

بررسی عددی تأثیر تغییر زاویه اصطکاک داخلی خاک و طول میکروپایل، در خاک‌های ماسه‌ای

سید اکبر منصوریان^۱، منصور پرویزی^۲

۱- گروه مهندسی عمران، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

akbarmansoorin@yahoo.com

خلاصه

تحقیق حاضر به روش عددی اجزاء محدود با استفاده از نرم‌افزار پلکسیس (PLAXIS) انجام گرفته است. در این تحقیق به منظور بررسی رفتار ریزشمع‌ها، گروه ریزشمع دوتایی تحت اثر بارگذاری استاتیکی محوری تحلیل می‌شوند. خاک به صورت محیط پیوسته و با مدل رفتاری الاستوپلاستیک موهر کلمب در نظر گرفته شده و شمع‌ها از جنس فولاد و با مدل رفتاری الاستیک فرض شده‌اند. در این بررسی، اثر، تغییر طول ریزشمع‌ها، تأثیر تغییر زاویه اصطکاک خاک، نشست و نیروی ایجاد شده در طول ریزشمع محاسبه و در قالب نمودار ارایه گردیده است و نتایج نشان داد با افزایش طول میکروپایل نشست کاهش می‌یابد و این اتفاق تا طول حدود ۱۵ متر ادامه دارد و سپس افزایش طول دیگر اثرگذار نیست.

کلمات کلیدی: زاویه اصطکاک داخلی خاک، طول میکروپایل، بارگذاری استاتیکی، موهر کلمب

۱. مقدمه

امروزه استفاده از ریزشمع جهت انتقال بار سازه، به خاک مناسب در اعماق پایین تر رویه افزایش است. کاربرد روز افزون ریزشمع‌ها در سازه‌ها افزایش اهمیت چگونگی رفتار شمع‌ها را در پی دارد. ریزشمع‌ها غالباً به صورت گروهی به کار می‌روند و معمولاً در گروه ریزشمع به منظور مقابله با نیروهای جانبی، از ریزشمع‌های مایل استفاده می‌شود. ریزشمع به شمع‌هایی با قطر کوچک (کمتر از ۳۰۰ میلی متر) اطلاق می‌گردد که غالباً با تسلیح فولادی سبک و تزریق دوغاب سیمان همراه می‌باشند. ریزشمع علاوه بر آنکه به عنوان یک المان باربر و مقاوم در برابر نشست عمل میکند، به دلیل تزریق دوغاب سیمان، سبب بهبود مشخصات مکانیکی خاک اطراف نیز میگردد. تاریخچه ابداع ریزشمع به اوایل دهه پنجاه میلادی، زمانیکه اروپا با خیل عظیمی از ساختمان‌های در معرض خرابی ناشی از صدمات وارده در جنگ جهانی دوم روبرو بوده است، برمیگردد. در این دوره، ابداع یک روش بهسازی بستر که علاوه بر کارایی و قابلیت اجرا در بین ساختمانهای تخریب شده، سریع و اقتصادی نیز باشد، بسیار ضروری بود. در چنین شرایطی ابداع ریزشمع توسط پیمانکار مشهور ایتالیایی صورت پذیرفت که بدلیل ویژگی‌های منحصر بفرد، این روش گسترش فراوانی یافت. [1]

ریزشمع‌ها به طور مؤثر در بهبود خواص خاک و افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست به ویژه در پی سازه‌های موجود و مقاوم سازی آنها به کار گرفته می‌شوند. مقاومت اصطکاک‌کی ما بین ریزشمع و خاک و اثرات شبکه ای آنها به عنوان مکا نیز می‌قابل توجه جهت بهبود خواص خاک، مطرح می‌گردد. استفاده از ریزشمع‌ها به دلایلی نظیر صرفه جویی در زمان، کاهش هزینه‌های اجرائی و عملکرد مناسب در محیط‌های با دسترسی محدود و در عین حال تأمین ظرفیت باربری مناسب و کنترل نشست‌ها، به عنوان یک آلترناتیو محسوب می‌شود. به طور کلی از موارد کاربرد ریزشمع می‌توان به مواردی همچون، مقابله با نیروی بالا برنده و نیروی ناشی از زلزله و باد، جلوگیری از لرزش در سازه‌هایی نظیر پلها و سازه‌های در معرض نیروی دینامیکی و نیز مهار بندی و تقویت پی سازه‌های حایل و نگهدارنده شیب‌ها اشاره نمود. با توجه به افزایش رو به رشد ریزشمع‌های طراحی و اجرا شده در سراسر دنیا و اهمیت باربری آن، نیاز به بررسی پارامترهای دخیل در طراحی ریزشمع، امری ضروری تلقی می‌گردد. روش ساخت و اجرای

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی

² عضو هیئت علمی دانشگاه

ریز شمع‌ها متعدد است که از آن بین می‌توان به روشهای مطرح شده در آئین نامه متعلق به اداره فدرال راه‌های آمریکا [1] (FHWA) اشاره نمود. روابط مورد استفاده جهت محاسبه ظرفیت باربری ریز شمع‌ها نیز، با توجه به اینکه در تعیین برخی پارامترهای آن از تجارب متخصصین اجرایی استفاده شده، دارای حاشیه اطمینان بالایی می‌باشند. در این پژوهش همراه با استفاده از نتایج تجربیات علمی و عملی بر روی ریز شمع و انجام مطالعات پارامتریک بر روی آن و نیز مطالعات آماری، مکانیزم باربری ریز شمع بررسی میگردد.

۲. پیشینه پژوهش

در این بخش به پیشینه ریزشمع و برخی مطالعات و تحقیقات گذشته و نتایج آنها می‌پردازیم
قبل از سال ۱۹۹۷ مطالعه جامعی درباره ریز شمع انجام نشده بود. در سال ۱۹۹۷ اداره کل فدرال بزرگراه‌های آمریکا (FHWA) گروهی را برای تحقیق و مطالعه بر روی ریز شمع در نظر گرفت. گروه تحقیق برای این مطالعه شامل پیمانکاران، مهندسين مشاور، دانشجویان و کارفرمایان بودند. مدارک بدست آمده از این مطالعه " حفاری و تزریق ریز شمع " نامیده شد. [1]

میکرو شمع‌ها مانند ریشه‌های درخت باعث تثبیت خاک می‌شوند. آنها در این باور بودند که میکرو شمع‌ها دارای کاربردهای کشتی - فشاری می‌باشند که متناسب با شرایط خاک موجود در منطقه استفاده می‌شوند. نتایجی که بدست آورده شد به این صورت بود که استفاده از شمع‌ها در همه جا به خصوص در مناطق مسکونی که در اطراف محل مورد نظر ساخت و سازهایی وجود دارد و یا در مجاورت سازه‌های حساس که نمی‌توان از شمع‌های کوبشی یا حفاری‌های عمیق به منظور بهسازی زمین استفاده کرد بسیار مفید و موثر است. در ضمن از آنها می‌توان علاوه بر مقاوم سازی پی، به عنوان پی و یا برای پایداری شیب‌ها و یا دوختن دیوارهای ریزشی مخصوصا در تونل‌ها استفاده کرد. [2] همچنین در سال ۱۳۹۱ منصوری کیا [9] به این موضوع پرداخت، از آنجایی که توجه درستی به نیاز استفاده از فناوری میکرو شمع‌های مایل برای ساخت و تثبیت سازه‌های آبی نشده است، پس هدف محقق را بر این نهاد که با استفاده از میکرو شمع‌های مایل سازه‌ها را تثبیت کند. این تحقیق بر آن بود تا یک دید فنی در رابطه با میکرو شمع‌های اجرایی، روش‌های اجرایی و طراحی، کاربردها و مزایای آنها ارائه دهد. نتایج بر این اساس بود که استفاده از فرایند‌های حفاری و تزریق برای ساخت میکروشمع موجب ارتعاش‌های کمتر و کاهش اثرات نامطلوب به سازه موجود در مقایسه با روش‌های ساختمانی تقویت پی‌سازی یا کارگذاری شمع‌ها می‌باشد. میکرو شمع‌ها را می‌توان با فشارهایی که به کوچکی ۱/۵ متر (فشار هیدرو استاتیکی) هستند نصب و اجرا نمود و به سایر سازه‌های مجاور آسیب وارد نمی‌شود [9]. در یک دید کلی میکرو شمع‌ها، شمع‌های لوله‌ای هستند که به وسیله دستگاه شمع کوب در زمین کوبیده و توسط دستگاه تزریق دوغاب سیمان با غلظت و فشار معینی طی چندین مرحله تزریق می‌گردد [3].

در سال ۲۰۱۲ Mohanad Alfach [4] به تجزیه و تحلیل دقیق از تاثیر شکل پذیری بر پاسخ لرزه‌ای از مبانی شمع پرداخت. این مطالعه با استفاده از مدل سازی سه بعدی اجزاء محدود با استفاده از یک رکورد زلزله واقعی انجام شد. تجزیه و تحلیل اطلاعات با ارزش بر روی تاثیر شکل پذیری بر پاسخ لرزه‌ای سیستم‌های ساختار خاک شمع نشان می‌دهد که غالب خاک در مجاورت سر شمع که پاسخ آن ممکن است منجر به انحراف بیشتر تنش خمشی شود همچنین در سال همچنین در سال ۲۰۱۱ Isam Shahrour [5] به مطالعه کامل رفتار میکروشمع مایل با قطر کوچک تحت بارگذاری لرزه‌ای و تجزیه و تحلیل آن پرداخت. در این مقاله فرض شده است که میکرو شمع‌ها دارای نوسان الاستیک با میرایی هستند و ساختار توسط یک سیستم یک درجه آزادی متشکل از یک جرم متمرکز شده و یک ستون توضیح شد و نیز میکرو شمع مایل ممکن است نیروهای بزرگ به کلاهک شمع وارد کند و اگر شیب متقارن نباشد، چرخش دائم ممکن است دلیلی بر سختی‌های مختلف گروه شمع در هر جهت باشد. نتیجه گیری این مقاله شامل تجزیه و تحلیل المان محدود سه بعدی از نفوذ شمع مایل بر رفتار لرزه‌ای گروه متشکل از شمع با قطر کوچک است [5]. و در سال ۲۰۱۱ رفتار لرزه‌ای شمع خمیر تحت زوایای مختلف برای به دست آوردن سختی جانبی میکرو شمع مورد توسط A. Giannakou et all [6] بررسی قرار دادند نیروی داخلی با افزایش زاویه افزایش می‌یابد و نیروی خمشی در میکرو شمع خمیر، نسبت به شمع‌های عمودی بزرگتر است. شمع خمیر برای مدت طولانی می‌تواند در برابر بارهای جانبی بزرگ از جمله باد، امواج آب، فشار خاک مقاومت کند. بنابراین، شمع خمیرسختی بزرگتر و ظرفیت تحمل بیشتری نسبت به میکرو شمع‌های عمودی با همان قطر و عمق دارد [6].

۳. روش کار و نحوه مدل‌سازی

مدلسازی توسط نرم افزار اجزای محدودی PLAXIS المان‌هایی که در برنامه مورد استفاده قرار می‌گیرند، باعث توزیع تنش به صورت هموار در خاک می‌گردد، در نتیجه آن قابلیت پیشگویی دقیق و بهتر از بارهای گسیختگی فراهم می‌شود. برای مدل کردن لایه‌های مختلف خاک و سایر حجم‌های انبوه، بایستی از المان‌های مثلثی ۶ یا ۱۵ گرهی، استفاده شود. مثلث‌های ۱۵ گرهی، المان‌های بسیار دقیقی در مدل‌سازی به شمار می‌روند، که

نتایج تنش بهتری را برای مسایل پیچیده ارائه می دهند. البته باید این مطلب را نیز در نظر داشت که با کاربرد المان های ۱۵ گرهی حجم بالایی حافظه مورد نیاز می باشد و سرعت و کارایی عملیات را به طور روشن و واضحی کاهش می دهد.

به طور ساده مدل، یک رابطه ساده ریاضی برای توصیف رفتار تنش کرنش برای المان کوچکی از مصالح می باشد. مدل ها با توجه به نوع مصالح و نوع بارگذاری متفاوت هستند مدل ها یا تابع زمان و یا مستقل از آن می باشند برای بررسی رفتار مصالح تحت بارگذاری دینامیکی و یا پدیده خزش بایستی از مدل های وابسته به زمان برای مدل کردن استفاده نمود.

کاربرد مدل های مستقل از زمان برای حل مسائل استاتیکی می باشد که رفتار مصالح به صورت الاستیک (خطی و غیر خطی) و الاستو پلاستیک استفاده می شود. مدل بایستی قابلیت نمایش رفتار مصالح تحت شرایط مختلف بارگذاری را داشته باشد. در انتخاب مدل بایستی دقت نمود مدل تا حد امکان ساده باشد و با معادلات ریاضی معمولی قابل فرموله شدن باشد و در عین حال بتوان پارامترهای آن را با استفاده از آزمایشهای متداول خاک به دست آورد. تفاوت مهم و اساسی بین مدل های الاستیک و پلاستیک در رفتار آنها در جریان بارگذاری و باربرداری می باشد. در بیشتر موارد مهم مشاهده شده است که خاک به صورت مصالح الاستو پلاستیک رفتار می نماید.

تفاوت مهم و اساسی بین مدل های الاستیک و پلاستیک در رفتار آنها در جریان بارگذاری و باربرداری می باشد. در بیشتر موارد مهم مشاهده شده است که خاک به صورت مصالح الاستو پلاستیک رفتار می نماید. به عبارت دیگر می توان گفت که تغییر شکل های خاک اساساً غیر الاستیک بوده و با برداشتن بار مسیر باربرداری با مسیر بارگذاری متفاوت می باشد.

مدل های رفتاری غالباً به صورت رابطه ای بین افزایش اندک تنش (نرخ تنش) و افزایش اندک کرنش (نرخ کرنش) بیان می شود. تمامی مدل های مصالح موجود در PLAXIS بر اساس رابطه بین نرخ های تنش موثر و نرخ های کرنش می باشند که با استفاده از رابطه زیر تعریف می گردند:

$$\dot{\sigma}' = \underline{\underline{M}} \dot{\underline{\underline{\epsilon}}} \quad (1)$$

که در این رابطه M ماتریس سختی مصالح است. تانسور تنش - کرنش به صورت برداری که شامل ۶ مولفه کارترین می باشد نوشته می شود.

$$\underline{\underline{\epsilon}} = (\dot{\epsilon}_{xx} \dot{\epsilon}_{yy} \dot{\epsilon}_{zz} \dot{\gamma}_{xy} \dot{\gamma}_{yz} \dot{\gamma}_{zx})^T \quad (2)$$

$$\underline{\underline{\sigma}}' = (\sigma'_{xx} \sigma'_{yy} \sigma'_{zz} \sigma'_{xy} \sigma'_{yz} \sigma'_{zx})^T \quad (3)$$

مدل مور - کولمب برای خاک ماسه ای در این پژوهش استفاده گردید. پارامترهای مدل مور - کولمب مربوط به ماسه مطابق جدول ۱ است.

جدول شماره ۱ - مشخصات مصالح ژئوتکنیکی مدل

خاک ماسه ای مورد استفاده	زاویه اصطکاک داخلی	چسبندگی KN/m ²	وزن مخصوص KN/m ³	E (Mpa)	v
	39	0	16.77	117	0.3

در مدل عددی بررسی رفتار ریزشمع های این پژوهش از دو ریز شمع استفاده شد. قطر این ریز شمع ها ۲۰ سانتیمتر و طول آنها ۱۰ متر است. مشخصات مقطع ریزشمع مطابق (جدول ۲) زیر است.

جدول شماره ۲ - مشخصات ریزشمع مورد استفاده

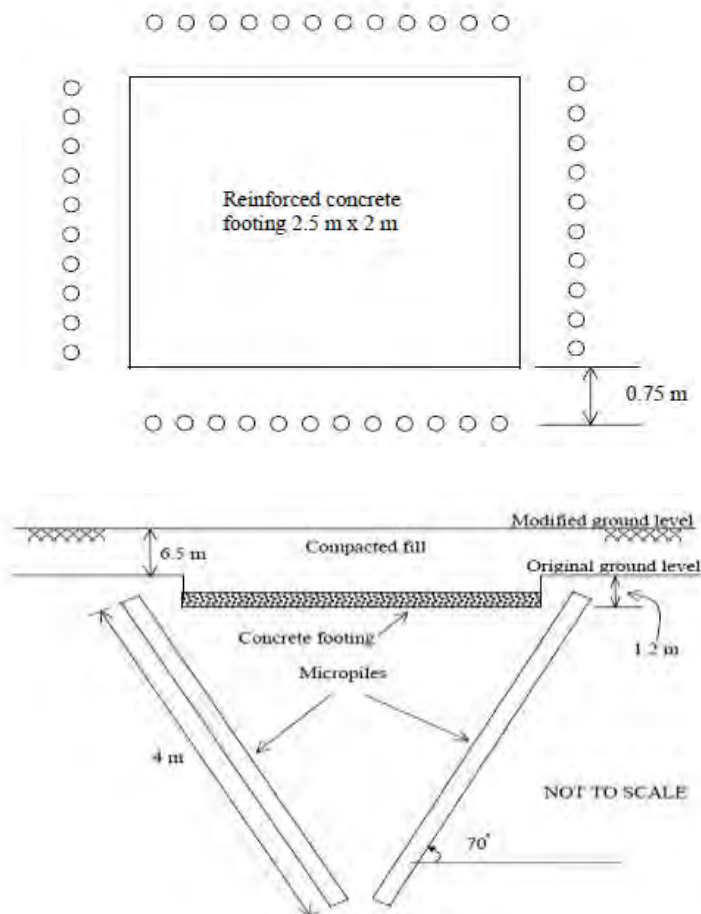
ریز شمع مورد استفاده	ω (Kg/m)	EI (KN)	EA (KN)	v
TITAN - IBO103/ 78	100	2597	1401582	0.2

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 واحد ها 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. واحد های انتخابی در تمامی طراحی های صورت گرفته بر اساس جدول ۳ می باشد.

جدول ۳- مشخصات واحدهای استفاده شده

Unit	Type
M	Length
KN	Force
Day	Time

برای صحت سنجی، از تحقیقات Babu [8] استفاده شده است. بعد از مدل سازی نتایج بدست آمده با نتایج Babu مورد مقایسه قرار گرفته است. مشخصات مسئله ی مورد بررسی مطابق شکل ۱ و جدول ۴ است.

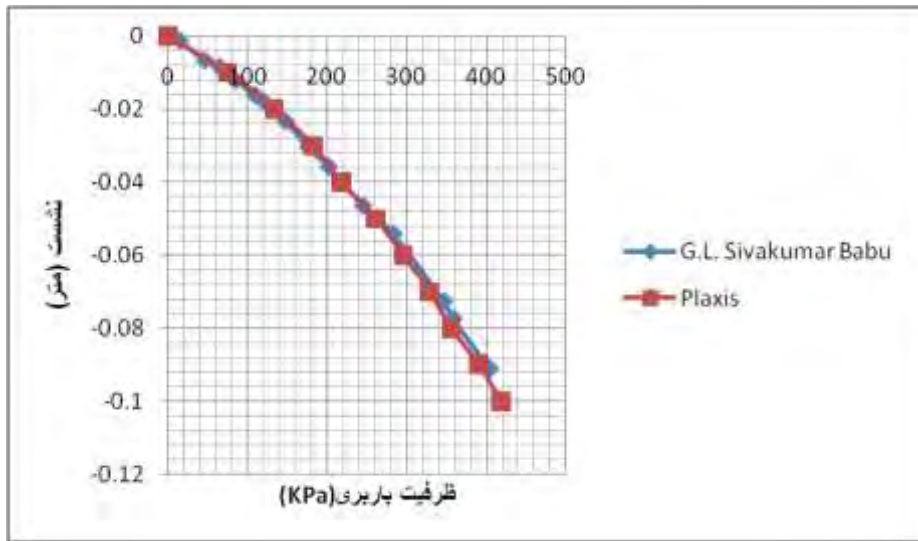


شکل ۱- مشخصات مدل مورد بررسی جهت صحت سنجی

جدول ۴- مشخصات خاک و میکروپایل

Material (1)	Model (2)	Cohesion(c') kPa (3)	ϕ' (°) (4)	E(MPa) (5)	ν (6)	$\gamma b(kN/m^3)$ (7)
Loose sand	Mohr- coloumb	1	25	13	0.30	18
Dense sand	Mohr- coloumb	1	35	30	0.30	20
Micropile	Elastic	-	-	2.1×10^5	0.25	78.5

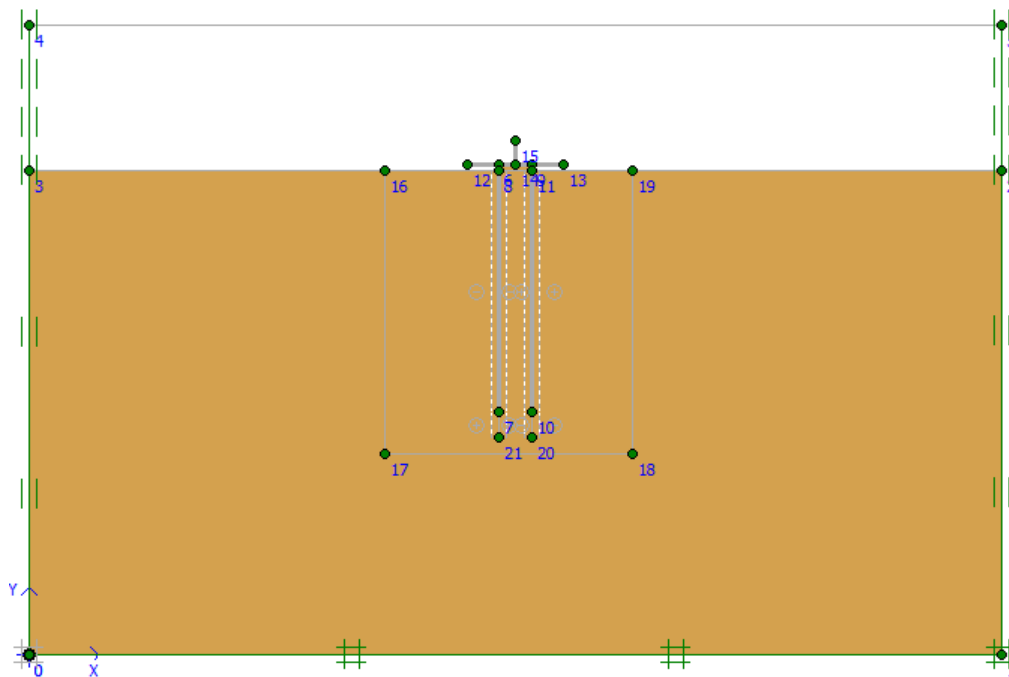
در نهایت نتایج مدل بدست آمد که عبارت است از ظرفیت باربری. این نتایج با نتایج حاصله از تحقیقات Babu [8] مورد مقایسه قرار گرفت که همخوانی قابل قبولی با هم دارند و در نمودار شماره ۱ آورده شده است.



نمودار ۱- مقایسه نتایج حاصل از نرم افزار Plaxis و تحقیقات G.L. Sivakumar Bab

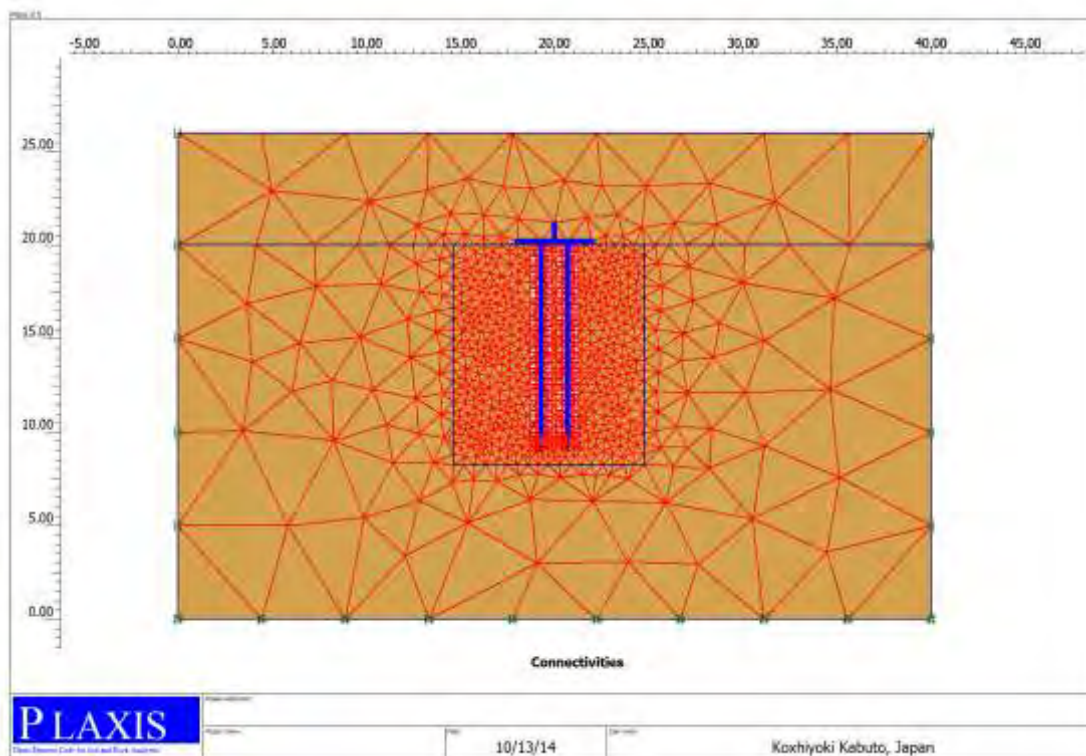
۴. بحث و بررسی نتایج

مدل در نظر گرفته شده به عنوان مدل اولیه، مربوط به مدل نورزاد می باشد [7] که مطابق شکل ۲ می باشد. بار توسط روسازه به سیستم وارد می شود که مقدار آن، ۲۰ تن می باشد



شکل ۲- مدل در نظر گرفته شده در نرم افزار plaxis

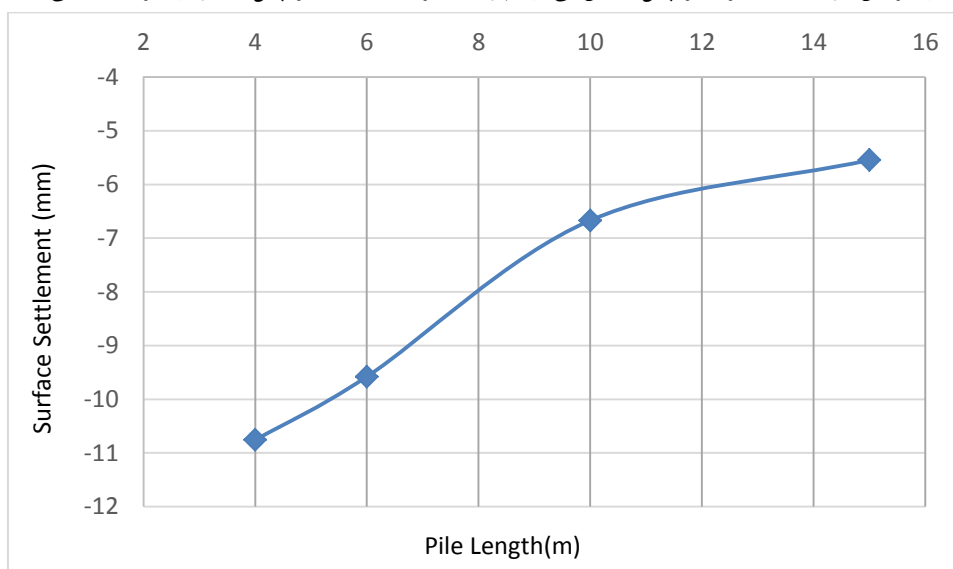
در این پژوهش از خاک ماسه ای فونتیویلیو استفاده شده است. ماسه FS یک ماسه استاندارد سیلیسی یکنواخت می باشد.



شکل ۵- نمایی از مش بندی مدل اصلی

۴-۱- تاثیر طول میکروپایل ها

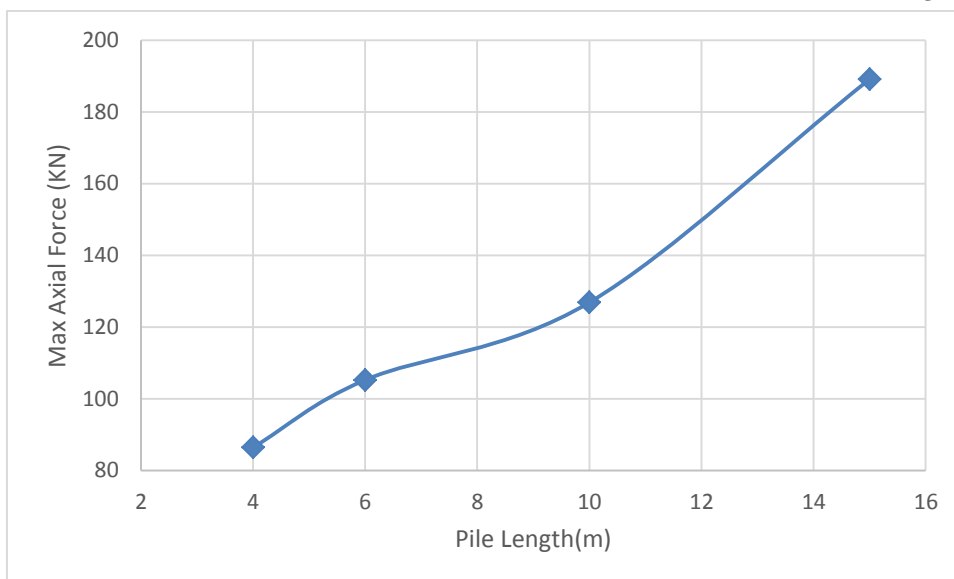
نمودار ۲ تغییرات نشست سر شمع را نسبت به تغییرات طول میکروپایل نشان می دهد. در این قسمت میکروپایل ها با طولهای ۴، ۶، ۸، ۱۰ متری مدلسازی شده اند. با افزایش طول، نشست سر میکروپایل کاهش می یابد چون درگیری خاک و میکروپایل در طول بیشتری اتفاق می افتد.



نمودار ۲- تغییرات نشست قائم سر میکروپایل نسبت به طول میکروپایل ها

همانطور که در نمودار مشخص است، روند افزایش نشست از طول ۱۰ متر تا ۱۵ متر کاهش یافته و این مطلب را می رساند که افزایش طول بیش از حدود ۱۵ متر، تاثیر چندانی در کاهش نشست ندارد.

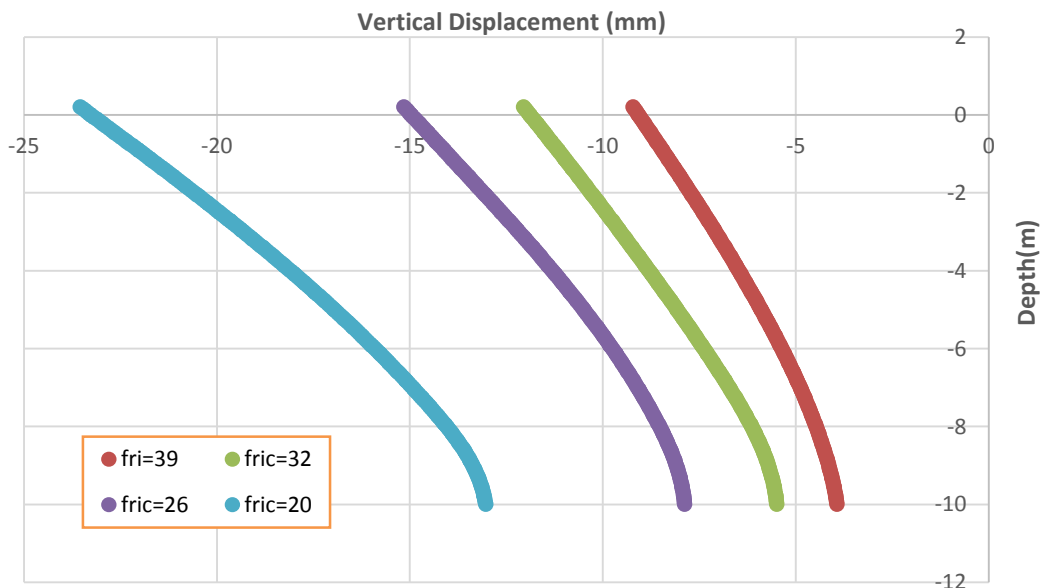
نمودار ۳ تغییرات نیروی محوری سر ریزشمع‌ها را بر حسب تغییر طول آنها نشان می‌دهد. مطابق با شکل، با افزایش طول ریزشمع، نیروی وارده به سر ریزشمع‌ها بیشتر می‌شود.



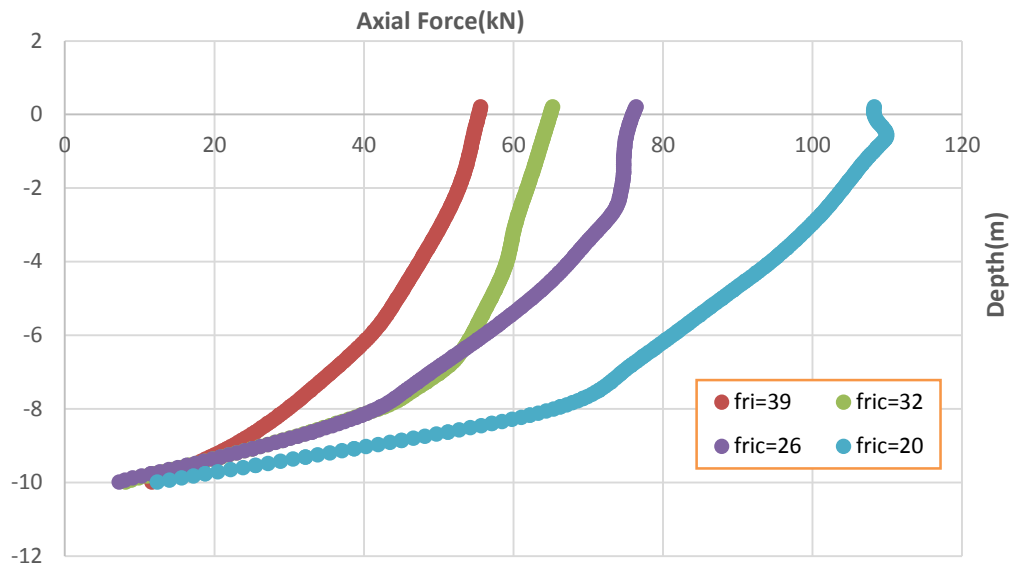
نمودار ۳- تغییرات نیروی قائم سر میکروپایل نسبت به طول میکروپایل‌ها

۴-۲- تأثیر زاویه اصطکاک داخلی خاک

نمودار ۴ تغییرات نشست در طول میکروپایل را برای ۴ نوع خاک ماسه‌ای با زوایای اصطکاک ۲۰، ۲۶، ۳۲ و ۳۹ درجه نشان می‌دهد. افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک، حرکت مصالح را روی هم دشوار کرده و نشست کاهش می‌یابد.



نمودار ۴- تغییرات نشست قائم در طول میکروپایل نسبت به زاویه اصطکاک داخلی خاک



نمودار ۵- تغییرات نیروی قائم در طول میکروپایل نسبت به زاویه اصطکاک داخلی خاک

نمودار ۵ تغییرات نیروی محوری را در طول ریزشمع برای چهار زاویه اصطکاک مختلف نشان می دهد، بر اساس نمودار، زاویه اصطکاک ۲۰ درجه از بقیه نمودارها فاصله گرفته و با کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک، نیروی ایجاد شده در میکروپایل بیشتر می شود.

۵. نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری

در این تحقیق مدل سازی عددی گروه ریزشمع دو تایی، با استفاده از نرم افزار plaxis نسخه 8.5 و به صورت دو بعدی انجام پذیرفته است. ابتدا با مدلسازی یک پی و دو ریزشمع مایل بر اساس تحقیقات [۸] Babu [A] و اطمینان از صحت روند مدلسازی، به مدل استفاده شده در این پژوهش پرداخته شد. سپس دو ریزشمع قائم طبق فرضیات نورزاد [۷] مدلسازی شد و بارگذاری استاتیکی روی آنها انجام گرفت. در نهایت با ایجاد تغییرات در طول ریزشمع، زاویه اصطکاک داخلی خاک، به بررسی نشست و نیروی ایجاد شده در طول ریزشمع پرداخته شد. بررسی ها نشان داد که نشست سر ریزشمع ها با افزایش طول میکروپایل باعث کاهش نشست می شود و این اتفاق تا طول حدود ۱۵ متر ادامه دارد و سپس افزایش طول دیگر اثرگذار نیست. افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک، نشست را کاهش می دهد.

۵-۱-۱- پیشنهادات:

- ۱- با استفاده از مدل سازی مناسب، رفتار ریزشمع مایل برای خاک های غیر همگن، ناهمسانگرد (غیرایزوتروپ) و اشباع بررسی شود.
- ۲- بررسی رفتار ریزشمع با مدل سازی گروه ریزشمع مایل و قائم با قطر و طول نابرابر در حالت استاتیکی و دینامیکی.

۶. مراجع

1. FHWA (Federal Highway Administration, US Department of Transportation), (1997). "Drilled and Grouted Micropiles" State-of-Practice Review, Volume I, II, III and IV, Publication No. FHWA-RD-96-018.
۲. امجد زاده، محمد. سلیقه زاده، علی. (۱۳۸۴). "میکرو شمع (Micro Pile)" دوازدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی عمران، تهران - دانشگاه علم و صنعت، دانشکده عمران ۳ آذر الی ۴ دی ماه.
۳. باقری پور، محمدحسین. مرنیدی، م، کیوان فر، م. (۱۳۸۳) "تحلیل خطی و غیر خطی تنشهای مؤثر ناشی از به کارگیری میکروپایلها، مطالعه موردی شالیزارهای شمال ایران" اولین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران - دانشگاه شریف، عمران - ۱۷ و ۱۸ اردیبهشت
4. Mohanad Alfach, (2012). "Influence of soil plasticity on the seismic performance of pile foundation-a 3d numerical analysis," Jordan journal of civil engineering, volume 6, no. 4

5. Isam Shahrour et all , (2011) “3d elastoplastic analysis of the seismic performance of inclined micropiles, computers and geotechnics,”, volume 39, page 1-7
6. A.Giannakou et all,(2011). “seismic behavior of batter piles:elastic response,journal of geotechnical and geoenvironmental engineering” ,vol.136,no.9.
۷. نورزاد، رضا ، سقایی، غلامرضا. (۱۳۸۷)، "بررسی رفتار لرزه‌های ریزش‌معمای مایل"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران، ۱۷ و ۱۸ اردیبهشت.
8. Babu, G., Murthy, B., Murthy, D., and Nataraj, M. (2004) ,“Bearing Capacity Improvement Using Micropiles”: A Case Study. GeoSupport 2004: pp. 692-699.
۹. منصوری کیا، محمدتقی (۱۳۹۱)، "مزایای استفاده از ریزش‌معمها در ساخت و تثبیت سازه‌های آبی" همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران ۱۲ الی ۱۴ اردیبهشت.