

## بررسی تاثیر پارامترهای موثر میکروپایل بر روی نشست خاک

سهیل قره<sup>۱</sup>، محسن مهدی زاده<sup>۲</sup>، منیژه سالاری<sup>۳</sup>

۱- استادیار دانشگاه پیام نور مشهد

۲- کارشناس ارشد ژئوتکنیک دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک دانشگاه روزبهان ساری

Manage\_ms@yahoo.com

### خلاصه

امروزه پیشرفت روزافزون مهندسی ژئوتکنیک در بهبود و اصلاح خواص فیزیکی و مقاومت برشی خاک، امکان ساخت سازه هایی با احجام و بار سرویس بالا و با صرف هزینه هایی به مراتب کمتر از اجرای شمعهای درجا را میسر نموده است. یکی از این روشها استفاده از میکروپایلهای تزریقی می باشد که عمدتاً جهت کنترل نشستهای نامتقارن، افزایش ظرفیت باربری و مقابله با روانگرایی مورد استفاده قرار می گیرند. در این مقاله به بررسی اثر پارامترهای مختلف بر روی نشست و نیروی محوری تولید شده در میکروپایلهای با استفاده از نرم افزار اجزای محدود PLAXIS پرداخته می شود و در نهایت به بررسی نتایج و انتخاب موثرترین پارامتر در طراحی برای کاهش نشست پرداخته می شود.

کلمات کلیدی: مدلسازی عددی، میکروپایل، ظرفیت باربری، گودبرداری

### ۱. مقدمه

ساخت یک سازه زیرزمینی، طراحی آن است. به طور کلی طراحی، یعنی پیش بینی کلیه مسائل و مشکلاتی که در جریان احداث یک سازه پیش خواهد آمد، و در نهایت ارائه راه حلی برای غلبه بر این مشکلات و تعیین برنامه ای که سازه مورد نظر با رعایت جنبه های اقتصادی و ایمنی بتواند اهداف کاربر را در مدت زمان مورد نظر تامین کند. یکی از مهمترین مسائل در احداث سازه ها حفاظت از گودبرداری وساختمانهای موجود در مجاورت آن می باشد. در صورت عدم رعایت روش های مناسب به منظور حفاظت گودها و همچنین شیب های در حال احداث منجر به خسارات جبران ناپذیری خواهد گردید و مخاطرات به وجود آمده ناشی از نشست های احتمالی و تقلیل ظرفیت باربری و تغییر مکانهای جانبی موجب ایجاد ترک در سازه های مجاور گود خواهد شد. به منظور جلوگیری از موارد فوق لازم است قبل از شروع عملیات گودبرداری از روش های نگهداری و مهاربندی جانبی استفاده شود تا در محیطی پایدار و ایمن بتوان عملیات را ادامه داد.

### ریز شمع:

ریز شمع ها، شمع هایی با قطر کمتر از 300 میلیمتر هستند که با حفر گمانه، قرار دادن آرماتور و تزریق دوغاب اجرا می شوند. مزایای خوب باعث استفاده روز افزون این تکنولوژی در مسلح سازی پی ها گردیده است. از جمله این مزایا می توان به موارد زیر اشاره کرد :

الف. اجرای ریز شمعها کمترین دستخوردگی را در محیط خاک ایجاد می کند و نیز حجم خاکبرداری در اجرای آن کم است.

<sup>۱</sup> استادیار

ب. می توان آنها را به آسانی بصورت مایل اجرا کرد.

ج. جهت بهسازی پی سازه های موجود براحتی قابل استفاده بوده و در مکان های مسقف با فضای بالاسری کم هم قابل اجرا است.

د. ریزشمع های مایل قابلیت تحمل بارهای افقی و قائم را دارند،

ح. رفتار لرزه ای خوبی بخاطر انعطاف پذیری دارند .

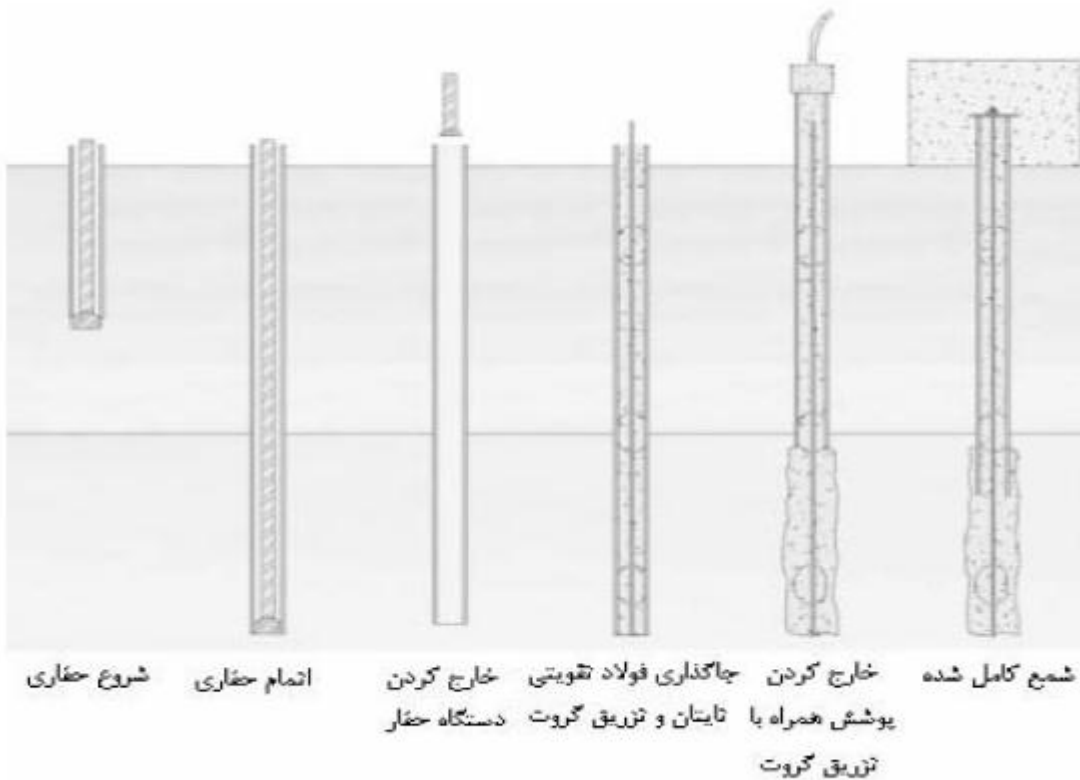
مشاهدات بعد از زلزله در مناطق زلزله زده شواهد خوبی از نحوه عملکرد شمع ها تحت اثر بار زلزله می باشند. درجات مختلفی از آسیب سازه ای با توجه به انواع مختلف شمع ها و زاویه های انحراف شمع های نگهدارنده سازه قابل مشاهده است .

#### تاریخچه:

ریزشمع اولین بار در اوایل دهه 1950 در ایتالیا به عنوان یک روش ابتکاری برای زیربندی ساختمانهای تاریخی و بناهای یادبود که به مرور زمان و بخصوص در زمان جنگ جهانی دوم آسیب دیده بودند ابداع شد. یک سیستم زیربندی موثر و مطمئن به عنوان تکیهگاهی برای بارهای سازه ای با حداقل تغییر مکان مورد نیاز بود که در مکان های محدود و با دسترسی دشوار قابل اجرا باشد و نیز حداقل دستخوردگی را در سازه های موجود ایجاد کند. روشهای خاص حفاری و تزریق که در اجرای ریزشمعها مورد استفاده قرار می گیرند باعث ایجاد اتصال مقاومی بین دوغاب و خاک می گردد و این مسئله موجب افزایش ظرفیت باربری در سطح تماس دوغاب و زمین می شود. دوغاب تزریق شده بار اعمال شده به ریزشمع را بوسیله اصطکاک از آرماتور به زمین در ناحیه اتصال انتقال می دهد.

#### نصب میکروپایل:

نصب میکروپایل ها به گونه ای است که کمترین تغییرات را در سازه ها، خاک و محیط اطراف خود به وجود می آورد. همچنین در محیط های با دسترسی محدود، انواع خاک های مختلف و شرایط گوناگون زمین قابل اجرا است. میکرو پایل با تجهیزات مشابه آنچه در پروژه های تزریق و مهار کوبی مورد استفاده قرار میگیرد، در سطح زمین، تحت هر زاویه ای می تواند نصب شود. بدلیل ایجاد کمترین سر و صدا و ارتعاش در حین نصب و عدم نیاز به فضای زیاد برای اجرا، میکروپایل ها اغلب برای بهسازی پی سازه های موجود مورد استفاده قرار میگیرند. برای اجرای میکروپایل ها در شالوده های موجود و در دست بهره برداری، اغلب تجهیزات حفاری ویژه ای مورد نیاز است.



شکل ۱- مراحل اجرای میکروپایل

این در اغلب پروژه‌ها با توجه به مطالعات ژئوتکنیک انجام شده در ساختگاه و شناسایی لایه‌های تحت الارضی، مشخصات ژئوتکنیکی ساختگاه پروژه تعیین میگردد. سپس با انجام تحلیل‌های روانگرایی در اعماق مختلف خاک محل، پتانسیل روانگرایی ساختگاه در صورت وقوع زلزله مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. با وقوع روانگرایی و زائل شدن مقاومت برشی خاک، نشست‌های بسیار بزرگی به پی سطحی ساختمان تحمیل می‌شود که می‌تواند منجر به آسیب دیدگی جدی سازه و عناصر غیر سازه‌ای بنا به نهایتاً تخریب آن گردد. از طرف دیگر در برخی از پروژه‌ها در بحث فنی، تامین باربری ستون‌های روی پی و انتقال بار به لایه‌های عمیق‌تر مورد نظر بوده و عامل تعیین‌کننده برای انتخاب طرح، گذشته از بحث‌های اجرایی و اقتصادی می‌باشد. پس در حالت کلی میکروپایل در بعد فنی در دو رویکرد جلوگیری از وقوع روانگرایی و تامین باربری ستون‌های روی پی و انتقال بار به لایه‌های عمیق‌تر سودمند واقع می‌شود و به عنوان یک گزینه مطلوب توسط مهندسان ژئوتکنیک پیشنهاد می‌گردد. در رویکرد ابتدایی و در ارتباط با ساختمان‌ها، بسته به وزن سازه‌ها و شرایط ژئوتکنیکی محل، اغلب در ۱۰ متری اعماق نزدیک به سطح زمین روانگرایی خطرناک بوده و در عمق بیشتر از ۱۰ متر تاثیرات روانگرایی بر سازه کم خواهد بود. بنابراین اگر هدف از اجرای میکروپایل مقابله با پدیده روانگرایی باشد، عمق بهسازی بایستس بگونه‌ای انتخاب گردد که ضمن تضمین رفتار مناسب خاک در شرایط بحرانی نظیر زلزله و تامین مقاومت پی در برابر اضافه بارهای وارده و جلوگیری از نشست‌های ناهمگن، از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد. از طرف دیگر معیار بعدی جهت تعیین عمق مناسب فرو رفت میکروپایل را می‌توان مشاهدات میدانی ناشی از کوبش میکروپایل در خاک و ثبت تغییرات سرعت فرو رفت بر اساس تعداد ضربات کوبش (انرژی وارده) دانست. بنابراین با پیشرفت کار

عمق طراحی متناسب با شرایط زمین قابل تغییر و تعدیل بوده و این قابلیت از محاسن اجرای میکروپایل می باشد، چرا که کوبش هر میکروپایل با توجه به مشابهت با آزمایش نفوذ استاندارد اطلاعات بسیار مفیدی در رابطه با تغییر مشخصات خاک در نقاط مختلف عمق در اختیار قرار می دهد.

در رویکرد دوم، در صورتیکه قرار باشد اجرای میکروپایل به همراه تزریق دوغاب سیمان علاوه بر بهبود مشخصات مقاومتی خاک در مقابل روانگرایی، نقش تامین باربری ستون های روی پی و انتقال بار به لایه های عمیق تر را نیز ایفا نماید، طول میکرو پایل متناسب با ظرفیت باربری لازم محاسبه خواهد گردید. در این میان با انتخاب روش اجرای میکرو پایل به همراه تزریق دوغاب سیمان برای پروژه مورد نظر، بررسی چیدمان میکروپایل ها در پلان و محاسبه عمق بهینه آنها، به عنوان مهمترین عناصر طرح بهسازی مطرح می باشند. بدین ترتیب نظم در چیدمان میکرو پایل ها باعث توزیع یکنواخت عکس العمل تکیه گاهی در زیر پی ساختمان گردیده و پیکره سازه ای پی فوقانی نیز بر این اساس بصورت همگن و بهینه طرح خواهد گردید.

بطور کلی میکرو پایل ها در مهندسی ژئوتکنیک مشتمل بر دو بخش زیر می باشد:

#### پی سازه های جدید و موجود:

سازه های جدید: ۱- کاهش نشست ۲- افزایش باربری فشاری ۳- تامین باربری کششی ۴- افزایش باربری جانبی  
سازه های موجود: ۱- کنترل نشست پی ۲- کنترل باربری پی ۳- تعمیر یا جایگزینی پی ۴- کنترل شستگی پی ۵- مقاوم سازی لرزه ای پی

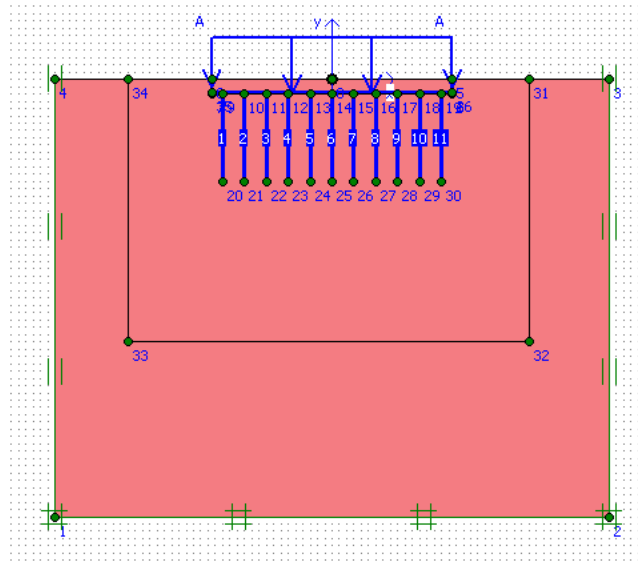
#### اصلاح و بهسازی خاک:

۱- پایدار سازی شیب ها ۲- ساخت دیواره های نگهدارنده ۳- مقابله با روانگرایی ۴- افزایش مقاومت توده خاک با اهداف خاص نظیر تونل سازی و...  
۵- حفاظت شیمیایی بخش های مدفون سازه ها

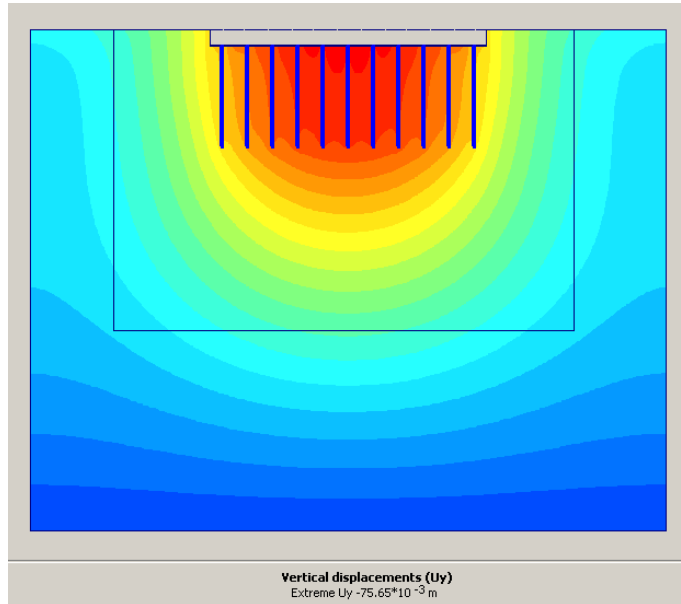
#### معرفی:

در مدل سازی انجام شده ابعاد محیط خاک اطراف ریز شمع  $30 \times 38$  متر و مشخصات هندسی مقطع میکروپایل ۶متر طول و با قطر ۳۲ میلیمتر در نظر گرفته شده است. و نحوه اجرا میکروپایل تزریق با فشار است. مدل موهر کلمب و رفتار الاستو پلاستیک است. میکروپایل ها به فاصله ۱.۵متری و در حفره هایی به قطر ۱۵ سانتیمتر با بتن با مدول الاستیسیته ۲۰ مگاپاسکال می باشند.

در شکل ۲ مدلسازی Plain-Strain صورت گرفته در نرم افزار PLAXIS نشان داده شده است که در آن یازده عدد میکروپایل مدل شده اند و بار خطی متغیر بر روی آنها قرار داده شده است. در شکل ۳ نحوه و کانتور تغییر شکلها در یکی از حالات انجام گرفته نشان داده شده است.



شکل ۲- مدل‌سازی در نرم افزار PLAXIS

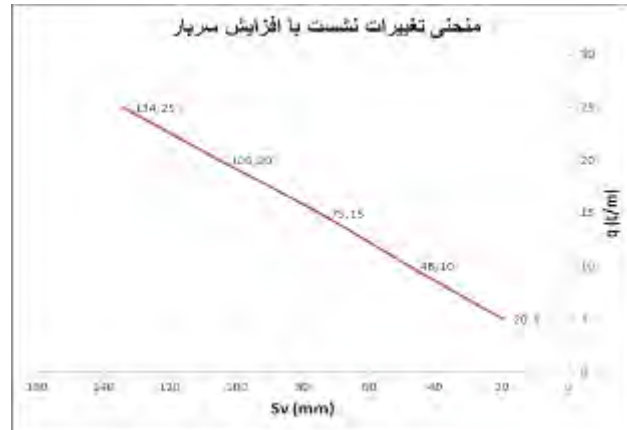


شکل ۳- کانتورهای تغییر شکل

در حالت اول طول شمع ها ۶ متر و فاصله افقی و عمودی آنها ۱.۵ متر و میزان سربار از ۵ تا ۲۵ تن بر متر طول متغیر می باشد. در اینجانب مواردی تغییرات نشست و همچنین نیروهای محوری بوجود آمده در شمع میانی (P max) و شمع کناری (P max) ترسیم شده است. (جدول ۱ تا ۳ و اشکال ۴ تا ۶)

S(mm) لختیست)	20	48	75	105	134
q(t/m) سربار)	5	10	15	20	25

جدول ۱- تغییرات نشست و سربار شمع‌ها



شکل 4- منحنی تغییرات نشست با افزایش سربار

Pmax (t)	7.5	17.25	26	34.5	43.2
q(t/m) (سربار)	5	10	15	20	25

جدول 2 تغییرات نیروی محوری بیشترین با افزایش سربار



شکل 5- منحنی تغییرات نیروی محوری ماکزیمم در میکروپایل با افزایش سربار

Pmin (t)	8.7	15	22	24.9	29
q(t/m) (سربار)	5	10	15	20	25

جدول 3 تغییرات نیروی محوری کمین با افزایش سربار

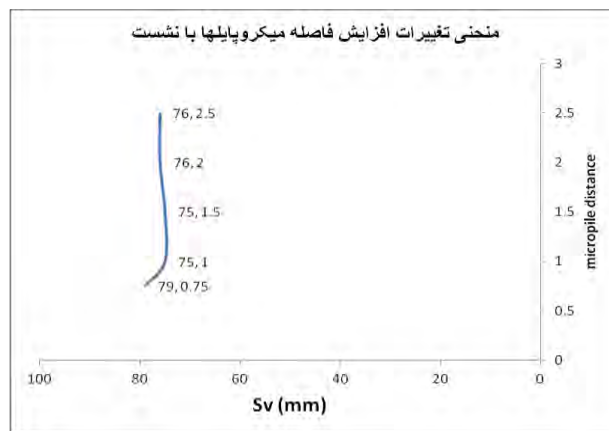


شکل 6- فن‌چیت تغییرات نیروی محوری میکروپیل‌ها با افزایش بار

در حالت دوم طول شمع ها ۶ متر، فاصله افقی شمعها ۱.۵، سربار ۱۵ تن بر متر طول ولی فاصله عمودی شمع ها از ۰.۷۵ متر تا ۲.۵ متر متغیر می باشد. در اینجا نمودارهای تغییرات نشست و همچنین نیروهای محوری بوجود آمده در شمع میانی (P max) و شمع کناری (P max) ترسیم شده است. (جدول ۴ تا ۶ و اشکال ۷ تا ۹)

S(mm) نشست	79	75	75	76	76
فاصله عمودی شمعها V(m)	0.75	1	1.5	2	2.5

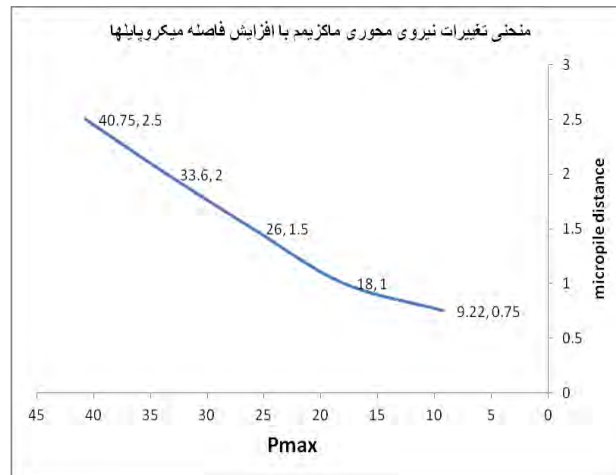
جدول 4 تغییرات نشست با افزایش فاصله عمودی شمع ها



شکل 7- فن‌چیت تغییرات نشست با افزایش فاصله میکروپیلها با نشست

Pmax (t)	9.22	18	26	33.6	40.75
فاصله عمودی شمعها V(m)	0.75	1	1.5	2	2.5

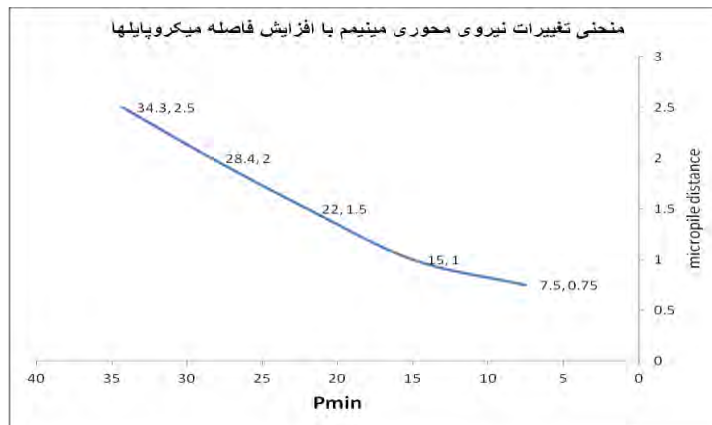
جدول 5 تغییرات نیروی محوری میکروپیل‌ها با افزایش فاصله عمودی شمع ها



شکل ۸- فن چیت تغییرات نیروی محوری ماکزیمم با افزایش فاصله میکروپایله‌ها عمودی شمعه‌ها

Pmin (t)	7.5	15	22	28.4	34.3
فاصله عمودی شمعه‌ها V(m)	0.75	1	1.5	2	2.5

جدول 6 تغییرات نیروی محوری ماکزیمم با افزایش فاصله عمودی شمعه‌ها



شکل ۹- فن چیت تغییرات نیروی محوری مینیمم با افزایش فاصله میکروپایله‌ها عمودی شمعه‌ها

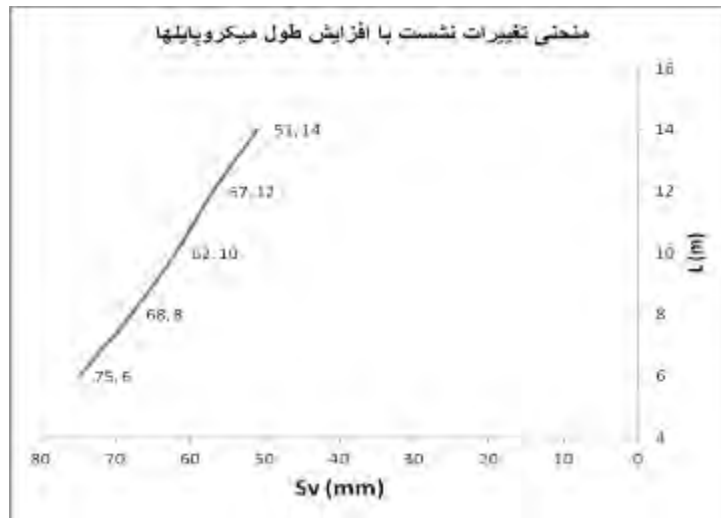
در حالت سوم طول شمعه‌ها از ۶ متر تا ۱۴ متر متغیر، فاصله افقی و عمودی شمعه‌ها ۱.۵ و سربار ۱۵ تن بر متر طول می‌باشد. در اینجانب موارد تغییرات نشست و همچنین نیروهای محوری بوجود آمده در شمعه میانی (P max) و شمعه کناری (P max) ترسیم شده است. (جدول ۷ تا ۸ و اشکال ۱۰ تا

(11)

S(mm) پهنای تیر	51	26	26	15	15
طول شمعه L(m)	2	6	51	56	51

جدول ۷ تغییرات نشست با افزایش طول شمعه‌ها

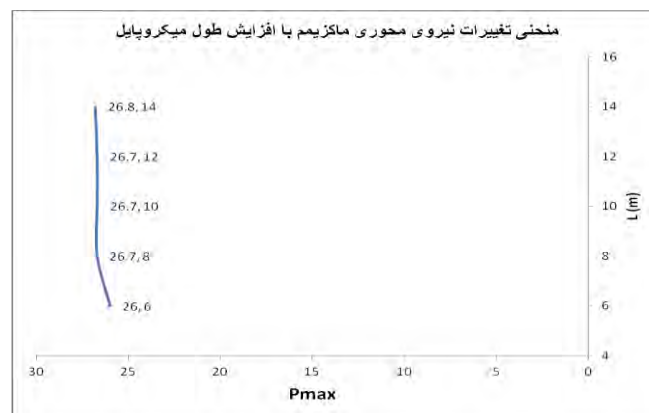




شکل 11- فنحنیت تغییرات نشست نسبت با افزایش طول شمع ها

Pmax (t)	26	26.7	26.7	26.7	26.8
طول شمع L(m)	6	8	10	12	14

جدول 8- فنحنیت تغییرات نیروی محوری ماکزیمم با افزایش طول شمع ها



شکل 11- فنحنیت تغییرات نیروی محوری ماکزیمم با افزایش طول شمع ها

### نتیج گیری:

با افزایش مقدار سربار میکروپایل ها نشست و نیروی محوری ماکزیمم و مینیمم افزایش محسوسی پیدا می کند. با کاهش فاصله بین میکروپایل ها تغییرات محسوسی در نشست بوجود نمی آید ولی نیروی محوری ماکزیمم و مینیمم میکروپایل ها افزایش می یابد. بنابراین برای کاهش نشست، کاهش فاصله بین میکروپایل ها بدون فایده است. افزایش طول میلهگردها باعث کاهش محسوس مقدار نشست خواهد شد ولی تغییری در میزان نیروی محوری میکروپایل ها نخواهد داشت. بطور کلی به منظور طراحی بهینه میکروپایل ها و برای کاهش میزان نشست که در ناحیه مرکزی به مقدار ماکزیمم می رسد استفاده از میکروپایل های بلندتر در ناحیه مرکزی و میکروپایل های کوچکتر در نواحی کناری از نظر اقتصادی و طراحی مطلوب می باشد.

## ۱۲. مراجع:

۱. براجا . ام . داس، (۱۳۸۵)، اصول مهندسی ژئوتکنیک"، شاپور طاحونی، انتشارات پارس آیین، جلد ۲.
۲. صدقیانی، محمد حسین، الیاسی شیما، ۱۳۸۶" بررسی تاثیر متقابل حفاری تونل های کم عمق شهری و گودبرداری سازه های بزرگ سطحی"، فصلنامه علمی پژوهشی شریف.
۳. خشایار همتی، فرزین کلاتری، جواد نظری افشار، علی قربانی (1387)، " بررسی تاثیر مشخصات هندسی شمع ها بر روی میزان نشست کل سیستم پی-شمع"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران دانشگاه تهران
۴. وب سایت مرجع شمع ایران [www.pile.ir](http://www.pile.ir)

5.FHWA,(2000), "Micropile design and construction guideline, Implementation manual"

6.Finno, Richard,1997, "Evaluation of Compaction Grouted Minipiles at the Northwestern University".National Geotechnical Experimentation Site, Northwestern University,USA.