

HN10108011176

## بررسی و مطالعه عددی تأثیر تعداد ریزشمع ها بر ظرفیت باربری شالوده های گسترده مستقر بر خاک دانه ای

محمد نظرنیا<sup>۱</sup>، جهانگیر خزائی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی ژئوتکنیک، M\_nazarnia@yahoo.com

۲- استادیار دانشگاه رازی کرمانشاه، j.khazaie@razi.ac.ir

### خلاصه

جهت دست یافتن به ظرفیت باربری قابل قبول در صورت مواجهه با خاک های سست و احداث سازه بر روی خاک موجود، باید تمهیداتی برای رفع این مشکل در نظر گرفته شود. استفاده از ریزشمع ها و شمع ها تأثیر بسیار زیادی در افزایش ظرفیت باربری پی ها و کاهش نشست سازه ها نشان خواهد داد. نقش ریزشمع ها در افزایش ظرفیت باربری و همچنین کاهش نشست های شالوده ها واقع بر خاک های دانه ای غیر قابل انکار بوده اما از طرفی هزینه های بالا و مدت زمان طولانی مدلسازی و برداشت اطلاعات به روش آزمایشگاهی، طراحی بهینه این نوع المان ها را با دشواری هایی مواجه ساخته است. لذا لزوم استفاده از روش هایی سریع و کم هزینه در این زمینه احساس می گردد. در این تحقیق جهت نیل به این هدف از نرم افزار FLAC 3D که یک برنامه تفاضل محدود غیر ضمنی سه بعدی است، استفاده شده و سعی بر آن است تا با مدلسازی مجموعه شالوده، زمین و ریزشمع اجرا شده در زیر شالوده مستقر در خاک های دانه ای، رفتار ریزشمع ها را در ارتباط با تعداد آنها در زیر شالوده مورد بررسی قرار گیرد. مدل رفتاری خاک با توجه به تغییرات تنش همه جانبه به دلیل اجرای ریزشمع در زیر شالوده در خاک دانه ای بصورت الاستو-پلاستیک همراه با سخت شوندهگی در نظر گرفته می شود. در این تحقیق بر اساس رفتار خاک و ملات تزریقی، از مدل موهر کولمب برای خاک دانه ای و از مدل الاستیک ایزوتروپ برای پی استفاده شده است.

کلمات کلیدی: ظرفیت باربری، پی گسترده، ریزشمع، خاک دانه ای

### ۱. مقدمه

امروزه با توجه به رشد جمعیت و محدودیت دسترسی به زمین های مناسب جهت ساخت و ساز و پیشرفت دانش و تکنولوژی، نیاز به اجرای ساختمان های بلند مرتبه با وزن و نیروهای زیاد در زمین های مسئله دار بیش از پیش احساس می شود. از سوی دیگر با احداث یک سازه بر روی خاک وزن ناشی از سازه به صورت اضافه بار از طریق پی به خاک اعمال می شود که این اضافه بار همواره نشست هایی را در درون خاک ایجاد می کند. از این رو از یک طرف باید بار وارده باعث گسیختگی خاک نشود و از طرف دیگر نباید نشست های سازه از نشست مجاز آن بیشتر شود به عبارتی گسیختگی برشی خاک زیر پی و یا نشست های بیش از حد مجاز پی می تواند منجر به خرابی آن گردد. لذا در صورتی که نتوان با برداشت خاک های سست به بستر مناسب با ظرفیت باربری قابل قبول دست یافت و احداث سازه بر روی خاک موجود، غیر قابل اجتناب باشد باید تمهیداتی برای رفع این مشکل در نظر

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد خاک و پی

<sup>۲</sup> عضو هیات علمی دانشگاه رازی کرمانشاه

گرفته شود که می توان از افزایش ظرفیت باربری به کمک شمع‌ها، ریزشمع‌ها، مسلح کننده های خاک و غیره بهره جست زیرا استفاده از ریزشمع‌ها، شمع‌ها و مسلح کننده های خاک تاثیر بسیار زیادی در افزایش ظرفیت باربری پی‌ها و کاهش نشست سازه ها نشان خواهد داد.

## ۲. معادلات حاکم بر ظرفیت باربری

ظرفیت باربری پی های سطحی از جمله موضوعاتی است که تاکنون به روش های مختلفی مطالعه گردیده و برای محاسبه آن راه حل ها و روابط متعددی ارائه شده است که مهمترین آنها عبارتند از:

- روش خطوط لغزش
- روش تعادل حدی
- روش تحلیل حدی

افراد مختلفی نظیر ترزاقی، میرهوف، هسن و وسیک با استفاده از اصل روی هم گذاری و برقراری تعادل استاتیکی بر اساس توزیع تنش در سطح گسیختگی روابطی را ارائه کرده اند که پارامترهای مختلف در آن ها دخیل می باشند. این افراد در زمان های مختلف، مطالعات بسیار زیادی را روی ظرفیت باربری پی های سطحی انجام داده اند و رابطه ای کلی آن ها به صورت زیر می باشد.

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + \bar{q}N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma BN_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (1)$$

که در این روابط،  $N$  ضریب ظرفیت باربری،  $d$  ضریب عمق (depth)،  $i$  ضریب انحراف بار (inclination)،  $s$  ضریب شکل (shape)،  $g$  ضریب زمین (ground) و  $b$  ضریب بستر (base) می باشد.

## ۳. ارزیابی ظرفیت باربری شالوده های گسترده تثبیت شده با ریزشمع

در مواجهه با بارهای سنگین سازه ای، ابتدا پی های گسترده مورد نظر طراحان قرار می گیرند. اگرچه سیستم پی گسترده از کاملترین انواع پی های سطحی است، اما به دلیل داشتن ابعاد قابل توجه اعماق زیادی را تحت تاثیر قرار می دهد و این امر منجر به وقوع نشست های قابل توجه در سیستم می شود. به همین منظور و به جهت تقویت عملکرد پی های گسترده در مورد بارهای سنگین، پروژه های حساس به نشست و زمین های مسئله دار و تراکم پذیر، می توان از سیستم های پی گسترده شناور، بهسازی خاک زیر پی و در نهایت از کامل ترین سیستم های بهسازی یعنی پی گسترده گروه شمع بهره جست.

ریزشمع به شمع های با قطر کوچک کمتر از (300 mm) اطلاق می گردد که غالباً با تسلیح فولادی سبک و تزریق دوغاب سیمان همراه می باشند. ریزشمع علاوه بر آن که به عنوان یک المان باربر و مقاوم در برابر نشست عمل می کند، بدلیل تزریق دوغاب سیمان، سبب بهبود مشخصات مکانیکی (مقاومتی و رفتاری) خاک اطراف نیز می گردد.

تعیین ظرفیت باربری این سیستم ها به دو صورت قابل انجام است. اول اینکه از یک ضریب اطمینان کلی برای سیستم استفاده شود. (روش تنش های مجاز) و یا اینکه طراحی در حالت حدی انجام پذیرد (روش حالت حدی طراحی). کنترل نشست و چرخش سیستم نیز صرف نظر از روش کلی طراحی، باید به گونه ای انجام شود که مقادیر آنها از مقادیر مجاز بیشتر نشود.

مقادیر مجاز نشست پی ها و چرخش های مجاز به نوع سازه بستگی داشته، در آئین نامه های معتبر و کتب طراحی موجود است.

برای پی های مرکب سه روند طراحی کلی توسط رادولف پیشنهاد شده است. این سه روند عبارتند از:

الف) روش سنتی: در این روش شمع ها برای بخش عمده بارهای وارده طراحی می شدند در حالی که پی گسترده سهم بسیار کمی در باربری کل سیستم خواهد داشت.

ب) روش شمع خزشی: در این روش شمع ها برای بارهای سرویس طراحی می شوند، بدین صورت که تحت اثر بارهای سرویس تسلیم می شوند و شروع به حرکت می کنند. این حرکت در باری معدل با حدود ۷۰٪ تا ۸۰٪ ظرفیت باربری نهایی شروع می شود. بدین ترتیب فشار زیر پی کاهش می یابد، به طوری که تنش وارده بر خاک در زیر پی به کمتر از مقدار تنش پی تحکیمی خاک رسیده، نشست بسیار کم می شود.

ج) روش کنترل نشست غیر یکنواخت: شمع ها در این روش با آرایش خاصی در زیر پی ها تعبیه می شوند، به طوری که علاوه بر افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست کلی سیستم، از بروز نشست نایکنواخت کل سیستم جلوگیری کنند.

#### ۴. فرضیات و مشخصات ساده کننده

در این تحقیق مطالعات عددی روی مدل های تحلیلی بر اساس فرضیات ساده کننده ذیل انجام شده است.

- پی و محیط خاک زیر و اطراف آن کاملاً متقارن، سطحی و با عمق مدفون برابر صفر در نظر گرفته شده است.
- ابعاد پی سازه  $20 \times 20$  متر است.
- ابعاد محیط خاک با توجه به اثرات تنش در محیط خاک  $200 \times 200 \times 100$  متر در نظر گرفته شده است.
- خاک از نوع دانه ای غیر چسبنده، همگن و هموزن می باشد.
- خصوصیات خاک قبل و بعد از اجرای ریزشمع، ثابت است.
- پی به صورت کامل به سطح خاک اتصال دارد یعنی کف پی زیر است.
- مدل رفتاری خاک موهر کولمب می باشد.
- مدل رفتاری ریز شمع، الاستیک همسان است.

#### ۵. کالیبراسیون و هندسه مدل تحلیلی

مدل موهر کولمب به دلیل در دسترس بودن پارامترهای مورد نیاز آن در اکثر مسائل ژئوتکنیکی مورد استفاده قرار می گیرد. در این تحقیق بر اساس رفتار خاک و ملات تزریقی، از مدل موهر کولمب برای خاک دانه ای با مشخصات مکانیکی زیر مطابق جدول (۱) و از مدل الاستیک ایزوتروپ برای پی استفاده شده است.

جدول ۱- مشخصات مکانیکی خاک در زیر پی سطحی مدل شده

$E$	$\rho$	$c$	$\phi$	$\nu$	$\psi$
$2.5e7 \text{ Pa}$	$1800 \text{ kg/m}^3$	$0 \text{ Pa}$	$33^\circ$	$0.35$	$0$

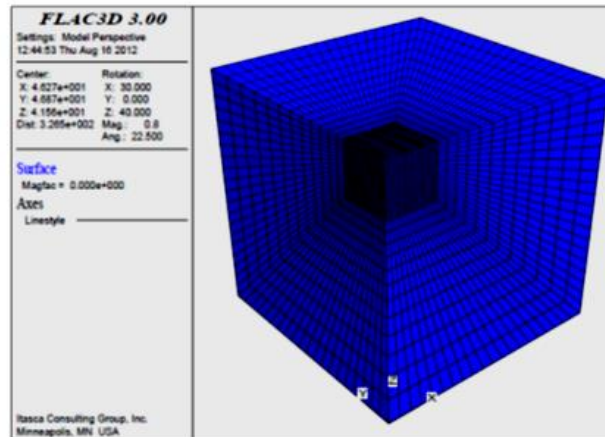
بعد مدل در جهت افقی:

با توجه به انتخاب پی گسترده با ابعاد  $20 \times 20$  متر و روابط مربوطه که حکایت از اعمال تنش در سطح افق تا فاصله ۵ برابر عرض پی دارد، ناگزیر به تعیین بعد مدل خاک در جهت افقی به طول ۱۰۰ متر در ۲ جهت مثبت و منفی محور مختصات شده ایم تا تاثیرات تنش و جابه جایی در لایه های جانبی خاک قابل اغماض باشد و این ابعاد در ۲ جهت مختصات  $X, Y$  ادامه دارد و ایجاد شبکه مربعی مدل خاک با ابعاد  $200 \times 200$  متر را شامل شده است.

بعد مدل در جهت قائم:

با توجه به روابط موجود که نشان از تاثیر تنش حاصل از نیروهای وارده بر پی تا عمق ۴ الی ۵ برابر عرض پی دارد در اینجا نیز بعد مدل خاک به طول ۱۰۰ متر انتخاب می گردد تا مدل خاک در ۳ جهت  $X, Y, Z$  دارای ابعاد  $200 \times 200 \times 100$  متر باشد. که البته با توجه به تقارن مدل ساخته شده و ایجاد پی گسترده در وسط مدل خاک و برای کاهش زمان تحلیل مدل از کل محیط ساخته شده تنها یک چهارم آن مطابق شکل (۱) که دارای ابعاد  $100 \times 100 \times 100$  متر می باشد انتخاب و مدل کرده ایم که در این مدل سازی پی به ابعاد  $10 \times 10$  متر در گوشه مدل قرار می گیرد.

بعلت تقارن هندسه خاک و بارگذاری محوری و در جهت صرفه جویی در زمان و حجم محاسبات و کاهش حجم فایل های خروجی، لازم نیست کل هندسه مدل به طور کامل در مدل سازی وارد شود لذا قسمتی از کل هندسه مدل در نظر گرفته می شود که در این تحقیق یک چهارم کل هندسه مدل در مدل سازی وارد می گردد.

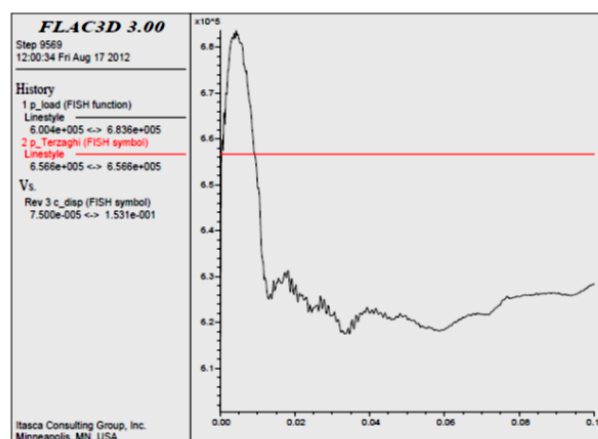


شکل ۱- نمایش هندسه مدل ساخته شده در پژوهش در جهت محور های (X, Y, Z)

## ۶. مطالعات عددی و تحلیل های پارامتریک

پس از انتخاب مدل مکانیکی موهر کولمب با مشخصات مکانیکی مورد نظر جهت تحلیل مقدار ظرفیت باربری پی، با انجام مراحل تحلیل مقادیر تغییر شکل های به دست آمده در هر گام نسبت به بار اعمال شده در نموداری به شکل (۲) آورده شده است. برای مقایسه جواب نرم افزار با روابط تئوریک از فرمول ترزاقی بصورت زیر استفاده شده است.

$$q_{ult} = CN_c + \bar{q}Nq + \frac{1}{2} \gamma BN\gamma \quad (2)$$

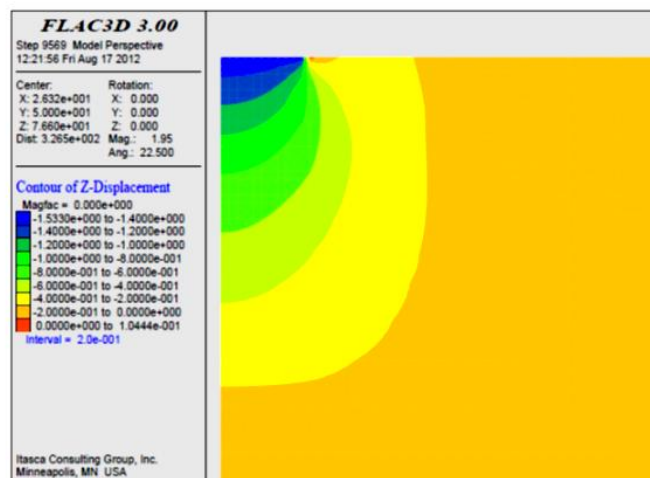


شکل ۲- نمودار ظرفیت باربری نهایی و ترزاقی پی گسترده بر حسب جابجائی قائم-خروجی نرم افزار

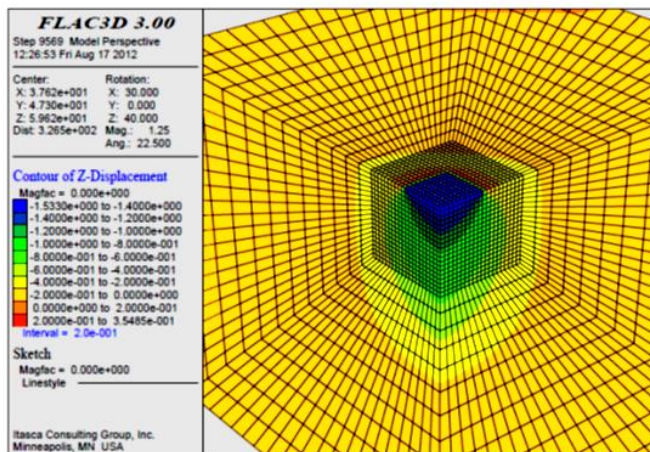
اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران  
 دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی  
 ۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲

بطوری که ملاحظه می شود، ظرفیت باربری به دست آمده از نرم افزار (۶×۱۰<sup>۵</sup>) می باشد که به نتایج رابطه ترزاقی که عبارت است از (۶/۵×۱۰<sup>۵</sup>)، نزدیک است و این اختلاف نیز ناشی از مبانی تحلیل تفاضل محدود در نرم افزار می باشد که نتایج واقعی تری نسبت به رابطه تقریبی ترزاقی ارائه می دهد.

حال پس از حصول مقادیر تنش نهائی خاک زیر پی، امکان بهره برداری از سایر نتایج به دست آمده از تحلیل عددی نرم افزار با تولید کانتورهای پارامتریک وجود خواهد داشت. لذا در ابتدا شبکه ی تغییر شکل یافته ی المان ها در نمای سه بعدی ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود، مش بندی در نواحی زیر پی در اثر اعمال تدریجی بار به صورت قابل ملاحظه ای دچار دگرگونی شده است که نشان دهنده ی نشست نسبی المان ها در آن منطقه می باشد. همچنین در دیواره های مدل نیز نشست صفر مشاهده می شود که با توزیع تنش در آن نقاط همخوانی دارد.



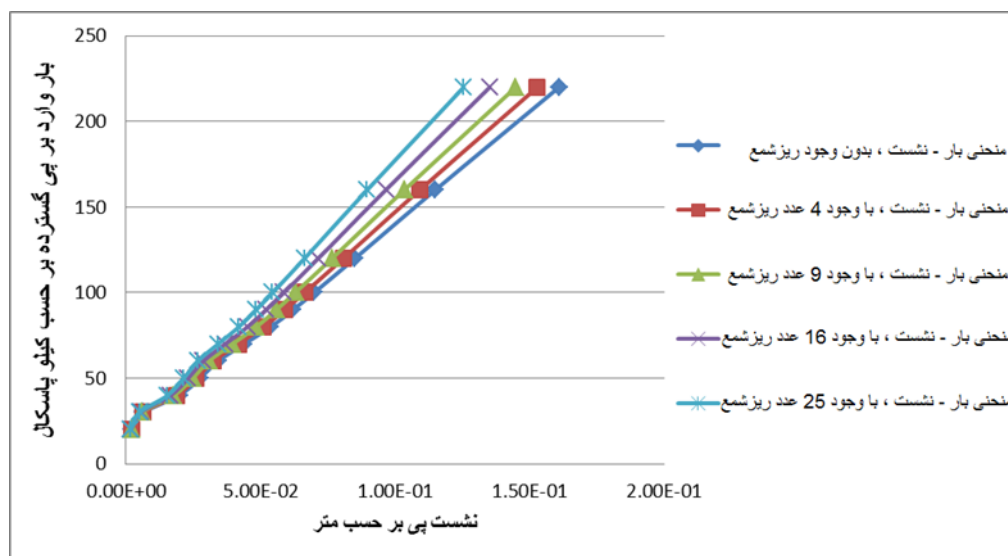
شکل ۳- کانتور جابه جایی در راستای قائم در جهت محورهای X, Z



شکل ۴- کانتور جابه جایی در راستای قائم در جهت محورهای X, Y, Z

حضور ریزشمع ها بعنوان المان های خارجی که به محیط مورد مطالعه اضافه می شوند رفتار زمین و تخمین ظرفیت باربری را دست خوش تغییراتی خواهد کرد که تمرکز عمده این تحقیق، روی بررسی این موضوع است. در این میان تعداد، فواصل و نحوه چیدمان ریزشمع ها از جمله پارامترهای مورد بحث و تاثیر گذار خواهند بود.

در این تحقیق شالوده از نوع گسترده و با ضخامت کافی (صلب) و به ابعاد ۲۰\*۲۰ متر می باشد که در هر امتداد تا فاصله ۱۰۰ متری خاک زیر و اطراف آن در محیط مورد مطالعه در نرم افزار Flac 3d مدل سازی شده است که با توجه به شرایط تقارن مرکزی موجود تنها یک چهارم محیط مورد مطالعه، با در نظر گرفتن شرایط مرزی مناسب که در فصل های پیشین اشاره شد مدل سازی و مورد تحلیل قرار گرفته است. در کلیه تحلیل های انجام شده در این بخش پارامترهای مشخصه زمین و ریزشمع ها، ثابت و در حد متعارف برای خاک چسبنده در نظر گرفته شده اند. با تغییر تعداد ریزشمع ها و ثابت نگه داشتن فواصل، می توان تاثیر تغییر تعداد ریزشمع ها را بر رفتار محیط مورد مطالعه مورد بررسی قرار داد. با در نظر گرفتن اینکه مدل حاضر در واقع ربع فضای واقعی مفروض مسئله است، فواصل را از مرکز ۱ متر اختیار کرده و بعد از آن ریزشمع های بعدی را در فاصله ۲ متری در نظر می گیریم. بدین منظور مدل های تحلیلی با تعداد ۴، ۹، ۱۶ و ۲۵ عدد ریزشمع تهیه و مورد تحلیل قرار گرفته اند. نتایج حاصل در شکل (۵) خلاصه شده است.



شکل ۵- تاثیر تعداد ریزشمع روی منحنی بار- نشست

## ۷. نتیجه گیری

- بر اساس مطالعات پارامتریک و مدل سازی های انجام شده در محیط نرم افزار Flac3D، جهت بررسی ظرفیت باربری پی های مقاوم سازی شده با ریزشمع واقع بر خاک های دانه ای، نتایج ذیل قابل برداشت می باشد:
- مقادیر بدست آمده از باربری نهایی ریزشمع از روش واقعی، به نتایج بدست آمده از روابط تخمینی ناشی از ضریب مقاومت اسمی پیوند مینیمم موجود در آیین نامه FHWA، بسیار نزدیک است.
  - تعداد بهینه برای ریزشمع ها برای رسیدن به بالاترین میزان ظرفیت باربری در شالوده به ابعاد ۲۰\*۲۰ متر، ۱۰۰ عدد با چیدمان ترجیحاً شطرنجی یا دورچین (چیدمان حاشیه ای) می باشد.
  - کمترین میزان نشست برای تعداد ۱۰۰ عدد ریزشمع ایجاد می شود.

## ۸. مراجع

- ۱- اسلامی، ابوالفضل، "مهندس پی-طراحی و اجرا"، وزارت مسکن و شهر سازی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۵

اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران  
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی  
۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲

- ۲- احمدی گلسفیدی، محمد رضا. کلاتری، کلاتری "تعیین توان باربری و سختی ریز شمع با استفاده از گردآوری نتایج آزمایش های بارگذاری موردی "چهارمین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران - ۱۱ و ۱۲ آبان ۱۳۸۹، تهران، ایران.
- ۳- باولز، جوزف، "تحلیل و طراحی پی، جلد اول" / مترجم اردشیر اطمیابی / تهران، نشر جویبار / چاپ چهارم ۱۳۸۸
- ۴- جلالوند، داود "بررسی و مطالعه تاثیر چیدمان ریزشمع ها بر ظرفیت باربری پی گسترده سطحی واقع بر خاک چسبنده " ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، اردیبهشت ۱۳۹۰ و پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه اراک.
- ۵- روشن ضمیر، محمدعلی، "مهندسی پی" انتشارات موسسه علمی دانش پژوهان بری، چاپ اول ۱۳۸۲
- ۶- شاه محمدی، حسین "ارزیابی باربری شالوده ها" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین المللی امام خمینی، ۱۳۸۹
- ۷- قمری، الیاس. قربانی، علی "آزمایش مقیاس واقعی و مدلسازی عددی ریز شمع ها در خاک ماسه ای" چهارمین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران ۱۱ و ۱۲ آبان ۱۳۸۹، تهران، ایران.

8- Alsaleh, I. Shahrour. "Influence of plasticity on the seismic soil- micro piles- structure interaction" Soil Dynamics and Earthquake Engineering , 2009.

9- Bently, K. J., El. Naggar, M. H., "Numerical Analysis of Kinematic Response of Single Piles", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 37, No. 6, pp.1368-1382. , 2000

10- Chen, J.W,"Determination of Drained friction angle of sand from CPT", journal of Geotechnical Engineering, Vol.122, No.5, pp.374-380, 1996

11- Liew, S. and Fong, c.c. "Design and construction of micropiles". Geotechnical course for pile foundation & construction, 2003.

12- Veludo, J., E.N.B.S. Júlio, E.N.B.S. Júlio "Compressive strength of micro pile-to-grout connections". Construction and Building Materials (2011)

13- Zhv, F.clark (2001),"Scale effect of strip and circular footing resting on Dense and Sand", Canadian Geotechnical journal, pp.613-620