نشریه عمران و پروژه
Civil & Project Journal(CPJ)

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

بهزاد عبادی[۱]، رحمان شریفی [۲*] ،محمود نیکخواه شهمیرزادی[۳]

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

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

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

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۶، تاریخ پذیرش مقاله:۱۳۹۸/۰۸/۲۸

چکیده

بهسازی خاک در مهندسی ژئوتکنیک مخصوصا 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.یقینا بهره برداری از روش های نوین و علوم جدید دچار تغییرات زیادی در نحوه اجرا و بهسازی خاک شده و برهمین 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 وتنش های وارد بر خاک محصورشده با ستون های سنگی و ژئوتکستایل، درقالب نرم افزارPLAXIS 2D مدل سازی، تحلیل عددی و تاثیر عواملی چون قطر، فاصله، آرایش ستون های سنگی، زاویه اصطکاک و مقاوت 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 قطرستون ها بیشتر و فاصله آن ها کمتر باشد ظرفیت باربری پی ها نیز بیشتر شده است وازنظرکمی، 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 مترمربع 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 2D.

۱- مقدمه

بهسازی خاک در مهندسی ژئوتکنیک خصوصا در زمین هایی که دارای خاک نامناسب می باشد، نیاز به رفع مشکلات را دو چندان می نماید. لذا استفاده از روش های معمول بهسازی خاک و تقویت زمین های سست منجر به گسیختگی و لغزش خاک و یا حداقل نشست های بیش از حد و نامتقارن سازه می گردد. از جمله روش های بهسازی و مقاوم سازی بستر خاکریز و مسیر بستر راه های ارتباطی استفاده از ستون های سنگی می باشد که با روش های 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 ژئوتکستایل ها رو به افزایش است. با عنایت به موارد فوق، اندازه گیری های دقیق نشست و تنش های وارد بر خاک بروی ستون های سنگی محصور با ژئوسنتتیک حائز اهمیت است. در این مقاله با توجه به ستون های سنگی اجرا شده در نواحی مختلف و داده های موجود در آن به بررسی مسائل و مشکلات آن بر آمده است. 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 شمعهای 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 سیلتی می باشد. در این تحقیق با استفاده از مدل سازی در نرم افزار PLAXIS 2D سعی شده است تا رفتار ستون های سنگی مسلح نشده و محصور شده در ژئوتکستایل بررسی شود.

افزایش جمعیت وتوسعه صنایع ، منجر به کمبود زمین های مناسب از لحاظ ژئوتکنیکی جهت احداث سازه های 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 ویژه ای برخوردار است. اهمیت این موضوع از انجاست که در بعضی از پروژه های عمرانی چاره ای جزء احداث سازه در منطقه ای با شرایط خاک نامناسب نظیر خاکهای رسی بسیار نرم ویا خاکهای آلی یا لجنی و باتلاقی نیست. یکی از متداول ترین روش ها، خصوصا جهت مقاوم سازی بستر خاکریز اتوبانها و یا خطوط ریلی استفاده از ستون های سنگی می باشد. این روش که از گذشته هم مرسوم بوده، اخیرا و با پیشرفتهایی که در زمینه علوم پلیمر و خصوصا تولید مصالح ژئوسنتتیک ایجاد شده، دچار تحول شده است. گسترش کاربرد خاک مسلح و مسلح کننده های پلیمری در کارهای عمرانی، ایده ترکیب ستونهای سنگی با دیواره ای از جنس مصالح ژئوسنتتیک که دربرگیرنده آن ستون می باشد را جهت افزایش بازدهی این سیستم در مقاوم سازی خاک به وجود آورده است.

آشنایی با تکنولوژی نوین اجرای خاکریزهای حجیم و بلند که امروزه به طور وسیعی در پروژه های عمرانی روز دنیا استفاده می شود برای مهندسان ایرانی ضروری است. البته کاربرد هر مصالح و روشی منوط به آشنایی کامل با خصوصیات، روش طراحی و اجرا و زمینه های کاربرد آن، مزایا و معایب آن و توجیه اقتصادی آن در مقایسه با سایر گزینه های قابل اجرا می باشد. مصالح ژئوسنتتیک مشتمل بر انواع ژئوتکستایل، ژئوگرید، ژئونت، ژئوممبرین، ژئوپایپ و ژئوکامپوزیت می گردند که از این میان ژئوگرید ها برای تقویت و مسلح نمودن خاک به کار می روند. خاک مسلح بیشتر به ترکیب لایه های خاک با جوشن و تسمه های فلزی اطلاق می گردید که نیروهای کششی وارد بر خاک بر اثر اصطکاک مابین خاک و تسمه فلزی از خاک به تسمه منتقل شده و توسط آن تحمل می گردید. امروزه در خاکهای مسلح جایگزینی ژئوگریدها به جای تسمه های فلزی به طور فزاینده ای ادامه دارد که یکی از علل آن مشکل خوردگی تسمه های فلزی در خاک و هزینه بیشتر آنها در مقایسه با ژئوگریدها می باشد (پورحسینی، ۱۳۹۵).

با افزایش روز افزون جمعیت و توسعه صنایع مشکل کمبود زمین مناسب جهت احداث سازه های مورد نیاز موجب شده است تا انسان به استفاده از زمین های با کیفیت پایین تر 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 روش های متداول و کارا برای اصلاح رفتار خاک های نرم رسی، استفاده از ستون های سنگی می باشد. این ستونها به علت کارایی مناسب، ساخت آسان و در دسترس بودن مصالح مورد نیاز، یکی از متداول ترین روشها برای اصلاح خاک های مسئله دار می باشند. این ستون ها ظرفیت باربری

خود را به وسیله محصوریت ایجاد شده به وسیله خاک اطراف به دست می آورند و این در حالی است که در خاک های 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 ازستونهای سنگی درسیستم پی از موارد بهسازی است که در جهت افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست پذیری و جلوگیری از نشست غیریکنواخت در زیرفونداسیون بسیارموثر 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(مرندی، 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 روش‌های مورد استفاده برای افزایش ظرفیت باربری پی‌های سطحی واقع بر لایه‌های رس نرم، شمع های دانه ای و یا ستون سنگی می‌باشد. در این روش ابتدا درون خاک رس نرم، با استفاده از فشار آب و ارتعاش، چاهی حفر می‌نمایند، سپس آن را با خاک درشت‌دانه پر می‌کنند. شن داخل گمانه، در زمان بالا کشیدن ویبراتور، به تدریج متراکم می‌شود(باسو، ۲۰۱۸)(گوپتا، ۲۰۱۸).

ذرات خاک درشت‌دانه مورد استفاده در ستون سنگی، سایزی در حدود ۶ تا ۴۰ میلی‌متر 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 می‌شود. استفاده از ستون سنگی باعث کاهش نشست پی می‌شود. برای این ستون‌ها، عمق ۶ تا ۱۰ متر مؤثرترین عمق است اگرچه تا عمق ۳۰ متر هم اجرا شده‌اند.

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

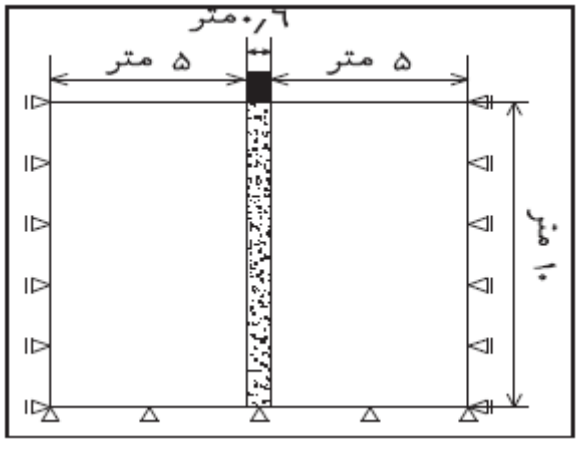
۲- مواد و روش ها

ازنظر مبانی نظری ژئوتکستایل یک ماده نفوذ پذیر مصنوعی ساخته شده از مواد نساجی است. آنها معمولا 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 پذیری 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 انوع آن برای کاربردهای مختلف در دسترس باشد و با توجه به شرایط فیزیکی، مکانیکی، هیدرولیکی و دوام مورد نیاز، نوع مناسب آن انتخاب گردد.

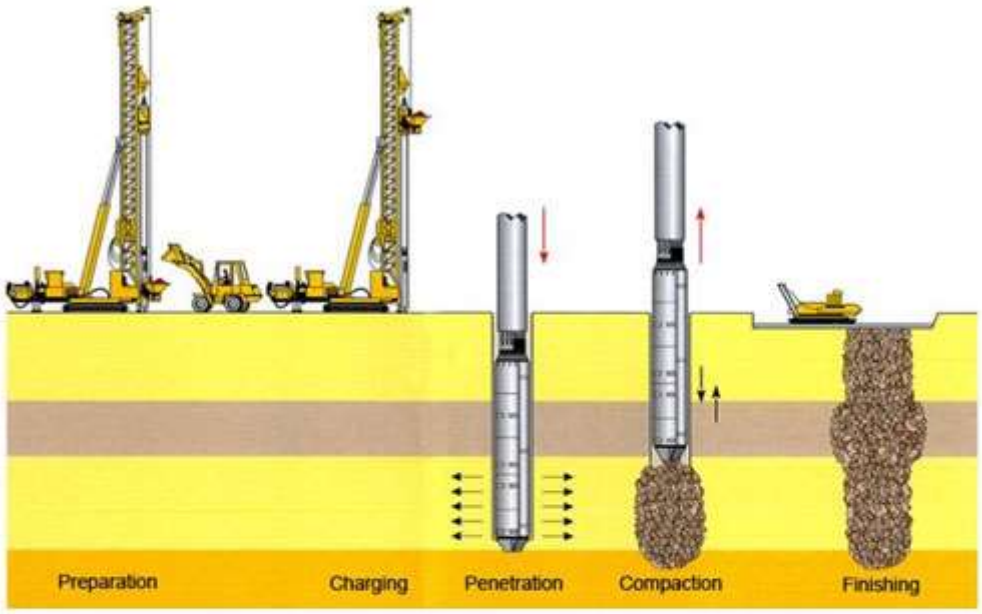
شکل (۱). نمونه هایی برای ژئوتکستایل

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 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 طورکلی تا به حال بیشتر مسایل مربوط به مهندسی ژئوتکنیک نظیر ظرفیت باربری پی ها، پایداری شیروانی‌ها، فشار خاک و دیوارهای حائل و .... با روش‌های تعادل حدی حل می شدند. در این روش‌ها محاسبه تغییر شکل ها ممکن نیست، لذا سازه های طراحی شده با این روش‌ها معمولا با یک فاکتور اطمینان مناسب اصلاح می‌گردد، اما اکنون به خوبی شناخته شده که بسیاری از مسائل از نوع کنترل با تغییرشکل هستند و در نظر گرفتن فاکتور اطمینان برای بارهای بحرانی به تنهایی تضمین قابل قبولی برای تغییر شکل های سطح بهره برداری نمی‌باشد. بنابراین شناخت کامل مسیر بار-تغییرشکل 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 سازه‌ها به لحاظ رفتارهای پیچیده خاک و مدل‌های 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 پوآسون، 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 فشار های حفره ای اضافی وارد محاسبات نمی‌شود. محاسبات در حالت پیش فرض بر طبق تئوری تغییر شکل های کوچک انجام می‌شود.

ب) آنالیز تحکیم

هنگامی که بحث زایل شدن فشارهای حفره‌ای اضافی در خاک‌های رسی اشباع شده با آب به صورت تابعی از زمان در میان باشد از این گزینه استفاده می‌شود.

ج) خطای مجاز

در هر مرحله محاسبه برنامه محاسباتی تکرارها را تا زمانی که خطاهای محاسبه شده کوچکتر از مقدار مشخص شده باشند ادامه می‌دهد. اگر خطای مجاز مقدار بزرگی انتخاب شود آنگاه محاسبات نسبتا 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. عموما تنظیمات استاندارد ۰/۰۳ برای خطای مجاز مناسب خواهد بود. در این تحقیق از میزان خطای ۰/۰۱ تا ۰/۰۰۵ 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 جابجایی‌ها داشتند، آنگاه این حالت نشانگر انحراف مسیر فزاینده نتایج اجزای محدود از راه حل دقیق می‌باشد. 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 سیلتی 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 تغییرشکل جانبی است. ظرفیت باربری نهایی در خاک های نرم پس از نصب ستون های سنگی محصورنشده افزایش می یابد.

۳-۱- نحوه مدل سازی

مدلسازی در نرم افزار PLAXIS درچندین مرحله انجام می‌گیرد که هر مرحله شامل چندین بخش مجزا می‌باشد که نسبت به سلیقه طراح متفاوت می‌باشد. 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 می‌باشد. این نرم افزار نرم افزار کاربردی برای مهندسین ژئوتکنیک بوده و انجام محاسبات آن به طور سریع انجام می‌گردد. 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	0.45	10000	10000	36250	0.5	5	10	0

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	20	20	0	0	30000	0.35	1000	40	10

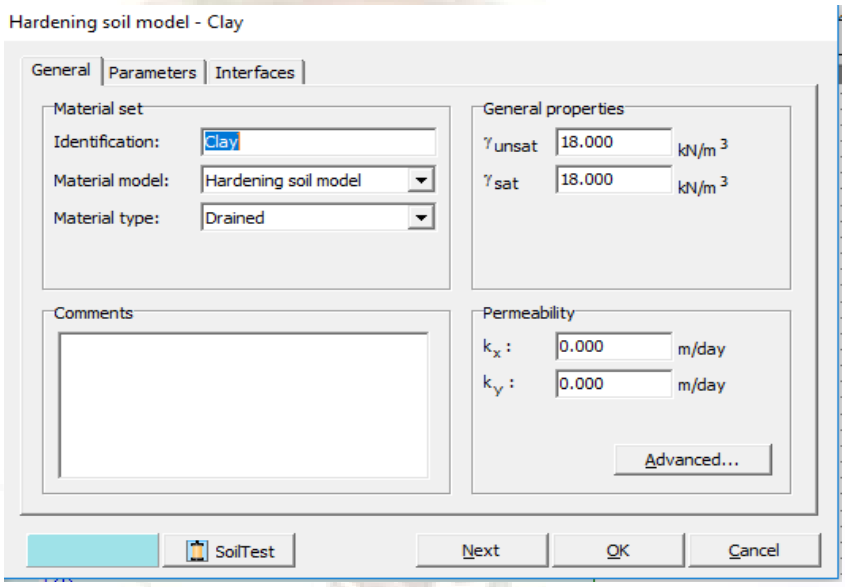
جدول (۳) . مشخصات فنداسیون

	مدل مصالح	EA	EI	D	w	v
فنداسیون	الاستیک	10000000	300000	0.6	0	0.15

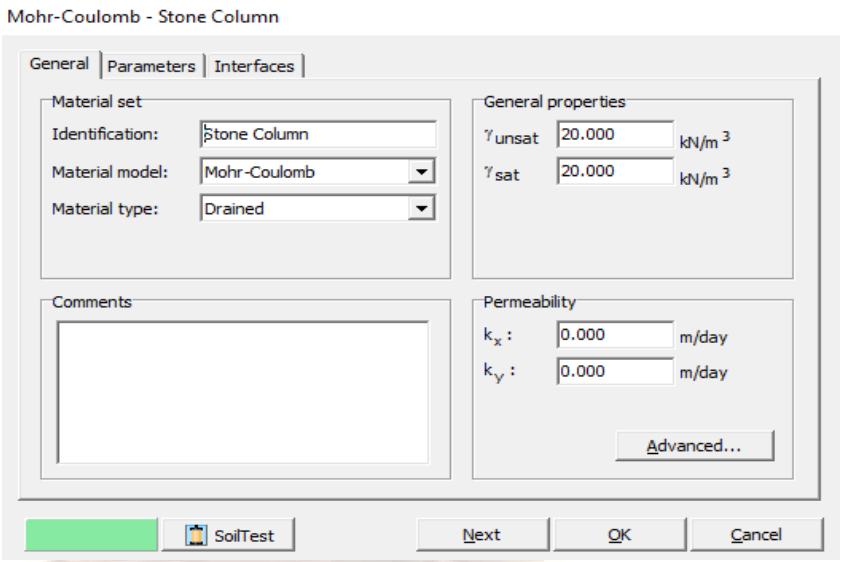
جدول (۴) . مشخصات ژئوتکستال

	مدل مصالح	EA	N_p
فنداسیون	الاستوپلاستیک	۱۰۰۰	۲۰۰

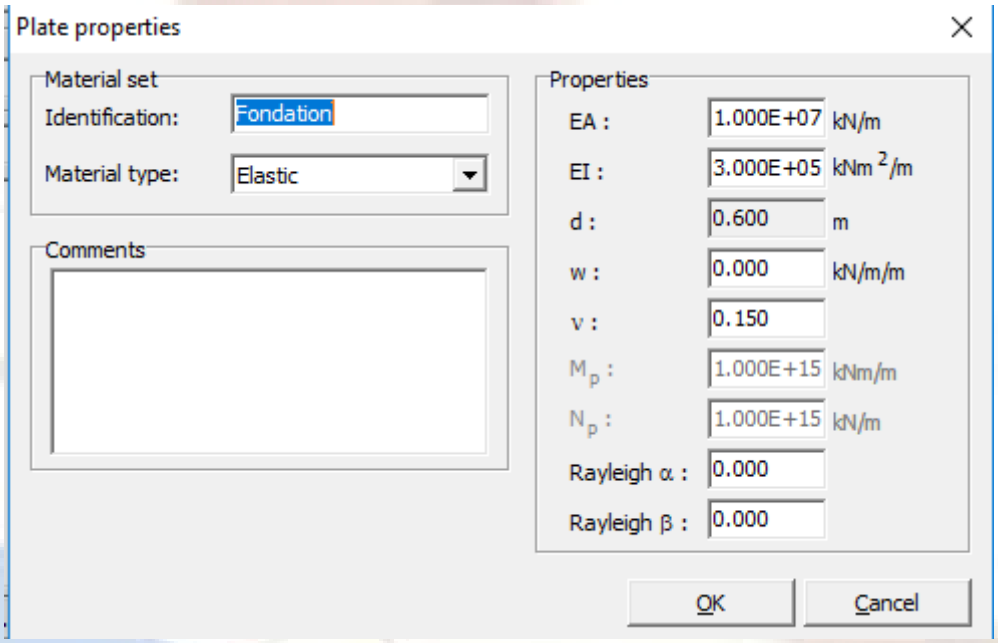
در نرم افزار پلکسیس می توانیم تمامی مشخصات فوق را با استفاده از Material Sets تعریف نمائیم. در زیر به نحوه وارد کردن این مشخصات به صورت شماتیک اشاره خواهد شد.



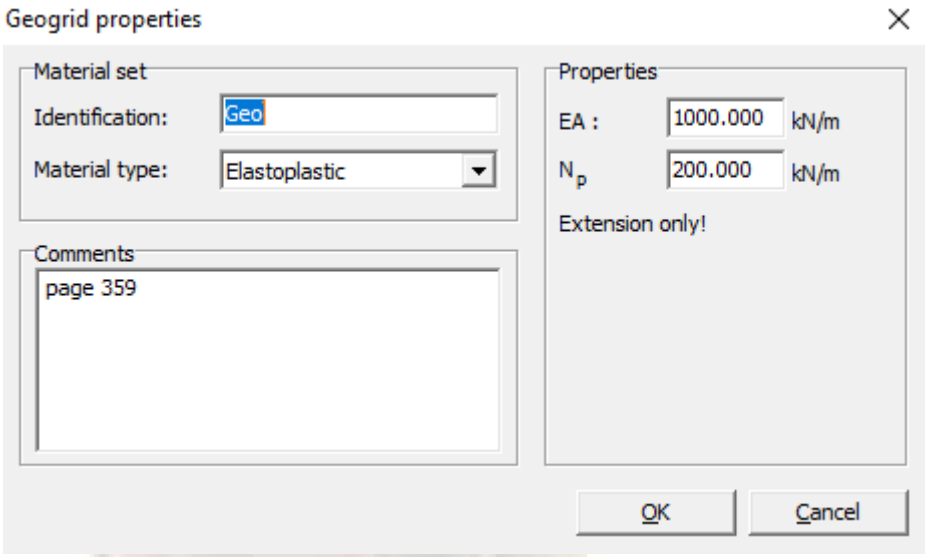
شکل (۴) . نحوه معرفی مشخصات خاک به نرم افزار PLAXIS



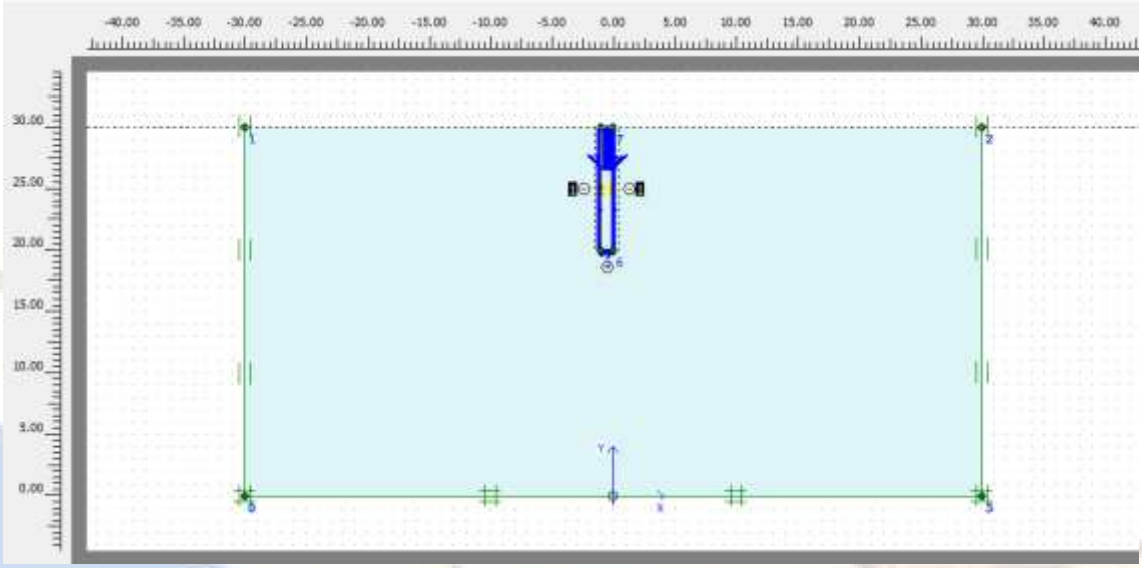
شکل (۵) . نحوه معرفی مشخصات ستون سنگی به نرم افزار PLAXIS



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

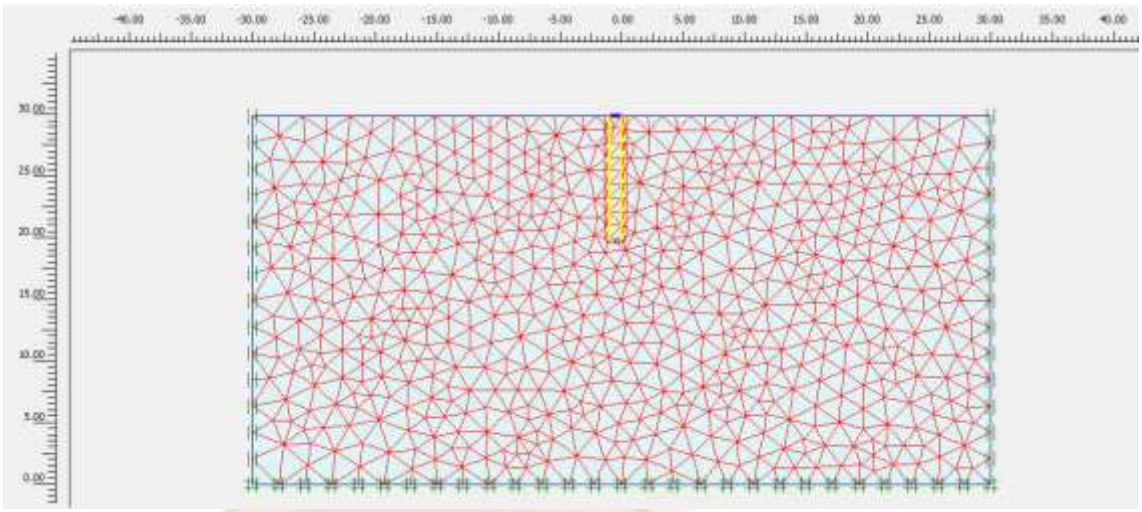


شکل (۷) . نحوه معرفی مشخصات ژئوتکستال به نرم افزار PLAXIS



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 می‌باشد.

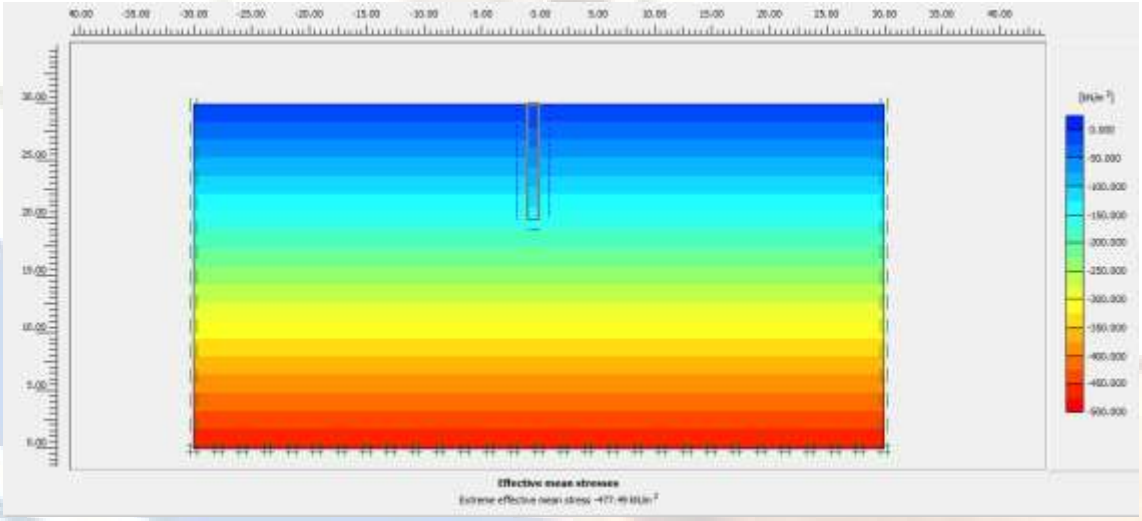


شکل (۹) . مش بندی انجام شده در مدل

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 می‌باشند . جهت انجام مش بندی از گزینه Generate mesh در نرم افزار استفاده می‌گردد که در صورتی که در یکی از محیط ها و یا المان ها مصالح تعریف نشده باشد، مش بندی صورت نخواهد گرفت.

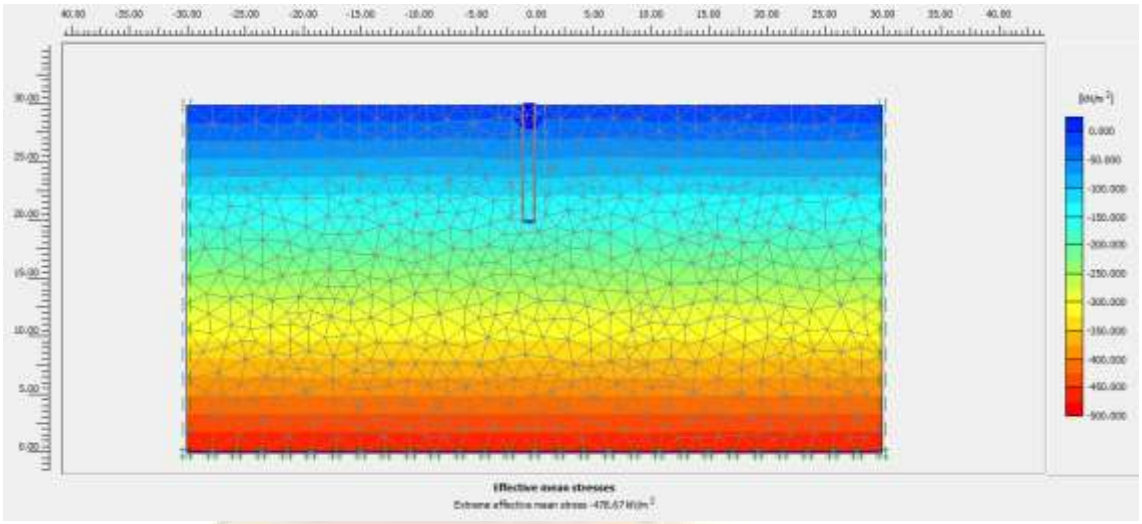
۳-۲ - آنالیز داده ها

پس از انجام مش بندی به مرحله تعیین شرایط اولیه می‌رسیم . 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.



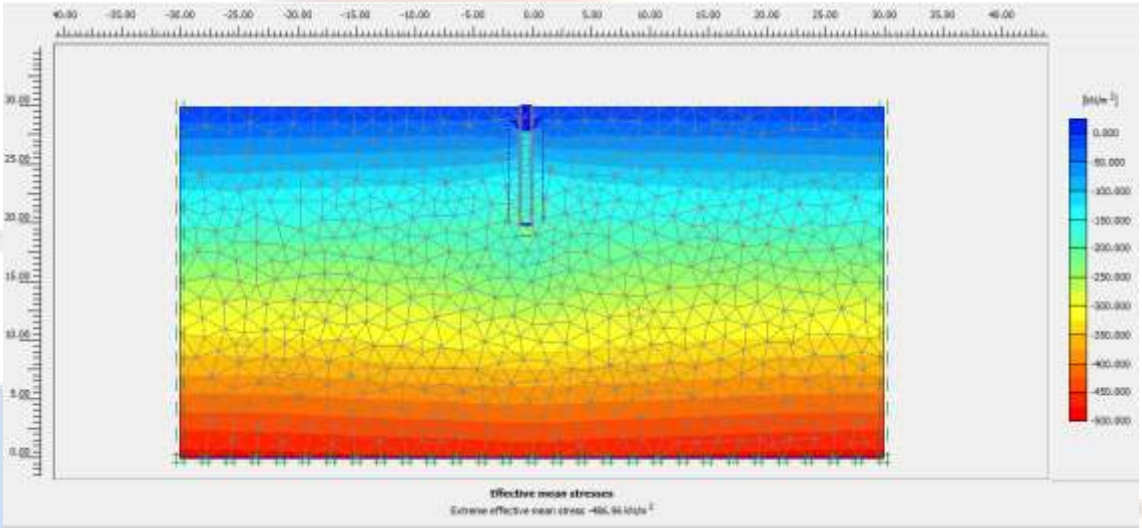
شکل (۱۰) . تنش های موثر در مدل قبل از پی ریزی

همانطور که در شکل فوق مشاهده می نمائید حداکثر تنش موثر قبل از پی ریزی و بهسازی خاک برابر 477- کیلونیوتن بر مترمربع است.



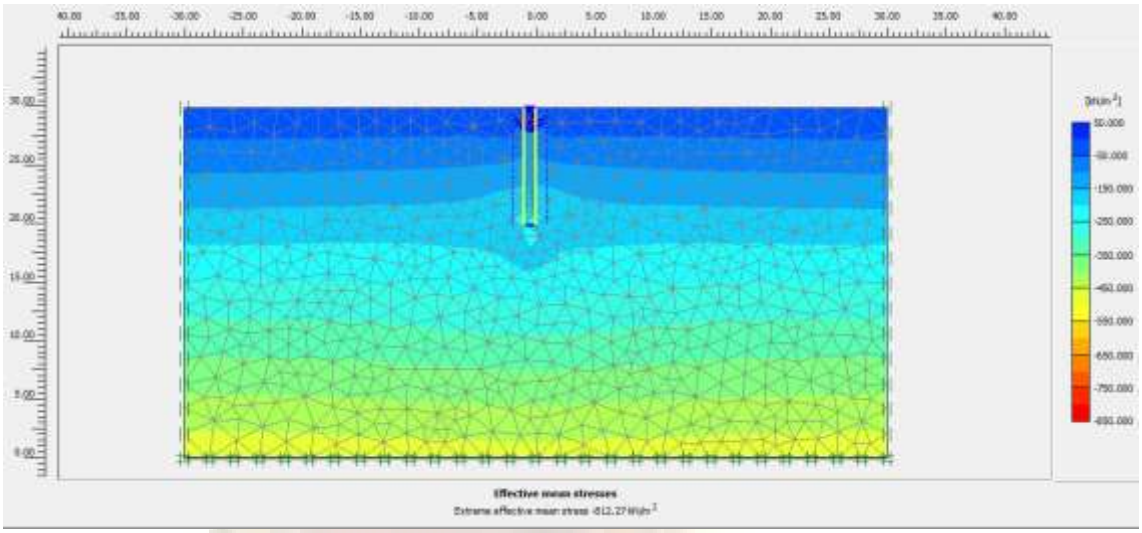
شکل (۱۱) . تنش های موثر در مدل بعد از پی ریزی و بدون بهسازی خاک

همانطور که در شکل فوق مشاهده می نمائید حداکثر تنش موثر بعد از پی ریزی و بدون بهسازی خاک برابر 478.67- کیلونیوتن 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- کیلونیوتن 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.

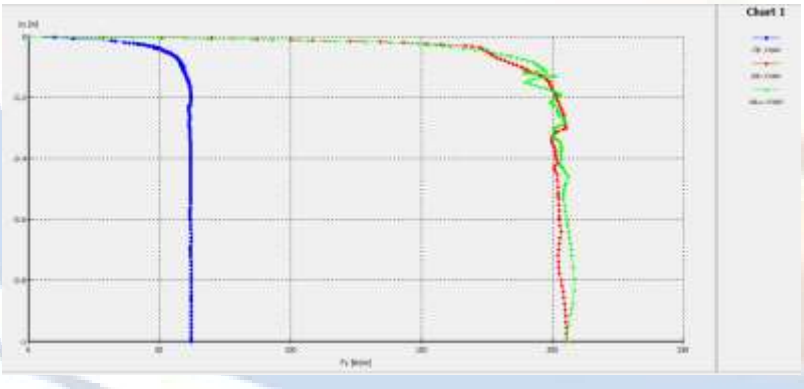


شکل (۱۳) . تنش های موثر در مدل بعد از پی ریزی و بهسازی خاک با ستون سنگی به همراه ژئوتکستال

همانطور که در شکل فوق مشاهده می نمائید حداکثر تنش موثر بعد از پی ریزی و بهسازی خاک با ستون سنگی بهمراه ژئوتکستال برابر 812.27- 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 خروجی‌ها می‌توان کلیه‌ی تنش‌ها ، کرنش‌ها و جابجایی‌های به وجود آمده در اثر آنالیز سازه را به دست آورد. همچنین می‌توان دیاگرام آزاد نیروهای وارد شده بر المان های سازه ای مثلا دیوارها را محاسبه کرد. همچنین با استفاده از آیتم Curve می‌توان کلیه نمودار های مربوط به خروجی‌های ذکر شده را نیز رسم کرد. برای درک بهتر تغییرات ایجاد شده در هر قسمت از سازه می‌توان 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 گرفته‌شده 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 باربری پی در سه حالت

۴- نتایج

همانطور که از بحث پیرامون خروجی های نرم افزارنشان 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، کمانش نیز توسط این لایه کنترل خواهد شد و در نهایت سبب افزایش ظرفیت بابری پی خواهد شد. به طور خلاصه مشخص شد که :

- ظرفیت باربری پی بدون بهسازی خاک با توجه به شکل ۱۳ حدودا برابر ۶۰ کیلونیوتن بر مترمربع می باشد.
- ظرفیت باربری پی و بهسازی خاک با ستون سنگی با توجه به شکل ۱۳ حدودا 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 حدودا برابر ۲۰۰ کیلونیوتن بر متر مربع می باشد.
- تنش موثرخاک بهسازی شده با ستون های سنگی افزایش یافته است.
- تنش موثرخاک بهسازی شده با ستون های سنگی همراه با ژئوتکستایل ها نیز به شدت افزایش یافته است.
- کمانش 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 نماییم 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 بربهبود کمانش جانبی ستون سنگی،CACM۰۱_۰۱۴؛۱۲ ص.
عاطفی نیک، نظری افشار، سیاوش نیا،(۱۳۹۴)، دومین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی،SMFE۰۲_۲۶۸؛۹ص.
محاجی محمدی، پورحسینی،بازیار،(۱۳۹۵)،ارزیابی روش‌های کاهش ارتعاشات ناشی از خطوط مترو بر سازه‌های سطحی،پژوهشنامه حمل و نقل مرکز تحقیقات راه و مسکن و شهرسازی،۱۳ ص.
مرندی، سعیدی ریزی(۱۳۹۲)،تأثیر ستون سنگی روی ظرفیت باربری خاک، اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک،GEOTEC۰۱_۴۵۰؛۷ص.
نظری افشار،جواد، مهران نیا، کلانتری(۱۳۹۵)،بررسی آزمایشگاهی تأثیرمشخصات هندسی و تسلیح ستون‌های سنگی شناور بر ظرفیت باربری،فصلنامه مهندسی عمران فردوسی مشهد, ۳۱(۲), ۸۸-۷۴.
Ahmet Demir, Talha Sarıcı(2016),Bearing capacity and bulging behavior of Geogrid encased stone columns,Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
Bipin K Gupta, Dipanjan Basu(2018),Dynamic analysis of axially loaded end-bearing pile in a homogeneous viscoelastic soil,Soil Dynamics and Earthquake Engineering ,111, 31-40.
Minghua ZHAO, Weixi HE, Meng LIU(2017),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 87, 178-187, 2017.
Radhey S Sharma, BR Phani Kumar, G Nagendra,Compressive load response of granular piles reinforced with geogrids,Canadian Geotechnical Journal 41 (1), 187-192, 200.