

بررسی عددی اثرات استفاده از میکروپایل ها (ریز شمع ها) بر پاسخ بستر خاک

سید رحمت اله موسوی رجا*^۱، منصور پرویزی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مکانیک خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، ایران.

rahmat.sedghivand@yahoo.com

چکیده:

ضرورت احداث سازه ها در ساختگاه های خاص دارای خاک های مستعد روانگرایی و یا دارای ظرفیت باربری ناکافی (خاک های مساله دار)، اهمیت هرچه بیشتر بهره گیری از میکروپایل ها جهت انتقال بارهای سازه به لایه خاکی مناسب زیرین را بیش از پیش نشان می دهد. در این مقاله با استفاده از تحلیل استاتیکی در نرم افزار قدرتمند المان محدود آباکوس به بررسی اثرات میکروپایل ها در پاسخ بستر خاک پرداخته شده است که نتایج نشان می دهد بهره گیری از این تجهیزات می تواند سبب بهسازی خاک شود به نحوی که تغییر مکان های خاک مسلح شده به این تجهیزات به میزانی قابل توجه کاهش می یابد. بهره گیری از این تجهیزات سبب توزیع برابر تنش در خاک می شود که منجر به عدم نامنظمی در پاسخ زیرسازه می شود و از ایجاد پیچش های احتمالی و روانگرایی تا حدی قابل توجه جلوگیری می کند. و نتایج نشان می دهد با بررسی تغییرات تنش در راستای میکروپایل ها برای سیستم های مختلف میکروشمع گذاری مشخص است که برای تمامی حالت ها به جز حالتی که طول میکروشمع کوتاه است و در بستر خاک نرم قرار دارد، بیشترین تنش در روی بستر خاک بوده و تا نزدیکی های انتهای ریزشمع در حال کاهش می باشد اما در انتهای شمع که شرایط تمرکز تنش برقرار است به یکباره میزان تنش افزایش یافته می یابد.

کلمات کلیدی: پاسخ دینامیکی، ریزشمع، بستر خاک، تنش، تغییر مکان شمع.

۱- مقدمه

بطور کلی در مواجهه با خاک های مساله دار نظیر خاک های سست با قابلیت ظرفیت باربری کم، نشست پذیری زیاد، دارای پتانسیل روانگرایی بالا، خاک های دستی و ... معمولاً راهکارهایی پیش روی مهندسین ژئوتکنیک قرار دارد که از جمله آن می توان به این دو مورد اشاره نمود:

۱- استفاده از اجزاء باربر در خاک

۲- بهسازی و اصلاح خواص فیزیکی - مکانیکی توده خاک.

هر یک از راه حل های فوق دارای روش ها و مشخصات مربوط به خود می باشند که طی سالیان متمادی توسعه فراوانی یافته اند. برخی از تکنیک های ابداعی نیز ماهیتی ترکیبی از دو دسته فوق داشته و مزایای هر دو دسته را تا حدودی به همراه دارند. از آن دسته می توان به استفاده از میکروشمع ها به همراه تزریق دوغاب سیمان یا بتن ریزدانه اشاره نمود.

از جمله مزایای استفاده از میکروشمع ها در بستر پی سازه های جدید، کاهش نشست خاک، افزایش ظرفیت باربری فشاری، تامین باربری کششی، افزایش باربری جانبی و در سازه های موجود کنترل نشست پی، کنترل باربری پی، تعمیر یا جایگزینی پی، کنترل شستگی پی و مقاوم سازی لرزه ای پی را می توان اشاره نمود. همچنین از میکروشمع ها جهت اصلاح و بهسازی بر جای خاک شامل، پایدار سازی شیب ها، ساخت دیواره - های نگهدارنده، مقابله با روانگرایی در خاک های مستعد این پدیده، افزایش مقاومت توده خاک با اهداف خاص نظیر تونل سازی، افزایش مقاومت توده خاک با اهداف خاص نظیر تونل سازی، حفاظت شیمیایی بخش های مدفون سازه ها و دیگر موارد می توان استفاده نمود.

با توجه به کاربرد بسیار زیاد میکروشمع ها و تاثیر پارمترهای مختلف در عملکرد آن تحقیقات گسترده ای به صورت عددی و آزمایشگاهی بر روی آن صورت پذیرفته است [1-5]. قمری و قربانی [6] رفتار ریزشمع تحت بار استاتیکی جانبی با استفاده از مدل سازی عددی را مورد بررسی قرار دادند و نتایج مدل انطباق خوبی با نتایج تست واقعی نشان داد. بررسی رفتار لرزه ای در ریزشمع تحت بار جانبی نشان داد که در تحلیل لرزه ای، غیر خطی بودن خاک موجب کاهش نیروهای داخلی و جابجایی در سر ریزشمع می گردد. به عبارت دیگر، پلاستیسیته موجب کاهش انرژی انتقالی به رو سازه می شود، و در نتیجه کاهش عمده نیروهای اینرسی را به همراه خواهد داشت. خوشه چرخ و همکاران [7] کارکرد ریزشمع های قائم را با ریزشمع های مایل با زوایای (۴۵، ۳۵، ۳۰، ۲۵، ۲۰، ۱۵، ۱۰ درجه و ۵ درجه سانتی گراد) را مورد مقایسه و بررسی قرار دادند. از نتایج این تحقیق مشخص می گردد با افزایش زاویه میل نیروهای خمشی و محوری در کلاهک افزایش یافته و در زاویه حدود ۲۵ درجه ماکزیمم جابجایی در کلاهک رخ می دهد. هنرمند و همکارانش [8] با استفاده از روش المان محدود اثر پارامترهای خاک اطراف میکروشمع را تحت ممان خمشی مورد بررسی قرار دادند. برای این کار رفتار خاک به صورت الاستیک و الاستوپلاستیک (توسط مدل مور-کولومب) در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد که بیشترین ممان خمشی در طول بار گذاری در قسمت بالای میکروشمع اتفاق افتاده و هرچه به انتهای آن نزدیک می شویم مقدار آن کاهش می یابد. همچنین نشان داده شده که این مقدار در خاک های الاستیک بیش از خاک های با رفتار الاستوپلاستیک می باشد. زیرا خاک های الاستوپلاستیک بار کمتری را به میکرو پایل وارد می سازد.

از پارامترهای بسیار مهم در رفتار میکرو شمع ها، نوع بستر خاک، طول شمع و تعداد آنها می باشد. در بسیاری از بسترهای خاکی، رفتار خاک در لایه های مختلف متفاوت می باشد. از آنجایی که اثر این پارامترها و تاثیر آنها بر یکدیگر به صورت مقایسه ای تاکنون انجام نشده است، در این تحقیق با در نظر گرفتن یک خاک دو لایه ای که لایه بالایی دارای خاک نرم و لایه پایینی دارای خاک سختی می باشد، اثر طول و تعداد میکرو شمع - ها مورد بررسی قرار می گیرد.

۲- مدل سازی المان محدود:

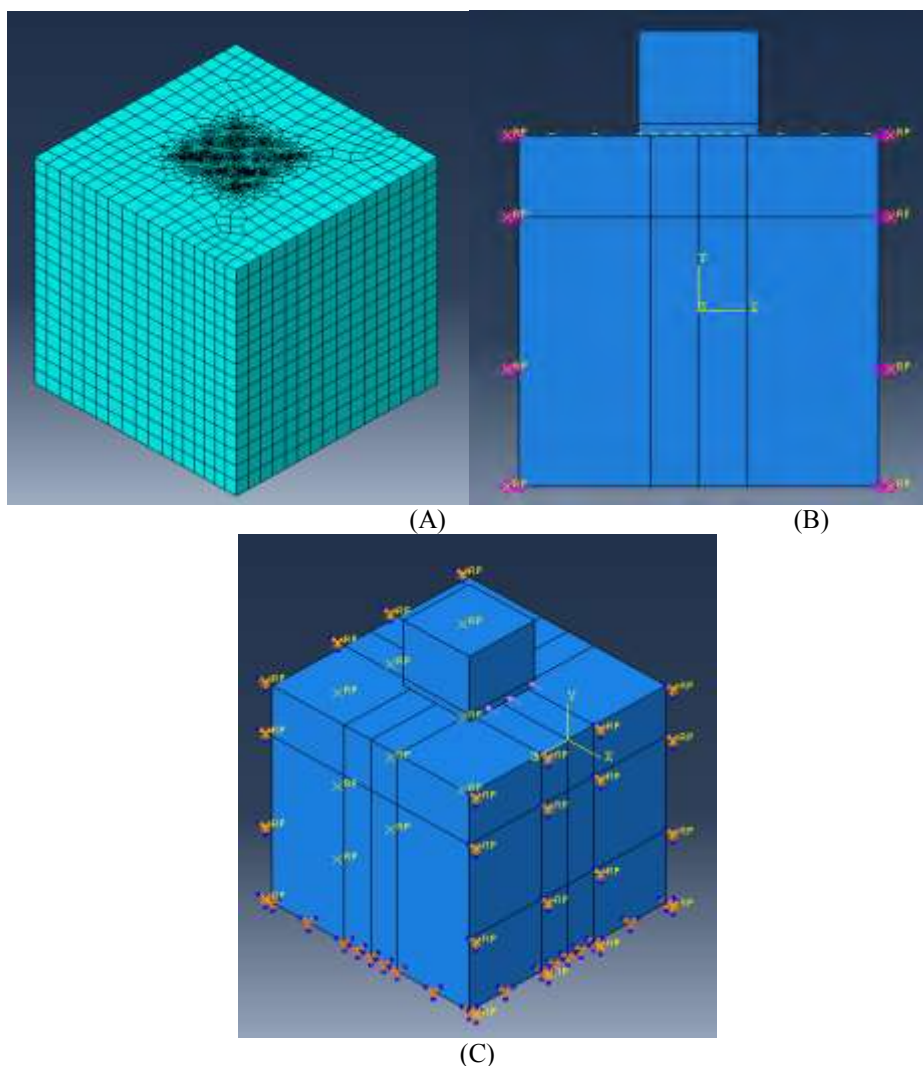
برای تحلیل عملکرد گروهی از میکروشمع ها با طول و تعداد مختلف در بستر خاک دو لایه از نرم افزار آباکوس و مدل سازی سه بعدی استفاده شده است. برای بررسی اثر تعداد میکروشمع تحت بار استاتیکی یک بار ۴ میکرو شمع و بار دیگر ۹ میکرو شمع مورد استفاده قرار گرفته که در هر دوی این مدل ها تمامی شرایط دیگر هندسی شمع ثابت نگه داشته شد.

همان طور که ذکر گردید خاک از دو لایه تشکیل گردیده است که لایه بالایی با ارتفاع ۳.۵ متر از نوع نرم بوده و ۱۱.۵ متر پایین آن از جنس خاک سخت بوده است. برای بررسی اثر طول میکرو شمع در این نوع بستر خاکی ۴ طول مختلف ۲.۵، ۳.۵، ۵ و ۷.۵ متر در نظر گرفته شده است. در طول ۲.۵ متر میکرو شمع فقط در خاک نرم بوده و در طول ۳.۵ متر انتهای شمع در مرز خاک های نرم و سخت می باشد. میکرو شمع های با طول ۵ و ۷.۵ متر نیز در طول خود هم دارای خاک نرم و هم خاک سخت بوده است. ابعاد پی متصل به میکرو شمع ها نیز ۵*۵*۱.۵ متر بوده که در حالت گروه میکرو شمع ۴ و ۹ تایی فاصله شمع ها از یکدیگر به ترتیب ۴ متر و ۲ متر بوده است. ابعاد بستر خاک نیز ۱۵*۱۵*۱۵ متر می باشد. همچنین یک ساختمان با ابعاد ۵*۵*۴ متر به صورت مکعبی مدل گردیده و بر روی پی قرار گرفته است. از آنجایی که از حلگر استاتیکی غیرخطی استفاده شده است، نوع المان برای مش بندی C3D8R می باشد که یک المان ۸ گره ای است.

یکی از مسائل مهم در تحلیل این مسئله شرایط مرزی می باشد. دو شرط مرزی اعمال می گردد: ۱- مقید کردن کف بستر خاک ۲- تعریف و اعمال مرز جاذب انرژی: با توجه به نیمه بی نهایت بودن مدل واقعی، انرژی وارد شده به مدل بایستی از طریق مرزها خارج شود. روش های مختلفی برای اعمال مرز جاذب انرژی وجود دارد. یکی از این روش ها، مرز ویسکوز است. در این روش المان های میراگر (Dashpot) در مرزها قرار داده شده که ضریب این المان های میراگر به صورت $F_d = C_d \cdot u$ در نظر گرفته شده و این ضریب برای یک سطح به صورت $C_d = \rho V_s A$ فرض می شود که در آن ρ جرم مخصوص خاک، V_s سرعت موج برشی و A سطح تحت پوشش هر کدام از المان ها می باشد. بار استاتیکی نیز با شیب ثابت تا اعمال فشار نهایی (500kPa) به پی وارد می گردد. در شکل (۱) مش بندی و شرایط مرزی و بارگذاری نمایش داده شده است.

برای این مدل دو نوع ماده یعنی بتن و خاک استفاده شده است که خواص مکانیکی خاک به بستر خاک داده شده و سایر قطعات (شمع ها، پی و ساختمان) از جنس بتن می باشد. برای بتن چگالی، مدول الاستیسیته و نسبت پواسون مطابق جدول ۱ به نرم افزار داده شده است. برای تعریف رفتار مکانیکی خاک نرم و سخت، جزئیات بیشتری به نرم افزار داده شده و با استفاده از مدل دراکر-پراگر^۱ رفتار غیر خطی آنها در نظر گرفته شده است (جدول ۳).

¹ Drucker-Prager



شکل ۱- الف) مش بندی انجام شده بر روی قطعه ب) ایجاد شرایط مرزی برای جذب انرژی ج) مقید کردن کف بستر خاک و اعمال بارگذاری دینامیکی بر روی پی

جدول ۱- خواص مکانیکی بتن

نسبت پواسون	مدول الاستیسیته (پاسکال)	چگالی (کیلوگرم بر متر مکعب)
0.3	21e9	2400

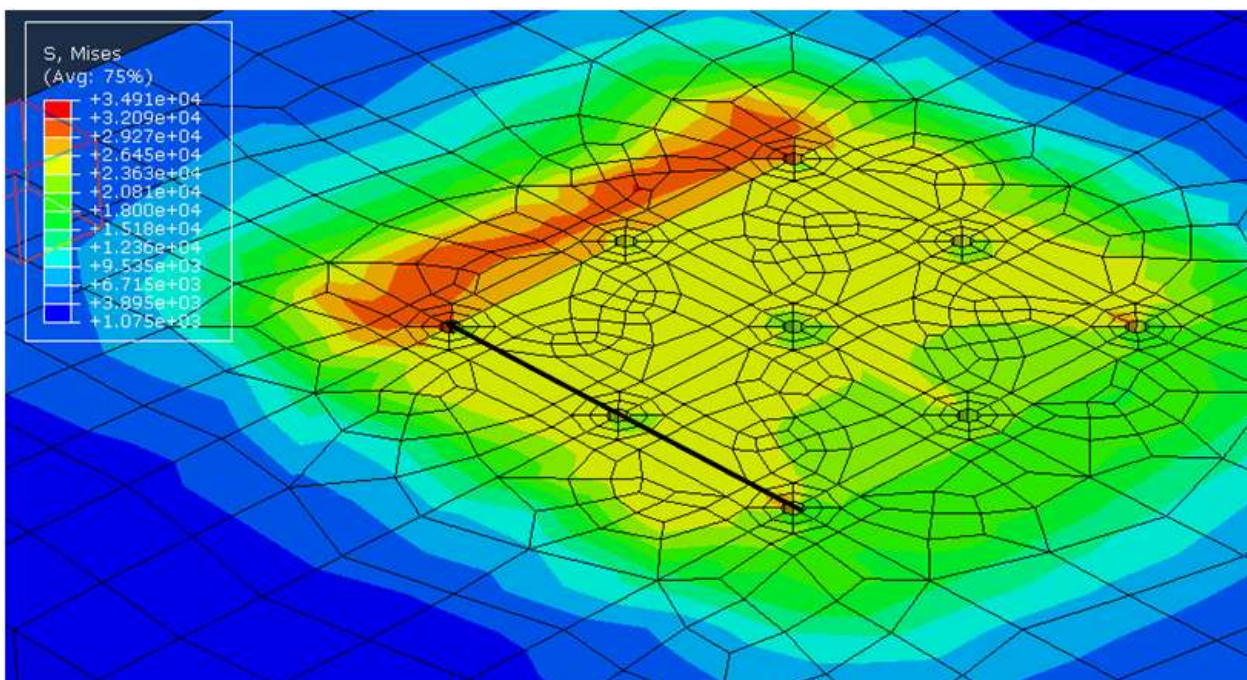
جدول ۲- خواص مکانیکی خاک (مدل دراکر پراگر)

نوع خاک	چگالی کیلوگرم بر متر مکعب	مدول الاستیسیته مگاپاسکال	نسبت پواسون	Angle of friction	Flow stress ration	Dilation angle	Yield stress (kPa)
نرم	1800	85	0.23	30	0.8	1	80
سخت	1700	40		22	0.9	1	30

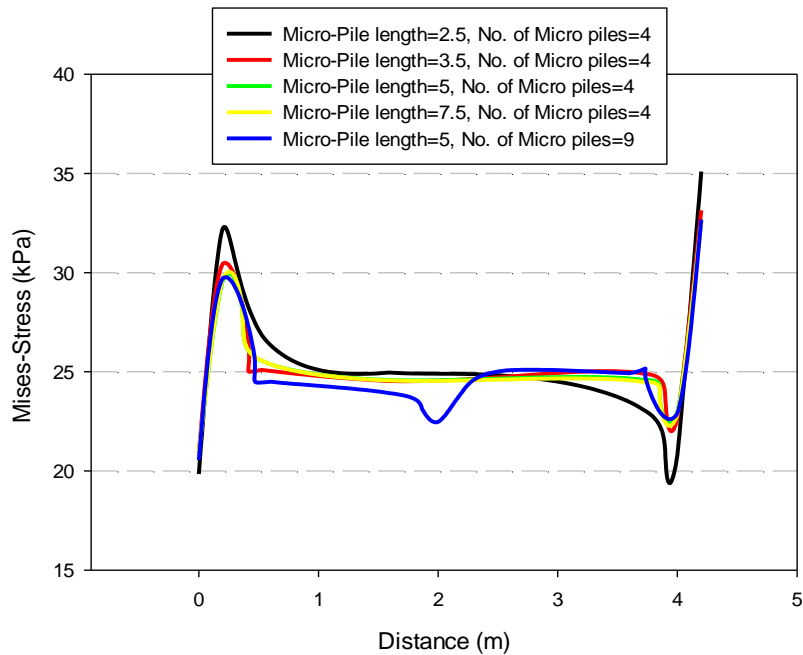
آخرین مرحله مدل سازی مربوط به ایجاد شرایط تماس بین اجزای مختلف مدل می باشد. برای این منظور تماس عمودی بین میکروشمع و بستر خاک به صورت Hard تعریف گردیده که در این صورت این دو در درون هم نفوذی نخواهند داشت و برای تماس مماسی از ضریب اصطکاک ۰.۱ استفاده شده است.

۳- ارائه نتایج و بحث روی آن:

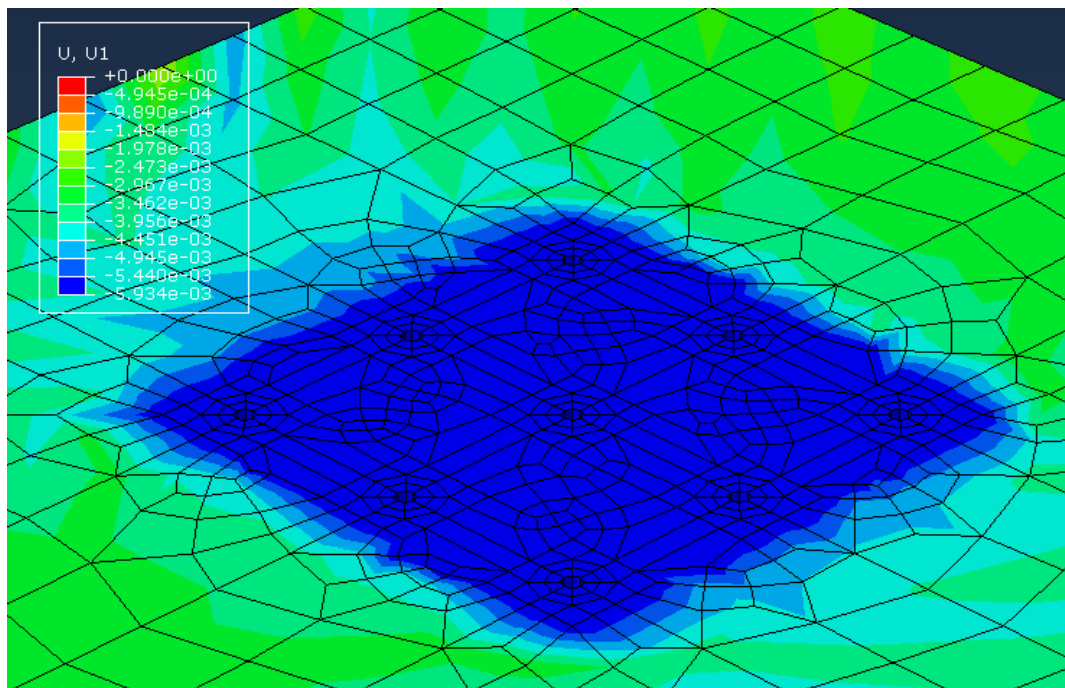
برای بررسی عملکرد میکروشمع ها، تنش فون مایرز و جابه جایی ایجاد شده بر روی بستر خاکی مورد بررسی قرار می گیرد. شکل ۲ توزیع تنش بر روی سطح خاک را برای حالتی که گروه ۹ تایی میکروشمع وجود دارد را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود بیشترین تنش در قسمت جلویی که با رنگ قرمز نمایش داده شده وجود دارد و هر چه به قسمت عقبتر پی می رویم از میزان تنش کاسته می شود (پشت پی سمتی است که مطابق شکل ۱-ج نیروی فشاری اعمال می شود). برای بررسی دقیقتر در شکل ۳ نمودار روند تغییرات تنش از قسمت عقب پی تا جلوی آن برای طول و تعداد مختلف میکروشمع ارائه گردیده است (نقطه شروع و پایان نمودار در شکل ۲ با فلش نشان داده شده است). در ساختمان هایی که دارای ۴ میکروشمع هستند ۲ پرش در تنش وجود داشته در حالی که برای سیستم های ۹ تایی ۳ پرش وجود دارد. این پرش ها به علت حضور سوراخ های ایجاد شده در خاک است. از آنجایی که راستای فشار وارده در راستای فلش می باشد، مطابق شکل در دو نقطه بیشترین تنش ایجاد شده است که مربوط به قسمت جلویی هر سوراخ بوده که تحت فشار میکروشمع ها می باشند. نکته جالب توجه اینکه در فاصله بین دو سوراخ تغییرات تنش بسیار ناچیز می باشد. البته در حالتی که گروه ۹ تایی میکروشمع وجود دارد یک پرش تنش در محل سوراخ وسطی وجود دارد که نشان داده شده است که تنش وارده به آن بسیار کمتر از تنش وارده به بستر خاک در سوراخ های ابتدایی و انتهایی می باشد.



شکل ۲- کانتور تنش فون مایرز برای بررسی توزیع تنش در سطح خاک

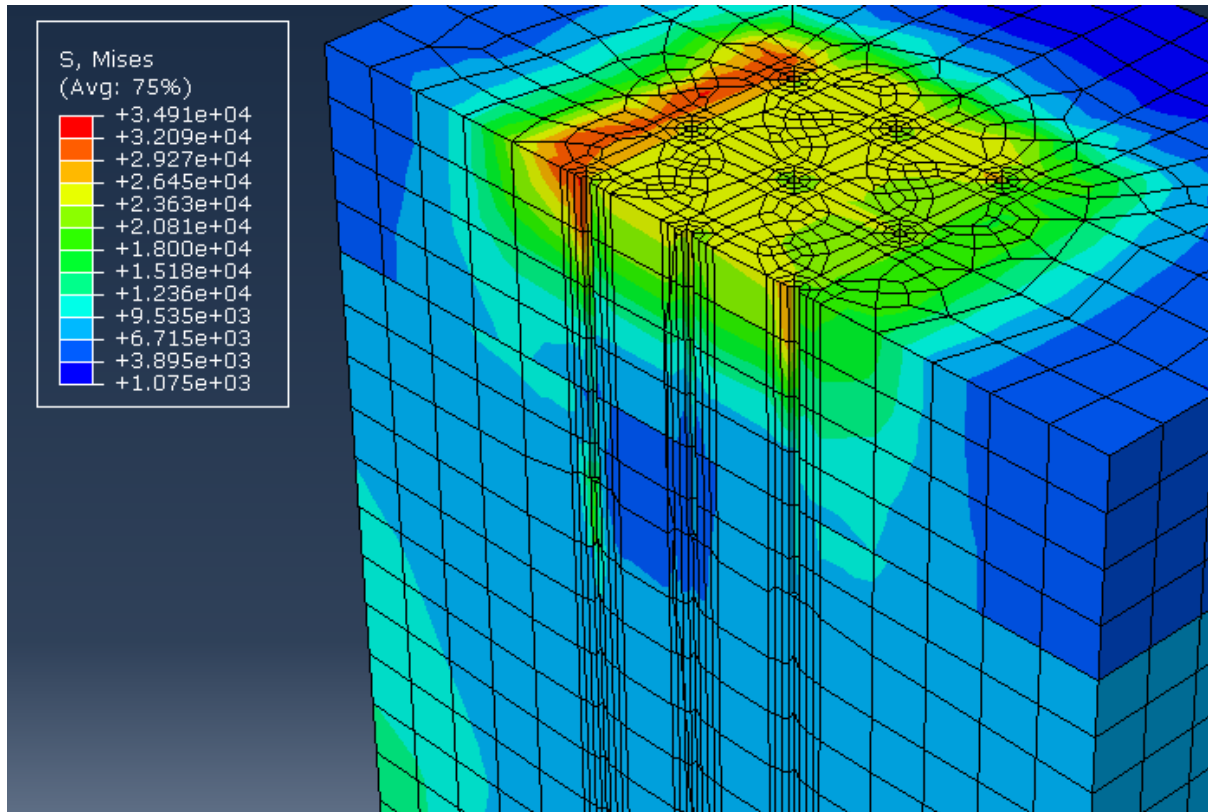


شکل ۳- روند تغییرات تنش از پشت پی تا جلوی آن



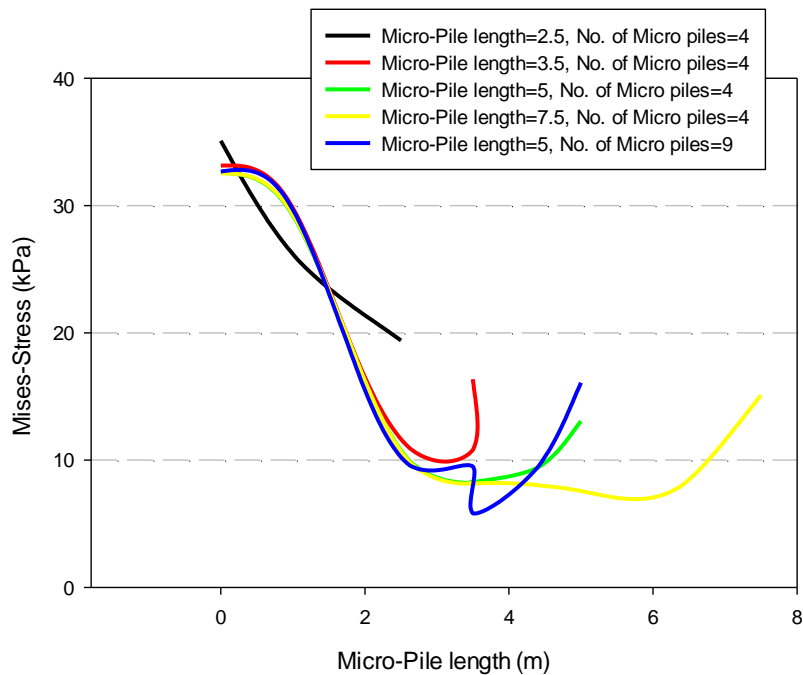
شکل ۴- کانتور جابه جایی در سطح خاک

کانتور جابه جایی سطح خاک نیز در شکل ۴ نمایش داده شده است. همان طور که مشخص است ناحیه پوشیده شده توسط میکروشمع ها دارای جابه جایی یکسانی هستند که نشان دهنده استحکام بخشی است که سیستم میکروشمع ها به آن قسمت از خاک داده است.



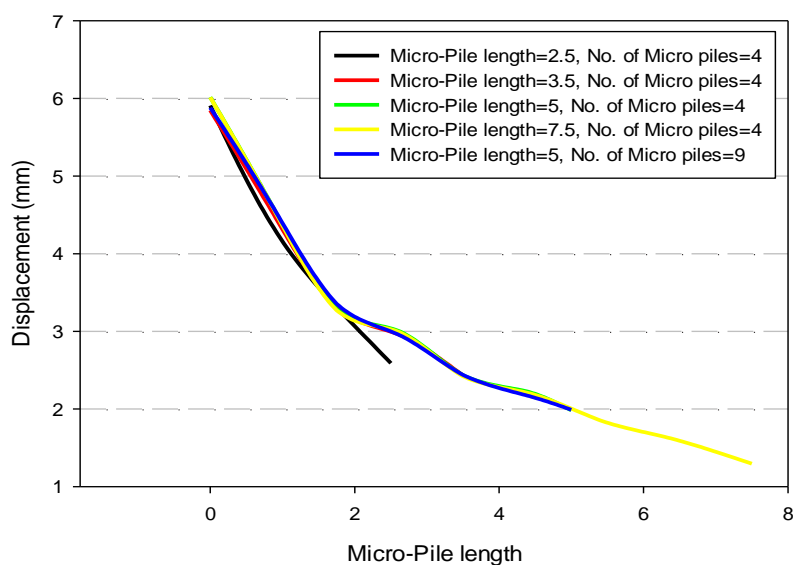
شکل ۵- کانتور تغییرات تنش در بستر خاک در راستای سوراخ میکرو شمعهها

شکل ۵ کانتور تنش فون مایز بستر خاک را در راستای میکرو ها نشان می دهد. با توجه به شکل بیشترین تنش در قسمت بالایی بستر بوده و هرچه به انتهای میکروشمع نزدیک می شویم از میزان تنش کاسته می شود. برای بررسی دقیقتر، در شکل ۶ تغییرات تنش در راستای میکرو برای سیستم های مختلف میکروشمع گذاری نمایش داده است. مطابق نمودار برای تمامی حالت ها به جز حالتی که طول میکروشمع کوتاه بوده و در بستر خاک نرم بوده، بیشترین تنش در روی بستر خاک بوده و تا نزدیکی های انتهای شمع در حال کاهش بوده است اما در انتهای شمع که شرایط تمرکز تنش برقرار است به یکباره میزان تنش افزایش یافته است. بنابراین در این شرایط چنانچه جنس خاک مناسب نیست می توان به روش های مختلفی محل اتصال بین خاک و انتهای شمع را تقویت نمود.



شکل ۶- تغییرات تنش فون مایز در بستر خاک در طول سوراخ میکرو شمع

در شکل ۷، میزان جابه جایی بستر خاک در طول میکرو شمع نشان داده شده است. مطابق شکل به طور کلی روند جابه جایی خاک به ازای همه سیستم های میکرو شمع یکسان بوده و تعداد و طول میکرو شمع بر جابه جایی خاک روی سطح اثر چندانی نداشته است اما با افزایش طول میکرو شمع میزان جابه جایی انتهای شمع کاسته شده است.



شکل ۷- تغییرات جابه جایی بستر خاک در طول سوراخ میکرو شمع

۴- نتیجه گیری:

در این مقاله با استفاده از روش المان محدود در نرم افزار آباکوس به بررسی اثرات استفاده از میکروپایل ها (ریز شمع ها) بر پاسخ بستر ساختمانی مشکل از دو نوع خاک (خاک نوع اول که به سطح زمین نزدیک است و خاک نوع دوم به ترتیب نرم و سخت هستند) پرداخته شد که نتایج آن به شرح ذیل می باشد:

- در مدل هایی که دارای ۴ عدد میکروشمع هستند ۲ پرش در میزان تنش وجود دارد در حالی که برای سیستم هایی که ۹ عدد میکروشمع دارند ۳ پرش وجود دارد که این نکته مبین آن است که جهت جلوگیری از ایجاد تغییرات ناگهانی در میزان تنش وارد شده بر بستر خاک، افزایش تعداد ریزشمع ها می تواند موثر باشد.

- در فاصله بین ریزشمع ها تغییرات تنش بسیار ناچیز می باشد که مبین آن است که می توان با بهره گیری از ریزشمع ها پاسخ منظمی را در شالوده سازه ایجاد نمود و از نامنظمی در پاسخ سازه که می تواند سبب توزیع نابرابر در نیروها و ایجاد پیچش در زیرسازه شود جلوگیری نمود.

- با بهره گیری از میکروشمع ها مشخص است که خاک مسلح شده دارای جا به جایی یکسانی می باشد که نشان دهنده استحکام بخشی است که سیستم میکروشمع ها به آن قسمت از خاک داده است.

- با توجه به کانتور تنش فون مایز بستر خاک در راستای میکروشمع ها مشخص است که بیشترین تنش در قسمت بالایی بستر خاک می باشد، هرچه به انتهای ریزشمع نزدیک می شویم از میزان تنش کاسته می شود.

- با بررسی تغییرات تنش در راستای میکروپایل ها برای سیستم های مختلف میکروشمع گذاری مشخص است که برای تمامی حالت ها به جز حالتی که طول میکروشمع کوتاه است و در بستر خاک نرم قرار دارد، بیشترین تنش در روی بستر خاک بوده و تا نزدیکی های انتهای ریزشمع در حال کاهش می باشد اما در انتهای شمع که شرایط تمرکز تنش برقرار است به یکباره میزان تنش افزایش یافته می یابد.

- در شرایط بند فوق چنانچه جنس خاک مناسب نباشد می بایست به روش های مختلفی محل اتصال بین خاک و انتهای شمع را تقویت نمود.

- به طور کلی روند جابه جایی خاک به ازای همه سیستم های ریزشمع تقریباً یکسان بوده و تعداد و طول میکروشمع بر جابه جایی خاک روی سطح اثر چندانی نداشته است اما با افزایش طول میکروشمع میزان جابه جایی انتهای شمع کاسته شده است.

۵- مراجع:

- [1] Abd Elaziz, A. and El Naggar, M. (2015). "Performance of Hollow Bar Micropiles under Monotonic and Cyclic Lateral Loads." J. Geotech. Geoenviron. Eng., 141(5), 04015010.
- [2] Matos, R., Pinto, P., Rebelo, C., da Silva, L., and Veljkovic, M. (2015) *Cyclic Performance of Single and Group Micropiles on Loose Sand*. IFCEE 2015: pp. 1751-1763.
- [3] Won-Pyo Hong, Neatha Chim 2015, *Prediction of uplift capacity of a micropile embedded in soil*, KSCE Journal of Civil Engineering January 2015, Volume 19, Issue 1, pp 116-126.
- [4] Shu-Wei Sun, Wei Wang, and Fu Zhao 2014, *Three-Dimensional Stability Analysis of a Homogeneous Slope Reinforced with Micropiles*, Mathematical Problems in Engineering Volume 2014, Article ID 864017, 11 pages.

[5] Konstantina Papadopoulou, Harris Saroglou, Vasileios Papadopoulos, Finite Element Analyses and Experimental Investigation of Helical Micropiles, Geotechnical and Geological Engineering, 2014, Volume 32, Issue 4, pp 949-963.

[۶] قمری، ا.، قربانی، ع. آزمایش مقیاس واقعی و مدل سازی عددی ریز شمع ها در خاک ماسه ای، چهارمین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، تهران، ۱۳۸۹.

[۷] خوشه چرخ، ع؛ معتقد، س؛ فلاح، م، ر؛ بررسی تاثیر زاویه میل بر رفتار لرزه ای ریز شمع فولادی، همایش ملی زلزله و مقاوم سازی ساختمان، بهبهان، ۱۳۸۶.

[8] M. Honarmand Javan, S. Shaffiee Haghshenas, P. Rajabzadeh Kanafi, H. Zartaj, 2013 *Investigating The Effect of Soil Behavioral Model On The Performance of Micro Pile System Under Dynamic Loading*, Proceedings of the 4th European Conference of Civil Engineering (ECCIE '13), Antalya, Turkey October 8-10.