



تاثیر ستون های سنگی محصور شده با ژئوتکستایل ها در بهسازی خاک

بهزاد عبادی^۱، رحمان شریفی^{۲*}، محمود نیکخواه شه میرزادی^۳

۱- کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، سمنان، ایران
پست الکترونیکی: behzadebadi1988@gmail.com

۲- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تات، تهران، ایران
پست الکترونیکی: R.sharifi@Areoo.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، سمنان، ایران
پست الکترونیکی: Nik_khah@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۲۳، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۲۸

چکیده

بهسازی خاک در مهندسی ژئوتکنیک مخصوصاً در زمین هایی که دارای خاک نامناسب بوده از اهمیت و ضرورت ویژه ای برخوردار است و استفاده از روش های معمول بهسازی خاک و تقویت زمین های سست، گسیختگی و لغزش خاک و یا حداقل نشست های بیش از حد و نامتقارن سازه را در پی خواهد داشت. یقیناً بهره برداری از روش های نوین و علوم جدید دچار تغییرات زیادی در نحوه اجرا و بهسازی خاک شده و بر همین اساس استفاده از مواد پلیمری و مصالح ساخته شده از جمله ژئوتکستایل ها به عنوان یکی از روش های نوین روز به روز افزایش یافته است. در پژوهش حاضر اندازه گیری های نشست و تنش های وارد بر خاک محصور شده با ستون های سنگی و ژئوتکستایل، در قالب نرم افزار PLAXIS ۲D مدل سازی، تحلیل عددی و تاثیر عواملی چون قطر، فاصله، آرایش ستون های سنگی، زاویه اصطکاک و مقاومت برشی مصالح مورد استفاده بر نتایج تحقیق به عنوان اهداف اصلی مورد ارزیابی قرار گرفت و به طور خلاصه نتایج نرم افزاری نشان داد که در پی، هرچه قطر ستون ها بیشتر و فاصله آن ها کمتر باشد ظرفیت باربری پی ها نیز بیشتر شده است و از نظر کمی، ظرفیت باربری پی بهسازی شده با ستون های سنگی و محصور شده توسط ژئوتکستایل حدود ۲۰۰ کیلو نیوتن بر متر مربع بوده که افزایش حدود ۱۴۰ کیلو نیوتن بر متر مربع نسبت به پی های بدون ستون های سنگی و ژئوتکستایل را نشان داده است.

کلمات کلیدی: ستون های سنگی، ظرفیت باربری، ژئوتکستایل، بهسازی خاک، نرم افزار PLAXIS ۲D.

۱- مقدمه

بهبودی خاک در مهندسی ژئوتکنیک خصوصاً در زمین‌هایی که دارای خاک نامناسب می‌باشد، نیاز به رفع مشکلات را دو چندان می‌نماید. لذا استفاده از روش‌های معمول بهبود خاک و تقویت زمین‌های سست منجر به گسیختگی و لغزش خاک و یا حداقل نشست‌های بیش از حد و نامتقارن سازه می‌گردد. از جمله روش‌های بهبود خاک و مقاوم‌سازی بستر خاکریز و مسیر بستر راه‌های ارتباطی استفاده از ستون‌های سنگی می‌باشد که با روش‌های نوین و علوم جدید دچار تغییرات زیادی در نحوه اجرا و بهسازی خاک شده است. به عنوان نمونه استفاده از مواد پلیمری و مصالح ساخته شده از جمله ژئوتکستایل‌ها رو به افزایش است. با عنایت به موارد فوق، اندازه‌گیری‌های دقیق نشست و تنش‌های وارد بر خاک بروی ستون‌های سنگی محصور با ژئوسنتتیک حائز اهمیت است. در این مقاله با توجه به ستون‌های سنگی اجرا شده در نواحی مختلف و داده‌های موجود در آن به بررسی مسائل و مشکلات آن بر آمده است. از روش‌هایی که اخیراً به طور وسیعی برای اصلاح رسوبات نرم و خاک‌های ریزدانه سست مورد استفاده قرار می‌گیرد، ستون‌های سنگی یا شمع‌های دانه‌ای می‌باشد. این ستون‌های سنگی موجب افزایش مقاومت خاک‌های سست شده و همچنین نشست به وجود آمده را در اثر اعمال بار کاهش می‌دهند. تکنیک استفاده از ستون‌های سنگی، یکی از روش‌های بهسازی خاک‌های ضعیف مانند رس‌ها، سیلت‌ها و ماسه‌های سیلتی می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از مدل‌سازی در نرم‌افزار PLAXIS ۲D سعی شده است تا رفتار ستون‌های سنگی مسلح نشده و محصور شده در ژئوتکستایل بررسی شود.

افزایش جمعیت و توسعه صنایع، منجر به کمبود زمین‌های مناسب از لحاظ ژئوتکنیکی جهت احداث سازه‌های مورد نظر شده است. در چنین مواردی باید به نوعی کیفیت خاک نامناسب از لحاظ ژئوتکنیکی ارتقاء داده شود تا خاک در اثر نیروهای ناشی از سازه مورد نظر عملکرد مطلوبی داشته باشد. بر همین اساس بهسازی خاک در مهندسی ژئوتکنیک از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. اهمیت این موضوع از آنجاست که در بعضی از پروژه‌های عمرانی چاره‌ای جز احداث سازه در منطقه‌ای با شرایط خاک نامناسب نظیر خاک‌های رسی بسیار نرم و یا خاک‌های آلی یا لجنی و باتلاقی نیست. یکی از متداول‌ترین روش‌ها، خصوصاً جهت مقاوم‌سازی بستر خاکریز اتوبانها و یا خطوط ریلی استفاده از ستون‌های سنگی می‌باشد. این روش که از گذشته هم مرسوم بوده، اخیراً و با پیشرفتهایی که در زمینه علوم پلیمر و خصوصاً تولید مصالح ژئوسنتتیک ایجاد شده، دچار تحول شده است. گسترش کاربرد خاک مسلح و مسلح‌کننده‌های پلیمری در کارهای عمرانی، ایده ترکیب ستون‌های سنگی با دیواره‌ای از جنس مصالح ژئوسنتتیک که دربرگیرنده آن ستون می‌باشد را جهت افزایش بازدهی این سیستم در مقاوم‌سازی خاک به وجود آورده است.

آشنایی با تکنولوژی نوین اجرای خاکریزهای حجیم و بلند که امروزه به طور وسیعی در پروژه‌های عمرانی روز دنیا استفاده می‌شود برای مهندسان ایرانی ضروری است. البته کاربرد هر مصالح و روشی منوط به آشنایی کامل با خصوصیات، روش طراحی و اجرا و زمینه‌های کاربرد آن، مزایا و معایب آن و توجیه اقتصادی آن در مقایسه با سایر گزینه‌های قابل اجرا می‌باشد. مصالح ژئوسنتتیک مشتمل بر انواع ژئوتکستایل، ژئوگرید، ژئونت، ژئوممبرین، ژئوپایپ و ژئوکامپوزیت می‌گردند که از این میان ژئوگریدها برای تقویت و مسلح نمودن خاک به کار می‌روند. خاک مسلح بیشتر به ترکیب لایه‌های خاک با جوشن و تسمه‌های فلزی اطلاق می‌گردد که نیروهای کششی وارد بر خاک بر اثر اصطکاک مابین خاک و تسمه فلزی از خاک به تسمه منتقل شده و توسط آن تحمل می‌گردد. امروزه در خاک‌های مسلح جایگزینی ژئوگریدها به جای تسمه‌های فلزی به طور فزاینده‌ای ادامه دارد که یکی از علل آن مشکل خوردگی تسمه‌های فلزی در خاک و هزینه بیشتر آنها در مقایسه با ژئوگریدها می‌باشد (پورحسینی، ۱۳۹۵).

با افزایش روزافزون جمعیت و توسعه صنایع مشکل کمبود زمین مناسب جهت احداث سازه‌های مورد نیاز موجب شده است تا انسان به استفاده از زمین‌های با کیفیت پایین‌تر از لحاظ مهندسی ژئوتکنیک روی آورد. اما جهت احداث یک سازه مناسب باید به نوعی کیفیت خاک نامناسب از لحاظ پارامترهای مهندسی ژئوتکنیک ارتقاء داده شود تا خاک در اثر نیروهای ناشی از سازه مورد نظر عملکرد مناسبی داشته باشد (سیاوش نیا، ۱۳۹۰).

یکی از روش‌های متداول و کارا برای اصلاح رفتار خاک‌های نرم رسی، استفاده از ستون‌های سنگی می‌باشد. این ستونها به علت کارایی مناسب، ساخت آسان و در دسترس بودن مصالح مورد نیاز، یکی از متداول‌ترین روشها برای اصلاح خاک‌های مسئله دار می‌باشند. این ستون‌ها ظرفیت باربری خود را به وسیله محصوریت ایجاد شده به وسیله خاک اطراف به دست می‌آورند و این در حالی است که در خاک‌های ریزدانه بسیار نرم، فشار جانبی

اعمالی به ستونهای سنگی کافی نبوده و این ستون ها کمانش می نمایند. یکی از راه های جلوگیری از کمانش این ستون ها و افزایش ظرفیت باربری آن ها، مسلح سازی این ستون ها به وسیله ژئوگرید می باشد (سیاوش نیا، ۱۳۹۴).

ستون های سنگی به طور فزاینده ای به عنوان یک روش بهبود خاک برای حمایت از انواع مختلف سازه ها (مانند زمین خاکی، ساختمان ها، مخازن ذخیره سازی و غیره) به ویژه در خاک نرم استفاده می شود. با این وجود، ستون سنگی در خاک بسیار نرم، ممکن نیست به علت ضعف جانبی ناکافی عملکرد مناسبی داشته باشد. قرار دادن ستون های سنگی با ژئوگرید یکی از اشکال ایده آل برای بهبود عملکرد ستون های سنگ است (دمیر، ۲۰۱۶).

استفاده از ستونهای سنگی در سیستم پی از موارد بهسازی است که در جهت افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست پذیری و جلوگیری از نشست غیریکنواخت در زیرفونداسیون بسیار موثر است. پوشش ژئوگرید موجب افزایش سختی و مقاوم تر شدن ستون های سنگی می گردد به علاوه اینکه از لغزش جانبی مصالح ستون به درون خاک رس مجاور جلوگیری می کند و موجب حفظ عملکرد زهکشی ستون سنگی می شود (مروندی، ۱۳۹۲).

احداث ستون های سنگی از جمله روش های بهسازی خاک می باشند که برای بهبود عملکرد ستون سنگی در خاک های بسیار نرم از تکنیک روکش کردن عمودی ستون سنگی با مصالح ژئوسنتتیک و یا تسلیح افقی ستون سنگی با لایه های ژئوسنتتیک استفاده می شود (نظری افشار، ۱۳۹۵). مواد دانه ای در بسیاری از فرایندهای صنعتی و پدیده های ژئوفیزیکی مهم هستند (لیو، ۲۰۱۷).

یکی از روش های مورد استفاده برای افزایش ظرفیت باربری پی های سطحی واقع بر لایه های رس نرم، شمع های دانه ای و یا ستون سنگی می باشد. در این روش ابتدا درون خاک رس نرم، با استفاده از فشار آب و ارتعاش، چاهی حفر می نمایند، سپس آن را با خاک درشت دانه پر می کنند. شن داخل گمانه، در زمان بالا کشیدن و بیراتور، به تدریج متراکم می شود (باسو، ۲۰۱۸) (گوپتا، ۲۰۱۸).

ذرات خاک درشت دانه مورد استفاده در ستون سنگی، سائیزی در حدود ۶ تا ۴۰ میلی متر دارد. ستون سنگی نیز معمولاً با قطر ۰.۵ تا ۰.۷۵ متر و با فواصل مرکز به مرکز ۱/۵ تا ۳ متر اجرا می شود. استفاده از ستون سنگی باعث کاهش نشست پی می شود. برای این ستون ها، عمق ۶ تا ۱۰ متر مؤثرترین عمق است اگرچه تا عمق ۳۰ متر هم اجرا شده اند.

تحقیقات متعددی حاکی از آن هستند که ستون های سنگی تقویت شده با ژئوگرید سبب افزایش باربری خاک می شود (شارما، ۲۰۰۴ - حسن، ۲۰۱۷).

۲- مواد و روش ها

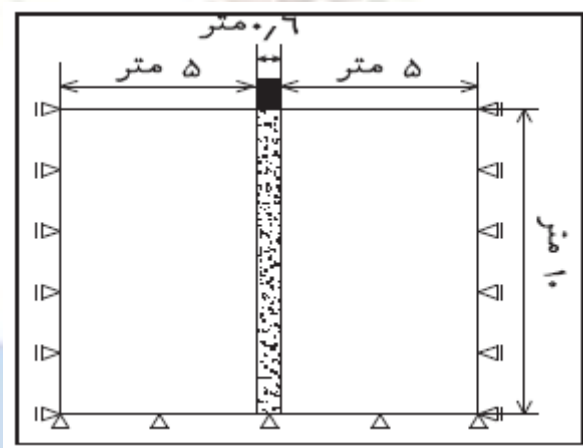
از نظر مبانی نظری ژئوتکستایل یک ماده نفوذ پذیر مصنوعی ساخته شده از مواد نساجی است. آنها معمولاً از پلیمرها مانند پلی استر یا پلی پروپیلن ساخته شده است. ژئوتکستایل ها بیشتر در سه دسته مختلف "پارچه بافته، پارچه منسوج و پارچه آماده ژئوتکستایل ها" صفحات نفوذ پذیر هستند که از الیاف پلی استر یا پلی پروپیلن به دو صورت کلی بافته نشده (Nonwoven) و بافته شده (Woven) و یا ترکیبی از پلی استر و پلی پروپیلن با وزن ها و ابعاد مختلف تولید می گردند. ژئوتکستایل به دلیل داشتن خصوصیاتی چون اجرای بسیار سریع، وزن کم، مقاومت بالا، هزینه کم، پایداری طولانی مدت ده ها ساله، تخریب کمتر طبیعت، یکنواختی در اجرا و بسیاری موارد دیگر در اکثر کشور ها مورد استفاده قرار می گیرد. در نوع بافته نشده توده ای از الیاف با استفاده از فشار مکانیکی (سوزنی) به هم اتصال بافته و یا با استفاده از حرارت و چسب های شیمیایی تولید می گردد. با توجه به تعدد روشها، مصالح و مواد مختلف موجود برای تهیه ژئوتکستایل ها جای تعجب ندارد که تعداد زیادی از انواع آن برای کاربردهای مختلف در دسترس باشد و با توجه به شرایط فیزیکی، مکانیکی، هیدرولیکی و دوام مورد نیاز، نوع مناسب آن انتخاب گردد.



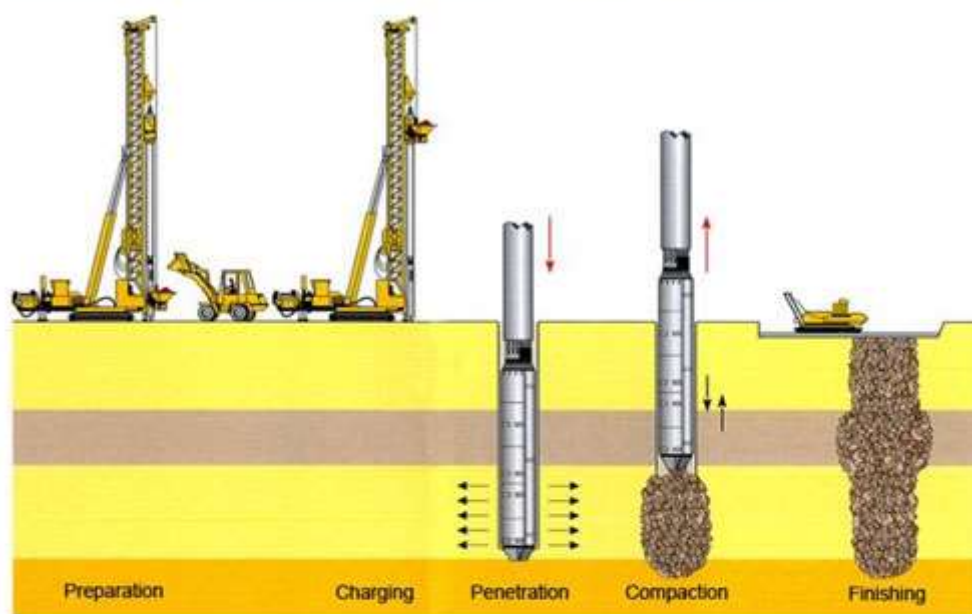
شکل (۱). نمونه هایی برای ژئوتکستایل

ژئوتکستایل ها با توجه به مقاومت مکانیکی خود دارای کاربردهای متنوعی به عنوان یک المان سازه ای در طراحی و ساخت خاکریزها، شیب ها و شیروانیهای خاکی، دیوارهای حائل، پروژهای سد سازی، جاده سازی، ساخت راه آهن، تونل، حفاظت سواحل دریا و رودها، زهکشی، حفاظت ژئوممبران در ساخت دریاچه های مصنوعی، استخر های ذخیره آب، لاگون تصفیه خانه های فاضلاب و دیگر کارهای مهندسی ژئوتکنیک می باشند. گونه های مختلف بافته نشده ژئوتکستایل می توانند جانشین برتری برای ریزدانه های زیر Rip Rap و به طور کلی نقاطی که در معرض فرسایش جذر ومد قرار دارد باشد. باید توجه نمود که ژئوتکستایل ها می توانند به همراه سایر ژئوسنتتیک ها از قبیل ژئوممبران ها، ژئوگرید ها، ژئونت ها و غیره مجموعه ایده آلی را ایجاد نمایند.

همچنین برای ستون های سنگی از نظر مبانی نظری می توان گفت که نتایج آزمون های آزمایشگاهی و صحرایی نشان داده که ستون سنگی منفرد بلند چه به صورت اتکایی و چه به صورت شناور بر اثر شکم دادگی در بخش بالایی آن گسیخته می شود. به منظور ارزیابی رفتار ستون سنگی منفرد، تحلیل عددی برای زمین رسی مسلح شده با ستون سنگی اتکایی به قطر ۰٫۶ متر انجام می شود. بارگذاری توسط پی صلب و فقط روی ستون سنگی انجام شده است. مدل سازی ستون سنگی و خاک اطراف آن به صورت کرنش صفحه ای بوده و کل هندسه مدل در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل (۲). هندسه ستون های سنگی و خاک اطراف آن



شکل (۳). مراحل اجرایی ستون های سنگی

به طور کلی تا به حال بیشتر مسایل مربوط به مهندسی ژئوتکنیک نظیر ظرفیت باربری پی ها، پایداری شیروانی ها، فشار خاک و دیوارهای حائل و ... با روش های تعادل حدی حل می شدند. در این روش ها محاسبه تغییر شکل ها ممکن نیست، لذا سازه های طراحی شده با این روش ها معمولاً با یک فاکتور اطمینان مناسب اصلاح می گردد، اما اکنون به خوبی شناخته شده که بسیاری از مسائل از نوع کنترل با تغییر شکل هستند و در نظر گرفتن فاکتور اطمینان برای بارهای بحرانی به تنهایی تضمین قابل قبولی برای تغییر شکل های سطح بهره برداری نمی باشد. بنابراین شناخت کامل مسیر بار-تغییر شکل برای طراحی های واقع بینانه تر لازم است. با گسترش روش های عددی و استفاده از رایانه ها با قدرت پردازش بالا، کاربرد روش های عددی در حل مسائل ژئوتکنیکی از جمله تحلیل پاسخ اندرکنش خاک و سازه، در سال های اخیر توسعه زیادی یافته است و با توجه به مشکلات زیاد در شبیه سازی عددی این سازه ها به لحاظ رفتارهای پیچیده خاک و مدل های رفتاری مختلف آن، وجود آب در خاک و مساله اندرکنش خاک و سازه، همچنان از مباحث روز دنیا است. در این قسمت کاربرد مدل های رفتاری در نرم افزار PLAXIS مانند مدل موهر - کلمب، سنگ درزه دار، خاک سخت شونده، خزش خاک نرم، خاک نرم و همچنین پارامترهای مورد استفاده در مدل های رفتاری چون مدول یانگ، ضریب پواسون، زاویه اصطکاک، زاویه چسبندگی، زاویه اتساع مورد بررسی قرار گرفته اند که از توضیح جزئیات آن صرف نظر شده است.

در محیط نرم افزاری PLAXIS 3D المان های خاک (المان مثلثی ۶ گره ای و ۱۵ گره ای)، صفحه ها، المان های تیر، سطوح مشترک، مقاومت سطح مشترک مورد بررسی قرار گرفت که محاسبات قابل انجام و خطای مجاز در نرم افزار به شرح زیر است :

الف) آنالیز پلاستیک

محاسبات پلاستیک جهت انجام آنالیز تغییر شکل الاستیک - پلاستیک انتخاب می شوند که در این گونه محاسبات زایل شدن فشارهای حفره ای اضافی وارد محاسبات نمی شود. محاسبات در حالت پیش فرض بر طبق تئوری تغییر شکل های کوچک انجام می شود.

ب) آنالیز تحکیم

هنگامی که بحث زایل شدن فشارهای حفره ای اضافی در خاک های رسی اشباع شده با آب به صورت تابعی از زمان در میان باشد از این گزینه استفاده می شود.

ج) خطای مجاز

در هر مرحله محاسبه برنامه محاسباتی تکرارها را تا زمانی که خطاهای محاسبه شده کوچکتر از مقدار مشخص شده باشند ادامه می دهد. اگر خطای مجاز مقدار بزرگی انتخاب شود آنگاه محاسبات نسبتاً سریع انجام خواهد شد، اما ممکن است از دقت کافی برخوردار نباشد. اگر خطای مجاز مقدار کوچکی انتخاب شود، آنگاه زمان محاسبه بسیار زیاد خواهد بود. عموماً تنظیمات استاندارد ۰/۰۳ برای خطای مجاز مناسب خواهد بود. در این تحقیق از میزان خطای ۰/۰۱ تا ۰/۰۵ استفاده شده است.

د) حل محاسباتی در برابر پاسخ دقیق

اگر در محاسبات پلاستیک بارهای گسیختگی بوجود آید که تمایل به افزایش غیره منتظره همراه با افزایش جابجایی ها داشتند، آنگاه این حالت نشانگر انحراف مسیر فزاینده نتایج اجزای محدود از راه حل دقیق می باشد. در این حالت محاسبات را باید از طریق انتخاب مقادیر کوچکتری برای خطای مجاز تکرار نمود (برازین، ۱۳۹۶).

۳- مدل سازی، بحث و بررسی

یکی از روش هایی که اخیرا به طور وسیعی برای اصلاح رسوبات نرم و خاک های ریزدانه سست مورد استفاده قرار می گیرد، ستون های سنگی یا شمع های دانه ای می باشد. این ستون های سنگی موجب افزایش مقاومت خاک های سست شده و همچنین نشست به وجود آمده را در اثر اعمال بار کاهش می دهند. تکنیک استفاده از ستون های سنگی، یکی از روش های بهسازی خاک های ضعیف مانند رس ها، سیلت ها و ماسه های سیلته می باشد. در تحقیقات گذشته رفتار ستونهای دانه ای ساده و مسلح شده با پوشش ژئوسنتتیک، تحت بارگذاری قائم به خوبی بررسی شده است. مد غالب گسیختگی در ستون منفرد، کمانش است که این کمانش در عمقی برابر با قطر ستون تا دو برابر قطر آن رخ می دهد. مد گسیختگی در حالت ستون سنگی ترکیبی از کمانش و تغییر شکل جانبی است. ظرفیت باربری نهایی در خاک های نرم پس از نصب ستون های سنگی محصور نشده افزایش می یابد.

۳-۱- نحوه مدل سازی

مدلسازی در نرم افزار PLAXIS در چندین مرحله انجام می گیرد که هر مرحله شامل چندین بخش مجزا می باشد که نسبت به سلیقه طراح متفاوت می باشد. مراحل طراحی در نرم افزار PLAXIS شامل ایجاد مدل اولیه، اختصاص مصالح، اختصاص شرایط مرزی، تعیین سطح تراز آب های زیرزمینی، مش بندی و در نهایت انجام محاسبات می باشد. این نرم افزار نرم افزار کاربردی برای مهندسی ژئوتکنیک بوده و انجام محاسبات آن به طور سریع انجام می گردد. لازم به ذکر است که انجام مدل های مشابه در نرم افزار های دیگر زمان بیشتر و سختی بیشتری را در پی دارد.

جدول (۱). مشخصات خاک (مدل خاک سخت شونده)

پارامتر	γ	ν	E_{50}^{ref}	E_{oed}^{ref}	E_{ur}^{ref}	m	C_{ref}	φ	ψ
رس	۱۸	۰,۴۵	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۳۶۲۵۰	۰,۵	۵	۱۰	۰

جدول (۲). مشخصات ستون سنگی (مدل خاک موهر-کلمب)

پارامتر	γ_{sat}	γ_{unsat}	K_x	K_y	E_{ref}	ν	C_{ref}	φ	ψ
رس	۲۰	۲۰	۰	۰	۳۰۰۰۰	۰,۳۵	۱۰۰۰	۴۰	۱۰

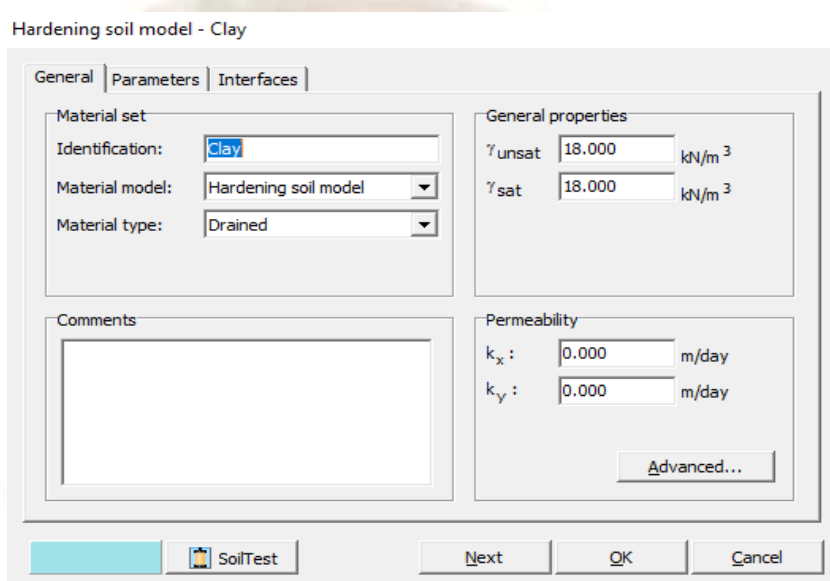
جدول (۳). مشخصات فنداسیون

مدل مصالح	EA	EI	D	w	v
الاستیک	۱۰۰۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۰,۶	۰	۰,۱۵

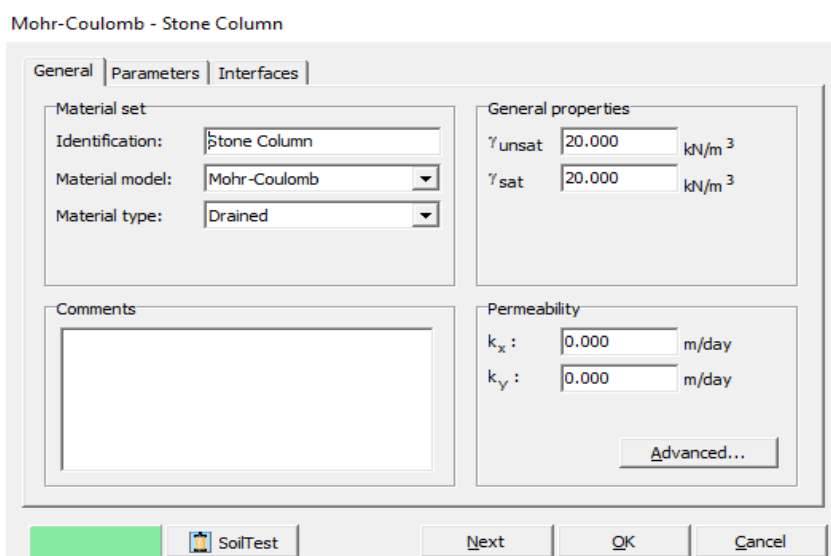
جدول (۴). مشخصات ژئوتکتستال

N_p	EA	مدل مصالح	
۲۰۰	۱۰۰۰	الاستوپلاستیک	فنداسیون

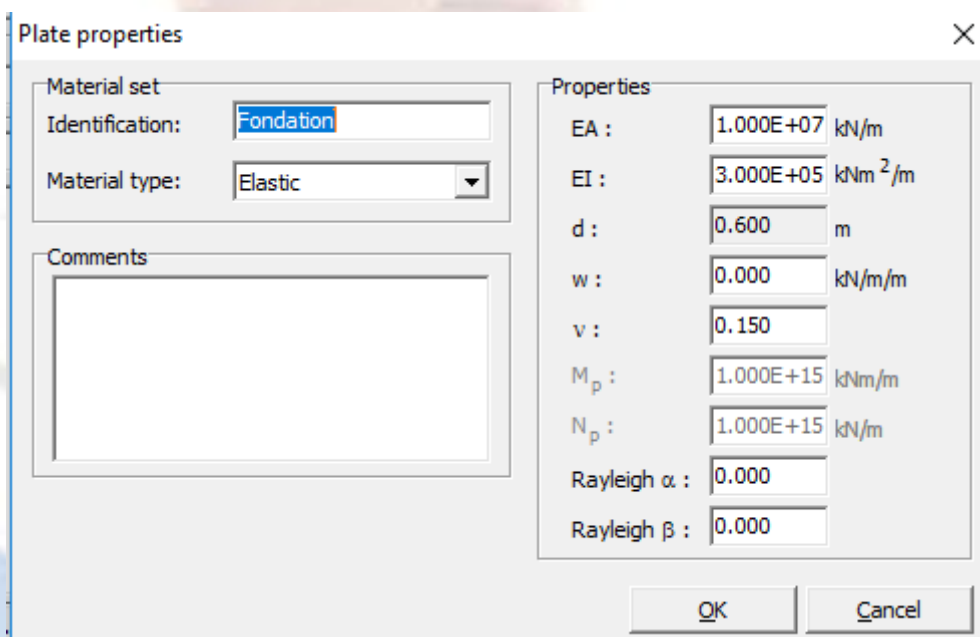
در نرم افزار پلکسیس می توانیم تمامی مشخصات فوق را با استفاده از Material Sets تعریف نمائیم. در زیر به نحوه وارد کردن این مشخصات به صورت شماتیک اشاره خواهد شد.



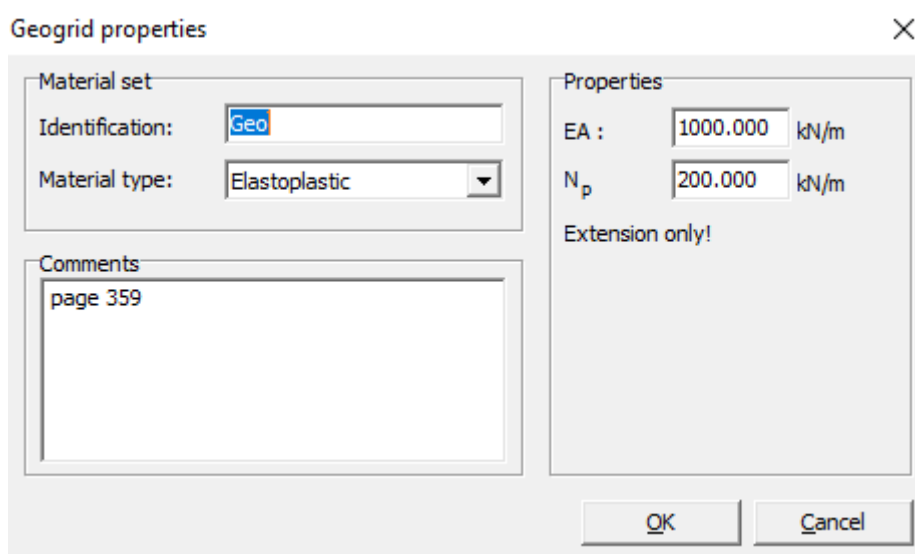
شکل (۴). نحوه معرفی مشخصات خاک به نرم افزار PLAXIS



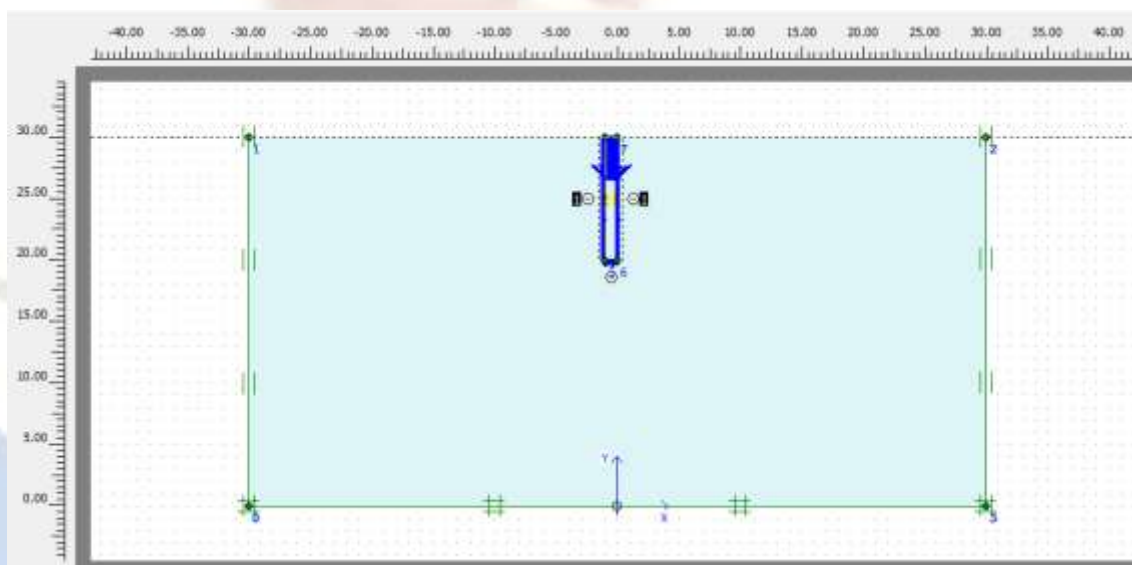
شکل (۵) . نحوه معرفی مشخصات ستون سنگی به نرم افزار PLAXIS



شکل (۶) . نحوه معرفی مشخصات فنداسیون به نرم افزار PLAXIS

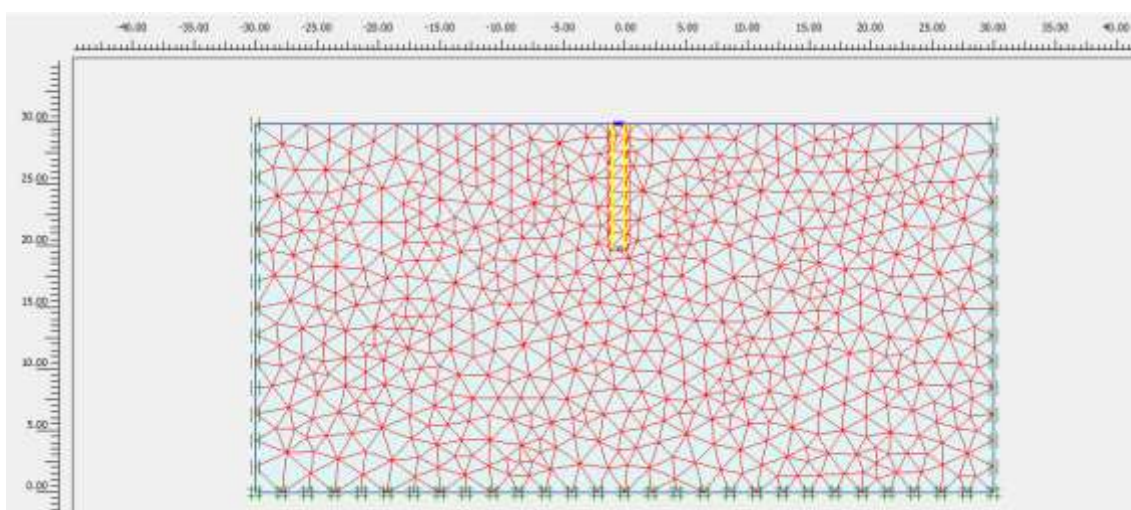


شکل (۷) . نحوه معرفی مشخصات ژئوتکستال به نرم افزار PLAXIS



شکل (۸) . نمای کلی از مدل طراحی شده

جهت دقت هر چه بهتر مدل های طراحی شده از مش بندی استفاده شده است و شکل شماره ۹ نشان دهنده مش بندی های ایجاد شده در مدل می باشد.

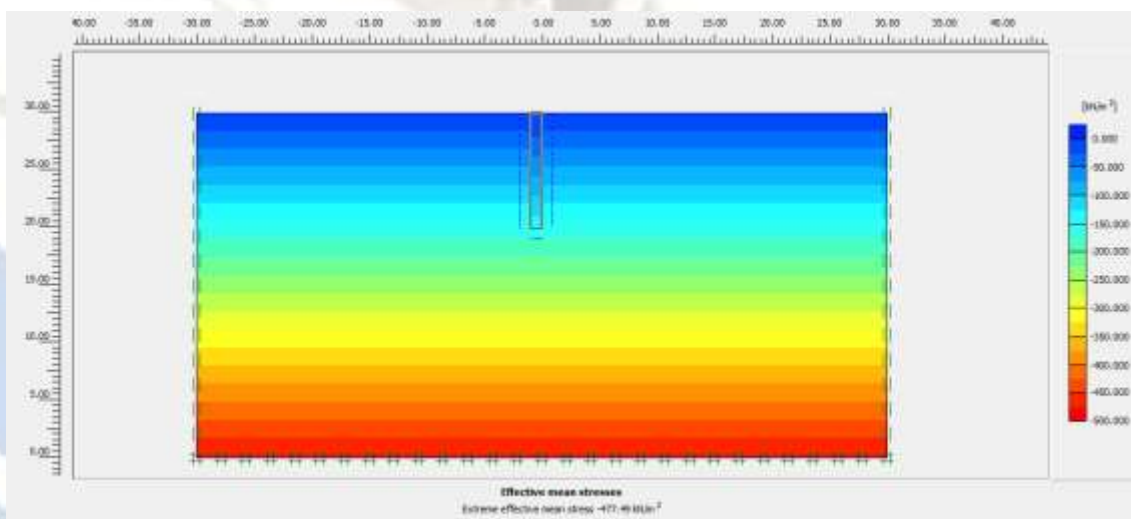


شکل (۹) . مش بندی انجام شده در مدل

جهت درک بهتر تغییرات ایجاد شده تغییرات مش بندی در ادامه ارائه خواهند شد. مش های تولید شده در مدل ها ، مش مثلثی خیلی ریز می باشند . جهت انجام مش بندی از گزینه Generate mesh در نرم افزار استفاده می گردد که در صورتی که در یکی از محیط ها و یا المان ها مصالح تعریف نشده باشد، مش بندی صورت نخواهد گرفت.

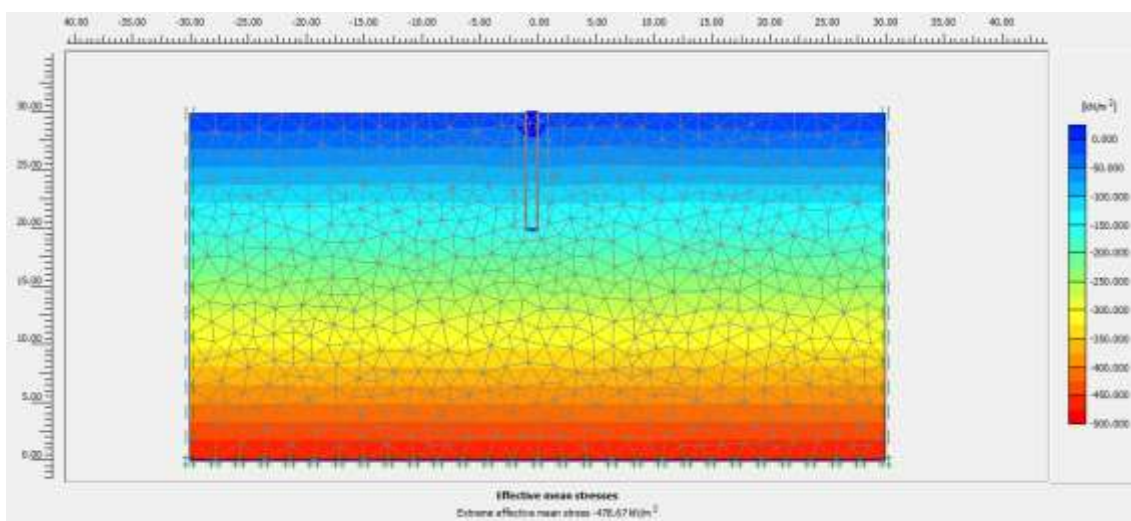
۳-۲ - آنالیز داده ها

پس از انجام مش بندی به مرحله تعیین شرایط اولیه می رسیم . با توجه به این که در این مدل قصد بررسی تنش های حاصل از آب های زیرزمینی را نداریم لذا با گذر از آن تنها تنش موثر (ناشی از وزن خاک) در این مرحله به دست خواهد آمد.



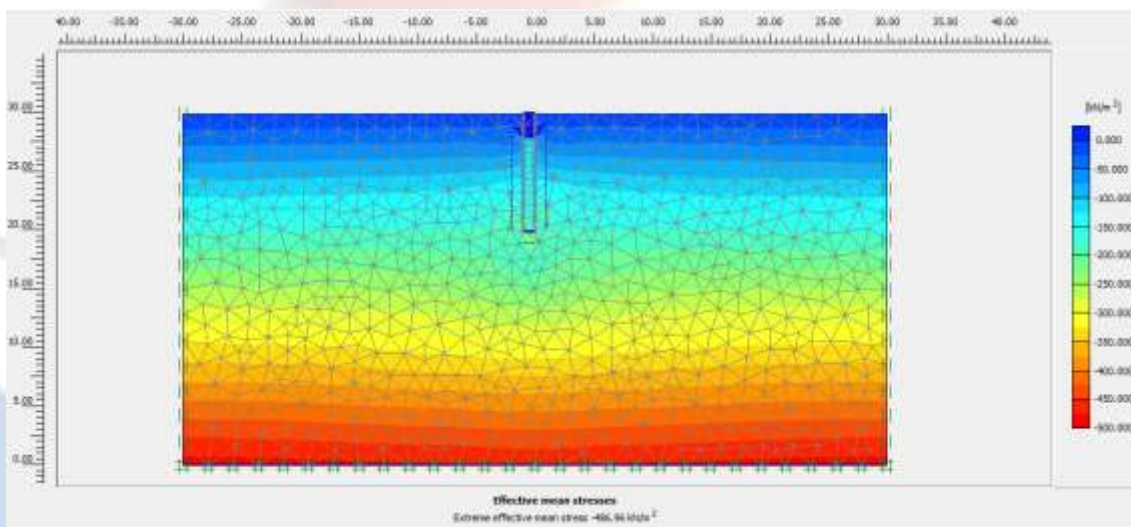
شکل (۱۰) . تنش های موثر در مدل قبل از پی ریزی

همانطور که در شکل فوق مشاهده می نمائید حداکثر تنش موثر قبل از پی ریزی و بهسازی خاک برابر ۴۷۷- کیلونیوتن بر مترمربع است.



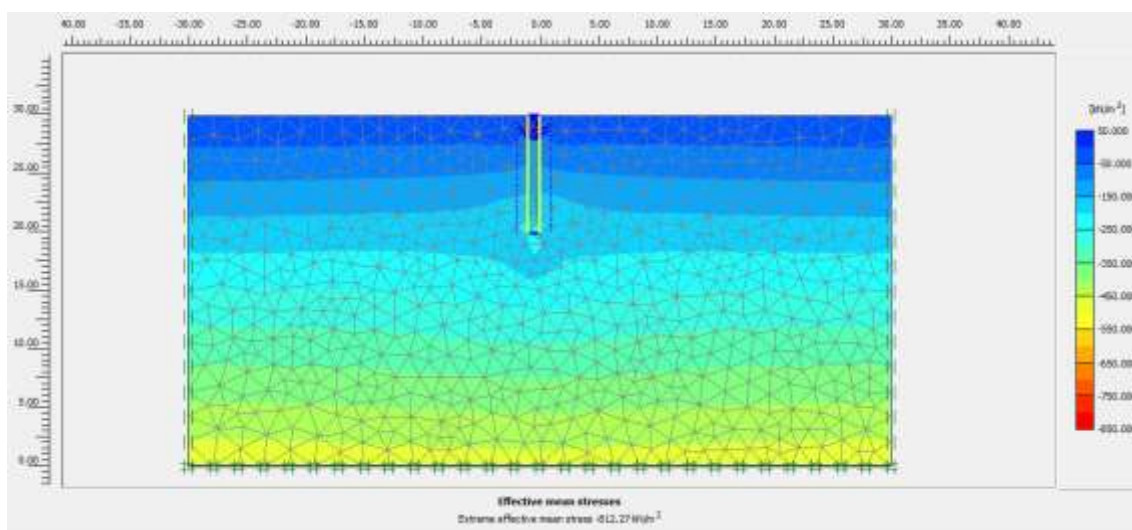
شکل (۱۱) . تنش های موثر در مدل بعد از پی ریزی و بدون بهسازی خاک

همانطور که در شکل فوق مشاهده می نمائید حداکثر تنش موثر بعد از پی ریزی و بدون بهسازی خاک برابر $478,67$ - کیلو نیوتن بر مترمربع است. این افزایش ناشی از وزن پی و جابه جایی تحمیلی است که برای مشخص شدن ظرفیت باربری پی اعمال شده است.



شکل (۱۲) . تنش های موثر در مدل بعد از پی ریزی و بهسازی خاک با ستون سنگی

همانطور که در شکل فوق مشاهده می نمائید حداکثر تنش موثر بعد از پی ریزی و بهسازی خاک با ستون سنگی برابر $486,96$ - کیلو نیوتن بر مترمربع است. این افزایش ناشی از وزن پی، ستون سنگی و جابه جایی تحمیلی است که برای مشخص شدن ظرفیت باربری پی اعمال شده است.

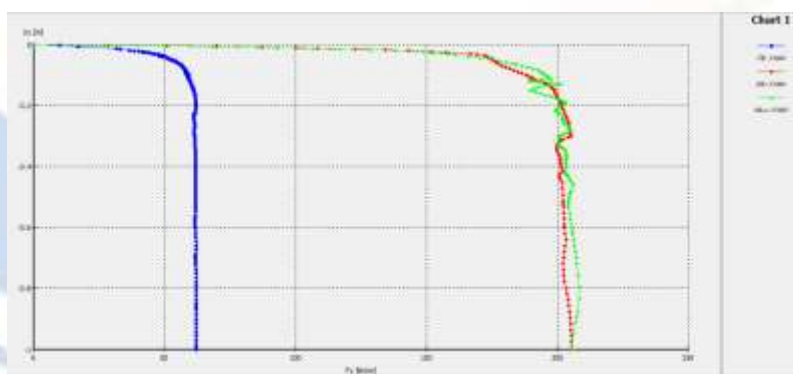


شکل (۱۳) . تنش های موثر در مدل بعد از پی ریزی و بهسازی خاک با ستون سنگی به همراه ژئوتکستال

همانطور که در شکل فوق مشاهده می نمائید حداکثر تنش موثر بعد از پی ریزی و بهسازی خاک با ستون سنگی به همراه ژئوتکستال برابر ۸۱۲٫۲۷- کیلونیوتن بر مترمربع است. این افزایش ناشی از وزن پی، ستون سنگی، محصورشدگی ژئوتکستال و جابه جایی تحمیلی است که برای مشخص شدن ظرفیت باربری پی اعمال شده است.

۳-۳- خروجی

بعد از انجام آنالیز برای هر یک از مدل ها به مرحله خروجی یا همان Output پرداخته می شود.. در نرم افزار پلکسیس ، در قسمت خروجی ها می توان کلیه تنش ها ، کرنش ها و جابجایی های به وجود آمده در اثر آنالیز سازه را به دست آورد. همچنین می توان دیاگرام آزاد نیروهای وارد شده بر المان های سازه ای مثلا دیوارها را محاسبه کرد. همچنین با استفاده از آیتم Curve می توان کلیه نمودار های مربوط به خروجی های ذکر شده را نیز رسم کرد. برای درک بهتر تغییرات ایجاد شده در هر قسمت از سازه می توان در مرحله آنالیز نقاطی را که مد نظر هستند انتخاب و نامگذاری نمود. در این پژوهش تعداد معدودی نقطه در مرحله آنالیز در هر مدل در نظر گرفته شده است، نقطه A اولین نقطه در زیر پی ، جهت اخذ نمودار انتخاب گردیده است. با توجه به مطالب ذکر شده نتایج آنالیز برای هر مدل در نمودارهای زیر به ترتیب آورده شده اند.



شکل (۱۴) . مقایسه نمودارهای ظرفیت باری پی در سه حالت

۴- نتایج

همانطور که از بحث پیرامون خروجی های نرم افزار نشان داده شده، مشخص گردید که با بهسازی خاک با ستون سنگی باعث افزایش ظرفیت باربری به مقدار قابل توجهی می شود. همچنین با افزایش ژئوتکستال تنش موثر در خاک به شدت افزایش می یابد، کماتش نیز توسط این لایه کنترل خواهد شد و در نهایت سبب افزایش ظرفیت باربری پی خواهد شد. به طور خلاصه مشخص شد که :

- ظرفیت باربری پی بدون بهسازی خاک با توجه به شکل ۱۳ حدوداً برابر ۶۰ کیلونیوتن بر مترمربع می باشد.
- ظرفیت باربری پی و بهسازی خاک با ستون سنگی با توجه به شکل ۱۳ حدوداً برابر ۲۰۰ کیلونیوتن بر متر مربع می باشد.
- ظرفیت باربری پی و بهسازی خاک با ستون سنگی همراه با ژئوتکستایل ها نیز با توجه به شکل ۱۳ حدوداً برابر ۲۰۰ کیلونیوتن بر متر مربع می باشد.
- تنش موثر خاک بهسازی شده با ستون های سنگی افزایش یافته است.
- تنش موثر خاک بهسازی شده با ستون های سنگی همراه با ژئوتکستایل ها نیز به شدت افزایش یافته است.
- کماتش خاک بهسازی شده با ستون های سنگی و همچنین همراه با ژئوتکستایل بر حسب انتظار کاهش یافته است.

۵- تشکر و قدردانی

لازم است از مسئولین محترم دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان به ویژه همکاران سایت کتابخانه و مرکز خدمات علمی و کامپیوتری و همچنین از کلیه اساتید ارجمند گروه مهندسی عمران دانشگاه فوق که در اجرا و تدوین پژوهش حاضر از هیچ کوشش و تلاشی دریغ نداشتند، تشکر و قدردانی ویژه ای نمایم و امیدواریم که مجموعه حاضر بتواند گوشه ای از زحمات این عزیزان را پوشش دهد.

فهرست منابع

الف-فارسی

- سیاوش نیا، رفیعی، عباسی، (۱۳۹۰)، ارزیابی عددی تاثیر مقاومت برشی خاک رس بر بهبود کماتش جانبی ستون سنگی، CACM، ۱۴:۰۱۴-۱۲ ص.
- عاطفی نیک، نظری افشار، سیاوش نیا، (۱۳۹۴)، دومین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی، SMFE، ۲:۲۶۸-۰۲ ص.
- محاجی محمدی، پورحسینی، بازیار، (۱۳۹۵)، ارزیابی روش های کاهش ارتعاشات ناشی از خطوط مترو بر سازه های سطحی، پژوهشنامه حمل و نقل مرکز تحقیقات راه و مسکن و شهرسازی، ۱۳ ص.
- مردی، سعیدی ریزی، (۱۳۹۲)، تأثیر ستون سنگی روی ظرفیت باربری خاک، اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک، GEOTEC، ۱:۴۵۰-۰۱ ص.
- نظری افشار، جواد، مهران نیا، کلاتری، (۱۳۹۵)، بررسی آزمایشگاهی تأثیر مشخصات هندسی و تسلیح ستون های سنگی شناور بر ظرفیت باربری، فصلنامه مهندسی عمران فردوسی مشهد، ۳۱(۲)، ۷۴-۸۸.

Ahmet Demir, Talha Sarıcı (۲۰۱۶), Bearing capacity and bulging behavior of Geogrid encased stone columns, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.

Bipin K Gupta, Dipanjan Basu (۲۰۱۸), Dynamic analysis of axially loaded end-bearing pile in a homogeneous viscoelastic soil, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, ۱۱۱, ۳۱-۴۰.

Minghua ZHAO, Weixi HE, Meng LIU (۲۰۱۷), Calculation method for the bearing capacity of stone columns based on the cavity expansion theory, Hydrogeology & Engineering Geology Murtaza Hasan, NK Samadhiya.

Performance of geosynthetic-reinforced granular piles in soft clays: Model tests and numerical analysis, Computers and Geotechnics ۸۷, ۱۷۸-۱۸۷, ۲۰۱۷.

Radhey S Sharma, BR Phani Kumar, G Nagendra, Compressive load response of granular piles reinforced with geogrids, Canadian Geotechnical Journal ۴۱ (۱), ۱۸۷-۱۹۲, ۲۰۰۰.