

بررسی و مقایسه رفتار تک شمع و گروه شمع تحت اثر بار دینامیکی

مقاله پژوهشی

احمدرضا مظاهری، عضو هیأت علمی، گروه عمران، دانشگاه آیت الله العظمی بروجردی، بروجرد، ایران

شهاب حسن پور*، عضو هیأت علمی، گروه عمران، دانشگاه آیت الله العظمی بروجردی، بروجرد، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sh.hassanpour@abru.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰۲/۲۹ - پذیرش: ۹۹/۰۷/۱۵

صفحه ۲۴۵-۲۳۵

چکیده

در سازه‌های مهندسی و ساختمان‌های بزرگ به دلیل تنش زیاد ناشی از بار سازه و یا ظرفیت باربری ناکافی خاک، استفاده از شمع در زیر پی سطحی توصیه می‌گردد. رفتار شمع‌ها در بارگذاری‌های مختلف به خصوص بارگذاری لرزه‌ای یک مسئله مهم است که توسط محققین مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. شمع‌ها به صورت تک شمع یا گروه شمع می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند و رفتار آنها در خصوص انتقال نیروی و جابجایی مورد ارزیابی قرار گیرد. از اینرو در این تحقیق به بررسی و مقایسه رفتار تک شمع و گروه شمع معادل آن (به لحاظ میزان آرماتور، حجم بتن ریزی با تک شمع برابر است) پرداخته شده است. در این بررسی تک شمع و گروه شمع تحت اثر بارگذاری قائم یکسانی قرار گرفته‌اند و سپس نیروی دینامیکی سه زلزله طیس، بم و لوماپریتا بر آنها اعمال گردیده است. سپس نشست، جابجایی و نیروهای ایجاد شده در آنها با هم مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد نشست گروه شمع در مقابل تک شمع در حدود ۳۰ درصد کاهش می‌یابد، اما نسبت نیروی برشی در آنها تقریباً برابر یک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تک شمع، گروه شمع، بار دینامیکی

۱-مقدمه

متفاوت است و بر تغییرات ظرفیت نهایی اثر می‌گذارد. در سال‌های اخیر بررسی رفتار تک شمع و گروه شمع مورد توجه تعداد زیادی از محققین قرار گرفته است. این تحقیقات را می‌توان به مطالعات آزمایشگاهی، بررسی رفتار شمع نصب شده در محل، مطالعات تحلیلی و نرم افزاری تقسیم‌بندی نمود. تعدادی از محققین رفتار تک شمع و گروه شمع را با استفاده از آزمایش بارگذاری درجای شمع مورد بررسی قرار داده‌اند (Kay J 1978، Baecher and Rackwitz, 1982)، Zhang et al 2004، Zhang et al 2014، Zhang et al 2006) آزمایشات بارگذاری شمع برای اصلاح طرح‌ها و تضمین کیفیت اجرا استفاده می‌شود، همچنین می‌تواند برای بررسی قابلیت اطمینان شمع‌ها و گروه‌های شمع مورد استفاده قرار گیرد (Oudah et al 2019). اثر متقابل لرزه‌ای ساختار خاک و شمع یک پدیده پیچیده است که می‌تواند به طور واضح پاسخ

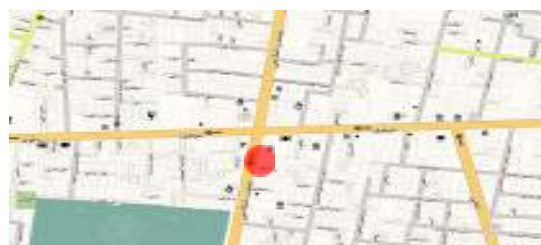
آسیب‌های شدید در طول زلزله‌های ویرانگر اخیر به ویژه زلزله‌های جی جی در سال ۱۹۹۹ و بوج هندوستان در سال ۲۰۰۱ باعث ایجاد فونداسیون‌های شمعی شده است. برای این امر نیاز توجه به رفتار غیرخطی خاک برای طراحی سازه‌های شمعی ضروری ارزیابی شده است و برای در نظر گرفتن رفتار غیرخطی خاک لازم است که تحلیل دینامیکی در حوزه زمان انجام شود. با این حال در طراحی و ساخت و ساز شمع‌های تکی و گروهی عدم قطعیت زیادی وجود دارد و پارامترهای ژئوتکنیکی در معرض خطاهای اندازه‌گیری و تغییرپذیری مکانی قرار دارند و به صورت یک نمونه کوچک از حجم کل در نظر گرفته می‌شود. بنابراین مدل‌های تحلیلی و عددی که مورد استفاده قرار می‌گیرند برای ساده سازی یک مدل پیچیده است. علاوه بر این فرآیند ساخت و ساز شمع به شمع

تنش برشی و جابجایی در تک شمع و گروه شمع اندازه گیری و مقایسه می‌گردد.

۲- پیشینه تحقیق

در احداث سازه‌هایی که وزن زیادی دارند و نیروی زیادی را به پی انتقال می‌دهند لازم است تمهیدات لازم جهت کنترل نیرو و نشست ناشی از آن اندیشیده شود. در طراحی‌هایی مهندسین، جهت کنترل ظرفیت باربری و نشست استفاده از شمع مرسوم است و مسئله‌ای که ممکن است در استفاده از شمع‌ها مطرح گردد، استفاده از تک شمع و یا گروه شمع معادل با آن می‌باشد. در این مقاله قصد بر آن است تا رفتار تک شمع و گروه شمع معادل آن (از لحاظ هزینه اجرا) تحت اثر بارهای دینامیکی مورد مقایسه قرار گیرد. برای این موضوع پروفیل خاکی ایستگاهی از خط ۷ متروی تهران در تقاطع خیابان مولوی و وحدت اسلامی مورد آزمایش قرار گرفته است. محدوده مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است. مشخصات خاک منطقه مورد مطالعه، ضخامت لایه‌های آن و مشخصات شمع بتنی مورد استفاده در این تحلیل در جدول ۱ نشان داده شده است.

سازه‌ها را در طول زلزله تحت تاثیر قرار دهد. به طور کلی تحقیقات قابل توجهی برای تجزیه و تحلیل دینامیکی مسئله اثر متقابل ساختار خاک و شمع گزارش شده است و بسیاری از نتایج ارزشمند در مهندسی کاربردی به دست آمده است. بیشتر مطالعات بر اساس این فرض که خاک در قسمت الاستیک خطی یا ویسکوالاستیک رفتار، و ساختارهای آن معمولاً به صورت یک توده بلوکی ساده یا یکسری از توده‌های جرمی در نظر گرفته شده است (Kaynia and Dobry R, 'Kausel 1982, Gazetas, 1984 Sharafkhan and Shooshpash 2018; '1988 Sen et al. 1985). در این مقاله به بررسی رفتار تک شمع و گروه شمع معادل آن تحت اثر بار لرزه ای پرداخته می‌شود. منظور از گروه شمع معادل همانطور که گفته شد این است که گروه شمع از لحاظ حجم بتن و آرماتور مصرفی برابر با تک شمع است. این بررسی به صورت نرم افزاری و با استفاده از نرم افزار آباکوس انجام شده است. شمع‌ها تحت اثر یک بارگذاری قائم مشخص قرار داده می‌شوند و سپس نیروی دینامیکی زلزله‌های طبس، بم و لوماپریتا بر آنها اعمال می‌گردد.



شکل ۱. محدوده مورد بررسی در این مقاله

جدول ۱. مشخصات لایه های خاک و بتن مورد استفاده در این تحقیق

نوع مصالح مخصوص	وزن	مدول الاستیسته	ضریب چسبندگی	زاویه اصطکاک	ضخامت
(kg/m ³)	(Mpa)	پواسون	(kPa)	(φ)	لایه (m)
بتن	۲۴۰۰	۲۶۸۴۵	۰/۱۵	-	-
لایه خاک ۱	۱۷۰۰	۳۵	۰/۳۵	۳۴	۶/۳۵
لایه خاک ۲	۱۹۰۰	۸۰	۰/۳	۳۳	۱۳
لایه خاک ۳	۱۸۶۰	۵۰	۰/۳۲	۲۸	۹/۳
لایه خاک ۴	۱۷۰۰	۳۵	۰/۳۵	۳۴	۱۴

مشخصات هندسی مدل عددی

برای ساخت هندسه مدل از مدلسازی سه بعدی استفاده گردیده تا بتوان شرایط واقعی تری از مسئله شبیه سازی شود. برای مدل نمودن شرایط واقعی و انتشار کامل امواج و اطمینان از عدم بازتابش آن مدل باید باید اندازه کافی بزرگ باشد. به همین منظور خاک اطراف شمع تا فاصله ۴۰ متری در عمق و ۲۰ متر طرفین شمع مدل گردیده است.

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می شود ۶ متر اول خاک ماسه ای با مقداری ریز دانه می باشد که با افزایش عمق بیشتر از ۶ متر چسبندگی خاک افزایش یافته و مقدار ریز دانه خاک بیشتر می گردد.

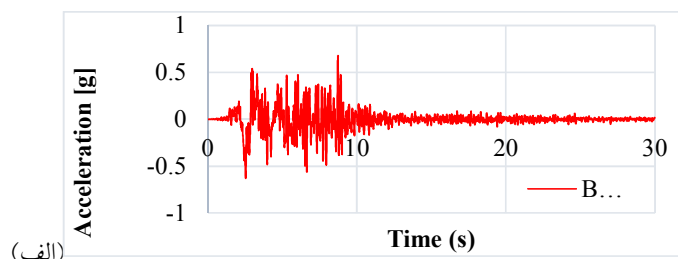
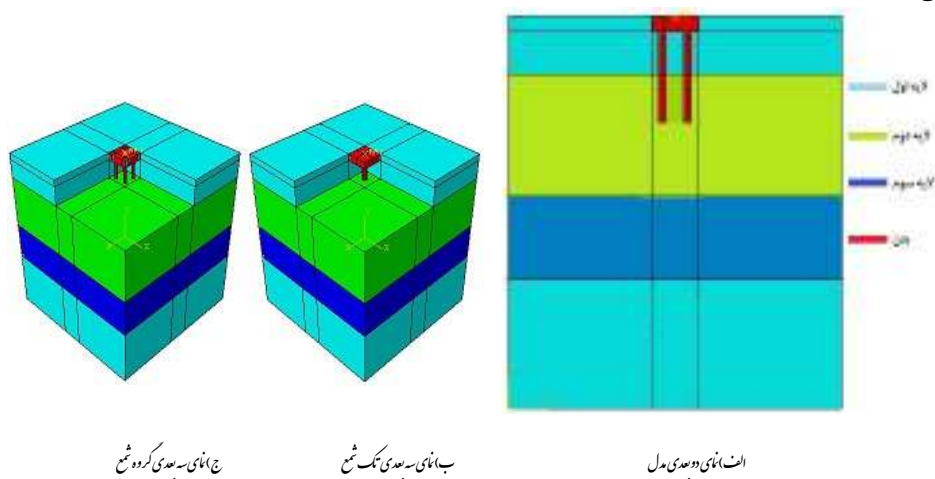
مدلسازی عددی

به منظور یک بررسی صحیح بایستی ابتدا یک مدل مناسب برای تحلیل ساخته شود، که شامل مشخصات مصالح و هندسی شمع و محیط اطراف خاک و همچنین تعیین الگوی بارگذاری مناسب می باشد.

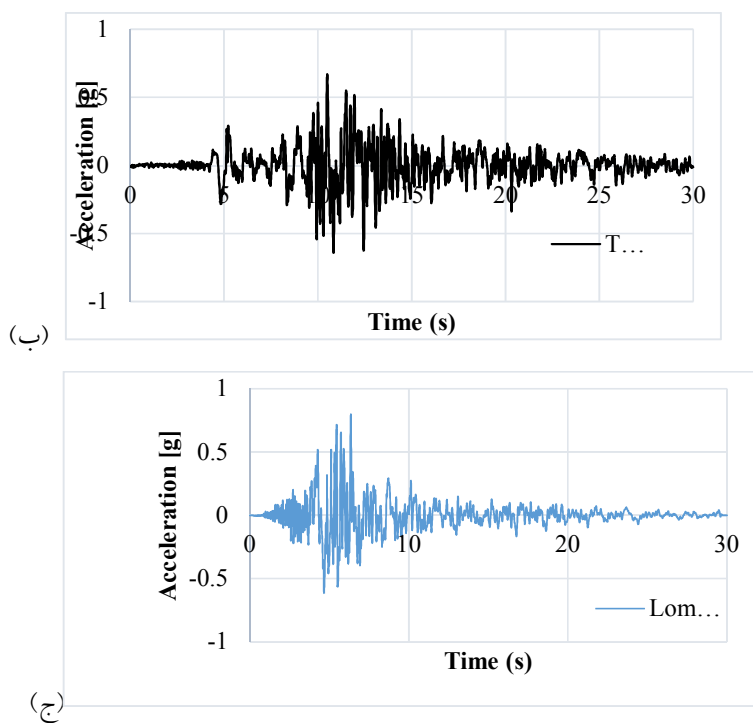
شرایط مرزی و مش بندی

قائم موجود بر روی سازه به صورت قائم اعمال شده است و در تحلیل دینامیکی یک تاریخچه زمانی شتاب نگاشت زلزله واقعی استفاده گردد. در بارگذاری زلزله از تاریخچه زمانی شتاب نگاشت لوماپریتا، منجیل و کوبا استفاده شده است. در شکل ۳ تاریخچه زمانی سه شتاب نگاشت بم، طیس و ... نشان داده شده است. در جدول ۲ شتاب نگاشت ها و شدت های شتاب نگاشت های استفاده شده در مطالعات پارامتری نشان داده شده است.

شرایط مرزی مرزهای غلتکی در سطوح عمودی مدل قرار گرفتند. همچنین یک شرایط مرزی گیردار یا ثابت در مرز پایین در لایه سنگ سخت و محکم فرض شده است. بارگذاری به صورت یک تک نیروی قائم و نیروی دینامیکی زلزله استفاده شده است. همچنین بار ناشی از ترافیک و بار مرده و وزن سازه روی شمع نیز به سرشمع ها وارد شده است مقدار این نیرو متمرکز برابر با ۶۰ تن می باشد که به صورت متمرکز در مرکز سطح سرشمع وارد شده است. نیروی ناشی از بار مرده و زنده



شکل ۲. مدل های ساخته شده در نرم افزار ABAQUS



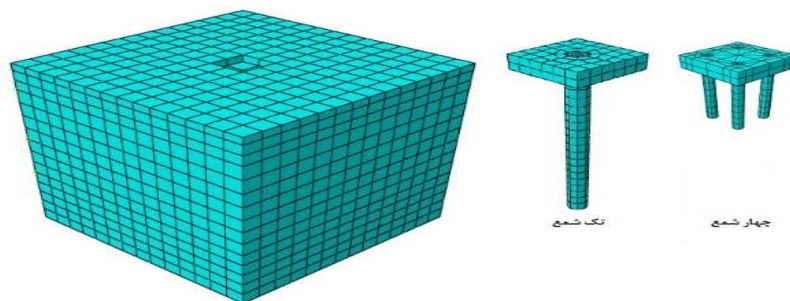
شکل ۳. تاریخچه زمانی شتاب نگاشت‌ها، الف) بم، ب) طبس و ج) لوماپریتا

جدول ۲. شتاب نگاشت‌ها و شدت‌های شتاب نگاشت‌ها

شدت شتاب نگاشت‌ها	شتاب نگاشت‌ها
۰/۶۸ گرم	بم
۰/۶۷ گرم	طبس
۰/۷۹ گرم	لوماپریتا

دقت تحلیل نوع مش‌بندی و اندازه آن می‌باشد. مش‌بندی استفاده شده در این مدل از نوع المان چهار گره‌ای منظم استفاده شده است که در شکل ۴ نشان داده شده است.

با توجه به بارگذاری و مصالح تعریف شده، روش حل Implicit در برنامه ABAQUS برای حل مسئله به کار رفته است. از جمله موارد تاثیرگذار در روند حل مسئله و همچنین



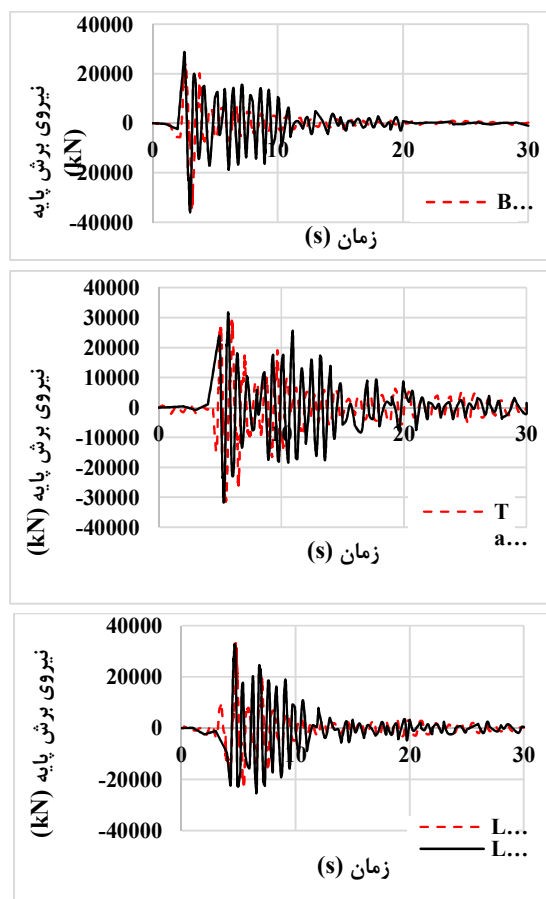
شکل ۴. مش بندی مدل ساخته شده

بحث و بررسی نتایج

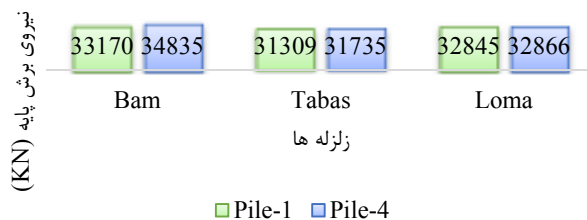
نیروی برش پایه در شمع‌ها

تک شمع میرا می‌گردد که احتمالاً به دلیل طول تک شمع و ایجاد صلبیت بیشتر در خاک می‌باشد. در شکل ۶ مقادیر نیروی برشی ایجاد شده در تک شمع و چهار شمع تحت اثر زلزله‌های مختلف نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است نسبت نیروی برشی در چهار شمع و تک شمع تقریباً برابر یک می‌باشد.

مقایسه نتایج نمودارهای تاریخچه زمانی نیروی برش پایه برای تک شمع و چهار شمع در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج حاصل از ارتعاشات ناشی از زلزله‌ها نشان می‌دهد که باعث ایجاد نیروی برش پایه تقریباً برابری در تک شمع و چهار شمع ایجاد می‌شود اما ارتعاشات ناشی از نیروی برش پایه چهار شمع نسبتاً با دوره تناوب بیشتر می‌باشد و دیرتر از



شکل ۵. مقایسه نمودارهای نیروی برش پایه تک شمع و چهار شمع

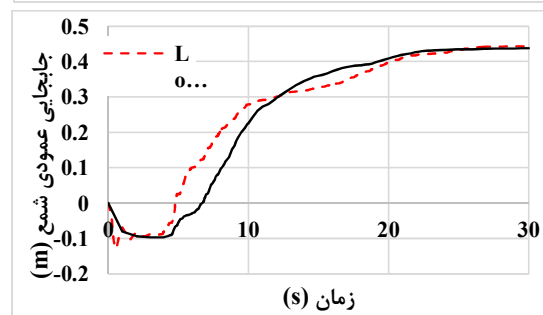
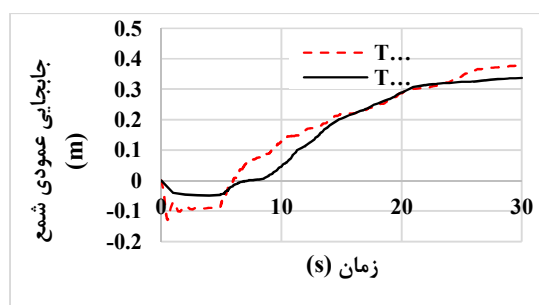
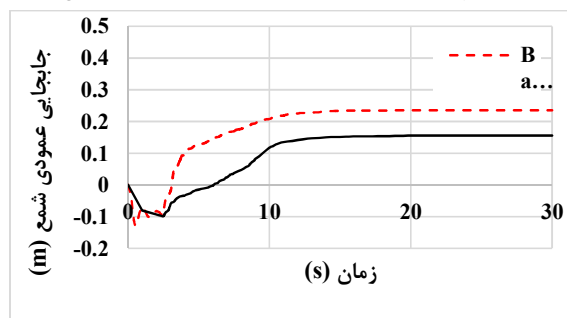


شکل ۶. نمودار نیروی برش پایه حداکثر تک شمع و گروه شمع

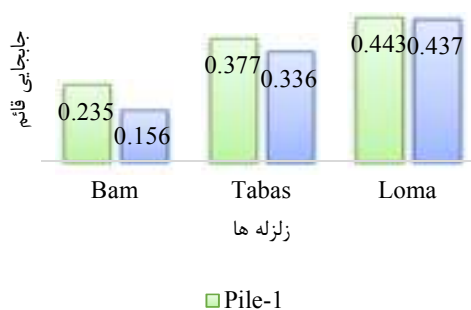
جابجایی قائم (نشست) شمع‌ها

نتایج کاهش نشست در چهار شمع نسبت به تک شمع را نشان می‌دهد. این کاهش در اثر زلزله بم برابر ۳۳٫۶٪، زلزله طبرس ۱۱٪ و برابر ۱٫۵٪ می‌باشد. نسبت جابجایی قائم حداکثر چهار شمع به تک شمع در اثر زلزله لوماپریتا به میزان ۱/۳۵٪ کاهش داشته است. نتایج حاصل از جابجایی تک شمع و چهار شمع در طول زمان اعمال نیروی دینامیکی در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج ناشی از بیشترین نشست در اثر اعمال بارهای دینامیکی در شکل ۸ نشان داده شده است.

نتایج کاهش نشست در چهار شمع نسبت به تک شمع را نشان می‌دهد. این کاهش در اثر زلزله بم برابر ۳۳٫۶٪، زلزله طبرس ۱۱٪ و برابر ۱٫۵٪ می‌باشد. نسبت جابجایی قائم حداکثر چهار شمع به تک شمع در اثر زلزله لوماپریتا به میزان



شکل ۷. مقایسه نمودارهای جابجایی قائم تک شمع و گروه شمع

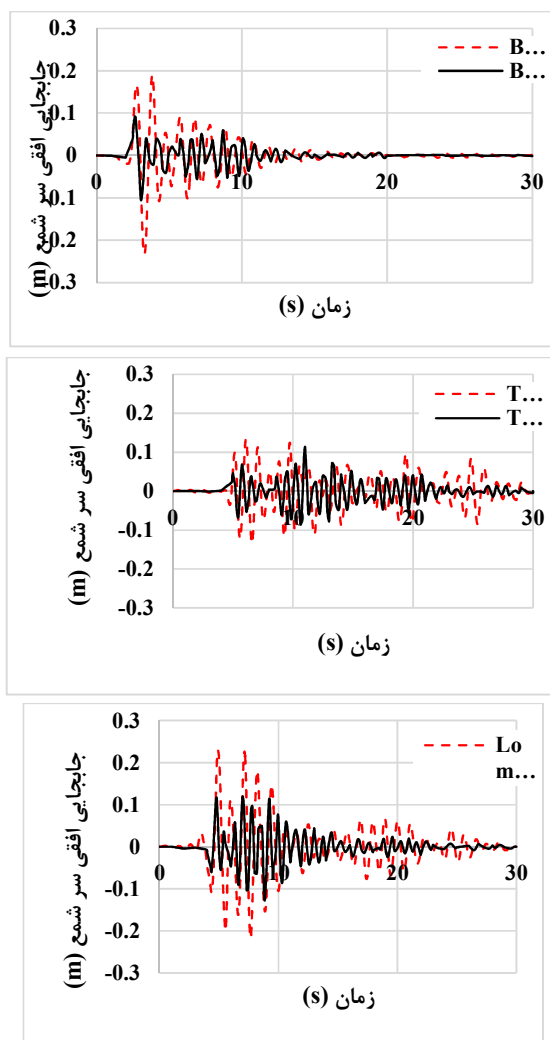


شکل ۸. نمودار جابجایی قائم حداکثر تک شمع و گروه شمع

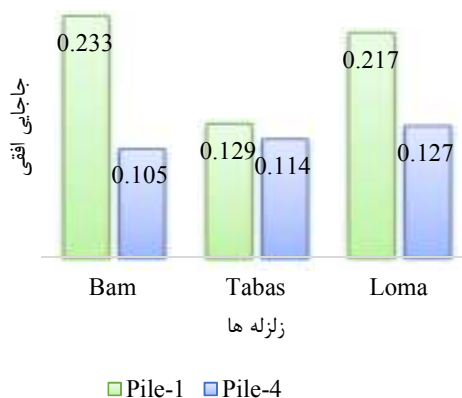
جابجایی افقی شمع‌ها

کاهش داشته است. نسبت جابه‌جایی افقی حداکثر چهار شمع به تک شمع در اثر زلزله طبس به میزان ۱۱/۶٪ کاهش داشته است. نسبت جابه‌جایی افقی حداکثر چهار شمع به تک شمع در اثر زلزله لوماپریتا به میزان ۴۱/۴۷٪ کاهش داشته است. این کاهش جابه‌جایی نشان دهنده این است که چهار شمع نسبت به تک شمع از پایدار بیشتر برخوردار می‌باشد.

نتایج حاصل از جابجایی افقی تک شمع و چهار شمع در طول زمان اعمال بار دینامیکی در شکل ۹ ارائه شده است. نتایج حاکی از کاهش میزان جابه‌جایی در چهار شمع به تک شمع می‌باشد. نتایج حاصل از مقایسه حداکثر جابجایی افقی تک شمع و چهار شمع در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نسبت جابه‌جایی افقی حداکثر چهار شمع به تک شمع در اثر زلزله بم به میزان ۵۵٪



شکل ۹. مقایسه نمودارهای جابجایی افقی تک شمع و چهار شمع

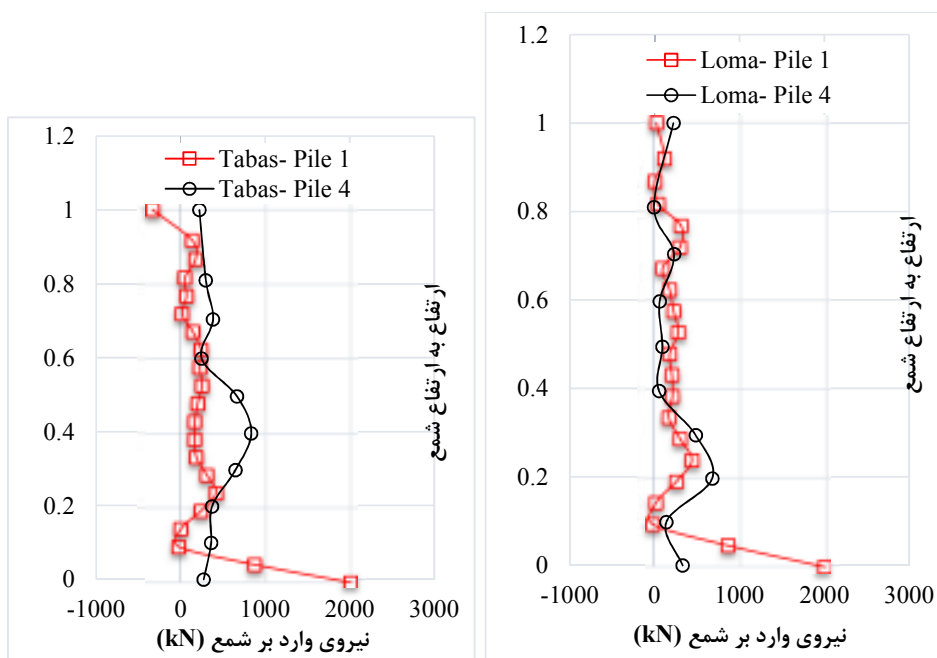


شکل ۱۰. نمودار جابجایی افقی حداکثر تک شمع و گروه شمع

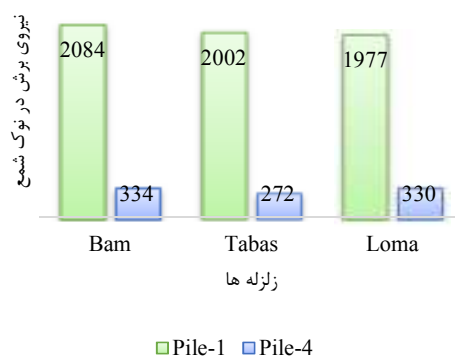
تغییرات نیروی برشی در ارتفاع شمع‌ها

ایجاد شده در نوک چهار شمع به تک اثر زلزله بم به میزان ۸۴٪ کاهش داشته است. نسبت نیروی برشی ایجاد شده در نوک چهار شمع به تک شمع در اثر زلزله طبس به میزان ۸۶٪ کاهش داشته است. نسبت نیروی برشی ایجاد شده در نوک چهار شمع به تک شمع در اثر زلزله لوماپریتا به میزان ۸۳٪ کاهش داشته است.

نتایج حاصل از تغییرات نیروی برشی در ارتفاع برای تک شمع و چهار شمع در شکل ۱۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات نیروی برشی در ارتفاع برای تک شمع به جز نوک شمع نیروی برشی کمتری نسبت به چهار شمع ایجاد می‌شود. نیروی برشی ایجاد شده در نوک چهار شمع و تک در شکل ۱۳ نشان داده شده است. نسبت نیروی برشی



شکل ۱۱. مقایسه نمودارهای نیروی برشی در ارتفاع تک شمع و چهار شمع



شکل ۱۲. نمودار نیروی برش نوک تک شمع و چهار شمع

۵- نتیجه گیری

بررسی نتایج نشان داد که به دلیل طول تک شمع و صلیبیت محوری آن در خاک ارتعاشات ناشی از نیروی برشی پایه در چهار شمع معادل دارای دوره تناوب بیشتری می باشد و دیرتر از تک شمع میرا می گردد. همچنین نیروی برشی در ارتفاع در شمع تک نسبت به چهار شمع معادل به جزء نوک شمع بیشتر است که به خاطر عدم وجود صفحه دال مانند سر شمع نیروی برشی بیشتری در نوک شمع تجمع دارد. همانطور که در اشکال ۷ و ۸ مشاهده می شود شمع ها در طول زلزله لوماپریتا به دلیل شدت شتاب نگاشت بالا دارای جابه جایی قائم بیشتری در طول زمان زلزله می باشند اما در زلزله بم به دلیل شدت شتاب نگاشت کمتر، دارای جابجایی قائم کمتری است و نیز نسبت جابه جایی قائم حداکثر چهار شمع به تک شمع در زلزله بم دارای کاهش ۳۳/۶ درصدی می باشد که نسبت به بقیه شتاب نگاشت ها دارای میزان کاهش بیشتری می باشد. جابه جایی افقی در چهار شمع نسبت به تک شمع میزان کمتری دارد و یکی از دلایل آن می توان به صلیبیت بیشتر در جهت افقی نسبت به تک شمع اشاره کرد که همین امر سبب مقاومت مجموعه شمع در برابر نیروی افقی حاصل از زلزله می باشد.

۶- مراجع

-موسسه مهندسی مشاور ساحل، (۱۳۸۹)، "گزارش مطالعات ژئوتکنیک ایستگاه های خط ۷ متروی تهران".

Baecher. G.B. Rackwitz. R., (1982), "Factors of safety and pile load tests", Int J Numer Anal Meth Geomech, 6(4), pp.409-424.

Brian. B. Sheil. A, Bryan, A. McCabe.,(2016), "An analytical approach for the prediction of single pile and pile group behaviour in clay", Computers and Geotechnics 75, pp.145-158.

-Dobry. R. Gazetas G., (1988), "Simple method for dynamic stiffness and damping of floating pile groups". Geotechnique, 38.

-Farouk Elhakim. A. Abd AllahEl Khouly. M. (2016), "Three dimensional modeling of laterally loaded pile groups resting in sand", HBRC Journal No.12, pp.78-87.

-Fathi M. Abdrabbo.A. Naema. A. Ali, (2015), "Behavior of single pile in consolidating soil. Alexandria Engineering Journal, Vol.54, No. 3. Pp.481-495.

-Gazetas. G. (1984), "Seismic response of end-bearing single piles". Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 3(2), pp.82-93.

-Huang J. Kelly. R. Li. D. Ghau. Ch., (2016), "Updating reliability of single piles and pile groups by load tests", Computers and Geotechnics; 73, pp.221-230.

- Zhang J, Li JP, Zhang LM, Huang HW., (2014), "Calibrating cross-site variability for reliability-based design of pile foundations", *Comput Geotech*, 62, pp64-153.
- Zhang. L., (2004), "Reliability verification using proof pile load tests", *J Geotech Geoenviron Eng*. 130, (11), pp.1203-1213.
- Zhang. L. Li D. Tang. W., (2006), "Level of construction control and safety of driven piles", *Soils Found*, 46(4), pp.415-25.
- Zhang. L. Tang W, Ng C., (2001), "Reliability of axially loaded driven pile groups", *J Geotech Geoenviron Eng*, 127 (12), pp.1051-1060.
- Zhang. L.M. Li D. Q. Tang W. H. (۲۰۰۵) "Reliability of bored pile foundations considering bias in failure criteria", *Can Geotech J.*, pp.93-1086.
- Zhang. L.M. Zhang J. Tang W. H., (2010), "Expected design factor of safety from a pile load test program", *Geo Florida*, pp.1972-1995.
- Khaled E., Gaaver, (2013), "Uplift capacity of single piles and pile groups embedded in cohesion less soil" *Alexandria Engineering Journal* No. 52, pp.365–372.
- Kay. J. N., (1978), "Safety factor evaluation for single piles in sand, *J Geotech Eng Div-Asce* 104, (1), pp.148-149.
- Kaynia. A. M. Kausel E., (1982), "Dynamic behavior of pile groups". *Proceedings of 2nd International Conference on Numerical Methods in Offshore Piling*, Austin, Texas.
- Khaled E., Gaaver, (2013), "Uplift capacity of single piles and pile groups embedded in cohesion less soil" *Alexandria Engineering Journal* No. 52, pp.365–372.
- Oudah. F. HeshamEl Naggar. M. Norlander. G. (2019), "Unified system reliability approach for single and group pile foundations – Theory and resistance factor calibration" *Computers and Geotechnics*. Vol. 108. PP 173-182.
- Rahmani, A. and Pak, A., (2012), "Dynamic behavior of pile foundations under cyclic loading in liquefiable soils", *Computers and Geotechnics*, 40 ,pp.114-126.
- Sen. R. Davis. T. G. Banerjee P. K. (1985), "Dynamic analysis of piles and pile groups embedded in homogenous soils". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 13(1), pp. 53-65.
- Sharafkhah. M. Shooshpasha. I., (2018), "Physical modeling of behaviors of cast-in-place concrete piled raft compared to free-standing pile group in sand" *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Vol. 10. No. 4, pp. 703-716.

The Investigation and Examination of Single Pile and Pile Group under Seismic Loading

Ahmadreza Mazaheri, Faculty Member, Department of Civil Engineering, Ayatollah Borujerdi University, Iran.

Shahab Hassanpour, Faculty Member, Department of Civil Engineering, Ayatollah Borujerdi University, Iran.

Email: shahab.hassanpour@gmail.com

Received: June 2020-Accepted: November 2020

ABSTRACT

One of the important lateral forces is dynamic loading due to earthquake. The behavior of pile foundations under earthquake loading is an important issue that widely affects the performance of structures. The topic of seismic pile behavior has been covered extensively in the literature over the past few decades. In this paper the behavior of single pile and pile group have been examined. Pile group has four piles and rebar and concrete weight in pile group is equal to single pile in this research. The single pile and pile group are analyzed under Tabas, Bam and Loma-perita earthquakes loading. The finite element software, ABAQUS, is utilized to model pile and piles group. Soil is modeled as an elastic-perfectly plastic model using the Mohr–Coulomb constitutive model. The side boundaries are constrained against horizontal direction and the bottom boundaries are constrained against both horizontal and vertical directions. Maximum shear force, lateral displacement and force along the pile in single pile and pile group, under the earthquake loading that mentioned above, have been measured. The results are shown the settlement in pile group is around 30 percent less than single pile and the lateral displacement in the head of single pile is 0.23 meter but the lateral displacement in group pile is 0.1 meter in Bam earthquake loading. The shear force in the head of single pile is 2084 kN and the shear force in head of the pile in pile group is 334 KN. Taking into account soil condition, the results shown that utilize the pile group (equal rebar and concrete weight by single pile) is better and more economic than single pile.

Keywords: Single Pile, Pile Group, Earthquake Loading, ABAQUS Software, Seismic Behavior