

## بررسی عددی رفتار لرزه‌ای گروه ریزشمع با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش سازه - خاک - ریزشمع

وحید اصغری<sup>۱</sup> و رسول جانی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد ژئوتکنیک، گروه عمران، واحد علوم و تحقیقات آذربایجان شرقی، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز

(دریافت: ۹۵/۹/۲۹، پذیرش: ۹۶/۵/۳، نشر آنلاین: ۹۶/۵/۲۸)

### چکیده

ریزشمع‌ها در چند دهه اخیر از سوی مهندسين مقبولیت زیادی پیدا کرده‌اند. مشاهدات تجربی نشان می‌دهد که رفتار ریزشمع‌ها در برابر نیروهای زلزله به خاطر دارا بودن شکل‌پذیری بالا، رفتار بهتری دارند. در حالی که رفتار لرزه‌ای ریزشمع‌ها به جز موارد محدودی از مدل‌های آزمایشی واقعی و مقیاس شده و تعداد محدودی مدل‌سازی عددی به طور کامل ارزیابی نگردیده است. در این تحقیق رفتار فونداسیون‌های مستقر بر روی ریزشمع که تحت بارهای قائم و بارهای لرزه‌ای تحت تأثیر فاصله ریزشمع‌ها در گروه بررسی گردیده است. تحقیق حاضر با تمرکز بر روش المان محدود رفتار لرزه‌ای ریزشمع‌ها بررسی گردیده است. در این تحقیق مرزهای قائم جانبی خاک طوری مدل‌سازی شده‌اند که بازتابش امواج رسیده به سمت داخل مدل از بین برود. بررسی‌های پارامتریک بر روی متغیرهای مستقل مثل محتوای فرکانسی حرکت ورودی، مشخصات خاک، فاصله ریزشمع‌ها صورت گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش فاصله بین ریزشمع‌ها عموماً پاسخ ریزشمع‌ها افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که نسبت  $S/D$  (نسبت فاصله ریزشمع به قطر ریزشمع) بر دامنه پاسخ دینامیکی و نیروهای داخلی در ریزشمع‌ها تأثیر می‌گذارد. با توجه به نتایج می‌توان گفت که، ماکزیمم جابه‌جائی در بالای ریزشمع از ۶۱ سانتی‌متر برای خاک رسی به ۴۸ سانتی‌متر برای خاک ماسه‌ای در  $S/D=10$  می‌رسد که نشان دهنده کاهش ۲۸ درصدی با افزایش سختی خاک می‌باشد.

**کلیدواژه‌ها:** گروه ریزشمع، محتوای فرکانسی حرکت ورودی، بار جانبی لرزه‌ای، شبیه‌سازی المان محدود.

### ۱- مقدمه

تحکیم و افزایش مقاومت زمین‌هایی که قابلیت باربری لازم جهت احداث سازه‌های مورد نظر بر روی آن‌ها را ندارند، استفاده از ریزشمع و تزریق دوغاب سیمان می‌باشد که به وسیله این تکنیک علاوه بر تغییر مشخصات مکانیکی و ژئوتکنیکی خاک و افزایش مقاومت آن می‌توان از توان باربری خود ریزشمع نیز به عنوان المان باربر استفاده نمود. استفاده از ریزشمع‌ها از دهه ۵۰ میلادی و بخصوص از اواسط دهه ۸۰ میلادی به صورت قابل توجهی رشد یافته است. اساساً ریزشمع‌ها به عنوان المان‌هایی برای تقویت پی در راستای مقاومت، در مقابل بارگذاری‌های استاتیکی و لرزه‌ای، تسلیح شیب‌ها و پایدارسازی دیواره گودها و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند (Bowles, ۱۹۹۷).

شواهد تجربی نشان می‌دهد که ریزشمع‌ها تحت بار لرزه‌ای عملکرد مناسبی دارد که این به خاطر انعطاف‌پذیری بالای آن‌ها می‌باشد. ریزشمع‌ها با توجه به سختی کم و شکل‌پذیری بالا، دارای خاصیت استهلاک انرژی زیادی نسبت به شمع‌ها می‌باشند. بعد از

عمر مفید ساختمان‌ها در کشورهای پیشرفته به بالای ۱۰۰ سال می‌رسد. این امر نه تنها به خاطر ساخت و ساز بهتر و استفاده از مصالح با کیفیت بالا در ساختمان‌ها، بلکه به دلیل مقاوم‌سازی با ابعاد وسیع و گسترده می‌باشد. گستردگی و کاربرد این روش در این کشورها همراه با تحقیقات علمی و عملی است. همچنان که از روش‌های قدیمی استفاده می‌شود روش‌های نوین نیز در عرصه ساخت و ساز وارد شده است. یکی از مقاوم‌سازی‌های معمول جهت افزایش عمر مفید ساختمان مقاوم‌سازی خاک‌های سست زیر پی ساختمان می‌باشد. به طور معمول در مواجهه با خاک‌های مسئله‌دار نظیر خاک‌های سست با قابلیت باربری کم و نشست-پذیری زیاد دو راه پیش روی مهندسين ژئوتکنیک قرار دارد:

- استفاده از المان باربر در خاک
- بهسازی و اصلاح خواص فیزیکی قرارگیری یکی از جدیدترین، سریع‌ترین و باصرفه‌ترین روش‌ها برای

\* نویسنده مسئول؛ شماره تماس:

### ۳- مدل سازی

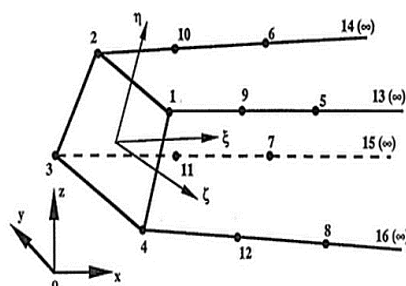
در این تحقیق مدل سازی سازه و گروه ریزشمع در نرم افزار آباکوس می باشد. به همین منظور برای مدل سازی اعضای سازه ای تیر و ستون و ریزشمع ها از المان Beam و فونداسیون و خاک ناحیه نزدیک از المان Solid با ۸ گره استفاده گردیده است. برای مدل سازی ناحیه دور خاک از المان Solid با ۸ گره که ۴ گره آن در بی نهایت می باشد، استفاده شده است.

### ۳-۱- شرایط مرزی

استفاده از روش المان محدود در آنالیز دینامیکی از جهاتی متفاوت از طریقه استفاده از آن در مسائل استاتیکی است و علت آن در تفاوت در شرایط مرزی است. این تفاوت از آنجا ناشی می شود که در این نوع از آنالیز باید محیط نامحدود خاک در اطراف و بعضاً در جهت عمودی را نیز مدل کرد. سازه های مدفون در آنالیز المان محدود عموماً فرض می شوند که در اطراف، توسط محیط نامحدودی احاطه شده اند اما سازه هایی که روی سطح خاک و یا در نزدیکی آن قرار دارند فرض می شوند که بر روی محیطی نیمه بی نهایت واقع شده اند.

در آنالیز استاتیکی، شرایط مرزی ثابت را می توان در محدوده مناسبی از سازه فرض کرد، اما در آنالیز دینامیکی چنین امکانی وجود ندارد از این جهت که این مرزها باعث انعکاس موج هایی که می خواهند از محیط خارج شوند به داخل محیط می شود که باعث افزایش انرژی موجود در مدل و ایجاد خطا می گردد. ایجاد مدلی بزرگ نسبت به ابعاد سازه می تواند تا حدی این مشکل را برطرف کند. به این علت که میراگر مادی مواد باعث می شود که پس از چندی انرژی موجود در موجها را جذب کرده تا این که به مقدار ناچیزی در محدوده مرزی برساند (Bathe, ۱۹۹۶).

المان های نامحدود در مسائلی که نیاز به مدل کردن مرزهای بی نهایت است و یا مسائلی که نیاز به بررسی فقط قسمتی کوچک از مدل می باشد و بقیه مدل را از این طریق نشان می دهند، استفاده می شود. از این المانها معمولاً در کنار المان های محدود و چسبیده به آنها استفاده می شود.



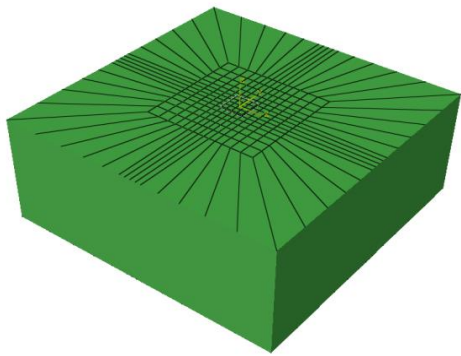
شکل ۱- تابع شکل در المان نامحدود سه بعدی (Bathe, ۱۹۹۶)

زمین لرزه کوبه در سال ۱۹۹۵ نشان داده شد که ریزشمعها بازده خوبی در برابر بارهای لرزه ای دارند (Shahrouh و Sadek, ۲۰۰۵). Mortezai و Abdollahi (۲۱۰۵) با استفاده از تحلیل عددی نحوه آرایش ریزشمع در زیر فونداسیون را بررسی کردند. در این تحلیل نسبت طول به قطر ریزشمع بررسی گردید.

با توجه به اهمیت ریزشمعها، رفتار گروهی ریزشمعها بالاخص رفتار دینامیکی آن با در نظر گرفتن اندرکنش خاک-سازه-ریزششمع، به طور کامل مطالعه نشده است و همچنین در اکثر بررسی های انجام شده تأثیر اینرسی ناشی از جرم سازه فوقانی بر پاسخ گروه ریزشمع بررسی نگردیده است. آنالیز دینامیکی خاک و اندرکنش خاک با ریزشمعها یک مسئله بسیار پیچیده است که این پیچیدگی شامل رفتار غیرخطی خاک، شکاف و لغزش بین خاک و ریزشمعها، شرایط مرزی پیچیده (مخصوصاً در لرزه ای عمودی) و رفتار غیرخطی ریزشمع است. با توجه به افزایش استفاده از ریزشمع و محدودیت تعداد آزمایشات با مقیاس واقعی و مطالعات عددی می توان از روش المان محدود که یک ابزار عددی جهت درک رفتار لرزه ای ریزشمعها فراهم می کند و می تواند به عنوان ابزاری جهت مطالعه پارامتریک پارامترهای مؤثر در رفتار لرزه ای ریزشمعها مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور در این تحقیق از نرم افزار Abaqus که قابلیت زیادی در مدل سازی اجزای سازه ای در محیط خاکی دارد و مکانیسم آن بر اساس روش المان محدود می باشد استفاده شده است.

### ۲- اندرکنش خاک-سازه

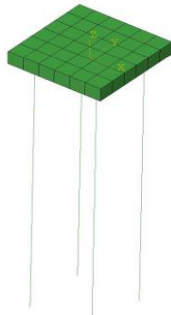
در بررسی دینامیکی مدل های ژئوتکنیکی در نظر گرفتن تبادل نیرو بین توده خاک و سازه مجاور آن بسیار با اهمیت بوده که در بررسی های اخیر نشان داده شده است که اثرات اندرکنش خاک-سازه می تواند هم در جهت اطمینان بوده و هم در خلاف جهت اطمینان. مسئله اندرکنش خاک-سازه در مواردی که فونداسیون مورد نظر به صورت فونداسیون عمیق بوده و به صورت پیوسته به همراه سازه و فونداسیون اجرا می گردند، بایستی به صورت اندرکنش خاک-سازه-ریزششمع بررسی گردد. به طور کلی مسئله اندرکنش به دو صورت اندرکنش سینماتیکی و اندرکنش اینرسی بررسی می گردد. این دو مکانیزم (اندرکنش سینماتیکی و اینرسی) با هم و با تأخیر زمانی کمی به وقوع می پیوندند. در این تحقیق با توجه به این که سیستم سازه و فونداسیون زیر آن به همراه گروه ریزشمع در نرم افزار مدل سازی می گردد، به همین جهت می توان گفت که هر دو نوع اندرکنش سینماتیکی و اینرسی در تحلیلها در نظر گرفته شده است (Keramer, ۱۹۹۶).



شکل ۲- مدل سه بعدی خاک ناحیه نزدیک و خاک ناحیه دور

با توجه به این که در این تحقیق از نسبت بدون بعد  $s/d$  برای ریزشمع‌ها استفاده شده است، به همین جهت ابعاد فونداسیون نیز براساس قطر ریزشمع انتخاب می‌گردد. ابعاد به صورتی انتخاب شده است که ریزشمع‌ها از لبه فونداسیون ۵۰ سانتی‌متر فاصله داشته باشد. در ادامه ابعاد فونداسیون با توجه به نسبت فاصله به قطر ریزشمع در جدول (۳) ارائه شده است.

در این تحقیق ریزشمع‌ها با استفاده از المان تیر در نرم‌افزار آباکوس که به صورت B31 شناخته می‌شود، مدل‌سازی می‌گردد. با توجه به فرضیات صورت گرفته اتصال ریزشمع به فونداسیون به صورت گیردار بوده و دارای اندرکنش با خاک می‌باشد. در شکل (۳) مدل ساخته شده از ریزشمع نشان داده شده است (Karlsson و Hibbitt، ۲۰۰۸).



شکل ۳- مدل سه بعدی ریزشمع و فونداسیون

مشخصات بتن مورد استفاده در ریزشمع همانند مصالح بتنی مورد استفاده در فونداسیون یا همان سرشمع می‌باشد. ریزشمع از نوع بتنی و با قطر معادل ۲۵ سانتی‌متر و طول ۱۰ متر مطابق مشخصات به کار رفته در مطالعات Honarmande javan می‌باشد.

طرز عملکرد و رفتار این المان‌ها بسیار شبیه به المان‌های کلومین هستند با این تفاوت که گره‌های دور این نوع المان‌ها دارای جابه‌جایی نمی‌باشد. در ضمن این المان‌ها دارای رفتاری خطی هستند که خود تا حدی معرف مرزهای دور هستند (Kuhlemeyer و Lysmer، ۱۹۶۹).

المان‌های نامحدود از طریق تابع نگاشت و تابع شکل فرمول‌بندی می‌شوند. تابع نگاشت نشانگر ارتباط تعریف کرده در نقطه بی‌نهایت به نقطه مدل شده می‌باشد. توابع شکل نیز طرز پخش شدن مقدار مجهول در دامنه المان را نشان می‌دهد. توابع شکل برای المان ۸ گرهی ۳ بعدی در شکل (۱) نشان داده شده است (Bathe، ۱۹۹۶).

بدین منظور برای مدل‌سازی خاک از دو قسمت استفاده شده است قسمت اول ناحیه نزدیک که به وسیله المان solid، ۸ گرهی مدل‌سازی می‌گردد که با توجه به ابعاد داده شده در این منبع ۲۰×۲۰ در نظر گرفته می‌شود. قسمت دوم، ناحیه دور که به وسیله المان‌های بی‌نهایت در نرم‌افزار Abaqus مدل‌سازی می‌گردد که طول المان‌های بی‌نهایت ۱۵ متر با توجه به توصیه‌های Zhang در نظر گرفته می‌گردد (Zhang و Huang، ۲۰۰۹). تنش صفر در گره‌های انتهایی شرط بازتابیده نشدن انرژی به داخل مدل را تأمین خواهد کرد.

مدل‌سازی خاک بر اساس مدل موهر کولمب صورت گرفته است. در این روش مدل‌سازی، مشخصات خاک بر پایه چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی آن‌ها می‌باشد (Dobry و Idris، ۱۹۹۸). مشخصات خاک‌های مورد استفاده در تحلیل، در جدول (۱) آورده شده است. مشخصات خاک‌های مورد استفاده براساس خاک‌های مورد استفاده در تحقیقات محققین انتخاب گردیده است.

فونداسیون یا سرشمع در این تحقیق که ریزشمع‌ها به آن متصل بوده و بارهای رو سازه بر روی آن وارد می‌شود به صورت یک پی گسترده مدل شده است. ابعاد فونداسیون با توجه به مراحل تحلیل متغییر بوده ولی ضخامت آن ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. فونداسیون گسترده از مصالح بتنی بوده و با استفاده از المان Solid، ۸ گرهی مدل‌سازی می‌گردد.

در این تحقیق رفتار مصالح بتنی برای فونداسیون به صورت الاستیک خطی در نظر گرفته شده است. مشخصات مصالح بتنی فونداسیون مطابق مشخصات مصالح معرفی شده توسط Shahrour در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات مصالح خاکی Shahrour ۲۰۱۴ و Honarmande javan، ۲۰۱۴

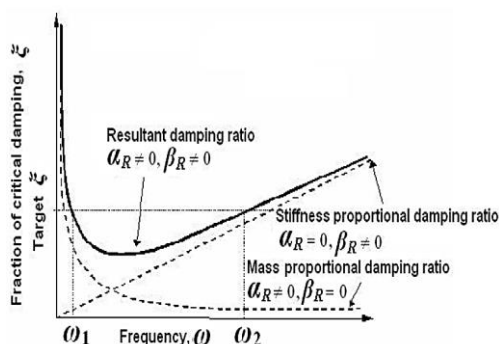
مرجع	$\psi$	$\varphi$	C (Kpa)	$\nu$	E (Mpa)	$\rho$	نوع
Shahrour, 2014	۳	۲۸	۱۵/۴	۰/۳۶	۷۲	۱۹۵۰	خاک رسی
Honarmande javan, 2014	۱۴	۴۱	۰/۰	۰/۳۰	۱۰۵	۱۸۵۰	خاک ماسه‌ای

در خاک مستقل از فرکانس ارتعاش بوده و رفتار هیستریزس خاک به تنهایی می‌تواند بیانگر زائل شدن انرژی در سیستم باشد. از طرفی نتایج آزمایش‌ها در کرنش‌های پایین نشان می‌دهد که رفتار هیستریزس به تنهایی نمی‌تواند پاسخگوی میرایی و استهلاک انرژی در خاک باشد. اغلب در کرنش‌های کوچک، میرایی کم بوده و می‌تواند به صورت میرایی ویسکوز معادل مدل شود (Ghorbani و همکاران، ۲۰۱۴).

ضریب میرایی ویسکوز در یک فرکانس مشخص ارتباط با میرایی بحرانی  $\xi_i$  می‌تواند به صورت زیر بیان شود.

$$\xi_i = \frac{\alpha_R}{2\omega_i} + \frac{\beta_R \omega_i}{2} \quad (1)$$

در روابط فوق،  $\xi$  ضریب میرایی،  $\omega_i$  و  $\omega_j$  فرکانس زاویه‌ای مربوط به مود  $i$  ام و  $j$  ام،  $\alpha$  ضریب میرایی وابسته به جرم و  $\beta$  ضریب میرایی وابسته به سختی می‌باشد. مقدار  $\omega_i$  و  $\omega_j$  باید به گونه‌ای انتخاب شوند که میرایی در بین این دو فرکانس تقریباً ثابت باشد (Clough و Penzien، ۲۰۰۳).



شکل ۴- رابطه بین میرایی مصالح و فرکانس (Shahrou و Alsaleh، ۲۰۰۹)

در این تحقیق برای فرکانس اول، فرکانس طبیعی سیستم خاک و برای فرکانس دوم نیز از فرکانس غالب رکورد زلزله استفاده شده است (Ghorbani و همکاران، ۲۰۱۴).

در محیط خاکی با توجه به امتداد این محیط در مرزها به سمت بی‌نهایت، می‌توان گفت که انتشار انرژی در جهت شعاعی به علت انتشار مؤلفه‌های مختلف موج به حیطه دور میرا می‌گردد. در محیط‌های خاکی در نظر گرفتن میرایی تابشی یا همان میرایی شعاعی به مستهلک سازی امواج ناشی از ارتعاش سازه به پی و محیط دور امری ضروری می‌باشد. به همین دلیل در این تحقیق از امتداد مرزهای خاکی در جهت دور صرف نظر می‌گردد، از المان بی‌نهایت برای تأمین شرایط دور و مدل‌سازی میرایی شعاعی در خاک استفاده گردیده است (Ghorbani و همکاران، ۲۰۱۴).

## جدول ۲- مشخصات مصالح بتنی برای فونداسیون Shahrou

Material	۲۰۱۴				Ref
	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	$\nu$	D (cm)	
concrete	2500	45e4	0.2	25	Shahrou, 2012

## جدول ۳- مشخصات مصالح بتنی برای فونداسیون

Dimantion	s/d=4	s/d=6	s/d=8	s/d=10
	Dimantion	2x2	2.5x2.5	3x3

## ۲-۳- سربار روی سرشمع

در تحلیل‌های لرزه‌ای سیستم ریزشمع و فونداسیون، یکی از مهم‌ترین پارامترها پاسخ سیستم فونداسیون و ریزشمع می‌باشد. با توجه به این که بر روی این نوع فونداسیون‌ها سازه فوقانی وجود دارد، تحلیل رفتار این سازه تحت تأثیر پاسخ فونداسیون زیر آن می‌باشد. نیروهای انیرسی ناشی از سربار روی سرشمع اثرات قابل توجهی بر رفتار ریزشمع دارند. بدین سبب برای بررسی دقیق‌تر و نزدیک به واقعیت رفتار ریزشمع‌ها، سازه ۶ طبقه با مصالح بتنی بر روی فونداسیون به صورت سه‌بعدی مدل‌سازی می‌گردد. با توجه به این که رفتار سازه و همچنین سختی آن در این تحقیق جزء اهداف نمی‌باشند به همین خاطر ابعاد تیر و ستون در یک حد متعادل و صرفاً برای مدل‌سازی سربار اعمالی از طرف سازه بر روی فونداسیون و اثرات جرم آن در حین نیروی زلزله می‌باشد. بنابراین ابعاد تیر و ستون در این سازه به ترتیب برابر  $30 \times 40$  و  $40 \times 40$  انتخاب گردیده است. سازه مورد نظر در هر طبقه بار گسترده  $1200$  کیلوگرم بر مترمربع بار ثقیلی (ترکیب بار مرده و زنده) و همچنین وزن مربوط به المان‌های تیر و ستون را بر روی فونداسیون انتقال می‌دهد.

## ۲-۳- میرایی مصالح

پدیده کاهش تدریجی دامنه ارتعاش، میرایی نامیده می‌شود. در میرایی، انرژی جنبشی ارتعاشی سیستم بنا به مکانیسم‌های مختلفی مستهلک می‌شود. در یک سازه در حال ارتعاش، این مکانیسم‌ها عبارتند از، اصطکاک در اتصالات فولاد، باز و بسته شدن ترک‌های میکروسکوپی در بتن، اصطکاک بین عناصر سازه‌ای و ناسازه‌ای (نظیر دیوارهای جداساز) و موارد مشابه. در محیط‌های خاکی بنا به وجود اصطکاک در مصالح و همچنین نامتناهی بودن خاک از اطراف، انرژی ورودی به خاک مستهلک می‌گردد. در مصالح خاکی با توجه به ماهیت مسئله دو نوع میرایی می‌توان تعریف کرد، میرایی هندسی و میرایی تشعشی (Shahrou و Alsaleh، ۲۰۰۹).

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که در کرنش‌های بزرگ، میرایی

### ۳-۳- اندرکنش سطوح

نرم افزار Abaqus در مواقعی که دو حجم با هم در تماس هستند توانایی مدل کردن اندرکنش بین این دو سطح را دارد. این نرم افزار با استفاده از المان های با طول صفر که دارای مشخصات مماسی و اتکائی است، اندرکنش بین دو سطح را مدل سازی می کند. به همین منظور برای مدل سازی اندرکنش بین ریزشمع و خاک از حالت مدفون در نرم افزار Abaqus استفاده گردیده است. همچنین با توجه وجود تماس بین خاک و فونداسیون، برای مدل سازی این تماس نیز از المان های با طول صفر با رفتار مکانیکی تماسی و عمودی استفاده شده است. رفتار مماسی جهت معرفی سطحی جهت انتقال تنش برشی بین دو سطح تماس با استفاده از فرمولاسیون اصطکاکی پنالتی و رفتار نرمال جهت معرفی سطحی جهت انتقال تنش های نرمال بر سطح و جلوگیری از فرورفتگی دو سطح در تماس به صورت تماس سخت در نظر گرفته شده اند (Hibbitt و Karlsson، ۲۰۰۸).

### ۳-۳- رکورد زلزله

در این تحقیق از سه نوع شتاب نگاشت برای تحلیل لرزه ای انتخاب گردیده است. در هر شتاب نگاشت متناسب با سرعت موج برشی مورد نظر انتخاب گردیده است. مهم ترین مسئله در انتخاب رکورد زلزله نزدیک بودن سرعت موج برشی خاک حامل ایستگاه رکورد زلزله با سرعت موج برشی خاک در نظر گرفته برای مدل می باشد.

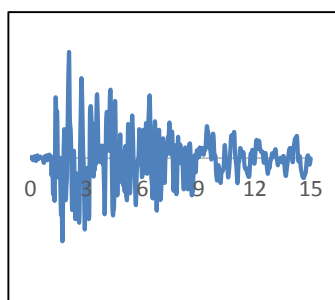
با توجه به سرعت موج برشی خاک های در نظر گرفته شده در یک حد وسط از سرعت موج برشی ۲۱۰ متر بر ثانیه استفاده شده است. با توجه به این که منطقه مورد نظر در این تحلیل برای انجام این تحقیق منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد می باشد، به همین

دلیل تمامی رکوردها با توجه به آئین نامه ۲۸۰۰، به 0.35g مقیاس گردیدند.

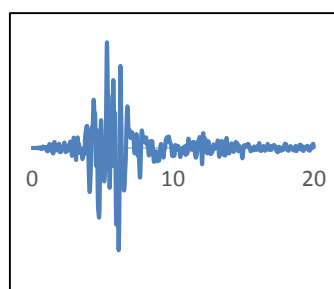
برای کوتاه کردن طول رکورد از معیار طول زمان قوی رکورد استفاده می گردد (Hibbitt و Karlsson، ۲۰۰۸). در این بازه زمانی حرکات قابل توجه و تأثیرگذار زمین اتفاق افتاده و خارج از این بازه زمانی، با تقریب قابل قبولی می توان از وجود تحریک زلزله صرف نظر کرد. در این راستا از روش تریفوناس و باردی (۱۹۷۵) استفاده می گردد. در این روش با تعریف شدت آریاس زمان های بین ۵٪ تا ۹۵٪ شدت آریاس ثبت می گردد. با توجه به این روش مدت زمان رکورد زلزله El-Centro و Kobe ۲۰ ثانیه و زلزله Northridge ۱۵ ثانیه انتخاب گردیده است. در شکل (۴)، نمودار رکورد تاریخچه زمانی شتاب ارائه شده است.

### ۵- صحت سنجی

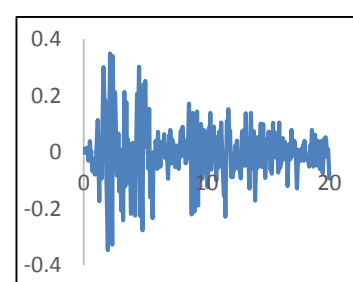
روش های عددی از جمله کارآمدترین روش برای حل مسائل مهندسی می باشند. با توجه به حساسیت بالای این روش ها به شرایط مدل سازی، اطمینان از صحت مدل سازی و نتایج به دست آمده امری ضروری می باشد. در همین راستا در این تحقیق نیز با توجه به این که مدل سازی ریزشمع ها با استفاده از المان Wire می باشد، برای اطمینان از صحت مدل سازی، نتایج حاصله با نتایج تحقیقات معتبر مقایسه خواهد شد. Honarmand Javan و همکارانش مطالعاتی روی ریزشمع ها در سال ۲۰۱۴ انجام دادند. در این مطالعات مدل سازی ریزشمع ها با استفاده از المان Solid توپر و به صورت ریزشمع قائم انجام گرفته است. نحوه مدل سازی خاک اطراف در این تحقیق همانند مدل بررسی شده توسط Honarmand Javan می باشد. کلیه پارامترهای مورد نیاز برای تحلیل در جداول زیر ارائه شده است.



(ج)



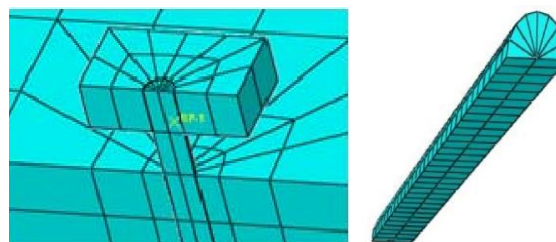
(ب)



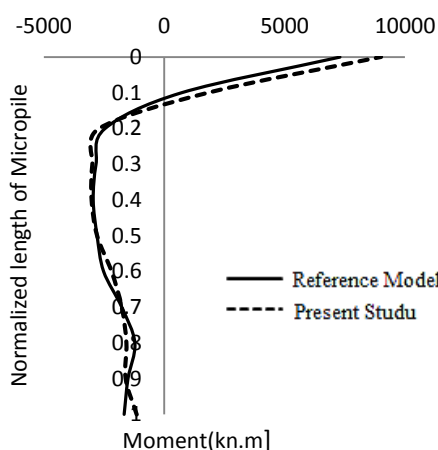
(الف)

شکل ۵- شتابنگاشت مربوط به رکورد زلزله: (الف) El-centro، (ب) Kobe، (ج) Northridge

با توجه به نمودارهای ارائه شده می‌توان گفت که مدل‌سازی ریزشمع‌ها به صورت المان Wire نتایج مشابهی در آنالیز دینامیکی در مقایسه با حالت مدل‌سازی ریزشمع به صورت توپر ارائه می‌دهد. استفاده از این المان مدت زمان آنالیز مسئله را در مقایسه با حالت مدل‌سازی ریزشمع به مقدار قابل توجهی کاهش داده و قادر به مدل‌سازی تمام شرایط موجود می‌باشد.



شکل ۶- مدل سه‌بعدی سرشمع و ریزشمع



شکل ۹- نمودارهای لنگر خمشی مدل Honarmand Javan و تحقیق حاضر

#### ۵- ارائه و تفسیر نتایج

یکی از پارامترهای مهم در تحلیل سیستم ریزشمع و فونداسیون نسبت فاصله ریزشمع در گروه ریزشمع به قطر ریزشمع می‌باشد. سختی ریزشمع تابع فاصله بین ریزشمع‌ها بوده و پارامتری تأثیرگذار در رفتار لرزه‌ای سیستم ریزشمع و فونداسیون می‌باشد. با ازدیاد فاصله بین ریزشمع‌ها رفتار سیستم گروه ریزشمع از حالت رفتار ریزشمع تکی به رفتار گروهی نزدیک می‌شود. در تحلیل‌های لرزه‌ای سیستم ریزشمع و فونداسیون، یکی از مهم‌ترین پارامترها پاسخ سیستم فونداسیون و ریزشمع می‌باشد. با توجه به این که بر روی این نوع فونداسیون‌ها سازه فوقانی وجود دارد، تحلیل رفتار این سازه تحت تأثیر پاسخ فونداسیون زیر آن می‌باشد.

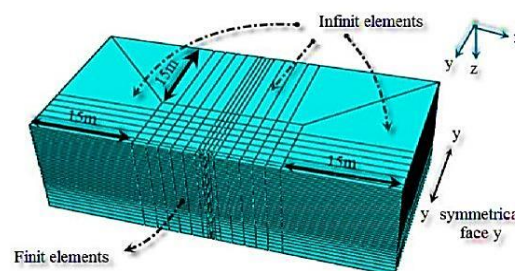
در این قسمت از تحلیل سیستم فونداسیون و ریزشمع‌ها به همراه خاک اطراف آن در دو حالت با وجود سربار قائم و بدون وجود سربار قائم ناشی از سازه فوقانی تحت ۳ نوع رکورد زلزله تحلیل و نتایج بررسی خواهد شد. در حالت وجود سربار قائم بر روی فونداسیون، جرم سازه فوقانی با استفاده از مدل‌سازی سیستم سازه ۶ طبقه مدل‌سازی شده است. در نمودارهای ارائه شده پاسخ نقطه وسط فونداسیون در دو حالت وجود سربار و بدون وجود سربار با حرکت ورودی به سیستم مقایسه گردیده است. در ادامه نتایج مربوط تاریخچه زمانی جابه جایی ریزشمع‌ها تحت نمودارهایی برای فواصل مختلف ارائه شده است.

جدول ۴- مشخصات مصالح خاکی (Honarmand Javan و همکاران، ۲۰۱۴)

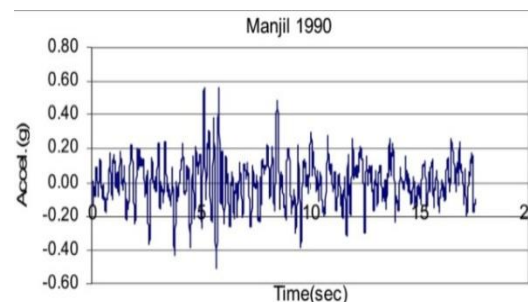
نوع مصالح	ابعاد (متر)	$E$ (Mpa)	$\gamma$	$\rho_s$ ( $kg/m^3$ )
خاک	$20 \times 20 \times 15$	۱۰۰	۰/۳	۱۸۰۰

جدول ۵- مشخصات مصالح خاکی (Honarmand Javan و همکاران، ۲۰۱۴)

طول (متر)	$D$ (cm)	$\rho$ ( $kg/m^3$ )	$E$ ( $N/m^2$ )	$\gamma$
۱۰	۲۰	۲۵۰۰	$2/1e10$	۰/۳

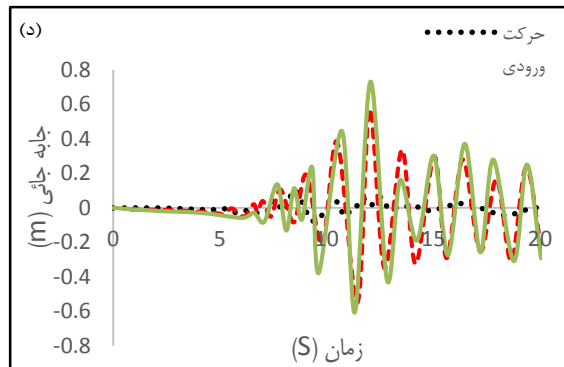
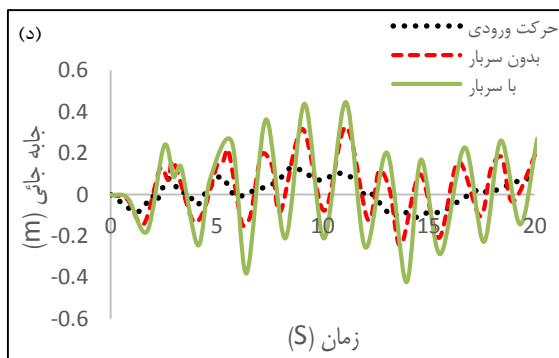
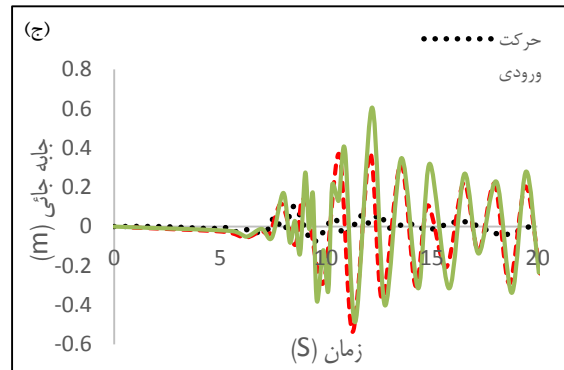
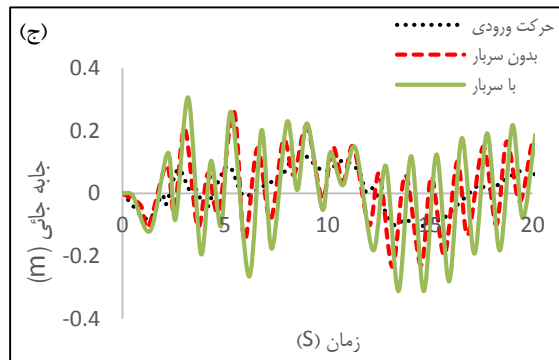
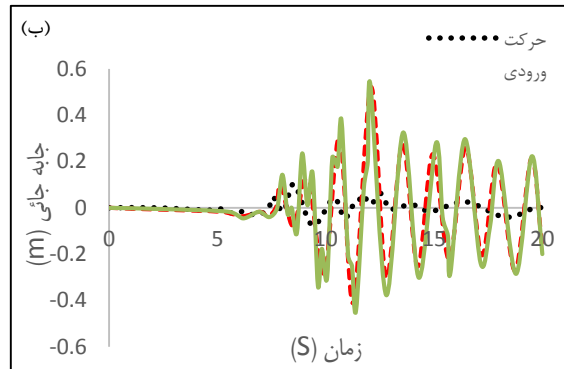
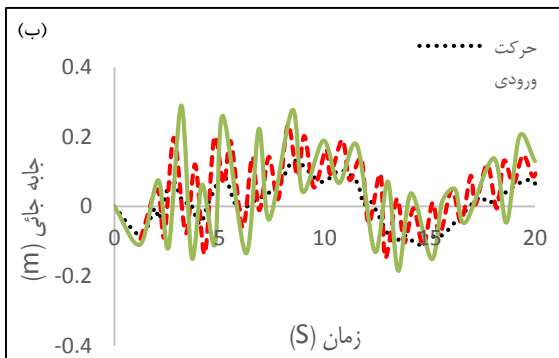
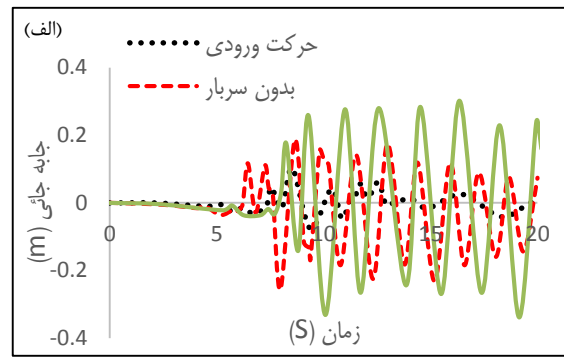
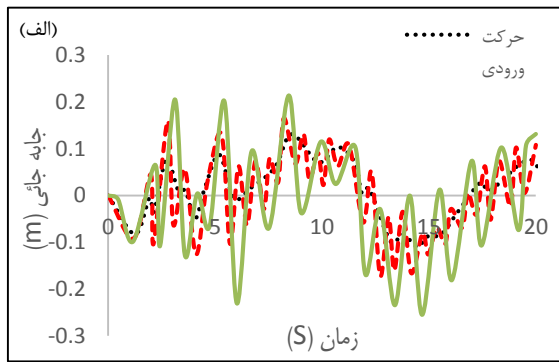


شکل ۷- مدل سه‌بعدی خاک دور و نزدیک (Honarmand Javan و همکاران، ۲۰۱۴)



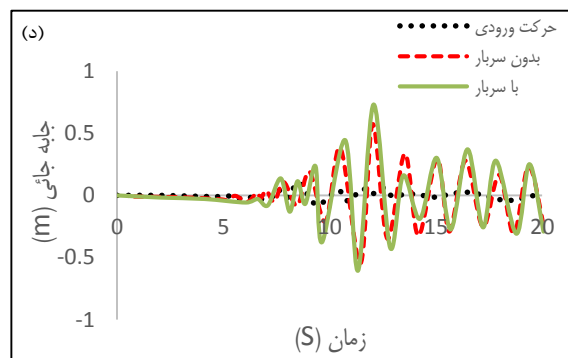
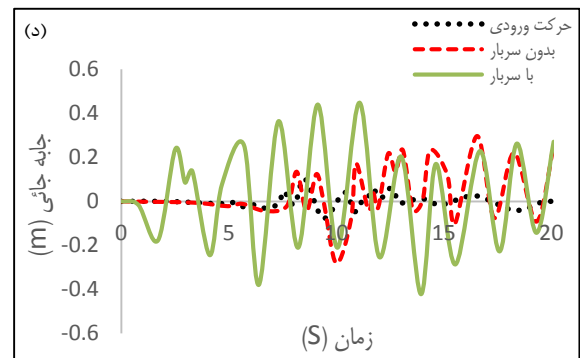
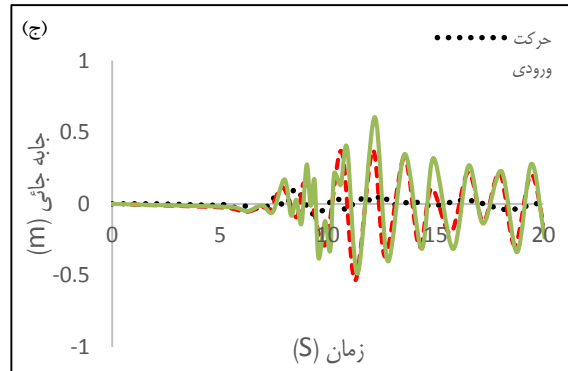
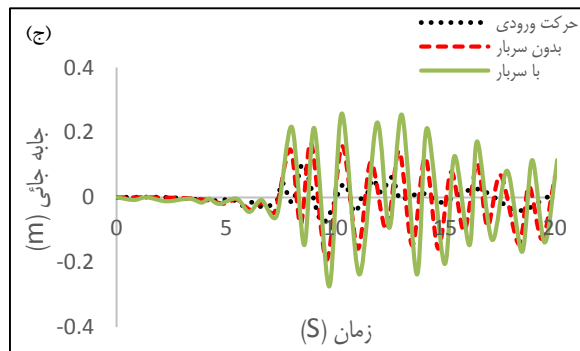
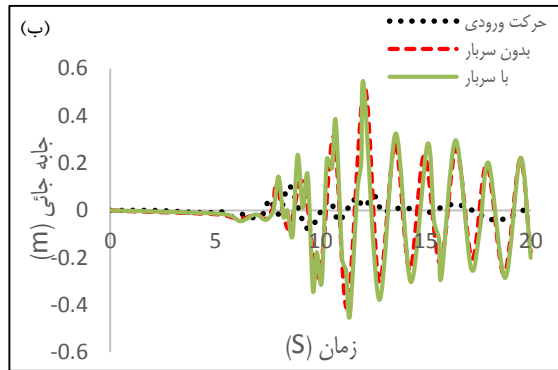
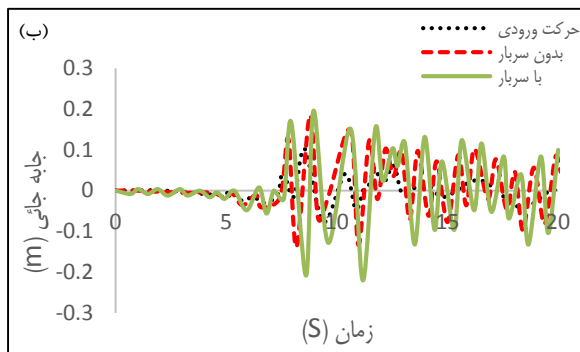
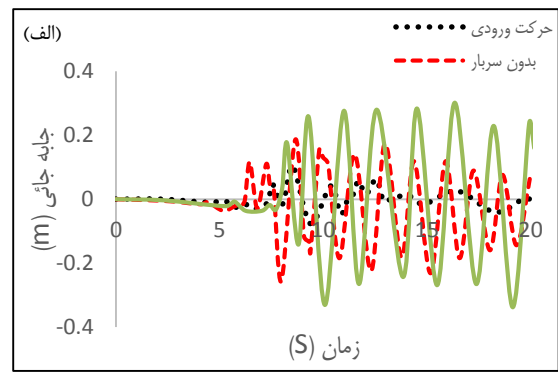
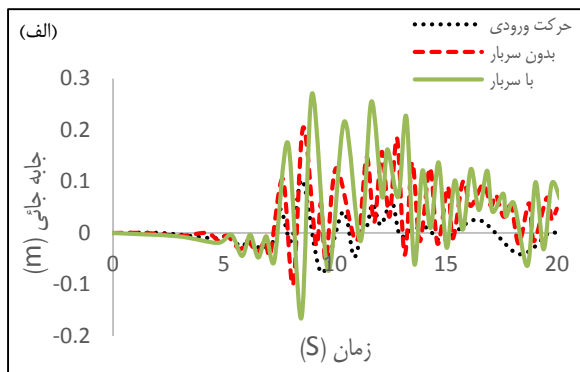
شکل ۸- رکورد زلزله منجیل

ابعاد سرشمع  $1 \times 1$  متر و ضخامت ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. اندرکنش خاک و ریزشمع در مدل هنرمند از نوع تماسی بوده ولی در این تحقیق از حالت ریزشمع مدفون در خاک استفاده شده است. نمودار لنگر خمشی مدل هنرمند و تحلیل انجام شده در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل ۱۱- جابه جائی در نقطه وسط فونداسیون در خاک ماسه برای S/d برابر: الف) ۴، ب) ۶، ج) ۸، د) ۱۰ تحت رکورد El-centro

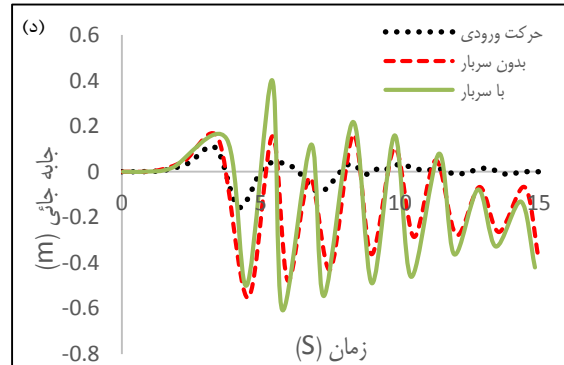
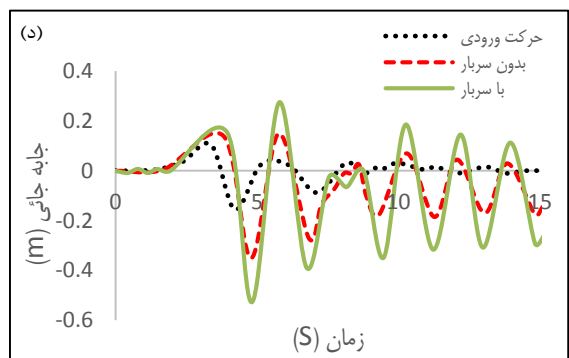
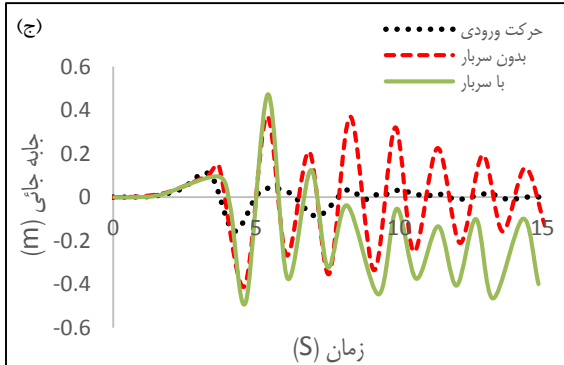
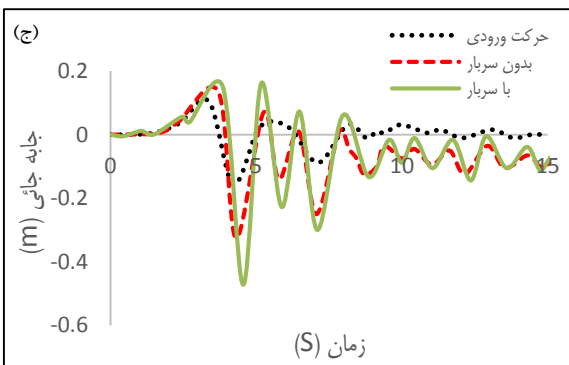
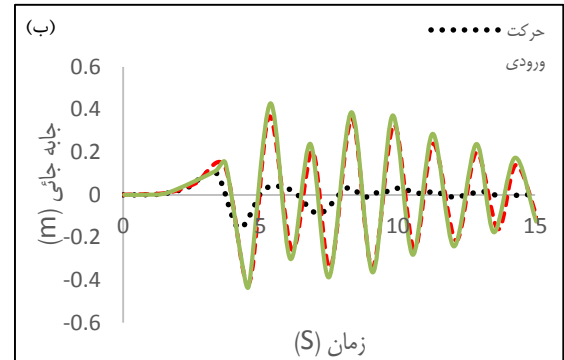
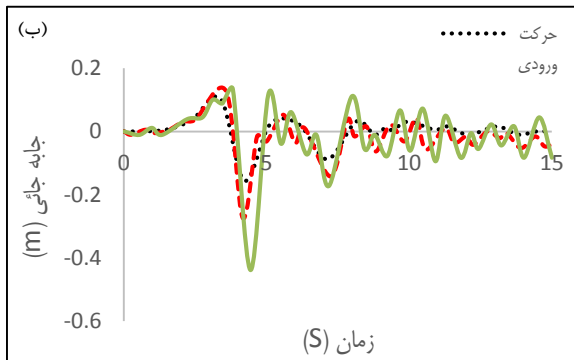
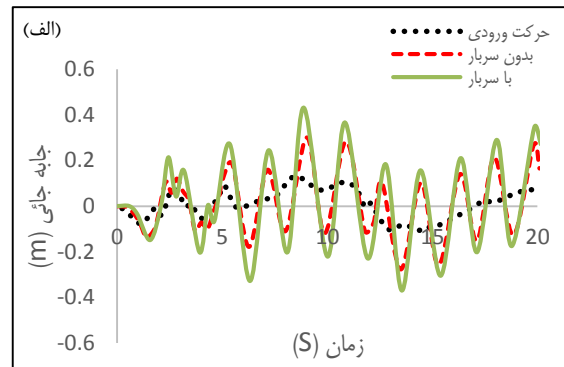
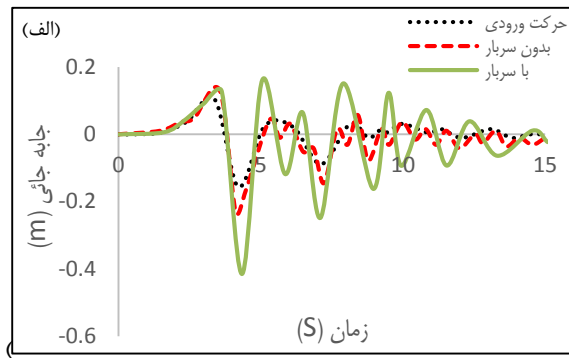
شکل ۱۰- جابه جائی در نقطه وسط فونداسیون در خاک رسی برای S/d برابر: الف) ۴، ب) ۶، ج) ۸، د) ۱۰ تحت رکورد El-centro



شکل ۱۳- جابه جائی در نقطه وسط فونداسیون در خاک ماسه برای  $S/d$  برابر الف) ۴، ب) ۶، ج) ۸، د) ۱۰ تحت رکورد Kobe

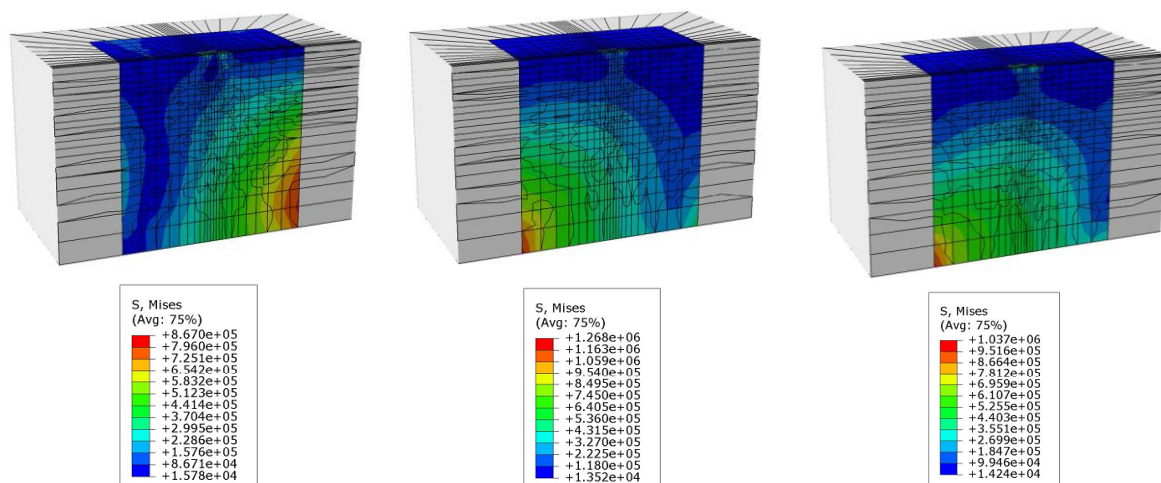
شکل ۱۲- جابه جائی در نقطه وسط فونداسیون در خاک رسی برای  $S/d$  برابر: الف) ۴، ب) ۶، ج) ۸، د) ۱۰ تحت رکورد Kobe





شکل ۱۵- جابه جایی در نقطه وسط فونداسیون در خاک ماسه برای S/d برابر: الف) ۴، ب) ۶، ج) ۸، د) ۱۰ تحت رکورد Northridge

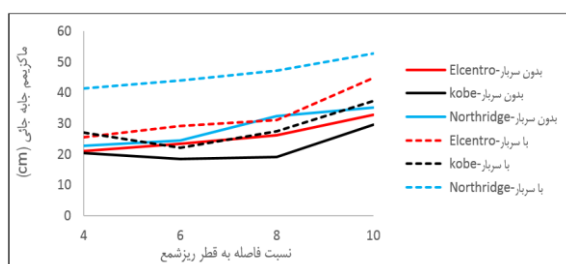
شکل ۱۴- جابه جایی در نقطه وسط فونداسیون در خاک رسی برای S/d برابر: الف) ۴، ب) ۶، ج) ۸، د) ۱۰ تحت رکورد Northridge



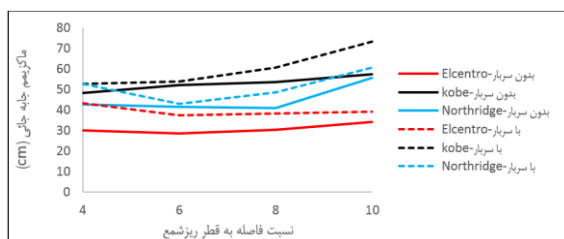
شکل ۱۸- کانتور تنش در توده خاکی  
تحت رکورد El-centro

شکل ۱۷- کانتور تنش در توده خاکی  
تحت رکورد Kobe

شکل ۱۶- کانتور تنش در توده خاکی تحت  
رکورد Northridge



شکل ۱۹- حداکثر جابه جایی در بالای ریزشمع برای S/d  
مختلف برای خاک ماسه‌ای



شکل ۲۰- حداکثر جابه جایی در بالای ریزشمع برای S/d  
مختلف برای خاک ماسه‌ای

از تفسیر نتایج می‌توان موارد زیر را به صورت کلی بیان کرد:

- در خاک‌های رسی، میزان جابه جایی در فونداسیون هم در طول تحریک وارده و هم جابه جایی نهایی نسبت به حالت‌های مشابه در خاک‌های ماسه‌ای، بیشتر بوده که می‌توان این امر را به وجود سختی جانبی کم‌تر در خاک رسی نسبت به خاک ماسه‌ای نسبت داد.

۲- وجود سربار بر روی ریزشمع در تحلیل‌های لرزه‌ای به

با توجه به نمودارهای ارائه شده در مورد مقایسه حالت ریزشمع بدون سربار و ریزشمع با سربار برای نسبت فاصله ریزشمع به قطر ریزشمع می‌توان این گونه بیان کرد که با مقایسه کلی نتایج ارائه شده تحت سه نوع رکورد زلزله پاسخ سیستم تحت رکورد زلزله Northridge بیشتر از سایر رکوردها می‌باشد و همچنین در این زلزله تاریخچه جابه‌جایی در هر دو حالت با سربار قائم و بدون سربار قائم بسیار متفاوت‌تر از حرکت ورودی بوده و در نتیجه جابه‌جایی ماندگار در طی زلزله بیشتر می‌باشد. همچنین در رکورد زلزله El-Centro میزان جابه‌جایی وارده در طی زمان‌های یکسان با سایر رکوردها، بیشتر بوده و این نشان دهنده مخرب بودن زلزله El-Centro می‌باشد. با دقت در نمودارهای ارائه شده می‌توان گفت که با توجه به سختی پائین سیستم گروه ریزشمع در این حالت میزان جابه‌جایی حداکثر در هر سه رکورد زلزله بیشتر از سایر حالات بوده و همچنین اختلاف بین حالت بدون سربار قائم و با سربار قائم نسبت به سایر حالت‌های S/d افزایش یافته است. همچنین با مقایسه نمودارها می‌توان گفت که جابه‌جایی ماندگار در سیستم برای حالت ریزشمع با سربار قائم بیشتر از حالت بدون سربار می‌باشد.

در ادامه نتایج کلی به صورت ماکزیمم جابه‌جایی در خاک رسی و ماسه‌ای به صورت نمودار ارائه می‌گردد. در این نمودارها برای هر یک از نسبت فاصله و قطر ریزشمع و در هر رکورد زلزله حداکثر جابه‌جایی برای دو حالت بدون سربار و با سربار ارائه گردیده است:

- وجود سربار قائم بر روی ریزش‌معمق مقادیر جابه‌جائی را تحت تأثیر قرار داده و مقدار جابه‌جائی نهائی نیز در فونداسیون مستقر بر روی ریزش‌معمق افزایش می‌یابد.
- در خاک‌های رسی با توجه به سختی پائین نسبت به خاک‌های ماسه‌ای و همچنین با توجه به این که در خاک‌های رسی رفتار پی‌های عمیق متأثر از مقاومت جانبی آنها می‌باشد، در ریزش‌معمق‌ها به خصوص در حالتی که نسبت فاصله ریزش‌معمق به قطر آن بیشتر باشد مقاومت جانبی ریزش‌معمق که با توجه به سطح جانبی کم آنها، پائین بوده و نشست نهائی بیشتر می‌گردد.
- تحت زلزله Kobe برای خاک رسی و تحت زلزله Northridge برای خاک ماسه‌ای بیشترین مقدار برای جابه‌جائی در بالای فونداسیون رخ می‌دهد.
- تاریخچه جابه‌جائی ثبت شده برای بالای فونداسیون در خاک رسی دارای مقادیر بیشتری نسبت به خاک ماسه‌ای و در حدود ۱/۵ برابر می‌باشد.
- اعمال سربار بر روی فونداسیون در خاک‌های ماسه‌ای تأثیر بیشتری نسبت به خاک‌های رسی دارد. با اعمال سربار بر روی فونداسیون مستقر بر روی گروه ریزش‌معمق در خاک رسی ۲۵ الی ۴۰ درصد و در خاک ماسه‌ای ۴۰ الی ۷۵ درصد باعث افزایش جابه‌جائی‌ها در بالای فونداسیون می‌گردد.
- در  $s/d=6$ ، تشدید پاسخ فونداسیون مستقر بر روی گروه ریزش‌معمق کم‌تر از سایر حالات می‌باشد.

#### ۷- مراجع

- Abdollahi K, Mortezaei A, "A new expression for determining the bending stiffness of circular micropile groups", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2015, 77, 58-70.
- Alsaleh H, Shahrour I, "Influence of plasticity on the seismic soil-micropiles-structure-interaction", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2009, 29, 574-578.
- Bathe KJ, "Finite element procedures", Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1996.
- Bowles JE, *Foundation Analysis and Design*. 5th Edition, McGraw-Hill Book Co Singapore, 1997.
- Clough RW, Penzien J, "Dynamics of structures", McGraw-Hill Book Co Singapore, 2003.
- Ghorbani A, Hasanzadehshooili H, Ghamari E, Medzvieckas J, "Comprehensive three dimensional finite element analysis, parametric study and sensitivity analysis on the seismic performance of soil-micropile-superstructure interaction", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2014, 58, 21-36.
- Hibbitt, Karlsson, and Sorensen, Inc. "ABAQUS/Standard User's Manual", Pawtucket, RI, 2008.
- Honarmand Javan M, Shaffiee Haghshenas S, Jalilvand P, "Investigate the Effect of Mass Super Structure in Reaction Single Micropile under Dynamic Loading", *Advances in Soil Dynamics and Foundation*

عنوان یکی از عوامل تعیین کننده بوده همان طور که در اکثر نتایج ارائه شده برای حالت بدون سربار و با سربار، جابه‌جائی نهائی و جابه‌جائی در حین تحریک تفاوت چشمگیری داشته که این تفاوت با افزایش فاصله ریزش‌معمق در گروه از یک طرف و کاهش سختی خاک اطراف ریزش‌معمق از طرف دیگر بسیار زیاد می‌گردد.

۳- به جز در زلزله Northridge در بقیه رکورد زلزله‌ها، تاریخچه زمانی جابه‌جائی فونداسیون روندی مشابه با حرکت ورودی با اختلاف در مقدار جابه‌جائی‌ها در زمان‌های یکسان، را طی می‌کنند در حالی که زلزله Northridge در برخی حالات به خصوص در مواقعی که فاصله ریزش‌معمق‌ها بیشتر بوده و خاک از نوع رسی باشد، اختلاف بین مقادیر و روند تاریخچه زمانی جابه‌جائی بیشتر می‌گردد.

۴- با مقایسه نتایج حاصل از ۳ نوع رکورد زلزله می‌توان گفت که در خاک رسی، تحت رکورد زلزله Kobe جابه‌جائی‌های ثبت شده در بالای فونداسیون بیشتر از سایر رکوردها می‌باشد. در حالی که در خاک ماسه‌ای تحت رکورد زلزله Northridge جابه‌جائی‌های ثبت شده در بالای فونداسیون بیشتر از سایر رکوردها می‌باشد.

۵- با توجه به نتایج می‌توان گفت که در خاک‌های رسی جابه‌جائی نهائی موجود در بالای فونداسیون به طور تقریبی ۲۵ الی ۳۵ درصد بیشتر از خاک ماسه‌ای می‌باشد.

۶- با توجه به نتایج عددی استخراج شده می‌توان گفت که در خاک‌های رسی با اعمال سربار بر روی فونداسیون به صورت تقریبی ۲۵ الی ۴۰ درصد جابه‌جائی نسبت به حالت بدون سربار افزایش یافته در حالی که در خاک ماسه‌ای با اعمال سربار بر روی فونداسیون جابه‌جائی ۴۰ الی ۷۵ درصد افزایش می‌یابد.

۷- به طور کلی با توجه به نتایج ارائه شده می‌توان گفت که در نسبت  $s/d$  برابر ۶ و ۸، پاسخ فونداسیون مستقر بر روی گروه ریزش‌معمق نسبت به دو حالت دیگر بهتر می‌باشد. همچنین می‌توان گفت که در  $s/d=6$  تشدید پاسخ فونداسیون بر اثر اعمال سربار کم‌تر بوده و می‌توان بهترین حالت اجرای ریزش‌معمق در نظر گرفت.

#### ۳- نتیجه‌گیری

در این قسمت نتایج کلی حاصل از انجام تحقیق در مورد ریزش‌معمق‌ها به صورت زیر ارائه می‌گردند:

- ریزش‌معمق‌ها نسبت به شمع‌ها به نوع زلزله وارده و محتوای فرکانسی آن به شدت وابسته بوده و پاسخ سیستم گروه ریزش‌معمق به خصوص در حالتی که سربار قائم بر روی گروه ریزش‌معمق وجود داشته باشد به شدت تحریک وارده وابسته است.
- با افزایش نسبت فاصله ریزش‌معمق‌ها در گروه به قطر آنها، اولاً میزان جابه‌جائی افزایش یافته و ثانیاً روند نامنظمی برای جابه‌جائی ریزش‌معمق در طول تحریک نتیجه می‌گردد.

- Engineering, ASCE, 2014, 127, 425-432.
- Idriss IM, Dobry R, Singh RD, "Nonlinear behaviour of soft clays during cyclic loading", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1998, 104, 1427-1447.
- Keramer SL, "Geotechnical earthquake engineering", Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1996.
- Lysmer J, Kuhlemeyer RL, "Finite dynamic model for infinite media", Journal of Engineering Mechanical Division, ASCE, 1969, 859-878.
- Sadek M, Shahrour I, "Influence of the head and tip connection on the seismic performance of micropiles", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2005, 26, 461-485.
- Shahrour I, Alsaleh H, Souli M, "3D elastoplastic analysis of the seismic performance of inclined micropiles", Computers and Geotechnics, 2011, 39, 1-7.
- Zhang Z, Huang C, "Simplified Nonlinear Analysis Methods for Vertically Loaded Piles and Piled Raft in Layered Soil", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 2009, 14, 1-14.

## EXTENDED ABSTRACT

# Evaluation of Lateral Loads Effect on Micropile Groups

Vahid Asghari\*, Rasoul Jani

Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Received: 19 December 2016; Accepted: 25 July 2017

### Keywords:

Micropile group, Frequencies of input motions, Seismic lateral load, Finite Element modeling.

## 1. Introduction

Micropiles have been widely accepted by engineers in recent decades. Experimental observations show that the behavior of the micropiles against the earthquake forces is better because of their high ductility. In this research, was investigated the behavior of foundations based on micropiles under vertical loads and seismic loads. The present study focuses on finite element method of seismic behavior of micropiles. In this study, the vertical lateral boundaries of the soil were modeled to eliminate the reflection of the incoming waves inside the model. Parametric studies have been performed on independent variables such as frequency of inbound movement, soil properties, micropiles distance.

## 2. Methodology

### 2.1. Experimental study

Experimental evidence shows that the micropiles perform well under seismic loads due to their high flexibility. Due to their low hardness and high ductility, micropiles have high energy dissipation properties than candles. After the Kobe earthquake in 1995, it was shown that the micropiles have a good performance against seismic loads (Shahrour, Sadek, 2005). In general, the problem of interaction is investigated in two ways: kinematic interaction and inertial interaction. These two mechanisms (kinematic interaction and inertia) coincide with a slightly delayed time. In this research, since the structural system and its underlying foundation are modeled in software with the micropile, it can be said that both kinematic and inertial interactions are considered in the analysis (Keramer, 1996).

### 2.2. FE modeling

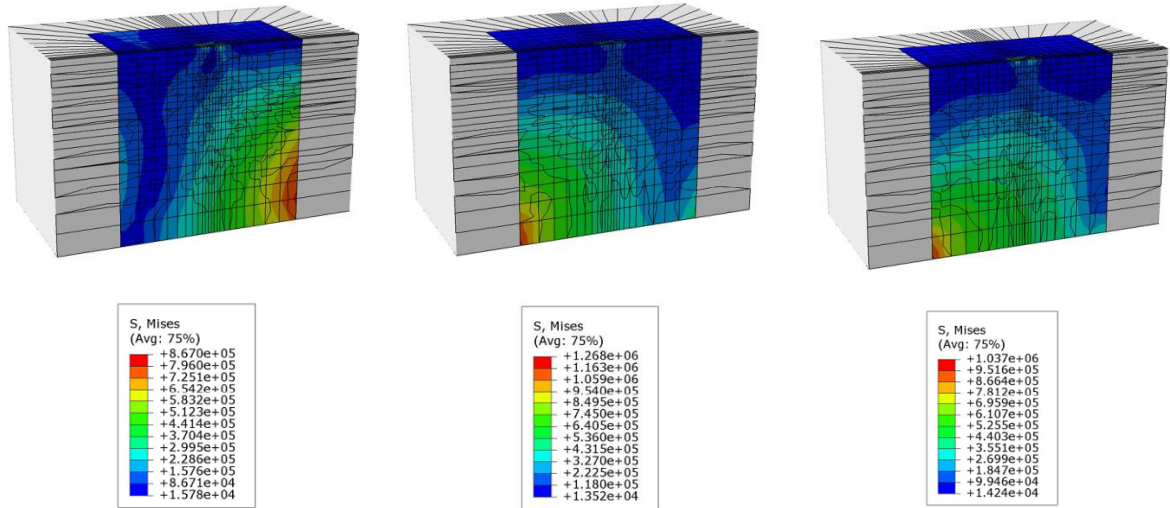
Two parts are used for soil numerical modeling. The first part of the near region is modeled by a solid element, 8 nodes, which is considered  $20 \times 20$  according to the dimensions given in this source. The second part, the distal region modeled by infinite elements in Abaqus software, considers the infinite element length of 15 meters according to Zhang's recommendations (Huang, Zhang, 2009). Zero stress at the end nodes will ensure that no energy is reflected inside the model.

## 3. Results and discussion

One of the most important parameters in the analysis of the microleakage system and the foundation is the micropile distance ratio in the micropile group. Micropiles is a function of the distance between the micropiles and is an effective parameter in the seismic behavior of the micro-assemblies and foundations. By increasing the distance between the micropiles, the behavior of the micro-batch system approaches from the single-batch behavior to the group behavior. One of the most important parameters in seismic analysis is the response of the foundation and micro-system. Given that there are upper structures on these foundations, the behavior analysis of these structures is influenced by the underlying foundation response (Fig. 1-3).

\* Corresponding Author

E-mail addresses: v.asgharii@gmail.com (Vahid Asghari), jani@iaut.ac.ir (Rasoul Jani).

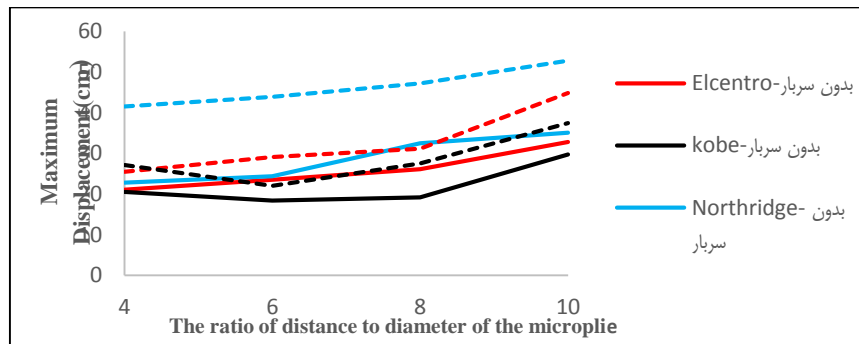


**Fig. 3.** Stress contour in soil mass under record (El-Centro)

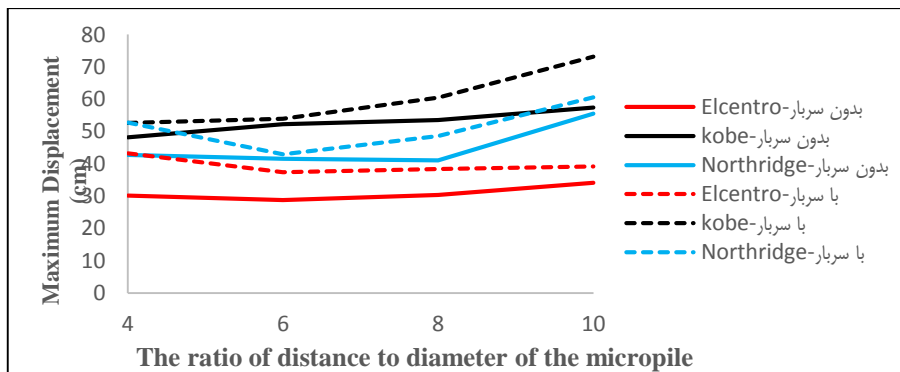
**Fig. 2.** Stress contour in soil mass under record (Kobe)

**Fig. 1.** Stress contour in soil mass under record (Northridge)

In this part of the analysis of foundation system and micropiles with surrounding soil in two cases with vertical overhead and without vertical overhead caused by upper structure under three types of earthquake records will be analyzed and results. In the case of vertical overhead on the foundation, the mass of the upper structure is modeled using 6-story structural system modeling. The overall results are presented as graphs of maximum displacement in clayey and sandy soils. In these graphs, the maximum displacement for both non-overloaded and overloaded modes is presented for each ratio of distance and micropile diameter, and for each earthquake record (Fig. 4-5).



**Fig. 4.** Maximum displacement at the top of the droplet for different S/d for sandy soil



**Fig. 5.** Maximum displacement at the top of the droplet for different S/d for clay

#### **4. Conclusions**

The results of this study show that with increasing the distance between the micropiles, the micropiles response generally increases. The results show that the S/D ratio affects the dynamic response amplitude and the internal forces in the micropiles. An irregular process for displacement of microcosm results during excitation. According to the results, it can be said that the maximum displacement at the top of the micropile reaches from 61 cm for clayey soil to 48 cm for sandy soil at S/D=10, indicating a 28% decrease with increasing soil hardness. Application of overhead on foundation in sandy soils is more effective than clay soils. Increasing the displacement on top of the foundation by applying overburden to the foundation located on the micropile group in the clay soil of 25 to 40% and in the sandy soil of 40 to 75%.

#### **5. References**

- Sadek M, Shahrour I, "Influence of the head and tip connection on the seismic performance of micropiles", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2005, 26, 461-485.
- Keramer SL, "Geotechnical earthquake engineering", Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1996.
- Zhang Z, Huang C, "Simplified Nonlinear Analysis Methods for Vertically Loaded Piles and Piled Raft in Layered Soil", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 2009, 14, 1-14.