درصد کاهش طول مهارها با توجه به پارامترهای مقاومت برشی خاک مشخص شده است. طراحی این کد به گونه‌ای است که یک کاربر بدون اطلاع از مفاهیم الگوریتم ژن شناختی، به سادگی بتواند بهینه‌سازی مهارها را انجام دهد. مطالعه موردی این تحقیق در خاک منطقه مرکزی مشهد و اطراف حرم مطهر امام رضا (ع) انجام شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تغییر قطر میل‌گردها اثر چشمگیری بر مجموع طول مهارها ندارد بلکه تغییر در قطر چال حفاری باعث کاهش طول بیشتری در مهارها می‌شود.

واژگان کلیدی

بهینه‌سازی، الگوریتم ژن شناختی، میل‌مهار، گودبرداری، الگوریتم ژنتیک

ارجاع به این مقاله:

صابری، ع.، غفارپور جهرمی، س.، (۱۳۹۴). بهینه‌سازی میل‌مهار در پایدارسازی گودبرداری با استفاده از الگوریتم ژن شناختی، روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، ۵(۱۰)، ۶۳-۷۶.

۱- مقدمه

گودبرداری شده، توسط پروژه ملی تحقیقاتی فرانسه (CLOUTERRE) انجام شد [۱،۲]. یکی از پارامترهای مهم در اجرای این مهار کوبی هزینه اجرای آن است که ارتباط مستقیم به طول مهارهای اجرا شده دارد. از این رو در صورتی که طول مهارها در پروژه بهینه شود، کاهش هزینه‌های جاری پروژه را به دنبال خواهد داشت. محققین مختلف با نگاه‌های متفاوت، بهینه‌سازی مهارها را مورد بررسی قرار داده اند که در ادامه به برخی از آنان اشاره خواهد شد.

مارشال و همکاران او در سال ۱۹۸۴ بر اساس مطالعات آزمایشگاهی نشان دادند زاویه‌ای که مهار با سطح گسیختگی در توده خاک می‌سازد، اثر زیادی روی نیروی برشی و کششی بسیج شده در مهار و همچنین مقاومت برشی کلی دیوار مهار شده دارد [۳].

شفیعی و همکاران در سال ۱۹۸۶ از روش اجزای محدود برای بررسی زاویه مهار بر روی تغییر شکل دیوار مهار شده استفاده کردند. در این مطالعه او دو دیوار با میل مهارهایی با زاویه ۰ و ۳۰ نسبت به افق بررسی شد. آنها نتیجه گرفتند که جابجایی جلو دیوار برای میل مهار با زاویه ۳۰ درجه بیشتر از میل مهارهای افقی است و در نتیجه برای یک شیب با زاویه قائم، نصب میل مهارها به صورت افقی بهترین حالت است [۴]. البته باید توجه شود که از نظر اجرایی، اجرای مهار با زاویه افقی امکان پذیر نیست و نتایج به دست آمده بیشتر جنبه نظری دارند.

جونز و همکاران در سال ۱۹۹۰ بیان کردند که برای ایجاد نیروی کشش اولیه در میل مهارها و رسیدن به شرایط بهینه، میل مهارها می‌توانند در قسمت بالایی به صورت زاویه‌دار به بالا (به مقدار خیلی کم) و به تدریج با پایین آمدن از ارتفاع دیوار شیب، میل مهار را باید روبه پایین کرد [۵]. با این کار، بسیج کردن نیروی کششی در مسلح کننده‌ها راحت تر صورت می‌گیرد و حالت بهینه به دست می‌آید. جوران و همکارانش در سال ۱۹۹۰ با استفاده از تحلیل حدی سینماتیکی توانستند جدول‌ها و نمودارهای مختلفی برای طراحی دیوار ارائه کنند. همچنین با استفاده از نمودارهای ارائه شده توسط آنها می‌توان مقدار بیشینه نیروی برشی و کششی تولید شده در مهار را محاسبه کرد [۶].

رشد روزافزون دانش در زمینه‌های مکانیک سنگ و مکانیک خاک، سبب تکامل مسائل مربوط به پایداری شیب‌ها در مهندسی ژئوتکنیک شده است. مهاربندی به وسیله میل‌مهار یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین روش‌های پایداری دیواره‌های گودبرداری شده است.

در این مقاله سعی شده است که با استفاده از روش الگوریتم ژن شناختی و نوشتن کد مربوطه یک چیدمان بهینه از نظر طول، قطر میل گرد و چال برای دیوارهای مسلح شده به روش مهاربندی ارائه شود. بدین منظور برای بررسی پایداری شیب‌ها از روش تعادل حدی (بیشاپ ساده شده) استفاده شده است. پارامترهایی چون زاویه طول، اندازه، فاصله میل‌مهارها از یکدیگر و مقدار سربار می‌توانند اثر قابل توجهی بر روی پایداری شیب داشته باشند. همچنین پارامترهای مقاومتی خاک (چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی) نیز می‌توانند بر روی مقدار مصالح مصرفی اثر داشته باشند. از این رو، به منظور رسیدن به یک ضریب اطمینان قابل قبول و در عین حال استفاده از کمترین مقدار طول مهار ممکن، الگوریتم ژن شناختی به کار گرفته شده است.

به منظور تشریح اثر پارامترهای مختلف بر روی مجموع مقدار طول مهار مصرفی برای پایداری سازی شیب، نمودارهایی ارائه شد و اثر پارامترهای مختلف در آنها نشان داده شد. همچنین در انتها سعی شده است که با استفاده از الگوریتم ژن شناختی، چیدمان بهینه‌ای که کمترین مقدار طول مصرفی را دارا بوده و همچنین ضریب اطمینان قابل قبول آیین‌نامه را ارضاء می‌کند، ارائه شود. برنامه طراحی شده در این مقاله به صورت کاربرپسند طراحی می‌شود که شخص بدون داشتن هیچ‌گونه اطلاعات و شناختی از الگوریتم ژن شناختی، به سادگی بتواند طول بهینه میل‌مهارها را با توانایی تغییر در انواع متغیرها به دست آورد.

۲- مروری بر تحقیقات انجام شده

اولین تلاش‌های عملی و آزمایشگاهی برای بررسی اثر رفتار مهار بر روی چگونگی عملکرد برش راهه‌های

زاویه بهینه مهار طبق هندسه خاک مشخص می‌شود. در مطالعات آنها، زاویه شیب بین ۴۰ تا ۹۰ درجه و زاویه پشت سطح خاک ریز، بین ۰ تا ۲۰ درجه تغییر می‌کرد. آنها نشان دادند که با افزایش شیب دیوار و نزدیک شدن آن به حالت عمودی، برای رسیدن به ضریب اطمینان قابل قبول، زاویه مسلح کننده‌ها با افق باید کاهش یابد و با افزایش زاویه سطح خاک ریز، باید به زاویه آنها با افق افزوده شود. نتایج این پژوهش در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱: زاویه بهینه مسلح کننده‌ها برای شیب با هندسه‌های مختلف [۷]

زاویه شیب	زاویه سطح شیب با افق	زاویه سطح شیب با افق	زاویه سطح شیب با افق
S	$r = 0^\circ$	$r = 10^\circ$	$r = 20^\circ$
۴۰	۴۰	۵۰	۶۵
۵۰	۳۰	۴۰	۵۸
۶۰	۲۳	۳۰	۴۸
۷۰	۱۶	۲۰	۳۰
۸۰	۸	۱۰	۲۰
۹۰	۰	۰	۱۰

است. الگوریتم ژن شناختی با یک نگاشت مناسب و معکوس پذیر ابتدا هر یک از پارامترهای متغیر مسئله را در تمام بازه تغییرات آن به صورت کد (معمولاً صفر و یک) می‌نگارد و هر یک از جواب‌های احتمالی مسئله، تبدیل به رشته کد می‌شود. الگوریتم ژن شناختی، الگوریتمی جستجوگر است که بر اساس سازوکار انتخاب طبیعی ژن شناختی، بنیان نهاده شد است. در واقع ایده اولیه الگوریتم ژن شناختی از نظریه تکاملی داروین گرفته شده است (مدتی قبل از کشف مکانیسم ژن شناختی) و کارکرد آن بر اساس ژن شناختی طبیعی استوار است. اصول اولیه الگوریتم ژن شناختی توسط جان هلند^۴ و همکارانش در سال ۱۹۶۲ در دانشگاه میشیگان ارائه شد. معرفی الگوریتم بر پایه جمعیت به همراه پیوند، وارونگی و جهش توسط هلند یک ابتکار بزرگ به حساب می‌آید. هلند (۱۹۵۲-۱۹۷۵) اولین فردی بود که سعی کرد تا محاسبات تکامل را به صورت نظری ارائه کند. دیوید گلدبرگ^۵، الگوریتم ژن شناختی هلند را با عنوان الگوریتم ژن شناختی ساده^۶ معرفی کرد. این الگوریتم‌ها از نظر محاسباتی ساده بوده و در عین حال در زمره جستجوگرانی توانمند قرار دارند. گلدبرگ و همکاران در سال ۱۹۸۹ نظریه شِما که نظریه

فان و همکاران در سال ۲۰۰۸ با استفاده از یک نرم‌افزار PLAXIS که مبتنی بر روش اجزای محدود است زاویه، طول و فاصله افقی میل‌مهراها از یکدیگر را مورد بررسی قرار دادند. پایداری شیب توسط ضریب اطمینان تعیین شد. در مطالعه آنها مشخصات مهار ثابت فرض شد (فقط از یک نوع مهار استفاده شد) [۷]. فان و همکارانش در ادامه تحقیقاتشان در سال ۲۰۰۸ با بررسی هندسه‌های مختلف توسط برنامه اجزاء محدود، جدولی ارائه کردند که طبق آن،

توکلیان و همکارانش در سال ۲۰۱۱ با استفاده از نتایج نرم افزار اجزاء محدود ملاحظه کردند که با افزایش شیب دیوار () و نزدیک شدن آن به حالت قائم، زاویه بهینه مسلح کننده‌ها کاهش می‌یابد و به حالت افقی نزدیک می‌شود. این امر برای زاویه پشت شیب () روندی خلاف حالت قبل دارد، به گونه‌ای که با افزایش زاویه پشت شیب، برای رسیدن به حالت ضریب اطمینان بیشتر، باید زاویه مسلح کننده‌ها را بیشتر کرده و از حالت افقی فاصله گرفت [۸]. ملاحظه شد که اکثر پژوهش‌ها متمرکز بر زاویه مهاربندی بوده و مطالعات کمتری بر روی مقدار طول مورد نیاز جهت مهاربندی انجام شده است.

۳- الگوریتم ژن شناختی (ژنتیک)

طبیعت جاندار و تنازع برای بقا، الهام بخش یکی از تکامل یافته‌ترین روش‌های بهینه‌سازی، به نام الگوریتم ژن شناختی به حساب می‌آید که بر اساس اصول تکامل طبیعی و تدریجی داروین پایه ریزی شده است. انسان همیشه از طبیعت و سامانه‌های طبیعی درس گرفته و نتیجه آن در سال‌های اخیر سه زمینه تحقیقاتی یعنی شبکه‌های عصبی^۱، منطق فازی^۲ و الگوریتم ژن شناختی^۳

جدول ۳: والدین کروموزوم‌ها

رشته‌های کروموزوم	دسته
(C)۰۱۱۰۱۱ (D)۱۰۱۱۰۰	دسته اول
(C)۰۱۱۰۱۱ (D)۱۰۱۱۰۰	دسته دوم

مرحله جفت‌گیری (تقاطع): در این مرحله کروموزوم‌های بالا به صورت تقاطع ضربدری جفت‌گیری می‌کنند (جدول ۴).

جدول ۴: جفت‌گیری ضربدری کروموزوم‌ها

امتیاز	نتیجه	تولیدمثل و جفت‌گیری
۳	(E)۰۱:۱۱۰۰	(C)۰۱:۱۰۱۱
۳	(F)۱۰:۱۰۱۱	(D)۱۰:۱۱۰۰
۴	(G)۰۱۱:۰۰۰	(C)۰۱۱۰:۱۱
۳	(H)۱۰۱۱:۱۱	(D)۱۰۱۱:۰۰

اکنون دو کروموزوم جدید (F) و (G) با بالاترین امتیاز انتخاب و بقیه حذف می‌شود. عملیات تولید مثل و جفت‌گیری مجدداً تکرار می‌شود (جدول ۵):

جدول ۵: جفت‌گیری کروموزوم F و G

امتیاز	نتیجه	تولیدمثل و جفت‌گیری
۳	(I) ۱:۱۱۰۰۰	(F)۱۰:۱۰۱۱
۵	(J)۰:۰۱۰۱۱	(G)۰۱۱:۰۰۰
۴	(K)۱۰۱:۰۰۰	(F)۱۰:۱۰۱۱
۴	(L)۰۱۱:۰۱۱	(G)۰۱۱:۰۰۰

با کسب امتیاز ۵ تقریباً جواب حاصل شده است. مجدداً اعمال قبل انجام می‌شود. نتیجه در جدول ۶ نشان داده شده است.

ملاحظه می‌شود که جواب مورد نظر و کامل به دست می‌آید. الگوریتم ژن شناختی با ۱۶ سؤال، جواب پنهان را یافته است، بدون آنکه نیازی به بررسی ۶۴ حالت مختلف وجود داشته باشد. تعداد سؤال‌ها حتی از ۳۲ حالتی که قاعدتاً در جستجوی تصادفی مسئله نیاز است، نیز کمتر است.

اساسی الگوریتم ژن شناختی محسوب می‌شود، را ارائه کرد. همچنین ایسن^۷ و همکاران در سال ۱۹۹۰ همگرایی الگوریتم ژن شناختی را ثابت کردند [۹]. کوزا^۸ و همکاران در سال ۱۹۹۱ و کریشماکومار^۹ در سال ۱۹۹۲ از الگوریتم ژن شناختی برای برنامه‌نویسی رایانه‌ای در حل مسائل مهندسی استفاده کردند. کوزا این روش را برنامه‌ریزی تکاملی نامید. در برنامه‌ریزی تکاملی، هدف پیدا کردن الگوریتمی است که بتواند جواب هر صورت مسئله‌ای را پیدا کند. در این روش باید برای الگوریتم‌ها مطلوبیت تعریف کرد تا فهمیده شود که کدام الگوریتم بهتر است. ماهفود^۱ (۱۹۹۲) و آدلر^{۱۱} (۱۹۹۳) ژن شناختی را با روش‌های متعارف بهینه‌سازی مقایسه کردند [۹].

۴- توضیح الگوریتم ژن شناختی با یک مثال ساده [۱۷]

نحوه عملکرد الگوریتم ژن شناختی را می‌توان با استفاده از یک بازی به نام بردار با جزئیات ارائه کرد. این بازی به دو طرف نیاز دارد. ابتدا رقیب شما رشته‌ای ۶ رقمی متشکل از ارقام صفر یا یک در نظر می‌گیرد. شما عددی را حدس می‌زنید و رقیب شما امتیاز شما را برحسب ارقامی که صحیح گفته‌اید، اعلام می‌کند. فرض کنید عدد مذکور (۰۰۱۰۱۰) باشد. هدف از بازی این است که در کمترین دفعات کلیه ۶ رقم این عدد را به دست آورید. بازی با نوشتن چهار رشته تصادفی به صورت جدول ۲ آغاز می‌شود:

جدول ۲: چهار عدد تصادفی و امتیاز آنها

امتیاز	رشته
۱	(A) ۰۱۰۱۰۱
۱	(B) ۱۱۱۱۰۱
۳	(C) ۰۱۱۰۱۱
۳	(D) ۱۰۱۱۰۰

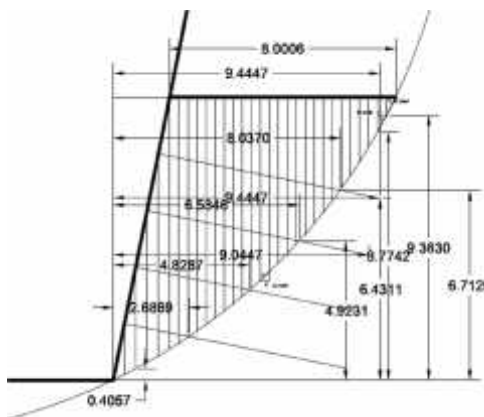
مرحله انتخاب و تولیدمثل: در این مرحله دو رشته اول و دوم (A) و (B) که امتیازی کمتری دارند حذف می‌شود و بر روی دو رشته دیگر یعنی (C) و (D) مانند انتخاب طبیعی عملیات ژن شناختی انجام می‌شود. اینها والدین کروموزوم‌های بعدی خواهند بود (جدول ۳).

جدول ۶: نتیجه جفت‌گیری

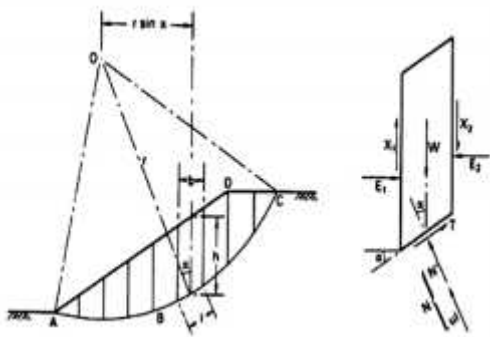
امتیاز	نتیجه	تولیدمثل و جفت‌گیری
۵	(M) ۰۰۱۰:۰۰	(J) ۰۰۱۰:۱۱
۴	(N) ۱۰۱۰:۱۱۱	(K) ۱۰۱۰:۰۰
۶	(O) ۰۰۱۰:۱۰	(J) ۰۰۱۰:۱۰
۳	(P) ۱۰۱۰:۰۱	(K) ۱۰۱۰:۰۰

برای این منظور ابتدا یک مثال طراحی مهار کوبی به روش نیلینگ^{۱۲} از پایگاه اینترنتی، نرم افزار رایج در بین مهندسی ژئوتکنیک در طراحی گودبرداری یعنی *GeoStudio2007* دریافت شد [۱۳].

طبق آن با استفاده از نرم افزار اتوکد ابعاد هندسی این شیب و مهارها ترسیم شد. سپس کد رایانه‌ای تابع شایستگی در نرم‌افزار متلب نوشته شد و در هر مرحله کنترل‌های لازم به دقت صورت گرفت. پس از اطمینان از کارکرد صحیح کد رایانه‌ای، از این کد در جعبه‌ابزار الگوریتم ژن شناختی متلب استفاده شد (کد رایانه‌ای در نرم‌افزار متلب نصب شد). در این بین رابط‌های گرافیکی مناسب برای وارد کردن اطلاعات خاک و مشخصات هندسی گود موردنظر طراحی و آماده اجرا گردید (شکل ۱ و ۲).



شکل ۱: تقسیمات انجام شده شیب در اتوکد و ابعاد هندسی دقیق، جهت کنترل کد رایانه‌ای در متلب



شکل ۲: قطعات شیروانی مدل شده به منظور محاسبه ضریب اطمینان به روش بیشاپ ساده شده [۱۵]

فرایند بهینه‌سازی مهار به طور خلاصه شامل دو مرحله اساسی است، اولاً تخمین چیدمان میل مهارها (منظور

۵- کاربرد الگوریتم ژن شناختی در مهندسی ژئوتکنیک

محقق بنام پاسدارپور با همکاریانش در سال ۲۰۰۹ الگوریتم ژن شناختی را به همراه سامانه‌های فازی برای تعیین پارامترهای بهینه در تراکم دینامیکی خاک استفاده کردند. آنها نتایج کار خود را با روش‌های مختلف الگوریتم ژن شناختی مقایسه کردند و در آخر نشان دادند که الگوریتم ژن شناختی این قابلیت را دارد که بتواند مقادیر بهینه هر یک از پارامترهای ذکر شده را تعیین کند [۱۰]. همچنین چان و همکاریانش در سال ۲۰۰۹ برای حداقل رساندن حجم بتن بکار رفته در شمع‌های عمیق از الگوریتم ژن شناختی استفاده نمودند. جواب‌های حاصل شده نشان‌دهنده رضایت مهندسان و در نتیجه کاربردی بودن الگوریتم ژن شناختی بوده است. سپس این روش برای پی‌های بزرگ‌تر که جنبه کاربردی تری در مهندسی داشتند به کار گرفته شد [۱۱].

ذوالفقاری و همکاریانش در سال ۲۰۰۵ از الگوریتم ژن شناختی برای یافتن این سطح لغزش غیر دایره‌ای در شیب‌ها استفاده کرد و در این تحلیل نیروهای افقی و عمودی شبه استاتیک ایجاد شده بر اثر زلزله و همچنین سربار ناشی از ساختمان‌ها نیز در نظر گرفته شده بود [۱۲]. توجه شود که این مرحله تنها یک قسمت از فرایند بهینه‌سازی است که به طور مستقل توسط محققین دیگر نیز مطالعه شده است. خندان بکاولی و همکاریانش در سال ۱۳۹۰ در مورد بهینه‌سازی گروه شمع‌ها تحت بارگذاری نامتقارن مطالعاتی انجام داده‌اند [۱۸].

۶- بهره‌گیری از الگوریتم ژن شناختی در بهینه‌سازی طول مهار در گودبرداری

گام ۳: رساندن FS_{min} به مقدار از پیش تعیین شده (در اکثر آیین‌نامه‌ها مقدار ضریب اطمینان پایداری درازمدت حدود ۱/۵ است) [۱۴].

گام ۴: کمینه‌سازی مقدار میل‌مهارهای به کار گرفته شده و درعین حال ارضاء شرط رساندن FS_{min} به مقدار ۱/۵.

رابطه بیشاپ ساده شده برای تحلیل گودبرداری‌های با دیواره مسلح شده با میل‌مهار را می‌توان با رابطه ۱ بیان کرد.

اگر در لبه گود سربار وجود داشته باشد، با استفاده از رابطه ۲ می‌توان ضریب اطمینان را به روش بیشاپ ساده‌شده محاسبه کرد [۱۶]:

$$F = \frac{1}{\sum [W \sin \tau - T \cos(\tau + u)]} \sum \left([cb + w - ub + T \sin u] \tan w \right) \frac{\sec \tau}{1 + \tan w \sin \tau / F} \quad (1)$$

$$F = \frac{1}{\sum [(W_i + qb_i) \sin \tau - T \cos(\tau + u)]} \sum \left([cb_i + ((W_i + qb_i) - ub_i + T \sin u) \tan w] \frac{\sec \tau}{1 + \tan w \sin \tau / F} \right) \quad (2)$$

نرم‌افزار *GeoStudio* مقایسه می‌شود که در ادامه مقایسه برخی خروجی‌ها آورده شده است. این مقایسه با دریافت یک نمونه مثال حل شده از وب‌گاه نرم‌افزار انجام شده است که نتایج آن در جدول ۷ آمده است.

حدس طول مهار است، چون مکان و سایر مشخصات میل‌مهاریها ثابت در نظر گرفته می‌شود. ثانیاً به دست آوردن ضریب اطمینان حداقل (FS_{min}) که به‌منظور دستیابی به این هدف، راهکار زیر دنبال می‌شود.

گام ۱: محاسبه ضریب اطمینان تمامی سطوح لغزش محتمل و به دست آوردن ضریب اطمینان حداقل (FS_{min}). این روش به‌طور وسیعی در نرم‌افزارهای طراحی شیب‌های خاکی چون *GeoSlope* و *SLIDE* استفاده می‌شود.

گام ۲: محاسبه ضریب اطمینان حداقل (FS_{min}) توسط الگوریتم ژن شناختی (تعداد حدس‌ها در این مرحله کمتر بوده و سرعت کار بالا می‌رود).

نرم‌افزار متلب برای کد نویسی توانایی بسیاری دارد به‌طوری‌که در ادامه مراحل کار می‌توان از جعبه‌ابزار موجود در این نرم‌افزار برای الگوریتم ژن شناختی استفاده کرد. برای اینکه از صحت کارکرد کد نوشته‌شده در نرم‌افزار اطمینان حاصل شود، خروجی کد نوشته شده با نتایج

جدول ۷: مقایسه خروجی‌های کد نوشته‌شده در نرم‌افزار *MATLAB* با خروجی‌های برنامه *GeoStudio*

پارامتر	مقدار به‌دست‌آمده از کد <i>MATLAB</i>	مقدار به‌دست‌آمده از نرم‌افزار <i>GeoStudio</i>	مقدار تفاوت (%)
ضریب اطمینان	۱/۳۳۷۵	۱/۳۵۴	۱٪
نیروی مهار ۱ (kN)	۱۰۰	۱۰۰	۰٪
نیروی مهار ۲ (kN)	۱۰۰	۱۰۰	۰٪
نیروی مهار ۳ (kN)	۷۸/۷۰۵۴	۷۵/۴۹۳	۴٪-
نیروی مهار ۴ (kN)	۴۴/۱۷۴۳	۴۲/۵۴۲	۴٪-

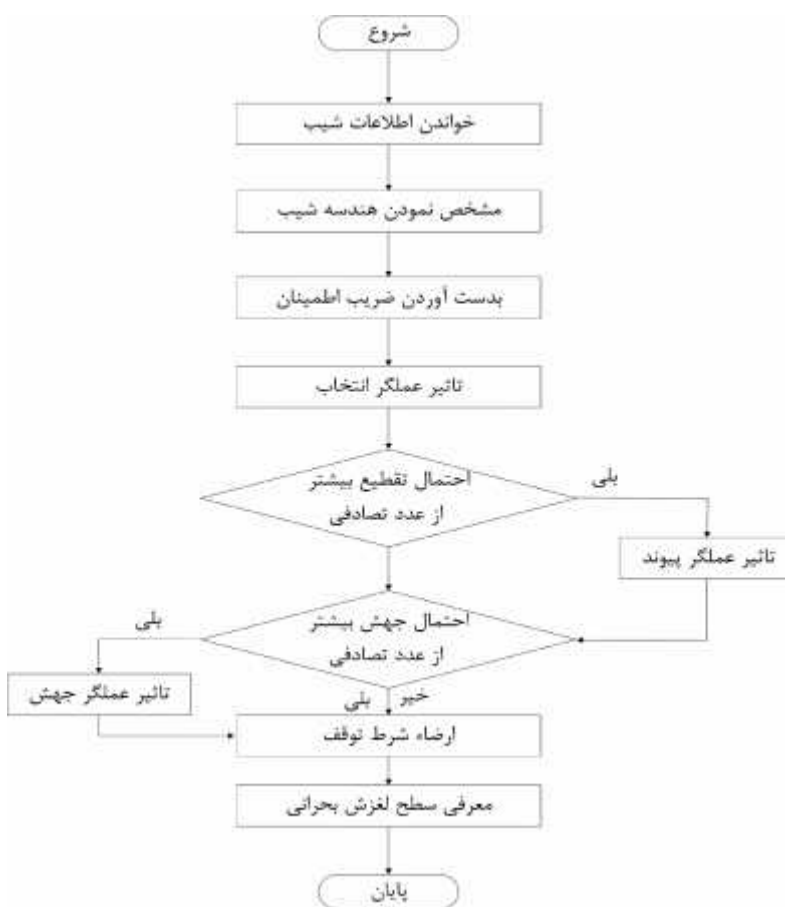
توجه شود که در این مدل، وزن مخصوص خاک برابر با 19 kN/m^3 ، زاویه اصطکاک داخلی خاک برابر با ۲۵ درجه و مقدار چسبندگی خاک برابر با ۱۵ کیلو پاسکال است. طول مهارها در این مثال برابر با ۹ متر در نظر گرفته شده و زاویه مهارها ۱۵ درجه است. برای استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی طول مهارها، مراحل کار در شکل ۳ به‌صورت فلوجارت نشان داده شده است. کد متلب و

برای اطمینان از این موضوع که کد نوشته شده و مورد استفاده در برنامه متلب قابلیت لازم در تخمین ضریب اطمینان و همچنین تعیین نیروی مهار را به خوبی مدل می‌کند، نمونه‌ای دیگر ارائه می‌شود (جدول ۸). بدین منظور از یک دیوار با ارتفاع ۱۰ متر و فواصل مهار ۱/۵ متری استفاده می‌شود. مشخصات مقاومتی مهارها مانند حالت قبل و تنها تعداد مهارها از ۴ به ۶ افزایش داده شده است.

الگوریتم ژن شناختی به‌گونه‌ای طراحی شده که به‌سادگی در محیط متلب، اطلاعات به‌صورت شکل ۴ وارد می‌شود. بتوان اطلاعات و داده‌های آن را تغییر داد. پس از اجرای کد

جدول ۸: مقایسه نتایج کد متلب با نرم‌افزار *Geostudio*

مقدار تفاوت (%)	مقدار به‌دست آمده از نرم‌افزار <i>GeoStudio</i>	مقدار به‌دست آمده از کد <i>MATLAB</i>	متغیر
٪ ۰/۷۳	۲/۴۳۸۱	۲/۴۲۰۳	ضریب اطمینان
٪ ۰/۰۰	۱۳۳/۳۳۳۳	۱۳۳/۳۳۳۳	نیروی میل مهار ۱ (kN)
٪ ۰/۰۰	۱۳۳/۳۳۳۳	۱۳۳/۳۳۳۳	نیروی میل مهار ۲ (kN)
٪ ۰/۰۰	۱۳۳/۳۳۳۳	۱۳۳/۳۳۳۳	نیروی میل مهار ۳ (kN)
٪ ۰/۰۳	۹۴/۲۲۳	۹۴/۲۶۱۷	نیروی میل مهار ۴ (kN)
٪ ۰/۰۱	۴۷/۲۹۶	۴۷/۳۴۳۷	نیروی میل مهار ۵ (kN)
٪ ۱/۳۲	۸/۱۶۴۷	۸/۰۵۷	نیروی میل مهار ۶ (kN)



شکل ۳: فلوچارت مراحل اجرا در کد متلب

Soil Parameter	Nail Parameters	Global Parameter
Alpha: 3	Bond Diameter: 8.127	Factor of Safety Min: 1.5
Beta: 60	Bond Safety Factor: 1.8	Factor of Safety Max: 1.8
H: 18	Bond Skin Friction: 108	Xc: 11.886
n: 3000	Nail Spacing: 1.5	Yc: 21.886
C: 48	Reinforce Diameter: 8.008	Number of Nail: 8
q: 38	Bar Safety Factor: 1.8	SV: 1.5
gamma: 38	delta: 18	
phi: 38		

شکل ۴: جعبه‌ابزار ورودی داده‌ها در گد متلب طراحی شده

جدول ۹: معرفی پارامترهای جعبه‌ابزار طراحی شده

متغیرهای برنامه	توضیحات	متغیرهای برنامه	توضیحات
<i>Beta</i>	زاویه پای شیب	<i>Nail Spacing</i>	فاصله افقی میل‌مهاریها
<i>H</i>	ارتفاع شیب	<i>Reinforce Diameter</i>	قطر میل مهار بر حسب متر
<i>n</i>	تعداد تقسیمات در شیب	<i>Bar Safety Factor</i>	ضریب اطمینان میل‌گرد
<i>C</i>	چسبندگی خاک	<i>delta</i>	زاویه میل‌مهاریها با افق
<i>q</i>	مقدار سربار	<i>Factor of Safety Min</i>	حداقل ضریب اطمینان
<i>gamma</i>	وزن مخصوص خاک	<i>Factor of Safety Max</i>	حداکثر ضریب اطمینان
<i>phi</i>	زاویه اصطکاک داخلی خاک	<i>yc</i> و <i>xc</i>	مرکز سطح لغزش بحرانی
<i>Bond Diameter</i>	قطر چال بر حسب متر	<i>Number of Nail</i>	تعداد میل‌مهاریها
<i>Bond Safety Factor</i>	ضریب اطمینان پیوند	<i>sv</i>	فاصله عمودی میل‌مهاریها
<i>Bond Skin Friction</i>	ضریب اصطکاک پیوند		

انتخاب شد. لازم به ذکر است که Ll معرف طول میل‌مهاری است که در پایین‌ترین ارتفاع قرار دارد و Ln معرف طول میل‌مهاری است که در بالاترین ارتفاع گود قرار دارد. محاسبات برای ۱۲ خاک با پارامترهای مقاومتی مختلف برای دیوار ۱۰ متری انجام شده است. در محاسبات، زاویه اصطکاک داخلی خاک برابر با ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه و چسبندگی خاک برابر با ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلو پاسکال در نظر گرفته شد. همچنین برای سربارهای صفر ۲۰، ۱۰، ۳۰ و ۴۰ کیلو پاسکال مورد محاسبه قرار گرفت. در تمامی مراحل محاسبات، فاصله افقی و عمودی مهارها برابر است،

۷- تحلیل، ارزیابی و تفسیر نتایج

با توجه به اینکه در شهر مشهد گودبرداری‌های زیادی خصوصاً در اطراف حرم مطهر امام رضا (ع) انجام می‌شود، مشخصات فیزیکی و مکانیکی این نوع خاک در این تحقیق در نظر گرفته شد. خاک مورد نظر از نوع رسی آهکی یعنی *Calcareous Sandy Clay* بوده و با مشخصات مکانیکی متفاوت محاسبات انجام گرفت. مقدار مقاومت پیوند (چسبندگی دوغاب تزریق شده) بر اساس آیین‌نامه *FHWA* برای نوع خاک در نظر گرفته شده برابر ۱۰۰ کیلو پاسکال

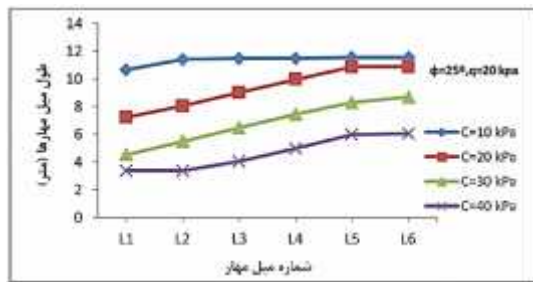
اما در جدول‌ها و شکل‌ها، فقط مقدار فاصله عمودی نشان داده شده است. وزن مخصوص خاک برابر با 20 kN/m^3 در نظر گرفته شده است. اگر فاصله مهارها افزایش یابد، تعداد آنها کاهش خواهد یافت، لذا در جداول مشاهده می‌شود که بعضی خانه‌ها رنگ مشکی دارند که نشان دهنده این است

که برای آن فاصله، میل مهار موردنظر وارد محاسبات نشده است و در اصل چنین میل مهاری وجود ندارد. در جدول ۱۰ برای سربار ۲۰ کیلو پاسکال خروجی‌ها نمایش داده شده است.

جدول ۱۰: طول محاسبه شده میل مهار به منظور پایداری سازی گود با ضریب اطمینان ۱/۵ برای دیوار ۱۰ متری و $q=20 \text{ kPa}$ توسط الگوریتم ژنتیک (قطر میل مهار ۲۸ و قطر چال ۱۲۷ میلی‌متر)

°	C (kPa)	Sv (m)	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L	FS	FS (No Nail)
۲۵	۱۰	۱/۵	۱۰/۶۵	۱۱/۴۱	۱۱/۴۹	۱۱/۴۹	۱۱/۵۵	۱۱/۵۵	۶۸/۱۴	۱/۵	۰/۳۹۴
	۲۰	۱/۵	۷/۲۳	۸/۰۵	۹/۰۰	۹/۹۶	۱۰/۸۶	۱۰/۸۷	۵۵/۹۷	۱/۵	۰/۵۹۴
	۳۰	۱/۵	۴/۵۳	۵/۴۹	۶/۴۸	۷/۴۶	۸/۲۹	۸/۶۹	۴۰/۹۵	۱/۵	۰/۷۸۹
	۴۰	۱/۵	۳/۳۶	۳/۳۷	۴/۰۵	۴/۹۷	۵/۹۷	۶/۰۴	۲۷/۷۵	۱/۵	۰/۹۸۳
۲۰	۱۰	۱/۵	۷/۲۶	۸/۲۶	۹/۲۲	۱۰/۱۴	۱۰/۹	۱۰/۹	۵۶/۶۷	۱/۵	۰/۴۳۹
	۲۰	۱/۵	۵/۰۹	۶/۰۴	۷/۰۲	۸/۰۱	۸/۴۳	۸/۷۳	۴۳/۳۳	۱/۵	۰/۶۴۱
	۳۰	۱/۵	۳/۳۸	۳/۷۷	۴/۴۴	۵/۲۳	۶/۱۰	۶/۸۴	۲۹/۷۶	۱/۵	۰/۸۳۹
	۴۰	۱/۵	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	۱۹/۹۹	۱/۵	۱/۰۳۳
۲۵	۱۰	۱/۵	۵/۰۲	۶/۰۱	۶/۹۷	۷/۹۶	۸/۴۹	۸/۶۳	۴۳/۰۸	۱/۵	۰/۴۹۰
	۲۰	۱/۵	۴/۳۷	۵/۲۳	۵/۶۱	۶/۴۶	۶/۴۷	۶/۸۱	۳۴/۹۶	۱/۵	۰/۶۹۲
	۳۰	۱/۵	۳/۴۱	۳/۴۴	۳/۴۷	۳/۶۴	۴/۰۶	۴/۲۲	۲۲/۲۴	۱/۵	۰/۸۹۲
	۴۰	۱/۵	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	۱۹/۹۹	۱/۵	۱/۰۸۷

هر مهار ۲۰٪ و در ضریب اصطکاک $35^\circ =$ طول هر مهار ۳۰٪ کاهش یافته است. تحت هر یک از چسبندگی‌های ۱۰ تا ۴۰ تأثیر تغییرات ضریب اصطکاک بر مجموع طول مهارها در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ بررسی شده است.



شکل ۵: مقایسه طول مهارهای محاسبه شده با چسبندگی توسط الگوریتم ژن شناختی برای خاک با زاویه اصطکاک ۲۵ برای دیوار ۱۰ متری، فاصله مهار ۱/۵ متر و سربار ۲۰ مگا پاسکال (قطر مهار ۲۸ و قطر چال ۱۲۷ میلی‌متر)

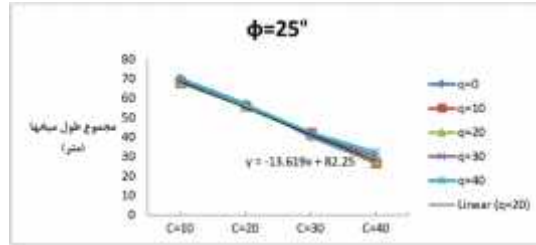
همچنین برای درک بهتر، خروجی نتایج در شکل ۵ نمایش داده شده است. در این نمودار ملاحظه می‌شود با افزایش پارامترهای مقاومت برشی خاک (چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی) طول محاسبه شده برای مهارها کاهش خواهد یافت و این کاهش طول برای دیوار با ارتفاع ۱۵ متر نیز وجود دارد. این مسئله به این دلیل است که در چسبندگی و ضریب اصطکاک‌های بالا شیب گود پایداری متناسبی دارد، به عبارت دیگر ضریب اطمینان بدون مهار آن نزدیک به یک است. برای سربارهای صفر تا ۴۰ کیلو نیوتن تحت ضریب اصطکاک‌های مختلف نمودارها ترسیم شد.

می‌توان به سادگی مشاهده نمود با افزایش چسبندگی، طول مهارها کم شده است، از طرف دیگر با افزایش چسبندگی اختلاف طول مهارها کم می‌شود و با کم شدن چسبندگی، طول مهارها به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. با توجه به نمودارهای فوق مشخص است که در ضریب اصطکاک $25^\circ =$ طول هر مهار با افزایش چسبندگی ۱۰ کیلو پاسکال حدود ۳۰٪، در ضریب اصطکاک $30^\circ =$ طول

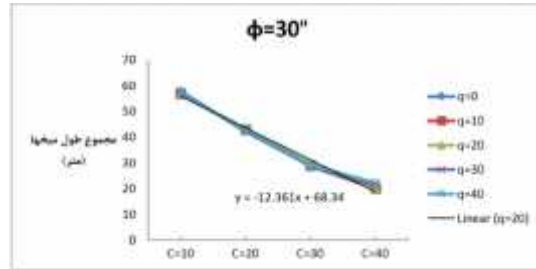
قابل استنباط است که با افزایش ضریب اصطکاک شیب نمودار کاهش می‌یابد. این کاهش در ضریب اصطکاک‌های بالاتر، بیشتر است؛ به عبارت دیگر با افزایش ۵ درجه‌ای ضریب اصطکاک از ۲۵ تا ۳۰ درجه، شیب نمودار ۱۰٪ و با افزایش ضریب اصطکاک ۵ درجه‌ای از ۳۰ تا ۳۵ درجه، شیب نمودار حدود ۳۰٪ کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود مقدار شیب خط نیز با افزایش مقدار چسبندگی کاهش می‌یابد؛ اما به طور کل، شیب خط در تغییرات چسبندگی از شیب در تغییرات ضریب اصطکاک بیشتر است یا به عبارت دیگر، افزایش چسبندگی خاک بر روی کاهش طول مهارها تأثیر بیشتری نسبت به افزایش ضریب اصطکاک دارد.

۸- بررسی تأثیر قطر چال تزریق (پیوند) و قطر میل مهار

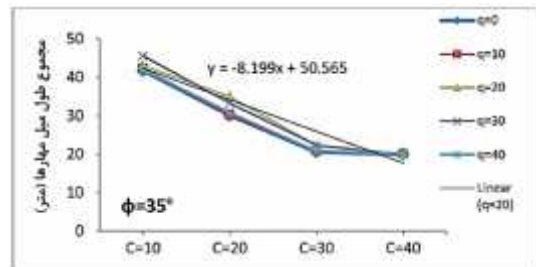
برای بررسی تأثیرات قطر چال و میل مهارها بر طول از سربار ۴۰ کیلو پاسکال استفاده شده است. در این حالت، زاویه اصطکاک ۳۰ درجه و چهار نوع چسبندگی در نظر گرفته شده که خروجی برنامه در جدول ۱۱ نمایش داده شده است. همچنین به عنوان نمونه، خروجی الگوریتم ژن شناختی برای قطر میل گرد ۲۸ میلی‌متر، قطر چال ۱۰۰ میلی‌متر، $C=30$ و $q=40$ kpa در شکل ۹ نمایش داده شده است.



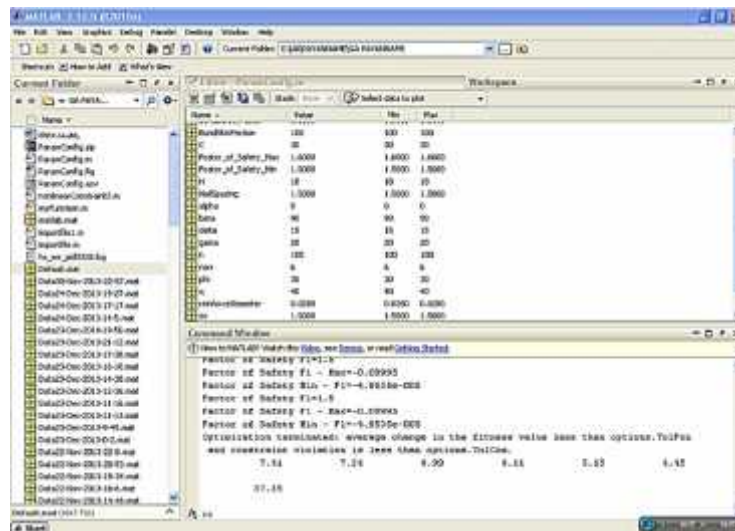
شکل ۶: مجموع طول مهارها با چسبندگی در سربارهای صفر تا ۴۰ کیلو پاسکال با زاویه اصطکاک ۲۵ درجه



شکل ۷: مجموع طول مهارها با چسبندگی در سربارهای صفر تا ۴۰ کیلو پاسکال با زاویه اصطکاک ۳۰ درجه



شکل ۸: مجموع طول مهارها با چسبندگی در سربارهای صفر تا ۴۰ کیلو پاسکال با زاویه اصطکاک ۳۵ درجه



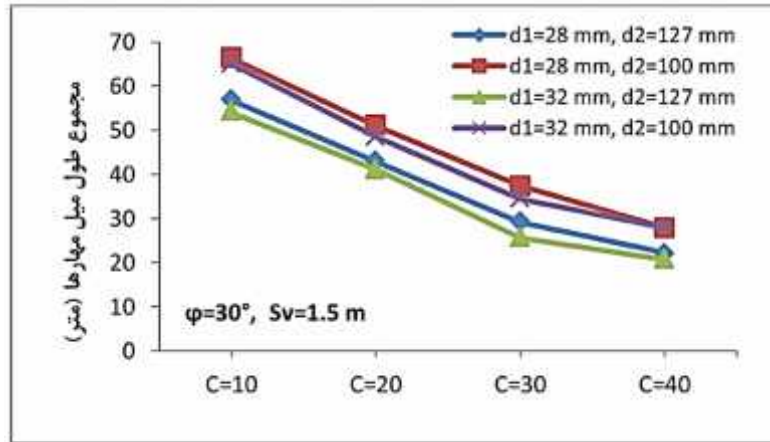
شکل ۹: خروجی الگوریتم ژن شناختی برای قطر میل گرد ۲۸ میلی‌متر، قطر چال ۱۰۰ میلی‌متر، $C=30$ و $q=40$ kpa

جدول ۱۱: طول و مجموع طول میل مهارها برای سربار $40MPa$ با تغییر قطر میل مهار و قطر چال در دیوار ۱۰ متری

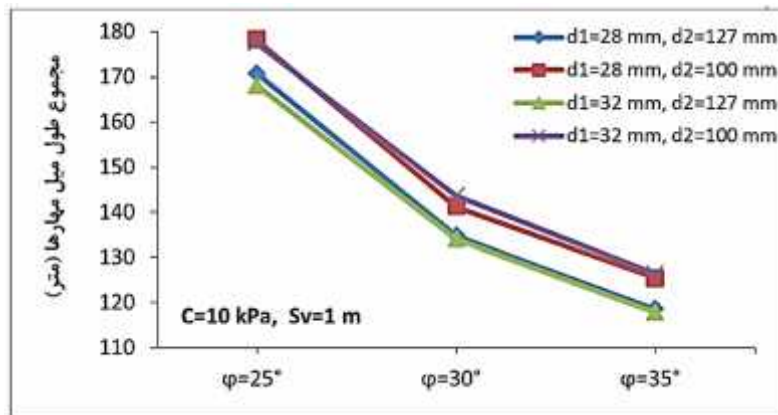
قطر میل مهار ۲۸ mm و قطر چال ۱۲۷ mm و $q = 40 kpa$									
°	C	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L	FS
۳۰	۱۰	۷/۲۸	۸/۲۸	۹/۲۸	۱۰/۰۹	۱۰/۹	۱۰/۹۲	۵۶/۷۶	۱/۵
	۲۰	۴/۹۹	۵/۹	۶/۸۹	۷/۸۸	۸/۳۷	۸/۹۱	۴۲/۹۴	۱/۵
	۳۰	۳/۳۴	۳/۳۴	۴/۲۴	۵/۲۳	۶/۲۳	۶/۷۴	۲۹/۱۲	۱/۵
	۴۰	۳/۳۳	۳/۳۵	۳/۳۷	۳/۸۴	۴/۱	۴/۲	۲۲/۲۲	۱/۵
قطر میل مهار ۲۸ میل متر و قطر چال ۱۰۰ میلی‌متر و $q = 40 kpa$									
°	C	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L	FS
۳۰	۱۰	۸/۹	۹/۸۵	۱۰/۱۸۱	۱۱/۷	۱۲/۲۱	۱۲/۸۶	۶۶/۳۳	۱/۵
	۲۰	۶/۵۱	۷/۴۸	۸/۴	۹/۴	۹/۶	۹/۶۸	۵۱/۰۷	۱/۵
	۳۰	۴/۴۵	۵/۱۵	۶/۱۱	۶/۹۹	۷/۲۴	۷/۴۱	۳۷/۳۵	۱/۵
	۴۰	۴/۲۸	۴/۳۹	۴/۴۵	۴/۵۸	۵/۰۸	۵/۱۶	۲۷/۹۴	۱/۵
قطر میل مهار ۳۲ میل متر و قطر چال ۱۲۷ میلی‌متر و $q = 40 kpa$									
°	C	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L	FS
۳۰	۱۰	۶/۷۳	۷/۶۴	۸/۶۴	۹/۵۶	۱۰/۵۶	۱۰/۹۲	۵۴/۰۶	۱/۵
	۲۰	۴/۴۶	۵/۷۱	۶/۳۲	۷/۴	۸/۵۳	۸/۷۴	۴۰/۱۶	۱/۵
	۳۰	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۹۵	۴/۵۹	۵/۱۲	۵/۳۹	۲۵/۷۱	۱/۵
	۴۰	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۴۸	۳/۹۷	۲۰/۷۷	۱/۵
قطر میل مهار ۳۲ میل متر و قطر چال ۱۰۰ میلی‌متر و $q = 40 kpa$									
°	C	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L	FS
۳۰	۱۰	۸/۶۶	۹/۶۶	۱۰/۶۳	۱۱/۲۸	۱۱/۹۹	۱۲/۸	۶۵/۰۲	۱/۵
	۲۰	۶/۵۵	۷/۲۲	۸	۸/۳۶	۹/۱۹	۹/۲۵	۴۸/۵۷	۱/۵
	۳۰	۳/۳۴	۴/۳	۵/۲۸	۶/۲۸	۷/۱۴	۸/۱۱	۳۴/۴۵	۱/۵
	۴۰	۴/۲۷	۴/۳۷	۴/۶۲	۴/۶۲	۴/۸۴	۵/۱۸	۲۷/۹	۱/۵

برای دیوار ۱۵ متری نیز محاسبات انجام شد و نتایج به دست آمده (شکل ۱۱) تقریباً همانند نتایج دیوار ۱۰ متری است. بدین صورت که تغییر در قطر میل مهارها اثر چشمگیری بر روی مجموع طول مهارهای موردنیاز به منظور مسلح سازی ندارد، حال آنکه با تغییر در قطر چال حفاری، مجموع طول موردنیاز به منظور مسلح سازی تغییر خواهد کرد. بدین معنی که اگر قطر چال از ۱۰۰ به ۱۲۷ میلی متر افزایش پیدا کند، مجموع طول مهار موردنیاز کاهش خواهد یافت. این تغییر برای فاصله ۱/۲۵ متر مهارها بیش از ۱۵٪ و برای فاصله یک متر بیش از ۸٪ است.

با توجه به داده های جدول ۱۱ و شکل ۱۰ ملاحظه می شود که تغییر در قطر میل مهار اثر چشمگیری روی مجموع طول مهارهای موردنیاز به منظور مسلح سازی ندارد، به طور مثال با افزایش قطر میل مهارها از ۲۸ به ۳۲ طول مهارها حدود ۵٪ کاهش می یابد، حال آنکه با تغییر در قطر چال حفاری، مجموع طول موردنیاز به منظور مسلح سازی تغییر خواهد کرد. بدین صورت که اگر قطر چال از ۱۰۰ به ۱۲۷ میلی متر افزایش پیدا کند، مجموع طول مهار موردنیاز حدود ۲۰٪ کاهش خواهد یافت. دلیل این مورد این است که با افزایش قطر چال مساحت جانبی بخش پیوند افزایش می یابد و اتصال آن با خاک بیشتر می شود. توجه شود که منظور از d_1 قطر میل گرد و منظور از d_2 قطر چال است.



شکل ۱۰: اثر قطر میل گرد و چال بر روی مجموع طول میل گرد موردنیاز برای خاک با زاویه اصطکاک داخلی 30° درجه و فاصله مهارهای $1/5$ متر و سربار 40 کیلو پاسکال (ارتفاع دیوار برابر با 10 متر)



شکل ۱۱: اثر قطر میل گرد و چال بر روی مجموع طول میل گرد موردنیاز برای خاک با چسبندگی 10 کیلو پاسکال و فاصله مهارهای $1/25$ متری (ارتفاع دیوار 15 متر)

میل مهار با افزایش چسبندگی 10 کیلو پاسکال حدود 30% و در خاک با اصطکاک داخلی 30° درجه، طول هر میل مهار 20% و در خاک با اصطکاک داخلی 35° درجه، طول هر میل مهار 30% کاهش یافته است.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که با افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک، شیب نمودارها که معرف شدت کاهش طول میل مهار است، کاهش می‌یابد. کاهش طول میل مهار در خاک‌های با اصطکاک داخلی بالا بیشتر است؛ به عبارت دیگر با افزایش زاویه اصطکاک داخلی از 25° به 30° درجه، شیب نمودار 10% و با افزایش زاویه اصطکاک داخلی از 30° به 35° درجه، شیب نمودار حدود 30% کاهش می‌یابد. این موضوع معرف تأثیر بالای زاویه اصطکاک داخلی خاک در کاهش طول میل مهار است. همچنین بررسی نتایج نشان می‌دهد

۹- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله تلاش شد تا با بهره‌گیری از قابلیت‌ها و مفاهیم الگوریتم ژن‌شناختی، نسبت به بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر طراحی میل مهار در تثبیت و پایداری شیب‌های خاکی پرداخته شود. با اعتبارسنجی و اجرای یک کد طراحی شده با الگوریتم ژن‌شناختی در محیط متلب، موارد زیر را می‌توان به عنوان نتایج حاصل از این پژوهش بیان کرد.

با افزایش چسبندگی خاک اختلاف طول میل مهارها کم می‌شود و با کم شدن چسبندگی خاک، طول آنها به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. با توجه به نمودارها مشخص شد که در خاک با اصطکاک داخلی 25° درجه، طول هر

FHWA A-SA-93-026 [Translated by US department of Transportation].

[2] Plumelle, C., & Schlosser, F. (1990). A French National Research Project on soil Nailing: Clouterre. Performance of Reinforced Soil Structure.

[3] Marchal, J. (1984). Renforcement des sols par clouage-Etude expérimentale en laboratoire. In renforcement en place des sols et des roches-comptes rendus du colloque international, paris, 9-11 octobre 1984.

[4] Shafiee, S. (1986). Simulation numérique du comportement des sols cloués. Interaction sol-renforcement et comportement de l'ouvrage (Doctoral dissertation, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées).

[5] Jones CPD. (1990), In-situ techniques for reinforced soil. In: Proceedings of the International Reinforced Soil Conference, Glasgow; pp. 277-82.

[6] Juran, I., Baudrand, G., Farrag, K., & Elias, V. (1990). Kinematical limit analysis for design of soil-nailed structures. Journal of geotechnical engineering, 116(1), 54-72.

[7] Fan, C. C., & Luo, J. H. (2008). Numerical study on the optimum layout of soil-nailed slopes. Computers and Geotechnics, 35(4), 585-599.

[8] Tavakolian Bana H., (2011), Optimum of Soil Nailed Walls by Genetic Algorithm. A thesis presented to the University of K.N.Toosi University of Technology.

[9] Melanie, M. (1999). An introduction to genetic algorithms. Cambridge, Massachusetts London, England, Fifth printing, 3, 62-75.

[10] Pasdarpour, M., Ghazavi, M., Teshnehlav, M., & Sadrenejad, S. A. (2009). Optimal design of soil dynamic compaction using genetic algorithm and fuzzy system. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 29(7), 1103-1112.

[11] Chan, C. M., Zhang, L. M., & Ng, J. T. (2009). Optimization of pile groups using hybrid genetic algorithms. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 135(4), 497-505.

[12] Zolfaghari, A. R., Heath, A. C., & McCombie, P. F. (2005). Simple genetic algorithm search for critical non-circular failure surface in slope stability analysis. Computers and geotechnics, 32(3), 139-152.

[13] www.geo-slope.com

[14] Plumelle, C., & Schlosser, F. (1990). A French National Research Project on soil Nailing: Clouterre. Performance of Reinforced Soil Structure.

[15] Craig, R. F., (2004), Craig's soil mechanics. 7th edition, Taylor & Francis

شیب خط با افزایش چسبندگی خاک نیز کاهش می‌یابد به طوری که تأثیر چسبندگی بیش از اثر زاویه اصطکاک داخلی خاک است یعنی افزایش چسبندگی خاک بر روی کاهش طول میل مهار تأثیر بیشتری نسبت به افزایش ضریب اصطکاک دارد.

همچنین ملاحظه شد که تغییر در قطر میل مهار اثر چشمگیری بر روی مجموع طول میل مهار مورد نیاز به منظور مسلح سازی ندارد، به طور مثال با افزایش قطر میل گردها از ۲۸ به ۳۲ طول میل مهارها حدود ۵٪ کاهش می‌یابد، حال آنکه با تغییر در قطر چال حفاری، مجموع طول مورد نیاز به منظور مسلح سازی تغییر خواهد کرد. بدین صورت که اگر قطر چال از ۱۰۰ به ۱۲۷ میلی‌متر افزایش پیدا کند، مجموع طول میل مهار مورد نیاز حدود ۲۰٪ کاهش خواهد یافت. دلیل این مورد این است که با افزایش قطر چال سطح جانبی و قدرت پیوند افزایش می‌یابد و درگیری و اتصال میل مهار با خاک بیشتر می‌شود. باید دقت کرد در تزریق دوغاب در چال، همواره لایه نازکی از خاک روی سطح جانبی دوغاب قرار دارد به طوری که گسیختگی همواره بین این لایه نازک و خاک پیرامون آن رخ می‌دهد. به عبارتی اتصال خاک و خاک گسیخته می‌شود (مقاومت برشی خاک). نیروی لازم برای گسیختگی میل مهار با افزایش قطر چال و به دنبال آن افزایش سطح جانبی دوغاب با خاک پیرامون آن افزایش می‌یابد.

بررسی و مقایسه نتایج در یک دیوار ۱۵ متری تقریباً همانند نتایج حاصل از تحلیل یک دیوار ۱۰ متری است. بدین صورت که تغییر در قطر میل گردها اثر چشمگیری بر روی مجموع طول میل مهارهای مورد نیاز به منظور مسلح سازی ندارد، حال آنکه با تغییر در قطر چال حفاری، مجموع طول مورد نیاز به منظور مسلح سازی تغییر خواهد کرد. بدین معنی که اگر قطر چال از ۱۰۰ به ۱۲۷ میلی‌متر افزایش پیدا کند، مجموع طول میل مهار مورد نیاز کاهش خواهد یافت. این تغییر برای فاصله ۱/۲۵ متر بیش از ۱۵٪ و برای فاصله یک متر بیش از ۸٪ است.

مراجع

[1] CLOUTERRE, (1993), French National Research Project, recommendations CLOUTERRE (English Translation). Soil nailing recommendations.

[16] DU Xiu-li, WANG Zhi-hui. (2007). Interior stability analysis method of soil-nailed structure based on empirical genetic-simplex algorithm. Key Laboratory of Urban Security and Disaster Engineering, Beijing University of Technology, Ministry of Education, Beijing 1000, 22, China, Vol. 29 NO.4

[17] Alborzi M., (2010) "Genetic Algorithm", Sharif University of Technology Publication (in Persian).

[18] Khandavan B. and Bolori Bazaz J. (2012) " optimization of pile group array using genetic Algorithm under unsystematic loading" 6th National Congress in Civil Engineering, Semnan, Iran (in Persian)

[19] Rahsepar M. (2007) "using genetic Algorithm to find land slide analysis", MSc Thesis, University of science and technology (in Persian).

-
- 1- Neural network
 - 2- Fuzzy logic
 - 3- Genetic algorithm
 - 4- John Henry Holland
 - 5- David E. Goldberg
 - 6- Simple Genetic Algorithm
 - 7- Eiben
 - 8- Koza
 - 9- Krishmakumar
 - 10- Mahfoud
 - 11- Adler
 - 12- Nailing

Optimum Layout of Soil Nailed Walls by Genetic Algorithm

A. Saberi¹, S. Ghaffarpour Jahromi^{2*}

1- MSc in Geotechnical Engineering, Dept. of Civil, Shahid Rajaei Teacher Training University, Iran

2- Assistant Professor, Dept. of Civil, Shahid Rajaei Teacher Training University, Iran

* Corresponding Author: saeed_ghf@srttu.edu

(Received: July 2015, Accepted: March 2016)

<i>Keywords</i>	<i>English Extended Abstract</i>
Slope Stability Composite Soil Nailing Wall Genetic Algorithms Optimization Nailing	Summary During the last decade, stabilization of soil slopes using nailing has attracted a lot of attention. Optimization of nailing in excavation projects is a potential factor for significant cost savings. Such optimizations are typically performed using trial and error approaches, and thus in several cases the design is not optimal.

Introduction

Soil nailing is a construction technique that can be used as a remedial measure to treat unstable natural soil slopes or as a construction technique that allows the safe over-steepening of new or existing soil slopes. The aim of this study is to analyze the stability of slopes using genetic algorithm considering various factors to achieve the optimum length of soil reinforcement elements.

Methodology and Approaches

Four main points to be considered in determining if soil nailing would be an effective retention technique are as follows. First, the existing ground conditions should be examined. Next, the advantages and disadvantages for a soil nail wall should be assessed for the particular application being considered. Then other systems should be considered for the particular application. Finally, cost of the soil nail wall should be considered. In this study, a computer code has been developed which uses the genetic algorithm in MATLAB software to determine the percentage of allowable reduction on the length of reinforcement, considering soil shear strength parameters. The code has been developed in such a way that a user unfamiliar with the genetic algorithm concepts is able to easily complete the reinforcement optimization process. A case study has been performed using soil specifications for the central region of Mashhad, around the holy shrine of Imam Reza (AS).

Results and Conclusions

The outcome of this research suggests that changing rebar size does not substantially affect the total length of reinforcements; however, a change in the diameter of the drill hole has a more significant influence on the reduction of the reinforcement length.

Cite This Paper:

Saberi, A., Ghaffarpour Jahromi, S., (2015). "Optimum Layout of Soil Nailed Walls by Genetic Algorithm" Journal of Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering **5**(10): 63-76.