



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد علوم و تحقیقات آذربایجان شرقی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته: عمران

گرایش: خاک و پی

عنوان:

**بررسی تاثیر سربارهای مجاور در پایداری گودبرداری های عمیق تقویت شده**

**به روش نیلینگ**

**(مطالعه موردی در شمال و جنوب تهران-ایران)**

استاد راهنما:

آقای دکتر یونس دقیق

استاد مشاور:

آقای دکتر میکائیل یوسف زاده خرد

نگارش:

علی شعاعی

پاییز ۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## چکیده:

امروزه گودبرداری در پروژه‌های عمرانی در سطح شهرهای بزرگ بدلیل تراکم سازه‌های مجاور و نیاز به طبقات زیرین بیشتر در نتیجه عمق گود بیشتر با خطرات مواجه بوده و نیاز به تحکیم دیواره‌های گود روز به روز بیشتر می‌شود، در این بین روش نیلینگ (Nailing) از لحاظ صرفه اقتصادی و سرعت اجرا در بین کارفرمایان امر مورد استقبال قرار گرفته است.

در این تحقیق تلاش خواهد شد تا علت افزایش تغییر مکان های جانبی و نهایتاً عدم پایداری دیواره گود برداری‌ها علی رغم اجرای طرح Nailing بررسی شود، بدین منظور روش المان محدود بدلیل تواناییهای چشمگیر در مدل سازی شرایط مختلف فیزیکی محیط؛ از نرم افزار Plaxis بر پایه المان محدود در مدلسازی استفاده شده است.

یکی از احتمالات عدم توجه به سربار های ناشی از ساختمان های مجاور در شعاع موثر می‌باشد، اگرچه تأثیر سربارهای مجاور در محاسبات معمول لحاظ می‌گردد؛ لکن مقاله معتبری در زمینه بسط و تفضیل سربار کنار گود و اهمیت این موضوع در فواصل مختلف یافت نشد. لذا در این پایان نامه با استفاده از مشخصات خاک دو پروژه ساختمانی در دو منطقه شمال و جنوب تهران با گود برداری عمیق سعی بر این است تا رابطه تاثیر فاصله سربار های مجاور در افزایش جابه‌جایی ها و کاهش ضریب اطمینان طراحی و اهمیت انواع سربارهای طرفین گود حتی غیر مجاور ولی موثر در پایداری ترانشه گود برداری مورد بررسی قرار گیرد.

در نهایت با بررسی مدلسازی ها در دو پروژه مذکور به این نتیجه رسیده شد که تغییر مکان های جانبی با فاصله سربار از لبه گود کم می‌شود؛ ولی در بخشی از لبه گود که در منطقه گوه گسیختگی است ضریب اطمینان با فاصله سربار از لبه گود کاهش یافته که در ادامه با افزایش فاصله سربار از منطقه مذکور ضریب اطمینان افزایش می‌یابد.

## کلید واژه‌ها:

نیلینگ (Nailing)، سربار، نرم افزار PLAXIS، منطقه شمال و جنوب تهران.

تقدیم به:

آن دو بزرگوار، دوست و یار مهربان، همدرد  
و غمخوار، آن دو عزیزِ عزیزتر از جان،

پدر بزرگوارم که راهنمایی های بی دریغش، سایه  
حضور امید بخشش در کنارم پناهی استوار است...

و

مادر مهربانم که وجود پرمهرش درک واژه  
حقیقی مهربانی را برایم میسر ساخت...

## با سپاس فراوان از:

استاد گرامی جناب آقای دکتر دقیق که همواره اینجانب را در انجام این تحقیق یاری فرمودند؛ که بدون کمک و راهنمایی ایشان این پایان نامه به سرانجام نمی رسید.

پدر بزرگوارم جناب آقای دکتر شعاعی که در طول نگارش این پایان نامه، در بخش های مطالعاتی و فنی از راهنمایی هایشان بهره مند شدم.

جناب آقای دکتر میکائیل یوسف زاده خرد، جناب آقای دکتر سلطانی و تمامی اساتید و دوستانی که بنده رو در تهیه و نگارش این پایان نامه یاری فرمودند.

صفحهفهرست مطالب

## فصل (۱) کلیات

۱	(۱-۱) مقدمه
۲	(۲-۱) تاریخچه و سوابق
۳	(۳-۱) پرسش اصلی تحقیق
۳	(۴-۱) اهداف مشخص تحقیق
۳	(۱-۴-۱) هدف کلی
۳	(۲-۴-۱) اهداف اختصاصی
۴	(۵-۱) اهمیت و ضرورت انجام تحقیق
۵	(۱-۵-۱) خطرات گود برداری
۱۰	(۲-۵-۱) اقدامات جهت کاهش خطرات گود برداری
۱۰	(۶-۱) بیان مسأله اساسی تحقیق به طور کلی
۱۲	(۱-۶-۱) متغیرهای مورد بررسی در قالب یک مدل مفهومی
۱۳	(۷-۱) جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق

## فصل (۲) روش تحقیق، تجزیه و تحلیل داده‌ها

۱۵	(۱-۲) انتخاب سایت
۱۶	(۱-۱-۲) شرح پروژه شمال تهران
۱۷	(۲-۱-۲) شرح پروژه جنوب تهران
۱۸	(۲-۲) شرح آزمایشات آزمایشگاهی و صحرایی (درجا)
۱۹	(۱-۲-۲) بررسی های اولیه محل برای شروع مطالعات صحرایی
۲۱	(۲-۲-۲) آزمایش و نمونه گیری صحرایی
۲۱	(۱-۲-۲-۲) آزمایش نفوذ استاندارد SPT

<u>صفحه</u>	<u>فهرست مطالب</u>
۲۲	۲-۲-۲ (آشنایی با نمونه گیری
۲۳	۲-۲-۳ (آزمایش برش مستقیم
۲۴	۲-۲-۴ (محاسبه پارامترهای خاک بر اساس آزمایش ضربه و نفوذ
۲۵	۲-۲-۵ (تصحیح عدد N برای خاک‌های ماسه‌ای و شن - ماسه‌ای
۲۹	۲-۳ (روش نمونه برداری در سایت
۲۹	۲-۳-۱ (روش نمونه برداری در پروژه نیاوران
۲۹	۲-۳-۱-۱ (وضعیت لایه‌های خاک (نیاوران)
۳۱	۲-۳-۱-۲ (خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک (نیاوران)
۴۰	۲-۳-۲ (روش نمونه برداری در پروژه شهری
۴۰	۲-۳-۱-۲ (وضعیت لایه‌های خاک (شهری)
۴۱	۲-۳-۲-۲ (خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک (شهری)
۴۷	۲-۴ (روش اجرای نیلینگ
۴۸	۲-۴-۱ (تشریح روش میخکوبی
۴۹	۲-۴-۲ (اجزای اصلی میخکوبی خاک
۵۳	۲-۴-۳ (تجهیزات مورد نیاز برای عملیات Nailing
۵۴	۲-۴-۴ (انواع میخ
۵۵	۲-۴-۵ (مراحل انجام عملیات میخکوبی
۵۸	۲-۴-۶ (زهکشی دیوارهای میخکوبی شده
۶۱	۲-۵ (تشریح نرم افزار PLAXIS
۶۳	۲-۶ (بررسی نتایج آزمایشات خاک سایت‌های مورد مطالعه و مشخصات نیلینگ
۶۳	۲-۶-۱ (پروژه نیاوران
۶۳	۲-۶-۱-۱ (مشخصات خاک پروژه نیاوران
۶۴	۲-۶-۱-۲ (مشخصات حفاری، نیل و شاتکریت پروژه نیاوران

صفحهفهرست مطالب

۶۵	۲-۶-۲) پروژه شهری
۶۵	۲-۶-۲-۱) مشخصات خاک پروژه شهری
۶۶	۲-۶-۲-۲) مشخصات حفاری، نیل و شاتکریت پروژه شهری
۶۸	۲-۷) محاسبه بار سربار
۶۹	۲-۸) ضریب اطمینان پایداری
۶۹	۲-۹) چگونگی اعمال سربار در پروژه های مورد مطالعه
۷۰	۲-۱۰) مدلسازی نیلینگ
۷۲	۲-۱۰-۱) مدلسازی نیلینگ در پروژه نیاوران
۷۷	۲-۱۰-۲) مدلسازی نیلینگ در پروژه شهری
۸۲	۲-۱۱) مدلسازی نیلینگ با لحاظ سربار
۸۲	۲-۱۱-۱) پروژه نیاوران
۸۲	۲-۱۱-۱-۱) سربار با بار گسترده به عرض ۱۰ متر با بار ۵۰ کیلونیوتنی بر متر مربع
۸۹	۲-۱۱-۱-۲) سربار با بار گسترده به عرض ۱۰ متر با بار ۱۰۰ کیلونیوتنی بر متر مربع
۹۶	۲-۱۱-۲) پروژه شهری
۹۶	۲-۱۱-۲-۱) سربار با بار گسترده به عرض ۱۰ متر با بار ۵۰ کیلونیوتنی بر متر مربع
۱۰۳	۲-۱۱-۲-۲) سربار با بار گسترده به عرض ۱۰ متر با بار ۱۰۰ کیلونیوتنی بر متر مربع

**فصل ۳) نتایج و بحث**

۱۱۰	۳-۱) مقدمه بر نتیجه گیری
۱۱۱	۳-۲) مقایسه جابه جایی و ضریب اطمینان
۱۱۱	۳-۲-۱) پروژه نیاوران
۱۱۱	۳-۲-۲) پروژه شهری



صفحهفهرست مطالب

۱۱۲	۳-۳) نمودار مقایسه ای برای جابه جایی و ضریب اطمینان
۱۱۲	۳-۳-۱) نیاوران - جابه جایی
۱۱۳	۳-۳-۲) نیاوران - ضریب اطمینان
۱۱۴	۳-۳-۳) شهرری - جابه جایی
۱۱۵	۳-۳-۴) شهرری - ضریب اطمینان
۱۱۶	۳-۴) مقایسه نمودارها
۱۱۶	۳-۴-۱) نمودار جابه جایی به فاصله سربار از لبه گود
۱۱۶	۳-۴-۲) نمودار ضریب اطمینان به فاصله سربار از لبه گود
۱۱۷	۳-۴-۳) بررسی رفتار نمودارها
۱۲۰	۳-۵) نتیجه گیری و پیشنهاد

مراجع و منابع

۱۲۴	مراجع و منابع فارسی
۱۲۵	مراجع و منابع لاتین

## صفحه

## فهرست جدول ها

۲۴	جدول ۱-۲) رابطه تقریبی بین عدد ضربه و نفوذ (N) خاک های ریز دانه
۲۵	جدول ۲-۲) رابطه بین عدد ضربه و نفوذ (N) خاک های ماسه ای و شن
۲۵	جدول ۳-۲) رابطه میان مشخصات خاک های دانه ای و نتایج آزمایش ضربه و نفوذ
۲۸	جدول ۴-۲) تعیین مدول الاستیسیته (E) بر اساس آزمایش SPT , CPT
۲۸	جدول ۵-۲) مشخصات کلی خاک های مختلف
۳۱	جدول ۶-۲) نتیجه آزمایش SPT گمانه ماشینی شماره یک- ضلع شمالی (۱۸متری)
۳۲	جدول ۷-۲) نتیجه آزمایش SPT گمانه ماشینی شماره دو- ضلع جنوب (۴۰متری)
۳۳	جدول ۸-۲) پارامتر های طراحی لایه های ماسه رسی سیلتی همراه با شن
۳۳	جدول ۹-۲) پارامتر های طراحی لایه های شن رس سیلتی همراه با ماسه
۳۴	جدول ۱۰-۲) پارامتر های طراحی لایه های درشت دانه قلوه سنگی و بستر سنگی
۴۱	جدول ۱۱-۲) نتیجه آزمایش SPT گمانه ماشینی (۲۰متری)
۴۲	جدول ۱۲-۲) پارامتر های طراحی لایه های ماسه رسی
۴۲	جدول ۱۳-۲) پارامتر های طراحی لایه های ماسه رسی سیلتی
۴۳	جدول ۱۴-۲) پارامتر های طراحی لایه های ماسه رسی همراه با شن
۶۴	جدول ۱۵-۲) مشخصات خاک لازم برای مدل سازی پروژه نیاوران
۶۵	جدول ۱۶-۲) مشخصات سطح شاتکریت-المان Plate
۶۵	جدول ۱۷-۲) مشخصات جنس نیل برای $S_{H=4}$ -المان Plate
۶۶	جدول ۱۸-۲) مشخصات خاک لازم برای مدل سازی پروژه شهرری
۶۷	جدول ۱۹-۲) مشخصات سطح شاتکریت-المان Plate

<u>صفحه</u>	<u>فهرست جدول ها</u>
۶۷	جدول ۲-۲۰) مشخصات جنس نیل برای $S_h=1$ -المان Plate
۷۳	جدول ۲-۲۱) جدول فازهای محاسباتی در روش Stage Construction
۷۸	جدول ۲-۲۲) جدول فازهای محاسباتی در روش Stage Construction
۱۱۱	جدول ۳-۱) خروجی مدل سازی پروژه نیاوران
۱۱۱	جدول ۳-۲) خروجی مدل سازی پروژه شهری
۱۱۶	جدول ۳-۳) مقایسه فاصله موثر سربار در پروژه نیاوران و شهری
۱۱۷	جدول ۳-۴) تحلیل نمودارهای ضریب اطمینان در پروژه نیاوران و شهری

<u>صفحه</u>	<u>فهرست نمودارها، تصاویر و شکل ها</u>
۶	تصویر ۱-۱) تخریب ساختمان مجاور به دلیل ضعیف بودن ساختمان
۷	تصویر ۱-۲) تخریب به علت عمق زیاد گود
۸	تصویر ۱-۳) ضعیف و کم بودن تراکم خاک محل سبب تخریب ساختمان کناری شده است
۸	تصویر ۱-۴) ایجاد ترک بدلیل باز بودن بیش از حد
۹	تصویر ۱-۵) وجود آب زیرزمینی در مهرشهر کرج سبب ناپایداری جداره گود شده است
۱۷	تصویر ۲-۱) نمایی از پروژه اداری- تجاری ۱۲ طبقه (تهران- نیاوران)
۱۸	تصویر ۲-۲) نمایی از پروژه اداری- مسکونی ۹ طبقه (تهران- شهرری)
۲۳	تصویر ۲-۳) دستگاه برش مستقیم و نمایی از انجام آزمایش در حین بارگذاری
۲۶	نمودار ۲-۱) منحنی تغییرات $\sigma_v'$ و $C_N$
۳۵	نمودار ۲-۲) نمونه ای از خروجی آزمایش برش مستقیم GP-GM+CO
۳۶	نمودار ۲-۳) نمونه ای از خروجی آزمایش برش مستقیم GM
۳۷	تصویر ۲-۴) نمایی از محل پروژه (در حال گمانه زنی با ماشین)
۳۷	تصویر ۲-۵) نمایی از محل حفر گمانه
۳۸	تصویر ۲-۶) تهران- نیاوران پروژه ساختمانی ۱۲ طبقه (نمونه های ماشینی)
۳۹	تصویر ۲-۷) تهران- نیاوران پروژه ساختمانی ۱۲ طبقه (نمونه های ماشینی)
۴۴	تصویر ۲-۸) نمونه گیری با ماشین (به روش مغزه گیری)
۴۴	تصویر ۲-۹) نمونه ها بعد از بیرون آوردن از استوانه نمونه گیر
۴۵	تصویر ۲-۱۰) شهرری- پروژه ساختمانی ۹ طبقه (نمونه های ماشینی)
۴۶	تصویر ۲-۱۱) شهرری- پروژه ساختمانی ۹ طبقه (نمونه های ماشینی)

<u>صفحه</u>	<u>فهرست نمودارها، تصاویر و شکل‌ها</u>
۴۸	تصویر ۲-۱۲) نمایی از اجرای روش میخکوبی
۴۸	شکل ۲-۱) مقایسه تغییر مکان جانبی در یک دیوار میخ کوبی شده با یک دیوار خاک مسلح
۴۹	شکل ۲-۲) کاربرد های روش میخ کوبی
۵۰	تصویر ۲-۱۳) میله‌های فولادی (Nail)
۵۰	تصویر ۲-۱۴) مجموعه دستگاه تزریق
۵۱	تصویر ۲-۱۵) نمایی از سر نیل رزوه شده و مجموعه صفحه باربر، واشر و مهره
۵۱	تصویر ۲-۱۶) نمایی از اجرای شاتکریت و اتصال صفحه باربر به صفحه شاتکریت
۵۲	شکل ۲-۳) روش های آرایش میخ‌ها
۵۳	شکل ۲-۴) اجزاء یک نمونه از نیل که بصورت آنکر اجرا شده
۵۵	تصویر ۲-۱۷) روش میخکوبی به روش شلیک میخ
۵۶	تصویر ۲-۱۸) عملیات حفر سوراخ
۵۷	تصویر ۲-۱۹) نصب شبکه فلزی قبل از بتن پاشی
۵۹	شکل ۲-۵) شکل مرحله ای و شماتیک اجرای نیلینگ
۶۰	شکل ۲-۶) جزئیات زهکشی نواری و لوله‌های زهکشی
۶۲	شکل ۲-۷) فلوچارت مراحل ساخت و اجرايیک مدل توسط نرم افزار Plaxis
۶۸	شکل ۲-۸) فشار وارده از سربار به دیواره حاکبرداری
۶۹	شکل ۲-۹) اندازه و پهنای بار معادل ماشین آلات در اطراف گود
۷۴	شکل ۲-۱۰) مش بندی اولیه (very fine) برای محاسبه جابه‌جایی دقیق تر
۷۴	شکل ۲-۱۱) مش بندی تغییر شکل یافته بعد از فاز نهایی

<u>صفحه</u>	<u>فهرست نمودارها، تصاویر و شکل ها</u>
۷۵	شکل ۲-۱۲) حداکثر جابه جایی کلی $60.26 \times 10^{-3}$ متر
۷۵	شکل ۲-۱۳) حداکثر جابه جایی افقی $39.29 \times 10^{-3}$ متر
۷۶	شکل ۲-۱۴) فاز Incremental multipliers برای محاسبه ضریب اطمینان
۷۶	شکل ۲-۱۵) پنجره محاسباتی نرم افزار Plaxis
۷۹	شکل ۲-۱۶) مش بندی اولیه (very fine) برای محاسبه جابه جایی دقیق تر
۷۹	شکل ۲-۱۷) مش بندی تغییر شکل یافته بعد از فاز نهایی
۸۰	شکل ۲-۱۸) حداکثر جابه جایی کلی $99.32 \times 10^{-3}$ متر
۸۰	شکل ۲-۱۹) حداکثر جابه جایی افقی $80.79 \times 10^{-3}$ متر
۸۱	شکل ۲-۲۰) Incremental multipliers برای محاسبه ضریب اطمینان
۸۱	شکل ۲-۲۱) پنجره محاسباتی نرم افزار Plaxis
۸۲	شکل ۲-۲۲) حداکثر جابه جایی کلی $77.10 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۶۸
۸۳	شکل ۲-۲۳) حداکثر جابه جایی کلی $62.23 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۴۶
۸۴	شکل ۲-۲۴) حداکثر جابه جایی کلی $60.43 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۴۳
۸۵	شکل ۲-۲۵) حداکثر جابه جایی کلی $60.42 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۶۵
۸۶	شکل ۲-۲۶) حداکثر جابه جایی کلی $60.39 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۷۱
۸۷	شکل ۲-۲۷) حداکثر جابه جایی کلی $60.34 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۷۳
۸۸	شکل ۲-۲۸) حداکثر جابه جایی کلی $60.29 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۷۳
۸۹	شکل ۲-۲۹) حداکثر جابه جایی کلی $132.75 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۶۲
۹۰	شکل ۲-۳۰) حداکثر جابه جایی کلی $63.74 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۴۶

صفحه	فهرست نمودارها، تصاویر و شکل‌ها
۹۱	شکل ۲-۳۱) حداکثر جابه‌جایی کلی $60.60 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۴۱
۹۲	شکل ۲-۳۲) حداکثر جابه‌جایی کلی $60.57 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۵۴
۹۳	شکل ۲-۳۳) حداکثر جابه‌جایی کلی $60.51 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۶۴
۹۴	شکل ۲-۳۴) حداکثر جابه‌جایی کلی $60.41 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۷۳
۹۵	شکل ۲-۳۵) حداکثر جابه‌جایی کلی $60.32 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۷۳
۹۶	شکل ۲-۳۶) حداکثر جابه‌جایی کلی $160.41 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۴۳
۹۷	شکل ۲-۳۷) حداکثر جابه‌جایی کلی $103.20 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۳۷
۹۸	شکل ۲-۳۸) حداکثر جابه‌جایی کلی $102.22 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۳۴
۹۹	شکل ۲-۳۹) حداکثر جابه‌جایی کلی $101.81 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۳۸
۱۰۰	شکل ۲-۴۰) حداکثر جابه‌جایی کلی $101.01 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۴۵
۱۰۱	شکل ۲-۴۱) حداکثر جابه‌جایی کلی $100.10 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۵۱
۱۰۲	شکل ۲-۴۲) حداکثر جابه‌جایی کلی $99.40 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۵۱
۱۰۳	شکل ۲-۴۳) حداکثر جابه‌جایی کلی $229.44 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۳۵
۱۰۴	شکل ۲-۴۴) حداکثر جابه‌جایی کلی $115.26 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۲۶
۱۰۵	شکل ۲-۴۵) حداکثر جابه‌جایی کلی $103.83 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۱۹
۱۰۶	شکل ۲-۴۶) حداکثر جابه‌جایی کلی $102.20 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۲۶
۱۰۷	شکل ۲-۴۷) حداکثر جابه‌جایی کلی $101.74 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۳۵
۱۰۸	شکل ۲-۴۸) حداکثر جابه‌جایی کلی $101.39 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۵۰
۱۰۹	شکل ۲-۴۹) حداکثر جابه‌جایی کلی $100.22 \times 10^{-3}$ متر و ضریب اطمینان ۱.۵۱

<u>صفحه</u>	<u>فهرست نمودارها، تصاویر و شکل‌ها</u>
۱۱۲	نمودار ۱-۳) نمودار جابه‌جایی کل به فاصله سرباراز لبه گود در پروژه نیاوران
۱۱۳	نمودار ۲-۳) نمودار ضریب اطمینان به فاصله سرباراز لبه گود در پروژه نیاوران
۱۱۴	نمودار ۳-۳) نمودار جابه‌جایی کل به فاصله سرباراز لبه گود در پروژه شهری
۱۱۵	نمودار ۴-۳) نمودار ضریب اطمینان به فاصله سرباراز لبه گود در پروژه شهری
۱۱۸	شکل ۱-۳) پروژه نیاوران، گوه محتمل گسیختگی
۱۱۹	شکل ۲-۳) پروژه شهری، گوه محتمل گسیختگی
۱۲۲	شکل ۳-۳) بخش بندی اثر سربار در پروژه نیاوران
۱۲۳	شکل ۴-۳) بخش بندی اثر سربار در پروژه شهری



# فصل اول:

## کلیات

## فصل اول: کلیات

### ۱-۱) مقدمه

در پروژه‌های ساختمانی در بافت شهری امروز با وجود ساختمان‌های مجاور و نیاز به عمق گود برداری زیاد به علت نیاز به پارکینگ و یا استفاده از حداکثر تراکم به علت قیمت زمین‌های شهری خطرات جانی و مالی هر لحظه در مراحل گود برداری گریبان‌گیر ساختمان‌های طرفین گود و یا به عبارتی سرباره‌های طرفین می‌باشد. انتخاب یک روش مناسب و بعد از آن اجرای صحیح سازه نگهبان می‌تواند این نگرانی‌ها را رفع کند که بعلاوه سرعت اجرای مناسب و هزینه‌ای مناسب نسبت به روش‌های دیگر، روش نیلینگ امروزه طرفدار پیدا کرده و پیمان‌کاران فراوانی هم در زمینه اجرای آن در اکثر شهرهای بزرگ وجود دارد.

که در برخی موارد با وجود اجرای میخ کوبی شاهد جا به جایی‌های بیش از حد در دیواره گود برداری هستیم و با توجه به اینکه سیستم **Soil Nailing** از سیستم نگهدارنده تغییر شکل پذیر بوده ولی با طراحی مناسب و نیاز منطقه اجرایی جابه‌جایی‌ها باید در محدوده مجاز باشند، که در این زمینه لحاظ سرباره طرفین در فواصل موثر بر لبه گود از اهمیت زیادی برخوردار بوده و هدف این تحقیق این است تا با مدل کردن طرح نیلینگ در دو منطقه متفاوت از لحاظ بافت و لایه بندی خاک با تنوع سرباره رابطه معنی داری در جهت شعاع موثر اثر کرد سرباره بدست آید.

## ۱-۲) تاریخچه و سوابق

پژوهشگرانی همچون پک<sup>۱</sup> در سال ۱۹۶۹ و کلاگ<sup>۲</sup> و ارور<sup>۳</sup> که در سال ۱۹۹۰ در مورد فشار وارد بر دیوارهای نگهبان و حرکت زمین در حین خاکبرداری تحقیقاتی انجام دادند. یک مورد دیگر از تحقیقات که در سرتاسر جهان شناخته شده توسط لانگ<sup>۴</sup> در سال ۲۰۰۱ است.

در مورد این دیوارها، هاجل<sup>۵</sup> در سال ۱۹۸۴ و زانتاکوس<sup>۶</sup> در سال ۱۹۹۴ تحقیقاتی را انجام دادند و همچنین درباره نظارت و پیش بینی تاثیر حفاری بر روی زمینهای کناری ووری<sup>۷</sup> و برمز<sup>۸</sup> در سال ۱۹۸۹ و وتیل<sup>۹</sup> و همکارانش در سال ۱۹۹۳ مطالعاتی را انجام داده‌اند.

از دیگر پروژه‌های مهم میخکوبی در دهه ی ۱۹۸۰ در آمریکا می‌توان به دیوار میخکوبی با ارتفاع ۱۲ متر در یکی از پروژه‌های دولتی وزارت راه آمریکا در کامبرلند گپ واقع در ایالت کنتاکی اشاره کرد. همچنین وزارت راه آمریکا در سال ۱۹۸۹ برای اولین بار از تکنولوژی میخکوبی برای گودبرداری کوله‌های پل استفاده کرد. در دو دهه ی اخیر استفاده از تکنولوژی میخکوبی در سراسر جهان رشد چشمگیری داشته‌است. این روش جزء روش‌های مورد علاقه کارفرمایان بوده و مهندسين طراح و اجرا توجه بیشتری به تکنیک‌های طراحی و اجرایی میخکوبی پیدا کرده‌اند. در ابتدای رواج سیستم میخکوبی، از این سیستم بیشتر برای احداث سازه‌های نگهبان موقت استفاده می‌شد، در حالی که در ۱۰ سال گذشته استفاده از میخکوبی در احداث سازه‌های نگهبان دائمی نیز رشد چشمگیری پیدا کرده‌است. بدین جهت آیین نامه FHWA<sup>۱۰</sup> آیین نامه ژئوتکنیک وزارت راه آمریکا توضیحات و استاندارد های معتبری در این زمینه ارائه داده است.

در زمینه تاثیر سربار در Soil Nailing که هدف تحقیق می باشد در آیین نامه FHWA که منبع معتبری در نیلینگ است توضیحاتی مختصری در زمینه میزان تاثیر سربار مخصوصا در زمینه تنوع بار و فاصله آن تا گود داده شده است. همچنین مقاله و پایان نامه ای در این زمینه خاص در منابع کتابخانه ملی یا دانشگاهی یافت نشد. لذا سعی بر این شده در این پایان نامه این مبحث مورد مطالعه قرار گیرد.

<sup>۱</sup>Peck<sup>۲</sup>Clough<sup>۳</sup>O'Rourke<sup>۴</sup>Long<sup>۵</sup>Hajnal<sup>۶</sup>Xanthakos<sup>۷</sup>Wory<sup>۸</sup>Broms<sup>۹</sup>Whittle<sup>۱۰</sup>FHWA, 2003, "Geotechnical Engineering Circular No.7: Soil Nail Walls."

## ۳-۱) پرسش اصلی تحقیق

در این پایان نامه پرسش اصلی در زمینه ی شعاع تاثیر سربار از لبه ی گودبرداری های تقویت شده به روش نیلینگ است؛ که آیا تنها بار موجود روی سطح خاک تنها در مورد سازه های کنار گود اهمیت دارد و یا سربارهای دور دست نیز در طراحی های نیلینگ باید لحاظ گردد و این تاثیر به چه شکل خواهد بود.

سعی بر این است با تلفیق سربار های مختلف و فاصله های مختلف ایده اجرایی مناسبی جهت تقویت و پایداری انواع گودها ارائه گردد.

## ۴-۱) اهداف مشخص تحقیق

همانطور که در بخشی از بیان مسئله به تشریح ذکر گردید هدف این تحقیق تدقیق طراحی روش Nailing در گود برداری های عمیق می باشد، بطور کلی اهداف اصلی و فرعی به شرح زیر می باشد:

## ۱-۴-۱) هدف کلی:

هدف کلی تعیین میزان تاثیر سربار های طرفین گود برداری (در گود بر داری های عمیق تقویت شده به روش نیلینگ) از لبه گود بر تغییرات جابه جایی کلی و ضریب اطمینان مدل است؛ که این مطالعه بر پایه تغییرات فاصله سربار از لبه گود و تاثیر آن بر جابه جایی کلی و ضریب اطمینان می باشد.

## ۲-۴-۱) اهداف اختصاصی:

- بررسی فواصل تا شعاع ۵۰ متری که بیش از حد معمول لحاظ سربار در طراحی های معمول می باشد و ایجاد تنوع وزنی در انواع فاصله های ذکر شده از لبه گود،
- ایجاد چندین مدل (دو عمق متفاوت و فواصل سربار مختلف) در نرم افزار PLAXIS بر پایه المان محدود و مقایسه با یکدیگر و نتیجه گیری کلی،

- بررسی تفاوت خروجی مدل نیلینگ با مشخصات دو منطقه کاملا متفاوت لایه های خاک (شمال و جنوب تهران)،
- انجام آزمایشات صحرایی در مناطق ذکر شده (شهری و نیاوران) و بدست آوردن مشخصات خاک منطقه در عمق گمانه مناسب جهت طراحی مدل نیلینگ گود برداری.

#### ۱-۵) اهمیت و ضرورت انجام تحقیق

امروزه به دلیل گود برداری های عمیق و در عین حال کمبود جا برای روش پله ای و اجبار در خاک برداری با دیواره های عمودی، به طور روز افزون نیاز به اجرای سازه های نگهدارنده به منظور پایداری دیواره ها برای ایمن سازی پروژه و جلوگیری از خطر جانی دیده می شود که در سیستم **Nailing** به دلیل منطق اجرایی و هزینه ای در مناطق شهری در این تحقیق مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در این تحقیق با توجه به دیدگاه های یکسانی که در طراحی این سیستم دیده شده و در برخی موارد موجب جا به جایی هایی بیش از حد مجاز دیواره در اجرای **Nailing** و خرابی هایی که موجب خسارت مالی گردیده است؛ سعی شده با در نظر گرفتن سربار سازه های طرفین گودبرداری، تاثیرات آن بر مدل و طراحی دیده شود تا بتوان با تغییرات در بار وارده به دیواره ها، مدل سازی ها نزدیکتر به واقعیت شده تا بتوان از خطای موجود در طراحی در نتیجه خسارات احتمالی در حین اجرا کاست.

لازم به ذکر است با توجه به مدل سازی در انواع خاک ها چون خاک رس سیلتی ضعیف، خاک ماسه- شنی با چسبندگی متوسط و خاک ریزشی و قلوه سنگ، این پژوهش تنها در مورد منطقه مورد بحث خلاصه نشده و قابل تعمیم به پروژه های دیگر در مناطق مختلف خواهد بود.

## ۱-۵-۱) خطرات گود برداری

اندازه کوچک قطعات زمین و فاصله عرضی صفر ساختمان ها از یکدیگر در بسیاری از نقاط تهران، باعث شده گود برداری امری خطر آفرین و نگران کننده برای مالکان ساختمان ها و همسایگان شود. در سال های اخیر با افزایش تراکم و تعداد طبقات و نیاز به تأمین پارکینگ و سایر سطوح خدماتی در ساختمان ها، عمق گود برداری نیز بیشتر شده است. اما در بیشتر موارد از همان روش های سنتی که در گود های کم عمق گذشته دیده می شد، استفاده می شود. متأسفانه بسیاری هنوز فکر می کنند که بکارگیری تمهیدات ایمنی لازم در گود برداری هزینه و زمان بیهوده ای را به کار تحمیل می کند؛ در حالی که گود برداری اصولاً جزئی از کارهای پیچیده و بسیار خطرناک مهندسی محسوب می شود و بویژه در گود هایی با عمق زیادتر نیازمند بررسی های همه جانبه، دقت و نظارت و در نهایت صرف وقت و هزینه ی قابل ملاحظه ای است. تا جان و مال مردم از این طریق به خطر نیفتند. با این حال عدم آشنایی به اصول فنی، سهل انگاری و یا سود جویی غیر مسولانه منجر به ایجاد حادثه می شود.

موارد ایمنی مربوط به گود برداری را می توان در ۳ دسته عمده زیر قرار داد:

- ایمنی کارکنان داخل و اطراف گود، عابران و وسایل نقلیه در مقابل حوادث احتمالی بویژه خطر ریزش گود،
  - آسیب دیدگی و تخریب ساختمان های مجاور گود در اثر گود برداری یا ریزش گود،
  - خطر آسیب دیدگی تاسیسات و شریان های شهری در اثر گود برداری یا ریزش گود.
- موارد خطر آفرین در گود برداری به شرح زیر است:

۱- ضعف و یا حساس بودن ساختمان های مجاور (سربار): مواردی نظیر عدم وجود اسکلت، ضعف بودن

ملاط دیوارها و علائم ضعف اجرایی ساختمان، وجود ترک و یا شکستگی و نشست و شکم دادگی دیوارها از این جمله اند؛ وجود دیوار مشترک بین ساختمان مورد نظر برای تخریب و ساختمان مجاور آن نیز غالباً می تواند منبع ایجاد مشکل باشد. در برخی موارد به دلیل ارزش ساختمان مجاور از قبیل ارزش مالی آن و

حساسیت شرکت های بیمه گذار در جا به جایی دیواره گود نیازمند سیستم نگهدارنده صلب و یا تغییر شکل پذیر با جا به جایی کم خواهد بود.



تصویر ۱-۱) تخریب ساختمان مجاور به دلیل ضعیف بودن ساختمان به هنگام گودبرداری در شرق تهران

۲- عمیق بودن گود: معمولاً هر چه عمق گود بیشتر شود به علت بالا رفتن سطح گسیختگی خاک، خطر بیشتری در ریزش دیواره ترانشه وجود دارد؛ در سال های اخیر با افزایش تراکم ساختمان ها نیاز به پارکینگ و سطوح مشاع دیگر افزایش یافته و باعث افزایش تعداد طبقات زیر زمین شده است. که از طرفی بدلیل عدم فضای کافی امکان گود برداری با شیب و بصورت پله ای وجود ندارد و مجبور به حفر گود با ترانشه عمودی بوده و همین خطر ریزش و اهمیت سازه های نگهدارنده را بیشتر کرده است.



تصویر (۱-۲) تخریب به علت عمق زیاد گود

۳- ضعیف بودن خاک: معمولاً هر چه خاک محل ضعیف تر باشد خطر بیشتری برای ریزش گود و تخریب ساختمان های مجاور وجود دارد خاک های دستی بارز ترین نمونه خاک های ضعیف هستند. امروزه بسیاری از نقاط شهری در گذشته خارج از محدوده بوده اند و گهگاه با خاک های دستی در محل هایی پر می شدند و امروزه به محل پروژه های ساختمانی تبدیل شده اند. از دیگر خاکهای ضعیف می توان در اطراف مسیل ها و پای دامنه ها اشاره کرد؛ که ساخت ساختمان روی این خاک های سست و دستی زمانی بروزه حادثه می کند که کنار آنها خالی شده و بدلیل عدم تحمل برش و نداشتن چسبندگی و اصطحکاک داخلی مناسب خاک زیر پی آنها، ساختمان واژگون می شود.





تصویر (۳-۱) ضعیف و کم بودن تراکم خاک محل سبب تخریب ساختمان کناری شده است

۴- مدت زمان باز بودن گود: با افزایش زمان باز بودن گود حتی اگر از شرایط جوی هم چشم‌پوشیم،

خطر ریزش گود بیشتر می‌شود که دلیل آن تورم رس‌ها و تغییر ظرفیت بار بردار است که در آزمایش‌های تحکیم بر روی خاک اهمیت این مسئله قابل‌سنجش است.



تصویر (۴-۱) ایجاد ترک بدلیل باز بودن بیش از حد گود در ضلع غربی دانشکده فنی دانشگاه آزاد تهران جنوب

۵- آب‌های سطحی و زیر سطحی: معمولاً سطح آب زیر زمینی بالا خطر ریزش گود را افزایش می‌دهد، بویژه بعد از چند روز از انجام عملیات گود برداری و رسیدن سطح آب زیر زمینی به تعادل، همچنین وجود جریان‌های آب زیرزمینی از طریق نظیر نهرهای مدفون یا قنات‌ها می‌تواند در افزایش خطر ریزش گود بسیار موثر باشند؛ جریان‌های آب‌های سطحی نیز از عواملی هستند که می‌توانند باعث فرسایش خاک گود و اشباع شدن آن شده و به افزایش خطر ریزش گود کمک کنند. دور نگه داشتن جریان آب‌های سطحی موجود یا محتمل (مانند بارندگی) و زهکشی درست سازه نگهبان از مهمترین و اصلی‌ترین قدم‌های اولیه حفاظت گود است.



تصویر ۱-۵) وجود آب زیرزمینی در مهرشهر کرج سبب ناپایداری جداره گود شده است

## ۱-۵-۲) اقدامات جهت کاهش خطرات گود برداری

۱- اگر سرمایه گذار و یا صاحب کار ساختمان در حال ساخت هستید حتماً بررسی مکانیک خاک را از طریق شرکت های معتبر و بصورت کامل و دقیق انجام دهید. نقشه ها و طراحی های گود باید بر اساس گزارش بررسی های مکانیک خاک و توصیه های مشاور ژئوتکنیک تهیه شده باشند و مراحل کار، روش انجام گود برداری (دستی، ماشینی) و مشخصات سازه های نگهبان و دیگر اقدامات حفاظتی شیب را به خوبی نشان دهند.

۲- یکی از بهترین راه های کاهش خطرات گود برداری، اتمام زودتر و ایمن تر کردن عملیات داخل گود و پر کردن مجدد آن است.

۳- در صورتی که داخل گود نظارت می کنید، به خاطر داشته باشید که ریزش دیوارهای گود می تواند ظرف چند ثانیه شما را به دام انداخته و در عرض چند دقیقه هلاک کند؛ وزن هر متر مکعب خاک ۱.۶ تا ۲ تن است.

۴- در صورتی که از طرف شهرداری و دیگر نهاد ها، مسئول کنترل و یا اجرای طرح هستید، برای گود برداری های عمیق ( گود برداری های با عمق بیشتر از عمق دیوار ها یا پی های ساختمان مجاور ) بهتر است که سازنده ساختمان حداقل ۳۰ روز قبل از شروع گود برداری موضوع را بطور کتبی به مالکین اطلاع داده و رونوشت آن را به شهرداری ارائه نماید.

## ۱-۶) بیان مسأله اساسی تحقیق به طور کلی

پروژه های عمرانی به طور روزافزون در حال توسعه بوده و بدلیل محدودیت های موجود در مواجهه با مسائل ژئوتکنیکی نظیر احداث شیبهای مصنوعی و پایدارسازی شیروانی های طبیعی، گودبرداری ها، حفاری ها و ترانشه زنی دچار مشکلات متعددی می گردد؛ جهت پایداری و نگهداری دیواره ها و شیب های

ایجاد شده و پرهیز از هر گونه خسارات جانی و مالی بررسی روشهای تثبیت نظیر ایجاد دیوارهای حایل و ایمن سازی گودبرداری ها نیاز به مطالعات و تحقیقات متعدد دارد؛ این مشکلات و ناپایداری ها ممکن است در اثر عدم توجه به ظرفیت خاکها و بارهای ناشی از اراضی و سازه های مجاور بوقوع بپیوندند.

به منظور جلوگیری از ریزش ترانشه و تبعات منفی احتمالی ناشی از خاکبرداری ها، سازه موقتی را برای مهار ترانشه اجرا می کنند که به اصطلاح سازه نگهدارنده نامیده می شود. انواع سیستمهای نگهدارنده شامل سیستمهای تغییر شکل پذیر از جمله توری سنگها، سپرها، خاک مسلح، ژئوتکستایل، میخ کوبی، سیستمهای صلب از جمله دیوارهای توده ای، دیوارهای بتنی غیر مسلح، دیوارهای کنسولی، دیوارهای پایه دار و پشت بند دار، دیوارهای قفسه ای (بتنی)، خرابای فلزی، شمع نگهدارنده، ریز شمع ها، زمین مهارها، بلوک نگهدارنده و مهار متقابل می باشد.

عموماً تحلیل سازه های نگهدارنده به دلیل وجود لایه های مختلف خاک نسبت به عمق خاکبرداری و رفتار متفاوت آنها در ایجاد تنشهای اولیه کاری دشواری است لذا روش اجزاء محدود به دلیل تواناییهای چشمگیری که در مدل سازی شرایط مختلفی فیزیکی محیط را دارد از برتری بیشتری برخوردار است. از جمله این تواناییها امکان بررسی اثر تنشهای اولیه، بررسی واقعیت اصطکاک خاک و دیوار، بررسی اثر نوسان سطح آب و استفاده از منحنی تنش- کرنش غیر خطی خاک در تجزیه و تحلیل دیوار می باشد که مورد توصیه در آیین نامه FHWA نیز می باشد.

در حال حاضر نرم افزارهای تخصصی و رایانه ای پیشرفته با قدرت محاسباتی بالا برای بررسی پایداری جداره های گودبرداری ها وجود دارد و یکی از راههای آسان حل مسائل، استفاده از برنامه ای است که دارای امکان شبیه سازی و ارائه نتایج مناسب در زمینه ژئوتکنیک می باشد. بنابراین سعی می شود از نرم افزارهایی که امکان مدل سازی با درصد خطای قابل قبولی هستند استفاده شود که از جمله می توان به نرم افزارهای محاسباتی بر پایه المان محدود مانند : **Geo-slope، Plaxis** اشاره کرد. (در این تحقیق از نرم افزار **PLAXIS** استفاده خواهد شد.)

در شهرهای بزرگ چون تهران با توجه به مسئله کمبود زمین، اجرای عملیات خاکی چون گودبرداری همواره با مسائل و مشکلاتی همراه بوده است. مسائلی چون تخریب سازه‌های مجاور محل گودبرداری شده که در بعضی موارد متاسفانه خسارات جانی نیز به بار آورده است که بارها در جراید خبر ساز بوده است.

در این تحقیق با استفاده از مشخصات خاک دو پروژه ساختمانی در دو منطقه شمال و جنوب تهران با گود برداری عمیق سعی بر این است تا رابطه تأثیر فاصله سربار های مجاور در افزایش جابه‌جایی ها و کاهش ضریب اطمینان طراحی و اهمیت انواع سربار های طرفین گود حتی غیر مجاور ولی موثر در پایداری ترانشه گود برداری مورد بررسی قرار بگیرد.

اگرچه تأثیر سربارهای مجاور در محاسبات معمول لحاظ می‌گردد لکن مقاله معتبری در زمینه بسط و تفصیل سربار کنار گود و اهمیت این موضوع در فواصل مختلف یافت نشد. لذا در این پایان نامه با استفاده از مشخصات خاک دو پروژه ساختمانی در دو منطقه شمال و جنوب تهران با گود برداری عمیق سعی بر این است تا شعاع تأثیر سربار های مجاور و اهمیت انواع سربار های طرفین گود حتی غیر مجاور ولی موثر در پایداری ترانشه گود برداری مورد بررسی قرار بگیرد.

### ۱-۶-۱) متغیرهای مورد بررسی در قالب یک مدل مفهومی

متغیرهای مورد بحث در این تحقیق وجود سربارهای مطرح نشده در طراحی های فعلی **Nailing** است که با در نظر گرفتن تنوع سر بار ناشی از ساختمان های مجاور با فرض وجود ساختمان های ۱۰ و ۵ طبقه و همچنین تنوع فواصل آنها با فرض فواصل ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۵۰ متر از لبه گودبرداری با مشخصات خاک در دو پروژه (منطقه شمال و جنوب تهران) بررسی خواهد شد؛ و با این متغیر ها در نرم افزار PLAXIS مدل هایی ایجاد می‌گردد.

که برای ایجاد مدل در نرم افزار در جهت بررسی موضوع تحقیق شرایط اولیه ذیل لحاظ می‌گردد:

- خاک همگن فرض شده است،

- سطح زمین اطراف مسطح می‌باشد و تاثیر شیب بر رفتار سازه‌های نگهبان مورد بررسی قرار نمی‌گیرد،

- سطح آب زیرزمینی پایین در نظر گرفته شده یعنی خاک پشت دیوار به صورت اشباع نمی‌باشد.

متغیرهای قابل بحث شامل نوع خاک که در حالت‌های چسبنده، باچسبندگی متوسط و ریزشی در نظر گرفته می‌شود؛ و مدل‌هایی برای طراحی **Nailing** ارائه خواهد شد و مدل‌سازی در خاکی با وجود تنوع لایه‌ای (در مناطق شمال و جنوب تهران که نمونه‌های آن بعد از مغزه‌گیری در محل با آزمایشات برش مستقیم در آزمایشگاه مورد بررسی قرار خواهد گرفت) انجام می‌گیرد، و در نهایت پیرامون خاکهای مسئله دار که عموماً مشکل ساز می‌باشند.

سرباره‌ها اعمال شده تا تفاوت‌ها در زمینه عدم در نظر گرفتن آنها در طراحی و خطرات احتمالی ندید

گرفتن این گونه بارها بحث شود.

#### ۷-۱) جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق

با توجه به اینکه اجرای سازه‌های مناسب نگهبان در کشور و در بین مهندسان عمران به صورت کافی

و جامع شناخته نشده است عملاً در سالیان اخیر خسارت‌ها و صدمات جانی و مالی فراوانی در محیط‌های

شهری ایجاد گردیده است.

ضمناً اخیراً در محیط‌های شهری با توجه به اجرای ساختمان‌های بلند مرتبه، ایجاد چندین طبقه

زیر زمین و پارکینگ‌های طبقاتی، نیاز روز افزون به خاک برداری‌های عمیق و در نتیجه بحث پایداری

دیواره گودبرداری مطرح می‌شود.

هدف اصلی این تحقیق، شناسایی تاثیر سربار و فاصله سربار ناشی از سازه‌های مجاور بالادست در افزایش تنش‌های افقی عمق‌های مختلف در گود می باشد که باعث افزایش تغییر مکان‌های جانبی گردیده و نهایتاً منجر به آسیب ساختمان مجاور خواهد شد؛ در نهایت ایده کاربردی و روش فنی و اقتصادی مناسب در جهت کنترل تغییر مکان‌های جانبی سازه‌های مجاور مطرح خواهد گردید.

## **فصل دوم:**

### **روش تحقیق**



## فصل دوم: روش تحقیق

### ۲-۱) انتخاب سایت

در این تحقیق سعی بر آن شد تا در زمینه سایت مورد مطالعه از دو پروژه با گود برداری عمیق کاملاً متفاوت از لحاظ جنس خاک منطقه و تفاوت کلی در لایه بندی خاک انتخاب گردد؛ که با جستجو در سایت‌هایی با گود برداری عمیق، سایت اول در شمال تهران در منطقه نیاوران که قرار به اجرای پروژه ای با گود برداری به عمق ۱۵ متر است انتخاب گردید؛ که منطقه ای با خاکی عموماً از جنس شن و ماسه با ریزدانه کم و در اعماق بیشتر حاوی قلوه سنگ می‌باشد و در مورد انتخاب پروژه دوم مورد مطالعه دقت بیشتری در جهت تفاوت کلی جنس خاک با مورد اول گردید؛ تا بدین وسیله از تنوع مدل سازی و تفاوت آن‌ها در نتیجه گیری صحیح تر بهره گرفت؛ بدین جهت با سعی بر انتخاب سایتی با ریز دانه بالا منطقه جنوب تهران مناسب رسید؛ فلذا سایتی در شهرری مورد مطالعه دوم قرار گرفت که گود برداری با عمق ۱۲ متر قرار به اجرا است.

در ادامه لازم به ذکر است از لحاظ زمین شناختی یکی در محیط رسوبی بالا دست دیگری در یک محیط رسوبی حوضه پایین دست قرار گرفته است بطور کلی منشا آبرفت های تهران، ارتفاعات البرز شمال تهران می‌باشد؛ که فرسایش یافته و تحت تاثیر حمل آبی از شمال تا جنوب آبرفت تهران رسوب گذاری کرده است به همین علت آبرفت های شمال تهران که محیط رسوبی دارای انرژی بالاتری بوده بخش دانه درشت

رسوبات بر جای گذاشته شده و به تدریج به سمت جنوب تهران که شیب کاهش یافته آبرفت های دانه ریز تر بر جای گذاشته شده است؛ به همین علت مشاهده می گردد که خاک های آبرفت های شمال فاقد کانی های رس قابل توجه بوده در حالی که در منطقه جنوب اکثر خاکها غنی از کانی های رس و ریز دانه ها می باشد. که این اختلاف دانه بندی منجر به تفاوت خصوصیات ژئوتکنیکی خاک و مدول های خاک می گردد؛ به همین دلیل تلاش گردید به منظور بررسی خصوصیات خاک های مختلف در این تحقیق دو سایت متفاوت در شمال و جنوب تهران انتخاب گردد.

در دو پروژه مذکور، مطالعات ژئوتکنیک آن توسط شرکت کیهان خاک (به مدیر عاملی جناب دکتر دقیق) در بخش آزمایشگاهی و حفاری انجام پذیرفت. که در ادامه این تحقیق نتایج به صورت تصویری و جداول به تفصیل مورد بحث قرار خواهد گرفت.

## ۲-۱-۱) شرح پروژه شمال تهران

پروژه مورد نظر، مجتمع تجاری-اداری-مسکونی دوازده طبقه واقع در تهران- نیاوران- اول خیابان یاسر (پنج طبقه زیرزمین+ پیلوت + شش طبقه روی پیلوت) بوده که در یک قطعه زمین به مساحت ۱۶۵۰ مترمربع احداث خواهد شد.

در این پروژه گودی به عمق ۱۵ متر قرار به اجراست که مطالعات ژئوتکنیک آن توسط دستگاه حفاری به روش مغزه گیری در عمق های مختلف انجام می پذیرد؛ و آزمایش درجا به روش SPT و آزمایشات آزمایشگاهی بروی نمونه ها بدست آمده از حفاری ماشینی در آزمایشگاه ژئوتکنیک انجام می گیرد. که برای این منظور دوگمانه ماشینی در نظر گرفته شده است که گمانه شماره یک به عمق ۱۸ متر در ضلع شمال شرقی و گمانه شماره دو به عمق ۴۰ متر در ضلع جنوب غربی پیشنهاد و حفاری گردیده است.



تصویر ۱-۲) نمایی از پروژه اداری- تجاری ۱۲ طبقه (تهران- نیاوران)

## ۲-۱-۲) شرح پروژه جنوب تهران

پروژه موردنظر، ساختمان ۹ طبقه واقع در شهرری- خیابان فدائیان اسلام (چهار طبقه زیرزمین+ پیلوت + ۵ طبقه روی پیلوت) که در یک قطعه زمین با مساحت حدود ۱۵۰۰ مترمربع احداث خواهد شد. در این پروژه گودی به عمق ۱۲ متر قرار به اجراست؛ که مطالعات ژئوتکنیک آن توسط دستگاه حفاری به روش مغزه گیری در عمق های مختلف انجام می پذیرد و آزمایش درجا به روش SPT و آزمایشات آزمایشگاهی بروی نمونه ها بدست آمده از حفاری ماشینی در آزمایشگاه ژئوتکنیک انجام می گیرد. که برای این منظور یک حلقه گمانه دستی به عمق حدوداً هفت متری و یک گمانه ماشینی همراه با آزمایش SPT به عمق ۲۰ متر پیشنهاد و حفاری گردید.



تصویر ۲-۲) نمایی از پروژه اداری- مسکونی ۹ طبقه (تهران-شهرری)

## ۲-۲) شرح آزمایشات آزمایشگاهی و صحرایی (درجا)

هدف این بخش توصیف روش های بررسی ساختگاهی و آزمایشگاهی و ارائه توصیه هایی در مورد

مشخصات خاکی که پایدارسازی می شود، می باشد.

بررسی ساختگاهی و آزمون های آزمایشگاهی دو مقوله حساس در هر پروژه مهندسی خاک پی بوده

و تاثیر مستقیم بر اجرای فنی و هزینه های پروژه دارند. وسعت و دقت برنامه بررسی ساختگاهی و

آزمایشگاهی به طبیعت و بزرگی پروژه، توپوگرافی، زمین شناسی، محدودیت های محیطی، نوع کاربرد، شدت

پتانسیل، عمر خدمت پروژه و دیگر محدودیت های پروژه بستگی دارد. ویژگی های مهندسی که از مطالعات

ساختگاهی و آزمایشگاهی برای طراحی سازه های نگهبان حاصل می شود؛ شامل طبقه بندی خاک، وزن مخصوص خاک و مقاومت برشی می باشد.

همچنین بررسی های ساختگاهی و آزمایشگاهی می توانند اطلاعاتی در مورد پتانسیل خوردگی خاک فراهم نمایند؛ که برای سلامت درازمدت مصالح تسلیح در کاربردهای دائمی سازه های نگهبان حائز اهمیت می باشد. اطلاعات کلی در مورد مطالعات ساختگاهی و بررسی های آزمایشگاهی در این بخش ارائه شده است.

## ۲-۲-۱) بررسی های اولیه محل برای شروع مطالعات صحرایی

### الف) بررسی اطلاعات ژئوتکنیک محل

پیش از انجام بررسی های ساختگاهی، بازبینی اطلاعات محلی-کارگاهی و زیر سطحی موجود اولین قدم ارزشمند در هر پروژه خاک و پی می باشد.

منابع اطلاعات می تواند شامل:

- نقشه های توپوگرافی، پلان کارگاه، نقشه های زمین شناسی،
- اطلاعات مربوط به عملکرد سازه های مهندسی موجود،
- اطلاعات مربوط به حجم آب و تراز آب زیرزمینی در نزدیکی محل پروژه،
- اطلاعات مربوط به لرزه خیزی.

طراحی باید در تعمیم شرایط خاک زیر سطحی منطقه با مقداری فاصله از محل پروژه محتاطانه عمل کند.

## ب) شناسایی محل

بازدید مقدماتی صحرائی شامل بررسی و جمع آوری اطلاعات مربوطه می‌باشد؛ اهداف بازدید، مشاهده و جمع آوری اطلاعات در مورد محل پروژه می‌تواند شامل اطلاعات زیر باشد:

- مسیر دسترسی به کارگاه،
- شرایط ترافیک و کنترل آن در خلال مطالعات و اجرا،
- الگوهای زهکشی و فرسایش،
- اهمیت سازه‌های موجود،
- شناسایی تاسیسات زیرزمینی،
- تأثیر گودبرداری‌ها، شیروانی‌ها و ترانشه‌های مجاور،
- نشست سطحی،
- معلوم کردن خوردگی در سازه‌های مجاور،
- معلوم کردن نواحی مختلف شرایط خاک و آب زیرزمینی.

## ج) مطالعات زیر سطحی

اهداف، یک بررسی زیر سطحی، تعیین شرایط زیر سطحی موضعی، مشخص نمودن گسترش جانبی و سه بعدی این شرایط در محل پروژه می‌باشد. بررسی‌های زیر سطحی عموماً شامل آزمایش‌های بر جای ویژگی‌های سنگ و خاک، جمع آوری نمونه از خاک و سنگ برای طبقه بندی چشمی و یا بررسی آزمایشگاهی، تشخیص لایه بندی و شناسایی و مشاهده موقعیت آب زیر زمینی می‌باشد.

## ۲-۲-۲) آزمایش و نمونه گیری صحرائی

آزمایش و نمونه گیری صحرائی عمدتاً با گمانه اکتشافی جهت جمع آوری اطلاعاتی نظیر موارد ذیل بکار می آید:

- عدد N آزمایش SPT برای طبقه بندی خاک و تعیین لایه بندی،
- نمونه گیری دست خورده و دست نخورده،
- مشاهده آب زیر زمینی.

نوع، تعداد، موقعیت و عمق گمانه تا حد زیادی توسط مطالعات امکان سنجی، طراحی اولیه یا نهایی، اطلاعات ژئوتکنیکی موجود، شدت تغییرات شرایط زیر سطحی و دیگر محدودیت های پروژه تعیین می شود. برای دیوارهای گود با طول بیش از ۳۰ متر، گمانه باید بین ۳۰-۶۰ متر در طول خط آکس دیوار پیشنهاد قرار گیرد. برای دیوارهای با طول کمتر از ۳۰ متر حداقل یک گمانه در طول خط آکس دیوار لازم است. عمق گمانه بر اساس سازه و کار کنترل کننده مربوط به پایداری دیوار و اوضاع زیر سطحی که ممکن است عملکرد آتی دیوار را تحت تاثیر قرار دهد، انتخاب می شود. گمانه ها حداقل باید به اندازه ارتفاع دیوار در عمق پای گودبرداری امتداد یابد.

۲-۲-۲-۱) آزمایش نفوذ استاندارد SPT<sup>۱</sup>

آزمایش نفوذ استاندارد متداول ترین روش برای بررسی شرایط ساختگاه می باشد.

نمونه هایی که به وسیله نمونه گیر SPT بدست می آیند دستخوردده بوده و تنها برای طبقه بندی خاک و بعضی آزمون های آزمایشگاهی شامل دانه بندی و آزمایش الک، درصد ریز دانه، درصد رطوبت طبیعی، حدود اتربرگ، وزن مخصوص خاک، درصد مواد آلی و آزمایش فشاری ساده مناسب می باشد. نمونه های SPT نباید برای آزمایش های مقاوت و تراکم پذیری استفاده شوند.

<sup>۱</sup>Standard Penetration Test

## - آب زیرزمینی

وجود آب زیر زمینی تحت شرایط اشباع یا غیر اشباع در خاک ممکن است جنبه‌های مختلفی از طراحی و عملکرد درازمدت جداره‌های گود برداری شده را تحت تاثیر قرار دهد؛ این جنبه‌ها شامل پایداری موقت ترانشه مهار نشده، مقاومت خاک و مقاومت پیوستگی، استعداد خوردگی، فشار ناشی از آب زیر زمینی و یا مناطق دارای آب زیر زمینی می‌باشد. عمق آب زیر زمینی باید از گمانه زنی در خلال حفاری بدست آید و باید برای حداقل ۲۴ ساعت بعد از مته زنی بازرسی شود.

برای خاک های حاوی مقادیر نسبتاً زیاد ریز دانه، تراز آب زیر زمینی که در خلال حفاری رویت می‌شود، تراز ثابت سطح آب زیر زمینی را نشان نمی‌دهد؛ زیرا احتمال دارد ترازهای مشاهده شده تحت تاثیر نفوذپذیری نسبتاً کم خاک احاطه کننده باشند. در این گونه خاک ها با نفوذپذیری نسبتاً کم دوره زمانی طولانی تری تا چندین هفته یا ماه لازم باشد تا تراز آب زیر زمینی ثابت شود. قصور در ارزیابی آب زیر زمینی در خلال مطالعات صحرایی می‌تواند عواقب جدی برای هر سازوکار نگهبان خاک داشته باشد.

## ۲-۲-۲-۲) آشنایی با نمونه گیری

در آزمایش های مکانیک خاک با ۳ نوع نمونه بر خورد می‌کنیم که عبارتند از:

الف) نمونه دستکار: این نمونه در آزمایشگاه بر اساس خواسته آزمایشگر ساخته می‌شود؛ و به طور کلی شرایط طبیعی را ندارد.

ب) نمونه دست خورده: این نمونه از محل تهیه می‌شود و بعضی از پارامتر های طبیعی را ندارد و خصوصیاتش تغییر کرده است، اما آزمایشگر تغییری در آن ایجاد نمی‌کند.

ج) نمونه دست نخورده: در این نمونه‌ها، اجزای دانه‌ها به طور طبیعی در کنار هم قرار گرفته اند و بافت نمونه تغییری نمی‌کند و درصد رطوبت آن نیز همان درصد رطوبت محیط برداشت نمونه است.



## ۲-۲-۳) آزمایش برش مستقیم

در همه مسائل مربوط به پایداری خاک از قبیل طراحی پی ها، دیوارهای حائل و خاکریزها؛ داشتن اطلاعات کافی راجع به مقاومت خاک ضروری است؛ مقاومت برشی خاک عمده ترین عامل در تعیین رفتار خاک ها می باشد. مقاومت برشی خاک، مقاومت داخلی در واحد سطح آن است. یعنی مقاومتی که خاک می تواند برای تاب آوردن در برابر گسیختگی و لغزش در امتداد هر صفحه دلخواه در داخل خود بسیج کند. مشخص است که موضوع مقاومت برشی برای بررسی مسائل پایداری خاک از قبیل باربری و پایداری شیب ها و شیروانی ها و فشار افقی موثر بروی سازه نگهدارنده خاک کاربرد دارد.



تصویر ۲-۳) دستگاه برش مستقیم و نمایی از انجام آزمایش در حین بارگذاری

## ۲-۲-۴) محاسبه پارامترهای خاک بر اساس آزمایش ضربه و نفوذ (SPT)

آزمایش تشکیل شده از یک چکش سنگین به وزن ۶۳/۶۳۶ کیلوگرم که با سقوط آزاد از ارتفاع ۷۶/۲ سانتیمتری رها و بر انتهای یک میله حفاری وارد شده که باعث فرورفتن یک لوله نمونه گیر تو خالی به قطر خارجی ۵ سانتیمتر و قطر داخلی ۳/۵ سانتی متر در خاک می‌شود. تعداد ضربه‌های چکش که باعث فرو رفتن ۳۰ سانتیمتر لوله نمونه گیر در خاک شود نتیجه آزمایش ضربه و نفوذ بوده و به حرف N نمایش داده می‌شود؛ در عمل تعداد ضربه‌های چکش برای ۳ بار نفوذ ۱۵ سانتیمتری جداگانه یادداشت و پس از حذف ضربه‌ها برای ۱۵ سانتیمتر اول به علت بهم خوردگی خاک، حاصل جمع تعداد ضربه‌هایی که باعث نفوذ دومین و سومین ۱۵ سانتیمتر لوله نمونه گیر به داخل خاک شده را عدد ضربه و نفوذ N می‌نامند.

آزمایش ضربه نفوذ، آزمایش قابل اعتمادی مخصوصاً برای ماسه‌ها و سیلت‌ها است اما برای خاک‌های شنی مخصوصاً شن‌های درشت دانه و قلوه سنگ آزمایش قابل اعتمادی نیست؛ برای خاک‌های ریز دانه رسی-سیلتی با در دست داشتن عدد N می‌توان خاصیت سستی و سفتی این گروه خاک را بدست آورد.

## ۱- برای خاک‌های ریز دانه رسی-سیلتی (خاکهای چسبنده)

چسبندگی خاک (C) Kn/m <sup>2</sup>	نتیجه تقریبی آزمایش تک محوری Kn/m <sup>2</sup>	شرایط سستی و سفتی خاکهای زسی و سیلتی	عدد آزمایش ضربه و نفوذ (N)
۱۲-۰	۲۰-۰	خاک بسیار سست و نرم	۲-۰
۳۰-۱۲	۵۰-۲۰	خاک نرم	۵-۲
۶۰-۳۰	۱۰۰-۵۰	خاک با سفتی متوسط	۱۰-۵
۱۲۰-۶۰	۲۰۰-۱۰۰	خاک سفت	۱۰-۲۰
۱۸۰-۱۲۰	۴۰۰-۲۰۰	خاک خیلی سفت	۲۰-۳۰
بیشتر از ۱۸۰	بیشتر از ۴۰۰	خاک سخت	بالا تر از ۳۰

جدول ۲-۱) رابطه تقریبی بین عدد ضربه و نفوذ (N)، شرایط سستی و سفتی، نتایج آزمایش تک محوری و چسبندگی خاک‌های ریز دانه سیلت و رس

۲- برای خاکهای درشت دانه ماسه ای، شنی و مخلوط شن ریز و ماسه

زاویه اصطحکاک داخلی ( $\phi$ )	شرایط نسبی تراکمی خاک		عدد آزمایش ضربه و نفوذ (N)
	دانشیته نسبی تقریبی بر حسب درصد	شرایط تراکمی	
کمتر از ۲۶ درجه	۵ تا ۵۰ درصد	فوق العاده سست	۴ تا ۱۰ ضربه
۲۳ تا ۲۶ درجه	۳۰ تا ۵۰ درصد	بسیار سست	۵ تا ۹ ضربه
۲۸ تا ۳۲ درجه	۳۰ تا ۴۰ درصد	سست	۱۰ تا ۱۹ ضربه
۳۲ تا ۳۵ درجه	۴۰ تا ۵۵ درصد	تراکم متوسط	۲۰ تا ۲۹ ضربه
۳۴ تا ۳۸ درجه	۵۵ تا ۷۰ درصد	تراکم متوسط تا متراکم	۳۰ تا ۳۹ ضربه
۳۶ تا ۴۰ درجه	۷۰ تا ۸۵ درصد	متراکم تا خیلی متراکم	۴۰ تا ۴۹ ضربه
۳۸ تا ۴۲ درجه	۸۵ تا ۹۵ درصد	کاملاً متراکم	۵۰ تا ۶۰ ضربه
۴۰ تا ۴۶ درجه	۹۵+ درصد	کاملاً متراکم	بیش از ۶۰ ضربه

جدول ۲-۲) رابطه بین عدد ضربه و نفوذ (N)، شرایط تراکمی و زاویه اصطحکاک داخلی در خاک های ماسه‌ای

Compactness	Relative Density (%)	SPT N (blows per ft)	Angle of Internal Friction (deg)
Very Loose	0-15	0-4	<28
Loose	16-35	5-10	28-30
Medium	36-65	11-30	31-36
Dense	66-85	31-50	37-41
Very Dense	86-100	>51	>41

جدول ۲-۳) رابطه میان مشخصات خاک های دانه ای و نتایج آزمایش ضربه و نفوذ

۲-۲-۵) تصحیح عدد N برای خاک های ماسه ای و شن-ماسه ای

تصحیح عدد ضربه و نفوذ در خاک های درشت دانه ماسه ای یا مخلوط ماسه و شن ریز به این شکل

است که باید به جای استفاده از عدد N از  $N_c$  (عدد تصحیح شده ضربه و نفوذ) استفاده شود؛ در اینجا باید

خاطر نشان کرد که در خاک های ماسه ای و مخلوط شن و ماسه عدد  $N$  شدیداً تحت تأثیر فشار موثر سربار است و چون در عمل، آزمایش ضربه و نفوذ در عمق های مختلف انجام می شود لذا عدد  $N$  تحت تاثیر فشارهای موثر سربارهای مختلف است؛ و به همین دلیل برای خاک ماسه ای با مخلوط شن و ماسه ای نتیجه آزمایش ضربه و نفوذ باید تصحیح شده و بر مبنای فشار موثر سربار استاندارد در آید. فشار موثر سربار استاندارد ( $\sigma_v'$ ) برابر  $95/6$  کیلونیوتن بر متر مربع ( نزدیک به  $0/975$  کیلوگرم بر سانتی متر مربع) است.

$$N_C = C_N \times N_F$$

$N_C$ : عدد تصحیح شده آزمایش ضربه و نفوذ

$C_N$ : ضریب تصحیح خاک های درشت دانه

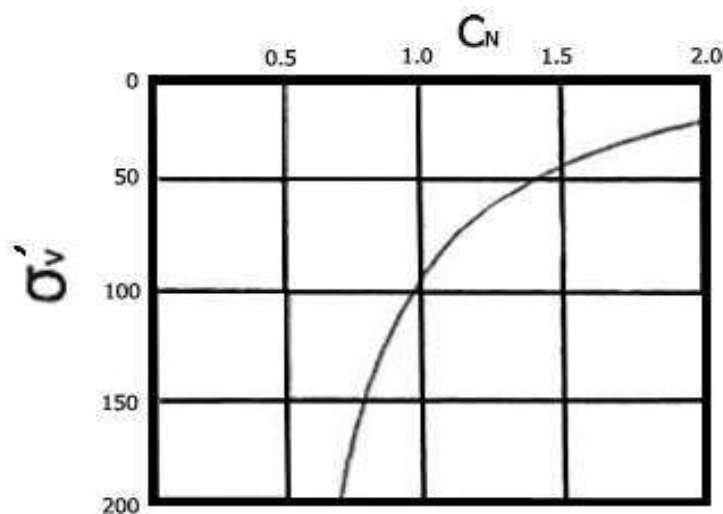
$N_F$ : عدد آزمایش ضربه و نفوذ که مستقیماً از آزمایش محل بدست آمده است.

درباره ضریب تصحیح  $C_N$  نظریات متعدد و مختلفی ابراز شده که احتمالاً ساده ترین آن ها عبارتند از:

$$C_N = 9.78 \sqrt{\frac{1}{\sigma_v'}}$$

که در این رابطه  $\sigma_v'$  فشار موثر سربار بر حسب کیلونیوتن بر متر مربع است، چنانچه در رابطه بالا

جای  $\sigma_v'$  عدد فشار موثر سربار استاندارد که برابر  $\sigma_v' = 95/6$  است قرار داده شود،  $C_N = 1$  می شود.



نمودار ۱-۲) منحنی تغییرات  $C_N$  و  $\sigma_v'$

برای یک خاک ماسه ای مشخص با وزن مخصوص معین و یکنواخت، عدد  $N$  بدست آمده رقم های بالاتری را برای عمق های بیشتر بدست می دهد؛ زیرا فشارهای جانبی بیشتری در عمق های زیادتر به خاک وارد می شود و بر عکس عدد  $N$  حاصله از آزمایش ضربه و نفوذ در عمق های کمتر و نزدیکتر به سطح زمین به دلیل کمتر بودن فشارهای جانبی کمتر است.

مطلب گفتنی دیگر آن است که با عدد آزمایش ضربه و نفوذ ( $N$ )، می توان با استفاده از روش تحلیلی و علمی نیز ظرفیت نهایی بارپذیری خاک و مقاومت مجاز آن را با تقریب معقولی بدست آورد. همانطور که می دانیم خاک های ریز دانه (سیلتها و رسها و مخلوط آن ها) مقاومت خود را از چسبندگی ( $C$ ) بدست می آورد و خاک های درشت دانه فاقد چسبندگی هستند مقاومت خود را به طور عمده از زاویه اصطحاک داخلی ( $\phi$ ) خود کسب می کنند. چسبندگی خاک ( $C$ ) بر حسب کیلو نیوتن بر متر مربع برابر با  $C=6N$ ، در خاک های درشت دانه در مورد رابطه بین عدد  $N$  و  $\phi$  نظریات مختلفی وجود دارد که از آن جمله نظریه پروفیسور پک است که پیشنهاد می کند برای بدست آوردن  $\phi$  از نتیجه عدد ضربه و نفوذ از رابطه زیر استفاده شود:

$$\phi = 0.3N + 27$$

ژاپنی ها برای بدست آوردن  $\phi$  رابطه زیر را پیشنهاد می کنند:

$$\phi = \sqrt{20N} + 15$$

در اروپا از رابطه زیر برای بدست آوردن  $\phi$  استفاده می کنند:

$$\phi = \sqrt{20N} + K$$

که  $K$  عاملی است که به شرایط تراکمی خاک بستگی دارد و بین ۱۵ تا ۲۵ پیشنهاد شده است.

نوع خاک	$E$ حاصل از $SPT$ ( $Kpa$ )	$E$ حاصل از $CPT$ ( $Kpa$ )
ماسه با تحکیم عادی	$7000\sqrt{N}$ $500(N+15)$ $6000N$	$(2-4)qc$
ماسه اشباع	$250(N+15)$ $(15000-20000)\ln N$	$(3-7)qc$
ماسه پیش تحکیم	$40000+1050N$	$(6-10)qc$
ماسه رس دار و لای دار	$320(N+15)$	$(1-2)qc$
لای	$300(N+6)$	$(1-2)qc$

جدول ۲-۴) تعیین مدول الاستیسیته ( $E$ ) بر اساس آزمایش  $SPT$ ,  $CPT$  - (BOWLES 1999)

نوع خاک / مشخصات خاک	$ML/CL$	$SM/SC$	$GW-GM$ $GP-GM$ $GM/GC$	$GW/GP$	توضیحات
$C$	40-60	15-35	10-20	0	$KN/m^2$
$\phi$	5-10 $\phi_{sat} = 0$	25-28	30-34 $\phi_{GC} = 32$ $\phi_{GW} = 34$	36-37	o
$E$	$300(N+6)$ $1E+4$ $\pm 5E+3$	$500(N+15)$ $2E+4$ $\pm 5E+3$	$4E+4$ $\pm 5E+3$	$4.5E+4$ $\pm 5E+3$	$KN/m^2$
$U$	0.2 $U_{saturated} = 0.5$	0.3-0.35	0.3	0.3	ضریب پواسون
$\psi$	0	-	2	5	زاویه انبساط
$\gamma_{sat}$	17-20	17-20	18-21	18-21	$KN/m^3$
$\gamma_d$	15-17	16-18	17-19	17-19	$KN/m^3$
$\gamma_w$	9.81	9.81	9.81	9.81	$KN/m^3$
$k_0$	0.913-0.826	0.577-0.53	0.5-0.44 $\phi_{32} = 0.47$	0.41-0.4	$1 - \sin \phi$
$k_{\sigma}$	0.84-0.7	0.41-0.36	0.33-0.28 $\phi_{32} = 0.307$	0.26-0.25	$tg^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$
$k_p$	1.19-1.42	2.464-2.77	3-3.54 $\phi_{32} = 3.255$	3.85-4.02	$tg^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$
$k_{\sigma_{vertical}}$	0.88-0.652	0.36-0.32	0.28-0.25 $\phi_{32} = 0.273$	0.235-0.22	$\alpha = 0, \beta = 90$ $\delta = \frac{2}{3}\phi$
$k_{\sigma_{\alpha}}$	$\alpha' > \phi$ unstable	0.68-0.61	0.57-0.5 $\phi_{32} = 0.53$	0.47-0.45	$\alpha = 0, \beta = 90$ $\alpha' = 16.7$ $\delta = \frac{2}{3}\phi$
$k_{\sigma_{\alpha=0}}$	$\alpha > \phi$ unstable	0.47-0.41	0.38-0.32 $\phi_{32} = 0.35$	0.284-0.276	$\alpha = 15^\circ$
$k_{p_{\alpha=0}}$	$\alpha > \phi$ unstable	1.99-2.27	2.45-2.95 $\phi_{32} = 2.72$	3.3-3.4	$\alpha = 15^\circ$

جدول ۲-۵) مشخصات کلی خاک های مختلف

## ۲-۳) روش نمونه برداری در سایت

در هر دو پروژه مذکور از هر دو آزمایش درجا و آزمایشات بروی نمونه‌های حاصل از سایت در آزمایشگاه استفاده گردیده است؛ که برای آزمایش درجا از آزمایش SPT و در آزمایشگاه از آزمایشات دانه بدی، برش مستقیم، تحکیم، تراکم، هیدرومتری، تعیین حدود اتربرگ و تعیین نسبت باربری استفاده شده است.

که در این پایان نامه ما به اطلاعات آزمایش درجای SPT و دانه بندی جهت تعیین نوع خاک در سیستم USCS<sup>۱</sup> و برش مستقیم برای تعیین چسبندگی و زاویه اصطحاک خاک استفاده می‌شود. که نمونه‌ها با حفاری ماشینی به روش مغزه گیری از لایه‌های مختلف بدست می‌آید و پس از هر لایه حفاری SPT انجام می‌گردد.

## ۲-۳-۱) روش نمونه برداری در پروژه نیاوران

برای شناسایی و بررسی لایه‌های خاک و سنگ در محل احداث پروژه مورد نظر، دو گمانه ماشینی در نظر گرفته شده است که گمانه شماره یک به عمق هجده متر در ضلع شمال شرقی و گمانه شماره دو به عمق چهل متر در ضلع جنوب غربی حفاری گردیده است. در گمانه شماره یک تا عمق حفاری به سطح آب زیر زمینی برخورد نگردید و جهت شناسائی بهتر سطح آب در عمق گمانه شماره دو لوله پولیکا تعبیه گردید؛ لکن پس از گذشت یک هفته ملاحظه گردید که در عمق بیست متری به سطح آب برخورد نمی‌گردد.

## ۲-۳-۱-۱) وضعیت لایه‌های خاک (نیاوران)

بطور کلی خاک تحت الارضی در گمانه شماره یک تا عمق حفاری شده عمدتاً به صورت لایه‌های ماسه رسی سیلتی همراه با شن و لایه‌های شن رسی سیلتی همراه با ماسه می‌باشد، که در داخل نمونه عمق چهارده متری لنزهای رسی چسبنده (رنگ قهوه ای تیره) نیز مشاهده می‌گردد.

---

<sup>۱</sup>Unified Soil Classification System

در گمانه شماره دو نیز تا عمق دوازده متری به لایه‌های ماسه رسی - سیلتی همراه با شن و لایه‌های شن رسی - سیلتی همراه با ماسه نیز برخورد گردیده و پس از آن در عمق پانزده متری نمونه‌های گرفته شده به صورت سنگی می‌باشد؛ که نشان دهنده برخورد به لایه‌های سنگی و یا قطعه سنگ در عمق‌های پائین می‌باشد؛ با توجه به اختلاف تراز محل گمانه شماره یک و دو (تراز گمانه شماره دو حدود پنج الی شش متر پایین تر از محل گمانه شماره یک بوده است.) وجود قطعه سنگ‌های درشت در عمق‌های پائین تر در گمانه یک نیز قابل پیش بینی می‌باشد.

در کل لایه‌های بستر فونداسیون در طبقه‌بندی سیستم متحد USCS جزو گروه‌های: SC-SM, GM, GP-GM+CO. قرار می‌گیرند و با توجه به نتایج آزمایش نفوذ استاندارد SPT، میزان تراکم طبیعی لایه‌ها خوب بوده است.



۲-۳-۱-۲) خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک (نیاوران)

با توجه به آزمایشهای صحرایی و آزمایشگاهی، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی قشرهای خاک

تحت الارضی تا عمق حفاری شده را می توان به شرح جداول زیر در نظر گرفت:

NO.	USCS	Depth m	Soil Gradation			
			cobble	gravel	sand	finer
1	SC/SM	2	اختلاف تراز گمانه یک و دو شش متر می باشد			0
2	SC/SM	4	اختلاف تراز گمانه یک و دو شش متر می باشد			0
3	SC/SM	6	0	28	38.5	33.5
4	SC/SM	8	0	28	38.1	33.9
5	SC/SM	10	0	29	37.8	33.2
6	SC/SM	12	0	30	37	33
7	SC/SM	14	0	30	34	36
8	GM	16	0	58	19.5	22.5
9	GM	18	0	37	30.5	32.5

جدول ۲-۶) نتیجه آزمایش SPT گمانه ماشینی شماره یک-ضلع شمالی (۱۸متری)

NO.	USCS	Depth	Soil Gradation			
			cobble	gravel	sand	finer
		m				
1	SC/SM	3	0	30	37	33
2	GM	6	0	31	26	43
3	GM	9	0	35	42.5	22.5
4	GM+CO.	12	0	59	17	24
5	GP-GM+CO.	15	100	0	0	0
6	GP-GM+CO.	18	100	0	0	0
7	GP-GM+CO.	21	100	0	0	0
8	GP-GM+CO.	24	100	0	0	0
9	GP-GM+CO.	27	100	0	0	0
10	GP-GM+CO.	30	100	0	0	0
11	GP-GM+CO.	33	100	0	0	0
12	GP-GM+CO.	36	100	0	0	0
13	GP-GM+CO.	39	100	0	0	0

جدول ۲-۷) نتیجه آزمایش SPT گمانه ماشینی شماره دو-ضلع جنوب (۴۰متری)

SC-SM	واحد	مشخصات لایه‌های پروفیل خاک	
90-95	%	درصد تراکم لایه‌های خاک	۱
20	KN/M <sup>3</sup>	وزن مخصوص طبیعی مرطوب ( $\gamma$ )	۲
3E+4	KN/M <sup>2</sup>	مدول الاستیسیته ( $E_{REF}$ )	۳
27	Degree	زاویه اصطکاک داخل ( $\phi$ )	۴
30	KN/M <sup>2</sup>	چسبندگی خاک (C)	۵
0.3	----	ضریب پواسون ( $\nu$ )	۶

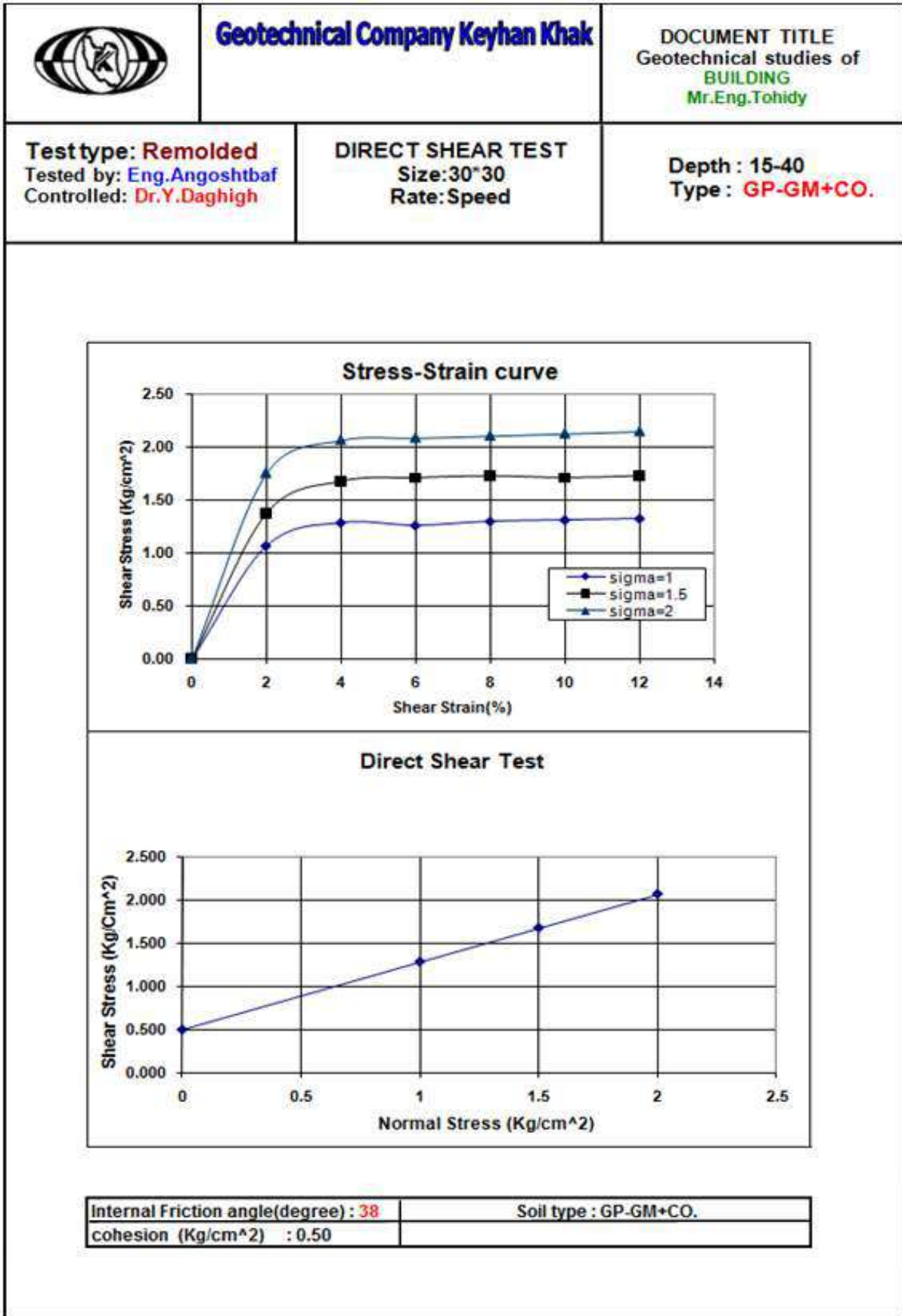
جدول ۲-۸) پارامترهای طراحی لایه‌های ماسه رسی سیلتی همراه با شن

GM	واحد	مشخصات لایه‌های پروفیل خاک	
90-95	%	درصد تراکم لایه‌های خاک	۱
21	KN/M <sup>3</sup>	وزن مخصوص طبیعی مرطوب ( $\gamma$ )	۲
5E+4	KN/M <sup>2</sup>	مدول الاستیسیته ( $E_{REF}$ )	۳
32	Degree	زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ )	۴
15	KN/M <sup>2</sup>	چسبندگی خاک (C)	۵
0.3	----	ضریب پواسون ( $\nu$ )	۶

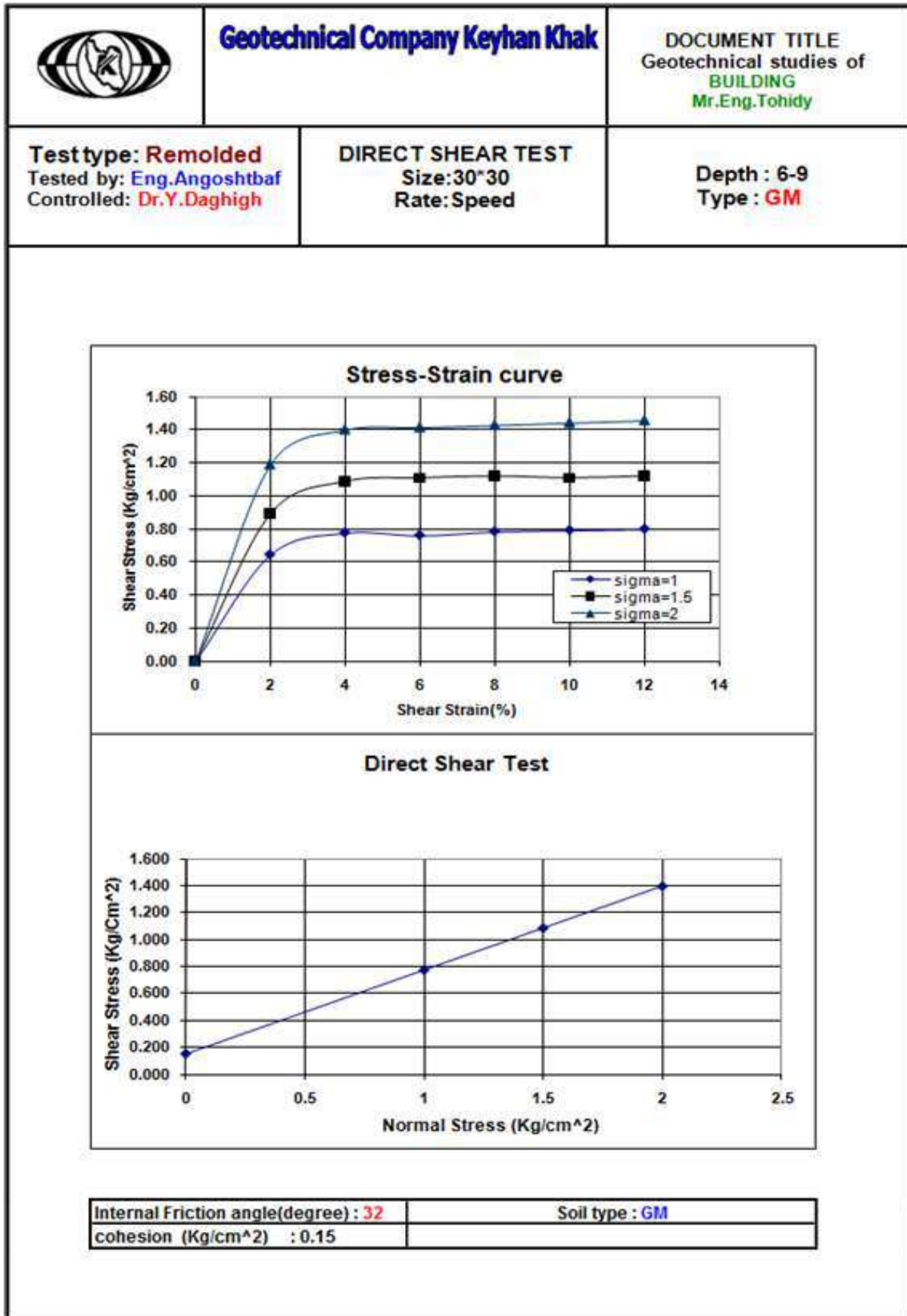
جدول ۲-۹) پارامترهای طراحی لایه‌های شن رس سیلتی همراه با ماسه

GP-GM+CO.	واحد	مشخصات لایه های پروفیل خاک	
95-100	%	درصد تراکم لایه های خاک	۱
21	KN/M <sup>3</sup>	وزن مخصوص طبیعی مرطوب ( $\gamma$ )	۲
6E+4	KN/M <sup>2</sup>	مدول الاستیسیته ( $E_{REF}$ )	۳
38	Degree	زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ )	۴
50	KN/M <sup>2</sup>	چسبندگی خاک (C)	۵
0.3	----	ضریب پواسون ( $\nu$ )	۶

جدول ۲-۱۰) پارامترهای طراحی لایه های درشت دانه قلوه سنگی و بستر سنگی



نمودار ۲-۲) نمونه ای از خروجی آزمایش برش مستقیم GP-GM+CO.



نمودار ۲-۳) نمونه ای از خروجی آزمایش برش مستقیم GM

تهران- نیاوران- پروژه ساختمانی ۱۲ طبقه (اداری- تجاری)



تصویر ۲-۴) نمایی از محل پروژه (در حال گمانه زنی با ماشین)

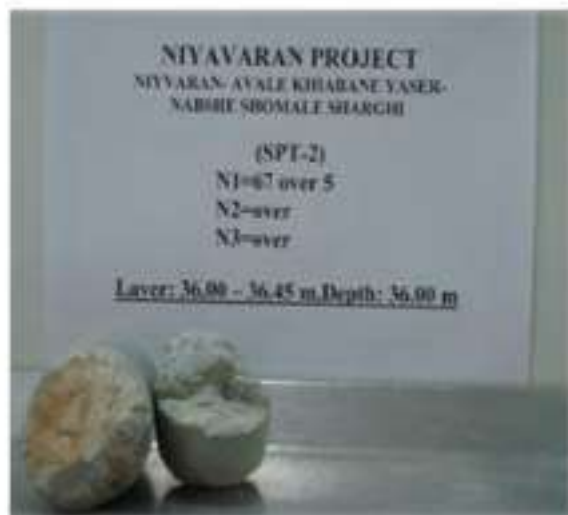


تصویر ۲-۵) نمایی از محل حفر گمانه



تصویر ۲-۶) تهران- نیاوران پروژه ساختمانی ۱۲ طبقه (نمونه‌های ماشینی)





تصویر ۲-۷) تهران- نیاوران پروژه ساختمانی ۱۲ طبقه (نمونه های ماشینی)

## ۲-۳-۲) روش نمونه برداری در پروژه شهری

برای شناسایی و بررسی لایه‌های خاک در محل احداث پروژه مورد نظر، یک حلقه گمانه دستی به عمق حدوداً هفت متری و یک گمانه ماشینی همراه با آزمایش SPT به عمق ۲۰ متر پیشنهاد و حفاری گردید و در حین حفاری جهت انجام آزمایشات لازم نمونه برداری گردید؛ در گمانه حفاری شده به سطح مشخصی از آب برخورد نگردید.

مطالعات مکانیک خاک پروژه مذکور با توجه به حفاری‌های دستی و ماشینی و نتایج آزمایشگاهی در منطقه مورد نظر که عموماً با بافت ریزدانه رسی سیلتی و در برخی موارد همراه با لایه‌های مختلف شن و ماسه سیلتی در عمق‌های پائین می‌باشد انجام گردیده است.

## ۲-۳-۲-۱) وضعیت لایه‌های خاک (شهری)

بطور کلی خاک تحت الارضی عمدتاً از نوع خاک ریز دانه رسی سیلتی همراه با کمی ماسه می‌باشد و میزان تراکم طبیعی لایه‌های خاک در لایه‌های فوقانی تا عمق ده متری نسبتاً کم بوده و در عمق‌های پائین تر از ده متر تراکم لایه‌های خاک نسبتاً خوب می‌باشد و در عمق ۱۶ و ۱۸ متری به لایه شن و ماسه ای برخورد می‌گردد؛ که در لوگ گمانه‌ها ارائه گردیده است. در کل لایه‌های خاک مطالعه شده در طبقه‌بندی سیستم متحد USCS جزو گروه‌های: SC, CL, SC-GC قرار می‌گیرند.

## ۲-۳-۲-۲) خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک (شهری)

با توجه به آزمایشهای صحرایی و آزمایشگاهی، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی قشرهای خاک

تحت الارضی تا عمق حفاری شده را می توان به شرح جداول زیر در نظر گرفت:

NO.	USCS	Depth	soil gradation			
			cobble	gravel	sand	finer
		m				
1	SC	2	0	16.8	49.2	34
2	CL	4	0	3.6	26.8	69.6
3	CL	6	0	1.8	13.4	84.8
4	CL	8	0	2.6	15.2	82.2
5	CL	10	0	2	13.6	84.4
6	CL	12	0	2	15.2	82.8
7	CL	14	0	2.2	15.2	82.6
8	SC/GC	16	0	31.6	31.4	37
9	SC/GC	18	0	31.6	31.1	37.3
10	SC/GC	20	0	32	29.7	38.3

جدول ۲-۱۱) نتیجه آزمایش SPT گمانه ماشینی (۲۰متری)

SC	واحد	مشخصات لایه‌های پروفیل خاک	
90-95	%	درصد تراکم لایه‌های خاک	۱
20	KN/M <sup>3</sup>	وزن مخصوص طبیعی مرطوب (γ)	۲
3E+4	KN/M <sup>2</sup>	مدول الاستیسیته (E <sub>REF</sub> )	۳
20	Degree	زاویه اصطکاک داخلی (φ)	۴
30	KN/M <sup>2</sup>	چسبندگی خاک (C)	۵
0.3	----	ضریب پواسون (ν)	۶

جدول ۲-۱۲) پارامترهای طراحی لایه‌های ماسه رسی

CL	واحد	مشخصات لایه‌های پروفیل خاک	
80-85	%	درصد تراکم لایه‌های خاک	۱
17	KN/M <sup>3</sup>	وزن مخصوص طبیعی مرطوب (γ)	۲
1.5E+4	KN/M <sup>2</sup>	مدول الاستیسیته (E <sub>REF</sub> )	۳
15	Degree	زاویه اصطکاک داخلی (φ)	۴
40	KN/M <sup>2</sup>	چسبندگی خاک (C)	۵
0.3	----	ضریب پواسون (ν)	۶

جدول ۲-۱۳) پارامترهای طراحی لایه‌های ماسه رسی سیلتی

SC-GC	واحد	مشخصات لایه های پروفیل خاک	
85-90	%	درصد تراکم لایه های خاک	۱
20	KN/M <sup>3</sup>	وزن مخصوص طبیعی مرطوب ( $\gamma$ )	۲
4E+4	KN/M <sup>2</sup>	مدول الاستیسیته ( $E_{REF}$ )	۳
25	Degree	زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ )	۴
30	KN/M <sup>2</sup>	چسبندگی خاک (C)	۵
0.3	----	ضریب پواسون ( $\nu$ )	۶

جدول ۲-۱۴) پارامترهای طراحی لایه های ماسه رسی همراه با شن

شهرری - خیابان فدائیان اسلام - پروژه ساختمانی ۹ طبقه (اداری-مسکونی)



تصویر ۲-۸) نمونه گیری با ماشین (به روش مغزه گیری)



تصویر ۲-۹) نمونه ها بعد از بیرون آوردن از استوانه نمونه گیر



تصویر ۲-۱۰) شهری- پروژه ساختمانی ۹ طبقه (نمونه‌های ماشینی)



تصویر ۲-۱۱) شهری- پروژه ساختمانی ۹ طبقه (نمونه های ماشینی)



## ۲-۴) روش اجرای نیلینگ

## دیباچه

میخکوبی در خاک عبارت است از: تسلیح انفعالی (یعنی بدون پیش تنیدگی) زمین موجود با نصب نزدیک به هم میلگردهای فولادی ( منظور میخکوبی در روش نیلینگ است)، که متعاقباً در دوغاب مدفون شوند. هنگامی که ساخت، از بالا تا پایین پیش می‌رود، برای ایجاد پیوستگی، شاتکریت یا بتن نیز در سطح گود به کار می‌رود. نوعاً میخ گذاری در خاک برای تثبیت گودها یا شیب‌هایی به کار می‌رود که ساخت بالا تا پایین در قیاس با دیگر شیوه‌های سیستم دیوار حائل، با صرفه‌تر و یا اجرایی‌تر باشد. در چنین شرایطی میخ گذاری یا همان روش نیلینگ Nailing از نقطه نظر امکان پذیری فنی، هزینه و مدت ساخت، در مقایسه با دیوارهای مهار شده در خاک جایگزین مناسب‌تری می‌باشد. این تکنیک برای گودبرداری در موارد خاک گونه (مانند سنگ نرم، سنگ هوازده) قابل کاربرد است.

در روش نیلینگ میخکوبی‌ها با زاویه بین ۱۰ تا ۲۰ درجه در زیر افق که در معرض تنش کششی هستند می‌باشد. چنین سیستم‌هایی برای تثبیت شیب‌های طبیعی و گودها به کار می‌روند. ( آیین نامه FHWA, 2003 ) کاربرد این سازه‌ها در سازه‌های دائمی یا موقتی می‌باشد؛ که بسته به عمر خدمت رسانی یا مدت استفاده از آن می‌توان به صورت موقت یا دائمی توصیف شود. یک سازه با عمر خدمت رسانی کوچکتر یا مساوی ۱۸ ماه، به عنوان موقت و با بیش از ۱۸ ماه به عنوان دائمی طبقه بندی می‌شود. که در این تحقیق هدف پایدار سازی گود می‌باشد که سازه با عمر خدمت پایین و موقت است مگر اینکه تاخیر قابل توجهی در ساخت سازه از پیش فرض شود تا سازه با ضریب اطمینان بیشتر در راستای سازه دائمی طراحی شود

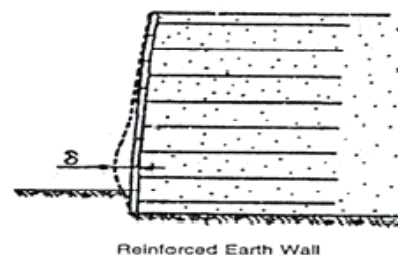
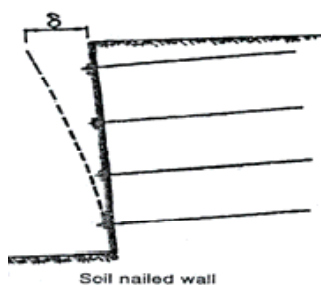


تصویر ۲-۱۲) نمایی از اجرای روش میخکوبی

## ۲-۴-۱) تشریح روش میخکوبی

خاک معمولاً مقاومت فشاری نسبتاً بالا و مقاومت کششی و برشی پایینی دارد. میخکوبی، خاک را مسلح نموده و بنابراین مقاومت کششی و برشی آن را افزایش می‌دهد. مجموعه حاصل از این روش مانند یک دیوار حائل وزنی عمل کرده و می‌تواند بعنوان یک سازه باربر عمل نماید.

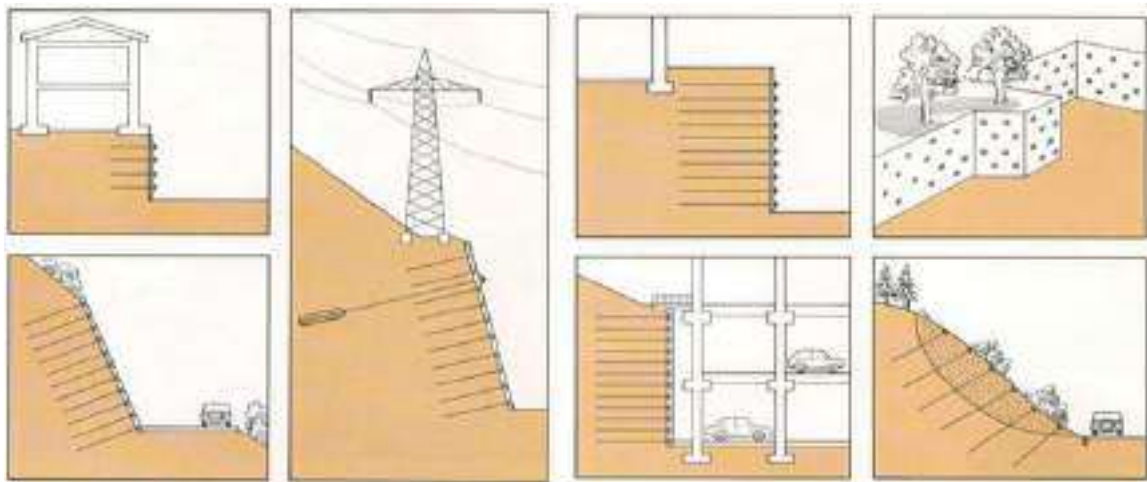
احداث خاک میخکوبی شده شامل مسلح کردن خاک در حین انجام عملیات حفاری و گود برداری، بوسیله یک سری میله می باشد که میخ نامیده می‌شوند. میخ ها ذاتاً در کشش کار کرده، غالباً به موازات یکدیگر می‌باشند و شیبی در حدود ۱۰ تا ۲۰ درجه دارند. همچنین تا حدی در خمش و برش کار می‌کنند؛ که کشش ایجاد شده درون آن ها ناشی از اصطکاک موجود بین خاک و میخ می باشد. اساس کار سیستم نیلینگ بر مبنای انتقال بار کششی به وجود آمده، از داخل میخ به خاک از طریق تنش برشی سطح مشترک آنها می‌باشد.



شکل ۲-۱) مقایسه تغییر مکان جانبی در یک دیوار میخ کوبی شده با یک دیوار خاک مسلح

از جمله موارد قابل استفاده از روش نیلینگ در خاک بشرح زیر است:

- (۱) پایدار سازی شیب و زمین لغزش،
- (۲) نگهداری و مقاوم سازی خاک اطراف مقطع تونلها،
- (۳) پایدار سازی دیواره گودهای عمیق،
- (۴) ساخت کوله پل ها،
- (۵) مهار دیوارهای نگهبان،
- (۶) ایجاد دیوارهای حائل دائمی،
- (۷) تعمیر و بازسازی دیوارهای مهاربندی و خاک مسلح،
- (۸) خاک برداری در شیب،
- (۹) تقویت پی سازه های موجود.



شکل ۲-۲) کاربرد های روش میخ کوبی

## ۲-۴-۲) اجزای اصلی میخکوبی خاک ها

۱- میله های فولادی: میله های فولادی توپر و آجدار (البته در نوع راد خود حفار تو خالی می باشد) جزء اصلی ساز و کار دیوار میخکوبی شده می باشد. این عناصر در سوراخ های قبلاً حفاری شده با دستگاه های حفاری، جا گذاری می شوند و بطور درجا با ملات احاطه می گردند. تنش کششی بطور مقاوم در پاسخ به تغییر شکل مصالح مسلح شده در خلال فعالیت خاکبرداری بعدی بر میخ ها اعمال می شود.



تصویر ۲-۱۳) میله‌های فولادی (Nail) در نوع خود حفاد و میلگرد سر رزوه

۲-ملات تزریقی: بعد از جایگذاری میله‌های فولادی در سوراخ حفر شده، ملات وارد حفره می‌شود؛ عملکرد اولیه ملات انتقال تنش از زمین به میله می‌باشد که درصد اختلات دوغاب بین ۰/۴ تا ۰/۵ می‌باشد. همچنین ملات تا اندازه ای برای میخ ایجاد حفاظت در مقابل خوردگی می‌نماید. این دوغاب توسط مجموعه دستگاه تزریق که شامل میکسر، همزن و پمپ می‌باشد به داخل گمانه تزریق می‌شود.



تصویر ۲-۱۴) دستگاه تزریق دوغاب؛ شامل میکسر، همزن و پمپ تزریق

۳-مه‌ره، و اش‌ر و صف‌حه باربر: این اج‌زا به سر نیل رزوه شده نصب می‌شود به این شکل که ابت‌دا صف‌حه باربر سپس واش‌ری که بر اساس زاویه نیل یک طرف صاف و طرف دی‌گر بصورت مایل برش خورده اند و

سپس مهره که بر اساس سایز رزوه سر نیل بر ابتدای نیل قرار داده می شود تا صفحه و مهره محکم به سطح شاتکریت متصل شود.



تصویر ۲-۱۵) نمایی از سر نیل رزوه شده و مجموعه صفحه باربر، واشر و مهره

۴- رویه دائمی و موقت: به این صورت است که با قرار دادن مش (شبكة سیمی جوش شده) روی سطح خاک، سپس اجرای شاتکریت این رویه ایجاد می شود، که این رویه بین ۱۰ تا ۲۵ سانتیمتر می باشد. اگر نیاز به رویه دائمی بود بعد اینکه میخ ها نصب گردیدند و مهره و واشر نصب روی آن متصل شدند بروی نمای موقت قرار می گیرد.



تصویر ۲-۱۶) نمایی از اجرای شاتکریت و اتصال صفحه باربر به صفحه شاتکریت

۶- نوارهای زهکشی ژئوکامپوزیت: نوارهای زهکشی ژئوکامپوزیت قبل از اجرای رویه موقت مستقر می گردند تا اجازه جمع آوری و انتقال زه آب که ممکن به سمت رویه موقت حرکت کنند فراهم نشود.

۷- حفاظت از خوردگی: روش های مختلفی جهت محافظت در برابر خوردگی وجود دارند که بیشتر

برای سازه هایی که عمر سرویس بالاتری می باشند ضروری است که از لحاظ سیستم کاری به شکل زیر قابل طبقه بندی می باشد.

- استفاده از صفحات پلاستیکی که دارای گریس ضد خوردگی می باشند،

- استفاده از پوشش های اپوکسی و مخلوط سیمان و یا لوله های تو خالی منقبض شونده در اثر حرارت،

- اندود کردن سطح خارجی فولاد بوسیله رزین های اپوکسی و یا بوسیله آبکاری،

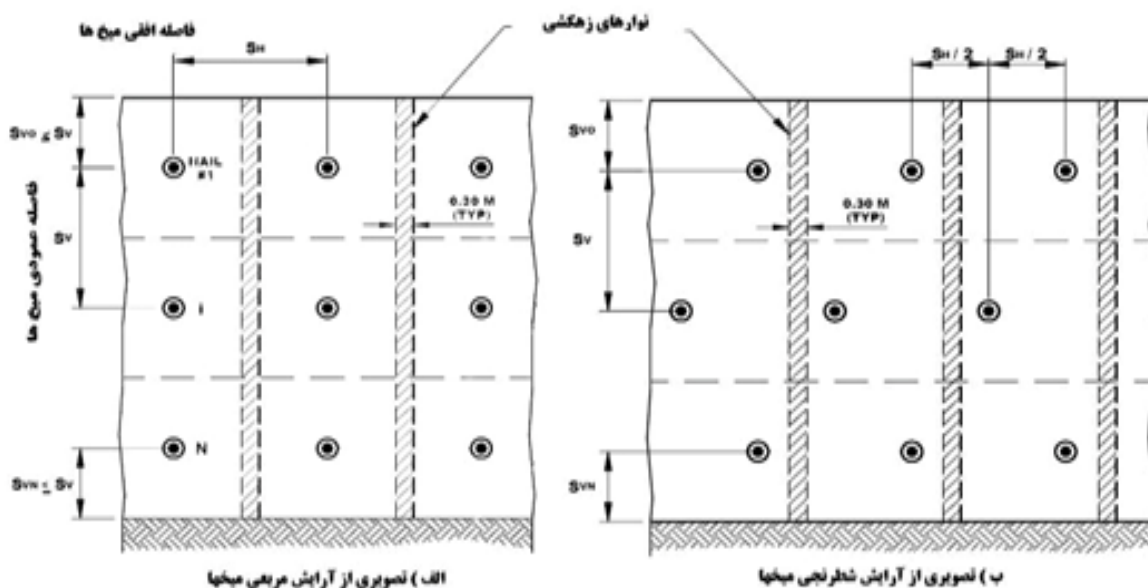
- استفاده از پوشش های پلاستیکی و یا لوله های فلزی که میله در داخل آن قرار می گیرد که درون لوله ها با دوغاب پر می شود.

روش میخکوبی ایمن ترین روش حفاظت از گود در مقایسه با سایر روش های تثبیت و پایدار سازی

ترانشه های خاکی می باشد که این امر ناشی از خاکبرداری مرحله به مرحله و تثبیت هر مرحله از گود با

استفاده از ردیف میخ های مربوط به آن مرحله و سپس انجام عملیات خاکبرداری مرحله بعدی می باشد، لذا

در هر رقوم ارتفاعی از گودبرداری تا تراز ما قبل آن عمل پایدار سازی گود به طور کامل انجام شده است.

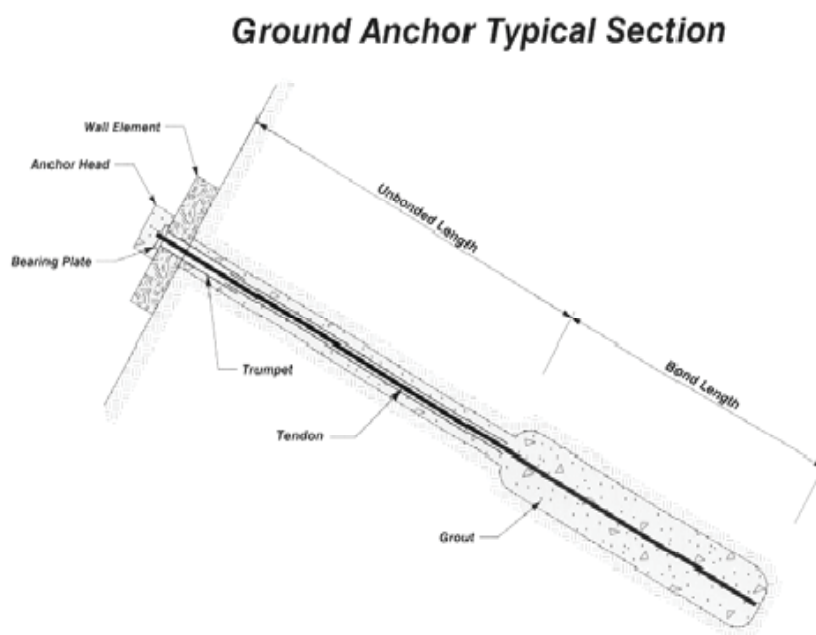


شکل ۲-۳) روش های آرایش میخ ها

## ۲-۴-۳) تجهیزات و مصالح مورد نیاز برای عملیات Nailing

تجهیزات مورد نیاز: برای احداث دیوارهای میخکوبی شده شامل مواردی همچون ماشین آلات حفاری، دستگاه کمپرسور برای دستگاه حفاری، دستگاه شاتکریت برای ساخت دیوار بتنی موقت، وسایل نصب و اجرای دیوار بتنی درجا قالب بندی شده یا پیش ساخته برای دیوار دائمی، دستگاه کشش نیل در صورت وجود نیل نیاز به کشش بصورت آنکیر می باشند.

مصالح مورد نیاز: میخ ها که می تواند میلگرد سر رزوه شده آجدار یا راد خود حفار باشد، سیستم حفاظت در برابر خوردگی، سیمان و افزودنی سیمان و ماسه ( برای دوغاب و اجرای شاتکریت) و سیستم های متصل کننده سر میخ ( صفحه اتکا، واشر، مهره) به دیوار نما می شوند.



شکل ۲-۴) اجزاء یک نمونه از نیل که بصورت آنکیر اجرا شده

منظور از Anchor Nail میخی است که در قسمتی از انتهای آن تزریق انجام می شود سپس در این مورد نیل با جک کشش که به ابتدای نیل متصل است کشیده می شود و مهره سفت می شود تا نیل با خاک در حالت فعال درگیر شود.

## ۲-۴-۴) انواع میخ

میخ ها عمدتاً آرماتورهایی از جنس فولاد یا سایر فلزات هستند که قابلیت تحمل برش، خمش و کشش را دارند. برای نصب میخ ها معمولاً آنها در سوراخ هایی از پیش حفاری شده قرار می دهند و سپس در سرتاسر طول آنها یا در بخشی از طول آن ها (در حالت Anchor که کشش روی نیل ها انجام می گیرد) دوغاب که معمولاً به نسبت ۲ به ۱ می باشد تزریق می کنند یا در صورت نیل خودحفر در زمین کوبیده می شود.

از نظر روش های نصب میخ ها را می توان به ۴ گروه تقسیم نمود:

۱) میخ های کوبشی (Driven nails): که دارای قطر کمی (از ۱۵ تا ۴۶ میلیمتر) می باشد و از جنس

فولاد نرمه با مقاومت تسلیم  $350 \text{ Mpa}$  می باشند. این میخ ها توسط چکش لرزه های بادی یا هیدرولیکی نصب شده روی دستگاه حفاری نصب می شوند و نیازی به حفاری اولیه ندارند. بطور کلی نصب و اجرای میخ های کوبشی سریع و ارزان است و در زمین هایی با جنس خاک ریزشی بسیار کار آمدند. البته محدودیت هایی نیز در استفاده از این نوع میخ وجود دارد که از آن جمله به محدود بودن حداکثر طول میخ به حدود ۲۰ متر و تزریق نه چندان موفق آن و عدم امکان استفاده در زمین هایی با تخته سنگ و قلوه اشاره کرد.

۲) میخ های تزریقی (Grouted nails): که قطر آنها بین ۱۵ تا ۴۶ میلیمتر می باشد. مقاومت تسلیم آن

ها  $420 \text{ Mpa}$  می باشد. این میخ ها در سوراخ های از پیش حفاری شده به قطر ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر با فواصل افقی و قائم ۱ تا ۳ متر نصب می شوند؛ سپس کنار میخ ها دوغاب تزریق می شود که این دوغاب یا ثقلی ریخته می شود یا با فشار کم تزریق می شود.

۳) میخ های تزریقی با فشار بالا (Jet – grouted nails): ترکیبی از خاک و دوغاب به همراه یک میله

فولادی در وسط آن می باشد. ضخامت آن ها به ۳۰ تا ۴۰ سانتیمتر می رسد، تزریق از طریق مجرای



باریکی (در حد چند میلیمتر) که در داخل میله مسطح کننده وجود دارد انجام می گیرد و فشار تزریق به حدی زیاد می باشد که سبب پدید آمدن گسیختگی هیدرولیکی در اطراف میله تسلیح می گردد. تکنیک نصب میخ ها با روش تزریق تحت فشارهای بالا باعث تراکم بیشتر خاک می گردد و قطر موثر میخ و مقاومت از جا در آمدگی آن را به مقدار زیادی افزایش می دهد.

۴) میخ های شلیکی (Launched nails): در این روش میخ توسط یک پمپ هوایی قوی درون خاک شلیک می شود. نصب میخ ها به وسیله این روش سریع، انعطاف پذیر و اقتصادی می باشد. میخ ها با سرعت ۳۲۰ کیلومتر در ساعت به درون خاک شلیک می شوند و در زمان نفوذ خاک اطراف خود را کمی متراکم می کنند. این روش عمدتاً برای پایدار سازی شیب ها و سیستم های حایل استفاده می گردد.



تصویر ۲-۱۷) روش میخکوبی به روش شلیک میخ

#### ۲-۴-۵) مراحل انجام عملیات میخکوبی

مرحله ۱) خاکبرداری: خاکبرداری اولیه تا عمقی صورت می گیرد که خاک قادر باشد برای یک دوره زمانی کوتاه به طور معمول ۲۴ تا ۴۸ ساعت بدون مهار باقی بماند. عمق برداشت خاک معمولاً بین ۱ تا ۲

متر و به زیر تراز می‌خ‌ها نصب خواهند شد می‌رسد. عرض سکوی خاکبرداری شده باید جهت استقرار تجهیزات کافی باشد.

مرحله ۲) حفر سوراخ میخ‌ها: سوراخ‌ها با طول، قطر، شیب و فاصله افقی معین از روی سکوی خاکبرداری شده حفر می‌شوند.



تصویر ۲-۱۸) عملیات حفر سوراخ

مرحله ۳) نصب میخ و ملات ریزی: میله میخ در سوراخ از پیش حفاری شده مستقر می‌گردد و میله‌ها اغلب تو پر هستند (بجر در نوع خود حفار) و آجدار به منظور درگیری بیشتر با خاک، که این آرماتورها که ابتدایشان رزوه شده است همراه با لوله پلی اتیلن که با سیم به نیل محکم شده اند (جهت تزریق تا انتهای میخ) و همچنین با قرار دادن Spacer ها (به منظور احاطه دوغاب اطراف نیل) درون گمانه حفاری شده قرار داده می‌شوند.

سپس دهانه گمانه با گچ یا ملات دیگر بسته می‌شود بطوری که لوله پلی اتیلن تزریق و لوله ای جهت مشاهده برگشت دوغاب (که کافیست ۱ متر در داخل گمانه باشد) و سر رزوه شده نیل بیرون از سطح خاک باقی بماند. سپس دوغاب ابتدا بصورت ثقیلی از لوله ای که تا انتهای نیل رفته تزریق ثقیلی می‌شود و سپس با

مشاهده برگشت دوغاب از لوله برگشت، لوله برگشت بسته می‌شود و اگر نیاز به تزریق با فشار بود، با فشار ۴ الی ۵ بار تزریق ادامه می‌یابد تا تزریق فشار بگیرد و دوغاب به اطراف نیل و خاک نفوذ کامل کند.

مرحله ۴) ساخت پوسته بتن پاشی موقت: اغلب پوسته‌های موقت شامل یک لایه بتن پاشیده که بصورت سبک مسلح شده و دارای ضخامت ۱۰ سانتی متر می‌باشند. که این تسلیح شامل شبکه سیمی جوش داده شده WWM<sup>۱</sup> که تقریباً در وسط ضخامت پوسته مستقر می‌شود می‌باشد. بعد از زمان گیرش مناسب صفحه باربر بروی سر میخ رزوه شده با واشر و مهره بروی سطح شاتکریت محکم می‌شود. برای گیرش حداقل ۲۴ ساعت لازم است که برای اقدام به برداشت خاک در مرحله بعد، بتن پاشیده باید حداقل ۷۲ ساعت زمان گیرش داشته یا حداقل مقاومت فشاری مشخصه ۳ روزه (عموماً  $1500\text{psi}=10.5\text{Mpa}$ ) را دارا باشد.



تصویر ۲-۱۹) نصب شبکه فلزی قبل از بتن پاشی

مرحله ۵) اجرای تراز بعدی: مرحله ۱ تا ۴ برای خاکبرداری باقی مانده تکرار می‌شود. در هر برداشت خاک نوارهای زهکشی در صورت لزوم به سمت پایین و بر روی سطح خاکبرداری بعدی باز می‌شود و یک پانل جدید WWM با هم پوشانی حداقل به اندازه یک چشم پانل استقرار می‌یابد. بتن پاشیده به این شکل با سطح شاتکریت مرحله قبل متصل می‌گردد. در پایین گودبرداری نوارهای زهکشی به زهکشی قسمت پنجه متصل می‌شوند.

<sup>۱</sup>Welded wire mesh

مرحله ۶) ساخت پوسته دائمی نهایی: بعد از اینکه گودبرداری به انتها رسید و میخ‌ها نصب و بارها توزیع شد، ممکن است در صورت نیاز و در خواست کارفرما پوسته نهایی اجرا شود. پوسته نهایی ممکن است از بتن مسلح درجا یا بتن پاشیده مسلح یا پنل‌های پیش ساخته تشکیل شده باشد

## ۲-۴-۶) زهکشی دیوارهای میخکوبی شده

سطح ایستایی آب یکی از مهمترین پارامترهای مهندسی است که بر سیستم میخکوبی شده تاثیر قابل توجهی دارد، هدف از سیستم زهکشی عبارتند از:

الف) از ایجاد فشار هیدرواستاتیکی اضافی بر روی سطح دیوار نما جلوگیری کند،

ب) از تخریب دیوار نما در اثر تماس با آب جلوگیری کند،

ج) از اشباع خاک میخکوبی شده که باعث بوجود آمدن تغییر مکان اضافی یا احتمالاً ناپایداری در کل سازه جلوگیری کند.

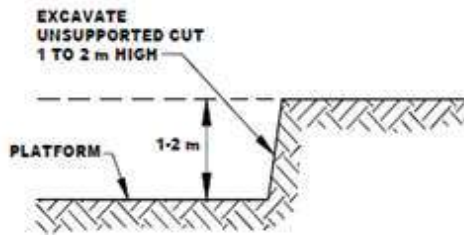
از جمله سیستم زهکشی عبارتند از:

زهکشی نواری<sup>۱</sup> که درون لایه شاتکریت قرار داده می‌شود؛ در مورد سازه‌های خاکی دائمی با قطعات دیوار پیش ساخته می‌توان از زهکشی پیوسته بوسیله ژئوتکستایل در پشت دیوار استفاده نمود.

گلوله‌های پلاستیکی سوراخ دار<sup>۲</sup> که این لوله‌های زهکشی کمی به سمت پایین شیب دارند و برای زهکشی عمیق زمین میخکوبی استفاده می‌شود.

<sup>۱</sup> Strip Drains

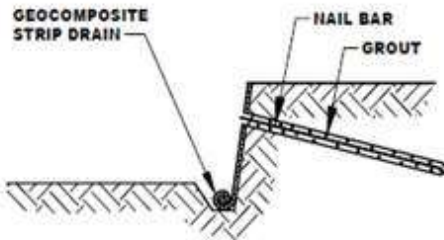
<sup>۲</sup> Perforated Weeps



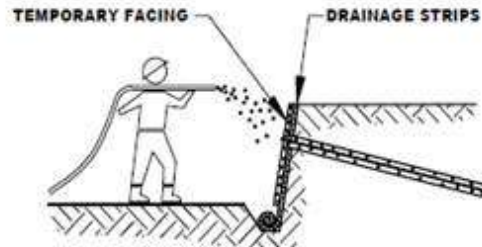
STEP 1. EXCAVATE SMALL CUT



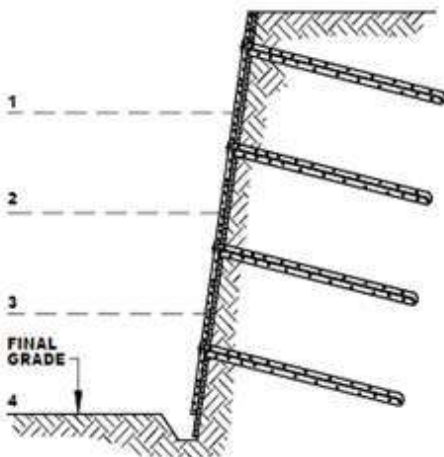
STEP 2. DRILL NAIL HOLE



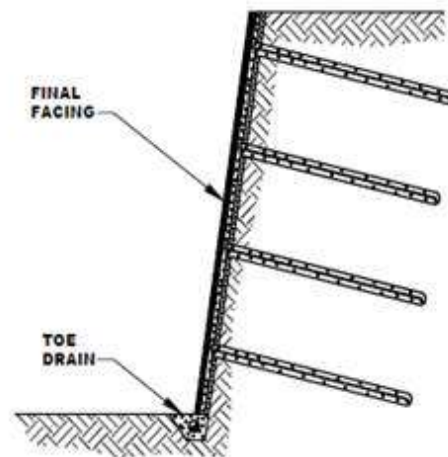
STEP 3. INSTALL AND GROUT NAIL  
(INCLUDES STRIP DRAIN INSTALLATION)



STEP 4. PLACE TEMPORARY FACING  
(INCLUDES SHOTCRETE,  
REINFORCEMENT,  
BEARING PLATE, HEX NUT, AND  
WASHERS INSTALLATION)

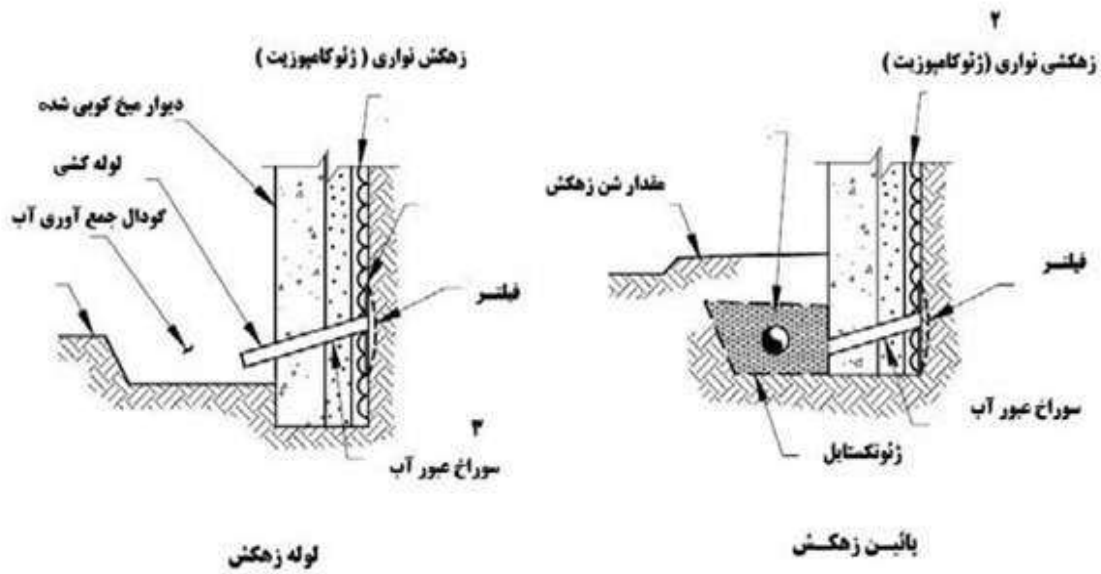


STEP 5. CONSTRUCTION OF  
SUBSEQUENT LEVELS



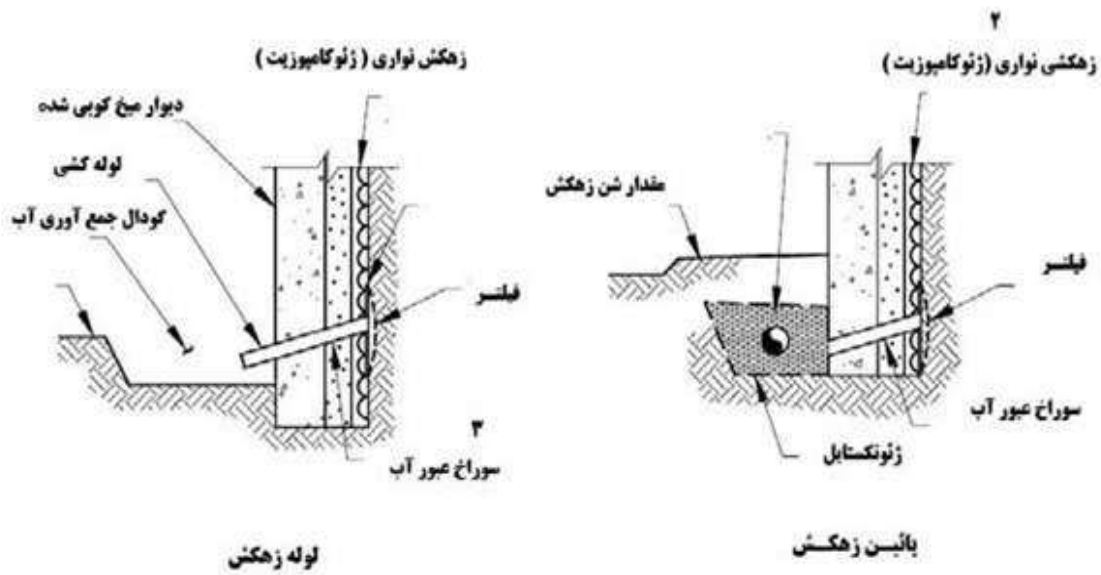
STEP 6. PLACE FINAL FACING  
ON PERMANENT WALLS  
(INCLUDES BUILDING  
OF TOE DRAIN)

شکل ۲-۵) شکل مرحله ای و شماتیک اجرای نیلینگ



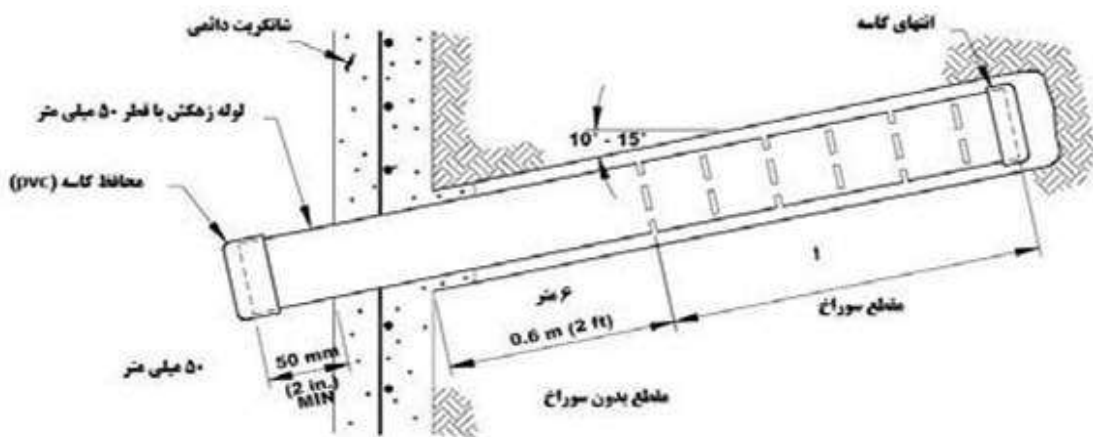
لوله زهکشی

باینس زهکشی



لوله زهکشی

باینس زهکشی



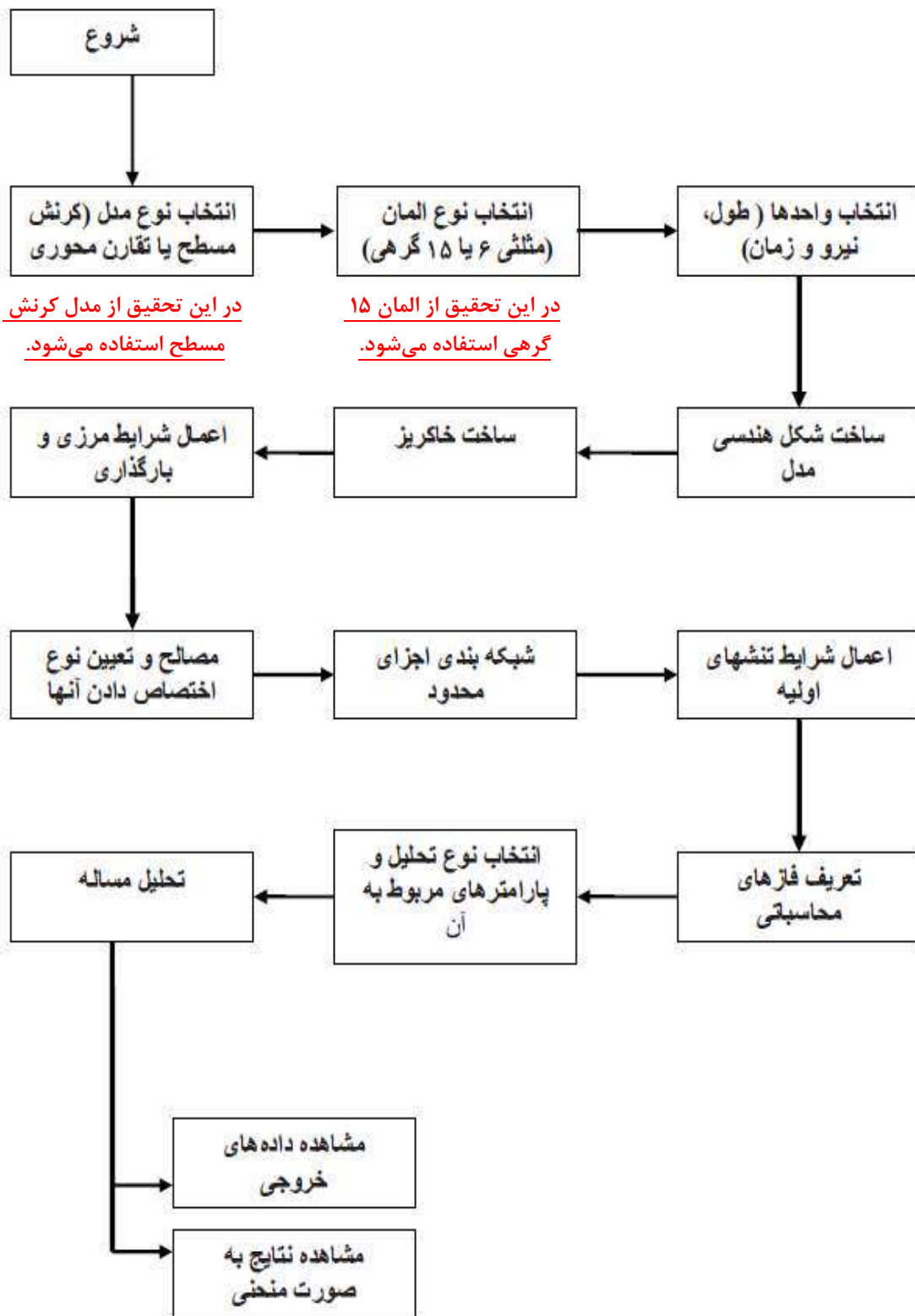
شکل ۲-۶ جزئیات زهکشی نواری و لوله های زهکشی

## ۲-۵) تشریح نرم افزار PLAXIS

نرم افزار Plaxis یک برنامه کامپیوتری مبتنی بر روش عددی اجزاء محدود با هدف اختصاصی جهت تحلیل مسائل مربوط به خاک و سنگ می باشد. پیدایش و گسترش Plaxis از سال ۱۹۸۷ در دانشگاه صنعتی دلفت (DELFT) در کشور هلند آغاز گردید. این نرم افزار حاصل ابتکار و نوآوری دانشکده مدیریت آب دانشگاه مذکور با هدف کاربری آسان روش عددی اجزاء محدود جهت تحلیل سدهای خاکی مستقر بر خاکهای نرم کشور هلند بوده است. در سالهای بعد Plaxis برای استفاده در سایر مسائل مهندسی ژئوتکنیک رشد و ترقی بیشتری نمود. بنابراین با توجه به تکامل روزافزون این نرم افزار شرکتی تحت عنوان (Plaxis Bv) در سال ۱۹۹۳ تاسیس گردید؛ که توانست با همکاری محققان دیگر کشورها تحت کنسرسیوم (CUR) به تحقیق و توسعه آن پردازد. لازم به ذکر است بیش از ۳۰ شرکت اروپایی در این کنسرسیوم حضور دارند.

هدف اصلی از کامل سازی Plaxis این است که یک ابزار مناسب برای تحلیل عملی و کاربردی جهت مهندسان ژئوتکنیک که الزاماً در روش های عددی مختص نیستند فراهم گردد. این در حالی است که مهندسان عمدتاً اجزاء محدود غیر خطی را که مستلزم انجام عملیات پرزحمت همراه با صرف زمان طولانی برای یک تحلیل مناسب می باشد را در نظر می گیرند.

روند کلی برای انجام یک تحلیل عبارتست از: ابتدا رسم شکل هندسی، سپس اضافه نمودن لایه های خاک، اضافه نمودن اجزاء سازه ای، ایجاد شرایط مرزی، و سرانجام بارگذاری است. با استفاده از این روش می توان متوجه شد که کلیه آپشن های مورد نیاز در مورد این مدل بکار گرفته شده اند. البته لازم به ذکر است که کلیه پارامترها در مورد همه مسائل قابل کاربرد نیستند. به طور مثال ایجاد فشار آب هنگامی که خاک کاملاً خشک می باشد مورد نیاز نیست. همچنین چنانچه بعضی از ورودی های ضروری اعمال نشده باشد نرم افزار پیغام اخطار خواهد داد.



شکل ۲-۷) فلوچارت مراحل ساخت و اجرای یک مدل توسط نرم افزار Plaxis



## ۲-۶) بررسی نتایج آزمایشات خاک سایت های مورد مطالعه و مشخصات نیلینگ

در زیرفصل ۲-۱، ۲-۲ و ۳-۲ به تفصیل راجع به سایت مورد مطالعه، چگونگی برداشت نمونه ها و انجام آزمایشات درجا و آزمایشگاهی و کسب اطلاعات کافی در زمینه خاک دو پروژه مذکور بحث گردید. در این بخش ابتدا در مورد عمق گود هر پروژه و اطلاعات خاک ورودی به نرم افزار شرح داده می شود، سپس با نرم افزار PLAXIS سعی بر آن می شود طراحی نیلینگ در انواع سربارهای فرضی در اطراف گود مدل سازی گردد تا به نتیجه ای مناسب در جهت هدف تحقیق دست یابیم.

### ۲-۶-۱) پروژه نیاوران

#### ۲-۶-۱-۱) مشخصات خاک پروژه نیاوران

طبق تشریح پروژه در زیرفصل ۲-۱، این پروژه دارای گودی به عمق ۱۵ متر که ۵ طبقه زیر زمین می باشد است که طبق اطلاعات خاک منطقه ۳ لایه خاک برای طراحی فرض می گردد که عبارتند از: SC/SM, GM, GP-GM+CO. که طبق گمانه های زده شده با توجه به تفاوت تراز گمانه (گمانه ۱۸ متری ۶ متر ترازش بالا تر از گمانه ۴۰ متری است) در گمانه شماره یک هم بعد از ۱۸ متر لایه های قلوه سنگ قابل پیش بینی است.

از آنجایی که سطح زمین در ضلع جنوبی ساختمان در تراز پایین تر در نظر گرفته شده است (البته ۶ متر تراز بالایی هم نیاز به گود برداری و اجرای نیلینگ دارد) ملاک ورودی اطلاعات خاک گمانه شماره ۲ به عمق ۴۰ متر می باشد ولی با نگاهی به گمانه اول در جهت اطمینان تا ۸ متری SC/SM در نظر گرفته می شود.

Depth	USCS Classification	Soil Properties
0 to 8 M	SC/SM	$E_{ref}$ 3E+4 KN/M <sup>2</sup> $C$ 30 KN/M <sup>2</sup> $\phi$ 27 Degree $\gamma_{unsat}$ 20 KN/M <sup>3</sup> $\gamma_{sat}$ 22 KN/M <sup>3</sup> $\nu$ 0.3 -----
8 to 15 M	GM	$E_{ref}$ 5E+4 KN/M <sup>2</sup> $C$ 15 KN/M <sup>2</sup> $\phi$ 32 Degree $\gamma_{unsat}$ 21 KN/M <sup>3</sup> $\gamma_{sat}$ 22 KN/M <sup>3</sup> $\nu$ 0.3 -----
15 to 40 M	GP-GM + CO.	$E_{ref}$ 6E+4 KN/M <sup>2</sup> $C$ 50 KN/M <sup>2</sup> $\phi$ 38 Degree $\gamma_{unsat}$ 21 KN/M <sup>3</sup> $\gamma_{sat}$ 21 KN/M <sup>3</sup> $\nu$ 0.3 -----

جدول ۲-۱۵) مشخصات خاک لازم برای مدل سازی پروژه نیاوران

۲-۶-۱-۲) مشخصات حفاری، نیل و شاتکریت پروژه نیاوران

قطر سوراخ گمانه: ۱۰ سانتی متر

قطر میلگرد: ۲۵ میلیمتر

ضخامت شاتکریت: ۱۰ سانتی متر

$$\text{شاتکریت} \left\{ \begin{array}{l} A = b \cdot t = 1 \times 0.1 = 0.1 \text{ m}^2 \\ I = \frac{1}{12} b \cdot t^3 = \frac{1}{12} \times 1 \times 0.1^3 = 8.3E-5 \text{ m}^4 \end{array} \right.$$

$$\text{میلگرد} \left\{ \begin{array}{l} A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 0.025^2}{4} = 4.91E-4 \text{ m}^2 \\ I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi \times 0.025^4}{64} = 1.91E-8 \text{ m}^4 \end{array} \right.$$

$$E_c = 2.1E+7 \text{ KN/m}^2$$

$$E_{st} = 2.1E+8 \text{ KN/m}^2$$

واحد	مقدار	پارامتر
----	الاستیک	نوع رفتار مصالح
$KN/m$	$2.1E+6$	(EA) صلبیت محوری (نرمال)
$KNm^2/m$	$1.74E+3$	(EI) صلبیت خمشی
$m$	$0.1$	(d) ضخامت معادل
$KN/m/m$	$2.4$	(w) وزن واحد حجم
----	$0.15$	(v) ضریب پواسون

جدول ۲-۱۶) مشخصات سطح شاتکریت-المان Plate

واحد	مقدار	پارامتر
----	الاستیک	نوع رفتار مصالح
$KN/m$	$5.15E+4$	(EA) صلبیت محوری (نرمال)
$KNm^2/m$	$4.02/4=1$	(EI) صلبیت خمشی /فاصله افقی
$m$	$0.015$	(d) ضخامت معادل
----	$0.3$	(v) ضریب پواسون

جدول ۲-۱۷) مشخصات جنس نیل برای  $S_h=4$ -المان Plate

\*برای تبدیل فضای 2D به 3D و لحاظ فاصله افقی نیل ها صلبیت خمشی به فاصله افقی تقسیم می گردد.

۲-۶-۲) پروژه شهری

۲-۶-۲-۱) مشخصات خاک پروژه شهری

طبق تشریح پروژه در زیرفصل ۲-۱، این پروژه دارای گودی به عمق ۱۲ متر که ۴ طبقه زیر زمین

می باشد است که طبق اطلاعات خاک منطقه ۳ لایه خاک برای طراحی فرض می گردد که عبارتند از:

SC,CL,SC-GC که برای مطالعات ژئوتکنیک یک حلقه گمانه دستی به عمق حدوداً هفت متری و یک

گمانه ماشینی به عمق ۲۰ متر حفاری شد.

Depth	USCS Classification	Soil Properties
0 to 4 M	SC	$E_{ref}$ 3E+4 KN/M <sup>2</sup> C 30 KN/M <sup>2</sup> $\phi$ 20 Degree $\gamma_{unsat}$ 20 KN/M <sup>3</sup> $\gamma_{sat}$ 21 KN/M <sup>3</sup> v 0.3 -----
4 to 16 M	CL	$E_{ref}$ 1.5E+4 KN/M <sup>2</sup> C 40 KN/M <sup>2</sup> $\phi$ 15 Degree $\gamma_{unsat}$ 17 KN/M <sup>3</sup> $\gamma_{sat}$ 20 KN/M <sup>3</sup> v 0.3 -----
16 to 20 M	SC/GC	$E_{ref}$ 4E+4 KN/M <sup>2</sup> C 30 KN/M <sup>2</sup> $\phi$ 25 Degree $\gamma_{unsat}$ 20 KN/M <sup>3</sup> $\gamma_{sat}$ 21 KN/M <sup>3</sup> v 0.3 -----

جدول ۲-۱۸) مشخصات خاک لازم برای مدل سازی پروژه شهری

۲-۲-۶-۲) مشخصات حفاری، نیل و شاتکریت پروژه شهری

قطر سوراخ گمانه: ۱۰ سانتی متر

قطر میلگرد: ۴۰ میلیمتر

ضخامت شاتکریت: ۲۰ سانتی متر

$$\text{شاتکریت} \left\{ \begin{array}{l} A = b \cdot t = 1 \times 0.2 = 0.2 \text{ m}^2 \\ I = \frac{1}{12} b \cdot t^3 = \frac{1}{12} \times 1 \times 0.2^3 = 6.66E-4 \text{ m}^4 \end{array} \right.$$

$$\text{میلگرد} \left\{ \begin{array}{l} A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 0.04^2}{4} = 1.25E-3 \text{ m}^2 \\ I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi \times 0.04^4}{64} = 1.25E-7 \text{ m}^4 \end{array} \right.$$

$$E_c = 2.1E+7 \text{ KN/m}^2$$

$$E_{st} = 2.1E+8 \text{ KN/m}^2$$

واحد	مقدار	پارامتر
----	الاستیک	نوع رفتار مصالح
$KN/m$	$4.2E+6$	(EA) صلبیت محوری (نرمال)
$KNm^2/m$	$1.4E+4$	(EI) صلبیت خمشی
$m$	$0.2$	(d) ضخامت معادل
$KN/m/m$	$2.4$	(w) وزن واحد حجم
----	$0.15$	(v) ضریب پواسون

جدول ۲-۱۹) مشخصات سطح شاتکریت-المان Plate

واحد	مقدار	پارامتر
----	الاستیک	نوع رفتار مصالح
$KN/m$	$1.75E+5$	(EA) صلبیت محوری (نرمال)
$KNm^2/m$	$26.25$	(EI) صلبیت خمشی /فاصله افقی
$m$	$0.042$	(d) ضخامت معادل
----	$0.3$	(v) ضریب پواسون

جدول ۲-۲۰) مشخصات جنس نیل برای  $S_h=1$ -المان Plate

\*برای تبدیل فضای 2D به 3D و لحاظ فاصله افقی نیل ها صلبیت خمشی به فاصله افقی تقسیم می گردد.

۷-۲) محاسبه بار سربار

براجا.ام.داس، سال ۱۳۸۵، کتاب مکانیک خاک. ترجمه شاپور طاحونی به شکل زیر محاسبه سربار را بیان می کند:

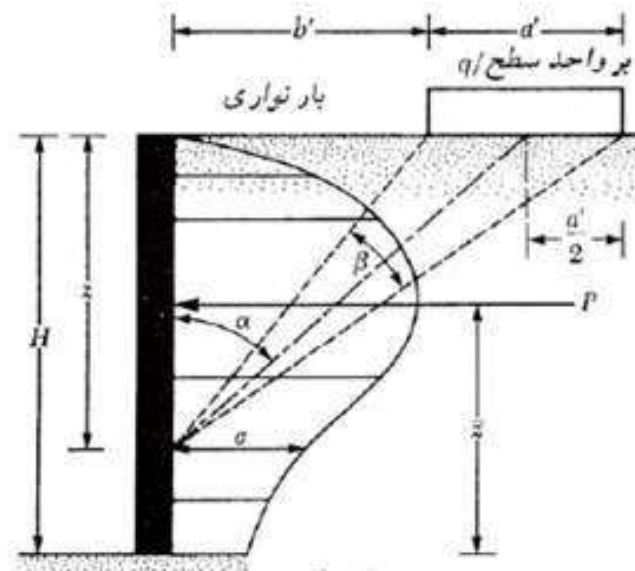
$$\sigma_v = \sigma_{v_1} + \sigma_{v_2}$$

$\sigma_v$  فشار قائم :

$\sigma_{v_1}$  فشار قائم ناشی از وزن خاک :

$\sigma_{v_2}$  فشار قائم ناشی از سربار :

$$\text{نظریه لایبا و کندی (Laba \& Kenedy)} \begin{cases} \sigma_{v_2} = \frac{qa'}{a'+z} & \text{if } z \leq 2b' \\ \sigma_{v_2} = \frac{qa'}{a' + \frac{z}{2} + b'} & \text{if } z > 2b' \end{cases}$$



$a'$ : عرض بار  
 $b'$ : فاصله لبه جداره گود با بار

شکل ۲-۸) فشارهای وارده از سربار به دیواره خاکبرداری

$\sigma_a$  فشار افقی :

$\sigma_{a_1}$  فشار افقی ناشی از وزن خاک در حالت سکون :

$\sigma_{a_2}$  فشار افقی ناشی از وزن سربار :

طبق تئوری لایبا و کندی:

$$\sigma_{a_2} = M \left( \frac{2q}{\pi} (\beta - \sin\beta \cos 2\alpha) \right)$$

$$M = 1.4 - \frac{0.4b'}{0.14H} \geq 1$$

در صورتی که مجبور به استفاده از ماشین آلات سنگین در اطراف گود بودیم از جدول زیر در شکل زیر برای اعمال بار معادل استفاده می کنیم:

اندازه و پهنای بار تواری  $p'$   
در تابعیت از کل وزن

کل وزن دستگاه	بار نوار اضافه بر $p'$		پهنای بار تواری $p'$
	فاصله	بدون فاصله	
10t	50 kN/m <sup>2</sup>	20 kN/m <sup>2</sup>	1.50 m
30t	110 kN/m <sup>2</sup>	40 kN/m <sup>2</sup>	2.00 m
50t	140 kN/m <sup>2</sup>	50 kN/m <sup>2</sup>	2.50 m
70t	150 kN/m <sup>2</sup>	60 kN/m <sup>2</sup>	3.00 m

شکل ۲-۹) اندازه و پهنای بار معادل ماشین آلات سنگین در اطراف گود

## ۲-۸) ضریب اطمینان پایداری

در صفحه ۹۶ آیین نامه FHWA تصریح می کند که ضریب اطمینان پایداری مورد نظر معمولاً بین ۱/۲ تا ۱/۳ می باشد. در جهت اطمینان بیشتر ضریب اطمینان حداقل ۱/۳ برای طراحی و مدلینگ نیلینگ در دو پروژه مورد مطالعه در این تحقیق در نظر گرفته خواهد شد.

## ۲-۹) چگونگی اعمال سربار در پروژه های مورد مطالعه

در این تحقیق همانطور که در اهداف تحقیق مطرح گردید هدف بررسی شعاع موثر تاثیر سربار از لبه گود و میزان تاثیر سربار می باشد.

بدین منظور ابتدا ۲ پروژه مذکور بدون وجود سربار و با روش نیلینگ پایدار می شود که در نرم افزار Plaxis مدل شده و بعد از حاصل شدن جابه جایی ها و ضریب اطمینان مناسب، سربار هایی در فواصل مختلف قرار داده می شود تا بتوان به رابطه معنی داری از سربار به جابه جایی ها رسید.

"در این مطالعه هر طبقه ساختمان روی سطح 10 Kpa در نظر گرفته می شود."

## ۲-۱) مدلسازی نیلینگ

مقدمه

یکی از مهمترین جنبه‌های تحلیلی و بررسی سامانه‌های تسلیح خاک، درک رفتار دیوارهای میخگذاری شده می‌باشد. در سامانه دیوار میخگذاری شده مشخصات مصالح و رفتار سه جزء اصلی دیوار شامل خاک محل، میلگرد مورد استفاده به عنوان "میخ" و پوسته بتن پاشی شده "شاتکریت" و نیز اندرکنش متقابل این اجزاء با یکدیگر بطور چشمگیری در تعیین رفتار این نوع سازه نگرهبان تاثیر مستقیم دارد. می‌توان رفتار سامانه میخگذاری شده را با مطالعه وضعیت تنش‌ها در محدوده خاک مسلح شده، تا حدودی متوجه شد.

به علاوه پارامترهای مختلف دیگری از جمله شرایط ساخت و احداث به صورت مرحله ای، شیوه اجرای دیوار و نصب میخ‌ها و چگونگی اتصال میخ‌ها به پوسته بتن پاشی شده می‌تواند رفتار دیوار را تحت الشعاع قرار دهد. تاثیر این پارامترها بر رفتار دیوار میخگذاری شده توسط روش‌های رایج از جمله معادلات تعادل حدی در طراحی این قبیل از سازه‌ها قابل بیان نمی‌باشد. از این جهت درک صحیح تر رفتارهای دیوارهای میخگذاری شده لازم است تا پایداری و رفتار این نوع سازه‌ها را توسط مدلسازی عددی مورد بررسی قرار داد.

روش‌های متداول طراحی دیوارهای میخگذاری شده دارای محدودیت‌هایی نظیر یکنواخت فرض کردن خصوصیات خاک و میخ (به ویژه مدول الاستیسیته) در طول دیوار، نادیده گرفتن ظرفیت خمشی میخ‌ها، خطی در نظر گرفتن سطح لغزشی و همچنین یکنواخت فرض کردن توزیع تنش در توده خاک می‌باشند. با گسترش چشم‌گیر روش‌های عددی و تکنولوژی‌های پیشرفته‌ی رایانه‌ای، امکان مطالعه و بررسی عددی رفتار دیوارهای میخگذاری شده فراهم گردیده است.

نرم افزار مورد استفاده برای انجام مدل سازی های عددی این تحقیق، نرم افزار PLAXIS 2D بوده که این نرم افزار یک مجموعه نرم افزاری از برنامه‌های قدرتمند شبیه سازی مسائل مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد؛ که بر اساس روش اجزای محدود طراحی شده است و قادر به حل گسترده وسیعی در مسائل مهندسی ژئوتکنیک از آنالیزهای خطی نسبتاً ساده تا شبیه سازی های غیر خطی بسیار پیچیده و بخصوص



در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک-سازه می‌باشد. این نرم افزار امکان مدل سازی انواع مدل های خاکی و همچنین المانهای مربوطه در زمینه ژئوتکنیک و مکانیک خاک را در محیط گرافیکی بسیار ساده و با امکان مدل سازی انواع پروژه‌های کاربردی ژئوتکنیکی بصورت ساخت مرحله ای (Staged Construction) در اختیار کاربر قرار می‌دهد تا بدین ترتیب شرایط مدلسازی عددی انطباق بیشتری با واقعیت پیدا کند.

روش اجزای محدود ابزاری قدرتمند برای تحلیل اندرکنش میخ - خاک - سازه می‌باشد. مزیت استفاده از روش اجزای محدود، قابلیت تحلیل اجزاء دیوار میخگذاری شده ، خاک و اندرکنش آن ها با در نظر گرفتن هم زمان پارامترها می‌باشد. همچنین با استفاده از این روش می‌توان هر نوع پروفیل خاک را در حالت دو بعدی و شرایط کرنش مسطح مورد مطالعه قرار داد. یکی از علل موفقیت این روش در تحلیل مسائل خاکی استفاده از مدل های رفتاری مختلف خاک می باشد که می‌توان با استفاده از این رفتار خاک را با دامنه وسیعی از کرنش ها، اثرات سرعت بارگذاری، کاهش سختی و... مورد مطالعه قرار داد. روش اجزای محدود قابلیت انجام تحلیل های همبسته کامل دو بعدی و سه بعدی برای اشکال مختلف سیستم های خاک-سازه را دارد.

اصول ساخت مدل برای نیلینگ، مطابق با مندرجات بولتون شماره ۱۲ ژوئن ۲۰۰۲ و همچنین بولتون شماره ۲۵ بهار ۲۰۰۹ منتشر شده توسط شرکت PLAXIS بیان می‌دارد که مدل بر اساس مدل رفتاری دو پارامتری الاستیک-پلاستیک، موهر-کلمب (Mc) تهیه شود.

مشخصات در نظر گرفته شده برای المان های Beam شامل پوشش شاتکریت و المان های میخ با استفاده از روابط کلاسیک مقاومت مصالح بدست آمده‌اند. المان های میخ با استفاده از المان Plate مدل شده اند (بولتون ۲۵ بهار ۲۰۰۹ ، PLAXIS). استفاده از المان Geogrid (تنها دارای صلبیت محوری EA است) جهت مدل سازی عددی میخ ها می‌تواند موجب نادیده گرفته شدن موضوع تمرکز نیروهای برشی و ممان خمشی در محل اتصال میخ به رویه بتن پاشی شده شود. بنابراین برای مدل سازی میخ در

دیوار میخگذاری شده به وسیله نرم افزار PLAXIS توصیه شده از المان Plate به منظور حصول اطمینان بیشتر و مدل سازی رفتار دقیق تر دیوار استفاده شود.

المان Plate، المان الاستیک و تغییرشکل پذیری است که علاوه بر تحمل نیروهای کششی دارای ظرفیت خمشی نیز می باشد. پارامترهای ورودی جهت مدل سازی با المان Plate شامل سختی محوری "نرمال" (EA) و صلبیت خمشی است که با (EI) نمایش داده می شود و در واحد نیرو بر عرض واحد در مدل وارد می شود؛ که EI برای تبدیل فضای سه بعدی به دوبعدی بر فاصله افقی تقسیم می شود.

مدلسازی در هر دو پروژه بصورت کرنش مسطح (Plane Strain) و المان در نظر گرفته شده برای محاسبات؛ مثلی ۱۵ گرهی (15-Node) می باشد.

## ۲-۱۰-۱) مدلسازی نیلینگ در پروژه نیاوران

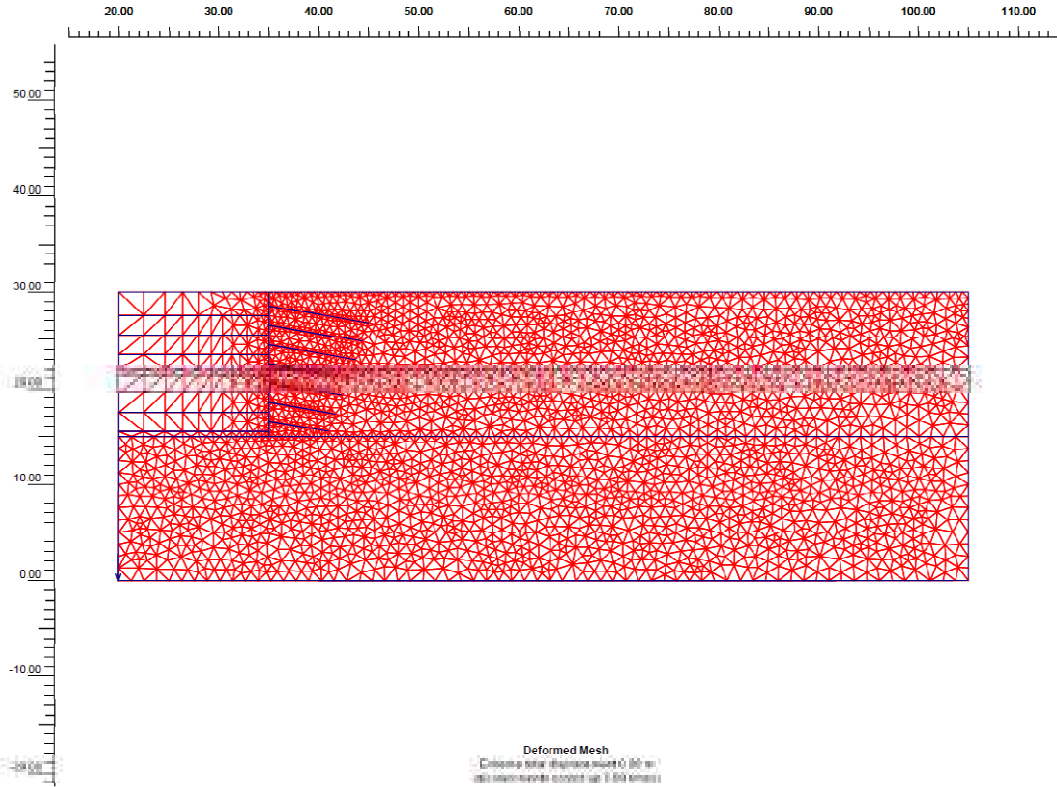
مدلسازی در پروژه نیاوران با حالت بدون سربار با ۷ ردیف نیل که در ردیف اول ۱.۵ متر پایین تر از سطح تراز ۰ و نیل های ردیف های بعدی با فاصله عمودی ۲ متر از همدیگر قرار گرفته اند و تمامی نیل ها با فاصله افقی ۴ متر نسبت به همدیگر می باشند. نیل های مذکور از ردیف بالا به ترتیب ۶، ۷، ۸، ۹، ۹.۵، ۱۰ متری با الگوی طولی غیر یکنواخت برای کنترل جابه جایی بهتر در مدلسازی در نظر گرفته شده اند.

مدلسازی در این حالت از ضریب اطمینان ۱.۷۳ برخوردار است با حداکثر جابه جایی در حد ۶ سانتی متر که بیشترین توزیع جابه جایی در کف گود (UPLIFT) و در دیواره گود (جابه جایی افقی) در حد ۴ سانتی متر می باشد.

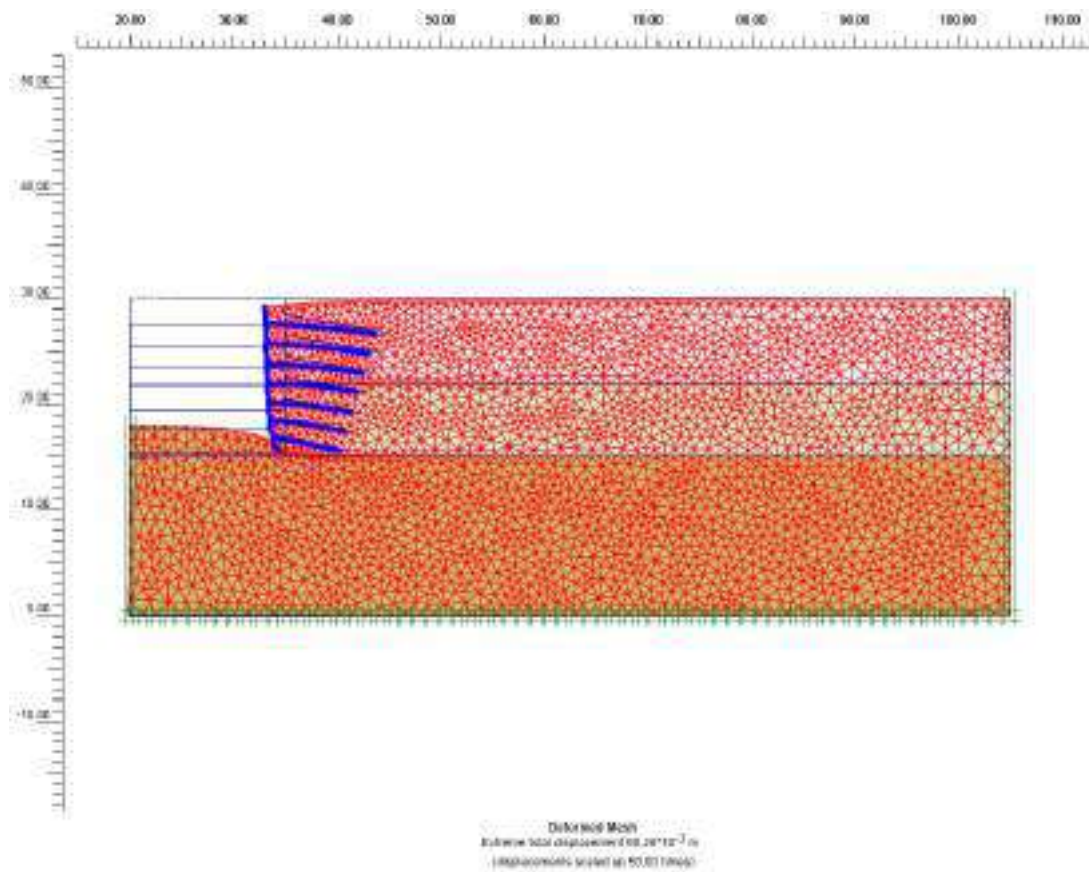
مدلسازی در ۱۰ فاز است که فاز اولیه Total multipliers برای بررسی شرایط کلی است (لازم به ذکر است در فاز بعد از آن باید جابه جایی به صفر تنظیم شود.) و فاز آخر Incremental multipliers که روش کاهش  $\phi$  و C برای محاسبه ضریب اطمینان با روش مکانیزم محتمل گسیختگی می باشد.

Phase	Ph-No.	Start phase	Calculation type	Load input	First step	Last step	Total Displacements(M)
Initial phase	0	0	----	----	0	0	0
<Phase 1>	1	0	Plastic	Total multipliers	1	1	----
<Phase 2>	2	1	Plastic	Staged construction	2	3	$20.87 \times 10^{-3}$
<Phase 3>	3	2	Plastic	Staged construction	4	6	$33.46 \times 10^{-3}$
<Phase 4>	4	3	Plastic	Staged construction	7	8	$42.48 \times 10^{-3}$
<Phase 5>	5	4	Plastic	Staged construction	9	10	$48.76 \times 10^{-3}$
<Phase 6>	6	5	Plastic	Staged construction	11	12	$55.24 \times 10^{-3}$
<Phase 7>	7	6	Plastic	Staged construction	13	15	$59.24 \times 10^{-3}$
<Phase 8>	8	7	Plastic	Staged construction	16	17	$60.41 \times 10^{-3}$
<Phase 9>	9	0	Plastic	Staged construction	18	20	$60.26 \times 10^{-3}$
<Phase 10>	10	9	Phi/c reduction S.F = 1.73	Incremental multipliers	21	120	6.94

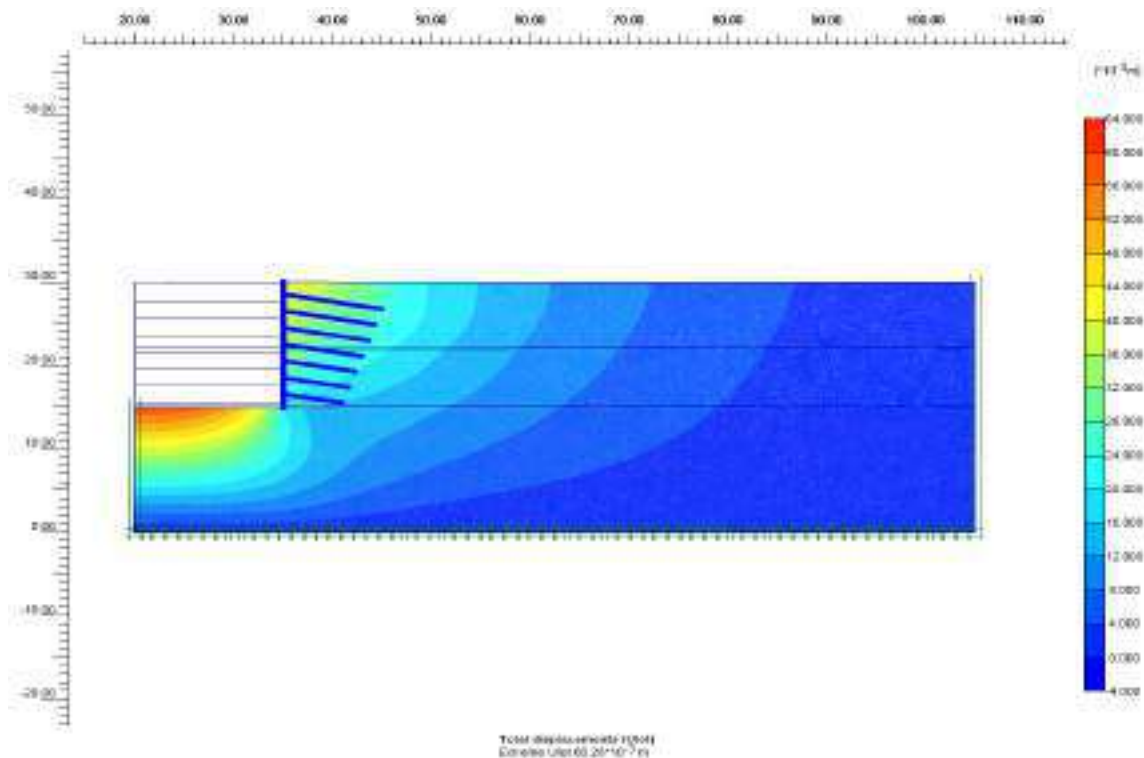
جدول ۲-۲۱) جدول فازهای محاسباتی در روش Stage Construction



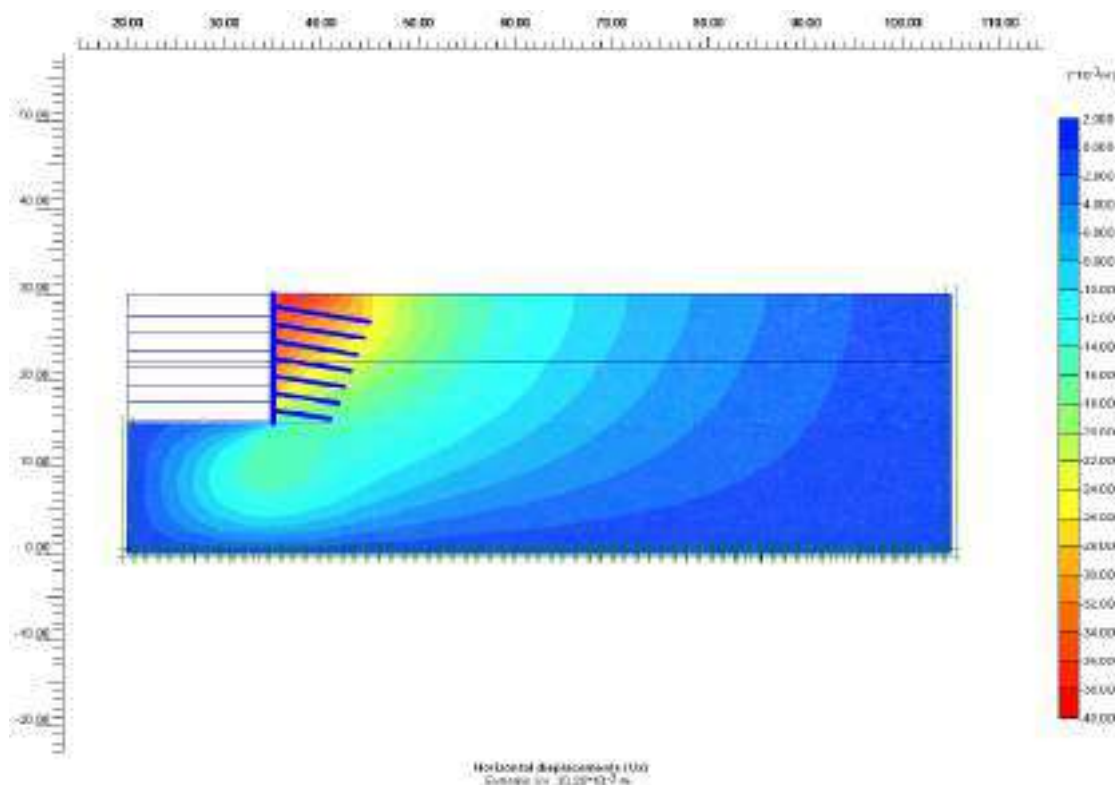
شکل ۲-۱۰) مش بندی اولیه (very fine) برای محاسبه جابه جایی دقیق تر



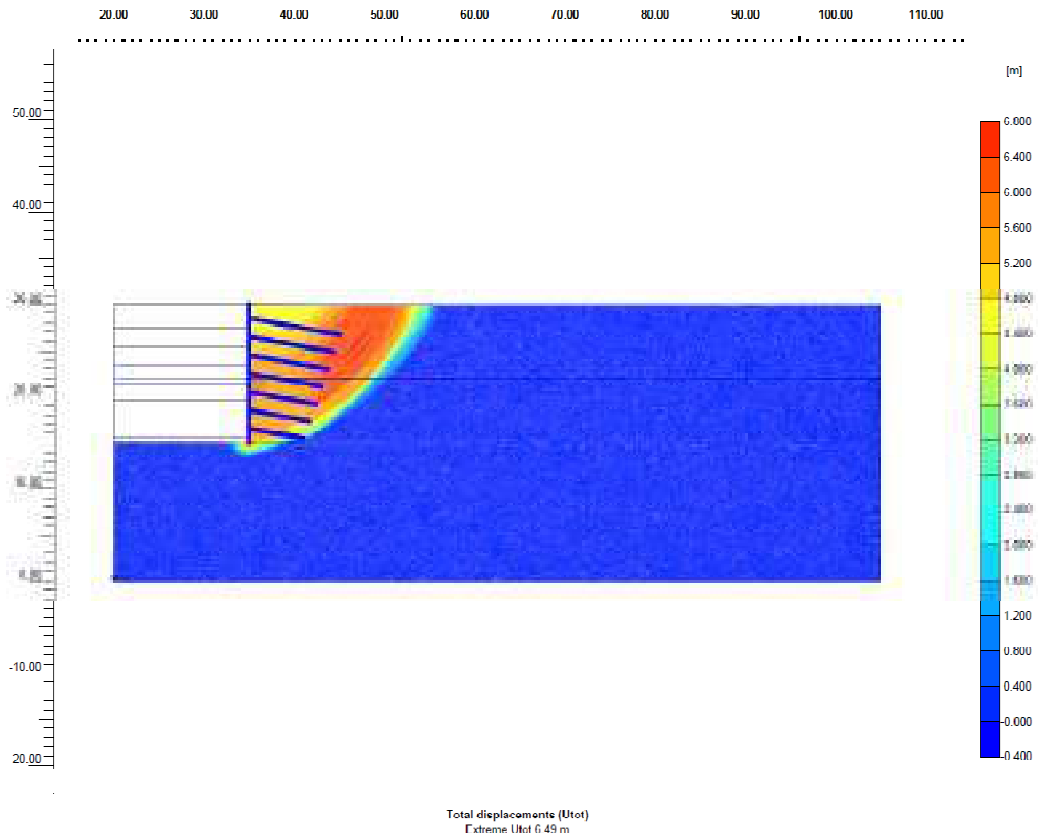
شکل ۲-۱۱) مش بندی تغییر شکل یافته بعد از فاز نهایی



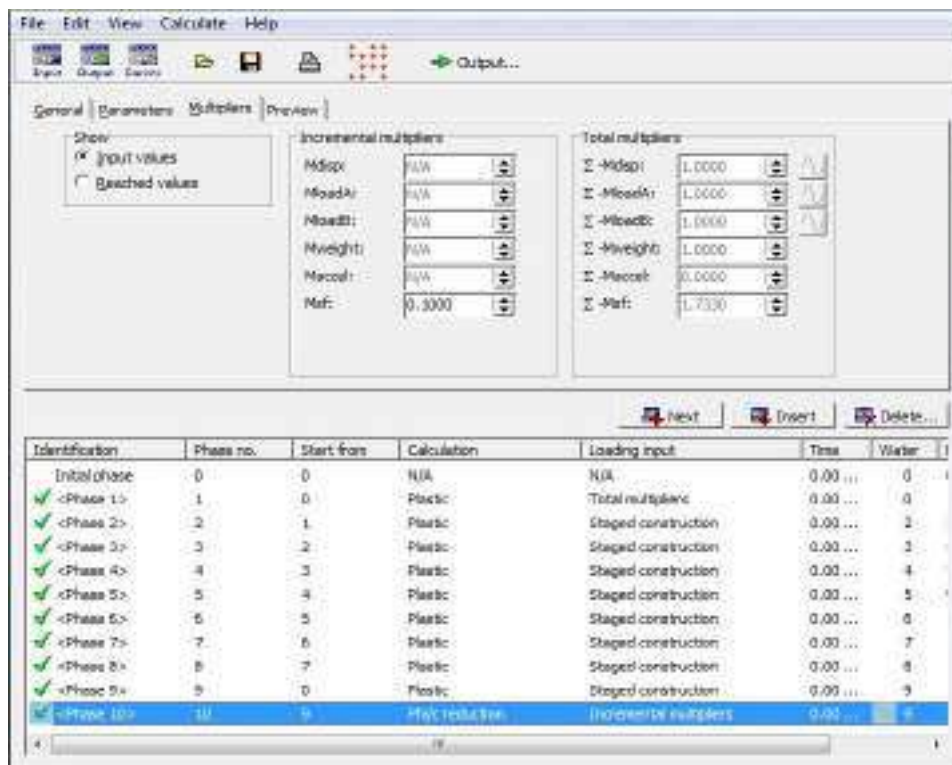
شکل ۲-۱۲) حداکثر جابه‌جایی کلی  $60.26 \times 10^{-3}$  متر



شکل ۲-۱۳) حداکثر جابه‌جایی افقی  $39.29 \times 10^{-3}$  متر



شکل ۲-۱۴) فاز Incremental multipliers برای محاسبه ضریب اطمینان ضریب اطمینان ۱.۷۳



شکل ۲-۱۵) پنجره محاسباتی نرم افزار Plaxis

## ۲-۱۰-۲) مدلسازی نیلینگ در پروژه شهری

مدلسازی در پروژه شهری با حالت بدون سربار با ۱۲ ردیف نیل که در ردیف اول ۰.۵ متر پایین تر از سطح تراز ۰ و نیل های ردیف های بعدی با فاصله عمودی ۱ متر از همدیگر قرار گرفته اند و تمامی نیل ها با فاصله افقی ۱ متر نسبت به همدیگر می باشند. نیل های مذکور در ۳ ردیف اول ( $12^m$ )، ردیف ۳ تا ۶ ( $11^m$ )، ردیف ۶ تا ۹ ( $10^m$ ) و ردیف ۹ تا ۱۲ (۳ ریف آخری) ۹ متری می باشد؛ این الگوی طولی غیر یکنواخت برای کنترل جابه جایی بهتر در مدلسازی در نظر گرفته شده است.

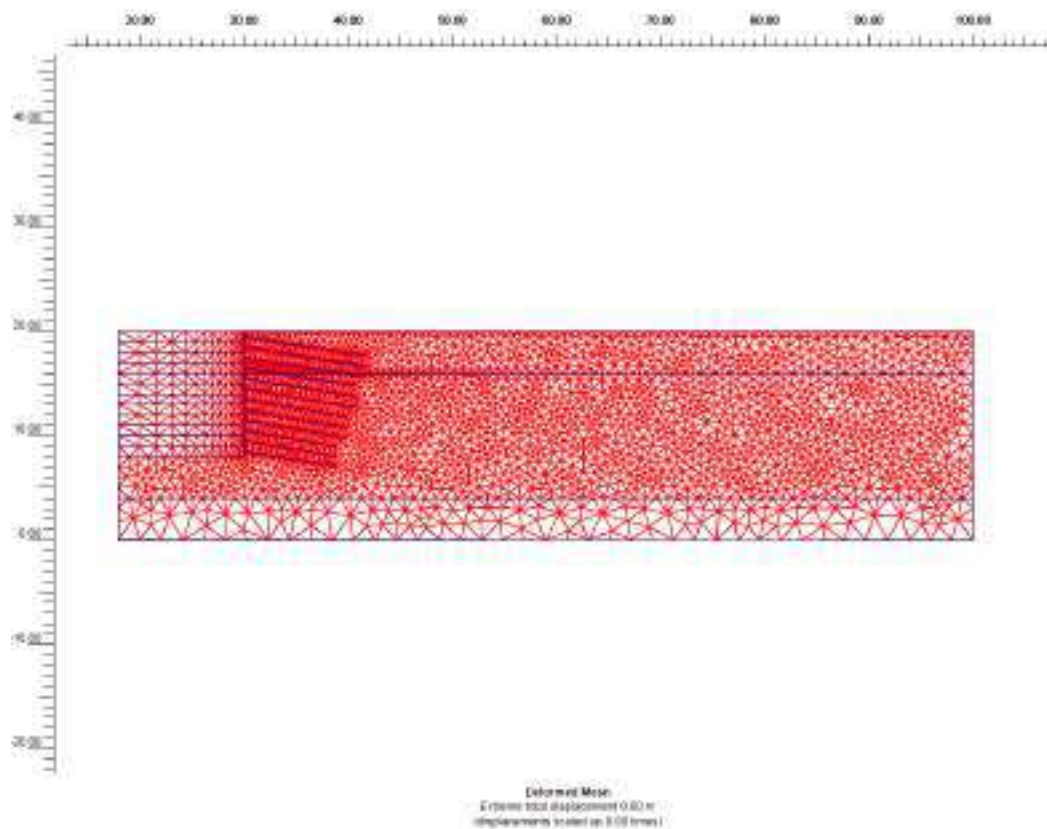
مدلسازی در این حالت از ضریب اطمینان ۱.۵۱ برخوردار است با حداکثر جابه جایی در حد ۱۰ سانتی متر که بیشترین توزیع جابه جایی در بالای دیواره گود در حدود ۸ سانتی متر و (UPLIFT) در کف گود در حدود ۶ سانتی متر می باشد.

مدلسازی در ۱۰ فاز است که فاز اولیه Total multipliers برای بررسی شرایط کلی است (لازم به ذکر است در فاز بعد از آن باید جابه جایی به صفر تنظیم شود) و فاز آخر Incremental multipliers که روش کاهش  $\phi$  و C برای محاسبه ضریب اطمینان با روش مکانیزم محتمل گسیختگی می باشد.

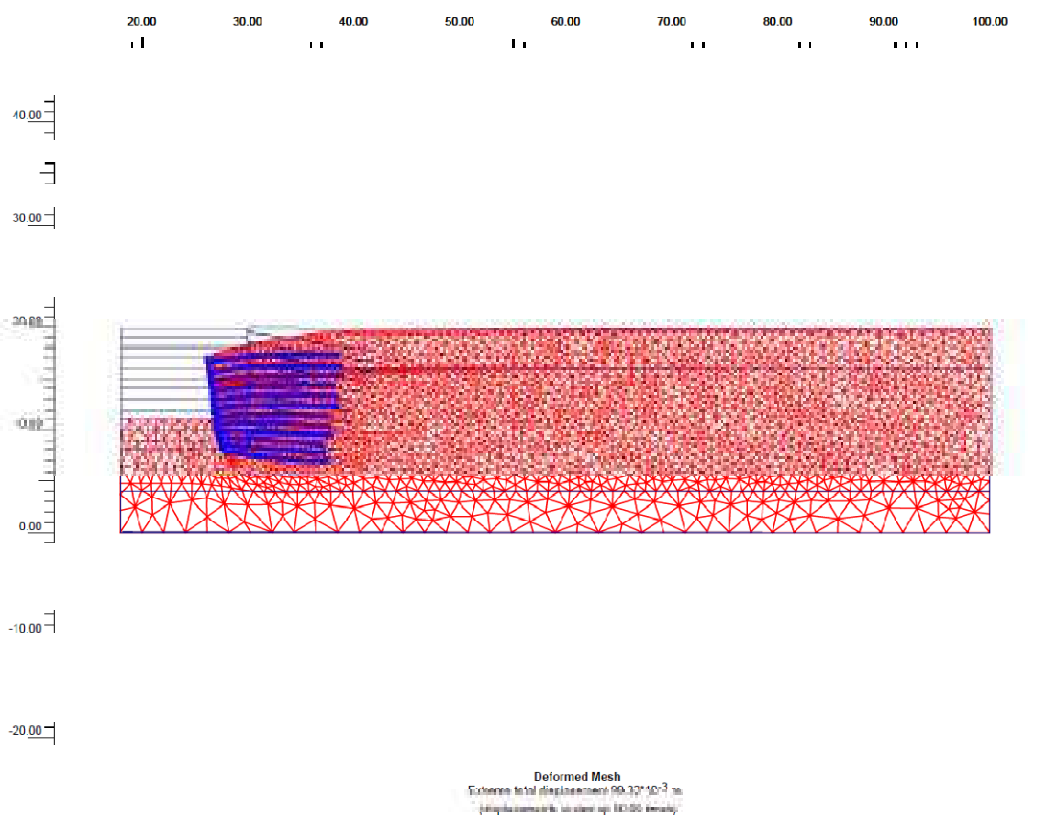
Phase	Ph-No.	Start phase	Calculation type	Load input	First step	Last step	Total Displacements(M)
Initial phase	0	0	---	-	0	0	0
<Phase 1>	1	0	Plastic	Total multipliers	1	1	-----
<Phase 2>	2	1	Plastic	Staged construction	2	4	$15.13 \times 10^{-3}$
<Phase 3>	3	2	Plastic	Staged construction	5	7	$29.51 \times 10^{-3}$
<Phase 4>	4	3	Plastic	Staged construction	8	9	$43.09 \times 10^{-3}$
<Phase 5>	5	4	Plastic	Staged construction	10	11	$55.81 \times 10^{-3}$
<Phase 6>	6	5	Plastic	Staged construction	12	13	$63.14 \times 10^{-3}$
<Phase 7>	7	6	Plastic	Staged construction	14	15	$68.71 \times 10^{-3}$
<Phase 8>	8	7	Plastic	Staged construction	16	17	$72.34 \times 10^{-3}$
<Phase 9>	9	8	Plastic	Staged construction	18	20	$73.98 \times 10^{-3}$
<Phase 10>	10	9	Plastic	Staged construction	21	23	$73.57 \times 10^{-3}$
<Phase 11>	11	10	Plastic	Staged construction	24	28	$78.32 \times 10^{-3}$
<Phase 12>	12	11	Plastic	Staged construction	29	33	$81.31 \times 10^{-3}$
<Phase 13>	13	12	Plastic	Staged construction	34	41	$99.32 \times 10^{-3}$
<Phase 14>	14	13	Phi/c reduction S.F = 1.51	Incremental multipliers	42	141	39.91

جدول ۲-۲۲) جدول فازهای محاسباتی در روش Stage Construction

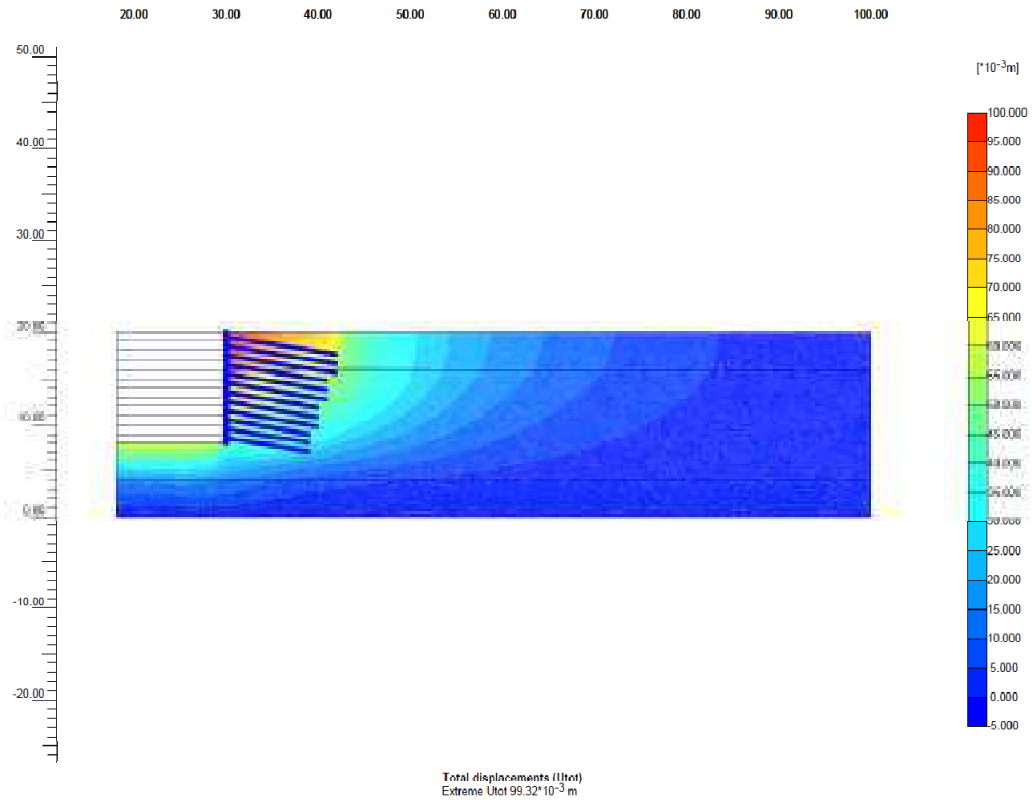




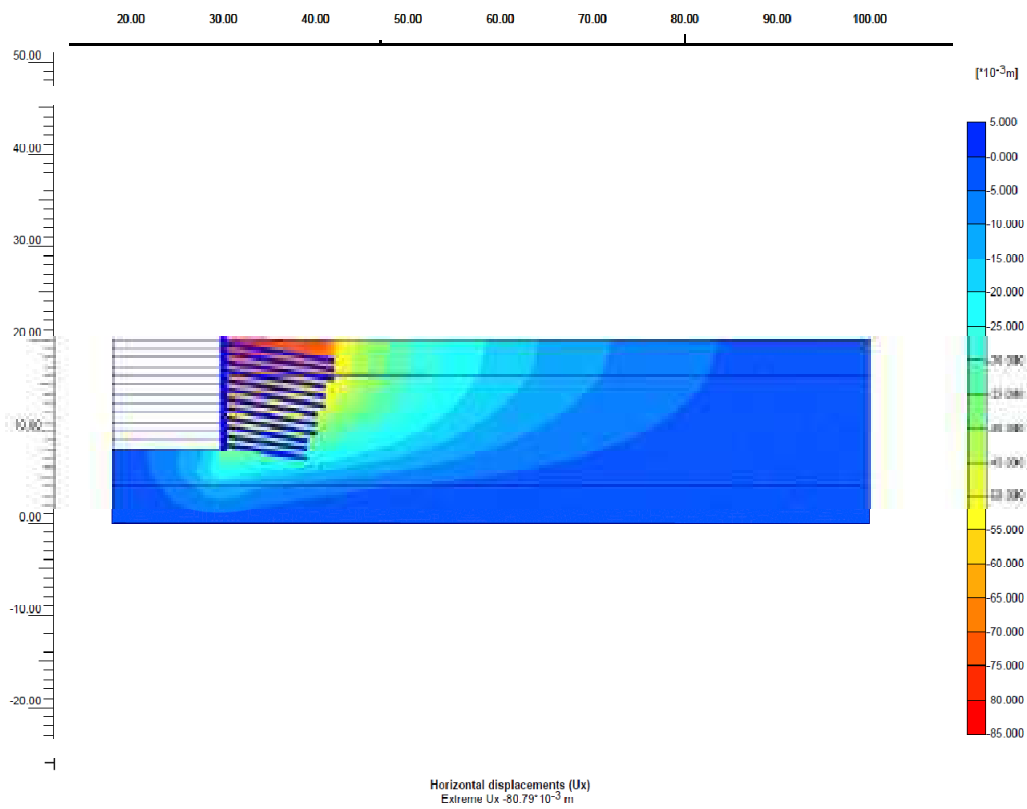
شکل ۱۶-۲) مش بندی اولیه (very fine) برای محاسبه جابه‌جایی دقیق تر



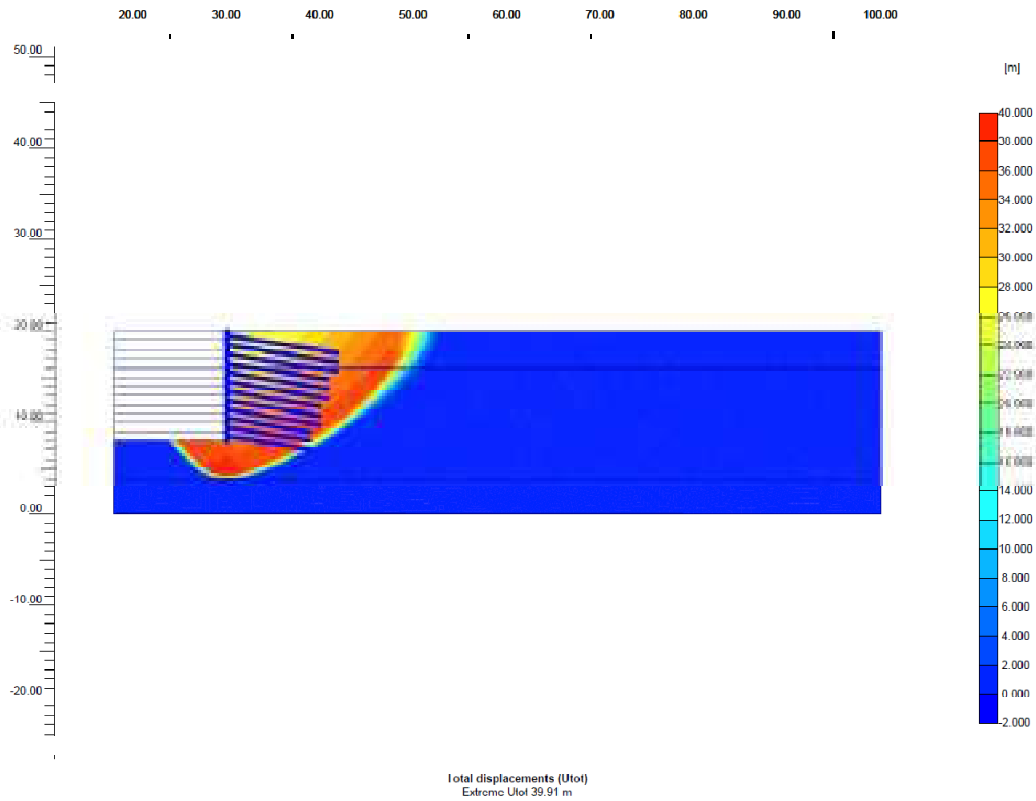
شکل ۱۷-۲) مش بندی تغییر شکل یافته بعد از فاز نهایی



شکل ۲-۱۸) حداکثر جابه‌جایی کلی  $99.32 \times 10^{-3}$  متر

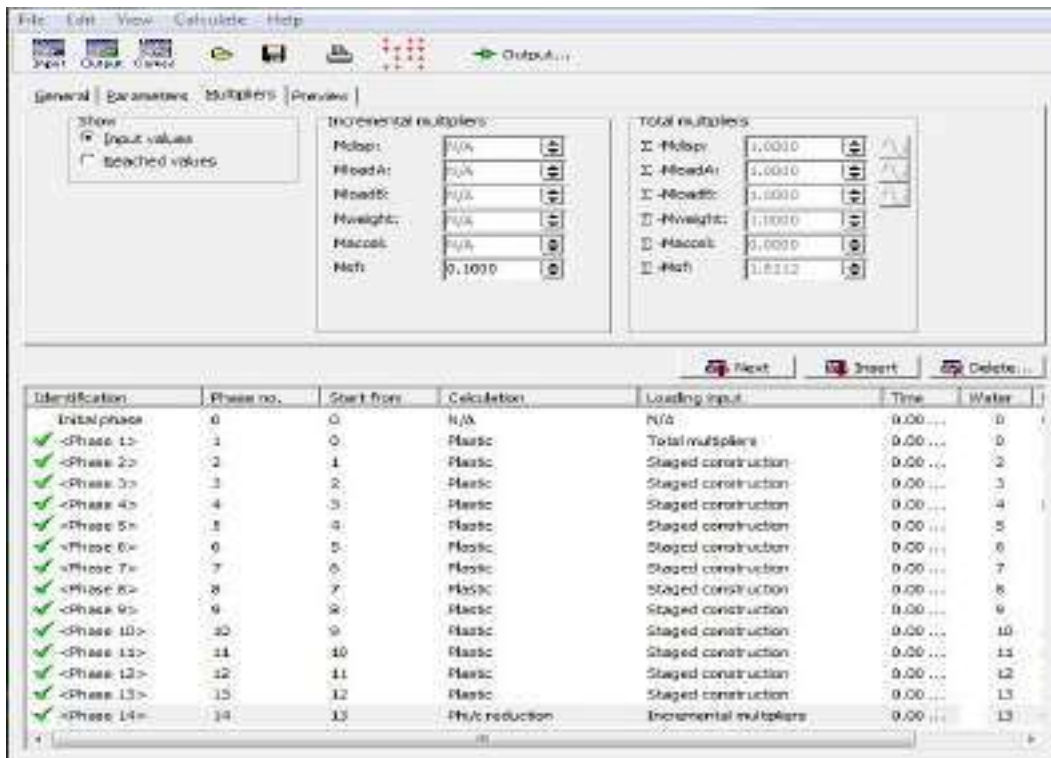


شکل ۲-۱۹) حداکثر جابه‌جایی افقی  $80.79 \times 10^{-3}$  متر



شکل ۲-۲۰) Incremental multipliers برای محاسبه ضریب اطمینان

ضریب اطمینان ۱.۵۱



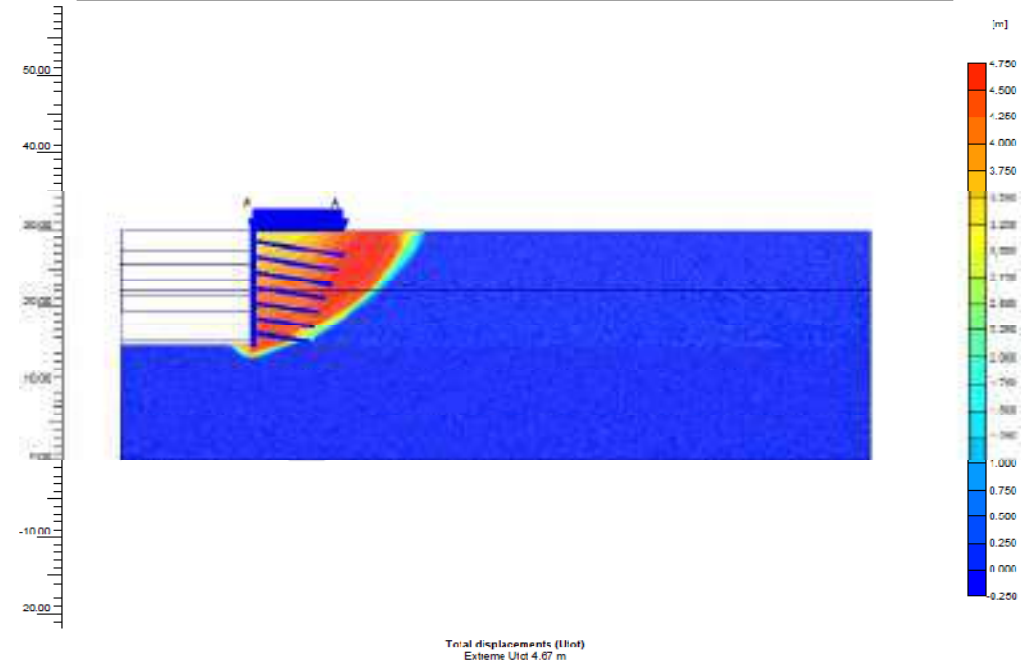
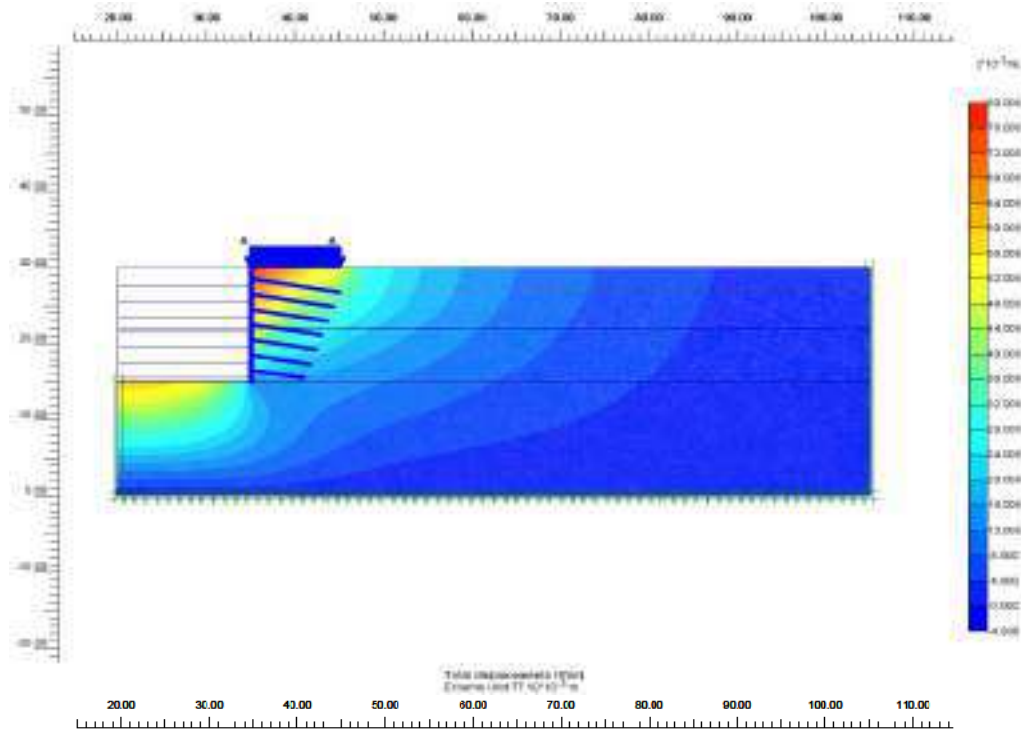
شکل ۲-۲۱) پنجره محاسباتی نرم افزار Plaxis

۱۱-۲) مدلسازی نیلینگ با لحاظ سربار

۱-۱۱-۲) پروژه نیاوران

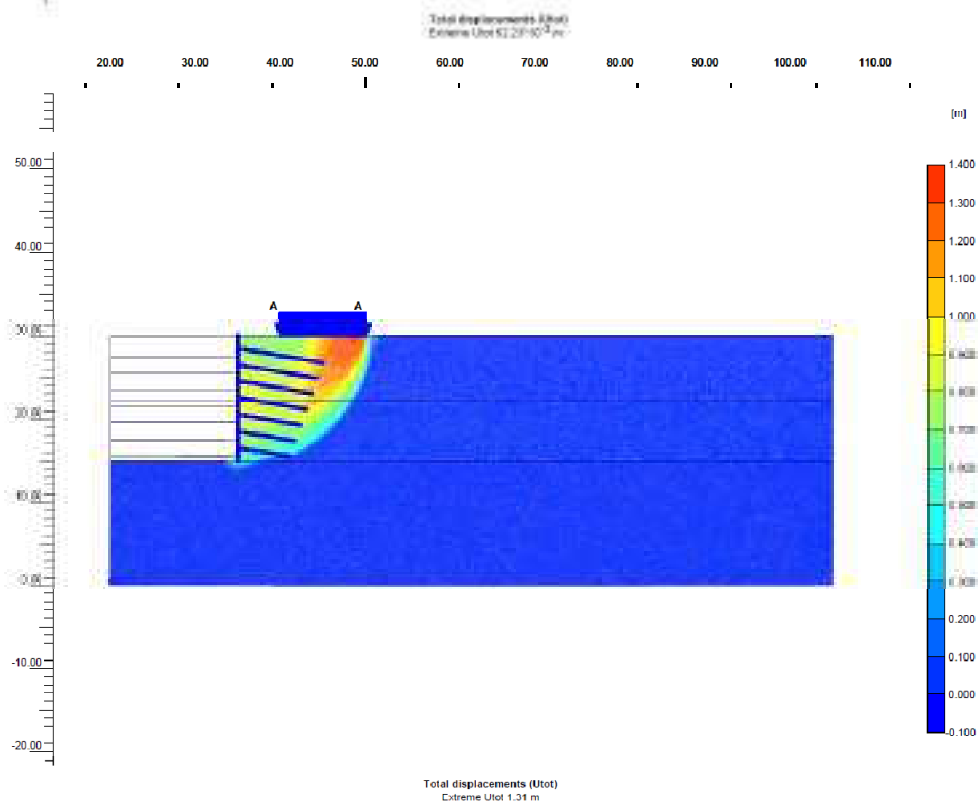
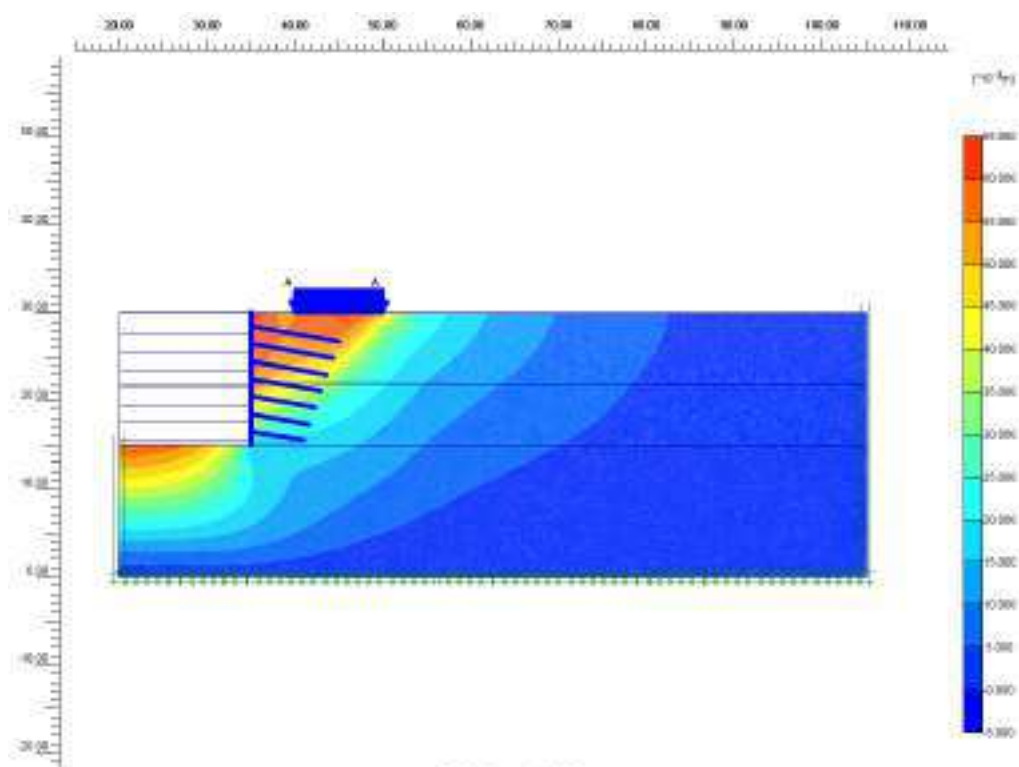
۱-۱-۱۱-۲) سربار با بار گسترده به عرض ۱۰ متر با بار 50 Kpa

الف) لبه گود



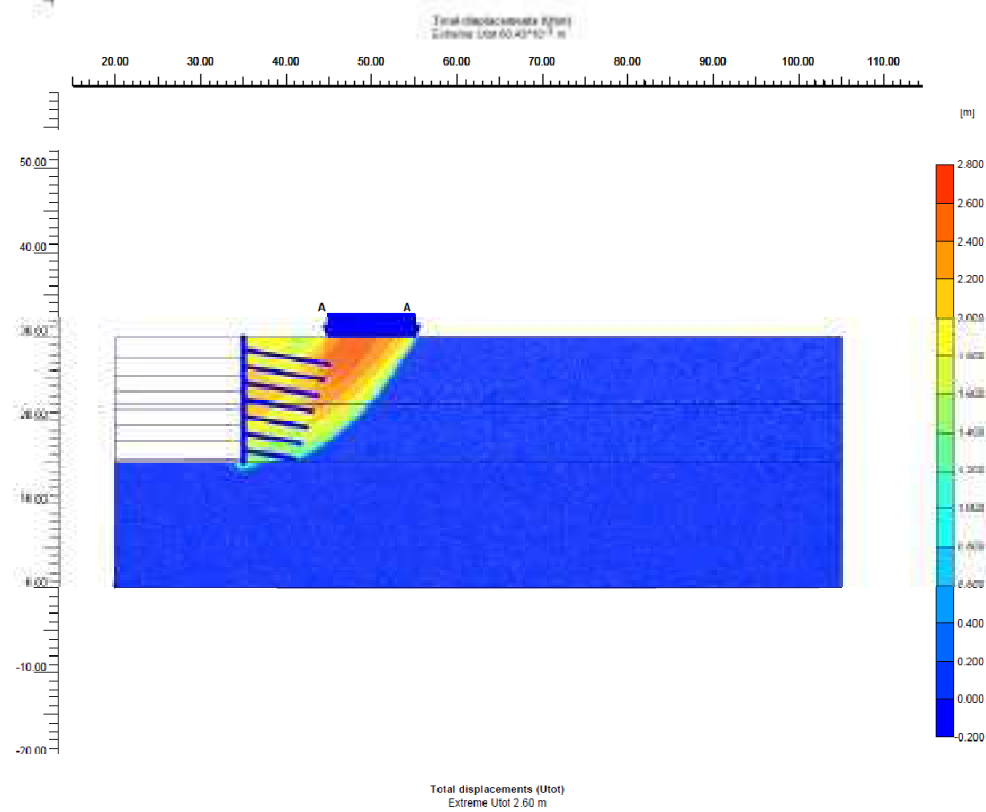
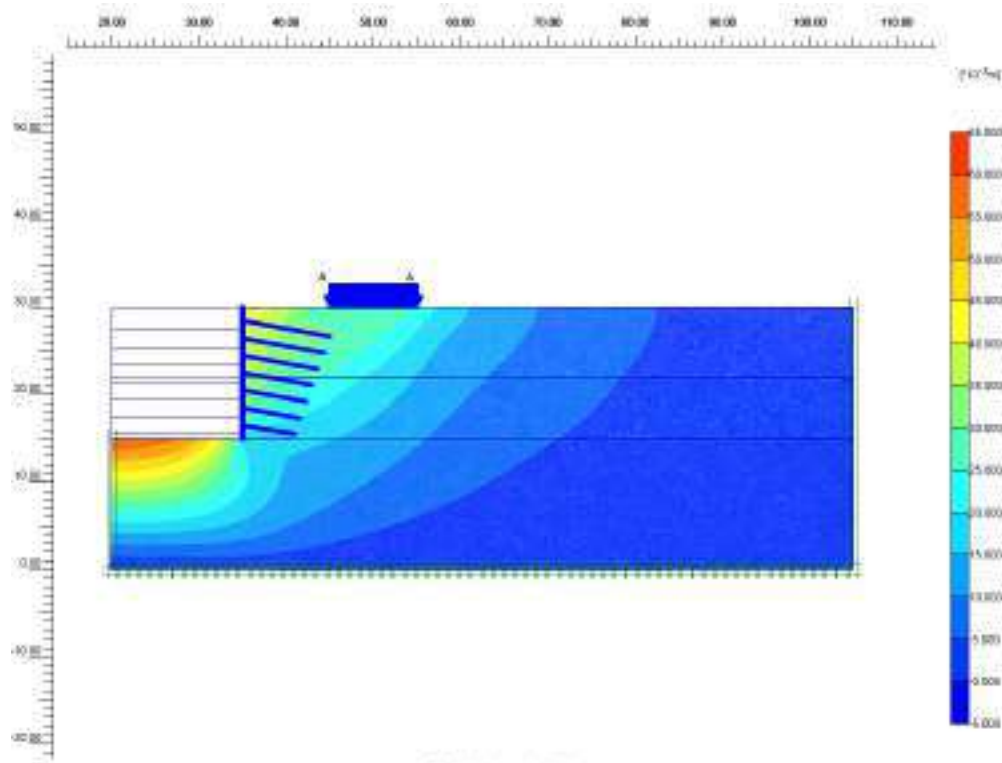
شکل ۲-۲) حداکثر جابه‌جایی کلی  $77.10 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۶۸

ب) ۵ متری لبه گود



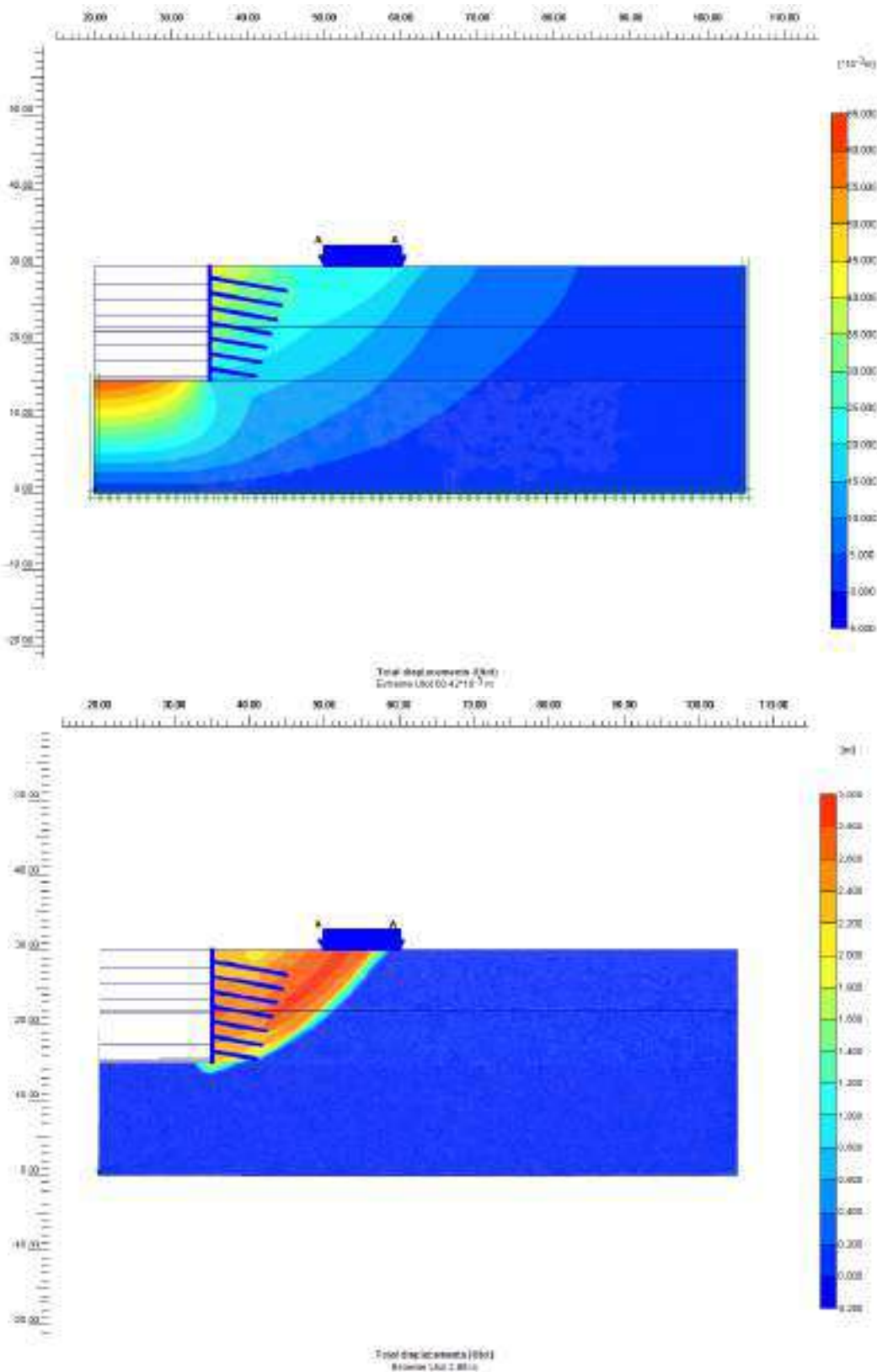
شکل ۲-۲۳) حداکثر جابه‌جایی کلی  $10^{-3} \times 62.23$  متر و ضریب اطمینان ۱.۴۶

ج) ۱۰ متری لبه گود



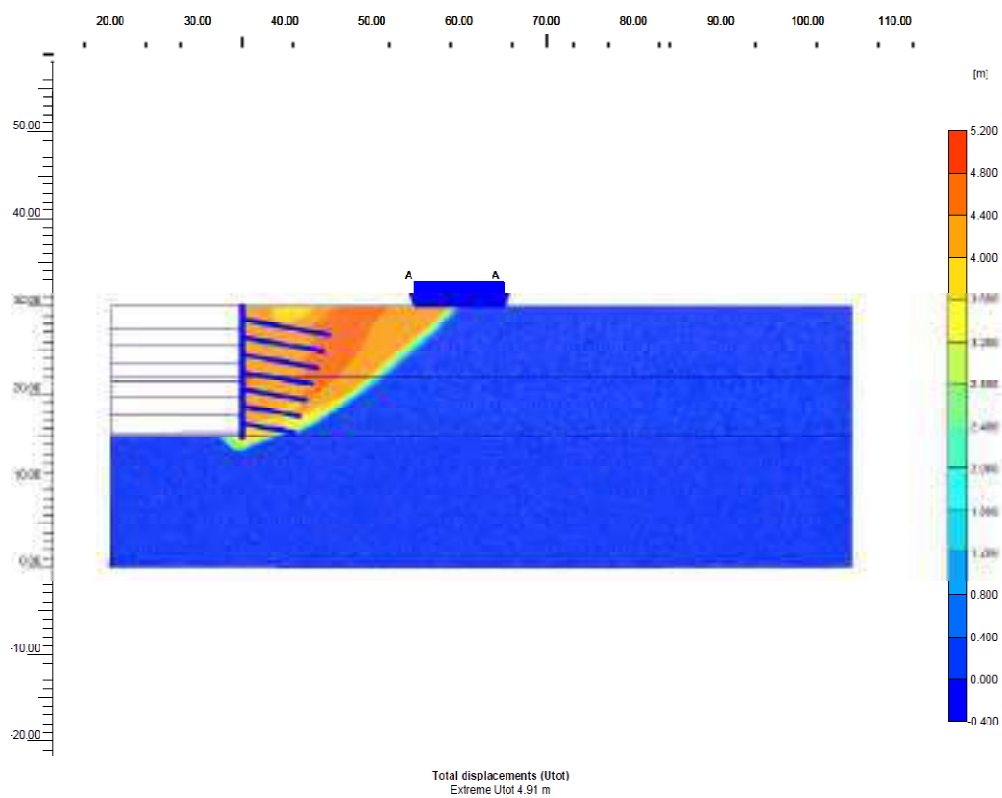
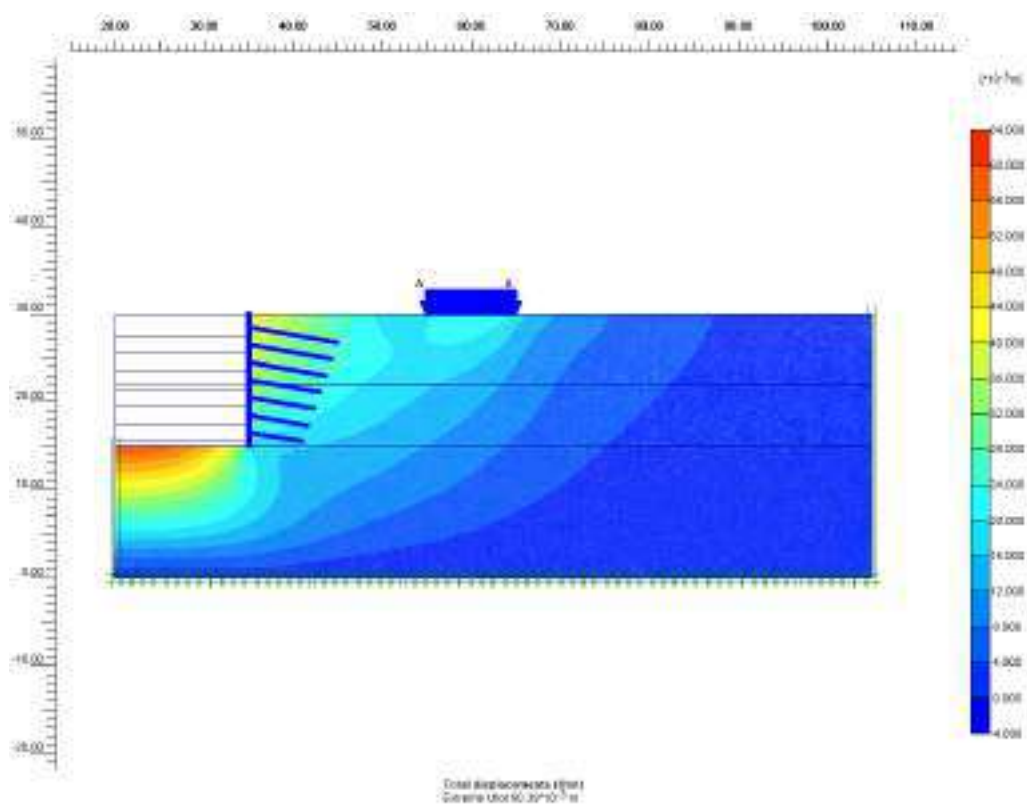
شکل ۲-۲۴) حداکثر جابه‌جایی کلی  $60.43 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۴۳

(د) ۱۵ متری لبه گود



شکل ۲-۲۵) حداکثر جابه‌جایی کلی  $60.42 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۶۵

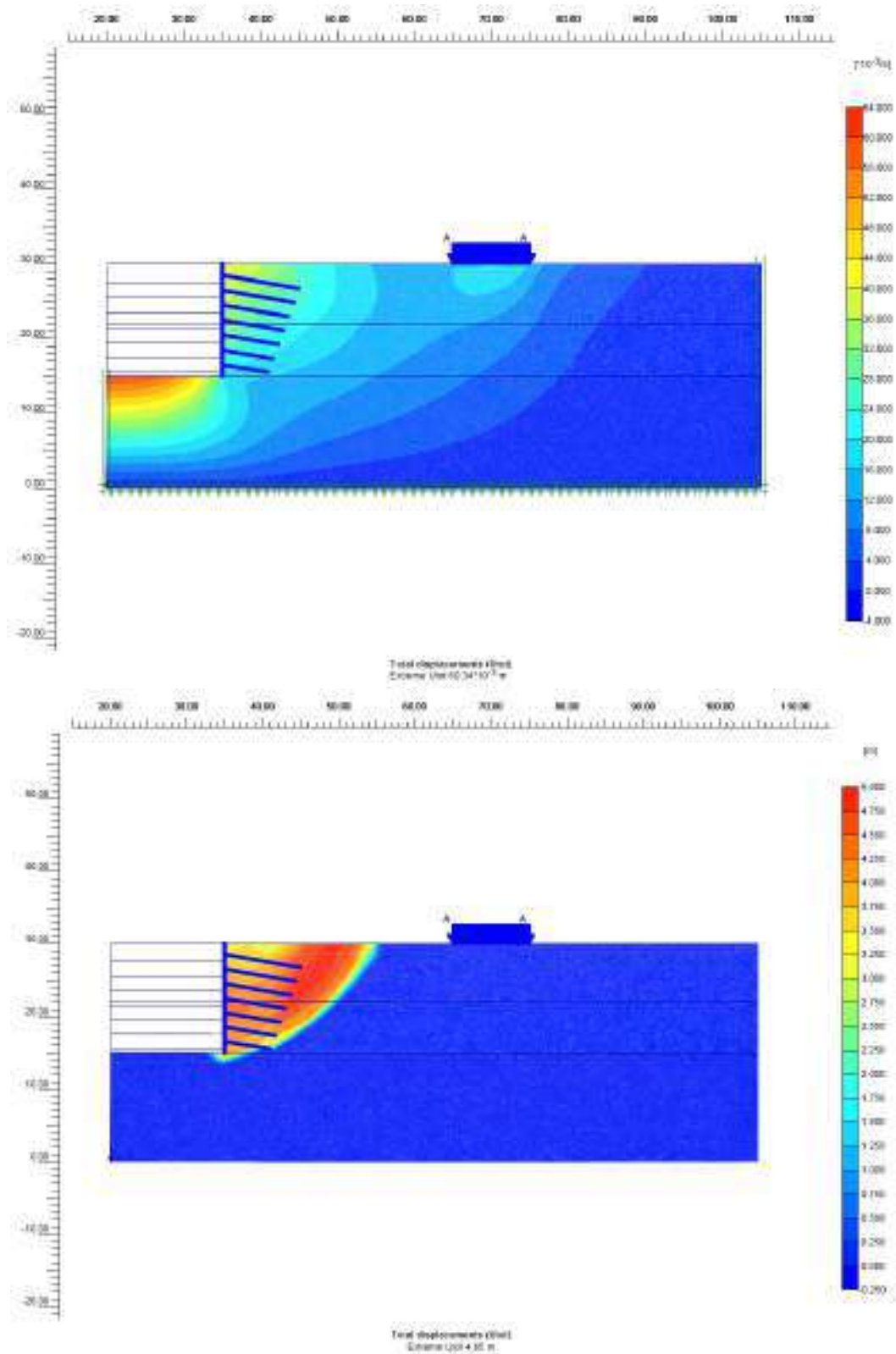
(و) ۲۰ متری لبه گود



شکل ۲-۲۶) حداکثر جابه‌جایی کلی  $60.39 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۷۱

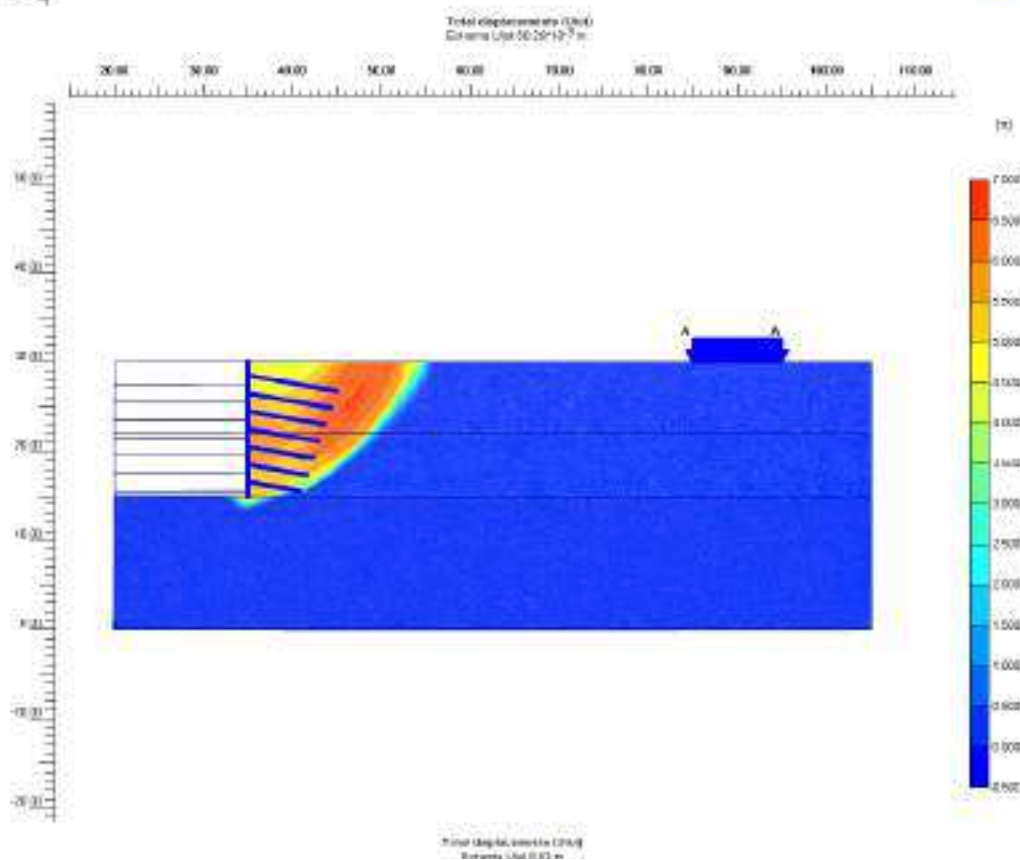
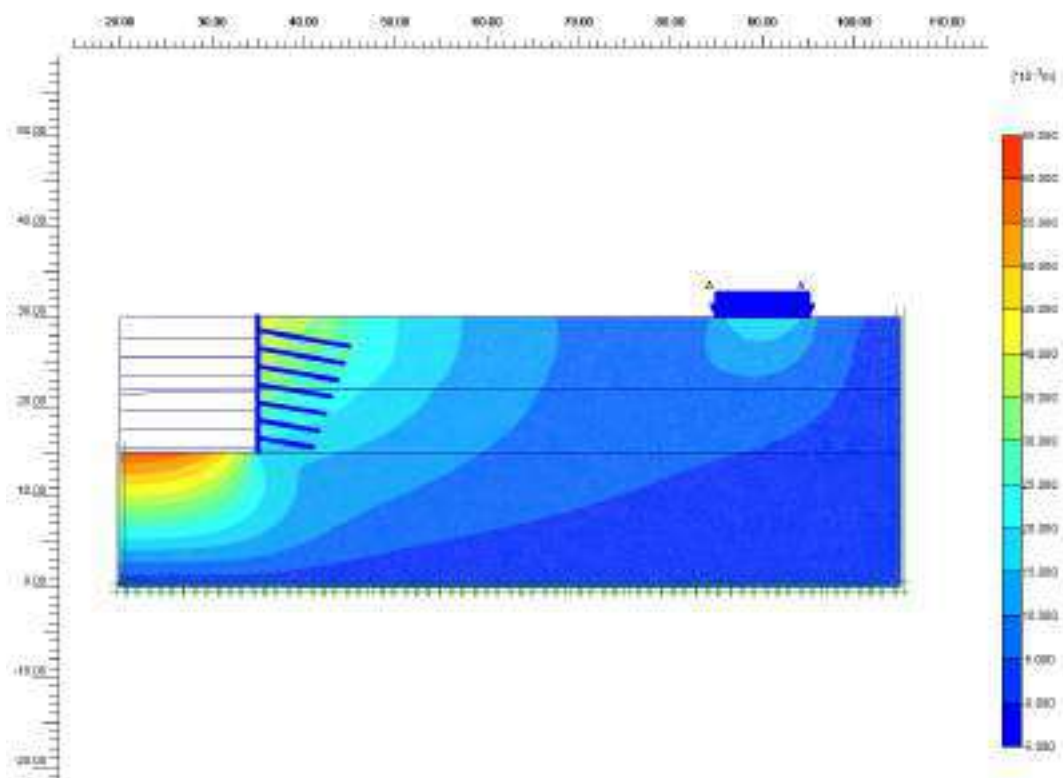


(ه) ۳۰ متری لبه گود



شکل ۲-۲۷) حداکثر جابه‌جایی کلی  $60.34 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۷۳

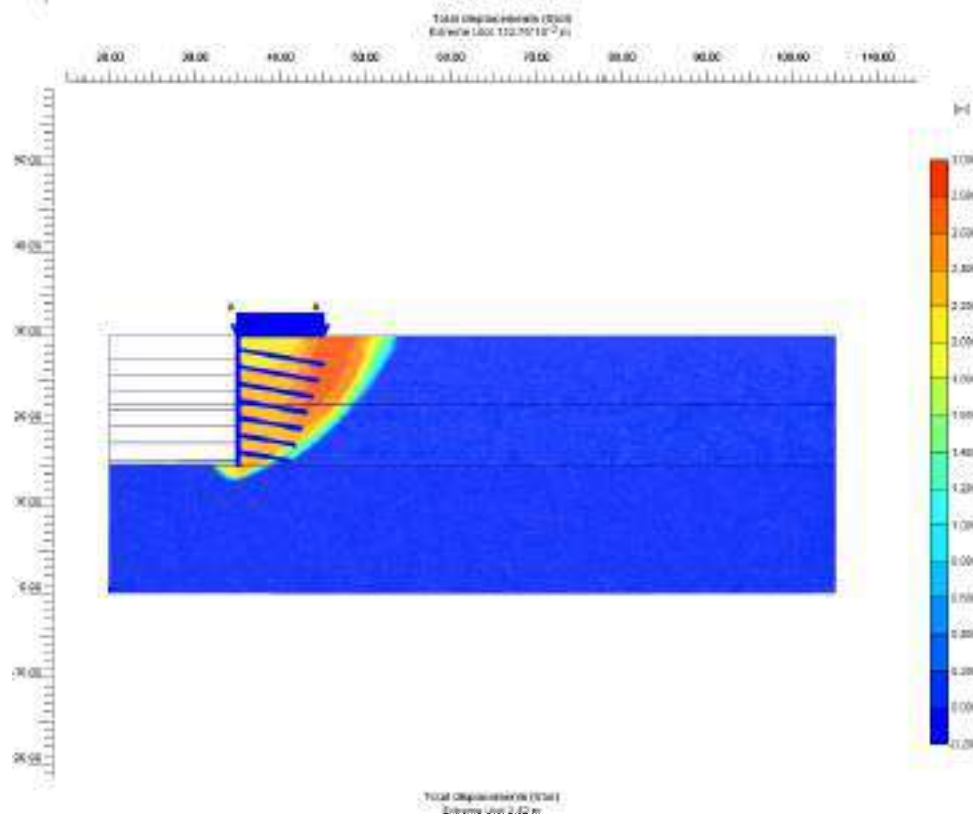
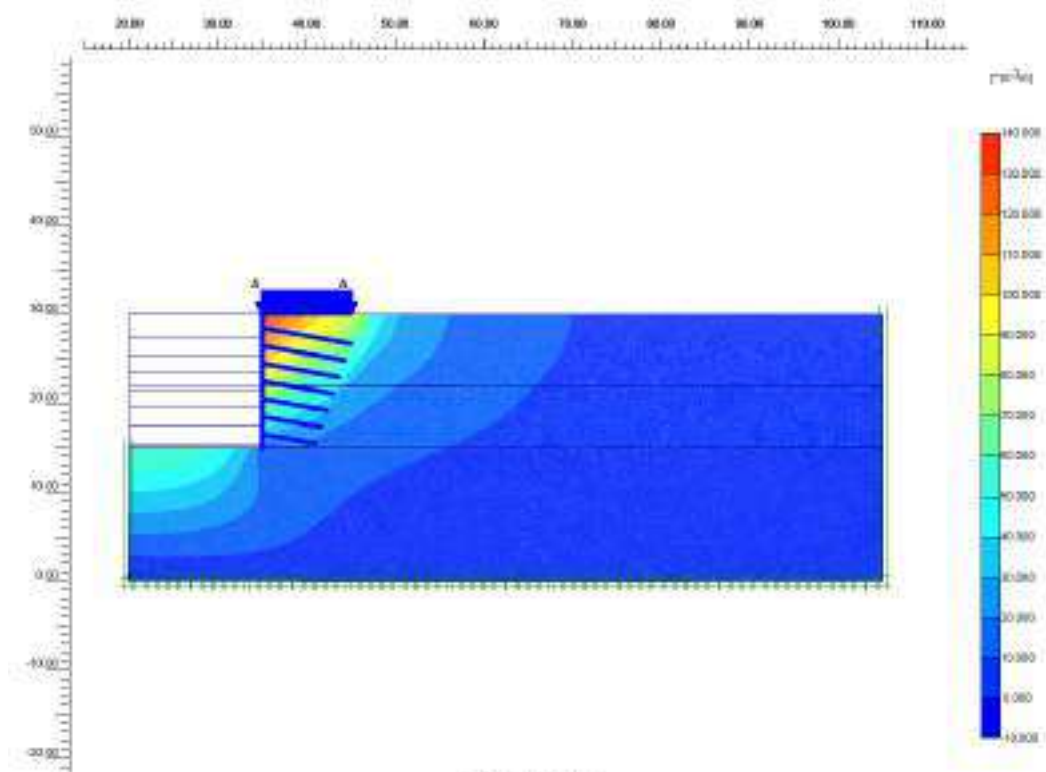
ی) ۵۰ متری لبه گود



شکل ۲-۲۸) حداکثر جابه‌جایی کلی  $60.29 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۷۳

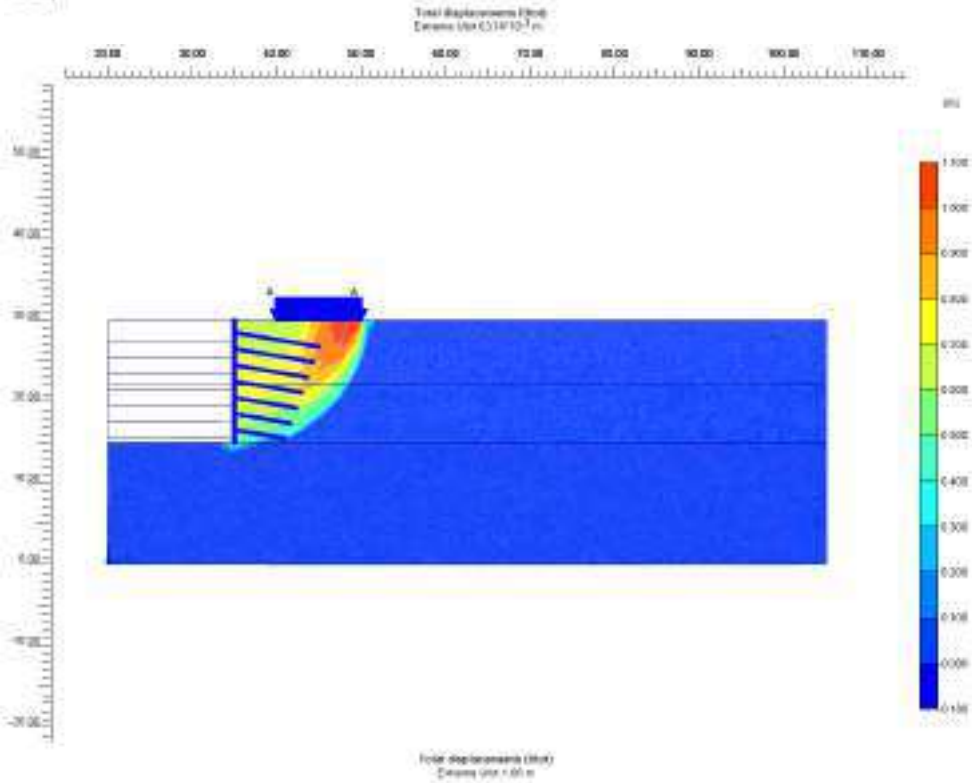
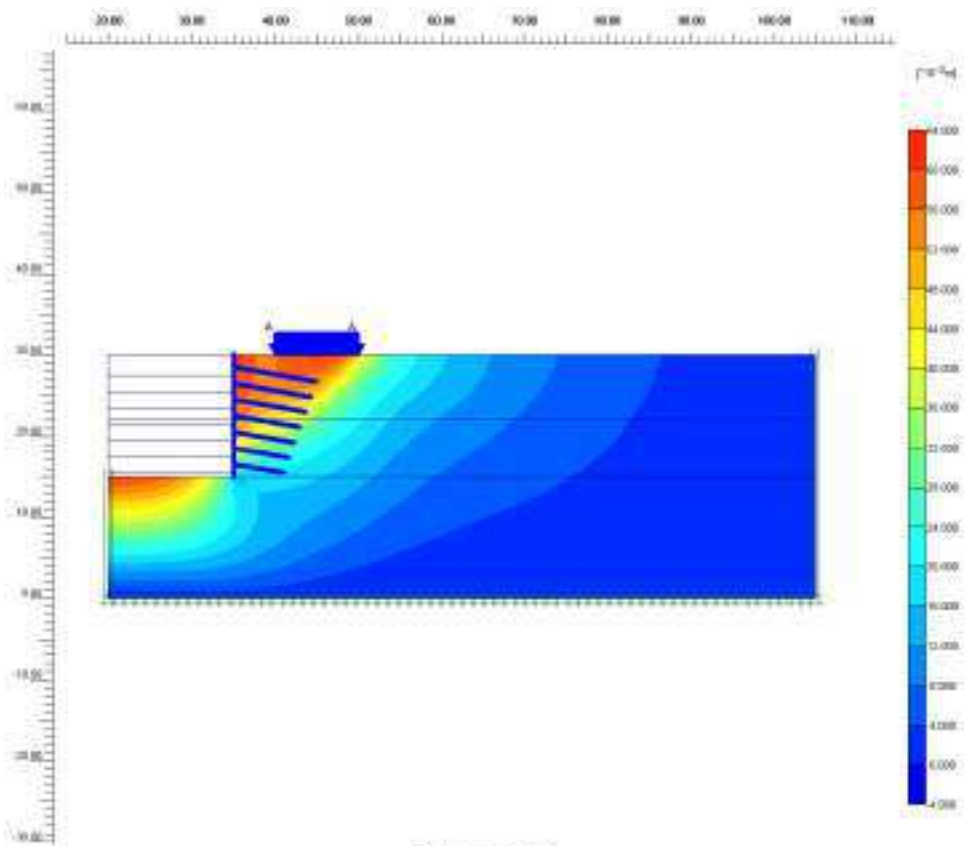
۲-۱۱-۱-۲) سربار با بار گسترده به عرض ۱۰ متر با بار 100 Kpa

الف) لبه گود



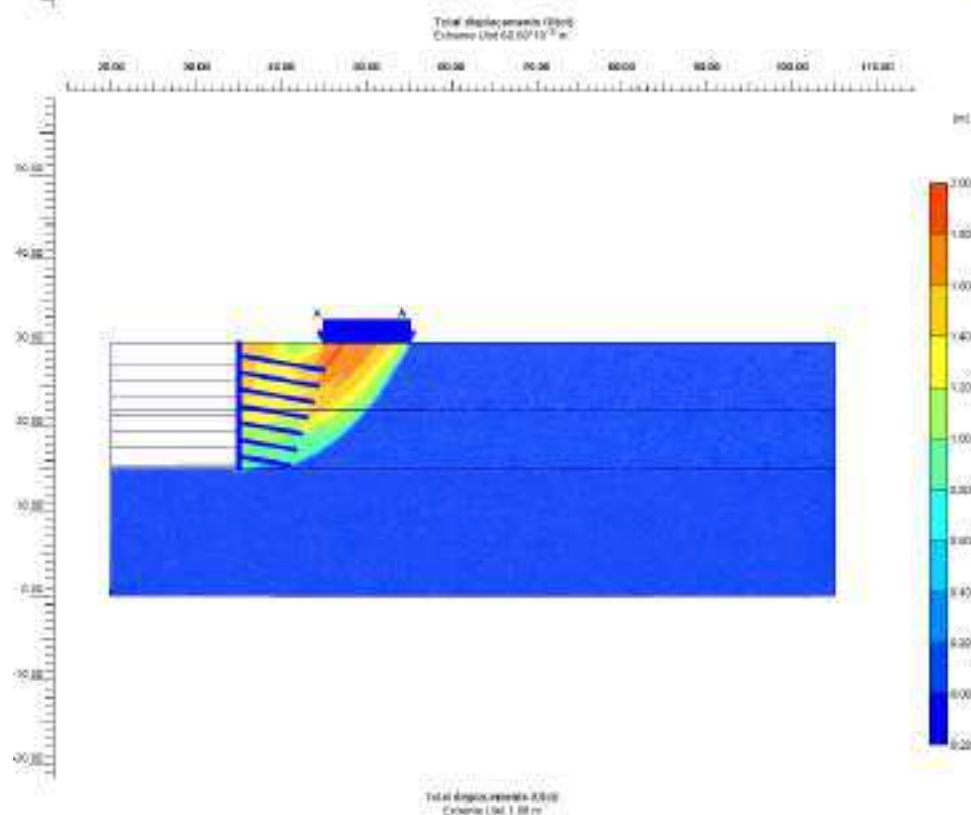
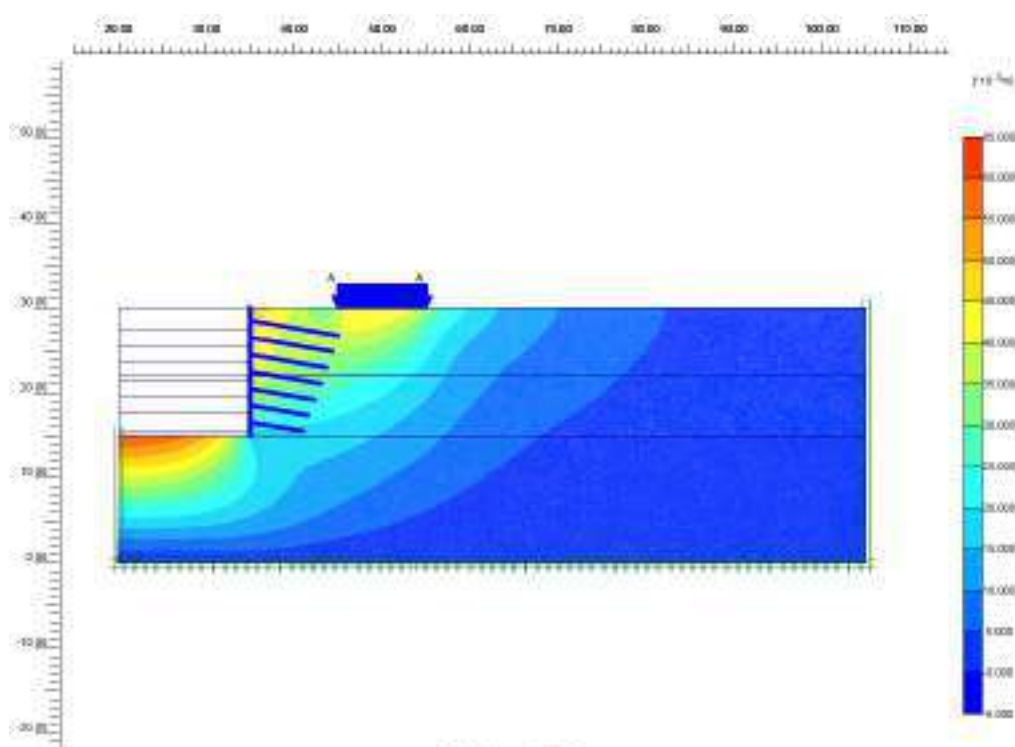
شکل ۲-۲۹) حداکثر جابه‌جایی کلی  $10^{-3} \times 132.75$  متر و ضریب اطمینان ۱.۶۲

(ب) ۵ متری لبه گود



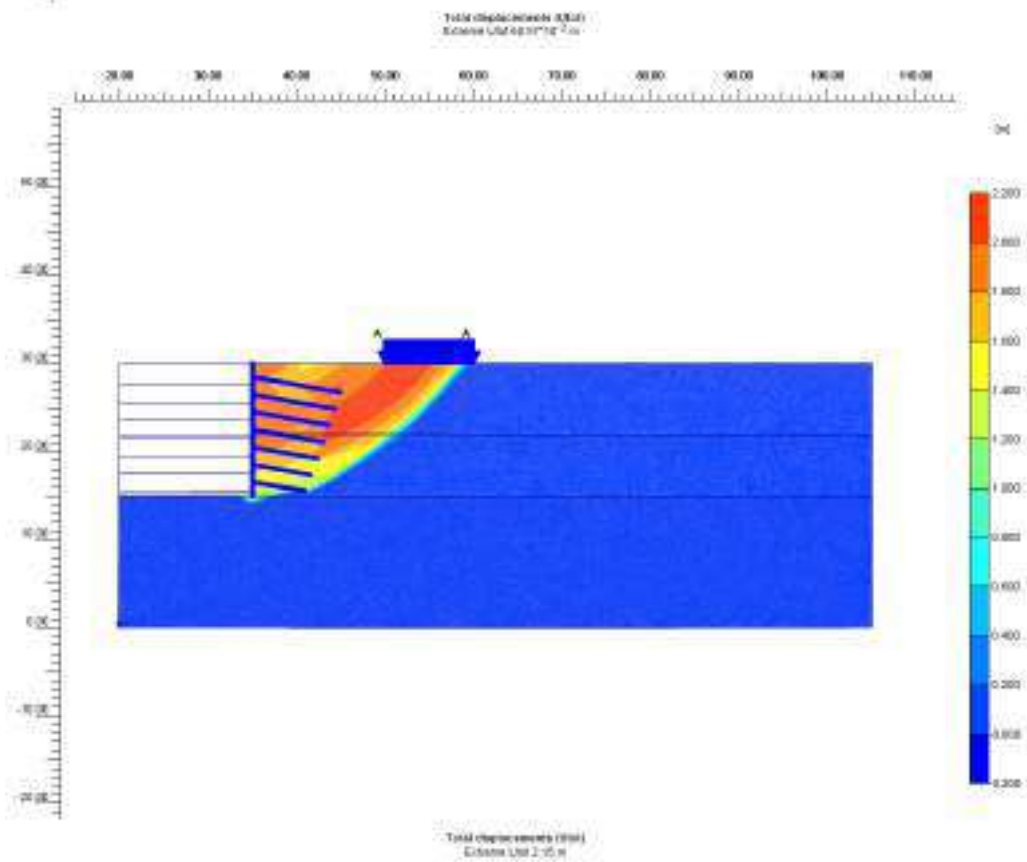
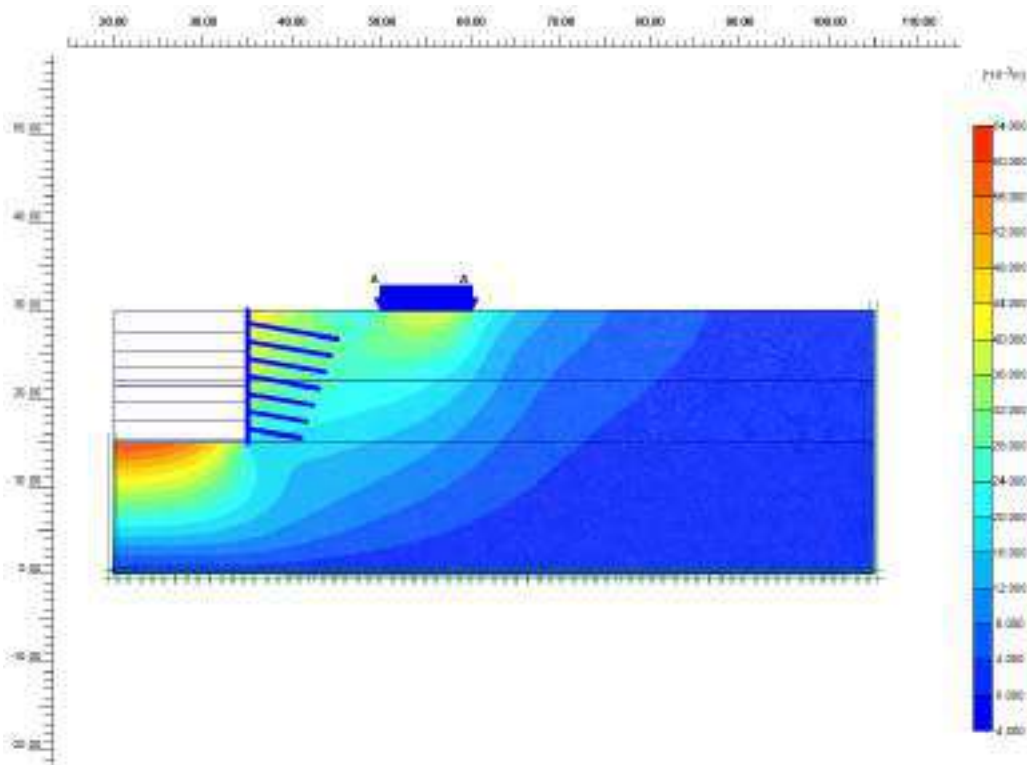
شکل ۲-۳) حداکثر جابه‌جایی کلی  $63.74 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۴۶

ج) ۱۰ متری لبه گود



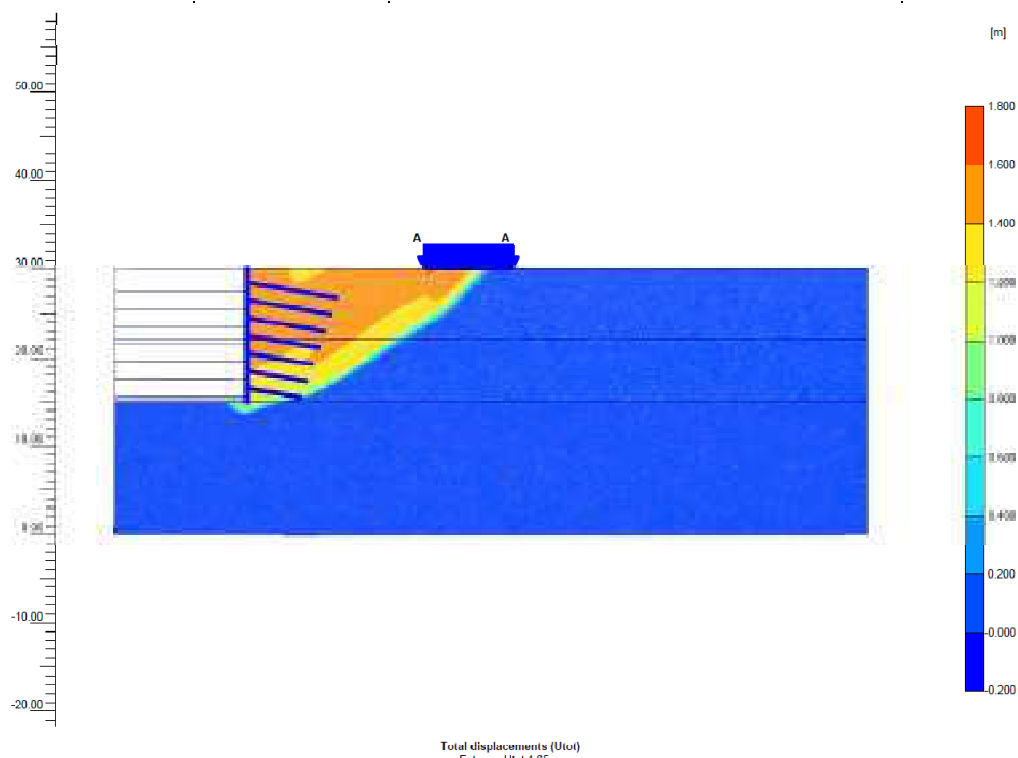
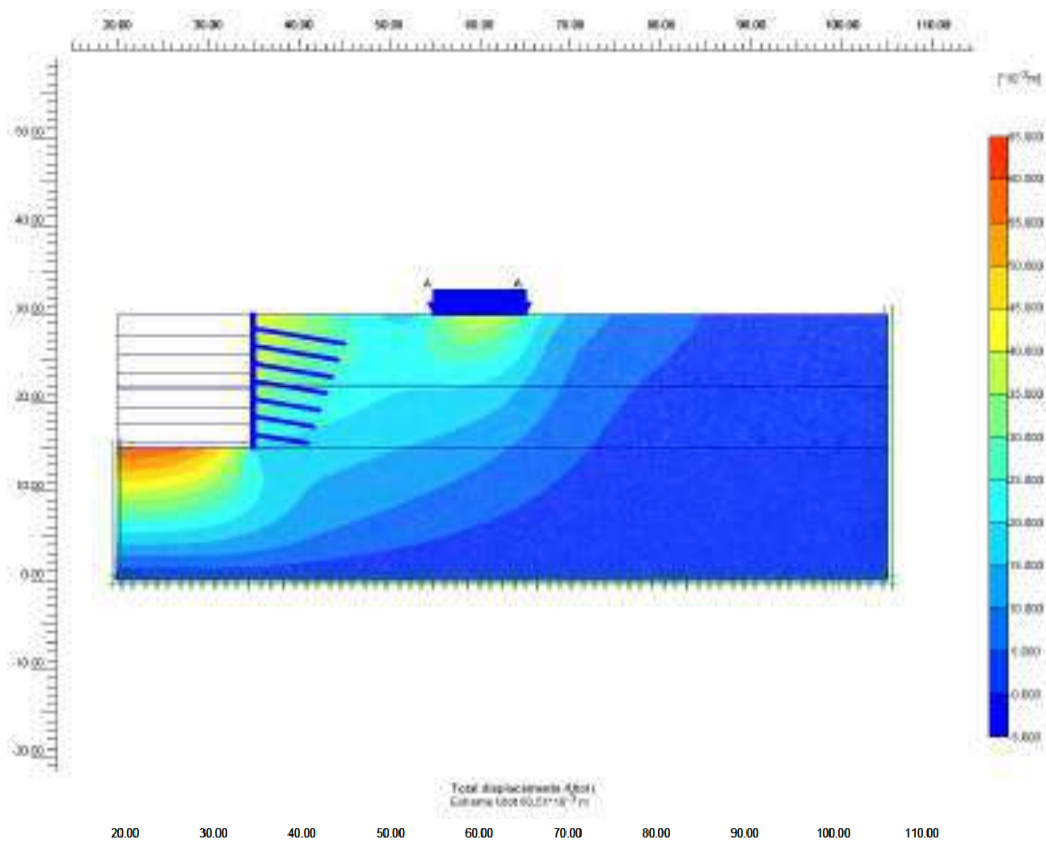
شکل ۲-۳۱) حداکثر جابه‌جایی کلی  $10^{-3} \times 60.60 \times 1.41$  متر و ضریب اطمینان ۱.۴۱

(د) ۱۵ متری لبه گود



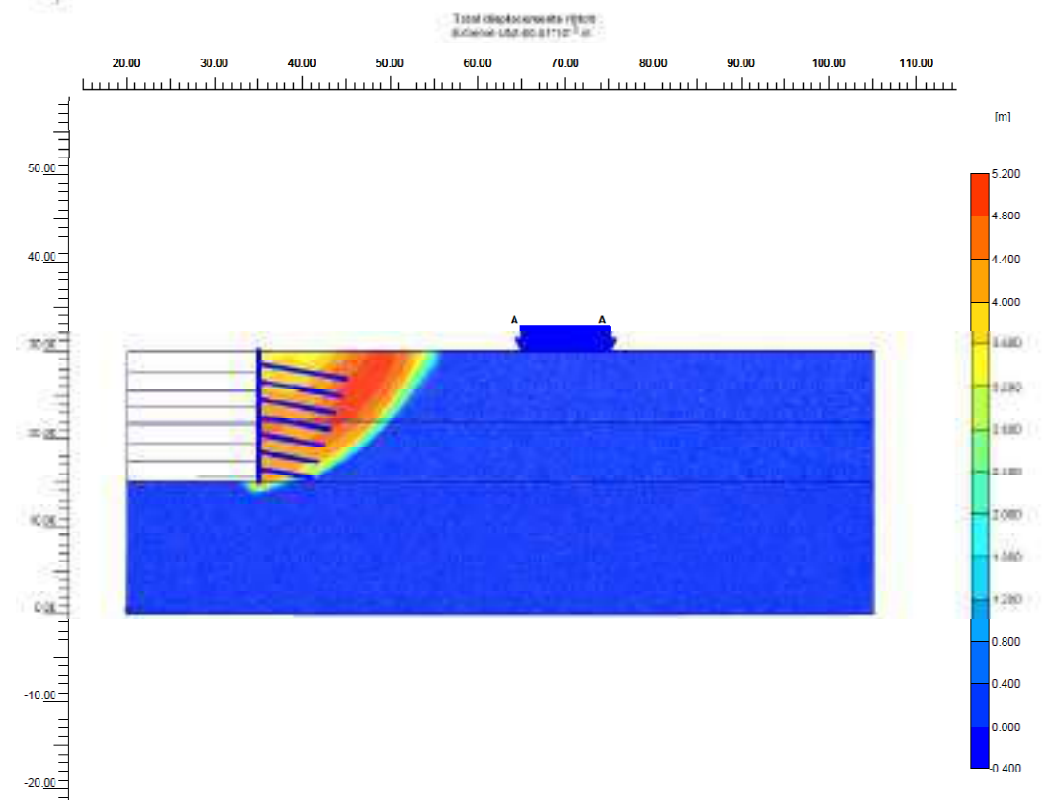
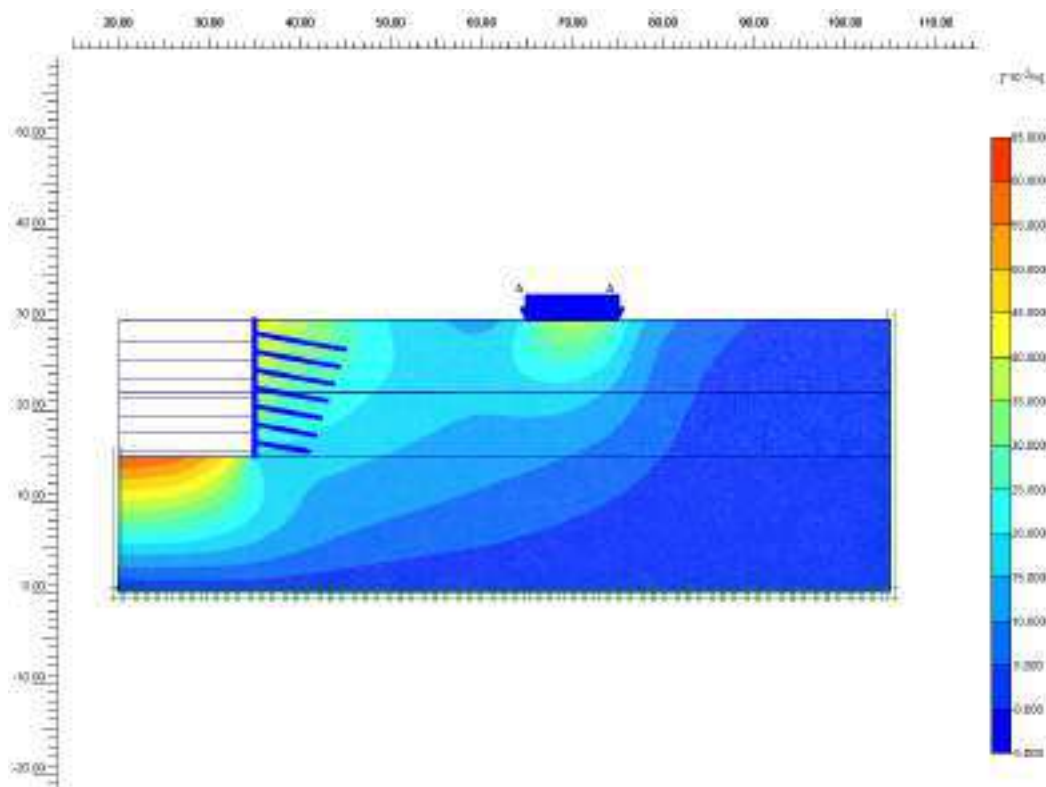
شکل ۲-۳۲) حداکثر جابه‌جایی کلی  $60.57 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۵۴

(و) ۲۰ متری لبه گود



شکل ۲-۳۳ حداکثر جابه‌جایی کلی  $60.51 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۶۴

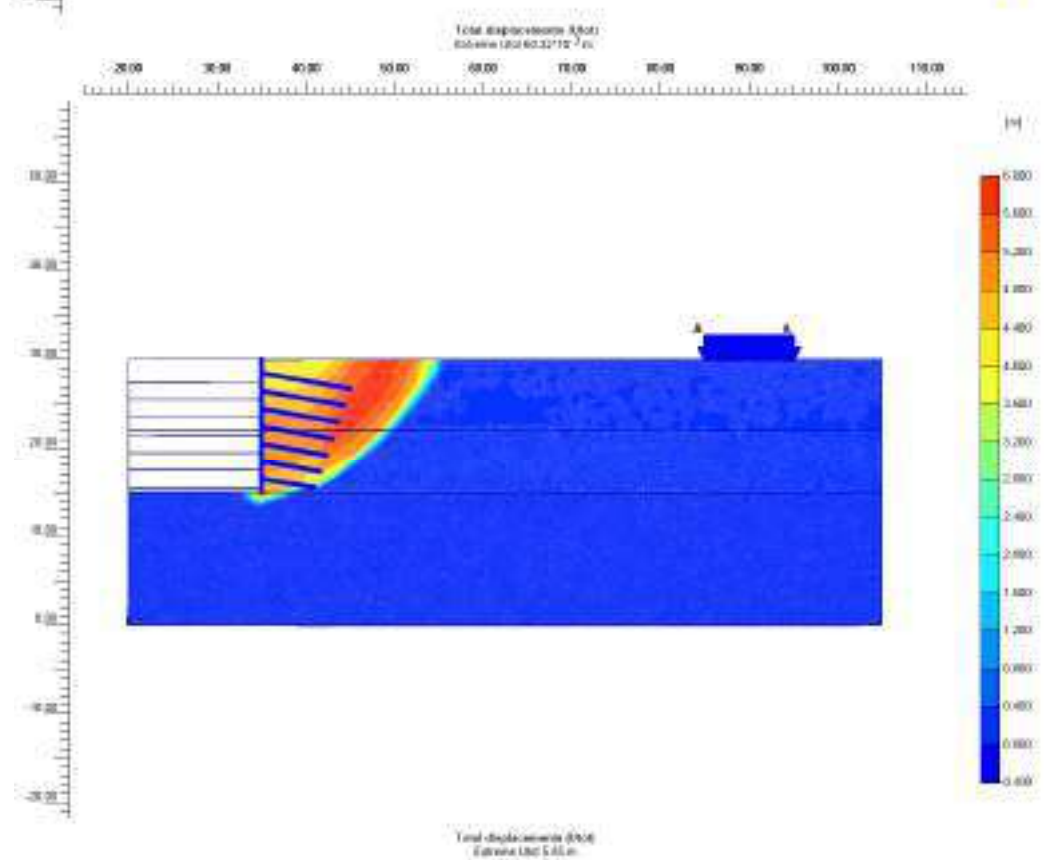
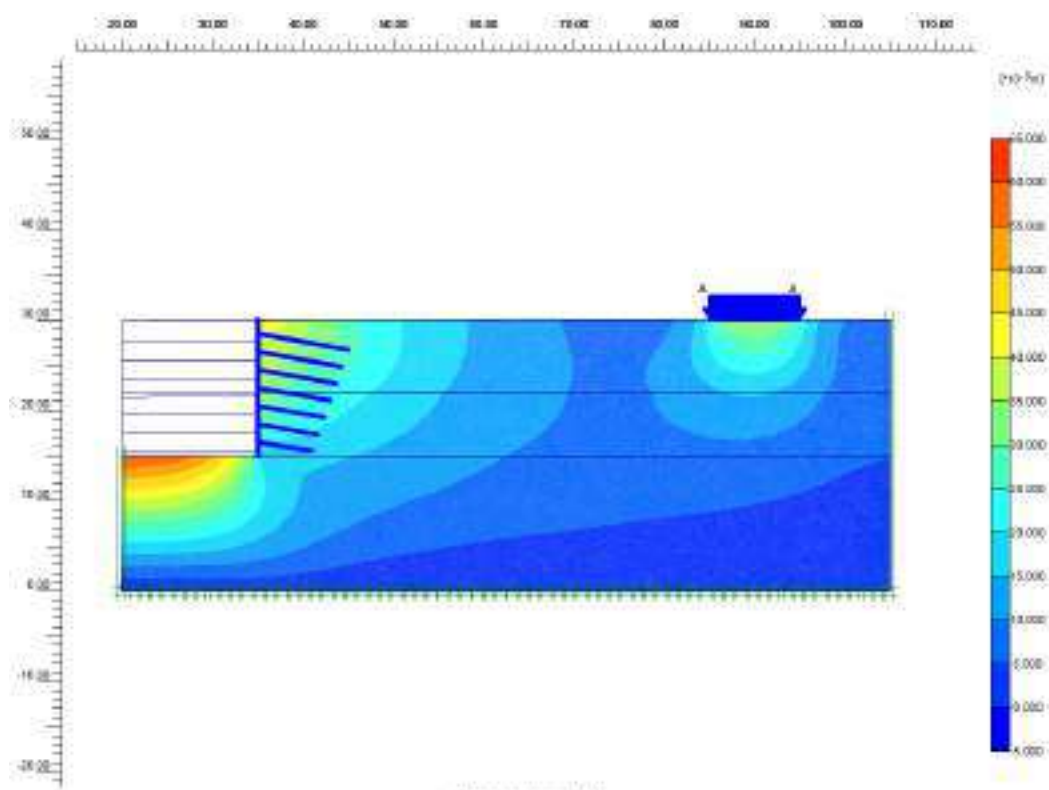
(ه) ۳۰ متری لبه گود



شکل ۲-۳۴ حداکثر جابه‌جایی کلی  $60.41 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۷۳



(ی) ۵۰ متری لبه گود

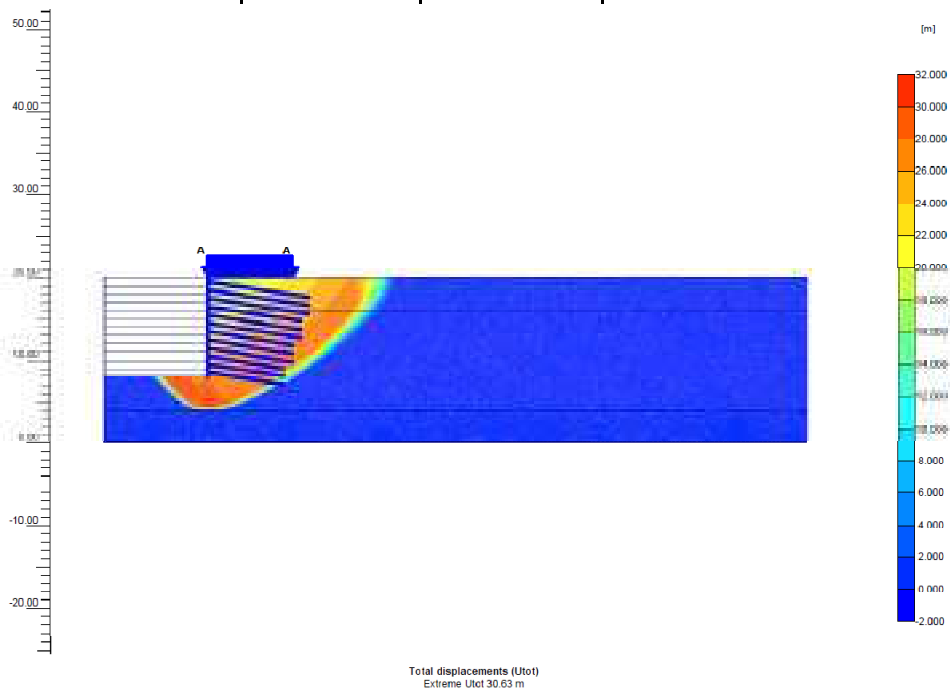
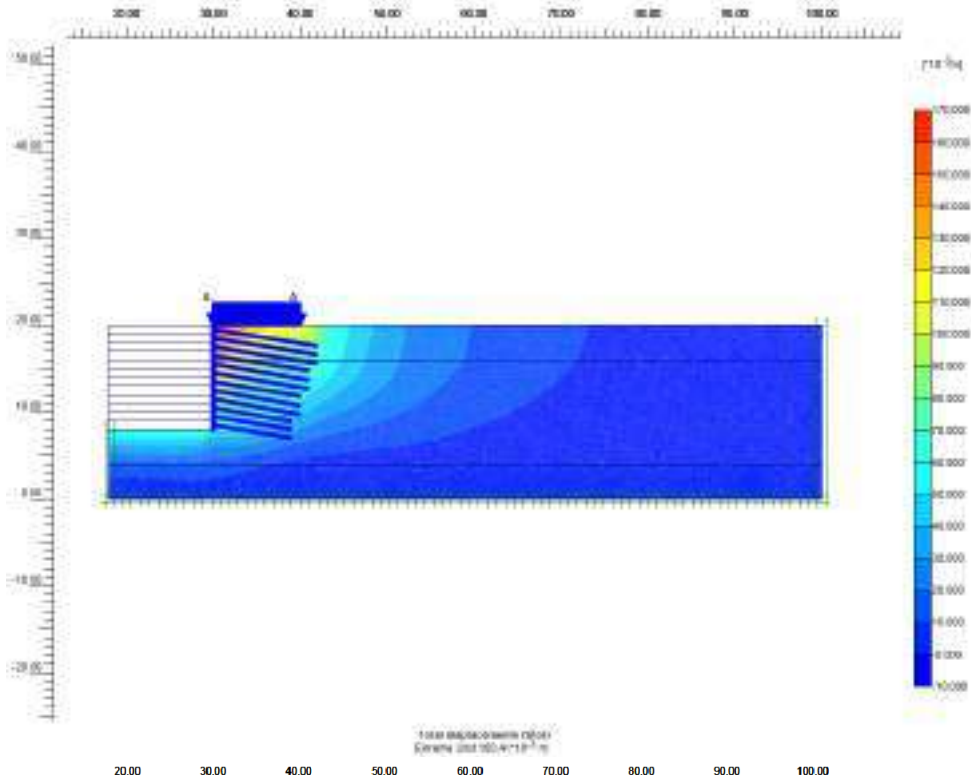


شکل ۲-۳۵) حداکثر جابه‌جایی کلی  $60.32 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۷۳

۲-۱۱-۲ پروژه شهری

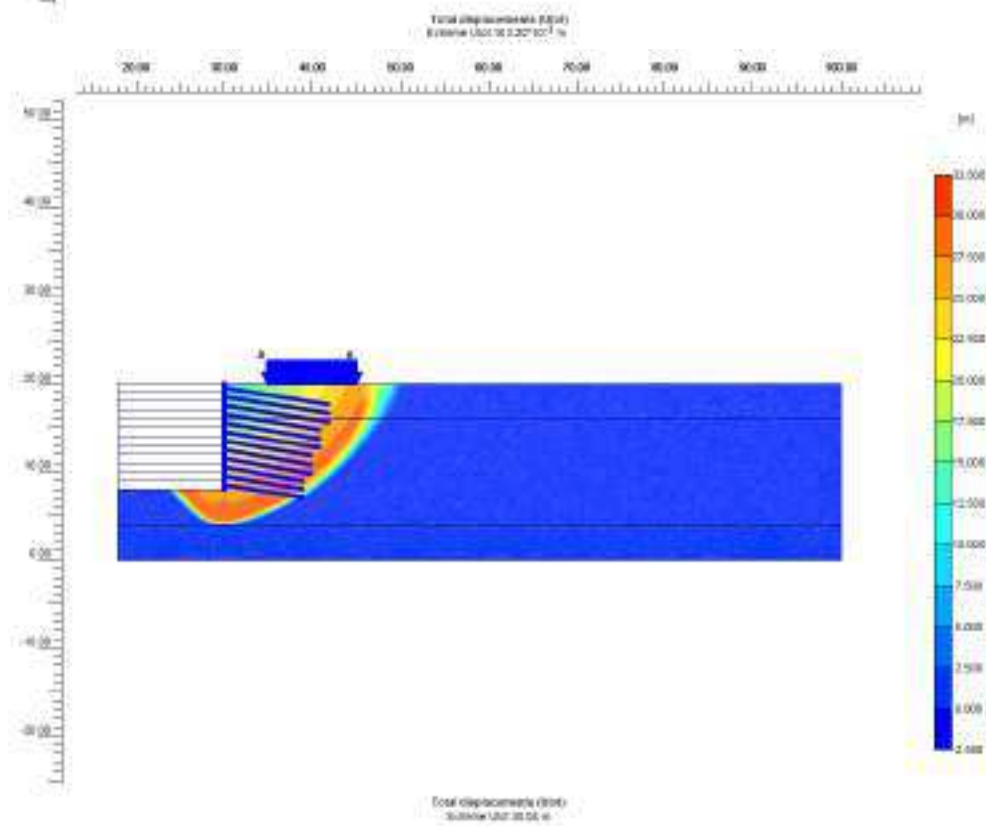
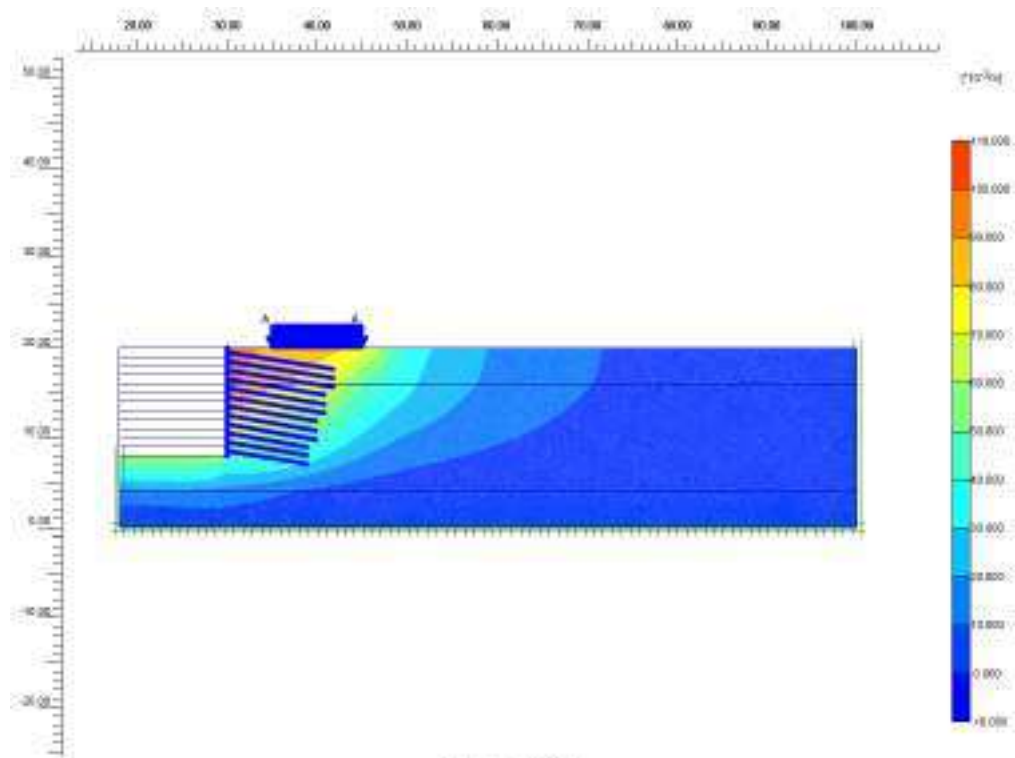
۲-۱۱-۲-۱ سربار با بار گسترده به عرض ۱۰ متر با بار 50 Kpa

الف) لبه گود



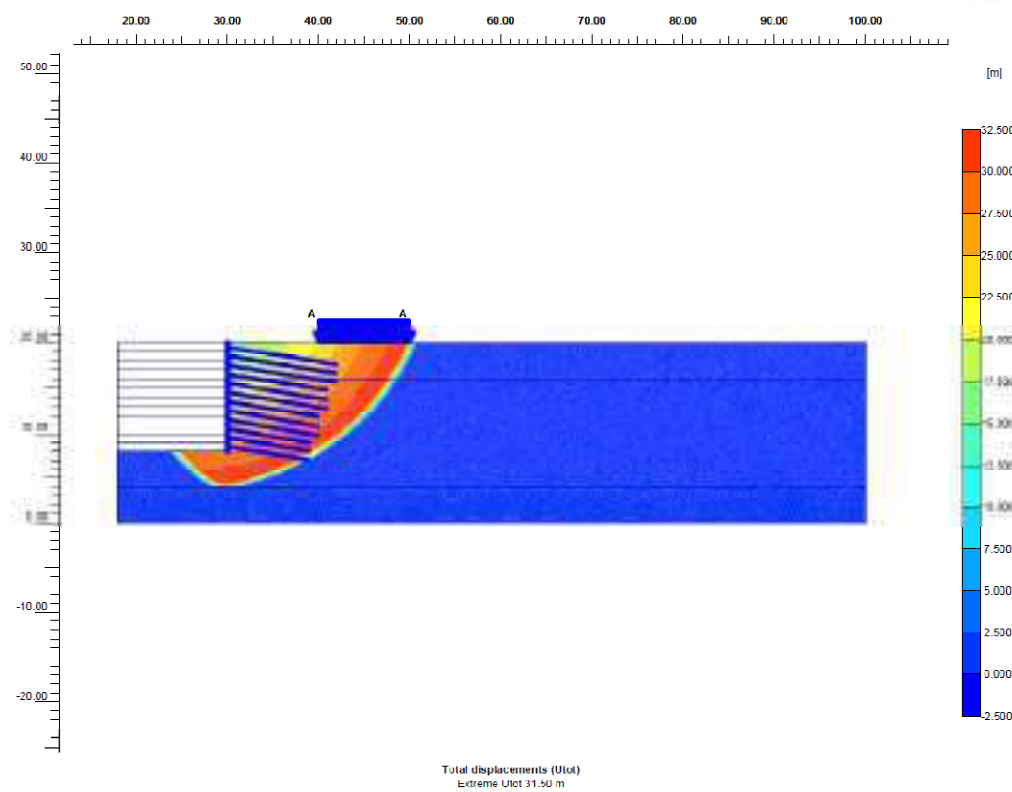
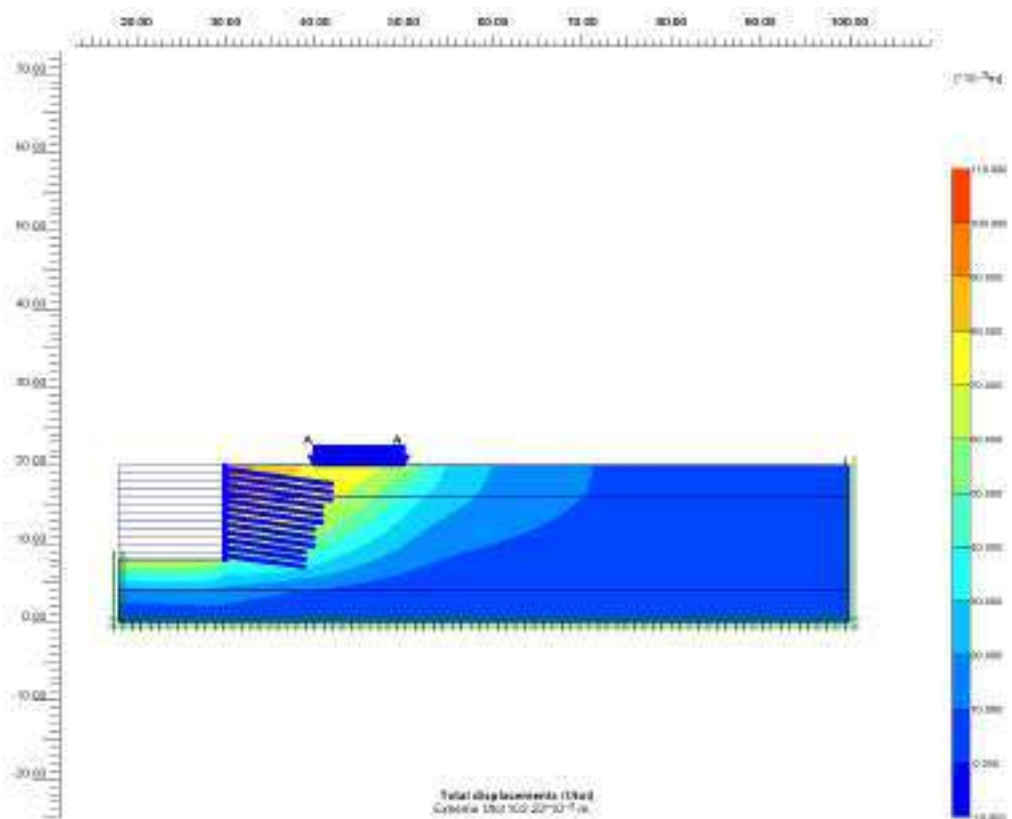
شکل ۲-۳۶ حداکثر جابه‌جایی کلی  $10^{-3} \times 160.41$  متر و ضریب اطمینان ۱.۴۳

(ب) ۵ متری لبه گود



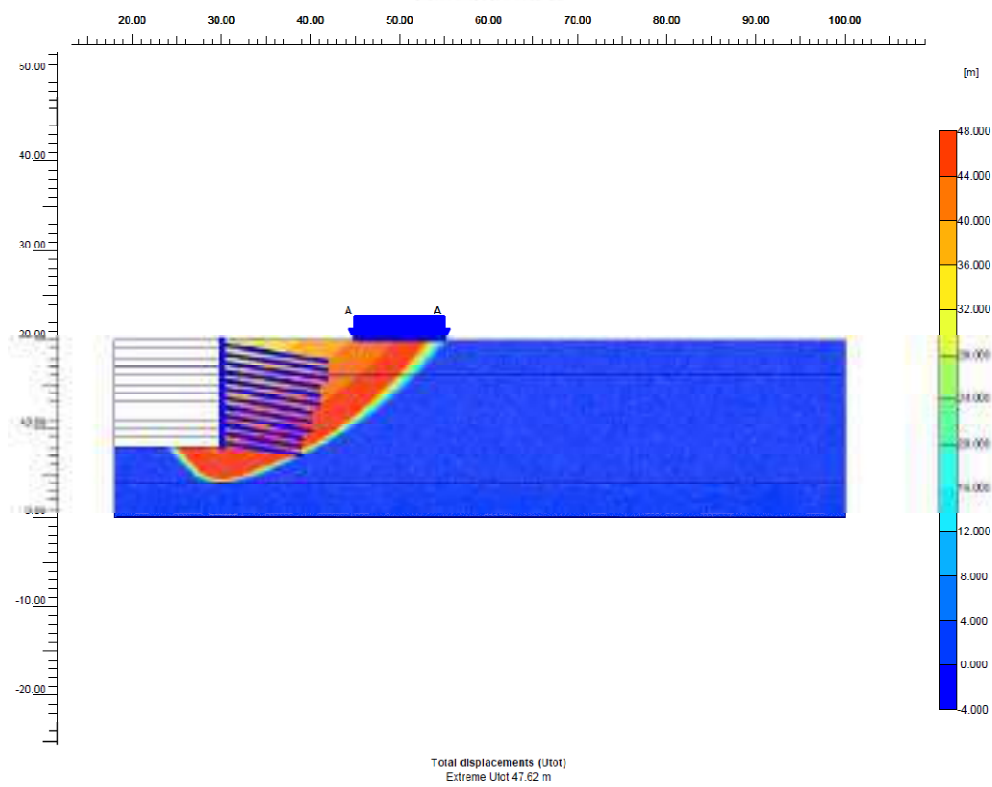
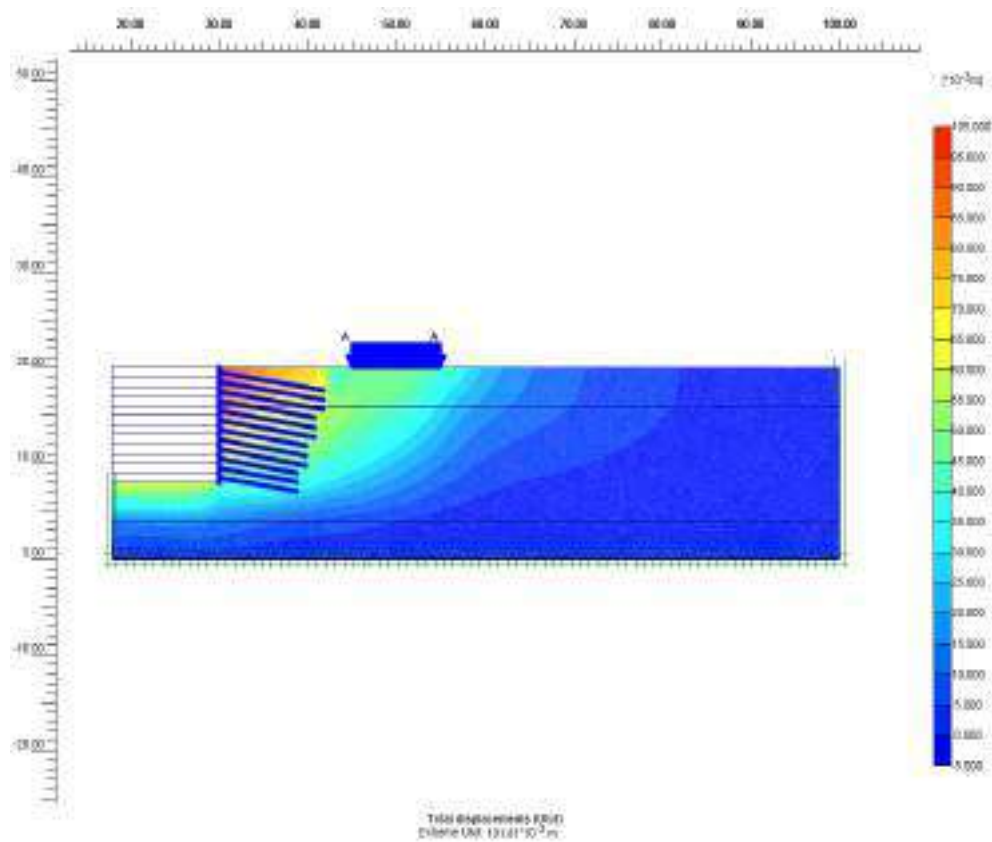
شکل ۲-۳۷) حداکثر جابه‌جایی کلی  $10^{-3} \times 103.20 \times 1.37$  متر و ضریب اطمینان ۱.۳۷

ج) ۱۰ متری لبه گود



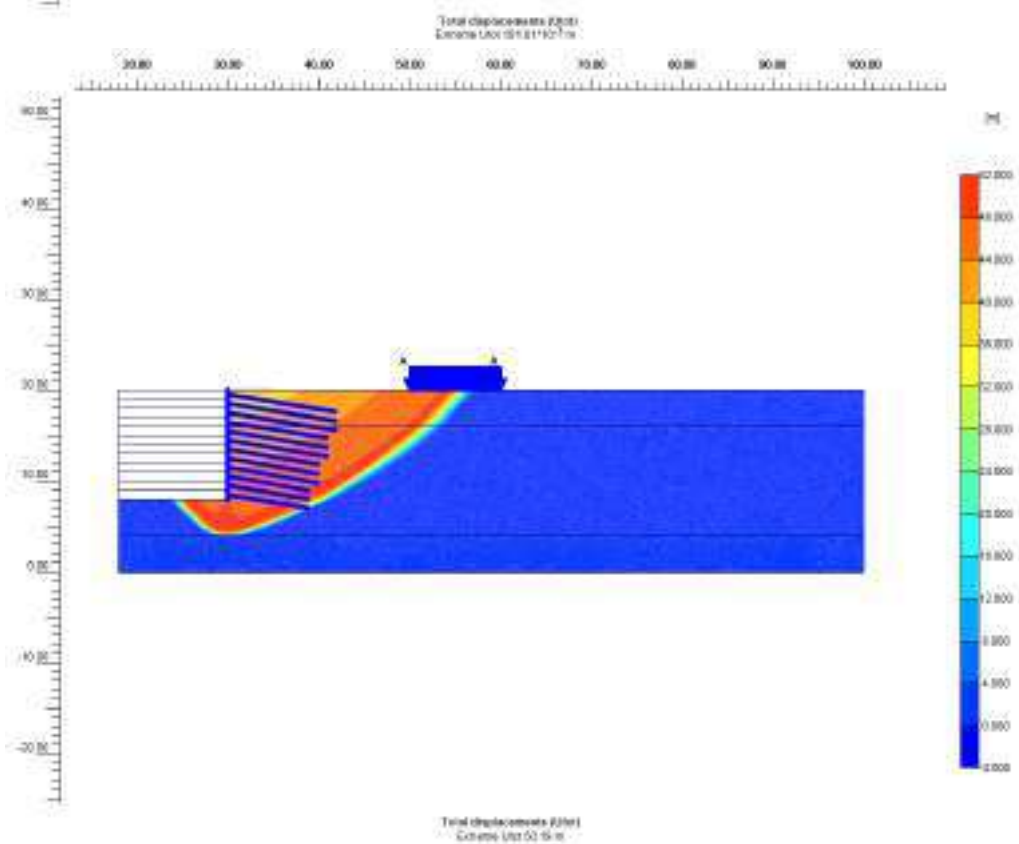
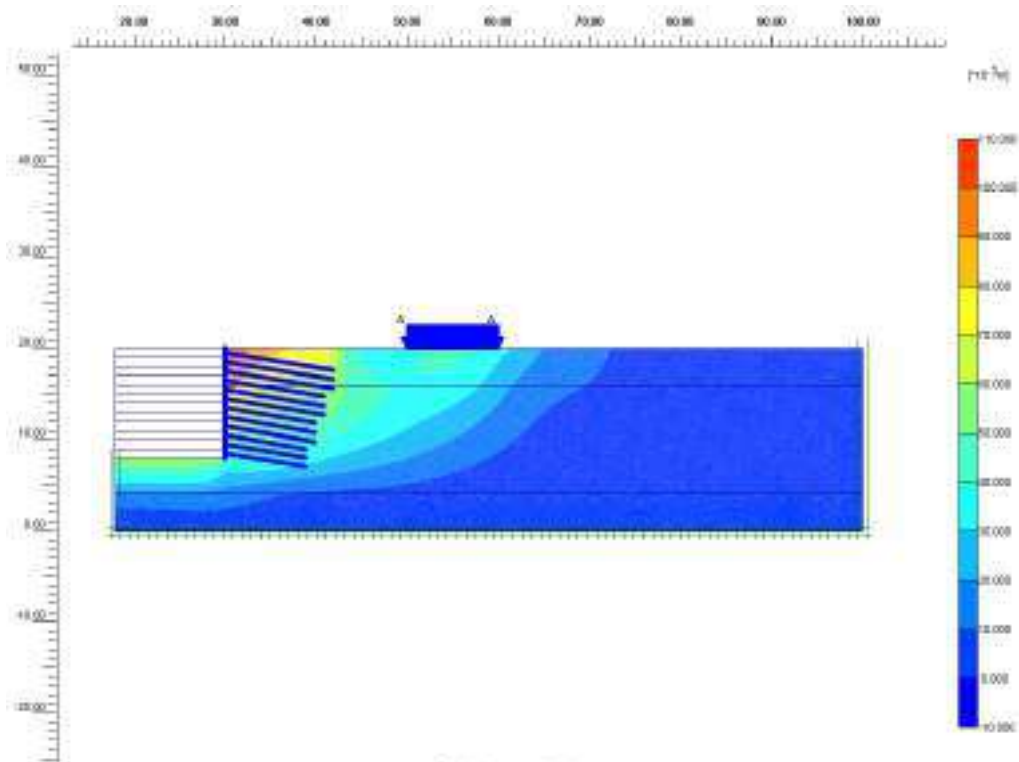
شکل ۲-۳۸) حداکثر جابه‌جایی کلی  $1.0 \times 10^{-3} \times 2.22 \times 10^2$  متر و ضریب اطمینان ۱.۳۴

(د) ۱۵ متری لبه گود



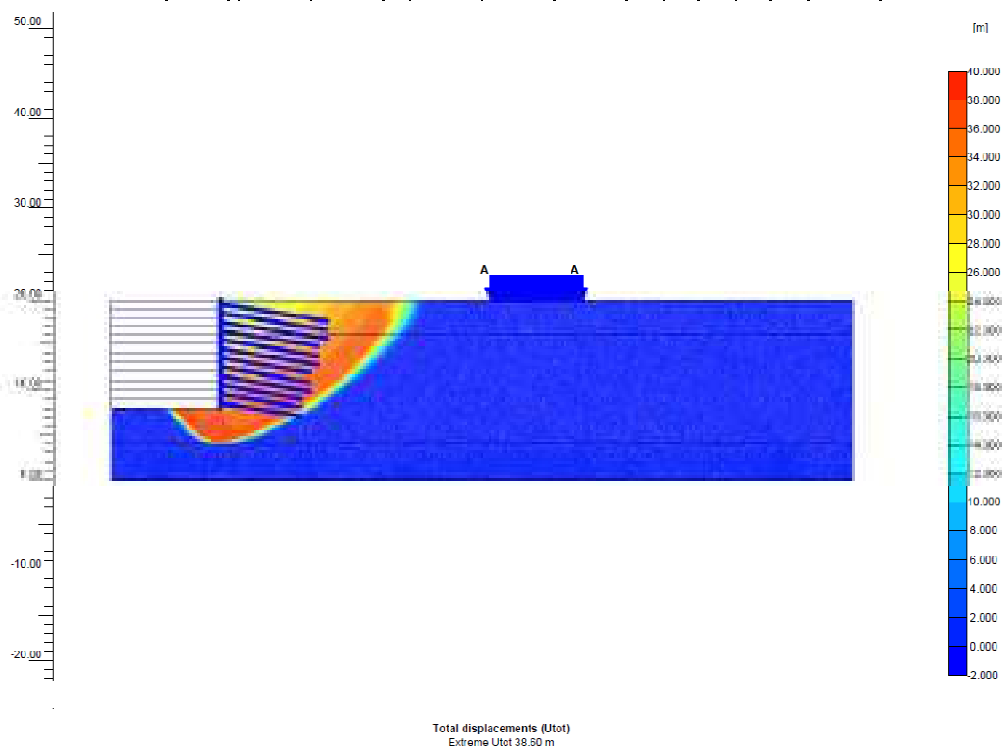
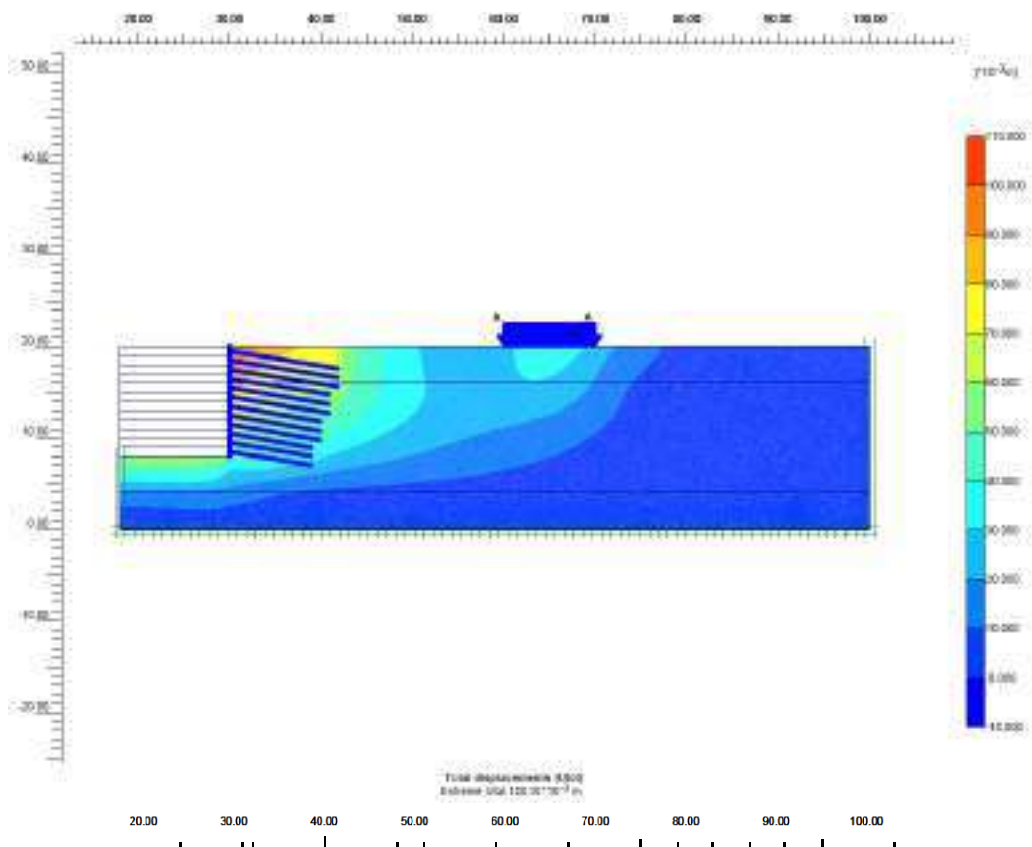
شکل ۲-۳۹ حداکثر جابه‌جایی کلی  $1.01.81 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۳۸

(و) ۲۰ متری لبه گود



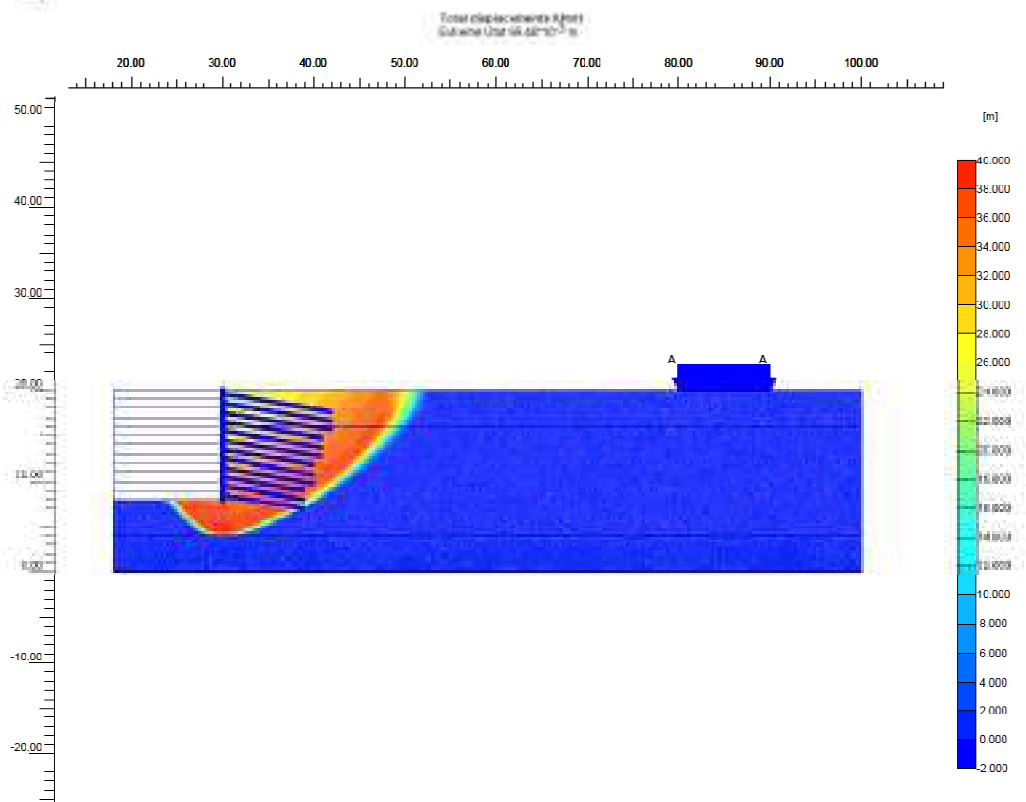
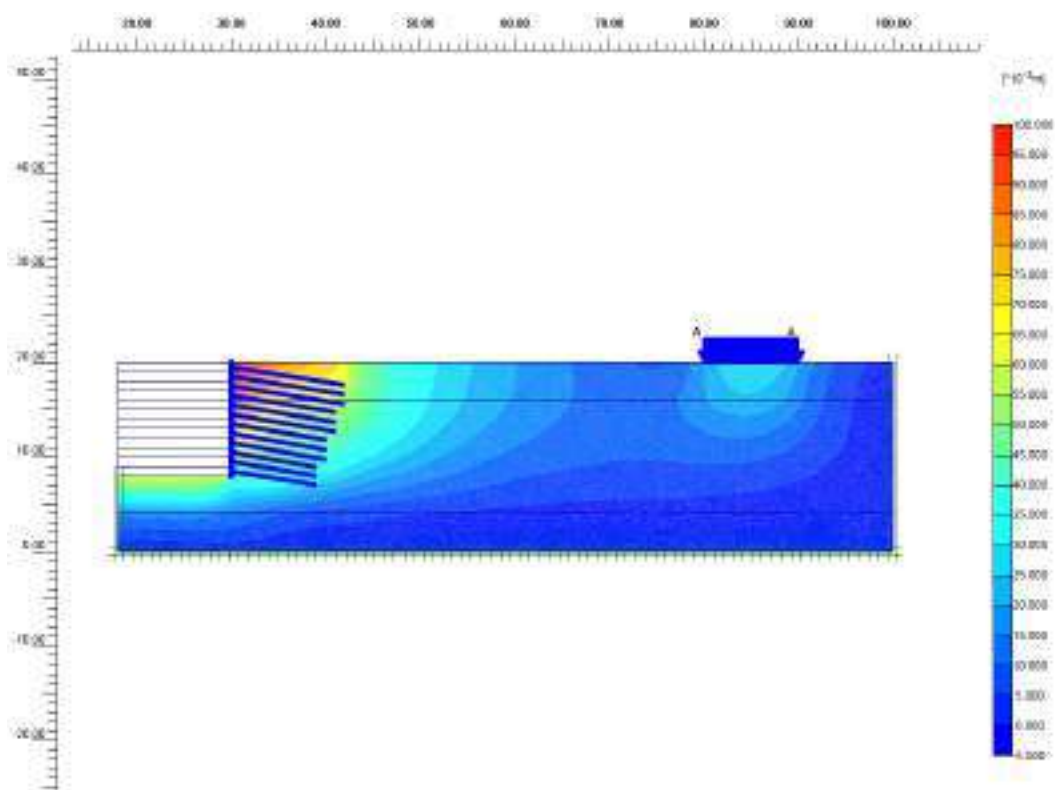
شکل ۲-۴) حداکثر جابه‌جایی کلی  $10^{-3} \times 1.0 \times 1.0$  متر و ضریب اطمینان ۱.۴۵

(ه) ۳۰ متری لبه گود



شکل ۲-۴۱) حداکثر جابه‌جایی کلی  $100.10 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۵۱

(ی) ۵۰ متری لبه گود



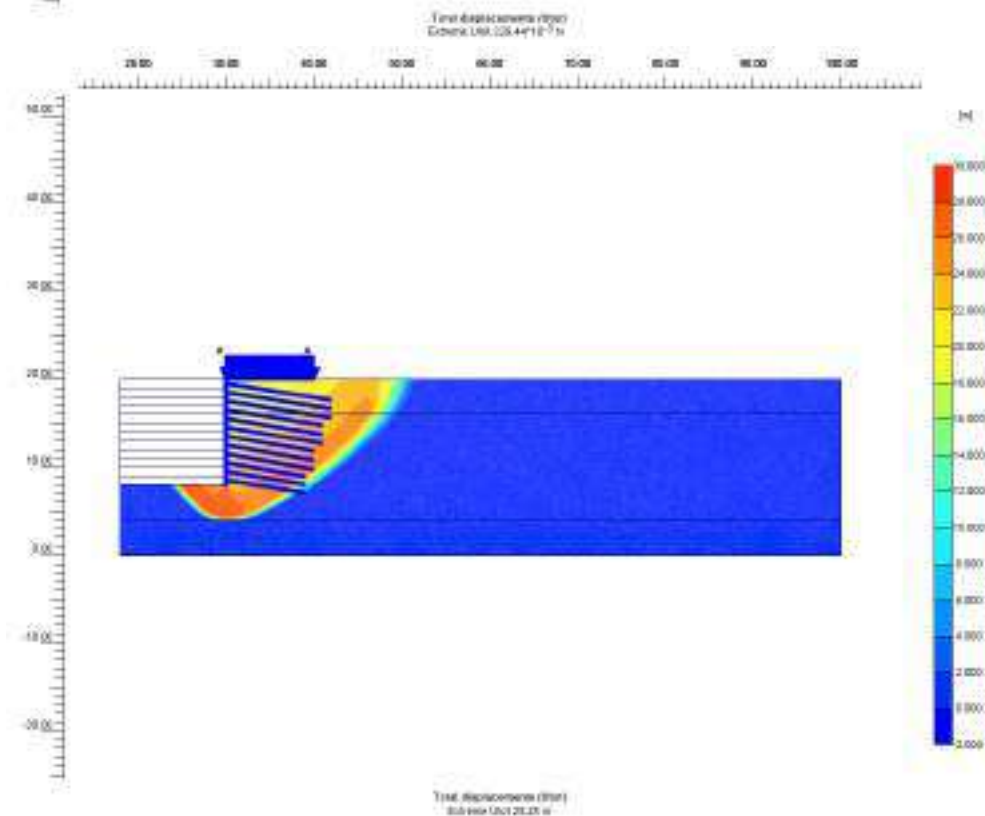
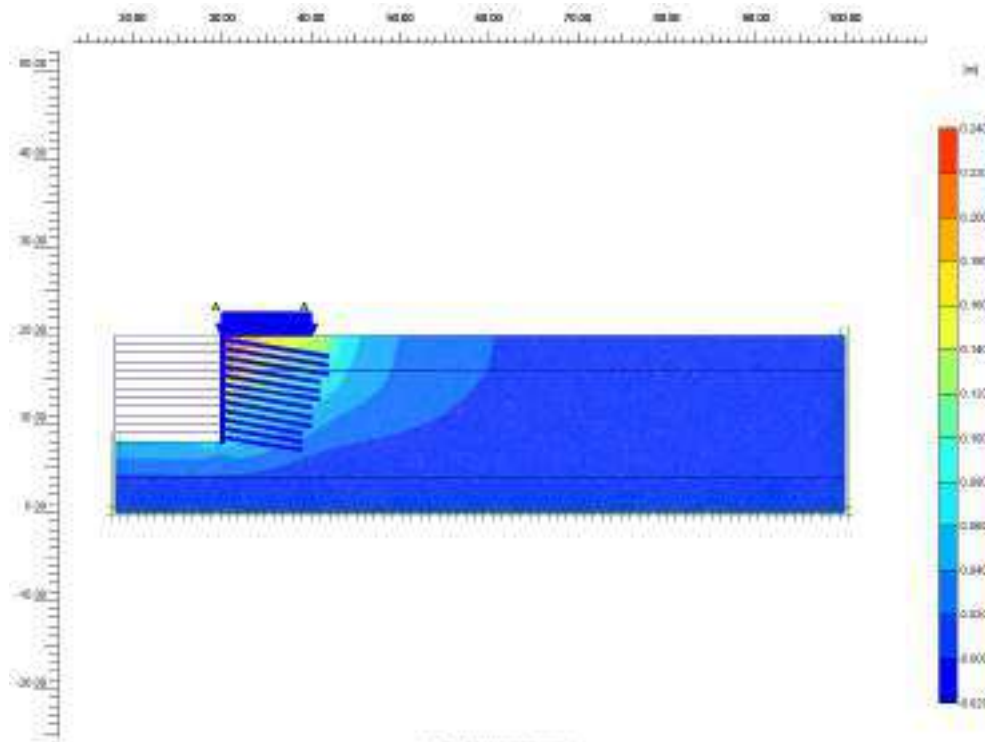
Total displacements (Utot)  
Extreme Utot 39.41 m

شکل ۲-۴۲) حداکثر جابه‌جایی کلی  $99.40 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۵۱



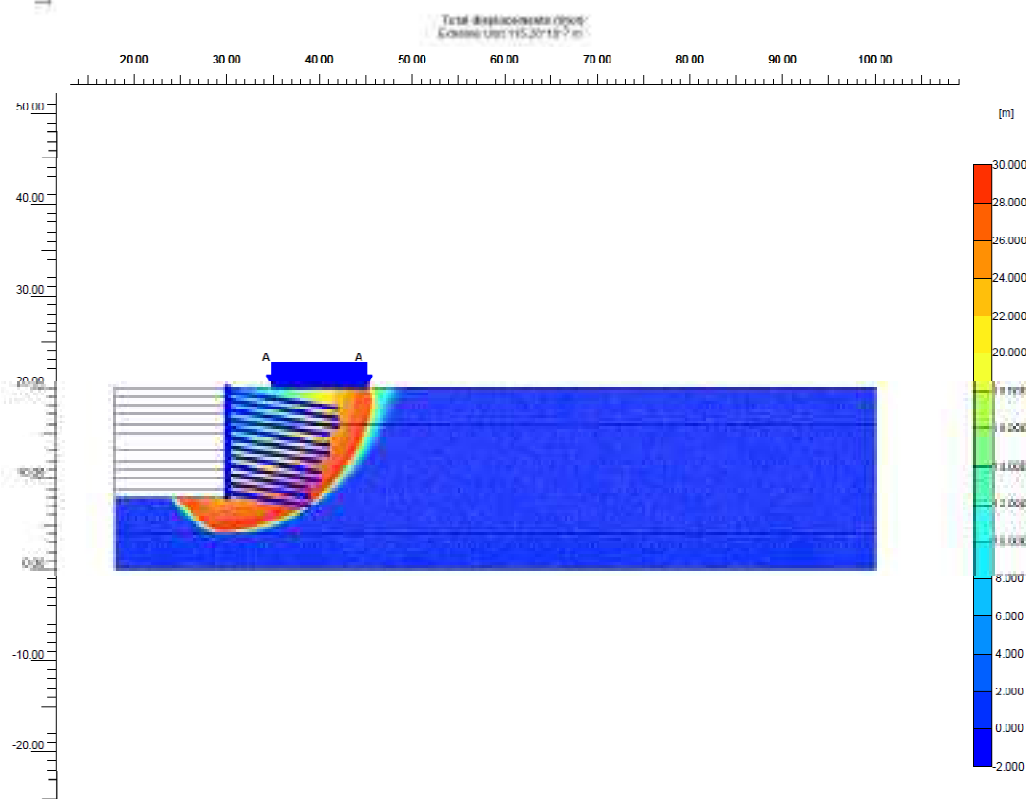
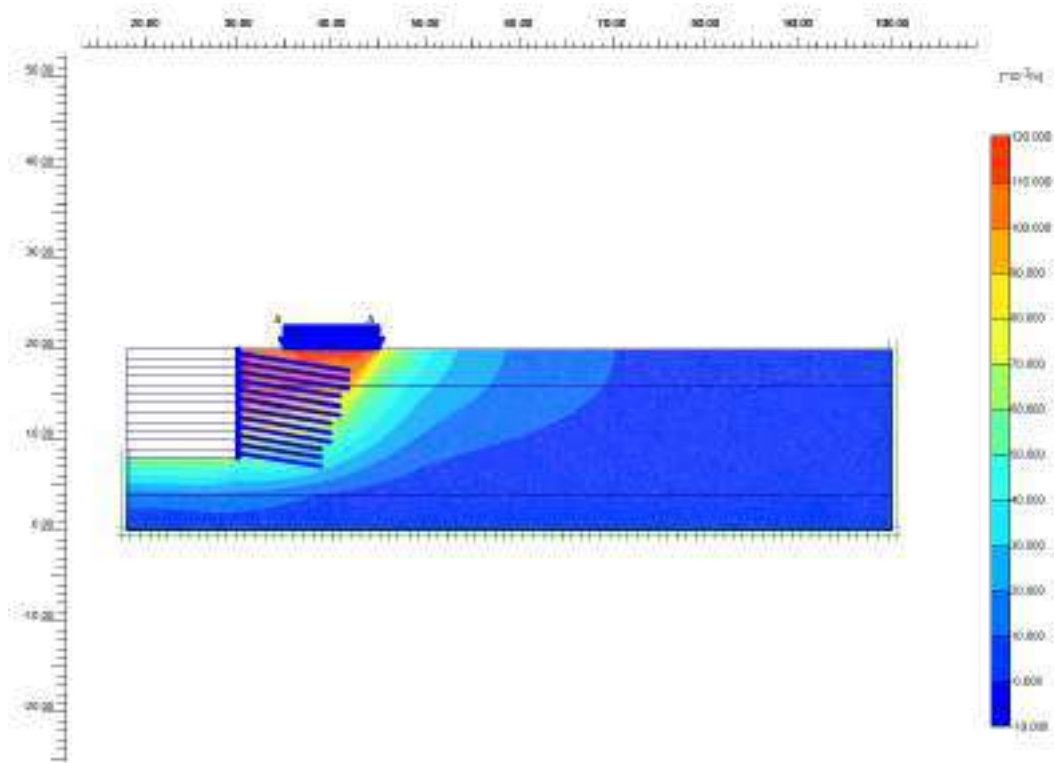
۲-۱۱-۲) سربار با بار گسترده به عرض ۱۰ متر با بار 100 Kpa

الف) لبه گود



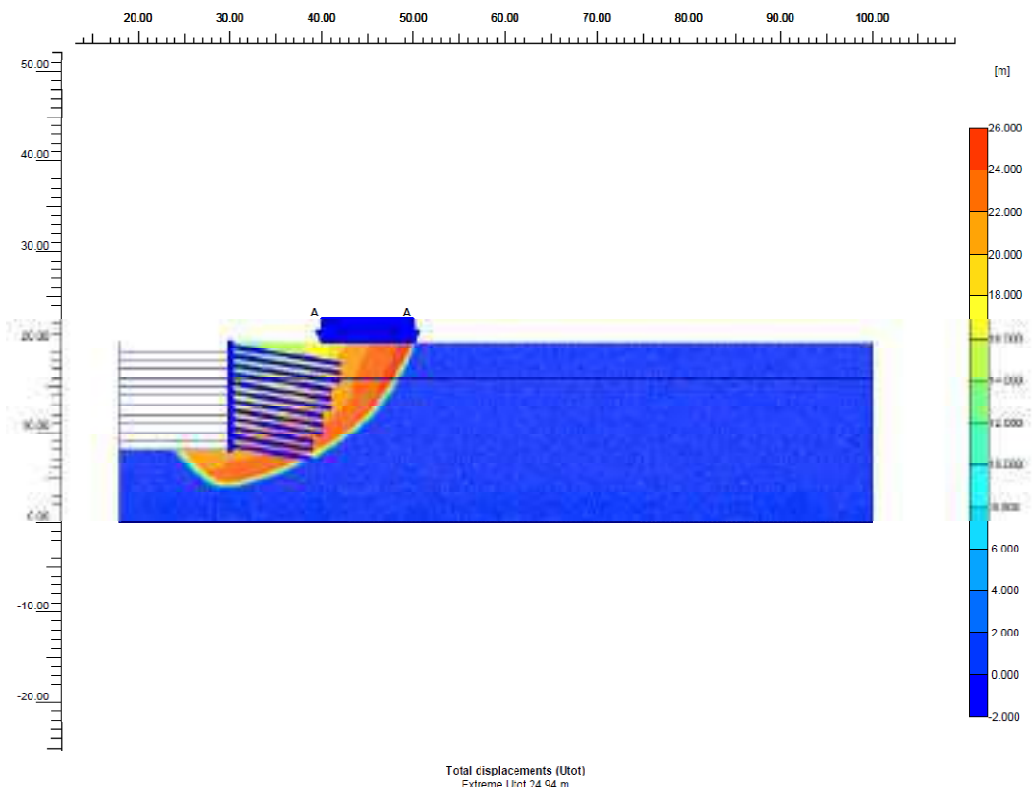
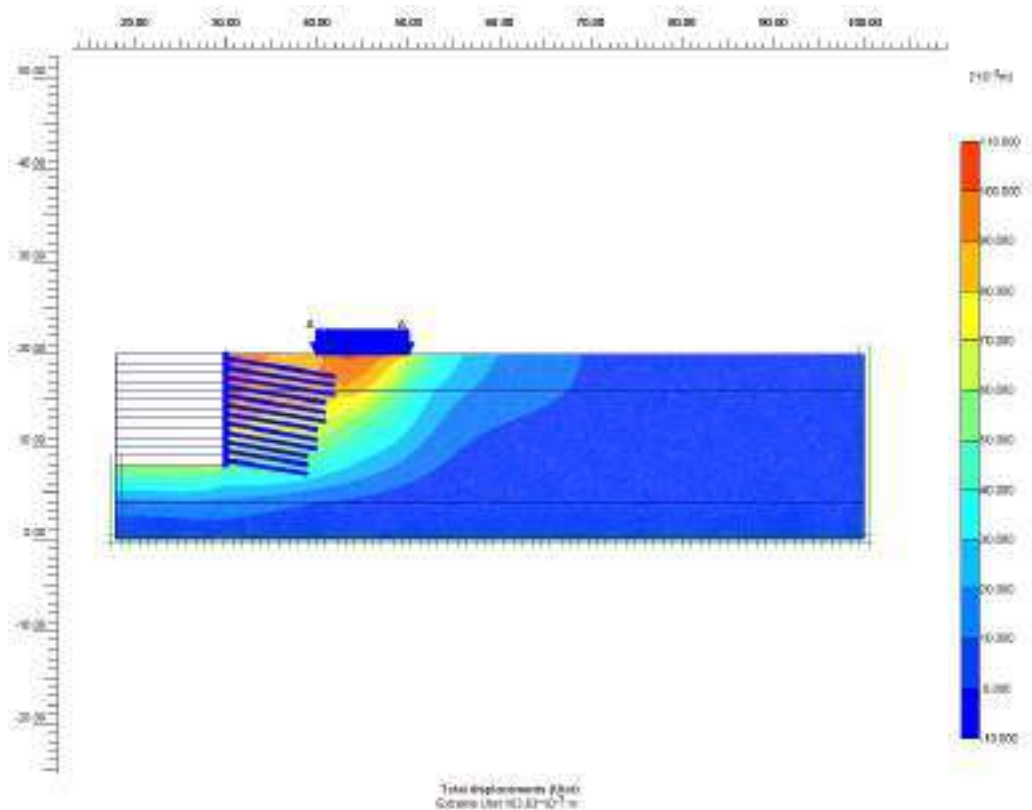
شکل ۲-۴۳) حداکثر جابه‌جایی کلی  $10^{-3} \times 229.44$  متر و ضریب اطمینان ۱.۳۵

ب) ۵ متری لبه گود



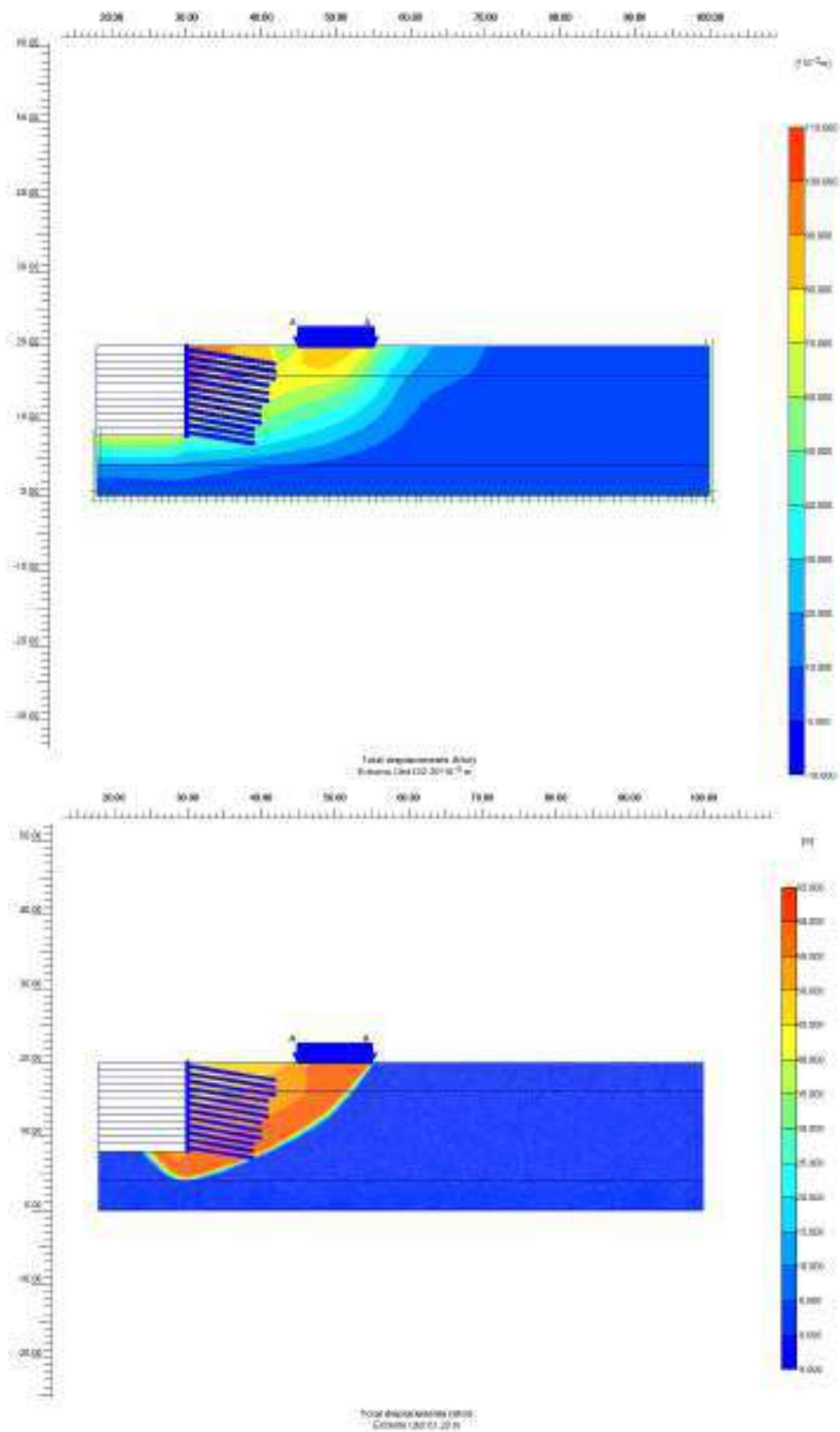
شکل ۲-۴۴) حداکثر جابه‌جایی کلی  $115.26 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۲۶

ج) ۱۰ متری لبه گود



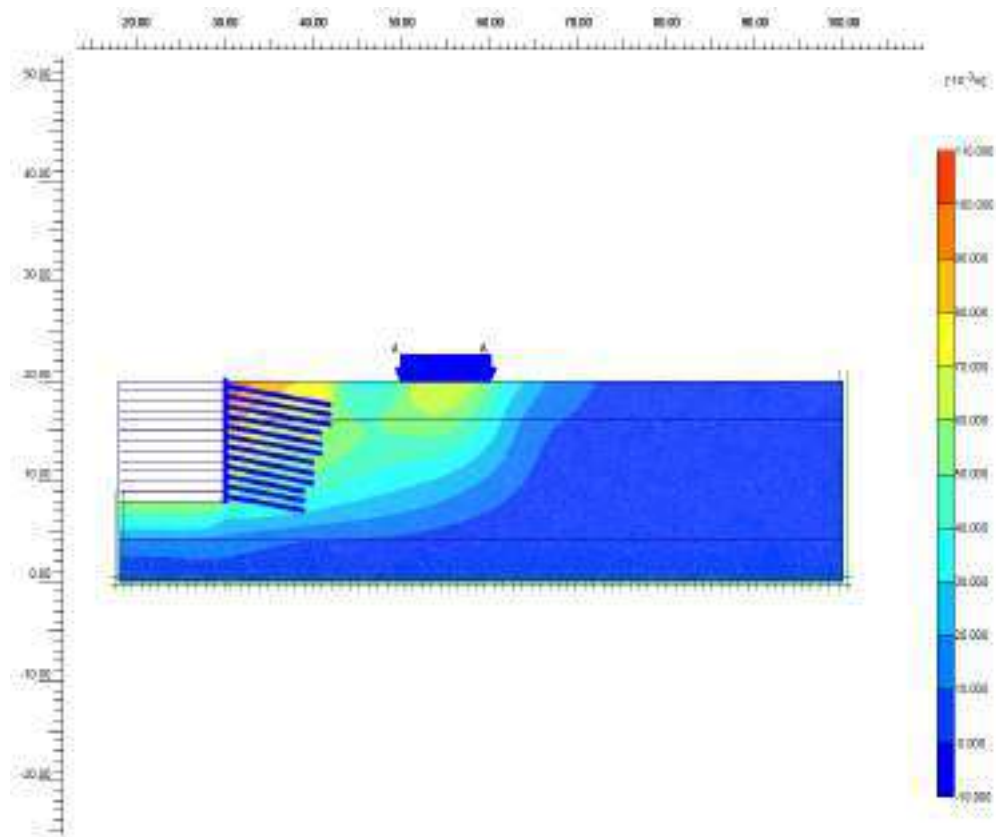
شکل ۲-۴۵) حداکثر جابه‌جایی کلی  $1.0383 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۱۹

(د) ۱۵ متری لبه گود

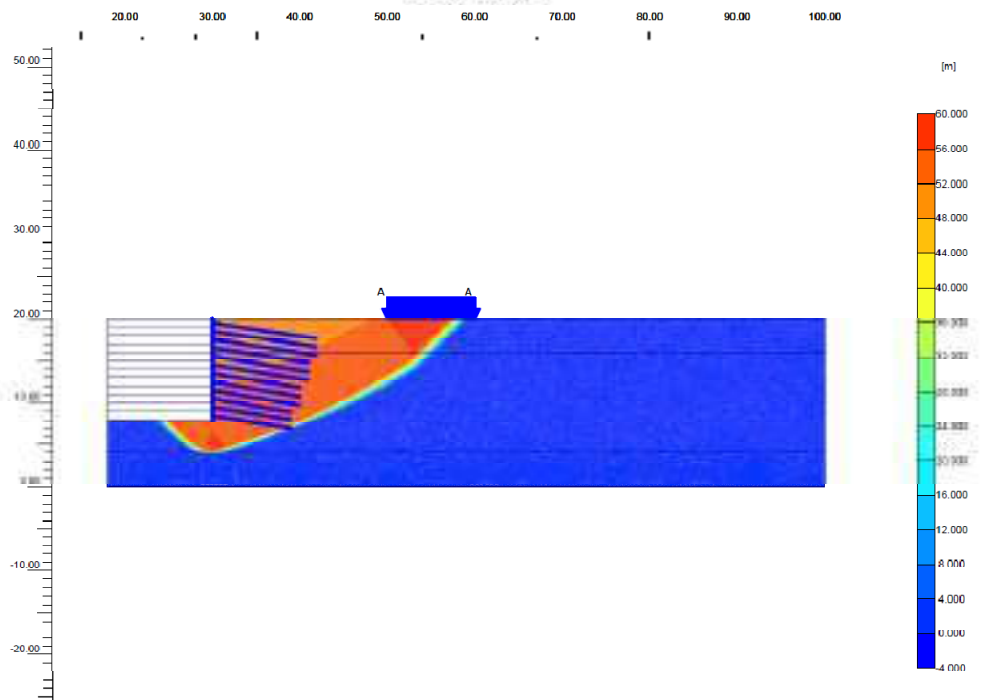


شکل ۲-۴۶ حداکثر جابه‌جایی کلی  $1.0 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۲۶

(و) ۲۰ متری لبه گود



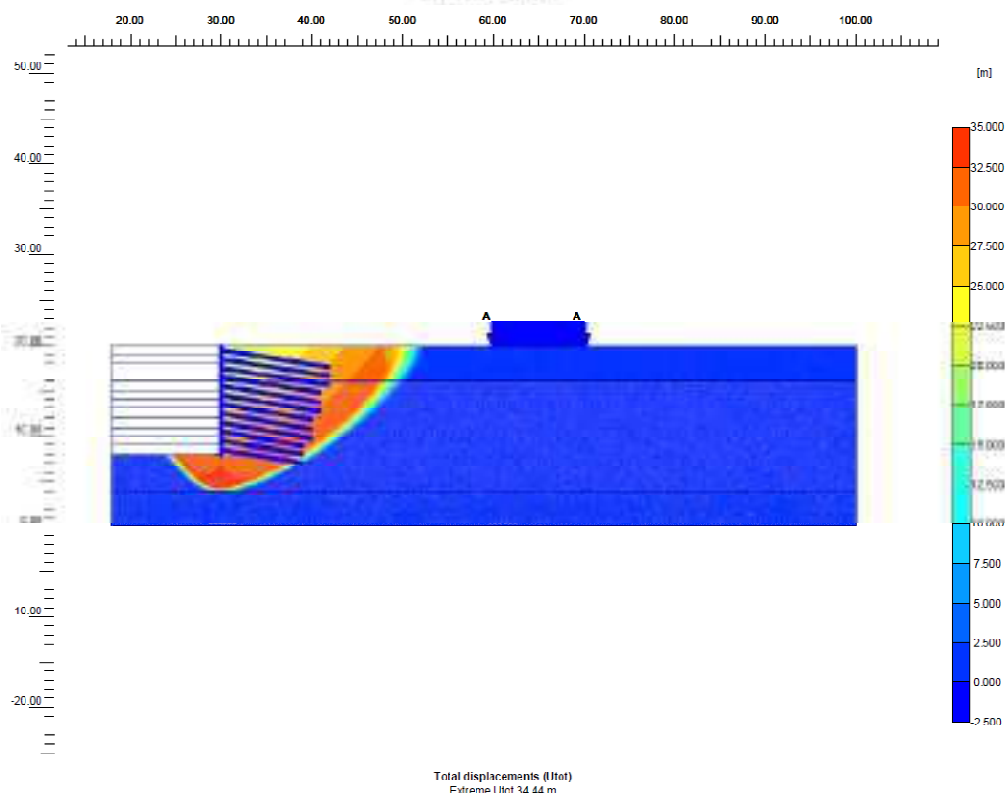
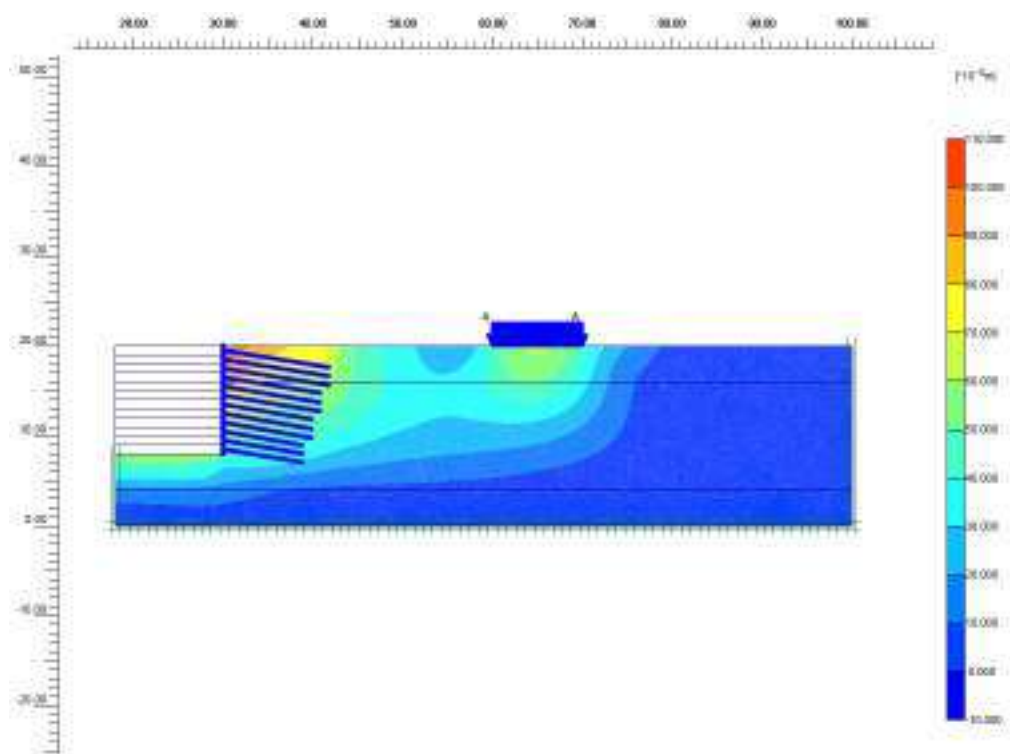
Total displacements (Utot)  
Extreme Utot: 125.74\*10<sup>-3</sup> m



Total displacements (Utot)  
Extreme Utot: 57.05 m

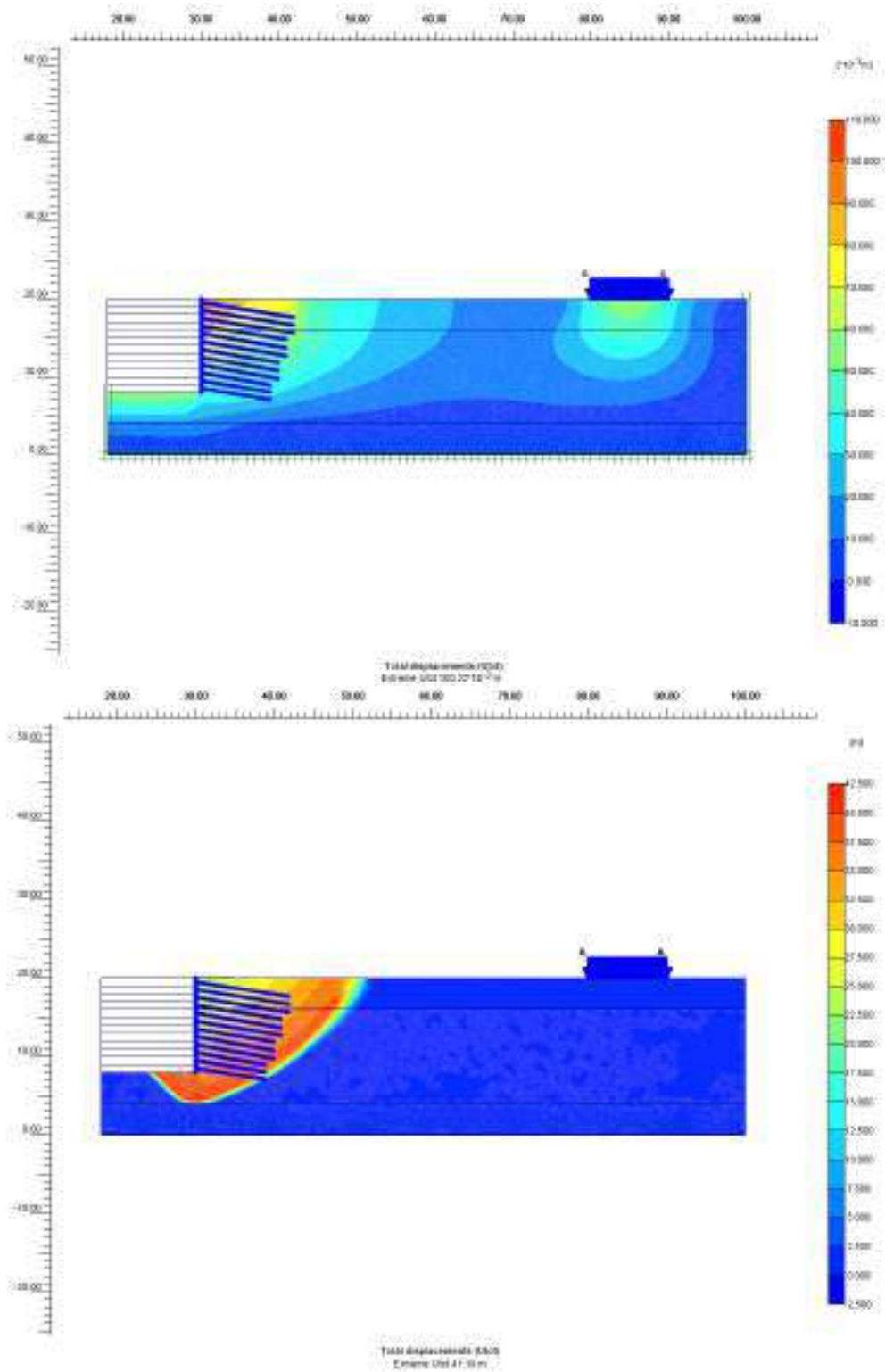
شکل ۲-۴۷) حداکثر جابه‌جایی کلی  $1.01.74 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۳۵

(ه) ۳۰ متری لبه گود



شکل ۲-۴۸) حداکثر جابه‌جایی کلی  $1.0139 \times 10^{-3}$  متر و ضریب اطمینان ۱.۵۰

ی) ۵۰ متری لبه گود



شکل ۲-۴۹) حداکثر جابه‌جایی کلی  $1.0 \times 10^{-3} \times 0.22$  متر و ضریب اطمینان ۱.۵۱

## فصل سوم:

## نتایج و بحث



## فصل سوم: نتایج و بحث

### ۳-۱) مقدمه

همانطور که مشاهده گردید، در فصل پیشین به تفصیل در مورد مدلسازی عددی نیلینگ و اعمال ۲ نوع سربار در فواصل ۵۰، ۳۰، ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵، ۰، بحث گردید و توسط نرم افزار Plaxis به روش المان محدود مدل‌هایی ساخته شد و بر اساس حساسیت دو مورد در طراحی نیلینگ که ضریب اطمینان و جابه‌جایی می‌باشد خروجی‌های مدل ساخته شده نشان داده شده است.

در این فصل تلاش بر آن است تا بتوانیم طبق اعداد بدست آمده از ضریب اطمینان و جابه‌جایی‌ها در دو مورد پروژه مذکور که یکی خاکی درشت دانه و دیگری چسبنده و ریز دانه است مقایسه‌ای در زمینه تاثیر سربار در کناره لبه گود و اهمیت و تغییرات حاصله از میزان فاصله این بارها بر لبه گود مورد کنکاش و بحث قرار گیرد.

۲-۳) مقایسه جابه جایی و ضریب اطمینان

۱-۲-۳) پروژه نیاوران

مدلسازی نیلینگ با لحاظ سربار در پروژه نیاوران				
فاصله سربار از لبه گود	جابه جایی کلی (m) در سربار 50 Kpa	جابه جایی کلی (m) در سربار 100 Kpa	ضریب اطمینان در سربار 50 Kpa	ضریب اطمینان در سربار 100 Kpa
0	$77.10 \times 10^{-3}$	$132.75 \times 10^{-3}$	1.68	1.62
5	$62.23 \times 10^{-3}$	$63.74 \times 10^{-3}$	1.46	1.46
10	$60.43 \times 10^{-3}$	$60.60 \times 10^{-3}$	1.43	1.41
15	$60.42 \times 10^{-3}$	$60.57 \times 10^{-3}$	1.65	1.54
20	$60.39 \times 10^{-3}$	$60.51 \times 10^{-3}$	1.71	1.64
30	$60.34 \times 10^{-3}$	$60.41 \times 10^{-3}$	1.73	1.73
50	$60.29 \times 10^{-3}$	$60.32 \times 10^{-3}$	1.73	1.73
مدلسازی نیلینگ بدون لحاظ سربار در پروژه نیاوران				
ضریب اطمینان			1.73	
جابه جایی کلی			$60.26 \times 10^{-3}$ (m)	

جدول ۱-۳) خروجی مدلسازی پروژه نیاوران

۲-۲-۳) پروژه شهری

مدلسازی نیلینگ با لحاظ سربار در پروژه شهری				
فاصله سربار از لبه گود	جابه جایی کلی (m) در سربار 50 Kpa	جابه جایی کلی (m) در سربار 100 Kpa	ضریب اطمینان در سربار 50 Kpa	ضریب اطمینان در سربار 100 Kpa
0	$160.41 \times 10^{-3}$	$229.44 \times 10^{-3}$	1.43	1.35
5	$103.20 \times 10^{-3}$	$115.26 \times 10^{-3}$	1.37	1.26
10	$102.22 \times 10^{-3}$	$103.83 \times 10^{-3}$	1.34	1.19
15	$101.81 \times 10^{-3}$	$102.20 \times 10^{-3}$	1.38	1.26
20	$101.01 \times 10^{-3}$	$101.74 \times 10^{-3}$	1.45	1.35
30	$100.10 \times 10^{-3}$	$101.39 \times 10^{-3}$	1.51	1.50
50	$99.40 \times 10^{-3}$	$100.22 \times 10^{-3}$	1.51	1.51
مدلسازی نیلینگ بدون لحاظ سربار در پروژه شهری				
ضریب اطمینان			1.51	
جابه جایی کلی			$99.28 \times 10^{-3}$ (m)	

جدول ۲-۳) خروجی مدلسازی پروژه شهری

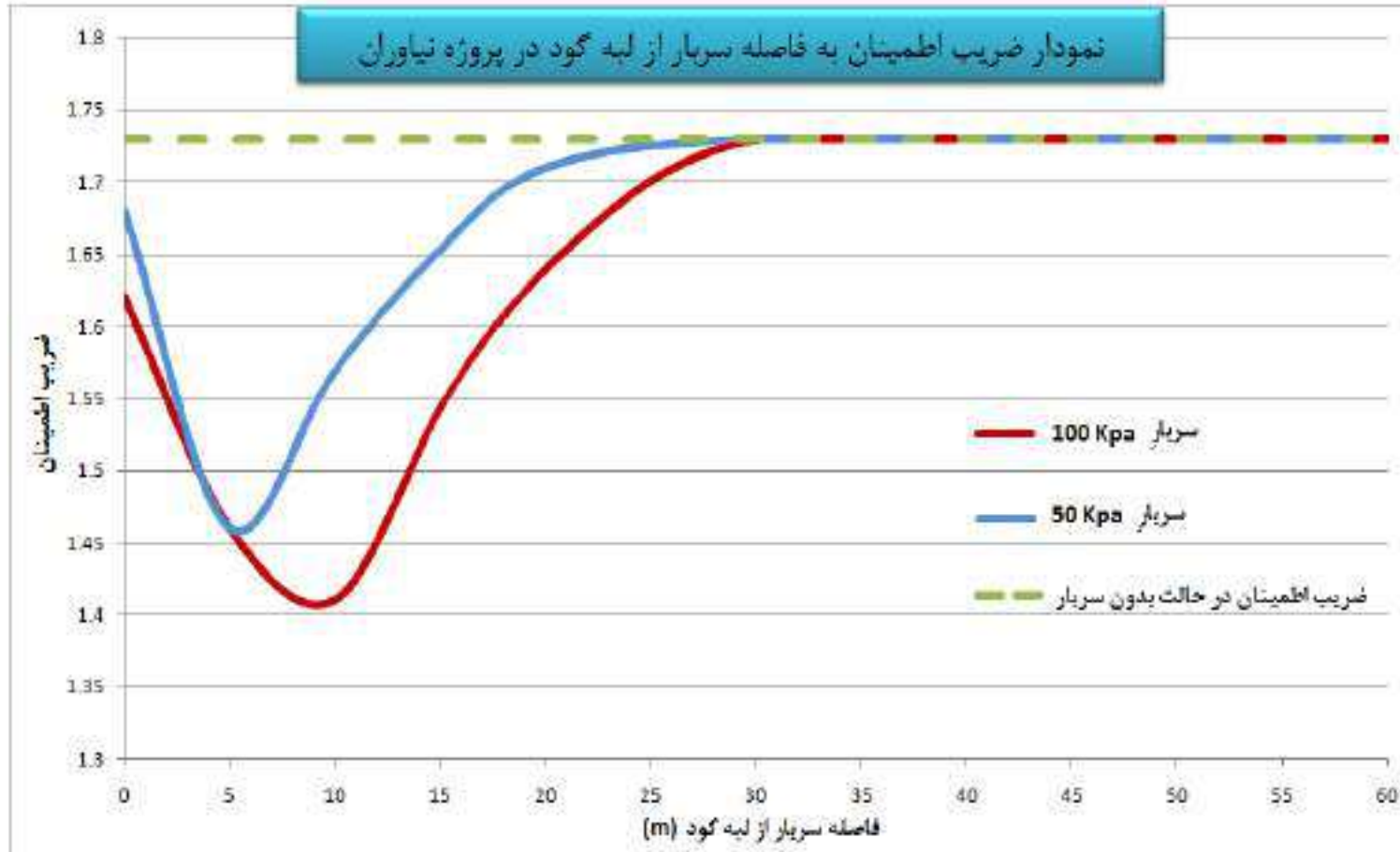
۳-۳) نمودار مقایسه ای برای جابه جایی و ضریب اطمینان

۱-۳-۳) نیاوران-جابه جایی



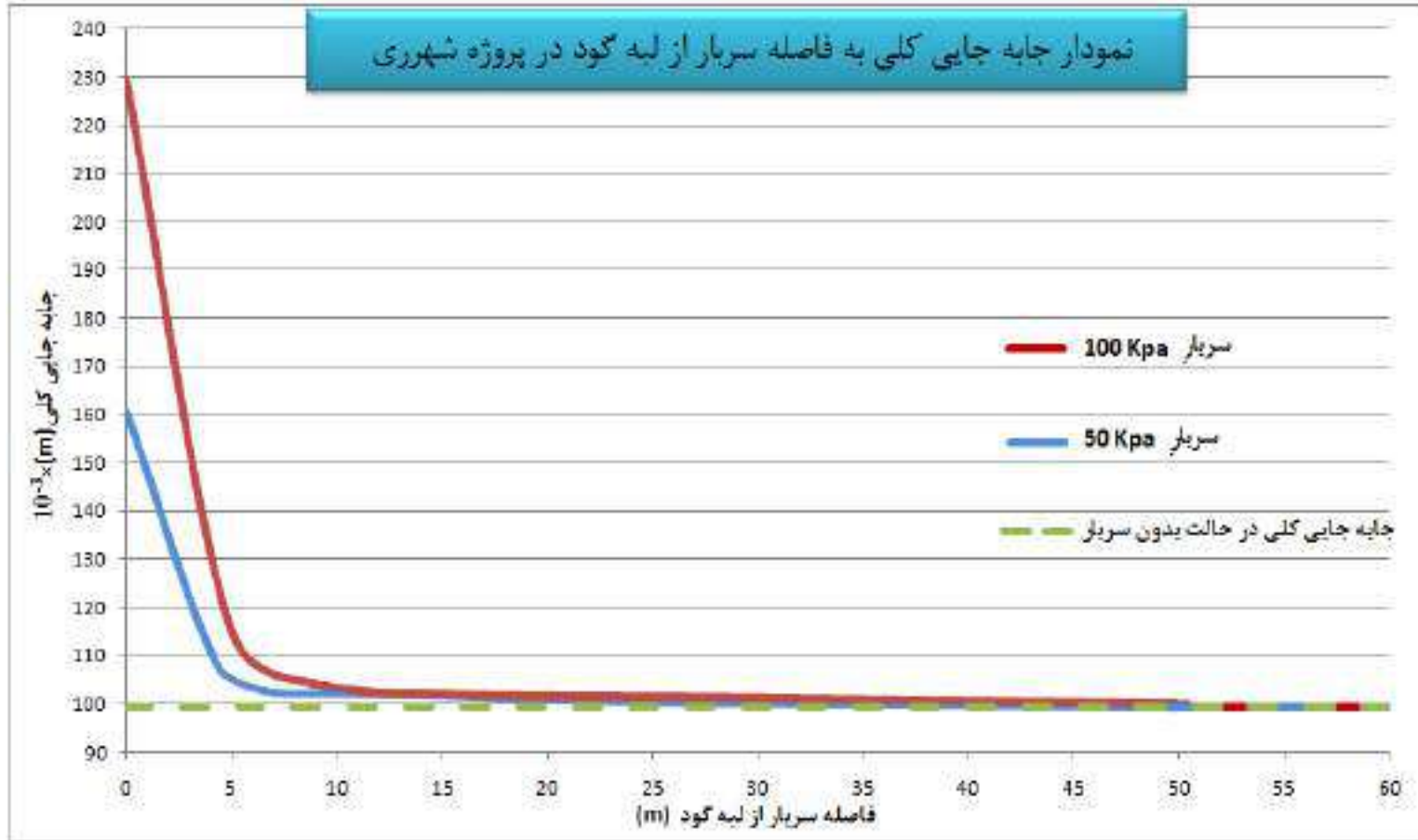
نمودار ۱-۳-۳) جابه جایی کلی به فاصله سربار از لبه گود در پروژه نیاوران

۲-۳-۳) نیاوران-ضریب اطمینان



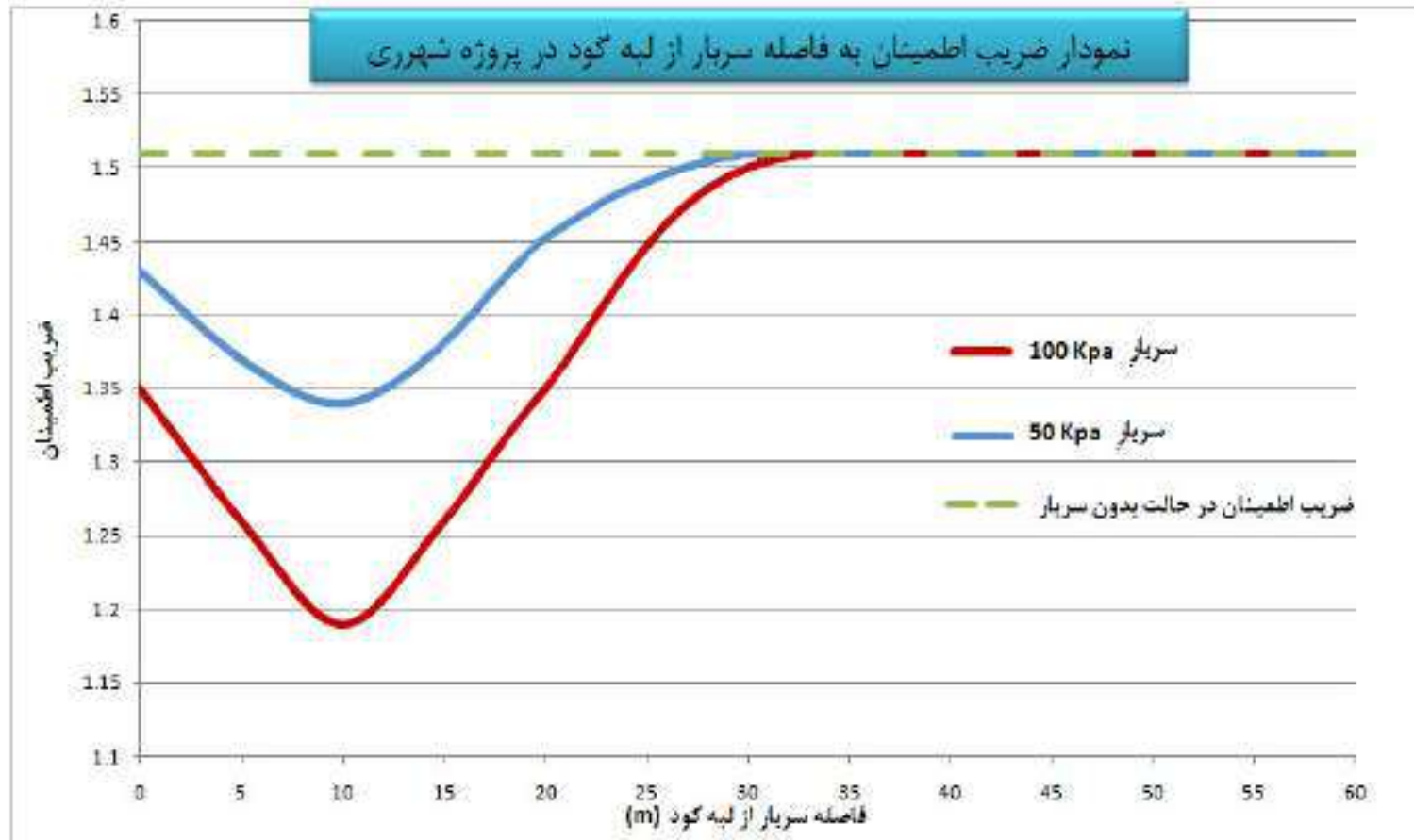
نمودار ۲-۳-۳) نمودار ضریب اطمینان به فاصله سربار از لبه گود در پروژه نیاوران

شماره ۳-۳-۳) شهری-جابه جایی



نمودار ۳-۳) جابه جایی کل به فاصله سربار از لبه گود در پروژه شهری

شماره ۳-۴) شهرری-ضریب اطمینان



نمودار ۳-۴) نمودار ضریب اطمینان به فاصله سربار از لبه گود در پروژه شهرری

## ۳-۴) مقایسه نمودارها

## ۳-۴-۱) نمودار جابه‌جایی به فاصله سربار از لبه گود

همانطور که در نمودارها ملاحظه می‌شود در مورد رابطه فاصله سربار از لبه گودبرداری به تغییرات جابه‌جایی، نموداری نزولی دیده می‌شود، که این موضوع قبل از مدلسازی قابل پیش بینی بود؛ زیرا با نزدیک بودن بار به لبه گود و تلفیق نیروی قائم سربار با گوه گسیختگی موجب افزایش جابه‌جایی ها می‌گردد. که این نیروی قائم با فاصله گرفتن از محل گوه گسیختگی و کاهش اثر نیروی سربار، این جابه‌جایی ها کمتر شده تا به حدی برسد که عملاً وجود سربار بی تاثیر بر جابه‌جایی های لبه گود باشد که این مقدار به جنس خاک منطقه و نیروی قائم وارد از طرف سربار بستگی دارد؛ بطوری که از نمودارها مشاهده می‌شود:

نام پروژه و نوع سربار	پروژه نیاوران سربار 50 Kpa	پروژه نیاوران سربار 100 Kpa	پروژه شهری سربار 50Kpa	پروژه شهری سربار 100Kpa
شروع فاصله کم تاثیر شدن سربار به جابه‌جایی از لبه گود	حدوداً ۱۰ متر به بعد	حدوداً ۱۰ متر به بعد	حدوداً ۳۰ متر به بعد	حدوداً ۳۰ متر به بعد

جدول ۳-۳) مقایسه فاصله موثر سربار در پروژه نیاوران و شهری

همانطور که از جدول بدست آمده از نمودارها ملاحظه می‌شود تاثیر سربار به جابه‌جایی ها به ۲ پارامتر جنس خاک منطقه و فاصله این بار از لبه گود بستگی دارد.

## ۳-۴-۲) نمودار ضریب اطمینان به فاصله سربار از لبه گود

در مورد نمودار ضریب اطمینان به فاصله سربار از لبه گود منطق نزولی که در جابه‌جایی وجود دارد دیده نمی‌شود و این نمودار در ابتدا با ضریب اطمینان کمتر از حالت بدون سربار شروع شده و با شیب نزولی تا قسمتی ادامه یافته سپس نمودار سیر صعودی را به سمت ضریب اطمینان حالت بدون سربار طی می‌کند.

که این امر با تصور اولیه مبنی بر افزایش ضریب اطمینان با افزایش فاصله سربار از لبه گود تطابق ندارد که در ذیل جدولی درج شده تا در ادامه به بررسی این موضوع پرداخته شود.

پروژه شهر ری فاصله سربار 100 Kpa	پروژه شهر ری فاصله سربار 50 Kpa	پروژه نیاوران فاصله سربار 100 Kpa	پروژه نیاوران فاصله سربار 50 Kpa	
تا ۱۵ متر	تا ۱۵ متر	تا ۱۵ متر	تا ۱۵ متر	ضریب اطمینان کمتر از حالت قرارگیری سربار در لبه گود
۳۰ متر به بعد	۳۰ متر به بعد	۳۰ متر به بعد	۳۰ متر به بعد	ضریب اطمینان برابر با حالت بدون سربار در حالت با سربار

جدول ۳-۴) تحلیل نمودارهای ضریب اطمینان در پروژه نیاوران و شهر ری

همانطور که در جدول و نمودارها ملاحظه می شود؛ در پروژه نیاوران و شهر ری تا ۱۵ متر لبه گود قرارگیری سربار ضریب اطمینان پایین تری نسبت به قرارگیری همان سربار در لبه گود می باشد.

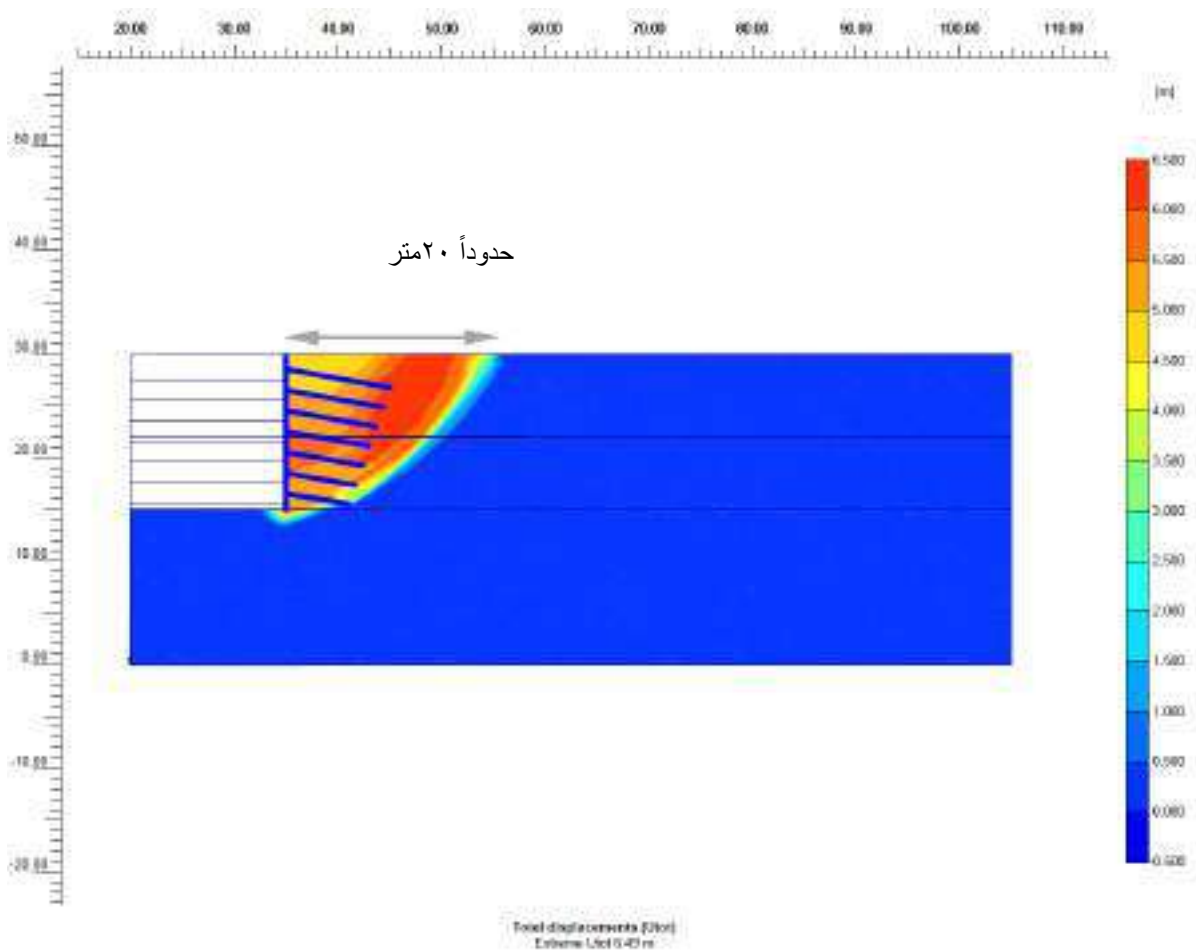
### ۳-۴-۳) بررسی رفتار نمودارها

همانطور که در دو شکل زیر مشاهده می شود، در دو پروژه مذکور سطح لغزش احتمالی به نمایش در آمده است که بر اساس جابه جایی افقی ترسیم شده است.

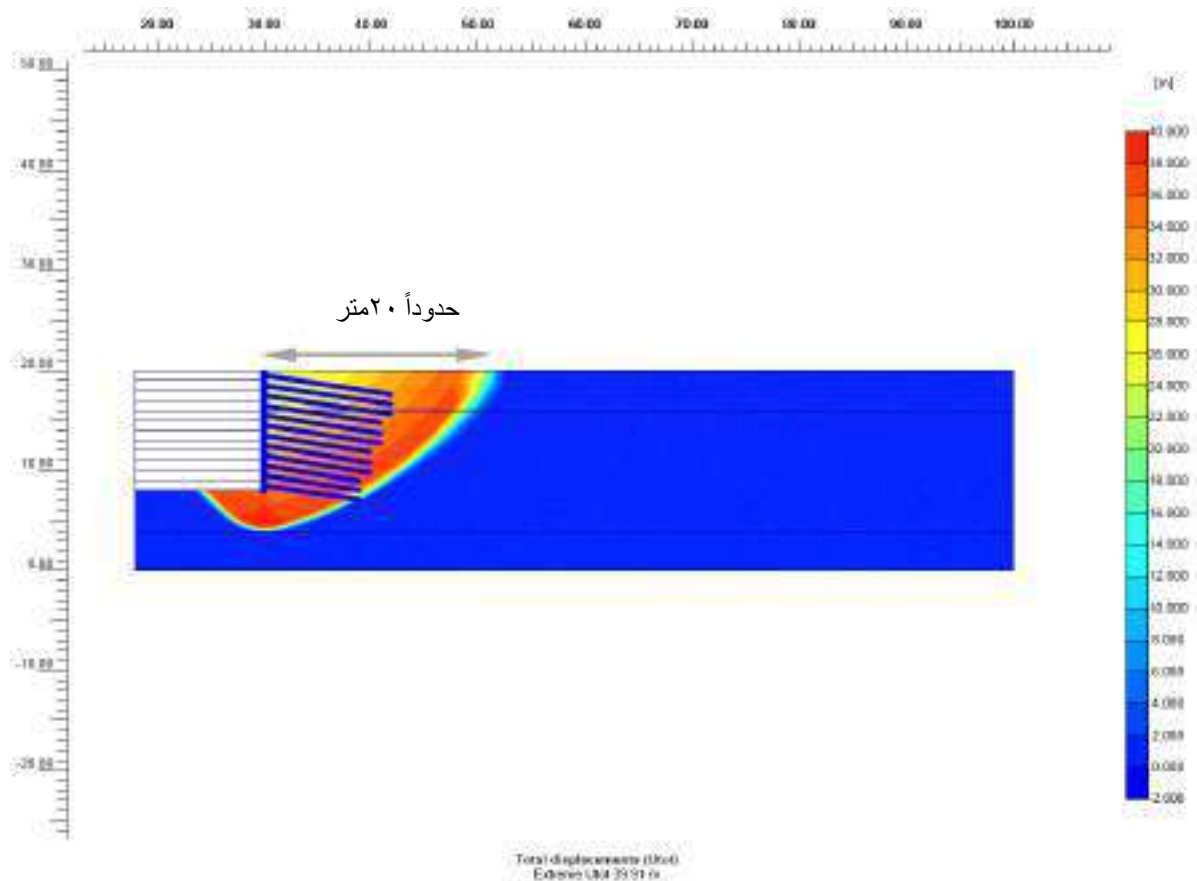
در اشکال مشخص است گوه لغزش خطر آفرین در هر دو پروژه با روش محاسباتی گوه محتمل گسیختگی به روش کاهش  $C, \phi$  حدوداً در فاصله ۲۰ متری از لبه گود آغاز گردیده است، که این خود گواهی است که تا فاصله ۱۵ متری سربار درگیر سطح لغزش می باشد؛ بطوری که از این فاصله به بعد ضریب



اطمینان بایستی به سمت ضریب اطمینان حالت بدون سربار نزدیک گردد و همینطور در جابه جایی بعد از این فاصله روند نزولی بیشتری دیده می شود و بعد از فاصله ای به دلیل تاثیر کم سربار این روند نزولی با شیب کمتری به سمت جابه جایی در حالت بدون سربار پیش می رود.



شکل ۳-۱) پروژه نیاوران، گوه محتمل گسیختگی



شکل ۳-۲) پروژه شهرری، گوه محتمل گسیختگی

در زمینه کاهش ضریب اطمینان در محدوده ۰ تا ۱۵ از لبه گود در هر دو پروژه می توان گفت که در محدوده سطح لغزش هر چه نیرو دورتر قرار گیرد باعث افزایش بازوی بیشتر و در نتیجه نیروی بیشتر به سطح لغزش می گردد که خود باعث کاهش ضریب اطمینان می شود.

## ۳-۵) بحث و نتیجه گیری

همانطور که در نمودارها و جداول بررسی گردید ملاحظه شد که تاثیر سربار در دو پروژه بر اساس ۲ پارامتر جابه‌جایی کل و ضریب اطمینان مفهومی را در طراحی روشن می‌سازد که الزاماً سربار کناره لبه گود پر اهمیت تر از سربارهای دورتر از لبه گود نمی‌باشد، این تاثیر در جابه‌جایی‌ها در چابوب انتظارات بوده و هر چه سربار دورتر از لبه گود قرار می‌گرفت با کاهش جابه‌جایی تا جایی که در فاصله ای بیش از ۱۰ متر در پروژه نیاوران و ۳۰ متر در پروژه شهرری جابه‌جایی‌ها به حال بدون سربار نزدیک می‌گردید.

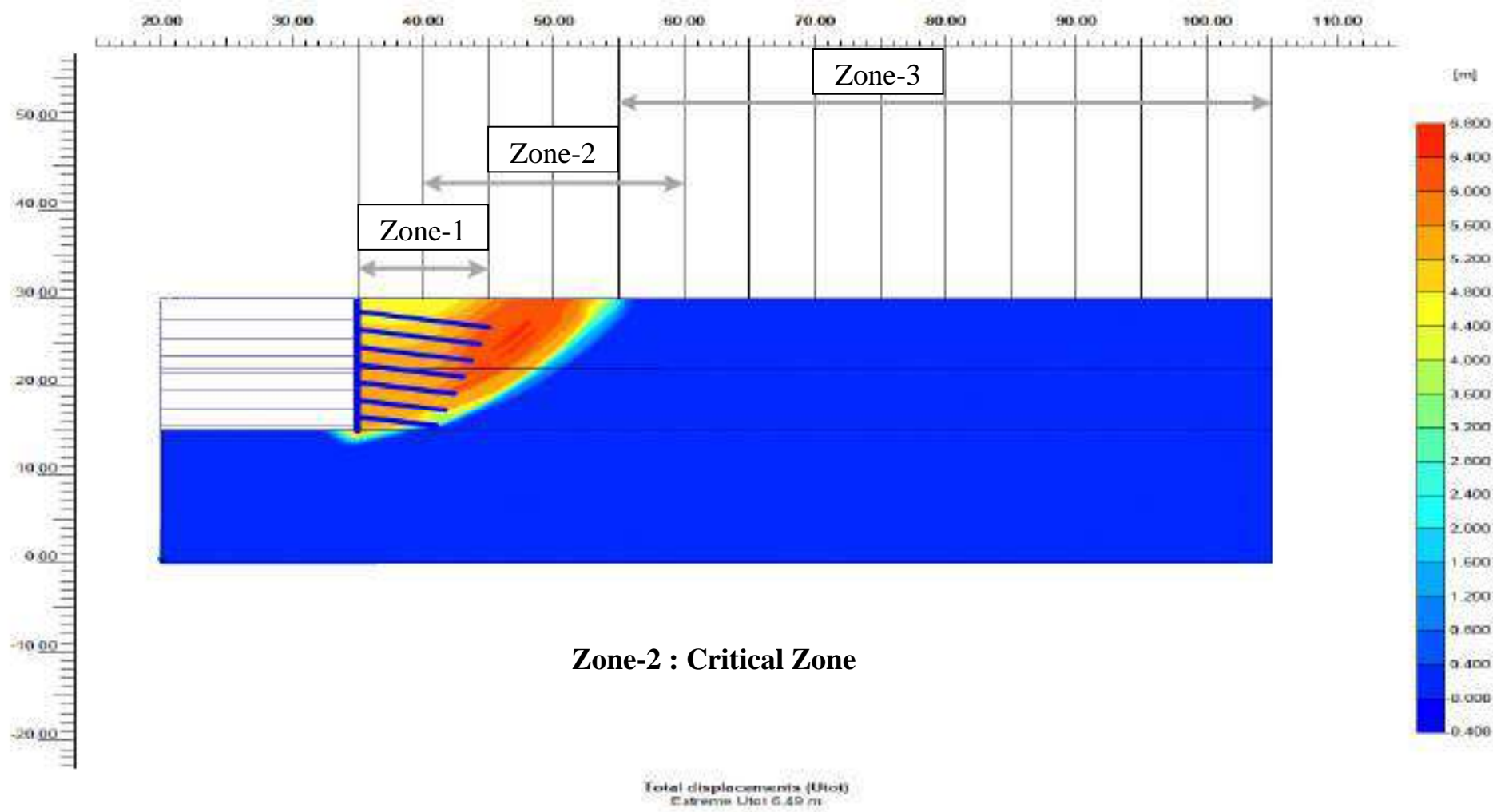
ولی در زمینه تاثیر این سربارها در ضریب اطمینان مدل مشاهده گردید همانطور که انتظار می‌رود ضریب اطمینان در حالت سربار در لبه گود از حالت بدون سربار کمتر بوده ولی در فاصله ای از لبه گود که گوه گسیختگی لغزش محسوب می‌شود هر چه سربار در انتهای این محدوده قرار می‌گرفت بعلت افزایش بازوی نیروی سربار احتمال لغزش بیشتر می‌گشت تا جایی که در این محدوده هر چه سربار دورتر از لبه گود قرار می‌گرفت با کاهش ضریب اطمینان از حالت سربار در لبه گود مواجه می‌شدیم، ولی پس از خروج سربار از این محدوده ضریب اطمینان با افزایش فاصله به حالت بدون سربار نزدیک می‌گشت.

در دو پروژه این سطح محتمل لغزش با مکانیزم کاهش چسبندگی و زاویه اصطکاک در نرم افزار PLAXIS در محدوده حدودی تا ۲۰ متر لبه گود محاسبه گردید؛ که سربار با جابه‌جایی در محدوده تا ۱۵ متر از لبه گود با کاهش ضریب اطمینان و از محدوده ۳۰ متر به بعد با روند افزایشی تا ضریب اطمینان بدون سربار متغیر می‌باشد.

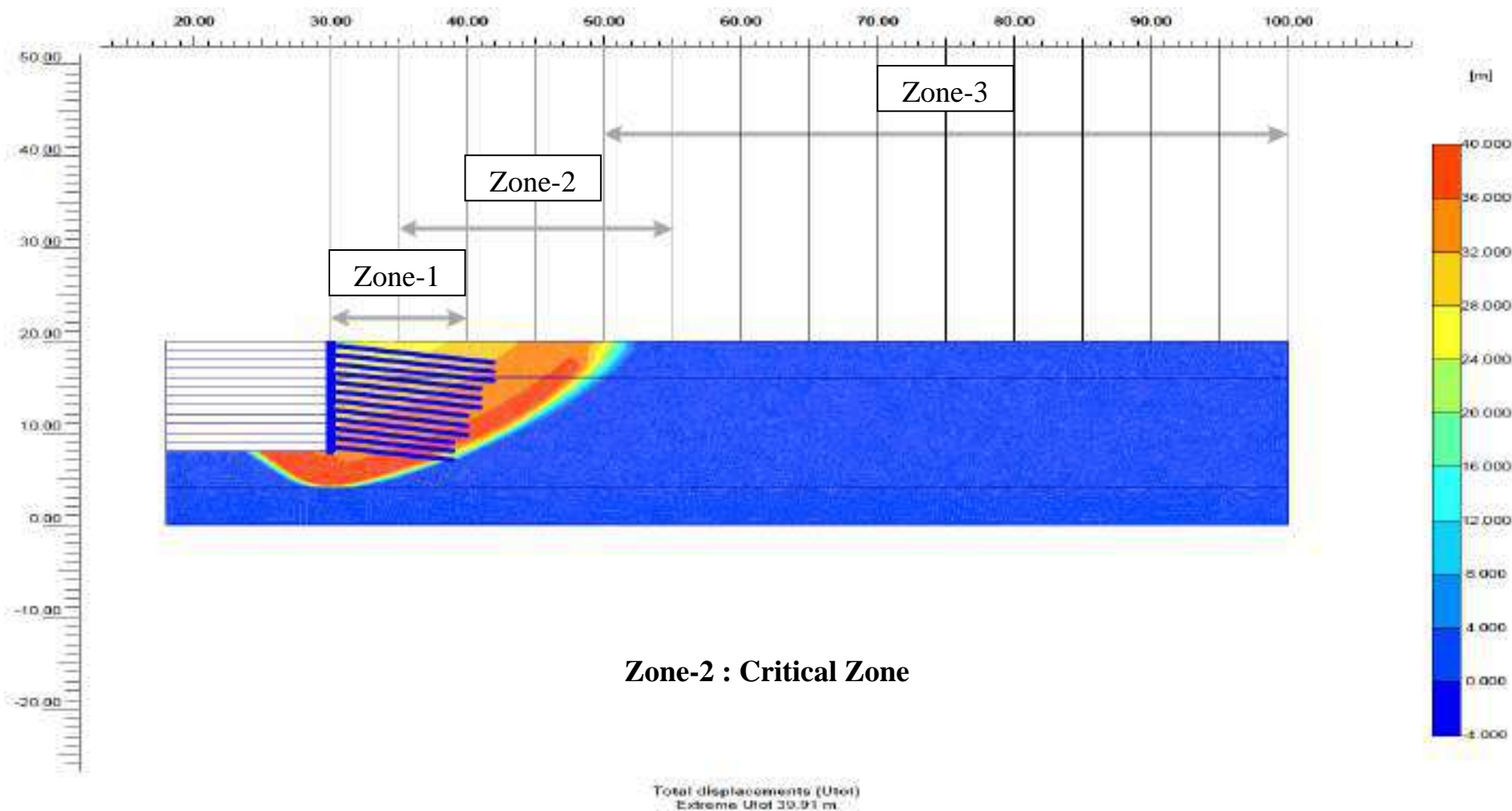
می‌توان در زمینه بررسی سربارها در طراحی نیلینگ، کناره گود را به چند بخش یا **Zone** تقسیم کرد. بخش اول (**Zone-1**) لبه گود که طبق انتظار از جابه‌جایی بیشتر و ضریب اطمینان کمتری نسبت به حالت بدون سربار برخوردار است بخش دوم (**Zone-2**) که از لبه گود تا انتهای گوه لغزش احتمالی می‌باشد که در این بخش جابه‌جایی با افزایش فاصله سربار از لبه گود کمتر و ضریب اطمینان هم کمتر از

حالت سربار در لبه گود و به طبع کمتر از حالت بدون سربار است، و بخش سوم (**Zone-3**) بعد از انتهای گوه لغزش احتمالی است که جابه‌جایی کمتر و ضریب اطمینان بیشتر می‌شود تا به حالت بدون سربار نزدیک شود.

یافته حاصله در دو پروژه با تفاوت کلی در لایه‌های خاک، دردو حالت وزنی سربار و همچنین فواصل مختلف، صحت نتیجه را در دو شرایط متفاوت نشان می‌دهد. بدیهی است برای بکارگیری نتیجه در سایر پروژه‌ها و عرض سربارهای مختلف یا بارهای متفاوت کالیبراسیون روش توصیه می‌شود و مساله باید در شرایط متنوع دیگری مورد بررسی قرار گیرد



شکل ۳-۳) بخش بندی اثر سربار در پروژه نیاوران



شکل ۳-۴) بخش بندی اثر سربار در پروژه شهری

## مراجع و منابع

## مراجع و منابع فارسی

## کتاب:

- افتخاریان لیلا، سال ۱۳۸۰، آزمایشگاه مکانیک خاک، انتشارات کتاب دانشگاهی تهران
- برجام.ام.داس، سال ۱۳۸۵، مکانیک خاک. ترجمه شاپور طاحونی، انتشارات پارس آئین تهران، جلد اول
- برجام.ام.داس، سال ۱۳۸۵، مهندسی ژئوتکنیک. ترجمه شاپور طاحونی، انتشارات پارس آئین تهران، جلد دوم
- پارسی راد پرویز، سال ۱۳۸۸، کتاب سازه های نگهبان و گود برداری ساختمانی، انتشارات سیمای دانش
- سرمدنهری امیر و کاردان محسن، سال ۱۳۸۷، اصول و مبانی گودبرداری و سازه های نگهبان، انتشارات سیمای دانش
- حافظی ناصر، سال ۱۳۹۰، زمین شناسی مهندسی، انتشارات آرسس مشهد
- وفایی پور رامین و بهپور گوهری محمد و روحی مهر محمد، سال ۱۳۹۰، مرجع کامل PLAXIS، انتشارات فروزش تبریز

## مقاله:

- تقی زاده قهی عزت الله، آذر ۱۳۸۶ پایدار سازی جداره گود برداری های عمیق در مناطق شهری، همایش مقررات ملی ساختمان
- بهنیا کامبیز و گتمیری بهروز، بررسی شیب میخکوبی شده تحت اثر زلزله، مقاله دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی
- هاتف نادری و کمری میر جلال، شهریور ۱۳۸۴، تحلیل پایداری شیب های خاکی مهار شده با میخ کوبی، مقاله نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۹ شماره ۳ صفحه ۴۱۵ تا ۴۳۰
- فخاری یونس، سال ۱۳۸۵، روش میخکوبی خاک، سمینار کارشناسی ارشد دانشگاه زنجان، دکتر عطر چیان

## پایان نامه:

- پور محمدی سیاوش، سال ۱۳۸۹، طراحی و اجرای سازه های نگهبان در خاکبرداری های عمیق، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد زنجان، استاد راهنما دکتر یونس دقیق
- متولی رامین، سال ۱۳۷۶، روش روش نگهداری زمین با توجه به محدودیت های سازه ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه امیر کبیر، استاد راهنما دکتر حسین رجائی



- حسام عارفی شهاب، سال ۱۳۸۶، حائل سازی بهینه شیب ها و گودبرداری ها به روش میخکوبی در خاک، پایان نامه کازشناسی ارشد، دانشگاه آزاد تهران مرکز، استاد راهنما دکتر ابولفضل اسلامی

مراجع و منابع لاتین:

#### کتاب:

- Bjerrum, L. And Eide, O. (1956), Stability of Struttred Excavations in Clay", Geotechnique, 6, 32-47.
- FHWA, 2003, "Geotechnical Engineering Circular No. 7: Soil Nail Walls."
- Terzaghi, K. (2008), and Peck, R.B., Soil Mechanics in Engineering Practice, Wiley, New York, , 2nd edition

#### مقاله:

- Clough, G.W. and O'Rourke, T.D. (1990), "Construction Induced Movements of In-situ Walls", Proc., ASCE Conf. on Des. And Perf. of Earth Retaining Struct., Geotech. Spec. Publ. No. 25, ASCE, New York, 439-470.
- Long, M. (2001), "Database for Retaining Wall and Ground Movements due to Deep Excavations", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE.
- M. Ufuk Ergun. (2008), Deep Excavations, EJGE, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University Press, Ankara, Turkey,
- Brinkgreve, R.B.J. (1992), *Plaxis – Finite Element Code for Soil and Rock Analyses*. Version 8. A.A. Balkema. Dulacska,

## **Abstract**

Today in civil project in densely populated mega city is in high attention due to the neighbor infrastructure and need to deep excavation. Also, the needs to enforcement of the wall of excavations are developing. One of the economically developed methods is “nailing” that is a fast and well accepted method in civil society.

In this research work it was tried to investigate the main causes of lateral displacement and finally instability of the wall of excavation that are enforced by “nailing” method. For this purpose the software of Plaxis was employed that works based on finite element modeling.

One of the possibilities could be the effect of overloading of neighbor buildings that is not considered properly in the modeling. The works about this shortcoming is very rare. Thus in this thesis the effect of neighbor and even far Surcharge of infra structure and its distance on the decrease in safety factor and displacement using the data of soil characteristics were investigated in Northern and Southern Tehran.

It was found that lateral displacement will decrease proportional to the increase of the surcharge distance from the edge of excavation. However, for the part that in located within the wedge of failure, the safety factor will decrease with the distance of the surcharge that and will increase again with increasing in the distance.

### **Key words:**

Nailing, Surcharge, Plaxis



**ISLAMIC AZAD UNIVERSITY**

**East Azarbaijan Science and Research Branch**

**«M.Sc.» Thesis On Geotechnics**

**In: Civil Engineering**

**Subject :**

**The Effect of Neighbor surcharge on the Stability of Deep  
Excavations Supported by Nailing Method  
(Case Study in the North&South of Tehran-IRAN)**

**Advisor:**

**Mr. Younes Daghigh Ph.D.**

**Consulting Advisor:**

**Mr. Mikaeil Yousefzade kherad Ph.D.**

**By:**

**Ali Shoaiei**

**Fall 2013**