ارزیابی سختی خمشی رادیه بر سهم باربری شمع و کنترل نشست های کلی و تفاضلی رادیه در پی های شمع ـ رادیه

جواد نظری افشار[۱]، فرزین کلانتری[۲]، خشایار همتی[۳]،علی قربانی[۴]

۱- کارشناس ارشد ژئوتکنیک و عضو باشگاه پژوهشگران جوان

۲- استادیار دانشکده فنی دانشگاه گیلان، رشت

۳- کارشناس ارشد مهندسی ژئوتکنیک

۴- دکتری مهندسی عمران- ژئوتکنیک

nazariafshar@yahoo.com

خلاصه

استفاده از شالوده های شمع ـ رادیه یکی از روش های کاهش نشست های کلی و تفاضلی و افزایش ظرفیت باربری شالوده های سطحی؛ و کاهش تنش های داخلی و لنگرهای اعمالی در پی های رادیه می باشد. منظور از واژه شالوده شمع ـ 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. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار عددی $Flac^{3D}$ ، مبتنی بر روش عددی تفاضل های محدود به بررسی اثر سختی خمشی رادیه بر مقدار سهم باربری شمع و کنترل نشست های کلی و تفاضلی در شالوده های شمع ـ رادیه با توجه به اثر فراسنج هایی مانند ابعاد و ضخامت های مختلف رادیه و فاصله مختلف بین شمع ها پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: شالوده شمع ـ رادیه، اندرکنش،گروه شمع، سختی خمشی رادیه

مقدمه

پی های سطحی چنانچه تحت بارهای سنگینی قرار گیرند یا برروی خاکهای مساله دار (رمبنده یا فرو ریزشی) قرارگیرند، قادر به تحمل بارهای وارده نبوده و یا اینکه نشست ها بیشتر از حد مجاز می شود، اگر از تعدادی شمع در زیر شالوده سطحی استفاده شود و در تحلیل و طراحی این نوع شالوده ها سهم باربری شالوده سطحی نیز در نظر گرفته شود به شالوده فوق؛ شالوده شمع- رادیه (Pile Raft)گویند(شکل۱)[۳] .چنانچه از سهم باربری شالوده سطحی صرفنظر گردد و شالوده بعنوان کلاهک برای انتقال بار به شمع ها در نظر گرفته شود؛ چنین سیستمی گروه شمع آزاد یا خود ایستا نامیده می شود[۱]. خاکهای قابل تورم در اثر افزایش یا کاهش درصد رطوبت، تورم و یا کاهش حجم پیدا می کنند و فشار تورمی این نوع خاکها ممکن است قابل توجه باشد؛ لذا برای رفع این مشکل باید باکمک شمع از لایه خاک قابل تورم عبور کرده و وارد لایه پایدار خاک شویم. خاک هایی نظیر ماسه بادی که دارای طبیعتی فروریزشی هستند وقتی درصد رطوبت خاک افزایش یابد خاک دچار نشست زیادی می شود؛ همچنین مساله روانگرایی همیشه در این نوع خاک ها محتمل بوده و باید از شمع جهت عبور از این لایه سست و انتقال بار به لایه مناسب استفاده شود. در چنین حالتی قسمتی از شمع که از چنین لایه های سست عبور می کند ممکن است تحت اثر نیروهای اصطکاک منفی قرار گیرد. چنانچه خاک زیر شالوده سطحی سست باشد(خاک قابل تورم یا فرو ریزشی) و یا خاک تحت اثر آب شستگی باشد سهم باربری شالوده سطحی ناچیز بوده و قابل صرفنظر کردن است و تمام بار وارده بوسیله شمع ها تحمل می گردد؛ در چنین حالتی فرض گروه شمع آزاد منطقی بنظر می رسد ولی چنانچه خاک زیر پی مقاوم باشد قطعاً در انتقال بار وارده با شمع ها مشارکت خواهند کرد و قسمتی از بار وارده توسط شالوده سطحی حمل خواهد شد؛ این حالت که به آن شالوده شمع- رادیه می گویند در سالهای اخیر مورد توجه محققان مختلفی چون Poulos – Lee– Chow– Davis–Randolph – Reul و غیره قرار گرفته است[۱]. بطور کلی هرجا 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

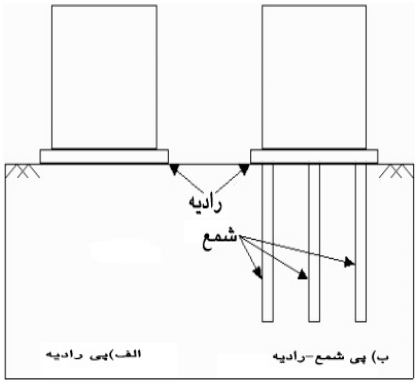
سیویلیکا: مرجع دانش
www.civilica.com

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 و نشست پذیری و نشست های تفاضلی به مقدار زیادی کاهش می یابد[۴].

Sanctis و همکاران (۲۰۰۱) و Viggiani (۲۰۰۱) شالوده های شمع رادیه را به ۲ گروه اصلی تقسیم بندی کردند:

۱- شالوده شمع – رادیه کوچک: دلیل اصلی استفاده از شمع در زیر رادیه برای افزایش ضریب ایمنی می باشد (معمولاً رادیه به عرض ۵ الی ۱۵ متر را شامل می شود).

۲- شالوده شمع – رادیه بزرگ: رادیه توانایی حمل بار اعمالی را با حاشیه ایمنی خوبی دارد، اما شمع ها برای کاهش نشست کلی یا نشست تفاضلی رادیه لازم است (معمولاً عرض رادیه بزرگتر از طول شمع ها است)[۶] .



شکل ۱- شمای کلی شالوده شمع ـ رادیه

مزایای استفاده از شالوده های شمع - رادیه

مزایای استفاده از شالوده های شمع- رادیه عبارت است از [۵]:

۱- کاهش طول شمع های مورد نیاز نسبت به حالت استفاده از گروه شمع

۲- کاهش حداکثر نشست و نشست های تفاضلی شالوده های سطحی

۳- یک روش اقتصادی، برای کاهش تنش های داخلی و لنگرهای اعمالی بر رادیه با آرایش بهینه شمع ها در زیر رادیه

۴- افزایش باربری پی سطحی با کمک شمع های زیر پی

۵- برای پی های رادیه که تحت بارهای خارج از مرکز هستند، با قرار دادن شمع در محدوده اثر بارهای خارج از مرکز باربری پی تا حد امکان یکنواخت می شود.

موارد مطلوب و نامطلوب در طراحی شالوده های شمع - رادیه

بیشترین کاربرد پی های شمع- رادیه زمانی است که رادیه به تنهایی می تواند مقاومت کافی در برابر بارهای وارده را تامین کند ولی برای اجتناب از نشست های کلی یا تفاضلی بیش از حد مجاز فونداسیون از گروه شمع در زیر آن استفاده می شود. Poulos (۱۹۹۱) با بررسی چندین پروفیل ایده آل خاک دریافت که موارد زیر مطلوب طبع طراحی هستند:

الف)پروفیل خاک از رس سفت(Stiff clay) تشکیل شده باشد. ب)پروفیل خاک شامل ماسه متراکم(Dense sand) باشد. در موارد مذکور، پی گسترده خود به تنهایی قادر به تحمل بارهای وارده است و گروه شمع تنها نقش تقویت کننده را دارد.

به طور مشابه مواردی وجود دارد که نامطلوب محسوب می شوند:

الف)پروفیل خاک شامل لایه های رس نرم(Soft clay) در نزدیکی سطح زمین باشد. ب)پروفیل خاک شامل لایه های ماسه شل(Loose sand) در نزدیکی سطح زمین باشد. ج)خاک شامل لایه های نشست پذیر (تراکم پذیر) در نزدیکی های سطح زمین باشد. د)پروفیل خاک مستعد نشست تحکیمی بر اثر عوامل بیرونی باشد. ه)پروفیل خاک مستعد تورم بر اثر عوامل خارجی باشد.

در دو مورد اول، خاک زیر پی گسترده قادر به تامین ظرفیت باربری کافی و سختی مناسب نیست، در حالیکه در مورد سوم، نشست دراز مدت خاک در لایه های ضعیف تحتانی میزان شرکت پذیری در سختی بلند مدت پی گسترده را کم خواهد کرد. یعنی با گذشت زمان از سهم رادیه درسختی کل سیستم کاسته خواهد شد. نشست تحکیمی و یا مواردی که بر اثر از دست دادن آب و یا انقباض لایه های رس فعال به وقوع می پیوندد، باعث می شود

سیویلیکا: مرجع دانش www.civilica.com

تا تماس بین پی گسترده و خاک کمتر گردد که این پدیده بار وارد بر شمعها را افزایش خواهد داد. این پدیده باعث افزایش نشست کلی سیستم خواهد شد. [۶].

موضوع و هدف تحقیق

برای توصیف نحوه باربری شالوده شمع- رادیه؛ ۴ نوع اندرکنش به شرح ذیل درنظر باید گرفت (شکل ۲) [۵] .

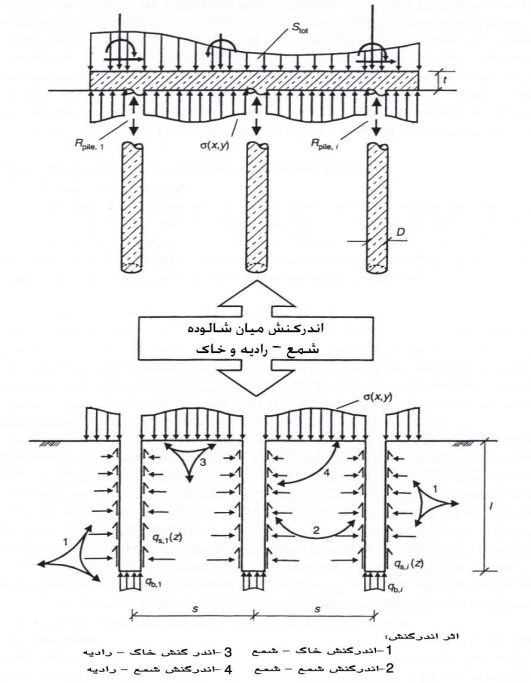
۱- اندرکنش مابین خاک- شمع

۲- اندرکنش مابین شمع – شمع

۳- اندرکنش مابین خاک – رادیه

۴- اندرکنش مابین شمع – رادیه

درنظر گرفتن اثر اندر کنش ما بین شمع – شمع 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[۵]. تحلیل سه بعدی کامل شالوده های شمع- رادیه در خاک های چند لایه با درنظر 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 اثر تغییر ضخامت رادیه و فاصله شمع ها بر ظرفیت بار بری شمع ها و رادیه و تغییرات نشست بوجود آمده پرداخته شده است.



شکل۲- اندر کنش خاک و سازه در شالوده های شمع- رادیه [۵]

روندهای مختلف طراحی

سه روند یا به اصطلاح فلسفه ی کلی طراحی توسط Randolph (۱۹۹۴) بیان شده است:

الف- روش سنتی(Conventional approach) :

در این روش طراحی شمع ها به صورت گروهی و برای تحمل بخش عمده بارهای وارده صورت می گیرد، در حالیکه پی گسترده نیز در تحمل بخشی از بارها سهیم خواهد بود.

ب- شمع خزشی(Creep piling) :

سیویلیکا: مرجع دانش
www.civilica.com

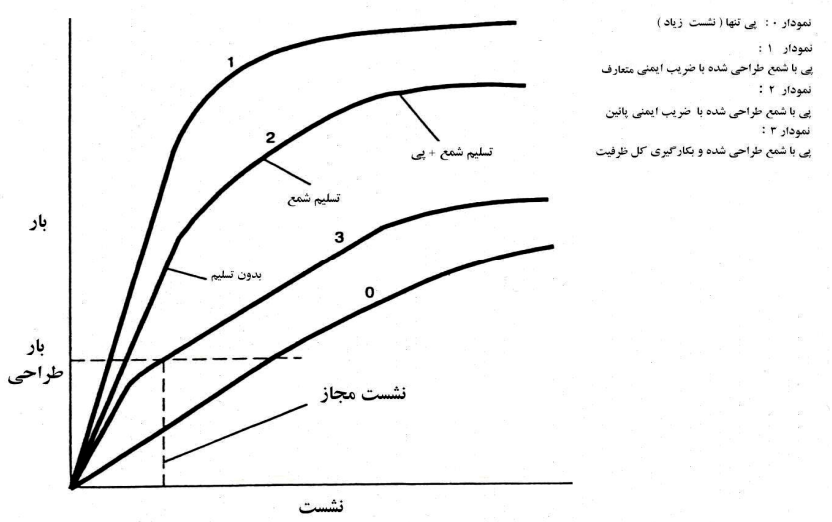
این روش بر این اساس استوار است که شمع ها چنان طراحی شوند که تحت اثر بارهای سرویس، در سطح تماس شمع – خاک شروع بلغزش کنند. این لغزش بطور معمول در باری معادل با ۷۰ تا ۸۰ ظرفیت باربری نهایی شروع می شود. تعداد کافی شمع برای کاهش فشار تماسی بین رادیه و خاک در نظر گرفته می شود. فشار بین رادیه و خاک در این حالت تا زیر فشار پیش تحکیمی خاک (که در این فشار نشست خاک بسیار کم خواهد بود) کاهش می یابد.

ج- روش کنترل نشست غیر یکنواخت(Differential settlement control) :

شمع ها در این روش با استراتژی و هندسه خاصی در زیر فونداسیون قرار داده می شوند. به طوری که نه تنها بار کلی وارده را کاهش دهند؛ بلکه مهمتر از همه نشست غیر یکنواخت رادیه را کم نمایند.

در نگرشی نوین بر طراحی به روش شمع خزشی این اجازه به شمع داده می شود که کل ظرفیت باربری شمع بسیج گردد.در این حالت به عنوان مثال کلیه شمع های زیر یک رادیه، به ۱۰۰٪ ظرفیت باربری شان خواهند رسید. این روش به همان ایده استفاده از شمع در جهت کاهش نشست پی منتهی می شود در حالی که علاوه بر این شمع ها از شدت بار کلی وارده نیز می کاهند و به نوعی باعث افزایش ظرفیت باربری کلی شالوده می گردند. واضح است که روش اخیر در جهت کاهش هزینه های پروژه بسیار مثمر به ثمر خواهد بود. لازم به ذکر است که طراحی به روش گفته شده، امکان استفاده از هر یک از روندهای طراحی سه گانه ی فوق را به طراحی می دهد[۱] و [۶].

شکل ۳ به وضوح، رفتار بار – نشست رادیه – شمع را تحت دو استراتژی اول طراحی نشان می دهد. منحنی ۰ ، رفتار رادیه تک را نشان می دهد که در آن تحت اثر بار طراحی نشست بسیار زیادی پدید می آید. منحنی۱، فلسفه طراحی سنتی است که در این طراحی، رفتار شالوده شمع - رادیه، بیشتر بر رفتار گروه شمع متکی است و برای بار طراحی دارای رفتاری خطی است. در این روش، گروه شمع بخش عمده باربری رابه خود اختصاص می دهد. منحنی ۲، رفتار شمع خزشی را نشان می دهد که شمعها با ضریب اطمینان کمتری طراحی می شوند ولی از سوی دیگر به دلیل کمتر شدن تعداد شمعها، پی رادیه، سهم بیشتری در باربری نسبت به حالت قبل دارد. منحنی ۳، استراتژی استفاده از شمع به عنوان کنترل کننده نشست را نمایش می دهد. در این حالت کل ظرفیت باربری شمع در بار طراحی به کار گرفته شده است. در نتیجه، منحنی بار – نشست، دربار طراحی غیر خطی خواهد بود. اما با وجود این، کل سیستم پی رادیه و گروه شمع در یک حاشیه ایمنی کافی قرار خواهد داشت و معیار نشست نیز برآورده خواهد شد. لذا طراحی نشان داده شده در منحنی ۳ ، نسبت به منحنی های ۱ و ۲ اقتصادی تر خواهد بود[۱] [۴].



شکل ۳- منحنی های بار ـ نشست شالوده شمع ـ رادیه برای فلسفه های مختلف طراحی [۶]

Horikoshi و Randolph (۱۹۹۸)، تعدادی شالوده شمع - رادیه را در شرایط مختلف مورد مطالعه قرار دادند و راهکارهای زیر را جهت طراحی بهینه برای این سیستمها پیشنهاد نمودند:

۱- شمع ها در ۱۶ تا ۲۵٪ سطح مرکزی رادیه پخش شوند.

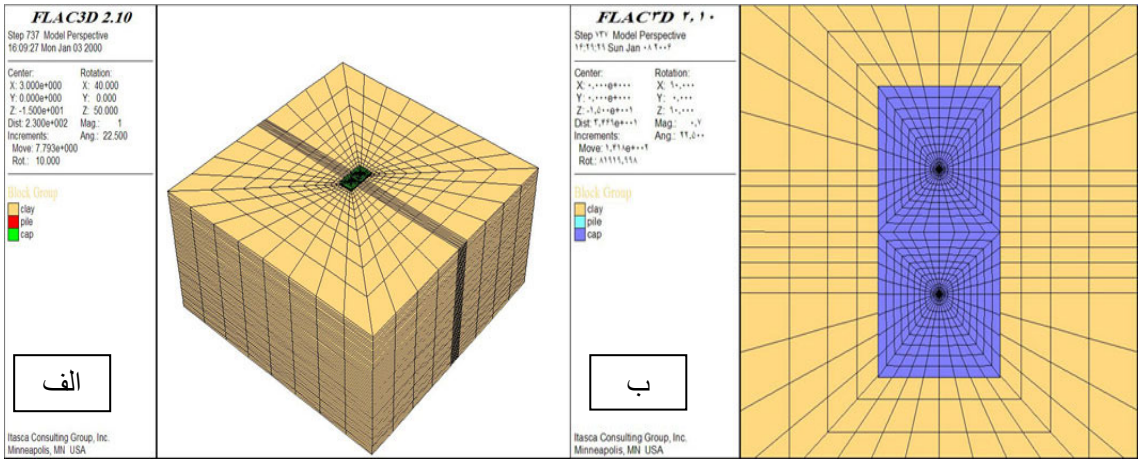
۲- سختی گروه شمع بهتر است که در حدود سختی محوری رادیه تک در نظر گرفته شود.

۳- ظرفیت باربری شمع ها بهتر است تا در حدود ۴۰٪ تا ۷۰٪ بارکل طراحی باشد که این مقدار به سطح اشغال شده توسط شمع ها و رادیه و نسبت پواسون خاک دارد. حداکثر مقدار ظرفیت باربری بسیج شده در شمع ها نباید از حدود ۸۰٪ تجاوز نماید و این امر در جهت جلوگیری از افزایش نشست های غیر یکنواخت است. برای بارهای متمرکز برخی توصیه های فوق نباید لحاظ گردند به عنوان مثال متمرکز نمودن شمع ها در مرکز رادیه ولی در مجموع نکات فوق در گام اولیه طراحی، بسیار مفید هستند[۳] و[۶].

سیویلیکا: مرجع دانش
www.civilica.com

کلیات مدل سازی سه بعدی در برنامه FLAC^{3D}

برای بررسی اثر ضخامت و ابعاد رادیه و اثر تغییر فاصله بین شمعها در شالوده های شمع- رادیه 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 ضخامت های مختلف رادیه و یک رادیه به همراه دو شمع با ابعاد و ضخامتهای مختلف رادیه و فاصله مختلف بین دو شمع استفاده گردید. در تمامی آنالیزها شمع با مقطع دایره ای شکل به قطر(D) ۵۰ سانتی متر و به طول۱۵ 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 ضخامت خاک از المانهایی به ضخامت۰,۵ متر استفاده شد و المان بندی شمع ها در طول شمع با المانهایی به ضخامت ۰,۵ متر انجام شد که با خاک اطراف همگره 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 شکل۴ هندسه کلی مدل سه بعدی و پلان مدل سه بعدی ارائه شده است و همگره بودن المانها در این شکلها کاملاً مشهود است[۲].



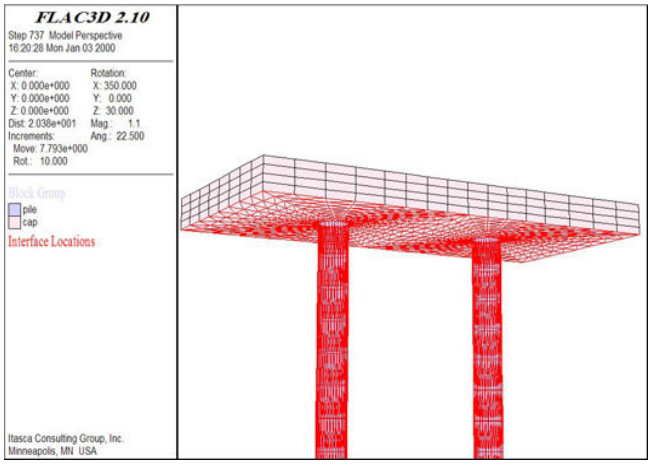
شکل ۴- الف)هندسه کلی ب) پلان مدل سه بعدی [۲]

برای عملکرد یکپارچه شمع و رادیه محل تماس شمع و رادیه بوسیله دستورهای 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 شکل۵ در اطراف و انتهای شمع و زیر رادیه که با خاک در تماس هستند, استفاده شد. برا ی 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. با کمک زبان برنامه نویسی FISH مدول الاستیسیته خاک با تغییر عمق بصورت افزایشی در نظر گرفته شد. بارهای اعمالی تنها بر محدوده ای 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 بار در هر مرحله از ۵۰ الی ۲۵۰ تن بار بر روی هر شمع اعمال شدند. تحلیل مدل ها تا رسیدن مقدار نیروی نامتعادل در گره ها (Unbalance Force) به نسبت $1*10^{-5}$ ادامه یافت. البته هرچه این نسبت کمتر شود باعث بهتر شدن نتایج می شود ولی باعث افزایش زمان تحلیل ها می شود[۲].

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

خاک		شمع		Interface	
چسبندگی	۲ ton/m^2	مدول الاستیسیته	۲,۳۸*۱۰^6 ton/m^2	چسبندگی	۲ ton/m^2
زاویه اصطکاک	۲۰	نسبت پواسون	۰,۱۵	زاویه اصطکاک	۲۰
نسبت پواسون	۰,۳	مدول بالک	۱,۱۳*۱۰^6 ton/m^2	K_n	۱۰۰۰۰ ton/m۲/m
مدول الاستیسیته	متغیر با عمق	مدول برشی	۱,۰۳*۱۰^6 ton/m^2	K_s	۱۰۰۰۰ ton/m^2/m

سیویلیکا: مرجع دانش www.civilica.com



شکل ۵- استفاده از المان های Interface در اطراف شمع و زیر رادیه [۲]

نتایج تحلیل های انجام شده

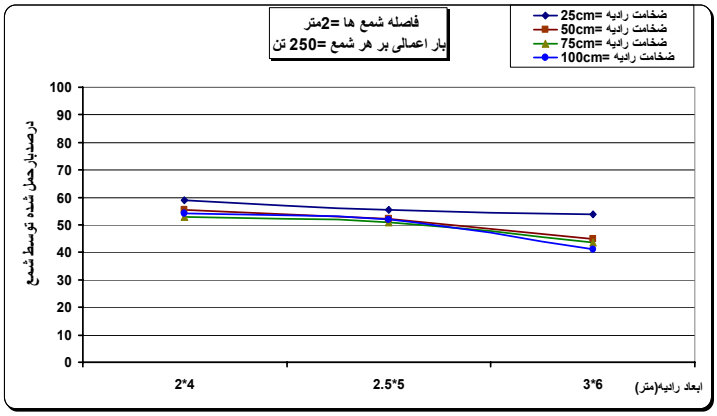
برای بررسی تأثیر ضخامت و ابعاد رادیه در رفتار شالوده شمع- رادیه در حالت رادیه به همراه تک شمع، ۹۶ تحلیل با ابعاد پی ۱,۵*۱,۵ متـر و ۲,۵*۲,۵ متر و ۳,۵*۳,۵ متر و ۴,۵*۴,۵ متر با ضخامت های ۲۵ و ۵۰ و ۷۵ و ۱۰۰ سانتیمتر برای هر پی و با اعمال بار به صورت مرحله ای با افزایش ۵۰ تـن بـار در هر مرحله از ۵۰ الی ۲۵۰ تن بار بر روی هر شمع انجام شد. بررسی تأثیر ضخامت و ابعاد رادیه در شالوده شمع ـ رادیه شامل رادیه به همراه دو شـمع ۱۴۴ تحلیل در حالتی که فاصله شمع ها ثابت و برابر ۲ متر بود با ابعاد رادیه ۲*۴ متر و ۲,۵*۵ متر و ۳*۶ متر با ضـخامت هـای ۲۵ و ۵۰ و ۷۵ و ۱۰۰ سانتیمتر برای هر رادیه و در حالتی که فاصله شمع ها ثابت و برابر ۳ متر بود با ابعاد رادیه ۳*۶ متر و ۳,۵*۷ متر و ۴*۸ متر با ضـخامت هـای ۲۵ و ۵۰ و ۷۵ و ۱۰۰ سانتیمتر و با اعمال بار به صورت مرحله ای با افزایش ۵۰ تن بار در هر مرحله از ۵۰ الی ۲۵۰ تن بار بر روی هر شمع انجام شد. برای بررسـی تأثیر ضخامت و ابعاد رادیه و فاصله بین شمع ها در شالوده شمع ـ رادیه ۷۲ تحلیل در حالت رادیه به ابعاد ۲*۴ متر با فاصله شمع برابـر ۲ متـر و رادیـه به ابعاد ۳*۶ متر با فاصله شمع برابر ۳ متر و رادیه به ابعاد ۴*۸ متر با فاصله شمع برابر ۴ متر و رادیه به ابعاد ۵*۱۰ متـر بـا فاصـله شـمع برابـر ۵ متـر برای ضخامت های رادیه ۵۰ و ۷۵ و ۱۰۰ سانتیمتر برای هر رادیه با اعمال بار به صورت مرحله ای با افزایش ۵۰ تن بار در هر مرحلـه از ۵۰ الـی ۲۵۰ تـن بار بر روی هر شمع انجام شد.لازم به ذکر است در تمامی آنالیزها شمع (تک یا ۲ شمع) با مقطع دایره ای شکل به قطر(D)۵۰ سانتی متر و بـه طـول۱۵ متر در نظر گرفته شد.

باتوجه به نتایج تحلیل ها مشاهده شد که ضخامت رادیه تأثیر خاصی در سهم باربری شمع(در هیچ یک از حالات در نظر گرفتـه شـده بـرای تحلیـل) در شالوده شمع ـ رادیه ندارد؛ در مورد ابعاد رادیه نیز می توان گفت که تغییر ابعاد رادیه نیز در سهم باربری شمع تقریباً بی تاثیر است. در بارهـای کـم (۵۰ تن) قسمت اعظم بار اعمالی توسط شمع حمل می شود ولی رفته رفته با زیادتر شدن بار اعمالی سهم باربری شمع کاهش می یابد بطور مثـال در بـار ۵۰ تن بار حمل شده توسط شمع(در حالتی که فاصله شمع ها ۲ متر است) در حدود ۹۰ درصد می باشد که این مقدار در بار ۲۵۰ تن به مقـدار تقریبـی ۵۳ درصد کاهش می یابد. دلیل کاهش سهم باربری شمع این است که با افزایش بار اعمالی شمع نشست می کند و موجب آن می شود کـه تـنش رادیـه بـا خاک بیشتر شده و درصد بار حمل شده توسط رادیه افزایش می یابد.افزایش ابعاد رادیه در کاهش نشست کلی تا یک حد خاصـی مـوثر اسـت و افـزایش بیش از حد ابعاد رادیه تأثیر خاصی در کاهش نشست کلی ندارد. نتیجه دیگر آنکه افزایش ضخامت رادیه در مقدار نشست کلی تقریباً بی تأثیر است.

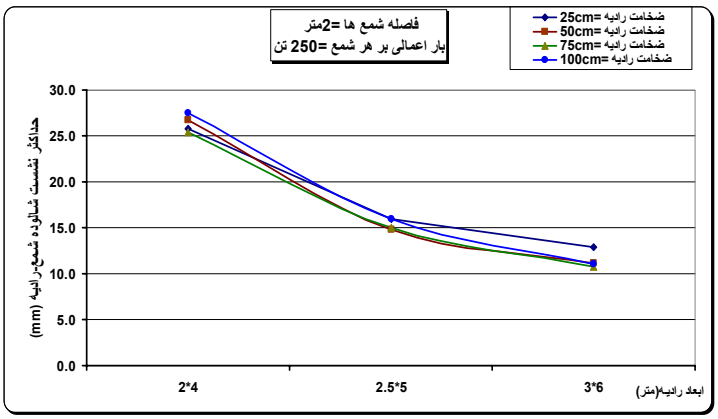
نتیجه دیگر آنکه با افزایش بار اعمالی مقدار نشست های تفاضلی رادیه افزایش می یابد. وقتی که ضخامت رادیه کم است بـا افـزایش ابعـاد رادیـه (بـرای بارهای بیش از ۱۵۰ تن) نشست تفاضلی افزایش می یابد. افزایش ضخامت رادیه در کاهش نشست های تفاضلی تأثیر زیادی دارد؛ این تأثیر با افزایش بـار اعمالی بیشتر مشهود است. البته افزایش ضخامت رادیه تا حد خاصی موثر است و افزایش بیش از حد ضـخامت تـأثیر خاصـی در کـاهش نشـست هـای تفاضلی رادیه ندارد.

برای نمونه در نمودار های ۱ و ۲ و ۳ برای بار ۲۵۰ تن اعمالی بر هر شمع (فاصله بین شمع ها ۲ متر) نمودارهای درصـد سـهم بـار حمـل شـده توسـط شمع در شالوده شمع ـ رادیه و نشست کلی شالوده شمع ـ رادیه و نشست تفاضلی شالوده رادیه ارائه شده است. باتوجه به نمودار ۱ ملاحظه می شود کـه ضخامت رادیه تأثیر خاصی در سهم باربری شمع در شالوده شمع ـ رادیه ندارد. باتوجه به نمـودار ۲ ملاحظـه مـی شـود افـزایش ابعـاد رادیـه در کـاهش نشست کلی تا یک حد خاصی موثر است ولی افزایش ضخامت رادیه در مقدار نشست کلی تقریباً بی تأثیر است. باتوجه بـه نمـودار ۳ ملاحظـه مـی شـود افزایش ضخامت رادیه در کاهش نشست های تفاضلی تأثیر زیادی دارد. البته افزایش ضخامت رادیه تا حد خاصی موثر است مثلاً افـزایش ضـخامت رادیـه از ۲۵ سانتیمتر به ۵۰ سانتیمتر تأثیر چشمگیری در کاهش نشستهای تفاضلی دارد ولـی افـزایش ضـخامت از ۵۰ بـه ۷۵ و ۱۰۰ سـانتیمتر دیگـر تـأثیر خاصی در کاهش نشست های تفاضلی رادیه ندارد [۲].

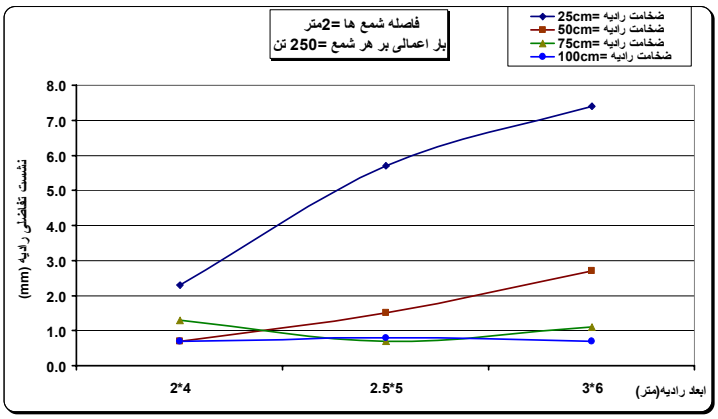
سیویلیکا: مرجع دانش
www.civilica.com



نمودار ۱- سهم بار حمل شده توسط شمع در شالوده شمع ـ رادیه با دو شمع (فاصله شمعها۲متر) برای بار ۲۵۰ تن [۲]



نمودار۲- نشست کلی شالوده رادیه با دو شمع (فاصله شمعها۲متر) برای بار ۲۵۰ تن [۲]



نمودار ۳- نشست تفاضلی شالوده رادیه با دو شمع (فاصله شمعها۲متر) برای بار ۲۵۰ تن [۲]

سیویلیکا: مرجع دانش
www.civilica.com

نتیجه‌گیری

بعد از انجام ۳۱۲ آنالیز سه بعدی بر روی شالوده های شمع ـ رادیه توسط برنامه $Flac^{3D}$ مشخص شد که [۲]:

- تغییر ضخامت رادیه تقریباً در تمامی موارد بر درصد سهم باربری شمع بی تاثیر است.
- تغییر ضخامت رادیه تقریباً در تمامی موارد در نشست کلی شالوده شمع ـ رادیه بی تاثیر است.
- افزایش ضخامت رادیه در کاهش نشست های تفاضلی رادیه بخصوص در بارهای بالای ۱۵۰ تن موثر می باشد؛ اما این افزایش ضخامت رادیه حدی دارد که بعد از آن افزایش ضخامت رادیه بی تاثیر می باشد.
- افزایش ابعاد رادیه در مقدار سهم باربری شمع تقریباً بی تاثیر می باشد.
- افزایش ابعاد رادیه در کاهش نشست کلی شالوده شمع ـ رادیه موثر می باشد.

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 درسیستم های پی ـ شمع, پایان نامه کارشناسی ارشد, مهندسی عمران گرایش خاک وپی؛ دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز

۳.Dilip Kumar Maharaj.(۲۰۰٤),Three Dimensional Nonlinear Finite Element Analysis to Study the Effect of Raft and Pile Stiffness on the Load _ Settlement Behaviour of Piled Raft Foundations, *Ejge Paper*

٤. Poulos.H.G, July(۲۰۰۱), Methods of analysis of piled raft foundations, *A report prepared on behalf of technical committee TC۱۸ on piled foundations , international society of soil mechanics and geotechnical engineering*

٥.Hemsly.J.A ,(۲۰۰۰), "Design application of raft foundation, piled raft foundation projects in germany",*pp:* ۳۲۳-۳۳٤

٦.Hemsly.J.A ,(۲۰۰۰), "Design application of raft foundation, piled raft foundation projects in germany" ,*pp:* ٤۲٥-٤٦٥

سیویلیکا: مرجع دانش www.civilica.com