



دانشکده مهندسی عمران
پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک

مدلسازی سه بعدی ریزشمع های مایل
و بررسی رفتار آنها تحت بار زلزله

نگارنده: زهره خدابخشی

اساتید راهنما
دکتر مهدی حسینی
دکتر رضا نادری

بهمن ۱۳۹۵

سورة الاحقاف



دانشکده مهندسی عمران
پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک

**مدلسازی سه بعدی ریزشمع های مایل
و بررسی رفتار آنها تحت بار زلزله**

نگارنده: زهره خدابخشی

اساتید راهنما
دکتر سید مهدی حسینی
دکتر رضا نادری

بهمن ۱۳۹۵



پیوست شماره ۲

دانشکده : مهندسی عمران

گروه : ژئوتکنیک

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای / خانم زهره خدابخشی به شماره دانشجویی: ۹۳۰۶۸۶۴

تحت عنوان: مدل سازی سه بعدی ریزشمع های مایل

و بررسی رفتار آنها تحت بار زلزله

در تاریخ ۹۵/۱۱/۱۱ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر مهدی حسینی
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر رضا نادری

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر مهدی گلی		نام و نام خانوادگی : دکتر امیر بذرافشان مقدم
			نام و نام خانوادگی : دکتر محسن کرامتی

تقدیم به

خانواده خوبم

و مادر مهربانم

آهنگ زندگی است طنین صدای تو
هر جا دری برابر من باز می شود
بر چادر نماز تو گل های تازه باز
از بس گلی تو، فکر کنم روز خلقتت
بی من قدم به باغ برینش نمی نهی
ای روی دوش تو همه ی بار غصه ها
جان و تمام زندگیم از تو بوده است
تو هیچ وقت، هیچ نخواهی برای خود

کوک است قلب من به نت لای لای تو
یعنی که هست پشت سر من دعای تو
روییده اند در اثر اشک های تو
از روح خود دمیده به یک گل خدای تو
هر قدر هم بهشت بیفتد به پای تو
بر جا نبود کوه اگر بود جای تو
از خود چه داشتم که بگویم فدای تو
ناقابل است این غزل اما برای تو

« علیرضا خدابخشی »

تشکر و قدردانی:

بر خود لازم می‌دانم از اساتید راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر حسینی و جناب آقای دکتر نادری که نه تنها در به انجام رساندن این پایان‌نامه بلکه در تمام دوره‌ی تحصیلم در مقطع کارشناسی ارشد با راهنمایی‌های ارزشمند خود مرا یاری و حمایت نمودند نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشم.

همچنین از خانواده‌ی عزیزم که همواره پشتیبان و یاری رسان من بوده‌اند، سپاسگزارم.

9

خداوند منان را شاکرم که هیچ کاری خارج از اراده‌ی او ممکن نیست...

چکیده

ریزشمع ها شمع‌هایی با قطر کوچک‌اند که به‌منظور محافظت از فونداسیون و همچنین بهسازی خاک به‌کاربرده می‌شوند و با کمترین تخریب در همه نوع خاک و شرایط زمین و حتی در مناطق با دسترسی محدود نیز قابلیت اجرا دارند. مطالعات گذشته نشان می‌دهند که شمع‌های فولادی با قطر کوچک مقاومت خوبی را در برابر بار زلزله در مقایسه با شمع‌های بتنی مسلح شده و با قطر بزرگ دارند. ریزشمع‌ها را می‌توان به‌صورت مایل و تحت یک زاویه مشخص نسب به خط افق با استفاده از همان تجهیزات مورد استفاده در پروژه‌های تزریق و مهار اجرا نمود. این‌گونه ریز شمع‌ها که ریز شمع‌های مایل نامیده می‌شوند قابلیت تحمل بارهای قائم و جانبی را دارند.

در این مطالعه پاسخ گروه ریزشمع قائم و مایل در خاک با رفتار الاستوپلاستیک تحت بار دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است. سیستم خاک و ریزشمع و روسازه به‌صورت سه بعدی با نرم افزار Abaqus 6.14-2 و تحت رکورد زلزله واقعی مدل‌سازی شده و مورد تحلیل دینامیکی قرار گرفته است. رفتار الاستوپلاستیک خاک با استفاده از معیار موهر کلمب تعریف و میرایی مصالح خاک از نوع میرایی رایلی در نظر گرفته شده است. در تحلیل دینامیکی، مدل‌سازی مرزهای جانبی خاک با تعریف میدان آزاد و اختصاص میراگرهای ویسکوز در جهت عمودی و مماسی انجام شده است. سازه فوقانی نیز به‌صورت سیستم یک درجه آزادی متشکل از یک ستون و جرم متمرکز می‌باشد.

تأثیر چیدمان گروه ریزشمع مایل بر نیروهای داخلی و جابجایی ریزشمع‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. به‌منظور بررسی چیدمان درگروه ریزشمع مایل، در حالت اول ریزشمع‌ها در یک راستا و در حالت دوم ریزشمع‌ها در دو راستا متمایل شده و پاسخ گروه ریزشمع‌ها تحت بار زلزله و همچنین نشست و تنش به وجود آمده در خاک تحت بار استاتیکی و دینامیکی به‌دست آمده و نتایج این دو گروه باهم و همچنین با گروه ریزشمع‌های قائم مقایسه شده است. نتایج نشان داد که تحت بار زلزله در دو جهت، نیروی برشی و ممان خمشی در گروه ریزشمع‌هایی که در دو راستا متمایل شده‌اند نسبت به گروه ریز

شمع‌های مایل شده در یک راستا و گروه ریزشمع قائم به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافته، بنابراین گروه ریزشمع مایل شده در دو راستا عملکرد بهتری در مقابل بار زلزله نسبت به سایر گروه‌های ریزشمع دارد. نتایج نشان داد، تحت بار استاتیکی و دینامیکی ظرفیت باربری خاک با گروه ریزشمع مایل شده در دو راستا نسبت به گروه‌های ریزشمع دیگر افزایش قابل‌ملاحظه و نشست در خاک کاهش یافته است. همچنین مطالعه پارامتریک بر روی گروه ریزشمع‌های قائم و مایل تحت بار زلزله انجام شده است. تأثیر پارامترهایی نظیر زاویه تمایل ریزشمع‌ها و جرم روسازه و شتاب زلزله مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد با افزایش زاویه انحراف، ماکزیمم نیروی برشی و لنگر خمشی و جابجایی افقی به وجود آمده در محل اتصال ریزشمع با کلاهک به‌شدت کاهش و ظرفیت باربری در خاک افزایش یافته است؛ ولی به‌منظور بهبود عملکرد گروه ریزشمع تحت بار زلزله افزایش زاویه انحراف ریزشمع‌ها تا زاویه ۲۰ الی ۲۵ توصیه می‌شود چراکه مشاهده شده است که در زوایای بزرگ‌تر از این مقدار، جابجایی قائم در محل اتصال ریزشمع با کلاهک و همچنین نشست به وجود آمده در خاک افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج مطالعه پارامتریک مشاهده می‌شود که با افزایش شتاب زلزله ماکزیمم نیروی محوری و نیروی برشی، لنگر خمشی و ماکزیمم جابجایی افقی و قائم به وجود آمده در محل اتصال ریزشمع با کلاهک در گروه ریزشمع قائم و مایل افزایش یافته و میزان افزایش نیروها و لنگر خمشی در گروه ریزشمع قائم بیشتر از گروه ریزشمع مایل به‌دست آمده است.

کلمات کلیدی: گروه ریزشمع، ریزشمع مایل، الاستوپلاستیک، تحلیل دینامیکی، اجزاء محدود، آباکوس

مقالات مستخرج از پایان نامه

Zohre Khodabakhshi, Reza Naderi, Seyed Mahdi Hosseini, " Influence of micropiles inclination on the seismic response of micropile group", 5th International Conference on Geotechnical Engineering and Soil Mechanics,347,Tehran, 2016.

Zohre Khodabakhshi, Reza Naderi, Seyed Mahdi Hosseini, "Influence of plasticity on the seismic soil–micropiles– structure interaction", 5th International Conference on Geotechnical Engineering and Soil Mechanics,360,Tehran, 2016.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه..... ۱

۱-۱- کلیات ۲

۱-۲- بیان مسئله..... ۳

۱-۳- ساختار پایان نامه..... ۳

فصل دوم: معرفی سیستم ریزشمع ها..... ۵

۱-۲- تاریخچه ریزشمع..... ۶

۲-۲- معرفی ریزشمع..... ۸

۲-۳- کاربردها و طبقه بندی..... ۹

۲-۴- سیستم طبقه بندی ریزشمع..... ۱۱

۲-۴-۱- طبقه بندی بر اساس نوع طراحی..... ۱۱

۲-۴-۲- طبقه بندی بر اساس روش اجرا..... ۱۳

۲-۵- عوامل مؤثر در انتخاب ریزشمع ها..... ۱۶

۲-۵-۱- شرایط فیزیکی..... ۱۷

۲-۵-۲- شرایط زیرسطحی..... ۱۷

۲-۵-۳- شرایط محیطی..... ۱۷

۲-۵-۴- سازگاری با سازه موجود..... ۱۸

۲-۵-۵- محدودیت های اجرای ریزشمع..... ۱۸

- ۱۹ ۲-۵-۶- شرایط اقتصادی
- ۲۰ ۲-۶- گام های طراحی
- ۲۲ ۲-۷- آیین نامه طراحی
- ۲۲ ۲-۸- مراحل اجرا
- ۲۲ ۲-۸-۱- حفاری
- ۲۲ ۲-۸-۲- لوله کوبی
- ۲۳ ۲-۸-۳- تزریق
- ۲۴ ۲-۸-۳-۱- مشخصات تزریق
- ۲۴ ۲-۸-۴- تسلیح و نصب فلنج
- ۲۵ ۲-۹-۹- مقایسه روش ریزشمع با سایر روش های تحکیم
- ۲۵ ۲-۹-۱- بعد فنی
- ۲۶ ۲-۹-۲- بعد اجرایی
- ۲۶ ۲-۹-۳- بعد اقتصادی
- ۲۷ ۲-۹-۴- تضمین کیفیت عملکرد
- ۲۷ ۲-۹-۵- مدت زمان اجرا

۲۹ فصل سوم : عملکرد شمع و ریزشمع های مایل و مطالعات پیشین

- ۳۰ ۳-۱- مقدمه
- ۳۰ ۳-۲- مشاهدات عینی عملکرد شمع های مایل

- ۳۲ عملکرد رضایت‌بخش ۱-۲-۳
- ۳۳ عملکرد ریزشمع‌ها در برابر بار زلزله ۳-۳
- ۳۳ مطالعات عددی استفاده از ریزشمع توسط محققین در سال‌های گذشته ۴-۳
- ۳۳ مطالعات کیشیشیتا و همکاران ۱-۴-۳
- ۳۴ ژوران و همکاران ۲-۴-۳
- ۳۵ مطالعات سادک و شاهرور در سال ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶ ۳-۴-۳
- ۳۵ جرلیمس و همکاران ۴-۴-۳
- ۳۶ مقدمه و مدل‌سازی ۱-۴-۴-۳
- ۳۶ نتایج اتصال مفصلی و گیردار ۲-۴-۴-۳
- ۳۶ نتایج در رو سازه بلند ۳-۴-۴-۳
- ۳۷ نتایج در رو سازه کوتاه ۴-۴-۴-۳
- ۳۷ نتیجه‌گیری ۵-۴-۴-۳
- ۳۷ مطالعات وانگ و همکاران ۵-۴-۳
- ۳۷ مطالعات وانگ و همکاران ۶-۴-۳
- ۳۸ مطالعات ژنگ و همکاران ۷-۴-۳
- ۳۸ تنظیم سنسور ۱-۷-۴-۳
- ۳۹ مدل‌سازی عددی آزمایش سانتریفیوژ ۲-۷-۴-۳
- ۳۹ نتایج ۳-۷-۴-۳

۴۲ ۸-۴-۳ مطالعات منفرد

۴۳ ۹-۴-۳ مطالعات اسماعیلی وهمکاران

فصل چهارم: مدل سازی عددی ۴۵

۴۶ ۱-۴-۱ مقدمه

۴۶ ۲-۴-۲ انتخاب روش های اجزاء محدود

۴۷ ۱-۲-۴-۱ المان های مش بندی

۴۷ ۲-۲-۴-۲ ابعاد المان های مش بندی

۴۹ ۳-۲-۴-۳ معیار رفتاری خاک

۵۰ ۴-۲-۴-۴ اندرکنش ریزشمع و خاک

۵۱ ۵-۲-۴-۵ گام های بارگذاری

۵۳ ۶-۲-۴-۶ میرایی خاک

۵۵ ۷-۲-۴-۷ شرایط مرزی

۵۵ ۱-۷-۲-۴-۱ مرزهای جاذب انرژی

۵۶ ۲-۷-۲-۴-۲ مرزهای کلوین

۵۷ ۳-۷-۲-۴-۳ مرزهای نیمه بینهایت

۵۷ ۴-۷-۲-۴-۴ مرزهای میدان آزاد

۵۹ ۸-۲-۴-۱ مدل سازی رو سازه

۵۹ ۳-۴-۳ صحت سنجی مدل

فصل پنجم: بررسی چیدمان گروه ریزشمع..... ۶۳

- ۱-۵- مقدمه..... ۶۴
- ۲-۵- مدل خاک و ریزشمع و سازه..... ۶۴
- ۳-۵- اعمال بار زلزله..... ۶۶
- ۴-۵- بررسی نتایج..... ۶۷
- ۱-۴-۵- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر روی رفتار آنها تحت بار زلزله در راستای X ۶۷
- ۱-۴-۵-۱- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر نیروی محوری..... ۶۷
- ۴-۵-۱-۲- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر نیروی برشی..... ۶۹
- ۴-۵-۱-۳- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر لنگر خمشی..... ۷۲
- ۴-۵-۱-۴- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر تغییر مکان افقی..... ۷۶
- ۴-۵-۱-۵- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر تغییر مکان قائم..... ۷۶
- ۴-۵-۲- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر روی رفتار آنها تحت بار زلزله در راستای X و Y..... ۷۷
- ۴-۵-۲-۱- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر نیروی محوری..... ۷۷
- ۴-۵-۲-۲- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر نیروی برشی..... ۷۹
- ۴-۵-۲-۳- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر ممان خمشی..... ۸۳
- ۴-۵-۲-۴- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر تغییر مکان افقی..... ۸۷
- ۴-۵-۲-۵- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر تغییر مکان قائم..... ۸۹
- ۴-۵-۳- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر روی تنش و نشست خاک تحت بار استاتیکی..... ۹۰

۴-۴-۵- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر روی تنش و نشست در خاک تحت بار دینامیکی..... ۹۲

۴-۴-۵-۱- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر روی تنش و نشست در خاک تحت بار زلزله در

راستای X ۹۳

۴-۴-۵-۲- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر روی تنش و نشست در خاک تحت بار زلزله در

راستای Y,X ۹۵

فصل ششم: مطالعه پارامتریک ۹۹

۱-۶- مقدمه ۱۰۰

۱-۱-۶- تأثیر زاویه انحراف بر پاسخ گروه ریزشمع ۱۰۰

۱-۱-۱-۶- تأثیر زاویه انحراف بر نیروی محوری ۱۰۱

۱-۱-۲-۶- تأثیر زاویه انحراف بر نیروی برشی ۱۰۲

۱-۱-۳-۶- تأثیر زاویه انحراف بر لنگر خمشی ۱۰۴

۱-۱-۴-۶- تأثیر زاویه انحراف بر تغییر مکان افقی در سر ریزشمع ۱۰۷

۱-۱-۵-۶- تأثیر زاویه انحراف بر تغییر مکان قائم سر ریزشمع ۱۰۸

۱-۱-۶-۶- تأثیر زاویه انحراف گروه ریزشمع بر روی تنش و نشست خاک تحت بار

دینامیکی ۱۱۰

۱-۱-۲-۶- تأثیر جرم رو سازه بر پاسخ گروه ریزشمع ۱۱۳

۱-۲-۱-۶- تأثیر جرم رو سازه بر نیروی محوری ۱۱۳

۱-۲-۲-۶- تأثیر جرم رو سازه بر نیروی برشی ۱۱۴

۱-۲-۳-۶- تأثیر جرم رو سازه بر لنگر خمشی ۱۱۶

- ۱۱۷ تأثیر جرم رو سازه بر جابجایی افقی. ۴-۲-۱-۶
- ۱۱۸ تأثیر جرم رو سازه بر جابجایی قائم. ۵-۲-۱-۶
- ۱۱۹ تأثیر شتاب زلزله بر پاسخ گروه ریزشمع. ۳-۱-۶
- ۱۲۰ تأثیر شتاب زلزله بر نیروی محوری. ۱-۳-۱-۶
- ۱۲۲ تأثیر شتاب زلزله بر نیروی برشی. ۲-۳-۱-۶
- ۱۲۳ تأثیر شتاب زلزله بر لنگر خمشی. ۳-۳-۱-۶
- ۱۲۵ تأثیر شتاب زلزله بر جابجایی افقی. ۴-۳-۱-۶
- ۱۲۶ تأثیر شتاب زلزله بر جابجایی قائم. ۵-۳-۱-۶

۱۲۷..... فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- ۱۲۸ مقدمه. ۱-۷
- ۱۲۸ نتیجه‌گیری. ۲-۷
- ۱۲۸ نحوه چیدمان گروه ریزشمع. ۱-۲-۷
- ۱۲۹ مطالعه پارامتریک. ۲-۲-۷
- ۱۳۱ پیشنهادات. ۳-۷

۱۳۳..... مراجع

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) سیستم ریزشمع زنبوری [۱] ۷
- شکل (۲-۲) مراحل اجرای ریزشمع ۸
- شکل (۳-۲) کاربردهای ریزشمع ۱۰
- شکل (۴-۲) ریزشمع های دسته اول [۱] ۱۱
- شکل (۵-۲) ریزشمع های دسته دوم ۱۲
- شکل (۶-۲) طبقه‌بندی ریزشمع ها بر اساس روش اجرا [۱] ۱۳
- شکل (۱-۳) مشاهدات گسیختگی شمع های مایل زلزله Loma Prieta در سال ۱۹۸۹ ۳۰
- شکل (۲-۳) گسیختگی در شمع های مایل در بندر اوکلند بعد از زلزله Loma Prieta در سال ۱۹۸۹ ۳۱
- شکل (۳-۳) جانمایی شتاب سنج ها و سنسورها در گروه شمع مایل [۲۱] ۳۹
- شکل (۴-۳) نتایج تجربی و عددی در دامنه فرکانس [۲۱] ۴۰
- شکل (۵-۳) تاریخچه شتاب در عمق ۱/۲۸ متر [۲۱] ۴۰
- شکل (۶-۳) تاریخچه شتاب در کلاهک شمع در حالت مایل ۴۱
- شکل (۷-۳) تاریخچه شتاب در بالای رو سازه در حالت مایل ۴۱
- شکل (۸-۳) تاریخچه شتاب در کلاهک شمع در حالت قائم [۲۱] ۴۱
- شکل (۹-۳) تاریخچه شتاب در بالای رو سازه در حالت قائم [۲۱] ۴۱
- شکل (۱۰-۳) شمع مایل مثبت و منفی ۴۲
- شکل (۱۱-۳) مدل خاک ریز [۲۳] ۴۳

- شکل (۴-۱) مش بندی مدل خاک در گروه ریزشمع قائم..... ۴۸
- شکل (۴-۲) مش بندی مدل خاک در گروه ریزشمع مایل..... ۴۸
- شکل (۴-۳) مش بندی ریزشمع های قائم و مایل..... ۴۹
- شکل (۴-۴) تاریخچه زمانی شتاب زلزله Kocaeli..... ۵۲
- شکل (۴-۵) طیف سری فوریه جهت تعیین فرکانس غالب بار زلزله (نرم افزار Seismosignal)
..... ۵۴
- شکل (۴-۶) المان های المان های ویسکوز بر اساس روش لیسمر و کول میر..... ۵۶
- شکل (۴-۷) المان های کلوین..... ۵۷
- شکل (۴-۸) مرزهای میدان آزاد و میراگرهای ویسکوز در اطراف خاک..... ۵۸
- شکل (۴-۹) مدل شماتیک مطالعه..... ۵۹
- شکل (۴-۱۰) نمودار لنگر خمشی در طول ریزشمع (صحت سنجی مدل) ۶۲
- شکل (۴-۱۱) نمودار نیروی برشی در طول ریزشمع (صحت سنجی مدل) ۶۲
- شکل (۵-۱) چیدمان گروه ریزشمع ۲×۲..... ۶۴
- شکل (۵-۲) ابعاد کلاهک و فاصله مرکز به مرکز ریزشمع ها، گروه ریزشمع ۲×۲ ۶۵
- شکل (۵-۳) مدل شماتیک سیستم خاک و ریزشمع و سازه و مرزهای جانبی..... ۶۶
- شکل (۵-۴) اعمال بار زلزله در جهت X..... ۶۶
- شکل (۵-۵) اعمال بار زلزله در جهت XY..... ۶۷
- شکل (۵-۶) تاریخچه نیروی محوری در ریزشمع ۱ و ۲، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل
در جهت X و XY- (زلزله در جهت X) ۶۸

شکل (۷-۵) تاریخچه نیروی محوری در ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل درجهت X و XY - (زلزله در جهت X) ۶۸

شکل (۸-۵) نمودار نیروی محوری در طول ریزشمع، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل درجهت X و XY - (زلزله در جهت X) ۶۹

شکل (۹-۵) تاریخچه نیروی برشی در سر ریزشمع ۱ و ۲، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل درجهت X و XY - (زلزله در جهت X) ۶۹

شکل (۱۰-۵) تاریخچه نیروی برشی در سر ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل درجهت X و XY - (زلزله در جهت X) ۷۰

شکل (۱۱-۵) نمودار نیروی برشی در طول ریزشمع ۱ و ۲، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل درجهت X و XY - (زلزله در جهت X) ۷۰

شکل (۱۲-۵) نمودار نیروی برشی در طول ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل درجهت X و XY - (زلزله در جهت X) ۷۰

شکل (۱۳-۵) تاریخچه ماکزیمم ممان خمشی ریزشمع ۱ و ۲، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل درجهت X و XY - (زلزله در جهت X) ۷۳

شکل (۱۴-۵) تاریخچه ماکزیمم ممان خمشی در بالای ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و مایل درجهت X و XY - (زلزله در جهت X) ۷۳

شکل (۱۵-۵) نمودار لنگر خمشی در طول گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل درجهت X و XY (زلزله در جهت X) ۷۳

شکل (۱۶-۵) تاریخچه تغییر مکان افقی در محل اتصال ریزشمع با کلاهک، در گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل درجهت X و XY - (زلزله در جهت X) ۷۶

شکل (۱۷-۵) تاریخچه تغییر مکان قائم در گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل درجهت X و XY (زلزله در جهت X) ۷۷

شکل (۵-۱۸) تاریخچه نیروی محوری ریزشمع ۱ و ۲، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت
X و XY - (زلزله در جهت xy)..... ۷۸

شکل (۵-۱۹) تاریخچه نیروی محوری ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در
جهت X و XY - (زلزله در جهت xy)..... ۷۸

شکل (۵-۲۰) نمودار نیروی محوری در طول ریزشمع، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت
X و XY - (زلزله در جهت xy)..... ۷۹

شکل (۵-۲۱) تاریخچه نیروی برشی ریزشمع ۱ و ۲، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل X و XY
(زلزله در جهت xy)..... ۸۰

شکل (۵-۲۲) تاریخچه نیروی برشی ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل X و XY
(زلزله در جهت xy)..... ۸۰

شکل (۵-۲۳) نمودار نیروی برشی در طول ریزشمع ۱ و ۲، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در
جهت X و XY - (زلزله در جهت xy)..... ۸۱

شکل (۵-۲۴) نمودار نیروی برشی در طول ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در
جهت X و XY - (زلزله در جهت xy)..... ۸۱

شکل (۵-۲۵) تاریخچه ماکزیمم ممان خمشی ریزشمع ۱ و ۲، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در
جهت X و XY - (زلزله در جهت xy)..... ۸۳

شکل (۵-۲۶) تاریخچه ماکزیمم ممان خمشی ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل
در جهت X و XY - (زلزله در جهت xy)..... ۸۴

شکل (۵-۲۷) نمودار لنگر خمشی در گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله
در جهت xy)..... ۸۴

شکل (۵-۲۸) تاریخچه تغییر مکان افقی در جهت X، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت
X و XY - (زلزله در جهت xy)..... ۸۸

- شکل (۲۹-۵) تاریخچه تغییر مکان افقی در جهت Y ، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY - (زلزله در جهت xy) ۸۸
- شکل (۳۰-۵) تاریخچه تغییر مکان قائم در سرریزشمع، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY - (زلزله در جهت xy) ۸۹
- شکل (۳۱-۵) کانتور تنش در خاک تحت بار استاتیکی با گروه ریزشمع قائم ۹۰
- شکل (۳۲-۵) کانتور تنش در خاک تحت بار استاتیکی با گروه ریزشمع مایل 2×2 در جهت X ۹۰
- شکل (۳۳-۵) کانتور تنش در خاک تحت بار استاتیکی با گروه ریزشمع مایل 2×2 در جهت Y و X ۹۱
- شکل (۳۴-۵) کانتور نشست در خاک تحت بار استاتیکی با گروه ریزشمع قائم ۹۱
- شکل (۳۵-۵) کانتور نشست در خاک تحت بار استاتیکی با گروه ریزشمع مایل 2×2 در جهت X ۹۲
- شکل (۳۶-۵) کانتور نشست در خاک تحت بار استاتیکی با گروه ریزشمع مایل 2×2 در جهت X و Y ۹۲
- شکل (۳۷-۵) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع قائم 2×2 (زلزله در جهت X) ۹۳
- شکل (۳۸-۵) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل 2×2 در جهت X (زلزله در جهت X) ۹۳
- شکل (۳۹-۵) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل 2×2 در جهت X و Y (زلزله در جهت X) ۹۴
- شکل (۴۰-۵) کانتور نشست در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع قائم 2×2 (زلزله در جهت X) ۹۴

- شکل (۴۱-۵) کانتورنشست در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل 2×2 در جهت X (زلزله در جهت X)..... ۹۵
- شکل (۴۲-۵) کانتورنشست در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل 2×2 در جهت X و Y (زلزله در جهت X)..... ۹۵
- شکل (۴۳-۵) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع قائم 2×2 (زلزله در جهت xy)..... ۹۶
- شکل (۴۴-۵) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل 2×2 در جهت X (زلزله در جهت xy)..... ۹۶
- شکل (۴۵-۵) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل 2×2 در جهت X و Y (زلزله در جهت xy)..... ۹۷
- شکل (۴۶-۵) کانتورنشست در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع قائم 2×2 (زلزله در جهت xy)..... ۹۸
- شکل (۴۷-۵) کانتورنشست در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل 2×2 در جهت X (زلزله در جهت xy)..... ۹۸
- شکل (۴۸-۵) کانتورنشست در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل 2×2 در جهت X و Y (زلزله در جهت xy)..... ۹۸
- شکل (۱-۶) گروه ریزشمع قائم 3×2 ۱۰۰
- شکل (۲-۶) گروه ریزشمع مایل 3×2 ۱۰۰
- شکل (۳-۶) فاصله مرکز به مرکز ریزشمع ها و ابعاد کلاهدک گروه ریزشمع 3×2 ۱۰۱
- شکل (۴-۶) تأثیر زاویه انحراف بر روی نیروی محوری در طول ریزشمع در گروه ریزشمع 3×2 ۱۰۲

- شکل (۵-۶) تأثیر زاویه انحراف بر روی تاریخچه نیروی برشی در سر گروه ریزشمع ۳×۲ ۱۰۳
- شکل (۶-۶) تأثیر زاویه انحراف بر روی نیروی برشی در طول گروه ریزشمع ۳×۲ ۱۰۳
- شکل (۷-۶) تأثیر هریک از زوایای انحراف بر روی نیروی برشی در طول گروه ریزشمع ۳×۲ ۱۰۴
- شکل (۸-۶) تأثیر زاویه انحراف بر روی تاریخچه لنگر خمشی در گروه ریزشمع ۳×۲ ۱۰۵
- شکل (۹-۶) تأثیر زاویه انحراف بر روی لنگر خمشی در طول گروه ریزشمع ۳×۲ ۱۰۵
- شکل (۱۰-۶) تأثیر هریک از زوایای انحراف بر روی لنگر خمشی در طول گروه ریزشمع ۳×۲ ۱۰۶
- شکل (۱۱-۶) تأثیر زاویه انحراف بر روی تاریخچه تغییر مکان افقی در گروه ریزشمع ۳×۲ ۱۰۸
- شکل (۱۲-۶) تأثیر زاویه انحراف بر روی تاریخچه تغییر مکان قائم در محل اتصال با کلاهک در گروه ریزشمع های ۳×۲ ۱۰۹
- شکل (۱۳-۶) تأثیر هریک از زوایای انحراف بر روی تاریخچه تغییر مکان قائم در گروه ریزشمع های ۳×۲ ۱۰۹
- شکل (۱۴-۶) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع ۳×۲ در حالت قائم ۱۱۰
- شکل (۱۵-۶) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع ۳×۲ با زاویه ۱۰ درجه ۱۱۰
- شکل (۱۶-۶) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع ۳×۲ با زاویه ۲۰ درجه ۱۱۱
- شکل (۱۷-۶) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع ۳×۲ با زاویه ۳۰ درجه ۱۱۱

- شکل (۶-۱۸) کانتور نشست در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع ۳×۲ در حالت قائم.....۱۱۲
- شکل (۶-۱۹) کانتور نشست در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع ۳×۲ با زاویه ۱۰ درجه.....۱۱۲
- شکل (۶-۲۰) کانتور نشست در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع ۳×۲ با زاویه ۲۰ درجه.....۱۱۲
- شکل (۶-۲۱) کانتور نشست در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع ۳×۲ با زاویه ۳۰ درجه.....۱۱۳
- شکل (۶-۲۲) تأثیر جرم رو سازه بر روی تاریخچه نیروی محوری در گروه ریزشمع قائم ۳×۲.....۱۱۳
- شکل (۶-۲۳) تأثیر جرم رو سازه بر روی تاریخچه نیروی محوری در گروه ریزشمع مایل ۳×۲.....۱۱۴
- شکل (۶-۲۴) تأثیر جرم رو سازه بر روی نیروی محوری در طول گروه ریزشمع قائم و مایل ۳×۲.....۱۱۴
- شکل (۶-۲۵) تأثیر جرم رو سازه بر روی تاریخچه نیروی برشی در گروه ریزشمع قائم ۳×۲.....۱۱۵
- شکل (۶-۲۶) تأثیر جرم رو سازه بر روی تاریخچه نیروی برشی در گروه ریزشمع مایل ۳×۲.....۱۱۵
- شکل (۶-۲۷) تأثیر جرم رو سازه بر روی نیروی برشی در طول گروه ریزشمع قائم و مایل ۳×۲.....۱۱۵
- شکل (۶-۲۸) تأثیر جرم رو سازه بر روی تاریخچه لنگر خمشی در گروه ریزشمع قائم ۳×۲.....۱۱۶

- شکل (۲۹-۶) تأثیر جرم رو سازه بر روی تاریخچه لنگر خمشی در گروه ریزشمع
 مایل ۳×۲ ۱۱۶
- شکل (۳۰-۶) تأثیر جرم رو سازه بر روی لنگر خمشی در طول گروه ریزشمع قائم و
 مایل ۳×۲ ۱۱۷
- شکل (۳۱-۶) تأثیر جرم رو سازه بر روی جابجایی افقی در طول گروه ریزشمع قائم
 مایل ۳×۲ ۱۱۷
- شکل (۳۲-۶) تأثیر جرم رو سازه بر روی جابجایی افقی در طول گروه ریزشمع
 مایل ۳×۲ ۱۱۸
- شکل (۳۳-۶) تأثیر جرم رو سازه بر روی جابجایی قائم در طول گروه ریزشمع قائم و
 مایل ۳×۲ ۱۱۸
- شکل (۳۴-۶) تاریخچه شتاب زلزله‌های Kocaeli - Kobe - EL Centro ۱۱۹
- شکل (۳۵-۶) تأثیر شتاب زلزله بر روی تاریخچه نیروی محوری در گروه ریزشمع قائم ۳×۲ ۱۲۰
- شکل (۳۶-۶) تأثیر شتاب زلزله بر روی تاریخچه نیروی محوری در گروه ریزشمع مایل
 مایل ۳×۲ ۱۲۰
- شکل (۳۷-۶) تأثیر شتاب زلزله بر روی نیروی محوری در طول ریزشمع قائم و مایل
 مایل ۳×۲ ۱۲۱
- شکل (۳۸-۶) تأثیر شتاب زلزله بر روی تاریخچه نیروی برشی در گروه ریزشمع قائم ۳×۲ ۱۲۲
- شکل (۳۹-۶) تأثیر شتاب زلزله بر روی تاریخچه نیروی برشی در گروه ریزشمع مایل ۳×۲ ۱۲۲
- شکل (۴۰-۶) تأثیر شتاب زلزله بر روی نیروی برشی در طول ریزشمع قائم و مایل
 مایل ۳×۲ ۱۲۳

شکل (۴۱-۶) تأثیر شتاب زلزله بر روی تاریخچه لنگر خمشی درگروه ریزشمع قائم و مایل
۱۲۴.....۳×۲

شکل (۴۲-۶) تأثیر شتاب زلزله بر روی لنگر خمشی در طول ریزشمع قائم و مایل
۱۲۴.....۳×۲

شکل (۴۳-۶) تأثیر شتاب زلزله بر روی جابجایی افقی در طول ریزشمع قائم و مایل
۱۲۵۳×۲

شکل (۴۴-۶) تأثیر شتاب زلزله بر روی جابجایی قائم در طول ریزشمع قائم و مایل
۱۲۶.....۳×۲

فهرست جداول

- جدول (۱-۲) جزئیات طبقه‌بندی ریزشمع بر اساس روش اجرا [۱] ۱۵
- جدول (۲-۲) معرفی روش طراحی و روش اجرا برای هر یک از کاربردهای ریزشمع [۱] ۱۶
- جدول (۱-۳) ابعاد بستر و خاک‌ریز ۴۳
- جدول (۱-۴) پارامترهای ریزشمع ۶۰
- جدول (۲-۴) پارامترهای خاک ۶۰
- جدول (۱-۵) مشخصات ریزشمع ۶۵
- جدول (۲-۵) مشخصات خاک ۶۵
- جدول (۳-۵) مقادیر ماکزیمم نیروی برشی در گروه ریزشمع های قائم و گروه ریزشمع مایل (زلزله در جهت X) ۷۱
- جدول (۴-۵) مقادیر کاهش یافته نیروی برشی در گروه ریزشمع های مایل نسبت به حالت قائم (برحسب درصد) - (زلزله در جهت X) ۷۱
- جدول (۵-۵) مقادیر کاهش یافته لنگر خمشی در گروه ریزشمع های مایل درجهت X، نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت XY (برحسب درصد) - (زلزله در جهت X) ۷۲
- جدول (۶-۵) مقادیر ماکزیمم لنگر خمشی در گروه ریزشمع های قائم و مایل درجهت X و XY (زلزله در جهت X) ۷۴
- جدول (۷-۵) مقادیر کاهش یافته لنگر خمشی در گروه ریزشمع های مایل نسبت به حالت قائم (برحسب درصد) - (زلزله در جهت X) ۷۵
- جدول (۸-۵) مقادیر کاهش یافته لنگر خمشی در گروه ریزشمع های مایل درجهت X، نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت XY (برحسب درصد) - (زلزله در جهت X) ۷۵

جدول (۵-۹) مقادیر ماکزیمم نیروی برشی در گروه ریزشمع های قائم و مایل، (زلزله در جهت XY) ۸۲

جدول (۵-۱۰) مقادیر کاهش یافته نیروی برشی در گروه ریزشمع های مایل نسبت به حالت قائم (برحسب درصد) - (زلزله در جهت XY) ۸۲

جدول (۵-۱۱) مقادیر کاهش یافته نیروی برشی در گروه ریزشمع های مایل درجهت X، نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت XY (برحسب درصد) - (زلزله در جهت XY) ۸۳

جدول (۵-۱۲) مقادیر ماکزیمم لنگر خمشی در گروه ریزشمع های قائم و مایل درجهت X و XY (زلزله در جهت XY) ۸۵

جدول (۵-۱۳) مقادیر کاهش یافته لنگر خمشی در گروه ریزشمع های مایل نسبت به حالت قائم (برحسب درصد) - (زلزله در جهت XY) ۸۶

جدول (۵-۱۴) مقادیر کاهش یافته لنگر خمشی در گروه ریزشمع های مایل درجهت X، نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت XY (برحسب درصد) - (زلزله در جهت XY) ۸۶

جدول (۶-۱) مشخصات خاک ۱۰۱

جدول (۶-۲) مشخصات ریزشمع ۱۰۱

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه

کشور ایران به عنوان یکی از مناطق زلزله خیز جهان همواره در طی سالیان گذشته در معرض زلزله های ویران کننده ای قرار داشته است. با توجه به اینکه سازه های بسیاری در مناطق زلزله خیز احداث شده و یا در دست ساخت قرار دارند، طراحی ایمن آنها در برابر زلزله از اهمیت و جایگاه ویژه ای برخوردار است. زمانی که زلزله با شدت بالایی به وقوع بپیوندد منجر به خرابی و فروپاشی سازه می شود.

شالوده های شمعی کاربرد های متعددی در بسیاری از مقاصد مهندسی ژئوتکنیک دارند. در سال های اخیر استفاده از شمع ها در زیرسازه های مهمی همچون تجهیزات نیروگاهی، مجتمع پتروشیمی، سازه های دریایی و پل ها گسترش زیادی یافته است؛ لذا شکست و خرابی سازه ها پس از وقوع زلزله زیان های مختلفی همچون زیان های جانی، اقتصادی، زیست محیطی را به دنبال دارد. در حین زلزله شمع ها در معرض بار جانبی قرار می گیرند. لذا این مسئله باعث می شود طراحی ایمن این نوع پی ها تحت اثر بارهای لرزه ای جانبی از اهمیت ویژه ای برخوردار شود. ریزشمع ها، شمع های حفاری و تزریق شده با قطر کوچک و معمولاً مسلح هستند که جهت تقویت پی ها بکار می روند. ریزشمع ها علاوه بر تحمل بارهای محوری، قادر به مقاومت در برابر بارهای جانبی نیز می باشند.

زمانی که شمع (یا ریزشمع) تحت بار جانبی قرار می گیرد تغییر مکان شمع وابسته به تغییر مکان خاک و تغییر مکان خاک وابسته به تغییر مکان شمع می باشد. از این رو دانستن اندرکنش شمع و خاک مهم می باشد.

روش اجزاء محدود جهت مدل سازی و تحلیل سیستم خاک و شمع و همچنین مدل سازی اندرکنش مناسب بین خاک و شمع، در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. انتخاب مدل رفتاری مناسب مهم ترین فاکتور در آنالیز با روش های اجزاء محدود یا تفاضل محدود می باشد. به دلیل اینکه رفتار خاک الاستیک خطی نیست، استفاده از چنین مدل هایی می تواند به نتایج غیر ایمن و غیراقتصادی منجر شود. با پیشرفت های صورت گرفته در زمینه های نرم افزار و سخت افزار کامپیوتر، غلبه بر بسیاری از مشکلات در زمینه مدلسازی هندسه و در نظر گرفتن رفتار غیر خطی و غیر ارتجاعی خاک امکان پذیر

شده است. به همین نسبت پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه روش‌های آزمایشگاهی و صحرایی در ارزیابی خواص دینامیکی خاک و همچنین ثبت زلزله‌های واقعی در جهت تصحیح و اعتبار بخشیدن به روش‌های عددی و تحلیلی بسیار مؤثر بوده است.

با توجه به دامنه‌ی کاربرد ریزشمع‌ها در مقایسه با دیگر انواع روش‌های بهسازی در کشور لرزه‌خیز ایران، تحلیل دینامیکی ریزشمع‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه با پیشرفت روزافزون و فراگیر شدن کامپیوتر، استفاده از روش‌های عددی در تحلیل و طراحی ریزشمع‌ها در مقابل زلزله به مراتب از گذشته بیشتر شده است.

۱-۲- بیان مسئله

هدف از انجام این پایان‌نامه، مدل‌سازی گروه ریزشمع قائم و مایل به صورت سه‌بعدی، در خاک با رفتار الاستوپلاستیک و بررسی رفتار آن‌ها تحت اثر بار زلزله است. جهت مدل‌سازی از نرم‌افزار اجزاء محدود Abaqus 6.14-2 استفاده شده است. تأثیر چیدمان گروه ریزشمع مایل بر نیروهای داخلی و جابجایی ریزشمع‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین نشست و تنش به وجود آمده در خاک تحت بار استاتیکی و دینامیکی به دست آمده و نتایج به دست آمده از تحلیل گروه ریزشمع مایل با چیدمان مختلف و گروه ریزشمع‌های قائم تحت بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

مطالعه پارامتریک بر روی گروه ریزشمع‌های قائم و مایل تحت بار زلزله انجام شده است. تأثیر پارامترهایی نظیر زاویه تمایل ریزشمع‌ها و جرم رو سازه و شتاب زلزله مورد بررسی قرار گرفته و نیروهای داخلی و جابجایی در گروه ریزشمع‌ها به دست آمده است. همچنین نشست و تنش بوجود آمده در خاک در گروه ریزشمع‌ها با زوایای مختلف بدست آمده است.

۱-۳- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در قالب هفت فصل طرح ریزی و تدوین شده است که در ادامه به محتوا و شرح فعالیت‌های انجام شده در هر فصل به طور خلاصه اشاره شده است:

در فصل ۱، ضمن تعریف مسئله و بیان ابعاد آن، پیرامون اهمیت و لزوم انجام این پژوهش سخن به میان می آید.

در فصل ۲، به معرفی ریزشمع ها و کاربرد های آن پرداخته شده است.

در فصل ۳، مشاهدات تجربی و مطالعات انجام شده توسط محققین در سال های گذشته، در زمینه شمع ها و ریزشمع های مایل بیان شده است.

در فصل ۴، نحوه مدل سازی و انتخاب روش مناسب جهت مدل سازی سیستم خاک و ریزشمع و سازه بیان شده است و سعی شده است فرضیات و روش های استفاده شده در این نرم افزار معرفی گردد و در انتهای فصل به صحت سنجی نتایج پرداخته شده است.

در فصل ۵، در این فصل گروه ریزشمع مایل 2×2 ، با چیدمان مختلف مدل سازی شده است. نیروهای داخلی و جابجایی در گروه ریزشمع ها تحت بار زلزله به دست آمده و مقایسه با گروه ریزشمع قائم انجام شده است. همچنین تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر روی تنش و نشست در خاک تحت بار استاتیکی و دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل ۶، در این فصل گروه ریزشمع قائم و مایل 3×2 مدل سازی شده و تأثیر پارامترهایی نظیر، زاویه انحراف ریزشمع ها و جرم رو سازه و تأثیر شتاب زلزله های مختلف، بر روی پاسخ گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل تحت بار زلزله مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تأثیر پارامتر زاویه انحراف گروه ریزشمع، بر روی تنش و نشست به وجود آمده در خاک بیان شده است.

در فصل ۷، جمع بندی و نتیجه گیری کلی ارائه شده است. در این فصل پس از مرور اجمالی کارهای انجام شده در فصول قبلی، به بررسی نتایج حاصله، جمع بندی و نتیجه گیری و همچنین ارائه پیشنهادهایی جهت ادامه پژوهش در زمینه کار انجام شده در این پایان نامه پرداخته شده است.

فصل دوم : معرفی سیستم ریزش‌ها

۲-۱- تاریخچه ریزشمع

ریزشمع ها^۱ در اوایل دهه ۱۹۵۰ در ایتالیا به منظور تقویت پی ساختمان‌های تاریخی و آثار باستانی، که به مرور زمان و به خصوص در طول جنگ جهانی دوم دچار آسیب شده بودند ابداع شدند. پیمانکار ایتالیایی به نام فوندیل^۲ اولین بار شمع های ریشه ای را معرفی نمود. این شمع های درجا ریز و کوچک دارای قطر کوچکی بودند که غالباً با مسلح کننده فولادی سبک و تزریق دوغاب سیمان تقویت شده بودند.

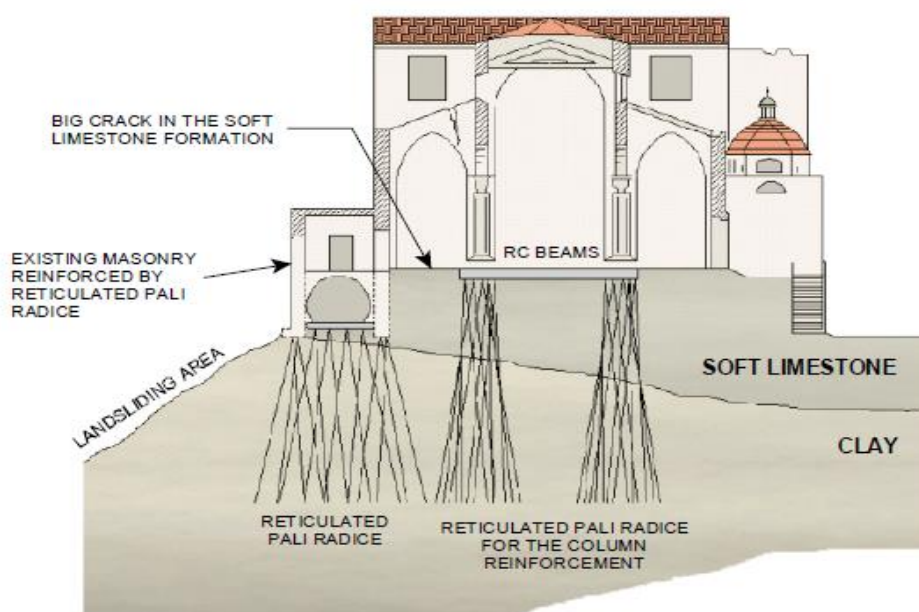
در ابتدا، اغلب کاربرد ریزشمع ها به تقویت زیر سازه‌های موجود در محیط‌های شهری محدود می شد؛ ولی در سال ۱۹۵۷ نیازهای جدید مهندسی منجر به معرفی سیستم‌های جدید موسوم به ریزشمع های زنبوری گردید. این سیستم همان گونه که در شکل (۲-۱) نشان داده شده است شامل شبکه‌ای سه‌بعدی از ریزشمع های قائم و مورب بوده که یک سازه ترکیبی از خاک و شمع را ایجاد می‌نمایند و به طور جانبی محدود شده است.

فوندیل در سال ۱۹۶۲ از این روش برای تقویت ساختمان‌های تاریخی انگلستان استفاده نمود. همچنین در سال ۱۹۶۵، این روش در سیستم حمل و نقل زیرزمینی درون شهری آلمان مورد استفاده قرار گرفت که پس از آن اصطلاح ریزشمع جایگزین نام شمع ریشه ای گردید.

از این ریزشمع ها، برای پایدارسازی شیب ها، مسلح کردن دیوارهای ساحلی، حفاظت از سازه‌های مدفون، مسلح کردن خاک و در سایر روش‌های تقویت خاک و سازه استفاده می‌شود [۱].

^۱ Micropiles

^۲ Fondedile



شکل (۱-۲) سیستم ریزشمع زنبوری [۱]

به‌طور کلی در مواجهه با خاک‌های مسئله‌دار نظیر خاک‌های سست باقابلیت باربری کم، نشست پذیری زیاد، روانگرایی، خاک‌های دستی و... دو راه پیش روی مهندسين ژئوتکنیک قرار دارد:

الف) استفاده از المان‌های باربر در خاک

ب) بهسازی و اصلاح خواص فیزیکی- مکانیکی توده خاک

هر یک از راه‌حل‌های فوق دارای روش‌ها و مشخصات مربوط به خود می‌باشند که طی سالیان متمادی توسعه فراوانی یافته‌اند. برخی از روش‌های ابداعی نیز ماهیتی ترکیبی از دو دسته فوق داشته و مزایای هر دو دسته را تا حدودی به همراه دارند. از آن دسته می‌توان به استفاده از ریزشمع‌ها به همراه تزریق دوغاب سیمان اشاره نمود.

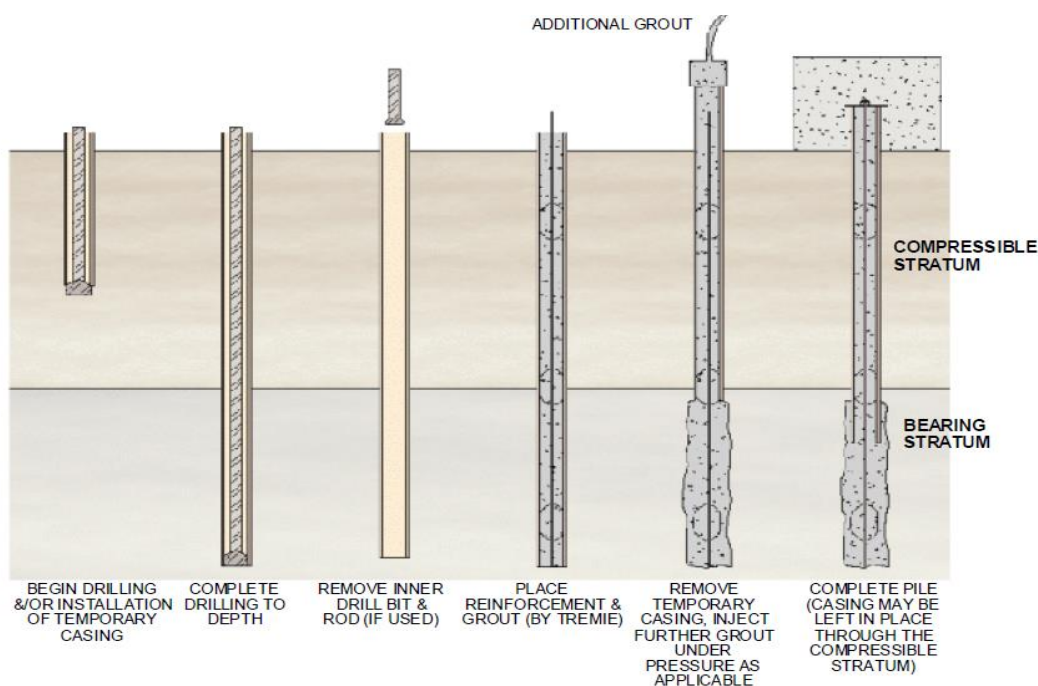
شمع‌ها عموماً به دو گروه اصلی شمع‌های پیش‌ساخته و شمع‌های درجا تقسیم می‌شوند. ریزشمع‌ها درواقع شمع‌های درجا با قطر کوچک (معمولاً با قطر کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر) هستند که غالباً با تقویت فولادی سبک و تزریق دوغاب سیمان همراه می‌باشند.

ریزشمع ها می توانند با هر زاویه ای طراحی و اجرا شوند و برای مقاصد متفاوتی از جمله تحمل بارهای محوری و جانبی، جایگزینی شمع های معمولی یا به عنوان جزئی از سیستم ترکیبی خاک و شمع، بسته به هدف طراحی به کار برده شوند.

ریزشمع علاوه بر آنکه به عنوان یک المان باربر و مقاوم در برابر نشست عمل می کند، به دلیل تزریق دوغاب سیمان، سبب بهبود مشخصات مقاومتی خاک اطراف نیز می گردد.

۲-۲- معرفی ریزشمع

ریزشمع یک شمع با قطر کوچک (کمتر از ۳۰۰ میلی متر) همراه با یک تسلیح فولادی سبک و تزریق دوغاب سیمان می باشد. اجزای سیستم ریزشمع شامل لوله جدار، آرماتور تسلیح، فلنج اتصال به پی و دوغاب سیمان است. لوله جدار در فواصل مناسب دارای سوراخ بوده که امکان تزریق تحت فشار در داخل خاک را فراهم می کند. همان طور که در شکل (۲-۲) نشان داده شده است، ریزشمع از طریق حفر یک گمانه یا چاه، سپس استقرار آرماتورها در گمانه و در نهایت تزریق گمانه اجرا می گردد.



شکل (۲-۲) مراحل اجرای ریزشمع [۱]

۲-۳- کاربردها و طبقه‌بندی

با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش قبل، می‌توان کاربرد ریزشمع‌ها را به‌طور کلی در دو بخش زیر بیان نمود:

۱. استفاده از ریزشمع به عنوان المان باربر

۲. استفاده از ریزشمع باهدف بهسازی خاک

کاربرد اولیه اصلی ریزشمع به عنوان المان باربر است. مطالعات زیادی در این زمینه صورت پذیرفته است و روش‌های طراحی آن نیز در مراجع مختلف موجود است. استفاده از ریزشمع‌ها باهدف بهسازی خاک موضوعی جدید است که در طی سالیان اخیر مطرح شده و مطالعات محدودی بر روی آن انجام شده است.

در شکل (۲-۳)، کاربردهای ریزشمع در این دو حوزه را به‌طور خلاصه بیان می‌کند. در حال حاضر، ریزشمع‌ها در بخش‌های زیر استفاده می‌شوند:

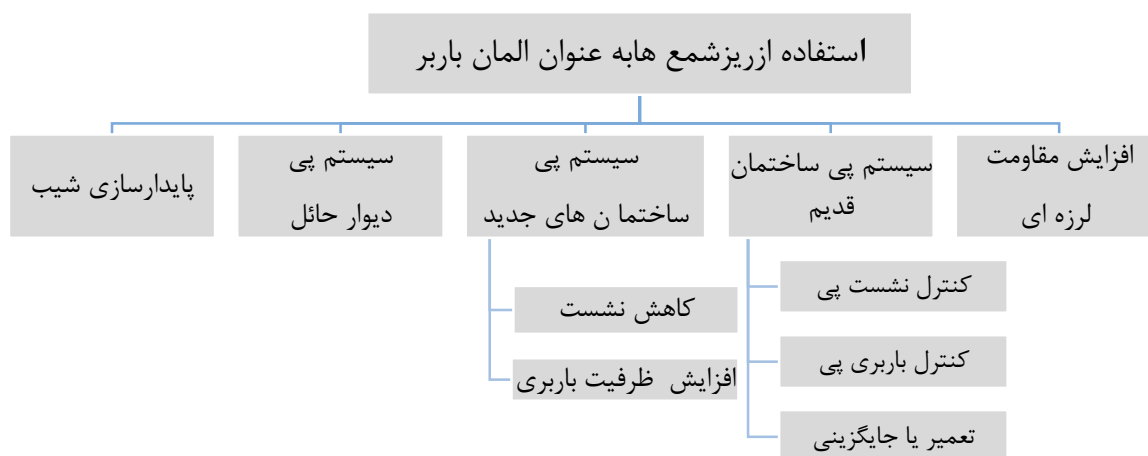
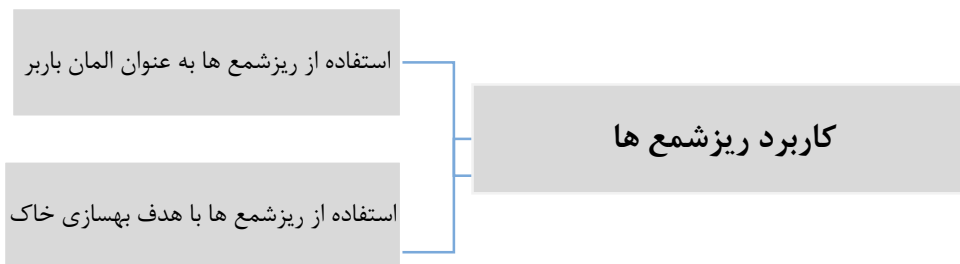
– استفاده به عنوان المان باربر در زیر پی ساختمان‌ها

– استفاده به عنوان المان باربر برای ترمیم پی ساختمان‌های قدیمی

– استفاده به عنوان المان باربر در زیر پی سایر روسازه‌ها (کوله‌پل‌ها، مخازن نفت و گاز و...)

– استفاده باهدف بهسازی خاک و افزایش پارامترهای مقاومتی و رفتاری آن

– استفاده باهدف بهسازی خاک و مقابله با پدیده روانگرایی



شکل (۲-۳) کاربردهای ریزشمع [۱]

۴-۲- سیستم طبقه بندی ریزشمع

تقسیم بندی ریزشمع‌ها بر اساس دو معیار صورت می‌گیرد:

- نحوه طراحی

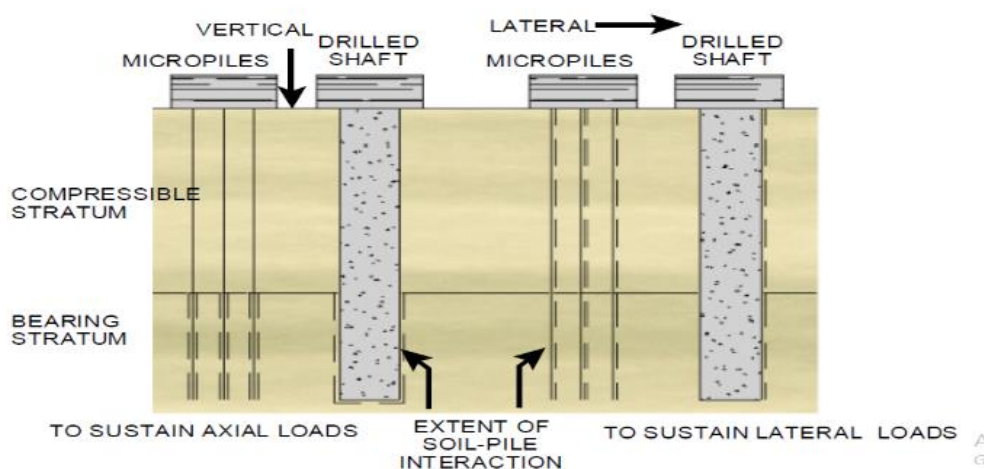
- روش اجرا

۴-۲-۱- طبقه بندی بر اساس نوع طراحی

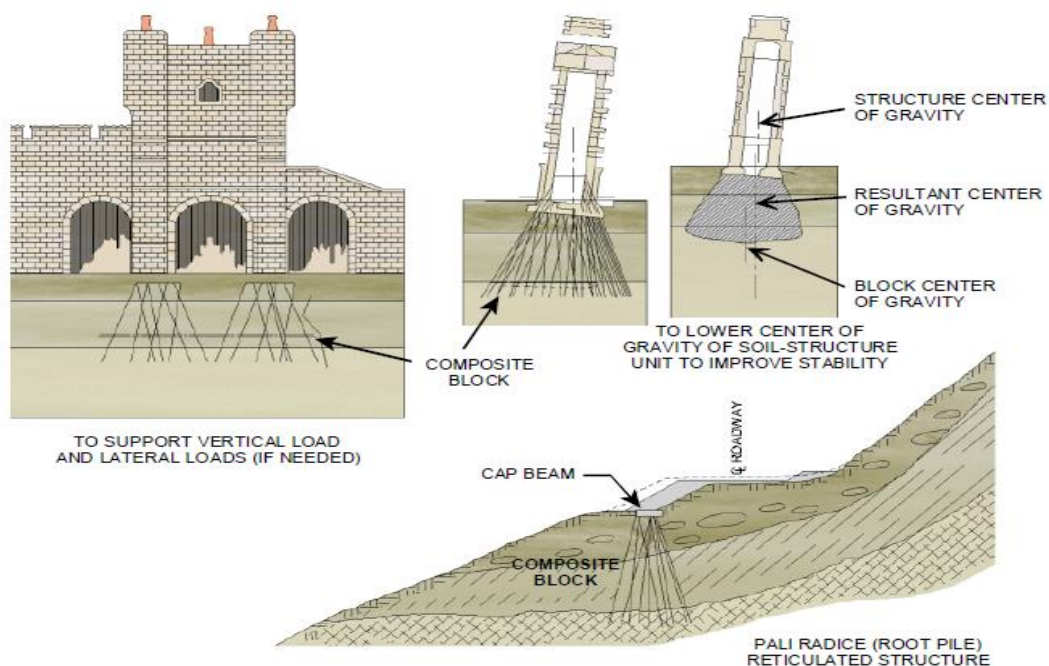
طراحی ریزشمع منفرد یا گروه ریزشمع، با طراحی ریزشمع‌های زنبوری بسیار متفاوت است. این امر سبب شده است تا دو دسته طراحی برای ریزشمع‌ها تعریف شود.

در دسته اول، ریزشمع‌ها مستقیماً بارگذاری شده و مسلح کننده‌ها قسمت اعظم بار اعمالی را تحمل می‌نمایند.

در دسته دوم، ریزشمع‌ها به صورت شبکه‌های درون خاک قرار گرفته و خاک را از داخل (بین خود) به احاطه درآورده و یک توده خاکی تقویت شده ایجاد می‌کنند که در برابر بارهای اعمالی ایستادگی می‌نماید. ریزشمع‌های دسته اول و دوم به ترتیب در اشکال (۴-۲) و (۵-۲) نشان داده شده‌اند.



شکل (۴-۲) ریزشمع‌های دسته اول [۱]



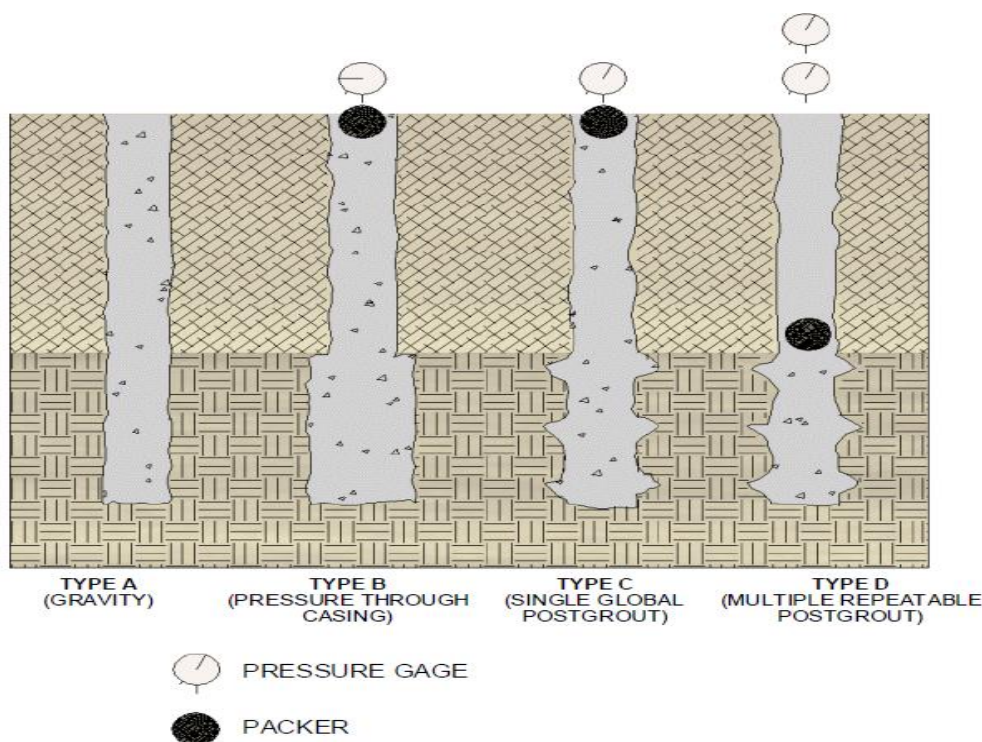
شکل (۲-۵) ریزشمع های دسته دوم [۱]

در دسته اول، ریزشمع ها به عنوان جایگزین شمع های سنتی برای انتقال بار سازه به لایه های مقاوم زیرین استفاده می شوند. این ریزشمع ها به گونه ای طراحی می شوند که عملکرد منفرد داشته باشند حتی اگر به صورت گروهی اجرا شوند.

در دسته دوم ریزشمع ها دارای تقویت سبک تر می باشند زیرا مسلح کننده ها، مانند دسته اول مستقیماً تحت بارگذاری قرار نمی گیرند و این توده خاک و شمع است که بارهای اعمالی را تحمل می نماید. علاوه بر این دو دسته، نوع دیگری از ریزشمع ها نیز وجود دارد که به ریزشمع تحکیمی معروف است. ریزشمع های تحکیمی از لحاظ فلسفه رفتاری شبیه ریزشمع های شبکه ای است. با این تفاوت که در آن از آرماتور تسلیح استفاده نمی شود. تزریق دوغاب سیمان بخش اصلی ریزشمع تحکیمی است که با استفاده از آن پارامترهای مقاومتی و رفتاری خاک افزایش پیدا می کند.

۲-۴-۲- طبقه بندی بر اساس روش اجرا

به‌طور کلی روش تزریق در حین اجرا، حساس‌ترین پارامتر مؤثر بر ظرفیت باربری مجموعه زمین-دوگاب می‌باشد. ظرفیت باربری مجموعه زمین-دوگاب به‌طور مستقیم با تغییر روش تزریق، تغییر می‌کند. در این طبقه بندی، معیار روش تزریق و فشار آن می‌باشد و استفاده از غلاف و آرماتور تقویت، تعیین‌کننده زیر بخش‌های این طبقه بندی می‌باشد. همان‌گونه که در شکل (۶-۲) نشان داده شده است.



شکل (۶-۲) طبقه‌بندی ریزشمع‌ها بر اساس روش اجرا [۱]

در این طبقه بندی ریزشمع‌ها به ۴ دسته تقسیم می‌شوند.

نوع A: در این روش اجرا، دوگاب تحت وزن خودش در محل قرار می‌گیرد.

نوع B: در این روش دوغاب سیمان، پس از خارج شدن غلاف حفاری از گمانه، تحت فشار به داخل گمانه تزریق می‌شود. فشار تزریق معمولاً بین ۰/۵ تا ۱ مگا پاسکال تغییر می‌کند و بایستی به گونه ای باشد که مانع از شکست هیدرولیکی گردد.

نوع C: از یک فرآیند دومرحله‌ای تشکیل شده است که در آن ابتدا دوغاب سیمان تحت وزن خودش در داخل حفره قرار می‌گیرد. سپس قبل از سخت شدن دوغاب اولیه (بعد از حدود ۱۵ تا ۲۵ دقیقه) همان نوع دوغاب از طریق لوله‌های تزریق مشبک و بدون استفاده از پکر، در محل تماس دوغاب با زمین و در فشار حداقل ۱ مگا پاسکال تزریق می‌شود. این نوع ریزشمع فقط در فرانسه استفاده می‌شود و به روش IGU^۳ موسوم است.

نوع D: یک فرآیند دومرحله‌ای از تزریق مشابه نوع C اما با تغییراتی در مرحله دوم می‌باشد. ابتدا دوغاب سیمان یکنواخت تحت وزن خودش مانند نوع A و C یا تحت فشار، مانند نوع B در حفره قرار می‌گیرد. بعد از سخت شدن دوغاب اولیه، دوغاب بعدی از طریق لوله‌های تزریق مشبک تحت فشار ۲ تا ۸ مگا پاسکال تزریق می‌شود.

در این روش از پکر استفاده می‌شود تا در صورت نیاز بتوان سطوح خاص را چندین مرتبه اصلاح نمود. این نوع شمع که در فرانسه به روش IRS^۴ مرسوم است، به طور گسترده در سایر کشورها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. جزئیات طبقه‌بندی ریزشمع بر اساس روش اجرا در جدول (۱-۲) آمده است.

³ Injection Globale et Unitaire

⁴ Injection Repectitive et Selective

جدول (۱-۲) جزئیات طبقه‌بندی ریزشمع بر اساس روش اجرا [۱]

نوع ریزشمع و روش تزریق	نام زیر بخش	غلاف حفاری	تقویت
نوع A	A ₁	موقت یا بدون پوشش	بدون تقویت، تک آرماتور، قفسه آرماتور، لوله یا مقطع سازه‌ای
	A ₂	دائم در کل طول گمانه	خود غلاف حفاری
	A ₃	دائم، استوانه فوقانی فقط	غلاف حفاری در قسمت فوقانی و آرماتور یا لوله در قسمت زیرین
نوع B	B ₁	موقت یا بدون پوشش	تک آرماتور یا لوله (از قفسه به دلیل ظرفیت سازه‌ای پایین آن به ندرت استفاده می‌شود)
	B ₂	دائم در کل طول گمانه	خود غلاف حفاری
	B ₃	دائم، فقط در قسمت فوقانی	غلاف حفاری در قسمت فوقانی و آرماتور یا لوله در قسمت زیرین
نوع C	C ₁	موقت یا بدون پوشش	تک آرماتور یا لوله (از قفسه به دلیل ظرفیت سازه‌ای پایین آن به ندرت استفاده می‌شود)
	C ₂	استفاده نمی‌شود	-
	C ₃	استفاده نمی‌شود	-
نوع D	D ₁	موقت یا بدون پوشش (گمانه باز یا اوگر)	تک آرماتور یا لوله (از قفسه به دلیل ظرفیت سازه‌ای پایین آن به ندرت استفاده می‌شود)
	D ₂	دائم در کل طول گمانه	خود غلاف حفاری
	D ₃	دائم، استوانه فوقانی فقط	غلاف حفاری در قسمت فوقانی و آرماتور یا لوله در قسمت زیرین

برای هر یک از کاربردهای ذکر شده، نوع خاصی از روش طراحی و اجرا مورد استفاده قرار می‌گیرد که

خلاصه آن در جدول (۲-۲) است.

جدول (۲-۲) معرفی روش طراحی و روش اجرا برای هر یک از کاربردهای ریزشمع [۱]

کاربرد	تقویت پی سازه‌ها	اصلاح و بهسازی خاک			
		پایداری شیب ها و ساخت دیواره‌های نگهدارنده	افزایش مقاومت خاک	کاهش نشست	حفظ پایداری سازه‌های
روش طراحی	دسته اول	دسته اول و دوم	دسته دوم و به‌ندرت دسته اول	دسته دوم	دسته دوم
نوع اجرا	نوع A در سنگ و رس سخت و نوع B, C و D در خاک	نوع A و نوع B در خاک	نوع A و نوع B در خاک	نوع A در خاک	نوع A در خاک
میزان	۹۵ درصد	۰ تا ۵ درصد			

۲-۵- عوامل مؤثر در انتخاب ریزشمع ها

عوامل مختلفی در انتخاب ریزشمع برای پی سازه و پایداری شیب ها مؤثرند. این عوامل عبارت‌اند از:

۱- شرایط فیزیکی

- محدودیت‌های دسترسی در نواحی دورافتاده؛

- نزدیکی به ساختمان‌های موجود

۲- شرایط زیرزمینی

- شرایط زمین‌شناسی دشوار؛

- زمین‌های مستعد روانگرایی در طی نصب شمع

۳- شرایط محیطی

- نواحی حساس به لرزش و صدا؛

- خاک‌های پرخطر یا آلوده

۴- سازه‌های موجود

- محدودیت‌های اجرای ریزشمع‌ها

- شرایط اقتصادی

۲-۵-۱- شرایط فیزیکی

تجهیزات حفاری و تزریق مورد استفاده برای نصب ریزشمع، نسبتاً کوچک هستند و می‌توانند در نواحی محدود که امکان عبور تجهیزات نصب شمع وجود ندارد، وارد شوند. ریزشمع‌ها می‌توانند در داخل دیوارها و پی‌های با ابعاد چند میلی‌متر نصب شوند. نصب آنها تحت تأثیر نیروی فوقانی آنها یا سایر موانع که در نصب شمع‌ها وجود دارد، نمی‌باشد. تجهیزات نصب می‌توانند در نواحی با شیب تند و نیز نواحی دورافتاده حرکت کنند. همچنین عملیات حفاری و تزریق مرتبط با نصب ریزشمع‌ها اگر به شیوه صحیح اجرا گردند، باعث آسیب به ساختمان‌های مجاور نمی‌شود.

۲-۵-۲- شرایط زیرسطحی

ریزشمع‌ها می‌توانند در نواحی با شرایط زمین‌شناسی سخت، متغیر و غیرقابل پیش‌بینی مثل زمین‌های دارای قله‌سنگ و تخته‌سنگ و پر از تاسیسات مدفون و زباله‌ها و پس‌مانده‌ای متفرقه و لندهای نامرتبی از مواد و اجزای ضعیف نصب شوند. رس‌های نرم، ماسه‌های روان و سطح آب زیرزمینی بالا که در روش نصب سنتی شرایط نامساعد تلقی می‌شوند، کمترین تأثیر را بر روی نصب ریزشمع دارند. ریزشمع‌ها در سرتاسر جهان حتی در سازندهای آهکی کارستیک نیز کاربرد دارند.

۲-۵-۳- شرایط محیطی

ریزشمع‌ها می‌توانند در خاک‌های پرخطر و آلوده نصب شوند. قطر کوچک آنها باعث کاهش میزان تلفات در هنگام نصب نسبت به شمع‌های درجا مرسوم می‌شود. مخلوط دوغاب می‌تواند به گونه‌ای طراحی شود که در برابر فعالیت شیمیایی آب و خاک مقاوم باشد. در طرح اختلاط دوغاب، می‌توان از افزودنی‌ها استفاده نمود تا از زوال بتن در محیط‌های اسیدی و خورنده جلوگیری شود.

ریزشمع ها می توانند در نواحی حساس مثل نواحی با طبیعت شکننده نصب شوند. تجهیزات نصب آنها به بزرگی و یا به سنگینی تجهیزات حفاری و نصب شمع های معمولی نیست و می تواند در نواحی باتلاقی (لجن زار) یا نواحی دیگر با خاک سطحی نرم و مرطوب، با کمترین تأثیر بر روی محیط استفاده شود. تجهیزات حفاری قابل حمل، به طور متداول در نواحی با دسترسی محدود استفاده می گردد.

نصب ریزشمع، صدا و لرزش کمتری نسبت به تکنیک های رایج نصب شمع های سنتی مانند شمع کوبی ایجاد می نماید. لرزش های ایجاد شده در حین حفاری، ابتدا به خاک و سپس از خاک به ساختمان های مجاور منتقل می شود. استفاده از ریزشمع در نواحی شهری قدیمی و صنعتی، می تواند مانع از ایجاد این اثر مخرب بر تجهیزات و سازه های حساس مجاور شود.

ریزشمع ها می توانند در مناطقی که یک لایه آبدار آلوده بر روی یک لایه باربر قرار دارد، نصب شوند. برخلاف شمع های درجا که ممکن است یک مجرای عمودی برای انتقال آلودگی ایجاد کنند، ریزشمع ها می توانند به گونه ای نصب شوند که مانع از آلودگی لایه های آبدار زیرین شوند.

۲-۵-۴- سازگاری با سازه موجود

ریزشمع ها می توانند به کلاhek شمع های موجود اضافه شوند. بنابراین نیاز به افزایش ابعاد پی از بین می رود. این عمل باعث تأمین مقاومت فشاری، کششی و خمشی مورد نیاز اضافی، هنگام افزایش بار سازه می شود. گاهی محدودیت های سازه های مجاور، امکان افزایش ابعاد کلاhek شمع موجود را به ما نمی دهند. بنا بر این نیاز به سیستم های معمول نصب شمع از بین می رود.

۲-۵-۵- محدودیت های اجرای ریزشمع ها

در برخی شرایط، اجرای ریزشمع های عمودی ممکن است از لحاظ ظرفیت باربری جانبی و کاهش هزینه ها دارای محدودیت باشند. همچنین فرض می شود به خاطر قطر نسبی کوچک آنها، ظرفیت باربری محوری محدودی داشته باشند. اگرچه در آزمایش، ریزشمع ها تا بار محوری ۴۵۰۰ کیلو نیوتن در ماسه

متراکم را تحمل کرده اند. بنابراین انتظار می‌رود با تحقیقات و آزمایشات بیشتر بتوان ظرفیت باربری جانبی را نیز افزایش داد. امکان نصب ریزشمع به صورت مایل، به طراحان برای رسیدن به ظرفیت باربری جانبی موردنیاز کمک می‌کند. هزینه اجرای ریزشمع‌ها معمولاً از سیستم‌های نصب شمع سنتی و بخصوص شمع‌های درجا بیشتر می‌باشد. اما در برخی شرایط خاص، ریزشمع‌ها به عنوان گزینه دارای صرفه اقتصادی و در عین حال تنها راه‌حل ممکن برای ساخت و اجرای پروژه می‌باشند.

۲-۵-۶- شرایط اقتصادی

صرفه اقتصادی ریزشمع‌ها به فاکتورهای بسیاری بستگی دارد. بسیار مهم است که هزینه اجرای ریزشمع‌ها را با توجه به شرایط فیزیکی، محیطی و زیرسطحی که در بالا توضیح داده شد، ارزیابی کنیم. به عنوان مثال برای یک سایت با خاک نرم، تمیز و یکنواخت و دسترسی آسان، ریزشمع نمی‌تواند راه‌حلی قابل رقابت با سایر راهکارها باشد. به هر حال، برای پی‌سازی حساس در زیر پایه‌های پل در نواحی مسکونی یا صنعتی قدیمی یا ترافیک سنگین، ریزشمع‌ها می‌توانند به عنوان راه‌حلی با صرفه اقتصادی مطرح گردند.

تحلیل هزینه‌ها بایستی با در نظر گرفتن کلیه هزینه‌های مربوط به پروژه و نه فقط هزینه‌های مربوط به نصب شمع، انجام گردد.

این هزینه‌ها ممکن است شامل موارد زیر باشند:

- نیازمندی‌های مربوط به حفاری، شمع کوبی و خاکریزی؛

- اجرای پی؛

- حمل مصالح پرخطر؛

- پایین آوردن سطح آب زیرزمینی؛

- کنترل فرسایش؛

- محدودیت های دسترسی؛

- بهسازی زمین و

۲-۶- گام های طراحی

۱- بررسی اطلاعات در دسترس درباره طرح

- نیروی کار موردنیاز، شرایط بارگذاری شمع، محدودیت های جانمایی شمع

- شرایط خاص مثل راه های دسترسی موجود، برداشت سربار، وجود مواد خطرناک و

محدودیت های محیطی

- شرایط قرارداد

۲- بررسی داده های ژئوتکنیکی و تخمین پارامترهای ژئوتکنیکی موردنیاز برای طراحی

- به دست آوردن پروفیل زمین شناسی و ژئوتکنیکی زیر سطحی در محل

- برآورد پارامترهای طراحی ژئوتکنیکی

- به دست آوردن خواصی از خاک که الزامات محافظت خاک در برابر خوردگی را تعیین می کند.

- مشخص کردن نواحی مشکل دار، در صورت وجود

۳- طراحی ژئوتکنیکی اولیه شمع

- برآورد پارامترهای انتقال دهنده بار (تماس دوغاب با زمین) برای لایه های مختلف زیرزمینی و

تعیین طول تماس شمع که برای تخمین بار موردنیاز است.

- ارزیابی فواصل شمع ها

۴- طراحی سازه‌ای اجزای مختلف شمع

- تعیین ظرفیت سازه‌ای طول غلاف دار شمع
- تعیین ظرفیت سازه‌ای طول بدون غلاف شمع
- مقاومت باند در سطح تماس دوغاب و آرماتور
- ناحیه انتقالی بین مقاطع غلاف دار و بدون غلاف
- انعطاف پذیری و سازگاری تغییر شکل اجزای مختلف سازه
- اتصال شمع به پی
- اتصالات مفصلهای تقویت کننده
- ۵- ملاحظات طراحی ترکیبی ژئوتکنیکی و سازه‌ای
 - تحلیل سختی موردنیاز و نشست پیش بینی شده
 - ظرفیت باربری جانبی، پیش بینی تغییر مکان جانبی و تنش های ترکیبی (محوری + خمشی)
 - ناشی از بارگذاری جانبی

- ملاحظات مربوط به کمانش شمع و تکیه گاه های جانبی خاک

۶- سایر ملاحظات طراحی ریزشمع

- الزامات مربوط به کنترل خوردگی
- برنامه ریزی کنترل عملکرد و اجرا
- بررسی کارایی و هزینه اجرای طرح

۷-۲- آیین نامه طراحی

طراحی ریزشمع بر اساس آیین نامه طراحی اداره بزرگراه های آمریکا انجام می گیرد [۱].

۸-۲ - مراحل اجرا

روش اجرای ریزشمع شامل چهار مرحله حفاری، لوله کوبی، تزریق و تسلیح می باشد که مراحل اجرای آن در زیر تشریح شده است.

۸-۲-۱ - حفاری

حفاری توسط دستگاه حفاری به صورت خشک انجام می شود. عمق حفاری در مرحله طراحی مشخص شده و تا عمق مورد نظر، حفاری باید انجام شود. دستگاه های حفاری بایستی قادر به حفاری گمانه به قطر تا ۱۰۰ میلی متر باشند. عملیات حفاری روش های مختلف نظیر حفاری دورانی و یا دوران-ضربه ای صورت می پذیرد. حفاری طبق نقشه های اجرایی می تواند به صورت قائم یا مایل صورت پذیرد.

۸-۲-۲ - لوله کوبی

پس از حفاری، لوله های ریزشمع در محل های مشخص شده و توسط دستگاه های لوله کوب کوبیده می شود. لوله قطعه اول به صورت سرنیزه بوده و قطعات بعدی به ترتیب توسط بوشن و جوش کاملاً بهم متصل می شوند. عملیات کوبش تا زمانی که امکان کوبیدن لوله ها میسر باشد ادامه می یابد و اگر در ازای ۳۰ ضربه متوالی لوله کوب، لوله بیشتر از ۱۰ سانتی متر فرو نرود، عملیات کوبش لوله ریزشمع متوقف می گردد. در این حالت تا تحقق عمق طراحی حفاری انجام شده و سپس لوله های مربوط به ریزشمع درون گمانه نصب می گردد.

لوله های ریزشمع به قطر خارجی ۷۶ میلی متر و قطر داخلی ۶۸ میلی متر در قطعات دو متری می باشند. این لوله ها به وسیله بوشن و جوش به یکدیگر متصل می شوند. هر ریزشمع دارای ۸۰ سوراخ به قطر ۸

میلی‌متر، در هر متر طول می باشد. محیط داخلی لوله ها بایستی برقوزده باشد تا در تزریق دوغاب اثرات منفی نداشته باشد.

۲-۸-۳- تزریق

دستگاه های تزریق از سه بخش میکسر اولیه، میکسر ثانویه و پمپ تزریق تشکیل می گردد. اختلاط در میکسر اولیه از نوع سیستم چرخش سریع آب بوده و میکسر ثانویه از نوع پره ای می باشد. ساخت دوغاب تزریق در میکسر اولیه صورت می گیرد بدین صورت که ابتدا آب به میزان موردنظر در میکسر ریخته شده و سپس متناسب با نسبت آب به سیمان موردنیاز، سیمان به آن افزوده می شود. زمان حداقل هم زدن دوغاب سیمان ثانیه می باشد نسبت آب به سیمان مورد استفاده با توجه به شرایط زمین بین ۰/۵ تا ۱/۵ مطلوب می باشد. پس از آماده شدن دوغاب، جهت نگهداری، دوغاب در داخل میکسر ثانویه ریخته شده و سپس به وسیله پمپ های تزریق مخصوص تزریق می گردد. جهت تزریق دوغاب در لوله های ریزشمع از تجهیزات مخصوصی به نام پکر استفاده می شود که هنگام تزریق، پکر به جداره لوله می چسبد و مانع از خروج دوغاب می شود.

به طور مثال مرحله اول بستن پکر برای ریزشمع ۸ تا ۱۰ متری در عمق ۶ متری گمانه بوده و پس از اتمام عملیات تزریق عمق ۶ متری پکر در عمق ۴ متری بسته می شود و پس از اتمام تزریق در این مرحله، پکر در عمق ۲ متری بسته می شود و عملیات تزریق به اتمام می رسد. در صورتی که نشتی دوغاب از سطح یا ریزشمع های جانبی مشاهده شود، عملیات تزریق متوقف می گردد.

۲-۸-۳-۱- مشخصات تزریق

- ۱- فشار تزریق: فشار تزریق در مراحل مختلف تزریق، در اعماق مختلف، تحت تأثیر جنس زمین و شرایط ژئوتکنیکی می تواند متغیر باشد. حداکثر فشار تزریق به ۱۰ اتمسفر محدود می گردد.
- ۲- مقدار سیمان مصرفی: با توجه به شرایط ژئوتکنیکی و میزان باربری طراحی ریزشمع ها، مقدار سیمان برآوردی معادل هر متر طول ریزشمع تا ۱۰۰ کیلوگرم می تواند باشد. البته با توجه به این امر که باید تزریق تا فشار ۱۰ اتمسفر ادامه یابد، لذا ممکن است مقدار سیمان از برآورد اولیه بیشتر گردد.
- ۳- نسبت آب به سیمان: نسبت آب به سیمان در دوغاب تزریق مورد استفاده، بین ۰/۵ تا ۱/۵ در شرایط عادی و نسبت آب به سیمان دوغاب در شرایط دیگر از ۰/۶۷ تا ۱ می تواند متغیر باشد. قابل ذکر است که نسبت دوغاب در هر بخش به پیشنهاد پیمانکار و تأیید دستگاه نظارت تعیین می گردد.
- ۴- نوع سیمان مصرفی: نوع سیمان مصرفی در ملات تزریق سیمان از نوع سیمان پرتلند تیپ یک، تیپ دو و یا سیمان تیپ پنج است که با توجه به شرایط شیمیایی محل موردنظر تعیین می گردد.
- ۵- آب مصرفی: آبی که در تهیه دوغاب تزریق بکار می رود، باید تمیز و صاف بوده و دارای کلیه شرایط لازم برای آب مصرفی در ساخت بتن باشد. آب مصرفی بایستی عاری از هر نوع ماده ای از قبیل اسیدها، قلیا ها، مواد قندی، نمک ها و مواد آلی که منجر به ایجاد صدمه به بتن می شود، باشد.

۲-۸-۴- تسلیح و نصب فلنج

در صورت اجرای ریزشمع باربر، جاگذاری آرماتور تسلیح در داخل لوله ریزشمع و نصب فلنج ضروری می باشد. بدیهی است که آرماتور تسلیح می بایست قبل از گیرش سیمان در داخل گمانه نصب شود. فلنج که به منظور ایجاد اتصال کامل بین ریزشمع و بتن فونداسیون و همچنین جلوگیری از برش سوراخ کننده سر ریزشمع در داخل بتن پی بکار می رود، می بایست در آخرین مرحله به آرماتور تسلیح ریزشمع جوش شود.

۹-۲- مقایسه روش ریزشمع با سایر روش‌های تحکیم

ریزشمع در مقایسه با سایر روش‌های بهسازی خاک دارای ویژگی‌های بارزی می باشد که در ذیل به صورت فهرست‌وار به آنها اشاره می گردد.

۹-۲-۱- بعد فنی

ریزشمع از یکسو با دارا بودن عناصر تقویت شامل غلاف ضخیم فولادی و آرماتور تقویت، قابلیت انتقال و پخش بار به لایه‌های مقاوم زیرین و نیز کنترل نشست به دلیل سختی بالای فولاد و تقویت عمقی خاک را دارا می باشد. از سوی دیگر به دلیل تزریق دوغاب سیمان، مشخصات مکانیکی خاک، نظیر سختی، تراکم‌پذیری، ظرفیت باربری، زاویه اصطکاک و چسبندگی را نیز بهبود می‌بخشد. لذا ریزشمع در مقایسه با سایر روش‌ها مانند حفاری و تزریق، تثبیت خاک با سیمان و یا آهک، تراکم دینامیکی و استفاده از ژئوسنتیک‌ها که صرفاً خصوصیات مکانیکی خاک را تغییر می‌دهند و یا استفاده از شمع که صرفاً به عنوان عنصر باربر عمل می‌کند، به دلیل عملکرد مرکب (استفاده از عناصر باربر و اصلاح خاک) دارای برتری می باشد.

لازم به ذکر است، به علت تزریق دوغاب سیمان و افزایش چشمگیر چسبندگی بین جدار ریزشمع و توده خاک، استفاده از ریزشمع با قطر کم و با عمق نفوذ کمتر نسبت به شمع‌های بتنی یا فولادی قطور و عمیق، قابلیت تأمین باربری لازم و کنترل نشست پی را خواهد داشت. همچنین بایستی توجه نمود که عملیات کوبش ریزشمع‌ها باعث انتقال انرژی جنبشی و ارتعاشی به توده خاک گردیده و منجر به تحکیم و تراکم توده خاکی اطراف ریزشمع خواهد شد. این امر به‌خصوص در خاک‌های دانه‌ای مشهودتر می باشد. همچنین در شرایطی که به علت وجود لایه‌های متراکم زیرسطحی، کوبش شمع‌های قطور مشکل یا غیرممکن می باشد، ریزشمع می تواند بهترین راه حل باشد.

۲-۹-۲- بعد اجرایی

ماشین آلات اجرای ریزشمع در مقایسه با ماشین آلات اجرایی سایر روش ها دارای ابعاد و حجم کمتری می باشد، لذا علاوه بر آنکه دارای قابلیت حمل و جابجایی آسان در کارگاه می باشد، امکان اجرای عملیات در چند جبهه کاری مختلف بدون تداخل کاری را فراهم می نماید. با توجه به ابعاد کوچک بدنه ریزشمع، قطر ناچیز حفاری و همچنین کوبش ریزشمع با انرژی کم، میزان لرزش و سایر اثرات جانبی بر روی سازه های مجاور در مقایسه با سایر روش ها نظیر اجرای شمع، به حداقل ممکن کاهش می یابد. یکی از برترین ویژگی های ریزشمع قابلیت اجرای بسیار ساده در شرایط وجود آب زیرزمینی است. در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالا بوده و حفاری های با قطر بزرگ جهت اجرای شمع های بتنی نیازمند پایدارسازی دیواره چاهک ها و تخلیه آب زیرزمینی می باشد، اجرای ریزشمع در سطح زمین و تزریق دوغاب سیمان از داخل آن، با سرعت فراوان انجام پذیرفته و به علت چگالی و ویسکوزیته بیشتر دوغاب سیمان، آب حفره ای در اثر فشار دوغاب سیمان تخلیه و با دوغاب سیمان جایگزین می گردد.

۲-۹-۳- بعد اقتصادی

با توجه به این امر که اجرای ریزشمع مبتنی بر استفاده از حجم کم مصالح مشتمل بر فولاد و سیمان، هزینه های پائین تجهیز کارگاه و نیز حجم بالای کار نیروی انسانی در زمان کوتاه می باشد، روش ریزشمع در مقایسه با سایر روش های بهسازی نظیر اجرای شمع بتنی و فولادی، تثبیت باسیمان، اجرای ستون های شنی، تراکم دینامیکی و غیره که مبتنی بر استفاده از حجم زیاد مصالح و یا به کارگیری ماشین آلات سنگین و گران قیمت می باشند، اقتصادی تر است.

۲-۹-۴- تضمین کیفیت عملکرد

انجام تست بارگذاری ریزشمع با روش‌های ساده و ارزان یکی از مزایای بسیار بزرگ این روش در مقایسه با روش‌های دیگر نظیر اجرای شمع‌های قطور بتنی یا فولادی می‌باشد. با توجه به باربری کمتر ریزشمع‌ها نسبت به شمع‌های قطور و عمیق، انجام تست بارگذاری با استفاده از جک‌های سبک، با تأمین نیروی عکس‌العمل تکیه‌گاهی کافی، با دقت بالا و به‌سادگی امکان‌پذیر خواهد بود. با استفاده از نتایج تست بارگذاری ریزشمع، امکان بررسی رفتار، میزان باربری، نشست‌های الاستیک و تغییر شکل‌های پسماند در حین بارگذاری وجود خواهد داشت. بدین ترتیب امکان ارزیابی صحت فرضیات طراحی فراهم گردیده و امکان تعدیل و تغییر طرح، تعداد و چیدمان ریزشمع‌ها با توجه به مشاهده رفتار واقعی و میزان باربری نهایی آنها در محل وجود خواهد داشت. علاوه بر آن مطابق استاندارد، تست بارگذاری بایستی تنها بر روی ۵ درصد از ریزشمع‌های اجراشده انجام گیرد.

۲-۹-۵- مدت‌زمان اجرا

همان‌گونه که قبلاً ذکر گردید، اجرای ریزشمع به دلیل سهولت فراوان اجرایی، امکان اجرا در چند جبهه مختلف کاری و اجرای پی‌درپی و هم‌زمان کلیه مراحل ساخت، در مقایسه با روش‌های دیگر از سرعت بسیار بالایی برخوردار خواهد بود. همچنین عدم نیاز به امکانات خاص برای تجهیز و در نتیجه عدم اتلاف وقت جهت آغاز عملیات اجرایی در مقایسه با سایر روش‌ها، از مزیت‌های این روش به حساب می‌آید.

فصل سوم : عملکرد شمع و ریزشمع های مایل و مطالعات پیشین

۳-۱- مقدمه

در این فصل در قسمت اول به مشاهدات عینی در مورد عملکرد شمع های مایل و در قسمت بعد به مشاهدات و مطالعات انجام شده در مورد عملکرد ریزشمع ها در مناطق لرزه خیز اشاره می شود. در قسمت آخر این فصل به مطالعات آزمایشگاهی و عددی که در گذشته بر روی ریزشمع ها و شمع های مایل انجام شده است، پرداخته می شود.

۳-۲- مشاهدات عینی عملکرد شمع های مایل

مشاهدات زلزله های گذشته، به کارایی شمع های مایل تحت بار زلزله اشاره می کند. در ادامه به چند مورد از مشاهدات زلزله های گذشته اشاره می شود.

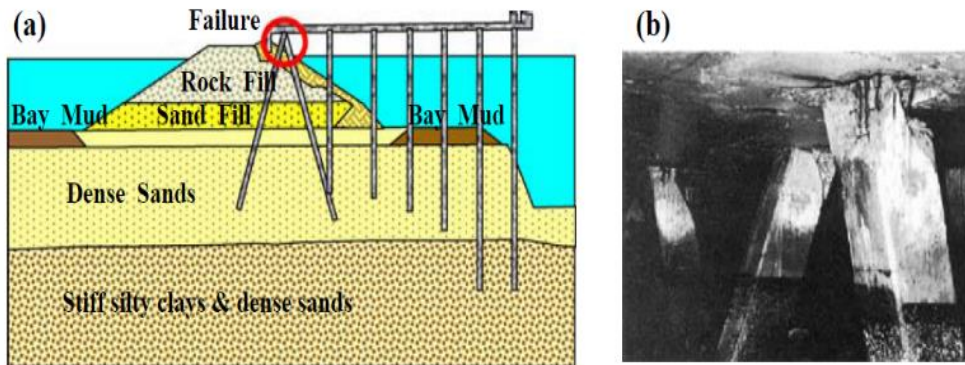
زلزله لوما پریتا^۵ در سال ۱۹۸۹، مشاهدات مهمی را در مورد عملکرد شمع ها نشان داد. در شکل (۳-۱) گسیختگی شمع های مایل زلزله لوما پریتا نشان داده شده است [۲].



شکل (۳-۱) مشاهدات گسیختگی شمع های مایل زلزله Loma Prieta در سال ۱۹۸۹ [۲]

⁵ Loma Prieta

در اثر این زلزله آسیب گسترده‌ای در یک اسکله رخ داد؛ زیرا شمع های بتن پیش تنیده با مقطع ۱۶ اینچ مربع که نگهدارند اسکله بودند، دچار گسیختگی کششی در محل اتصال با عرشه شدند. گسیختگی دیگری نیز در شمع های مایل ۱۶ اینچ مربعی بتن پیش تنیده در نزدیکی اتصال با کلاهک شمع در بندر اوکلند رخ داد که در (شکل ۲-۳) نشان داده شده است.



شکل (۲-۳) گسیختگی در شمع های مایل در بندر اوکلند بعد از زلزله Loma Prieta در سال ۱۹۸۹ [۲]
a. برش مقطع b. گسیختگی شمع مایل

خرابی دیگر در نزدیکی بندر ماتسون^۶، در شمع های قائم ردیف عقب و در شمع های نگهدارند اسکله بتنی مشاهده شد. در اسکله فری پلازا^۷ سانفرانسیسکو، شکست کششی همراه با برش پانچ دال، در محل اتصال عرشه به شمع خمیری بتنی پیش تنیده مشاهده شد. در اسکله های ۲۷ و ۲۹ خرابی مشابه در شمع های بتن پیش تنیده با مقطع ۱۶ اینچ مربع مشاهده گردید.

زلزله‌ی کاستاریکا به بزرگی ۷/۵ ریشتر موجب چندین خرابی در منطقه وسیعی شد که همراه با روانگرایی موجب فروپاشی چندین شمع نگهدارند پل ها شد. شمع‌هایی که در قسمت جلو پل ریو بنانو^۸ بودند دچار خرابی برشی و خمشی شدند و شمع های عمودی دچار خرابی کمتری شدند. نوع دیگر خرابی شمع های مایل در پل ریو ویزکایا^۹ مشاهده شد که منجر به چرخش و فروپاشی عرشه گردید [۳].

⁶ Matson Terminal

⁷ Ferry Plaza

⁸ Rio Banano

⁹ Rio Vizcaya

این آسیب دیدگی های سازه ای که بعد از زلزله مشاهده شد، موجب به وجود آمدن آئین نامه های:

آیین نامه زلزله اروپا، Eurocode EC8-1994 و

آیین نامه لرزه ای فرانسه French recommendation AFPS-1990

گردید تا استفاده از شمع های مایل نواحی لرزه خیز ممنوع شود [۴][۵].

۳-۲-۱- عملکرد رضایت بخش

گازتاس^{۱۰} در سال ۱۹۹۸ [۶]، عملکرد مناسب شمع مایل را با شواهد آزمایشگاهی و ارائه نظریه اثبات

کرد [۶]. میچل و همکاران^{۱۱} در سال ۱۹۹۱ [۷] نشان دادند که خرابی ها در محل اتصال شمع های مایل

و پی دیده شده در زلزله لوما پریتا^{۱۲}، ناشی از طراحی اتصالات نامناسب و ضعیف بوده است [۷]. شواهد

موجود بعد از زلزله کوبه با بزرگی ۶/۹ ریشتر در ۱۶ ژانویه ۱۹۹۵، نشان داد که یکی از معدود دیوارهای

اسکله ای سالم باقی مانده در بندر کوبه پس از وقوع زلزله دیوار کامپوزیتی بود که به وسیله شمع های

مایل نگهداری گردید (جابجایی در حدود ۲۰ سانتیمتر) اگرچه در نزدیکی همین دیوار، دیواری متکی بر

شمع های عمودی وجود داشت که به شدت آسیب دید (جابجایی حدود ۳ متر) با توجه به این مشاهدات

لزوم توجه بیشتر به نقش لرزه ای شمع های مایل آشکار گردید [۸].

بریل و همکاران^{۱۳} در سال ۱۹۹۷ [۹]، در مرکز تحقیقات زلزله بعد از زلزله نیوزلند در سال ۱۹۸۷، پی

بردند که در اسکله لندینگ^{۱۴} در اثر روانگرایی جابجایی دو متر در زمین به وجود آمده است و پلهایی

که با استفاده از گروه شمع های مایل پایدار شده بودند، سالم باقی ماندند [۹].

¹⁰ Gazetas

¹¹ Mitchell et al.

¹² Loma Prieta

¹³ Berrill et al.

¹⁴ Landing road

۳-۳- عملکرد ریزشمع ها در برابر بار زلزله

ریزشمع ها به دلیل نرمی و انعطاف پذیری و شکل پذیری، مزایای قابل توجهی برای سازه‌هایی که در معرض زلزله قرار گرفته‌اند، دارند. آنها می‌توانند به عنوان فونداسیون نگهدارنده سازه‌های جدید در مناطق زلزله خیز و همچنین جهت مقاوم‌سازی سازه‌های موجود در برابر زلزله به کار روند [۱۰][۱۱] و [۱۲][۱۳]. آنالیز خرابی پی‌ها در اثر زلزله کوبه ۱۹۹۵، نشان داد که شمع های فولادی با قطر کوچک مقاومت خوبی در برابر بار زلزله در مقایسه با شمع های بتنی مسلح شده و با قطر بزرگ دارند [۱۴]. سختی و مقاومت ریزشمع های قائم در برابر بار جانبی به مراتب کمتر از ریزشمع های مایل می باشد. بنابراین ریزشمع های مایل جهت مقاومت در برابر نیروهای اینرسی و ایجاد پایداری مطمئن برای فونداسیون در برابر بار زلزله جایگزینی خوبی به حساب می‌آیند [۱۳] و [۱۴][۱۵]. این مشاهدات و تحقیقات لزوم استفاده از ریزشمع ها را در مناطق لرزه‌خیز بیان می‌کرد.

۳-۴- مطالعات عددی استفاده از ریزشمع توسط محققین در سال های گذشته

در مطالعات گذشته، سعی شده بود تا اندرکنش خاک و شمع مایل تحت بارگذاری‌ها و شرایط مختلف بررسی گردد. بدین منظور، آزمایش‌های میدانی و مطالعات آزمایشگاهی و عددی بکار برده شد. در ادامه به مطالعات آزمایشگاهی و عددی و همچنین مطالعاتی که در گذشته در حل مسائل اندرکنش خاک و ریزشمع توسط اجزاء محدود، انجام شده است پرداخته می‌شود.

۳-۴-۱- مطالعات کیشیشیتا و همکاران

کیشیشیتا و همکاران^{۱۵} در سال ۲۰۰۰ [۱۶]، تحلیل‌های خطی و غیرخطی، بر روی ریزشمع های تحت اثر بار لرزه‌ای، با استفاده از آزمایش میز لرزه، انجام دادند و مقایسه بر روی شمع های درجا ساز و پیش ساخته صورت گرفت. تحلیل‌ها برای مدل پی‌های شمعی در موارد شمع های پیش ساخته (مورد ۱)

¹⁵ Kishishita et al.

شمع های درجاساز (مورد ۲)، ریزشمع های با ظرفیت بالا (مورد ۳) و ریزشمع های با ظرفیت بالا که در آنها از ریزشمع های مایل استفاده شده بود (مورد ۴)، انجام شده بودند. در این مطالعه شتاب و جابجایی های ریزشمع ها و شمع های اشاره شده، مقایسه شده اند و مطالعه ای بر روی بررسی نیروهای داخلی، انجام نگرفت [۱۶].

۳-۴-۲- ژوران و همکاران^{۱۶}

ژوران و همکاران در سال ۲۰۰۱، آزمایش های سانتریفیوژ را به منظور بررسی رفتار لرزه ای گروه ریزشمع انجام دادند. برنامه های تفاضل محدود LPILE و GROUP به منظور شبیه سازی آزمایش های سانتریفیوژ، مورد استفاده قرار گرفتند. این آزمایش ها به منظور مطالعه رفتار ریزشمع-خاک-سازه و همچنین به منظور بررسی پاسخ سیستم های ریزشمع تحت اثر بارگذاری زلزله انجام شدند. مدول یانگ ریزشمع ۲۷۰۰ مگا پاسکال و طول ریزشمع ۲۱/۳ سانتیمتر و قطر ریزشمع ۶/۵ و ۹/۵ میلی متر و طول ریزشمع ها پنج برابر قطر آنها در نظر گرفته شد. کرنش سنج و شتاب سنج ها به منظور اندازه گیری جابجایی و تاریخچه شتاب در بر روی شمع نصب شده بودند. نوع خاک ماسه با چگالی نسبی ۵۷ درصد و نسبت تخلخل با ماکزیمم و مینیمم ۰/۵۱ و ۰/۸۸ و با G_s ۲/۶۷ و زاویه اصطکاک ۳۵ درجه بود. بار سینوسی با شتاب g ۰/۳ و فرکانس ۲ هرتز به کف مدل اعمال گردید. پارامترهایی نظیر نسبت لاغری و نسبت فاصله بین ریزشمع ها به قطر آنها مورد بررسی قرار گرفتند. منحنی $p-y$ نتایج به منظور بررسی اندرکنش خاک و ریزشمع به دست آمد. نتایج تحلیل استاتیکی نشان داد که ممان خمشی و جابجایی در گروه شمع (۲×۱) و ۲× (۲×۱) با نسبت فاصله به قطر ۳، در مقایسه با گروه شمع ۱×۲ و با نسبت فاصله به قطر ۵، کاهش یافته است [۱۲].

¹⁶ Juran et al.

۳-۴-۳- مطالعات سادک و شاهرور^{۱۷} در سال ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶

سادک و شاهرور در سال ۲۰۰۴ [۱۵]، با انجام یک تحلیل سه بعدی اثر تمایل ریزشمع ها تحت اثر بار لرزه ای را مورد بررسی قرار دادند، مطالعه با استفاده از یک مدل اجزاء محدود سه بعدی انجام گرفته است. در این تحقیق، خاک به صورت الاستیک، همراه با میرایی رایلی، فرض شده و رفتار کامل پلاستیک و سخت شدگی خاک در نظر گرفته نشده است و رفتار لرزه ای گروه ریزشمع در خاک همگن بررسی شده است. مدل سازی عددی توسط نرم افزار اجزا محدود PECPLAS انجام شد. بار زلزله به صورت هارمونیک به کف مدل خاک اعمال گردید. مرزهای جانبی دور از ریزشمع تعریف شدند تا از اثرات مرز روی مدل اجتناب شود. مطالعه بر روی شتاب رو سازه انجام گرفت و نتایج نشان داد که استفاده از ریزشمع مایل موجب کاهش شتاب جانبی سازه می گردد [۱۵].

سادک و شاهرور در سال ۲۰۰۶ [۱۷]، تأثیر اتصال کلاهک و سر ریزشمع را بر روی پاسخ لرزه ای ریزشمع مورد بررسی قرار دادند. ریزشمع قائم و مایل با المان تیر^{۱۸} و به صورت سه بعدی با استفاده از نرم افزار PECPLAS ساخته شده بودند. رفتار خاک الاستیک و با میرایی رایلی در نظر گرفته شده بود. نتایج نشان داد که اتصال مفصلی بین ریزشمع و کلاهک، موجب کاهش ممان خمشی و نیروی محوری بخصوص در ریزشمع ها می شود [۱۷].

۳-۴-۳- جرلیمس و همکاران^{۱۹}

جرلیمس و همکاران در سال ۲۰۰۸ [۱۸]، رفتار لرزه ای شمع ها را با اتصال مفصلی و گیردار در دو خاک غیر همگن و همگن مورد بررسی قرار دادند.

¹⁷ Sadek and Shahrour

¹⁸ beam

¹⁹ Gerolymos et al.

۳-۴-۴-۱- مقدمه و مدل سازی

مدل رو سازه به صورت بنای مرتفع به ارتفاع ۱۲ متر و بنای کوتاه به ارتفاع ۱ متر در نظر گرفته شد. شمع ها به صورت یک شمع قائم و یک شمع مایل با زاویه ۲۵ درجه و دو شمع مایل متقارن با زاویه ۲۵ درجه و دو شمع قائم در نظر گرفته شدند. در ابتدا یک سازه برای هر سه گروه شمع در نظر گرفته شد. فاصله مرکز به مرکز شمع ها، ۳ متر فرض گردید. از نرم افزار آباکوس جهت مدل سازی استفاده شده است. هردو خاک و شمع بر اساس رفتار خطی مدل سازی شده اند. به دلیل متقارن بودن مدل جهت کاهش محاسبات تنها نصف مدل آنالیز گردید. تأثیر اتصال مفصلی و گیردار بین کلاهک و شمع، بر روی پاسخ شمع ها تحت بار زلزله مورد بررسی قرار گرفت [۱۸].

۳-۴-۴-۲- نتایج اتصال مفصلی و گیردار

اتصال مفصلی بین شمع و کلاهک، منجر به جابجایی بزرگتر کلاهک و چرخش بیشتری نسبت به اتصال گیردار می شود. نیروی محوری در گروه شمع مایل و قائم در اتصال مفصلی و گیرداری تقریباً یکسان می باشد.

۳-۴-۴-۳- نتایج در رو سازه بلند

نتایج به دست آمده در سازه بلند نشان داد که:

اتصال مفصلی منجر به کاهش طیف پاسخ شتاب در سطح رو سازه می شود. در هر دو پروفیل خاک، ممان خمشی در اتصال گیردار کلاهک با شمع در شمع های مایل حدوداً سه برابر بزرگتر از شمع های قائم می باشد. به هر حال برای اجتناب از تغییر شکل های زیاد و ایجاد ممان خمشی بالا و تولید تغییر شکل های غیر الاستیک به علت زلزله های بزرگ لازم است که اتصال کلاهک و شمع مسلح شود. اتصالات کلاهک با شمع تأثیر قابل توجهی روی شمع ها در تغییر نیروی محوری ندارد.

۳-۴-۴- نتایج در رو سازه کوتاه

نتایج نشان داد که در رو سازه کوتاه نوع اتصال کلاhek و شمع روی پاسخ سازه تأثیر قابل توجهی ندارد؛ برعکس در رو سازه بلند در اتصال مفصلی کلاhek با شمع، شتاب رو سازه کاهش قابل توجهی یافته است. در رو سازه کوتاه، در تغییر مکان افقی رو سازه (در هر نوع شرایط متقارن یا نامتقارن و در هر نوع اتصال مفصلی یا غیر مفصلی)، برخلاف رو سازه بلند، تفاوت اندکی به وجود آمده است.

۳-۴-۵- نتیجه گیری

در مورد رو سازه بلند مثل سکوهای بلند پل، گروه شمع مایل متقارن با اتصال مفصلی موجب عملکرد رضایت بخش هم در رو سازه وهم در فونداسیون می شود. در مورد سازه های کوتاه نوع اتصال کلاhek با شمع تأثیر اندکی روی پاسخها دارد.

۳-۴-۵- مطالعات وانگ و همکاران^{۲۰}

وانگ در سال ۲۰۰۹ [۱۹]، با استفاده از نرم افزار PLAXIS، نقش ریزشمع ها را در مسلح سازی خاک ریز، تحت بار استاتیکی و دینامیکی مورد بررسی قرار داد. طول ریزشمع ها ۱۴ متر و قطر آنها ۰/۲ متر فرض شده بود و مدل سازی به صورت دوبعدی انجام شد. مرز کف کاملاً گیردار و مرزهای کناری در جهت عمود بسته شده بودند. رفتار خاک الاستیک خطی فرض گردید. همچنین در این مطالعه تأثیر بار هارمونیک و بار زلزله بر روی رفتار لرزه ای ریزشمع ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد افزایش شتاب ورودی موجب افزایش تغییر مکان ها می گردد [۱۹].

۳-۴-۶- مطالعات وانگ و همکاران^{۲۱}

وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۰ [۲۰]، تحلیل لرزه ای بر روی ریزشمع های مایل در خاک های مستعد روانگرایی انجام دادند. جهت تحریک از رکورد زلزله واقعی و بار هارمونیک استفاده شد [۲۰].

²⁰ Wang,Z et al.

²¹ Wang,M et al.

مدلسازی به صورت دوبعدی و با استفاده از برنامه FLIP انجام شد. برنامه FLIP توسط لی^{۲۲} جهت مدلسازی ریزشمع های مایل در خاک های مستعد روانگرایی تحت بار زلزله، توسعه یافته است. خاک از سه لایه، خاک خشک به ضخامت ۲ متر و لایه اشباع به ضخامت ۳ متر و لایه اشباع متراکم به ضخامت ۵ متر تشکیل شده بود. قطر ریزشمع ها ۰/۲ متر و طول آنها ۵/۷ متر فرض گردید. ریزشمع ها با المان های تیر مدلسازی شده بودند. مدول برشی ریزشمع، ۷۷۰ مگا پاسکال و ضریب پواسن و چگالی ریزشمع به ترتیب ۰/۳ و ۲/۵ گرم بر سانتی متر مکعب بود. جهت مدلسازی اندرکنش شمع و خاک فنر تعریف گردید. منحنی های ممان خمشی در طول ریزشمع به دست آمدند. نتایج نشان داد که در محل تماس لایه خشک و لایه اشباع افزایش ناگهانی در مقادیر پاسخ ها رخ داده است و ریزشمع های چپ و راست رفتاری متفاوت دارند.

۳-۴-۷- مطالعات ژنگ و همکاران^{۲۳}

ژنگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ [۲۱]، با استفاده از آزمایش سانتریفیوژ و مدلسازی عددی، پاسخ شمع های مایل، تحت بار زلزله را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه رفتار خاک الاستیک فرض گردید. آزمایش دینامیکی سانتریفیوژ روی یک سازه کوتاه قرار گرفته بر روی شمع های فونداسیون انجام شد. دو شمع قائم و دو شمع مایل مورد بررسی قرار گرفتند. اتصال بین سازه و کلاهک شمع گیردار فرض گردید. سازه با فرکانس ۲ هرتز در شرایط که در پایه گیردار شده بود طراحی شد. شتاب و ممان خمشی در شمع در هر دو حالت مورد بررسی قرار گرفتند [۲۱].

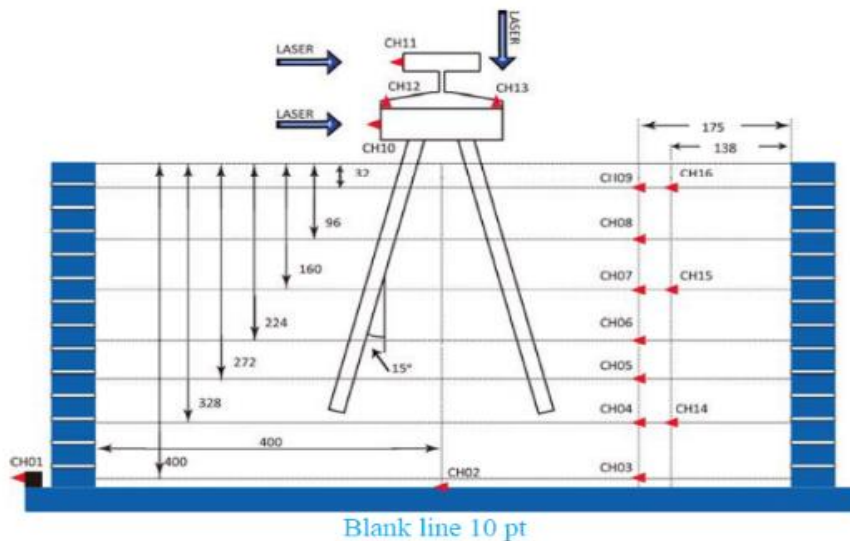
۳-۴-۷-۱- تنظیم سنسور

در طول آزمایش سانتریفیوژ، پاسخ سیستم خاک و شمع توسط مجموعه ای از شتاب سنج ها دریافت شدند. در شکل (۳-۳)، موقعیت قرارگیری شتاب سنج ها نشان داده شده است. مشابه همین حالت

²² L. Li

²³ Zheng LI

برای شمع های قائم بکار برده شده است. مثلث قرمز بیانگر موقعیت آنها می باشد شتاب سنج ها به دو گروه، اندازه گیری پاسخ در جهت عمودی و افقی تقسیم شده بودند. دو سنسور به منظور اندازه گیری چرخش روی کلاهک شمع نصب گردید. به منظور ثبت پاسخ ستون خاک شتاب سنج ها در امتداد خط عمود نصب شدند. سه سنسور دیگر برای اندازه گیری تغییر مکان کلاهک و سازه بکار برده شدند.



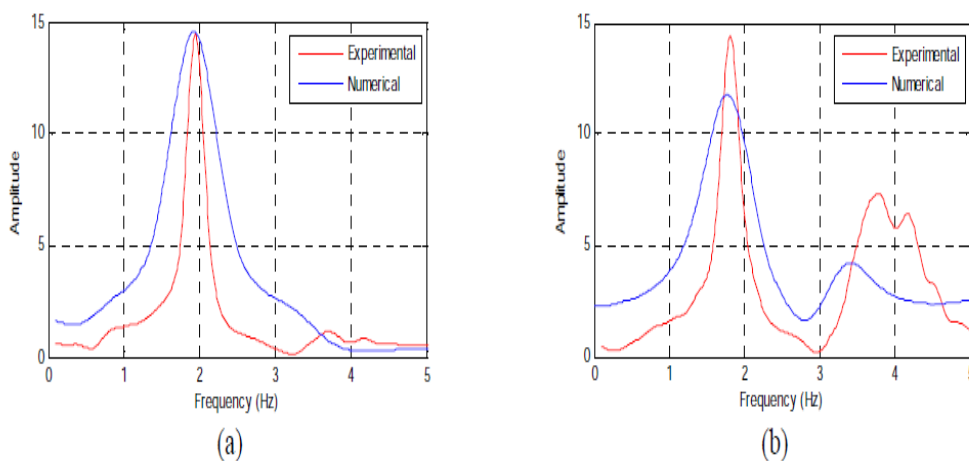
شکل (۳-۳) جانمایی شتاب سنج ها و سنسورها در گروه شمع مایل [۲۱]

۳-۴-۷-۲- مدل سازی عددی آزمایش سانتریفیوژ

به منظور درک بهتر آزمایش مدل سازی توسط نرم افزار آباکوس صورت گرفت. به دلیل تقارن نیمی از مدل، مدل سازی گردید.

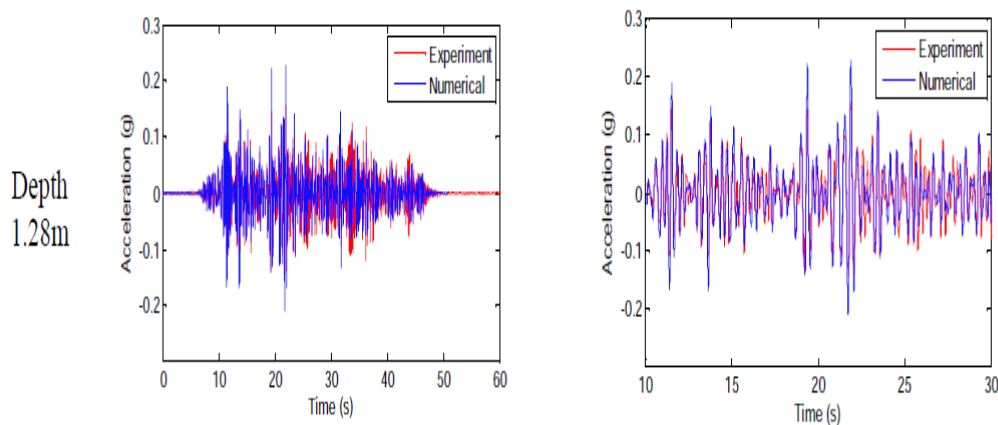
۳-۴-۷-۳- نتایج

با توجه به شکل (۳-۴)، در آزمایش فرکانس سازه ۲ هرتز به دست آمد. در مدل سازی عددی، فرکانس در حالت مایل به ۱/۹ هرتز و در حالت قائم به ۱/۸ هرتز به دست آمد. نتایج آنالیز تجربی و عددی در شکل نشان داده شده است.



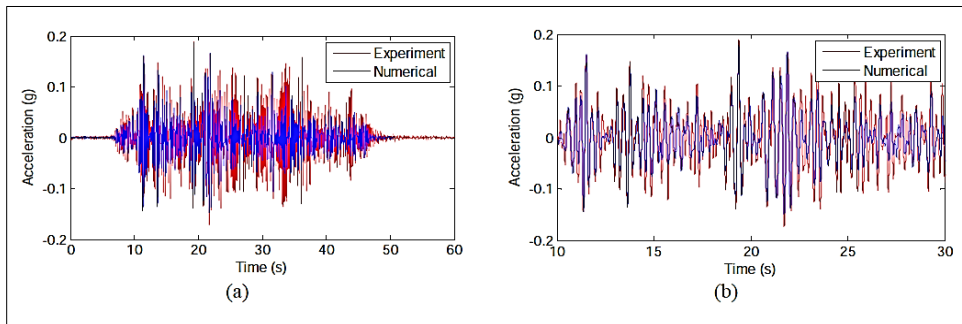
شکل (۳-۴) نتایج تجربی و عددی در دامنه فرکانس [۲۱]

تاریخچه شتاب خاک در عمق ۱/۲۸ متری از سطح زمین در شکل (۳-۵) نشان داده شده‌اند. نتایج نشان داد که یک همبستگی خطی قوی بین نتایج وجود دارد که نشان‌دهنده این است که تحلیل عددی نتایج رضایت‌بخشی در مورد رفتار خاک نشان می‌دهد.

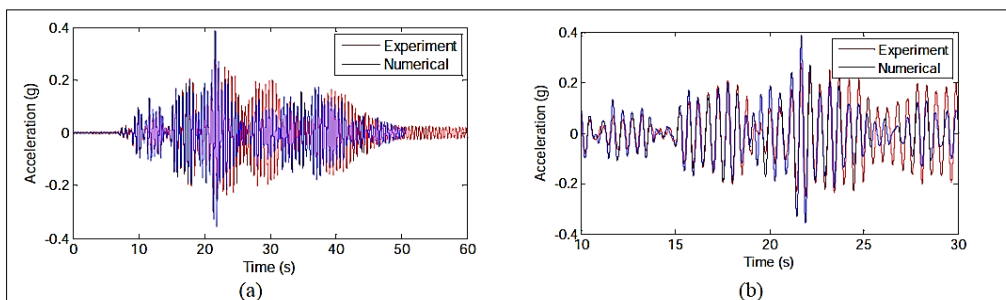


شکل (۳-۵) تاریخچه شتاب در عمق ۱/۲۸ متر [۲۱]

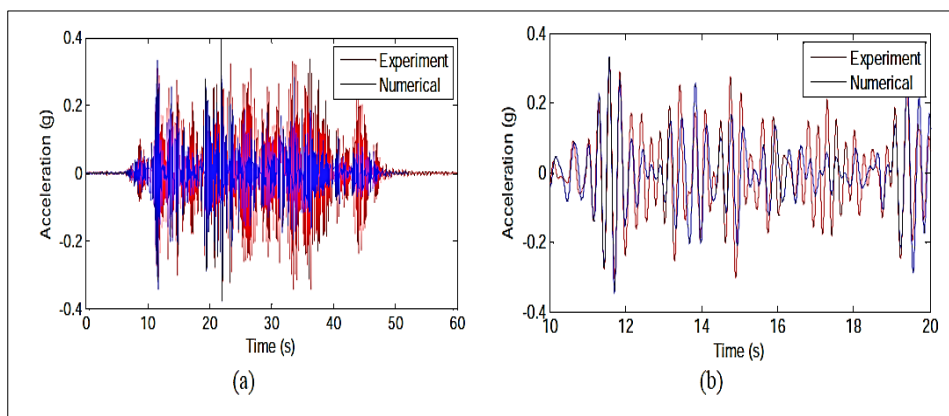
اوج شتاب در کلاهک شمع برای شمع های مایل در حالت تجربی $0.19g$ و برای شمع قائم $0.39g$ می باشد. اوج شتاب در بالای سازه در حالت تجربی $0.34g$ برای شمع مایل و $0.46g$ برای شمع قائم می باشد. پاسخ کلاهک شمع و رو سازه در اشکال (۳-۶) تا (۳-۹) آمده است.



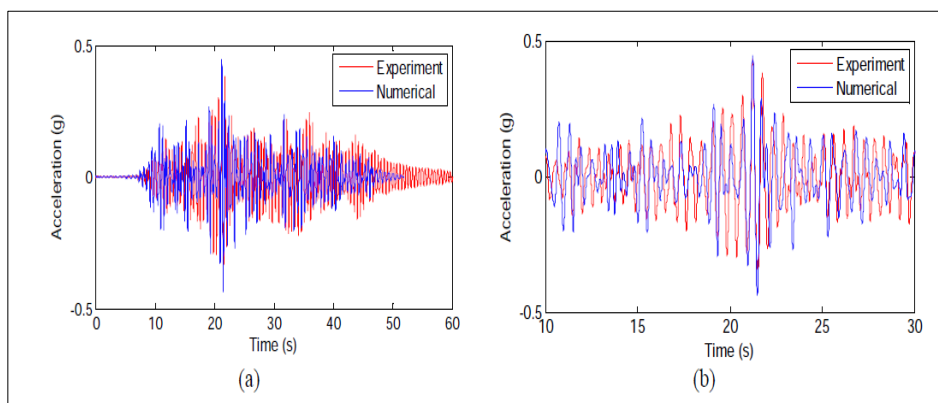
شکل (۳-۶) تاریخچه شتاب در کلاهک شمع در حالت مایل [۲۱]



شکل (۳-۷) تاریخچه شتاب در بالای رو سازه در حالت مایل [۲۱]



شکل (۳-۸) تاریخچه شتاب در کلاهک شمع در حالت قائم [۲۱]

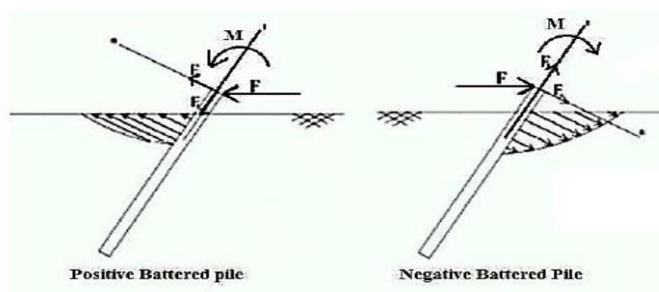


شکل (۳-۹) تاریخچه شتاب در بالای رو سازه در حالت قائم [۲۱]

۳-۴-۸- مطالعات منفرد^{۲۴}

منفرد در سال ۲۰۱۲، مطالعه عددی بر روی تأثیر هندسه ریزشمع مایل تکی، شامل قطر و طول و زاویه، بر روی ظرفیت باربری انجام داد. رفتار خاک بر اساس معیار موهر کلمب فرض گردید. ریزشمع با رنج قطر ۱۰۰ تا ۱۲۵ میلی متر و طول ۴ تا ۱۱ متر و زاویه ۰ تا ۵ درجه در نظر گرفته شد. زاویه تمایل در ریزشمع، در جهت نیرو و خلاف جهت نیرو مورد بررسی قرار گرفت [۲۲].

با توجه به شکل (۳-۱۰) لغزش سطح، در شمع مثبت رو به بالا و در شمع منفی رو به پایین می باشد.



شکل (۳-۱۰) شمع مایل مثبت و منفی [۲۲]

نتایج نشان داد که ریزشمع مایل منفی ظرفیت باربری بزرگتری نسبت به ریزشمع مایل مثبت دارد. افزایش زاویه تمایل منجر به افزایش قابل توجه در ظرفیت باربری ریزشمع مایل منفی می شود در حالی که در ریزشمع مایل مثبت موجب کاهش ظرفیت باربری می گردد. مطالعه پارامتریک بر روی ریزشمع منفی نشان داد که افزایش قطر موجب افزایش ظرفیت باربری جانبی می گردد؛ در حالی که افزایش طول ریزشمع تأثیر اندکی بر روی افزایش ظرفیت جانبی دارد.

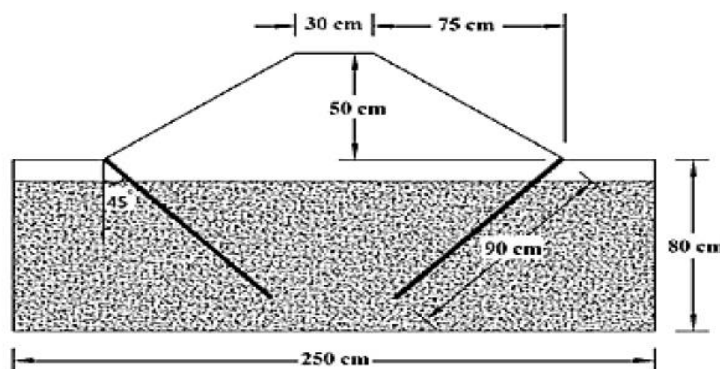
²⁴ Monfared

۳-۴-۹- مطالعات اسماعیلی و همکاران^{۲۵}

اسماعیلی و همکاران در سال ۲۰۱۲، مدل سازی عددی بر روی ریزشمع ها به منظور مسلح سازی خاکریز سست شن و ماسه راه آهن انجام دادند. در این مطالعه مدل سازی عددی و آزمایشگاهی بر روی خاکریز انجام شد. برنامه PLAXIS-3D برای مدل سازی بکار برده شد. ابعاد خاکریز در جدول (۳-۱) و مدل کلی در شکل (۳-۱۱) نشان داده شده است [۲۳].

جدول (۳-۱) ابعاد بستر و خاکریز [۲۳]

Parameter	Value (m)
Embankment length	50
Embankment height	10
Slope length	18
Embankment crest	6
Bed depth	16
Depth of modified part of the bed	2
Width of bed sides	7



شکل (۳-۱۱) مدل خاکریز [۲۳]

جک با ظرفیت باربری ۳۰۰ کیلو نیوتن با گام های بارگذاری ۲/۵ کیلونیوتن در بالای خاکریز بکار برده شد. ابزارهایی به منظور اندازه گیری تغییر مکان خاکریز و فشار محوری ریزشمع و شکست کششی در سطح خاکریز نصب گردید. رفتار خاک الاستوپلاستیک با معیار موهر کلمب در نظر گرفته شد. نتایج

²⁵ Esmaeili et al.

مدل عددی با نتایج مدل آزمایشگاهی مقایسه گردید. ۸۹ درصد اختلاف در ظرفیت باربری و ۱۶ درصد اختلاف در تغییر مکان خاک ریز و ۴/۱۱ درصد اختلاف در کرنش محوری ریزشمع مشاهده شد. مطالعه پارامتریک شامل تأثیر قطر و طول و تعداد ریزشمع و فاصله بین ریزشمع ها در مدل سازی عددی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که پارامتر فاصله تأثیر قابل توجهی در افزایش ضریب اطمینان دارد. ضریب اطمینان برای پارامترهای فاصله و طول و قطر و تعداد ریزشمع ها به ترتیب ۴/۶ و ۳/۱ و ۱/۵ و ۰/۸ به دست آمد.

فصل چهارم : مدل سازی عددی

۴-۱- مقدمه

در این مطالعه برنامه اجزاء محدود آباکوس، جهت مدل سازی سیستم خاک و ریزشمع و سازه بکار برده شده است. مدل سازی به صورت سه بعدی می باشد [۲۴]. در ابتدا گروه ریزشمع ۲×۲ با چیدمان مختلف قرارگیری ریزشمع ها، تحت بار دینامیکی مورد بررسی قرار گرفتند و بعد از آن گروه ریزشمع ۳×۲ مدل سازی گردید و تأثیر زاویه انحراف ریزشمع ها و تأثیر جرم رو سازه و شتاب زلزله بر روی پاسخ گروه ریزشمع تحت بار دینامیکی مورد بررسی قرار گرفت.

در مدل سازی با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود، انتخاب روش مناسب جهت مدل سازی سیستم شمع و خاک و سازه تحت بار استاتیکی و دینامیکی، ضروری می باشد. در این فصل به روش های مدل سازی و تشریح آنها پرداخته می شود.

بعد از انتخاب روش مناسب جهت مدل سازی، لازم است که با استفاده از مطالعاتی که در گذشته توسط محققین انجام شده، صحت سنجی مدل انجام شود. در قسمت پایانی فصل، صحت سنجی ارائه شده است.

۴-۲- انتخاب روش های اجزاء محدود

مؤلفه های مهم در یک مدل اجزاء محدود، شامل المان بکار گرفته جهت مدل سازی شمع و خاک، سائز مش بندی، مدل رفتاری خاک و شمع، اندرکنش بین شمع و خاک، میرایی، شرایط مرزی و گام های بارگذاری می باشد. در ادامه به تشریح هر یک از مؤلفه های بکار برده جهت مدل سازی پرداخته شده است.

۴-۲-۱- المان‌های مش بندی

در این مطالعه، المان مورد استفاده جهت مدلسازی ریزشمع‌ها، المان سالیید^{۲۶} و بیم^{۲۷} (B31)، در نرم‌افزار آباکوس) [۲۴] می‌باشد [۲۴]. این نوع المان در مطالعات گذشته جهت بررسی اندرکنش ریزشمع و خاک نیز به کار برده شده‌اند [۲۵] و [۲۶].

جهت مدلسازی توده خاک اطراف ریزشمع، المان ۸ گره ای مکعبی سه‌بعدی C3D8R، که در اکثر مطالعات گذشته بکار برده شده، مورد استفاده قرار گرفته است [۲۷] [۲۸].

۴-۲-۲- ابعاد المان‌های مش بندی

انتخاب مناسب ابعاد المان‌ها در یک تحلیل عددی از جهت تأثیرگذاری آن بر دقت نتایج بسیار حائز اهمیت است. استفاده از المان‌های کوچک علاوه بر نیاز به سیستم‌های رایانه‌ای باقابلیت بالا، سبب افزایش قابل توجه زمان تحلیل می‌گردد. از سویی دیگر انتخاب المان‌های با ابعاد بزرگ نیز موجب کاهش دقت تحلیل می‌شود.

بنابراین ابعاد المان در نزدیکی فونداسیون و شمع‌ها کوچک‌تر در نظر گرفته می‌شود و بافاصله از شمع‌ها بزرگتر می‌شود. در این راستا فرکانس امواج ورودی و ویژگی‌های سرعت امواج در محیط نقش تعیین‌کننده‌ای خواهند داشت. تقسیم بندی المان‌ها برای خاک در جهت عمود ثابت در نظر گرفته شده است. ماکزیمم سائز المان برای خاک کمتر از $\frac{1}{8}$ تا $\frac{1}{10}$ کوچک‌ترین طول موج در نظر گرفته شد [۲۹]. طول موج با توجه به رابطه (۴-۱) به دست می‌آید.

$$\lambda_{min} = \frac{v_s}{f_{max}} \quad (4-1)$$

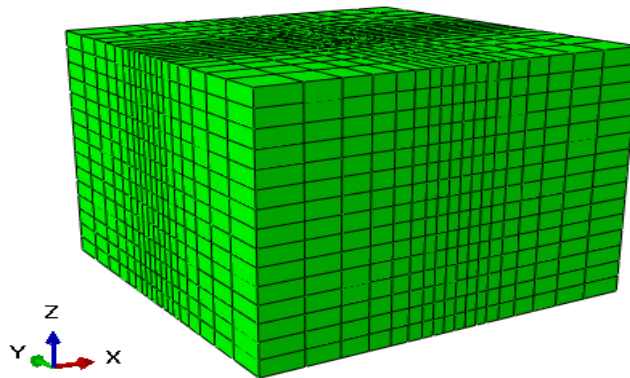
²⁶ Solid

²⁷ Beam

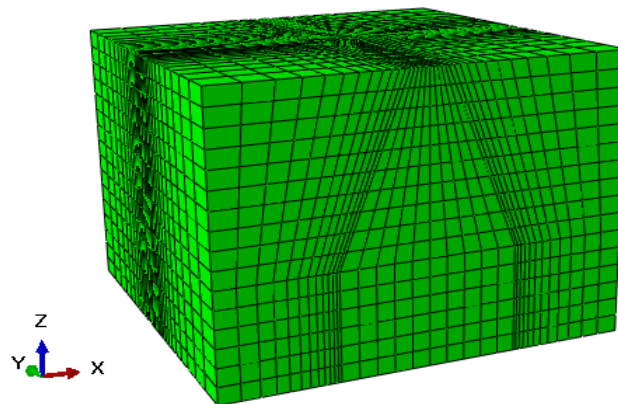
که در این رابطه λ_{min} طول موج مؤلفه‌های از امواج زلزله است که دارای بیشترین فرکانس می باشد و f_{max} و V_s سرعت امواج در مدل و حداکثر فرکانس حاصل از زلزله می باشند. سرعت امواج بر اساس رابطه (۲-۴) محاسبه می شود.

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (۲-۴)$$

که در آن V_s سرعت موج برشی و G مدول برشی خاک می باشد. برای تعیین حداکثر فرکانس زلزله می توان از طیف فوریه دامنه تاریخچه شتاب زلزله استفاده نمود. مش بندی مدل خاک و در گروه ریزشمع قائم و مایل در اشکال (۱-۴) و (۲-۴) نشان داده شده است.

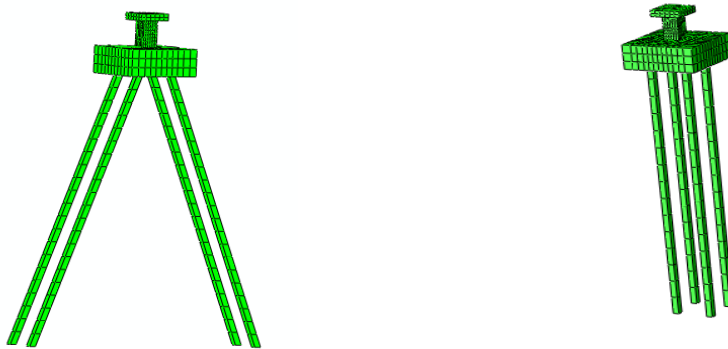


شکل (۱-۴) مش بندی مدل خاک در گروه ریزشمع قائم



شکل (۲-۴) مش بندی مدل خاک در گروه ریزشمع مایل

مش بندی ریزشمع ها در شکل (۳-۴) نشان داده شده‌اند.



شکل (۳-۴) مش بندی ریزشمع های قائم و مایل

۳-۲-۴- معیار رفتاری خاک

انتخاب مدل رفتاری مناسب برای معرفی مصالح در مدل سازی عددی از اهمیت بالایی برخوردار است. در مطالعات مشابه در سال های گذشته رفتار شمع الاستیک خطی در نظر گرفته شده است [۲۷][۲۸]. در بیشتر تحقیقات مسائل اندرکنش خاک و شمع در سال های گذشته، مصالح الاستیک خطی برای مدل خاک، در نظر گرفته شده بودند. اما خاک اغلب رفتار غیرخطی دارد و از این رو باید رفتار پلاستیسیته خاک در نظر گرفته شود. مدل رفتاری الاستوپلاستیک، رفتار واقعی خاک را با دقت کافی نشان می دهد. معیارهای مختلفی برای ارائه رفتار الاستوپلاستیک خاک وجود دارند که می توانند رفتار واقعی خاک را با دقت مناسب شبیه سازی کنند. در این پژوهش رفتار خاک با استفاده از معیار موهر کولمب که از رابطه (۳-۴) به دست می آید، در نظر گرفته شده است.

$$\tau = C + \sigma_n \cdot \tan \phi \quad (3-4)$$

در معادله فوق C چسبندگی و ϕ زاویه اصطکاک داخلی خاک و σ_n تنش نرمال و τ تنش برشی هستند.

۴-۲-۴- اندرکنش ریزشمع و خاک

در مسائل اندرکنش خاک و شمع، سطح مشترک بین خاک و شمع تأثیر زیادی بر روی نتایج دارد. سطح مشترک بین خاک و شمع می تواند به صورت اتصال کامل و یا به صورت سطح اصطکاکی همراه با لغزش^{۲۸} و جداسازی^{۲۹} تعریف بشود. در حالت اصلی سطح مشترک باید بر اساس ترکیبی از لغزش و جداسازی تعریف شود. محققان به علت زمان زیاد محاسبات و احتمال واگرایی در حل، اگر مسئله وابسته به لغزش و جداسازی نباشد اغلب سطح مشترک شمع و خاک را با تماس کامل در نظر می گیرند. در آباکوس تماس مکانیکی بین دو سطح، بر پایه تماس بر اساس گره و تماس بر اساس سطح مدل می گردد [۲۴]. در اندرکنش بر اساس گره، تماس بین دو گره توسط المان های تماسی صورت می گیرد. در حالی که در اندرکنش سطحی، تماس بین دو سطح به صورت مستقیم تعریف می گردد. در تعریف اندرکنش بر اساس سطح تماس، قابلیت تعریف اندرکنش نرمال و مماسی (تانژانتی) وجود دارد؛ اما در تعریف اندرکنش بر اساس گره های تماسی، تنها تعریف اندرکنش نرمال امکان پذیر است. تعریف اندرکنش بر اساس سطح تماس در مسائل اندرکنش خاک و شمع، توسط چندین محقق در سال های گذشته مورد تأیید بوده است [۲۷][۳۰].

در این مطالعه اندرکنش بین شمع و خاک و همچنین اندرکنش بین کلاهک و خاک بر اساس اندرکنش سطح تماسی تعریف شده است. تعریف این نوع اندرکنش در آباکوس شامل گام های زیر می باشد؛

تعریف سطح تماس

تعریف سطح اصلی و پیرو

تعریف خصوصیات نرمال و مماسی بین دو سطح تماس

²⁸ Slipping

²⁹ gapping

سطح نرم‌تر به عنوان سطح پیرو و سطح سخت‌تر به عنوان سطح اصلی تعریف می‌شوند. در این مطالعه سطح پیرو و اصلی به ترتیب، سطح خاک و شمع می‌باشند. در تعریف اندرکنش بین کلاهدک و خاک، سطح کلاهدک به عنوان سطح اصلی و سطح خاک به عنوان سطح پیرو تعیین شده‌اند.

اندرکنش بین دو سطح بر اساس، تماس از نوع نرمال و مماسی تعریف شده است؛ بطوریکه در تماس عمودی بین دو سطح، تماس از نوع سخت^{۳۰} استفاده شده است. در این نوع تعریف هر فشاری بین سطوحی که در تماس هستند، انتقال پیدا می‌کند. اگر فشار تماسی کاهش یابد یا به صفر برسد امکان جدا شدن سطوح به وجود می‌آید. سطح‌های جدا شده از هم وقتی فاصله بین آنها کاهش یابد یا به صفر برسد، باهم تماس پیدا می‌کنند. در تماس مماسی (اصطکاکی) از روش پنالتی با ضرایب اصطکاکی ثابت استفاده شده است.

۴-۲-۵- گام‌های بارگذاری

به دلیل اینکه پاسخ شمع‌های فونداسیون وابسته به تاریخچه بارگذاری می‌باشد، شبیه‌سازی شرایط تنش برجا قبل از اعمال بار زلزله به مدل ضروری می‌باشد. از این‌رو قبل از اعمال بار زلزله باید بار گرانش به مدل اعمال گردد و شرایط تنش برجا در توده خاک به وجود بیاید. در این مطالعه، بار گرانش در گام استاتیکی، برای مدل تعریف گردید و همچنین به منظور اجتناب از نشست‌های اضافی ناشی از بار گرانش و ایجاد تنش‌های قائم و افقی در توده خاک، تنش ژئواستاتیکی در میدان تنش^{۳۱} نرم‌افزار آباکوس به خاک اعمال گردید. در تعریف تنش ژئواستاتیکی، تنش عمودی در دو نقطه باید تعیین شود و در نرم‌افزار اختلاف تفاوت بین دو نقطه به صورت خطی در نظر گرفته می‌شود. بر اساس رابطه (۴-۴) تنش عمودی در یک نقطه (σ_v)، توسط تعداد لایه‌های خاک قرارگرفته در بالای نقطه موردنظر n تعیین می‌شود.

$$\sigma_v = \sum_{i=1}^n \gamma_n \cdot h_n \quad (4-4)$$

³⁰ Hard contact

³¹ stress field

$$\gamma_n = \text{وزن مخصوص لایه های بالایی نقطه } n$$

$$h_n = \text{ضخامت لایه های خاک با توجه به نقطه موردنظر}$$

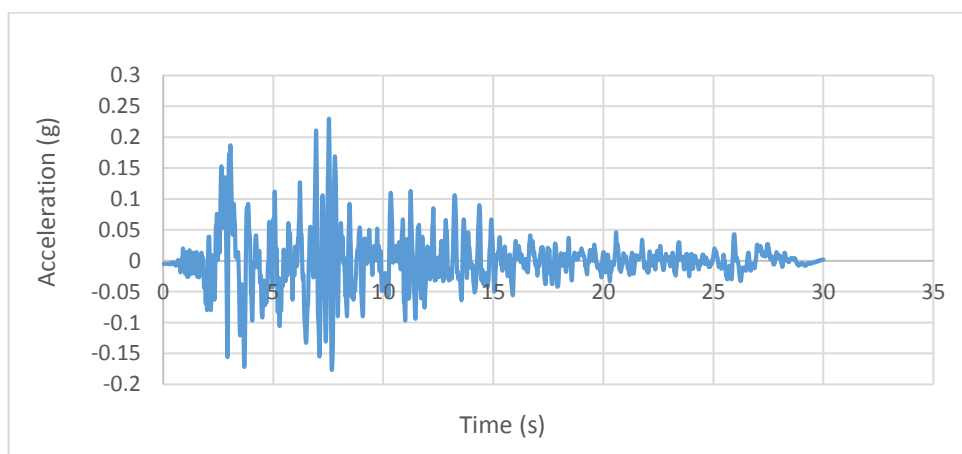
بعد از تعیین تنش عمودی، تنش افقی بر اساس رابطه (۴-۵) تعیین می شود.

$$\sigma_H = k_0 \sigma_v \quad (۴-۵)$$

که در آن k_0 ضریب فشار افقی بر اساس رابطه (۴-۶) قابل محاسبه است.

$$k_0 = 1 - \sin \phi \quad (۴-۶)$$

بعد از تعریف گام استاتیکی، گام تحلیل دینامیکی به صورت ضمنی^{۳۲} تعریف گردید و بار زلزله به صورت تاریخچه شتاب، به کف مدل خاک اعمال شد. برای بار زلزله از رکورد زلزله Izmit استفاده شده است [۳۱]. زلزله Izmit به بزرگی ۷/۶ ریشتر، در ۱۷ آگوست سال ۱۹۹۹ در شمال غربی ترکیه اتفاق افتاده است. تاریخچه شتاب زلزله Izmit در شکل (۴-۴) نشان داده شده است.



شکل (۴-۴) تاریخچه زمانی شتاب زلزله Izmit [۳۱]

³² Implicit

۴-۲-۶- میرایی خاک

در مسائل اندرکنش شمع و خاک، میرایی در خاک و شمع اتفاق می‌افتد. در مطالعات اندرکنش خاک و شمع می‌توان از میرایی شمع در مقابل میرایی خاک صرف‌نظر کرد. در بیشتر مطالعات انجام شده در بررسی اندرکنش شمع و خاک، میرایی شمع‌های فونداسیون صرف‌نظر شده و تنها میرایی خاک در نظر گرفته می‌شود [۲۷][۲۸]. در این مطالعه نیز، تنها میرایی خاک در نظر گرفته شده و از اختصاص میرایی برای شمع صرف‌نظر شده است.

در دینامیک خاک دو نوع میرایی برای خاک در نظر گرفته می‌شود که شامل میرایی هندسی و میرایی مواد می‌باشد [۳۲].

زمانی که انرژی از منبع آزاد می‌شود، مقداری انرژی توسط محیط اطراف جذب می‌شود و انرژی کاهش پیدا می‌کند. متعاقباً دامنه جابجایی و تنش‌های به وجود آمده در اثر امواج، با حرکت امواج از منبع کاهش می‌یابند؛ این نوع میرایی، میرایی هندسی نام دارد. در بسیاری از مسائل اندرکنش خاک و شمع، میرایی مواد خاک از نوع میرایی رایلی [۳۳] در نظر گرفته می‌شود. ماتریس میرایی از دو نوع ماتریس سختی و جرم تشکیل شده است که از رابطه (۴-۷) به دست می‌آید [۳۳].

$$[C] = a_M[M] + \beta_k[K] \quad (۴-۷)$$

که در آن $[M]$ ماتریس مربوط به جرم و $[K]$ ماتریس مربوط به سختی است. a_M ، β_k ضرایب ثابت میرایی رایلی متناسب با جرم و سختی می‌باشند.

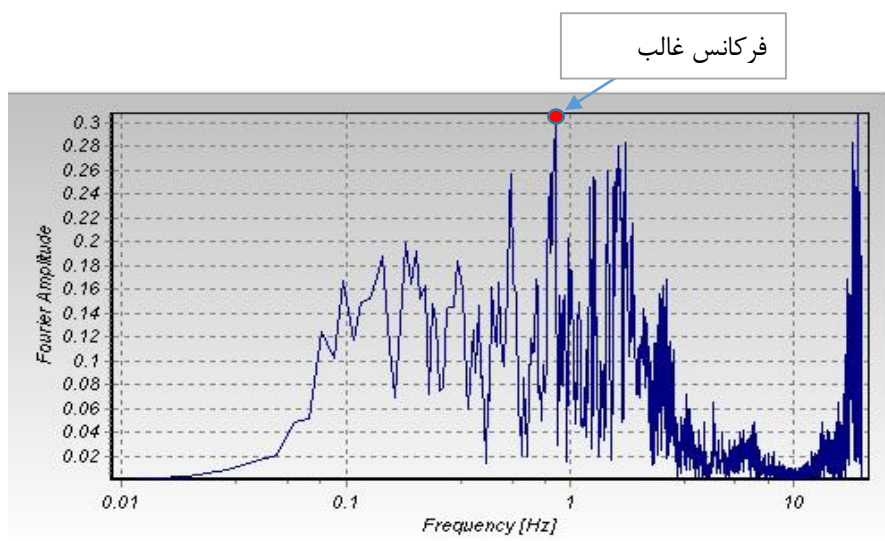
انتخاب ضرایب میرایی یک چالش در دینامیک خاک می‌باشد و محققان روش‌های گوناگونی را جهت محاسبه ضرایب میرایی پیشنهاد دادند؛ خواننده جهت مطالعات بیشتر به مراجع [۳۴] و [۳۵] ارجاع داده می‌شود. بر اساس روش‌های مرسوم برای محاسبه میرایی در خاک، میرایی جرم نادیده گرفته شده و میرایی خاک از نوع سختی در نظر گرفته شده است.

میرایی متناسب با سختی توسط محققین در گذشته در تحلیل اجزاء محدود مسائل اندرکنش خاک و شمع مورد تأیید بوده است [۳۶][۳۷]؛ از این رو در این مطالعه بکار برده شده است.

بنابراین ماتریس میرایی به ماتریس منفرد کاهش می یابد که روابط آن در زیر آمده است. ضریب β_k از رابطه (۸-۴) به دست می آید.

$$\beta_k = 2\xi/\omega_0 \quad (۸-۴)$$

ω_0 فرکانس غالب بارگذاری و ξ نسبت میرایی مواد هستند، که ξ ، ۵ درصد در نظر گرفته شده است. فرکانس غالب از طیف فوریه امواج ورودی از نرم افزار Seismosignal به دست آمده است که در شکل (۵-۴) نشان داده شده است.



شکل (۵-۴) طیف سری فوریه جهت تعیین فرکانس غالب بار زلزله (نرم افزار Seismosignal)

فرکانس غالب زلزله طبق تعریف عبارت است از، فرکانس ارتعاشاتی که در آن حداکثر مقادیر طیف دامنه فوریه ایجاد می شود.

۴-۲-۷- شرایط مرزی

در تحلیل استاتیکی مسائل اندرکنش خاک و شمع مرزهای خاک می‌توانند ثابت در نظر گرفته شوند. اما در تحلیل دینامیکی نمی‌توان مرزها را ثابت در نظر گرفت. در زمان رخداد زلزله امواج حاصل از آن به سازه برخورد کرده و پس از انعکاس از سازه به زمین برگشته و به تدریج با دور شدن از سازه دامنه و انرژی آنها کاهش می‌یابد. در تحلیل‌های عددی با توجه به محدودیت‌های ابعاد هندسه مدل، تنها قسمتی از پی در محدوده بین مرزهای قائم و افقی مدلسازی می‌گردد؛ در این صورت اگر تمهیداتی برای مرزهای محیطی مدل در نظر گرفته نشده باشد، ترکیب حاصل از امواج زلزله ورودی و امواج بازگشتی از سطح، وقتی به مرزهای مدل می‌رسند به داخل محدوده پی انعکاس یافته و خود امواج دیگری خواهند شد که مجدداً با تلفیق با امواج لرزه‌ای انتشار یافته در بازه‌های زمانی مؤخر می‌تواند شرایطی متفاوت را ایجاد نموده و پاسخ‌های حاصل از تحلیل را با خطای چشمگیری مواجه سازد. لذا شرایط مرزی در تحلیل دینامیکی مفاهیم به مراتب پیچیده‌تری را نسبت به مدلسازی استاتیکی دارا خواهد بود. یک مدل بزرگتر می‌تواند این مشکل را به حداقل برساند و جذب امواج در خاک صورت بگیرد اما به دلیل افزایش المان‌ها، زمان محاسبات طولانی می‌شود. در ادامه انواع شرایط مرزی مورد استفاده در تحلیل‌های دینامیکی توضیح داده شده است.

۴-۲-۷-۱- مرزهای جاذب انرژی^{۳۳}

المان‌های ویسکوز بر اساس روش لیسمر و کول میر^{۳۴} [۳۸] در تحلیل دینامیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دسپات‌ها انرژی انتقال یافته به مرزها را جذب می‌کنند. ضرایب دسپات در جهت مماسی و عمودی بر اساس روابط (۹-۴) و (۱۰-۴) تعیین می‌شوند [۳۸].

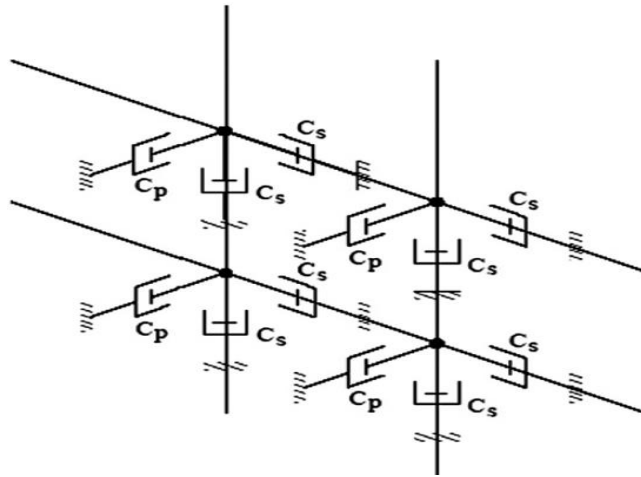
³³ Viscous Elements

³⁴ Lysmer and Kuhlemeyer

$$C_p = \rho v_p A \quad (۹-۴)$$

$$C_s = \rho v_s A \quad (۱۰-۴)$$

که در آن C_p و C_s به ترتیب ضرایب میرایی مربوط به موج طولی و برشی و v_p و v_s به ترتیب سرعت موج طولی و برشی و p دانسیته خاک و A نصف مساحت المان های متصل به گره هستند. المان های ویسکوز بر اساس روش لیسمر و کول میر در شکل (۶-۴) نشان داده شده است.



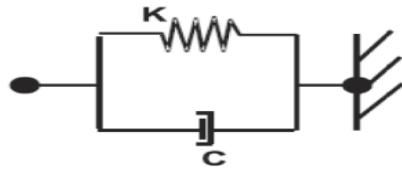
شکل (۶-۴) المان های ویسکوز بر اساس روش لیسمر و کول میر [۳۸]

۴-۲-۷-۲-۴ - مرزهای کلوین^{۳۵}

المان های کلوین شامل فنر و دشیپات موازی هم می باشند، که در شکل (۷-۴) نشان داده شده است. المان های کلوین جهت شبیه سازی مرزهای بی نهایت به مرزهای جانبی متصل می شوند. دشیپات ها انرژی انتقال یافته به مرزها را جذب می کنند و فنرها نقش سختی مدل خاک را ایفا می کنند. این المان های جهت شبیه سازی مرزهای جانبی در تحلیل استاتیکی و دینامیکی مورد استفاده قرار می گیرند.

³⁵ Kelvin Elements

در تحلیل استاتیکی عملکرد دسپات ها در تحلیل در نظر گرفته نمی شود چراکه دسپات ها انرژی امواج را جذب می کنند درحالی که در تحلیل استاتیکی امواج نقشی ندارند.



شکل (۴-۷) المان های کلون [۲۸]

۴-۲-۷-۳- مرزهای نیمه بینهایت^{۳۶}

المان های نیمه بی نهایت به مرزهای المان محدود متصل می شوند. استفاده از المان های نیمه بینهایت در مرزهای جانبی مدل سبب می شود موج پس از رسیدن به آنها به محیط مجازی بی نهایت دور هدایت شود. در واقع استفاده از المان های نیمه بی نهایت منجر به کاهش محدوده مدلسازی شده و حجم محاسبات را به طور قابل ملاحظه ای کاهش می دهد. این المان ها نمی توانند در مرز پایینی مدل قرار گیرند چراکه بارگذاری دینامیکی را با اشکال مواجه می سازند.

۴-۲-۷-۴- مرزهای میدان آزاد^{۳۷}

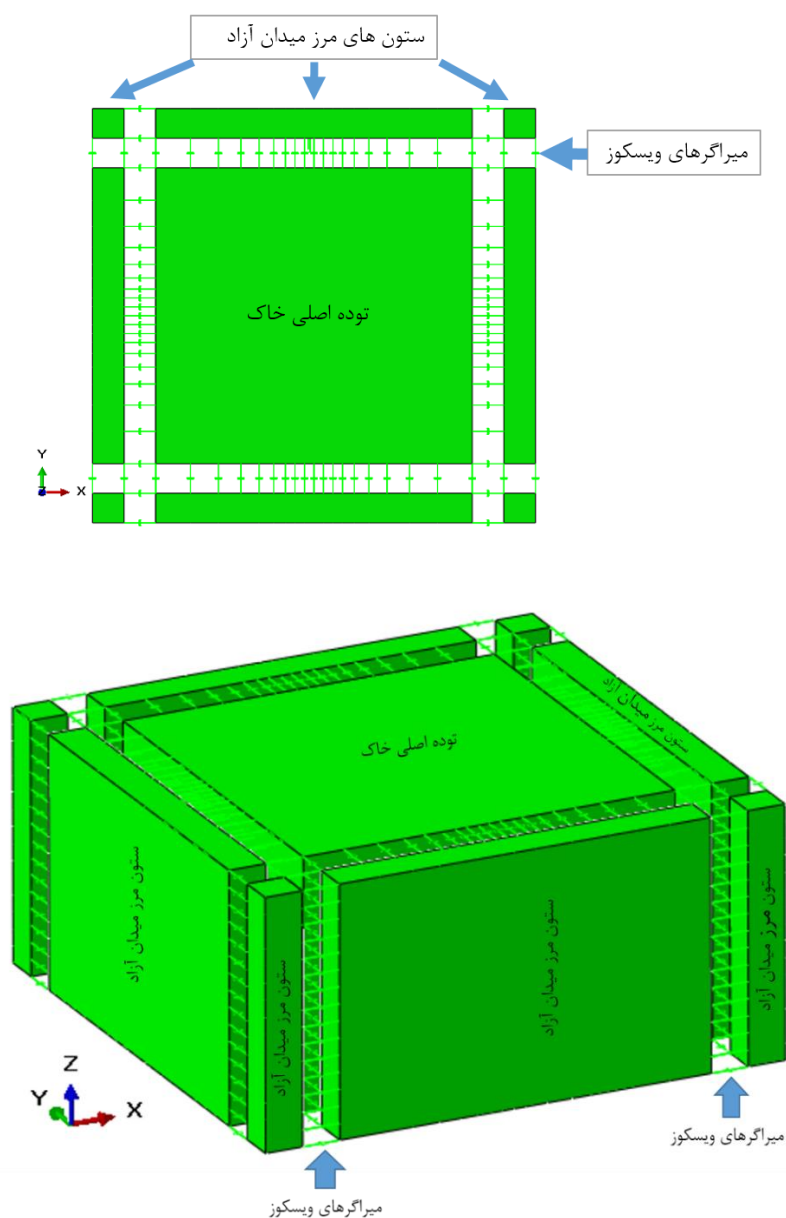
مرزهای میدان آزاد به طور معمول جهت بررسی پاسخ شمع های فونداسیون تحت بار زلزله بکار می روند. مدل ناحیه آزاد شامل یک ستون یک بعدی با عرض واحد است که رفتار یک محیط نیمه بینهایت را شبیه سازی می کند. ارتفاع ناحیه آزاد برابر با طول مرزهای جانبی مدل اصلی است که به Π المان مطابق با المان های شبکه اصلی تفکیک می شود.

در مرزهای میدان آزاد، مرزهای کناری شبکه اصلی توسط میراگرهای ویسکوز که یک مرز جاذب انرژی را شبیه سازی می کنند به شبکه ناحیه آزاد متصل می گردد. بدین ترتیب این مرزها قادرند تا تأثیر خود را در انتقال امواج به بیرون مدل در محیطی که مدل نمی شود نشان دهند. از این رو در مرزهای آزاد

³⁶ Infinit element

³⁷ Free field

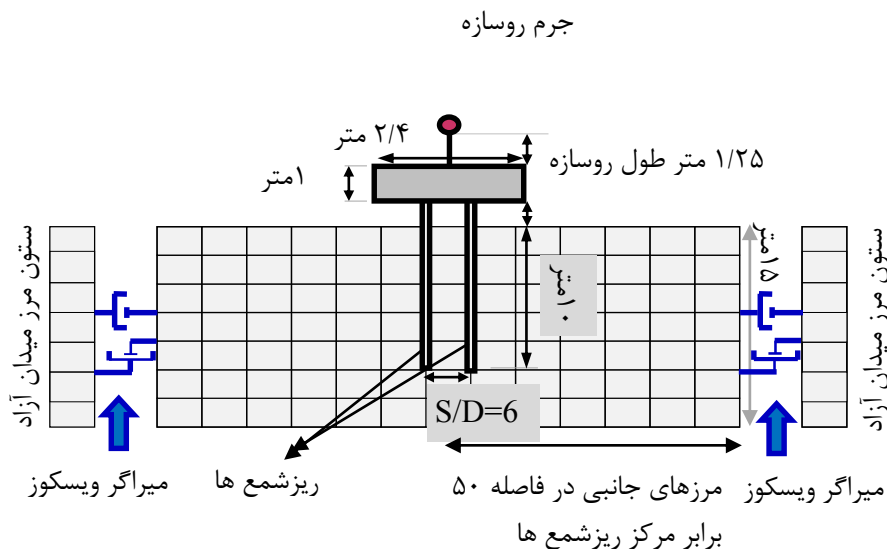
خصوصیات غیر انعکاسی امواج در مرزها حفظ شده و امواج خروجی که از برخورد به سازه تولید می شوند به درستی جذب می گردند. مرزهای میدان آزاد در مطالعات اندرکنش بین شمع و خاک Balendra در سال ۲۰۰۵ برای اعمال مرزهای جاذب مورد استفاده قرار گرفتند [۲۸]. در مطالعه حاضر مرزهای جانبی با مرزهای میدان آزاد و میراگرهای ویسکوز در جهت عمودی و مماسی مدل سازی شده اند. در شکل (۸-۴) مدل سازی مرز میدان آزاد و دشیپات ها در این مطالعه نشان داده شده است.



شکل (۸-۴) مرزهای میدان آزاد و میراگرهای ویسکوز در اطراف خاک

۸-۲-۴ - مدل‌سازی رو سازه

مدل کردن رو سازه یکی از چالش‌های مدل‌سازی بخصوص در سازه‌های سنگین می باشد. در بعضی از مدل‌های اندرکنش خاک و سازه و شمع تمام سازه بالای شمع مدل می‌شود. زمانی که سازه چندطبقه مدنظر باشد مدل‌سازی این سازه مشکل و زمان‌بر خواهد بود. بر اساس مطالعات لیاناپاسیرانا^{۳۸}[۳۹]، وارد کردن جرم رو سازه بر سطح کلاهک متصل به شمع شرایط مناسب را برای آنالیز اندرکنش شمع و خاک و سازه فراهم می‌سازد [۳۹]. که در این مطالعه بر اساس این روش رو سازه به صورت یک ستون همراه با جرم متمرکز مدل‌سازی شده است. در شکل (۹-۴) مدل شماتیک کلی مطالعه نشان داده شده است.



شکل (۹-۴) مدل شماتیک مطالعه

۳-۴ - صحت سنجی مدل

صحت سنجی بر اساس مطالعه ایسام و همکاران در سال ۲۰۱۲ [۴۰]، انجام شده است [۴۰]. مدل‌سازی و تحلیل دینامیکی با استفاده از نرم‌افزار اجزاء محدود آباکوس صورت گرفته است. خاک با استفاده از المان سالیید^{۳۹} به صورت سه‌بعدی مدل‌سازی و با استفاده از المان C3D8R مش بندی شده و رو سازه

³⁸ Liyanapathirana

³⁹ Solid

و ریزشمع ها با استفاده از المان بیم مدل سازی شده اند. سازه روی ریزشمع ها متشکل از یک ستون به ارتفاع ۱/۲۵ متر و جرم متمرکز ۴۰ تن می باشد. مدل رو سازه و ریزشمع به صورت الاستیک خطی در نظر گرفته شده است. گروه ریزشمع مورد بررسی، شامل ۴ ریزشمع قائم می باشد. قطر ریزشمع ۰/۲ متر و فاصله مرکز به مرکز ریزشمع ها شش برابر طول ضلع آنها و طول مدفون ریزشمع ها در خاک ۱۰ متر می باشد. پارامترهای ریزشمع در جدول (۱-۴) آمده است.

جدول (۱-۴) پارامترهای ریزشمع

ρ_p (kg/m ³)	ν_p	EA_p (MN)	l_p (m)	A_p (m ²)
۲۵۰۰	۰/۳	۶۲۹	۱۰	۰/۰۴

ریزشمع ها به صورت صلب به کلاهک متصل شده اند. ضخامت کلاهک ۱ متر فرض شده است. کلاهک به اندازه ۰/۵ متر از سطح خاک فاصله دارد. کف خاک به صورت صلب می باشد. محیط خاک الاستوپلاستیک، با معیار موهر کولمب در نظر گرفته شده است. چسبندگی خاک ۱۷ کیلو پاسکال و زاویه اصطکاک خاک ۳۰ درجه می باشد. مشخصات خاک در جدول (۲-۴) آمده است.

جدول (۲-۴) پارامترهای خاک

E_{0s} (Mpa)	ν_s	k_0	ρ_s (kg/m ³)	ϕ (deg)	ψ (deg)	C (Kpa)	ξ_s (%)
۲۱	۰/۴۵	۰/۵	۱۷۰۰	۳۰	۰	۱۷	۵

k_0 فشار جانبی زمین در حالت سکون می باشد. مدول یانگ خاک بر طبق رابطه Janbu، با عمق بر اساس رابطه (۱۱-۴) افزایش پیدا می کند [۴۱].

$$E_s(z) = E_{0s} \left(\frac{\sigma_m(z)}{P_0} \right)^n \quad (11-4)$$

که در آن P_0 فشار اتمسفر با مقدار ۱۰۰ کیلو پاسکال می باشد. E_{0S} مدول یانگ در فشار اتمسفر، که ۲۱ مگا پاسکال است. Z ضخامت لایه خاک می باشد. n یک مقدار ثابت است که در این مطالعه، ۰/۵ در نظر گرفته شده است. σ_m ، تنش اصلی ناشی از وزن توده خاک می باشد که از رابطه (۴-۱۲) به دست می آید.

$$\sigma_m(z) = \frac{(1 + 2k_0)\gamma_s z}{3} \quad (۴-۱۲)$$

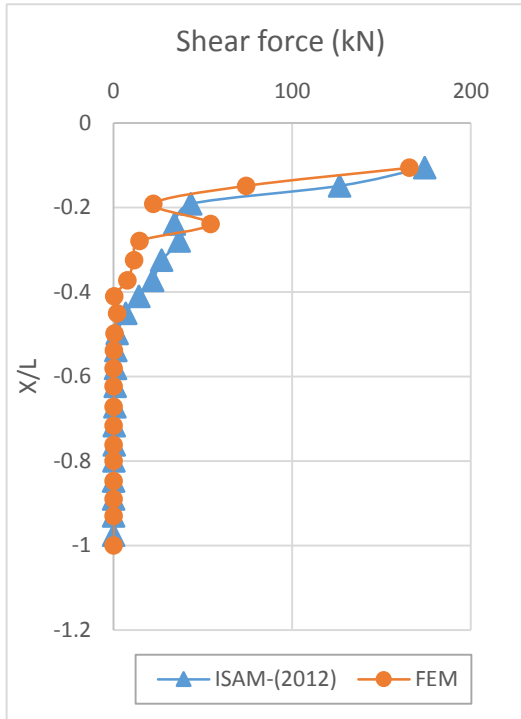
که در آن k_0 فشار جانبی زمین در حالت سکون می باشد. فرکانس طبیعی لایه خاک ۱/۲۴ هرتز می باشد که با استفاده از روابط (۴-۱۳) و (۴-۱۴) به دست آمده است.

$$\omega_{min} = \frac{v_s}{4H_s} \quad (۴-۱۳)$$

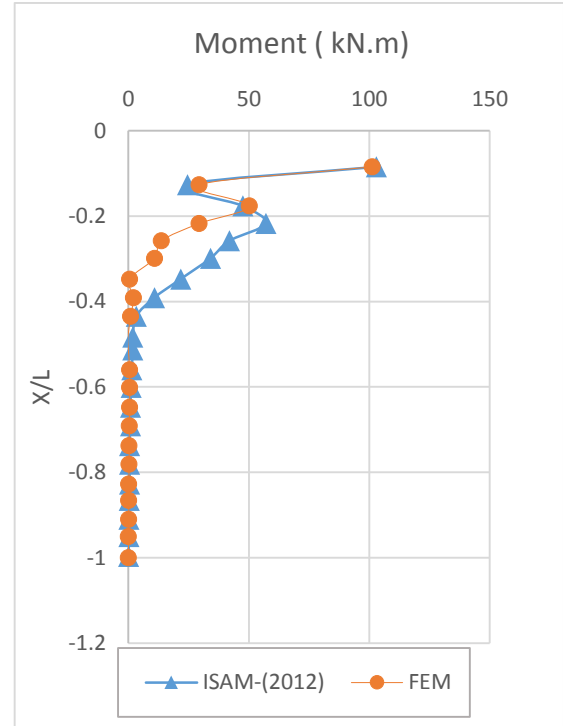
$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (۴-۱۴)$$

که در آن H_s ارتفاع خاک و V_s سرعت موج برشی و G مدول برشی خاک می باشد. میرایی در نظر گرفته شده برای خاک، میرایی رایلی است.

نمودارهای نیروی برشی و ممان خمشی در طول ریزشمع قائم به دست آمدند و اعتبار سنجی انجام گرفت. نمودارها در اشکال (۴-۱۰) و (۴-۱۱) نشان داده شده‌اند. نتایج مربوط به FEM حاصل تحلیل‌های انجام شده در این پایان‌نامه توسط آباکوس می باشد.



شکل (۴-۱۱) نمودار نیروی برشی در طول ریزشمع (صحت سنجی مدل)

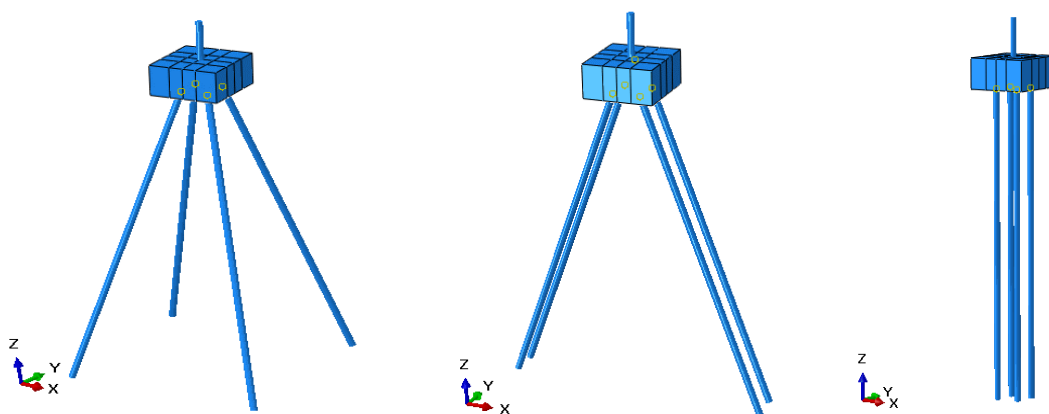


شکل (۴-۱۰) نمودار لنگر خمشی در طول ریزشمع (صحت سنجی مدل)

فصل پنجم : بررسی چیدمان گروه ریزشمع

۵-۱- مقدمه

در مطالعاتی که تاکنون بر روی رفتار شمع های مایل انجام شده است، با توجه به پیچیدگی مدل سازی و مش بندی خاک و واگرایی مدل، زاویه تمایل تنها در یک جهت در نظر گرفته شده و نیروی زلزله در جهت تمایل ریزشمع ها به مدل اعمال گردیده است. در این فصل گروه ریزشمع ۲×۲، شامل گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل، با زاویه ۲۰ درجه می باشند. در گروه ریزشمع مایل، در حالت اول ریزشمع ها با زاویه تمایل در راستای X و در حالت دوم ریزشمع ها با زاویه تمایل در راستای X و Y مدل سازی شده اند. چیدمان های مختلف گروه ریزشمع در شکل (۵-۱) نشان داده شده است.

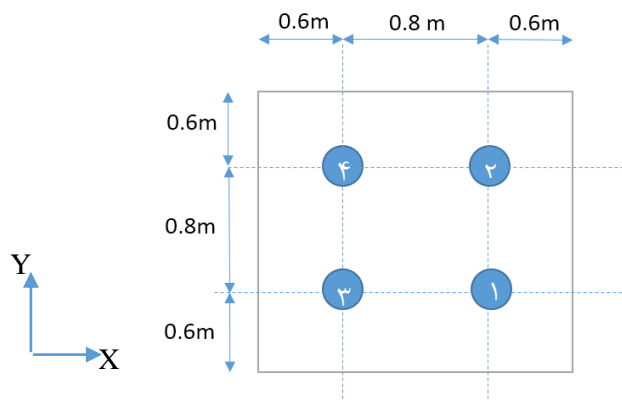


الف) گروه ریزشمع قائم ب) گروه ریزشمع با زاویه تمایل در جهت X ج) گروه ریزشمع با زاویه تمایل در جهت X و Y

شکل (۵-۱) چیدمان گروه ریزشمع ۲×۲

۵-۲- مدل خاک و ریزشمع و سازه

ضخامت کلاهک ۱ متر و طول و عرض آن ۲ متر در نظر گرفته شده است. فاصله مرکز به مرکز ریزشمع ها ۴ برابر قطر آنها فرض گردیده است. ابعاد کلاهک و شماره هریک از ریزشمع ها در شکل (۵-۲) نشان داده شده است.



شکل (۲-۵) ابعاد کلاهک و فاصله مرکز به مرکز ریزشمع ها، گروه ریزشمع ۲×۲

قطر ریزشمع ها ۰/۲ متر و طول آنها ۱۰ متر در نظر گرفته شده است. مشخصات ریزشمع ها و خاک به ترتیب در جداول (۱-۵) و (۲-۵) آمده است. مدول یانگ خاک بر طبق رابطه Junbo [۴۱]، با عمق افزایش می یابد [۴۱].

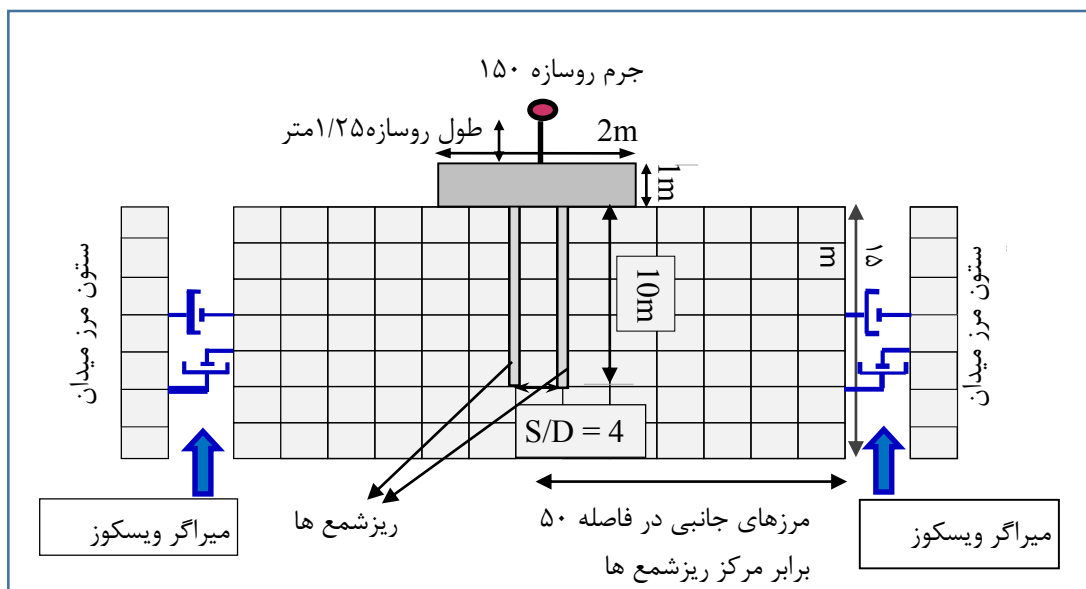
جدول (۱-۵) مشخصات ریزشمع

ρ_p (kg/m ³)	ν_p	E_p (Gpa)	l_p (m)	d (m)
۲۴۰۰	۰/۲	۲۰	۱۰	۰/۲

جدول (۲-۵) مشخصات خاک

E_{0s} (Mpa)	ν_s	k_0	ρ_s (kg/m ³)	ϕ°	C (Kpa)	ξ_s (%)
۲۰	۰/۲۵	۰/۵۷۷	۱۷۰۰	۲۵	۳۰	۵

در تمامی مدل ها جرم رو سازه ۱۵۰ تن و ارتفاع آن ۱/۲۵ متر در نظر گرفته شد و کلاهک در تماس کامل با سطح خاک می باشد. عمق خاک ۱۵ متر و مرزهای جانبی توده اصلی خاک در فاصله ۵۰ برابر قطر ریزشمع ها، از مرکز گروه ریزشمع قرار گرفته اند. مدل شماتیک سیستم خاک و ریزشمع و سازه و مرزهای جانبی در شکل (۳-۵) نشان داده شده است.

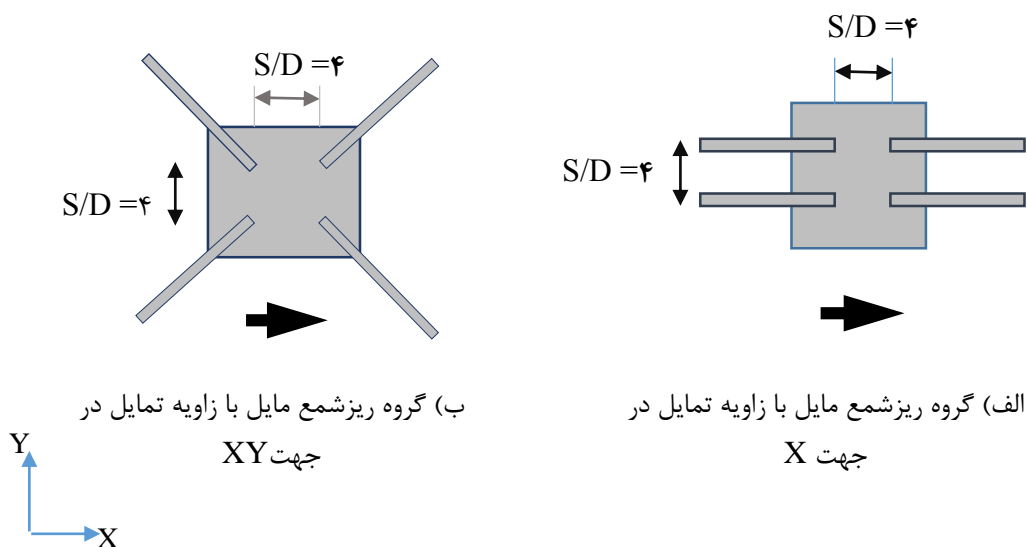


شکل (۳-۵) مدل شماتیک سیستم خاک و ریزشمع و سازه و مرزهای جانبی

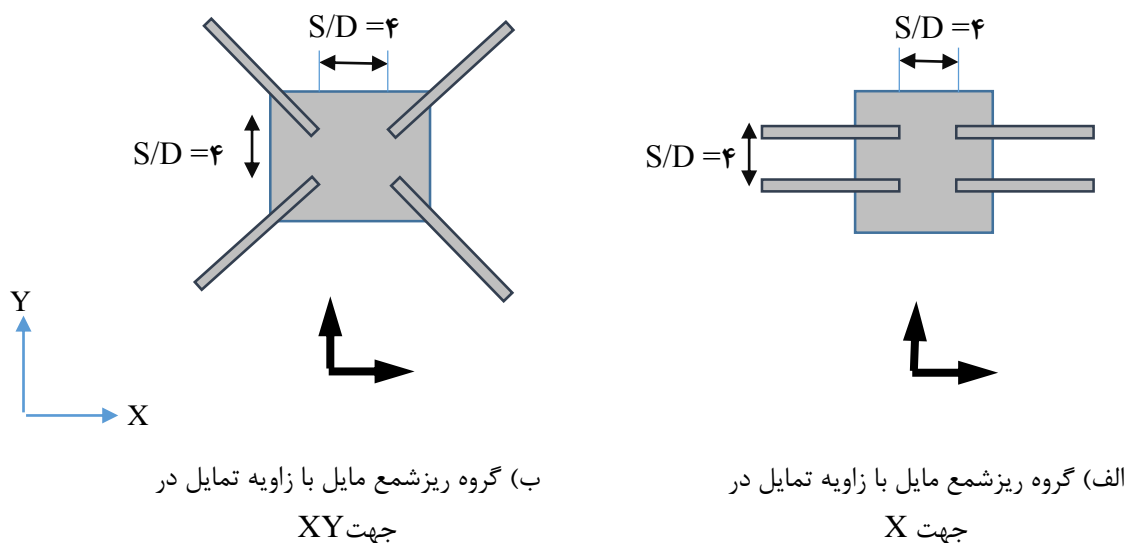
۳-۵ - اعمال بار زلزله

در این مطالعه بار زلزله ابتدا در راستای X و بعدازآن در راستای X و Y به مدل اعمال گردید، که به ترتیب در اشکال (۴-۵) و (۵-۵) نشان داده شده است. از اعمال شتاب زلزله در جهت قائم صرف نظر شده است، بر اساس مطالعاتی که در گذشته انجام شده، در هنگام زلزله تغییر شکل ها در جهت قائم در

مقایسه با تغییر شکل ها در جهت افقی ناچیز است [۴۲].



شکل (۴-۵) اعمال بار زلزله در جهت X



شکل (۵-۵) اعمال بار زلزله در جهت XY

۴-۵- بررسی نتایج

ابتدا پاسخ گروه ریزشمع ها تحت بار زلزله در راستای X و بعدازآن، پاسخ گروه ریزشمع ها تحت بار زلزله در راستای XY موردبررسی قرار گرفت. نیروهای داخلی و همچنین جابجایی تمامی ریزشمع ها در جهت افقی و قائم به دست آمده و مقایسه بین گروه ریزشمع ها با چیدمان های مختلف انجام شد. همچنین تنش و نشست در خاک در حالت استاتیکی و دینامیکی در گروه ریزشمع با چیدمان های مختلف به دست آمده است.

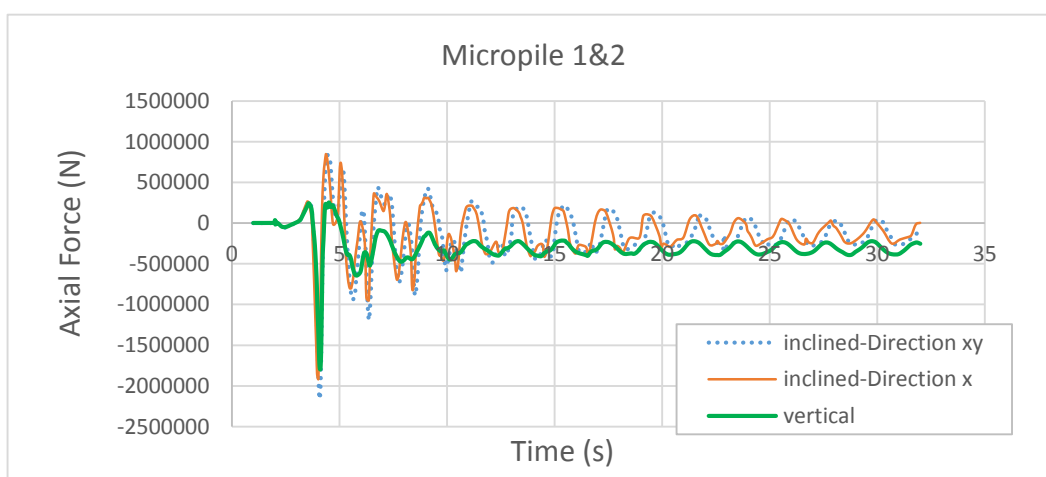
۴-۵-۱- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر روی رفتار آن ها تحت بار زلزله در راستای X

در این قسمت بار زلزله در راستای X به گروه ریزشمع قائم و مایل با چیدمان مختلف اعمال شده و نیروهای داخلی و جابجایی در ریزشمع ها به دست آمدند.

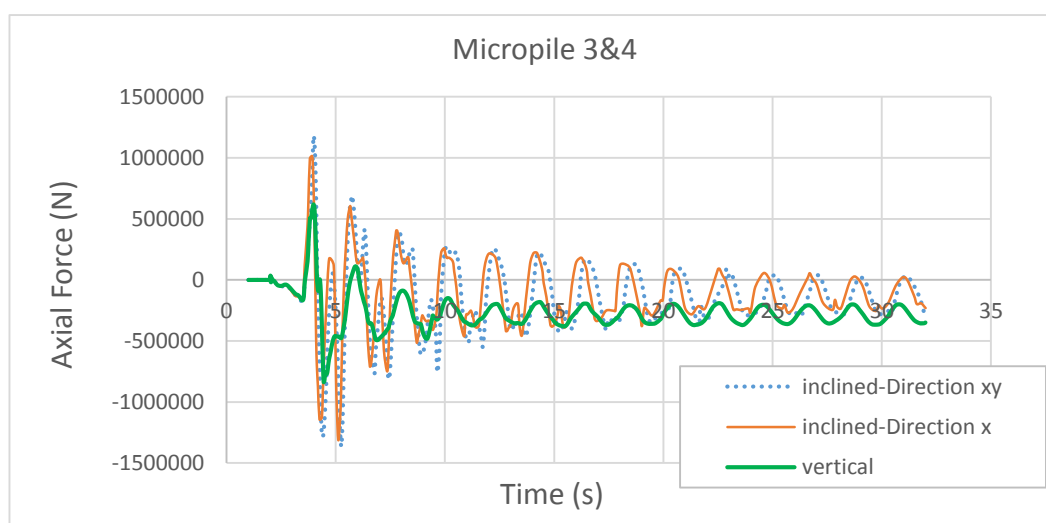
۴-۵-۱-۱- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر نیروی محوری

تاریخچه نیروی محوری در محل اتصال ریزشمع با کلاهک ریزشمع ها و منحنی نیروی محوری در طول ریزشمع ها در اشکال (۵-۶) تا (۵-۸) نشان داده شده است.

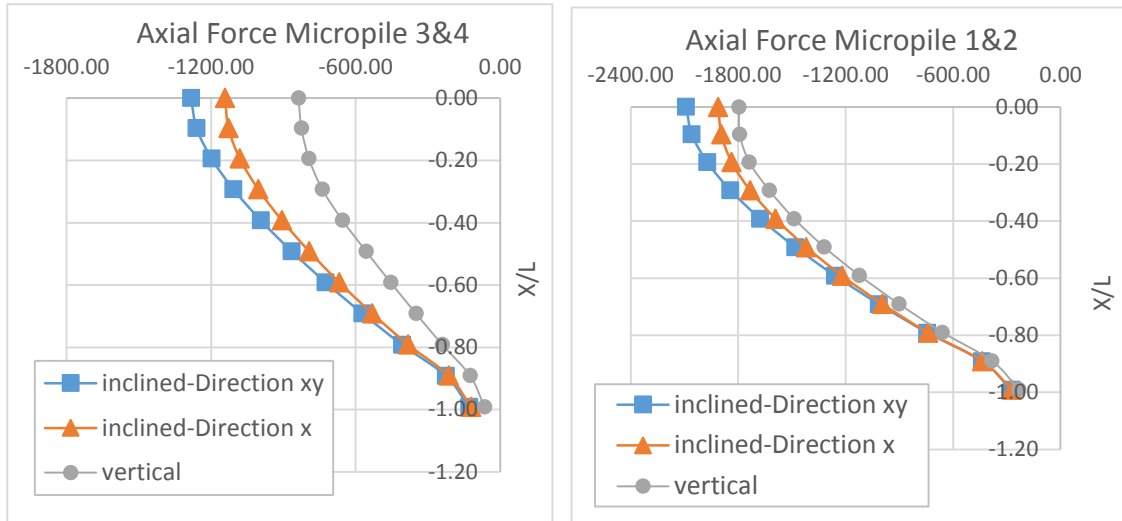
بر اساس این منحنی ها میزان نیروی محوری حداکثر، در محل اتصال ریزشمع با کلاهک اتفاق افتاده است. با توجه به نتایج، ماکزیمم نیروی محوری در ریزشمع های مایل بیشتر از ریزشمع های قائم می باشد. ماکزیمم نیروی محوری در گروه ریزشمع مایل در جهت XY ، کمی بیشتر از ماکزیمم نیروی محوری در گروه ریزشمع مایل در جهت X است. زاویه تمایل ریزشمع ها منجر به بهتر بسیج شدن مؤلفه محوری در طول ریزشمع ها شده و نیروی محوری افزایش می یابد.



شکل (۵-۶) تاریخچه نیروی محوری در ریزشمع ۱ و ۲، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت X)



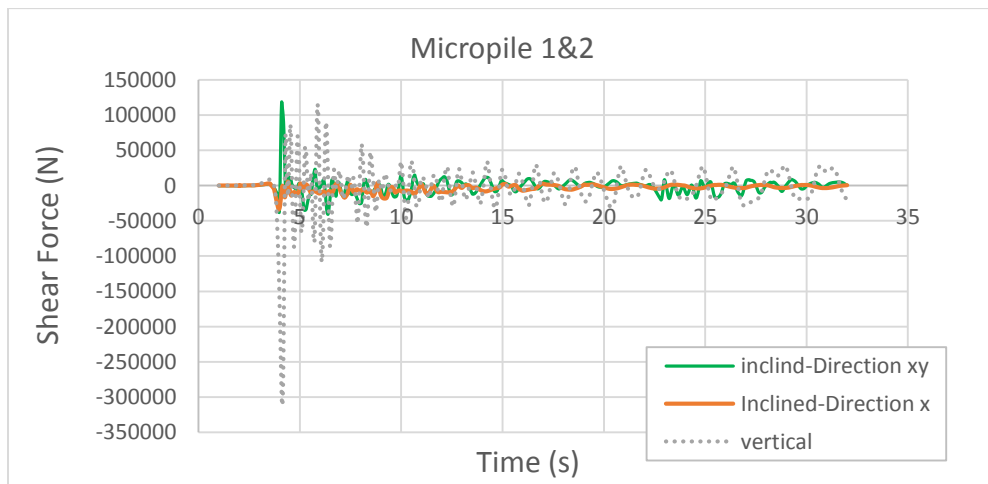
شکل (۵-۷) تاریخچه نیروی محوری در ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت X)



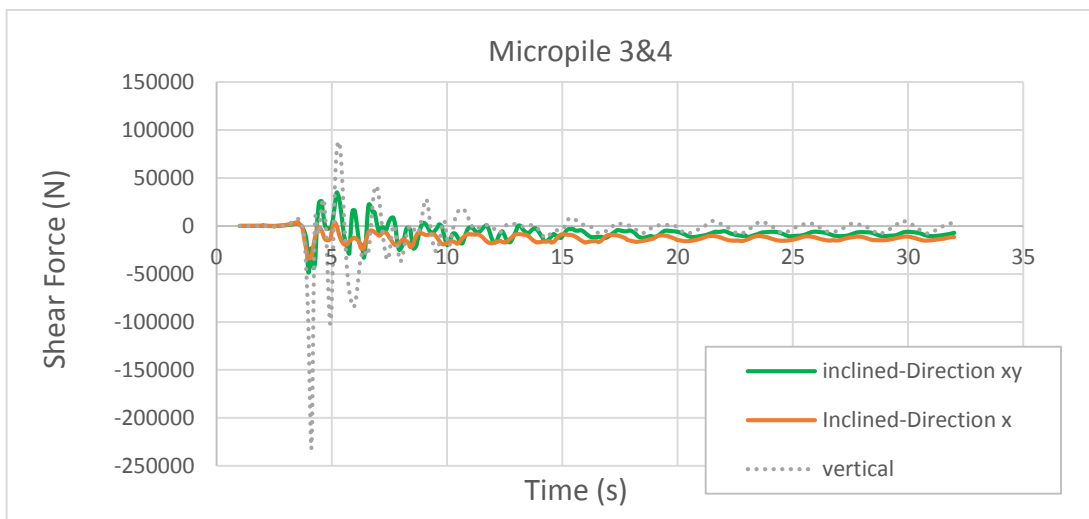
شکل (۸-۵) نمودار نیروی محوری در طول ریزشمع، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت X)

۵-۴-۱-۲- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر نیروی برشی

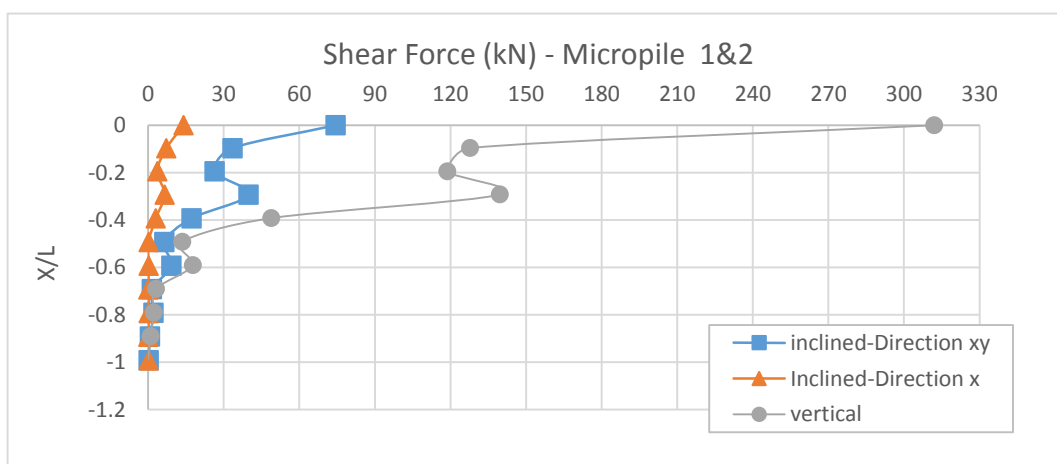
تاریخچه نیروی برشی در محل اتصال ریزشمع با کلاهک و منحنی نیروی برشی در طول گروه ریزشمع در اشکال (۹-۵) تا (۱۲-۵) نشان داده شده است. با توجه به نتایج، نیروی برشی در گروه ریزشمع قائم بیشتر از گروه ریزشمع مایل می باشد و مقادیر نیروی برشی در گروه ریزشمع مایل در جهت XY بیشتر از مقادیر نیروی برشی در جهت X است. تغییرات نیروی برشی در فاصله $\frac{X}{L} \leq 0.5$ زیاد بوده و از آن عمق به بعد تغییرات نیروی برشی کاهش یافته و به مقدار ثابت می رسد.



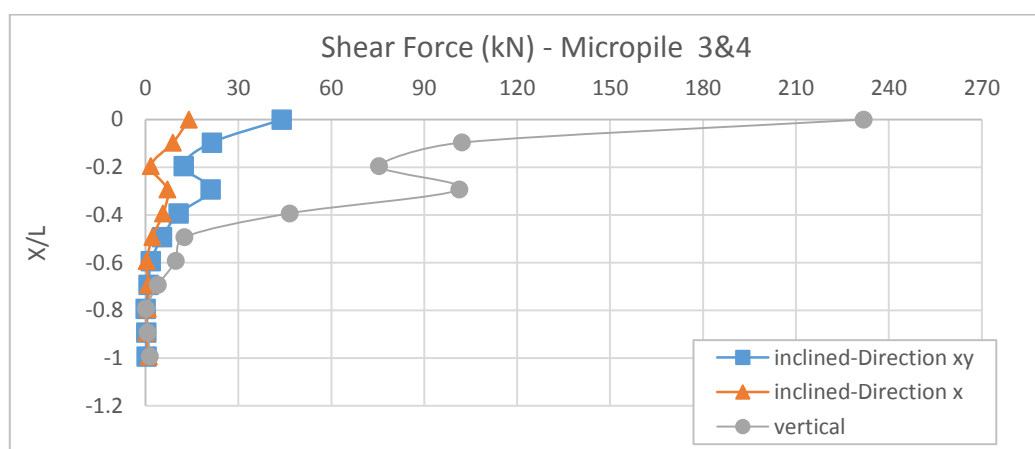
شکل (۹-۵) تاریخچه نیروی برشی در سر ریزشمع (۱ و ۲)، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت X)



شکل (۵-۱۰) تاریخچه نیروی برشی در سر ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت X)



شکل (۵-۱۱) نمودار نیروی برشی در طول ریزشمع ۱ و ۲، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت X)



شکل (۵-۱۲) نمودار نیروی برشی در طول ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت X)

مقادیر ماکزیمم نیروی برشی در گروه ریزشمع های قائم و مایل در جدول (۳-۵) آمده است. با توجه به نتایج می توان دریافت که در حالت کلی نیروی برشی در گروه ریزشمع های مایل نسبت به گروه ریزشمع قائم کاهش قابل ملاحظه ای یافته است؛ این موضوع به این علت است که در حالت مایل سطح موثر ریزشمع ها کاهش و سختی جانبی ریزشمع ها افزایش یافته و این امر موجب کاهش نیروی برشی در گروه ریزشمع های مایل شده است. نیروی برشی در ریزشمع شماره ۱ و ۲ در گروه ریزشمع مایل در جهت XY، نسبت به حالت قائم، ۷۶ درصد کاهش یافته است. نیروی برشی در ریزشمع شماره ۳ و ۴ در گروه ریزشمع مایل در جهت XY، نسبت به حالت قائم، ۸۰ درصد کاهش یافته است.

نیروی برشی در ریزشمع ۱ و ۲ در حالت مایل در جهت X، نسبت به حالت قائم، ۹۵ درصد کاهش یافته است و نیروی برشی در ریزشمع ۳ و ۴ در حالت مایل در جهت X، نسبت به حالت قائم، ۹۳ درصد کاهش یافته است. مقادیر کاهش یافته نیروی برشی در گروه ریزشمع های مایل نسبت به حالت قائم، در جدول (۴-۵) نشان داده شده است.

جدول (۳-۵) مقادیر ماکزیمم نیروی برشی در گروه ریزشمع های قائم و گروه ریزشمع مایل- (زلزله در جهت X)

	ماکزیمم نیروی برشی (کیلو نیوتن) ریزشمع ۲و۱	ماکزیمم نیروی برشی (کیلو نیوتن) ریزشمع ۴و۳
قائم	۳۱۲/۰۸۱	۲۳۱/۹۰۵
مایل در جهت XY	۷۴/۴۵	۴۴/۰۶۲
مایل در جهت X	۱۴/۰۸۱	۱۴/۰۵۹

جدول (۴-۵) مقادیر کاهش یافته نیروی برشی در گروه ریزشمع های مایل نسبت به حالت قائم (برحسب درصد)

(زلزله در جهت X)

	ریزشمع ۱ و ۲	ریزشمع ۳ و ۴
کاهش نیروی برشی در گروه ریزشمع مایل در جهت XY نسبت به حالت قائم	۷۶ %	۸۰ %
کاهش نیروی برشی در گروه ریزشمع مایل در جهت X نسبت به حالت قائم	۹۵ %	۹۳ %

از آنجاکه سختی گروه ریزشمع ها در جهت تمایل آنها افزایش می یابد، هنگامی که تمامی ریزشمع ها در جهت X مایل شوند، سختی ریزشمع ها در راستای X، نسبت به گروه ریزشمع هایی که در هر دو جهت X و Y مایل شده اند، بیشتر شده و زمانی که زلزله در راستای X به مدل اعمال شود، نیروی برشی در ریزشمع های مایل در جهت X، نسبت به ریزشمع های مایل در جهت XY، کاهش بیشتری یافته است. بنابراین زمانی که زلزله در راستای در راستای X به مدل اعمال شود، ریزشمع های مایل در جهت X، عملکرد بهتری در مقابل بار زلزله دارند.

مقادیر نیروی برشی در ریزشمع های شماره ۱ و ۲ در گروه ریزشمع مایل در جهت X، نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت XY، ۸۵ درصد و در ریزشمع مایل ۳ و ۴ در گروه ریزشمع مایل در جهت X، نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت XY، ۱۰ درصد کاهش یافته است.

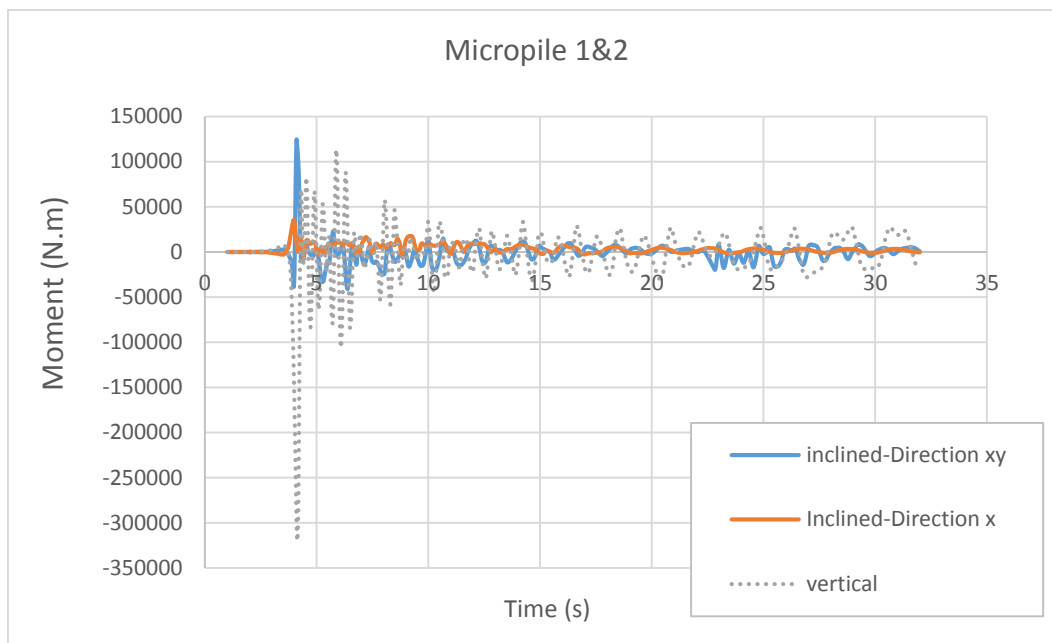
مقادیر کاهش یافته نیروی برشی در گروه ریزشمع مایل در جهت X، نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت XY، در جدول (۵-۵) نشان داده شده است.

جدول (۵-۵) مقادیر کاهش یافته نیروی برشی در گروه ریزشمع های مایل در جهت X، نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت XY (بر حسب درصد) - (زلزله در جهت X)

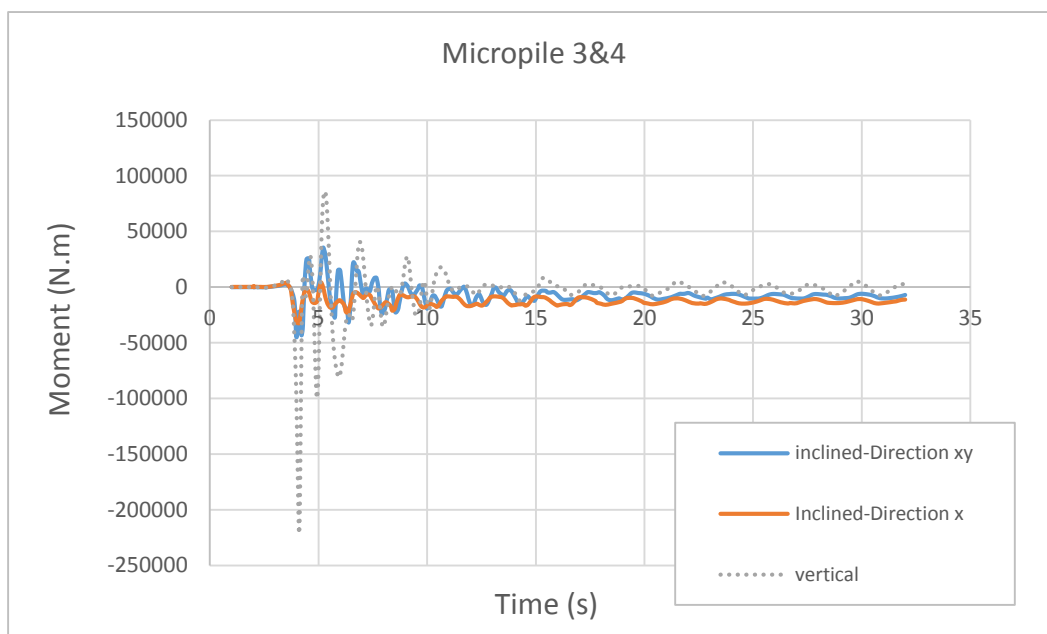
	ریزشمع ۱ و ۲	ریزشمع ۳ و ۴
کاهش نیروی برشی در گروه ریزشمع مایل در جهت X نسبت به حالت XY	۸۱ %	۶۸ %

۵-۴-۱-۳- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر لنگر خمشی

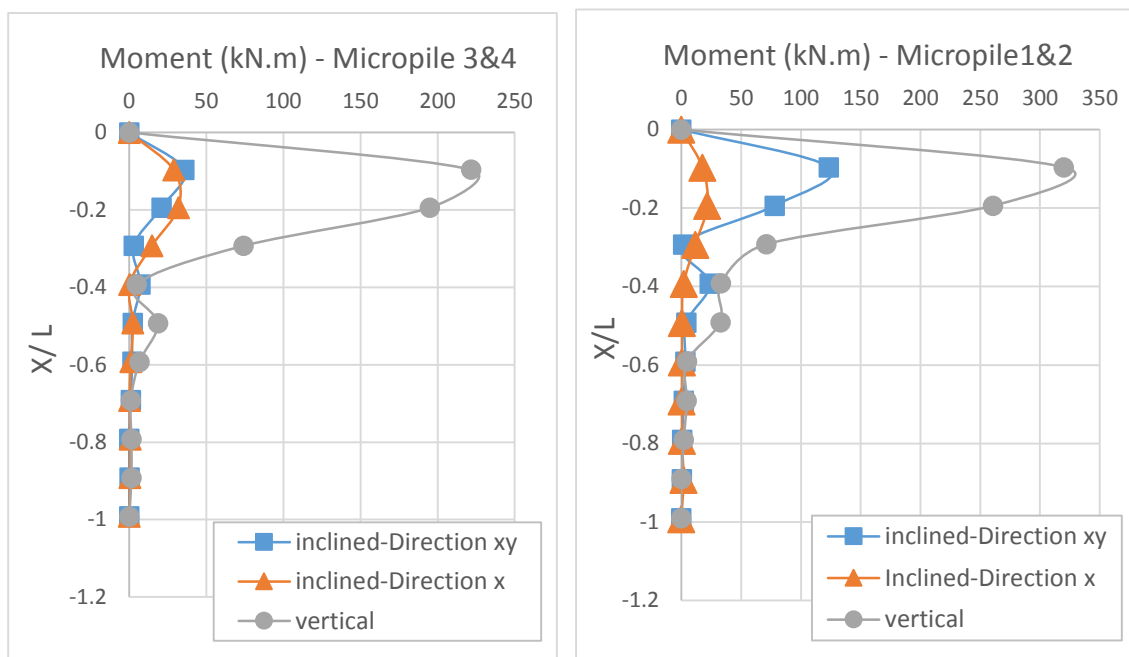
تاریخچه ماکزیمم لنگر خمشی در گروه ریزشمع ها در اشکال (۵-۱۳) و (۵-۱۴) و نمودار لنگر خمشی در طول ریزشمع ها در شکل (۵-۱۵) نشان داده شده است.



شکل (۵-۱۳) تاریخچه ماکزیمم ممان خمشی ریزشمع ۱ و ۲، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت X)



شکل (۵-۱۴) تاریخچه ماکزیمم ممان خمشی در بالای ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت X)



شکل (۵-۱۵) نمودار لنگر خمشی در طول گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت XY و X (زلزله در جهت X)

با توجه به نتایج، ماکزیمم لنگر خمشی در قسمت بالای ریزشمع ها رخ داده است. مقادیر ماکزیمم لنگر خمشی در گروه ریزشمع های قائم و مایل در جدول (۵-۶) آمده است.

جدول (۶-۵) مقادیر ماکزیمم لنگر خمشی در گروه ریزشمع های قائم و مایل در جهت XY و X (زلزله در جهت X)

	ماکزیمم ممان خمشی (کیلو نیوتن در متر) در ریزشمع ۲و۱	ماکزیمم ممان خمشی (کیلو نیوتن در متر) در ریزشمع ۴و۳
قائم	۳۲۰/۰۷۲	۲۲۱/۶۲۸
مایل در جهت XY	۱۲۳/۴۲۹	۳۵/۶۲۷
مایل در جهت X	۱۷/۵۳	۳۱/۸۵

همانطور که در نتایج نیروی برشی بیان شد، با توجه به افزایش سختی جانبی در گروه ریزشمع های مایل، لنگر خمشی نیز در گروه ریزشمع های مایل نسبت به گروه ریزشمع قائم کاهش قابل ملاحظه ای یافته است.

لنگر خمشی در گروه ریزشمع‌هایی که در جهت XY مایل شده‌اند نسبت به گروه ریزشمع‌های قائم، در ریزشمع‌های شماره ۲۰۱، ۶۱ درصد و در ریزشمع‌های شماره ۴۰۳، ۸۳ درصد کاهش یافته است. لنگر خمشی در گروه ریزشمع‌هایی که در جهت X مایل شده‌اند نسبت به گروه ریزشمع‌های قائم، در ریزشمع‌های شماره ۲۰۱، ۹۴ درصد و در ریزشمع‌های شماره ۴۰۳، ۸۵ درصد کاهش یافته است. نتایج در جدول (۷-۵) نشان داده شده است.

جدول (۷-۵) مقادیر کاهش یافته لنگر خمشی در گروه ریزشمع‌های مایل نسبت به حالت قائم (برحسب درصد)

(زلزله در جهت X)

	ریزشمع ۲ و ۱	ریزشمع ۴ و ۳
کاهش لنگر خمشی در گروه ریزشمع مایل در جهت XY نسبت به حالت قائم	۶۱ %	۸۳ %
کاهش لنگر خمشی در گروه ریزشمع مایل در جهت X نسبت به حالت قائم	۹۴ %	۸۵ %

با توجه به استدلال بیان شده در قسمت قبل در نتایج نیروی برشی، مقادیر لنگر خمشی در ریزشمع‌های مایل ۲۰۱ در گروه ریزشمع مایل در جهت X، نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت XY، ۸۵ درصد و در ریزشمع‌های مایل ۴۰۳ در گروه ریزشمع مایل در جهت X، نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت XY، ۱۰ درصد کاهش یافته است. نتایج در جدول (۸-۵) نشان داده شده است.

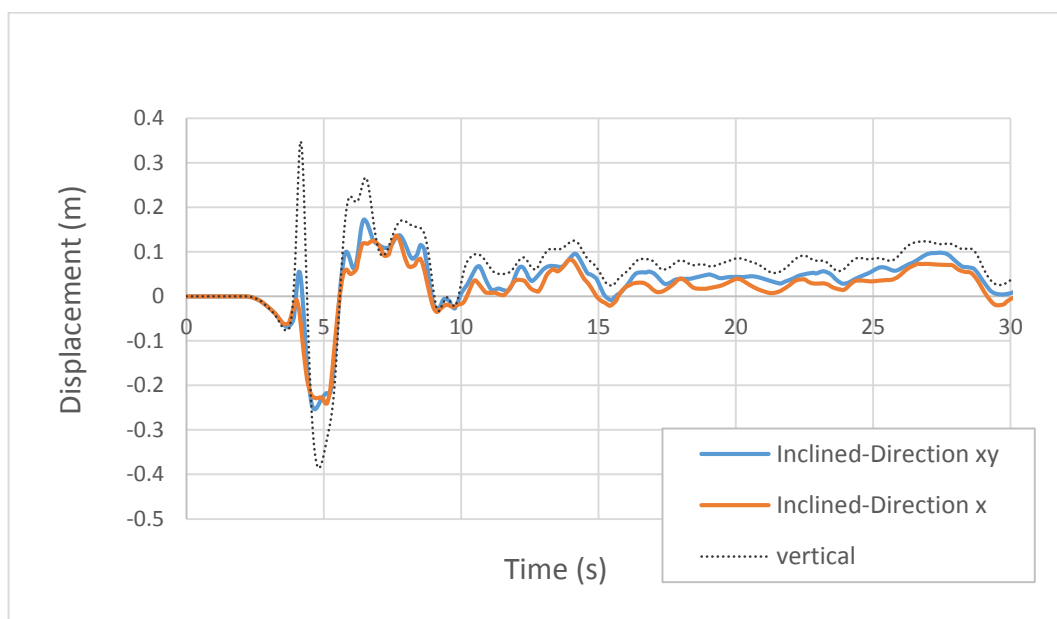
جدول (۸-۵) مقادیر کاهش یافته لنگر خمشی در گروه ریزشمع‌های مایل در جهت X، نسبت به گروه ریزشمع مایل در

جهت XY (برحسب درصد) - (زلزله در جهت X)

	ریزشمع ۲ و ۱	ریزشمع ۴ و ۳
کاهش لنگر خمشی در گروه ریزشمع مایل در جهت X نسبت به حالت XY	۸۵ %	۱۰ %

۵-۴-۱-۴-۵- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر تغییر مکان افقی

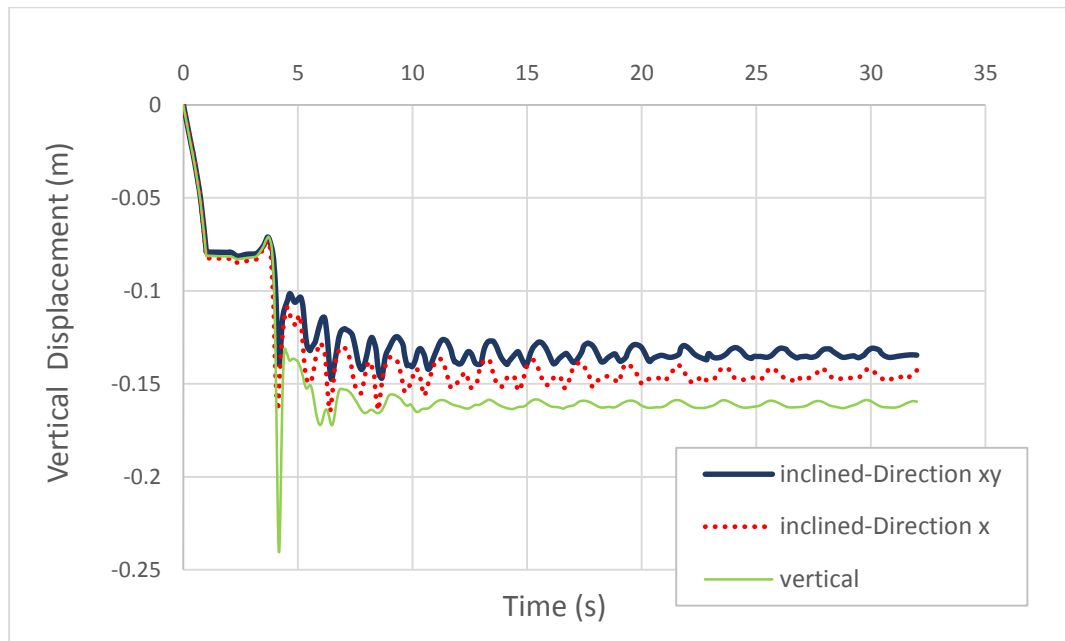
تاریخچه تغییر مکان افقی در گروه ریزشمع در شکل (۵-۱۶) نشان داده شده است. در همه ریزشمع ها، ماکزیمم تغییر مکان در سر ریزشمع رخ داده است. با توجه به نتایج ماکزیمم تغییر مکان افقی در گروه ریزشمع قائم به وجود آمده است.



شکل (۵-۱۶) تاریخچه تغییر مکان افقی در محل اتصال ریزشمع با کلاهک، در گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY - (زلزله در جهت X)

۵-۴-۱-۵- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر تغییر مکان قائم

تاریخچه ماکزیمم تغییر مکان قائم در محل اتصال ریزشمع با کلاهک، در شکل (۵-۱۷) نشان داده شده است. با توجه به نتایج، ماکزیمم جابجایی در گروه ریزشمع قائم مشاهده شده است. مقدار جابجایی ماکزیمم در ریزشمع قائم در حدود ۲۴ سانتیمتر و در ریزشمع های مایل در جهت XY، ۱۴/۷۴ سانتیمتر و در گروه ریزشمع مایل در جهت X ۱۶/۴۰ سانتیمتر می باشد. بنابراین جابجایی قائم در گروه ریزشمع مایل در جهت XY نسبت به گروه ریزشمع قائم ۳۸/۵۸ درصد و جابجایی قائم در گروه ریزشمع مایل در جهت X نسبت به گروه ریزشمع قائم ۳۱/۶۶ درصد کاهش یافته است.



شکل (۵-۱۷) تاریخچه تغییر مکان قائم در گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت X)

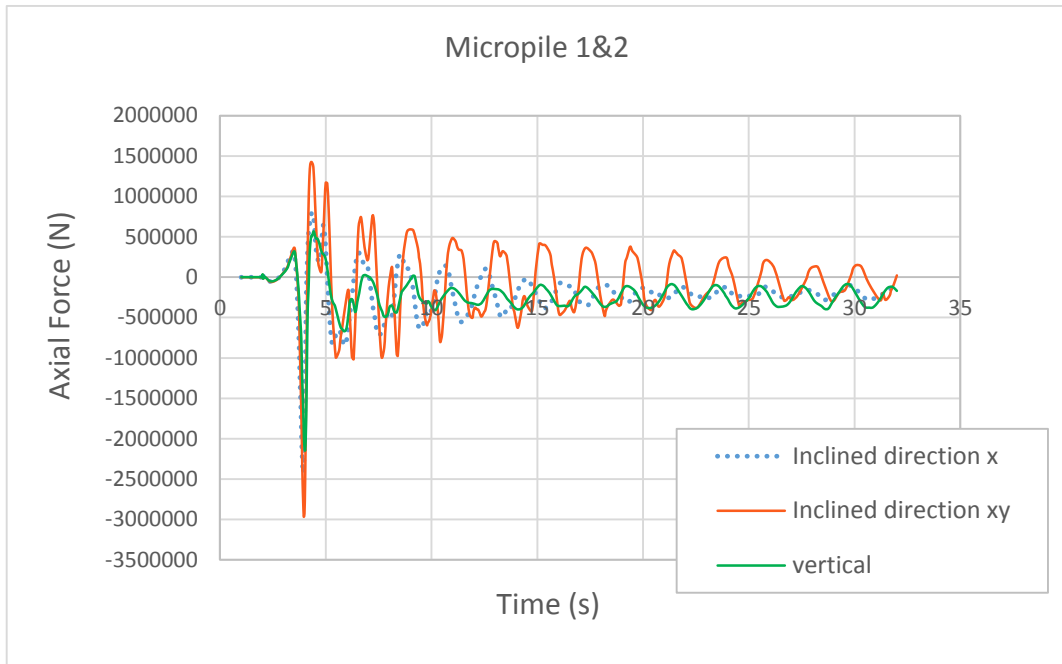
بنابراین در حالت کلی، استفاده از گروه ریزشمع مایل باعث بهبود عملکرد گروه ریزشمع تحت بار زلزله شده است و در گروه ریزشمعی که تمام ریزشمع ها در جهت X مایل شده اند، سختی جانبی در جهت X افزایش پیدا کرده و از آنجا که زلزله در راستای X به گروه ریزشمع اعمال شده، نیروهای برشی و لنگر خمشی و جابجایی در محل اتصال ریزشمع به کلاhek کاهش یافته است.

۵-۴-۲- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر روی رفتار آنها تحت بار زلزله در راستای X و Y

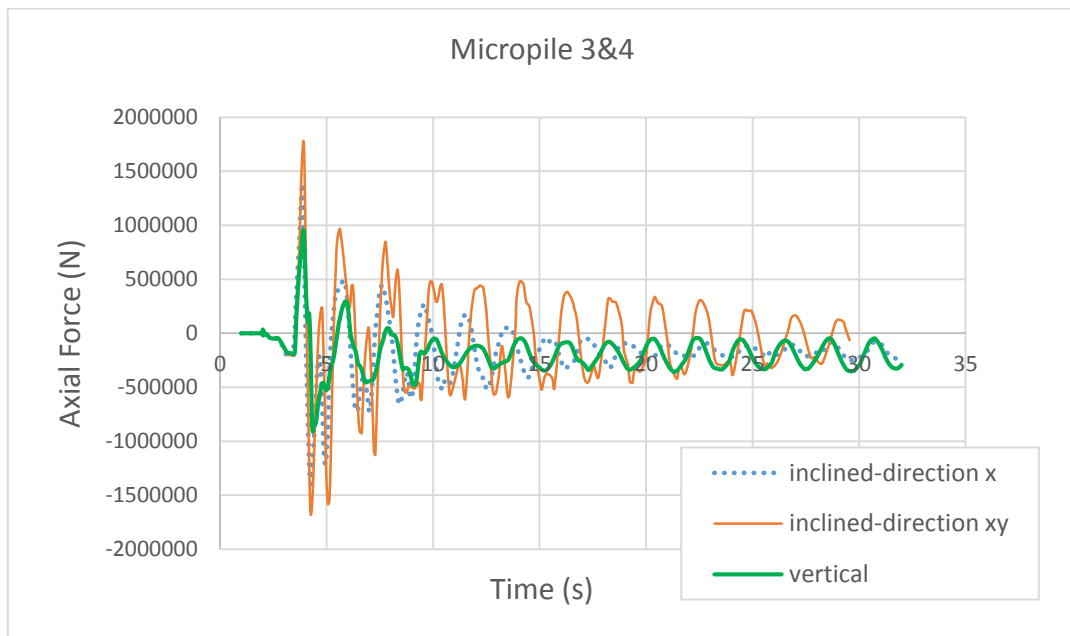
در این قسمت بار زلزله در راستای X و Y به مدل اعمال شده و نیروی های داخلی در گروه ریزشمع و منحنی جابجایی در محل اتصال ریزشمع ها با کلاhek به دست آمده است.

۵-۴-۲-۱- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر نیروی محوری

تاریخچه نیروی محوری در سر ریزشمع ها در اشکال (۵-۱۸) تا (۵-۱۹) نشان داده شده است.

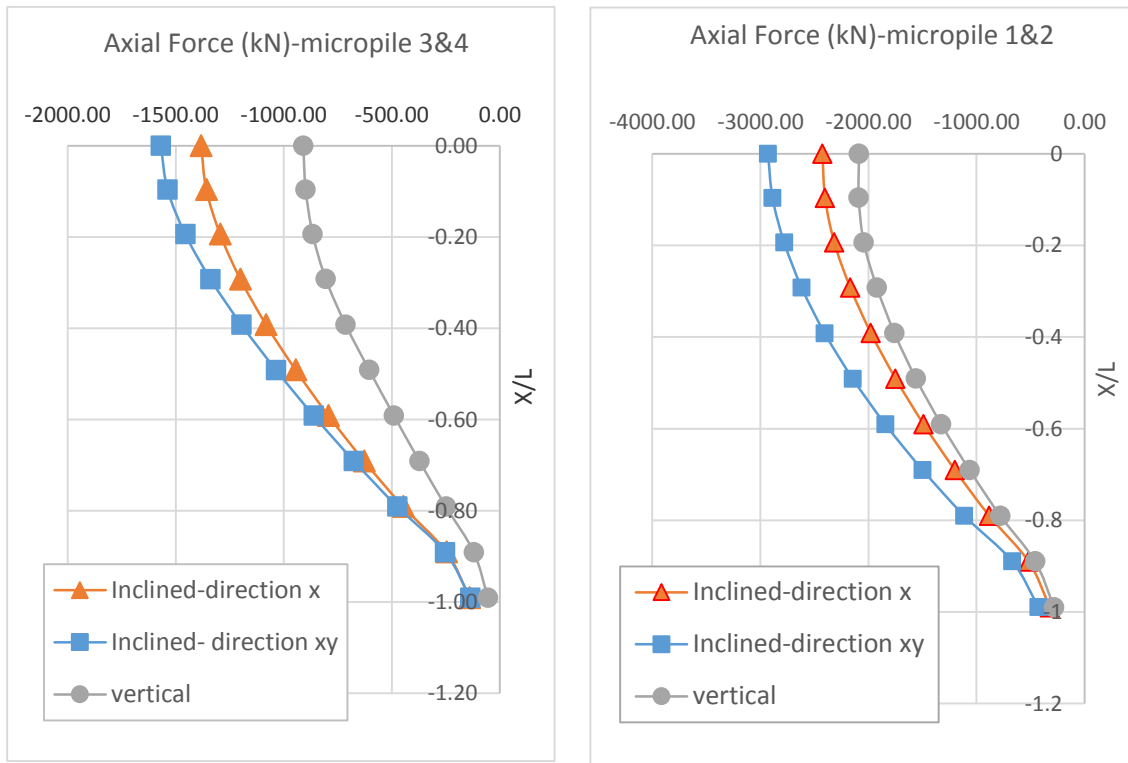


شکل (۵-۱۸) تاریخچه نیروی محوری ریزشمع ۱ و ۲، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت xy)



شکل (۵-۱۹) تاریخچه نیروی محوری ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت xy)

و منحنی نیروی محوری در طول گروه ریزشمع در شکل (۵-۲۰) نشان داده شده است.



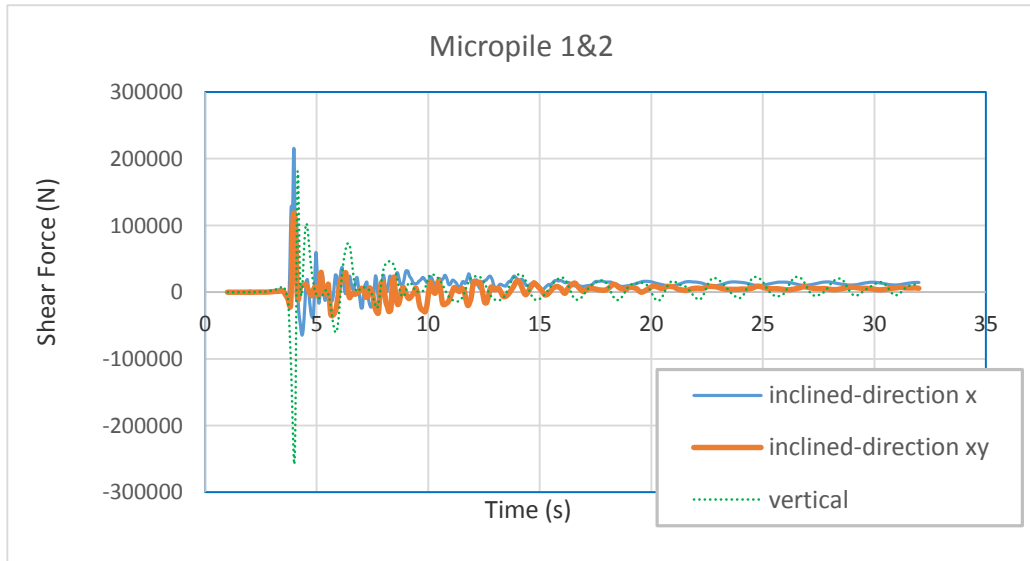
شکل (۵-۲۰) نمودار نیروی محوری در طول ریزشمع، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت XY)

با توجه به نتایج، مقادیر نیروی محوری در محل اتصال ریزشمع با کلاهک در گروه ریزشمع مایل در جهت XY، بیشتر از مقادیر نیروی محوری در گروه ریزشمع قائم و همچنین بیشتر از مقادیر نیروی محوری در گروه ریزشمع مایل در جهت X می باشد.

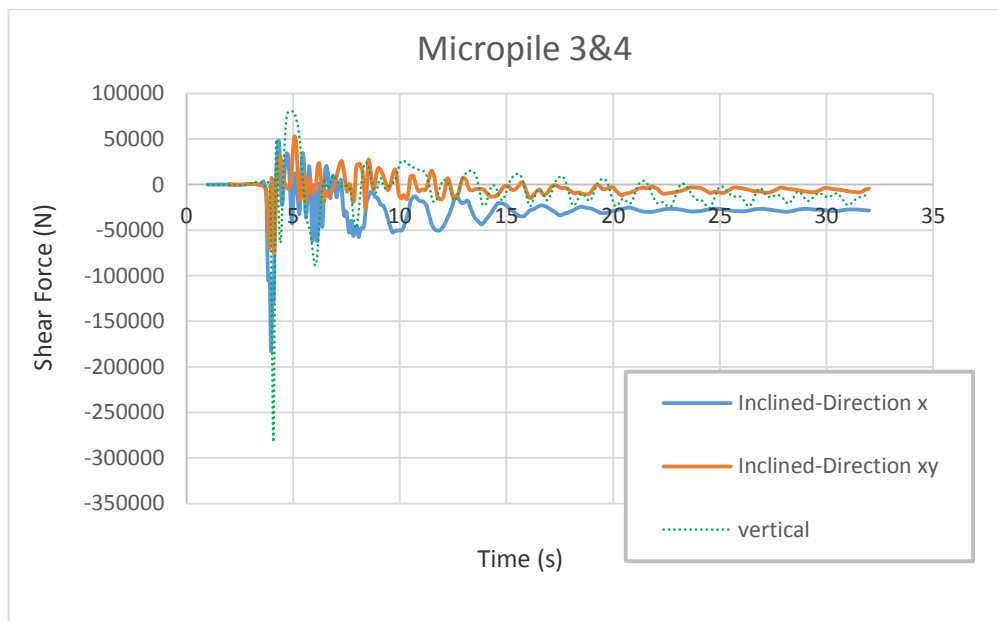
در حالت کلی نیروی محوری در گروه ریزشمع های مایل بیشتر از نیروی محوری در گروه ریزشمع قائم می باشد؛ به این علت که زاویه تمایل ریزشمع ها منجر به بسیج بهتر مؤلفه محوری در طول ریزشمع ها شده در نتیجه، نیروی محوری در گروه ریزشمع مایل افزایش می یابد.

۵-۴-۲- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر نیروی برشی

تاریخچه نیروی برشی در طول ریزشمع ها در اشکال (۵-۲۱) و (۵-۲۲)، نشان داده شده است. ماکزیمم نیروی برشی در محل اتصال ریزشمع با کلاهک مشاهده شده است.

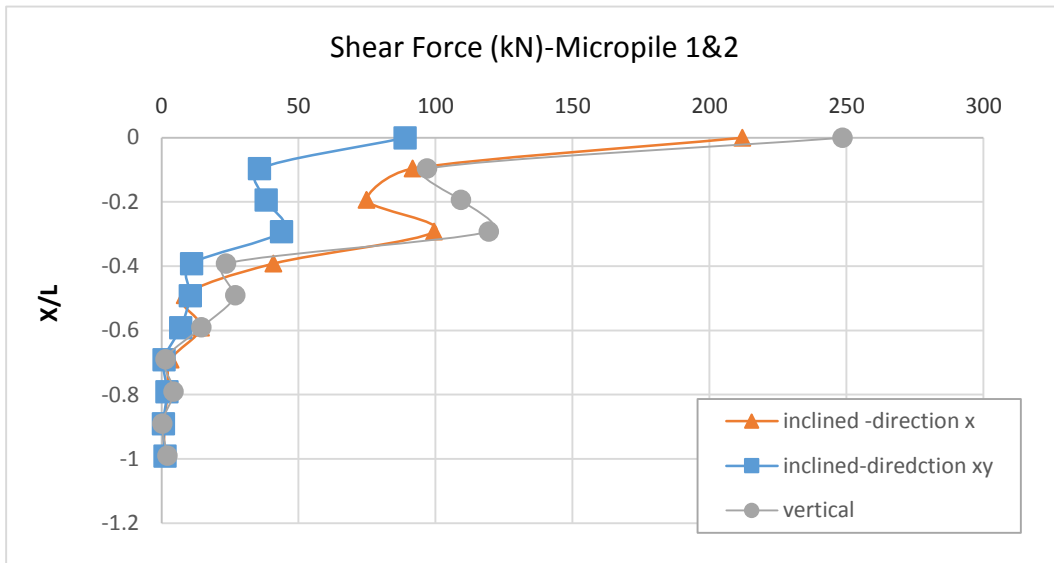


شکل (۵-۲۱) تاریخچه نیروی برشی ریزشمع ۱ و ۲، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل X و XY (زلزله در جهت xy)

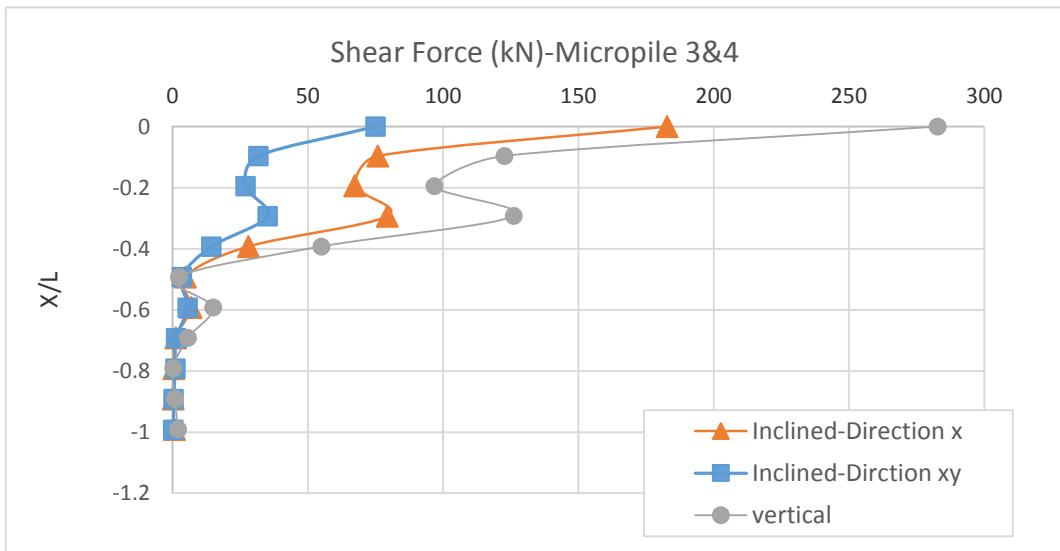


شکل (۵-۲۲) تاریخچه نیروی برشی ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل X و XY (زلزله در جهت xy)

و منحنی نیروی برشی در طول ریزشمع ها در اشکال (۵-۲۳) تا (۵-۲۴) نشان داده شده است.



شکل (۵-۲۳) نمودار نیروی برشی در طول ریزشمع ۱ و ۲، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت xy)



شکل (۵-۲۴) نمودار نیروی برشی در طول ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت xy)

ماکزیمم مقادیر در جدول (۵-۹) نشان داده شده است. با توجه به نتایج، در حالت کلی نیروی برشی در گروه ریزشمع های مایل کمتر از ریزشمع های قائم به دست آمده است. در تمام ریزشمع ها تغییرات

نیروی برشی در عمق $\frac{x}{l} \leq 0.5$ قابل ملاحظه است.

ماکزیمم نیروی برشی در گروه ریزشمع های مایل در جهت XY، بسیار کمتر از ماکزیمم نیروی برشی در گروه ریزشمع های قائم و ریزشمع های مایل در جهت X، می باشد. نیروی برشی در ریزشمع مایل در جهت XY، نسبت به ریزشمع های قائم در بیشترین حالت حدود ۷۳ درصد و نسبت به ریزشمع های مایل در جهت X، حدود ۵۹ درصد کاهش یافته است. نتایج در جدول (۵-۱۰) نشان داده شده است.

این موضوع به این خاطر است که سختی جانبی گروه ریزشمع در جهت تمایل آنها افزایش می یابد و در گروه ریزشمع هایی که در جهت XY مایل شده اند، سختی جانبی ریزشمع ها در جهت XY افزایش بیشتری یافته است؛ از آنجاکه بار زلزله در جهت XY به مدل اعمال شده، بنابراین نیروهای داخلی در طول ریزشمع هایی که در جهت XY مایل شده اند نسبت به گروه ریزشمع های قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X، کاهش قابل توجهی پیدا کرده است.

جدول (۵-۹) مقادیر ماکزیمم نیروی برشی در گروه ریزشمع های قائم و مایل، (زلزله در جهت XY)

	ماکزیمم نیروی برشی (کیلو نیوتن) ریزشمع ۲و۱	ماکزیمم نیروی برشی (کیلو نیوتن) ریزشمع ۴و۳
قائم	۲۴۸	۲۸۲
مایل در جهت XY	۸۸/۹	۷۴
مایل در جهت X	۲۱۲	۱۸۲

جدول (۵-۱۰) مقادیر کاهش یافته نیروی برشی در گروه ریزشمع های مایل نسبت به حالت قائم (برحسب درصد)

(زلزله در جهت XY)

	ریزشمع ۲و۱	ریزشمع ۴و۳
کاهش نیروی برشی در گروه ریزشمع مایل در جهت XY نسبت به حالت قائم	۶۴ %	۷۳ %
کاهش نیروی برشی در گروه ریزشمع مایل در جهت X نسبت به حالت قائم	۱۴ %	۳۵ %

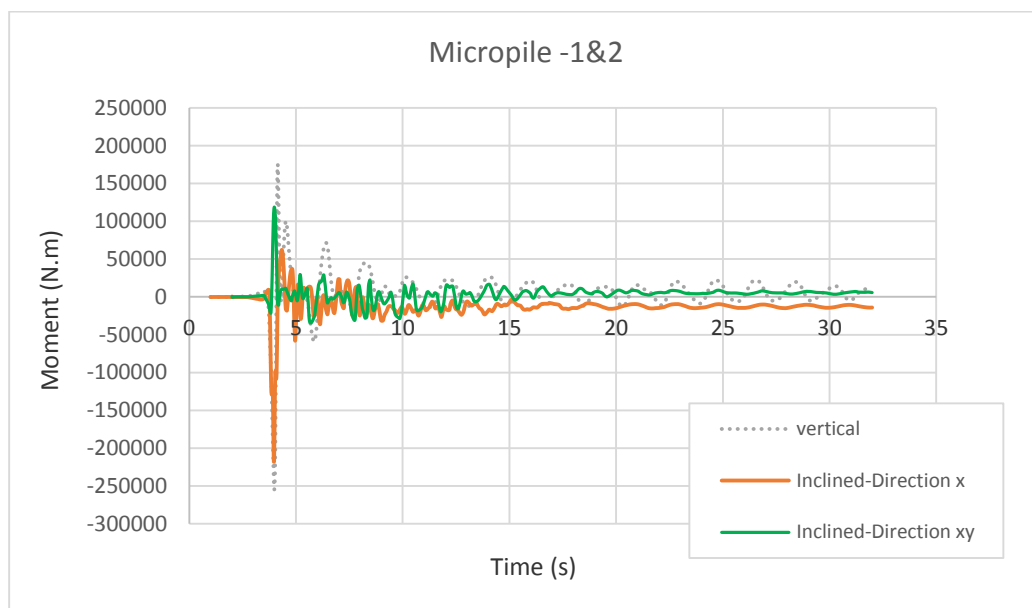
مقادیر نیروی برشی در ریزشمع های شماره ۱ و ۲ در گروه ریزشمع مایل در جهت XY، نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت X، ۵۸ درصد و در ریزشمع های شماره ۳ و ۴ در گروه ریزشمع مایل در جهت XY، نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت X، ۵۹ درصد است، جدول (۵-۱۱)

جدول (۵-۱۱) مقادیر کاهش یافته نیروی برشی در گروه ریزشمع های مایل در جهت X، نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت XY (برحسب درصد) - (زلزله در جهت XY)

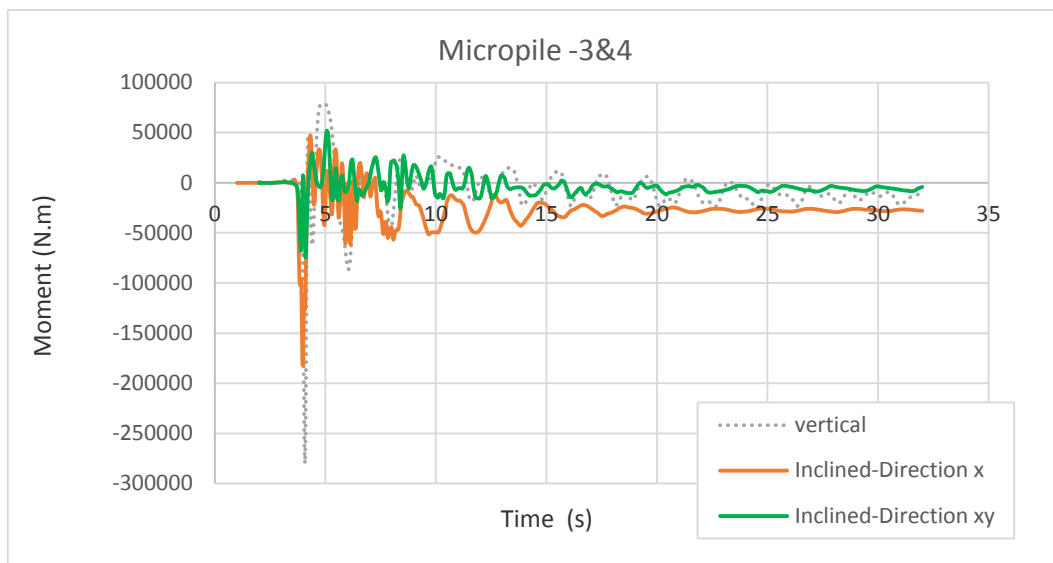
	ریزشمع ۱ و ۲	ریزشمع ۳ و ۴
کاهش نیروی برشی در گروه ریزشمع مایل در جهت XY نسبت به حالت X	۵۸ %	۵۹ %

۵-۴-۲-۳- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر ممان خمشی

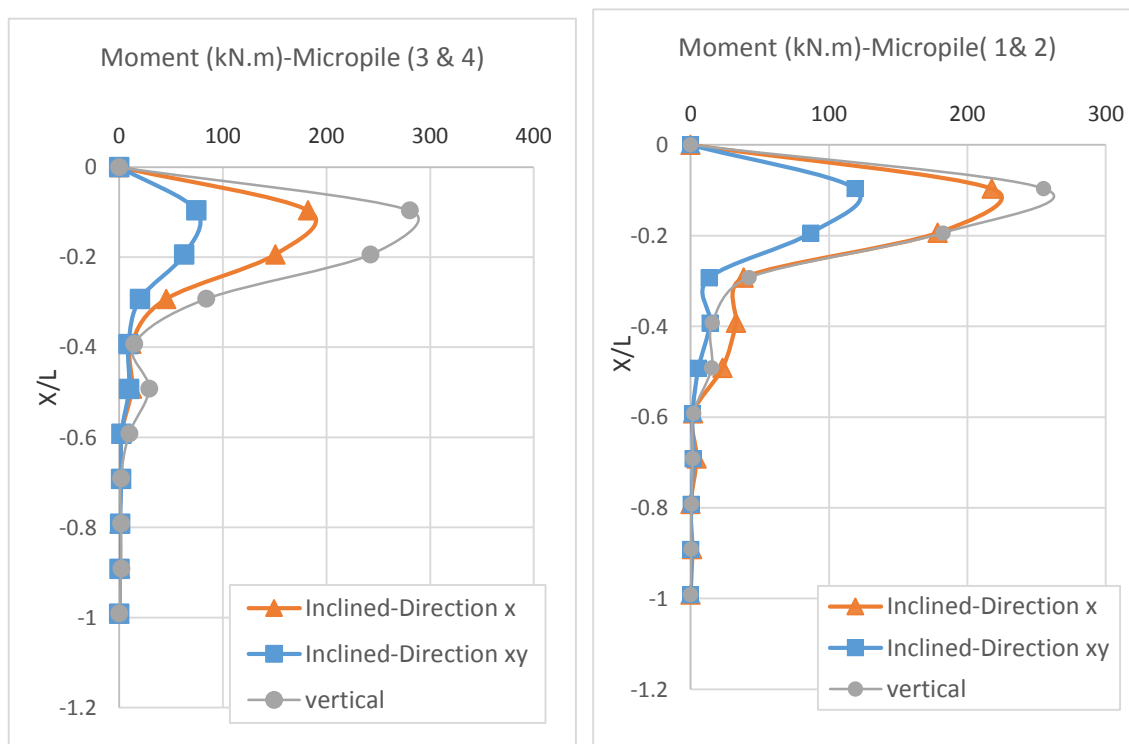
ماکزیمم تاریخچه ممان خمشی در گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل با چیدمان مختلف تحت بار زلزله در راستای X و Y در اشکال (۵-۲۵) و (۵-۲۶) و نمودار لنگر خمشی در طول ریزشمع ها در شکل (۵-۲۷) نشان داده شده است.



شکل (۵-۲۵) تاریخچه ممان خمشی ریزشمع ۱ و ۲، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت XY)



شکل (۵-۲۶) تاریخچه ماکزیمم ممان خمشی ریزشمع ۳ و ۴، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت xy)



شکل (۵-۲۷) نمودار لنگر خمشی در گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY (زلزله در جهت xy)

تغییرات لنگر خمشی تقریباً در $\frac{x}{l} \leq 0.4$ قابل ملاحظه است و در عمق $\frac{x}{l} \geq 0.6$ مقادیر لنگر خمشی بشدت کاهش یافته و به مقدار ثابت رسیده است.

مقادیر ماکزیمم لنگر خمشی در گروه ریزشمع های قائم و مایل در جدول (۵-۱۲) آمده است.

با توجه به نتایج، لنگر خمشی در گروه ریزشمع مایل که زاویه تمایل آنها در جهت XY می باشد، نسبت به گروه ریزشمع قائم و همچنین نسبت به گروه ریزشمع مایل که زاویه تمایل آنها در جهت X است کاهش قابل ملاحظه ای یافته است.

ماکزیمم لنگر خمشی در گروه ریزشمع مایل در جهت XY نسبت به گروه ریزشمع قائم در بیشترین حالت حدود ۶۹ درصد و نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت X، ۵۹ درصد کاهش یافته است. همچنین لنگر خمشی در گروه ریزشمع مایل در جهت X نسبت به گروه ریزشمع قائم، در بیشترین حالت حدود ۲۴ درصد کاهش یافته است.

جدول (۵-۱۲) مقادیر ماکزیمم لنگر خمشی در گروه ریزشمع های قائم و مایل در جهت X و XY- (زلزله در جهت xy)

	ماکزیمم ممان خمشی (کیلو نیوتن در متر) در ریزشمع ۲و۱	ماکزیمم ممان خمشی (کیلو نیوتن در متر) در ریزشمع ۳و۴
قائم	۲۵۵/۰۷	۲۴۲
مایل در جهت XY	۱۱۸	۷۴/۴۲
مایل در جهت X	۲۱۷	۱۸۲

مقادیر لنگر خمشی در گروه ریزشمع هایی که در جهت XY مایل شده اند نسبت به گروه ریزشمع قائم، در ریزشمع های شماره ۱ و ۲، ۵۳ درصد و در ریزشمع های شماره ۳ و ۴، ۶۹ درصد کاهش یافته است.

مقادیر لنگر خمشی در گروه ریزشمع هایی که در جهت X مایل شده اند نسبت به گروه ریزشمع قائم، در ریزشمع های شماره ۱ و ۲، ۱۴ درصد و در ریزشمع های شماره ۳ و ۴، ۲۴ درصد کاهش یافته است. نتایج در جدول (۵-۱۳) آمده است.

جدول (۵-۱۳) مقادیر کاهش یافته لنگر خمشی در گروه ریزشمع های مایل نسبت به حالت قائم (بر حسب درصد)

(زلزله در جهت xy)

	ریزشمع ۱ و ۲	ریزشمع ۳ و ۴
کاهش لنگر خمشی در گروه ریزشمع مایل در جهت XY نسبت به حالت قائم	۵۳ %	۶۹ %
کاهش لنگر خمشی در گروه ریزشمع مایل در جهت X نسبت به حالت قائم	۱۴ %	۲۴ %

با توجه به نتایج، مقادیر لنگر خمشی در گروه ریزشمع های مایل در جهت XY نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت X در ریزشمع های شماره ۱ و ۲، ۴۵ درصد و در ریزشمع های شماره ۳ و ۴، ۵۹ درصد کاهش یافته است. نتایج در جدول (۵-۱۴) آمده است.

جدول (۵-۱۴) مقادیر کاهش یافته لنگر خمشی در گروه ریزشمع های مایل در جهت XY، نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت X (برحسب درصد)، (زلزله در جهت xy)

	ریزشمع ۱ و ۲	ریزشمع ۳ و ۴
کاهش لنگر خمشی در گروه ریزشمع مایل در جهت XY نسبت به حالت X	۴۵ %	۵۹ %

همانطور که در قسمت تحلیل نتایج نیروی برشی بیان شد، مایل کردن ریزشمع ها موجب افزایش سختی جانبی ریزشمع ها شده و باعث بهبود عملکرد آنها در برابر بار زلزله می شود. بنابراین در حالت کلی استفاده از گروه ریزشمع های مایل باعث کاهش نیروی برشی و لنگر خمشی در گروه ریزشمع می شود. همچنین در گروه ریزشمع هایی که در جهت XY مایل شده اند سختی جانبی در جهت X و Y بیشتر از گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X می باشد و از آنجاکه بار زلزله در راستای X و Y به مدل اعمال شده، گروه ریزشمع هایی که در جهت XY مایل شده اند نسبت به گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X، عملکرد بهتری در مقابل بار زلزله از خود نشان دادند.

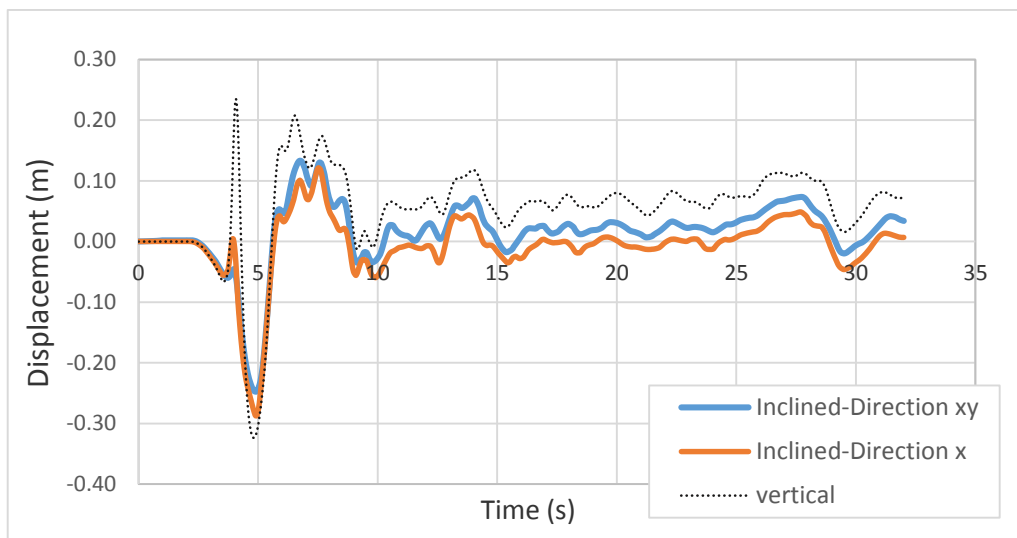
۵-۴-۲-۴- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر تغییر مکان افقی

ماکزیمم تغییر مکان افقی در جهت X و همچنین ماکزیمم تغییر مکان افقی در جهت Y در محل اتصال ریزشمع با کلاهک به وجود آمده است. تاریخچه تغییر مکان افقی در جهت X و Y در سر ریزشمع، به ترتیب در اشکال (۵-۲۸) و (۵-۲۹) نشان داده شده است.

با توجه به نتایج تحت بار زلزله در جهت X و Y، جابجایی افقی در جهت X و در جهت Y، در گروه ریزشمع قائم بیشتر از گروه ریزشمع های مایل می باشد. ماکزیمم جابجایی افقی، در گروه ریزشمع قائم ۳۲/۱۶ سانتی متر و در گروه ریز شمعی که در جهت X مایل شده است، ۲۸/۶۴ سانتی متر و در گروه ریز شمعی که در جهت XY مایل شده است، ۲۵ سانتی متر می باشد.

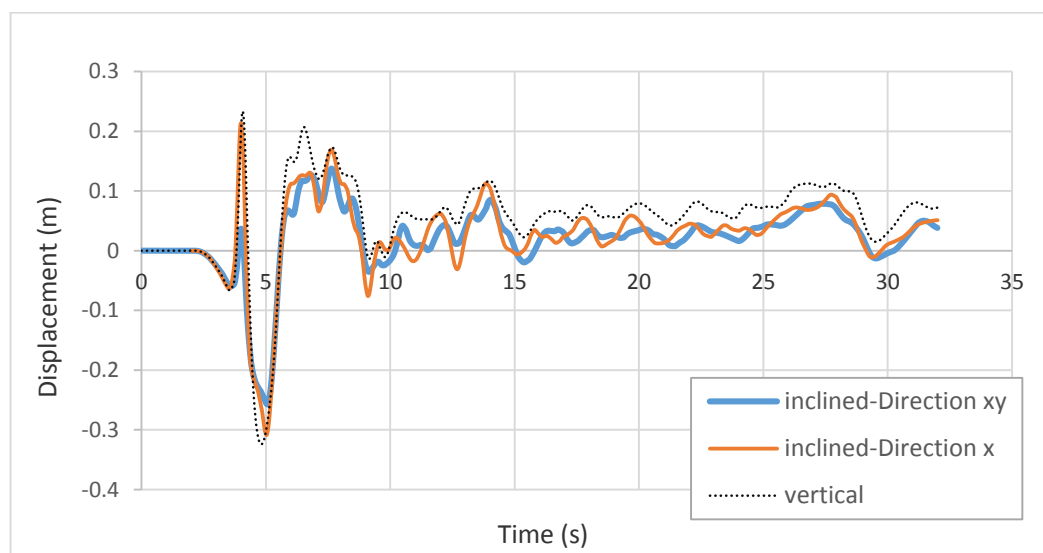
با توجه به نتایج، در ثانیه چهارم، اولین نقطه اوج تغییر مکان در گروه ریزشمع قائم مشاهده شده است و در این زمان در گروه ریزشمع قائم، جابجایی در جهت X و در جهت Y ۲۲ سانتی متر مشاهده شده است و در گروه ریز شمعی که در جهت X مایل شده اند، جابجایی در جهت X صفر و جابجایی در جهت Y ۲۰ سانتی متر و در گروه ریز شمعی که در جهت XY مایل شده اند، جابجایی هم در جهت X و هم در جهت Y، ناچیز می باشد.

در حالت کلی، ماکزیمم جابجایی افقی در گروه ریز شمعی که در جهت X مایل شده، ۱۲/۷ درصد بیشتر از ماکزیمم جابجایی افقی در گروه ریزشمع مایل شده در جهت XY است و این تغییر مکان ماکزیمم در ثانیه پنجم رخ داده است.



شکل (۲۸-۵) تاریخچه تغییر مکان افقی در جهت X، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت XY و X

(زلزله در جهت xy)



شکل (۲۹-۵) تاریخچه تغییر مکان افقی در جهت Y، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت XY و X

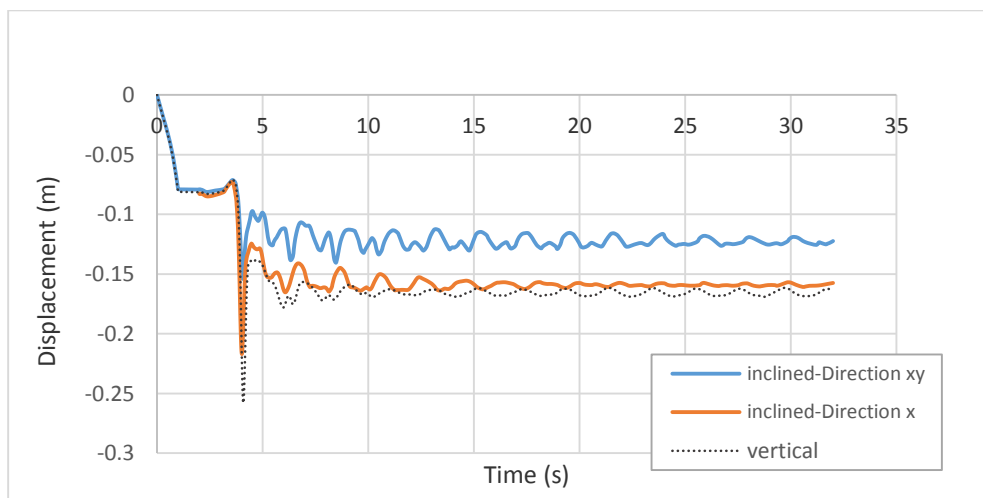
(زلزله در جهت xy)

در حالت کلی با توجه به اینکه سختی جانبی ریزشمع ها در گروه ریزشمع مایل افزایش می یابد، این موضوع باعث بهبود عملکرد گروه ریزشمع مایل نسبت به گروه ریزشمع قائم تحت بار زلزله شده است و ماکزیمم جابجایی افقی گروه ریزشمع مایل نسبت به گروه ریزشمع قائم کاهش قابل توجه ای یافته است.

ریزشمع ها در هر جهت که مایل شوند سختی آنها در جهت تمایل افزایش یافته، بنابراین جابجایی ریزشمع ها در جهت تمایل کاهش می یابد و زمانی که در آن تغییر مکان ماکزیمم به وجود می آید به تعویق می افتد. بنابراین گروه ریزشمع مایل در جهت XY نسبت به گروه ریزشمع های دیگر عملکرد بهتری در مقابل زلزله داشته و ماکزیمم جابجایی افقی در گروه ریزشمع مایل در جهت XY نسبت به ماکزیمم جابجایی افقی در گروه ریزشمع مایل در جهت X، تحت بار زلزله در راستای x و y، کاهش بیشتری یافته است.

۵-۴-۲-۵- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر تغییر مکان قائم

تاریخچه تغییر مکان قائم در محل اتصال ریزشمع با کلاهک در شکل (۵-۳۰) نشان داده شده است. با توجه به نتایج ماکزیمم جابجایی در گروه ریزشمع قائم به وجود آمده است و جابجایی در سر ریزشمع، در گروه ریزشمع مایل در جهت XY، کمتر از مقادیر جابجایی در گروه ریزشمع های دیگر می باشد. در حالت کلی، در همه ریزشمع ها در ثانیه چهارم ماکزیمم جابجایی رخ داده است، که مقادیر آن در حالت قائم ۲۵/۷۷ سانتی متر و در گروه ریزشمع مایل در جهت X ۲۱/۶۹ سانتی متر و در گروه ریزشمع مایل در جهت XY ۱۵/۴۰ سانتی متر می باشد.

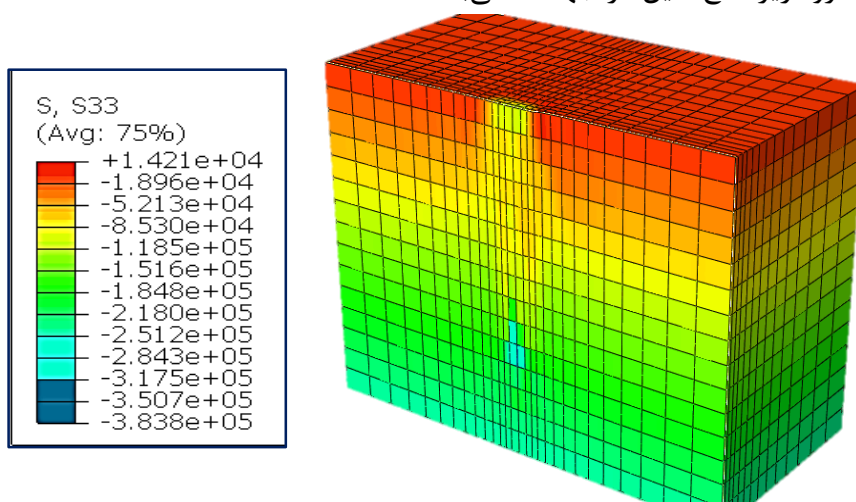


شکل (۵-۳۰) تاریخچه تغییر مکان قائم در سر ریزشمع، گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت XY و X

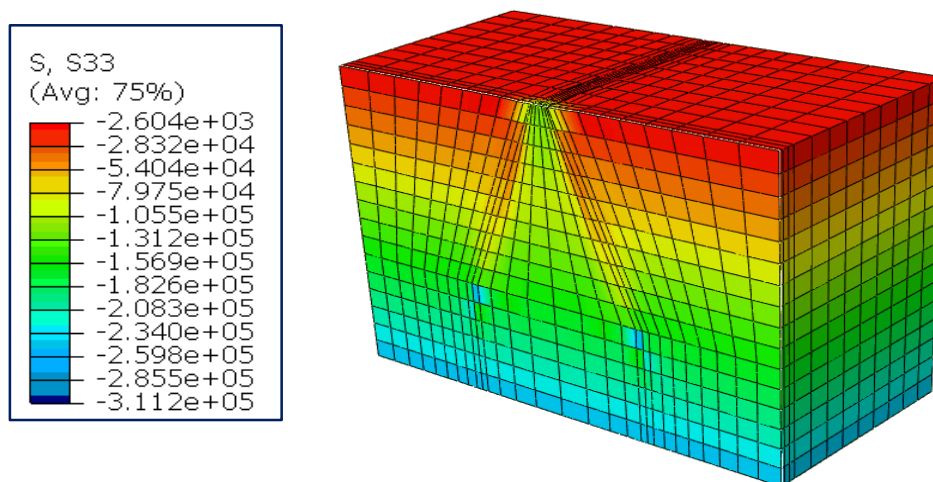
(زلزله در جهت xy)

۵-۴-۳- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر روی تنش و نشست خاک تحت بار استاتیکی

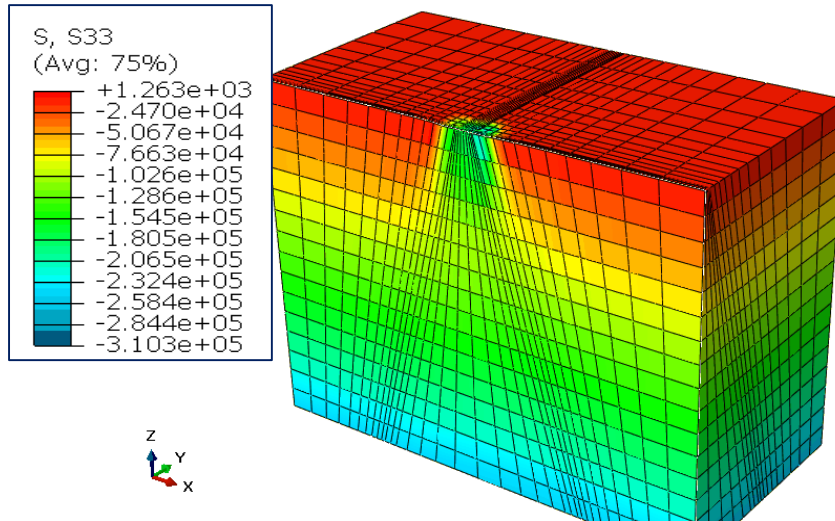
در این قسمت تنش و نشست به وجود آمده در خاک تحت بار استاتیکی با گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع های مایل با رو سازه به وزن ۱۵۰ تن، به دست آمده و مقایسه بین نتایج صورت گرفته است. کانتور تنش در خاک با گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY در اشکال (۵-۳۱) تا (۵-۳۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج در گروه ریزشمع های مایل ظرفیت باربری خاک زیر پی تحت بار استاتیکی افزایش یافته و در گروه ریزشمع مایل در جهت XY، مقادیر تنش کمی بیشتر از مقادیر به دست آمده در گروه ریزشمع مایل در جهت X می باشند.



شکل (۵-۳۱) کانتور تنش در خاک تحت بار استاتیکی با گروه ریزشمع قائم

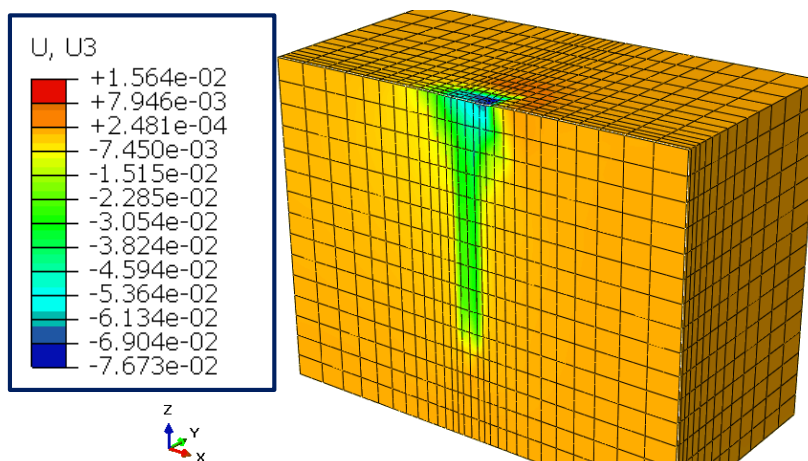


شکل (۵-۳۲) کانتور تنش در خاک تحت بار استاتیکی با گروه ریزشمع مایل ۲×۲ در جهت X

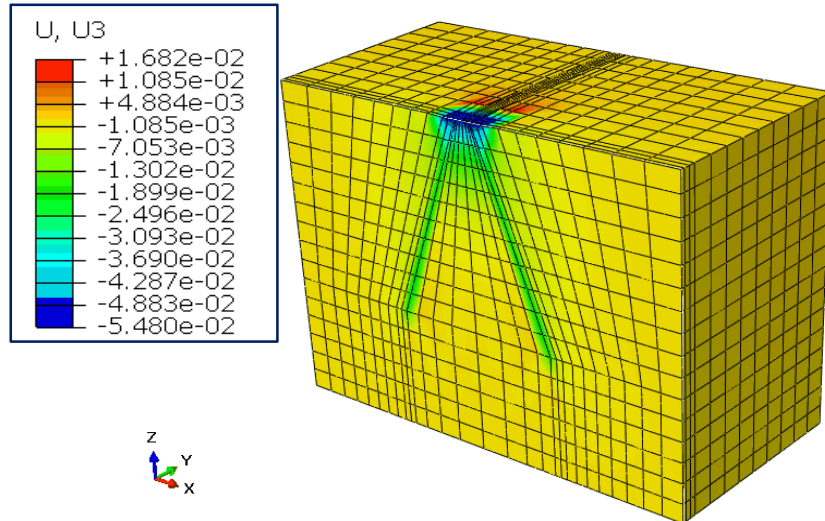


شکل (۳۳-۵) کانتور تنش در خاک تحت بار استاتیکی با گروه ریزشمع مایل ۲×۲ در جهت X و Y

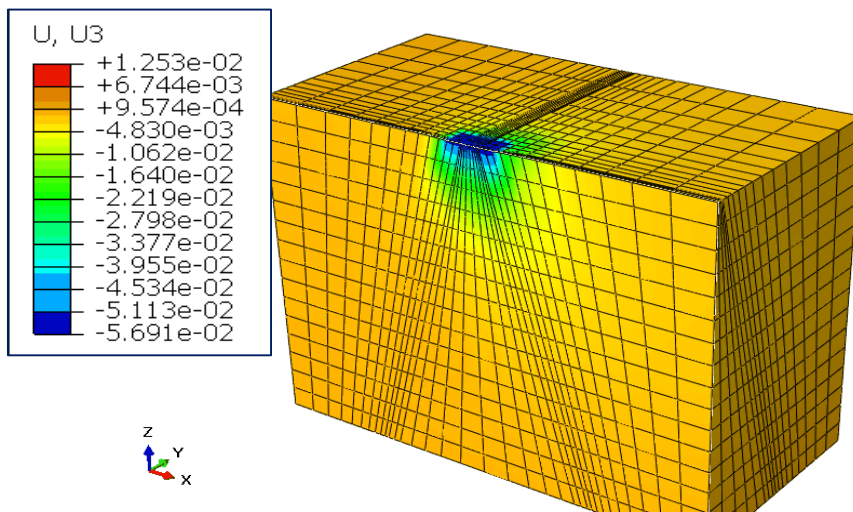
همچنین کانتور نشست در خاک با گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل در جهت X و XY در اشکال (۳۴-۵) تا (۳۶-۵) نشان داده شده است. با توجه به نتایج در گروه ریزشمع های مایل نشست خاک زیر پی تحت بار استاتیکی کاهش یافته و در گروه ریزشمع مایل در جهت XY، با اختلاف نه چندان زیاد مقادیر نشست کمتر از مقادیر نشست به دست آمده در گروه ریزشمع مایل در جهت X می باشد.



شکل (۳۴-۵) کانتور نشست در خاک تحت بار استاتیکی با گروه ریزشمع قائم



شکل (۳۵-۵) کانتور نشست در خاک تحت بار استاتیکی با گروه ریزشمع مایل ۲×۲ در جهت X



شکل (۳۶-۵) کانتور نشست در خاک تحت بار استاتیکی با گروه ریزشمع مایل ۲×۲ در جهت Y و X

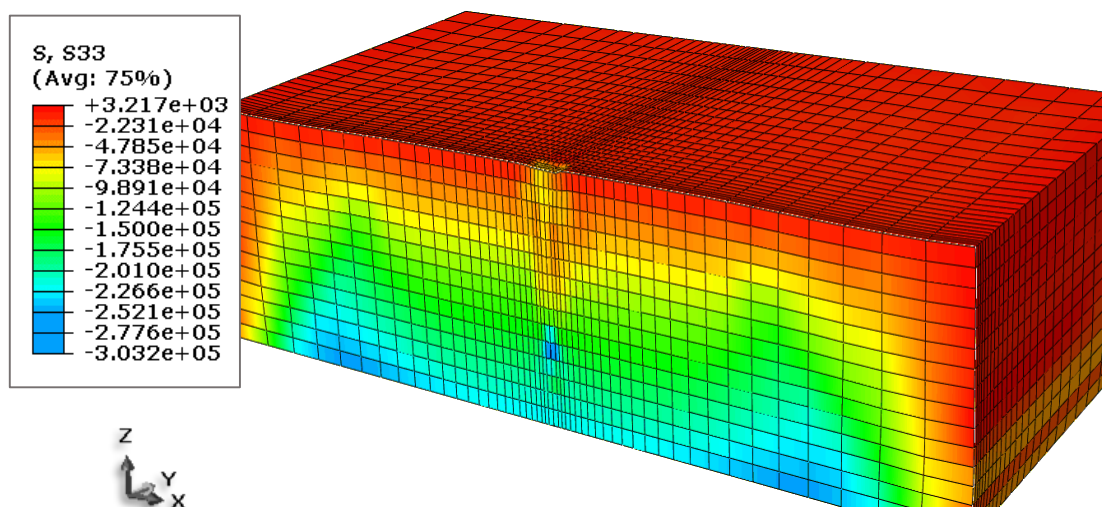
۵-۴-۴- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر روی تنش و نشست در خاک تحت بار دینامیکی

در این قسمت تنش و نشست خاک در گروه ریزشمع با چیدمان مختلف تحت بار زلزله در جهت x و تحت بار زلزله در جهت x و y مورد بررسی قرار گرفته است.

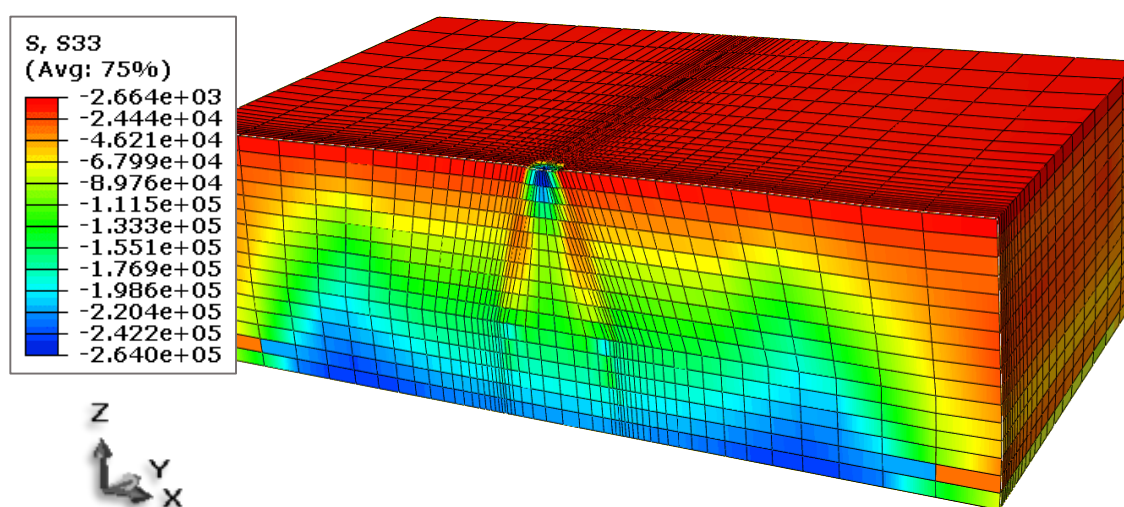
۵-۴-۱- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر روی تنش و نشست در خاک تحت بار زلزله در

راستای X

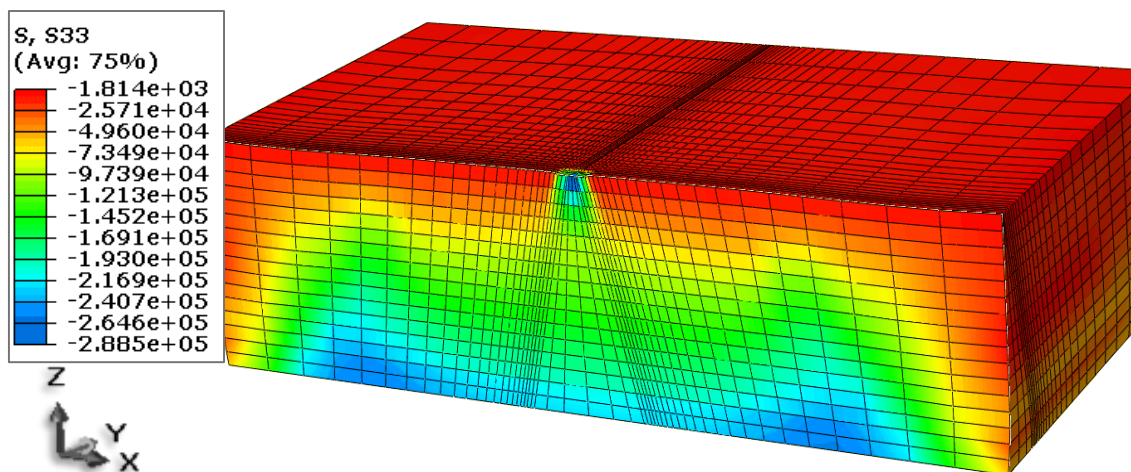
کانتور تنش خاک در گروه ریزشمع ها با چیدمان مختلف تحت بار زلزله در جهت X در اشکال (۵-۳۷) تا (۵-۳۹) نشان داده شده است. با توجه به نتایج در گروه ریزشمع قائم تنش خاک زیر پی کمتر از گروه ریزشمع های مایل به دست آمده است.



شکل (۵-۳۷) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع قائم ۲×۲ (زلزله در جهت X)



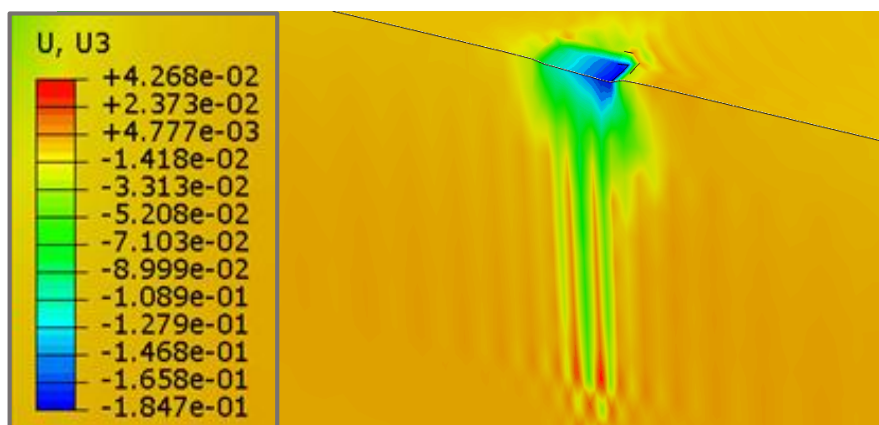
شکل (۵-۳۸) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل ۲×۲ در جهت X (زلزله در جهت X)



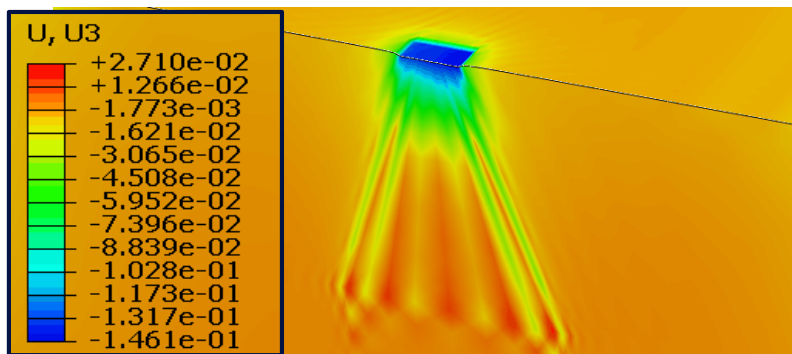
شکل (۵-۳۹) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل ۲×۲ در جهت X و Y (زلزله در جهت X)

کانتور نشست خاک در گروه ریزشمع با چیدمان مختلف تحت بار زلزله در جهت X در اشکال (۵-۴۰) تا (۵-۴۲) نشان داده شده است.

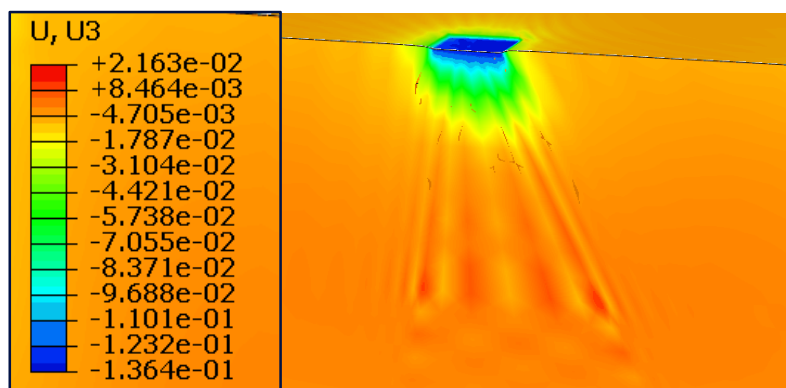
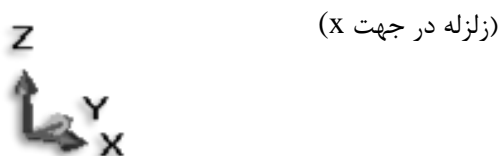
با توجه به نتایج، نشست خاک زیر پی در گروه ریزشمع قائم غیریکنواخت است و مقادیر نشست خاک زیر پی نیز در گروه ریزشمع قائم بیشتر از گروه ریزشمع های مایل می باشد. در گروه ریزشمع مایل در جهت XY، مقادیر تنش بیشتر و مقادیر نشست کمتر از مقادیر به دست آمده در گروه ریزشمع مایل در جهت X می باشند.



شکل (۵-۴۰) کانتور نشست در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع قائم ۲×۲ (زلزله در جهت X)



شکل (۴۱-۵) کانتورنشست در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل 2×2 در جهت X



شکل (۴۲-۵) کانتور نشست در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل 2×2 در جهت Y و X

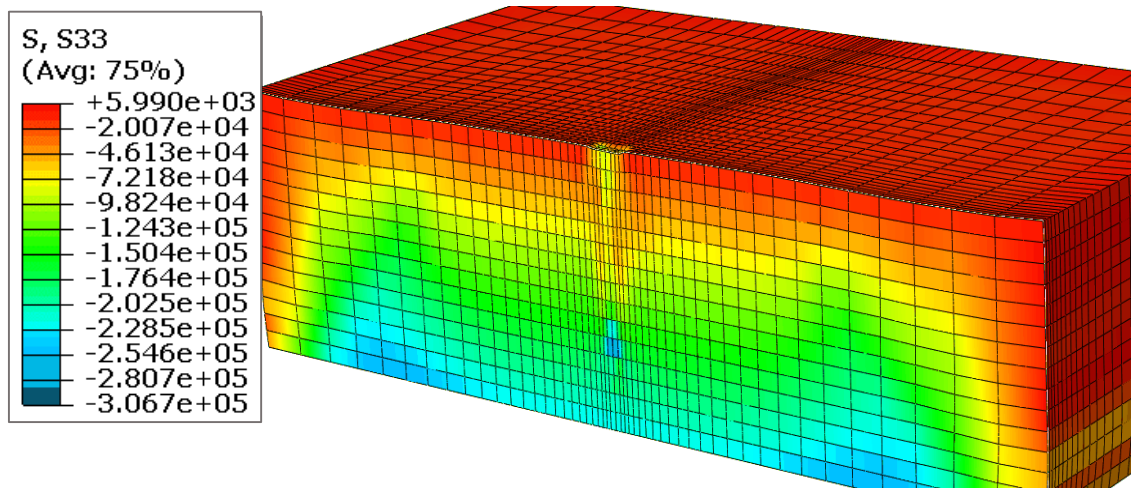


۴-۴-۲- تأثیر چیدمان گروه ریزشمع بر روی تنش و نشست در خاک تحت بار زلزله در

راستای X , Y

کانتور تنش در خاک زیر پی در گروه ریزشمع با چیدمان مختلف تحت بار زلزله در جهت X و Y در اشکال (۴۳-۵) تا (۴۵-۵) نشان داده شده است.

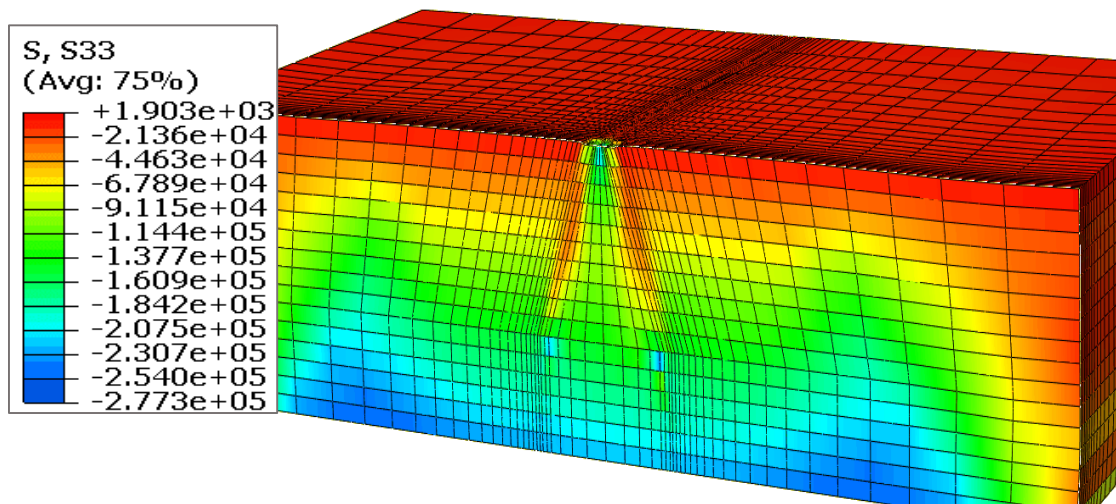
با توجه به نتایج تحت زلزله در جهت X , Y , نیز، در گروه ریزشمع قائم تنش خاک زیر پی کمتر از گروه ریزشمع های مایل به دست آمده است.



شکل (۵-۴۳) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع قائم ۲×۲



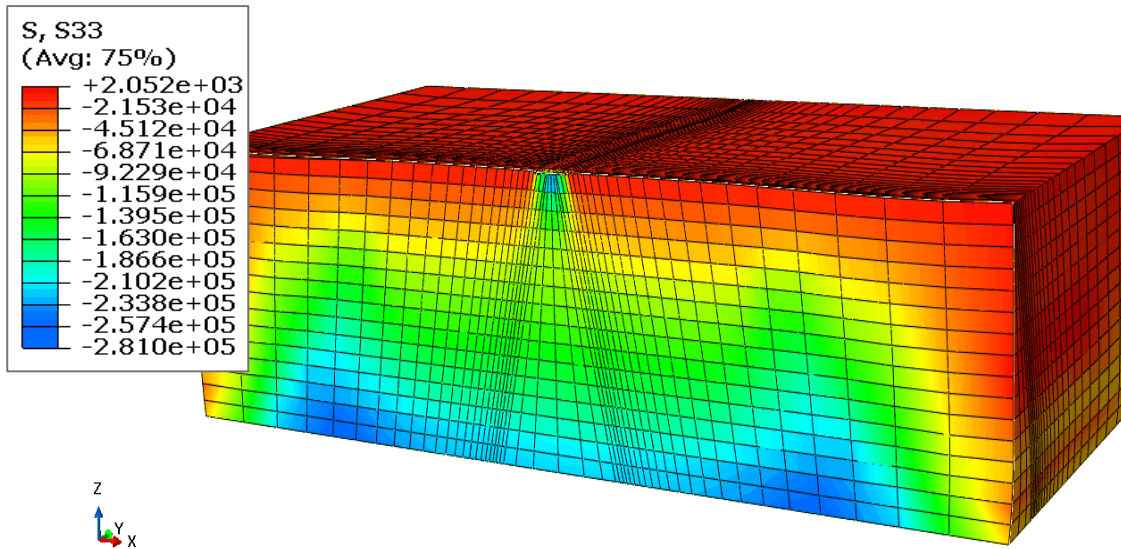
(زلزله در جهت xy)



شکل (۵-۴۴) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل ۲×۲ در جهت X



(زلزله در جهت xy)

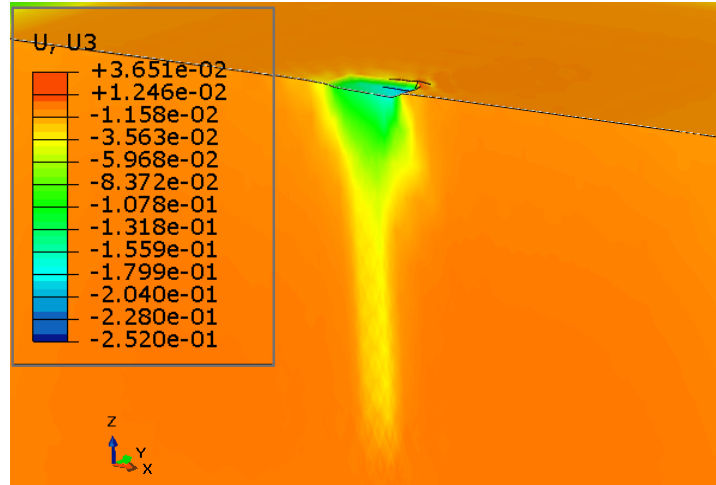


شکل (۴۵-۵) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل 2×2 در جهت Y و X (زلزله در جهت xy)

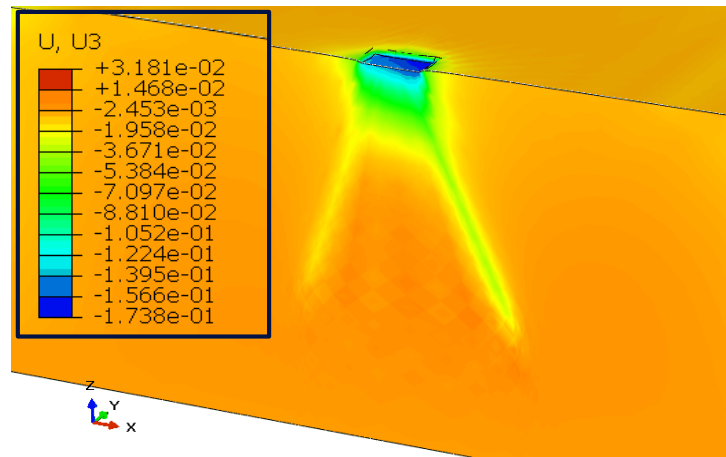
کانتور نشست خاک زیر پی در گروه ریزشمع با چیدمان مختلف تحت بار زلزله در جهت x, y در اشکال (۴۶-۵) تا (۴۸-۵) نشان داده شده است.

با توجه به نتایج، همانند قسمت قبل نشست خاک زیر پی در گروه ریزشمع قائم غیریکنواخت است و مقادیر نشست خاک زیر پی نیز در گروه ریزشمع قائم بیشتر از گروه ریزشمع های مایل می باشد.

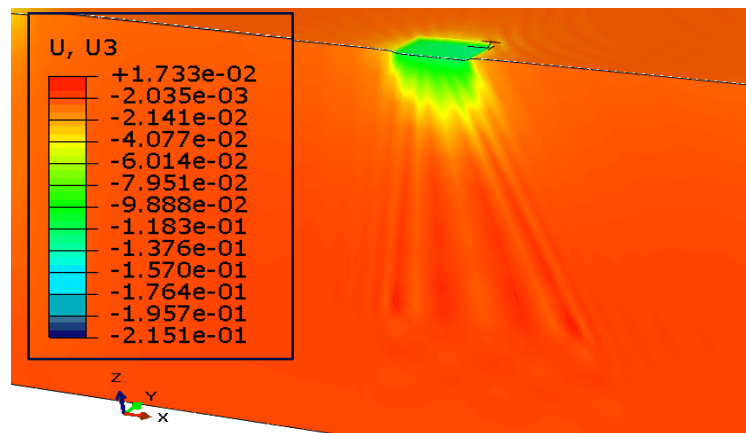
در گروه ریزشمع مایل در جهت XY ، مقادیر تنش بیشتر و مقادیر نشست کمتر از مقادیر به دست آمده در گروه ریزشمع مایل در جهت X می باشند.



شکل (۴۶-۵) کانتورنشست در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع قائم ۲×۲ (زلزله در جهت XY)



شکل (۴۷-۵) کانتورنشست در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل ۲×۲ در جهت X (زلزله در جهت XY)



شکل (۴۸-۵) کانتورنشست در خاک تحت بار دینامیکی با گروه ریزشمع مایل ۲×۲ در جهت X و Y

(زلزله در جهت XY)

فصل ششم : مطالعه پارامتریک

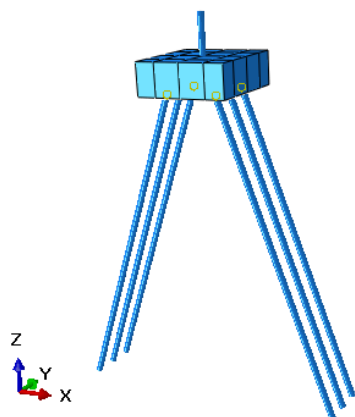
۱-۶- مقدمه

در این فصل مطالعه پارامتریک بر روی گروه ریزشمع 3×2 انجام شده است. تأثیر پارامترهایی نظیر زاویه انحراف ریزشمع ها بر روی پاسخ گروه ریزشمع های قائم و مایل و تأثیر آن بر روی تنش و نشست به وجود آمده در خاک مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تأثیر جرم رو سازه و تأثیر شتاب زلزله های مختلف، بر روی پاسخ ریزشمع ها بررسی شده که در ادامه نتایج هر کدام از پارامترها آمده است.

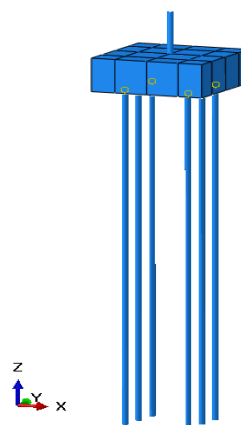
۱-۱-۶- تأثیر زاویه انحراف بر پاسخ گروه ریزشمع

در این قسمت گروه ریزشمع 3×2 با زوایای 0° و 10° و 20° و 30° درجه نسبت به محور قائم مدل سازی شده، و پاسخ گروه ریزشمع تحت بار زلزله مورد بررسی قرار گرفته است.

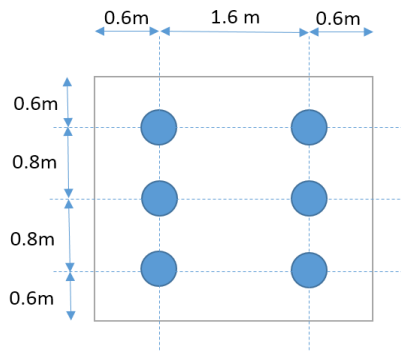
گروه ریزشمع های قائم و مایل به ترتیب در اشکال (۱-۶) و (۲-۶) نشان داده شده است. قطر ریزشمع ها 0.2 متر و طول آنها 10 متر فرض شده است. فاصله مرکز به مرکز ریزشمع ها در شکل (۳-۶) نشان داده شده است.



شکل (۲-۶) گروه ریزشمع مایل 3×2



شکل (۱-۶) گروه ریزشمع قائم 3×2



شکل (۳-۶) فاصله مرکز به مرکز ریزشمع ها و ابعاد کلاهک گروه ریزشمع ۳×۲

جرم رو سازه ۳۰۰ تن در نظر گرفته شده است. مشخصات خاک و ریزشمع به ترتیب در جداول (۱-۶) و (۲-۶) آمده است.

جدول (۱-۶) مشخصات خاک

$E_{0s} (Mpa)$	ν_s	k_0	$\rho_s (kg/m^3)$	ϕ°	C (Kpa)	$\xi_s (%)$
۲۰	۰/۲۵	۰/۵۷۷	۱۷۰۰	۲۵	۳۰	۵

جدول (۲-۶) مشخصات ریزشمع

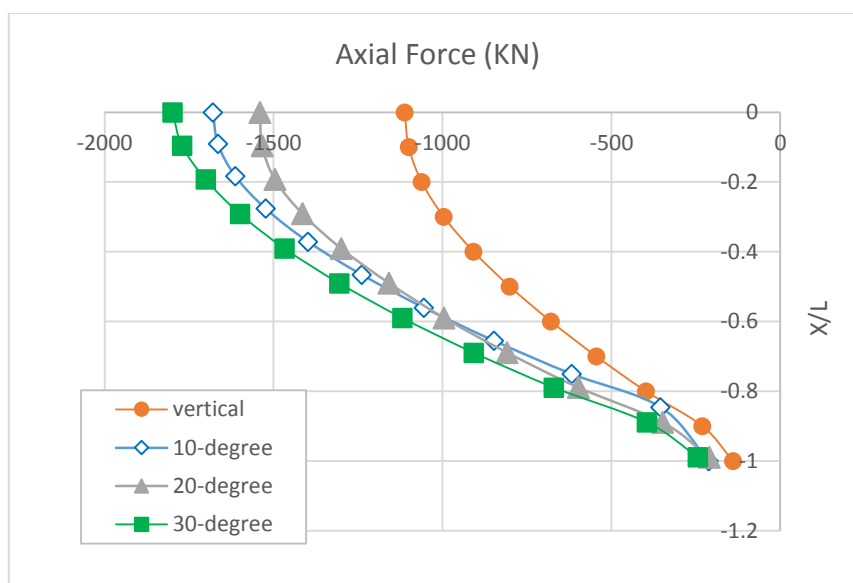
$\rho_p (kg/m^3)$	ν_p	$E_p (Gpa)$	$l_p (m)$	$d (m)$
۲۴۰۰	۰/۲	۲۰	۱۰	۰/۲

بار زلزله در جهت X به مدل اعمال شده و تأثیر زوایای مختلف ریزشمع بر روی پاسخ آنها تحت بار زلزله موردبررسی قرار گرفته و مقادیر نیروی محوری و نیروی برشی و لنگر خمشی و همچنین جابجایی افقی و قائم در گروه ریزشمع به دست آمده است. مقادیر نیروها و جابجایی‌ها در این فصل تنها در ریز شمعی که دارای ماکزیمم مقادیر می باشد، بیان شده است.

۱-۱-۱-۶- تأثیر زاویه انحراف بر نیروی محوری

نیروی محوری در طول ریزشمع در شکل (۴-۶)، نشان داده شده است. ماکزیمم نیروها برای هر دو گروه ریزشمع قائم و مایل در محل اتصال ریزشمع با کلاهک به وجود آمده است. با توجه به نمودار،

ماکزیمم نیروی محوری در گروه ریزشمع مایل با زاویه ۳۰ درجه و مینیمم نیروی محوری در گروه ریزشمع قائم به وجود آمده است. مقادیر مینیمم و ماکزیمم نیروی محوری به ترتیب ۱۱۱۲/۳۴ و ۱۷۹۸/۶۴ کیلو نیوتن به دست آمده است.



شکل (۴-۶) تأثیر زاویه انحراف بر روی نیروی محوری در طول ریزشمع در گروه ریزشمع ۳×۲

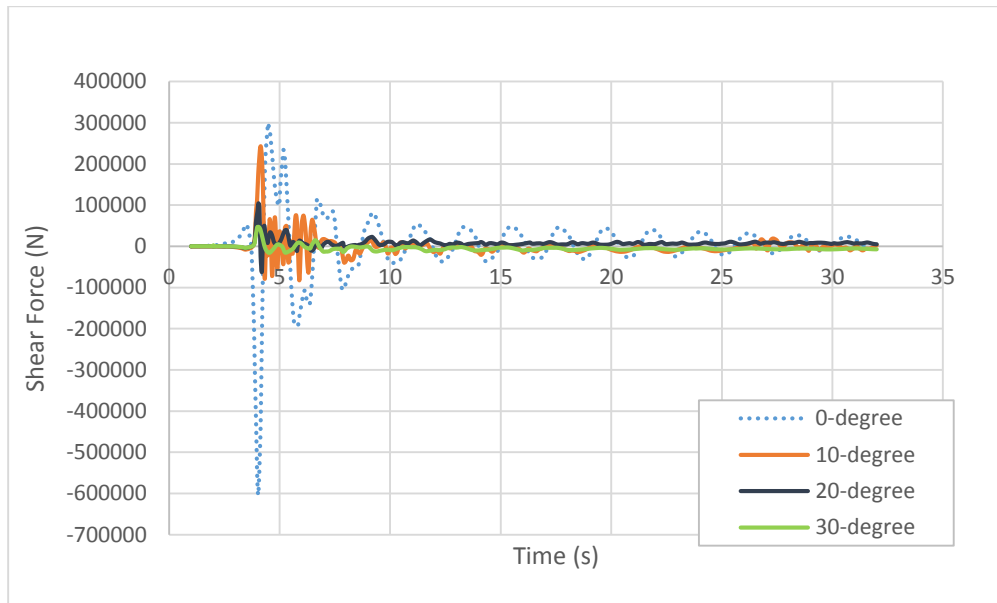
افزایش زاویه تمایل ریزشمع ها منجر به بهتر بسیج شدن مؤلفه محوری در طول ریزشمع ها می شود و نیروی محوری افزایش می یابد.

۶-۱-۱-۲- تأثیر زاویه انحراف بر نیروی برشی

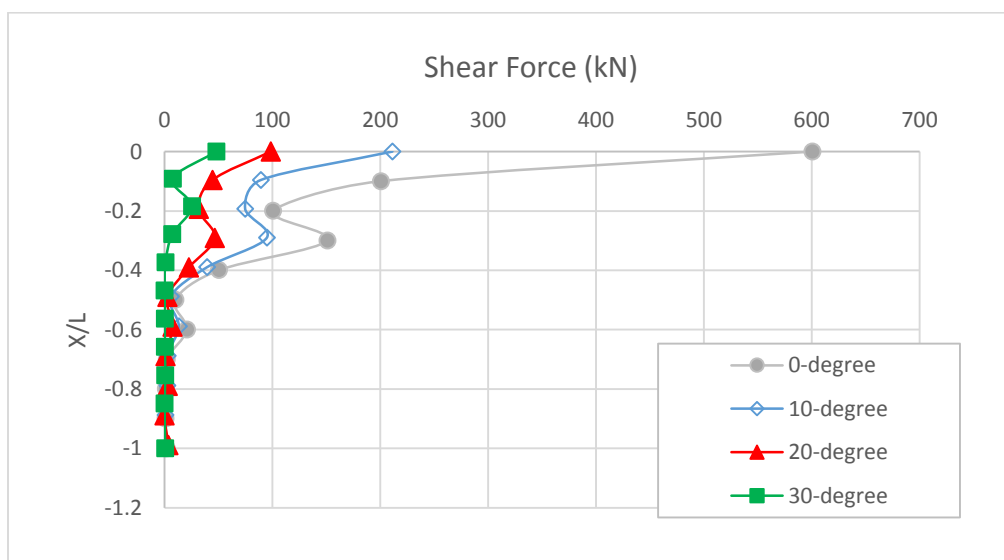
تاریخچه نیروی برشی در محل اتصال ریزشمع با کلاهک و نیروی برشی در طول ریزشمع در اشکال (۵-۶) و (۶-۶) نشان داده شده است. نیروی برشی در محل اتصال با کلاهک در ریزشمع ها قابل ملاحظه است، و بعد از آن بلافاصله کاهش می یابد. تغییرات نیروی برشی تا نصف طول ریزشمع ها قابل ملاحظه است و در قسمت پایینی ریزشمع ها نیروی برشی اندکی وجود دارد.

نیروی برشی در سر ریزشمع در گروه ریزشمع قائم، ۶۰۰/۷۳ کیلو نیوتن و در گروه ریزشمع با زاویه ۱۰ و ۲۰ درجه، به ترتیب ۲۱۱/۴۰۹ و ۹۸/۵۳ کیلو نیوتن به دست آمده و در گروه ریزشمع مایل با

زاویه ۳۰ درجه، به کمترین مقدار در حدود ۴۸/۲۵۶ کیلو نیوتن رسیده است. بنابراین نیروی برشی در گروه ریزشمع مایل نسبت به حالت قائم در بیشترین حالت، ۹۱ درصد کاهش یافته است.

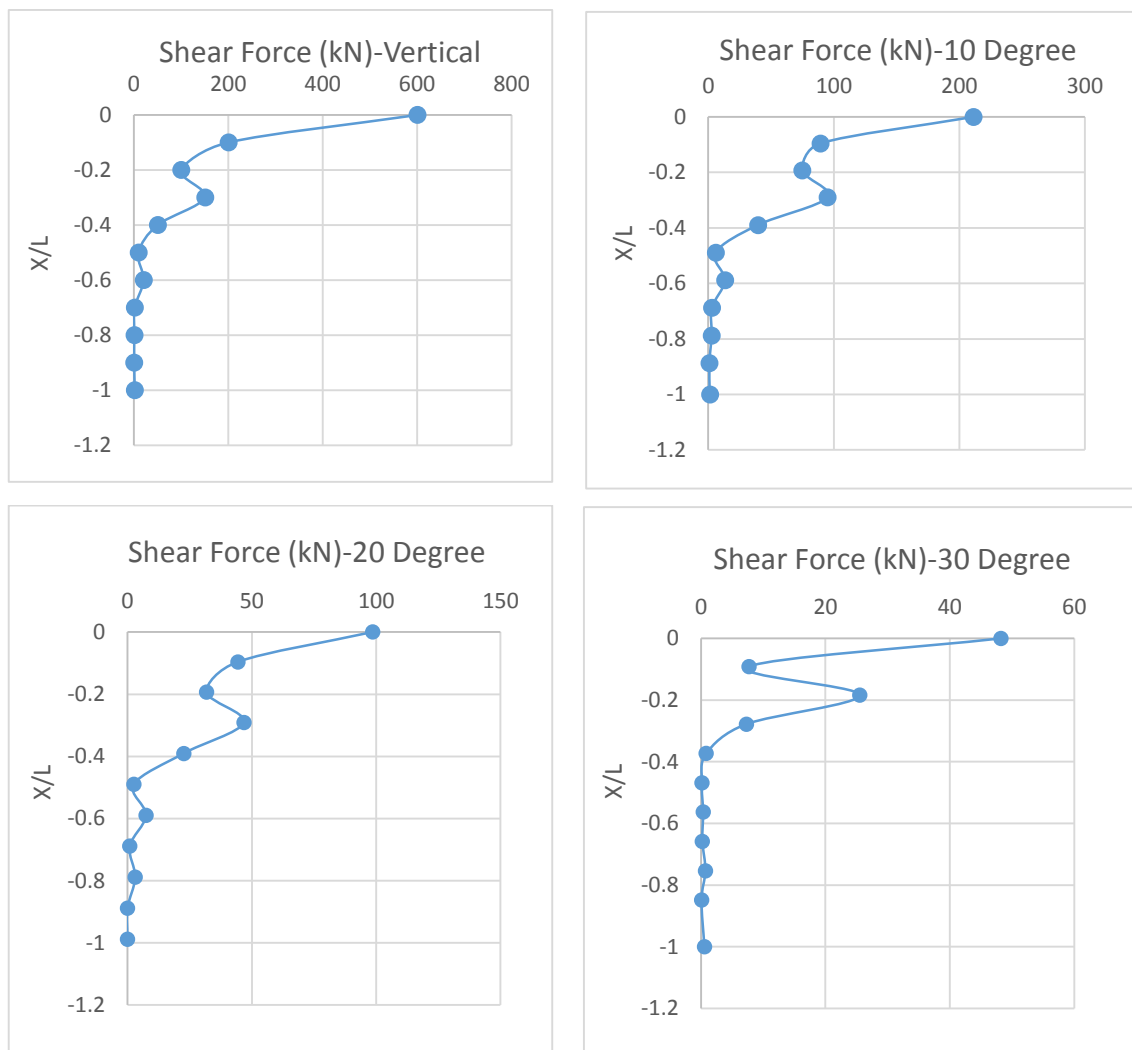


شکل (۵-۶) تأثیر زاویه انحراف بر روی تاریخچه نیروی برشی در سر گروه ریزشمع ۳×۲



شکل (۶-۶) تأثیر زاویه انحراف بر روی نیروی برشی در طول گروه ریزشمع ۳×۲

جهت درک بهتر، در شکل (۷-۶) مقادیر نیروی برشی در طول ریزشمع برای هرکدام از زوایای ۰ و ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ درجه به صورت جدا نشان داده شده است.



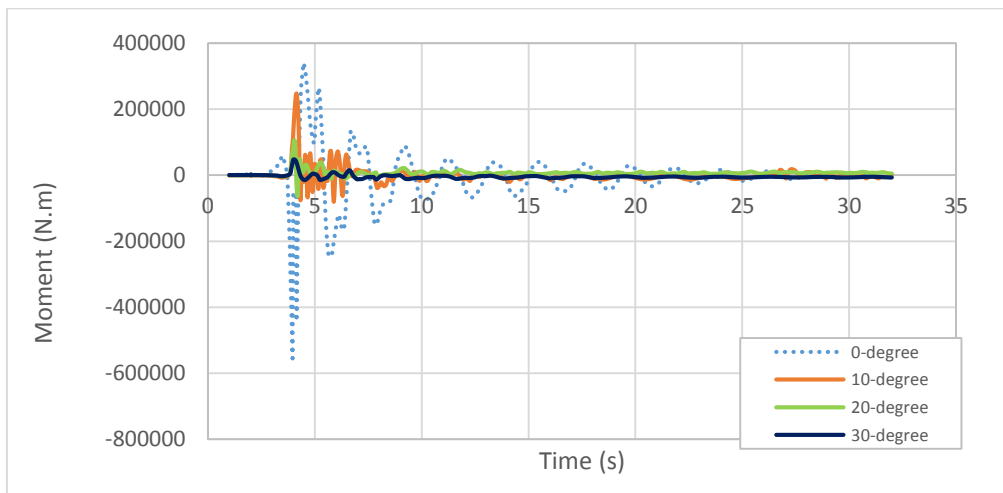
شکل (۶-۷) تأثیر هر یک از زوایای انحراف بر روی نیروی برشی در طول گروه ریزشمع ۳×۲

با افزایش زاویه انحراف سطح موثر ریزشمع ها کاهش یافته بنابراین نیروی برشی کاهش می یابد و در زوایای ۲۰ و ۳۰ درجه عملکرد ریزشمع ها در برابر بار زلزله به طور قابل ملاحظه ای بهبود یافته و منجر به کاهش قابل توجه ماکزیمم نیروی برشی در گروه ریزشمع شده است.

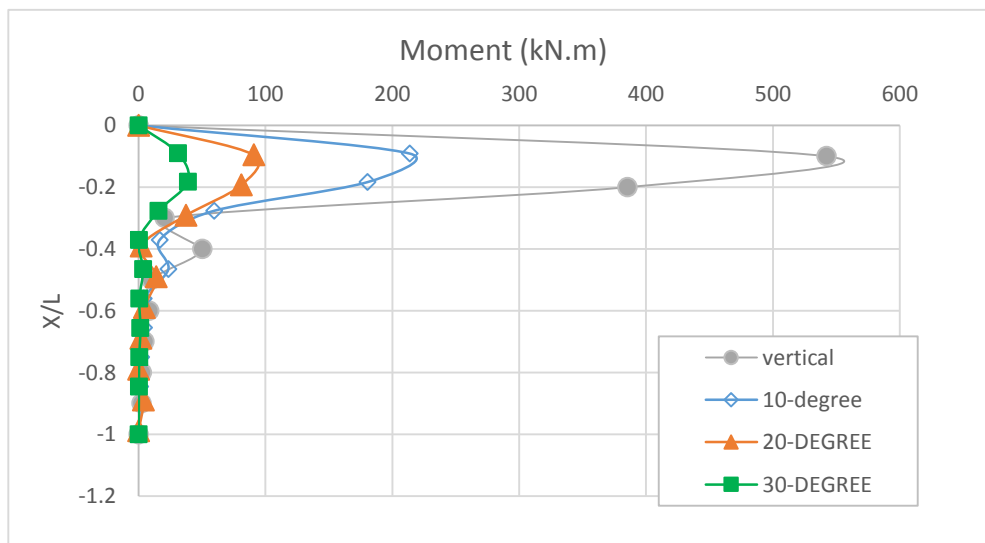
۶-۱-۱-۳- تأثیر زاویه انحراف بر لنگر خمشی

تاریخچه لنگر خمشی و منحنی لنگر خمشی در طول ریزشمع، در اشکال (۶-۸) و (۶-۹) نشان داده شده است. با توجه به شکل، با افزایش زاویه تمایل ریزشمع ها، ماکزیمم لنگر خمشی در قسمت بالای ریزشمع به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافته است. تغییرات لنگر خمشی تقریباً تا نصف طول ریزشمع

قابل ملاحظه است و از این فاصله به بعد لنگر خمشی کاهش پیدا می‌کند. با توجه به نتایج ماکزیمم لنگر خمشی، ۵۴۲/۲۴ کیلو نیوتن در متر در گروه ریزشمع قائم و مینیمم لنگر خمشی در حدود ۳۸/۷۷ کیلو نیوتن در متر در گروه ریزشمع مایل با زاویه ۳۰ درجه، به وجود آمده است. بنابراین لنگر خمشی در ریزشمع مایل نسبت به حالت قائم، در زاویه ۳۰ درجه، ۹۲ درصد و در زاویه ۲۰ درجه، ۸۳ درصد و در زاویه ۱۰ درجه ۶۰ درصد، کاهش یافته است.

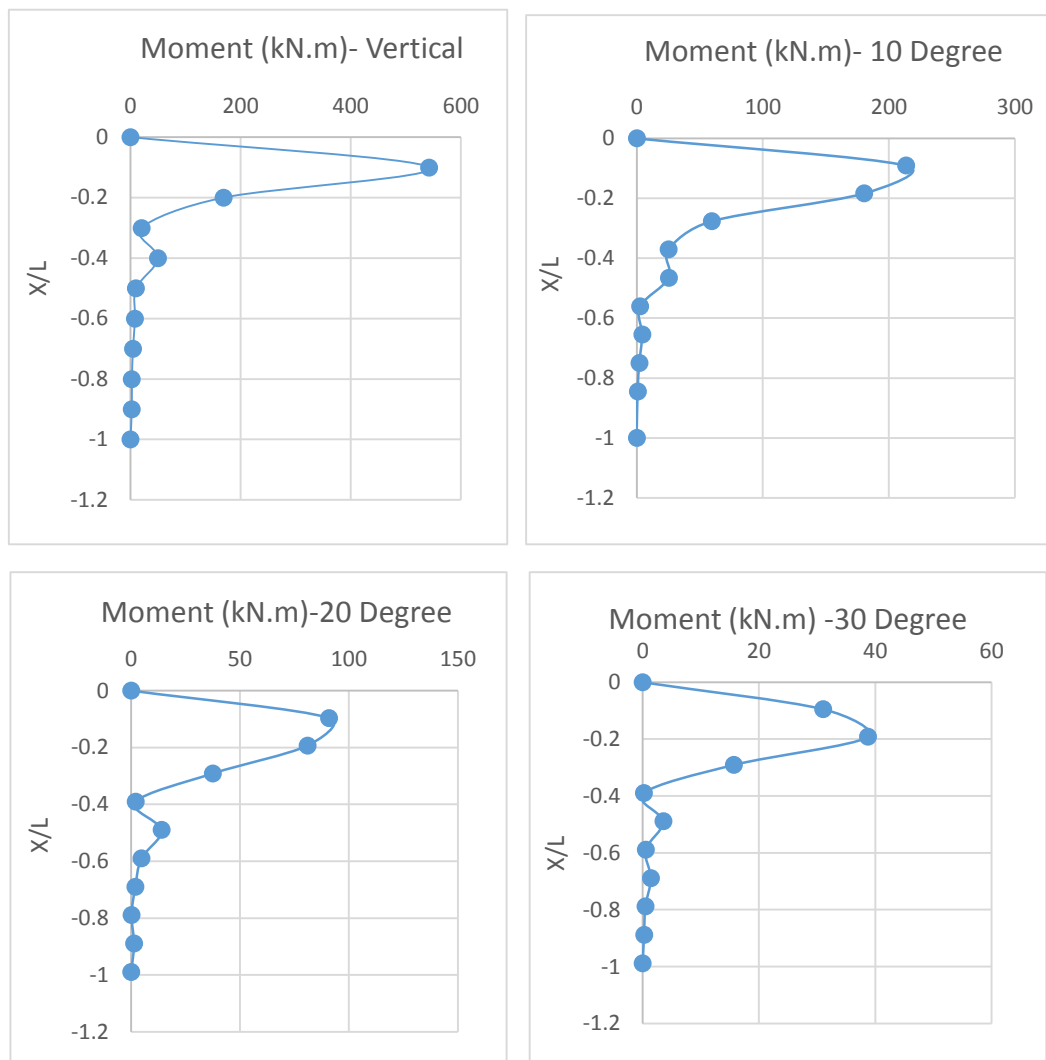


شکل (۶-۸) تأثیر زاویه انحراف بر روی تاریخچه لنگر خمشی در گروه ریزشمع ۳×۲



شکل (۶-۹) تأثیر زاویه انحراف بر روی لنگر خمشی در طول گروه ریزشمع ۳×۲

در شکل (۶-۱۰)، مقادیر لنگر خمشی در طول ریزشمع برای هرکدام از زوایای ۰ و ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ درجه، به صورت جدا نشان داده شده است.



شکل (۶-۱۰) تأثیر هر یک از زوایای انحراف بر روی لنگر خمشی در طول گروه ریزشمع ۳×۲

علت کاهش لنگر خمشی و نیروی برشی در گروه ریزشمع با افزایش زاویه انحراف ناشی از افزایش سختی جانبی در گروه ریزشمع های مایل نسبت به گروه ریزشمع قائم است، در نتیجه لنگر خمشی و نیروی برشی در ریزشمع ها کاهش می یابد. با توجه به نتایج، در گروه ریزشمع با زوایای ۲۰ و ۳۰ درجه به طور قابل ملاحظه ای عملکرد گروه ریزشمع تحت بار زلزله بهبود یافته است.

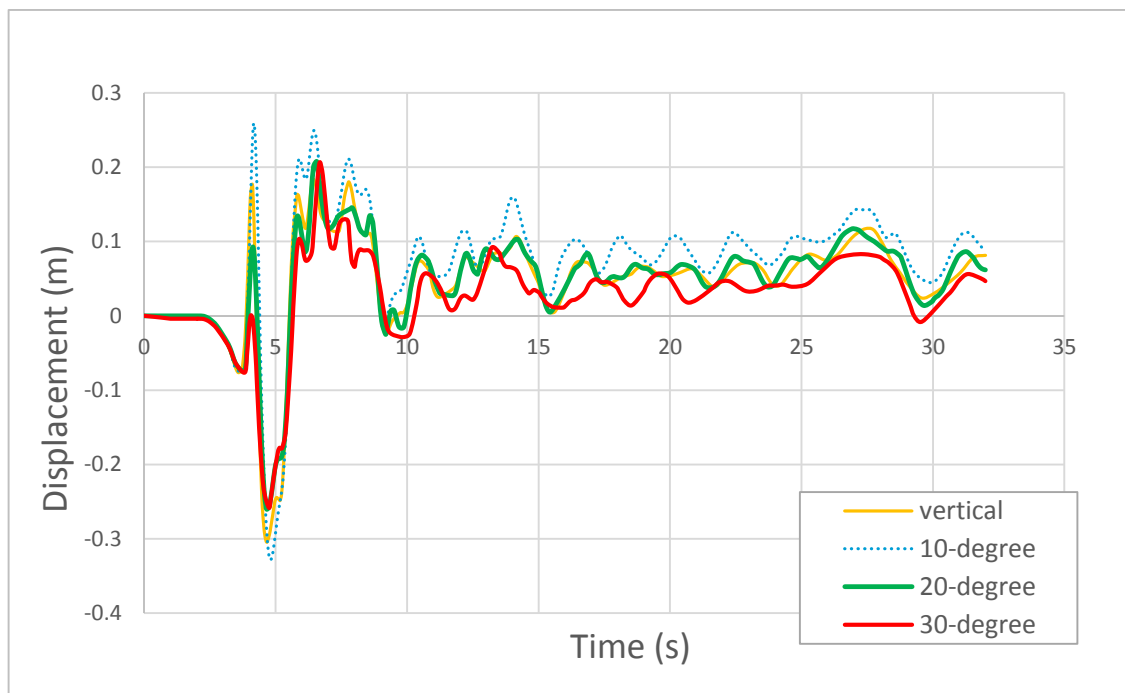
۶-۱-۱-۴- تأثیر زاویه انحراف بر تغییر مکان افقی در سر ریزشمع

تاریخچه تغییر مکان افقی در محل اتصال ریزشمع با کلاهک در شکل (۶-۱۱) نشان داده شده است. با توجه به نتایج در گروه ریزشمع با زاویه ۱۰ درجه، تقریباً در پنج زمان مختلف تغییر مکان افقی نسبتاً زیادی در سر ریزشمع به وجود آمده است. در نقطه اوج اول، تغییر مکان ۲۰/۲۲ سانتی متر می باشد که در ثانیه ۴/۱۴ رخ داده است و اوج دوم تغییر مکان در ثانیه ۴/۷۰ ثانیه به میزان ۳۲/۸ سانتی متر و اوج سوم در ثانیه ۶، به میزان ۲۰ سانتی متر و در اوج چهارم در ثانیه ۶/۵۳، به میزان ۲۴ سانتی متر و در اوج پنجم در ثانیه ۷/۸۳ و به میزان ۲۰ سانتی متر مشاهده شده است.

در گروه ریزشمع قائم در پنج زمان مختلف، ماکزیمم تغییر مکان در سر ریزشمع به وجود آمده است. ماکزیمم تغییر مکان در گروه ریزشمع قائم در زمان های ۴/۱۴ و ۵/۸۷ و ۶/۵۳ و ۷/۹۱ ثانیه، ۱۷ سانتی متر و در ثانیه ۴/۶۷، در حدود ۳۰ سانتی متر می باشد.

در گروه ریزشمع با زاویه ۲۰ درجه، اولین ماکزیمم تغییر مکان افقی در سر ریزشمع در ثانیه ۴/۰۸ در حدود ۸ سانتی متر و دومین ماکزیمم تغییر مکان در حدود ۲۶ سانتی متر در ثانیه ۴/۶۵ و تغییر مکان بعدی در ثانیه ۶/۶۰، در حدود ۲۰ سانتی متر می باشد.

اولین تغییر مکان افقی ماکزیمم در گروه ریزشمع با زاویه ۳۰ درجه و در ثانیه ۴/۷۴ و در حدود ۲۵/۸۳ سانتی متر و ماکزیمم تغییر مکان بعدی در ثانیه ۶/۷ و در حدود ۲۰ سانتی متر می باشد. بنابراین تغییر مکان افقی در گروه ریزشمع مایل با زاویه ۲۰ و ۳۰ درجه تقریباً یکسان بوده و کمتر از مقادیر تغییر مکان افقی در گروه ریزشمع های قائم و مایل با زاویه ۱۰ درجه به دست آمده است.

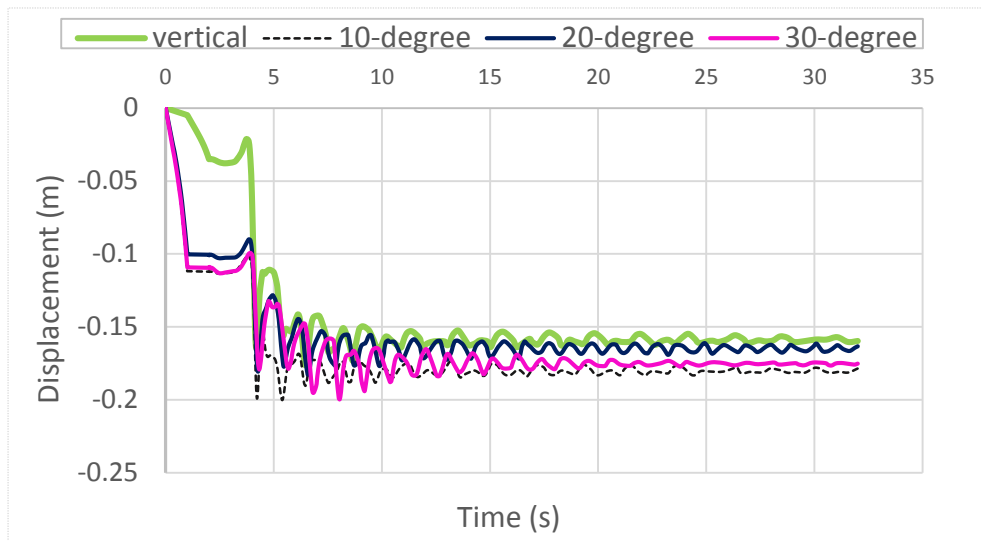


شکل (۶-۱۱) تأثیر زاویه انحراف بر روی تاریخچه تغییر مکان افقی در گروه ریزشمع ۳×۲

۶-۱-۱-۵- تأثیر زاویه انحراف بر تغییر مکان قائم سر ریزشمع

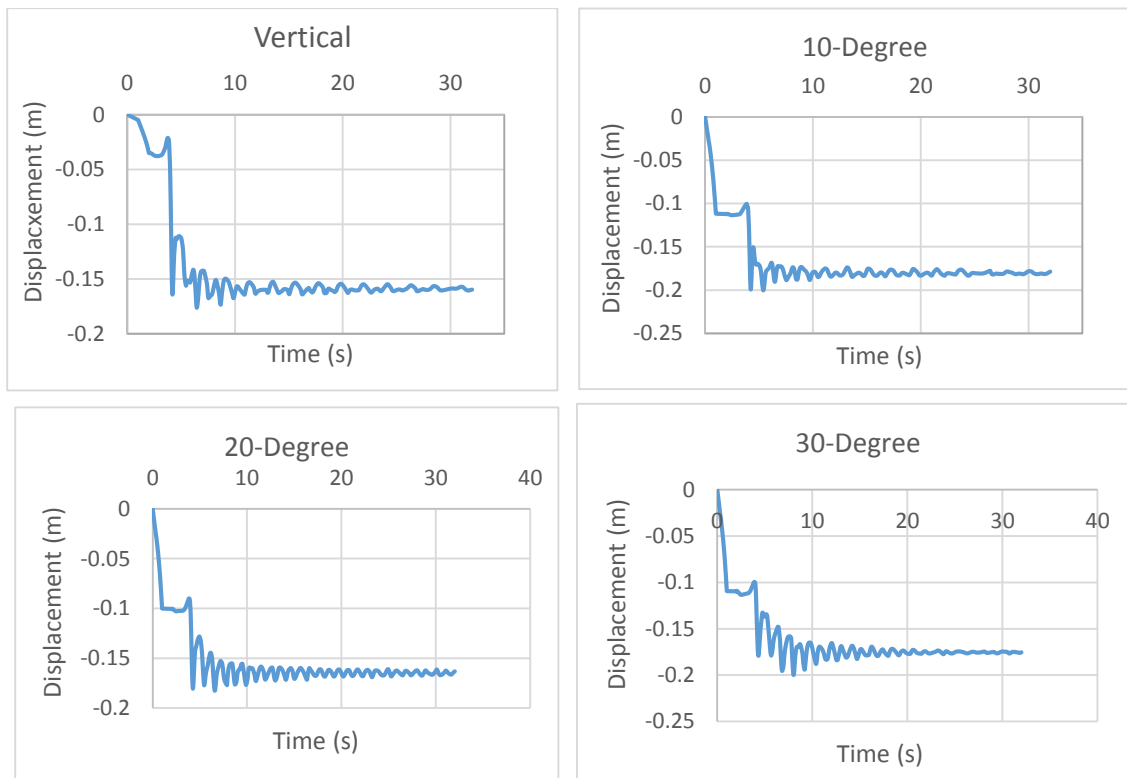
تاریخچه ماکزیمم تغییر مکان قائم در محل اتصال ریزشمع ها با کلاهک، در گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع های مایل با زوایای ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ درجه در شکل (۶-۱۲) نشان داده شده است.

با توجه به نتایج، ماکزیمم تغییر مکان در سر ریزشمع در گروه ریزشمع قائم ۱۷ سانتی متر و در ثانیه ۶/۴۵ و در گروه ریزشمع با زاویه ۱۰ درجه، ۲۰ سانتی متر و در ثانیه ۴/۲۲ و در گروه ریزشمع با زاویه ۲۰ درجه، ۱۸ سانتی متر و در ثانیه ۴/۲۵ و در گروه ریزشمع با زاویه ۳۰ درجه، ۲۰ سانتی متر، در ثانیه ۸/۰۲ می باشد. در حالت کلی کمترین تغییر مکان قائم در سر ریزشمع، در ریزشمع قائم و بیشترین تغییر مکان قائم در سر ریزشمع با زاویه ۱۰ و ۳۰ درجه مشاهده شده است.



شکل (۶-۱۲) تأثیر زاویه انحراف بر روی تاریخچه تغییر مکان قائم در محل اتصال با کلاهک در گروه ریزشمع های ۳×۲

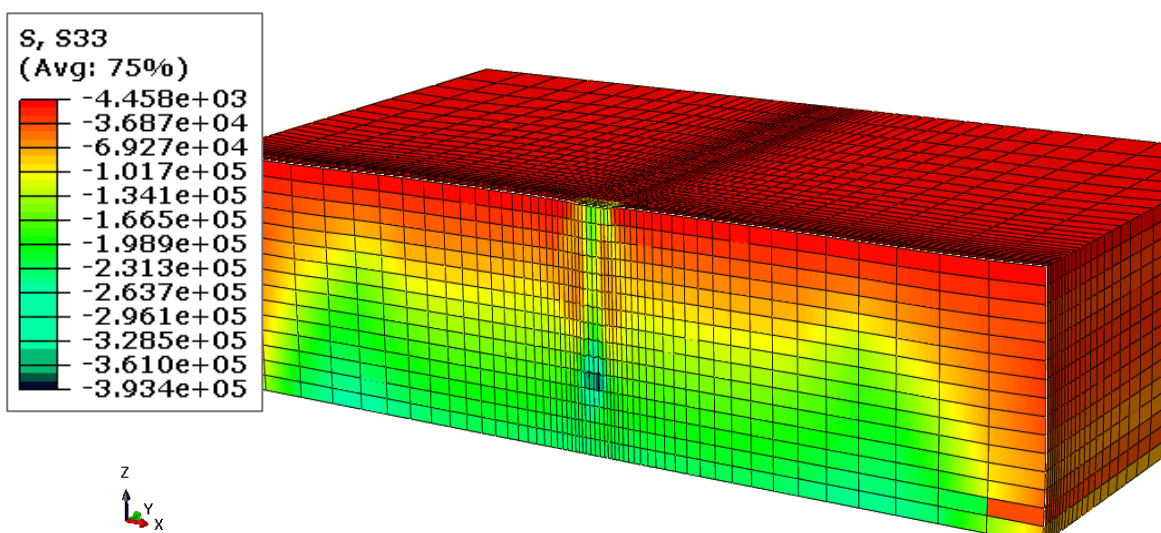
جهت مشاهده بهتر نتایج، تاریخچه ماکزیمم تغییر مکان قائم در محل اتصال ریزشمع ها با کلاهک، در هریک از گروه ریزشمع های قائم و مایل با زوایای ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ درجه در شکل (۶-۱۳)، نشان داده شده است.



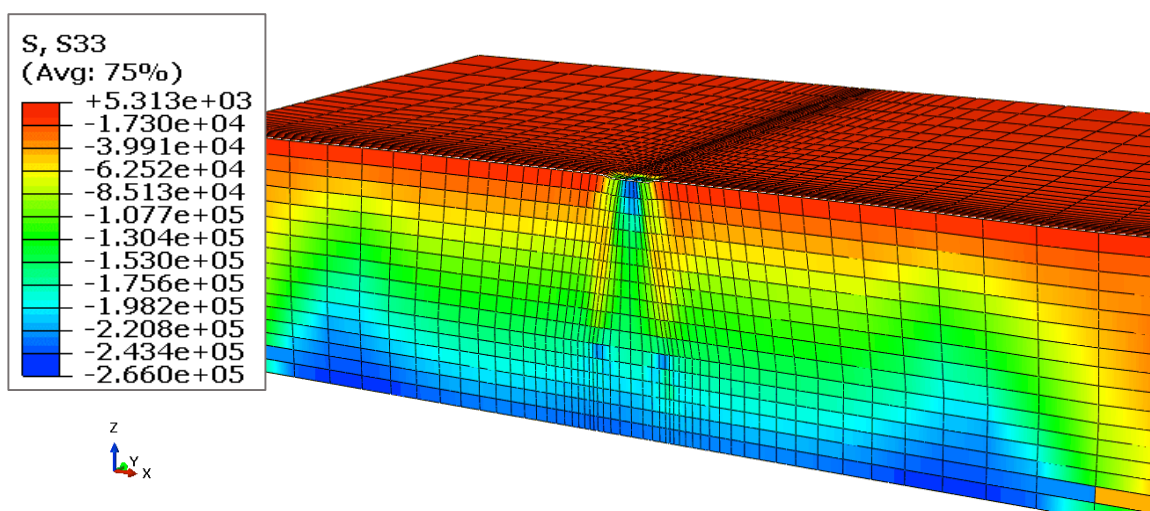
شکل (۶-۱۳) تأثیر هریک از زوایای انحراف بر روی تاریخچه تغییر مکان قائم در گروه ریزشمع های ۳×۲

۶-۱-۱-۶- تأثیر زاویه انحراف گروه ریزشمع بر روی تنش و نشست خاک تحت بار دینامیکی

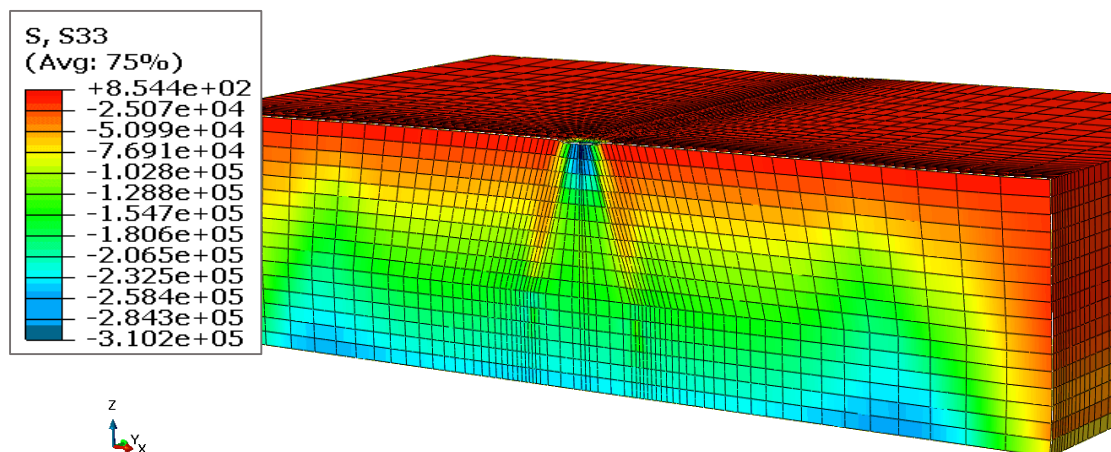
در این قسمت تنش و نشست در خاک زیر پی در گروه ریزشمع با زوایای مختلف به دست آمده است. کانتور تنش در خاک در اشکال (۶-۱۴) تا (۶-۱۷) به دست آمده است. با توجه به نتایج، با افزایش زاویه انحراف ریزشمع ها، ظرفیت باربری خاک زیر پی افزایش یافته است.



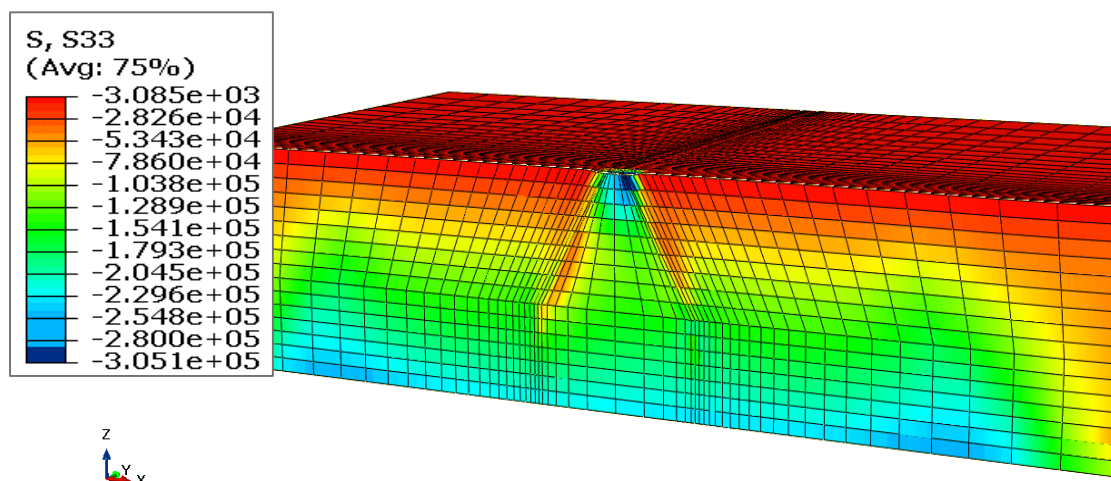
شکل (۶-۱۴) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع 3×2 در حالت قائم



شکل (۶-۱۵) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع 3×2 با زاویه ۱۰ درجه



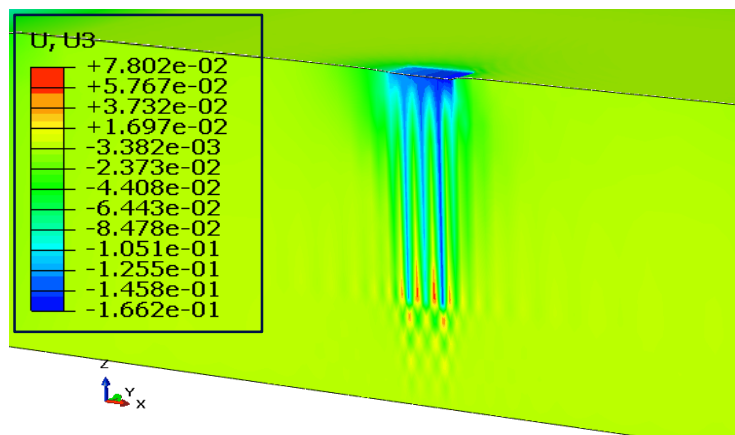
شکل (۱۶-۶) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع ۳×۲ با زاویه ۲۰ درجه



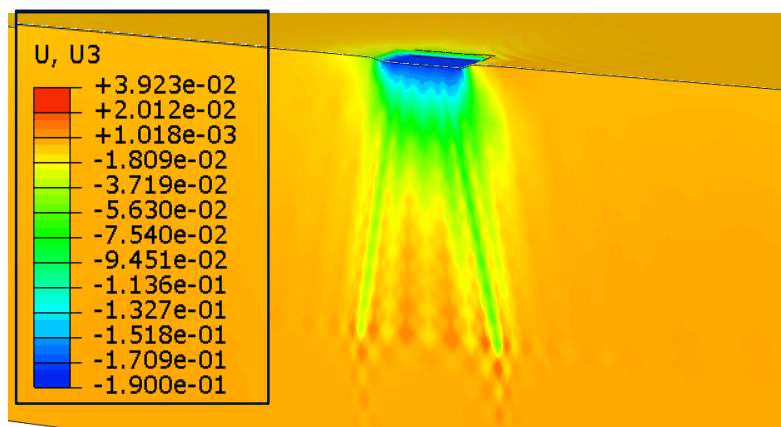
شکل (۱۷-۶) کانتور تنش در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع ۳×۲ با زاویه ۳۰ درجه

نشست خاک زیر پی در اشکال (۱۸-۶) تا (۲۱-۶) نشان داده شده است. ظرفیت باربری خاک زیر پی در گروه ریزشمع با زاویه ۲۰ و ۳۰ درجه تقریباً یکسان می باشد ولی مقادیر نشست خاک زیر پی در گروه ریزشمع با زاویه ۲۰ درجه کمتر از مقادیر نشست به دست آمده در زیر پی در گروه ریزشمع با زاویه ۳۰ درجه می باشد.

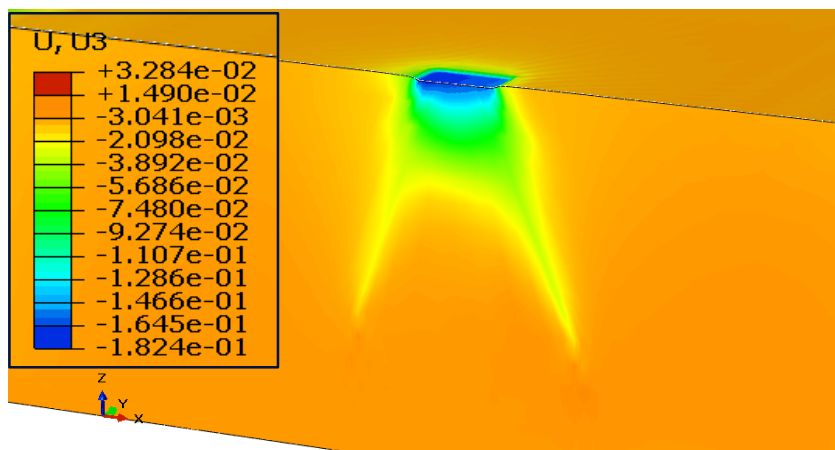
بنابراین گروه ریزشمع مایل با زاویه ۲۰ درجه نسبت به گروه ریزشمع قائم و مایل با زوایای ۱۰ و ۳۰ درجه، در کنترل ظرفیت و نشست خاک زیر پی تحت بار زلزله عملکرد بهتری دارد.



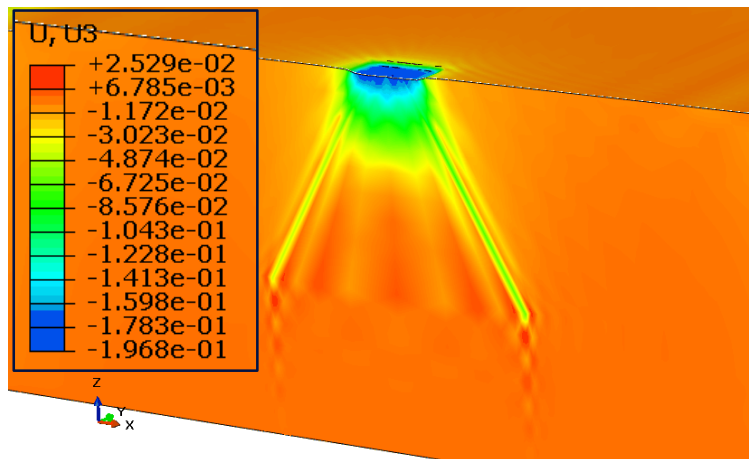
شکل(۶-۱۸) کانتور نشست در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع ۳×۲ در حالت قائم



شکل(۶-۱۹) کانتور نشست در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع ۳×۲ با زاویه ۱۰ درجه



شکل(۶-۲۰) کانتور نشست در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع ۳×۲ با زاویه ۲۰ درجه



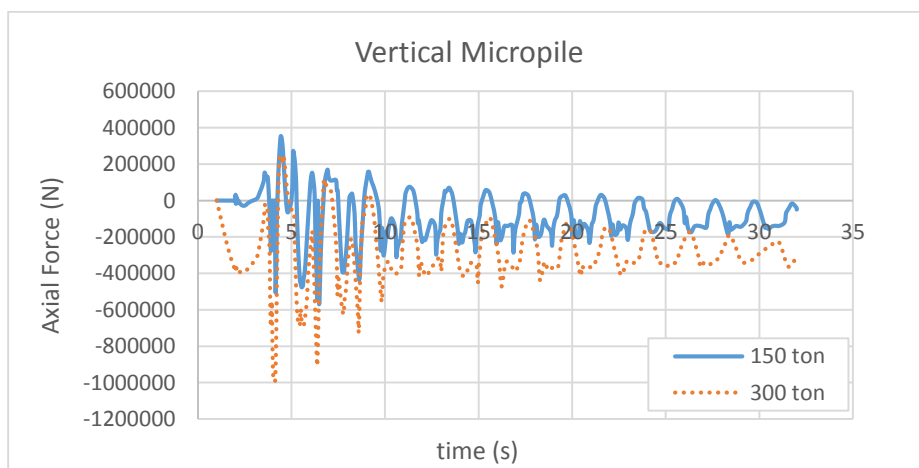
شکل (۶-۲۱) کانتور نشست در خاک تحت بار دینامیکی در گروه ریزشمع ۳×۲ با زاویه ۳۰ درجه

۶-۱-۲- تأثیر جرم رو سازه بر پاسخ گروه ریزشمع

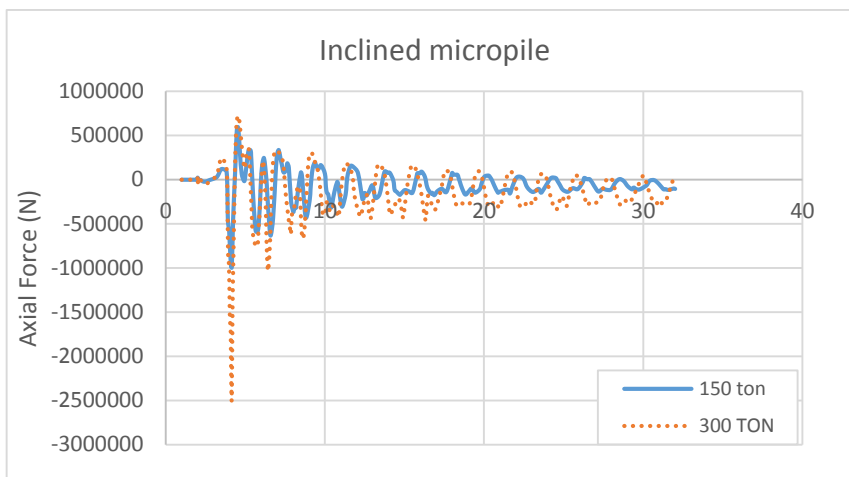
در این قسمت گروه ریزشمع ۳×۲، شامل گروه ریزشمع قائم و مایل با زاویه ۲۰ درجه، با جرم رو سازه ۱۵۰ و ۳۰۰ تن در نظر گرفته شده و پاسخ آنها تحت بار زلزله مورد بررسی قرار گرفته است.

۶-۱-۲-۱- تأثیر جرم رو سازه بر نیروی محوری

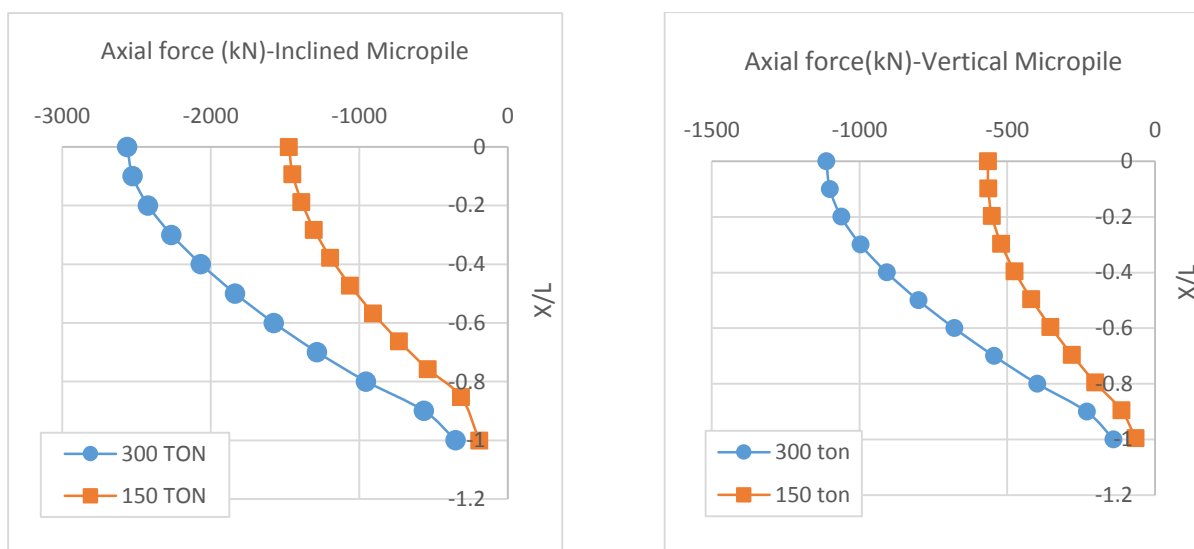
تاریخچه نیروی محوری و منحنی نیروی محوری در طول گروه ریزشمع قائم و مایل با زاویه ۲۰ درجه، با جرم‌های مختلف رو سازه در اشکال (۶-۲۲) تا (۶-۲۴) نشان داده شده است.



شکل (۶-۲۲) تأثیر جرم رو سازه بر روی تاریخچه نیروی محوری در گروه ریزشمع قائم ۳×۲



شکل (۶-۲۳) تأثیر جرم رو سازه بر روی تاریخچه نیروی محوری در گروه ریزشمع مایل ۳×۲



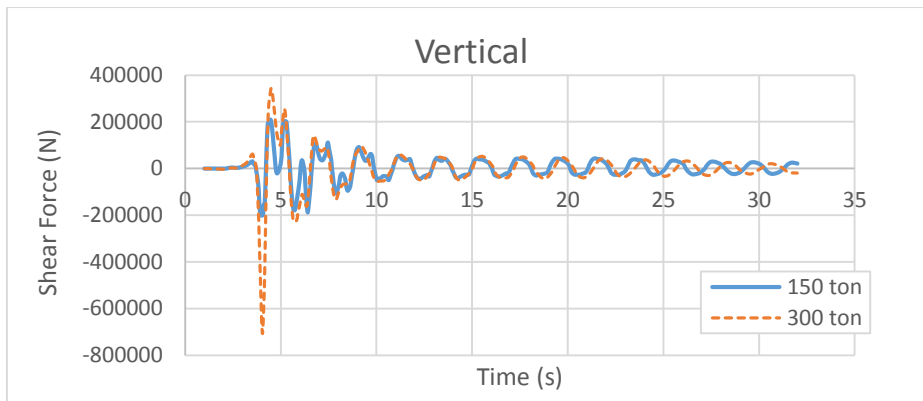
شکل (۶-۲۴) تأثیر جرم رو سازه بر روی نیروی محوری در طول گروه ریزشمع قائم و مایل ۳×۲

با توجه به نتایج، با کاهش جرم رو سازه از ۳۰۰ تن به ۱۵۰ تن، نیروی محوری در گروه ریزشمع قائم در حدود ۵۰ درصد و در گروه ریزشمع مایل نیز در حدود ۴۳ درصد کاهش یافته است.

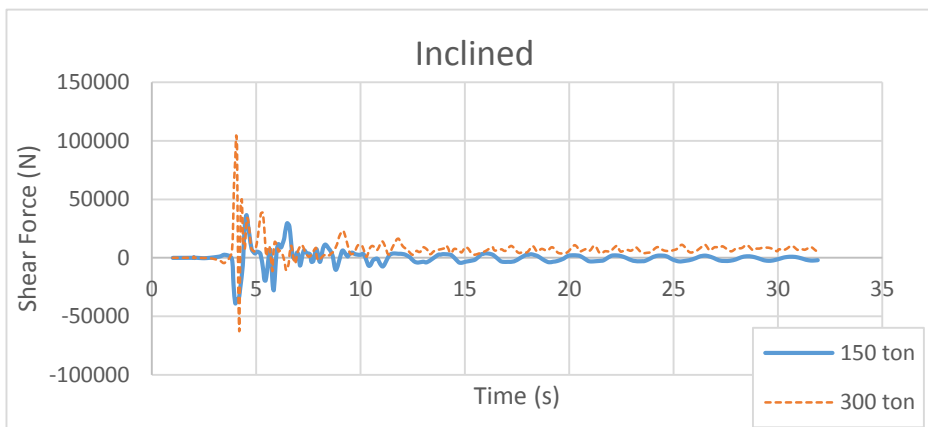
۶-۱-۲-۲- تأثیر جرم رو سازه بر نیروی برشی

تاریخچه نیروی برشی و منحنی نیروی برشی در طول گروه ریزشمع قائم و مایل با زاویه ۲۰ درجه، با جرم‌های مختلف رو سازه در اشکال (۶-۲۵) تا (۶-۲۷) نشان داده شده است. با کاهش جرم رو سازه از

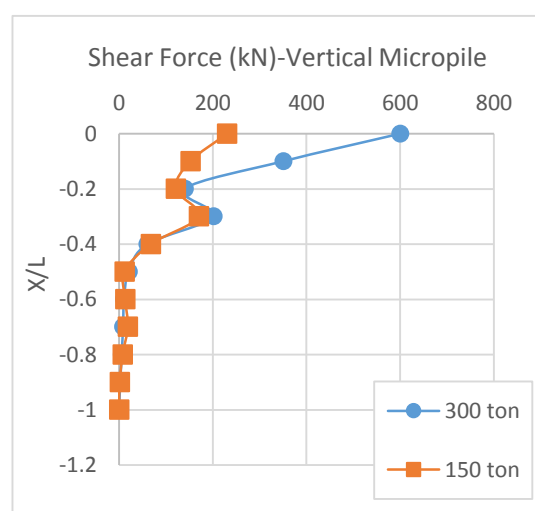
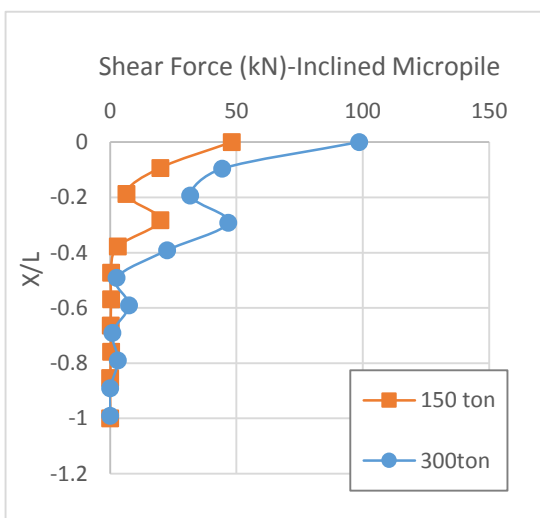
۳۰۰ تن به ۱۵۰ تن، نیروی برشی در گروه ریزشمع قائم در حدود ۶۱ درصد و در گروه ریزشمع مایل ۴۸/۹ درصد کاهش یافته است.



شکل (۶-۲۵) تأثیر جرم رو سازه بر روی تاریخچه نیروی برشی در گروه ریزشمع قائم ۳×۲



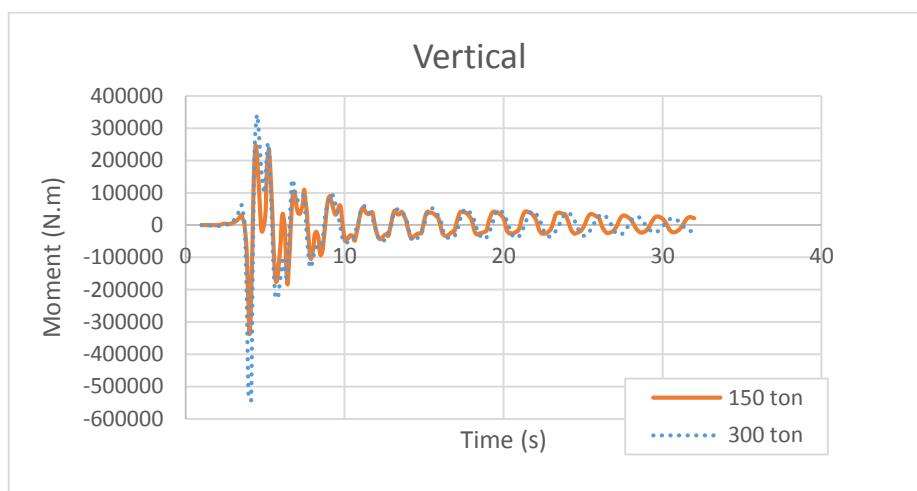
شکل (۶-۲۶) تأثیر جرم رو سازه بر روی تاریخچه نیروی برشی در گروه ریزشمع مایل ۳×۲



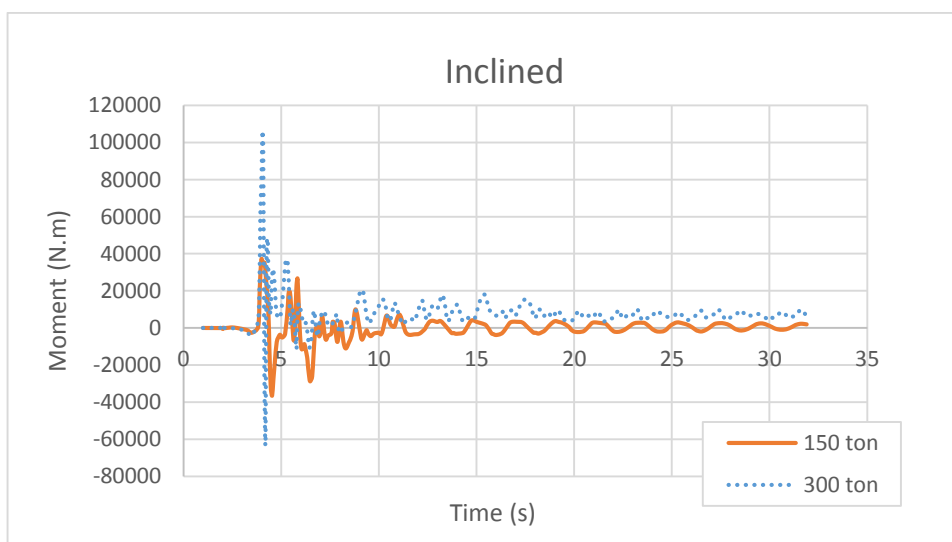
شکل (۶-۲۷) تأثیر جرم رو سازه بر روی نیروی برشی در طول گروه ریزشمع قائم و مایل ۳×۲

۶-۱-۲-۳- تأثیر جرم رو سازه بر لنگر خمشی

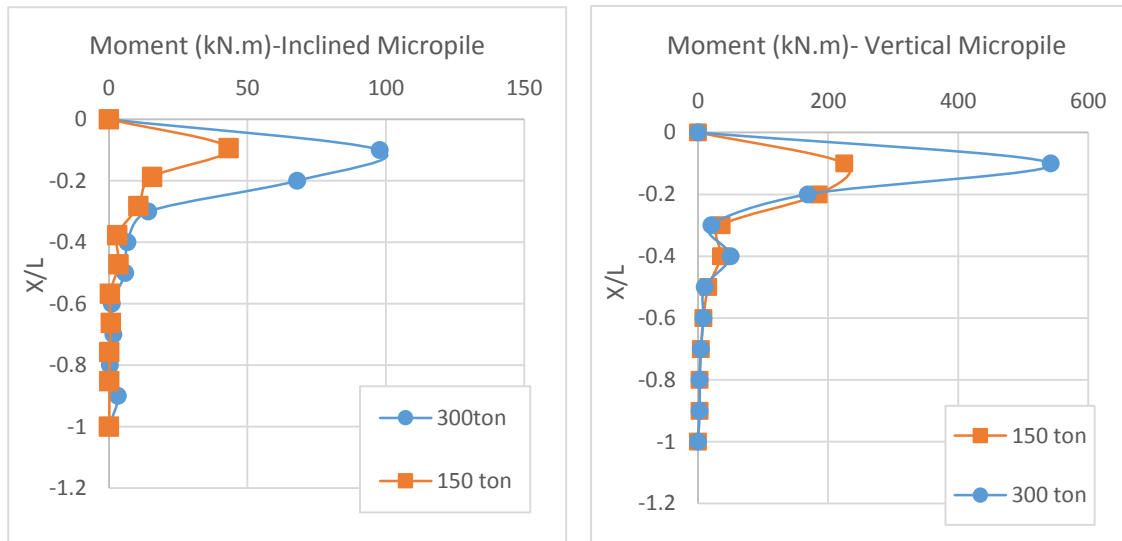
تاریخچه لنگر خمشی و منحنی لنگر خمشی در طول گروه ریزشمع قائم و مایل با زاویه ۲۰ درجه، با جرم‌های مختلف رو سازه در اشکال (۶-۲۸) تا (۶-۳۰) نشان داده شده است. با توجه به نتایج با کاهش جرم رو سازه لنگر خمشی در گروه ریزشمع قائم ۶۴ درصد و در گروه ریزشمع مایل ۶۸ درصد کاهش یافته است.



شکل (۶-۲۸) تأثیر جرم رو سازه بر روی تاریخچه لنگر خمشی در گروه ریزشمع قائم ۳×۲



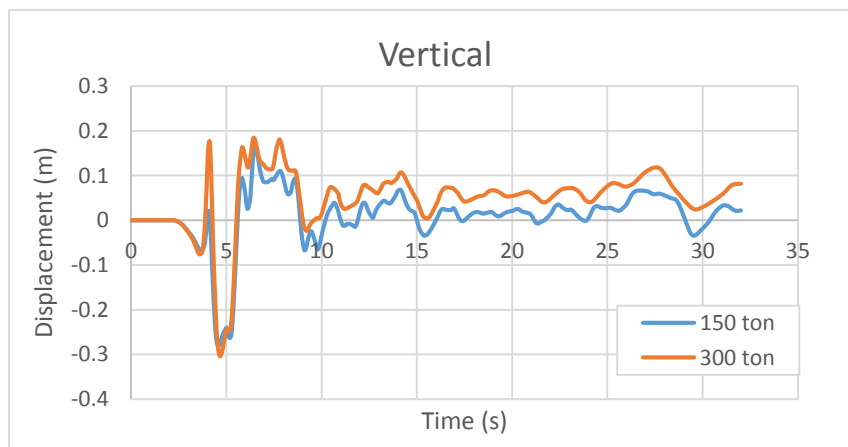
شکل (۶-۲۹) تأثیر جرم رو سازه بر روی تاریخچه لنگر خمشی در گروه ریزشمع مایل ۳×۲



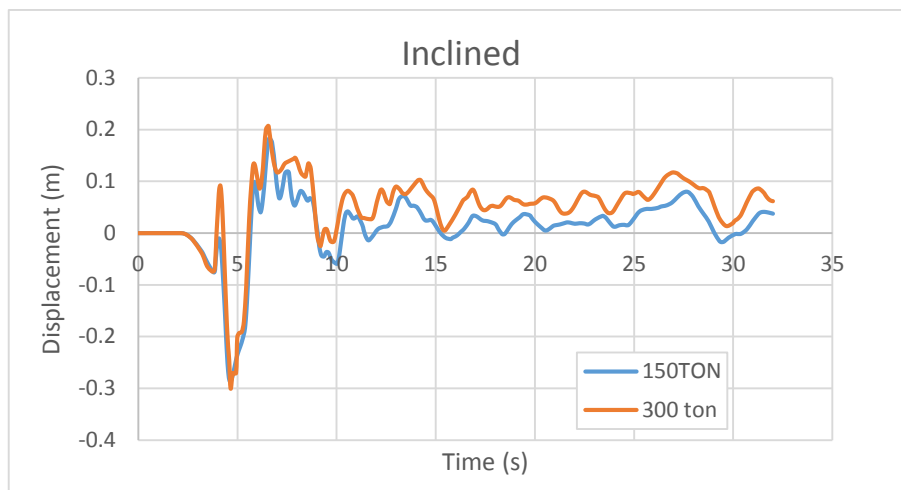
شکل (۳۰-۶) تأثیر جرم رو سازه بر روی لنگر خمشی در طول گروه ریزشمع قائم و مایل ۳×۲

۴-۲-۱-۶- تأثیر جرم رو سازه بر جابجایی افقی

ماکزیمم جابجایی در محل اتصال ریزشمع با کلاهک به وجود آمده است. تاریخچه جابجایی افقی در محل اتصال ریزشمع با کلاهک در اشکال (۳۱-۶) تا (۳۲-۶) نشان داده شده است. با توجه به نتایج با کاهش جرم رو سازه جابجایی افقی در حدود ۱۰ درصد کاهش یافته است. اولین ماکزیمم جابجایی افقی در گروه ریزشمع با بار رو سازه ۳۰۰ تن در ثانیه چهارم رخ داده است در صورتی که برای رو سازه ۱۵۰ تنی اولین پیک تقریباً در ثانیه پنجم رخ داده است؛ بنابراین با کاهش جرم رو سازه زمانی که در آن ماکزیمم جابجایی به وجود می‌آید، به تعویق افتاده است.



شکل (۳۱-۶) تأثیر جرم رو سازه بر روی جابجایی افقی در طول گروه ریزشمع قائم ۳×۲

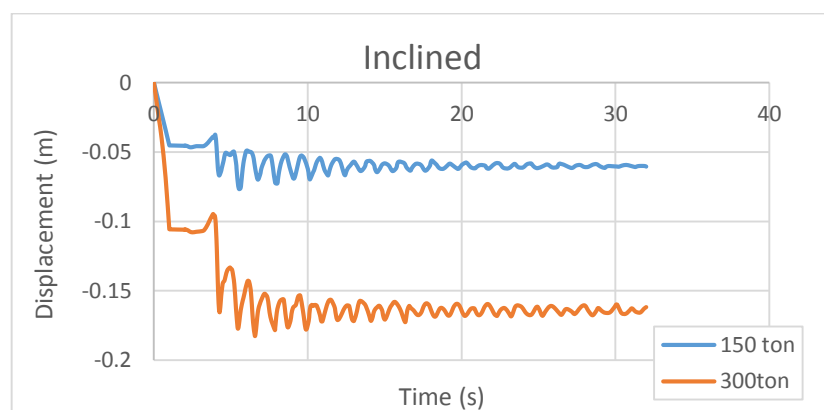
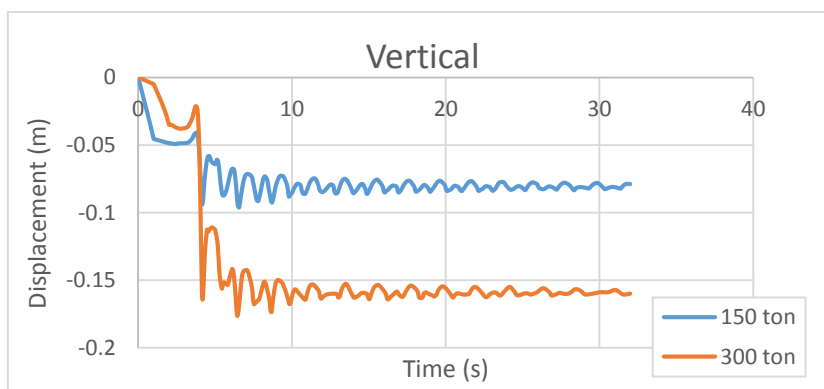


شکل (۳۲-۶) تأثیر جرم رو سازه بر روی جابجایی افقی در طول گروه ریزشمع مایل ۳×۲

۶-۱-۲-۵- تأثیر جرم رو سازه بر جابجایی قائم

تاریخچه جابجایی قائم در شکل (۳۳-۶) نشان داده شده است. با توجه به نتایج با کاهش جرم رو سازه

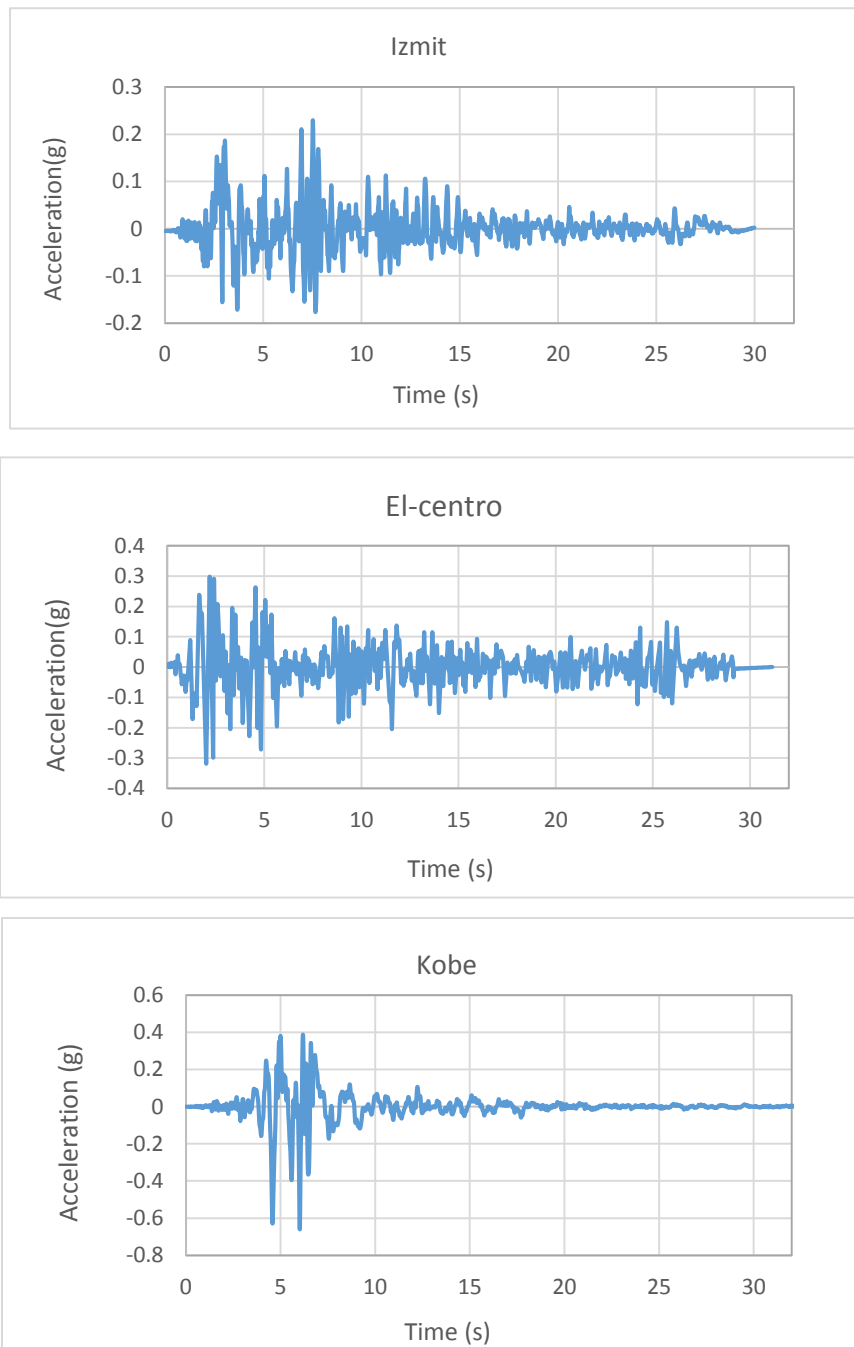
جابجایی قائم در گروه ریزشمع قائم ۴۷ درصد و در گروه ریزشمع مایل ۶۱ درصد کاهش یافته است.



شکل (۳۳-۶) تأثیر جرم رو سازه بر روی جابجایی قائم در طول گروه ریزشمع قائم و مایل ۳×۲

۳-۱-۶- تأثیر شتاب زلزله بر پاسخ گروه ریزشمع

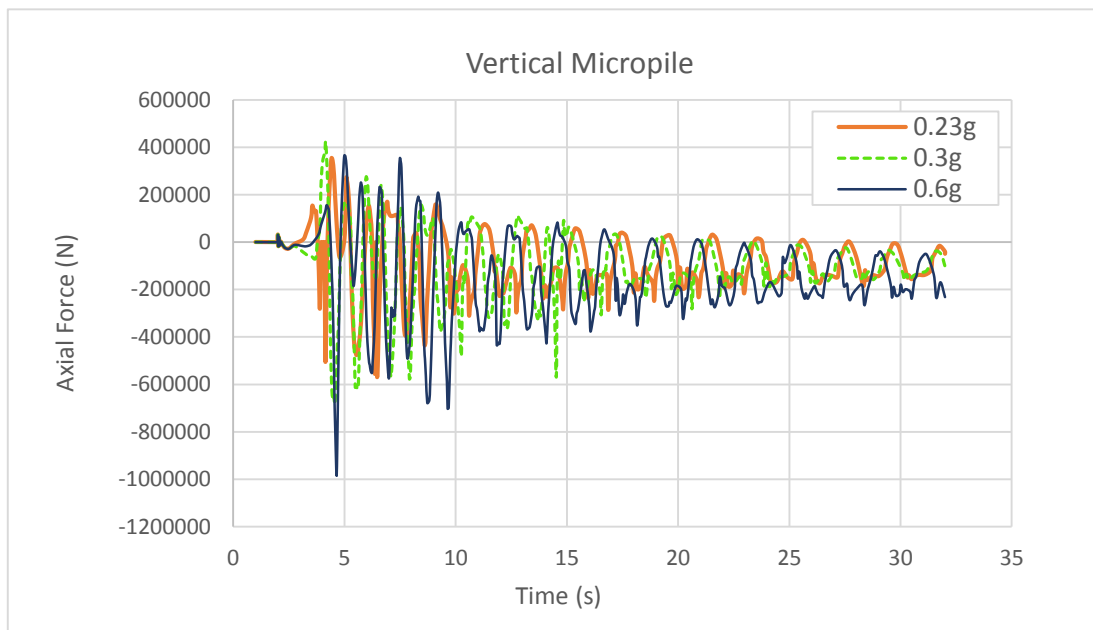
در این قسمت سه زلزله مختلف مطابق شکل (۳۴-۶)، با ماکزیمم شتاب ورودی $0.23g$ و $0.3g$ و $0.6g$ به مدل اعمال شده است. پاسخ گروه ریزشمع 3×2 ، شامل گروه ریزشمع قائم و مایل با زاویه 20° درجه تحت بار زلزله مورد بررسی قرار گرفته است. وزن رو سازه 150 فرض گردیده است.



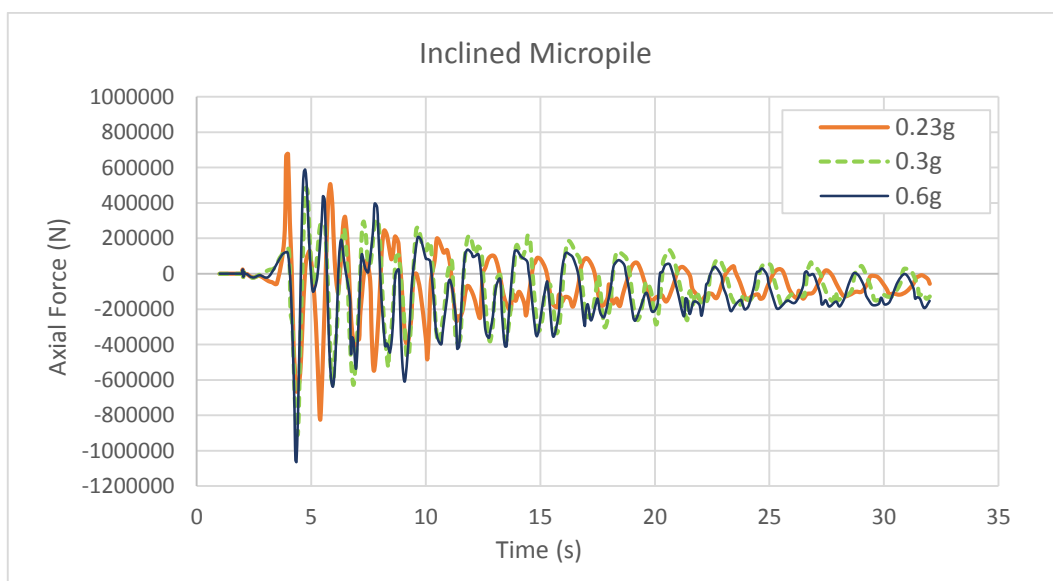
شکل (۳۴-۶) تاریخچه شتاب زلزله‌های Izmit-Kobe- EL Centro

۱-۳-۱-۶- تأثیر شتاب زلزله بر نیروی محوری

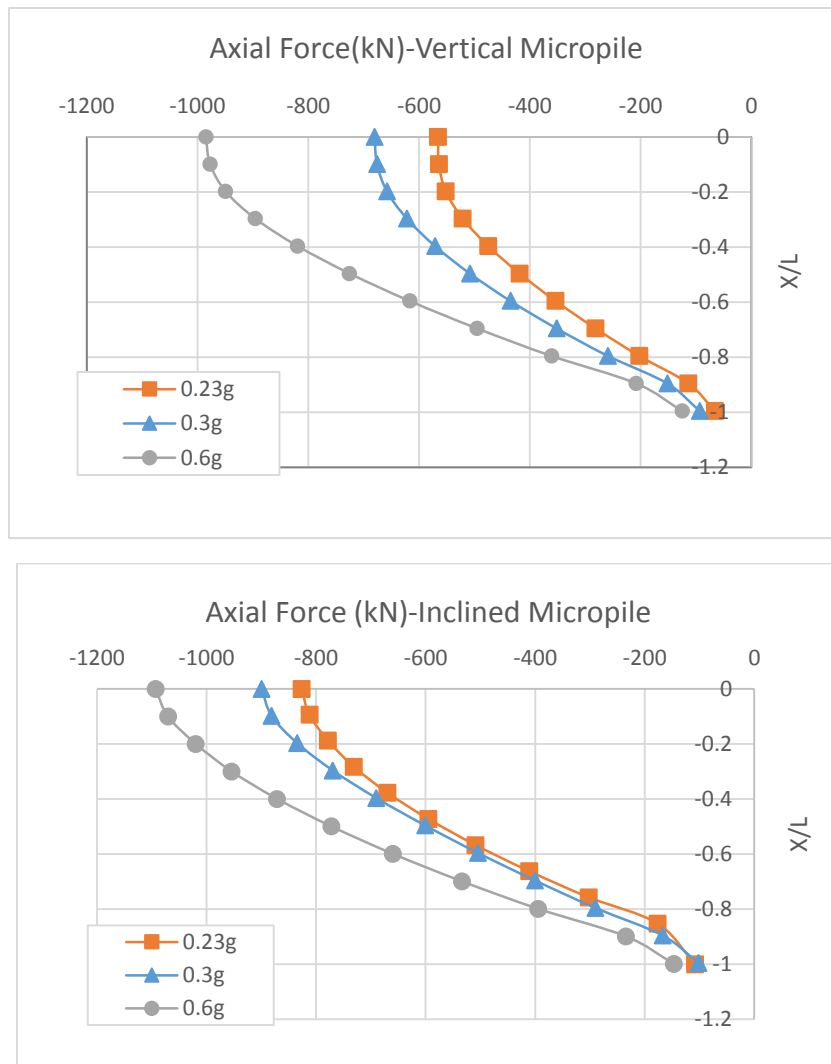
تاریخچه نیروی محوری سر ریزشمع و ماکزیمم نیروی محوری در طول ریزشمع قائم و مایل با ماکزیمم شتاب زلزله های مختلف در اشکال (۳۵-۶) تا (۳۷-۶) نشان داده شده است.



شکل (۳۵-۶) تأثیر شتاب زلزله بر روی تاریخچه نیروی محوری در گروه ریزشمع قائم ۳×۲



شکل (۳۶-۶) تأثیر شتاب زلزله بر روی تاریخچه نیروی محوری در گروه ریزشمع مایل ۳×۲



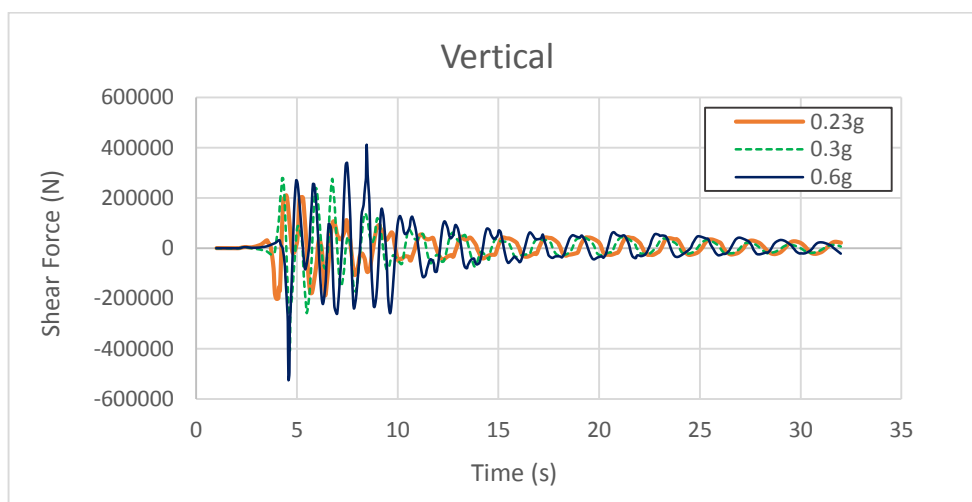
شکل (۶-۳۷) تأثیر شتاب زلزله بر روی نیروی محوری در طول ریزشمع قائم و مایل ۳×۲

با توجه منحنی تاریخیچه پاسخها، از آنجاکه شتاب لرزه در زلزله‌های مختلف در ثانیه‌های اول بیشتر می‌باشد بنابراین اوج پاسخها نیز در این محدوده زمانی رخ داده است و با افزایش زمان پاسخها کاهش می‌یابند. با توجه به نتایج با افزایش شتاب زلزله نیروی محوری نیز افزایش یافته است. نیروی محوری در گروه ریزشمع قائم، تحت زلزله با شتاب $0.6g$ نسبت به زلزله با شتاب $0.23g$ در حدود ۷۴ درصد و نسبت به زلزله با شتاب $0.3g$ در حدود ۴۵ درصد افزایش یافته است. نیروی محوری در گروه ریزشمع مایل، تحت زلزله با شتاب $0.6g$ نسبت به زلزله با شتاب $0.23g$ در حدود ۳۲ درصد و نسبت به زلزله با شتاب $0.3g$ در حدود ۲۱ درصد افزایش یافته است.

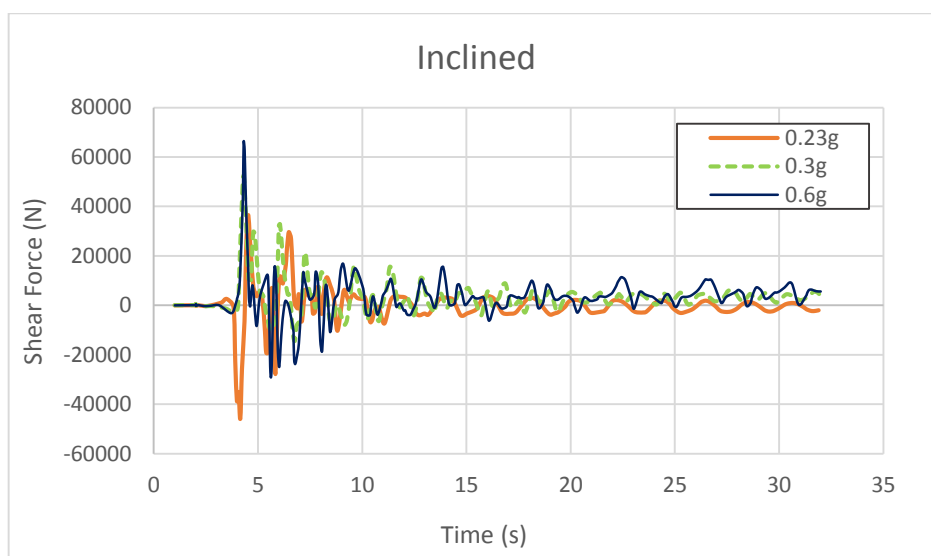
بنابراین تأثیر شتاب زلزله بر نیروی محوری در گروه ریزشمع مایل کمتر از گروه ریزشمع قائم مشاهده شده است.

۶-۱-۳-۲- تأثیر شتاب زلزله بر نیروی برشی

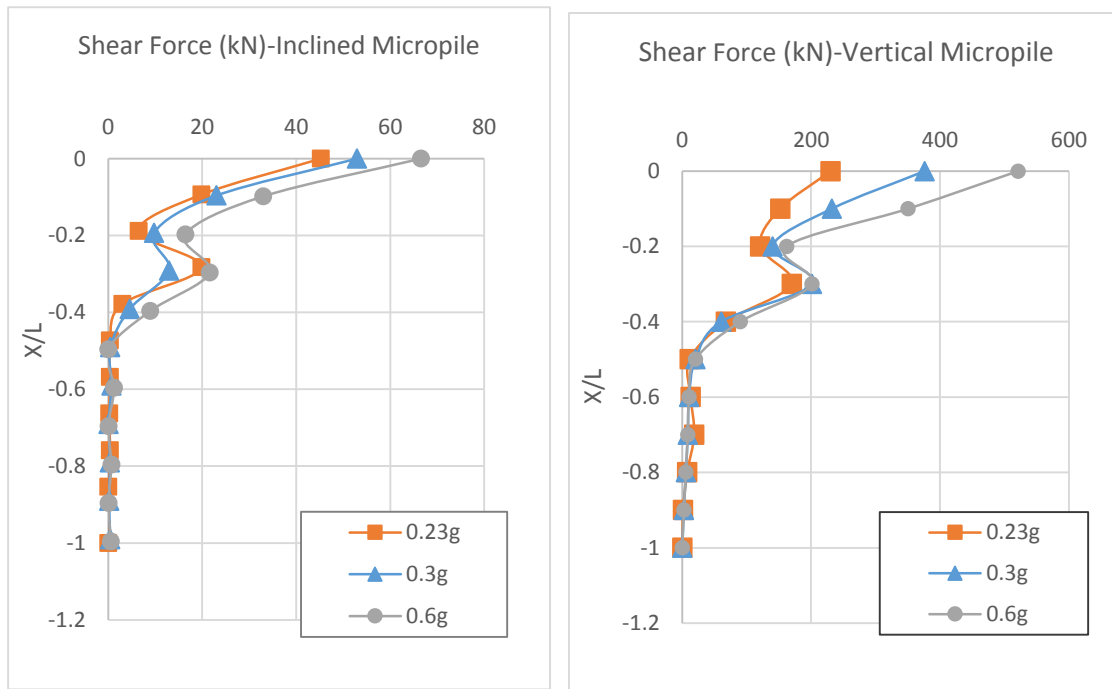
تاریخچه نیروی برشی در محل اتصال ریزشمع با کلاهک در گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل با ماکزیمم شتاب زلزله های مختلف در اشکال (۶-۳۸) و (۶-۴۰) نشان داده شده است. با توجه به نتایج با افزایش شتاب زلزله نیروی برشی در گروه ریزشمع افزایش یافته است.



شکل (۶-۳۸) تأثیر شتاب زلزله بر روی تاریخچه نیروی برشی در گروه ریزشمع قائم ۳×۲



شکل (۶-۳۹) تأثیر شتاب زلزله بر روی تاریخچه نیروی برشی در گروه ریزشمع مایل ۳×۲

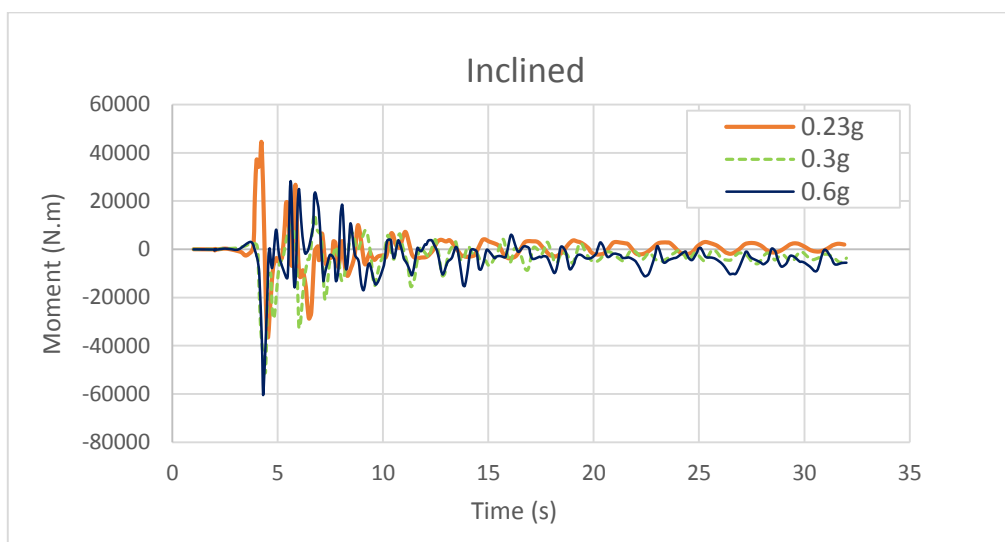
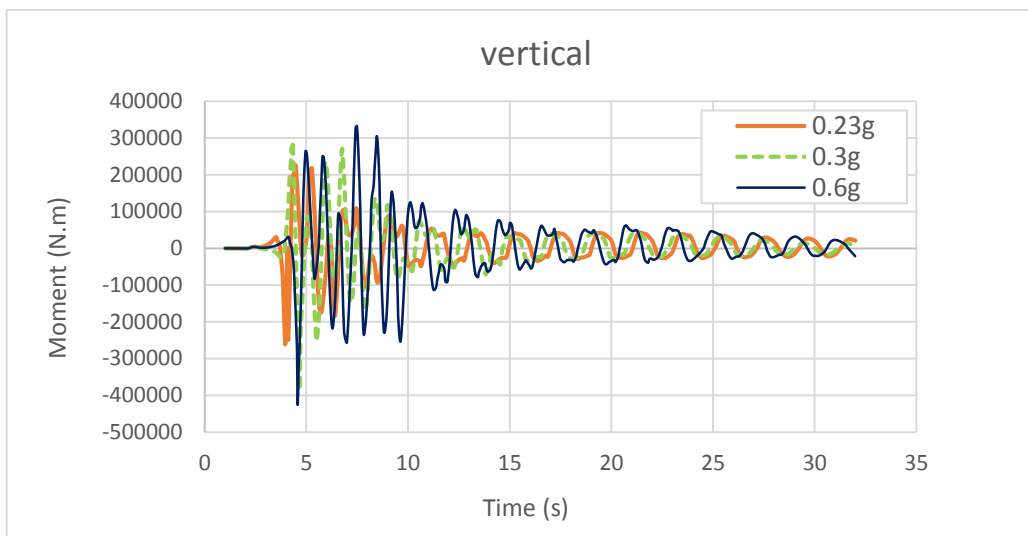


شکل (۴۰-۶) تأثیر شتاب زلزله بر روی نیروی برشی در طول ریزشمع قائم و مایل 3×2

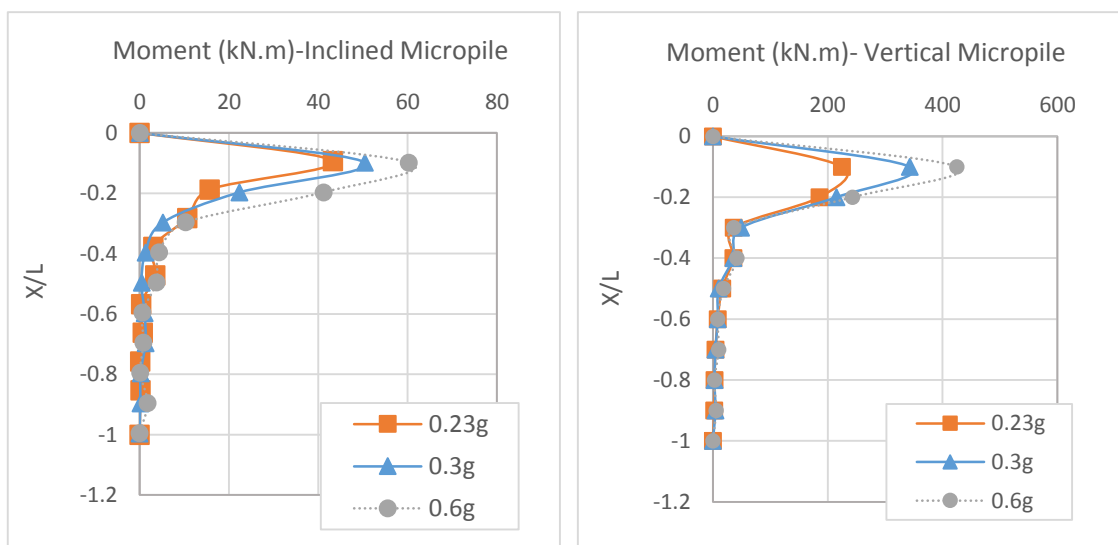
نیروی برشی در گروه ریزشمع قائم، تحت زلزله با شتاب $0.6g$ نسبت به زلزله با شتاب $0.23g$ در حدود ۱۲۶ درصد و نسبت به زلزله با شتاب $0.3g$ در حدود ۳۸ درصد افزایش یافته است. نیروی برشی در گروه ریزشمع مایل، تحت زلزله با شتاب $0.6g$ نسبت به زلزله با شتاب $0.23g$ در حدود ۴۷ درصد و نسبت به زلزله با شتاب $0.3g$ در حدود ۲۵ درصد افزایش یافته است.

۶-۱-۳-۳- تأثیر شتاب زلزله بر لنگر خمشی

تاریخچه لنگر خمشی در سر ریزشمع در گروه ریزشمع قائم و مایل با ماکزیمم شتاب زلزله‌های مختلف در اشکال (۴۱-۶) و (۴۲-۶) نشان داده شده است. با توجه به نتایج با افزایش شتاب زلزله، لنگر خمشی در گروه ریزشمع افزایش یافته است.



شکل (۶-۴۱) تأثیر شتاب زلزله بر روی تاریخچه لنگر خمشی در گروه ریزشمع قائم و مایل ۳×۲

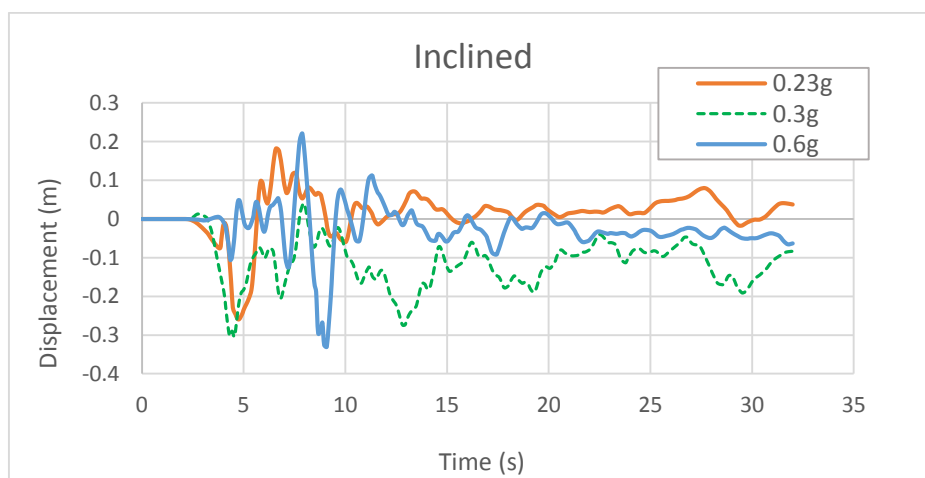
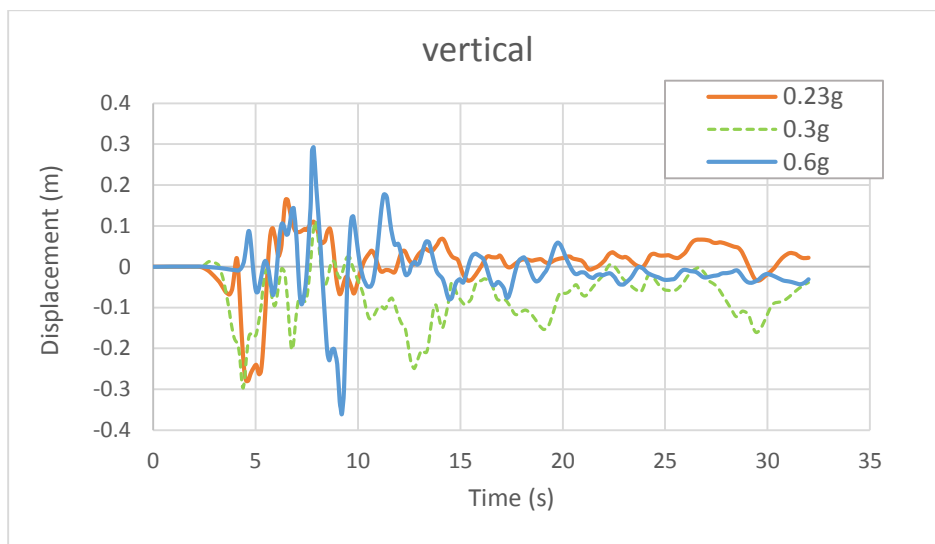


شکل (۶-۴۲) تأثیر شتاب زلزله بر روی لنگر خمشی در طول ریزشمع قائم و مایل ۳×۲

لنگر خمشی در گروه ریزشمع قائم، تحت زلزله با شتاب $0.6g$ نسبت به زلزله با شتاب $0.23g$ در حدود ۸۸ درصد و نسبت به زلزله با شتاب $0.3g$ در حدود ۲۳ درصد افزایش یافته است. لنگر خمشی در گروه ریزشمع مایل، تحت زلزله با شتاب $0.6g$ نسبت به زلزله با شتاب $0.23g$ در حدود ۴۰ درصد و نسبت به زلزله با شتاب $0.3g$ در حدود ۲۰ درصد افزایش یافته است.

۶-۳-۱-۴- تأثیر شتاب زلزله بر جابجایی افقی

ماکزیمم جابجایی افقی در گروه ریزشمع قائم و مایل در شکل (۶-۴۳) نشان داده شده است. با افزایش شتاب ورودی جابجایی افقی افزایش یافته است.

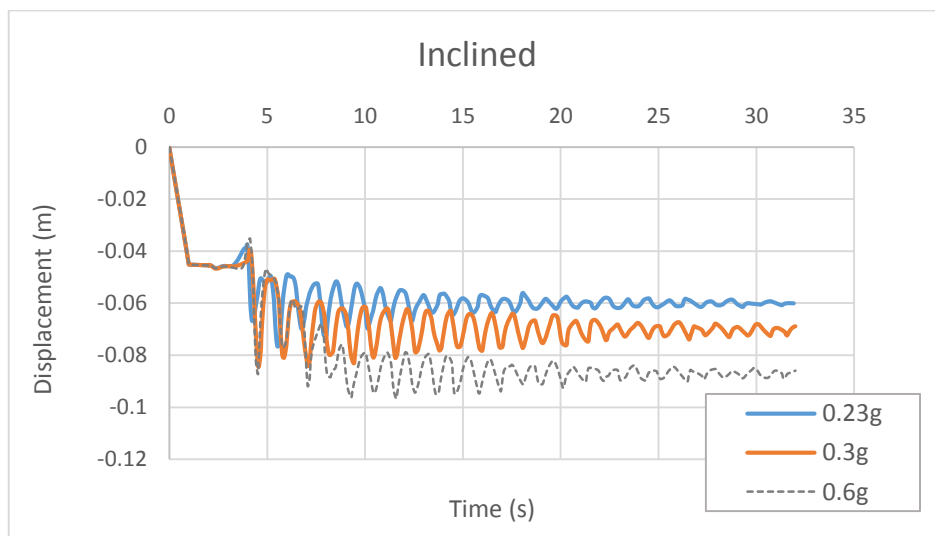
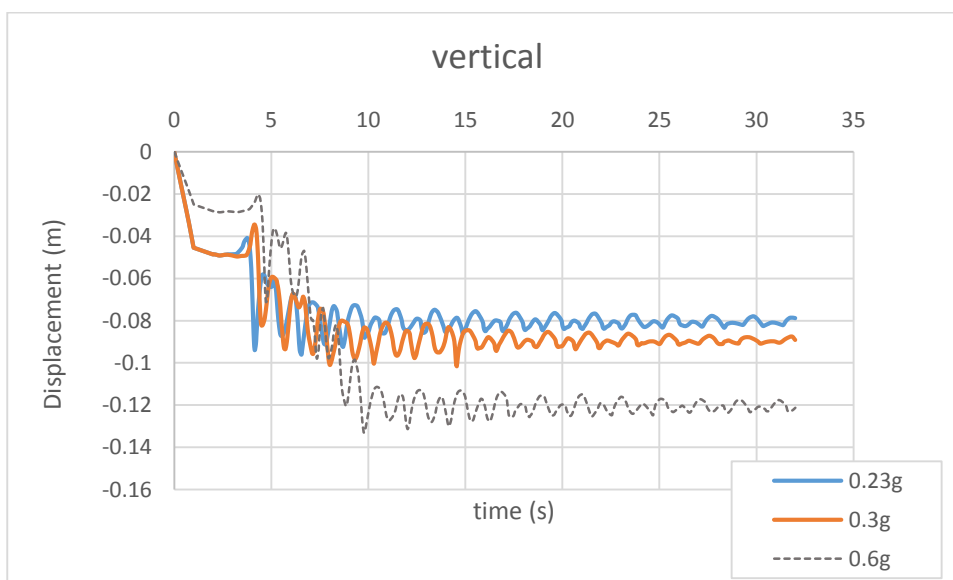


شکل (۶-۴۳) تأثیر شتاب زلزله بر روی جابجایی افقی در طول ریزشمع قائم و مایل 2×3

جابجایی افقی در گروه ریزشمع قائم، تحت زلزله با شتاب $0.6g$ نسبت به زلزله با شتاب $0.23g$ در حدود ۲۰ درصد و نسبت به زلزله با شتاب $0.3g$ در حدود ۱۷ درصد افزایش یافته است. جابجایی افقی در گروه ریزشمع مایل، تحت زلزله با شتاب $0.6g$ نسبت به زلزله با شتاب $0.23g$ در حدود ۳۲ درصد و نسبت به زلزله با شتاب $0.3g$ در حدود ۱۰ درصد افزایش یافته است.

۶-۱-۳-۵- تاثیر شتاب زلزله بر جابجایی قائم

تأثیر ماکزیمم شتاب زلزله بر روی جابجایی قائم گروه ریزشمع قائم و مایل در شکل (۶-۴۴) نشان داده شده است. با توجه به شکل با افزایش شتاب زلزله، جابجایی قائم افزایش یافته است.



شکل (۶-۴۴) تأثیر شتاب زلزله بر روی جابجایی قائم در طول ریزشمع قائم و مایل 3×2

فصل هفتم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۷-۱- مقدمه

در این مطالعه پاسخ گروه ریزشمع مایل و قائم تحت بار زلزله مورد بررسی قرار گرفت. نحوه چیدمان گروه ریزشمع مایل و همچنین مطالعه پارامتریک بر روی ریزشمع مایل انجام شد و با گروه ریزشمع قائم مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. در ادامه نتیجه گیری کلی مطالعه بیان شده و در انتها پیشنهادات برای کارهای آینده ارائه شده است.

۷-۲- نتیجه گیری

۷-۲-۱- نحوه چیدمان گروه ریزشمع

در فصل پنجم، مطالعه بر روی نحوه چیدمان گروه ریزشمع های مایل و تأثیر آن بر روی رفتار گروه ریزشمع تحت بار زلزله انجام گردید. ریزشمع 2×2 شامل گروه ریزشمع قائم و گروه ریزشمع مایل با زاویه تمایل در راستای X و گروه ریزشمع مایل با زاویه تمایل در راستای XY ، مدل سازی شدند و رفتار آنها تحت بار زلزله در راستای x و همچنین تحت بار زلزله در راستای X و Y مورد بررسی قرار گرفت. نیروهای داخلی و همچنین جابجایی تمامی ریزشمع ها در جهت افقی و قائم به دست آمدند و مقایسه بین گروه ریزشمع ها با مدل های مختلف صورت گرفت. نتایج نشان داد :

۱. در حالت کلی، در هر دو حالت تمایل ریزشمع ها (جهت X و جهت XY) و تحت بار زلزله چه در راستای x و چه در راستای x و y ، نیروی محوری در ریزشمع ها نسبت به حالت قائم بیشتر شده است و از آنجا که سختی جانبی در گروه ریزشمع های مایل افزایش می یابد، نیروی برشی و لنگر خمشی و جابجایی در ریزشمع های مایل نسبت به حالت قائم کاهش یافته است. علت کاهش نیروی برشی در گروه ریزشمع های مایل را نیز می توان به کاهش سطح موثر ریزشمع ها در حالت مایل نسبت داد. در گروه ریزشمع های مایل تحت بار زلزله، ماکزیمم جابجایی افقی در محل اتصال ریزشمع با کلاهک کاهش یافته و زمانی که در آن ماکزیمم جابجایی افقی به وجود می آید به تعویق افتاده است.

۲. از آنجاکه سختی گروه ریزشمع ها در جهت تمایل آنها افزایش می یابد، هنگامی که تمامی ریزشمع ها در جهت X مایل شوند، سختی ریزشمع ها در راستای X ، نسبت به گروه ریزشمع مایل در جهت XY بیشتر شده و زمانی که زلزله در راستای X به مدل اعمال شود، نیروی داخلی و جابجایی در ریزشمع های مایل در جهت X نسبت به ریزشمع های مایل در جهت XY کاهش بیشتری می یابد.

۳. زمانی که ریزشمع ها در هر دو راستای X و Y متمایل شوند، سختی ریزشمع ها در هر دو راستا افزایش یافته و هنگامی که زلزله در راستای X و Y به مدل اعمال شود، نیروی های داخلی در گروه ریز شمعی که در هر دو جهت مایل شده اند نسبت به گروه ریز شمعی که تنها در یک جهت مایل شده است، کاهش بیشتری یافته است.

۴. در گروه ریزشمع مایل با چیدمان مختلف تحت بار استاتیکی و دینامیکی ظرفیت باربری در خاک بیشتر از ظرفیت باربری در خاک با گروه ریزشمع قائم به دست آمده است. نشست خاک زیر پی در گروه ریزشمع قائم غیریکنواخت و مقادیر نشست خاک زیر پی در گروه ریزشمع قائم بیشتر از گروه ریزشمع های مایل مشاهده شده است. همچنین تحت بار استاتیکی و دینامیکی ظرفیت باربری خاک زیر پی در گروه ریزشمع مایل شده در دو راستا نسبت به گروه ریزشمع مایل شده در یک راستا افزایش و نشست خاک نیز کاهش یافته است.

۲-۲-۷- مطالعه پارامتریک

در فصل ششم مطالعه پارامتریک بر روی گروه ریزشمع 3×2 ، انجام شد و پارامترهایی نظیر زاویه انحراف و جرم رو سازه و شدت بار زلزله مورد بررسی قرار گرفتند. جهت مطالعه پارامتریک زاویه انحراف، ریزشمع ها با زوایای ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ درجه مدل سازی شدند. نتایج نشان داد:

۱. افزایش زاویه تمایل ریزشمع ها منجر به بهتر بسیج شدن مؤلفه محوری در طول ریزشمع ها می شود و نیروی محوری افزایش می یابد.
۲. با افزایش زاویه تمایل گروه ریزشمع، عملکرد ریزشمع ها در برابر بار زلزله بهبود یافته است. سختی جانبی در گروه ریزشمع مایل نسبت به گروه ریزشمع قائم افزایش یافته و افزایش سختی جانبی، منجر به کاهش شتاب سازه فوقانی و کاهش نیروی اینرسی و در نتیجه کاهش لنگر خمشی و نیروی برشی در ریزشمع های مایل، نسبت به ریزشمع های قائم شده است.
۳. با توجه به نتایج ماکزیمم تغییر مکان افقی در محل اتصال ریزشمع با کلاهدک اتفاق افتاده است. نتایج تغییر مکان افقی در سر ریزشمع (محل اتصال ریزشمع با کلاهدک) نشان داد که در گروه ریزشمع با زاویه ۲۰ و ۳۰ درجه کمترین تغییر مکان افقی در سر ریزشمع به وجود آمده است.
۴. نتایج بررسی تغییر مکان قائم در گروه ریزشمع با زوایای مختلف نشان داد که، ماکزیمم تغییر مکان قائم در همه ی مدل ها در زمان یکسان اتفاق افتاده است. کمترین تغییر مکان قائم در گروه ریزشمع قائم و بیشترین تغییر مکان قائم در گروه ریزشمع با زاویه ۱۰ و ۳۰ درجه مشاهده شده است.
۵. با افزایش زاویه انحراف ریزشمع تا زاویه ۲۰ تا ۳۰ درجه، نیروی محوری افزایش و نیروی برشی و لنگر خمشی بشدت کاهش می یابد؛ ولی میزان تمایل تا زاویه ۲۰ تا ۲۵ درجه توصیه می شود ؛ چراکه از آن زاویه بعد تغییر مکان قائم در سر ریزشمع افزایش یافته است.
۶. تنش و نشست در خاک در گروه ریزشمع با زوایای مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد که ظرفیت باربری در خاک، در گروه ریزشمع با زاویه ۲۰ درجه نسبت به گروه ریزشمع قائم، افزایش بیشتری یافته است. همچنین نشست خاک در زیر کلاهدک در گروه ریزشمع با زاویه ۲۰ درجه نسبت به گروه ریزشمع های مایل دیگر کاهش بیشتری پیدا کرده است. بنابراین در گروه

ریزشمع مایل با زاویه ۲۰ درجه، مقادیر ظرفیت باربری خاک و نشست به وجود آمده در خاک نسبت به سایر گروه‌های ریزشمع رضایت‌بخش تر می باشد.

۷. کاهش جرم رو سازه منجر به کاهش قابل توجه نیروی‌های محوری و برشی و لنگر خمشی و همچنین جابجایی قائم و افقی در گروه ریزشمع قائم و مایل شده است. بنابراین تأثیر جرم رو سازه بر روی پاسخ‌های گروه ریزشمع تحت بار زلزله قابل توجه است و در بررسی اندرکنش ریزشمع و خاک، تأثیر جرم رو سازه بر روی نتایج تأثیرگذار بوده و باید در مدل‌سازی در نظر گرفته شود. تأثیر جرم رو سازه بر جابجایی قائم سر ریزشمع نسبت به جابجایی افقی بیشتر می باشد.

۸. سه زلزله مختلف با ماکزیمم شتاب $0.23g$ و $0.3g$ و $0.6g$ به مدل اعمال گردید. با توجه به نتایج با افزایش شتاب زلزله نیروی محوری و برشی و لنگر خمشی در گروه ریزشمع قائم و مایل افزایش یافت. با افزایش شتاب، درصد افزایش یافته مقادیر نیروها و لنگر خمشی در گروه ریزشمع قائم بیشتر از گروه ریزشمع مایل می باشد. با افزایش شتاب زلزله جابجایی افقی و قائم در سر ریزشمع افزایش یافته است.

۳-۷- پیشنهادات

موارد زیر توسط نویسندگان برای ادامه تحقیقات در آینده پیشنهاد می‌شود.

۱. به‌طور کلی ریزشمع‌ها به‌صورت گروهی و با تعداد بالا بکار برده می‌شوند و لازم است گروه ریزشمع مایل با تعداد بیشتری مدل‌سازی و تحت بار زلزله مورد بررسی قرار گیرد.
۲. بجای مطالعه پارامتریک تأثیر زاویه انحراف گروه ریزشمع‌ها و همچنین مطالعه بر روی فاصله و جانمایی و طول ریزشمع‌ها، می‌توان از بهینه‌سازی استفاده کرد؛ این کار مستلزم شناسایی و مطالعه روش بهینه‌سازی این کار می‌باشد. همچنین به خاطر سنگینی مدل این بهینه‌سازی نیازمند کامپیوترهای قدرتمند و پردازش بازمان و هزینه بالا خواهد بود.

۳. در این مطالعه رفتار گروه ریزشمع در خاک الاستوپلاستیک با معیار موهر کلمب در نظر گرفته شد؛ در مطالعات آتی سعی شود تا رفتار گروه ریزشمع در خاک الاستوپلاستیک با معیارهای دیگر موردبررسی قرار گیرد.

۴. لازم است که جهت بررسی دقیق تر رفتار گروه ریزشمع مایل تحت بار زلزله، گروه ریزشمع مایل در خاک لایه ای و همچنین خاک های دانه ای اشباع که مستعد روانگرایی هستند مورد مطالعه قرار گیرد. از آنجاکه نرم افزار آباکوس قادر به مدل سازی روانگرایی نیست می توان جهت مطالعات بیشتر در این زمینه از مدل های آزمایشگاهی و یا نرم افزارهایی که قادر به مدل سازی روانگرایی همراه با مدل سازی ریزشمع های مایل به صورت سه بعدی هستند استفاده شود.

۵. از آنجاکه در عمل ریزشمع ها با میلگرد و تزریق دوغاب اجرا می شوند لازم است که در مطالعات آینده جهت درک بهتر رفتار ریزشمع ها جزییات طراحی سازه ای ریزشمع نیز در مدل سازی در نظر گرفته شود.

مراجع

- [1] Sabatini, P. J., Tanyu, B., Armour, T., Groneck, P., & Keeley, J. (2005). Micropile design and construction. US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC, Report No. FHWA-NHI-05-039.
- [2] SEAOC (1991) Reflections on the October 17, 1989 Loma Prieta earthquake. Structural engineers association of California, ad hoc earthquake reconnaissance committee, Sacramento.
- [3] Priestley N, Singh J, Youd T, Rollins K (1991) Costa Rica Earthquake of April 22, 1991 Reconnaissance Report, Earthquake Engineering Research Institute Pub. 91-02, pp 59–91.
- [4] AFPS: Association française de Génie Parasismique. Recommandations AFPS90, Presses des Ponts et Chaussées; 1990.
- [5] Eurocode EC8. Structures in seismic regions, part 5: foundations, retaining structures, and geotechnical aspects; 1994.
- [6] Gazetas G, Mylonakis G (1998) Seismic soil–structure interaction: new evidence and emerging issues. Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics III, ASCE, Geotechnical Special Publication II, pp 1119–1174.
- [7] Mitchell D, Tinawi R, Sexsmith RG (1991) Performance of bridges in the 1989 Loma Prieta earthquake, Lessons for Canadian designers. Can J Civil Eng 18(4):711–73.
- [8] Kastranta G, Gazetas G, Tazoh T (1998) Performance of three quay walls in Maya Wharf: Kobe 1995. In: Proceedings of the 11th European conference on earthquake engineering, Topic TS3, Paris, in CD-Rom.
- [9] Berrill JB, Christensen RJ, Keenan RJ, Okada W, Pettinga JR (1997) Lateral spreading loads on a piled bridge foundation. In: Proceedings of international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, seismic behavior of ground and geotechnical structures: special technical session on earthquake geotechnical engineering. Balkema Publisher, Rotterdam, Netherlands, pp 173–183.
- [10] Pearlman SL, Wolosick JR, Gronek PB. Pin piles for seismic rehabilitation of bridges. In: Proceedings 10th international bridge conference. Pittsburgh; 1993.
- [11] Herbst TF. The GEWI-PILE a micropile for retrofitting seismic upgrading and difficult installation. Int. conference on design and construction of deep foundations, sponsored by the US Federal Highway Administration (FHWA), vol. 2.; 1994. p. 913–30.

- [12] Juran I, Benslimane A, Hanna S. Engineering analysis of the dynamic behavior of micropile systems. Transportation Research Record No. 1772. Soil Mechanics; 2001. p. 91–106.
- [13] Shahrour, Juran I. Seismic behaviour of micropile systems. Ground Improve J2004;8(3):109–20.
- [14] Tokimatsu K, Mizuno H, Kakurai M. Building damage associated with geotechnical problems soils and foundations special issue on geotechnical aspects of the January 17 1995 Hyogoken Nambu earthquake. JSSMFE 1996;36(1):219–34.
- [15] Sadek M, Shahrour I. Three-dimensional finite element analysis of the seismic behavior of inclined micropiles. Soil Dynam Earthquake Eng 2004;24:473–85.
- [16] Kishishita, T., Saito, E., and Miura, F. (2000). “Dynamic-response characteristics of structures with micropile foundation system.” 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.
- [17] Sadek, M. and Shahrour, I. (2006). “Influence of the head and tip connection on the seismic performance of micropiles.” Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 26, 461-468.
- [18] Gerolymos, N., Giannakou, A., Anastasopoulos, I., & Gazetas, G. (2008). Evidence of beneficial role of inclined piles: observations and summary of numerical analyses. Bulletin of Earthquake Engineering, 6(4), 705-722
- [19] Wang, Z., Met, G., Cai, G., Yu, X. (2009). “Dynamic finite element analysis of micropile foundation in subgrade.” In Proceedings of Selected Papers from the 2009 GeoHunan International Conference, ASCE, Changsha Hunan, China (pp. 139-144).
- [20] Wang, M., Han, J. (2010). Numerical Modelling for Ground Improvement of Batter Micropiles on Liquefiable Soils. In Ground Geosynthetics, ASCE, 212-219Improvement and
- [21] Li, Z., Escoffier, S., & Kotronis, P. (2014, June). Centrifuge modelling of inclined pile foundations under seismic actions. In Proceedings of the 9th International Conference on Structural Dynamics, EUROLYN 2014.
- [22] Monafared, S. (2012). “Numerical study on the behavior of inclined micropiles.” Deep Foundation Institute.
- [23] Esmaili, M., Nik, M. G., Khayyer, F. (2012). “Experimental and numerical study of micropiles to reinforce high railway embankments.” International Journal of

- Geomechanics, 13(6), 729-744. Farmer, I. and J. Kemeny (1992). Deficiencies in rock test data. Proc. Int. Conf. Eurock.
- [24] ABAQUS Documentation, version 6.14-2
- [25] Sadek, M. and Shahrour, I. (2004). "Three-dimensional finite element analysis of the seismic behavior of inclined micropiles." Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24, 473-485.
- [26] Sadek, M. and Shahrour, I. (2006). "Influence of the head and tip connection on theseismic performance of micropiles." Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 26, 461-468.
- [27] Bentley, K.J., Naggar, M.H.E., Numerical Analysis of Kinematic Response of SinglePiles. Canadian Geotechnical Journal, 2000. **37**(6): p. 1368–1382.
- [28] Balendra, S., Numerical Modeling of Dynamic Soil-Pile-Structure Interaction, inDepartment of Civil and Environmental Engineering. 2005, Washington State University
- [29] Kuhlemeyer RL, Lysmer J. Finite element method accuracy for wave propagation problems. J Soil Mech Found Div ASCE 1973;99(SM5):421–7
- [30] Ramachandran, J. Analysis of Pile Foundations under Seismic Loading 2005; :<http://www.scribd.com/doc/16098897/Analysis-of-Pile-Foundations-Under-Seismic-Loading>.
- [31] PEER.Strongmotiondatabase.Pacific EarthquakeEngineeringResearch Centre; 1963. (<http://www.peer.berkeley.edu>).
- [32] Rayleigh Damping: Guidance :http://www.orcina.com/SoftwareProducts/OrcaFlex/Documentation/Help/Content/html/Rayleigh_Damping_Guidance.htm
- [33] Rayleigh, J.W.S., Lindsay, R.B., The Theory of Sound 1945, NewYork:DoverPublications
- [34] Park, D., Hashash, Y.M.A., soil Damping Formulation in Nonlinear Time DomainSite Response Analysis. Journal of Earthquake Engineering, 2004. 8(2): p. 249-274
- [35] Hashash, Y.M.A., Park, D., Viscous damping formulation and high frequency motion propagation in non-linear site response analysis. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2002. 22: p. 611–624
- [36] Eurocode-8, Part 5 - Foundations, retaining structures and geotechnical.aspects.1999

- [37] Mylonakis, G., Gazetas, G., Seismic Soil-Structure Interaction: Beneficial or Detrimental? *Journal of Earthquake Engineering*, 2000. 4(3): p. 277 - 301.aspects.1999
- [38] Lysmer, J., Kuhlemeyer, R.L., Finite dynamic model for infinite media. *Journal of theEngineering Mechanics Division, ASCE*, 1969. 95(EM4): p. 859-877
- [39] Liyanapathirana, D.S., Poulos, H. G., Seismic Lateral Response of Piles in Liquefying Soil *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2005. **131**(12): p.1466-1479.
- [40] Isam, S., Hassan, A., & Mhamed, S. (2012). 3D elastoplastic analysis of the seismic performance of inclined micropiles. *Computers and Geotechnics*, 39, 1-7.
- [41] Janbu N. Soil compressibility as determined by odometer and triaxial tests. *Eur Conf Soil Mech Found Eng Wiesbaden 1963*;1:19–25
- [42] .Wu, G. and Finn, W.D.L. \Dynamic nonlinear analysis of pile foundations using _nite element method in the time domain", *Canadian Geotechnical Journal*, 34, (1)pp 44-52(1997)
- [43] Tokimatsu, K., Suzuki, H., Sato, M., Effects of Inertial and Kinematic Interaction on Seismic Behaviour of Pile with Embedded Foundation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2005. **25**: p. 753-762.
- [44] Boulanger, R. W., Curras, C. J., Kutter, B. L., Wilson, D. W., & Abghari, A. (1999). Seismic soil-pile-structure interaction experiments and analyses. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 125(9), 750-759.

Abstract

Micropiles are small-diameter piles, which can be installed in access-restrictive environments and almost in all soil types and ground conditions. Analysis of foundations damage induced by the Kobe earthquake showed that steel piles with small diameter presented a better resistance to seismic loads as compared with large diameter reinforced concrete piles. Micropiles can be installed at any angle below the horizontal using the same type of equipment used for the installation of ground anchors and for grouting projects. 3D model of the soil, micropile and superstructure system is developed by using a finite element method commercial software Abaqus 6.14-2. This paper uses a real earthquake record for analysis of micropile group behavior. Soil behavior has been presented by Mohr-Coulomb criterion. Material damping of soils is represented by Rayleigh damping. In the dynamic analysis, the soil lateral boundaries defined by free field boundary and by assigning viscous dampers in the vertical and horizontal directions. The superstructure is modeled as a one-degree-of-freedom system composed of column and concentrated mass. The effect of various arrangements of inclined micropile group is investigated. In the first case micropiles are inclined in one direction and in the second one in two directions. The results show that under a two-directional earthquake, the shear forces and moments of the micropiles of second case are significantly smaller than shear forces and moments of the first case and vertical micropiles group. Also under the dynamic and static loads, bearing capacity of the soil is larger and the settlement of the soil of second case are smaller than other groups of micropiles. The effects of various parameters on the behavior of the vertical and inclined micropile groups are investigated. These parameters include: inclination angle of micropiles, mass of superstructure and acceleration of earthquake. Results of parametric study demonstrated that as inclination increases, the maximum of shear force, bending moment and horizontal displacement at the head of micropile decrease significantly and bearing capacity of the soil increases. However, in order to improve the performance of micropiles groups it's recommended to preserve inclination angle in the range of 20-25 degrees because in larger inclination angles, increase of the vertical displacements (at the meeting point of micropile and cap) and also the settlement of the soil have been observed.

Keywords: Micropile group, Inclined micropiles, Elastoplastic, Dynamics analysis, Finite element, Abaqus.



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Geotechnical Engineering

3D Modeling of Inclined Micropiles Under Seismic Loading

By: zohre khodabakhshi

Supervisor(s):

Dr Mahdi Hosseini

Dr Reza Naderi

Jun 2017