بررسی میزان مشارکت پی رادیه در طراحی سیستم پی مرکب شمع– رادیه

رضا صباغ کرمانی[۱]، ناصر عرفاتی[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی، دانشکده مهندسی عمران ، دانشگاه تفرش ، تفرش، ایران

reza_s_kermani@yahoo.com

۲-استادیار، دانشکده مهندسی عمران ، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران

nasser.arafati@gmail.com

چکیده

یکی از راه حل های معمول برای افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست، استفاده از سیستم پی مرکب پی گسترده و گروه شمع (شمع- رادیه) است. یک روش مناسب طراحی بایستی اثر توأم گروه شمع و پی رادیه ناشی از اندرکنش بین خاک، شمع و رادیه را در نظر بگیرد و در نظرگرفتن گروه شمع به عنوان تنها عامل باربر غیر اقتصادی می باشد. در این مقاله شمع- رادیه های مختلف توسط نرم افزار حل عددیPlaxis 3D Foundation بررسی شده اند. هدف از این تحقیق، در نظر گیری فرضیات رایج در تحلیل وطراحی شمع و پی رادیه به طور مجزا و مقایسه نتایج بدست آمده با شمع- رادیه تحت عملکرد واقعی توسط نرم افزار می باشد. نتایج در قالب اینکه آیا در نظر گرفتن سیستم شمع- رادیه به صورت گروه شمع مستقل با فرضیات رایج در جهت اطمینان یا عدم اطمینان می باشد مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: :پی رادیه، گروه شمع، طراحی، مشارکت، نشست.

۱. مقدمه

تعیین ظرفیت باربری، برآورد نشست، تحلیل پایداری (در صورت لزوم) و طراحی سازه ای و ملاحضات اجرایی و اقتصادی پنج معیار عمده ی طراحی پی ها هستند که معمولا در سه مورد نخست، مهندسین ژئوتکنیک نقش عمده ای را به عهده دارند[۱]. معمولا اولین طرحی که طراحان برای پی سازه ها در خاک های رسی یا ماسه ای انتخاب می کنند، پی رادیه مسطح می باشد که بار ستون ها و دیوار های باربر را به شکل گسترده به سطح زیادی پخش می کند و کنترل نشست تفاضلی(غیر یکنواخت) می تواند توسط تغیر سختی در رادیه انجام شود. اگرچه سیستم رادیه از کامل ترین انواع پی های سطحی است، اما به دلیل داشتن ابعاد قابل توجه اعماق زیادی را تحت تأثیر تنش قرار می دهد و این امر منجر به وقوع نشست های قابل توجه در سیستم می شود[۱]. به همین منظور و به جهت تقویت عملکرد پی های رادیه در مورد بار های سنگین، پروژه های حساس به نشست و زمین های مسئله دار و تراکم پذیر، می توان از کامل ترین سیستم های پی سازی یعنی رادیه و گروه شمع بهره جست. در حالت اخیر، علاوه بر افزایش توان باربری، نشست پی نیز کاهش می یابد.

سیستم های مرکب رادیه و گروه شمع از آن روی « سیستم » خوانده می شود که در آنها اندرکنش های مختلفی بین اجزای سیستم وجود دارد. این اندرکنش ها عبارتند از اندرکنش رادیه و گروه شمع، اندرکنش رادیه و خاک، اندرکنش شمع و خاک و اندرکنش شمع ها با یکدیگر. با این تعریف، هرگاه از سیستم رادیه و گروه شمع نام برده می شود، منظور این است که هم پی رادیه و هم گروه شمع در باربری کلی زیرسازه ایفای نقش می کنند واز قابلیت هیچ یک از آنها در این خصوص صرفنظر نمی شود[۱]. ایده ی تلفیق پی های رادیه و گروه شمع، ایده ای نوین در مهندسی ژئوتکنیک است که توسط محققان بسیاری پیشنهاد شده است و اصطلاحا «شمع- رادیه» نامیده می شود. روش های متعددی برای تحلیل شمع-رادیه پایه گذاری شده و برخی از آنها توسط پلوس(۲۰۰۱-۲۰۰۰) خلاصه شده اند[۲]. ۳ گروه گسترده از روش های طراحی مشخص شده اند: ۱)روش های محاسباتی ساده شده ۲) روش های تقریبی کامپیوتری ۳)روش های دقیق کامپیوتری[۲]. روش های ساده شده شامل روش های راندلف و دیویس(۱۹۸۰)، راندلف(۱۹۹۴،۱۹۸۳)، ون ایمپه و کلرک(۱۹۹۵) و بورلاند(۱۹۹۵) می باشند که همگی شامل تعدادی از ساده سازی ها در رابطه با مدل سازی پروفیل خاک و شرایط بارگذاری بر روی رادیه می باشند[۲]. روش های تقریبی کامپیوتری شامل «نوار بر روی فنر» و «صفحه بر روی فنر» می باشند. روش های دقیق کامپیوتری شامل روش های حل عددی می باشد[۲].

در این پژوهش، با در نظرگیری فرضیات مورد استفاده در طراحی معمول گروه شمع ها و همچنین پی های رادیه و مقایسه با رفتار واقعی سیستم شمع-رادیه، به بررسی میزان تطابق فرضیات با واقعیت می پردازیم.

۲. بررسی فرضیات و کلیات

در طراحی های رایج پی رادیه، پی به صورت یک مستطیل با ضخامت و انعطاف پذیری مشخص بر روی خاک تعریف می شود و نشست ها در نقاط مختلف تحت سطوح بار مختلف و ظرفیت نهایی باربری به روش های مختلف تعیین می شوند. گروه شمع ها نیز معمولا با یک کلاهک صلب که فقط وظیفه ی انتقال بار را بر عهده دارد، تعریف و طراحی می شوند. اما در طراحی های معمول شمع-رادیه ها که رادیه در تماس کامل با خاک است، تأثیر پی رادیه در نظر گرفته نمی شود. در این بررسی با استفاده از روش حل عددی سعی شده تا با در نظرگیری فرضیات ذکر شده، شرایط طراحی های رایج، یعنی پی رادیه با انعطاف پذیری واقعی و در تماس با خاک از ناحیه ی کف، گروه شمع با سر شمع صلب که با فاصله از سطح خاک قرار دارد و شمع-رادیه در تماس با خاک با انعطاف پذیری واقعی لحاظ شود. با توجه به این نکته که شمع ها، معمولا در خاک های رسی که مسئله نشست مورد اساسی می باشد مورد استفاده قرار می گیرند، خاک های مورد بررسی از نوع رسی بوده اند. در این قسمت به منظور بررسی مشارکت پی رادیه در سیستم شمع-رادیه شرایط مختلفی از خاک های رسی، هندسه گروه شمع و پی رادیه در نظر گرفته می شود که برای هر شرایط سه مدل که شامل پی رادیه تنها، گروه شمع و پی شمع-رادیه می باشد، توسط نرم افزار ساخته می شود. ضریب α نشان دهنده درصد مشارکت پی رادیه در سیستم شمع-رادیه می باشد، به صورت رابطه (۱) تعریف می شود:

$$\alpha = \frac{Q_{PR} - Q_P}{Q_R} \qquad (۱)$$

که در این رابطه Q_{PR}، Q_P و Q_R به ترتیب بار متناظر با نشست شمع رادیه، گروه شمع و رادیه تنها می باشند.علت اینکه در بدست آوردن ضریب α از ظرفیت گروه شمع را به شکل کامل از ظرفیت شمع-رادیه کسر می کنیم بدین علت است که مقاومت شمع ها در جابجایی های کوچک(در حد چند میلی متر) بسیج می شوند، حال آنکه نشست های مورد نظر ما در حدود چندین سانتی متر می باشند و پی رادیه نیز در جابجایی های زیاد مقاومت کامل خود را بسیج می کند. همانطور که در تحقیقات و مشاهدات بسیاری ذکر شده است، طراحی معمولا برای نشست های مجاز بحرانی تر است و فاصله بین بار نشست تا بار گسیختگی زیاد است، بنابراین بررسی ها را فقط بر روی نشست های مجاز بررسی می کنیم. مطابق توصیه انواع آیین نامه ها و کتب مرجع، نشست های حداکثر مجاز پی ها، بنا بر اهمیت سازه بالاسری و نظر مهندسان طراح ۷.۵- ۲.۵ سانتی متر می باشد. به همین دلیل بررسی ها را برای سه نشست مجاز ۲.۵، ۵ و ۷.۵ سانتی متر انجام دادیم. به منظور در دست داشتن معیارهایی مناسب برای در نظر گرفتن حالات مختلف، پارامترهای s/d (پارامتر بدون بعد فاصله بندی شمع ها)، L، nو t مورد بررسی قرار می گیرند که در آنها s فاصله مرکز به مرکز شمع ها، d قطر شمع ها، L طول شمع ها، n تعداد شمع ها و t ضخامت پی رادیه می باشند. در این بررسی، به منظور داشتن معیار ثابتی برای انتخاب ابعاد گروه شمع ها، حجم گروه شمع ها ثابت در نظر گرفته می شود. یعنی برای مثال هنگام افزایش طول، قطر شمع به تناسب کاهش می یابد.

۳. مدل سازی عددی به روش اجزای محدود

یکی از روش های مطالعه نحوه عملکرد و رفتار سازه های مختلف در مهندسی ژئوتکنیک، استفاده از مدل های عددی و یکی از روش های تحلیل گروه شمع و رادیه، بر پایه ی روش های دقیق رایانه ای است. در این مقاله توسط این روش و با استفاده از نرم افزار Plaxis 3D Fondation V.1.6 مدل ها ساخته می شوند و رفتار پارامترهای تأثیر گذار مورد مطالعه قرار می گیرند. به منظور بررسی صحت رفتار مدل شمع- رادیه ، نتایج یک مدل آزمایشگاهی سانتریفیوژ پروتوتیپ و همچنین یک مدل ساخته شده در نرم افزار ABAQUS با مدل ساخته شده در نرم افزار Plaxis 3D Foundatio مقایسه شد[۳]. نشست ها و درصد بار تحمل شده با مقادیر آزمایشگاهی تطابق خوبی داشته و صحت مطالعات انجام شده را تأیید می کند.

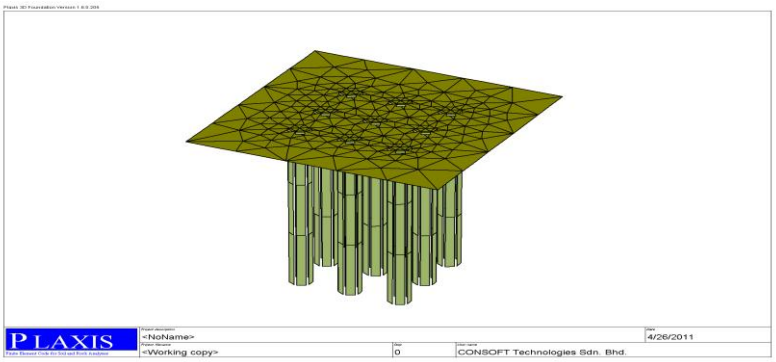
۳. ۱. تحلیل های عددی

در این پژوهش، به عنوان یک شرایط پایه که متغیر های خود را بر آن اساس تغییر دهیم، یک مدل با مشخصات زیر ساخته شده است.مشخصات خاک و بتن پایه مصرفی حالت پایه در شمع و رادیه به شکل جدول (۱) می باشد. در این مدل پی رادیه تنها به ابعاد ۱۵x۱۵ با ضخامت ۰.۸ متر ($t=0.8m$) می باشد که بر روی خاک رس متوسط به عمق ۲۰ متر قرار گرفته است.

جدول (۱): مشخصات مصالح مصرفی حالت پایه

		مصالح		
پارامتر	**نشانه**	**خاک رس متوسط**	**بتن**	**واحد**
مدل رفتاری	-	موهر- کلمب	الاستیک خطی	-
شرایط زهکشی	-	زهکشی شده	غیر متخلخل	-
وزن مخصوص غیر اشباع	γ_{unsat}	21	24	kN/m^3
وزن مخصوص اشباع	γ_{sat}	22	-	kN/m^3
مدول یانگ	E	20000	$2.5*10^7$	kPa
ضریب پواسون	ν	0.3	0.2	-
چسبندگی	c	42	-	kPa
زاویه اصطکاک داخلی	Φ	5	-	°
زاویه اتساع	Ψ	0	0	°
ضریب کاهش سطح واسط	R_{inter}	1	1	-

گروه شمع متشکل از ۹ شمع با آرایش ۳*۳ (n=9) که قطر هر شمع ۱متر با فاصله مرکز به مرکز ۳ متر (s/d=3) و طول ۱۵ متر(L =15m) که در محدوده وسط کلاهک قرار گرفته اند می باشد. فاصله کلاهک صلب از سطح زمین ۲۰ سانتی متر با شبکه بندی و شرایط و فاصله مرزها مانند حالت رادیه تنها و عمق خاک ۴۰ متر می باشد(شکل (۱)).



شکل (۱): نمای سه بعدی گروه شمع با کلاهک صلب

در نهایت، فرضیات حالت گروه شمع برای مدل شمع-رادیه به کار می رود؛ با این تفاوت که رادیه در تماس با خاک قرار گرفته و انعطاف پذیری طبیعی دارد. در تمامی حالات سطح آب زیر زمینی در انتهای عمق خاک می باشد. طبق رابطه (۱) نتایج مطابق جدول (۲) بدست آمده است.

جدول(۲): مقادیر α حالت پایه

نشست حداکثر (cm)	α(%)
۲.۵	۳۴.۶۶
۵	۳۸.۵۱
۷.۵	۴۴.۴۵

با توجه به مقادیر α ملاحظه می شود که در حالت پایه، پی رادیه بین ۳۵ تا ۴۵ درصد ظرفیت خود را در نشست های مجاز وارد عمل کرده است.حال به منظور بررسی گسترده تر، در بخش های بعدی حالات مختلفی را که در آنها تمامی پارامترها مطابق حالت پایه و یکی از پارامترها (نوع

خاک، فاصله بندی، تعداد، طول و ضخامت) را متغیر در نظرگرفته و نتایج را مقایسه می کنیم. تمامی شبکه بندی ها مانند حالت پایه بوده و در بررسی اثرات هندسی، نتایج حالت پی رادیه ی تنها و مفروضات خاک و مرز ها و... مانند حالت پایه می باشد.

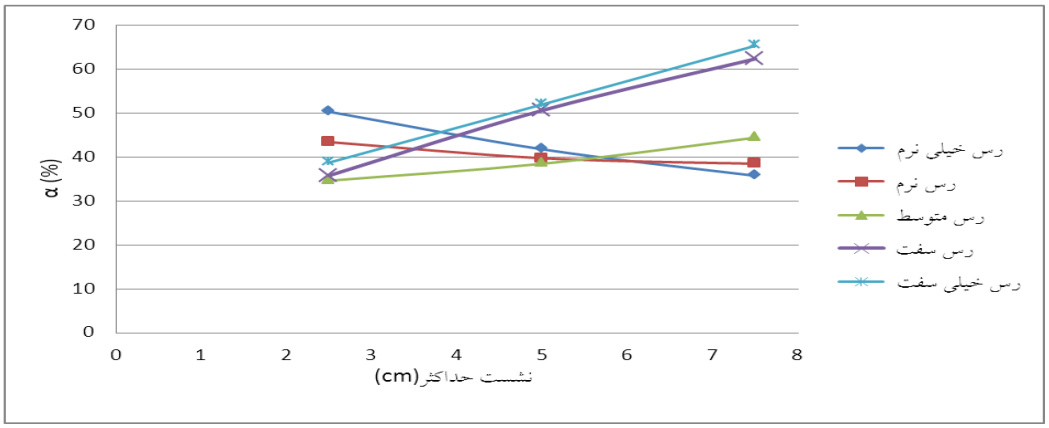
۳. ۱. ۱. اثر نوع خاک

در این بخش علاوه بر خاک رسی متوسط مورد استفاده در حالت پایه، چهار نوع خاک رسی خیلی نرم، نرم، سفت و بسیار سفت مطابق جدول (۳) استفاده می شود. دیگر مفروضات از جمله هندسه پی ها مانند حالت قبل می باشد.

جدول (۳): مشخصات خاک های رسی مختلف

		مصالح					
پارامتر	**نشانه**	**رس خیلی نرم**	**رس نرم**	**رس متوسط**	**رس سفت**	**رس بسیار سفت**	**واحد**
مدل رفتاری	-	موهر- کلمب	موهر- کلمب	موهر- کلمب	موهر- کلمب	موهر- کلمب	-
شرایط زهکشی	-	زهکشی شده	زهکشی شده	زهکشی شده	زهکشی شده	زهکشی شده	-
وزن مخصوص غیر اشباع	γunsat	16.5	18	21	21	21	kN/m^3
وزن مخصوص اشباع	γsat	18.5	19	22	22	22	kN/m^3
مدول یانگ	E	3000	7560	20000	80000	90000	kPa
ضریب پواسون	v	0.35	0.32	0.3	0.27	0.27	-
چسبندگی	c	20	30	42	110	140	kPa
زاویه اصطکاک داخلی	Φ	5	5	5	5	5	°
زاویه اتساع	ψ	0	0	0	0	0	°
ضریب کاهش سطح واسط	Rinter	1	1	1	1	1	-

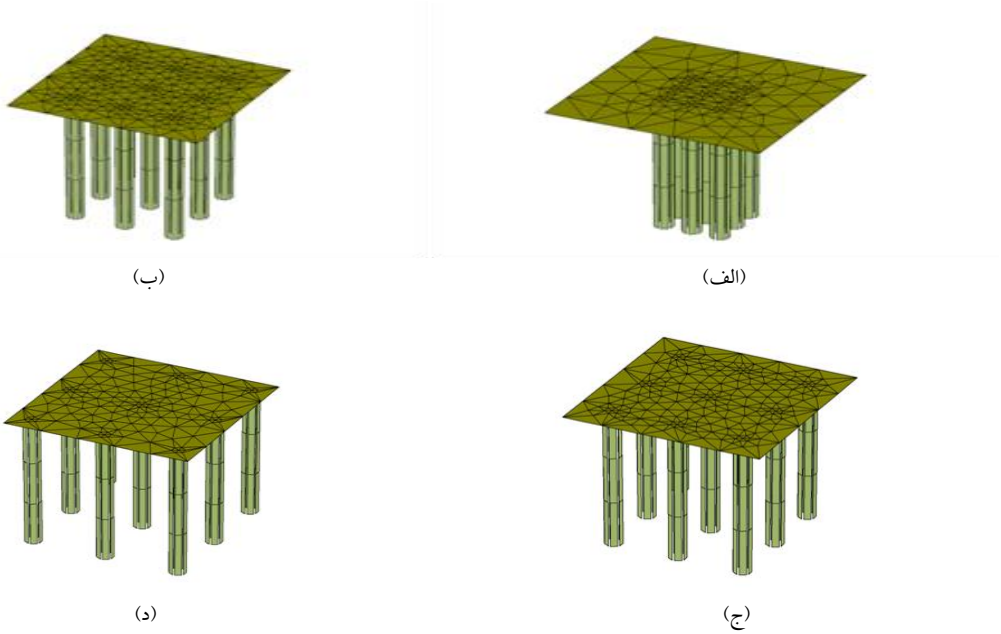
پس از تحلیل حالات مختلف، نتایج در نمودار شکل (۲) مشهود است. از نتایج بدست آمده مشخص شد که با بهبود مشخصات خاک، درصد مشارکت پی رادیه با افزایش سطح بار، افزایش می یابد. این واقعیت که در خاک های سفت تر و در سطوح بار بالاتر، مشارکت پی رادیه بیشتر است بر اساس یافته های هوریکوشی و راندولف و رول، به علت رفتار غیرخطی نشست در برابر مقاومت شمع ها می باشد[۳]. به علاوه همانطور که مشاهده می شود، خاک های سفت تر در محدوده زیادی ضریب α بیشتری دارد که به علت تماس بهتر رادیه با خاک و بسیج شدن محدوده بیشتری از رادیه در خاک سفت، مخصوصا در بارهای بیشتر است. از طرف دیگر مشارکت رادیه با افزایش بار در خاک های سست تر کاهش می یابد. به عبارتی روند کلی نمودار α در مقابل نشست، افزایش شیب نمودار هر خاک با بهبود مشخصات آن را نشان می دهد.



شکل (۲): نمودار مقادیر α در خاک های مختلف در نشست های مختلف

۳. ۱. ۲. اثر فاصله بندی

در این بخش، تنها پارامتر بی بعد فاصله بندی(s/d) با تغییر در فاصله مرکز به مرکز شمع ها، متغیر است. به همین منظور از گروه شمع با فاصله بندی های مرکز به مرکز ۲، ۳(حالت پایه)، ۴، ۵ و ۶ متر مطابق اشکال (۳ – الف) تا (۳- د) استفاده شده است. به منظور اختصار از ارائه شکل حالت پایه صرف نظر شده و تنها نمای سه بعدی حالت شمع–رادیه نشان داده شده است.

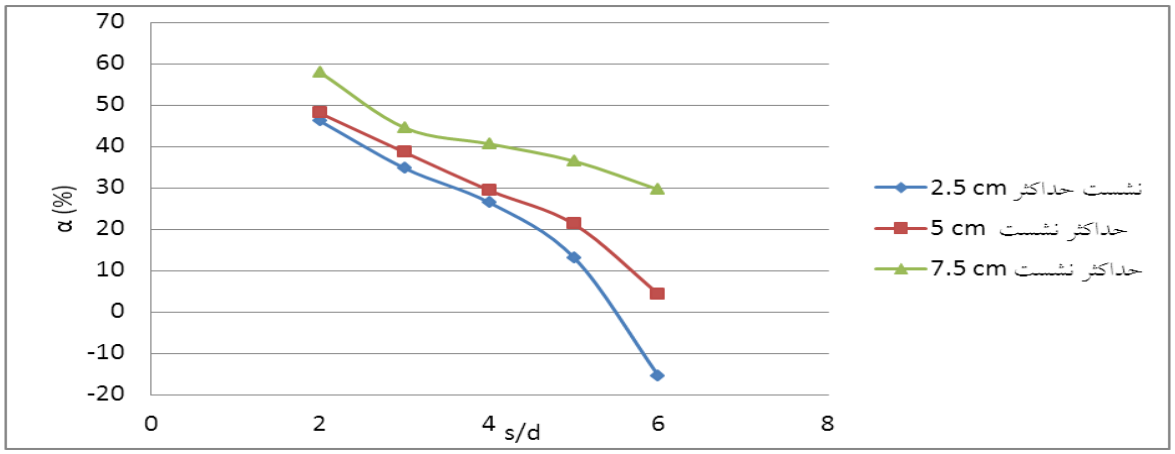


(الف) (ب)

(ج) (د)

شکل(۳): نمای سه بعدی شمع–رادیه؛ -الف)s/d=2؛ -ب) s/d=4؛ -ج)s/d=5؛ -د)s/d=6

پس از تحلیل حالات مختلف، نتایج در نمودارهای شکل (۴) مشهود است.

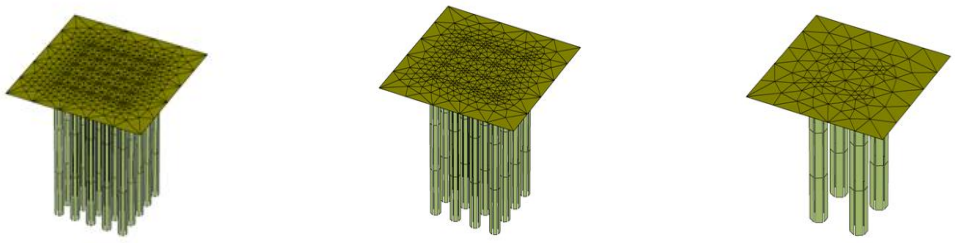


شکل (۴): نمودار مقادیر α با فاصله بندی های مختلف شمع ها در نشست های مختلف

با مشاهده مقادیر بدست آمده نتایج جالبی بدست می آید. همانطور که از نمودار α مشخص است، در نشست های مجاز با افزایش فاصله بندی، مشارکت رادیه به سرعت کاهش پیدا می کند و در نشست ۲.۵ سانتی متر در نسبت s/d=6 مقادیر α منفی می شود.این مقادیر در عمل و در حالت طراحی منطبق با واقعیت، یعنی حالتی که در طراحی گروه شمع تنها کلاهک منعطف در نظر گرفته شده و بار تک تک شمع ها به شکل واقعی توزیع شود، کاملا غیر معقول است؛ اما همانگونه که در ابتدا گفته شد، به علت اینکه در اکثر روش های متداول، کلاهک صلب بوده و بارها را به شکل یکنواخت توزیع می نماید، هنگامی که فواصل شمع ها مانند این حالت از هم دور می باشد، شمع های وسطی باری کمتر از مقدار واقعی می گیرند که در نتیجه بار متناظر با نشست گروه شمع تنها کمتر از بار متناظر با نشست شمع-رادیه می شود. از طرفی چون بررسی ها بر روی شمع- رادیه با حالت واقعی انطباق دارد، به شمع وسطی بار بیشتری وارد می شود و مقادیر α منفی می شود. بنابراین طراحی شمع-رادیه برای نشست در فواصل دور شمع ها با کلاهک کاملا صلب مطابق روش سنتی، مخصوصا در نشست های کم، در جهت عدم اطمینان می باشد.

۳. ۱. ۳. اثر تعداد شمع ها

با توجه به نتایج و بحثی که در قسمت قبل انجام گرفت، چند مدل با تعداد ۴، ۹(حالت پایه)، ۱۶ و ۲۵ در آرایش های ۲x۲، ۳x۳، ۴x۴ و ۵x۵ با s/d=3که در محدوده میانی رادیه توزیع شده اند مطابق اشکال (۵ – الف) تا (۵- ج) نشان داده شده است. به منظور اختصار از ارائه شکل حالت پایه صرف نظر شده و تنها نمای سه بعدی حالت شمع-رادیه نشان داده شده است.



(ج) (ب) (الف)

شکل(۵): نمای سه بعدی شمع-رادیه؛ -الف)n=4؛ -ب) n=16؛ -ج)n=25

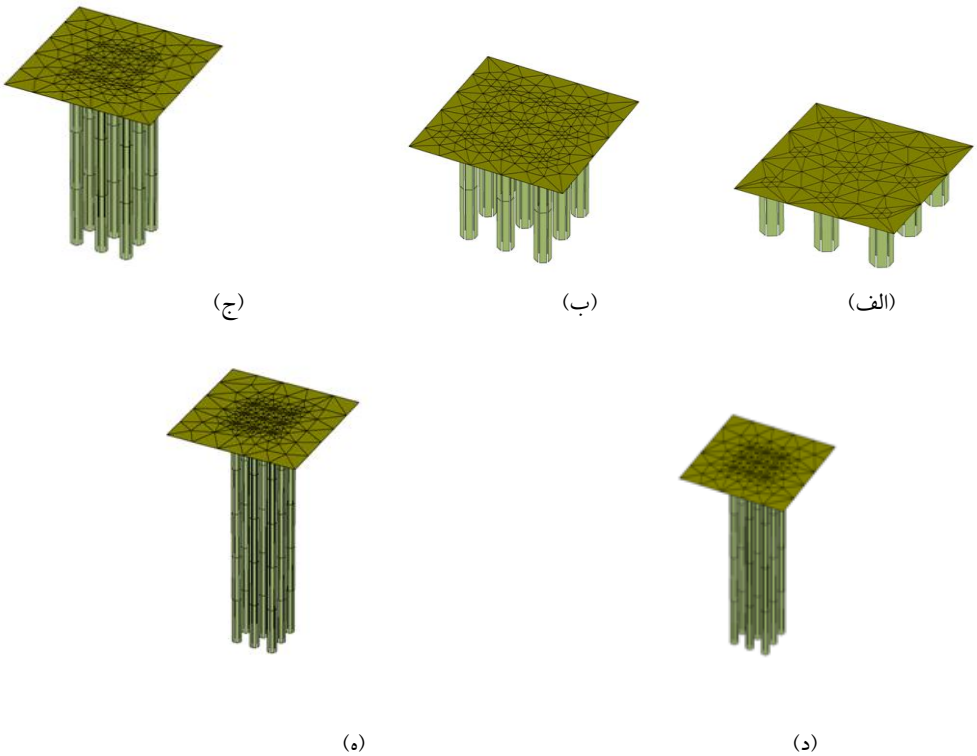
نتایج در نمودارهای شکل (۶) نشان داده شده است.

شکل (۶): نمودار مقادیر α با تعداد شمع های مختلف در نشست های مختلف

نتایجی که از این تحلیل ها بدست آمد نشان می دهد که در کل روند مشارکت رادیه با افزایش تعداد شمع ها، چه در نشست ها و چه در گسیختگی، کاهش داشته است ولی مقدار این کاهش زیاد نیست، مخصوصا هنگامی که تعداد شمع ها از ۹ عدد بیشتر می شود، نمودار حالت تقریبا خطی پیدا کرده و همانگونه که از نمودارهای α مشخص است ،نسبت به افزایش تعداد شمع ها تغییر محسوسی مشاهده نمی شود.

۳. ۱. ۴. اثر طول شمع ها

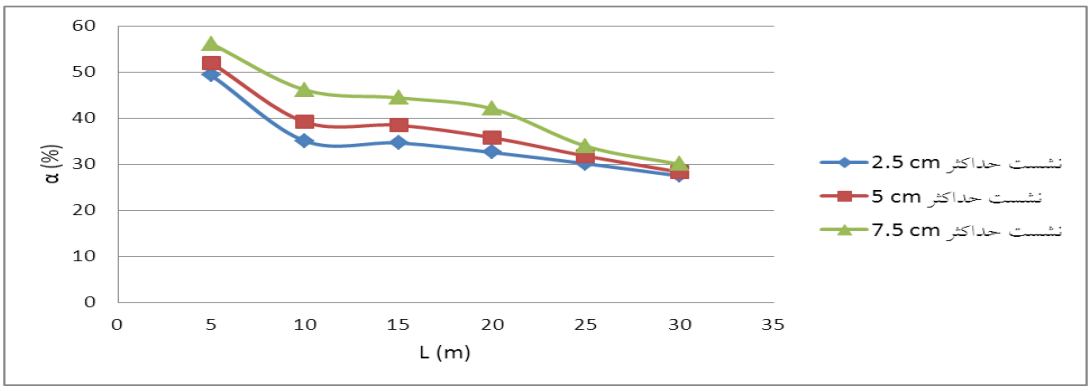
در این قسمت آرایش ۳x۳ برای گروه شمع درنظر گرفته شده و با استفاده از نسبت s/d=3 و حجم ثابت گروه شمع، طول های ۵، ۱۰، ۱۵(حالت پایه)، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متر را برای طول شمع ها در نظر می گیریم. به منظور اختصار از ارائه شکل حالت پایه صرف نظر شده و تنها نمای سه بعدی حالت شمع-رادیه نشان داده شده است (اشکال (۷ – الف) تا (۷- ه)). نتایج تحلیل ها در نمودارهای شکل (۸) نشان داده شده است.



(ج) (ب) (الف)

(ه) (د)

شکل(۷): نمای سه بعدی شمع-رادیه؛ -الف)L=5m؛ -ب) L=10m؛ -ج)L=20m؛ -د) L=25m؛ -ه)L=30

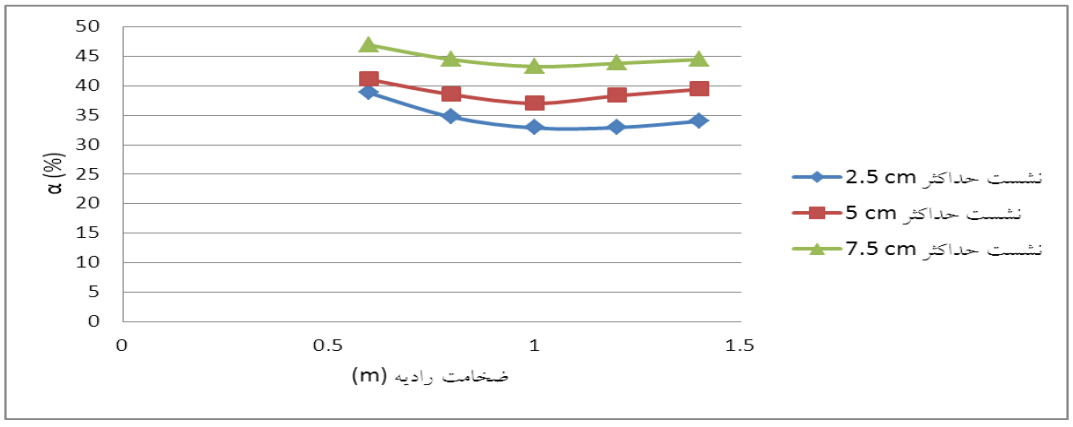


شکل (۸): نمودار مقادیر α با طول شمع های مختلف در نشست های مختلف

از نمودارها و نتایج می توان مشاهده کرد که با افزایش نسبت طول به قطر شمع ها، مشارکت رادیه در نشست های مجاز کاهش داشته که این کاهش در ابتدای نمودار که طول خیلی کم است، کاهش چشمگیری دارد. علت کاهش در میزان مشارکت را می توان به این شکل توجیه کرد که با افزایش طول شمع ها، مقاومت شمع ها افزایش می یابد و در شمع- رادیه به علت افزایش زیاد سختی شمع ها، اجازه تغییر شکل به میزان لازم برای بسیج شدن مقاومت رادیه داده نمی شود و در نهایت مقاومت شمع- رادیه به گروه شمع تنها نزدیک شده و مقدار α طبق رابطه (۱) کاهش می یابد.

۳. ۱. ۵. اثر ضخامت رادیه

در این قسمت روند کار کمی با قسمت های قبل متفاوت است . روند به این شکل می باشد که بر خلاف قسمت های گذشته که ضخامت پی رادیه در تمامی حالات ثابت و برابر ۰.۸ متر بوده است و تغییرات بر روی گروه شمع ها اعمال می شد، در این قسمت پی رادیه به ضخامت های ۰.۶ ، ۰.۸(حالت پایه)، ۱ ، ۱.۲ و ۱.۴ متر انتخاب شده و گروه شمع، همان گروه شمع حالت پایه می باشد. اثر ضخامت به طور ضمنی می تواند بیانگر اثر سختی رادیه نیز باشد.در این قسمت شکل خاصی ارائه نمی شود زیرا اشکال دقیقا مانند حالت پایه می باشند و فقط به ارائه ی نتایج و نمودارها پرداخته می شود. نتایج در نمودار شکل (۹) مشهود است.



شکل (۹): نمودار مقادیر α با ضخامت های مختلف رادیه در نشست های مختلف

با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می شود که کاهش یا افزایش ضخامت رادیه تأثیر محسوسی بر ضرایب α در نشست های مجاز ندارد.

۴. خلاصه و نتیجه‌گیری

در این قسمت نتایج بدست آمده از تحلیل ها به شکل زیر خلاصه می شوند:

۱- با بهبود مشخصات خاک، درصد مشارکت پی رادیه با افزایش سطح بار افزایش می یابد و این روند در خاک های ضعیف حالت عکس پیدا می کند.

۲- در نشست های مجاز با افزایش فاصله بندی، مشارکت رادیه به سرعت کاهش پیدا می کند و در نشست ۲.۵ سانتی متر در نسبت s/d=6 مقادیر α منفی می شود. به عبارتی با افزایش فاصله بندی طراحی سنتی می تواند در جهت عدم اطمینان باشد زیرا شمع های میانی باری بیشتر از حالت توزیع یکنواخت بار تحمل می کنند.

۳- روند مشارکت رادیه با افزایش تعداد شمع ها کاهش داشته است ولی مقدار این کاهش زیاد نیست، مخصوصا هنگامی که تعداد شمع ها از مقدار مشخصی بیشتر می شود، تغییر محسوسی مشاهده نمی شود.

۴- با افزایش طول شمع ها، مشارکت رادیه کاهش داشته که این روند کاهشی در طول های کم، بیشتر می باشد.

۵- کاهش یا افزایش ضخامت رادیه تأثیر محسوسی بر میزان مشارکت رادیه ندارد.

نتیجه کلی که از این مقاله می توان گرفت این است که در نظر نگرفتن مشارکت رادیه در طراحی گروه شمع ها و طراحی به روش سنتی می تواند طراحی را در مواردی تا ۹۰ درصد در محدوده نشست های مجاز غیر اقتصادی کند. از طرفی در مواردی مانند فاصله بندی زیاد شمع ها درمحدوده نشست های مجاز می تواند در جهت عدم اطمینان باشد. به هر حال در طراحی سیستم پی شمع- رادیه می بایست دقت زیادی مبذول شود.

۵. مراجع

[۱] ویس کرمی،م.، اسلامی،الف.، رنجبر،م.، و ریاضی، ط.، اندرکنش ژئوتکنیکی پی های گسترده و گروه شمع، ارزیابی دو مورد عملی، مجله استقلال، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران،۱۰۸-۹۳، ۱۳۸۶.

[2] Lee JH, Kim Y, Jeong SS. Three-dimensional analysis of bearing behavior of piled raft on soft clay, *Computers and geotechnics*, **37,** 103–114, 2010.

[3] Mekbab M. Performance Of Piled Raft Foundations For ADDIS ABABA Soils, *A Thesis Submitted to School Of GraduateStudies in Partial Fullfillment of the Requirement for Degree of Master of Sciencein Civil Engineering*, Addis Ababa University,Department of Civil Engineerng, Addis Ababa, Ethiopia, 2004 .