



مدل سازی عددی ریزشمع تحت بار کششی

سید امیرالدین صدرنژاد، استاد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی عمران^۱
غلامحسین توکلی مهر جردی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی^۲
^۱ تلفن: ۲۲۹۳۷۰۱۰، شماره: ۲۲۹۳۵۰۴۰، پست الکترونیکی sadrnejad@srgpu.edu
^۲ تلفن: ۰۹۳۲۹۴۴۹۸۵۵، پست الکترونیکی g_tavakoli2000@yahoo.com

چکیده:

یکی از روشهای تقویت و اصلاح زمین های دارای ظرفیت باربری کم تزریق دوغاب سیمان و اجرای ریزشمع و سپس انجام عملیات پی سازی بر روی آن است. در این تحقیق، نتایج تغییر مکان بدست آمده از آزمایش بارگذاری کششی ریزشمع اجرا شده در یکی از مناطق کشور (لرستان) به عنوان مقادیر مبنای حدی در نظر گرفته شده و در جهت معادل سازی رفتار غیرخطی این زیرسازه مقدار مدول الاستیسیته خاک تثبیت شده با سیمان و خاک دست نخورده با استفاده از تحلیل معکوس به گونه ای تعیین شده است که تغییر مکان ریزشمع در دوروش آزمایش بارگذاری و تحلیل عددی بروش اجزاء محدود تقریباً یکسان باشد. سپس منحنی تغییرات مدول الاستیسیته هر دو نوع خاک ذکر شده در بالا با تغییرات کرنش ترسیم و مورد مطالعه قرار گرفته است. تحلیل این شبیه سازی با استفاده از روش اجزاء محدود مورد بررسی و بعنوان روشی پیشنهادی برای تحلیل این زیرسازه قرار گرفته و رفتار کلیه مصالح به صورت شبه ارتجاعی منظور گردیده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که با شبیه سازی عددی معادل می توان رفتار غیرخطی چنین زیرسازه هایی را مورد پیش بینی قرار داده و در مهندسی مورد استفاده قرار داد.

کلید واژه: ریزشمع، اجزاء محدود، مدول الاستیسیته، کرنش، تغییر شکل پلاستیک

۱- مقدمه

ریزشمع ها، شمع های لوله ای هستند که توسط دستگاه های لوله کوب از نوع ویریه الکتریکی یا ضربه ای در زمین کوبیده شده و به وسیله دستگاه تزریق، دوغاب سیمان با غلظت و فشار معین طی چند مرحله تزریق می گردد. متناسب با خواص اولیه خاک و مشخصات دوغاب، انجام عملیات تزریق سبب بهبود خواص اولیه خاک می گردد بدین صورت که در خاک های دانه ای، دوغاب سیمان در حفرات و فضای خالی دانه های خاک نفوذ کرده و با ایجاد یک ناحیه سخت شده اطراف گمانه تزریق در شعاع مفروضی خواص خاک را بهبود می بخشد. در خاک های ریز و چسبنده، تزریق تحت فشار دوغاب سیمان، سبب ایجاد

ترک در خاک شده که بانفوذوغاب در میان ذرات و ترک های حاصله، اسکلتی به هم چسبیده و سخت از خاک و دوغاب شکل می گیرد. به طور کلی خاک تثبیت شده از طریق اجرای ریزشمع ها به دوروش قابل بهبود است: در روش اول خود ریزشمع به عنوان یک المان باربر، قابلیت تحمل بارهای فشاری و کششی متناسب با ظرفیت خود را دارد. در روش دوم توده ای از خاک که توسط مجموعه ای از ریزشمع های مجاور هم تحکیم شده و از سطح تا عمق قابل توجهی که تحت تاثیر تنش های ناشی از بارگذاری قرار می گیرد، دارای خواص بهبود یافته مقاومتی و ژئوتکنیکی می باشد، بطوریکه اختلاف مشخصات فنی آن با خاک اولیه محسوس است. نشست ها در این روش در حد کوچکی قابل قبول می باشد، به گونه ای کاربرد این روش به منظور جلوگیری از نشست های غیریکنواخت در سازه های حساس مورد توجه است. ریزشمع ها در مواردی به کار برده می شوند که زمین از مقاومت مکانیکی پایینی برخوردار است و میزان خاک رس همراه با لای، ماسه نرم و اکثراً مواد آلی،

امکان ایجاد فونداسیونی از نوع معمول و کلاسیک را ناممکن می سازد. در زمین های شالیزار و ماسه های ساحلی گیلان و مازندران، زمین های رس سیلتی در استان خوزستان و زمین های رسی در بسیاری از نقاط کشور نظیر شیراز، استفاده از ریزشمع ها به عنوان روشی مناسب بهسازی این زمین ها به نظر می رسد. با توجه به اینکه تعداد قابل توجهی از دکل های خطوط انتقال نیرو، از زمین های شالیزار مناطق شمال کشور عبور داده شده اند، (این زمین ها به لحاظ ویژگی های ژئوتکنیکی و زمین ساختی، جزء زمین های سست با ظرفیت باربری کم محسوب می شوند)، و به واسطه نیروهای جانبی نظیر باد و زلزله و کشش نامساوی کابل ها در طرفین دکل ها نیروی بالادهنده و لنگر واژگونی قابل توجهی به فونداسیون این دکل ها اعمال می شود که در صورت عدم انتقال نیروها به زمین با توان باربری بالا، دکل ها واژگون شده و به واسطه بستگی و ارتباط آنها، کل سیستم از مدار خارج خواهد شد، از سیستم آرایش ریزشمع ها جهت تثبیت و افزایش باربری این خاک ها استفاده شده است.

۲ - مشخصات محل پروژه و ریزشمع

۲-۱- مشخصات زمین:

کل عمق مورد مطالعه به دو لایه تقسیم بندی می شد. لایه اول که حدود دو متر عمق داشت دارای نفوذپذیری کم، مقاومت برشی متوسط، تغییر شکل پذیری محدود و متوسط و لایه دوم که بیست و سه متر عمق داشت دارای چسبندگی کم تا متوسط، نفوذپذیری کم، مقاومت برشی ناچیز در شرائط نیمه اشباع، تغییر شکل پذیری زیاد بوده است.

۲-۲- مشخصات ریزشمع:

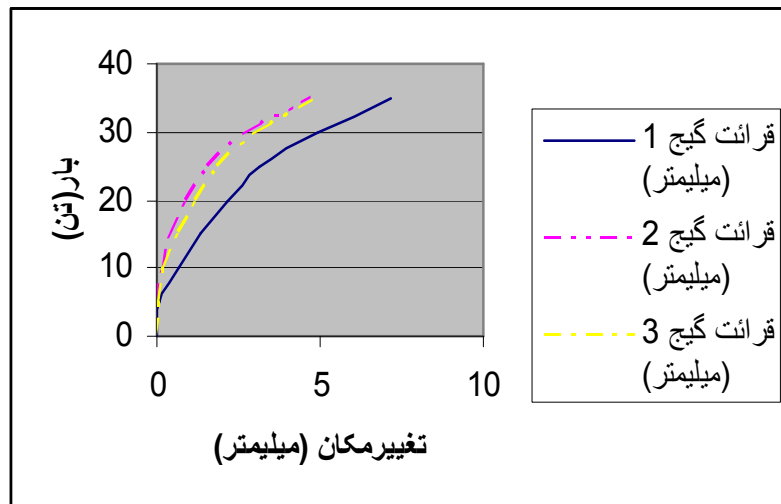
قطر لوله بیرونی ریزشمع: ۵/۰۸ سانتیمتر

قطر لوله ریزشمع: ۶/۵۳ سانتیمتر

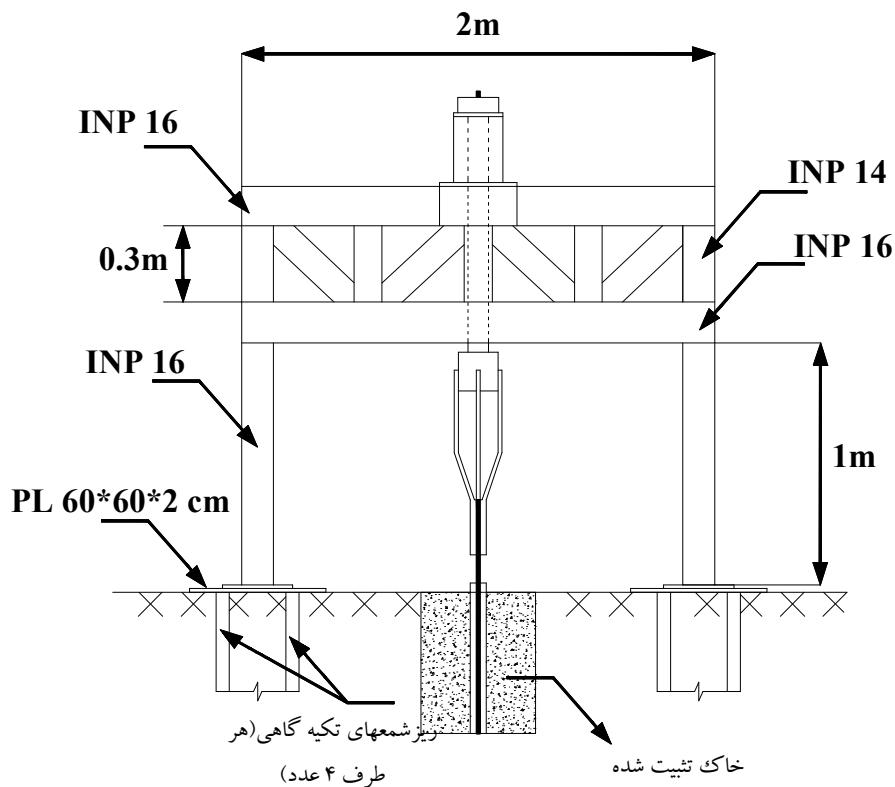
طول کل ریزشمع: ۱۲/۵ متر
 طول کل ریزشمع داخل زمین: ۱۲ متر
 فشار تزریق: ۱۰ اتمسفر
 قطر انکراژ میلگرد آجدار: ۲۰ φ ۳
 طول انکراژ: ۱۲ متر
۲-۳- بارگذاری:

استفاده از سیستم بارگذاری (Maintain Load) ML و با استفاده از جک هیدرولیک می‌باشد و برای کنترل تغییر مکان از سه گیج تغییر مکان با دقت 0.01 میلیمتر استفاده شده است. سیستم بارگذاری بکار برده شده را می‌توان در شکل ۲ مشاهده نمود. قبل از آنکه بارگذاری اصلی شروع شود، بارکشی اولیه کوچکی به مهاری وارد شد از آن به بعد هر مرحله از بارگذاری که با ۵ تن افزایش بار و پرو بوده است با فاصله زمانی ده دقیقه در هر مرحله انجام شده است. بارگذاری تا آنجا ادامه داشت که سیستم بارگذاری دیگر قادر به تحمل افزایش بار رانداشته و از کار آبی افتاد، در حالیکه بستر بارگذاری، قادر به تحمل افزایش بار رانداشته است.

نتایج حاصل از آزمایش بارگذاری کششی ریزشمع و مراحل بارگذاری به شرح صفحه بعد است:



شکل ۱ - نمودار بار- تغییر مکان حاصل از آزمایش ریزشمع



شکل ۲_ سیستم بارگذاری ریزشمع

۳-مدل عددی

در ابتدا برای مدل کردن نیاز به رفع چندین نکته مبهم بود. اول آنکه محدوده ای که خاک اطراف لوله ریزشمع تثبیت می شود چقدر است. با توجه به آنکه فشار تزریق مشخص بود و نوع خاک مشخص است و با توجه به مطالبی که در کتابهای مختلف ژئوتکنیک آمده و تحقیق و بررسی اجرائی صورت گرفته قطر خاک تثبیت شده را برابر ۵،۲ متر در نظر گرفته شد. این مقدار معین دامنه تاثیر ریزشمع در چنین خاکی می تواند باشد.

سپس باید در مورد شرایط مرزی ریزشمع تحقیق می شد که برای این کار دو راه حل وجود داشت: یکی آنکه با توجه به ضریب فشردگی خاک اطراف ریزشمع در اطراف آن با فرمدل می شد که به دلیل آنکه نمونه استوانه ای بود این کار بسیار مشکل بود. راه حل دوم آن بود که آن میزان از خاک اطراف ریزشمع که در رفتار آن اثر گذار بود (شعاع ۶ متر از مرکز آنکراژ) باید در نظر گرفته می شد و اطراف آن را با استفاده از تکیه گاه ساده در محل گره ها در سه جهت اصلی محدود باید کرد که در نهایت راه حل دوم را انتخاب نمودیم.

مشکل اصلی آن بود که چهار نوع ماده مختلف را در اختیار داشتیم و خواص آنها را به جز آنکراژ و دوغاب سیمان را در اختیار نداشتیم. از روی نموداری که از طریق آزمایش بدست آمده بود و با توجه به این فرض که تغییر شکل همه اجزاء مدل با هم برابر است (به دلیل آنکه اگر تغییر شکل ها برابر نباشد بدان معنی است که در سیستم لغزش صورت گرفته و همانطور که می دانیم در سیستم ریزشمع لغزش به معنی عدم کاربری سیستم می باشد) خواص مصالح را بدست آوردیم.

با توجه به آنکه بارگذاری، محوری کششی بود و هندسه مدل نیز متقارن بود مدل را به صورت متقارن تحلیل کردیم و بار بصورت متمرکز در مرکز آنکراژ اعمال گردید و در هر مرحله اعمال بار خواص خاک طوری تغییر داده شد که تغییر مکانی مشابه با نتایج آزمایش نتیجه شود. برای بررسی و تحلیل مدل به دلیل آنکه نیاز به دفعات زیاد برای تحلیل مدل داشتیم و ابعاد مدل نیز نسبتاً بزرگ بود، لذا اجزاء مثلثی را در حالت تقارن محوری انتخاب گردید.

مواد به کار رفته در مدل تحلیلی به صورت زیر می باشد :

مشخصات	ST 52
تنش گسیختگی (kg/cm^2)	5200-5600
تنش تسلیم (kg/cm^2)	3600
کرنش در گسیختگی (درصد)	22

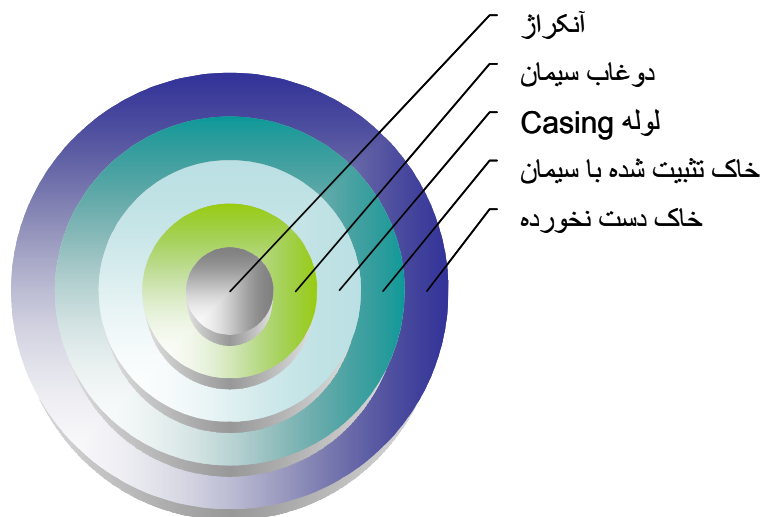
۱) آنکراژ و لوله ریزشمع از نوع ST 52

۲) دوغاب ماسه سیمان (بانسبت وزنی آب به سیمان ۱ به ۲)

۳) خاک تثبیت شده با دوغاب ماسه سیمان

۴) خاک دست نخورده

پلان مدل به صورت شماتیک به صورت زیر است :



شکل ۳ - پلان مدل بصورت شماتیک

نوع ماده	E(Mpa)	ν
۱	۲E۵	۰,۳
۲	۱E۴	۰,۲
۳	۲,۳E۲	۰,۳
۴	۱۳	۰,۴

مشخصات مواد مدل تحت بار
۲۵تن

نوع ماده	E(Mpa)	ν
۱	۲E۵	۰,۳
۲	۱E۴	۰,۲
۳	۳,۸E۲	۰,۲
۴	۲۰	۰,۴

مشخصات مواد مدل تحت بار
۱۵تن

نوع ماده	E(Mpa)	ν
۱	۲E۵	۰,۳
۲	۱E۴	۰,۲
۳	۱E۳	۰,۳
۴	۸۰	۰,۴

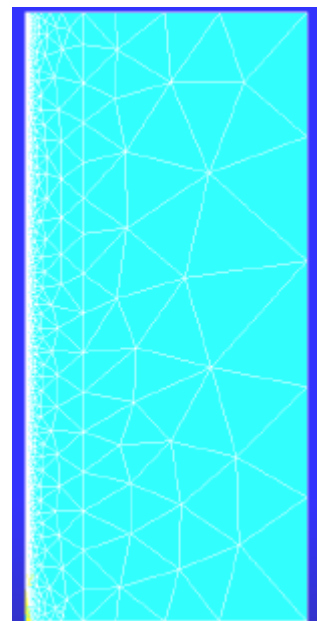
مشخصات مواد مدل تحت بار
۵تن

نوع ماده	E(Mpa)	ν
۱	۲E۵	۰,۳
۲	۱E۴	۰,۲
۳	۳E۲	۰,۳
۴	۱۷	۰,۴

مشخصات مواد مدل تحت بار
۲۰تن

نوع ماده	E(Mpa)	ν
۱	۲E۵	۰,۳
۲	۱E۴	۰,۲
۳	۵E۲	۰,۳
۴	۳۵	۰,۴

مشخصات مواد مدل تحت بار
۱۰تن

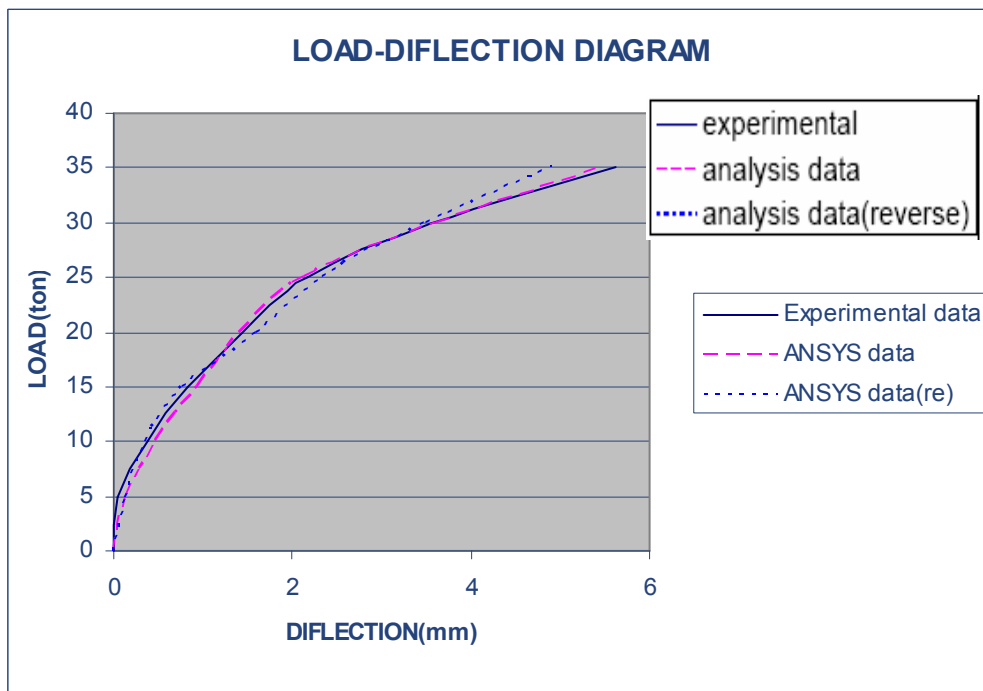


شکل ۵_ مش بندی مدل

۴-۲- تطبیق نتایج بارگذاری بارگذاری آزمایشگاهی و مدل شبیه سازی شده

اطلاعاتی که ما از آزمایش یک ریزشمع شاهد در دست داشتیم تنها مقادیر تغییر مکان ریزشمع در برابر مقادیر مختلف بارگذاری بود و هیچ گونه اطلاعاتی از خواص مکانیکی خاک در دست نبود لذا نتایج تغییر مکان بدست آمده از آزمایش بارگذاری کششی ریزشمع اجرا شده در یکی از مناطق کشور (لرستان) به عنوان مقادیر حدی در نظر گرفته شده و مقدار مدول الاستیسیته خاک تثبیت شده باسیمان و خاک دست نخورده با استفاده از تحلیل معکوس به گونه ای تعیین شده است که تغییر مکان ریزشمع در دوروش آزمایش بارگذاری و آنالیز اجزاء محدود تقریباً یکسان باشد. نمودار بار - تغییر مکان برای دو حالت مختلف را می توان در زیر مشاهده نمود:

بار (تن)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵
تغییر مکان بدست آمده از آزمایش (میلیمتر)	۰	۰,۰۴۷	۰,۳۷	۰,۸۳	۱,۴۴	۲,۱۸	۳,۵۷	۵,۶۱
تغییر مکان بدست آمده از تحلیل (میلیمتر)	۰	۰,۱۴	۰,۴۶	۰,۹۳	۱,۴۱	۲,۱۳	۳,۶	۵,۴۸



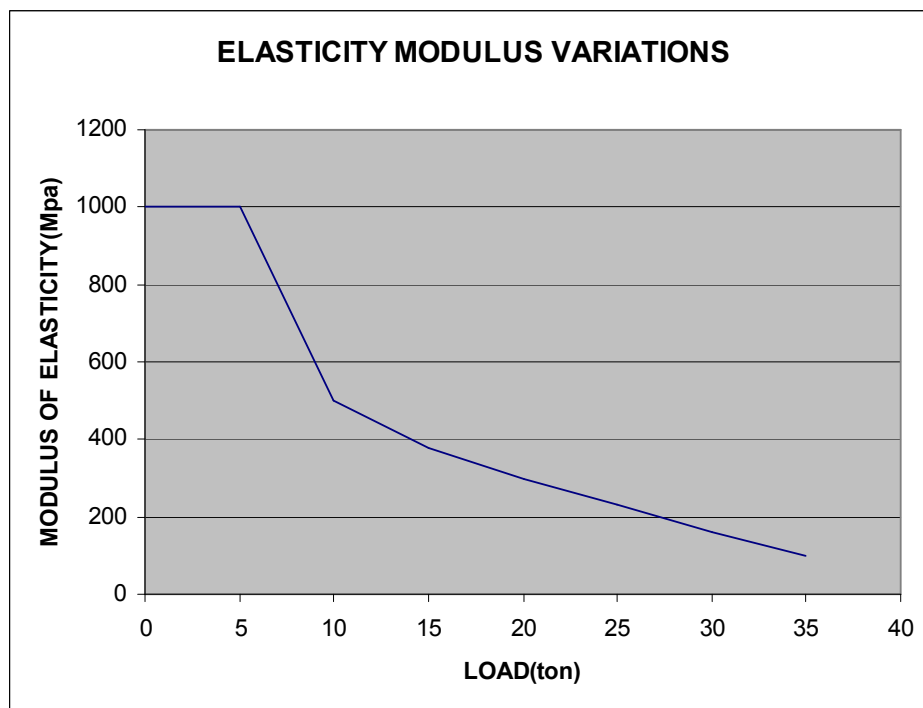
شکل ۶_ نمودار بار - تغییر مکان حاصل از نتایج آزمایش و تحلیل

همانگونه که مشخص است تغییر مکان های نشان داده شده در مورد جزء خاصی از ریزشمع نمی باشد و رفتار کلی مدل رانشان می دهد و از مشاهده نمودارها پیداست که مدل در حالت پلاستیسیته قرار می گیرد و این پدیده را می توان بدین گونه توجیه کرد که با ازدیاد نیرو و مقدار نیروی انتقال یافته در خاک تثبیت

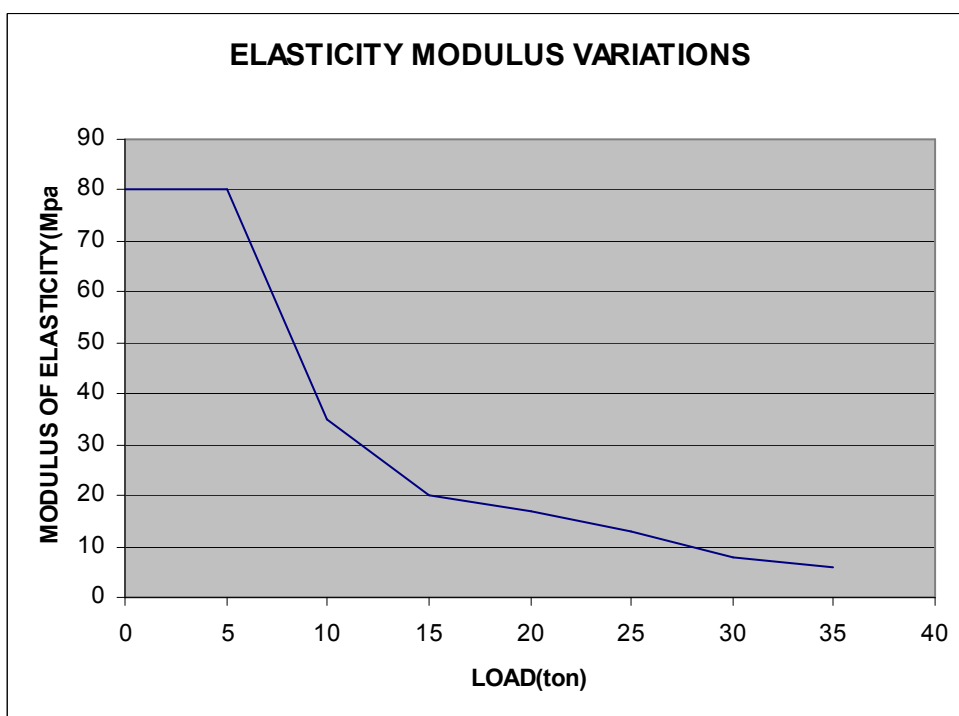
شده و خاک دست نخورده نیز افزایش می یابد و باعث ایجاد تغییر شکل های پلاستیک در آن می شود. همانطور که در نمودار مشاهده می شود منحنی به صورت (.....) وجود دارد و بدین گونه بدست آمده است که با توجه به کرنش های خاک تثبیت شده و خاک دست نخورده و با استفاده از نمودار تغییر الاستیسیته با کرنش مقدار مدول الاستیسیته این دو را یافته و در مدل قرار داده شده است و تحت بارهای مختلف، مدل را تحلیل نموده ایم.

۳-۴- بررسی تغییرات خواص مدل با تغییرات بار

همان گونه که اشاره شد با استفاده از روش مهندسی معکوس خواص مکانیکی اجزاء مشکله مدل استخراج گردید و نمودار تغییرات مدول الاستیسیته هر دو نوع خاک (تثبیت شده و دست نخورده) را با تغییر بار و تغییر کرنش رسم گردید که می توان آنها را در زیر مشاهده نمود:

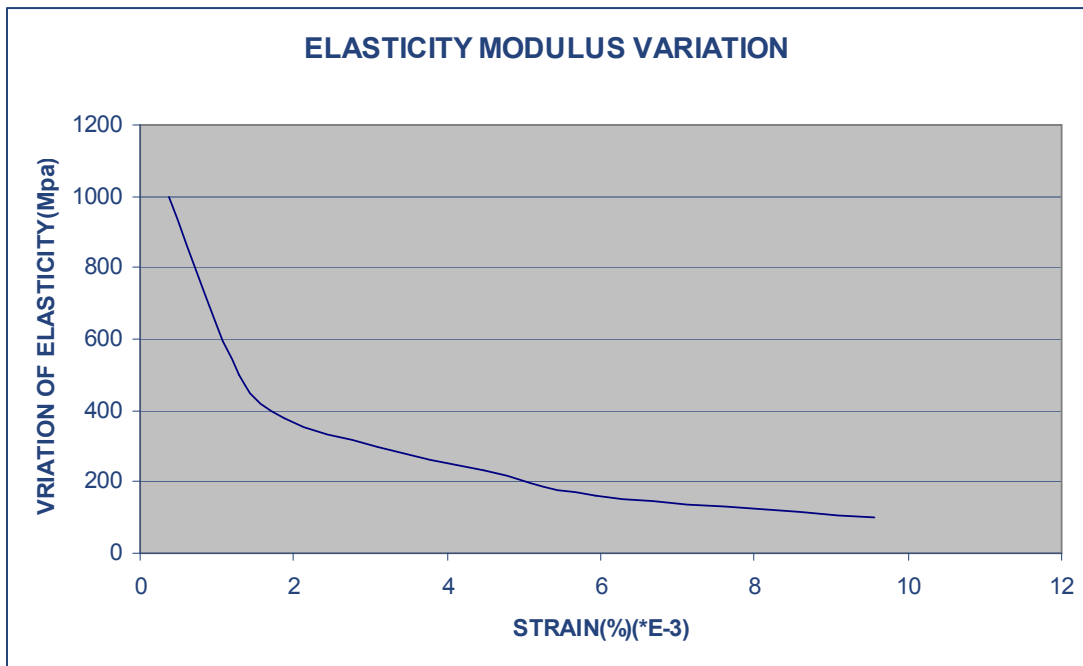


شکل ۷_ نمودار تغییرات مدول الاستیسیته خاک تثبیت شده با تغییر بار

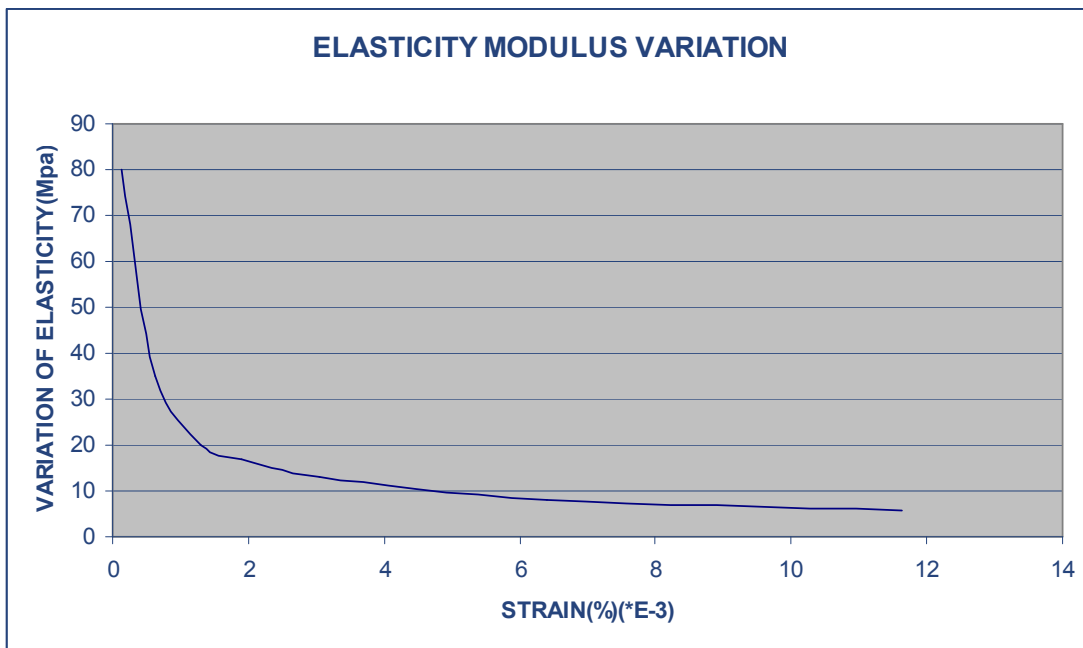


شکل ۸_ نمودار تغییرات مدول الاستیسیته خاک دست نخورده با تغییر بار

نکته قابل توجه آنست که نرخ کاهش مدول الاستیسیته در اوایل بار گذاری تا حدود ۱۵ تن زیاد بوده و از آن به بعد شیب نمودار کاهش می یابد که ممکن است به دلیل تغییر شرایط سخت شوندگی به وجود آمده در حدود بار ۱۵ تن باشد.

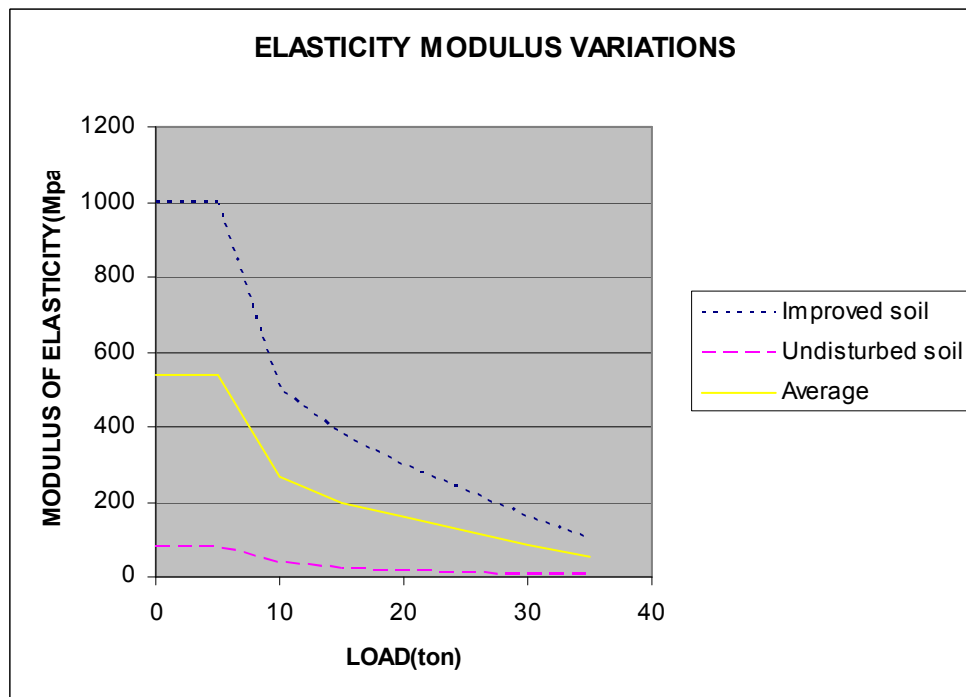


شکل ۹_ نمودار تغییرات مدول الاستیسیته خاک تثبیت شده با تغییر کرنش



شکل ۱۰_ نمودار تغییرات مدول الاستیسیته خاک دست نخورده با تغییر بار

گام های بارگذاری همانند شکل ۶ در هفت مرحله بوده و نتایج در پایان هر بارگذاری ثبت شده است.



شکل ۱۱_ مقایسه بین تغییرات مدول الاستیسیته خاک دست نخورده و تثبیت شده و میانگین گیری از آن دو

همانگونه که از شکل ۱۱ مشخص است اختلاف زیادی بین مدول الاستیسیته خاک دست نخورده و تثبیت شده وجود دارد و دلیل آنرا می توان این گونه شرح داد که با تزریق سیمان در خاک می توان باعث افزایش چسبندگی بین دانه ها و استحکام خاک شد و با این روش مشخصه های مکانیکی خاک افزایش می یابد.

۵- نتیجه گیری

۱) با توجه به شکل ۱۱ مشخص است که مدول الاستیسیته هر دو نوع خاک بعد از مقدار ثابت اولیه، ابتدا سریع کاهش یافته و بعد از آن نرخ کاهش مدول الاستیسیته کاسته می شود که می توان این پدیده را به عامل سخت شوندگی ربط داد.

۲) از نمودار شکل ۶ مشخص است که تغییر مکان ریزش بصورت غیر خطی بوده و بنابراین مدول مماسی بر منحنی برای بار کششی کم، ثابت بوده و از آن به بعد متغیر است که می توان این نکته را از نمودار شکل ۱۱ نیز نتیجه گرفت و این نشان دهنده آنست که تحت بارگذاری کششی، تغییر شکل های پلاستیک در خاک روی می دهد.

۳) بامشاهده شکل های ۹ و ۱۰ مشخص می شود که باافزایش بارگذاری، کرنش ریزشمع نیز افزایش یافته و مدول الاستیسیته کاهش می یابد و این بدین مفهوم است که مدول الاستیسیته خاک باافزایش بار، به دلیل رخداد تغییر شکل های پلاستیک و کاهش مقاومت آن، کاهش می یابد.

مراجع

[۱] صدر نژاد، امیرالدین. "مقدمه ای بر روش اجزاء محدود"، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، عناوین: مسائل دوبعدی، صفحه ۲۰۷-۱۹۲، اجسام باتقارن محوری، صفحه ۲۴۷-۲۳۱، ۱۳۸۰.

[۲] صدر نژاد، امیرالدین. "مبانی نظریه خمیری در خاک"، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، عناوین: رفتار خاک پیش از گسیختگی، صفحه ۱۹۷-۱۸۳، الگوهای خمیری، صفحه ۲۵۰-۲۱۵، ۱۳۷۹.

[۳] بولز، جوزف ای. "تحلیل طراحی پی" ترجمه: اطمیابی، اردشیر. انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، جلد اول عناوین: خصوصیات ژئوتکنیکی و شاخص خاک، صفحه ۶۷-۳۹، نمونه گیری و اندازه گیری در جای خاک، صفحه ۲۱۶-۱۸۰، بهبود خاک محل برای استفاده پی، صفحه ۴۴۸-۴۲۴، ۱۳۷۹.

[۴] شرکت خاک و بتن ایران، "گزارش آزمایش بارگذاری ریزشمع شاهد، فونداسیون کارخانه پارس ایران، لرستان، خرم آباد".

[۵] جاهد مطلق، حمیدرضا، "انسیس"، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ۱۳۷۹.

[6]-Anil, M., C. H., Chen, "Load Displacement Relationship for Micro piles," Conferece proceeding, Civil Engineering-ASCE, Civil Engineering Database, Part of :Deep Foundation :An International Perspective on Theory, Design and Construction and Performance, pp. 110-125, 2002.

[7]-Bruce, D.A., I., Juran, "Drilled and Grouted Micro piles" State-of-Art Practice Review, "Federal Highway Administration(FHWA), 1997.

[8]-Bruce, D. A., A.F., Dimillo, I., Juran, "A Primer on Micro piles," Civil Engineering-ASCE, Civil Engineering Database, Vol.65 , No.12 , pp. 51-54 , 1995.