



بررسی رفتار لرزه‌ای ریزشمع‌های مایل

رضا نورزاد^۱، غلامرضا سقایی^۲

۱- استادیار گروه ژئوتکنیک، دانشکده عمران، دانشگاه مازندران، تلفن: ۰۱۱۱-۳۲۳۱۷۰۷-rnoorzad@nit.ac.ir

۲- کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه مازندران، تلفن: ۰۹۱۲-۲۵۰-۵۲۰۷-Grezasaghaee@stu.nit.ac.ir

چکیده

استفاده از ریز شمع‌های مایل مناطق لرزه خیز توسط بعضی از آیین‌نامه‌ها محدود گردید ولی مشاهدات اخیر بعد از زلزله بیانگر عملکرد خوب ریزشمع‌های مایل تحت اثر بارگذاری زلزله است. در این پژوهش، تحلیل لرزه‌ای بر روی ریزشمع‌های مایل با استفاده از تحلیل دو بعدی کرنش مسطح در نرم افزار اجزای محدود *PLAXIS* انجام شده است. اثر پارامتر زاویه انحراف بر روی پاسخ لرزه‌ای ریزشمع مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش بیانگر افزایش نیروی محوری و کاهش نیروی برشی و لنگر خمشی با افزایش زاویه انحراف ریزشمع در بارگذاری زلزله می‌باشد.

کلمات کلیدی: ریزشمع مایل، زاویه انحراف، اجزای محدود، المان سطح مشترک، تحلیل دینامیکی.

مقدمه

ریزشمع‌ها^۳، شمع‌هایی با قطر کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر هستند که با حفر گمانه، قرار دادن آرماتور و تزریق دوغاب اجرا می‌شوند. مزایای خوب باعث استفاده روز افزون این تکنولوژی در مسلح‌سازی پی‌ها گردیده است. از جمله این مزایا می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: الف. اجرای ریزشمع‌ها کمترین دستخوردگی را در محیط خاک ایجاد می‌کند و نیز حجم خاکبرداری در اجرای آن کم است، ب. می‌توان آنها را به آسانی بصورت مایل اجرا کرد، ج. جهت بهسازی پی سازه‌های موجود براحتی قابل استفاده بوده و در مکان‌های مسقف با فضای بالاسری کم هم قابل اجرا است، د. ریزشمع‌های مایل قابلیت تحمل بارهای افقی و قائم را دارند، ح. رفتار لرزه‌ای خوبی بخاطر انعطاف پذیری دارند. مشاهدات بعد از زلزله در مناطق زلزله زده شواهد خوبی از نحوه عملکرد شمع‌ها تحت اثر بار زلزله می‌باشند. درجات مختلفی از آسیب سازه‌ای با توجه به انواع مختلف شمع‌ها و زاویه‌های انحراف شمع‌های نگهدارنده سازه قابل مشاهده است. مطالب زیر بیانگر مشاهدات مختلف بعد از زلزله می‌باشد.

زلزله ۱۷ اکتبر ۱۹۸۹ در لوما پریتا^۴ با بزرگی $(M_W) 7/1$ مشاهده مهمی در مورد عملکرد شمع‌ها نشان داد. در اثر این زلزله آسیب گسترده‌ای در یک اسکله رخ داد زیرا شمع‌های بتن پیش‌تنیده با مقطع ۱۶ اینچ مربع که نگهدارنده اسکله بودند، دچار گسیختگی کششی در محل اتصال با عرشه شدند. گسیختگی دیگری نیز در شمع‌های مایل ۱۶ اینچ مربعی بتن پیش‌تنیده در نزدیکی اتصال با کلاهک شمع در بندر اوکلند قابل توجه بود. این آسیب دیدگی‌های سازه‌ای که بعد از زلزله مشاهده شد، موجب بوجود آمدن آئین‌نامه‌های مختلفی^۵، مانند آیین‌نامه زلزله اروپا (Eurocode EC8, 1994)، آیین‌نامه لرزه‌ای فرانسه (AFPS, 1990) شد تا استفاده از شمع‌های مایل نواحی لرزه‌خیز ممنوع شود. نکته قابل توجه در مورد زلزله لوما پریتا این است که بر اساس تحقیقات میتچل و همکاران^۵ در سال ۱۹۹۱ خرابی‌ها در محل اتصال شمع‌های مایل پی دیده شده که ناشی طراحی اتصالات نامناسب و ضعیف می‌باشد [۱]. شواهد موجود بعد از زلزله کوبه^۶ با بزرگی $(M_W) 6/9$ در ۱۶ ژانویه ۱۹۹۵ نشان داد که یکی از معدود دیوارهای اسکله‌ای سالم باقی مانده در بندر کوبه پس از وقوع زلزله دیوار کامپوزیتی بود که بوسیله شمع‌های مایل نگهداری گردید. اگر چه در نزدیکی همین دیوار، دیواری متکی بر شمع‌های عمودی وجود داشت که به شدت آسیب دید. با توجه به این مشاهدات لزوم توجه بیشتر به نقش لرزه‌ای شمع‌های مایل آشکار گردید [۲].

^۱ استادیار گروه ژئوتکنیک، دانشکده عمران، دانشگاه مازندران.

^۲ کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، شرکت پی آر مه پارس.

^۳ Micropiles

^۴ Loma Prieta

^۵ Mitchell et al. 1991

^۶ Kobe Earthquake. 1995

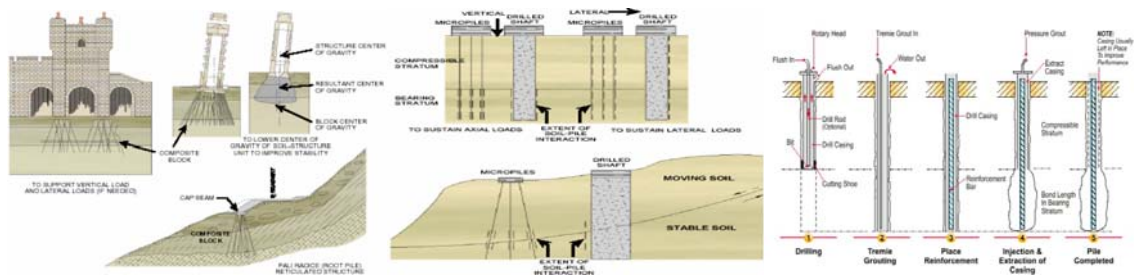
با توجه به زلزله های اخیر، عملکرد مناسبی از ریزشمع ها که به نوعی شمع های اصطکاکی می باشند دیده شده است. با این حال هنوز مطالعات کافی و متناسب در مقیاس های واقعی انجام نشده و نیاز به انجام مطالعات بر روی رفتار دینامیکی ریزشمع ها کاملاً مشهود می باشد. این موضوع باعث استفاده از تحلیل های عددی مانند اجزای محدود در بررسی رفتار ریزشمع ها به هنگام زلزله شده است.

هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر زاویه انحراف بر رفتار لرزه ای ریزشمع های مایل می باشد. در این راستا از نرم افزار اجزای محدود PLAXIS جهت انجام تحلیل های دینامیکی استفاده شده است.

ریزشمع ها

ریزشمع اولین بار در اوایل دهه ۱۹۵۰ در ایتالیا به عنوان یک روش ابتکاری برای زیربندی ساختمان های تاریخی و بناهای یادبود که به مرور زمان و بخصوص در زمان جنگ جهانی دوم آسیب دیده بودند ابداع شد. یک سیستم زیربندی موثر و مطمئن به عنوان تکیه گاهی برای بارهای سازه ای با حداقل تغییر مکان مورد نیاز بود که در مکان های محدود و با دسترسی دشوار قابل اجرا باشد و نیز حداقل دستخوردگی را در سازه های موجود ایجاد کند. روش های خاص حفاری و تزریق که در اجرای ریزشمع ها مورد استفاده قرار می گیرند باعث ایجاد اتصال مقاومی بین دوغاب و خاک می گردد و این مسئله موجب افزایش ظرفیت باربری در سطح تماس دوغاب و زمین می شود. دوغاب تزریق شده بار اعمال شده به ریزشمع را بوسیله اصطکاک از آرماتور به زمین در ناحیه اتصال انتقال می دهد.

سیستم طبقه بندی ریزشمع ها بر دو اصل اساسی بنا شده است: الف. فلسفه رفتاری ریزشمع ها (طراحی) و ب. روش تزریق دوغاب (اجرا). فلسفه رفتاری ریزشمع ها تعیین کننده روش بکار گرفته شده در طراحی آنها است. بر اساس رفتار، ریزشمع ها را می توان به دو نوع یک و دو تقسیم کرد. در ریزشمع های نوع یک المان های ریزشمع بطور مستقیم بارگذاری می شوند. ریزشمع های نوع دو همان شبکه ریزشمع های مجتمع است که همانند ریشه های درخت به عنوان عناصر تقویت کننده خاک می باشند و برای پایدارسازی و تکیه گاه مورد استفاده قرار می گیرند. روش تزریق دوغاب معمولاً به عنوان حساس ترین عامل کنترل کننده ظرفیت اتصال زمین و دوغاب می باشد و این ظرفیت اتصال بطور مستقیم با روش های تزریق دوغاب تغییر می کند. بر اساس روش جایزری یا تزریق تحت فشار دوغاب در حین اجرا ریزشمع ها را به چهار نوع A, B, C, D طبقه بندی می کنند [۳] (شکل ۱).



شکل ۱- مراحل اجرای ریزشمع [۴] و ریزشمع های نوع یک و دو [۵].

مدل سازی

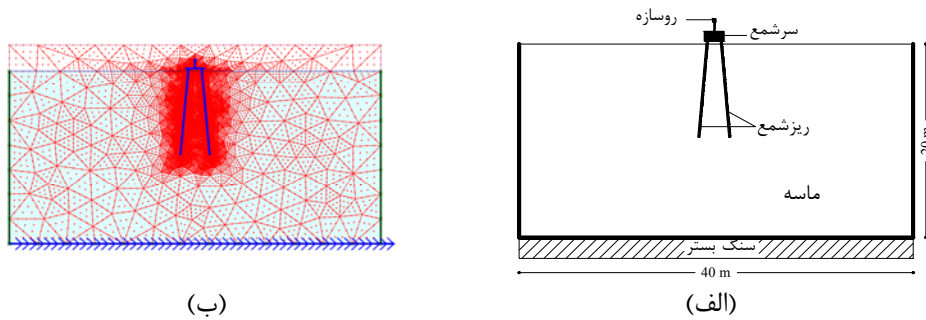
عددی برای انجام تحلیل دو بعدی در این پژوهش از نرم افزار PLAXIS استفاده شد که توانایی مدل سازی دو بعدی به دو صورت کرنش صفحه ای و تقارن محوری را دارد. به دلیل وجود المان های مورب امکان استفاده از تقارن محوری وجود ندارد، زیرا در این صورت شکل مساله ریزشمع تقارن محوری نمی باشد. با توجه به مدل سازی های ریزشمع بصورت کرنش صفحه ای توسط سیواکومار و همکاران [۶] و براساس پژوهش های انان داراجاح و همکاران که نشان می دهد مدل سازی عددی دو بعدی مسائل اندر کنش خاک و سازه (SSI) همخوانی خوبی با نتایج آزمایش سانتریفیوژ دارد [۷] و نیز مدل سازی ستون های تزریق شده سیمانی که بصورت کرنش صفحه ای دو بعدی توسط امینه و همکاران [۸] در این پژوهش نیز، از مدل سازی دو بعدی کرنش صفحه ای [۱] استفاده شد. با توجه به اینکه حداقل فاصله مرزهای جانبی مدل تا ریزشمع ۵۰ برابر قطر ریزشمع پیشنهاد شده است، زیرا بعد از این فاصله ابعاد مدل تاثیری بر رفتار ریزشمع تحت بار جانبی ندارد و نیز فاصله کف مدل تا پای ریزشمع نیز برابر طول ریزشمع پیشنهاد گردید [۹]. البته در مواردی مشاهده شده که این فاصله برابر نصف طول ریزشمع انتخاب شد [۱۰]. بر این اساس عمق مدل ۲۰ متر و با توجه به استفاده از شرایط مرزی لرزه ای در مرزهای جانبی مدل، طول مدل ۴۰ متر انتخاب گردید. فاصله ریزشمع ها در محل اتصال با سرشمع برابر ۱/۴ متر است. در شکل (۲)، شکل کلی و شبکه بندی مدل شده مورد استفاده در نرم افزار PLAXIS ارائه شده است.

⁷ G.L.Sivakumar et al.

⁸ Soil Structure Interaction

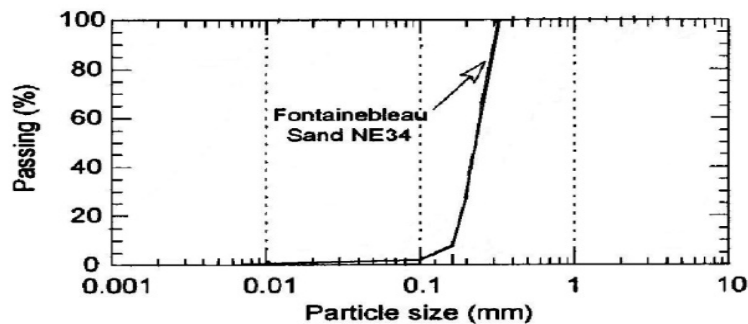
⁹ K.Omine

¹⁰ Plain Strain



شکل ۲: الف. شکل کلی مدل موضوع پژوهش، ب. مدل اجزای محدود ساخته شده در نرم افزار PLAXIS.

در این پژوهش از خاک ماسه ای استفاده شده است. ماسه فونتینوبیلو^{۱۱} NE34 که بصورت FS نشان داده شده است. ماسه FS یک ماسه استاندارد سیلیسی یکنواخت می باشد. منحنی دانه بندی این ماسه ها در شکل (۳) آمده است.



شکل ۳: منحنی دانه بندی ماسه فونتینوبیلو [۱۱].

مدل مور-کولن برای خاک ماسه ای در این پژوهش استفاده گردید [۱۱]. پارامترهای مدل مور-کولن مربوط به ماسه FS در جدول (۱) ارائه شده است. در مدل عددی بررسی رفتار ریزشمع های این پژوهش از دو ریز شمع نوع B که آرماتور فولادی آن CTS – TITAN 103/78 می باشد استفاده شد. قطر این ریز شمع ها ۲۰ سانتیمتر و طول آنها ۱۰ متر است. مشخصات مقطع ریزشمع در جدول (۲) ارائه گردید.

جدول ۱: پارامتر های مدل مور-کولن برای ماسه مورد استفاده در این پژوهش [۱۱].

خاک	نماد	γ KN/m ³	E Mpa	ν	ϕ°	C Mpa	ψ°
ماسه فونتینوبیلو	FS	۱۶/۷۷	۱۱۷	۰/۳	۳۹	۰	۱۴

جدول ۲: مشخصات مقطع ریزشمع مورد استفاده در این پژوهش.

مقطع	ν	ω (Kg/m)	EA (KN)	EI (KN.m ²)
ریزشمع TITAN – IBO 103/78	۰/۲	۱۰۰/۴۱	۱۴۰۱۵۲۸	۲۵۹۷/۵۹

زوایای انحراف این ریزشمع ها نسبت به محور قائم صفر، ۵، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه است. اتصال آنها به سرشمع نیز به صلب می باشد. جهت مدل سازی ریز شمع در PLAXIS از المان تیر^{۱۲} با رفتار کشسان استفاده شده است. مهمترین پارامترهای مربوط به مدل المان تیر صلبیت خمشی

^{۱۱} Fontainebleau Sand

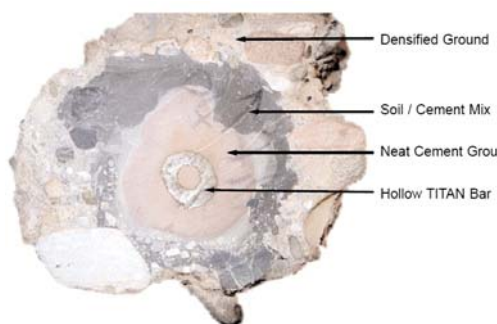
^{۱۲} Beam Element



(سختی خمشی) EI و سختی محوری EA می باشد. ریزشمع ها در مدل المان های محدود دو بعدی ترکیبی از المان تیر به همراه سه درجه آزادی در هر گره می باشند، دو درجه آزادی انتقالی (u_x, u_y) و یک درجه آزادی چرخشی (چرخش در صفحه $X-Y$: ϕ_z).

از آنجاییکه در این پژوهش از المانهای ۱۵ گره ای خاک استفاده شده است، آنگاه المان تیر بوسیله پنج گره تعریف می شود. المان های تیر بر اساس تئوری تیر میندلین^{۱۳} هستند [۱۲]. این تئوری به تیر اجازه تغییر شکل تحت برش را همانند خمش می دهد. به علاوه المان ها می توانند تحت اثر نیروی محوری تغییر طول داشته باشند. لنگرهای خمشی و نیروهای محوری از تنش ها در نقاط تنش تعیین می شوند. المان تیر پنج گره ای شامل چهار جفت نقطه تنش گاوس است.

یکی از موارد مهم در مسائل اندرکنش خاک و سازه^{۱۴} محل تماس خاک و سازه است [۱۳]. یعنی باید محل تماس خاک و سازه که در اینجا خاک و ریز شمع است به درستی مدل شود. به همین دلیل در محل تماس ریز شمع و خاک در مدل سازی عددی سیستم خاک و ریزشمع از المان فصل مشترک استفاده شده است. در اجرای ریز شمع ها از تزریق دوغاب بعد از ریزش ثقلی دوغاب استفاده می شود. بنابراین این تزریق باعث ایجاد مقطعی مشابه آنچه در شکل (۴) نشان داده شده است، می گردد.



شکل ۴ - مقطع ریزشمع $TITAN / IBO$ که از خاک در آورده شده است [۱۴].

این تصویر نشان دهنده مقطع یک ریز شمع با آرماتور از نوع $TITAN - IBO$ که در این پژوهش از آن استفاده شده، می باشد. در این شکل می توان دید که مقطع برابر سازه ای در واقع دوغاب و پروفیل $TITAN - IBO$ است. در اطراف آن خاک سیمانی شده و بعد از آن نیز ماسه متراکم قرار دارد. به دلیل آجدار بودن آرماتور اتصال خوبی بین دوغاب و آرماتور ایجاد شده و بر همین اساس موردی از گسیختگی بین دوغاب و آرماتور گزارش نشده است [۱۵]. مقاومت این اتصال به نسبت اتصال ریز شمع با خاک اطراف در ظرفیت باربری ریز شمع تعیین کننده نیست و قابل نظر کردن در مدل می باشد [۱۶]. بنابراین سطح تماس خاک و ریز شمع را می توان خاک سیمانی شده یا همان ماسه سیمانی شده در اثر تزریق در نظر گرفت. در این پژوهش مشخصات مصالح سطح مشترک در واقع مشخصات ماسه اطراف ریز شمع است که در اثر تزریق در پارامترهای مقاومتی آن بهبود حاصل گردید. در مدل سازی شمع ها پارامترهای مقاومتی خاک در فصل مشترک با شمع با ضریبی نسبت به پارامترهای مقاومتی مصالح خاک اطراف تعیین می شوند که این نسبت کوچکتر از یک است. اما در اینجا به دلیل انجام تزریق و به نوعی بهسازی خاک و اتصال خوب آن با دوغاب سازه ای ریز شمع این اتصال بهتر از پارامترهای خاک است. برای تعیین پارامترهای ماسه سیمانی شده از نتایج پژوهش های دانو و همکاران^{۱۵} [۱۱] استفاده گردید، که پارامترهای ماسه سیمانی شده را برای مدل مور-کولن بدست آوردند. از ماسه سیمانی نشده هم به عنوان خاک اطراف استفاده گردید. بر اساس این پژوهش ها می توان از مدل مور-کولن برای مدل سازی رفتار ماسه تزریق شده استفاده کرد. از آنجاییکه تزریق سیمان به خاک باعث ایجاد مقاومت کششی در خاک می شود جهت ایجاد امکان وقوع جداشدگی در فصل مشترک خاک و ریز شمع از مقاومت کششی ماسه سیمانی شده استفاده شد [۹]. که بصورت گسیختگی کششی در PLAXIS لحاظ گردید. این مقاومت کششی از رابطه (۱) بدست آمده است [۱۱]. مشخصات این مصالح در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳: پارامترهای مدل مورکولن برای المان سطح مشترک [۱۱].

المان سطح مشترک	نماد	γ KN / m^3	E Mpa	ν	ϕ°	C Mpa	ψ°	R_{cut} Mpa
ماسه فونتنوبیلو تزریق شده با CG	FS+CG	۱۹	۴۰۶	۰/۳	۴۲	۰/۲	۲۴	۰/۱۷۸

¹³ Mindlin's Beam Theory

¹⁴ Soil-Pile Interaction

¹⁵ Dano et al.



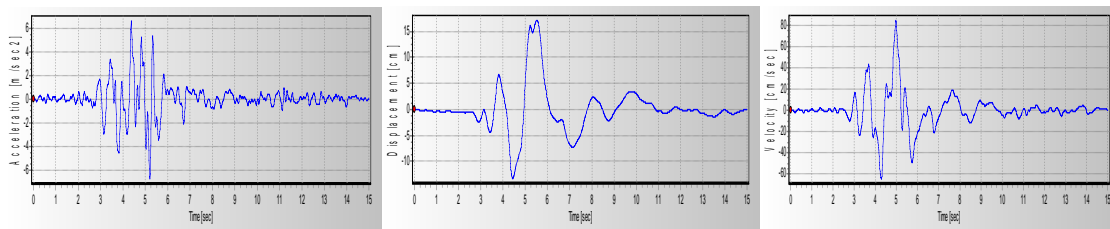
$$R_{cut} = \frac{2C' \times \cos \phi'}{1 + \sin \phi'} \quad (1)$$

به منظور در نظر گرفتن اثر نیروهای اینرسی ناشی از روسازه در رفتار ریزشمع ها در مدل سازی عددی، روسازه نیز در این مدل لحاظ گردیده است. از آنجاییکه اعمال روسازه با جزئیات کامل دشوار و وقت گیر می باشد لذا جهت ساده سازی از روسازه یک درجه آزادی^{۱۶} استفاده می شود [۱۰]. مدل روسازه یک درجه آزادی بصورت یک جرم متمرکز می باشد که با استفاده از یک ستون بدون جرم بصورت صلب به سر شمع متصل شده است. برای شبیه سازی سازه ای ۱۰ طبقه بصورت روسازه یک درجه آزادی می توان روسازه یک درجه آزادی (SDOF) را با فرکانس طبیعی سازه ۱۰

طبقه مدل کرد. پیوند طبیعی سازه ۱۰ طبقه با ارتفاع متوسط طبقات سه متر را می توان توسط رابطه تجربی^۳ $T = 0.05H^{\frac{3}{4}}$ بدست آورد [۱۷]. بر این اساس فرکانس طبیعی روسازه برابر $f_{SDOF} = f_0 = 1.56 \text{ Hz}$ می باشد. طول این ستون روسازه یک متر است. جرم روسازه بر اساس تحلیل خمیری ۲۰ تن می باشد سرشمع که روسازه به آن متصل است نیز بصورت پی بتنی با ضخامت یک متر مدل گردید.

در مدل عددی این پژوهش از مرزهای قائم در طرفین مدل و مرز افقی در کف مدل به منظور جداسازی مدل از محیط نیم بینهایت خاک اطراف استفاده شده است. حرکت گره ها در مرزهای قائم در حالت استاتیکی در راستای افقی محدود شده است و مرز افقی در هر دو جهت قائم و افق محدود شده است. که البته در حالت دینامیکی این مرزها برداشته می شود. در تحلیلی دینامیکی مرزهای جاذب^{۱۷} بر اساس روش لایسمر و کولمیر^{۱۸} [۱۸] در مرزهای قائم و از سنگ بستر در کف مدل قرار داده شده است.

در این پژوهش از میرایی رایله جهت اعمال میرایی استفاده شد و نسبت میرایی برای ماسه FS برابر ۰.۸٪ و برای ریزشمع ۰.۲٪ می باشد. از بارگذاری زلزله واقعی جهت بارگذاری لرزه ای استفاده شده است. بارگذاری لرزه ای در این مدل سازی عددی بصورت تاریخچه زمانی شتاب درکف مدل اعمال می گردد. در واقع کف مدل به عنوان سنگ بستر در نظر گرفته می شود. در این پژوهش جهت بررسی رفتار لرزه ای ریزشمع ها در تحلیل دینامیکی از مولفه $TAKARAZU_{090} (CUE)$ زلزله کوبه (KOBE 01/16/95) استفاده گردیده است [۱۹]. شتابنگاشت، تاریخچه زمانی سرعت و تغییر مکان مربوط به این زلزله در شکل (۵) نمایش داده شده است.



ج. تاریخچه زمانی تغییر مکان

ب. تاریخچه زمانی سرعت

الف. تاریخچه زمانی شتاب

شکل ۵: تاریخچه زمانی زلزله کوبه.

تحلیل دینامیکی

جهت بررسی اثر زاویه انحراف ریزشمع از ۵ زاویه انحراف مختلف برای ریزشمع ها استفاده شده است. این زوایا عبارتند از صفر، ۵، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه، که در حالت $\alpha = 0$ در واقع ریزشمع قائم است (α زاویه ریزشمع با محور قائم است که زاویه انحراف نامیده می شود). شکل (۲-ب) نمونه ای از مدل اجزای محدود ساخته شده در نرم افزار PLAXIS جهت انجام تحلیل دینامیکی بر روی ریزشمع ها نشان را می دهد.

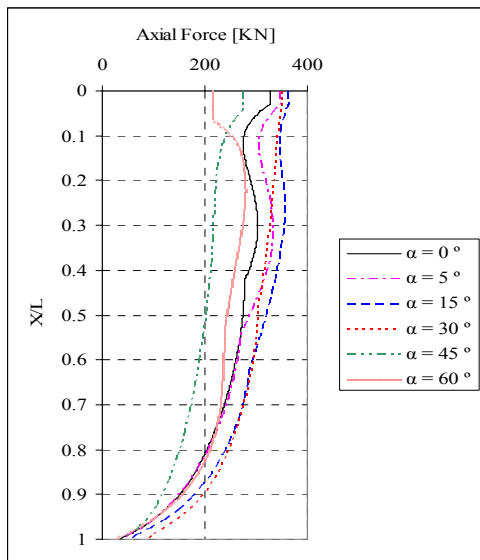
نمای شماتیک این مدل در شکل (۲-الف) ارائه شده است. در تمام زاویه انحراف ها ریزشمع ها دارای طول ۱۰ متر و اتصال صلب با پی می باشند. جرم روسازه ۲۰ تن و خاک مورد استفاده ماسه فونتنویلیو (FS) با مشخصات مندرج در جدول (۱) و بارگذاری لرزه ای زلزله کوبه (۱۹۹۵) می باشد.

نیروی محوری ریزشمع بر اساس نسبت فاصله از سر ریزشمع به طول آن $\left(\frac{x}{l}\right)$ در شکل های (۶) و (۷) ترسیم شده است.

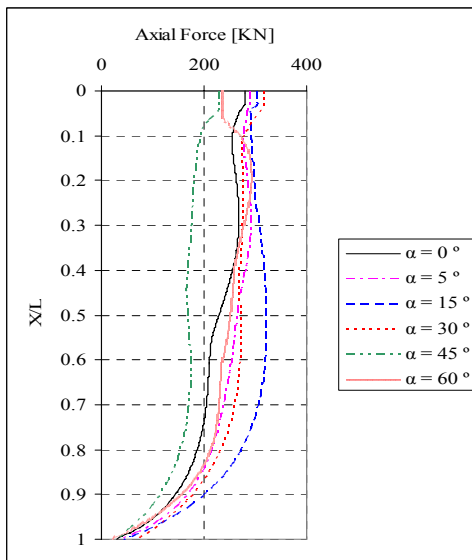
¹⁶ Single Degree Of Freedom

¹⁷ Absorbant Boundry

¹⁸ Lysmer and Kuhlmeyer

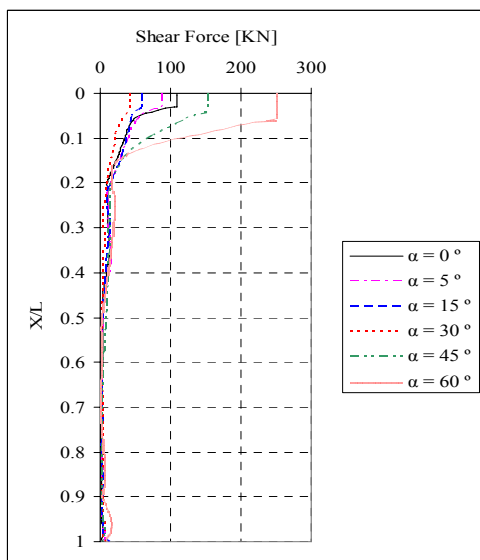


شکل ۷: پوش نیروی محوری ریزشمع راست

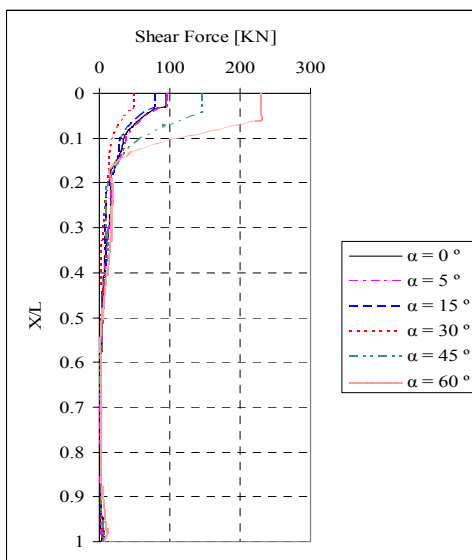


شکل ۶: پوش نیروی محوری ریزشمع چپ

بر اساس این منحنی ها میزان نیروی محوری حداکثر در محل اتصال ریزشمع با پی در ریزشمع های مایل بیشتر از ریزشمع های قائم است. با افزایش زاویه انحراف نسبت به قائم میزان این نیروی محوری افزایش می یابد. البته این افزایش تا زاویه انحراف ۴۵ درجه بوده و بعد از این زاویه، نیروی محوری کاهش می یابد که این موضوع را می توان ناشی از کاهش عملکرد ستونی ریزشمع دانست. با توجه به این نمودارها با افزایش زاویه انحراف ظرفیت باربری نوک نیز در ریزشمع ها افزایش می یابد که این موضوع نیز برای زاویه انحراف های کمتر از ۴۵ درجه صادق است. با افزایش زاویه انحراف ریزشمع ها نیروی برشی حداکثر که در محل اتصال ریزشمع با پی ایجاد می گردد، کاهش می یابد که این کاهش تا زاویه انحراف ۴۵ درجه اتفاق می افتد و برای زوایای ۴۵ و ۶۰ درجه نیروی برشی به شدت افزایش می یابد. پوش نیروی برشی حاصل از تحلیل دینامیکی در شکل های (۸) و (۹) نشان داده شده است.

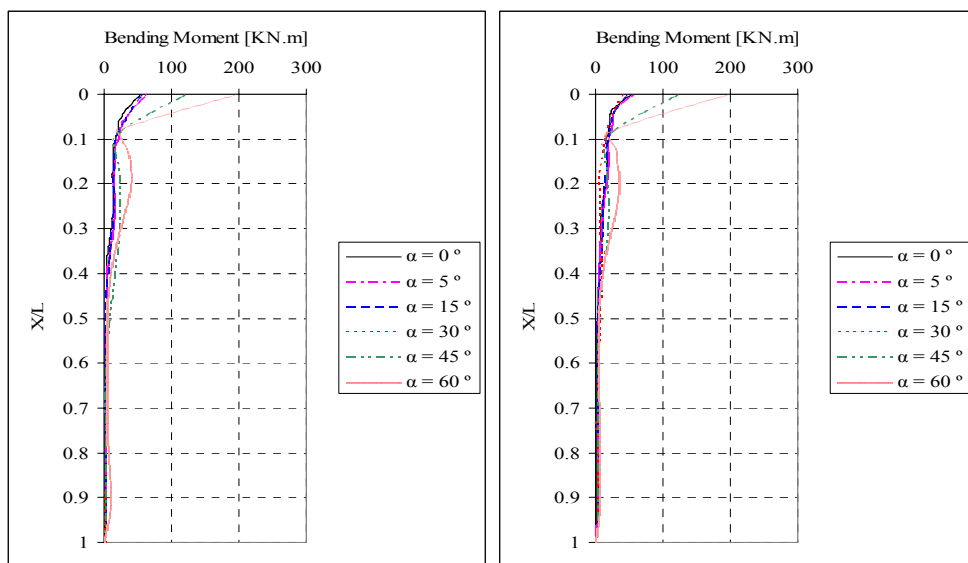


شکل ۹: پوش نیروی برشی ریزشمع راست



شکل ۸: پوش نیروی برشی ریزشمع چپ

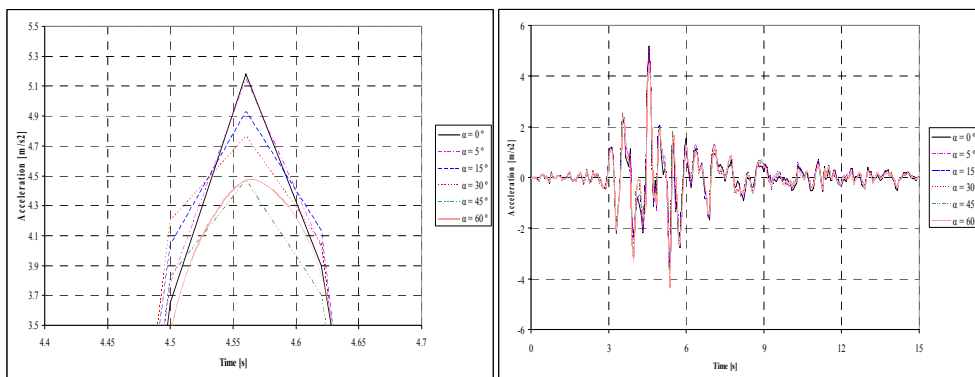
نکته قابل توجه در این دو نمودار این است که نیروی برشی در عمق $\frac{x}{l} \geq 0.5$ به مقدار تقریباً ثابت و اندک ۵٪ نیروی برشی حداکثر در محل اتصال با پی کاهش یابد. تغییرات نیروی برشی در $\frac{x}{l} \leq 0.2$ زیاد بوده و نیروی برشی به شدت افزایش می یابد. در پای ریزشمع و تقریباً در $\frac{x}{l} \geq 0.9$ نیروی برشی به آرامی شروع به افزایش می کند. پوش لنگر خمشی را ریزشمع های چپ و راست در شکل های (۱۰) و (۱۱) ارائه شده است.



شکل ۱۰: پوش لنگر خمشی ریزشمع چپ

شکل ۱۱: پوش لنگر خمشی ریزشمع راست

لنگر خمشی حداکثر در محل اتصال ریزشمع با پی اتفاق می افتد. وقوع بیشینه نیروی برشی و لنگر خمشی در سر ریزشمع بیانگر اثر زیاد نیروهای اینرسی بر پاسخ ریزشمع است. مقدار لنگر خمشی ریزشمع با افزایش زاویه انحراف کاهش می یابد، کاهش لنگر خمشی در ریزشمع های مایل نسبت بر ریزشمع های قائم هم به دلیل تغییر زاویه انحراف و هم به دلیل کاهش شتاب پاسخ پی می باشد. البته کاهش لنگر خمشی تا زاویه ۴۵ درجه اتفاق می افتد و در زاویه ۴۵ و ۶۰ درجه میزان لنگر خمشی به شدت افزایش می یابد می توان گفت با تغییر زاویه از ۳۰ درجه به ۴۵ درجه میزان لنگر خمشی در پی حدود ۲/۵ برابر افزایش می یابد و این مقدار در زاویه ۶۰ درجه به پنج برابر می رسد، زیرا در زاویه انحراف های بزرگ ریزشمع از حالت المان باربر محوری خارج شده و تا حد زیادی بصورت تیر خمشی عمل می کند. نرخ کاهش لنگر خمشی با افزایش عمق تقریباً در عمق $\frac{x}{l} \leq 0.1$ زیاد است و پس از این عمق دچار یک افزایش و سپس کاهش در مورد زوایای ۴۵ و ۶۰ درجه می شود و در زوایای صفر تا ۳۰ درجه به مقدار تقریباً یکنواختی در مورد زاویه انحراف های مختلف همگرا می گردد. نکته قابل توجه اینکه لنگر خمشی در پای ریزشمع در تمامی موارد صفر می باشد. این بدان معنا است که در خاک هایی یا مقدار سختی مشابه ماسه های مورد استفاده در این پژوهش در پای ریزشمع گیرداری ایجاد نمی گردد. در شکل (۱۲) تاریخچه زمانی پاسخ شتاب در محل پی برای زوایای مختلف آورده شده است. حداکثر پاسخ شتاب افقی در محل پی در حال ریزشمع مایل کوچکتر از حالت ریزشمع قائم است. با افزایش زاویه انحراف ریزشمع از مقدار حداکثر پاسخ شتاب کاسته می شود. مقدار این کاهش در زاویه انحراف ۳۰ درجه نسبت به ریزشمع قائم حدود ۹٪ و برای زاویه انحراف ۶۰ درجه حدود ۱۶٪ می باشد با توجه به بارگذاری اعمال شده. حداکثر پاسخ شتاب در پی نسبت به بارگذاری زلزله در کف مدل دچار کاهش می گردد و این کاهش نیز با افزایش زاویه انحراف ریزشمع افزایش می یابد (شکل ۱۳).



شکل ۱۲: تاریخچه زمانی پاسخ شتاب افقی پی

شکل ۱۳: حداکثر پاسخ پاسخ شتاب افقی پی



نتیجه گیری

در این بخش نتایج حاصل از پژوهش انجام شده در مورد عملکرد لرزه ای ریزشمع ها ارائه می گردد.

- ۱- استفاده از ریز شمع های مایل در مناطق لرزه ای موجب افزایش نیروی محوری ریزشمع ، کاهش نیروی برشی و لنگر خمشی نسبت به ریزشمع های قائم می شود. با افزایش زاویه انحراف ریزشمع تا حدود زاویه ۴۵ درجه نیروی محوری افزایش و نیروی برشی و لنگر خمشی کاهش می یابد.
- ۲- استفاده از زاویه انحراف های بزرگ (حدود ۴۵ درجه و بیشتر) در اجرای ریزشمع ها باعث کاهش عملکرد ستونی ریزشمع و افزایش شدید نیروی برشی و لنگر خمشی می گردد .
- ۳- نیروی اینرسی روسازه اثر مهمی بر پاسخ ریزشمع تحت بارگذاری لرزه ای دارد و موجب ایجاد بیشینه نیروی برشی و لنگر خمشی در نزدیکی سر ریزشمع می شود.
- ۴- بیشینه پاسخ شتاب افقی پی ناشی از بارگذاری زلزله در ریزشمع های قائم بیشتر از ریزشمع های مایل است و با افزایش زاویه انحراف ریزشمع ها از میزان پاسخ شتاب بیشینه پی کاسته می شود.

مراجع

- 1.Gazetas, G. and Mylonakis, G. (1998). "Seismic soil-structure interaction: New evidence and emerging issues". ASCE Special Edition No.75 Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamic.
- 2.Berrill,J.B. , Christensen,S.A. , Keenan,R.J. and Okada,W.(1997). "Lateral-spreading loads on piled bridge foundation".Seismic Behavior of Ground and Geotechnical Structures, P.Seco e Pinto, Ed.,Balkema, pp. 173-183.
- 3.Bruce,D.A. , Juran,I. and Dimillio,A.F. (2001). "High capacity grouted micropiles:The state of practice in the United States". Proceedings of the 15th International Conference on Soil ,2001-Cambridge: Cambridge University Press.
- 4.Frank,R. (2006). "The French national project on micropiles".14th Prague Geotechnical Lecture,22nd Mg 2006.
- 5.Shu,Sh. (2005). "Sand state and performance analysis of micropiles".A thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering.
- 6.Sivakumar Babu,G.L. , Srinivasa Murthy ,B.R. , Murthy,D.S.N. and Nataraj,M.S. (2004). "Bearing capacity improvement using micropiles a case study". Doi 10.1061 /40713(2004)14,pp.692-699.
- 7.Anandarajah,A. (2000). "Fully-coupled analysis of a single pile founded in liquefiable sands". Proceedings of Sessions of Geo-Denver 2000 – Computer Simulation of Earthquake Effects, Geotechnical Special Publication No. 110, ASCE, pp. 117- 131.
- 8.Omine,K. , Ochiai,H. and Bolton,M.D. (1999).“Homogenization method for numerical analysis of improved ground with cement-treated columns”. Proceedings of the International Conference on Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization. A.A. Balkema, pp. 161-168. ISBN 9058091082.
- 9.Neves,M. , Mestat,Ph. , Frank,R. and Degny,E. (2001). "Research on the behavior of bored piles II. Finite element modelling". BL-231-055-G
- 10.Alsaleh,H. and Shahrouh,I. (2006). "Three –dimensional nonlinear finite -difference analysis for seismic soil-micropile-structure interaction- effects of nonlinearity of soil and micropile-soil interface". 4th International Flac Symposium on Numerical in Geomechanics-2006.
- 11.Dano,C. , Hicher,P.Y. and Tailliez,S. (2004). "Engineering properties of grouted sands".10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130 : 3(328).
- 12.Bath,K.J. (1982). "Finite element analysis in engineering analysis". Practice-Hall, New Jersey.
- 13.Wehnert,M. and Vermeer,P.A. (2004). "Numerical analyses of load tests on bored piles". Num 9th _25-27 August 2004, Ottawa, Canada.
- 14.Astenbroich,H. (2001). "Micropile reinforcement systems and corrosion protection". ADSC Micropile Seminar,Charlotte NC, November 13, 2001.
- 15.FHWA (2000). "Micropile design and construction guidelines". US Department of Transportation,Federal Highway Administration ,Priority Technologies Program, Implementational,manual,Publication No.FHWA - SA-97-070,June 2000.
- 16.Bruce,D.A. , Ingle,J.L. and Jones,M.R. (1985). "Recent Examples of Underpinnind using minipiles". Reprinted from The Second International Conference of Structural Faults and Repairs. 30 th April-2nd May 1985. Institution of Civil engineers,London.
- 17.Kramer,S.L. (2007). "Geotechnical Earthquake Engineering".A.C.E.Internationa pub.
- 18.Lysmer,J. and Kuhlmeyer,R.L. (1969). "Finite Dynamic Model for infinite media". ASCE J. of the Eng Mech.Div. p.859-877.
- 19.Peer Strong Motion Database,university of Berkeley.