بهینه سازی زاویه میخ‌ها در شیروانی‌های پایدارسازی‌شده با روش میخ‌گذاری

مقاله پژوهشی

مینا فرودیان، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران
محمد حاذقیان*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران
کاظم برخورداری، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.hazeghian@yazd.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰٤/۲۸- پذیرش: ۹۹/۰۷/۱۵
صفحه ۲۸-۱۷

چکیده

روش میخ‌گذاری یکی از روش‌های رایج برای پایدارسازی دیواره‌های گود است که در سال‌های اخیر مورد توجه بوده است. مطالعات متنوعی برای بهینه‌سازی آرایش، طول و زاویه میخ‌ها در طرح میخ‌گذاری انجام شده است. زاویه میخ یکی از متغیرهای بهینه‌سازی مهم بوده که در مطالعات گذشته در نظر گرفته شده است. بعنوان یک قید در بهینه‌سازی، در مطالعات پیشین فرض شده است که زوایای تمامی ردیف‌های میخ در عمق دیواره گود باید مساوی باشند. برعکس، مطالعه حاضر فرض می‌کند که این زوایا می‌توانند در عمق متفاوت باشند؛ بعبارت دیگر، زاویه میخ هر ردیف از میخ‌ها یک پارامتر بهینه‌سازی مستقل است. مطالعه حاضر بهینه‌سازی میخ‌ها را با دو رویکرد انجام می‌دهد. در رویکرد اول، نسبت طول بیشینه میخ‌ها به ارتفاع دیوار بدون قید است اما در رویکرد دوم، این نسبت به مقداری که در راهنمای FHWA پیشنهاد شده است، محدود می‌گردد. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که زوایای بهینه برای دو رویکرد در نظر گرفته شده متفاوت هستند. در رویکرد اول، زوایای بهینه برای تمامی ردیف‌های میخ ثابت و برابر ۵ درجه است؛ اما در رویکرد دوم، زوایای بهینه برای هر ردیف از میخ‌ها متفاوت است به‌طوری که از بالاترین ردیف به پایین‌ترین ردیف کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: گودبرداری، میخ‌گذاری، زاویه میخ‌ها، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک

۱-مقدمه

با رشد شهرها و افزایش جمعیت، لزوم استفاده از فضاهای زیرزمینی و اجرای طبقات پایین‌تر از سطح زمین افزایش یافته که در این رابطه اجرای گودبرداری‌ها و خاکبرداری‌های قائم گسترش پیدا کرده است. حفاظت از جداره گودبرداری‌ها همواره از مسائل حائز اهمیت به شمار می‌رود. روش‌های مناسب پایدارسازی دیواره گودها با توجه به جنس خاک، ابعاد و عمق گود، سطح آب زیرزمینی، شرایط بارگذاری اطراف گود و لرزه خیزی منطقه انتخاب می‌شود. روش میخ‌گذاری یکی از روش‌های پایدارسازی دیواره‌های گود به شمار می‌رود که مزایای مهمی نظیر ایمنی زیاد به دلیل پیشروی عملیات پایدارسازی با افزایش عمق گود، سهولت اجرای آن نسبت به روش های دیگر و مقرون به صرفه بودن به لحاظ اقتصادی دارد. مبدأ اصلی روش میخ‌کوبی خاک را می‌توان سازه نگهبان بکار رفته در حفاری فضاهای زیرزمینی که در روش تونل سازی اتریشی (NATM) استفاده می‌شود دانست و تدبیر به کارگیری آرماتورهای فولادی و شاتکریت در نگهداری شیب‌های سنگی به اوایل دهه ۱۹۶۰ برمی‌گردد (Rabcewicz1964). از اولین موارد به‌کارگیری روش میخ‌کوبی خاک، پروژه تعریض راه آهن در نزدیکی ورسایلس فرانسه در سال ۱۹۷۲ بود. از آنجا که این روش مقرون به

صرفه و سریعتر از دیگر روش‌های نگهداری بود، به سرعت در فرانسه و دیگر کشورهای اروپایی به کار گرفته شد (Azhdarishabestari.2012). اثر آرایش میخ‌ها در پایداری سازه‌های میخ‌گذاری شده طی پروژه تحقیقات ملی فرانسه در دهه ۱۹۸۰ مورد مطالعه قرار گرف.Fan & Luo درسال ۲۰۰۸ بر روی آرایش بهینه میخ‌گذاری در جداره‌های خاکی مطالعاتی انجام دادند. در این مطالعات، تاثیر زاویه و آرایش هندسی میخ‌ها بر روی پایداری کلی جداره‌های خاکی با شرایط هندسی مختلف بررسی شد، که برای جداره‌های خاکی شیبدار میخ‌گذاری شده با زمین پشتی افقی، بهینه‌ترین زاویه میخ‌گذاری برای جداره‌هایی با زاویه شیب ۹۰، ۸۰، ۷۰، ۶۰، ۵۰ و ٤٠ درجه، به ترتیب، ۰، ۸، ١٦، ۲۳، ۳۰ و ٤٠ درجه بدست آمد (Chia-Cheng Fan, Jiun-Hung Tang and Jiang.Luo.2008) در سال ۲۰۱۵ به بررسی تاثیر پارامترهای مختلف میخ‌گذاری خاک (مانند زاویه میخ، فاصله افقی میخ‌ها، قطر و طول میخ) در ضریب اطمینان شیب با استفاده از نرم‌افزار GeoStudio با روش تحلیل Morgenestern-Price پرداخته و به نتایج زیر دست یافتند:

– ضریب اطمینان با افزایش زاویه شیب ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد که این مقدار حساسیت بسیار کم است و تاثیر زاویه میخ در ضریب اطمینان مشهود نمی‌باشد.

– زاویه بهینه میخ‌گذاری بین ۱۰ تا ۲۵ درجه می‌باشد.

– ضریب اطمینان با افزایش فاصله افقی میخ‌ها کاهش می‌یابد که فاصله ۱ تا ۲ متر مناسب‌ترین فاصله می‌باشد.

– با افزایش طول میخ ضریب اطمینان ابتدا افزایش و سپس به یک مقدار مشخص می‌رسد. افزایش طول میخ برای پایداری شیب به صورت محدود امکان پذیر است که طول میخ مطلوب برای این شیب بین ۰/۷ تا ۱/۱ برابر ارتفاع شیب می‌باشد.

– ضریب اطمینان به تغییرات زاویه میخ حساس نمی‌باشد در حالی که همان گونه که ذکر شد به تغییر فاصله افقی میخ‌ها، قطر میخ و طول میخ‌ها حساس می‌باشد (Ou-Ling Tang and Qing-ming Jiang.2015)

در سال ۱۳۹۳ عبدالله رفیع زاده و همکاران به بررسی میزان ضریب ایمنی و جابه‌جایی افقی در گودبرداری‌های عمیق و سازه نگهبان میخ گذاری شده پرداختند و میزان جابه‌جایی افقی دیواره گود در گودهای با ارتفاع ۹ و ۱۸ و ۲۷ متری در شرایط خاک هموژن و در حالت اجرای میخ خاک‌ها با زاویه شیب ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه با اجرای میخ با طول متفاوت را مورد بررسی قرار دادند که دریافتند زمانی که نسبت طول میخ به ارتفاع گود ثابت است هرچه عمق افزایش یابد ضریب اطمینان گود کاهش و جابجایی افقی افزایش می‌یابد، همچنین افزایش زاویه میخ خاک‌های تحتانی باعث افزایش ضریب ایمنی سازه نگهبان نیز می‌شود. در سال ١٣٩٤ محمود یزدانی و همکاران پارامترهای طول و قطر میخ‌ها و قطر چال حفاری و فواصل افقی میخ‌ها و ضخامت شاتکریت را برای سیستم میخ گذاری شده به روش تاگوچی مورد بررسی قرار دادند که درنهایت برای هر نوع خاک به طرحی بهینه رسیدند که نسبت به حالت معمول ۱۵ درصد اقتصادی‌تر است.

همانطور که اشاره شد، تحقیقات زیادی در مورد بهینه‌سازی طرح میخ‌گذاری انجام شده است. در این ارتباط، زاویه میخ یکی از متغیرهای بهینه‌سازی است که مورد توجه بوده است. در مطالعات پیشین، بعنوان یک قید در بهینه‌سازی فرض شده است که زوایای تمامی ردیف‌های میخ‌گذاری یکسان است و بدین ترتیب یک متغیر بهینه‌سازی بعنوان زاویه تمامی میخ‌ها در نظر گرفته شده است. اما در مطالعه حاضر فرض بر این است که زاویه هر ردیف از میخ‌ها می‌تواند متفاوت از سایر ردیف‌ها باشد. در نتیجه به تعداد ردیف‌های میخ در طرح میخ‌گذاری، متغیرهای بهینه‌سازی مرتبط با زاویه میخ وجود دارد. علاوه بر این، ایجاد لینک میان نرم‌افزار GEOLOPE و MATLAB برای محاسبه ضریب اطمینان در حین عملیات بهینه‌سازی را می‌توان دیگر نوآوری مطالعه حاضر بر شمرد. در اکثر مطالعات پیشین، از روابط تحلیلی برای محاسبه ضریب اطمینان استفاده شده است که دارای محدودیت‌های بسیاری هستند. نرم‌افزار GEOLSOPE یک ابزار قدرتمند و جامع برای محاسبه ضریب اطمینان است که طیف وسیعی از روش‌های محاسبه ضریب اطمینان همچون روش پیشرفته اسپنسر را پوشش می‌دهد.

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر، بهینه‌سازی زوایای میخ‌ها برای یک گود ۱۵ متری و چهار نوع خاک مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۱ مشخصات انواع خاک در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد. سربار گود ۱۰ کیلوپاسکال فرض شده است.

جدول ۱. مشخصات انواع خاک

مشخصات مکانیکی خاک	انواع خاک			
	خاک۱	خاک ۲	خاک ۳	خاک ٤
وزن مخصوص (kN/m^3)	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
چسبندگی (kN/m^2)	۰	۱۰	۲۰	۲۵
زوایه اصطکاک (°)	۳۵	۳۵	۲۵	۲۵

برای انجام بهینه‌سازی، برنامه‌ای در نرم افزار MATLAB نوشته شد. در این برنامه، امکان استفاده از هسته محاسباتی نرم افزار GEOSLOPE در جعبه بهینه‌سازی (Optimization toolbox) نرم افزار MATLAB برای محاسبه ضریب اطمینان گود فراهم شده است. ایجاد ارتباط میان نرم افزار MATLAB و GEOSLOPE را می‌توان از ویژگی‌های این تحقیق دانست که در مطالعات پیشین انجام نشده است. طراحی اولیه هر مدل براساس گزارش شماره FHWA0-IF-03-017 انجام و آرایش (فاصله قائم و افقی)، طول (L_{max}) قطر میخ‌ها تعیین شد. قابل توجه است که بهینه‌سازی هر مدل با دو رویکرد انجام شده است. در رویکرد اول، محدودیتی برای طول میخ‌ها در طرح اولیه وجود ندارد و می‌تواند بزرگتر از L_{max} (طولی که براساس راهنمای FHWA بدست می‌آید) انتخاب شود اما در رویکرد دوم طول میخ‌ها در طرح اولیه به L_{max} محدود می‌شود. شکل ۱ به صورت شماتیک این دو رویکرد را مقایسه می‌کند. بنابراین برای هر مدل، عملیات بهینه‌سازی دو مرتبه و با دو رویکرد بالا انجام شده است. از این بعد، از رویکرد اول با عنوان بدون محدودیت طول و از رویکرد دوم با عنوان با محدودیت طول یاد می‌شود. برای بهینه‌سازی هر مدل، ابتدا طرح اولیه آن در نرم‌افزار GEOSLOPE ساخته شد. سپس تنظیمات اولیه الگوریتم ژنتیک در جعبه بهینه‌سازی نرم‌افزار MATLAB انجام شد. اولین گام در یافتن مدل بهینه، یافتن مدل با بیشینه ضریب اطمینان بود. اینکار با مینیمم کردن معکوس تابع ضریب اطمینان (FOS^{-1}) با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شد. تابع ضریب اطمینان FOS تابعی در متلب است که با استفاده از اطلاعات ورودی و لینکی که میان نرم‌افزار MATLAB و GEOSLOPE پیاده‌سازی شده است، هسته محاسباتی نرم‌افزار GEOSLOPE را در حین پروسه بهینه‌سازی فرا می‌خواند و ضریب اطمینان پایداری کلی دیواره را محاسبه می‌کند. از روش اسپنسر برای محاسبه ضریب اطمینان پایداری استفاده شد. شایان ذکر است که متغیرهای بهینه‌سازی در الگوریتم ژنتیک شامل زوایای (α_i) میخ‌ها بود که به ترتیب در محدوده ۵ تا ٤۵ درجه در نظر گرفته شد. فواصل افقی تمامی ردیف‌های میخ یکسان فرض شد. همچنین طول (L_i)، قطر (ds)، فاصله افقی (Sh_i) و قائم (Sv_i) میخ‌ها ثابت و برابر با مقادیر در نظر گرفته شده در طرح اولیه فرض شد.

بعد از یافتن طرح میخ‌گذاری با بیشینه ضریب اطمینان، فاصله افقی میخ‌ها تا حد امکان افزایش داده شد بطوریکه ضریب اطمینان پایداری کلی دیواره از حداقل ضریب اطمینان مجاز (در اینجا ۱/۳) کمتر نشود. در انتها، میخ‌هایی که طول آنها بزرگتر از مقدار موردنیاز بود، به اندازه لازم کوتاه شدند. در انتهای این مرحله، طرح بهینه میخ‌گذاری بدست آمد.

مقایسه طرح‌های بهینه با استفاده از معیار تراکم انجام می‌شود. کمیت تراکم برای یک دیواره میخ‌گذاری‌شده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر، معیار تراکم مقدار طول میخ بر واحد سطح دیواره گود را نشان می‌دهد. هر چه عدد تراکم برای یک طرح میخ‌گذاری کمتر باشد، بدیهی است که آن طرح بهینه‌تر واقتصادی‌تر است.

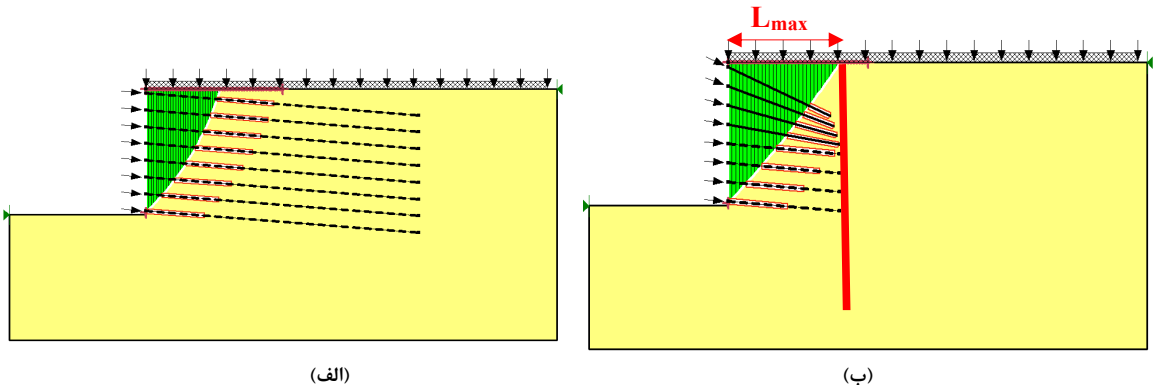
$$Density = \frac{\sum \frac{L_i}{Sh_i}}{H} \times 100 \qquad (۱)$$

نتایج و بحث

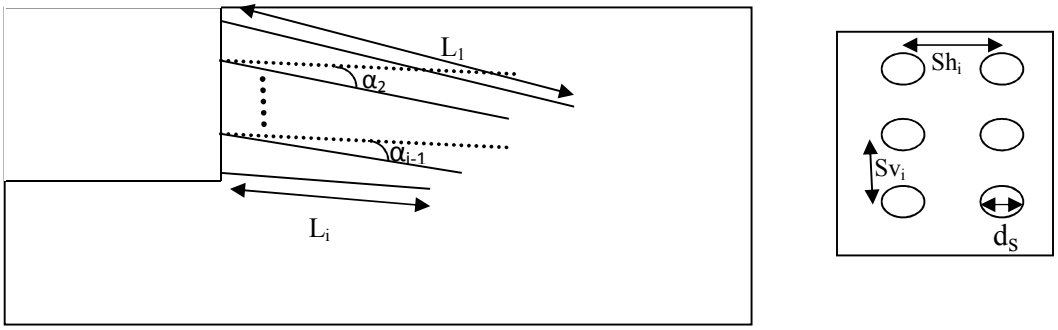
به منظور تعیین طرح‌های بهینه برای یک گود با عمق ۱۵ متر و چهار نوع خاک با دو رویکرد بدون محدودیت طول و با محدودیت طول، ۸ آنالیز بهینه‌سازی مطابق با فرضیات توضیح داده شده انجام شد. شکل‌های ۳ تا ۱۰ نتایج به دست آمده برای مدل‌های مختلف را نشان می‌دهد. نمودارهای معکوس تابع ضریب اطمینان ($FOS^{-1}=1/FOS$) برحسب نسل‌های تولید شده در الگوریتم ژنتیک در این شکل‌ها نشان داده شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، مقادیر FOS^{-1} در انتها به مقادیر کمینه همگرا شده‌اند که به معنای دستیابی به مقادیر

ضریب اطمینان بیشینه است. علاوه بر این، زوایای ردیف‌های میخ در طرح‌های بهینه و طرح‌های نهایی بهمراه ضرایب اطمینان پایداری آنها (البته بعد از اصلاح فاصله افقی) نشان داده شده‌اند. جالب توجه است که برای مدل‌های بدون محدودیت طول، زوایای بهینه برای تمامی ردیف‌ها یکسان و برابر با ۵ درجه بدست آمده است اما برای مدل‌های با محدودیت طول، زوایای بهینه برای ردیف‌های مختلف لزوماً یکسان نیست و تغییرات آنها در عمق به نوع خاک بستگی دارد. به عنوان مثال برای مدل خاک ۱، این زوایا بترتیب از بالا به پایین عبارتند از: ۲۵، ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵، ۵ و ۵ درجه. نتایج حاصل از آنالیزهای انجام شده به طور خلاصه در جدول ۲ آورده شده است.

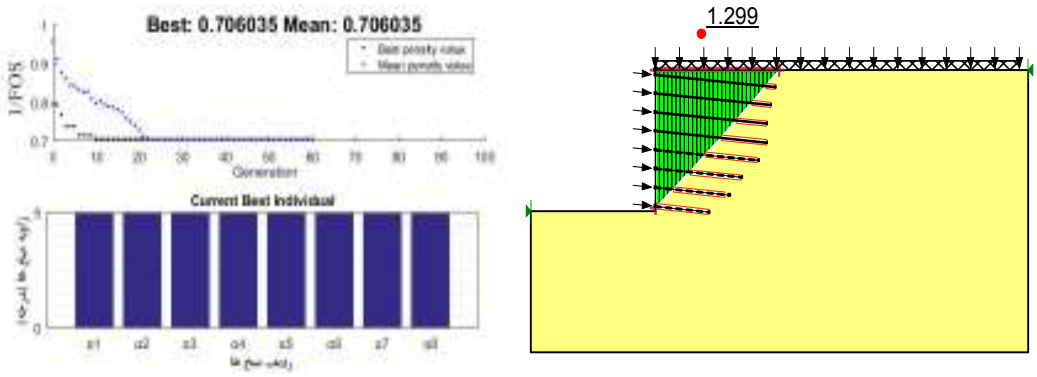
با مقایسه تراکم طرح‌های بهینه (جدول ۲) می‌توان نتیجه گرفت که طرح‌های بهینه با رویکرد بدون محدودیت طول تراکم کمتری دارند و اقتصادی‌تر هستند.



شکل ۱. فرضیات در نظر گرفته شده برای طول میخ‌ها در طرح اولیه سازه‌نگهبان الف) بدون محدودیت طول ب) با محدودیت طول

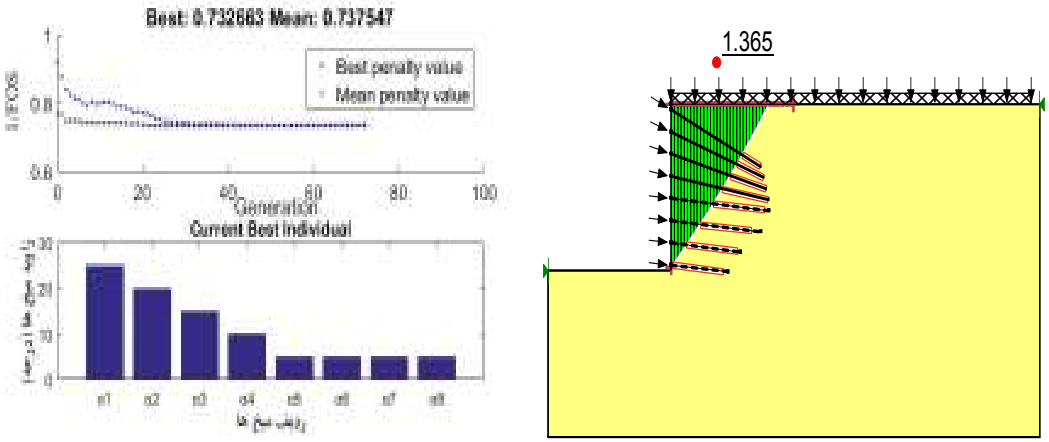


شکل ۲. مقطع عرضی یک دیواره پایدارسازی‌شده با روش میخ‌گذاری بهمراه متغیرهای مورد استفاده



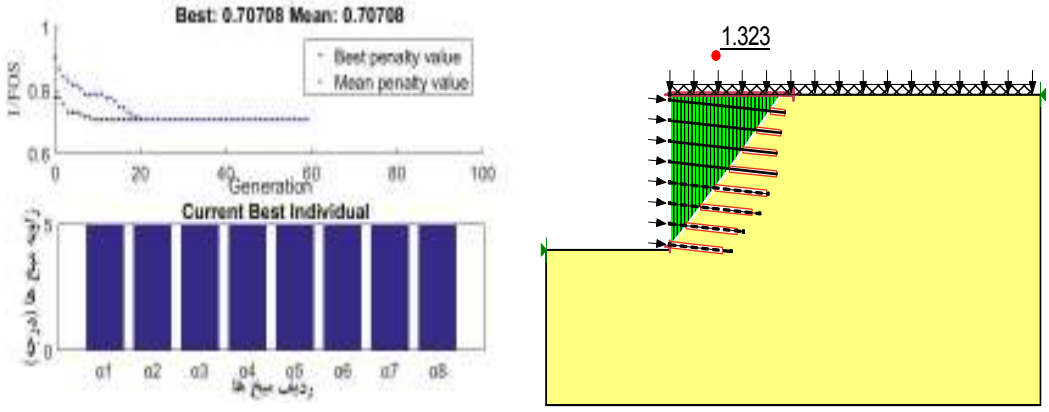
(الف) (ب)

شکل ۳. مدل خاک۱ – بدون محدودیت طول الف) آنالیز به دست آمده از متلب ب) طرح بهینه



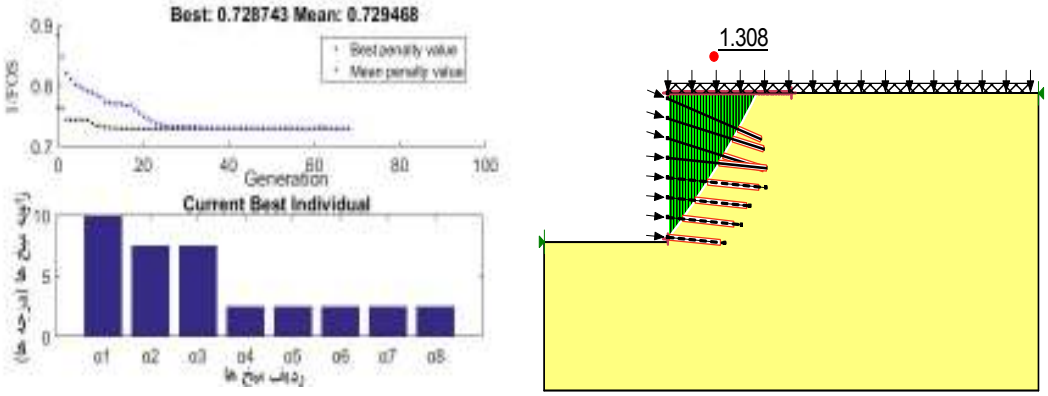
(الف) (ب)

شکل ٤. مدل خاک ۱ – با محدودیت طول Lmax=12m الف) آنالیز به دست آمده از متلب ب) طرح بهینه



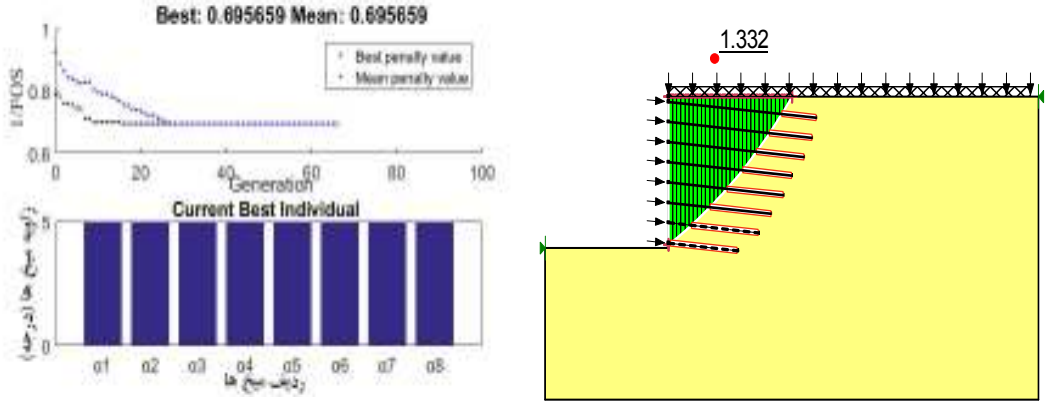
(الف) (ب)

شکل ۵. مدل خاک بدون محدودیت طول الف) آنالیز بدست آمده از متلب ب) طرح بهینه



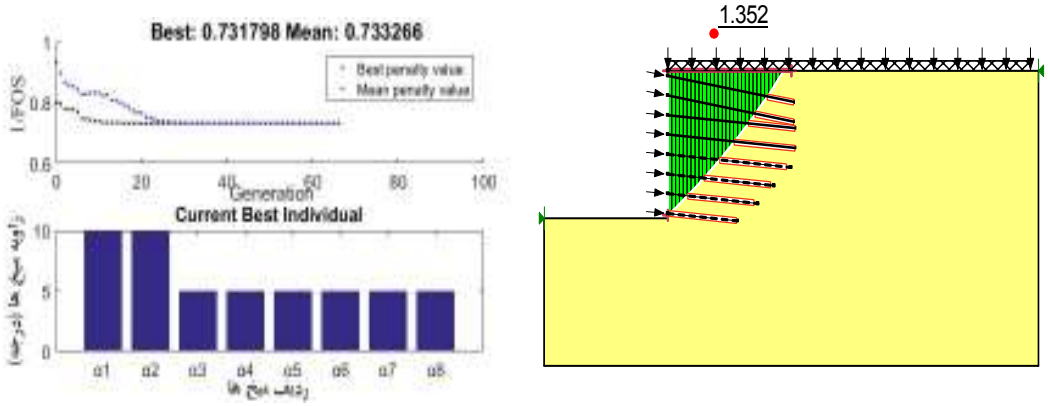
(الف) (ب)

شکل ٦. مدل خاک ۲ – با محدودیت طول Lmax=12m الف) آنالیز بدست آمده از متلب ب) طرح بهینه



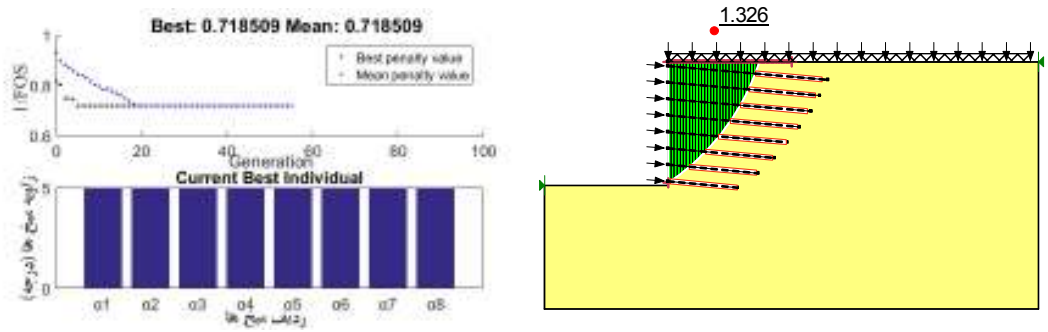
(الف) (ب)

شکل ۷. مدل خاک ۳ – بدون محدودیت طول الف) آنالیز بدست آمده از متلب ب) طرح بهینه



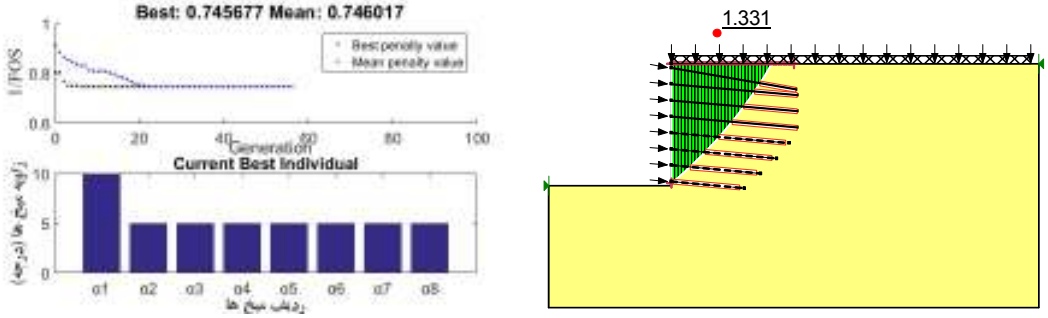
(الف) (ب)

شکل ۸. مدل خاک ۳ – با محدودیت طول Lmax=15.5m الف) آنالیز بدست آمده از متلب ب) طرح بهینه



(الف) (ب)

شکل ۹. مدل خاک ٤ – بدون محدودیت طول الف) آنالیز بدست آمده از متلب ب) طرح بهینه



(الف) (ب)

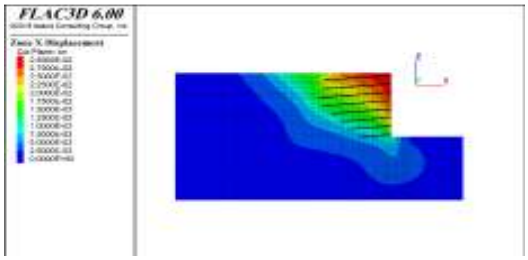
شکل ۱۰. مدل خاک ٤ – با محدودیت طول Lmax=15.5m الف) آنالیز به دست آمده از متلب ب) طرح بهینه

جدول ۲. خلاصه طرح‌های بهینه برای گود ۱۵ متری

نوع خاک	ضریب اطمینان بدون پایدارسازی	نوع مدل	طول میخ L_i (متر)	زاویه میخ α_i	فاصله افقی Sh_i (متر)	قطر میخ d_s (میلیمتر)	ضریب اطمینان اصلاح شده	تراکم
خاک ۱	۰/٤۱۹	مدل اول (بدون محدودیت طول)	۱٤/۵	۵	۱/۳	۲۸	۱/۲۹۹	٤/۸۲
			۱٤	۵				
			۱۳/۵	۵				
			۱۳/۵	۵				
			۱۲/۵	۵				
			۱۰/۵	۵				
			۹	۵				
			٦/۵	۵				
		مدل دوم L_{max}=12m	۱۲	۲۵	۱/۱	۲۸	۱/۳٦۵	۵/۲٤
			۱۲	۲۰				
			۱۲	۱۵				
			۱۲	۱۰				
			۱۲	۵				
			۱۱	۵				
			۸/۵	۵				
			۷	۵				

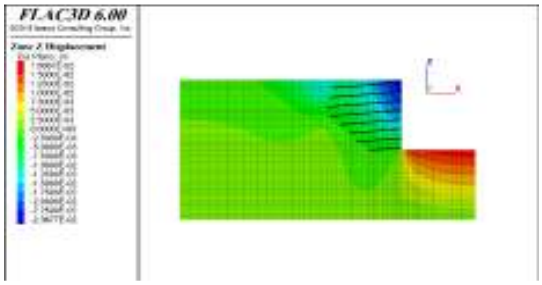
خاک ۲	۰/٤۳۹	مدل اول (بدون محدودیت طول)	١٤	٥	۱/٥	۲۸	۱/۳۲۳	۳/۸
			۱۳/٥	٥				
			۱۳	٥				
			۱۳	٥				
			۱۲	٥				
			۱۱	٥				
			۹	٥				
			۷/٥	٥				
		مدل دوم L_{max}=12m	۱۲	۲۰	۱/٤	۲۸	۱/۳۰۸	¼
			۱۲	۱٥				
			۱۲	۱٥				
			۱۲	٥				
			۱۲	٥				
			۱۰	٥				
			۹	٥				
			۷	٥				
خاک ۳	۰/٥٤٤	مدل اول (بدون محدودیت طول)	۱۸	٥	۱/٦	۳۲	۱/۳۳۲	٤/۷۱
			۱۷/٥	٥				
			۱٦/٥	٥				
			۱٥	٥				
			١٤	٥				
			۱۲/٥	٥				
			۱۱	٥				
			۸/٥	٥				
		مدل دوم L_{max}=15.5m	۱٥/٥	۱۰	۱/٥	۳۲	۱/۳٥۲	٤/۸۷
			۱٥/٥	۱۰				
			۱٥/٥	٥				
			۱٥/٥	٥				
			۱٥	٥				
			۱۳	٥				
			۱۱	٥				
			۸/٥	٥				
خاک ٤	۰/٦۲۳	مدل اول (بدون محدودیت طول)	۱۹/٥	٥	۱/۹	۳۲	۱/۳۲٦	٤/۱٦
			۱۸/٥	٥				
			۱۷/٥	٥				
			١٦	٥				
			١٤/٥	٥				
			۱۳	٥				
			۱۱	٥				
			۸/٥	٥				
		مدل دوم L_{max}=15.5m	۱٥/٥	۱۰	۱/۷	۳۲	۱/۳۳۱	٤/۲۹
			۱٥/٥	٥				
			۱٥/٥	٥				
			۱٥/٥	٥				
			١٤/٥	٥				
			۱۳	٥				
			۱۱	٥				
			۹	٥				

در ادامه برای اطمینان از اینکه تغییرشکل‌های طرح بهینه کمتر از مقدار مجاز هست، آنالیزهای تحلیل تغییرشکل طرح‌های بهینه با استفاده از نرم افزار FLAC انجام شد. شکل ۱۱ و ۱۲ بترتیب کانتورهای جابه‌جایی افقی و نشست برای مدل خاک ۱ (بدون محدودیت طول) و شکل ۱۳ و ۱٤ به ترتیب کانتورهای جابه‌جایی افقی و قائم برای مدل خاک ۱ (با محدودیت طول) را نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود، مقادیر جابه‌جایی افقی و نشست این دو مدل تقریباً یکسان و کمتر از مقدار مجاز (۰/۰۰۳ H که H ارتفاع گود است) هستند.



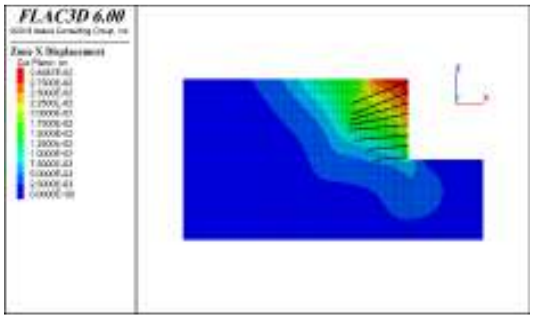
شکل ۱۱. کانتور تغییر شکل افقی گود ۱۵ متری

(خاک مدل ۱– بدون محدودیت طول)



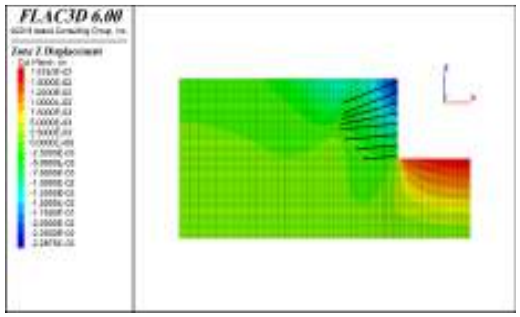
شکل ۱۲. کانتور نشست گود ۱۵ متری

(خاک مدل ۱ – بدون محدودیت طول)



شکل ۱۳. کانتور تغییر شکل افقی گود ۱۵ متری

(خاک مدل ۱ – با محدودیت طول Lmax=12m)



شکل ۱٤. کانتور نشست گود ۱۵ متری

(خاک مدل ۱ – با محدودیت طول Lmax=12m)

۵- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، بهینه‌سازی طرح میخ‌گذاری با تغییر در زوایای میخ‌ها و با استفاده از الگورتیم ژنتیک انجام شد. برخلاف مطالعات پیشین، در مطالعه حاضر زاویه هر ردیف از میخ‌ها مستقل از سایر ردیف‌ها و به عنوان یک متغیر بهینه‌سازی مستقل در نظر گرفته شد. همچنین با ایجاد لینک میان نرم‌افزارهای MATLAB و GEOSLOPE، محاسبه ضریب اطمینان پایداری دیواره‌های پایدارسازی‌شده با روش میخ‌گذاری با استفاده هسته محاسباتی نرم‌افزار GEOSLOPE انجام شد که در مطالعات پیشین از این رویکرد استفاده نشده است. به منظور تعیین طرح‌های بهینه، آنالیزهای بهینه‌سازی برای یک گود با عمق ۱۵ متر و چهار نوع خاک با دو رویکرد بدون محدودیت طول و با محدودیت طول انجام شد. در رویکرد اول، محدودیتی برای حداکثر طول میخ در طرح میخ‌گذاری وجود ندارد. اما در رویکرد دوم، حداکثر طول میخ به طولی که از نمودارهای طراحی راهنمای FHWA بدست می‌آید، محدود شده است. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که زاویه بهینه میخ‌ها در دو رویکرد در نظر گرفته شده متفاوت است. در حالتی که محدودیتی برای حداکثر طول میخ در طرح میخ‌گذاری وجود ندارد، زاویه بهینه برای تمامی ردیف‌ها ثابت و برابر ۵ درجه است، اما در رویکرد با محدودیت طول، زاویه بهنیه متفاوتی برای هر ردیف میخ به دست می‌آید، به طوری که زاویه بهینه با افزایش عمق کاهش می‌یابد.

٦- مراجع

-اژدری‌شبستری، ا.، (۱۳۹۰)، "دیوارهای میخکوبی شده"، انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

- رفیع زاده، ع.، مهرنهاد، ا. و برخورداری، ک.، (۱۳۹۳)، "بررسی پایداری و جابه‌جایی گودهای عمیق به روش میخ‌کوبی با استفاده از تحلیل عددی"، اولین کنفرانس ملی مهندس عمران و توسعه پایدار ایران.

- یزدانی، م.، مجنونی، ع.ر.، و نعمتی، آ.، (۱۳۹٤)، "کاربرد روش تاگوچی در بهینه‌سازی طراحی گودبرداری‌ها با استفاده از میخ‌کوبی"، دهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران – دانشکده مهندسی عمران تبریز.

–Rabcewicz, L.V. (1964a), “The New Austrian Tunneling Method,” Part 1, Water Power, London, Vol. 16, pp. 453-457.

-Rabcewicz, L.V., (1964b), “The New Austrian Tunneling Method,” Part 2, Water Power, London, Vol. 16, pp. 511–515.

–Chia-Cheng Fan, Jiun-Hung Luo, (2008), Numerical Study on the Optimum Layout of Soil-nailed Slopes. Computers and Geotechnics, Vol. 35. No. 4. 585-599.

–Ou-Ling Tang and Qing-ming Jiang, “Stability Analysis of Slope under Different Soil Nailing Parameters Based on the GeoStudio”, 1 (2), pp. 88-92.

–F. H. Administration, FHWA0-IF-03-017. U.S. Department of Transportation, Washington, DC, U.S.A.

Optimization of Nails Inclination in Slopes Stabilized by the Soil Nailing Method

Mina Foroudian, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

Mohammad Hazeghian, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

Kazem Barkhordari, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

E-mail: m.hazeghian@yazd.ac.ir

Received: March 2020-Accepted: September 2020

ABSTRACT

Soil nailing is one of the common methods used to stabilize excavation walls. This technique has been in attention in recent years. A variety of studies have been performed to optimize the pattern, length and inclination of nails in the design of soil nailing. The nail inclination has been one of significant optimization variables considered in previous studies. As a constraint of the optimization process, it has been assumed in previous studies that the inclinations of all nails through the depth of a soil-nailed wall must be equal. On the contrary, the present study presumes that the inclination of each row of nails could be different; in other words, the inclination of each row of nails is an independent optimization variable. The present study takes into account two approaches to optimize the design of soil nailing. In the first approach, the ratio of the maximum length of nails to the wall height is unconstrained but in the second approach, it is limited to the ratio proposed by the FHWA manual. The results of the present study show that two optimization approaches lead to different optimized inclinations for nails. For the first approach, the optimized inclination of all rows of nails equal to be 5 degree with respect to the horizon but in the second approach, these inclinations are different for rows of nails in the way that they reduce from the top row to the bottom one.

Keywords: Excavation, Soil Nailing, Inclinations of Nails, Optimization, Genetic Algorithm