



## بررسی عددی تاثیر مجموعه پی گسترده و شمع بر طراحی سازه‌ها در برابر زلزله (مطالعه موردی)

مهندس مریم حقین

کارشناس ارشد مهندسی عمران، گرایش مکانیک خاک و پی

دکتر نادر هاتف

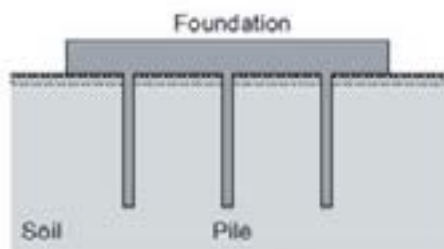
استاد بخش مهندسی راه و ساختمان، دانشگاه شیراز

### چکیده:

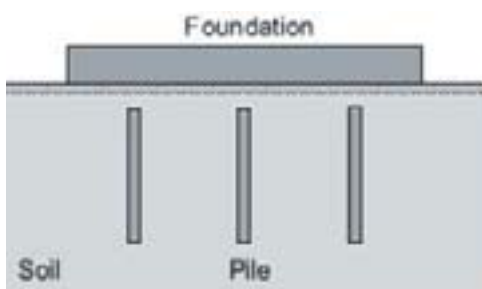
به دنبال افزایش ساخت و ساز ساختمان‌های بلندمرتبه و لزوم استفاده از زمین بدون توجه به مناسب بودن خاک، استفاده از پی‌هایی که در برابر بارهای سنگین و نشست پذیری خاک بهتر رفتار کنند، اهمیت خاصی پیدا کرده است. از جمله این نوع پی‌ها، مجموعه پی گسترده و شمع می‌باشد که تاکنون هزینه بالای اجرای این نوع پی‌ها از فراگیر شدن آن جلوگیری نموده است. از طرف دیگر معمولاً در طراحی سازه‌ای، میزان تاثیر مجموعه این نوع پی و خاک زیر آن بر نیروی زلزله وارده بر سازه، به حساب نمی‌آید. در این تحقیق اثر این نوع پی بر رفتار سازه تحت بار زلزله برای چند مورد خاص بررسی گردیده است. همچنین در این مقاله میزان تاثیر انواع مختلف این نوع پی از نظر نوع اتصال شمع به پی و طول شمع و... بر نیروی زلزله منتقل شده به سازه با به کارگیری روش عددی به طور دقیق مورد بررسی قرار گرفته است. و با شرایط پی گسترده بدون شمع مقایسه شده است، نتایج نشان دادند که با منظور کردن تاثیر این موارد در رفتار واقعی این پی‌ها، تاثیر این موارد بر شتاب منتقل شده به سازه مدنظر قرار می‌گیرند، و استفاده از این نوع پی‌ها باعث کاهش نیروی زلزله وارده بر سازه می‌گردد. در نتیجه با سبک تر شدن مقاطع سازه‌ای، هزینه بالای حاصل از اجرای این پی‌ها قابل توجیه می‌گردد.

کلید واژه‌ها: پی گسترده، شمع، طراحی سازه‌ای، زلزله، عددی

این امر، پیچیده بودن رفتار این پی‌ها در اثر اندرکنش‌های مختلف، در طی زلزله می‌باشد. با این حال در سال‌های اخیر مطالعاتی در زمینه رفتار این پی‌ها در هنگام وقوع زلزله انجام شده است. [۷] این مطالعات بیشتر در جهت شناخت رفتار این پی‌ها در زلزله و یافتن روش‌هایی در جهت کاهش احتمال گسیختگی این پی‌ها می‌باشد. طبق نتایج این مطالعات از آنجا که به‌طور معمول در این پی‌ها شمع به صورت گیردار به پی گسترده متصل می‌شود. این نوع اتصال باعث افزایش قابل توجه تنش‌های وارد بر شمع و همچنین افزایش احتمال گسیختگی شمع در هنگام زلزله می‌گردد [۷].



شکل ۱: مجموعه پی گسترده و شمع



شکل ۲: مجموعه شمع و پی گسترده (شمع از پی جدا است)

بنابراین در جهت کاهش این خطرهای روش‌هایی پیشنهاد شده است [۳]، [۹]. از جمله این روش‌ها استفاده از اتصال مفصلی و همچنین استفاده از شمع‌های غیر پیوسته به پی گسترده می‌باشد. نتایج نشان داده است که شتاب منتقل شده به سازه در هنگام زلزله، در پی با شمع ناپیوسته از همه انواع این پی‌ها و همچنین از پی گسترده بدون شمع نیز کمتر است و با گیردار شدن اتصال شمع به پی، میزان شتاب منتقل شده افزایش می‌یابد. مطالعات آزمایشگاهی بر مجموعه پی گسترده و شمع‌های ناپیوسته به طور گسترده توسط Dong & Wong در سال ۲۰۰۴ انجام شده است [۹]. در این حالت این شمع‌ها به عنوان مسلح‌کننده خاک مطرح می‌شوند و دیگر عضو سازه‌ای به حساب نمی‌آیند. در واقع با این روش در جهت کاهش تعداد شمع و اجتناب از تنش محوری بالا در شمع گام برداشته می‌شود. باید یادآور شد که در این شمع‌ها، به علت عدم تماس به پی گسترده فقط ۸۰ درصد ظرفیت باربری شمع به کار گرفته می‌شود. همانطور که در مطالب

استفاده از مجموعه پی گسترده و شمع به عنوان یک پی مرکب، اغلب در جهت افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست‌پذیری به کار می‌رود. در واقع این نوع پی، مرکب از سه المان مقاومتی شمع، دال و خاک می‌باشد. اندرکنش این المان‌ها با یکدیگر باعث می‌شود که این نوع پی‌ها رفتار متفاوتی را از خود نشان دهند. امروزه در صورتی که ضعف خاک، لزوم استفاده از این پی‌ها را نشان دهد، میزان تاثیر این پی بر نیروی زلزله منتقل شده به سازه لحاظ نمی‌گردد و سازه بدون در نظر گرفتن نوع پی، طراحی شده، که در نتیجه استفاده از این پی هزینه بالایی خواهد داشت. از جمله مطالعات انجام شده در مورد این پی، تعیین نسبت بار وارده از سازه به شمع و پی گسترده می‌باشد [۴]، [۵]. در واقع با گذشت زمان ظرفیت باربری پی گسترده کاهش یافته و بار سازه به شمع منتقل می‌شود. این نوع رفتار در مورد خاک‌های نشست‌پذیر، از جمله رس بیشتر وجود دارد. میزان باربری شمع و پی گسترده، با تعیین نسبت سختی شمع به پی گسترده، از فرمولی که به وسیله (Hain & Lee ۱۹۷۸) به دست آمده است، بهتر درک می‌شود:

$$K_p = \frac{E_p}{E_s} \quad (1)$$

$$K_r = \frac{4E_r t_r B_r (1 - \mu^2)}{3\pi E_s L^4}$$

در روابط بالا

مدول الاستیسیته شمع:  $E_p$

مدول الاستیسیته پی گسترده:  $E_r$

مدول الاستیسیته خاک:  $E_s$

ضخامت پی گسترده:  $t_r$

عرض پی گسترده:  $B_r$

طول پی گسترده:  $L$

نسبت پواسون:  $\mu$

نسبت سختی شمع به خاک موجود:  $K_p$

نسبت سختی پی گسترده به خاک موجود:  $K_r$

از جمله افرادی که در مورد این نوع پی مطالعاتی انجام دادند: [۸] Prokoso و [۶] Cunha & Polous و [۱] Zhang و [۲] Maharaja می‌باشند. لازم به ذکر است که اغلب این مطالعات در زمینه رفتار استاتیکی این پی‌ها بوده و به رفتار دینامیکی آنها کمتر پرداخته شده است. علت

انجام شده، در این تحقیق هدف تعیین عددی تاثیر انواع مختلف پی‌هایی که به صورت مجموعه پی گسترده و شمع هستند، بر نیروی زلزله منتقل شده به سازه و در نتیجه بر اقتصاد طرح می‌باشد.

## ۲- روش انجام تحقیق

هدف از این تحقیق دخالت دادن تاثیر استفاده از شمع به صورت عددی در طراحی لرزه‌ای سازه است. در واقع انواع مختلف پی‌های مرکب از پی گسترده و شمع، با شرایطی که از پی گسترده به تنهایی استفاده شده، مقایسه شده است. همانطور که قبلاً اشاره شد، روشی که به کار گرفته شده است عددی بوده و نرم‌افزار مورد استفاده PLAXIS می‌باشد. در واقع این نرم‌افزار، توانایی مدل کردن خاک با فرض مدل‌های مختلف و همچنین سازه را داشته، اندرکنش بین سازه و خاک را تحلیل می‌کند. نوع دینامیکی این نرم‌افزار برای آنالیز دینامیکی کاربرد دارد. و در انجام تحقیق حاضر نیز از نرم‌افزار دینامیکی PLAXIS استفاده شده است.

این تحقیق برای حالت خاص، مورد بررسی قرار گرفته است. سازه در نظر گرفته شده ۵ طبقه با دوره تناوب ۰/۵ ثانیه است و به صورت قاب خمشی مدل شده است. بر اساس این دوره تناوب، سختی تیر و ستون‌ها و بارگذاری تعیین می‌شود. خاکی که مدل شده است رس ضعیف می‌باشد، که خصوصیات مقاومتی آن به صورت زیر است:

$$C=0.5 \text{ kg/cm}^2, E=2000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 10$$

به این ترتیب با ثابت در نظر گرفتن خاک و سازه، پی‌های مختلف مدل شده و بعد از انجام آنالیز نتایج مورد مقایسه قرار می‌گیرد. جهت آنالیز دینامیکی از شتاب‌نگاشت زلزله السنترو با شتاب مبنای طرح ۰/۳۵ استفاده شده است. البته باید ذکر کرد، که هدف این تحقیق مقایسه نتایج بوده و در شرایط واقعی با توجه به ویژگی‌های محل مورد نظر و زلزله‌های آن منطقه، سازه و خاک مدل شده را برای زلزله‌های مربوطه مورد آنالیز قرار داده و با استفاده از روش‌های آماری جواب دقیق به دست می‌آید.

پی‌هایی که در این تحقیق مقایسه شده است به شرح زیر می‌باشد:

(۱) پی گسترده بدون وجود شمع: این نوع پی جهت انجام مقایسه با سایر پی‌ها و تعیین میزان تغییر نیروی زلزله در سایر پی‌ها نسبت به این حالت مورد آنالیز قرار گرفته است.

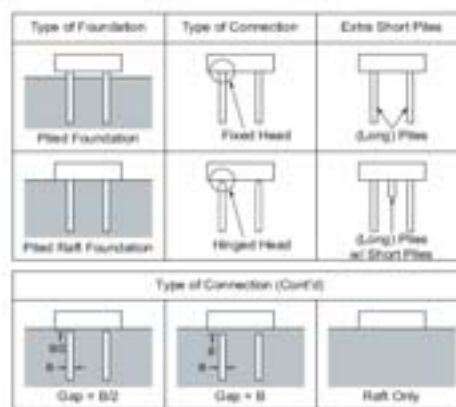
(۲) پی گسترده به همراه شمع با اتصال گیردار (نوک شمع به خاک با مقاومت بالا رسیده است).

(۳) پی گسترده به همراه شمع با اتصال گیردار (نوک شمع به خاک با مقاومت بالا نرسیده است).

(۴) پی گسترده به همراه شمع با اتصال گیردار:

قبل اشاره شد، یکی از مهمترین کاربرد این پی‌ها، در زلزله است. زیرا برخلاف این تصور که نیروی برشی زلزله به وسیله شمع‌ها که اتصال سازه‌ای با پی دارند جذب می‌شود، در واقع اصطکاک موجود در تراز پی گسترده و فشار خاک در پایه، به مقاومت در برابر بار جانبی کمک می‌کند. همچنین استفاده از این نوع پی‌ها احتمال گسیختگی شمع را کاهش می‌دهد.

نتیجه استفاده از پی‌های مذکور در همه انواع خاک‌ها یکسان نیست. و از آنجا که در این پی‌ها شمع از پی گسترده جدا می‌باشد و به عنوان مسلح‌کننده خاک عمل میکند، وجود خاک ماسه‌ای در حد فاصل شمع و پی گسترده در انتقال بار سازه به شمع و همچنین مقاومت سازه در برابر زلزله نقش مهمی دارد. بنابراین در صورتی که خاک موجود رس باشد. استفاده از ماسه در حد فاصل شمع و پی گسترده باعث افزایش توان باربری و مقاومت در برابر زلزله می‌شود. همچنین خصوصیات مقاومتی خاک از جمله چسبندگی و زاویه اصطکاک در نحوه پاسخ این پی‌ها تاثیر بسزا دارند [۳]. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که در این نوع پی برای به دست آوردن نتیجه قابل قبول، بهتر است فاصله بین شمع و پی گسترده از قطر شمع تجاوز نکند و هر چه این فاصله کمتر باشد، میزان تاثیر استفاده از این پی‌ها بیشتر می‌شود. همچنین در صورتی که خاک زمین از جنس رس باشد و در حد فاصل شمع و پی گسترده از خاک ماسه‌ای استفاده شود، ارتفاعی از شمع که در خاک ماسه‌ای قرار می‌گیرد، تاثیر قابل توجهی بر رفتار این پی می‌گذارد. و هر چه این ارتفاع بیشتر باشد، سازه در برابر زلزله مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد. البته باید توجه داشت که در صورتی که شمع حتی در حد فاصل خاک ماسه و رس قرار گیرد، این پی تا حد قابل توجهی در جهت افزایش باربری و مقاومت در برابر زلزله موثر خواهد بود. در سال ۱۹۹۸ Randolph، در تحقیق خود بیان کرد که تقریباً ۳۲ درصد بار سازه توسط شمع‌های جدا از پی حمل می‌شود. همچنین نتایج آزمایشگاهی نشان دادند که در این پی‌ها هر چه شمع‌ها در ۲۵ درصد مرکزی زیر پی بیشتر متمرکز شوند، در افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست نامتقارن تاثیر بیشتر دارند [۹]. با توجه به مطالعات



شکل ۳: حالت‌های مختلف شمع و پی گسترده [۷]

با توجه به مقادیر به دست آمده از نتایج، در جدول (۱) پی‌های مختلف با حالتی که پی گسترده بدون شمع وجود دارد، مورد مقایسه قرار گرفته است.

جدول ۲: نسبت شتاب حاصل از انواع مختلف مجموعه پی گسترده و شمع نسبت به حالت پی گسترده بدون شمع

نسبت شتاب‌ها	
A2/A1	0.58
A3/A1	0.64
A4/A1	0.84
A5/A1	0.77
A6/A1	0.53
A7/A1	0.51
A8/A1	1.1

لازم به ذکر است که شماره‌های موجود در جدول، مربوط به دسته‌بندی ۸ حالت گفته شده می‌باشد. به این ترتیب تاثیر پی‌های مختلف بر نیروی زلزله نشان داده شده است. نتایج به دست آمده به ترتیب زیر می‌باشد:

۱-۳-۱- مشاهده می‌شود که استفاده از این نوع پی در اغلب حالت‌ها (به جز یک حالت)، باعث می‌شود که شتاب زلزله نسبت به حالتی که از شمع استفاده نمی‌شود، کمتر گردد. لذا در طراحی لرزه‌ای سازه باید از این تاثیر استفاده شده و رفتار واقعی این پی‌ها در نظر گرفته شود.

۲-۳-۱- با توجه به نسبت‌های موجود در جدول نتیجه می‌شود، در شرایطی که شمع‌های مورد استفاده به پی گسترده متصل نباشند و سر شمع در قسمت ماسه‌ای قرار گرفته باشد، شتاب به نصف حالتی که از پی گسترده بدون شمع استفاده شده است می‌رسد. همچنین در صورتی که شمع جدا از پی باشد و سر شمع در حد فاصل دو خاک قرار گیرد، این مقدار اندکی بیشتر از نصف می‌شود. شایان ذکر است که وجود خاک ماسه‌ای در این شرایط اهمیت چشم‌گیری دارد. به طوری که در شرایطی که خاک رس به تنهایی باشد، یا به بیانی سر شمع در خاک ماسه‌ای نباشد، این نسبت به ۰/۷۷ می‌رسد.

۳-۳-۱- نتیجه دیگری که می‌توان به دست آورد این است که شتاب حاصل از شمع‌های غیر متصل به پی در خاک رسی ضعیف، در صورتی که طول شمع کوتاه بوده و به خاک با مقاومت کافی نرسد، با حالتی که از پی گسترده به تنهایی استفاده شود، تقریباً یکی می‌شود. و در واقع استفاده از این نوع پی در زمینه کاهش نیروی زلزله کاربردی نخواهد داشت. به این ترتیب در صورتی که زمین مورد نظر از جنس رس باشد، با قراردادن ماسه در فاصله بین شمع و پی گسترده

به طوری که طول شمع‌های داخلی نصف طول شمع‌های خارجی می‌باشد.

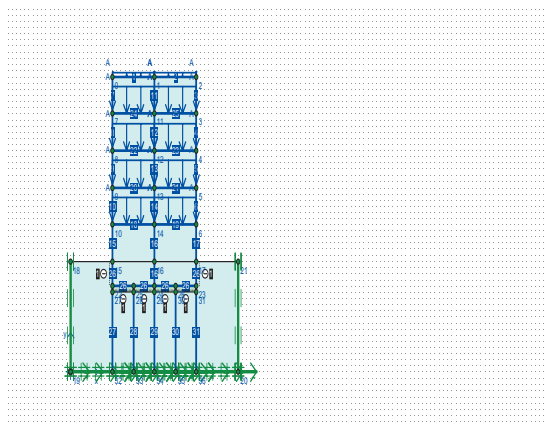
۵) پی گسترده به همراه شمع بدون اتصال به پی (فاصله شمع از پی نصف قطر شمع است و نوک شمع به خاک با مقاومت بالا رسیده است).

۶) پی گسترده به همراه شمع بدون اتصال به پی: (در حد فاصل شمع و پی از خاک ماسه استفاده شده و ابتدای شمع در حد فاصل خاک ماسه و رس قرار دارد).

۷) پی گسترده به همراه شمع بدون اتصال به پی: (در حد فاصل شمع و پی از خاک ماسه استفاده می‌شود و ابتدای شمع در نصف ارتفاع ماسه قرار دارد).

۸) پی گسترده به همراه شمع بدون اتصال به پی: (طول شمع نصف حالت (۵) است، به بیانی شمع به خاک با مقاومت بالا نرسیده است).

قطر شمعی که در برنامه مدل شده است برابر ۸۰ سانتیمتر بوده و فاصله شمع‌ها برابر ۲/۵ متر می‌باشد.



شکل ۴: مدل سازه به همراه شمع با اتصال گیردار

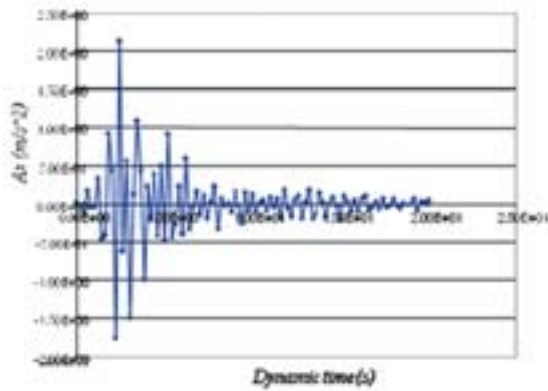
## ۲- نتایج به دست آمده از تحلیل

### ۱-۳- شتاب

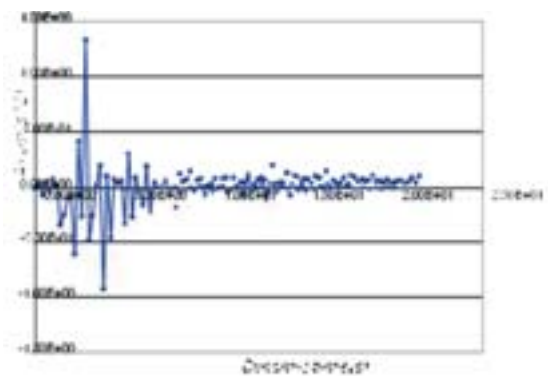
پس از مدل کردن پی‌های ذکر شده به طور جداگانه، نتایج آنالیز با هم مقایسه شد. مقایسه به این ترتیب است که ماکزیمم شتاب منتقل شده از خاک به سازه که در پی بررسی شده است، در هر کدام از حالت‌های گفته شده از خروجی برنامه به دست آمده و نسبت این نتایج به حالتی که از شمع استفاده نشده ارائه گردیده است (جدول ۱). تا به این ترتیب میزان تاثیر هر کدام از این پی‌ها بر نیروی زلزله وارد بر سازه مشخص شود، نمودارهای ۱ تا ۴.

همانطور که در نمودارهای ۱ تا ۴ که بخشی از نمودارهای به دست آمده از تحلیل می‌باشد، دیده می‌شود، مقادیر شتاب ماکزیمم وارد شده بر سازه، در هر نمودار نشان داده شده

تابستان ۱۳۸۷  
شماره ۵۷  
است.



نمودار (۳): نمودار شتاب-زمان (شمع به صورت گیردار به پی گسترده متصل شده است و طول شمع‌های داخلی نصف شمع‌های خارجی است)

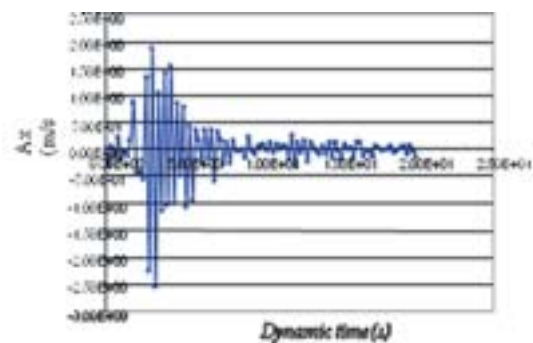


نمودار (۴): نمودار شتاب-زمان (شمع به پی گسترده متصل نمی‌باشد و سر شمع در نصف ضخامت ماسه قرار دارد)

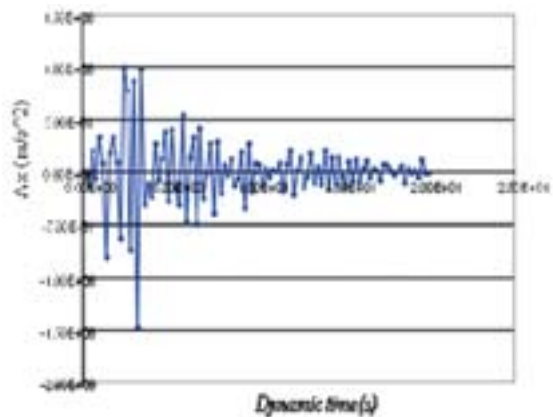
که معمولاً کمتر از  $0/5$  (ماکزیمم برابر نصف قطر شمع) متر است و اجرای سر شمع در خاک ماسه‌ای و همچنین در نظر گرفتن طول کافی برای شمع، تاثیر قابل توجهی در مقاومت پی و همچنین رفتار سازه در برابر زلزله ایجاد شده و در اقتصادی شدن طرح نیز نقش به سزایی ایفا می‌کند.

۳-۱-۴- همچنین همانطور که از نتایج مشخص شده است (جدول ۱)، در شرایطی که از شمع با اتصال گیردار (در حالتی که به خاک مقاوم نرسیده است) استفاده شود (نسبت برابر  $0/64$ )، نسبت شتاب ماکزیمم، از حالتی که شمع به خاک مقاوم رسیده است تا حدی بیشتر می‌شود (نسبت برابر  $0/58$ ).

۳-۱-۵- همچنین در صورتی که از شمع‌های داخلی کوتاه با نصف طول شمع‌های خارجی استفاده شود، نسبت شتاب ایجاد شده نسبت به حالتی که همه شمع‌ها بلند باشند، بیشتر می‌شود (نسبت برابر  $0/84$ ).



نمودار (۱): نمودار شتاب-زمان (پی گسترده بدون وجود شمع)



نمودار (۲): نمودار شتاب-زمان (شمع به صورت گیردار به پی گسترده متصل است و به خاک با مقاومت بالا رسیده است)

### ۳-۲- خمش و نیروی محوری شمع

جهت انجام مقایسه اقتصادی، خمش و نیروی محوری ایجاد شده در شمع، در پی‌های مختلف مورد مقایسه قرار می‌گیرد:

۱) شمع با اتصال گیردار متصل به پی گسترده: در شمع خارجی خمش ایجاد شده برابر  $1160 \text{ KN-m/m}$  و نیروی محوری  $641 \text{ KN/m}$  و در شمع داخلی خمش  $59 \text{ KN-m/m}$  و نیروی محوری  $387 \text{ KN/m}$  می‌شود.

۲) در شرایطی که شمع بدون اتصال به پی قرار دارد، خمش ایجاد شده در شمع خارجی  $375 \text{ KN-m/m}$ ، نیروی محوری  $332 \text{ KN/m}$  و در شمع داخلی خمش  $72 \text{ KN-m/m}$  و نیروی محوری  $400 \text{ KN/m}$  می‌شود.

۳) در شرایطی که شمع بدون اتصال به پی گسترده قرار داشته و در حد فاصل شمع و پی، ماسه وجود دارد، خمش و نیروی محوری با حالت (۲) تقریباً یکی است.

### ۴- نتیجه‌گیری

به این ترتیب با توجه به نتایج حاصل، در صورت استفاده

تابستان ۱۳۸۷  
شماره ۵۷

- [2]- D.K.Maharaja; "Behavior of Axisymmetric Piled Raft Foundation on Elastoplastic Soil", *International Conference on Modern trends in foundation Engineering Geotechnical challenges and solutions, organized by IIT Madras Chennai, January 2004*(posted on website).
- [3]- F.M.Abdrabbo; H.M.Abouseeda; K.E.Gaaver; "Performance of Raft With Pile Settlement Reducers", *Department of Structural Engineering, Faculty of Engineering, Alexandria University, P.O. Box 21544, Egypt, 2004*
- [4]- O.Reul; "Numerical Study of the Bearing Behavior of Piled Rafts", *International journal of geo mechanics, Vol 4, No. 2, 59-68, June 2004.*
- [5]- O.Reul; F.Randolph; "Design Strategies for Piled Rafts Subjected to Non uniform Vertical Loading", *journal of geotechnical and geo environmental Engineering, Vol 130, Issue 1, 1-13, 2004.*
- [6]- R.P.Cunha; H.G.Poulos; J.C.Small; "Investigation of Design Alternatives for a Piled Raft Case History", *journal of geotechnical and geoenvironmental Engineering, Vol 127, 635-641, 2001.*
- [7]- S.Nakai; H.Kato; R.Ishidia; M.Nagata; "Load Bearing Mechanism of Piled Raft Foundation during Earthquake", *Proceeding Third UJNR Workshop on Soil-Structure Interaction, MenloPark California USA, March 2004.*
- [8]- W.Prakoso; "Contribution to piled raft foundation design", *journal of geotechnical and geo environmental Engineering, ASCE, Vol 127, No. 1, 17-24, 2001.*
- [9]- X.Dong; I.Wong; M.Chang; "Behavior of Model Rafts Resting on Pile-Reinforced Sand", *journal of geotechnical and geoenvironmental Engineering, Vol 130, Issue 2, 129-138, February 2004.*

از هر کدام از پی‌های ذکر شده، با توجه به خصوصیات سازه و خاک مورد نظر، می‌توان تاثیر پی‌ها را در کاهش نیروی زلزله به دست آورد. همچنین همانطور که اشاره شد، انتخاب نوع اتصال شمع به پی، بر میزان نیروی منتقل شده به شمع در طراحی و احتمال گسیختگی در شمع تاثیری قابل توجه دارد. در حالت کلی با در نظر گرفتن بار وارد شده از سازه و شرایط خارجی در صورتی که امکان استفاده از شمع به عنوان مسلح کننده خاک (ناپیوسته به پی گسترده) وجود داشته باشد، مشاهده می‌شود که در این حالت با رعایت ضوابط در اجرای این دسته پی‌ها، شتاب وارده به سازه، به نصف حالتی که از پی گسترده به تنهایی استفاده شده باشد، می‌رسد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که خمش و نیروی محوری وارد بر شمع نیز کاهش یافته و در نتیجه طرح توجیه اقتصادی بیشتری پیدا می‌کند. بنابراین علاوه بر اینکه استفاده از این نوع پی می‌تواند بر ظرفیت باربری و نشست تاثیر مثبت داشته باشد، می‌تواند تاثیر قابل توجهی نیز در انتقال نیروی زلزله به سازه داشته باشد. این نتیجه در مورد خاک‌های ضعیف که در اثر زلزله شتاب قابل توجهی در سازه ایجاد می‌کنند، تاثیرگذار و مفید است. البته باید ذکر کرد که وجود سر شمع در خاک ماسه‌ای در مورد این پی‌ها اهمیت دارد. در حالت کلی با توجه به شرایط خارجی از جمله ویژگی‌های خاک (ویژگیهای مقاومتی و شرایط آب زیرزمینی و...) و سازه مورد نظر و شرایط لرزه‌خیزی منطقه، می‌توان میزان دقیق تاثیر این نوع پی را تعیین کرد. البته باید به این نکته توجه کرد که نتایج به دست آمده در شرایط نبود آب زیرزمینی قابل قبول است و مطالعات نشان داده که وجود آب زیرزمینی نتایج متفاوتی را ارائه می‌دهد، که به صورت جداگانه قابل بررسی می‌باشد.

## ۵- مراجع

- [1]- B.Zhang; X.Zhao; "Observation on the Performance of a Piered Raft Foundation on Sandy Soil", *Soil and Foundations, Vol 40, No.6, 107-115, 2000.*

