



بررسی تاثیر مشخصات هندسی شمع ها بر روی میزان نشست کل سیستم پی - شمع

خشیار همتی^۱، فرزین کلانتری^۲، جواد نظری افشار^۳، علی قربانی^۴

۱- کارشناس ارشد ژئوتکنیک

۲- استادیار دانشکده فنی دانشگاه گیلان، رشت

۳- کارشناس ارشد ژئوتکنیک و عضو باشگاه پژوهشگران جوان

۴- دکتری مهندسی عمران - ژئوتکنیک

Asil_sazane_abniye@yahoo.com

خلاصه

بطور کلی هر جا که از ترکیب شمع و رادیه برای انتقال بار وارده از روسازه به خاک استفاده شود و در طول مدت خدمت دهی به هیچ دلیلی (مانند آب شستگی یا نشست خاک) ارتباط رادیه با خاک قطع نگردد؛ در آن صورت بار اعمالی بصورت مشترک توسط شمع و رادیه به خاک منتقل خواهد شد. این سیستم مرکب به سیستم پی تقویت شده با شمع یا به طور خلاصه «شالوده شمع - رادیه» خوانده می شود. شالوده های شمع-رادیه از لحاظ اقتصادی گزینه ای مقرون به صرفه می باشند؛ زیرا زمانی که رادیه به تنهایی نیاز طراحی مورد نظر را از لحاظ باربری و نشست تامین نمی کند، با استفاده از چندین شمع در زیر رادیه مقدار ظرفیت باربری افزایش و نشست پذیری و نشست های تفاضلی به مقدار زیادی کاهش می یابد. در این تحقیق با کمک روش عددی تفاضل محدود (برنامه FALC^{3D}) به ازای یک ضخامت ثابت برای رادیه که صلبیت آن را تضمین می کند؛ به بررسی تاثیر مشخصات هندسی شمع ها (تاثیر تغییر قطر و طول شمع) بر روی میزان نشست کل سیستم و درصد باربری شمع و کلاهک در سیستم های شمع-رادیه، پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: شالوده شمع - رادیه، اندرکنش، گروه شمع، گروه شمع آزاد یا خود ایستا

مقدمه

منظور از واژه شالوده شمع - رادیه، ترکیب اندرکنشی دو نوع فونداسیون، رادیه و گروه شمع، به گونه ای است که هر دو در تامین باربری و کاهش نشست های کلی و تفاضلی با هم ایفای نقش کنند و نه اینکه از قابلیت یکی از آنها در هر مورد صرف نظر شود؛ به چنین رفتار توأمانی، رفتار اندرکنشی اطلاق می شود. این سیستم مرکب به سیستم پی تقویت شده با شمع یا به طور خلاصه «شالوده شمع - رادیه» خوانده می شود. شناخت هر چه بیشتر از نحوه اندرکنش موجود میان شمع، رادیه و خاک منجر به شناخت بهتر از نحوه رفتار و طراحی بهینه و نزدیک به واقعیت شالوده های شمع - رادیه می گردد. بطور کلی هر جا که از ترکیب شمع و رادیه برای انتقال بار وارده از روسازه به خاک استفاده شود و در طول مدت خدمت دهی به هیچ دلیلی (مانند آب شستگی یا نشست خاک) ارتباط رادیه با خاک قطع نگردد؛ در آن صورت بار اعمالی بصورت مشترک توسط شمع و رادیه به خاک منتقل خواهد شد. شالوده های شمع-رادیه از لحاظ اقتصادی گزینه ای مقرون به صرفه می باشند؛ زیرا زمانی که رادیه به تنهایی نیاز طراحی مورد نظر را از لحاظ باربری و نشست تامین نمی کند، با استفاده از چندین شمع در زیر رادیه مقدار ظرفیت باربری افزایش و نشست پذیری و نشست های تفاضلی به مقدار زیادی کاهش می یابد.



بررسی اثر متقابل پی (کلاهک) - گروه شمع و خاک، بحث بسیار پیچیده و مهمی در مهندسی پی است. چنانچه کلاهک بصورت صلب فرض شود و فقط نقش توزیع بار بین شمعها را داشته و تاثیری در سهم باربری و نشست نداشته باشد به آن گروه شمع آزاد (خود ایستا) بطور خلاصه گروه شمع میگویند. چنانچه اثر کلاهک در تحمل بار وارده و ظرفیت باربری و نشست سیستم در نظر گرفته شود به آن سیستم پی شمع گفته میشود و در این حالت به کلاهک، Raft میگویند که البته در این مقاله از همان واژه کلاهک یا پی و یا رادیه استفاده شده است. هرچند به جهت سادگی محاسبات طراحی، اغلب طراحان سیستم پی شمع را بصورت گروه شمع آزاد فرض میکنند، اما در عصر حاضر با احداث سازه های سنگین نظیر برجهای ساختمانی - منابع آب هوائی - سکوها - سیلوها و ...، از آنجائی که پی (کلاهک) به تنهایی نیز قادر است سهم عمدهای از بار سازه فوقانی را تحمل کند و استفاده از شمع به دلیل کنترل نشست ها و تحمل بارهای اضافه بر ظرفیت باربری کلاهک است، صرفنظر کردن از اثر کلاهک کاری بسیار محافظه کارانه و غیر قابل قبول خواهد بود. لذا در این تحقیق با کمک نرم افزار سه بعدی FALC^{3D}، سیستم پی شمع (تک شمع و گروه شمع دوتائی) را مورد تحلیل قرار داده و در نهایت نمودار سهم باربری شمع و کلاهک و نشست کل سیستم، ارائه میگردد.

در سه دهه اخیر روشهای تئوری مختلفی برای تحلیل سیستم پی شمع توسط محققین ارائه گردیده، که آنها را می توان به سه دسته اصلی زیر تقسیم نمود:

الف) روشهای تحلیلی:

در اینگونه روش ها سعی شده است با استفاده از تئوری الاستیسیته در محیط پیوسته یکسری معادلات ساده شده جهت تحلیل ارائه گردد [۳، ۵].

ب) روش های عددی مبتنی بر نیم فضای الاستیک خاک:

poulos (۱۹۹۴) [۳] و همچنین chow (۱۹۹۴) دو روش مستقل که در آنها اثر خاک بوسیله تئوری نیم فضای الاستیک جایگزین گردیده پیشنهاد نموده اند [۳].

در اینجا نیز روش کار مشابه روش عددی پولوس است، با این تفاوت که به جای خاک همگن میتوان از خاک همگن خطی که مدول الاستیسیته آن بصورت خطی با عمق تغییر می کند استفاده نمود یعنی:

$$E(z) = E(o) + \lambda Z \quad (1)$$

$E(z)$ = مدول الاستیسیته خاک در عمق (z) ، $E(o)$ = مدول خاک در سطح زمین، λ = ضریب مدول خاک در عمق در این روش کلاهک (پی) صلب فرض شده است و بارگذاری بصورت محوری قائم و مقطع شمع دایره با قطر d و فاصله بین شمع ها S می باشد. همچنین ضریب پواسون خاک (μ_s) در عمق ثابت فرض شده است و بجای جایگزینی شمع ها با فنرهای معادل، هر شمع به چند المان دو گروهی که فقط تحت اثر تغییر شکل های محوری باشند تقسیم شده اند.

ج) روشهای المان محدود:

المان محدود در سه دهه اخیر برای تحلیل اندرکنش پی شمع و خاک بکار رفته است. برای مثال میتوان به کارهایی که هوپر، پولوس و مکارچیان انجام داده اند، مراجعه کرد [۵].

موضوع و هدف تحقیق

برای توصیف نحوه باربری شالوده شمع- رادیه؛ ۴ نوع اندرکنش به شرح ذیل می توان در نظر گرفت (شکل ۱) [۳]:

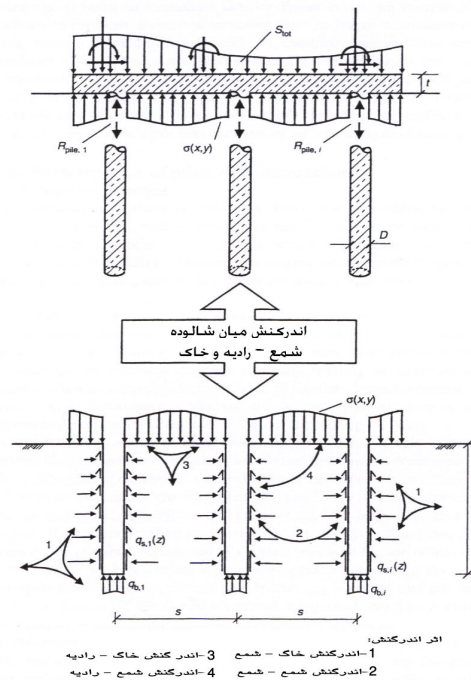
۱- اندرکنش مابین خاک- شمع

۲- اندرکنش مابین شمع - شمع

۳- اندرکنش مابین خاک - رادیه

۴- اندرکنش مابین شمع - رادیه

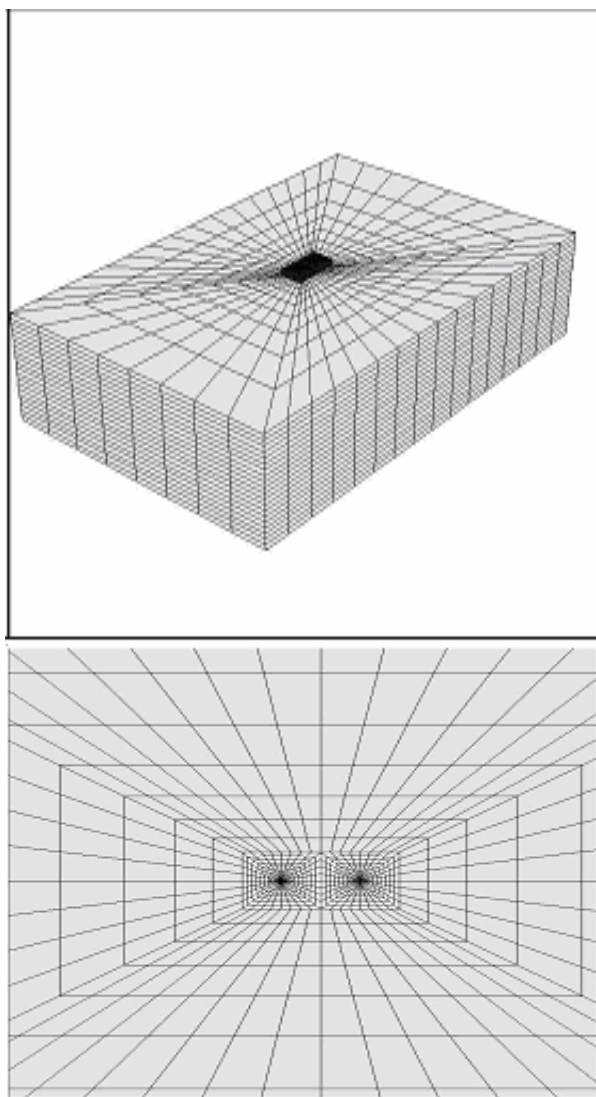
در نظر گرفتن اثر اندرکنش ما بین شمع ها و شمع - رادیه به دلیل آن است که رفتار باربری شمع ها در سیستم شمع- رادیه با حالت باربری تنها بوسیله گروه شمع فرق دارد. در نظر گرفتن اثر اندرکنش ها بر دقت تحلیل و طراحی شالوده های شمع- رادیه می افزاید و منجر به محاسبه دقیق تر میزان باربری و نشست شالوده های شمع- رادیه می شود [۳]. تحلیل سه بعدی کامل شالوده های شمع- رادیه در خاک های چند لایه با در نظر گرفتن تمامی اندرکنشهای لازم مابین شمع و رادیه و خاک؛ یکی از مشکلات اساسی در زمینه استفاده از شالوده های شمع- رادیه می باشد. بسیاری از محققان برای تحلیل شالوده های شمع- رادیه با ساده سازی های مختلف راه حل هایی تئوریک مبتنی بر روشهای تئوری الاستیسیته یا استفاده از تئوری های نیم فضای الاستیک ارائه نموده اند. اما برای تحلیل و طراحی جامعی که بتواند تمامی موارد مورد نیاز را محاسبه نماید؛ نیاز به آنالیز سه بعدی کامل می باشد. امروزه با پیشرفت کامپیوترهای شخصی از لحاظ سرعت و قدرت و افزایش و ارزان شدن حافظه های آنها و کمک از روش های عددی می توان بصورت سه بعدی شالوده های شمع- رادیه را مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار سه بعدی FALC^{3D} به بررسی تاثیر مشخصات هندسی شمع ها (طول و قطر متغیر) بر روی میزان نشست کل سیستم پی - شمع پرداخته شده است.



شکل ۱- اندرکنش خاک و سازه در شالوده های شمع - رادیه [۳]

مدل سازی سه بعدی در برنامه FLAC3D

برای بررسی اثر مشخصات هندسی شمع ها بر روی میزان نشست کل سیستم پی - شمع در یک خاک با مشخصات ثابت، لازم می بود تا مدل های کامپیوتری با ابعاد مناسبی ساخته شود. لذا برای بررسی اثر فراسنج های مورد نظر از یک رادیه به همراه یک شمع با ابعاد و قطر های مختلف و یک رادیه به همراه دو شمع با طول های مختلف شمع استفاده گردید. در تمامی آنالیزها شمع با مقطع دایره ای شکل و به قطر (D) ۵۰ و ۷۵ سانتی متر (برای تک شمع) و قطر (D) ۵۰ سانتی متر برای گروه شمع دو تایی به طولهای $1.0D$, $2.0D$, $3.0D$, $4.0D$, $5.0D$, $6.0D$ متر در نظر گرفته شد. اندازه خاک اطراف شالوده شمع - رادیه تا حدی در نظر گرفته شد که اثری در صحت خروجی ها نداشته باشد. برای مدل کردن خاک از المانهایی به ضخامت ۰.۵ متر استفاده شد و المان بندی شمع ها در طول شمع با المانهایی به ضخامت ۰.۵ متر انجام شد که با خاک اطراف همگرا باشند. البته در تمامی مدل های ساخته شده المان بندی ها طوری انتخاب شدند که گره های المان های همجوار دقیقاً بر هم منطبق باشند. در شکل ۲ هندسه کلی مدل سه بعدی و پلان مدل سه بعدی ارائه شده است و همگرا بودن المانها در این شکلها کاملاً مشهود است [۲].

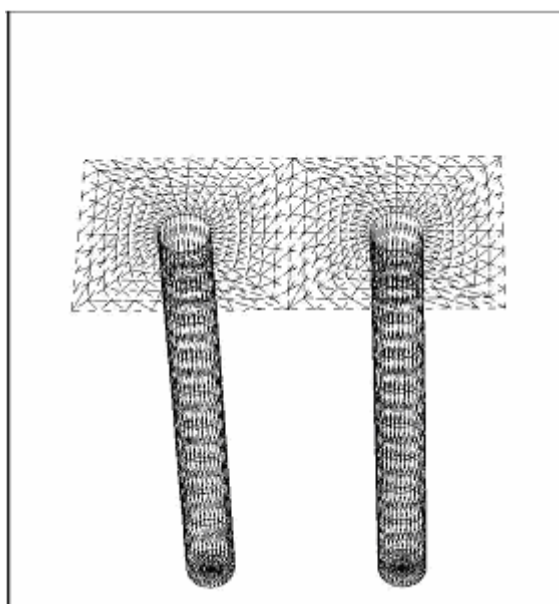


شکل ۲- هندسه کلی و پلان مدل سه بعدی [۲]

برای عملکرد یکپارچه شمع و رادیه محل تماس شمع و رادیه بوسیله دستوره‌های خاص برنامه $FLAC^{3D}$ المانها به همدیگر متصل (Attach) شدند. برای در نظر گرفتن اثر اندر کنشی مابین خاک-شمع-رادیه از المانهای Interface مطابق شکل ۳ در اطراف و انتهای شمع (برای شمع) و زیر رادیه که با خاک در تماس هستند، استفاده شد. برای شمع و رادیه از مدل رفتاری الاستیک و برای خاک از مدل رفتاری موهر-کولمب استفاده شد. پارامترهای مورد استفاده برای خاک و شمع و رادیه و Interface در جدول ۱ ارائه شده است؛ در تمامی آنالیزها از این پارامترها استفاده شد. بارهای اعمالی تنها در محدوده ای بر روی کلاهک، هم اندازه با مساحت مقطع شمع و دقیقاً در محلی که در زیر رادیه، شمع قرار گرفته است به صورت تنش اعمال شدند. بارهای مورد نظر به صورت مرحله ای با افزایش ۵۰ تن در هر مرحله، از ۵۰ الی ۲۵۰ تن، به ازای هر شمع اعمال شدند. آنالیز فایل ها تا آنجایی که مقدار نیروی نامتعادل در گره ها (Unbalance Force) تا رسیدن به نسبت 10^{-5} ادامه یافت. لازم به ذکر است، هرچه این نسبت کمتر شود باعث بالا رفتن دقت نتایج می شود ولی باعث افزایش زمان آنالیز می شود (تحلیل ها به ازای مدول الاستیسیته ۲۵ و ۵۰ مگا پاسکال انجام شده است) [۲].

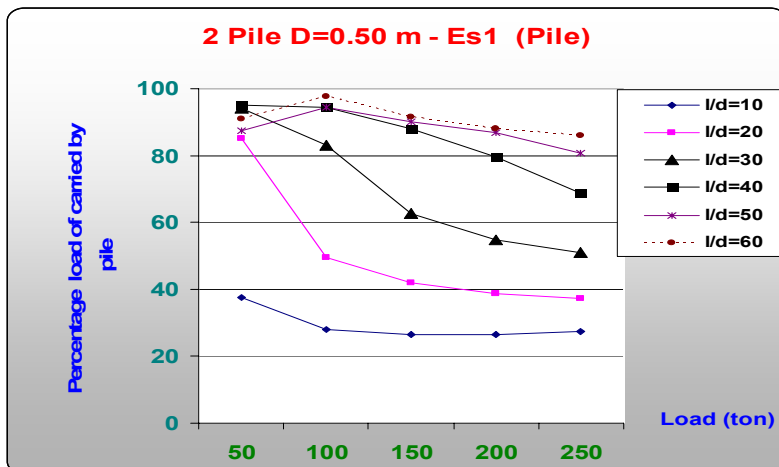
جدول ۱- پارامترهای مورد استفاده برای مصالح در مدل کامپیوتری برنامه FLAC^{3D} [۲]

Interface		شمع		خاک	
2 ton/m^2	چسبندگی	$2,38 * 10^6 \text{ ton/m}^2$	مدول الاستیسیته	2 ton/m^2	چسبندگی
۲۰	زاویه اصطکاک	۰,۱۵	نسبت پواسون	۲۰	زاویه اصطکاک
$10000 \text{ ton/m}^2/\text{m}$	K_n	$1,13 * 10^6 \text{ ton/m}^2$	مدول بالک	۰,۳	نسبت پواسون
$10000 \text{ ton/m}^2/\text{m}$	K_s	$1,03 * 10^6 \text{ ton/m}^2$	مدول برشی	متغیر با عمق	مدول الاستیسیته

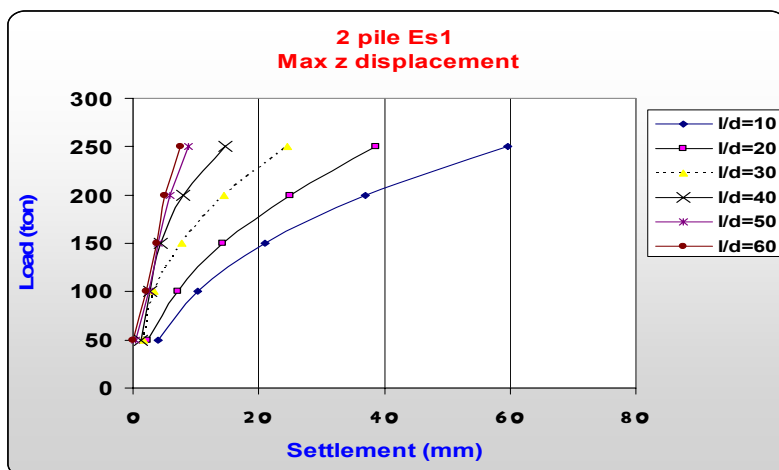


شکل ۳- استفاده از المان های Interface در اطراف شمع و زیر رادیه [۱]

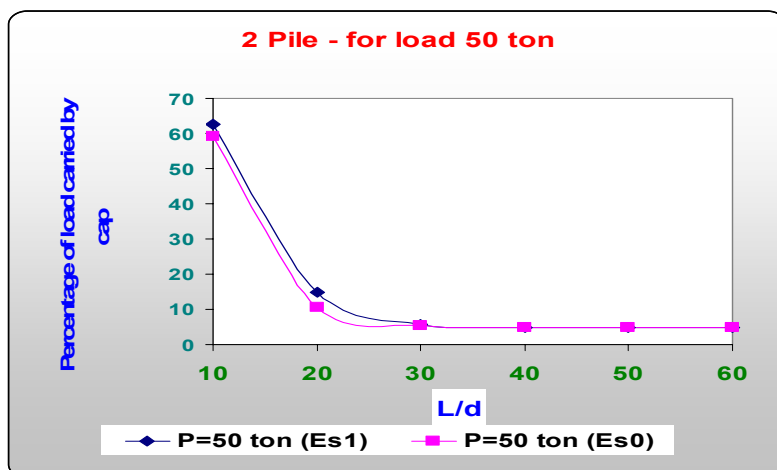
برای نمونه در نمودارهای ۱ و ۲ و ۳ برای بار ۵۰ تا ۲۵۰ تن اعمالی بر هر شمع با قطر ۵۰ سانتیمتر، درصد بار حمل شده توسط شمع در شالوده شمع رادیه و نشست کلی شالوده شمع - رادیه و نمودار درصد بار حمل شده توسط کلاهک نسبت به تغییرات L/D ارائه شده است. با توجه به نمودار ۱ ملاحظه می شود که با افزایش بار، باربری شمع ها کاهش می یابد و روند این کاهش با افزایش L/D کمتر می شود. همچنین با دقت در نمودار ۲ می توان دریافت که با افزایش L/D نشست کل در زمان بیشتری در حالت خطی باقی می ماند. نمودار ۳ نشان میدهد که با افزایش L/D باربری کلاهک کاهش می یابد [۲].



نمودار ۱- سهم بار حمل شده توسط شمع در شالوده شمع - رادیه با دو شمع برای مدول الاستیسیته ۵۰ MPa [۱]



نمودار ۲- ماکزیمم نشست شمع - رادیه با دو شمع برای مدول الاستیسیته خاک، ۵۰ MPa [۱]



نمودار ۳- نمودار درصد بار حمل شده توسط کلاهک نسبت به تغییرات L/D برای بار ۵۰ تن [۱]

نتیجه گیری

بعد از انجام ۲۹۵ آنالیز سه بعدی بر روی شالوده های شمع - رادیه توسط برنامه Flac3D مشخص شد که [۲]:

- ❖ کلاهک می تواند تا ۷۳ درصد بار کل را تحمل کند .
- ❖ با افزایش مدول الاستیسیته خاک ، سهم باربری کلاهک افزایش می یابد .
- ❖ افزایش بار اعمالی باعث کاهش سهم باربری شمع می شود .
- ❖ با افزایش L/D ، سهم باری کلاهک کاهش می یابد و افزایش $L/D > 40$ در سهم باربری کلاهک و حداکثر نشست بی تاثیر است .
- ❖ با افزایش قطر شمع سهم باربری شمع افزایش و نشست کل کاهش می یابد .

مراجع

- ۱ . همتی، خشایار؛ ۱۳۸۳، ارزیابی اثر سختی خمشی کلاهک گروه شمع بر سهم بار هر شمع، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز
- ۲ . نظری افشار، جواد؛ ۱۳۸۴، ارزیابی سختی خمشی رادیه بر سهم باربری هر شمع در سیستم های پی - شمع، پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی عمران گرایش خاک وپی؛ دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز
- ۳.Hemsly.J.A ,(۲۰۰۰), i Design application of raft foundation, piled raft foundation projects in germany, pp: ۳۲۳-۳۳۴
- ۴.Hemsly.J.A ,(۲۰۰۰), i Design application of raft foundation, piled raft foundation projects in germany, pp: ۴۲۵-۴۶۵
- ۵.Poulos, H.G and Makarchain M., i Simplified method for design of underpinning piles, Geotechnical Engineering (ASCE), vol . ۱۲۲, No .g.pp . ۷۴۵- ۷۵۱ , September ۱۹۹۶
- ۶.Poulos.H.G, July(۲۰۰۱), Methods of analysis of pile raft foundation, A report prepared on behalf of technical committee TC ۱۸ on piled foundations , international society of soil mechanics and geotechnical engineering.