گزارش طراحی اولیه

عملیات پایدار سازی دیواره ی شرقی

مجتمع تجاری اداری ارگ جاوید ایرانیان

به سفارش :

واحد مهندسی و فنی گروه شرکت های ارگ جاوید

آماده شده توسط :

محمدرضا نبی زاده شهربابک

اردیبهشت ماه ۱۳۹۴

شماره قرارداد :

۰۱-۱۹۲-۱۲-۲۱

تهیه و تدوین در شرکت ژئوتکنیک همکاران

تمامی حقوق این نوشتار برای شرکت ژئوتکنیک همکاران محفوظ می باشد و محتوای آن ممکن است از با ذکر آدرس از منابع معتبر دریافت شده باشد. کپی برداری در قسمت های نگارش شده توسط طراح با ذکر منبع بلا مانع است.

**تمامی اسامی نامبرده در این گزارش غیر واقعی و در راستای ایجاد یک گزارش یکپارچه به کار رفته اند.

گزارش طراحی اولیه

عملیات پایدار سازی دیواره ی شرقی

مجتمع تجاری اداری ارگ جاوید ایرانیان

به سفارش :

واحد مهندسی و فنی گروه شرکت های ارگ جاوید

آماده شده توسط :

محمدرضا نبی زاده شهربابک

اردیبهشت ماه ۱۳۹۴

شماره قرارداد :

۰۱-۱۹۲-۱۲-۲۱

تهیه و تدوین در شرکت ژئوتکنیک همکاران

تمامی حقوق این نوشتار برای شرکت ژئوتکنیک همکاران محفوظ می باشد و محتوای آن ممکن است از با ذکر آدرس از منابع معتبر دریافت شده باشد. کپی برداری در قسمت های نگارش شده توسط طراح با ذکر منبع بلا مانع است.

**تمامی اسامی نامبرده در این گزارش غیر واقعی و در راستای ایجاد یک گزارش یکپارچه به کار رفته اند.



**تمامی اسامی نامبرده در این گزارش غیر واقعی و در راستای ایجاد یک گزارش یکپارچه به کار رفته اند.

تاریخ : ۱۳۹۳/۰۲/۱۵
شماره: ۹۴-۱۵۴/۰۱

بسمه تعالی

موضوع :
گزارش طراحی اولیه،
عملیات پایدار سازی دیواره ی شرقی مجتمع تجاری اداری ارگ جاوید ایرانیان

معاونت محترم فنی و مهندسی شرکت ارگ جاوید مهر آذین
جناب آقای دکتر هوشمند
با عرض سلام و احترام

گزارش طراحی ژئوتکنیکی پایدار سازی دائم دیواره ی شرقی مجتمع تجاری اداری ارگ جاوید ایرانیان که طبق قرارداد شماره ۰۱-۱۹۲-۱۲-۲۱ تعریف شده است پس از انجام شناسایی های زیر سطحی خدمتتان ارائه می گردد. تجربه ی تیم مجرب ما به وضوح نشان می دهد که خطر ابتلا به طراحی ها، ساخت و ساز ها و تعمیرات پر هزینه را می توان به طور قابل توجهی با ایجاد یک طراحی ایمن کاهش داد. در این مرحله طراحی سازه ی نگهبان مورد نیاز جهت پایدار سازی دیواره به پایان رسیده و تهیه نقشه های اجرائی نیز در مراحل پایانی می باشد. شرکت ژئوتکنیک همکاران از ایجاد هرگونه بحث و بررسی طراحی انجام شده استقبال می کند.

با تشکر
محمدرضا نبی زاده شهربابک

وَ قَالَ [علیه السلام] أُوصِيكُمْ بِخَمْسٍ لَوْ ضَرَبْتُمْ إِلَيْهَا آبَاطَ الْإِبِلِ لَكَانَتْ لِذَلِكَ أَهْلًا لَايَرْجُوَنَّ أَحَدٌ مِنْكُمْ إِلَّا رَبَّهُ وَ لَا يَخَافَنَّ إِلَّا ذَنْبَهُ وَ لَا يَسْتَحِيَنَّ أَحَدٌ مِنْكُمْ إِذَا سُئِلَ عَمَّا لَا يَعْلَمُ أَنْ يَقُولَ لَا أَعْلَمُ وَ لَا يَسْتَحِيَنَّ أَحَدٌ إِذَا لَمْ يَعْلَمِ الشَّيْءَ أَنْ يَتَعَلَّمَهُ وَ عَلَيْكُمْ بِالصَّبْرِ فَإِنَّ الصَّبْرَ مِنَ الْإِيمَانِ كَالرَّأْسِ مِنَ الْجَسَدِ وَ لَا خَيْرَ فِي جَسَدٍ لَا رَأْسَ مَعَهُ وَ لَا فِي إِيمَانٍ لَا صَبْرَمَعَهُ.[1]

شما را به پنج چیز سفارش می کنم که اگر برای آن ها شتران را پر شتاب برانید و رنج سفر را تحمل کنید سزاوار است: کسی از شما جز به پروردگار خود امیدوار نباشد، و جز از گناه خود نترسد، و اگر از یکی سؤال کردند و نمی داند ، شرم نکند و بگوید نمی دانم، و کسی در آموختن آنچه نمی داند شرم نکند و بر شما باد به شکیبایی که شکیبایی، ایمان را چون سر است بر بدن و ایمان بدون شکیبایی چونان بدن بی سر، ارزشی ندارد.

[1] حضرت علی (ع) نهج البلاغه، حکمت ۸۴

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه **۱**

۱-۱- مقدمه ۲

فصل ۲: مقدمه ای بر تکنیک های پایدار سازی گود بهمراه ... **۳**

۲-۱- تکنیک های پایدار سازی گود ۴

۲-۲- معرفی اجمالی روش میخ کوبی دیوار ها ۵

۲-۳- دامنه ی کاربرد ۶

۲-۴- روش اجرای میخکوبی ۹

۲-۴-۱- خاکبرداری ۱۰

۲-۴-۲- حفاری ۱۰

۲-۴-۳- نصب میلگرد تسلیح ۱۱

۲-۴-۴- تزریق دوغاب سیمان ۱۱

۲-۴-۵- شاتکریت دیواره، نصب صفحه، مهره و انتقال نیرو ۱۲

۲-۵- روش اجرای مهار گذاری (Anchoring) ۱۴

۲-۶- مروری بر مبانی محاسباتی پایدارسازی با روش میخکوبی و مهارگذاری ۱۶

۲-۷- مقایسه با سایر روش های پایدار سازی ۱۹

۲-۷-۱- بعد اقتصادی ۱۹

۲-۷-۲- بعد اجرایی ۱۹

۲-۷-۳- بعد فنی ۲۰

فصل ۳: مشخصات کلی پروژه **۲۱**

۳-۱- مقدمه ۲۲

۳-۲- وضعیت ژئوتکنیکی محل ۲۲

۳-۳- مشاهدات میدانی وضعیت موجود دیواره گود ۲۳

۲-۴- مخاطرات و میزان ریسک ۲۴

فصل ۴: طرح اولیه جهت حصول ضرایب اطمینان مناسب و محدود کردن تغییر مکانها **۲۵**

۴-۱- طرح میخکوبی و مهار گذاری ۲۶

۴-۲- اصول تحلیل پایداری دیواره گود ۲۶

۴-۳- اصول تحلیل تغییر مکان دیواره گود ۳۰

۴-۴- مشخصات مصالح در تحلیل عددی ۳۴

۴-۴-۱- مشخصات مصالح میخهای فولادی با قطر ۳۲ میلی متر از جنس فولاد AIII و قطر گمانه ۱۰ سانتی متر ۳۴

۴-۴-۲- مشخصات مصالح شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتی متر با مقاومت فشاری استوانه ای ۲۰ مگاپاسکال بدون استفاده از شمع فولادی ۳۶
۴-۴-۳- مشخصات مصالح شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتی متر با مقاومت فشاری استوانه ای ۲۰ مگاپاسکال با استفاده از شمع فولادی ۳۹
۴-۵- طرح نهایی ۴۳
۴-۶- بررسی ضریب اطمینان و تغییر شکل های تیپ یک ۴۶
۴-۶-۱- بررسی تحلیل پایداری حدی و ضرایب اطمینان با استفاده از نرم افزار GeoSlope ۴۶
۴-۶-۲- انجام تحلیل های تنش – تغییر شکل به روش اجزاء محدود با استفاده از نرمافزار PlAXIS ۴۷
۴-۷- بررسی ضریب اطمینان و تغییر شکل های تیپ دو ۵۳
۴-۷-۱- بررسی تحلیل پایداری حدی و ضرایب اطمینان با استفاده از نرم افزار GeoSlope ۵۳
۴-۷-۲- انجام تحلیل های تنش – تغییر شکل به روش اجزاء محدود با استفاده از نرمافزار PlAXIS ۵۴
۴-۸- بررسی ضریب اطمینان و تغییر شکل های تیپ سه ۶۰
۴-۸-۱- بررسی تحلیل پایداری حدی و ضرایب اطمینان با استفاده از نرم افزار GeoSlope ۶۰
۴-۸-۲- انجام تحلیل های تنش – تغییر شکل به روش اجزاء محدود با استفاده از نرمافزار PlAXIS ۶۱
۴-۹- بررسی مالی و برآورد هزینه ی دیواره در هر تیپ : ۶۷

فصل ۵: مشخصات فنی و اجرائی ۶۸

۵-۱- مشخصات فنی- اجرایی ۶۹
۵-۱-۱- مشخصات فنی خاک برداری ۶۹
۵-۱-۲- مشخصات فنی حفاری ۷۰
۵-۱-۳- مشخصات فنی آرماتور تسلیح ۷۰
۵-۱-۴- مشخصات فنی تزریق ۷۱
۵-۱-۵- مشخصات آب مصرفی ۷۲
۵-۱-۶- نوع سیمان مصرفی ۷۲

فهرست اشکال

شکل ۱- روش های مختلف مسلح سازی برای پایدار سازی شیروانی های یا گود ها ۵
شکل ۲- رفتار اندرکنشی سیستم خاک - میخ ۷
شکل ۳- اجرای میخکوبی جهت تعریض راه (از زیر پل سازه ای) ۸
شکل ۴- اجرای میخکوبی جهت پایداری شیب طبیعی ۸
شکل ۵- مراحل اجرای میخکوبی ۹
شکل ۶- خاکبرداری در یک پروژه ی میخکوبی ۱۰
شکل ۷- حفاری دورانی ۱۱
شکل ۸- نحوه ی کارگذاری میخ ها و نحوه ی تزریق ۱۲
شکل ۹- بتن‌پاشی، نصب صفحه و مهره ۱۳
شکل ۱۰- دیوار پایدار شده با استفاده از یکسری پروفیل های فولادی ۱۵
شکل ۱۱- دیوار پایدار شده با استفاده از استرند چند رشته ای ۱۵
شکل ۱۲- مکانیزمهای محتمل گسیختگی خاک مسلح شده با میخکوبی ۱۷
شکل ۱۳- کنترل پایداری هر یک از مراحل گودبرداری ۱۸
شکل ۱۴- محل تقریبی پروژه ی مذکور ۲۲
شکل ۱۵- انجام آزمایش برش مستقیم درجا در تراز طبقه منفی ۵ ..... ۲۳
شکل ۱۶- تغییر شکل شماتیک در یک دیواره میخکوبی شده ۳۳
شکل ۱۷- وضعیت قرار گیری میلگرد ها در سطح دیواره ی شاتکریت شده ۳۷
شکل ۱۸- وضعیت قرار گیری میلگرد ها و پروفیل فولادی در سطح دیواره ی شاتکریت شده ۴۰
شکل ۱۹- تیپ شماره ی یک با تراکم ۵,۸۲ ..... ۴۴
شکل ۲۰- تیپ شماره ی دو با تراکم ۵,۷۷ ..... ۴۴
شکل ۲۱- تیپ شماره سه با تراکم ۳,۵۲ ..... ۴۵
شکل ۲۲- ضریب اطمینان به روش بیشاپ تیپ یک ۴۶
شکل ۲۳- کانتور تغییر شکل های افقی خاک ۴۷
شکل ۲۴- تغییر شکل افقی دیواره شاتکریت تیپ یک ۴۸
شکل ۲۵- کانتور تغییر شکل قائم سیستم تیپ یک ۴۸
شکل ۲۶- نشست زیر سطح بار در تیپ یک ۴۹
شکل ۲۷- نیرو های افقی وارد بر دیواره شاتکریت تیپ یک ۴۹
شکل ۲۸- نیرو های داخل نیل تیپ یک ۵۰
شکل ۲۹- طرح نهایی به همراه فواصل افقی میخ ها تیپ یک ۵۱
شکل ۳۰- تغییر شکل های افقی نهایی دیواره تیپ یک ۵۱
شکل ۳۱- میزان جابجایی افقی تاج گود تیپ یک ۵۲

شکل ۳۲- ضریب اطمینان به روش بیشاپ تیپ دو ۵۳
شکل ۳۳- کانتور تغییر شکل افقی سیستم تیپ دو ۵۴
شکل ۳۴- کانتور تغییر شکل قائم سیستم تیپ دو ۵۵
شکل ۳۵- تغییر شکل افقی دیواره شاتکریت تیپ دو ۵۵
شکل ۳۶- نشست زیر سطح بار در تیپ دو ۵۶
شکل ۳۷- - نیرو های افقی وارد بر دیواره شاتکریت تیپ دو ۵۶
شکل ۳۸- نیرو های داخل نیل تیپ دو ۵۷
شکل ۳۹- طرح نهایی به همراه فواصل افقی میخ ها تیپ دو ۵۸
شکل ۴۰- تغییر شکل های افقی نهایی دیواره تیپ دو ۵۸
شکل ۴۱- میزان جابجایی افقی تاج گود تیپ دو ۵۹
شکل ۴۲- ضریب اطمینان به روش بیشاپ تیپ سه ۶۰
شکل ۴۳- کانتور تغییر شکل افقی سیستم تیپ سه ۶۱
شکل ۴۴- تغییر شکل افقی دیواره شاتکریت تیپ سه ۶۲
شکل ۴۵- کانتور تغییر شکل قائم سیستم تیپ سه ۶۲
شکل ۴۶- نشست زیر سطح بار در تیپ سه ۶۳
شکل ۴۷- نیرو های افقی وارد بر دیواره شاتکریت تیپ سه ۶۳
شکل ۴۸- نیرو های داخل نیل تیپ سه ۶۴
شکل ۴۹- طرح نهایی به همراه فواصل افقی میخ ها تیپ سه ۶۵
شکل ۵۰- تغییر شکل های افقی نهایی دیواره تیپ سه ۶۵
شکل ۵۱- میزان جابجایی افقی تاج گود تیپ سه ۶۶

فصل ۱: مقدمه

۱-۱- مقدمه

پیرو درخواست آقای دکتر هوشمند، مبنی بر ارائه طرح اولیه سازه نگهبان دائم دیواره شرقی گودبرداری پروژه مجتمع تجاری اداری ایرانیان و با عنایت به نگرانی ایجاد شده در خصوص پایداری دیواره T2 –T3 و پیرو بازدیدهای صورت پذیرفته توسط کارشناسان این شرکت از وضعیت کنونی پروژه، در گزارش حاضر اطلاعات و مشخصات فنی طرح اولیه پایدارسازی جداره گود به کمک ترکیب روش‌های میخ‌کوبی، انکراژ و تیر های نگهبان ارائه می‌گردد.

گزارش حاضر مشتمل بر چهار فصل یا مبحث می‌باشد.

در فصل دوم مقدمه ای بر تکنیک‌های پایدارسازی گود به همراه تفضیل روشهای نیلینگ و مهارگذاری به عنوان روش‌های موثر پایدارسازی خاک به طور اجمالی معرفی می گردد. این بخش مشتمل بر معرفی، کاربرد، روند اجرا و مبانی محاسباتی این روش‌ها می باشد.

در فصل سوم مشخصات کلی پروژه و دیواره های مورد نظر، وضعیت موجود و رسیکهای محتمل به تفضیل شرح داده شده است. در فصل چهارم طرح اولیه جهت حصول ضرایب اطمینان مناسب و محدود کردن تغییر مکانها به تفصیل شرح داده شده است. در فصل پنجم مشخصات فنی و اجرایی روش مورد نظر، نظیر نوع، ویژگی‌های مصالح بر آورد قیمت هر متر مربع مسلح سازی دیوار و همچنین جزئیات روش اجرا ارائه می‌گردد.

در پیوست نقشه‌های اجرایی اولیه ارائه می‌شوند.

فصل ۲: مقدمه ای بر تکنیک های پایدار سازی گود بهمراه ...

۲-۱- تکنیک های پایدار سازی گود

همزمان با توسعه‌های فنی مهندسی در سطح کشور، رواج گودبرداری‌های عمیق درون‌شهری و ضرورت جلوگیری از بروز خسارت برای سازه‌های مجاور، سبب گسترش استفاده از انواع سیستم‌های پایدارسازی و مقاوم‌سازی گود شده است. طراحی و نحوه استفاده بهینه از تکنیک‌های مذکور امری کاملاً تخصصی و فنی در حیطه مهندسی ژئوتکنیک بوده و همراه با پیچیدگی‌های خاص مرتبط با هر پروژه می‌باشد.

به منظور جلوگیری از ریزش ترانشه و تبعات منفی احتمالی ناشی از خاکبرداری‌ها، سازه موقتی را برای مهار ترانشه اجرا می‌کنند که به اصطلاح سازه نگهبان نامیده می‌شود. برای پایدارسازی گودها روش‌های متفاوتی از جمله سیستم شمع و مهار متقابل، روش دوخت به پشت (تای بک[1]) یا روش کابل پیش تنیده، روش میخ‌کوبی، روش مهارگذاری، استفاده از خرپا و روش دیوار برلنی می‌توان بیان کرد. از بین تمامی روش‌های بیان شده بعضی از آن‌ها همچون روش میخ‌کوبی و روش مهارگذاری دارای شباهت‌هایی در اصول طراحی و اجرا می‌باشند.

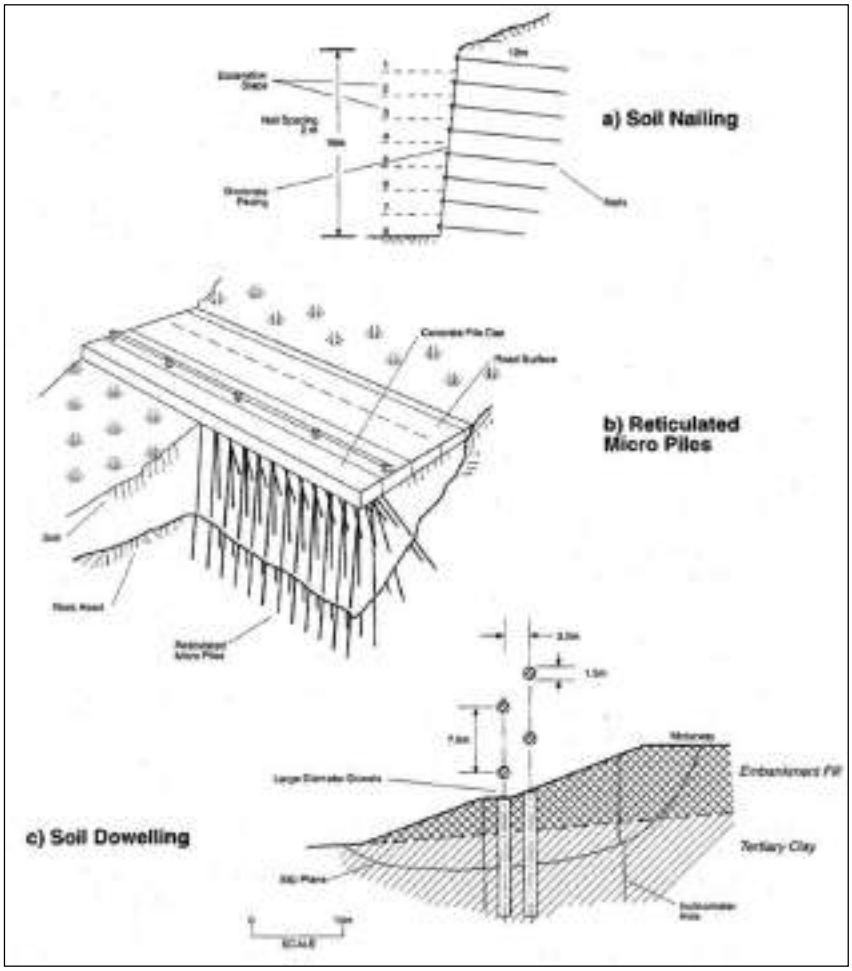
روش‌های میخ‌کوبی و مهارگذاری به دلیل قابلیت‌های منحصر به فرد و کاربردی بودن آن با توجه به شرایط محیط‌های شهری، در دهه اخیر مورد توجه بسیاری از مهندسین و کارفرمایان دست اندرکار صنعت ساخت و ساز بوده و به جرأت می‌توان گفت که در میان انواع مختلف روش‌های پایدارسازی گود، کاربردی‌ترین روش برای پایداری شیب‌ها و ترانشه‌ها می‌باشد.

[1] Tie back

۲-۲- معرفی اجمالی روش میخ کوبی دیوار ها

بطور کلی سه روش تسلیح برای پایدارسازی دیواره گودها و شیروانی‌های خاکی وجود دارد (شکل ۱) :

۱. میخ‌کوبی (Nailing)
۲. میکروپایل‌های متقاطع (Reticulated micro-piling)
۳. پایدارسازی شیب‌ها با شمع (Doweling)



شکل ۱- روش های مختلف مسلح سازی برای پایدار سازی شیروانی های یا گود ها

میخ‌کوبی دیواره‌ها به معنای تسلیح برجای توده خاک موجود با نصب میلگردهای فولادی (Nails) در فواصل نزدیک به هم در یک سطح شیبدار و یا در محل گودبرداری به صورت قائم و با اجرای از بالا به پایین (Top down Construction) می باشد. میلگردها معمولاً داخل گمانه‌هایی که در دیواره خاکی قرار می‌گیرند که به منظور جلوگیری از خوردگی میلگردها و انتقال مناسبتر نیروها بین خاک و میلگرد توسط دوغاب سیمان پر می‌شوند. این عملیات یک مقطع مسلح پایدار ایجاد می‌کند که توانایی نگهداری خاک پشت خود را دارد.

روش میخ‌کوبی در سال ۱۹۶۰ میلادی برای اولین بار مورد بحث و بررسی قرار گرفت. این روش بر اساس روش سیستم مهاربندی و پیچ کردن سنگ‌ها می‌باشد. اولین بار این سیستم پایدارسازی برای حفر تونلی در استرالیا در سال ۱۹۶۰ به کار گرفته شد. در این تونل برای پایدارسازی از آرماتور، تزریق دوغاب سیمان و شاتکریت استفاده گردید. در سال‌های بعد نیز به مرور این تکنیک در سطح جهان گسترش یافت. در ایران نیز استفاده از این روش در سال‌های اخیر توسعه چشمگیری یافته و یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها به ویژه در ساخت و سازهای شهری می‌باشد.

از دیدگاه اصول علمی مطرح در مهندسی ژئوتکنیک، روش میخ‌کوبی به صورت مقاوم[1] عمل کرده و اثر خود را از طریق اندرکنش خاک-میلگرد[2] حاصل از ایجاد تغییر شکل در خاک اعمال می‌کند. میخ‌ها غالباً در کشش عمل می‌کنند ولی در شرایط خاصی، عملکرد خمشی و برشی آنها نیز در نظر گرفته می‌شود. اثر مسلح سازی میخ برای بهبود پایداری با دو عملکرد زیر حاصل می‌شود :

- افزایش نیروی قائم و در نتیجه افزایش مقاومت برشی سطح لغزش در خاکهای اصطکاکی.
- کاهش نیروی رانشی سطح لغزش در خاک‌های اصطکاکی و چسبنده.

پس از نصب میلگردها، یک دیواره سطحی کم ضخامت که معمولاً شامل شاتکریت همراه با یک لایه تسلیح سبک فولادی به صورت شبکه‌ای از میلگرد می‌باشد، سطح دیواره شیروانی یا گود را می‌پوشاند. هدف از اجرای این دیواره جلوگیری از فرسایش سطحی خاک، ایجاد سطح تمام شده مناسبتر برای ساخت و سازهای احتمالی بعدی و بالاخص افزایش بازدهی عملکرد سیستم خاک تحکیم یافته بویژه در بخش‌های نزدیک به دیواره گود می‌باشد. همچنین این لایه بتنی- فولادی به انتقال بهتر نیروی‌های محرک به المان‌های تسلیح کمک شایانی می‌کند. شکل ۲ اصول رفتار اندرکنشی سیستم خاک میخ‌کوبی شده را نشان می‌دهد.

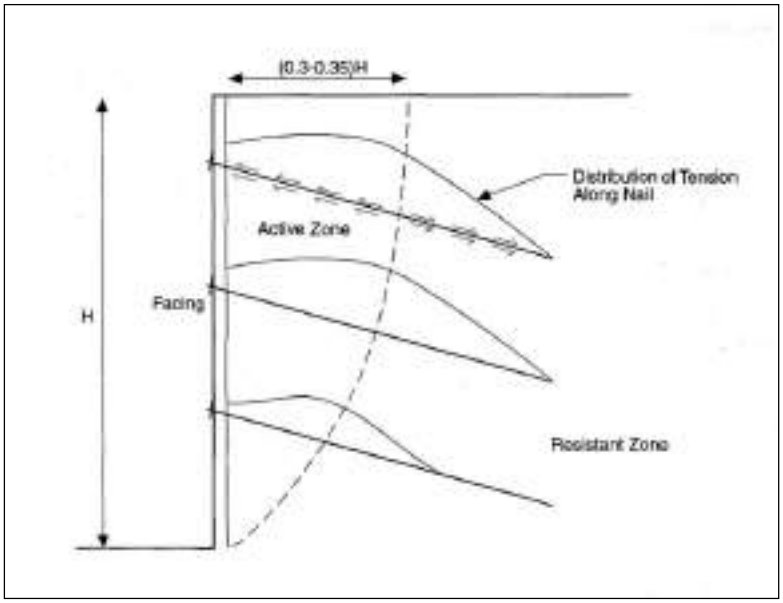
۲-۳- دامنه ی کاربرد

میخ‌کوبی خاک روش جدیدی است که به دلیل اقتصادی بودن و مزایای منحصربفرد خود، به عنوان راه‌حل بسیار مناسبی در موارد مختلف از جمله پایدارسازی شیب‌ها، شیروانی‌ها، ترانشه‌ها، افزایش ظرفیت باربری و محدود کردن تغییر شکل‌ها با ایجاد حداقل دست‌خوردگی در وضعیت طبیعی زمین کاربردهای فراوانی دارد. استفاده از این روش تسلیح خاک، طی دو دهه اخیر در اکثر کشورهای پیشرفته و در حال توسعه جهت پایدارسازی گودبرداری‌ها و همچنین پایدارسازی شیب‌های

[1] Passive

[2] Bar-Soil Interaction

طبـیعی کاربرد وسیعی پیدا کرده است. برخی از کاربردهای وسیع این روش تسلیح خاک شامل پایدارسازی شیب‌های طبیعی و یا ترانشه‌های مجاور راه‌ها، تعریض راه‌ها، گودبرداری در مجاورت سازه‌های موجود، پایدارسازی و مقاوم‌سازی سازه‌های نگهبان قدیمی و ... می‌باشد.



شکل ۲- رفتار اندرکنشی سیستم خاک - میخ

در اشکال زیر نمونه ای از کاربرد تکنیک میخ‌کوبی در تعریض راه (زیر پل) و پایداری شیب های طبیعی نشان داده شده است.



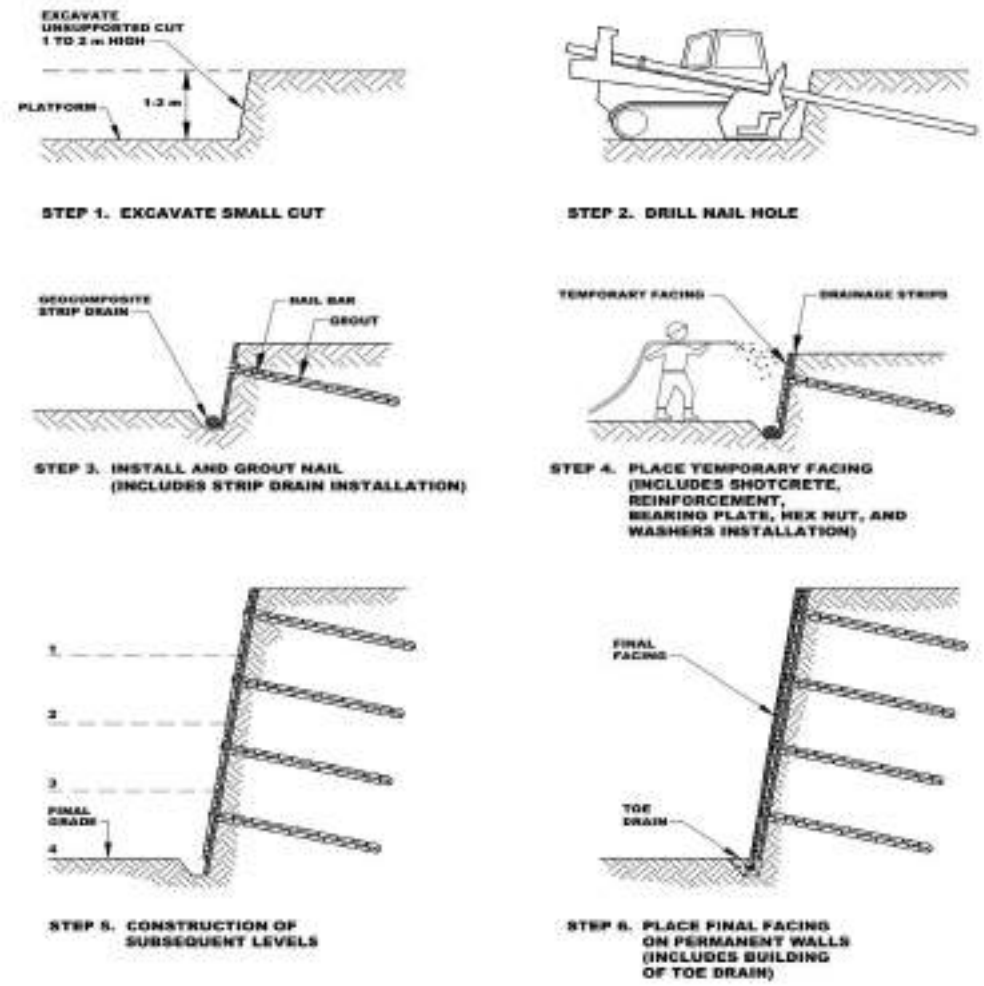
شکل ۳- اجرای میخ‌کوبی جهت تعریض راه (از زیر پل سازه ای)



شکل ۴- اجرای میخ‌کوبی جهت پایداری شیب طبیعی

۲-۴- روش اجرای میخ‌کوبی

روش پیشنهادی این شرکت به منظور اجرای میخ‌کوبی جهت پایدارسازی دیواره گودها معمولاً مشتمل بر ۵ مرحله اصلی، شامل گودبرداری مقطعی، حفاری گمانه‌ها، نصب میلگرد تسلیح، تزریق دوغاب سیمان، بتن‌پاشی و نصب صفحه سرنیل و مهره می‌باشد. پس از تکمیل مراحل اجرایی فوق برای گام اول گودبرداری، این مراحل برای گام‌های بعدی تا رسیدن به رقوم کف مورد نظر گود تکرار می‌گردد. این مراحل به طور شماتیک در شکل ۵ نشان داده شده است. در ادامه مختصری در مورد هر یک از مراحل میخکوبی ارائه می‌گردد.



شکل ۵- مراحل اجرای میخ‌کوبی

۲-۴-۱- خاکبرداری

خاکبرداری می‌بایست به صورت مرحله به مرحله صورت گیرد. پس از انجام هر مرحله از خاکبرداری می‌بایست عملیات اجرای میخ‌کوبی در آن مرحله صورت گیرد و پس از اتمام عملیات، خاکبرداری مرحله بعد انجام می‌پذیرد. در هر مرحله خاکبرداری، دیواره ایجاد شده بایستی پایداری لازم در حین اجرای میخ را داشته باشد، بنابراین باتوجه به شرایط ژئوتکنیکی ساختگاه ارتفاع مجاز خاکبرداری در هر مرحله تعیین می‌گردد.



شکل ۶- خاکبرداری در یک پروژه ی میخ‌کوبی

۲-۴-۲- حفاری

حفاری محل میخ‌ها می‌بایست در فواصل مشخص مطابق نقشه‌های اجرایی به وسیله دستگاه حفاری ضربه‌ای D.T.H و یا مشابه آن و با استفاده از راد معمولی یا راد خودحفار انجام پذیرد. حفاری گمانه‌های مورد نظر می‌تواند در جبهه‌های مختلف کاری صورت پذیرد.



شکل ۷- حفاری دورانی

۲-۴-۳- نصب میلگرد تسلیح

پس از حفاری گمانه تا عمق مورد نظر، عملیات نصب میلگرد تسلیح صورت می‌پذیرد. عناصر تسلیح معمولاً شامل آرماتور فولادی می‌باشد، که پس از حفاری درون گمانه قرار می‌گیرد. در صورت استفاده از راد خودحفار نصب مسلح کننده در همان مرحلهٔ حفاری انجام می‌پذیرد.

۲-۴-۴- تزریق دوغاب سیمان

بعد از نصب آرماتور، تزریق دوغاب از داخل سوراخ‌های حفر شده جهت ایجاد پیوستگی آرماتور با خاک اطراف انجام می‌شود. مجموعه دستگاه تزریق از سه بخش میکسر اولیه، میکسر ثانویه و پمپ تزریق تشکیل می‌گردد. پس از اختلاط آب و سیمان به نسبت مشخص در میکسرها، دوغاب سیمان از طریق شیلنگ‌های رفت و برگشت به درون گمانه تزریق می‌گردد. این تزریق می‌تواند در فشارهای مختلفی صورت پذیرد. شکل ۸ نمونه‌ای از انجام تزریق در گمانه‌های حفر شده را نشان می‌دهد.



شکل ۸- نحوه ی کارگذاری میخ ها و نحوه ی تزریق

۲-۴-۵- شاتکریت دیواره، نصب صفحه، مهره و انتقال نیرو

پس از اتمام عملیات تزریق، جهت جلوگیری از فرسایش و همچنین حفظ یکپارچگی بیشتر در عملکرد میخ‌ها سطح دیواره توسط یک لایه ی بتن‌پاشی شده (Shotcrete) پوشانده می‌شود. ضخامت این شاتکریت کم بوده و غالباً به ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر محدود می‌شود. همچنین پس از بتن‌پاشی جهت اتصال کامل سر میخ‌ها به دیواره و جلوگیری از ایجاد برش پانچ در دیواره و در صورت نیاز انتقال نیرو به میخ‌ها، یک صفحه فلزی باربر به عنوان سر میخ بر روی دیواره قرار گرفته و توسط

یک مهره به آرماتور درون گمانه متصل می‌شود. البته تعبیه صفحه سر میخ و انتقال نیرو در همه شرایط مورد نیاز نبوده و بسته به کاربری مورد انتظار از میخ مورد استفاده قرار خواهد گرفت. شکل ۹ نمونه‌هایی از اجرای بتن‌پاشی، نصب صفحه و مهره سر میخ‌ها را نمایش می‌دهد.



شکل ۹- بتن‌پاشی، نصب صفحه و مهره

۲-۵- روش اجرای مهار گذاری (Anchoring)

اصول اجرای روش مهارگذاری مشابهت‌های فراوانی با روش میخ‌کوبی دارد. تفاوت اصلی در اجرای پروفیل حائل فولادی (در صورت نیاز) و نیز اعمال نیروی پس‌تنیدگی برای المان تسلیح می‌باشد. معمولاً قبل از انجام خاکبرداری، عملیات حفر چاه و قرار دادن حائل فولادی صورت می‌گیرد. سپس مشابه روش میخ‌کوبی، گام‌های بعدی شامل خاکبرداری مقطعی، حفاری گمانه‌ها، نصب میلگرد تسلیح، تزریق دوغاب سیمان (در بخشی از طول گمانه)، بتن‌پاشی و نصب صفحه سرنیل و مهره می‌باشند. پس از گذشت مدت زمان مناسب جهت عمل‌آوری دوغاب سیمان، با نصب پایه جک، جک کشش و نیروسنج، نیروی پس‌تنیدگی تا مقدار مورد نظر طراحی به میلگرد تسلیح و دوغاب اطراف آن اعمال می‌شود. لازم به ذکر است در بعضی از موارد عملیات حفر چاه وجود نداشته و پروفیل حائل فولادی پس از اتمام عملیات مقطعی خاکبرداری، حفاری و نصب المان تسلیح در محل مربوطه نصب می شود. در نهایت پس از این مرحله عملیات کشش المان تسلیح (اعمال نیروی پس‌تنیدگی) صورت می‌پذیرد.

در شکل ۱۰ تصویری از نحوه نصب پروفیل حائل فولادی مشاهده می‌شود. پروفیل‌های حائل فولادی به صورت دوبل پروفیل بوده که با استفاده از تعدادی تسمه و یا میلگرد با فواصل مشخص به یکدیگر متصل شده اند. فاصله بین دو پروفیل فولادی نیز با توجه به ملاحظات اجرایی و ابعاد صفحه باربر (سرنیل) مشخص می شود. لازم به ذکر است در مواردی که در بالای ترانشه، دیوار یا سازه‌ای در لبه قرار دارد، طول پروفیل‌ها به نحوی انتخاب می‌شود که علاوه بر تاثیرگذاری مثبت در اجرای مهارها، بخشی از پروفیل‌ها در مجاورت دیوار یا سازه قرار گیرند.



شکل ۱۰- دیوار پایدار شده با استفاده از یکسری پروفیل های فولادی

لازم به ذکر است در مواردی نیز به جای استفاده از میلگرد تسلیح جهت اجرای مهار (انکر)، از چند رشته کابل فولادی (استرند) به عنوان المان مسلح کننده استفاده می‌شود. در شکل ۱۱ نمونه‌ای از سیستم مهارگذاری با کابل فولادی چند رشته‌ای مشاهده می‌شود.



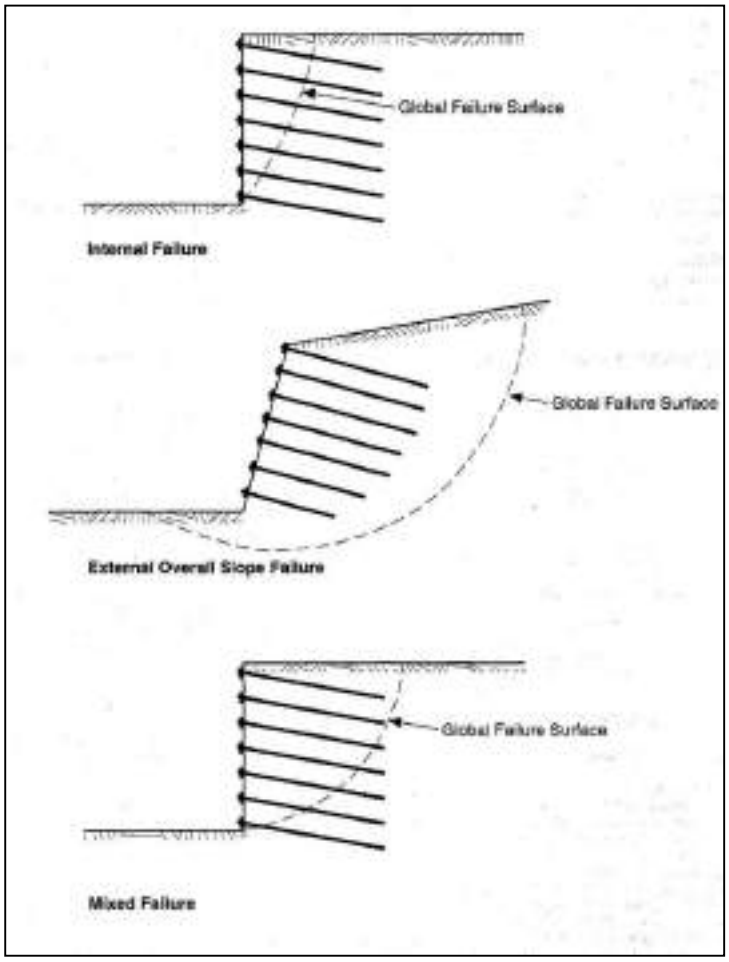
شکل ۱۱- دیوار پایدار شده با استفاده از استرند چند رشته ای

۲-۶- مروری بر مبانی محاسباتی پایدارسازی با روش میخ‌کوبی و مهارگذاری

تحلیل پایداری گودها قدیمی‌ترین نوع تحلیل‌های عددی در مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد و تحقیقات مختلفی در این زمینه انجام شده است. اصول محاسبات و طراحی روش‌های میخ‌کوبی و مهارگذاری بر پایه طراحی سازه‌ای (برای میلگرد تسلیح) و ژئوتکنیکی (برای دوغاب سیمان اطراف المان مسلح کننده) می‌باشد. در حقیقت با کنترل‌های ژئوتکنیکی، مقادیر نیروهای بسیج شده در مسلح کننده‌ها به دست آمده و سپس مقطع سازه‌ای میخ‌ها برای نیروهای داخلی آن طراحی می‌گردند.

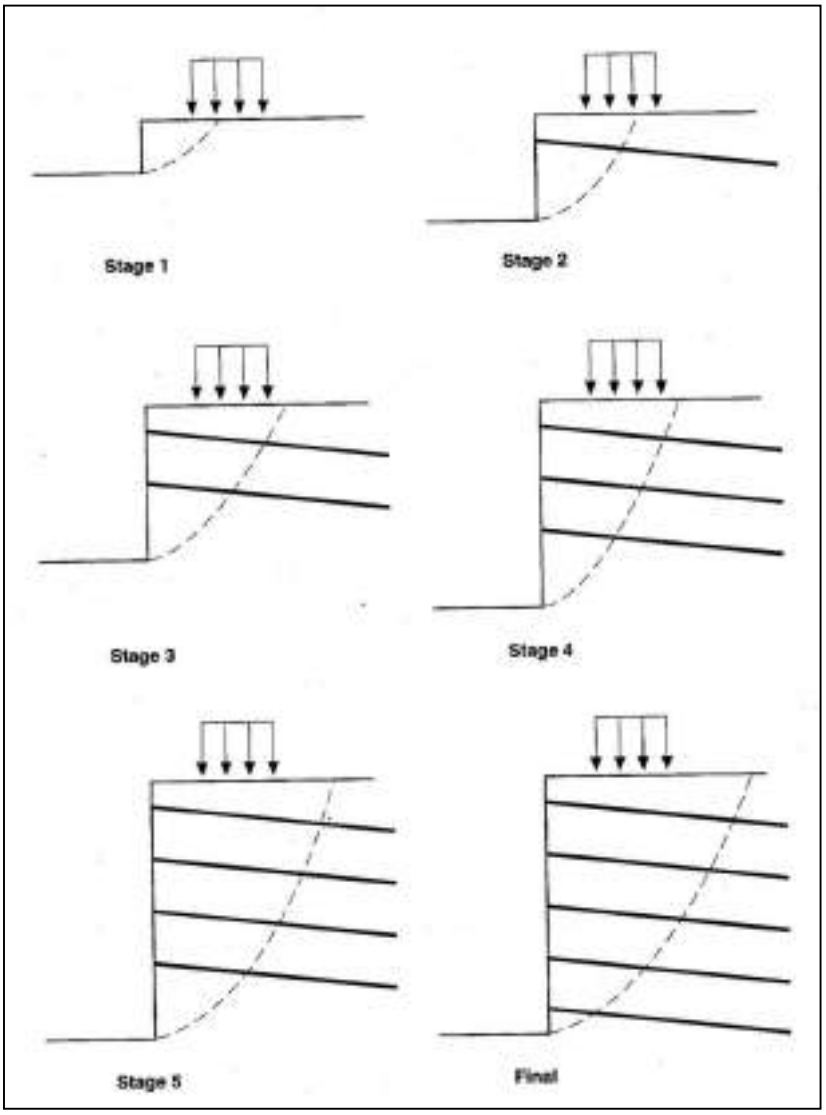
طراحی ژئوتکنیکی میخ (نیل) و یا مهار (انکر) در چارچوب روش تعادل حدی و با مفهوم سطح گسیختگی بحرانی (Critical Slip Surface) انجام می‌شود. بر این اساس دیواره مسلح شده با میخ به گونه‌ای طراحی می‌گردد که مکانیزم‌های محتمل لغزش در توده خاکی مسلح شده پشت دیواره با ضریب اطمینان قابل قبولی تشکیل گردند. آیین‌نامه‌ها سه نوع مکانیزم گسیختگی شامل گسیختگی داخلی، خارجی و مرکب برای کنترل پایداری داخلی، خارجی و مرکب دیواره‌های مسلح شده با میخ‌کوبی در نظر می‌گیرند. شکل ۱۲ این سه نوع گسیختگی را بصورت شماتیک نشان می‌دهد.

کنترل پایداری داخلی منجر به محاسبه طول مورد نیاز میخ‌ها در قسمت پایدار توده خاکی می‌گردد. این طول بر اساس میزان مقاومت چسبندگی بین میخ‌ها و توده خاک طبیعی بدست می‌آید. با ارضاء پایداری خارجی دیواره مسلح شده، در حقیقت آرایش کلی چیدمان میخ‌ها و مهارها در ارتفاع، کنترل شده و این آرایش به نحوی انتخاب می‌شود که احتمال وقوع گسیختگی در چارچوب مکانیزم‌های خارج از محدوده تسلیح، رخ ندهد. در نهایت کنترل پایداری مرکب، احتمال وقوع هرگونه گسیختگی که بخشی از سطح گسیختگی در محدوده مسلح شده و بخش دیگر در محدوده خاک غیرمسلح واقع شود را نیز از بین می‌برد.



شکل ۱۲- مکانیزمهای محتمل گسیختگی خاک مسلح شده با میخکوبی

نهایتاً با استفاده از نیروهای داخلی بدست آمده برای هر یک از میخ‌ها، مقاومت سازه‌ای آنها کنترل شده و مقطع میخ‌ها به نحوی انتخاب می‌گردند که ظرفیت تحمل بار کششی اعمالی را داشته باشد. همچنین با استفاده از این نیروها و مفهوم برش پانچ در سر میخ و مهره ابعاد مناسب سر نیل و مهره و ضخامت بتن پاشی سطحی نیز محاسبه می‌شود. در شرایطی که عملیات میخ‌کوبی جهت پایدارسازی دیواره گود و به همراه خاکبرداری مرحله‌ای انجام می‌شود، لازم است پایداری دیواره میخکوبی شده در انتهای مرحله خاکبرداری کنترل شود. این مفهوم بطور شماتیک در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۳- کنترل پایداری هر یک از مراحل گودبرداری

۲-۷- مقایسه با سایر روش های پایدار سازی

روش میخ کوبی در مقایسه با سایر روش های پایدار سازی خاک دارای ویژگی های بارزی می باشد که در ذیل به صورت فهرست وار به آنها اشاره می گردد.

۲-۷-۱- بعد اقتصادی

با توجه با این امر که اجرای میخ‌کوبی مبتنی بر استفاده از حجم کم مصالح مشتمل بر فولاد و سیمان، هزینه های پائین تجهیز کارگاه و نیز حجم بالای کار نیروی انسانی در زمانی کوتاه می باشد. روش میخ‌کوبی در مقایسه با سایر روش های تسلیح دیواره های خاکی نظیر اجرای شمع های نگه دارنده، دیوار خاک مسلح، دیوار های پشت بنددار و غیره که مبتنی بر استفاده از حجم زیاد مصالح و یا بکار گیری ماشین‌آلات سنگین و گران‌قیمتمی باشند در برخی از پروژه ها بسته به شرایط پروژه و احجام کار اقتصادی تر است. امکان اجرای فونداسیون سازه ها در تمامی سطح اشغال گود بدلیل عدم استفاده از عناصر سازه ای ضخیم و قطور در حاشیه پیرامون گود و استفاده بهینه از تمامی فضای زمین در طبقات از جمله مهمترین مزایای اقتصادی این روش برای کارفرمایان و سرمایه گذاران است.

۲-۷-۲- بعد اجرایی

ماشین آلات روش میخ‌کوبی در مقایسه با ماشین آلات اجرائی سایر روش ها دارای ابعاد و حجم کمتری می باشد، علاوه بر آن که دارای قابلیت حمل و جابجایی آسان در کارگاه می باشد، امکان اجرای عملیات در چند جبهه کاری مختلف بدون تداخل کاری را فراهم می نماید. همچین قابلیت تجهیز سریع و آسان ماشین آلات سبک اجرای میخ‌کوبی، استفاده از آن در ساختگاه های با دسترسی نا مناسب و سخت میسر می نماید. یکی از برترین ویژگی های میخ‌کوبی قابلیت اجرای آن در شرایطی است که امکان خاکبرداری و خاکریزی مجدد و یا اجرای شمع ها یا دیوارهای نگهبان به دلیل محدودیت مکانی

موجود نمی باشد. در این شرایط با اجرای همزمان خاکبرداری، تسلیح و استفاده بهینه از فضای کاری موجود، روش میخ‌کوبی راهگشای بسیاری از محدودیت ها خواهد بود.

بدلیل توزیع یکنواخت عناصر تسلیح در دیواره شیروانی یا گود، قابلیت انعصاف پذیری احرایی میخ‌کوبی از جهات مختلف بسیار بالاست. بدین معنی که اولا امکان تسلیح سطوح مختلف خاکبرداری با شکل های پیچیده در مقطع (مثلا به صورت پله ای و ...) وجود دارد، در ثانی در صورت تغییر مشخصات خاک در سطح دیواره خاکی و برخورد به نقاط مشکل دار نظیر قطعات تخته شنگ، لایه های ریزشی و یا عوارض زیر زمینی، چاه‌ها، تاسیسات و غیره امکان تغییر محل اجرای میخ‌ها در حین عملیات اجرائی مهیا خواهد بود.

۲-۷-۳- بعد فنی

با توجه به اینکه اصول مفهومی استفاده از میخ‌کوبی در مهارگذاری، استفاده از پتانسیل مقاومتی توده خاک برای تحمل بار های جانبی است، بنابراین استفاده از این روش کاربرد المان های سنگین باربر را (چه در داخل توده ی خاک و چه در جدار خارجی دیواره منتفی می نماید. توزیع یکنواخت عناصر باربر درون توده ی خاک باعث کاهش نیرو های وارد بر جدار خارجی و در نتیجه عدم نیاز به دیوار باربر در سطح تمام شده کار می شود. این امر همچنین با افزودن بر درجه ی نا معینی سیستم تسلیح توده ی خاک، امکان وقوع گسیختگی های کلی و جزئی را محدودتر می نماید.

همچنین نتایج تجربیات ثبت شده در عملکرد دیواره‌های مسلح شده با میخ‌کوبی و مهارگذاری در شرایط زلزله حاکی از رفتار نرم اینگونه سازه‌های خاکی در بارگذاری لرزه ای و در نتیجه ی عملکرد مناسب‌تر در جهت ایمنی بیشتر در مقابل گسیختگی های ناگهانی می باشد. با توجه به اجرای مرحله به مرحل و خاکبرداری مقطعی در روش های میخ‌کوبی و مهارگذاری و عدم نیاز به خاکبرداری کل ارتفاع گود در یک مرحله، ایمنی این روش در مقایه با سایر روش های پایدار سازی گود بسیار بالاتر بوده و هیچگونه تهدید را متوجه ساختمان های همسایه و مجاور نمی نماید.

فصل ۳: مشخصات کلی پروژه

۳-۱- مقدمه

پروژه مجتمع تجاری اداری تجاری ارگ جاوید با گودبرداری به عمق حدود ۲۰ متر در غرب کرمان و در جوار هتل بین المللی پارس واقع شده است. موقعیت پروژه در شکل شماره ۱۴ قابل مشاهده می‌باشد. از مجموع دیواره‌های گود پروژه مذکور دو جبهه مابین دو بلوک ساختمان، اخیراً و پس از احداث سازه‌های طرفین خاکبرداری و پایدار شده است.



شکل ۱۴- محل تقریبی پروژه ی مذکور

۳-۲- وضعیت ژئوتکنیکی محل

مشخصات ژئوتکنیکی محل پروژه با انجام آزمون برش درجا تعیین گردیده است. این آزمایش در تراز طبقه منفی ۵ در داخل گالری حفر شده انجام شده است. شکل ۱۵ تصویری از نحوه انجام این آزمایش را نشان می‌دهد که از گزارش مطالعات ژئوتکنیک پروژه استخراج گردیده است. نتایج ارائه شده در مورد خاک محل پروژه بصورت جدول زیر می‌باشد.

جدول ۱- مقادیر پارامتر های مقاومتی خاک محل پروژه

چاهک	طبقه	C (kPa)	φ (deg)
TP-1	-۵	۱۵	۳۵



شکل ۱۵- انجام آزمایش برش مستقیم درجا در تراز طبقه منفی ۵

۳-۳- مشاهدات میدانی وضعیت موجود دیواره گود

بمنظور بررسی وضعیت پایداری و نگرانی ایجاد شده در خصوص ریزش احتمالی دیواره گود مورد نظر، موارد فنی حائز اهمیت به شرح زیر است :

۱. وقوع ترک‌های سطحی
۲. آب افتادگی پشت دیواره گود
۳. ترک در سطح دیواره شاتکریت

۴. وجود تاسیسات و حفرات سطح خیابان مجاور گود
۵. قرارگیری سپتیک‌های فاضلاب در مجاور دیواره گود
۶. ناحیه بدون اجرای نیل (مش و شاتکریت تنها)

۳-۴- مخاطرات و میزان ریسک

در پروژه‌های گودبرداری با عمق زیاد (بالای ۶ متر) با توجه به محل پروژه، ابعاد پروژه و سازه‌های اطراف همواره خطر ریزش گود وجود خواهد داشت. در صورت تغییر شرایط ژئوتکنیکی (اعم از وضعیت مقاومت خاک و آب زیرزمینی) با فرضیات طراحی این خطر افزایش خواهد یافت. یکی از بهترین روش‌ها برای کاهش میزان ریسک عدم پایداری گود، مانیتورینگ پیوسته و منظم جابجایی‌های دیواره گود در حین عملیات گودبرداری و پس از اتمام عملیات گودبرداری و پایدارسازی تا اطمینان از طرح اجرا شده می‌باشد. طبیعتاً با مشاهده شواهدی حاکی از افزایش ریسک عدم پایداری (جابجایی‌های غیر معمول و ترک‌های سطح خیابان و دیواره گود)، مخاطراتی برای پروژه حادث خواهد بود که در پروژه مذکور موارد زیر را می‌توان بیان کرد:

- شکست تاسیسات زیر خیابان مجاور گود (خطوط گاز، آب و شبکه فاضلاب شهری) ناشی از جابجایی مجموعه دیواره گود و خاک پشت آن
- احتمال ریزش موضعی گود در ترازهای بالایی به دلیل وجود خاک‌های دستی و نفوذ آب‌های سطحی ناشی از بارندگی
- احتمال ریزش مجموعه گود به دلیل تغییر شرایط بارگذاری و کاهش پارامترهای مقاومتی خاک ناشی از اشباع شدن
- تبعات اجتماعی ناشی از اختلال در تاسیسات شهری و ریزش گود
- هزینه های اقتصادی تحمیلی به پروژه در گام اول ناشی از تخریب بخشی از تاسیات شهری و در گام دوم اجرا و خاکریزی محل ریزش کرده است.

فصل ۴: طرح اولیه جهت حصول ضرایب اطمینان مناسب و محدود کردن تغییر مکانها

۴-۱- طرح میخ‌کوبی و مهار گذاری

برای تحلیل اصول محاسبات فنی طرح میخ‌کوبی در بخش پیشین گزارش ارائه گردید. امروزه نشریه شماره FHWA-0-IF-03-017 اداره بزرگراه‌های امریکا (FHWA) با عنوان "دیواره‌های خاکی میخ‌کوبی شده" که در سال ۲۰۰۳ منتشر شده، به عنوان مرجعی کاربردی برای طراحی میخ‌کوبی خاک، مورد اجماع مهندسین ژئوتکنیک قرار گرفته است. همچنین نشریه فنی FHWA-IF-99-015 مربوط به سال ۱۹۹۹ از اداره بزرگراه‌های آمریکا با عنوان "سیستم های مهارگذاری شده و مهارهای زمین" در ارتباط با روش تحلیل و طراحی سیستم‌های مهاری مورد پذیرش جامعه مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد. از اینرو، در ادامه و براساس مراجع مذکور در کنار دیگر مراجع و دستنامه‌های مهندسی ژئوتکنیک، سیستم پایدارسازی و اجرای گود این پروژه بر اساس روش میخ‌کوبی دیواره طراحی می‌شود.

همانگونه که پیشتر نیز اشاره گردید، طراحی دیواره‌های خاکی پایدار شده به روش میخ‌کوبی شامل دو مرحله اصلی است. مرحله اول، تحلیل پایداری و تغییر شکل دیواره گود و محاسبه ضریب اطمینان پایداری و مرحله دوم، طراحی دیواره شاتکریت سطحی (Facing) می‌باشد.

۴-۲- اصول تحلیل پایداری دیواره گود

با فرض مشخصات هندسی، بارگذاری و شرایط ژئوتکنیکی تعیین شده، محاسبات تحلیل پایداری گود براساس مفاهیم کلاسیک تعادل حدی و ضریب اطمینان پایداری، قابل انجام خواهد بود. برای این منظور از روش تعادل حدی (Limit Equilibrium) بهره‌گیری شده است. این آنالیز با توجه به وضعیت بارگذاری و فضاهای پیرامون دیواره‌های گود انجام پذیرفته است.

طراحی دیواره میخ‌کوبی در راهنمای FHWA با دو روش LRFD و SLD قابل انجام می‌باشد. در روش SLD -که برای طرح میخ‌کوبی پروژه حاضر انتخاب گردیده، از ضرایب بار برابر یک در شرایط بارگذاری عادی به همراه ضرایب کاهش مقاومت نظیر مقاومت سرمیخ، مقاومت کششی آرماتور تسلیح، مقاومت چسبندگی جدار (Pull-out) و حداقل ضریب اطمینان مجاز پایداری دیواره بر اساس جدول ۲، برای پایداری دائم، حداقل ضریب اطمینان پایداری کلی می‌بایست برابر ۱،۵ و در هر مرحله ی اجرا برابر ۱،۲ باشد.

روش طراحی بدین صورت است که ابتدا با استفاده از توصیه‌های کلی آیین‌نامه راجع به چیدمان تقریبی میخ‌ها در سطح و عمق دیواره، فواصل و طول اولیه میخ‌ها تعیین می‌گردد. پس از آن با استفاده از روش‌های محاسباتی (LEM) و بر مبنای معیارهای طراحی جزئی آیین‌نامه FHWA (۲۰۰۳) نسبت به بهینه‌سازی و دقیق سازی طرح اقدام شده است.

جدول ۲- مقادیر ضرایب اطمینان پایدارسازی گود در شرایط کوتاه مدت (موقت) و بلند مدت (دائمی) (FHWA)

Failure Mode	Resisting Component	Symbol	Minimum Recommended Factors of Safety		
			Static Loads[1]		Seismic Loads[2] (Temporary and Permanent Structures)
			Temporary Structure	Permanent Structure	
External Stability	Global Stability (long-term)	FS_G	1.35	1.5[1]	1.1
	Global Stability (excavation)	FS_G	1.2-1.3[2]		NA
	Sliding	FS_{SL}	1.3	1.5	1.1
	Bearing Capacity	FS_B	2.5[3]	3.0[3]	2.3[3]
Internal Stability	Pullout Resistance	FS_P	2.0		1.5
	Nail Bar Tensile Strength	FS_T	1.8		1.35
Facing Strength	Facing Flexure	FS_{FF}	1.35	1.5	1.1
	Facing Punching Shear	FS_{FP}	1.35	1.5	1.1
	H.-Stud Tensile (A307 Bolt)	FS_{HT}	1.8	2.0	1.5
	H.-Stud Tensile (A325 Bolt)	FS_{HT}	1.5	1.7	1.3

روش تعادل حدی در مکانیک خاک و مهندسی پی به عنوان یکی از کاربردی‌ترین روش‌های محاسبات پایداری در حالت حدی نهایی، در بین مهندسان ژئوتکنیک شناخته شده است. کنترل پایداری و محاسبه ضریب اطمینان گسیختگی در شیروانی‌ها نیز در این چارچوب قابل انجام می‌باشد. برای این منظور با توجه به گسترش الگوریتم‌های محاسباتی و عددی، نرم‌افزارهای متعددی تدوین و به جامعه مهندسی عرضه شده است. یکی از کاربردی‌ترین نرم افزارهای موجود در این زمینه،

نرم‌افزار SLOPE/W از سری نرم‌افزارهای Geostudio 2007 می‌باشد. این نرم افزار با بهره‌گیری از روش‌های مختلف محاسبات تعادل حدی و همچنین المان‌های مختلف تسلیح خاک و تاثیر آنها بر روی ضریب اطمینان پایداری، عملاً به بسته‌ای قدرتمند جهت انجام محاسبات پایداری شیب (Slope Stability) تبدیل شده است.

در نرم افزار SLOPE/W، المان میخ‌کوبی خاک با کلیه مشخصات لازم وجود دارد. نرم‌افزار نیروی مقاوم ناشی از وجود میخ‌ها را در محاسبه ضریب اطمینان یک از سطوح گسیختگی محتمل وارد نموده و اثر افزاینده آنرا در مقدار ضریب اطمینان پایداری، محاسبه می‌نماید. مشخصات میخ‌ها که با المان‌های Nailing Support در نرم افزار شناخته می‌شوند، شامل مقاومت بیرون کشیدگی (Pull-out strength)، مقاومت کششی مقطع آرماتور تسلیح (Tensile strength) و مقاومت صفحه سر میخ (Nail head strength) می‌باشد. مقاومت بیرون کشیدگی میخ به دو عامل طول میخ واقع در خارج از محدوده گوه گسیختگی و مقاومت چسبندگی دوغاب تزریق به خاک اطراف (α_{Bond}) بستگی دارد. پیشنهادات آئین نامه FHWA (۲۰۰۳) برای مقادیر مقاومت چسبندگی دوغاب تزریق در جدول ۳ ارائه شده است. هر چند تعیین مقدار مناسب این پارامتر نیازمند انجام مطالعات ژئوتکنیک مناسب، انجام آزمایش کشش نیل، و استفاده از تجارب ژئوتکنیکی گذشته شرکت‌های مشاور و پیمانکار در عملیات میخ‌کوبی می باشد.

جدول ۳- مقادیر α_{Bond} در خاک های مختلف بر اساس آئین نامه FHWA (۲۰۰۳)

Material	Construction Method	Soil/Rock Type	Ultimate Bond Strength, q_s (kPa)
Rock	Rotary Drilled	Marl/limestone	300 - 400
		Phyllite	100 - 300
		Chalk	500 - 600
		Soft dolomite	400 - 600
		Fissured dolomite	600 - 1000
		Weathered sandstone	200 - 300
		Weathered shale	100 - 150
		Weathered schist	100 - 175
		Basalt	500 - 600
		Slate/Hard shale	300 - 400
Cohesionless Soils	Rotary Drilled	Sand/gravel	100 - 180
		Silty sand	100 - 150
		Silt	60 - 75
		Piedmont residual	40 - 120
		Fine colluvium	75 - 150
	Driven Casing	Sand/gravel	
		low overburden	190 - 240
		high overburden	280 - 430
		Dense Moraine	380 - 480
		Colluvium	100 - 180
	Augered	Silty sand fill	20 - 40
		Silty fine sand	55 - 90
		Silty clayey sand	60 - 140
	Jet Grouted	Sand	380
		Sand/gravel	700
Fine-Grained Soils	Rotary Drilled	Silty clay	35 - 50
	Driven Casing	Clayey silt	90 - 140
	Augered	Loess	25 - 75
		Soft clay	20 - 30
		Stiff clay	40 - 60
		Stiff clayey silt	40 - 100
		Calcareous sandy clay	90 - 140

علت کمتر بودن مقدار این پارامتر در خاک‌های ریزدانه این است که به دلیل ریزدانه بودن ذرات و نفوذپذیری کمتر این خاک‌ها دوغاب تزریق شده نمی‌تواند به خوبی در توده خاک، عمود بر راستای میخ نفوذ کند. این در حالی است که در خاک‌های درشت دانه شرایط متفاوت بوده و دوغاب می‌تواند با راحتی بیشتر عمود بر راستای میخ درون توده خاک نفوذ کند.

برای تعیین α_{Bond} در مهار ها نیز از پیشنهادات آئین نامه FHWA (۱۹۹۹) برای طراحی مهار ها استفاده می کنیم که در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۴- مقادیر α_{Bond} در خاک های مختلف بر اساس آئین نامه FHWA (۱۹۹۹)

Rock		Cohesive Soil		Cohesionless Soil	
Rock type	Average ultimate bond stress (MPa)	Anchor type	Average ultimate bond stress (MPa)	Anchor type	Average ultimate bond stress (MPa)
Granite and basalt	1.7 - 3.1	Gravity-grouted anchors (straight shaft)	0.03 - 0.07	Gravity-grouted anchors (straight shaft)	0.07 - 0.14
Dolomitic limestone	1.4 - 2.1	Pressure-grouted anchors (straight shaft)		Pressure-grouted anchors (straight shaft)	
Soft limestone	1.0 - 1.4	• Soft silty clay	0.03 - 0.07	• Fine-med. sand, med. dense – dense	0.08 - 0.38
Slates and hard shales	0.8 - 1.4	• Silty clay	0.03 - 0.07	• Med.–coarse sand (w/gravel), med. dense	0.11 - 0.66
Soft shales	0.2 - 0.8	• Stiff clay, med. to high plasticity	0.03 - 0.10	• Med.–coarse sand (w/gravel), dense - very dense	0.25 - 0.97
Sandstones	0.8 - 1.7	• Very stiff clay, med. to high plasticity	0.07 - 0.17	• Silty sands	0.17 - 0.41
Weathered Sandstones	0.7 - 0.8	• Stiff clay, med. plasticity	0.10 - 0.25	• Dense glacial till	0.30 - 0.52
Chalk	0.2 - 1.1	• Very stiff clay, med. plasticity	0.14 - 0.35	• Sandy gravel, med. dense-dense	0.21 - 1.38
Weathered Marl	0.15 - 0.25	• Very stiff sandy silt, med. plasticity	0.28 - 0.38	• Sandy gravel, dense-very dense	0.28 - 1.38
Concrete	1.4 - 2.8				

۴-۳- اصول تحلیل تغییر مکان دیواره گود

در فرآیند طراحی و تحلیل دیواره های پایدار شده با روش های میخ‌کوبی و مهار گذاری، پس از تعیین طرح اولیه و ارضاء حداقل ضرائب آئین نامه‌ای که در فوق اشاره شد، تغییر مکان های دیواره پایدار شده با استفاده از روش‌های عددی مورد ارزیابی قرار می گیرد.

تحلیل تغییر مکان دیواره با استفاده از روش اجزا محدود یکی از مرسوم ترین روش ها بوده و در پروژه حاضر نیز از همین روش بهره‌گیری شده است. دی این بخش نحوه ی مدل سازی عددی مساله به روش اجزاء محدود در نرم افزار PLAXIS که به عنوان یکی از مرسوم‌ترین نرم افزار های اجزاء محدود جهت تحلیل تنش- کرنش در محیط های خاکی و سنگی شناخته شده، ارائه می گردد. PLAXIS با تعبیه کتابخانه المان‌های متنوع خاکی، سنگی و سازه ای (شامل تیر، ژئوتکستایل،

مهار و ..) در کنار تکنیک های عددی مدل سازی مراحل ساخت، تحکیم و حل دینامیکی غیر خطی به عنوان نرم‌افزاری بسیار کارآمد در تحلیل های عددی محیط های خاکی مطرح گردیده است. لازم به ذکر است این نرم‌افزار علاوه بر استفاده در طراحی و تحلیل پروژه های اجرایی، در مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی و نیز پژوهشکده های علمی کاربرد های فراوانی دارد.

در نرم‌افزار PLAXIS، برای مدل سازی طرح میخ کوبی دیواره خاکی با توجه به مرحله ای بودن روند اجرای میخ‌کوبی، تمام گاه‌های خاکبرداری، حفاری و قرار دادن میخ به همراه تزریق و نیز نصب مش و شاتکریت همگی با توجه به مرحله اجرای آنها مدل می شوند. لازم به ذکر است انتخاب مدل رفتاری خاک و نیز مشخصات مصالح به ویژه مدول الاستیسیته از اهمیت بالایی برخوردار بوده و مقادیر تغییر شکل‌های یک مدل دیواره میخ‌کوبی شده، به شدت تحت تاثیر مقادیر مدول الاستیسیته لایه های خاک می‌باشند. در نتیجه اکثر دست اندرکاران طرح و اجرای سیستم های میخ‌کوبی و مهارگذاری، همواره به مشاورین و یا کارفرمایان پروژه های توصیه می کنند تا از آزمایش بارگذاری جهت تعیین دقیق‌تر و واقعی تر مقادیر مدول الاستیسیته بهره‌گیری شود.

در طول ساخت یک دیوار میخ‌کوبی و مهارگذاری شده و بعد از اتمام آن، دیوار و توده خاکی پشت آن تمایل به تغییر شکل به سمت بیرونی شیروانی یا دیواره خاکی را داشته و همانند جابجایی دیوارهای حائل طره‌ای، جابجایی های خارجی همراه با چرخش اضافی در پای دیوار می باشد. اکثر جابجایی ها در حین گودبردای خاک جلوی دیوار و یا بلافاصله بعد از آن اتفاق می افتد. تغییر شکل های پس از ساخت با آزاد سازی تنش و جابجایی‌های خزشی در ارتباط است که همراه با افزایش‌هایی در نیروی کششی المان تسلیح می باشد.

در دیوارهای میخ‌کوبی شده معمول، جابجایی افقی ماکزیمم معمولا در محل تاج دیوار اتفاق می افتد و به سمت پای دیوار روندی کاهشی دارد. شکل ۱۶ را مشاهده کنید. داده های تجربی، نشان می دهد که برای دیواره‌های میخ‌کوبی و مهارگذاری شده با نسبت L/H معمول بین ۰,۷ تا ۱ با نادیده گرفتن سربار و ضرایب اطمینان آئین‌نامه ای، ماکزیمم جابجایی‌های قائم و افقی در تاج دیوار (به ترتیب δ_v و δ_h) از رابطه ی زیر تعیین می شود :

$$\delta_H = (\frac{\delta_h}{H})_i * H$$

که در آن H ارتفاع دیوار و $(\frac{\delta_h}{H})_i$ نسبت مرتبط با i که از جدول ۵ تعیین می شود.

جدول ۵- ضرایب مورد نیاز جهت تضمین تخمین تغییرمکان های دیواره میخ‌کوبی شده

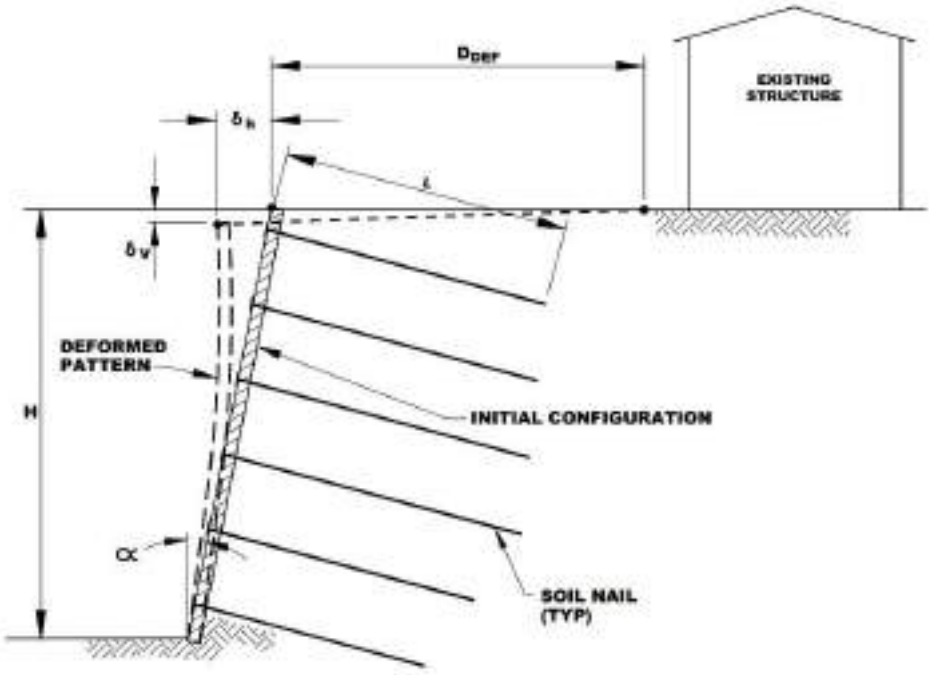
Variable	Weathered Rock and Stiff Soil	Sandy Soil	Fine-Grained Soil
δ_h/H and δ_v /H	1/1,000	1/500	1/333
C	1.25	0.8	0.7

اندازه ی ناحیه تاثیر(که در آن تغییر شکل قابل توجهی از زمین ممکن است اتفاق بیافتد)، با یک فاصله افقی از لبه دیوار مسلح تعریف می شود (D_{DEF}) :

$$\frac{D_{DEF}}{H} = C(1 - \tan(\alpha))$$

که در آن α زاویه دیوار نسبت به راستای قائم و C ضریبی است که در جدول ۴ مشخص شده است. شکل ۱۶ تصویری شماتیک از تغییر شکل های افقی و قائم و نیز پارامتر های مرتبط را نشان می دهد.

به عنوان یک معیار کلی می بایست نسبت به خیزهای افقی برزگتر از $0.005H$ در طول ساخت و پس از آن نگران بود. یکی از نیازهای مهم برای هر پروژه انتخاب معیاری مناسب از تغییر شکل است و آن معیار نباید فقط اندازه تغییر شکل را در نظر بگیرد، بلکه باید گسترش ناحیه ای از پشت دیوار را که ممکن است از جابجایی‌های دیوار متاثر شود نیز در نظر بگیرد. همچنین پس از اتمام ساخت نیز جابجایی‌های مختصری در دیواره رخ می دهد که بیشتر ناشی از رفتار خزشی خاک است و این رفتار در خاک های دارای درصد ریزدانه بالاتر، بیشتر مشاهده می شود. این تغییر شکل ها معمولا تا ۱۵ درصد تغییر شکل‌های پس از ساخت می باشند. در این پروژه استثنائا میزان تغییر شکل ها به ۲,۵ سانتی متر محدود شده است که از تمام حد های ذکر شده در بالا سختگیرانه است و دلیل آن احداث یک ساختمان حساس در بالای دیواره ی گود است.



شکل ۱۶- تغییر شکل شماتیک در یک دیواره میخ‌کوبی شده

۴-۴- مشخصات مصالح در تحلیل عددی

مشخصات مصالح در تحلیل های عددی مرتبط با طراحی میخ‌کوبی، اهمیت بالایی در دقت نتایج حاصله دارد. مشخصات مصالح میخ، شاتکریت و شمع فولادی بر اساس ابعاد هندسی و مدول الاستیسیته مصالح آن‌ها تعیین می شوند، که نحوه ی محاسبه و مقادیر آن‌ها در ادامه ارائه شده اند.

۴-۴-۱- مشخصات مصالح میخ‌های فولادی با قطر ۳۲ میلی متر از جنس فولاد AIII و قطر گمانه ۱۰ سانتی متر

با فرض قطر گمانه ۱۰ سانتی متر و مقاومت فشاری دوغاب برابر ۲۰ مگاپاسکال داریم :

$$E_s = 2 * 10^8 \ {}^{kN}/_{m^2}$$

$$F_g Grout = 200\ Mpa = 200\ {}^{kg}/_{cm^2}$$

$$E_g Grout = 15100\sqrt{F_g Grout} = 213500\ {}^{kg}/_{cm^2} = 2.135 * 10^7\ {}^{kN}/_{m^2}$$

$$Bar\ Dia. = 32 * 10^{-3} m\ , Nail\ Dia. = 10 * 10^{-2}\ m$$

$$A_s = \frac{\pi}{4}(D)^2 = \frac{\pi}{4}(32 * 10^{-3})^2 = 8.042 * 10^{-4}\ m^2$$

$$A = \frac{\pi}{4}(D)^2 = \frac{\pi}{4}(10 * 10^{-3})^2 = 7.854 * 10^{-3}\ m^2$$

$$A_g = A - A_s = 7.854 * 10^{-3} - 8.042 * 10^{-4} \ = 7.050 * 10^{-3}\ m^2$$

$$E_{eq} = E_s\left(\frac{A_s}{A}\right) + E_g\left(\frac{A_g}{A}\right) = 2 * 10^8 * \left(\frac{8.042 * 10^{-4}}{7.854 * 10^{-3}}\right) + 2.135 * 10^7 * \left(\frac{7.050 * 10^{-3}}{7.854 * 10^{-3}}\right)$$

$$= 3.965 * 10^7 \, {kN}/{m^2}$$

$$EA = 3.965 * 10^7 * 7.854 * 10^{-3} = 3.114 * 10^5 \, kN$$

$$EA(S_h = 2) = 1.557 * 10^5 \ {kN}/{m}$$

$$EA(S_h = 1.5) = 2.076 * 10^5 \ {kN}/{m}$$

$$EA(S_h = 1) = 3.114 * 10^5 \ {kN}/{m}$$

$$F_{ultimate} = 0.6 * F_y * A_s = 0.6 * 4200 * 8.042 = 20265.84 \, kgf$$

جدول ۶- خلاصه ی ویژگی های مقاومتی میخ ها

نوع پارامترمقاومتی	مقدار
Es(kN/m2)	2.000E+08
Fg Sllury(kg/cm2)	2.000E+02
Eg(kg/cm2)	2.135E+05
Eg(kN/m2)	2.135E+07
Bar Dia. (mm)	3.200E+01
Nail Dia. (mm)	1.000E+02
As(m2)	8.042E-04
A(m2)	7.854E-03
Ag(m2)	7.050E-03
Eeq(kN/m2)	3.965E+07
EA(kN)	3.114E+05
EA(Sh=2)(kN/m)	1.557E+05
EA(Sh=1.5)(kN/m)	2.076E+05
EA(Sh=1)(kN/m)	3.114E+05

۴-۴-۲- مشخصات مصالح شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتی متر با مقاومت فشاری استوانه ای ۲۰ مگاپاسکال بدون استفاده از شمع فولادی

در این حالت بدون استفاده از شمع فولادی که تیرآهن های IPB در نظر گرفته شده اند داریم :

$$F_c\ Shotcrete = 200\ Mpa = 200\ {}^{kg}/_{cm^2}$$

$$E_c\ Shotcrete = 15100\sqrt{F_c} = 213500\ {}^{kg}/_{cm^2} = 2.135 * 10^7\ {}^{kN}/_{m^2}$$

$$E_s = 2 * 10^8\ \ {}^{kN}/_{m^2}$$

برای شاتکریت با ضخامت ۱۰ سانتی متر و میلگرد به قطر ۸ میلی متر داریم :

$$Shotcret\ Tick. = 10 * 10^{-2}\ m\ , Bar\ Dia. = 8 * 10^{-3}\ m$$

$$A_s = \frac{\pi}{4}(D)^2 = \frac{\pi}{4}(8 * 10^{-3})^2 = 5.027 * 10^{-5}\ m^2$$

$$A = 1 * 1 * t = 1 * 1 * 10 * 10^{-2} = 10 * 10^{-2}\ m^2$$

طبق شکل شماره ۱۷ برای هر متر مربع از شاتکریت تعداد ۷ میلگرد به طول یک متر در هر جهت داریم.

$$A_{sc} = A - 7 * A_s = 10 * 10^{-2} - 7 * 5.027 * 10^{-5}\ = 9.965 * 10^{-2}\ m^2$$

$$I_c = \frac{bh^3}{12} = \frac{1}{12} * 1 * (10 * 10^{-2})^3 = 8.333 * 10^{-5} m^4$$

$$E_{eq} = E_s\left(\frac{A_s}{A}\right) + E_g\left(\frac{A_g}{A}\right) = 2 * 10^8 * \left(\frac{3.519 * 10^{-4}}{10 * 10^{-2}}\right) + 2.135 * 10^7 * \left(\frac{9.965 * 10^{-2}}{10 * 10^{-2}}\right)$$

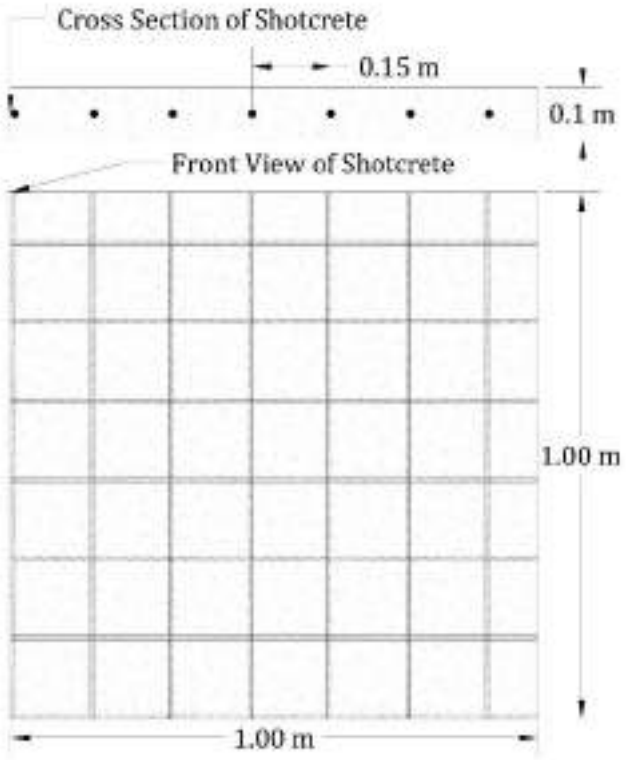
$$= 2.198 * 10^7\ {}^{kN}/_{m^2}$$

$$EA = 2.198 * 10^7 * 10 * 10^{-2} = 2.198 * 10^6\ kN$$

$$EA(1m * 1m) = 2.198 * 10^6 \ {}^{kN}/_{m}$$

$$EI = 2.198 * 10^7 * 8.333 * 10^{-5} = 1.832 * 10^3 \ kN.m^2$$

در این قسمت به محاسبه ی وزن هر متر مربع از شاتکریت دیواره پرداخته می شود. طبق شکل شماره ۱۷ می دانیم که در هر متر مربع شاتکریت ۱۴ متر طول میلگرد وجود دارد.



شکل ۱۷- وضعیت قرار گیری میلگرد ها در سطح دیواره ی شاتکریت شده

طبق اطلاعات رسمی تولیدکنندگان فولاد هر ۱۲ متر از طول میلگرد با قطر ۸ میلی‌متر ۵ کیلوگرم وزن دارد از طرف دیگر می دانیم وزن مخصوص بتن پاششی ۲۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. پس داریم :

$$\rho_{shotcrete} = 2250 \ {}^{kg}/_{m^3} \ , Weight\ of\ 12\ m\ Bar = 5\ kg$$

$$Weight\ of\ 14\ m\ Bar = \frac{14}{12} * 5 = 5.833\ kg$$

$$Weight\ of\ concrete\ in\ 1m * 1m * 0.1m = 2250 * 1 * 1 * 0.1 = 225\ kg$$

$$Weight\ of\ steal\ in\ 1m * 1m * 0.1m = 5.833\ kg$$

$$Weight\ of\ shotcrete\ in\ 1m * 1m * 0.1m = 225 + 5.833 = 230.8\ kg$$

$$Weight\ of\ shotcrete\ in\ 1m * 1m = 230.8 * 0.01 = 2.308\ {}^{kN}/_{m}/_{m}$$

و در پایان نسبت پواسن بتن را برابر ۰,۲ در نظر می گیریم. در جدول شماره ۷ خلاصه ی مقادیر مقاومتی بتن بدون شمع فولادی آورده شده است.

جدول ۷- ویژگی های مقاومتی بتن شاتکریت بدون شمع فولادی

Fc(kg/cm2)	2.000E+02
Ec(kg/cm2)	2.135E+05
Ec(kN/m2)	2.135E+07
Es(kN/m2)	2.000E+08
Thickness(m)	1.000E-01
Bar Dia. (mm)	8.000E+00
As(m2)	5.027E-05
A(m2)	1.000E-01
Count of bar in 1m*1m shotcrete	7.000E+00
Asb(m2)	3.519E-04
Ac(m2)	9.965E-02
Ic(m4)	8.333E-05
Is(m4)	1.407E-09
I(m4)	8.334E-05
Eeq(kN/m2)	2.198E+07
EA(kN)	2.198E+06
EA(kN/m)	2.198E+06
EI(kN.m2)	1.832E+03
Specific Unit Weight(kg/m3)	2.250E+03
Weight of 12m length of Ø8 bar(kg)	5.000E+00
Length of bar in 1m*1m(m)	1.400E+01
Weight of bar in 1m*1m(kg)	5.833E+00
Weight of concrete in 1m*1m*0.1m(kg)	2.250E+02
Weight of shotcrete in 1m*1m*0.1(kg)	2.308E+02
Weight of shotcrete in 1m*1m(kN/m/m)	2.308E+00
Poisson's ratio	2.000E-01

۴-۴-۳- مشخصات مصالح شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتی متر با مقاومت فشاری استوانه ای ۲۰ مگاپاسکال با استفاده از شمع فولادی

در این حالت با استفاده از شمع فولادی که دوبل تیرآهن های IPBI300 در نظر گرفته شده اند داریم:

$$F_c\ Shotcrete = 200\ Mpa = 200\ {}^{kg}/_{cm^2}$$

$$E_c\ Shotcrete = 15100\sqrt{F_c} = 213500\ {}^{kg}/_{cm^2} = 2.135 * 10^7\ {}^{kN}/_{m^2}$$

$$E_s = 2 * 10^8\ \ {}^{kN}/_{m^2}$$

برای شاتکریت با ضخامت ۱۰ سانتی متر و میلگرد به قطر ۸ میلی متر داریم :

$$Shotcret\ Tick. = 10 * 10^{-2}\ m\ , Bar\ Dia. = 8 * 10^{-3}\ m$$

$$A_{sBar} = \frac{\pi}{4}(D)^2 = \frac{\pi}{4}(8 * 10^{-3})^2 = 5.027 * 10^{-5}\ m^2$$

$$A = 2 * 1 * t = 1 * 1 * 10 * 10^{-2} = 20 * 10^{-2}\ m^2$$

طبق شکل شماره ۱۸ برای هر متر مربع از شاتکریت تعداد ۷ میلگرد به طول یک متر اما چون در این قسمت هر ۲ متر یک شمع فولادی به کار می رود مبنای محاسبات را یک مربع ۲*۱ در نظر می گیریم. اطلاعات مربوط به پروفیل IPBI300 از جدول اشتال اقتباس شده اند. طبق شکل شماره ۱۸داریم :

$$A_{sc} = A - 14 * A_{sBar} = 10 * 10^{-2} - 14 * 5.027 * 10^{-5}\ = 1.993 * 10^{-1}\ m^2$$

$$I_c = \frac{bh^3}{12} = \frac{1}{12} * 2 * (10 * 10^{-2})^3 = 1.667 * 10^{-4} m^4$$

$$I_{sPile} = 2 * 18260\ cm^4 = 3.652 * 10^{-4} m^4$$

$$A_{sPile} = 2 * 113\ cm^2 = 2.260 * 10^{-2} m^2$$

$$A_s = A_{sPile} + 14 * A_{sBar} = 2.260 * 10^{-2} + 14 * 5.027 * 10^{-5} = 2.330 * 10^{-2} m^2$$

$$E_{eq} = E_s\left(\frac{A_s}{A}\right) + E_g\left(\frac{A_g}{A}\right) = 2 * 10^8 * \left(\frac{2.330 * 10^{-2}}{20 * 10^{-2}}\right) + 2.135 * 10^7 * \left(\frac{1.993 * 10^{-1}}{20 * 10^{-2}}\right)$$

$$= 4.458 * 10^7 \, {kN}/{m^2}$$

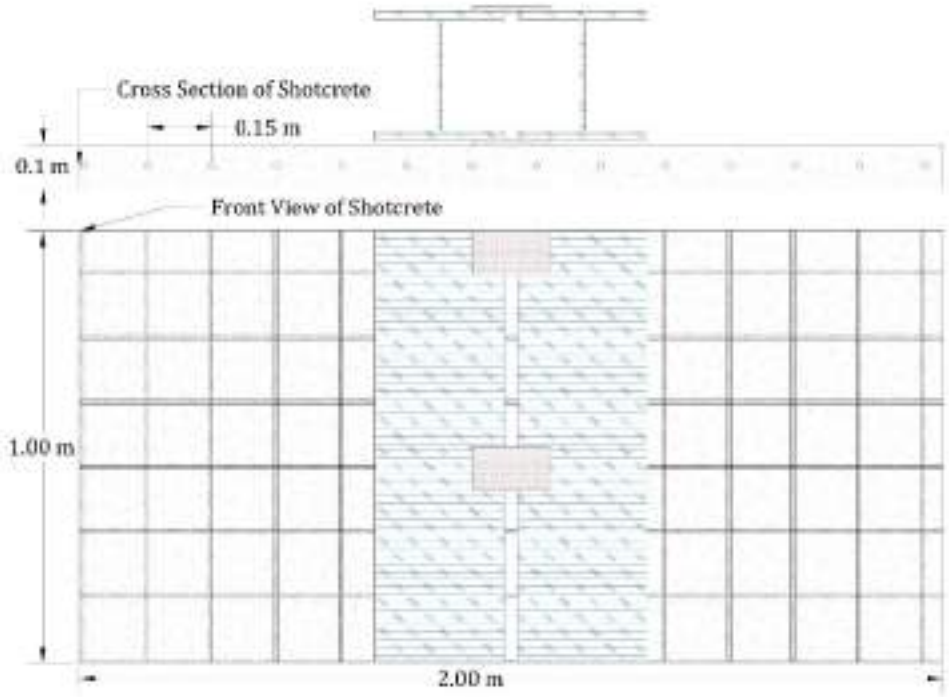
$$EA = 4.458 * 10^7 * 20 * 10^{-2} = 8.917 * 10^6 \, kN$$

$$EA(1m * 1m) = 4.458 * 10^6 \ {kN}/{m}$$

$$I = I_c + I_{sPile} + Ad^2 = 1.667 * 10^{-4} + 3.652 * 10^{-4} + 0.2 * 0.15^2 = 1.040 * 10^{-3} \, m^4$$

$$EI = 4.458 * 10^7 * 1.040 * 10^{-3} = 4.638 * 10^4 kN.m^2$$

مشاهده می شود که سختی خمشی دیواره با اضافه کردن دوبل IPBI300 نزدیک به ۱۰ برابر افزایش یافته است. در این قسمت به محاسبه ی وزن هر متر مربع از شاتکریت دیواره پرداخته می شود. طبق شکل شماره ۱۸ می دانیم که در هر



شکل ۱۸- وضعیت قرار گیری میلگرد ها و پروفیل فولادی در سطح دیواره ی شاتکریت شده

۲*۱ متر مربع شاتکریت ۲۸ متر طول میلگرد وجود دارد. طبق اطلاعات رسمی تولیدکنندگان فولاد هر ۱۲ متر از طول میلگرد با قطر ۸ میلی‌متر ۵ کیلوگرم وزن دارد از طرف دیگر می دانیم وزن مخصوص بتن پاششی ۲۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و وزن هرمتر طول از پروفیل IPBI300 برابر ۸۸,۳ کیلوگرم می باشد. پس داریم :

$$\rho_{shotcrete} = 2250\ {}^{kg}/_{m^3}\ , Weight\ of\ 12\ m\ Bar = 5\ kg$$

$$Weight\ of\ 28\ m\ Bar = \frac{14}{12} * 5 = 11.67\ kg$$

$$Weight\ of\ concrete\ in\ 1m * 2m * 0.1m = 2250 * 1 * 2 * 0.1 = 450\ kg$$

$$Weight\ of\ bar\ steal\ in\ 1m * 2m * 0.1m = 11.67\ kg$$

$$Weight\ of\ pile\ steal\ in\ 1m * 2m * 0.1m = 2 * 88.3 = 176.6\ kg$$

$$Weight\ of\ shotcrete\ in\ 1m * 2m * 0.1m = 450 + 11.67 + 176.6 = 638.3\ kg$$

$$Weight\ of\ shotcrete\ in\ 1m * 2m = 638.3 * 0.005 = 3.191\ {}^{kN}/_{m/m}$$

و در پایان نسبت پواسن بتن را برابر ۰,۲ در نظر می گیریم. در جدول شماره ۸ خلاصه ی مقادیر مقاومتی بتن بدون شمع فولادی آورده شده است. در این قسمت برش مورد تحمل این مقطع IPBI را محاسبه می نماییم :

$$F_{ultimate} = \tau_a * A_{sPile} = 0.4 * \sigma_y * 2 * 113 = 0.4 * 2400 * 2 * 113 = 216960\ kgf$$
$$= 2169.6\ kN$$

جدول ۸- ویژگی های مقاومتی بتن شاتکریت با در نظر گیری شمع فولادی

Fc(kg/cm2)	2.000E+02
Ec(kg/cm2)	2.135E+05
Ec(kN/m2)	2.135E+07
Es(kN/m2)	2.000E+08
Thickness(m)	1.000E-01
Bar Dia. (mm)	8.000E+00
As(m2)	5.027E-05
A(m2)	2.000E-01
Count of bar in 2m*1m shotcrete	1.400E+01
Asb(m2)	7.037E-04
Ac(m2)	1.993E-01
Ic(m4)	1.667E-04
Isb(m4)	2.815E-09
Iss(m4)	3.652E-04
Ass(m2)	2.260E-02
As(m2)	2.330E-02
Eeq(kN/m2)	4.458E+07
EA(kN)	8.917E+06
EA(kN/m)	4.458E+06
I(m4)	1.040E-03
EI(kN.m2)	4.638E+04
Specific Unit Weight(kg/m3)	2.250E+03
Weight of 12m length of Ø8 bar(kg)	5.000E+00
Length of bar in 1m*1m(m)	2.800E+01
Weight of bar in 1m*1m(kg)	1.167E+01
Weight of concrete in 1m*1m(kg)	4.500E+02
Weight of soldier pile in 1m*1m(kg)	1.766E+02
Weight of shotcrete in 1m*1m(kg)	6.383E+02
Weight of shotcrete in 1m*1m(kN/m/m)	3.191E+00
Poisson's ratio	2.000E-01

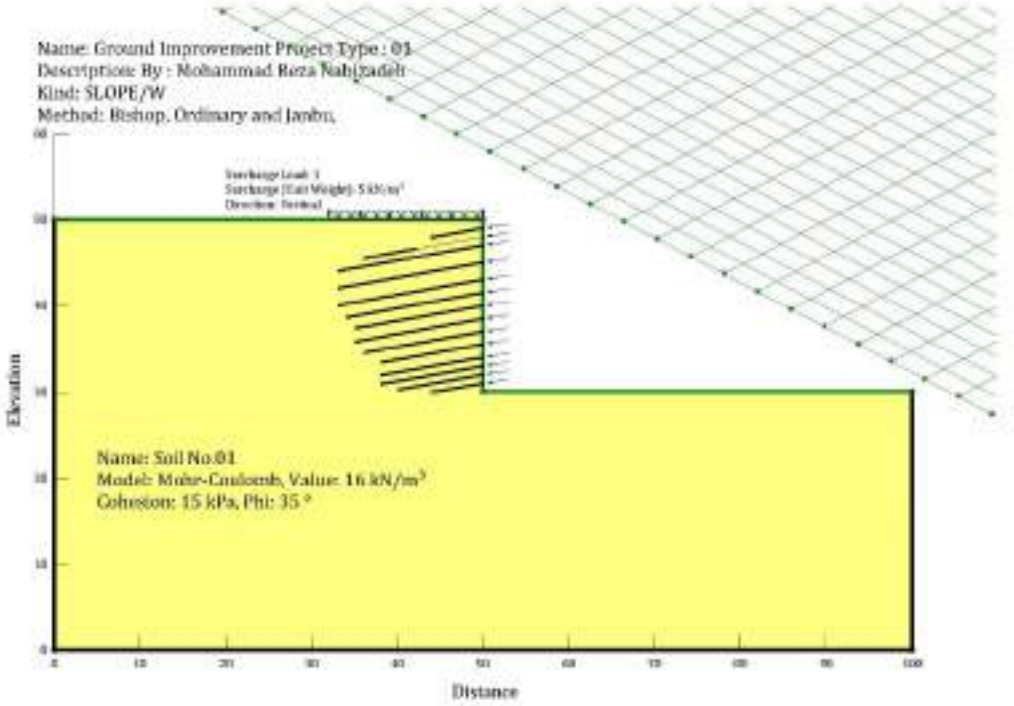
۴-۵- طرح نهایی

در دیواره گود مورد نظر، با توجه به وضعیت موجود گود و ریسکهای موجود طرح بهسازی عملیات پایدارسازی با ترکیب روشهای نیلینگ، انکر مونوبار و شمع در نظر گرفته شد. المانهای پایدار سازی مورد نظر هر تیپ با هدف افزایش ضرایب اطمینان پایداری کلی، در حین ساخت و پایداری سطحی در نظر گرفته شده است. روش کار بدین صورت است که ابتدا سیستم پایدارسازی که عمدتا نیلینگ است جهت حصول ضریب اطمینان مناسب اختیار شده است و نهایتا تمامی گوه های محتمل با استفاده از سیستمهای ترکیبی نیل، انکر، شمع کنترل و با هدف کنترل پایداری سطحی و در حین ساخت طراحی شده است. در ادامه، سه طرح پیشنهادی یا به عبارتی دیگر سه تیپ دیوار با ویژگی ها متفاوت تحلیل شده و نتایج آورده شده است. تفاوت اصاصی این سه تیپ طرح پایدار سازی جانمایی میخ ها و قرار گیری آن ها می باشد. با توجه به راهنمای FHWA برای سیستم میخ‌کوبی (۲۰۰۳) برای روش حفاری دروانی فاصله ی افقی بین میخ‌ها نباید از ۱,۴ متر کمتر باشد چرا که موجب اختلاط اندرکنشی میخ‌ها می شود اما با توجه که در این پروژه نیروی کشش میخ‌ها به ۲۵۰ کیلونیوتن (که حدود ۴۰ درصد کمتر از ظرفیت واقعی آن ها است) محدود شده است به ناچار کمترین فاصله ی افقی بین میخ‌ها را تا ۱ متر تقلیل می دهیم. در جدول شماره ی ۹ مشخصات هر تیپ از طرح های پیشنهادی آورده شده است.

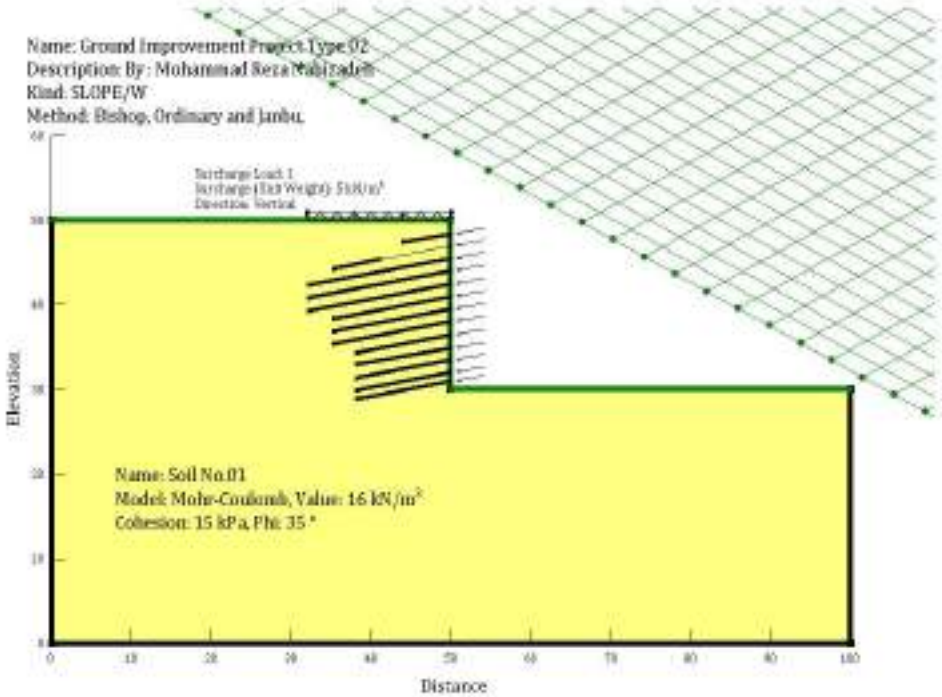
جدول ۹- مشخصات تیپ های پایدار سازی پیشنهاد شده

تیپ طرح	S_V	S_h	تراکم طرح	ملاحظات
Type 1	(۲-۱,۵-۱) متر	(۲-۱) متر	۵,۸۲	فاصله ی مهار ها ۲ متر باکشش ۲۰ تن
Type 2	(۱,۵-۱) متر	(۲-۱,۵-۱) متر	۵,۷۷	فاصله ی مهار ها ۲ متر باکشش ۲۰ تن
Type 3	(۲) متر	(۲) متر	۳,۵۲	شمع فولادی به فاصله ی ۲ متر در تمام طول گود

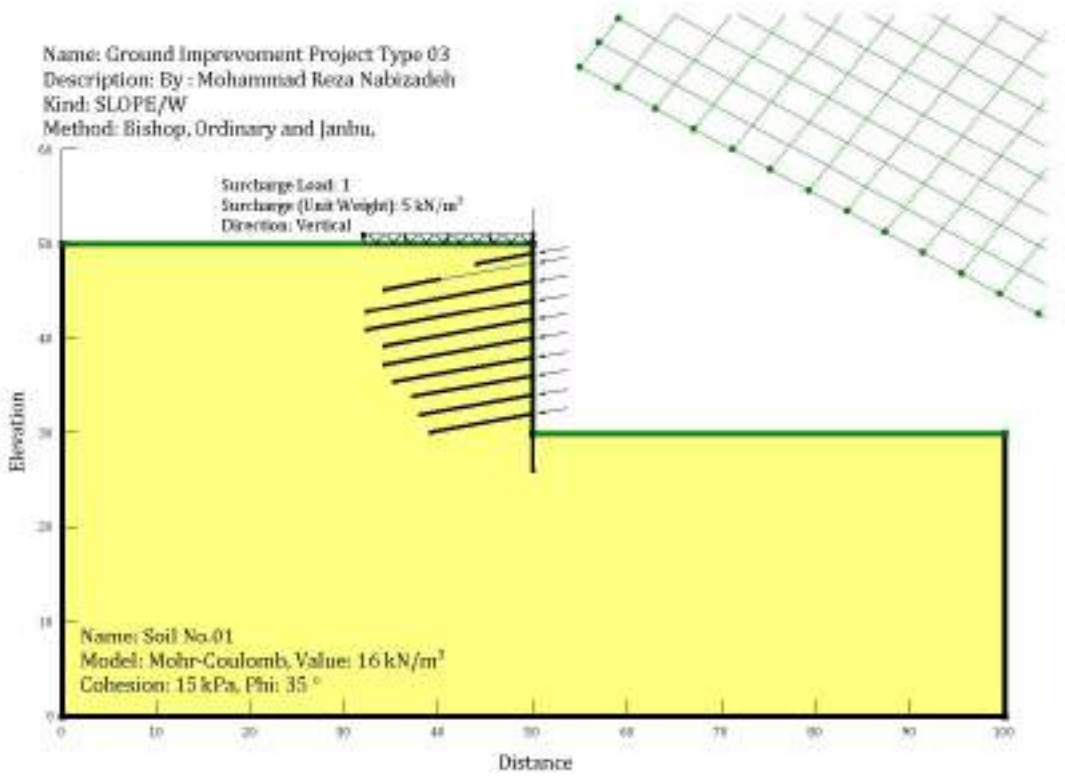
در تصاویر زیر وضعیت هرکدام از تیپ ها نشان داده شده است :



شکل ۱۹- تیپ شماره ی یک با تراکم ۵,۸۲



شکل ۲۰- تیپ شماره ی دو با تراکم ۵,۷۷



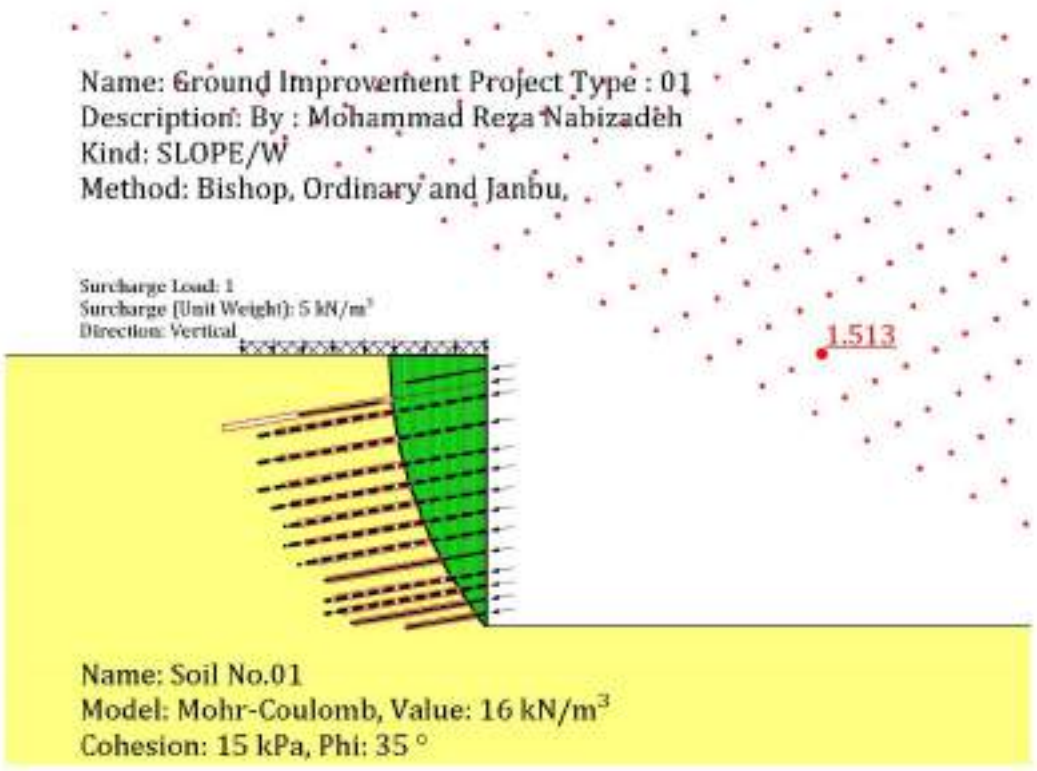
شکل ۲۱- تیپ شماره سه با تراکم ۳,۵۲

لازم به ذکر است که در تمامی تیپ های طراحی محل گسیختگی دیواره دقیقا در نقطه ی برخورد دیواره با کف قرار داده شده است چرا که تقریبا محتمل ترین گسیختگی های از این نقطه رخ می دهد.

در قسمت آتی به بررسی وضعیت پایداری و تغییر شکل های هر تیپ از بهسازی می پردازیم.

۴-۶- بررسی ضریب اطمینان و تغییر شکل های تیپ یک

۴-۶-۱- بررسی تحلیل پایداری حدی و ضرایب اطمینان با استفاده از نرم افزار GeoSlope



شکل ۲۲- ضریب اطمینان به روش بیشاپ تیپ یک

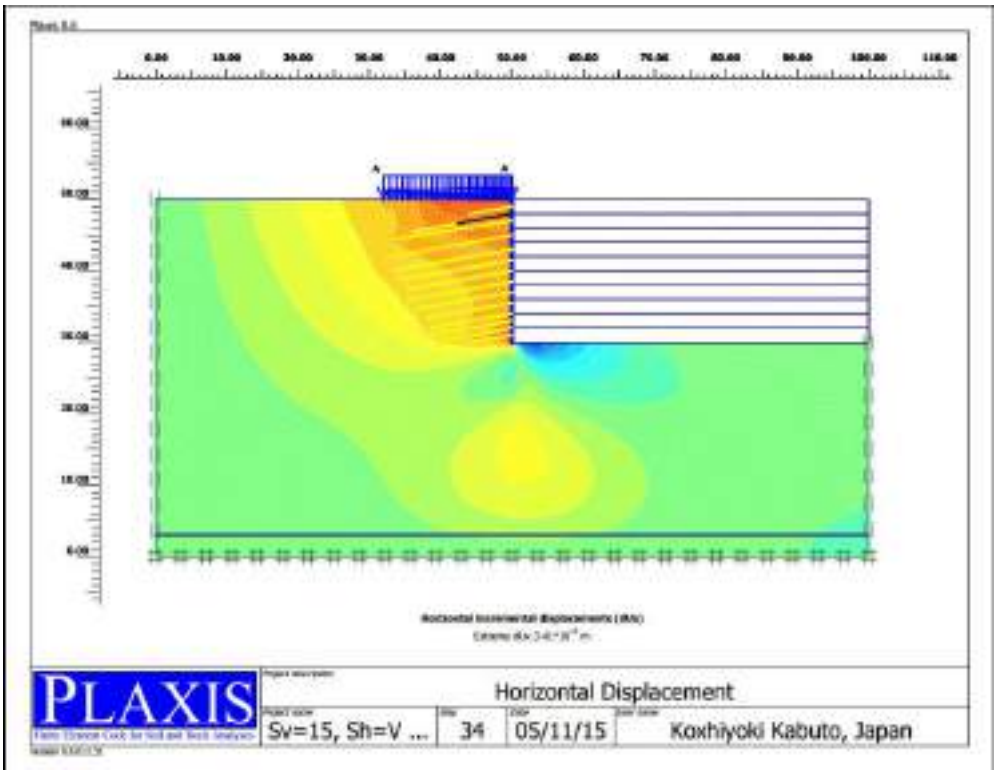
برای جلوگیری از افزایش غیر ضروری حجم گزارش تمامی ضرایب اطمینان در جدول زیر خلاصه شده اند.

جدول ۱۰- ضرایب اطمینان روش های مختلف محاسباتی با دو روش تشکیل گوه برای تیپ یک

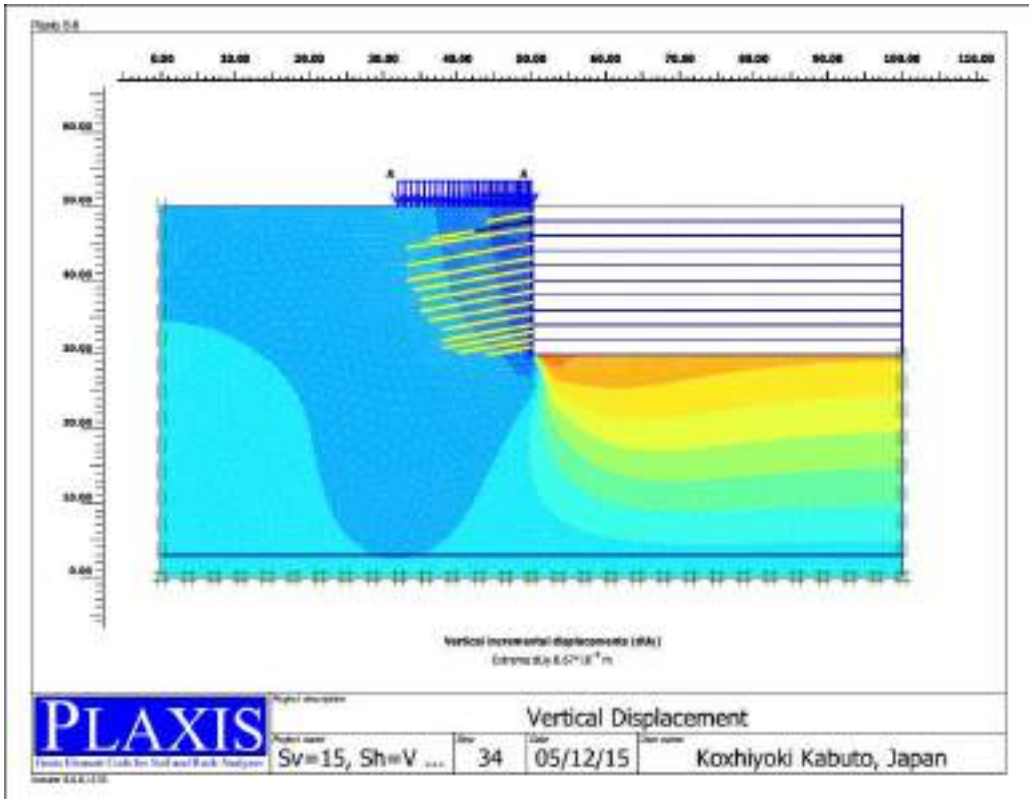
Grid and Radiuos	Auto Located	نام روش تحلیل و شیوه تشکیل گوه
1.510	1.571	Morgnestern- Price
1.485	1.531	Spencer
1.450	1.540	GLE
1.507	1.529	Corps of Engineer #1
1.507	1.529	Corps of Engineer #2
1.495	1.528	Lowe- Karafiath
1.504	1.485	Junbu Generalized
1.510	1.542	Sarma (Vertical Slices Only)
1.513	1.623	Bishop
1.621	1.584	Ordinary
1.513	1.566	Junbu

۴-۶-۲- انجام تحلیل های تنش – تغییر شکل به روش اجزاء محدود با استفاده از نرم‌افزار PlAXIS

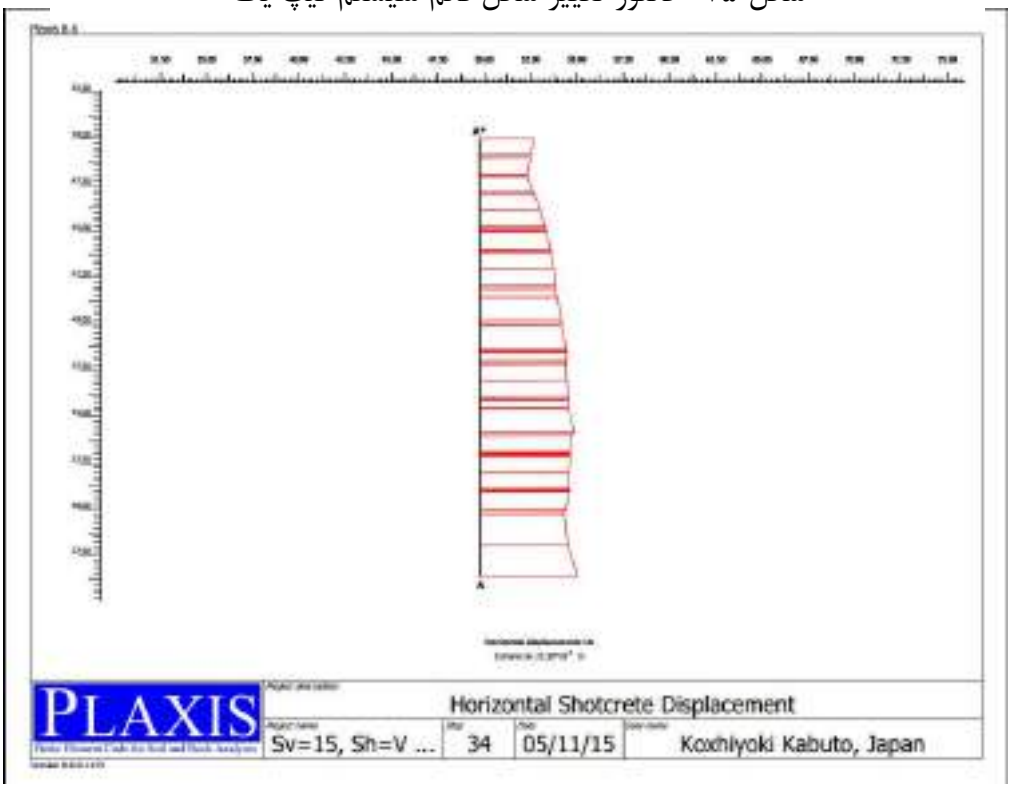
در این قسمت به بررسی تغییر شکل های دیواره بر مبنای تحلیل پلاستیک می پردازیم :



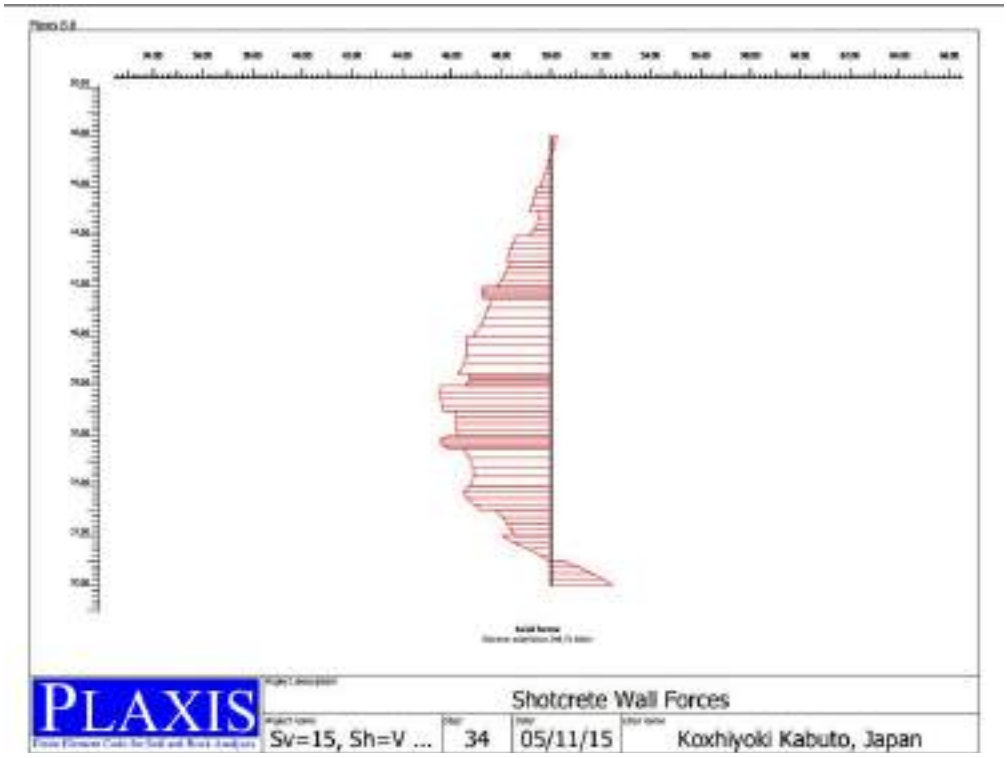
شکل ۲۳- کانتور تغییر شکل های افقی خاک



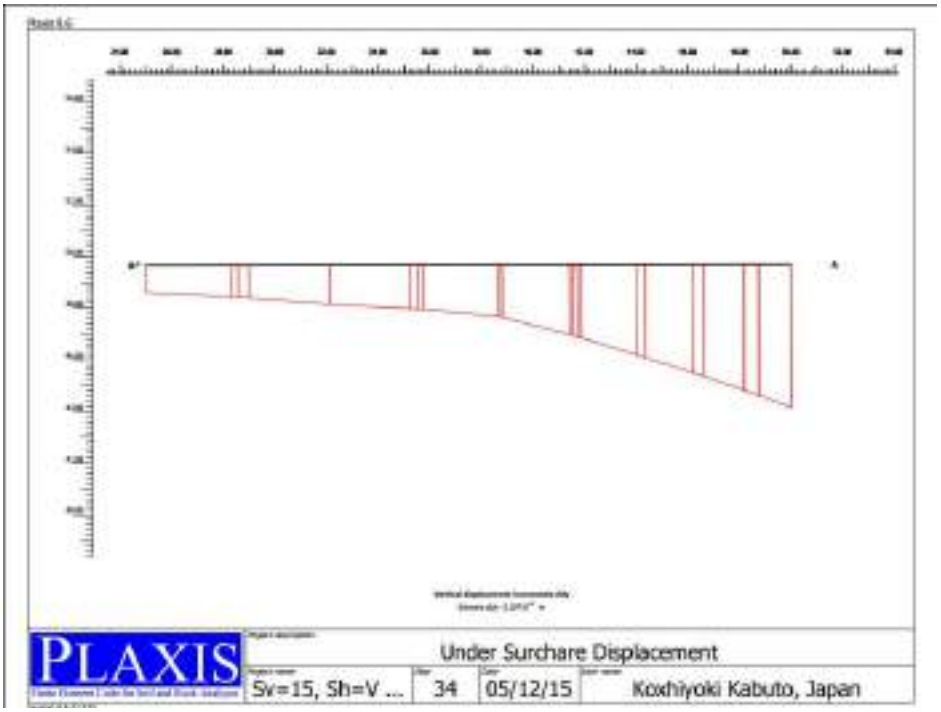
شکل ۲۵- کانتور تغییر شکل قائم سیستم تیپ یک



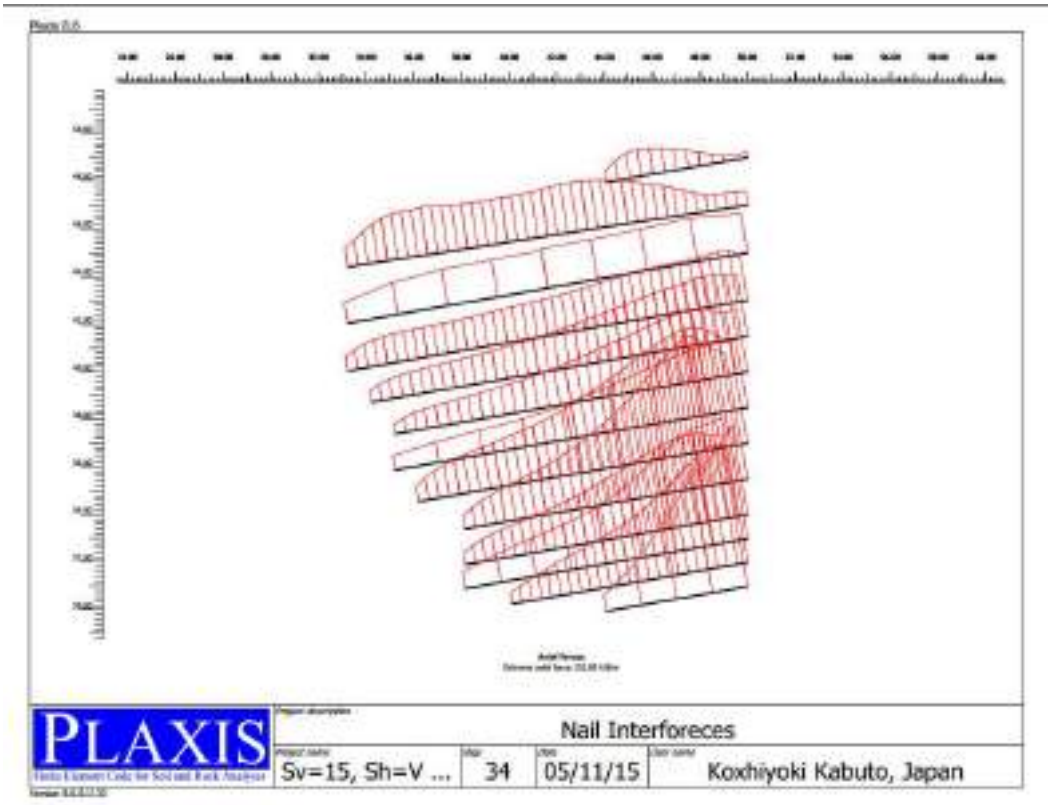
شکل ۲۴- تغییر شکل افقی دیواره شاتکریت تیپ یک



شکل ۲۷- نیرو های افقی وارد بر دیواره شاتکریت تیپ یک



شکل ۲۶- نشست زیر سطح بار در تیپ یک



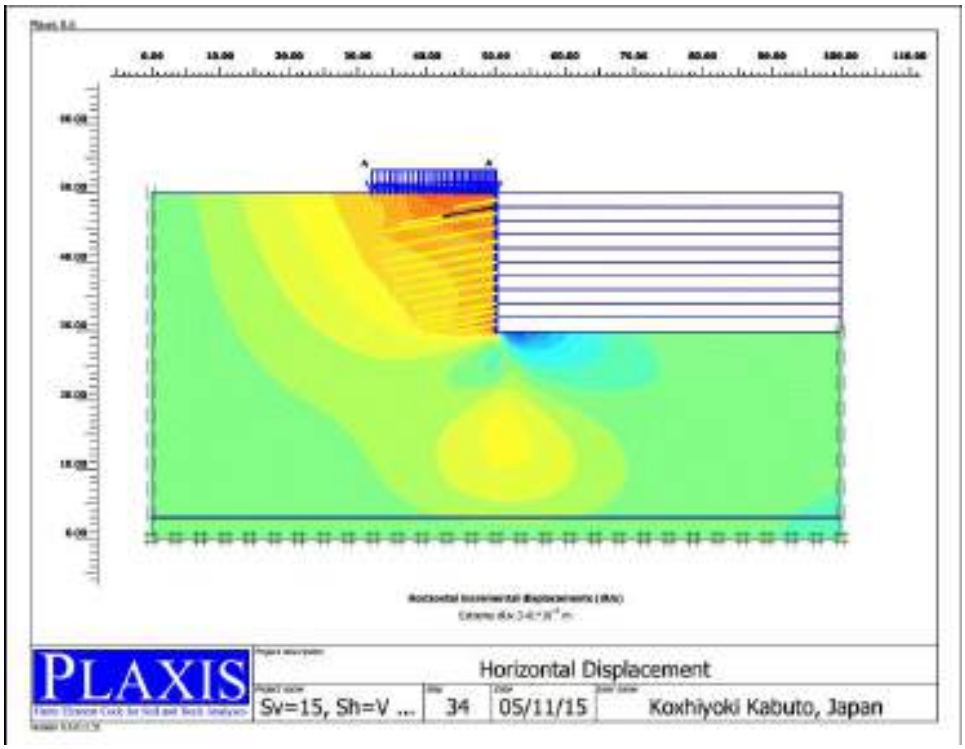
شکل ۲۸- نیرو های داخل نیل تیپ یک

در جدول زیر مقادیر ضریب اطمینان در هر محله از گود برداری آورده شده است.

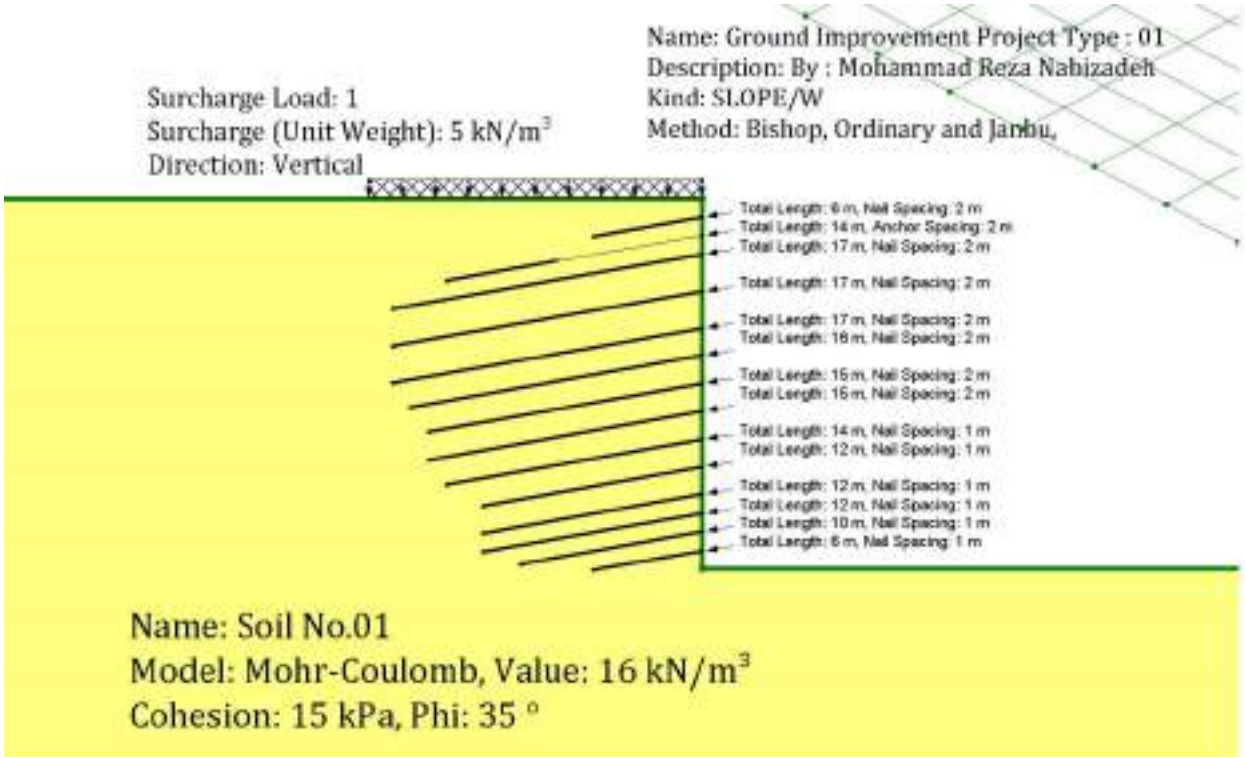
جدول ۱۱- ضرایب اطمینان هر مرحله از گودبرداری تیپ یک با استفاده تحلیل Phi-C Reduction

مرحله	ضریب اطمینان در حین ساخت
۱	۱,۷۳۹
۲	۱,۷۹۸
۳	۲,۰۵۸
۴	۲,۰۱۳
۵	۱,۸۴۲
۶	۱,۸۲۷
۷	۱,۸۴۱
۸	۱,۷۵۵
۹	۱,۶۸۱
۱۰	۱,۶۵۰

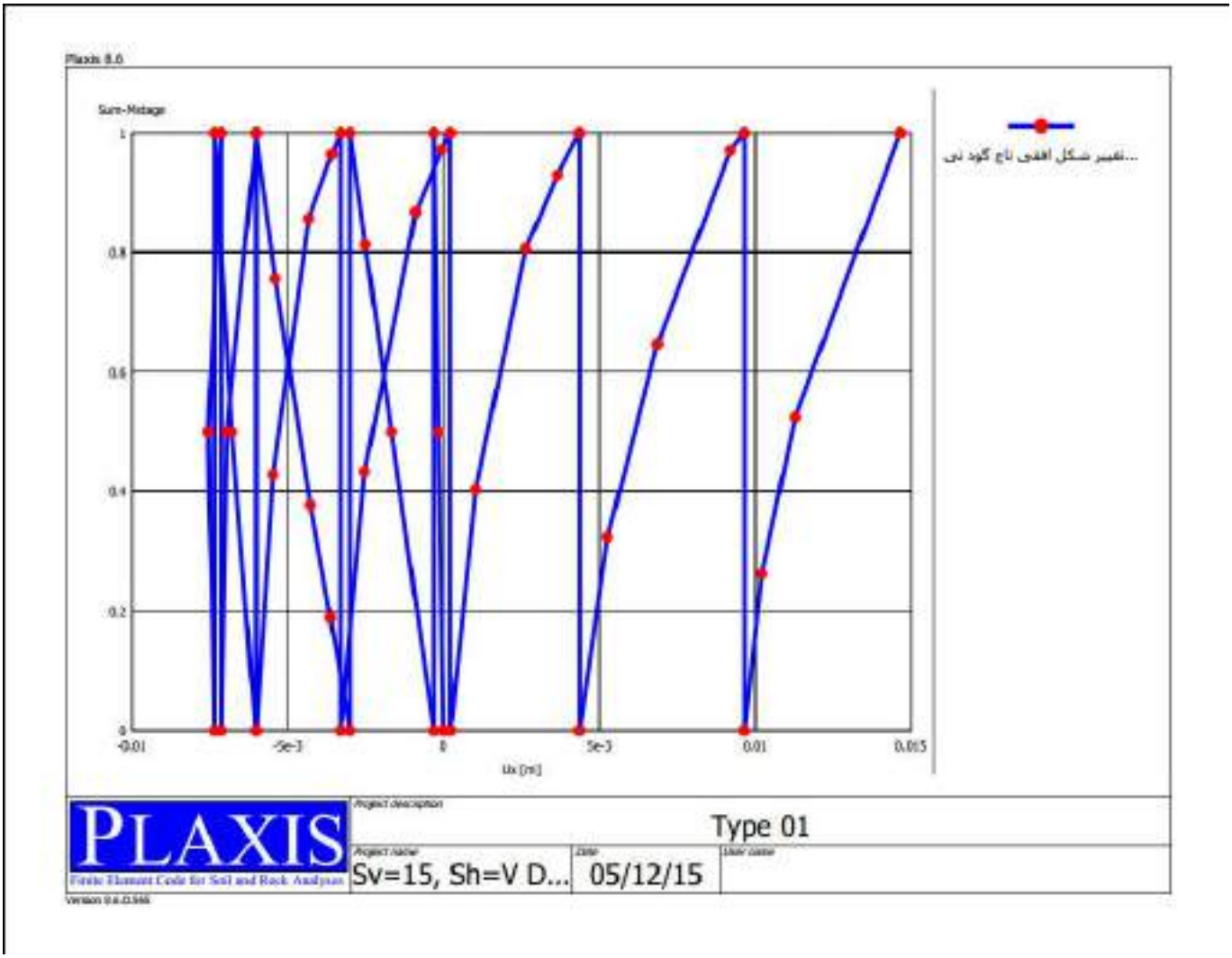
همانگونه که مشاهده می شود تمام ضریب اطمینان ها بالاتر از ۱,۲ بوده که شرایط گود آئین نامه ای را ارضا می کند.



شکل ۳۰- تغییر شکل های افقی نهایی دیواره تیپ یک



شکل ۲۹- طرح نهایی به همراه فواصل افقی میخ ها تیپ یک

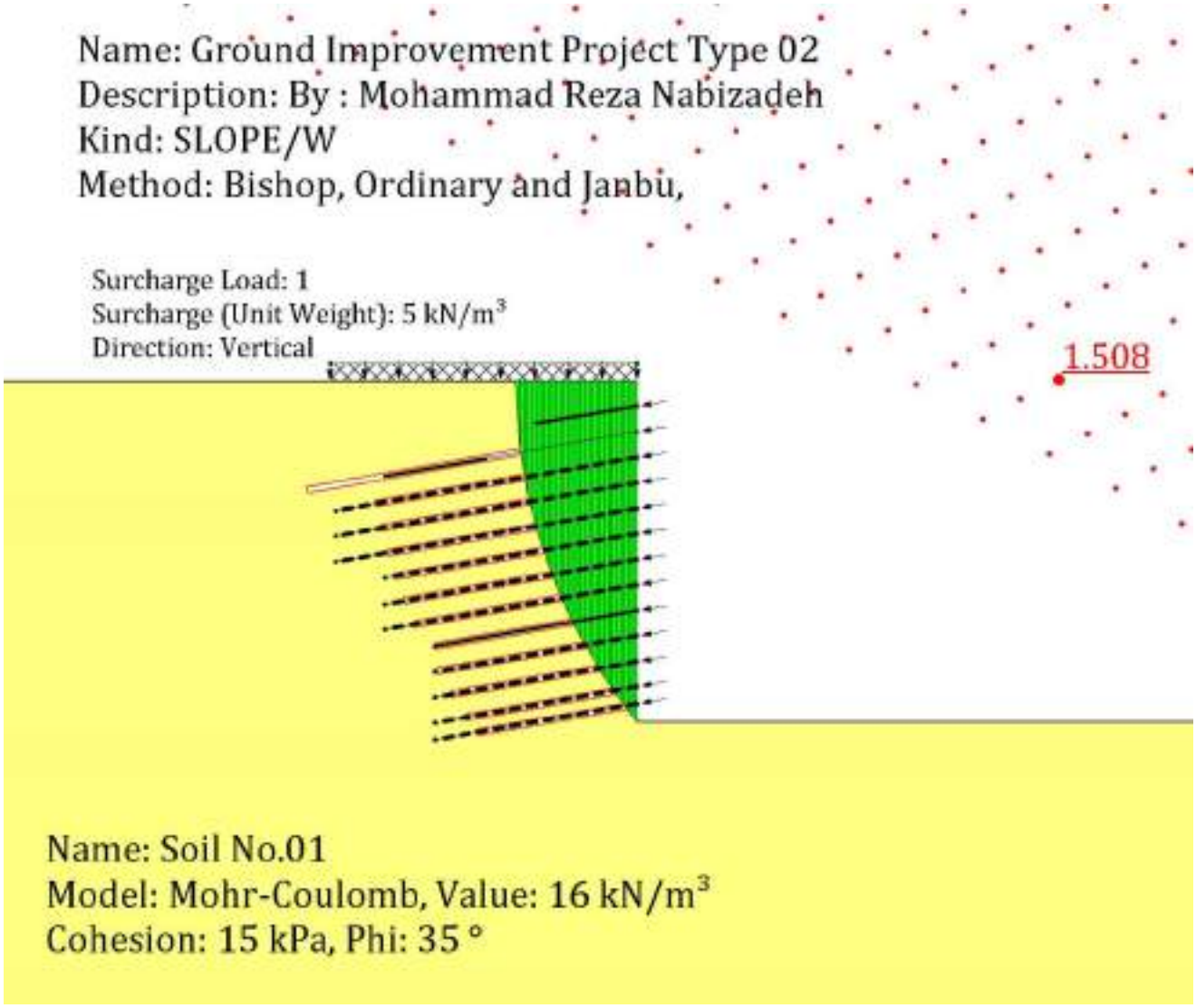


شکل ۳۱- میزان جابجایی افقی تاج گود تیپ یک

مشاهده می شود که بیشینه جابجایی افقی نقطه ی تاج گود حدود ۱,۴ سانتی متر می باشد که در محدوده ی مجاز می باشد. با بررسی ضرایب اطمینان در هر مرحله ی خاکبرداری مشاهده می شود که ابتدا یک افت و سپس یک افزایش و بعد از آن یک افت در مقادیر ضریب اطمینان وجود دارد. این افزایش به دلیل اعمال نیروی مهار ها می باشد.

۴-۷- بررسی ضریب اطمینان و تغییر شکل های تیپ دو

۴-۷-۱- بررسی تحلیل پایداری حدی و ضرایب اطمینان با استفاده از نرم افزار GeoSlope



شکل ۳۲- ضریب اطمینان به روش بیشاپ تیپ دو

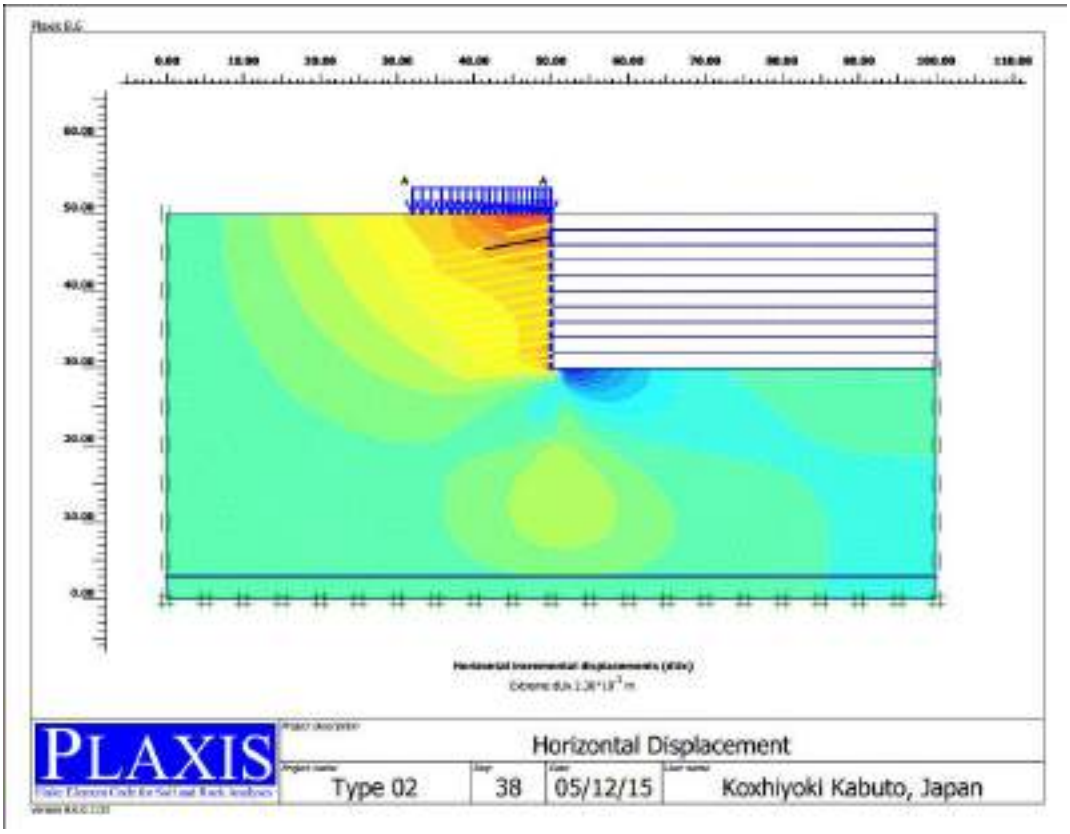
برای جلوگیری از افزایش غیر ضروری حجم گزارش تمامی ضرایب اطمینان در جدول زیر خلاصه شده اند.

جدول ۱۲- ضرایب اطمینان روش های مختلف محاسباتی با دو روش تشکیل گوه برای تیپ دو

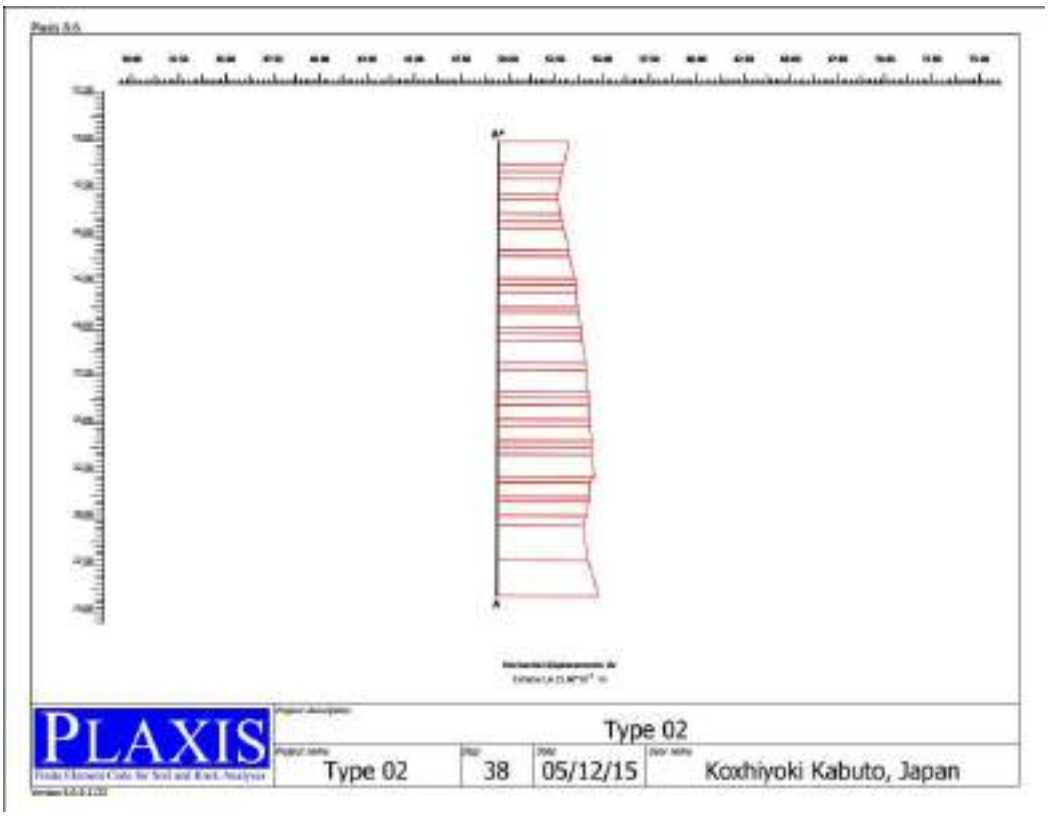
Grid and Radiuos	Auto Located	نام روش تحلیل و شیوه تشکیل گوه
1.512	1.555	Morgnestern- Price
1.514	1.546	Spencer
1.491	1.567	GLE
1.514	1.551	Corps of Engineer #1
1.514	1.551	Corps of Engineer #2
1.500	1.562	Lowe- Karafiath
1.447	1.485	Junbu Generalized
1.508	1.553	Sarma (Vertical Slices Only)
1.508	1.628	Bishop
1.613	1.615	Ordinary
1.521	1.593	Junbu

۴-۷-۲- انجام تحلیل های تنش – تغییر شکل به روش اجزاء محدود با استفاده از نرم‌افزار PlAXIS

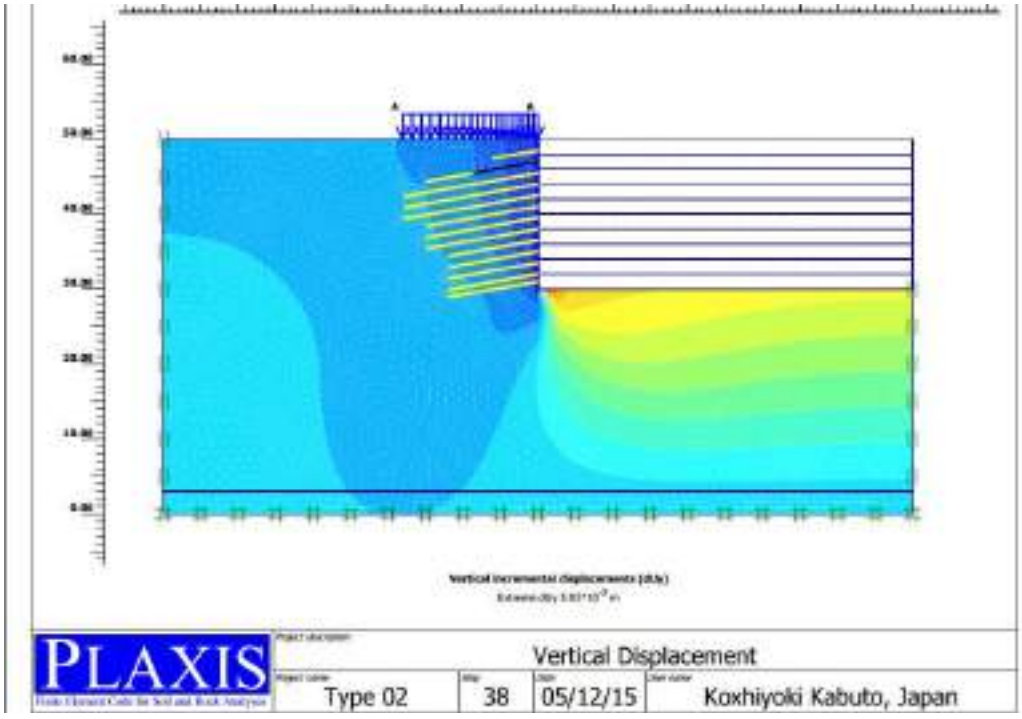
در این قسمت به بررسی تغییر شکل های دیواره بر مبنای تحلیل پلاستیک می پردازیم :



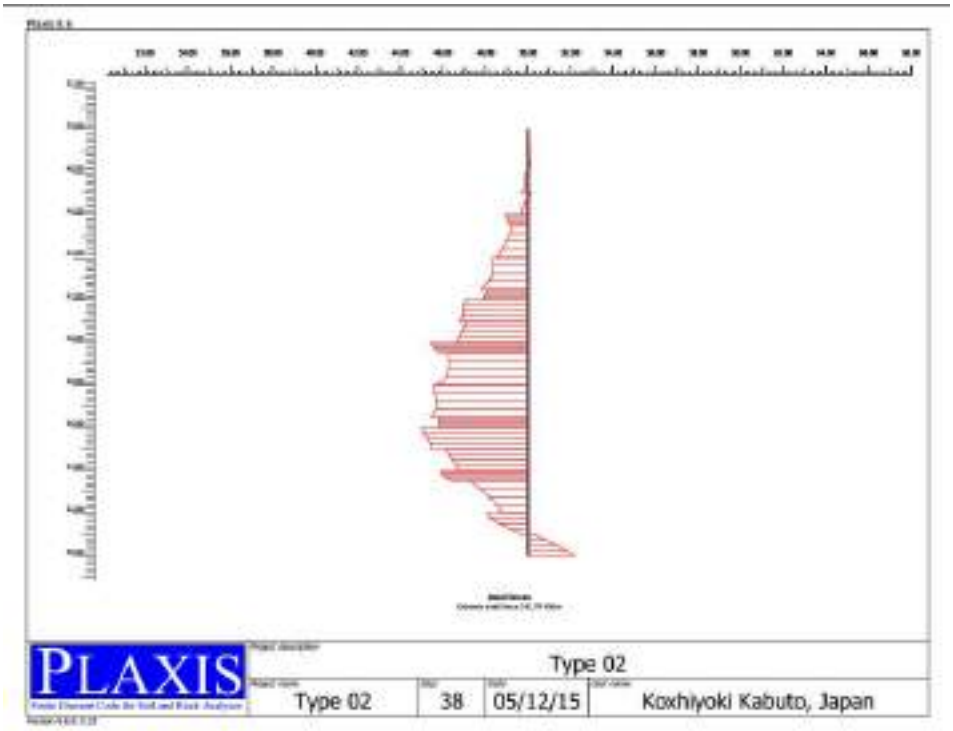
شکل ۳۳- کانتور تغییر شکل افقی سیستم تیپ دو



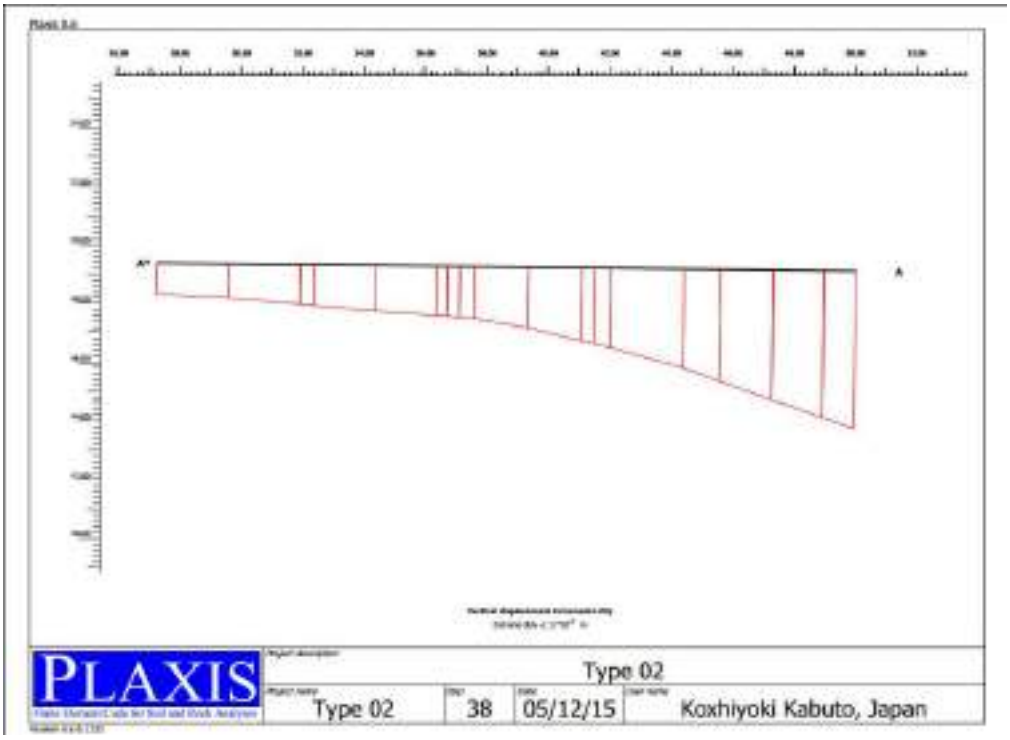
شکل ۳۵- تغییر شکل افقی دیواره شاتکریت تیپ دو



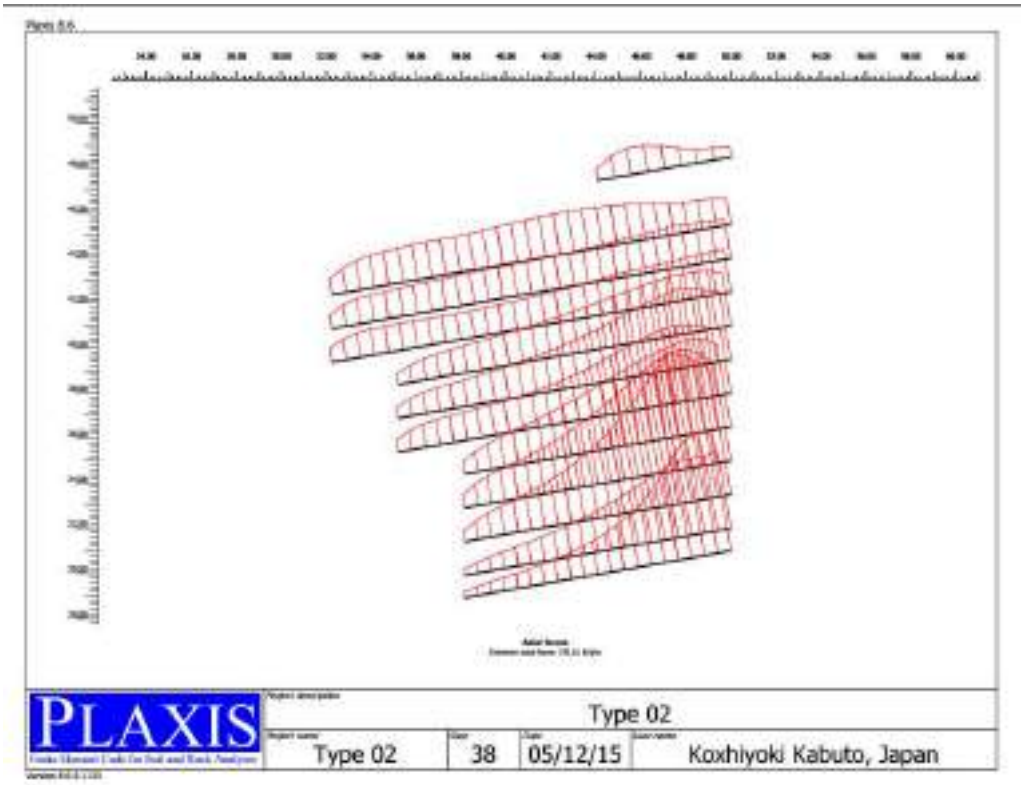
شکل ۳۴- کانتور تغییر شکل قائم سیستم تیپ دو



شکل ۳۷- - نیرو های افقی وارد بر دیواره شاتکریت تیپ دو



شکل ۳۶- نشست زیر سطح بار در تیپ دو

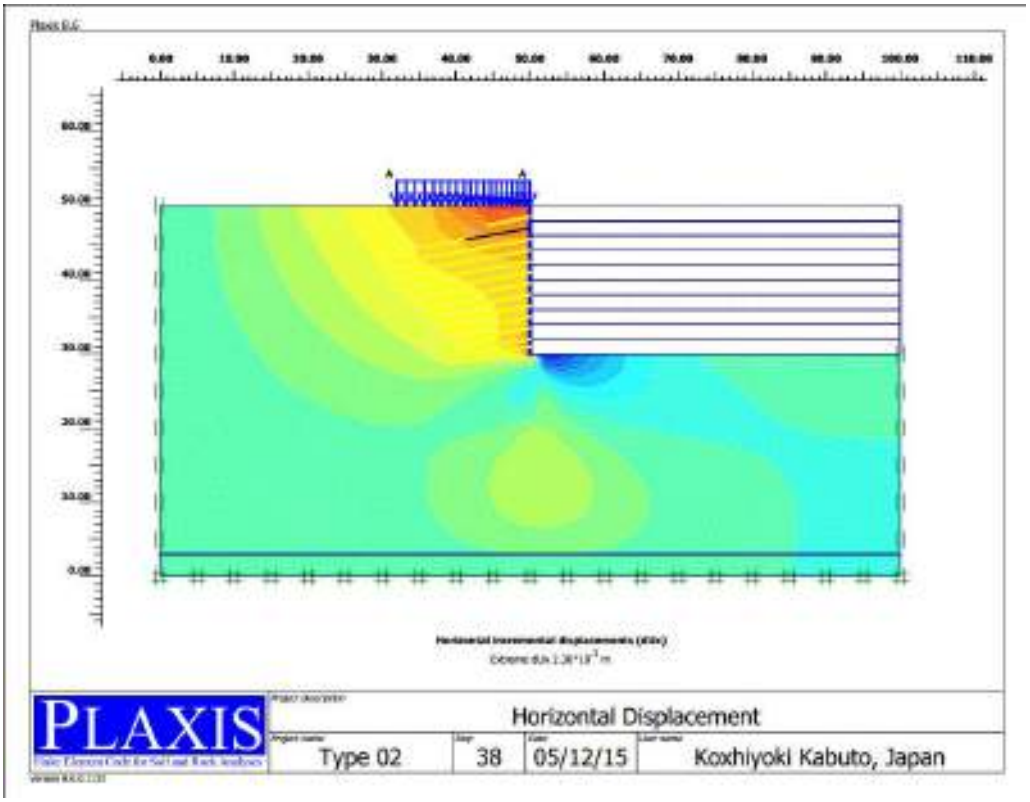


شکل ۳۸- نیرو های داخل نیل تیپ دو

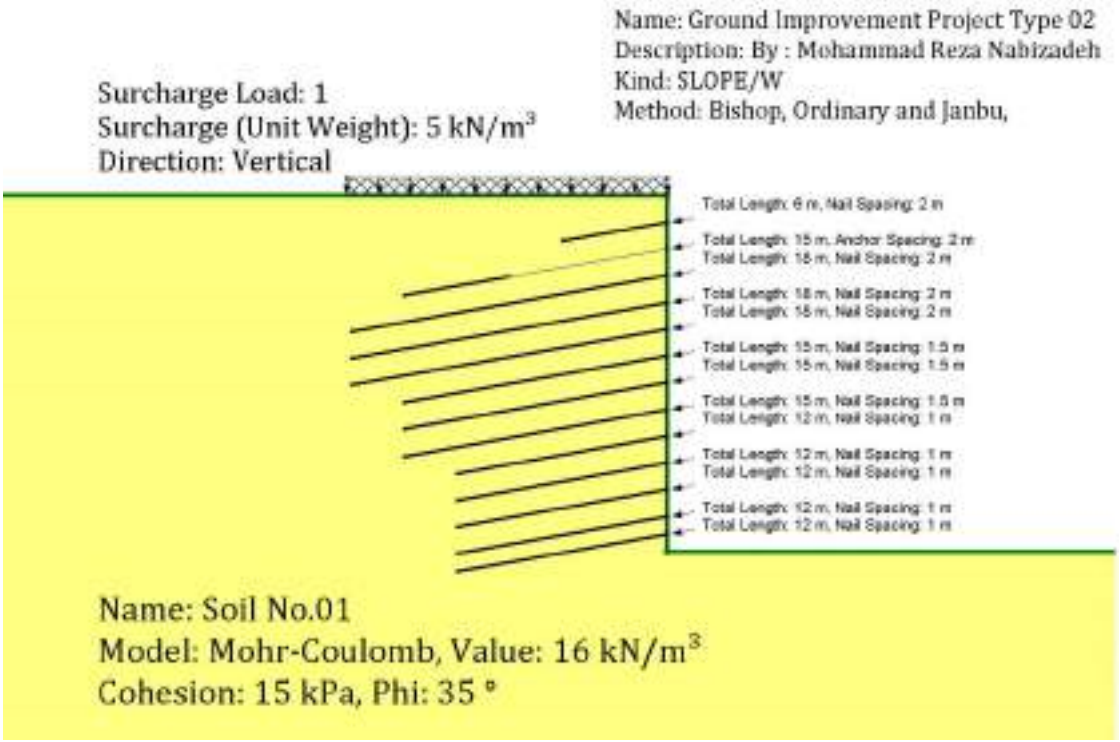
در جدول زیر مقادیر ضریب اطمینان در هر محله از گود برداری آورده شده است.

جدول ۱۳- ضرایب اطمینان هر مرحله از گودبرداری تیپ دو با استفاده از تحلیل Phi-C Reduction

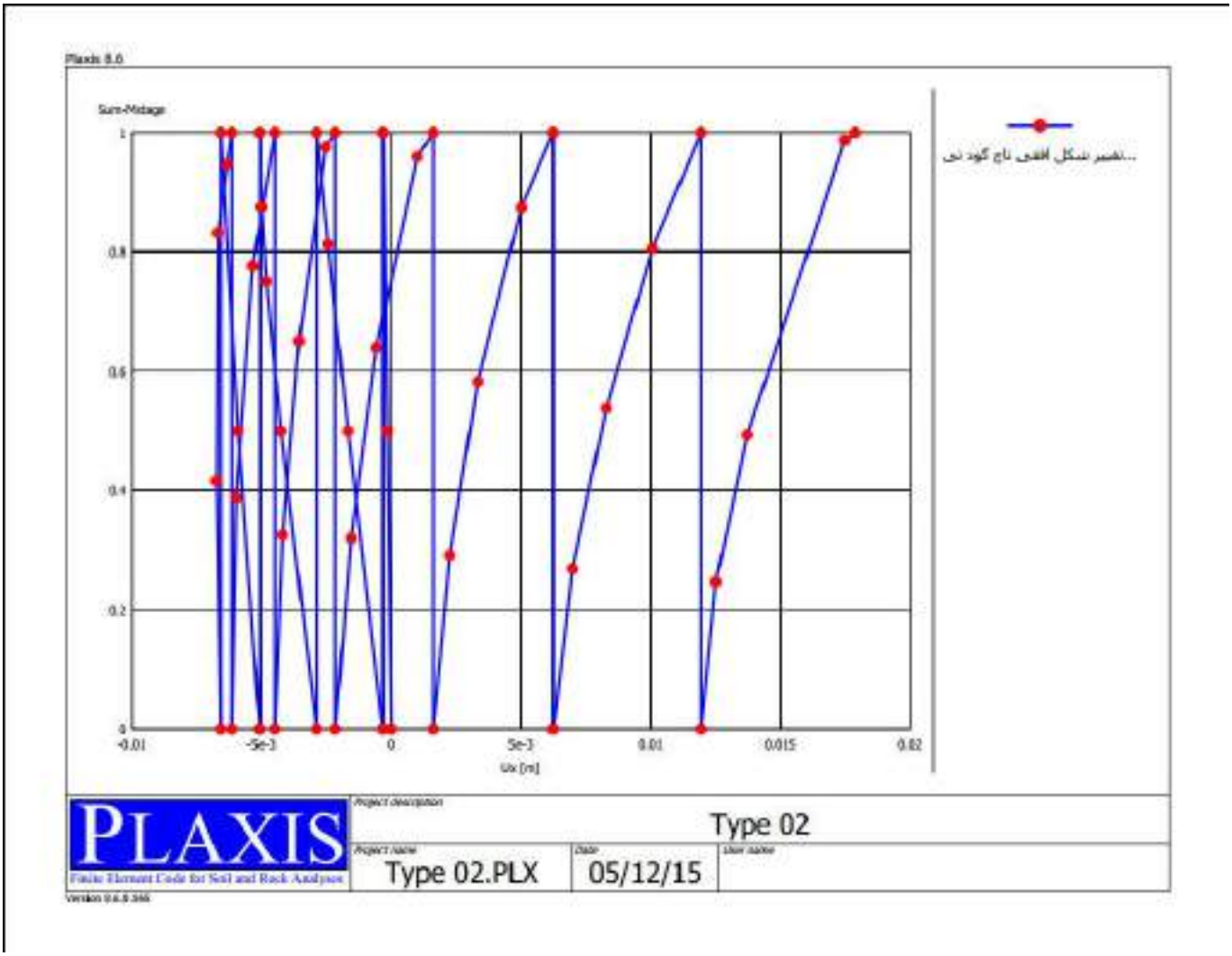
مرحله	ضریب اطمینان در حین ساخت
۱	۲,۱۸۳
۲	۱,۷۱۸
۳	۱,۷۴۶
۴	۱,۷۰۲
۵	۱,۶۳۵
۶	۱,۵۵۰
۷	۱,۵۶۷
۸	۱,۵۰۷
۹	۱,۴۹۲
۱۰	۱,۴۸۱



شکل ۴۰- تغییر شکل های افقی نهایی دیواره تیپ دو



شکل ۳۹- طرح نهایی به همراه فواصل افقی میخ ها تیپ دو

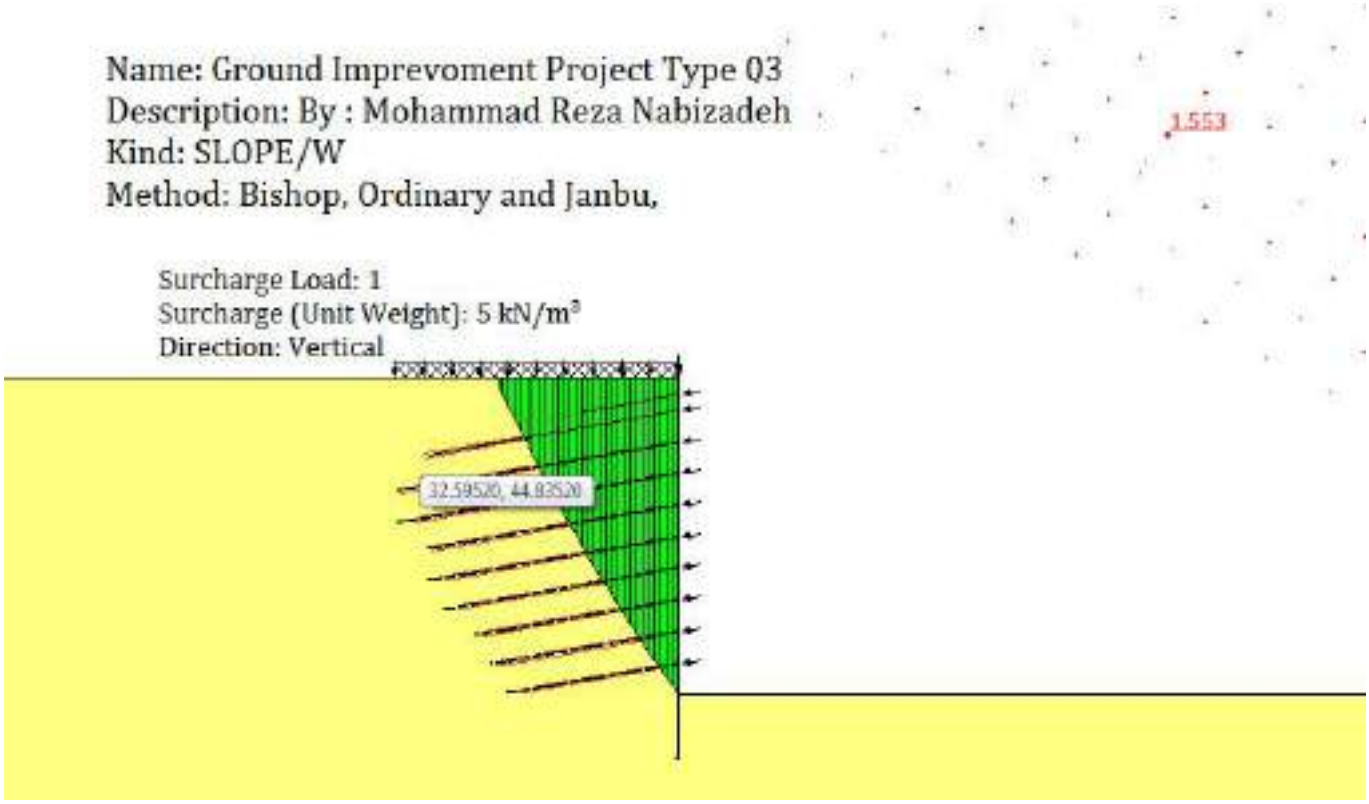


شکل ۴۱- میزان جابجایی افقی تاج گود تیپ دو

مشاهده می شود که بیشینه جابجایی افقی نقطه ی تاج گود حدود ۱,۷ سانتی متر می باشد که در محدوده ی مجاز می باشد. با بررسی ضرایب اطمینان در هر مرحله ی خاکبرداری مشاهده می شود که ابتدا یک افت و سپس یک افزایش و بعد از آن یک افت در مقادیر ضریب اطمینان وجود دارد. این افزایش به دلیل اعمال نیروی مهار ها می باشد.

۴-۸- بررسی ضریب اطمینان و تغییر شکل های تیپ سه

۴-۸-۱- بررسی تحلیل پایداری حدی و ضرایب اطمینان با استفاده از نرم افزار GeoSlope



شکل ۴۲- ضریب اطمینان به روش بیشاپ تیپ سه

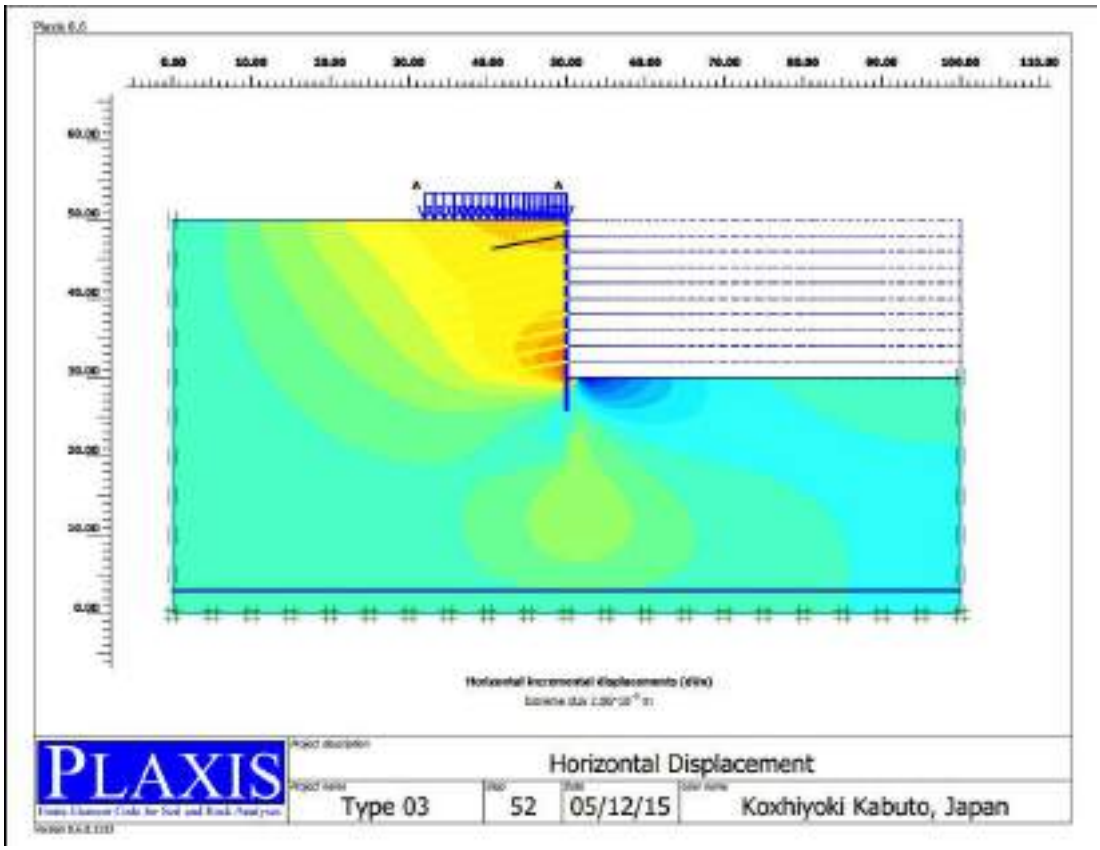
برای جلوگیری از افزایش غیر ضروری حجم گزارش تمامی ضرایب اطمینان در جدول زیر خلاصه شده اند.

جدول ۱۴- ضرایب اطمینان روش های مختلف محاسباتی با دو روش تشکیل گوه برای تیپ سه

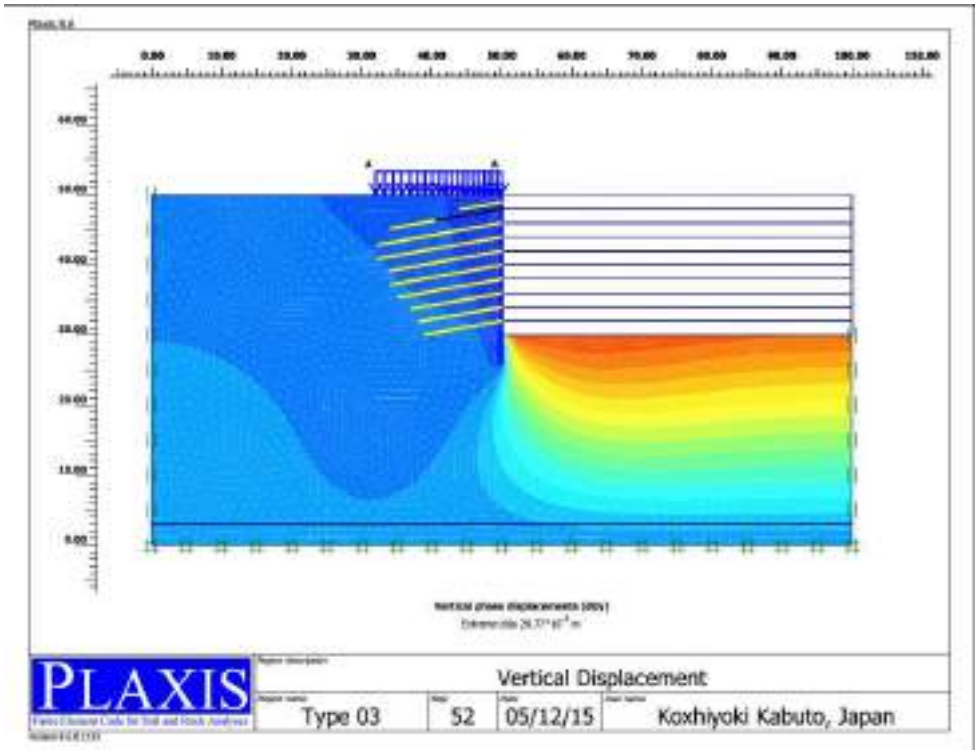
Grid and Radiuos	Auto Located	نام روش تحلیل و شیوه تشکیل گوه
1.553	1.584	Morgnestern- Price
1.500	1.565	Spencer
1.511	1.686	GLE
1.519	1.667	Corps of Engineer #1
1.519	1.647	Corps of Engineer #2
1.506	1.675	Lowe- Karafiath
1.447	1.485	Junbu Generalized
1.512	1.553	Sarma (Vertical Slices Only)
1.553	1.627	Bishop
1.601	1.616	Ordinary
1.531	1.593	Junbu

۴-۸-۲- انجام تحلیل های تنش – تغییر شکل به روش اجزاء محدود با استفاده از نرم‌افزار PlAXIS

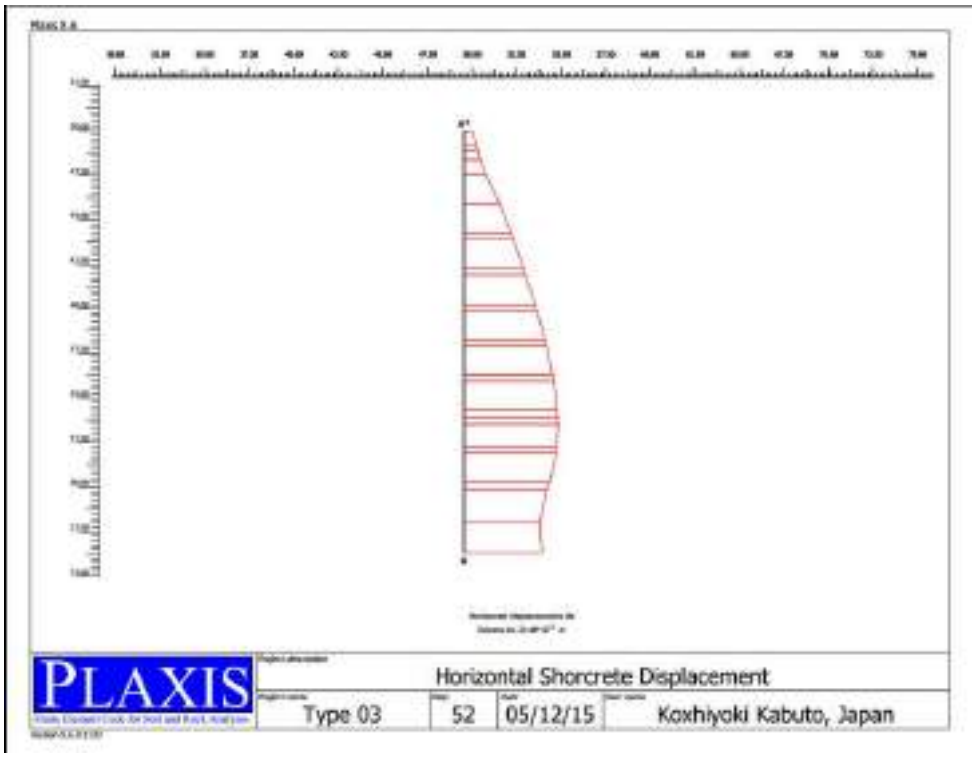
در این قسمت به بررسی تغییر شکل های دیواره بر مبنای تحلیل پلاستیک می پردازیم :



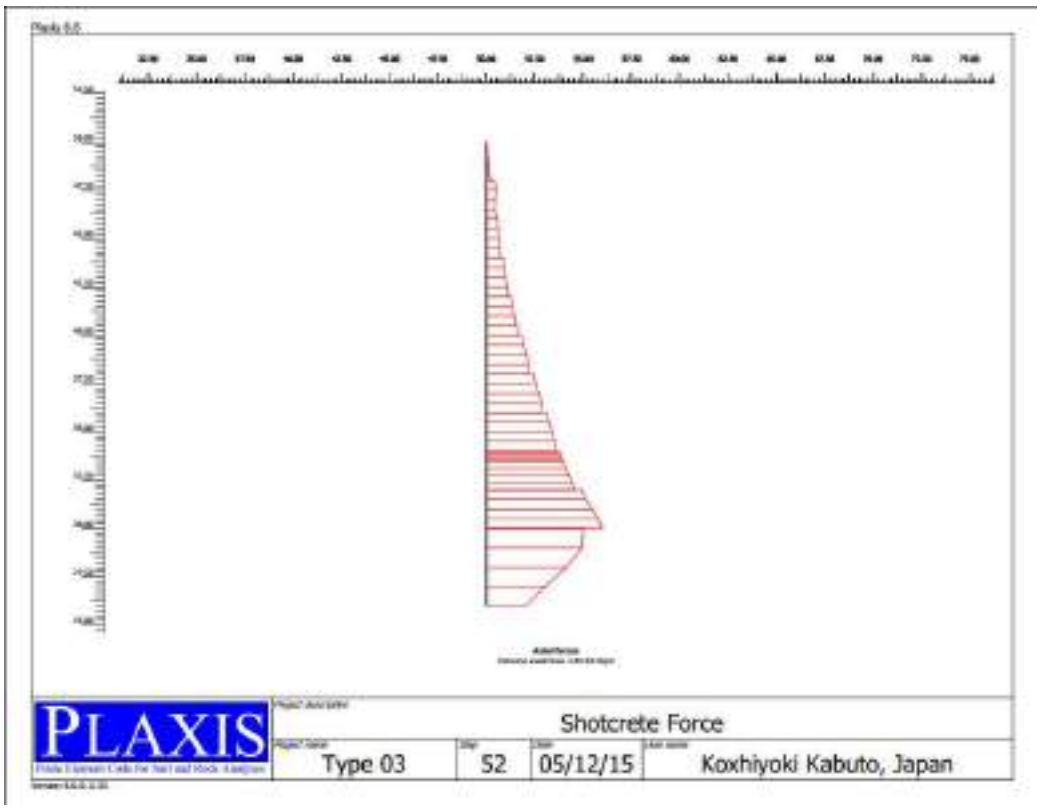
شکل ۴۳- کانتور تغییر شکل افقی سیستم تیپ سه



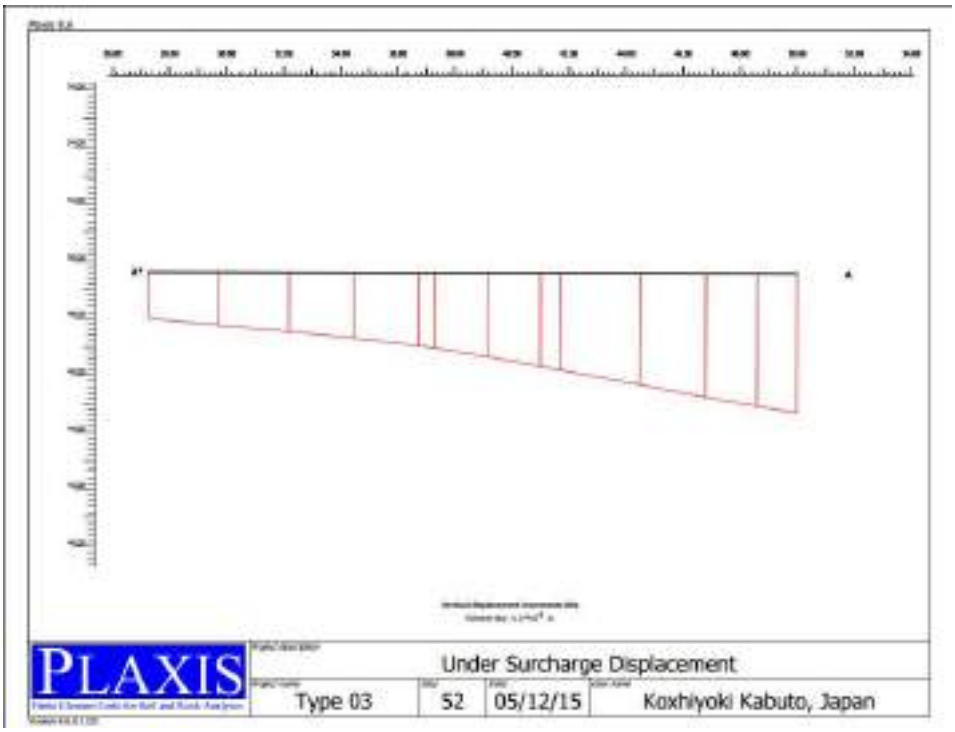
شکل ۴۵- کانتور تغییر شکل قائم سیستم تیپ سه



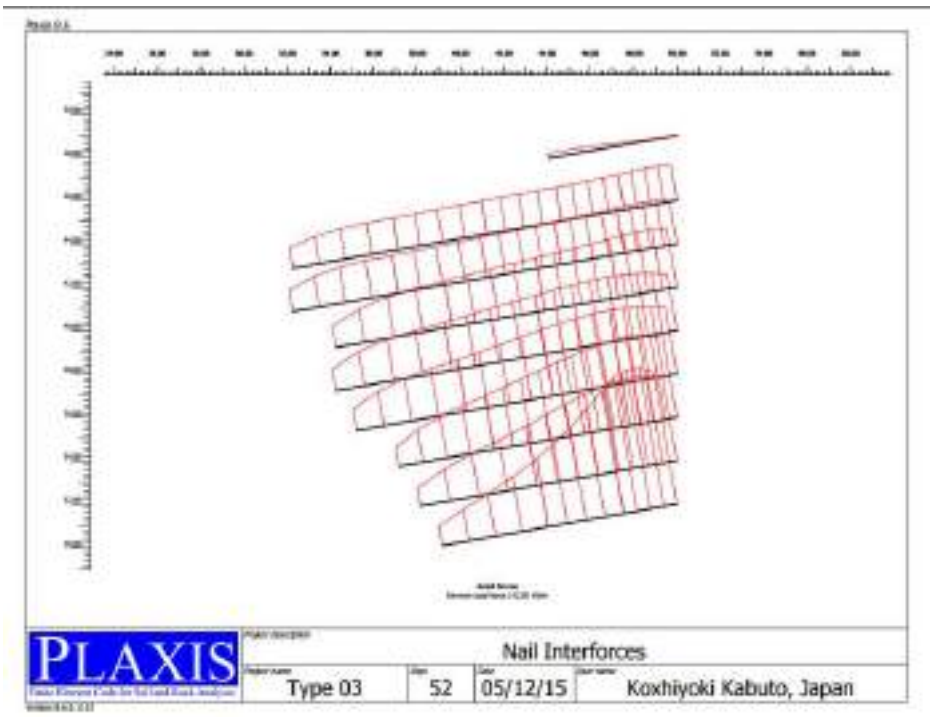
شکل ۴۴- تغییر شکل افقی دیواره شاتکریت تیپ سه



شکل ۴۷- نیرو های افقی وارد بر دیواره شاتکریت تیپ سه



شکل ۴۶- نشست زیر سطح بار در تیپ سه

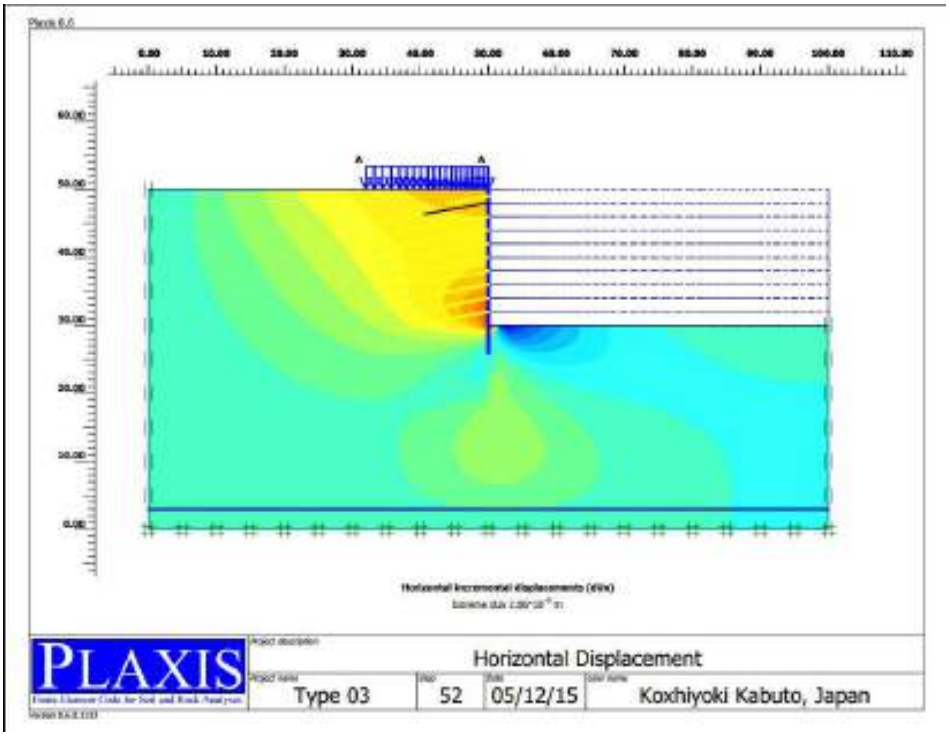


شکل ۴۸- نیرو های داخل نیل تیپ سه

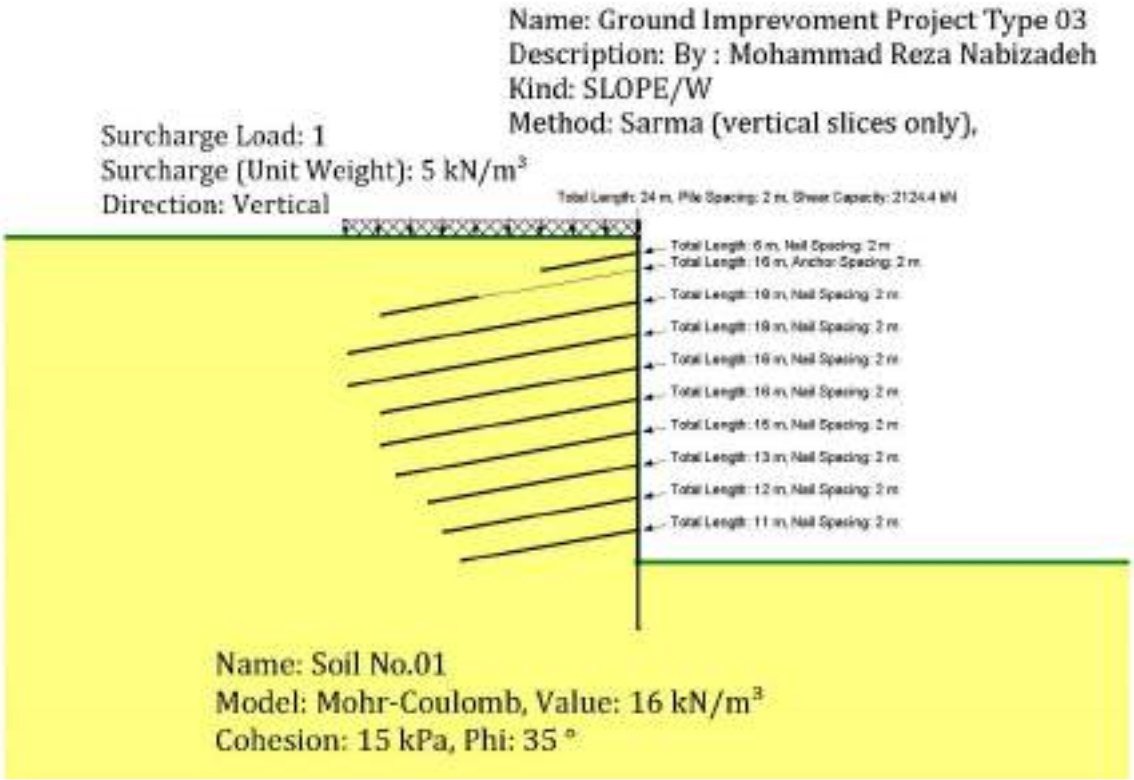
در جدول زیر مقادیر ضریب اطمینان در هر محله از گود برداری آورده شده است.

جدول ۱۵- ضرایب اطمینان هر مرحله از گودبرداری تیپ دو با استفاده از تحلیل Phi-C Reduction

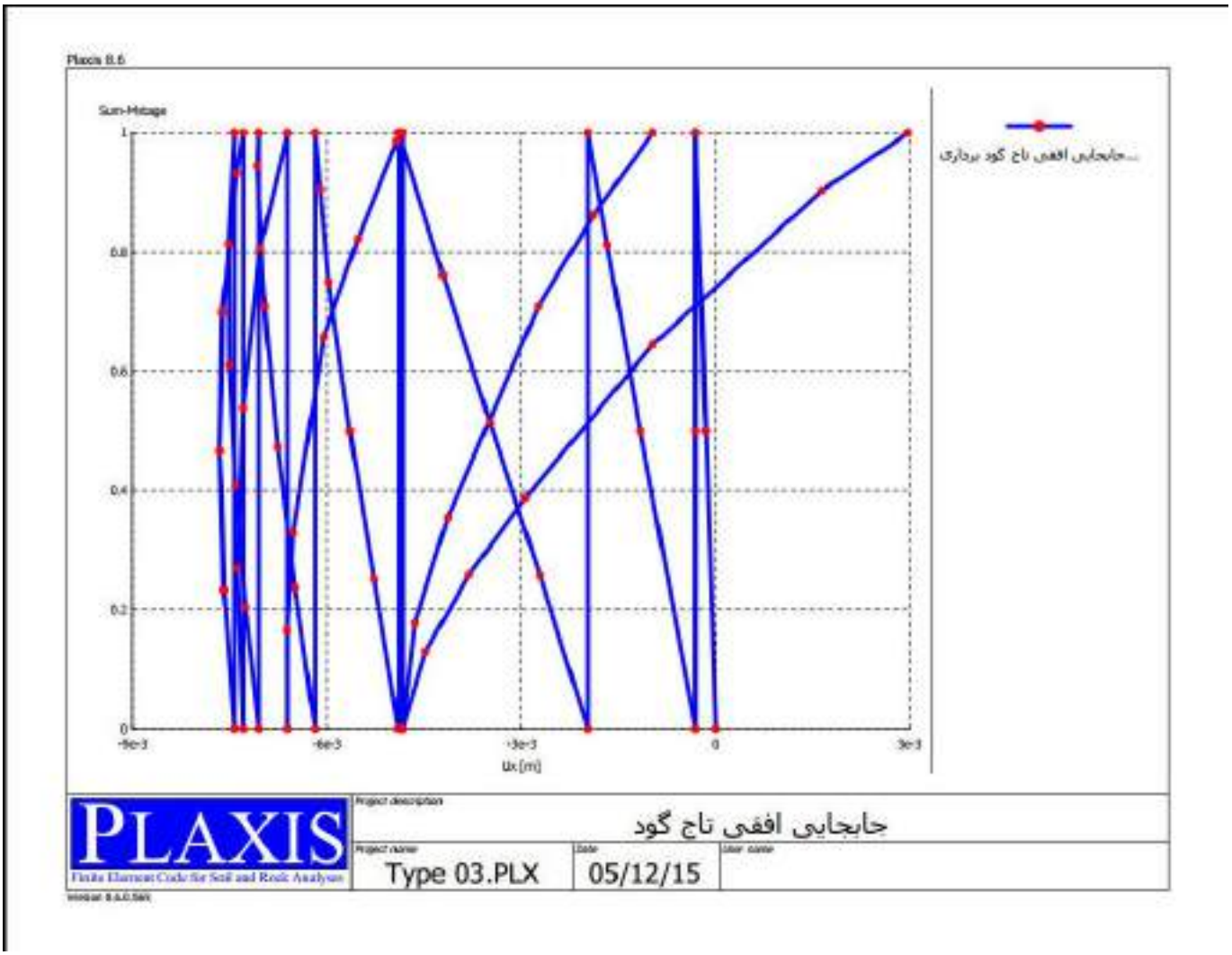
مرحله	ضریب اطمینان در حین ساخت
۱	۸,۳۱۳
۲	۵,۵۲۱
۳	۳,۲۱۱
۴	۲,۱۲۲
۵	۱,۸۹۵
۶	۱,۷۵۴
۷	۱,۷۵۶
۸	۱,۷۴۲
۹	۱,۷۳۹
۱۰	۱,۶۴۳



شکل ۵۰- تغییر شکل های افقی نهایی دیواره تیپ سه



شکل ۴۹- طرح نهایی به همراه فواصل افقی میخ ها تیپ سه



شکل ۵۱- میزان جابجایی افقی تاج گود تیپ سه

مشاهده می شود که بیشینه جابجایی افقی نقطه ی تاج گود حدود ۳ میلی متر می باشد که در محدوده ی مجاز می باشد. با بررسی ضرایب اطمینان در هر مرحله ی خاکبرداری مشاهده می شود که ابتدا یک افت و سپس یک افزایش و بعد از آن یک افت در مقادیر ضـریب اطمینان وجود دارد. این افزایش به دلیل اعمال نیروی مهار ها می باشد. دلیل این کاهش فوق العاده در میزان جابجایی ها ظرفیت خمشی بالای شمع های فولادی (سولجر ها) می باشد.

۴-۹- بررسی مالی و برآورد هزینه ی دیواره در هر تیپ :

تیپ سازه نگهبان	هزینه ی شاتکریت	هزینه ی میخ کوبی	هزینه شمع فولادی	مجموع هزینه ها
Type 1 (تراکم ۵,۸۲)	۱۰۰۰۰۰۰	۵,۸۲*۸۰۰۰۰۰	۰	۵۶۵۶۰۰۰
Type 2 (تراکم ۵,۷۷)	۱۰۰۰۰۰۰	۵,۷۷*۸۰۰۰۰۰	۰	۵۶۱۶۰۰۰
Type 3 (تراکم ۳,۵۲)	۱۰۰۰۰۰۰	۳,۵۲*۸۰۰۰۰۰	۵۲۴۰۰۰۰	۹۰۶۱۰۰۰

همانگونه که مشاهده می شود قیمت اجرای این سیستم با استفاده از تیر های نگه دارنده بسیار بالاتر می شود و اقتصادی نیست و در صرت عدم محدودتیت سازه ای می توانیم با افزایش تراکم تا حد مجاز به ضریب اطمینان مطلوب برسیم.

فصل ۵: مشخصات فنی و اجرائی

۵-۱- مشخصات فنی- اجرایی

در ادامه مشخصات فنی و اجرایی مراحل مختلف اجرای میخ‌کوبی که قبلاً شرح داده شده است به همراه مشخصات مصالح ارائه می‌گردد. لازم به ذکر است در پروژه حاضر با توجه به ارائه طرح اصلاحی، پیمانکار ملزم به دپوی خاک جلو دیواره جهت کنترل تغییرشکلهای افزایشی دسترسی به نقاط مورد نظر حفاری می‌باشد، و پس از اجرای هر مرحله حفاری و جاگذاری نیل با احتیاط و جلوگیری از هرگونه آسیبی به نیلهای اجرا شده این خاک برداشته شود.

۵-۱-۱- مشخصات فنی خاک برداری

خاکبرداری می‌بایست به صورت مرحله به مرحله صورت گیرد.در خاکبرداری مرحله‌ای ،پس از انجام هر مرحله از خاکبرداری می‌بایست عملیات اجرای میخکوبی در اعن مرحله صورت پذیرد و پس از اجرای عملیات میخکوبی و تهکیمم توده خاک و تکمیل سیستم پیدرسازی در کل عمق خکبرداری شده،خاکبرداری مرحله بعد انجام میشود.

دقت در خاکبرداری امری مهم و بسیار کلیدی در پروژه‌های میخ کوبی خاک به شمار می‌رود.حفظ نظم در خاکبرداری هم از نظر هندسه خاکبرداری و هم از لحاظ زمانی می‌توان در کیفیت و سرعت اجرای پیدرسزی نقش اساسی ایفا نماید. بایستی توجه نمود که خاکبرداری با هندسه‌ای متفاوت از فرضیات طراحی،یعنی تغییر دو پارامتر شیب دیواره و عمق آزاد خاکبرداری مرحله‌ای،به خصوص چنانچه در جهت عدم محافظه کاری باشد(یعنی ایجاد شیب معکوس یا ایجاد ارتفاع آزاد بیش از حد)، می تواند منجر به ریزش‌های جزعی و کلی،ایجاد گسیختگی و وقوع اتفاقت پیشبینی نشده جبران ناپذیر گردد. از این رو اکیدا توصیه میشود جهت جلوگیری از تشکیل شیب معکوس (که در صورت شکل گیری ،به سختی می‌توان از را به حالت طبیعی بازگرداند)، هر یک از گامهای خاکبرداری و یا هر دو گام خاکبرداری ،شیب ناچیز مثبت به دیواره عمل گردد. البته در این حین لازم است ابعاد گود به گونه ای انتخاب گردند که در رقوم زیر پی، فضای کافی برای اجرای فنداسیون باقی

بماند.در بعضی محل هدیوار غربی به دلیل احتمال برخورد با لایه‌های سنگی وجود دارد لذا سطح رویی داده شده در نقش‌ها ممکن است تغییر نماید.

۵-۱-۲- مشخصات فنی حفاری

حفاری محل میخ‌ها می‌بایست در فواصل مشخص و مطابق نقشه‌های اجرایی صورت گیرد. قطر گمانه‌های حفاری حدود ۶۰~۱۰۰ mm بوده و حفاری گمانه تا عمق مورد نظر که در نقشه‌های اجرایی پروژه مشخص گردیده است، به وسیله دستگاه حفاری D.T.H و یا مشابه آن صورت می‌گیرد. چنانچه خاک موجود از نوع ریزشی باشد برای اجرای عملیات میخ‌کوبی از رادهای خودحفار[1] استفاده گردد. در این نوع میخ‌کوبی از خود نیل به عنوان حفار استفاده شده و باعث افزایش کیفیت حفاری و میخ‌کوبی می‌گردد.

۵-۱-۳- مشخصات فنی آرماتور تسلیح

پس از حفاری گمانه تا عمق مورد نظر، عملیات نصب میلگرد تسلیح صورت می‌پذیرد، میلگردها از نوع آرماتور AIII- Ø32 می‌باشند. طول میلگرد تسلیح باید حداقل ۳۰ cm بیش از طول گمانه باشد. بهمراه نصب آرماتور باید شیلنگ رفت و برگشت دوغاب به گمانه نیز نصب گردد، پس از نصب آرماتور می‌بایست دهانه گمانه بوسیله گچ مسدود گردد. آرماتور Ø 32 نقش میخ (المان تسلیح) را ایفا می‌کند که در آرایش مورد نظر اجرا می‌شوند.

[1] Self Drilling Rods

۵-۱-۴- مشخصات فنی تزریق

عملیات تزریق دوغاب سیمان بایستی با دقت در بخش ساخت دوغاب و تزریق آن صورت گیرد. ساخت دوغاب تزریق در همزن‌های اولیه صورت می‌گیرد. ابتدا آب به میزان مورد نظر ریخته شده و سپس متناسب با نسبت آب به سیمان (WCR) مورد نیاز، سیمان به آن افزوده می‌شود. حداقل زمان هم‌زدن دوغاب سی ثانیه می‌باشد. نسبت آب به سیمان مورد استفاده با توجه به شرایط زمین بین WCR = ۱/۵ تا WCR = ۰/۵ می‌باشد. پس از آماده‌سازی، دوغاب سیمان بوسیله پمپ‌های مخصوص، تزریق می‌گردد.

تزریق دوغاب سیمان از طریق شیلنگ رفت انجام می‌شود و تا خروج دوغاب از شیلنگ برگشت ادامه خواهد یافت. در این مرحله دهانه شیلنگ برگشت مسدود می‌گردد.

- **فشار تزریق**

فشار تزریق در مراحل تزریق در اعماق مختلف و نیز جنس زمین و شرایط ژئوتکنیکی متغیر می‌باشد. حداکثر فشار تزریق دوغاب سیمان به ۷ اتمسفر محدود می‌شود. با توجه به رفتار انقباضی دوغاب سیمان و نفوذ احتمالی در لایه‌های خاک پس از مرحله اول تزریق و گیرش اولیه نسبت به شارژ مجدد گمانه‌ها در مرحله دوم یا به دفعات تا حصول اطمینان از پر شدن گمانه‌ها، اقدام گردد.

لازم به ذکر است به دلیل وجود خاک دستی در ۸ متر بالایی، تزریق میکروپایلهای لبه گود در تیپ ۲ به صورت ثقلی و بدون هیچگونه فشاری انجام شود. به گونه ای که هیچگونه اضافه فشاری ناشی از تزریق در پشت سطح شاتکریت ایجاد نشود.

۵-۱-۵- مشخصات آب مصرفی

آبی که در تهیه دوغاب تزریق بکارمی‌رود باید تمیز و صاف بوده و دارای کلیه شرایط لازم برای آب مصرفی در ساخت بتن باشد.

۵-۱-۶- نوع سیمان مصرفی

نوع سیمان مصرفی در دوغاب تزریق، از نوع سیمان پرتلند تیپ معمولی پیش‌بینی شده است. در صورتی که در حین انجام عملیات اجرایی نیاز به استفاده از نوع سیمان دیگری و یا افزودنی‌های خاصی احساس شود، تغییرات احتمالی با پیشنهاد پیمانکار و تایید کارفرما، قابل اعمال خواهد بود.