

به کارگیری نیلینگ در پایدارسازی گودبرداری زمین های شیبدار جهت بررسی تغییر رفتار خاک

پیمان حیدرریحانی

کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه آزاد اسلامی مراغه، مراغه، ایران

peymanreyhani46@yahoo.com

ارسال: اردیبهشت ماه ۹۸ پذیرش: تیر ماه ۹۸

چکیده

یکی از موضوعات بسیار مهم در پایداری گودهایی با شیب زمین بالادست بحث نحوه پایدارسازی گود میباشد از میان روش های متداول روش نیلینگ روش بسیار مناسبی می باشد زیرا هم کاربرد وسیعی داشته وهم طراحی و تحلیل آن با نرم افزارهای مختلف انجام میگردد. برای این منظور در نرم افزار Plaxis مدل سازی های غیر خطی بر روی مدل های مختلف انجام شده است همچنین در این پژوهش میزان تغییر شکل ها و پایداری سازه نگهبان در گودبرداری های عمیق و نیمه عمیق با توزیع تنش در نیل ها به روش میخ کوبی در عمق ۲۵ متری در شرایط خاک چند لایه و در حالت اجرای میخ خاک ها با زاویه ۱۵ درجه و با طول متفاوت ۱۵ و ۱۲ و ۱۰ و ۸ متری مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از مهمترین بررسی ها در این پژوهش اثر زاویه شیب خاک بالادست میباشد که به ترتیب با شیب های ۵ و ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ درجه مدل سازی ها انجام شده است.

کلمات کلیدی: خاک شیبدار، میخ کوبی، نیلینگ، نرم افزار Plaxis

۱- مقدمه

با گسترش رشد شهرها نیاز به بلند مرتبه سازی و همچنین تامین فضای پارکینگ منجر شده است تا گودبرداری های عمیق و نیمه عمیقی در شهرهای بزرگ انجام گردد یکی از مسائل مهم در گودبرداری های عمیق و نیمه عمیق طراحی سازه نگهبان مناسب و کنترل مقادیر جابه جایی های دیواره گود و خاک پشت گود است. از میان روشهای گوناگون پایداری گود میتوان به روش نیلینگ اشاره نمود این روش جز روشهای متداول بوده و دارای مزایای بسیاری میباشد. افزایش عمق گودبرداری به ویژه در مناطق شهری در مجاورت ساختمان ها و معابر اهمیت ویژه ای دارد و تأمین پایداری و کنترل جابه جایی های دیواره گود و پشت دیواره باید با دقت بررسی شود. در این شرایط بعضی از روش های پایدار سازی گود قابلیت اجرایی خود را از دست می دهند و بر اساس قوانین آئین نامه ای گودبرداری عمیق در شرایطی مجاز است که ایمنی سازه های مجاور را به خطر نیندازد. روش مناسب گودبرداری و پایدارسازی با توجه به جنس خاک، شرایط آب زیرزمینی، عمق و طول گودبرداری، موقعیت و شرایط ساختمان های مجاور، جابه جایی دیواره گود، دائمی و یا موقت بودن سازه، مسئله زلزله، بار

دینامیکی ناشی از حرکت خودروها در مجاورت گود و هزینه های اجرای پروژه انتخاب می گردد. طراحی یک سازه نگهدارنده میخ کوبی بر اساس انتقال نیروی محرک توده خاک به نیلینگ و انتقال این نیروها به توده خاک ایمن است که به پارامترهای متعددی از جمله روش نصب و روش تزریق و مشخصات خاک و سازه نگهدارنده بستگی دارد که اساس کار روش میخ کوبی به این شکل است که نیلینگ ها اجرا شده و با خاک برداری عمق های بیشتر دیواره گود مقداری جابه جایی پیدا می کند که سبب فعال شدن عملکرد نیلینگ می شود.

۲- مروری بر تحقیقات گذشته

مبدأ اصلی روش میخ کوبی خاک را می تواند سازه نگهدارنده بکار رفته در حفاری فضاهای زیرزمینی که در روش تونل سازی اتریشی استفاده می شود دانست و تدبیر به کارگیری آرماتورهای فولادی غیرفعال و شاتکریت در نگهداری شیب های سنگی به اوایل دهه ۱۹۶۰ برمی گردد. از اولین موارد به کارگیری روش میخکوبی خاک، پروژه تعریض راه آهن در نزدیکی ورسایلز فرانسه در سال ۱۹۷۲ بود. از آنجا که این روش مقرون به صرفه و سریع تر از دیگر روش های نگهداری بود، به سرعت در فرانسه و دیگر کشورهای اروپایی به کار گرفته شد [۱].

اولین پروژه دیوار خاک میخکوبی شده در آمریکا در سال ۱۹۷۶ مورد بهره برداری قرار گرفت. در کشورهای پیشرفته، این روش به دلیل هزینه کمتر و سرعت اجرایی بالاتر به سرعت جایگزین روش های دیگر نگهداری خاک گردیده است. در اروپا دو مجموعه تحقیقاتی گسترده، درباره خاک میخکوبی شده ثبت شده است. اولین مورد آن در اواخر دهه ۱۹۷۰ در دانشگاه کارلسروهه آلمان و دومین مورد در دهه ۱۹۸۰ توسط دولت فرانسه است. در پروژه تحقیقاتی فرانسه، بر روی ۶ دیوار میخ کوبی شده در مقیاس واقعی، آزمایش های لازم صورت گرفت، تا مبنایی برای تنظیم یک استاندارد در زمینه طراحی و اجرای این نوع سازه ها گردد. نتایج این مطالعات نشان می دهد که:

-عملکرد دیوار خاک میخکوبی شده مشابه دیوارهای حائل وزنی است.

-عمق نفوذ لازم هر میخ به داخل خاک معمول در محدوده ارتفاع دیوار قرار دارد.

الیاس و یوران در سال ۱۹۹۰ اثر خزش درازمدت خاک را در کرنش دیوارهای میخکوبی شده بررسی کردند [۲]. تامسون و میلر در ۱۹۹۰ اثر ترکیبی میله های فولادی و دوغاب را در عملکرد دیوارهای میخکوبی شده به کمک ابزارهای کرنش سنج در پروژه ای در واشنگتن بررسی نمودند [۳]. بایرن در سال ۱۹۹۲ اندرکنش خاک - میله را بررسی کرد و مقدار بار حداکثر و محل کرنش ماکزیمم را در پیش بینی نمود. در سال ۱۹۹۶ سازمان بزرگراه های آمریکا مرجعی در ارتباط با طراحی و ساخت دیوارهای خاک میخکوبی شده منتشر کرد، که خلاصه ای از تحقیقات صورت گرفته در آلمان و فرانسه و آمریکا بود. در این مرجع، از روش تعادل حدی برای تحلیل استفاده می شود [۴].

بریو و همکاران در سال ۱۹۹۷ مدل خاک مسلح شده در محل تکیه گاه های پل را شبیه سازی کرده و راهکارهایی را ارائه نمودند. ژانگ و همکاران در سال ۲۰۰۲ مدل سازی سه بعدی دیوارهای خاک میخکوبی شده را به منظور پیش بینی حرکت خاک در مراحل مختلف اجرای دیوار انجام دادند که نتایج حاصله انطباق مناسبی با مقادیر اندازه گیری شده داشت [۵].

چوک و همکاران در ۲۰۰۵ دیوارهای خاک میخکوبی شده در خاک های سست را که تحت اثر نفوذ آب های سطحی قرار دارند، مدل سازی نمودند و به این نتیجه رسیدند که اتصال انتهای میله ها به سطح دیوار نقش عمده ای در کاهش تغییر مکان دیوارهای خاک میخکوبی شده در زمینه ای سست دارد [۶]. چنگ و همکاران در سال ۲۰۰۸ به بررسی شیب بهینه برای سطح دیوارهای خاک میخکوبی شده پرداختند و رابطه بین شیب خاک ریز با شیب میله ها را در حالت بهینه به دست آوردند [۷].

سیواکومار و همکاران در سال ۲۰۰۸، مدل سازی عددی دیوارهای خاک میخکوبی شده را در شرایط لرزه ای انجام دادند، که نتایج نشان داد که تسلیم خاک به کمک میله های فولادی موجب عملکرد بهتر گودبرداری در هنگام زلزله می گردد. وان هو و

همکاران در سال ۲۰۰۸ مدل سازی دیوارهای خاک میخکوبی شده را به منظور بررسی رابطه بین نیروی بیرون کشیدگی در میله ها با اتساع خاک انجام دادند [۸]. لی و همکاران در سال ۲۰۰۹ اثر فشار سربار و زاویه اتساع خاک را بر مقاومت بیرون کشیدگی میله ها بررسی کرده و نشان دادند که مقاومت بیرون کشیدگی با افزایش زاویه اتساع خاک به طور عمده ای افزایش می یابد [۹]. وی و چنگ در ۲۰۱۰ روش های تعادل حدی و کاهش مقاومت را در مسائل مختلف مربوط به دیوارهای میخکوبی شده، مورد مقایسه قرار دادند [۱۰].

۳- مدلسازی و تحلیل نیلینگ ها در نرم افزار Plaxis

پلکسیس یک برنامه اجزا محدود است که به طور خاصی جهت تحلیل تغییر شکل و پایداری در پروژه های مهندسی ژئوتکنیک توسعه یافته است. در حقیقت در نرم افزار پلکسیس امکان مدل سازی مسائل پیچیده ژئوتکنیک نظیر اندرکنش خاک و سازه وجود دارد. پلکسیس مجهز به امکاناتی جهت بررسی جنبه های مختلف سازه های ژئوتکنیکی پیچیده است. ورودی لایه های خاک، سازه ها، مراحل ساخت، شرایط بارگذاری و مرزی بر اساس دستورالعمل رسم ساده اتوکد که امکان مدل سازی با جزئیات هندسه مقطع عرضی را فراهم می کند. از این هندسه مدل، مش بندی اجزاء محدود دوبعدی به سادگی ایجاد می گردد. سطوح مشترک از اجزای سطح مشترک ساخته شده اند. چگونگی اتصال اجزاء سطح مشترک به خاک را نشان می دهد. هنگامی که المان ۱۵ گره ای برای مدل سازی خاک استفاده می شود، اجزاء متناظر با ۵ جفت گره مشخص می شود که برای ۶ نقطه از اجزاء خاک، اجزاء سطح مشترک آن ها به وسیله ۳ جفت گره مشخص می شود. در انجام هر تحلیل انتخاب سیستم واحدها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. قبل از ایجاد هندسه مدل لازم و ضروری است که سیستم واحدهای مناسب از لیست واحدهای استاندارد انتخاب شود. واحدهای اصلی شامل واحد طول نیرو و زمان می باشد. پس از انتخاب این واحدها بایستی توجه داشت که کلیه پارامترهای ورودی منطبق بر این سیستم انتخابی وارد شوند و همچنین نتایج خروجی نرم افزار نیز بر اساس سیستم انتخابی می باشد. در تحقیق حاضر برای طول واحد متر برای نیرو واحد کیلو نیوتن و برای زمان واحد روز در نظر گرفته شده است. واحدهای انتخابی در تمامی طراحی های صورت گرفته بر اساس جدول ۱ می باشد.

جدول ۱- مشخصات واحدهای استفاده شده

Unit	Type
M	Length
KN	Force
Day	Time

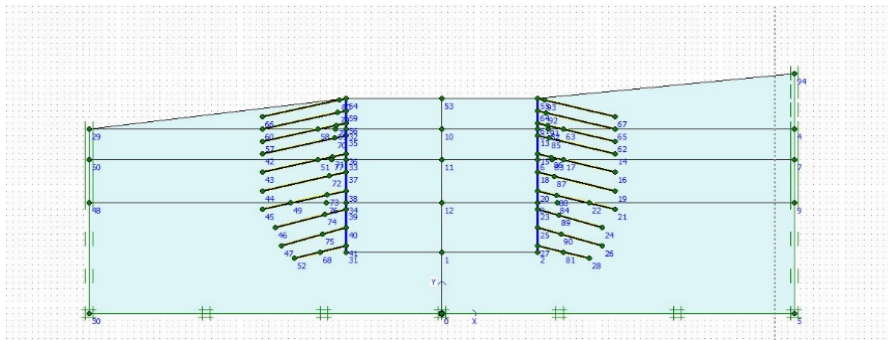
جدول ۲- مدلسازی های انجام شده در نرم افزار plaxis

مدل ۱	عمق گودبرداری ۲۵ متر، خاک ۴ لایه، نیلینگ، زاویه شیب ۵ درجه
مدل ۲	عمق گودبرداری ۲۵ متر، خاک ۴ لایه، نیلینگ، زاویه شیب ۱۰ درجه
مدل ۳	عمق گودبرداری ۲۵ متر، خاک ۴ لایه، نیلینگ، زاویه شیب ۱۵ درجه
مدل ۴	عمق گودبرداری ۲۵ متر، خاک ۴ لایه، نیلینگ، زاویه شیب ۲۰ درجه

۳-۱-۱- مدل ۱

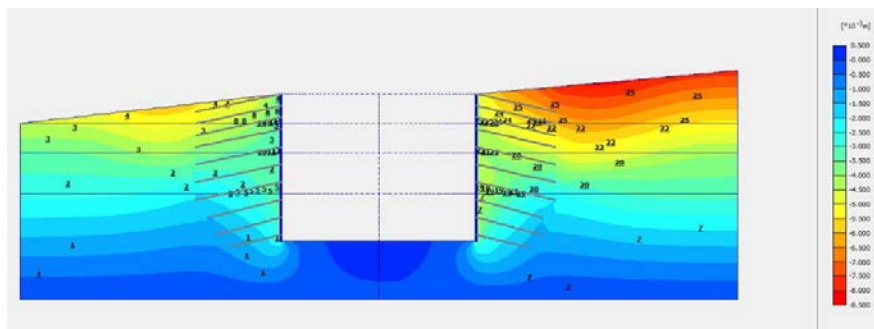
در این مدل گودبرداری به میزان ۲۵ متر انجام شده است لذا از ۷ ردیف نیلینگ به طول ۱۵ متر که در دو لایه بالایی دارای تراکم و فاصله قائم کمتری هستند استفاده شده است در حقیقت ماکزیموم تنش در نیل ها در ردیف های بالایی رخ میدهد لذا باید در این لایه ها از نیل هایی با تراکم بیشتر و فاصله کمتر استفاده نماییم و همچنین ۲ ردیف نیلینگ ۱۲ متری به فاصله های افقی ۲.۵ متری از یکدیگر و نیز از یک ردیف نیلینگ ۱۰ متری در پایین ترین قسمت گود استفاده شده است. شکل ۱ نشان دهنده هندسه مدل با زاویه خاک بالادست ۵ درجه میباشد. همانطور که در شکل ۲ دیده میشود نیلینگ به خوبی توانسته است تا

پایدارسازی گود را تامین نماید. آیین نامه FHWA توصیه مینماید تا از زاویه نیل ها بین ۱۰ تا ۲۰ درجه باشد لذا بر اساس توصیه این آیین نامه و مدلسازی های قبلی زاویه نیل ها در این مدل برابر ۱۵ درجه است.



شکل ۱- تراکم نیل های ۴ ردیف اول به منظور حفظ پایداری خاک در مدل ۳

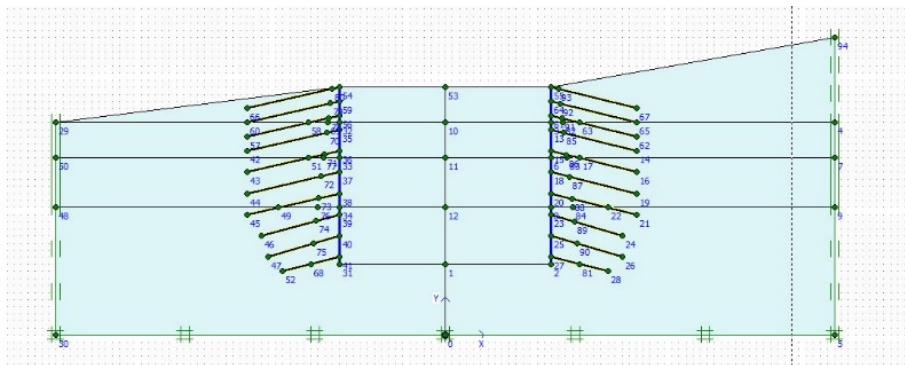
ماکزیموم میزان تغییر مکان در مدل ۱ در شکل ۲ برابر ۸.۵ میلیمتر شده است و این یک عدد بسیار عالی است و نشان دهنده توانایی بالای نیل در پایدارسازی گود می باشد.



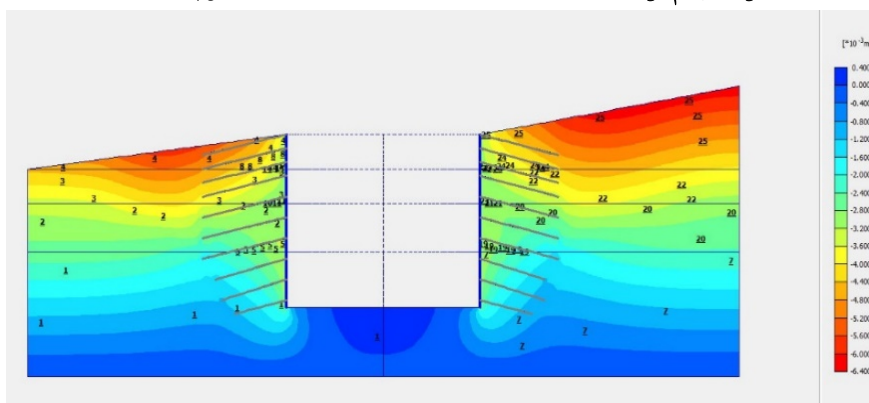
شکل ۲- توزیع تغییر مکان در توده خاک در مدل

۲-۳-۲ مدل

در این مدل مشابه با مدل ۲ گودبرداری به میزان ۲۵ متر انجام شده است. به منظور تامین پایداری گود انجام دهیم لذا از ۷ ردیف نیلینگ به طول ۱۵ متر که در دو لایه بالایی دارای تراکم و فاصله قائم کمتری هستند استفاده شده است در حقیقت ماکزیموم تنش در نیل ها در ردیف های بالایی رخ میدهد لذا باید در این لایه ها از نیل هایی با تراکم بیشتر و فاصله کمتر استفاده نماییم و همچنین ۲ ردیف نیلینگ ۱۲ متری به فاصله های افقی ۲.۵ متری از یکدیگر و نیز از یک ردیف نیلینگ ۱۰ متری در پایین ترین قسمت گود استفاده شده است. تفاوت اصلی این مدل با مدل ۱ در زاویه شیب خاک بالادست میباشد زاویه شیب خاک بالادست در این مدل دارای شیب ۱۰ درجه می باشد شکل ۳ نشانگر این موضوع است. همانطور که در شکل ۴ دیده میشود نیلینگ به خوبی توانسته است تا پایدارسازی گود را تامین نماید. آیین نامه FHWA توصیه می نماید تا از زاویه نیل ها بین ۱۰ تا ۲۰ درجه باشد لذا بر اساس توصیه این آیین نامه و مدلسازی های قبلی زاویه نیل ها در این مدل برابر ۱۵ درجه است.



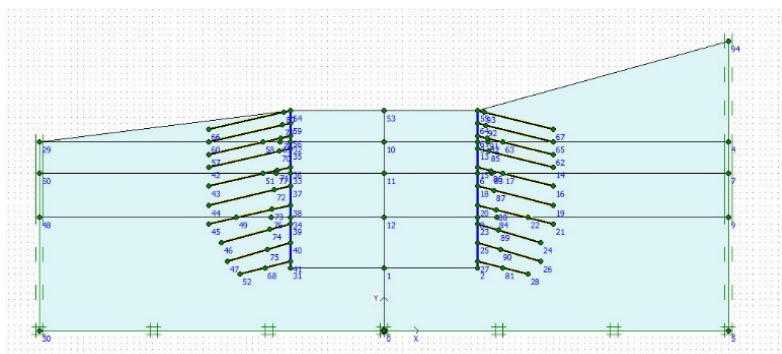
شکل ۳- تراکم نیل های ۴ ردیف اول در لایه های خاک در مدل ۶ به منظور تامین پایداری گود



شکل ۴- توزیع تغییر مکان در مدل ۶ دارای شیب بالادست ۱۰ درجه

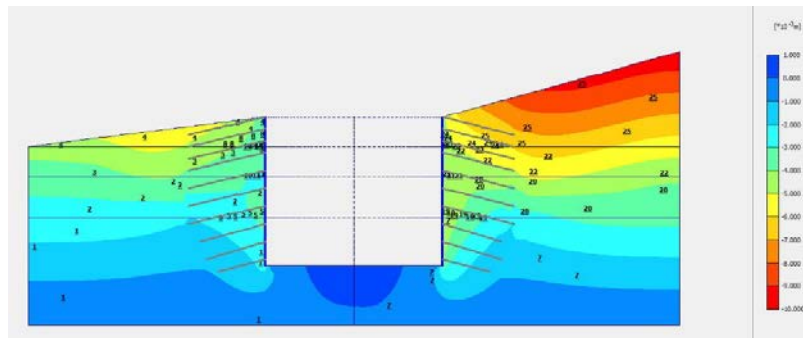
۳-۳-۳ مدل ۳

در این مدل گودبرداری به میزان ۲۵ متر انجام شده است در این مدل از ۷ ردیف نیلینگ به طول ۱۵ متر که در دو لایه بالایی دارای تراکم و فاصله قائم کمتری هستند استفاده شده است در حقیقت ماکزیموم تنش در نیل ها در ردیف های بالایی رخ میدهد لذا باید در این لایه ها از نیل هایی با تراکم بیشتر و فاصله کمتر استفاده نماییم و همچنین ۲ ردیف نیلینگ ۱۲ متری به فاصله های افقی ۲.۵ متری از یکدیگر و نیز از یک ردیف نیلینگ ۱۰ متری در پایین ترین قسمت گود استفاده شده است. همانطور که در شکل ۵ دیده میشود تراکم نیل های ۱۵ متری در لایه اول خاک بیشتر از سایر لایه ها میباشد و این امر نشان میدهد که یکی از بهترین روش ها برای افزایش پایداری گودهای عمیق با شیب بالادست استفاده از این روش می باشد. در این مدل شیب خاک بالادست برابر ۱۵ درجه می باشد.



شکل ۵- نحوه توزیع تراکم نیل های ۴ ردیف اول در لایه های خاک مدل ۸ با شیب بالادست ۱۵ درجه

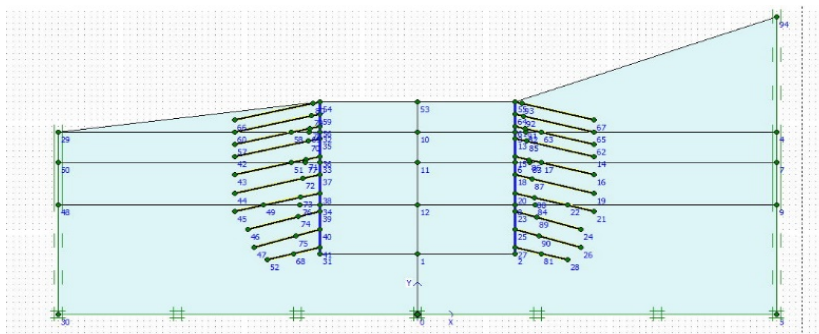
مطابق با شکل ۶ تغییر مکان های این مدل بیشتر از مدل ۸ هستند اما باز به علت استفاده از افزایش تراکم و نزدیک تر کردن نیل های ۱۵ متری در لایه اول خاک پایداری این مدل نیز به خوبی تامین شده است.



شکل ۶- نحوه توزیع تغییر مکان در خاک در مدل ۹ با شیب بالادست ۱۵ درجه

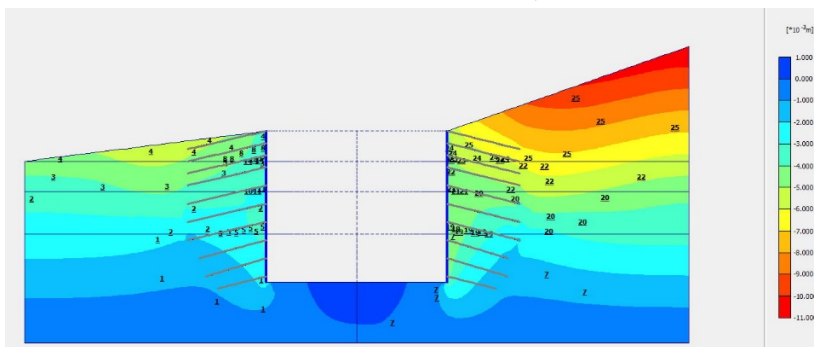
۴-۳- مدل ۴

در این مدل مشابه با مدل‌های او ۲ و ۳ گودبرداری به میزان ۲۵ متر انجام شده است. این مدل به علت شیب زیاد بالادست خود دارای بحرانی ترین وضعیت از نظر تامین پایداری می‌باشد و به منظور تامین پایداری گود از ۷ ردیف نیلینگ به طول ۱۵ متر که در دو لایه بالایی دارای تراکم و فاصله قائم کمتری هستند استفاده شده است در حقیقت ماکزیموم تنش در نیل ها در ردیف های بالایی رخ میدهد لذا باید در این لایه ها از نیل هایی با تراکم بیشتر و فاصله کمتر استفاده نماییم و همچنین ۲ ردیف نیلینگ ۱۲ متری به فاصله های افقی ۲.۵ متری از یکدیگر و نیز از یک ردیف نیلینگ ۱۰ متری در پایین ترین قسمت گود استفاده شده است. تفاوت اصلی این مدل با مدل های مشابه خود یعنی مدل‌های او ۲ و ۳ در شیب ۲۰ درجه ای بالادست است شکل ۷ نشانگر این موضوع است.



شکل ۷- تراکم نیل های ۴ ردیف اول در لایه های خاک مدل ۱۲ با شیب بالادست ۲۰ درجه

همانطور که در شکل ۸ دیده می شود نیلینگ به خوبی توانسته است تا پایداری سازی گود را تامین نماید. آیین نامه FHWA توصیه مینماید تا از زاویه نیل ها بین ۱۰ تا ۲۰ درجه باشد لذا بر اساس توصیه این آیین نامه و مدلسازی های قبلی زاویه نیل ها در این مدل برابر ۱۵ درجه است در حقیقت تراکم در نیل های ۱۵ متری منجر به پایداری این توده خاک گردیده است.



شکل ۸- نحوه توزیع تغییر مکان ها در مدل ۱۲ با شیب بالادست ۲۰ درجه

۴- نتیجه گیری

- ۱- طبق توصیه آیین نامه FHWA باید زاویه نیل ها بین ۱۰ تا ۲۰ درجه باشند اما در این پژوهش با مدلسازی های انجام شده در نرم افزار Abaqus و Plaxis به این نتیجه رسیدیم که زاویه بینایی (زاویه ۱۵ درجه نسبت به افق) زاویه ای بهینه میباشد که میتواند پایداری گود با شیب های ۵ و ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ درجه را به سادگی و با اطمینان بالایی تامین نماید.
- ۲- افزایش تراکم نیل های نسبت به افزایش قطر نیل ها تاثیر بسیار بیشتری بر روی پایداری سازی گود مخصوصا گودهای عمیق دارد زیرا هر نیل بر اساس اندرکنشی که بین خود نیل و دوغاب و خاک اطراف دارد میتواند تا حد زیادی محدوده اطراف خود را به صورت یک ناحیه تقریبا بدون حرکت در آورد اما هنگامی که قطر نیل افزایش یابد (حتی دو برابر گردد) تاثیر چندانی در نتایج حاصل نمیگردد به همین علت در مدل های ۱۲ و ۹ و ۶ در نرم افزار پلکسیس افزایش تراکم در نیل را به جای افزایش قطر نیل ها انتخاب نموده ایم.
- ۳- هرچه طول نیل بزرگتر باشد میزان نیروی محوری ماکزیمم بیشتری را تحمل مینماید به همین علت در پایداری گود های عمیق در ردیف های اول از ۴ ردیف نیل ۱۵ متری استفاده گردیده است.
- ۴- نیروی محوری ماکزیمم در میخخاک های بالایی در فاصله کمتری از سر نیل ایجاد می شود و در میخخاک های ردیف-های پایینی در نسبی بالاتری از سر نیل ایجاد می شود.
- ۵- میزان افزایش در ضریب ایمنی به دلیل تراکم نیل ها در گودهای عمیق بیش تر است و با افزایش عمق گودبرداری تأثیر نیل های ردیف آخر کم تر می شود. میزان افزایش در ضریب ایمنی به دلیل تراکم نیل ها در گودهای عمیق بیش تر است و با افزایش عمق گودبرداری تأثیر نیل های ردیف آخر کم تر می شود.

۵- مراجع

- ۱- اژدری شبستری، ا، "دیوارهای میخ کوبی شده"، انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران. ۱۳۹۰
2. Yang, Y.Yin, J.H., Yuan, J.X., and Schulyer, J.N., "An expert system for selection of retaining walls and groundwater controls in deep excavation," J. Computers and Geotechnics, Vol. 30, PP. 707-719, (2014).
3. Juran, I. "Reinforced soil systems application in retaining structures." Geotechnical Engineering, Vol. 16, pp. 39-82. (1985)
4. Luo, S.Q., Ho, C.E., TAN, S.A. and Yong, K. Y. "Stabilization of Basement Excavation With Soil Nail and Ground Anchors". 2nd International Conference. Singapor, PP. 327-336. (1998)
5. Luo, S.Q., Ho, C.E., TAN, S.A. and Yong, K. Y. "Stabilization of Basement Excavation With Soil Nail and Ground Anchors". 2nd International Conference. Singapor, PP. 327-336. (1998)
6. Chia-Cheng Fan, Jiun-Hung Luo. Numerical study on the optimum layout of soil-nailed slopes. Computers and Geotechnics. Volume 35, Issue 4, Pages 585-599, (2014).
7. Pieter A. Vermeer, Ankana Punlor, Nico Ruse. "Arching effect behind a soldier pile wall". Computers and Geotechnics Volume 28, pp 379-396. (2001)
8. Mingjing Jiang, Zhifu Shen, Fangyuan Zhu. "Numerical analyses of braced excavation in granular grounds: continuum and discrete element approaches" Granular Matter 15. pp 195-208. (2013)
9. US .department of transportation, Federal Highway Administration, Geotechnical Engineering Circular No.4, Ground Anchors and Anchor Systems. (1999)
10. Yoo, C., and Lee, D., "Deep excavation-induced ground surface movement characteristics-A numerical investigation," J. Computers and Geotechnics, Vol. 35, PP. 231-252, (2008).
11. Cording E.J., O'Rourke, S.M. "Excavation, ground movements and their influence on buildings, protection of structures adjacent to braced excavation." J. Geotech. Geoenviron. Eng Volume 131, Issue 2, pp 162-177 (2005)
12. Kirsten, H A D Can , "Limiting equilibrium, closed-form elastic, and numerical plastic analyses of stability of earth wall reinforced with grouted rebar nails and cable anchors". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics , Volume 30, Issue 1, Pages 289-298 , (1993)

13. Dang Cheng,ZHENG Ying-ren,CHEN Xin-ying,TANG Xiao-song, "Research on composite support pattern of soil nails and prestressed anchors in deep foundation pits".Logistical Engineering University,Chongqing 400041,China;(2009)
14. Guo Yuan-cheng, WANG Li-ming, ZHENG Xiu,"The calculation model of the combined support struture of soil-nailing and pile-anchor".School of Civil Engineering of Zhengzhou University,Zhengzhou 450002, China,(2003)
15. Plaxis, B., Plaxis 2D-version 8 manual. 2012, balkema publisher, rotterdam